



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาแนวทางในการพัฒนาคุณภาพน้ำตาลสด

The Study of Quality Improvement of Coconut Sap

นามผู้วิจัย นางสาวปิยรัตน์ พูลพันธ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์พริภา องค์คุณารักษ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปรารณา ปรารณาดิ, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาแนวทางในการพัฒนาคุณภาพน้ำตาลสด

The Study of Quality Improvement of Coconut Sap

โดย

นางสาวปิยรัตน์ พูลพันธ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปีรัตน พูลพันธ์ 2557: การศึกษาแนวทางในการพัฒนาคุณภาพน้ำตาลสด
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร)
สาขาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์พริภา องค์คุณารักษ์, Ph.D.
123 หน้า

น้ำตาลสด คือ น้ำหวานที่ได้จากช่อดอกของมะพร้าว สามารถนำไปแปรรูปเป็นวัตถุดิบในการประกอบอาหารคาว ของหวาน และเครื่องดื่มได้หลายชนิด งานวิจัยนี้จึงศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างของโซ่อุปทานการผลิตน้ำตาลสดของบริษัทกรณีศึกษา โดยใช้ SCOR Model พบว่าปัญหาที่สำคัญคือมีการเสื่อมเสียของน้ำตาลสดในขั้นตอนหลังการเก็บเกี่ยวและขนถ่าย ดังนั้นจึงศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำตาลสด เริ่มด้วยการทดลองหาความสัมพันธ์ของคุณภาพน้ำตาลสดจากปริมาณจุลินทรีย์ ค่าพีเอช และค่าความหวาน ทำให้สามารถลดการวัดปริมาณจุลินทรีย์จึงลดต้นทุนและเวลา หลังจากนั้นจึงการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิแบบ $L_9(3^3)$ โดยศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง ชนิดของน้ำที่ใช้ทำความสะอาดกระบอเก็บน้ำตาลสด และชนิดของสารกันเสีย ปัจจัยละ 3 ระดับ และวัดคุณภาพน้ำตาลสดจากค่าพีเอช และความหวาน ที่ 4 และ 8 ชั่วโมงหลังการเก็บเกี่ยว พบว่าสามารถลดระดับของปัจจัยได้เป็น 2 ระดับเพื่อลดต้นทุนและเวลาในการทดลอง หลังจากนั้นจึงทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียล แบบ 2^3 โดยศึกษาปัจจัยเดิม ปัจจัยละ 2 ระดับ เมื่อนำน้ำตาลสดที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพทั้งด้านกายภาพและเคมีที่เวลาต่างๆ พบว่า ที่เวลา 10 ชั่วโมง ปัจจัยด้านอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง และชนิดของสารกันเสียมีอิทธิพลต่อค่าพีเอช อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่ปัจจัยดังกล่าว และอีก 2 ปัจจัย ได้แก่ การล้างทำความสะอาดกระบอ และชนิดของสารกันเสีย เป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความหวาน อย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จากผลการทดลองสามารถสรุปแนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศได้ว่า เกษตรกรควรใช้น้ำประปาชุมชนในการทำทำความสะอาดกระบอที่ใช้รองรับน้ำตาลสด และใช้ไม้พะยอมแทนสารเคมีที่เป็นสารกันเสีย และกรณีที่ไม่สามารถขนส่งวัตถุดิบภายใน 4 ชั่วโมง ควรจัดเก็บและขนส่งน้ำตาลสดโดยใช้โซ่ความเย็นที่อุณหภูมิต่ำ ($\leq 10^\circ\text{C}$) สำหรับบริษัทผู้ผลิตควรจัดทำตารางรับวัตถุดิบน้ำตาลสดจากเกษตรกรภายใน 4 ชั่วโมงหลังการเก็บเกี่ยว และระหว่างขนส่งต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำตาลสดให้ไม่เกิน 10°C เช่นเดียวกัน

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Piyarat Poolpun 2014: The Study of Quality Improvement of Coconut Sap.
Master of Science (Agro-Industrial Technology Management), Major Field: Agro-
Industrial Technology Management, Department of Agro-Industrial Technology.
Thesis Advisor: Assistant Professor Pornthipa Ongkunaruk, Ph.D. 123 pages.

Coconut sap is obtained by tapping the inflorescences of the coconut palm. It is an important raw material for coconut sugar that has been used in Thai foods, desserts and beverages. Hence, this research studies and analyzes the supply chain of coconut sap production of a case study using SCOR Model. The result shows that the quality of coconut sap is deteriorated during harvest and delivery to the factory. Hence, we study the factors affect the quality of coconut sap. First, we study the relationship of total plate count, pH and total soluble solid so that we can reduce the cost and time to measure the total plate count. Second, we implement the Taguchi method to screen the factors and the appropriate level affecting the coconut sap quality. Then, we design $L_9(3^3)$ Orthogonal Array which consists of three factors of three levels i.e. temperature during handing, types of washing water for a sap container and types of preservative. Next, we measure pH and total soluble solid at 4 and 8 hours after harvest. We found that levels of factors can be reduced to two to reduce cost and time. Next, we implement 2^3 Factorial design and measure physical and chemical properties by the quantity of bubbles, pH and total soluble solid at different time intervals. The result after 10 hours measurement shows that the temperature and type of preservatives significantly affect the pH whereas the three factors do not significantly affect the total soluble solid of coconut sap. Then, we propose the best practices for farmers and the manufacturer. If the pickup schedule is more than 4 hours, then the farmers should handle coconut sap below 10°C and used Payom woodship as a preservative. Otherwise, the pickup schedule should be done within 4 hours after harvest.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. พริษา องค์คุณารักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำงานวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ในวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณสำนักโลจิสติกส์ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยจากโครงการพัฒนาโซ่คุณค่าอุตสาหกรรมอาหารด้วยระบบโซ่ความเย็นและบรรจุภัณฑ์

ขอกราบขอบพระคุณบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดเตอริไลซ์กรณีศึกษา พนักงานของบริษัท และเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าว ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ รวมถึงเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ต่อไปในอนาคต และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตรทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่ชาย พี่มุก กิม และเพื่อนๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือเป็นกำลังใจสำคัญให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดในทุกเรื่อง ด้วยความดีและประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ขอมอบแด่บิดา มารดา คณาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้มาจนถึงปัจจุบัน ในการทำงานวิจัยนี้ หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ปิยรัตน์ พูลพันธ์

มิถุนายน 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	41
อุปกรณ์	41
วิธีการ	41
ผลและวิจารณ์	53
สรุปและข้อเสนอแนะ	104
สรุป	104
ข้อเสนอแนะ	106
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	107
ภาคผนวก	113
ภาคผนวก ก การคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	114
ภาคผนวก ข การตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมของแบบจำลอง ANOVA	117
ภาคผนวก ค การคำนวณต้นทุนในการทดลอง	121
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	123

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สถิติการปลูกมะพร้าวที่ใช้เก็บน้ำตาลสดในจังหวัด สมุทรสงคราม ปี พ.ศ. 2553-2555	5
2	องค์ประกอบของน้ำตาลสด	8
3	ระดับของ SCOR Model	18
4	กิจกรรมหลักในโซ่อุปทานของ SCOR Model	20
5	ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 3-Factor Factorial Design	32
6	ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่กำหนดในการทดลองด้วยวิธีทากูชิ	43
7	แผนการทดลอง L_9 Orthogonal Array	44
8	สมมติฐานในการทดลองเกี่ยวกับค่าพีเอช	44
9	สมมติฐานในการทดลองเกี่ยวกับค่าความหวาน	45
10	การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียล	47
11	ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่กำหนดในการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียล	47
12	สมมติฐานในการทดลองเกี่ยวกับค่าพีเอช สำหรับการทดลองด้วยวิธี แฟกทอเรียล	48
13	ตัวอย่างสมมติฐานในการทดลองเกี่ยวกับค่าความหวาน	50
14	กิจกรรมหลักในโซ่อุปทานตามแบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดเตอริไลซ์	56
15	ดัชนีชี้วัดสมรรถนะของกิจกรรม S1.1 ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสด เตอริไลซ์	66
16	แนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศของกิจกรรม S1.1 ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่ม น้ำตาลสดเตอริไลซ์	67
17	ดัชนีชี้วัดสมรรถนะของกิจกรรม S1.3	68
18	แนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศของกิจกรรม S1.3	69
19	ผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีทากูชิ โดยพิจารณาค่าพีเอชของ น้ำตาลสดที่เวลาต่างๆ	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
20	การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสด	75
21	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชที่ส่งผลต่อค่า S/N ด้วยวิธีทาทุชิ ที่เวลา 4 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว	78
22	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชที่ส่งผลต่อค่า S/N ด้วยวิธีทาทุชิ ที่เวลา 8 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว	78
23	ผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีทาทุชิ โดยพิจารณาจากค่าความหวานของน้ำตาลสด ที่เวลาต่างๆ	79
24	การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อค่าพีเอช ค่าความหวานของน้ำตาลสด	80
25	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหวานที่ส่งผลต่อค่า S/N ด้วยวิธีทาทุชิ ที่เวลา 4 ชั่วโมง	82
26	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหวานที่ส่งผลต่อค่า S/N ด้วยวิธีทาทุชิ ที่เวลา 8 ชั่วโมง	83
27	ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองด้านคุณภาพทางเคมีของน้ำตาลสดที่เวลาต่างๆ	84
28	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความพีเอชของน้ำตาลสด ที่เวลา 4 ชั่วโมง	86
29	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชของน้ำตาลสด ที่เวลา 8 ชั่วโมง	87
30	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชของน้ำตาลสด ที่เวลา 10 ชั่วโมง	89
31	ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองด้านคุณภาพทางกายภาพต่างๆ ของน้ำตาลสด	93
32	การเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยวิธีทาทุชิและแฟกทอเรียล	94
33	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทดลองรูปแบบต่างๆ	95
34	การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการทดลองรูปแบบต่างๆ	96
35	การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของน้ำตาลสด	99

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปน้ำตาลสด	9
2	น้ำตาลสดเกิดการเสื่อมเสียจากกระบวนการหมัก ในระหว่างรอการขนย้ายไปยังโรงงาน	11
3	กิจกรรมต่างๆ ในโซ่อุปทาน	13
4	ขอบเขตของ SCOR Model	17
5	ประเภทของกระบวนการและกิจกรรมใน SCOR Model	23
6	โครงสร้างของ SCOR Model	25
7	รูปแบบการทดลองทั่วไป	26
8	ขั้นตอนการศึกษหาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำตาลสด	52
9	โครงสร้างโซ่อุปทานของบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดสเตอริไลซ์	53
10	กระบวนการเพิ่มคุณค่าของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำตาลสดสเตอริไลซ์	54
11	แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน ระดับที่ 1 ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดสเตอริไลซ์	55
12	แผนที่ทางภูมิศาสตร์ของโซ่อุปทานของบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดสเตอริไลซ์	58
13	แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานระดับที่ 2 ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดสเตอริไลซ์ในสถานะปัจจุบัน (As-Is)	59
14	แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานระดับที่ 2 ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดสเตอริไลซ์ในที่ควรปรับปรุง (To-Be)	63
15	กระบวนการมาตรฐานในการจัดหาวัตถุดิบเก็บไว้เพื่อรอผลิต (Source Stocked Product: S1)	65
16	ปัจจัยขาเข้าและปัจจัยขาออกของกิจกรรม S1.1	64
17	ปัจจัยขาเข้าและปัจจัยขาออกของกิจกรรม S1.3	68
18	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชของน้ำตาลสดกับระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ	70

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหวานของน้ำตาลสดกับระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ	71
20	ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำตาลสดที่ในช่วงระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ	72
21	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชของน้ำตาลสดกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด	72
22	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหวานของน้ำตาลสดกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด	73
23	สภาวะที่เหมาะสมที่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 4 ชั่วโมง	76
24	สภาวะที่เหมาะสมที่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 8 ชั่วโมง	77
25	สภาวะที่เหมาะสมที่มีอิทธิพลต่อค่าความหวานของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 4 ชั่วโมง	81
26	สภาวะที่เหมาะสมที่มีอิทธิพลต่อค่าความหวานของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 8 ชั่วโมง	82
27	การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชของน้ำตาลสดในช่วงระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ	85
28	อิทธิพลหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพีเอชหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 4 ชั่วโมง	86
29	อิทธิพลหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพีเอชหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 8 ชั่วโมง	88
30	อิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพีเอชหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 8 ชั่วโมง	88
31	อิทธิพลหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพีเอชหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 10 ชั่วโมง	90
32	อิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพีเอชหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 10 ชั่วโมง	90
33	การเปลี่ยนแปลงของค่าความหวานของน้ำตาลสดในช่วงระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ	91
34	การเปลี่ยนแปลงของสีน้ำตาลสดที่เกิดขึ้นในแต่ละชุดการทดลองที่เวลา 0 และ 10 ชั่วโมง	93

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
35	การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำตาลสดในแต่ละระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิต่างๆ	98
36	การเปลี่ยนแปลงค่าความหวานของน้ำตาลสดในแต่ละระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิต่างๆ	98
ภาพผนวกที่		
ก1	ผลการวิเคราะห์จำนวนขนาดตัวอย่าง/จำนวนซ้ำ สำหรับวิธีทาгуชิ	115
ก2	การกำหนดตัวอย่างที่เหมาะสมด้วยวิธีทาгуชิ	115
ก3	ผลการวิเคราะห์จำนวนขนาดตัวอย่าง/จำนวนซ้ำ สำหรับวิธีแฟกทอเรียล	116
ก4	การกำหนดตัวอย่างที่เหมาะสมด้วยวิธีแฟกทอเรียล	116
ข1	การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution)	118
ข2	การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (Independent)	120
ข3	การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ (The Constant Variance)	119

การศึกษาแนวทางในการพัฒนาคุณภาพน้ำตาลสด

The Study of Quality Improvement of Coconut Sap

คำนำ

มะพร้าว (Coconut) นับเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญพืชหนึ่งของประเทศไทยที่ได้รับการนิยมนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้าอุปโภคและบริโภคทั้งในและต่างประเทศ เนื่องจากต้นมะพร้าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในทุกส่วน เช่น น้ำหวานจากช่อดอกของมะพร้าว หรือน้ำตาลสด สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบสำคัญในการประกอบอาหารทั้งอาหารคาว-หวาน และเครื่องดื่ม (นิรนาม, 2550)

ในปัจจุบันกล่าวได้ว่า ธุรกิจอุตสาหกรรมเครื่องดื่มถือเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญอย่างมากของประเทศไทย โดยตลาดเครื่องดื่มในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2556 มีมูลค่า 4.1-4.2 แสนล้านบาท มีการเจริญเติบโตภายในประเทศสูงมากขึ้น ขยายตัว 4-5 เปอร์เซ็นต์ (ศูนย์วิจัยกิจการไทย, 2556) เครื่องดื่มน้ำตาลสดเป็นผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปจากมะพร้าวเป็นอุตสาหกรรมน้องใหม่ ที่มีแนวโน้มเติบโตเป็นอย่างดี ดังเห็นได้จากจำนวนผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดและผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้น (สถาบันอาหาร, 2555) อีกทั้งเครื่องดื่มน้ำตาลสดยังเป็นสินค้าเอกลักษณ์ของจังหวัดสมุทรสงคราม โดยในอดีตนิยมบริโภคแบบบรรจุถุงหรือใส่แก้ว ผู้บริโภคส่วนใหญ่เป็นกลุ่มคนใช้แรงงาน คนทั่วไปไม่ค่อยนิยมดื่ม เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตไม่สะอาด อีกทั้งน้ำตาลสดเกิดการบูดได้ง่าย ทำให้เสี่ยงต่ออาการท้องเสีย แต่ปัจจุบันมีผู้ผลิตหลายรายมองเห็นช่องทางการตลาดจึงได้พัฒนาเป็นเครื่องดื่มน้ำตาลสดพร้อมดื่มบรรจุในภาชนะปิดสนิท

จากการสำรวจโซ่อุปทานมะพร้าว พบว่า ผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดและน้ำตาลมะพร้าวประสบปัญหาเกี่ยวกับการเสื่อมเสียของวัตถุดิบน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวและในขั้นตอนส่งมอบวัตถุดิบจากผู้ส่งมอบมายังสถานที่ผลิต เนื่องจากน้ำตาลสดมีปริมาณน้ำตาลสูงถึง 10-15 เปอร์เซ็นต์ และอุดมไปด้วยสารอาหารที่มีประโยชน์ เหมาะแก่การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ หากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสมในขั้นตอนหลังการเก็บเกี่ยวและส่งมอบ จุลินทรีย์ในน้ำตาลสดจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดกระบวนการหมักนั้นมีทั้งแบคทีเรีย ยีสต์และรา แลคติกแบคทีเรียจะใช้น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงาน น้ำตาลจะถูกเปลี่ยนให้เป็นแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 5-8 เปอร์เซ็นต์ และผลิตกรดอินทรีย์ชนิดหนึ่งทำให้ความเป็นกรดเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดลดลง ทำให้

น้ำตาลสดเกิดการเสื่อมเสีย นอกจากนี้ยังสังเกตได้จากน้ำตาลสดจะมีรสเปรี้ยว สีเปลี่ยน เกิดเมือก ฟอง (Okafor, 1975) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นทำให้เกิดปัญหาด้านคุณภาพของวัตถุดิบจึงทำให้คุณภาพผลิตภัณฑ์ไม่คงที่ส่งผลให้สามารถตอบสนองความพึงพอใจของผู้บริโภคได้ลดลง

ขั้นตอนการทำน้ำตาลสดในอดีตเริ่มจากเกษตรกรจะนำมีดปาดตาลมาปาดวงตาลให้น้ำหวานหยด หลังจากนั้นนำกระบอกไม้ไผ่ที่ผ่านการรมควันหรือลวกน้ำร้อน โดยที่ก้นกระบอกไม้ไผ่จะใส่ไม้พะยอม เพื่อป้องกันน้ำตาลสดบูด แต่ในปัจจุบันเกษตรกรหาไม้ไผ่ที่จะนำมาทำกระบอกได้ยากขึ้น จึงหันมาใช้กระบอกที่ทำด้วยพลาสติกซึ่งไม่เหมาะสมกับการใส่อาหารและทนความร้อนได้ต่ำ ดังนั้นวิธีการทำความสะอาดด้วยน้ำร้อนแบบเดิมจึงไม่สามารถทำได้ เกษตรกรส่วนใหญ่จึงนิยมใช้การล้างทำความสะอาดด้วยน้ำคลอง ซึ่งสะดวก รวดเร็วกว่าแบบเดิม นอกจากนี้ยังเปลี่ยนมาใช้สารเคมีแทนการใส่พะยอม การใช้สารกันเสียที่เป็นสารเคมีต้องใส่ในอัตราที่สำนักงานอาหารและยากำหนด อย่างไรก็ตามยังมีเกษตรกรที่ขาดความรู้ความเข้าใจในการใส่สารกันเสียด้วยปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ (กังสดาล และคณะ, 2552)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการจัดการโซ่อุปทานการผลิตน้ำตาลสด และศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวจนถึงส่งมอบ เพื่อเสนอแนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศ (Best Practice) ในการพัฒนาคุณภาพของน้ำตาลสดให้กับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโซ่อุปทานการผลิตน้ำตาลสดและพัฒนาการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างของโซ่อุปทานการผลิตน้ำตาลสดในประเทศไทยโดยใช้แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน (SCOR Model)
2. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในโซ่อุปทานการผลิตน้ำตาลสดโดยใช้แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน (SCOR Model)
3. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวจนถึงส่งมอบและเสนอแนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศ (Best Practice) เพื่อพัฒนาคุณภาพน้ำตาลสดให้กับผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโซ่อุปทานการผลิตน้ำตาลสด

การตรวจเอกสาร

การศึกษาแนวทางในการพัฒนาคุณภาพของน้ำตาลสด มีทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องในการวิจัย 4 ส่วน ได้แก่ ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำตาลสด (Coconut Sap) แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการจัดการโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน (Supply Chain Operation Reference Model: SCOR Model) และการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำตาลสด (Coconut Sap)

น้ำตาลสด คือ น้ำหวานที่ได้จากจั่นหรือรวงของพืชตระกูลปาล์ม ซึ่งเป็นพืชที่มีอยู่ทั่วไปในเขตร้อน ทั้งในทวีปเอเชีย แอฟริกา และอเมริกาใต้ น้ำตาลสดจะมีสีขาว (Oster-white color) จนถึงสีเหลืองอ่อน (Borse *et al.*, 2007) แต่ละประเทศมีวิธีการทำน้ำตาลสดจากต้นปาล์มที่ต่างชนิดกันขึ้นอยู่กับชนิดของปาล์มที่ขึ้นและสภาพแวดล้อมของประเทศนั้นๆ เช่น ประเทศฟิลิปปินส์ ศรีลังกา และหมู่เกาะฮาวาย นิยมทำน้ำตาลสดจากต้นมะพร้าว แต่ในประเทศไนจีเรีย กาน่า และคองโก ทำน้ำตาลสดจากปาล์มน้ำมัน (*Eleaeis guineensis* and *Raphia vinifera*) สำหรับในประเทศไทยผลิตน้ำตาลสดจากต้นมะพร้าว (*Cocos nucifera*, L.) และตาลโตนด (*Borassus flabellifer*, L.) (ปราโมทย์, 2521) สำหรับจังหวัดในเขตภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ผลิตน้ำตาลสดจากจั่นของมะพร้าว พันธุ์ที่นิยมเก็บน้ำตาลสดได้แก่ มะพร้าวตาล และมะพร้าวน้ำหอม ซึ่งปลูกมากในจังหวัดที่อยู่ติดชายทะเล เช่น สมุทรสงคราม สมุทรสาคร สมุทรปราการ ชลบุรี และจันทบุรี เป็นต้น (ยิ้ม, 2507)

มะพร้าวพันธุ์ตาล เป็นมะพร้าวพันธุ์ต้นสูง มีคุณสมบัติพิเศษคือ สามารถให้น้ำตาลมากกว่ามะพร้าวปกติ มีจำนวนจั่นต่อปีมาก จั่นมีลักษณะใหญ่ เหนียวโน้มได้ง่าย พันธุ์มะพร้าวตาลที่นิยมปลูกในจังหวัดสมุทรสงครามได้แก่ พันธุ์เพ็งบ้อง พันธุ์สาริษา พันธุ์สายบัว และพันธุ์ทะเลบัว มะพร้าวพันธุ์ตาลปลูกกันมากในจังหวัดสมุทรสงครามและสมุทรสาคร (วีระ, 2548) แต่มีข้อเสียคือ ลำต้นสูงมาก เกษตรกรรุ่นใหม่จึงไม่ค่อยนิยมปลูกมะพร้าวพันธุ์ตาล

มะพร้าวพันธุ์น้ำหอม เป็นมะพร้าวพันธุ์เตี้ย ความสูงไม่เกิน 12 เมตร มะพร้าวน้ำหอมได้จากการกลายพันธุ์จากพันธุ์หมูสีเขียว มีคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างจากมะพร้าวทั่วไปหลายประการ

โดยเฉพาะความหอมหวานของน้ำมะพร้าว และมีกลิ่นหอมเหมือนใบเตย เกษตรกรนิยมเก็บน้ำตาลสดจากมะพร้าวน้ำหอม เนื่องจากลำต้นไม่สูงมาก เกษตรกรสามารถปีนขึ้นไปเก็บน้ำตาลสดได้ง่าย (ชัยมงคล, 2555) แต่จะได้ปริมาณน้ำตาลสดน้อยและความหวานต่ำกว่าพันธุ์ตาล

ปัจจุบันจังหวัดสมุทรสงครามเป็นจังหวัดที่มีชื่อเสียงในการผลิตน้ำตาลสด โดยมีพื้นที่เพาะปลูกมะพร้าวที่ใช้เก็บน้ำตาลสด พบว่า ในปี พ.ศ. 2555 มะพร้าวพันธุ์ตาลและพันธุ์น้ำหอมมีปริมาณพื้นที่เพาะปลูกเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2553 แสดงดังตารางที่ 1 ทั้งนี้การเพาะปลูกมะพร้าวพันธุ์น้ำหอมอาจไม่สามารถบ่งบอกการผลิตน้ำตาลสดได้ชัดเจน เนื่องจากมะพร้าวพันธุ์น้ำหอมสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด มีเพียงบางส่วนที่เพาะปลูกมะพร้าวพันธุ์น้ำหอมเพื่อการผลิตน้ำตาลสดเท่านั้น

ตารางที่ 1 สถิติการปลูกมะพร้าวที่ใช้เก็บน้ำตาลสดในจังหวัด สมุทรสงคราม ปี พ.ศ. 2553-2555

ปี พ.ศ.	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)			
	มะพร้าวพันธุ์ตาล	สัดส่วน (เปอร์เซ็นต์)	มะพร้าวพันธุ์น้ำหอม	สัดส่วน (เปอร์เซ็นต์)
2553	9,481	18.76	41,067	81.24
2554	15,796	24.41	48,910	75.59
2555	15,783	23.53	51,304	76.47

ที่มา: สำนักงานเกษตรจังหวัดสมุทรสงคราม (2556)

1.1 การเก็บเกี่ยวน้ำตาลสด

มะพร้าวพันธุ์ตาลสามารถเริ่มเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดเมื่ออายุประมาณ 5-6 ปี ส่วนพันธุ์น้ำหอมใช้เวลาประมาณ 3 ปีกว่าก็สามารถเก็บน้ำตาลสดได้ แต่จะให้น้ำตาลในปริมาณน้อยกว่า (อนุสรณ์, 2552) การเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดเริ่มจากกำจัดสิ่งรกรุงรังที่ล้อมมะพร้าวออก ต่อมาสังเกตอายุของจั่นที่ใช้เป็นวงตาล เลือกจั่นที่ไม่แก่หรืออ่อนจนเกินไป สังเกตจากบริเวณโคนจั่นจะมีสะดือ และจั่นที่งอกออกมาใหม่ยาวออกมาประมาณ 1 คืบ จึงจะสามารถเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดได้ (วีระ, 2548; อารี, 2546) ซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

1.1.1 การปาดจัน

เมื่อจันมีอายุเหมาะสมที่จะทำงวงตาล เกษตรกรจะใช้มีดปาดตาลซึ่งมีความคมมาก ปาดส่วนปลายของจันและคอกอ่อนทิ้ง ความยาวที่ตัดออกนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของจัน ถ้าจันมีลักษณะอ้วนป้อม ปลายจันจะมีลักษณะแหลมเรียว แห้งลึบ ต้องปาดทิ้งมาก แต่ถ้าจันมีลักษณะสมบูรณ์เป็นทรงกระบอกเรียวแหลมก็ปาดทิ้งน้อย โดยเฉลี่ยประมาณ 10-15 เซนติเมตร การปาดงวงตาลต้องปาดวันละ 2 ครั้ง คือ เช้าและเย็น

1.1.2 การโน้มจันหรือวง

การโน้มจันเป็นการกระตุ้นให้น้ำตาลไหล เกษตรกรจะทำการโน้มจันหรือวงวันละน้อยเพื่อป้องกันไม่ให้จันหักหรือเคาะ ถ้าจันหักน้ำตาลจะไหลไม่สะดวก การโน้มจะค่อยๆ โน้มและใช้เชือกผูกโยงดึงลงมาทุกๆ วันจนกระทั่งจันเป็นรูปโค้งแบบคอม้าทำเช่นนี้ประมาณ 3-5 วัน หลังจากนั้นเกษตรกรจะปาดผิวหน้างวงตาลทิ้ง วันละ 2 ครั้งในช่วงเช้าและเย็น เพื่อทำให้งวงตาลเคซินกับการขับน้ำหวานออกมาเป็นน้ำตาลใส

1.1.3 การตัดเปลือกจัน

หลังจากที่งวงตาลผลิตน้ำตาลใสแล้ว เป็นช่วงที่เปลือกจันหรือกาบเปื้อนแตก กาบเปื้อนจะเริ่มแห้ง ถ้าดอกมะพร้าวเริ่มมีสีเขียว จึงตัดกาบเปื้อนออก แล้วใช้เชือกมัดงวงตาลเป็นเปราะๆ คล้ายกับการมัดข้าวต้มมัด ให้ปาดหน้างวงตาลแล้วนำกระบอกรับน้ำตาลใส

1.1.4 การนวดตาล

งวงตาลที่ทำการตัดกาบเปื้อนออกแล้ว ก่อนเริ่มร่อนน้ำตาลเกษตรกรต้องนวดที่งวง โดยใช้น้ำตาลใสที่ไหลออกจากงวงมาลูบให้ทั่วงวง หรืออาจใช้มือนวดเบาๆ ให้ทั่วจากโคนไปปลายงวง นวดจนกระทั่งงวงตาลนิ่ม การนวดงวงตาลจะช่วยทำให้น้ำตาลใสไหลออกได้ดีและสามารถออกได้ตลอดจนกระทั่งหมดงวง

1.1.5 การรดรดอก

ในช่วงเก็บน้ำตาสไส เกษตรกรจะแต่งวงตาลไปด้วย โดยการรดรดอกแก่ทิ้ง และทำความสะอาดบริเวณที่มีหนอนหรือเน่าเสีย หลังจากนั้นจัดระเบียบก้านดอก แล้วมัดวงตาลใหม่เพื่อให้น้ำตาสไสไหลออกมามากและสม่ำเสมอ ถ้าไม่แต่งวงตาลเลย จะทำให้วงตาลแข็งกระด้าง น้ำตาสไสจะไหลน้อย

1.1.6 การรองน้ำตาส

เกษตรกรจะใช้มีดปาดหน้าตาลทิ้งก่อนเพื่อให้หน้าตาลสะอาด อีกทั้งยังเป็นการเปิดช่องทางเดินของน้ำตาสให้ไหลสะดวก โดยจะปาดทิ้งหนาประมาณ 1-3 มิลลิเมตร หลังจากนั้นจะนำกระบอกลงไปแขวน ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้กระบอกลวดแทนกระบอกลไม้ไผ่ดังเช่นในอดีต การเก็บน้ำตาส จะเก็บ 2 ช่วง คือเช้าและเย็น น้ำตาสช่วงเช้าจะออกมากกว่าช่วงเย็น

การเก็บเกี่ยวน้ำตาสให้ได้ปริมาณมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์ของมะพร้าว ความชำนาญของคนปาดจั่น และการพัฒนาจั่นมะพร้าวให้เป็นวงตาล โดยปกติมะพร้าวหนึ่งจั่นจะให้น้ำตาสประมาณ 30-70 วัน และมะพร้าวหนึ่งต้นจะมีจั่นเฉลี่ยประมาณ 10 จั่น/ปี ทั้งนี้ถ้าเป็นมะพร้าวพันธุ์ที่เหมาะสมสำหรับทำน้ำตาส ควรมีจั่นประมาณ 12-14 จั่นต่อปี จั่นมะพร้าวที่ออกในช่วงฤดูร้อน (เดือนมีนาคม-เมษายน) จะให้น้ำตาสปริมาณมากและมีรสหวานกว่าช่วงอื่นๆ

1.2 องค์ประกอบของน้ำตาสสด

น้ำตาสสดอุดมไปด้วยสารอาหารต่างๆมากมาย ซึ่งองค์ประกอบของน้ำตาสสด แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของน้ำตาลสด

องค์ประกอบ	ปริมาณ
ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	1.058-1.377 กรัม
ค่ากรด-ด่าง (pH)	4.2 – 7.2
พลังงาน (Calories)	48.0 กิโลแคลอรี
น้ำ (Water)	87.5 กรัม
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	15.2 – 19.7 กรัม
ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total Sugar)	16.10 – 18.99 กรัม
น้ำตาลซูโครส (Sucrose)	12.3 – 17.4 กรัม
คาร์โบไฮเดรต (Cobohydrate)	11.40 กรัม
ไขมัน (Fat)	0.8 กรัม
เถ้า (Ash)	0.11 – 0.41 กรัม
วิตามินบี 3 (Niacin)	0.48 มิลลิกรัม
แคลเซียม (Calcium)	0.4 มิลลิกรัม
เหล็ก (Iron)	0.18 มิลลิกรัม
วิตามินบี 1 (Thiamine)	0.016 มิลลิกรัม
วิตามินบี 2 (Riboflavin)	0.006 มิลลิกรัม

หมายเหตุ ปริมาณองค์ประกอบในน้ำตาลสด 100 มิลลิลิตร

ที่มา: อารี (2546)

1.3 การแปรรูปน้ำตาลสด

การแปรรูปเป็นการสร้างมูลค่าและความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ช่วยลดปัญหาผลผลิตล้นตลาด สามารถเก็บรักษาผลผลิตได้นานขึ้น ซึ่งน้ำตาลสดสามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด เช่น เครื่องดื่มน้ำตาลสดแบบพาสเจอร์ไรซ์และแบบสเตอริไลซ์ น้ำตาลมะพร้าว น้ำตาลสดผง น้ำตาลสดเข้มข้น (Syrup) น้ำส้มสายชูหมัก ดังภาพที่ 1 ในประเทศไทยนิยมแปรรูปเป็นน้ำตาลมะพร้าว และเครื่องดื่มน้ำตาลสด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูปน้ำตาลสด

1.3.1 เครื่องดื่มน้ำตาลสด

ในอดีตเครื่องดื่มน้ำตาลสด ผู้บริโภคนิยมรับประทานน้ำตาลสดในรูปแบบบรรจุถุงพลาสติกธรรมดาหรือใส่แก้ว โดยจำหน่ายผ่านยี่ปั้วหรือชาปั้วตามตลาดนัดในต่างจังหวัด กลุ่มเป้าหมายทางการตลาดส่วนใหญ่เน้นคนที่ใช้แรงงาน เช่น ชาวไร่ ชาวนา คนงานรับจ้าง เป็นต้น ซึ่งเป็นกลุ่มเฉพาะไม่กว้างขวาง หาซื้อได้ยากโดยเฉพาะในเขตเมือง รวมถึงคนทั่วไปไม่นิยมดื่มเนื่องจากกรรมวิธีการผลิตไม่ถูกสุขลักษณะ เสี่ยงต่ออาการท้องเสีย แต่ในปัจจุบันผู้ผลิตมีการพัฒนาผลิตเป็นน้ำตาลสดพร้อมดื่ม บรรจุในภาชนะปิดสนิททั้งแบบพาสเจอร์ไรซ์และแบบสเตอริไลซ์ นอกจากนี้ยังมีผู้ผลิตบางรายนำน้ำตาลสดไปเป็นส่วนผสมในเครื่องดื่มพร้อมดื่ม ซึ่งผู้ผลิตมีทั้งแบบกลุ่มแม่บ้าน วิสาหกิจชุมชน จนถึงโรงงานขนาดกลาง

1.3.2 น้ำตาลมะพร้าว

น้ำตาลมะพร้าวหรือน้ำตาลปึก นิยมนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารทั้งอาหารคาวและหวาน โดยเฉพาะอาหารไทย เนื่องจากรสชาติอาหารที่ได้จะมีความหอม หวานของน้ำตาล และน้ำตาลมะพร้าวมีคุณค่าทางอาหารสูง อุดมไปด้วยวิตามินบี โปแทสเซียม แมกนีเซียม ธาตุเหล็ก สังกะสี และกรดอะมิโนที่เป็นประโยชน์หลายชนิด และยังมีดัชนีค่า Glycemic Index ที่



ภาพที่ 2 น้ำตาลสดเกิดการเสื่อมเสียจากกระบวนการหมัก ในระหว่างรอการขนย้ายไปยังโรงงาน

จากนั้นแบคทีเรียที่สร้างกรดน้ำส้ม เช่น *Acetobacter aceti*, *Acetobacter xylinum* จะเปลี่ยนเอทิลแอลกอฮอล์หรือเอทานอล ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ปฏิกิริยานี้ต้องหมักในสภาพที่มีอากาศ ดังสมการ



1.5 การป้องกันการเสื่อมเสียของน้ำตาลสด

การป้องกันการเสื่อมเสียของน้ำตาลสด สามารถป้องกันได้หลายวิธี ดังนี้

1.5.1 การใช้สารกันเสีย

การชะลอความเสื่อมเสียที่เกิดจากกระบวนการหมักจากจุลินทรีย์ในน้ำตาลสด ในอดีตเกษตรกรนิยมใช้เปลือกไม้บางชนิด เช่น ไม้พะยอม (*Shorea roxburghii* G.Don) หรือไม้เคี่ยม (*Cotylebium laceolatum*) สารแทนนินที่พบในเปลือกไม้เป็นสารประกอบโพลีฟีนอลมีคุณสมบัติช่วยป้องกันและยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (เสาวลักษณ์, 2532; เรณูภา, 2545; สุภารัตน์ 2547; กังสาดล และคณะ, 2552) นอกจากนี้ในต่างประเทศก็มีการใช้เศษไม้ชนิดต่างๆ เป็นสารกันเสีย เช่น ประเทศศรีลังกา ใช้ Hal Bark (*Vateria Acuminata* Hayne) ประเทศฟิลิปปินส์ใช้ผง

เปลือกไม้โกงกาง *Rhizophora Mucronata* Lam หรือ *Cerriops Tagal* (Child, 1974) ประเทศไนจีเรีย ใช้เปลือกต้น *Saccoglottis Gabonensis* (Faparsui and Barsir, 1972) เป็นต้น

ในปัจจุบันมีการนำสารเคมีสังเคราะห์ประเภทวัตถุกันเสียมาใช้ในการป้องกันและยับยั้งการเสื่อมเสียของน้ำตาลสด ได้แก่ กลุ่มของกรดเบนโซอิก และกลุ่มของสารประกอบซัลไฟด์ เป็นต้น สารเคมีที่จัดอยู่ในกลุ่มของกรดเบนโซอิก เช่น กรดเบนโซอิก โซเดียมเบนโซเอท และกรดซอร์บิก เป็นต้น ส่วนสารในกลุ่มของสารประกอบซัลไฟด์ เช่น โซเดียมไบซัลไฟต์ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ โซเดียมซัลไฟต์ โพแทสเซียมไบซัลไฟต์ โพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ โพแทสเซียมซัลไฟต์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น ซึ่งการใช้สารเคมีดังกล่าวต้องใช้ในปริมาณที่กำหนดตามประกาศของสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยา พ.ศ. 2532 หรือประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 214) พ.ศ. 2543 (อารี, 2546; กังสดาล, 2552) การใช้สารเคมีในปริมาณและวิธีที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลให้เกิดการตกค้างของสารเหล่านั้นในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากน้ำตาลสด ซึ่งปัจจุบันเกษตรกรขาดความรู้ที่ถูกต้องในการใช้สารเคมี ทำให้พบวัตถุกันเสียเหล่านี้เจือปนในน้ำตาลสดในปริมาณที่สูง

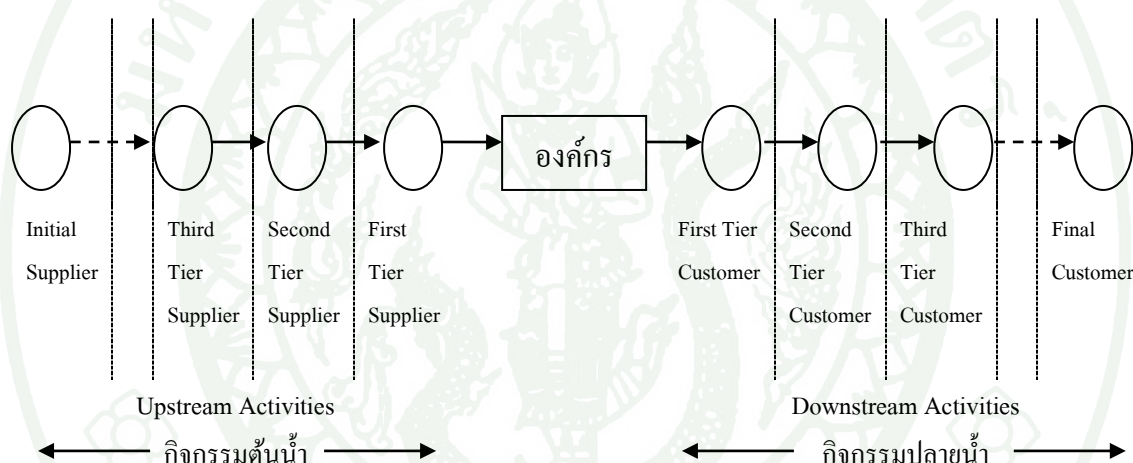
1.5.2 การทำความสะอาดกระบอกรับน้ำตาลสด

นอกจากการใส่สารกันเสียในกระบอกรับน้ำตาลแล้ว ยังพบว่า ความสะอาดของกระบอกรับที่ผู้รับมีผลต่อคุณภาพของน้ำตาลสด เนื่องจากการรอน้ำตาลสดใช้เวลานาน 8-12 ชั่วโมง ถ้าภาชนะที่ใช้ไม่สะอาดจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ที่ผิวของภาชนะเมื่อสัมผัสน้ำตาลสดมีโอกาสเพิ่มปริมาณอย่างรวดเร็วทำให้น้ำตาลสดเกิดการเสื่อมเสีย ในอดีตเกษตรกรจึงทำความสะอาดกระบอกรับไม้ไผ่ที่ใช้รอน้ำตาลสดด้วยการรมควันหรือลวกด้วยน้ำร้อน จากนั้นคว่ำทิ้งไว้ให้แห้ง (ปราโมทย์, 2521)

2. แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับการจัดการโซ่อุปทาน (Supply Chain Management)

โซ่อุปทาน (Supply Chain) หรือเครือข่ายโลจิสติกส์ (Logistics Network) เป็นระบบขององค์กร บุคคล เทคโนโลยี กิจกรรม สารสนเทศและทรัพยากรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายของสินค้าหรือบริการจากผู้ผลิตต้นทางสู่ลูกค้าปลายทาง (พริทธิภา, 2553)

องค์ประกอบภายในโซ่อุปทานซึ่งประกอบด้วยกลุ่มคน 5 กลุ่มหลัก คือ ผู้จัดส่ง (Supplier) องค์กรผู้ผลิต (Manufacturer) ผู้ค้าส่ง (Wholesaler) ผู้ค้าปลีก (Retailer) และผู้บริโภค (Customer) ในส่วนของผู้ค้าส่งและผู้ค้าปลีกอาจจะมีการบริหารด้วยองค์กรผู้ผลิตเองหรือเอกชน หากนับจากองค์กรผู้ผลิตเป็นหลัก ซึ่งผู้จัดส่งวัตถุดิบให้แก่องค์กรโดยตรง เรียกว่าเป็นผู้จัดส่งลำดับแรก (First Tier Supplier) จนกระทั่งผู้จัดส่งที่อยู่ต้นทางถูกเรียกว่า ผู้จัดส่งเริ่มต้น (Initial Supplier) โดยกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นก่อนวัตถุดิบเข้าสู่องค์กรเรียกว่า กิจกรรมต้นน้ำ (Upstream Activities) เช่นเดียวกับผู้บริโภค โดยผู้บริโภคโดยตรงขององค์กรเรียกว่า ผู้บริโภคลำดับแรก (First Tie Customer) จนกระทั่งถึงผู้บริโภคลำดับสุดท้าย (Final Customer) ณ ปลายทาง เรียกกิจกรรมที่สินค้าออกจากองค์กรว่า กิจกรรมปลายน้ำ (Downstream Activities) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กิจกรรมต่างๆ ในโซ่อุปทาน

ที่มา: Water (2009)

2.1 หลักการจัดการโซ่อุปทาน

จากความหมายของคำว่าโซ่อุปทาน จะเห็นได้ว่าในโซ่อุปทานหนึ่งๆ ประกอบด้วยผู้เกี่ยวข้องมากมาย แต่บริษัทใดบริษัทหนึ่งโดยทั่วไปแล้วจะไม่สามารถควบคุมช่องทางการไหลของสินค้าจากแหล่งวัตถุดิบไปจนถึงมือผู้บริโภคได้ การจัดการโซ่อุปทานนั้นต้องอาศัยความร่วมมือประสานงานระหว่างทุกบริษัทที่อยู่ในโซ่อุปทาน

การจัดการโซ่อุปทาน เป็นวิธีการจัดการที่จะนำมาใช้ เพื่อให้เกิดการร่วมมือประสานงานอย่างมีประสิทธิภาพระหว่างผู้จัดหา ผู้ผลิต ผู้จัดการคลังสินค้าและบริการ และกระจายสินค้าหรือบริการเหล่านี้ไปยังสถานที่ที่เหมาะสม ในเวลาที่เหมาะสม และในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้ต้นทุนของระบบโดยรวมต่ำที่สุด ภายใต้ข้อกำหนดที่จะต้องตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นในการจัดการโซ่อุปทานนั้นจะต้องคำนึงถึงทุกๆ ฝ่ายที่มีอิทธิพลต่อต้นทุนในโซ่อุปทาน และมีบทบาทในการผลิตสินค้าหรือบริการให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค (เสาวนีย์, 2547)

2.2 การจัดการโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมเกษตร

อุตสาหกรรมเกษตรเป็นอุตสาหกรรมที่แปรรูปผลผลิตทางการเกษตรไปเป็นสินค้าอุปโภคและบริโภค ในการจัดการระบบโซ่อุปทานของสินค้าเกษตรให้มีประสิทธิภาพ จึงต้องคำนึงถึงลักษณะเฉพาะของอุตสาหกรรมเกษตรด้วย (พริธิตา, 2553; วันเพ็ญ, 2554) ซึ่งมีคุณลักษณะดังนี้

1) ความเป็นฤดูกาลของผลผลิต (Product Seasonality) ผลผลิตทางการเกษตรหลายประเภทสามารถเก็บเกี่ยวหรือจับได้ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของปี

2) ความไม่แน่นอนของปริมาณและราคาของผลผลิต (Quantity and Price Uncertainty) ผลผลิตทางการเกษตรมีความไม่แน่นอนสูงมาก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมต่างๆ ทั้งที่สามารถควบคุมได้และควบคุมไม่ได้ เช่น แหล่งเพาะปลูก ฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิต ความแปรปรวนของภูมิอากาศ ภัยธรรมชาติ และการระบาดของศัตรูพืชหรือโรคพืช เป็นต้น ความผันผวนของปริมาณผลผลิตจะส่งผลกระทบต่อราคาของผลผลิตในขณะนั้น เช่น ในฤดูกาลเก็บเกี่ยวผลผลิตตามปกติ ผลผลิตมีปริมาณมากจึงมีราคาต่ำ แต่ในทางตรงกันข้าม ถ้ามีผลผลิตออกมาสู่ตลาดน้อย ราคาก็ย่อมต้องสูงขึ้น

3) ความไม่แน่นอนของคุณภาพของผลผลิต (Variability of Quality) เนื่องจากการเพาะปลูกมีปัจจัยภายนอกที่ไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ปริมาณน้ำฝน ภูมิอากาศ เป็นต้น ทำให้ควบคุมคุณภาพของผลผลิตได้ยาก ประกอบกับประเทศไทยมีเกษตรกรรายย่อยเป็นจำนวนมาก ซึ่งเกษตรกรแต่ละรายมีทักษะความรู้และความชำนาญในการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน ส่งผลให้คุณภาพของผลผลิตทางการเกษตรแต่ละรายมีความแตกต่างกัน จึงไม่สามารถควบคุมให้ผลผลิตมีคุณภาพเหมือนกัน ทำให้ในปัจจุบันเกิดมาตรฐานสินค้าเกษตรในหลายประเภทขึ้น

4) สินค้าเกษตรมีอายุสั้น (Product Perishability) สินค้าทางการเกษตรส่วนใหญ่มีอายุสั้น และคุณภาพเสื่อมไปตามเวลา ซึ่งอาจเกิดจากการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวที่ไม่เหมาะสม

5) การแบ่งเกรดของผลผลิต (Grade and Standardization) ผลผลิตบางประเภทต้องมีการแบ่งชั้นหรือเกรด ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นขั้นตอนการดำเนินงาน เสียเวลาในการทำงานเพิ่มขึ้น และอาจมีของเสียเพิ่มขึ้น แต่เป็นขั้นตอนที่สำคัญในการคัดเลือกผลผลิตให้ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในแต่ละกลุ่ม รวมถึงสามารถกำหนดราคาที่เหมาะสมกับคุณภาพของสินค้าได้

6) การเคลื่อนย้ายและการขนส่งผลผลิต (Handling and Transportation) ผลผลิตบางประเภทต้องมีการเคลื่อนย้ายและการขนส่งผลผลิตอย่างระมัดระวังเป็นพิเศษ รวมถึงอาจต้องมีการควบคุมอุณหภูมิตลอดโซ่อุปทาน

7) การพึ่งพาเทคโนโลยีต่างๆ (Reliance on Technology) ปัจจุบันต้องมีการพึ่งพาเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต เช่น เทคโนโลยีการเกษตร เทคโนโลยีการเก็บเกี่ยว การจัดการหลังการเก็บเกี่ยว และเทคโนโลยีทางด้านบรรจุภัณฑ์ที่ช่วยรักษาคุณภาพผลผลิต เป็นต้น

8) ผลผลิตอาจกลายเป็นของเสียจำนวนมาก หากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสม เช่น การเก็บสินค้าคงคลังมากเกินไปจนสินค้าหมดอายุ หรืออาจมีการปนเปื้อนสารเคมีหรือจุลินทรีย์ได้

จากที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่า อุตสาหกรรมอาหารเป็นธุรกิจที่มีความเสี่ยงสูงต่อการประสบปัญหาด้านคุณภาพของวัตถุดิบที่มาจากภาคการเกษตร เช่น พืชผัก ผลไม้ ธัญพืช ปศุสัตว์ สัตว์ทะเล ฯลฯ ทั้งในด้านความสดใหม่หรือการปนเปื้อนสารปนเปื้อน วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มีความไวต่อการเน่าเสีย อายุสั้น ซึ่งเกิดจากสภาวะอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอในโซ่อุปทาน การควบคุมอุณหภูมิและการจัดการด้านเวลาที่เหมาะสมจะช่วยให้วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์คงความสด ไม่เน่าเสีย (Montanari, 2008) จึงได้มีการนำโซ่ความเย็น (Cold Chain) มาใช้ในการรักษาคุณภาพของสินค้า

โซ่ความเย็น เป็นโซ่อุปทานที่มีการควบคุมอุณหภูมิ โดยหากสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในช่วงเวลาที่เหมาะสมตลอดทั้งโซ่อุปทานในการเก็บรักษา การขนส่ง และการกระจายสินค้าสำหรับสินค้าที่เน่าเสียง่าย อุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ส่งผลให้เกิดการเน่าเสีย คุณภาพสินค้าต่ำลงและเพิ่มความเสี่ยงในการเกิดโรคอาหารเป็นพิษให้แก่

ผู้บริโภคร (Carullo *et al.*, 2009) ซึ่งโซ่ความเย็นสามารถยืดอายุการเก็บรักษาและคงคุณภาพของสินค้าได้

3. แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน (Supply Chain Operation Reference Model: SCOR Model)

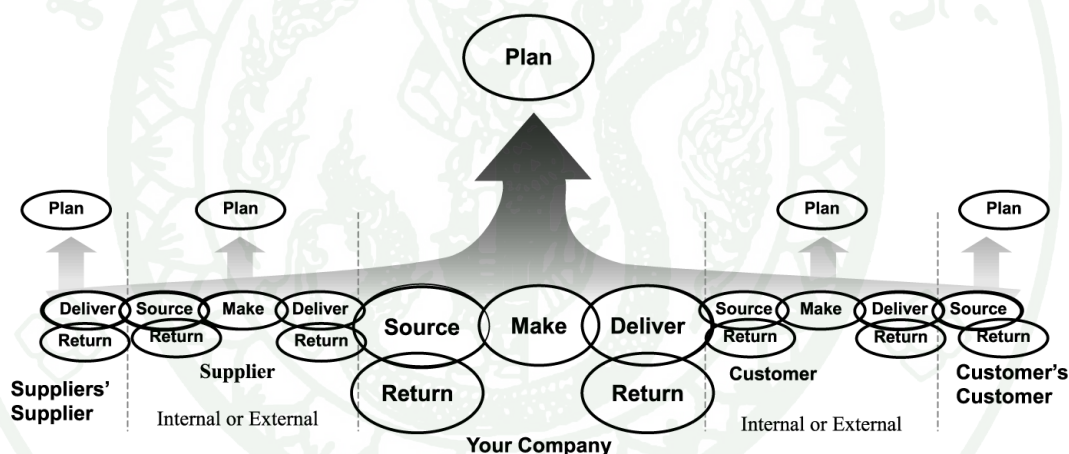
แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการดำเนินงานในโซ่อุปทาน (SCOR Model) ได้ถูกพัฒนาโดย คณะกรรมการโซ่อุปทาน (Supply Chain Council) เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้แบบจำลองในการบริหารโซ่อุปทานในองค์กร ซึ่ง SCOR Model ได้นำเสนอกรอบการทำงานโดยเชื่อมขั้นตอนการทำงาน (Business Process) ดัชนีชี้วัดสมรรถนะ (Metrics) แนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศ (Best Practice) และเทคโนโลยีที่น่าสนใจ (Supply-Chain Council, 2008; พรธิภา, 2553)

การนำแนวคิดการพัฒนาธุรกิจทั้งสามมาบูรณาการให้เป็นแบบจำลองอ้างอิงกระบวนการทำให้ผู้บริหารสามารถวิเคราะห์ เทียบเคียง และนำไปปัจจัยสำคัญทั้งด้านการบริหารและเทคโนโลยีมาปรับใช้เพื่อพัฒนาองค์กรได้อย่างกว้างขวาง ซึ่งในแบบจำลองอ้างอิงกระบวนการจะประกอบด้วย คำอธิบายกระบวนการมาตรฐาน การวัดประสิทธิภาพ และแนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นผู้นำในธุรกิจ โดยสามารถสรุปประโยชน์จากการนำ SCOR Model มาใช้ได้ดังนี้

1. สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันที่สอดคล้องกับสถานการณ์ปัจจุบัน
2. สามารถนำไปใช้ในสื่อสารในองค์กร โดยอธิบายได้ชัดเจน ทำให้สามารถสื่อสารง่ายจากกระบวนการมาตรฐานซึ่งมีการอธิบายอย่างชัดเจน
3. สามารถวัดผล บริหารและควบคุมได้ โดยการเลือกดัชนีชี้วัดที่สอดคล้องกับเป้าหมายขององค์กร ในแต่ละระดับและแต่ละกระบวนการ
4. นำไปปรับใช้ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์เฉพาะขององค์กรได้

แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานมีการระบุขอบเขตของแบบจำลองไว้อย่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งครอบคลุมการทำงานส่วนใหญ่ในองค์กรโดยเน้นที่กระบวนการผลิต และงานที่เกี่ยวข้อง โดยครอบคลุมกิจกรรมดังต่อไปนี้

1. การติดต่อลูกค้าทุกประเภทตั้งแต่การสั่งซื้อจนถึงชำระเงิน
2. การดำเนินการที่เกี่ยวกับสินค้ารวมทั้งการบริการตั้งแต่ ผู้จัดส่งวัตถุดิบขั้นที่ 2 จนถึงลูกค้าขั้นที่ 2
3. กิจกรรมการตลาด ตั้งแต่การเข้าใจความต้องการของผู้บริโภค รวมไปถึงการเติมเต็มคำสั่งซื้อ



ภาพที่ 4 ขอบเขตของ SCOR Model

ที่มา: Supply-Chain Council (2008)

อย่างไรก็ตามแบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานไม่ได้อธิบายถึงกิจกรรมหรือกิจกรรมบางอย่าง ได้แก่ การขายและการตลาด (การสร้างความต้องการซื้อ) การวิจัยและการพัฒนา การพัฒนาสินค้าใหม่ บางส่วนของบริการหลังการขาย นอกจากนี้ยังมีบางกิจกรรมที่แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานได้กล่าวถึง แต่ไม่มีการอธิบายเชิงลึกได้แก่ การอบรม กิจกรรมเกี่ยวกับคุณภาพ และเทคโนโลยีสารสนเทศ

SCOR Model มีขั้นตอนในการวิเคราะห์จากภาพรวมขององค์กร เพื่อวางขอบเขตและเป้าหมาย นำเป้าหมายมาวางโครงสร้าง แล้วจึงเจาะลึกในระดับกระบวนการ เมื่อได้แนวทางในการปรับปรุงกระบวนการแล้วจึงนำไปออกแบบกิจกรรมย่อย ซึ่ง SCOR Model ได้มีการทำมาตรฐานไว้ถึงระดับกระบวนการ SCOR Model ได้กำหนดระดับในการวิเคราะห์ไว้ 4 ระดับ แต่มีการทำมาตรฐานไว้เพียง 3 ระดับเท่านั้น ได้แก่ ระดับบน (Top Level) ระดับโครงสร้าง (Configuration Level) และระดับองค์ประกอบกระบวนการ (Process Element Level) ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับของ SCOR Model

ระดับ	รายละเอียด
ระดับที่ 1 ระดับบน (Top Level) (ชนิดกระบวนการ)	ระบุขอบเขตและเนื้อหาของโซ่อุปทานตามมิติกิจกรรมหลัก ได้แก่ วางแผน จัดหาผลิตจัดส่งและ รับ/ส่งของคืนในขั้นนี้จะระบุเป้าหมายของบทบาทในการแข่งขันด้วย
ระดับที่ 2 ระดับโครงสร้าง (Configuration Level)	หน่วยงานสามารถกำหนดโครงสร้างที่ต้องการได้ในระดับที่ 2 โดยประยุกต์กลยุทธ์กระบวนการผ่านโครงสร้างที่ได้กำหนดขึ้นและสามารถระบุกิจกรรมย่อยที่มีความชัดเจนตามมิติประเภทกระบวนการ ประกอบด้วย การวางแผน การดำเนินงาน และ งานสนับสนุน และมิติประเภทการผลิต ประกอบด้วย ประเภทตามลักษณะการผลิต 3 หมวดหลัก ได้แก่ สินค้าผลิตเพื่อเก็บ สินค้าผลิตตามคำสั่งซื้อ และสินค้าออกแบบผลิตตามคำสั่ง
ระดับที่ 3 ระดับองค์ประกอบ กระบวนการ (Process Element Level)	ระบุความสามารถในการแข่งขันที่หน่วยงานเลือก ซึ่งประกอบด้วย - คำอธิบายขององค์ประกอบของกระบวนการ - ปัจจัยนำเข้า (Input) และ ปัจจัยขาออก (Output) ของกระบวนการ - เมตริกซ์และดัชนีการวัดประสิทธิภาพกระบวนการ (Metrics) - แนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศ (Best Practice) - ความต้องการสมรรถนะของระบบเพื่อนำไปสู่แนวทางปฏิบัติ (Best Practice) - ระบบ และ เครื่องมือ

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ระดับ	รายละเอียด
ระดับที่ 4 ระดับการประยุกต์ใช้ (Implementation Level)	ในระดับนี้ หน่วยงานประยุกต์ใช้การบริหารโซ่อุปทานเฉพาะ และมีการกำหนดแนวทางปฏิบัติเพื่อบรรลุความได้เปรียบในการแข่งขันและเพื่อปรับตัวเมื่อเงื่อนไขทางธุรกิจเปลี่ยนแปลง

ที่มา: พรธิภา (2554)

จุดเด่นที่สำคัญของ SCOR Model คือการแบ่งประเภทกระบวนการอย่างละเอียดจะมีการแบ่งกระบวนการใน 3 มิติ ได้แก่ มิติกิจกรรมหลัก (SCOR Process) มิติประเภทกระบวนการ (Process Type) และมิติประเภทการผลิต (Process Category) แสดงดังภาพที่ 5 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. มิติกิจกรรมหลัก ได้แก่ การวางแผน (Plan: P) การจัดหาวัตถุดิบ (Source: S) การผลิต (Make: M) การจัดส่ง (Deliver: D) และรับ/ส่งของคืน (Return: R) การระบุขอบเขตและรายละเอียดของกิจกรรมตามมิตินี้เรียกว่า SCOR Model ระดับที่ 1

2. มิติประเภทกระบวนการ ประกอบด้วยการวางแผน (Planning: P) การปฏิบัติ (Execution) และงานสนับสนุน (Enable: E)

3. มิติประเภทการผลิต ประกอบด้วยประเภทตามลักษณะการผลิต 3 หมวดหลัก ได้แก่ สินค้าผลิตเพื่อเก็บ (Make to Stock: S1, M1, D1) สินค้าผลิตตามคำสั่งซื้อ (Make to Order: S2, M2, D2) และ สินค้าออกแบบผลิตตามคำสั่ง (Engineer to Order: S3, M3, D3)

ในการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานได้กำหนดระดับในการวิเคราะห์ไว้ 4 ระดับ มีขั้นตอน ดังนี้

SCOR Model ระดับที่ 1 อธิบายกิจกรรมบนพื้นฐานของมิติกิจกรรมหลักในโซ่อุปทาน 5 ประการ ซึ่งแต่ละกิจกรรมจะครอบคลุมกิจกรรมย่อย ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 กิจกรรมหลักในโซ่อุปทานของ SCOR Model

กิจกรรมหลัก	รายละเอียด
การวางแผน (Plan)	- การทำให้ปัจจัยการผลิตและความต้องการในการผลิตสมดุลและการพัฒนาแผนงานและการสื่อสารในโซ่อุปทาน โดยครอบคลุมตั้งแต่การวางแผนในการจัดหา การผลิต การจัดส่ง และการคืนสินค้า - การบริหารในด้านต่างๆ ได้แก่ กฎเกณฑ์ทางธุรกิจ ศักยภาพของโซ่อุปทาน การเก็บข้อมูล สินค้าคงคลัง สินค้าทรัพย์ การขนส่ง ระบบการวางแผน ระเบียบ และข้อยกเว้น และความเสถียรของโซ่อุปทาน - การทำให้แผนงานในแต่ละหน่วยงานกับแผนด้านการเงินมีความสอดคล้องกัน
การจัดหา (Source)	- การกำหนดการรับสินค้า ตรวจสอบ และส่งมอบวัตถุดิบ รวมถึงการอนุมัติชำระเงิน - การระบุและเลือกแหล่งในการจัดหา เมื่อไม่ได้มีการระบุไว้ก่อนสำหรับสินค้าประเภทออกแบบผลิตตามคำสั่ง (Engineer to Order) - การบริหารกฎทางธุรกิจ การประเมินสมรรถนะของซัพพลายเออร์ และการดูแลข้อมูล - การบริหารวัตถุดิบคงคลัง สินค้าทรัพย์ สินค้าขาเข้า เครือข่ายซัพพลายเออร์ ความต้องการในการนำเข้า/ส่งออก ข้อตกลงกับซัพพลายเออร์ และการบริหารความเสี่ยงในการจัดหาของโซ่อุปทาน
การผลิต (Make)	- การกำหนดตารางการผลิต การสั่งผลิต การทดสอบ การเก็บ/ปล่อยสินค้า การทิ้งของเสียจากการผลิต - การสรุปรูปแบบสำหรับสินค้าประเภทออกแบบผลิตตามคำสั่ง - การบริหารกฎเกณฑ์ ประสิทธิภาพการผลิต ข้อมูล สินค้าระหว่างผลิต อุปกรณ์ และเครื่องมือ การขนส่ง เครือข่ายการผลิต กฎระเบียบในการผลิต และความเสี่ยง ในการผลิตของโซ่อุปทาน
การส่งมอบ (Deliver)	- การบริหารคำสั่งซื้อตั้งแต่การสอบถามจากลูกค้า การเสนอเส้นทางการส่งมอบ และการเลือกพาหนะขนส่ง - การบริหารคลังสินค้าตั้งแต่รับสินค้า ไปถึงการส่งสินค้าออก- การรับ และตรวจสอบ

ตารางที่ 4 (ต่อ)

กิจกรรมหลัก	รายละเอียด
การส่งมอบ (ต่อ)	สินค้าที่หน้างานลูกค้า รวมถึงการติดตั้ง (ถ้ามี) - การบริหารในด้านต่างๆ ได้แก่ กฎเกณฑ์ในการส่งมอบ ประสิทธิภาพ ข้อมูล สินค้าคงคลัง เงินทุน การขนส่ง วงจรอายุสินค้า (Product Life Cycle) ความต้องการด้านการนำเข้า/ส่งออก ความเสี่ยงด้านการขนส่งในโซ่อุปทาน
การส่งคืน (Return)	- การคืนสินค้าที่มีตำหนิตลอดขั้นตอน แบ่งเป็น กิจกรรมของผู้ซื้อคืน ได้แก่ การระบุ สภาพของสินค้า การจัดการสินค้ามีตำหนิ การขออนุญาตคืนสินค้า กำหนดการ ส่งคืน และการส่งคืนสินค้า กิจกรรมของผู้รับคืน ได้แก่ การอนุมัติการคืนสินค้า กำหนดการรับคืน การรับคืนสินค้า และการจัดการสินค้ารับคืน - กิจกรรมการซ่อมแซม ยกเครื่องสินค้า (Overhaul) ทั้งจากผู้ซื้อคืน และผู้รับคืน - กิจกรรมการคืนวัตถุดิบ/สินค้าส่วนเกิน - การบริหารกฎการคืนสินค้า ประสิทธิภาพ ข้อมูล คลังสินค้าคืน สิทธิประโยชน์ การขนส่ง เครือข่าย ความต้องการด้านกฎระเบียบต่างๆ และความเสี่ยงในการคืน ของโซ่อุปทาน

ที่มา: พรธิภา (2554)

SCOR Model ระดับที่ 2 ให้ระบุกิจกรรมตามที่คณะกรรมการโซ่อุปทาน (Supply Chain Council) ได้กำหนดสัญลักษณ์มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในคู่มือ Supply Chain Operations Reference Model รุ่น 9.0 (ภาพที่ 5 และ 6) ตามมิติประเภทกระบวนการ และมิติประเภทการผลิต ดังนี้

1. การวางแผน (Plan) เป็นการวางแผนจัดสรรการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในการตอบสนองความต้องการที่เกิดขึ้นและการวางแผนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติงาน ประกอบด้วย

- 1.1 P1: การวางแผนโซ่อุปทาน (Plan Supply Chain)
- 1.2 P2: การวางแผนจัดจ้าง (Plan Source)
- 1.3 P3: การวางแผนผลิต (Plan Make)
- 1.4 P4: การวางแผนส่งมอบ (Plan Deliver)
- 1.5 P5: การวางแผนคืนสินค้า (Plan Return)

2. การนำไปปฏิบัติ (Execution) กิจกรรมที่ถูกกระตุ้นหรือถูกสั่งการโดยความต้องการที่คาดการณ์ไว้หรือความต้องการที่แท้จริง ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของผลิตภัณฑ์ในโซ่อุปทาน รวมถึงการจัดการตารางการผลิตและลำดับขั้นตอนในการผลิต การแปรสภาพวัตถุดิบ และการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย

- 2.1 S1: การจัดหาวัตถุดิบเก็บไว้เพื่อรอผลิต (Source Stocked Product)
- 2.2 S2: การจัดหาวัตถุดิบแบบสั่งผลิต (Source Make to Order Product)
- 2.3 S3: การจัดหาวัตถุดิบที่ผลิตและออกแบบตามสั่ง (Source Engineer to Order Product)
- 2.4 M1: การผลิตเพื่อเก็บ (Make to Stock)
- 2.5 M2: การผลิตตามสั่ง (Make to Order)
- 2.6 M3: การผลิตและออกแบบตามสั่ง (Engineer to Order)
- 2.7 D1: การส่งมอบสินค้าที่ผลิตเพื่อเก็บ (Deliver Stocked Product)
- 2.8 D2: การส่งมอบสินค้าที่ผลิตตามสั่ง (Deliver Make to Order Product)
- 2.9 D3: การส่งมอบสินค้าที่ผลิตและออกแบบตามสั่ง (Deliver Engineer to Order Product)
- 2.10 D4: ส่งมอบสินค้าไปยังผู้ค้าปลีก (Deliver Retail Product)
- 2.11 DR1: การคืนสินค้าที่เสียหาย (Deliver Return Defective Product)
- 2.12 DR2: การคืนสินค้าซ่อมบำรุงและปฏิบัติการ (Deliver Return of Maintenance, Repair and Overhaul Product)
- 2.13 DR3: การคืนสินค้าที่จัดส่งเกิน (Deliver Return Excess Product)
- 2.14 SR1: การคืนวัตถุดิบที่จัดหาที่เสียหาย (Source Return Defective Product)
- 2.15 SR2: การคืนวัตถุดิบที่ซ่อมบำรุงและปฏิบัติการ (Source Return of Maintenance, Repair and Overhaul Product)
- 2.16 SR3: การคืนวัตถุดิบที่จัดหาเกิน (Source Return Excess Product)

3. กระบวนการสนับสนุน (Enable) เป็นกิจกรรมที่ใช้ในการเตรียม หรือจัดการสารสนเทศ หรือความสัมพันธ์เมื่อวางแผนขบวนการและนำไปปฏิบัติ ประกอบด้วย

- 3.1 E1: การกำหนดและจัดการกฎระเบียบ (Establish and Manage Rules)
- 3.2 E2: การประเมินประสิทธิภาพ (Assess Performance)

3.3 E3: การจัดการข้อมูล (Manage Data)

3.4 E4: การจัดการสินค้าคงคลัง (Manage Inventory)

3.5 E5: การจัดการทรัพยากรเงิน (Manage Capital Assets)

3.6 E6: การจัดการการขนส่ง (Manage Transportation)

3.7 E7: การจัดการปรับแต่งโซ่อุปทาน (Manage Supply Chain Configuration)

3.8 E8: การจัดการตามกฎหมายระเบียบ (Manage Regulatory Compliance)

3.9 E9: การจัดการความเสี่ยงกระบวนการโซ่อุปทาน (Manage Supply Chain Risk Process)

3.10 E10: การจัดการปัจจัยเฉพาะของขบวนการ (Process Specific Elements)

SCOR Process				
Plan	Source	Make	Deliver	Return

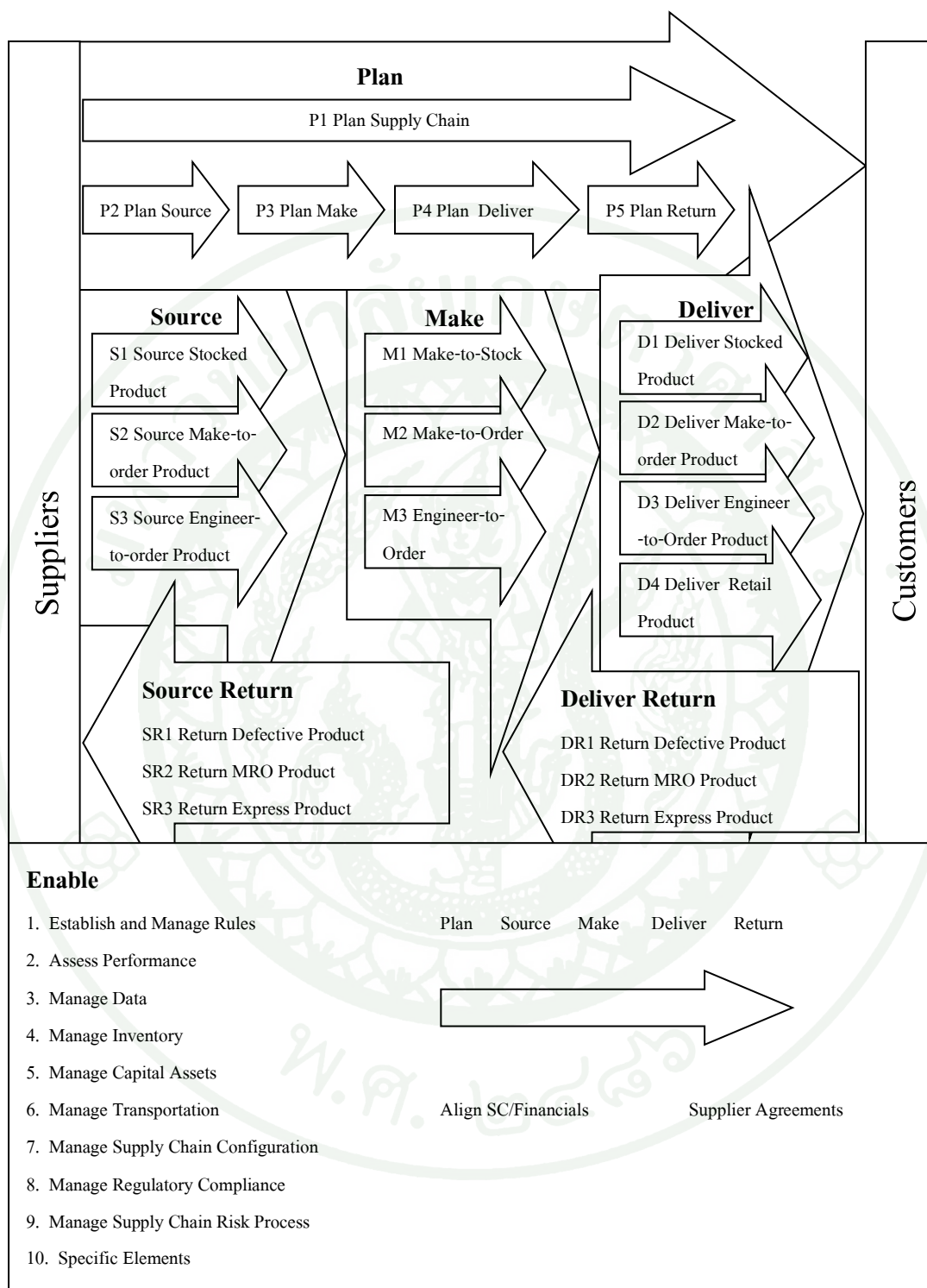
Process Type	Planning	P1	P2	P3	P4	P5	Process Category
	Execution		S1-S3	M1-M3	D1-D4	S/DR1-S/DR3	
	Enable	EP	ES	EM	ED	ER	

ภาพที่ 5 ประเภทของกระบวนการและกิจกรรมใน SCOR Model

ที่มา: พรธิภา (2554)

หลังจากที่ได้ร่างโซ่อุปทานในระดับที่ 2 จะทำให้องค์กรทราบว่าหน่วยงานของตนมีกิจกรรมหลักใดบ้าง และสามารถนำกิจกรรมหลักแต่ละกิจกรรมมาศึกษาในเชิงลึกในระดับที่ 3 ซึ่ง SCOR Model มีตัวแบบสากลที่มีรายละเอียดของเมทริกซ์การวัดประสิทธิภาพกระบวนการ และแนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศ (Best Practice) เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา พร้อมทั้งตัวแบบกิจกรรมย่อยที่มีปัจจัยเข้าและออกที่กำหนดในคู่มือ และสำหรับการวัดผลใน SCOR Model มีการแบ่งมิติของการวัดประสิทธิภาพเป็น 5 ด้านได้แก่ ความน่าเชื่อถือของโซ่อุปทาน (Reliability) การตอบสนองของโซ่อุปทาน (Responsiveness) ความคล่องตัวของโซ่อุปทาน (Agility) ต้นทุนของโซ่อุปทาน (Cost) และการบริหารสินทรัพย์ของโซ่อุปทาน (Asset Management)

ส่วน SCOR Model ระดับที่ 4 นี้ไม่ได้กำหนดไว้ใน SCOR Model แต่เป็นกิจกรรมที่แต่ละองค์กรจะต้องกำหนดกิจกรรมย่อยในกระบวนการธุรกิจของตนเองในรายละเอียดของแต่ละผลิตภัณฑ์หรืออุตสาหกรรมโดยมีการเชื่อมโยงกับระดับที่ 3 โดยเป็นการนำสิ่งที่กำหนดไว้ไปปฏิบัติเพื่อให้เกิดผลตามที่วางแผนไว้ เป็นตัวกำหนดการปฏิบัติงานเพื่อให้เข้าถึงข้อได้เปรียบทางการแข่งขัน และการปรับเปลี่ยนเงื่อนไขของการดำเนินธุรกิจ ดังที่ Harmon (2003) ได้กล่าวถึงแนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศ (Best Practice) ไว้ว่า กระบวนการในการปฏิบัติที่ดีที่สุด (ที่บรรจุอยู่ใน SCOR Model) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ รูปแบบการจัดการและวางแผน รูปแบบการปฏิบัติงานของพนักงาน และรูปแบบของเทคโนโลยีสารสนเทศที่ควรนำมาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการที่เกี่ยวข้อง

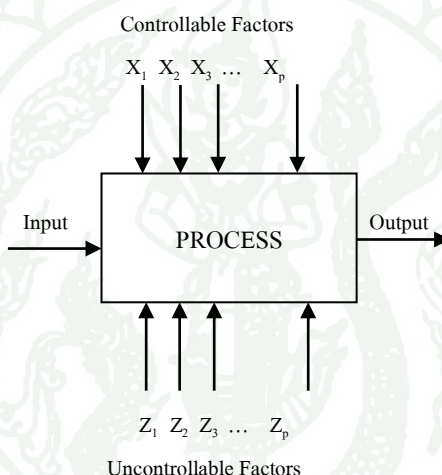


ภาพที่ 6 โครงสร้างของ SCOR Model

ที่มา: พรธิภา (2554)

4. การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

การออกแบบการทดลอง หมายถึง การทดสอบที่เปลี่ยนตัวแปรนำเข้า (Input Factors) ในกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะสามารถสังเกตและระบุถึงสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อผลลัพธ์ (Output or Responses) จากกระบวนการ โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ควบคุมได้ เรียกว่า ตัวแปร/ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) และตัวแปร/ปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable or Noise Factors) (ประไพศรี และ พงษ์ชนัน, 2551) ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 รูปแบบการทดลองทั่วไป

ที่มา: Montgomery (1997)

4.1 หลักการพื้นฐานของการออกแบบการทดลอง (รวิพิมพ์, 2554) ประกอบด้วย

1) การทำซ้ำ (Replication) หมายถึง การที่ทริทเมนต์หนึ่งๆ ปรากฏในหน่วยทดลองมากกว่า 1 ครั้ง เพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงและความแน่นอนของการทดลอง ทำให้สามารถประมาณค่าความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้และทำให้สรุปผลการทดลองได้กว้างขึ้น

2) การสุ่ม (Randomization) หมายถึง วิธีจัดทริทเมนต์ให้แก่หน่วยทดลอง โดยมีหลักว่าแต่ละหน่วยทดลองมีโอกาสเท่าๆ กัน ที่จะได้รับทริทเมนต์ใดก็ได้

3) การบล็อก (Blocking) หมายถึง การใช้กลุ่มของหน่วยทดลองที่เหมือนกันให้ได้รับ ทรัพยากรเดียวกัน การจัดกลุ่มทดลองนี้เพื่อลดความผันแปรจากปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

4.2 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง(Montgomery,1997)

การออกแบบการวิเคราะห์และทดลองมีขั้นตอน ดังนี้

1. ระบุปัญหา ศึกษาและทำความเข้าใจในกระบวนการ เพื่อกำหนดปัญหาและ วัตถุประสงค์ของการทดลองได้อย่างชัดเจน

2. เลือกปัจจัยและกำหนดค่าของปัจจัยที่ทำการทดลอง เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎี มาประยุกต์หรือจากประสบการณ์ เพื่อช่วยในการระบุปัจจัยที่เกี่ยวข้อง กำหนดระดับปัจจัย และ ขอบเขต การคัดกรองปัจจัยเบื้องต้นควรกำหนดระดับปัจจัยที่มีขอบเขตกว้างและจำนวนช่วงน้อย เพื่อให้ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและตัวแปรตอบสนอง จากนั้นเมื่อต้องการหาค่าที่ดีที่สุด จึงค่อยกำหนดขอบเขตให้แคบลง แบ่งเป็น 3 แบบ ดังนี้

2.1 แบบกำหนดตายตัว เป็นการกำหนดค่าระดับปัจจัยที่แน่นอน

2.2 แบบสุ่ม ไม่สามารถกำหนดค่าระดับปัจจัยที่แน่นอน

2.3 แบบผสม เป็นการผสมระดับปัจจัยแบบกำหนดตายตัวและแบบสุ่ม

3. เลือกตัวแปรตอบสนอง เป็นตัวแปรที่ใช้วัดผลของกระบวนการ โดยจะเลือกตัวแปร ตอบสนองที่ให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่ทำการทดลองอยู่

4. เลือกวิธีการออกแบบการทดลอง ในการเลือกวิธีการออกแบบการทดลองต้อง คำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการทดลองเป็นหลัก จำนวนปัจจัยนำเข้า ข้อจำกัดต่างๆ เช่น เวลา ต้นทุน ค่าใช้จ่ายในการทดลอง นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึง จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บข้อมูล การทำซ้ำ การสุ่มลำดับ และการบล็อก

5. ดำเนินการทดลอง ดำเนินการทดลองตามหลักการทางสถิติที่ได้ออกแบบไว้ให้ ถูกต้อง หากเกิดความผิดพลาด ผลการทดลอง และการวิเคราะห์อาจเกิดความคลาดเคลื่อนหรือไม่ ถูกต้อง

6. การวิเคราะห์ข้อมูล เป็นการนำหลักการทางสถิติมาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ผลที่ได้มีความน่าเชื่อถือ จากนั้นพิจารณาว่าผลการวิเคราะห์สามารถบรรลุวัตถุประสงค์หรือไม่

7. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ สรุปผลการทดลองอาจแสดงในรูปแบบ กราฟ ตาราง แผนภูมิ นอกจากนี้ควรมีการทดสอบยืนยันผลการทดลองที่ได้ทำมา และเสนอแนะเพื่อปรับปรุงกระบวนการให้ดีขึ้น

ในงานวิจัยนี้ออกแบบการทดลอง โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (Taguchi Design) และแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ

การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ พัฒนาโดย Dr. Genichi Taguchi วิศวกรชาวญี่ปุ่น ในปี ค.ศ. 1980 เป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อปรับปรุงเครื่องมือ กระบวนการ และวัตถุดิบที่เกี่ยวข้องกับการผลิต โดยศึกษาถึงการควบคุมตัวแปรหลักในกระบวนการ และการหาสภาวะที่เหมาะสมของการทดลองหรือออกแบบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด วิธีทากูชิออกแบบการทดลองโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Fractional Factorial ร่วมกับ Orthogonal Array (OA) สำหรับ Outer Array และ Inner Array หลังจากนั้นนำข้อมูลของตัวแปรที่ต้องการทดลอง (Design Variable) และตัวแปรรบกวน (Noise Variable) มาจัดวางลงในการทดลอง เพื่อคำนวณหาค่าตอบสนองที่เหมาะสมโดยคำนวณในรูปแบบอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal to Noise Ratio: S/N Ratio) จากนั้นจึงเลือกตัวแปรให้ตรงกับค่าเป้าหมายมากที่สุด

ในการวิเคราะห์ผลโดยวิธีทากูชิ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน การนำผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง และหลังจากผลการทดลองเสร็จสิ้นจะได้ค่าที่ต้องการจากสภาวะของสิ่งทดลอง (Treatment) ที่กำหนด (Roy, 2001) ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการวิเคราะห์อย่างง่าย โดยอาศัยการคำนวณค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง และค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย เริ่มจากการกำหนดลักษณะค่าคุณภาพของเป้าหมาย (Quality Characteristic, QC) ซึ่งขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ กระบวนการ หรือระบบ แบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

1) ค่าตอบสนองที่ต้องการมีค่ามากที่สุด (QC = B; Bigger is better) เช่น ผลผลิตได้ของผลิตภัณฑ์ (Yield)

2) ค่าตอบสนองที่ต้องการมีค่าน้อยที่สุด (QC = S; Smaller is better) เช่น จำนวนของเสีย

3) ค่าตอบสนองที่ต้องการมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย (QC = N; Normal is better) เช่น ขนาดของผลิตภัณฑ์

หลังจากกำหนด QC แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการนำผลการทดลองที่ได้มาหาค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (Mean Square Deviation: MSD) โดยเปรียบเทียบ MSD ของกลุ่มว่าค่าเป้าหมายมีความผันแปรในระดับใด (ANOVA) ซึ่งการหาค่า MSD ขึ้นอยู่กับ QC แต่ละประเภท ดังสมการที่ 3, 4 และ 5

$$QC = N; MSD = \frac{(y_1 - m)^2 + (y_2 - m)^2 + \dots + (y_n - m)^2}{n} \quad (3)$$

$$QC = S; MSD = \frac{y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2}{n} \quad (4)$$

$$QC = B; MSD = \frac{\left(\frac{1}{y_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{y_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{y_n}\right)^2}{n} \quad (5)$$

โดยที่ y_i คือ ผลการทดลอง ครั้งที่ i

m คือ ผลการทดลองที่กำหนด

N คือ จำนวนการทดลอง ตามลำดับ

จากนั้นนำค่า MSD ของแต่ละประเภท มาคำนวณหา S/N ratio ตามสมการที่ 6 เมื่อได้ S/N ratio ของแต่ละทริทเมนต์แล้วให้นำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟ เพื่อเปรียบเทียบค่า S/N ratio ตามลักษณะคุณภาพของค่าเป้าหมาย (QC) เช่น ค่าที่มากที่สุดเป็นค่าที่ดีที่สุด ให้พิจารณาจากกราฟ โดยเลือกระดับที่สูงที่สุดของแต่ละปัจจัยเป็นสภาวะที่เหมาะสม และนำระดับที่เหมาะสมนั้นมาทำการทดลองอีกครั้งเพื่อยืนยันผลการทดลอง

$$S/N = -10 \log \text{MSD} \quad (6)$$

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) ของผลการทดลอง เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย

2. การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Design)

แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียล เป็นการทดลองตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป (Multi-Factor Experiment) นอกจากจะเกิดอิทธิพลของปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่สนใจแล้ว ยังอาจเกิดอิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction Effect) ซึ่งเป็นผลที่เกิดขึ้นจากการที่ปัจจัยหนึ่งเปลี่ยนแปลงไปแล้วมีผลทำให้ส่งผลกระทบต่อปัจจัยหนึ่งให้เปลี่ยนแปลงไปด้วย แผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลทั่วไปมีรูปแบบ คือ $A*B*C$ แฟกทอเรียล เช่น $3*2*2$ แฟกทอเรียล รูปแบบของแผนการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่สำคัญ ได้แก่

- 2^k แฟกทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยเพียงแค่ 2 ระดับเท่านั้น ในปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย เช่น 2^2 แฟกทอเรียล
- 3^k แฟกทอเรียล ใช้กับการทดลองหลายปัจจัย ที่กำหนดระดับของปัจจัยไว้ 3 ระดับใน k ปัจจัย เช่น 3^3 แฟกทอเรียล

2.1 แบบจำลองสถิติเชิงเส้น (Linear Statistical Model)

สำหรับในงานวิจัยนี้ ใช้การทดลองแฟกทอเรียล 3 ปัจจัย ดังนั้น รูปแบบเชิงเส้นของการทดลอง 3 ปัจจัยโดยปัจจัย A มี a ระดับ ปัจจัย B มี b ระดับ ปัจจัย C มี c ระดับ ใช้แผนการทดลองแบบ CRD ทำ n ซ้ำ ซึ่งสามารถเขียนในรูปของแบบจำลองสถิติเชิงเส้น ดังนี้

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, a \\ j = 1, 2, \dots, b \\ k = 1, 2, \dots, c \\ l = 1, 2, \dots, n \end{array} \right. \quad (7)$$

โดยที่ μ	คือ ค่าเฉลี่ยทั้งหมด
τ_i	คือ อิทธิพลของปัจจัย A ที่ระดับ i
β_j	คือ อิทธิพลของปัจจัย B ที่ระดับ j
γ_k	คือ อิทธิพลของปัจจัย C ที่ระดับ k
$(\tau\beta)_{ij}$	คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A และ B
$(\tau\gamma)_{ik}$	คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A และ C
$(\beta\gamma)_{jk}$	คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย B และ C
$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$	คือ อิทธิพลร่วมของปัจจัย A, B และ C
ε_{ijkl}	คือ ความคลาดเคลื่อนสุ่มจากการผันแปรในการวัด หรือจากปัจจัยรบกวนที่ควบคุมไม่ได้ โดย $\varepsilon_{ijkl} \sim NID(0, \sigma^2)$

2.2 การทดสอบสมมติฐาน

สมมติฐานทางสถิติ (Hypothesis) มีสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) แทนสัญลักษณ์ด้วย H_0 เป็นสมมติฐานที่ไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนสมมติฐานที่มีความแตกต่างกัน เรียกว่า สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis) แทนสัญลักษณ์ด้วย H_1 ซึ่งสมมติฐานของการทดลองแบบแฟกทอเรียล 3 ปัจจัย ประกอบด้วย

$$1) H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1: \tau_i \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่าของ } i$$

$$2) H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_b = 0$$

$$H_1: \beta_j \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่าของ } j$$

$$3) H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_c = 0$$

$$H_1: \gamma_k \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ค่าของ } k$$

$$4) H_0: (\tau\beta)_{ij} = 0$$

$$H_1: \text{มี } (\tau\beta)_{ij} \text{ อย่างน้อย 1 ค่าไม่เป็น 0}$$

$$5) H_0: (\tau\gamma)_{ik} = 0$$

H_1 : มี $(\tau\gamma)_{ik}$ อย่างน้อย 1 ค่าไม่เป็น 0

$$6) H_0: (\beta\gamma)_{jk} = 0$$

H_1 : มี $(\beta\gamma)_{jk}$ อย่างน้อย 1 ค่าไม่เป็น 0

$$7) H_0: (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0$$

H_1 : มี $(\tau\beta\gamma)_{ijk}$ อย่างน้อย 1 ค่าไม่เป็น 0

2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน แบบ 3-Factor Factorial Design (Montgomery, 1997) มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 5 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 3-Factor Factorial Design

Source of Variation	Sum of Square	Degree of Freedom	Mean Square	F_0
A	SS_A	a-1	$MS_A = SS_A / a-1$	MS_A / MS_E
B	SS_B	b-1	$MS_B = SS_B / b-1$	MS_B / MS_E
C	SS_C	c-1	$MS_C = SS_C / c-1$	MS_C / MS_E
AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	$MS_{AB} = SS_{AB} / (a-1)(b-1)$	MS_{AB} / MS_E
AC	SS_{AC}	(a-1)(c-1)	$MS_{AC} = SS_{AC} / (a-1)(c-1)$	MS_{AC} / MS_E
BC	SS_{BC}	(b-1)(c-1)	$MS_{BC} = SS_{BC} / (b-1)(c-1)$	MS_{BC} / MS_E
ABC	SS_{ABC}	(a-1)(b-1)(c-1)	$MS_{ABC} = SS_{ABC} / (a-1)(b-1)(c-1)$	MS_{ABC} / MS_E
Error	SS_E	abc(n-1)	$MS_E = SS_E / abc(n-1)$	
Total	SS_T	abcn-1		

โดยที่

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c \sum_{l=1}^n y_{ijkl}^2 - \frac{y^2 \dots}{abcn} \quad (8)$$

$$SS_A = \frac{1}{bcn} \sum_{i=1}^a y^2_{i...} - \frac{y^2....}{abcn} \quad (9)$$

$$SS_B = \frac{1}{acn} \sum_{j=1}^b y^2_{.j..} - \frac{y^2....}{abcn} \quad (10)$$

$$SS_C = \frac{1}{abn} \sum_{k=1}^c y^2_{...k.} - \frac{y^2....}{abcn} \quad (11)$$

$$SS_{AB} = \frac{1}{cn} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b y^2_{ij..} - \frac{y^2....}{abcn} - SS_A - SS_B \quad (12)$$

$$SS_{AC} = \frac{1}{bn} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^c y^2_{i.k.} - \frac{y^2....}{abcn} - SS_A - SS_C \quad (13)$$

$$SS_{BC} = \frac{1}{an} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y^2_{.jk.} - \frac{y^2....}{abcn} - SS_B - SS_C \quad (14)$$

$$SS_{ABC} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c y^2_{ijk.} - \frac{y^2....}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} \quad (15)$$

$$= SS_{SUBTOTALS(ABC)} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AB} - SS_{AC} - SS_{BC} \quad (16)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{SUBTOTALS(ABC)} \quad (17)$$

2.4 การหาขนาดตัวอย่างในการทดลอง

ขนาดตัวอย่าง (Sample Size) เป็นสิ่งสำคัญที่ผู้วิจัยต้องกำหนดให้เหมาะสมและเป็นตัวแทนที่ดีของประชากรที่ศึกษา เพื่อจะช่วยให้ผลการวิจัยมีความน่าเชื่อถือ (ชัยสิทธิ์, 2554) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\phi^2 = \frac{nbcD^2}{2a\sigma^2} \quad (18)$$

โดยที่	n	คือ จำนวนตัวอย่างหรือจำนวนซ้ำ
	a	คือ ระดับของปัจจัย A (Level of Factor A)
	b	คือ ระดับของปัจจัย B (Level of Factor B)

- c คือ ระดับของปัจจัย C (Level of Factor C)
 D คือ ค่าความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทริทเมนต์สูงสุด (Difference of Mean)
 σ^2 คือ ค่าความแปรปรวนของข้อมูล

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาแนวทางในการพัฒนาคุณภาพของน้ำตาลสด มีการศึกษาในหลายประเด็นซึ่งสามารถสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับน้ำตาลสด

ในการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสด หากมีการจัดการที่ไม่เหมาะสมทำให้น้ำตาลสดเกิดการเสื่อมเสียจากกระบวนการหมัก โดยมีรสเปรี้ยว เป็นเมือก ซึ่งกระบวนการหมักเริ่มต้นขึ้นหลังจากน้ำตาลไหลลงสู่กระบอกกรองน้ำตาล โดยจุลินทรีย์หลายชนิด จากงานวิจัยของ Odunfa and Oyewol (1998) พบว่าจุลินทรีย์หลักที่ส่งผลต่อกระบวนการหมักคือยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Schizosaccharomyces pobe* นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรีย *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides* และแบคทีเรียสายพันธุ์อื่นๆ ภายในเวลา 24 ชั่วโมง ค่าพีเอชเริ่มต้นจะลดลงจาก 7.4-6.81 เหลือ 5.5 และมีปริมาณแอลกอฮอล์เกิดขึ้น 1.5-2.1 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นที่เวลา 72 ชั่วโมง ปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นเป็น 4.5-5.2 เปอร์เซ็นต์ ค่าพีเอชลดลงเหลือ 4.0 ซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากการผลิตกรดอินทรีย์ประเภทกรดแลคติก อะซิติก และทาร์ตริก

แนวทางในการป้องกันการเสื่อมเสียของน้ำตาลสด สามารถป้องกันได้หลายวิธี อาทิเช่น การใช้ไม้พะยอม ซึ่งมีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ สอดคล้องกับงานวิจัยของอารี (2546) ที่ศึกษาผลของไม้พะยอมและไม้มะเกลือที่มีต่อจุลินทรีย์ในน้ำตาลสดและน้ำตาลเมา พบว่า ไม้พะยอมสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมบวกบางชนิด ได้แก่ *Bacillus cereus*, *B. subtilis* และ *Staphylococcus aureus* แต่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแกรมลบได้ นอกจากนี้ไม้พะยอมจะมีผลในการยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แล้วยังส่งผลให้น้ำตาลสดมีลักษณะปรากฏใสขึ้นด้วย และหากเพิ่มปริมาณไม้พะยอมจะทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดลดลง แต่ปริมาณที่เพิ่มขึ้นนั้นก็ส่งผลให้น้ำตาลสดมีสีที่เข้มขึ้นด้วยเช่นกัน ต่อมา เพชรนิยม (2551) พบว่า การสกัดพะยอมด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ สารที่สกัดได้มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดหนึ่งที่พบในน้ำตาลสด

จากคุณสมบัติดังกล่าว สมเกียรติ (2552) จึงได้มีการศึกษาพัฒนาต่อยอดเพื่อผลิตสารสกัดจากไม้พะยอมผง สำหรับใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลสด พบว่า ในการสกัดไม้พะยอมในรูปแบบผง มีสัดส่วนของผลผลิตได้ เท่ากับ 26.62 เปอร์เซ็นต์ มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของแทนนินอยู่ที่ 758 นาโนเมตร มีปริมาณแทนนินในสารสกัดพะยอมผงที่วิเคราะห์ด้วยวิธี Folin Ciocalten 480 กรัมต่อกิโลกรัม และเมื่อเติมสารสกัดที่ความเข้มข้น 500, 1,000 และ 1,500 ppm เป็นเวลา 0, 1, 2 และ 3 วัน สารสกัดจากพะยอมที่ความเข้มข้น 1,000 และ 1,500 ppm ทำให้ปริมาณน้ำตาลทั้งหมด (Total Sugar) ในน้ำตาลสดค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 3 ส่วนสารสกัดพะยอมที่ความเข้มข้น 500 ppm ทำให้ปริมาณน้ำตาลค่อนข้างคงที่จนถึงวันที่ 20 ซึ่งในการเก็บน้ำตาลสดใช้ระยะเวลาประมาณ 12 ชั่วโมง ดังนั้น สารสกัดพะยอมผงที่ความเข้มข้น 500 ppm เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ใช้เติมในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสด แต่ในปัจจุบันไม้พะยอมหาซื้อได้ยากขึ้น อีกทั้งยังมีการปลอมปนของไม้ชนิดอื่น เกษตรกรจึงหันมาใช้สารเคมีสังเคราะห์แทน ซึ่งงานวิจัยของ กังสดาลและคณะ (2552) ได้ศึกษาสถานการณ์การใช้วัตถุกันเสียในน้ำตาลสด โดยเก็บตัวอย่างน้ำตาลสดจากเกษตรกรในจังหวัดสมุทรสงคราม จากนั้นนำมาวิเคราะห์ชนิดและปริมาณวัตถุกันเสียในน้ำตาลสด พบว่า มีการเจือปนของวัตถุกันเสีย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มของสารประกอบซัลไฟด์ มีการตกค้างของซัลเฟอร์ไดออกไซด์เฉลี่ย 377.29 ± 456.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และกลุ่มของกรดเบนโซอิก มีปริมาณเฉลี่ย 286.608 ± 415.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งปริมาณที่พบมีค่าสูงเกินกว่าที่กฎหมายกำหนด จึงควรมาตรการในการควบคุมการใช้น้ำตาลสดโดยหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมีในการเก็บรักษาน้ำตาลสด รวมถึงส่งเสริมการใช้สารกันบูดจากธรรมชาติ เช่น ไม้เคี่ยม ไม้พะยอม ตามภูมิปัญญาท้องถิ่น นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้สารกันเสียชนิดอื่น เช่น Terawat *et al.* (1986) ศึกษาผลของชนิดสารกันเสียที่ใช้ต่อคุณภาพของน้ำตาลสด โดยใช้สารกันเสีย 3 ชนิด ได้แก่ ไม้เคี่ยม สารเคมีผสมระหว่างโซเดียมเบนโซเอตกับโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ และปูนขาว พบว่า ทั้ง 3 วิธี น้ำตาลสดที่ได้มีคุณภาพทางเคมีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ น้ำตาลสดที่ใช้ไม้เคี่ยมมีปริมาณจุลินทรีย์มากกว่าสารเคมีผสมระหว่างโซเดียมเบนโซเอตกับโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟด์ และปูนขาว

นอกจากการใส่สารกันเสียในกระบอกรองรับน้ำตาลแล้ว ยังพบว่า ความสะอาดของภาชนะที่ใช้รองรับมีผลต่อคุณภาพของน้ำตาลสด มาลีและพูนสุข (2517) กล่าวว่า การรองรับน้ำตาลสดด้วยกระบอกที่ผ่านการนึ่งด้วยไอน้ำภายใต้ความดัน น้ำตาลสดไม่เกิดกลิ่นเปรี้ยวและสามารถเก็บได้นาน 9 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ในขณะที่น้ำตาลสดที่รองรับจากกระบอกที่ล้างด้วยน้ำเปล่า มีกลิ่นเปรี้ยวเกิดขึ้นตั้งแต่นำน้ำตาลลงมาจากคั้น การทำความสะอาดกระบอกไม้ไผ่ที่จะนำไปรองน้ำตาลสดด้วยการรมควันหรือการลวกน้ำร้อน สามารถช่วยป้องกันการเสื่อมคุณภาพของน้ำตาลสดได้ ซึ่ง

สอดคล้องกับ สุกัญญา (2547) ที่ศึกษาการทำความสะอาดกระบอกล้างไม้อัด พบว่า การล้างทำความสะอาดด้วยการลวกกระบอกล้างไม้อัดด้วยน้ำร้อน เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการทำความสะอาดรองลงมาเป็น การลวกด้วยน้ำด่างสดต้มเดือด การรมควัน การแช่น้ำคลอรีนความเข้มข้น 40 ppm เป็นเวลา 15 นาที และการล้างด้วยน้ำบ่อ ตามลำดับ โดยปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีค่า 2.5, 3.5, 3.6, 7.0 และ 7.3 log cfu/ml ตามลำดับ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการโซ่อุปทาน

การจัดการโซ่อุปทานมีความสำคัญอย่างมากโดยเฉพาะในสายอุตสาหกรรมเกษตรที่มีข้อจำกัดในหลายๆ ด้าน เช่น การเสื่อมเสียของวัตถุดิบหรือสินค้าสำเร็จรูป เป็นต้น นักวิจัยหลายท่านจึงให้ความสนใจในการศึกษาการจัดการโซ่อุปทาน โดยนำเครื่องมือแบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน (Supply Chain Operation Reference Model: SCOR Model) มาประยุกต์เพื่อใช้อ้างอิงกระบวนการทางธุรกิจนั้น อาทิเช่น บุญอนันต์ (2548) ศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมของบริษัทค้าส่งอาหารสัตว์ เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมให้บริษัทขนาดกลางและขนาดย่อมสามารถแข่งขันได้ในสภาพการประกอบธุรกิจที่มีการแข่งขันในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงเลือกกลยุทธ์และแนวทางที่เหมาะสมโดยใช้ SCOR Model และรวบรวมปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นเพื่อให้ภาคธุรกิจนำไปพิจารณาประกอบในการดำเนินโครงการ โดยมีการวางแผนในการเก็บข้อมูล สร้างเครื่องมือในการเก็บข้อมูลและทำการรวบรวมข้อมูลพบว่า ปัจจัยที่ภาคธุรกิจควรให้ความสำคัญประกอบด้วยปัญหาการจากประยุกต์ใช้ SCOR Model อุปสรรคของการดำเนินโครงการปรับปรุงประสิทธิภาพโซ่อุปทานในภาพรวม ปัจจัยที่ผู้บริหารขององค์กรควรให้ความสำคัญและสิ่งที่ผู้ดำเนินโครงการควรคำนึงในการจัดการโครงการ อีกทั้งยังได้มีการเสนอแนะถึงทิศทางในการวิจัยด้านการจัดการโซ่อุปทานเพื่อเป็นแนวทางในการทำงานในอนาคต รวมถึงควรปรับปรุงและเพิ่มเติมเครื่องมืออื่นๆ ที่จำเป็นในการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล เช่นเดียวกับ รักษ์ (2551) ที่ศึกษาเรื่องการวิเคราะห์การจัดการโซ่อุปทานของผู้ประกอบการลำไยสดด้วยการวิเคราะห์สาขาราคาในจังหวัดเชียงใหม่ และลำพูน โดยการประยุกต์แนวคิดของ SCOR Model ซึ่งการวิเคราะห์ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน ได้แก่ เกษตรกร ผู้รวบรวมและสั่ง พบว่า การดำเนินงานผู้ประกอบการจะสูญเสียไปกับกิจกรรมการขนย้าย และการตรวจสอบคุณภาพลำไย

นอกจากนี้ได้มีการนำโซ่ความเย็น มาประยุกต์ใช้ในการจัดการโซ่อุปทาน ดังเช่นงานวิจัยของเกียรติสุดาและคณะ (2554) ที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงหลังการเก็บเกี่ยวมะพร้าวกะทิ พบว่า การเก็บที่อุณหภูมิ $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$ มะพร้าวกะทิมีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้น ในขณะที่สีเนื้อ ความแน่นของ

เนื้อ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ปริมาณกรด และปริมาณ Malondialdehyde (MDA) มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งสามารถเก็บรักษาได้นาน 6 วัน ส่วนการเก็บรักษา มะพร้าวกะทิที่อุณหภูมิ 2, 5 และ 10 °C สามารถชะลอการเสียน้ำหนักและการเกิดโรค ทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 6, 6 และ 10 สัปดาห์ ตามลำดับ มะพร้าวกะทิที่เก็บอุณหภูมิ 2 °C จะเกิดอาการสะท้านหนาว ในขณะที่ไม่เกิดกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิอื่นนอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (SMS) ความเข้มข้น 3-5 เปอร์เซ็นต์ หรือการหุ้มผลมะพร้าวด้วยฟิล์มพลาสติกประเภท Linear Low Density Polyethylene Film (LDPE) ไม่สามารถยืดอายุการเก็บรักษา ได้นานเท่ามะพร้าวกะทิที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 2 และ 10 °C แต่การห่อผลมะพร้าวด้วยถุงพลาสติก LDPE ร่วมกับการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 °C สามารถลดการสูญเสียน้ำหนักและสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นาน 10 สัปดาห์

ในต่างประเทศก็มีการนำโซ่ความเย็นมาใช้กับอาหารเช่นกัน ดังเช่นงานวิจัยของ Rediers *et al.* (2009) ที่ได้ศึกษาการประเมินผลการจัดการ โซ่ความเย็นของผักกาดแก้วตัดแต่งตั้งแต่ ฟาร์มจนถึงมือผู้บริโภค โดยติดตามอุณหภูมิของผักกาดแก้วตัดแต่งตั้งแต่การผลิตจนถึงกระจาย สินค้าให้กับร้านอาหารต่างๆ ด้วยเครื่องบันทึกและจัดเก็บอุณหภูมิ (Data loggers) จากข้อมูลบันทึก อุณหภูมิของผักกาดชี้ให้เห็นว่าโซ่ความเย็นสามารถรักษาคุณภาพของผักกาดได้ นอกจากนี้ยังพบว่า ความแปรปรวนของอุณหภูมิของโซ่อุณหภูมิต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณ โคลิฟอร์มและจุลินทรีย์ก่อโรค เพิ่มขึ้น ในขณะที่ส่งผลให้ปริมาณแบคทีเรียที่เจริญเติบโตโดยใช้อากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ระบบโซ่ความเย็นกับการขนส่งสินค้า ซึ่ง Kuo and Chen (2010) ได้ พัฒนาระบบการขนส่งแบบการใช้อุณหภูมิร่วมในเส้นทางขนส่งสินค้า (Multi-Temperature Joint Distribution System; MTJD) ระบบดังกล่าวสามารถรักษาคุณภาพของสินค้าได้ดีกว่าการขนส่งสินค้าแบบทั่วไป

3.งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง

ในการออกแบบการทดลองนั้นมีเทคนิคในการออกแบบการทดลองหลายชนิด เช่น การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ และแบบแฟกทอเรียล

3.1 การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ

การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ นำมาใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมของการทดลองหรือออกแบบเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศและต่างประเทศ ดังเช่น Oztop (2007) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทอดมันฝรั่งด้วยเครื่องไมโครเวฟด้วยวิธีทากูชิ โดยพิจารณาจากคุณภาพของมันฝรั่ง (เปอร์เซ็นต์ความชื้น ปริมาณน้ำมัน สี และความแข็ง) ปัจจัยที่ทำการศึกษาทั้งหมด 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ได้แก่ กำลังไฟของไมโครเวฟ (400, 500 และ 700 W) เวลาในการทอด (2.0, 2.5 และ 3 นาที) ชนิดน้ำมัน (น้ำมันดอกทานตะวัน ข้าวโพด และเฮเซลนัท) โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ L_{27} Orthogonal Array ซึ่งมีจำนวนการทดลองเท่ากับ Full Factorial เนื่องจากต้องการวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยร่วม (Interaction) พบว่า ปริมาณความชื้นจะลดลงในขณะที่ปริมาณน้ำมัน สี และความแข็งเพิ่มขึ้น ถ้าทอดด้วยเวลาที่นานขึ้นและกำลังไฟของไมโครเวฟที่สูงขึ้น และสภาวะที่เหมาะสมในการทอด ที่ทำให้ปริมาณการดูดซับน้ำมันในฝรั่งทอดน้อยที่สุด ต้องทอดด้วยกำลังไฟของไมโครเวฟ 550 W ใช้เวลาทอดนาน 2.5 นาที และทอดด้วยน้ำมันดอกทานตะวัน เช่นเดียวกับ สุภาวิชญ์ฐา (2551) ที่ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตกรดแอสซิดิกจากไวน์สับปะรดด้วยวิธีทากูชิ โดยศึกษา 4 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ด้วย $L_9(3^4)$ Orthogonal Array พบว่า เมื่อพิจารณาจากอัตราการผลิตกรดแอสซิดิกเชิงปริมาตรในระดับฟลาสก์ (Flask) ผลิตกรดแอสซิดิกจากเชื้อจุลินทรีย์ผสมของ *A. aceti* TISTR 102 กับ *A. aceti* IFRPD ในอัตราส่วน 1:1 ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ 8 เปอร์เซ็นต์ พีเอชเริ่มต้นของไวน์สับปะรด 5.5 และอุณหภูมิที่บ่มเชื้อ 30 °C เป็นสภาวะที่สามารถผลิตกรดแอสซิดิกได้สูงสุดเท่ากับ 42.37 กรัมต่อลิตร โดยมีอัตราการผลิตกรดแอสซิดิกเชิงปริมาตรที่ได้คือ 0.80 กรัมต่อลิตร

3.2 การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล

การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเป็นเทคนิคการออกแบบการทดลองที่ใช้งานกันแพร่หลาย ในกรณีที่มีปัจจัยที่ต้องการศึกษามากกว่า 1 ปัจจัย เช่น ชัยรัช (2546) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการ

ออกแบบการทดลอง แบบ 3^k มาใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้และเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้น รวมทั้งหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในขั้นตอนการเตรียมรำข้าวโดยที่ได้เปอร์เซ็นต์น้ำมันมากที่สุดและเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด ผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิในการอบรำข้าวและความชื้นของรำข้าวเป็นปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์กรดไขมันอิสระและเปอร์เซ็นต์น้ำมันที่สกัดได้ โดยอุณหภูมิในการอบรำข้าวอยู่ที่ $114-116^\circ\text{C}$ และค่าความชื้นของรำข้าวอยู่ที่ 5-7 เปอร์เซ็นต์ซึ่งสามารถเพิ่มสัดส่วนผลผลิตได้ 7.59 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ เจษฎา (2546) ได้นำการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการบรรจุและการปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ซอสผลไม้ โดยเริ่มจากการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผล ซึ่งปัจจัยที่น่าจะมีผลต่อกระบวนการผลิตมี 4 ชนิด ประกอบด้วย การปรับระยะกด อุณหภูมิแกนกด แนวนอน ความเร็วในการป้อนฟิล์ม และอุณหภูมิของสแตนดาร์ดบรรจุ นำปัจจัยดังกล่าวมาออกแบบการทดลองเบื้องต้น แบบ 2^4 Factorial Design พบว่า อุณหภูมิแกนกด แนวนอน ความเร็วในการป้อนฟิล์ม และอุณหภูมิของสแตนดาร์ดบรรจุเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากนั้นนำปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการผลิต มาออกแบบการทดลองแบบ 3^3 Factorial Design และวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมด้วยเทคนิคพื้นผิวตอบสนอง พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมของแกนกด แนวนอนควรมีค่าประมาณ 142°C ใช้ความเร็วในการป้อนฟิล์มที่ 18 รอบต่อนาที โดยให้อุณหภูมิของสแตนดาร์ดบรรจุมีอุณหภูมิ 79°C จะทำให้ค่าความแข็งแรงของแรงปิดผนึกทั้งบนและล่างมีค่าใกล้เคียงกัน สภาวะดังกล่าวทำให้ความแข็งแรงของรอยปิดผนึกด้านบนและด้านล่างเพิ่มขึ้นจากสภาวะปัจจุบัน 24.02 เปอร์เซ็นต์ และ 21.75 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่งผลให้สัดส่วนของเสียจากการปิดผนึกไม่แข็งแรงลดลง 94.07 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับ สุกรีพันธ์ (2551) ที่ศึกษาการลดจำนวนของเสียที่เกิดจากการบวมของผลิตภัณฑ์วุ้นมะพร้าวในกระบวนการบรรจุ โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design พบว่า ระยะกดสายพานปิดฝาที่ 4 รอบ และปริมาณไอน้ำที่ 7 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ส่งผลให้เกิดวุ้นมะพร้าวบวมน้อยที่สุด จากนั้นนำสภาวะที่ได้ไปใช้งานจริงในการผลิต สภาวะดังกล่าวส่งผลให้สัดส่วนของเสียที่เกิดจากการบวมของวุ้นมะพร้าวลดลงถึง 70 เปอร์เซ็นต์

นอกจากนี้ในต่างประเทศยังได้นำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูจิและแฟกทอเรียลมาประยุกต์ใช้ในงานหลายด้าน อาทิเช่น ด้านการแพทย์ Chen and David (2008) ได้นำการออกแบบทั้ง 2 มาประยุกต์ใช้ในการหาสภาวะที่เหมาะสมของการสังเคราะห์ไนตริกออกไซด์ในเซลล์เยื่อลำไส้ (Caco-2 cells) โดยเริ่มจากการหาตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับผลิตไนตริกออกไซด์ ซึ่งมีปัจจัยที่ศึกษาทั้งหมด 5 ปัจจัย ปัจจัยละ 4 ระดับ ได้แก่ อินเตอร์เฟียร์อน-แกมมา ($\text{IFN-}\gamma$) ทุเมอร์ เนโครซิส แฟกเตอร์-แอลฟา ($\text{TNF-}\alpha$) อินเตอร์ลิวคิน -1 เบต้า ($\text{IL-1}\beta$) ไลโปโพร

ลิแซคคาไรด์ (LPS) พอร์โบไมริสเทท อะซิเตท (PMA) จากนั้นออกแบบการทดลองด้วยวิธีทางสถิติ เนื่องจาก วิธีทางสถิติสามารถช่วยลดชุดการทดลองจากวิธีแฟกทอเรียลซึ่งมีจำนวน 4³ ชุดการทดลองเหลือเพียง 16 ชุดการทดลอง ผลการทดลองพบว่า อินเตอร์เฟียรอน-แกมมา (IFN- γ) 8,000 U/ml และพอร์โบไมริสเทท อะซิเตท (PMA) 0.1 $\mu\text{g/ml}$ เป็นตัวเหนี่ยวนำให้ผลิตเอนไซม์ไนตริกออกไซด์ในเซลล์เยื่อบุลำไส้ เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตไนตริกออกไซด์ จากนั้นได้หาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงไนตริกออกไซด์ในเซลล์เยื่อบุลำไส้ ด้วยวิธีแฟกทอเรียล แบบ 5² ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ Cell Passage, Culture Medium Composition, Cell Seeding Time, Seeding Density และ Stimulation Time ซึ่งพบว่า Cell Seeding Time และ Stimulation Time เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการเพาะเลี้ยงเซลล์อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คู่มือ Supply Chain Operations Reference Model รุ่น 9.0
2. เครื่องวัดค่าความหวาน (Refractometer)
3. เครื่องวัดค่าพีเอช (pH Meter)
4. เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล 2 ตำแหน่ง
5. หลอดทดลองและอุปกรณ์ต่างๆ
6. ต้นมะพร้าวพันธุ์น้ำหอม
7. กล่องโฟมสำหรับควบคุมอุณหภูมิ
8. เศษไม้พะยอม (*Shorea roxburghii* G.Don)
9. สารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)
10. เทอร์โมมิเตอร์
11. กระบอกพลาสติกสำหรับเก็บน้ำตาลสด
13. โปรแกรม Minitab รุ่น 16

วิธีการ

งานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. การศึกษาสถานการณ์ในปัจจุบันและรูปแบบการดำเนินงานของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อปรับปรุงกระบวนการโซ่อุปทาน โดยใช้แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน (SCOR Model)
2. การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำตาลสดในขณะเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสด

ส่วนที่ 1 การศึกษาสถานการณ์ในปัจจุบันและรูปแบบการดำเนินงานของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อปรับปรุงกระบวนการโซ่อุปทาน โดยใช้แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน (SCOR Model)

1.1 ศึกษา รวบรวม วิเคราะห์ข้อมูล และทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำตาลสดในปัจจุบันจากเอกสารวิชาการ รายงานการวิจัย หนังสือ เว็บไซต์ ตลอดจนข้อมูลจากหน่วยงานต่างๆ

1.2 ศึกษาสถานการณ์ในปัจจุบันและรูปแบบการดำเนินงาน โดยเก็บข้อมูลจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโซ่อุปทานเครื่องคั้นน้ำตาลสด ได้แก่ เกษตรกร และบริษัทผู้ประกอบการกรณีศึกษา

1.3 สร้างแบบจำลองอ้างอิงกระบวนการ โซ่อุปทาน (SCOR Model) ของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1.3.1 แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการของโซ่อุปทานระดับที่ 1 (SCOR Model Level 1) เพื่อระบุขอบเขตและเนื้อหาของโซ่อุปทานตามมิติกิจกรรมหลัก ได้แก่ วางแผน จัดหา ผลิต ส่งมอบ และ รับ/ส่งของคืน

1.3.2 แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการของโซ่อุปทานระดับที่ 2 (SCOR Model Level 2) วิเคราะห์โครงสร้างหลักของโซ่อุปทานตั้งแต่ผู้ผลิตวัตถุดิบจนถึงลูกค้า จากกิจกรรมหลักทั้ง 5 ของโซ่อุปทาน โดยใช้แผนภาพทางภูมิศาสตร์ และระบุกิจกรรมย่อยตามมิติประเภทกระบวนการ และมิติประเภทการผลิตที่สภาวะปัจจุบัน (As-Is) และที่สภาวะหลังปรับปรุง (To-Be)

1.3.3 แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการของโซ่อุปทานระดับที่ 3 (SCOR Model Level 3) คัดเลือกกิจกรรมที่ควรนำมาปรับปรุงจาก SCOR Model ระดับที่ 2 ระบุปัจจัยนำเข้าและปัจจัยขาออกของกิจกรรมที่ต้องดำเนินการปรับปรุงจากกระบวนการมาตรฐาน รวมทั้งระบุเมตริกการวัดประสิทธิภาพกระบวนการ (Metrics) และแนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศ (Best Practice)

1.3.4 แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการของโซ่อุปทานระดับที่ 4 (SCOR Model Level 4) คัดเลือกกิจกรรมในการปรับปรุงที่เหมาะสมจาก SCOR Model ในระดับที่ 3 มาประยุกต์ใช้ในโซ่อุปทาน

ส่วนที่ 2 การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำตาลสดในขณะเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยว น้ำตาลสด

2.1 ทดลองเบื้องต้น (Preliminary Experiment) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช และค่าความหวาน กับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยใช้สภาวะปัจจุบันที่เกษตรกรปฏิบัติในเก็บ น้ำตาลสดจากสวน เริ่มจากการล้างทำความสะอาดกระบอกรับน้ำตาลสดด้วยน้ำคลอรีน ต่อมาใส่ สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 1,189 ppm ปริมาณ 5 มิลลิตรต่อกระบอกรับ ซึ่งเป็น ปริมาณและความเข้มข้นที่ทางบริษัทกรณีศึกษากำหนดเป็นมาตรฐานให้เกษตรกรนำไปใช้ นำ กระบอกรับที่เตรียมไว้ไปรองรับน้ำตาลสดที่ต้นมะพร้าว เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นหลังการเก็บเกี่ยว นำน้ำตาลสดที่ได้มาวางไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($25-30^{\circ}\text{C}$) เป็นเวลา 0, 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง เพื่อวัดค่า พีเอช ค่าความหวาน และปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด สำหรับการตรวจวิเคราะห์ปริมาณ เชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ให้สุ่มตัวอย่างปริมาณ 10-20 มิลลิตร ใส่ขวดแก้วบรรจุลงในกล่องโฟมที่มี น้ำแข็ง จากนั้นจึงส่งตัวอย่างให้กับหน่วยงานเอกชนตรวจวิเคราะห์

2.2 ออกแบบและวางแผนการทดลองโดยวิธีทาคุชิ (Taguchi)

2.2.1 การกำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้สัมภาษณ์ เกษตรกร โรงงาน และการทบทวนวรรณกรรม สามารถวางแผนการทดลอง Orthogonal Array แบบ L_9 โดยมีปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิ ในการจัดเก็บและขนส่ง น้ำที่ใช้ทำความสะอาดกระบอกรับน้ำตาลสด และชนิดของสารกันเสีย ปัจจัยละ 3 ระดับ แสดงดังตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่กำหนดในการทดลองด้วยวิธีทาคุชิ

ปัจจัยที่ศึกษา	ระดับของปัจจัย		
	1	2	3
1.อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง	$\leq 10^{\circ}\text{C}$ (L)	$11-20^{\circ}\text{C}$ (M)	$21-30^{\circ}\text{C}$ (H)
2.การล้างทำความสะอาดกระบอกรับ	น้ำต้ม (B)	น้ำประปาชุมชน (T)	น้ำคลอรีน (C)
3.ชนิดของสารกันเสีย	ไม่ใส่สารกันเสีย (N)	ไม่พะยอม (P)	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (S)

ตารางที่ 7 แผนการทดลอง L_9 Orthogonal Array

ชุดการทดลอง	อักษรย่อของสถานะการทดลอง	ปัจจัยที่ศึกษา		
		อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง	การล้างทำความสะอาดกระบอก	ชนิดของสารกันเสีย
1	LBN	$\leq 10^\circ\text{C}$	น้ำต้ม	ไม่ใส่สารกันเสีย
2	LTP	$\leq 10^\circ\text{C}$	น้ำประปาชุมชน	ไม่พะยอม
3	LCS	$\leq 10^\circ\text{C}$	น้ำคลอง	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$
4	MBP	$11-20^\circ\text{C}$	น้ำต้ม	ไม่พะยอม
5	MTS	$11-20^\circ\text{C}$	น้ำประปาชุมชน	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$
6	HCN	$11-20^\circ\text{C}$	น้ำคลอง	ไม่ใส่สารกันเสีย
7	HBS	$21-30^\circ\text{C}$	น้ำต้ม	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$
8	HTN	$21-30^\circ\text{C}$	น้ำประปาชุมชน	ไม่ใส่สารกันเสีย
9	HCP	$21-30^\circ\text{C}$	น้ำคลอง	ไม่พะยอม

2.2.2 กำหนดสมมติฐานการทดลอง การกำหนดสมมติฐานการวิจัย

ในการออกแบบการทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยเบื้องต้นจึงกำหนดเฉพาะการทดสอบปัจจัยหลัก (Test of Main Factors) ซึ่งในการทดลองนี้มีตัวแปรตอบสนอง 2 ค่า ได้แก่ ค่าพีเอช และค่าความหวานโดยมีรายละเอียดการตั้งสมมติฐานดังต่อไปนี้

- 1) สมมติฐานในการทดลองเกี่ยวกับค่าพีเอช ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 สมมติฐานในการทดลองเกี่ยวกับค่าพีเอช

ปัจจัยที่ศึกษา	สมมติฐานหลัก (H_0)	สมมติฐานรอง (H_1)
1. อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง	อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งไม่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสด	อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งมีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสดอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ปัจจัยที่ศึกษา	สมมติฐานหลัก (H_0)	สมมติฐานรอง (H_1)
2. การล้างทำความสะอาด กระบอก	การล้างทำความสะอาด กระบอกไม่มีอิทธิพลต่อค่า พีเอชของน้ำตาลสด	การล้างทำความสะอาด กระบอกมีอิทธิพลต่อค่าพีเอช ของน้ำตาลสดอย่างมีนัยสำคัญ
3. ชนิดของสารกันเสีย	ชนิดของสารกันเสียไม่มี อิทธิพลต่อค่าพีเอชของ น้ำตาลสด	ชนิดของสารกันเสียมีอิทธิพล ต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสดอย่าง มีนัยสำคัญ

2) สมมติฐานในการทดลองเกี่ยวกับค่าความหวาน

การกำหนดสมมติฐานของการค่าความหวานคล้ายกับสมมติฐานของค่าพีเอช โดยยกตัวอย่างเฉพาะปัจจัยด้านอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สมมติฐานในการทดลองเกี่ยวกับค่าความหวาน

ปัจจัยที่ศึกษา	สมมติฐานหลัก (H_0)	สมมติฐานรอง (H_1)
1. อุณหภูมิในการจัดเก็บและ ขนส่ง	อุณหภูมิในการจัดเก็บและ ขนส่งไม่มีอิทธิพลต่อค่าความ หวานของน้ำตาลสด	อุณหภูมิในการจัดเก็บและ ขนส่งมีอิทธิพลต่อค่าความ หวานของน้ำตาลสดอย่างมี นัยสำคัญ

2.2.3 การกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม

การเลือกขนาดตัวอย่างหรือจำนวนซ้ำ (n) ที่เหมาะสมของการทดลอง โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ มีค่าเท่ากับ 0.05 และต้องการที่จะปฏิเสธสมมติฐานที่ความน่าจะเป็น (Power of Test) 0.95 จากการทดลองเบื้องต้นในข้อ 2.1 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพีเอชเป็น 0.1443 และมีความแตกต่างของค่าพีเอช เท่ากับ 0.35 จากนั้นคำนวณตัวอย่างที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 16 (ภาพในภาคผนวกที่ ก1 และ ก2) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า จำนวนตัวอย่างหรือจำนวนซ้ำในการทดลองที่เหมาะสมควรมีจำนวนอย่างน้อย 2 ซ้ำ

2.2.4 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง

สุ่มเก็บตัวอย่างน้ำตาลสดจากต้นมะพร้าว ในอำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม โดยในขั้นตอนการเก็บเกี่ยว เริ่มจากล้างทำความสะอาดกระบอกลวดที่ใช้รองรับน้ำตาลสด ตามการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ในข้อ 2.2.1 โดยใช้น้ำดื่ม น้ำกลอง และน้ำประปา ชุมชน คั่วทิ้งไว้ให้แห้ง หลังจากนั้นเติมไม้พะยอมประมาณ 3 กรัมต่อกระบอกลวดและเติมสารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้น 1,189 ppm ปริมาณ 5 มิลลิลิตรต่อกระบอกลวด ซึ่งในช่วงที่ทำการทดลองเดือนกันยายน-ตุลาคม ปริมาณน้ำตาลที่เก็บเกี่ยวได้ประมาณ 300-500 มิลลิลิตร นำกระบอกลวดไปแขวนที่วงของต้นมะพร้าวน้ำหอม เป็นเวลานาน 12 ชั่วโมง โดยใช้พลาสติกคลุมปากกระบอกลวดเพื่อป้องกันแมลง มด และน้ำฝน เมื่อครบเวลานำน้ำตาลสดที่ได้มากรอง เพื่อแยกสิ่งเจือปนออก เช่น มด แมลง เศษไม้พะยอม เป็นต้น ต่อมาจำลองสถานการณ์การจัดเก็บที่อุณหภูมิตามที่ได้ออกแบบไว้แล้วข้างต้น สำหรับสถานะอุณหภูมิทำให้น้ำไหลตลอดทดลองเช่นน้ำแข็งที่บรรจุอยู่ในกล่องโฟมเพื่อควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ จากนั้นที่เวลา 0, 4 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ นำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำตาลสด

2.2.5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำตาลสด ประกอบด้วย

- 1) ความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่อง pH meter (AOAC, 2000)
- 2) ค่าความหวาน พิจารณาจากปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยใช้เครื่อง Refractometer (AOAC, 2000)

2.2.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

นำผลการทดลองที่ได้ไปหาสถานะที่เหมาะสมในการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสด โดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 16

2.3 ออกแบบและวางแผนการทดลองโดยใช้แฟกทอเรียล (Factorial Design Experiment)

2.3.1 กำหนดปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

จากผลการทดลองตามข้อ 2.2 ปรับระดับของปัจจัยให้เหมาะสมยิ่งขึ้น โดยพิจารณาว่าเกษตรกรและโรงงานสามารถปฏิบัติตามระดับของปัจจัยในพื้นที่ได้จริง จากนั้นออกแบบการทดลองทางสถิติ แบบ 2^3 แฟกทอเรียล ซึ่งมีปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง น้ำที่ใช้ทำความสะอาดกระบอกล้างน้ำตาลสด และชนิดของสารกันเสีย ปัจจัยละ 2 ระดับ ดังตารางที่ 10 ประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด 8 การทดลอง ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 10 การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟกทอเรียล

ปัจจัยที่ศึกษา	ระดับของปัจจัย	
	1	2
1.อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง	$\leq 10^{\circ}\text{C}$ (L)	$21-30^{\circ}\text{C}$ (H)
2.การล้างทำความสะอาดกระบอกล้าง	น้ำประปาชุมชน (T)	น้ำคลอง (C)
3.ชนิดของสารกันเสีย	ไม้วะยอม (P)	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ (S)

ตารางที่ 11 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่กำหนดในการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียล

ชุดการทดลอง	อักษรย่อของสภาวะการทดลอง	ปัจจัยที่ศึกษา		
		อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง	การล้างทำความสะอาดกระบอกล้าง	ชนิดของสารกันเสีย
1	LCS	$\leq 10^{\circ}\text{C}$	น้ำคลอง	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$
2	LCP	$\leq 10^{\circ}\text{C}$	น้ำคลอง	ไม้วะยอม
3	LTS	$\leq 10^{\circ}\text{C}$	น้ำประปาชุมชน	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$
4	LTP	$\leq 10^{\circ}\text{C}$	น้ำประปาชุมชน	ไม้วะยอม
5	HCS	$21-30^{\circ}\text{C}$	น้ำคลอง	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$
6	HCP	$21-30^{\circ}\text{C}$	น้ำคลอง	ไม้วะยอม
7	HTS	$21-30^{\circ}\text{C}$	น้ำประปาชุมชน	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$
8	HTP	$21-30^{\circ}\text{C}$	น้ำประปาชุมชน	ไม้วะยอม

2.3.2 กำหนดสมมติฐานการทดลอง

การกำหนดสมมติฐานการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ สมมติฐานกรณีทดสอบปัจจัยหลัก (Test of Main Factors) และสมมติฐานกรณีทดสอบปัจจัยร่วม (Test of Interaction Factors) ซึ่งในการทดลองนี้มีตัวแปรตอบสนอง 2 ค่า ได้แก่ ค่าพีเอช และค่าความหวาน โดยมีรายละเอียดการตั้งสมมติฐานดังต่อไปนี้

2.3.2.1 สมมติฐานในการทดลองเกี่ยวกับค่าพีเอช

การกำหนดสมมติฐานของการค่าพีเอชสำหรับทดสอบปัจจัยหลัก (Test of Main Factors) และสมมติฐานกรณีทดสอบปัจจัยร่วม (Test of Interaction Factors) ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 สมมติฐานในการทดลองเกี่ยวกับค่าพีเอช สำหรับการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียล

ปัจจัยที่ศึกษา	สมมติฐานหลัก (H_0)	สมมติฐานรอง (H_1)
กรณีทดสอบอิทธิพลของปัจจัยหลัก		
1. อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง	อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งไม่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสด	อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งมีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสดอย่างมีนัยสำคัญ
2. การล้างทำความสะอาดกระบอกล้าง	การล้างทำความสะอาดกระบอกล้างไม่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสด	การล้างทำความสะอาดกระบอกล้างมีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสดอย่างมีนัยสำคัญ
3. ชนิดของสารกันเสีย	ชนิดของสารกันเสียไม่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสด	ชนิดของสารกันเสียมีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสดอย่างมีนัยสำคัญ
กรณีทดสอบอิทธิพลของปัจจัยร่วม		
1. อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง และการล้างทำความสะอาดกระบอกล้าง	ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง และการล้างทำความสะอาดกระบอกล้าง	ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง และการล้างทำความสะอาดกระบอกล้าง

ตารางที่ 12 (ต่อ)

ปัจจัยที่ศึกษา	สมมติฐานหลัก (H_0)	สมมติฐานรอง (H_1)
กรณีทดสอบอิทธิพลของปัจจัยร่วม		
1. อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง และการล้างทำความสะอาดกระบอ (ต่อ)	ไม่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสด	มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสดอย่างมีนัยสำคัญ
2. อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง และชนิดของสารกันเสีย	ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง และชนิดของสารกันเสียไม่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสด	ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง และชนิดของสารกันเสียมีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสดอย่างมีนัยสำคัญ
3. การล้างทำความสะอาดกระบอ และชนิดของสารกันเสีย	ปัจจัยร่วมระหว่างการล้างทำความสะอาดกระบอ และชนิดของสารกันเสียไม่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสด	ปัจจัยร่วมระหว่างการล้างทำความสะอาดกระบอ และชนิดของสารกันเสียมีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสดอย่างมีนัยสำคัญ
4. อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง การล้างทำความสะอาดกระบอ และชนิดของสารกันเสีย	ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง การล้างทำความสะอาดกระบอ และชนิดของสารกันเสียไม่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสด	ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง การล้างทำความสะอาดกระบอ และชนิดของสารกันเสียมีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสดอย่างมีนัยสำคัญ

2.3.2.2 สมมติฐานในการทดลองเกี่ยวกับค่าความหวาน

การกำหนดสมมติฐานของค่าความหวานสำหรับทดสอบปัจจัยหลัก (Test of Main Factors) และสมมติฐานกรณีทดสอบปัจจัยร่วม (Test of Interaction Factors) คล้ายกับการกำหนดสมมติฐานของการค่าพีเอช จึงยกตัวอย่างเฉพาะปัจจัยด้านอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ตัวอย่างสมมติฐานในการทดลองเกี่ยวกับค่าความหวาน

ปัจจัยที่ศึกษา	สมมติฐานหลัก (H_0)	สมมติฐานรอง (H_1)
1. อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง	อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งไม่มีอิทธิพลต่อค่าความหวานของน้ำตาลสด	อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งมีอิทธิพลต่อค่าความหวานของน้ำตาลสดอย่างมีนัยสำคัญ

2.3.3 การกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม

การเลือกขนาดตัวอย่างหรือจำนวนซ้ำ (n) ที่เหมาะสมของการทดลอง โดยกำหนดระดับนัยสำคัญ มีค่าเท่ากับ 0.05 และต้องการที่จะปฏิเสธสมมติฐานที่ความน่าจะเป็น (Power of Test) 0.95 จากผลการทดลองเบื้องต้นในข้อ 2.1 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าพีเอชเป็น 0.1443 และมีความแตกต่างของค่าพีเอช เท่ากับ 0.35 จากนั้นคำนวณตัวอย่างที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 16 (ภาพในภาคผนวกที่ ก3 และ ก4) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า จำนวนตัวอย่างหรือจำนวนซ้ำในการทดลองที่เหมาะสมควรมีจำนวนอย่างน้อย 2 ซ้ำ เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง การทดลองครั้งนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้จำนวนการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

2.3.4 การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดลอง

การเตรียมตัวอย่างน้ำตาลสดจากต้นมะพร้าวคล้ายกับการเตรียมตัวอย่างในการทดลองด้วยวิธีทาคุชิ แต่ปรับระดับของปัจจัยตามการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ในข้อ 2.3.1 และเวลาในการรอคอยเพิ่มขึ้นเป็น 10 ชั่วโมง เนื่องจากผลการทดลองด้วยวิธีทาคุชิที่เวลา 8 ชั่วโมง มีการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชและค่าความหวานเพียงเล็กน้อย รวมถึงเพื่อรองรับการเพิ่มขึ้นของผู้ส่งมอบวัตถุดิบ ซึ่งอาจทำให้บริษัทกรณีศึกษาไม่สามารถรับส่งน้ำตาลสดได้ทันภายใน 8 ชั่วโมง จากนั้นหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 0, 4, 8 และ 10 ชั่วโมง นำตัวอย่างไปวิเคราะห์คุณภาพน้ำตาลสด

2.3.5 การวิเคราะห์คุณภาพน้ำตาลสด

ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตาลสด ทำการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและทางเคมี ดังนี้

2.3.5.1 คุณภาพทางกายภาพ ประกอบด้วย

- 1) สี สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้นด้วยตาเปล่า
- 2) กลิ่น สังเกตการเปลี่ยนแปลงโดยการดมกลิ่นด้วยจมูก
- 3) ปริมาณฟองก๊าซที่เกิดขึ้น โดยใช้ไม้บรรทัดวัดความสูงของฟองเหนือพื้นผิว

2.3.5.2 คุณภาพทางเคมี วิเคราะห์เหมือนกับการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทางสถิติ ในข้อ 2.2.5

2.3.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

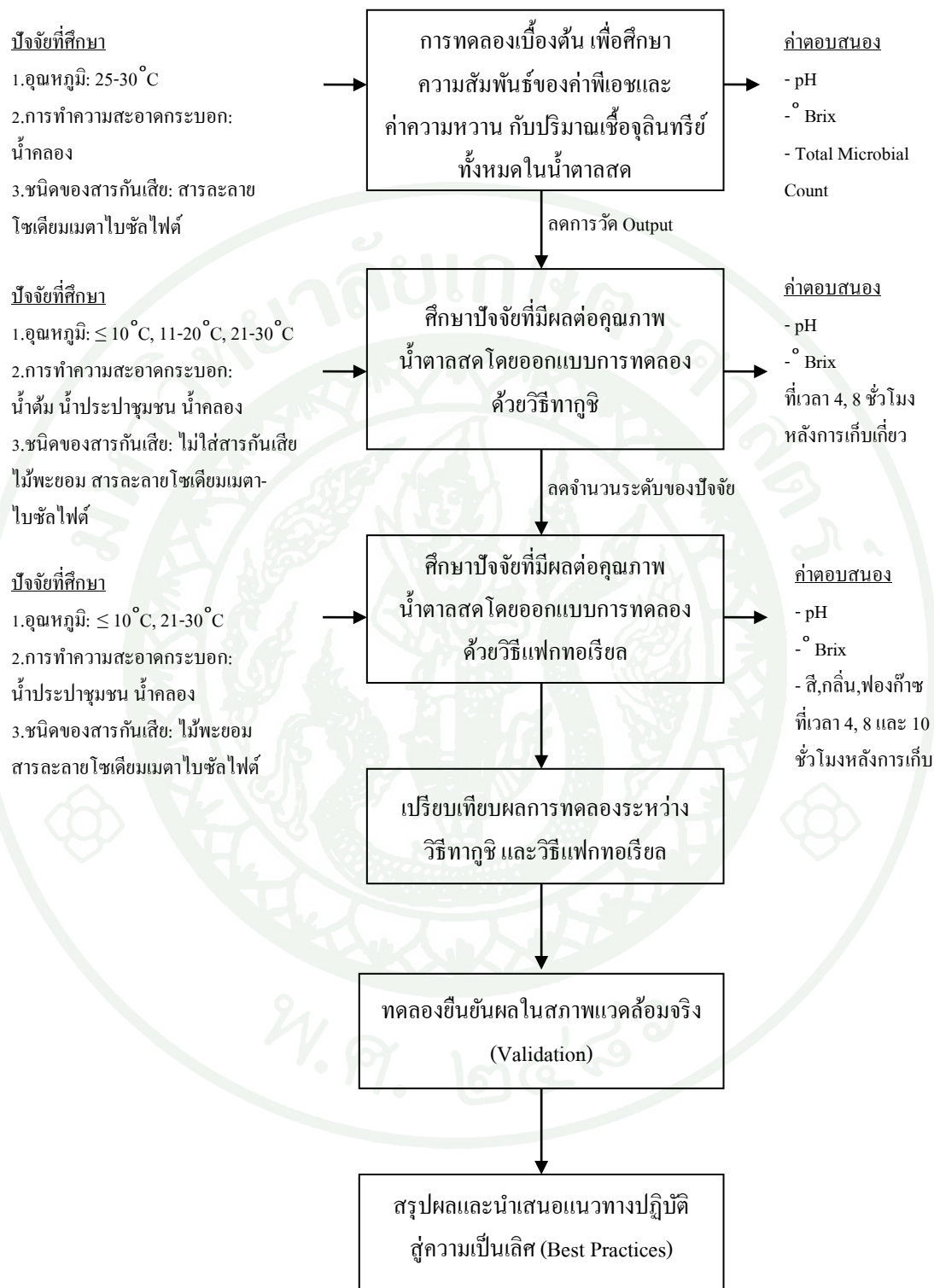
นำข้อมูลที่ได้จากการทดลองแบบแฟกทอเรียล มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Tukey's Test จากโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab รุ่น 16 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

2.4 เปรียบเทียบผลการทดลองการหาสถานะที่เหมาะสมของการจัดการคุณภาพน้ำตาลสดจาก 2 วิธี

2.5 นำปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำตาลสดจากการทดลอง มาทดลองอีกครั้งในสถานะการปฏิบัติงานจริงของเกษตรกรและโรงงาน เพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้

2.6 สรุปผลและนำเสนอแนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศ (Best Practices) เพื่อพัฒนาคุณภาพของน้ำตาลสดให้แก่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน

จากทดลองที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปขั้นตอนการทดลองได้ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ขั้นตอนการศึกษาหาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำตาลสด

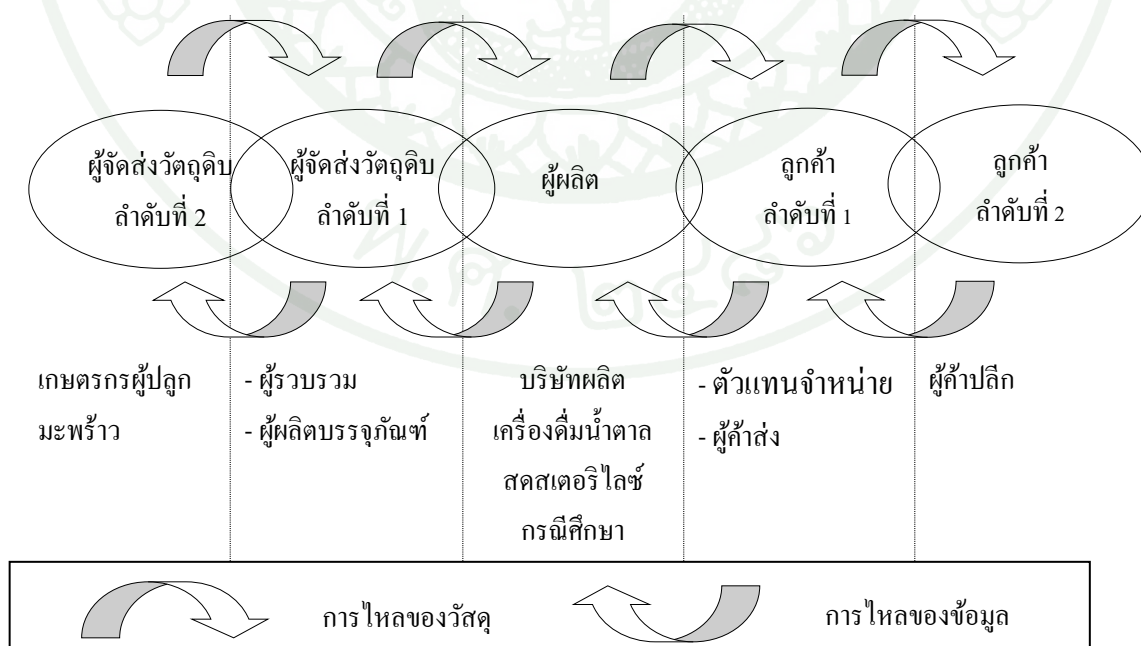
ผลและวิจารณ์

ผลการศึกษาแนวทางในการพัฒนาคุณภาพของน้ำตาลสด ประกอบด้วย 2 ส่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. การศึกษาสถานการณ์ในปัจจุบันและรูปแบบการดำเนินงานของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อปรับปรุงกระบวนการโซ่อุปทาน โดยใช้แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน (SCOR Model)

1.1 โครงสร้างโซ่อุปทานของบริษัทผู้ผลิตเครื่องคั้นน้ำตาลสดสเตอริไลซ์

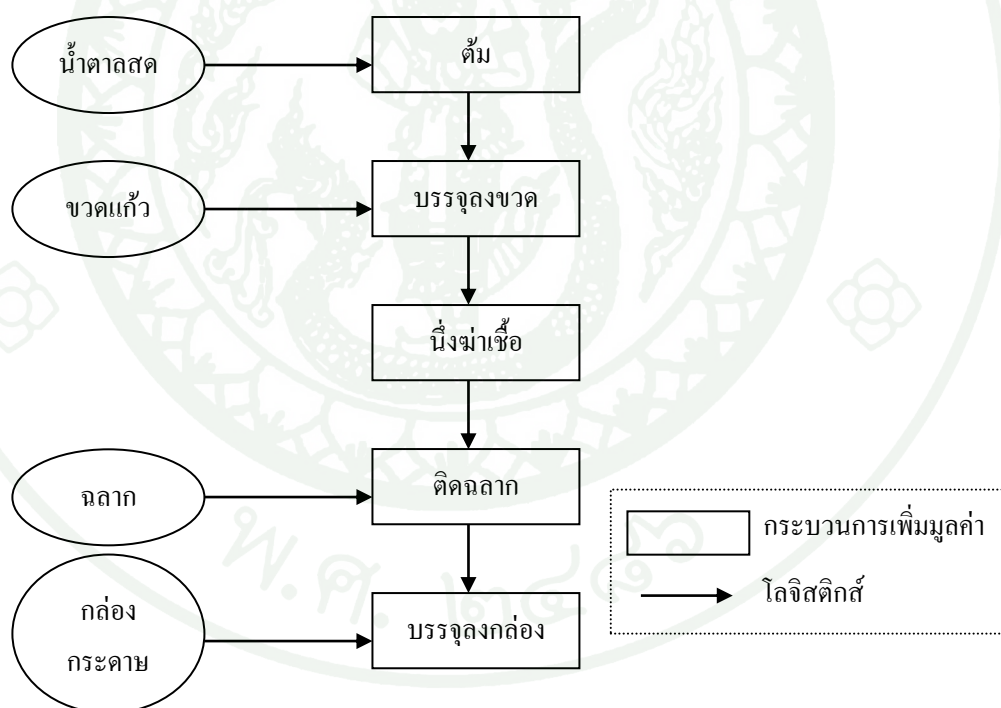
โครงสร้างโซ่อุปทานของบริษัทผู้ผลิตเครื่องคั้นน้ำตาลสดสเตอริไลซ์ เริ่มจากเกษตรกรผู้ปลูกมะพร้าวพันธุ์น้ำหอมและพันธุ์ตาล ผู้รวบรวมน้ำตาลสด ผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์ เป็นผู้จัดส่งวัตถุดิบให้กับบริษัทผู้ผลิตกรณีศึกษา วัตถุดิบจะถูกผลิตและแปรรูปเป็นเครื่องคั้นน้ำตาลสดสเตอริไลซ์ หลังจากนั้นสินค้าจะถูกจำหน่ายให้กับผู้ค้าส่งและผู้ค้าปลีก เพื่อกระจายสินค้าสู่ผู้บริโภคขั้นสุดท้าย นอกจากนี้สินค้าบางส่วนจะถูกกระจายสินค้าผ่านตัวแทนจำหน่ายและจำหน่ายให้กับผู้บริโภคในประเทศ ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 โครงสร้างโซ่อุปทานของบริษัทผู้ผลิตเครื่องคั้นน้ำตาลสดสเตอริไลซ์

1.2 กระบวนการเพิ่มมูลค่า (Value Added Process) ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดสเตอริไลซ์

กระบวนการผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดสเตอริไลซ์ของบริษัทกรณีศึกษา เริ่มจากการนำวัตถุดิบน้ำตาลสดซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก ที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพเข้าสู่ขั้นตอนการต้ม ในขั้นตอนการต้มมีการควบคุมอุณหภูมิ เวลา และคุณสมบัติต่างๆ ให้ตรงตามมาตรฐานสินค้า ต่อมาน้ำตาลสดที่ผ่านการต้มจะเข้าสู่ขั้นตอนการบรรจุขวดด้วยเครื่องบรรจุขวด ซึ่งขวดที่ใช้ในการบรรจุนั้นต้องสะอาดและผ่านการตรวจสอบคุณภาพ น้ำตาลสดที่บรรจุขวดแล้วจะนำไปนึ่งฆ่าเชื้อแบบสเตอริไลซ์ที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นตั้งทิ้งไว้จนขวดมีอุณหภูมิปกติก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการติดฉลาก บรรจุลงกล่อง และเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปเข้าคลังสินค้า เพื่อรอการจำหน่ายให้ตัวแทนจำหน่ายหรือผู้ค้าส่งต่อไป ดังภาพที่ 10

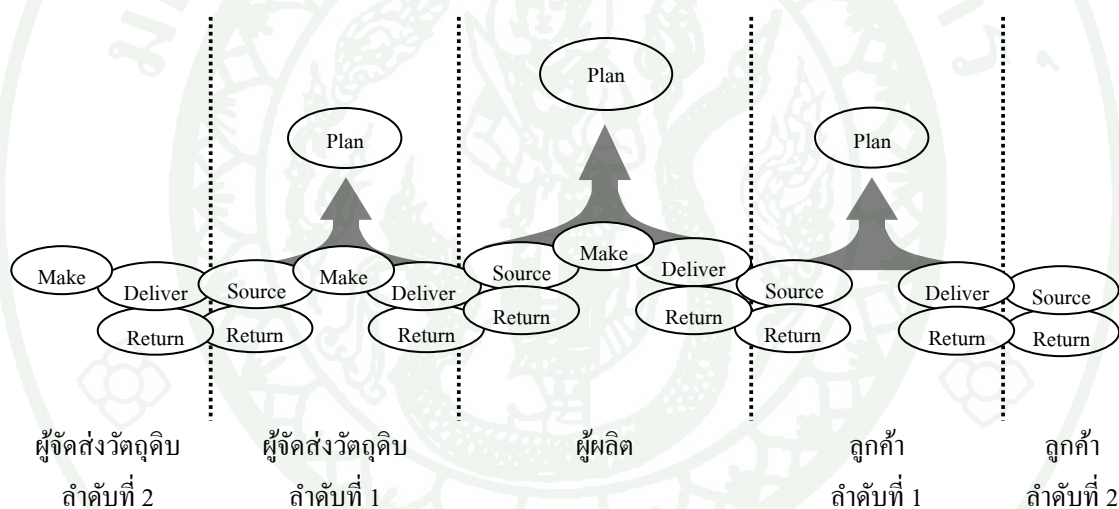


ภาพที่ 10 กระบวนการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำตาลสดสเตอริไลซ์

1.3 การวิเคราะห์แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานของบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดสเตอริไลซ์

1.3.1 แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานระดับที่ 1

แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน (SCOR Model) ระดับที่ 1 แสดงภาพรวมของโซ่อุปทานในการผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดสเตอริไลซ์ ประกอบด้วย ผู้จัดส่งวัตถุดิบลำดับที่ 2 ผู้จัดส่งวัตถุดิบลำดับที่ 1 บริษัทกรณีศึกษา ลูกค้านำเข้าลำดับที่ 1 และลูกค้านำเข้าลำดับที่ 2 ซึ่งในแต่ละหน่วยงานดำเนินกิจกรรมหลักในโซ่อุปทาน ได้แก่ การวางแผน การจัดหา การผลิต การส่งสินค้า การรับ/ส่งคืนวัตถุดิบและสินค้า เป็นต้น ยกเว้นลูกค้าที่ไม่มีการผลิต ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน ระดับที่ 1 ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดสเตอริไลซ์

รายละเอียดของกิจกรรมหลักในโซ่อุปทานตามแบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน (SCOR Model) เป็นดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 กิจกรรมหลักในโซ่อุปทานตามแบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานของ
บริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดเตอริไลซ์

กิจกรรม	รายละเอียด
การวางแผน (Plan)	- การวางแผนเพื่อกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานการรับคำสั่งซื้อจากลูกค้า ขั้นตอนการรับเข้าวัตถุดิบ การส่งมอบผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปให้กับลูกค้า การตลาดและการกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาด และการตรวจประเมินผู้จัดส่งวัตถุดิบ - การพยากรณ์แผนล่วงหน้า (Forecasting) และการกำหนดเป้าหมายในการดำเนินธุรกิจในอนาคต วิเคราะห์แนวโน้มความเปลี่ยนแปลง รวมถึงผลกระทบต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้น
การจัดหา (Source)	- กำหนดคุณลักษณะ (Specification) ของวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ที่ต้องการ และจัดซื้อให้ได้ตามกำหนดและทันต่อการผลิต - การกำหนดวิธีการตรวจสอบ เกณฑ์ในการตรวจรับวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ตามคุณลักษณะที่กำหนด - การระบุและเลือกแหล่งในการจัดหาวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการผลิต - การจัดหาวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์แหล่งใหม่
การผลิต (Make)	- การกำหนดตารางการผลิต การเตรียมการผลิต การสั่งผลิต จัดเก็บและส่งมอบสินค้า - การเตรียมการผลิต ตั้งแต่การเตรียมวัตถุดิบและบรรจุภัณฑ์ การกำหนดระยะเวลาในการผลิต รวมถึงการเตรียมและปรับตั้งเครื่องจักรให้เหมาะสมกับการผลิต - การดำเนินการผลิตตั้งแต่วัตถุดิบจนผลิตเป็นสินค้าสำเร็จรูป - การตรวจสอบและควบคุมคุณภาพการผลิต ให้สอดคล้องกับมาตรฐานคุณภาพสินค้า - การบันทึกข้อมูลการผลิต การตรวจสอบ และการควบคุมคุณภาพ - การปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องเพื่อประสิทธิภาพและประสิทธิผลการผลิตสูงขึ้น

ตารางที่ 10 (ต่อ)

กิจกรรม	รายละเอียด
การส่งมอบสินค้า (Delivery)	- การดูแลรักษาสินค้าตั้งแต่คลังสินค้าจนส่งมอบให้กับลูกค้า - การจัดสินค้าตามแผนการการส่งมอบ ตรวจสอบจำนวนสินค้าและเอกสารที่เกี่ยวข้อง - การจัดรถขนส่งสินค้า
การคืนวัตถุดิบ และการรับคืนสินค้าสำเร็จรูป (Return)	- การกำหนดขั้นตอนและช่องทางการรับคืนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ตามข้อกำหนด - การตรวจสอบสภาพ วันหมดอายุ ตรวจสอบจำนวนหรือปริมาณในการรับคืนสินค้า - การดำเนินการด้านเอกสารในการรับคืน รวมถึงการเรียกคืนสินค้ากรณีที่มีปัญหาเกิดขึ้น - การดำเนินการกับสินค้าภายหลังการรับคืน ภายหลังการวิเคราะห์หาสาเหตุ

1.3.2 แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานระดับที่ 2 ในสถานะปัจจุบัน (As-Is)

การวิเคราะห์แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานในระดับที่ 2 เป็นการวิเคราะห์โครงสร้างหลักของโซ่อุปทานจากกิจกรรมหลักทั้ง 5 ของโซ่อุปทาน โดยเริ่มจากพิจารณาตามแผนที่ทางภูมิศาสตร์ของโซ่อุปทานผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดสเตอริไลซ์ แสดงดังภาพที่ 12

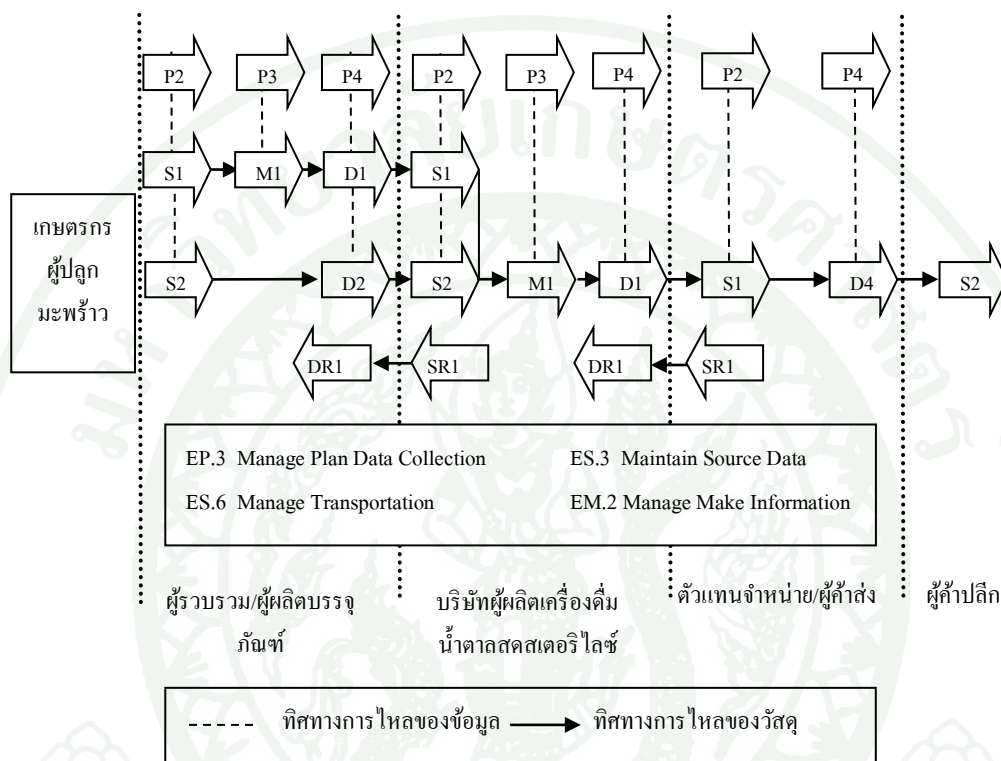
จากภาพที่ 12 จะเห็นได้ว่าบริษัท มีการจัดหาวัตถุดิบน้ำตาลสดซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักจากแหล่งผลิตภายในจังหวัด ทำให้มีเวลานำน้อย แม้ว่าจะระยะเวลาในการขนส่งวัตถุดิบเป็นเวลานานๆ แต่วัตถุดิบน้ำตาลสดสามารถเสื่อมเสียได้ง่าย หากระยะเวลาที่ใช้รอรับซื้อน้ำตาลสดนานเกินไป หรือจัดเก็บในสถานะที่ไม่เหมาะสมในระหว่างขนส่ง เช่น อุณหภูมิสูง เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการจัดเส้นทางรับส่งวัตถุดิบน้ำตาลสดให้เหมาะสม และขนส่งน้ำตาลสดมายังโรงงานซึ่งจากการเก็บข้อมูลของบริษัท พบว่า ปัจจุบันระยะเวลาที่ใช้ในการรวบรวมน้ำตาลสดใช้เวลาไม่เกิน 8-10 ชั่วโมง สำหรับการเคลื่อนย้ายของสินค้าสำเร็จรูป บริษัทมีการจัดจำหน่ายตลาดในประเทศ ในทุกภูมิภาค ยกเว้นภาคเหนือ และจำหน่ายตลาดต่างประเทศ ได้แก่ แคนาดา



ภาพที่ 12 แผนที่ทางภูมิศาสตร์ของโซ่อุปทานของบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดเตอริไลซ์

หลังจากนั้นสร้างแบบจำลองอ้างอิงกระบวนการของโซ่อุปทานระดับที่ 2 ในปัจจุบัน ตามกระบวนการใน 3 มิติ ประกอบด้วย มิติกิจกรรมหลัก (SCOR Process) มิติประเภทกระบวนการ (Process Type) และมิติประเภทการผลิต (Process Category) โดยเริ่มจากนำมิติกิจกรรมหลัก ได้แก่ การวางแผน การจัดหา การผลิต การส่งสินค้า การรับ/ส่งคืนวัตถุดิบและสินค้าจากแบบจำลองอ้างอิงกระบวนการของโซ่อุปทานระดับที่ 1 มาระบุกิจกรรมตามมิติกระบวนการ ทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ การวางแผน ซึ่งประกอบด้วย การวางแผนจัดหา (P2) การวางแผนผลิต (P3) และการวางแผนส่งมอบ (P4) การปฏิบัติการ ประกอบด้วย การจัดหา (S) การผลิต (M) การส่งมอบ (D) และการรับ/ส่งคืนวัตถุดิบและสินค้า (SR/DR) จากนั้นระบุตัวเลขหลังตัวอักษรเพื่อบ่งบอกมิติประเภทการผลิตของกิจกรรมนั้น แบ่งได้ 3 ประเภท คือ หมายเลข 1 แทนการจัดเก็บ หมายเลข 2 แทนการ

ทำตามคำสั่งซื้อ และ หมายเลข 3 แทนการออกแบบตามคำสั่งซื้อ เช่น S1 หมายถึง การจัดหาเพื่อจัดเก็บไว้รอผลิต S2 หมายถึง การจัดหาเพื่อนำไปผลิตตามคำสั่งซื้อ และ S3 หมายถึง การจัดหาวัตถุดิบที่ออกแบบตามคำสั่งซื้อ เป็นต้น และส่วนการสนับสนุน (Enable: E) ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานระดับที่ 2 ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องคัมน้ำตาลสดสเตอร์ไลซ์ในสภาวะปัจจุบัน (As-Is)

จากภาพที่ 13 สามารถวิเคราะห์โครงสร้างของโซ่อุปทานตั้งแต่ผู้ผลิตวัตถุดิบจนถึงลูกค้าตามมิติกระบวนการ ได้ดังนี้

1) การวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบการวางแผน (Planning)

การวางแผนของบริษัท ประกอบด้วย การวางแผนด้านการจัดหาวัตถุดิบ (Plan Source: P2) การวางแผนด้านการผลิต (Plan Make: P3) และการวางแผนด้านการส่งมอบ (Plan Deliver: P4) โดยเริ่มจากเมื่อได้รับแจ้งยอดสินค้าจากฝ่ายขาย ฝ่ายวางแผนจึงทำการวางแผนด้านการผลิตและส่ง

มอบสินค้า โดยพิจารณาพร้อมกับกำลังการผลิตของเครื่องจักร ปริมาณวัตถุดิบที่มีอยู่ในคลังสินค้า จากนั้นจึงวางแผนด้านการจัดหาวัตถุดิบ

2) การวิเคราะห์องค์ประกอบการปฏิบัติการ (Execution)

ผู้ผลิตวัตถุดิบของบริษัทกรณีศึกษา ประกอบด้วย เกษตรกร ผู้รวบรวม และผู้ผลิตบรรจุภัณฑ์ สำหรับวัตถุดิบน้ำตาลสดนั้นส่วนใหญ่ทางบริษัทรับซื้อจากเกษตรกรโดยตรง มีเพียงบางส่วนที่รับซื้อจากผู้รวบรวม ซึ่งเกษตรกรมีการผลิตและจัดส่งให้กับบริษัทตามคำสั่งซื้อ สำหรับผู้รวบรวมมีการจัดหาน้ำตาลสดจากเกษตรกรแบบตามคำสั่งซื้อ (Source Make to Order Product: S2) จากนั้นจัดส่งให้กับบริษัทตามคำสั่งซื้อ (Deliver Make to Order Product: D2) เนื่องจาก น้ำตาลสดเน่าเสียได้ง่ายจึงต้องจัดเก็บในห้องเย็น ผู้รวบรวมส่วนใหญ่ไม่มีห้องเย็นจึงไม่นิยมจัดเก็บน้ำตาลสดไว้ล่วงหน้า ผู้รวบรวมจะไม่มีการผลิตน้ำตาลสดเป็นเพียงผู้รวบรวมน้ำตาลสดจากเกษตรกรรายต่างๆ เท่านั้น ส่วนวัตถุดิบบรรจุภัณฑ์ เช่น ขวดแก้ว มีการผลิต และจัดส่งให้กับบริษัทแบบจัดเก็บ

ในการจัดหาวัตถุดิบของทางบริษัท ประกอบด้วย น้ำตาลสด และบรรจุภัณฑ์ ซึ่งมีการจัดหาแบบเก็บไว้เพื่อรอผลิต (Source Stocked Product: S1) ยกเว้นการหาน้ำตาลสดจากผู้รวบรวมเป็นการจัดหาตามคำสั่งซื้อ (Source Make to Order Product: S2) วัตถุดิบน้ำตาลสดเป็นวัตถุดิบที่มีความเป็นฤดูกาล บริษัทผู้ผลิตจึงต้องมีการจัดเก็บวัตถุดิบเพื่อให้มีปริมาณวัตถุดิบเพียงพอสำหรับผลิตตลอดทั้งปี โดยปริมาณที่จัดหาวัตถุดิบน้ำตาลสดได้นั้นขึ้นอยู่กับปริมาณวัตถุดิบที่จัดหาได้ ปริมาณวัตถุดิบในคลังสินค้าและยอดขาย ในการจัดหาวัตถุดิบน้ำตาลสดนั้นต้องคำนึงถึงคุณภาพของน้ำตาลสด เช่น ค่าความหวาน ค่าฟิโอส ซี กลิ่น และรสชาติ เป็นต้น สำหรับการรับซื้อน้ำตาลสดทางบริษัท จะเป็นผู้ขนส่งวัตถุดิบน้ำตาลสดจากสวนมายังโรงงาน โดยจัดรถกระบะ 4 ล้อ แบบเปิด ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งบรรทุกถังขนาด 200 ลิตร ไปรับวัตถุดิบน้ำตาลสดจากเกษตรกร วัตถุดิบจะถูกตรวจสอบด้วยพนักงานควบคุมคุณภาพที่ไปพร้อมรถ ซึ่งมีการจัดส่งวัตถุดิบคืนเกษตรกรน้อยมาก เนื่องจากปัญหาปริมาณวัตถุดิบน้ำตาลสดที่จัดหาได้ไม่เพียงพอกับความต้องการของตลาด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อวัตถุดิบน้ำตาลสดเข้าสู่กระบวนการผลิตจะถูกปรับสูตรการผลิตอีกครั้งเพื่อให้สินค้าสำเร็จรูปมีคุณภาพสม่ำเสมอในทุกกระบวนการผลิต แต่สำหรับบรรจุภัณฑ์ ถ้าวัตถุดิบไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด ทางบริษัทจะจัดส่งวัตถุดิบคืน (Return Defective Product: DR1)

ขั้นตอนต่อมาวัตถุดิบจะถูกส่งไปยังกระบวนการผลิต ซึ่งบริษัท มีการผลิตแบบ จัดเก็บ (Make to Stock: M1) สำหรับรอกจำหน่าย การที่บริษัทใช้ระบบการผลิตแบบจัดเก็บนี้ก็ เพื่อให้สามารถมีสินค้าไว้จำหน่ายลูกค้าได้ตลอดเวลา ป้องกันความผันผวนและรองรับความต้องการของลูกค้าที่เพิ่มมากขึ้น เพื่อให้เกิดกำไรและป้องกันการเสียโอกาสในการขาย อีกทั้งระบบ นี้จะใช้เวลาในการผลิตต่ำ ทำให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เร็ว แต่ทำให้ต้อง มีการเก็บสินค้าคงคลังไว้เป็นจำนวนมาก ซึ่งทางบริษัท จะต้องพิจารณาพื้นที่ในการจัดเก็บที่มีอยู่ อย่างจำกัด เมื่อสินค้าสำเร็จรูปเข้าสู่คลังสินค้าแล้วก่อนการส่งมอบไปยังลูกค้า สินค้าสำเร็จรูปจะถูก เบิกจากคลังสินค้าตามใบสั่งซื้อ หลังจากนั้นสินค้าสำเร็จรูปจะถูกส่งไปยังตัวแทนจำหน่ายแบบ จัดเก็บ (Deliver Stocked Product: D1) เช่นกัน และส่งสินค้าสำเร็จรูปให้ผู้ค้าปลีกซึ่งเป็นการจัดส่ง แก่ผู้ค้าปลีก (Deliver Retail Product: D4)

3) การวิเคราะห์องค์ประกอบของส่วนสนับสนุน (Enable)

องค์ประกอบในการสนับสนุนงานในโซ่อุปทานของบริษัท ได้แก่ การเก็บข้อมูล ต่างๆ เช่น การวางแผนงาน (Manage Plan Data Collection: EP.3) การรวบรวมข้อมูลการจัดหา (Maintain Source Data: ES.3) และการรวบรวมข้อมูลการผลิต (Manage Make Information: EM.3) มีการเก็บแยกกันในแต่ละส่วนงาน และไม่นำข้อมูลมาใช้ประโยชน์ นอกจากนี้การจัดการขนส่ง วัตถุดิบ (Manage Transportation: ES.6) โดยการวางแผนเส้นทางและจัดเที่ยวรถรับวัตถุดิบน้ำตาล สดจากเกษตรกร

1.3.3 แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานระดับที่ 2 แนวทางในการพัฒนาที่ต้องการ จะเป็น (To-Be)

การพิจารณาโครงสร้างโซ่อุปทานในระดับที่ 2 สามารถสรุปประเด็นในการพัฒนา ได้ดังนี้ (ภาพที่ 14)

1) การเพิ่มเติมในส่วนการวางแผนโซ่อุปทาน (P1) เพื่อเชื่อมโยง เกษตรกร โรงงาน ผลิตวัตถุดิบ บริษัท และลูกค้าให้สอดคล้องกัน โดยการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ถูกต้องและจำเป็นทั้งใน และนอกองค์กร ด้วยการนำข้อมูลปริมาณน้ำตาลสดที่เก็บเกี่ยวได้จากเกษตรกร แผนการผลิตและ แผนการส่งมอบวัตถุดิบจากโรงงานผลิตวัตถุดิบอื่นๆ รวมถึงคำสั่งซื้อจากลูกค้ามาใช้ในการ

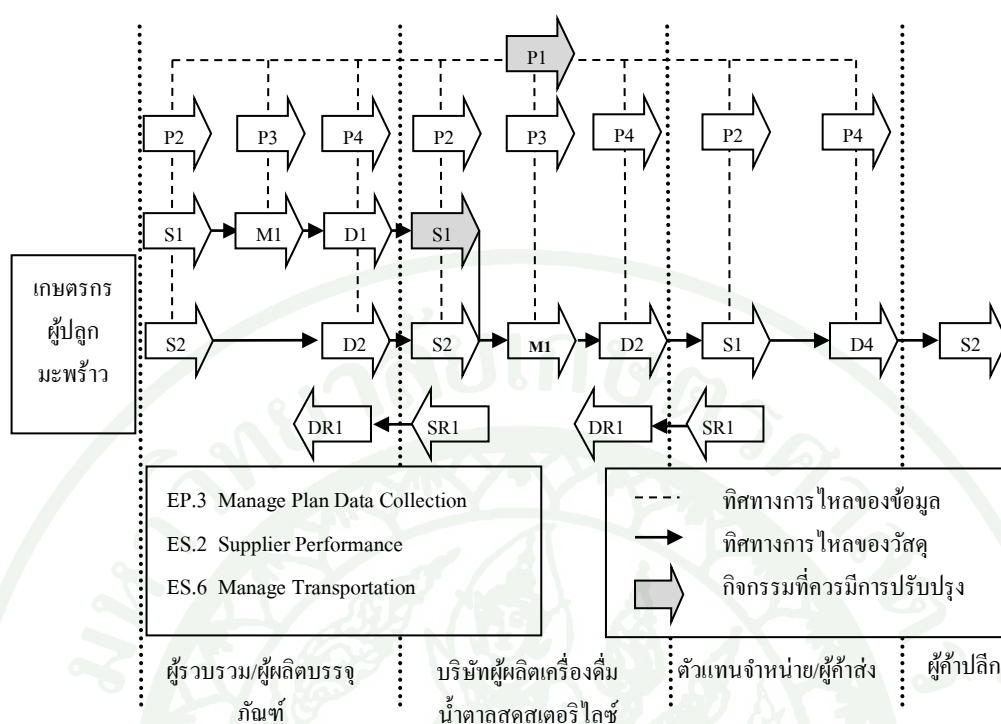
วางแผนของบริษัท เพื่อนำมาปรับปรุงการพยากรณ์ข้อมูล และการปรับปรุงแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบ แผนการผลิต และแผนการส่งมอบสินค้าให้แก่ลูกค้า

2) การปรับปรุงการจัดหาวัตถุดิบน้ำตาลสด (S1) ในขั้นตอนการจัดหาน้ำตาลสดนั้น พบปัญหาคุณภาพน้ำตาลสดไม่สม่ำเสมอ เกิดการเสื่อมเสียของน้ำตาลสดในขั้นตอนการจัดเก็บและขนส่งมายังโรงงาน ได้แก่ ความหวานของน้ำตาลสดลดลง สี กลิ่น และรสเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เป็นต้น เนื่องจากการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและการจัดเส้นทางและจัดเที่ยวรถรับวัตถุดิบน้ำตาลที่ไม่เหมาะสม

3) การนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมไว้ไปใช้ประโยชน์ (EP.3) เช่น นำข้อมูลต่างๆ ในอดีตไปวิเคราะห์เพื่อวางแผนการจัดหา การวางแผนการผลิต การวางแผนการส่งมอบ และการส่งข้อมูลที่จำเป็นให้กับผู้จัดส่งวัตถุดิบ เป็นต้น ซึ่งจะช่วยเพิ่มความถูกต้องและแม่นยำในการพยากรณ์ยอดขาย รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผน

4) การประเมินและคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบ (ES.2) ในปัจจุบันทางบริษัท ศึกษายังไม่มีการประเมินประสิทธิภาพของผู้ส่งมอบวัตถุดิบ โดยการจัดทำฐานข้อมูลของผู้ส่งมอบวัตถุดิบ ซึ่งควรมีการระบุชื่อผู้ส่งมอบ ปริมาณ และคุณภาพของน้ำตาลสดที่ส่งมอบ เพื่อจัดทำดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของผู้ส่งมอบวัตถุดิบ การประเมินและคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบจะทำให้บริษัทสามารถเล็งเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับผู้ส่งมอบ โดยเฉพาะเรื่องคุณภาพและปริมาณ รวมถึงสามารถแนะนำผู้ส่งมอบได้

5) การปรับปรุงการจัดเส้นทางและจัดเที่ยวรถรับวัตถุดิบน้ำตาล (ES.6) โดยปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แก้ปัญหาการจัดการรถขนส่งที่มีข้อจำกัดด้านเวลาให้เป็นปัจจุบันเพื่อให้สอดคล้องกับจำนวนผู้ส่งมอบและจำนวนรถขนส่งที่เพิ่มขึ้นจากเดิมที่มีการขนส่งน้ำตาลสด 2-3 รอบต่อวัน แต่ในปัจจุบันมีการขนส่งน้ำตาลสด 5-6 รอบต่อวัน การปรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำให้บริษัท ศึกษามีความสามารถวางแผนเส้นทางการรับวัตถุดิบได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ประหยัดต้นทุนขนส่ง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มคุณภาพน้ำตาลสดจากการลดระยะเวลาในการขนส่ง



ภาพที่ 14 แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานระดับที่ 2 ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องคั้นน้ำตาลสดเตอริไลซ์ในกิจกรรมที่ควรปรับปรุง (To-Be)

1.3.4 แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานระดับที่ 3

จากการวิเคราะห์แบบจำลองอ้างอิงโซ่อุปทานในระดับที่ 2 พบว่า บริษัท ควรดำเนินการปรับปรุง 2 กิจกรรมหลัก คือ การวางแผนโซ่อุปทาน (P1) และ การจัดหาเพื่อผลิตแบบจัดเก็บ (S1) รวมถึงนโยบายที่เป็นส่วนสนับสนุนกิจกรรมหลักทั้ง 3 ข้อ ได้แก่ การนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมไว้ไปใช้ประโยชน์ในการวางแผน (EP.3) การประเมินและคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบ (ES.2) และการปรับปรุงการจัดเส้นทางและจัดเที่ยวรถรับวัตถุดิบน้ำตาล (ES.6) โดยในที่นี้ขอยกตัวอย่างในกิจกรรมที่ควรปรับปรุงแก้ไขด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองอ้างอิงโซ่อุปทานระดับที่ 3 ดังนี้

1) กระบวนการจัดหาวัตถุดิบเก็บไว้เพื่อรอผลิต (Source Stocked Product: S1)

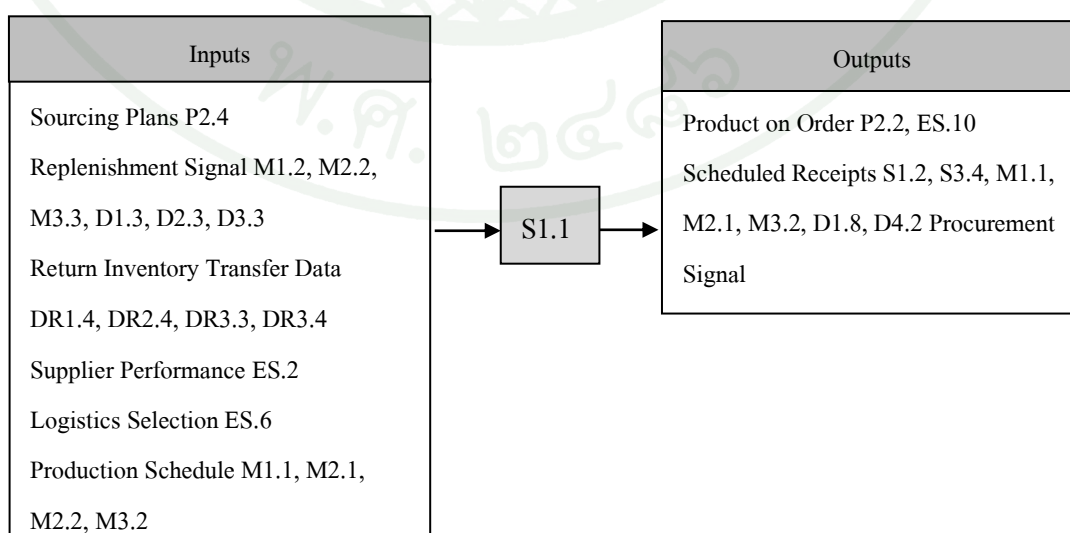
ประเด็นปัญหาที่เกิดกับการจัดหาวัตถุดิบเก็บไว้เพื่อรอผลิต (S1) ได้แก่ คุณภาพน้ำตาลสดไม่สม่ำเสมอ เกิดการเสื่อมเสียของน้ำตาลสดในขั้นตอนการจัดเก็บและขนส่งมายังโรงงาน เนื่องจากการจัดการหลังการเก็บเกี่ยว รวมถึงการจัดเส้นทางและจัดเที่ยวรถรับวัตถุดิบ

น้ำตาลที่ไม่เหมาะสม ซึ่งแบบจำลองอ้างอิงโซ่อุปทานได้แสดงมาตรฐานของกิจกรรมการส่งเสริมการจัดหา ประกอบด้วย ตารางเวลาของการส่งมอบสินค้า (S1.1) กระบวนการรับสินค้า (S1.2) กระบวนการตรวจสอบสินค้า (S1.3) กระบวนการถ่ายโอนสินค้า (S1.4) และการชำระเงินของผู้จัดส่งวัตถุดิบ (S1.5) ดังภาพที่ 15

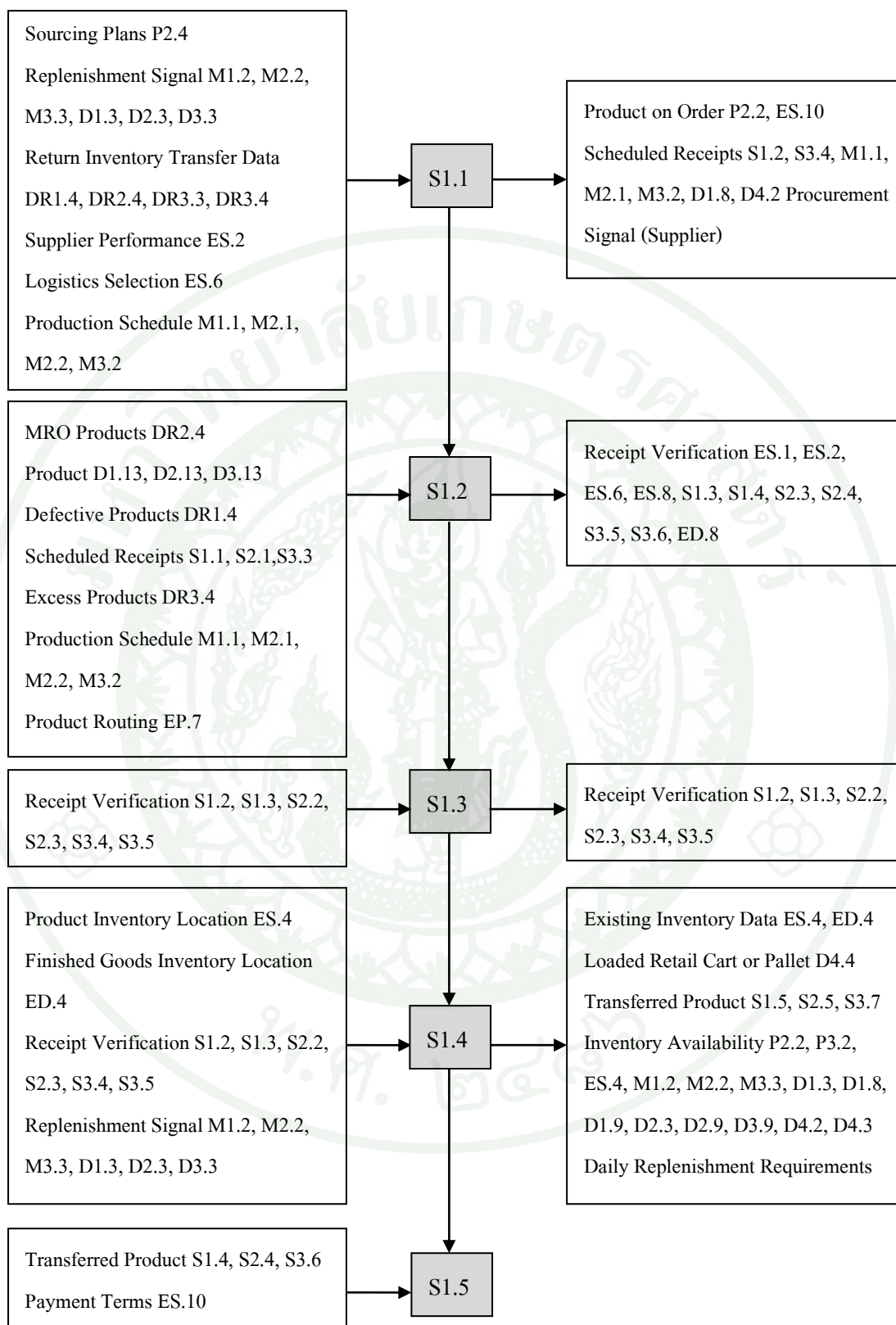
จากภาพที่ 15 ประเด็นที่อยู่ในความสนใจ คือ การจัดทำตารางการส่งมอบวัตถุดิบ (S1.1) และกระบวนการตรวจสอบสินค้า (S1.3) เนื่องจากการจัดหาของบริษัทกรณีศึกษานั้น มีการรับซื้อน้ำตาลสดจากเกษตรกรโดยจัดทำตารางรับซื้อน้ำตาลสดไปรับซื้อที่สวน ซึ่งในปัจจุบันสามารถรับซื้อน้ำตาลสดไม่เกิน 8-10 ชั่วโมง หลังจากที่เกษตรกรเก็บเกี่ยวเสร็จ นอกจากนี้ในการรับซื้อน้ำตาลสดจะมีเจ้าหน้าที่ไปตรวจสอบคุณภาพของน้ำตาลสดพร้อมกับรับซื้อวัตถุดิบ โดยทั้ง 2 กระบวนการมีรายละเอียด ดังนี้

1) การจัดทำตารางการส่งมอบวัตถุดิบ (S1.1)

ปัจจัยเข้า (Input) ของกิจกรรม ได้แก่ แผนการจัดหาวัตถุดิบ (Sourcing Plans) การเติมเต็มสินค้า (Replenishment Signal) ข้อมูลการถ่ายโอนสินค้าคงคลัง (Return Inventory Transfer Data) ประสิทธิภาพของผู้จัดส่งวัตถุดิบ (Supplier Performance) การเลือกระบบโลจิสติกส์ในการส่งมอบ (Logistics Selection) ตารางการผลิต (Production Schedule) และปัจจัยออก (Output) ของกิจกรรม ได้แก่ วัตถุดิบที่สั่งซื้อ (Product On Order) การกำหนดเวลารับเงิน (Scheduled Receipts) การส่งสัญญาณการสั่งซื้อจากผู้จัดส่งวัตถุดิบ (Procurement Signal) ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 ปัจจัยเข้าและปัจจัยออกของกิจกรรม S1.1



ภาพที่ 15 กระบวนการมาตรฐานในการจัดหาวัตถุดิบเก็บไว้เพื่อรอผลิต (Source Stocked Product: S1)

เมื่อพิจารณาจากปัจจัยขาเข้าในการดำเนินกิจกรรม (Input) เปรียบเทียบเกี่ยวกับการดำเนินการในปัจจุบันของบริษัท พบว่า บริษัท มีแผนการจัดหาวัตถุดิบ การประเมินวัตถุดิบที่ต้องใช้ รวมถึงมีการเลือกระบบโลจิสติกส์ในการส่งมอบ โดยการจัดเส้นทางและจัดเที่ยวรับวัตถุดิบ น้ำตาลสดจากผู้จัดส่งวัตถุดิบ แต่ยังขาดประสิทธิภาพและขาดการใช้ข้อมูลจาก 4 ปัจจัย ได้แก่ นโยบายในการเติมเต็มสินค้า ข้อมูลการถ่ายโอนสินค้าคงคลัง การประเมินประสิทธิภาพของผู้ส่งมอบ และขาดการใช้ข้อมูลตารางการผลิต ดังนั้น ลำดับแรกควรปรับปรุงในส่วนของกิจกรรมการประเมินประสิทธิภาพของผู้ผลิตวัตถุดิบ (Supplier Performance: ES.2) แผนการจัดหาวัตถุดิบ (Sourcing Plans: P2.4) และการเลือกระบบโลจิสติกส์ ในการส่งมอบวัตถุดิบ (Logistics Selection: ES.6) โดยแบบจำลองอ้างอิงโซ่อุปทานได้เสนอแนะให้วัดสมรรถนะที่จำเป็นใน 5 ด้าน และวิธีการปฏิบัติที่ดีที่สุด (Best Practice) เพื่อปรับปรุงกิจกรรม S1.1 ดังตารางที่ 15 และ 16 ตามลำดับ

ตารางที่ 15 ดัชนีชี้วัดสมรรถนะของกิจกรรม S1.1 ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดเตอรียาสูบ

มิติในการวัดสมรรถนะ	ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ
ความน่าเชื่อถือของโซ่อุปทาน (Supply Chain Reliability)	- สัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงแผนการส่งมอบวัตถุดิบภายในช่วงเวลานำ - ปริมาณวัตถุดิบในแต่ละครั้งที่ส่งมอบ - คุณภาพของวัตถุดิบที่เป็นไปตามข้อกำหนดของบริษัท
การตอบสนองของโซ่อุปทาน (Supply Chain Responsiveness)	- รอบเวลาของแผนการส่งมอบวัตถุดิบ - ค่าเฉลี่ยของจำนวนวันต่อการเปลี่ยนแปลงแผนการส่งมอบวัตถุดิบ
ความคล่องตัวของโซ่อุปทาน (Supply Chain Agility)	ปริมาณวัตถุดิบที่จัดหาได้เพิ่มขึ้นภายในระยะเวลาที่กำหนด
ต้นทุนโซ่อุปทาน (Supply Chain Costs)	- ต้นทุนที่ใช้ในการจัดตารางการส่งมอบวัตถุดิบ - ปริมาณวัตถุดิบในแต่ละครั้งที่ส่งมอบ
การบริหารสินทรัพย์ของโซ่อุปทาน (Supply Chain Asset Management)	ประสิทธิภาพของการใช้รถรับส่งน้ำตาลสด

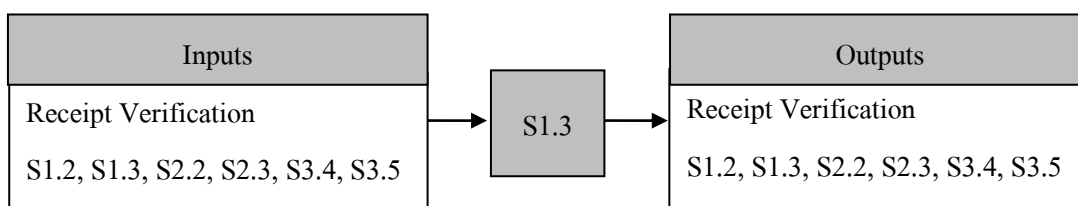
สำหรับแนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศตามแบบจำลอง SCOR Model นั้นเหมาะสมกับกิจการขนาดกลางถึงใหญ่ที่มีความพร้อมในด้านต่างๆ เช่น ด้านเทคโนโลยี เป็นต้น ดังนั้นจึงได้ประยุกต์แนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศให้เหมาะสมกับบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นผู้ประกอบการ SME (Small and Medium Enterprises) ดังนี้

ตารางที่ 16 แนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศของกิจกรรม S1.1 ของบริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสด สเตอร์ไลซ์

แนวทางปฏิบัติ สู่ความเป็นเลิศ	คำอธิบาย
การจัดการเส้นทางการขนส่ง วัตถุดิบน้ำตาลสดให้มี ประสิทธิภาพ	พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นแบบ ผสม VRPTW Mixed Integer Programming โดยใช้โปรแกรม IBM ILOG CPLEX เพื่อแก้ปัญหาการจัดการรถขนส่งที่มีข้อจำกัดด้าน เวลาที่ไม่ทำให้น้ำตาลสดเกิดการเสื่อมเสีย
การประเมินประสิทธิภาพผู้ จัดส่งวัตถุดิบ	กำหนดเกณฑ์ในการประเมินผู้จัดส่งวัตถุดิบให้ครอบคลุมทุกด้าน เช่น คุณภาพ ปริมาณ และความสม่ำเสมอหรือความถี่ในการจัดส่ง วัตถุดิบ เป็นต้น จากนั้นเก็บข้อมูลโดยใช้สเปรดชีต (Spreadsheet) เพื่อนำไปวิเคราะห์ และเรียงลำดับประสิทธิภาพของผู้จัดส่งวัตถุดิบ รวมถึงแจ้งผลการประเมิน และผลการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบ ให้แก่ผู้จัดส่งวัตถุดิบ

2) กระบวนการตรวจสอบวัตถุดิบ (S1.3)

ปัจจัยเข้า (Input) ของกิจกรรม ได้แก่ การตรวจสอบวัตถุดิบรับเข้า (Receipt Verification) และ
ปัจจัยออก (Output) ของกิจกรรม ได้แก่ การตรวจสอบวัตถุดิบรับเข้า (Receipt Verification) ดังภาพ
ที่ 17



ภาพที่ 17 ปัจจัยขาเข้าและปัจจัยขาออกของกิจกรรม S1.3

เมื่อพิจารณาจากปัจจัยขาเข้าในการดำเนินกิจกรรมเปรียบเทียบกับผลการดำเนินการในปัจจุบันของบริษัท พบว่า ในการรับวัตถุดิบและการตรวจรับสินค้ามีปัญหาเรื่องคุณภาพของวัตถุดิบน้ำตาลสดที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งแบบจำลองอ้างอิงโซ่อุปทานได้เสนอแนะของการวัดสมรรถนะที่จำเป็นใน 5 ด้าน และวิธีการปฏิบัติที่ดีที่สุด (Best Practice) เพื่อปรับปรุงกิจกรรม S1.3 ดังตารางที่ 17 และ 18 ตามลำดับ

ตารางที่ 17 ดัชนีชี้วัดสมรรถนะของกิจกรรม S1.3

มิติในการวัดสมรรถนะ	ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพ
ความน่าเชื่อถือของโซ่อุปทาน (Supply Chain Reliability)	- สัดส่วนการสั่งซื้อต่อค่าใช้จ่ายในการรับวัตถุดิบไม่ได้คุณภาพ - สัดส่วนการสั่งซื้อต่อจำนวนการรับวัตถุดิบที่ได้คุณภาพ
การตอบสนองของโซ่อุปทาน (Supply Chain Responsiveness)	รอบเวลาในการตรวจรับวัตถุดิบ
ความคล่องตัวของโซ่อุปทาน (Supply Chain Agility)	ปริมาณวัตถุดิบที่จัดหาได้เพิ่มขึ้นภายในระยะเวลาที่กำหนด
ต้นทุนโซ่อุปทาน (Supply Chain Costs)	ต้นทุนที่ใช้ในการตรวจรับวัตถุดิบ
การบริหารสินทรัพย์ของโซ่อุปทาน (Supply Chain Asset Management)	ประสิทธิภาพในการตรวจรับวัตถุดิบ

ตารางที่ 18 แนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศของกิจกรรม S1.3

แนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศ	คำอธิบาย
ศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของวัตถุดิบ น้ำตาลสด	เพื่อพัฒนาคุณภาพของวัตถุดิบและลดปัญหาคุณภาพของวัตถุดิบที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของบริษัท โดยนำการออกแบบการทดลองมาใช้ในการศึกษาหาสถานะที่เหมาะสม

1.3.5 แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทานระดับที่ 4

SCOR Model ในระดับที่ 4 เป็นระดับการประยุกต์ใช้ (Implementation Level) เพื่อคัดเลือกรูปแบบหรือกิจกรรมในการปรับปรุงที่เหมาะสมจาก SCOR Model ในระดับที่ 3 มาประยุกต์ใช้ในโซ่อุปทานต่อไป โดยประยุกต์ใช้แนวทางปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศ (Best Practice) ซึ่งจากการพิจารณาแบบบูรณาการถึงความสอดคล้องระหว่างกระบวนการที่ควรปรับปรุง พบว่า ในการรวบรวมวัตถุดิบน้ำตาลสดระหว่างการขนส่งไปยังโรงงาน เกิดปัญหาน้ำตาลสดเริ่มเกิดฟองก๊าซและกลิ่นจากกระบวนการหมัก ดังนั้นจึงได้เลือกทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำตาลสด

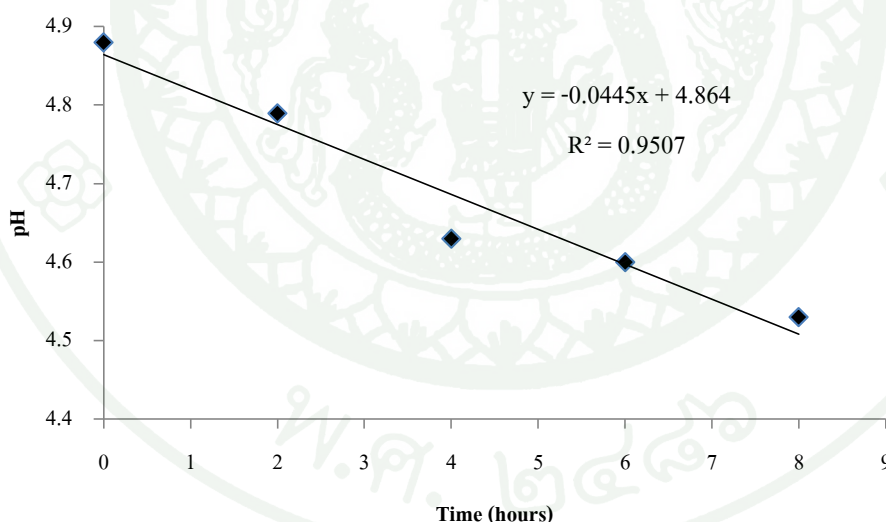
2. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำตาลสดในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยว

วัตถุดิบถือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ สำหรับวัตถุดิบน้ำตาลสด มักพบปัญหาคุณภาพน้ำตาลสดไม่สม่ำเสมอ มีความหวานของน้ำตาลสดลดลง สี กลิ่น และรสเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เนื่องจากน้ำตาลที่อยู่ในน้ำตาลสดเกิดกระบวนการหมักซึ่งมาจากการใช้กระบอกลบเก็บน้ำตาลสดไม่สะอาดหรือปนเปื้อนจุลินทรีย์ สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเติบโตของจุลินทรีย์ เวลารอคอยตั้งแต่เก็บเกี่ยวจนกระทั่งนำไปผลิตมีระยะเวลานานหลายชั่วโมง ซึ่งเป็นปัจจัยทำให้กระบวนการหมักเป็นไปอย่างรวดเร็ว ตลอดจนพบปัญหาการปนสิ่งเจือปนอื่นที่ทำให้ความหวานเปลี่ยนแปลงไป เช่น เติมน้ำ หรือ เติมเกลือซึ่งเป็นสารกลุ่มเพิ่มการหักเหของแสง เป็นต้น ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำตาลสด เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในการรวบรวมน้ำตาลสดให้มีคุณภาพดีที่สุด โดยเริ่มจากการทดลองเบื้องต้น (Preliminary Experiment) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช และค่าความหวานกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตาลสด ต่อมาจึงศึกษาหาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำตาลสดด้วยการทดสอบสถิติด้วยวิธีทาคุชิ (Taguchi Method) เพื่อทดสอบเบื้องต้น หลังจากนั้นจึงศึกษาปัจจัยอย่าง

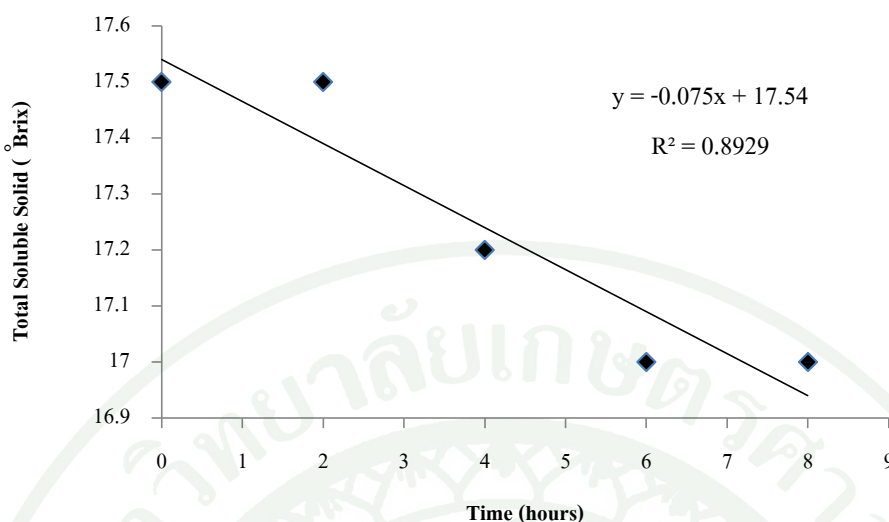
ละเอียดด้วยวิธีแฟกทอเรียล ต่อมาได้วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลการทดลองจากทั้ง 2 วิธี และทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลอง (Validation)

2.1 ผลการทดลองเบื้องต้น (Preliminary Experimental)

ในการทดลองเบื้องต้นได้ทำการศึกษาสถานะในการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดในปัจจุบันของเกษตรกร เริ่มจากการล้างทำความสะอาดกระบอด้วยน้ำคลอง ต่อมาใส่สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ที่ความเข้มข้นประมาณ 1,189 ppm จำนวน 5 มิลลิลิตรต่อกระบอ จากนั้นนำกระบอไปรองรับน้ำตาลสดที่ขึ้นหรือดอกของมะพร้าว เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยววางไว้ในอุณหภูมิห้อง พบว่า เมื่อระยะเวลาในการรอหลังการเก็บเกี่ยวซึ่งสภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าพีเอชและค่าความหวานจะลดลงซึ่งมีความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบเชิงลบ ดังภาพที่ 18 และ 19 ในขณะที่ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด (Total Microbial Count) มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งความสัมพันธ์เป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล ดังภาพที่ 20

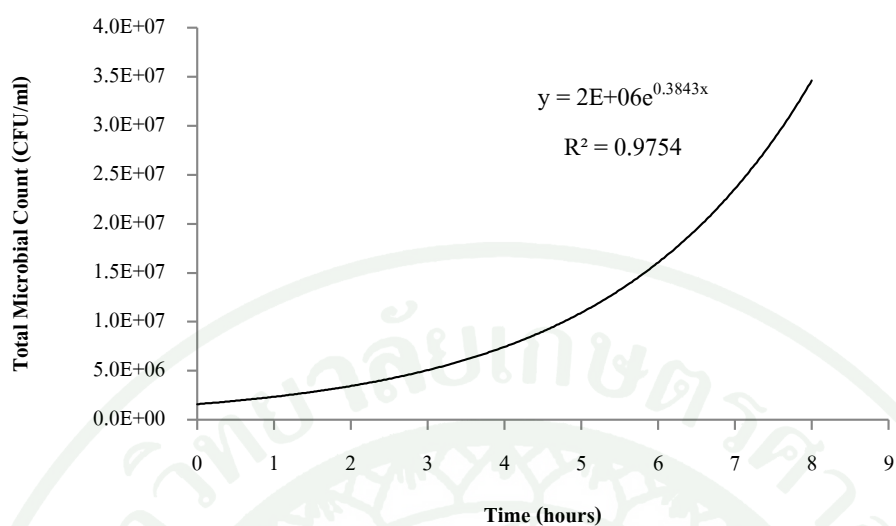


ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลสดค่าพีเอชกับระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ

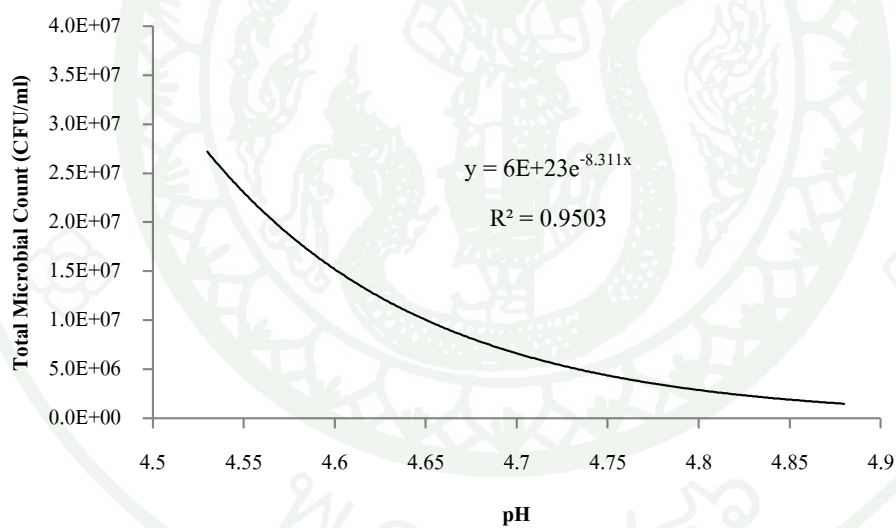


ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลสดค่าความหวานกับระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ

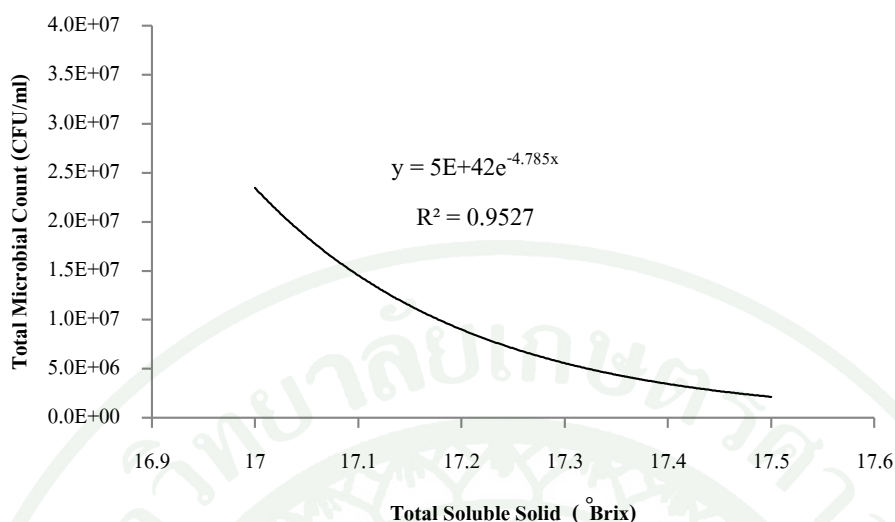
เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตาลสดพบว่า มีความสัมพันธ์แบบทางลบ (Negative Correlation) ดังภาพที่ 21 และความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหวานกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตาลสดมีความสัมพันธ์ทางลบเช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 22 จากสมการความสัมพันธ์ในภาพที่ 21 และ 22 มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of Determination: R^2) มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่า การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชและค่าความหวานของน้ำตาลสดสามารถเป็นตัวชี้บ่งในการเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เช่น ถ้าค่าพีเอชลดลง หรือค่าความหวานลดลง ปริมาณจุลินทรีย์ในน้ำตาลสดจะเพิ่มขึ้น น้ำตาลสดจึงเกิดการเน่าเสีย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เรณูภา (2545) ที่กล่าวว่า ระยะเวลาระหว่างรองรับและหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสด มีผลต่อคุณภาพโดยค่าพีเอชเริ่มลดลงหลังจากน้ำตาลไหลลงสู่กระบอกกรองน้ำตาล ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ทำให้เกิดกระบวนการหมัก (Fermentation) โดยยีสต์ใช้น้ำตาลในการผลิตแอลกอฮอล์ จากนั้นแบคทีเรียแลคติกใช้แอลกอฮอล์ผลิตเป็นกรดแลคติก ส่งผลให้มีปริมาณน้ำตาลลดลง และปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 20 ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดของน้ำตาลสดที่ในช่วงระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชของน้ำตาลสดกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด



ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหวานของน้ำตาลสดกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

ดังนั้นในการทดลองครั้งต่อไปจึงใช้ ค่าพีเอชและค่าความหวานเป็นตัวบ่งชี้ในการวัดการเสื่อมเสียที่เกิดจากจุลินทรีย์แทนการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด เนื่องจากการทดสอบทางจุลินทรีย์ใช้ระยะเวลาและต้นทุนในการทดลองสูงกว่าการวัดค่าพีเอชและค่าความหวาน และจากผลการทดลองสามารถอนุมานได้ว่า ถ้าค่าพีเอชและค่าความหวานมีค่าสูง แสดงว่า จุลินทรีย์ในน้ำตาลสดยังไม่สามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นแอลกอฮอล์ในกระบวนการหมัก จึงยังไม่เกิดการเสื่อมเสีย

2.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำตาลสดในกระบวนการเก็บเกี่ยวจนถึงหลังการเก็บเกี่ยว โดยวิธีทากูชิ

ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวจนถึงหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดได้ทำการทดลองภายใต้สภาวะการออกแบบการทดลองโดยอาศัย Orthogonal Array แบบ $L_9(3^3)$ ปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง น้ำที่ใช้ทำความสะอาดกระบอเก็บน้ำตาลสด และชนิดของสารกันเสีย ปัจจัยละ 3 ระดับ แล้ววัดค่าคุณภาพของน้ำตาลสดจาก ค่าพีเอช และค่าความหวาน ที่เวลา 4 และ 8 ชั่วโมง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีทากูชิ

2.2.1 ค่าพีเอชของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยว

ผลการทดลองคุณภาพน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลาต่างๆ แสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ผลการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมด้วยวิธีทางสถิติ โดยพิจารณาค่าพีเอชของน้ำตาลสด ที่เวลาต่างๆ

หน่วยของค่าความหวาน: ° Brix									
การทดลอง	อักขร ย่อของ การทดลอง	ค่าพีเอช							
		ชั่วโมงที่ 4				ชั่วโมงที่ 8			
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	S/N Ratio	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	S/N Ratio
1	LBN	6.00	6.10	6.05	15.63	5.93	6.11	6.02	15.59
2	LTP	6.30	6.52	6.41	16.13	6.29	6.51	6.40	16.12
3	LCS	6.46	6.30	6.38	16.09	6.40	6.34	6.37	16.08
4	MBP	6.08	6.10	6.09	15.69	5.98	6.03	6.01	15.57
5	MTS	6.02	5.99	6.01	15.57	5.91	5.86	5.89	15.39
6	MCN	5.24	5.11	5.18	14.28	5.22	5.10	5.16	14.25
7	HBS	5.48	5.26	5.37	14.59	5.25	4.61	4.93	13.80
8	HTN	5.16	4.93	5.05	14.05	5.02	4.80	4.91	13.82
9	HCP	5.30	5.40	5.35	14.57	4.58	5.34	4.96	13.83

ในการวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดด้วยวิธีทางสถิติ เริ่มจากการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยอาศัยการคำนวณค่าเฉลี่ยของผลการทดลองและค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย ด้วยการกำหนดลักษณะค่าคุณภาพเป้าหมาย (Quality Characteristic, QC) โดยขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ สามารถแบ่งได้ 3 แบบ ได้แก่ ค่าตอบสนองที่ดีที่สุดคือค่ามากที่สุด (B) ค่าตอบสนองที่ดีที่สุดมีค่าน้อยที่สุด (S) และค่าตอบสนองที่ดีที่สุดมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย (N) ซึ่งในการทดลองนี้จัดอยู่ในประเภทค่าตอบสนองที่ดีที่สุดคือค่ามากที่สุด เนื่องจากถ้าน้ำตาลสดมีค่าพีเอชสูง โดยทั่วไปค่าพีเอชของน้ำตาลสดมีค่าประมาณ 6-7 (Gupta et al., 1980) แสดงว่า จุลินทรีย์ในน้ำตาลสดยังไม่เกิดกระบวนการหมัก น้ำตาลสดจึงยังไม่เกิดการเสื่อมเสีย

(Odunfa and Oyewol, 1998) ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาเบื้องต้นในข้อ 2.1 ต่อมาค่าพีเอช ที่ได้ในแต่ละชุดการทดลองไปคำนวณค่าอัตราส่วน Signal to Noise Ratio (S/N Ratio) ดังตารางที่ 15 โดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 16

ต่อมาค่าอัตราส่วน S/N มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของปัจจัยในแต่ละระดับ เพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อค่าพีเอช พบว่า หลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 4 ชั่วโมง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชสูงสุด คือ อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง ซึ่งมีอิทธิพล 57.62 เปอร์เซ็นต์ ส่วนปัจจัยชนิดของสารกันเสีย และการล้างทำความสะอาดกระบอกล้าง มีอิทธิพลรองลงมาตามลำดับ และหลังการเก็บเกี่ยวในชั่วโมงที่ 8 มีปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพีเอชเช่นเดียวกับในชั่วโมงที่ 4 โดยอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชสูงสุด รองลงมาเป็นชนิดของสารกันเสีย และการล้างทำความสะอาดกระบอกล้าง ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่า อิทธิพลของปัจจัยอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง เพิ่มขึ้นจากเดิม 10.01 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อิทธิพลของปัจจัยชนิดของสารกันเสีย ลดลง 10.24 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 20

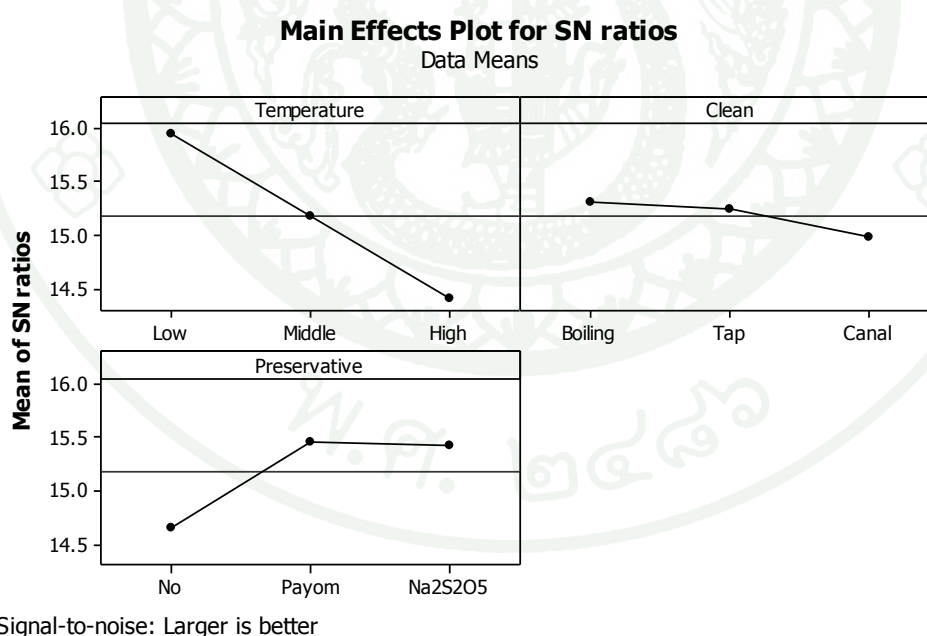
ตารางที่ 20 การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสด

เวลา (ชั่วโมง)	ระดับ	ปัจจัย		
		อุณหภูมิในการ จัดเก็บและขนส่ง	การล้างทำความสะอาด กระบอกล้าง	ชนิดสารกันเสีย
4	1	15.95 (L)	15.31 (B)	14.65 (N)
	2	15.18 (M)	15.25 (T)	15.46 (P)
	3	14.40 (H)	14.98 (C)	15.42 (S)
	ค่าอิทธิพล	1.55	0.33	0.81
	เปอร์เซ็นต์ค่าอิทธิพล	57.62%	12.27%	30.11%
8	1	15.93 (L)	14.99 (B)	14.55 (N)
	2	15.07 (M)	15.11 (T)	15.17 (P)
	3	13.82 (H)	14.72 (C)	15.09 (S)
	ค่าอิทธิพล	2.11	0.39	0.62
	เปอร์เซ็นต์ค่าอิทธิพล	67.63%	12.50%	19.87%

หมายเหตุ ค่าอิทธิพลคำนวณจากผลต่างของค่าต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละปัจจัย

จากนั้นวิเคราะห์ระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน S/N กับระดับของปัจจัยต่างๆ โดยเลือกระดับที่สูงของแต่ละปัจจัยเป็นสถานะที่เหมาะสม (ภาพที่ 23) พบว่า หลังการเก็บเกี่ยวในชั่วโมงที่ 4 กระจกพลาสติกที่ใช้รองรับน้ำตาลสดควรล้างทำความสะอาดด้วยน้ำร้อน และใช้ไม้พะยอมเป็นสารกันเสีย สำหรับการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดควรจัดเก็บและขนส่งน้ำตาลสดที่อุณหภูมิ $\leq 10^{\circ}\text{C}$ และ หลังการเก็บเกี่ยวในชั่วโมงที่ 8 (ภาพที่ 24) กระจกพลาสติกที่ใช้รองรับน้ำตาลสดควรล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปาชุมชน โดยใช้ไม้พะยอมเป็นสารกันเสียแทนสารเคมี และน้ำตาลสดควรจัดเก็บและขนส่งน้ำตาลสดที่อุณหภูมิ $\leq 10^{\circ}\text{C}$

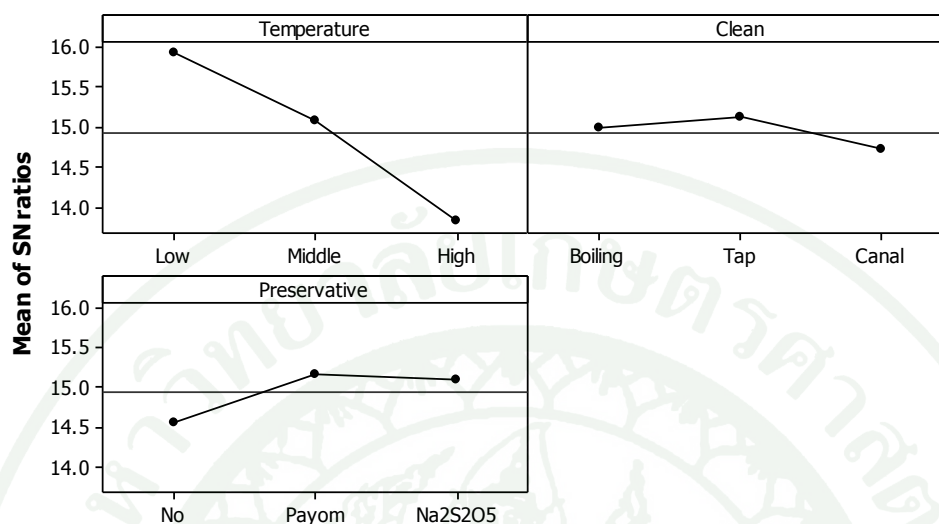
สถานะที่เหมาะสมในการจัดการคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสด โดยพิจารณาจากค่าพีเอชในชั่วโมงที่ 4 และ 8 มีความคล้ายคลึงกันในเรื่องของอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งควรมีอุณหภูมิไม่เกิน 10°C รวมถึงการใช้ไม้พะยอมเป็นสารกันเสีย และมีความแตกต่างกันที่ชนิดของน้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดกระจกเก็บน้ำตาลสด



ภาพที่ 23 สถานะที่เหมาะสมที่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 4 ชั่วโมง

Main Effects Plot for SN ratios

Data Means



Signal-to-noise: Larger is better

ภาพที่ 24 สภาวะที่เหมาะสมที่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 8 ชั่วโมง

เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance หรือ ANOVA) ด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 16 เพื่อตรวจสอบความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัย พบว่า หลังการเก็บเกี่ยว น้ำตาลสดในชั่วโมงที่ 4 และ 8 ปัจจัยด้านอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 21 และ 22 จากนั้นทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ANOVA (ภาคผนวก ข) ซึ่งปรากฏว่าแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

ตารางที่ 21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชที่ส่งผลต่อค่า S/N ด้วยวิธีทาгуชิ ที่เวลา 4 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temperature	2	3.6061	3.6061	1.80304	25.21	0.038*
Clean	2	0.1849	0.1849	0.09247	1.29	0.436
Preservative	2	1.2451	1.2451	0.62255	8.70	0.103
Error	2	0.1431	0.1431	0.07153		
Total	8	5.1792				

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชที่ส่งผลต่อค่า S/N ด้วยวิธีทาгуชิ ที่เวลา 8 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temperature	2	6.7803	6.7809	3.3901	24.27	0.040*
Clean	2	0.2354	0.2354	0.1177	0.84	0.543
Preservative	2	0.6871	0.6871	0.3436	2.46	0.289
Error	2	0.2793	0.2793	0.1397		
Total	8	7.9821				

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากการเปรียบเทียบค่าพีเอช ที่เวลา 4 และ 8 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเวลาในการเก็บรอคอยหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น ค่าพีเอชจะมีค่าลดลง ส่งผลให้คุณภาพของน้ำตาลสดลดลง โดยเฉพาะน้ำตาลสดที่จัดเก็บในบริเวณที่มีอุณหภูมิประมาณ 21-30°C แสดงว่า ปัจจัยด้านอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งมีอิทธิพลต่อคุณภาพของน้ำตาลสด

2.2.2 ค่าความหวานของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยว

ผลการทดลองคุณภาพน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 4 และ 8 ชั่วโมง โดยพิจารณาจากความหวาน แสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 ผลการทดลองเพื่อหาสถานะที่เหมาะสมด้วยวิธีทางสถิติ โดยพิจารณาจากความหวานของน้ำตาลสด ที่เวลาต่างๆ

		หน่วยของค่าความหวาน: ° Brix							
การทดลอง	อักษร	ค่าความหวาน							
	ชื่อของ	ชั่วโมงที่ 4				ชั่วโมงที่ 8			
	สถานะการทดลอง	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	S/N Ratio	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย	S/N Ratio
1	LBN	16.30	16.60	16.45	24.32	16.30	16.40	16.35	24.27
2	LTP	16.40	16.60	16.50	24.35	16.40	16.60	16.50	24.35
3	LCS	17.00	16.40	16.70	24.45	17.00	16.20	16.60	24.39
4	MBP	16.40	16.80	16.60	24.40	16.20	16.80	16.50	24.35
5	MTS	16.60	16.30	16.45	24.32	16.60	15.90	16.25	24.21
6	MCN	16.20	16.20	16.20	24.19	16.20	16.20	16.20	24.19
7	HBS	16.50	16.20	16.35	24.27	16.30	16.00	16.15	24.16
8	HTN	16.20	16.40	16.30	24.24	16.20	16.20	16.20	24.19
9	HCP	16.40	16.10	16.25	24.22	16.40	16.10	16.25	24.21

ในการวิเคราะห์สถานะที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากความหวาน ยังคงจัดอยู่ในประเภท The Bigger is better ($QC = B$) เนื่องจาก ถ้าค่าความหวานมีค่ามาก แสดงว่า จุลินทรีย์ในน้ำตาลสดยังไม่เกิดกระบวนการหมัก น้ำตาลสดจึงยังไม่เกิดการเสื่อมเสีย จากการเก็บข้อมูลของบริษัทรณศึกษา พบว่า ค่าความหวานของน้ำตาลสดอยู่ในช่วงประมาณ 15-18 °Brix และเมื่อนำค่าความหวานที่ได้ในแต่ละชุดการทดลองไปคำนวณค่า S/N Ratio พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหวาน หลังการเก็บเกี่ยวในชั่วโมงที่ 4 อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งซึ่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความหวานมากที่สุด 46.43 เปอร์เซนต์ รองลงมาเป็นชนิดของสารกันเสีย มีอิทธิพล 35.71

เปอร์เซ็นต์ และการล้างทำความสะอาด เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความหวานน้อยที่สุด มีเพียง 17.86 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อความหวานหลังการเก็บเกี่ยวในชั่วโมงที่ 8 ที่มีอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชสูงที่สุด (57.69 เปอร์เซ็นต์) รองลงมาเป็นการล้างทำความสะอาดกระบอกร (34.62 เปอร์เซ็นต์) และชนิดของสารกันเสีย (7.69 เปอร์เซ็นต์) ตามลำดับ ดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหวานของน้ำตาลสด

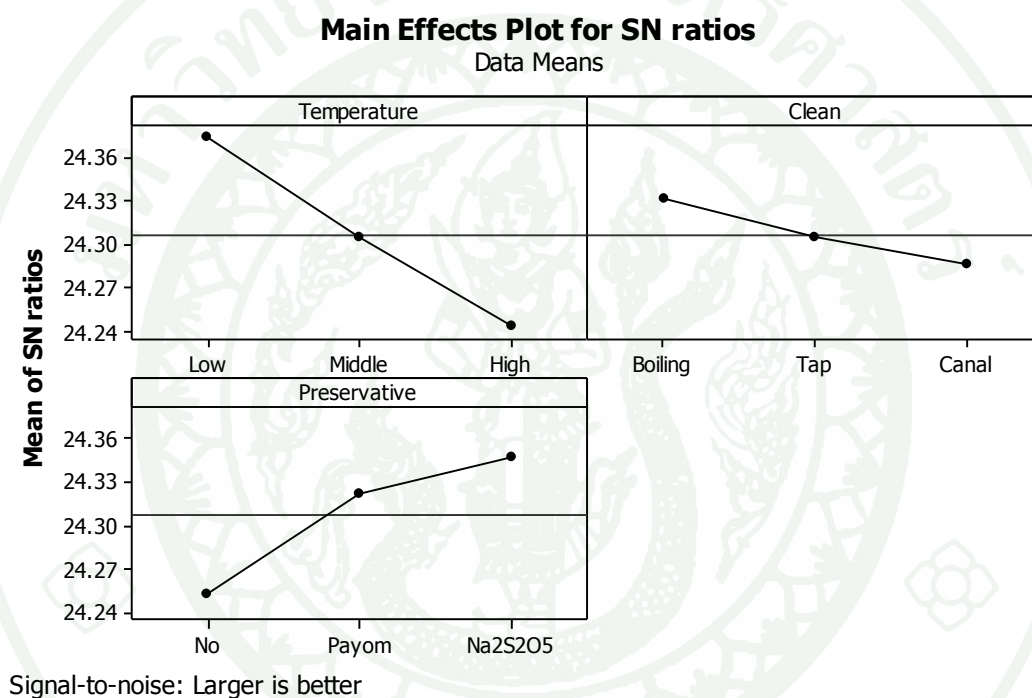
เวลา (ชั่วโมง)	ระดับ	ปัจจัย		
		อุณหภูมิในการ จัดเก็บและขนส่ง	การล้างทำความสะอาด กระบอกร	ชนิดสารกันเสีย
4	1	24.37 (L)	24.33 (B)	24.25 (N)
	2	24.30 (M)	24.30 (T)	24.32 (P)
	3	24.24 (H)	24.29 (C)	24.35 (S)
	ค่าอิทธิพล	0.13	0.05	0.10
	เปอร์เซ็นต์ค่าอิทธิพล	46.43%	17.86%	35.71%
8	1	24.34 (L)	24.26 (B)	24.22 (N)
	2	24.25 (M)	24.25 (T)	24.30 (P)
	3	24.19 (H)	24.27 (C)	24.26 (S)
	ค่าอิทธิพล	0.15	0.02	0.09
	เปอร์เซ็นต์ค่าอิทธิพล	57.69%	7.69%	34.62%

หมายเหตุ ค่าอิทธิพลคำนวณจากผลต่างของค่าต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละปัจจัย

จากนั้นวิเคราะห์สภาวะที่เหมาะสมในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยวที่มีอิทธิพลต่อค่าความหวานของน้ำตาลสด โดยพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน S/N กับระดับของปัจจัยต่างๆ โดยเลือกกระดับที่สูงของแต่ละปัจจัยเป็นสภาวะที่เหมาะสมพบว่า หลังการเก็บเกี่ยว ในชั่วโมงที่ 4 ควรล้างทำความสะอาดกระบอกรพลาสติกที่ใช้รองรับน้ำตาลสดด้วยน้ำประปา โดยใช้ไม้พะยอมเป็นสารกันเสีย และหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดควรจัดเก็บและขนส่งน้ำตาลสดที่อุณหภูมิ $\leq 10^{\circ}\text{C}$ ดังภาพที่ 25 และหลังการเก็บเกี่ยว ในชั่วโมงที่ 8 สามารถล้างทำความสะอาดด้วยน้ำชนิดใดก็ได้ เนื่องจากมีค่าอัตราส่วน S/N ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งควรใช้ไม้พะยอม

เป็นสารกันเสีย และหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดควรจัดเก็บและขนส่งน้ำตาลสดที่อุณหภูมิ $\leq 10^{\circ}\text{C}$ ดังภาพที่ 26

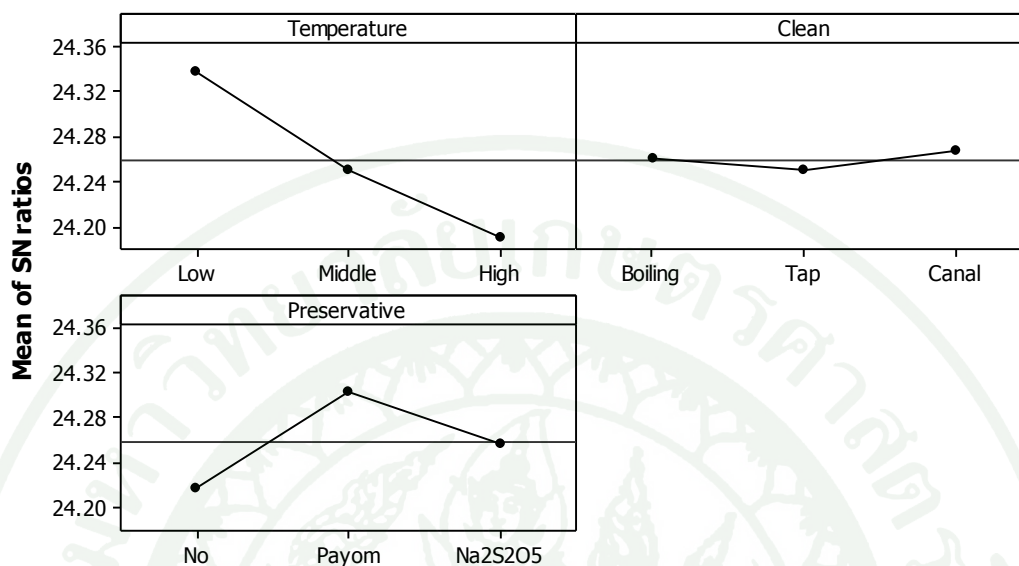
สถานะที่เหมาะสมในการจัดการคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดในชั่วโมงที่ 4 และ 8 เมื่อพิจารณาจากค่าความหวานมีความคล้ายคลึงกันในแง่ของอุณหภูมิที่ใช้ในการจัดเก็บ และขนส่งควรใช้อุณหภูมิ $\leq 10^{\circ}\text{C}$ นอกจากนี้ควรใช้ไม้พะยอมใส่ไว้กับกระบอกเก็บน้ำตาลสดเพื่อใช้เป็นสารกันเสียแทนสารเคมี



ภาพที่ 25 สถานะที่เหมาะสมที่มีอิทธิพลต่อค่าความหวานของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 4 ชั่วโมง

Main Effects Plot for SN ratios

Data Means



Signal-to-noise: Larger is better

ภาพที่ 26 สภาวะที่เหมาะสมที่มีอิทธิพลต่อค่าความหวานของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 8 ชั่วโมง

เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance หรือ ANOVA) ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่า หลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดในชั่วโมงที่ 4 และ 8 ปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง การล้างทำความสะอาดกระบอกล้าง และชนิดของสารกันเสีย เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความหวานอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังตารางที่ 25 และ 26

ตารางที่ 25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหวานที่ส่งผลต่อค่า S/N Ratio ด้วยวิธีทางสถิติที่เวลา 4 ชั่วโมง

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temperature	2	0.025785	0.025785	0.012893	1.68	0.373
Clean	2	0.003074	0.003074	0.001537	0.20	0.833
Preservative	2	0.014605	0.014605	0.007302	0.95	0.513
Error	2	0.015359	0.015359	0.007680		
Total	8	0.058824				

ตารางที่ 26 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหวานที่ส่งผลต่อค่า S/N Ratio ด้วยวิธีทาคุจิ ที่เวลา 8 ชั่วโมง

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temp	2	0.033513	0.033513	0.016756	2.83	0.261
Clean	2	0.000423	0.00423	0.000212	0.04	0.965
Preservative	2	0.011276	0.011276	0.005638	0.95	0.512
Error	2	0.011836	0.011836	0.005918		
Total	8	0.057048				

จากการเปรียบเทียบค่าความหวาน ที่เวลา 4 และ 8 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยว สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเวลาในการเก็บรอคอยหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น ค่าความหวานจะมีค่าลดลงเล็กน้อย ในทุกชุดการทดลอง แสดงว่า ปัจจัยทั้ง 3 ด้าน เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อคุณภาพของน้ำตาลสดทั้งค่าความหวานอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

2.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำตาลสดในกระบวนการเก็บเกี่ยวจนถึงหลังการเก็บเกี่ยวโดยวิธีแฟกทอเรียล

เมื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำตาลสดเบื้องต้น โดยการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทาคุจิ หลังจากนั้นจึงได้ลดระดับของปัจจัยจากผลการทดลองดังกล่าวและออกแบบการทดลองทางสถิติ แบบ 2^3 แฟกทอเรียล ซึ่งมีปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัยเดิม ได้แก่ อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง น้ำที่ใช้ทำความสะอาดกระบอเก็บน้ำตาลสด และชนิดของสารกันเสีย แต่ระดับของแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ เนื่องจากระดับของปัจจัยบางอย่างให้คำตอบสนองไม่แตกต่างกัน อีกทั้งปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับการปฏิบัติงานจริงของเกษตรกรและโรงงานมากขึ้น เช่น ระดับปัจจัยชนิดของสารกันเสีย ทางผู้วิจัยได้ตัดวิธีที่ไม่ใส่สารกันเสียออก เนื่องจากน้ำตาลสดเริ่มเกิดการเสื่อมเสียทันทีหลังจากที่เก็บเกี่ยวเสร็จ นอกจากนี้การปรับลดระดับปัจจัยยังช่วยประหยัดจำนวนชุดการทดลองจาก 81 การทดลอง เหลือเพียง 8 การทดลอง ทำให้ในครั้งนี้สามารถทำการทดลองได้ 3 ซ้ำ ซึ่งช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับผลการทดลอง จากนั้นเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี และกายภาพ หลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 0, 4, 8 และ 10 ชั่วโมง ตามลำดับ การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและกายภาพ มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

นำน้ำตาลสดมาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ การวัดค่าพีเอช และค่าความหวาน ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 27

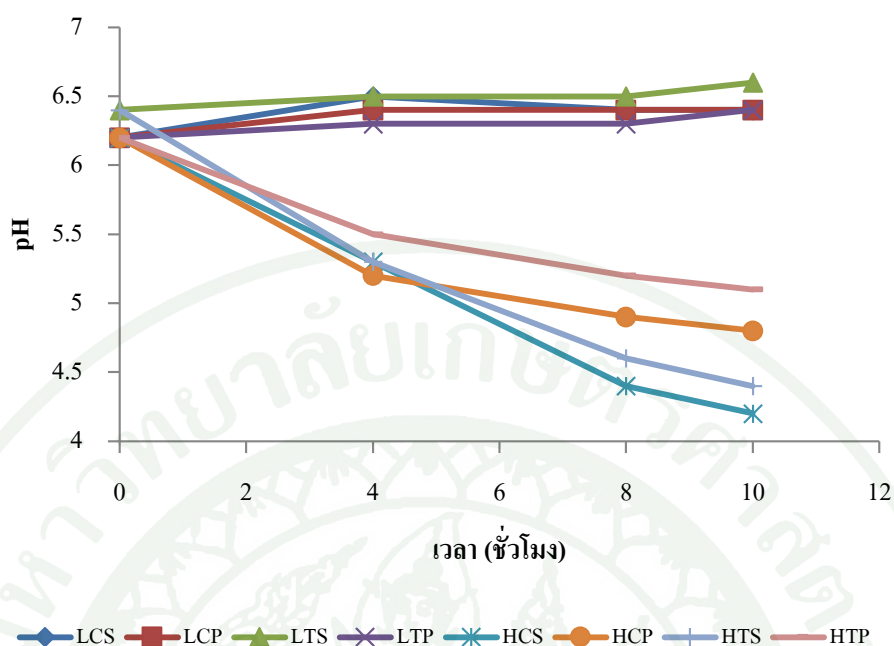
ตารางที่ 27 ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองด้านคุณภาพทางเคมีของน้ำตาลสดที่เวลาต่างๆ

		หน่วยของค่าความหวาน: ° Brix							
เวลา (ชั่วโมง)	คุณสมบัติของ น้ำตาลสด	การทดลองที่							
	อักษรย่อการ ทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8
		LCS	LCP	LTS	LTP	HCS	HCP	HTS	HTP
0	ค่าพีเอช	6.2a	6.2a	6.4a	6.2a	6.2a	6.2a	6.4a	6.2a
	ค่าความหวาน	14.2a	14.2a	14.7a	14.5a	14.6a	14.6a	15.1a	14.9a
4	ค่าพีเอช	6.5ab	6.4abc	6.5a	6.3abcd	5.3cd	5.2d	5.3bcd	5.5abcd
	ค่าความหวาน	14.1a	14.2a	14.7a	14.3a	14.3a	14.1a	14.7a	14.5a
8	ค่าพีเอช	6.4a	6.4a	6.5a	6.3a	4.4b	4.9b	4.6b	5.2b
	ค่าความหวาน	14.1a	14.1a	14.6a	14.3a	13.7a	14.3a	14.3a	14.5a
10	ค่าพีเอช	6.4a	6.4a	6.6a	6.4a	4.2c	4.8bc	4.4bc	5.1b
	ค่าความหวาน	14.2a	13.7a	14.0a	14.3a	13.5a	14.1a	14.1a	14.6a

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยตามด้วยอักษรที่ต่างกันในแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

1) ค่าพีเอชของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยว

จากผลการทดลอง พบว่า น้ำตาลสดที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องมีค่าพีเอชลดลงตามเวลา โดยเฉพาะในช่วง 8 และ 10 ดังภาพที่ 27 ซึ่งอุณหภูมิห้องที่ทดลอง มีอุณหภูมิประมาณ 21-30 °C เป็นช่วงที่อุณหภูมิเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ในน้ำตาลสดที่ทำให้เกิดกระบวนการหมัก (จารุวรรณ, 2551) ในขณะที่ถ้าหลังการเก็บเกี่ยวมีการเก็บรักษาด้วยความเย็น (Cold Storage/Chilled Storage) ด้วยอุณหภูมิต่ำ จะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย รวมถึงช่วยลดปริมาณจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนมาหลังการเก็บเกี่ยว



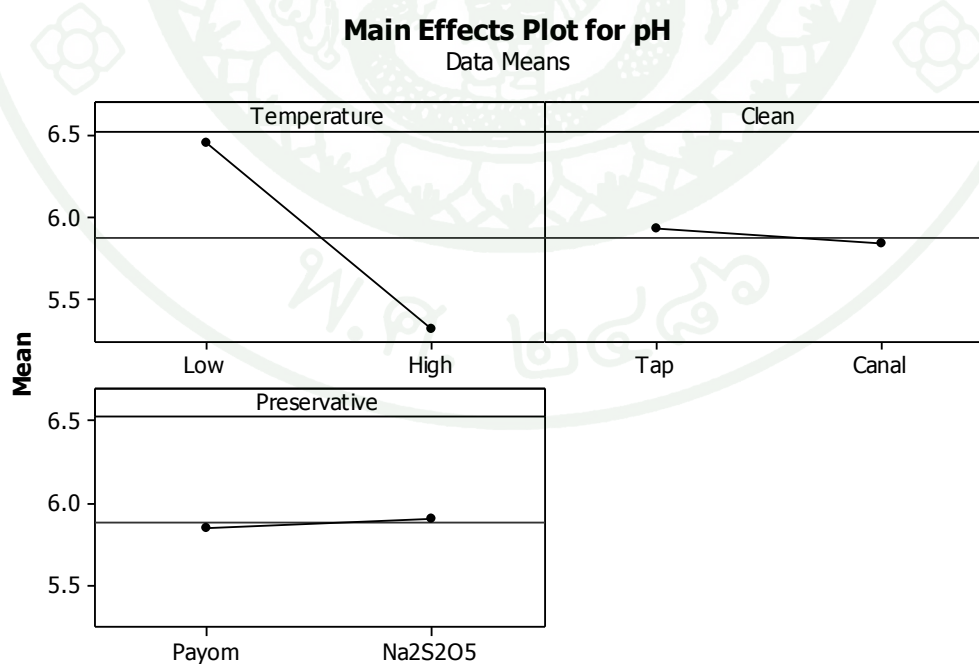
ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชของน้ำตาลสดในช่วงระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ

เมื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance หรือ ANOVA) ด้วยโปรแกรม Minitab รุ่น 16 เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสด ที่เวลา 4 ชั่วโมง พบว่า อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพีเอชอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 28 ส่วนการทำความสะอาดกระบอก และชนิดของสารกันเสียไม่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอช เมื่อพิจารณาปัจจัยอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง ดังภาพที่ 28 ถ้าอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าพีเอชต่ำลง ซึ่งแสดงถึงน้ำตาลสดมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ตามผลการศึกษาในข้อ 2.1

ตารางที่ 28 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความฟิเอชของน้ำตาลสด ที่เวลา 4 ชั่วโมง

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temp.	1	7.6501	7.6501	7.6501	44.52	0.000*
Clean	1	0.0551	0.0551	0.0551	0.32	0.579
Preservative	1	0.0222	0.0222	0.0222	0.13	0.724
Temp.*Clean	1	0.0477	0.0477	0.0477	0.28	0.606
Temp.*Preservative	1	0.0345	0.0345	0.0345	0.20	0.660
Clean* Preservative	1	0.0018	0.0018	0.0018	0.01	0.919
Temp.*Clean* Preservative	1	0.0392	0.0392	0.0392	0.23	0.639
Error	16	2.7496	2.7496	0.1719		
Total	23	10.6003				

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 28 อิทธิพลหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าฟิเอชหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 4 ชั่วโมง

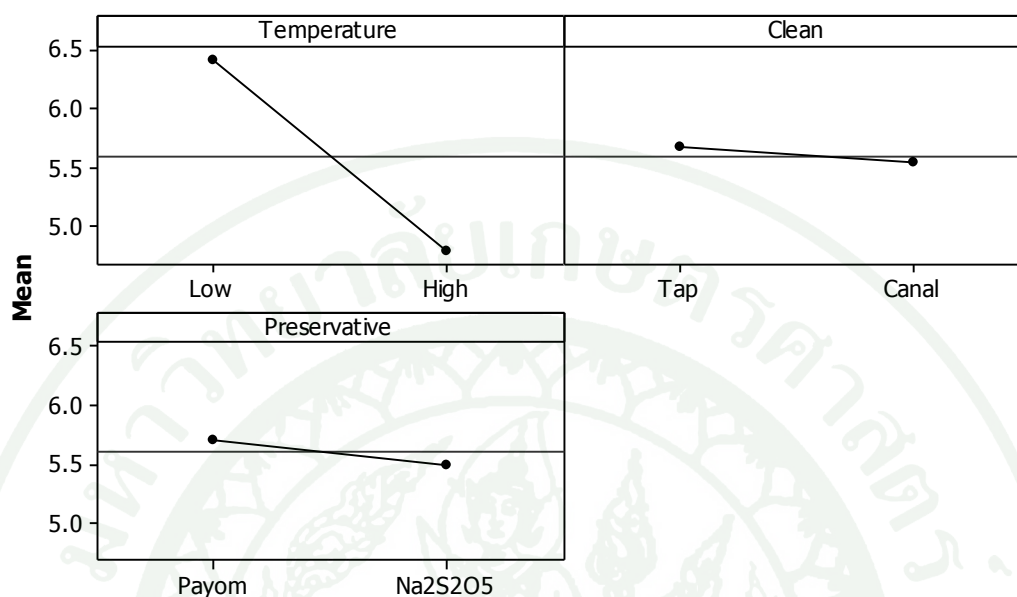
หลังเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดในชั่วโมงที่ 8 พบว่า อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพีเอชอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวในชั่วโมงที่ 4 เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าพีเอชต่ำลง ดังภาพที่ 29 แต่เมื่อเวลารอคอยหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น เริ่มมีอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและชนิดของสารกันเสียที่ใช้อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ดังตารางที่ 29 โดยที่ถ้าจัดเก็บและขนส่งน้ำตาลสดด้วยอุณหภูมิต่ำ การใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ เป็นสารกันเสียจะทำให้คุณภาพของน้ำตาลสดดีกว่าการใช้ไม้พะยอมเล็กน้อย แต่ถ้าจัดเก็บและขนส่งน้ำตาลสดด้วยอุณหภูมิห้อง การใช้ไม้พะยอมจะทำให้คุณภาพของน้ำตาลสดดีกว่าการใช้สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ดังภาพที่ 30

ตารางที่ 29 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชของน้ำตาลสด ที่เวลา 8 ชั่วโมง

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temp.	1	15.9414	15.9414	15.9414	145.79	0.000*
Clean	1	0.0988	0.0988	0.0988	0.90	0.356
Preservative	1	0.2688	0.2688	0.2688	2.46	0.136
Temp.*Clean	1	0.0864	0.0864	0.0864	0.79	0.387
Temp.*Preservative	1	0.5521	0.5521	0.5521	5.05	0.039*
Clean* Preservative	1	0.0048	0.0048	0.0048	0.04	0.836
Temp.*Clean* Preservative	1	0.0216	0.0216	0.0216	0.20	0.663
Error	16	1.7495	1.7495	0.1093		
Total	23	18.7234				

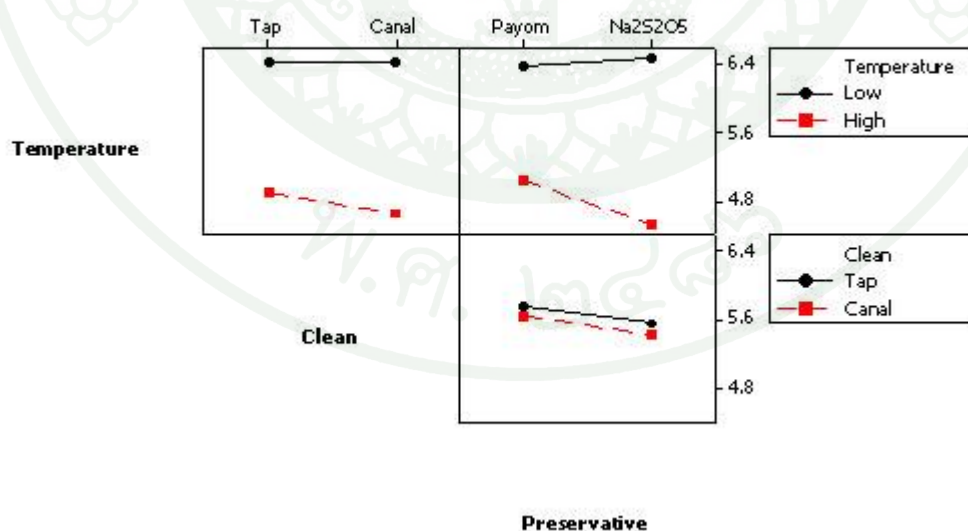
หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

Main Effects Plot for pH
Data Means



ภาพที่ 29 อิทธิพลหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพีเอชหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 8 ชั่วโมง

Interaction Plot for pH
Data Means



ภาพที่ 30 อิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพีเอชหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 8 ชั่วโมง

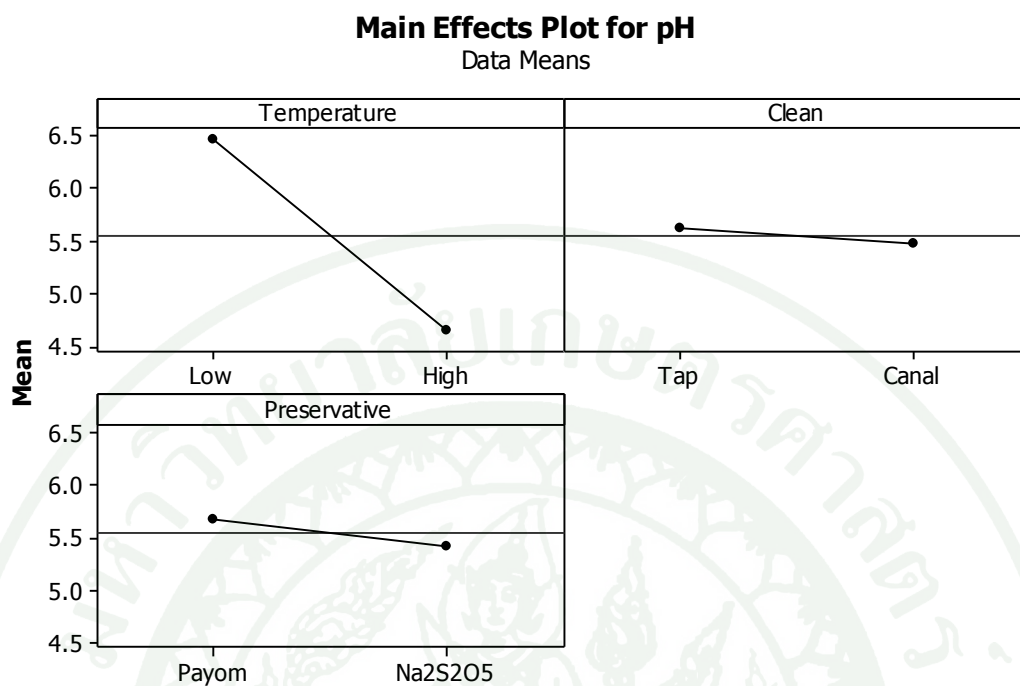
จากผลการทดลอง พบว่า หลังการเก็บเกี่ยวในชั่วโมงที่ 10 เมื่อเวลาในการรอคอยหลังการเก็บเกี่ยวมากขึ้น อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพีเอชและมีอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและชนิดของสารกันเสียอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวในชั่วโมงที่ 4 และ 8 โดยถ้าอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าพีเอชต่ำลง แสดงว่าน้ำตาลสดมีคุณภาพลดลง ดังภาพที่ 31 สำหรับอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและชนิดของสารกันเสียให้ผลเช่นเดียวกับน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวในชั่วโมงที่ 8 ดังภาพที่ 32 นอกจากนี้ปัจจัยด้านอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง และอิทธิพลร่วมระหว่างอุณหภูมิและชนิดของสารกันเสีย ที่มีผลต่อค่าพีเอชแล้วนั้น ยังพบว่าชนิดของสารกันเสียเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในชั่วโมงที่ 10 ด้วย ดังตารางที่ 30

ตารางที่ 30 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าพีเอชของน้ำตาลสด ที่เวลา 10 ชั่วโมง

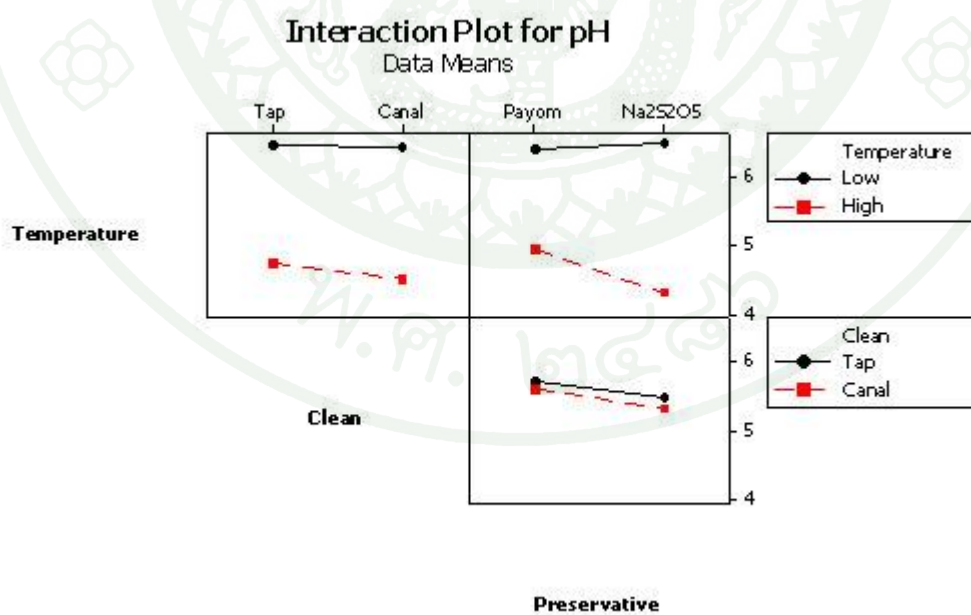
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temp.	1	19.8744	19.8744	19.8744	224.32	0.000*
Clean	1	0.1094	0.1094	0.1094	1.23	0.283
Preservative	1	0.4056	0.4056	0.4056	4.58	0.048*
Temp.*Clean	1	0.0417	0.0417	0.0417	0.47	0.503
Temp.*Preservative	1	0.7994	0.7994	0.7994	9.02	0.008*
Clean* Preservative	1	0.0024	0.0024	0.0024	0.03	0.871
Temp.*Clean*Preservative	1	0.0368	0.0368	0.0368	0.42	0.528
Error	16	1.4176	1.4176	0.0886		
Total	23	22.6872				

หมายเหตุ * หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95

เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 31 อิทธิพลหลักของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพีเอชหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 10 ชั่วโมง

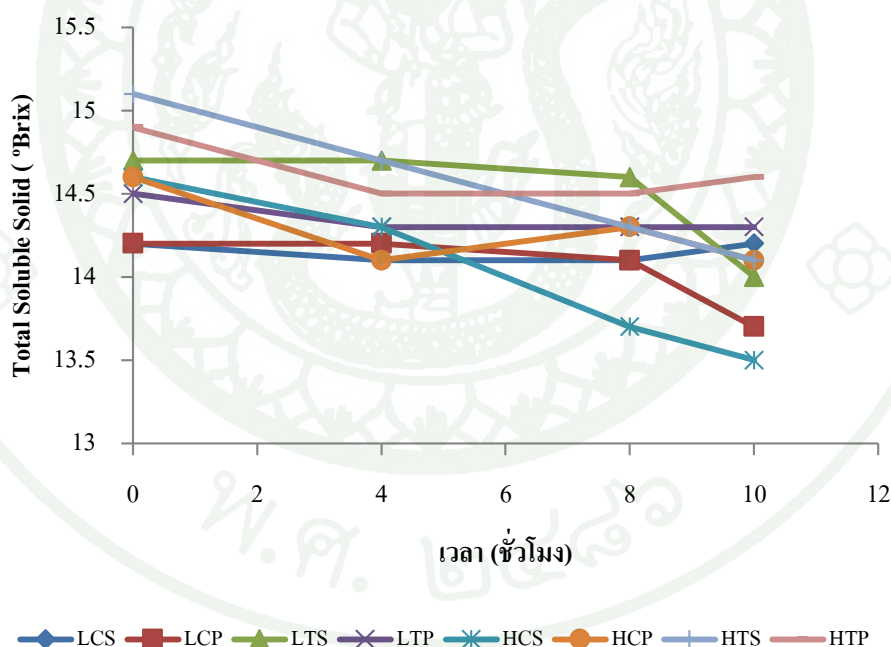


ภาพที่ 32 อิทธิพลร่วมของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพีเอชหลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 10 ชั่วโมง

2) ค่าความหวานของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยว

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าความหวานของน้ำตาลสดในแต่ละชุดการทดลอง ที่เวลา 0 และ 10 ชั่วโมง มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าลดลงเล็กน้อยประมาณ 0.53° Brix ดังภาพที่ 33 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ มนสุวีร์ (2552) พบว่า น้ำตาลโตนดสดหลังการเก็บเกี่ยวที่จัดเก็บที่ อุณหภูมิห้องมีการเปลี่ยนแปลงของค่าความหวานในชั่วโมงที่ 9 เหลือ 0.48° Brix

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance หรือ ANOVA) ด้วย โปรแกรม Minitab รุ่น 16 เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสด หลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 4, 8 และ 10 ชั่วโมง พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง การล้างทำความสะอาดกระบอก และชนิดของสารกันเสียเป็นปัจจัยที่ไม่มีผลต่อค่าความหวานของ น้ำตาลสดอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)



ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงของค่าความหวานน้ำตาลสดในช่วงระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวต่างๆ

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance หรือ ANOVA) ด้วย โปรแกรม Minitab รุ่น 16 เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสด หลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 4, 8 และ 10 ชั่วโมง พบว่า ปัจจัยทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง การ

ล้างทำความสะอาดกระบอก และชนิดของสารกันเสีย เป็นปัจจัยที่ไม่มีผลต่อค่าความหวานของ น้ำตาลสดอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

2.3.2 คุณภาพทางกายภาพ

จากผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ พบว่า น้ำตาลสดเกิดปฏิกิริยาการหมัก (Fermentation) ซึ่งสามารถสังเกตเบื้องต้นได้ในชั่วโมงที่ 8 ตัวอย่างน้ำตาลสดที่วางไว้ในอุณหภูมิ $21-30^{\circ}\text{C}$ จะเริ่มเกิดฟองก๊าซ และมีกลิ่นบูดเปรี้ยว (ตารางที่ 31) ซึ่งคาดว่าฟองก๊าซที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นฟองก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกลิ่นเปรี้ยวในกระบวนการหมัก โดยยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Schizosaccharomyces pombe* นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรีย *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides* และแบคทีเรียสายพันธุ์อื่นๆ (Odunfa and Oyewol, 1998) อย่างไรก็ตามไม่พบการเกิดฟองก๊าซและกลิ่นในน้ำตาลสดที่จัดเก็บในอุณหภูมิ $\leq 10^{\circ}\text{C}$

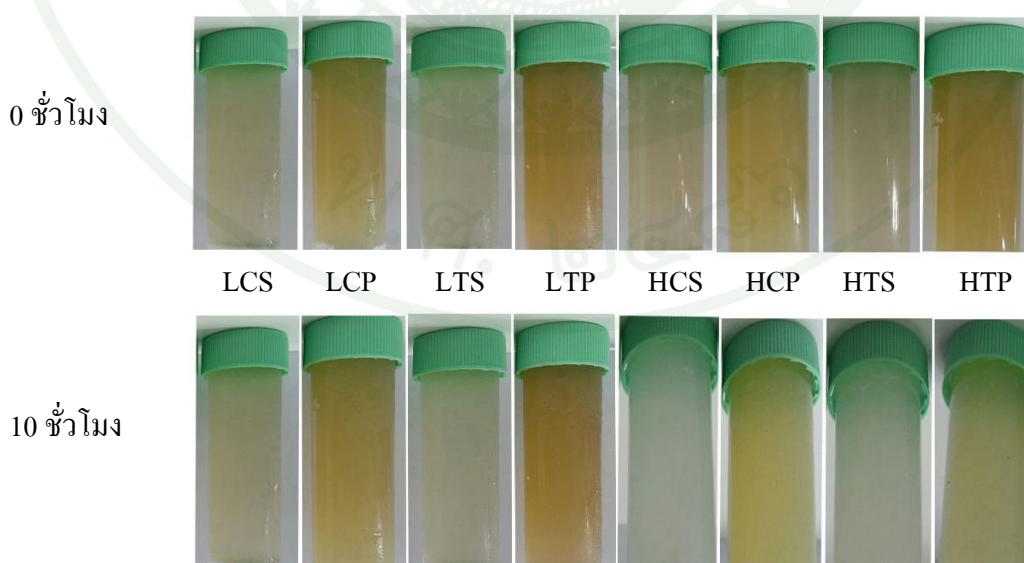
นอกจากการสังเกตกลิ่นและฟองก๊าซ ยังได้สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีน้ำตาลสดที่แต่ละระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยว พบว่า น้ำตาลสดที่เก็บเกี่ยวจากต้นมะพร้าวโดยการใช้สารเคมีเป็นสารกันเสียจะมีสีขาวขุ่น (Oyster-White) ซึ่งใกล้เคียงกับสีของน้ำตาลสดโดยธรรมชาติ แต่เมื่อใส่ไม้พะยอมในกระบอกเก็บน้ำตาลสดเพื่อใช้เป็นสารกันเสีย น้ำตาลสดที่ได้จะมีสีน้ำตาล ซึ่งสีน้ำตาลน่าจะเกิดจากสีของสารประกอบโพลีฟีนอลในเปลือกไม้พะยอม (อารี, 2546) เมื่อวางไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 8 ชั่วโมง สีของน้ำตาลสดจะจางลงและเกิดความขุ่น และที่ 10 ชั่วโมง สีน้ำตาลสดจางลงเล็กน้อยและความขุ่นเพิ่มขึ้น ในขณะที่น้ำตาลสดที่เก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีและความขุ่น ดังภาพที่ 34 ความขุ่นเกิดจากจุลินทรีย์ในน้ำตาลสด ได้แก่ ยีสต์ และแบคทีเรียแลกติก ซึ่งในขั้นตอนของปฏิกิริยาการหมักแบคทีเรียแลกติกจะผลิตเดกซ์แทรน (Dextran) ทำให้น้ำตาลสดมีสีขาวขุ่น (Lasekan et al., 2007) ความขุ่นที่เพิ่มขึ้น อาจเกิดจากจุลินทรีย์มีปริมาณมากขึ้น จึงแขวนลอยกระจายอยู่ในน้ำตาลสด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ที่พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ยีสต์และรา และแบคทีเรียแลกติกที่เพิ่มขึ้น เมื่อน้ำตาลสดมีค่าทะลุผ่านแสงลดลง (มนสุวีร์, 2552)

ตารางที่ 31 ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองด้านคุณภาพทางกายภาพต่างๆ ของน้ำตาลสด

เวลา (ชั่วโมง)	คุณสมบัติทาง กายภาพ	ชุดการทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
	อักษรย่อการ ทดลอง	LCS	LCP	LTS	LTP	HCS	HCP	HTS	HTP
0	ฟองก๊าซ ¹	0	0	0	0	0	0	0	0
	กลิ่น	-	-	-	-	-	-	-	-
4	ฟองก๊าซ ¹	0	0	0	0	0	0	0	0
	กลิ่น	-	-	-	-	-	-	-	-
8	ฟองก๊าซ ¹	0	0	0	0	10	5	7	2
	กลิ่น	-	-	-	-	+	+	+	+
10	ฟองก๊าซ ¹	0	0	0	0	13	7	10	5
	กลิ่น	-	-	-	-	+	+	+	+

หมายเหตุ ¹ วัดระดับความสูงของฟองก๊าซที่เกิดขึ้นในหน่วยมิลลิเมตร

- หมายถึง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง, + หมายถึง เกิดกลิ่นเปรี้ยวจากการหมัก



ภาพที่ 34 การเปลี่ยนแปลงของสีน้ำตาลสดที่เกิดขึ้นในแต่ละชุดการทดลองที่เวลา 0 และ 10 ชั่วโมง

2.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองการหาสถานะที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสด

เมื่อนำผลการทดลองจากวิธีทาภูชิและแฟกทอเรียลมาเปรียบเทียบผลการทดลองพบว่า ให้ผลที่สอดคล้องกัน โดยปัจจัยด้านอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งมีอิทธิพลต่อค่าพีเอชอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และปัจจัยทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง การล้างทำความสะอาดกระบอก และชนิดของสารกันเสีย เป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความหวานอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเวลาในการรอคอยหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น ค่าพีเอชของน้ำตาลสดมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าความหวานของน้ำตาลสดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ค่าพีเอชที่ลดลง สามารถอนุมานได้ว่าเกิดกระบวนการหมักในน้ำตาลสด ตามผลการศึกษาในหัวข้อ 2.1 ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ Xia *et al.* (2011) ที่พบว่า ในช่วงต้นของกระบวนการหมัก (0-24 ชั่วโมงแรก) น้ำตาลสดมีค่าความเป็นกรดเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่ปริมาณน้ำตาลทั้งหมดเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ซึ่งเกิดจากจุลินทรีย์ในน้ำตาลสดเริ่มใช้น้ำตาลเป็นแหล่งคาร์บอนในกระบวนการหมัก โดยที่ในน้ำตาลสดมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ และจุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนรูปไปมาระหว่างน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing Sugar) และไม่ใช่ น้ำตาลรีดิวซ์ (Non-Reducing Sugar) ทำให้ค่าความหวานของน้ำตาลสดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อีกทั้งในการทดลองครั้งนี้วิเคราะห์ค่าความหวานในรูปของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ ด้วยเครื่อง Refractometer ซึ่งเป็นเพียงวิธีการหาปริมาณน้ำตาลอย่างง่าย จึงอ่านไม่พบความแตกต่างของค่าความหวานอย่างชัดเจน

ตารางที่ 32 การเปรียบเทียบผลการทดลองด้วยวิธีทาภูชิและแฟกทอเรียล

เวลา (ชั่วโมง)	ปัจจัย ที่ศึกษา	ค่าตอบสนอง			
		ค่าพีเอช		ค่าความหวาน	
		วิธีทาภูชิ	วิธีแฟกทอเรียล	วิธีทาภูชิ	วิธีแฟกทอเรียล
4	อุณหภูมิ	$\leq 10^{\circ}\text{C}$	$\leq 10^{\circ}\text{C}$	$\leq 10^{\circ}\text{C}$	$\leq 10^{\circ}\text{C}$
	ความสะอาด	น้ำร้อน	น้ำประปา	น้ำประปา	น้ำประปา
	สารกันเสีย	พะยอม	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$
8	อุณหภูมิ	$\leq 10^{\circ}\text{C}$	$\leq 10^{\circ}\text{C}$	$\leq 10^{\circ}\text{C}$	$\leq 10^{\circ}\text{C}$
	ความสะอาด	น้ำประปา	น้ำประปา	น้ำคลอง	น้ำประปา
	สารกันเสีย	พะยอม	พะยอม	พะยอม	พะยอม

จากนั้นเปรียบเทียบผลการทดลองการหาสภาวะที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวน้ำตาลสดพบว่า ทั้ง 2 วิธี ในการจัดเก็บและขนส่งน้ำตาลสด ควรใช้อุณหภูมิประมาณ $\leq 10^{\circ}\text{C}$ สำหรับปัจจัยอื่นนั้นให้ผลใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 32 แต่เนื่องจากอีก 2 ปัจจัยนั้นไม่ส่งผลต่อค่าพีเอชและค่าความหวานของน้ำตาลสดอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) จึงสามารถใช้วิธีใดก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น ความสะดวกในการปฏิบัติงานของเกษตรกร เป็นต้น ผลการทดลองที่ได้จากทั้ง 2 วิธีมีความใกล้เคียงกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าการทดลองทั้ง 2 มีความน่าเชื่อถือใกล้เคียงกัน

สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทดลองของการทดลองด้วยวิธีทาгуชิ และแฟกทอเรียล โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพใน 2 ด้าน ได้แก่ ต้นทุนในการทดลอง และระยะเวลาที่ใช้ ในกรณีที่มีปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับในทั้ง 2 รูปแบบการทดลองพบว่า การทดลองด้วยวิธีทาгуชิมีต้นทุนการทดลองทั้งหมด 3,600 บาท และใช้ระยะเวลาการทดลอง 108 นาที ในขณะที่วิธีแฟกทอเรียลมีต้นทุนการทดลองอยู่ที่ 32,400 บาท และใช้ระยะเวลาการทดลอง 972 นาที (ภาคผนวก ค) จะเห็นได้ว่าวิธีทาгуชิมีต้นทุน และระยะเวลาในการทดลองที่ต่ำกว่าวิธีแฟกทอเรียล เนื่องจากมีจำนวนการทดลองน้อยกว่าวิธีแฟกทอเรียล ดังตารางที่ 33

ตารางที่ 33 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทดลองรูปแบบต่างๆ

รายละเอียด	รูปแบบการทดลอง	
	วิธีทาгуชิ	วิธีแฟกทอเรียล
จำนวนวิธีการทดลอง	9	81
จำนวนซ้ำต่อวิธีการทดลอง	4	4
จำนวนการทดลองทั้งหมด	36	324
ต้นทุนการทดลอง ¹ (บาท)	3,600	32,400
ระยะเวลาการทดลอง (นาที)	108	972

หมายเหตุ ¹ ต้นทุนการทดลองคิดเฉพาะการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าพีเอช และค่าความหวาน

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองและการประสิทธิภาพ สามารถสรุปข้อดี-ข้อเสียของการทดลองทั้ง 2 วิธี ได้ดังตารางที่ 34

ตารางที่ 34 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการทดลองรูปแบบต่างๆ

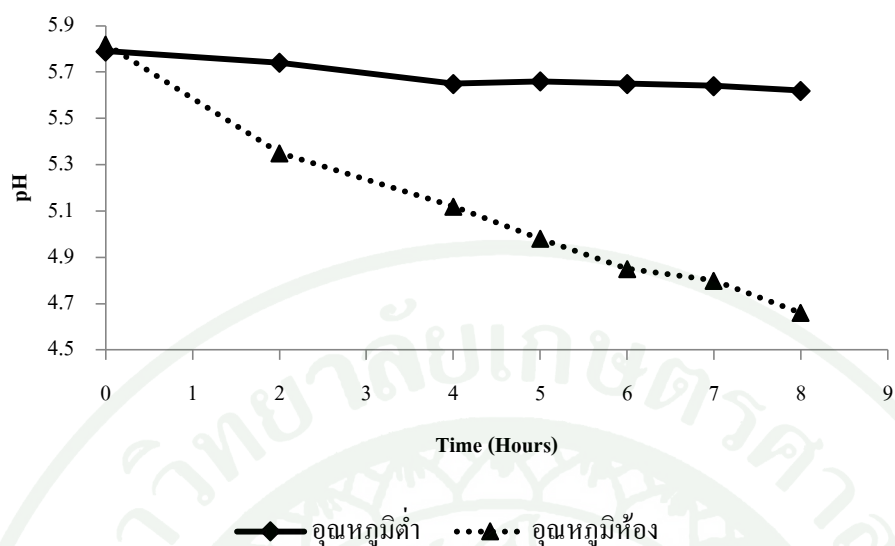
รูปแบบการทดลอง	ข้อดี	ข้อเสีย
วิธีทาгуชิ	1. ประหยัดต้นทุนและระยะเวลาในการทดลอง เนื่องจากสามารถลดจำนวนการทดลองจากวิธีแฟกทอเรียล 2. สามารถศึกษาได้หลายปัจจัย ในกรณีที่มีปริมาณตัวอย่างจำกัด 3. วิเคราะห์ข้อมูลได้ง่าย ไม่ซับซ้อน และเหมาะสมกับงานหลายด้าน โดยเฉพาะด้านวิศวกรรม 4. ช่วยให้งบอบเขตของปัญหาแคบลง โดยการใช้การทดลองด้วยวิธีทาгуชิเป็นเครื่องมือในการกรองปัจจัย (Screening Factor) เพื่อลดปัจจัยหลักที่ไม่มีนัยสำคัญออก และนำปัจจัยหลักที่เหลืออยู่ไปศึกษาต่อ	1. ผลการทดลองที่ได้ ไม่สามารถนำไปวิเคราะห์แบบอื่นได้ เช่น การวิเคราะห์โดยใช้กราฟ เนื่องจากข้อมูลมีลักษณะความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ศึกษา 2. รูปแบบการทดลองของวิธีทาгуชิ ไม่สามารถหาอิทธิพลของปัจจัยร่วมได้ทุกรูปแบบ เช่น $L9(3^3)$ เป็นต้น
วิธีแฟกทอเรียล	1. สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์หรือหาความสัมพันธ์แบบอื่นได้ เช่น การวิเคราะห์โดยใช้กราฟ 2. สามารถวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อค่าตอบสนองได้ในทุกรูปแบบการทดลองของวิธีแฟกทอเรียล	1. ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการทดลองสูง 2. ใช้ระยะเวลาในการทดลองนาน เนื่องจากชุดการทดลอง (Treatment) มีมากกว่าวิธีทาгуชิ 3. ไม่เหมาะกับปัญหามหาศาลใหญ่ที่มีจำนวนของปัจจัยที่ต้องการศึกษาเป็นจำนวนมาก

2.5 ทดสอบยืนยันผลการทดลอง (Validation)

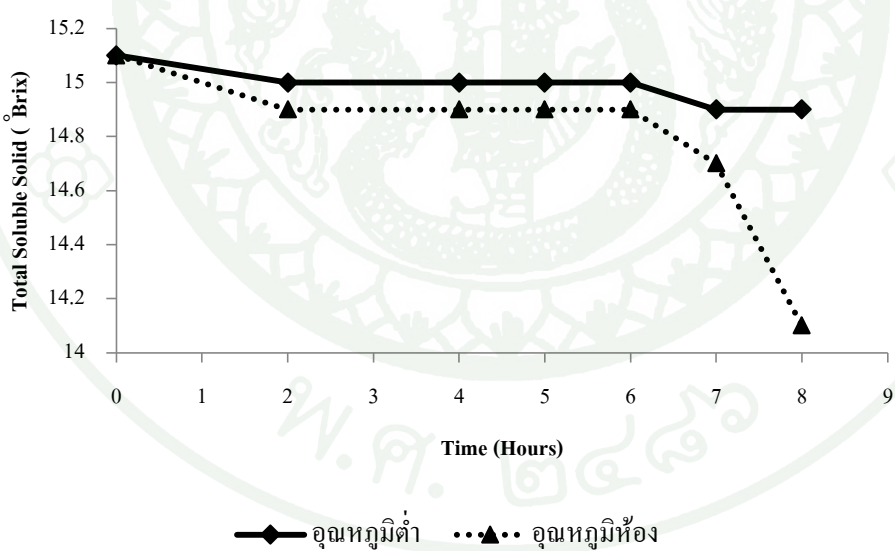
หลังจากที่ทราบปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำตาลสด จากนั้นนำมาทดสอบในการปฏิบัติงานจริงของเกษตรกรและโรงงาน เพื่อยืนยันผลการทดลองที่ได้ ซึ่งในที่นี้ปัจจัยเรื่องอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำตาลสดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

ในการทดสอบเพื่อยืนยันผลการทดลองการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำตาลสด เริ่มจากการล้างทำความสะอาดกระบอด้วยน้ำคลอง ต่อมาใส่สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ ปริมาณ 5 มิลลิตรต่อกระบอ ซึ่งในช่วงที่ทำการทดลองเดือนกันยายน-ตุลาคม ปริมาณน้ำตาลที่เก็บเกี่ยวได้ประมาณ 300-500 มิลลิตร จากนั้นนำกระบอไปรองรับน้ำตาลสดที่ต้นมะพร้าว เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หลังการเก็บเกี่ยวจัดเก็บน้ำตาลสดไว้ในที่สภาวะอุณหภูมิต่ำ ($\leq 10^{\circ}\text{C}$) และอุณหภูมิห้อง ($25-35^{\circ}\text{C}$) ที่ระยะเวลา 0, 2, 4, 5, 6, 7 และ 8 ชั่วโมง ซึ่งจากผลการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียล พบว่า หลังการเก็บเกี่ยวมากกว่า 4 ชั่วโมง น้ำตาลสดจะเริ่มเปลี่ยนแปลงคุณภาพ ดังนั้นในการทดลองยืนยันผลจึงเก็บตัวอย่าง ในชั่วโมงที่ 5, 6, 7 โดยทำการทดลอง 2 ซ้ำ ทั้งนี้สภาวะการเก็บเกี่ยวและจัดเก็บได้จำลองให้ใกล้เคียงกับการปฏิบัติงานจริงของเกษตรกรส่วนใหญ่ในปัจจุบัน โดยใช้ในการล้างทำความสะอาดกระบอแบบกล้วยด้วยน้ำคลอง หลังการเก็บเกี่ยวนำน้ำตาลสดที่ได้เทใส่ในถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร โดยไม่ปิดฝาลัง ซึ่งให้เป็นสภาวะที่รุนแรงที่สุด (Worst Case Scenario) อย่างไรก็ตามยังมีเกษตรกรบางส่วนที่ทำความสะอาดแบบใช้น้ำยาทำความสะอาดแล้วล้างด้วยน้ำคลองหรือการลวกกระบอด้วยน้ำร้อน

ผลการทดลอง พบว่า คุณภาพทางด้านกายภาพ ได้แก่ สี กลิ่น ฟองก๊าซ ของน้ำตาลสดที่จัดเก็บในอุณหภูมิต่ำ ($\leq 10^{\circ}\text{C}$) มีคุณภาพดีกว่าน้ำตาลสดที่จัดเก็บในอุณหภูมิห้อง ($25-35^{\circ}\text{C}$) โดยน้ำตาลสดที่จัดเก็บในอุณหภูมิห้องเริ่มมีฟองก๊าซเกิดขึ้นในชั่วโมงที่ 2 และมีปริมาณเพิ่มขึ้นจนถึงชั่วโมงที่ 8 นอกจากนี้ยังพบว่ามีเปลี่ยนแปลงของสีที่ขุ่นเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และเริ่มมีกลิ่นเปรี้ยวจากกระบวนการหมักในชั่วโมงที่ 4 ในขณะที่น้ำตาลสดที่จัดเก็บในที่อุณหภูมิต่ำมีปริมาณฟองก๊าซเกิดขึ้นไม่เกิด 6 มิลลิเมตร ไม่มีกลิ่นเปรี้ยว และสีเริ่มขุ่นหลังจากชั่วโมงที่ 7 ดังตารางที่ 35 สำหรับคุณภาพด้านเคมี ได้แก่ ค่าพีเอช น้ำตาลสดที่จัดเก็บในอุณหภูมิต่ำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าน้ำตาลสดที่จัดเก็บในอุณหภูมิห้อง ส่วนค่าความหวานมีค่าใกล้เคียงกัน ดังภาพที่ 35 และ 36 แสดงว่าน้ำตาลสดที่จัดเก็บในที่อุณหภูมิต่ำสามารถรักษาคุณภาพของน้ำตาลสดได้ และไม่เกิดกระบวนการหมักขึ้นในระหว่างการจัดเก็บ

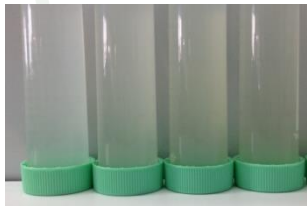
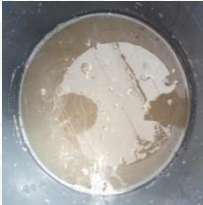


ภาพที่ 35 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำตาลสดในแต่ละระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงค่าความหวานของน้ำตาลสดในแต่ละระยะเวลาหลังการเก็บเกี่ยวที่อุณหภูมิต่างๆ

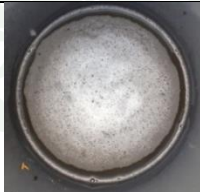
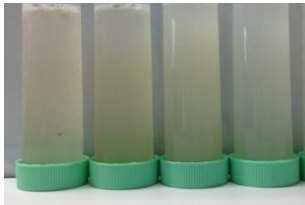
ตารางที่ 35 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของน้ำตาลสด

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิในการจัดเก็บ และขนส่งน้ำตาลสด	คุณสมบัติของน้ำตาลสด			สีของน้ำตาลสด
		กลิ่น	ฟองก๊าซ		
			ลักษณะฟอง	ความสูงฟอง (มม.)	
0	L	-		0	 L L H H
	H	-		0	
2	L	-		1	 L L H H
	H	-		17.5	

ตารางที่ 35 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิในการจัดเก็บ และขนส่งน้ำตาลสด	คุณสมบัติของน้ำตาลสด			สีของน้ำตาลสด
		กลิ่น	ฟองก๊าซ		
			ลักษณะฟอง	ความสูงฟอง (มม.)	
4	L	-		4.5	
	H	+		22.5	
5	L	-		5	
	H	+		22.5	

ตารางที่ 35 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิในการจัดเก็บ และขนส่งน้ำตาลสด	คุณสมบัติของน้ำตาลสด			สีของน้ำตาลสด
		กลิ่น	ฟองก๊าซ		
			ลักษณะฟอง	ความสูงฟอง (มม.)	
6	L	-		5	
	H	+		22.5	
7	L	-		5	
	H	+		30.5	

ตารางที่ 35 (ต่อ)

เวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิในการจัดเก็บ และขนส่งน้ำตาลสด	คุณสมบัติของน้ำตาลสด			สีของน้ำตาลสด
		กลิ่น	ฟองก๊าซ		
			ลักษณะฟอง	ความสูงฟอง (มม.)	
8	L	-		5.5	
	H	+		30.5	

หมายเหตุ L หมายถึง จัดเก็บในสภาวะอุณหภูมิต่ำ ($\leq 10^{\circ}\text{C}$), H หมายถึง จัดเก็บในสภาวะอุณหภูมิห้อง ($25-35^{\circ}\text{C}$)

- หมายถึง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง, + หมายถึง เกิดกลิ่นเปรี้ยวจากการหมัก

2.6 การกำหนดแนวทางในการปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศของผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน

จากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน (SCOR Model) และผลการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำตาลสดในขั้นตอนการเก็บเกี่ยวและหลังการเก็บเกี่ยว สามารถเสนอแนวทางในการปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศ ดังนี้

2.6.1 เกษตรกร

จากผลการทดลอง จึงสรุปได้ว่า เกษตรกรควรใช้น้ำประปาชุมชนในการทำ ความสะอาดกระบอบพลาสติกที่ใช้รองรับน้ำตาลสด ทั้งนี้ในทางปฏิบัติงานจริงสวนมะพร้าวส่วนใหญ่อยู่ห่างไกลจากที่พักรับน้ำดื่มทำได้ยาก อย่างไรก็ตามเกษตรกรสามารถใช้น้ำคลองหรือน้ำในร่องสวนในการทำ ความสะอาดได้เหมือนเดิม เนื่องจากผลวิเคราะห์ทางสถิติไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยควรใส่ไม้พะยอมไว้ที่ก้นกระบอบก่อนนำไปรองรับน้ำตาลสดเพื่อทดแทนสารเคมีที่เป็นสารกันเสีย แต่การใช้ไม้พะยอมจะทำให้สีของน้ำตาลสดเข้มขึ้น น้ำตาลสดที่ได้จึงเหมาะกับการจำหน่ายให้กับผู้ผลิตน้ำตาลมะพร้าว แต่น้ำตาลสดที่ส่งมอบให้ผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสด เกษตรกรสามารถใช้สารโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์เป็นสารกันเสียได้ โดยใช้ในปริมาณที่เหมาะสมและไม่เกินที่กฎหมายกำหนด และในขั้นตอนการจัดเก็บและขนส่งกรณีที่ไม่สามารถขนส่งวัตถุดิบภายใน 4 ชั่วโมง ควรเก็บน้ำตาลสดโดยใช้โซ่ความเย็นจัดเก็บและขนส่งที่อุณหภูมิต่ำ ($\leq 10^{\circ}\text{C}$) จะช่วยรักษาคุณภาพน้ำตาลสดไม่ให้เกิดการเสื่อมเสียจากกระบวนการหมัก

2.6.2 บริษัทผู้ผลิตเครื่องดื่มน้ำตาลสดสเตอริไลซ์

บริษัทผู้ผลิตควรจัดการการรับวัตถุดิบน้ำตาลสดจากเกษตรกรภายใน 4 ชั่วโมงหลังการเก็บเกี่ยว และระหว่างขนส่งต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำตาลสดให้ไม่เกิน 10°C เช่นเดียวกับเกษตรกร เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียของน้ำตาลสด

นอกจากนี้การรับซื้อวัตถุดิบน้ำตาลสดจากเกษตรกรในปัจจุบันทางบริษัท ใช้ค่าความหวานในการกำหนดราคารับซื้อน้ำตาลสดเพียงค่าเดียว ซึ่งจากผลการทดลอง พบว่า ค่าความหวานไม่ได้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพของน้ำตาลที่เหมาะสม บริษัท ควรนำค่าฟิโอสของน้ำตาลสดมาใช้ร่วมกับค่าความหวานในการกำหนดราคารับซื้อน้ำตาลสดด้วย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในการศึกษาโครงสร้างโซ่อุปทานการผลิตน้ำตาลสดในประเทศไทย ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองอ้างอิงกระบวนการโซ่อุปทาน (SCOR Model) เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการในโซ่อุปทาน พบว่า บริษัทกรณีศึกษามีประเด็นปัญหาหลักที่ควรปรับปรุงและได้เสนอแนวทางในการปฏิบัติ ดังนี้

1. การจัดหาวัตถุดิบน้ำตาลสด (SI) พบปัญหาคุณภาพน้ำตาลสดไม่สม่ำเสมอ เกิดการเสื่อมเสียของน้ำตาลสดในขั้นตอนการจัดเก็บและขนส่งมายังโรงงาน เนื่องจากการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวและการจัดเส้นทางและเที่ยวรถรับวัตถุดิบน้ำตาลที่ไม่เหมาะสม บริษัทกรณีศึกษาจึงควรหาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของวัตถุดิบน้ำตาลสด เพื่อพัฒนาคุณภาพของวัตถุดิบและลดปัญหาคุณภาพของวัตถุดิบไม่เป็นไปตามที่กำหนด รวมถึงปรับปรุงการจัดเส้นทางและเที่ยวรถรับส่งวัตถุดิบให้มีประสิทธิภาพ

2. การประเมินและคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบ (ES.2) โดยเฉพาะผู้ส่งมอบวัตถุดิบน้ำตาลสดซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจาก คุณภาพของวัตถุดิบส่งผลต่อสินค้าที่ผลิตได้ อีกทั้งวัตถุดิบมีจำนวนจำกัด และยังสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายประเภท ทำให้มีสภาพการแข่งขันที่สูง การจัดทำฐานข้อมูลจะช่วยให้บริษัทกรณีศึกษา สามารถคาดการณ์วัตถุดิบได้แม่นยำมากขึ้น และสามารถวางแผนจัดหาแหล่งวัตถุดิบใหม่ได้ โดยการจัดทำฐานข้อมูลของผู้ส่งมอบวัตถุดิบและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสเปรดชีต (Spread Sheet) ในโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งควรกำหนดเกณฑ์ในการประเมินผู้ส่งมอบให้ครอบคลุมทุกด้าน เช่น คุณภาพ ปริมาณ และความสม่ำเสมอหรือความถี่ในการจัดส่งวัตถุดิบ เป็นต้น เพื่อจัดทำดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของผู้ส่งมอบวัตถุดิบ และสามารถเรียงลำดับประสิทธิภาพของผู้จัดส่งวัตถุดิบได้ นอกจากนี้หลังการประเมินประสิทธิภาพผู้จัดส่งวัตถุดิบควรแจ้งผลการประเมิน รวมถึงผลการตรวจสอบคุณภาพวัตถุดิบให้แก่ผู้จัดส่งวัตถุดิบ

3. การจัดเส้นทางและเที่ยวรถรับวัตถุดิบน้ำตาล (Manage Transportation: ES.6) ปัจจุบันการจัดเส้นทางและจัดเที่ยวรถรับวัตถุดิบไม่สอดคล้องกับจำนวนผู้ส่งมอบที่มากขึ้น ทำให้วัตถุดิบน้ำตาลสดของผู้ส่งมอบบางรายเกิดการรอคอยที่นานเกินไป ทำให้เกิดปัญหาการเสื่อมเสีย ซึ่งแนวทางในการปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศ บริษัทกรณีศึกษาควรปรับปรุงการจัดการเส้นทางรถขนส่ง

วัตถุดิบน้ำตาลสดให้มีประสิทธิภาพ โดยพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นแบบผสม VRPTW Mixed Integer Programming เพื่อแก้ปัญหาการจัดการรถขนส่งที่มีข้อจำกัดด้านเวลาโดยไม่ทำให้น้ำตาลสดเกิดการเสื่อมเสีย รวมถึงต้องสอดคล้องกับจำนวนผู้ส่งมอบและจำนวนรถขนส่งที่เพิ่มขึ้น เพื่อให้บริษัทกรณีศึกษาสามารถวางแผนเส้นทางการรับวัตถุดิบได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทำให้ประหยัดต้นทุนขนส่ง อีกทั้งยังช่วยเพิ่มคุณภาพน้ำตาลสดจากการลดระยะเวลาในการขนส่ง

สำหรับการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำตาลสดหลังการเก็บเกี่ยวจนกระทั่งถึงส่งมอบนั้น โดยเริ่มจากการทดลองเบื้องต้น (Preliminary Experiment) ผลการทดลองพบว่า ค่าพีเอชและค่าความหวานกับปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมดในน้ำตาลสดมีความสัมพันธ์กันในทางลบ โดยสามารถอนุมานได้ว่า ถ้าน้ำตาลสดเกิดการเสื่อมเสีย จากกระบวนการหมักของเชื้อจุลินทรีย์ จะส่งผลให้ค่าพีเอชและค่าความหวานลดลง ต่อมาจึงได้ทดสอบเบื้องต้น (Screen Test) เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำตาลสดด้วยการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทาгуชิ (Taguchi Method) โดยมีปัจจัยที่ศึกษาทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง น้ำที่ใช้ทำความสะอาดกระบอเก็บน้ำตาลสด และชนิดของสารกันเสีย ปัจจัยละ 3 ระดับ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 9 ชุดการทดลอง (L_9 Orthogonal Array) นำน้ำตาลสดที่ได้มาวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี ได้แก่ ค่าพีเอช และค่าความหวาน พบว่า หลังการเก็บเกี่ยวในช่วงเวลาที่ 4 และ 8 ปัจจัยด้านอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าพีเอชอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในขณะที่ปัจจัยดังกล่าว และอีก 2 ปัจจัย ได้แก่ การล้างทำความสะอาดกระบอ และชนิดของสารกันเสีย เป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความหวานอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) หลังจากนั้นจึงออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียล โดยลดจำนวนระดับของแต่ละปัจจัยที่ไม่เหมาะสมจากผลการทดลองด้วยวิธีทาгуชิ ซึ่งการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียลยังคงใช้จำนวนปัจจัยเดิมในการศึกษา แต่ลดระดับของแต่ละปัจจัยลงให้มี 2 ระดับ นำน้ำตาลสดที่ได้ไปวิเคราะห์คุณภาพทั้งด้านกายภาพและเคมี เช่น ค่าพีเอช ค่าความหวาน สี กลิ่น ปริมาณฟองก๊าซ เป็นต้น ผลการทดลอง พบว่า ปัจจัยด้านอุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง และชนิดของสารกันเสียมีอิทธิพลต่อค่าพีเอช อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และปัจจัยทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ อุณหภูมิในการจัดเก็บและขนส่ง การล้างทำความสะอาดกระบอ และชนิดของสารกันเสีย เป็นปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความหวานอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองด้วยวิธีทาгуชิในเบื้องต้น นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อเวลาในการรอคอยหลังการเก็บเกี่ยวนานขึ้น ค่าพีเอชของน้ำตาลสดมีค่าลดลงตามเวลา ในขณะที่ค่าความหวานของน้ำตาลสดมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยประมาณ 0.53°Brix จากนั้นยืนยันผลการทดลองที่ได้โดยนำไปทดสอบ

อีกครั้งในการปฏิบัติงานจริงของเกษตรกรและโรงงาน ซึ่งผลการทดสอบยืนยันสอดคล้องกับผลการทดลองด้วยวิธีทางจุลินทรีย์และแฟกทอเรียล

จากผลการทดลองข้างต้น จึงเสนอแนวทางในการปฏิบัติสู่ความเป็นเลิศให้แก่ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน ได้แก่ เกษตรกรควรใช้น้ำประปาชุมชนในการทำมาสะอาดกระบอกลพลาสติกที่ใส่รองรับน้ำตาลสด และใช้ไม้พะยอมทดแทนสารเคมีที่เป็นสารกันเสีย แต่การใช้ไม้พะยอมจะทำให้สีของน้ำตาลสดเข้มขึ้น ทั้งนี้เกษตรกรจะเลือกใช้สารกันเสียชนิดใดขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้รับซื้อน้ำตาลสด และในขั้นตอนการจัดเก็บและขนส่งกรณีที่ไม่สามารถขนส่งวัตถุดิบภายใน 4 ชั่วโมง ควรเก็บน้ำตาลสดโดยใช้โซ่ความเย็นจัดเก็บและขนส่งที่อุณหภูมิต่ำ ($\leq 10^{\circ}\text{C}$) สำหรับบริษัทผู้ผลิตควรจัดทำตารางการรับวัตถุดิบน้ำตาลสดจากเกษตรกรภายใน 4 ชั่วโมงหลังการเก็บเกี่ยว และระหว่างขนส่งต้องควบคุมอุณหภูมิของน้ำตาลสดให้ไม่เกิน 10°C เช่นเดียวกับเกษตรกร เพื่อป้องกันการเสื่อมเสียของน้ำตาลสด นอกจากนี้ในการรับซื้อวัตถุดิบน้ำตาลสดจากเกษตรกร บริษัทกรณีศึกษาควรนำค่าพิเศษของน้ำตาลสดมาใช้ร่วมกับค่าความหวานในการกำหนดราคารับซื้อน้ำตาลสด

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำตาลสดเฉพาะในช่วงฤดูฝน (เดือน กันยายน ถึง เดือน ตุลาคม) ซึ่งยังไม่ครอบคลุมสภาพอากาศตลอดทั้งปีในประเทศไทย จึงควรทำการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำตาลสดในฤดูอื่นด้วย โดยเฉพาะในฤดูร้อน เนื่องจากปัจจุบันสภาพอากาศในประเทศไทยมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นในทุกปี ซึ่งอาจส่งผลให้ระยะเวลาในการขนส่งน้ำตาลสดที่ไม่ทำให้น้ำตาลสดเกิดการเสื่อมเสียเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- กัณฐกาล สิงห์สูง, เวณิกา เบ็ญจพงษ์, นริศรา ม่วงศรีจันทร์ และ วีรยา การพานิช. 2552. สถานการณ์การใช้วัตถุกันเสียในน้ำตาลใส วารสารพิษวิทยาไทย 24 (2): 146-156.
- เกียรติสุตา เหลืองวิทย์, อรวรรณ ปลื้มจิตร และศุภาพร ญัฐพลวัฒน์. 2554. รายงานโครงการวิจัย เรื่อง การเก็บรักษามะพร้าวกะทิ. 59 หน้า
- คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ม.ป.ป.. อัตราค่าวิเคราะห์สารเคมี. แหล่งที่มา: <http://www.agi.nu.ac.th/agi2010/data.php?view=page10>, 1 มิถุนายน 2557.
- จารุวรรณ มณีศรี. 2551. เทคโนโลยีอาหารหมัก. พิมพ์ครั้งที่ 2 สำนักพิมพ์โพธิ์เพช, กรุงเทพฯ.
- เจษฎา ทิพย์มณฑิธร. 2546. การประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ กระบวนการบรรจุและปิดผนึกบรรจุภัณฑ์ในการผลิตซอสผลไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชัยรัช ไหมเจริญ. 2546. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตน้ำมันรำข้าวด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา: โรงงานสกัดน้ำมันรำข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ. 2555. รายงานฉบับสมบูรณ์: การศึกษาการจัดการโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ของมะพร้าวน้ำหอมในจังหวัดสมุทรสาคร. 57 หน้า.
- ชัยสิทธิ์ โคตรสมพงศ์. 2554. การศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดเศษครึ่งในกระบวนการกลึง โดยการออกแบบการทดลอง. สารนิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- นรินาม. 2550. ประโยชน์ของมะพร้าว. แหล่งที่มา: <https://sites.google.com/site/sciedinnovation/prayoch-n-khxng-maphraw>, 1 ตุลาคม 2556.

บุญอนันต์ เบญจบุตร. 2548. การปรับปรุงประสิทธิภาพโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดย่อม: กรณีศึกษาในบริษัทค้าส่งอาหารสัตว์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์ท็อป, กรุงเทพฯ.

ปราโมทย์ ธรรมรัตน์. 2521. การศึกษีสัตว์ในน้ำตาลสด น้ำตาลเมา และการคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีคุณภาพสูงเพื่อการหมักแอลกอฮอล์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พริภา องค์คุณารักษ์. 2553. การจัดการโซ่อุปทานในอุตสาหกรรมเกษตรเบื้องต้น. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

_____. 2554. การจัดการโซ่อุปทานเชิงกลยุทธ์ในอุตสาหกรรมเกษตร. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เพชรนิยม ลัทธิมัย. 2551. ฤทธิ์ต้านเชื้อราของสารสกัดหยาบจากเปลือกพะยอมในการต้านเชื้อรา *Colletotrichum* sp. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.

ยิม ไทยานนท์. 2507. สวนมะพร้าว. ม.ป.ท., กรุงเทพฯ.

มนสุวิรี ไพชำนาญ. 2552. ผลของการปฏิบัติระหว่างการเก็บเกี่ยว และหลังการเก็บเกี่ยวน้ำตาลโตนดสด (*Borassus flabellifer* Linn.) ต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำตาลโตนดเข้มข้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มาลี สันตกุล และ พูนสุข อัดทะสัมปณณะ. 2517. การศึกษาเรื่องการเก็บเกี่ยวน้ำตาลมะพร้าววารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (7): 1-9.

รภัส มัชฌิมานนท์. 2551. การวิเคราะห์การจัดการโซ่อุปทานของผู้ประกอบการลำไยสดด้วยการวิเคราะห์สายธารคุณค่าในจังหวัดเชียงใหม่และลำพูน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

รวีพิมพ์ ญวิสุข. 2554. สถิติเพื่อการจัดการอุตสาหกรรมเกษตร. ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

เรณู กาโสมบัตติ. 2545. การผลิตไซรัปจากน้ำตาลสด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วีระ เทพกรณ์. 2548. น้ำตาลมะพร้าว: ความหวานจากภูมิปัญญาไทย. พิมพ์ครั้งที่ 3 บริษัท อักษรเจริญทัศน์ อจท. จำกัด, กรุงเทพฯ.

ศุภาวิษฐ์ สุวรรณแพทย์. 2551. การผลิตน้ำส้มสายชูหมักจากไวน์สับปะรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย. 2556. ตลาดเครื่องดื่มครึ่งหลังปี 56: เร่งปรับกลยุทธ์รับมือผู้บริโภคที่เพิ่มความระมัดระวังค่าใช้จ่าย. แหล่งที่มา: <https://www.kasikornresearch.com/th/k-econanalysis/pages/ViewSummary.aspx?docid=31647>, 1 มิถุนายน 2557.

สมเกียรติ ชันอ่อน. 2552. การพัฒนาและการผลิตสารสกัดจากไม้พะยอมในรูปแบบผงเพื่อในกระบวนการผลิตน้ำตาลสด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.

สถาบันอาหาร. 2555. อุตสาหกรรมมะพร้าวและการผลิตต่อเนื่อง. แหล่งที่มา: <http://fic.nfi.or.th/>, 12 ตุลาคม 2556.

สุกรีพันธ์ เชื้อมวาราศาสตร์. 2551. การลดจำนวนของเสียที่เกิดจากการบวมของผลิตภัณฑ์วุ้นมะพร้าวในกระบวนการบรรจุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยพระจอมธนบุรี.

สุกัญญา จันทะชุม. 2547. รายงานโครงการวิจัยเรื่อง การปรับปรุงคุณภาพน้ำตาลโตนดโดยใช้ไม้
เคี่ยมและปูนขาว. 129 หน้า

สุภารัตน์ เตียไพบูลย์. 2547. ผลของการใช้ความดันสูงและความร้อนต่อคุณภาพของน้ำตาลโตนด.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

เสาวลักษณ์ จิตรบรรเจิดกุล. 2532. ผลของวัตถุดิบเสียดต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์จากน้ำตาลโตนด.
วารสารสงขลานครินทร์ 11: 161-165.

สำนักงานเกษตรจังหวัดสมุทรสงคราม. 2556. สถิติเกษตร. แหล่งที่มา:
[http://www.samutsongkhram.doae.go.th/2556/index.php?option=com_content&view=arti](http://www.samutsongkhram.doae.go.th/2556/index.php?option=com_content&view=article&id=4:1&catid=17&Itemid=101)
cle&id=4:1&catid=17&Itemid=101, 10 ตุลาคม 2556.

อนุสรณ์ อุณโณ. 2552. คนทำตาล: ประวัติศาสตร์ อัตลักษณ์ และสำนักและการเคลื่อนไหวทาง
สังคมศาสตร์และการเมืองของชาวสวนบางนางลี่. พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักงานกองทุน
สนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.

อารี แก้วกนกวิจิตร. 2546. ผลของไม้พะยอมและไม้มะเกลือที่มีต่อจุลินทรีย์ในน้ำตาลสดและ
น้ำตาลเมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

AOAC International. 2000. **Official Method of Analysis of AOAC International**. 17th ed.
The association of official analytical chemists, USA.

Borse, B.B. 2007. Chemical composition of volatiles from coconut sap (neera). **Food Chem**
101: 877-880.

Carullo, A., S. Corbellini, M. Parvis, L. L. Reyneri and A. Vallan. 2009. A wireless
sensor network for cold-chain monitoring. **IEEE Transactions**
on Instrumentation and Measurement 58(5): 1405-1411.

- Chen, X. and D.D. Kitts. 2008. Determining conditions for nitric oxide synthesis in Caco-2 cells using Taguchi and factorial experimental designs. **Anal Biochem** 318: 185-192.
- Child, R. 1974. **Coconuts**. 2nd Edition. Longman group Ltd, London.
- Faparsui, S.I. and O. Bassir. 1972. Effect of extracts of the bark of *Saccoglottis Gabonensis* on the microflora of palm wine. **Appl. Microbio.** 24 : 853-856.
- Gupta, R.C., K.V. Jain and G. Shanker. 1980. Palm sap as a potential starting material for vinegar production. **Research Industry** 25: 5-7.
- Rediers, H., M. Claes, L. Peeters, and K.A. Willems. 2009. Evaluation of cold chain of fresh-cut endive from farmer to plate. **Postharvest Biol Tech** 51: 257-262.
- Kuo, J.-C. and M.C. Chen. 2010. Developing an advanced multi-temperature joint distribution system for the food cold chain. **Food Control** 21: 559-566.
- Lasekan, O., A. Buettner, and M. Christlbaure. 2007. Investigation of important odorant of palm wine (*Elaeis guineensis*). **Food Chem** 43: 708-716.
- Montanari, R. 2008. Cold chain tracking: a managerial perspective. **Trends Food Science Tech** 19(8): 425-431.
- Montgomery, D.C. 1997. **Design and Analysis of Experiments**. 4th ed. John Wiley & Sons, New York.
- Odunfa, S.A. and O.B. Oyewole. 1998. **Microbiology of Fermented Foods**. Blackie Academic and Professional, UK.

Okafor, N. 1975. Microbiology of nigerian palm wine with particular reference to bacteria. **J. Appl. Bact.** 38: 81-88.

Oztop, M.H., S. Sahin and G. Sumnu. 2007. Optimization of microwave frying of potato slices by using Taguchi technique. **Food Eng** 79: 83-91.

Supply-Chain Council. 2008. **SCOR: Supply Chain Operations Reference Model Version 9.0.**

Roy, R.K. 2001. **Design of Experiments Using The Taguchi Approach: 16 Steps to Product and Process Improvement.** John Wiley & Sons, New York.

Water, D. 2009. **Supply Chain Management: an Introduction to Logistics.** 2nd ed. Palgrave Macmillan, Avenue, New York.

Xia, Q., R. Li, S. Zhao, W. Chen, H. Chen, B. Xin, Y. Huang and M. Tang. 2011. Chemical changes of post-harvest coconut inflorescence sap during natural fermentation, **Afr. J. Biotechnol.** 10(66): 14999-15005.



ภาคผนวก



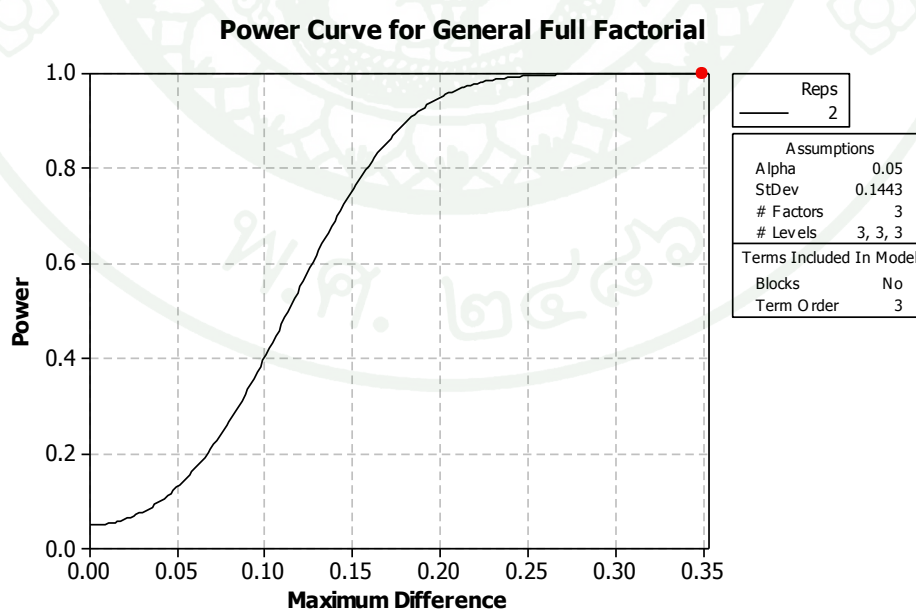
การกำหนดขนาดตัวอย่าง/จำนวนซ้ำที่เหมาะสม

คำนวณขนาดตัวอย่าง/จำนวนซ้ำที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 16 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. การกำหนดขนาดตัวอย่าง/จำนวนซ้ำที่เหมาะสม สำหรับการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทาคุชิ

Power and Sample Size				
General Full Factorial Design				
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.1443				
Factors: 3 Number of levels: 3, 3, 3				
Include terms in the model up through order: 3 Not including blocks in model.				
Maximum Difference	Reps	Total Runs	Target Power	Actual Power
0.35	2	54	0.95	1.00000

ภาพผนวกที่ ก1 ผลการวิเคราะห์จำนวนขนาดตัวอย่าง/จำนวนซ้ำ สำหรับวิธีทาคุชิ

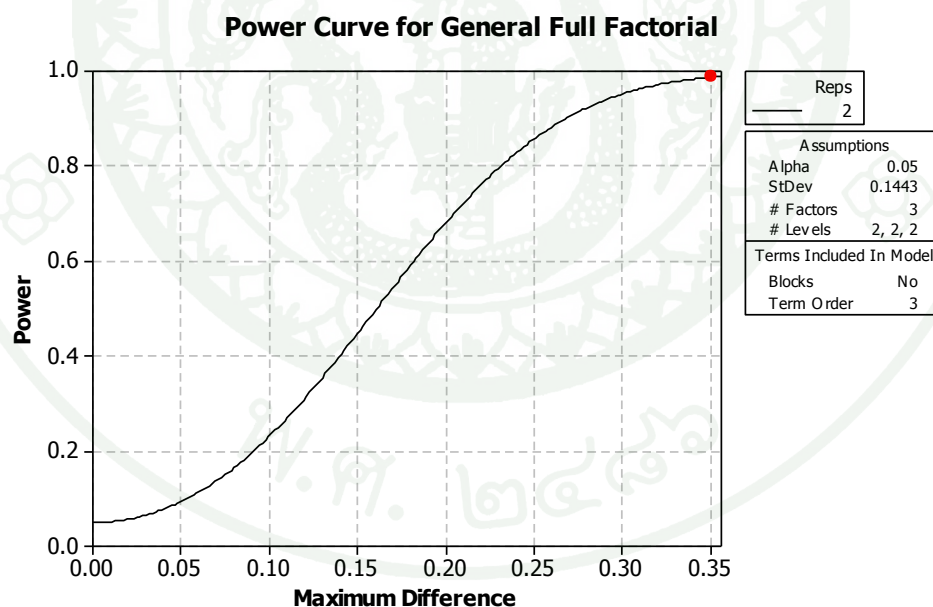


ภาพผนวกที่ ก2 การกำหนดตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับวิธีทาคุชิ

2. การกำหนดขนาดตัวอย่างที่เหมาะสม สำหรับการออกแบบการทดลองด้วยวิธีแฟกทอเรียล

Power and Sample Size					
General Full Factorial Design					
Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.1443					
Factors: 3 Number of levels: 2, 2, 2					
Include terms in the model up through order: 3 Not including blocks in model.					
Maximum Difference	Reps	Total Runs	Target Power	Actual Power	
0.35	2	16	0.95	0.987894	

ภาพผนวกที่ ก3 ผลการวิเคราะห์จำนวนขนาดตัวอย่าง/จำนวนซ้ำ สำหรับวิธีแฟกทอเรียล



ภาพผนวกที่ ก4 การกำหนดตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับวิธีแฟกทอเรียล



ภาคผนวก ข

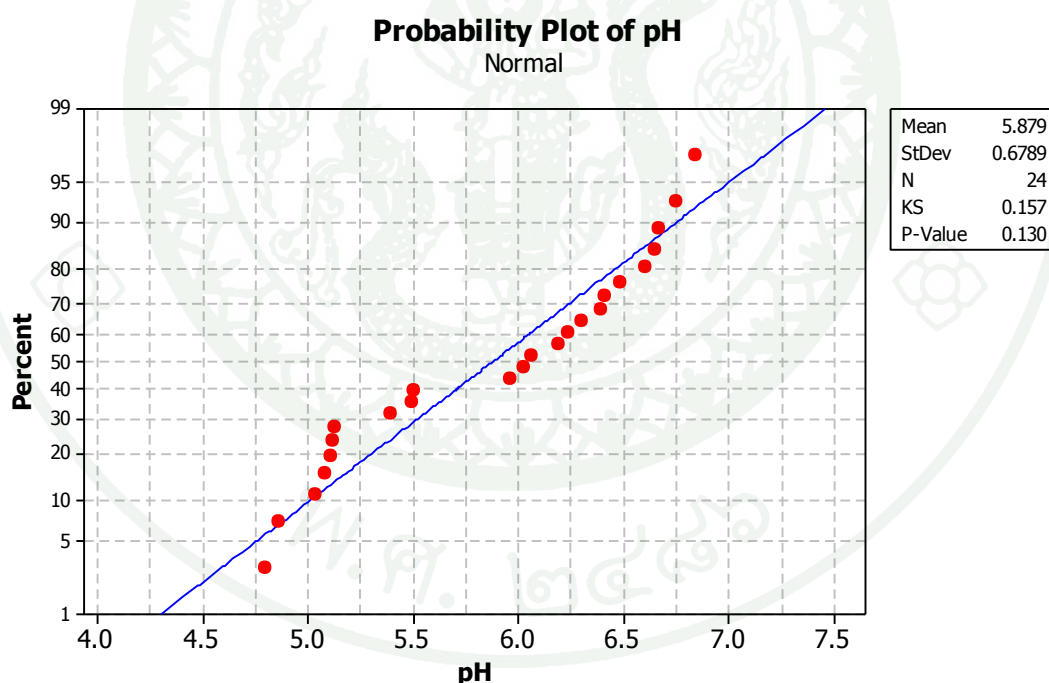
การตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมของแบบจำลอง ANOVA

การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ANOVA

การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ANOVA โดยใช้การตรวจสอบค่า Residuals ประกอบด้วยการตรวจสอบ 4 ประเภท (1) การตรวจสอบการแจกแจงปกติ (2) ข้อมูลที่วิเคราะห์ไม่มีค่าผิดปกติ (3) การตรวจสอบความเป็นอิสระต่อกัน (4) ความแปรปรวนมีค่าคงที่ (รวิพิมพ์, 2554)

ในงานวิจัยนี้ขอยกตัวอย่างการทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลอง ANOVA ของการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าพีเอชของน้ำตาลสด หลังการเก็บเกี่ยวที่เวลา 4 ชั่วโมง ได้แก่

1. การตรวจสอบการแจกแจงปกติ (The Normality Assumption) โดยการสร้างกราฟการแจกแจงปกติ หรือทดสอบแบบ Kolmogorov-Smirnov Test (K-S Test) จากภาพผนวกที่ ข1 พบว่าค่า Residual มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง จึงสรุปได้ว่าการแจกแจงปกติ



ภาพผนวกที่ ข1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution)

2. ข้อมูลที่วิเคราะห์ไม่มีค่าผิดปกติ (The Outliers) โดยการคำนวณหา Standardized Residuals (d_{ij}) จากสมการที่ 1 ถ้ามีค่าไม่เกิน 3 หรือ 4 แสดงว่าข้อมูลไม่มีค่าผิดปกติ

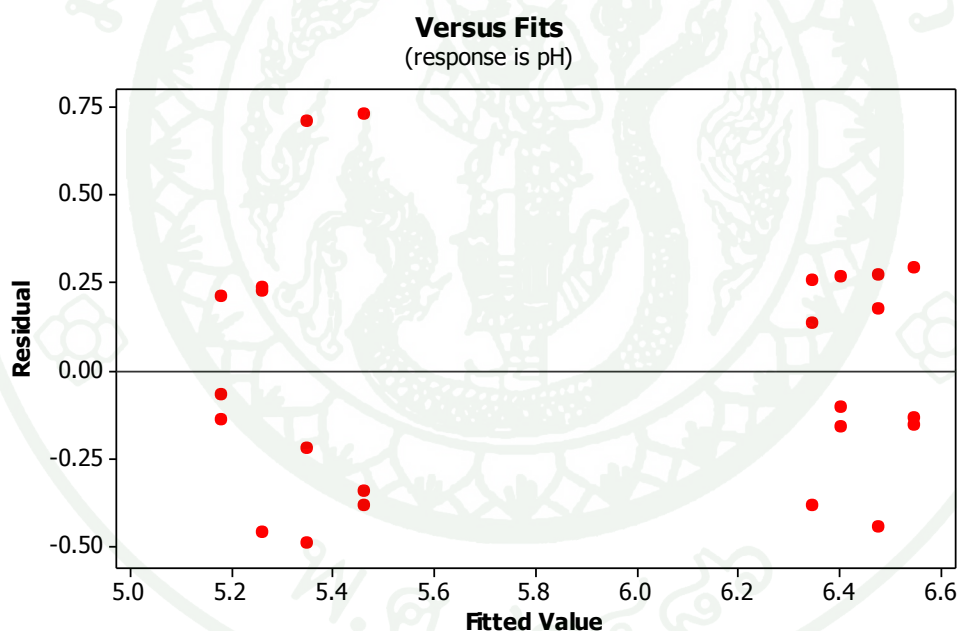
$$d_{ij} = \frac{e_{ij}}{\sqrt{MSE}} \quad (1)$$

$$d_{ij} = \frac{0.72}{\sqrt{0.1719}} = 1.736 \quad (2)$$

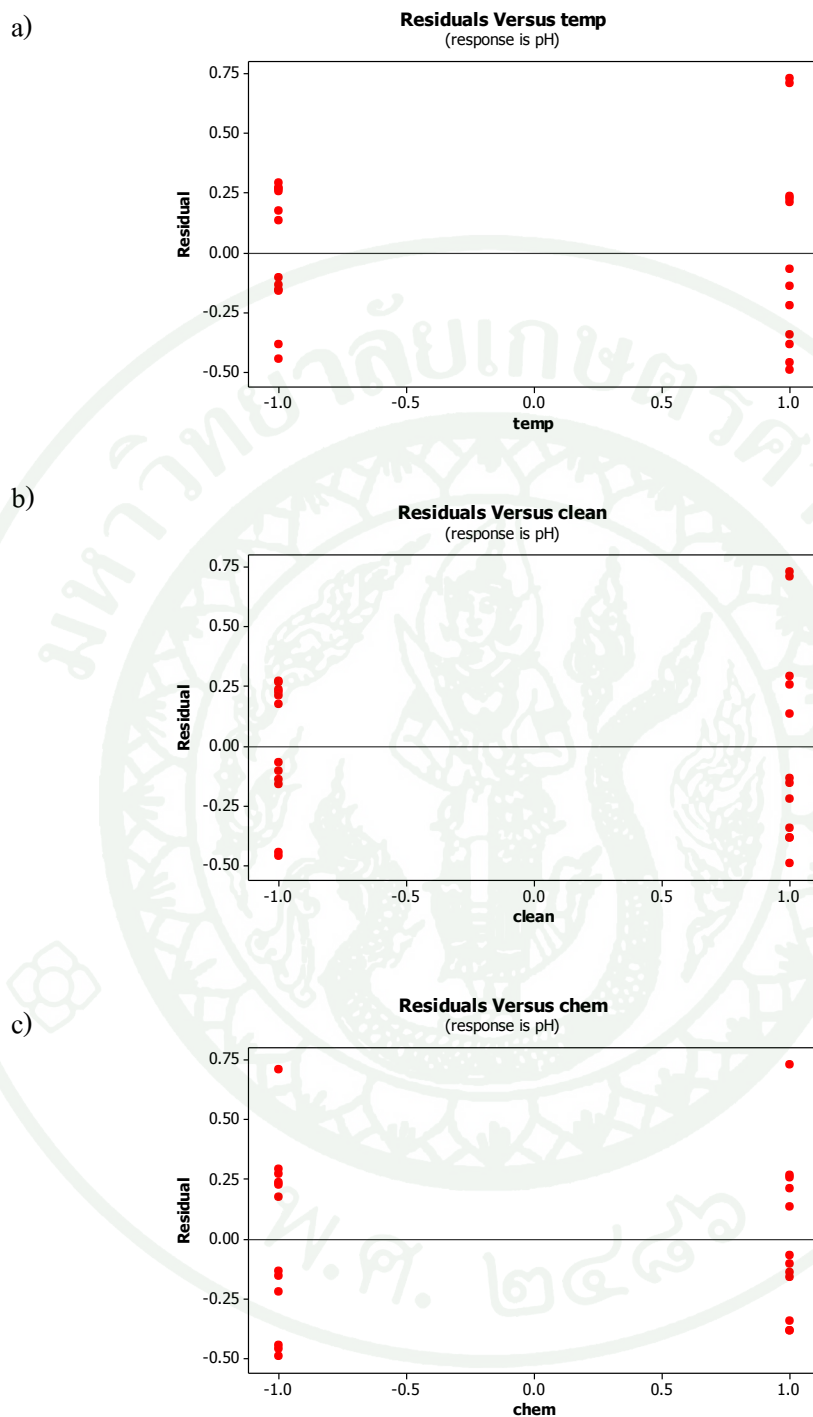
จากการคำนวณ ค่า d_{ij} พบว่า มีค่าไม่เกิน 3 แสดงว่าข้อมูลไม่มีค่าผิดปกติ

3. การตรวจสอบความเป็นอิสระ (The Independent Assumption) โดยพิจารณาจากกราฟระหว่าง Residuals กับลำดับเวลาที่เก็บตัวอย่าง หรือที่ทำการทดลอง พบว่า การกระจายตัวอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน ดังภาพที่ 2 แสดงว่าค่า Residuals มีความเป็นอิสระ

4. การตรวจสอบความคงที่ของความแปรปรวน (The Constant Variance Assumption) โดยการสร้างกราฟค่า Residuals กับ Fitted Values พบว่า การกระจายไม่มีรูปแบบหรือแนวโน้ม สามารถสรุปได้ว่าความแปรปรวนของค่า Residuals มีค่าคงที่ ดังภาพที่ 3



ภาพผนวกที่ ข3 การตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ (The Constant Variance)



ภาพผนวกที่ ข2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล โดย a) ตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลปัจจัยด้านอุณหภูมิในการขนส่ง b) ตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลปัจจัยด้านการทำความสะอาดของกระบอก c) ตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูลปัจจัยด้านชนิดของสารกันเสีย



การคำนวณต้นทุนการทดลอง

ในการคำนวณต้นทุนในการวิจัยครั้งนี้ เป็นการคำนวณต้นทุนอย่างง่าย โดยประมาณค่าใช้จ่ายในการทดลองจากอัตราค่าตรวจวิเคราะห์ทั่วไป ซึ่งในการปฏิบัติงานจริงอาจมีค่าใช้จ่ายมากกว่าหรือน้อยกว่าราคาที่ตรวจวิเคราะห์ ซึ่งต้นทุนการทดลอง ประกอบด้วย

1. ต้นทุนการวิเคราะห์ค่าพีเอช
2. ต้นทุนการวิเคราะห์ความหวาน

การคำนวณต้นทุนในการทดลอง มีสูตรในการคำนวณ ดังสมการ

$$\text{ต้นทุนการวิเคราะห์ค่าพีเอช/ความหวาน} = \text{จำนวนชุดการทดลอง} \times \text{จำนวนซ้ำของการทดลอง} \times \text{อัตราค่าวิเคราะห์} \quad (1)$$

$$\text{ต้นทุนการทดลอง} = \text{ต้นทุนการวิเคราะห์ค่าพีเอช} + \text{ต้นทุนการวิเคราะห์ค่าความหวาน} \quad (2)$$

โดย อัตราการวิเคราะห์ค่าพีเอชและค่าความหวาน ราคา 50 บาท/ตัวอย่าง (คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, ม.ป.ป.)

การคำนวณระยะเวลาในการทดลอง

การคำนวณระยะเวลาในการทดลองคำนวณจากเวลาในการปฏิบัติงานจริง ซึ่งประกอบด้วย เวลาการสอบเทียบเครื่องมือก่อนการปฏิบัติงานและเตรียมอุปกรณ์ เวลาการทดลอง และเวลาในการล้างทำความสะอาดเครื่องมือและอุปกรณ์หลังการปฏิบัติงาน ซึ่งมีเวลาเฉลี่ยในการทดลอง ดังนี้

- | | |
|--|-----------------|
| 1. ระยะเวลาเฉลี่ยสำหรับการวิเคราะห์ค่าพีเอช | 2 นาที/ตัวอย่าง |
| 2. ระยะเวลาเฉลี่ยสำหรับการวิเคราะห์ค่าความหวาน | 1 นาที/ตัวอย่าง |

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นางสาวปิยรัตน์ พูลพันธ์
เกิดวันที่ 19 กันยายน 2530
สถานที่เกิด จังหวัดอุทัยธานี
ประวัติการศึกษา วท.บ. (เทคโนโลยีชีวภาพ) เกียรตินิยมอันดับ 2
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน -
สถานที่ทำงานปัจจุบัน -
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ -
ทุนการศึกษาที่ได้รับ ทุนวิจัยจากโครงการพัฒนาโซ่คุณค่าอุตสาหกรรมอาหารด้วยระบบโซ่
 ความเย็นและบรรจุภัณฑ์ จากสำนักโลจิสติกส์ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐาน
 และการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม