โครงงานที่ 823/2562 (วศบ.อุตสาหการ)

การลดผลิตภัณฑ์มีตำหนิในกระบวนการผลิตสัปปะรดอบแห้ง โดยใช้เทคนิค ซิกซ์ ซิกมา

นายก้องเกียรติ วิริยะบำรุงกิจ รหัสนักศึกษา 580612057
นางสาววันทนีย์ ดวงสร้อย รหัสนักศึกษา 590612090

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ปีการศึกษา 2562

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิจัยนี้สามารถสำเร็จไปได้ด้วยความกรุณาจาก รศ.ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอินไหว อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานวิจัย ซึ่งเป็นผู้มอบความรู้ คำแนะนำ เสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ให้กำลังใจในทุกๆเรื่อง ตลอดจนได้ให้ความกรุณาตรวจทานแก้ไขโครงงานวิจัยนี้และขอขอบคุณพี่ๆ พนักงานในบริษัทกรณีศึกษา ทุกคนที่ได้สละเวลามาให้ความรู้ ข้อมูลและคำแนะนำ แนวทางในการศึกษาวิจัยจนทำให้โครงงานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จสมบูรณ์ ทางผู้ทำวิจัยจึงขอขอบพระคุณไว้เป็นอย่างสูงไว้ ณ ในโอกาสนี้

นอกจากนี้ต้องขอขอบพระคุณคณาจารยที่ให้ใช้เครื่องสัปปะรดในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และประสบการณ์จากทั้งการเรียนและการใช้ชีวิตแก่ผู้ทำการวิจัย ตลอดจนบุคลากร เจ้าหน้าที่ รุ่นพี่ รุ่นน้อง ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่ให้คำแนะนำ เสนอแนวทาง และให้ความช่วยเหลือในการทำโครงงานวิจัยด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณบริษัทบริษัทกรณีศึกษาและเจ้าหน้าที่ทุกคนที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำโครงงานและให้ข้อมูลความรู้ คำปรึกษาโครงงานนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณผู้มีพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง ที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือสนับสนุนในด้านการศึกษา ด้านการเงินและคอยให้คำแนะนำดีๆในการดำเนินชีวิตตลอดมา

สุดท้ายนี้ทางผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า ความรู้จากโครงงานวิจัยเล่มนี้จะสามารถเป็นประโยชน์ต่อบริษัทบริษัทกรณีศึกษา และผู้ที่ได้ทำการศึกษา หากมีส่วนใดบกพร่องหรือมีความผิดพลาดประการใด ทางผู้จัดทำต้องขออภัยมาเป็นอย่างสูงและขอน้อมรับคำเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ทุกประการ

นายก้องเกียรติ วิริยะบำรุงกิจ
นางสาววันทนีย์ ดวงสร้อย

หัวข้อโครงงาน	การลดผลิตภัณฑ์มีตำหนิในกระบวนการผลิตสัปปะรดอบแห้งโดยใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกมา
โดย	นายก้องเกียรติ วิริยะบำรุงกิจ รหัสประจำตัว 580612057
	นางสาววันทนีย์ ดวงสร้อย รหัสประจำตัว 590612090
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอินไหว
ปีการศึกษา	2562

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ อนุมัติให้นับโครงงานนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

กรรมการโครงงาน

..... ประธานกรรมการ
(รศ.ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอินไหว)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร.อนิรุท ไชยจารุวณิช)

..... กรรมการ
(รศ.ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์)

หัวข้อโครงงาน	การลดผลิตภัณฑ์มีตำหนิในกระบวนการผลิตสัปปะรดอบแห้งโดยใช้เทคนิคซิกซ์ ซิกมา			
โดย	นายก้องเกียรติ	วิริยะบำรุงกิจ	รหัสประจำตัว	580612057
	นางสาววันทนีย์	ดวงสร้อย	รหัสประจำตัว	590612090
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่			
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.รุ่งฉัตร ชมภูอินไหว			
ปีการศึกษา	2562			

บทคัดย่อ

บริษัทกรณีศึกษา เป็นผู้ผลิตผลไม้อบแห้งหลายชนิด โดยจากการเข้าไปศึกษากระบวนการผลิตของบริษัท พบว่ามีปัญหาผลิตภัณฑ์มีตำหนิหรือของเสียจากกระบวนการผลิตสัปปะรดอบแห้งเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก โครงการวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดสัดส่วนผลิตภัณฑ์มีตำหนิในกระบวนการผลิตสัปปะรดอบแห้ง โดยใช้ เทคนิคซิกซ์ ซิกมา โดยทำการวิจัยตามขั้นตอนของซิกซ์ซิกม่า คือ DMAIC อันได้แก่ การกำหนดปัญหา (Define Phase) การวัดผลและการรวบรวมข้อมูล (Measure Phase) การวิเคราะห์ข้อมูล (Analyze Phase) การปรับปรุง (Improve Phase) และการควบคุม (Control) วิธีการวิจัยเริ่มต้นจากการกำหนดปัญหา (Define Phase) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาในกระบวนการผลิตสัปปะรดอบแห้งจากแผนภาพกระบวนการผลิต โดยผู้วิจัยได้ใช้แผนภาพพาเรโตเพื่อจัดลำดับสาเหตุของปัญหา ผลพบว่าปัญหาสีของสัปปะรดอบแห้งไม่ตรงตามสเปคเป็นปัญหาที่พบมากที่สุด ต่อมาในขั้นตอนการวัดผลและการรวบรวมข้อมูล (Measure Phase) ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลโดยใช้วิธี GR&R แบบข้อมูลนับ (Attribute Data) เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการจำแนกสีของสัปปะรดของพนักงานว่าผ่าน หรือ ไม่ผ่าน ผลพบว่าการเห็นพ้องกันระหว่างพนักงาน (Between appraisers) มีเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ 88.89 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งหมายความว่าพนักงานทุกคนสามารถตรวจสอบได้ผลเหมือนกันทุกครั้ง และทำการวัดความสามารถกระบวนการในปัจจุบันโดยได้วัดจากสัดส่วนผลิตภัณฑ์มีตำหนิหลังจากสิ้นสุดกระบวนการอบ พบว่ามีของเสียจากสีของสัปปะรดอบแห้งไม่ตรงตามสเปคอยู่ 18.99 เปอร์เซ็นต์จากสัดส่วนของเสียทั้งหมด 30 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล (Analyze Phase) ได้ทำการระดมสมองร่วมกันระหว่างผู้วิจัย และพนักงานเกี่ยวข้องกับฝ่ายผลิตเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการสาเหตุของปัญหาดังกล่าว โดยใช้แผนภาพก้างปลาต่อมาในขั้นตอนการปรับปรุง (Improve Phase) เพื่อหาแนวทางแก้ไขและปรับปรุง โดยการเสนอให้มีการแบ่งสัปปะรดเป็นกลุ่มที่เหมาะสม และศึกษาเงื่อนไขในการอบสำหรับสัปปะรดแต่ละกลุ่มจากอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบที่เหมาะสมจากนั้นทำการเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียหลังก่อน และหลังการปรับปรุงพบว่าสัดส่วนของเสียจากการผลิตสัปปะรดอบแห้งหลังจากการปรับปรุงมีสัดส่วนของเสีย 7.14 เปอร์เซ็นต์ จากเดิม 18.99 เปอร์เซ็นต์ และสุดท้ายในขั้นตอนการควบคุม (Control) ได้กำหนดมาตรฐานในการทำงาน

โดย ได้กำหนดวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ให้แก่ผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากในการ ปรับปรุงกระบวนการทำให้ขั้นตอนการทำงานของพนักงานเปลี่ยนไปจากเดิมในบางขั้นตอน และเพื่อ ควบคุมให้การทำงานมีมาตรฐานเดียวกัน

Project Title	Defective Products Reduction in Dehydrated Pineapple Production using Six Sigma Technique		
Name	Kongkiat Viriyabumrungkit	Code	580612057
	Wantanee Duangsoi	Code	590612090
Department	Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University		
Project Advisor	Associate Professor Rungchat Chompu-inwai, Ph.D.		
Academic Year	2019		

ABSTRACT

Company case study is a manufacturer of many kinds of dried fruit after studying from the production process of the company found that there are a number of defects in the product from dried pineapple production process. The objective of this research project is to reduce the proportion of defective products in the dried pineapple production process by using Six Sigma technique by doing the Six Sigma process, DMAIC. Such as define phase, measure phase, analyze phase, improve phase and control phase. Research methods start from define phase aims to find the cause of problems in the dried pineapple production process from the production process diagram. The researchers used the pareto diagram to prioritize the cause of the problem. The results showed that the color of dried pineapples did not meet the specification is the most common problem. Next, Measure Phase, analyzed the measurement system of data using GR&R attribute data to analyze the ability of color classification of pineapples of employees that pass or fail. The results show that between appraisers have a percentage of audit effectiveness of 88.89 percent. This means that all employees can check the same results every time and everyone and to evaluate the current process capability by measuring the defective product proportion after the end of the baking process, found that there is a waste from the color of the dried pineapples that does not meet the specifications 18.99 percent from the proportion of total waste 30 percent. Then analysis phase, brainstorming together between researchers and employees involved in production to find factors that affect the cause of the said problem by using a fishbone diagram. Next, in the Improve Phase in order to find solutions and improvements by proposing to divide the pineapples into an appropriate group and study baking conditions for each group of pineapples from the suitable temperature and baking time. After that, compare the waste

proportion before and after the improvement It was found that the proportion of waste from dehydrated pineapple production after improvement was 7.14 percent from 18.99 percent. And finally, in the control phase, has set standards for work by Has stipulated a method of work (work Instruction) for operators. Due to Improve the process, change the working procedures of employees in some steps and to control the work to be the same standard

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		ค
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		ฉ
สารบัญตาราง		ฌ
สารบัญภาพ		ฎ
บทที่ 1	บทนำ	
	1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำโครงงาน	1
	1.2 วัตถุประสงค์	2
	1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
	1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2	หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
	2.1 หลักการ Six Sigma	3
	2.2 แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram)	5
	2.3 เทคนิค 5W1H	7
	2.4 ระบบสี CIE L*a*b* (CIELAB)	8
	2.5 การแสดงค่าความชื้นของอาหาร	9
	2.6 ระดับความหวาน บริกซ์	9
	2.7 หลักการของการอบสัปปะรด	10
	2.8 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ	11
	2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
บทที่ 3	ระเบียบการทำวิจัย	
	3.1 ขั้นตอนการวิจัย	14
	3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย	17
บทที่ 4	ผลการดำเนินงานของโครงงานวิจัย	
	4.1 การกำหนดปัญหา (Define)	19
	4.2 การวัด (Measure)	23
	4.3 การวิเคราะห์ (Analyze)	30
	4.4 การปรับปรุง (Improve)	31
	4.5 การควบคุม (Control)	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 64

5.2 ข้อเสนอแนะ 65

บรรณานุกรม 67

ภาคผนวก 68

ภาคผนวก ก แสดงผลการลดรปูแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบใน โปรแกรม minitab 68

ประวัติผู้เขียน 71

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	ตารางการทดลองอบแห้งสัปปะรดแต่ละกลุ่ม	16
4.1	การเกิดตำหนิ ในการผลิตสัปปะรดอบแห้ง ในเดือนพฤศจิกายน 2562	22
4.2	ผลการตรวจสอบของพนักงานแต่ละคน	24
4.3	รูปชิ้นงานที่ผ่านและไม่ผ่านที่ใช้ในการศึกษา	25
4.4	รายละเอียดของปัจจัย	31
4.5	ความสัมพันธ์ของระดับความบริบูรณ์และสีของเนื้อสัปปะรด	32
4.6	รูปตัวอย่างสัปปะรดก่อน และหลังการอบของกลุ่มระดับความหวานที่ 10-12 ความบริบูรณ์ที่ 2-4	33
4.7	รูปตัวอย่างสัปปะรดก่อน และหลังการอบของกลุ่มระดับความหวานที่ 10-12 ความบริบูรณ์ที่ 5-7	34
4.8	รูปตัวอย่างสัปปะรดก่อน และหลังการอบของกลุ่มระดับความหวานที่ 13-15 ความบริบูรณ์ที่ 2-4	35
4.9	รูปตัวอย่างสัปปะรดก่อน และหลังการอบของกลุ่มระดับความหวานที่ 10-12 ความบริบูรณ์ที่ 5-7	36
4.10	ผลการวัดค่าสี (L*) ค่าความสว่างของสัปปะรดกลุ่มที่ 1 ระดับความหวาน 10 ถึง 12 และระดับความบริบูรณ์ 2 ถึง 4	37
4.11	ผลการวัดค่าสี (L*) ค่าความสว่างของสัปปะรดกลุ่มที่ 2 ระดับความหวาน 10 ถึง 12 และระดับความบริบูรณ์ 5 ถึง 7	37
4.12	ผลการวัดค่าสี (L*) ค่าความสว่างของสัปปะรดกลุ่มที่ 3 ระดับความหวาน 13 ถึง 15 และระดับความบริบูรณ์ 2 ถึง 4	37
4.13	ผลการวัดค่าสี (L*) ค่าความสว่างของสัปปะรดกลุ่มที่ 4 ระดับความหวาน 13 ถึง 15 และระดับความบริบูรณ์ 5 ถึง 7	38
4.14	ผลการวัดค่าสี (b*) ค่าความสว่างของสัปปะรดกลุ่มที่ 1 ระดับความหวาน 10 ถึง 12 และระดับความบริบูรณ์ 2 ถึง 4	38
4.15	ผลการวัดค่าสี (b*) ค่าความสว่างของสัปปะรดกลุ่มที่ 2 ระดับความหวาน 10 ถึง 12 และระดับความบริบูรณ์ 5 ถึง 7	38
4.16	ผลการวัดค่าสี (b*) ค่าความสว่างของสัปปะรดกลุ่มที่ 3 ระดับความหวาน 13 ถึง 15 และระดับความบริบูรณ์ 2 ถึง 4	38
4.17	ผลการวัดค่าสี (b*) ค่าความสว่างของสัปปะรดกลุ่มที่ 4 ระดับความหวาน 13 ถึง 15 และระดับความบริบูรณ์ 5 ถึง 7	39
4.18	ผลตอบของสัปปะรดอบแห้งที่ระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 2-4	39

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
4.19	การวิเคราะห์ความแปรปรวนในกลุ่มความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 2-4	41
4.20	การประมาณผลกระทบและระดับความเชื่อมั่นของปัจจัยในการทดลองสำหรับความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 2-4	42
4.21	ผลตอบของสัปปะรดอบแห้งที่ระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 5-7	43
4.22	การวิเคราะห์ความแปรปรวนในกลุ่มความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 5-7	44
4.23	การประมาณผลกระทบและระดับความเชื่อมั่นของปัจจัยในการทดลองสำหรับความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 5-7	45
4.24	ผลตอบของสัปปะรดอบแห้งที่ระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 2-4	46
4.25	การวิเคราะห์ความแปรปรวนในกลุ่มความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 2-4	48
4.26	การประมาณผลกระทบและระดับความเชื่อมั่นของปัจจัยในการทดลองสำหรับความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 2-4	48
4.27	ผลตอบของสัปปะรดอบแห้งที่ระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 5-7	49
4.28	การวิเคราะห์ความแปรปรวนในกลุ่มความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 5-7	51
4.29	การประมาณผลกระทบและระดับความเชื่อมั่นของปัจจัยในการทดลองสำหรับความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 5-7	52
4.30	ข้อมูลความชื้นของสัปปะรดอบแห้งกลุ่มความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 2-4	53
4.31	ข้อมูลความชื้นของสัปปะรดอบแห้งกลุ่มความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 5-7	55
4.32	ข้อมูลความชื้นของสัปปะรดอบแห้งกลุ่มความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 2-4	56
4.33	ข้อมูลความชื้นของสัปปะรดอบแห้งกลุ่มความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 5-7	57
4.34	มาตรฐานขั้นตอนการทำงานหลังปรับปรุง	59

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
1.1	ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งของบริษัทกรณีศึกษา	1
2.1	แผนภูมิก้างปลา	6
2.3	แสดง L, a, b color space	8
2.4	แสดงการแบ่งระดับความบริบูรณ์ของสัปปะรดภูแล	10
3.1	ขั้นตอนการวิจัย	13
3.2	แผนภาพก้างปลาในการหาสาเหตุของปัญหาสีของสัปปะรด	15
3.3	เครื่องวัดปริมาณน้ำตาลแบบกล้อง	17
3.4	เตาอบลมร้อน	18
3.5	เครื่องวัดค่าสี	18
3.6	เครื่องวัดความชื้น	19
4.1	แผนภูมิกระบวนการไหลแสดงขั้นตอนกระบวนการผลิต	20
4.2	แผนภาพพาเรโตของปัญหาต่างๆ ในการอบสัปปะรด	22
4.3	ผลการเห็นพ้องกันของพนักงานแต่ละคน (Within Appraiser)	27
4.4	ผลการเห็นพ้องกันระหว่างพนักงาน (Between Appraisers)	28
4.5	ผลการเห็นพ้องกันของพนักงานแต่ละคนกับมาตรฐาน (Each Appraiser vs Standard)	28
4.6	ผลการเห็นพ้องกันของพนักงานทุกคนกับมาตรฐาน (All Appraisers vs Standard)	29
4.7	ส่วนตกค้างของสัปปะรดอบแห้งความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 2-4	40
4.8	ส่วนตกค้างของสัปปะรดอบแห้งความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 5-7	43
4.9	ส่วนตกค้างของสัปปะรดอบแห้งความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 2-4	47
4.10	ส่วนตกค้างของสัปปะรดอบแห้งความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 5-7	50
4.11	ผลการทดสอบสมมุติฐานความแตกต่างของเวลาในการอบต่อความชื้นของสัปปะรดอบแห้งระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 2-4	54
4.12	ผลการทดสอบสมมุติฐานความแตกต่างของเวลาในการอบต่อความชื้นของสัปปะรดอบแห้งระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 5-7	55
4.13	ผลการทดสอบสมมุติฐานความแตกต่างของเวลาในการอบต่อความชื้นของสัปปะรดอบแห้งระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 2-4	57
4.14	ผลการทดสอบสมมุติฐานความแตกต่างของเวลาในการอบต่อความชื้นของสัปปะรดอบแห้งระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 5-7	58
ก-1	ผลการลดรูปแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบในกลุ่มความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 2-4	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
ก-2	ผลการลดรูปแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบในกลุ่มความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 5-7	69
ก-3	ผลการลดรูปแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบในกลุ่มความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 2-4	70
ก-4	ผลการลดรูปแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบในกลุ่มความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 5-7	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำโครงงาน

ในปัจจุบันผู้คนหันมาสนใจในการดูแลรักษาสุขภาพกันมากขึ้นและผลไม้ก็เป็นหนึ่งในตัวเลือกที่คนเลือกที่จะบริโภค อย่างไรก็ตามผลไม้สดนั้นแม้มีสารอาหารอยู่มากก็จริง แต่มีอายุการจัดเก็บไม่นาน ทำให้มีความต้องการผลไม้แปรรูปเช่น อบแห้ง เป็นจำนวนมากและยังคงมีความต้องการมากขึ้นเรื่อยๆ นอกจากผลไม้อบแห้งจะมีอายุจัดเก็บนานแล้ว ยังสามารถนำไปแปรรูปเพื่อเพิ่มคุณค่าให้กับอาหารได้อีกด้วย เช่น สามารถนำไปแปรรูปเป็นของว่างสำหรับคนรักสุขภาพ หรือ นำไปเป็นส่วนประกอบในอาหารต่างๆ ได้ โดยประเทศไทยนั้นถือเป็นแหล่งผลิตสินค้าเกษตรที่สมบูรณ์อีกแห่งหนึ่งของโลก ในแต่ละปีมีการส่งออกผลไม้อบแห้งไปต่างประเทศเป็นจำนวนมาก เช่น จีน อ่องกง ญี่ปุ่น สิงคโปร์ เป็นต้น

บริษัทกรณีศึกษา เป็นผู้ผลิตผลไม้อบแห้งหลายชนิด อาทิเช่น มะม่วงอบแห้ง สัปปะรดอบแห้ง ลำไยอบแห้ง กล้วยอบแห้ง และ แก้วมังกรอบแห้งเป็นต้น โดยตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของบริษัทดังแสดงในภาพ 1.1 จุดเด่นของผลิตภัณฑ์คือเป็นผลไม้อบแห้งที่ไม่มีน้ำตาล

ภาพ 1.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ผลไม้อบแห้งของบริษัทกรณีศึกษา

จากการเข้าไปศึกษากระบวนการผลิตของบริษัทเบื้องต้น พบว่ามีปัญหาผลิตภัณฑ์มีตำหนิหรือของเสียจากกระบวนการผลิตสัปปะรดอบแห้งเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยประมาณนั้นในการอบสัปปะรด หากใช้สัปปะรดสด 100 กิโลกรัม จะได้สัปปะรดอบแห้ง 20 กิโลกรัม และในปริมาณสัปปะรดอบแห้งที่ได้ 20 กิโลกรัม จะมีของเสีย 30 เปอร์เซ็นต์ โดยผลิตภัณฑ์มีตำหนิหรือของเสียที่เกิดขึ้นมีหลากหลายรูปแบบเช่น ผลิตภัณฑ์มีขนาดที่ไม่ได้มาตรฐานทำให้ลูกค้าไม่ยอมรับ และผลิตภัณฑ์มีสีที่ไม่ตรงตามสเปคของลูกค้าโดยบางชิ้นมีสีเหลืองที่เข้มเกินไปเป็นต้น

จากการหารือกับทางบริษัทเบื้องต้นพบว่า ปัญหาเกิดจากหลายสาเหตุเช่น แผนกแปรรูปผลไม้อบแห้ง ซึ่งเป็นแผนกที่ต้องนำสัปปะรดสดมาล้าง แล้วนำมาปอกเปลือก แต่ในการทำงานนั้นไม่ได้คัดแยกว่าผลไหนสุกพอดี ผลไหนช้ำเกินไป จากนั้นนำสัปปะรดทั้งหมดไปสไลด์เป็นแผ่น แล้วจัดเรียงพร้อมอบ ทำให้หลังจากการอบแล้วขนาดลดลง สีของสัปปะรดไม่สม่ำเสมอและมีสีที่ไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งทำให้เกิดของเสียเป็นจำนวนมาก

เทคนิคซิกซ์ ซิกมา เป็นเทคนิคที่ช่วยให้องค์การสามารถลดของเสีย ทำกำไรได้เพิ่มขึ้น มีผลผลิตมากขึ้น การที่ผู้ผลิตสามารถสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้าจำเป็นต้องมีการลดความเสี่ยงของโอกาสที่ทำให้ลูกค้าเกิดความไม่พึงพอใจ ซึ่งการลดความเสี่ยงนี้สามารถทำได้โดยการพัฒนาคุณภาพเพิ่มความสามารถในกระบวนการผลิต หลักการของซิกซ์ ซิกม่า คือ DMAIC มาจาก Define Measure Analyze Improve Control ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเทคนิคดังกล่าวมาใช้เพื่อแก้ปัญหาการเกิดผลิตภัณฑ์มีตำหนิหรือของเสียในกระบวนการผลิตสัปปะรดอบแห้งในบริษัทกรณีศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อลดสัดส่วนผลิตภัณฑ์มีตำหนิในกระบวนการผลิตสัปปะรดอบแห้ง

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาในกระบวนการผลิตสัปปะรดอบแห้งของบริษัท กรณีศึกษา โดยใช้สัปปะรดพันธุ์ภูแลเท่านั้น

1.3.2 ศึกษาสัดส่วนผลิตภัณฑ์มีตำหนิหลังจากสิ้นสุดกระบวนการอบ (Oven)

1.3.3 ศึกษาเฉพาะปัญหาสีของสัปปะรดอบแห้งไม่ตรงตามสเปคเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถลดของเสียในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สัปปะรดอบแห้ง

1.4.2 สามารถลดต้นทุนในกระบวนการผลิตที่ต้องเสียไปเนื่องจากการเกิดผลิตภัณฑ์มีตำหนิหรือของเสียหลังจากการอบ

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้กล่าวถึงหลักการ ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ซึ่งเป็นการลดผลิตภัณฑ์มีตำหนิในกระบวนการผลิตสัปปะรดอบแห้ง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 หลักการซิกซ์ ซิกม่า (Six Sigma)

2.1.1 ประวัติของซิกซ์ ซิกม่า จุดเริ่มต้นของวิธีซิกซ์ ซิกม่า เริ่มขึ้นเมื่อบริษัทโมโตโรล่าได พัฒนาและสร้างโครงการเพื่อปรับปรุงคุณภาพสินค้า ภายใต้การนำของ นายมิเกล เจ แฮรี่ ในป 1988 บริษัทโมโตโรลาได้ตีพิมพ์ และเปิดเผย วิธีการปรับปรุงคุณภาพของสินค้า วิธีใหมที่ชื่อว่า “วิธี ซิกซ์ ซิกม่า” คำวาซิกซ์ ซิกม่า หรือตัวอักษรกรีกเป็นเครื่องหมายที่ใช้แทนค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าเฉลี่ย มาตรฐาน (Standard Deviation) เพื่อใชวัดความแปรปรวน (การกระจายขอมูล) ที่เบี่ยงเบนไปจากคาเฉลี่ยมาตรฐาน (Mean) บุคคลแรกที่ได้ศึกษาและพัฒนาเส้นโคงแจกแจงปกติ (Binomial Distribution) คือ นายดี โมรี เมื่อป ค.ศ.1733 แต่ความรู้และงานที่เขาสร้างไว้ได้สูญหายจนกระทั่งมาถูกคนพบอีกครั้งโดย Karl Pearson ในป ค.ศ.1924 คาเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ที่รูจักกันทุกวันนี้ ก็ถูกตั้ง ชื่อโดย Pearson ในป ค.ศ.1893 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือ ซิกซ์ ซิกม่า เริ่มมีบทบาทในวงการ ปรับปรุงและรักษาคุณภาพ ในป ค.ศ.1931 เมื่อวอล์เตอ์ เอ ชีวาร์ท (Walter A. Shewhart) ได้แนะนำวาในกระบวนการใดๆถ้าค่าเฉลี่ยคุณภาพ ของผลผลิตหรือของผลลัพธที่ได้ห่างจากเป้าหมายที่ตั้งไว้มากกวา 3 เทา ของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในกระบวนการนั้น กระบวนการดังกล่าว ควรถูกปรับปรุงและแก้ไขใหม่ (นุจรินทร์, 2552)

2.1.2 ความหมายของซิกซ์ ซิกม่า

ซิกซ์ ซิกม่า เปนการขยายแนวทางการบริหารคุณภาพทั่วทั้งองค์การ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำให้สินค้าและการให้บริการอยู่ในระดับที่ลูกค้าต้องการ ทำให้องค์การมีผลกำไร และผลผลิตเพิ่มขึ้น ความหมายของซิกซ์ ซิกม่าในเชิงทฤษฎีคือ กระบวนการเพื่อลดความผิดพลาด (Defect) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆโดยมุ่งเน้นให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุดและมีความสูญเสียได้ไม่เกิน 3.4 หน่วยในล้านหน่วย หรือเรียกอีกอย่างว่าความสูญเสียโอกาสลงให้เหลือเพียง แค 3.4 หน่วย (Defect per Million Opportunities, OPMO) (Banuelas และ Antony, 2002) ส่วนความหมายทางด้านปฏิบัติซิกซ์ ซิกม่าเป็นเรื่องของการใช้สถิติในการปรับปรุงความสามารถของกระบวนการ โดยใช้ควบคู่กับหลักการบริหารโครงการที่เหมาะสมและเน้นผลสำเร็จในรูปของ มูลค่าการลดต้นทุนจากการดำเนินโครงการ ไมใช่มุ่งเน้นว่าตองจบโครงการที่ 3.4 PPM ซึ่งถ้าค่าซิกซ์ ซิกม่า

ยิ่งสูง แสดงว่ามีความแปรปรวนของกระบวนการยิ่งสูง ทำให้มีพื้นที่ ที่อยู่นอกเหนือพื้นที่ในการยอมรับน้อยลง หมายความว่าจะมีของเสียหรือความผิดพลาดที่อยู่นอกเหนือขอบเขตที่ยอมรับได้น้อยลง หรือหมายถึงการที่สินค้าหรือบริการจะมีคุณภาพที่ดีกวา (ภานุพงษ์, 2551)

2.1.3 เป้าหมายหลักของซิกซ์ ซิกม่า

เป้าหมายหลักของของซิกซ์ ซิกม่าก็คือ การลดของเสียความแปรปรวนที่เกิดจากกระบวนการผลิตให้น้อยที่สุด รวมทั้งพัฒนาและเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้ได้มากที่สุด ปรับปรุงการปฏิบัติการที่มีจุดมุ่งเน้นสู่คุณภาพของผลการผลิตและการให้บริการที่ดีขึ้น ยกระดับ คุณค่าสำหรับลูกค้า และขจัดค่าใช้จ่ายที่ไม่สร้างมูลค่าเพิ่มดังนั้น จึงเน้นการปรับปรุงสมรรถนะของกระบวนการผ่านการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเข้มงวดซึ่งทำให้หลายองค์กร ประสบผลสำเร็จในการพัฒนาด้านคุณภาพเพิ่มผลผลิตและเพิ่มความสามารถในการทำกำไรอีกด้วย

2.1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานของซิกซ์ ซิกม่า

วิทยา (2553) ได้กล่าวไว้ว่าทุกองค์กรล้วนมีปัญหาที่ต้องแก้ไขหรือนำกลับมาทำซ้ำแต่ปัญหานั้นก็กลับมาปรากฏใหม่เหมือนเดิมทีมงานจึงได้ทำงานอย่างหนักเพื่อคิดหาแนวทางในการ แก้ปัญหาขึ้นแต่เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิต ก็ยังไม่สามารถบรรลุตามเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้ ดังนั้น ซิกซ์ ซิกม่า จึงเปนวิธีการแก้ไขปญหาแบบสมัยใหม่ที่ถูกออกแบบมาเพื่อหลีกเลี่ยง ปัญหาดังกล่าวโดยแบบจำลองนี้ถูกเรียกวา DMAIC ซึ่งมีรายละเอียดดังตอไปนี้

ขั้นที่ 1 การกำหนดปัญหา (D : Define) จะเป็นการกำหนดขั้นตอนสำหรับโครงการ ต้องคิดคำถามต่างๆ เช่น เราทำงานเกี่ยวกับอะไร ทำไมเราจึงทำงานเกี่ยวกับปัญหานี้ ใครคือผู้รับบริการ อะไรคือความต้องการของผู้รับบริการ ตอนนี้งานถูกทำอย่างไร และอะไรคือประโยชน์ของการทำการพัฒนา

ขั้นที่ 2 การจัด (M : Measurement) การจัดเป็นสิ่งที่ตามมาเป็นตรรกะ (Logic) เพื่อกำหนดและเป็นสะพานไปสู่ขั้นตอนต่อไป คือ การวิเคราะห์ โดยการวัดจะมีวัตถุประสงค์หลักอยู่ 2 ประการ คือ

1. รวบรวมข้อมูลเพื่อสามารถนำมาใช้ตรวจสอบ (Validate) และวัดปริมาณ (Quantify) ของปัญหาหรือโอกาส ปกติสิ่งนี้ คือข้อมูลที่สำคัญต่อการปรับปรุง

2. เริ่มแยกแยะข้อเท็จจริงและตัวเลข ซึ่งอาจจะให้ข้อสันนิษฐานเกี่ยวกับสาเหตุของปัญหาได้อย่างถูกต้อง

ขั้นที่ 3 วิเคราะห์ (A : Analysis) ในขั้นนี้ทีมจะลงลึกในรายละเอียดและขยายความเข้าใจเกี่ยวกับกระบวนการและปัญหา ทั้งนี้จะวิเคราะห์ครอบคลุมถึงสิ่งต่างๆ ต่อไปนี้

1. วิธีการ (Method) : กระบวนการหรือเทคนิคที่ใช้ในการทำงาน

2. เครื่องจักร (Machines) : เทคโนโลยีต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร หรือ เครื่องมือที่ใช้ในการผลิตที่ถูกใช้ในกระบวนการ

3. วัตถุดิบ (Materials) : ข้อมูล วิธีการทำ จำนวนข้อเท็จจริง แบบฟอร์ม และแฟ้มข้อมูล

4. การวัด (Measures) : ข้อมูลที่คลาดเคลื่อนจะเกิดจากการวัดกระบวนการ หรือการเปลี่ยนการกระทำของบุคคลโดยมีอคติเกี่ยวกับสิ่งที่วัดสูง รวมถึงวิธีการที่ใช้ในการนั้นๆ

5. คน (People) : กุญแจที่หลากหลายในวิธีการที่องค์ประกอบอื่นๆ จะผสมผสานเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ขององค์กร

ขั้นที่ 4 การปรับปรุง : (I : Improve) การนำไปปรับปรุง ปฏิบัติจริงจะต้องได้รับการบริหารอย่างรอบคอบและได้รับการตรวจสอบ โดยจะต้องมีการทำโครงการนำร่อง จะดำเนินการวิเคราะห์ปัญหาอย่างระมัดระวังเพื่อพิจารณาว่าสิ่งใดอาจเกิดความผิดพลาด และเตรียมที่จะป้องกันหรือจัดการกับความยุ่งยากที่อาจเกิดขึ้น

ขั้นที่ 5 การควบคุม (C : Control) งานที่เกี่ยวกับการควบคุมที่จะต้องทำให้สำเร็จ คือ

1. พัฒนากระบวนการติดตามเพื่อรักษาการเปลี่ยนแปลงที่ดำเนินการไว้ให้คงอยู่
2. สร้างแผนการตอบสนองสำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้น
3. ทำการช่วยให้ฝ่ายบริหารสนใจตัวชี้วัดที่สำคัญจำนวนหนึ่งซึ่งจะทำให้พวกเขาได้รับข้อมูลเกี่ยวกับผลลัพธ์ของโครงการ และการวัดปัจจัยของกระบวนการ
4. ถ่ายทอดโครงการโดยการนำเสนอผลงานและการสาธิต
5. ส่งมอบความรับผิดชอบในโครงการให้กับคนที่ทำงานตามปกติ
6. ทำให้มั่นใจว่าจะมีการสนับสนุนจากฝ่ายบริหารสำหรับวัตถุประสงค์ระยะยาวของโครงการ

2.2 แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram)

2.2.1 นิยาม แนวคิดและหลักการ

แผนภูมิก้างปลามีหลายชื่อเรียกได้แก่ แผนภูมิก้างปลาแผนผังอิชิกาว่า แผนผังสาเหตุและผล เป็นต้นซึ่งแผนผังนี้เป็นแผนผังที่ใช้แสดงความสัมพันธ์อย่างเป็นระบบระหว่างสาเหตุหลายๆสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ส่งผลกระทบให้เกิดปัญหาหนึ่งปัญหา ซึ่งได้รับการพัฒนาครั้งแรกเมื่อปีคริสต์ศักราช 1943 โดย ศาสตราจารย์คาโอรุ อิชิกาว่า แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว

2.2.2 ประโยชน์และการนำไปใช้

1) เมื่อต้องการค้นหาสาเหตุแห่งปัญหา

2) เมื่อต้องการทำการศึกษา ทำความเข้าใจ หรือทำความรู้จักกับกระบวนการอื่นๆ เพราะว่าโดยส่วนใหญ่พนักงานจะรู้ปัญหาเฉพาะในพื้นที่ของตนเท่านั้น แต่เมื่อมีการทำผังก้างปลาแล้วจะทำให้เราสามารถรู้กระบวนการของแผนกอื่นได้ง่ายขึ้น

3) เมื่อต้องการให้เป็นแนวทางในการระดมสมองซึ่งจะช่วยให้ทุกๆคนให้ความสนใจในปัญหาของกลุ่มซึ่งแสดงไว้ที่หัวปลา

2.2.3 วิธีการสร้างแผนภูมิก้างปลา

1) กำหนดประโยคปัญหาที่หัวปลา

การกำหนดหัวข้อปัญหาควรกำหนดให้ชัดเจนและมีความเป็นไปได้ ซึ่งหากกำหนดประโยคปัญหานี้ไม่ชัดเจนตั้งแต่แรกจะทำให้ใช้เวลามากในการค้นหาสาเหตุและใช้เวลานานในการทำผังก้างปลา การกำหนดปัญหาที่หัวปลา เช่น อัตราของเสียอัตราชั่วโมงการทำงานของคนที่ไม่มีประสิทธิภาพ อัตราการเกิดอุบัติเหตุ หรืออัตราต้นทุนต่อสินค้าหนึ่งชิ้น เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่า ควรกำหนดหัวข้อปัญหาในเชิงลบเทคนิคการระดมความคิดเพื่อจะได้ก้างปลาที่ละเอียดสวยงามคือการถาม ทำไม ทำไม ทำไม ในการเขียนแต่ละก้างย่อยๆ

2) กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้นๆ

เราสามารถที่จะกำหนดกลุ่มปัจจัยอะไรก็ได้ แต่ต้องมั่นใจว่ากลุ่มที่เรากำหนดไว้เป็นปัจจัยนั้นสามารถที่จะช่วยให้เราแยกแยะและกำหนดสาเหตุต่างๆ ได้อย่างเป็นระบบ และเป็นสาเหตุเป็นผลโดยส่วนมากมักจะใช้หลักการ 4M 1E เป็นกลุ่มปัจจัย (Factors) เพื่อจะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่างๆ ซึ่ง 4M 1E นี้มาจาก

M – Man คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร

M – Machine เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก

M – Material วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ

M – Method กระบวนการทำงาน

E – Environment อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการทำงาน

แต่การกำหนดก้างปลาไม่จำเป็นต้องใช้ 4M 1E เพราะหากเราไม่ได้อยู่ในกระบวนการผลิตแล้ว ปัจจัยนำเข้า (Input) ในกระบวนการก็จะเปลี่ยนไป เช่น ปัจจัยการนำเข้าเป็น 4P ได้แก่ Place Procedure People และ Policy หรือ 4S Surrounding Supplier System และ Skill หรือ Milk Management Information Leadership Knowledge ก็ได้ นอกจากนั้นหากกลุ่มที่ใช้ก้างปลามีประสบการณ์ในปัญหาที่เกิดขึ้นสามารถที่จะกำหนดกลุ่มปัจจัยใหม่ให้เหมาะสมกับปัญหาได้ ตั้งแต่แรก

3) ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย

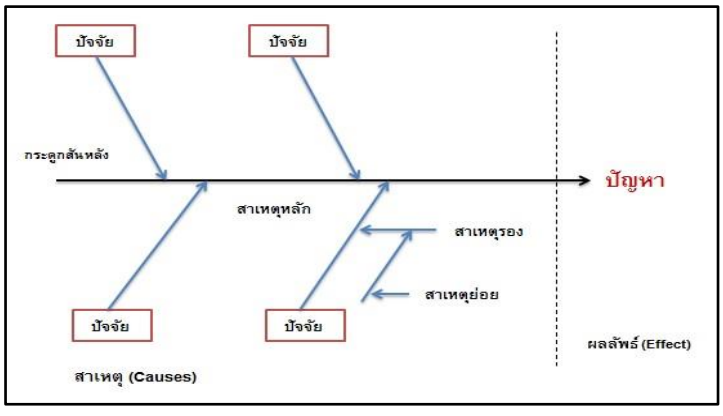
4) หาสาเหตุหลักของปัญหา

5) จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ

6) ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

2.2.4 ส่วนประกอบของแผนภูมิก้างปลา

แบ่งออกเป็น ส่วนปัญหาหรือผลลัพธ์ (Problem or Effect) ซึ่งจะแสดงอยู่ที่หัวปลา ส่วนสาเหตุ (Causes) จะสามารถแยกย่อยออกได้อีกเป็นปัจจัย (Factors) ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหาหัวปลา สาเหตุหลักและสาเหตุย่อย ซึ่งสาเหตุของปัญหา จะเขียนไว้ในก้างปลาแต่ละก้าง ก้างย่อยเป็นสาเหตุของก้างรองและก้างรองเป็นสาเหตุของก้างหลัก เป็นต้น



ภาพ 2.1 แผนภูมิก้างปลา

หลักการเบื้องต้นของแผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram) คือการใส่ชื่อของปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์ ลงทางด้านขวาสุดหรือซ้ายสุดของแผนภูมิ โดยมีเส้นหลักตามแนวยาวของกระดูกสันหลัง จากนั้นใส่ชื่อของปัญหาย่อยซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาหลัก 3–6 หัวข้อ โดยลากเป็นเส้นก้างปลา (Sub-Bone) ทำมุมเฉียงจากเส้นหลัก เส้นก้างปลาแต่ละเส้นให้ใส่ชื่อของสิ่งที่ทำให้เกิดปัญหานั้นขึ้นมา ระดับของปัญหาสามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีก ถ้าปัญหานั้นยังมีสาเหตุที่เป็นองค์ประกอบย่อยลงไปอีก โดยทั่วไปมักจะมีการแบ่งระดับของสาเหตุย่อยลงไปมากที่สุด 4–5 ระดับ เมื่อมีข้อมูลในแผนภูมิที่สมบูรณ์แล้ว จะทำให้มองเห็นภาพขององค์ประกอบทั้งหมด ที่จะเป็นสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพ 2.1

2.2.5 ข้อดีและข้อเสียในการทำแผนภูมิก้างปลา

ข้อดี

1. ไม่ต้องเสียเวลาแยกความคิดต่างๆ ที่กระจัดกระจายของแต่ละสมาชิก แผนภูมิก้างปลาจะช่วยรวบรวมความคิดของสมาชิกในทีม

2. ทำให้ทราบสาเหตุหลัก ๆ และสาเหตุย่อย ๆ ของปัญหาทำให้ทราบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา ซึ่งทำให้เราสามารถแก้ปัญหาได้ถูกวิธี

ข้อเสีย

1. ความคิดไม่อิสระเนื่องจากแผนภูมิก้างปลาเป็นตัวกำหนดซึ่งความคิดของสมาชิกในทีมจะมารวมอยู่ที่แผนภูมิก้างปลา

2. ต้องอาศัยผู้ที่มีความสามารถสูง จึงจะสามารถใช้แผนภูมิก้างปลาในการระดมความคิด

2.3 เทคนิค 5W1H

2.3.1 นิยาม แนวคิดและหลักการ

การใช้เทคนิค 5W1H ในการวิเคราะห์แก้ปัญหานั้น ส่วนใหญ่เราจะใช้ในขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูล ด้วยการตั้งคำถาม Who is it about? What happened? When did it take place? Where did it take place? และ Why did it happen? การตั้งคำถามดังกล่าวจะทำให้เราได้คำตอบในแต่ละประเด็น แต่ละข้อของคำถาม เทคนิค 5W1H จะใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลหรือปัญหา ได้เกือบทุกรูปแบบ เทคนิค 5W1H เป็นการคิดวิเคราะห์ (Analysis Thinking) ที่ใช้ความสามารถในการจำแนก แยกแยะองค์ประกอบต่าง ๆ ของสิ่งหนึ่งสิ่งใดซึ่งอาจจะเป็นวัตถุ สิ่งของ เรื่องราว หรือเหตุการณ์ นำมาหาความสัมพันธ์เชิงเหตุผล ระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านั้น เพื่อค้นหาคำตอบที่เป็นความเป็นจริง หรือที่เป็นสิ่งที่สำคัญ จากนั้นจึงรวบรวมข้อมูลทั้งหมดมาจัดระบบเรียบเรียงใหม่ให้ง่ายแก่ต่อการทำความเข้าใจ (ศิริประภา พันธมา, 2557)

2.3.2 ส่วนประกอบและการนำไปใช้

1) Who ใคร คือ สิ่งที่เราต้องรู้ว่า ใครรับผิดชอบ ใครเกี่ยวข้อง ใครได้รับผลกระทบในเรื่องนั้นมีใครบ้าง

2) What ทำอะไร คือ สิ่งที่เราต้องรู้ว่า เราจะทำอะไร แต่ละคนทำอะไรบ้าง

3) Where ที่ไหน คือ สิ่งที่เราต้องรู้ว่า สถานที่ที่เราจะทำว่าจะทำที่ไหน เหตุการณ์หรือสิ่งที่ทำนั้นอยู่ที่ไหน

4) When เมื่อไหร่ คือ สิ่งที่เราต้องรู้ว่า ระยะเวลาที่จะทำจนถึงสิ้นสุด เหตุการณ์หรือสิ่งที่ทำนั้นทำเมื่อวัน เดือน ปี ใด

5) Why ทำไม คือ สิ่งที่เราต้องรู้ว่า สิ่งที่เราจะทำนั้น ทำด้วยเหตุผลใด เหตุใดจึงได้ทำสิ่งนั้น หรือเกิดเหตุการณ์นั้นๆ

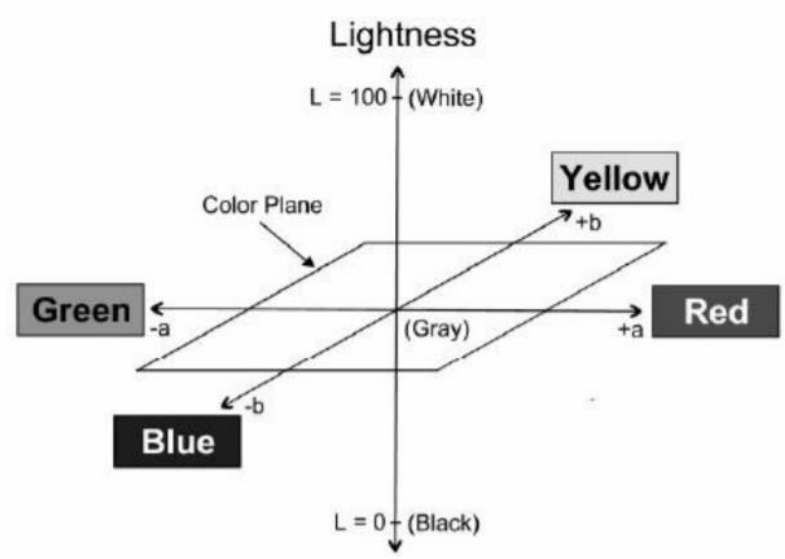
6) How อย่างไร คือ สิ่งที่เราต้องรู้ว่า เราจะสามารถทำทุกอย่างให้บรรลุผลได้อย่างไร เหตุการณ์หรือสิ่งที่ทำนั้นทำอย่างไรบ้าง

2.4 ระบบสี CIE L*a*b* (CIELAB)

ระบบสี CIE L*a*b* หรือ CIELAB เป็นระบบการวัดสีที่คำนึงถึงองค์ประกอบ 3 ประการ คือ

1. Light source คือ แหล่งกำเนิดแสง เช่น แสงมาตรฐาน D 65
2. Color object คือ วัตถุมีสี
3. Observer คือ ผู้สังเกตการณ์

CIELAB เป็นระบบการวัดสีที่พัฒนาจากระบบ CIE Tristimulus Value (x, y และ z) และ CIE Chromaticity Coordinates (x, y และ Y) โดยปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงจนสามารถบอกความแตกต่างของสีได้อย่างสม่ำเสมอและใกล้เคียงกับความแตกต่างของสีที่ตามองเห็น ปัจจุบันสมการที่ใช้ในการระบุสีเป็นที่ยอมรับกว้างขวางคือ CIELAB 1976 ซึ่งมีลักษณะ Color space ดังภาพ 2.3



ภาพ 2.3 แสดง L, a, b color space

ที่มา : ปณิธาน สุระยศ, 2557

โดย L* ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)

L = 0 สีที่ได้จะมืดเป็นสีดำ

L = 100 สีที่ได้จะสว่างเป็นสีขาว

a* ใช้กำหนดสีแดง หรือสีเขียว

a เป็น + วัตถุมีสีออกแดง

a เป็น - วัตถุมีสีออกเขียว
b* ใช้กำหนดสีเหลือง หรือสีน้ำเงิน
b เป็น + วัตถุมีสีออกเหลือง
b เป็น – วัตถุมีสีออกน้ำเงิน

2.5 การแสดงค่าความชื้นของอาหาร

ปริมาณความชื้น นิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์มี 2 รูปแบบคือ

1. ความชื้นฐานเปียก Wet Basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน มักบอกเป็นเปอร์เซ็นต์

2. ความชื้นฐานแห้ง (Dry Basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (dehydration) เพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารจะคงที่ อาจบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ หรือ จำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง (g H2O/ g solid)

2.5.1 การวัดความชื้นของอาหาร

น้ำที่มีอยู่ในอาหารแต่ละชนิดมีการยึดติดอยู่ในโครงสร้าง หรือโมเลกุลของสารอื่นๆ ที่เป็นส่วนประกอบของอาหารในรูปแบบ และความแข็งแรงต่างกัน ทำให้เทคนิคที่ใช้สำหรับการหาความชื้นของอาหารแต่ละชนิดแตกต่างกันไป ทั้งความยากง่าย ความซับซ้อนของอุปกรณ์ และความถูกต้องแม่นยำของค่าที่ได้ วัตถุประสงค์หลักของบทนี้จึงเป็นการแนะนำให้รู้จักวิธีการหาความชื้นใน อาหารแบบต่างๆ ข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธี เพื่อสามารถเลือกนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม

1. การวัดความชื้นโดยตรง (Direct Method) เป็นการวัดปริมาณที่มีอยู่ในอาหารโดยตรง สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ การแยกเอาน้ำออกด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การอบแห้งทำให้น้ำระเหยออกไป การกลั่นแยกเอาน้ำออกจากอาหาร หรือการใช้วิธีการทางเคมี โดยการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับน้ำ เป็นต้น วิธีการวัดโดยตรงเป็นการวัดที่ทำลายตัวอย่าง แต่ละวิธีจะมีความถูกต้องแตกต่างกัน วิธีที่มีการยอมรับกันทั่วไปว่ามีความถูกต้องแม่นยำสูง จะนิยมใช้เป็นค่าความชื้นมาตรฐานเพื่อใช้ปรับเทียบค่าที่ได้จากการวัดด้วยวิธีการอื่นๆ ก่อนนำค่าที่ได้ไปใช้ประโยชน์

2. การวัดโดยอ้อม (Indirect Methods) เป็นการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของเมล็ดพืชด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เช่น วัดค่าความจุไฟฟ้า การวัดความชื้นโดยทางอ้อมมีจุดเด่นตรงรู้ผลเร็วสะดวก และทำได้บ่อย จุดด้อยคือ ค่าที่ได้จากการวัดเป็นค่าโดยประมาณการ

2.6 ระดับความหวาน บริกซ์

ค่าความหวาน บริกซ์ (เปอร์เซ็นต์ บริกซ์) ตั้งชื่อตามนักเคมีชาวเยอรมัน “Adolf Brix” เป็นหน่วยที่ใช้บอกความเข้มข้น ของของแข็งที่ละลายอยู่ในสารละลาย เป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อน้ำหนัก มักใช้กับน้ำเชื่อม น้ำผลไม้ น้ำผลไม้เข้มข้น เช่น น้ำเชื่อมเข้มข้น 10 บริกซ์ หมายถึงน้ำเชื่อมน้ำหนัก 100 กรัม มีน้ำตาลซูโครสละลายอยู่ 10 กรัม (ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส) ในน้ำผลไม้ หรือน้ำผลไม้เข้มข้น ค่าที่วัดได้ เป็นการวัดปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ (Total Soluble Solids) ได้แก่

น้ำตาลซูโครส น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุ้กโทส กรดอินทรีย์ เช่น กรดซิตริก กรดแอมิโนอิสระ วิตามินซี และแร่ธาตุต่างๆ หน่วยที่วัดได้เป็นเปอร์เซ็นต์ น้ำหนักต่อปริมาตร (พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, 2556)

2.7 หลักการของการอบสับปะรด

สับปะรดที่เก็บเกี่ยวมามีลักษณะ มีผิวเปียก และความชื้นเริ่มต้นสูง และเนื้อมีลักษณะที่มีรูพรุน สามารถถ่ายเทความร้อนและมวลได้เป็นอย่างดี จากนั้นนำสับปะรดมาปอกเปลือก นำตาออก แล้วหั่นเป็นแว่นกลม ให้มีความหนาประมาณ 0.8 ถึง 1 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 ถึง 8 เซนติเมตร แล้วนำมาวางใส่ถาดโดยไม่ซ้อนกัน (ณัฐพล ภูมิสะอาด, ละมุล วิเศษ, พันธ์สิริสุทธิลักษณ์ และ สุทธิวัลย์สีทา, 2562) โดยปัจจัยที่มีผลต่อสีของสับปะรดในกระบวนการอบ

2.7.1 ปริมาณน้ำตาล

พีณา สลีวงศ์ (2543) กล่าวว่าน้ำตาลในสับปะรดต่ำที่สุดอยู่ที่ 9 บริกซ์ และปริมาณน้ำตาลสูงที่สุดอยู่ที่ 18 บริกซ์ น้ำตาลที่อยู่ในสับปะรดสดทำให้เกิดปฏิกิริยาคาลาเมลไลเซชั่นถ้าผ่านความร้อน ซึ่งปริมาณน้ำตาลสูงทำให้ความสว่างของสีสับปะรดหลังผ่านความร้อนมีสีเข็ม เกิดขึ้นจากระหว่างน้ำตาลรีดิวส์ (reducing sugar) กับกรดแอมิโน โปรตีน หรือสารประกอบไนโตรเจนอื่นๆ โดยมีความร้อนเร่งปฏิกิริยา

2.7.2 อุณหภูมิและ เวลา

พลรัชต์ บุญมี (2551) กล่าวว่า อุณหภูมิมีผลต่อการลดความชื้น ซึ่งหากค่าสูงไป จะทำให้ความสว่างของสับปะรดลดลง อีกทั้งความร้อนยังมีผลกับน้ำตาลในสับปะรดให้เกิดปฏิกิริยาคาลาเมลไลเซชั่น และมีผลต่อค่าความสว่างของผลิตภัณฑ์ ส่วนระยะเวลามีผลเกี่ยวข้องกับการลดความชื้น โดยจะมีผลกับความชื้นสุดท้ายของสับปะรด หากสับปะรดมีความชื้นสุดท้ายหลังการอบที่สูงจะมีแนวโน้มค่าความสว่างสูง หากมีความชื้นสุดท้ายต่ำ จะมีแนวโน้มให้ค่าความสว่างลดต่ำลง

2.7.3 ระดับความบริบูรณ์

ระดับความบริบูรณ์ คือ ระดับความสุกของสับปะรดแบ่งเป็นระดับ 0 ถึง 7 ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามภาพ 2.4 ซึ่งคุณลักษณะทางด้านความหวาน (Degree Brix) และ ความเป็นกรด (pH) นั้นเปลี่ยนแปลงไปตาม ระดับความบริบูรณ์เบอร์ 0 ถึง 7 (สาโรจน์ ปัญญามงคล, 2560)

ระดับความบริบูรณ์ของสับปะรดภูแล	สีของเนื้อสับปะรด
0	มีสีเหลืองอ่อน หรือสีเหลืองซีด
1	มีสีเหลืองอ่อน หรือสีเหลืองซีด
2	มีสีเหลืองอ่อน หรือสีเหลืองซีด
3	มีสีเหลืองอ่อน หรือสีเหลืองซีด
4	มีสีเหลือง
5	มีสีเหลือง
6	มีสีเหลืองเข้ม
7	มีสีเหลืองเข้ม

ภาพ 2.4 แสดงการแบ่งระดับความบริบูรณ์ของสับปะรดภูแล

ที่มา : สาโรจน์ ปัญญามงคล, 2560

2.8 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ (2^k Factorial Design) นั้น เป็นการทดลองในกรณีที่มีปัจจัยทั้งหมด k ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ซึ่งระดับในที่นี้อาจแทนด้วย “ระดับของปริมาณ (Quantity Level)” เช่น อุณหภูมิ ความดัน และเวลา หรือ “ระดับของคุณภาพ (Qualitative Level) เช่น เครื่องจักร คน การแบ่งระดับของปัจจัยอาจแบ่งออกเป็นระดับสูง (High) และต่ำ (Low) หรืออาจแบ่งเป็นระดับที่มี (Yes) หรือไม่มี (No) ของปัจจัยนั้น ๆ

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k โดยส่วนใหญ่แล้วจะใช้ในกรณีที่มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายตัว การทดลองด้วยวิธีนี้จะทำให้มีจำนวนการทดลองน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังมี การสมมติให้การเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองมีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น ตัวอย่างการออกแบบ การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบ 2^k คือ กรณีที่มีปัจจัยทั้งหมด 2 ปัจจัย คือ ปัจจัย A และ B ในแต่ ละปัจจัยประกอบไปด้วย 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ และระดับสูง

2.8.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

การทดลองแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลเต็มจำนวนกรณีมีการทดลองซ้ำ คือการทำการทดลองเงื่อนไขเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง ($n \geq 2$) ปกติจำนวนการทดลองซ้ำสำหรับแต่ละเงื่อนไขการทดลองจะมีจำนวนเท่ากัน การทำการทดลองซ้ำช่วยให้ผลการทดลองมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้นโดยขั้นตอนการการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงกระบวนการโดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ระดับ 2^k ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) คำนวณค่าผลกระทบได้แก่ผลกระทบหลักและผลกระทบร่วม

2) เขียนแบบจำลอง (Initial Model) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมว่ามีผลตอบของกระบวนการอย่างไรบ้าง โดยในเบื้องต้นเขียนในรูปของแบบจำลองแบบเต็มจำนวน (Full Model) ซึ่งประกอบด้วยค่าคงที่ ผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วม

3) คัดกรองเฉพาะผลกระทบที่มีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญ

- กรณีมีการทดลองโดยใช้การทดสอบทางสถิติได้การทดสอบแบบ T-test หรือตารางวิเคราะห์ผลความแปรปรวน

- กรณีไม่มีการทดลองซ้ำใช้กราฟปกติของผลกระทบ หรือ ประมาณค่าความแปรปรวนจากผลกระทบร่วมอันดับสูง หรือใช้การทดลองซ้ำแบบเทียม หรือทำการเฉพาะที่จุด กึ่งกลาง

4) เขียนแบบจำลอง (Refine Model) การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีนัยสำคัญกับผลตอบ โดยแบบจำลองจะรวมเฉพาะเทอมที่จำเป็น ได้แก่ เทอมที่มีผลต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญและตัดเทอมที่ไม่จำเป็นออกเพื่อให้แบบจำลองมี ความกะทัดรัดและไม่ซับซ้อนเกินไป เพื่อใช้ทำนายผลการทดลองโดยแบบจำลองความสัมพันธ์ต้องมี การตรวจสอบความเหมาะสม (Appropriateness) และความเพียงพอของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

5) ตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง (Appropriateness) โดยพิจารณาจาก ค่าสัมประสิทธ์ของการตัดสินใจหรือ R-Squared (Coefficient of Correlation) หรือ R-Squared (adj) หรือค่า LOF (Lack of Fit)

6) ตรวจสอบความพอเพียง (Model Adequacy Checking) ของแบบจำลองโดยวิธีวิเคราะห์ส่วนค้าง (Residual Analysis) เพื่อตรวจสอบข้อกำหนดเบื้องต้นของคุณสมบัติของความแปรปรวนของแบบจำลอง

7) แปลผลและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด และแสดงผลการวิเคราะห์โดยใช้กราฟ ตามความจำเป็น เช่น กราฟผลกระทบหลัก กราฟผลกระทบร่วม กราฟพื้นผิวผลตอบ

8) ทำการทดลองยืนยันผลสำหรับเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบค่าเฉลย ยืนยันผลกับช่วงความเชื่อมั่นของค่าทำนาย

2.8.2 แบบจำลองการถดถอย (The Regression Model)

ในการแปลงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณการในการออกแบบการทดลอง 2^k ไปเป็นแบบจำลองถดถอย (Regression Model) ซึ่งจะทำให้สามารถพยากรณ์ผลตอบที่จุดใด ๆ ในแต่ละช่วงของปัจจัย (Space Spanned) ของปัจจัยที่ได้ออกแบบ เป็นการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเพื่อที่จะนำไปสู่การคาดการณ์หรือประมาณค่า ซึ่งการถดถอยแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ Simple Regression และ Multiple Regression

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

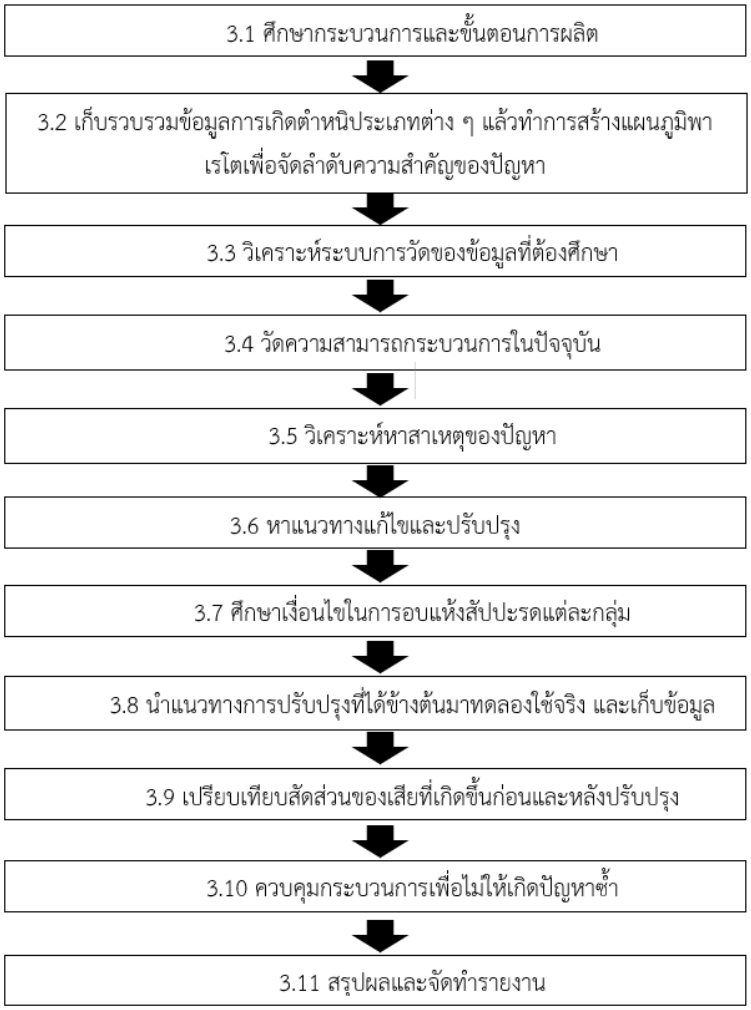
วสันต์ พุกผาสุก (2549) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ซิกม่า เพื่อลดปริมาณของเสียและปรับปรุงคุณภาพผิวงานชุบโครเมี่ยม โดยมีเป้าหมายคือ ลดอัตราของเสียลง 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีขั้นตอนการแก้ปัญหาตามหลักการของซิกซ์ ซิกม่า 5 ขั้นตอน จากการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้นพบว่า การเกิดลักษณะเป็นเม็ดหรือตามดบนชิ้นงานเป็นสาเหตุทำให้เกิดของเสียมากที่สุด หลังจากที่ทำการวิเคราะห์และกลั่นกรองพบว่า ปัจจัยที่ต้องทำการควบคุมในกระบวนการชุบเคลือบผิวโครเมี่ยม คือ วิธีการล้างชิ้นงาน ค่า pH และความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ต่อมาจึงนำปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์มาทำการหาค่าที่เหมาะสมโดยการออกแบบการทดลอง ผลจากการศึกษาทำให้ค่าเฉลี่ยของเสียต่อเดือนลดลงจาก 146,295 ppm เหลือเพียง 25,780 ppm และลดความสูญเสียจาก 774,714 เหลือ 128,648 บาทต่อเดือน

Benjar Chutintrasria และ Athapol Noomhorm (2548) การวิจัยจลนศาสตร์การย่อยสลายสีของสับปะรดระหว่างกระบวนการทางความร้อน พบว่าการปรับปรุงสีซึ่งเป็นคุณภาพของสับปะรดนั้นสามารถทำได้ และผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า สีและความสว่างซึ่งขึ้นอยู่กับพลังงานกระตุ้นคือมาตรการที่สำคัญที่สุดของการเปลี่ยนสีของสับปะรดที่ช่วงอุณหภูมิ 70–90 และ 95–110 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

ในการศึกษากระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา พบว่ามีปัญหาผลิตภัณฑ์มีตำหนิหรือของเสียจากกระบวนการผลิตสัปปะรดอบแห้งเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ทางผู้จัดทำจึงต้องการศึกษาเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ โดยมีลำดับขั้นตอนการวิจัยดังภาพ 3.1 โดยโครงงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการตามขั้นตอนหลัก DMAIC ของซิกซ์ ซิกมา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพ 3.1 ขั้นตอนการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการวิจัย

การกำหนดปัญหา (Define)

3.1.1 ศึกษากระบวนการและขั้นตอนการผลิต

ศึกษากระบวนการและขั้นตอนการผลิตสัปปะรดอบแห้ง แล้วสร้างแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) เพื่อให้เห็นภาพรวมของกระบวนการผลิต

3.1.2 เก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดตำหนิประเภทต่างๆ แล้วทำการสร้างแผนภูมิพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

เก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดตำหนิประเภทต่างๆในการผลิตผลิตภัณฑ์สัปปะรดอบแห้ง แล้วทำการสร้างแผนภูมิพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา เพื่อคัดเลือกปัญหาที่ส่งผลกระทบมากที่สุด โดยจากการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น พบว่าปัญหาสีของสัปปะรดไม่ตรงตามความต้องการของลูกค้าเป็นปัญหาที่พบมากที่สุด และทางบริษัทให้ความสำคัญมากที่สุดในขณะนี้ นอกจากนี้ยังพบปัญหาอื่นๆ เช่น ขนาดของผลิตภัณฑ์ไม่เท่ากัน เป็นต้น

การวัด (Measure)

3.1.3 วิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลที่ต้องศึกษา

ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลที่ต้องศึกษา อาทิเช่น สำหรับการศึกษาปัญหาสีของสัปปะรดไม่ตรงตามสเปค โดยใช้พนักงานเป็นคนตรวจสอบ จะใช้วิธี GR&R แบบข้อมูลนับ (Attribute Data) เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการจำแนกสีของพนักงานว่าผ่าน หรือ ไม่ผ่าน

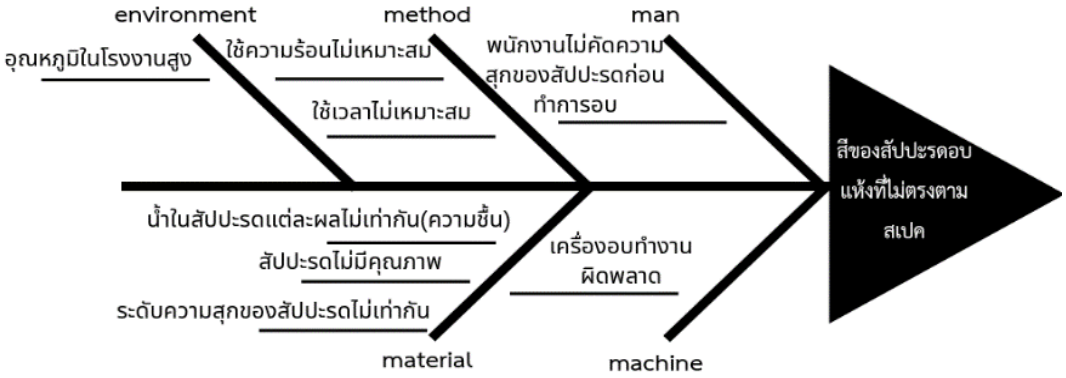
3.1.4 วัดความสามารถกระบวนการในปัจจุบัน

ทำการวัดความสามารถกระบวนการในปัจจุบันโดยจะวัดจากสัดส่วนผลิตภัณฑ์มีตำหนิหลังจากสิ้นสุดกระบวนการอบ

การวิเคราะห์ (Analyze)

3.1.5 วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยทำการสร้างแผนภาพก้างปลา โดยภาพ 3.2 แสดงตัวอย่างการใช้แผนภาพก้างปลาเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้สีของสัปปะรดอบแห้งไม่ตรงตามสเปค จากนั้นจึงทำการคัดเลือกสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบมากร่วมกับพนักงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปหาแนวทางในการแก้ไขในขั้นตอนต่อไป



ภาพ 3.2 แผนภาพก้างปลาในการหาสาเหตุของปัญหาสีของสัปะรด

การปรับปรุง (Improve)

3.1.6 หาแนวทางแก้ไขและปรับปรุง

จากการเลือกสาเหตุของปัญหามาจากแผนภาพก้างปลาเพื่อหาแนวทางแก้ไขและปรับปรุง อาทิเช่น จากปัญหาสีของสัปะรดอบแห้งไม่ตรงตามสเปคพบว่า สาเหตุมาจากพนักงานไม่มีการคัดแยกกลุ่มของสัปะรดสดก่อนนำไปอบ และในการอบไม่มีการกำหนดวิธีการอบที่เหมาะสมสำหรับสัปะรดแต่ละกลุ่ม ทำให้เมื่ออบแล้วสัปะรดมีสีไม่สม่ำเสมอและไม่ตรงตามสเปคจึงต้องคัดทิ้งเป็นจำนวนมาก ดังนั้นแนวทางแก้ไขคือ เสนอให้ต้องมีการแบ่งสัปะรดเป็นกลุ่มที่เหมาะสมและศึกษาเงื่อนไขในการอบสำหรับสัปะรดแต่ละกลุ่ม โดยจากการศึกษางานวิจัยพบว่า ระดับความหวานและระดับความบริบูรณ์มีผลต่อสีของสัปะรด ผู้วิจัยจึงได้เสนอให้แบ่งกลุ่มสับปะรดสดเป็น 4 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 ระดับความหวาน 10-12 บริกซ์ และ ระดับความบริบูรณ์ 2-4

กลุ่มที่ 2 ระดับความหวาน 10-12 บริกซ์ และ ระดับความบริบูรณ์ 5-7

กลุ่มที่ 3 ระดับความหวาน 13-15 บริกซ์ และ ระดับความบริบูรณ์ 2-4

กลุ่มที่ 4 ระดับความหวาน 13-15 บริกซ์ และ ระดับความบริบูรณ์ 5-7

3.1.7 ศึกษาเงื่อนไขในการอบแห้งสัปะรดแต่ละกลุ่ม

จากนั้นทำการศึกษาเงื่อนไขในการอบแห้งสัปะรดแต่ละกลุ่มตามที่แบ่งไว้ในข้อ 3.1.6 โดยจากงานวิจัยของ Benjar Chutintrasria และ Athapol Noomhorm (2548) พบว่าอุณหภูมิที่ 70 ถึง 90 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนสีสัปะรดมากที่สุดและเวลาที่ใช้ก็คือ 500 ถึง 600 นาที ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบที่เหมาะสมต่อแต่ละกลุ่มสัปะรดที่แบ่งจากข้อที่ 3.1.6 ในแต่ละการทดลองจะวัดออกมาเป็นค่า L* ที่ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness) L* = 0 สีที่ได้จะมืดเป็นสีดำ L* = 100 สีที่ได้จะสว่างเป็นสีขาว ค่า a* บ่งบอกแกนสีจากสีเขียว (-a*) จนถึงสีแดง (+a*) และค่า b* บ่งบอกแกนสีจากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*) ตามระบบสี CIELAB โดยต้องการให้ค่า L* ยิ่งมากยิ่งดี ค่า a* ยิ่งน้อยยิ่งดี และค่า b* ยิ่งมากยิ่งดีนอกจากนี้ยังทำการวัดค่าความชื้นของสัปะรดหลังอบด้วย โดยค่าความชื้นต้องไม่เกิน 12 และยิ่งน้อยยิ่งดี โดยแบ่งการทดลองได้ดังตาราง 3.1

ตาราง 3.1 ตารางการทดลองอบแห้งสัปปะรดแต่ละกลุ่ม

	ความหวาน (บริกซ์)	ระดับความสมบูรณ์	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลาในการอบ (นาที)
กลุ่ม 1	10 ถึง 12	2 ถึง 4	70	500
	10 ถึง 12	2 ถึง 4	70	600
	10 ถึง 12	2 ถึง 4	90	500
	10 ถึง 12	2 ถึง 4	90	600
กลุ่ม 2	10 ถึง 12	5 ถึง 7	70	500
	10 ถึง 12	5 ถึง 7	70	600
	10 ถึง 12	5 ถึง 7	90	500
	10 ถึง 12	5 ถึง 7	90	600
กลุ่ม 3	13 ถึง 15	2 ถึง 4	70	500
	13 ถึง 15	2 ถึง 4	70	600
	13 ถึง 15	2 ถึง 4	90	500
	13 ถึง 15	2 ถึง 4	90	600
กลุ่ม 4	13 ถึง 15	5 ถึง 7	70	500
	13 ถึง 15	5 ถึง 7	70	600
	13 ถึง 15	5 ถึง 7	90	500
	13 ถึง 15	5 ถึง 7	90	600

โดยแต่ละเงื่อนไขการทดลองทำการอบทั้งหมด 2 ซ้ำ (Replicates) จากนั้นทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) เพื่อตรวจสอบตัวแปรที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นมานั้นส่งผลต่อตัวแปรตามได้ดีแค่ไหน ซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบส่งผลต่อค่าสีของสัปปะรดจริงหรือไม่ และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) เพื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยคู่ใดในแต่ละกลุ่ม

แตกต่างกันบ้าง เมื่อได้เงื่อนไขการอบ (อุณหภูมิ และระยะเวลาการอบ) ที่ดีที่สุดของแต่ละกลุ่มจริงนำไปทำการทดลองอบสับปะรดจริงในขั้นตอนต่อไป

3.1.8 นำแนวทางการปรับปรุงที่ได้ข้างต้นมาทดลองใช้จริงที่โรงงานกรณีศึกษา และเก็บข้อมูลสัดส่วนของเสียหลังปรับปรุง

3.1.9 เปรียบเทียบสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ

การควบคุม (Control)

3.1.10 ควบคุมกระบวนการเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาซ้ำ

หลังจากที่ได้วิธีการทำงานที่ทำให้ของเสียลดลงจากการปรับปรุงในขั้นตอนก่อนหน้าแล้ว ต่อมาทำการควบคุมกระบวนการเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาซ้ำ โดยการจัดทำมาตรฐานการทำงานตาม 5W1H อันได้แก่ Who What Where When Why How

3.1.11 สรุปผลและจัดทำรายงาน

3.2 อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

ในการทำวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้อุปกรณ์ และเครื่องมือเพื่อดำเนินงานได้แก่ เครื่องวัดปริมาณน้ำตาล (Hand Refractometer), เตาอบลมร้อน (Hot Air Oven) และเครื่องวัดค่าสี (Color Quest Sphere Hunter Lab) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 เครื่องวัดปริมาณน้ำตาล (Hand Refractometer) ดังภาพ 3.3 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายหรือใช้ตรวจสอบปริมาณน้ำตาลในของเหลวโดยอาศัยหลักการหักเหของแสง มีหน่วยวัดเป็น เปอร์เซ็นต์ บริกซ์ สามารถวัดค่าความหวานได้ตั้งแต่ 0 ถึง 32 เปอร์เซ็นต์ บริกซ์

ภาพ 3.3 เครื่องวัดปริมาณน้ำตาลแบบกล้อง

3.2.2 เตาอบลมร้อน (Hot Air Oven) ทำหน้าที่อบแห้งไล่ความชื้นออกจากวัตถุดิบ (เช่น อบแห้ง แทนการจากแดด หรือการไล่น้ำมัน) ทำให้สามารถทำให้เก็บวัตถุดิบได้นานขึ้น เพื่อใช้ในการแปรรูปผลผลิตต่างๆ สามารถอบวัตถุดิบได้หลากหลาย ดังภาพ 3.4

ภาพ 3.4 เตาอบลมร้อน

3.2.3 เครื่องวัดค่าสี (Color Quest Sphere Hunter Lab) สามารถวัดสีของวัตถุออกมาเป็นตัวเลขได้ ซึ่งจะวัดปริมาณการสะท้อนแสงของวัตถุเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงที่เป็น Reflectance Curve วัตถุที่มีสีแตกต่างกันจะมี Reflectance Curve ต่างกัน ภาพ 3.5 แสดงภาพเครื่องวัดสีค่าสี โดยใช้ระบบ CIE Chromaticity Coordinate องค์กร CIE ได้กำหนดหน่วยวัดสีมีสัญลักษณ์ L*-a*-b* โดยทั้ง 3 ตัวแปลมีรายละเอียด ดังนี้

- แกน L* บ่งบอกถึง ความสว่าง (Lightness) มี ค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 โดย 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว
- แกน a* บรรยายแกนสี จากสีเขียว (-a*) จนถึง สีแดง (+a*)
- แกน b* บรรยายแกนสี จากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*)

ภาพ 3.5 เครื่องวัดค่าสี

3.2.4 เครื่องวัดความชื้น (Moisture Analyzer) เป็นเครื่องสำหรับตรวจวัดปริมาณความชื้นในงานวิจัยอุตสาหกรรมซึ่งจำเป็นสำหรับการควบคุมคุณภาพและการตรวจสอบวัตถุดิบในหลากหลายอุตสาหกรรมรวมทั้งผลิตภัณฑ์อาหารเคมีและเภสัชภัณฑ์ เครื่องวิเคราะห์ความชื้นมีความสามารถในการวัดค่าความชื้นได้อย่างแม่นยำรวดเร็วและง่ายดาย เพียงแค่วางตัวอย่างไว้ในถาดตัวอย่างแล้วปิดฝาครอบเพื่อเริ่มการวัด เครื่องมือนี้สามารถรองรับการวัดวิเคราะห์ความชื้นทุกชนิดของตัวอย่าง โดยให้ความร้อนแก่สารตัวอย่างด้วย Halogen Lamp และคำนวณค่าปริมาณความชื้นจากน้ำหนักที่ลดลงของตัวอย่าง สามารถอ่านค่าน้ำหนักได้ละเอียดถึง 0.001 กรัม และยังสามารถรายงานค่าปริมาณความชื้นได้ตั้งแต่ 0-100 เปอร์เซ็นต์ db โดยเครื่องรายงานได้ละเอียดถึง 0.01 เปอร์เซ็นต์ db

ภาพ 3.6 เครื่องวัดความชื้น

บทที่ 4

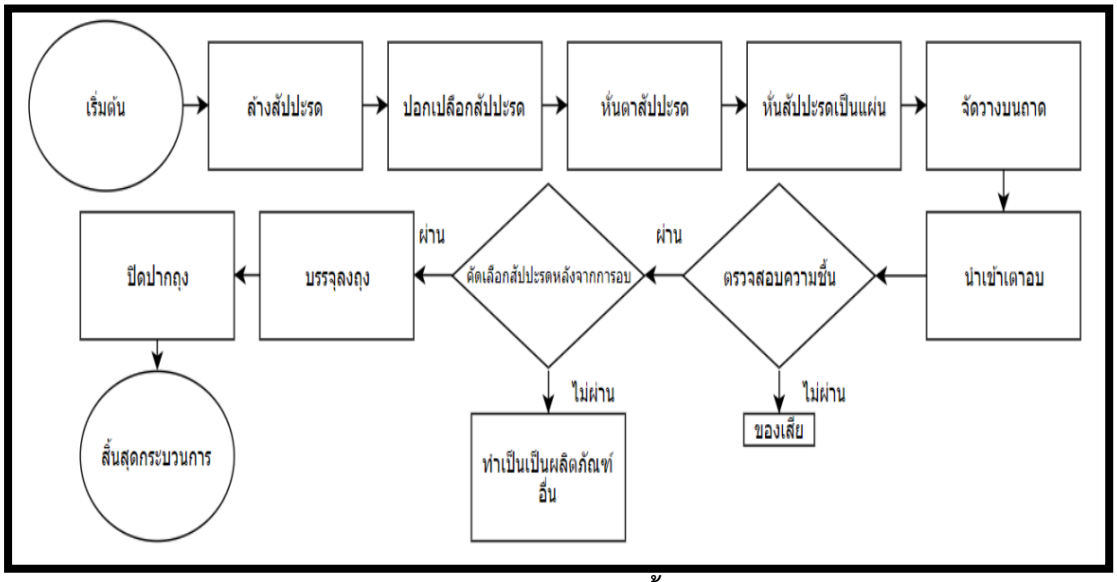
ผลการวิจัย

ในบทนี้จะแสดงผลการวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นในการอบสัปปะรดอบแห้ง โดยการนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการแก้ไข และทำการแก้ไขปัญหาโดยมีผลการดำเนินงานดังนี้

4.1 การกำหนดปัญหา (Define)

4.1.1 กระบวนการและขั้นตอนการผลิตสัปปะรดอบแห้ง

ผู้วิจัยทำการศึกษากระบวนการและขั้นตอนการผลิตสัปปะรดอบแห้งของบริษัทกรณีศึกษา แล้วสร้างแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) เพื่อให้เห็นภาพรวมของกระบวนการผลิต ซึ่งในกระบวนการผลิตสัปปะรดอบแห้งมีขั้นตอนตามภาพ 4.1



ภาพ 4.1 แผนภูมิกระบวนการไหลแสดงขั้นตอนการผลิตสัปปะรด

4.1.1.1 การล้างสัปปะรด เริ่มจากการนำสัปปะรดออกจากตะกร้า แล้วนำไปแช่น้ำที่เตรียมไว้สำหรับการทำความสะอาด

4.1.1.2 การปอกเปลือกสัปปะรด จะเริ่มจากการหั่นหัวและท้ายของสัปปะรดก่อน เพื่อให้ง่ายต่อการปอกเปลือกด้านข้าง

4.1.1.3 การหั่นตาสัปปะรด ต้องหั่นจนไม่มีตาสัปปะรดติดมาเนื่องจากถ้ามีตาสัปปะรดติดไปจะทำให้ตัวสัปปะรดอบแห้งมีรอยไหม้

4.1.1.4 การหั่นสัปปะรดให้เป็นแผ่น จะหั่นผ่านเครื่องหั่นสัปปะรดเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีขนาดตามที่กำหนดคือความหนาอยู่ที่ 1 เซนติเมตร

4.1.1.5 จัดวางบนถาดก่อนการอบ มีการจัดเรียงที่ห่างกันประมาณ 0.8 เซนติเมตรทั้งแถวตั้งและแถวนอน เพื่อให้ไม่เบียดชดกันมากเกินไป

4.1.1.6 การนำเข้าเตาอบ จะมีการเปิดเครื่องไว้ก่อนที่จะนำสัปปะรดสดเข้ามาอบ เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่เท่ากันทั่วทั้งเตาอบ

4.1.1.7 คัดเลือกผลิตภัณฑ์ หลังจากการอบเสร็จแล้วมีการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดความกว้างเส้นผ่านศูนย์กลาง 3-4 เซนติเมตร และคัดเลือกสีสัปปะรดที่ไม่เข้มเกินไป หากไม่ผ่านจะถูกนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ

4.1.1.8 ตรวจสอบความชื้นในสัปปะรดอบแห้ง โดยการคัดเลือกสัปปะรดบางชิ้น ไปวัดความชื้นหลังจากการอบ เพื่อตรวจสอบว่าสัปปะรดอบแห้งมีความชื้นอยู่ที่ 12-16 เปอร์เซ็น db หรือไม่

4.1.1.9 ชั่งน้ำหนักสัปปะรดที่อบแล้ว หลังจากคัดเลือกสัปปะรดอบแห้งแล้ว จะชั่งน้ำหนักเพื่อบรรจุลงในถุง ถุงละ 50 กรัม

4.1.1.10 การบรรจุภัณฑ์ หลังจากชั่งน้ำหนักเสร็จแล้วจะนำสัปปะรดมาบรรจุลงในถุงแล้วทำการปิดปากถุงให้เรียบร้อย เตรียมส่งให้ลูกค้าต่อไป

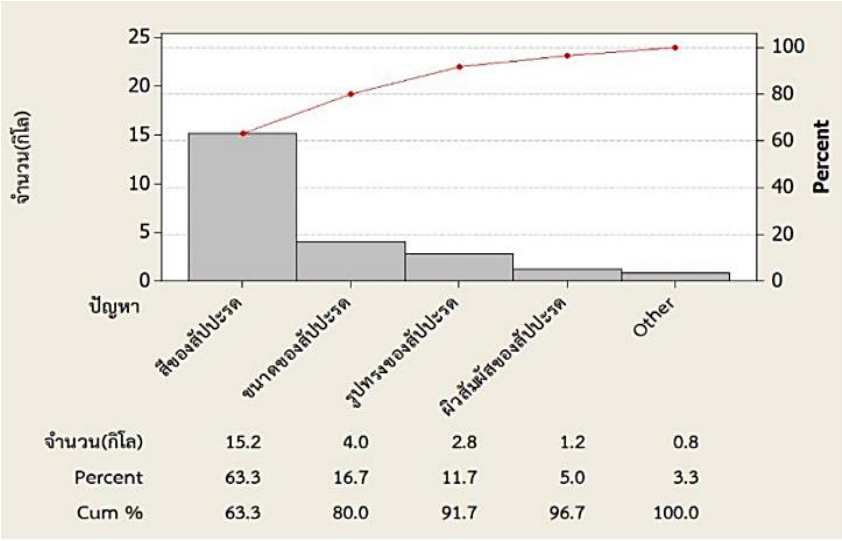
4.1.2 แผนภูมิพาเรโตเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดตำหนิประเภทต่างๆ ในการผลิตผลิตภัณฑ์สัปปะรดอบแห้ง เพื่อนำมาสร้างแผนภูมิพาเรโต โดยทำการเก็บข้อมูล ในเดือน พฤศจิกายน 2562 โดยในกระบวนการการผลิตแต่ละครั้งจะใช้สัปปะรดสด 1200 กิโลกรัม (รวมเปลือก) ในการอบ ดังตาราง 4.1 แสดงการเกิดตำหนิประเภทต่างๆ หลังจากการอบสัปปะรดอบแห้ง

ตาราง 4.1 การเกิดตำหนิ ในการผลิตสัปปะรดอบแห้ง ในเดือนพฤศจิกายน 2562

วันที่	ประเภทของตำหนิ				
	สีของสัปปะรด (กิโลกรัม)	ขนาดของสัปปะรด(กิโลกรัม)	รูปทรงของสัปปะรด(กิโลกรัม)	ผิวสัมผัสของสัปปะรด(กิโลกรัม)	อื่นๆ (กิโลกรัม)
5	2	0.4	0.3	0.1	0.1
7	1.8	0.3	0.4	0.1	0.1
12	2.1	0.8	0.7	0.4	0.1
14	1.9	0.4	0.1	0.05	0.1
18	2	0.6	0.2	0.1	0.1
20	2.1	0.8	0.6	0.3	0.1
25	1.6	0.4	0.2	0.05	0.1
27	1.7	0.3	0.3	0.1	0.1
รวม	15.2	4	2.8	1.2	0.8

จากการเก็บข้อมูล 1 เดือน แล้วทำการสร้างแผนภูมิพาเรโต ดังแสดงในภาพ 4.2 พบว่าเปอร์เซ็นต์ปัญหาสีของสัปปะรดอบแห้งไม่ตรงตามสเปคมีเปอร์เซ็นต์สูงถึง 63 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบมากที่สุด และทางบริษัทให้ความสำคัญมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบ ปัญหาอื่นๆ เช่น ขนาดของสัปปะรดไม่ได้ตามสเปค 16.7 เปอร์เซ็นต์ , รูปทรงของสัปปะรดไม่ได้ตามสเปค 11.7 เปอร์เซ็นต์, ผิวสัมผัสของสัปปะรดไม่ดี 5 เปอร์เซ็นต์ และ สัปปะรดมีจุดไหม้ 3.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงศึกษาเฉพาะปัญหาสีของสัปปะรดอบแห้งไม่ตรงตามสเปคเท่านั้น



ภาพ 4.2 แผนภาพพาเรโตของปัญหาต่างๆ ในการอบสัปปะรด

4.2 การวัด (Measure)

4.2.1 การวิเคราะห์ระบบการวัด

ทำการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) โดยทำการวิเคราะห์ จากค่าความผันแปรรีพีททะบิลิตี้(Repeatability) และรีโปรดิวซิบิลิตี้(Reproducibility) หรือ Gage Repeatability and Reproducibility (GR & R) แบบข้อมูลนับ (Attribute Data) เพื่อทำการวิเคราะห์ความสามารถในการจำแนกตำหนิของพนักงาน ขั้นตอนนี้เริ่มจากเตรียมสัปปะรดอบแห้งทั้งหมด 9 ชิ้นโดยให้หัวหน้างานจำแนกสัปปะรดอบแห้งได้เป็น มีตำหนิ 3 ชิ้น และไม่มีตำหนิ 6 ชิ้น โดยชิ้นงานที่มีตำหนิมีลักษณะสีไม่ตรงตามสเปค รูปทรงไม่สวย และผิวสัมผัสไม่ตรงตามที่กำหนด จากนั้นให้พนักงานจำนวน 5 คน ตรวจสอบสัปปะรดอบแห้งที่เตรียมมาว่าพบตำหนิหรือไม่ หากไม่พบตำหนิให้ทำเครื่องหมายกากบาทในช่องผ่าน แต่ถ้าพบตำหนิให้ทำเครื่องหมายกากบาทในช่องไม่ผ่าน และพนักงานแต่ละคนทำการวัดทั้งหมด 2 ซ้ำ การคัดแยกชิ้นงานมีตำหนิและไม่มีตำหนิส่งผลกับการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาเนื่องจากเป็นการวัดว่าพนักงานทุกคนสามารถแยกประเภทของตำหนิได้หรือไม่ ผลการตรวจสอบของพนักงานแต่ละคน ดังแสดงในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ผลการตรวจสอบของพนักงานแต่ละคน

ชิ้นงาน	การจำแนกที่ถูกต้อง	คนที่1				คนที่2				คนที่3				คนที่4				คนที่5			
		ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2		ครั้งที่ 1		ครั้งที่ 2	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
1	ผ่าน	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
2	ผ่าน	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
3	ผ่าน	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
4	ไม่ผ่าน		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X
5	ผ่าน	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
6	ไม่ผ่าน		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X
7	ไม่ผ่าน		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X
8	ผ่าน	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
9	ผ่าน	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	

ทั้งนี้ลักษณะของชิ้นงานดี 6 ชิ้นคือชิ้นที่ 1 2 3 5 8 9 และชิ้นที่เสียคือชิ้นที่ 4 6 7 ที่ใช้ในการศึกษาแสดงตามตาราง 4.3

ตาราง 4.3 รูปชิ้นงานที่ผ่านและไม่ผ่านที่ใช้ในการศึกษา

ชิ้นที่	รูปชิ้นงาน	ผลการตรวจ
1		ผ่าน
2		ผ่าน
3		ผ่าน
4		ไม่ผ่าน
5		ผ่าน

ตาราง 4.3 รูปชิ้นงานที่ผ่านและไม่ผ่านที่ใช้ในการศึกษา(ต่อ)

ชิ้นที่	รูปชิ้นงาน	ผลการตรวจ
6		ไม่ผ่าน
7		ไม่ผ่าน
8		ผ่าน
9		ผ่าน

จากนั้นนำผลการประเมินของพนักงานจากตารางที่ 4.2 ไปวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์แสดงถึงการประเมินการวัดของพนักงานโดยรวม การเห็นพ้องกันของ พนักงานแต่ละคน (Within Appraiser) การเห็นพ้องกันระหว่างพนักงาน (Between Appraisers) การเห็น พ้องกันของพนักงานแต่ละคนกับมาตรฐาน (Each Appraiser vs Standard) และการเห็นพ้องกันของ พนักงานทุกคนกับมาตรฐาน (All Appraisers vs Standard) ได้ผลแสดงดังภาพ 4.3-4.6 ตามลำดับ

Within Appraisers

Assessment Agreement

Appraiser	# Inspected	# Matched	Percent	95 % CI
A	9	9	100.00	(71.69, 100.00)
B	9	8	88.89	(51.75, 99.72)
C	9	9	100.00	(71.69, 100.00)
D	9	9	100.00	(71.69, 100.00)
E	9	9	100.00	(71.69, 100.00)

Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.

Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser	Response	Kappa	SE Kappa	Z	P(vs > 0)
A	F	1.00000	0.333333	3.00000	0.0013
	P	1.00000	0.333333	3.00000	0.0013
B	F	0.76623	0.333333	2.29870	0.0108
	P	0.76623	0.333333	2.29870	0.0108
C	F	1.00000	0.333333	3.00000	0.0013
	P	1.00000	0.333333	3.00000	0.0013
D	F	1.00000	0.333333	3.00000	0.0013
	P	1.00000	0.333333	3.00000	0.0013
E	F	1.00000	0.333333	3.00000	0.0013
	P	1.00000	0.333333	3.00000	0.0013

ภาพ 4.3 ผลการเห็นพ้องกันของพนักงานแต่ละคน (Within Appraiser)

จากภาพ 4.3 แสดงผลการเห็นพ้องกันของพนักงานแต่ละคน (Within Appraiser) โดยเป็นการพิจารณาถึงค่าเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการวัดซ้ำ (เปอร์เซ็นต์ Repeatability) ของพนักงานแต่ละคน ซึ่งได้ผลว่าพนักงานคนที่ 1 3 4 และ 5 มีค่าเปอร์เซ็นต์รีพีททะบิลิตี้เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าในการวัดงานทั้งหมด 9 ชิ้น สามารถวัดงานได้ซ้ำเหมือนกัน 9 ชิ้น เมื่อพิจารณาระดับความเชื่อมั่น (Confidence Interval; CI) หรือตัวชี้วัดความแม่นยำในการวัด และเป็นตัวชี้วัดความคงที่ของค่าประมาณการ พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ อยู่ระหว่าง 71.69 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100.00 เปอร์เซ็นต์ และส่วนพนักงานคนที่ 2 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์รีพีททะบิลิตี้เท่ากับ 88 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงว่าในการวัดงานทั้งหมด 9 ชิ้น สามารถวัดงานได้ซ้ำ เหมือนกัน 8 ชิ้น ขณะที่อีก 1 ชิ้น จะให้ผลตรงกันข้ามที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ อยู่ระหว่าง 51.75 เปอร์เซ็นต์ ถึง 99.72 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจากการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการวัดของพนักงานทั้ง 5 คน ตรวจสอบได้ผลมากกว่าเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าผ่านเกณฑ์ทุกคน ซึ่งพนักงานคนที่ 2 คัดแยกผิด 1 ชิ้น อาจเป็นเพราะเป็นพนักงานใหม่ และค่าของพนักงานทั้งห้าที่ ระดับความเชื่อมั่น (Confidence Interval; CI) 95 เปอร์เซ็นต์ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติหรือพนักงานแต่ละคนมีความสามารถในการวัดซ้ำ ในแต่ละครั้งไม่ต่างกัน

```
Between Appraisers

Assessment Agreement

# Inspected   # Matched   Percent       95 % CI
           9           8     88.89   (51.75, 99.72)

# Matched: All appraisers' assessments agree with each other.


Fleiss' Kappa Statistics

Response      Kappa    SE Kappa         Z   P(vs > 0)
F          0.888357   0.0496904   17.8778      0.0000
P          0.888357   0.0496904   17.8778      0.0000
```

ภาพ 4.4 ผลการเห็นพ้องกันระหว่างพนักงาน (Between Appraisers)

จากภาพ 4.4 แสดงผลการเห็นพ้องกันระหว่างพนักงาน (Between Appraisers) โดยเป็นการพิจารณาถึงเปอร์เซ็นต์ประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้ของการตรวจสอบ (เปอร์เซ็นต์ Screen Effective Score) ซึ่งได้ค่า 88.89 เปอร์เซ็นต์ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์การยอมรับ หมายความว่าในการให้พนักงานตรวจสอบชิ้นงานทั้งหมด 9 ชิ้น จำนวน 5 คน จะพบว่ามีชิ้นงาน 8 ชิ้น ที่พนักงานทุกคนสามารถตรวจสอบได้ผลเหมือนกันทุกครั้งและทุกคน ดังนั้น จากการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการวัดระหว่างพนักงานได้ผลมากกว่าเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าผ่านเกณฑ์เช่นกัน และค่าดังกล่าวจะมีค่าประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ ของความเชื่อมั่น (Confidence Interval; CI) อยู่ในช่วง 51.75 เปอร์เซ็นต์ ถึง 99.72 เปอร์เซ็นต์ มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติหรือ พนักงานทุกคนสามารถตรวจสอบได้ผลเหมือนกันทุกครั้ง

```
Each Appraiser vs Standard

Assessment Agreement

Appraiser   # Inspected   # Matched   Percent       95 % CI
A                     9           9    100.00   (71.69, 100.00)
B                     9           8     88.89   (51.75,  99.72)
C                     9           9    100.00   (71.69, 100.00)
D                     9           8     88.89   (51.75,  99.72)
E                     9           9    100.00   (71.69, 100.00)

# Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.


Assessment Disagreement

Appraiser   # P / F   Percent   # F / P   Percent   # Mixed   Percent
A                 0      0.00         0      0.00         0      0.00
B                 0      0.00         0      0.00         1     11.11
C                 0      0.00         0      0.00         0      0.00
D                 0      0.00         1     16.67         0      0.00
E                 0      0.00         0      0.00         0      0.00


# P / F:  Assessments across trials = P / standard = F.
# F / P:  Assessments across trials = F / standard = P.
# Mixed: Assessments across trials are not identical.


Fleiss' Kappa Statistics

Appraiser   Response     Kappa   SE Kappa         Z   P(vs > 0)
A           F          1.00000   0.235702   4.24264      0.0000
            P          1.00000   0.235702   4.24264      0.0000
B           F          0.88312   0.235702   3.74675      0.0001
            P          0.88312   0.235702   3.74675      0.0001
C           F          1.00000   0.235702   4.24264      0.0000
            P          1.00000   0.235702   4.24264      0.0000
D           F          0.76623   0.235702   3.25085      0.0006
            P          0.76623   0.235702   3.25085      0.0006
E           F          1.00000   0.235702   4.24264      0.0000
            P          1.00000   0.235702   4.24264      0.0000
```

ภาพ 4.5 ผลการเห็นพ้องกันของพนักงานแต่ละคนกับมาตรฐาน (Each Appraiser vs Standard)

จากภาพ 4.5 แสดงการวิเคราะห์ประสิทธิผลของระบบการวัดด้วยการประเมิน ความสามารถของพนักงานแต่ละคนเทียบกับมาตรฐาน (Each Appraiser vs Standard) พบว่าพนักงาน คนที่ 1 3 และ 5 มีค่าเปอร์เซ็นต์คะแนนของค่าแอตทริบิวต์ (เปอร์เซ็นต์ Attribute Score) เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าในการวัดงานทั้งหมด 9 ชิ้น สามารถวัดงานได้ผลเหมือนกันและมีความถูกต้องจำนวน 9 ชิ้น และค่าดังกล่าวจะมีค่าประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ ของความเชื่อมั่น (Confidence Interval; CI) อยู่ในช่วง 71.69 เปอร์เซ็นต์ ถึง 100.00 เปอร์เซ็นต์ ส่วน พนักงานคนที่ 2 และ 4 ที่ได้ค่าเปอร์เซ็นต์คะแนนของค่าแอตทริบิวต์ เท่ากับ 88.89 เปอร์เซ็นต์ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์การยอมรับ ซึ่งแสดงว่าในการวัดงาน ทั้งหมด 9 ชิ้น สามารถวัดงานได้ผลเหมือนกันและมีความถูกต้องเพียง 8 ชิ้น ส่วนที่เหลืออีก 1 ชิ้น วัดได้ผลไม่เหมือนกันหรืออาจจะให้ผลเหมือนกันในทางที่ไม่ถูกต้อง และค่าดังกล่าวจะมีค่าประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ ของความเชื่อมั่น (Confidence Interval; CI) อยู่ในช่วง 51.75 เปอร์เซ็นต์ ถึง 99.72 เปอร์เซ็นต์

```
All Appraisers vs Standard

Assessment Agreement

# Inspected   # Matched   Percent       95 % CI
           9           8     88.89   (51.75, 99.72)

# Matched: All appraisers' assessments agree with the known standard.


Fleiss' Kappa Statistics

Response      Kappa   SE Kappa         Z   P(vs > 0)
F          0.929870   0.105409   8.82152      0.0000
P          0.929870   0.105409   8.82152      0.0000
```

ภาพ 4.6 ผลการเห็นพ้องกันของพนักงานทุกคนกับมาตรฐาน (All Appraisers vs Standard)

จากภาพ 4.6 แสดงผลการเห็นพ้องกันของพนักงานทุกคนกับมาตรฐาน (All Appraisers vs Standard) ด้วยการวัดประสิทธิผลโดยรวมของระบบได้จากเปอร์เซ็นต์คะแนนของประสิทธิผลของค่าแอตทริบิวต์ (เปอร์เซ็นต์ Attribute Screen Effective Score) ที่หมายถึงประสิทธิผลด้านความไม่ไบอัสของการตรวจสอบซึ่งผลที่ได้มีค่าเท่ากับ 88.89 เปอร์เซ็นต์ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์การยอมรับ หมายความว่าในการวัดชิ้นงานทั้งหมด 9 ชิ้นด้วยพนักงาน 5 คน พบว่าพนักงานทุกคนสามารถตรวจสอบได้ผลเหมือนกันทุกครั้งและมีความถูกต้องเพียง 8 ชิ้น เท่านั้น และค่าดังกล่าวจะมีค่าประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ ของความเชื่อมั่น (Confidence Interval; CI) อยู่ในช่วง 51.75 เปอร์เซ็นต์ ถึง 99.72 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติหรือเมื่อเปรียบเทียบการวัดของพนักงานทั้งสองกับ ค่ามาตรฐานพบว่ามีความสามารถในการตรวจสอบถูกต้องไม่ต่างกัน

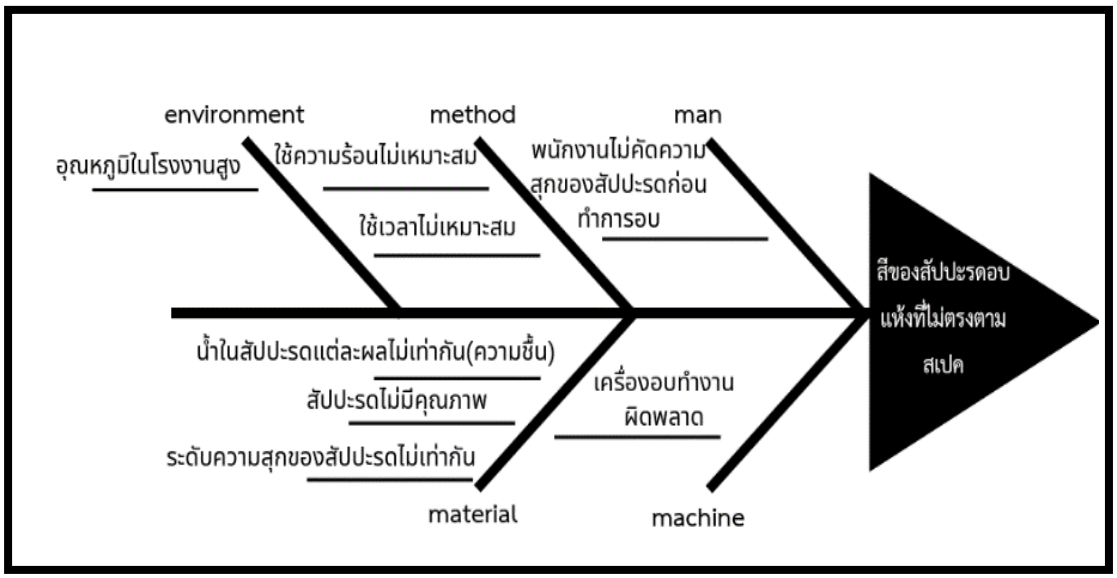
ดังนั้นสรุปได้ว่าจากผลการวิเคราะห์ระบบการวัดความสามารถในการวัดของพนักงานน่าเชื่อถือ สามารถวัดความสามารถของกระบวนการในเรื่องของเสียได้

4.2.2 ความสามารถกระบวนการในปัจจุบัน

โดยได้วัดจากสัดส่วนผลิตภัณฑ์มีตำหนิหลังจากสิ้นสุดกระบวนการอบซ้ำพบว่าจากข้อมูลย้อนหลังการอบสัปปะรดอบแห้งในปี 2561 เป็นระยะเวลา 12 เดือน หลังจากสิ้นสุดกระบวนการอบมีสัดส่วนของเสียอยู่ที่ 30 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนทั้งหมด โดยเป็นสัดส่วนผลิตภัณฑ์มีตำหนิจากปัญหาสีของสัปปะรดอบแห้งไม่ตรงตามสเปคคิดเป็น 18.99 เปอร์เซ็นต์ จากของเสียทั้งหมด

4.3 การวิเคราะห์ (Analyze)

ผู้วิจัยได้ทำการหาสาเหตุของปัญหาสีของสัปปะรดอบแห้งไม่ตรงตามสเปค โดยทำการระดมสมองร่วมกับผู้เกี่ยวข้องแล้วสร้างแผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้สีของสัปปะรดอบแห้งไม่ตรงตามสเปค ดังภาพ 3.2 ที่เคยแสดง อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกของผู้อ่านจึงได้นำมาแสดงในที่นี้อีกครั้ง



ภาพ 3.2 แผนภาพก้างปลาในการหาสาเหตุของปัญหาสีของสัปปะรด

เมื่อได้วิเคราะห์หาปัจจัยที่เกี่ยวข้องที่ส่งผลให้เกิดของเสียจากสีของสัปปะรดอบแห้งที่ไม่ตรงตามสเปค ต่อมาผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการทดลอง เพื่อคัดเลือกปัจจัยในการนำมาทำการปรับปรุงในขั้นตอนต่อไป ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 รายละเอียดของปัจจัย

สาเหตุ	ความเป็นไปได้ในการปรับปรุง
1. พนักงานไม่คัดความสุกของสัปปะรดก่อนอบ	เนื่องจากความสุกของสัปปะรดมีความแตกต่างกันหากพนักงานไม่คัดแยกแล้วอบที่เงื่อนไขเดียวกันจะทำให้สีของสัปปะรดต่างกัน โดยสาเหตุนี้มีความเป็นไปได้ในการปรับปรุง
2. ใช้ความร้อนในการอบไม่เหมาะสม	ปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาอุณหภูมิในการอบที่เหมาะสมปัจจัยนี้มีความเป็นไปได้ในการปรับปรุง
3. ใช้เวลาในการอบไม่เหมาะสม	ปัจจุบันยังไม่มีการศึกษาเวลาในการอบที่เหมาะสมปัจจัยนี้มีความเป็นไปได้ในการปรับปรุง
4. อุณหภูมิในโรงงานสูง	ปัจจัยนี้เป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุม ดังนั้นปัจจัยนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ ศึกษาในการทดลอง
5. น้ำในผลของสัปปะรดมีไม่เท่ากัน(ความชื้น)	สาเหตุที่ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ ศึกษาในการทดลอง
6. สัปปะรดไม่มีคุณภาพ	สาเหตุที่ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ ศึกษาในการทดลอง
7. ระดับความสุกของสัปปะรดไม่เท่ากัน	ระดับความสุกของสัปปะรดมีสีของเนื้อที่แตกต่างกัน ผู้วิจัยจึงเลือกสาเหตุนี้มาทำการทดลอง
8. เครื่องอบทำงานผิดพลาด	สาเหตุที่ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ ศึกษาในการทดลอง

4.4 การปรับปรุง (Improve)

4.4.1 สรุปสาเหตุของปัญหาที่เลือกมาทำการปรับปรุง และแนวทางแก้ไข

จากแผนภาพก้างปลาเพื่อหาสาเหตุปัญหาสีของสัปปะรดอบแห้งไม่ตรงตามสเปคของลูกค้า พบว่า สาเหตุมาจากพนักงานไม่มีการคัดแยกกลุ่มของสัปปะรดสดก่อนนำไปอบ และในการอบไม่มีการกำหนดวิธีการอบที่เหมาะสมสำหรับสัปปะรดแต่ละกลุ่มเช่น เวลาในการอบสัปปะรดไม่เหมาะสม และความร้อนในการอบไม่เหมาะสม ทำให้เมื่ออบแล้วสัปปะรดมีสีไม่สม่ำเสมอและไม่ตรงตามสเปค จึงต้องคัดทิ้งเป็นจำนวนมาก ดังนั้นแนวทางแก้ไขคือ เสนอให้ต้องมีการแบ่งสัปปะรดเป็นกลุ่มที่เหมาะสมและศึกษาเงื่อนไขในการอบสำหรับสัปปะรดแต่ละกลุ่ม โดยจากการศึกษางานวิจัยของ พลรัชต์ บุญมี (2551) พบว่า ระดับความหวานและระดับความบริบูรณ์มีผลต่อสีของสัปปะรด ผู้วิจัยจึงเสนอให้แบ่งกลุ่มสับปะรดสดเป็น 4 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 ระดับความหวาน 10-12 บริกซ์ และ ระดับความบริบูรณ์ 2-4

กลุ่มที่ 2 ระดับความหวาน 10-12 บริกซ์ และ ระดับความบริบูรณ์ 5-7

กลุ่มที่ 3 ระดับความหวาน 13-15 บริกซ์ และ ระดับความบริบูรณ์ 2-4

กลุ่มที่ 4 ระดับความหวาน 13-15 บริกซ์ และ ระดับความบริบูรณ์ 5-7

โดยระดับความบริบูรณ์หมายถึง ระดับความสุกของสับปะรดในช่วงต่างๆ โดยในแต่ละระดับความสุกจะมีสีของเนื้อที่แตกต่างกันไป โดยตาราง 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของระดับความบริบูรณ์และสีของเนื้อสับปะรด

ตาราง 4.5 ความสัมพันธ์ของระดับความบริบูรณ์และสีของเนื้อสับปะรด

ระดับความบริบูรณ์ของสับปะรดภูแล	สีของเนื้อสับปะรด
2	มีสีเหลืองอ่อน หรือสีเหลืองซีด
3	มีสีเหลืองอ่อน หรือสีเหลืองซีด
4	มีสีเหลือง
5	มีสีเหลือง
6	มีสีเหลืองเข้ม
7	มีสีเหลืองเข้ม

4.4.2 ผลการอบแห้งสับปะรดแต่ละกลุ่ม

จากงานวิจัยของ Benjar Chutintrasria และ สาโรจน์ ปัญญามงคล (2559) พบว่าอุณหภูมิที่ 70-90 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนสีสับปะรดมากที่สุดและเวลาที่ใช้ก็คือ 500-600 นาที โดยมีเงื่อนไขในการอบสับปะรดแต่ละกลุ่มแสดงในตาราง 3.1

จากนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองอบสับปะรดตามตารางที่เสนอไว้เพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบที่เหมาะสมต่อแต่ละกลุ่มสับปะรดโดยมีตารางแสดงรูปตัวอย่างก่อนอบและหลังอบของแต่ล่ะกลุ่มดังตาราง 4.6-4.9 ตามลำดับ

ตาราง 4.6 รูปตัวอย่างสัปปะรดก่อน และหลังการอบของกลุ่มระดับความหวานที่ 10-12 ความบริบูรณ์ที่ 2-4

อุณหภูมิในการอบ	ระยะเวลาในการอบ	ภาพก่อนอบ	ภาพหลังอบ
70 องศาเซลเซียส	500 นาที		
70 องศาเซลเซียส	600 นาที		
90 องศาเซลเซียส	500 นาที		
90 องศาเซลเซียส	600 นาที		

ตาราง 4.7 รูปตัวอย่างสับปะรดก่อน และหลังการอบของกลุ่มระดับความหวานที่ 10-12 ความบริบูรณ์ที่ 5-7

อุณหภูมิในการอบ	ระยะเวลาในการอบ	ภาพก่อนอบ	ภาพหลังอบ
70 องศาเซลเซียส	500 นาที		
70 องศาเซลเซียส	600 นาที		
90 องศาเซลเซียส	500 นาที		
90 องศาเซลเซียส	600 นาที		

ตาราง 4.8 รูปตัวอย่างสับปะรดก่อน และหลังการอบของกลุ่มระดับความหวานที่ 13-15 ความบริบูรณ์ที่ 2-4

อุณหภูมิในการอบ	ระยะเวลาในการอบ	ภาพก่อนอบ	ภาพหลังอบ
70 องศาเซลเซียส	500 นาที		
70 องศาเซลเซียส	600 นาที		
90 องศาเซลเซียส	500 นาที		
90 องศาเซลเซียส	600 นาที		

ตาราง 4.9 รูปตัวอย่างสัปปะรดก่อน และหลังการอบของกลุ่มระดับความหวานที่ 13-15 ความบริบูรณ์ที่ 5-7

อุณหภูมิในการอบ	ระยะเวลาในการอบ	ภาพก่อนอบ	ภาพหลังอบ
70 องศาเซลเซียส	500 นาที		
70 องศาเซลเซียส	600 นาที		
90 องศาเซลเซียส	500 นาที		
90 องศาเซลเซียส	600 นาที		

ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง 2 ซ้ำ จากนั้นผู้วิจัยได้นำสัปปะรดอบแห้งของทุกการทดลองไปวัดค่าสีและความชื้นเพื่อนำมาวิเคราะห์หาอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบที่เหมาะสมต่อไป

4.4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของสัปปะรดหลังอบ

ในการทดลองเพื่อหาระดับอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบที่เหมาะสมของแต่ละกลุ่ม ใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบเต็มจำนวน (Full Factorial Design) จำนวน 2 ปัจจัย คือ เวลา และอุณหภูมิ ปัจจัยละ 2 ระดับ โดยทำการทดลองซ้ำ จำนวน 2 ซ้ำ ดังนั้นแต่ละกลุ่มสัปปะรดจึงมีทั้งหมด 8 การทดลอง โดยมีผลการวัดค่าสี (L*) ค่าความสว่างของสัปปะรดแต่ละกลุ่มดังแสดงในตาราง 4.10 ถึง 4.13 และมีผลการวัดค่าสี (b*) ค่าความเหลืองของสัปปะรดแต่ละกลุ่มดังแสดงในตาราง 4.14 ถึง 4.17 ตามลำดับ

ตาราง 4.10 ผลการวัดค่าสี (L*) ค่าความสว่างของสัปปะรดกลุ่มที่ 1 ระดับความหวาน 10 ถึง 12 และ ระดับความบริบูรณ์ 2 ถึง 4

ความหวาน	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิ			
		70 องศาเซลเซียส (-1)		90 องศาเซลเซียส (1)	
		ระยะเวลา		ระยะเวลา	
		500 นาที (-1)	600 นาที (1)	500 นาที (-1)	600 นาที (1)
10 ถึง 12	2 ถึง 4	61.34	59.52	50.84	47.81
		66.88	64.09	37.46	35.15

ตาราง 4.11 ผลการวัดค่าสี (L*) ค่าความสว่างของสัปปะรดกลุ่มที่ 2 ระดับความหวาน 10 ถึง 12 และ ระดับความบริบูรณ์ 5 ถึง 7

ความหวาน	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิ			
		70 องศาเซลเซียส (-1)		90 องศาเซลเซียส (1)	
		ระยะเวลา		ระยะเวลา	
		500 นาที (-1)	600 นาที (1)	500 นาที (-1)	600 นาที (1)
10 ถึง 12	5 ถึง 7	65.43	64.62	49.13	42.22
		68.58	62.76	41.46	43.01

ตาราง 4.12 ผลการวัดค่าสี (L*) ค่าความสว่างของสัปปะรดกลุ่มที่ 3 ระดับความหวาน 13 ถึง 15 และ ระดับความบริบูรณ์ 2 ถึง 4

ความหวาน	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิ			
		70 องศาเซลเซียส (-1)		90 องศาเซลเซียส (1)	
		ระยะเวลา		ระยะเวลา	
		500 นาที (-1)	600 นาที (1)	500 นาที (-1)	600 นาที (1)
13 ถึง 15	2 ถึง 4	70.08	70.82	42.26	48.76
		69.08	64.73	47.45	45.76

ตาราง 4.13 ผลการวัดค่าสี (L*) ค่าความสว่างของสัปปะรดกลุ่มที่ 4 ระดับความหวาน 13 ถึง 15 และ ระดับความบริบูรณ์ 5 ถึง 7

ความหวาน	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิ			
		70 องศาเซลเซียส (-1)		90 องศาเซลเซียส (1)	
		ระยะเวลา		ระยะเวลา	
		500 นาที (-1)	600 นาที (1)	500 นาที (-1)	600 นาที (1)
13 ถึง 15	5 ถึง 7	63.96	63.94	53.23	41.12
		67.12	58.23	44.16	38.15

ตาราง 4.14 ผลการวัดค่าสี (b*) ค่าความเหลืองของสัปปะรดกลุ่มที่ 1 ระดับความหวาน 10 ถึง 12 และ ระดับความบริบูรณ์ 2 ถึง 4

ความหวาน	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิ			
		70 องศาเซลเซียส (-1)		90 องศาเซลเซียส (1)	
		ระยะเวลา		ระยะเวลา	
		500 นาที (-1)	600 นาที (1)	500 นาที (-1)	600 นาที (1)
10 ถึง 12	2 ถึง 4	37.02	35.60	31.82	28.58
		35.49	33.58	29.67	27.39

ตาราง 4.15 ผลการวัดค่าสี (b*) ค่าความเหลืองของสัปปะรดกลุ่มที่ 2 ระดับความหวาน 10 ถึง 12 และ ระดับความบริบูรณ์ 5 ถึง 7

ความหวาน	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิ			
		70 องศาเซลเซียส (-1)		90 องศาเซลเซียส (1)	
		ระยะเวลา		ระยะเวลา	
		500 นาที (-1)	600 นาที (1)	500 นาที (-1)	600 นาที (1)
10 ถึง 12	5 ถึง 7	37.56	41.52	30.29	28.21
		42.62	39.12	30.14	27.62

ตาราง 4.16 ผลการวัดค่าสี (b*) ค่าความเหลืองของสัปปะรดกลุ่มที่ 3 ระดับความหวาน 13 ถึง 15 และ ระดับความบริบูรณ์ 2 ถึง 4

ความหวาน	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิ			
		70 องศาเซลเซียส (-1)		90 องศาเซลเซียส (1)	
		ระยะเวลา		ระยะเวลา	
		500 นาที (-1)	600 นาที (1)	500 นาที (-1)	600 นาที (1)
13 ถึง 15	2 ถึง 4	37.36	37.91	31.78	31.49
		39.14	37.32	33.21	32.63

ตาราง 4.17 ผลการวัดค่าสี (b*) ค่าความเหลืองของสัปปะรดกลุ่มที่ 4 ระดับความหวาน 13 ถึง 15 และ ระดับความบริบูรณ์ 5 ถึง 7

ความหวาน	ความบริบูรณ์	อุณหภูมิ			
		70 องศาเซลเซียส (-1)		90 องศาเซลเซียส (1)	
		ระยะเวลา		ระยะเวลา	
		500 นาที (-1)	600 นาที (1)	500 นาที (-1)	600 นาที (1)
13 ถึง 15	5 ถึง 7	40.23	41.33	32.97	30.72
		42.23	42.03	34.12	32.22

ในการทดลองนี้มีค่าผลตอบ (Response) คือ ผลค่าความสว่าง (L*) ผลค่าสีระดับความเหลือง (b*) ซึ่งควรมีค่าความสว่างที่มาก และ ค่าระดับความเหลืองที่มากเช่นกัน โดยผลของค่าสีความสว่าง (L*) และระดับความเหลือง (b*) ได้ใช้เครื่อง Colorimeter วัดซ้ำหลายๆ ครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ยออกมา

4.4.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสัปปะรดอบแห้งกลุ่มที่ 1 ระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 2-4

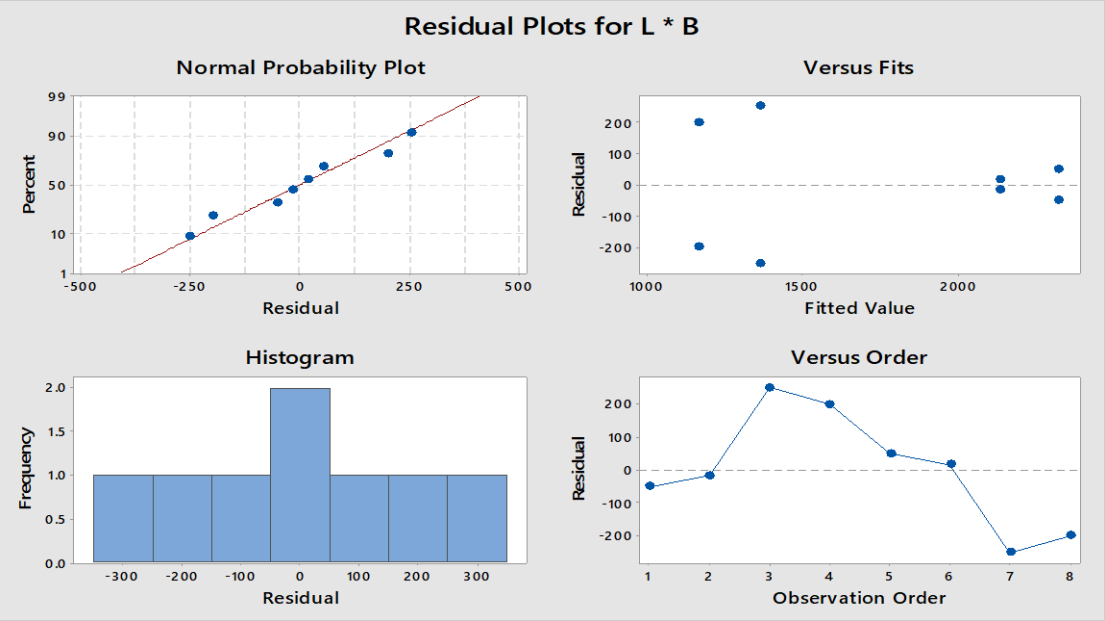
เมื่อนำผลการวิเคราะห์ค่าสีความสว่าง (L*) กับค่าความเหลือง (b*) มาหาผลคูณสำหรับแต่ละการทดลองได้ผลดังตารางที่ 4.18 จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลจากค่าผลคูณนี้ต่อไป

ตาราง 4.18 ผลตอบของสัปปะรดอบแห้งที่ระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 2-4

ลำดับ	ปัจจัย		ผลตอบ
	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	L * B
1	-1(500)	-1(70)	2270.81
2	1(600)	-1(70)	2118.91
3	-1(500)	1(90)	1617.73
4	1(600)	1(90)	1366.41
5	-1(500)	-1(70)	2373.57
6	1(600)	-1(70)	2152.14
7	-1(500)	1(90)	1111.44
8	1(600)	1(90)	962.76

4.4.4.1 การตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

จากผลการทดลองที่ได้มานั้น ควรมีการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลเพื่อจะได้วิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual Analysis) และทำการพิสูจน์คุณสมบัติของข้อมูลตามสมมติฐานหลัก 3 ประการ สามารถวิเคราะห์ส่วนตกค้างได้ดังภาพ 4.7



ภาพ 4.7 ส่วนตกค้างของข้อมูลสัปปะรดอบแห้งความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 2-4

1.ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Normality Assumption)

จากภาพ 4.7 ในส่วนของกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normality Probability Plot of the Residuals) พบว่าส่วนตกค้างมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกเส้นตรงอย่างชัดเจน จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบมีแนวโน้มของการกระจายตัวแบบปกติและในส่วนของฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง (Histogram of the Residuals) พบว่ามีการกระจายตัวของส่วนตกค้างในทุกช่วงของกราฟฮิสโตแกรม จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบสีของสัปปะรดอบแห้งมีแนวโน้มกระจายตัวแบบปกติ

2.ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นอิสระ (Independent Assumption)

จากภาพ 4.7 ในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plot of Residual Versus the Observation Order of the Data) ของข้อมูลผลตอบสีของสัปปะรดอบแห้ง พบว่าจุดพล๊อตไม่มีแนวโน้มใดๆ จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวแบบอิสระไม่ขึ้นอยู่กับลำดับการทดลอง

3. ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance Assumption)

ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของปัจจัยหรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ จากภาพ 4.7 ในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย (Residuals Versus the Fitted Values) ของข้อมูลผลตอบสีของสัปปะรดอบแห้ง พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างไม่มีแนวโน้ม จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่

4.4.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance, ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance , ANOVA) เป็นการวิเคราะห์เพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญและความสำคัญของผลกระทบของปัจจัยของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ได้ผลดังตาราง 4.19

ตาราง 4.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนในกลุ่มความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 2-4

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	1934492	644831	11.97	0.018
Linear	2	1934403	967202	17.96	0.010
time	1	74753	74753	1.39	0.304
temp	1	1859650	1859650	34.52	0.004
2-Way Interactions	1	89	89	0.00	0.970
time*temp	1	89	89	0.00	0.970
Error	4	215465	53866		
Total	7	2149957			

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่แสดงดังตาราง 4.19 พบว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญคืออุณหภูมิในการอบ เนื่องจากค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05

4.4.4.3 การประมาณผลกระทบจากการทดลอง (Estimate Factor Effects)

ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อประมาณค่าผลกระทบของเทอมต่างๆ ตรวจสอบเครื่องหมายและขนาดของผลที่เกิดขึ้นเพื่อทำให้ทราบว่าปัจจัยและอันตรกิริยาใดมีความสำคัญแสดงดังตาราง 4.20

ตาราง 4.20 การประมาณผลกระทบและระดับความเชื่อมั่นของปัจจัยในการทดลองสำหรับความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 2-4

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		1746.7	82.1	21.29	0.000	
time	-193.3	-96.7	82.1	-1.18	0.304	1.00
temp	-964.3	-482.1	82.1	-5.88	0.004	1.00
time*temp	-6.7	-3.3	82.1	-0.04	0.970	1.00

S = 232.091 R-Sq = 89.98 เปอร์เซ็นต์ R-Sq(adj) = 82.46 เปอร์เซ็นต์

หมายเหตุ * ปัจจัยหลักที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบค่าสีของสัปปะรดอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากตาราง 4.20 พบว่ามีเฉพาะอุณหภูมิในการอบที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยในการวิเคราะห์มีค่า R-Sq ซึ่งแสดง ถึงความแม่นยำในการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 89.98 เปอร์เซ็นต์ และค่า R-Sq (adj) มีค่าเท่ากับ 82.46 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าความแม่นยำในการวิเคราะห์เป็นที่พึงพอใจ

4.4.4.4 การสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบ

แบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบจะประกอบด้วยผลกระทบหลักและอันตรกิริยาร่วมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญจากค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยในตาราง 4.20 สมการ $\hat{y}$ คือค่าพยากรณ์ของข้อมูลผลตอบของค่าสีสัปปะรดอบแห้ง สมการแทนด้วยตัวแปร Code Units (-1 และ +1) ซึ่งสามารถเขียนได้ ดังสมการ (4.1) โดยจะเห็นได้ว่าหากต้องการให้ค่าผลตอบ L*b มีค่ามากจะต้องใช้อุณหภูมิที่มีค่าลบ คือ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอบเท่าไหร่ก็ได้

$$L * B = 1746.7 - 482.1\ temp \qquad (4.1)$$

4.4.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสัปปะรดอบแห้งกลุ่มที่ 2 ระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 5-7

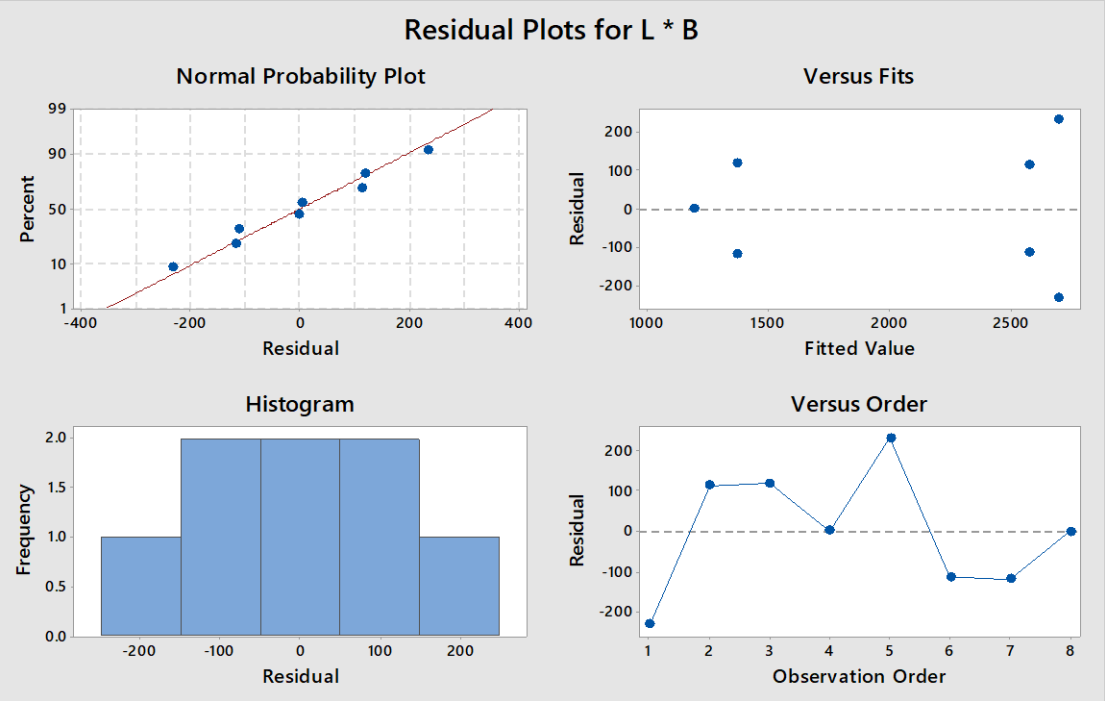
เมื่อนำผลการวิเคราะห์ค่าสีความสว่าง (L*) กับค่าความเหลือง (b*) มาหาผลคูณสำหรับแต่ละการทดลองได้ผลดังตารางที่ 4.21 จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลจากค่าผลคูณนี้ต่อไป

ตาราง 4.21 ผลตอบของสัปปะรดอบแห้งที่ระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 5-7

ลำดับ	ปัจจัย		ผลตอบ
	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	L * B
1	-1(500)	-1(70)	2457.551
2	1(600)	-1(70)	2683.022
3	-1(500)	1(90)	1488.148
4	1(600)	1(90)	1191.026
5	-1(500)	-1(70)	2922.88
6	1(600)	-1(70)	2455.171
7	-1(500)	1(90)	1249.604
8	1(600)	1(90)	1187.936

4.4.5.1 การตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

จากผลการทดลองที่ได้มานั้น ควรมีการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลเพื่อจะได้วิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual Analysis) และทำการพิสูจน์คุณสมบัติของข้อมูลตามสมมติฐานหลัก 3 ประการ สามารถวิเคราะห์ส่วนตกค้างได้ดังภาพ 4.8



ภาพ 4.8 ส่วนตกค้างของสัปปะรดอบแห้งความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 5-7

1.ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Normality Assumption)

จากภาพ 4.8 ในส่วนของกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normality Probability Plot of the Residuals) พบว่าส่วนตกค้างมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกเส้นตรงอย่างชัดเจน จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบมีแนวโน้มของการกระจายตัวแบบปกติและในส่วนของฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง (Histogram of the Residuals) พบว่ามีการกระจายตัวของส่วนตกค้างในทุกช่วงของกราฟฮิสโตแกรม จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบสีของสัปปะรดอบแห้งมีแนวโน้มกระจายตัวแบบปกติ

2.ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นอิสระ (Independent Assumption)

จากภาพ 4.8 ในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plot of Residual Versus the Observation Order of the Data) ของข้อมูลผลตอบสีของสัปปะรดอบแห้ง พบว่าจุดพล็อตไม่มีแนวโน้มใดๆ จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวแบบอิสระไม่ขึ้นอยู่กับลำดับการทดลอง

3. ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance Assumption)

ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของปัจจัยหรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ จากภาพ 4.8 ในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย (Residuals Versus the Fitted Values) ของข้อมูลผลตอบสีของสัปปะรดอบแห้ง พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างไม่มีแนวโน้ม จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่

4.4.5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance, ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance , ANOVA) เป็นการวิเคราะห์เพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญและความสำคัญของผลกระทบของปัจจัยของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ได้ผลดังตาราง 4.22

ตาราง 4.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนในกลุ่มความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 5-7

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	3694430	1231477	30.28	0.003
Linear	2	3692732	1846366	45.40	0.002
time	1	45154	45154	1.11	0.351
temp	1	3647578	3647578	89.69	0.001
2-Way Interactions	1	1698	1698	0.04	0.848
time*temp	1	1698	1698	0.04	0.848
Error	4	162680	40670		

ตาราง 4.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนในกลุ่มความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 5-7 (ต่อ)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Total	7	3857110			

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่แสดงดังตาราง 4.22 พบว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ คืออุณหภูมิในการอบ เนื่องจากค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05

4.4.5.3 การประมาณผลกระทบจากการทดลอง (Estimate Factor Effects)

ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อประมาณค่าผลกระทบของเทอมต่างๆ ตรวจสอบเครื่องหมายและขนาดของผลที่เกิดขึ้นเพื่อทำให้ทราบว่าปัจจัยและอันตรกิริยาใดมีความสำคัญแสดงดังตาราง 4.23

ตาราง 4.23 การประมาณผลกระทบและระดับความเชื่อมั่นของปัจจัยในการทดลองสำหรับความหวาน 10-12 ความบริบูรณ์ 5-7

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		1954.4	71.3	27.41	0.000	
time	-150.3	-75.1	71.3	-1.05	0.351	1.00
temp	-1350.5	-675.2	71.3	-9.47	0.001*	1.00
time*temp	-29.1	-14.6	71.3	-0.20	0.848	1.00

S = 201.668 R-Sq = 95.78 เปอร์เซ็นต์ R-Sq (adj) = 92.62 เปอร์เซ็นต์

หมายเหตุ * ปัจจัยหลักที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบค่าสีของสับปะรดอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากตาราง 4.23 พบว่ามีเฉพาะอุณหภูมิในการอบที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยในการวิเคราะห์มีค่า R-Sq ซึ่งแสดง ถึงความแม่นยำในการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 95.78 เปอร์เซ็นต์ และค่า R-Sq (adj) มีค่าเท่ากับ 92.62 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าความแม่นยำในการวิเคราะห์เป็นที่พึงพอใจ

4.4.5.4 การสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบ

แบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบจะประกอบด้วยผลกระทบหลักและอันตรกิริยาร่วมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญจากค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยในตาราง 4.23 สมการ $\hat{y}$ คือค่าพยากรณ์

ของข้อมูลผลตอบของค่าสีสัปปะรดอบแห้ง สมการแทนด้วยตัวแปร Code Units (-1 และ +1) ซึ่งสามารถเขียนได้ ดังสมการ (4.2) โดยจะเห็นได้ว่าหากต้องการให้ค่าผลตอบ L*b มีค่ามากจะต้องใช้อุณหภูมิที่มีค่าลบ คือ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอบเท่าไหร่ก็ได้

$$L * B = 1954.4 - 675.2\ temp \qquad (4.2)$$

4.4.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสัปปะรดอบแห้งกลุ่มที่ 3 ระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 2-4

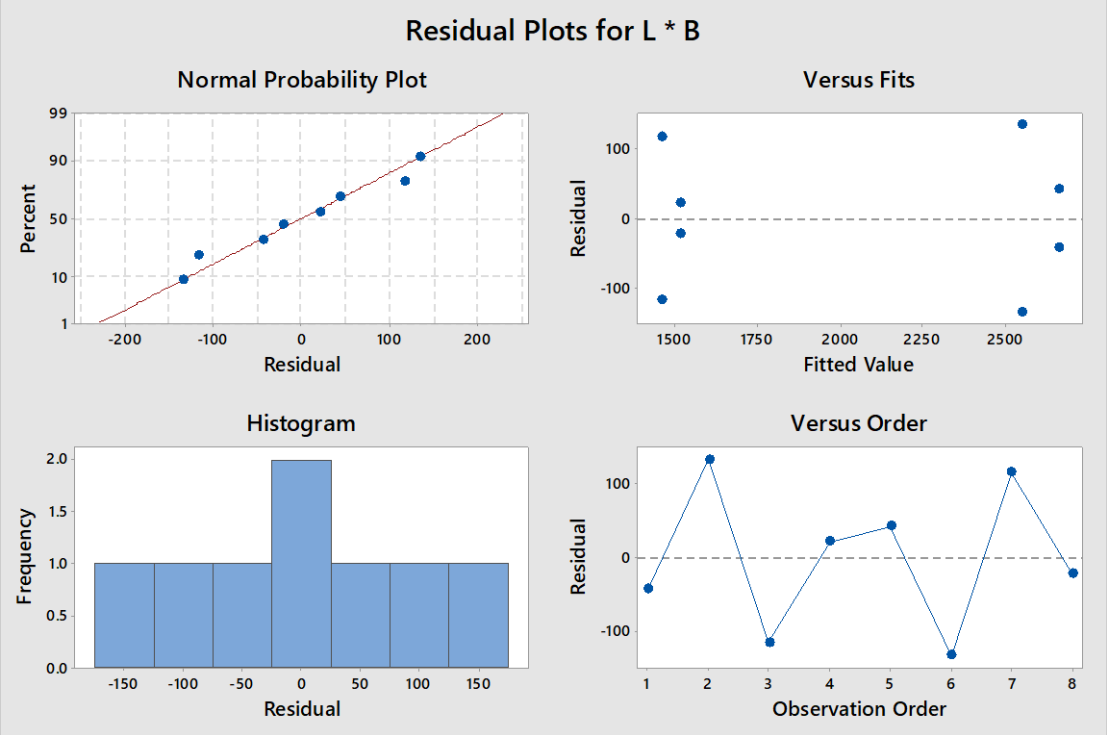
เมื่อนำผลการวิเคราะห์ค่าสีความสว่าง (L*) กับค่าความเหลือง (b*) มาหาผลคูณสำหรับแต่ละการทดลองได้ผลดังตารางที่ 4.24 จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลจากค่าผลคูณนี้ต่อไป

ตาราง 4.24 ผลตอบของสัปปะรดอบแห้งที่ระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 2-4

ลำดับ	ปัจจัย		ผลตอบ
	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	L * B
1	-1(500)	-1(70)	2618.19
2	1(600)	-1(70)	2684.79
3	-1(500)	1(90)	1343.02
4	1(600)	1(90)	1535.45
5	-1(500)	-1(70)	2703.79
6	1(600)	-1(70)	2415.72
7	-1(500)	1(90)	1575.81
8	1(600)	1(90)	1493.15

4.4.6.1 การตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

จากผลการทดลองที่ได้มานั้น ควรมีการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลเพื่อจะได้วิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual Analysis) และทำการพิสูจน์คุณสมบัติของข้อมูลตามสมมติฐานหลัก 3 ประการ สามารถวิเคราะห์ส่วนตกค้างได้ดังภาพ 4.9



ภาพ 4.9 ส่วนตกค้างของสัปปะรดอบแห้งความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 2-4

1.ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Normality Assumption)

จากภาพ 4.9 ในส่วนของกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normality Probability Plot of the Residuals) พบว่าส่วนตกค้างมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกเส้นตรงอย่างชัดเจน จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบมีแนวโน้มของการกระจายตัวแบบปกติและในส่วนของฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง (Histogram of the Residuals) พบว่ามีการกระจายตัวของส่วนตกค้างในทุกช่วงของกราฟฮิสโตแกรม จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบสีของสัปปะรดอบแห้งมีแนวโน้มกระจายตัวแบบปกติ

2.ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นอิสระ (Independent Assumption)

จากภาพ 4.9 ในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plot of Residual Versus the Observation Order of the Data) ของข้อมูลผลตอบสีของสัปปะรดอบแห้ง พบว่าจุดพล็อตไม่มีแนวโน้มใดๆ จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวแบบอิสระไม่ขึ้นอยู่กับลำดับการทดลอง

3. ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance Assumption)

ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของปัจจัยหรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ จากภาพ 4.9 ในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย (Residuals Versus the Fitted Values) ของข้อมูลผลตอบสีของสัปปะรดอบแห้ง พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างไม่มีแนวโน้ม จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่

4.4.6.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance, ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance , ANOVA) เป็นการวิเคราะห์เพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญและความสำคัญของผลกระทบของปัจจัยของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ได้ผลดังตาราง 4.25

ตาราง 4.25 การวิเคราะห์ความแปรปรวนในกลุ่มความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 2-4

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	2518535	839512	49.49	0.001
Linear	2	2504820	1252410	73.83	0.001
time	1	1560	1560	0.09	0.777
temp	1	2503261	2503261	147.57	0.000
2-Way Interactions	1	13715	13715	0.81	0.419
time*temp	1	13715	13715	0.81	0.419
Error	4	67852	16963		
Total	7	2586387			

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่แสดงดังตาราง 4.25 พบว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญคืออุณหภูมิในการอบ เนื่องจากค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05

4.4.6.3 การประมาณผลกระทบจากการทดลอง (Estimate Factor Effects)

ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อประมาณค่าผลกระทบของเทอมต่างๆ ตรวจสอบเครื่องหมายและขนาดของผลที่เกิดขึ้นเพื่อทำให้ทราบว่าปัจจัยและอันตรกิริยาใดมีความสำคัญแสดงดังตาราง 4.26

ตาราง 4.26 การประมาณผลกระทบและระดับความเชื่อมั่นของปัจจัยในการทดลองสำหรับความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 2-4

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		2046.2	46.0	44.44	0.000	
time	-27.9	-14.0	46.0	-0.30	0.777	1.00
temp	-1118.8	-559.4	46.0	-12.15	0.000	1.00

ตาราง 4.26 การประมาณผลกระทบและระดับความเชื่อมั่นของปัจจัยในการทดลองสำหรับความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 2-4 (ต่อ)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
time*temp	82.8	41.4	46.0	0.90	0.419	1.00

S = 130.242 R-Sq = 97.38 เปอร์เซ็นต์ R-Sq(adj) = 95.41 เปอร์เซ็นต์

หมายเหตุ * ปัจจัยหลักที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบค่าสีของสัปปะรดอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากตาราง 4.26 พบว่ามีเฉพาะอุณหภูมิในการอบที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยในการวิเคราะห์มีค่า R-Sq ซึ่งแสดง ถึงความแม่นยำในการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 97.38 เปอร์เซ็นต์ และค่า R-Sq (adj) มีค่าเท่ากับ 95.41 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าความแม่นยำในการวิเคราะห์เป็นที่พึงพอใจ

4.4.6.4 การสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบ

แบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบจะประกอบด้วยผลกระทบหลักและอันตรกิริยาร่วมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญจากค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยในตาราง 4.26 สมการ $\hat{y}$ คือค่าพยากรณ์ของข้อมูลผลตอบของค่าสีสัปปะรดอบแห้ง สมการแทนด้วยตัวแปร Code Units (-1 และ +1) ซึ่งสามารถเขียนได้ ดังสมการ (4.3) โดยจะเห็นได้ว่าหากต้องการให้ค่าผลตอบ L*b มีค่ามากจะต้องใช้อุณหภูมิที่มีค่า- คือ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอบเท่าไหร่ก็ได้

$$L * B = 2046.2 - 559.4\ temp \qquad (4.3)$$

4.4.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของสัปปะรดอบแห้งกลุ่มที่ 4 ระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 5-7

เมื่อนำผลการวิเคราะห์ค่าสีความสว่าง (L*) กับค่าความเหลือง (b*) มาหาผลคูณสำหรับแต่ละการทดลองได้ผลดังตารางที่ 4.27 จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลจากค่าผลคูณนี้ต่อไป

ตาราง 4.27 ผลตอบของสัปปะรดอบแห้งที่ระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 5-7

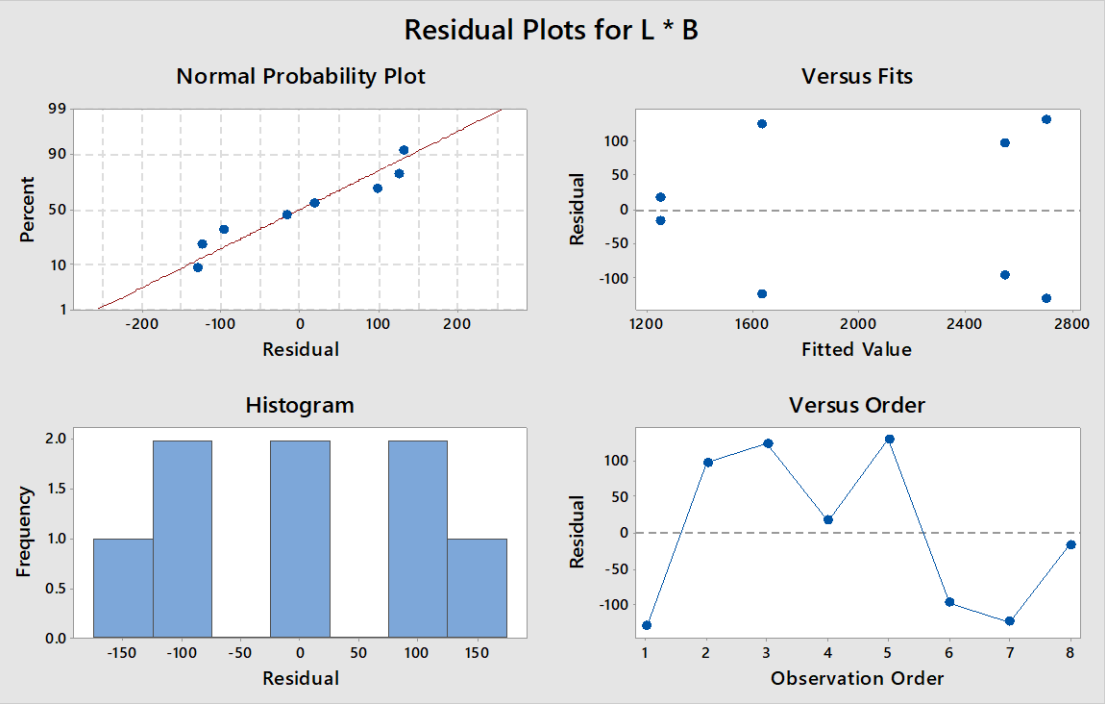
ลำดับ	ปัจจัย		ผลตอบ
	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	L * B
1	-1(500)	-1(70)	2573.11

ตาราง 4.27 ผลตอบของสัปปะรดอบแห้งที่ระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 5-7 (ต่อ)

ลำดับ	ปัจจัย		ผลตอบ
	ระยะเวลา	อุณหภูมิ	L * B
2	1(600)	-1(70)	2642.64
3	-1(500)	1(90)	1754.99
4	1(600)	1(90)	1263.21
5	-1(500)	-1(70)	2834.48
6	1(600)	-1(70)	2447.41
7	-1(500)	1(90)	1506.74
8	1(600)	1(90)	1229.19

4.4.7.1 การตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

จากผลการทดลองที่ได้มานั้น ควรมีการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลเพื่อจะได้วิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ โดยทำการวิเคราะห์ส่วนตกค้างของข้อมูล (Residual Analysis) และทำการพิสูจน์คุณสมบัติของข้อมูลตามสมมติฐานหลัก 3 ประการ สามารถวิเคราะห์ส่วนตกค้างได้ดังภาพ 4.10



ภาพ 4.10 ส่วนตกค้างของสัปปะรดอบแห้งความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 5-7

1. ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติและค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ (Normality Assumption)

จากภาพ 4.10 ในส่วนของกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normality Probability Plot of the Residuals) พบว่าส่วนตกค้างมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ไม่มีจุดใดๆ ออกนอกเส้นตรงอย่างชัดเจน จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบมีแนวโน้มของการกระจายตัวแบบปกติและในส่วนของฮิสโตแกรมของส่วนตกค้าง (Histogram of the Residuals) พบว่ามีการกระจายตัวของส่วนตกค้างในทุกช่วงของกราฟฮิสโตแกรม จึงสรุปได้ว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างของข้อมูลผลตอบสีของสัปปะรดอบแห้งมีแนวโน้มกระจายตัวแบบปกติ

2. ข้อมูลส่วนตกค้างมีการกระจายตัวเป็นอิสระ (Independent Assumption)

จากภาพ 4.10 ในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plot of Residual Versus the Observation Order of the Data) ของข้อมูลผลตอบสีของสัปปะรดอบแห้ง พบว่าจุดพล็อตไม่มีแนวโน้มใดๆ จึงสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีลักษณะการกระจายตัวแบบอิสระไม่ขึ้นอยู่กับลำดับการทดลอง

3. ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ (Constant Variance Assumption)

ไม่เปลี่ยนแปลงตามระดับของปัจจัยหรือขึ้นอยู่กับค่าพยากรณ์ของผลตอบ จากภาพ 4.10 ในส่วนของกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนาย (Residuals Versus the Fitted Values) ของข้อมูลผลตอบสีของสัปปะรดอบแห้ง พบว่าการกระจายตัวของส่วนตกค้างไม่มีแนวโน้ม จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่

4.4.7.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance, ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล (Analysis of Variance , ANOVA) เป็นการวิเคราะห์เพื่อที่จะทดสอบความมีนัยสำคัญและความสำคัญของผลกระทบของปัจจัยของการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ได้ผลดังตาราง 4.28

ตาราง 4.28 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ในกลุ่มความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 5-7

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	2985780	995260	47.05	0.001
Linear	2	2960265	1480133	69.98	0.001
time	1	147662	147662	6.98	0.057
temp	1	2812604	2812604	132.97	0.000
2-Way Interactions	1	25514	25514	1.21	0.334
time*temp	1	25514	25514	1.21	0.334

ตาราง 4.28 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ในกลุ่มความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 5-7 (ต่อ)

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Error	4	84608	21152		
Total	7	3070388			

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่แสดงดังตาราง 4.28 พบว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อค่าสีอย่างมีนัยสำคัญ คืออุณหภูมิในการอบ เนื่องจากค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05

4.4.7.3 การประมาณผลกระทบจากการทดลอง (Estimate Factor Effects)

ผู้วิจัยได้นำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์เชิงสถิติเพื่อประมาณค่าผลกระทบของเทอมต่างๆ ตรวจสอบเครื่องหมายและขนาดของผลที่เกิดขึ้นเพื่อทำให้ทราบว่าปัจจัยและอันตรกิริยาใดมีความสำคัญแสดงดังตาราง 4.29

ตาราง 4.29 การประมาณผลกระทบและระดับความเชื่อมั่นของปัจจัยในการทดลองสำหรับความหวาน 13-15 ความบริบูรณ์ 5-7

Term	Effect	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant		2031.5	51.4	39.51	0.000	
time	-271.7	-135.9	51.4	-2.64	0.057	1.00
temp	-1185.9	-592.9	51.4	-11.53	0.000	1.00
time*temp	-112.9	-56.5	51.4	-1.10	0.334	1.00

S = 145.437 R-Sq = 97.24 เปอร์เซ็นต์ R-Sq(adj) = 95.18 เปอร์เซ็นต์

หมายเหตุ * ปัจจัยหลักที่มีผลต่อข้อมูลผลตอบค่าสีของสับปะรดอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

จากตาราง 4.29 พบว่ามีเฉพาะอุณหภูมิในการอบที่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ โดยในการวิเคราะห์มีค่า R-Sq ซึ่งแสดง ถึงความแม่นยำในการวิเคราะห์มีค่าเท่ากับ 97.24 เปอร์เซ็นต์ และค่า R-Sq (adj) มีค่าเท่ากับ 95.18 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าความแม่นยำในการวิเคราะห์เป็นที่พึงพอใจ

4.4.7.4 การสร้างแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบ

แบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบจะประกอบด้วยผลกระทบหลักและอันตรกิริยาร่วมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญจากค่าสัมประสิทธิ์ของปัจจัยในตาราง 4.29 สมการ $\hat{y}$ คือค่าพยากรณ์ของข้อมูลผลตอบของค่าสีสัปปะรดอบแห้ง สมการแทนด้วยตัวแปร Code Units (-1 และ +1) ซึ่งสามารถเขียนได้ ดังสมการ (4.3) โดยจะเห็นได้ว่าหากต้องการให้ค่าผลตอบ L*b มีค่ามากจะต้องใช้อุณหภูมิที่มีค่าลบ คือ 70 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอบเท่าไหร่ก็ได้

$$L * B = 2031.5 - 592.9\ temp \qquad (4.3)$$

จากผลการวิเคราะห์ทุกกลุ่มของสัปปะรดพบว่า มีเฉพาะปัจจัยอุณหภูมิที่มีผลต่อผลตอบสีของสัปปะรดโดยอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจะทำให้ค่าสีดีที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ผลความชื้นเพื่อหาระดับเวลาในการอบที่เหมาะสมที่ทำให้ความชื้นได้ตามที่โรงงานกำหนดต่อไป

4.4.8 การทดลองวิเคราะห์ผลความชื้นหลังการอบของสัปปะรดอบที่ระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 2-4

จากผลการทดลองของกลุ่มสัปปะรดระดับความหวาน 10-12 และความบริบูรณ์ 2-4 พบว่าอุณหภูมิในการอบที่ 70 องศาเซลเซียสส่งผลที่ดีที่สุดสำหรับค่าสีของสัปปะรดโดยระยะเวลาในการอบไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ต่อมาจึงทำการทดลองเพื่อขจัดความชื้นหลังการอบโดยใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสในการอบเท่านั้น โดยทำการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลา 500 และ 600 นาทีอย่างล่ะ 2 การทดลองเพื่อหาระยะเวลาการอบที่ดีที่สุด ตาราง 4.30 แสดงความชื้นของสัปปะรดหลังอบกลุ่มแห้งระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 2-4

ตาราง 4.30 ข้อมูลความชื้นของสัปปะรดอบแห้งกลุ่มความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 2-4

ระยะเวลาอบ (นาที)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์ db)
500	8.36
	3.61
600	3.27
	2.33

จากการนำข้อมูลความชื้นของสัปปะรดอบแห้งระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 2-4 ไปทำการทดสอบสมมุติฐานพบว่า T-test ค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่า

อุณหภูมิที่ 500 และ 600 นาทีมีผลไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหมายถึงจะใช้อุณหภูมิ 500 หรือ 600 นาทีอบสัปปะรดก็ได้ แต่จากผลการทดลองและภาพ 4.11 จะเห็นว่าค่า Standard Deviation ของแต่ละกลุ่มอุณหภูมิมีค่าแตกต่างกันอย่างมากโดยที่อุณหภูมิ 500 นาทีมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3.36 ซึ่งหมายความว่าความชื้นมีความกระจายตัวมากๆ แต่ที่อุณหภูมิ 600 นาที มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.665 มีความหมายว่าความชื้นค่อนข้างเกาะกลุ่มกันนั้นหมายถึงเวลาในการอบ 500 นาทีอาจจะทำให้สัปปะรดแห้งไม่เท่ากัน ผู้วิจัยจึงเลือกอุณหภูมิในการอบที่ 600 นาที เพื่อให้การอบสัปปะรดอบแห้งมีความชื้นที่ใกล้เคียงกันทั้งหมด

Two-Sample T-Test and CI: กลุ่ม 1 500, กลุ่ม 1 600

Method

μ_1: mean of กลุ่ม 1 500

μ_2: mean of กลุ่ม 1 600

Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
กลุ่ม 1 500	2	5.98	3.36	2.4
กลุ่ม 1 600	2	2.800	0.665	0.47

Estimation for Difference

Difference	Pooled StDev	95% CI for Difference
3.18	2.42	(-7.23, 13.60)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
1.32	2	0.319

ภาพ 4.11 ผลการทดสอบสมมุติฐานความแตกต่างของเวลาในการอบต่อความชื้นของสัปปะรดอบแห้งระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 2-4

4.4.9 การทดลองวิเคราะห์ผลความชื้นหลังการอบของสัปปะรดอบที่ระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 5-7

จากผลการทดลองของกลุ่มสัปปะรดระดับความหวาน 10-12 และความบริบูรณ์ 5-7 พบว่าอุณหภูมิในการอบที่ 70 องศาเซลเซียสส่งผลที่ดีที่สุดสำหรับค่าสีของสัปปะรดโดยระยะเวลาในการอบไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ต่อมาจึงทำการทดลองเพื่อขจัดความชื้นหลังการอบโดยใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสในการอบเท่านั้น โดยทำการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลา 500 และ 600 นาทีอย่างล่ะ 2 การทดลองเพื่อหาระยะเวลาการอบที่ดีที่สุด ตาราง 4.31 แสดงความชื้นของสัปปะรดหลังอบกลุ่มแห้งระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 5-7

ตาราง 4.31 ข้อมูลความชื้นของสัปปะรดอบแห้งกลุ่มความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 5-7

ระยะเวลาอบ (นาที)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์ db)
500	3.09
	2.55
600	2.31
	1.86

จากการนำข้อมูลความชื้นของสัปปะรดอบแห้งระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 5-7 ไปทำการทดสอบสมมุติฐานพบว่า T-test ค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิที่ 500 และ 600 นาทีมีผลไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหมายถึงจะใช้อุณหภูมิ 500 หรือ 600 นาทีอบสัปปะรดก็ได้ แต่จากผลการทดลองและภาพ 4.12 จะเห็นว่าค่า Standard Deviation ของแต่ละกลุ่มอุณหภูมิมีค่าแตกต่างกันอย่างมากโดยที่อุณหภูมิ 500 นาทีมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.382 ซึ่งหมายความว่าความชื้นมีความเกาะกลุ่มกัน และที่อุณหภูมิ 600 นาที มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.318 มีความหมายว่าความชื้นค่อนข้างเกาะกลุ่มเช่นกัน ผู้วิจัยจึงเลือกอุณหภูมิในการอบที่ 500 นาทีเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการอบ

Two-Sample T-Test and CI: กลุ่ม 2 500, กลุ่ม 2 600

Method

μ_1: mean of กลุ่ม 2 500

μ_2: mean of กลุ่ม 2 600

Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
กลุ่ม 2 500	2	2.820	0.382	0.27
กลุ่ม 2 600	2	2.085	0.318	0.22

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
0.735	(-3.731, 5.201)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
2.09	1	0.284

ภาพ 4.12 ผลการทดสอบสมมุติฐานความแตกต่างของเวลาในการอบต่อความชื้นของสัปปะรดอบแห้งระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 5-7

4.4.10 การทดลองวิเคราะห์ผลความชื้นหลังการอบของสับปะรดอบที่ระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 2-4

จากผลการทดลองของกลุ่มสับปะรดระดับความหวาน 13-15 และความบริบูรณ์ 2-4 พบว่าอุณหภูมิในการอบที่ 70 องศาเซลเซียสส่งผลที่ดีที่สุดสำหรับค่าสีของสับปะรดโดยระยะเวลาในการอบไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ต่อมาจึงทำการทดลองเพื่อขจัดความชื้นหลังการอบโดยใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสในการอบเท่านั้น โดยทำการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลา 500 และ 600 นาทีอย่างล่ะ 2 การทดลองเพื่อหาระยะเวลาการอบที่ดีที่สุด ตาราง 4.32 แสดงความชื้นของสับปะรดหลังอบกลุ่มแห้งระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 2-4

ตาราง 4.32 ข้อมูลความชื้นของสับปะรดอบแห้งกลุ่มความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 2-4

ระยะเวลาอบ (นาที)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์ db)
500	6.46
	2.96
600	4.37
	3.40

จากการนำข้อมูลความชื้นของสับปะรดอบแห้งระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 2-4 ไปทำการทดสอบสมมุติฐานพบว่า T-test ค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิที่ 500 และ 600 นาทีมีผลไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหมายถึงจะใช้อุณหภูมิ 500 หรือ 600 นาทีอบสับปะรดก็ได้ แต่จากผลการทดลองและภาพ 4.13 จะเห็นว่าค่า Standard Deviation ของแต่ละกลุ่มอุณหภูมิมีค่าแตกต่างกันอย่างมากโดยที่อุณหภูมิ 500 นาทีมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 2.47 ซึ่งหมายความว่าความชื้นมีความกระจายตัวมากๆ แต่ที่อุณหภูมิ 600 นาที มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.686 มีความหมายว่าความชื้นค่อนข้างเกาะกลุ่มกันนั้นหมายถึงเวลาในการอบ 500 นาทีอาจจะทำให้สับปะรดแห้งไม่เท่ากัน ผู้วิจัยจึงเลือกอุณหภูมิในการอบที่ 600 นาที เพื่อให้การอบสับปะรดอบแห้งมีความชื้นที่ใกล้เคียงกันทั้งหมด

Two-Sample T-Test and CI: กลุ่ม 3 500, กลุ่ม 3 600

Method

μ_1: mean of กลุ่ม 3 500

μ_2: mean of กลุ่ม 3 600

Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
กลุ่ม 3 500	2	4.71	2.47	1.7
กลุ่ม 3 600	2	3.885	0.686	0.48

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
0.83	(-22.25, 23.90)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
0.45	1	0.729

ภาพ 4.13 ผลการทดสอบสมมุติฐานความแตกต่างของเวลาในการอบต่อความชื้นของสัปปะรดอบแห้งระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 2-4

4.4.11 การทดลองวิเคราะห์ผลความชื้นหลังการอบของสัปปะรดอบที่ระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 5-7

จากผลการทดลองของกลุ่มสัปปะรดระดับความหวาน 13-15 และความบริบูรณ์ 2-4 พบว่าอุณหภูมิในการอบที่ 70 องศาเซลเซียสส่งผลที่ดีที่สุดสำหรับค่าสีของสัปปะรดโดยระยะเวลาในการอบไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ต่อมาจึงทำการทดลองเพื่อขจัดความชื้นหลังการอบโดยใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสในการอบเท่านั้น โดยทำการทดลองเปรียบเทียบระยะเวลา 500 และ 600 นาทีอย่างล่ะ 2 การทดลองเพื่อหาระยะเวลาการอบที่ดีที่สุด ตาราง 4.33 แสดงความชื้นของสัปปะรดหลังอบกลุ่มแห้งระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 5-7

ตาราง 4.33 ข้อมูลความชื้นของสัปปะรดอบแห้งกลุ่มความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 5-7

ระยะเวลาอบ (นาที)	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์ db)
500	4.06
	3.85
600	3.80
	3.81

จากการนำข้อมูลความชื้นของสัปปะรดอบแห้งระดับความหวาน 10-12 ระดับความบริบูรณ์ 5-7 ไปทำการทดสอบสมมุติฐานพบว่า T-test ค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าอุณหภูมิที่ 500 และ 600 นาทีมีผลไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งหมายถึงจะใช้อุณหภูมิ 500 หรือ 600 นาทีอบสัปปะรดก็ได้ แต่จากผลการทดลองและภาพ 4.14 จะเห็นว่าค่า Standard Deviation ของแต่ละกลุ่มอุณหภูมิมีค่าแตกต่างกันอย่างมากโดยที่อุณหภูมิ 500 นาทีมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.148 ซึ่งหมายความว่าความชื้นมีความเกาะกลุ่มกัน และที่อุณหภูมิ 600 นาที มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.007 มีความหมายว่าความชื้นค่อนข้างเกาะกลุ่มเช่นกัน ผู้วิจัยจึงเลือกอุณหภูมิในการอบที่ 500 นาทีเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการอบ

Two-Sample T-Test and CI: กลุ่ม 4 500, กลุ่ม 4 600

Method

μ_1: mean of กลุ่ม 4 500

μ_2: mean of กลุ่ม 4 600

Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are not assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
กลุ่ม 4 500	2	3.955	0.148	0.10
กลุ่ม 4 600	2	3.80500	0.00707	0.0050

Estimation for Difference

Difference	95% CI for Difference
0.150	(-1.186, 1.486)

Test

Null hypothesis $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Alternative hypothesis $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

T-Value	DF	P-Value
1.43	1	0.389

ภาพ 4.14 ผลการทดสอบสมมุติฐานความแตกต่างของเวลาในการอบต่อความชื้นของสัปปะรดอบแห้งระดับความหวาน 13-15 ระดับความบริบูรณ์ 5-7

จากการทดลองทั้งหมดสรุปผลได้ว่า

สัปปะรดกลุ่มที่ 1 ระดับความหวาน 10-12 และระดับความบริบูรณ์ 2-4 ควรใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและระยะเวลาในการอบ 600 นาที

สัปปะรดกลุ่มที่ 2 ระดับความหวาน 10-12 และระดับความบริบูรณ์ 5-7 ควรใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและระยะเวลาในการอบ 500 นาที

สัปปะรดกลุ่มที่ 3 ระดับความหวาน 13-15 และระดับความบริบูรณ์ 2-4 ควรใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและระยะเวลาในการอบ 600 นาที

สัปปะรดกลุ่มที่ 4 ระดับความหวาน 13-15 และระดับความบริบูรณ์ 5-7 ควรใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและระยะเวลาในการอบ 500 นาที

ต่อจากนั้นผู้วิจัยได้ไปทำการทดลองยืนยันผลโดยวิธีที่เสนอคือได้ทำการแบ่งกลุ่มสัปปะรดก่อนอบตามหวานความและความบริบูรณ์ แล้วจึงใช้เวลาและอุณหภูมิในการอบที่เสนอโดยได้ทำการทดลองเมื่อวันที่ 13 มีนาคม 2563 โดยใช้สัปปะรด 16 กิโลกรัม(รวมเปลือก) โดยสามารถแบ่งกลุ่มสัปปะรดได้ 2 กลุ่ม จากนั้นจึงทำการอบแต่ละกลุ่มเมื่ออบเสร็จพนักงานทำการคัดเลือกชิ้นที่มีตำหนิออกรวมกันเป็น 0.08 กิโลกรัมหรือคิดเป็น 7.14 เปอร์เซ็นต์ซึ่งจะเห็นว่าสามารถลดลงได้จากก่อนปรับปรุงที่มี 18.99 เปอร์เซ็นต์

4.5 การควบคุม (Control)

เมื่อได้ทดลองดำเนินการปรับปรุงตามวิธีที่เสนอแล้ว พบว่าสามารถลดของเสียจากสัปปะรดอบแห้งได้จริง ขั้นตอนนี้จึงเป็นการคงสภาพของการปรับปรุงไว้อย่างต่อเนื่องโดยการสร้างมาตรฐานการทำงาน

โดยผู้วิจัยได้กำหนดวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ให้แก่ผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากในการปรับปรุงกระบวนการทำให้ขั้นตอนการทำงานของพนักงานเปลี่ยนไปจากเดิมในบางขั้นตอน และเพื่อควบคุมให้การทำงานมีมาตรฐานเดียวกัน สามารถทำงานได้เหมือนกันทุกๆ ครั้ง ผู้วิจัยจึงได้เสนอมาตรฐานขั้นตอนการทำงานใหม่ให้กับบริษัทกรณีศึกษา โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 4.34

ตาราง 4.34 มาตรฐานขั้นตอนการทำงานหลังปรับปรุง

ลำดับที่	ขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียดการปฏิบัติงาน	การควบคุม
1	การล้างสัปปะรด	ให้พนักงานล้างสัปปะรดที่จะนำมาเข้าสู่กระบวนการปอกเปลือก	ควรล้างให้สะอาดเพื่อง่ายต่อการปอกเปลือก
รูปภาพประกอบ			

ตาราง 4.34 มาตรฐานขั้นตอนการทำงานหลังปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับที่	ขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียดการปฏิบัติงาน	การควบคุม
2	การปอกเปลือกสับปะรด	นำสับปะรดที่ล้างมาแล้วมาทำการปอกเปลือก และตาออก	ควรปอกตาสับปะรดออกให้ ถ้ามีตาสับปะรดติดอยู่ผลิตภัณฑ์จะเกิดเป็นรอยไหม้เกิดขึ้น
รูปภาพประกอบ			
3	การแบ่งระดับความบริบูรณ์	ให้พนักงานคัดแยกความสุกของสับปะรด	ทำเอกสารภาพตัวอย่างสีระดับความสุกของสับปะรด(สีเหลืองเข็ม ,สีเหลืองอ่อน)
รูปภาพประกอบ			

ตาราง 4.34 มาตรฐานขั้นตอนการทำงานหลังปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับที่	ขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียดการปฏิบัติงาน	การควบคุม
4	การวัดระดับความหวาน	ให้พนักงานสุ่มวัดระดับความหวานจากกลุ่มความบริบูรณ์สัปปะรดที่ได้แบ่งไว้	ทำป้ายระดับความหวานโดยแบ่งกลุ่มความหวานเป็น 10-12 บริกซ์ และ 13-15 บริกซ์
รูปภาพประกอบ			
5	การหั่นสัปปะรดให้เป็นแผ่น	ให้พนักงานใช้เครื่องหั่นสัปปะรดให้เป็นแผ่นขนาด 0.8 ถึง 1 เซนติเมตรเพื่อนำเข้าเตาอบ	คัดแยกหัวและท้ายของสัปปะรดเนื่องจากเป็นของเสียในกระบวนการผลิต
รูปภาพประกอบ			

ตาราง 4.34 มาตรฐานขั้นตอนการทำงานหลังปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับที่	ขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียดการปฏิบัติงาน	การควบคุม
6	การจัดเรียงก่อนเข้าเตาอบ	ให้พนักงานเรียงตามการจัดกลุ่มตามระดับความหวานและความบริบูรณ์ที่กำหนด	ทำป้ายระยะเวลาการอบและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแต่ล่ะกลุ่มโดย - กลุ่มที่1 ความหวาน10-12 บริบูรณ์ 2-4 ใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อบ 600 นาที -กลุ่มที่2 ความหวาน10-12 บริบูรณ์ 5-7 ใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อบ 500 นาที -กลุ่มที่3 ความหวาน13-15 บริบูรณ์ 2-4 ใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อบ 600 นาที -กลุ่มที่4 ความหวาน13-15 บริบูรณ์ 5-7 ใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส อบ 500 นาที
รูปภาพประกอบ			

ตาราง 4.34 มาตรฐานขั้นตอนการทำงานหลังปรับปรุง (ต่อ)

ลำดับที่	ขั้นตอนการทำงาน	รายละเอียดการปฏิบัติงาน	การควบคุม
7	การคัดแยกของเสียหลังจากการอบ	ให้พนักงานคัดแยกสับปะรดที่ผ่านและไม่ผ่าน	ทำใบตรวจสอบวัดความสามารถในการคัดแยกสีสับปะรดว่าผ่าน ไม่ผ่าน โดยทำการวัดเดือนล่ะ 1 ครั้ง
รูปภาพประกอบ			

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

บริษัทกรณีศึกษา เป็นผู้ผลิตผลไม้อบแห้งหลายชนิด อาทิเช่น มะม่วงอบแห้ง สับปะรดอบแห้ง ลำไยอบแห้ง กล้วยอบแห้ง และ แก้วมังกรอบแห้งเป็นต้น ซึ่งโครงงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นจากสีไม่ตรงสเปคในการอบสับปะรดอบแห้งเนื่องจากมีของเสียมากที่สุด และการลดต้นทุนกระบวนการผลิตโดยดำเนินการตามขั้นตอนหลัก DMAIC ของซิกซ์ ซิกมา ดังต่อไปนี้

การกำหนดปัญหา (Define) ซึ่งเริ่มต้นโดยการศึกษากระบวนการและขั้นตอนการผลิตสับปะรดอบแห้ง แล้วสร้างแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) เพื่อให้เห็นภาพรวมของกระบวนการผลิต และเก็บรวบรวมข้อมูลการเกิดตำหนิประเภทต่างๆในการผลิตผลิตภัณฑ์สับปะรดอบแห้ง แล้วทำการสร้างแผนภูมิพาเรโต เพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหาเพื่อคัดเลือกปัญหาที่ส่งผลกระทบมากที่สุดโดยพบว่ามีเปอร์เซ็นต์ปัญหาสีของสับปะรดอบแห้งไม่ตรงตามสเปคสูงถึง 63 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปัญหาที่พบมากที่สุด และทางบริษัทให้ความสำคัญมากที่สุด

การวัด (Measure) โดยเริ่มจาก ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดของข้อมูลที่ต้องศึกษา โดยใช้วิธี GR&R แบบข้อมูลนับ (Attribute Data) เพื่อวิเคราะห์ความสามารถในการจำแนกสีของสับปะรดของพนักงานว่าผ่าน หรือ ไม่ผ่าน ผู้วิจัยได้ทำวิเคราะห์ระบบการวัด ของข้อมูลโดยให้หัวหน้างานคัดเลือกชิ้นสับปะรดที่ผ่านและไม่ผ่านมาทั้งหมด 9 ชิ้นแบ่งออกเป็นชิ้นที่ผ่าน 6 ชิ้น และชิ้นที่ไม่ผ่าน 3 ชิ้น จากนั้นจึงสุ่มให้พนักงาน 5 คนทำการจำแนกสีของสับปะรดว่าผ่านหรือไม่ผ่านโดย ผลการวิเคราะห์ความสามารถในการจำแนกสีของพนักงานว่าผ่านหรือไม่ผ่าน พบว่าประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้เท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าในการใช้พนักงาน 5 คนในการตรวจสอบชิ้นงาน 9 ชิ้น จะมี 8 ชิ้นที่พนักงานทั้งห้าตรวจสอบได้ผลลัพธ์เหมือนกันและสามารถประมาณค่าแบบช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ สำหรับประสิทธิผลด้านรีพีททะบิลิตี้จะอยู่ในช่วง 51.75 เปอร์เซ็นต์ ถึง 99.72 เปอร์เซ็นต์ และจากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์ Kappa ของพนักงานแต่ละคน เทียบกับค่ามาตรฐานเท่ากับ 0.89 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.8 แสดงว่าพนักงานทั้งห้าคน สามารถตรวจสอบซ้ำได้ผลพ้องกับค่ามาตรฐานได้ดี และต่อมาคือการทำการวัดความสามารถกระบวนการในปัจจุบันโดยได้วัดจากสัดส่วนผลิตภัณฑ์มีตำหนิหลังจากสิ้นสุดกระบวนการอบพบว่า จากข้อมูลย้อนหลังการอบสับปะรดอบแห้งในปี 2561 เป็นระยะเวลา 12 เดือนหลังจากสิ้นสุดกระบวนการอบมีสัดส่วนของเสียอยู่ที่ 30 เปอร์เซ็นต์ ของ

จำนวนทั้งหมด โดยเป็นสัดส่วนผลิตภัณฑ์มีตำหนิจากปัญหาสีของสับปะรดอบแห้งไม่ตรงตามสเปคคิดเป็น 18.99 เปอร์เซ็นต์จากของเสียทั้งหมด

การวิเคราะห์ (Analyze) ซึ่งเริ่มโดยการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา โดยทำการสร้างแผนภาพก้างปลาโดย การสร้างแผนภาพก้างปลาได้ทำการระดมสมองร่วมกับพนักงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่หัวหน้างานและพนักงานจากนั้นคัดเลือกสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้สีของสับปะรดไม่ได้ตรงตามสเปค ได้แก่ พนักงานไม่คัดความสุกสับปะรดก่อนการอบ และใช้ความร้อนและเวลาไม่เหมาะสมซึ่งน่าจะมีผลกระทบมาก

การปรับปรุง (Improve) หลังจากเลือกสาเหตุของปัญหามาจากแผนภาพก้างปลาแล้วจึงหาแนวทางแก้ไขและปรับปรุง โดยเสนอให้ต้องมีการแบ่งสับปะรดเป็นกลุ่มที่เหมาะสมและศึกษาเงื่อนไขในการอบสำหรับสับปะรดแต่ละกลุ่ม โดยจากการศึกษางานวิจัย พบว่า ระดับความหวานและระดับความบริบูรณ์ มีผลต่อสีของสับปะรด ผู้วิจัยจึงได้เสนอให้แบ่งกลุ่มสับปะรดสดเป็น 4 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 ระดับความหวาน 10-12 brix และ ระดับความบริบูรณ์ 2-4

กลุ่มที่ 2 ระดับความหวาน 10-12 brix และ ระดับความบริบูรณ์ 5-7

กลุ่มที่ 3 ระดับความหวาน 13-15 brix และ ระดับความบริบูรณ์ 2-4

กลุ่มที่ 4 ระดับความหวาน 13-15 brix และ ระดับความบริบูรณ์ 5-7

จากนั้นจึงได้ทำการศึกษาเงื่อนไขในการอบแห้งสับปะรดแต่ละกลุ่มตามที่แบ่งไว้พบว่าอุณหภูมิที่ 70-90 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนสีสับปะรดมากที่สุดและเวลาที่ใช้ก็คือ 500-600 นาที ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบที่เหมาะสมต่อแต่ละกลุ่มสับปะรดที่แบ่ง

ผลการวิจัยพบว่า ระยะเวลาในการอบ และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อแต่ละกลุ่มคือ อุณหภูมิ 70 องศา และระยะเวลาในการอบ 500 นาที สำหรับกลุ่ม 1 กับ 3 และอุณหภูมิ 70 องศา และระยะเวลาในการอบ 600 นาที สำหรับกลุ่ม 2 กับ 4 จากนั้นจึงได้นำผลการวิจัยที่ได้นี้ไปทดลองจริงในโรงงานผลิตสับปะรดพบว่ามีสัดส่วนของเสียอยู่ทั้งหมดที่ 7.14 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนสับปะรดอบแห้งทั้งหมดคิดจากผู้วิจัยได้นำสับปะรดทั้งหมด 16 กิโลกรัม(รวมเปลือก) ไปทำการอบที่โรงงานแล้วได้สับปะรดอบแห้งทั้งหมดที่ 1.12 กิโลกรัม และมีของเสียทั้งหมด 0.08 กิโลกรัม

การควบคุม (Control) ได้ทำการสร้างมาตรฐานการทำงานโดยออกแบบใบตรวจสอบ (Check Sheet) โดยมีการตรวจสอบพนักงานคัดแยกสีใน1ครั้งต่อเดือน เพื่อตรวจสอบว่าพนักงานแต่ละคนมีความแม่นยำในการคัดแยกสีอยู่เสมอ และกำหนดวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ให้แก่ผู้ปฏิบัติงาน มีจัดทำเอกสารวิธีการคัดแยกสับปะรดแต่ละกลุ่มโดยมีภาพแสดงระดับความบริบูรณ์ และทำป้ายคำสั่งให้พนักงานมีการสุ่มวัดระดับความหวาน ของสับปะรด

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากสับปะรดที่มีขนาดลูกใหญ่นั้นมีเนื้อค่อนข้างเยอะกว่าเมื่อเทียบกับสับปะรดลูกเล็กในจำนวนกิโลกรัมที่เท่ากัน ซึ่งทำให้เมื่อนำมาอบแห้งนั้นจะได้สับปะรดอบแห้งที่มากกว่าลูกเล็ก ดังนั้นบริษัทกรณีศึกษาควรทำความตกลงกับผู้ส่งมอบวัตถุดิบให้ส่งมอบสับปะรดที่มีขนาดใหญ่ตามที่กำหนด

2. ในการแบ่งกลุ่มสัปปะรดเพื่อนำไปอบด้วยอุณหภูมิและระยะเวลาต่างๆ นั้นควรเลือกปัจจัยในการแบ่งกลุ่มที่เป็นไปได้ในการปฏิบัติจริง เนื่องจากหากไม่สามารถทำได้จริงในทางปฏิบัติจะทำให้บริษัทกรณีศึกษาไม่ใช้แนวทางที่เสนอไป เช่นถึงแม้จากงานวิจัยในอดีตจะพบว่า ค่าความชื้นมีผลต่อสีของสัปปะรดอบแห้งแต่ในการวัดความชื้นนั้น ต้องใช้เวลานานและต้องมีเครื่องมือเฉพาะทางจึงยากต่อการนำไปปฏิบัติจริง

บรรณานุกรม

ชัยรัตน์ ไชยวงษ์. 2554. “การลดของเสียที่เกิดจากวัตถุดิบโดยใช้แนวทางซิกส์ ซิกมา ในบริษัทผลิตแผ่นแก้ว”. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พลรัชต์ บุญมี. 2551. “จลนพลศาสตร์การอบแห้งเนื้อสับปะรดแว่น”. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พีณา สลีวงศ์. 2543. “สถิติวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลในเนื้อผลสับปะรด”. บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

วสันต์ พุกผาสุข. 2549. “การลดของเสียจากกระบวนการชุบโครเมี่ยม โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า กรณีบริษัทในอุตสาหกรรมชุบโครเมี่ยม”. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

นุชจรินทร์ สายวิเศษ. 2552. “ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเต็มใจของทายาทในการสืบทอดธุรกิจครอบครัวขนาดกลางและขนาดย่อมในจังหวัดนครราชสีมา”. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ภาณุพงษ์ ฤทธิ์สมจิต. 2551. “ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการดำเนินงาน การผลิตตามแนวคิด Six Sigma กรณีศึกษาบริษัท คิว ดี พี จำกัด”. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์/กรุงเทพฯ.

สาโรจน์ ปัญญามงคล. 2559. “ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางด้านกายภาพและทางด้านเคมี ของผลสับปะรดภูแล กับระดับความบริบูรณ์ของผล ตั้งแต่เบอร์ 0 – 7”. มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. 2555. “สารานุกรมอาหารออนไลน์เพื่อเสริมสร้างสมรรถนะการเรียนรู้”. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Benjar Chutintrasria & Athapol Noomhorm. (2005). “Color degradation kinetics of pineapple puree during thermal processing”. Faculty of Science, Food Technology Department, Ramkhamhaeng University.

ภาคผนวก ก

แสดงผลการลดรูปแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบ ในโปรแกรม minitab

Factorial Regression: L * B versus temp

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	1	1859650	1859650	38.43	0.001
Linear	1	1859650	1859650	38.43	0.001
temp	1	1859650	1859650	38.43	0.001
Error	6	290307	48385		
Lack-of-Fit	2	74842	37421	0.69	0.551
Pure Error	4	215465	53866		
Total	7	2149957			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
219.965	86.50%	84.25%	75.99%

ภาพ ก-1 ผลการลดรูปแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบในกลุ่มความหวาน 10-12 ความบริบรูณ์ 2-4

Factorial Regression: L * B versus temp

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	1	3647578	3647578	104.45	0.000
Linear	1	3647578	3647578	104.45	0.000
temp	1	3647578	3647578	104.45	0.000
Error	6	209532	34922		
Lack-of-Fit	2	46852	23426	0.58	0.603
Pure Error	4	162680	40670		
Total	7	3857110			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
186.874	94.57%	93.66%	90.34%

ภาพ ก-2 ผลการลดรูปแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบในกลุ่มความหวาน 10-12 ความบริบรูณ์ 5-7

Factorial Regression: L * B versus temp

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	1	2503261	2503261	180.68	0.000
Linear	1	2503261	2503261	180.68	0.000
temp	1	2503261	2503261	180.68	0.000
Error	6	83126	13854		
Lack-of-Fit	2	15274	7637	0.45	0.666
Pure Error	4	67852	16963		
Total	7	2586387			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
117.705	96.79%	96.25%	94.29%

ภาพ ก-3 ผลการลดรูปแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบในกลุ่มความหวาน 13-15 ความบริบรูณ์ 2-4

Factorial Regression: L * B versus temp

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	1	2812604	2812604	65.46	0.000
Linear	1	2812604	2812604	65.46	0.000
temp	1	2812604	2812604	65.46	0.000
Error	6	257784	42964		
Lack-of-Fit	2	173176	86588	4.09	0.108
Pure Error	4	84608	21152		
Total	7	3070388			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
207.278	91.60%	90.20%	85.07%

ภาพ ก-4 ผลการลดรูปแบบจำลองเพื่อพยากรณ์ค่าผลตอบในกลุ่มความหวาน 13-15 ความบริบรูณ์ 5-7

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ: นายก้องเกียรติ วิริยะบำรุงกิจ

รหัสนักศึกษา: 580612057

การศึกษา: ระดับปริญญาตรี- ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ระดับมัธยมการศึกษา- มงฟอร์ตวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่

ภูมิลำเนา: 322/13 หมู่ 4 ตำบล หนองจ๊อม อำเภอ สันทราย จังหวัด เชียงใหม่ 50210

E-mail: kongkiat_v@cmu.ac.th

ชื่อ: วันทนีย์ ดวงสร้อย

รหัสนักศึกษา: 590612090

การศึกษา: ระดับปริญญาตรี- ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ระดับมัธยมการศึกษา- ดาราวิทยาลัย จังหวัดเชียงใหม่

ภูมิลำเนา: 43/1 หมู่ 3 ตำบล สันทรายน้อย อำเภอ สันทราย จังหวัด เชียงใหม่ 50210

E-mail: wantanee.nungningnungning@gmail.com