การวิเคราะห์การผลิตที่เหมาะสมจากการผลิตแบบดั้งเดิมและแบบพิมพ์สามมิติด้วยเครื่องมือการทำการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย

An analysis of part fabrication from integrated traditional and 3D printing: Multi-criteria decision making approach

จิราพร บุษภาพ[1] ฝนทิพย์ ครองยุติ[1] คมชาญ สืบอ้วน[1] และ กสิณ รังสิกรรพุม[1*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
*Corresponding E-mail: kasinphd@gmail.com

Jiraporn Butsaphap[1], Fonthip Krongyut[1], Khomchan Suboun[1], and Kasin Ransikarbum[1*]
[1]Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ubonratchathani University
*Corresponding E-mail: kasinphd@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการขึ้นรูปชิ้นงานแบบสามมิติ (3-Dimensional Printing หรือ 3DP) โดยใช้เครื่อง Fused Deposition Modeling (FDM) และเครื่อง Stereolithography (SLA) ในการผลิตชิ้นงาน จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับการขึ้นรูปชิ้นงานแบบดั้งเดิม (traditional manufacturing) โดยใช้เครื่องกลึง (Lathe) ในการผลิตชิ้นงาน โดยวัสดุที่ใช้สำหรับเครื่อง FDM คือพลาสติก ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) และพลาสติก PLA (Polylactic Acid) ส่วนวัสดุที่ใช้กับเครื่อง SLA คือ เรซิ่น (Resins) และพลาสติกแท่ง ABS สำหรับเครื่องกลึง โดยได้ศึกษาทำการผลิตทั้งหมด 4 แนวในทิศทาง 0 องศา, 45 องศา, 90 องศา, และ 180 องศาตามลำดับ จากนั้นจึงใช้เครื่องมือการวิเคราะห์แบบหลายปัจจัยใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล นั่นคือเครื่องมือการวิเคราะห์แบบหลายปัจจัยโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process หรือ AHP) เพื่อการหาน้ำหนักของแต่ละปัจจัย และการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ linear normalization เพื่อเป็นตัวชี้วัดในการหาการผลิตชิ้นงานที่ดีที่สุด โดยพบว่าชิ้นงานที่ผลิตในแนว 0 องศา จะเป็นชิ้นงานดีที่สุด โดยขึ้นกับความต้องการของผู้ทำการตัดสินใจด้วย

คำหลัก การผลิตแบบสามมิติ, การทำการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย, วิธีวิเคราะห์การทำ normalization แบบเส้นตรง, กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

Abstract

We aim to study the production method of the three-dimensional printing (3DP) using Fused Deposition Modeling (FDM) and Stereolithography (SLA) and compare it with the traditional method. Whereas materials used for FDM are ABS and PLA plastics and material used for SLA is resin; material used for turning machine is ABS. In addition, we study orientation direction of the 3DP part from 0 degree, 45 degrees, 90 degrees, and 180 degrees, respectively. Data are then collected for comparative study from different criteria, such as production time, production cost, surface quality, error of production, accuracy, and scrap. Then, our group use multiple-criteria decision making tools to analyze these conflicting criteria and obtain ranks of all alternatives. In particular, we use analytic hierarchy process (AHP) to obtain different weights from 3 types of decision makers (user, expert, and technician). Then, we perform normalization and obtain ranking using linear normalization technique.

Keyword: 3D Printing, Multi-Criteria Decision Making, Linear Normalization Technique, Analytic Hierarchy Process

1. บทนำ

การผลิตชิ้นงานแบบเพิ่มขึ้นทีละชั้น (Additive Manufacturing หรือ AM) หรือที่รู้จักกันในชื่อการขึ้นรูปชิ้นงานแบบสามมิติ (3-Dimensional Printing หรือ 3DP), และชื่ออื่น ๆ เช่น การผลิตแบบรวดเร็ว (Rapid Manufacturing), และการทำแบบจำลองแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping) เป็นการขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการเติมเนื้อวัสดุเข้าไปทีละชั้นเลเยอร์ (layer) ซึ่งกำลังเป็นที่นิยมและได้รับความสนใจเป็นจำนวนมากในอุตสาหกรรมการผลิตในโลกและในประเทศไทย ในการเป็นการผลิตแบบใหม่ที่ชาญฉลาด (smart manufacturing) โดยเมื่อไม่นานมานี้ 3DP เทคโนโลยีถูกนำมาใช้แพร่หลายมากขึ้นโดยมีตั้งแต่งานประติมากรรม, การสร้างโมเดลบ้าน, เฟอร์นิเจอร์ใช้ตกแต่งบ้าน, ชิ้นส่วนของรถยนต์, เครื่องบิน, อุปกรณ์ทางด้านการทำทันตกรรม อวัยวะเทียมที่จะผลิตขึ้นเฉพาะบุคคล เครื่องมือทางการแพทย์ และอื่น ๆ ในทางตรงกันข้ามการผลิตแบบ 3DP จะแตกต่างจากการผลิตแบบดั้งเดิม (traditional manufacturing) ที่เน้นการกัดเนื้อวัสดุออก (Subtractive Manufacturing หรือ SM) ซึ่งเป็นการสกัดเนื้อวัสดุออกจนได้เป็นรูปร่างของวัตถุที่ต้องการผลิตโดยวิธี ตัด กลึง ไส เจาะ และเจียระไน รวมถึงการหล่อโลหะ ซึ่งจะเกิดของเสียในหลายๆ กระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง โดยแต่ละการผลิตต่างมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับมุมมองของปัจจัยต่างๆ ที่ใช้พิจารณา [1-3]

เนื่องจากปัจจัยในการผลิตชิ้นงานมีความขัดแย้งกัน เช่นการผลิตแบบดั้งเดิมมีความน่าสนใจในแง่ของความแข็งแกร่งของชิ้นงานแต่ข้อเสียคือใช้เวลานานและมีของเสียจำนวนมาก ในทางตรงกันข้ามการผลิตแบบ 3DP มีข้อดีคือเรื่องความอิสระในการออกแบบชิ้นงานในการผลิตและผลิตได้รวดเร็วตามที่ต้องการทันที แต่มีข้อเสียในเรื่องคุณภาพผิว ความแข็งแกร่งของชิ้นงานและ ราคาชิ้นงานต่อชิ้นเป็นต้น ในการศึกษานี้ ทางผู้วิจัยทำการผลิตชิ้นงานจากเครื่อง 3DP โดยใช้เครื่อง Fused Deposition Modeling (FDM) และเครื่อง Stereolithography (SLA) ในการผลิตชิ้นงาน จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับการขึ้นรูปชิ้นงานแบบดั้งเดิม (traditional manufacturing) โดยใช้เครื่องกลึง (Lathe) ในการผลิตชิ้นงาน โดยได้ศึกษาทำการผลิตทั้งหมด 4 แนวในทิศทาง 0 องศา, 45 องศา, 90 องศา, และ 180 องศา ตามลำดับ จากนั้นทำการวัดผลจากปัจจัยต่างๆ และใช้เครื่องมือวิเคราะห์ผลที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (multi-criteria decision making หรือ MCDM) โดยใช้เครื่องมือการวิเคราะห์แบบหลายปัจจัยโดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process หรือ AHP) เพื่อการหาน้ำหนักของแต่ละปัจจัย และการวิเคราะห์การทำ normalization แบบเส้นตรง (linear normalization) เพื่อเป็นตัวชี้วัดในการหาการผลิตชิ้นงานที่ดีที่สุด [3-6]

2. เครื่องมือและวิธีการ

2.1 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP)

AHP เป็นกระบวนการตัดสินใจแบบวิเคราะห์ลำดับชั้นโดยได้ถูกพัฒนาขึ้นใน ค.ศ.1970 โดย Thomas L Saaty ซึ่งเป็นการแปลงสิ่งที่ไม่สามารถวัดค่าในเชิงปริมาณมาพิจารณาในเชิงปริมาณโดยการกำหนดมาตราส่วนในการพิจารณาเพื่อให้ได้คำตอบที่เป็นไปได้แบบมีเหตุผลโดยมีการระบุเป้าหมายและสร้างโครงสร้างของปัญหาที่ต้องการพิจารณาออกมาเป็นแผนภูมิลำดับชั้น (Hierarchy) ตามลำดับชั้นของเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาจากเกณฑ์หลักสู่เกณฑ์รองตามลำดับจัดเรียงลงมาเป็นชั้น ๆ จนถึงทางเลือก (Alternative) โดยใช้การเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ [5]

ทั้งนี้สามารถแสดงการคำนวณทางคณิตศาสตร์ของ AHP ได้ตามด้านสมการ (1)-(5)

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

$$A\cdot p=\lambda_{\max}\cdot p \quad (2)$$

$$CI=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1} \quad (3)$$

$$CR=\frac{CI}{RI} \quad (4)$$

$$g_i=\sum_j w_j l_{ij} \quad (5)$$

โดยที่ A คือเมตริกเพื่อทำการตัดสินใจ; a_{ij} เป็นการเปรียบเทียบระหว่างข้อมูล i และ j โดยใช้สเกลความสำคัญที่กำหนด; p เป็น normalized principal Eigenvector; $\lambda_{\max}$ คือค่า Eigenvalue ที่มากที่สุด; CI คือค่า consistency index; CR คือค่า consistency ratio; g_i คือค่า global priority ของทางเลือก i ที่ตัดสินใจ; l_{ij} คือ local priority และ w_j คือค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย j ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ AHP เพื่อหาค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัย โดยมีวิธีการคำนวณคร่าวๆ ดังนี้

2.1.1ทำการเปรียบเทียบเกณฑ์แต่ละคู่ในรูปของตารางเมตริก ทำได้โดยทำการเปรียบเทียบทุก ๆเกณฑ์ ทั้งในแถวแนวนอนและแนวตั้ง

2.1.2 คำนวณหาค่า Eigenvector ของเมตริกในแต่ละแถว (normalized matrix) โดยทำได้จากการหาค่าเฉลี่ยความสำคัญในแต่ละแถว แล้วคำนวณ Eigenvector ซึ่งใช้แทนค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.3 การตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล หรือที่เรียกว่า Consistency Ratio (CR) โดยมีเกณฑ์ว่าหากค่า CR ที่ได้ไม่เกิน 10% แสดงว่ามีความสอดคล้องของข้อมูลที่ทำการประเมินที่ยอมรับได้

2.2 วิธีการวิเคราะห์ Linear Normalization

วิธีการวิเคราะห์ Linear normalization เป็นส่วนหนึ่งของการปรับหน่วยวิเคราะห์ที่มีหน่วย หรือ unit ที่แตกต่างกันให้ไม่มีหน่วย (unitless) หรือเพื่อให้สามารถเกิดการเปรียบเทียบข้ามหน่วยได้โดยตรง ซึ่งเป็นวิธีการ Scaling technique อย่างหนึ่ง โดยในงานวิจัยนี้ จะนำมาใช้ในกรณีที่หน่วยของแต่ละปัจจัยสำหรับแต่ละทางเลือกที่ทำการผลิต มีความแตกต่างกันมาก โดยทำการ Scaling เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบทางเลือกที่ทำการผลิตมาโดยพิจารณาระหว่างปัจจัยที่มีหน่วยต่างกันได้โดยตรง [6]

การทำ Scaling โดยวิธี Linear normalization จะเป็นการใช้ค่าที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ (Ideal Value) กับค่าที่แย่สุดที่เป็นไปได้ (Anti-ideal หรือ Non-ideal Value) โดยที่ Ideal Value (Hj) แทนคำตอบที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้สำหรับปัจจัยใด ๆ ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุด (max) สำหรับปัจจัยที่ยิ่งมากยิ่งดี (benefit criterion) และเป็นค่าที่น้อยที่สุด (min) สำหรับปัจจัยที่ยิ่งน้อยยิ่งดี (cost criterion) ในขณะที่ Anti-ideal หรือ Non-Ideal Value (Lj) คือคำตอบที่แย่ที่สุดที่เป็นไปได้สำหรับปัจจัยใด ๆ ซึ่งจะตรงข้ามกับการคำนวณหา Ideal Value นั่นคือเป็นค่าที่มากที่สุด (max) สำหรับปัจจัยที่ยิ่งน้อยยิ่งดี (cost criterion) และเป็นค่าที่น้อยที่สุด (min) สำหรับปัจจัยที่ยิ่งมากยิ่งดี (benefit criterion)

สูตรในการคำนวณของ Linear normalization เป็นไปตามสมการที่ (6)-(7)

$$\text{Max Criterion: } n_{ij} = \frac{f_{ij} - L_j}{H_j - L_j} \quad (6)$$

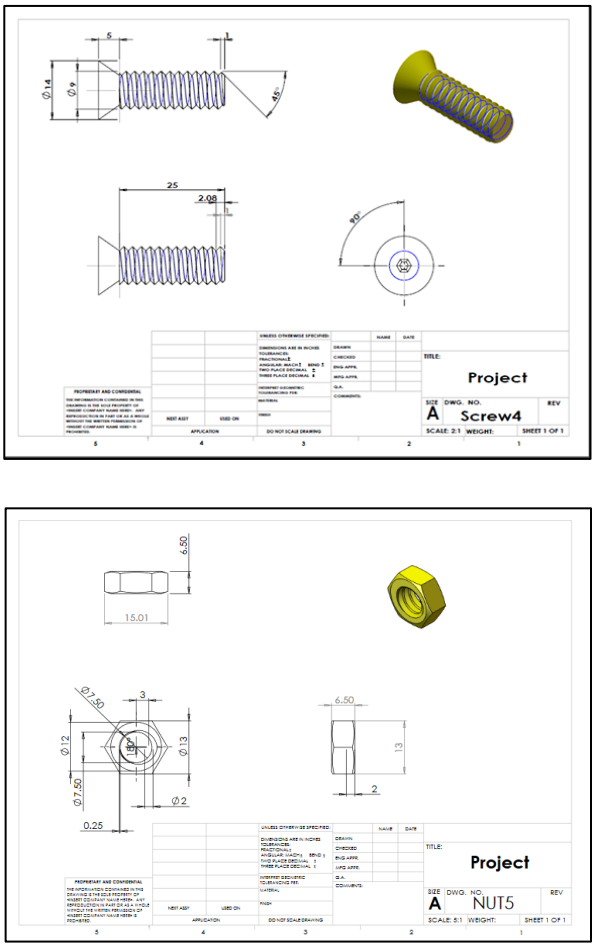
$$\text{Min Criterion: } n_{ij} = \frac{L_j - f_{ij}}{L_j - H_j} \quad (7)$$

โดยที่ค่า fij คือค่าข้อมูลจริง ๆ ในแต่ละทางเลือก i และปัจจัย j; nij คือค่าข้อมูลที่ได้ทำการ normalization มา; ค่า Hj คือค่า ideal value ที่ทำคำนวณมาของแต่ละปัจจัย j และค่า Lj คือค่า non-ideal value ที่ทำคำนวณมาของแต่ละปัจจัย j ทั้งนี้วิธีการ linear normalization จากสูตรข้างต้น จะทำการเปลี่ยนปัจจัยต่างๆ ที่อยู่ในรูป max หรือ min ให้เป็นรูปที่ยิ่งเยอะยิ่งดี (max) ทั้งหมด ซึ่งสามารถนำค่า nij ที่ได้ที่อยู่ในรูป max แล้วไปใช้เพื่อการคำนวณต่อไปได้

3. กรณีศึกษาและการออกแบบการทดลอง

3.1 ชิ้นงานกรณีศึกษา

ในการศึกษานี้ ใช้ชิ้นงานน็อตตัวผู้และน็อตตัวเมีย เป็นกรณีศึกษา โดยการออกแบบด้วยโปรแกรม Solid Work ซึ่งเป็นชิ้นงานขนาดที่ใช้จริงในอุตสาหกรรมทั่วไป โดยในงานวิจัยส่วนใหญ่จะใช้ชิ้นงานเพียงชิ้นเดียว ในขณะที่งานวิจัยนี้แสดงการประกอบกันระหว่างชิ้นงานย่อยทั้งสองชิ้น [5-6] (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 แสดงชิ้นงานน็อตตัวผู้ (บน) และน็อตตัวเมีย (ล่าง)

3.2 การออกแบบการทดลอง

ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบการทดลอง

เป็นไปตามตารางที่ 1 แยกตามเครื่องจักร วัสดุที่ใช้ ปัจจัยที่ทำการผลิต และ ทิศทางการขึ้นรูปของชิ้นงาน ตามลำดับ

ตารางที่ 1 แสดงการสรุปการออกแบบการทดลองแสดงข้อมูลวัสดุ เครื่องจักร ปัจจัยที่ใช้ และทิศทาง

Factor	Level
1. เครื่องจักร	1.1 Fused Deposition Modeling (FDM) Printer
	1.2 เครื่อง Stereolithography (SLA) Printer
	1.3 เครื่องกลึง
2. วัสดุที่ใช้	2.1 Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)
	2.2 Polylactic acid (PLA)
	2.3 Resin
	2.4 แท่งพลาสติก ABS
3. ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง	3.1 ปริมาณวัสดุที่ใช้ (material)
	3.2 เวลาในการผลิต (time)
	3.3 ต้นทุนในการผลิต (cost)
	3.4 ของเสีย (waste/support)
	3.5 ขนาดของชิ้นงาน (accuracy)
	3.6 การประกอบชิ้นงาน (assembly)
	3.7 สภาพผิวสำเร็จชิ้นงาน (surface quality)
4. ทิศทางของชิ้นงาน	4.1 มุม 0 องศา
	4.2 มุม 45 องศา
	4.3 มุม 90 องศา
	4.4 มุม 180 องสา

ทั้งนี้ สำหรับปัจจัยในการผลิตชิ้นงานด้วยการผลิตแบบดั้งเดิมและ 3-Dimensional Printing (3DP) นั้น ได้ทำการบันทึกข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้ทั้งข้อมูลเชิงปริมาณสำหรับห้าปัจจัยแรก และเชิงคุณภาพสำหรับสองปัจจัยสุดท้าย โดยจะบันทึกค่าของแต่ละปัจจัยดังต่อไปนี้ ปริมาณวัสดุที่ใช้ (gram); ต้นทุนในการผลิต (บาท); เวลาที่ใช้ในการผลิต (นาที); ของเสีย Support/Scrap (gram); ความแม่นยำของชิ้นงาน (ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนหรือค่าเฉลี่ย Error) (mm.); การประกอบชิ้นงาน (1 ชอบหรือสำคัญน้อยที่สุด - 10 ชอบหรือสำคัญมากที่สุด) และสภาพผิวสำเร็จ Surface Condition (1 ชอบหรือสำคัญน้อยที่สุด - 10 ชอบหรือสำคัญมากที่สุด)

4. ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำหนักของปัจจัยด้วย AHP

ผู้วิจัยได้ทำการสอบถามข้อมูลจากตัวแทนผู้ทำการตัดสินใจ (Decision Maker: DM) 3 ประเภทคือ ผู้ใช้งานทั่วไป (User) ผู้เชี่ยวชาญ (Expert) และช่างเทคนิค (Technician) โดยให้กรอกแบบสอบถามให้คะแนนระดับความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่นำมาเปรียบเทียบเป็นคู่ ๆ เช่น เวลาผลิต (นาที) เทียบกับ Support (g.) ; Support (g.) เทียบกับ Surface condition เป็นต้นตามขั้นตอนข้างต้น และได้ผลตามตารางที่ 2 ซึ่งค่า CR ไม่เกิน 10%

ตารางที่ 2 แสดงค่าน้ำหนักสัมพันธ์ ของแต่ละปัจจัยของผู้ทำการตัดสินใจแต่ละประเภท

ปัจจัย (Criteria)	Weight User	Weight Expert	Weight Technician
Material	0.05	0.11	0.02
Time	0.05	0.11	0.01
Cost	0.15	0.19	0.35
Waste/Support	0.02	0.06	0.35
Accuracy	0.35	0.28	0.14
Assembly	0.23	0.07	0.05
Surface quality	0.15	0.18	0.08

ทั้งนี้พบว่า decision maker แต่ละประเภทให้ความสนใจในปัจจัยต่างๆ ในการผลิตที่ต่างกัน โดยในขณะที่ user และ expert สนใจเรื่องของปัจจัยขนาดของชิ้นงานมากที่สุด ในค่าน้ำหนักที่ต่างกัน พบว่า technician ให้ความสนใจเรื่องของ cost และ waste ด้วยค่าน้ำหนักที่เท่าๆ กัน ผู้ทำวิจัยหมายเหตุว่า ค่าน้ำหนักที่ได้เป็นเพียงตัวอย่างจากการทำวิจัยนี้เพื่อกรณีศึกษาเท่านั้น

4.2 ผลการวิเคราะห์ลำดับของชิ้นงานการผลิต

ในการศึกษานี้ ได้ทำการเก็บข้อมูลจากการทดลองแยกตามเครื่องจักรและวัสดุที่ใช้ โดยจะแสดงผลในส่วนของเครื่อง FDM และวัสดุ ABS ดังแสดงในตารางที่ 3 ในเอกสารวิจัยนี้เนื่องจากเนื้อที่จำกัด

ตารางที่ 3 แสดงผลการเก็บข้อมูลตามปัจจัยของเครื่อง FDM วัสดุ ABS

ลำดับ	1	2	3	4
ทิศทาง(องศา)	0	45	90	180
ปริมาณ (g.)	1.6948	2.5633	2.6482	2.4700
ต้นทุน (baht)	82	133	151	95
เวลา (min.)	31.66	51.24	57.97	36.21
Support (g)	0.00	0.8685	0.9534	0.7752
Error (mm.)	0.53	0.43	0.57	0.39
Assembly (scale 1-10)	9	8	8	6
Surface Condition (scale 1-10)	5	6	5	6

ทั้งนี้ลำดับที่ 1-4 แสดงข้อมูลของวัสดุ ABS ด้วยเครื่อง

FDM (แสดงในตารางที่ 3) ลำดับที่ 5-8 แสดงข้อมูลของวัสดุ PLA ด้วยเครื่อง FDM ตามองศาต่างๆ ลำดับที่ 9-12 แสดงข้อมูลของวัสดุ Resin ด้วยเครื่อง SLA ตามองศาต่างๆ และลำดับที่ 13 แสดงข้อมูลแท่งพลาสติก ABS ด้วยเครื่องกลึงในทิศทาง 90 องศา โดยได้ผลการจัดลำดับด้วยวิธี Linear normalization ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงผลการจัดอันดับชิ้นงานตามประเภทผู้ทำการตัดสินใจ

ชิ้นงานลำดับที่	Rank User	Rank Expert	Rank Technician
1	3	5	3
2	2	6	6
3	7	9	9
4	4	2	4
5	6	4	1
6	9	7	5
7	8	3	2
8	12	10	8
9	1	1	7
10	10	12	12
11	5	8	10
12	11	11	11
13	13	13	13

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้เครื่องมือการวิเคราะห์แบบหลายปัจจัย และและใช้ค่าน้ำหนักจากตัวแทนของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (stakeholders) จาก 3 ประเภทเพื่อนำความคิดเห็นส่วนตัวและความชอบของแต่ละคน (preferences) มาร่วมวิเคราะห์ด้วยคือ User Expert และ Technician ในการให้คะแนนระดับความสำคัญ เพื่อการวิเคราะห์หาน้ำหนักของแต่ละปัจจัย โดยจากการศึกษาการผลิตชิ้นงานจากเครื่อง 3 DP ทั้ง 2 เครื่อง จะพบว่าชิ้นงานที่ผลิตในแนว 0 องศา จะเป็นชิ้นงานดีที่สุดเมื่อเทียบกับการผลิตในแนว 45 องศา 90 องศา และ 180 องศา ซึ่งมีการใช้ปริมาณวัสดุในการผลิตน้อย ต้นทุนในการผลิตถูกกว่ารวมถึงเวลาที่ใช้ในการผลิตน้อย ไม่เกิดของเสียที่มาจากชิ้นงานค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับแบบมีค่าใกล้เคียงกันการประกอบชิ้นงานเข้ากันได้ดีกว่าและผิวชิ้นงานมีความขรุขระของเครื่อง FDM แต่สำหรับเครื่อง SLA ที่ใช้วัสดุ Resin ชิ้นงานจะมีความเรียบเนียนสวยงามมากกว่า ส่วนการผลิตชิ้นงานแบบดั้งเดิมจากเครื่องกลึง ผลิตชิ้นงานในแนว 90 องศา ทำให้เกิดของเสียที่เกิดจากการผลิตชิ้นงานเป็นจำนวนมากเพราะกระบวนการกัดเนื้อชิ้นงาน แต่ในเรื่องของการประกอบของชิ้นงานนั้น สามารถประกอบเข้าด้วยกันได้ดีและผิวของชิ้นงานมีความเรียบเนียนสวยงาม

อย่างไรก็ตาม ในการวิเคราะห์ข้อมูลหากมีการกำหนดปัจจัยให้ครอบคลุมทุกด้านและรายละเอียดที่มากขึ้น จะส่งผลทำให้การวิเคราะห์ผลมีความแม่นยำที่มากขึ้นและข้อมูลที่มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้เป็นที่น่าในใจที่จะใช้เครื่องมือการวิเคราะห์แบบหลายปัจจัยประเภทอื่น เช่น Data Envelopment Analysis มาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของแต่ละทางเลือกเป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

เอกสารอ้างอิง

[1] 3D Printing: เทคโนโลยีแห่งโอกาส (2557). จาก website http://www.tcdc.or.th/creativethailand/

[2] มองอุตสาหกรรมการผลิตในปี (2558) จาก website http://www.applicadthai.com/editor-talks/มองอุตสาหกรรมการผลิตในปี-2558/

[3] Ransikarbum, K., & Kim, N. (2017, April). Data envelopment analysis-based multi-criteria decision making for part orientation selection in fused deposition modeling. In Industrial Engineering and Applications (ICIEA), 2017 4th International Conference on (pp. 81-85). IEEE.

[4] Ransikarbum, K., & Kim, N. (2017, December). Multi-criteria selection problem of part orientation in 3D fused deposition modeling based on analytic hierarchy process model: A case study. In Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), 2017 IEEE International Conference on (pp. 1455-1459). IEEE.

[5] Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. International journal of services sciences, 1(1), 83-98.

[6] กสิณ รังสิกรรพุม (2560) เอกสารประกอบคำสอนวิชา Multi-Criteria Decision Making คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี