



KKU Engineering Journal

<http://www.en.kku.ac.th/enjournal/th/>

การลดของเสียในการผลิตขวดพลาสติกสำหรับอุตสาหกรรมน้ำดื่ม

Waste reduction in plastic bottle manufacturing for drinking water industry

รดาเมณี อธิพิตรม, สมฤทัย ดัชนีย์ และ ชาณนรงค์ สายแก้ว*

Radamanee Itthiprom, Somruetai Dutchanee, and Charnnarong Saikaew*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 40002

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand, 40002

Received January 2013

Accepted June 2013

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพขวดน้ำดื่มพลาสติก โดยเน้นการลดปริมาณของเสีย ในการดำเนินงานนี้ เริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ประเภทและปริมาณของเสียโดยใช้เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหา จากการศึกษพบว่าอาการหนึ่งที่สำคัญของปัญหาของเสียคือ ขวดเป็นริ้วรอยที่มีผลมาจากฟองอากาศที่อยู่ในขวดพรีฟอร์มหลังกระบวนการฉีดขึ้นรูป การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคตอเรียลถูกใช้ศึกษาผลกระทบจากอุณหภูมิในการอบเม็ดพลาสติกจากเครื่องอบสามเครื่อง ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิในการอบจากเครื่องอบสามเครื่อง มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสีย และสภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิของเครื่องอบทั้งสามเครื่องอยู่ในระดับสูง นอกจากนี้ ที่สภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิของเครื่องอบสามารถลดของเสียจากร้อยละ 0.248 เป็นร้อยละ 0.18

คำสำคัญ : ขวดน้ำดื่มพลาสติก การลดของเสีย เครื่องมือคุณภาพ การออกแบบ 2^k แฟคตอเรียล

Abstract

The purpose of this study was to improve the quality of plastic water bottle by focusing on reducing the amount of waste. This study began with the determination of symptoms and causes of the problem by analyzing types and amount of waste with 7 quality control tools (7 QC tools). The results from 7 QC tool analysis showed that one of the most important symptoms of the problem was bottle scratching caused by bubble in plastic pre-form tube after receiving from the injection molding process. The technique of 2^k factorial design was used to study the effects of three process factors (i.e., temperature at the three machines in the drying process of plastic pellets) on the amount of waste. The results showed that temperatures were significant and the optimal operating conditions of the significant factors were at the high level of each of the temperature. Moreover, at the optimal operating conditions, waste of bottle scratching was reduced from 0.248% to 0.18%.

Keywords : Plastic water bottle, Waste reduction, Quality tools, 2^k factorial design

*Corresponding author.

Email address: charn_sa@kku.ac.th

1. บทนำ

ประเทศไทยมีจำนวนอุตสาหกรรมพลาสติกอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดอัตราการแข่งขันค่อนข้างสูง ประกอบกับ ราคาน้ำมันที่มีราคาแพงจึงส่งผลกระทบต่อโดยตรงกับอุตสาหกรรมพลาสติก เนื่องจากเม็ดพลาสติกส่วนใหญ่ได้จากอุตสาหกรรมปิโตรเลียมจึงทำให้ต้นทุนในการผลิตเพิ่มขึ้นตามราคาน้ำมัน เมื่อต้นทุนในการผลิตสูงและมีจำนวนคู่แข่งทางการผลิตมาก แต่ละโรงงานจำเป็นต้องมีวิธีการจัดการกระบวนการผลิตให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุดและมีกำไรมากที่สุด ดังนั้น กระบวนการผลิตจึงต้องมีประสิทธิภาพสูง การที่จะทำให้การผลิตมีประสิทธิภาพสูงได้นั้นทางโรงงานต้องมีการวางแผนการผลิตที่ดี มีการจัดการด้านการผลิตที่เหมาะสม โดยการกำจัดการสูญเสียเปล่าในการผลิต โดยเฉพาะการลดปริมาณของเสีย

สำหรับกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นบริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่นซึ่งผลิตขวดน้ำดื่มพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร โดยกระบวนการผลิตเริ่มต้นด้วยกระบวนการอบเม็ดพลาสติก ตามด้วยการฉีดขึ้นรูปให้ได้รูปร่าง (pre-form) หรือพรีฟอร์ม ก่อนที่จะขึ้นรูปด้วยการเป่าขึ้นรูปให้ได้ขวดน้ำดื่มพลาสติก ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตหลักสามารถแบ่งออกเป็นอาการของปัญหาสำคัญๆ เช่น การเกิดศูนย์กลางเยื้อง (บริเวณก้นขวด) การเกิดขวดเป็นริ้วรอย วงแหวนบิน ปากขวดบิน เป็นต้น

การหาสาเหตุหรือปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียสามารถกระทำได้จากการใช้เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC tools) [1-2] ส่วนการตั้งสมมติฐานหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของเสียและปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียสามารถกระทำได้จากการใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม [3-4] การออกแบบการทดลองสามารถวิเคราะห์หาความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญระหว่างปัจจัยและอาการของปัญหาที่ได้จากการระดมสมองในแผนภาพก้างปลา (1 ในเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด)

นอกจากนี้ การออกแบบการทดลองสามารถหาสาเหตุที่เหมาะสมของระดับของปัจจัยที่เป็นปัจจัยหลักที่ทำการลดการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตได้

Yusoff et al. [5] ใช้เครื่องมือคุณภาพ เช่น แผนภาพพาเรโต แผนภาพก้างปลา และกราฟ เพื่อวิเคราะห์ประเภทและปริมาณของเสีย รวมทั้งหาสาเหตุของการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติก นอกจากนี้ การออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียลถูกนำมาวิเคราะห์สาเหตุหรือปัจจัยที่มีต่อการเกิดของเสียอย่างมีนัยสำคัญ พร้อมทั้งวิเคราะห์หาสาเหตุที่เหมาะสมของระดับของปัจจัยด้วยแผนภาพอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (Main effect and interaction effect plots) ที่ลดการเกิดของเสีย [6] ใช้เครื่องมือคุณภาพ เช่น การออกแบบการทดลอง รวมทั้งการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบสนอง (Response surface methodology) ในการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผลิตพลาสติก นอกจากนี้เครื่องมือคุณภาพดังกล่าวที่นักวิจัยใช้ในการปรับปรุงคุณภาพการผลิตพลาสติกแล้ว การออกแบบการทดลองแบบทาгуชิ (Taguchi method) ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผลิตพลาสติกโดยกระบวนการฉีดขึ้นรูปเช่นกัน [7-8] และการออกแบบการทดลองแบบผสม (Mixture experiments) ยังถูกนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพชิ้นส่วนพลาสติกตามคุณลักษณะสมบัติทางกลและสมบัติเชิงความร้อนของผลิตภัณฑ์พลาสติกรีไซเคิล [9]

ในงานวิจัยนี้ กระบวนการอบเม็ดพลาสติกที่มีความชื้นแตกต่างกันถูกนำมาตั้งสมมติฐาน เพื่อพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยในกระบวนการอบเม็ดพลาสติกและเปอร์เซ็นต์ของเสีย ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับกระบวนการฉีดขึ้นรูปให้ได้รูปร่าง (Pre-form) หรือ พรีฟอร์ม ก่อนที่จะขึ้นรูปด้วยการเป่าขึ้นรูป การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคตอเรียล (2^k factorial design) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance, ANOVA) และการหาสาเหตุที่เหมาะสมของระดับของปัจจัยด้วย

แผนภาพอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (Main effect and interaction effect plots) ถูกใช้ในการหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสีย (ขูดเป็นริ้วรอยเนื่องจากการเกิดฟองอากาศในพรีฟอร์ม) อย่างมีนัยสำคัญ พร้อมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมของระดับของปัจจัยเพื่อลดการเกิดของเสีย ผลที่ตามมาคือ ต้นทุนในการผลิตลดลง ชิ้นงานมีคุณภาพมากขึ้น และกระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2. วิธีการดำเนินงาน

การรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด โดยเริ่มต้นจากเก็บข้อมูลด้วยแบบบันทึก (Check sheet) ที่มีรายละเอียดของผลิตภัณฑ์หรือชิ้นงาน (What) ผู้ปฏิบัติงาน (Who) เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต (Where) และเวลาที่ปฏิบัติงาน (when) โดยคำนึงถึงลักษณะของเสีย (How) และจำนวนของเสีย (How many) จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยกราฟ (Graph) เพื่อแยกแยะให้เห็นถึงความแตกต่างหรือความผันแปรที่เกิดจาก What, Who, Where, When ซึ่งถือว่าเป็นแหล่งกำเนิดความผันแปรของกระบวนการผลิตรวมทั้งการเกิดของเสีย นอกจากนี้ แผนภาพพาเรโต (Pareto diagram) ถูกใช้จัดลำดับอาการของปัญหา โดยกำหนดแนวคิดในการจำแนกประเภทของข้อมูลเพื่อดำเนินการวิเคราะห์ตามหลักการที่ว่า ของเสียประมาณร้อยละ 80 ของของเสียทั้งหมด มาจากอาการของปัญหาประมาณ 20% ของจำนวนอาการของปัญหาทั้งหมด [2] หลังจากได้อาการของปัญหาที่ทำให้เกิดของเสียแล้ว แผนภาพก้างปลา (Fish-bone diagram) ถูกนำมาใช้ในการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุหรือปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสีย การพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุหรือปัจจัย (ก้างปลา) และอาการของปัญหา (หัวปลา) ที่ได้จากลำดับอาการที่สำคัญจากการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพพาเรโต สามารถกระทำได้ด้วยแผนภาพการกระจาย

(scatter plot) อย่างไรก็ตาม การทดสอบสมมติฐาน โดยการออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคตอเรียล ถูกนำมาใช้เพื่อเก็บข้อมูลและวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างก้างปลาและหัวปลาอย่างมีนัยสำคัญ

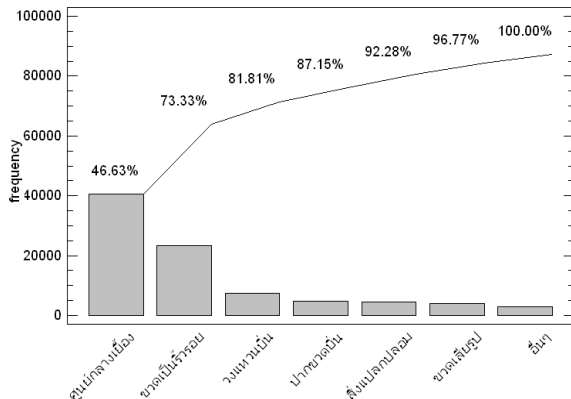
การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคตอเรียลเป็นวิธีการทางสถิติที่ได้รับการใช้อย่างแพร่หลายและมีความน่าเชื่อถือ [4] การออกแบบการทดลองแบบ 2^k แฟคตอเรียล มีต้นกำเนิดจากนักสถิติชาวอังกฤษชื่อ Donald Fisher ซึ่งทำงานด้านการเกษตร การออกแบบการทดลองแบบนี้เขียนเป็น 2^k โดยที่ k แทนด้วยจำนวนปัจจัย และ 2 คือจำนวนระดับในแต่ละปัจจัย Fisher ใช้การทดลองแบบนี้มาทดแทนการทดลองแบบเดิม คือ แบบวิธีการทดลองเปลี่ยนค่าปัจจัยครั้งละหนึ่งปัจจัย (one-factor-at-a-time experiment, OFAT) โดยใช้ศึกษาปัจจัยต่างๆ พร้อมกันในงานการเกษตร จุดประสงค์ที่ใช้การออกแบบการทดลองแบบนี้ก็เพื่อศึกษาผลกระทบตั้งแต่สองปัจจัย โดยศึกษาผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main effects) และผลกระทบร่วมกันของปัจจัย (Interaction effects) ได้พร้อมกันในขณะที่ทำการทดลอง

3. ผลการศึกษา

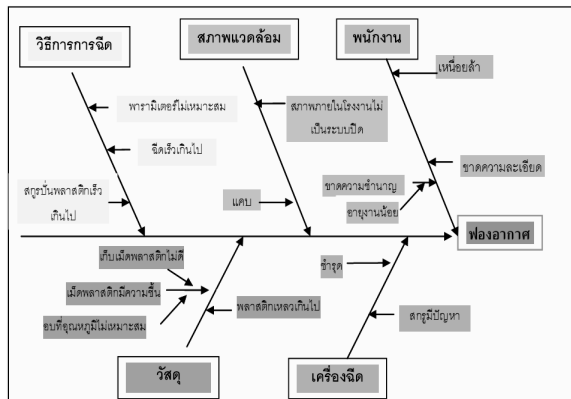
3.1 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา

จากการรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาของเสียโดยใช้เครื่องมือคุณภาพ พบว่า ศูนย์กลางเยื้อง (บริเวณกันขวด) เกิดขึ้นมากที่สุดและรองลงมาคือ ขูดเป็นริ้วรอย (ดูรูปที่ 1) จากการวิเคราะห์พบว่า ศูนย์กลางเยื้องเป็นอาการของปัญหาของเสียที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักร ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เครื่องจักรเป็นแหล่งกำเนิดความผันแปรของกระบวนการผลิตรวมทั้งการเกิดของเสีย เครื่องจักรหลักที่ใช้ในกระบวนการผลิตขูดน้ำพลาสติก ได้แก่ เครื่องอบเม็ดพลาสติก เครื่องฉีดขึ้นรูปให้ได้รูปร่างหรือพรีฟอร์ม และเครื่องเป่าขึ้นรูปศูนย์กลางเยื้อง (บริเวณกันขวด) เป็นอาการของปัญหา

ของเสียที่ต้องอยู่ภายใต้การควบคุมดูแลของผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้าน เพื่อไม่ให้เกิดการชำรุดเสียหายของเครื่องจักร ดังนั้น ผู้วิจัยจึงศึกษาอาการของปัญหาของเสียที่มีความสำคัญลำดับรองลงมา คือ ขวดเป็นริ้วรอย



รูปที่ 1 แผนภาพพาเรโตแสดงประเภทและจำนวนของเสียที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2 แผนภาพก้างปลา

สาเหตุสำคัญที่น่าจะทำให้เกิดอาการของปัญหาของเสียประเภทขวดเป็นริ้วรอย คือ ฟรียฟอร์มเกิดฟองอากาศ เมื่อนำฟรียฟอร์มเกิดฟองอากาศมาวิเคราะห์หาสาเหตุตามแผนภาพก้างปลา (รูปที่ 2) พบว่าหนึ่งในปัจจัยทั้งหมดคือ เม็ดพลาสติกมีความชื้น ที่เกิดจากอุณหภูมิในการอบเม็ดพลาสติกไม่เหมาะสม จึงนำไปสู่การทดลองเพื่อหาสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบเม็ดพลาสติก เพื่อให้เปอร์เซ็นต์ของเสียลดน้อยลง

3.2 การออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบผลกระทบของความชื้นสัมพัทธ์

เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในช่วงเวลาต่างๆ กันเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสีย ผู้วิจัยทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศในแต่ละช่วงเวลาของการผลิตและเปอร์เซ็นต์ของเสียฟรียฟอร์มที่เกิดฟองอากาศ ในแต่ละช่วงเวลา โดยแบ่งช่วงเวลาออกเป็น 3 ช่วง คือ 08.00 น.-12.00 น. 12.01 น.-16.00 น. และ 16.01 น.-20.00 น. ซึ่งแสดงผลดังตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ด้วยการทดลองแบบจัดกลุ่มสุ่มสมบูรณ์ (randomized complete block design, RCB) แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศกับเปอร์เซ็นต์ของเสียในช่วงระยะเวลาต่างๆ

วันที่	08.00-12.00 น.		12.01-16.00 น.		16.01-20.00 น.	
	RH (%)	ของเสีย (%)	RH (%)	ของเสีย (%)	RH (%)	ของเสีย (%)
1	35	0.326	33	0.210	30	0.220
2	34	0.319	26	0.238	27	0.241
3	39	0.269	30	0.199	34	0.175
4	38	0.332	30	0.170	27	0.213
5	26	0.301	27	0.249	30	0.256
6	35	0.286	26	0.190	29	0.183
7	38	0.295	26	0.250	28	0.273
เฉลี่ย		0.304		0.215		0.223

RH เป็นความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ในสถานที่โรงงานกรณีศึกษา มีหน่วยเป็น %

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของเปอร์เซ็นต์ของเสียในช่วงเวลาต่างๆ

Source of variation	Sum of square	Degree of freedom	Mean square	F-value
Treatments (period)	0.034	2	0.0170	30.38
Block (days)	0.01	6	0.0017	
Error	0.0067	12	0.0006	
Total	0.051	20		

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน จะเห็นได้ว่า ช่วงเวลาที่แตกต่างกันมีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ฟริฟอร์มที่เกิดฟองอากาศโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นอกจากนี้ ยังพบว่าในช่วงเวลา 08.00 น. - 12.00 น. มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ยสูงกว่าช่วงเวลาอื่น และเปอร์เซ็นต์ฟริฟอร์มที่เกิดฟองอากาศเฉลี่ยก็สูงกว่าช่วงเวลาอื่นเช่นกัน ดังนั้น ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจึงอาจเป็นอีกปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อเปอร์เซ็นต์ของเสีย เพื่อยืนยันว่าช่วงเวลาต่างๆ ที่มีความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกันมีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสีย โดยเฉลี่ยอย่างไร สามารถวิเคราะห์จากตารางที่ 3 ด้วยการเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple comparisons) ผลปรากฏว่า คู่ของระดับที่ 1 และที่ 2 และคู่ของระดับที่ 1 และที่ 3 มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) แต่คู่ของระดับที่ 2 และ ที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่า ระดับที่ 2 (ช่วงเวลา 12.01 น. - 16.00 น.) และที่ 3 (ช่วงเวลา 16.01 น. - 20.00 น.) ระดับความชื้นสัมพัทธ์ในสองช่วงเวลาไม่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสีย ดังนั้น สามารถจัดรวมไว้เป็นกลุ่มเดียวกันได้

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบพหุคูณของช่วงเวลาต่างๆ

Pair comparisons	Mean diff.	Degree of freedom	Standard error	t for H0 coeff = 0	p-value
1 VS 2	0.089	1	0.013	7.04	< 0.0001
1 VS 3	0.081	1	0.013	6.42	< 0.0001
2 VS 3	-0.008	1	0.013	-0.62	0.5453

3.3 การออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบผลกระทบของอุณหภูมิในการอบเม็ดพลาสติก

การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 แฟคตอเรียลถูกนำมาใช้ในกระบวนการอบเม็ดพลาสติก โดยกำหนดให้

อุณหภูมิในการอบเม็ดพลาสติก เป็นปัจจัยที่น่าจะมีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสียฟริฟอร์มที่เกิดฟองอากาศ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องมีทั้งสิ้น 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในเครื่องอบเม็ดพลาสติกเครื่อง A มี 2 ระดับคือ 100°C (-) และ 110°C (+) อุณหภูมิในเครื่องอบเม็ดพลาสติกเครื่อง B มี 2 ระดับคือ 140°C (-) และ 150°C (+) และอุณหภูมิในเครื่องอบเม็ดพลาสติกเครื่อง C มี 2 ระดับคือ 175°C (-) และ 180°C (+) โรงงานจำเป็นต้องใช้เครื่องอบเม็ดพลาสติกทั้งสามเครื่อง โดยเม็ดพลาสติกถูกอบในแต่ละเครื่องด้วยอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เพื่อให้เม็ดพลาสติกมีคุณภาพ ไม่เกิดสีเหลือง และสามารถกำจัดความชื้นได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น รูปที่ 3 แสดงเครื่องอบเม็ดพลาสติก ที่มีลูกศรชี้แสดงตำแหน่งปรับอุณหภูมิ เมื่อทำการกำหนดปัจจัยแล้วขั้นตอนต่อไปคือ การปรับอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกแต่ละทรีทเมนต์คอมบินชันตามที่กำหนดไว้ แล้วบันทึกเปอร์เซ็นต์ของเสียที่เกิดขึ้นแต่ละช่วงเวลา ซึ่งมี 2 ช่วงเวลา คือ 08.00 น.-12.00 น. และ 12.01 น.-20.00 น. ซึ่งแสดงผลการทดลองตามตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 3 เครื่องอบเม็ดพลาสติก

ตารางที่ 4 ผลการทดลองการปรับอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสีย ในช่วงเวลา 08.00 น.-12.00 น.

Run	Factor			Waste (%)		Total	Average
	Dryer A	Dryer B	Dryer C	1	2		
1	100	140	175	0.34	0.33	0.67	0.33
2	110	140	175	0.28	0.30	0.58	0.29
3	100	150	175	0.26	0.26	0.52	0.26
4	110	150	175	0.20	0.20	0.40	0.20
5	100	140	180	0.27	0.26	0.53	0.27
6	110	140	180	0.24	0.24	0.48	0.24
7	100	150	180	0.24	0.24	0.48	0.24
8	110	150	180	0.20	0.20	0.39	0.20

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองแบบ 2^3 แฟคตอเรียล ในการศึกษาอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกทั้งสามเครื่องที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสียฟรีฟอร์มที่เกิดฟองอากาศ ในช่วงเวลา 08.00 น.-12.00 น. และ 12.01 น.-20.00 น. แสดงดังตารางที่ 6 และตารางที่ 7 ตามลำดับ

ตารางที่ 5 ผลการทดลองการปรับอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสีย ในช่วงเวลา 12.01 น.-20.00 น.

Run	Factor			Waste		Total	Average
	Dryer A	Dryer B	Dryer C	1	2		
1	100	140	175	0.26	0.25	0.52	0.26
2	110	140	175	0.20	0.20	0.40	0.20
3	100	150	175	0.20	0.20	0.39	0.20
4	110	150	175	0.18	0.17	0.35	0.18
5	100	140	180	0.20	0.21	0.41	0.20
6	110	140	180	0.19	0.19	0.38	0.19
7	100	150	180	0.19	0.19	0.37	0.19
8	110	150	180	0.18	0.17	0.35	0.17

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อศึกษาอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสีย ในช่วงเวลา 08.00 น.-12.00 น.

Source of variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean squares	F-Value	p-value
Model	0.0288	7	0.0041	106.637	< 0.0001
Dryer A	0.0074	1	0.0074	190.371	< 0.0001
Dryer B	0.0141	1	0.0141	365.089	< 0.0001
Dryer C	0.0047	1	0.0047	120.597	< 0.0001
AB	0.0002	1	0.0002	6.422	0.0349
AC	0.0003	1	0.0003	7.264	0.0272
BC	0.0022	1	0.0022	56.584	< 0.0001
ABC	<0.0001	1	< 0.0001	0.131	0.7265
Error	0.0003	8	< 0.0001		
Total	0.0291	15			

ตารางที่ 7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อศึกษาอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสีย ในช่วงเวลา 12.01 น.-20.00 น.

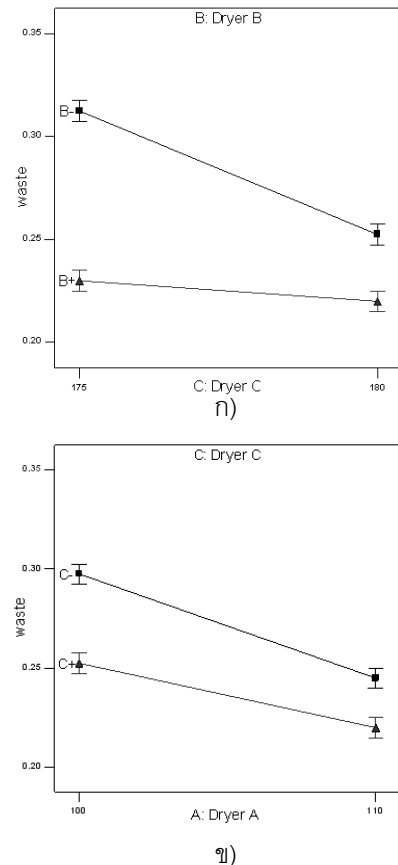
Source of variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean squares	F-Value	p-value
Model	0.0099	7	0.00141	77.722	< 0.0001
Dryer A	0.0028	1	0.00276	152.055	< 0.0001
Dryer B	0.0035	1	0.00354	195.310	< 0.0001
Dryer C	0.0016	1	0.00156	86.069	< 0.0001
AB	0.0003	1	0.00032	17.876	0.0029
AC	0.0006	1	0.00063	34.483	0.0004
BC	0.0008	1	0.00078	43.255	0.0002
ABC	0.0003	1	0.00027	15.007	0.0047
Error	0.0001	8	< 0.0001		
Total	0.0100	15	0.00067		

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อศึกษาอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสียฟรีฟอร์มที่เกิดฟองอากาศทั้งสองช่วงเวลา จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกทั้งสามเครื่องมี

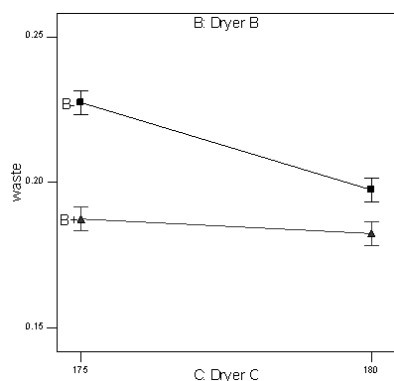
ผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสีย โดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งสองช่วงเวลา (ค่า p -value ของปัจจัยทั้งสามมีค่าน้อยกว่า 0.05) นอกจากนี้ อิทธิพลร่วมระหว่างสองปัจจัยมีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสีย โดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งสองช่วงเวลา (ค่า p -value ของปัจจัยร่วมระหว่างสองปัจจัยมีค่าน้อยกว่า 0.05) ค่า R^2 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้วัดความเหมาะสมของรูปแบบมีค่า 0.98 และ 0.97 สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อศึกษาอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกที่มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสียในช่วงเวลา 08.00 น.-12.00 น. และ 12.01 น.-20.00 น. ตามลำดับ

การหาสภาวะที่เหมาะสมของระดับอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกทั้งสามเครื่องสามารถกระทำได้ด้วยการวิเคราะห์แผนภาพอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมระหว่างสองปัจจัย (Main effect and interaction effect plots) ถ้าอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมระหว่างสองปัจจัยมีผลกระทบต่อผลตอบสนอง (เปอร์เซ็นต์ของเสียฟรีฟอร์มที่เกิดฟองอากาศ) อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งดูได้จากตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน การหาสภาวะที่เหมาะสมของระดับของปัจจัย (อุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกทั้งสามเครื่อง) จะยึดแผนภาพอิทธิพลร่วมระหว่างสองปัจจัยเป็นหลักในการวิเคราะห์ [4] จากตารางที่ 6 และตารางที่ 7 จะเห็นว่า อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย B และปัจจัย C มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสียมากที่สุด (ค่า p -value ของปัจจัยร่วมระหว่างสองปัจจัยมีค่าน้อยที่สุด) ในขณะที่อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย A และปัจจัย C มีผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ของเสียมารองลงมา (ค่า p -value ของปัจจัย

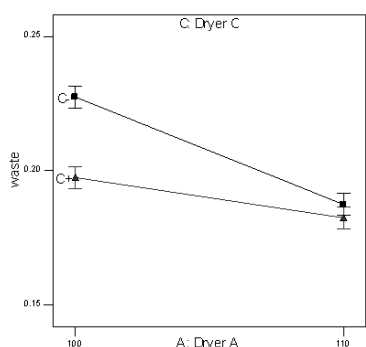
ร่วมระหว่างสองปัจจัยมีค่าน้อยรองลงมา) ดังนั้น แผนภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย B และปัจจัย C จะได้รับการประเมินหาสภาวะที่เหมาะสมของระดับอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกทั้งสามเครื่องก่อน



รูปที่ 4 อิทธิพลร่วมระหว่างสองปัจจัยในช่วงเวลา 08.00 น.-12.00 น. ก) ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกเครื่อง B และ C ข) ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกเครื่อง A และ C



ก)



ข)

รูปที่ 5 อิทธิพลร่วมระหว่างสองปัจจัยในช่วงเวลา 12.01 น.-20.00 น. ก) ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกเครื่อง B และ C ข) ปัจจัยร่วมระหว่างอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกเครื่อง A และ C

ในทำนองเดียวกัน การหาสภาวะที่เหมาะสมของระดับอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกทั้งสามเครื่องในช่วงเวลา 12.01 น.-20.00 น. สามารถวิเคราะห์ได้ผลโดยใช้หลักการเดียวกัน ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมของระดับอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกทั้งสามเครื่องที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ของเสียของพรีฟอร์มที่เกิดขึ้นน้อยกว่าระดับอุณหภูมิอื่นในช่วงเวลา 12.01 น.-20.00 น. คือ ระดับอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกที่เครื่อง A คือ 110 องศาเซลเซียส เครื่อง B คือ 150 องศาเซลเซียส และเครื่อง C คือ 180 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ในช่วงเวลาทั้งสองเป็นสภาวะที่เหมาะสมเดียวกัน

3.4 การทดลองยืนยันผล

ผู้วิจัยทำการทดลองยืนยันผล โดยอบเม็ดพลาสติกด้วยอุณหภูมิใหม่ที่ได้จากการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสมของระดับอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกทั้งสามเครื่อง แล้วเก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์ของเสียพรีฟอร์มที่เกิดฟองอากาศต่อไปอีกเป็นจำนวน 5 วัน ซึ่งรวมกับวันที่ทำการทดลองก่อนหน้านี้แล้วให้ผลที่ดีอีกสองวัน (นั่นคือสภาวะที่เหมาะสมของระดับอุณหภูมิเครื่องอบเม็ดพลาสติกทั้งสามเครื่องที่ทำการทดลอง 2 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลา 2 วัน) รวมเป็น 7 วัน โดยให้ผลดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการทดลองยืนยันผล โดยอบเม็ดพลาสติกด้วยอุณหภูมิใหม่ที่ได้จากการวิเคราะห์หาสภาวะที่เหมาะสม

no	Temperature (°C)			08.00-12.00		12.01-20.00	
	Dryer A	Dryer B	Dryer C	RH (%)	Waste (%)	RH (%)	Waste (%)
1	110	150	180	33	0.195	26	0.175
2	110	150	180	30	0.197	23	0.172
3	110	150	180	28	0.198	26	0.178
4	110	150	180	31	0.201	26	0.173
5	110	150	180	30	0.197	25	0.168
6	110	150	180	29	0.192	26	0.172
7	110	150	180	27	0.195	24	0.169
เฉลี่ย					0.196		0.172

จากตารางที่ 8 จะได้เปอร์เซ็นต์ของเสียเทียบกับกำลังการผลิตของแต่ละช่วงเวลา ซึ่งในช่วง 08.00 น.-12.00 น. มีเปอร์เซ็นต์ของเสียโดยเฉลี่ยคิดเป็น 0.196 และช่วง 12.01-20.00 น. มีเปอร์เซ็นต์ของเสียโดยเฉลี่ยคิดเป็น 0.172 โดยมีกำลังการผลิตต่อชั่วโมงเท่ากับ 3,416 หลอด ถ้าคิดเป็นจำนวนหลอดในช่วง 08.00 น.-12.00 น. จะมีของเสียเฉลี่ย $(0.196 \times 3,416 \times 4) / 100$ เท่ากับ 27 หลอด และในช่วง 12.01 น.-20.00 น. จะมี

ของเสียเฉลี่ย $(0.172 \times 3,416 \times 8) / 100$ เท่ากับ 47 หลอด ดังนั้น ในหนึ่งวันจะมีของเสียที่เกิดฟองอากาศเฉลี่ยอยู่ที่ 74 หลอดหรือ $(74/41,000) \times 100$ เท่ากับ ร้อยละ 0.18 ตารางที่ 9 แสดงจำนวนฟริฟอร์มที่เกิดฟองอากาศในช่วง 4 เดือนที่ทำการศึกษา

ตารางที่ 9 จำนวนฟริฟอร์มที่เกิดฟองอากาศ ในช่วง 4 เดือนที่ทำการศึกษา

	จำนวนฟริฟอร์มที่เกิดฟองอากาศ			
	เดือนที่ 1	เดือนที่ 2	เดือนที่ 3	เดือนที่ 4
จำนวนที่เสีย	2,769	2,436	2,591	2,534
จำนวนที่ผลิต	1,003,330	989,330	1,093,330	1,083,330
% ของเสีย	0.276	0.246	0.237	0.234

จากตารางที่ 9 จะเห็นว่าฟริฟอร์มที่เกิดฟองอากาศทั้งสี่เดือนมีเปอร์เซ็นต์ของเสีย โดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 0.248 แต่ในช่วงการยืนยันผลการทดลองมีเปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 0.18 ดังนั้น อัตราของเสียจะลดลงร้อยละ 0.068 หรือ $(0.068 \times 1,042,330) / 100$ เท่ากับ 708 หลอดต่อเดือน

4. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเปอร์เซ็นต์ของเสียในกระบวนการผลิตขวดน้ำดื่มพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร โดยนำวิธีการของ 7 QC tools เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุของปัญหาว่าเกิดจากสาเหตุใด อาการของปัญหาที่ทำให้เกิดของเสีย คือ ขวดเป็นริ้วรอยที่เกิดจากฟริฟอร์มเกิดฟองอากาศ ซึ่งมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัยร่วมกัน และหนึ่งในสาเหตุหลัก คือ การที่เม็ดพลาสติกมีความชื้นมากเกินไป เป็นผลเนื่องมาจากการปรับอุณหภูมิการอบเม็ดพลาสติกไม่เหมาะสม ผู้วิจัยได้นำปัจจัยดังกล่าวไปทำการทดลองเพื่อหาสภาวะอุณหภูมิ

ที่เหมาะสมในการอบเม็ดพลาสติกเพื่อให้เปอร์เซ็นต์ของเสียฟริฟอร์มที่เกิดฟองอากาศน้อยลง ตามแผนการทดลองแบบ 2^3 แฟคตอเรียล โดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในเครื่องอบเม็ดพลาสติกเครื่อง A มี 2 ระดับคือ 100 องศาเซลเซียส และ 110 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในเครื่องอบเม็ดพลาสติกเครื่อง B มี 2 ระดับคือ 140 องศาเซลเซียส และ 150 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในเครื่องอบเม็ดพลาสติกเครื่อง C มี 2 ระดับคือ 175 องศาเซลเซียส และ 180 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองและผลการวิเคราะห์พบว่า ที่ระดับอุณหภูมิสูงของทั้ง 3 ปัจจัยทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์ของเสียน้อยลง โดยลดลงจากเดิมร้อยละ 0.068

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม บริษัทผลิตขวดน้ำดื่มพลาสติกแห่งหนึ่งในจังหวัดขอนแก่น ที่ให้ความกรุณาและความอนุเคราะห์ในการศึกษาขั้นตอนในการผลิตขวดน้ำดื่มพลาสติกและทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบเม็ดพลาสติก ตลอดจนข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการทำงานวิจัย นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณพนักงานในสายการผลิตที่ให้ความร่วมมือในการทดลอง พร้อมทั้งให้ความรู้เกี่ยวกับลักษณะของเสียประเภทต่างๆ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Chalermjirarat W. The QC problem solving approach. 16th ed. Technology promotion association (Thailand-Japan), Bangkok. 2009. (In Thai).
- [2] Ploypanitchroen K. Principle of quality control, technology promotion association (Thailand-Japan), Bangkok. 2007. (In Thai).

- [3] Saikaew C. Statistics and design of engineering experiments. 2nd ed. Faculty of engineering press, Khon Kaen University, Khon Kaen; 2012. (In Thai).
- [4] Montgomery DC. Design and analysis of experiments. 6th ed. Wiley Interscience, New York. 2005.
- [5] Yusoff SMM, Rohani JM, Hamid WHW, Ramily E. A plastic injection molding process characterization using experimental design technique: a case study. J. Teknologi, 2004;41(A) Dis:1-16.
- [6] Mathivanan D, Parthasarathy NS. Prediction of sink depths using nonlinear modeling of injection molding variables. Int J Adv Manuf Tech, 2009; 43: 654-663.
- [7] Chung F, Kuo J, Su TL. Optimization of multiple quality characteristics for polyether ether ketone injection molding process. Fibers and Polymers. 2006; 7(4): 404-413.
- [8] Dong SK, Jong SK, Young, BK. Experimental characterization of transcription properties of microchannel geometry fabricated by injection molding based on Taguchi method. Microsystem Technology. 2008; 14: 1581-1588.
- [9] Sripraya P, Saikaew C. Improving quality of recycled plastic products. KKU Eng J.2009; 36(2): 87-95. (In Thai).