



การลดของเสียของบรรจุภัณฑ์ด้วยการออกแบบการทดลอง Packaging Waste Reduction by Design of Experiments

จิตรลดา เลิศกิตติกุล¹ และ นันทชัย กานตานันท์^{2*}

Jitralada Lertkittikul¹ and Nantachai Kantanant^{2*}

¹ สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน (Engineering Management Program, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University)

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน (Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University)

* Correspondent author: nantachai.k@ku.ac.th

บทคัดย่อ

บริษัท ผลิตสินค้าซึ่งเป็นบริษัทผลิตหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์รายงานว่าพบความเสียหายของบรรจุภัณฑ์ด้านในที่ใช้บรรจุหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลอดตรงเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีปริมาณของเสียเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 8.43 ของบรรจุภัณฑ์ทั้งหมด จึงจำเป็นต้องหาปัจจัยที่มีผลต่อความเสียหายของบรรจุภัณฑ์ด้านในเพื่อลดปริมาณของเสียของบรรจุภัณฑ์ งานวิจัยเริ่มจากการวิเคราะห์กระบวนการโดยรวมของการบรรจุแบบอัตโนมัติและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อสร้างแผนภูมิแก้มปลาสำหรับจำแนกสาเหตุของปัญหาของเสียที่เกิดขึ้น และเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลมากที่สุด 5 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดของลอนกระดาษลูกฟูก การเก็บรักษากระดาษลูกฟูก อุณหภูมิหม้อกาว แรงดันลมหม้อกาว และระยะการเปลี่ยนไส้กรองหม้อกาว จากนั้นใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 2 ระดับ เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสีย ผลการทดลองพบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อการเกิดของเสียที่ระดับนัยสำคัญ 0.1 แต่ 2 ปัจจัยแรกมีเพียง 2 ระดับเท่านั้น จึงหาระดับที่เหมาะสมที่สุดของ 3 ปัจจัยสุดท้ายด้วยการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 3 ระดับ ผลการทดลองพบว่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของทั้ง 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิหม้อกาวที่ระดับ 170 องศาเซลเซียส แรงดันลมหม้อกาวที่ระดับ 1.2 บาร์ และระยะการเปลี่ยนไส้กรองที่ 1 สัปดาห์ เมื่อนำระดับของปัจจัยดังกล่าวไปใช้ในการผลิตจริงร่วมกับระดับของ 2 ปัจจัยแรกคือ ลอนลูกฟูก F และการเก็บรักษากระดาษลูกฟูกด้วยการห่อพลาสติกฟิล์ม พบว่าสามารถลดปริมาณของเสียเฉลี่ยของบรรจุภัณฑ์ลงจากเดิมร้อยละ 8.43 เหลือร้อยละ 1.80 คิดเป็นมูลค่าของเสียที่ลดลงประมาณ 9 ล้านบาทต่อปี

Abstract

The fluorescent lamp manufacturer reports a high number of damaged inner packaging of straight fluorescent lamp. This accounts for 8.43 percent of total packages. Consequently it is necessary to identify the factors that cause the inner packaging damage in order to reduce waste. The research begins by analyzing the overall auto packaging process. Then the fishbone diagram is used to identify the root causes of the problem. It

is found that there are five possible factors; flute type of corrugated paper, corrugated paper storage method, hot melt adhesive temperature, hot melt adhesive injection pressure and hot melt adhesive filter replacement interval. Two-level full factorial experiment is employed to screen the significant factors. The result shows that all factors affect the occurrence of the waste at significant level of 0.1. Since the first two factors have only two levels, the most appropriate levels of the last three factors are determined by using three-level full factorial experiment. The experiment results reveal that the most appropriate levels of those three factors can be achieved by setting hot melt adhesive temperature at 170 degrees Celsius, hot melt adhesive injection pressure at 1.2 bars and hot melt adhesive filter replacement interval at one week. When this new condition is implemented by setting corrugated paper to F flute and corrugated paper storage to plastic wrapping film, the average amount of waste is reduced from 8.43 percent to 1.80 percent. This saving accounts for nine million baht per year.

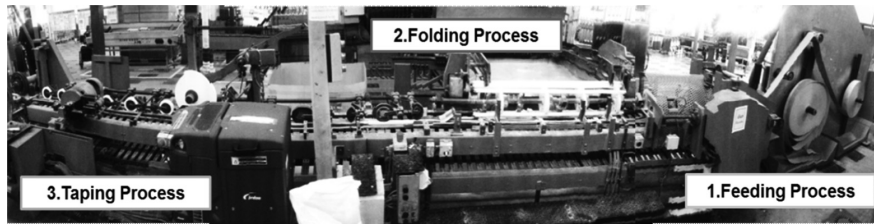
คำสำคัญ: กระดาษลูกฟูก บรรจุภัณฑ์ หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ การออกแบบการทดลอง การทดลองเชิงแฟกทอเรียล

Keywords: Corrugated paper, Packaging, Fluorescent lamp, Design of experiments, Factorial experiment

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent lamp) มีคู่แข่งทางการค้าที่หลากหลาย ช่วงวงจรของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ในปัจจุบันอยู่ในระดับเติบโตอย่างเต็มที่และมีความต้องการที่ลดลงอันเนื่องมาจากผลิตภัณฑ์ทดแทนที่มีคุณสมบัติของความสว่างที่ใกล้เคียงกัน แต่ประหยัดไฟกว่า อย่างหลอดไฟแอลอีดี (LED lamp) ทำให้ผู้ผลิตหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ต้องหันมาเน้นในเรื่องของคุณภาพและต้นทุนเพื่อให้อยู่รอดในการแข่งขันได้ การลดต้นทุนของผลิตภัณฑ์จึงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์และลดต้นทุนอย่างต่อเนื่อง โดยบรรจุภัณฑ์ถือเป็นต้นทุนหลักอย่างหนึ่งของหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ จากการศึกษาพบว่าบรรจุภัณฑ์ที่ส่วนใหญ่ใช้ในการบรรจุคือกระดาษลูกฟูก (Corrugated paper) ซึ่งเป็นวัตถุดิบ

ที่มาจากธรรมชาติ มีการใช้อย่างแพร่หลายเพราะมีราคาถูก น้ำหนักเบากว่าบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่น (1) แต่หากการออกแบบผลิตภัณฑ์ บรรจุภัณฑ์ และเครื่องจักรไม่เหมาะสมจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อบรรจุภัณฑ์ขึ้น ทำให้เกิดของเสีย ความสามารถในการผลิตลดลง ต้นทุนเพิ่มขึ้น รวมถึงค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่เกิดจากการผลิตที่ไม่ได้คุณภาพ สำหรับบริษัทกรณีศึกษาซึ่งบริษัทผลิตหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลอดตรง หลังจากผลิตหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์แล้ว หลอดไฟจะถูกส่งไปที่เครื่องบรรจุอัตโนมัติ (Auto packing) โดยกระบวนการในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์แบบอัตโนมัติ จะบรรจุสินค้าในบรรจุภัณฑ์ด้านในซึ่งทำจากกระดาษลูกฟูกแบบหน้าเดียว (Single face) ที่เรียกว่าสลีฟ (Sleeve) ดังแสดงในรูปที่ 1 (a) เมื่อบรรจุบรรจุภัณฑ์ด้านในเรียบร้อยแล้ว หลอดไฟพร้อมสลีฟจะถูกส่งไปที่เครื่องบรรจุกล่องอัตโนมัติ หรือบรรจุภัณฑ์กล่องนอก (Outer box) ที่ใช้สำหรับการขนส่ง ดังแสดงในรูปที่ 1 (b)



(a)

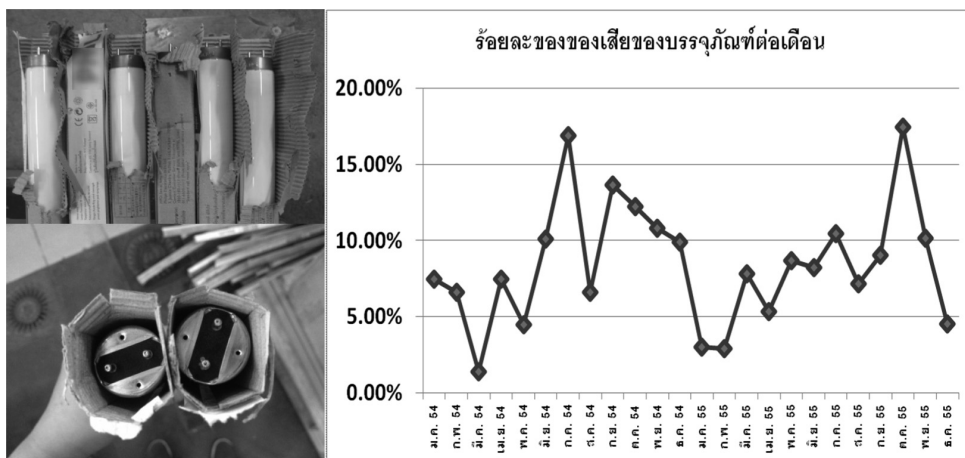


(b)

รูปที่ 1. (a) เครื่องจักรในกระบวนการบรรจุแบบอัตโนมัติของกระดาดห่อหลอดไฟ
(b) เครื่องจักรในกระบวนการบรรจุบรรจุภัณฑ์กล่องนอก

จากกระบวนการบรรจุหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ลงในบรรจุภัณฑ์ พบปัญหาเนื่องจากหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์มีการเปลี่ยนแปลงขนาดอันเป็นผลจากการลดต้นทุนในส่วนของแก้ว ทำให้บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ไม่พอดี รวมถึงปัจจัยและสภาวะด้านอื่นไม่มีความเหมาะสม ส่งผลให้เกิดความเสียหายของบรรจุภัณฑ์ด้านในระหว่างการผลิต เกิดเป็นของเสียในกระบวนการผลิต ทำให้มีค่า

ใช้จ่ายในการแก้ไขบรรจุภัณฑ์ใหม่และเสียเวลาในการทำงาน ลักษณะของเสียที่เกิดขึ้นและข้อมูลร้อยละของเสียที่เกิดขึ้นต่อเดือนในปี 2555 แสดงดังรูปที่ 2 บริษัทกรณีสึกขามีของเสียของบรรจุภัณฑ์เฉลี่ยย้อนหลัง 2 ปี อยู่ที่ร้อยละ 8.43 ทำให้มีความจำเป็นต้องหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายที่เกิดขึ้นกับบรรจุภัณฑ์ด้านใน



รูปที่ 2. ลักษณะของของเสียจากความเสียหายของบรรจุภัณฑ์ด้านในที่เกิดจากกระบวนการบรรจุและข้อมูลร้อยละของของเสียเฉลี่ยต่อเดือนในปี 2554 – 2555

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีผลต่อความเสียหายของบรรจุภัณฑ์ด้านในที่ใช้บรรจุหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลอดตรง และหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยที่มีผลต่อความเสียหายโดยประยุกต์ใช้หลักการการออกแบบการทดลองเพื่อลดความเสียหายที่เกิดขึ้น

2.1 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง (Design of experiments, DOE) เป็นการทดลองโดยการเปลี่ยนค่าของตัวแปรนำเข้า (Input variables) หรือปัจจัย (Factors) เพื่อพิจารณาถึงสาเหตุที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ (Responses) ในกระบวนการที่สนใจ (2) ซึ่งตัวแปรนำเข้านี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ตัวแปรที่ควบคุมได้ (Controllable variables) และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable variables) โดยทั่วไป การออกแบบการทดลองมักทำการทดลองเป็นลำดับ นั่นคือ การทดลองในครั้งแรกจะเป็นการทดลองเพื่อคัดกรองตัวแปร (Screening experiment) เพื่อหาตัวแปรที่สำคัญจากตัวแปรที่ควบคุมได้ทั้งหมดในการทดลอง และการทดลองถัดมาจะเป็นการทดลองเพื่อหาระดับ (Levels) ที่เหมาะสมของตัวแปรเหล่านั้นที่ส่งผลให้ค่าของผลลัพธ์ใกล้เคียงกับเป้าหมายมากที่สุด (3)

2.2 การทดลองเชิงแฟกทอเรียล

การทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Factorial experiment) เป็นการทดลองที่สามารถศึกษาหลายปัจจัยพร้อมกัน โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหรืออันตรกิริยา (Interactions) (2) การทดลองเชิงแฟกทอเรียลนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full factorial experiment) และ การทดลองเชิงแฟกทอเรียลบางส่วน (Fractional factorial experiment)

การวิเคราะห์ค่าผลกระทบของปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่นิยมคือการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) โดยจะเริ่มจากการพิจารณาอันตรกิริยาก่อนเสมอ หากอันตรกิริยามีนัยสำคัญ จะไม่พิจารณาปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับอันตรกิริยา

นั้นๆ จากนั้นจึงพิจารณาปัจจัยหลักที่เหลือ ทั้งนี้ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ต้องมีการทำการทดลองซ้ำจึงจะสามารถทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนได้

งานวิจัยนี้ใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ โดยในขั้นตอนการทดลองเพื่อคัดกรองตัวแปรหรือปัจจัยจะเป็นการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 2 ระดับ นั่นคือ แต่ละปัจจัยในการทดลองจะมี 2 ระดับ ในขณะที่การทดลองเพื่อหาระดับที่เหมาะสมจะใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 3 ระดับ โดยที่แต่ละปัจจัยจะมี 3 ระดับ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบการทดลองเป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม (4) ในด้านบรรจุภัณฑ์ ได้มีการนำการออกแบบการทดลองมาประยุกต์ใช้เช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น (5) ใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาผลกระทบของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่มีต่อสตรอบอรี่ เพื่อช่วยในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่สามารถรักษาสภาพและอายุของสตรอบอรี่ ในขณะที่ (6) นำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลบางส่วนมาใช้ลดจำนวนการทดลองในการออกแบบบรรจุภัณฑ์สำหรับผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมและมีคุณภาพดี นอกจากนี้ (7) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติของกระดาษเยื่อบริสุทธิ์และเยื่อรีไซเคิล ด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง พบว่ากระดาษถูกฟูกที่ทำจากเยื่อรีไซเคิลจะสูญเสียความแข็งแรงเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง เช่น ความชื้นกับระยะเวลาในการจัดเก็บหรือจัดส่ง รวมถึงการนำกระดาษรีไซเคิลมาผลิตซ้ำ

3. การดำเนินงานและผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เริ่มจากศึกษากระบวนการขึ้นรูปของบรรจุภัณฑ์ด้านในที่ห่อตัวหลอดไฟ ในการศึกษาได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลข้อร้องเรียนของผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง กับปัญหาที่เกิดขึ้นและศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง กับปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นของบรรจุภัณฑ์กระดาษถูกฟูก เพื่อหาตัวแปรหรือปัจจัยที่มีผล เพื่อให้การออกแบบมีความเหมาะสมและสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้

3.1 ศึกษากระบวนการบรรจุกล่องอัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษา

จากการศึกษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์และการศึกษากระบวนการบรรจุบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ สามารถสรุปกระบวนการหลักได้ดังนี้

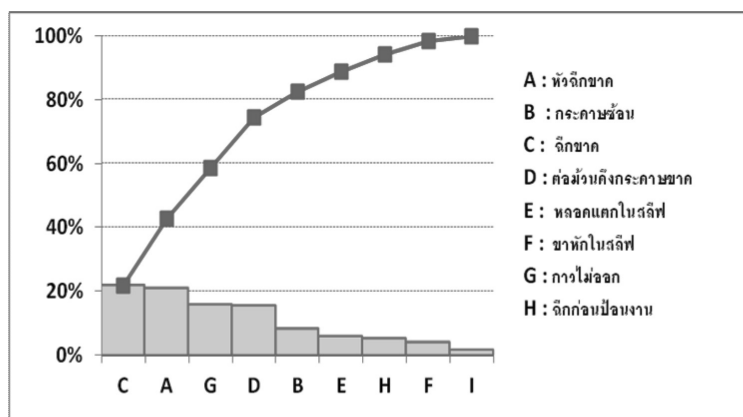
1. การทำรอยพับโดยใช้เครื่องในการทำรอยเพื่อพับเป็นกล่องใส่หลอดไฟด้านในตามขนาดที่ต้องการ
2. การตัดกระดาษโดยใช้มีดตัดกระดาษลูกฟูกให้มีความยาวตามที่กำหนด

3. การฉีดกาวโดยทำการฉีดกาวบนกระดาษลูกฟูกและติดด้วยกระดาษด้านบนของกล่องใส่หลอดไฟ

4. การบรรจุกล่องโดยใส่หลอดไฟลงในกล่อง นอก บรรจุครั้งละ 25 หลอด

3.2 ศึกษาสมบัติของบรรจุภัณฑ์

การศึกษาสมบัติของบรรจุภัณฑ์ทำโดยการทดสอบบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากกระดาษลูกฟูกแบบหน้าเดียวในกระบวนการปกติ เพื่อศึกษาปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ และหาปัจจัยที่มีผลทำให้เกิดของเสียในกระบวนการ ซึ่งพบของเสียเกิดขึ้นตามแผนภูมิพาเรโตในรูปที่ 3

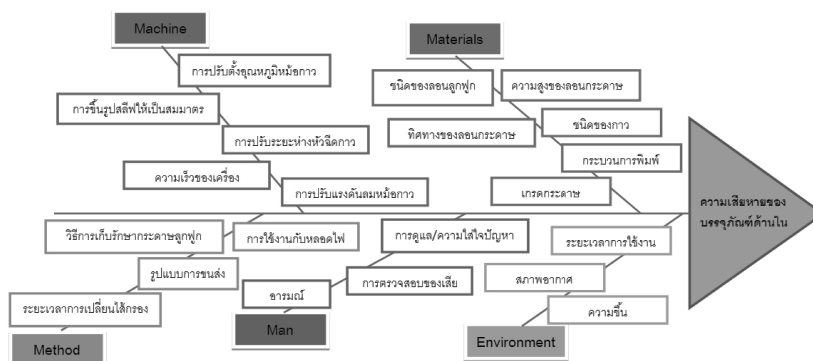


รูปที่ 3. แผนภูมิพาเรโตของความเสียหายที่เกิดขึ้น

3.3 กำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเกิดของเสีย

จากการศึกษาข้อมูลร่วมกับทีมงานที่เกี่ยวข้องเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น สามารถจัดทำแผนภูมิ

ปลา (Fishbone diagram) ตามรูปที่ 4 เพื่อตรวจสอบสาเหตุของของเสียและเลือกปัจจัยที่คาดว่าจะส่งผลต่อการเกิดของเสียมาทำการทดลอง



รูปที่ 4. แผนภูมิแก๊งปลาของการเกิดความเสียหายของบรรจุภัณฑ์ด้านใน

3.4 คัดกรองปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียด้วยการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 2 ระดับ

จากการวิเคราะห์แผนภูมิแกงปลา สามารถสรุปปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อการเกิดของเสียได้ทั้งหมด 5 ปัจจัย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมระดับ

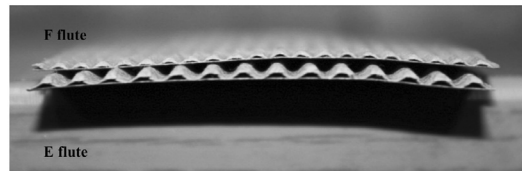
ของปัจจัยได้โดยไม่ส่งผลต่อการดำเนินงานและต้นทุนของผลิตภัณฑ์ ในการทดลองเพื่อคัดกรองหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 2 ระดับ โดยแต่ละปัจจัยจะมี 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ (แทนด้วย -1) และระดับสูง (แทนด้วย 1) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัย

ลำดับ	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย		หน่วย
			ต่ำ (-1)	สูง (1)	
1	ชนิดของลอนลูกฟูก	Pape	Flute F	Flute E	-
2	การเก็บรักษากระดาษลูกฟูก	Plas	ไม่ห่อฟิล์ม	ห่อฟิล์ม	-
3	อุณหภูมิหม้อกาว	Temp	140	170	องศาเซลเซียส
4	แรงดันลมหม้อกาว	Pres	0.5	1	บาร์
5	ระยะการเปลี่ยนไส้กรอง	Filt	1	4	สัปดาห์

รายละเอียดของแต่ละปัจจัยมีดังต่อไปนี้

1. ชนิดของลอนลูกฟูก (ใช้สัญลักษณ์ Pape) มีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ ลอน F (ระดับ -1) และ ลอน E (ระดับ 1) ซึ่งมีลักษณะตามรูปที่ 5 และมีสมบัติตามตารางที่ 2



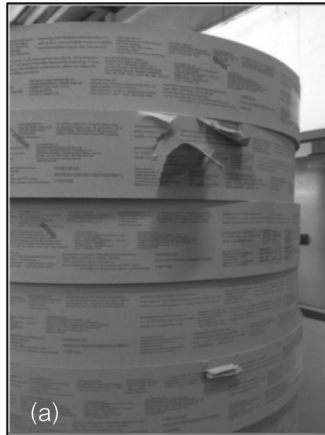
รูปที่ 5. กระดาษลูกฟูกแบบลอน E และลอน F

ตารางที่ 2. คุณสมบัติของกระดาษลูกฟูก ลอน E และลอน F

ชนิดของลอนลูกฟูก	ความกว้างร่อง (มิลลิเมตร)	ความสูงร่อง (มิลลิเมตร)	จำนวนร่องต่อฟุต	น้ำหนัก (กรัม) ต่อพื้นที่ 100 ตารางเซนติเมตร	แรงกด Edge crush (กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)
E	3.0 – 3.5	1.0 – 1.8	94	2.104	5.92
F	2.5 – 3.0	0.8 – 1.2	128	2.182	7.62

2. การเก็บรักษากระดาษลูกฟูก (ใช้สัญลักษณ์ Plas) เนื่องจากพบว่าความชื้นมีผลต่อความแข็งแรงของกระดาษ ดังนั้นการเก็บรักษาวัตถุดิบจึงอาจมีผลต่อการเกิดของเสียได้ จึงเปรียบเทียบการเก็บรักษาที่ใช้อยู่ใน

ปัจจุบันที่ไม่มีการห่อหุ้ม (ระดับ -1) และการห่อหุ้มด้วยพลาสติกฟิล์มเพื่อป้องกันความชื้นที่เกิดขึ้น (ระดับ 1) ตามรูปที่ 6



รูปที่ 6. (a) การเก็บรักษาในปัจจุบัน (b) การห่อพลาสติกฟิล์มเพื่อป้องกันความชื้น

3. อุณหภูมิหม้อกาว (ใช้สัญลักษณ์ Temp) เป็นอุณหภูมิของหม้อกาวที่ใช้ในการต้มกาวจากการใช้งานจริงในปัจจุบัน โดยมี 2 ระดับคือ 140 องศาเซลเซียส (ระดับ -1) และ 170 องศาเซลเซียส (ระดับ 1)

4. แรงดันลมหม้อกาว (ใช้สัญลักษณ์ Pres) เป็นแรงดันลมของหม้อกาวจากการใช้งานจริงในปัจจุบัน โดยมี 2 ระดับคือ 0.5 บาร์ (ระดับ -1) และ 1 บาร์ (ระดับ 1) ทั้งนี้ อุณหภูมิหม้อกาวและแรงดันลมหม้อกาว สามารถปรับตั้งได้จากแผงควบคุมของหม้อกาวดังแสดงในรูปที่ 7

5. ระยะเวลาการเปลี่ยนไส้กรอง (ใช้สัญลักษณ์ Filt) เป็นระยะเวลาการเปลี่ยนไส้กรองของหม้อกาวซึ่งทำหน้าที่กรองกากของเสียหรือเศษผงที่เกิดจากการต้มกาว ในปัจจุบันจะเปลี่ยนไส้กรองเมื่อมีปัญหาในการต้มกาวหรือหัวฉีดกาวอุดตัน มีระยะเวลาเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 4 สัปดาห์ต่อครั้ง ซึ่งสภาพของไส้กรองก่อนและหลังการใช้งาน แสดงตามรูปที่ 8 ในการทดลองนี้กำหนดไว้ 2 ระดับ คือ เปลี่ยนไส้กรองทุก 1 สัปดาห์ (ระดับ -1) และทุก 4 สัปดาห์ (ระดับ 1)



รูปที่ 7. แผงควบคุมหม้อกาว ใช้ปรับตั้งอุณหภูมิและความดัน



รูปที่ 8. ไส้กรองหม้อกาว (a) สภาพก่อนการใช้งาน (b) สภาพหลังการใช้งาน

เมื่อเลือกปัจจัยและกำหนดระดับของปัจจัยแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการพิจารณาจำนวนการทดลองซ้ำเพื่อให้ผลการทดลองที่ออกมามีความแม่นยำตามที่ต้องการ

จากการกำหนดจำนวนปัจจัยที่ 5 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ และอำนาจการทดสอบที่ร้อยละ 90 ผลที่ได้พบว่าต้องทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 2 ครั้ง จึงมีการทดลองทั้งหมด $2 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 64$ การทดลอง

แต่ละการทดลองจะเก็บข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นกับบรรจุภัณฑ์ด้านในจากการบรรจุหลอดไฟ 8,000 หลอด ผลการทดลองที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ได้ผลดังภาพที่ 9

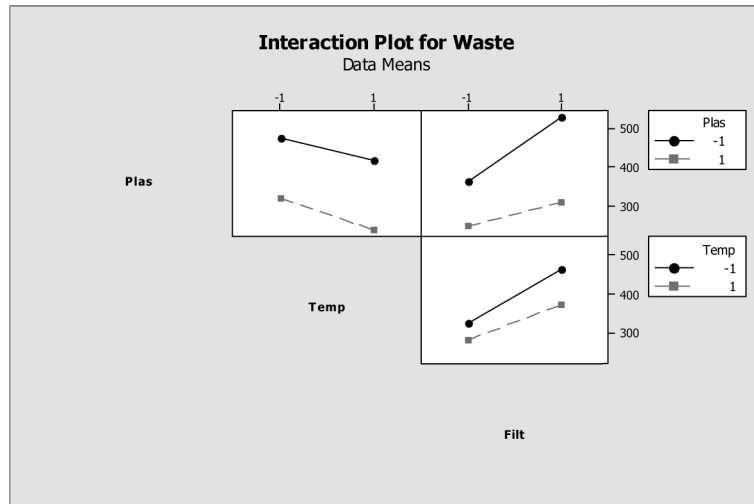
Analysis of Variance for Waste (coded units)						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	5	768623	768623	153725	160.65	0.000
Pape	1	3066	3066	3066	3.20	0.080
Plas	1	447728	447728	447728	467.90	0.000
Temp	1	72698	72698	72698	75.97	0.000
Pres	1	36624	36624	36624	38.27	0.000
Filt	1	208506	208506	208506	217.90	0.000
2-Way Interactions	10	59003	59003	5900	6.17	0.000
Pape*Plas	1	1881	1881	1881	1.97	0.167
Pape*Temp	1	777	777	777	0.81	0.372
Pape*Pres	1	356	356	356	0.37	0.545
Pape*Filt	1	1032	1032	1032	1.08	0.304
Plas*Temp	1	2665	2665	2665	2.79	0.102
Plas*Pres	1	2221	2221	2221	2.32	0.134
Plas*Filt	1	41158	41158	41158	43.01	0.000
Temp*Pres	1	172	172	172	0.18	0.673
Temp*Filt	1	8719	8719	8719	9.11	0.004
Pres*Filt	1	21	21	21	0.02	0.882
Residual Error	48	45931	45931	957		
Total	63	873558				

รูปที่ 9. ผลการวิเคราะห์ ANOVA

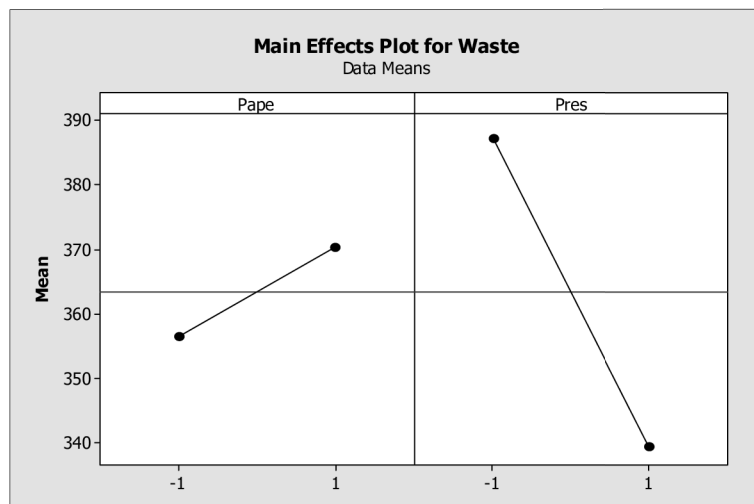
ในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียจะเริ่มจากการพิจารณาอันตรกิริยาที่มีค่า P-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.1 จากตาราง ANOVA พบว่าอันตรกิริยาที่มีผลต่อการเกิดของเสียอย่างมีนัยสำคัญคือ Plas*Filt ที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.0001 และ Temp*Filt ที่มีค่า P-value เท่ากับ 0.004 นอกจากนี้ Plas*Temp ยังมีค่า P-value เท่ากับ 0.102 ซึ่งใกล้เคียงกับระดับนัยสำคัญเมื่อวิเคราะห์อันตรกิริยาแล้ว จึงพิจารณาปัจจัยหลักที่ไม่เกี่ยวข้องกับอันตรกิริยาข้างต้น พบว่าปัจจัยหลักที่เหลือได้แก่ ปัจจัย Pape และปัจจัย Pres มีค่า P-value เท่ากับ

0.080 และน้อยกว่า 0.0001 ตามลำดับ ซึ่งทั้งสองปัจจัยต่างมีผลต่อการเกิดของเสียอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.1

เมื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดของเสียแล้ว จึงทำการวิเคราะห์หาระดับที่ก่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุดจากกราฟอันตรกิริยา (Interaction plot) ตามรูปที่ 10 (a) และกราฟผลกระทบหลัก (Main effect plot) ตามรูปที่ 10 (b) เพื่อใช้เป็นแนวทางในการหาระดับที่เหมาะสมในการทดลองต่อไป



(a)



(b)

รูปที่ 10. (a) กราฟอันตรกิริยา
(b) กราฟผลกระทบหลัก

จากการวิเคราะห์กราฟอันตรกิริยาแต่ละคู่ที่มีผลต่อปริมาณของเสียตามรูปที่ 10 (a) สามารถสรุปได้ดังนี้ อันตรกิริยา Plas*Filt จะก่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุดเมื่อ Plas อยู่ในระดับ 1 (ห่อพลาสติกฟิล์ม) และ Filt อยู่ในระดับ -1 (เปลี่ยนไส้กรองทุก 1 สัปดาห์) อันตรกิริยา Temp*Filt จะก่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุดเมื่อ Temp อยู่ในระดับ 1 (อุณหภูมิหม้อกาว 170 องศาเซลเซียส) และ Filt อยู่ในระดับ -1 (เปลี่ยนไส้กรองทุก 1 สัปดาห์) และอันตร

กิริยา Plas*Temp จะก่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุดเมื่อ Plas อยู่ในระดับ 1 (ห่อพลาสติกฟิล์ม) และ Temp อยู่ในระดับ 1 (อุณหภูมิหม้อกาว 170 องศาเซลเซียส) เมื่อพิจารณาอันตรกิริยาแล้ว จึงศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นของปัจจัยหลัก จากรูปที่ 12 (b) สามารถสรุปได้ดังนี้ ปัจจัย Pape จะก่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุดเมื่ออยู่ในระดับ -1 (กระดาษลูกฟูกลอน F) และปัจจัย Pres จะก่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุดเมื่ออยู่ในระดับ 1 (แรงดันลมหม้อกาว 1 บาร์)

3.5 หาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมด้วยการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 3 ระดับ

จากการวิเคราะห์หอนตรกิริยาและปัจจัยหลักที่มีผลต่อความเสียหายที่เกิดขึ้น พบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อความเสียหายอย่างมีนัยสำคัญ การทดลองถัดมาจึงเป็นการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการ แต่เนื่องจากมี 2 ปัจจัยที่สามารถปรับระดับได้เพียง 2 ระดับคือ ชนิดของลอนลูกฟูก (Pape) และการเก็บรักษากระดาดลูกฟูก (Plas) จึงเลือกระดับของปัจจัยทั้งสองที่ก่อให้เกิดของเสียที่น้อยที่สุดตามที่สรุปในหัวข้อ 3.4 ดังนี้

- ชนิดของลอนลูกฟูก เลือกใช้กระดาดลอน F

- การเก็บรักษากระดาดลูกฟูก เลือกใช้แบบห่อพลาสติกฟิล์ม

ปัจจัยที่เหลืออีก 3 ปัจจัยเป็นปัจจัยที่สามารถปรับระดับได้ จึงกำหนดให้แต่ละปัจจัยมี 3 ระดับ เพื่อให้สามารถเลือกระดับของปัจจัยได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการกำหนดระดับของปัจจัยจะใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากหัวข้อ 3.4 เป็นแนวทาง ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3 และเลือกใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 3 ระดับ อำนาจการทดสอบที่ร้อยละ 90 จากการวิเคราะห์หาจำนวนการทดลองซ้ำที่เหมาะสมพบว่าต้องทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง จึงมีการทดลองทั้งหมด $3 \times 3 \times 3 \times 2 = 54$ การทดลอง

ตารางที่ 3. ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลองเพื่อวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสม

ลำดับ	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ระดับของปัจจัย			หน่วย
			ระดับต่ำ	ระดับกลาง	ระดับสูง	
1	อุณหภูมิหม้อกาว	Temp	150	160	170	องศาเซลเซียส
2	แรงดันลมหม้อกาว	Pres	0.75	1	1.2	บาร์
3	ระยะเวลาเปลี่ยนไส้กรอง	Filt	1	2	3	สัปดาห์

จากการปรับระดับของปัจจัยในกระบวนการผลิตตามที่กำหนดและเก็บข้อมูลของของเสียที่เกิดขึ้นจากการบรรจุหลอดไฟ 8,000 หลอดในแต่ละการทดลอง

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน แสดงดังรูปที่ 11

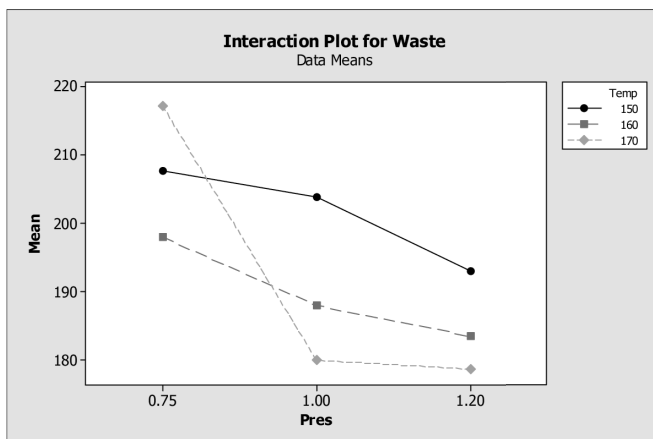
Analysis of Variance for Waste, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Temp	2	1386.33	1386.33	693.17	8.19	0.001
Pres	2	4998.11	4998.11	2499.06	29.52	0.000
Filt	2	4384.78	4384.78	2192.39	25.90	0.000
Temp*Pres	4	2138.56	2138.56	534.64	6.32	0.001
Temp*Filt	4	309.89	309.89	77.47	0.92	0.466
Pres*Filt	4	297.11	297.11	74.28	0.88	0.487
Error	35	2962.56	2962.56	84.64		
Total	53	16477.33				

S = 9.20024 R-Sq = 82.02% R-Sq(adj) = 72.77%

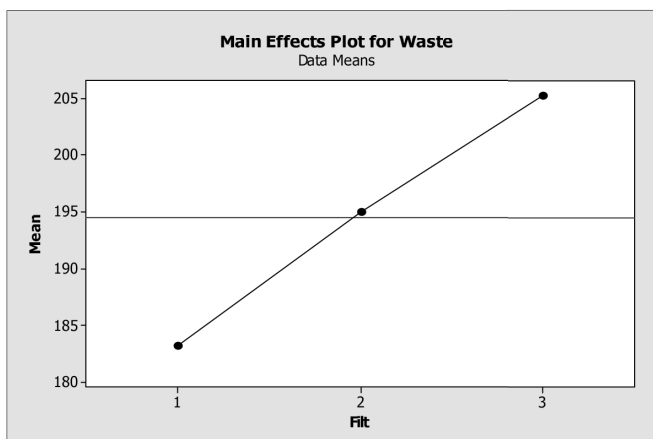
รูปที่ 11. ผลการวิเคราะห์ ANOVA

ตาราง ANOVA แสดงให้เห็นว่า อันตรกิริยา ที่มีนัยสำคัญต่อการเกิดของเสียคือ Temp*Pres ที่มีค่า P-value น้อยกว่า 0.0001 จากนั้นจึงพิจารณาปัจจัยหลัก ที่เหลือคือ Filt พบว่ามีค่า P-value น้อยกว่า 0.0001 จึงมี ผลต่อการเกิดของเสียอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

ระดับที่เหมาะสมของทั้ง 3 ปัจจัย สามารถ พิจารณาได้จากกราฟอันตรกิริยาและกราฟผลกระทบหลัก ดังแสดงในรูปที่ 12 (a) และ 12 (b) ตามลำดับ



(a)



(b)

รูปที่ 12. (a) กราฟอันตรกิริยา
(b) กราฟผลกระทบหลัก

จากรูปที่ 12 (a) พบว่าอันตรกิริยา Temp*Pres จะก่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุดเมื่อ อุณหภูมิหม้อกาว (Temp) มีค่าเท่ากับ 170 องศาเซลเซียส และ แรงดันลม หม้อกาว (Pres) มีค่าเท่ากับ 1.2 บาร์ จากนั้นพิจารณา ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยหลัก Filt หรือระยะเวลา เปลี่ยนไส้กรอง ซึ่งจากรูปที่ 12 (b) พบว่า การเปลี่ยนไส้ กรองทุก 1 สัปดาห์จะก่อให้เกิดของเสียน้อยที่สุด

3.6 สรุปผลการทดลอง

ระดับของปัจจัยที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลอง เมื่อเทียบกับระดับของปัจจัยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน สามารถ สรุปได้ตามตารางที่ 4 ซึ่งจะเห็นได้ว่าระดับของปัจจัยที่ ได้จากการทดลองมีความแตกต่างจากที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เกือบทุกปัจจัย แสดงให้เห็นว่าการตั้งค่าของปัจจัยใน ปัจจุบันยังไม่เหมาะสม

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบระดับของปัจจัยที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและผลที่ได้จากการทดลอง

ลำดับ	ปัจจัย	สัญลักษณ์	ปัจจุบัน	ผลการทดลอง	หน่วย
1	ชนิดของลอนลูกฟูก	Pape	ลอน E	ลอน F	-
2	การเก็บรักษากระดาษลูกฟูก	Plas	ไม่ห่อฟิล์ม	ห่อฟิล์ม	-
3	อุณหภูมิหม้อกาว	Temp	140-170	170	องศาเซลเซียส
4	แรงดันลมหม้อกาว	Pres	0.5 - 1	1.2	บาร์
5	ระยะเวลาเปลี่ยนไส้กรอง	Filt	≥ 4	1	สัปดาห์

3.7 ทำการทดลองซ้ำเพื่อยืนยันผลการทดลอง หรือไม่ โดยเก็บข้อมูลจำนวนของของเสียที่เกิดขึ้นจาก เพื่อเป็นการยืนยันว่าระดับของปัจจัยที่ได้จาก การบรรจุหลอดไฟ 8,000 หลอด ในแต่ละการทดลอง การทดลองสามารถลดปริมาณของเสียได้จริง จึงทำการ จำนวน 24 การทดลอง ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ การทำงาน ทดลองซ้ำเพื่อทดสอบว่าจำนวนของของเสียที่เกิดขึ้นจาก ในปัจจุบัน 12 การทดลอง และการทำงานหลังการปรับ การทำงานในปัจจุบันและจากการปรับระดับของปัจจัย ระดับของปัจจัย 12 การทดลอง และได้ผลแสดงดังตาราง ตามผลการทดลองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ 5

ตารางที่ 5. จำนวนของของเสียที่เกิดขึ้นจากการทำงานในปัจจุบันและจากการปรับระดับของปัจจัยตามผลการทดลอง

ลำดับการทดลอง	จำนวนของของเสีย (ชิ้น)	
	การทำงานในปัจจุบัน	การปรับระดับของปัจจัยตามผลการทดลอง
1	241	104
2	232	150
3	626	129
4	426	182
5	696	120
6	659	123
7	836	162
8	572	135
9	721	96
10	1,395	208
11	813	164
12	360	152
เฉลี่ย (ชิ้น)	631	144
เฉลี่ย (%)	7.89	1.80

เนื่องจากจำนวนการทดลองของแต่ละกลุ่มมี แปรปรวนของแต่ละกลุ่มมีค่าเท่ากันหรือไม่ที่ระดับนัย
ขนาดเล็ก น้อยกว่า 30 การทดลอง และไม่ทราบความ สำคัญ 90% โดยใช้ F-Test และได้ผลดังแสดงในรูปที่ 13
แปรปรวนที่แท้จริงของทั้งสองกลุ่ม จึงทดสอบว่าความ

Test and CI for Two Variances: Waste Before, Waste After

Method

Null hypothesis	Variance(Waste Before) / Variance(Waste After) = 1
Alternative hypothesis	Variance(Waste Before) / Variance(Waste After) not = 1
Significance level	Alpha = 0.1

Statistics

Variable	N	StDev	Variance
Waste Before	12	316.577	100220.873
Waste After	12	32.382	1048.606

Ratio of standard deviations = 9.776
Ratio of variances = 95.575

90% Confidence Intervals

Distribution of Data	CI for StDev Ratio	CI for Variance Ratio
Normal	(5.824, 16.411)	(33.917, 269.325)
Continuous	(4.206, 15.337)	(17.689, 235.227)

Tests

Method	DF1	DF2	Test Statistic	P-Value
F Test (normal)	11	11	95.58	0.000
Levene's Test (any continuous)	1	22	9.83	0.005

รูปที่ 13. ผลการทดสอบความแตกต่างของความแปรปรวนของสองประชากร (F-Test)

ผลการทดสอบพบว่าค่า P-value น้อยกว่า ประชากร (Two-Sample T-Test) ในกรณีที่ไม่ทราบความ
0.0001 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก และสามารถสรุปได้ แปรปรวนที่แท้จริงแต่ทราบว่าความแปรปรวนของสอง
ว่าความแปรปรวนของแต่ละกลุ่มไม่เท่ากัน จากนั้น ประชากรไม่เท่ากัน และได้ผลแสดงดังรูปที่ 14
จึงทำการทดสอบความแตกต่างของค่ากลางของสอง

Two-Sample T-Test and CI: Waste Before, Waste After				
Two-sample T for Waste Before vs Waste After				
	N	Mean	StDev	SE Mean
Waste Before	12	631	317	91
Waste After	12	143.7	32.4	9.3
Difference = mu (Waste Before) - mu (Waste After)				
Estimate for difference: 487.7				
90% CI for difference: (322.8, 652.7)				
T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 5.31 P-Value = 0.000 DF = 11				

รูปที่ 14. ผลการทดสอบความแตกต่างระหว่างค่ากลางของสองประชากร (Two-Sample T-Test)

เนื่องจากค่า P-value ในรูปที่ 14 มีค่าน้อยกว่า 0.0001 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.1 จึงสามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก และสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของของเสียที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการปรับระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

จากการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับระดับของปัจจัย พบว่าค่าเฉลี่ยของของเสียลดลงจากเดิมร้อยละ 8.43 มาอยู่ที่ร้อยละ 1.80 คิดเป็นร้อยละ 78.65 และทำให้มูลค่าเฉลี่ยของของเสียจากความเสียหายของบรรจุภัณฑ์ด้านในลดลงจากเดิมปีละ 11,522,313 บาท เหลือปีละ 2,460,280 บาท หรือลดลงปีละ 9,062,033 บาท เมื่อคิดจากกำลังการผลิต 60 ล้านหลอดต่อปี ซึ่งผลที่ได้ตรงกับความต้องการของบริษัทในการลดต้นทุนการผลิตเพื่อให้สามารถแข่งขันในตลาดได้

4. สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการใช้การออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมเพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดจากความเสียหายของบรรจุภัณฑ์ด้านในที่ใช้บรรจุหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ชนิดหลอดตรง ซึ่งปัจจัยที่ใช้ในการทดลองได้มาจากแผนภูมิเก้าปลาและเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกระดำเนินงานและต้นทุนของผลิตภัณฑ์ ปัจจัยที่ผ่านการคัดเลือกมีทั้งหมด 5 ปัจจัยได้แก่ ชนิดของลอนลูกฟูก การเก็บรักษากระดาษลูกฟูก อุณหภูมิหม้ออ้าว แรงดันลมหม้ออ้าว และระยะการเปลี่ยนไส้กรอง และใช้การทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 2 ระดับ เพื่อคัดกรองปัจจัย ผลการวิเคราะห์พบว่าทุกปัจจัยมีผลต่อความเสียหายของบรรจุภัณฑ์ด้านในอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 90 แต่เนื่องจาก 2 ปัจจัยแรกมีเพียงระดับสูงและต่ำเท่านั้น จึงนำ 3 ปัจจัยที่เหลือมาหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมด้วยการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ 3 ระดับ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระดับของปัจจัยที่เหมาะสมมีดังนี้ 1. ใช้ลอนลูกฟูก F 2. เก็บรักษากระดาษลูกฟูกด้วยการห่อพลาสติกฟิล์มเพื่อป้องกันความชื้น 3. อุณหภูมิหม้ออ้าวที่ระดับ 170 องศาเซลเซียส 4. แรงดันลมหม้ออ้าวที่ระดับ 1.2 บาร์ และ 5. ระยะการเปลี่ยนไส้กรองที่ 1 สัปดาห์ เมื่อ

นำค่าระดับของปัจจัยดังกล่าวมาทดลองซ้ำพบว่าสามารถลดของเสียจากเดิมร้อยละ 8.43 เหลือร้อยละ 1.80 หรือลดได้ร้อยละ 78.65 ซึ่งสามารถลดต้นทุนในด้านการผลิตลงทั้งทางด้านของค่าใช้จ่ายในการแก้ไขของเสียที่เกิดขึ้นของเสียที่ต้องทิ้งเมื่อบรรจุภัณฑ์ไม่ได้คุณภาพ และการลดปริมาณการใช้กระดาษต่อชิ้นงาน ซึ่งสามารถคิดเป็นมูลค่าของของเสียที่ลดลงได้ 9,062,033 บาทต่อปี

5. เอกสารอ้างอิง

- (1) Chen J, Zhang YI, Onosawa M. An overview of reducing principle of design of corrugated box used in good packing. *Procedia Environmental Science*. 2011;10: 992-8.
- (2) Sudasna-Na-Ayudthya P, Luangpaiboon P. *Design and Analysis of Experiments*. Bangkok: Top Publishing; 2008. Thai.
- (3) Montgomery DC, Runger GC. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. 5th ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.; 2011.
- (4) Tran KL, Douthe C, Sab K, Dallot J, Davaine L. A preliminary design formula for the strength of stiffened curved panels by design of experiment method. *Thin-Walled Structures*. 2014;79: 129-37.
- (5) Sousa-Gallagher MJ, Mahajan PV, Mezdad T. Engineering packaging design accounting for transpiration rate: Model development and validation with strawberries. *Journal of Food Engineering*. 2013;119: 370-6.
- (6) Dasgupta A, Pecht MG, Mathieu B. Design of experiment methods for computational parametric studies in electronic packaging. *Finite Elements in Analysis and Design*. 1998;30: 125-46.
- (7) Zhao L. Evaluation of the performance of corrugated shipping containers: virgin versus recycled boards [ME Thesis]. Victoria: Victoria University of Technology; 1993.