

การลดข้อบกพร่องของ กระบวนการบรรจุภัณฑ์แปรรูปซูชิ แช่แข็ง

จุทธามาศ รัตนกุล และ มานพ เรียวเดชะ*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ ประเทศไทย 10330

E-mail: jutamassnaha@hotmail.com, manop.r@chula.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับบรรจุภัณฑ์ถุงลามิเนตในกระบวนการบรรจุภัณฑ์แปรรูปซูชิแช่แข็ง จากการวิเคราะห์หาลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับถุงลามิเนตโดยใช้แผนภูมิพาเรโตพบว่า มีลักษณะข้อบกพร่องที่สำคัญ 6 ประเภท คือถุงที่ระบุรายละเอียดผิด ถุงที่พบเศษก้างหลังถาด ถุงที่ระบุรายละเอียดไม่ครบ ถุงหลวม รอยซีลที่ถุงไม่เรียบ และรอยซีลที่ถุงไม่ตรงตามระยะ การใช้แผนภูมิแสดงเหตุและผลโดยการระดมสมองจากผู้มีประสบการณ์ฝ่ายต่างๆ ร่วมกันวิเคราะห์ข้อบกพร่องทั้งหมด ทำให้ทราบสาเหตุของข้อบกพร่อง แล้วจึงกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลสำคัญต่อลักษณะข้อบกพร่องด้วยตารางวิเคราะห์เหตุและผล (Cause and Effect Matrix) ได้ 5 ปัจจัย ซึ่งสามารถแก้ไขข้อบกพร่องโดยใช้ค่าพารามิเตอร์ในการปฏิบัติงานให้เหมาะสม จากนั้นจึงพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยทั้ง 5 นั้น โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล 2^5 แล้วปรับปรุงกระบวนการของพนักงานหน้างานโดยกำหนดให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเป็นมาตรฐานการทำงาน พร้อมทั้งจัดโปรแกรมฝึกอบรมงานระหว่างปฏิบัติงานนี้ (On the Job Training) และควบคุมพนักงานหน้างานให้ปฏิบัติตามกระบวนการมาตรฐานนั้น ในเวลา 4 เดือนแรกหลังการปรับปรุงพบว่าข้อบกพร่องที่เกิดกับถุงลามิเนตลดลงจาก 3.19% ของการบรรจุภัณฑ์แปรรูปซูชิแช่แข็งทั้งหมด เหลือเพียง 0.01%

คำสืบค้น

แผนภูมิพาเรโต, แผนภูมิแสดงเหตุและผล, การออกแบบการทดลอง

DEFECT REDUCTION IN PACKING PROCESS OF SUSHI FROZEN SHRIMP

Jutamass Rattanakul and Manop Reodecha*

Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering, Chulalongkorn University,
Bangkok 10330, Thailand
E-mail: jutamassnaha@hotmail.com, manop.r@chula.ac.th*

ABSTRACT

This article describes an attempt to reduce the defects in the packaging process of sushi frozen shrimps with laminated bags. A Pareto analysis on the nature of defects revealed that there were six types of defects on the bags that were significant, namely: wrong information, presence of unwanted shrimp crust, missing information, sagging, uneven seals, and misplaced seals. The causes of these defects were identified by brainstorming of experienced and concerned people with the use of cause and effect diagrams. Cause and effect matrices were then used to prioritize the potential causes and found that there were five major factors which may reduce defects if their appropriate operating parameters were used. The appropriate operating parameters of the five factors were then determined with a design of experiment with 2^5 factorials. Work procedures of operators were improved and incorporated the appropriate parameters to establish standard of work. Operators were then trained on the job and controlled to work with the standard. Also, for the first four months after the introduction of process improvements, the defects of the laminated bags in the sushi frozen shrimp packages reduced from 3.19% to 0.01%.

KEYWORDS

Pareto diagrams, cause and effect diagram, design of experiment (DOE).

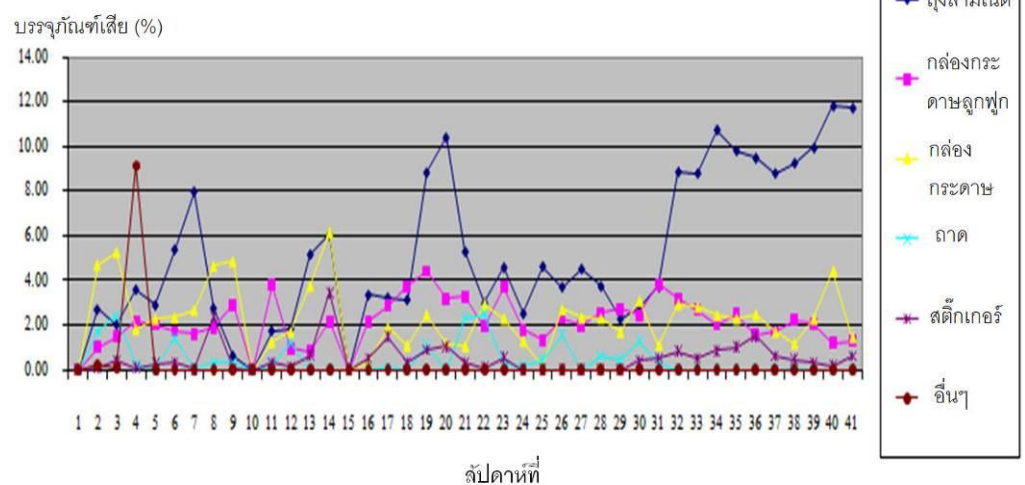
1. บทนำ

อุตสาหกรรมอาหารของไทยมีรากฐานการผลิตที่เข้มแข็งกว่าประเทศอื่นในภูมิภาคเดียวกัน บริษัทผู้แปรรูปอาหารรายใหญ่เกือบทั้งหมดเป็นผู้ส่งออก และพึ่งพิงตลาดต่างประเทศค่อนข้างมาก แนวโน้มที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อชนิดและคุณภาพของสินค้าซึ่งทำให้โครงสร้างอุตสาหกรรมเริ่มเปลี่ยนแปลงมีหลายปัจจัย การแข่งขันในเรื่องของคุณภาพและราคาก็นับว่ามีความสำคัญไม่แพ้กัน ดังนั้นการพัฒนาและปรับปรุงการผลิต การลงทุนการผลิต โดยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานและลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตก็นับว่าเป็นแนวทางหนึ่งที่จะสามารถแข่งขันกับคู่แข่งในตลาดได้

จากการเข้าไปศึกษาสภาพการทำงานในโรงงานกรณีศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลปัญหาตั้งแต่เดือนมกราคม-ตุลาคม 2553 พบว่า เกิดปัญหาจากขั้นตอนการบรรจุสินค้ามากที่สุด โดยเฉพาะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับถุงลามิเนตที่ใช้บรรจุสินค้าดังรูปที่ 1 ประกอบกับมูลค่าความสูญเสียของบรรจุภัณฑ์ถุงลามิเนตสูงขึ้นตามมาจากต้องนำสินค้ากลับมาผ่านกระบวนการเพื่อทำการบรรจุใหม่ (Reprocess) อีกครั้ง ดังรูปที่ 2

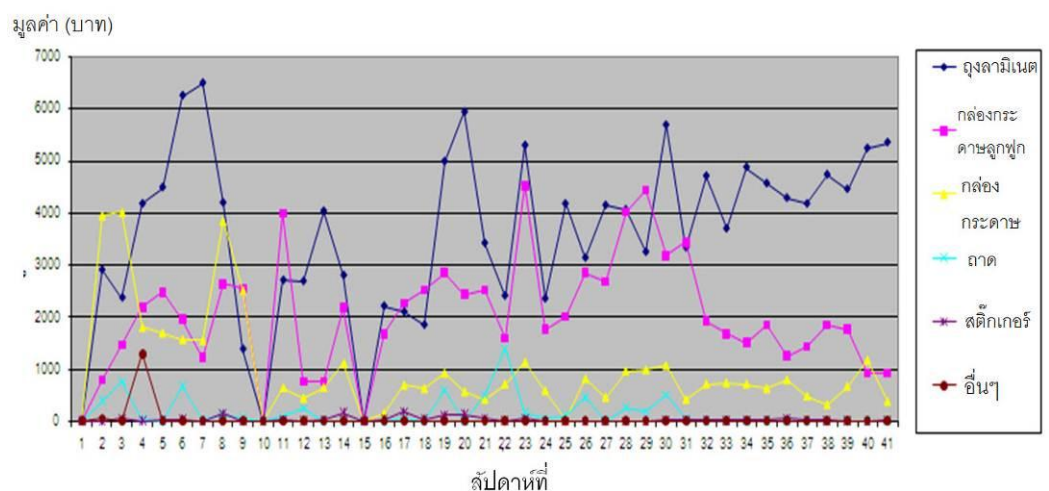
รูปที่ 1

เปอร์เซ็นต์เสียของบรรจุภัณฑ์ตั้งแต่เดือนม.ค.-ต.ค. ปี 2553 แยกตามประเภทบรรจุภัณฑ์

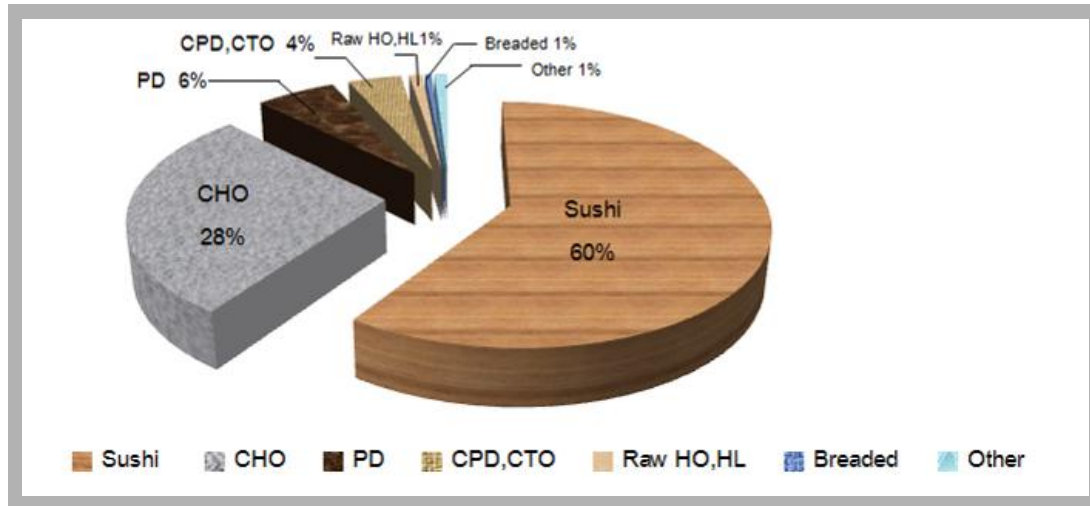


รูปที่ 2

มูลค่าการสูญเสียของบรรจุภัณฑ์ (บาท) ตั้งแต่เดือน ม.ค.-ต.ค. ปี 2553 แยกตามประเภทบรรจุภัณฑ์



จากนั้นทำการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นเกิดจากขั้นตอนการบรรจุสินค้าของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทพบว่า บรรจุภัณฑ์ประเภทถุงลามิเนตที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ซูชิ เกิดข้อบกพร่องที่ถุงลามิเนตมากที่สุด คิดเป็น 60 % ของประเภทผลิตภัณฑ์ทั้งหมดดังรูปที่ 3 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้มุ่งเน้นในการลดข้อบกพร่องประเภทถุงลามิเนตในระหว่างกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ซูชิ ในขั้นตอนของการบรรจุสินค้าโดยทำการศึกษาในขั้นตอนการเตรียมบรรจุภัณฑ์ และขั้นตอนระหว่างกระบวนการผลิต ณ จุดการบรรจุ เท่านั้น



รูปที่ 3

เปอร์เซ็นต์ข้อบกพร่องที่
ถุงลามิเนตประจำ ปี
2553 แยกตามประเภท
ของผลิตภัณฑ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุและลดความบกพร่องที่เกิดขึ้นที่บรรจุภัณฑ์ถุงลามิเนตในกระบวนการบรรจุภัณฑ์แปรรูปซูชิแช่แข็ง โดยเริ่มต้นจากการรวบรวมข้อมูลสภาพทั่วไปของโรงงานกรณีศึกษากระบวนการผลิตและสภาพปัญหาในปัจจุบัน จากนั้นใช้เครื่องมือทางด้านคุณภาพมาประยุกต์ใช้ซึ่งประกอบด้วย แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagrams) [1] ในการวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่สำคัญ การใช้แผนภูมิแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) [2] โดยการระดมสมองจากผู้มีประสบการณ์ฝ่ายต่างๆ ร่วมกันวิเคราะห์ข้อบกพร่องทั้งหมด ทำให้ทราบสาเหตุของข้อบกพร่องแล้วจึงกรองปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดกับถุงลามิเนตด้วยตารางวิเคราะห์เหตุและผล (Cause and Effect Matrix) [3] โดยกำหนดแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงจากการปรับค่าพารามิเตอร์ในการปฏิบัติงานให้เหมาะสมด้วยการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments : DOE) [4] แบบแฟกทอเรียลแบบ 2^5 [5] จากนั้นปรับปรุงกระบวนการของพนักงานโดยกำหนดให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเป็นมาตรฐานการทำงาน พร้อมทั้งจัดโปรแกรมฝึกอบรมงานในหน้าที่ (On the Job Training) ซึ่งได้แก่ การอบรมมาตรฐานการปฏิบัติงานในขั้นตอนการเตรียมบรรจุภัณฑ์และในระหว่างกระบวนการผลิต ณ จุดการบรรจุและควบคุมติดตามพนักงานหน้างานให้ปฏิบัติตามกระบวนการมาตรฐานนั้นอย่างต่อเนื่อง

II. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagrams)

แผนภูมิพาเรโต [6] เป็นเครื่องมือสำหรับการตรวจสอบปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในองค์กร โดยการนำเอาปัญหาเหล่านั้นมาแบ่งแยกประเภท แล้วเรียงลำดับความสำคัญของข้อมูลจากมากไปน้อย โดยแผนภูมิพาเรโตเป็นการรวมกราฟพื้นฐาน 2 ชนิด คือ กราฟคอลัมน์หรือกราฟแท่งและกราฟเส้น โดยกราฟแท่งมีการจัดการลำดับความสูงของแต่ละแท่งให้เรียงลดหลั่นกันจากซ้ายไปขวา ส่วนกราฟเส้นมีไว้เพื่อแสดงค่าสะสมของความสูงของคอลัมน์ต่างๆจากซ้ายไปขวา ประโยชน์ของแผนภูมิพาเรโตใช้เป็นแนวทางใน

การตัดสินใจแก้ปัญหาเร่งด่วน ปัญหารอง ตามลำดับ โดยทำให้เข้าใจถึงลำดับความสำคัญของปัญหานั้นๆ ได้ทันที ขณะเดียวกันผู้วิจัยได้มีการศึกษาค้นคว้าผลงานวิจัยที่มีลักษณะใกล้เคียงกับปัญหาที่ทำงานวิจัยเช่น Xiuli [7] ประยุกต์ใช้แผนภูมิพาเรโตในการเลือกวิเคราะห์ข้อตกลงของห่วงโซ่อุปทานภายใต้ความพึงพอใจเป็นหลักก่อนนำไปแก้ไขปรับปรุง, เทพประสิทธิ์ [8] ใช้แผนภูมิพาเรโตในการจัดลำดับข้อบกพร่องจากกระบวนการผลิตผ้าหลังคารถยนต์ ซึ่งจำเป็นในการเลือกหัวข้อเพื่อนำมาแก้ไขปรับปรุง โดยอาศัยหลัก 80:20 ของแผนภูมิพาเรโตมาใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจ

2.2 แผนภูมิแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนภูมิแสดงเหตุและผล [9] เป็นแผนภาพที่แสดงความสัมพันธ์ของสาเหตุ (Cause) ซึ่งทำให้คุณภาพเปลี่ยนแปลงกับผลที่เกิด (Effect) โดยรวมไว้ในลักษณะแผนภาพที่คล้ายกับก้างปลา จึงนิยมเรียก “ผังก้างปลา” (Fishbone Diagram) หรือบางครั้งเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า “แผนภูมิอิชิกาวา” (Ishikawa Diagram) โดยองค์ประกอบและสาเหตุหลักโดยทั่วไปมักจะเหมือนกัน คือ คนงานหรือพนักงาน (Man), เครื่องมือและเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ (Machine), วัตถุดิบ (Material) และกระบวนการทำงาน (Method) [10]

แผนภูมิแสดงเหตุและผล เป็นวิธีการที่ใช้หาสาเหตุที่แท้จริง (Root Cause) ของปัญหาในระดับรายละเอียด ซึ่งจะต้องทราบปัญหาที่เกิดขึ้นก่อน จากการรวบรวมข้อมูล จัดเรียงข้อมูล โดยเลือกปัญหาที่เกิดขึ้นมากที่สุดมาแก้ไขก่อน แล้วมาระดมความคิดจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ค่อยๆ ระบุสาเหตุที่อาจทำให้เกิดปัญหา ปัญหาหรือผลลัพธ์ (Problem or Effect) ซึ่งจะแสดงอยู่ที่หัวปลา ส่วนสาเหตุ (Causes) จะแยกย่อยออกเป็น ปัจจัย (Factors) ที่จะส่งผลกระทบต่อปัญหา (หัวปลา) สาเหตุหลัก สาเหตุย่อย ซึ่งสาเหตุของปัญหาจะเขียนไว้ในก้างปลาแต่ละก้าง ก้างย่อยเป็นสาเหตุของก้างรองและก้างรองเป็นสาเหตุของก้างหลัก จากนั้นทำการจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุปัญหาโดยการพิจารณาจากความสัมพันธ์ด้วยตารางวิเคราะห์เหตุและผล (Cause and Effect Matrix), Varzakas [10] ทำการวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิแสดงเหตุและผลในการวิเคราะห์หาสาเหตุของอันตรายที่จุดวิกฤตในกระบวนการ

ประโยชน์ของแผนภูมิแสดงเหตุและผลเป็นเครื่องมือในการระดมความคิดจากสมองของสมาชิกทุกคนในกลุ่มอย่างเป็นหมวดหมู่ และสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ได้มากมาย ทั้งในหน้าที่การงาน สังคม หรือแม้แต่กระทั่งในชีวิตประจำวัน และแสดงให้เห็นสาเหตุต่างๆ ของปัญหา ผลที่เกิดขึ้นที่มีมาอย่างต่อเนื่องจนถึงแก่นของปัญหาอย่างแท้จริง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าผลงานวิจัยเพิ่มเติม เช่น กฤษดา [11] ได้เริ่มต้นจากการทำแผนภาพเหตุและผล จากนั้นขอความร่วมมือกันจากพนักงานในส่วนต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้องอย่างครบถ้วนทำการเลือกปัจจัยเพื่อทำการศึกษาต่อไป, วัชรศักดิ์ [12] ศึกษาถึงปัจจัยในกระบวนการผลิตชุดประกอบสำเร็จหัวเขียนอ่านข้อมูลที่มีผลกระทบต่อค่าการโก่งตัวของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล รวมถึงพิจารณาหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมที่เป็นไปได้จริงในทางปฏิบัติ เพื่อลดค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการเปลี่ยนแปลงค่าการโก่งตัว โดยเริ่มจากการอาศัยความรู้และความชำนาญของผู้เชี่ยวชาญและเอกสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผล จากนั้นทำการเลือกวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลองเป็นลำดับต่อไป

2.3 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE)

การออกแบบการทดลอง [13] เป็นการตรวจสอบดูว่า ปัจจัย(Factor)ใดหรือตัวแปรใดที่มีผลต่อสิ่งที่สนใจ (Response) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ พิสูจน์ข้อเท็จจริงหรือความเชื่อหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิต และเพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ

การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) [14] มีขั้นตอนทั่วไปของการออกแบบการทดลอง [15] เป็นดังนี้

1. กำหนดปัญหา (Problem Identification)
2. เลือกตัวแปรที่ใช้ชี้วัด (Define Response Variables)
3. กำหนดปัจจัย (Factors Identification)
4. ออกแบบการทดลอง (Design Experiment)
5. วิเคราะห์ข้อมูล (Analyze Data)
6. สรุปผล (Conclusion)
7. กำหนดปัจจัยที่ดีที่สุด (Identify Optimal Setting for Factor)
8. ทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผล (Run Confirmation Experiment)

การออกแบบการทดลอง เป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างมากในงานด้านวิศวกรรม สำหรับการเพิ่มความสามารถของกระบวนการผลิต และยังมีการนำไปประยุกต์เพื่อการใช้งานสำหรับการพัฒนากระบวนการใหม่ ๆ โดยการประยุกต์ใช้งานเทคนิคการออกแบบการทดลองนั้นส่งผลให้ลดของเสียในกระบวนการผลิต ลดความผันแปรและทำให้ผลลัพธ์ของกระบวนการหรือตัวผลิตภัณฑ์เข้าใกล้ค่าเป้าหมาย การออกแบบในงานวิจัยนี้ได้กำหนดปัญหา คือ ลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดกับถุงลามิเนตที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ซูชิ, ตัวแปรที่ใช้ชี้วัด คือ จำนวนสัดส่วนของเสียของถุงลามิเนต (ใบ) ที่เกิดขึ้น

III. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

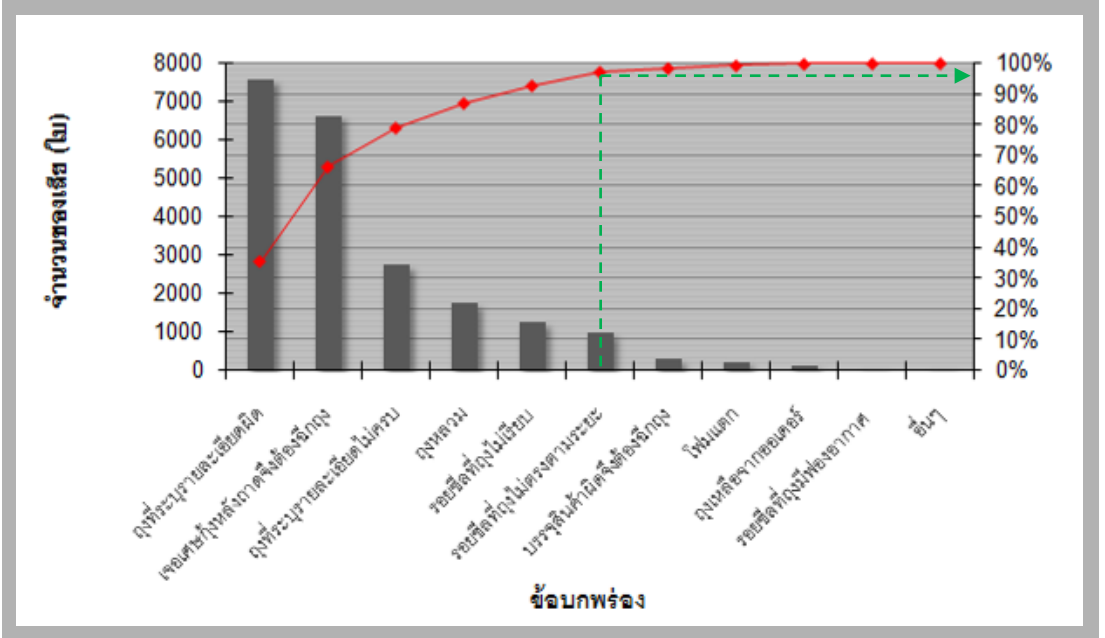
3.1 การวิเคราะห์สภาพปัญหาและคัดเลือกข้อบกพร่อง

จากการศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนถุงลามิเนตที่เสีย ตั้งแต่เดือน มกราคม-ตุลาคม ปี 2553 สามารถบันทึกจำนวนถุงลามิเนตที่เสียจากประเภทของผลิตภัณฑ์ซูชิ ทั้งหมด 6 รายการ ประกอบด้วย 3 กลุ่มผลิตภัณฑ์ซูชิ คือ Sushi Normal , Sushi HM และ Sushi Broken สามารถแบ่งลักษณะข้อบกพร่องของถุงลามิเนตที่ใช้สำหรับบรรจุผลิตภัณฑ์ซูชิ จำนวน 15 ประเภท และจากแผนภูมิพาเรโต ดังรูปที่ 4 นำไปวิเคราะห์หาสาเหตุและปัญหา โดยแผนภูมิจะเห็นว่า เปอร์เซ็นต์ของข้อบกพร่อง 95% เกิดจากข้อบกพร่องทั้งหมด 6 ประเภท ประกอบด้วย

1. ถุงที่ระบุรายละเอียดผิด
2. ถุงที่พบเศษก้างหลังถาดจึงต้องฉีกถุง
3. ถุงที่ระบุรายละเอียดไม่ครบ
4. ถุงหลวม
5. รอยซีลที่ถุงไม่เรียบ
6. รอยซีลที่ถุงไม่ตรงตามระยะ

รูปที่ 4

แผนภูมิพาเรโตแสดง
จำนวนข้อบกพร่องที่ถูกลามิเนตจากขั้นตอนการบรรจุ



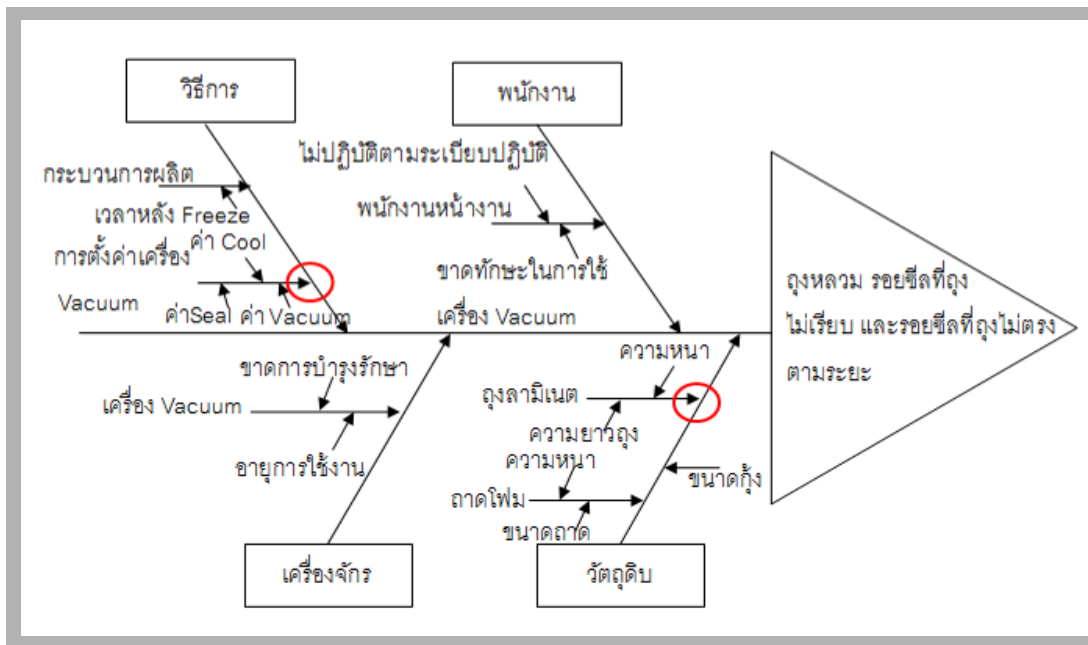
3.2 การวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องและแนวทางแก้ไข

นำข้อมูลข้อบกพร่องจากผลิตภัณฑ์ซูชิทั้งหมด 3 กลุ่ม 6 รายการ ที่ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องจากการประยุกต์ใช้แผนภูมิพาเรโต มาร่วมกันระดมสมองเพื่อหาสาเหตุข้อบกพร่อง โดยเชิญผู้มีประสบการณ์จากฝ่ายต่างๆ ร่วมวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้แผนภาพสาเหตุและผล (ผังก้างปลา) เมื่อทราบถึงสาเหตุของข้อบกพร่องแล้ว ได้กำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีอิทธิพลต่อข้อบกพร่องที่ถูกลามิเนตเพื่อพิจารณาหาแนวทางแก้ไขและปรับปรุงอย่างเหมาะสม ซึ่งสามารถสรุปแนวทางการลดข้อบกพร่องได้เป็น 2 แนวทางหลัก คือ การปรับปรุงกระบวนการของพนักงานหน้างาน และการปรับปรุงโดยการปรับค่าพารามิเตอร์ในการปฏิบัติงานให้เหมาะสมด้วยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลแบบ 2^5 จากปัจจัย 5 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ คือค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของพารามิเตอร์ในการปฏิบัติงานจากแผนภาพแสดงสาเหตุและผล (ผังก้างปลา) ดังรูปที่ 5 และ 6 พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อถุงหลวม รอยขีดที่ถุงไม่เรียบ และ รอยขีดที่ถุงไม่ตรงตามระยะ ซึ่งผู้วิจัยจึงได้ทำการกรองปัจจัยและนำปัจจัยดังกล่าวมาใช้ในการออกแบบการทดลองต่อไป ประกอบด้วย 5 ปัจจัย ได้แก่

1. ค่า Vac ของเครื่อง Vacuum Packaging
2. ค่า Seal ของเครื่อง Vacuum Packaging
3. ค่า Cool ของเครื่อง Vacuum Packaging
4. ความยาวของถุงลามิเนต
5. ความหนาของถุงลามิเนต

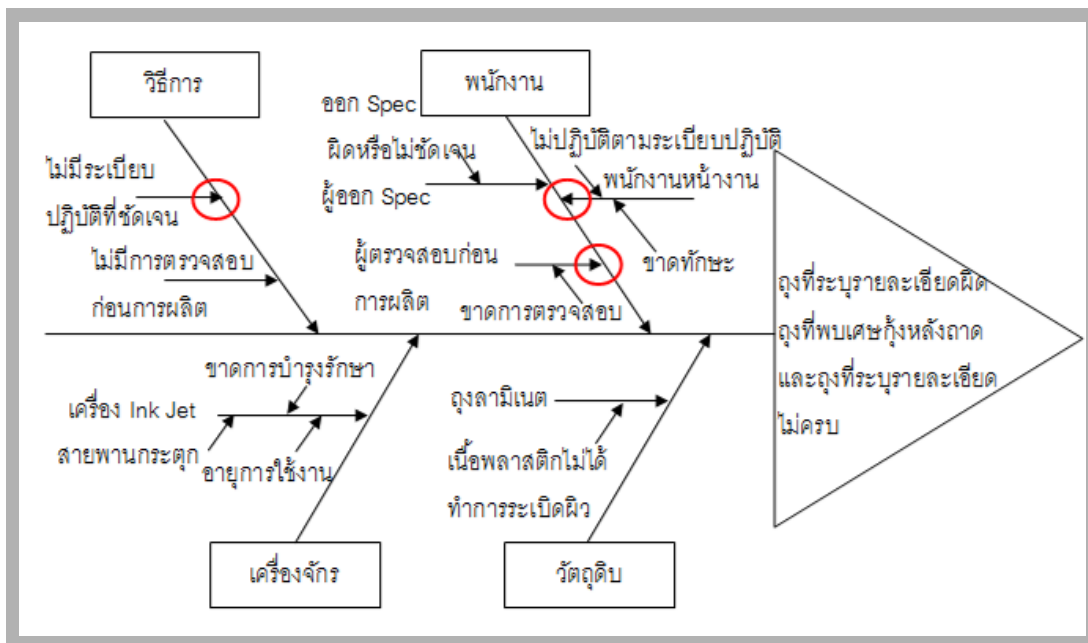
ยังพบอีกว่า ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะข้อบกพร่องของถุงที่ระบายละเยียดมิด ถุงที่พบเศษกึ่งหลังถาด และถุงที่ระบายละเยียดไม่ครบ ซึ่งไม่ต้องอาศัยการออกแบบการทดลอง ได้แก่

1. ระเบียบปฏิบัติในการทำงาน
2. ความเอาใจใส่และความละเอียดรอบคอบของพนักงาน
3. ทักษะของพนักงานหน้างาน



รูปที่ 5

ผังก้างปลาแสดงสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องของถุงหลวม รอยซีลที่ถุงไม่เรียบ และรอยซีลที่ถุงไม่ตรงตามระยะ



รูปที่ 6

ผังก้างปลาแสดงสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่องของถุงที่ระบุรายละเอียดผิด ถุงที่พบเศษกึ่งหลังถาด และถุงที่ระบุรายละเอียดไม่ครบ

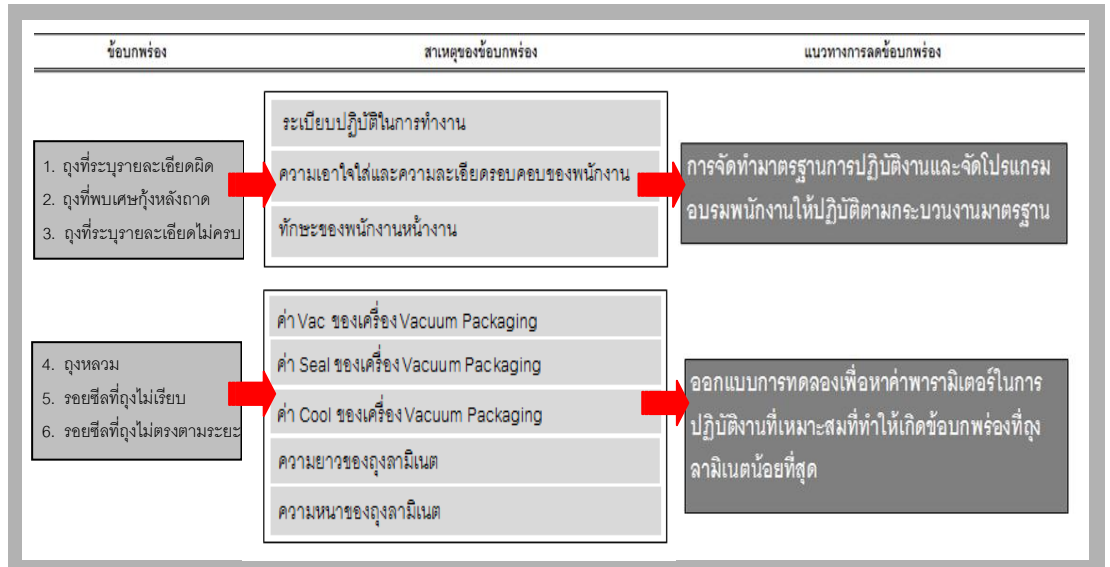
3.3 การดำเนินการแก้ไขข้อบกพร่อง

สรุปแนวทางการแก้ไขข้อบกพร่อง แบ่งเป็น 2 แนวทางหลัก ดังนี้คือ

1. ลักษณะข้อบกพร่องของถุงหลวม รอยซีลที่ถุงไม่เรียบ และรอยซีลที่ถุงไม่ตรงตามระยะ มีแนวทางการลดข้อบกพร่องโดยการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องของถุงลามิเนตน้อยที่สุด
2. ลักษณะข้อบกพร่องของถุงที่ระบุรายละเอียดผิด ถุงที่พบเศษกึ่งหลังถาด และถุงที่ระบุรายละเอียดไม่ครบ มีแนวทางการลดข้อบกพร่องโดยการจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงานในขั้นตอนการเตรียมบรรจุภัณฑ์และขั้นตอนระหว่างกระบวนการผลิต ณ จุดการบรรจุ จากนั้นจัดโปรแกรมฝึกอบรมงานในหน้าที่ (On the Job Training) เพื่อให้พนักงานปฏิบัติตามมาตรฐานการปฏิบัติงานที่ได้จัดทำขึ้น สามารถสรุปเป็นแผนภาพแสดงแนวทางการแก้ไขเพื่อลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับถุงลามิเนตได้ดังรูปที่ 7

รูปที่ 7

แนวทางการแก้ไขเพื่อลดข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับถุงลามิเนต



3.4 การออกแบบการทดลองเพื่อลดข้อบกพร่องและผลการทดลอง

ขั้นตอนการปรับปรุงได้นำทฤษฎีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^5 [3] ที่มีปัจจัยในการทดลองทั้งหมด 5 ปัจจัย แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ พบว่าได้การทดลองเท่ากับ 32 การทดลอง และทำการทดลอง 3 กลุ่มผลิตภัณฑ์ซูชิ ซึ่งสามารถแสดงระดับปัจจัยต่างๆเป็นสภาพการทำงานจริงในระหว่างกระบวนการผลิต แสดงในตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1

ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^5 ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ซูชิประเภทที่ 1 และ 2

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		หน่วย
		ต่ำ (-1)	สูง (+1)	
A	ค่า Vac	4.5	5.5	sec
B	ค่า Seal	1.2	2.2	sec
C	ค่า Cool	5.5	6.5	sec
D	ความยาวของถุงลามิเนต*	2	3	cm
E	ความหนาของถุงลามิเนต	85	95	micron

*ความยาวของถุงลามิเนต ยึดจากความยาวของส่วนที่เหลือหลังจากใส่ถาดลงในถุงแล้ว

ตารางที่ 2

ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^5 ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ซูชิประเภทที่ 3

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		หน่วย
		ต่ำ (-1)	สูง (+1)	
A	ค่า Vac	9.0	10.0	sec
B	ค่า Seal	1.2	2.2	sec
C	ค่า Cool	5.5	6.5	sec
D	ความยาวของถุงลามิเนต*	2	3	cm
E	ความหนาของถุงลามิเนต	85	95	micron

*ความยาวของถุงลามิเนต ยึดจากความยาวของส่วนที่เหลือหลังจากใส่ถาดลงในถุงแล้ว

การออกแบบการทดลองนี้ใช้โปรแกรม Minitab ในการออกแบบการทดลอง โดยต้องอยู่ภายใต้ 3 เงื่อนไข คือ ข้อมูลเป็นแบบสุ่มและมีการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน (Independent) และข้อมูลมีความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) ก่อนที่จะนำวิเคราะห์และสรุปผล จากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสามารถสรุปได้ว่า

ผลิตรถยนต์ซูชิประเภทที่ 1 ปัจจัย A และ B คือ ค่า Vac และ ค่า Seal เป็นปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีอิทธิพลต่อลักษณะข้อบกพร่องที่ถุงลามิเนต เนื่องจากปัจจัยทั้ง 2 ค่ามีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และพบว่า ปัจจัยทั้ง 2 ยังส่งผลต่อปฏิกริยา (Interaction) ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากมี ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งมีผลต่อลักษณะข้อบกพร่องเช่นเดียวกัน นอกจากนั้นแล้วยังมีปัจจัยร่วมอื่นที่ส่งผลต่อปฏิกริยาและส่งผลต่อลักษณะข้อบกพร่องเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 8

ผลิตรถยนต์ซูชิประเภทที่ 2 ปัจจัย A B และ C คือ ค่า Vac ค่า Seal และค่า Cool เป็นปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีอิทธิพลต่อลักษณะข้อบกพร่องที่ถุงลามิเนต เนื่องจากปัจจัยทั้ง 3 ค่ามีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และพบว่า ปัจจัยอย่างน้อย 2 ปัจจัยขึ้นไปยังส่งผลต่อปฏิกริยา (Interaction) ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากมี ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งมีผลต่อลักษณะข้อบกพร่องเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 9

ผลิตรถยนต์ซูชิประเภทที่ 3 ปัจจัย A B และ E คือ ค่า Vac ค่า Seal และค่าความหนาของถุงลามิเนต เป็นปัจจัยหลัก (Main Effect) ที่มีอิทธิพลต่อลักษณะข้อบกพร่องที่ถุงลามิเนต เนื่องจากปัจจัยทั้ง 3 ค่ามีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 และพบว่า ปัจจัยอย่างน้อย 2 ปัจจัยขึ้นไปยังส่งผลต่อปฏิกริยา (Interaction) ต่อกันอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากมี ค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 ซึ่งมีผลต่อลักษณะข้อบกพร่องเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 10

Factorial Fit: ข้อบกพร่อง versus A, B, C, D, E ผลิตรถยนต์ซูชิประเภทที่ 1

Estimated Effects and Coefficients for ข้อบกพร่อง (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		15.953	0.3289	48.51	0.000
A	-7.844	-3.922	0.3289	-11.93	0.000
B	-16.656	-8.328	0.3289	-25.32	0.000
C	0.094	0.047	0.3289	0.14	0.888
D	-0.906	-0.453	0.3289	-1.38	0.178
E	0.031	0.016	0.3289	0.05	0.962
A*B	-5.156	-2.578	0.3289	-7.84	0.000
D*E	1.969	0.984	0.3289	2.99	0.005
B*D*E	-1.719	-0.859	0.3289	-2.61	0.014
A*B*C*D	2.219	1.109	0.3289	3.37	0.002

S = 2.63095 PRESS = 886
R-Sq = 96.58% R-Sq(pred) = 86.31% R-Sq(adj) = 93.26%

Analysis of Variance for ข้อบกพร่อง (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	5436.58	5436.58	1087.32	157.08	0.000
2-Way Interactions	10	596.91	596.91	59.69	8.62	0.000
3-Way Interactions	10	107.66	107.66	10.77	1.56	0.166
4-Way Interactions	5	106.70	106.70	21.34	3.08	0.022
5-Way Interactions	1	3.52	3.52	3.52	0.51	0.481
Residual Error	32	221.50	221.50	6.92		
Pure Error	32	221.50	221.50	6.92		
Total	63	6472.86				

รูปที่ 8

วิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะข้อบกพร่องที่ถุงลามิเนตสำหรับผลิตรถยนต์ซูชิประเภทที่ 1

รูปที่ 9

วิเคราะห์ความ
แปรปรวนของปัจจัยที่มี
ผลต่อลักษณะ
ข้อบกพร่องที่ถูกลำเเนต
สำหรับผลิตภัณฑ์ซูชิ
ประเภทที่ 2

Factorial Fit: ข้อบกพร่อง versus A, B, C, D, E ผลิตภัณฑ์ซูชิประเภทที่ 2

Estimated Effects and Coefficients for ข้อบกพร่อง (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		16.14	0.3850	41.93	0.000
A	-7.03	-3.52	0.3850	-9.13	0.000
B	-20.72	-10.36	0.3850	-26.91	0.000
C	2.22	1.11	0.3850	2.88	0.007
D	-0.09	-0.05	0.3850	-0.12	0.904
E	-0.66	-0.33	0.3850	-0.85	0.400
A*B	-3.66	-1.83	0.3850	-4.75	0.000
A*D	1.59	0.80	0.3850	2.07	0.047
B*C	-2.53	-1.27	0.3850	-3.29	0.002
A*B*D	-1.78	-0.89	0.3850	-2.31	0.027
A*B*C*D	1.66	0.83	0.3850	2.15	0.039

S = 3.07967 PRESS = 1214

R-Sq = 96.51% R-Sq(pred) = 86.03% R-Sq(adj) = 93.13%

Analysis of Variance for ข้อบกพร่อง (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	7745.08	7745.08	1549.02	163.32	0.000
2-Way Interactions	10	393.91	393.91	39.39	4.15	0.001
3-Way Interactions	10	124.16	124.16	12.42	1.31	0.267
4-Way Interactions	5	87.58	87.58	17.52	1.85	0.132
5-Way Interactions	1	37.52	37.52	37.52	3.96	0.055
Residual Error	32	303.50	303.50	9.48		
Pure Error	32	303.50	303.50	9.48		
Total	63	8691.73				

Factorial Fit: ข้อบกพร่อง versus A, B, C, D, E ผลิตภัณฑ์ซูชิประเภทที่ 3

Estimated Effects and Coefficients for ข้อบกพร่อง (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		19.14	0.5248	36.47	0.000
A	-22.41	-11.20	0.5248	-21.35	0.000
B	-12.22	-6.11	0.5248	-11.64	0.000
C	0.22	0.11	0.5248	0.21	0.836
D	0.72	0.36	0.5248	0.68	0.496
E	2.91	1.45	0.5248	2.77	0.008
A*B	2.34	1.17	0.5248	2.23	0.030
A*C	2.53	1.27	0.5248	2.41	0.019
A*B*C	-2.47	-1.23	0.5248	-2.35	0.022
A*B*C*D	-2.53	-1.27	0.5248	-2.41	0.019

S = 4.19814 PRESS = 1336.84

R-Sq = 92.01% R-Sq(pred) = 88.77% R-Sq(adj) = 90.68%

Analysis of Variance for ข้อบกพร่อง (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	10565.6	10565.6	2113.12	119.90	0.000
2-Way Interactions	2	190.4	190.4	95.20	5.40	0.007
3-Way Interactions	1	97.5	97.5	97.52	5.53	0.022
4-Way Interactions	1	102.5	102.5	102.52	5.82	0.019
Residual Error	54	951.7	951.7	17.62		
Lack of Fit	22	525.2	525.2	23.87	1.79	0.065
Pure Error	32	426.5	426.5	13.33		
Total	63	11907.7				

รูปที่ 10

วิเคราะห์ความ
แปรปรวนของปัจจัยที่มี
ผลต่อลักษณะ
ข้อบกพร่องที่ถูกลำเเนต
สำหรับผลิตภัณฑ์ซูชิ
ประเภทที่ 3

จากผลการทดลองสามารถสรุปปัจจัยหลักและอิทธิพลที่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสียของถุงลามิเนตได้
ดังตารางที่ 3

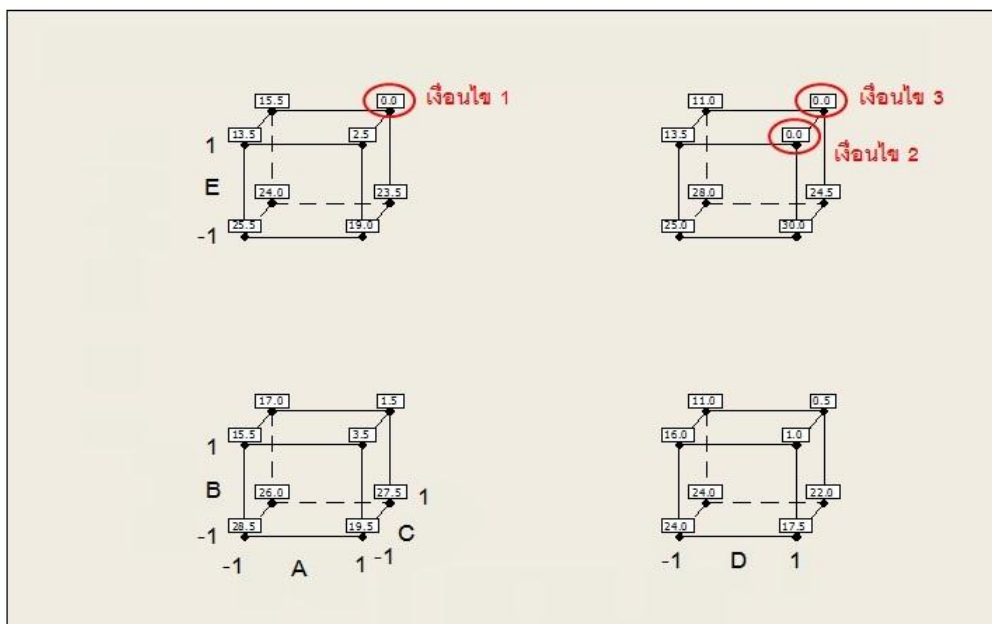
ประเภทผลิตภัณฑ์ซูชิ	Main Effect	2-Way Interaction	3-Way Interaction	4-Way Interaction
1	1. ค่า Vac 2. ค่า Seal	1. ค่า Vac กับค่า Seal 2. ความยาวกับความหนาของถุง	ค่า Seal กับความยาวและความหนาของถุง	ค่า Vac กับค่า Seal กับค่า Cool และความยาวของถุง
2	1. ค่า Vac 2. ค่า Seal 3. ค่า Cool	1. ค่า Vac กับค่า Seal 2. ค่า Vac กับความยาวของถุง 3. ค่า Seal กับค่า Cool	ค่า Vac กับค่า Seal และความยาวของถุง	ค่า Vac กับค่า Seal กับค่า Cool และความยาวของถุง
3	1. ค่า Vac 2. ค่า Seal 3. ความหนาของถุง	1. ค่า Vac กับค่า Seal 2. ค่า Vac กับค่า Cool	ค่า Vac กับค่า Seal และค่า Cool	ค่า Vac กับค่า Seal กับค่า Cool และความยาวของถุง

ตารางที่ 3

ปัจจัยหลักและอิทธิพลที่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสียของถุงลามิเนต

3.5 การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง

เพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองจึงได้ทำการพิจารณาหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อ ลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดกับถุงลามิเนตที่น้อยที่สุด โดยทำการสร้าง Cube Plot แสดงจำนวนสัดส่วนของเสียที่เกิดกับถุงลามิเนตสำหรับผลิตภัณฑ์ซูชิประเภทที่ 1, 2 และ 3 และทำการพิจารณาคัดเลือกเงื่อนไขที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากระยะเวลาการทำงานที่น้อยที่สุด ดังรูปที่ 11, 12 และ 13

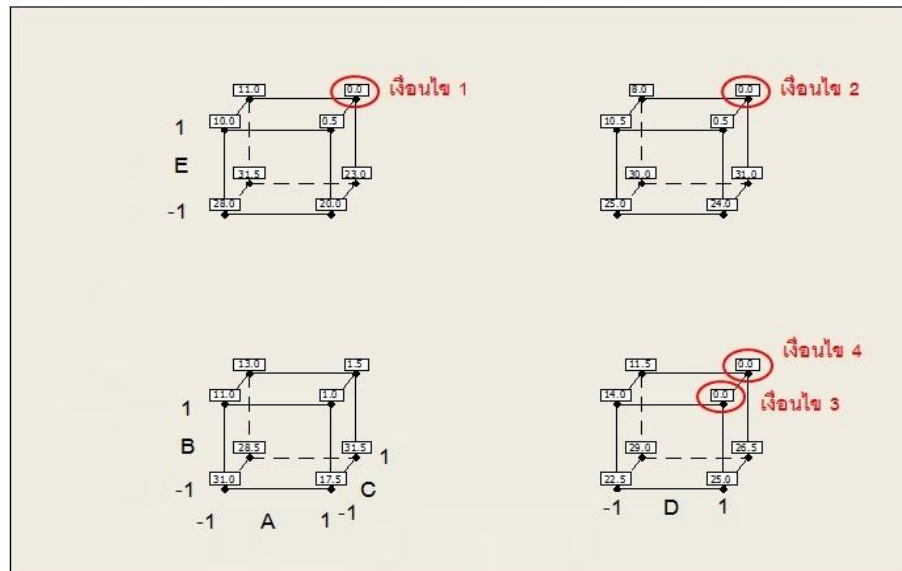


รูปที่ 11

Cube Plot จำนวนสัดส่วนของเสียที่เกิดกับถุงลามิเนต ผลิตภัณฑ์ซูชิประเภทที่ 1

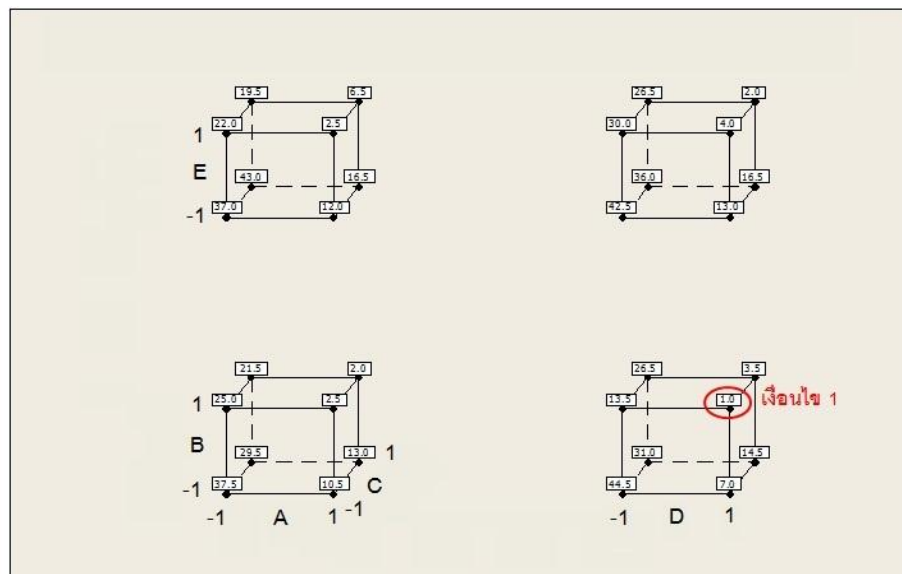
รูปที่ 12

Cube Plot จำนวนสัดส่วน
ของเสียที่เกิดกับถุงลามิ
เนต ผลิตภัณฑ์ซูชิประเภท
ที่ 2



รูปที่ 13

Cube Plot จำนวนสัดส่วน
ของเสียที่เกิดกับถุงลามิ
เนต ผลิตภัณฑ์ซูชิประเภท
ที่ 3



จากการสร้าง Cube Plot ทำให้ทราบระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย โดยผลิตภัณฑ์ซูชิประเภทที่ 1 พิจารณาคัดเลือกเงื่อนไขที่ 2 ผลิตภัณฑ์ซูชิประเภทที่ 2 พิจารณาคัดเลือกเงื่อนไขที่ 3 และผลิตภัณฑ์ซูชิประเภทที่ 3 พิจารณาคัดเลือกเงื่อนไขที่ 1 สาเหตุเงื่อนไขที่ถูกเลือกเนื่องจากแสดงจำนวนสัดส่วนของเสียที่เกิดกับถุงลามิเนตและใช้ระยะเวลาในกระบวนการบรรจุน้อยที่สุด ทำให้สรุประดับของปัจจัยที่ทำให้จำนวนข้อบกพร่องของถุงลามิเนตเกิดขึ้นน้อยที่สุดได้ดังแสดงในตารางที่ 4

เมื่อทราบระดับปัจจัยที่ได้หลังจากการออกแบบการทดลองดังกล่าวแล้ว จึงกำหนดให้เป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและให้พนักงานหน้างานปฏิบัติตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นจัดโปรแกรมฝึกอบรมและควบคุมพนักงานให้ปฏิบัติตามอย่างต่อเนื่อง หากพบว่าพนักงานไม่ปฏิบัติตามให้หัวหน้างานมีสิทธิ์โยกย้ายพนักงานท่านนั้นไปอยู่แผนกอื่นต่อไป

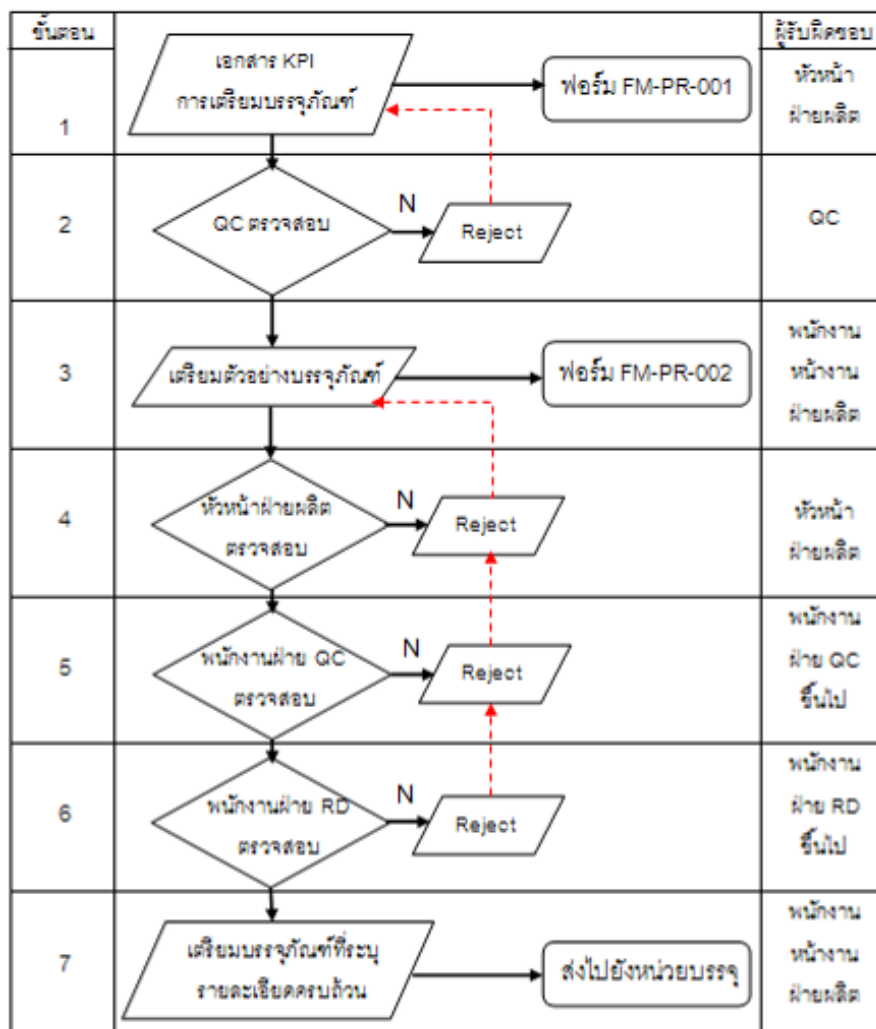
สัญลักษณ์	ปัจจัย	ผลิตภัณฑ์ซูชิประเภทที่			หน่วย
		1	2	3	
A	ค่า Vac	5.5	5.5	10.0	sec
B	ค่า Seal	2.2	2.2	2.2	sec
C	ค่า Cool	5.5	5.5	5.5	sec
D	ความยาวของถุงลามิเนต	3	3	3	cm
E	ความหนาของถุงลามิเนต	95	85	85	micron

ตารางที่ 4

ระดับที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยเพื่อให้จำนวนข้อบกพร่องของถุงลามิเนตเกิดขึ้นน้อยที่สุด

3.6 โปรแกรมฝึกอบรมงานในหน้าที่ (On the Job Training)

หลังจากกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับพนักงานหน้างานแล้วจึงทำการฝึกอบรมงานในหน้าที่เพื่อให้พนักงานปฏิบัติตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ โดยกำหนดโปรแกรมการฝึกอบรมคือ การให้ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับมาตรฐานการปฏิบัติงานในขั้นตอนการเตรียมบรรจุภัณฑ์และขั้นตอนระหว่างกระบวนการผลิต ณ จุดการบรรจุ โดยทำการอบรมอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง จากนั้นทำการประเมินผลโดยวัดจากของเสียของถุงลามิเนตที่เกิดขึ้นทั้งหมด หากพบว่าไม่ผ่านเกณฑ์ให้หัวหน้างานมีสิทธิ์โยกย้ายสับเปลี่ยนพนักงานได้ ซึ่งสรุปเป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานที่ใช้ในการอบรมพนักงานได้ดังรูปที่ 14 และ 15

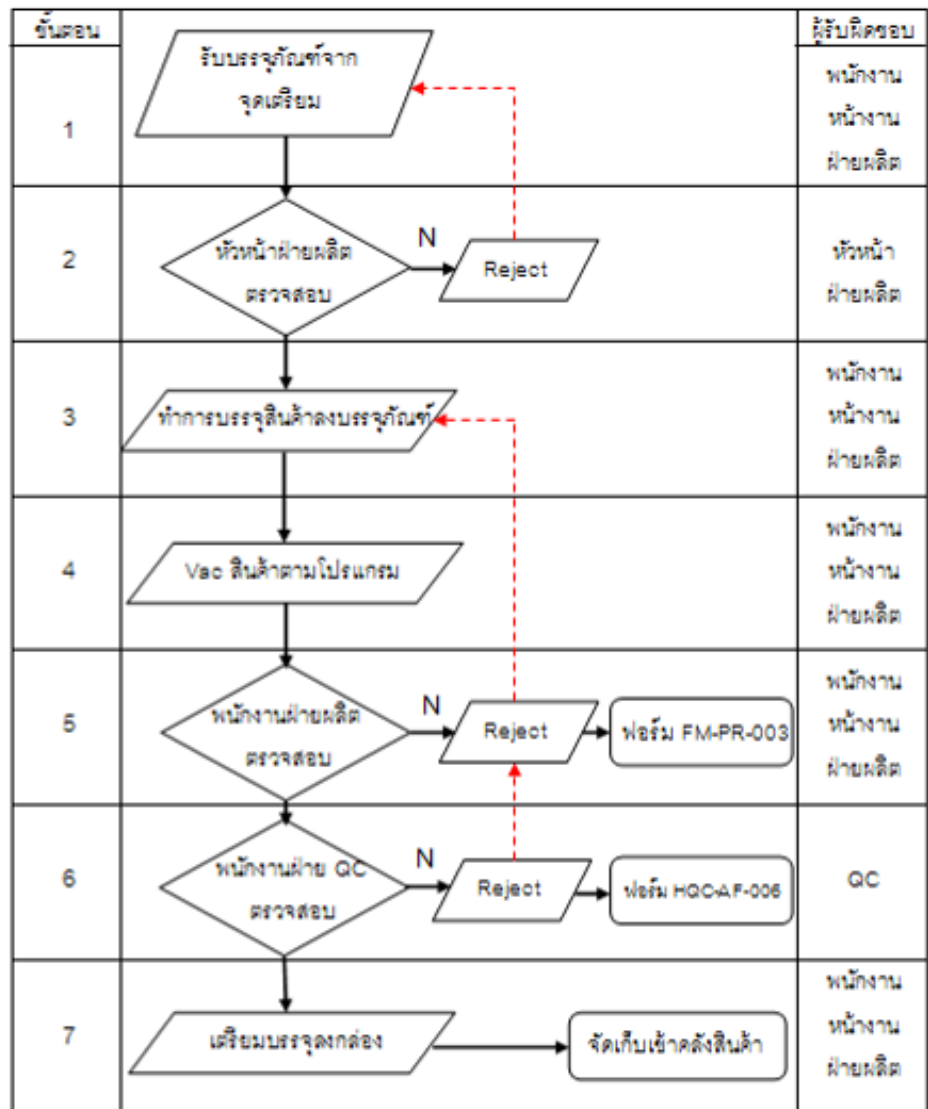


รูปที่ 14

มาตรฐานการปฏิบัติงานในขั้นตอนการเตรียมบรรจุภัณฑ์

รูปที่ 15

มาตรฐานการปฏิบัติงานในขั้นตอนระหว่างกระบวนการผลิต ณ จุดการบรรจุ



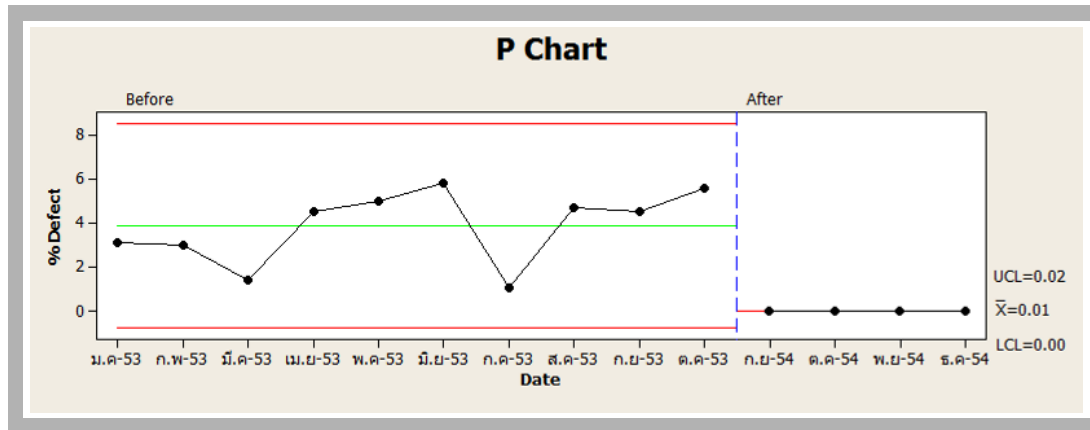
IV. สรุปผลการดำเนินงาน

บทความงานวิจัยนี้เป็นการลดข้อบกพร่องของกระบวนการบรรจุภัณฑ์แปรรูปซูชิแช่แข็ง ซึ่งประกอบด้วยผลิตภัณฑ์ซูชิ 3 กลุ่มผลิตภัณฑ์ คือ ประเภทที่ 1 Sushi Normal, ประเภทที่ 2 Sushi HM และ ประเภทที่ 3 Sushi Broken โดยเริ่มต้นจากการใช้แผนภูมิพาเรโตในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นกับถุงลามิเนตพบว่ามียุทธศาสตร์ข้อบกพร่องที่สำคัญ 6 ประเภท คือถุงที่ระบุรายละเอียดผิด ถุงที่พบเศษกุ้งหลังถาด ถุงที่ระบุรายละเอียดไม่ครบ ถุงหลวม รอยขีดที่ถุงไม่เรียบ และรอยขีดที่ถุงไม่ตรงตาม จากนั้นใช้แผนภูมิแสดงเหตุและผล โดยระดมความคิดจากผู้มีประสบการณ์ในแต่ละสาขาที่เกี่ยวข้องทำการวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องและกรองปัจจัยด้วยตารางวิเคราะห์เหตุและผล

จากการศึกษาและวิเคราะห์ถึงสาเหตุและลักษณะข้อบกพร่องโดยได้ทำการกรองปัจจัย ทำให้ทราบถึงสาเหตุของการเกิดข้อบกพร่อง ทางผู้วิจัยและทีมจึงได้พิจารณาหาแนวทางในการแก้ไขปรับปรุง โดยกำหนดแนวทางในการแก้ไขปรับปรุงจากการหาค่าพารามิเตอร์ในการปฏิบัติงานให้เหมาะสมด้วยการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments: DOE) แบบแฟกทอเรียลแบบ 2^5 จากนั้นปรับปรุงกระบวนการของพนักงานโดยกำหนดให้ใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเป็นมาตรฐานการทำงาน พร้อมทั้งจัดโปรแกรมฝึกอบรมงานในหน้าที่

(On the Job Training) ซึ่งได้แก่ การอบรมมาตรฐานการปฏิบัติงานในขั้นตอนการเตรียมบรรจุภัณฑ์และในระหว่างกระบวนการผลิต ณ จุดการบรรจุ และควบคุมติดตามพนักงานหน้างานให้ปฏิบัติตามกระบวนการมาตรฐานนั้นอย่างต่อเนื่อง

หลังจากดำเนินการทดลองได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนถุงลามิเนตที่เสียตั้งแต่เดือนกันยายน-ธันวาคม ปี 2554 พบจำนวนถุงลามิเนตที่เสียทั้งหมด 111 ใบ จากจำนวนการเบิกใช้ผลิตรวม 1,215,880 ใบ ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนของเสียเฉลี่ย 0.01 % ในช่วงเวลา 4 เดือนแรกหลังการปรับปรุง ซึ่งลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนของเสียก่อนปรับปรุง ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนของเสียเฉลี่ยที่ 3.19% แสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16

เปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบ
จำนวนถุงลามิเนตที่เกิด
ข้อบกพร่องก่อนการ
ปรับปรุงและหลังการ
ปรับปรุง

จากงานวิจัยนี้สามารถนำเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาในรูปแบบดังกล่าวไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องและสามารถลดข้อบกพร่องที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตให้ลดลง ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนผลิตภัณฑ์และเพิ่มคุณค่าให้กับกระบวนการผลิตได้

บรรณานุกรม

- [1] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, *หลักการควบคุมคุณภาพ*. พิมพ์ครั้งที่ 6, กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2550.
- [2] เกษม พัฒนปัญญาคุณ, *การควบคุมคุณภาพ Quality Control*. กรุงเทพมหานคร: ประกอบเมโทร, 2541.
- [3] P. Van Trier. (2012). *Process Management & Analysis: Cause & Effect Matrix*. [Online]. Available: <http://www.processma.com>
- [4] P. Van Trier. (2012). *Process Management & Analysis: Design of Experiment*. [Online]. Available: <http://www.processma.com>
- [5] วีรพงษ์ เกลิมจิระรัตน์, *วิธีทางสถิติเพื่อการพัฒนาคุณภาพ*. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., 2549.
- [6] D. C. Montgomery, *Introduction to Statistical Quality Control*. New York: John Wiley and Sons, 2001.
- [7] H. Xiuli and K. Moutaz, "Pareto analysis of supply chain contracts under satisficing objectives," *European Journal of Operational Research*, vol. 214, no.1, pp.53-66, 2011.
- [8] เทพประสิทธิ์ โพธิ์บุรีวิสุทธาน, *การลดของเสียกระบวนการผลิตผ้าหลังการย้อมสี โดยเทคนิคการวิเคราะห์สาเหตุของลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบในกระบวนการผลิต*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- [9] H. M. Juran, *Quality Control Handbook*, 3rd ed. McGraw-Hill Co., 1975.
- [10] T. H. Varzakas, "Application of iso22000, failure mode, and effect analysis (FMEA) cause and effect diagrams and pareto in conjunction with HACCP and risk assessment for processing of pastry products," *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 51, no. 8, pp. 762-782, 2011.
- [11] กฤษดา อัครรุ่งแสงสกุล, *การปรับปรุงคุณภาพของหัวอ่านเขียนข้อมูลฮาร์ดดิสก์โดยประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.
- [12] วัชรศักดิ์ ทวีสุข, *การศึกษาปัจจัยในกระบวนการประกอบชุดประกอบสำเร็จ หัวเขียนอ่านข้อมูลฮาร์ดดิสก์ ที่มีผลกระทบต่อการโก่งตัว ของตัวหัวเขียนอ่านข้อมูล โดยการใช้การออกแบบการทดลอง*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [13] V. L. Anderson and R. A. McLean, *Design of Experiment: a Realistic Approach*. New York: Dekker, 1974.
- [14] ปารเมศ ชูติมา, *การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม*. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [15] D.C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 5th ed. New York: John Wiley and Sons, 2001.

