

Received: June 30, 2022; Revised: July 18, 2022; Accepted: July 20, 2022

## การศึกษาปัจจัยมีผลต่อสมบัติทางกลของการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติด้วยแขนหุ่นยนต์ 6 แกน The study of factors affecting mechanical properties of 3D printing with 6-axis robotic arm

กฤต จันทรสมัย<sup>1</sup> วิโรจ ทัศนะ<sup>1\*</sup> ธนกร หอมจำปา<sup>1</sup> และภาสกร ชาลิสานกฤตการ<sup>2</sup>  
Krit Chantarasamai<sup>1</sup>, Wiroj Thasana<sup>1\*</sup>, Tanagorn Homchampa<sup>1</sup>  
and Phassakorn Chalisathanakritdakarn<sup>2</sup>

<sup>1</sup>คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์

<sup>2</sup>Air Conditioner Assembly Engineering Group, Daikin Industries (Thailand) LTD. จังหวัดชลบุรี

\*Corresponding Author E-mail Address : wiroj.th@rmuti.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างระบบการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติด้วยแขนหุ่นยนต์ 6 แกน ด้วยระบบป้อนเส้นใยพลาสติกชนิด ABS ที่ควบคุมผ่านโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ โดยศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติทางกลของเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของพลาสติกที่พิมพ์ขึ้นด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (Taguchi) สำหรับบอร์ทอกอนัลแอร์เรย์แอล 9 ( $3^3$ ) โดยมีปัจจัยควบคุม 3 ตัวแปร 3 ระดับ คือ สัญญาณพัลส์ 180, 190, 200 และระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก 0.9, 1.0, 1.1 มิลลิเมตร และอุณหภูมิหลอมละลายเส้นใยพลาสติก 190, 200, 210 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า ผลลัพธ์ของปัจจัยที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากระดับอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal to-Noise Ratio; S/N) ที่ค่าเฉลี่ยสูงสุด คือ สัญญาณพัลส์ 200 และระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก 0.9 มิลลิเมตร และความร้อนสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติก 210 องศาเซลเซียส และมีค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวมากที่สุดอยู่ที่ 3.422%

**คำสำคัญ:** การผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุ การพิมพ์สามมิติ หุ่นยนต์แขนกล การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ

### Abstract

The objective of this research is to study the fabrication of 3D printing system with a six-axis robot arm with an ABS plastic fiber feeding system controlled with a programmable logic controller. The study has been studied the variables affecting the mechanical properties of the percentage adhesion of printed plastics by using the Taguchi experimental design method with the L9 ( $3^3$ ) orthogonal array and three control factors with 3 levels: 180, 190, 200 pulse signal, and 0.9, 1.0, 1.1 mm plastic fiber spacing and fiber

melting temperature 190, 200, 210 degrees Celsius. The proposed approach of the study confirmed that the optimal factor results based on the highest mean of signal to-noise ratio (S/N) ratio level are 200 pulses and 0.9 mm plastic fiber spacing, and heat for plastic fiber melting 210 °C, and the most elongated percentage at 3.422%.

**Keywords:** Additive Manufacturing (AM), 3D printing, Robotic arm, Taguchi experimental design method

## บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีและนวัตกรรมต่าง ๆ ได้มีการพัฒนาเพื่อตอบสนองความต้องการและอำนวยความสะดวกในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เทคโนโลยีได้มีความก้าวหน้าและพัฒนาอย่างรวดเร็วจนสามารถประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมการผลิตแบบดิจิทัล และได้มีการนำหุ่นยนต์และการผลิตแบบเพิ่มเนื้อวัสดุ (Additive Manufacturing: AM) ไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายสำหรับในภาคอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ ชิ้นส่วนอากาศยาน ซึ่งจำเป็นต้องนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่แบบต่าง ๆ เข้ามาประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสมเพื่อประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพทางการผลิตและเพิ่มมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องมีความผิดพลาดน้อยและมีความละเอียดสูง

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาการผลิตแบบ AM หรือที่เรียกว่าการพิมพ์สามมิติ เป็นการกำหนดกระบวนการของการเพิ่มเนื้อวัสดุ เพื่อสร้างวัตถุจากโมเดลสามมิติด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบในเลเยอร์ที่ต่อเนื่องกัน ซึ่งกระบวนการ AM แบบใหม่ได้รับการพัฒนาในช่วงเวลามากกว่า 20 ปีของการพัฒนา AM พร้อมกับการใช้งานในอวกาศ ยานยนต์ ชีวการแพทย์ ดิจิทัลอาร์ต การออกแบบสถาปัตยกรรม ฯลฯ ซึ่งเมื่อเร็ว ๆ นี้การเพิ่มขึ้นของเทคโนโลยี AM ยังคงเติบโตอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานได้ที่ต้นทุนต่ำในการสร้างต้นแบบอย่างรวดเร็วและการใช้งานด้านการผลิต โดยปัจจุบันส่วนที่โดดเด่นของอุตสาหกรรมการพิมพ์สามมิติมีหลายประเภท เช่น การพิมพ์แบบสเตอริโอไลต์เทอร์กราฟี (Stereolithography: SL), การพิมพ์แบบลามิเนต (Laminated Object Manufacturing: LOM), การพิมพ์แบบการดันวัสดุหลอม (Fused Deposition Modeling: FDM), การพิมพ์แบบซินเตอร์ด้วยเลเซอร์ที่คัดสรร (Selective Laser Sintering: SLS), และ การอัดรีด (Extrusion) เป็นต้น ซึ่งหนึ่งในกระบวนการพิมพ์แบบสามมิติที่ร้อนแรงที่สุดในการศึกษาวิจัยและพัฒนาในขณะนี้คือ การพิมพ์แบบ FDM ซึ่งจำเป็นต้องศึกษาค้นคว้าในการปรับปรุงสมบัติทางกลอย่างมีนัยสำคัญให้เพิ่มขึ้น การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของความหนาผิว และความถูกต้องแม่นยำทางมิติของชิ้นส่วนที่พิมพ์ขึ้นงาน 3 มิติ โดยใช้แนวทางวิธีทาญูชิ (Moza et al., 2015; Parandoush and Lin., 2017; Ahmad et al., 2019; Munproma and Limtasiri, 2019)

Tim et al. (2018) ได้เสนอการศึกษาแบบจำลองการพิมพ์แบบ FDM ซึ่งนำเสนอเชิงวิเคราะห์ภายในหัวฉีดของกระบวนการผลิตเส้นใยแบบหลอมรวมที่อัตราการหลอมเหลวสูงสุดที่ถูกควบคุมโดยแรงที่ส่งผลต่อสมบัติทางกล ซึ่งการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองกับแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าสมมติฐานที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองนั้นเป็นไปได้ และแบบจำลองนั้นสามารถนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และต่อมา Tan and Low. (2018) ได้เสนอการศึกษารางไฟฟ้าฝังตัวในวัตถุที่พิมพ์ 3 มิติโดยการผลิตเส้นใยผสมของวัสดุผสมที่เป็นสื่อกระแสไฟฟ้าแรงสูงเพื่อส่งผลต่อสมบัติทางกล และ Luan et al. (2018) ได้เสนอการศึกษาเทอร์โมพลาสติกเสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์แบบต่อเนื่องที่ตรวจสอบตัวเองโดยใช้กระบวนการรวมการพิมพ์สามมิติแบบสองวัสดุที่ส่งผลต่อสมบัติทางกล และต่อมา Carabina et al. (2021) ได้เสนอการศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานสำหรับการพิมพ์สามมิติด้วยหุ่นยนต์เดลด้าเชิงเส้นที่ติดตั้งสปริงที่เหมาะสมที่สุด และ Li et al. (2021) ได้เสนอการศึกษาเทคโนโลยีการพิมพ์ชีวภาพสามมิติด้วยหุ่นยนต์ในแหล่งกำเนิดเพื่อซ่อมแซมข้อบกพร่องของท่อนกระดูกขนาดใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยค้นคว้างกล่าวข้างต้นเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เครื่องพิมพ์สามมิติแบบ FDM ด้วย

แขนหุ่นยนต์เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกลเพื่อศึกษาการจับยึดตัวของพลาสติกก็ยังไม่มีการศึกษาค้นคว้าในการใช้งานอย่างแพร่หลาย

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การสร้างระบบการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติด้วยแขนหุ่นยนต์ 6 แกน ด้วยระบบป้อนเส้นใยพลาสติกชนิด Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) ที่ควบคุมผ่านโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (Programmable Logic Control : PLC) เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติทางกลของการจับยึดตัวของพลาสติกด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (Taguchi Method) โดยการศึกษารูปแบบของชุดพิมพ์ชิ้นงานสามมิติ หลักการทำงาน รวมไปถึงหลักการสร้างชุดพิมพ์ชิ้นงานสามมิติ โดยใช้ PLC ในการเชื่อมต่อระหว่างแขนหุ่นยนต์กับชุดพิมพ์ชิ้นงานสามมิติ เนื่องจากได้เล็งเห็นว่าการใช้เครื่องพิมพ์สามมิติหากต้องการชิ้นงานที่มีความซับซ้อนหรือมีขนาดใหญ่ เครื่องพิมพ์สามมิติจะต้องมีขนาดใหญ่ตาม ซึ่งแขนหุ่นยนต์มีความเหมาะสมและอิสระให้การเคลื่อนที่มากกว่า ทำให้สามารถพิมพ์ชิ้นงานที่ซับซ้อนหรือมีขนาดใหญ่ได้

## วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การดำเนินการวิจัยเริ่มต้นโดยการศึกษาอุปกรณ์ของเครื่องพิมพ์ชิ้นงานสามมิติเพื่อนำมาวิเคราะห์และออกแบบชุดพิมพ์ชิ้นงานสามมิติที่จะนำมาติดตั้งกับแขนหุ่นยนต์ หลังจากเริ่มศึกษาอุปกรณ์ต่าง ๆ จนได้ชิ้นงานและรูปแบบของชุดพิมพ์ชิ้นงานสามมิติที่จะนำมาติดตั้งกับแขนหุ่นยนต์เสร็จแล้ว ดำเนินการออกแบบอุปกรณ์การพิมพ์สามมิติทั้งระบบทางกลและไฟฟ้า หลังจากนั้นก็หาข้อสรุปกันว่ารูปแบบของชุดพิมพ์ชิ้นงานสามมิติที่ได้ออกแบบนั้นสามารถทำงานได้หรือไม่ โดยวิเคราะห์ระบบการจำลองการเคลื่อนไหวก่อนขึ้นชิ้นส่วนต่าง ๆ ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบ ถ้าผลการจำลองการเคลื่อนไหวก่อนถูกต้อง ก็ดำเนินการในขั้นตอนถัดไปคือ การสร้างระบบอุปกรณ์การพิมพ์สามมิติ หลังจากสร้างระบบเสร็จแล้วก็ดำเนินการทดสอบเบื้องต้นว่าสามารถใช้งานได้หรือไม่ และหลังจากที่ได้ทำการทดลองจนสามารถใช้งานได้แล้วจึงนำชุดอุปกรณ์การพิมพ์ชิ้นงานสามมิติไปติดตั้งกับแขนหุ่นยนต์พร้อมการต่อวงจรของระบบการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติเข้ากับแขนหุ่นยนต์ เมื่อสามารถใช้งานได้จึงเริ่มนำไปพิมพ์ชิ้นงานทดสอบตามค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่กำหนด เพื่อมาทดสอบความยืดหยุ่นของชิ้นงาน แล้วนำมาวิเคราะห์ผลโดยวิธีแบบทากูชิและสรุปผลการทดลอง

### 1. วัสดุ และอุปกรณ์

การสร้างอุปกรณ์การพิมพ์สามมิติต่อเข้ากับแขนหุ่นยนต์ 6 แกน ในงานวิจัยนี้ใช้ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น Melfa RV-3S และการควบคุมแขนหุ่นยนต์ใช้โปรแกรม RT Toolbox3 เพื่อสั่งการเคลื่อนไหวดังแสดงในรูปที่ 1 และระบบป้อนการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติใช้เส้นใยพลาสติกชนิด ABS ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มม. ที่ควบคุมผ่าน PLC ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FX3U-32MT/ES

### 2. การต่อวงจรไฟฟ้าของระบบการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติ

การต่อวงจรของระบบการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติสำหรับแขนหุ่นยนต์แบ่งออกเป็น 5 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ 1. การต่อวงจร Stepper Motor 42BYGH34 1.3A และ Microstep Driver TB6600 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ให้สามารถเคลื่อนที่และปรับความเร็วของเส้นใยพลาสติกที่ขนาดหัวฉีด 1.75 มม. และ 2. การต่อวงจรของ Heated Bed MK2b PCB 214x214 เป็นตัวช่วยยึดให้เส้นใยที่ไหลออกมาจากหัวฉีดมีแรงตึงผิว ทำให้เส้นใยที่พิมพ์ออกมาไม่ไหลไปมาเกาะตัวอยู่กับที่ และ 3. การต่อวงจร Heat Tube ช่วยทำให้เส้นใยพลาสติกละลายและไหลออกจากหัวฉีดพลาสติก และ 4. การต่อวงจรอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งใช้อุปกรณ์รุ่น Temperature Controller TC4S-24R และรุ่น REX-C100FK02-M\_AN



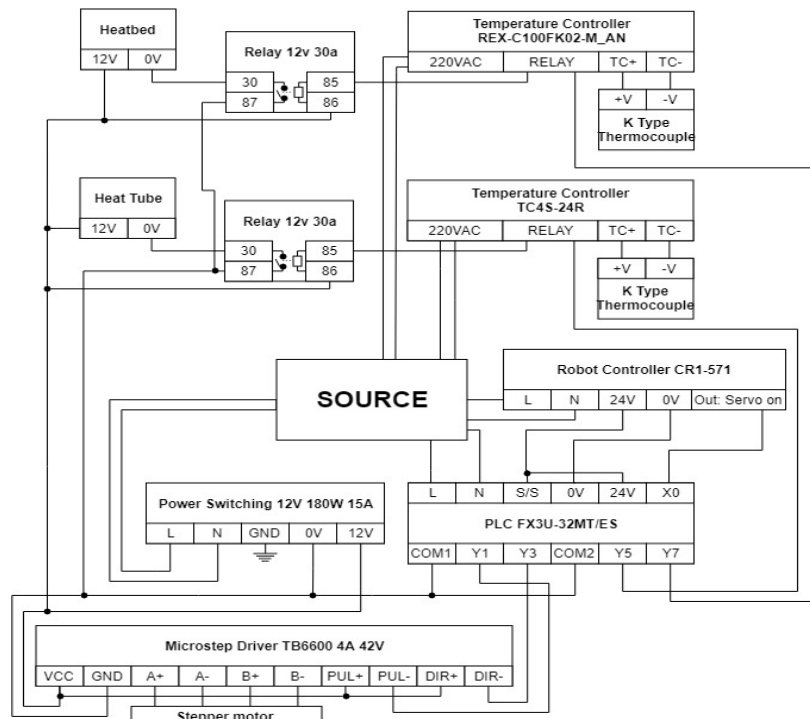
(ก) แขนหุ่นยนต์พิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติ



(ข) ชุดหัวอัดรีดเส้นใยพลาสติก

รูปที่ 1 ระบบการพิมพ์สามมิติด้วยแขนหุ่นยนต์ 6 แกน ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น Melfa RV-3S

โดยทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สำหรับการควบคุมอุณหภูมิตัว Heat Tube ให้ได้อุณหภูมิที่ตามต้องการ และ 5. การต่อวงจรของการควบคุมหุ่นยนต์ (Robot Controller) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์และเชื่อมไปยังอุปกรณ์ PLC เพื่อส่งสัญญาณไปยังระบบการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติให้ทำงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การต่อวงจรทั้งหมดของระบบการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติด้วยแขนหุ่นยนต์

ระบบการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติด้วยแขนหุ่นยนต์ทั้ง 5 ส่วนนี้จะมีจุดร่วมกันคือต้องต่อเข้ากับ PLC FX3U โดยการเขียนในรูปแบบแลดเดอร์ไดอะแกรม (Ladder Diagram) ของโปรแกรม PLC ซึ่งจะกำหนดให้รับสัญญาณฝั่งป้อนเข้า (Input) 1 ตัว นั่นคือสัญญาณของการควบคุมหุ่นยนต์ เพื่อนำไปส่งสัญญาณของฝั่งป้อนออก (Output) ให้ทำงาน โดยอุปกรณ์ฝั่งป้อนออกจะมี 3 ตัว ได้แก่ Stepper Motor, Heatbed และ Heat Tube

### 3. การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ

วิธีการของทากูชิเป็นวิธีการที่ใช้คัดกรองปัจจัย โดยคำนึงถึงปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือปัจจัยรบกวนของกระบวนการ โดยจะดำเนินการทดลองตามออร์โธโกนอลอาร์เรย์ (Orthogonal Arrays) เพื่อลดจำนวนการทดลองให้เหมาะสมกับเงื่อนไขที่กำหนด ส่งผลทำให้ไม่ต้องทำการทดลองซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลของทากูชิเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากระดับอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal to Noise Ratio, S/N) ซึ่งแบ่งได้เป็น 3 กรณี คือ กรณียิ่งมียิ่งดี (Larger-the Better) กรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-the Better) และกรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด (Target-the Better) (Moza et al., 2015; Ahmad et al., 2019; Munproma and Limtasiri, 2019) โดยในงานวิจัยนี้ทำการหาค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานพิมพ์สามมิติที่มากที่สุดเป็นกรณียิ่งมียิ่งดี (Larger-the Better) สามารถแสดงการคำนวณได้ดังนี้

กรณียิ่งมียิ่งดี (Larger-the Better) เป็นการสมมติอัตราส่วน S/N เป้าหมายคือค่าสูงสุดของผลตอบสนองและเป็นค่าที่เหมาะสมเมื่อแสดงรายการเพียงพิสัยความเพื่อกำหนดด้านล่างหาได้จากสมการดังนี้

$$S/N_L = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum \frac{1}{y^2} \right] \quad (1)$$

ซึ่งเป้าหมายของการทดลองสำหรับสถานการณ์กรณียิ่งมียิ่งดี คือค่ามากที่สุดของผลตอบของกระบวนการ แต่ค่า y มากที่สุดคือน้อยที่สุดของ  $1/y$  และค่า  $1/y$  นั้นเป้าหมายสูงสุดหาได้จากสมการที่ 2 ดังนี้

$$1/y = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum \frac{1}{y^2} \right] \quad (2)$$

จากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยเลือกใช้ Orthogonal array แบบ L9 ( $3^3$ ) ดังนั้นจะได้การทดลองทั้งหมด 9 การทดลอง ในการทดลองนี้ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ ที่มีทั้งหมด 3 ปัจจัย และแต่ละปัจจัยแบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ สัญญาณพัลส์ 3 สัญญาณได้แก่ 180, 190, 200 ระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก 3 ระยะได้แก่ 0.9, 1.0, 1.1 มิลลิเมตร และอุณหภูมิหลอมละลายเส้นใยพลาสติก 3 ระดับได้แก่ 190, 200, 210 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 1 และเมื่อออกแบบการทดลองตาม Orthogonal Array แบบ L9 ( $3^3$ ) ด้วยปัจจัยและระดับทั้งหมดของงานวิจัยจะได้ตารางสำหรับการทดลองการทดสอบเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ แสดงดังแสดงตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ปัจจัยและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

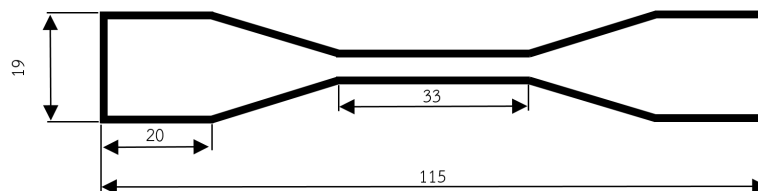
| ปัจจัยควบคุม                 | ระดับการทดลอง |     |      |
|------------------------------|---------------|-----|------|
|                              | 1             | 2   | 3    |
| สัญญาณพัลส์                  | 180           | 190 | 200  |
| ระยะห่างระหว่างเส้นใย (mm)   | 0.90          | 1.0 | 1.10 |
| อุณหภูมิหลอมละลายเส้นใย (°C) | 190           | 200 | 210  |

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานพิมพ์สามมิติที่พิมพ์ตามมาตรฐานของ ASTM D638 Type IV

| ชิ้นงานที่ | สัญญาณพัลส์<br>มอเตอร์ | ระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก<br>(มิลลิเมตร) | ความร้อนสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติก<br>(องศาเซลเซียส) |
|------------|------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 1          | 180                    | 0.9                                         | 200                                                   |
| 2          | 180                    | 1.0                                         | 210                                                   |
| 3          | 180                    | 1.1                                         | 190                                                   |
| 4          | 190                    | 0.9                                         | 210                                                   |
| 5          | 190                    | 1.0                                         | 190                                                   |
| 6          | 190                    | 1.1                                         | 200                                                   |
| 7          | 200                    | 0.9                                         | 190                                                   |
| 8          | 200                    | 1.0                                         | 200                                                   |
| 9          | 200                    | 1.1                                         | 210                                                   |

#### 4. การพิมพ์ชิ้นงาน 3 มิติด้วยหุ่นยนต์แขนกล

การพิมพ์ชิ้นงานสามมิติด้วยแขนหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้น จะทำการทดสอบโดยการพิมพ์ชิ้นงานตามมาตรฐานของวัสดุ ASTM D638 Type IV ของการทดสอบคุณสมบัติแรงดึงของพลาสติก โดยมีความกว้าง  $19 \pm 2$  มิลลิเมตร ความยาว  $115 \pm 2$  มิลลิเมตร และความหนา  $2.1 \pm 0.2$  มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ชิ้นงานพิมพ์สามมิติตามรูปแบบมาตรฐานของ ASTM D638 Type IV

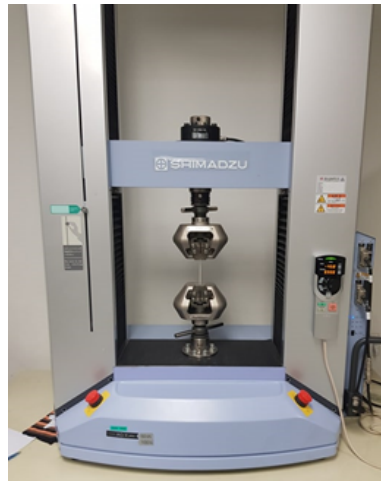
หลังจากที่กำหนดขนาดชิ้นงานการทดสอบดังรูปที่ 3 เรียบร้อย ผู้วิจัยได้นำไปเขียนแบบด้วยคอมพิวเตอร์ 3D แล้วนำไปพิมพ์เป็นชิ้นงานสามมิติด้วยโปรแกรมควบคุมแขนหุ่นยนต์ RT Toolbox3 ผ่าน PLC ยี่ห้อ Mitsubishi รุ่น FX3U 32MT/ES โดยพิมพ์ชิ้นงานสามมิติด้วยระบบป้อนเส้นใยพลาสติกชนิด ABS เป็นจำนวน 9 ชิ้นดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ชิ้นงานพิมพ์สามมิติที่ได้จากระบบการพิมพ์สามมิติด้วยแขนหุ่นยนต์

เมื่อได้ชิ้นงานทดสอบดังรูปที่ 4 จำนวน 9 ชิ้น ด้วยปัจจัยและพารามิเตอร์ตามตารางที่ 1 แล้วนั้น ผู้วิจัยได้นำชิ้นงานไปทำการทดสอบเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานพลาสติกที่ได้จากการพิมพ์สามมิติ ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง ยี่ห้อ

Shimadzu ดังรูปที่ 5 และชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงดึงออกมาแล้วแสดงดังรูปที่ 6 จากนั้นนำผลของค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของชิ้นงานทั้ง 9 ชิ้นมาทำการการเปรียบเทียบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3



รูปที่ 5 เครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ Shimadzu



รูปที่ 6 ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงดึง

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของชิ้นงานพิมพ์สามมิติที่พิมพ์ตามมาตรฐานของ ASTM D638 Type IV

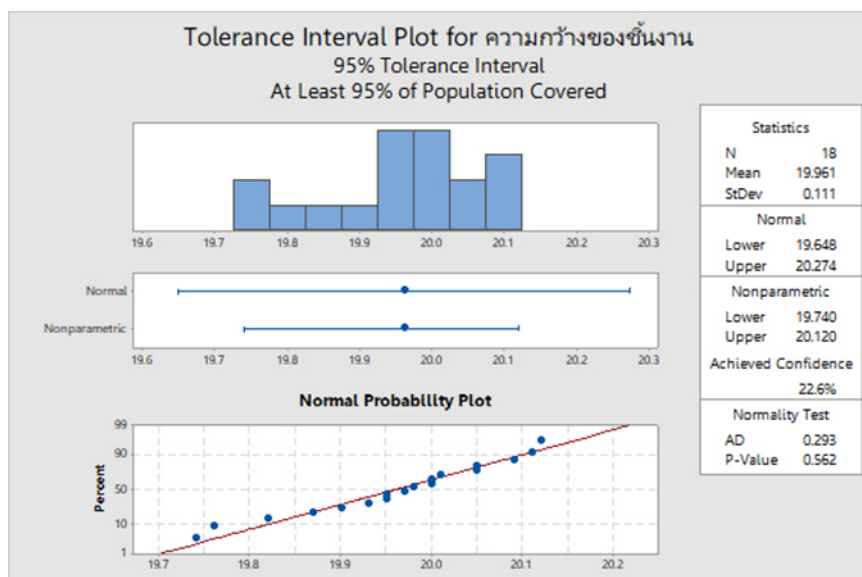
| ชิ้นงานที่ | สัญญาณพัลส์<br>มอเตอร์ | ระยะห่างระหว่างเส้นใย<br>พลาสติก (มิลลิเมตร) | ความร้อนสำหรับการละลายเส้นใย<br>พลาสติก (องศาเซลเซียส) | เปอร์เซ็นต์การ<br>ยืดตัว |
|------------|------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1          | 180                    | 0.9                                          | 200                                                    | 3.422                    |
| 2          | 180                    | 1.0                                          | 210                                                    | 2.551                    |
| 3          | 180                    | 1.1                                          | 190                                                    | 0.959                    |
| 4          | 190                    | 0.9                                          | 210                                                    | 2.949                    |
| 5          | 190                    | 1.0                                          | 190                                                    | 1.451                    |
| 6          | 190                    | 1.1                                          | 200                                                    | 0.441                    |
| 7          | 200                    | 0.9                                          | 190                                                    | 2.656                    |
| 8          | 200                    | 1.0                                          | 200                                                    | 2.389                    |
| 9          | 200                    | 1.1                                          | 210                                                    | 2.107                    |

จากตารางที่ 3 แสดงการทดสอบเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานพิมพ์สามมิติ ผลปรากฏว่าชิ้นงานที่ 1 ที่มีการจ่ายสัญญาณพัลส์ 180 และระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก 0.9 มิลลิเมตร และความร้อนสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติก 200 องศาเซลเซียส มีค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวมากที่สุด คือ 3.422% ส่วนชิ้นงานที่ 6 มีค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัวน้อยที่สุด คือ 0.441% ด้วยสัญญาณพัลส์ 190 และระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก 1.1 มิลลิเมตร และความร้อนสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติก 200 องศาเซลเซียส

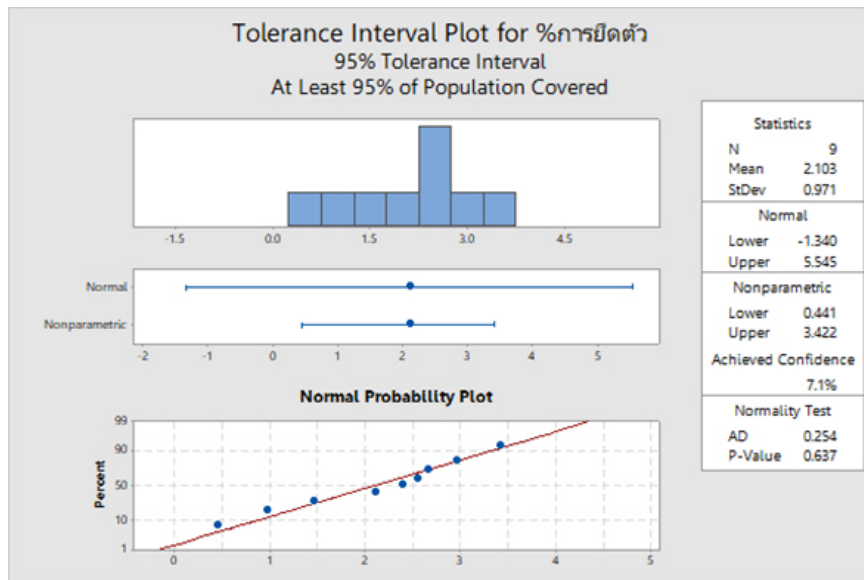
จากผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงาน ดังตารางที่ 3 เมื่อทำการวิเคราะห์ระหว่างชิ้นงานที่ 1 และชิ้นงานที่ 6 จะเห็นได้ว่าที่ความร้อนสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติก 200 องศาเซลเซียสเท่ากัน แต่สัญญาณพัลส์และระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติกต่างกันส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นต่างกัน เนื่องจากการควบคุมสัญญาณพัลส์และการตั้งค่าระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติกที่ไม่สัมพันธ์กัน

## ผลการวิจัย

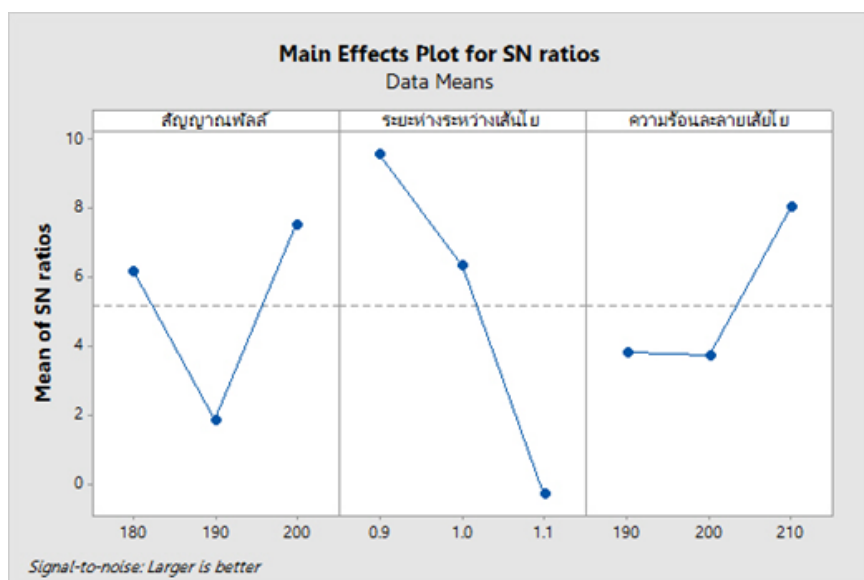
จากผลการทดลองโดยนำ 3 ปัจจัย 3 ระดับที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของเส้นใยพลาสติกชนิด ABS ซึ่งประกอบไปด้วยสัญญาณพัลส์ ระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก และความร้อนสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติก มาทดลองพิมพ์ชิ้นงานสามมิติ (3D) โดยเปลี่ยนปัจจัยของ สัญญาณพัลส์ ระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก และอุณหภูมิหลอมละลายเส้นใยพลาสติกทุกครั้ง โดยทำการทดสอบตามหลักการการออกแบบการทดลองแบบทาคุชิ (Taguchi) พบว่าเมื่อทำการวัดขนาดครบทั้งหมด 18 ครั้งแล้วจึงนำมาหาความคลาดเคลื่อนของความกว้างของชิ้นงานทดสอบ โดยจากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของความกว้างชิ้นงานทดสอบจะอยู่ที่ 19.961 มิลลิเมตร และมีค่า P-Value เท่ากับ 0.562 ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งมากกว่าขนาดของการพิมพ์ชิ้นงานทดสอบอยู่ที่ 19 มิลลิเมตร และมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 สาเหตุที่ทำให้ความกว้างของชิ้นงานไม่เป็นไปตามขนาดที่ตั้งไว้มีสาเหตุหลักมาจากสัญญาณพัลส์ ระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก และความร้อนสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติก ที่มีการเปลี่ยนค่าสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติกในระหว่างการพิมพ์ชิ้นงาน ซึ่งมีผลทำให้ขนาดของแต่ละชิ้นงานมีค่าไม่เท่ากัน



รูปที่ 7 แสดงความคลาดเคลื่อนของความกว้างชิ้นงานจากการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติ



รูปที่ 8 แสดงความคลาดเคลื่อนของเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานจากการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติ



รูปที่ 9 กราฟแสดงค่าปัจจัยโดยเทียบกับสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 8 แสดงความคลาดเคลื่อนของเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานจากการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติ จากชิ้นงาน 9 ชิ้นงาน พบว่า มีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของชิ้นงานอยู่ที่ 2.103 เปอร์เซนต์ และมีค่า p-value เท่ากับ 0.637 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.05 เมื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดค่า p-value มากถึง 0.637 นั้นเกิดจากจำนวนชั้นของชิ้นงานแต่ละชั้นมีค่าไม่เท่ากัน เนื่องจากการเปลี่ยนค่า สัญญาณพัลส์ ระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก และความร้อนสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติกในระหว่างการพิมพ์ชิ้นงาน ซึ่งมีผลทำให้ความหนาของแต่ละชิ้นงานมีค่าไม่เท่ากัน

การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของเส้นใยพลาสติก ABS จะใช้การวิเคราะห์ผลลัพธ์ของหลักการทำงานของแบบทากูชิ เพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากระดับของสัญญาณรบกวนที่มีค่าสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 3 สรุปปัจจัยที่ตอบสนองต่ออัตราส่วนสัญญาณรบกวนของตัวแปรในการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติตามผลความ

แตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก สัญญาณพัลส์ และความร้อนสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติก ตามลำดับจากมากไปน้อย และการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของทากูชิเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากระดับอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal to-Noise Ratio, S/N) ที่ค่าสูงสุดดังแสดงในรูปที่ 9 ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว คือ ผลลัพธ์ของการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติที่ค่าเฉลี่ยของสัญญาณสูงสุดคือ สัญญาณพัลส์ 200 ที่ขั้นที่ 3 และระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก 0.9 มิลลิเมตร ที่ขั้นที่ 1 และความร้อนสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติก 210 องศาเซลเซียส ที่ขั้นที่ 3

ตารางที่ 4 การตอบสนองต่อสัญญาณรบกวน

| ขั้นที่  | สัญญาณพัลส์ | ระยะห่างระหว่าง<br>เส้นใยพลาสติก | ความร้อนสำหรับการละลาย<br>เส้นใยพลาสติก |
|----------|-------------|----------------------------------|-----------------------------------------|
| 1        | 6.153       | 9.521                            | 3.786                                   |
| 2        | 1.838       | 6.311                            | 3.712                                   |
| 3        | 7.506       | -0.334                           | 8.001                                   |
| Delta    | 5.668       | 9.856                            | 4.289                                   |
| ลำดับที่ | 2           | 1                                | 3                                       |

## บทสรุป

การสร้างระบบการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติด้วยแขนหุ่นยนต์ 6 แกน ด้วยระบบป้อนเส้นใยพลาสติกชนิด ABS ที่ควบคุมผ่านโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อสมบัติทางกลของการจับยึดตัวโดยพิจารณาเรื่องเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของพลาสติกด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ (Taguchi) จากผลการทดลองโดยนำ 3 ปัจจัย 3 ระดับที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของเส้นใยพลาสติกชนิด ABS ซึ่งประกอบไปด้วย สัญญาณพัลส์ ระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก และความร้อนสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติก มาทดลองพิมพ์ชิ้นงานสามมิติโดยเปลี่ยนปัจจัยทุกครั้งตามหลักการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ พบว่าการใช้สัญญาณพัลส์ที่ 180 ระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก 0.9 มิลลิเมตร และความร้อนสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติกที่ 200 องศาเซลเซียส มีเปอร์เซ็นต์การยึดตัวที่มากที่สุดซึ่งมีค่าอยู่ที่ 3.422% และมีระดับความเชื่อมั่นอยู่ที่ 7.1% อันเกิดจากสาเหตุหลายปัจจัยได้แก่ 1) ตัวจับยึดระหว่างชิ้นงานกับชุดพิมพ์ชิ้นงานสามมิติไม่มีความแข็งแรงคงทนและมีความสั่นคลอนอยู่เล็กน้อย 2) การเคลื่อนที่ของแขนหุ่นยนต์มีความคลาดเคลื่อน และมีความเร็วไม่สม่ำเสมอในการเคลื่อนที่ เช่น เวลาเคลื่อนที่โค้งจะเร็วกว่าเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง 3) ลูกกลิ้งในการรีดเส้นใยพลาสติกกับมอเตอร์ ถ้าการตั้งลูกกลิ้งไม่ดีจะทำให้การป้อนเส้นใยด้วยสัญญาณพัลส์ที่ต่างกันมีความคลาดเคลื่อนได้ แต่ภาพรวมการทดลองนี้เป็นไปตามจุดประสงค์ของงานวิจัย และปัจจัยที่เหมาะสมสำหรับเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของเส้นใยพลาสติก ABS โดยพิจารณาจากระดับของสัญญาณรบกวนที่มีค่าสูงสุดที่ตอบสนองต่ออัตราส่วนสัญญาณรบกวนของตัวแปรในการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติตามผลความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของแต่ละปัจจัย ได้แก่ ระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก สัญญาณพัลส์ และความร้อนสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติก ตามลำดับจากมากไปน้อย และการวิเคราะห์ผลลัพธ์ของทากูชิเพื่อกำหนดระดับของปัจจัยที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากระดับอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (S/N) ที่ค่าสูงสุดที่ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์การยึดตัว คือ ผลลัพธ์ของการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติที่ค่าเฉลี่ยของสัญญาณสูงสุดคือ สัญญาณพัลส์ 200 ที่ขั้นที่ 3 และระยะห่างระหว่างเส้นใยพลาสติก 0.9 มิลลิเมตร ที่ขั้นที่ 1 และความร้อนสำหรับการละลายเส้นใยพลาสติก 210 องศาเซลเซียส ที่ขั้นที่ 3

## กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลงด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์ เครื่องมือ อุปกรณ์ต่าง ๆ จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น และขอขอบคุณ บริษัท Daikin Industries (Thailand) LTD. จังหวัดชลบุรี ในการดำเนินการให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลงไปด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- Ahmad M.N., Rahman M.H.B.A. and Maidin N.A. (2019). Optimization on surface roughness of fused deposition modelling (FDM) 3D printed parts using Taguchi approach. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Chapter: Intelligent Manufacturing and Mechatronics. Publishing: Springer Nature. 230-243.
- Carabina G., Scalera L., Wongratanaphisanb T. and Vidonia R. (2021). An energy-efficient approach for 3D printing with a Linear Delta Robot equipped with optimal springs. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 67:102045.
- Lan L., Jianping S., Kaiwei M., Jing J., Peng W., Huixin L., Yi C., Xingsong W. and Qing J. (2021). Robotic in situ 3D bio-printing technology for repairing large segmental bone defects. Journal of Advanced Research. 30: 75-84.
- Luan X.Y., Chengzhe L., Liujian L. and Jianzhong F. (2018). Self-monitoring continuous carbon fiber reinforced thermoplastic based on dual material three-dimensional printing integration process. Carbon. 140: 100-111.
- Moza Z., Kitsakis K., Kechagia J. and Mastorakis N. (2015). Optimizing dimensional accuracy of fused filament fabrication using Taguchi design. Recent Researches in Electrical and Computer Engineering. June 2015: 110-114.
- Munproma R. and Limtasiri L. (2019). Optimization of stereolithographic 3D printing parameters using Taguchi method for improvement in mechanical properties. Materials Today: Proceedings. 17: 1768-1773.
- Parandoush P. and Lin. D. (2017). A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites. Composite Structures. 182: 36-53.
- Tan J. C. and Low H. Y. (2018). Embedded electrical tracks in 3D printed objects by fused filament fabrication of highly conductive composites. Additive Manufacturing. 23: 294-302.
- Thasana W., Kaewdook D., Khantiyanuwat P., Boonsiri N. and Yoshida Y. (2015). Study of 3D Printer for Educational Use, paper presented in the 6th TSME International Conference on Mechanical Engineering (ICoME 2015), 16-18 December 2015, Phetchaburi, Thailand.
- Tim A., Osswald J. P. and Kattinger J. (2018). Fused filament fabrication melting model. Additive Manufacturing. 22: 51-59.