

การทดลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ในการผลิตขวดแก้ว

An Experiment to Improve the Hot End Coating Process

in the Production of Glass Bottles

ณัฐชานันท์ อังสุเรณี¹ *มินตรา อิศรางกูร ณ อยุธยา¹ สุพัตรา คำหอม¹ และวีรยุทธ วาณิชกมลนันท์²¹ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

² บริษัท สยามกลาส อินดัสตรี จำกัด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา 13000Natchanun Angsuseranee^{1*}, Mintra Isaragkun Na Ayuttaya¹ Supattra Khamhom¹ andWeerayut Warnitkomonnan²¹ Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

² Siam Glass Industry Company Limited, Phra Nakhon Si Ayutthaya, 13000

*Corresponding author Email: natchanun.a@rmutsb.ac.th *

(Received: January 30, 2022; Accepted: June 1, 2022)

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ในการผลิตขวดแก้วของบริษัทกรณีศึกษา ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ปริมาณการพ่นน้ำยาและอัตราการพ่นน้ำยาเคลือบขวดแก้ว ขวดแก้วที่ผ่านการทดลองการปรับตั้งค่าตัวแปรตามที่กำหนดจะถูกตรวจสอบและทดสอบด้วยการวัดค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง การทดสอบการลื่นไถล การทดสอบแรงกระแทก การทดสอบการรับแรงในแนวตั้ง และการทดสอบรับแรงดันภายในบรรจุภัณฑ์ โดยผลการทดสอบที่ได้จะต้องเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมคุณภาพของบริษัท จากการทดลองพบว่าปริมาณการพ่นน้ำยา ปริมาณ 3 cc/stroke ด้วยอัตราการพ่น 15 strokes per minute (spm) ทำให้อัตราส่วนความสามารถของกระบวนการ C_{pk} เพิ่มขึ้นจากเดิม 0.48 เป็น 1.64 และการปรับตั้งค่าดังกล่าวยังช่วยลดปริมาณการใช้น้ำยาเคลือบจากกระบวนการเดิมลงได้ร้อยละ 10

คำสำคัญ: การปรับปรุง ฮอท เอนด์ โคทติ้ง การผลิต ขวดแก้ว

Abstract

The objective of this article is to improve the hot end coating process in the production of glass bottles for the case study company. The variables studied were the spraying volume and the spraying rate of the glass bottle coating solution. The glass bottles that were experimented upon had variables adjusted to the specified values and were then examined and tested by measuring the hot end coating value, slip testing, impact testing, vertical load testing, and internal pressure testing. The test results obtained must be under the company's quality control standards. The experiment found that by spraying 3 cc/stroke with a spraying rate of 15 strokes per minute (spm), the process capability ratio C_{pk} increased from 0.48 to 1.64. Making such adjustments can

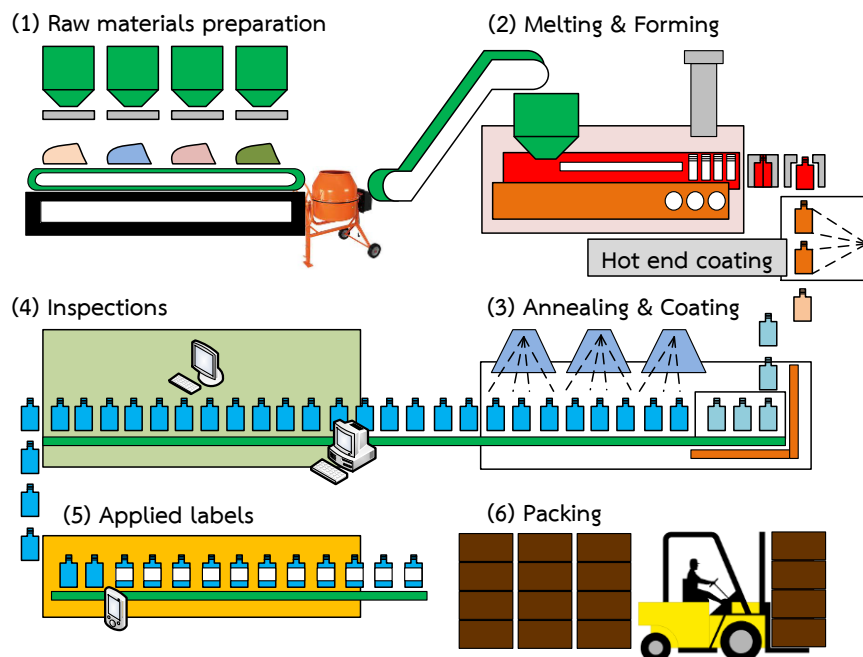
also help reduce the consumption of coating solutions used in the previous process by 10 percent.

Keywords: Improvement, Hot End Coating, Production, Glass bottle

1. บทนำ

ขวดแก้วเป็นบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมใช้มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน โดยเฉพาะเพื่อใช้สำหรับบรรจุของเหลว ปัจจุบันการผลิตขวดแก้วใช้วัตถุดิบหลักซึ่งประกอบด้วยเศษแก้ว (Cullet) ที่ได้จากการนำแก้วกลับมาใช้อีก (Recycle) ผสมกับส่วนผสมที่สำคัญ 3 ชนิด ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) หรือทรายแก้ว แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) หรือหินปูน และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) หรือโซดาแอช โดยโซดาแอชจะช่วยให้ทรายแก้วสามารถละลายในจุดหลอมเหลวต่ำได้ดี ส่วนหินปูนจะทำให้ขวดแก้วเกิดความทนทานและเพิ่มความสวยงาม ซึ่งวัตถุดิบหลักจะถูกหลอมรวมกับวัตถุดิบรอง เช่น โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เพื่อไล่ฟองอากาศ ที่อุณหภูมิ 1,550 องศาเซลเซียส [1-4] แล้วทำการขึ้นรูปร้อน (Hot forming) ด้วยแม่พิมพ์ (Mold) โดยการเป่า (Blowing)

รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการผลิตบรรจุภัณฑ์ขวดแก้วของบริษัทกรณีศึกษา โดยเริ่มจากขั้นตอน (1) การเตรียมวัตถุดิบ (Raw materials preparation) ด้วยการผสมวัตถุดิบหลักและวัตถุดิบรองที่ผ่านการตรวจสอบคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของบริษัทเพื่อนำเข้าสู่ขั้นตอน (2)



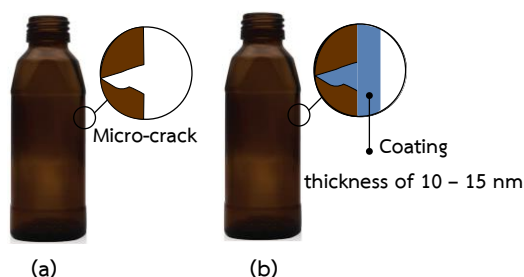
รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตขวดแก้วของบริษัทกรณีศึกษา [4]

การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์แก้วเริ่มที่ขั้นตอน (2) ด้วยการหลอมและขึ้นรูป (Melting & Forming) จากการนำน้ำแก้วที่ถูกหลอมมาทำการขึ้นรูปเป็นก้อนแก้ว (Gob) ให้มีขนาดตามที่ได้ออกแบบไว้ แล้วทำการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์เพื่อให้มีปากขวดที่สมบูรณ์โดยมีขนาดรวมถึงรูปทรงที่เหมาะสม ซึ่งเรียกชิ้นงานที่ได้จากขั้นตอนนี้ว่า “พาริสัน (Parison)” แล้วนำชิ้นงานดังกล่าวขึ้นรูปด้วยการเป่า โดยการใช้ลมแรงสูงเป่าอัดน้ำแก้วให้เป็นรูปทรงที่กำหนด แล้วทำการเป่าอีกครั้งในแม่พิมพ์เพื่อให้ได้รูปทรงสุดท้ายของบรรจุภัณฑ์

ที่ต้องการ

หลังจากกระบวนการขึ้นรูปร้อนขวดแก้วด้วยแม่พิมพ์เสร็จสิ้น ชิ้นงานที่ได้จะถูกลำเลียงโดยสายพานลำเลียง ระหว่างนี้ อุณหภูมิของขวดแก้วจากการขึ้นรูปจะลดต่ำลง ทำให้มีการหดตัวของเนื้อแก้วส่งผลให้เนื้อแก้วเกิดความเครียด (Strain) และมีความเครียดคงค้างอยู่ภายในเนื้อแก้ว ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการปรับปรุงสมบัติของเนื้อแก้วด้วยกรรมวิธีทางความร้อน (Heat treatment) ในขั้นตอน (3) แอนนิลลิ่งและการเคลือบ (Annealing & Coating) เพื่อลดความเครียดคงค้างที่เกิดจากกระบวนการขึ้นรูปร้อนโดยการให้ความร้อนกับแก้วที่อุณหภูมิเหมาะสมในเวลาที่เหมาะสม และมีการควบคุมอัตราการลดของอุณหภูมิแก่เนื้อแก้ว เมื่ออุณหภูมิของขวดแก้วลดต่ำเหลือ 60 องศาเซลเซียส ขวดแก้วจะถูกพ่นเคลือบด้วยน้ำยาเคมีซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า “โคลด์ เอนด์ โคทติ้ง (Cold end coating)” เพื่อให้ผิวด้านนอกของขวดแก้วมีความลื่น มันวาว เพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนการติดฉลาก (Applied labels) และไม่เป็นรอยเมื่อเสียดสีกันระหว่างการผลิตและขนส่ง [3,4] ภายหลังจากการพ่นน้ำยาเคมี ขวดแก้วจะถูกตรวจสอบ (Inspections) ในขั้นตอน (4) ด้วยเครื่องมือเฉพาะ เพื่อหาความบกพร่อง (Defects) ต่าง ๆ สำหรับขวดแก้วที่มีความบกพร่องจะถูกแยกออกเพื่อนำไปทำลาย ในขณะที่ขวดแก้วที่ได้มาตรฐานจะถูกส่งไปติดฉลากในขั้นตอน (5) และบรรจุภัณฑ์ในขั้นตอน (6) เพื่อนำส่งไปยังแผนกอื่นต่อไป

อย่างไรก็ดีก่อนที่จะขวดแก้วจะเข้าสู่กระบวนการแอนนิลลิ่งในขั้นตอนที่ (3) ขวดแก้วที่ยังมีความร้อนสะสมจะเข้าสู่กระบวนการเคลือบน้ำยาที่ประกอบด้วยสารดีบุกเตตระคลอไรด์ (SnCl_4) ไททาเนียมเตตระคลอไรด์ (TiCl_4) และสารประกอบดีบุกอินทรีย์ หรือที่เรียกรวมกันว่า “Monobutyltintrichloride (MBTCl_3)” เนื่องจากกระบวนการนี้จะยังทำขณะขวดแก้วร้อน จึงเรียกกระบวนการนี้ว่า “ฮอต เอนด์ โคทติ้ง (Hot end coating)” โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเคลือบผิวขวดแก้วให้เกิดชั้นฟิล์ม (ความหนาประมาณ 10 ถึง 15 nm) อุดรอยแตกขนาดเล็ก (Micro-crack) ดังรูปที่ 2 (b) ทำให้ช่วยเพิ่มความทนทานและลดปัญหาขวดแก้วเกิดการแตกระหว่างกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่อไป รวมถึงในขั้นตอนการขนส่งและเมื่อนำไปใช้งาน [3-5]



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบขวดแก้ว (a) กรณีไม่ทำ ฮอต เอนด์ โคทติ้ง และ (b) กรณีทำ ฮอต เอนด์ โคทติ้ง [4]

ปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษาใช้สารเคลือบเป็นน้ำยาของบริษัท BOHIME CHEMICALS ประเทศอิตาลี ในการเคลือบผิวด้วยกระบวนการ ฮอต เอนด์ โคทติ้ง และมีความต้องการลดปริมาณการใช้น้ำยาที่ต้องใช้ในกระบวนการดังกล่าว ภายใต้งบประมาณและมาตรฐานของขวดแก้วที่ผลิตได้ยังอยู่ในเกณฑ์ค่ามาตรฐานการควบคุมคุณภาพของบริษัทกำหนด โดยบริษัทกรณีศึกษาเลือกปรับปรุงกระบวนการผลิตขวดแก้วโมเดล M ซึ่งมีขนาดบรรจุเครื่องดื่ม 150 ml เนื่องจากเป็นโมเดลที่มีปริมาณการผลิตมากกว่าหนึ่งพันล้านขวดต่อปี

ผู้วิจัยใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการประยุกต์รวมกับการออกแบบการทดลอง (DOE) เพื่อหาปริมาณน้ำยาและจำนวนครั้งที่เหมาะสมของการพ่น (Spraying) น้ำยาเคลือบขวดแก้ว โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณการใช้น้ำยาและปรับปรุงมาตรฐานการทำงานตามความต้องการของบริษัท การตัดสินใจเพื่อกำหนดค่าใหม่ให้กับตัวแปรทั้งสอง ผู้วิจัยใช้การวิเคราะห์ความสามารถ

ของกระบวนการ (Process capability analysis) พิจารณาว่ากระบวนการผลิตที่ปรับปรุงสามารถผลิตขวดแก้วได้ตรงตามข้อกำหนด (Specification limit) ด้านคุณภาพหรือไม่ โดยงานวิจัยที่ผ่านมา [6-8] ใช้อัตราส่วนความสามารถของกระบวนการ (Process capability ratio; C_{pk}) วัดความสามารถที่แท้จริง (Actual capability) ของกระบวนการหลังการปรับปรุงเปรียบเทียบกับค่า C_{pk} ของกระบวนการที่ใช้อยู่เดิม แต่ที่ผ่านมาทางบริษัทกรณีศึกษาไม่เคยวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง นักวิจัยจึงได้ร่วมกับบริษัทกรณีศึกษาดังเป้าหมายให้ค่าดังกล่าวสูงกว่า 1.33 ซึ่งเป็นเกณฑ์ทั่วไปที่นิยมใช้ควบคุมความสามารถของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมและสะท้อนให้เห็นว่าความสามารถของกระบวนการผลิตอยู่ในระดับดี [9,10] ทั้งนี้กระบวนการที่ปรับปรุงต้องลดปริมาณการใช้น้ำยาในการเคลือบผิวขวดแก้วด้วยกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ลงได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตปัจจุบันของบริษัท

2. วัสดุ เครื่องมือ และวิธีการศึกษา

กระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ของบริษัทกรณีศึกษาใช้น้ำยาเคลือบ BOHEMI STATIN S ซึ่งมีสมบัติในการสร้างชั้นฟิล์ม SnO_2 (Stannic Oxide) เคลือบผิวนอกของขวดแก้ว เพื่อให้ขวดแก้วมีความคงทนเพิ่มขึ้น

ผู้วิจัยได้ศึกษางาน (Work study) ของกระบวนการผลิตขวดแก้วของบริษัทกรณีศึกษา โดยเฉพาะในขั้นตอนการทำ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ด้วยวิธีการพ่นน้ำยา BOHEMI STATIN S แก่ขวดแก้วที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปร้อนภายในตู้พ่นน้ำยา ซึ่งปัจจุบันบริษัทใช้ปริมาณน้ำยา 5 cc ต่อการพ่นหนึ่งครั้ง (stroke) และทำการพ่น 10 stroke ในระยะเวลา 1 นาที คิดเป็นปริมาณการใช้น้ำยา 50 cc/min โดยผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลดังกล่าวในการออกแบบการทดลอง ซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลอง

Experiment No.	Consumption [cc/stroke]	Spraying Rate [stroke per min, spm]
1	3	5
2	3	10
3	3	15
4	5	5
5*	5	10
6	5	15
7	7	5
8	7	10
9	7	15

* ค่าปัจจุบันที่บริษัทกรณีศึกษาใช้ผลิต

ตารางที่ 2 การตรวจสอบและทดสอบตามมาตรฐานกำหนด

Measurement & Testing	Standard	Method/Instrument
Hot End Coating*	> 15 CTUs	AGR Hot End Coating Measurement
Slip	< 15 degree	AGR Tilt Table
Impact	> 2.5 kgf-cm	AGR Impact Tester
Vertical Load	> 8 kg/cm ²	AGR Vertical Load Tester
Internal Pressure	> 5 kg/cm ²	AGR Ramp Pressure Tester 2x

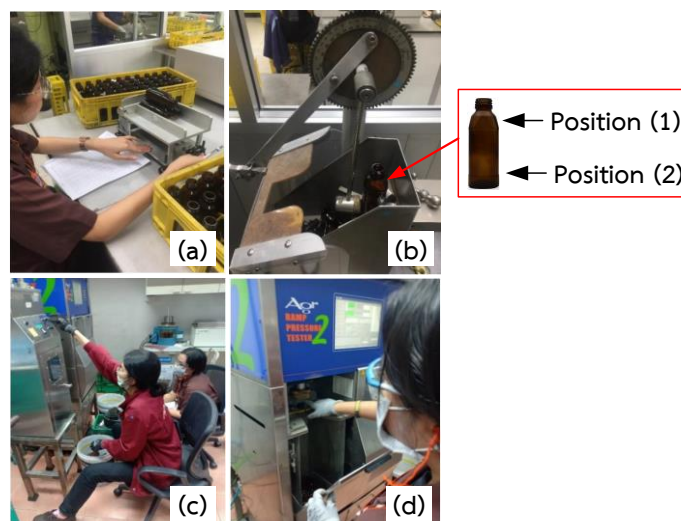
* สมบัติของขวดแก้วที่นำไปใช้ประเมินค่า C_{pk}

การทดลองดำเนินการโดยการปรับค่าของเครื่อง ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ตามตารางที่ 1 ด้วยระยะเวลาปรับตั้งค่าดังกล่าว 60 นาที/การทดลอง แล้วใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างขวดแก้วที่ไหลออกจากตู้พ่นน้ำยา ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ทุก ๆ 2 นาที จนครบจำนวน 30 ตัวอย่าง เพื่อนำไปประเมินสมบัติของขวดแก้วโดยใช้วิธีการตรวจสอบและทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานที่บริษัทกรณีสึกษากำหนดตามตารางที่ 2



รูปที่ 4 การตรวจสอบค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง

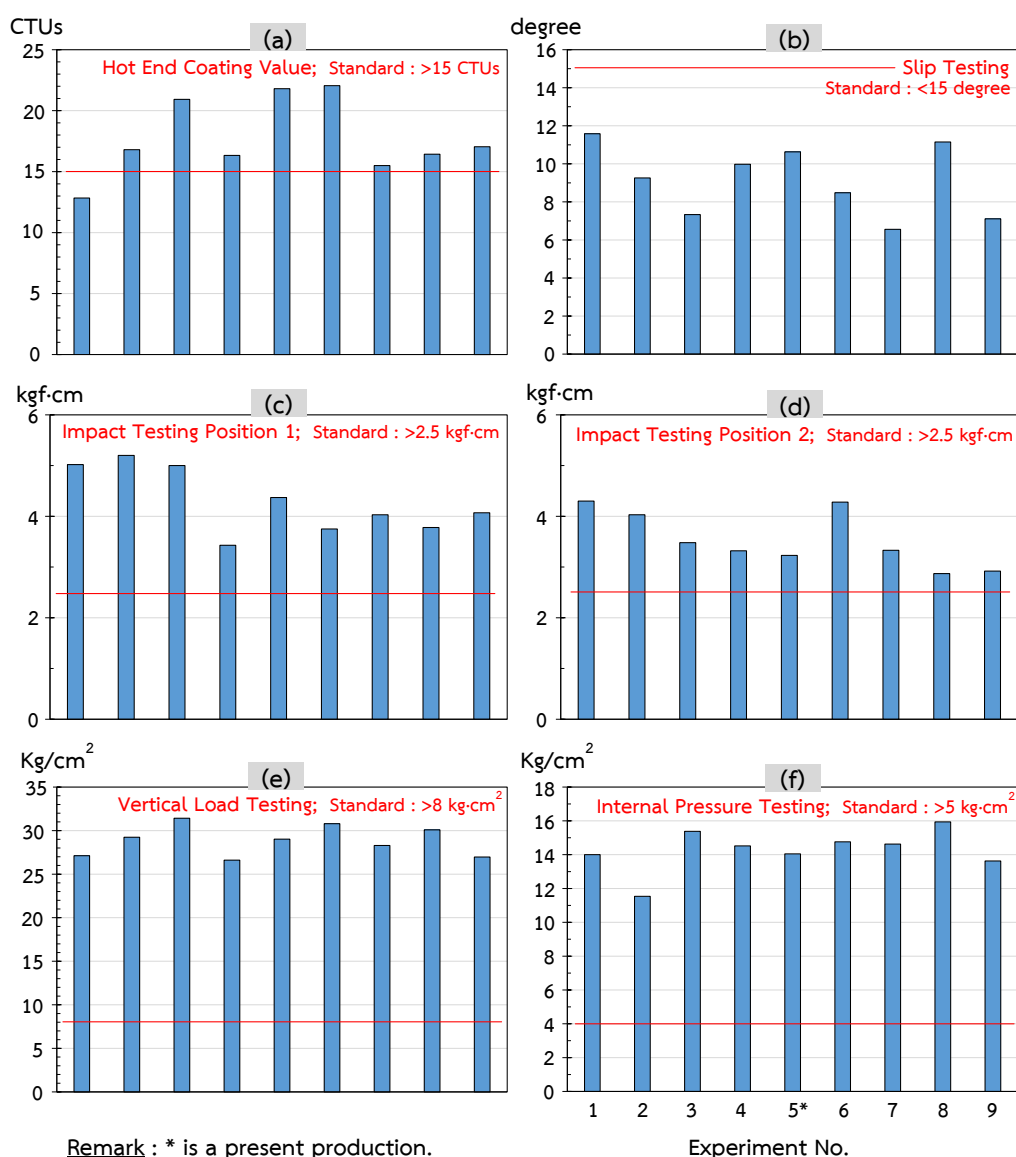
ข้อกำหนดสำคัญของการควบคุมคุณภาพในการทำ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ได้แก่ ขวดแก้วที่ผ่านกระบวนการนี้ต้องมีค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง มากกว่า 15 CTUs (Coating thickness units) โดยการตรวจสอบใช้เครื่องมือวัดเฉพาะที่มีชื่อว่า “Hot End Coating Measurement System” ของบริษัท AGR ดังแสดงในรูปที่ 4 และเนื่องจากเป็นค่าควบคุมคุณภาพที่สำคัญของกระบวนการนี้ ผู้วิจัยจึงใช้ค่าที่ได้จากการตรวจสอบตัวอย่างขวดแก้วที่ผ่านการทดลองตามเงื่อนไขในตารางที่ 1 ไปใช้วัดความสามารถที่แท้จริงของกระบวนการ โดยกำหนดค่ามาตรฐานการยอมรับเมื่อค่า $C_{pk} > 1.33$ ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่สะท้อนความสามารถของกระบวนการผลิตว่าอยู่ในระดับดีและเป็นไปตามเป้าหมายของบริษัทกรณีสึกษา



รูปที่ 5 เครื่องมือและลักษณะการทดสอบ (a) การทดสอบการสิ้นไกล (b) การทดสอบแรงกระแทก (c) การทดสอบความสามารถในการรับแรงในแนวตั้ง และ (d) การทดสอบรับแรงดันภายในบรรจุภัณฑ์

นอกจากการตรวจสอบค่า ฮอท เอนด์ โค้ทติ้ง แล้ว ตัวอย่างขวดแก้วจำนวน 30 ตัวอย่าง ที่ได้จากการทดลองพ่นเคลือบ นำมาตามการปรับค่าตัวแปรที่ศึกษา จะถูกทดสอบด้วยวิธีการอื่นตามมาตรฐานของบริษัทดังรูปที่ 5 เพื่อให้ขวดแก้วมีสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดและง่ายต่อการผลิตในขั้นตอนต่อไป ซึ่งประกอบด้วย รูปที่ 5 (a) การทดสอบการลื่นไถล (Slip testing) ใช้เครื่องมือทดสอบในลักษณะโต๊ะงานที่สามารถปรับระนาบให้เอียงได้ (Tilt table) รูปที่ 5 (b) การทดสอบแรงกระแทก (Impact testing) จะทดสอบตีกระแทกขวดแก้วสองตำแหน่งคือ (1) บริเวณบ่าขวด (Shoulder) และ (2) บริเวณก้นขวด (Bottom) นอกจากนี้ยังมีการทดสอบความสามารถในการรับแรงในแนวตั้ง (Vertical load testing) ดังรูปที่ 5 (c) และการทดสอบรับแรงดันภายในบรรจุภัณฑ์ (Internal pressure testing) ดังรูปที่ 5 (d) ซึ่งใช้แรงดันน้ำในการทดสอบ ทั้งนี้ผลการทดสอบแต่ละวิธีการข้างต้นต้องมีค่าไม่ต่ำกว่าค่ามาตรฐาน (ตารางที่ 2) ของบริษัทกรณีศึกษากำหนด

การหาค่าทางสถิติในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปทางสถิติช่วยในการคำนวณ โดยการทดลองและตัดสินใจจะดำเนินการร่วมกับวิศวกรที่ได้รับมอบหมายของบริษัทกรณีศึกษา

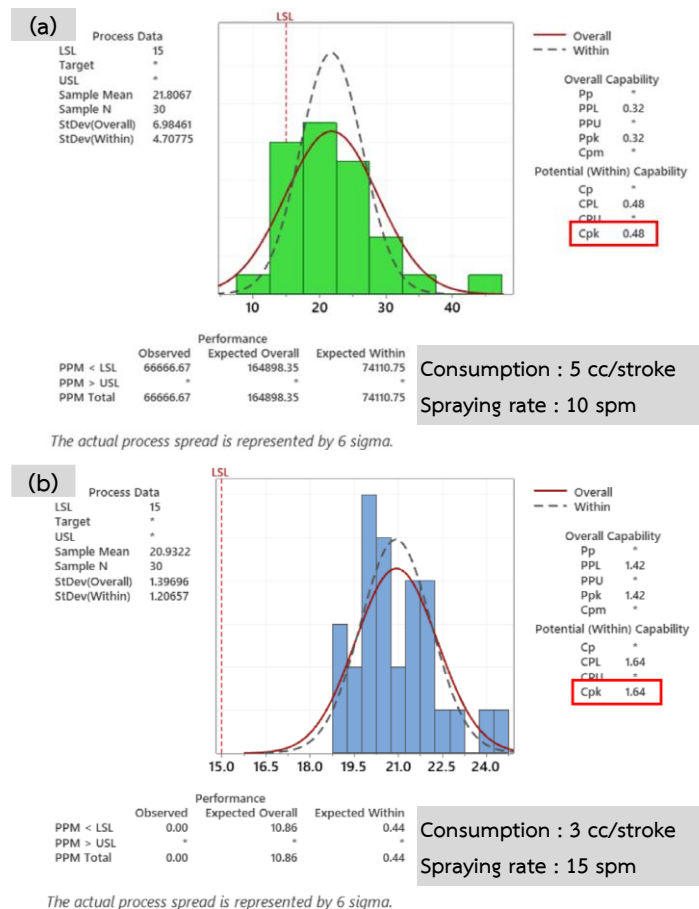


รูปที่ 6 ผลการตรวจสอบและทดสอบขวดแก้ว

3. ผลและการวิเคราะห์

จากการดำเนินการทดลองปรับตั้งค่าเครื่องพ่นน้ำยา BOHEMI STARTIN S แก้วขวดแก้วที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปร้อนภายในตู้พ่นน้ำยาตามเงื่อนไขการทดลองดังตารางที่ 1 แล้วทำการสุ่มตัวอย่างขวดแก้วจำนวนเงื่อนไขการทดลองละ 30 ตัวอย่าง ไปตรวจสอบและทดสอบด้วยวิธีการต่าง ๆ ตามตารางที่ 2 โดยพบว่า ส่วนใหญ่ขวดแก้วที่ผ่านการทำ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ตามเงื่อนไขที่กำหนดมีค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง เฉลี่ยสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมคุณภาพของบริษัท (> 15 CTUs) ยกเว้นกรณีกระบวนการผลิตที่ใช้ปริมาณสารเคลือบ 3 cc/stroke ด้วยอัตราการพ่น 5 spm ที่มีค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ต่ำกว่ามาตรฐาน คือ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.84 CTUs ดังรูปที่ 6 (a) โดยการใช้ปริมาณสารเคลือบ 5 cc/stroke ด้วยอัตราการพ่น 15 spm ทำให้ขวดแก้วมีค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง เฉลี่ยสูงที่สุดในการทดลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 22.05 CTUs อย่างไรก็ตามผลการทดสอบสมบัติของขวดแก้วที่ผ่านการทำ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ด้วยวิธีการทดสอบอื่นให้ผลการทดสอบมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมคุณภาพของบริษัทกำหนดทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 6 (b) – 6 (f)

เพื่อคัดเลือกค่าตัวแปรของกระบวนการที่จะเสนอบริษัทกรณีศึกษาในการใช้ปรับปรุงกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลค่า ฮอท เอนด์ โคทติ้ง ที่ได้จากการตรวจวัดด้วยเครื่องมือ Hot end coating measurement system ของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง จำนวนการทดลองละ 30 ตัวอย่าง ไปวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูปช่วยในการคำนวณเพื่อหาค่า C_{pk}



รูปที่ 7 ผลการคำนวณค่า C_{pk} (a) กระบวนการผลิตปัจจุบัน (b) กระบวนการที่มีค่า C_{pk} สูงสุด

จากการคำนวณพบว่า การใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบ 3 cc/stroke ด้วยอัตราพ่น 15 spm มีค่า C_{pk} สูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับ การใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบและอัตราเคลือบด้วยเงื่อนไขการทดลองอื่น โดยมีค่าเท่ากับ 1.64 ซึ่งสูงกว่าค่า 1.33 ตามเป้าหมายที่บริษัทกำหนด

รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบผลการคำนวณความสามารถของกระบวนการผลิตปัจจุบันกับกระบวนการผลิตกรณีที่มีการปรับตั้งค่าตัวแปรแล้วส่งผลให้อัตราส่วนความสามารถของกระบวนการ C_{pk} มีค่าสูงที่สุดจากการทดลองทั้งหมด แม้ว่าค่า ฮอท เอนด์ โคตติ้ง ของกระบวนการผลิตปัจจุบันจะมีค่าเฉลี่ยสูงกว่ากระบวนการผลิตโดยการใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบ 3 cc/stroke ด้วยอัตราพ่น 15 spm อยู่ร้อยละ 4.01 แต่เมื่อเปรียบเทียบความสามารถของกระบวนการผลิตพบว่า ลักษณะกราฟฮิสโตแกรมตามรูปที่ 7 (a) แสดงให้เห็นว่ามีข้อมูลบางชุดที่ขีดแก้วซึ่งผ่านกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคตติ้ง มีสมบัติไม่เป็นตามเกณฑ์มาตรฐานกำหนด จึงส่งผลให้ค่า C_{pk} ของกระบวนการผลิตปัจจุบันมีค่าเพียง 0.48 ซึ่งแปลความหมายได้ว่ากระบวนการผลิตมีความสามารถการผลิตอยู่ในระดับไม่ดี [10]

จากผลการทดลองข้างต้น หากบริษัทกรณีศึกษาปรับตั้งค่าตัวแปรในกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคตติ้ง ตามที่ผู้วิจัยเสนอ โดยการใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบ 3 cc/stroke และใช้อัตราการพ่น 15 spm แทนการใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบ 5 cc/stroke และใช้อัตราการพ่น 10 spm จะทำให้บริษัทสามารถลดปริมาณการใช้น้ำยาจากเดิมลงได้ร้อยละ 10 ซึ่งสูงกว่าค่าความต้องการของบริษัท และวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายน้ำยา BOHEMI STARTIN S ลดลง แต่ต้องปรับเพิ่มจำนวนครั้งในการพ่นน้ำยาต่อหน้าทีและอาจทำให้มีต้นทุนการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นซึ่งในจุดนี้ผู้วิจัยจะได้ศึกษาเพิ่มเติม แต่อย่างไรก็ดีเมื่อพิจารณาจากค่าอัตราส่วนความสามารถของกระบวนการ C_{pk} ในการปรับตั้งค่าตัวแปรที่ผู้วิจัยนำเสนอเปรียบเทียบกับค่าตัวแปรที่บริษัทกรณีศึกษาใช้ทำการผลิตอยู่นั้น การใช้ปริมาณน้ำยาเคลือบ 3 cc/stroke ด้วยอัตราพ่น 15 spm ให้ผลการทดสอบสมบัติของขีดแก้วที่ผ่านการทำ ฮอท เอนด์ โคตติ้ง ตามเงื่อนไขต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการควบคุมคุณภาพของบริษัทกำหนดทั้งหมด และมีค่า C_{pk} อยู่ในระดับดี ดังรูปที่ 7 (b) ดังนั้นบริษัทกรณีศึกษาควรใช้ค่าดังกล่าวในการปรับตั้งค่าตัวแปรให้แก่เครื่องพ่นน้ำยา ฮอท เอนด์ โคตติ้ง โดยผู้วิจัยจะได้ติดตามผลจากการปรับปรุงเพิ่มเติม เช่น ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต หากบริษัทกรณีศึกษาได้ปรับเปลี่ยนการตั้งค่าตัวแปรในกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคตติ้ง ตามที่ผู้วิจัยเสนอ

4. สรุป

จากการทดลองปรับตั้งค่าปริมาณการพ่นน้ำยาและอัตราพ่นน้ำยาเคลือบขีดแก้วของบริษัทกรณีศึกษา โดยใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหการเพื่อปรับปรุงกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคตติ้ง ในกระบวนการผลิตขีดแก้ว โมเดล M ขนาดบรรจุเครื่องดื่ม 150 ml สามารถสรุปได้ดังนี้

- (1) ตัวแปรที่เหมาะสมในการทำ ฮอท เอนด์ โคตติ้ง ด้วยน้ำยา BOHEMI STARTIN S สำหรับงานวิจัยนี้ ได้แก่ การใช้ปริมาณน้ำยาพ่น 3 cc/stroke ด้วยอัตราพ่น 15 spm
- (2) จากการทดลองปรับปรุงกระบวนการ ทำให้ความสามารถของกระบวนการผลิตขีดแก้วในขั้นตอนการทำ ฮอท เอนด์ โคตติ้ง เพิ่มขึ้นอยู่ในระดับดี โดยมีค่าอัตราส่วนความสามารถของกระบวนการ C_{pk} เท่ากับ 1.64
- (3) การปรับตั้งตัวแปรในกระบวนการ ฮอท เอนด์ โคตติ้ง ตามที่ผู้วิจัยเสนอ สามารถลดปริมาณการใช้น้ำยาลงได้ร้อยละ 10 เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตก่อนปรับปรุง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากข้อเสนอโครงการ Pre-Talent Mobility 2564 โครงการส่งเสริมให้บุคลากรวิจัยในสถาบันอุดมศึกษาไปปฏิบัติงานเพื่อแก้ไขปัญหาและเพิ่มขีดความสามารถในการผลิตให้กับภาคอุตสาหกรรม (Talent Mobility) ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ในการสนับสนุนการนำเสนอผลงานชิ้นนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Henderson, “The raw materials of early glass production”, Oxford Journal of Archeology, Vol. 4, 1985, pp. 267–291.
- [2] A. Berenjian and G. Whittleston, “History and manufacturing of glass”, American Journal of Materials Science, Vol. 7, 2017, pp. 18–24.
- [3] M. Kovačec, A. Pilipović and N. Štefanić, “Improving the quality of glass containers production with plunger process control”, CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 3, 2010, pp. 304–310.
- [4] Central Engineering, “Operation Guide for Glass Bottle Production”, Siam Glass Industry Company Limited, 2013. (In Thai)
- [5] G.L. Smay, “Effect of coatings on adhesion of labels to glass containers”, Glass Worldwide, Vol. 69, 2017, pp. 68–70.
- [6] P. Homsri and J. Khongthana, “Lean Production Efficiency Increasing: A Case Study of Water Pump Manufacturing Factory”, Kasem Bundit Engineering Journal, Vol. 2, No. 2, 2012, pp. 40–62. (In Thai)
- [7] N. Lenathum, W. Sutsomboon, C. Kaewdee and A. Krainara, “Reducing of the Wasting Time in the Dirt Testing Process of Rubber by Lean Six Sigma Approach: A Case Study in a Rubber Factory”, Wichcha Journal Nakhon Si Thammarat Rajabhat University, Vol. 38, No. 2, 2019, pp. 104–119. (In Thai)
- [8] P. Tantiphanwadi, A. Siripanya, P. Panyakunanont, P. Thanachotanankul, N. Wongpatiwate, S. Phwngmalay and S. Waiyanit, “Production Improvement Steps: Lean, Six Sigma and Lean Automation”, Naresuan University Engineering Journal, Vol. 15, No. 2, 2020, pp. 47–64. (In Thai)
- [9] J. Pearce, P. Bhandhubanyong, “Improving capability in small Thai manufacturing companies”, International Scientific Journal of Engineering and Technology, Vol. 1, 2017, pp.6–13.
- [10] D.C. Montgomery, “Introduction to statistical quality control”, 6th ed., New York: John Wiley & Sons, 2009, pp. 344–395.