

ปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ

Appropriate Factors for Forming Packaging with 3D Printing Technology

ชลิดา ชาญวิจิตร* และ โพธิวัฒน์ งามขจรวิวัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการผลิตอัจฉริยะ ภาควิชาวิศวกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ จ.นนทบุรี 11120

E-mail: chalidachan@pim.ac.th*

Chalida Chanwichit* and Potiwat Ngamkajornwiwat

Department of Industrial Engineering and Intelligent Manufacturing, Department of Robotics and Automation Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Panyapiwat Institute of management, Nonthaburi

11120, E-mail: chalidachan@pim.ac.th*

Received 21 Jun 2023; Revised 1 Mar 2024

Accepted 27 Jun 2024; Available online 30 Jun 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องพิมพ์สามมิติ สำหรับการขึ้นรูปกล่องบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง ซึ่งกระบวนการขึ้นรูปกล่องบรรจุภัณฑ์ประสบปัญหาขึ้นรูปชิ้นงานไม่เต็มส่งผลให้หุ่นยนต์ไม่สามารถหยิบชิ้นงานได้ จึงไม่สามารถส่งงานได้ตามความต้องการของลูกค้า เนื่องจากไม่สามารถหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องพิมพ์สามมิติ จากการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาโดยใช้ผังก้างปลา พบ 2 ปัจจัยที่จะส่งผลให้เกิดชิ้นงานขึ้นรูปไม่เต็ม คือ อุณหภูมิของหัวฉีด และอุณหภูมิของฐานพิมพ์ จึงทำการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป โดยศึกษาปัจจัยที่สามารถปรับได้ จากผลการทดลองพบว่าค่าอุณหภูมิของหัวฉีดส่งผลต่อการขึ้นรูปชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการปรับตั้งค่าที่เหมาะสมของทั้ง 2 ปัจจัย คือ อุณหภูมิหัวฉีดที่ 235 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิฐานพิมพ์ที่ 70 องศาเซลเซียส ทำให้สามารถลดของเสียที่เกิดขึ้นจากเดิมที่มีสัดส่วนของเสียเป็น 90% ลงถึงปรับปรุงมีสัดส่วนของเสีย 16.68% หรือสามารถลดสัดส่วนของเสียได้ 73.32%

คำหลัก: การออกแบบการทดลอง เครื่องพิมพ์สามมิติ

Abstract

This research aims to determine the optimal parameter settings for a 3D printer used in manufacturing packaging boxes through experimental design. The current manufacturing process has encountered issues with incomplete part formation, leading to delays in delivery to customers due to the robot's inability to pick and deliver parts. The root causes were identified using a Cause & Effect diagram analysis, which revealed that the incomplete part formation was mainly impacted by nozzle temperature and bed temperature. A full factorial experimental design investigated these factors at three levels each, showing significant effects of nozzle temperature on part formation. The optimal settings for both factors were found to be a nozzle

temperature of 235°C and bed temperature of 70°C resulting in a substantial reduction of defects from 90% to 16.68%, representing a remarkable decrease of 73.32% in defects.

Keywords: Design of Experimental, 3D Printer Machine

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ (3D printing) เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมการออกแบบและผลิตชิ้นส่วนต้นแบบทำให้สามารถผลิตหรือสร้างชิ้นส่วนจากวัสดุที่หลากหลายมากขึ้น เช่น เส้นพลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ โลหะ เป็นต้น โดยบริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตที่เกี่ยวข้องกับระบบอัตโนมัติภายในโรงงาน การทำระบบคลังสินค้าอัจฉริยะ Automated Storage and Retrieval System (ASRS) ระบบประกอบชิ้นส่วนด้วยแขนกล (Robot Assembly) และการทำสื่อการเรียนการสอน Smart Factory ซึ่งเป็นการสาธิตการบรรจุของเหลวลงในบรรจุภัณฑ์และจัดเก็บในคลังสินค้าอัจฉริยะด้วยระบบอัตโนมัติ โดยมีการนำนวัตกรรมการขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติมาใช้ในการขึ้นรูปกล่องบรรจุภัณฑ์สำหรับชุดสื่อการเรียน ที่จะต้องมีการออกแบบกล่องบรรจุภัณฑ์แบบเฉพาะ เนื่องจากจะส่งผลต่อการควบคุมของหุ่นยนต์ในการกำหนดวางอุปกรณ์ชิ้นงานลงในกล่องบรรจุภัณฑ์ ถ้าเกิดความผิดพลาดของการขึ้นรูปกล่องบรรจุภัณฑ์จะทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงภาพกล่องบรรจุภัณฑ์ที่ขึ้นรูปด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กล่องบรรจุภัณฑ์

จากการขึ้นรูปกล่องบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ พบว่ากระบวนการขึ้นรูปยังไม่ได้คุณภาพทำให้มีบรรจุภัณฑ์เสียหายระหว่างปฏิบัติงานและไม่สามารถผลิตได้ตามทันตามความต้องการของลูกค้า เนื่องจากยังไม่

สามารถหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องพิมพ์สามมิติ จากการเก็บข้อมูลการขึ้นรูปตั้งแต่เดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ.2565 ทั้งสิ้น 40 ชิ้น พบว่ามีชิ้นงานที่ไม่สมบูรณ์ 1 ชิ้นจะมีลักษณะข้อบกพร่องได้มากกว่า 1 อาการ และมีชิ้นงานที่สมบูรณ์เพียง 2 ชิ้น โดยลักษณะข้อบกพร่องที่เกิด คือ มีรอยแตกร้าว เส้นพลาสติกที่ไม่สม่ำเสมอ ชิ้นงานมีการโค้งงอ และชิ้นงานขึ้นรูปไม่เต็ม แสดงข้อมูลสัดส่วนของเสียที่เกิดจากข้อบกพร่องของกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัดส่วนของเสียกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์

ลักษณะข้อบกพร่อง	จำนวนของเสีย (ชิ้น)	สัดส่วนของเสีย
ชิ้นงานขึ้นรูปไม่เต็ม	36	90
เส้นพลาสติกไม่สม่ำเสมอ	26	65
โค้งงอ	5	12.5
รอยแตกร้าว	2	5

จากตารางที่ 1 ชิ้นงานขึ้นรูปไม่เต็มมีสัดส่วนของเสียอยู่ที่ 90% ซึ่งเป็นสัดส่วนของเสียที่เยอะที่สุด มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการตรวจสอบหาสาเหตุและวิธีการดำเนินการแก้ไขในการการปรับตั้งเครื่องพิมพ์สามมิติให้มีความเหมาะสม เพื่อให้ได้กล่องบรรจุภัณฑ์ตามมาตรฐานที่ต้องการ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองในการหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรม Minitab เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์และการคำนวณทางสถิติแล้วจึงนำผลที่ได้ไปปรับปรุงการปรับตั้งเครื่องพิมพ์สามมิติให้มีความเหมาะสม

2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ซึ่งเป็นเครื่องมือทางสถิติที่ประยุกต์ใช้อย่างเป็นระบบสามารถปรับปรุงกระบวนการ โดยการออกแบบการทดลองอันจะช่วยให้สามารถกำหนดการตั้งค่าของปัจจัย หรือสัดส่วนขององค์ประกอบในการปรับตั้งเครื่องมือ เครื่องจักรได้อย่างเหมาะสม [1] นักวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองเนื่องจากเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการ [2] [3] จากการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการที่จะพัฒนาอาหารของผู้สูงอายุ โดยอาศัยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติเข้ามาประยุกต์ใช้ในการขึ้นรูปอาหารด้วยวิธีออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k โดยมีระดับปัจจัย 2 ระดับ คือ อัตราการฉีดขึ้นรูป (สเตปต่อมิลลิเมตร) ความเร็วการเคลื่อนที่ของหัวฉีด (มิลลิเมตรต่อวินาที) การทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบแฟคทอเรียล (2^2) จะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 4 การทดลองโดยทำการทดลองซ้ำ 3 ซ้ำ (4×3) เพื่อทำการคัดกรองปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการทดลอง จึงทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลางเป็นจำนวน 3 ครั้ง (2×3) จึงต้องทำการทดลองทั้งหมด 18 ครั้ง โดยกำหนดสารให้โปรตีนคงที่ 6.25 กรัม มีผลการทดลองเป็นผลตอบความพึงพอใจของผู้เชี่ยวชาญ ขนาดรูปทรงของอาหารเหลวหลังการพิมพ์ขึ้นรูป และน้ำหนักของอาหารเหลวจากการทดลองพบว่าการขึ้นรูปโดยเครื่องพิมพ์สามมิติจากอาหารเหลวปัจจัยที่มีผลอย่างนัยสำคัญ คือ อัตราการฉีดขึ้นรูป เท่ากับ 11.78 สเตปต่อมิลลิเมตร และอัตราเร็วการพิมพ์ เท่ากับ 40 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยมีค่าความพึงพอใจของผลตอบมีค่าเท่ากับ 0.98 จะทำให้น้ำหนักและปริมาตรของผลิตภัณฑ์ไม่เกิดความคลาดเคลื่อน โดย [4] ศึกษาการลดของเสียจากการผลิตขึ้นงานต้นแบบของเครื่องพิมพ์สามมิติ จากการระดมสมองของผู้ที่เกี่ยวข้องในการผลิตนี้สรุปได้ว่า สาเหตุที่ทำให้สิ้นเปลืองวัตถุดิบเส้นพลาสติกมาก คือ 1 หัวฉีดตัน การโค้งงอของตัวงาน และเส้นพลาสติกหมดระหว่างพิมพ์ เป็นต้น จึงได้กำหนดวิธีการปรับปรุงคือ 1) เลือกใช้เส้นพลาสติกจากผู้ผลิตที่มีคุณภาพ 2) ต้องมี

การตั้งค่าระยะห่างระหว่างหัวฉีดฐานเครื่องพิมพ์ให้ได้ระยะที่กำหนด และ 3) เมื่อการผลิตดำเนินไปถึง 90% ต้องมีการตรวจเช็คปริมาณเส้นพลาสติกอย่างสม่ำเสมอ ทุก 15 นาที เพื่อให้เพียงพอต่อการผลิต หลังจากประยุกต์ใช้วิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าวข้างต้น พบว่าของเสียในกระบวนการผลิตลดลง และปริมาณการใช้เส้นพลาสติกในการผลิตลดลงเหลือร้อยละ 13.59 ของยอดขายต่อเดือน หรือลดลงร้อยละ 32.99 และ [5] ได้ศึกษาและประยุกต์ใช้แนวทางการหาค่าเหมาะสมของการปรับตั้งค่าเครื่องพิมพ์สามมิติ ด้วยวิธีออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 2^k โดยมีระดับปัจจัย 2 ระดับ คือ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีด อุณหภูมิฐาน ความเร็วการพิมพ์ และเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น (2^4) มีค่ากลางอีก 4 ค่า รวมเป็นจำนวนการทดลอง ($16+4$) เป็น 20 การทดลอง จากผลการทดลองพบว่าควรปรับค่าระดับปัจจัยดังนี้ อุณหภูมิของเครื่องอัดรีด 213.02 องศาเซลเซียส อุณหภูมิฐาน 46.34 องศาเซลเซียส ความเร็วการพิมพ์ 59.02 มิลลิเมตร/วินาที และเปอร์เซ็นต์ความหนาแน่น 20 เปอร์เซ็นต์จะส่งผลให้ค่าการหดตัวดีขึ้น

3. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

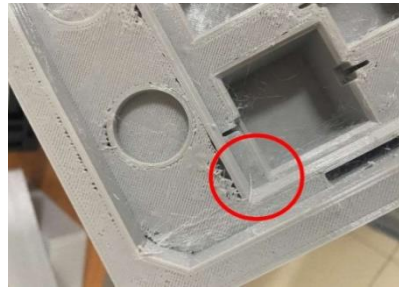
1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลในกระบวนการขึ้นรูปกล่องบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ
2. เพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสมในกระบวนการขึ้นรูปกล่องบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

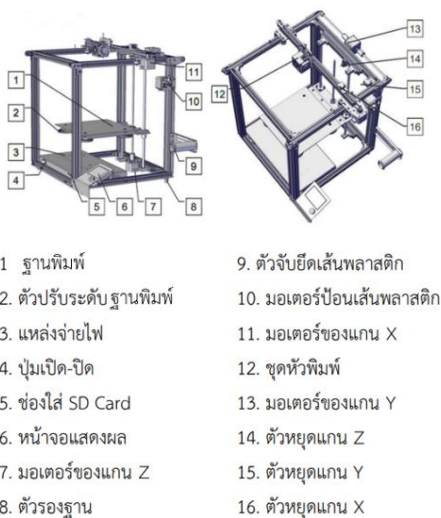
4.1 ศึกษาสภาพทั่วไปของเครื่องพิมพ์สามมิติ

เครื่องพิมพ์สามมิติที่ผู้วิจัยได้ศึกษาคือ รุ่น ENDER 5-PRO ทำงานใน แกน X แกน Y แกน Z ซึ่งมีส่วนประกอบของเครื่องดังรูปที่ 2 โดยวัสดุที่นำมาใช้ขึ้นรูปจะใช้วัสดุที่เป็นของหนืดจำพวกเทอร์โมพลาสติก เช่น Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) Polylactic Acid (PLA) Polyethylene Terephthalate with Glycol (PETG) Nylon ในการขึ้นรูปชิ้นงานสามมิติพลาสติกที่นำมาใช้จะอยู่ในรูปของเส้นลวดพลาสติก หลักการทำงานของเครื่องพิมพ์จะมีฮีทเตอร์ 2 ตัว

สำหรับให้ความร้อนกับพลาสติก คือ หัวฉีด (Nozzle) และฐานพิมพ์ (Bed) เมื่อพลาสติกเริ่มละลายจะมีหัวฉีด เส้นลวดพลาสติกให้ผ่านหัวฉีดออกมา ซึ่งหัวพิมพ์ก็จะเคลื่อนที่ตามโปรแกรมตามแนวแกนและเริ่มพิมพ์ทับกันไปเป็นชั้นจนก่อให้เกิดรูปชิ้นงานสามมิติ การกำหนดค่าในการพิมพ์จะมีหลากหลายค่าที่ผู้ใช้สามารถปรับแต่งได้ เช่น ความหนาของผนังชิ้นงาน ความหนาแน่น ความละเอียดในการพิมพ์ ความเร็วในการพิมพ์ อุณหภูมิหัวฉีด และอุณหภูมิฐาน



รูปที่ 3 ชิ้นงานขึ้นรูปไม่เต็ม



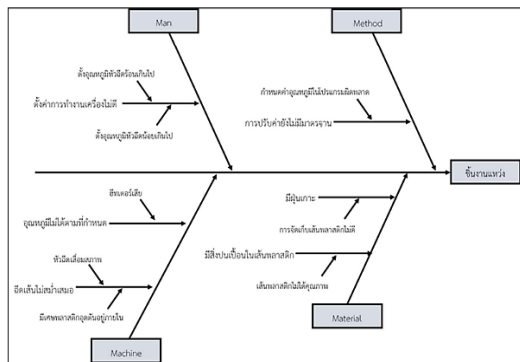
- | | |
|-------------------------|----------------------------|
| 1. ฐานพิมพ์ | 9. ตัวจับยึดเส้นพลาสติก |
| 2. ตัวปรับระดับฐานพิมพ์ | 10. มอเตอร์ป้อนเส้นพลาสติก |
| 3. แหล่งจ่ายไฟ | 11. มอเตอร์ของแกน X |
| 4. ปุ่มเปิด-ปิด | 12. ชุดหัวพิมพ์ |
| 5. ช่องใส่ SD Card | 13. มอเตอร์ของแกน Y |
| 6. หน้าจอแสดงผล | 14. ตัวหยุดแกน Z |
| 7. มอเตอร์ของแกน Z | 15. ตัวหยุดแกน Y |
| 8. ตัวรองฐาน | 16. ตัวหยุดแกน X |

รูปที่ 2 ส่วนประกอบของเครื่องพิมพ์สามมิติรุ่น ENDER 5-PRO

4.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นการขึ้นรูปกล่องบรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ มีข้อบกพร่องที่เกิดมากที่สุด คือ ชิ้นงานขึ้นรูปไม่เต็ม แสดงดังรูปที่ 3 โดยชิ้นงานที่บกพร่องดังกล่าวเป็นลักษณะที่มีความสำคัญหากนำไปใช้งานต่อจะทำให้เกิดปัญหา เพราะหุ่นยนต์จะไม่สามารถวางอุปกรณ์ลงในบรรจุภัณฑ์ได้ เนื่องจากพื้นผิวของชิ้นงานไม่เรียบทำให้ระยะในการหยิบจับของหุ่นยนต์แขนกลผิดพลาด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกลักษณะชิ้นงานขึ้นรูปไม่เต็มมาแก้ไขปัญห

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่องในกระบวนการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ ด้วยการวิเคราะห์แผนผังก้างปลา (Cause & Effect Diagram) แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภาพแสดงปัญหาชิ้นงานขึ้นรูปไม่เต็ม

เพื่อหาแนวทางการแก้เบื้องต้นจากการระดมสมองเพื่อหาสาเหตุที่ทำให้เกิดข้อบกพร่อง พบว่าปัญหาที่ทำให้เกิดชิ้นงานขึ้นรูปไม่เต็ม มาจากสาเหตุของวิธีการทำงาน เนื่องจากการปรับตั้งค่าในการพิมพ์ของเครื่องพิมพ์สามมิติรุ่น ENDER 5-PRO จะมีการปรับค่าการพิมพ์ที่ผู้ใช้ต้องกำหนดค่าเอง คือ ความเร็วในการพิมพ์ อุณหภูมิหัวฉีด และอุณหภูมิฐาน ซึ่งจะมีการแนะนำช่วงความเร็วในการพิมพ์ที่เหมาะสมของเครื่อง แต่การปรับค่าอุณหภูมิหัวฉีด และอุณหภูมิฐาน จะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่จะทำการขึ้นรูปจึงยังต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ใช้เครื่อง รวมถึงยังไม่มีมาตรฐานในการปรับที่เหมาะสม ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมดังกล่าวด้วยการออกแบบการทดลอง

4.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

ผู้วิจัยได้ศึกษาอุณหภูมิในการเปลี่ยนสถานะของเส้นพลาสติกประเภท PETG (Polyethylene terephthalate Glycol-modified) ที่ใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ จากการทดสอบเบื้องต้นของอุณหภูมิที่ต่างกันจะมีลักษณะของชิ้นงานที่แตกต่างกัน การกำหนดอุณหภูมิที่มีค่าน้อยเกินไปจะทำให้เส้นพลาสติกที่ฉีดออกมาไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดจากเส้นพลาสติกไม่อยู่ในสภาวะกลายเป็นแก้ว และอาจจะทำให้หัวฉีดตัน หากกำหนดให้อุณหภูมิร้อนเกินไปจะส่งผลต่อเส้นพลาสติกที่ฉีดมีความเหลวเกินไปทำให้เส้นพลาสติกไม่สมบูรณ์ เกิดรอยแยกระหว่างชิ้นงาน และการกำหนดอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เส้นพลาสติกไม่เชื่อมติดกัน ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่าอุณหภูมิของหัวฉีด อยู่ระหว่าง 230 – 240 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิฐานอยู่ระหว่าง 70 – 80 องศาเซลเซียส ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาช่วงอุณหภูมิทั้งสองให้ละเอียดขึ้นจึงออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูป 3^k แสดงการกำหนดระดับปัจจัยในการทดลองดังตารางที่ 2 ปัจจัยในการทดลอง 2 ปัจจัย ปัจจัยละ 3 ระดับ ทำซ้ำ 3 ครั้ง (9×3) รวมทั้งสิ้น 27 การทดลอง โดยจำนวนชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองแต่ละระดับปัจจัยจำนวน 5 ชิ้น

ตารางที่ 2 กำหนดระดับปัจจัยในการทดลอง

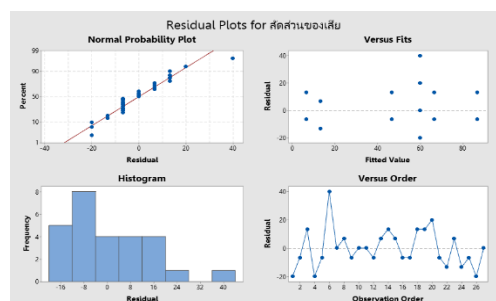
ปัจจัย (Factor)	ระดับปัจจัย (Level)		
	ต่ำ	กลาง	สูง
อุณหภูมิ ของหัวฉีด (A)	230 °C	235 °C	240 °C
อุณหภูมิ ฐาน (B)	70 °C	75 °C	80 °C

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

5.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking)

ขั้นตอนนี้เป็น การตรวจสอบความเหมาะสมของรูปแบบการทดลอง โดยรูปแบบของการทดลองจะต้องเป็นไปตามหลักการ $\mathcal{E}_j \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ คือการตรวจสอบ

การแจกแจงปกติ และการเป็นอิสระที่มีค่าใกล้เคียง 0 และความแปรปรวน (σ^2) มีค่าคงตัว จึงจะทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือจากรูปที่ 5 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้าง (Residual) พบว่ามีการกระจายตัวแบบปกติ มีความเป็นอิสระต่อกัน และการพล็อตกราฟระหว่างค่าส่วนตกค้างกับลำดับการทดลองไม่มีลักษณะเป็นแนวโน้มแต่อย่างใด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการทดสอบความปกติของข้อมูล พบว่าข้อมูลมีการกระจายตัวแบบปกติ สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ความแปรปรวนในลำดับถัดไป



รูปที่ 5 กราฟส่วนตกค้างของข้อมูล

5.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลองเต็มรูปแบบ General Full Factorial Analysis of Variance for Response

[6] การวิเคราะห์ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย ที่ไม่มีความสัมพันธ์กัน ให้พิจารณาโดยใช้ปัจจัยหลักที่เหลือมาทำการวิเคราะห์ผล โดยงานวิจัยมีการกำหนดสมมติฐานและผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 6

สมมติฐานที่ 1 การปรับตั้งค่าอุณหภูมิของหัวฉีด

$$H_0: \beta_i = 0 \quad i = 1, 2, \dots, a$$

$$H_1: \beta_i \neq 0 \quad \text{อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0}$$

สมมติฐานที่ 2 การปรับตั้งค่าอุณหภูมิฐาน

$$H_0: \gamma_j = 0 \quad j = 1, 2, \dots, a$$

$$H_1: \gamma_j \neq 0 \quad \text{อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0}$$

สมมติฐานที่ 3 การที่มีอิทธิพลร่วมของค่าการปรับตั้งค่า
อุณหภูมิของหัวฉีด และการปรับตั้งค่าอุณหภูมิฐาน

$$H_0: \beta_{\gamma_{ij}} = 0$$

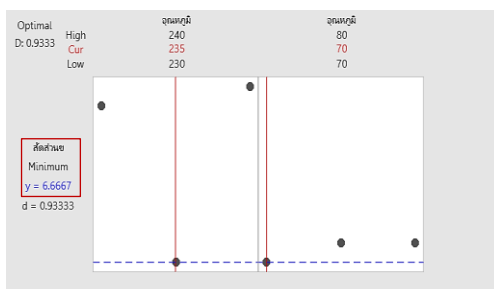
$$H_1: \beta_{\gamma_{ij}} \neq 0 \text{ อย่างน้อย 1 ตัวไม่เท่ากับ 0}$$

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	8	19051.9	2381.5	8.93	0.000
Linear	4	18281.5	4570.4	17.14	0.000
อุณหภูมิของหัวฉีด	2	17451.9	8725.9	32.72	0.000
อุณหภูมิฐาน	2	829.6	414.8	1.56	0.238
2-Way Interactions	4	770.4	192.6	0.72	0.588
อุณหภูมิฐาน*อุณหภูมิของหัวฉีด	4	770.4	192.6	0.72	0.588
Error	18	4800.0	266.7		
Total	26	23851.9			

S = 16.3299 R-Sq = 79.88% R-Sq (adj) = 70.93%

รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลการทดลอง
เต็มรูปแบบ

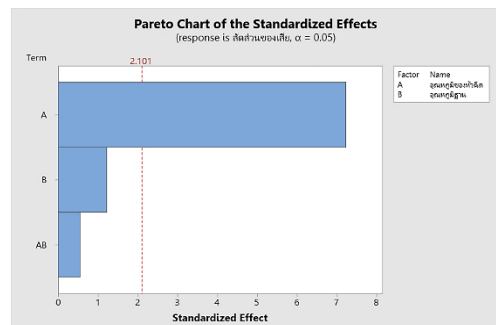
จากรูปที่ 6 สรุปผลของโมเดลจากการทดลองที่ได้
ออกแบบไว้ผลของ R-sq มีค่าเท่ากับ 79.88% และค่า R-
sq (adj) มีค่าเท่ากับ 70.93% ซึ่งมากกว่า 70% [2] แสดง
ว่าการออกแบบการทดลองนี้มีความถูกต้องและ
เหมาะสม ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัย
อุณหภูมิของหัวฉีดมีค่าน้อยกว่า 0.05 และเมื่อพิจารณา
ค่าผลกระทบของปัจจัยอุณหภูมิของหัวฉีด มีค่ามากกว่า
เส้นวิกฤตมาก แสดงดังรูปที่ 7 แสดงว่าปัจจัยอุณหภูมิ
ของหัวฉีด นั้นส่งผลกับผลตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 7 กราฟพาไรโตแสดงเทอมของปัจจัย

5.3 การกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม (Response Optimization)

การหาระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการขึ้นรูปกล่อง
บรรจุภัณฑ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ โดยมีเงื่อนไขให้เกิด
ของเสียน้อยที่สุด ผลการวิเคราะห์พบว่า อุณหภูมิของ
หัวฉีด คือ 235 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิฐาน คือ 70
องศาเซลเซียส จะส่งผลต่อการเกิดสัดส่วนของเสียมีค่า
เท่ากับ 6.67% แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ค่าที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องพิมพ์
สามมิติ

ผู้วิจัยได้นำผลการวิเคราะห์ค่าระดับปัจจัยที่
เหมาะสมจากการวิเคราะห์ Response Optimizer มาทำ
การทดสอบใช้งานจริง โดยทำการทดลองปรับตั้งค่า
อุณหภูมิของหัวฉีดที่ 235 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิ
ฐานที่ 70 องศาเซลเซียส ทดสอบทั้งสิ้น 5 ครั้ง ครั้งละ 5
ตัวอย่าง เพื่อทดสอบการเกิดสัดส่วนของเสียที่น้อยที่สุด
จากโปรแกรม คือ 6.67% และนำผลการทดลองไป
ทดสอบสมมติฐานทางสถิติแบบสองทาง (Two Tail
Test, Not equal) โดยกำหนดค่า μ คือ ค่าสัดส่วนของ
เสียที่ 6.67% โดยมีสมมติฐานการทดสอบดังนี้

$$H_0: \text{ค่าสัดส่วนของเสียเท่ากับ 6.67\%}$$

$$H_1: \text{ค่าสัดส่วนของเสียไม่เท่ากับ 6.67\%}$$

ทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ เท่ากับ 0.05 แสดงผลการ
ทดสอบสมมติฐานดังรูปที่ 9

Null hypothesis	$H_0: \mu = 6.67$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu \neq 6.67$
T-Value	0.67
P-Value	0.542

รูปที่ 9 ผลการทดสอบสมมติฐาน

ค่าผลลัพธ์ที่ได้พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.542 มีค่ามากกว่า 0.05 ไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลักได้ หรือยอมรับ H_0 แสดงให้เห็นว่าจากผลการทดสอบสมมติฐานคือ ค่าเฉลี่ยจากการวัดค่าผลลัพธ์ที่ได้จากสัดส่วนของเสียมี ค่าเท่ากับ 6.67% ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

6. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหา ระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องพิมพ์สามมิติ ด้วยวิธีการทดลองแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ ศึกษาปัจจัย ที่ 3 ระดับ โดยมีปัจจัยในการทดลอง 2 ปัจจัย จำนวน ของการทดลองเท่ากับ 9 ทำซ้ำ 3 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 27 การทดลอง ผลการทดลองได้สมการเป็นเส้นตรง ค่า ความแปรปรวนจากการทดลองที่ได้ออกแบบไว้ผลของ R-sq มีค่าเท่ากับ 79.88% และ ค่า R-sq (adj) มีค่า เท่ากับ 70.93% มีค่ามากกว่า 70% การออกแบบการ ทดลองนี้จึงมีความถูกต้องและเหมาะสม ซึ่งค่า P-Value ของปัจจัยอุณหภูมิของหัวฉีด มีค่าน้อยกว่าระดับ นัยสำคัญ 0.05 จึงส่งผลต่อผลลัพธ์ของการทดลองมาก ที่สุด ซึ่งการปรับตั้งค่าที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิของ หัวฉีด คือ 235 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิฐาน คือ 70 องศาเซลเซียสจะส่งผลต่อการเกิดสัดส่วนของเสียให้มี ค่าเท่ากับ 6.67% เพื่อทวนสอบความถูกต้องของการ ออกแบบการทดลอง จึงทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อ ยืนยันผล โดยทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง จำนวนชิ้นงานที่ใช้ ในการทดลองระดับปัจจัยจำนวน 5 ตัวอย่าง กำหนดค่า μ คือ ค่าที่ต้องการทดสอบสมมติฐาน สัดส่วนของเสียที่ 6.67% ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 โดยกำหนดสมมติฐาน หลัก $H_0 : \mu = 6.67$ และ สมมติฐาน รอง $H_1 : \mu \neq 6.67$ ได้ค่า P-Value เท่ากับ 0.542 แสดงให้เห็นว่า จากผลการทดสอบสมมติฐาน คือ ค่าเฉลี่ยจากการวัดค่า ผลลัพธ์ที่ได้จากสัดส่วนของเสียมี ค่าเท่ากับ 6.67% ที่ระดับ นัยสำคัญ 0.05 โดยการทดลองจะทำให้สามารถลดของเสียที่ เกิดขึ้น จากเดิมที่มีสัดส่วนของเสียเป็น 90% หลังปรับปรุงมี สัดส่วนของเสีย 16.68% หรือสามารถลดสัดส่วนของเสียได้ 73.32% และทำให้เกิดการทำงานที่มีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Deng S, Jesus P, Aihua H, Yuehwem Y, et al. Procedia CIRP. 2020; 90: 165- 170.
- [2] ปรัชญา พลพะพันธ์. คู่มือวิเคราะห์และจัดการข้อมูลสถิติ ด้วย Minitab ฉบับมืออาชีพ. นนทบุรี: ไอดีซี พรีเมอร์; 2560.
- [3] ศุภกร ประภาเลิศ. และกชกร เรืองการ. ปัจจัยที่เหมาะสมใน การขึ้นรูปอาหารผู้สูงอายุด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์สาม มิติ. [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต]. เชียงใหม่; มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2562.
- [4] ศุภวิชญ์ อุทะพะสิรุณลักษณ์. การลดของเสียในกระบวนการ ผลิตชิ้นงานต้นแบบจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ. [การค้นคว้า อิสระวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพฯ; มหาวิทยาลัยสยาม; 2561.
- [5] Haidiezul A ,Hazwan M , Soon W, et al. Shrinkage optimization on the 3D printed part using Full Factorial Design optimization approach. In Azmi AI, Mustafa WA, Saggoff SZ, editors. ICSET 2020. Proceeding of International Conference on Science, Engineering and Technology; 2020 February 27; Penang, Malaysia. 2020. p.1-6.
- [6] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: สำนัก พิมพ์ที่อป; 2551.