บทที่ 3

การปรับปรุงความแข็งของแยม
(Jam Hardness Improvement)

3.1 ระยะนิยามปัญหา (Define Phase)

ระยะนิยามปัญหานี้มีความสำคัญอย่างมากในวิธีซิกซ์ซิกมาเนื่องจากเป็นขั้นตอนเริ่มแรกที่กำหนดทิศทางของการปรับปรุงว่าจะเป็นไปในทิศทางใด โดยเริ่มจากทำการศึกษาสภาพปัญหาความแข็งของแยมที่ลูกค้าได้ร้องเรียนว่าแยมปาดยาก ซึ่งคิดเป็น 100% ของใบร้องเรียนทั้งหมดของผลิตภัณฑ์แยมตั้งแต่ช่วงเดือน ก.ย. ปี 2553 ถึงเดือน ก.พ. ปี 2554 โดยจะทำการศึกษาที่แยมสตรอเบอรี่ ขนาด 280 กรัม ที่มีปริมาณการผลิตมากที่สุดเมื่อเทียบกับรสชาติอื่นๆที่ขนาด 280 กรัม คิดเป็นการผลิตเฉลี่ย 62.26% ต่อเดือน เป็นตัวแทนการปรับปรุงความแข็งของแยม ซึ่งได้ทำการนิยามสภาพปัญหา ดังนี้

3.1.1 สรุปสภาพปัญหาในปัจจุบัน

ในปัจจุบันมีการร้องเรียนจากลูกค้าในเรื่องการปาดยากของแยมซึ่งปัญหานี้คิดเป็น 100% ของใบร้องเรียนทั้งหมดของผลิตภัณฑ์แยม ซึ่งก็ส่งผลต่อชื่อเสียงด้านคุณภาพของทางโรงงาน ทำให้ต้องมีการกำหนดตัวชี้วัดความแข็งของแยมมีหน่วยเป็นนิวตัน (N) เพื่อดูค่าความแข็งของแยมภายในขวดที่วัดออกมาเป็นค่าตัวเลข ดังนั้นจึงมีความจำเป็นในการหาขีดจำกัดข้อกำหนด (Specification Limits) ความแข็งของแยมเพื่อกำหนดช่วงค่าความแข็งของแยมที่ยอมรับได้ด้วยวิธีการการประเมินทางประสาทสัมผัส (Sensory Evaluation) เพื่อดูว่าคนที่บริโภคแยมมีความรู้สึกอย่างไรต่อการปาดแยมที่มีค่าความแข็งย่านค่าต่างๆ และดูว่าในช่วงย่านใดที่ลูกค้าปาดแยมแล้วรู้สึกพอดีเพื่อมากำหนดเป็นขีดจำกัดข้อกำหนด

เนื่องจากทางโรงงานไม่เคยมีการทำข้อมูลเกี่ยวกับตัวชี้วัดเพื่อวัดในเรื่องความยากง่ายในการปาดแยมและไม่มีการวิเคราะห์หรือการควบคุมคุณภาพในเรื่องนี้ ดังนั้นจึงได้ทำการหาขีดจำกัดข้อกำหนดความแข็งของแยมก่อนโดยวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัสเพื่อทดสอบการปาดแยมว่าลักษณะเนื้อสัมผัสแยมแบบใดที่ปาดแล้วรู้สึกพอดีเทียบกับความแข็งของแยมค่านั้นๆ เพื่อทำการหาขีดจำกัดข้อกำหนด จากนั้นจึงพิจารณาความแข็งของแยมจากกระบวนการปัจจุบันว่ามีค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability, C_p , C_{pk}) มากน้อยเพียงใดเมื่อ

เทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนดและทำการปรับปรุงกระบวนการต่อไปเมื่อค่าความสามารถของกระบวนการต่ำกว่าเกณฑ์ที่ยอมรับได้ หรือถ้ามีค่าที่ดีเหมาะสมแล้วก็จะทำการควบคุมคุณภาพต่อไป โดยจำเป็นต้องศึกษาความสัมพันธ์ว่าการปรับปรุงคุณภาพความแข็งของแยมให้อยู่ในขีดข้อจำกัดกำหนดนั้นส่งผลให้ผู้บริโภคที่นิยมบริโภคแยมเกิดความรู้สึกว่าแยมมีความปาดยากง่ายในระดับพอดี โดยวัดจากปัญหาใบร้องเรียนจาก 100% ให้เหลือ 0%

3.1.2 กำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมาย และตัวชี้วัด

การปรับปรุงค่าเฉลี่ยให้ได้ค่าเฉลี่ย (Average) ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายและลดค่าความแปรปรวน (Variation) ค่าความแข็งของแยมโดยกำหนดตัวชี้วัดเป็นค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability, C_p , C_{pk}) โดยกำหนดเป้าหมายให้ได้ค่าความแข็งของแยมตามมาตรฐาน AIAG (1995) คือต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.33 และจำนวนใบร้องเรียนจากลูกค้าเรื่องการปาดยากของแยมจากเดิม 100% ให้ลดลงเหลือ 0%

3.1.3 จัดตั้งคณะทำงาน

ทำการจัดตั้งคณะทำงานเพื่อเข้าร่วมในโครงการ โดยกำหนดคณะทำงานและทำการคัดเลือกผู้ที่มีความรู้ ความชำนาญในส่วนของกระบวนการที่เลือกทำการปรับปรุงคือกระบวนการผลิตแยมตั้งแต่ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบจนไปถึงผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งประกอบไปด้วย

- ผู้จัดการฝ่ายผลิต
- หัวหน้าวิศวกรฝ่ายผลิต
- หัวหน้าพนักงานฝ่ายผลิตของสายการผลิตแยม
- หัวหน้าฝ่ายการผลิตวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ (R&D)
- ผู้ดำเนินงานวิจัย

คณะทำงานมีหน้าที่ช่วยในการระดมสมองด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่างๆ เพื่อหาปัจจัยที่คาดว่ามีผลต่อความแข็งของแยม

ส่วนหน้าที่หลักของผู้ดำเนินการวิจัย มีดังนี้

- ติดต่อประสานงานกับทุกฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับแยมสตรอเบอร์รี่ขนาด 280 กรัม
- เก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง กับปัญหาเพื่อหาขีดจำกัดข้อกำหนดของความแข็งของแยม

- ทำการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดด้วยมาตรฐาน ISO 7500-1:2004 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับเครื่องทดสอบด้านแรงเพื่อบอกความน่าเชื่อถือของเครื่องวัดความแข็ง (Texture Analyzer)
- จัดประชุมร่วมกับคณะทำงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องเพื่อทำการระดมสมองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อความแข็งของแยม
- ออกแบบและวางแผนการทดลอง
- วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- จัดทำแผนควบคุม เพื่อรักษามาตรฐานหลังการปรับปรุง

3.1.4 **Project Charter** (Pyzdek and Keller, 2009)

DMAIC Project Charter Worksheet		
Project Title : การปรับปรุงความแข็งของแยม		
Project Leader : วัชราวุธ ศรีสุธรรม , Team Leader	Team Members : วัชราวุธ ศรีสุธรรม, Black Belt Day Shift Lead Swing Shift Lead	
Business Case : ทางโรงงานประสบปัญหากับผลิตภัณฑ์แยมที่มีเนื้อแยมที่แข็งเกินไปทำให้ปาดยาก โดยลูกค้าส่งใบร้องเรียนเรื่องการปาดยากของแยมคิดเป็น 100% ของจำนวนใบร้องเรียนทั้งหมดของผลิตภัณฑ์แยม ซึ่งส่งผลต่อชื่อเสียงต่อด้านคุณภาพของโรงงานเป็นอย่างมาก และอาจทำให้ลูกค้าหันไปบริโภคแยมยี่ห้ออื่นแทน		
Problem Statement : โรงงานมีปัญหาที่ทางลูกค้าส่งใบร้องเรียนเรื่องการปาดยากของแยมคิดเป็น 100% ของจำนวนใบร้องเรียนทั้งหมดของผลิตภัณฑ์แยม และทางโรงงานก็ไม่มีมาตรฐานการควบคุมค่าความแข็งของแยมโดยการร้องเรียนเกิดขึ้นกับแยมชนิดขวด ขนาด 280 กรัม โดยปัญหาเกิดขึ้นตั้งแต่เดือน ก.ย. ปี 2553 เป็นต้นมา	Goal Statement : ปรับปรุงความสามารถของกระบวนการความแข็งของแยมให้ได้ค่า C_p และ C_{pk} อย่างน้อย 1.33 และลดจำนวนใบร้องเรียนเรื่องการปาดยากจาก 100% ลดลงเหลือ 0% โดยดำเนินการปรับปรุงตั้งแต่เดือน ก.ย. ถึงเดือน มี.ค. ปี 2554	
Project Scope, Constraints, assumptions : 1. ทีมงานต้องมีการรายงานความคืบหน้าสัปดาห์ละ 1 ครั้ง	Stakeholders : 1. รองกรรมการผู้จัดการ 2. ผู้จัดการโรงงาน 3. ผู้จัดการฝ่ายคุณภาพ 4. หัวหน้าฝ่ายการผลิตวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์	
PRELIMINARY PLAN	Target Date	Actual Date
Start Date	1-ก.ย.-53	
DEFINE	5-ก.ย.-53	
MEASURE	20-ก.ย.-53	
ANALYZE	15-ต.ค.-53	
IMPROVE	1-ก.พ.-54	
CONTROL	1-มี.ค.-54	
Completion Date	31-มี.ค.-54	

3.1.5 **สรุประยะนิยามปัญหา**

ในขั้นตอนนิยามปัญหานี้ หลังจากศึกษากระบวนการผลิตและสรุปปัญหาในปัจจุบันของโรงงานแล้วจึงได้กำหนดปัญหาและเป้าหมายที่จะทำการปรับปรุง คือ การปรับปรุงค่าเฉลี่ยให้ได้ใกล้เคียงกับเป้าหมายและลดค่าความแปรปรวนค่าความแข็งของแยมโดยกำหนดตัวชี้วัดเป็นค่าความสามารถของกระบวนการ (Process Capability, C_p , C_{pk}) ซึ่งกำหนดเป้าหมายให้ได้ค่าความสามารถของกระบวนการความแข็งของแยมตามมาตรฐาน AIAG (1995) คือต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.33 และลดจำนวนใบร้องเรียนจากลูกค้าเรื่องการปาดยากของแยมจากเดิม 100% ให้ลดลงเหลือ 0%

3.2 ระยะวัดสาเหตุของปัญหา (Measurement Phase)

หลังจากได้ทำการนิยามปัญหาที่เกิดขึ้นแล้ว ในระยะนี้จะเป็นการวัดและเก็บข้อมูลเพื่อหาสาเหตุของปัญหา โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดค่าความแข็ง (Gauge R&R) แต่เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ทำการทดสอบนั้นเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทอาหาร ซึ่งมีความแปรปรวนมาก จึงไม่สามารถใช้การวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของระบบการวัดได้ ดังนั้นจึงใช้ใบรับรองจากการสอบเทียบ (Calibrated) ด้วยการสอบเทียบกับมาตรฐาน ISO 7500-1:2004 (International Standard ISO 7500-1 Third Edition, 2004) ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับเครื่องทดสอบด้านแรงเพื่อบอกความน่าเชื่อถือของเครื่องวัดความแข็ง

เครื่องมือที่ใช้วัดความแข็งชนิดนี้ได้มีการทำการสอบเทียบโดยใช้ตามมาตรฐาน ISO 7500-1:2004 เป็นขั้นตอนในการสอบเทียบของเครื่องมือวัดทดสอบด้านแรง โดยทำการสอบเทียบภายใต้สภาวะอุณหภูมิที่ 27.9 ± 2 องศา และความชื้น 52 ± 15% ความชื้นสัมพัทธ์(Relative Humidity, RH)

3.2.1 การสอบเทียบของระบบการวัดค่าแรงสำหรับเครื่องทดสอบแรงดึง/แรงกด

โดยการสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO 7500-1:2004 จะกำหนดสัญลักษณ์และความหมายที่ใช้ในการทดสอบเครื่องวัดความแข็ง ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัญลักษณ์และความหมายของการสอบเทียบเครื่องวัดความแข็ง

สัญลักษณ์	หน่วย	ความหมาย
a	%	ค่าแรง Relative Solution สำหรับการสอบเทียบ
b	%	ค่าความผิดพลาดจากของการอ่านซ้ำที่เกิดจากการสอบเทียบ
F_i	%	ค่าแรงสำหรับสอบเทียบที่ทำการเพิ่มขึ้นเพื่อทดสอบ
f_0	%	ค่าความผิดพลาดของแรงที่เกิดจากการวัดของระบบ
F	N	ค่าแรงจริงสำหรับการสอบเทียบด้วยการเพิ่มค่าแรงในการทดสอบ
$\bar{F}$	N	ค่าแรงเฉลี่ยของแรงทั้งหมดที่ใช้ในการสอบเทียบ
F_{max}, F_{min}	N	ค่าแรงสูงสุดและต่ำสุดของการสอบเทียบ
F_N	N	ค่าแรงสูงสุดของย่านการวัดสอบเทียบ
F_{i0}	N	ค่าแรงที่เหลืออยู่ของการทดสอบเครื่องจักรเพื่อยืนยันความถูกต้องหลังจากถอดแรงออก
q	%	ค่าความผิดพลาดความของความถูกต้องที่เกิดจากการสอบเทียบ
r	N	ค่าความละเอียดของแรงที่ทำการสอบเทียบ
V	%	ค่าความผิดพลาดจากของการอ่านย้อนกลับที่เกิดจากการสอบเทียบ

จากตารางที่ 3.1 เมื่อทราบความหมายของตัวแปรที่ใช้ในการสอบเทียบ ก็จะทำการสอบเทียบเครื่องวัดความแข็งตามมาตรฐาน ISO 7500-1:2004 ซึ่งจะมีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสอบเทียบในแต่ละย่านการอ่านของเครื่องทดสอบแรงดึง/แรงกด

ต้องทำการสอบเทียบในแต่ละย่านการอ่านของเครื่องทดสอบแรงดึง/แรงกด และต้องครอบคลุมขอบข่ายแรงของเครื่องทดสอบทั้งหมด โดยสามารถใช้ตัวอ่านของชุดสอบเทียบมาตรฐาน (True Force, F) เป็นตัวกำหนดแรง โดยมีข้อกำหนดดังนี้

- การสอบเทียบจะต้องทำโดยการเพิ่มแรงช้าๆ ไปยังจุดกำหนดแรง (F_i หรือ F)
- คำว่าแรงคงที่ (Constant) ในการสอบเทียบหมายถึงจะต้องให้แรงกระทำอยู่ที่จุดเดียวกันในการสอบเทียบทั้ง 3 รอบ
- ชุดเครื่องมือสอบเทียบจะต้องสอบย้อนกลับไปถึงระบบหน่วยระหว่างประเทศ (International System of Units) หรือ ระบบเอสไอ (SI) ได้
- ชุดเครื่องมือสอบเทียบจะต้องมีค่าระดับความถูกต้อง (Accuracy class) ตาม ISO 376 ในระดับความถูกต้องเดียวกันหรือดีกว่าของ เครื่องทดสอบตาม ISO 7500-1 โดยในแต่ละย่านการ

ทดสอบจะยอมรับ % ความผิดพลาดของความถูกต้องที่ ± 1% (แต่ละห้องสอบเทียบอาจจะกำหนดไม่เหมือนกัน)

ขั้นตอนที่ 2 การคำนวณหาค่า Resolution

การสอบเทียบครั้งนี้เป็นการสอบเทียบเครื่องวัดความแข็ง ซึ่งผลของการอ่านค่าจะเป็นตัวเลขดิจิตอล (Digital) โดยจะใช้ค่าที่ตัวเลขมีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 1 หลัก ในขณะที่เครื่องเปิดใช้ปกติแต่ยังไม่มีการทดสอบ ซึ่งกำหนดค่าแรงอ่านคงที่ 0 โดยค่า Resolution, r จะกำหนดจากค่าครึ่งหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงบวก 1 โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$\text{Resolution, r} = \left[\frac{F_{max} - F_{min}}{2} \right] + 1 \qquad (3.1)$$

จากสมการที่ 3.1 ค่า Resolution, r จะกำหนดจากค่าสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งจะไม่รวมถึงค่าผิดพลาดจากระบบควบคุมของเครื่อง โดยค่า Resolution,r ของเครื่องทดสอบแบบ Auto-Range จะต้องมีการกำหนดค่านี้ในแต่ละย่านการสอบเทียบ โดยจะมีหน่วยเดียวกับหน่วยแรงคือ นิวตัน (N)

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณหาค่า Relative Resolution

โดยค่า Relative Resolution, a จะคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$a = \frac{r}{F} \text{ x100} \qquad (3.2)$$

โดยจากสมการที่ 3.2 ค่า Relative Resolution จะต้องคำนวณในทุกย่าน (Range) ที่สอบเทียบ

ขั้นตอนที่ 4 การสอบเทียบแรงดึง/แรงกด

1. สอบเทียบแรงดึงประกอบชุดสอบเทียบกับเครื่องทดสอบโดยหลีกเลี่ยงการเกิดการดัดโค้งในขณะสอบเทียบ โดยประกอบตามมาตรฐาน ISO 376: 2004

2. สอบเทียบแรงกดจะใช้แท่นวางที่แน่นหนาและที่ด้านกดให้สอบเทียบแรงกดผ่านตัวรองรับที่เป็นมาตรฐาน ISO 376: 2004

โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการสอบเทียบจะต้องอยู่ระหว่าง 10 ถึง 35 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิระหว่างการสอบเทียบในแต่ละการทดสอบต้องไม่เปลี่ยนแปลงเกิน ±2 องศาเซลเซียส และต้องมีการบันทึกค่าลงในแบบฟอร์มบันทึกการสอบเทียบ จากนั้นทำการเตรียมความพร้อมของเครื่องทดสอบเทียบมาตรฐาน (UUC) หรือเครื่องวัดความแข็งโดยให้ทำการเพิ่มแรงในทิศทางที่จะสอบเทียบจาก "0" ถึงค่าแรงสูงสุดของการสอบเทียบ อย่างน้อย 3 รอบ

<u>กระบวนการเตรียมเครื่องทดสอบเทียบมาตรฐาน</u>

- ใช้เครื่องทดสอบเป็นตัวกำหนดค่าแรงของการสอบเทียบ และบันทึกค่าแรงจากเครื่องสอบเทียบมาตรฐานลงตาราง
- ใช้เครื่องสอบเทียบมาตรฐานเป็นตัวกำหนดค่าแรงของการสอบเทียบและบันทึกค่าแรงจากเครื่องทดสอบลงตาราง

<u>ขั้นตอนที่ 5</u> การกำหนดค่าแรงของการสอบเทียบ

การสอบเทียบจะต้องทำการสอบเทียบ 3 รอบ โดยการเพิ่มแรงในทิศทางที่ทำการสอบเทียบโดยการเพิ่มแรงจะกระทำทั้งหมด 5 ระดับ ซึ่งค่าการวัดและคำนวณจะต้องไม่เกินค่าของ Relative Error ต่างๆ

โดย

ค่า LLV (Lower Limit Value) หรือค่าต่ำสุดที่จะสอบเทียบได้ จะกำหนดโดยการคูณค่าความละเอียดของการอ่าน (Resolution, r) ด้วยค่าคงที่

- 400 for class 0.5
- 200 for class 1
- 100 for class 2
- 67 for class 3

หลังจบกระบวนการสอบเทียบให้เจ้าหน้าที่ดำเนินการคำนวณค่าในแต่ละระดับแรงของการสอบเทียบในตารางบันทึกผล

โดยก่อนทำการสอบเทียบจะต้องทำการปรับค่าการอ่านที่ 0 (Set Zero) ทุกครั้งก่อนการวัดหรืออ่านค่า โดยการอ่านจะทำหลังจากที่เจ้าหน้าที่สอบเทียบลดแรงในการสอบเทียบเป็น 0 และรอเป็นเวลา 30 วินาที ก่อนทำการบันทึก ซึ่งในกรณีนี้เครื่องสอบเทียบเป็นเครื่องที่อ่านค่าแบบเป็นตัวเลข

ขั้นตอนที่ 6 การคำนวณหาค่า relative zero error f_0 ในแต่ละรอบการวัด

โดยค่า relative zero error f_0 จะคำนวณได้จากสมการที่ 3.3

$$f_0 = \frac{F_{i0}}{F_N} \tag{3.3}$$

ขั้นตอนที่ 7 การคำนวณหาค่า Relative Reversibility error, V

โดยค่า Relative Reversibility error, V จะคำนวณได้จากสมการที่ 3.4

$$V = \frac{F_i - F}{\overline{F}} \text{ x100} \tag{3.4}$$

ขั้นตอนที่ 8 การประเมินค่าของตัวบอกแรงสอบเทียบ (Assessment of force indicator)

การคำนวณหาค่า Relative accuracy error, q จะคำนวณได้จากสมการที่ 3.5

$$q = \frac{F_i - \overline{F}}{\overline{F}} \tag{3.5}$$

การคำนวณหาค่า Relative repeatability error, b จะคำนวณได้จากสมการที่ 3.6

$$b = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{\overline{F}} \tag{3.6}$$

หลังจากคำนวณค่าตัวแปรทั้งหมดครบทุกขั้นตอนก็ทำการบันทึกผลลงในตารางการสอบเทียบแรงดึง/แรงกด และนำมาพิจารณาผลถึงเกณฑ์การยอมรับที่กำหนดขึ้นมาต่อไป

3.2.2 การประเมินค่าของการสอบเทียบแรงดึง/แรงกด

ในการสอบเทียบของเครื่องวัดความแข็งนั้นจะทำการสอบเทียบในห้องทดสอบโดยควบคุมอุณหภูมิที่ค่า 27.9 ± 2 องศาเซลเซียส ด้วยสภาพความชื้น 52 ± 15% RH โดยทำการทดสอบด้วยแรงกดที่ค่าแรงกดสูงสุดคือ 500 N โดยทำการสอบเทียบแรงกดด้วยค่าแรงดึง/แรงกด 5 ระดับ คือ 100 N, 200 N, 300 N, 400 N, และ 500 N

- **การสอบเทียบแรงดึง**

  โดยได้ทำการทดสอบแรงดึงก่อนซึ่งได้ผลการทดสอบ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ผลการสอบเทียบด้วยแรงดึง 100 N ถึง 500 N

ค่าแรงอ้างอิง	ค่าแรงทดสอบที่อ่านได้			ค่าเฉลี่ยของการวัด	ค่าความไม่แน่นอน (Expanded Uncertainty)	ค่าความไม่แน่นอน (Expanded Uncertainty)
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3			
	N	N	N	N	% (+/-)	N(+/-)
100	100.3	100.5	100.4	100.4	0.21	0.21
200	200.1	200.3	200.2	200.2	0.17	0.34
300	299.8	299.9	299.7	299.8	0.16	0.48
400	399.6	399.5	399.4	399.5	0.16	0.64
500	499.2	499.3	499.1	499.2	0.16	0.80

จากตารางที่ 3.2 จากการสอบเทียบค่าแรงทั้ง 5 ระดับ ด้วยการวัดซ้ำ 3 รอบ และทำการประมาณค่าความไม่แน่นอน (Expanded Uncertainty) โดยในการวัดที่ย่านต่างๆ โดยผลการวัดที่ได้จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นอยู่ในผลการวัดนั้นเสมอ เนื่องจากองค์ประกอบในการวัดแต่ละครั้ง รวมทั้งเครื่องมือวัดเองไม่สามารถอ่านค่าได้เท่าเดิมทุกครั้ง แม้ว่าจะวัดสิ่งที่แน่ใจว่ามีค่าเท่าเดิม ดังนั้นผลการวัดจะถูกต้องมากเพียงใด ขึ้นอยู่กับความสามารถบอกได้ถึงความไม่แน่นอนของผลการวัดในครั้งนั้นๆค่าความไม่แน่นอนของผลการวัด คือ ค่าที่บอกขนาดของการเบี่ยงเบนของผลการวัดที่ได้จากสิ่งที่เราต้องการวัด ค่าความไม่แน่นอนนี้จะบอกให้ทราบว่าค่าของสิ่งที่ถูกวัดนี้อยู่ภายในพิสัยเท่าใด ที่ระดับความเชื่อมั่นระดับหนึ่ง โดยค่าความไม่แน่นอนของการวัดนี้ ทดสอบด้วยความเชื่อมั่น 95% โดยการประมาณค่าความไม่แน่นอนได้ผลตามการสอบเทียบค่าแรงย่านต่างๆ

โดยค่าความไม่แน่นอนที่เป็น %(+/-) นั้นจะคิดคำนวณมาจากทางห้องทดลองซึ่งได้ค่าตามตารางที่ 3.2 และนำค่ามาแปลงให้เป็นค่า N(+/-) เพื่อให้ทราบถึงช่วงความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากการสอบเทียบ ดังสมการที่ 3.7

$$\text{ค่าความไม่แน่นอน } N(\pm) = \frac{\text{ค่าความไม่แน่นอน } \%(\pm)}{100} \times \text{ค่าแรงอ้างอิง} \quad (3.7)$$

จากนั้นนำค่าเฉลี่ยของการทดสอบทั้ง 3 รอบในแต่ละการสอบเทียบของย่านแรงอ้างอิงทั้ง 5 ระดับ มาทำการหาค่าความลำเอียง (Bias) จากสมการที่ 3.8

$$\text{ค่าความลำเอียง} = \text{ค่าเฉลี่ยของการวัด} - \text{ค่าอ้างอิง} \quad (3.8)$$

เมื่อทำการคำนวณค่าความลำเอียงแล้ว ก็จะได้ผลตามย่านแรงทดสอบ 5 ระดับ จากนั้นก็นำมา ± กับค่าความไม่แน่นอนเพื่อหาช่วงความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นจากการสอบเทียบ 5 ระดับ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ค่าความลำเอียงของย่านแรงดึงที่ทดสอบทั้ง 5 ระดับ

ค่าแรงอ้างอิง	ค่าเฉลี่ยของการวัด	ค่าความลำเอียง	ค่าความไม่แน่นอน, N(+/-)	ช่วงความไม่แน่นอน
100	100.4	0.4	0.21	(0.19, 0.61)
200	200.2	0.2	0.17	(0.03, 0.37)
300	299.8	-0.2	0.16	(-0.36,-0.04)
400	399.5	-0.5	0.16	(-0.66,-0.34)
500	499.2	-0.8	0.16	(-0.96,-0.64)

จากตารางที่ 3.3 ทางโรงงานได้กำหนดเกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้จากความไม่แน่นอนไว้ที่ช่วง ± 1N ของการสอบเทียบแรงดึง ซึ่งจากผลของตารางนั้นทุกย่านการสอบเทียบไม่เกินช่วง ± 1N ทำให้สามารถยอมรับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นได้จากการสอบเทียบแรงดึง

จากนั้นนำค่าจากตารางที่ 3.2 มาทำการประเมินตามมาตรฐาน ISO 7500-1:2004 เพื่อจัดระดับ (Class) ของเครื่องวัดความแข็งในแต่ละย่านการทดสอบแรงดึง/แรงกดต่อไป โดยได้คำนวณค่าตัวแปรต่างๆจากขั้นตอนการสอบเทียบของมาตรฐาน ISO 7500-1:2004 ได้ผลดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การจัดระดับในแต่ละย่านการสอบเทียบแรงดึง

ค่าแรงอ้างอิง	ค่าความผิดพลาด (%)				ค่าแรง Relative Resolution, a	ระดับ
N	ความถูกต้อง q	การซ้ำซ้ำ b	การซ้ำย้อนกลับ v	ค่าความผิดพลาดของแรงที่เกิดจากการวัดของระบบ (Zero, f0)	(%)	
100	-0.4	0.2	-0.3	0	1	2
200	-0.1	0.1	-0.3	0	0.5	1
300	0.07	0.07	0.07	0	0.33	1
400	0.13	0.05	0.18	0	0.25	0.5
500	0.16	0.04	N/A	0	0.2	0.5

จากตารางที่ 3.4 การจัดระดับของย่านแรงอ้างอิงแต่ละค่านั้นจะอ้างอิงจากตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การจัดระดับของเครื่องจักร

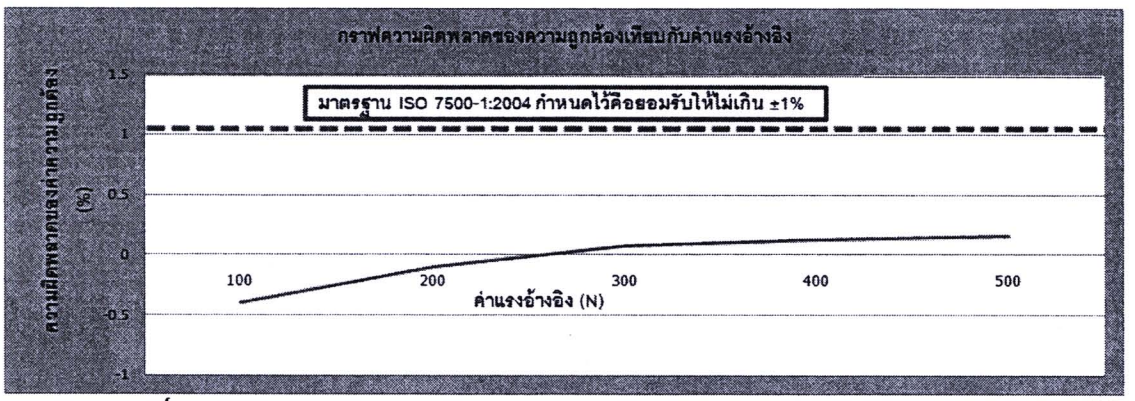
Class of machine range	Maximum permissible value (%)				
	Relative error of				Relative resolution
	accuracy q	repeatability b	revesibility v	zero f_0	a
0.5	± 0.5	0.5	± 0.75	± 0.05	0.25
1	± 1.0	1	± 1.5	± 0.1	0.5
2	± 2.0	2	± 3.0	± 0.2	1
3	± 3.0	3	± 4.5	± 0.3	1.5

จากตารางที่ 3.5 นั้น จะพิจารณาจากค่าแรงอ้างอิงในแต่ละครั้งของการสอบเทียบโดยจะพิจารณาที่ค่า q, b, v, f_0 และ a เทียบกับตารางการจัดระดับของเครื่องจักรว่าค่าในการสอบเทียบแต่ละย่านนั้นอยู่ช่วงที่ไม่เกินค่าในตารางการจัดระดับของเครื่องจักร โดยระดับของเครื่องจักรยิ่งน้อยยิ่งบอกถึงความผิดพลาดจากการสอบเทียบน้อย หรือกล่าวได้ว่าค่าระดับของเครื่องจักรที่ 0.5 ถือว่าดีที่สุด

แต่ในปัจจุบันค่าระดับของเครื่องจักรจะไม่ค่อยมีการนำมาพิจารณา เพราะส่วนมากจะทำการพิจารณาที่ค่า Relative error of accuracy, q และช่วงความไม่แน่นอนแทน โดยทางห้องสอบเทียบที่ทำการสอบเทียบต้องกำหนดมาว่าต้องให้ค่า q ไม่เกินค่าที่เท่าใด โดยในการสอบเทียบเครื่องวัดความแข็งของแยมนั้นได้กำหนดให้มีค่า q ไม่เกิน ±1% จึงจะถือว่าผ่านเกณฑ์ ดังนั้นค่า

ระดับของเครื่องจักรเป็นแค่การแสดงให้เห็นว่าการสอบเทียบของแต่ละย่านแรงมีค่าระดับของเครื่องจักรอยู่ที่ระดับใดเท่านั้น

ดังนั้นจึงทำการแสดงผล % ความผิดพลาดของความถูกต้องเทียบกับย่านค่าแรงอ้างอิงที่ใช้สอบเทียบ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กราฟความผิดพลาดของค่าความถูกต้องแรงดึงเทียบกับค่าแรงอ้างอิง

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าค่าความผิดพลาดของค่าความถูกต้องนั้นที่ย่านค่าแรงอ้างอิงทั้ง 5 ระดับ ไม่มีค่าใดที่เกินตามที่มาตรฐาน ISO 7500-1:2004 กำหนดไว้นั่นคือยอมรับให้ไม่เกิน ±1% ซึ่งถือว่าการสอบเทียบเครื่องวัดความแข็งด้วยแรงดึงผ่านมาตรฐาน

- **การสอบเทียบแรงกด**

  ต่อมาทำการทดสอบแรงกดซึ่งได้ผลการทดสอบ ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ผลการสอบเทียบด้วยแรงกด 100 N ถึง 500 N

ค่าแรงอ้างอิง (Indicated Force)	ค่าแรงทดสอบที่อ่านได้			ค่าเฉลี่ยของการวัด	ค่าความไม่แน่นอน (Expanded Uncertainty)	ค่าความไม่แน่นอน (Expanded Uncertainty)
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3			
	N	N	N	N	% (+/-)	N(+/-)
100	100.2	100.3	100.5	100.33	0.32	0.32
200	200.4	200.6	200.7	200.57	0.17	0.34
300	300.8	301.1	301.2	301.03	0.16	0.48
400	401	401.3	401.2	401.17	0.14	0.56
500	501.5	501.6	501.7	501.6	0.13	0.67

จากนั้นก็ทำการหาช่วงความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในการสอบเทียบด้วยแรงกด ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 ค่าความลำเอียงของย่านแรงกดที่ทดสอบทั้ง 5 ระดับ

ค่าแรงอ้างอิง	ค่าเฉลี่ยของการวัด	ค่าความลำเอียง	ค่าความไม่แน่นอน, N(+/-)	ช่วงความไม่แน่นอน
100	100.33	0.33	0.32	(0.01, 0.65)
200	200.57	0.57	0.34	(0.23, 0.91)
300	301.03	1.03	0.48	(0.55, 1.51)
400	401.17	1.17	0.56	(0.61, 1.73)
500	501.6	1.6	0.67	(0.93, 2.27)

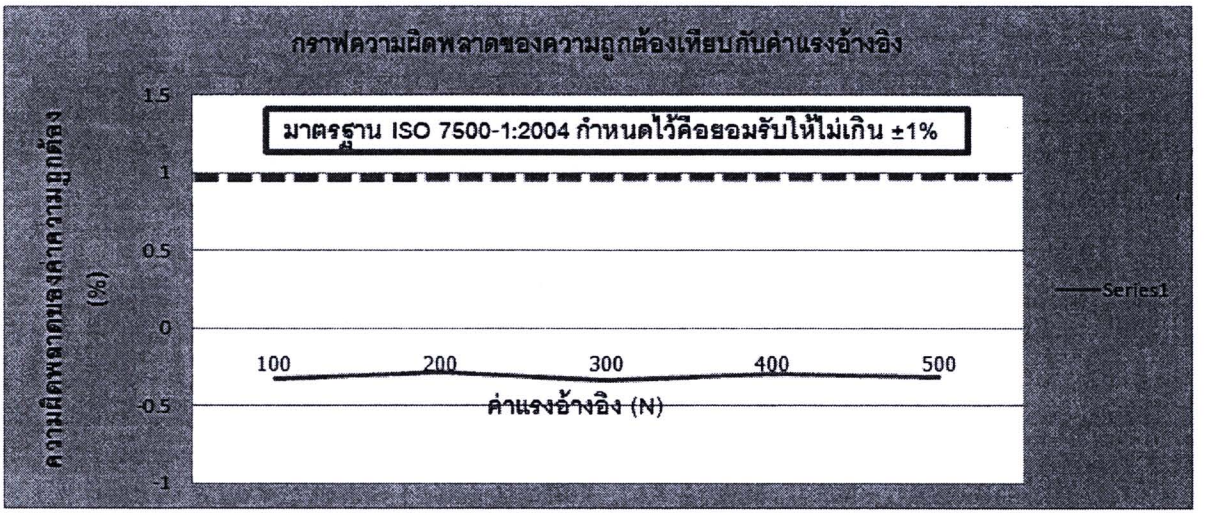
จากตารางที่ 3.7 ทางโรงงานได้กำหนดเกณฑ์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้จากความไม่แน่นอนไว้ที่ช่วง ± 2.5N ของการสอบเทียบแรงกด ซึ่งจากผลของตารางนั้นทุกย่านการสอบเทียบไม่เกินช่วง ± 2.5N ซึ่งสาเหตุที่ต้องกำหนดเกณฑ์ให้มากกว่าแรงดึงเพราะค่าความแปรปรวนจากแรงกดนั้นมีมากกว่าแรงดึงเนื่องจากเนื้อสัมผัสที่จะนำเครื่องวัดความแข็งไปใช้งานนั้นเป็นเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกันและมีความแปรปรวนสูงจึงทำให้ต้องกำหนดเกณฑ์การยอมรับที่ ± 2.5N ดังนั้นจึงสามารถยอมรับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นได้จากการสอบเทียบแรงกดครั้งนี้

จากนั้นนำค่าจากตารางที่ 3.5 มาทำการประเมินตามมาตรฐาน ISO 7500-1:2004 เพื่อจัดระดับของเครื่องวัดความแข็งในแต่ละย่านการทดสอบแรงกดต่อไป โดยได้คำนวณค่าตัวแปรต่างๆจากขั้นตอนการสอบเทียบของมาตรฐาน ISO 7500-1:2004 ได้ผล ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การจัดระดับในแต่ละย่านการสอบเทียบแรงกด

ค่าแรงอ้างอิง	ค่าความผิดพลาด (%)				ค่าแรง Relative Resolution, a	ระดับ
N	ความถูกต้อง q	การอ่านซ้ำ b	การอ่านย้อนกลับ v	ค่าความผิดพลาดของแรงที่เกิดจากการวัดของระบบ (Zero, fo)	(%)	
100	-0.33	0.32	-0.3	0	1	2
200	-0.28	0.15	-0.2	0	0.5	1
300	-0.34	0.13	-0.17	0	0.33	1
400	-0.29	0.07	-0.22	0	0.25	0.5
500	-0.32	0.04	N/A	0	0.2	0.5

จากนั้นแสดงผล % ความผิดพลาดของความถูกต้องเทียบกับย่านค่าแรงอ้างอิงที่ใช้สอบเทียบ ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กราฟความผิดพลาดของค่าความถูกต้องแรงกดเทียบกับค่าแรงอ้างอิง

3.2.3 สรุปผลการสอบเทียบแรงดึง/แรงกด

จากผลการสอบเทียบเครื่องวัดความแข็งทั้งแรงดึง/แรงกด โดยการสอบเทียบนั้นทำภายในห้องสอบเทียบที่อุณหภูมิที่ 27.9 ± 2 องศา และความชื้น 52 ± 15% ความชื้นสัมพัทธ์ โดยสรุปผลการสอบเทียบแรงดึง เป็นตารางแสดงผล ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ผลการสอบเทียบแรงดึง

ค่าแรงดึงอ้างอิง(N)	ช่วงความไม่แน่นอน *(เกณฑ์ยอมรับไม่เกิน ±1 N)*	ค่าความผิดพลาดของความถูกต้อง *(เกณฑ์ยอมรับไม่เกิน ±1%)*	ระดับ (Class)	สรุปการสอบเทียบ (Conclusion)
100	(0.19, 0.61)	-0.4	2	ผ่าน
200	(0.03, 0.37)	-0.1	1	ผ่าน
300	(-0.36,-0.04)	0.07	1	ผ่าน
400	(-0.66,-0.34)	0.13	0.5	ผ่าน
500	(-0.96,-0.64)	0.16	0.5	ผ่าน

การสอบเทียบแรงกดสรุปเป็นตารางแสดงผล ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ผลการสอบเทียบแรงกด

ค่าแรงกดอ้างอิง(N)	ช่วงความไม่แน่นอน (เกณฑ์ยอมรับไม่เกิน ±2.5 N)	ค่าความผิดพลาดของความถูกต้อง (เกณฑ์ยอมรับไม่เกิน ±1%)	ระดับ (Class)	สรุปการสอบเทียบ (Conclusion)
100	(0.01, 0.65)	-0.33	2	ผ่าน
200	(0.23, 0.91)	-0.28	1	ผ่าน
300	(0.55, 1.51)	-0.34	1	ผ่าน
400	(0.61, 1.73)	-0.29	0.5	ผ่าน
500	(0.93, 2.27)	-0.32	0.5	ผ่าน

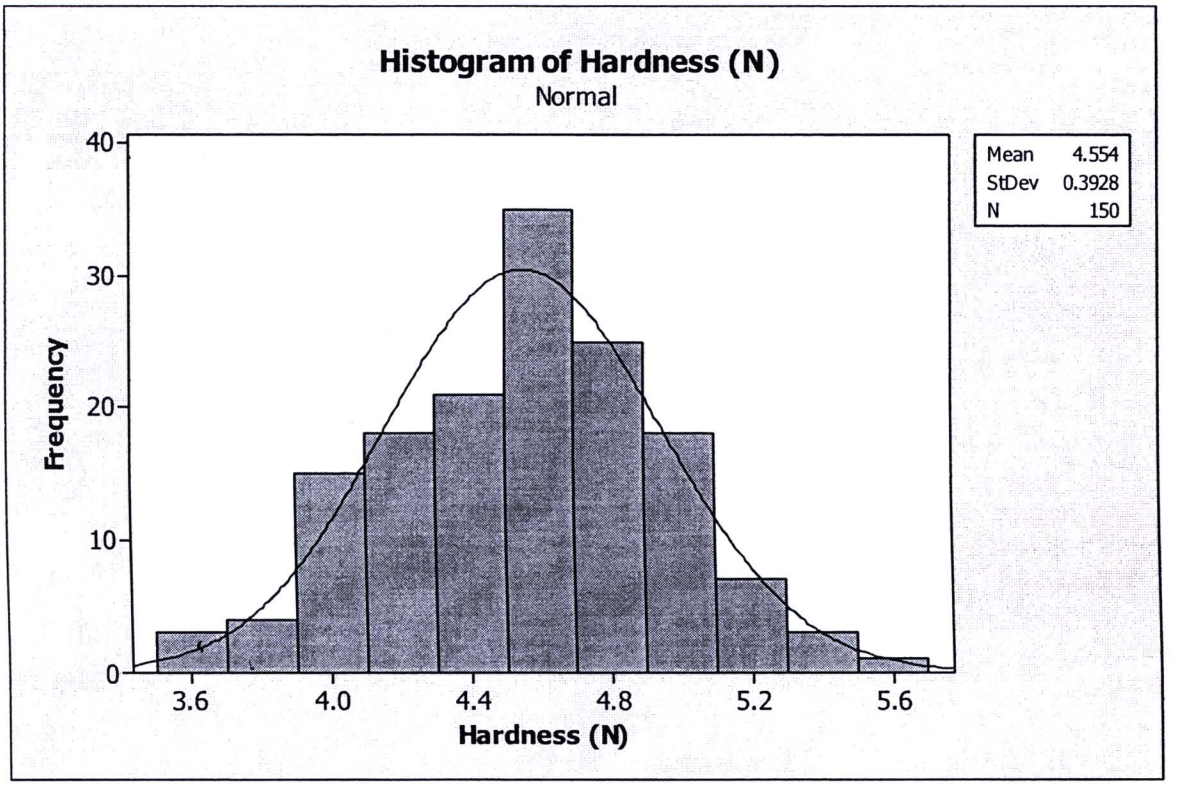
จากตารางที่ 3.9 และ 3.10 สามารถสรุปได้ว่าการสอบเทียบแรงดึง/แรงกด นั้นผ่านเกณฑ์การยอมรับด้วยมาตรฐาน ISO 7500-1:2004 ดังนั้นจึงถือว่าเครื่องวัดความแข็งนั้นเป็นเครื่องที่เชื่อถือได้

3.2.4 ขั้นตอนการหาขีดจำกัดข้อกำหนด

ทำการหาขีดจำกัดข้อกำหนดของความแข็งของแยมด้วยวิธีการประเมินทางประสาทสัมผัส เพื่อนำมาเป็นมาตรฐานในการควบคุมความแข็งของแยม จากนั้นจะทำการวิเคราะห์ถึงความสามารถของกระบวนการความแข็งของแยมปัจจุบันเมื่อเทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนด และวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาต่อไป ดังนี้

3.2.5 การวัดค่าการกระจายตัวความแข็งของแยม

ทำการวัดค่าความแข็งของแยมที่ทำให้แยมเกิดปัญหาคือ เนื้อแยมมีความแข็งมากเกินไป ทำให้ปาดยาก โดยทำการสุ่มแยมเพื่อมาวัดค่าความแข็ง 150 ขวด เพื่อดูค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและนำมาวิเคราะห์ดูว่ากระบวนการผลิตแยมปัจจุบันนี้มีค่าความแข็งของแยมกระจายตัวเป็นอย่างไร ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การกระจายตัว (Distribution) ค่าความแข็งของแยมในปัจจุบัน

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นว่าในปัจจุบันการผลิตแยมนั้นมีค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมเท่ากับ 4.554 นิวตัน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.3928 นิวตัน ซึ่งยังไม่สามารถรู้ได้ว่าปัญหาความแข็งของแยมในปัจจุบันนั้นเกิดจากค่าเฉลี่ยหรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนั้นขั้นตอนต่อไปจึงทำการหาขีดจำกัดข้อกำหนดความแข็งของแยม เพื่อดูว่าการกระจายตัวของความแข็งของแยมในปัจจุบันเป็นปัญหามาจากสาเหตุอะไร

3.2.6 **การทดสอบประสาทสัมผัสเชิงพรรณนา** (Descriptive Sensory Test)

การทดสอบทางประสาทสัมผัสที่ใช้เป็นการทดสอบลักษณะของอาหารหรือองค์ประกอบในรูปการจำแนก การอธิบาย หรือการหาปริมาณ โดยใช้คนที่ได้รับการฝึกฝนมาโดยเฉพาะ (Einstein, 1991) ซึ่งการทดสอบดังกล่าวก็เพื่อจะนำไปประยุกต์หาขีดจำกัดข้อกำหนดของแยมต่อไป

การทดสอบเชิงพรรณนามีอยู่หลายประเภท โดยในการทดสอบครั้งนี้จะใช้วิธีการทดสอบประเภทเนื้อสัมผัส (Texture Profile) ด้วยวิธีการปาดเนื้อสัมผัสแยม (เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, 2536)

โดยมีขั้นตอนการทดสอบเนื้อสัมผัส ดังนี้

1. การคัดเลือกผู้ทดสอบ (Selection of the panelists)
2. การฝึกฝนผู้ทดสอบ (Training)
3. การทดสอบ (Testing)
4. การวิเคราะห์ผลและรายงานผล (Analysis and reporting)

ขั้นตอนที่ 1 การคัดเลือกผู้ทดสอบ

ผู้ทดส์อบถือเป็นกลุ่มบุคคลที่มีความสำคัญต่อการทดสอบคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โดย การทดสอบครั้งนี้จะเป็นการทดสอบเนื้อสัมผัส โดยทำการเลือกผู้ทดสอบจากวิธีการทดสอบเนื้อสัมผัสคือต้องมีผู้ทดสอบที่สามารถจำแนกเนื้อสัมผัสได้ 6-9 คน (Civille and Szczesnaik, 1973) ดังนั้นจึงจัดทำแบบสอบถามเพื่อคัดเลือกผู้ฝึกฝนผู้ทดสอบการปาดแยมจากบุคคลทั้งสิ้น 19 คน ด้วยแบบสอบถามความคิดเห็นผู้บริโภคผลิตภัณฑ์แยม (ภาคผนวก ก.)

โดยจากแบบฟอร์มดังกล่าว จะทำการคัดเลือกผู้มาฝึกฝนการปาดแยม โดยจะพิจารณาจากแบบสอบถาม (ภาคผนวก ก.) ส่วนที่ 2 โดยใช้เกณฑ์คัดเลือก ดังนี้

1. ต้องชอบรับประทานแยม
2. รสชาติแยมที่ชอบต้องเป็นรสสตรอเบอรี่
3. ความถี่ในการรับประทานต้องอาทิตย์ละครั้ง

โดยจากเกณฑ์ดังกล่าวได้ทำการคัดเลือกบุคคลมาทั้งหมด 19 คน และคัดเลือกได้ 8 คน หรือคิดเป็น 42.11% ของผู้ทำแบบสอบถามทั้งหมด เพื่อนำไปฝึกฝนเป็นผู้ทดสอบการปาดแยมต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 การฝึกฝนผู้ทดสอบ

เมื่อได้ผู้ทดสอบทั้ง 8 คนแล้ว ก็จะทำการฝึกอบรม และฝึกฝน เพื่อให้ผู้ทดสอบมีความคุ้นเคยกับการทดสอบ โดยจะทำการฝึกฝนความรู้พื้นฐานเบื้องต้นรวมไปถึงการรับรู้เนื้อสัมผัส โดยในการทดสอบครั้งนี้จะใช้ช้อนในการปาดเนื้อแยมลงบนเนื้อขนมปังแผ่น โดยการปาดเนื้อแยมลงบนเนื้อขนมปังแผ่นนั้นจะกำหนดวิธีทดสอบที่เป็นมาตรฐานเดียวกันเพื่อให้ผู้ทดสอบทำการปาดแยมด้วยวิธีการปาดแบบเดียวกัน เพื่อสามารถประเมินคุณลักษณะต่างๆได้อย่างถูกต้อง จากนั้นจึงเริ่มที่จะทดสอบปาดเนื้อแยมจริงและใส่ค่าตัวเลขความรู้สึกลงในสเกลมาตรฐาน หรือสเกลเส้น (Line Scale) ที่มีความยาว 15 เซนติเมตร (ภาคผนวก ข.) ซึ่งจะมีระดับความแข็งของเนื้อแยมมาให้เป็นสเกลเซนติเมตร เพื่อที่จะให้ผู้ทดสอบสามารถให้ระดับความแข็งของแยมได้อย่างถูกต้อง โดยในการทดสอบกับสเกลมาตรฐานนั้นจะกำหนดตัวอย่างอ้างอิง (Reference) เพื่อลดความแปรปรวนของการทดสอบ โดยในการทดสอบครั้งนี้จะใช้ตัวอย่างอ้างอิงคือ เนยถั่วลิสง ครีมชีส และมายองเนส (เพ็ญขวัญ ชมปรีดา, 2536)

จากแบบฟอร์มการทดสอบการปาดแยมด้วยสเกลมาตรฐานนั้น ผู้ทดสอบทั้ง 8 คนจะทำการปาดตัวอย่างอ้างอิงก่อนเพื่อให้จำและรู้สึกแบบเดียวกันว่าแต่ละตัวอย่างอ้างอิงนั้นมีค่าสเกลความแข็งเป็นค่าคงที่ เพื่อให้ผู้ทดสอบทั้ง 8 คนเข้าใจและรู้สึกถึงความแข็งของตัวอย่างอ้างอิงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จากนั้นจะทำการทดสอบแยมที่ค่าความแข็ง 4 ค่า โดยทำการทดสอบเป็นระยะเวลา 3 เดือน

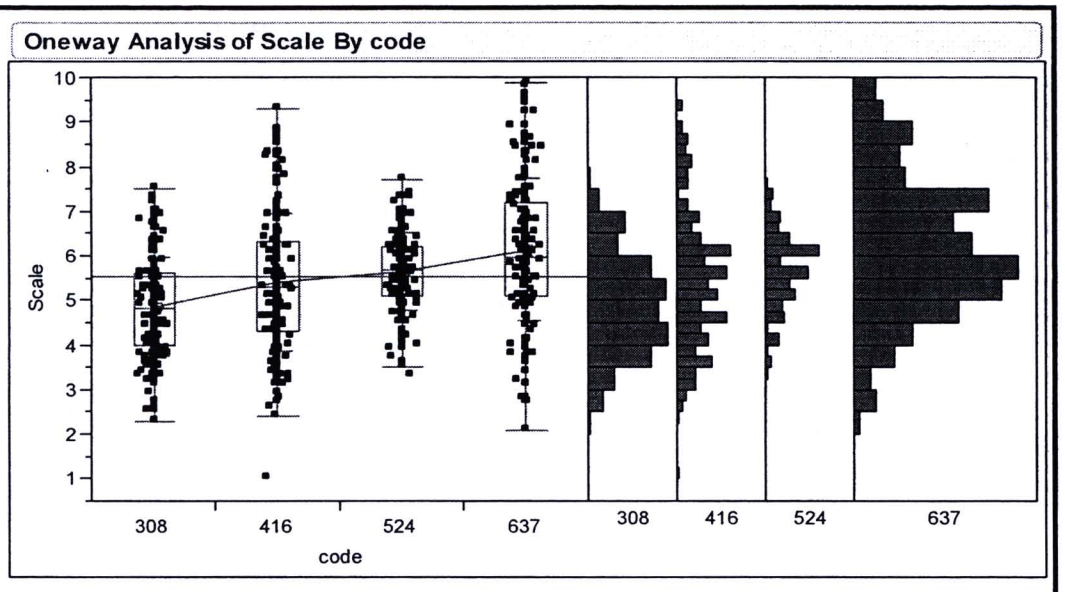
โดยจากการทดสอบจะทำรหัส (Code) ของตัวอย่างอ้างอิงและแยมที่ย่านค่าความแข็งต่างๆ 4 ค่า เพื่อให้ผู้ทดสอบไม่ทราบค่าความแข็งของแยม โดยกำหนดรหัส ดังนี้

- เนยถั่วลิสง ใช้รหัส 469 กำหนดค่าสเกลตามสเกลมาตรฐานที่ 7.5 เซนติเมตร
- ครีมชีส ใช้รหัส 781 กำหนดค่าสเกลตามสเกลมาตรฐานที่ 10 เซนติเมตร
- มายองเนส ใช้รหัส 703 กำหนดค่าสเกลตามสเกลมาตรฐานที่ 13 เซนติเมตร
- แยมขวดที่หนึ่ง ใช้รหัส 308 ค่าความแข็งของแยมที่ 0.31 นิวตัน
- แยมขวดที่สอง ใช้รหัส 416 ค่าความแข็งของแยมที่ 0.41 นิวตัน
- แยมขวดที่สาม ใช้รหัส 524 ค่าความแข็งของแยมที่ 0.52 นิวตัน
- แยมขวดที่สี่ ใช้รหัส 637 ค่าความแข็งของแยมที่ 0.63 นิวตัน

หลังจากทำการทดสอบด้วยสเกลมาตรฐานเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยทำการทดสอบเดือนละ 8 ครั้ง ด้วยแยม 4 ค่าต่างๆที่ทำรหัสแทนค่าความแข็งของแยมเพื่อให้ผู้ทดสอบไม่ทราบค่าของแยมที่แท้จริง โดยใช้ผู้ทดสอบ 8 คน ดังนั้นค่าแยม 1 ค่าจะมีจำนวนครั้งของการทดสอบ ดังนี้

(แยม 1 ค่าจะใช้วัดเดือนละ 8 ครั้ง) x (ระยะเวลาทดสอบ3 เดือน)
x (ผู้ทดสอบ 8 คน) = 192 ครั้ง

จากการทดสอบแยมทั้ง 4 ค่า เป็นระยะเวลา 3 เดือน ของผู้ทดสอบ 8 คน สามารถสรุปผลออกมา ดังรูปที่ 3.4



Means and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
308	192	4.85104	1.12282	0.08103	4.6912	5.0109
416	192	5.41146	1.56020	0.11260	5.1894	5.6336
524	192	5.63906	0.86387	0.06234	5.5161	5.7620
637	192	6.13385	1.59073	0.11480	5.9074	6.3603

รูปที่ 3.4 กราฟเปรียบเทียบแยมทั้ง 4 ค่า ที่ทำการทดสอบด้วยสเกลมาตรฐาน

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่าแยมในแต่ละค่าทั้ง 4 ค่านั้น ที่คนทดสอบทั้ง 8 คนนั้นสามารถอ่านได้ สามารถสรุปดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 สรุปผลค่าสเกลที่อ่านได้จากแยมทั้ง 4 ค่า

รหัส	ค่าความแข็งของแยม (นิวตัน)	ค่าสเกลที่สรุป (เซนติเมตร)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (เซนติเมตร)
308	0.31	4.9	1.2
416	0.41	5.5	1.5
524	0.52	5.8	0.8
637	0.63	6	1.8

จากตารางที่ 3.11 เมื่อแยมทั้ง 4 ค่าที่ทำการอ่านนั้น มีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ต่างกันออกไป โดยจากตัวอย่างแยมที่รหัส 308 มีผู้ทดสอบที่อ่านไม่ตรงกันโดยมีค่าค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 1.2 เซนติเมตร ซึ่งหลังจากที่ได้ผลสรุปออกมาแล้วนั้น จะทำการประชุมเพื่อแสดงความคิดเห็นส่วนใหญ่ (Consensus) ของผู้ทดสอบทั้ง 8 คน เพื่อลงความเห็นค่าสเกลที่เป็นค่าเดียวที่เห็นด้วยและยอมรับของผู้ทดสอบทั้ง 8 คน ของแยมรหัสต่างๆ ว่าควรเป็นค่าเท่าไหร่ ซึ่งหลังจากที่ทำการลงความเห็นส่วนใหญ่แล้วจึงสามารถสรุปดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 สรุปผลค่าสเกลที่อ่านได้จากแยมทั้ง 4 ค่า หลังจากลงความเห็นส่วนใหญ่

รหัส	ค่าความแข็งของแยม (นิวตัน)	ค่าสเกลที่สรุป (เซนติเมตร)
308	0.31	5
416	0.41	5.5
524	0.52	6
637	0.63	6.5

จากตารางที่ 3.12 หลังจากที่ได้ลงความเห็นเป็นค่าสเกลของแยมทั้ง 4 ค่า ก็จะทำการทดสอบซ้ำอีกหนึ่งรอบ เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของผู้ทดสอบ โดยทำการสลับรหัสเพื่อลดความลำเอียงจากการวัดสเกล เพื่อต้องการยืนยันผลอีกครั้ง ซึ่งผลจากการทดสอบดังกล่าวก็จะสามารถยืนยันได้ว่าผู้ทดสอบทั้ง 8 คนสามารถอ่านค่าแยมต่างๆได้ในทิศทางเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 3 การทดสอบ

หลังจากที่ทำการทดสอบผู้ฝึกฝนทั้ง 8 คน พบว่าสามารถอ่านแยมไปในทิศทางเดียวกันแล้วนั้น จึงทำการทดสอบการวัดอีกครั้งเพื่อพิจารณาว่า แต่ละผู้ทดสอบมีความสามารถในการอ่านซ้ำ (Repeatability) ค่าแยมด้วยสเกลมาตรฐาน และความสามารถในการทำซ้ำของผู้วัดทั้ง 8 คน ที่ชิ้นงานเดียวกัน (Reproducibility) โดยในกรณีนี้จะทำการทดสอบผู้ทดสอบด้วยการวิเคราะห์ความสามารถของระบบการวัด (Gauge R&R) โดยทำการเก็บข้อมูลจากตัวอย่างแยม 4 ตัวอย่าง และเนยถั่วลิสง 1 ตัวอย่าง ด้วยผู้ทดสอบระบบการวัดทั้ง 8 คน จะทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง ทดสอบกับสเกลมาตรฐาน 15 เซนติเมตร ดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 การเก็บข้อมูลทดสอบระบบการวัดทั้ง 8 คน

ตัวอย่างทดสอบ	ผู้ทดสอบคนที่ 1			ผู้ทดสอบคนที่ 2			ผู้ทดสอบคนที่ 3			ผู้ทดสอบคนที่ 4		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	5	5	5	4.8	5	5.1	5	5	5	4.7	5.3	5
2	5.5	5.5	5.5	5.3	5.8	5.5	5.5	5.3	5.5	5.7	5.5	5.5
3	6	5.8	6	6	6	5.8	6	6	6.3	6	6	5.7
4	6.5	6.5	6.3	6.5	6.3	6.5	6.5	6.5	6.5	6.3	6.5	6.5
5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5

ตารางที่ 3.13(ต่อ) การเก็บข้อมูลทดสอบระบบการวัดทั้ง 8 คน

ตัวอย่างทดสอบ	ผู้ทดสอบคนที่ 5			ผู้ทดสอบคนที่ 6			ผู้ทดสอบคนที่ 7			ผู้ทดสอบคนที่ 8		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1	5	5.3	5	5	5	5.1	5	5	5	4.7	5	5
2	5.5	5.3	5.5	5.5	5.8	5.5	5.5	5.5	5.5	5.7	5.5	5.6
3	6	5.8	6	5.8	6	5.8	5.8	6	6.3	6	6	6
4	6.4	6.5	6.3	6.4	6.3	6.5	6.5	6.7	6.5	6.3	6.3	6.5
5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5

จากตารางที่ 3.13 ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์และแสดงผลออกมา ดังรูปที่ 3.5

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	4	87.3588	21.8397	1835.45	0.000
Operator	7	0.0343	0.0049	0.41	0.887
Part * Operator	28	0.3332	0.0119	0.82	0.723
Repeatability	80	1.1667	0.0146		
Total	119	88.8930			

Alpha to remove interaction term = 0.25

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Part	4	87.3588	21.8397	1572.63	0.000
Operator	7	0.0343	0.0049	0.35	0.927
Repeatability	108	1.4998	0.0139		
Total	119	88.8930			

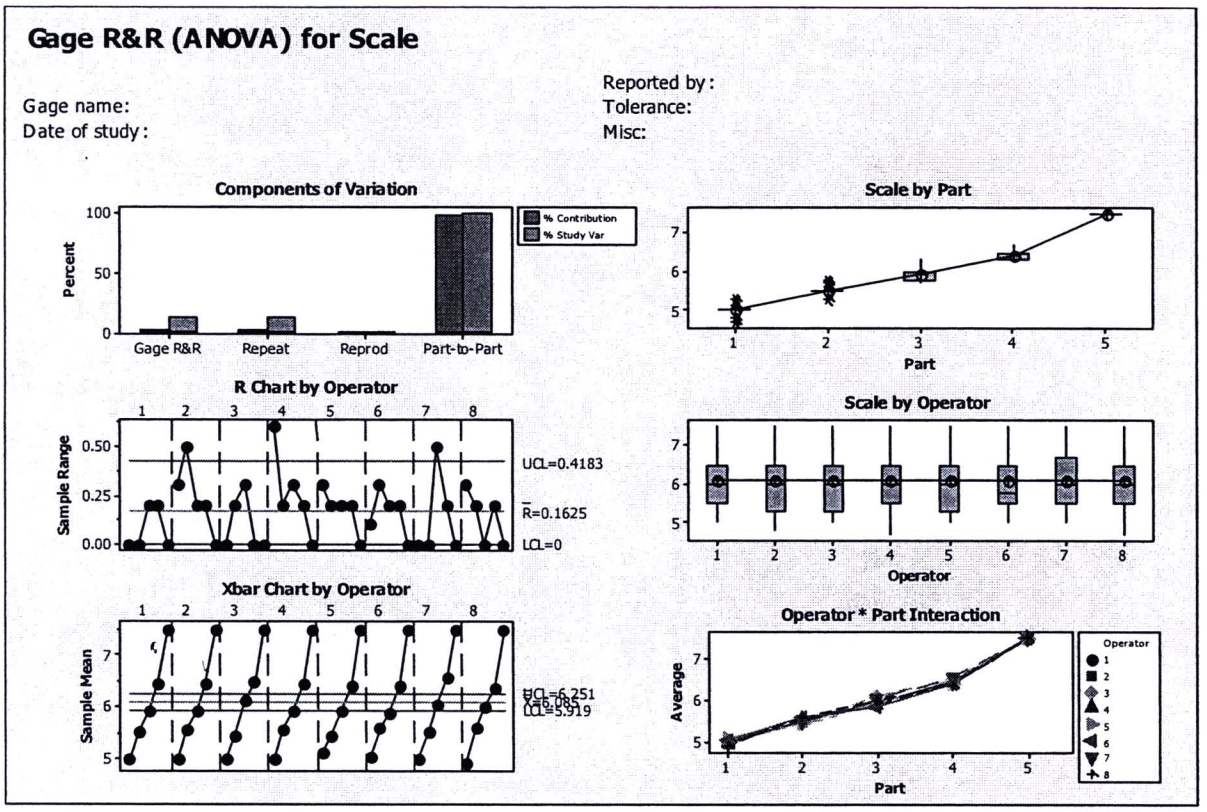
Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.013887	1.50
Repeatability	0.013887	1.50
Reproducibility	0.000000	0.00
Operator	0.000000	0.00
Part-To-Part	0.909409	98.50
Total Variation	0.923297	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.117845	0.70707	12.26
Repeatability	0.117845	0.70707	12.26
Reproducibility	0.000000	0.00000	0.00
Operator	0.000000	0.00000	0.00
Part-To-Part	0.953629	5.72178	99.25
Total Variation	0.960883	5.76530	100.00

Number of Distinct Categories = 11

Gage R&R for Scale



รูปที่ 3.5 กราฟแสดงผลการทดสอบระบบการวัด

จากรูปที่ 3.5 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 สรุปผลการทดสอบระบบการวัด

	ผลลัพธ์	ดี	ควรระมัดระวัง	อันตราย
%P/TV	12.26	ต่ำกว่า 15%	15 ถึง 30%	มากกว่า 30%
%Contribution	1.5	ต่ำกว่า 2%	2 ถึง 7.7%	มากกว่า 7.7%
Number Of Distinct Categories	11	มากกว่า 10	5 ถึง 10	น้อยกว่า 5

โดย

- % P/TV คือการเปรียบเทียบของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัด Gauge R&R เทียบกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของระบบการวัดทั้งหมด

- % Contribution คือการเปรียบเทียบของค่าความแปรปรวนของระบบการวัด Gauge R&R เทียบกับค่าความแปรปรวนของระบบการวัดทั้งหมด หรือเป็นบอกว่าระบบการวัดผู้ทดสอบส่งผลต่อกระบวนการมากน้อยอย่างไร
- Number Of Distinct Categories คือความสามารถในการแยกความแตกต่างของระบบการวัด

จากตารางที่ 3.14 สามารถสรุปได้ว่าระบบการวัดหรือผู้ทดสอบนั้นผ่านเกณฑ์การยอมรับหรือสามารถเชื่อถือระบบการวัดนี้ได้ ดังนั้นในขั้นตอนนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าผู้ทดสอบได้ผ่านเกณฑ์การยอมรับแล้วว่าเชื่อถือได้

ขั้นตอนที่ 4 การวิเคราะห์ผลและรายงานผล

จากขั้นตอนการคัดเลือกผู้ทดสอบและขั้นตอนการฝึกฝนจนรวมไปถึงขั้นตอนการทดสอบจริงเพื่อดูระบบการวัดของผู้ทดสอบว่ามีความเชื่อถือจริงหรือไม่ สามารถสรุปผลออกมาได้ว่า ผู้ทดสอบทั้ง 8 คนนั้นผ่านเกณฑ์การยอมรับจากทุกขั้นตอนที่ผ่านมา

ดังนั้นผู้ทดสอบทั้ง 8 คนจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาขีดจำกัดข้อกำหนด ความแข็งของแยมต่อไป

3.2.7 การทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยวิธีทดสอบ Just About Right Scale (JAR) ของผู้ที่ผ่านการคัดเลือกทั้ง 8 คน

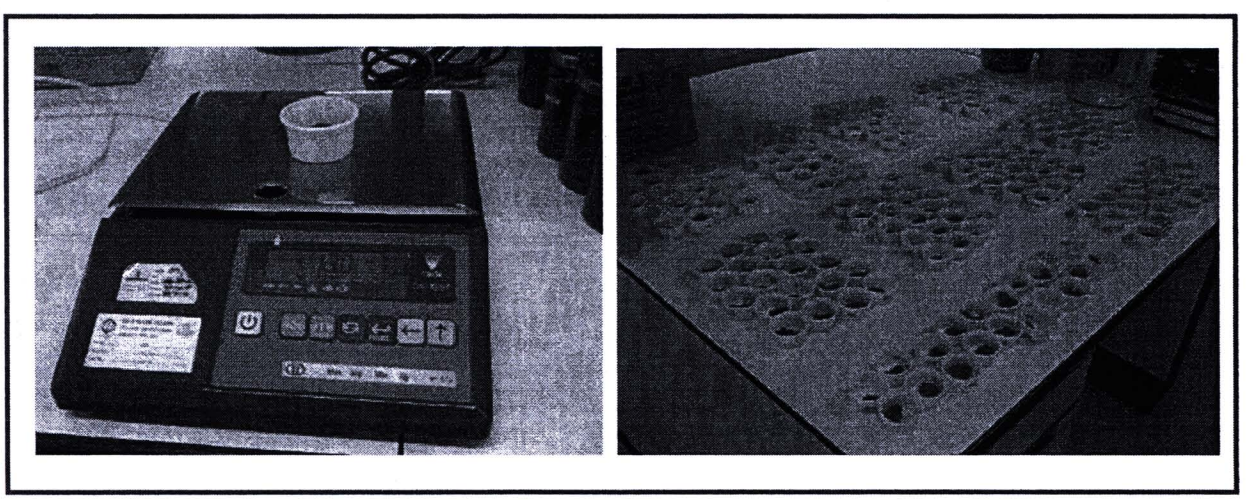
หลังจากได้ทำการฝึกฝนผู้ทดสอบจนสามารถผ่านเกณฑ์ยอมรับเชื่อถือได้แล้วนั้น จึงเปรียบเสมือนผู้ทดสอบทั้ง 8 คน เป็นเครื่องมือวัดชนิดหนึ่ง ซึ่งขั้นตอนต่อมาจะทำการทดสอบแยมด้วยย่านค่าความแข็งต่างๆเพื่อนำช่วงค่าเหล่านั้นไปทำการทดสอบกับผู้บริโภคภายนอกอีก 100 คน (Cross et al., 1978; Gatchalian, 1981) เพื่อหาขีดจำกัดข้อกำหนดต่อไป

โดยได้ทำการกำหนดความแข็งของแยมไว้ 10 ค่า (นิวตัน) และได้ทำการทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยวิธีทดสอบประสาทสัมผัส JAR โดยกำหนดสเกลไว้ 3 ค่า คือ นิ่มเกินไป พอดี และแข็งมากไป และได้ทำการติดรหัสของค่าความแข็งของแยมต่างๆบนถ้วยแยมเอาไว้ ดังตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.15 รหัสแยมบนค่าความแข็งของแยมทั้ง 10 ค่า

ความแข็งแยม(นิวตัน)	กลุ่มความแข็งแยม	รหัสบนถ้วยแยม							
		ถ้วยที่ 1	ถ้วยที่ 2	ถ้วยที่ 3	ถ้วยที่ 4	ถ้วยที่ 5	ถ้วยที่ 6	ถ้วยที่ 7	ถ้วยที่ 8
1.5	1	11	21	31	41	51	61	71	81
2	2	12	22	32	42	52	62	72	82
2.5	3	13	23	33	43	53	63	73	83
3	4	14	24	34	44	54	64	74	84
3.5	5	15	25	35	45	55	65	75	85
4	6	16	26	36	46	56	66	76	86
4.5	7	17	27	37	47	57	67	77	87
5	8	18	28	38	48	58	68	78	88
5.5	9	19	29	39	49	59	69	79	89
6	10	110	210	310	410	510	610	710	810

จากตารางที่ 3.15 ได้ทำการกำหนดความแข็งของแยมไว้ 10 ค่า และทำการเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งไปครั้งละ 0.5 นิวตัน โดยจะทำการตักแยมใส่ถ้วยแล้วนำไปชั่งที่น้ำหนัก 15 กรัม และนำมาแยกเป็นกลุ่มความแข็งของแยม ทำการทดสอบกับผู้ทดสอบทั้ง 8 คน โดยได้กำหนดรหัสไว้ตามกลุ่มความแข็งของแยม เช่น แยมที่ค่า 5 นิวตัน เป็นแยมกลุ่มความแข็งที่ 8 ก็จะทำการกำหนดเลขตัวสุดท้ายไว้คือเลข 8 และทำการนับจากถ้วยที่ 1 ถึงถ้วยที่ 8 เป็นต้น ดังรูปที่ 3.6

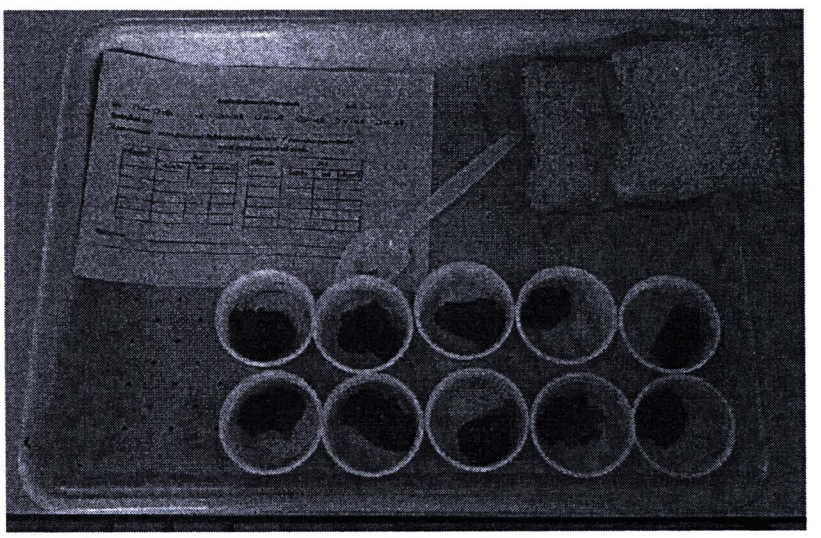


รูปที่ 3.6(ก) ชั่งน้ำหนักของแยมที่ 15 กรัม

รูปที่ 3.6(ข) แบ่งกลุ่มของความแข็งของแยม

ซึ่งการทดสอบจะทำการสุ่มผู้ทดสอบทั้ง 8 คน ให้เป็นอิสระต่อกัน โดยจะทำการทดสอบคนละช่วงเวลาเพื่อลดความลำเอียงของการให้คะแนน JAR โดยได้ทำชุดทดสอบแบบฟอร์มการ

ทดสอบแบบประเมินลักษณะทางประสาทสัมผัส JAR (ภาคผนวก ค.) และจัดทำชุดทดสอบเพื่อให้ผู้ทดสอบทั้ง 8 คน ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ชุดการทดสอบแยม JAR

จากรูปที่ 3.7 เมื่อจัดทำชุดทดสอบแล้วจะนำไปให้ผู้ทดสอบทั้ง 8 คน ทำการทดสอบปาดแยมลงบนเนื้อขนมปังและให้คะแนน ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 การทดสอบ JAR ด้วยการปาดแยมลงบนขนมปัง

จากรูปที่ 3.8 ผู้ทดสอบ 1 คน จะทำการทดสอบปาดแยม 10 ถ้วย หรือปาดแยมที่ค่าความแข็ง 10 ค่า โดยเมื่อทำการทดสอบเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถสรุปผลการทดสอบ JAR ถึงความรู้สึกในการปาดแยมลงบนเนื้อขนมปัง โดยกำหนดรหัสค่าของ JAR ไว้ดังนี้ คือ (Prinyawiwatkul and Waimaleongora-Ek, 2009)

นิ่มเกินไป = 1

พอดี = 2

แข็งมากไป = 3

ดังนั้นการทดสอบแบบ JAR ครั้งนี้จะใช้สเกล 3 สเกล คือ (นิ่มเกินมาก, นิ่มเกินไปหรือเหลวเกินไป = 1), (พอดี, ไม่แข็งและนิ่มเกินไป = 2) และ (แข็งมากไป, ปาดแข็งหรือยากเกินไป =3) โดยสามารถสรุปผลการทดสอบปาดแยม JAR ดังตารางที่ 3.16

ตารางที่ 3.16 ผลการทดสอบ JAR ของผู้ผ่านการคัดเลือก 8 คน

ผู้ทดสอบ	ย่านความแข็งของแยม (นิวตัน)									
	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3
2	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3
3	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3
4	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3
5	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3
6	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3
7	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3
8	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3

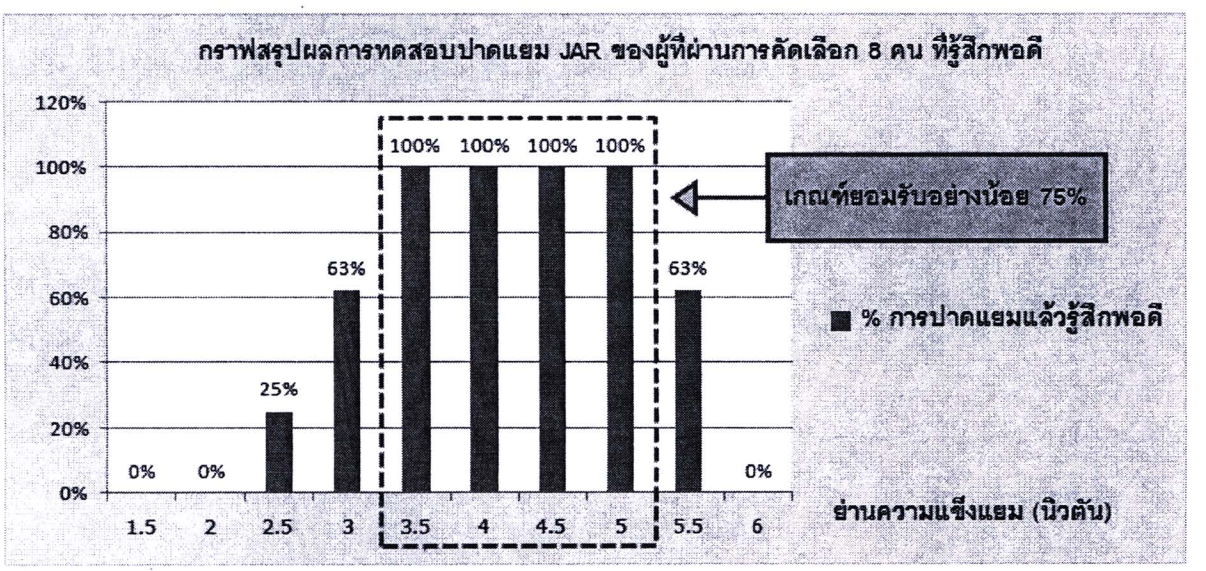
จากตารางที่ 3.16 เมื่อได้ผลการทดสอบ JAR มาแล้วนั้น จึงทำการวิเคราะห์ผลที่ออกมา โดยเป้าหมายของโรงงานคือต้องการพิจารณาที่ผู้ทดสอบปาดแยมแล้วรู้สึกพอดี ดังนั้นจึงตั้งเกณฑ์การยอมรับไว้ที่ 75% ซึ่งก็คือ ถ้าแยมค่านั้นๆ มีการให้คะแนนการปาดแยม JAR ที่พอดีอย่างน้อย

6 ใน 8 คน ก็จะถือว่าแยมค่านั้นเป็นแยมที่ปาดแล้วรู้สึกว่าพอดี โดยได้ทำการสรุปผลออกมา ดังตารางที่ 3.17

ตารางที่ 3.17 สรุปผลการทดสอบปาดแยม JAR ของผู้ที่ผ่านการคัดเลือก 8 คน

การให้คะแนนการปาดแยม JAR	ย่านความแข็งของแยม (นิวตัน)									
	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
นิ่มเกินไป	8	8	6	3	0	0	0	0	0	0
พอดี	0	0	2	5	8	8	8	8	5	0
แข็งมากไป	0	0	0	0	0	0	0	0	3	8
% การปาดแยมแล้วรู้สึกพอดี	0%	0%	25%	63%	100%	100%	100%	100%	63%	0%

จากตารางที่ 3.17 ค่าเปอร์เซ็นต์ (%) การปาดแยมที่ผู้ทดสอบทำการปาดและรู้สึกพอดี จากเกณฑ์ที่ทางโรงงานกำหนดขึ้นมาคือ ผู้ทดสอบต้องให้คะแนนที่ความพอดีอย่างน้อย 6 ใน 8 หรือ 75% ของผู้ทดสอบ ซึ่งจากผลของการทดสอบ JAR จะได้ช่วงค่าความแข็งของแยมที่ช่วง 3.5 ถึง 5 นิวตัน ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 กราฟแสดงผลการทดสอบปาดแยม JAR ของผู้ที่ผ่านการคัดเลือก 8 คน ที่รู้สึกพอดี

จากรูปที่ 3.9 ก็จะได้ช่วงความแข็งของแยมที่ค่า 3.5 ถึง 5 นิวตัน ซึ่งจะนำช่วงความแข็งของแยมช่วงนี้ ไปหาขีดจำกัดข้อกำหนดกับผู้บริโภคภายนอกต่อไป

3.2.8 การทดสอบ JAR กับผู้บริโภคภายนอกเพื่อหาขีดจำกัดข้อกำหนด

จากผลที่ได้ทำการทดสอบปาดแยมลงบนขนมปังเพื่อทำการทดสอบความรู้สึกในการปาดแยมด้วยวิธี JAR แล้วนั้นได้ช่วงแยมที่ค่า 3.5 ถึง 5 นิวตัน ที่เป็นช่วงความรู้สึกในการปาดแยมที่พอดี จากนั้นจะนำแยมที่ช่วงดังกล่าวไปทำการทดสอบปาดแยมกับผู้บริโภคภายนอกอีกครั้ง เพื่อหาขีดจำกัดข้อกำหนดของความแข็งของแยม แต่เนื่องจากต้องทำการเผื่อค่าความแข็งออกไป เพราะอาจเป็นได้ว่าผู้บริโภคภายนอกอาจจะมีความรู้สึกปาดแยมที่รู้สึกพอดีที่ค่าน้อยกว่า 3.5 นิวตัน หรือมากกว่า 5 นิวตัน ก็เป็นไปได้ โดยสาเหตุที่ต้องทำการทดสอบการปาดแยมกับผู้ทดสอบที่ผ่านการคัดเลือกทั้ง 8 คน ก็เพื่อต้องการลดจำนวนแยมที่จะนำไปทดสอบกับผู้บริโภคภายนอกซึ่งเป็นกลุ่มลูกค้าจริงๆ โดยอ้างอิงจากผลการทดสอบ JAR ของผู้ที่ผ่านการทดสอบมาแล้ว

ดังนั้นจึงทำการกำหนดช่วงของความแข็งของแยมจากผลที่ได้จากผู้ทดสอบ คือ 3.5 ถึง 5 นิวตัน โดยทำการทดสอบกับผู้บริโภคภายนอกเป็นช่วง 2 ถึง 6 นิวตัน เพื่อให้ครอบคลุมเพียงพอกับการทดสอบ

เมื่อได้ช่วงความแข็งของแยมที่ต้องการแล้ว จึงนำไปทดสอบการปาดแยม JAR ด้วยการสุ่มผู้บริโภคภายนอก 100 คน โดยได้ทำการกำหนดรหัสของความแข็งของแยมเป็นกลุ่ม ดังตารางที่ 3.18

ตารางที่ 3.18 รหัสแยมบนค่าความแข็งของแยมทั้ง 9 ค่า

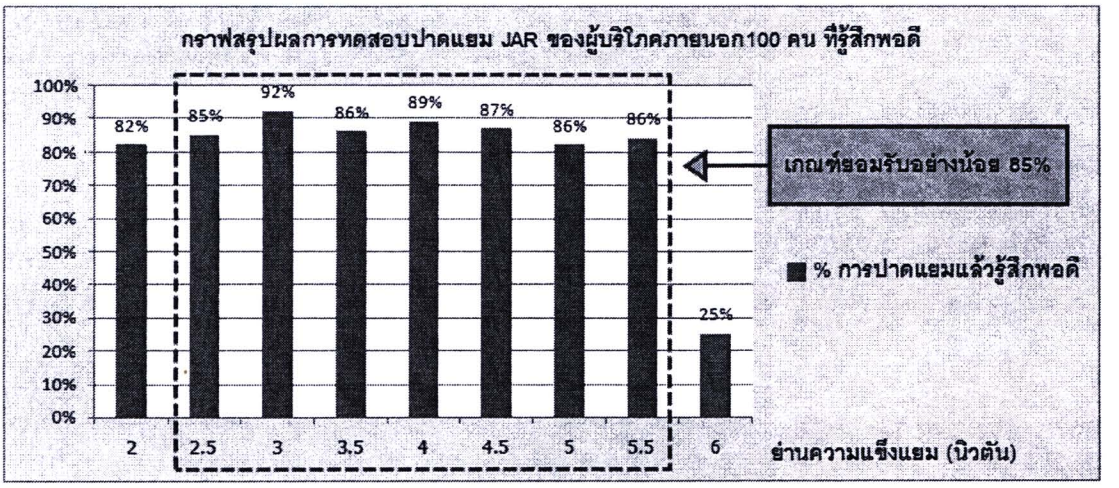
ความแข็งแยม(นิวตัน)	กลุ่มความแข็งแยม	รหัสบนถ้วยแยม						
		ถ้วยที่ 1	ถ้วยที่ 2	ถ้วยที่ 3	ถ้วยที่ 4	ถ้วยที่ 5	...	ถ้วยที่ 100
2	1	11	21	31	41	51	...	1001
2.5	2	12	22	32	42	52	...	1002
3	3	13	23	33	43	53	...	1003
3.5	4	14	24	34	44	54	...	1004
4	5	15	25	35	45	55	...	1005
4.5	6	16	26	36	46	56	...	1006
5	7	17	27	37	47	57	...	1007
5.5	8	18	28	38	48	58	...	1008
6	9	19	29	39	49	59	...	1009

จากตารางที่ 3.18 หลังจากทำการกำหนดรหัสแยมแล้วจึงทำการสุ่มทดสอบกับผู้บริโภคภายนอกโดยขั้นตอนการทดสอบจะเหมือนกับการทดสอบผู้ที่ผ่านการคัดเลือกทั้ง 8 คน โดยเป้าหมายของโรงงานคือต้องการพิจารณาที่ผู้บริโภคภายนอกทั้ง 100 คน ที่ปาดแยมแล้วรู้สึกพอดี ดังนั้นจึงตั้งเกณฑ์การยอมรับไว้ที่ 85% ซึ่งก็คือถ้าแยมค่านั้นๆ มีการให้คะแนนการปาดแยม JAR ที่พอดีอย่างน้อย 85 ใน 100 คน จะถือว่าแยมค่านั้นเป็นแยมที่ปาดแล้วรู้สึกว่าพอดี ซึ่งได้ผลสรุปออกมา ดังตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19 สรุปผลการทดสอบปาดแยม JAR ของผู้บริโภคภายนอก 100 คน

การให้คะแนนการปาดแยม JAR	ย่านความแข็งของแยม (นิวตัน)								
	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
นิ่มเกินไป	18	13	4	8	7	3	3	2	0
พอดี	82	85	92	86	89	87	86	86	25
แข็งมากไป	0	2	4	6	4	10	11	12	75
% การปาดแยมแล้วรู้สึกพอดี	82%	85%	92%	86%	89%	87%	86%	86%	25%

จากตารางที่ 3.19 ค่าเปอร์เซ็นต์ (%) การปาดแยมที่ผู้บริโภคภายนอกทำการปาดและรู้สึกพอดี จากเกณฑ์ที่ทางโรงงานกำหนดขึ้นมาคือต้อง ผู้ทดสอบต้องให้คะแนนที่ความพอดีอย่างน้อย 85 ใน 100 หรือ 85% ของผู้ทดสอบ ซึ่งจากผลของการทดสอบ JAR จะได้ช่วงค่าความแข็งของแยมที่ช่วง 2.5 ถึง 5.5 นิวตัน ดังรูปที่ 3.10

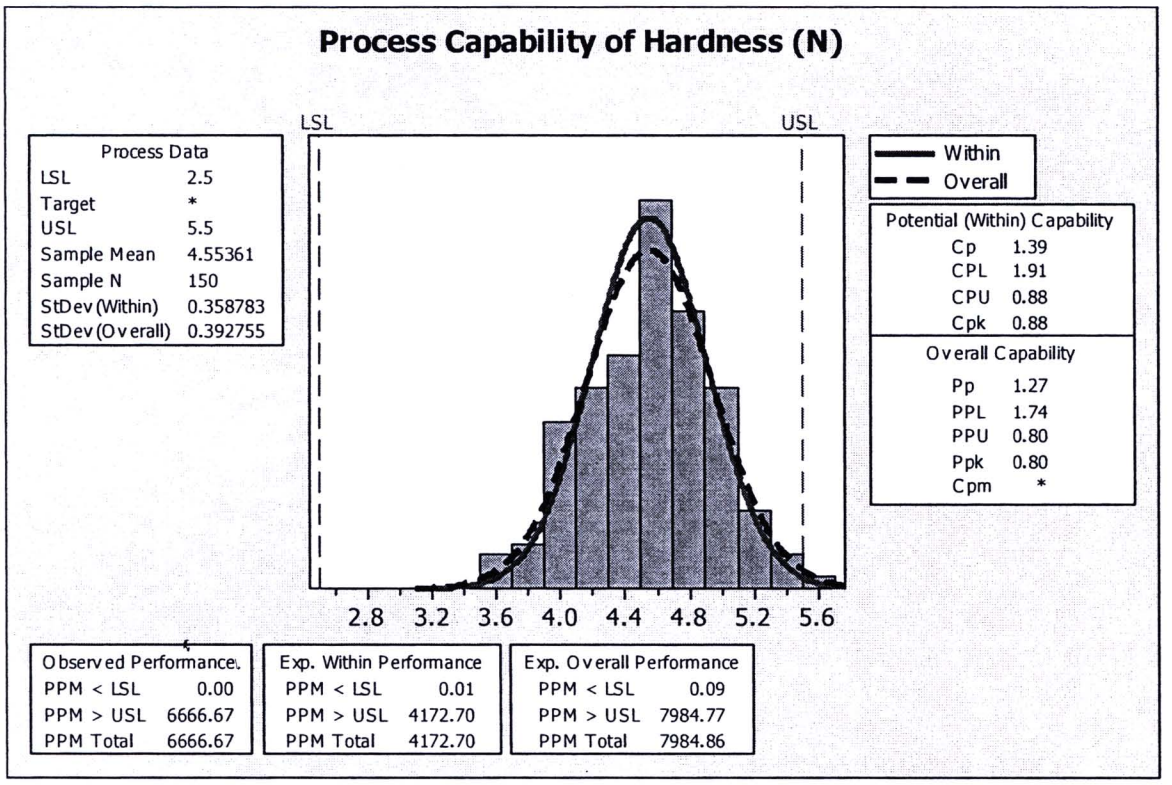


รูปที่ 3.10 กราฟแสดงผลการทดสอบปาดแยม JAR ของผู้บริโภคภายนอก 100 คน ที่รู้สึกพอดี

จากรูปที่ 3.10 จะได้ขีดจำกัดข้อกำหนดที่ได้จากการทดสอบผู้บริโภคภายนอก คือช่วงค่าความแข็ง 2.5 ถึง 5.5 นิวตัน ซึ่งขีดจำกัดข้อกำหนดช่วงนี้จะนำมาเป็นมาตรฐานของทางโรงงานต่อไป

3.2.9 วิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการความแข็งของแยมในปัจจุบัน

หลังจากที่ทำการหาขีดจำกัดข้อกำหนดของความแข็งของแยมที่จะใช้เป็นมาตรฐานของทางโรงงานแล้ว จึงพิจารณาความสามารถของกระบวนการปัจจุบันว่ามีค่า C_p , C_{pk} เป็นอย่างไรเมื่อเทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนดที่ 2.5 นิวตัน ถึง 5.5 นิวตัน ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสามารถของกระบวนการ C_p , C_{pk} ของความแข็งของแยม

จากรูปที่ 3.11 จากกราฟจะเห็นว่าการกระจายตัวของความแข็งของแยมปัจจุบันนั้นมีค่า C_p เท่ากับ 1.39 ซึ่งมากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ที่ 1.33 นั่นแสดงว่าปัญหาในปัจจุบันไม่ได้เป็นที่ความแปรปรวนแต่ค่า C_{pk} นั้นมีค่าเท่ากับ 0.88 ซึ่งถือว่าน้อยกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ โดยเมื่อพิจารณาจากการกระจายตัวความแข็งของแยมจะพบว่าค่าเฉลี่ยนั้นเลื่อน (Mean Shift) ไปทางขวามือของขีดจำกัดข้อกำหนด (Upper Spec) ซึ่งนั่นหมายถึงค่าความแข็งของแยมในปัจจุบันนั้นยังแข็งเกินไป ซึ่งต้องการทำการปรับปรุงต่อไป

จากนั้นทำการคำนวณขนาดตัวอย่าง (Sample Size) ของแยม เพราะทางโรงงานไม่เคยทำการวิจัยเรื่องความแข็งของแยมมาก่อน ดังนั้นจึงต้องคำนวณขนาดตัวอย่างเพื่อพิจารณาว่าการกระจายตัวของค่าความแข็งของแยมทั้ง 150 ค่า ที่ทำการเก็บข้อมูลมาพิจารณานั้น สามารถเป็นตัวแทนบอกถึงสภาพปัญหาของความสามารถของกระบวนการ C_p และ C_{pk} ได้ โดยคำนวณจากสูตร (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2549)

$$n \geq \left(\frac{1}{9C_{pk}^2} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{Z_{\alpha/2}}{e_{ppk}} \right)^2 \qquad (3.9)$$

โดย

C_{pk} คือความสามารถของกระบวนการเท่ากับ 0.88

$Z_{\alpha/2}$ กำหนดค่าระดับนัยสำคัญที่ 5% เมื่อเปิดตาราง Z ได้ค่าเท่ากับ 1.96

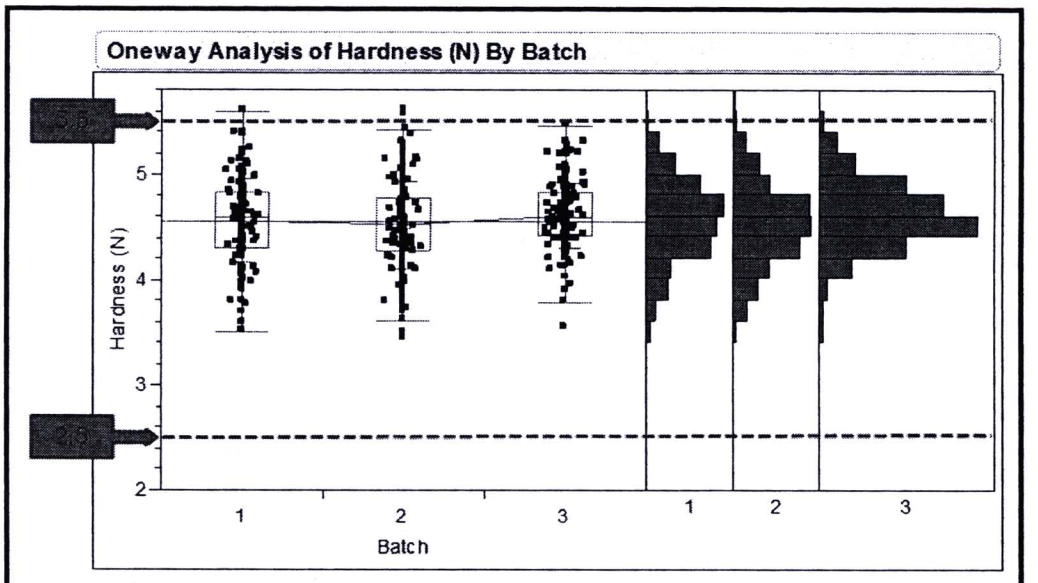
e_{ppk} คือระดับเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดที่ยอมรับได้กำหนดเป็น 15% หรือ 0.15 เพราะค่าความแข็งของแยมบนเนื้อแยมมีความแปรปรวนมาก

แทนค่าในสมการได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ

$$n \geq \left(\frac{1}{9 \times (0.88)^2} + \frac{1}{2} \right) \left(\frac{1.96}{0.15} \right)^2 \approx 100 \text{ ตัวอย่าง}$$

จากการคำนวณขนาดตัวอย่างจะคำนวณได้ 100 ตัวอย่าง ซึ่งน้อยกว่าการเก็บข้อมูลเพื่อดูสภาพปัญหาตอนแรกที่ 150 ขวด ดังนั้นจึงถือว่าขนาดตัวอย่างที่ทำการเก็บมาพิจารณาค่าความแข็งของแยมนั้นมีความเพียงพอที่ 150 ขวด จึงสามารถเป็นตัวแทนบอกความสามารถของกระบวนการค่าความแข็งของแยมปัจจุบันนั้นได้

ต่อมาทำการสุ่มแยมมา 3 แบช แบชละ 150 ขวด เพื่อพิจารณาดูถึงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานหรือความแปรปรวนในกรณีแยมต่างแบชกัน (Variation Between Batch) ดังรูปที่ 3.12

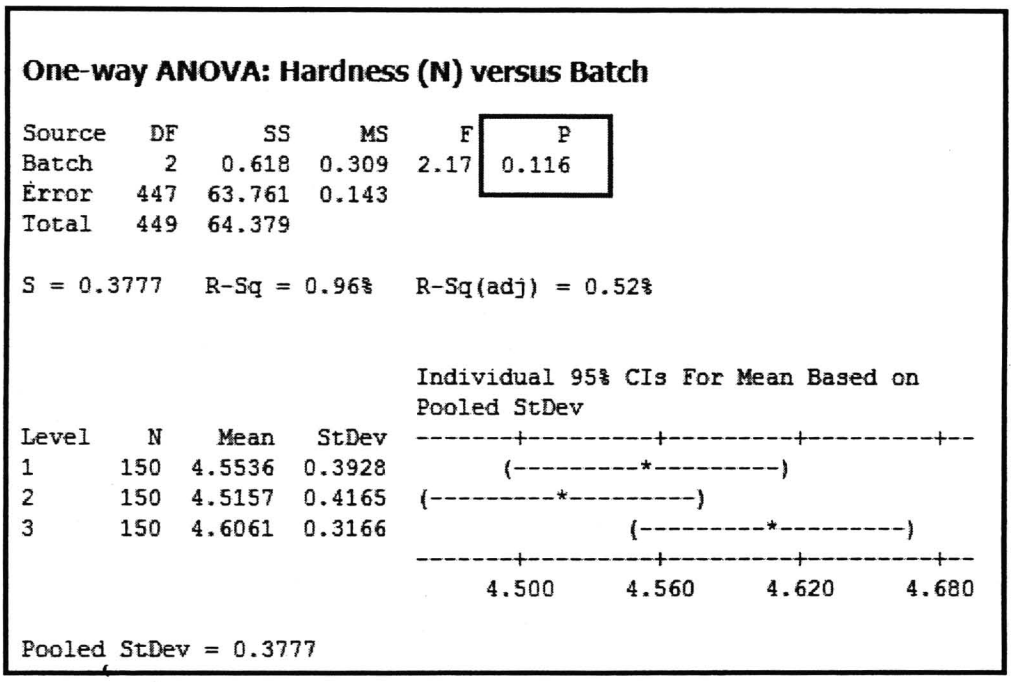


Means and Std Deviations

Batch	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
1	150	4.55361	0.392755	0.03207	4.4902	4.617
2	150	4.51569	0.416467	0.034	4.4485	4.5829
3	150	4.60607	0.316587	0.02585	4.555	4.6572

รูปที่ 3.12 กราฟการกระจายตัวเปรียบเทียบค่าความแข็งของแยม 3 แบช

จากรูปที่ 3.12 หลังจากวัดความแข็งของแยมทั้ง 3 แบช สุ่มมาแบชละ 150 ขวด มาทำการวัดความแข็งของแยมเพื่อพิจารณาถึงความแปรปรวนของระหว่างแบช ก็นำมาทดสอบความแปรปรวน (Anova) เพื่อมาวิเคราะห์ดูว่าการกระจายความแข็งของแยมทั้ง 3 แบช ถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ดังรูปที่ 3.13



One-way ANOVA: Hardness (N) versus Batch

Source	DF	SS	MS	F	P
Batch	2	0.618	0.309	2.17	0.116
Error	447	63.761	0.143		
Total	449	64.379			

S = 0.3777 R-Sq = 0.96% R-Sq(adj) = 0.52%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
1	150	4.5536	0.3928
2	150	4.5157	0.4165
3	150	4.6061	0.3166

4.500 4.560 4.620 4.680

Pooled StDev = 0.3777

รูปที่ 3.13 ผลการแสดงการทดสอบความแปรปรวน

จากรูปที่ 3.13 หลังจากทำการทดสอบความแปรปรวนเพื่อวิเคราะห์ดูการกระจายทั้ง 3 แบช ทดสอบความแตกต่างด้วยค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งเมื่อทำการทดสอบแล้วพบว่าค่า P-Value นั้นมากกว่า 0.05 ซึ่งหมายความว่า การกระจายตัวของค่าความแข็งของแยมทั้ง 3 แบช ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการทดสอบความแตกต่างของการกระจายตัวค่าความแข็งของแยมที่ต่างแบชกันแล้วนั้นพบว่าไม่ได้มีความแปรปรวนในระหว่างแบชจากการทดสอบความแปรปรวน แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานนี้คือค่าเฉลี่ยของแยมภายในแบชเองที่เกิดการเลื่อนออกไปทางด้านขวาของขีดจำกัดข้อกำหนด ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาต่อไป

3.2.10 **ตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล** (Cause and Effect Matrix)

หลังจากที่ได้ทราบปัญหาของความแข็งของแยมในปัจจุบันว่ามีปัญหาที่ค่าเฉลี่ยนั้นเลื่อนออกไปทางขวาทำให้ในปัจจุบันแยมนั้นถือว่ามีความแข็งที่อยู่นอกขีดจำกัดข้อกำหนดอยู่ประมาณ 0.6667% ดังนั้นจึงทำการระดมสมอง โดยการกำหนดปัจจัยนำเข้าที่อาจมีผล (KPIV) โดยใช้ตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล โดยการระดมสมองเพื่อคิดหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของ

ความแข็งของแยมมาใส่ลงในตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล ซึ่งได้กำหนดอัตราความสำคัญเท่ากับ 10 สำหรับสาเหตุที่อาจทำให้เกิดค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมเลื่อนออกไป

และในแต่ละปัจจัยให้กลุ่มสมาชิกทำการลงคะแนนความสำคัญ ซึ่งจะให้คะแนนในช่วง 1 ถึง 10 คะแนน โดยกำหนดอัตราส่วนที่จะส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งของแยม ดังตารางที่ 3.20 (ภัทร์วุธ บุญลาภ, 2553)

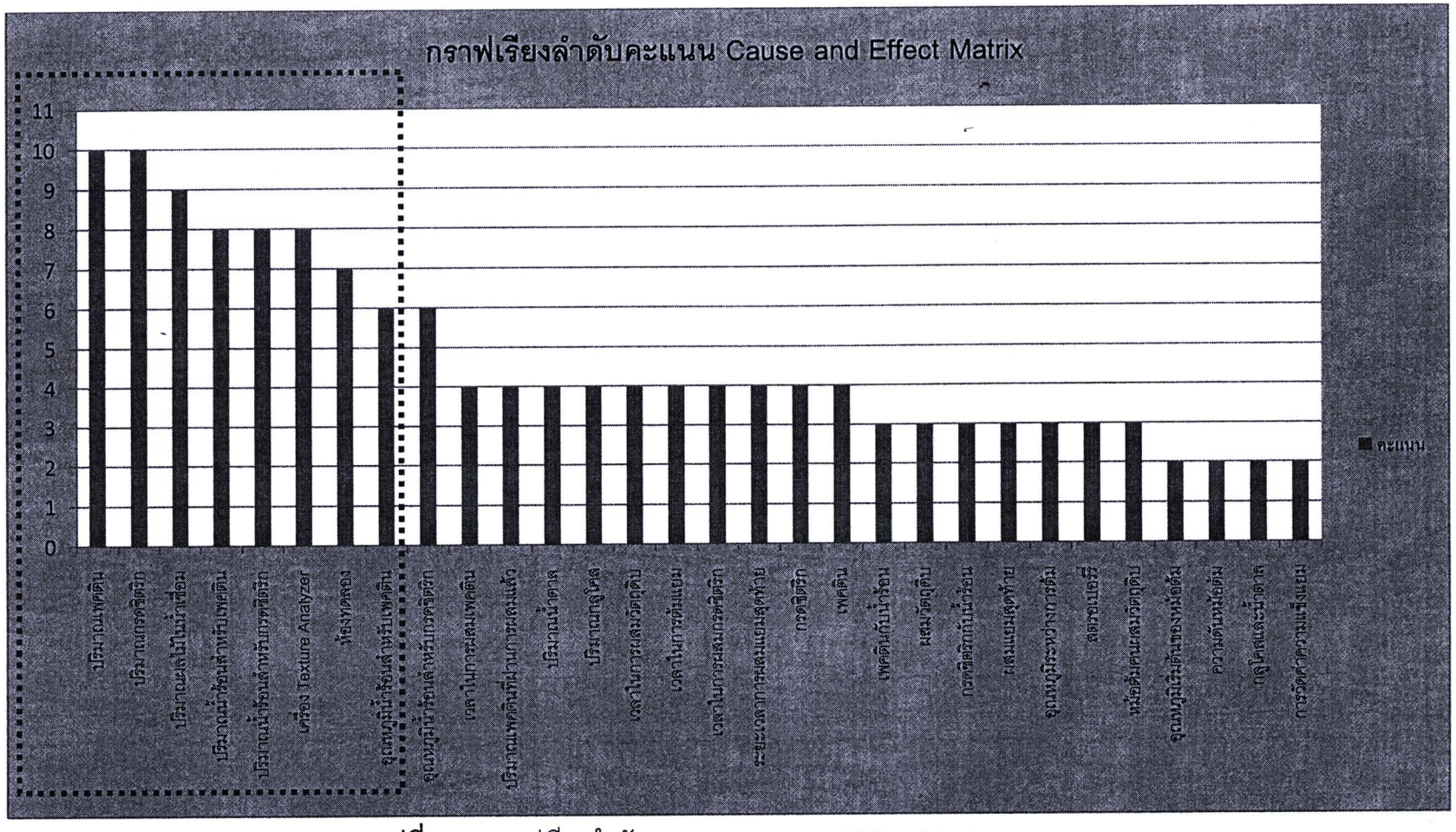
ตารางที่ 3.20 เกณฑ์ในการให้คะแนนความสำคัญต่อค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม

เกณฑ์การให้คะแนน	ความสำคัญ
"0"	ไม่มีความสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งของแยมเลย
"1" - "3"	มีความสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งของแยมน้อย
"4" - "6"	มีความสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งปานกลาง
"7" - "10"	มีความสำคัญต่อค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งมากถึงมากที่สุด

จากนั้นทำการรวบรวมคะแนนที่ได้จากการคะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลทำให้เกิดค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งของแยมที่เลื่อนออกไป และทำการสรุปผลคะแนนในตาราง Cause and Effect Matrix ดังตารางที่ 3.21

ตารางที่ 3.21 ความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล

Cause and Effect Matrix					
No.	Area Cause	Process Input		คะแนน	เปอร์เซ็นต์
1	Man	พนักงานผสม	เพคตินกับน้ำร้อน	3	2.19%
2			ผสมวัตถุดิบ	3	2.19%
3			กรดซิตริกกับน้ำร้อน	3	2.19%
4			ผสมแยมสุดท้าย	3	2.19%
5	Method	ผสมเพคตินกับน้ำร้อน	ปริมาณเพคติน	10	7.30%
6			ปริมาณน้ำร้อนสำหรับเพคติน	8	5.84%
7			อุณหภูมิน้ำร้อนสำหรับเพคติน	6	4.38%
8			เวลาในการผสมเพคติน	4	2.92%
9		ขั้นตอนการผสมวัตถุดิบ	ปริมาณเพคตินที่ผ่านการผสมแล้ว	4	2.92%
10			ปริมาณผลไม้ในน้ำเชื่อม	9	6.57%
11			ปริมาณน้ำตาล	4	2.92%
12			ปริมาณกลูโคส	4	2.92%
13			เวลาในการผสมวัตถุดิบ	4	2.92%
14		ขั้นตอนการต้มแยม	อุณหภูมิเริ่มต้นของหม้อต้ม	2	1.46%
15			อุณหภูมิระหว่างการต้ม	3	2.19%
16			ความดันหม้อต้ม	2	1.46%
17			เวลาในการต้มแยม	4	2.92%
18		กรดซิตริกผสมน้ำร้อน	ปริมาณกรดซิตริก	10	7.30%
19			ปริมาณน้ำร้อนสำหรับกรดซิตริก	8	5.84%
20			อุณหภูมิน้ำร้อนสำหรับกรดซิตริก	6	4.38%
21			เวลาในการผสมกรดซิตริก	4	2.92%
22		ขั้นตอนการผสมแยมสุดท้าย	ระยะเวลาการผสมแยมสุดท้าย	4	2.92%
23	Material	ชนิดของวัตถุดิบ	กรดซิตริก	4	2.92%
24			เพคติน	4	2.92%
25			สตรอเบอรี่	3	2.19%
26			กลูโคสและน้ำตาล	2	1.46%
27	Machine/Equipment	เครื่องมือวัดและเครื่องจักร	เครื่อง Texture Analyzer	8	5.84%
28			หม้อต้มคนผสมวัตถุดิบ	3	2.19%
29	Measurement	ความถูกต้องในการวัด	การวัดค่าความแข็งแยม	2	1.46%
30	Environment	อุณหภูมิ	ห้องทดลอง	7	5.11%



รูปที่ 3.14 กราฟเรียงลำดับคะแนน Cause and Effect Matrix

ตารางที่ 3.22 ปัจจัยนำเข้า 7 ปัจจัย ที่มีคะแนนสูงกว่า 5 คะแนน

ลำดับ	ปัจจัย	คะแนน
1	ปริมาณเพคติน	10
2	ปริมาณกรดซิตริก	10
3	ปริมาณผลไม้ในน้ำเชื่อม	9
4	ปริมาณน้ำร้อนสำหรับเพคติน	8
5	ปริมาณน้ำร้อนสำหรับกรดซิตริก	8
6	เครื่อง Texture Analyzer	8
7	ห้องทดลอง	7
8	อุณหภูมิน้ำร้อนสำหรับเพคติน	6
9	อุณหภูมิน้ำร้อนสำหรับกรดซิตริก	6

จากปัจจัยทั้ง 9 ปัจจัย มีความสำคัญส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม โดยมีรายละเอียดการเลือกปัจจัยนำเข้า ดังนี้

- ปริมาณเพคติน

ปริมาณเพคตินเป็นเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพ (Biopolymer) หรือพอลิเมอร์ธรรมชาติ (Natural polymer) ที่ทำหน้าที่เป็นสารก่อเจลในเนื้อแยมและสามารถเกิดเป็นเจลในสภาวะที่มีน้ำตาลและความเป็นกรดที่เหมาะสมหรือสภาวะที่มีเกลือแคลเซียมร่วมอยู่ด้วยโดยเพคตินจะเกิดเป็นร่างแหในขณะที่ต้มน้ำตาลกับผลไม้ ทำให้เกิดเจลขึ้น ซึ่งปริมาณเพคตินมีความสำคัญอย่างมากในการเซ็ตตัวของเนื้อแยม

- ปริมาณกรดซิตริก

ปริมาณกรดซิตริกเป็นกรดผลไม้หรือกรดอ่อนเพื่อลดการตกผลึกของผลไม้ และเป็นตัวที่ควบคุมการแข็งตัวของเพคติน ดังนั้นปริมาณกรดซิตริกจึงมีความสำคัญมาก

- ปริมาณน้ำร้อนสำหรับเพคตินและกรดซิตริก

ปริมาณน้ำร้อนเป็นปริมาณน้ำที่ใช้ผสมกับเพคตินและกรดซิตริก เพื่อผสมให้เข้ากันก่อนที่จะผสมลงวัตถุดิบ โดยในการตวงปริมาณน้ำร้อนนั้นต้องเป็นปริมาณที่พอเหมาะกับปริมาณเพค

ตินและกรดซิตริกด้วย ดังนั้นถ้าปริมาณน้ำร้อนมากหรือน้อยเกินไปก็จะส่งผลต่อเพคตินและกรดซิตริกที่ผสมลงไปอาจจะเข้มข้นหรือเจือจางไป แต่ปัจจุบันได้มีการกำหนดปริมาณน้ำร้อนให้คงที่จากการผสมเพคตินและกรดซิตริก ดังนั้นปริมาณน้ำร้อนจึงเป็นปัจจัยคงที่

- ปริมาณผลไม้ในน้ำเชื่อม

ปริมาณผลไม้ในเนื้อแยมส่งผลอย่างมากต่อค่าความแข็งของแยม เพราะถ้าปริมาณผลไม้เยอะจะทำให้เนื้อแยมมีความแข็งมากขึ้น แต่ในการผลิตจริงนั้นไม่สามารถควบคุมปริมาณเนื้อผลไม้แต่ละขวดแยมได้ เพราะเนื้อผลไม้จะถูกผสมในหม้อคนและลำเลียงไปถังพักเพื่อปล่อยเนื้อแยมลงบรรจุที่เครื่องบรรจุ 4 หัว โดยไม่สามารถกำหนดหรือควบคุมปริมาณผลไม้ได้ ดังนั้นจึงกำหนดปริมาณผลไม้ในน้ำเชื่อมเป็นปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้

- เครื่อง Texture Analyzer

เครื่อง Texture Analyzer ก่อนทำการวัดค่าความแข็งของแยมนั้นจะทำการตรวจเช็คสภาพเครื่องก่อนการวัดทุกครั้ง โดยจะเช็คที่ค่าปรับตั้งเครื่องให้เหมาะสมกับการวัด ดังนั้นจึงกำหนดเครื่อง Texture Analyzer จึงเป็นปัจจัยคงที่

- ห้องทดลอง

ห้องทดลองในการวัดแยมจะทดลองในห้องทดสอบจะทำการกำหนดอุณหภูมิในห้องทดสอบไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส เพื่อทำให้เนื้อแยมในขวดสามารถเซ็ตตัวเร็วขึ้น ดังนั้นจึงกำหนดห้องทดลองเป็นปัจจัยคงที่

- อุณหภูมิน้ำร้อนสำหรับเพคตินและกรดซิตริก

อุณหภูมิน้ำร้อนในการผสมเพคตินและกรดซิตริกนั้น ถ้าอุณหภูมิระหว่างการผสมลดลงไปอาจทำให้ผสมเพคตินและกรดซิตริกไม่เข้ากันและจะส่งผลต่อความแข็งของแยม แต่ในการผลิตจริงได้ทำการต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสอยู่ตลอด ดังนั้นจึงกำหนดอุณหภูมิน้ำร้อนเป็นปัจจัยคงที่

จากปัจจัยทั้ง 9 ปัจจัย สามารถสรุปปัจจัยนำเข้าสำคัญ ดังตารางที่ 3.23

ตารางที่ 3.23 กำหนดปัจจัยนำเข้าที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม

ลำดับ	ปัจจัย	ประเภทของปัจจัย
1	ปริมาณเพคติน	ปัจจัยนำเข้าทดลอง
2	ปริมาณกรดซิตริก	ปัจจัยนำเข้าทดลอง
3	ปริมาณผลไม้ในน้ำเชื่อม	ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้
4	ปริมาณน้ำร้อนสำหรับเพคติน	ปัจจัยคงที่
5	ปริมาณน้ำร้อนสำหรับกรดซิตริก	ปัจจัยคงที่
6	เครื่อง Texture Analyzer	ปัจจัยคงที่
7	ห้องทดลอง	ปัจจัยคงที่
8	อุณหภูมิน้ำร้อนสำหรับเพคติน	ปัจจัยคงที่
9	อุณหภูมิน้ำร้อนสำหรับกรดซิตริก	ปัจจัยคงที่

จากตารางที่ 3.23 ได้สรุปปัจจัยนำเข้าสำคัญที่จะทำการทดลองคือ ปริมาณเพคติน และปริมาณกรดซิตริกซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยนี้มีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือค่าความแข็งของแยม (Kaaber, Kaack et al., 2006)

3.2.11 สรุประยะการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา

ในขั้นแรกของระยะวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา ได้ทำการวิเคราะห์ระบบการวัดของเครื่องวัดความแข็ง โดยใช้มาตรฐาน ISO 7500-1:2004 ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับเครื่องทดสอบด้านแรงเพื่อบอกความน่าเชื่อถือ โดยทำการทดสอบตามวิธีขั้นตอนด้วยการสอบเทียบแรงดึง/แรงกด โดยเกณฑ์การวัดคิดจากค่าความผิดพลาดของความถูกต้องที่กำหนดตามมาตรฐานไว้ที่ไม่เกิน ± 1% ซึ่งจากผลของการสอบเทียบแรงดึง/แรงกด ถือว่าผ่านเกณฑ์ และเกณฑ์การยอมรับที่ช่วงความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบซึ่งทางโรงงานต้องเป็นผู้กำหนดเอง โดยการสอบเทียบแรงดึงได้กำหนดไว้ไม่เกิน ± 1N ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์ และการสอบเทียบแรงกดได้กำหนดไว้ไม่เกิน ± 2.5 N ซึ่งก็ถือว่าผ่านเกณฑ์เช่นเดียวกัน จึงสามารถสรุปได้ว่าเครื่องวัดความแข็งนั้นเชื่อถือได้

จากนั้นทำการหาขีดข้อกำหนดความแข็งของแยมของโรงงาน โดยทำการพิจารณาความสามารถของกระบวนการ(Process Capability, C_p, C_{pk}) ในปัจจุบันเมื่อเทียบกับขีดจำกัด

ข้อกำหนดความแข็งของแยม ซึ่งถ้าความสามารถของกระบวนการน้อยกว่า 1.33 ก็จะทำการปรับปรุงต่อไป และต้องสามารถสัมพันธ์กับจำนวนใบร้องเรียนจากลูกค้าเรื่องการปาดยากของแยมจากเดิม 100% ให้ลดลงเหลือ 0%

จากนั้นทำการหาขีดจำกัดข้อกำหนดของความแข็งของแยมก่อนจากวิธีประเมินการทดสอบ Just About Right (JAR) กับผู้บริโภคภายนอก 100 คน เพื่อหาขีดจำกัดข้อกำหนดเอามาเป็นมาตรฐานของค่าความแข็งของแยม โดยคิดจากเปอร์เซ็นต์การทดสอบปาดแยมแล้วรู้สึกพอดีด้วยเกณฑ์การยอมรับที่ 85 ใน 100 คน ซึ่งจากการวิเคราะห์ออกมาพบว่าขีดจำกัดข้อกำหนดแยมอยู่ที่ช่วง 2.5 นิวตัน ถึง 5.5 นิวตัน

จากนั้นพิจารณาความสามารถของกระบวนการของค่าความแข็งของแยมในปัจจุบันมาเทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนด โดยได้ค่า C_p เท่ากับ 1.39 ซึ่งถือว่ามากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ที่ 1.33 นั่นแสดงว่าปัญหาในปัจจุบันไม่ได้เป็นที่ความแปรปรวนเมื่อเทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนดแต่ค่า C_{pk} นั้นมีค่าเท่ากับ 0.88 ซึ่งถือว่าน้อยกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ โดยเมื่อพิจารณาจากการกระจายตัวของความแข็งของแยมก็จะพบว่าค่าเฉลี่ยนั้นเลื่อนไปทางขวามือของขีดจำกัดข้อกำหนด ซึ่งนั่นก็หมายถึงค่าความแข็งของแยมในปัจจุบันนั้นยังแข็งเกินไป

จากนั้นพิจารณาดูถึงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในกรณีต่างแบชกัน พบว่าหลังจากทำการทดสอบความแปรปรวน เพื่อวิเคราะห์ดูว่าการกระจายทั้ง 3 แบช ทดสอบความแตกต่างด้วยค่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งเมื่อทำการทดสอบแล้วก็พบว่าค่า P-Value นั้นมากกว่า 0.05 ซึ่งนั่นหมายความถึงการกระจายตัวของค่าความแข็งของแยมทั้ง 3 แบช ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นปัญหาไม่ได้มีความแปรปรวนในระหว่างแบช แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานนี้ก็คือค่าเฉลี่ยของแยมภายในแบชเองที่เกิดการเลื่อนไปทางด้านขวาของขีดจำกัดข้อกำหนด

สุดท้ายทำการกำหนดปัจจัยนำเข้าทดลองด้วยวิธีระดมสมองเพื่อคิดหาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมใส่ลงในตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล โดยสรุปได้ 2 ปัจจัยนำเข้าทดลอง คือ ปริมาณเพคติน และปริมาณกรดซิตริก

3.3 ระยะการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analysis Phase)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยการทดลองวิเคราะห์ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย แนวโน้มอิทธิพลของปัจจัยนำเข้าที่ทำการคัดเลือกจากตารางความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล โดยคัดเลือกที่นำมาทดลอง 2 ปัจจัย ดังนี้

1. ปริมาณเพคติน
2. ปริมาณกรดซิตริก

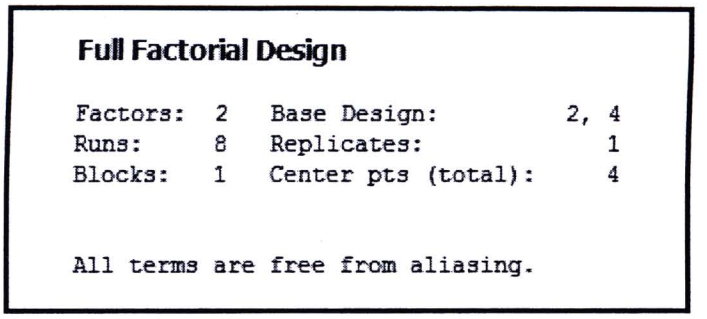
3.3.1 การทดลองที่นำมาพิจารณา

ทำการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment, DOE) โดยเลือกทำการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสองระดับ (Full Factorial Design, 2_v^k) แบบเพิ่มมีจุดศูนย์กลาง (Center Point) สำหรับปัจจัยที่เป็นปัจจัยแบบแปรผัน (Variable Factor)(2_v^2) โดยการออกแบบการทดลองนี้ นอกจากจะทำให้สามารถทราบถึงอิทธิพลหลัก (Main Effect) และอิทธิพลร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยที่ทำการทดลองแล้วนั้น ยังทำให้ทราบถึงการมีโค้งของผลตอบ (Curvature) ของปัจจัยที่ทำการทดลอง โดยปัจจัยที่ทำการทดลองคือ ปริมาณเพคติน และปริมาณกรดซิตริก ซึ่งเป็นปัจจัยแบบแปรผัน

3.3.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

การออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองนี้จะใช้การทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียล(2_v^k) แบบมีจุดศูนย์กลาง สำหรับปัจจัยที่เป็นปัจจัยแบบแปรผัน (Full Factorial Design with Center Point)(2_v^2) ซึ่งจะทำให้ทราบถึงอิทธิพลร่วม ระหว่างปัจจัยและการมีความโค้งของปัจจัยแปรผันด้วย

การออกแบบการทดลองจะกระทำโดยใช้โปรแกรม Minitab ในการออกแบบการทดลอง โดยกำหนดให้เป็นการทดลองแบบสุ่ม (Randomization) เพื่อให้การทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน โดยในการทดลองนี้ทำการศึกษาจำนวน 2 ปัจจัย และเป็นปัจจัยแปรผันทั้งหมด จึงได้ทำการทดลอง 8 ลำดับการทดลอง (8 Runs) เพราะได้เพิ่มจุดศูนย์กลาง เข้าไปในการทดลองโดยรายละเอียดการออกแบบการทดลอง ดังรูปที่ 3.15 และตารางที่ 3.24



Full Factorial Design

Factors:	2	Base Design:	2, 4
Runs:	8	Replicates:	1
Blocks:	1	Center pts (total):	4

All terms are free from aliasing.

รูปที่ 3.15 รายละเอียดการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab

ตารางที่ 3.24 การออกแบบการทดลอง (2_v^2)

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	A	B
4	1	1	1	1	1
2	2	1	1	1	-1
1	3	1	1	-1	-1
8	4	0	1	0	0
7	5	0	1	0	0
6	6	0	1	0	0
3	7	1	1	-1	1
5	8	0	1	0	0

เมื่อ สัญลักษณ์ -1 หมายถึง ระดับของปัจจัยที่มีระดับต่ำ (Low)

สัญลักษณ์ +1 หมายถึง ระดับของปัจจัยที่มีระดับสูง (High)

สัญลักษณ์ 0 หมายถึง จุดศูนย์กลางของปัจจัย (Center Point)

- **การออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียล**

เป็นการทดลองที่ทดลองครบทุกเงื่อนไขการเปลี่ยนแปลงค่าของทุกปัจจัย และจะต้องวิเคราะห์ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองทุกกรณี ดังนั้นจึงจะได้ความสัมพันธ์ของทรีทเมนต์ (Treatment Combination) ครบทั้งหมดโดยอาศัยหลักการของคอนฟาวด์ (Confound) ซึ่งจะทำ

ให้การทดลองนี้มีความสามารถในการแยกแยะผลกระทบของอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมได้ชัดเจน เพราะการทดลองนี้สามารถพิจารณาในส่วนของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยในการทดลองด้วย

- **การเพิ่มจุดศูนย์กลาง**

การเพิ่มจุดศูนย์เข้าไปในการทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียลจะสามารถช่วยให้ประหยัดจำนวนการทดลองลง และเพื่อต้องการทดสอบการมีความโค้งของปัจจัยที่ทำการทดลอง หรือเป็นการทดสอบสมมติฐานความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ของปัจจัยที่ทำการทดลอง

- **การสุ่มลำดับการทดลอง**

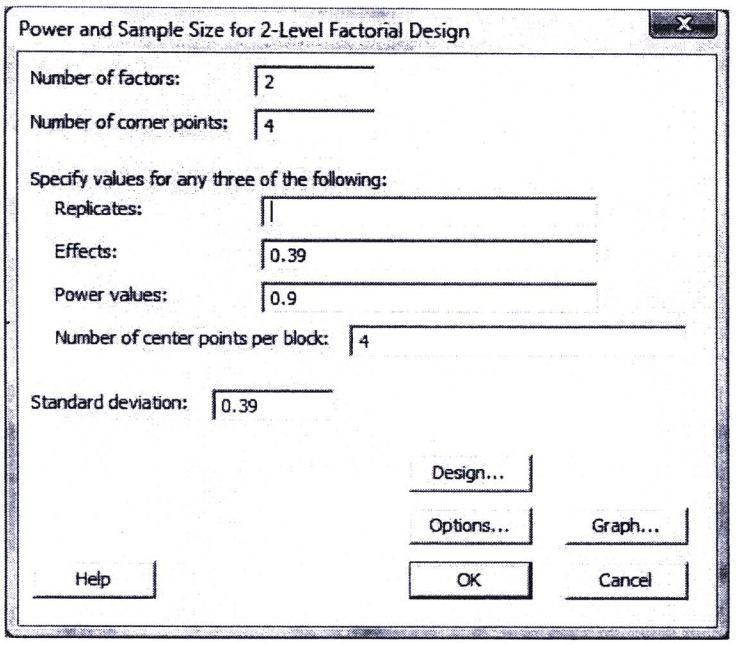
การสุ่มลำดับการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม จะช่วยให้การทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน เพื่อป้องกันความผันแปรจากภายนอกซึ่งอาจทำให้การทดลองมีความลำเอียง ดังนั้นเมื่อทำการทดลองแบบสุ่มจะช่วย์ให้ถารวิเคราะห์ผลมีความถูกต้องและลดความลำเอียงได้มากขึ้น

3.3.3 **ตัวแปรตอบสนอง** (Response)

ตัวแปรตอบสนองในการทดลองนี้ ให้ความสนใจไปที่ค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม เพราะจากความสามารถของกระบวนการค่าความแข็งของแยมในปัจจุบันเมื่อเทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนดแล้วนั้น ปัญหาที่พบจากการพิจารณาความสามารถของกระบวนค่าความแข็งของแยมทั้งแบบความแปรปรวนภายในแบช (Variation Within Batch) และความแปรปรวนระหว่างแบช (Variation Between Batch) พบว่าปัญหาเป็นที่ค่าเฉลี่ยที่ผิดปกติที่เลื่อนออกไปทางขวาของขีดจำกัดข้อกำหนดภายในแบชเอง แต่ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานปกติเมื่อเทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนด โดยเมื่อพิจารณาจากค่า C_p ที่ได้เท่ากับ 1.39 ซึ่งมากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้คือ 1.33 ซึ่งเป็นค่าที่เปรียบเทียบเฉพาะความผันแปรของค่าความแข็งของแยมเทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนด หรืออีกนัยหนึ่งคือการกระจายตัวของค่าความแข็งของแยมนั้นอยู่ในขีดจำกัดข้อกำหนด แต่ค่าC_{pk} นั้นได้ค่า 0.88 หมายความว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งของแยมนั้นมีปัญหาเมื่อเทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนดคือค่าเฉลี่ยเลื่อนออกนอกขีดจำกัดข้อกำหนดไปด้านขวา ดังนั้นตัวแปรตอบสนองของการทดลองนี้จะเป็นค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม

3.3.4 **ขนาดตัวอย่าง** (Sample Size)

จากการกำหนดตัวแปรตอบสนองเป็นค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมแล้วนั้น ต่อไปจะคำนวณหาขนาดตัวอย่างของการทดลองในแต่ละลำดับการทดลอง โดยได้คำนวณจากโปรแกรม Minitab ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงการใส่ค่าหาจำนวนตัวอย่างในโปรแกรม Minitab

จากรูปที่ 3.16 ได้กำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

- Number of factors คือ จำนวนปัจจัยหลักที่ต้องการทดสอบหา โดยในการทดลองนี้ใช้ 2 ปัจจัย
- Number of corner points คือ จำนวน ลำดับการทดลองที่ใช้ในการทดลอง โดยทดลอง 4 ลำดับการทดลอง
- Effects คือ ผลต่างระหว่างค่าผลเฉลี่ยความแข็งของแยมที่ได้จากปัจจัยที่ High Level และจากปัจจัยที่ Low Level ของแต่ละปัจจัย แต่เนื่องจากทางโรงงานไม่เคยทำการวิจัยเรื่องความแข็งของแยมมาก่อนจึงกำหนดให้เป็นค่า 1 เท่าของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 0.39 นิวตัน
- Power values คือ ค่าอำนาจในการทดสอบ โดยเลือกใช้ที่ระดับ 90%
- Standard deviation คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล โดยได้ทำการหามาจากการทดลองค่าความแข็งของแยมครั้งที่ผ่านมาประมาณ 0.39 นิวตัน

- Number of center points per block คือ จำนวนจุดศูนย์กลางต่อหนึ่งบล็อกการทดลอง โดยมี 4 จุดศูนย์กลาง

เมื่อทำการคำนวณหาขนาดตัวอย่างจากโปรแกรม Minitab ก็ได้ผล ดังรูปที่ 3.17

Power and Sample Size

2-Level Factorial Design

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 0.39

Factors: 2 Base Design: 2, 4
Blocks: none

Including a term for center points in model.

Center Points	Effect	Reps	Total Runs	Target Power	Actual Power
4	0.39	11	48	0.9	0.900031

รูปที่ 3.17 รายละเอียดผลการคิดขนาดตัวอย่างจากโปรแกรม Minitab

จากรูปที่ 3.17 จากการคำนวณสามารถสรุปได้ว่าขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ที่อำนาจของการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.9 และระดับความเชื่อมั่น 95% ต้องใช้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ 11 ขวด และเมื่อคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ทั้งหมดในการทดลองนี้จะได้เท่ากับ 88 ขวด (ปัจจัยจำนวน 2 ปัจจัย การทดลองทั้งหมด 8 การทดลอง เนื่องจากการทำการทดลอง 2 ระดับ เปรียบเทียบกันในแต่ละปัจจัย) สรุปดังตารางที่ 3.25

ตารางที่ 3.25 ขนาดตัวอย่างของการทดลอง (2_v^2)

ชนิดของการทดลอง	จำนวนการทดลอง (N)	ขนาดตัวอย่างต่อ 1 การทดลอง (n)	ขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ทั้งหมด (nxN)
การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)	Full Factorial Design with Center Point	11	88

3.3.5 การกำหนดระดับปัจจัยนำเข้า

จากปัจจัยนำเข้าจะมีอยู่ 2 ปัจจัย คือ ปริมาณเพคติน และปริมาณกรดซิตริก โดยทั้ง 2 ปัจจัยนี้จะถูกนำมาศึกษาเพื่อหาผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม โดยการออกแบบการทดลอง (DOE) แบบเชิงแฟคทอเรียลแบบเพิ่มจุดศูนย์กลางเพราะทั้ง 2 ปัจจัยเป็นปัจจัยแบบแปรผัน

การกำหนดระดับการทดลองของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ จะกำหนดตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์หรือช่วงของการใช้งานที่ใช้อยู่ปัจจุบัน โดยแต่ละปัจจัยแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) และมีการเพิ่มจุดศูนย์กลางด้วย โดยระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลองดังตารางที่ 3.26

ตารางที่ 3.26 ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดลอง (2_v^2)

สัญลักษณ์ของปัจจัย	คำอธิบาย	ชนิดของปัจจัย	ระดับต่ำ (-1)	จุดศูนย์กลาง	ระดับสูง (+1)
A	ปริมาณเพคติน	ปัจจัยแปรผัน	14 กรัม	17.5 กรัม	21 กรัม
B	ปริมาณกรดซิตริก	ปัจจัยแปรผัน	28 กรัม	33 กรัม	38 กรัม

3.3.6 การทำการทดลอง

- **การเตรียมการทดลอง**

เตรียมการทดลองโดยการเตรียมเครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลองให้พร้อม จากนั้นทำการอบรมพนักงานที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง ให้เข้าใจถึงการปรับตั้งพารามิเตอร์ วิธีการทดลอง รวมถึงการใช้เครื่องมือต่างๆในการทดลองให้ถูกต้องกับระดับที่ต้องการ เช่น ขั้นตอนการผสมเพคตินหรือกรดซิตริก วิธีการตวงวัดปริมาณ รวมถึงการควบคุมผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดลองให้แต่ละการทดลองไม่ปะปนกับงานปกติที่ทำการผลิตอยู่ โดยเนื่องจากขนาดตัวอย่างในแต่ละลำดับการทดลองมีเพียง 11 ตัวอย่าง/การทดลอง ทำให้ต้องทำการทดลองในห้องทดสอบ (Lab) แทนสายการผลิตจริงเนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อการผลิตจริงของทางโรงงาน

- **ขั้นตอนการทดลอง**

ทำการทดลองตามลำดับการทดลองที่ทำการสุ่มไว้โดยโปรแกรม Minitab คือทำการทดลองตามลำดับที่กำหนดไว้ในช่อง “Run Order” ซึ่งขั้นตอนการทดลองแสดงดังแผนภูมิการไหล ดังรูปที่ 3.18 และมีรายละเอียดดังนี้

1. ควบคุมอุณหภูมิในห้องทดลองที่ 25 องศาเซลเซียส เพื่อช่วยให้แยมเซ็ตตัวเร็วขึ้นภายใต้อุณหภูมิห้องทดลองที่เย็นกว่าสายการผลิตจริง

2. เตรียมวัตถุดิบของการผสมแยมสตรอเบอรี่

3. เตรียมเครื่อง Texture Analyzer ให้พร้อมใช้งาน

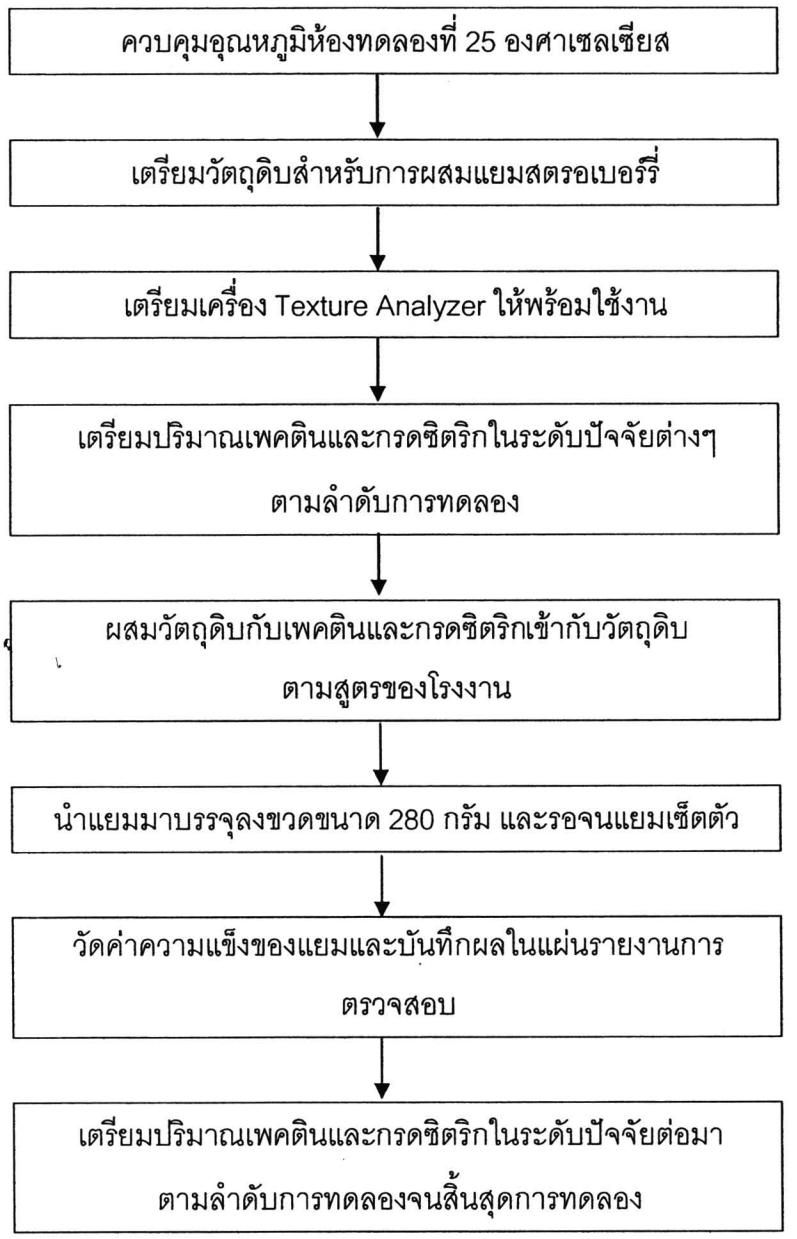
4. เตรียมปริมาณเพคติน และกรดซิตริก ในระดับปัจจัยต่างๆ ตามลำดับการทดลองและทำการผสมลงไปในเนื้อแยม โดยปริมาณเพคตินและกรดซิตริกที่เตรียมไว้นั้นจะกำหนดให้ผสมแยมได้ 11 ขวด/ลำดับการทดลอง เท่านั้น

5. ผสมเพคตินกับกรดซิตริกที่ได้เตรียมไว้ตามระดับปัจจัย และทำการผสมเข้ากับวัตถุดิบที่ได้ผสมไว้ก่อนหน้าตามสูตรปกติของทางโรงงาน

6. เมื่อผสมแยมเสร็จแล้วนำมาบรรจุลงขวด ขนาดบรรจุ 280 กรัม และรอจนแยมในขวดเซ็ตตัว

7. ทำการวัดค่าความแข็งของแยมและบันทึกผลในแผ่นรายงานการตรวจสอบ

8. ทำการเตรียมปริมาณเพคติน และกรดซิตริก ในระดับปัจจัยต่อมา ตามลำดับการทดลอง จนสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 3.18 แผนภูมิการไหลของวิธีการทดลอง

3.3.7 ผลการทดลอง

หลังจากทดลองตามขั้นตอนการทดลองที่ได้กำหนดไว้ ทำให้ได้ผลการทดลองเป็นค่าเฉลี่ยของค่าความแข็งของแยม 11 ขวด/ลำดับการทดลอง ดังตารางที่ 3.27

ตารางที่ 3.27 การออกแบบและผลของข้อมูล

RunOrder	A	B	Hardness (N)
1	1	1	6.16
2	1	-1	3.52
3	-1	-1	2.49
4	0	0	4.18
5	0	0	4.16
6	0	0	4.20
7	-1	1	5.64
8	0	0	4.13

3.3.8 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนนี้ จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองก่อนการวิเคราะห์ผลการทดลอง จากนั้นหากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์ได้ผลเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดจึงจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญและใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดระดับของปัจจัยที่โดยการทดลองครั้งนี้เป็นการทดลองแบบไม่มีการทดลองซ้ำ (Replicate) จึงไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองในขั้นตอนต่อไป

- **การวิเคราะห์ผลการทดลอง**

เมื่อข้อมูลผ่านการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้น ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง ดังรูปที่ 3.19

Factorial Fit: Hardness versus A, B

Estimated Effects and Coefficients for Hardness (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		4.4525	0.01493	298.22	0.000
A	**0.7750**	**0.3875**	**0.01493**	**25.95**	**0.000**
B	**2.8950**	**1.4475**	**0.01493**	**96.95**	**0.000**
A*B	**-0.2550**	**-0.1275**	**0.01493**	**-8.54**	**0.003**
Ct Pt		-0.2850	0.02111	-13.50	0.001

S = 0.0298608 PRESS = *
R-Sq = 99.97% R-Sq(pred) = *% R-Sq(adj) = 99.93%

Analysis of Variance for Hardness (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	**2**	**8.98165**	**8.98165**	**4.49082**	**5036.44**	**0.000**
2-Way Interactions	**1**	**0.06502**	**0.06502**	**0.06502**	**72.93**	**0.003**
Curvature	**1**	**0.16245**	**0.16245**	**0.16245**	**182.19**	**0.001**
Residual Error	3	0.00268	0.00268	0.00089		
Pure Error	3	0.00268	0.00268	0.00089		
Total	7	9.21180				

รูปที่ 3.19 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

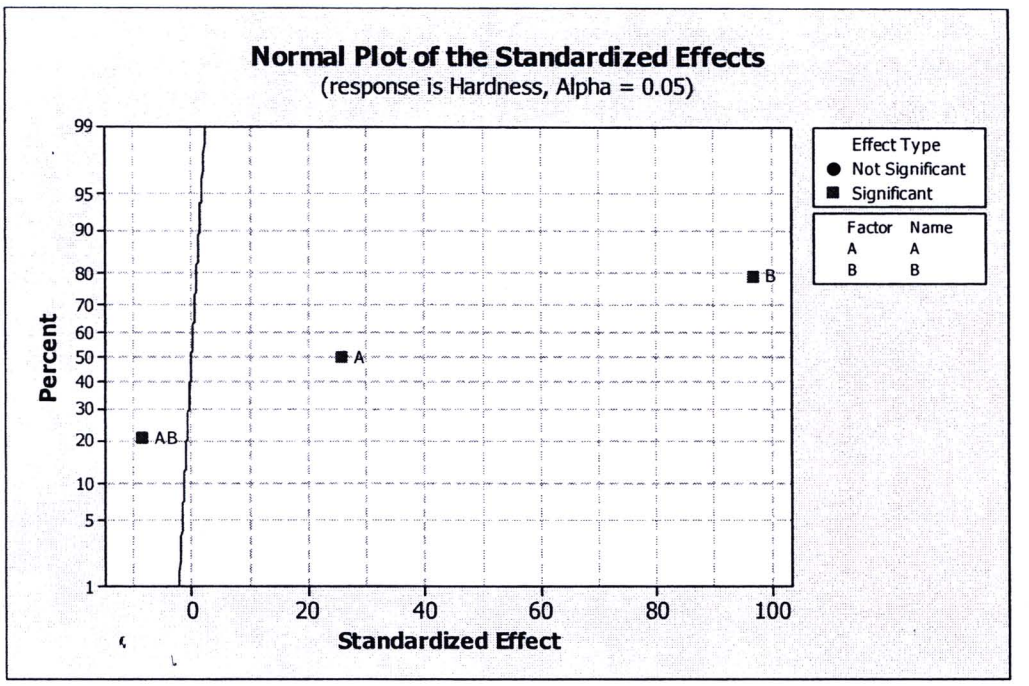
จากรูปที่ 3.19 การวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้นจากโปรแกรม Minitab เพื่อพิจารณาเทอมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม พบว่าที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งก็คือปัจจัยที่มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 โดยเมื่อทำการพิจารณาจากค่า P-Value แล้วของปัจจัยทั้งหมดทั้งปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญทั้งหมด เพราะค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ด้วยสมมติฐานที่ว่า

H_0: ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองเท่ากับ 0

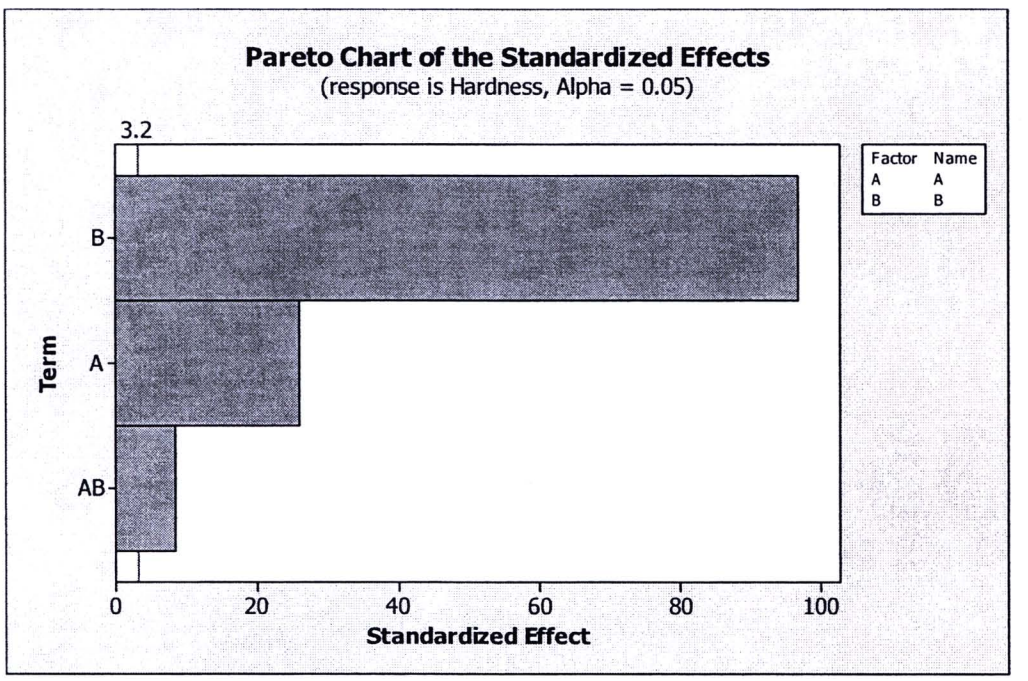
H_1: ผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองไม่เท่ากับ 0

และพบว่าทั้ง 2 ปัจจัยยังมีอิทธิพลต่อเนื่องจากความโค้งเกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเพราะค่า P-Value ของการทดสอบ Curvature มีค่า 0.001 น้อยกว่า 0.05

จากนั้นพิจารณาผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญจากกราฟ Normal Plot และ แผนภูมิพาเรโต ดังรูปที่ 3.20 และ 3.21 ตามลำดับ



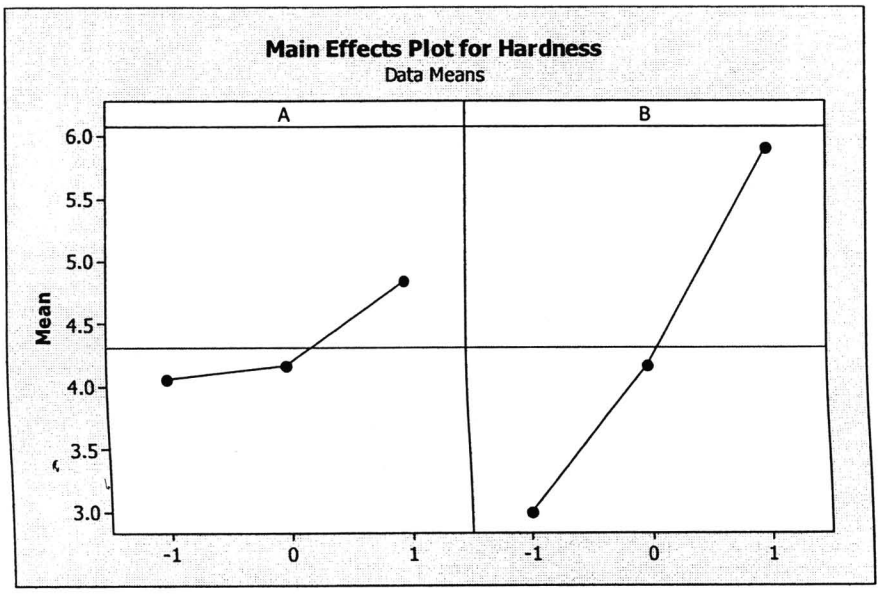
รูปที่ 3.20 กราฟ Normal Plot ของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง



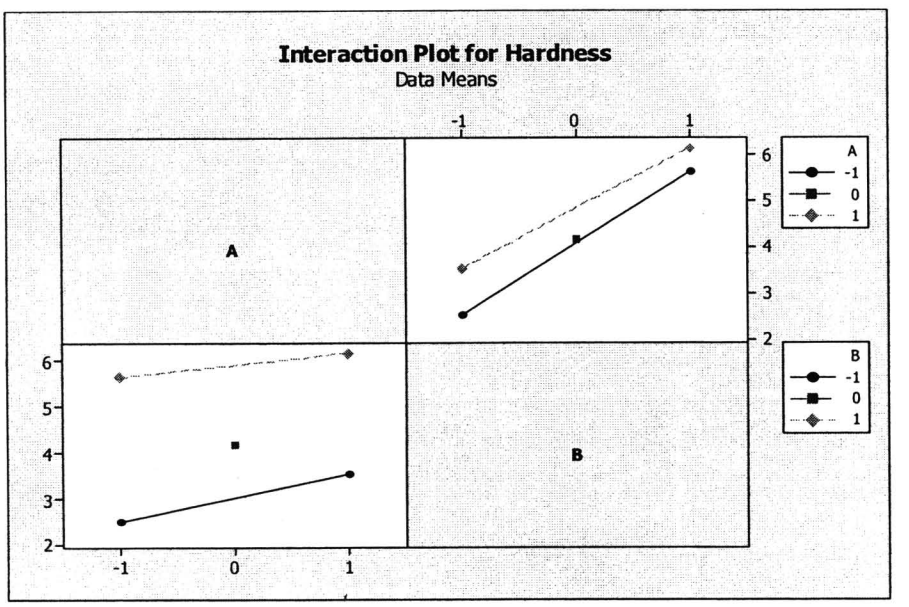
รูปที่ 3.21 แผนภูมิพาเรโตของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง

โดยจากรูปที่ 3.20 และ 3.21 จะเห็นว่าปัจจัยหลักและอันตรกิริยามีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมอย่างมีนัยสำคัญทั้งหมด และนอกจากนั้นยังสามารถ

แสดงแผนภาพผลของ Main Effect Plot และ Interaction Plot เพื่อแสดงถึงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ดังรูปที่ 3.22 และ 3.23 ตามลำดับ



รูปที่ 3.22 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม



รูปที่ 3.23 ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม

จากรูปที่ 3.22 และ 3.23 จะพบว่าปัจจัย 2 ปัจจัย คือ ปริมาณเพคติน (A) และปริมาณกรดซิตริก (B) นั้น มีผลที่ระดับของปัจจัยที่สอดคล้องกันไปในทิศทางเดียวกัน คือ ถ้าที่ระดับต่ำ (-1) ของทั้งปัจจัย A และ B ก็จะทำให้ค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมน้อย แต่ถ้าเพิ่มระดับของปัจจัยที่ระดับสูง (+1) ของทั้งปัจจัย A และ B จะทำให้ค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมมีค่าสูงขึ้น ซึ่งหมายความว่าทั้ง 2 ปัจจัยไม่มีอิทธิพลร่วมกัน เพราะทั้ง 2 ปัจจัยต่างมีทิศทางไปในทางเดียวกันคือยิ่งเพิ่มระดับของปัจจัยขึ้นของ 2 ปัจจัยก็จะยิ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมมากขึ้นตามไปด้วย และทั้ง 2 ปัจจัยก็มีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมอย่างมีนัยสำคัญด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่าปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัย มีอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง ดังนั้นจึงทำการทดสอบแบบพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Methodology, RSM) เพื่อค่าระดับปัจจัยที่ดีที่สุดต่อไป

3.3.9 สรุประยะการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

พิจาณาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อเฉลี่ยความแข็งของแยมด้วยตารางแสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุและผล จึงได้สรุปออกมาเป็น 2 ปัจจัย คือ ปริมาณเพคติน และปริมาณ กรดซิตริก และจึงทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียล แบบมีจุดศูนย์กลางสำหรับปัจจัยที่เป็นปัจจัยแบบแปรผัน (Full Factorial Design with Center Point)(2_v^2) โดยในการทดลองนี้ทำการศึกษาจำนวน 2 ปัจจัย และเป็นปัจจัยแปรผันทั้งหมด จึงได้ทำการทดลอง 8 ลำดับการทดลอง ด้วยขนาดตัวอย่างเท่ากับ 11 ขวด/การทดลอง

ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองเบื้องต้น พบว่าที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 นั้น ปัจจัยทั้ง 2 ปัจจัยคือ ปริมาณเพคติน และปริมาณกรดซิตริก มีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมอย่างมีนัยสำคัญทั้งหมด

3.4 ระยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improvement Phase)

หลังจากทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีนัยสำคัญด้วยการออกแบบการทดลองแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบมีจุดศูนย์กลางสำหรับปัจจัยที่เป็นปัจจัยแบบแปรผัน (Variable Factor)(2_v^2) โดยในขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยทั้งปัจจัยหลักและอันตรกิริยามีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ คือ A, B และ AB โดย A คือ ปริมาณเพคติน และ B คือ ปริมาณกรดซิตริก นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลเนื่องจากความโค้ง จึงทำการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการนี้ โดยศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมตรงเป้าหมายมากที่สุด โดยการวิเคราะห์ผลการทดลองจากข้อมูลที่มีอยู่

3.4.1 การออกแบบการทดลองเพิ่ม

จากปัจจัยทั้งหมดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมมีเพียง 2 ปัจจัย ซึ่งลักษณะของแต่ละปัจจัยนั้นแปรผันเป็นลักษณะเส้นโค้ง จึงใช้การออกแบบการทดลองแบบพื้นผิวตอบสนอง โดยเลือกวิธี Central Composite design (CCD) เพราะเป็นการทดลองที่เริ่มต้นด้วยปัจจัยแค่ 2 ปัจจัยซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของงานวิจัยนี้ ดังนั้นการทดลองนี้จะทำการศึกษาที่ 2 ปัจจัย จำนวนการทดลอง 13 ลำดับการทดลอง ดังรูปที่ 3.24

Central Composite Design

Factors:	2	Replicates:	1
Base runs:	13	Total runs:	13
Base blocks:	1	Total blocks:	1

Two-level factorial: Full factorial

Cube points:	4
Center points in cube:	5
Axial points:	4
Center points in axial:	0

Alpha: 1.41421

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 3.24 รายละเอียดการออกแบบการทดลองโดยโปรแกรม Minitab ด้วยวิธี CCD

จากรูปที่ 3.24 รายละเอียดการออกแบบการทดลองจะทดลองทั้งหมด 13 ลำดับการทดลอง โดยทำการกำหนดระดับปัจจัยการทดลอง 5 ระดับ คือ ระดับ -1.414, -1, 0, 1, 1.414 โดยระดับปัจจัยที่เพิ่มเข้ามาคือระดับปัจจัยที่ค่าอัลฟา (Alpha) หรือ $\alpha = (2^k)^{1/4}$ โดยคิดจากการทดลอง CCD ทดลองที่ 2 ปัจจัย โดยค่า k=2 ดังนั้น $\alpha = 2^{2/4} = 1.414$ จากนั้นทำการออกแบบการทดลองได้ตารางการทดลอง ดังตารางที่ 3.28

ตารางที่ 3.28 การออกแบบการทดลอง CCD

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B
3	1	1	1	-1	1
8	2	-1	1	0	1.414214
11	3	0	1	0	0
7	4	-1	1	0	-1.41421
4	5	1	1	1	1
6	6	-1	1	1.414214	0
10	7	0	1	0	0
5	8	-1	1	-1.41421	0
9	9	0	1	0	0
1	10	1	1	-1	-1
2	11	1	1	1	-1
12	12	0	1	0	0
13	13	0	1	0	0

เมื่อ สัญลักษณ์ -1 หมายถึง ระดับของปัจจัยที่มีระดับต่ำ (Low)

สัญลักษณ์ +1 หมายถึง ระดับของปัจจัยที่มีระดับสูง (High)

สัญลักษณ์ 0 หมายถึง จุดศูนย์กลางของปัจจัย (Center Point)

สัญลักษณ์ +1.414214 หมายถึง จุดที่อยู่เลยระดับของปัจจัยที่มีระดับสูง (Alpha)

สัญลักษณ์ -1.414214 หมายถึง จุดที่อยู่เลยระดับของปัจจัยที่มีระดับต่ำ (Alpha)

จากการวิเคราะห์การทดลองแบบ Central Composite design (CCD) ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab สำหรับการออกแบบการทดลองที่ 2 ปัจจัย รูปแบบของโมเดลที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตอบสนองหรือค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม (นิวตัน) กับการศึกษาปัจจัยปริมาณเพคติน (A) และปริมาณกรดซิตริก (B) ดังสมการ (Anees, Karnachi et al., 1996)

$$y = \beta + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{33} x_3^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 \quad (3.10)$$

เมื่อ y คือ predicted response

β_0 คือ model constant

x_1, x_2, x_3 คือ independent variables

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$ คือ Linear coefficients

$\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ คือ Cross product coefficients

$\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ คือ Quadratic coefficients

โดยที่ β_i คือ อิทธิพลหลัก และ β_{ij} คือ อันตรกิริยาระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย

3.4.2 ขนาดตัวอย่าง

ขนาดตัวอย่างแต่ละการทดลองนั้นจากขั้นตอนที่แล้วที่ได้คำนวณจากโปรแกรม Minitab ไปแล้วด้วยตัวแปรตอบสนองเป็นค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมอย่างเดียว ดังนั้นจำนวนขนาดตัวอย่างเท่ากับ 11 ขวด และเมื่อคำนวณขนาดตัวอย่างที่ใช้ทั้งหมดในการทดลองนี้จะได้เท่ากับ 143 ขวด (ปัจจัยจำนวน 2 ปัจจัย การทดลองทั้งหมด 13 การทดลอง) ดังตารางที่ 3.29

ตารางที่ 3.29 ขนาดตัวอย่างของการทดลอง CCD

ชนิดของการทดลอง	จำนวนการทดลอง(N)	ขนาดตัวอย่าง ต่อ 1 การทดลอง (n)	ขนาดตัวอย่างที่ต้องใช้ทั้งหมด (nxN)
การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)	Central Composite design (CCD)	11	143

3.4.3 การกำหนดระดับปัจจัยนำเข้า

จากการทดลองขั้นตอนที่แล้วการกำหนดระดับการทดลองของปัจจัยนำเข้า 2 ปัจจัย โดยแต่ละปัจจัยแบ่งเป็น 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (+1) และเพิ่มจุดศูนย์กลาง แต่การทดลองด้วยวิธี CCD จะทำการเพิ่มจุดเข้าไปอีก 2 จุดคือจุด $\pm\alpha$ โดยระดับของแต่ละปัจจัยในการทดลอง ดังตารางที่ 3.30

ตารางที่ 3.30 ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดลอง CCD

สัญลักษณ์ของปัจจัย	คำอธิบาย	ระดับ (-1.414)	ระดับต่ำ (-1)	จุดศูนย์กลาง	ระดับสูง (+1)	ระดับ (+1.414)
A	ปริมาณเพคติน	13 กรัม	14.32 กรัม	17.5 กรัม	20.68 กรัม	22 กรัม
B	ปริมาณกรดซิตริก	26 กรัม	28.05 กรัม	33 กรัม	37.95 กรัม	40 กรัม

3.4.4 ผลการทดลอง

หลังจากทดลองตามขั้นตอนการทดลองที่ได้กำหนดไว้ ได้ผลการทดลอง ดังตารางที่ 3.31

ตารางที่ 3.31 การออกแบบและผลการทดลอง

RunOrder	A	B	Hardness(N)
1	-1	1	5.64
2	0	1.414214	5.42
3	0	0	4.18
4	0	-1.41421	2.25
5	1	1	6.16
6	1.414214	0	4.46
7	0	0	4.16
8	-1.41421	0	4.35
9	0	0	4.20
10	-1	-1	2.49
11	1	-1	3.52
12	0	0	4.13
13	0	0	4.17

3.4.5 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

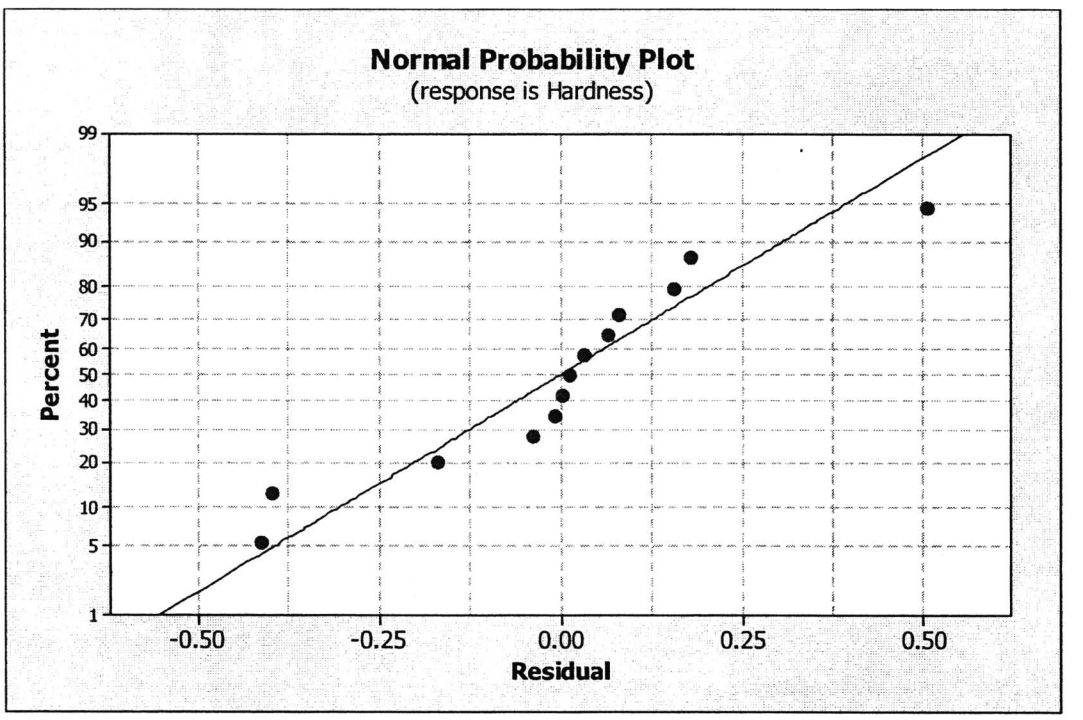
การวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนนี้ จะทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking) ก่อนการวิเคราะห์ผลการทดลอง จากนั้นหากข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ผลเป็นไปตามสมมติฐานที่กำหนดจึงจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญและใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมในขั้นตอนต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- **การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง**

ก่อนการวิเคราะห์ผลทดลองนั้น จะต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของข้อมูลก่อนนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยหลักการออกแบบการทดลอง $(0, \sigma^2)$ ด้วยทดสอบตามสมมติฐานเบื้องต้น 3 ข้อ โดยก่อนการวิเคราะห์ข้อมูล ได้ทำการทดสอบตามสมมติฐานเบื้องต้น 3 ข้อ ดังนี้

1. **การทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ**

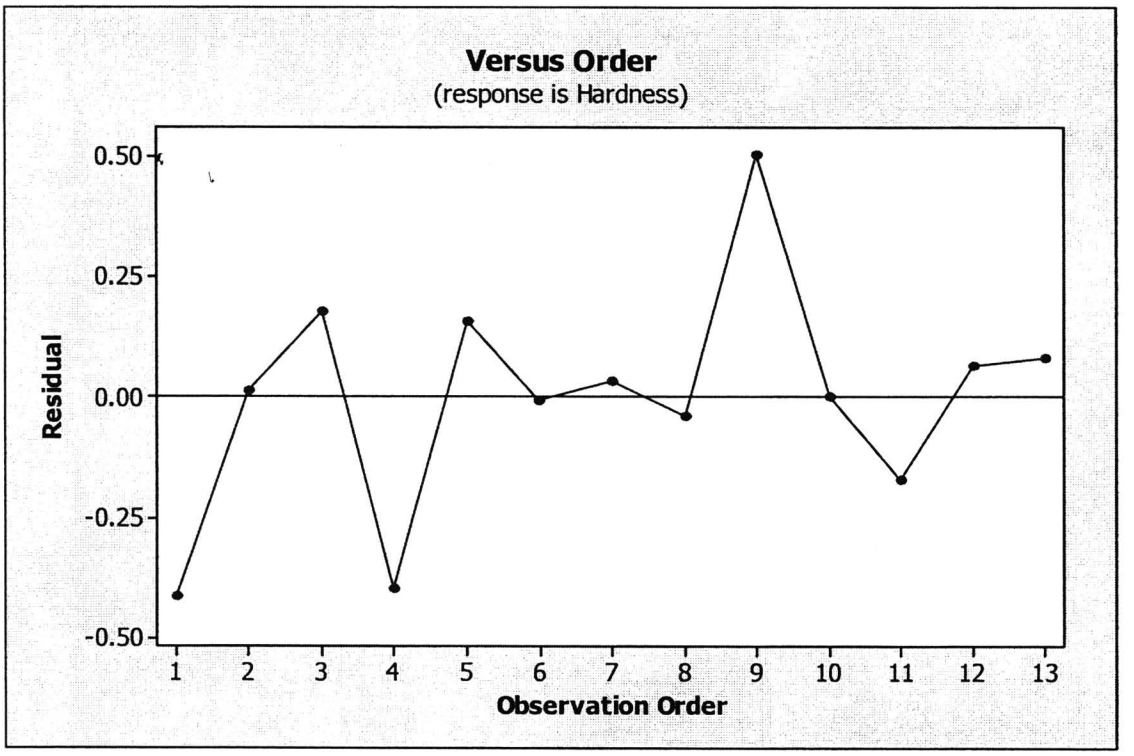
การตรวจสอบความปกติของข้อมูลหรือการทดสอบสมมติฐานของข้อมูลว่ามีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) โดยพิจารณาจากการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residual) ของค่าตัวแปรตอบสนองหรือค่าความแข็งของแยม โดยจากการทดสอบค่า P-Value จะต้องมากกว่า 0.05 จึงจะถือว่าข้อมูลเป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ซึ่งพบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวในลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง จึงสรุปได้ว่าข้อมูลที่ทำการทดลองนั้นมีการแจกแจงแบบปกติที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 ผลลัพธ์ของการทดสอบสมมติฐานของการแจกแจงปกติ

2. **การทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ** (Independence)

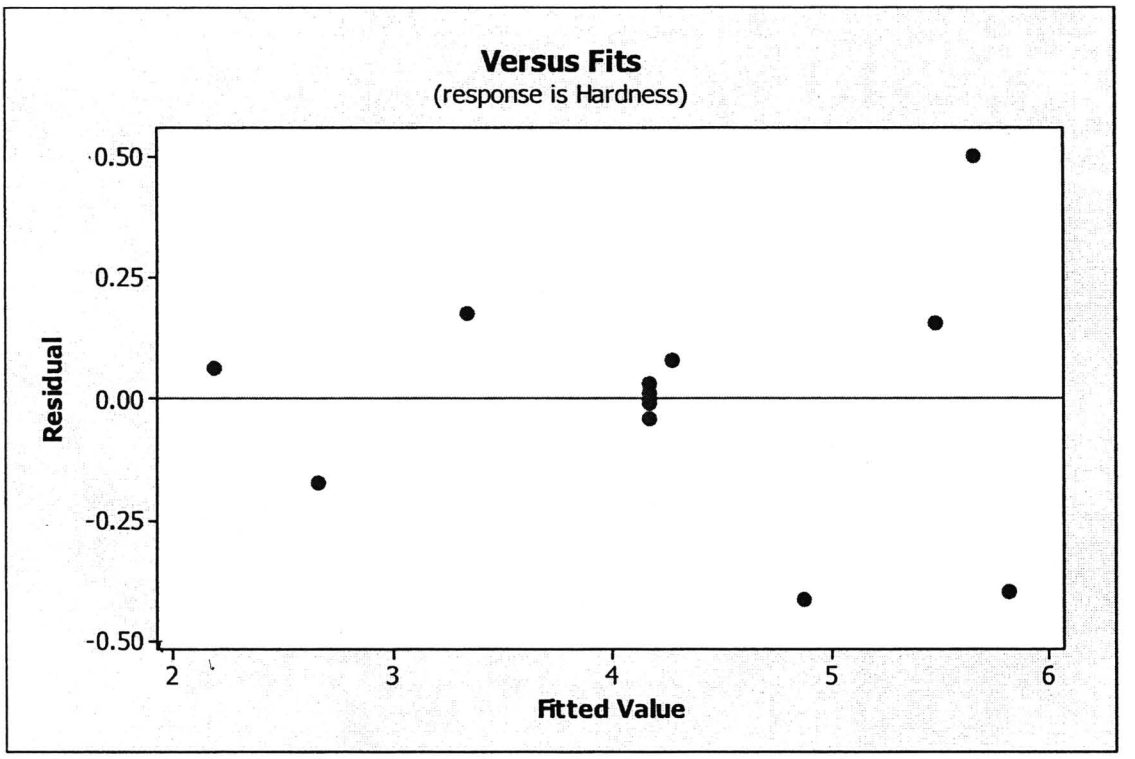
เป็นการทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ โดยสามารถตรวจสอบจากการกระจายตัวที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับความต่อเนื่องในการเก็บข้อมูล โดยการกระจายที่ปกตินั้นจะต้องเป็นการกระจายตัวที่ไม่เป็นรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ซึ่งจากการทดสอบพบว่าความสัมพันธ์นั้นไม่มีแนวโน้มรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ดังนั้นข้อมูลที่ทำการทดลองมีความเป็นอิสระต่อกัน ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและลำดับของการเก็บข้อมูล

3. **ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน** (Variance Stability)

เป็นการทดสอบความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน โดยสามารถตรวจสอบจากกระจายตัวข้อมูลความสัมพันธ์หว่างค่าส่วนตกค้างกับค่าตัวแปรตอบสนอง ซึ่งความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนที่ปกติควรจะมีการกระจายตัวแบบไม่มีรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งหรือเป็นแนวโน้ม ซึ่งจากการทดสอบพบว่าการจะจายตัวของข้อมูลไม่มีรูปแบบตายตัวที่แน่นอน ดังนั้นข้อมูลจึงมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าส่วนตกค้างและคาที่ถูกฟิต

จากทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง พบว่าการทดสอบทั้ง 3 ข้อ คือ ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ข้อมูลมีความเป็นอิสระซึ่งกันและกัน และข้อมูลมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขของการออกแบบการทดลอง NID $(0, \sigma^2)$ ดังนั้นสรุปได้ว่าผลการวิเคราะห์เชื่อถือได้ และสามารถทำการวิเคราะห์ผลการทดลองในขั้นตอนลำดับต่อไป

- **การวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น**

1. การเลือกสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้หาจุดเหมาะสมของค่าตอบสนอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองของการทดลองแบบ Central Composite design (CCD) ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งเลือกรูปแบบสมการเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลการทดลองโดยพิจารณาจาก

1.1 ค่าความมีนัยสำคัญของสมการถดถอย (Regression)

เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้สร้างสมการเส้นตรงหรือเส้นโค้งที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวหรือมากกว่า ซึ่งประกอบตัวแปรตามหนึ่งตัว (dependent variable) กับตัวแปรอิสระอย่างน้อยหนึ่งตัว (independent variable)

โดยค่าความมีนัยสำคัญของสมการถดถอยเป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบว่าตัวแปรผลตอบสนองหรือค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมกับเซตย่อยของตัวแปรถดถอยถึงความความสัมพันธ์ โดยสร้างเป็นความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการได้ดังนี้

$$Y_i = \alpha + \beta X_i + \varepsilon_i \qquad (3.11)$$

โดย

Y_i เป็นค่าของตัวแปรตาม α เป็นค่าของ Y_i เมื่อ X_i เป็นศูนย์ (Y- intercept)

β เป็นค่า Slope ของสมการ, สัมประสิทธิ์การถดถอย(Y- intercept)

εi เป็นค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริงกับค่าประมาณ

โดยตั้งสมมติฐานที่เหมาะสมคือ

$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3$

$H_1: \beta_i \neq 0$ For at least one i

เมื่อ กำหนดให้ค่า $\alpha = 0.05$

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนถ้ายอมรับสมมติฐานหลัก แสดงว่าฟังก์ชั่นการถดถอยไม่เป็นเชิงเส้น และหากมีการปฏิเสธสมมติฐานหลัก จะทำให้รู้ว่าอย่างน้อยที่สุดตัวแปรถดถอยหนึ่งตัว มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแบบจำลองของสมการทางคณิตศาสตร์

1.2 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Square)

ค่า R-Square เป็นค่าที่บอกถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระว่ามีความสัมพันธ์มากน้อยเพียงใด โดยค่า R-Square ที่มีค่ามาก จะบอกถึงความสัมพันธ์ไปทางที่ดี แต่ก็ไม่ได้บอกถึงแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นดีเสมอไป เพราะว่าถ้าหากทำการเพิ่มตัวแปรเข้าไปในสมการก็จะส่งผลให้ค่า R-Square เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ไม่ว่าตัวแปรที่ทำการเพิ่มเข้าไปนั้นจะมี

หรือไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นสาเหตุอาจมาจากได้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ดีพอในการพยากรณ์ค่าตอบสนอง

1.3 **ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ** (R-square (Adj))

ค่า R-square (Adj) จะบอกอยู่ในเทอมของรูปแบบ Regression ที่เหมาะสม โดยค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจนั้นจะไม่ค่อยเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มจำนวนตัวแปรเข้าไปในแบบจำลอง แต่ถ้าทำการเพิ่มตัวแปรที่ไม่จำเป็นลงในสมการ จะส่งผลให้ค่าของ R-square (Adj) จะมีค่าลดลงเสมอ

1.4 **ค่า** Lack-of-Fit

ค่า Lack-of-Fit จะเป็นตัวบอกถึงความเพียงพอของตัวแปรในสมการที่ทำการทดสอบ โดยในการวิเคราะห์ความแปรปรวนนั้นจะสามารถสรุปว่าฟังก์ชั่นการถดถอยไม่เป็นเชิงเส้น โดยจะพิจารณาจากค่า P-Value จะน้อยกว่าค่า α

- **การวิเคราะห์ผลการทดลอง**

เมื่อข้อมูลผ่านการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ผลการออกแบบการทดลองเบื้องต้น ด้วยโปรแกรม Minitab ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง ดังรูปที่ 3.28

Response Surface Regression: Hardness versus A, B

The analysis was done using coded units.

Estimated Regression Coefficients for Hardness

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4.16800	0.1394	29.895	0.000
A	0.21320	0.1102	1.934	0.094
B	**1.28413**	**0.1102**	**11.650**	**0.000**
A*A	0.20162	0.1182	1.706	0.132
B*B	-0.08338	0.1182	-0.705	0.503
A*B	-0.12750	0.1559	-0.818	0.440

S = 0.311760 PRESS = 4.82326
R-Sq = 95.36% R-Sq(pred) = 67.12% **R-Sq(adj) = 92.05%**

Analysis of Variance for Hardness

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	**5**	**13.9885**	**13.9885**	**2.79771**	**28.78**	**0.000**
Linear	2	13.5556	13.5556	6.77779	69.73	0.000
Square	2	0.3679	0.3679	0.18396	1.89	0.220
Interaction	1	0.0650	0.0650	0.06502	0.67	0.440
Residual Error	7	0.6804	0.6804	0.09719		
Lack-of-Fit	**3**	**0.6777**	**0.6777**	**0.22589**	**337.16**	**0.000**
Pure Error	4	0.0027	0.0027	0.00067		
Total	12	14.6689				

รูปที่ 3.28 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab

จากรูปที่ 3.28 พบว่าสมการแบบฟูลควอดราทริก (Full Quadratic) มีค่า R-Square เท่ากับ 95.36% และค่า R-Square (adj) = 92.05% ซึ่งถือเป็นค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่น่าพอใจ และเมื่อพิจารณาค่า P-Value ของ Regression ซึ่งน้อยกว่าค่า α จึงทำให้ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ดังนั้นฟังก์ชั่นการถดถอยจึงมีลักษณะเป็นเชิงเส้น โดยที่อย่างน้อยที่สุดตัวแปรถดถอย A, B หนึ่งตัวจะมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อแบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์หรือมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง และจากค่า P-Value ของ Lack-of-Fit ซึ่งน้อยกว่าค่า α ด้วยเช่นกัน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเทอมของสมการ Full Quadratic อาจจะยังไม่เพียงพอเนื่องจากปัจจัยที่ทำการทดลองไม่มากพอ

จากรูปที่ 3.28 พจน์ของ Fist Order ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม คือ ปริมาณกรดซิตริก (B) ขณะที่ปริมาณเพคติน (A) ไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่ก็จะมีผลที่ระดับนัยสำคัญ 0.1

ในขณะที่พจน์ของ Second Order ได้แก่ ปริมาณเพคติน (A*A) และปริมาณกรดซิตริก (B*B) และพจน์ของอันตรกิริยา คือ ปริมาณเพคตินกับปริมาณกรดซิตริก (A*B) นั้นไม่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม

ตารางที่ 3.32 ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร

Term	Coefficient
Constant	4.16800
A	0.213195
B	1.28413
A*A	0.201625
B*B	-0.0833750
A*B	-0.127500

โดยมีแบบจำลองของสมการทางคณิตศาสตร์คือ

$$Y = 4.16800 + 0.213195A + 1.28413B + 0.201625\,A^2 - 0.0833750B^2 - 0.127500AB$$

เมื่อ

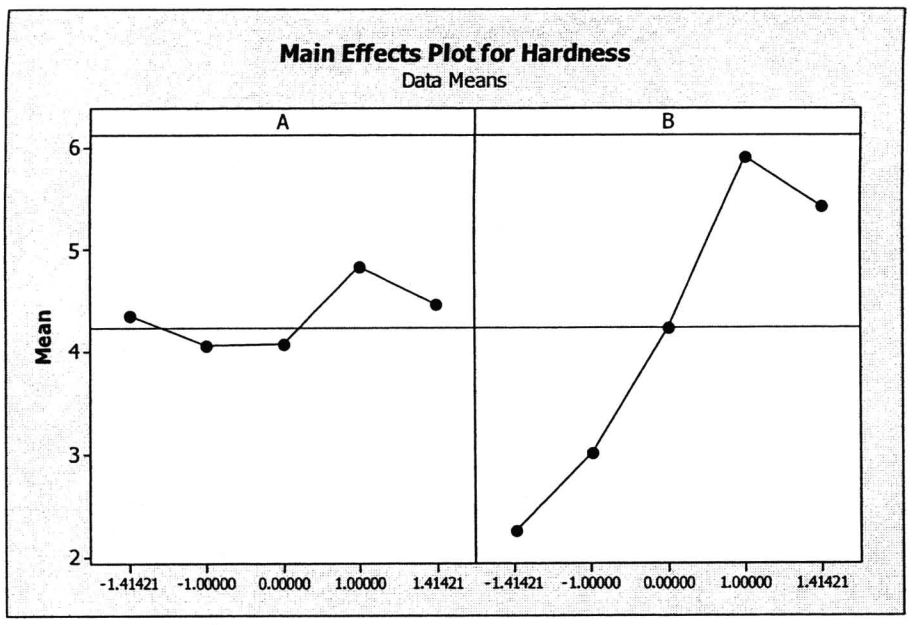
Y = ค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม

A = ปริมาณเพคติน

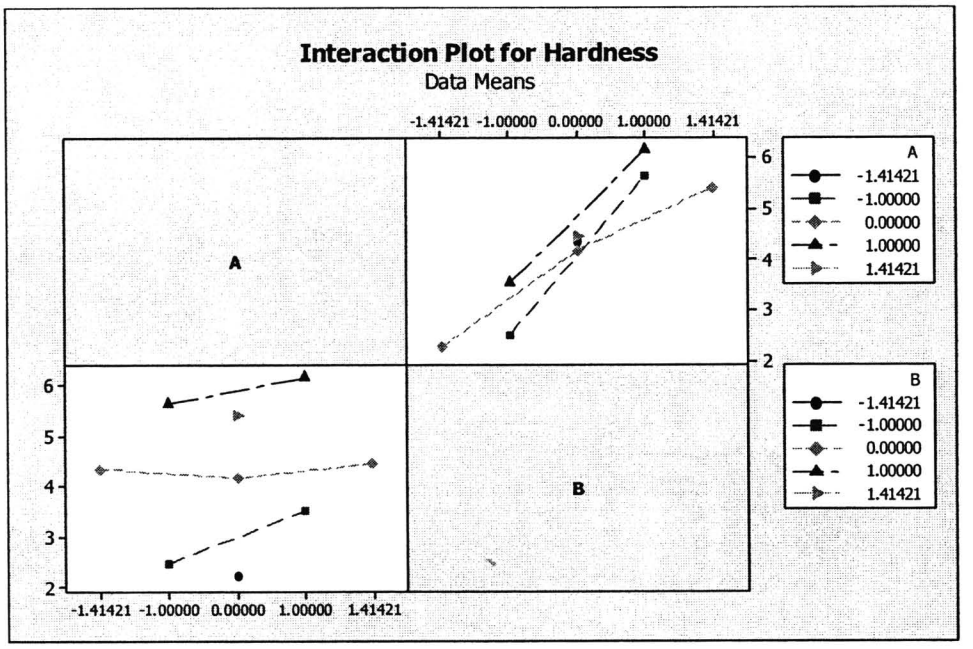
B = ปริมาณกรดซิตริก

โดยมีข้อจำกัด $13 \leq A \leq 22, 26 \leq B \leq 40$

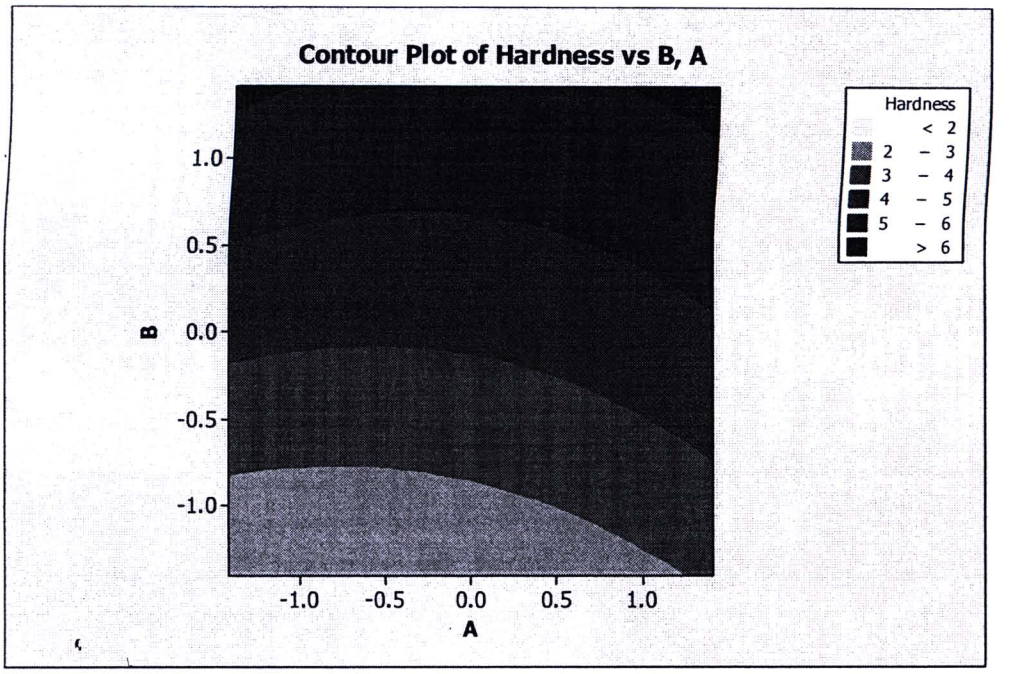
จากนั้นยังสามารถแสดงแผนภาพผลของ Main Effect Plot และ Interaction Plot เพื่อแสดงถึงผลของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ดังรูปที่ 3.29 และ 3.30 จากนั้นได้ทำการพล็อตกราฟ Contour Plot และ Surface Plot ดังรูปที่ 3.31 และ 3.32



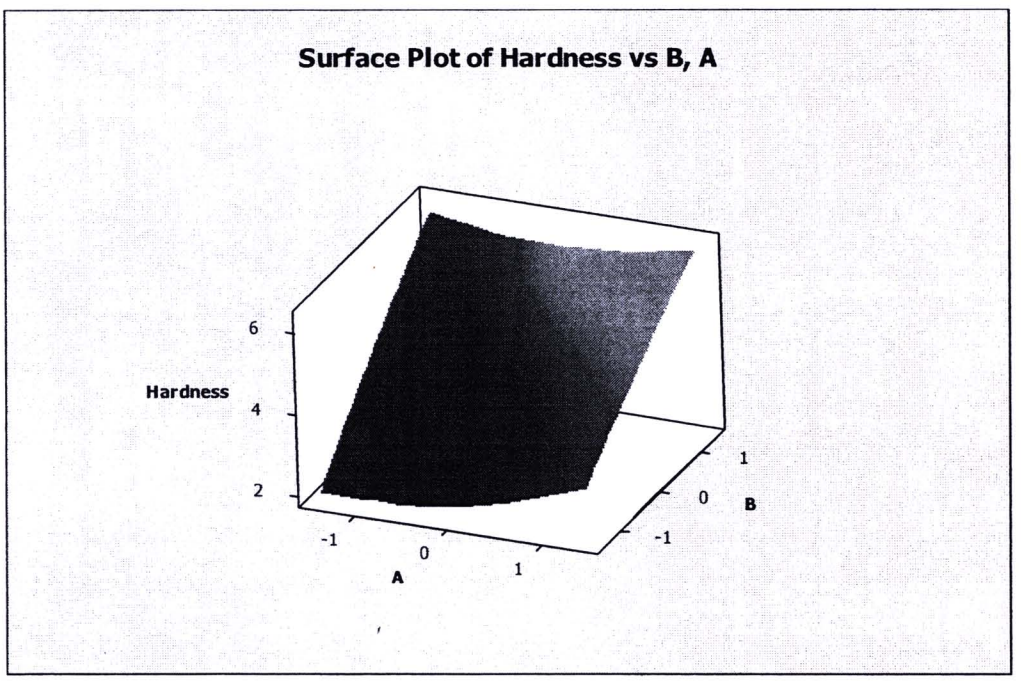
รูปที่ 3.29 ผลของปัจจัยหลักที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม



รูปที่ 3.30 ผลของอันตรกิริยาที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม



รูปที่ 3.31 กราฟ Contour Plot ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม



รูปที่ 3.32 กราฟ Surface Plot ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม

3.4.6 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง

จากการใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์เพื่อหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยหลักทั้ง 2 ปัจจัย ที่ทำให้เกิดค่าเฉลี่ยความแข็งแยมตรงตามเป้าหมายขีดจำกัดข้อกำหนด ทำให้ได้กราฟของปัจจัยหลักที่ผลต่อตัวแปรตอบสนองหรือค่าความแข็งของแยมจากสมการ 4.16800 + 0.213195A + 1.28413B + 0.201625 A^2 - 0.0833750B^2 - 0.127500AB โดยมีข้อจำกัด 13 ≤A ≤22, 26≤ B ≤40 ดังรูปที่ 3.33

Response Optimization

Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
Hardness	Target	2.5	4	5.5	1	1

Global Solution

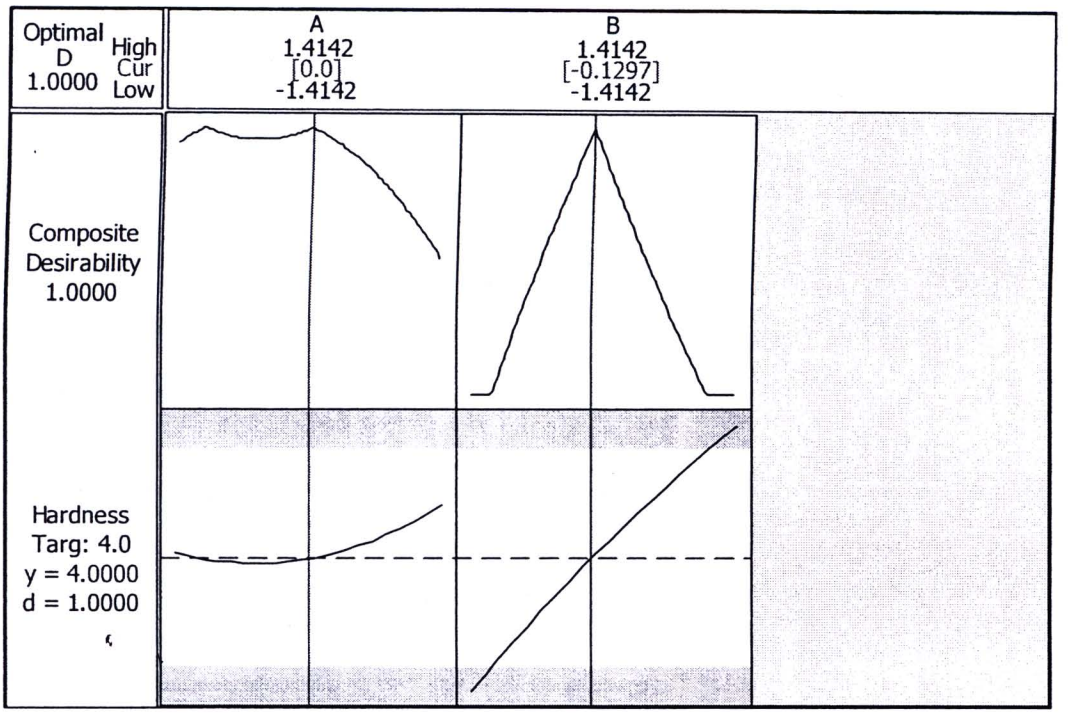
A = 0
B = -0.129735

Predicted Responses

Hardness = 4.00000 , desirability = 1.000000

Composite Desirability = 1.000000

รูปที่ 3.33 ผลการออกแบบหารหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง



รูปที่ 3.34 กราฟ Optimization Plot การปรับระดับปัจจัยที่เหมาะสม

จากรูปที่ 3.33 และ 3.34 หลังจากได้ปรับค่าระดับปัจจัย โดยกำหนดขีดจำกัดข้อกำหนดที่ด้านต่ำเท่ากับ 2.5 นิวตัน และด้านสูงเท่ากับ 5.5 นิวตัน โดยค่าเป้าหมายกำหนดที่ 4 นิวตัน ก็จะได้ค่าระดับปัจจัยของ A และ B ดังตารางที่ 3.33

ตารางที่ 3.33 ค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้า

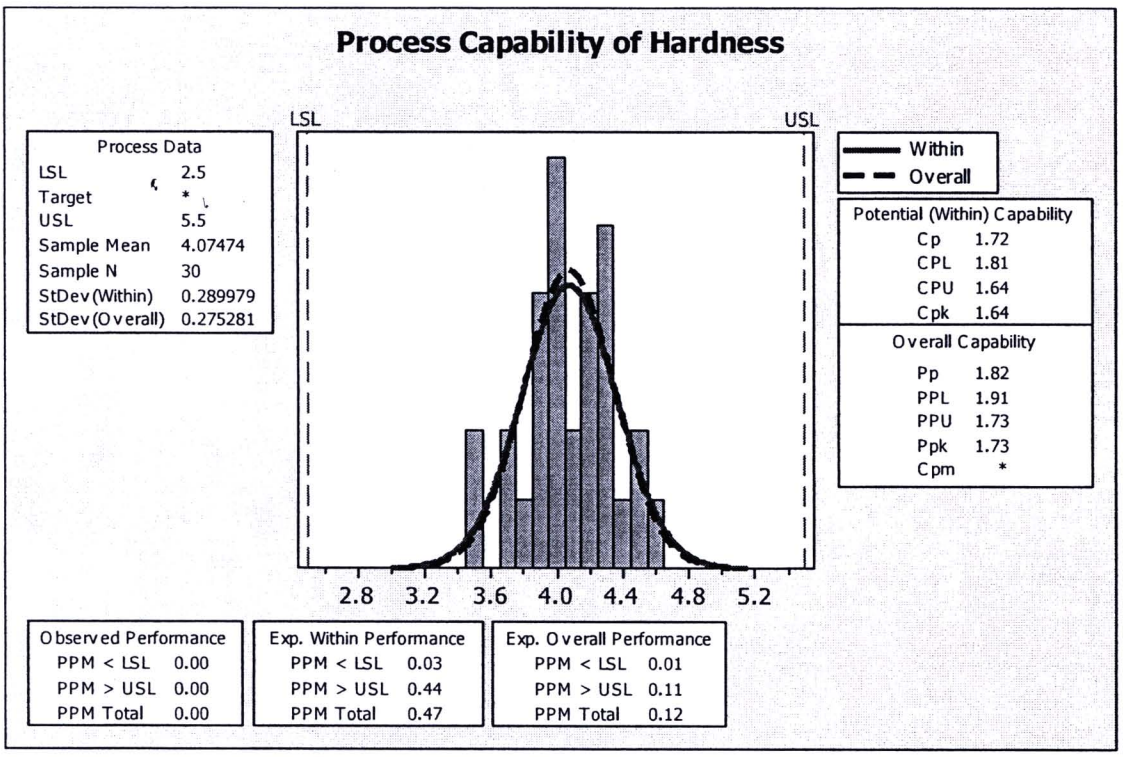
พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	หน่วย	ค่าที่เหมาะสม		ค่าที่ปรับจริง
			ระดับปัจจัย	ค่าจริง	
ปริมาณเพคติน	A	กรัม	0	17.5	17.5
ปริมาณกรดซิตริก	B	กรัม	-0.129735	32.4	32.5

จากตารางที่ 3.33 หลังจากที่ทำการปรับหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่ทำให้ได้ค่าเป้าหมายหรือค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมที่ 4 นิวตัน จะทำการแปลงค่าระดับปัจจัยไปเป็นค่าจริง ทำให้ได้ค่าปรับตั้งระดับปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าเป้าหมายหรือค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมเท่ากับ 4 นิวตัน ดังนี้

- ปริมาณเพคติน = 17.5 กรัม
- ปริมาณกรดซิตริก = 32.5 กรัม

3.4.7 การทดสอบยืนยันผล

หลังจากได้ค่าระดับที่เหมาะสมของปัจจัยมาแล้ว ขั้นตอนต่อมาก็ทำการยืนยันผลด้วยการทดลองผลิตแยมในห้องทดสอบ แล้วนำการกระจายตัวค่าความแข็งของแยมมาเทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนด เพื่อพิจารณาดูค่าความสามารถของกระบวนการ C_p , C_{pk} โดยทำการวัดค่าความแข็งของแยมจากระดับปัจจัยที่เหมาะสมจำนวน 30 ขวดเพื่อนำค่า C_{pk} มาทำการคำนวณหาขนาดตัวอย่างสำหรับยืนยันผลการทดลองในสายการผลิตจริงต่อไป ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 กราฟการกระจายตัวของความแข็งของแยมที่ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเทียบกับขีดจำกัดข้อกำหนด

จากรูปที่ 3.35 จากกราฟจะเห็นว่าการกระจายตัวของความแข็งของแยมมีค่า C_p เท่ากับ 1.72 และค่า C_{pk} นั้นมีค่าเท่ากับ 1.64 การกระจายตัวความแข็งของแยมพบว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งของแยมนั้นอยู่ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายและอยู่ในขีดจำกัดข้อกำหนดด้วยค่าเฉลี่ยประมาณ 4.07 นิวตัน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.28 นิวตัน

จากนั้นทำการคำนวณหาขนาดตัวอย่างเพื่อทดลองยืนยันผลในสายการผลิตจริง จากสมการที่ 3.9

โดย

C_{pk} คือความสามารถของกระบวนการที่ระดับปัจจัยที่เหมาะสมเท่ากับ 1.64

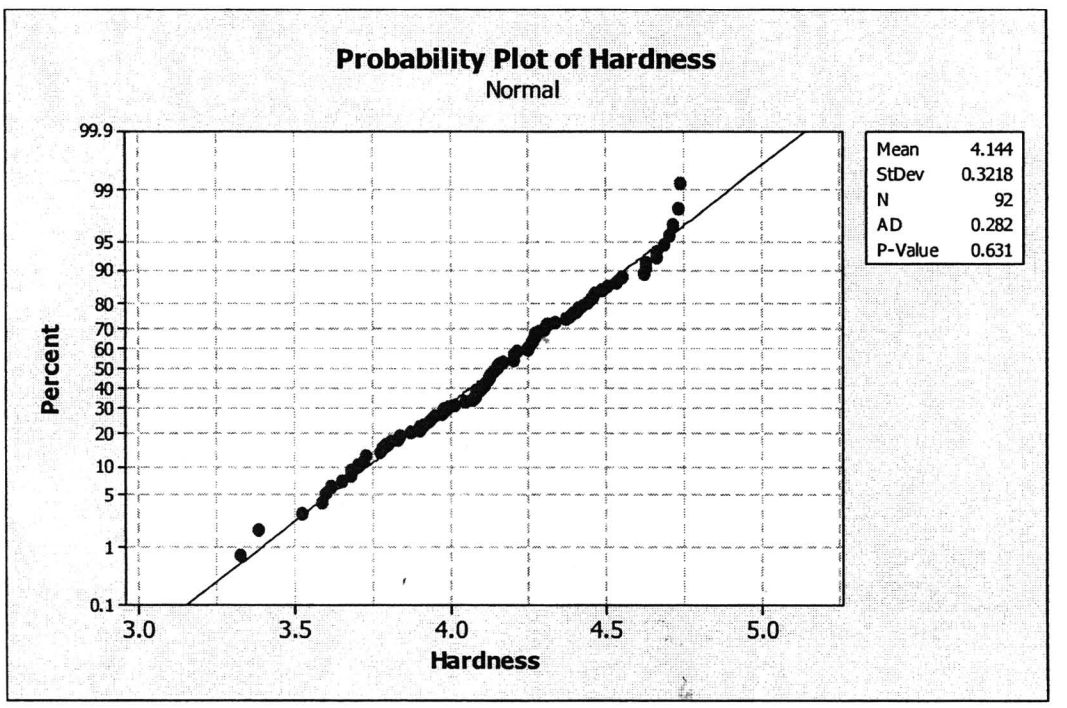
$Z_{\alpha/2}$ กำหนดค่าระดับนัยสำคัญที่ 5% เมื่อเปิดตาราง Z ได้ค่าเท่ากับ 1.96

e_{ppk} คือระดับเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดที่ยอมรับได้กำหนดเป็น 15% หรือ 0.15

แทนค่าในสมการได้ขนาดตัวอย่างเท่ากับ

$$n \geq \left(\frac{1}{9\times(1.64)^2}+\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1.96}{0.15}\right)^2 \approx 92 \text{ ตัวอย่าง}$$

จากขนาดตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณที่ 92 ตัวอย่าง ก็จะทำการทดสอบบนสายการผลิตจริงด้วยระดับปัจจัยที่เหมาะสม ด้วยการสุ่มแยมจากสายการผลิตจริงมา 92 ขวด/แบช และนำผลที่ได้มาทำการทดสอบการกระจายแบบปกติ ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 กราฟการทดสอบการกระจายตัวแบบปกติ

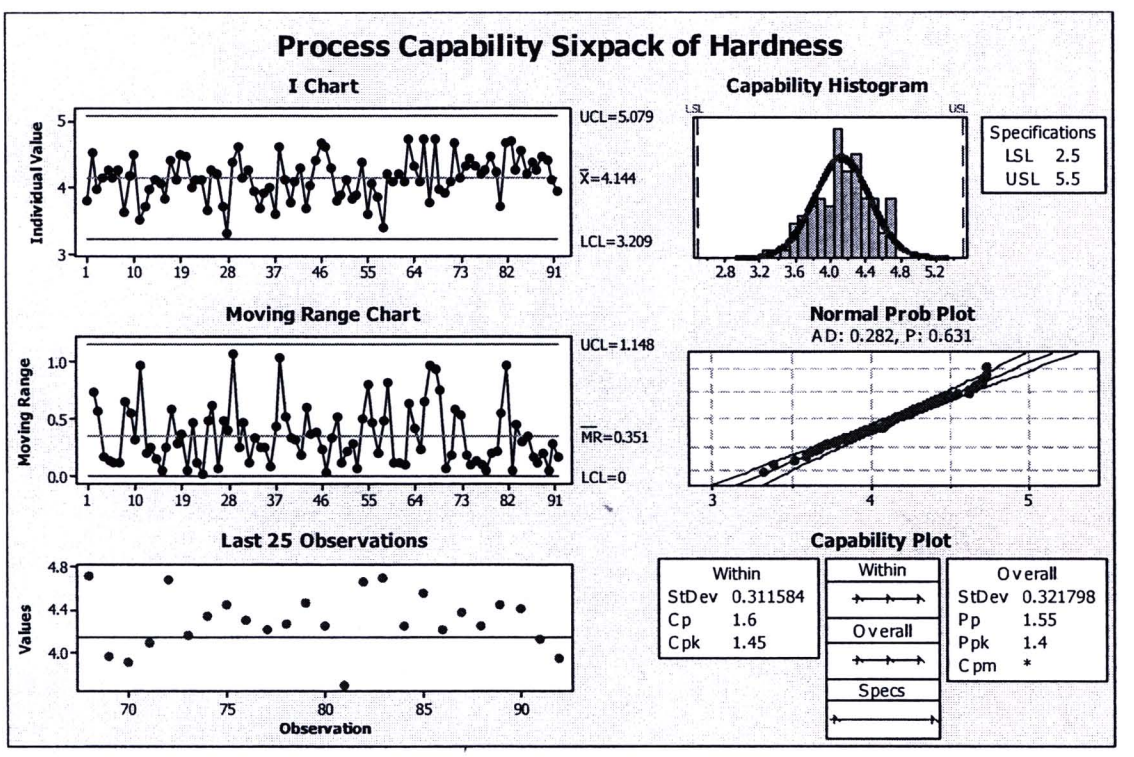
จากรูปที่ 3.36 ทำการทดสอบการกระจายแบบปกติของข้อมูลทั้ง 92 ตัวอย่างด้วยสมมติฐาน

H_0: ข้อมูลมีการกระจายแบบปกติ

H_1: ข้อมูลมีการกระจายตัวแบบไม่ปกติ

ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.631 ซึ่งถือว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ

จากนั้นทำการทดสอบ I-MR Chart โดยเป็นการพิจารณานั้นต้องพิจารณาค่าทุกค่า โดยทำการพิจารณาที่ค่า Moving Range ทีละค่าเพื่อพิจารณาดูความแตกต่างของค่าเพื่อดูความเปลี่ยนแปลงของข้อมูลทีละตัว จากนั้นทำการพิจารณาที่ I-Chart ต่อไป โดยถ้าข้อมูลตัวใด Out Control ก็ทำการตัดข้อมูลนั้นทิ้งและทำการพิจารณาใหม่ โดยทำการพล็อต Capability Sixpack เพื่อพิจารณาค่า C_p และ C_{pk} ดังรูปที่ 3.37



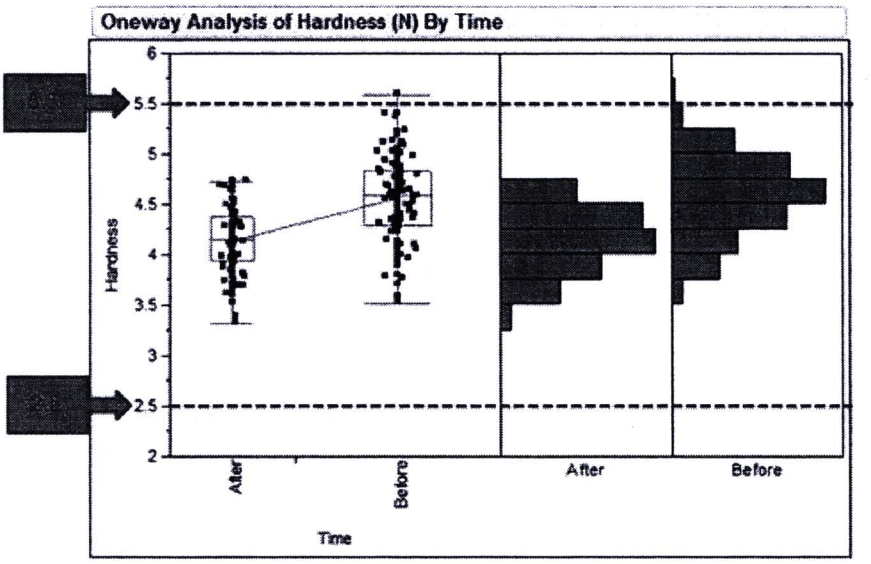
รูปที่ 3.37 กราฟ Process Capability Sixpack ของค่าความแข็งของแยม

จากรูปที่ 3.37 พบว่าค่า C_p เท่ากับ 1.6 และค่า C_{pk} เท่ากับ 1.45 ซึ่งมากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้คือต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 1.33 และเมื่อพิจารณาจากการกระจายตัวของความแข็งของแยมพบว่าค่าเฉลี่ยของความแข็งของแยมนั้นอยู่ใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายและอยู่ในขีดจำกัดข้อกำหนดด้วยค่าเฉลี่ยประมาณ 4.144 นิวตัน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.3218 นิวตัน

จากนั้นทำการเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการและจำนวนเปอร์เซ็นต์ใบร้องเรียนเรื่องการปาดยากของแยมก่อนและหลังปรับปรุง โดยข้อมูลค่าความแข็งของแยมที่ทำการสุ่มก่อนหน้าการปรับปรุง 150 ขวด อยู่ในช่วงเดือน ก.ย. ปี 2553 ถึงเดือน ก.พ. ปี 2554 ซึ่งเป็นช่วงก่อนการปรับปรุงที่ใบร้องเรียนเรื่องการปาดยากของแยมเป็น 100% ของใบร้องเรียนทั้งหมดมาเปรียบเทียบกับช่วงหลังการปรับปรุงเสร็จที่เดือน มี.ค. ปี 2554 ซึ่งมีจำนวนใบร้องเรียนลดลงเหลือ 0% โดยทำข้อมูลแยม 92 ขวด จากที่ได้ยืนยันผลมาทำการเปรียบเทียบ ได้ผลดังตารางที่ 3.34 และรูปที่ 3.38

ตารางที่ 3.34 เปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการ
และเปอร์เซ็นต์ใบร้องเรียนของก่อนและหลังปรับปรุง

ระยะการปรับปรุง	ช่วงเวลา เดือน/ปี	ค่าเฉลี่ยความแข็งของแยม (นิวตัน)		ความสามารถของกระบวนการ		จำนวนใบร้องเรียน
		ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	C_p	C_{pk}	
ก่อนการปรับปรุง	ก.ย. – ก.พ. ปี 2554	4.55	0.39	1.39	0.88	100%
หลังการปรับปรุง	มี.ค. ปี 2554	4.14	0.32	1.6	1.45	0%



Mean and Std Deviations

Level	Number	Mean	Std Dev	Std Err Mean	Lower 95%	Upper 95%
After	92	4.14391	0.321555	0.03352	4.0773	4.2105
Before	150	4.55361	0.392755	0.03207	4.4902	4.617

รูปที่ 3.38 กราฟการกระจายตัวเปรียบเทียบค่าความแข็งของแยมของก่อนและหลังปรับปรุง

จากตารางที่ 3.33 ผลก่อนการปรับปรุงจากข้อมูลที่เคยสุ่มแยมมาวัดค่าความแข็งของแยม 150 ขวด พบค่าความสามารถของกระบวนการ C_p เท่ากับ 1.39 และค่า C_{pk} เท่ากับ 0.88 ซึ่งส่งผลให้มีจำนวนใบร้องเรียนเรื่องการปาดยากของแยมคิดเป็น 100% ของใบร้องเรียนทั้งหมด แต่เมื่อทำการปรับปรุงจากการสุ่มแยมมา 92 ขวด พบว่าค่า C_p เท่ากับ 1.6 และค่า C_{pk} เท่ากับ 1.45 ซึ่งมากกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้คือที่ 1.33 และส่งผลให้จำนวนใบร้องเรื่องการปาดยากของแยมลดลงเหลือ 0% ดังนั้นจึงสอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่ายิ่งถ้าค่าความสามารถของกระบวนการ C_p และ C_{pk} มากขึ้นก็จะส่งผลให้จำนวนใบร้องเรียนเรื่องการปาดยากของแยมลดลงตามไปด้วย

3.4.8 สรุประยะการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

ในขั้นตอนนี้ได้ออกแบบการทดลองเพิ่มจากการออกแบบการทดลองในขั้นตอนก่อนหน้า โดยทำการทดลองที่ 2 ปัจจัย จึงเลือกใช้วิธี Central Composite design (CCD) เพราะเป็นวิธีที่ทำการศึกษาตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป คือปริมาณเพคติน และปริมาณกรดซิตริก โดยหลังจากทำการทดลองไปแล้ว จึงได้ผลเพื่อนำไปปรับปรุงหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยการคำนวณค่าทำนายของตัวแปรตอบสนองจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าทั้ง 2 ปัจจัย โดยการคำนวณปรับค่าระดับของปัจจัยเพื่อให้ได้ค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้คือ 4 นิวตัน โดยค่าจริงของปัจจัยคือ ปริมาณเพคตินที่ 17.5 กรัม และปริมาณกรดซิตริกที่ 32.5 กรัม หลังจากนั้นนำค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมไปทำการทดลองเพิ่มเติมอีก 92 ขวด บนสายการผลิตจริงเพื่อยืนยันผลของระดับปัจจัยที่เหมาะสม พบว่าค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมที่ได้ประมาณ 4.144 นิวตัน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.3218 นิวตัน โดยค่า C_p เท่ากับ 1.6 และค่า C_{pk} นั้นมีค่าเท่ากับ 1.45 ซึ่งมากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ที่ 1.33 และจำนวนใบร้องเรียนเรื่องการปาดยากของแยมเมื่อเทียบกับก่อนปรับปรุง 100% แต่หลังจากปรับปรุงลดลงเหลือ 0%

3.5 ระยะติดตามควบคุม (Control Phase)

ระยะติดควบคุมนี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายหลังจากปรับปรุงค่าความแข็งของแยมได้ตามเป้าหมายที่ต้องการแล้ว จะทำการควบคุมกระบวนการให้ดี สามารถตรวจจับเจอความผิดปกติได้อย่างรวดเร็ว โดยจะทำการพิจารณาไปที่ขั้นตอนผสมวัตถุดิบเพราะเป็นขั้นตอนที่ส่งผลต่อค่าเฉลี่ยความแข็งของแยมเพื่อควบคุมให้ตรงตามเป้าหมายและอยู่ในขีดจำกัดข้อกำหนด ดังนั้นจึงทำการรักษาระดับคุณภาพหลังการปรับปรุง (Control Phase) ดังนี้

3.5.1 จัดทำมาตรฐานวิธีปฏิบัติงาน (Standard Operation Procedure)

1. จัดทำคู่มือวิธีการทำงานของกระบวนการผสมวัตถุดิบ

เนื่องจากปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าความแข็งของแยมคือ ปริมาณเพคตินและปริมาณกรดซิตริก ซึ่งทั้ง 2 ปัจจัยอยู่ในกระบวนการผสมวัตถุดิบ ดังนั้นจึงจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานในขั้นตอนนี้เพื่อควบคุมไม่ให้พนักงานผสมปริมาณของเพคตินหรือกรดซิตริกผิดจากมาตรฐานที่กำหนด โดยจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานของกระบวนการผสมวัตถุดิบ

จัดทำคู่มือวิธีการทำงานของกระบวนการผสมวัตถุดิบ โดยมีส่วนประกอบดังนี้

1. วัตถุประสงค์ (Objectives)

เพื่อเข้าใจในการผสมวัตถุดิบและเป็นมาตรฐานทุกครั้งของการเตรียมและผสมวัตถุดิบ

2. ขอบเขต (Scope)

ระเบียบการปฏิบัตินี้ครอบคลุมถึงขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและผสมวัตถุดิบจนออกมาเป็นเนื้อแยมที่รอการบรรจุ

3. คำจำกัดความ (Definition)

- พนักงาน QC คือ พนักงานฝ่าย Quality Control หรือฝ่ายควบคุมคุณภาพ
- พนักงาน QA คือ พนักงานฝ่าย Quality Assurance หรือฝ่ายประกันคุณภาพ

4. หน้าที่ความรับผิดชอบ (Responsibility)

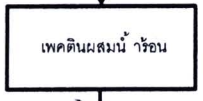
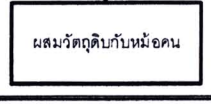
- พนักงานผสมวัตถุดิบ จะมีพนักงาน 2 คน ช่วยกันจัดเตรียมวัตถุดิบ รวมไปถึงการผสมวัตถุดิบให้ตรงตามสูตรของทางโรงงาน

- พนักงาน QC มีพนักงาน 1 คน ทำหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพของวัตถุดิบด้วยเกณฑ์พารามิเตอร์ต่างๆที่ทำการผสม
- พนักงาน QA มีพนักงาน 1 คน ทำหน้าที่ประกันคุณภาพของแยม โดยการตรวจสอบเนื้อแยมว่ามีการเซ็ตตัวอย่างไรเพื่อให้เกิดความมั่นใจและรับรองได้ว่าผลลัพธ์จากการดำเนินงานบรรลุเป้าหมายและจุดประสงค์ที่กำหนดไว้

5. **ขั้นตอนการปฏิบัติ**

โดยคู่มือวิธีการทำงานของกระบวนการผลิตแยม ดังตารางที่ 3.35

ตารางที่ 3.35 คู่มือวิธีการทำงานของกระบวนการผสมวัตถุดิบ

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน	ระยะเวลา/แบช	ผู้รับผิดชอบ	บันทึกคุณภาพ
1		จัดเตรียมวัตถุดิบทั้งหมดที่ใช้สำหรับการผสม	วัตถุดิบ ประกอบด้วย 1. เพคตินและกรดซิตริก 2. เนื้อผลไม้ในน้ำเชื่อม 3. น้ำตาลและกลูโคส 4. ระยะเวลาในการผสมเพคตินกับน้ำร้อน	5 นาที	พนักงานผสมวัตถุดิบ	ใบตรวจสอบวัตถุดิบ
2		ตวงปริมาณเพคตินตามสูตรของโรงงานผสมกับน้ำร้อน	ปัจจัยที่ควบคุม คือ 1. ปริมาณเพคตินตวงตามสูตร 2. ปริมาณน้ำ ร้อนสำหรับผสมเพคติน 3. อุณหภูมิน้ำร้อนคงที่เสมอ 4. ระยะเวลาในการผสมเพคตินกับน้ำร้อน	5 นาที	พนักงานผสมวัตถุดิบ	ใบตรวจสอบการผสมสูตรวัตถุดิบ
3		ผสมน้ำตาล กลูโคส เนื้อผลไม้ในน้ำเชื่อม และเพคตินผสมน้ำร้อน ในหม้อคน	ระยะเวลาในการผสม	9.45 นาที	พนักงานผสมวัตถุดิบ	ใบตรวจสอบการผสมสูตรวัตถุดิบ

ตารางที่ 3.35(ต่อ) คู่มือวิธีการทำงานของกระบวนการผสมวัตถุดิบ

ลำดับที่	ผังกระบวนการ	รายละเอียดงาน	มาตรฐานคุณภาพงาน	ระยะเวลา/แบช	ผู้รับผิดชอบ	บันทึกคุณภาพ
4	ต้มที่หม้อต้ม	หลังจากผสมวัตถุดิบที่หม้อคนเสร็จแล้วก็จะลำเลียงมาที่หม้อต้มเพื่อต้มที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียล	ระยะเวลาในการผสม	8 นาที	พนักงานผสมวัตถุดิบ	ใบตรวจสอบการผสมสูตรวัตถุดิบ
5	กรดซิตริกผสมน้ำร้อน	ตวงปริมาณกรดซิตริกตามสูตรของโรงงานผสมกับน้ำร้อน	ปัจจัยที่ควบคุม คือ 1. ปริมาณกรดซิตริกตวงตามสูตร 2. ปริมาณน้ำร้อนสำหรับผสมกรดซิตริก 3. อุณหภูมิน้ำร้อนคงที่เสมอ 4. ระยะเวลาในการผสมรดซิตริกกับน้ำร้อน	5 นาที	พนักงานผสมวัตถุดิบ	ใบตรวจสอบการผสมสูตรวัตถุดิบ
6	ผสมกรดซิตริกในหม้อต้ม	ผสมกรดซิตริกลงไปหม้อต้มเพื่อผสม	ระยะเวลาในการผสม	5 นาที	พนักงานผสมวัตถุดิบ	ใบตรวจสอบการผสมสูตรวัตถุดิบ
7	ไม่ผ่าน ฝ่าย QC และ QAตรวจสอบ	ฝ่าย QC ตรวจสอบค่าบริกซ์	ค่าบริกซ์ 63-65 องศา	0.45 นาที	พนักงานฝ่าย QC	ใบตรวจสอบคุณภาพแยม
		ฝ่าย QA ตรวจสอบการเซ็ตตัวของแยม	ไม่มีเป็นน้ำเหลวใส	7 นาที	พนักงานฝ่าย QA	ใบตรวจสอบคุณภาพแยม
8	ผ่าน ปล่อยแยมไปถังพัก	ลำเลียงแยมไปถังพักรอบรรจุ	ระยะเวลาในการลำเลียง	1 นาที	พนักงานผสมวัตถุดิบ	ใบตรวจสอบการผสมสูตรวัตถุดิบ

2. **การควบคุมด้วยการมองเห็น** (Visual Control)

ทำการควบคุมในกระบวนการผสมวัตถุดิบของแยม โดยอาศัยหลักการ Visual Control 2 ข้อ คือการป้องกันการผสมเพคตินและกรดซิตริกไม่ได้ปริมาณตามสูตรที่กำหนด ด้วยการผสมปริมาณน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำร้อน และระยะเวลาในการผสมให้ถูกต้องตามสูตร เนื่องจากขั้นตอนการผสมวัตถุดิบเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่ส่งผลต่อค่าความแข็งของแยมโดยตรง โดยได้ทำตาราง Visual Control ดังนี้

ตารางที่ 3.36 การป้องกันการผสมเพคตินไม่ได้ปริมาณตามมาตรฐาน

การผสมเพคตินไม่ได้ปริมาณตามสูตรที่กำหนด	
• **ก่อนการปรับปรุง** พนักงานจะตวงปริมาณเพคตินโดยประมาณด้วยสายตาโดยอาศัยจากความคุ้นเคยและความเคยชินกับปริมาณของเพคตินที่ทำการผลิตจนบางครั้งไม่ได้ตวงด้วยตราชั่ง Validate	• **หลังการปรับปรุง** ทำเอกสารแปะหน้าเครื่องบอกถึงจุดประสงค์ของการที่ต้องตวงด้วยตราชั่ง Validate ทุกครั้ง และผลกระทบของการที่ปริมาณเพคตินไม่ได้มาตรฐานจากสูตรของโรงงาน โดยทำการอบรมพนักงานทุกครั้งก่อนการผลิตให้ปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด ทำเครื่องหมายกำหนดบนอุปกรณ์ตราชั่งสำหรับตวงปริมาณเพคตินและน้ำร้อนเพื่อป้องกันพนักงานตวงปริมาณผิดพลาด

ตารางที่ 3.37 การป้องกันการผสมกรดซิตริกไม่ได้ปริมาณตามมาตรฐาน

การผสมปริมาณกรดซิตริกไม่ได้ปริมาณตามสูตรที่กำหนด	
• **ก่อนการปรับปรุง** พนักงานจะตวงปริมาณกรดซิตริก ผสมเข้ากับปริมาณน้ำร้อน และผสมเข้าด้วยกันด้วยระยะเวลาหนึ่ง โดยจะอาศัยการตรวจด้วยสายตาพิจารณาจากกรดซิตริกที่ผสมกับน้ำร้อนจนกว่าจะเป็นสีเนื้อเดียวกัน	• **หลังการปรับปรุง** ทำเอกสารแปะหน้าเครื่องบอกถึงจุดประสงค์ของการที่ต้องตวงด้วยตราชั่ง Validate ทุกครั้ง และผลกระทบของการที่ปริมาณกรดซิตริกไม่ได้มาตรฐานจากสูตรของโรงงาน ทำเครื่องหมายกำหนดบนอุปกรณ์ตราชั่งสำหรับตวงปริมาณกรดซิตริกและน้ำร้อนเพื่อป้องกันพนักงานตวงปริมาณผิดพลาด

3. **การตรวจจับปัญหา** (Detection)

ในการตรวจจับปัญหานั้น เป็นการตรวจจับความผิดปกติที่กำลังจะเกิดขึ้นภายในสายการผลิต ซึ่งเครื่องมือในการตรวจจับปัญหาที่ดีนั้น ควรที่จะสามารถแสดงให้เห็นถึงสัญญาณที่กำลังจะเกิดปัญหา ได้ก่อนที่จะเกิดปัญหาขึ้น ซึ่งเครื่องมือที่นิยมใช้กันมากคือแผนภูมิควบคุม (Control Chart) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยทำให้ทราบสภาพของกระบวนการผลิตที่ผ่านมาว่าเป็นอย่างไร

ดังนั้นจึงทำการคำนวณกลุ่มตัวอย่างของการสุ่มแยมมาวัดโดยคิดจากสมการ (Montgomery, 2001)

$$n = \left[\frac{(Z_{1-\frac{\alpha}{2}} + Z_{\beta})\sigma}{\delta} \right]^2 \qquad (3.12)$$

โดย

$Z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ กำหนดค่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.0027 เปิดตาราง $Z_{0.999865}$ เท่ากับ 3.02

Z_{β} กำหนดค่าอำนาจการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 0.8 ดังนั้นเปิดตาราง $Z_{(1-0.8)}$ เท่ากับ 0.842

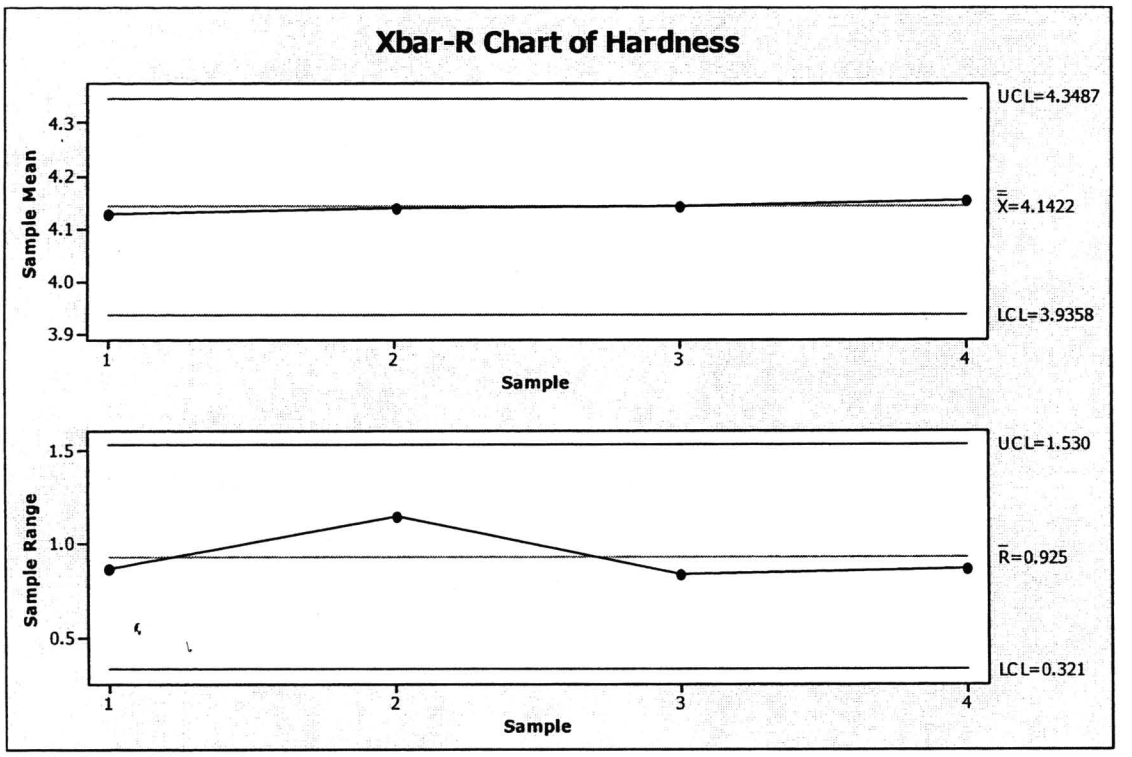
δ ความต่างของค่าเฉลี่ยที่ต้องการตรวจจับ โดยกำหนดเป็น 1 เท่าของค่า σ ดังนั้น ค่า $\frac{\sigma}{\delta}$ เท่ากับ 1

แทนค่าในสมการที่ (3.12) เท่ากับ

$$n=[3.02+0.842]^2 \approx 15 \text{ ตัวอย่าง}$$

เมื่อได้ขนาดตัวอย่างที่ 15 ตัวอย่าง จึงทำการควบคุมกระบวนการของค่าความแข็งของแยมด้วย Control Chart ประเภท $\overline{X}$ and R chart (Ashton, Furst et al., 2004) ขนาดกลุ่มตัวอย่างย่อย (Subgroup) เท่ากับ 15 ตัวอย่าง โดยจะทำการสุ่มขนาดตัวอย่างเพื่อนำมาพล็อตใน Control Chart ทุกแบช โดยจะสุ่มครอบคลุมทุกช่วงของแยมคือ ช่วงต้นแบช กลางแบช และปลายแบช ให้ได้กลุ่มตัวอย่างย่อยรวม 15 ขวด/แบช โดย $\overline{X}$ and R chart จะใช้ควบคุมค่าเฉลี่ยและระดับความผันแปรของค่าความแข็งของแยมที่วัดได้จากเครื่อง Texture Analyze โดยมีหลักการหน้าที่ตรวจจับความผิดปกติ

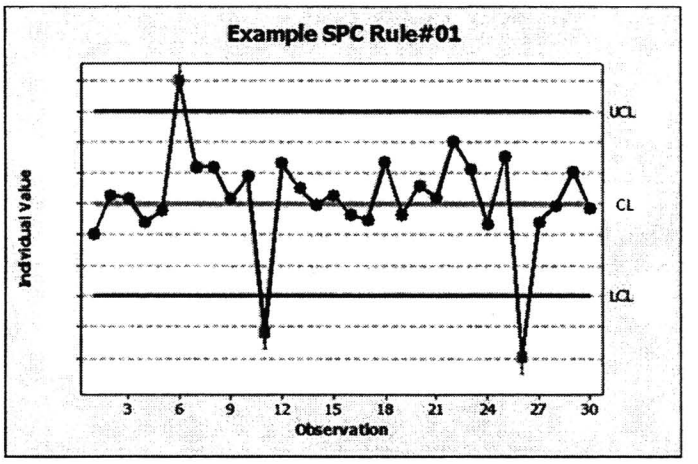
ทำการวิเคราะห์กระบวนการด้วย $\overline{X}$ and R chart โดยจากการวิเคราะห์เบื้องต้นของอาการผิดปกติประเภทต่างๆ จากกฎของการควบคุมกระบวนการโดยหลักสถิติ (Statistical Process Control, SPC) ทั้ง 8 ข้อ โดย (AT&T, 1984) ได้ทำการควบคุมความแข็งของแยมในช่วงเดือน เม.ย. ปี 2554 จำนวน 4 แบช แบชละ 15 ขวด ดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 การควบคุมของ $\overline{X}$ and R chart ค่าความแข็งของแยม

จากรูปที่ 3.39 ทำการควบคุมติดตามค่าความแข็งของแยมในเดือน เม.ย. ปี 2554 จำนวน 4 แบช ขนาดตัวอย่างย่อยแบชละ 15 ตัวอย่าง ซึ่งจากการควบคุมด้วยหลักสถิติ SPC ทั้ง 8 ข้อ ถือว่ากระบวนการค่าความแข็งของแยมปกติ ไม่มีความผิดปกติตามกฎของหลักสถิติ SPC ทั้ง 8 ข้อ

จากนั้นแสดงถึงตัวอย่างสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดความผิดปกติเพื่อใช้เป็นมาตรฐานของทางโรงงานในควบคุมความผิดปกติของกระบวนการความแข็งของแยมกับแผนควบคุม $\overline{X}$ and R chart ดังนี้



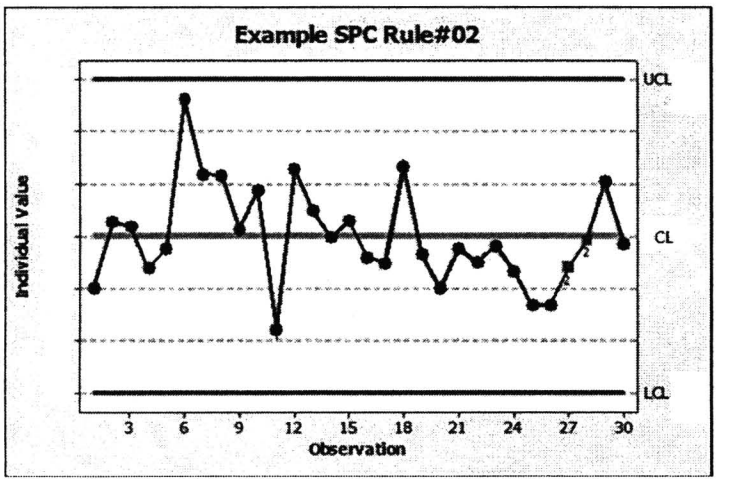
รูปที่ 3.40 กฎข้อที่1 ข้อมูล 1 จุดเกิน 3 Sigma

- สาเหตุเบื้องต้นทั่วไปที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. ตั้งเครื่องผิดพลาด	1. การปฏิบัติงานไม่สมบูรณ์
2. ความผิดพลาดในการวัด	2. การละเว้นการปฏิบัติงาน
3. ความผิดพลาดในการพล็อต	3. การขัดข้องของอุปกรณ์
4. ข้อมูลได้มาจากสเกลที่มิใช่เชิงเส้นตรง (เช่น log)	4. ชิ้นงานที่ใช้ทดลองติดตั้ง (set-up part)
5. การปฏิบัติงานไม่สมบูรณ์	5. ความผิดพลาดในการวัด
6. การละเว้นการปฏิบัติงาน	6. ความผิดพลาดในการพล็อต
7. อุปกรณ์มีการขัดข้อง	7. มีอุบัติเหตุในขณะขนถ่าย (handing)
8. การเกิดอุบัติเหตุ	

- สาเหตุเบื้องต้นของกระบวนการผลิตแยมที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. การผสมปริมาณกรดซิตริกหรือเพคตินที่มากหรือน้อยเกินไป	1. ความผิดพลาดในการพล็อตค่า
2. ความผิดพลาดในการพล็อตค่า	2. เกิดความแปรปรวนในกลุ่มตัวอย่างย่อย เช่น ข้อมูลบางค่ามีความผิดพลาดจากการวัด
3. เกิดความผิดพลาดของการผสมวัตถุดิบหรือเครื่องจักรชำรุด	
4. การผสมวัตถุดิบทั้งหมดผิดจากจากสูตรของโรงงาน	



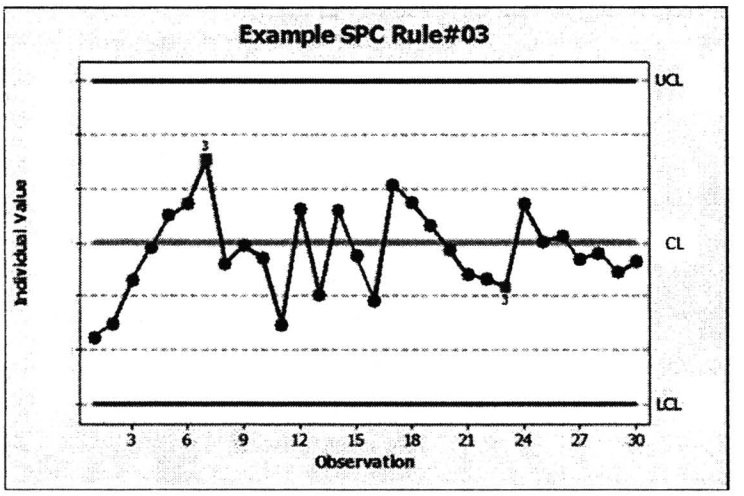
รูปที่ 3.41 กฎข้อที่ 2 ข้อมูล 9 จุดอยู่ด้านเดียวกันอย่างต่อเนื่อง

- สาเหตุเบื้องต้นทั่วไปที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. มีความแตกต่างอย่างคงที่ในวัตถุดิบและพนักงาน ฯลฯ 2. มีความแตกต่างของล็อตวัตถุดิบในห้องเก็บวัตถุดิบ 3. มีความแตกต่างในชุดทดสอบและระบบการวัด 4. มีการผสมกันของชิ้นส่วนที่แตกต่างกันมากในสายการผลิต	1. มีความแตกต่างของล็อตวัตถุดิบในห้องเก็บวัตถุดิบ 2. มีการผสมกันของชิ้นส่วนที่แตกต่างกันมากในสายการผลิต 3. มีความแตกต่างในชุดทดสอบและระบบการวัด

- สาเหตุเบื้องต้นของกระบวนการผลิตแยมที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. มีการเปลี่ยนประเภทวัตถุดิบจากเดิม 2. มีการเจือปนของวัตถุดิบต่างชนิดกันในกระบวนการผลิต	1. มีการเปลี่ยนประเภทวัตถุดิบจากเดิม



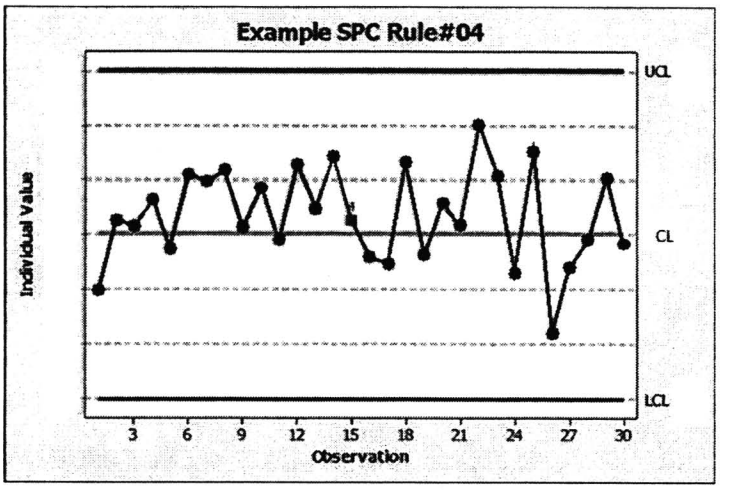
รูปที่ 3.42 กฎข้อที่ 3 ข้อมูล 6 จุดมีแนวโน้มขึ้นหรือลงอย่างต่อเนื่อง

- สาเหตุเบื้องต้นทั่วไปที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. การสึกหรอของเครื่องมือ	**แนวโน้มที่เพิ่มขึ้น**
2. การสึกหรอของเกลียวของอุปกรณ์การวัด จับยึด	1. มีการหลวมหรือสึกหรอของอุปกรณ์ทีละน้อยๆ
3. การเสื่อมสภาพของน้ำยาที่ใช้ในการชุบหรือเคลือบ	2. มีดตัดทื่อ
4. การบำรุงรักษาที่ไม่เพียงพอ	3. การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนในล็อต
5. ผลจากฤดูกาล ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ฯลฯ	**แนวโน้มที่ลดลง**
6. ความล้าของพนักงาน	1. การปรับปรุงทีละน้อยในเทคนิคการทำงานของพนักงาน
7. ความตั้งใจของบุคลากร	2. ผลจากโปรแกรมการบำรุงรักษาที่ดีขึ้น
8. การเพิ่มขึ้นหรือลดลงในกำหนดการผลิต	3. ผลจากโปรแกรมการควบคุมกระบวนการ
9. การเปลี่ยนแปลงทีละน้อยๆของมาตรฐาน	4. ผลิตภัณฑ์มีความผันแปรลดลง
10. การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนของล็อต	
11. การสะสมของคราบสกปรกน้ำยาอื่นๆ	
12. การหมดอายุของจาระบี	

- สาเหตุเบื้องต้นของกระบวนการผลิตที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. สภาพอากาศในกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม 2. มีการเปลี่ยนแปลงสูตรการผสมวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงลงอย่างค่อยเป็นค่อยไป 3. มีการนำวัตถุดิบที่ไม่ได้คุณภาพมาใช้ในกระบวนการผลิต 4. อาการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรที่กระบวนการผลิตหรือไม่ได้ทำการบำรุงรักษาดีพอ	**แนวโน้มที่เพิ่มขึ้น** 1. มีการผสมปริมาณกรดซิตริกที่มากเกินไปอย่างค่อยๆเพิ่มอย่างต่อเนื่อง 2. มีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตอย่างค่อยเป็นค่อยไป 3. มีการนำวัตถุดิบที่ไม่ได้คุณภาพมาใช้ในกระบวนการผลิต **แนวโน้มที่ลดลง** 1. มีการปรับปรุงวัตถุดิบ เครื่องมือ เทคนิคของพนักงานอย่างต่อเนื่อง หรือความผันแปรของผลิตภัณฑ์มีความผันแปรลดลง



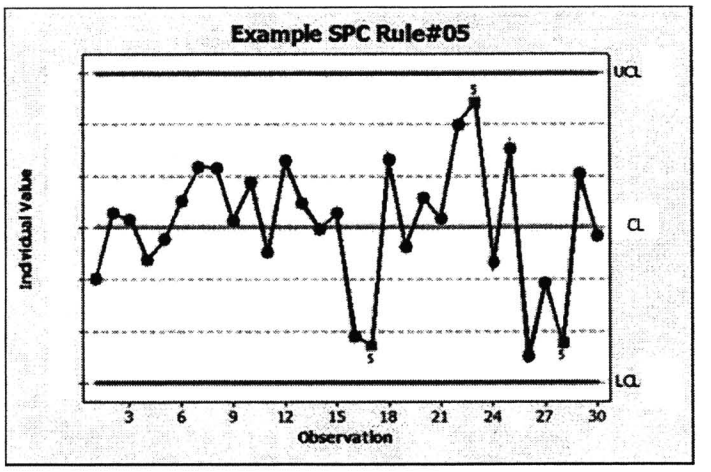
รูปที่ 3.43 กฎข้อที่ 4 ข้อมูล 14 จุดสลับขึ้นลงแบบต่อเนื่อง (ข้างไหนก็ได้)

- สาเหตุเบื้องต้นทั่วไปที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. ผลด้านฤดูกาล เช่น อุณหภูมิและความชื้น 2. ตำแหน่งของเกลียวเปลี่ยนไปเพราะการสึกหรอ 3. ความล้าของพนักงาน 4. การหมุนเวียนกะงานของพนักงาน 5. การหมุนเวียนเครื่องมือวัด 6. การแกว่งไปมาของความต่างศักย์ 7. ความแตกต่างโดยปกติของกะงานกลางวันและกลางคืน	1. กำหนดการบำรุงรักษา 2. ความล้าของพนักงาน 3. การหมุนเวียนการใช้งานของอุปกรณ์จับยึดและอุปกรณ์วัด 4. การสึกหรอของแม่พิมพ์ 5. การสึกหรอของมีดตัด (ที่ถึงรอบการลับใหม่) 6. ความแตกต่างโดยปกติของกะงานกลางวันและกลางคืน

- สาเหตุเบื้องต้นของกระบวนการผลิตที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. ความสามารถในการทำงานของพนักงานที่ต่างกะกันทำให้อาจผสมวัตถุดิบหรือทักษะการทำงานที่ต่างกัน 2. สภาพอากาศในกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม	1. ความสามารถในการทำงานของพนักงานที่ต่างกะกันทำให้อาจผสมวัตถุดิบหรือทักษะการทำงานที่ต่างกัน 2. สภาพอากาศในกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม



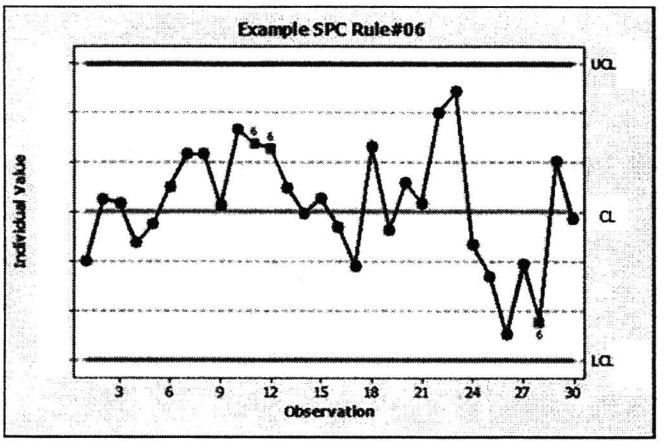
รูปที่ 3.44 กฎข้อที่ 5 ข้อมูล 2 ใน 3 จุดมากกว่า 2 Sigma ต่อเนื่อง (ข้างเดียวกัน)

- สาเหตุเบื้องต้นทั่วไปที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. มีความแตกต่างอย่างคงที่ในวัตถุดิบและพนักงาน ฯลฯ 2. มีความแตกต่างของล็อตวัตถุดิบในห้องเก็บวัตถุดิบ 3. มีความแตกต่างในชุดทดสอบและระบบการวัด 4. มีการผสมกันของชิ้นส่วนที่แตกต่างกันมากในสายการผลิต	1. มีความแตกต่างของล็อตวัตถุดิบในห้องเก็บวัตถุดิบ 2. มีการผสมกันของชิ้นส่วนที่แตกต่างกันมากในสายการผลิต 3. มีความแตกต่างในชุดทดสอบและระบบการวัด

- สาเหตุเบื้องต้นของกระบวนการผลิตที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. มีการเปลี่ยนประเภทวัตถุดิบจากเดิม 2. มีการเจือปนของวัตถุดิบต่างชนิดกันในกระบวนการผลิต	1. มีการเปลี่ยนประเภทวัตถุดิบจากเดิม



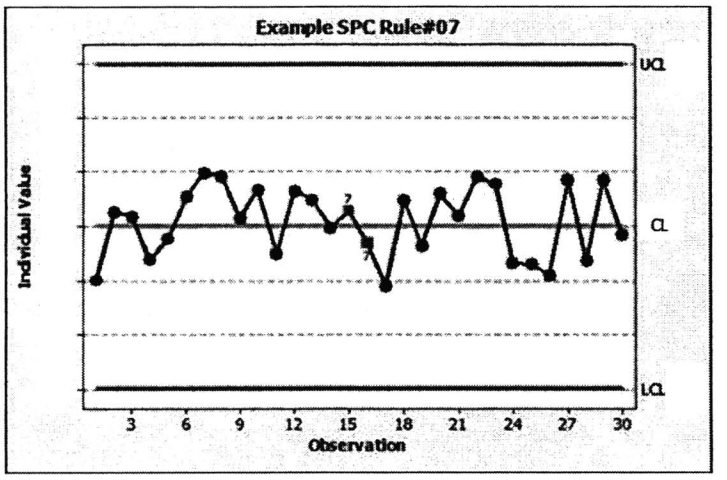
รูปที่ 3.45 กฎข้อที่ 6 ข้อมูล 4 ใน 5 จุดมากกว่า 1 Sigma ต่อเนื่อง (ข้างเดียวกัน)

- สาเหตุเบื้องต้นทั่วไปที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. มีความแตกต่างอย่างคงที่ในวัตถุดิบและพนักงาน ฯลฯ 2. มีความแตกต่างของล็อตวัตถุดิบในห้องเก็บวัตถุดิบ 3. มีความแตกต่างในชุดทดสอบและระบบการวัด 4. มีการผสมกันของชิ้นส่วนที่แตกต่างกันมากในสายการผลิต	1. มีความแตกต่างของล็อตวัตถุดิบในห้องเก็บวัตถุดิบ 2. มีการผสมกันของชิ้นส่วนที่แตกต่างกันมากในสายการผลิต 3. มีความแตกต่างในชุดทดสอบและระบบการวัด

- สาเหตุเบื้องต้นของกระบวนการผลิตแยมที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. มีการเปลี่ยนประเภทวัตถุดิบจากเดิม 2. มีการเจือปนของวัตถุดิบต่างชนิดกันในกระบวนการผลิต	1. มีการเปลี่ยนประเภทวัตถุดิบจากเดิม



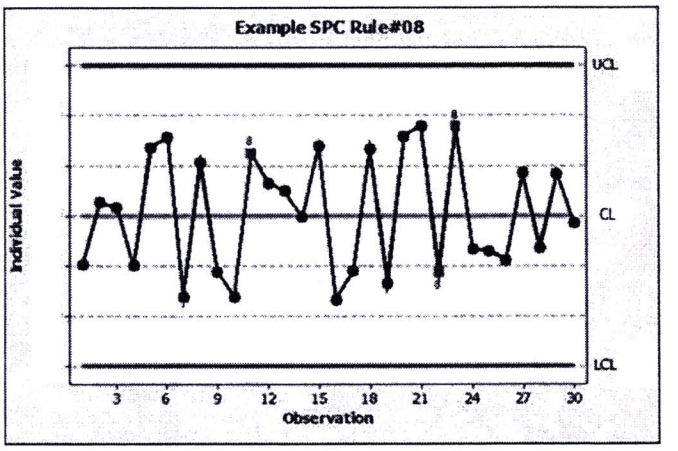
รูปที่ 3.46 กฎข้อที่ 7 ข้อมูล 15 จุดมีค่าอยู่ใน 1 Sigma แบบต่อเนื่อง (ข้างไหนก็ได้)

- สาเหตุเบื้องต้นทั่วไปที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. มีการเปลี่ยนแปลงประเภทของวัตถุดิบ 2. บุคลากรใหม่ 3. พนักงานตรวจสอบใหม่ 4. เครื่องจักรใหม่ 5. มีการปรับตั้งเครื่องจักรใหม่ 6.มีการเปลี่ยนแปลงในวิธีการปรับตั้ง 7. วิธีการชักตัวอย่างผิดพลาด	1. การเพิ่มความสามารถของเครื่องจักรและอุปกรณ์ 2. การเพิ่มทักษะของบุคลากร

- สาเหตุเบื้องต้นของกระบวนการผลิตแยมที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. มีการเก็บข้อมูลตัวอย่างผิดพลาดในสายการผลิต 2. มีการเปลี่ยนประเภทของวัตถุดิบ เครื่องจักร หรือวิธีปรับตั้งค่าใหม่	1. เครื่องจักรในสายการผลิตแยมหรือประเภทวัตถุดิบมีคุณภาพมากขึ้น 2. พนักงานในสายการผลิตแยมมีทักษะการทำงานมากขึ้น



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 3.47 กฎข้อที่ 8 ข้อมูล 8 จุดมากกว่า 1 Sigma แบบต่อเนื่อง (ข้างไหนก็ได้)

- สาเหตุเบื้องต้นทั่วไปที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. ปรับเครื่องจักรมากเกินไป 2. ตัวจับงานจับงานไม่ตรงกับตำแหน่ง 3. มีความแตกต่างของล็อตวัตถุดิบ 4. ชิ้นงานมีการผสมกันในสายการผลิต 5. มีความแตกต่างในชุดทดสอบและการวัด 6. ความคลาดเคลื่อนของระบบควบคุมอัตโนมัติ	1. พนักงานที่ไม่ผ่านการอบรม 2. การผสมกันของวัตถุดิบ 3. เครื่องจักรมีการเสื่อมสภาพ 4. ความไม่เสถียรของอุปกรณ์ทดสอบ 5. การสึกหรอของแผ่นรอง 6. ความไม่ระมัดระวังของพนักงาน 7. การประกอบที่ไม่ตรงศูนย์ 8. มีปัญหาในการทดสอบ

- สาเหตุเบื้องต้นของกระบวนการผลิตแยมที่เป็นไปได้

แผนภูมิ $\overline{X}$ Chart	แผนภูมิ R Chart
1. มีการเปลี่ยนประเภทวัตถุดิบจากเดิม 2. มีการปรับเปลี่ยนการผลิตเปลี่ยนไปจากเดิม 3. การควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อค่าความแข็งของแยมไม่คงที่ 4. มีการเจือปนของวัตถุดิบต่างชนิดกันในกระบวนการผลิต	1. มีการเปลี่ยนประเภทวัตถุดิบจากเดิม 2. มีการผสมวัตถุดิบที่ผิดไปจากสูตรของโรงงาน 3. เครื่องจักรในกระบวนการผลิตเสื่อมสภาพ 4. การปฏิบัติงานของพนักงานเกิดความผิดพลาด

3.5.2 **สรุประยะติดตามควบคุมผล**

ระยะติดตามควบคุม ได้ทำการออกแบบการรักษาระดับคุณภาพหลังการปรับปรุง โดยจัดทำการรักษาระดับคุณภาพการหลังการปรับปรุง แบ่งออกเป็น 3 ข้อ ดังนี้

1. จัดทำคู่มือวิธีการทำงานของกระบวนการผสมวัตถุดิบ
2. จัดทำการควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual Control) สำหรับควบคุมการผสมเพคตินและกรดซิตริกไม่ได้ปริมาณตามสูตร เพื่อการป้องกันการผสมไม่ให้ผิดพลาด ด้วยการผสมปริมาณน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำร้อน และระยะเวลาในการผสมให้ถูกต้องตามสูตร
3. จัดทำแผนภูมิควบคุมเพื่อตรวจจับปัญหา โดยใช้ Control Chart ซึ่งเป็นกระบวนการที่ช่วยทำให้ทราบสภาพของกระบวนการผลิตที่ผ่านมาว่าเป็นอย่างไร โดยเลือกใช้ Control Chart ประเภท $\overline{X}$ and R chart โดยทำการสุ่มแยมทุกแบช ที่ขนาดตัวอย่างแบชละ 15 ตัวอย่าง และทำการวิเคราะห์ในเบื้องต้นของอาการผิดปกติประเภทต่างๆ จากกฎของการควบคุมกระบวนการโดยหลักสถิติ SPC ทั้ง 8 ข้อ เพื่อแสดงถึงสาเหตุที่เป็นไปได้ของการเกิดความผิดปกติกับแผนควบคุม $\overline{X}$ and R chart