

การวางแผนกระบวนการผลิตชิ้นงานสามมิติด้วยวัสดุ ABS ในเครื่อง FDM ภายใต้การวิเคราะห์แบบล้อม
กรอบข้อมูลและเทคนิคการเรียงลำดับการตัดสินใจ

Process Planning in FDM 3D-Printed Acrylonitrile-Butadiene-Styrene
Using Integrative DEA and TOPSIS

กิตติ วิเศษลา และกสิณ รังสิกรรพุม*
Kitti Wisetla and Kasin Ransikarbun*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 34000
Industrial Engineering, Faculty of Engineering
*Email: kasinphd@gmail.com

Received: 29 Sep 19

Revised: 20 Nov 19

Accepted: 01 Dec 19

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เป็นการศึกษาวิเคราะห์การวางแผนการผลิตด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ (3DP) โดยพิจารณาปัญหาการเลือกตำแหน่งบนเครื่อง 3DP ซึ่งอายุงานของเครื่องพิมพ์ที่ใช้มีผลกระทบต่อตำแหน่งที่เหมาะสมบนแป้นพิมพ์ และตำแหน่งของชิ้นงานบนเครื่องพิมพ์ที่แตกต่างกันส่งผลต่อคุณลักษณะของชิ้นงานที่ได้ โดยทำการออกแบบการทดลองจากปัจจัยทางด้านทิศตามแกน X และ Y และด้านตำแหน่งของฐานแป้นพิมพ์ (หน้า-F, กลาง-M, หลัง-B, ซ้าย-L, และขวา-R) โดยกำหนดความหนาแน่นของชิ้นงานที่ 25% 50% และ 100% และทำซ้ำสองครั้งในแต่ละการทดสอบรวม 36 การทดลอง โดยพิจารณาจากปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการผลิตด้วยวัสดุ ABS แบบเทคโนโลยีหัวฉีด (FDM) จากปัจจัยนำเข้าสามปัจจัย ได้แก่ ปริมาณวัสดุที่ใช้ ต้นทุนในการผลิต เวลาที่ใช้ในการผลิต และปัจจัยนำออกห้าปัจจัย ได้แก่ ค่าความเรียบผิว ค่าความเที่ยงตรง ค่า % การยึดตัว ค่าทนแรงดึง และค่าความแข็ง ซึ่งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล พบว่ากลุ่มที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพเท่ากับ 1 มี 15 หน่วยการทดลอง (DMU) และอีก 3 DMU มีค่าน้อยกว่า 1 จากนั้นจึงใช้เทคนิค Bodar count ในการวิเคราะห์ค่าน้ำหนักของปัจจัยและเทคนิคการเรียงลำดับการตัดสินใจ ในการวิเคราะห์เพื่อหาทางเลือกตำแหน่งการผลิตที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งพบว่าทางเลือกที่ดีที่สุดคือ DMU 2 โดยเป็นการผลิตที่ระดับความหนาแน่นที่ 25% ในแนวแกน X ตำแหน่งตรงกลางของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการผลิตสำหรับงาน 3DP ได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: การตัดสินใจแบบหลายปัจจัย การวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล เทคนิคการเรียงลำดับการตัดสินใจ ประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ การพิมพ์ชิ้นงานแบบสามมิติ

Abstract

This article examines a process of publishing plans using three-dimensional printing (3DP) by focusing on Printer - location problems. The service life of the 3D printer affects proper location of the printer platform and, consequently, altered position of the part on the printer affects the characteristics of the part. We evaluated 36 testing specimens fabricated using Fused Deposition Modeling (FDM) 3D-printed Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS). The designed experiment is conducted with specimens' density at 25, 50, and 100 percent based on the X and Y direction as well as the location of the printer at the front (F), the middle (M), the back (B), the left (L), and the right (R) with two replicates for each scenario. Next, relative efficiency of each decision making unit (DMU) is analyzed based on three input criteria (i.e., the amount of material, production cost, and production time) and five output criteria (i.e., surface roughness, accuracy, % elongation, tensile strength, and hardness) using the Data Envelopment Analysis (DEA) technique. Fifteen DMUs found to have the efficiency score of 1 and the other three DMUs lesser than 1. Then, Bodar count technique is used to evaluate criteria weight and Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) technique is used to analyze the best alternative, in which the DMU 2 produced using 25%-density level at the XM position is recommended. The results from this research can be further applied for effective production planning for 3DP in the future.

Keywords: Multi-Criteria Decision Making, Data Envelopment Analysis (DEA), Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS), Relative Efficiency, Three-Dimensional Printing

1. บทนำ

ในอดีตการวิจัยและพัฒนาสินค้าต้นแบบหรือผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปยังขาดคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและขึ้นรูปสามมิติได้ ทำให้การผลิตต้องใช้เวลานาน และมีต้นทุนในการผลิตสูง นอกจากนี้การผลิตยังคงต้องอาศัยความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานโดยอาศัยเครื่องมือพื้นฐาน เช่น เครื่องกลึง เครื่องกัด และเครื่องจักรอื่น ๆ ซึ่งมีข้อจำกัดในกระบวนการผลิตหลายประการ อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันมีความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมากขึ้น ซึ่งมีบทบาทช่วยในการพัฒนาในด้านต่าง ๆ โดยหนึ่งในนั้นคือ เทคโนโลยีในการพิมพ์ขึ้นรูปสามมิติ (Three Dimensional Printing - 3DP) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในแวดวงวิจัยและอุตสาหกรรม ในหลาย ๆ ประเทศ อย่างไรก็ตามพบว่าการขึ้นรูปแบบ 3DP ยังคงพบปัญหาหลายด้านที่เป็นข้อจำกัดในการผลิตและด้านคุณภาพ เช่น ปัญหาความเที่ยงตรงของขนาด ความเรียบของผิวงาน และคุณสมบัติทางกลอื่น ๆ รวมถึงด้านความเข้าใจในต้นทุนในกระบวนการผลิต จึงทำให้ขาดความมั่นใจในการตัดสินใจที่จะวางแผนการผลิตและใช้งาน [1]-[5]

โดยในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาวเคราะห์หาประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตชิ้นงานและทางเลือกในการผลิตที่ดีที่สุด โดยใช้กรณีศึกษาของการใช้เทคโนโลยีแบบหัวฉีดที่ได้รับความนิยมสูงสุดเรียกว่าเทคโนโลยีแบบ Fused Deposition Modeling (FDM) โดยใช้วัสดุเทอร์โมพลาสติกแบบอะครีโลไนไตรล์ไสติร์-บิวทาไดอีน (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene - ABS)

ซึ่งในการศึกษานี้ใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์แบบบูรณาการ (Integration) ระหว่างการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพด้วยวิธีล้อมกรอบข้อมูล (Data Envelopment Analysis - DEA) การใช้เทคนิคการนับของบอดาร์ (Bodar Count) ในการวิเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย และเทคนิคการเรียงลำดับการตัดสินใจ (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution - TOPSIS) ในการวิเคราะห์เพื่อหาทางเลือกตำแหน่งของการผลิตบนแป้นพิมพ์ของเครื่องพิมพ์ FDM ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งในการทำการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (Multi-Criteria Decision Making - MCDM) ในการวิเคราะห์ [6]

2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและตัดสินใจหาทางเลือกในการผลิตที่ดีที่สุดของกระบวนการผลิตชิ้นงาน 3DP โดยทำการศึกษาผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ รวมถึงงานวิจัยที่ทำการศึกษาโดยใช้แนวทางการวิเคราะห์ประสิทธิภาพแบบล้อมกรอบข้อมูล (DEA) และงานวิจัยที่ทำการศึกษาโดยใช้แนวทางการตัดสินใจในการหา

ทางเลือกที่ดีที่สุดด้วยวิธีเทคนิคการเรียงลำดับการตัดสินใจ (TOPSIS) ดังนี้

2.1.1. งานวิจัยเกี่ยวกับ 3DP

กฤษณ์ไกรพิ์ สิทธิ และเสรี ประทีป [7] ทำการประยุกต์ใช้ต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping - RP) ทาง การแพทย์เพื่อการผ่าตัดแก้ไขความผิดปกติของร่างกาย โดยต้องการเผยแพร่เทคโนโลยีต้นแบบรวดเร็วทางการแพทย์ให้กว้างขวางขึ้นในระดับประเทศ แก่โรงพยาบาลต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน โดยพัฒนาเครื่องพิมพ์ต้นแบบรวดเร็วทางการแพทย์ด้วยเทคโนโลยีเลเซอร์ เป็นเครื่องที่สามารถผลิตวัสดุฝังในเฉพาะบุคคลประเภทโพลีเมอร์ โลหะ และเซรามิกส์ได้ ต่อมาปริศนา บุญศักดิ์ และวิเชียร มหาวาน [8] ทำการวิจัยปัญหาในงานหล่อและพัฒนาหาแนวทางแก้ไขปัญหาในงานหล่อเครื่องประดับ โดยทำการศึกษารอบอบบ้านที่ใช้ต้นแบบตัวเรือนวัสดุ 3DP เรียกว่า wic100a แล้วเปรียบเทียบกับบ้านปูนที่มีตัวเรือนเป็นวัสดุแก้วซีเควทัวทั่วไปที่ไม่ใช่วัสดุ 3DP

จุฑามาศ พุฒนา และสุมิตดา จาดคา [9] ทำการศึกษาปัญหาการวางทิศทางการวางชิ้นงานที่มีผลกระทบต่อขนาดชิ้นงานโดยการขึ้นรูปด้วยเครื่องผลิตต้นแบบรวดเร็ว ซึ่งผลการทดสอบจากการฉีดขึ้นรูปชิ้นงานตามแนวแกน X จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของชิ้นงานน้อยที่สุด และพบว่าแนวโน้มค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทั้ง 3 แกนที่เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ผู้ทำวิจัยทำการศึกษาค่าความกลมของชิ้นงานทรงกระบอกเฉลี่ยที่ได้จากการขึ้นรูปตามแนวแกน X โดยพบว่าการผลิตตามแนวแกน X สามารถสร้างทรงกระบอกที่กลมมากที่สุด และแนวโน้มค่าความกลมของชิ้นงานทรงกระบอกเฉลี่ยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงาน โดยยิ่งชิ้นงานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ขึ้น ชิ้นงานก็จะมีค่าความกลมทรงกระบอกลดน้อยลง

ทิวากร อภิรักษ์ธนากร และยุต เอี่ยมสอาด [10] ทำการสร้างต้นแบบแบบรวดเร็ว โดยใช้หยดน้ำเป็นการขึ้นรูปแบบเติมเนื้อวัสดุรูปแบบใหม่ ที่มีข้อได้เปรียบจากเครื่องพิมพ์ต้นแบบแบบรวดเร็วชนิดอื่นโดยเฉพาะในเรื่องของความสะอาดและคุณภาพผิวของต้นแบบ ในการลดปัญหาในเรื่องของต้นทุนของวัสดุ โดยใช้หยดน้ำเป็นวัสดุต้นแบบนั้นอาศัยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (CAD) และคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) ในการออกแบบและแปลงข้อมูลที่ได้จากการออกแบบ นำไปใช้งานในเครื่องจักรซีเอ็นซี โดยมีการพิจารณาการควบคุมตัวแปรสำคัญในการศึกษา คือขนาดความกว้างและความสูงของแบบน้ำแข็งที่สัมพันธ์กับความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวฉีด ระยะระหว่างหัวฉีดกับพื้นผิวรองรับ และอัตราการไหลของหยดน้ำ

ยุต เอี่ยมสอาด และกิตติธนากร วรณิสสร [11] ทำการศึกษาค่าความสัมพันธ์ของการจัดวางวัตถุต่อทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว ด้วยเทคนิค FDM พบว่าการ

กำหนดทิศทางการจัดวางวัตถุนั้น สามารถประยุกต์ใช้กล่องขอบเขตเพื่อระบุปริมาตรของฐานรองรับชิ้นงาน (วัสดุ support) ซึ่งทิศทางการจัดวางวัตถุที่ก่อให้เกิดวัสดุ support น้อยที่สุดจะถูกกำหนดเป็นทิศทางในการวางแผนการผลิต โดยทิศทางการจัดวางวัตถุจะสอดคล้องกับทิศทางการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว ทั้งนี้หากทิศทางการจัดวางวัตถุมีมากกว่าหนึ่งทิศทางที่ทำให้เกิดวัสดุ support ต่ำสุดเท่ากัน การเลือกทิศทางการจัดวางวัตถุจะพิจารณาทิศทางการจัดวางวัตถุที่มีจำนวน support ต่ำสุดเป็นทิศทางการจัดวางวัตถุต่อไป

กิตติ วิเศษลา และคณะ [12] ทำการศึกษาและวิเคราะห์โดยแบ่งแยกตามด้านต่าง ๆ ทางวัตถุประสงค์ เครื่องมือที่ใช้ การวางแผนการผลิต และข้อสรุปแนะนำที่ได้จากงานวิจัย เพื่อให้เกิดความเข้าใจในขั้นตอน กระบวนการ ตลอดจนเป็นการวิเคราะห์หาแนวโน้มของงานวิจัยที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและเพื่อเป็นข้อเสนอแนะในอนาคต

กิตติ วิเศษลา และคณะ [13] ทำการศึกษาหาประสิทธิภาพของกระบวนการขึ้นรูปด้วยการพิมพ์แบบ 3 มิติ ด้วยเครื่อง FDM โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล โดยพิจารณาจากปัจจัยนำเข้าและปัจจัยผลผลิตที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของ 3DP จากเครื่อง FDM โดยปัจจัยนำเข้า ได้แก่ ปริมาณวัสดุที่ใช้ ต้นทุนในการผลิต เวลาที่ใช้ในการผลิต และปัจจัยนำออก ได้แก่ ค่าความเรียบผิว ค่าความเที่ยงตรง ค่า% การยึดตัว ค่าทนแรงดึง และค่าความแข็ง ซึ่งจากการวิเคราะห์โดยใช้ ตัวแบบ CCR และ ตัวแบบ BCC เพื่อหาขนาดประสิทธิภาพของกระบวนการว่ามีความเหมาะสมหรือไม่

2.1.2. งานวิจัยเกี่ยวกับวิธีการ DEA และ TOPSIS

ส่วนงานวิจัยที่ทำการศึกษาโดยใช้แนวทางการวิเคราะห์ประสิทธิภาพแบบล้อมกรอบข้อมูล (DEA) นั้น ชนิดา วสันต์ และสุรชัย จันทร์จรัส [14] ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านการจัดสรรการปลูกอ้อยในประเทศไทย ซึ่งพบว่าเกษตรกรที่มีค่าประสิทธิภาพด้านการจัดสรรเท่ากับ 100% มี 3 จังหวัดได้แก่ ขอนแก่น สุพรรณบุรี และมุกดาหาร ส่วนจังหวัดอื่น ๆ ที่ทำการศึกษา มีค่าประสิทธิภาพด้านการจัดสรรน้อยกว่า 100% โดยมีสาเหตุที่มาจากปัญหาจากปัจจัยการผลิตมากเกินไป นอกจากนี้ วิภาวี บุญทะมาตย์ และจินตนา สมสวัสดิ์ [15] ทำการศึกษาประสิทธิภาพทางเทคนิคของสถาบันการเงินชุมชน โดยใช้กรณีศึกษาจังหวัดสุรินทร์ 24 แห่ง โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพสำหรับปี 2554 2555 และ 2556 นอกจากนี้ได้มีการศึกษาการใช้ DEA ในการผลิตแบบ 3DP โดย Ransikarbum และ Kim [16] ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพแบบล้อมกรอบข้อมูล (DEA) ด้านการผลิตชิ้นงานด้วยเครื่อง FDM โดยการหาแนวทางในการตัดสินใจหาทางเลือกที่ดีที่สุดเกี่ยวกับการเลือกทิศทางการผลิตชิ้นงานที่มีประสิทธิภาพ

สำหรับวิธีการเทคนิคการเรียงลำดับการตัดสินใจ (TOPSIS) เอง Aydogan [17] ทำการบูรณาการวิธี

กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) กับ fuzzy TOPSIS เพื่อประเมินบริษัทการบินสี่แห่ง โดยใช้ปัจจัยห้าปัจจัยในการพิจารณาคือ ความเสี่ยงด้านประสิทธิภาพ คุณภาพประสิทธิผล ประสิทธิภาพ และความพึงพอใจในการประกอบอาชีพ นอกจากนี้มีนักวิจัยที่ใช้เครื่องมือ fuzzy TOPSIS หลากหลาย เช่น Kahraman และคณะ [18] นำเสนอวิธีการตัดสินใจกลุ่มแบบ fuzzy บนพื้นฐานของ TOPSIS โดยระบุการจัดอันดับของทางเลือกการตัดสินใจและให้ค่าน้ำหนัก และขึ้นอยู่กับเมตริกการตัดสินใจและเวกเตอร์น้ำหนัก สำหรับการแก้ไขปัญหาตำแหน่งที่ตั้งนั้น Chen และคณะ [19] ทำการศึกษาปัญหาการเลือกซัพพลายเออร์ โดยพิจารณาจากกำไรของซัพพลายเออร์ ค่าสัมประสิทธิ์ที่ใกล้เคียงแนวคิดในอุดมคติของแต่ละทางเลือก ความสามารถทางเทคโนโลยี คุณภาพสอดคล้อง และปัจจัยการแก้ไขความขัดแย้ง เพื่อกำหนดลำดับการจัดอันดับของซัพพลายเออร์ทั้งหมด

2.2. ทฤษฎีและเครื่องมือ

2.2.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพแบบล้อมกรอบ

ข้อมูล (DEA)

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์หลักการ แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการพิมพ์ขึ้นรูป 3 มิติ การวางแผนกระบวนการผลิต ปัญหาการเลือกตำแหน่งเพื่อหาประสิทธิภาพโดยการวางแผนการผลิตโดยใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพแบบล้อมกรอบข้อมูล (DEA) ด้วย CCR Model และการหาทางเลือกที่ดีที่สุดโดยเทคนิคการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (MCDM) ซึ่งมีหลากหลายวิธี เช่นวิธี Analytic Hierarchy Process (AHP) [20] เทคนิค Quality Function Deployment (QFD) ([21]-[22]) รวมถึงวิธี DEA และ TOPSIS ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

DEA เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ต้องการข้อสมมติของลักษณะการกระจายของกลุ่มตัวอย่าง (Non-Parametric Approach) และอาศัยแนวคิดของ Linear Programming มาใช้ในการคำนวณขอบเขตของที่ตั้งกลุ่มตัวอย่าง (Frontier Analysis) ซึ่งมีการอธิบายในรายละเอียดและนำมาใช้ประยุกต์ในหลายการศึกษา นำเสนอแนวคิดการวัดประสิทธิภาพเทคนิคการคัดเลือกแนวทางการวัดประสิทธิภาพนั้นน่าจะพิจารณาจากความสามารถในการควบคุมของหน่วยผลิตที่มีต่อปัจจัยการผลิตหรือผลผลิต หากหน่วยผลิตสามารถควบคุมปริมาณผลผลิตได้แน่นอน แนวทางการวัดจากผลผลิต (Output Oriented Approach) น่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมกว่า แต่ถ้าหากหน่วยผลิตสามารถควบคุมปัจจัยการผลิตได้ดีกว่าแนวทางการวัดประสิทธิภาพจากด้านปัจจัยการผลิตน่าจะเป็นทางเลือกที่เหมาะสมกว่าซึ่งวิธีการวัดประสิทธิภาพทั้งด้านปัจจัยการผลิตและผลผลิตโดยการใช้ Linear Programming นั้นจะมีกระบวนการคล้ายๆกัน เพียงแต่ว่าในด้านผลผลิตนั้น สมการเป้าหมาย (Objective Equation) นั้นจะกำหนดจาก Maximization ภายใต้ข้อจำกัดด้านปัจจัยการผลิตต่าง ๆ ในสมการเงื่อนไข (Constraints) แต่

การวัดจากด้านปัจจัยการผลิตนั้นจะมีสมการประสงค์เป็นรูป Minimization ภายใต้เงื่อนไขของจำนวนการผลิตที่กำหนด เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงความพยายามในการผลิตผลผลิตตาม ปริมาณที่ต้องการโดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุด

DEA เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ (efficiency) ของทางเลือกหรือหน่วยงานต่าง ๆ (decision making unit – DMU) ที่เราให้ความสนใจ เช่น ประสิทธิภาพ ของการดำเนินงานขององค์กร การบริหารจัดการทรัพยากรใน องค์กร ประสิทธิภาพทางการศึกษา และการลงทุน เป็นต้น ซึ่ง เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพจากปัจจัยนำเข้าหรือการผลิต (input) และปัจจัยผลผลิต (output) ของเรื่องที่ศึกษา โดย หน่วยงานหรือองค์กรที่สามารถทำผลผลิตจำนวนมากและใช้ ปริมาณปัจจัยการผลิตน้อยย่อมแสดงถึงลักษณะขององค์กรที่มี ประสิทธิภาพดี ดังสมการที่ (1)

$$\text{ประสิทธิภาพ (Efficiency)} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \quad (1)$$

ทั้งนี้ เทคนิค DEA ที่ได้รับความนิยมในงานวิจัยมี สองโมเดลหลักๆ ซึ่งเรียกตามชื่อผู้พัฒนาคือ Charnes, Cooper and Rhodes (CCR) และ Banker, Charnes and Cooper (BCC) [23] ซึ่งจะได้อธิบายต่อไปดังนี้

CCR model เป็นแบบจำลองภายใต้ข้อสมมติฐาน ผลตอบแทนต่อขนาดคงที่ (Constant Return to Scale - CRS) ใช้เมื่อ DMU ที่พิจารณาทุก DMU มีขนาดการผลิตที่ เหมาะสม คือต้นทุนเฉลี่ยไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยน ขนาด และมีเงื่อนไขว่า จะไม่มีค่าสังเกตใดที่มีประสิทธิภาพ มากกว่า 1 คือ คะแนนประสิทธิภาพ โดยรวมมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งถ้าค่าประสิทธิภาพมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าหน่วยงาน แห่งนั้นมีประสิทธิภาพ แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า หน่วยงานแห่งนั้นไม่มีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับ DMU อื่น ๆ ดังแสดงในสมการ (2) – (5)

เซต (Set)

I : เซตปัจจัยการผลิต i

J : เซตปัจจัยผลผลิต j

K : เซตทางเลือกหรือ DMUs

พารามิเตอร์ (Parameter)

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

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

ตัวแปร (Decision Variable)

U_i : ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยการผลิต i

V_j : ค่าน้ำหนักของแต่ละปัจจัยผลผลิต j

Maximize Efficiency

$$\frac{\sum_{j \in J} y_{j,k_0} V_j}{\sum_{i \in I} x_{i,k_0} U_i} \quad (2)$$

Subject to:

$$\frac{\sum_{j \in J} y_{j,k} V_j}{\sum_{i \in I} x_{i,k} U_i} \leq 1 \quad ; \forall k \in K \quad (3)$$

$$U_i \geq 0 \quad ; \forall i \in I \quad (4)$$

$$V_j \geq 0 \quad ; \forall j \in J \quad (5)$$

ทั้งนี้สามารถแปลง DEA model ข้างต้นให้อยู่ใน รูปโปรแกรมเชิงเส้นตรงหรือ Linear Programming ได้โดย กำหนดให้ $\sum_{i \in I} x_{i,k_0} U_i = 1$ ดังแสดงในสมการ (6) – (10)

$$\text{Maximize Efficiency} \quad \sum_{j \in J} y_{j,k_0} V_j \quad (6)$$

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

$$(7) \quad \sum_{j \in J} y_{j,k} V_j - \sum_{i \in I} x_{i,k} U_i \leq 0 \quad ; \forall k \in K \quad (8)$$

$$U_i \geq 0 \quad ; \forall i \in I \quad (9)$$

$$V_j \geq 0 \quad ; \forall j \in J \quad (10)$$

2.2.2. ทฤษฎีเกี่ยวกับเครื่องมือในการตัดสินใจแบบ หลายปัจจัย (MCDM) โดยกำหนดน้ำหนักของเกณฑ์ด้วยวิธี Borda – count และวิธี TOPSIS

TOPSIS เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การ ตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์หรือปัจจัย เพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยหลักการของ TOPSIS ใช้การหาทางเลือกที่มีสมรรถนะ โดยรวมใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับแต่ละเกณฑ์หรือ จากระยะที่ใกล้กับค่าในอุดมคติในเชิงบวก รวมทั้งการเป็น ทางเลือกที่ห่างไกลจากค่าที่แย่ที่สุดเมื่อเทียบกับแต่ละเกณฑ์ [24] โดยการประยุกต์ใช้ Borda Count ร่วมกับ TOPSIS ในงานวิจัยนี้ ในขั้นตอนแรกเป็นการวิเคราะห์ปัจจัย โดยผู้ทำ การตัดสินใจแต่ละคนจะทำการวิเคราะห์โดยให้ความสำคัญ ของปัจจัยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคู่ของปัจจัยใดๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการสังเคราะห์ค่าถ่วงน้ำหนักความสำคัญของ ปัจจัยด้วยวิธี Borda Count แล้วนำค่าถ่วงน้ำหนักที่ได้มา

วิเคราะห์ต่อเนื่องตามขั้นตอนของ TOPSIS ซึ่งเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์การตัดสินใจในการจัดลำดับของแต่ละทางเลือก เพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยเกณฑ์ที่ได้สามารถนำมาประเมินผลออกมาเป็นข้อมูลเชิงปริมาณที่สามารถจัดเรียงลำดับทางเลือกได้ ทั้งนี้ขั้นตอนในการวิเคราะห์การตัดสินใจของข้อมูลด้วยวิธี Borda Count และ TOPSIS มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) กำหนดกลุ่มของทางเลือกที่เป็นไปได้
 (2) หาค่าน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ โดยใช้เทคนิค Borda Count โดยใช้วิธีการเปรียบเทียบเป็นคู่ ๆ (paired comparison method) ซึ่งจำนวนคู่ในการเปรียบเทียบทั้งหมดแสดงในสมการที่ (11) โดยที่ N คือจำนวนของเกณฑ์จะนำมาหาค่าน้ำหนัก ทั้งนี้ให้ทำการเปรียบเทียบในเมตริกซ์การตัดสินใจดังแสดงในสมการที่ (12) โดยที่ a_{ij} คือการเปรียบเทียบของปัจจัย i เมื่อเทียบกับปัจจัย j และในการเปรียบเทียบให้ใส่เลข 1 กับปัจจัยที่สำคัญกว่า และใส่เลข 0 กับปัจจัยที่สำคัญน้อยกว่า กรณีที่ไม่มีความแตกต่างระหว่างคู่ใด ๆ ให้ใส่ 1 ทั้งคู่ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบครบหมดทุกคู่ของปัจจัยที่นำมาพิจารณาแล้ว ให้นำผลคะแนนรวมของแต่ละปัจจัยในแต่ละแถว และคำนวณค่าถ่วงน้ำหนักสุทธิ

$$\text{จำนวนการเปรียบเทียบ} = N(N-1)/2 \quad (11)$$

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

(3) ทำการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ (W_j) โดยให้ผลรวมค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ทุกตัวมีค่าเท่ากับ 1

(4) คำนวณหาค่า normalized ของแต่ละข้อมูลให้อยู่ในช่วง 0-1 ดังแสดงในสมการที่ (13)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} ; \forall i = 1, \dots, m ; \forall j = 1, \dots, n \quad (13)$$

โดยที่ i คือทางเลือก

j คือเกณฑ์หรือปัจจัย

x_{ij} คือข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ทางเลือกที่ i สำหรับเกณฑ์ที่ j

r_{ij} คือค่าคะแนนที่ทำการ normalized ของทางเลือกที่ i บนเกณฑ์ที่ j

(5) คำนวณค่าน้ำหนัก normalized decision matrix ทำการปรับข้อมูลของแต่ละเกณฑ์ที่อยู่ในหน่วยที่แตกต่างกันให้มีมาตรฐานเดียวกัน ดังแสดงในสมการที่ (14)

$$v_{ij} = w_j r_{ij} \quad (14)$$

โดยที่ w_j คือ ค่าที่ได้จากผู้ทำการตัดสินใจสำหรับน้ำหนักของเกณฑ์ที่ j

V_{ij} คือค่าที่ถูกปรับค่าแล้วของทางเลือกที่ i บนเกณฑ์ที่ j

(6) หาค่า positive ideal และ negative ideal solution หลังจากข้อมูลของทุกทางเลือกสำหรับแต่ละเกณฑ์ถูกปรับค่ามาแล้วให้คุณข้อมูลเหล่านั้นกับน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ ดังแสดงในสมการที่ (15) และ (16)

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_n^*\} ; \text{where } v_j^* = \begin{cases} \max(v_{ij}) & \text{if } j \in J \\ \min(v_{ij}) & \text{if } j \in J' \end{cases} \quad (15)$$

โดยที่

A^* คือค่าที่ดีที่สุดในแต่ละเกณฑ์เมื่อเปรียบเทียบทางเลือกทั้งหมดที่มีอยู่

$$A' = \{v_1', \dots, v_n'\} ; \text{where } v_j' = \begin{cases} \min(v_{ij}) & \text{if } j \in J \\ \max(v_{ij}) & \text{if } j \in J' \end{cases} \quad (16)$$

โดยที่

A' คือค่าที่แย่ที่สุดในแต่ละเกณฑ์เมื่อเปรียบเทียบทางเลือกทั้งหมดที่มีอยู่

(7) คำนวณการวัดเชิงแยกแยะแต่ละทางเลือกโดยหาค่าอุดมคติเชิงบวก (Positive Ideal Solution - PIS) และค่าอุดมคติเชิงลบ (Negative Ideal Solution - NIS) ของเกณฑ์การตัดสินใจทั้งหมด ดังแสดงในสมการที่ (17) และ (18)

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (17)$$

โดยที่ S_i^* คือค่าระหว่างข้อมูลกับจุดอุดมคติเชิงบวก

v_{ij} คือ ข้อมูลคุณลักษณะ

v_j^* คือ ค่าสูงสุดที่เป็นค่าในอุดมคติเชิงบวก

$$S_i' = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j')^2} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (18)$$

โดยที่ S_i' คือค่าระหว่างข้อมูลกับจุดอุดมคติเชิงลบ

v_{ij} คือ ข้อมูลคุณลักษณะ

v_j' คือ ค่าสูงสุดที่เป็นค่าในอุดมคติเชิงลบ

(8) คำนวณความสัมพันธ์ในเชิงเข้าใกล้แนวคิดวิธีแก้ปัญหา คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ที่ใกล้เคียงแนวคิดในอุดมคติที่สุด (Closeness Coefficient) ของแต่ละทางเลือก ดังแสดงในสมการที่ (19)

$$C_i^* = \frac{S_i'}{S_i^* + S_i'} \quad (19)$$

โดยที่ C_i^* คือค่าสัมประสิทธิ์ที่ใกล้เคียงแนวคิดในอุดมคติของแต่ละทางเลือก ค่าที่ได้ต้องอยู่ในช่วง $0 < C_i^* < 1$ เท่านั้น

(9) จัดลำดับของทางเลือกจากค่า C_i^* ที่คำนวณได้โดยทั่วไป มักเลือกทางเลือกที่มีค่า C_i^* สูงที่สุด

3. กรณีศึกษาและการออกแบบการทดลอง

3.1 รูปแบบการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้แบ่งขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

1. การศึกษาประสิทธิภาพ และวางแผนกระบวนการผลิตชิ้นงานสามมิติ ด้วยเครื่อง FDM เป็นเกณฑ์หลักที่ผู้วิจัยต้องศึกษาทั้งกระบวนการผลิตและประสิทธิภาพ เพราะเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ผู้วิจัยของทำความเข้าใจ เรียนรู้ และสามารถใช้งานได้ ทั้งในตัวเครื่องพิมพ์ และโปรแกรมที่ใช้ในการผลิตชิ้นรูป 3 มิติ ตลอดจนสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิตได้

2. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องต่อการทำวิจัย ในเรื่องที่เกี่ยวข้อง เช่น การศึกษาทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องของเครื่องพิมพ์ 3 มิติแต่ละชนิด การศึกษาทฤษฎีหลักการของการวิเคราะห์ประสิทธิภาพแบบล้อมกรอบข้อมูล(DEA) และงานวิจัยที่ทำการศึกษาโดยใช้แนวทางการตัดสินใจในการหาทางเลือกที่ดีที่สุดด้วยวิธี TOPSIS

3. ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น ได้กำหนดเงื่อนไขในการขึ้นรูป 3D Printing โดยนำมามาตรฐานชิ้นงานทดลองตาม American Standard of Testing and Material (ASTM) D638 TYPE ได้กำหนดเงื่อนไข และรูปแบบการทดลอง ในเรื่องของ ทิศทางการวางชิ้นงาน ความหนาแน่นในการขึ้นรูป และตำแหน่งของการวางชิ้นงาน

4. ใช้โปรแกรม Solidworks ในการเขียนแบบสามมิติเพราะเป็นโปรแกรมที่สามารถแปลงไฟล์นามสกุล .Stl และง่ายต่อการออกแบบงานสามมิติ

5. ทำการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (DEA)

6. กระบวนการแปลงข้อมูลชิ้นงาน 3 มิติจากโปรแกรม Solidworks เป็นนามสกุล .Stl ในตัวโปรแกรม Solidworks มีนามสกุล .Stl อยู่แล้วเราสามารถบันทึกนี้ได้ โดยการเปลี่ยนนามสกุลของ Solidworks เป็น .Stl

7. การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยเทคโนโลยีการผลิตด้วยเครื่อง FDM ได้ใช้โปรแกรม XYZ Ware ในการใช้ควบคุมเครื่อง FDM หลังที่เปิดโปรแกรมขึ้นมาเราสามารถโหลดชิ้นงานที่มีนามสกุล .Stl ได้เลย และสามารถตั้งค่าต่าง ๆ ที่กำหนดตามเงื่อนไขในการทดลอง

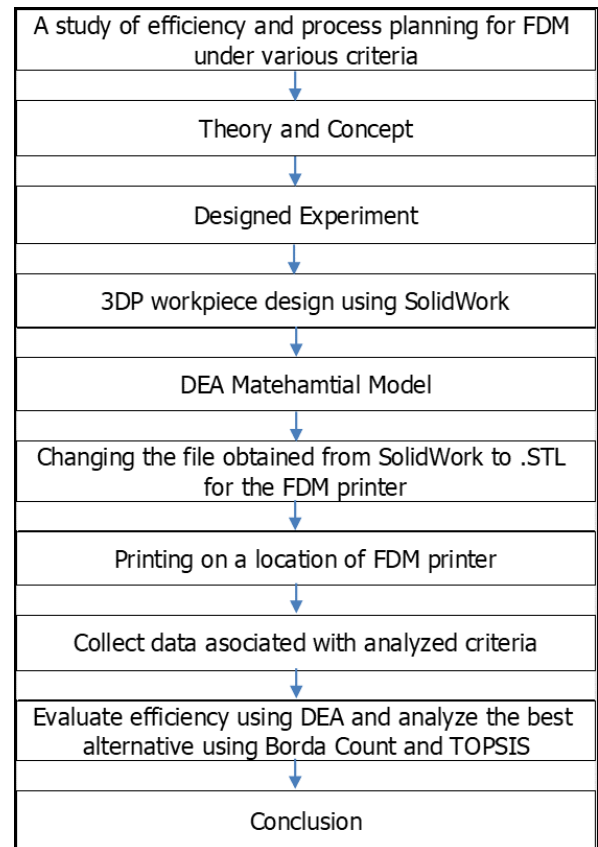


Figure 1 Research procedure

8. ในการเก็บข้อมูลคุณสมบัติทางกลของชิ้นงาน หลังจากขึ้นรูปเสร็จแล้ว ก็ได้นำชิ้นงานไปทดสอบขนาดต่าง ๆ ด้วยเครื่อง C M M เพื่อตรวจสอบความเที่ยงตรง ต่อด้วยเครื่องวัดความเรียบผิว ต่อจากนั้นนำชิ้นงานทดลองไปทดสอบความแข็ง และสุดท้ายนำชิ้นงานไปทดสอบด้วยเครื่องวัดแรงดึง เพื่อตรวจสอบหาค่าที่ทนแรงดึง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว

9. เขียนโมเดลทางคณิตศาสตร์โดยนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองของปัจจัยต่าง ๆ มาสร้างเป็น Linear Programming เพื่อกำหนดขอบเขตที่ตั้งของหน่วยผลิต แล้วนำโมเดลทางคณิตศาสตร์ ทั้ง 18 ทางเลือก มาวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ (Lindo Programing) เพื่อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพแบบล้อมกรอบข้อมูล(DEA) และการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยเทคนิค Borda count และ TOPSIS

10. ในขั้นตอนของการยอมรับคุณภาพของคำตอบ ถ้าเป็นการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Lindo ผลของประสิทธิภาพจะอยู่ในช่วง 0-1 ถ้าค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 1

แสดงว่าหน่วยผลิตนั้นมีประสิทธิภาพ แต่ถ้าน้อยกว่า 1 แสดงว่าหน่วยผลิตนั้นมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่า และถ้าเป็นผลของการวิเคราะห์ด้วยวิธี TOPSIS ผลที่ได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 0-1 และสามารถจัดเรียงลำดับการตัดสินใจว่าทางเลือกไหนดีที่สุดและทางเลือกไหนแย่ที่สุด

11. สรุปผลที่ได้จากศึกษา

3.2 การออกแบบการทดลอง

สำหรับรูปแบบการทดลอง แสดงได้ดังรูปที่ 2 โดยใช้มาตรฐานชิ้นงานทดลองตาม American Standard of Testing and Material (ASTM) D638 TYPE1 ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งมีการกำหนดทิศทางตามแนวแกน x และ y

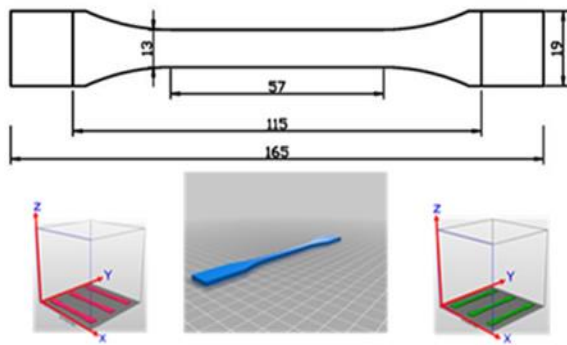


Figure 2 The test specimen for 3DP following ASTM D638

นอกจากนี้ทางผู้วิจัยได้มีการกำหนดปัจจัยเงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 1 ตามประเภทของเครื่อง 3DP ที่ใช้งาน ประเภทของวัสดุการทดลอง ตำแหน่งต่าง ๆ ของเครื่องพิมพ์ 3DP ระดับความหนาแน่นและปัจจัยซึ่งส่งผลกระทบต่อการวางแผนการผลิตในการทดลองในงานวิจัยนี้ โดยผลการเก็บข้อมูลทางเลือกต่าง ๆ ของแต่ละปัจจัยแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเพิ่มปัจจัยด้านประสิทธิภาพโดยการใช้ผลที่ได้จาก DEA เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ด้วยวิธี TOPSIS ต่อไป

Table 1 Criteria for the designed experiment

3DP Technology	Fused Deposition Modeling (FDM)
Material Type	Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)
Coordinate	X-axis , Y-axis
Location	Front (F), Middle (M), Back (B)
Density	25%, 50%, 100%
Orientation	0 Degree
Criteria	A. Material B. Cost C. Time D. Surface Roughness E. Accuracy F. % Elongation G. Tensile Strength H. Hardness I. Efficiency

วิเคราะห์ทางเลือกการผลิตที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธี TOPSIS
วิเคราะห์ประสิทธิภาพแบบคู่สมการอนุกรม (DEA)

Table 2 Data collected from the experiment

Criteria	A	B	C	D	E	F	G	H
DMU	Min	Min	Min	Min	Min	Max	Max	Max
1)	6.34	34.2	28.3	8.61	0.19	6.5	18.4	91.3
2)	6.34	34.2	28.3	10.2	0.04	7	23.2	92.6
3)	6.34	34.2	28.3	12.1	0.05	5	23	93.6
4)	6.34	33.6	27.5	7.38	0.05	5	23	93.2
5)	6.34	33.6	27.5	8.64	0.05	4	21.3	91.9
6)	6.34	33.6	27.5	9.79	0.05	5	20.8	92.9
7)	7.63	37.4	28.6	9.07	0.05	6	24.1	92
8)	7.63	37.3	28.5	13	0.05	6	25.6	93.7
9)	7.63	37.4	28.6	8.35	0.05	4	24.2	91.3
10)	6.34	33.6	27.5	7.38	0.05	5	23	93.2
11)	6.34	33.6	27.5	8.64	0.05	4	21.3	91.9
12)	6.34	33.6	27.5	9.79	0.05	5	20.8	92.9
13)	6.84	35.3	28.3	8.94	0.05	5	22.8	93.5
14)	6.84	35.2	28	8.54	0.04	3	21.1	91.6
15)	6.84	35.9	29.1	8.67	0.05	4	23.3	93.2
16)	7.63	38.3	29.9	9.07	0.05	2	24.9	93.5
17)	7.63	37.6	28.9	13	0.04	4	25.5	92.2
18)	7.63	37.5	28.9	8.35	0.04	3	24.4	93.1

ทั้งนี้เมื่อพิจารณา % ความหนาแน่นของชิ้นงานตำแหน่งตามแกน X หรือ Y และตำแหน่งตรงด้านหน้าของแป้นพิมพ์ (F) ตรงกลางของแป้นพิมพ์ (M) ด้านหลังของแป้นพิมพ์ (B) ด้านขวาของแป้นพิมพ์ (R) และด้านซ้ายของแป้นพิมพ์ (L) สามารถสรุปได้ดังนี้คือ DMU1) 25% XF; DMU 2) 25% XM; DMU 3) 25% XB; DMU 4) 50% XF; DMU 5)

50% XM; DMU 6) 50% XB; DMU 7) 100% XF; DMU 8) 100% XM; DMU 9) 100% XB; DMU 10) 25% YL; DMU 11) 25% YM; DMU12) 25% YR; DMU 13) 50% YL; DMU14) 50% YM; DMU15) 50% YR; DMU16) 100% YL; DMU17) 100% YM; และ DMU 18) 100% YR ตามลำดับ

4. ผลการวิเคราะห์

4.1 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วย DEA

ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพด้วยวิธีล้อมกรอบข้อมูล (DEA) โดยใช้ CCR Model เป็นแบบจำลองภายใต้ข้อสมมติฐานผลตอบแทนต่อขนาดคงที่ (Constant Return to Scale - CRS) โดยใช้เมื่อทุก DMU ที่นำมาพิจารณามีการผลิตที่เหมาะสม คือต้นทุนเฉลี่ยไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนขนาด และคะแนนประสิทธิภาพโดยรวมมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งถ้าค่าประสิทธิภาพมีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าหน่วยงานแห่งนั้นมีประสิทธิภาพ ส่วนถ้าค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าหน่วยงานนั้นไม่มีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับ DMU อื่น ๆ ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแต่ละ DMU พบว่าค่าคะแนนประสิทธิภาพเท่ากับ 1 มี 15 DMU และอีก 3 DMU คือ DMU ที่ 6 DMU ที่ 11 และ DMU ที่ 13 มีค่าเท่ากับ 0.97 0.99 และ 0.98 ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่ามีประสิทธิภาพเชิงสัมพัทธ์ที่น้อยกว่า 15 DMU อื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3

Table 3 Results from DEA analysis

DMU	Efficiency score	% Eff.
DMU1	1.00	100
DMU2	1.00	100
DMU3	1.00	100
DMU4	1.00	100
DMU5	1.00	100
DMU6	0.97	97
DMU7	1.00	100
DMU8	1.00	100
DMU9	1.00	100
DMU10	1.00	100
DMU11	0.99	99
DMU12	1.00	100
DMU13	0.98	98
DMU14	1.00	100
DMU15	1.00	100
DMU16	1.00	100
DMU17	1.00	100
DMU18	1.00	100

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพบว่า DMU ทั้ง 15 DMU มีค่าประสิทธิภาพที่ดีเหมือนกันหมด ซึ่งทำให้แยกความแตกต่างระหว่าง DMU เหล่านี้ไม่ได้ ดังนั้นผู้ทำวิจัยจึงได้ใช้วิธีการ TOPSIS ร่วมกับ Borda Count ในการวิเคราะห์หาทาง

เลือกในการผลิตที่ดีที่สุดต่อไป โดยใช้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเป็นหนึ่งเป็นหลักเกณฑ์ในการวิเคราะห์

4.2 ผลจากการวิเคราะห์ทางเลือกที่ดีที่สุดโดยวิธี TOPSIS

ขั้นตอนของการวิเคราะห์จัดเรียงลำดับประสิทธิภาพด้วยวิธี TOPSIS มีดังนี้ กำหนดกลุ่มของทางเลือกที่เป็นไปได้ในกลุ่มทางเลือก (Alternative) ทั้งหมดที่ทำการทดลองมานั้นมี 18 ทางเลือก ที่เป็นไปได้ และ 8 Criteria ที่เป็นไปได้ เนื่องจากอีก 1 Criteria คือ ของเสียในการผลิตที่เกิดจากการผลิต และ Support ไม่เกิดของเสียเกิดขึ้นจึงได้ตัดออก 1 Criteria และได้นำค่าประสิทธิภาพจากผลการวิเคราะห์ด้วยโมเดล CCR เพิ่มเข้ามา 1 Criteria รวมเป็น 9 Criteria และหาค่าน้ำหนักของปัจจัยโดยใช้เทคนิค Borda Count คือวิธีการเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ (Paired Comparison Method) โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญ 5 คนช่วยในการ weight จากสูตรการหาจำนวนคู่เปรียบเทียบเพื่อหาค่าน้ำหนักได้จำนวน 36 คู่เปรียบเทียบ แล้วหาค่าเฉลี่ยของค่าน้ำหนักของแต่ละ criterion (ตารางที่ 4)

ต่อจากนั้นก็ทำตามขั้นตอนของวิธี TOPSIS ต่อไป จนได้ค่าความสัมพันธ์ในการเข้าใกล้จุดอุดมคติ (Ideal Solution Value) และค่าจากตารางสามารถตัดสินใจหาทางเลือกที่ดีที่สุดคือ DMU ที่ 2 มีค่าคะแนนเท่ากับ 0.7437 ซึ่งใช้ตำแหน่ง 'XM' ที่ความหนาแน่น 25% และสามารถหาทางเลือกที่แย่ที่สุดได้คือ DMU ที่ 17 มีค่าคะแนนเท่ากับ 0.3326 ดังแสดงในตารางที่ 5

Table 4 Criteria Weight from Borda Count Technique for all Decision Makers (DM)

DM	1	2	3	4	5	Ave.	Scaling Ave.
C1	0.13	0.06	0.06	0.06	0.04	0.07	0.07
C2	0.13	0.17	0.11	0.11	0.08	0.12	0.12
C3	0.13	0.11	0.11	0.08	0.06	0.10	0.10
C4	0.17	0.15	0.11	0.11	0.11	0.13	0.13
C5	0.17	0.08	0.17	0.17	0.17	0.16	0.16
C6	0.06	0.11	0.11	0.11	0.13	0.11	0.11
C7	0.08	0.11	0.11	0.15	0.13	0.12	0.12
C8	0.04	0.02	0.08	0.06	0.15	0.07	0.07
C9	0.04	0.17	0.11	0.11	0.08	0.11	0.11
sum	1	1.02	1	1	1	1.01	1

Table 5 Results from TOPSIS Analysis

DMU	TOPSIS Score	Ranking
DMU1	0.4995	13
DMU2	0.7437	1
DMU3	0.4667	14
DMU4	0.6827	3
DMU5	0.5134	11
DMU6	0.5675	7
DMU7	0.7165	2
DMU8	0.5226	9
DMU9	0.5277	8
DMU10	0.6827	3
DMU11	0.5132	12
DMU12	0.568	6
DMU13	0.618	5
DMU14	0.4261	16
DMU15	0.5191	10
DMU16	0.3346	17
DMU17	0.3326	18
DMU18	0.4375	15

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ในการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการผลิตชิ้นงานทดสอบการพิมพ์แบบสามมิติ (3DP) รวมถึงการวิเคราะห์ทางเลือกที่ดีที่สุดในการใช้ในการวางแผนการผลิตบนตำแหน่งต่าง ๆ ของแป้นพิมพ์ โดยทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบล้อมกรอบข้อมูล (DEA) โดยใช้ตัวแบบ CCR ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการผลิตชิ้นงานทดสอบ 3DP ในกลุ่มที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพเท่ากับ 1 มีอยู่ 15 DMU และอีก 3 DMU คือ DMU ที่ 6 11 และ 13 มีค่าเท่ากับ 0.97 0.99 และ 0.98 ตามลำดับ โดยเนื่องจากในขั้นตอนการวิเคราะห์ประสิทธิภาพนี้ ไม่สามารถแยกแยะทางเลือกได้เพราะมีประสิทธิภาพเท่ากับ 1 ถึง 15 DMU และเป็นค่าคะแนนที่ใกล้เคียงกันมาก จึงเป็นเหตุให้นำเทคนิค Borda Count และ TOPSIS เข้ามาช่วยในการแยกแยะเพื่อหาทางเลือกที่ดีที่สุด และสามารถจัดเรียงลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือกเพื่อให้ง่ายต่อการตัดสินใจรวมถึงการนำไปใช้งานในการวางแผนการผลิตต่อไปในอนาคตได้

ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี Borda Count ร่วมกับวิธี TOPSIS พบว่าสามารถตัดสินใจหาทางเลือกที่ดีที่สุดได้คือ DMU ที่ 2 ซึ่งมีค่าคะแนนเท่ากับ 0.7437 โดยเป็นการผลิตที่ระดับความหนาแน่นที่ 25% ในแนวแกน X ตำแหน่งตรงกลางของเครื่องพิมพ์ 3 มิติ ซึ่งทำให้ใช้วัสดุในการผลิตที่น้อยที่สุด มีค่าความเที่ยงตรงที่ดีที่สุด ค่า % Elongation ที่สูงสุด และมี

ปัจจัยในการผลิตอื่น ๆ ที่ค่อนข้างดี โดยสอดคล้องกับค่าคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่ได้จากกลุ่มผู้ทำการตัดสินใจนั่นเอง สำหรับแนวทางการวิจัยที่จะสามารถต่อยอดได้ในอนาคตคือการศึกษาพิจารณาของกระบวนการขึ้นรูปด้วย 3DP ด้วยเทคโนโลยีอื่น ๆ เช่นเครื่อง SLA และวัสดุอื่น ๆ ที่แตกต่างกันเช่น PLA Resin หรือวัสดุอื่น ๆ ที่เหมาะสมกับเทคโนโลยีในการผลิต นอกจากนี้ควรมีการวิเคราะห์ปัจจัยที่ครอบคลุมหรือแตกต่างจากงานวิจัยนี้ ตลอดจนการจัดการวางแผนการผลิตให้เหมาะสมต่อการผลิตในการวิเคราะห์ผลร่วมกับปัญหาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่นการวิเคราะห์ทิศทางของชิ้นงานในการผลิต และการเลือกเครื่องพิมพ์สามมิติที่เหมาะสมอย่างเป็นระบบ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้ทุนวิจัยพัฒนาอาจารย์รุ่นใหม่ MRG6180181 ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป

7. References

- [1] Ransikarbum, K. 2018. **Teaching materials in advanced manufacturing**. Department of Industrial Engineering. Ubon Ratchathani University (*in Thai*)
- [2] Ransikarbum, K., and et al. 2017. **Multi-objective optimization analysis for part-to-Printer assignment in a network of 3D fused deposition modeling**. Journal of Manufacturing Systems, 43, 35-46.
- [3] Ransikarbum, K., and et al. 2018. **A study of efficiency and possibility of producing prosthetic leg components using digital 3D printing technology**, Academic Conference, College of Medicine and Public Health. Ubon Ratchathani University, 7th time. "Direction and Development of Thai Health System", 31 August, Ubon Ratchathani, 110-116 (*in Thai*)
- [4] Wohlers, and et al. 2016. **Executive summary of the Wohlers Report**. Fort Collins, Colorado: Wohlers.
- [5] Bussaparb, J., and et al. 2018. **Proper analysis of production from traditional production and 3D printing with multi-criteria decision making tools**, IE Network Conference, 23-26 July, Ubon Ratchathani, 317-322 (*in Thai*)
- [6] Ransikarbum, K. 2019. **Teaching material in Multi-Criteria Decision Making (MCDM)**, Industrial Engineering, Ubonratchathani University, 85 (*in Thai*)
- [7] Sitti, K. and Prateep, S. 2010. **Application of Medical rapid prototyping for surgery of body disorders**. Biomedical Engineering. URL: <https://bit.ly/2M4d mrb>. 4 September, 2561. (*in Thai*)
- [8] Boonsak, P. and Mahavan, V. 2013 **Research report on casting problems and developing solutions for casting problems in modern jewelry**. Bangkok: Rajamangala University of Technology Phra Nakhon. (*in Thai*)
- [9] Putnark, J. and Jadka, S. 2010. **Report of research and study for the trend of tolerances of workpiece's size and roundness of cylindrical when placed in different directions and sizes of the workpiece when using rapid prototyping machine**. Tak: Rajamangala University of Technology Lanna Tak. (*in Thai*)
- [10] Apirakthanagorn, T. and Auumsaart, Y. 2009. **Research report for creating a rapid prototype machine by using water droplets**. Bangkok: Kasetsart University. (*in Thai*)
- [11] Auumsaart, Y. and Varnissorn, K. 2010. **Final report on rapid mold forming research with additive technology**. Bangkok: Kasetsart University. (*in Thai*)
- [12] Wisetla, K., and et al. 2018 **Trends in research and development in 3D printing technology in Thailand**. Industrial Engineering Network Conference, 23-26 July, Ubon Ratchathani, 1635-1639 (*in Thai*)
- [13] Wisetla, K., and et al. 2018. **The decision to find The efficiency of the 3D printing process for FDM by using Data Envelopment Analysis**. Industrial Engineering Network Conference, 23-26 July, Ubon Ratchathani, 1635-1639 (*in Thai*)
- [14] Wasan, C. and Chanjarat, S. 2016. **Efficiency of sugarcane plantation allocation in Thailand (2016)**, Yala Rajabhat University Journal 11 (2) 1-13. (*in Thai*)
- [15] Boontamat, V. and Somsavat, C. 2015. **Measurement of technical performance of financial institutions using a case study of Surin province**, national conference on business and management innovation and international, 19-20 September 2015, College of Management Studies, Khon Kaen University, Khon Kaen, 712-719 (*in Thai*)
- [16] Ransikarbum, K., and Kim, N. 2017. **Data envelopment analysis-based multi-criteria decision making for part orientation selection in fused deposition modeling**. In Industrial Engineering and Applications (ICIEA), Japan, 2017 4th International Conference on (pp. 81-85). IEEE.
- [17] Aydogan, E. K. 2011. **Performance measurement model for Turkish aviation firms using the rough-AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment**. Expert Systems with Applications, 38, 3992-3998.
- [18] Kahraman, C., and et al. 2009. **Information systems outsourcing decisions using a group decision-making approach**. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 22, 832-841
- [19] Chen, C. T., Lin, C. T., and Huang, S. F. 2006. **A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management**. International Journal of Production Economics, 102, 289-301.

- [20] Ransikarbum, K., and Kim, N. 2017. **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), Singapore, 2017. IEEE International Conference on (pp.1455-1459). IEEE.
- [21] Srichok, T., Pohorn, T., and Pitakaso, R. 2017. **Design and development of cutting tool holders for turning using the quality function distribution technique.** Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University, 7(2), pp. 117-131 (in Thai)
- [22] Joompha, W and Pianthong, N. 2016, **Development of Durian Chips Product by Apply of Quality Function Deployment,** Science and Technology Journal. Ubon Ratchathani University, 20, Issue 3, September - December 2018. 204-218 (in Thai)
- [23] Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. 1978. **Measuring the efficiency of decision making units.** European journal of operational research, 2(6), 429-444.
- [24] Behzadian, M., and et al. 2012. **A state-of the-art survey of TOPSIS applications.** Expert Systems with applications, 39(17), 13051-13069.