

การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องบรรจุหลอดบีบสำหรับเครื่องสำอางโดยการ
ประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพ

Efficiency Improvement of Cosmetic Tube Filling Machine
by Applying QC Tools

พูลพิศ นามปาน¹ สุภาวดี ธีรธรรมากร² และ สมบัติ ทิมทรัพย์³

^{1,2}แขนงวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

³คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี นongkhaengphlu, Nongkhaem District

E-mail: s_thee49@yahoo.com*

Pullpis Nampan¹, Supawadee Theerathamkorn² and Sombat Teekasap³

^{1,2}Industrial Technology, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University,
Pakkret Nonthaburi 11120

³Faculty of Science and Technology, Thonburi University, Nongkhaengphlu, Nongkhaem District,
Bangkok 10160. E-mail: s_thee49@yahoo.com*

Received 25 Sep 2020; Revised 16 Mar 2021

Accepted 28 Jun 2021; Available online 29 Jun 2021

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาหาสาเหตุของปัญหาหลอดเสียและปรับปรุงกระบวนการบรรจุเครื่องสำอางของเครื่องบรรจุหลอดบีบอัตโนมัติโดยใช้เครื่องมือคุณภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต วิธีการวิจัยประกอบด้วยการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางหลอดรีโดยใช้หลักการ 3 จริง การเก็บรวบรวมข้อมูลของเสียด้วยแผ่นตรวจสอบ การวิเคราะห์ข้อมูลของเสียเพื่อจัดลำดับความสำคัญของปัญหาโดยใช้แผนภูมิพาเรโต การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภูมิแก๊งปลา และดำเนินการพิสูจน์สาเหตุโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ปัญหาโดยการตั้งคำถาม 5W1H และเทคนิคการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ สำหรับ 3 ปัจจัย (8 การทดลอง) และทำการทดลองซ้ำอีกครั้งรวม 16 การทดลอง เพื่อหาปัจจัยในการปรับตั้งเครื่องจักรที่ทำให้เกิดของเสียน้อยที่สุด ผลการวิจัยพบว่า ปัจจัยที่ทำให้เกิดของเสียอันเนื่องมาจากเครื่องบรรจุ คือ ความเร็วเครื่องบรรจุ และรูปแบบการรองรับหลอด หลังจากที่มีการปรับปรุงการทำงานของเครื่องบรรจุ พบว่า ของเสียลดลงมากกว่าร้อยละ 90 โดยเหลือเพียงร้อยละ 0.09 ของจำนวนการผลิต เมื่อเทียบกับ ร้อยละ 2.14 ก่อนการดำเนินการแก้ไข ค่าดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการผลิต ทั้งค่าดัชนีวัดศักยภาพของกระบวนการในระยะยาว (Pp) และค่าดัชนีวัดสมรรถนะของกระบวนการในระยะยาว (Ppk) หลังการปรับปรุงมีค่ามากกว่า 1 ซึ่งแสดงถึงความสามารถของกระบวนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตที่วัดได้หลังการปรับปรุงจาก 30.67 ชั่วโมง ลดลงเหลือ 21.82 ชั่วโมง เพิ่มขึ้นอย่างมากถึงประมาณร้อยละ 71

คำหลัก: การเพิ่มประสิทธิภาพ, การลดของเสีย, เครื่องมือคุณภาพ, กระบวนการบรรจุเครื่องสำอาง, หลอดบีบ

Abstract

The aim of this research is to study the causes of damage in tubes used for cosmetic products and to improve the cosmetic filling process of the tube filling machine by using quality control tools for increasing manufacturing efficiency. The studies consist of studying the manufacturing processes of the cosmetic product that uses oval-shaped tube using the principles of 3GEN, waste data collection using inspection sheets, prioritization of problems using the Pareto chart, evaluating the causes of problem using the fishbone chart, and proofing the causes via problem analysis techniques of 6 questions (5W1H). A duplicate of full factorial design of three factors (8 experiments) was carried out (total is 16 experiments) to optimize the settings of the machine that yields the least waste. The results showed that the factors involving with filling machine and impacting on the tube are filling speed and the tube support settings. After optimizing the filling machine operation settings, more than 90 percent of the waste was reduced (from 2.14 to 0.09 percent). Both capability indices of the production processes, the index of long-term process potential (Pp) and the index of long-term process performance (Ppk), after the optimization were greater than one indicating the increased capability of the production processes. In Addition, the measured process efficiency value after improvement was dropped from 30.67 to 21.82 hours, a substantial increase of about 71 percent.

Keywords: Waste reduction, Quality tools, Cosmetic tube filling process

1. บทนำ

อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง (cosmetics industry) เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีอัตราการเจริญเติบโตและขยายตัวอย่างต่อเนื่อง โดยมีอัตราการเติบโตร้อยละ 7.2-7.9 ต่อปี ตลอด 6 ปีที่ผ่านมา โดยเฉพาะสินค้ากลุ่มความงามและดูแลส่วนบุคคล (beauty and personal care) มีแนวโน้มการเติบโตร้อยละ 7.3 ต่อปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2562 ถึง 2565 ซึ่งมีสินค้ากลุ่มผลิตภัณฑ์บำรุงผิวเป็นสินค้าที่มีมูลค่าสูงสุดในตลาดโลก ถึง 2.4 พันล้านเหรียญสหรัฐ [1] และมีมูลค่ารวมของอุตสาหกรรมเครื่องสำอางของไทยอยู่ที่ประมาณ 2.51 แสนล้านบาท (ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร กระทรวงพาณิชย์, 2561) จากการแข่งขันและต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น ทำให้ผู้ผลิตต้องพัฒนากระบวนการผลิตเพื่อให้สามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้ในด้านคุณภาพและสามารถควบคุมหรือลดต้นทุนการผลิตเพื่อให้สามารถคงอยู่ได้ในทุกสภาวะเศรษฐกิจ จากข้อมูลการผลิตหลอดบีบบรรจุเครื่องสำอางของโรงงานแห่งหนึ่ง ตั้งแต่เดือนตุลาคม ถึง ธันวาคม พ.ศ. 2561 ของเครื่องบรรจุเครื่องสำอางหลอดบีบอัตโนมัติ จำนวน 1 เครื่อง ที่มีการผลิตทั้งหมดจำนวน 7 ครั้ง งานที่ผลิต

หลอดบีบทรงรีบรรจุเครื่องสำอางชนิดครีมกันแดด จำนวน 74,222 ชิ้น แยกเป็นจำนวนของดี 72,636 ชิ้น จากจำนวนของเสียทั้งหมด 1,586 ชิ้น คิดเป็น อัตราของเสียเฉลี่ยร้อยละ 2.14 ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่โรงงาน กำหนดคือ ร้อยละ 0.50 คิดเป็นมูลค่าความเสียหาย 231,974 บาทต่อปี

การแก้ปัญหาแบบคิวซีโดยการใช้เครื่องมือคุณภาพ เป็นการแก้ปัญหาที่เน้นการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา แล้วทำการกำจัดต้นเหตุของปัญหาอย่างเป็นระบบและมีเหตุมีผล [2] มีงานวิจัยหลายงานได้นำเครื่องมือคุณภาพมาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ด้วยการลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต [3]-[7] ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดหลอดเสียในกระบวนการบรรจุเครื่องสำอางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิต หลอดบีบบรรจุเครื่องสำอางที่บรรจุด้วยเครื่องบรรจุหลอดบีบอัตโนมัติ (Tube Filling Machine)

2. ขอบเขตของงาน

การวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อหลอดบีบแบบรีที่เสียในขณะทำการบรรจุ

ผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางประเภทครีมกันแดดขนาด 40 กรัม ที่เครื่องบรรจุหลอดบีบอัตโนมัติ ในโรงงานผลิตเครื่องสำอางแห่งหนึ่ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตให้ดีขึ้น

3. วิธีการและขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเบื้องต้นของหลอดเสียที่เกิดจากการบรรจุเครื่องสำอางผลิตภัณฑ์ครีมกันแดดขนาดบรรจุ 40 กรัม จำนวน 7 ล็อต จำนวน 74,222 ชิ้น ก่อนดำเนินการวิจัย เพื่อนำไปหาค่าดัชนีวัดศักยภาพของกระบวนการในระยะยาว (P_p) และค่าดัชนีวัดสมรรถนะของกระบวนการในระยะยาว (P_{pk}) และนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการก่อนการปรับปรุง

3.1 ศึกษาหาสาเหตุที่มีผลต่อของเสียประเภทหลอดเอียงและหลอดยับ

โดยทำการกำหนดลักษณะของเสียจากการใช้หลักการ 3 จริ่ง (3 GEN)[2] สามารถแยกอาการของเสียได้ทั้งหมด 7 ประเภท ดังนี้ หลอดเอียง หลอดยับ น้ำหนักไม่ได้ตามกำหนด ปิดผนึกไม่สนิท หลอดย่น ปลายหลอดไม่เรียบและอื่นๆ(เช่น การปรับตั้งเครื่อง) และใช้แผนภูมิพาเรโตในการคัดเลือกและเรียงลำดับอาการของปัญหาเพื่อนำมาดำเนินการแก้ไข ซึ่งพบว่าปัญหาหลอดเอียง และหลอดยับ เป็นของเสียที่พบมากที่สุด

3.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อของเสียประเภทหลอดเอียงและหลอดยับ

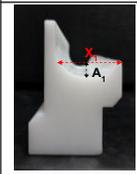
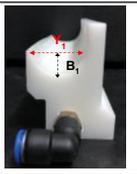
ค้นหาสาเหตุของปัญหาด้วยการวิเคราะห์แผนผังแสดงสาเหตุและผลหรือแผนผังก้างปลา ซึ่งพบว่า ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อหลอดเสียแบบหลอดเอียงและหลอดยับที่เกิดจากกระบวนการบรรจุด้วยเครื่อง คือ ลักษณะปลายหลอด ความเร็วของเครื่องบรรจุ รูปแบบการรองรับหลอด และพนักงานขาดทักษะในการปรับตั้งเครื่องบรรจุ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ปัจจัยดังกล่าวโดยใช้หลักการตั้งคำถาม 5W1H พร้อมวิธีการทางสถิติซึ่งสามารถสรุปปัจจัยที่มีผลต่อหลอดเสีย เพื่อนำปัจจัยดังกล่าวไปดำเนินการทดลองต่อไป

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อหลอดเสีย

หลักการ 4M	ปัจจัย	สาเหตุจากแผนผังก้างปลา	ผลต่อประเภทของเสีย	
			หลอดเอียง	หลอดยับ
Material	1. ลักษณะปลายหลอด	1. รูปทรงของปลายหลอดไม่กลม	✓	✓
Method	2. ความเร็วของเครื่องจักร	2. ความเร็วของเครื่องจักรไม่เหมาะสม	✓	✓
Machine	3. รูปแบบการรองรับหลอด	3.1 รูปทรงของค้างส่งหลอดไม่เหมาะสม	✓	✓
		3.2 แรงดูดสุญญากาศที่ดึงหลอดไม่เพียงพอ	✓	✓
		3.3 รูปแบบของค้างรับหลอดไม่เหมาะสม	✓	✓
Man	4. พนักงานขาดทักษะในการปรับตั้งเครื่องจักร	4. ไม่มีกรรมการให้ความรู้	x	x

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. ชุดอุปกรณ์ส่งหลอด (Infeed Prism) ที่ทำจากพอลิเอสเตอร์ฟลูออโรเอทิลีนหรือเทฟลอนมีมิติรูปทรง 2 แบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1		รูปแบบที่ 2
		
$X_1 = 3.5 \pm 0.1$ cm	$Y_1 = 3.0 \pm 0.1$ cm	$X_2 = Y_2 = 3.5 \pm 0.1$ cm
$A_1 = 0.5 \pm 0.1$ cm	$B_1 = 1.2 \pm 0.1$ cm	$A_2 = B_2 = 1.2 \pm 0.1$ cm

รูปที่ 1 เปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของอุปกรณ์ส่งหลอดรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

X คือความกว้างด้านที่รองรับฝาหลอด

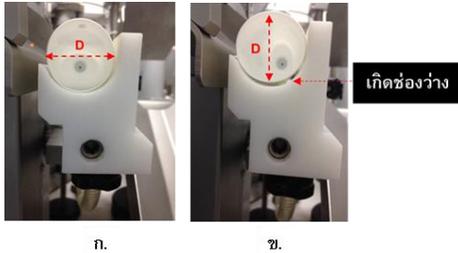
Y คือความกว้างด้านที่รองรับปลายหลอด

A คือความลึกด้านที่รองรับฝาหลอด

B คือความลึกด้านที่รองรับปลายหลอด

รูปแบบที่ 1 เป็นรูปแบบเดิมที่มีความโค้งของอุปกรณ์ส่งหลอดเท่ากับความโค้งของรูปทรงหลอด ดังนี้ ความกว้างด้านที่รองรับฝาหลอด(X_1) = 3.5 ± 0.1 เซนติเมตร ความลึก (A_1) = 0.5 ± 0.1 เซนติเมตร และความกว้างด้านที่รองรับปลายหลอด(Y_1) = 3.0 ± 0.1 เซนติเมตร ความลึก (B_1) = 1.2 ± 0.1 เซนติเมตร(ตามรูปที่ 1) ซึ่งเท่ากับความโค้งของรูปทรงหลอด แต่พบปัญหาหากปลายหลอดมีลักษณะทรงรีและตกลงบนอุปกรณ์ส่งหลอดในแนวขวาง(ตามรูปที่ 2) จะทำให้ปลายหลอดไม่

แนบสนิทกับผิวส่วนโค้งของอุปกรณ์ส่งหลอดเกิดเป็นช่องว่าง ทำให้การรองรับหลอดและส่งหลอดลงอุปกรณ์รองรับและจับหลอดได้ไม่ดี



รูปที่ 2 การสัมผัสหลอดกับอุปกรณ์ส่งหลอดที่มีลักษณะปลายหลอดรี
(ก) สัมผัสอุปกรณ์ส่งหลอดตามแนวยาว
(ข) สัมผัสอุปกรณ์ส่งหลอดตามแนวขวาง

รูปแบบที่ 2 เป็นรูปแบบใหม่ที่มีการออกแบบความโค้งของอุปกรณ์ส่งหลอดให้มีความโค้งมากกว่าความโค้งของปลายหลอดที่มากที่สุด เพื่อให้ปลายหลอดสามารถสัมผัสกับตัวส่งหลอดได้ดีที่สุด ไม่ทำให้เกิดช่องว่างไม่หลอดจะตกกระแทกบนตัวส่งหลอดด้วยท่าทางใดก็ตาม ช่วยเพิ่มความสามารถในการจับหลอดและส่งหลอดลงอุปกรณ์รองรับและจับหลอด ดังนี้ ความกว้างด้านที่รองรับฝาหลอด (X_2) เท่ากับความกว้างด้านที่รองรับปลายหลอด (Y_2) ($X_2=Y_2$) = 3.5 ± 0.1 เซนติเมตร ความลึกของด้านที่รองรับฝาหลอด (A_2) เท่ากับความลึกด้านที่รองรับปลายหลอด (B_2) ($A_2=B_2$) = 1.2 ± 0.1 เซนติเมตร ลักษณะเหมือนรูปทรงกระบอก (ตามรูปที่ 1)

2. ชุดลมดูดสุญญากาศที่อุปกรณ์ส่งหลอด 2 รูปแบบ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 เป็นรูปแบบเดิมที่มีอุปกรณ์สร้างสุญญากาศ (Vacuum Ejector) 1 ตัว มีค่าสุญญากาศสูงสุด เท่ากับ 319 กิโลปาสคาล/มิลลิเมตรของปรอท

รูปแบบที่ 2 เพิ่มอุปกรณ์สร้างสุญญากาศ (Vacuum Ejector) อีก 1 ตัว รวมเป็น 2 ตัว ทำให้สามารถเพิ่มค่าสุญญากาศสูงสุดเป็น 443 กิโลปาสคาล/มิลลิเมตรของปรอท พร้อมเจาะรูเพิ่มที่อุปกรณ์ส่งหลอดเพื่อให้สามารถดูดจับหลอดได้ดีขึ้น ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 รูปแบบชุดลมดูดสุญญากาศที่ตัวส่งหลอดรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2

3. ชุดอุปกรณ์รองรับและจับหลอด ทำจากพอลิเอทเธอร์ฟลูออโรเอทิลีนหรือเทฟลอนมีลักษณะเป็นทรงกระบอกตรงกลางเป็นช่องกลวงและมีเขี้ยวยื่นออกมาเพื่อรองรับและจับหลอด มีพื้นที่สัมผัสและระยะที่เขี้ยวยื่นออกมาต่างกัน 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 ลักษณะเขี้ยวแบบถี่และเล็ก ขณะที่รูปแบบที่ 2 ลักษณะเขี้ยวแบบห่างและใหญ่ ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสและระยะเขี้ยวที่ยื่นออกมาจับหลอดต่างกัน ดังรูปที่ 4 และตารางที่ 1

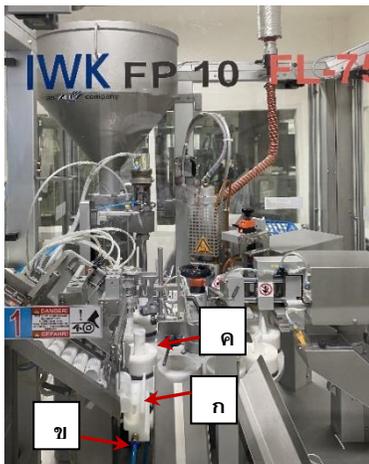
	รูปแบบที่ 1	รูปแบบที่ 2
	ลักษณะเขี้ยวแบบถี่และเล็ก	ลักษณะเขี้ยวแบบห่างและใหญ่
ด้านบน		
ด้านข้าง		

รูปที่ 4 ลักษณะชุดอุปกรณ์รองรับและจับหลอด รูปแบบที่ 1 และ รูปแบบที่ 2

ตารางที่ 1 การปรับตั้งปัจจัยการทดลองชุดอุปกรณ์รองรับ และจับหลอดที่มีพื้นที่สัมผัสและระยะเขี้ยวที่ยื่นออกมาเพื่อ จับหลอดต่างกัน

รูปแบบ ที่	พื้นที่สัมผัส (ตารางมิลลิเมตร)	ระยะเขี้ยวที่ยื่น ออกมา (มิลลิเมตร)
1	2,925±0.1	3.5±1
2	4,060±0.1	3.0±1

4. เครื่องบรรจุหลอดบีบอัดโนมิตี



รูปที่ 5 เครื่องบรรจุหลอดบีบอัดโนมิตี

ก. อุปกรณ์ส่งหลอด ข. ชุดต่ออุปกรณ์สร้างสุญญากาศ ค. อุปกรณ์รองรับและจับหลอด

5. เวอร์เนียแบบดิจิตอลที่มีความละเอียด

0.01 มิลลิเมตร สำหรับวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ ปลายหลอด

วิธีการทดลอง

ในการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อหลอดรีที่เสียด้วยเครื่องบรรจุหลอดบีบอัดโนมิตี ได้ทำการทดลองตามปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

3.2.1 ศึกษาผลกระทบของความเร็วเครื่องจักร โดยมีสมมติฐาน คือ ความเร็วของเครื่องบรรจุหลอดอัตโนมัติมีผลต่อของเสียประเภทหลอดเอียง และหลอดยัดหรือไม่ว่าง ทั้งนี้ความเร็วที่ใช้ในการปรับตั้ง แตกต่างกันตั้งแต่ความเร็วของเครื่องที่ใช้เดิม คือ 70

ชิ้นต่อหน้าที่ และลดลงที่ละ 5 ชิ้นต่อหน้าที่ ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การปรับตั้งปัจจัยที่ใช้การทดลองความเร็วในการบรรจุเครื่องสำอางครีมกันแดด

การทดลองที่	ปัจจัยความเร็วในการบรรจุ (ชิ้นต่อหน้าที่)
1	70
2	65
3	60
4	55
5	50

โดยนำไปใช้ทดลองบรรจุครีมกันแดดด้วย เครื่องบรรจุหลอดบีบอัดโนมิตีจำนวน 700 ตัวอย่างต่อเงื่อนไข แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผล

3.2.2 ศึกษาผลกระทบรูปแบบการรองรับหลอด โดยมีสมมติฐาน คือ รูปแบบอุปกรณ์รองรับหลอดมีผลต่อของเสียประเภทหลอดเอียงและหลอดยัดหรือไม่ว่าง ซึ่งประกอบด้วย 3 ปัจจัยย่อย ได้แก่ 1) รูปทรงอุปกรณ์ส่งหลอด 2) แรงดูดสุญญากาศที่อุปกรณ์ส่งหลอด และ 3) รูปแบบอุปกรณ์รองรับและจับหลอด โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล (factorial designs) เติมรูปแบบ 3 ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ ตามรูปที่ 6 และทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ทั้งหมด 16 การทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อของเสียมากที่สุด ทั้งนี้ 8 การทดลอง ครั้งแรก ทำการทดลองละ 3,000 ชิ้น และ การทดลอง 8 ครั้ง เพื่อทำการซ้ำ ใช้การทดลองละ 1,200 ชิ้น ทั้ง 16 การทดลองใช้ความเร็วเครื่องบรรจุที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองปัจจัยที่ 1

ปัจจัย		ระดับปัจจัย	
		ต่ำ(-)	สูง(+)
1.รูปทรง อุปกรณ์ส่ง ไหล	ความกว้างด้าน ที่รองรับปลาย หลอด(Y) / ความ ลึกด้านที่รองรับ		
	A	ผ่าหลอด(A)	3.00 cm / 0.50 cm
2.แรงดูด สูญอากาศ ที่อุปกรณ์ ส่งไหล	ค่าสูญอากาศ สูงสุด		
	B		319 (kpa/mmHg)
3.รูปแบบ อุปกรณ์ รองรับและ จับไหล	พื้นที่สัมผัส (mm ²) / ระยะที่ เขี่ยยื่นออกมา (mm)		
	C		2,925 mm ² / 3.50 mm

รูปที่ 6 ปัจจัยย่อยของรูปแบบการรองรับหลอดและระดับที่ใช้ในการทดลองแบบแฟกทอเรียล

3.3 นำผลที่ได้มาทำการปรับปรุงแก้ไข และตรวจสอบ ผลการปรับปรุงแก้ไข โดยทำการทดลองเก็บข้อมูลของเสียประเภทหลอดเอียงและหลอดยัดจากการผลิตจำนวน 6 ล็อต จำนวน 118,473 ชิ้น พร้อมวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการที่ปรับปรุง และค่าประสิทธิภาพการผลิต เพื่อนำมาพัฒนาเป็นมาตรฐานการทำงานต่อไป

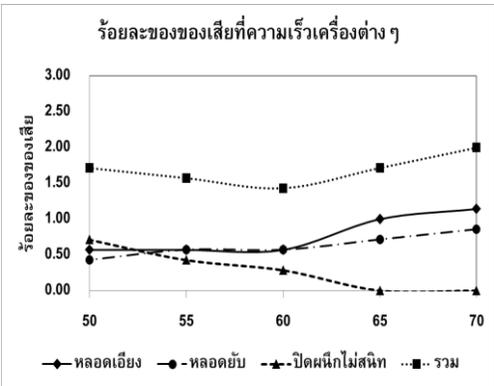
4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการศึกษาหาสาเหตุที่มีผลต่อของเสีย ประเภทหลอดเอียงและหลอดยัด อันเนื่องมาจากเครื่องบรรจุ พบว่า สาเหตุสำคัญมาจากความเร็วของเครื่องบรรจุ และรูปแบบการรองรับหลอดที่มีผลต่อของเสียประเภทหลอดเอียงและหลอดยัดมากที่สุด

4.2 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อของเสีย ประเภทหลอดเอียงและหลอดยัด เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงการบรรจุคริมกันแดดด้วยเครื่องบรรจุหลอดบีบอัดโนมิตี ตามสาเหตุปัจจัย ดังนี้

4.2.1 ความเร็วเครื่องบรรจุหลอดบีบอัดโนมิตี ผลการทดลองปรับความเร็วเครื่องจักรในการบรรจุ ด้วยเครื่องบรรจุหลอดบีบอัดโนมิตี ที่ความเร็ว

70, 65, 60, 55 และ 50 ชั้นต่อนาที ดังรูปที่ 7 พบว่าความเร็วเครื่องบรรจุหลอดอัดโนมิตีมีผลต่อของเสียประเภทหลอดเอียงและหลอดยัดกล่าวคือ เมื่อทำการลดความเร็วรอบของเครื่องจักรลงทำให้ร้อยละของเสียประเภทหลอดเอียงและหลอดยัดลดลงและเริ่มคงที่ที่ความเร็วรอบ 60 ชั้นต่อนาที แต่ร้อยละของของเสียประเภทปิดผนึกไม่สนิทจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบลดลง ซึ่งทำให้ร้อยละของของเสียรวมเพิ่มขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามความเร็วรอบ 60 ชั้นต่อนาที พบร้อยละของของเสียรวมต่ำสุด ดังนั้นความเร็วรอบที่เหมาะสมที่ใช้ในการเลือกมาทดลองคือ 60 ชั้นต่อนาที



รูปที่ 7 ร้อยละของของเสียแยกตามประเภทของอาการตามความเร็วของเครื่องจักร

4.2.2 รูปแบบการรองรับหลอด จากการทดลองทั้งหมด 16 การทดลอง ตามสภาวะที่ระดับของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย โดยใช้ความเร็วเครื่องบรรจุที่ 60 ชั้นต่อนาที และกำหนดระดับของปัจจัยหลักระดับสูง คือ +1 และระดับต่ำ คือ -1 ผลการทดลองแสดงในรูปแบบผลตอบสนองหรือร้อยละของของเสีย ที่ได้ในแต่ละการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลำดับการทดลองของการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ปัจจัย โดยใช้เทคนิคการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง และผลตอบสนอง (ร้อยละของของเสีย)

ลำดับการทดลอง (Run Order)	ล๊อตการผลิต หมายเลข	จำนวน ตัวอย่าง	ปัจจัย			สภาวะ (ร้อยละของของเสีย)	ผลตอบสนอง
			A	B	C		
1	02210219	3000	-1	-1	-1	-1-1-1	2.04
2		3000	+1	-1	-1	+1-1-1	2.03
3		3000	-1	+1	-1	-1+1-1	1.27
4		3000	+1	+1	-1	+1+1-1	0.50
5		3000	-1	-1	+1	-1-1+1	1.47
6		3000	+1	-1	+1	+1-1+1	1.43
7		3000	-1	+1	+1	-1+1+1	0.10
8		3000	+1	+1	+1	+1+1+1	0.30
9	01010419	1,200	-1	-1	-1	-1-1-1	2.00
10		1,200	+1	-1	-1	+1-1-1	2.17
11		1,200	-1	+1	-1	-1+1-1	1.25
12		1,200	+1	+1	-1	+1+1-1	0.58
13		1,200	-1	-1	+1	-1-1+1	1.83
14		1,200	+1	-1	+1	+1-1+1	1.67
15		1,200	-1	+1	+1	-1+1+1	0.08
16		1,200	+1	+1	+1	+1+1+1	0.33

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (factorial regression) ในตารางที่ 4 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปัญหาหลอดเอียงและหลอดยัดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) คือ รูปทรงอุปกรณ์ส่งหลอดและรูปแบบอุปกรณ์รองรับและจับหลอด อย่างไรก็ตามการทำงานร่วมกันของทั้ง 3 ส่วน คือ รูปทรงอุปกรณ์ส่งหลอด แรงดูดสุญญากาศและรูปแบบอุปกรณ์รองรับและจับหลอด มีอิทธิพลต่อปัญหาหลอดเอียงและหลอดยัดอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ทั้งนี้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ (r^2) โดย R-Sq(adj) เท่ากับร้อยละ 97.65 มากกว่าร้อยละ 70 ถือว่ายอมรับได้ [8]

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ

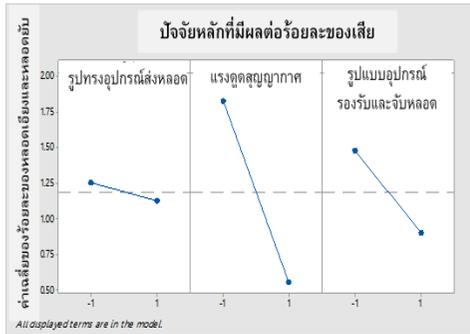
General Linear Model : หลอดเอียงและหลอดยัด versus Infeed Prism, Vacuum, Tube Holder					
Factor	Type	Level	Values		
รูปแบบอุปกรณ์ส่งหลอด (เซตเมตร)	fixed	2	3.00, 3.50		
แรงดูดสุญญากาศที่อุปกรณ์ส่งหลอด (kPa/mmHg)	fixed	2	319, 443		
รูปแบบอุปกรณ์รองรับและจับหลอด (mm /mm)	fixed	2	2925 / 3.5, 4060 / 3.0		
Analysis Of Variance for หลอดเอียงและหลอดยัด, using Adjusted SS for Tests					
(Source) ข้อมูล	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
รูปทรงอุปกรณ์ส่งหลอด	1	0.06631	0.06631	4.90	0.000
แรงดูดสุญญากาศ	1	6.54081	6.54081	483.39	0.058
รูปแบบอุปกรณ์รองรับและจับหลอด	1	1.33981	1.33981	99.02	0.000
รูปทรงอุปกรณ์ส่งหลอด*แรงดูดสุญญากาศ	1	0.05641	0.05641	4.17	0.075
รูปทรงอุปกรณ์ส่งหลอด*รูปแบบตัวจับหลอด	1	0.14631	0.14631	10.81	0.011
แรงดูดสุญญากาศ*รูปแบบอุปกรณ์รองรับและจับหลอด	1	0.05641	0.05641	4.17	0.075
หลอด					
รูปทรงอุปกรณ์ส่งหลอด*แรงดูดสุญญากาศ*	1	0.31641	0.31641	23.38	0.001
รูปแบบอุปกรณ์รองรับและจับหลอด					
Error	8	0.10825	0.01353		
Total	15	8.63069			
S = 0.116324 R-Sq = 98.75% R-Sq (adj) = 97.65%					

การวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยหลัก (main effect plot) สามารถนำมาแสดงเป็นแผนภาพของอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบที่ทำให้เกิดหลอดเอียงและหลอดยัด ตามรูปที่ 8 เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก ได้แก่ รูปทรงอุปกรณ์ส่งหลอด แรงดูดสุญญากาศที่อุปกรณ์ส่งหลอดและรูปแบบของอุปกรณ์รองรับและจับหลอด ที่ส่งผลกระทบต่ออาการหลอดเอียงและหลอดยัดดังนี้

1) รูปทรงอุปกรณ์ส่งหลอด พบว่า กราฟแสดงผลกระทบเกือบเป็นเส้นตรง ซึ่งหมายความว่าไม่ว่าจะเปลี่ยนรูปทรงของตัวส่งหลอดอย่างไร อาการหลอดเอียงและหลอดยัดก็ไม่มีเปลี่ยนแปลงมากนัก

2) แรงดูดสุญญากาศที่อุปกรณ์ส่งหลอด พบว่า กราฟแสดงผลกระทบมีลักษณะชันลงมาก หมายความว่า ปัจจัยแรงดูดสุญญากาศที่ตัวส่งหลอดรูปแบบใหม่ ส่งผลกระทบต่ออาการหลอดเอียงและหลอดยัดลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ

3) รูปแบบอุปกรณ์รองรับหลอดและจับหลอด พบว่า กราฟแสดงผลกระทบบมีลักษณะชันลง ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยรูปแบบของตัวจับหลอดรูปแบบใหม่ ส่งผลกระทบท่ออาการหลอดเอียงและหลอดยับลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 8 การวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยหลัก (main effect plot)

ดังนั้น สามารถสรุปปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อร้อยละของหลอดเอียงและหลอดยับลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือ 1) รูปทรงอุปกรณ์ส่งหลอดรูปแบบเดิม ที่ระดับปัจจัยต่ำ (-1) ค่าความกว้างด้านที่รองรับปลายหลอด 3.00 เซนติเมตร ความลึกด้านที่รองรับฝาหลอด 0.50 เซนติเมตร 2) แรงดูดสูญญากาศที่อุปกรณ์ส่งหลอดรูปแบบใหม่ ที่ระดับปัจจัยสูง (+1) ค่าแรงดูดสูญญากาศสูงสุด เท่ากับ 443 กิโลปาสคาล/มิลลิเมตรปรอท และ 3) รูปแบบอุปกรณ์รองรับและจับหลอดรูปแบบใหม่ ที่ระดับปัจจัยสูง (+1) ค่าพื้นที่สัมผัสเท่ากับ 4.060 ตารางมิลลิเมตร ระยะที่เขี่ยยื่นออกมาเท่ากับ 3.00 มิลลิเมตร

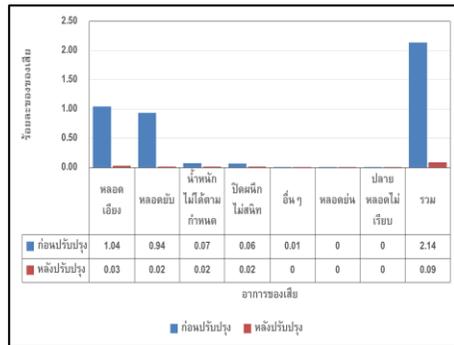
4.3 การประเมินการควบคุมของเสียประเภทหลอดเอียงและหลอดยับ ภายหลังจากการปรับปรุงแก้ไข

จากตารางที่ 5 และรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าของเสียก่อนการปรับปรุงจำนวน 1,586 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 2.14 หลังการปรับปรุงพบของเสียจำนวน 108 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 0.09 ซึ่งลดลง 1,478 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 93.19 ของของเสียที่สามารถลดลงได้ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบแยกตามลักษณะของเสียก่อนการปรับปรุง

และหลังการปรับปรุง โดยหลังการปรับปรุงของเสียประเภทหลอดเอียง หลอดยับ และประเภทอื่น ๆ ทุกลักษณะมีค่าของของเสียลดลง

ตารางที่ 5 ผลการดำเนินการเปรียบเทียบก่อนแก้ไขปรับปรุงและหลังแก้ไขปรับปรุง

เปรียบเทียบ	จำนวนผลิต (ชิ้น)	จำนวนข้อดี (ชิ้น)	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	ของเสีย (ร้อยละ)
ก่อนการปรับปรุง	74,222	72,636	1586	2.14
หลังการปรับปรุง	118,473	118,365	108	0.09



รูปที่ 9 ร้อยละของของเสียแยกตามลักษณะของของเสียเปรียบเทียบก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง

จากตารางที่ 6 ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการผลิตครีมนันแดดด้วยเครื่องบรรจุหลอดบีบอัตโนมัติ พบว่า ค่าดัชนีวัดศักยภาพของกระบวนการในระยะยาว (P_p) หลังการปรับปรุงเท่ากับ 1.11 ซึ่งมากกว่าก่อนการปรับปรุงที่มีค่าเท่ากับ 0.77 และค่าดัชนีวัดสมรรถนะของกระบวนการในระยะยาว (P_{pk}) หลังการปรับปรุงเท่ากับ 1.04 ซึ่งมากกว่าก่อนการปรับปรุงที่มีค่าเท่ากับ 0.68 และมีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงโอกาสที่กระบวนการผลิตมีความสามารถในการผลิตสูง (Process Capable) หรือมีโอกาสที่เกิดของเสียในปริมาณที่ต่ำ [8]

ตารางที่ 6 ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการผลิตคริมกันแดด ด้วยเครื่องบรรจุหลอดบีบอัตโนมัติ ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
ร้อยละของเสีย	2.14	0.09
ค่า P_p	0.77	1.11
ค่า P_{pk}	0.68	1.04

จากตารางที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตหลอดรีก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่า ก่อนปรับปรุงได้ผลผลิต 74,222 ชิ้น ใช้เวลาผลิต 30.67 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตหลังการปรับปรุงคือ 118,473 ชิ้น ใช้เวลาผลิต 34.83 ชั่วโมง เมื่อนำมาคิดเวลาผลิตหลังการปรับปรุง โดยเทียบบัญญัติไตรยางค์ พบว่า เมื่อผลิตสินค้า 74,222 ชิ้น ใช้เวลาเท่ากับ $(74,222 \times 34.83) / (118,473) = 21.82$ ชั่วโมง ค่าประสิทธิภาพในการผลิตสามารถคำนวณได้จาก สัดส่วนของ จำนวนชั่วโมงหลังการปรับปรุงและก่อนการปรับปรุง สำหรับของเสียเดิม คุณด้วย 100 [9] มีค่าเท่ากับ $(21.82/30.67) \times (100) = 71.16$

$$\begin{aligned} \text{Efficiency} &= (\text{output}/\text{input}) \times 100 \\ &= (21.82/30.67) \times 100 \\ &= 71.16 \end{aligned}$$

ผลการวิเคราะห์การเพิ่มประสิทธิภาพ ก่อนและหลังปรับปรุงกระบวนการ ก่อนปรับปรุงได้ผลผลิต 74,222 ชิ้น ใช้เวลาผลิต 30.67 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตหลังปรับปรุงกระบวนการได้ผลผลิต 118,473 ชิ้น ใช้เวลา 34.83 ชั่วโมง เมื่อนำมาวัดประสิทธิภาพโดยเปรียบเทียบปริมาณการผลิตสินค้าที่ 74,222 ชิ้น จะใช้เวลาในการผลิต 21.82 ชั่วโมง ซึ่งผลหลังจากปรับปรุงกระบวนการพบว่าสามารถลดเวลาได้ 8.85 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 28.84 และคิดเป็นประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 71.16

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตหลอดรีก่อนและหลังปรับปรุง

รายการ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลต่าง
ผลผลิต (ชิ้น)	74,222	118,473	44,251
เวลาผลิต (ชั่วโมง)	30.67	34.83	4.17

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

สรุปผลการดำเนินการแก้ไขปรับปรุงด้วยเครื่องมือคุณภาพ สามารถลดของเสียในกระบวนการบรรจุเครื่องสำอางที่เครื่องบรรจุหลอดอัตโนมัติลงได้ร้อยละ 93.19 ของของเสียที่สามารถลดลงได้ จากร้อยละ 2.14 เหลือร้อยละ 0.09 ของจำนวนการสั่งผลิต และค่าดัชนีวัดศักยภาพของกระบวนการในระยะยาว (P_p) หลังการปรับปรุงเท่ากับ 1.13 ซึ่งมากกว่าก่อนการปรับปรุงที่มีค่าเท่ากับ 0.77 และค่าดัชนีวัดสมรรถนะของกระบวนการในระยะยาว (P_{pk}) หลังการปรับปรุงเท่ากับ 1.07 ซึ่งมากกว่าก่อนการปรับปรุงที่มีค่าเท่ากับ 0.68 ค่า P_p และ P_{pk} หลังการปรับปรุงมีค่ามากกว่า 1 แสดงถึงโอกาสที่กระบวนการผลิตมีความสามารถในการผลิตสูง (Process Capable) หรือจะมีโอกาสที่เกิดของเสียในปริมาณที่ต่ำ และส่งผลให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้นถึงร้อยละ 71 โดยประมาณ ซึ่งให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับงานที่มีการประยุกต์ใช้เครื่องมือคุณภาพมาใช้ในการลดของเสียในกระบวนการผลิตและส่งผลให้ประสิทธิภาพกระบวนการผลิตดีขึ้น [3], [5]-[7] และ [9]

ผลการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำไปแก้ไขปรับปรุงมาตรฐานในการผลิตหลอดบีบบรรจุเครื่องสำอางกันแดดด้วยเครื่องบรรจุหลอดบีบอัตโนมัติและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางที่มีสมบัติใกล้เคียงกันด้วย

กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วย ความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สุภาวดี

ธีรธรรมการ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และรองศาสตราจารย์ ดร. สมบัติ ที่มทรัพย์ ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำและติดตามการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้อย่างใกล้ชิดตลอดมา นับตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่งและขอขอบพระคุณคุณอาจารย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เพื่อนักศึกษาและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ทุกท่านที่ได้กรุณาให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

- [1] International Trade Administration. Thailand - Personal Care and Beauty Products. [Internet]. 2019. [cited 2020 August 11]. Available from: <https://www.export.gov/apex/article2?id=Thailand-personal-care-and-beauty-products>.
- [2] วีรพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์. การแก้ปัญหาแบบ QC วิธีการแก้ปัญหาในงานตามแบบฉบับญี่ปุ่น. (พิมพ์ครั้งที่ 10). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2548.
- [3] จูไรรัตน์ ลาธุลี. การลดของเสียในกระบวนการผลิต สวิตช์ควบคุมกระแสของขั้วไฟฟ้า ด้วย กิจกรรมกลุ่มคิวซีซี. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา. 2559.
- [4] จิราพิสิฐ ไชยอารีกุล. การลดเวลาสูญเสียจากการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ของเครื่องบรรจุหลอดอัตโนมัติ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2550.
- [5] ปิยมน โกศลชัย. การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดต้นทุน กรณีศึกษา บริษัท ผู้ผลิตถุงบรรจุนมจำกัด. (วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). ชลบุรี: มหาวิทยาลัยบูรพา. 2559.
- [6] อธิลักษณ์ เตียวดี, บุญชัย แซ่สัว และศุภชัย วรรัตน์. การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตโดยใช้หลักควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง (7QC Tool) กรณีศึกษาการผลิตขึ้นรูปพลาสติกด้วยระบบสูญญากาศ. การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม 30-31 ตุลาคม 2557. สมุทรปราการ .2557.
- [7] ศุภวัชร เมฆบูรณ์และจิรวัดน์ ปลั่งใหม่. การลดของเสียในกระบวนการผลิตโพลีเมอร์โซลิด คาปาซิเตอร์. วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, 7(1), 105-123. 2560.
- [8] ปรัชญา พลพันธ์. คู่มือวิเคราะห์และจัดการข้อมูลสถิติด้วย Minitab ฉบับมืออาชีพ (พิมพ์ครั้งที่ 1). นนทบุรี: อดิชั่น พรีเมียร์. 2560. หน้า 167.
- [9] มงคล เหล่าวราพันธ์, ชัชวาล มงคล, สุธี ประจักษ์ศักดิ์, ลินดา นาคโปย. การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตสินค้าสี่สเปร์ย. วารสารวิจัยและพัฒนาวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 1 ฉบับที่ 3(กันยายน-ธันวาคม). 2561 หน้า 143-152.