

การประยุกต์ใช้ลีน ซิกซ์ ซิกม่า ในอุตสาหกรรมการผลิตแก้วไวน์

Application of Lean Six Sigma in Wine Glass Manufacturing Industry

พานุวัฒน์ ฐานาสกุลวงศ์¹ อุษณีย์ ปุรินทรภิบาล²
Panuwat Tanasankulwong¹ Ussanee Purintrapiban²

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Department of Production Engineering, Faculty of Engineering King Mongkut's University of Technology Thonburi

¹panuwat_tanasan@hotmail.com

²ussaneei.pur@kmutt.ac.th

รับต้นฉบับ: 2 มีนาคม 2562; รับบทความฉบับแก้ไข: 16 พฤษภาคม 2562; ตอบรับบทความ: 17 พฤษภาคม 2562

เผยแพร่ออนไลน์: 28 มิถุนายน 2562

บทคัดย่อ

ในอุตสาหกรรมการผลิตแก้วไวน์ มีสภาวะการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วท่ามกลางการแข่งขันที่รุนแรง ทำให้ต้องมีการพัฒนาองค์กรอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง ราคาขายสามารถแข่งขันได้ในตลาดโลก งานวิจัยนี้นำแนวคิดวิธีลีน ซิกซ์ ซิกม่า ปรับปรุงกระบวนการผลิตแก้วไวน์ โดยดำเนินการ 5 ขั้นตอนได้แก่ ในขั้นตอนแรกการนิยามปัญหา ได้กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อลดเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดประเภทฐานแก้วไวน์ไม่ได้อะนาบ จากนั้นในขั้นตอนที่สองการวัดผล ได้ทำการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงตรงของระบบการวัด ขั้นตอนที่สามการวิเคราะห์ปัญหา งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องมือการวิเคราะห์ P-M เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาฐานแก้วไวน์ไม่ได้อะนาบ ขั้นตอนที่สี่การปรับปรุงแก้ไข ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคทางสถิติ เพื่อกำหนดระดับปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดประเภทฐานแก้วไวน์ไม่ได้อะนาบน้อยสุด และในขั้นตอนที่ห้าการควบคุมและกำหนดวิธีการควบคุม จากการดำเนินการพบว่าเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดประเภทฐานแก้วไวน์ไม่ได้อะนาบลดลงจาก 3.20% เป็น 1.73% ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ซึ่งลดลงมากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้

คำสำคัญ: แก้วไวน์, ลีนซิกซ์ ซิกม่า, การวิเคราะห์ P-M, การบีบขึ้นรูป

Abstract

Manufacturing in today's Glass Industry is rapidly changing as the result of the intense competition in the market nowadays. The organizations will have to be continuously developed in order to improve the production especially in term of cost reduction and price to be more competitive in the world market. This research aims to apply Lean Six Sigma for the production process improvement. It consists of five basic phases. The Define phase is the first phase of Lean Six Sigma. In this phase, a problem statement was set that was to reduce the percentage of non-conforming wine glass with non-flat at the bottom. The next one is the Measure phase. The precision and accuracy of the measurement system were analyzed. The third phase is the Analysis phase. To investigate the root causes of the problem, the Physical phenomena –

Mechanism Analysis was applied. The following phase is the Improve phase. The statistical techniques were used to determine the appropriate levels of the process parameters that lead to the minimum number of non-flat wine glass foot. The fifth phase is the Control phase. To ensure the process being managed and monitored properly, the controlling methods was proposed. As shown in the results, the percentage of non-conforming products had been decreased from 3.20% to 1.73%, which it is even lower than the target set.

Keywords: Wine Glass, Lean Six Sigma, P-M Analysis, Pressing Process

1) บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมเครื่องแก้วบนโต๊ะอาหารโดยเฉพาะผลิตภัณฑ์กลุ่มแก้วไวน์มีการแข่งขันที่สูงขึ้น ทั้งทางด้านราคาและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้บริษัทผู้ผลิตเครื่องแก้วหลายรายพยายามสรรหาเทคโนโลยีในการผลิตที่ทำให้มีต้นทุนต่ำ และมีความได้เปรียบทางการแข่งขัน งานวิจัยฉบับนี้จึงต้องการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพและลดเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดในการผลิต เพื่อส่งผลให้ต้นทุนการผลิตลดลง จากการศึกษาพบว่าในปัจจุบันผลิตภัณฑ์แก้วไวน์ในโรงงานกรณีศึกษา มียอดการผลิตต่อปีประมาณ 3 ล้านชิ้น และพบปัญหาด้านคุณภาพ ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิต จากข้อมูลการผลิตตั้งแต่เดือนมกราคม 2560 ถึงเดือนธันวาคม 2560 ประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดประเภทแก้วไวน์ไม่ได้อะนาบ คิดเป็น 3.20% ของการผลิตแก้วไวน์รุ่นที่ศึกษา ซึ่งมีมูลค่าความเสียหายรวมกว่า 797,000 บาท ดังนั้นงานวิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาเกี่ยวกับการลดเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดในกระบวนการผลิตแก้วไวน์

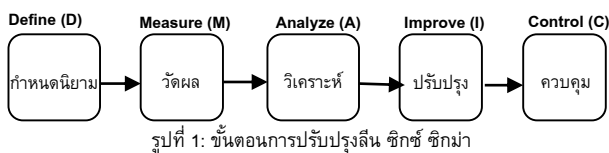
จากสภาวะการณ์ดังกล่าว หลักการลีนซิกซ์ ซิกม่า เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถเข้ามาช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ได้เนื่องจากจุดมุ่งหมายของการทำ ลีนซิกซ์ ซิกม่า มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงกระบวนการอย่างต่อเนื่องเพื่อ

สร้างผลกำไร โดยลดความแปรปรวน ลดความสูญเสียต่างๆ ผ่านกระบวนการ DMAIC [1] โดยใช้เทคนิค Physical phenomena – Mechanism Analysis ในการวิเคราะห์ปัญหา เพื่อให้ทราบถึงกลไกของการเกิดอาการที่ส่งผลกระทบต่อให้เกิดฐานแก้วไวน์ไม่ได้รับน้ำหนักในเชิงกายภาพตามหลักการและกฎเกณฑ์ [2] จนสามารถลดสัดส่วนผลิตภัณฑ์ฐานแก้วไวน์ไม่ได้รับน้ำหนัก เพื่อเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้าที่มีต่อคุณภาพ

2) ทัศนวิสัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1) แนวทางการดำเนินงานหลักการสึน ชิกซ์ ชิกม่า [1]

สึน ชิกซ์ ชิกม่า เป็นการบูรณาการแนวคิดในการพัฒนาปรับปรุง Lean Manufacturing และ Six Sigma เข้าด้วยกัน โดยมุ่งเน้นการลดความไม่แน่นอน หรือการลดความผันแปรของกระบวนการ และการปรับปรุงขีดความสามารถในการทำงานให้ได้เป้าหมายที่กำหนด เพื่อนำมาซึ่งความพอใจของลูกค้า และผลที่ได้รับสามารถวัดเป็นจำนวนเงินได้อย่างชัดเจน ระเบียบวิธีการแก้ปัญหาที่มีแบบแผนและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในทุกวงการอุตสาหกรรม ตัวอักษรเป็นตัวย่อแทน 5 ขั้นตอนการปรับปรุง คือ DMAIC ขั้นตอนต่างๆ เหล่านี้จะนำทีมงานด้วยหลักเหตุและผลตั้งแต่การกำหนดนิยามปัญหา ดังรูปที่ 1



ซึ่งมีงานวิจัยที่ได้นำเอาหลักการสึน ชิกซ์ ชิกม่า และเครื่องมือทางสถิติไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อาทิเช่น การแปรรูปพลาสติก [3] โดยสามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตลงจาก 58,120 ppm เหลือ 28,870 ppm รวมทั้งในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ [4] ที่ได้นำเทคนิค DMAIC มาใช้เพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและปรับปรุงคุณภาพของการประกอบสปริงในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยสามารถลดของเสียลงจาก 24,604 DPPM เหลือเพียง 4,545 DPPM หรือลดลงประมาณ 81.53 เปอร์เซ็นต์ อุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ [5] ได้ดำเนินการค้นหาปัญหาและสาเหตุที่สำคัญ ตามหลักการสึน ชิกซ์ ชิกม่า เพื่อนำไปสู่การลดข้อบกพร่องจากกระบวนการเจาะและขึ้นสกรู สามารถลดข้อบกพร่องจากการประกอบลง 84 เปอร์เซ็นต์ และลดเวลาในการผลิตที่เกินค่ามาตรฐาน เพื่อแก้ไขขั้นตอนที่เป็นคอขวดในการผลิต โดยใช้การปรับสมดุลไลน์การผลิต ซึ่งสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 29 เปอร์เซ็นต์ และในอุตสาหกรรมแร่เหล็ก [6] มีการดำเนินการแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเน้นการวิเคราะห์ของเสียโดยใช้การทำแผนภาพกิจกรรมของกระบวนการเตรียมแร่เหล็ก พบว่ากิจกรรมที่ไม่ใช่การเพิ่มมูลค่าประกอบด้วย 33.67% สำหรับส่วนที่สองนั้น จากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์การแปรรูป เกิดจากการปนเปื้อนจากเศษฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ แก้ไขโดยการออกแบบตัวกรองฝุ่นแบบใหม่โดยติดตั้งไวโรมอเตอร์และก๊าซไนโตรเจน เพื่อให้การดักจับเศษฝุ่นมีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากอุตสาหกรรมการผลิตแล้ว สึน ชิกซ์ ชิกม่ายังถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการบริการ ดังในอุตสาหกรรมทางการแพทย์และ

โรงพยาบาล [7] ทำการลดต้นทุนอุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างถุงเลือดกับเข็มเจาะเลือด โดยการลดการใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อหรือตัวคอนเน็คเตอร์ สิ่งที่ทำให้โครงการนี้ประสบผลสำเร็จคือ การวิเคราะห์กระบวนการเจาะเลือดอย่างละเอียดทำให้สามารถยกเลิก อุปกรณ์บางชิ้นได้ ส่งผลให้ในระยะเวลา 26 เดือน สามารถลดต้นทุนได้ 107,315 เหรียญ จากงานวิจัยที่กล่าวมาทั้งหมดแสดงให้เห็นว่า สึน ชิกซ์ ชิกม่าประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2) แนวทางการวิเคราะห์ Physical phenomena – Mechanism Analysis (P-M Analysis)

การวิเคราะห์ P-M Analysis เป็นวิธีการที่ได้ถูกรวบรวมเพื่อใช้ปรับปรุงประเด็นที่เป็นปัญหาในการวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของปัญหาโดย Shirose [2] ได้ให้นิยามไว้ดังนี้การวิเคราะห์ P-M Analysis หมายถึง “แนวความคิดที่ทำให้ทราบถึงกลไกของการเกิดปรากฏการณ์ได้อย่างชัดเจน โดยการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ของการเกิดความบกพร่องที่แท้จริงในเชิงกายภาพตามหลักการและกฎเกณฑ์ ทำให้สามารถรวบรวมปัจจัยทั้งหมดที่คิดว่าจะส่งผลกระทบต่อเกิดความบกพร่องนั้นได้โดยใช้หลักเหตุและผลจากการพิจารณาหลักการการทำงานของเครื่องจักร คน วัสดุ และวิธีการ ในงานวิจัยหลายงานที่ได้นำหลักการ P-M Analysis ประยุกต์ใช้ ดังเช่นในงานอุตสาหกรรมการตัดแผ่นโลหะด้วยเลเซอร์ [8] เพื่อหาสาเหตุและวิธีป้องกันปัญหาการหยุดกะทันหัน ของเครื่องตัดซีเอ็นซี เลเซอร์ ให้มีความพร้อมจากเดิม 91.50% เป็น 100% นอกจากนี้ยังมีอุตสาหกรรมขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากโลหะแผ่น [9] โดยใช้หลักการ P-M วิเคราะห์หาสาเหตุ พบว่าสาเหตุของชิ้นงานเป็นรอยขีดข่วน คือ ขอบของแม่พิมพ์เกิดครีบ ทำให้ใส่พินล็อกแม่พิมพ์มีความสูงไม่สม่ำเสมอ เกิดรอยขีดข่วน และสามารถลดค่าใช้จ่ายจากข้อบกพร่องเรื่องชิ้นงานที่เป็นรอยขีดข่วนในกระบวนการผลิต

2.3) เทคโนโลยีการผลิตแก้ว [10]

รายละเอียดทฤษฎีในส่วนนี้มีความสำคัญต่อการวิเคราะห์สาเหตุ โดยจะกล่าวถึง กระบวนการบ่มขึ้นรูปแก้ว สมบัติของแก้วหรือน้ำแก้วที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการขึ้นรูป ได้แก่ ความยืดหยุ่น ความหนืดและระยะเวลาที่ใช้ในการปลดปล่อยความเครียด โดยปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการลดความเครียดของแก้วคือความหนืดของแก้ว ความหนืดที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตจะสรุปไว้ในตาราง 1 ความหนืดที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง $10^3 - 10^7$ พอยส์ ความหนืดจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ดังนั้นช่วงความหนืดที่เหมาะสม ก็สามารถควบคุมได้โดยควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสม นอกเหนือจากนั้นจะต้องคำนึงถึงค่าการขยายตัวเพราะความร้อนของแก้ว แรงดึงผิว รวมไปถึงการถ่ายเทความร้อน จากแก้วไปสู่แม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการเกิดความเครียดในแก้ว หากการถ่ายเทความร้อนดีมาก แก้วจะเริ่มแตกที่ผิวก่อน เนื่องจากเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิที่ผิวแก้วและภายในเนื้อแก้ว หรือหากการถ่ายเทความร้อนไม่ดีแก้วจะติดอยู่กับแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะได้ เนื่องจากแก้วหดตัวช้าทำให้หลุดออกจากแม่พิมพ์โลหะได้ยาก อย่างไรก็ตามการควบคุมการถ่ายเทความร้อนของแก้วทำได้ยากมาก

ตารางที่ 1 ความหนักที่เหมาะสมของแต่ละช่วงในขั้นตอนการผลิตแก้ว

กระบวนการผลิต	ค่า log (ความหนัก;พอยส์)
ขั้นตอนการหลอม	1.7 - 2.0
ขั้นการทำให้ส่วนผสมเข้ากัน	2.0 - 2.5
ขั้นตอนการขึ้นรูป และ หลังขึ้นรูป	2.5 - 8.0
-จุดอ่อนตัว	7.6
ขั้นตอนการอบอ่อน	12.0 - 15.0
-การอบอ่อน	13.0
-จุดความเครียดต่ำ	14.5

* $\log$ [ความหนักในหน่วยพอยส์] = $\log$ [ความหนักในหน่วยพาสคัลวินาที (Pa·S)] + 1
10 พอยส์ หรือ $10 P = 1 Pa \cdot S$

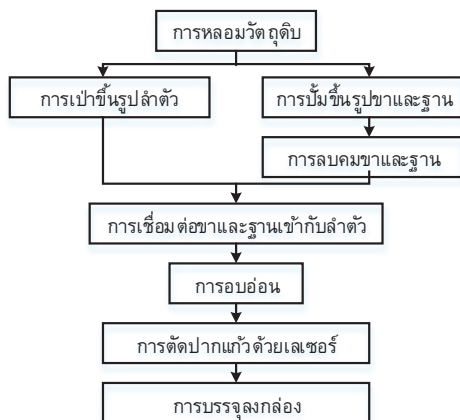
3) ระเบียบวิธีและขั้นตอนการวิจัย

การดำเนินการวิจัยในการลดปัญหาผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดประเภทฐานแก้วไวน์ไม่ได้ระนาบ เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตแก้วไวน์ โดยดำเนินขั้นตอนการวิจัยตามขั้นตอน DMAIC ของหลักการสีน ซิกซ์ ซิกมา โดยรายละเอียดดังนี้

3.1) การศึกษาสภาพปัญหาและกำหนดปัญหา (Define Phase) ผลิตภัณฑ์แก้วไวน์ของโรงงานกรณีศึกษา จะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ลำตัวแก้ว (Blow) ขาแก้ว (Stem) ฐานแก้ว (Foot) ดังรูปที่ 2 โดยมีขั้นตอนกระบวนการผลิตทั้งหมด 8 ขั้นตอน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2: ส่วนประกอบของแก้วไวน์



รูปที่ 3: กระบวนการผลิตแก้วไวน์

ทั้งนี้ เพื่อให้เข้าใจถึงแนวคิดกระบวนการทำงานของโรงงานและความสัมพันธ์ระหว่างโรงงานกับผู้ส่งมอบและลูกค้าสำคัญ รวมถึงความคาดหวังของลูกค้าสำคัญที่มีต่อผลิตภัณฑ์แก้วไวน์ ตัวแบบ SIPOC

และความคาดหวังลูกค้าสำคัญต่อผลิตภัณฑ์แก้วไวน์ แสดงไว้ในรูปที่ 4 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

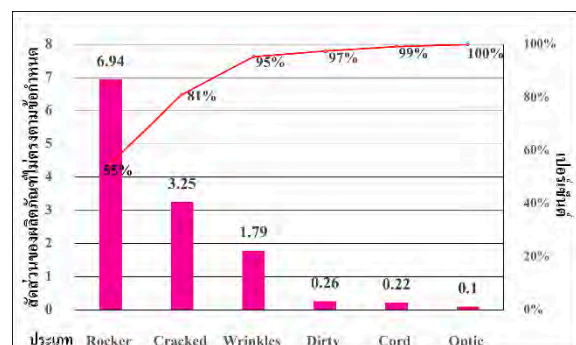


รูปที่ 4: ตัวแบบ SIPOC ของโรงงานกรณีศึกษา

ตารางที่ 2: ความคาดหวังลูกค้าสำคัญต่อผลิตภัณฑ์แก้วไวน์

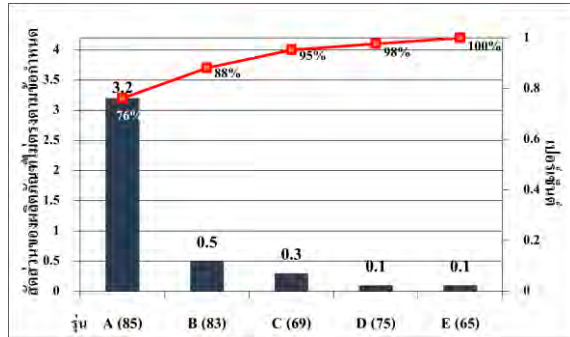
ประเภทของลูกค้า	ความคาดหวังลูกค้า	มุมมองลูกค้า
กลุ่มลูกค้าที่นำไปเสนอขายให้กับลูกค้าโรงแรมร้านอาหารระดับ 5 ดาว	ด้านคุณภาพ	ผลิตภัณฑ์ตรงตามข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์ เนื้อแก้วมีความใสไม่มีฟองอากาศหรือจุดแตกขนาดเล็กซ่อนอยู่ รูปทรงในส่วนลำตัวขา และฐานไม่บิดเสียรูป
	ด้านราคา	ราคาขายต่อหน่วยเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ และราคาไม่สูงเกินกว่าคู่แข่ง
	ด้านการส่งมอบ	ส่งมอบตรงตามจำนวนที่ลูกค้าต้องการโดยสินค้าตรงตามเวลาและสถานที่ที่กำหนด

จากการศึกษาข้อมูลทางด้านคุณภาพผลิตภัณฑ์ในกลุ่มลูกค้าส่งออกต่างประเทศซึ่งเป็นลูกค้าสำคัญ ตั้งแต่เดือน ม.ค. - ธ.ค. 2560 ผ่านแผนภาพพาเรโต ดังรูปที่ 5 จากรูปสามารถมองเห็นได้ชัดเจนว่าจากข้อมูลแสดงภาพรวม พบผลิตภัณฑ์แก้วไวน์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดมากที่สุด คือ ประเภทฐานแก้วไวน์ไม่ได้ระนาบ (Rocker) คิดเป็นสัดส่วน 6.94% ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด นอกจากนี้ ข้อมูลข้างต้นถูกเก็บสะสมตามเวลาและมีความสอดคล้องกับหลักการพาเรโต จึงตีความได้ว่าข้อมูลมีเสถียรภาพ อีกทั้งสามารถสะท้อนถึงปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นปัญหาเรื้อรัง [11] โดยส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายระหว่างมีการร้องเรียนของลูกค้าเกิดขึ้น



รูปที่ 5: แผนภาพพาเรโตแสดงสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดฐานแก้วไวน์ในแต่ละประเภท

เมื่อพิจารณารุ่นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดประเภทฐานแก้วไวน์ไม่ได้รับนาบ ดังรูปที่ 6 จากรูปเป็นไปตามหลักการพาเรโตเช่นกัน โดยการจำแนกข้อมูลตามรุ่นแก้วไวน์สามารถมองเห็นได้ชัดเจนจากข้อมูลแสดงภาพรวมของรุ่นที่พบมากที่สุดคือ รุ่น A(85)



รูปที่ 6: แผนภาพพาเรโตแสดงสัดส่วนฐานแก้วไวน์ไม่ได้รับนาบในแต่ละรุ่น

ดังนั้นในงานวิจัยจึงเลือกศึกษาถึงสาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้ฐานแก้วไวน์ไม่ได้รับนาบในรุ่น A(85) และหาวิธีการเพื่อปรับปรุงแก้ไขในการลดเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนด

3.2) การวัดสมรรถนะของกระบวนการ (Measure Phase)

3.2.1) การวิเคราะห์ความสามารถระบบการวัด วิธีการตรวจสอบระนาบของชิ้นงานเป็นขั้นตอนสุดท้ายก่อนการบรรจุลงกล่องนั้น ทางบริษัทกรณีศึกษาจะใช้แผ่นเพลทที่มีความเรียบและได้รับนาบมาทำการตรวจสอบ ขั้นตอนการตรวจสอบ แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. นำผลิตภัณฑ์แก้วไวน์วางลงบนเพลท
2. ใช้ปลายนิ้วกดลงบนปากแก้วไวน์
3. ตรวจสอบชิ้นงานนั้นเอียงไปมาหรือไม่

การพิจารณาคัดแยกผลิตภัณฑ์ที่ตรงตามข้อกำหนด ผ่าน (G) คือ ชิ้นงานต้องอยู่นิ่งอยู่กับที่ ไม่เคลื่อนไหวหรือไม่เอียงเมื่อใช้แรงกดลงขอบปากแก้ว และผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนด ไม่ผ่าน (NG) คือ ชิ้นงานที่เคลื่อนไหวหรือไม่เอียงไปมาเมื่อใช้แรงกดลงขอบปากแก้ว โดยระบบการวัดของบริษัทกรณีศึกษา พนักงานตรวจสอบผ่านทั้งการประเมินรีพีเทบิลิตี การประเมินผลความไม่แปรปรวนของพนักงานตรวจสอบโดยมีความสามารถในการตรวจสอบที่ให้ผลเหมือนกันและถูกต้องตามคุณภาพแท้จริง ซึ่งมีการทดสอบความแม่นยำในการตรวจสอบซ้ำภายในกลุ่มเดียวกัน และการทดสอบซ้ำเมื่อเทียบกับชิ้นงานมาตรฐาน

3.2.2) การวัดผลสำเร็จของการแก้ไขปัญหา เพื่อเป็นการวัดผลสำเร็จของงานวิจัย แก้วไวน์รุ่น A (85) เป้าหมายในการลดเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนด จากเดิม 3.20% เป็น 1.97% ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} \text{Goal} &= \text{Baseline} + 75\% (\text{Entitlement} - \text{Baseline}) \quad (3.1) \\ &= 3.20 + 75\%(1.56 - 3.20) \\ &= 1.97\% \end{aligned}$$

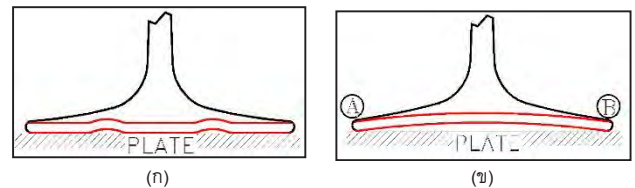
เมื่อ Goal คือ เป้าหมายของงานวิจัย

Baseline คือ เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดเดิม

Entitlement คือ เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดน้อยที่สุด 75% คือ ค่าที่โรงงานกรณีศึกษาแห่งนี้กำหนดขึ้น เพื่อต้องการลดเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดลงมาจากค่าที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

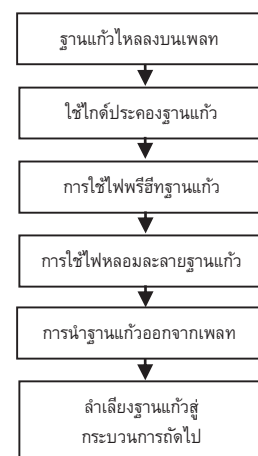
3.3) การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

จากการศึกษาผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดจากกระบวนการผลิตแก้วไวน์ พบว่าประเภทฐานแก้วไวน์ไม่ได้รับนาบ สามารถแบ่งแยกผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ฐานเป็นคลื่น และฐานโค้ง โดยพบ 12% และ 88% ของผลิตภัณฑ์ประเภทฐานแก้วไวน์ไม่ได้รับนาบทั้งหมด ตามลำดับ ดังรูปที่ 7



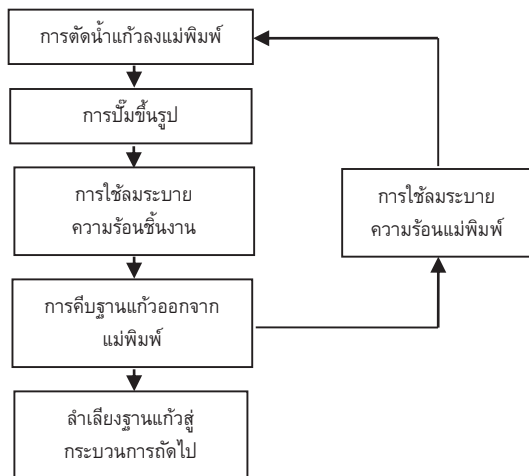
รูปที่ 7: ลักษณะฐานแก้วไม่ได้รับนาบ (ก) ฐานเป็นคลื่น (ข) ฐานโค้ง

จากรูปที่ 7 (ก) พบว่า ลักษณะฐานเป็นคลื่น เมื่อพิจารณาชิ้นงานที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดและทำการศึกษารายละเอียดการผลิตแก้วไวน์อย่างละเอียด พบว่าในขั้นตอนบ่มขึ้นรูปขาและฐาน ไม่สามารถจะทำให้เกิดลักษณะฐานเป็นคลื่นได้ เนื่องจากขาและฐานแก้วหลังจากการบ่มขึ้นรูปขึ้นงานยังอยู่ในแม่พิมพ์จนกว่าขาและฐานแข็งตัว หลังจากนั้นจึงทำการคืบชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ สิ่งที่จะสามารถทำให้ฐานเป็นคลื่นได้นั้น ขอบชิ้นงานฐานแก้วจะต้องอยู่อย่างอิสระไม่ได้อยู่ในแม่พิมพ์ เมื่อขอบด้านข้างฐานได้รับความร้อนเกินจุดหลอมเหลวของแก้ว และมีแรงมากระทำจากด้านข้างของชิ้นงานอย่างรุนแรง จึงจะส่งผลทำให้ชิ้นงานเสียรูปฐานเป็นคลื่น ซึ่งตรงกับขั้นตอนการลบคมขาและฐาน พบในช่วงการใช้ไฟฟรีฐานแก้ว และการใช้ไฟหลอมละลายฐานแก้ว ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8: ขั้นตอนลบคมขาและฐาน

จากรูปที่ 7 (ข) ลักษณะฐานโค้ง เมื่อพิจารณาชิ้นงานที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดและทำการศึกษาค้นคว้าขั้นตอนการผลิตแล้วพบว่าสิ่งที่สามารถทำให้ฐานโค้งได้นั้น ฐานแกว่มีการเสียรูปจากการเซ็ดตัวไม่สมบูรณ์ของน้ำแกว่ หรือมีอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างฐานแกว่กับแม่พิมพ์โลหะมากเกินไป จึงจะส่งผลทำให้ชิ้นงานเสียรูปฐานโค้งมีลักษณะโค้งในทิศทางตรงกันข้ามเสมอและมี 2 จุดสัมผัสพื้น จุด A และ B ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วจะตรงกับขั้นตอนบีบขึ้นรูปขาและฐาน อาจจะอยู่ในช่วงการบีบขึ้นรูป การใช้ลมระบายความร้อนชิ้นงานและการใช้ลมระบายความร้อนแม่พิมพ์ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9: ขั้นตอนบีบขึ้นรูปขาและฐาน

ขั้นตอนต่อไปนี้ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ชิ้นงานที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดทั้ง 2 ลักษณะ ฐานเป็นคลื่น และฐานโค้ง ซึ่งเห็นได้ว่าลักษณะชิ้นงานมีตำแหน่งเสียหายที่ชัดเจน และซ้ำที่เดิมมีแพทเทิร์นเกิดขึ้นกับฐานแกว่ ซึ่งเครื่องมือที่จะมาใช้ในการวิเคราะห์หาสิ่งผิดปกติปรากฏของการเกิดความบกพร่องที่เรื้อรังนั้นในเชิงกายภาพตามหลักการและกฎเกณฑ์ ใช้หลักเหตุและผลจากการพิจารณาหลักการการทำงานของเครื่องจักร คน วัสดุ และวิธีการ [2] โดยใช้หลักการ P-M Analysis หลักการ 3 จึงทำให้การวิเคราะห์ P-M Analysis สามารถระบุสาเหตุของปัญหาได้ตรงประเด็นตามหลักการทำงานและส่วนประกอบของเครื่องจักร , กลไกการทำงานแนวทางการวิเคราะห์ P-M Analysis นั้นมีขั้นตอนการปฏิบัติอยู่ 8 ขั้นตอน คือ

3.3.1) ลักษณะฐานเป็นคลื่น

1. การทำให้ปรากฏการณ์มีความชัดเจน เพื่อแยกแยะแ่งผลลัพธ์ที่สังเกตได้ปรากฏการณ์ 5W1H โดยจะวิเคราะห์เริ่มจากถาม What, Where, When, Which, Who, How แล้วถามต่อด้วย Why ทุกครั้งเพื่อให้เห็นถึงความผันแปรของอาการที่ส่งผลต่อลักษณะฐานเป็นคลื่นจากการเก็บข้อมูลหน้างานมีอาการดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อาการที่ส่งผลกระทบบทำให้ฐานเป็นคลื่น

ลำดับ	อาการ
1	ชิ้นงานฐานแกว่ไม่อยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลาง
2	หัวเบรินเนอร์อยู่ใกล้ชิ้นงาน

2. การวิเคราะห์ปรากฏการณ์เชิงกายภาพเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการตัดสินใจโดยการวิเคราะห์ปรากฏการณ์เชิงกายภาพมีทั้งหมด 3 ขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

- 1) การรวบรวมหลักการและกฎเกณฑ์
- 2) จัดทำแผนภาพโครงสร้างและกลไก
- 3) ศึกษาสภาวะเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องและการเปลี่ยนแปลงของปริมาณทางกายภาพ

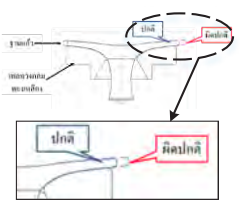
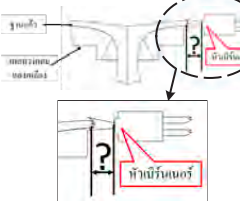
3. การพิจารณาสภาวะเงื่อนไขที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์พิจารณาว่าถ้าชิ้นส่วนหรือกลไกของชิ้นส่วนมีหน้าที่นั้น ไม่สามารถทำตามหน้าที่ได้แล้ว จะเชื่อมโยงสู่ปรากฏการณ์ของการเกิดอาการที่ทำให้ฐานแกว่เป็นคลื่น ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งในการพิจารณาสภาวะเงื่อนไขที่ก่อให้เกิดจำเป็นต้องพิจารณาหลักการเชิงเทคนิค

4. การพิจารณาความสัมพันธ์กับ 4M เพื่อรวบรวมปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ส่งผลให้สภาวะเงื่อนไขที่ก่อให้เกิด โดยการหาความสัมพันธ์นี้ต้องอยู่ในเชิงรูปธรรมและการระบุถึง 4M ที่เกี่ยวข้องต้องเป็นสำนวนที่สามารถวัดค่าได้เพื่อใช้ในการตรวจหาความผิดปกติเพื่อนำไปสู่การหาสาเหตุรากเหง้า ดังแสดงในตารางที่ 5

5. การพิจารณาสภาพที่ควรจะเป็น (ค่าเกณฑ์มาตรฐาน)

6. การพิจารณาวิธีการตรวจสอบได้รวม 2 ขั้นตอนตามแนวทางการวิเคราะห์แบบ P-M Analysis คือขั้นตอนการพิจารณาสภาพที่ควรจะเป็นหรือค่ามาตรฐาน เป็นขั้นตอนในการระบุเกณฑ์มาตรฐานของแต่ละรายการเพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าความสัมพันธ์นั้นผิดปกติหรือไม่ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 4 สภาวะเงื่อนไขที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ของการเกิดความไม่ตรงข้อกำหนด

ปรากฏการณ์ (อาการ) ของการเกิดฐานเป็นคลื่น	การวิเคราะห์เชิงกายภาพ	สภาวะเงื่อนไขที่ก่อให้เกิด
ชิ้นงานฐานแกว่ไม่อยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลาง 	เนื่องจากชิ้นงานหมุนโดน Guide ประคองทำให้ชิ้นงานไหลไปด้านตรงข้ามขอบฐานยื่นออกมาจนกวเพลา	เมื่อฐานแกว่แข็งตัวแรงเสียดทานระหว่างผิวเพลทวงกลมวัสดุทองเหลืองมีน้อยลง ทำให้ชิ้นงานสั่นออกนอกเพลท
หัวเบรินเนอร์อยู่ใกล้ชิ้นงาน 	เนื่องจากระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับหัวเบรินเนอร์อยู่ในตำแหน่งที่ใกล้มากเกินไปเกิดความร้อนสะสม	การปรับตั้งระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับหัวเบรินเนอร์ใกล้กันมากเกินไป

ตารางที่ 5 สรุปผลการวิเคราะห์สาเหตุเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้า

ลักษณะอาการพื้นฐานเป็นคลื่น	สรุปผลการวิเคราะห์เหตุ
ชิ้นงานฐานแก้วไม่อยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลางเพลท	เมื่อฐานแก้วแข็งตัว แรงเสียดทานระหว่างผิวเพลททรงกลมทองเหลืองมีน้อยลง ทำให้ชิ้นงานลื่น ออกนอกเพลท
หัวเบรินเนอร์อยู่ใกล้ชิ้นงาน	การปรับตั้งระยะห่างระหว่างชิ้นงานกับหัวเบรินเนอร์ใกล้กันมากเกินไป

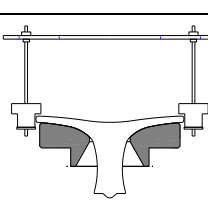
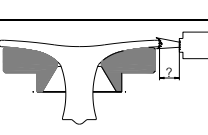
7. การค้นหาจุดบกพร่องเป็นขั้นตอนในการหาความผิดพลาดมากกว่าที่ยอมรับได้โดยวิธีกำหนดและต้องดำเนินการตรวจสอบในทุกความสัมพันธ์โดยมุ่งเน้นการระบุความสัมพันธ์ใดผิดปกติหรือมีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมรับ

8. การเสนอแนวคิดในการปรับปรุงและการดำเนินการซึ่งวิธีการแก้ไขปัญหามุ่งเป้าไปที่การปรับปรุงที่ไม่สามารถที่จะแก้ไขได้โดยตรงจึงต้องหาแนวทางป้องกันและแก้ไขเพื่อไม่ให้เกิดขึ้นอีกหลังจากที่ทำความเข้าใจกับแนวความคิดของการทำงานของการใช้ไฟลรอยต่อแม่พิมพ์ แล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนกำหนดแนวคิดในการตอบโต้สาเหตุรากเหง้า โดยแบ่งออกเป็น 2 แนวความคิดดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 6 เกณฑ์มาตรฐาน วิธีการวัดเพื่อพิจารณาความผิดปกติของความสัมพันธ์ และการตัดสินใจการค้นหาคำตอบ

ชิ้นส่วน	รายละเอียด	มาตรฐานการตรวจสอบ	การตรวจสอบ	ตัดสินใจ
Guide ประกอบชิ้นงาน	ออกแบบ Guide ใหม่	เช็ค Center Guide & เพลท	ใช้เวอร์เนียวัด	○
หัวเบรินเนอร์	ปรับตั้งระยะ	เช็ค ระยะห่าง	ใช้เวอร์เนียวัด	○
○ ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ✖ ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน				

ตารางที่ 7 แนวความคิดในการตอบโต้สาเหตุรากเหง้า

กระบวนการ	แนวความคิดในการตอบโต้สาเหตุรากเหง้า	รูปภาพประกอบ
กระบวนการใช้ Guide ประกอบชิ้นงาน	ทดลองออกแบบ Guide ใหม่เพื่อให้ล็อคชิ้นงานแนวแกน X และแกน Y เพื่อให้ชิ้นงานไม่เอียงออกไปด้านใดด้านหนึ่ง	
กระบวนการใช้ เบรินเนอร์ลบคมและฐาน	ทดลองเช็คระยะหัวเบรินเนอร์ให้ห่างชิ้นงานที่ 20, 30 และ 40 mm.	

3.3.2) ลักษณะฐานโค้ง

1. การทำให้ปรากฏการณ์มีความชัดเจน เพื่อแยกแยะแฉงผลลัพท์ที่สังเกตได้ปรากฏการณ์ 5W1H โดยจะวิเคราะห์เริ่มจากถาม What, Where, When, Which, Who, How แล้วถามต่อด้วย Why ทุกครั้งเพื่อให้เห็นถึงความผันแปรของอาการที่ส่งผลต่อลักษณะฐานเป็นคลื่นจากการเก็บข้อมูลหน้างานมีอาการดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 อาการที่ส่งผลกระทบทำให้ฐานโค้ง

ลำดับ	อาการ
1	ความหนาฐานแก้วบางกว่าฐานทั่วไป
2	ทอลมระบายความร้อนฐานแก้วมีจำนวนทอลมไม่เหมาะสม
3	ปริมาณลมระบายความร้อนแม่พิมพ์มีปริมาณลมที่ไม่เหมาะสม

2. การวิเคราะห์ปรากฏการณ์เชิงกายภาพเพื่อป้องกันความผิดพลาดในการตัดสินใจโดยการวิเคราะห์ปรากฏการณ์เชิงกายภาพทั้งหมด 3 ขั้นตอนย่อยดังต่อไปนี้

- 1) การรวบรวมหลักการและกฎเกณฑ์
- 2) จัดทำแผนภาพโครงสร้างและกลไก
- 3) ศึกษาสภาวะเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องและการเปลี่ยนแปลง

ของปริมาณทางกายภาพ

3. การพิจารณาสภาวะเงื่อนไขที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์พิจารณาว่าถ้าชิ้นส่วนหรือกลไกของชิ้นส่วนมีหน้าที่นั้น ไม่สามารถทำตามหน้าที่ได้แล้ว จะเชื่อมโยงสู่ปรากฏการณ์ของการเกิดอาการที่ทำให้ฐานแก้วเป็นคลื่น ดังแสดงในตารางที่ 9 ซึ่งในการพิจารณาสภาวะเงื่อนไขที่ก่อให้เกิดจำเป็นต้องพิจารณาหลักการเชิงเทคนิค

ตารางที่ 9 สภาวะเงื่อนไขที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์ของการเกิดความไม่ตรงข้อกำหนด

ปรากฏการณ์ (อาการ) ของการเกิดฐานโค้ง	การวิเคราะห์เชิงกายภาพ	สภาวะเงื่อนไขที่ก่อให้เกิด
ความหนาฐานแก้ว	เนื่องจากความหนาฐานแก้วมีความบางกว่าฐานอื่น จะส่งผลทำให้การเซตตัวของน้ำแก้วเร็วกว่าปกติ	การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำแก้วกับแม่พิมพ์มีความแตกต่างกันมากอาจส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวเร็วกว่าปกติ
ทอลมระบายความร้อนฐานแก้ว	เนื่องจากการไหลระบายความร้อนฐานแก้ว 2 ท่อตรงกันข้ามทำให้ฐานแก้วบริเวณนั้นเย็นและเซตตัวเร็วกว่าบริเวณอื่น	การปรับตั้งทอลมที่ใช้ในการระบายความร้อนฐานแก้วใช้ในปริมาณที่มาก
ปริมาณลมระบายความร้อนแม่พิมพ์	เนื่องจากใช้ลมในการระบายความร้อนแม่พิมพ์มาก ทำให้อุณหภูมิมีความแตกต่างสูงระหว่างน้ำแก้วกับแม่พิมพ์	การถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำแก้วกับแม่พิมพ์มีความแตกต่างกันมากอาจส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการหดตัวเร็วกว่าปกติ

4. การพิจารณาความสัมพันธ์ 4M เพื่อรวบรวมปัจจัยที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ส่งผลให้สภาวะเงื่อนไขที่ก่อให้เกิด โดยการหาความสัมพันธ์นี้ต้องอยู่ในเชิงรูปธรรมและการระบุถึง 4M ที่เกี่ยวข้องต้องเป็นส่วนที่สามารถวัดค่าได้เพื่อใช้ในการตรวจหาความผิดปกติเพื่อนำไปสู่การหาสาเหตุรากเหง้า ดังแสดงในตารางที่ 10

5. การพิจารณาสภาพที่ควรจะเป็น (ค่าเกณฑ์มาตรฐาน)

6. การพิจารณาวิธีการตรวจสอบได้รวม 2 ขั้นตอนตามแนวทางการวิเคราะห์แบบ P-M Analysis คือขั้นตอนการพิจารณาสภาพที่ควรจะเป็นหรือค่ามาตรฐาน เป็นขั้นตอนในการระบุเกณฑ์มาตรฐานของแต่ละรายการเพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าความสัมพันธ์นั้นผิดปกติหรือไม่ ดังแสดงในตารางที่ 11

7. การค้นหาจุดบกพร่องเป็นขั้นตอนในการหาความผิดพลาดมากกว่าที่ยอมรับได้โดยวิธีกำหนดและต้องดำเนินการตรวจสอบในทุกความสัมพันธ์โดยมุ่งเน้นการระบุความสัมพันธ์ผิดปกติหรือมีค่าเกินกว่าค่าที่ยอมรับ

ตารางที่ 10 สรุปผลการวิเคราะห์สาเหตุเพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้า

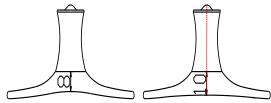
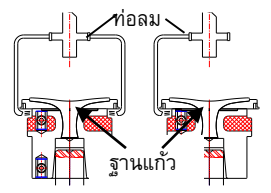
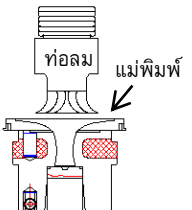
ลักษณะอาการฐานโค้ง	สรุปผลการวิเคราะห์เหตุ
ความหนาฐานแก้ว	ความหนาฐานแก้วส่งผลต่อการเซ็ดตัวของน้ำแก้วที่ความหนา 8 กับ 10 มิลลิเมตร ที่ได้มีการออกแบบไว้ตั้งแต่แรกในแต่ละรุ่นใช้ความหนาไม่เท่ากัน
ท่อลมระบายความร้อนฐานแก้ว	การใช้ท่อลม 2 ท่ออาจส่งผลให้การระบายความร้อนฐานแก้วได้เร็วกว่า 1 ท่อ
ปริมาณลมระบายความร้อนแม่พิมพ์	การใช้ปริมาณลมที่มากอาจส่งผลให้อุณหภูมิแม่พิมพ์เย็นตัวลงทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำแก้วกับแม่พิมพ์ก่อนเข้าสู่การบ่มขึ้นรูป ค่าการปรับ 5 กับ 7 บาร์

ตารางที่ 11 เกณฑ์มาตรฐาน วิธีการวัดเพื่อพิจารณาความผิดปกติของความสัมพันธ์และการตัดสินใจการค้นหาค้นหาจุดบกพร่อง

ชั้นส่วน	รายละเอียด	มาตรฐานการตรวจสอบ	การตรวจสอบ	ตัดสินใจ
ชุดแม่พิมพ์ฐานแก้ว	ปรับแก้ไข Drawing	เช็คความหนา	Check Sheet	○
ท่อลมที่ใช้กับฐานแก้ว	ติดตั้งให้ตรงตำแหน่ง	เช็คท่อลม	สายตา	○
ปริมาณลมที่ใช้กับแม่พิมพ์	ปรับระดับปริมาณลม	เช็คปริมาณลม	สายตา	○
○ ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน ✗ ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน				

8. การเสนอแนวคิดในการปรับปรุงและการดำเนินการซึ่งวิธีการแก้ไขปัญหามองปรากฏการณ์ไม่สามารถที่จะแก้ไขได้โดยตรงจึงต้องหาแนวทางป้องกันและแก้ไขเพื่อไม่ให้เกิดขึ้นอีกหลังจากที่ทำความเข้าใจกับแนวความคิดของการทำงานกระบวนการบ่มขึ้นรูป แล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนกำหนดแนวคิดในการตอบโต้สาเหตุรากเหง้า โดยแบ่งออกเป็น 3 แนวความคิดดังแสดงในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แนวความคิดในการตอบโต้สาเหตุรากเหง้า

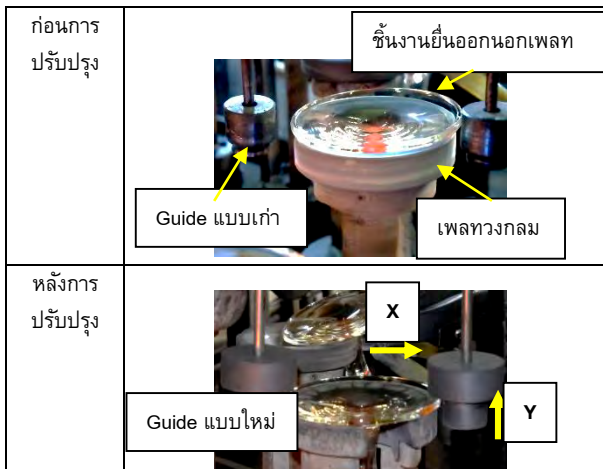
กระบวนการ	แนวความคิดในการตอบโต้สาเหตุรากเหง้า	รูปภาพประกอบ
กระบวนการบ่มขึ้นรูป	ทดลองปรับความหนาฐานแก้ว 8 และ 10 mm.	
กระบวนการใช้จำนวนท่อลมระบายความร้อนฐานแก้ว	ทดลองปรับจำนวนท่อลมที่ 2 และ 1 ท่อ	
กระบวนการใช้ปริมาณลมระบายความร้อนแม่พิมพ์	ทดลองปรับปริมาณลมที่ 5 และ 7 บาร์	

3.4) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve Phase)

สำหรับการปรับปรุงแก้ไขตามหลักการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าด้วยขั้นตอนการทำ P-M Analysis สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

3.4.1) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการลดรอยขีดและฐาน เพื่อแก้ไขปัญหาที่ไม่ได้ตามข้อกำหนดลักษณะฐานเป็นคลื่น ดังนั้นจึงดำเนินการปรับปรุงทั้ง 2 สาเหตุ 1. ออกแบบ Guide ใหม่ 2. ทดลองเซ็ดยะตื้นเบรินเนอร์ให้ห่างขึ้นงานที่ 20, 30 และ 40 mm. ดังแสดงในตารางที่ 13 และ 14 ตามลำดับ

ตารางที่ 13 ก่อนและหลังการปรับปรุง Redesign Guide ใหม่ให้
ล้อยื่นงานแนวแกน X และแกน Y



ตารางที่ 14 ผลการทดลองปรับระยะหัวเบรินเนอร์ให้ห่าง
ชิ้นงาน 20,30 และ 40 mm.

ระยะหัวเบรินเนอร์ กับชิ้นงาน (มิลลิเมตร)	จำนวนฐานเป็นคลื่น (ชิ้น)
20	10
30	0
40	0 (แต่ขอบชิ้นงานลบคมไม่หมด)

สรุปผลการทดลองแก้ไขฐานเป็นคลื่น เมื่อใช้ Guide ที่ออกแบบใหม่พบว่าชิ้นงานฐานแก้วอยู่ตรงตำแหน่งกึ่งกลาง และการปรับเซตระยะหัวเบรินเนอร์ให้ห่างชิ้นงานที่ 30 มิลลิเมตร โดยที่ไม่ทำให้ฐานเป็นคลื่น เพื่อนำไปสู่การทดลองเพื่อยืนยันผล กับรุ่น A ฐานแก้วไวท์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร จำนวน 400 ชิ้น โดยมีสมมติฐานการทดลองดังนี้

H_0 : Redesign Guide และการปรับระยะห่าง 30 mm. ไม่มีผลต่อการเกิดปัญหาฐานแก้วเป็นคลื่น

H_1 : Redesign Guide และการปรับระยะห่าง 30 mm. มีผลต่อการเกิดปัญหาฐานแก้วเป็นคลื่น

หลังจากทำการทดลองดังแสดงผลในตารางที่ 15 ทำการทดสอบสมมติฐานโดยใช้ 2 Proportions test และ ประมวลผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab17 (trial version) ดังแสดงในรูปที่ 10 จากรูปพบว่าค่า P-Value มีค่าเป็น 0.001 ซึ่งน้อยกว่าระดับความมีนัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธการยอมรับ H_0 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการปรับระยะห่าง 30 mm มีผลต่อการเกิดปัญหาฐานเป็นคลื่น กล่าวคือ หลังการปรับปรุงทำให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดลักษณะฐานเป็นคลื่นลดลง

ตารางที่ 15 ผลการทดลองออกแบบ Guide ใหม่ และปรับระยะห่าง 30 mm.

	จำนวน ผลิตภัณฑ์ (ชิ้น)	จำนวนชิ้นงานที่ไม่ตรง ตามข้อกำหนด (ชิ้น)
ก่อนการปรับปรุง	400	10
หลังการปรับปรุง	400	0

Test and CI for Two Proportions

Sample X N Sample p
1 10 400 0.025000
2 0 400 0.000000

Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: 0.025
95% CI for difference: (0.00970004, 0.0403000)
Test for difference = 0 (vs $\neq$ 0): Z = 3.20 P-Value = 0.001

* NOTE * The normal approximation may be inaccurate for small samples.

Fisher's exact test: P-Value = 0.002

รูปที่ 10: การวิเคราะห์ผลหลังปรับปรุงผ่านโปรแกรม Minitab17 (trial version)

3.4.2) การปรับปรุงแก้ไขปัจจัยขั้นตอนปริมขึ้นรูป

1. การออกแบบการทดลอง

จากการวิเคราะห์ P-M Analysis มี 3 สาเหตุ คือ ความหนาฐานแก้วที่ใช้ในการออกแบบการผลิต ท่อลมระบายความร้อนของชิ้นงาน และปริมาณลมระบายความร้อนแม่พิมพ์ นำปัจจัยเหล่านี้มาออกแบบการทดลองแบบ 2^k เพื่อศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่สนใจดังกล่าว ทั้งนี้ทำการทดลองที่ระดับต่ำ (-1) และระดับสูง (1) โดยเงื่อนไขในการทดลองเป็นผลมาจากการทำ P-M Analysis ภายใต้การทำงานของโรงงานกรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

สัญลักษณ์	ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		หน่วย
		ระดับต่ำ (-1)	ระดับสูง (1)	
A	ความหนาฐานแก้ว	8	10	มิลลิเมตร
B	ท่อลมระบายความร้อนฐานแก้ว	1	2	ท่อ
C	ปริมาณลมระบายความร้อนแม่พิมพ์	5	7	บาร์

ตัวแปรตอบสนองของการทดลอง คือ จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดลักษณะฐานโค้งที่เจอในสิ่งตัวอย่างจำนวน 400 ใบ

2. การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการวิเคราะห์ผลการทดลองและกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมนั้น ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค Binary Logistic Regression เนื่องจากตัวแปรตอบสนอง คือ จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนด ซึ่งมีลักษณะการแจกแจงแบบ Binomial พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดลักษณะฐานโค้ง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่ ผลหลักของทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ความหนาฐานแก้ว (A) ท่อลมระบายความร้อนฐานแก้ว (B) ปริมาณลมระบายความร้อน

ร้อนแม่พิมพ์(C) และส่วนที่มีอันตรกิริยา(A*C Interaction) และพบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2 adj) เท่ากับ 87.01 เปอร์เซนต์ ซึ่งอยู่ในค่าที่ยอมรับได้จึงสรุปได้ว่า สมการถดถอยนี้มีความน่าเชื่อถือเพียงพอที่จะนำมาพยากรณ์เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดประเภทฐานแก้วไวน์ไม้ได้ระนาบได้ ดังรูปที่ 11

Binary Logistic Regression: Rock Glass versus C (Wind), A (Thickness), B (Tube)

```

Method:
Link function: Logit
Categorical predictor coding: (1, 0)
Rows used: 8

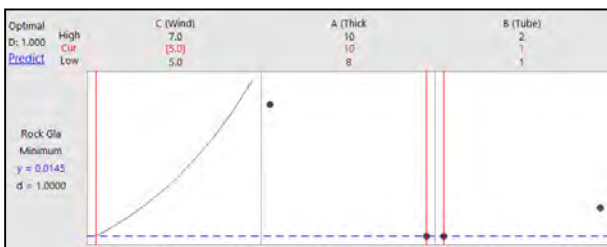
Response Information:
Variable: Value: Count: Event: Mass:
Rock Glass: Event: 163: Rock Glass:
Non-event: 3037:
Sample Size: Total: 3200:

Deviance Table:
Source: DF: Adj Dev: Adj Mean: Chi-Square: P-Value:
Regression: 4: 40.123: 10.0308: 40.12: 0.000:
C (Wind): 1: 4.615: 4.6149: 4.61: 0.032:
A (Thickness): 1: 7.025: 7.0250: 7.04: 0.008:
B (Tube): 1: 4.779: 4.7791: 4.78: 0.029:
C (Wind)*A (Thickness): 1: 4.712: 4.7118: 4.71: 0.030:
Error: 3: 1.392: 0.4641:
Total: 7: 46.515:

Model Summary:
Deviance: Deviance:
R-Sq: R-Sq (adj): AIC:
96.65% 87.01% 1257.98
    
```

รูปที่ 11: ผลการวิเคราะห์โดยประยุกต์ใช้เทคนิค Binary Logistic Regression

เมื่อได้ปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญแล้ว จึงทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมให้กับแต่ละปัจจัยโดยใช้หลักการ Optimization โดยใช้โปรแกรม Minitab17 ได้ผลการหาค่าที่เหมาะสมดังรูปที่ 12



รูปที่ 12: ผลการทำ Response optimizer เพื่อหาค่าปรับตั้งที่เหมาะสมที่ทำให้จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดลักษณะฐานโค้งน้อยสุด

จากการทำ Response optimizer ได้ค่าปรับตั้งที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัยดังแสดงในตารางที่ 17 ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าปรับตั้งที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดประเภทฐานแก้วไวน์ไม้ได้ระนาบ จากการประมาณผ่าน Response optimizer ที่ 1.45%

ตารางที่ 17 ปัจจัยการปรับตั้งที่เหมาะสม

ปัจจัย	ระดับ
C (ปริมาณลมระบายความร้อนแม่พิมพ์ "บาร์")	5
A (ความหนาฐานแก้ว "มิลลิเมตร")	10
B (ท่อลมระบายความร้อนฐานแก้ว "ท่อ")	1

3. การทดลองเพื่อยืนยันผล

ทำการทดลองเพื่อยืนยันผล ได้ทำการปรับเปลี่ยนระดับปัจจัยที่มีผลต่อปัญหาผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดลักษณะฐานโค้ง กำหนดปัจจัยด้านความหนาฐานแก้ว 10 มิลลิเมตร ด้านจำนวนท่อลมระบาย

ความหนาฐานแก้ว 1 ท่อ และปริมาณลมที่ใช้ในการระบายความร้อนแม่พิมพ์ 5 บาร์ ซึ่งได้ผลการปรับปรุงก่อนและหลังดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ผลการปรับปรุง

	จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมด (ชิ้น)	จำนวนชิ้นงานที่ไม่ตรงตามข้อกำหนด (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนด
ก่อนปรับปรุง	711,500	22,786	3.20
หลังปรับปรุง	170,750	2,954	1.73

สรุปผลการทดลองเพื่อยืนยันผลแก้ไขฐานเป็นโค้ง โดยกำหนดระดับปัจจัยที่ศึกษาตั้งที่ระบุไว้ข้างต้น กับการผลิตผลิตภัณฑ์รุ่น A ฐานแก้วไวน์ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร จำนวน 170,750 ชิ้น โดยมีสมมติฐานการทดลองดังนี้

H_0 : ปัจจัยความหนาฐานแก้ว จำนวนท่อลมระบายความร้อนฐานแก้ว และปริมาณลมที่ใช้ในการระบายความร้อนแม่พิมพ์ ไม่มีผลต่อการปรับปรุงปัญหาฐานแก้วโค้ง

H_1 : ปัจจัยความหนาฐานแก้ว จำนวนท่อลมระบายความร้อนฐานแก้ว และปริมาณลมที่ใช้ในการระบายความร้อนแม่พิมพ์ มีผลต่อการปรับปรุงปัญหาฐานแก้วโค้ง

จากนั้นทำการทดสอบสมมติฐานโดยใช้ 2 Proportions test และประมวลผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab17 (trial version) ดังรูปที่ 13 ซึ่งพบว่าค่า P-Value มีค่าเป็น 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับความมีนัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธการยอมรับ H_0 จึงสามารถสรุปได้ว่าความหนาฐานแก้ว จำนวนท่อลมระบายความร้อนฐานแก้ว และปริมาณลมที่ใช้ในการระบายความร้อนแม่พิมพ์ มีผลต่อการเกิดปัญหาฐานแก้วโค้ง กล่าวคือ หลังการปรับปรุงทำให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดลักษณะฐานโค้งลดลง

Test and CI for Two Proportions

Sample	X	N	Sample p
1	22786	711500	0.032025
2	2954	170750	0.017300

Difference = p (1) - p (2)
 Estimate for difference: 0.0147252
 95% CI for difference: (0.0139836, 0.0154667)
 Test for difference = 0 (vs ≠ 0): Z = 38.92 P-Value = 0.000
 Fisher's exact test: P-Value = 0.000

รูปที่ 13: การวิเคราะห์ผลหลังปรับปรุงผ่านโปรแกรม Minitab17 (trial version)

3.5) การควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

การควบคุมกระบวนการลดความคลาดเคลื่อน กำหนดมาตรการตอบโต้ฐานแก้วเป็นคลัสการตอบโต้สาเหตุรากเหง้าโดย

1. ออกแบบ Guide ใหม่ โดยให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องรับผิดชอบ เป็นผู้สั่งเข้ามาติดตั้งแทนแบบเก่าที่มีอยู่

2. ระบุขั้นตอนการเช็คระยะห่างระหว่างหัวเบิร์นเนอร์กับฐานแก้ว เพิ่มลงในเอกสารคู่มือการปฏิบัติงาน Work Instruction ระยะที่เหมาะสมในการปรับตั้งคือ 30 มิลลิเมตร และต้องปรับตั้งใหม่ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรุ่นการผลิต

การควบคุมปัจจัยที่กระบวนการบ่มขึ้นรูปขาและฐานแก้วที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร ดังนี้

1. กำหนดค่าความหนา 10 มิลลิเมตร เหมาะสมในการออกแบบฐาน แก้วไว้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 85 มิลลิเมตร ให้ระบุลงในคู่มือการออกแบบ เพื่อเป็นมาตรฐานในการออกแบบครั้งต่อไป

2. ปรับปรุงแก้ไขทอลมให้เหลือเพียง 1 ท่อ

3. กำหนดค่าปริมาณลมระบายความร้อนแม่พิมพ์อยู่ที่ 5 บาร์ โดยระบุลงในเอกสาร Work Instruction ของทางแผนกการขึ้นรูป

4) สรุปผลการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยโดยใช้แนวทางสีน ซิกซ์ ซิกมาในโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์แก้วไว้นกรณีศึกษา ได้ดำเนินงาน 5 ขั้นตอนได้แก่ ในขั้นตอนแรกการนิยามปัญหา โดยกำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อลดเปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดประเภทฐานแก้วไว้นไม่ได้ระนาบ ขั้นตอนที่สองคือการวัดผล ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ความแม่นยำและความเที่ยงตรงของระบบการวัด จากนั้นในขั้นตอนที่สามเป็นการวิเคราะห์ปัญหา งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค P-M Analysis เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาฐานแก้วไว้นไม่ได้ระนาบ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดประเภทฐานแก้วไม่ได้ระนาบ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้ คือ 1.ฐานแก้วเป็นคลื่น โดยปัจจัยที่ทำให้เกิดคือ Guide ประคองชิ้นงานไม่เหมาะสม และ 2.ฐานแก้วโค้ง ซึ่งปัจจัยที่มีผลคือ ความหนาฐานแก้ว ท่อลมระบายความร้อนฐานแก้วและปริมาณลมระบายความร้อนแม่พิมพ์ ถัดไปเป็นขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไข ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สี่ กรณีที่ฐานแก้วเป็นคลื่นแก้ไขโดยการออกแบบ Guide ใหม่ และการปรับตั้งระยะห่างระหว่างฐานแก้วกับเบิร์นเนอร์ ที่ค่า 30 มิลลิเมตร ส่วนกรณีฐานแก้วโค้ง ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคทางสถิติเพื่อกำหนดระดับปัจจัยการผลิตที่เหมาะสมที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดประเภทฐานแก้วไว้นไม่ได้ระนาบน้อยสุด จากการดำเนินการพบว่า ระดับปัจจัยที่เหมาะสมของขั้นตอนการบ่มขึ้นรูปขาและฐาน คือ ความหนาฐานแก้ว 10 มิลลิเมตร ท่อลมระบายความร้อนฐานแก้ว 1 ท่อ และปริมาณลมระบายความร้อนแม่พิมพ์ 5 บาร์ ขั้นตอนสุดท้ายคือขั้นตอนการควบคุมและกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งผลที่ได้จากการดำเนินการทั้ง 5 ขั้นตอน ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ผลิตภัณฑ์ที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดประเภทฐานแก้วไว้นไม่ได้ระนาบหลังการปรับปรุงลดลง จากเดิมอยู่ที่ 3.20% ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด สามารถลดลงเหลือเพียง 1.73 % ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ซึ่งลดลงมากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ คือ 1.97% ของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ทำให้ต้นทุนในการผลิตรุ่น A (85) ลดลงถึง 87,850 บาทต่อครั้ง

ดังนั้น สีน ซิกซ์ ซิกมา จึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมการขึ้นรูปแก้วได้เป็นอย่างดี ด้วยการดำเนินงานตาม 5 ขั้นตอน DMAIC และสามารถชี้วัดผลสำเร็จของงานวิจัยออกมาเป็นตัวเลขได้ชัดเจน

REFERENCES

- [1] W. Suharitdamrong and P. Leesupsuk, *Tool Lean Six Sigma*. (In Thai). Bangkok: E.I.Square, 2011.
- [2] K. Shirose, *PM Analysis*. (In Thai). Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan), 2003.
- [3] W. Boonpre, "Reducing defect in the manufacturing process of plastics factory by applying Six Sigma Methodology," *RESEARCH AND DEVELOPMENT JOURNAL*, VOL. 22, NO. 1, 2011.
- [4] K. Kowit and A. Raknoi, "Defect Reduction in Spring Assembly Process by Applying Lean Six Sigma Solution : A Case Study of a Electronic Factory," (In Thai). presented at the 34th National Graduate Research Conference, Khon Kaen University, 2015, pp. 255–267.
- [5] V. R. Morais, S. D. T. de Sousa, and I. da Silva Lopes, "Lean Six Sigma Project for Productivity Enhancement," in *Transactions on Engineering Technologies*, 2016, pp. 207–221.
- [6] L. Steere, M. Rousseau, and L. Durland, "Lean Six Sigma for Intravenous Therapy Optimization: A Hospital Use of Lean Thinking to Improve Occlusion Management," *Journal of the Association for Vascular Access*, vol. 23, no. 1, pp. 42–50, Mar. 2018.
- [7] S. Indrawati and M. Ridwansyah, "Manufacturing Continuous Improvement Using Lean Six Sigma: An Iron Ores Industry Case Application," *Procedia Manufacturing*, vol. 4, pp. 528–534, Jan. 2015.
- [8] C. Surachet and P. Ussanee, "Application of P-M Analysis for increasing the availability rate of CNC Laser Cutting Machine in a Sheet Metal Process," presented at the 7th National Conference of Industrial Operations Development, Nonthaburi, 2016.
- [9] K. Teerapat "Expenses Reduction of Claim from Scratch Defects on Work Pieces in Sheet Metal Fabrication Industry," (In Thai). Master's thesis (Production Engineering), King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok, Thailand, 2011.
- [10] N. Laorodphan, *Glass Production Industry*. (In Thai). Chiang Mai: Maejo University, 2015.
- [11] K. Ploypanicharoen, *Principle of Quality Control*. (In Thai). Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan), 2007.