

การลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นตามข้อกำหนดในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยใช้
การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 2^k
REDUCTION OF NONCONFORMING PRODUCTS IN PLASTIC-PACKAGING INDUSTRY
USING 2^k FACTORIAL EXPERIMENT DESIGN

พิทักษ์ อนุรักษ์¹ และ นิติเดช คูหาทองสัมฤทธิ์^{2*}

¹สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

²ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพมหานคร 10240

Pitak Anurak¹ and Nitidetch Koohathongsumrit^{2*}

¹ Engineering Management and Technology, Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University, Bangkok 10240

² Department of Statistics, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University, Bangkok 10240

*E-mail: nitidetch.k@ru.ac.th

Received: 02-03-2006

Revised: 16-06-2026

Accepted: 16-06-2026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณถุงสูญญากาศที่มีจำนวนรอยตำหนิบนผิวเกินกว่าข้อกำหนดโดยใช้การออกแบบการทดลอง โดยปัญหาดังกล่าวเกิดจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเป่าฟิล์มที่ไม่เหมาะสม เมื่อเครื่องเป่าฟิล์มมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์ม และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกของสกรูจำนวนสามตัว การวิจัยได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 2^k เพื่อกำหนดสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องเป่าฟิล์ม ผลการศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมีอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมต่อรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ โดยควรกำหนดค่าพารามิเตอร์เครื่องเป่าฟิล์มที่เหมาะสมดังนี้ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติกเท่ากับ 485 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มเท่ากับ 205 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในการหลอมของสกรูจำนวนสามตัวเท่ากับ 185, 200 และ 195 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปทดลองใช้จริง พบว่าสามารถลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิเกินกว่าข้อกำหนดได้ร้อยละ 11.04 เมื่อเทียบกับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิเกินกว่าข้อกำหนดก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต ผลการวิจัยนี้ช่วยยกระดับคุณภาพและเพิ่มความสม่ำเสมอของกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบถุงสูญญากาศได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล รอยตำหนิ การปรับปรุงกระบวนการผลิต ถุงสูญญากาศ

ABSTRACT

The purpose of this study is to reduce the total number of vacuum bags with surface defects exceeding specification limits by applying the design of experiment. The problem arose from inappropriate parameter settings of the film-blowing machine used in the production of vacuum plastic bags. The relevant parameters include the feed rate, the melt temperature at the film-forming die, and the melt temperatures of three extrusion screws. The study used 2^k factorial experiment design to identify the optimal parameters of the film-blowing machine. The results revealed that all the parameters exhibited main and interaction effects on surface defects of the product. The optimal parameter settings were determined as follows: a feed rate of 485 kg/h, melt temperature at the film-forming die of 205°C, and screw melt temperatures of 185°C, 200°C, and 195°C, respectively. When these optimal conditions were implemented in the actual production, the nonconforming products with surface defects exceeding specification limits decreased by 11.04% compared with the pre-improvement process. The findings confirm that the systematic application of factorial experimental design can effectively enhance product quality and improve process consistency in the vacuum plastic packaging industry, thereby supporting sustainable quality improvement in manufacturing operations.

Keywords: Factorial experimental design, Defect, Process improvement, Vacuum bag

บทนำ

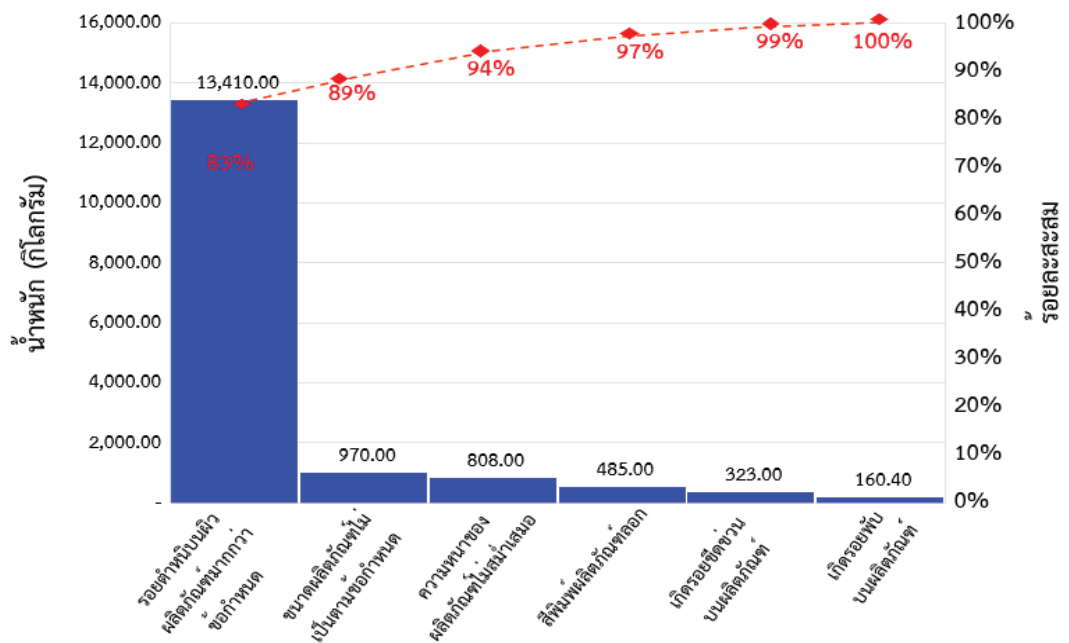
จากข้อมูลการส่งออกปี พ.ศ. 2563-2567 มูลค่าการส่งออกเม็ดพลาสติกและผลิตภัณฑ์พลาสติกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 339,391.09 ล้านบาทต่อปี (Thailand's Trade Statistic Report System of Ministry of Commerce, 2024) ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงปัญหาเศรษฐกิจทำให้ต้นทุนเม็ดพลาสติกมีค่าสูงขึ้น อีกทั้งค่าแรงงานยังปรับตัวสูงขึ้นด้วย ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้นตาม นอกจากนี้ยังประสบปัญหาสภาวะการแข่งขันอย่างรุนแรงเนื่องจากในประเทศไทยมีผู้ประกอบการอุตสาหกรรมพลาสติกจำนวนมาก จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ประกอบการในอุตสาหกรรมพลาสติกต้องมีการปรับตัวเพื่อให้ธุรกิจสามารถอยู่รอดได้ในสภาวะปัจจุบัน โดยการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นตามข้อกำหนดลงนั้นก็นับว่าเป็นวิธีหนึ่งที่สำคัญที่สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตได้

บริษัท รมศึกษาเป็นผู้ผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์พลาสติกสำเร็จรูป ดำเนินธุรกิจในรูปแบบการผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ผลิตภัณฑ์หลักของบริษัท ได้แก่ ถุงสุญญากาศ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ ถุงสุญญากาศขนาด 24×27.5 มิลลิเมตร ถุงสุญญากาศขนาด 18.5×20 มิลลิเมตร และถุงสุญญากาศขนาด 15×21.5 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ถุงสุญญากาศแต่ละขนาด

จากข้อมูลรายงานการผลิตพบว่าในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2568 ถุงสุญญากาศขนาด 24×27.5 มิลลิเมตร มีปริมาณการผลิตสูงสุดเท่ากับ 650,740.10 กิโลกรัม เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นตามข้อกำหนดจำนวน 16,156.40 กิโลกรัม คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4,039.10 กิโลกรัมต่อเดือน แบ่งออกเป็น 6 ลักษณะสำคัญแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นตามข้อกำหนด

การเกิดรอยตำหนิบนผลิตภัณฑ์เป็นหนึ่งในลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นตามข้อกำหนดมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 83 ของปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นตามข้อกำหนดทั้งหมด โดยการเกิดรอยตำหนิบนผลิตภัณฑ์มีลักษณะเป็น จุดนูนใสส่งผลให้ผิวผลิตภัณฑ์ไม่เรียบ ทั้งนี้ตามมาตรฐานกำหนดไว้ว่าจำนวนรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ต้องไม่เกิน 4 จุด ต่อตารางเมตร เมื่อศึกษาเบื้องต้นพบว่าปัญหาดังกล่าวเกิดจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องเป่าฟิล์มไม่เหมาะสม ได้แก่ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์ม อุณหภูมิในกระบอกหลอมพลาสติกจำนวน 3 กระบอก โดยใช้การตั้งค่าตามประสบการณ์การทำงานของผู้ควบคุมเครื่องจักร ส่งผลให้เกิดปัญหาต่าง ๆ เช่น หากตั้งอุณหภูมิสูงเกินไป อาจทำให้เกิดรอยตำหนิเพิ่มขึ้น แต่หากตั้งอุณหภูมิที่ต่ำเกินไปจะทำให้เครื่องจักรหยุดการทำงานมากขึ้น ในทำนองเดียวกันหากกำหนดอัตราป้อนเม็ดพลาสติกสูงเกินไป อาจทำให้ฟิล์มพลาสติกมีรอยตำหนิมากขึ้น ทั้งนี้เครื่องเป่าฟิล์มยังมีพารามิเตอร์ที่ควบคุมไม่ได้ ได้แก่ ชนิดเม็ดพลาสติกเนื่องจากเป็นข้อกำหนดของทางลูกค้า เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงต้องการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตั้งค่าเครื่องเป่าฟิล์มเพื่อแก้ปัญหาการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิบนผิวมากกว่าข้อกำหนด

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักรเพื่อลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนด พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^k (2^k Factorial Experiment Design) ซึ่งเป็นวิธีการออกแบบการทดลองที่ประกอบด้วยปัจจัยจำนวน k ปัจจัย แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ (ต่ำและสูง) (Montgomery, 2017) เพื่อศึกษาทั้งอิทธิพลหลัก (main effects) และอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัย (interaction effects) ได้แก่ งานวิจัยของ Chayarithi et al. (2021) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^5 ในการกำหนดสภาวะที่เหมาะสมกระบวนการชุบโครเมียมเพื่อลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด งานวิจัยของ Sonthipermphoon et al. (2023) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเชื่อมแบบจุดเพื่อให้ได้ค่าความต้านทานแรงดึงเฉือนที่เป็นไปตามมาตรฐาน งานวิจัยของ Meenu & Peopayom (2026) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 เพื่อการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดเคลือบ TiAlN ในการกัดเหล็กกล้า SKD61 งานวิจัยของ Tinsok & Koohathongsumrit (2025) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเกี่ยวกับการลดปริมาณเครื่องประดับไทเทเนียมที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอีกกลุ่มหนึ่งที่นำวิธีการออกแบบการทดลองวิธีอื่นมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักร ได้แก่ การออกแบบการทดลองด้วยวิธีทากูชิ การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design และการทดลองแบบส่วนผสมกลาง ตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Kanjanakarn et al. (2023) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบวิธีทากูชิ ในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมการฉีดขึ้นรูปพลาสติกพอลิโพรพิลีนในแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก 2 คาวิตี งานวิจัยของ Na Nakorn et al. (2026) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบส่วนผสมกลาง ผลกระทบของปัจจัยการอัดรีดต่อคุณสมบัติเชิงกลของเส้นใยพลาสติก ABS รีไซเคิล งานวิจัยของ Taptimdee et al. (2026) ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken Design กระบวนการพารามิเตอร์การตัดด้วยเลเซอร์ CO_2 ต่อความกว้างรอยตัดบนวัสดุ PMMA อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ได้เลือกใช้ 2^k เนื่องจากมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์แต่ละพารามิเตอร์เป็น 2 ระดับ และสอดคล้องกับกระบวนการผลิตของบริษัทกรณีศึกษา

จากความสำคัญของปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น การศึกษาวิจัยนี้ต้องการประยุกต์การออกแบบการทดลอง 2^k ในการตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องเป่าฟิล์มเพื่อแก้ปัญหาลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิ พร้อมทั้งศึกษาอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของพารามิเตอร์ต่าง ๆ และสุดท้ายกำหนดระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าเครื่อง

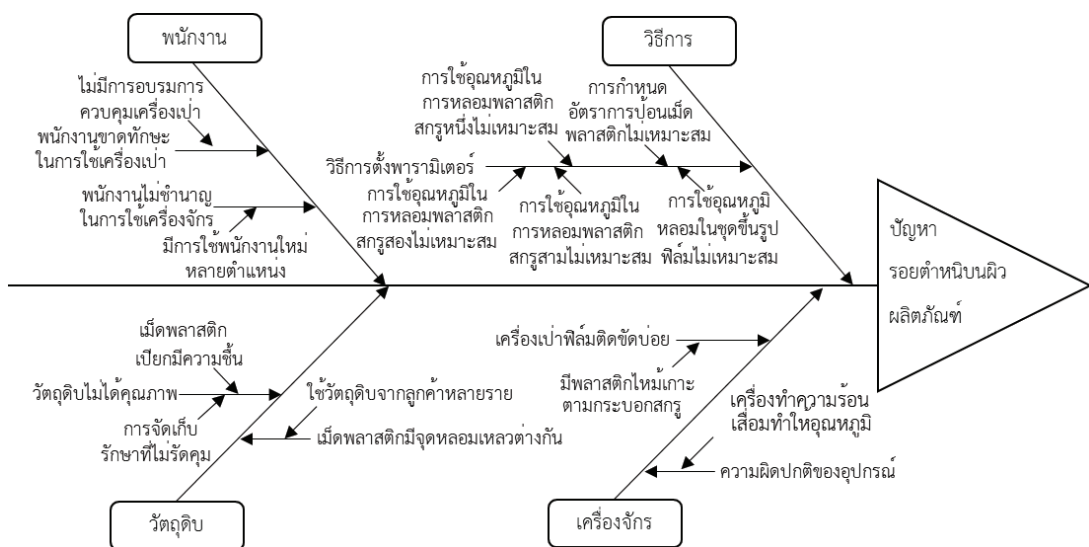
เป่าฟิล์ม ประโยชน์จากการวิจัยนี้จะช่วยลดต้นทุนการผลิตและเพิ่มคุณภาพของฟิล์มพลาสติก ตลอดจนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและเสถียรภาพของกระบวนการผลิตให้สามารถดำเนินงานได้อย่างเหมาะสมและมีมาตรฐานมากยิ่งขึ้น

วิธีการ

งานวิจัยนี้ประยุกต์วิธีการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 2^k เพื่อลดปริมาณรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าข้อกำหนด โดยมีวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. การผลิตฟิล์มแบบเป่าเริ่มจากการเตรียมเม็ดพลาสติกและลำเลียงเข้าสู่ถังพักก่อนส่งเข้าสู่เครื่องอัดรีดแบบสกรูเพื่อหลอมด้วยความร้อนและแรงเฉือน พลาสติกหลอมเหลวถูกส่งผ่านชุดขึ้นรูปฟิล์มเป็นท่อและทำให้เย็นตัวด้วยลมเป่าพร้อมทั้งอัดอากาศให้เกิดการพองตัวเพื่อกำหนดความกว้างและความหนา ฟิล์มที่ได้จะผ่านระบบตรวจวัดความหนาอัตโนมัติ ก่อนถูกพับฟิล์มและดึงให้เป็นแผ่นเรียบสม่ำเสมอ ปรับสภาพผิวฟิล์มเพื่อเพิ่มการยึดเกาะของหมึกพิมพ์แล้วจึงม้วนเก็บเป็นม้วนฟิล์ม ภายหลังดำเนินการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานและติดป้ายชี้บ่งก่อนนำเข้าสู่คลังสินค้าเพื่อรอการส่งมอบต่อไป

2. วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา แผนภาพแสดงเหตุและผลถูกนำมาใช้เพื่อสำรวจความคิดเห็นจากผู้ที่เกี่ยวข้องร่วมกันระดมสมองเพื่อวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหารอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ (Srinivasan et al., 2024) ได้แก่ ผู้ช่วยผู้จัดการควบคุมคุณภาพ หัวหน้าฝ่ายวิจัยและพัฒนา วิศวกรผลิต และผู้ช่วยผู้จัดการผลิต ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผล แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพแสดงเหตุและผล

การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหารอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ พบว่ามีสาเหตุมาจาก 1) พนักงาน (man) เนื่องจากพนักงานใหม่ พนักงานไม่ชำนาญในการใช้เครื่องเป่าฟิล์ม ไม่มีการอบรมควบคุมเครื่องเป่าฟิล์มพนักงานขาดทักษะในการใช้เครื่องเป่าฟิล์ม 2) วิธีการ (method) การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องเป่าฟิล์มไม่เหมาะสม

เนื่องจากอัตราการป้อนเม็ดพลาสติกไม่เหมาะสม อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มไม่เหมาะสม อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งไม่เหมาะสม อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองไม่เหมาะสม และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามไม่เหมาะสม 3) วัสดุดิบ (material) ใช้วัสดุดิบต่างชนิดกันมีช่วงจุดหลอมเหลวต่างกัน เม็ดพลาสติกเปียกมีความชื้นจากการจัดเก็บไม่ดี ทำให้ไม่มีคุณภาพ และ 4) เครื่องเป่าฟิล์ม (Machine) ฮีตเตอร์เสื่อมทำให้อุณหภูมิไม่คงที่ที่เกิดจากความผิดปกติของอุปกรณ์ มีพลาสติกไหม้เกาะตามสกรูเกิดจากการบำรุงรักษาไม่ดี

จากนั้นทำการประเมินความสำคัญของสาเหตุ โดยใช้การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effects analysis: FMEA) โดยใช้ฉันทามติจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเป่าฟิล์ม ซึ่งเป็นผู้ประเมินกลุ่มเดียวกับที่ทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยประเมินสาเหตุของปัญหาทั้ง 3 องค์ประกอบ ได้แก่ ความรุนแรง (Severity: S) ความถี่โอกาสที่จะเกิด (Occurrence: O) และความสามารถในการตรวจสอบ (Detection: D) โดยใช้ผู้ประเมินชุดเดียวกันกับที่ทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาในขั้นตอนที่ผ่านมา ผู้ประเมินทั้งหมดได้ระดมสมองและประเมินระดับของสาเหตุต่าง ๆ ด้วยฉันทามติขององค์ประกอบต่าง ๆ ตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ แสดงดังตารางที่ 1 ต่อมาได้นำระดับขององค์ประกอบทั้งหมดมาคำนวณค่าดัชนีความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) ซึ่งสาเหตุที่มีค่า RPN มากกว่า 80 คะแนน ขึ้นไปจะถูกนำไปแก้ไข ผลการวิเคราะห์และการประเมินความเสี่ยงของสาเหตุแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินสำหรับการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ

ระดับ	(S) ความรุนแรง	(O) ความถี่โอกาสที่จะเกิด	(D) ความสามารถในการตรวจพบ
1	ส่งผลให้เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนดไม่เกินร้อยละ 10 จากปริมาณการผลิตทั้งหมด	มีโอกาสดังเกิดขึ้นไม่เกิน 1 ครั้งต่อสัปดาห์	สามารถตรวจพบรอยตำหนิได้ด้วยสายตาไม่ต้องใช้อุปกรณ์ช่วย
2	ส่งผลให้เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนดมากกว่าร้อยละ 10 แต่ไม่เกินร้อยละ 20 จากปริมาณการผลิตทั้งหมด	มีโอกาสดังเกิดขึ้นมากกว่า 1 ครั้ง แต่ไม่เกิน 2 ครั้งต่อสัปดาห์	สามารถตรวจพบรอยตำหนิด้วยกล้องความละเอียดต่ำ
3	ส่งผลให้เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนด มากกว่าร้อยละ 20 แต่ไม่เกินร้อยละ 30 จากปริมาณการผลิตทั้งหมด	มีโอกาสดังเกิดขึ้นมากกว่า 2 ครั้ง แต่ไม่เกิน 3 ครั้งต่อสัปดาห์	สามารถตรวจพบรอยตำหนิด้วยกล้องความละเอียดปานกลาง
4	ส่งผลให้เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนด มากกว่าร้อยละ 30 แต่ไม่เกินร้อยละ 40 จากปริมาณการผลิตทั้งหมด	แต่มีโอกาสดังเกิดขึ้นมากกว่า 3 ครั้ง แต่ไม่เกิน 4 ครั้งต่อสัปดาห์	สามารถตรวจพบรอยตำหนิด้วยกล้องความละเอียดสูง
5	ส่งผลให้เกิดปริมาณผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านข้อกำหนด มากกว่าร้อยละ 40 จากปริมาณการผลิตทั้งหมด	มีโอกาสดังเกิดขึ้นมากกว่า 4 ครั้งต่อสัปดาห์	สามารถตรวจพบรอยตำหนิด้วยผู้เชี่ยวชาญ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์และการประเมินความเสี่ยงของสาเหตุ

ปัจจัย	สาเหตุ	S	O	D	RPN
คน	พนักงานไม่มีการอบรมการควบคุมเครื่องเป่าฟิล์ม	3	2	3	$3 \times 2 \times 3 = 18$
คน	มีการใช้พนักงานงานใหม่หลายตำแหน่ง	3	2	3	$3 \times 2 \times 3 = 18$
วัตถุดิบ	เม็ดพลาสติกมีความชื้น เกิดจากการจัดเก็บไม่เหมาะสม	2	2	1	$2 \times 2 \times 1 = 4$
วัตถุดิบ	ใช้วัตถุดิบที่ต่างชนิดกันมีช่วงจุดหลอมเหลวที่ต่างกัน	2	2	1	$2 \times 2 \times 1 = 4$
เครื่องจักร	มีพลาสติกไหม้เกาะตามกระบอกรู จากการบำรุงรักษาไม่ดี	2	3	2	$2 \times 3 \times 2 = 12$
เครื่องจักร	ฮีตเตอร์เสื่อมทำให้อุณหภูมิไม่คงที่	2	3	2	$2 \times 3 \times 2 = 12$
วิธีการ	อัตราการป้อนเม็ดพลาสติกไม่เหมาะสม	5	5	4	$5 \times 5 \times 4 = 100$
วิธีการ	อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มไม่เหมาะสม	5	5	4	$5 \times 5 \times 4 = 100$
วิธีการ	อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งไม่เหมาะสม	5	5	4	$5 \times 5 \times 4 = 100$
วิธีการ	อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองไม่เหมาะสม	5	5	4	$5 \times 5 \times 4 = 100$
วิธีการ	อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามไม่เหมาะสม	5	5	4	$5 \times 5 \times 4 = 100$

จากการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของสาเหตุในข้างต้น พบว่ามี 5 สาเหตุที่ต้องเร่งดำเนินการแก้ไข ได้แก่ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติกไม่เหมาะสม อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มไม่เหมาะสม อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งไม่เหมาะสม อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองไม่เหมาะสม และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามไม่เหมาะสม ทั้ง 5 สาเหตุ มีค่า RPN เท่ากับ 100 ดังนั้นการแก้ไขปัญหาและหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าเครื่องเป่าฟิล์ม งานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียล 2^k เพื่อระบุค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องเป่าฟิล์ม

3. กำหนดพารามิเตอร์ของการทดลอง เครื่องเป่าฟิล์มมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง 5 พารามิเตอร์ ได้แก่ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์ม อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่ง อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสอง และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสาม แสดงดังภาพที่ 4 และตารางที่ 3 โดยพารามิเตอร์ทั้งหมด มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ระดับพารามิเตอร์	
		ต่ำ	สูง
อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก (กิโลกรัมต่อชั่วโมง)	A	485	500
อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์ม (องศาเซลเซียส)	B	195	205
อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่ง (องศาเซลเซียส)	C	185	195
อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสอง (องศาเซลเซียส)	D	190	200
อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสาม (องศาเซลเซียส)	E	185	195

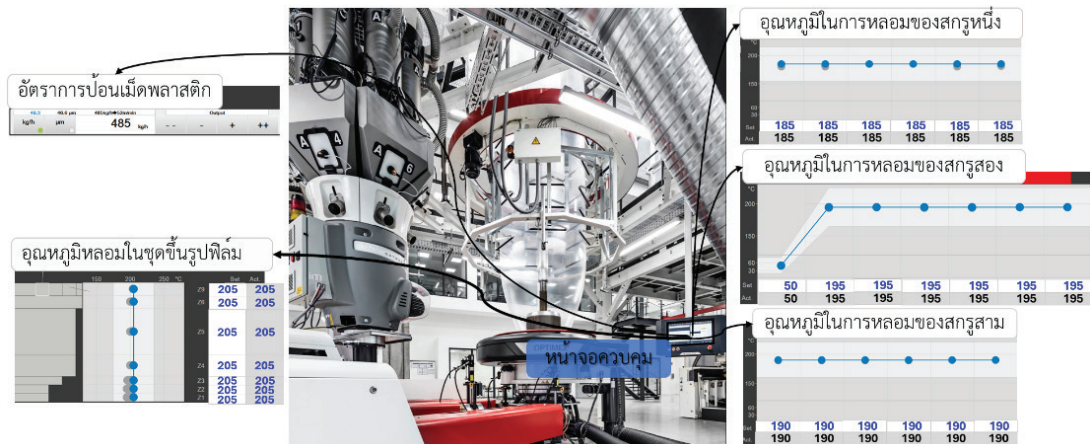
3.1 อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก หมายถึง อัตราการป้อนเม็ดพลาสติกเข้าเครื่องเป่าฟิล์ม โดยจากอดีตที่ผ่านมาอัตราการป้อนเม็ดพลาสติกที่ใช้สูงสุดเท่ากับ 500 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เป็นการแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิตเครื่องเป่าฟิล์ม อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก และอัตราการป้อนเม็ดพลาสติกต่ำสุดเท่ากับ 485 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

3.2 อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์ม หมายถึง อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มที่เครื่องเป่าฟิล์ม โดยจากอดีตที่ผ่านมาอุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มที่ใช้สูงสุดเท่ากับ 205 องศาเซลเซียส เป็นการแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิตเครื่องเป่าฟิล์ม และอุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มที่ใช้ต่ำสุดเท่ากับ 195 องศาเซลเซียส

3.3 อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่ง หมายถึง อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งที่เครื่องเป่าฟิล์ม โดยจากอดีตที่ผ่านมาอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งที่ใช้สูงสุดเท่ากับ 195 องศาเซลเซียส เป็นการแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิตเครื่องเป่าฟิล์ม และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งที่ใช้ต่ำสุดเท่ากับ 185 องศาเซลเซียส

3.4 อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสอง หมายถึง อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองที่เครื่องเป่าฟิล์ม โดยจากอดีตที่ผ่านมาอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองที่ใช้สูงสุดเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส เป็นการแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิตเครื่องเป่าฟิล์ม และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองที่ใช้ต่ำสุดเท่ากับ 190 องศาเซลเซียส

3.5 อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสาม หมายถึง อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามที่เครื่องเป่าฟิล์ม โดยจากอดีตที่ผ่านมาอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามที่ใช้สูงสุดเท่ากับ 195 องศาเซลเซียส เป็นการแนะนำตามคู่มือของผู้ผลิตเครื่องเป่าฟิล์ม และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามที่ใช้ต่ำสุดเท่ากับ 185 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4 เครื่องเป่าฟิล์มและตำแหน่งพารามิเตอร์ในการทดลอง

4. วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การทดลองแฟกทอเรียล 2^k การวิเคราะห์ข้อมูลและการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ กำหนดให้มี 5 พารามิเตอร์ แต่ละพารามิเตอร์มี 2 ระดับ ทำการทดลองจำนวน 5 ซ้ำ มีจำนวนการทดลองเท่ากับ 160 ครั้ง โดยประยุกต์โปรแกรม Minitab (Malkoc et al., 2023) มาช่วยในการวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ เพื่อพิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นที่จะยอมรับสมมติฐานหลัก (P-Value) ของอิทธิพลหลัก (main effects) และอิทธิพลร่วม (interaction effects) เมื่อกำหนดระดับนัยสำคัญ (Significant level: α) เท่ากับ 0.05 หากค่า P-Value ของอิทธิพลใด ๆ มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนดไว้ ถือว่าพารามิเตอร์นั้นมีนัยสำคัญทางสถิติและมีผลกระทบต่อจำนวนรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์อย่างแท้จริง หลังจากที่ทำทราบว่าอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองแล้ว (Chutima, 2002) ต่อมาจึงวิเคราะห์ระดับของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าเครื่องเป่าฟิล์มด้วยคำสั่ง Response optimizer ในโปรแกรม Minitab โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้จำนวนรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์น้อยที่สุด

5. วิเคราะห์และยืนยันผลการทดลอง ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของผลการวิเคราะห์โดยนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดมาตั้งค่าเครื่องเป่าฟิล์มซึ่งได้จากการทดลองก่อนหน้านี้ เพื่อทดลองใช้ในการผลิตฟิล์มพลาสติกจำนวน 30 ชุด จากนั้นนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทดสอบสมมติฐานทางสถิติเพื่อตรวจสอบว่าจำนวนรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีคุณภาพตามมาตรฐานหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ Z-test ทำการทดสอบเมื่อสมมติฐานของการทดสอบ ได้แก่ สมมติฐานหลัก $H_0 : \mu \leq 4$ และสมมติฐานรอง $H_1 : \mu > 4$ หากค่า P-Value ของสถิติทดสอบมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับระดับนัยสำคัญ 0.05 จะยอมรับสมมติฐานหลัก แต่หากค่า P-Value ของสถิติทดสอบมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก

ผลการทดลองและวิจารณ์

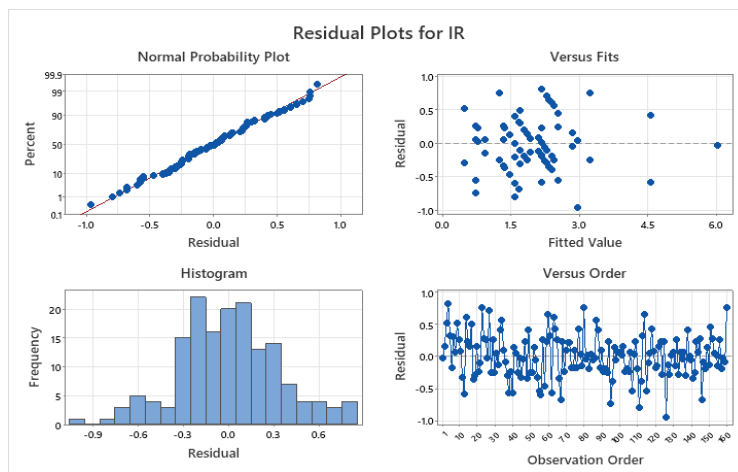
เมื่อทำการทดลองและเก็บข้อมูลจำนวนรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ตามแผนการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ ข้อมูลจำนวนรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ถูกนำมาวิเคราะห์อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบว่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมีอิทธิพลต่อรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์หรือไม่ ในการวิเคราะห์พบว่าค่าพารามิเตอร์

ทั้งหมดมีอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมต่อรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ ยกเว้นอิทธิพลร่วมระหว่างพารามิเตอร์ $A \times B$, $B \times D$, $C \times D$ และ $B \times E$ จึงทำการตัดเทอมดังกล่าวและทำการวิเคราะห์อีกครั้งหนึ่ง พบว่าค่าพารามิเตอร์หลักและพารามิเตอร์ร่วมที่เหลือทั้งหมดมีอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมต่อรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่นำองค์ความเป็นอิสระมาพิจารณา $R\text{-sq (adj)}$ มีค่าเท่ากับร้อยละ 89.95 และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R\text{-sq}$ มีค่าเท่ากับร้อยละ 88.28 แสดงว่าแบบจำลองสามารถนำไปใช้เพื่อหารอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม (Montgomery, 2017) ผลการวิเคราะห์อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วม แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วม

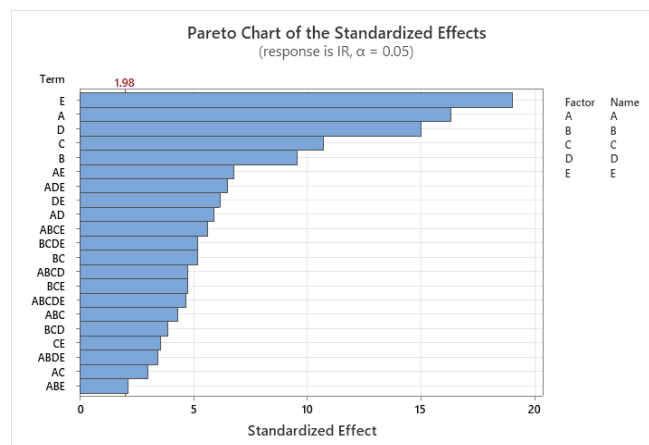
แหล่งความผันแปร	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
อิทธิพลหลักพารามิเตอร์ A	1	34.78	34.78	265.71	0.00
อิทธิพลหลักพารามิเตอร์ B	1	11.99	11.99	91.60	0.00
อิทธิพลหลักพารามิเตอร์ C	1	15.01	15.01	114.64	0.00
อิทธิพลหลักพารามิเตอร์ D	1	29.41	29.41	224.69	0.00
อิทธิพลหลักพารามิเตอร์ E	1	47.31	47.31	361.39	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ $A \times C$	1	1.19	1.19	9.09	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ $A \times D$	1	4.56	4.56	34.81	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ $A \times E$	1	6.01	6.01	45.88	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ $B \times C$	1	3.54	3.54	27.05	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ $C \times E$	1	1.64	1.64	12.53	0.00
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ $D \times E$	1	4.97	4.97	37.97	0.00
อิทธิพลร่วม 3 พารามิเตอร์ $A \times B \times C$	1	2.45	2.45	18.72	0.00
อิทธิพลร่วม 3 พารามิเตอร์ $A \times B \times E$	1	0.60	0.60	4.59	0.03
อิทธิพลร่วม 3 พารามิเตอร์ $A \times D \times E$	1	5.55	5.55	42.40	0.00
อิทธิพลร่วม 3 พารามิเตอร์ $A \times C \times D$	1	1.98	1.98	15.13	0.00
อิทธิพลร่วม 3 พารามิเตอร์ $A \times C \times E$	1	2.97	2.97	22.69	0.00
อิทธิพลร่วม 4 พารามิเตอร์ $A \times B \times C \times D$	1	2.97	2.97	22.69	0.00
อิทธิพลร่วม 4 พารามิเตอร์ $A \times B \times C \times E$	1	4.16	4.16	31.78	0.00
อิทธิพลร่วม 4 พารามิเตอร์ $A \times B \times D \times E$	1	1.56	1.56	11.92	0.00
อิทธิพลร่วม 4 พารามิเตอร์ $A \times C \times D \times E$	1	3.54	3.54	27.05	0.00
อิทธิพลร่วม 5 พารามิเตอร์ $A \times B \times C \times D \times E$	1	2.86	2.86	21.87	0.00
ความคลาดเคลื่อน (Error)	128.00	17.30	0.14		
ผลรวม (Total)	159.00	207.11			

เมื่อนำส่วนตกค้างไปตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ (Grozđanić et al., 2025) พบว่าข้อมูลในผังการกระจายตัวแบบปกติ (normal probability plot) มีการกระจายตามแนวเส้นตรง แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างมีการกระจายตัวแบบปกติ การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (versus fits) พบว่ามีการกระจายตัวของส่วนตกค้างเป็นรูปแบบการกระจายตัวอิสระ ไม่สามารถทำนายรูปแบบได้แน่นอน แสดงให้เห็นว่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของค่าความผิดพลาดโดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายตัวของส่วนตกค้าง (versus order) พบว่าส่วนตกค้างในแต่ละระดับมีการกระจายตัวในด้านบวกและลบมีความสมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของส่วนตกค้างมีค่าใกล้เคียงศูนย์ จึงสรุปว่าข้อมูลการทดลองนี้มีความเหมาะสม สามารถนำผลการวิจัยไปวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไปได้ ผลการตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ แสดงดังภาพที่ 5



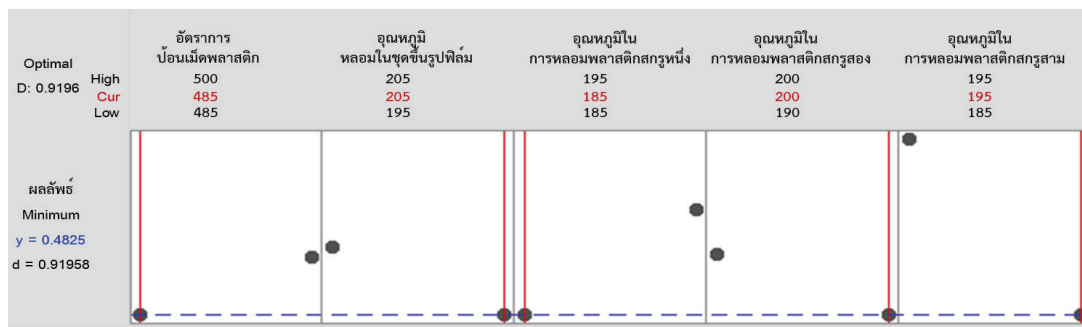
ภาพที่ 5 การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบ

จากการวิเคราะห์แผนภาพอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของพารามิเตอร์ทั้งหมด พบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อยอดจำหน่ายสินค้าสูงสุดคืออิทธิพลหลักจากอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสาม ในขณะที่อิทธิพลร่วมระหว่าง 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์ม และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสาม มีผลกระทบต่อยอดจำหน่ายสินค้าต่ำที่สุด แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมที่ส่งผลต่อค่ารายจำหน่ายสินค้า

เมื่อนำผลลัพธ์ในข้างต้นมาทำการวิเคราะห์ด้วยคำสั่ง Response Optimizer พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตั้งค่าเครื่องเป่าฟิล์ม ได้แก่ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติกเท่ากับ 485 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มเท่ากับ 205 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งเท่ากับ 185 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามเท่ากับ 195 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การวิเคราะห์ระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันผล เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปใช้ในการผลิตฟิล์มพลาสติกภายใต้สภาพแวดล้อมการทำงานจริงและทดสอบค่าร้อยละความผิดพลาดของฟิล์มต่อตารางเมตรไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ 30 ชิ้น ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าสถิติทดสอบ Z-Value เท่ากับ -14.42 และค่า P-Value เท่ากับ 1.00 จึงยอมรับสมมติฐานหลัก สรุปได้ว่าค่าร้อยละความผิดพลาดของฟิล์มต่อตารางเมตรไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลองสามารถควบคุมกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดได้อย่างเหมาะสม ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

ขนาดตัวอย่าง	ค่าสถิติทดสอบ	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	P-Value
30	-14.42	1.064	1.00

เมื่อนำผลการวิจัยไปปรับใช้กับกระบวนการผลิตจริงในช่วงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2568 ถึงมกราคม พ.ศ. 2569 พบว่าจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิบนผิวเกินกว่าข้อกำหนดเฉลี่ยเท่ากับ 446 กิโลกรัมต่อเดือน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 11.04 เมื่อเทียบกับจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต

สรุป

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ต้องการลดปริมาณรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าข้อกำหนด ซึ่งกำหนดไว้ต้องไม่เกิน 4 จุดต่อตารางเมตร โดยปัญหาในข้างต้นมีสาเหตุมาจากการตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องเป่าฟิล์ม ได้แก่ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติก อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์ม อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่ง อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสอง และอุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสาม การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลแบบ 2^5 ได้ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหารอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมีอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมต่อรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ โดยสภาวะเป่าฟิล์มที่เหมาะสมและควรกำหนดค่าทั้ง 5 พารามิเตอร์ดังนี้ อัตราการป้อนเม็ดพลาสติกเท่ากับ 485 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิหลอมในชุดขึ้นรูปฟิล์มเท่ากับ 205 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูหนึ่งเท่ากับ 185 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสองเท่ากับ 200 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการหลอมพลาสติกสกรูสามเท่ากับ 195 องศาเซลเซียส เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมไปทดลองเพื่อยืนยันผลการวิเคราะห์สภาพการผลิตและตรวจสอบความถูกต้องของระดับพารามิเตอร์ที่ได้พบว่ารอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์เฉลี่ยไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด ผลลัพธ์จากการวิจัยในครั้งนี้ส่งผลให้บริษัทกรณีศึกษาสามารถลดผลิตภัณฑ์ที่มีรอยตำหนิบนผิวไม่เกินไปตามข้อกำหนดเฉลี่ยเท่ากับ 446 กิโลกรัมต่อเดือนคิดเป็นร้อยละ 11.04 เมื่อเทียบกับจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านข้อกำหนดก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังสามารถลดมูลค่าความสูญเสียจากการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด รวมถึงเพิ่มเสถียรภาพของกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์พลาสติกแบบถุงสุญญากาศได้อย่างเป็นรูปธรรม

เนื่องจากยังมีจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านกำหนด ดังนั้นการศึกษานี้ในอนาคตสามารถนำสาเหตุอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อปัญหารอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์มาทำการศึกษา เช่น การตรวจรับวัตถุดิบให้เป็นไปตามข้อกำหนด การฝึกอบรมให้ความรู้แก่พนักงานที่เกี่ยวข้อง รวมถึงสามารถนำเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาช่วยในการตรวจสอบความผิดปกติของกระบวนการผลิต การนำเซนเซอร์เข้ามาช่วยในการตรวจสอบรอยตำหนิบนผิวผลิตภัณฑ์ หรือนำการเรียนรู้ของเครื่องเข้ามาช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิตอัตโนมัติได้อีกด้วย นอกจากนี้สามารถนำแนวทางการแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้ไปประยุกต์กับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ ที่มีลักษณะคล้ายกันได้

เอกสารอ้างอิง

- Chayarathi, C., Rakkran, S., & Plongmai, J. (2021). Design of experiment to reduce waste in plating process. *Journal of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University*, 1(1), 29-38. (In Thai)
- Chutima, P. (2002). *Engineering design of experiments*. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Press. (In Thai)
- Grozđanić, M., Mihaljević, M., Cajner, H., & Godec, D. (2025). Influence of layer thickness and disc orientation on additively manufactured disc-shaped reflectors for ultrasonic testing. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 44(2), Article Number 60.

- Malkoc, S., Yazici, B., Gürsel, C., & Dikmen, S. (2023). Optimization of the removal of chromium and lead by *Penicillium chrysogenum* using 2k factorial experiments. **Environmental Quality Management**, **32**(3), 209-222.
- Meenu, K., & Peopayom, S. (2026). A 2³ factorial design for studying parameters affecting the wear of TiAlN-Coated cutting tools in SKD61 steel milling. **Srinakharinwirot University Engineering Journal**, **22**(1), 24-34. (In Thai)
- Montgomery, D. C. (2017). **Design and analysis of experiments**. (9). Hoboken NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Sonthipermphoon, K., Reanin, C., Kitidet, D., & Duanchi, P. (2023). The parameters optimization for spot-welding of 6061-T6 aluminum alloy in automotive industry. **Srinakharinwirot University Engineering Journal**, **18**(2), 96-110. (In Thai)
- Srinivasan, K., Sarulkar, P., & Yadav, V. K. (2024). Operational excellence of the steel industry using the Lean Six Sigma approach: a case study. **International Journal of Quality & Reliability Management**, **41**(3), 826-849.
- Thailand's Trade Statistic Report System of Ministry of Commerce. (2024). **New Thailand's trade statistics**. Retrieved from <https://tradereport.moc.go.th/th/stat/dashboardproduct>. [2025, 10 Jan.]
- Tinsok, J., & Koohathongsumrit, N. (2025). Reduction of non-conforming products in the titanium jewelry manufacturing process. **Journal of Applied Statistics and Information Technology**, **10**(1), 33-47. (In Thai)
- Kanjanakarn, P., Nithikarnjanatharn, S., Nutkhum, W., & Wasanbongngem, N. (2023). CAD / CAE integration and Tagushi method in finding parameters injection molding of polypropylene plastic in 2 cavities plastic injection molds plastic case study pencil box. **Journal of Engineering and Innovation**, **17**(3), 124-133. (In Thai)
- Na Nakorn, T., Intarakumthornchai, T., & Asawarungsaengkul, K. (2026). A Study on the Effects of Extrusion Factors on the Mechanical Properties of Recycled ABS Plastic Fibers Using Experimental Design. **The Journal of KMUTNB**, **36**(1), 1-19. (In Thai)
- Taptimdee, W., Nasawat, P., & Chourwong, P. (2023). Investigation of the Effects of CO2 Laser Cutting Parameters on Kerf Width in PMMA based on Box-Behnken Design and Response Surface Methodology. **Journal of Engineering and Industrial Technology**, **4**(1), 87-102. (In Thai)