

การวิเคราะห์อิทธิพลของการวางตำแหน่งชิ้นงานเรขาคณิตที่มีต่อการเกิดโครงสร้างรองรับ และประสิทธิภาพการพิมพ์ในกระบวนการขึ้นรูปสามมิติแบบ FDM

Analysis of Part Orientation Influence on Geometric Shapes regarding Support Structure Formation and Printing Efficiency in Fused Deposition Modeling (FDM)

ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง¹ ขวัญ สุริโยธิน¹ ธีรวัฒน์ แสงภาศ¹ ศุภชัย อัครนรากุล¹ และ อติเรก ชัยนวกุล^{1*}

¹หลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

Supasit Manokruang¹ Chawagrit Suriyothin¹ Teerawat Sangkas¹ Supachai Aukaranarakul¹

and Adirake Chainawakul^{1*}

¹Tools and Die Engineering Program, Department of Industrial Engineering,

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna

128 Huay Kaew Rd, Tambon Chang Phueak, Mueang Chiang Mai District, Chiang Mai 50300

*Corresponding author Email: adirake@rmutl.ac.th

(Received: June 6, 2026; Revise: June 29, 2026; Accepted: June 29, 2026)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์อิทธิพลของการวางตำแหน่งชิ้นงานเรขาคณิตที่มีต่อการเกิดโครงสร้างรองรับและประสิทธิภาพในการพิมพ์สามมิติด้วยกระบวนการฉีดพลาสติกเหลว โดยทำการทดสอบกับรูปทรงเรขาคณิต 6 รูปแบบ ได้แก่ ปริซึมสามเหลี่ยม พีระมิด ลูกบาศก์ ปริซึมห้าเหลี่ยม ทรงกรวย และทรงกลม กำหนดการวางตำแหน่งระดับมุมเอียงตั้งแต่ 0° ถึง 90° และเพิ่มขึ้นทุก ๆ 10° ผ่านโปรแกรม UltiMaker Cura 5.10.0 ผลการศึกษาพบว่าลักษณะทางเรขาคณิตและการวางตำแหน่งส่งผลโดยตรงต่อการใช้ทรัพยากรและเวลาในการพิมพ์ โดยรูปทรงลูกบาศก์และพีระมิดมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อวางในแนวราบ (0°) เนื่องจากไม่เกิดโครงสร้างฐานรองรับ ในขณะที่รูปทรงกลมมีวัสดุจากฐานรองรับมากที่สุดสำหรับรูปทรงปริซึมสามเหลี่ยม ปริซึมห้าเหลี่ยม และทรงกรวย จะเกิดจุดวิกฤตที่ต้องสร้างโครงสร้างรองรับโดยอัตโนมัติเมื่อมุมเอียงมากกว่า 45° จากแนวแกนตั้งฉาก ส่งผลให้ปริมาณการใช้วัสดุรองรับและระยะเวลาการพิมพ์เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการวางแนวราบ ข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อลดต้นทุนการผลิตและการผลิตที่ยั่งยืนในอนาคต

คำสำคัญ: การวางตำแหน่ง โครงสร้างรองรับ การพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติ การผลิตแบบเติมเนื้อวัสดุ

Abstract

This research aims to examine the influence of part orientation on support structure formation and printing efficiency in Fused Deposition Modeling (FDM). Experimental tests were conducted on six geometric shapes: a triangular prism, a pyramid, a cube, a pentagonal prism, a cone, and a sphere. The positioning angles ranged from 0° to 90° in 10° increments and were processed with UltiMaker Cura 5.10.0. The results

indicate that geometric characteristics and part orientation directly affect resource consumption and printing time. Cubes and pyramids demonstrated the highest efficiency when oriented horizontally (0°), as they required no support structures, whereas spheres exhibited high sensitivity and generated the most support material. For the triangular prism, pentagonal prism, and cone, a critical threshold for triggering automatic support-structure formation was observed at angles exceeding 45° from the vertical axis. This consequence led to increased consumption of support material and longer printing times than in the horizontal orientation. These quantitative findings can serve as practical guidelines for Design for Additive Manufacturing (DfAM) to minimize production costs and promote sustainable manufacturing in the future.

Keywords: Part Orientation, Support Structures, Fused Deposition Modeling (FDM), Additive Manufacturing

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตทั่วโลกกำลังก้าวเข้าสู่ยุคการผลิตที่เน้นความยืดหยุ่นและทรัพยากรอย่างจำกัด ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการใช้วัสดุเพื่อการผลิตอย่างยั่งยืน โดยหนึ่งในเทคโนโลยีที่สำคัญคือการผลิตแบบเติมเนื้อวัสดุ (Additive Manufacturing: AM) [1] หรือโดยทั่วไปคือการพิมพ์ 3 มิติ (3D Printing) [2] เทคโนโลยีนี้ช่วยให้การเปลี่ยนจากแบบจำลองชิ้นงาน เปลี่ยนเป็นชิ้นงานจริงทำได้รวดเร็ว ลดขั้นตอนการขึ้นรูปที่ซับซ้อน และลดการสูญเสียวัตถุดิบเมื่อเทียบกับการผลิตแบบดั้งเดิมที่ใช้การตัดเฉือนเนื้อวัสดุออก (Subtractive Manufacturing: SM) [3] อย่างไรก็ตาม กระบวนการพิมพ์ในรูปแบบ Fused Deposition Modeling (FDM) [4] ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่แพร่หลายที่สุด ยังคงมีข้อจำกัดทางเทคนิคที่สำคัญ โดยเฉพาะสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของชิ้นงานที่ผลิตออกมา ซึ่งมักจะไม่สม่ำเสมอในทุกทิศทางเนื่องจากลักษณะการวางซ้อนกันของชั้นวัสดุ (Layer-by-Layer) [5]

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของชิ้นงานพิมพ์ 3 มิติ คือ การวางทิศทางชิ้นงาน (Part Orientation) [6] เนื่องจากการพิมพ์แบบ FDM มีลักษณะการทำงานที่ส่งผลให้ชิ้นงานมีความเป็นอนิโซโทรปี (Anisotropy) สูง หรือกล่าวคือชิ้นงานจะมีความแข็งแรงในแนวแกนที่ขนานกับเส้นวัสดุมากกว่าแนวแกนที่ตั้งฉากกับรอยประสานระหว่างชั้น [7] นอกจากนี้ ทิศทางการวางชิ้นงานบนฐานพิมพ์ยังส่งผลกระทบต่อความหยาบผิว (Surface Roughness) อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ขั้นบันได (Staircase Effect) ซึ่งเป็นอุปสรรคสำคัญในการผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อนและต้องการความละเอียดทางขนาดสูง ยิ่งไปกว่านั้น การวางตำแหน่งที่ผิดพลาดนำมาซึ่งการสร้างโครงสร้างรองรับ (Support Structure) ที่เกินความจำเป็น ทำให้เกิดการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น ระยะเวลาการพิมพ์ที่ยาวนานขึ้น และปริมาณขยะพลาสติกจากการแกะส่วนรองรับทิ้ง ซึ่งขัดต่อหลักการผลิตสีเขียวและความยั่งยืน [8–10]

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยฉบับนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาและวิเคราะห์อิทธิพลของการวางตำแหน่งชิ้นงานในแนวแกนที่แตกต่างกัน โดยการวิเคราะห์และเปรียบเทียบเชิงลึกร่วมกันระหว่างรูปทรงเรขาคณิตพื้นฐานที่มีความซับซ้อนต่างกันถึง 6 รูปแบบ ภายใต้การเปลี่ยนแปลงมุมเอียงอย่างละเอียดตั้งแต่ 0° ถึง 90° เพื่อสร้างแนวทางการออกแบบเพื่อการผลิตแบบเติมเนื้อวัสดุ (Design for Additive Manufacturing: DfAM) [11] ช่องทางวิชาการที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อลดของเสียและต้นทุนการผลิตได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตแบบเติมเนื้อ (Additive Manufacturing: AM)

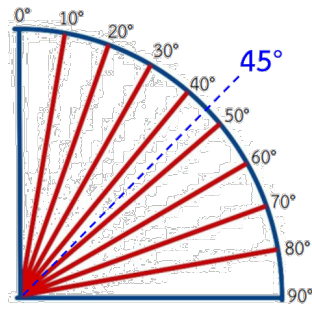
กระบวนการผลิตแบบเติมเนื้อ (Additive Manufacturing: AM) หรือที่นิยมเรียกกันทั่วไปว่าเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ (3D Printing) เป็นนวัตกรรมการขึ้นรูปชิ้นงานที่มีหลักการพื้นฐานแตกต่างจากการผลิตแบบเดิม คือ กระบวนการตัดเฉือนเนื้อวัสดุ (Subtractive Manufacturing) อย่างสิ้นเชิง โดยมีรายละเอียดทางทฤษฎีที่สำคัญดังนี้ หลักการขึ้นรูปชั้นต่อชั้น (Layer-by-Layer): กระบวนการ AM อาศัยการสร้างวัตถุสามมิติจากการวางวัสดุเรียงต่อกันเป็นชั้นต่อเนื่องในแนวแกน Z ซึ่งแต่ละชั้นจะมีความหนาที่แม่นยำตามการคำนวณของซอฟต์แวร์ การเชื่อมโยงข้อมูลดิจิทัล (Digital Integration) การผลิตจะเริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Computer-Aided Design: CAD) [12] จากนั้นข้อมูลจะถูกตัดแบ่งเป็นชั้นข้อมูลสองมิติ (Sequential Layers) เพื่อใช้เป็นชุดคำสั่งให้ระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมหัวฉีดหรือแหล่งพลังงานในการขึ้นรูปวัสดุตามรูปร่างที่กำหนดไว้ ความหลากหลายของวัสดุและรูปร่าง: เทคโนโลยีนี้รองรับการใช้วัสดุที่หลากหลายทั้งพลาสติก (Thermoplastic) และโลหะ (Metal) โดยมีจุดเด่นสำคัญคือความสามารถในการสร้างชิ้นงานที่มีความซับซ้อนสูง (Geometric Complexity) ซึ่งกระบวนการตัดปาดหรือการหล่อแบบเดิมไม่สามารถทำได้ หรือทำได้ยาก [13–15] กระบวนการ AM ช่วยลดการสูญเสียเนื้อวัสดุในระหว่างการผลิต (Material Waste Reduction) และผลิตตามความต้องการ (On-demand Manufacturing) ในด้านการผลิตอย่างยั่งยืน [16–17]

2.2 การขึ้นรูปสามมิติด้วยกระบวนการขึ้นรูปด้วยการฉีดวัสดุหลอมละลาย (Fused Deposition Modeling: FDM)

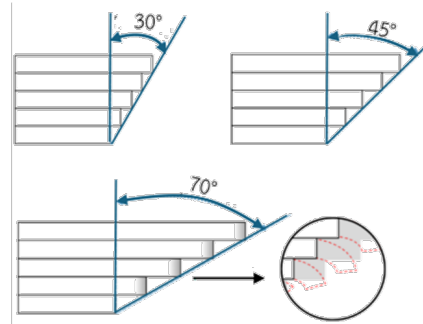
กระบวนการขึ้นรูปสามมิติด้วยการฉีดพลาสติกเหลวหรือ Fused Deposition Modeling (FDM) จัดเป็นเทคโนโลยีการผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุ (Additive Manufacturing) ที่ได้รับความนิยมสูงสุดในอุตสาหกรรมปัจจุบัน เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำและใช้งานได้หลากหลาย โดยหลักการทำงานพื้นฐานเริ่มจากการส่งผ่านวัสดุเทอร์โมพลาสติกในลักษณะเส้น (Filament) [18] เข้าสู่ชุดหัวฉีดที่มีการควบคุมอุณหภูมิให้สูงกว่าจุดหลอมเหลวของวัสดุเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของไหล จากนั้นหัวฉีดจะเคลื่อนที่ตามแนวแกน X และ Y เพื่อวางลำวัสดุลงบนฐานพิมพ์ตามรูปร่างที่กำหนดไว้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์กราฟิก เมื่อวัสดุที่ถูกฉีดออกมาสัมผัสกับอากาศหรือฐานพิมพ์จะเกิดการเย็นตัวและแข็งตัวยึดติดกับชั้นก่อนหน้า เกิดเป็นการประสานตัวระหว่างชั้น (Interlayer Bonding) จนกลายเป็นชิ้นงานสามมิติที่สมบูรณ์ในที่สุด ซึ่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมบัติทางกลและความแม่นยำทางมิติของชิ้นงานประกอบด้วย พารามิเตอร์การพิมพ์ที่หลากหลาย เช่น อุณหภูมิของหัวฉีด (Printing Temperature) ความเร็วในการพิมพ์ (Printing Speed) และความหนาของชั้นการพิมพ์ (Layer Height) รวมถึงลักษณะการเรียงตัวของเส้นพลาสติกภายใน (Infill Pattern) ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงเชิงโครงสร้างและความยืดหยุ่นของชิ้นงาน [19–20]

2.3 มุมลาดเอียงของงานขึ้นรูปสามมิติ (Overhang)

ทฤษฎีมุมส่วนยื่นหรือมุม Overhang ในกระบวนการพิมพ์สามมิติแบบฉีดพลาสติก (FDM) ถือเป็นปัจจัยวิกฤตที่มีผลต่อความสำเร็จในการขึ้นรูปชิ้นงานโดยอาศัยหลักการซ้อนทับกันของชั้นวัสดุ (Layer-by-Layer Deposition) ซึ่งโดยทั่วไปจะยึดถือ กฎ 45 องศา เป็นเกณฑ์มาตรฐานในการออกแบบเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้โครงสร้างรองรับ (Support Structures) [21] ที่สิ้นเปลืองและยากต่อการกำจัดทิ้งหลังการผลิต ดังรูปที่ 1 ในเชิงวิศวกรรมการผลิตนั้น การที่หัวพิมพ์ฉีดเส้นพลาสติกออกมาในตำแหน่งที่เอียงออกจากจุดกึ่งกลางของชั้นฐานด้านล่าง จะทำให้เกิดแรงโมเมนต์จากน้ำหนักของวัสดุในสภาวะกึ่งหลอมละลายที่พยายามดึงรั้งให้เส้นพลาสติกย้อยตัวลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก หากมุมลาดเอียงมีค่ามากเกินไปจนเกินกว่าขอบเขตที่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นจะรับไหว ซึ่งความสัมพันธ์นี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรสำคัญหลายประการ เช่น ความสูงของชั้นพิมพ์ (Layer Height) ความกว้างของการฉีดเส้นวัสดุ (Extrusion Width) และประสิทธิภาพของระบบระบายความร้อนที่ช่วยให้วัสดุเซตตัวได้รวดเร็วขึ้น [22] แสดงดังรูปที่ 2



(ก)

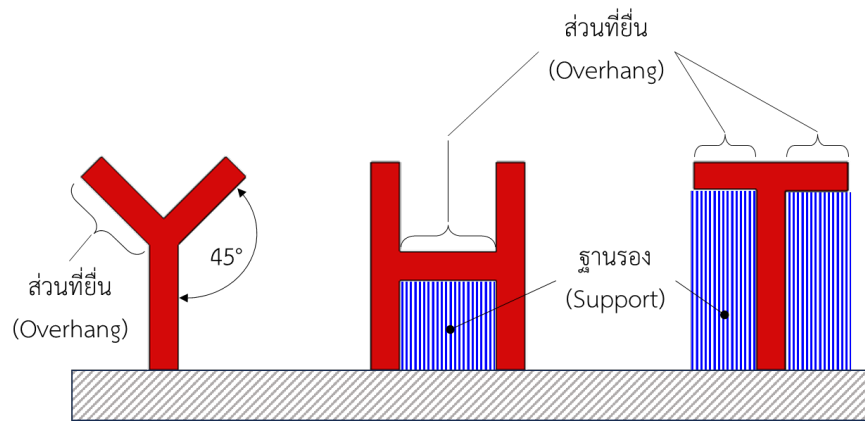


(ข)

รูปที่ 1 มุมองศาการสร้างฐานรอง (Support)

(ก) มุมองศาจาก 0°–90° จากแนวตั้งฉาก

(ข) มุมองศาที่สร้างฐานรองรับ (Support)



รูปที่ 2 รูปแบบการวางตำแหน่ง

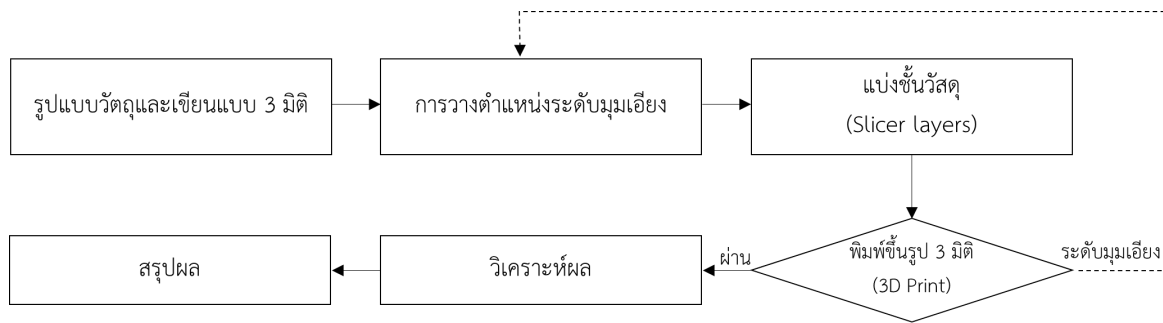
2.4 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลักการออกแบบเพื่อการผลิตแบบเติมเนื้อ (Design for Additive Manufacturing: DfAM) [23] เป็นแนวคิดพื้นฐานที่ใช้ควบคุมความซับซ้อนของรูปทรงให้สอดคล้องกับขีดจำกัดของเครื่องพิมพ์ขึ้นงาน 3 มิติ ซึ่งต้องออกแบบชิ้นงานให้อยู่ในขอบเขตความสามารถของเครื่องพิมพ์ พร้อมทั้งอาศัยการปรับตั้งค่าตัวแปรประกอบการพิมพ์ (Slicing Parameters) [24] ช่วยให้ผู้สามารถผลิตงานที่ซับซ้อนได้เสถียรขึ้น โดยคำนึงถึงหลักการซ้อนทับกันของชั้นวัสดุ เพื่อกำหนดทิศทางการวางตำแหน่งและลักษณะโครงสร้างภายในชิ้นงาน โดยตัวแปรเหล่านี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับทฤษฎีเวลาการพิมพ์และจำนวนชั้นการพิมพ์ (Build Time and Layer Count Theory) [25] ซึ่งระบุว่าความสูงของวัตถุในแนวตั้งจะแปรผันตรงกับระยะเวลาที่ใช้และจำนวนรอบการเคลื่อนที่ของหัวฉีดวัสดุ รวมถึงความแข็งแรงของชิ้นงานที่สัมพันธ์กับการจัดวางที่ควรวางระนาบชั้นการพิมพ์ให้ตั้งฉากกับแนวรับแรงของชิ้นงาน นอกจากนี้ การจัดวางที่ไม่เหมาะสมยังนำไปสู่ความคลาดเคลื่อนทางปริมาตร (Volumetric Error) [26] ซึ่งส่งผลให้ความแม่นยำด้านมิติและขนาดของผลิตภัณฑ์จริงคลาดเคลื่อนไปจากแบบจำลอง 3 มิติที่เขียนขึ้นจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ โดยเฉพาะบริเวณพื้นที่ส่วนยื่น (Overhangs) ที่ต้องใช้โครงสร้างรองรับ ท้ายที่สุด ทฤษฎีการใช้วัสดุและการเกิดเศษวัสดุ (Material Consumption & Waste) [27] จะเป็นตัวชี้วัด

ประสิทธิภาพของการผลิต โดยมุ่งเน้นการลดปริมาณพลาสติกส่วนเกินจากการสร้างส่วนรองรับให้เหมาะสมและเพียงพอสำหรับการพิมพ์ชิ้นงานนั้น ๆ ได้สมบูรณ์ เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของการผลิตที่ยั่งยืนภายใต้การใช้วัสดุอย่างคุ้มค่าที่สุด

3. การดำเนินงานวิจัย

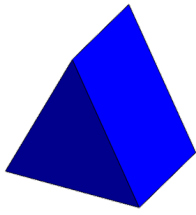
การศึกษานี้ได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อวิเคราะห์ผลของการวางตำแหน่งชิ้นงานต่อการเกิดโครงสร้างรองรับ (Support Structure) โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 3



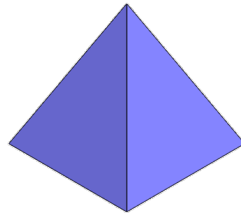
รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานของการวางตำแหน่งชิ้นงาน

3.1 กำหนดรูปร่างและเขียนแบบสามมิติ

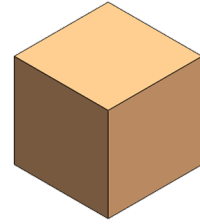
ในการดำเนินงานวิจัยเพื่อให้ครอบคลุมลักษณะทางเรขาคณิตที่หลากหลายซึ่งมักพบในงานวิศวกรรมและการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้กำหนดรูปแบบชิ้นงานทดสอบโดยมุ่งเน้นที่ความแตกต่างของระนาบสัมผัส มุมลาดเอียง และความซับซ้อนของพื้นผิว กระบวนการเริ่มต้นจากการออกแบบแบบจำลองคอมพิวเตอร์ (Computer-Aided Design: CAD) เพื่อสร้างวัตถุสามมิติที่มีปริมาตรและขนาดที่แน่นอนสำหรับใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบผลการทดสอบ โดยรูปทรงเรขาคณิตทั้ง 6 รูปแบบที่ถูกคัดเลือกมาประกอบด้วยรูปทรงที่มีฐานเรียบ รูปทรงหลายเหลี่ยม และรูปทรงที่มีผิวโค้งมน เพื่อให้สามารถวิเคราะห์อิทธิพลของการวางตำแหน่งที่มีต่อการเกิดโครงสร้างรองรับได้อย่างชัดเจนในทุกมิติ โดยมีรายละเอียดขนาดและปริมาตรของแต่ละรูปทรง ดังรูปที่ 4



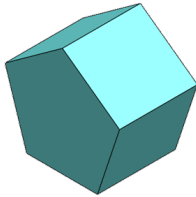
ปริซึมสามเหลี่ยม



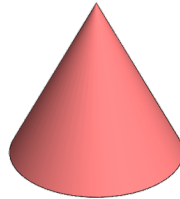
พีระมิด



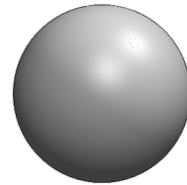
ลูกบาศก์



ปริซึมห้าเหลี่ยม



ทรงกรวย



ทรงกลม

รูปที่ 4 รูปแบบชิ้นงานทดสอบการวางตำแหน่ง

โดยรูปทรงเรขาคณิตทั้ง 6 รูปแบบ ที่ทำการวิจัยมีขนาด และน้ำหนักดังต่อไปนี้

3.1.1 ปริซึมสามเหลี่ยม (Triangular Prism) ขนาด 50 x 50 x 50 มม. (กว้างxยาวxสูง) และปริมาตร 54,126.59 ลบ.มม.

- คำนวณหามวล (ก.) = ปริมาตร (ลบ.มม.) x ความหนาแน่นของ PLA (ก./ลบ.มม.)
= 54,126.59 x 0.00124
= 67.12 กรัม

3.1.2 พีระมิด (Pyramid) ขนาด 50 x 50 x 50 มม. (กว้างxยาวxสูง) และปริมาตร 40,887.72 ลบ.มม.

- คำนวณหามวล (ก.) = ปริมาตร (ลบ.มม.) x ความหนาแน่นของ PLA (ก./ลบ.มม.)
= 40,887.72 x 0.00124
= 50.70 กรัม

3.1.3 ลูกบาศก์ (Cube) ขนาด 50 x 50 x 50 มม. (กว้างxยาวxสูง) และปริมาตร 125,000.00 ลบ.มม.

- คำนวณหามวล (ก.) = ปริมาตร (ลบ.มม.) x ความหนาแน่นของ PLA (ก./ลบ.มม.)
= 125,000.00 x 0.00124
= 155.00 กรัม

3.1.4 ปริซึมห้าเหลี่ยม (Pentagonal Prism) จะมีขนาด 50 x 50 x 50 มม. (กว้างxยาวxสูง) และปริมาตร 113,522.27 ลบ.มม.

- คำนวณหามวล (ก.) = ปริมาตร (ลบ.มม.) x ความหนาแน่นของ PLA (ก./ลบ.มม.)
= 113,522.27 x 0.00124
= 140.77 กรัม

3.1.5 ทรงกรวย (Cone) จะมีขนาด 50 x 50 x 50 มม. (กว้างxยาวxสูง) และปริมาตร 32,113.14 ลบ.มม.

- คำนวณหามวล (ก.) = ปริมาตร (ลบ.มม.) x ความหนาแน่นของ PLA (ก./ลบ.มม.)
= 32,113.14 x 0.00124

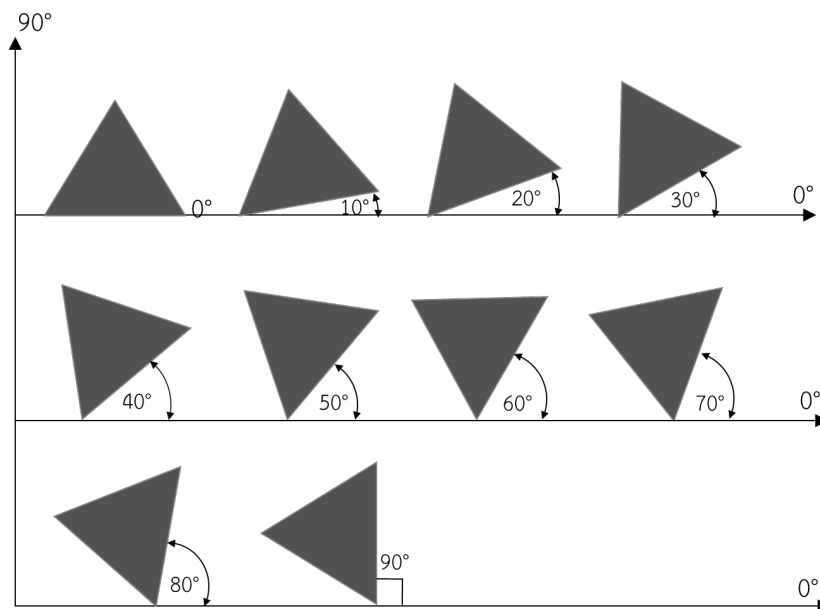
$$= 39.82 \text{ กรัม}$$

3.1.6 ทรงกลม (Sphere) จะมีขนาด $50 \times 50 \times 50$ มม. (กว้างxยาวx สูง) และปริมาตร 65,449.85 ลบ.มม.

$$\begin{aligned} \bullet \text{ คำนวณหามวล (ก.)} &= \text{ปริมาตร (ลบ.มม.)} \times \text{ความหนาแน่นของ PLA (ก./ลบ.มม.)} \\ &= 65,449.85 \times 0.00124 \\ &= 81.16 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

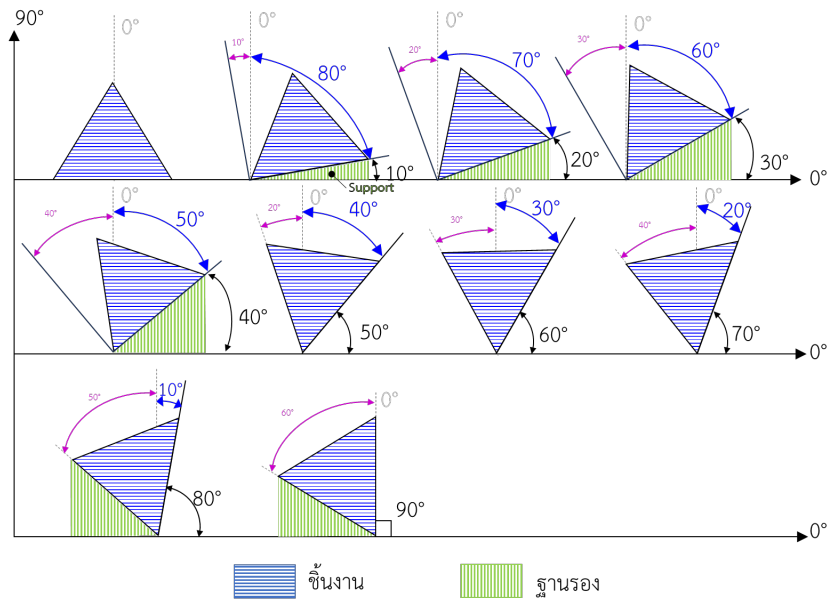
3.2 การวางตำแหน่งระดับมุมเอียง

การวางตำแหน่งมีส่วนสำคัญอย่างมาก การทดลองนี้มุ่งเน้นการวางตำแหน่งชิ้นงาน โดยเริ่มตำแหน่ง 0° – 90° ทำการเพิ่มทุก ๆ 10° หลังจากนั้นทำการขึ้นรูปชิ้นงานโดยกระบวนการแบ่งชั้น (Slicer) [27] นำชิ้นงานที่ได้จากการสร้างแบบ 3 มิติ เข้าสู่กระบวนการ Slicer ผ่านโปรแกรม UltiMaker Cura 5.10.0 การ Slicer เป็นการสร้าง Layer ให้ชิ้นงานขึ้นเป็นชั้น ๆ เพื่อเตรียมไฟล์สำหรับการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ โดยแปลงไฟล์โมเดล 3 มิติ (เช่น STL, OBJ) ให้กลายเป็นคำสั่งสำหรับเครื่องพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ ซึ่งต้องคำนึงถึงการเลือกวางแนวของชิ้นงานตามความเหมาะสม แสดงตัวอย่างรูปทรงพีระมิด ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตัวอย่างลักษณะการวางตำแหน่งของชิ้นงาน 0° – 90°

การเกิดฐานรองรับ (Support) การปรับมุมเอียง ตำแหน่งของชิ้นงานแต่ละรูปทรง จะเกิดขึ้นเมื่อมุมเอียงมากกว่า 45° จากแนวแกน 90° แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การเกิดฐานรอง (Support) ของมุมเอียง $> 45^\circ$ จากแนวแกน 90°

3.3 วัสดุเส้นพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic Acid: PLA)

กระบวนการผลิตเส้นโดยใช้วิธีการอัดรีด ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นของหัวฉีดอัดรีด 1.75 มม. โดยคุณสมบัติของวัสดุนี้เป็นพลาสติกชีวภาพชนิดหนึ่งที่ยอมรับในงานพิมพ์ 3 มิติ ยังมีคุณสมบัติที่ให้พื้นผิวการพิมพ์ที่เรียบเนียน สวยงาม และความแข็งแรง แต่มีข้อจำกัดบางอย่าง เช่น ความยืดหยุ่นต่ำ เปราะได้ง่าย เมื่อได้รับแรงดัด หรือแรงกระแทกสูง และไม่เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องการความยืดหยุ่น PLA จึงเป็นตัวเลือกที่ดีสำหรับการใช้งานในงานออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการความทนทานต่อความร้อนสูง และเป็นวัสดุที่ตอบสนองต่อความต้องการในการรักษาสีแว่นล้น ความหนาแน่นของวัสดุ PLA ≈ 1.24 ก./ลบ.ซม. โดยพารามิเตอร์ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์ของการขึ้นรูปสามมิติรูปทรงเลขาคณิตของวัสดุ PLA

ลำดับที่	รายการ	ค่า	หน่วย
1	อุณหภูมิหลอมละลาย (Melt temperature)	220	องศาเซลเซียส
2	อุณหภูมิฐาน (Bed temperature)	60	องศาเซลเซียส
3	ความเร็วในการพิมพ์ (Speed)	100	มม./วินาที

3.4 เครื่องพิมพ์สามมิติ

เครื่องพิมพ์สามมิติที่ใช้ในกระบวนการทดลอง รุ่น Anet ET4 เครื่องมีขนาด 440 x 340 x 480 มม. มีขนาดพื้นที่ในการพิมพ์ได้สูงสุด 220 x 220 x 250 มม. ความเร็วสูงสุดในการพิมพ์ 150 มม./วินาที ขนาดหัวฉีด (Nozzle) 0.4 มม. โดยรูปแบบการพิมพ์ภายใน (Infill pattern) เป็นรูปแบบตาราง (Grid) แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เครื่องพิมพ์สามมิติรุ่น Anet ET4

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ข้อผิดพลาดของการวางตำแหน่งชิ้นงานตั้งแต่ 0° ถึง 90° พบว่าลักษณะทางเรขาคณิตของแต่ละรูปทรงส่งผลต่อการเกิดโครงสร้างรองรับและประสิทธิภาพการพิมพ์ที่แตกต่างกัน ดังนี้

4.1 ปริซึมสามเหลี่ยม (Triangular Prism)

เป็นรูปทรงที่มีมุมเอียงในตัว การวางที่มุม 0° ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดเนื่องจากฐานกว้างและไม่มีส่วนยื่นที่เกินกฎ 45° แต่เมื่อเริ่มบิดเอียงชิ้นงานในองศาที่สูงขึ้น พื้นผิวด้านหนึ่งจะกลายเป็นมุม Overhang ทันที ทำให้ต้องมีการสร้าง Support เพื่อพยุงน้ำหนักพลาสติกไม่ให้ยุ่ยตัว แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลการขึ้นรูปการวางตำแหน่งของรูปทรงปริซึมสามเหลี่ยม

4.2 พีระมิด (Pyramid)

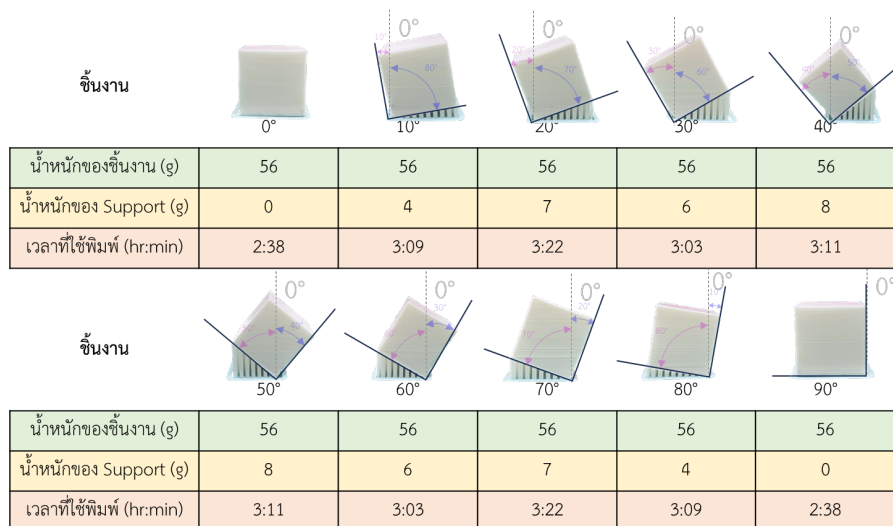
มีลักษณะการกระจายน้ำหนักเข้าสู่ศูนย์กลาง เมื่อวางในแนวปกติจะมีความมั่นคงสูงและไม่จำเป็นต้องใช้ฐานรองรับ แต่หากวางเอียงในทิศทางที่ไม่เหมาะสม พื้นที่ส่วนยอดและด้านข้างจะเกิดแรงโมเมนต์จากน้ำหนักวัสดุในสภาวะกึ่งหลอมละลาย ส่งผลให้ต้องใช้ Support เพื่อประคองรูปทรงให้คงรูปตามแบบ 3 มิติ แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการขึ้นรูปการวางตำแหน่งของรูปทรงพีระมิดสามเหลี่ยม

4.3 ลูกบาศก์ (Cube)

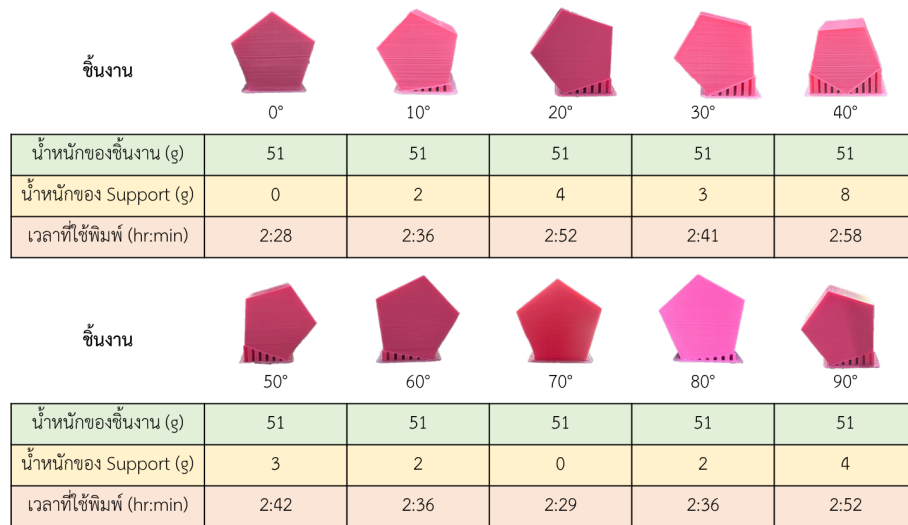
จากผลการทดลองพบว่ารูปทรงลูกบาศก์เมื่อทำมุมเอียง 45° จะเกิดปริมาณโครงสร้างรองรับสูงสุดเนื่องจากพื้นที่ผิวระนาบทั้งหมดเปลี่ยนสภาพเป็นพื้นที่ยื่น (Overhang พื้นที่ลอย) ซึ่งหัวพิมพ์ไม่สามารถยึดเนื้อวัสดุบนอากาศได้ จึงต้องอาศัยฐานรองรับขนาดใหญ่เพื่อรับแรงโมเมนต์จากน้ำหนักวัสดุที่หลอมละลายที่แปรผันตามกฎพื้นที่ยื่น (Overhang) 45 องศา ในขณะที่ทรงกลมมีปริมาณฐานรองรับ (Support) คงที่ เนื่องจากลักษณะทางเรขาคณิตที่มีจุดสัมผัสฐานพิมพ์เพียงจุดเดียว (Tangential Point) ทำให้ทุก ๆ ระนาบมุมเอียง 0–360 องศา มีพฤติกรรมการเกิด Overhang ที่ส่วนโค้งด้านล่างเช่นกัน แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลการขึ้นรูปการวางตำแหน่งของรูปทรงลูกบาศก์

4.4 ปริซึมห้าเหลี่ยม (Pentagonal Prism)

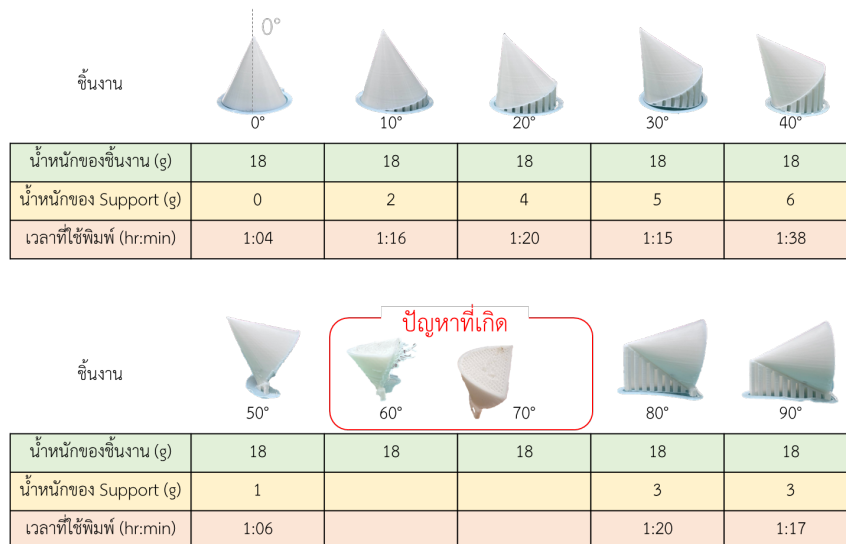
มีความซับซ้อนของมุมมากกว่ารูปทรงสามเหลี่ยม การวางตำแหน่งส่งผลให้เกิดจุดวิกฤต (Critical Point) ในหลายระนาบ โดยเฉพาะเมื่อปรับมุมเอียงในช่วง 70°–90° ซึ่งจะมีการสร้าง Support ในปริมาณที่คงที่ เพื่อรองรับเหลี่ยมมุมที่ยื่นออกมาจนแนวแกนตั้งฉาก แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ผลการขึ้นรูปการวางตำแหน่งของรูปทรงปริซึมห้าเหลี่ยม

4.5 ทรงกรวย (Cone)

เป็นรูปทรงที่มีหน้าตัดเล็กลงตามความสูง หากวางโดยเอาฐานลงจะพิมพ์ได้โดยไม่ต้องใช้ Support แต่การทดสอบวางในตำแหน่งอื่น จะทำให้ผิวโค้งด้านข้างมีส่วนที่ลาดชันเกิน 45° ส่งผลให้ผิวชิ้นงานเกิดปรากฏการณ์ขั้นบันได (Staircase Effect) ได้ง่ายหากไม่มี Support รองรับที่เหมาะสม แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 ผลการขึ้นรูปการวางตำแหน่งของรูปทรงกรวย

4.6 ทรงกลม (Sphere)

เป็นรูปทรงที่มีความอ่อนไหวต่อการวางตำแหน่งสูงสุด เนื่องจากมีจุดสัมผัสกับฐานพิมพ์เพียงจุดเดียวในทางทฤษฎีการวางตำแหน่งใด ๆ จึงเสี่ยงไม่ได้ที่จะต้องใช้ Support ปริมาตรรอบส่วนโค้งด้านล่าง เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุยุบตัวตามแรงโน้มถ่วงของโลก แสดงดังรูปที่ 13

ชิ้นงาน



0-360°

น้ำหนักของชิ้นงาน (g)	31
น้ำหนักของ Support (g)	2
เวลาที่ใช้พิมพ์ (hr:min)	1:28

รูปที่ 13 ผลการขึ้นรูปการวางตำแหน่งของรูปทรงกลม

5. สรุป

จากการวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของการวางตำแหน่งชิ้นงานต่อประสิทธิภาพการพิมพ์ 3 มิติ พบว่าทิศทางการวางบนฐานพิมพ์เป็นปัจจัยวิกฤตที่กำหนดทั้งคุณภาพและต้นทุนการผลิต โดยผลการทดสอบชี้ชัดว่า ลูกบาศก์ และ พีระมิด มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อวางในแนวราบเนื่องจากไม่เกิดโครงสร้างรองรับเลย ในขณะที่ ทรงกลม เป็นรูปทรงที่จัดการยากที่สุดและเกิดขยะวัสดุสูงที่สุดจากการใช้ Support ปริมาณมากรอบฐาน สำหรับ ปริซึมสามเหลี่ยม และ ปริซึมห้าเหลี่ยม จะมีความอ่อนไหวต่อมุมเอียงที่มากกว่า 45 องศา ซึ่งจะเริ่มสร้างภาระด้านเวลาและวัสดุทันที ส่วน ทรงกรวย มักพบปัญหาเรื่องคุณภาพผิวบริเวณส่วนยอดหากวางตำแหน่งไม่เหมาะสม ดังนั้น หลักการสำคัญในการพิจารณาพิมพ์ชิ้นงานคือการใช้ซอฟต์แวร์ Slicer วิเคราะห์หาตำแหน่งที่เกิดมุม Overhang น้อยที่สุดเพื่อลดการใช้ Support พิจารณาเลือกด้านที่มีพื้นที่สัมผัสฐานพิมพ์กว้างที่สุดเพื่อความมั่นคง การประเมินความสมดุลระหว่างเวลาพิมพ์กับคุณภาพผิวชิ้นงานมีปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพผิวในเชิงวิศวกรรม คือ มุมวิกฤต (Critical Angle): สำหรับวัสดุทั้งสองชนิด หากมุมลาดเอียงเกิน 45 องศา จะเริ่มส่งผลต่อคุณภาพผิวได้ ชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากวัสดุจะเริ่มย่อยตัวตามแรงโน้มถ่วง อุณหภูมิและการระบายความร้อนของ PLA ต้องการหล่อเย็นทันทีเพื่อให้วัสดุคงรูปหลังจากออกจากหัวฉีด ในขณะที่ ABS ต้องการสภาพแวดล้อมที่ปิดและอุณหภูมิคงที่เพื่อป้องกันการแยกชั้น (Delamination) และโครงสร้างรองรับ (Support) จะเกิดรอยจุดสัมผัสไว้บนผิวงานเสมอ ดังนั้นการเลือกวางตำแหน่งชิ้นงานเพื่อลด Support จึงเป็นวิธีที่ดีที่สุดในการรักษาคุณภาพผิว ซึ่งในอนาคต ข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นฐานข้อมูลในการตัดสินใจออกแบบผลิตภัณฑ์ (Design for Additive Manufacturing: DfAM) โดยการออกแบบควรคำนวนทิศทางการวางชิ้นงานตั้งแต่ขั้นตอนเริ่มต้น เพื่อลดความซับซ้อนของรูปทรงในส่วนที่ต้องใช้ Support หรือออกแบบส่วนยื่นให้มีมุมลาดเอียงตามกฎ 45° เพื่อลดต้นทุนการผลิต ลดระยะเวลาการทำงาน

สรุปงานวิจัยนี้พบว่า ลักษณะความโค้งมนและจำนวนเหลี่ยมมุมสัมผัสของเรขาคณิตเป็นตัวแปรวิกฤตต่อการเกิดของเสียพลาสติก โดยรูปทรงที่มีระนาบผิวสัมผัสฐานกว้างจะทรงประสิทธิภาพสูงสุดในแนวราบ อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ คือเป็นการประเมินและจำลองผลผ่านซอฟต์แวร์ UltiMaker Cura 5.10.0 บนเงื่อนไขของวัสดุ PLA เท่านั้น ในการทำงานจริงพฤติกรรมของชิ้นงานและการย่อยตัวของวัสดุอาจเปลี่ยนแปลงไปตามประสิทธิภาพของพัลลภระบายความร้อนและประเภทวัสดุอื่น เช่น ABS หรือ PETG ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการทดลองขั้นต่อไปในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุน หลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ในการอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ สำหรับการทดลองในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Manokruang, F. Vignat, M. Museau, and M. Linousin, “Model of Weld Beads Geometry Produced on Surface Temperatures by Wire and Arc Additive Manufacturing (WAAM),” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1063, no. 1, p. 012008, Feb. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1063/1/012008.
- [2] N. Shahrubudin, T. C. Lee, and R. Ramlan, “An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications,” *Procedia Manufacturing*, vol. 35, pp. 1286–1296, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2019.06.089.
- [3] K. Sathish et al., “A Comparative Study on Subtractive Manufacturing and Additive Manufacturing,” *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2022, pp. 1–8, Apr. 2022, doi: 10.1155/2022/6892641.
- [4] R. B. Kristiawan, F. Imaduddin, D. Ariawan, Ubaidillah, and Z. Arifin, “A Review on the Fused Deposition Modeling (FDM) 3D Printing: Filament Processing, Materials, and Printing Parameters,” *Open Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 639–649, Jan. 2021, doi: 10.1515/eng-2021-0063.
- [5] H. Mu, J. Polden, Y. Li, F. He, C. Xia, and Z. Pan, “Layer-by-Layer Model-Based Adaptive Control for Wire Arc Additive Manufacturing of Thin-Wall Structures,” *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 33, no. 4, pp. 1165–1180, Mar. 2022, doi: 10.1007/s10845-022-01920-5.
- [6] D. Singh, M. P. Singh, and Y. Shrivastava, “Influence of Part Orientation on the Quality and Performance of 3D Printed Components: A Comprehensive Review,” *Progress in Additive Manufacturing*, vol. 10, no. 12, pp. 10649–10684, Jul. 2025, doi: 10.1007/s40964-025-01256-5.
- [7] G. Ma, Z. Li, L. Wang, F. Wang, and J. Sanjayan, “Mechanical Anisotropy of Aligned Fiber Reinforced Composite for Extrusion-Based 3D Printing,” *Construction and Building Materials*, vol. 202, pp. 770–783, Jan. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.01.008.
- [8] J. Hartcher-O’Brien, J. Evers, and E. Tempelman, “Surface Roughness of 3D Printed Materials: Comparing Physical Measurements and Human Perception,” *Materials Today Communications*, vol. 19, pp. 300–305, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.mtcomm.2019.01.008.
- [9] J. Yuan, C. Chen, D. Yao, and G. Chen, “3D Printing of Oil Paintings Based on Material Jetting and Its Reduction of Staircase Effect,” *Polymers*, vol. 12, no. 11, p. 2536, Oct. 2020, doi: 10.3390/polym12112536.
- [10] Z. Guoqing, L. Junxin, Z. Xiaoyu, and W. Anmin, “K. Lange, *Handbook of Metal Forming*, New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1985.” *Scientific Reports*, vol. 14, no. 1, p. 18225, Aug. 2024, doi: 10.1038/s41598-024-68733-9.

- [11] J. M. Costa, E. W. Sequeiros, D. Figueiredo, A. R. Reis, and M. F. Vieira, “Additive Manufacturing – Present and Sustainable Future, Materials and Applications,” in *IntechOpen Series*, I. Montealegre–Melendez, Ed., 2024, pp. 181–190.
- [12] B. R. Hunde and A. D. Woldeyohannes, “Future Prospects of Computer-Aided Design (CAD) – A Review from the Perspective of Artificial Intelligence (AI), Extended Reality, and 3D Printing,” *Results in Engineering*, vol. 14, p. 100478, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.rineng.2022.100478.
- [13] K. Opalach, J. Porter–Sobieraj, and P. Zdroik, “Stacking Optimization of 3D Printed Continuous Fiber Layer Designs,” *Advances in Engineering Software*, vol. 164, p. 103077, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.advengsoft.2021.103077.
- [14] S. M. Desai, R. Y. Sonawane, and A. P. More, “Thermoplastic Polyurethane for Three-Dimensional Printing Applications: A Review,” *Polymers for Advanced Technologies*, vol. 34, no. 7, pp. 2061–2082, Mar. 2023, doi: 10.1002/pat.6041.
- [15] V. Chahal and R. M. Taylor, “A Review of Geometric Sensitivities in Laser Metal 3D Printing,” *Virtual and Physical Prototyping*, vol. 15, no. 2, pp. 227–241, Feb. 2020, doi: 10.1080/17452759.2019.1709255.
- [16] J. Nyika, F. M. Mwema, R. M. Mahamood, E. T. Akinlabi, and T. Jen, “Advances in 3D Printing Materials Processing–Environmental Impacts and Alleviation Measures,” *Advances in Materials and Processing Technologies*, vol. 8, no. sup3, pp. 1275–1285, Jun. 2021, doi: 10.1080/2374068x.2021.1945311.
- [17] G. Y. G. Rodriguez, C. M. G. Díaz, and S. Dahiya, “Personalized Medicine: Perspectives on Innovations and Challenges in 3D Printing, Continuous Manufacturing and On–Demand Production,” *Discover Pharmaceutical Sciences*, vol. 1, no. 1, Jul. 2025, doi: 10.1007/s44395–025–00011–7.
- [18] K. Mikula et al., “3D Printing Filament as a Second Life of Waste Plastics—A Review,” *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 28, no. 10, pp. 12321–12333, Sep. 2020, doi: 10.1007/s11356–020–10657–8.
- [19] C. Lv, H. Shen, J. Liu, D. Wu, E. Qu, and S. Liu, “Properties of 3D Printing Fiber–Reinforced Geopolymers Based on Interlayer Bonding and Anisotropy,” *Materials*, vol. 15, no. 22, p. 8032, Nov. 2022, doi: 10.3390/ma15228032.
- [20] M. Doshi, A. Mahale, S. K. Singh, and S. Deshmukh, “Printing Parameters and Materials Affecting Mechanical Properties of FDM–3D Printed Parts: Perspective and Prospects,” *Materials Today: Proceedings*, vol. 50, pp. 2269–2275, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.10.003.
- [21] Y. Mittal et al., “A Mechanistic Model for Overhang Limits in Additive Manufacturing,” *Progress in Additive Manufacturing*, vol. 10, no. 10, pp. 8775–8794, May 2025, doi: 10.1007/s40964–025–01154–w.
- [22] K. Yu, Q. Gao, L. Lu, and P. Zhang, “A Process Parameter Design Method for Improving the Filament Diameter Accuracy of Extrusion 3D Printing,” *Materials*, vol. 15, no. 7, p. 2454, Mar. 2022, doi: 10.3390/ma15072454.

- [23] Y. Yang, Y. Wang, B. Xue, C. Wang, and B. Yang, “Optimization of Fused Deposition Modeling Parameters for Mechanical Properties of Polylactic Acid Parts Based on Kriging and Cuckoo Search,” *Aerospace*, vol. 12, no. 1, p. 38, Jan. 2025, doi: 10.3390/aerospace12010038.
- [24] A. Tsiolikas, T. Spahiu, and J. D. Kechagias, “Experimental Investigation of Build Time During ABS Filament Material Extrusion Process,” in *Lecture Notes on Multidisciplinary Industrial Engineering*, 2024, pp. 339–345, doi: 10.1007/978-3-031-48933-4_33.
- [25] X. Wei et al., “Geometric Accuracy and Dimensional Precision in 3D Printing-Based Gear Manufacturing: A Study on Interchangeability and Forming Precision,” *Polymers*, vol. 17, no. 3, p. 416, Feb. 2025, doi: 10.3390/polym17030416.
- [26] S. D. Dipta, Md. M. Rahman, Md. J. Ansari, and Md. N. Uddin, “A Comprehensive Review of Sustainable and Green Additive Manufacturing: Technologies, Practices, and Future Directions,” *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, vol. 9, no. 8, p. 269, Aug. 2025, doi: 10.3390/jmmp9080269.
- [27] J. J. Nijdam, D. Agarwal, and B. S. Schon, “An Experimental Assessment of Filament-Extrusion Models Used in Slicer Software for 3D Food-Printing Applications,” *Journal of Food Engineering*, vol. 317, p. 110711, Jun. 2021, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2021.110711.
- [28] K. Lange, *Handbook of Metal Forming*, New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1985.