



การใช้เครื่องมือการทำการตัดสินใจแบบหลายปัจจัยในการแก้ปัญหาทิศทางการผลิตชิ้นงานจากการผลิตแบบดั้งเดิมและแบบพิมพ์สามมิติ

กสิณ รังสิกรรพุม*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: kasinphd@gmail.com

วันที่รับบทความ: 25 ตุลาคม 2562; วันที่ทบทวนบทความ: 6 ธันวาคม 2562; วันที่ตอบรับบทความ: 25 ธันวาคม 2562

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 19 มีนาคม 2563

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาทิศทางการผลิตชิ้นงานจากกระบวนการผลิตด้วยเทคโนโลยีแบบดั้งเดิมและแบบพิมพ์สามมิติโดยเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการใช้เครื่องพิมพ์สามมิติแบบหัวฉีด Fused Deposition Modeling (FDM) เครื่องพิมพ์สามมิติแบบฉายแสง Stereolithography (SLA) และเครื่องกลึงในการผลิตชิ้นงานประกอบ โดยวัสดุที่ใช้สำหรับเครื่อง FDM คือพลาสติก Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) และพลาสติก Polylactic Acid (PLA) ส่วนวัสดุที่ใช้กับเครื่อง SLA คือ เรซิน และวัสดุเครื่องกลึงคือแท่งพลาสติก ABS โดยทำการผลิตชิ้นงาน 4 แนวในทิศทาง 0 องศา 45 องศา 90 องศา และ 180 องศาตามลำดับ และเก็บข้อมูลปัจจัยการผลิตคือปริมาณวัสดุ เวลาในการผลิต ต้นทุนการผลิต ของเสียจากวัสดุสนับสนุน ความแม่นยำของชิ้นงาน การประกอบ และคุณภาพผิวสำเร็จ จากนั้นใช้เครื่องมือการทำการตัดสินใจแบบหลายปัจจัยในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (Data Envelopment Analysis: DEA) สำหรับแต่ละกลุ่มเทคโนโลยีการผลิตและประเภทวัสดุ จากนั้นใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) เพื่อหาค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยตามความต้องการของแต่ละผู้ตัดสินใจ และทำการนอร์มัลไลเซชันเชิงเส้นตรง (Linear Normalization) เพื่อเป็นตัวชี้วัดในการหาการผลิตชิ้นงานที่ดีที่สุด โดยพบว่าชิ้นงานที่ผลิตในแนว 0 องศาเป็นชิ้นงานที่เหมาะสมที่สุด โดยมีจุดเด่นในด้านปัจจัยปริมาณวัสดุที่ใช้ ต้นทุนในการผลิต และการเกิดของเสียในการผลิตที่ต่ำที่สุด ซึ่งพบว่ารูปแบบเทคโนโลยีในการผลิตที่แตกต่างกันส่งผลต่อปัจจัยในการผลิตที่แตกต่างกัน และความต้องการของผู้ตัดสินใจในรูปแบบของค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยส่งผลต่อผลการผลิตชิ้นงานที่ดีที่สุดเช่นกัน

คำสำคัญ: เทคโนโลยีเครื่องพิมพ์สามมิติ; ปัญหาทิศทางการผลิตชิ้นงาน; การทำการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย; วิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล; กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์; วิธีการนอร์มัลไลเซชันเชิงเส้นตรง

Multi-Criteria Decision Analysis-based Orientation Selection Problem for Integrated 3D Printing and Subtractive Manufacturing

Kasin Ransikarbum *

Department of Industrial Engineering, Ubon Ratchathani University

* Corresponding author, E-mail: kasinphd@gmail.com

Received: 25 October 2019; Revised 6 December 2019; Accepted: 25 December 2019

Online Published: 19 March 2020

Abstract: This study examines the orientation selection problem for the three-dimensional printing (3DP) and subtractive manufacturing technologies by comparing the 3D Fused Deposition Modeling (FDM), the 3D Stereolithography (SLA), and the lathe machine for assembly part production. Whereas materials used for 3D FDM are Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) and Polylactic Acid (PLA) thermoplastics and material used for 3D SLA is resin; the material used for lathe machine is solid ABS. The orientation directions analyzed for 3DP assembly parts are from 0 degrees, 45 degrees, 90 degrees, and 180 degrees, respectively. Data are then collected for the comparative study from various criteria, which are consumed material, production time, production cost, support material, production accuracy, assembly, and surface quality. Then, we use the multi-criteria decision analysis (MCDA) techniques by starting with the Data Envelopment Analysis (DEA) to analyze the relative efficiency of each manufacturing technology group and each material type. Then, multiple factors are analyzed using the Analytic Hierarchy Process (AHP) to assess the criteria weight based on the preference of a decision-maker. The Linear Normalization analysis is then later used to find the best alternative of orientation direction. The results show that production orientation with 0 degrees provides the best orientation alternative superior in terms of minimal consumed material, production cost, and support material. In addition, dissimilar technologies are found to affect production criteria and preferences from decision-makers are also found to impact how the production alternatives are ranked.

Keywords: Three-Dimensional Printing; Orientation Selection Problem; Multi-Criteria Decision Analysis; Data Envelopment Analysis; Analytic Hierarchy Process; Linear Normalization



1. บทนำ

การผลิตชิ้นงานแบบเพิ่มขึ้นทีละชั้น (Additive Manufacturing หรือ AM) หรือที่รู้จักกันในชื่อการขึ้นรูปชิ้นงานแบบสามมิติ (3-Dimensional Printing หรือ 3DP) รวมถึงชื่ออื่น ๆ เช่นการทำแบบจำลองแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping) การผลิตแบบรวดเร็ว (Rapid Manufacturing) และการผลิตเครื่องมือแบบรวดเร็ว (Rapid Tooling) ใช้หลักการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการเติมเนื้อวัสดุเข้าไปทีละชั้นเลเยอร์ (Layer) ผ่านเทคโนโลยีในการผลิตที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ได้มีการแบ่งเทคโนโลยี AM เป็น 7 ประเภทหลักๆ โดย American Society of Testing and Material (ASTM) นั่นคือ (1) แบบ Binder Jetting (2) แบบ Material Extrusion (3) แบบ Powder Bed Fusion (4) แบบ Sheet Lamination (5) แบบ Directed Energy Deposition (6) แบบ Vat Photopolymerization และ (7) แบบ Material Jetting [1] ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาโดยเน้นที่เครื่อง Fused Deposition Modeling (FDM) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีประเภท Material Extrusion และเครื่อง Stereolithography (SLA) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีประเภท Vat Photopolymerization โดยเทคโนโลยีการขึ้นรูปชิ้นงานแบบ 3DP ถูกนำมาใช้แพร่หลายมากขึ้นเช่น ชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องมือทางการแพทย์ และอื่นๆ [2-4] โดยข้อดีหลักของ 3DP คือการออกแบบชิ้นงานที่มีความเฉพาะเจาะจง รวมถึงการเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด [5]

ในทางตรงกันข้ามการผลิตแบบดั้งเดิม (Traditional Manufacturing) ที่เน้นการกัดเนื้อวัสดุออก (Subtractive Manufacturing) ใช้หลักการสกัดเนื้อวัสดุออกจนได้เป็นรูปร่างของชิ้นงานที่ต้องการ

ผลิตโดยวิธีตัด กิ่ง ใส เจาะ และเจียรระไน ซึ่งชิ้นงานที่ได้จะมีความแข็งแรง แต่จะเกิดของเสียในหลายๆ กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องกลึงเพื่อผลิตชิ้นงานเปรียบเทียบ ทั้งนี้เทคโนโลยีการผลิตแต่ละแบบมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของปัจจัยต่างๆ [6-7]

ในการศึกษานี้ เป็นการวิเคราะห์ปัญหาทิศทางการผลิตชิ้นงานโดยใช้ชิ้นงานประกอบ (Assembly Part) ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่นๆ ที่ปกติใช้การผลิตแบบชิ้นงานเดี่ยวทั่วไป [8-9] ซึ่งได้ศึกษาการผลิตทั้งหมด 4 แนว ในทิศทาง 0 องศา 45 องศา 90 องศา และ 180 องศาตามลำดับ จากนั้นวัดผลจากปัจจัยต่างๆ และใช้เครื่องมือวิเคราะห์ผลที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (Multi-Criteria Decision Analysis: MCDA) โดยใช้การวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (Data Envelopment Analysis: DEA) สำหรับแต่ละกลุ่มเทคโนโลยีการผลิตและประเภทวัสดุ จากนั้นจึงใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process: AHP) เพื่อหาน้ำหนักของแต่ละปัจจัย และทำการปรับค่าจากนอร์มัลไลเซชันเชิงเส้นตรง (Linear Normalization: LN) เพื่อหาการผลิตชิ้นงานที่ดีที่สุด [10-12]

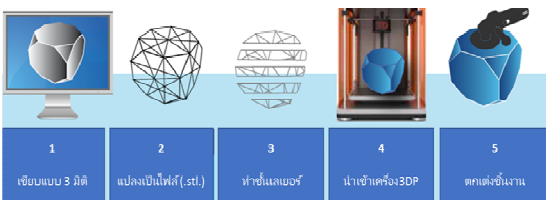
โดยเนื้อหาในงานวิจัยนี้มีงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในหัวข้อที่ 2 ขอบเขตและเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 3 กรณีศึกษาและผลการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4 และสรุปผลในหัวข้อที่ 5



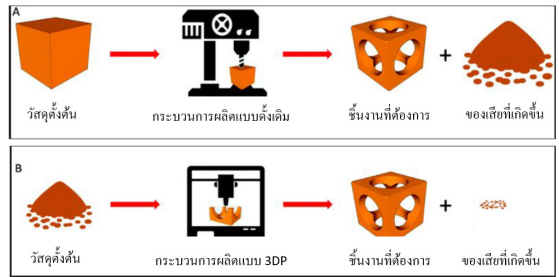
2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ 3DP

ขั้นตอนการผลิตแบบ 3DP เริ่มจากการนำข้อมูล 3D ของวัตถุที่ต้องการสร้างมาแปลงเป็นไฟล์ดิจิทัลที่มีชั้นเลเยอร์บางๆในรูปแบบไฟล์ที่มีนามสกุล .STL จากนั้นนำไฟล์ไปใส่ในเครื่อง 3DP ตามเทคโนโลยีการผลิตที่ต้องการ โดยจะพิมพ์หรือฉีดวัสดุลงชั้นเลเยอร์นั้นทีละชั้นจนเกิดเป็นชิ้นงานที่มีรูปร่างตามที่ต้องการ ซึ่งจะมีความแตกต่างจากการผลิตแบบดั้งเดิม โดยรูปที่ 1 แสดงขั้นตอนกระบวนการผลิตแบบ 3DP โดยสังเขป [13] และรูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบการผลิตแบบดั้งเดิม และแบบ 3DP [14] ซึ่งเทคโนโลยีการผลิตแบบดั้งเดิม จะตั้งต้นจากวัสดุเป็นแท่งแล้วทำการกัด หรือกลึงวัสดุจนได้ชิ้นงานที่ต้องการ ในขณะที่เทคโนโลยีการผลิตแบบ 3DP จะเริ่มต้นจากวัสดุเป็นผงหรือเส้น (Filament) แล้วทำการขึ้นรูปทีละชั้นจนได้ชิ้นงานที่ต้องการ ทั้งนี้ Wohlers [15] แนะนำว่าความสำเร็จของการผลิต 3DP ขึ้นกับแนวทางการสร้างวัสดุสนับสนุน การเลือกทิศทางและตำแหน่งบนเครื่อง 3DP รวมถึงการพิจารณาจำนวนชิ้นงานที่จะผลิตแต่ละครั้ง



รูปที่ 1 การผลิต 3DP โดยสังเขป [13]



รูปที่ 2 การผลิตแบบดั้งเดิมและแบบ 3DP [14]

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาปัญหาการเลือกทิศทางการผลิตชิ้นงานของ 3DP ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญในการวางแผนการผลิต เนื่องจากส่งผลต่อปัจจัยหลากหลาย รวมถึงความแม่นยำของชิ้นงานที่ผลิต ผิวสำเร็จ ปริมาณวัสดุสนับสนุนที่ใช้ เวลาและต้นทุนในการผลิต รวมถึงสมบัติทางกลของชิ้นงานต่างๆ ที่ได้ นอกจากนี้ การเลือกทิศทางการผลิตชิ้นงาน ส่งผลต่อกระบวนการต่างๆ ในการผลิตที่ตามมา เช่น การสไลด์ (Slicing) การสร้างวัสดุสนับสนุน การเลือกเส้นทางการเดินของเครื่องมือ (Toolpath Generation) การผลิตชิ้นงานแบบเพิ่มขึ้น (Additive Fabrication) การทำความสะอาดชิ้นงาน (Cleaning) และอื่นๆ [16] เป็นต้น

นอกจากนี้ พบบงานวิจัยเมื่อไม่นานมานี้เริ่มสนใจศึกษาปัญหาการเลือกทิศทางการผลิตชิ้นงานของ 3DP ด้วย [17-18] โดยงานวิจัยส่วนใหญ่เน้นที่การผลิตแบบชิ้นงานเดี่ยว ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้ทำวิจัยจึงพิจารณาศึกษาปัญหาทิศทางการผลิตชิ้นงานโดยใช้ชิ้นงานประกอบเป็นกรณีศึกษา



2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ เน้นที่เครื่องมือการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (MCDA) ซึ่งเป็นความรู้ด้านการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research) และวิทยาศาสตร์การตัดสินใจ (Decision Science) โดย MCDA เป็นเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจในปัญหาที่มีความสลับซับซ้อน ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัยที่หลากหลายและมักมีความขัดแย้งกัน โดยเน้นการวิเคราะห์หาทางเลือกที่ดีที่สุดภายใต้ปัจจัยที่ขัดแย้งกันเหล่านั้น ปัจจุบัน MCDA ได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในหลายๆ การใช้งาน [19-20]

ทั้งนี้เครื่องมือ MCDA มีหลากหลาย เช่น การวิเคราะห์แบบล้อมรอบข้อมูล (DEA) กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) การใช้เทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (TOPSIS) การใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) การแก้ปัญหาหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (MOP) และการแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเป้าหมาย (GP) เป็นต้น [21, 22] โดยนักวิจัยได้แนะนำว่างานวิจัยในอนาคตเกี่ยวกับ MCDA ควรเป็นการรวบรวมเครื่องมือต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อเป็นการแก้ปัญหาข้อเสียของแต่ละเครื่องมือที่มีอยู่ [23]

3. เครื่องมือในการวิเคราะห์

เครื่องมือทาง MCDA ที่ใช้ในงานวิจัยนี้แบ่งได้เป็นสามส่วนหลักๆ คือ (1) การใช้การวิเคราะห์แบบล้อมรอบข้อมูล (DEA) ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ของแต่ละทางเลือก (Decision Making Unit: DMU) ในการผลิต โดยพิจารณาจากกลุ่มเทคโนโลยีในการผลิตและประเภทวัสดุที่ใช้ (2) การศึกษาความ

ต้องการของผู้ตัดสินใจ (Decision Maker) โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) เพื่อวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยตามความต้องการสำหรับผู้ตัดสินใจ 3 ประเภท คือ ผู้ใช้งาน (User/Customer) ผู้เชี่ยวชาญ (Expert) และผู้ทำการผลิต (Operator) และ (3) การหาลำดับการตัดสินใจ (Ranking) ที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้เครื่องมือออร์มัลไลเซชันเชิงเส้นตรง (LN) เพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด

3.1 การวิเคราะห์แบบล้อมรอบข้อมูล (DEA)

DEA เป็นเครื่องมือที่รู้จักกันดีในหลายๆ การใช้งานซึ่งเป็นเทคนิคในการวัดประสิทธิภาพ (Efficiency) ของแต่ละทางเลือก (DMU) ในกลุ่ม โดยเกี่ยวข้องกับปัจจัยนำเข้า (Input Criteria) และปัจจัยผลลัพธ์ (Output Criteria) ที่หลากหลาย ทั้งนี้ผลคะแนนที่ได้จากโมเดล DEA จะมีค่าระหว่าง 0-1 สำหรับแต่ละ DMU โดยที่ค่าคะแนน 1 หรือ 100% แสดงถึงความมีประสิทธิภาพของ DMU ใดๆ และค่าคะแนนที่น้อยกว่า 1 หรือ น้อยกว่า 100% แสดงถึงการมีประสิทธิภาพของ DMU ที่น้อยกว่า

ทั้งนี้ เทคนิค DEA ที่ได้รับความนิยมในงานวิจัยมีสองโมเดลหลักๆ ซึ่งเรียกตามชื่อผู้พัฒนาคือ Charnes, Cooper, and Rhodes (CCR) [24] และ Banker, Charnes, and Cooper (BCC) [25] โดยที่โมเดล CCR เป็นโมเดลที่ใช้แบบจำลองภายใต้ข้อสมมติฐานผลตอบแทนต่อขนาดคงที่ (Constant Return to Scale: CRS) ใช้เมื่อ DMU ที่พิจารณามีขนาดการผลิตที่เหมาะสม คือ ต้นทุนเฉลี่ยไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนขนาด ในขณะที่โมเดล BCC เป็นโมเดลที่ใช้แบบจำลองภายใต้ข้อสมมติฐาน



ผลตอบแทนต่อขนาดผันแปร (Variable Return to Scale : VRS) ใช้เมื่อ DMU ที่พิจารณาอาจมีต้นทุนเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนขนาด ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้โมเดล CCR ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ โดยแสดงในสมการที่ (1) – (4)

เซต (Set)

I : เซตปัจจัยนำเข้า i

J : เซตปัจจัยผลลัพธ์ j

K : เซตทางเลือกหรือ DMU k

พารามิเตอร์ (Parameter)

$x_{i,k}$: ปริมาณปัจจัยการผลิต i ของทางเลือก k

$y_{j,k}$: ปริมาณปัจจัยผลผลิต j ของทางเลือก k

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

U_i : ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยการผลิต i

V_j : ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยผลผลิต j

$$\text{Maximize Efficiency } \frac{\sum_{j \in J} y_{j,k_0} V_j}{\sum_{i \in I} x_{i,k_0} U_i} \quad (1)$$

$$\text{Subject to: } \frac{\sum_{j \in J} y_{j,k} V_j}{\sum_{i \in I} x_{i,k} U_i} \leq 1 \quad ; \forall k \in K \quad (2)$$

$$U_i \geq 0 \quad ; \forall i \in I \quad (3)$$

$$V_j \geq 0 \quad ; \forall j \in J \quad (4)$$

ทั้งนี้สามารถแปลง DEA Model ข้างต้นซึ่งเป็น Non-Linear Programming ให้เป็นโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming) ดังแสดงในสมการ (5)-(9)

$$\text{Maximize Efficiency } \sum_{j \in J} y_{j,k_0} V_j \quad (5)$$

$$\text{Subject to: } \sum_{i \in I} x_{i,k_0} U_i = 1 \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} y_{j,k} V_j - \sum_{i \in I} x_{i,k} U_i \leq 0 \quad ; \forall k \in K \quad (7)$$

$$U_i \geq 0 \quad ; \forall i \in I \quad (8)$$

$$V_j \geq 0 \quad ; \forall j \in J \quad (9)$$

3.2 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP)

AHP ใช้หลักการวิเคราะห์โดยมีพื้นฐานจากการใช้สมการทางคณิตศาสตร์และหลักการทางจิตวิทยาเข้าด้วยกัน ซึ่งถูกพัฒนาโดย Saaty [26] ถือเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ปัญหาที่เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative Data) อย่างชัดเจน โดย AHP ใช้การเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ (Pairwise Comparison) ของสิ่งที่สนใจ แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์เป็นค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับปัจจัยและ/หรือทางเลือก ทั้งนี้ ขั้นตอนในการแก้ปัญหา AHP สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ได้ดังนี้ [9, 26]

ขั้นตอนที่ 1: สร้างตารางเมตริกซ์การเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ สำหรับปัจจัย และสำหรับทางเลือกที่มีเมื่อเทียบกับแต่ละปัจจัย ดังแสดงในสมการที่ (10)

ขั้นตอนที่ 2: สร้างตารางเมตริกซ์ที่ได้ทำการ Normalization แล้ว

ขั้นตอนที่ 3: คำนวณเวกเตอร์ลำดับความสำคัญ (Priority Vector) หรือเวกเตอร์ไอเกน (Eigen Vector) โดยใช้เป็นค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับปัจจัย และสำหรับทางเลือกต่างๆ เมื่อเทียบกับปัจจัยใดๆ ดังแสดงในสมการที่ (11)

ขั้นตอนที่ 4: คำนวณค่าสูงสุดจาก Eigen Vector เรียกว่า 'Maximum Eigen Vector' หรือ λ_{\max}



ขั้นตอนที่ 5: คำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index - CI) ดังแสดงในสมการที่ (12)

ขั้นตอนที่ 6: เลือกค่าที่เหมาะสมจากตารางดัชนีความสอดคล้องแบบสุ่ม (Random Consistency Index - RI) เมื่อเทียบกับขนาดของเมตริกซ์นั้นๆ

ขั้นตอนที่ 7: ประเมินอัตราส่วนความสม่ำเสมอ (Consistency Ratio - CR) ของเมตริกซ์ ดังแสดงในสมการ (13)

ขั้นตอนที่ 8: ประเมินการจัดอันดับ (Ranking) ของแต่ละทางเลือก ดังแสดงในสมการที่ (14)

$$A = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & a_{ji} = 1/a_{ij} & 1 & \dots \\ a_{n1} & \dots & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$A \cdot p = \lambda_{\max} \cdot p \quad (11)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (12)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (13)$$

$$g_i = \sum_j w_j l_{ij} \quad (14)$$

3.3 เทคนิคนอร์มัลไลเซชันเชิงเส้นตรง (LN)

วิธีการวิเคราะห์ LN เป็นส่วนหนึ่งของการปรับหน่วยวิเคราะห์ที่มีหน่วยที่แตกต่างกันให้ไม่มีหน่วย (Unitless) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบข้ามหน่วยได้ โดยในงานวิจัยนี้ จะนำมาใช้ในกรณีที่หน่วยของแต่ละปัจจัยสำหรับแต่ละทางเลือกที่ทำการผลิตมีความแตกต่างกันมาก โดยทำการปรับค่าเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบปัจจัยที่มีหน่วยต่างกันได้อย่างตรง

วิธี LN จะเป็นการใช้ค่าที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ (Ideal Value) กับค่าที่แย่ที่สุดที่เป็นไปได้ (Anti-Ideal Value) โดยที่ Ideal Value (H_j) แทนค่าตอบที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้สำหรับปัจจัยใด ๆ ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุด (Max) สำหรับปัจจัยที่ยิ่งมากยิ่งดี (Benefit Criterion) และเป็นค่าที่น้อยที่สุด (Min) สำหรับปัจจัยที่ยิ่งน้อยยิ่งดี (Cost Criterion) ในขณะที่ Anti-Ideal Value (L_j) คือค่าตอบที่แย่ที่สุดที่เป็นไปได้ ซึ่งจะตรงข้ามกับการคำนวณหา Ideal Value นั่นคือเป็นค่าที่มากที่สุด (Max) สำหรับปัจจัยที่ยิ่งน้อยยิ่งดี (Cost Criterion) และเป็นค่าที่น้อยที่สุด (Min) สำหรับปัจจัยที่ยิ่งมากยิ่งดี (Benefit Criterion) ดังแสดงในสมการที่ (15)-(16) โดยที่ค่า f_{ij} คือค่าข้อมูลจริงในแต่ละทางเลือก i และปัจจัย j ในขณะที่ n_{ij} คือค่าข้อมูลที่ได้ทำการ Normalization มาแล้ว นอกจากนี้วิธีการ LN จะทำการเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ ที่เดิมอยู่ในรูป Max หรือ Min ให้เป็นปัจจัยแบบยิ่งเยะยิ่งดี (Max) ทั้งหมด

$$\text{Max Criterion: } n_{ij} = \frac{f_{ij} - L_j}{H_j - L_j} \quad (15)$$

$$\text{Min Criterion: } n_{ij} = \frac{L_j - f_{ij}}{L_j - H_j} \quad (16)$$

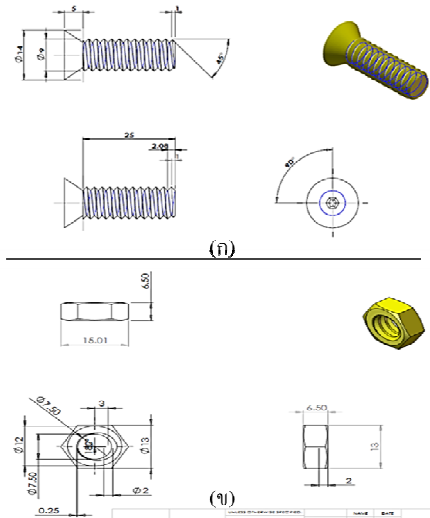
4. กรณีศึกษา

4.1 การออกแบบการทดลอง

ในการศึกษานี้ ใช้ชิ้นงานประกอบของน็อตตัวผู้และน็อตตัวเมียเป็นกรณีศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3 โดยทำการออกแบบการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 แยกตามประเภทเทคโนโลยีการผลิต วัสดุที่ใช้ ปัจจัยที่ทำการผลิต และทิศทางการขึ้นรูปของชิ้นงาน



บทความวิจัย



รูปที่ 3 ชิ้นงานประกอบที่ใช้ในกรณีศึกษา

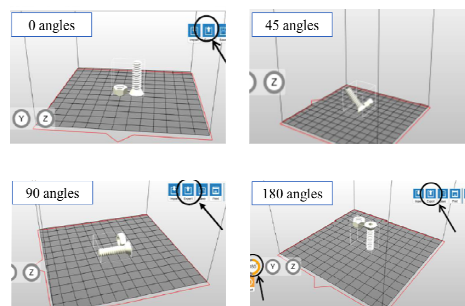
(ก) น็อตตัวผู้ (ข) น็อตตัวเมีย

ตารางที่ 1 ปัจจัยและระดับของปัจจัยในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย
1. เครื่องจักร และวัสดุ	1.1 FDM (ABS)
	1.2 FDM (PLA)
	1.3 SLA (Resin)
	1.4 เครื่องกลึง (แท่ง ABS)
2. ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	2.1 ปริมาณวัสดุที่ใช้
	2.2 เวลาในการผลิต
	2.3 ต้นทุนในการผลิต
	2.4 ของเสียจากวัสดุสนับสนุน
	2.5 ความแม่นยำของชิ้นงาน
	2.6 การประกอบชิ้นงาน
	2.7 คุณภาพผิวสำเร็จ
3. ทิศทางของชิ้นงาน	3.1 ทิศทาง 0 องศา
	3.2 ทิศทาง 45 องศา
	3.3 ทิศทาง 90 องศา
	3.4 ทิศทาง 180 องศา

ทั้งนี้ ปัจจัยในการผลิตชิ้นงานนั้นได้รวบรวมจากการปรึกษาผู้เชี่ยวชาญทางด้านการผลิตและจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [3, 15] โดยทำการเก็บข้อมูลคือ (C1) ปริมาณวัสดุ (กรัม) (C2) เวลาในการผลิต (นาที) (C3) ต้นทุนการผลิต (บาท) (C4) ของเสียจากวัสดุสนับสนุน (กรัม) (C5) ความแม่นยำ (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน หน่วยมิลลิเมตร) (C6) การประกอบชิ้นงาน (1 ขอบหรือสำคัญน้อยที่สุด ถึง 10 ขอบหรือสำคัญมากที่สุด) และ (C7) คุณภาพผิวสำเร็จ (1 ขอบหรือสำคัญน้อยที่สุด ถึง 10 ขอบหรือสำคัญมากที่สุด) นอกจากนี้ได้ทำการควบคุมปัจจัยภายนอกอื่นๆ คือบริษัทที่ผลิตวัสดุ เครื่องมือในการทดสอบ รวมถึงผู้ทำการเก็บข้อมูลที่เหมาะสมในการทดลอง โดยแสดงผลข้อมูลในตารางที่ 2

โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการผลิตชิ้นงานประกอบที่ Ubon Ratchathani University 3D printing Lab (UBU3D Lab) โดยลำดับที่ 1-12 เป็นการเก็บข้อมูลของเครื่อง 3DP และลำดับที่ 13 เป็นข้อมูลของเครื่องกลึง โดยเครื่อง FDM ที่ใช้มีขนาด ลูกบาศก์นิ้ว และเครื่อง SLA ที่ใช้มีขนาด ลูกบาศก์นิ้ว ทั้งนี้แสดงตัวอย่างการหมุนทิศทางในการผลิตในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงทิศทางทางการผลิตชิ้นงานตามการออกแบบการทดลอง



ตารางที่ 2 ผลการเก็บข้อมูลจากการทดลอง

ทิศทาง (องศา)	0	45	90	180
FDM : ABS (ลำดับ)	1	2	3	4
ปริมาณวัสดุ (กรัม)	1.69	2.56	2.65	2.47
เวลาในการผลิต (นาที)	32	51	58	36
ต้นทุนการผลิต (บาท)	82	133	151	95
ของเสีย (กรัม)	0.00	0.87	0.95	0.78
ความแม่นยำ (มิลลิเมตร)	0.53	0.43	0.57	0.39
การประกอบ	9	8	8	6
คุณภาพผิวสำเร็จ	5	6	5	6
FDM : PLA ลำดับ	5	6	7	8
ปริมาณวัสดุ (กรัม)	2.24	2.88	2.85	2.36
เวลาในการผลิต (นาที)	21	31	21	31
ต้นทุนการผลิต (บาท)	58	85	58	83
ของเสีย (กรัม)	0.00	0.64	0.61	0.12
ความแม่นยำ (มิลลิเมตร)	0.57	0.43	0.43	0.70
การประกอบ	7	2	3	3
คุณภาพผิวสำเร็จ	6	6	6	6
SLA : Resin ลำดับ	9	10	11	12
ปริมาณวัสดุ (กรัม)	1.78	2.41	4.15	2.73
เวลาในการผลิต (นาที)	68	78	81	65
ต้นทุนการผลิต (บาท)	185	215	238	186
ของเสีย (กรัม)	0.00	0.63	2.37	0.95
ความแม่นยำ (มิลลิเมตร)	0.34	0.51	0.47	1.00
การประกอบ	9	8	8	9
คุณภาพผิวสำเร็จ	9	2	9	9

เครื่องกลึง : แท่ง ABS ทิศทาง 90 องศา ลำดับ 13

ทิศทาง (องศา)	27.20
ปริมาณวัสดุ (กรัม)	95
เวลาในการผลิต (นาที)	483
ต้นทุนการผลิต (บาท)	24.30
ของเสีย (กรัม)	0.59
ความแม่นยำ (มิลลิเมตร)	8
การประกอบ	7

นอกจากนี้ในกรณีของการผลิตด้วยเครื่อง 3DP จะมีการใส่วัสดุสนับสนุน ดังแสดงตัวอย่างของทิศทาง 45 องศาในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงการใส่วัสดุสนับสนุนในทิศทาง 45 องศา

4.2 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วย DEA

ผลการวิเคราะห์ด้วย DEA เป็นการวิเคราะห์แยกตามกลุ่มเทคโนโลยีและวัสดุ 3DP โดยใช้ปัจจัยนำเข้าเป็นปริมาณวัสดุที่ใช้ เวลาการผลิต ต้นทุนการผลิต และของเสียจากวัสดุสนับสนุน ในขณะที่ปัจจัยผลลัพธ์เป็นความแม่นยำของชิ้นงาน การประกอบชิ้นงาน และคุณภาพผิวสำเร็จ ทั้งนี้ แสดงผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วย DEA ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ DEA

	0°	45°	90°	180°
FDM / ABS (DMU1)	1.00	1.00	0.63	1.00
FDM / PLA (DMU5)	1.00	1.00	1.00	0.92
SLA / Resin (DMU9)	1.00	0.77	0.84	1.00
	(DMU10)	(DMU11)	(DMU12)	



ผลการวิเคราะห์ด้วย DEA แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของแต่ละทางเลือกในการผลิต เมื่อเทียบกับทางเลือกอื่นๆ ในแต่ละกลุ่มเทคโนโลยีและวัสดุ เมื่อพิจารณาปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลลัพธ์ที่หลากหลายพร้อมกัน โดยผลที่ได้แสดงว่าการผลิตด้วย FDM และวัสดุ ABS ที่ทิศทาง 0° 45° และ 180° มีประสิทธิภาพ (ค่า 1.00) ส่วนการผลิตด้วย FDM และวัสดุ PLA ที่ทิศทาง 0° 45° และ 90° มีประสิทธิภาพ (ค่า 1.00) ซึ่งแสดงว่าวัสดุที่ใช้ในการผลิตของแต่ละเทคโนโลยี ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการผลิต นอกจากนี้การผลิตด้วย SLA โดยใช้วัสดุเรซิน พบว่าทิศทาง 0° และ 180° มีประสิทธิภาพดีกว่า ทั้งนี้หากมองการผลิตโดยภาพรวม จะพบว่าการผลิตที่ทิศทาง 0° เป็นทางเลือกที่ทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพเป็น 1.00

4.3 ผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วย AHP

ขั้นตอนต่อมาเป็นการวิเคราะห์ความต้องการ (Preference) ของผู้ตัดสินใจร่วมกันด้วยแบบสอบถาม ข้อมูลโดยใช้การเปรียบเทียบที่ละคู่ ดังแสดงในตารางที่ 4 ทั้งนี้ แสดงการเก็บข้อมูลจากตัวแทนผู้ตัดสินใจ 3 ประเภทคือ ผู้ใช้งาน (User/Customer) ผู้เชี่ยวชาญ (Expert) และผู้ทำการผลิต (Operator) โดยหลังจากที่กรอกแบบสอบถามให้คะแนนระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่นำมาเปรียบเทียบเป็นคู่ ๆ และวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Expert Choice [12] แล้ว ผลการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยแสดงดังตารางที่ 5 โดยค่า CR ที่ได้พบว่ามีค่าไม่เกิน 0.1 หรือ 10% โดยแสดงค่า CI และค่า CR ในตาราง ซึ่งค่า RI สำหรับ 7 ปัจจัยคือ 1.32 [26] ซึ่งหมายความว่ามีความ

สอดคล้องในการให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องของผู้ตัดสินใจ โดยพบว่าผู้ตัดสินใจแต่ละประเภทให้ความสนใจในปัจจัยต่างๆ ในการผลิตที่ต่างกัน เช่น ผู้ใช้งานและผู้เชี่ยวชาญสนใจเรื่องของปัจจัยความแม่นยำของชิ้นงานมากที่สุด ในขณะที่ผู้ทำการผลิตสนใจเรื่องของต้นทุนในการผลิต และของเสีย ด้วยค่าน้ำหนักที่เท่ากัน

ตารางที่ 4 ผลเปรียบเทียบที่ละคู่ของปัจจัยด้วย AHP

ผู้ใช้งาน	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
ปริมาณวัสดุ	1	2	1/3	2	1/8	1/4	1/4
เวลาในการผลิต	1/2	1	1/4	5	1/8	1/3	1/6
ต้นทุนการผลิต	3	4	1	7	1/2	1/4	2
ของเสีย	1/2	1/5	1/7	1	1/9	1/8	1/5
ความแม่นยำ	8	8	2	9	1	2	4
การประกอบ	4	3	4	8	1/2	1	2
คุณภาพผิวสำเร็จ	4	6	1/2	5	1/4	1/2	1
ผู้เชี่ยวชาญ	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
ปริมาณวัสดุ	1	3	1/3	2	1/4	2	1/4
เวลาในการผลิต	1/3	1	1/3	2	1/2	3	1/2
ต้นทุนการผลิต	3	3	1	3	1/2	2	1
ของเสีย	1/2	1/2	1/3	1	1/3	1/2	1/2
ความแม่นยำ	4	2	2	3	1	4	2
การประกอบ	1/2	1/3	1/2	2	1/4	1	1/2
คุณภาพผิวสำเร็จ	4	2	1	2	1/2	2	1
ผู้ทำการผลิต	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
ปริมาณวัสดุ	1	1/4	1/8	1/8	1/4	1/3	1/4
เวลาในการผลิต	4	1	1/4	1/3	1/2	3	2
ต้นทุนการผลิต	8	4	1	2	3	8	5
ของเสีย	8	3	1/2	1	3	3	5
ความแม่นยำ	4	2	1/3	1/3	1	3	4
การประกอบ	3	1/3	1/8	1/3	1/3	1	1/2
คุณภาพผิวสำเร็จ	4	1/2	1/5	1/5	1/4	2	1



ตารางที่ 5 ผลเปรียบเทียบทีละคู่ของปัจจัยด้วย AHP

ปัจจัย	ผู้ใช้งาน	ผู้เชี่ยวชาญ	ผู้ผลิต
ปริมาณวัสดุ	0.05	0.11	0.02
เวลาในการผลิต	0.05	0.11	0.01
ต้นทุนการผลิต	0.15	0.19	0.35
ของเสีย	0.02	0.06	0.35
ความแม่นยำ	0.35	0.28	0.14
การประกอบ	0.23	0.07	0.05
คุณภาพผิวสำเร็จ	0.15	0.18	0.08
ผลรวม	1.00	1.00	1.00
ค่า λ_{max}	7.75	7.74	7.50
ค่า CI	0.13	0.12	0.08
ค่า CR	0.10	0.09	0.06

4.4 ผลการวิเคราะห์การหาทางเลือกที่ดีที่สุดด้วย LN

หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่ผู้ตัดสินใจต้องการแล้ว ขั้นตอนต่อมาเป็นการจัดลำดับทางเลือก เพื่อหาทางเลือกทิศทางการผลิตที่ดีที่สุดสำหรับผู้ตัดสินใจแต่ละประเภทโดยใช้เทคนิค LN เริ่มจากการหาค่า H_j และ L_j สำหรับแต่ละปัจจัยโดยพิจารณาจากทุกทางเลือก ดังแสดงในสมการที่ (17) – (18) ยกตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาปัจจัยแรกคือปริมาณวัสดุที่ใช้ (ค่ายิ่งน้อยยิ่งดี) พบว่าทางเลือกที่ดีที่สุดคือลำดับที่ 1 หรือ FDM วัสดุ ABS ที่ 0° นั่นคือ H_j ของปัจจัยแรกคือ 1.69 ในขณะที่ทางเลือกที่แย่มากที่สุดคือลำดับที่ 13 หรือการกลึงด้วยแท่งวัสดุ ABS ที่ 90° นั่นคือ L_j คือ 27.20 เป็นต้น เมื่อพิจารณาข้อมูลจากในตารางที่ 2

$$H = \{1.69, 21, 58, 0, 0.34, 9, 9\} \quad (17)$$

$$L = \{27.20, 81, 483, 24.30, 1, 2, 2\} \quad (18)$$

ทั้งนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ LN เพื่อปรับสเกลตามสมการที่ (15) และ (16) จะทำให้ค่าในตารางที่ 2 เปลี่ยนเป็นค่าระหว่าง 0 – 1 และทุกปัจจัยอยู่ในรูปแบบที่ยิ่งเยอะยิ่งดีทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 6 ยกตัวอย่างเช่น เมื่อพิจารณาปัจจัยเวลาในการผลิต (ตัวเลขยิ่งน้อยยิ่งดี) ของ FDM วัสดุ ABS ที่ 0° สามารถคำนวณจาก Ideal Value เท่ากับ 21 และ Anti-Ideal Value เท่ากับ 81 ได้ตามสมการที่ (19) เช่นเดียวกันหากพิจารณาปัจจัยคุณภาพผิวสำเร็จ (ตัวเลขยิ่งมากยิ่งดี) สามารถคำนวณจาก Ideal Value เท่ากับ 9 และ Anti-Ideal value เท่ากับ 2 ได้ตามสมการที่ (20) เป็นต้น ทั้งนี้เมื่อพิจารณาค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ได้จากวิธีการ AHP ร่วมกับค่าที่ปรับสเกลมาแล้วจากวิธี LN สามารถคำนวณหาค่าคะแนนการจัดอันดับทางเลือกได้ตามสมการที่ (21) โดยที่ W_j คือค่าน้ำหนักของปัจจัยใดๆ ที่ได้จากวิธี AHP ในตารางที่ 5 และ คือค่าที่ได้จากการปรับสเกลโดยวิธี LN ในตารางที่ 6 โดยแสดงผลการจัดอันดับในตารางที่ 7 เช่นสามารถคำนวณคะแนนของลำดับที่ 9 ของผู้ใช้งาน $(0.05)(0.97)+(0.05)(0.82)+(0.15)(0.94)+(0.02)(0.99)+(0.35)(0.46)+(0.23)(0.14)+(0.15)(0.57) = 0.49$ สำหรับ SLA/Resin/ 0° ซึ่งเป็นคะแนนสูงสุดคิดเป็นลำดับที่ 1 เป็นต้น

$$n_{ij} = \frac{L_j - f_{ij}}{L_j - H_j} = \frac{81 - 32}{81 - 21} = 0.82 \quad (19)$$

$$n_{ij} = \frac{f_{ij} - L_j}{H_j - L_j} = \frac{5 - 2}{9 - 2} = 0.43 \quad (20)$$

$$S_i = \sum_j W_j a_{ij} \quad (21)$$



ตารางที่ 6 ผลการปรับสเกลโดยวิธี LN

ลำดับ	FDM : ABS				FDM : PLA				SLA : Resin				ถลิ่ง
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
ปริมาณวัสดุ	1	0.98	0.96	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97	0.97	0.95	0.96	0.97	0
เวลาในการผลิต	0.82	0.99	1	1	0.82	0.82	1	0.82	0.82	0.82	1	0.82	0.26
ต้นทุนการผลิต	0.94	1	1	1	0.94	0.94	1	0.94	0.94	0.94	1	0.94	0
ของเสีย	1	1	0.98	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	0.99	0.97	0.98	0.99	0
ความแม่นยำ	0.71	0.65	0.86	0.86	0.46	0.86	0.86	0.46	0.46	0.86	0.86	0.46	0.62
การประกอบ	1	0.71	0.14	0.14	0.14	0	0.14	0.14	0.14	0	0.14	0.14	0.86
คุณภาพผิวสำเร็จ	0.43	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71

ตารางที่ 7 ผลการจัดอันดับทางเลือกของทิศทางการผลิตที่ดีที่สุด

ชิ้นงาน	ลำดับ	อันดับ ผู้ใช้งาน	อันดับ ผู้เชี่ยวชาญ	อันดับ ผู้ทำการผลิต
FDM/ABS/0°	1	3	5	3
FDM/ABS/45°	2	2	6	6
FDM/ABS/90°	3	7	9	9
FDM/ABS/180°	4	4	2	4
FDM/PLA/0°	5	6	4	1
FDM/PLA/45°	6	9	7	5
FDM/PLA/90°	7	8	3	2
FDM/PLA/180°	8	12	10	8
SLA/Resin/0°	9	1	1	7
SLA/Resin /45°	10	10	12	12
SLA/Resin /90°	11	5	8	10
SLA/Resin /180°	12	11	11	11
Lathe/แท่ง ABS	13	13	13	13

ผลการวิเคราะห์โดยนำความคิดเห็นส่วนตัวและความชอบของแต่ละคนมาร่วมวิเคราะห์ด้วยจากผู้ใช้งาน ผู้เชี่ยวชาญ และผู้ทำการผลิต ในการให้คะแนนระดับความสำคัญเพื่อการวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย พบว่าทางเลือกที่ดีที่สุด

สำหรับกรณีของ User และ Expert คือการใช้เครื่อง SLA วัสดุ Resin ที่ทิศทาง 0° ในขณะที่ทางเลือกที่ดีที่สุดสำหรับกรณีของ Operator คือการใช้เครื่อง FDM วัสดุ PLA ที่ทิศทาง 0°



ทั้งนี้พบว่าการผลิตชิ้นงานจากเครื่อง 3DP ทั้ง 2 เครื่อง จะพบว่าชิ้นงานที่ผลิตในแนว 0 องศา จะเป็นชิ้นงานที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการผลิตในแนว 45 องศา 90 องศา และ 180 องศา ซึ่งมีการใช้ปริมาณวัสดุในการผลิตน้อย ต้นทุนในการผลิตถูกกว่า รวมถึงเวลาที่ใช้ในการผลิตน้อย ไม่เกิดของเสียที่มาจากชิ้นงาน มีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแบบมีค่าใกล้เคียงกัน การประกอบชิ้นงานเข้ากันได้ดีกว่า ทั้งนี้พบว่าผิวชิ้นงานมีความขรุขระมากกว่าในกรณีของเครื่อง FDM ในขณะที่ชิ้นงานจะมีความเรียบเนียนสวยงามมากกว่าสำหรับเครื่อง SLA ที่ใช้วัสดุ Resin นอกจากนี้การผลิตชิ้นงานแบบดั้งเดิมจากเครื่องกลึงและผลิตชิ้นงานในแนว 90 องศา ทำให้เกิดของเสียที่เกิดจากการผลิตชิ้นงานเป็นจำนวนมากเพราะกระบวนการกัดเนื้อชิ้นงาน แต่ในการประกอบชิ้นงานนั้น สามารถประกอบเข้าด้วยกันได้ดีและผิวของชิ้นงานมีความเรียบเนียนสวยงาม

5. สรุปผลและแนวทางการวิจัยในอนาคต

เทคโนโลยีการพิมพ์แบบสามมิติหรือ 3DP ช่วยในการปรับเปลี่ยนวิธีการในการที่ผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะถูกออกแบบ ผลิต บริการ รวมถึงการใช้รูปแบบดิจิทัลเข้ามาช่วย อย่างไรก็ตามพบว่ามีข้อจำกัดต่างๆ เกี่ยวกับ 3DP สืบเนื่องมาจากการวางแผนกระบวนการผลิตซึ่งจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์และแก้ปัญหา ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาหนึ่งในปัญหาการวางแผนการผลิตสืบเนื่องจากการเลือกทิศทางในการผลิตที่เหมาะสม โดยพิจารณาประเภทของเทคโนโลยี 3DP จากเครื่อง FDM และ SLA และพิจารณากระบวนการผลิตจากเครื่องกลึง ผลการวิจัย

พบว่าทิศทางในการผลิตที่ต่างกัน นอกจากจะส่งผลกับปัจจัยการผลิตต่างๆ ยังส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมในการผลิตผ่านการวัดผลด้วยวิธีการ DEA โดยพบว่าประสิทธิภาพที่ได้จากเทคโนโลยีการผลิตและวัสดุที่ต่างกัน มีค่าต่างกันด้วย ทั้งนี้การตั้งทิศทางที่ 0 องศา มีประสิทธิภาพสูงสำหรับทุกเทคโนโลยี 3DP และทุกวัสดุในการออกแบบการทดลอง โดยมีจุดเด่นในด้านปัจจัยปริมาณวัสดุที่ใช้ ต้นทุนในการผลิต และการเกิดของเสียในการผลิตที่มีค่าต่ำที่สุด

นอกจากนี้ หากพิจารณาความต้องการของแต่ละผู้ตัดสินใจโดยใช้ค่านำหนักจากตัวแทนของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders) จาก 3 ประเภท มาร่วมวิเคราะห์ด้วยในการให้คะแนนระดับความสำคัญ ของแต่ละปัจจัยจากการใช้ AHP และเทคนิค LN พบว่าการผลิตชิ้นงานจากเครื่อง 3 DP ทั้ง 2 เครื่อง ทิศทางในแนว 0 องศา เป็นชิ้นงานที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับการผลิตในแนว 45 องศา 90 องศา และ 180 องศา โดยอาจเลือกใช้เทคโนโลยีที่ต่างกันและวัสดุที่ต่างกันในการผลิต

อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาวิจัยในอนาคต อาจปรับเปลี่ยน หรือเพิ่มจำนวนปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลลัพธ์ที่ต้องการตามสภาพการทำงาน นอกจากนี้การเพิ่มเทคโนโลยี 3DP แบบต่างๆ รวมถึงการเพิ่มทางเลือกจากวิธีการผลิตแบบดั้งเดิมที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น เช่นเครื่อง CNC อาจเป็นแนวทางการวิเคราะห์และวิจัยในอนาคตได้ต่อไปเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักงาน



กองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้ทุนวิจัย พัฒนาอาจารย์รุ่นใหม่ MRG6180181 ความเห็นใน รายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สำนักงาน คณะกรรมการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุน สนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ISO/ASTM 52900-15, Standard Terminology for Additive Manufacturing – General Principles – Terminology, West Conshohocken, PA, USA, 2015.
- [2] K. Wisetla, W. Chanthakhot, N. Wattanaaeng, and K. Ransikarbun, Trends in Research and Development of 3D Printing Technology in Thailand, Proceedings of Industrial Engineering Network, 2018, 1635 – 1639. (in Thai)
- [3] K. Wisetla, N. Wattanaaeng, W. Chanthakhot, and K. Ransikarbun, Decisions to Find the Efficiency of the 3D Printing Process using FDM based on Data Envelopment Analysis Technique, Proceedings of The 12th Ubon Ratchathani University Conference, 2018, 25 – 35. (in Thai)
- [4] K. Ransikarbun, Teaching Materials for Advanced Manufacturing, Department of Industrial Engineering, Ubon Ratchathani University, 2018, pp. 138. (in Thai)
- [5] <https://hbr.org/2015/05/the-3-d-printing-revolution> (Accessed on 25 October 2019)
- [6] A. Azari and S. Nikzad, The Evolution of Rapid Prototyping in Dentistry: A Review, Rapid Prototyping Journal, 2009, 15, 216 – 225.
- [7] T.S. Douglas, Additive Manufacturing: From Implants to Organs, SAMJ: South African Medical Journal, 104, 2014, 408 – 409.
- [8] K. Ransikarbun and N. Kim, Data Envelopment Analysis-based Multi-Criteria Decision Making for Part Orientation Selection in Fused Deposition Modeling, The 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA 2017), Proceedings, 2017, 81 – 85.
- [9] K. Ransikarbun and N. Kim, Multi-Criteria Selection Problem of Part Orientation in 3D Fused Deposition Modeling based on Analytic Hierarchy Process Model: A Case Study, The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2017 (IEEM 2017), Proceedings, 1455 – 1459.
- [10] B. Esmailian, S. Behdad, and B. Wang, The Evolution and Future of Manufacturing: A Review”, Journal of Manufacturing Systems, 2016, 39, 79 – 100.



- [11] W.D. Cook, K. Tone, and J. Zhu, Data Envelopment Analysis: Prior to Choosing a Model, *Omega*, 2014, 44, 1 – 4.
- [12] www.expertchoice.com (Accessed on 25 October 2019)
- [13] <http://dupress.com/articles/the-3d-opportunity-primer-the-basics-of-additive-manufacturing> (Accessed on 25 October 2019)
- [14] www.rsc.org/journals-books-databases (Accessed on 25 October 2019)
- [15] T. Wohlers, *Wohlers Report 2018*, Wohlers Associates, Inc., CO, USA, 2018.
- [16] K.V. Wong and A. Hernandez, A Review of Additive Manufacturing, *ISRN Mechanical Engineering*, 2012, Art. 208760, 1 – 10.
- [17] Y. Zhang and A. Bernard, An Integrated Decision-Making Model for Multi-Attributes Decision-Making (MADM) Problems in Additive Manufacturing Process Planning, *Rapid Prototyping Journal*, 2014, 20, 377 – 389.
- [18] Y. Zhang, A. Bernard, R.K. Gupta, and R. Harik, Feature based Building Orientation Optimization for Additive Manufacturing, *Rapid Prototyping Journal*, 2016, 22, 358 – 376.
- [19] O.S. Vaidya and S. Kumar, Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications, *European Journal of Operational Research*, 2006, 169, 1 – 29.
- [20] K. Ransikarbum and S.J. Mason, Goal Programming-based Post-Disaster Decision Making for Integrated Relief Distribution and Early-Stage Network Restoration, *International Journal of Production Economics*, 2016, 182, 324 – 341.
- [21] K. Ransikarbum, S. Ha, J. Ma, and N. Kim, Multi-Objective Optimization Model for Production Planning of the Build Chamber Utilization in Fused Deposition Modeling, *Journal of Manufacturing Systems*, 2017, 43, 35 – 46.
- [22] A.R. Ravindran, *Operations Research and Management Science Handbook*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2007.
- [23] W. Ho, Integrated Analytic Hierarchy Process and Its Applications- A Literature Review, *European Journal of Operational Research*, 2008, 186, 211 – 228.
- [24] A. Charnes, W.W. Cooper, and E. Rhodes, Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through, *Management Science*, 1981, 27(6), 668 – 697.



- [25] R.D. Banker, A. Charnes, and W.W. Cooper,
Some Models for Estimating Technical and
Scale Inefficiencies in Data Envelopment
Analysis, *Management Science*, 1984, 30(9),
1078 – 1092.
- [26] T.L. Saaty, How to Make a Decision: The
Analytic Hierarchy Process, *European
Journal of Operational Research*, 1990,
48(1), 9 – 26.