

การวิเคราะห์ปัจจัยในการผลิตสื่อการสอนทางการแพทย์จากการพิมพ์แบบเพิ่มขึ้น ด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

Criteria Analysis for Additive Manufacturing-based Healthcare Educational Media using Analytic Hierarchy Process

ดร.กสิณ รังสิกรรพม (Dr.Kasin Ransikarbum)^{1*} ดร.รัตนา เล็กสมบุญ (Dr.Ratana Leksomboon)**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสื่อการสอนทางการแพทย์จากการใช้เทคโนโลยีการพิมพ์แบบ 3 มิติ โดยทำการผลิตโมเดลชิ้นส่วนทางการแพทย์ด้วยเครื่อง Envisiontec ULTRA 3SP printer โดยเปรียบเทียบระหว่างชิ้นงานสามมิติ กับสื่อการสอนจากอาจารย์ใหญ่ และจากหนังสือ โดยทำการวิเคราะห์ปัจจัย 4 ปัจจัยหลักคือ ด้านการศึกษาเรียนรู้ ด้านราคา ด้านความสวยงาม และด้านความสมจริง โดยวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่าทางเลือกสื่อการสอนจากการผลิตชิ้นงานแบบสามมิติมีความโดดเด่นในด้านความสวยงามมากที่สุด ส่วนสื่อการสอนจากอาจารย์ใหญ่มีความโดดเด่นในด้านของการเรียนรู้และความสมจริง และสื่อการสอนจากหนังสือมีความโดดเด่นในด้านราคามากที่สุด ทั้งนี้ผลการวิเคราะห์โดยรวมแสดงให้เห็นว่า เทคโนโลยีการพิมพ์แบบสามมิติเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่มีความเหมาะสมในการใช้เป็นสื่อการสอนทางการแพทย์ ควบคู่กับการศึกษาจากอาจารย์ใหญ่และจากหนังสือ ได้ดี

ABSTRACT

This research aims to analyze criteria for healthcare educational media from using the 3D printing technology. Healthcare model is fabricated using Envisiontec ULTRA 3 SP printer. The 3D printed model is then compared with gross anatomy and textbook. Four key criteria inclusive of education factor, cost factor, appearance factor, and realism factor, are then analyzed using Analytic Hierarchy Process (AHP) technique. Analyzed results show that 3D printed healthcare model is most outstanding in terms of appearance factor. On the other hand, gross anatomy is superior in the education and realism factors, whereas textbook is outstanding with regard to cost factor. The overall analysis suggests that 3D printing technology is a suitable alternative as an educational media for medical students. It is recommended that 3D printed model can be used together with gross anatomy and textbook.

คำสำคัญ: กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ สื่อการสอน การพิมพ์แบบ 3 มิติ

Keywords: Analytic hierarchy process, Educational media, 3D printing

¹Corresponding author: kasinphd@gmail.com

*อาจารย์ หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หลักสูตรกายวิภาคศาสตร์ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทนำ

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีการพิมพ์แบบสามมิติ (Three-Dimensional Printing – 3DP) หรือที่รู้จักกันในชื่อของเทคโนโลยีในการผลิตแบบเพิ่มขึ้น (Additive Manufacturing - AM) ได้มีการพัฒนาจากการผลิตชิ้นงานต้นแบบ มาเป็นชิ้นงานที่ใช้งานได้จริง โดยเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจจากหลายๆ ภาคส่วนทั้งทางด้านอุตสาหกรรมด้านการแพทย์และสาธารณสุขและด้านการบินอวกาศ [1-5] โดยทาง American Society for Testing and Materials (ASTM) ได้กำหนดมาตรฐานการผลิตจาก AM แบ่งเป็น 7 ประเภท 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 โดยเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมสูงสุดสามลำดับแรกคือ Fused Deposition Modeling – FDM (ประเภท Material Extrusion) Stereolithography – SLA (ประเภท Vat Photopolymerization) และ Selective Laser Sintering – SLS (เทคโนโลยีแบบ Powder Bed Fusion) ตามลำดับ [6] ทั้งนี้กระบวนการผลิตแบบ AM ใช้หลักการสร้างชิ้นงานสามมิติจากไฟล์ดิจิทัล (Digital file) และขั้นตอนต่อมาเป็นการแปลงไฟล์เป็นนามสกุล .STL จากนั้นจึงทำการผลิตชิ้นงานทีละชั้น (Layer) จนได้ชิ้นงานสามมิติสำเร็จ และทำการตกแต่ง (Post Processing) ในขั้นตอนสุดท้าย โดยในงานวิจัยนี้ได้เพิ่มการแปลงไฟล์ภาพ (Image) จากเครื่อง CT scan ซึ่งมีนามสกุล .DICOM มาเป็นไฟล์ .STL อีกขั้นตอนหนึ่งก่อนที่จะทำการผลิตด้วยเครื่อง 3DP ต่อไป

ทั้งนี้ แม้เทคโนโลยีการผลิตด้วย AM จะถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นในหลายๆ ประเทศ แต่พบว่าการศึกษาในประเทศไทยยังคงจำกัด [7-12] นอกจากนี้ การวิเคราะห์ AM เพื่อใช้เป็นสื่อทางการศึกษาเองมีความจำเป็น [13-14] โดย Ford และ Minshall [13] ได้ทบทวนงานวิจัยที่ใช้ AM ทางด้านการศึกษาและสังเคราะห์ผลการวิจัยออกเป็น 6 หมวดหมู่คือ 1) ใช้ในการสอนนักศึกษาเกี่ยวกับ AM 2) ใช้ในการสอนผู้สอนเกี่ยวกับ AM 3) ใช้เป็นเทคโนโลยีเพื่อสนับสนุนในระหว่างการสอน 4) ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ช่วยสนับสนุนการเรียนรู้ 5) เพื่อใช้สร้างเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง และ 6) เพื่อสนับสนุนกิจกรรมทางการประชาสัมพันธ์ โดยทางผู้แต่งได้แนะนำช่องว่างในการวิจัยใน 5 ประเด็น คือ 1) ควรมีการชี้แจงประโยชน์ของ AM เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วิธีการดั้งเดิมที่ชัดเจน 2) ควรมีการแสดงผลประโยชน์ทางการศึกษาในระยะต่าง ๆ ของช่วงการศึกษา 3) ควรมีการวิเคราะห์วิธีการที่ทำให้ผู้เรียนเรียนรู้ได้ดีขึ้นด้วย AM 4) ควรมีวิเคราะห์สาขาวิชาที่จะได้รับประโยชน์มากขึ้นจากการใช้ AM และ 5) ควรมีวิเคราะห์อุปสรรคที่อาจมีสำหรับการใช้ AM ในการเป็นสื่อในการสอน นอกจากนี้ Ransikarbum และคณะ [14] ได้ทำการวิเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการใช้ AM เพื่อเป็นสื่อการสอน ซึ่งพบว่าสาขาวิชาที่มีการใช้ AM เพื่อเป็นสื่อการสอนมากที่สุดคือ วิศวกรรมศาสตร์ ในขณะที่สาขาวิชาทางการแพทย์ยังมีจำกัด นอกจากนี้ประเทศที่มีการใช้ AM เป็นสื่อในการสอนมากที่สุดคือ สหรัฐอเมริกา ในขณะที่ไม่พบงานวิจัยในประเทศไทยที่แสดงการใช้ AM ในการเป็นสื่อการสอนที่ชัดเจน

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ ทางผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อความสำเร็จของทางเลือกสำหรับสื่อการสอน โดยมุ่งเน้นที่นักศึกษาแพทยศาสตร์และอาจารย์กายวิภาคศาสตร์ วิทยาลัยแพทยศาสตร์และการสาธารณสุข โดยทำการวิเคราะห์ทางเลือกของสื่อการสอนในหัวข้อหลอดเลือดแดงของคอและสมองสำหรับนักศึกษาแพทย์ เนื่องจากการชำแหละอาจารย์ในการศึกษาหลอดเลือดต้องใช้ความพิถีพิถันในการชำแหละ และใช้เวลานาน ต้องใช้เครื่องมือหนัก เช่น เลื่อยยนต์ในการตัดกระดูก และลึกลับเป็นต้น ซึ่งหลายครั้งทำให้เนื้อเยื่อที่จะศึกษาถูกทำลาย นอกจากนี้เป็นการยากในการศึกษาความต่อเนื่องของหลอดเลือดเหล่านี้จากต้นคอสู่สมอง โดยทำการผลิตด้วย AM แล้วทำการเปรียบเทียบกับการใช้สื่อการสอนจากอาจารย์ใหญ่ และหนังสือ ตามลำดับ โดยทำการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยเทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process – AHP)

วัตถุประสงค์การวิจัย

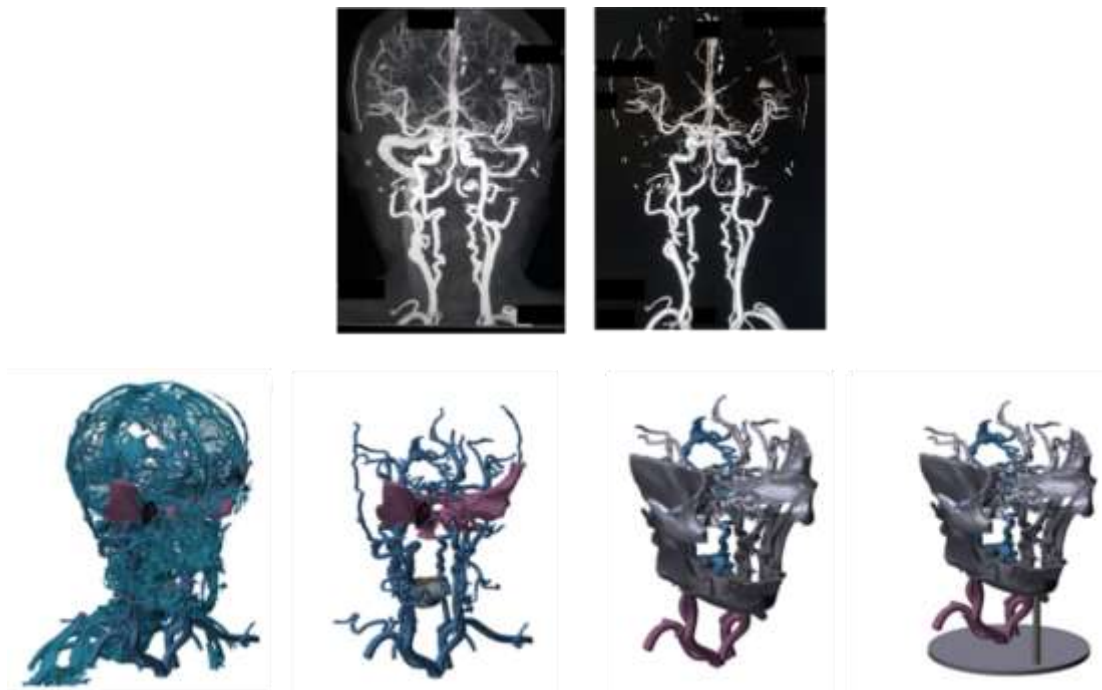
1. เพื่อผลิตชิ้นงานสามมิติสำหรับใช้เป็นโมเดลสื่อการสอนทางการแพทย์
2. เพื่อเป็นการบูรณาการองค์ความรู้ทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ ร่วมกับทางการแพทย์และสาธารณสุข
3. เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อรูปแบบสื่อการสอนสำหรับสาขาวิชาการแพทย์โดยใช้เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP)

วิธีการศึกษา

1) การผลิตสื่อการสอนทางการแพทย์ด้วย AM

1.1) กระบวนการผลิตโมเดล AM

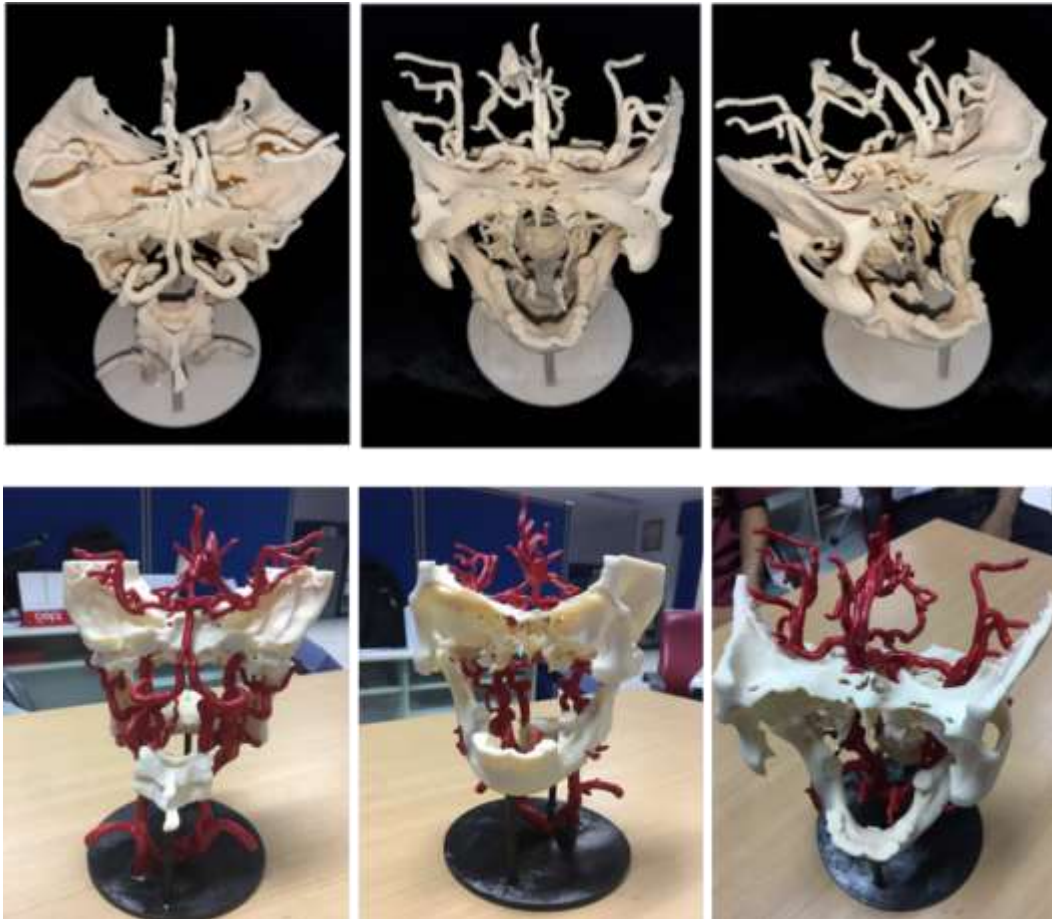
จากการประชุมร่วมกันระหว่างทีมผู้วิจัย ชิ้นงานส่วนกายวิภาคของหลอดเลือดในส่วนสมองของผู้ป่วยได้ถูกเลือกเป็นชิ้นงานกรณีศึกษา เนื่องจากมีความสลับซับซ้อนโดยเฉพาะในส่วนปลายต่าง ๆ ของหลอดเลือดในการเรียนรู้ทั้งจากการใช้อาจารย์ใหญ่และจากการอธิบายด้วยหนังสือสำหรับนักศึกษาแพทย์ โดยชิ้นงานของกรณีศึกษามาจากผู้ป่วยจริงโดยใช้ไฟล์รูปภาพจากเครื่อง CT Scan เป็นไฟล์เริ่มต้นประมาณ 500 ภาพ (.DICOM) ก่อนทำการแปลงเป็นไฟล์สามมิติสำหรับ AM (.STL) โดยทีมผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการขอมাত্রฐานจริยธรรมซึ่งข้อมูลที่ใช้จะไม่เปิดเผยตัวตนของผู้ป่วย ดังแสดงตัวอย่างภาพจากไฟล์ .DICOM ในภาพที่ 1 (บน) จากนั้นเป็นการใช้โปรแกรม Mimics [15] เพื่อทำการแปลงเป็นไฟล์ .STL ซึ่งเป็นโมเดล 3 มิติโดยโปรแกรม Mimics ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ทางด้านกายวิภาคศาสตร์เพื่อยืนยันรายละเอียดต่างๆ ดังแสดงตัวอย่างโมเดลหลังการแปลงไฟล์ในภาพที่ 1 (ล่าง) ตามลำดับ



ภาพที่ 1 (บน) ไฟล์จากเครื่อง CT scan (.DICOM) และ (ล่าง) ไฟล์จากโปรแกรม Mimics (.STL)

ขั้นตอนต่อมาเป็นการผลิตชิ้นงานด้วยเทคโนโลยี AM โดยในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องพิมพ์ประเภท SLA ชื่อ ULTRA 3DP ของ Envisiontec โดยมีขนาดการพิมพ์สูงสุดที่ 266 x 175 x 193 mm³ และขนาด resolution ที่ 100 µm. นอกจากนี้

วัสดุเรซินที่ใช้มีค่าแรงดึง (Tensile strength) ที่ 49.10 MPA ค่าการยืด (Elongation) ที่ 18.9% และค่าโมดูลัสแรงดึง (Tensile modulus) ที่ 200 MPA โดยแสดงชิ้นงานที่ได้ในภาพที่ 2 (บน) และชิ้นงานหลังทำการลงสี ในภาพที่ 2 (ล่าง)



ภาพที่ 2 (บน) ชิ้นงาน 3D ก่อนทำการลงสี และ (ล่าง) ชิ้นงาน 3D หลังทำการลงสี

1.2) การอธิบายทางกายวิภาคสำหรับโมเดลทางการแพทย์

สำหรับมุมมองทางด้านกายวิภาคของโมเดลที่ผลิตขึ้นพบว่า โมเดลแสดงหลอดเลือดขนาดใหญ่มากกว่า 3 มิลลิเมตร เช่น Brachiocephalic Artery ส่วนฐานคอ (Subclavian Artery) ซึ่งอยู่ด้านซ้ายขวาบริเวณไหปลาร้า (Common Carotid Artery) บริเวณด้านซ้ายขวาที่คอ และแสดงให้เห็น Vertebral Artery ด้านซ้ายขวา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับอาจารย์ใหญ่จะเห็นเพียงการวิ่งเข้าสู่ Transvers Foramen of Cervical Vertebra (C6) โดยพบว่าหลอดเลือดนี้มีความคดเคี้ยวอย่างมากเมื่อโผล่พ้นบริเวณ (C1) ก่อนม้วนตัวแล้ว รวมกันจากทางด้านซ้ายและขวากลายเป็นหลอดเลือด Basilar Artery ซึ่งเชื่อม Posterior Communicating Artery, Internal Carotid Artery, Anterior Cerebral Artery และ Anterior Communicating จนเป็นวง Circle of Willis ของหลอดเลือด Basilar Artery ส่วนปลาย แล้วแตกแขนงเป็น Posterior Cerebral Artery ซ้ายขวา และยังแสดงการแตกให้แขนงเล็กๆ รวมถึง Splenic Arteries และ Choroidal Arteries นอกจากนี้ โมเดล 3DP ที่ผลิตขึ้นยังสามารถแสดง Common Carotid Artery ที่แตกแขนงให้ Internal Carotid Artery และ External Carotid Artery ด้านซ้ายขวา อย่างชัดเจน ซึ่งแสดงถึงการวิ่งขึ้นของ Internal Carotid Arteries ที่วิ่งเข้าไปใน Carotid Canal ใน Petrous Part ของกระดูก Temporal แล้วขด

ม้วนที่ Cavernous Sinus นอกจากนี้พบว่า วง Circle of Willis ยังแสดงการแตกแขนงของหลอดเลือด Anterior Cerebral Artery ซึ่งแตกแขนงให้ Polar Frontal Arteries และ Pericallosal Arteries โดยแสดงให้เห็นถึงการแตกแขนงของหลอดเลือด Internal Carotid Arteries บริเวณ Circle of Willis ที่ให้แขนงเป็น Middle Cerebral Artery ที่พบทั้งแขนงของ Superior และ Inferior Terminal Branches รวมถึงแขนงเล็ก ๆ ซึ่งโดยภาพรวมแล้ว หากทำการศึกษาในอาจารย์ใหญ่ จะต้องใช้ความพิถีพิถันในการชำแหละในส่วน Bifurcation ของหลอดเลือด Common Carotid Arteries ที่แสดงถึงความคดเคี้ยวของหลอดเลือด และยากในการทำให้เห็นความต่อเนื่องของหลอดเลือด นอกจากนี้หากศึกษาจากหนังสือจะไม่พบความคดเคี้ยวของหลอดเลือดดังที่แสดงในส่วนของโมเดล 3DP [16-17]

2) เทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP)

เครื่องมือการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (Multi-Criteria Decision Analysis – MCDA) เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์การตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับหลากหลายปัจจัย โดยเน้นการวิเคราะห์หาทางเลือกที่ดีที่สุด ซึ่ง MCDA ได้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลาย [18-20] โดยในงานวิจัยนี้ ใช้หนึ่งในเครื่องมือทาง MCDA เรียกว่ากระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) ซึ่งมีจุดเด่นเนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ประนีประนอมระหว่างกระบวนการสร้างโมเดล และการง่ายในการนำไปใช้ (Usability) ทำให้เกิดการนำไปใช้งานไม่ใช้แค่ในระดับกลุ่มนักวิชาการ แต่รวมถึงผู้ใช้งานทั่วไป (Practitioners) ซึ่งเป็นเพราะโครงสร้างของ AHP ที่เป็นไปตามหลักการในการคิดปัญหา (Intuitive) ของคน [20] นอกจากนี้จุดเด่นของ AHP รวมถึงจุดเด่นในด้านการนำไปบูรณาการ (Integration) ใช้งานร่วมกับเครื่องมืออื่น ๆ ได้ง่าย [21] รวมถึงการนำประสบการณ์และความคิดเห็นของผู้ตัดสินใจเข้ามาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งไม่ต้องใช้ข้อมูลที่เข้มข้น (Data Intensive) [22] โดย AHP ถูกพัฒนาโดย Saaty [19] ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการวิเคราะห์จากการใช้หลักการทางจิตวิทยาร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้การเปรียบเทียบเป็นคู่ ๆ (Pairwise Comparison) ของสิ่งที่สนใจ จากนั้นนำผลมาวิเคราะห์เป็นค่าถ่วงน้ำหนัก โดย AHP มีลักษณะของโครงสร้างลำดับชั้น เริ่มจากชั้นบนสุดคือเป้าหมายที่ต้องการวัด ต่อด้วยชั้นที่สองเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และชั้นสุดท้ายเป็นทางเลือกที่สนใจ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1: สร้างตารางเมตริกซ์ตัดสินใจ (A) สำหรับปัจจัยและทางเลือก ดังแสดงในสมการที่ (1) โดย a_{ij} คือการเปรียบเทียบปัจจัย i กับปัจจัย j ซึ่งใช้สเกล 1-9 ในการเปรียบเทียบ โดย 9 หมายถึง สำคัญกว่ามาก ๆ ที่สุด ส่วน 1 หมายถึง สำคัญเท่า ๆ กัน และมีตัวเลขระหว่าง 1-9 แสดงความหมายที่ลดหลั่นตามระดับความสำคัญ

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

ขั้นตอนที่ 2: สร้างตารางเมตริกซ์ที่ได้ทำการนอร์มัลไลเซชัน (Normalization) แล้ว โดยคำนวณจากการหารค่าแต่ละค่าจากขั้นตอนที่ 1 ด้วยผลรวมทีละ Column

ขั้นตอนที่ 3: คำนวณเวกเตอร์ลำดับความสำคัญ (Priority Vector หรือ p) หรือเวกเตอร์ไอเกน (Eigen Vector) โดยใช้เป็นค่าถ่วงน้ำหนักสำหรับปัจจัย และสำหรับทางเลือกต่าง ๆ เมื่อเทียบกับปัจจัยใด ๆ ดังแสดงในสมการที่ (2)

ขั้นตอนที่ 4: คำนวณค่าสูงสุดจากเวกเตอร์ไอเกนที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 เรียกว่า $\lambda_{\max}$

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

ขั้นตอนที่ 5: คำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index - CI) ดังแสดงในสมการที่ (3)

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

ขั้นตอนที่ 6: เลือกค่าที่เหมาะสมจากตารางดัชนีความสอดคล้องแบบสุ่ม (Random-consistency Index - RI) เมื่อเทียบกับขนาดของเมทริกซ์ (n) โดยใช้ค่า (n , RI) จาก (1, 0); (2, 0); (3, 0.58); (4, 0.90); (5, 1.12); (6, 1.24); (7, 1.32); (8, 1.41); (9, 1.45); และ (10, 1.49) ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 7: ประเมินอัตราส่วนความสม่ำเสมอ (Consistency Ratio - CR) ของเมทริกซ์ดังแสดงในสมการที่ (4)

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

ขั้นตอนที่ 8: ประเมินการจัดอันดับของแต่ละทางเลือกตามสมการที่ (5) โดยที่ l_{ij} คือ Local Score ของแต่ละทางเลือก i เมื่อเทียบกับปัจจัย j w_j คือค่าถ่วงน้ำหนักของปัจจัย j และ g_i คือ Global Score ของทางเลือก i

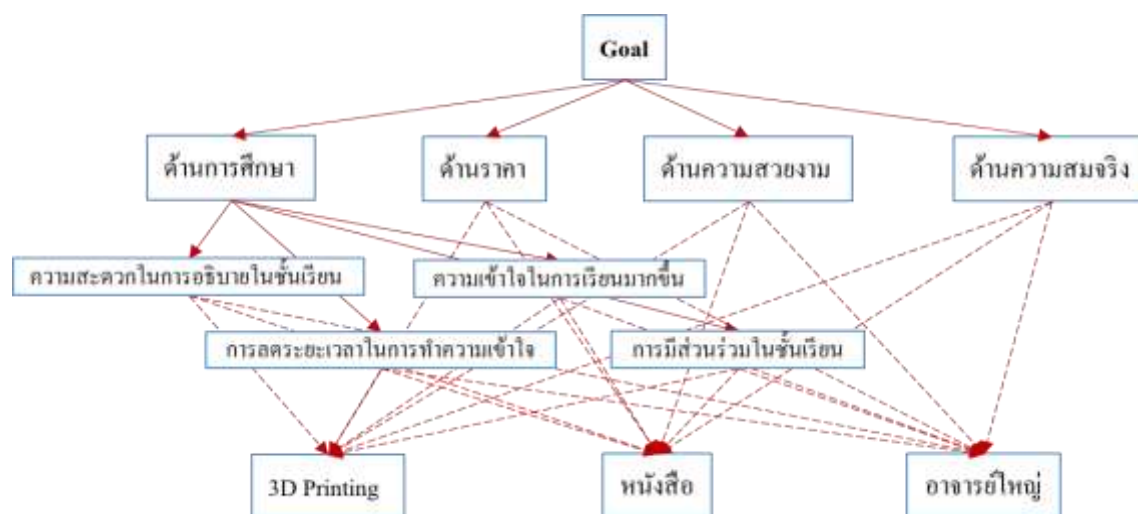
$$g_i = \sum_j w_j l_{ij} \quad (5)$$

3) ผลการวิเคราะห์และอภิปรายผล

3.1) ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี AHP

ทางผู้วิจัยได้ทำการทบทวนงานวิจัยในวรรณกรรมและประชุมกลุ่มเฉพาะ (Focus Group) ร่วมกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียของคณะแพทย์ เพื่อรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็น 4 ปัจจัยหลัก คือ A: ด้านการศึกษาและการเรียนรู้ (Education) B: ด้านราคาสำหรับสื่อการสอน (Cost) C: ด้านความสวยงามของสื่อการสอน (Appearance) และ D: ด้านความจริง (Realism) โดยปัจจัยหลัก A แบ่งเป็น 4 ปัจจัยรอง คือ A1: ด้านความสะดวกต่อการอธิบายในชั้นเรียนสำหรับผู้สอน A2: ด้านการช่วยให้เข้าใจในชั้นเรียนสำหรับผู้เรียน A3: ด้านการลดระยะเวลาในการทำความเข้าใจสำหรับผู้เรียน และ A4: ด้านการมีส่วนร่วมในการเรียน โดยแสดง 3 ทางเลือกสำหรับการเรียนรู้กายวิภาคของหลอดเลือดในส่วนหัว ดังแสดงในภาพที่ 3 คือ 1) การใช้โมเดลจาก 3DP 2) การใช้หนังสือเรียน และ 3) การใช้อาจารย์ใหญ่ จากนั้น เป็นการเก็บข้อมูลโดยใช้แบบสอบถามทาง AHP กับนักศึกษาแพทย์ชั้นปีที่ 3 ซึ่งมีประสบการณ์จากการเรียนรู้กายวิภาคของหลอดเลือดเสมือนมาแล้วและกับอาจารย์ผู้สอน จำนวน 14 คน และทำการสังเคราะห์ปัจจัยด้วยวิธี AHP

โดยแสดงตัวอย่างการสังเคราะห์ปัจจัยหลักดังแสดงในตารางที่ 1 โดยผลการวิเคราะห์ค่าความสอดคล้องของข้อมูลมีค่าสุดท้ายไม่เกิน 10% ซึ่งแสดงว่าข้อมูลที่ได้มีความเหมาะสม



ภาพที่ 3 โครงสร้างลำดับชั้นของ AHP ในการเลือกสื่อการสอน

ตารางที่ 1 แสดงค่าน้ำหนักของปัจจัยหลักของแต่ละผู้ทำการตัดสินใจด้วยวิธี AHP

ผู้ทำการตัดสินใจ	ปัจจัยหลัก				Sum
	A: การเรียนรู้	B: ราคา	C: ความสวยงาม	D: ความสมจริง	
1	0.084	0.083	0.083	0.750	1.000
2	0.223	0.068	0.026	0.683	1.000
3	0.561	0.217	0.067	0.155	1.000
4	0.236	0.067	0.130	0.567	1.000
5	0.179	0.094	0.118	0.609	1.000
6	0.551	0.074	0.084	0.291	1.000
7	0.481	0.133	0.084	0.302	1.000
8	0.370	0.036	0.108	0.486	1.000
9	0.331	0.098	0.173	0.398	1.000
10	0.422	0.087	0.089	0.402	1.000
11	0.540	0.119	0.119	0.222	1.000
12	0.397	0.168	0.158	0.277	1.000
13	0.459	0.052	0.112	0.377	1.000
14	0.530	0.119	0.077	0.274	1.000

ขั้นตอนต่อมาเป็นการสังเคราะห์ข้อมูลปัจจัยแบบกลุ่ม โดย Ishizaka และ Labib [20] แนะนำ 4 วิธีสำหรับการตัดสินใจแบบกลุ่มใน AHP โดยในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการคำนวณค่าเฉลี่ยของระดับเวกเตอร์ลำดับความสำคัญ โดย

แสดงผลการวิเคราะห์ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งพบว่าปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดคือปัจจัยทางด้านความสมจริง (0.423) รองลงมาเป็นปัจจัยด้านการเรียนรู้และการศึกษา (0.371) ตามมาด้วยปัจจัยด้านราคา (0.103) และปัจจัยด้านความสวยงาม (0.103) ที่เท่ากันตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยรอง พบว่าสามารถเรียงลำดับได้จากด้านการช่วยให้เข้าใจในชั้นเรียนมากขึ้น (0.396) ด้านการลดระยะเวลาในการทำความเข้าใจ (0.358) ด้านการมีส่วนร่วมในการเรียน (0.167) และด้านความสะดวกต่อการอธิบายในชั้นเรียน (0.079) ตามลำดับ หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ปัจจัยแล้ว ขั้นตอนต่อมาเป็นการสังเคราะห์ทางเลือก โดยใช้ข้อมูลของค่าน้ำหนักของปัจจัยที่ได้ข้างต้น ดังแสดงผลการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบกลุ่มในตารางที่ 2 ซึ่งแต่ละทางเลือกมีข้อดีข้อเสียสำหรับแต่ละปัจจัยที่แตกต่างกัน เช่นเมื่อพิจารณาในด้านปัจจัยราคาอย่างเดียว พบว่าทางเลือกหนังสือ (0.620) มีความเหมาะสมมากที่สุด ในขณะที่เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านความสวยงาม พบว่าทางเลือกโมเดล 3DP (0.448) มีความเหมาะสมมากกว่าทางเลือกอื่น ๆ ส่วนเมื่อพิจารณาด้านความสมจริง พบว่าทางเลือกอาจารย์ใหญ่เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (0.715) เป็นต้น ทั้งนี้ผลการสังเคราะห์ทางเลือกโดยรวมพบว่าทางเลือกที่ดีที่สุดคืออาจารย์ใหญ่ (0.508) โมเดล 3DP (0.280) และหนังสือเรียน (0.211) ตามลำดับ

ตารางที่ 2 แสดงค่าน้ำหนักของแต่ละทางเลือกเมื่อเทียบกับปัจจัยด้วยการตัดสินใจแบบกลุ่ม โดยวิธี AHP

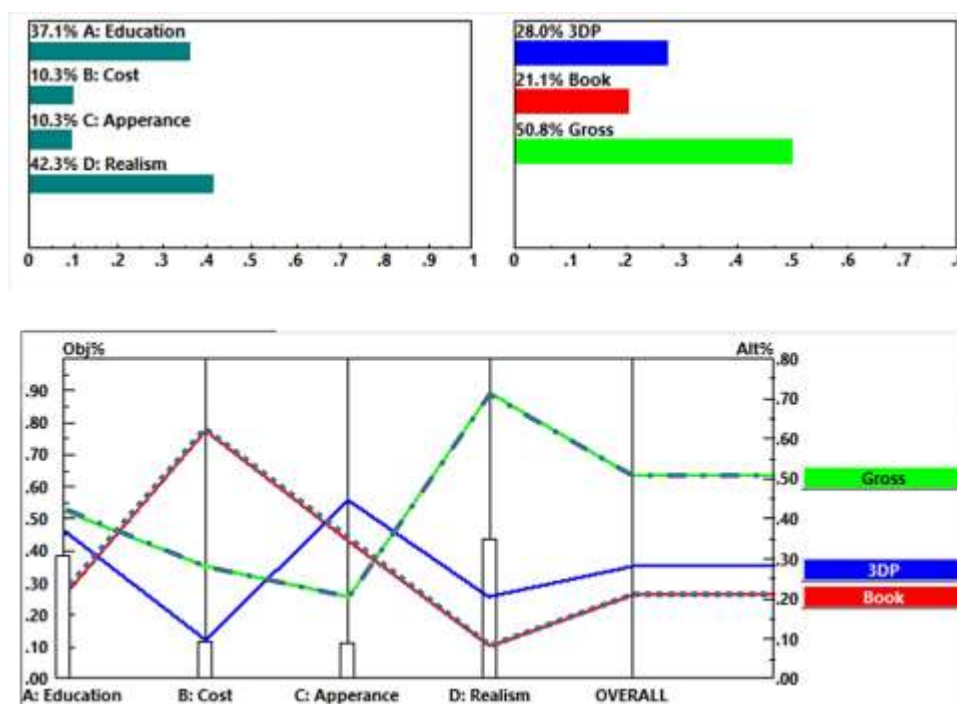
ปัจจัย	ทางเลือก	ค่าน้ำหนักการตัดสินใจแบบกลุ่ม
A: ด้านการเรียนรู้	A1: ความสะดวกต่อการอธิบายในชั้นเรียน	โมเดล 3DP
		หนังสือเรียน
		อาจารย์ใหญ่
	A2: การช่วยให้เข้าใจในชั้นเรียนมากขึ้น	โมเดล 3DP
		หนังสือเรียน
		อาจารย์ใหญ่
	A3: การลดระยะเวลาในการทำความเข้าใจ	โมเดล 3DP
		หนังสือเรียน
		อาจารย์ใหญ่
	A4: การมีส่วนร่วมในการเรียน	โมเดล 3DP
		หนังสือเรียน
		อาจารย์ใหญ่
B: ด้านราคา		โมเดล 3DP
		หนังสือเรียน
		อาจารย์ใหญ่
C: ด้านความสวยงาม		โมเดล 3DP
		หนังสือเรียน
		อาจารย์ใหญ่
D: ด้านความสมจริง		โมเดล 3DP
		หนังสือเรียน
		อาจารย์ใหญ่



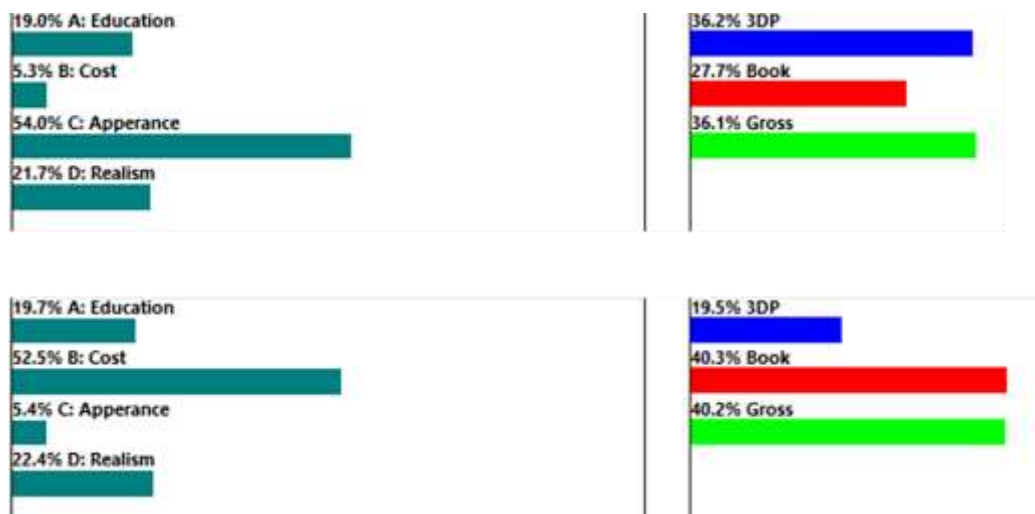
ภาพที่ 4 แสดงผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยการตัดสินใจแบบกลุ่มโดยวิธี AHP

3.2) ผลการวิเคราะห์ความผันแปร (Sensitivity Analysis) ด้วยโปรแกรม Expert Choice

ในงานวิจัยนี้ ผู้ทำวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ความผันแปรของข้อมูลปัจจัยโดยใช้โปรแกรม Expert Choice โดยแสดงข้อมูลค่าถ่วงน้ำหนักปัจจัยและทางเลือกในภาพที่ 5 (บน) ซึ่งแสดงผลได้ว่าทางเลือกที่ดีที่สุดคือทางเลือกอาจารย์ใหญ่ นอกจากนี้สามารถแสดงผลข้อมูลทางเลือกต่าง ๆ เมื่อพิจารณาตามแต่ละปัจจัยในภาพที่ 5 (ล่าง) ซึ่งพบว่าทางเลือกอาจารย์ใหญ่โดดเด่นในปัจจัย A: การเรียนรู้ และ D: ความสมจริง ในขณะที่ทางเลือกโมเดล 3DP มีจุดเด่นในปัจจัย C: ความสวยงาม ส่วนหนังสือเรียนมีจุดเด่นในปัจจัย B: ด้านราคา ทั้งนี้เมื่อทำการวิเคราะห์ความผันแปรของปัจจัยต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 6 เพื่อทดสอบว่าควรปรับเพิ่มหรือลดปัจจัยต่างๆ อย่างไร หากต้องการให้ทางเลือกโมเดล 3DP หรือทางเลือกหนังสือเป็นอันดับที่ดีที่สุด โดยพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าน้ำหนักของปัจจัย C: ความสวยงาม ซึ่งเป็นปัจจัยที่เป็นจุดเด่นของทางเลือกโมเดล 3DP เพิ่มขึ้นเป็น 0.540 (ภาพที่ 6 บน) หรือทำการปรับเพิ่มค่าน้ำหนักของปัจจัย B: ราคาเพิ่มเป็น 0.525 จะส่งผลให้ทางเลือกหนังสือเป็นทางเลือกที่ดีที่สุด (ภาพที่ 6 ล่าง)



ภาพที่ 5 (บน) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยและทางเลือก และ (ล่าง) ผลทางเลือกเมื่อเทียบกับปัจจัย



ภาพที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความผันแปรของ (บน) ทางเลือก 3DP และ (ล่าง) ทางเลือกหนังสือ

4) สรุปผลและทิศทางการวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเลือกใช้สื่อการสอนสำหรับสาขาวิชาการแพทย์ โดยทำการผลิตชิ้นงานส่วนกายวิภาคของหลอดเลือดสมองของผู้ป่วยสำหรับใช้เป็นโมเดลสื่อการสอนทางการแพทย์ ด้วยเครื่องพิมพ์ 3DP ซึ่งเป็นชิ้นงานที่มีลักษณะหลอดเลือดที่สลับซับซ้อน โดยผลการวิเคราะห์ปัจจัยด้วยเทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) สำหรับปัจจัยหลัก พบว่าปัจจัยด้านการศึกษาเรียนรู้ ด้านราคา ด้านความสวยงาม และด้านความสมจริง คิดเป็นค่าถ่วงน้ำหนัก 0.371 0.103 0.103 และ 0.423 ตามลำดับ โดยปัจจัยที่กลุ่มผู้ทำการตัดสินใจให้ความสำคัญมากที่สุดคือปัจจัยทางด้านการสมจริง นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ปัจจัยย่อยในส่วนของการศึกษาและการเรียนรู้ ซึ่งแบ่งเป็นปัจจัยย่อย คือด้านความสะดวกต่อการอธิบายในชั้นเรียน ด้านการช่วยให้เข้าใจในชั้นเรียนมากขึ้น ด้านการลดระยะเวลาในการทำความเข้าใจ และด้านการมีส่วนร่วมในการเรียน พบว่ามีค่าน้ำหนักของความสำคัญคิดเป็น 0.079 0.396 0.358 และ 0.167 ตามลำดับ นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ทางเลือกสุทธิพบว่าทางเลือกสื่อการสอนอาจารย์ใหญ่ดีที่สุด รองลงมาเป็นโมเดล 3DP และหนังสือเรียน โดยจุดเด่นของสื่อการสอนอาจารย์ใหญ่คือด้านการศึกษาเรียนรู้และด้านความสมจริง ในขณะที่สื่อการสอนโมเดล 3DP มีจุดเด่นทางด้านความสวยงาม และหนังสือเรียนมีจุดเด่นทางด้านราคา โดยผลการวิเคราะห์ความผันแปรแสดงให้เห็นว่าแต่ละทางเลือกมีจุดเด่นที่แตกต่างกันขึ้นกับการให้ความสำคัญของผู้ทำการตัดสินใจ

ทั้งนี้ผลการศึกษาในงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า 3DP เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่มีความเหมาะสมในการใช้เป็นสื่อการสอนทางการแพทย์ได้ดี โดยผู้วิจัยแนะนำว่าควรมีการนำโมเดล 3DP มาใช้ไม่ใช้เพื่อการทดแทนแต่เพื่อมาเสริมการเรียนรู้จากสื่อการสอนอื่น ๆ ทั้งจากอาจารย์ใหญ่และจากหนังสือ ทั้งนี้สามารถสรุปทิศทางการวิจัยในอนาคตได้ในหลายแนวทาง เช่น 1) ผลการวิเคราะห์ พบว่าข้อจำกัดหนึ่งของชิ้นงาน 3DP ที่ได้คือเรื่องความสมจริง ซึ่งไม่โดดเด่นเท่ากับอาจารย์ใหญ่ อย่างไรก็ตามความสมจริงของชิ้นงานโมเดล 3DP ที่ได้ ส่วนหนึ่งขึ้นกับคุณสมบัติของเครื่อง 3DP และวัสดุที่ใช้ ซึ่งควรมีการศึกษาการเลือกเครื่อง 3DP ที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงานเฉพาะอย่างร่วมด้วย 2) ในงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ปัจจัยที่เป็นจุดเด่นของทางเลือกสื่อการสอนทางการแพทย์แต่ละแบบ ซึ่งการเพิ่มการวิเคราะห์และเก็บข้อมูลในลักษณะของแบบสอบถาม เพื่อเปรียบเทียบความพึงพอใจและข้อคิดเห็นของอาจารย์และนักศึกษาก่อนและ

หลังการใช้โมเดล 3DP ร่วมในการศึกษา เป็นหนึ่งในการวิเคราะห์ที่สามารถช่วย ยืนยันผลการเรียนรู้ได้ทางหนึ่ง 3) การเพิ่มรายละเอียดของปัจจัยที่มีความสลับซับซ้อนมากขึ้น รวมถึงการเพิ่มทางเลือกอื่น ๆ เช่น การใช้สื่อแอปพลิเคชัน โดยทำการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้เครื่องมือที่สามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและทางเลือก เช่น กระบวนการโครงข่ายการวิเคราะห์ (Analytic Network Process – ANP) เป็นต้น อาจเป็นแนวทางหนึ่งของงานวิจัยในอนาคต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้ทุนวิจัยพัฒนาอาจารย์รุ่นใหม่ MRG6180181 ความเห็นในรายงานผลการวิจัยเป็นของผู้วิจัย สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาและสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณบริษัท Harn Engineering ในการให้ความร่วมมือในการผลิตชิ้นงานสามมิติในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Gibson I, Rosen DW, Stucker B. Additive manufacturing technologies. New York: Springer; 2014.
2. Gardan J. Additive manufacturing technologies: state of the art and trends. International Journal of Production Research. 2016 May 18;54(10):3118-3132.
3. Campbell I, Diegel O, Kowen J, Wohlers T. Wohlers report 2018: 3D printing and additive manufacturing state of the industry: annual worldwide progress report. Wohlers Associates; 2018.
4. Khamhong P, Yingviwatapong C, Ransikarbum K. Fuzzy analytic hierarchy process (AHP)-based criteria analysis for 3d printer selection in additive manufacturing. In 2019 Research, Invention, and Innovation Congress (RI2C) 2019 Dec 11, 1-5.
5. Ransikarbum K. Multi- criteria decision analysis- based orientation selection problem for integrated 3D printing and subtractive manufacturing. The Journal of Industrial Technology. 2020;16:15-30. Thai.
6. ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies, ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies. Subcommittee F42. 91 on Terminology. Standard terminology for additive manufacturing technologies. Astm International; 2012.
7. Budsapab J, Krongyuti F, Suebauan K, Ransikarbum K. Appropriate production analysis from traditional and three-dimensional production with multi- criteria decision making tools. IE Network Conference, 2018 July 23- 26, Ubon Ratchathani, 317-322, 2018. Thai.
8. Wisedla K, Chantakot W, Wattanasang N, Ransikarbum K. Research and development trends in 3d printing technology in Thailand. IE Network Conference, 2018 July 23-26, Ubon Ratchathani, 1635-1639, 2018. Thai.
9. Ransikarbum K, Thongklom T, Wisedla K, Rakngam P, Somnuek S, Srisopa J. The study of efficiency and feasibility of prosthetic production with 3d printing technology. The 7th Congress of the College of Medicine and Public Health, 2018 August 31, Ubon Ratchathani, 110-116, 2018. Thai.
10. Ransikarbum K, Ha S, Ma J, Kim N. Multi-Objective Optimization Model for Production Planning of the Build Chamber Utilization in Fused Deposition Modeling. Journal of Manufacturing Systems. 2017;43:35-46.



11. Ransikarbum K, Kim N. Data envelopment analysis-based multi-criteria decision making for part orientation selection in fused deposition modeling. In 2017 4th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA) 2017 Apr 21, 81-85.
12. Ransikarbum K, Kim N. Multi-criteria selection problem of part orientation in 3D fused deposition modeling based on analytic hierarchy process model: A case study. In 2017 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) 2017 Dec 10, 1455-1459.
13. Ford S, Minshall T. Where and how 3D printing is used in teaching and education.
14. Ransikarbum K, Yingviwatanapong C, Leksomboon R, Wajanavisit T, Bijaphala N. Additive Manufacturing-based Healthcare 3D Model for Education: Literature Review and A Feasibility Study. In 2019 Research, Invention, and Innovation Congress (RI2C) 2019 Dec 11, 1-6.
15. Mimics Available <https://www.materialise.com/> [2019, 5, January].
16. Jiang M, Chen G, Coles-Black J, Chuen J, Hardidge A. Three-dimensional printing in orthopaedic preoperative planning improves intraoperative metrics: a systematic review. ANZ journal of surgery. 2019 Nov 7.
17. Hong D, Lee S, Kim T, Baek JH, Kim WW, Chung KW, Kim N, Sung TY. Usefulness of a 3D-printed thyroid cancer phantom for clinician to patient communication. World Journal of Surgery. 2020 Mar;44(3):788-794.
18. Suksri S, Ransikarbum K, Sinthuchao S. Analytic hierarchy process technique for selecting the location of the infectious waste incinerator of the community hospital in Surin province. IE Network Conference, 2018 July 23-26, Ubon Ratchathani, 48, 2018. Thai.
19. Saaty TL. Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of intangible factors the analytic hierarchy/network process. RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales. Serie A. Matematicas. 2008 Sep 1;102(2):251-318.
20. Ishizaka A, Labib A. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. Expert systems with applications. 2011 Oct 1;38(11):14336-14345.
21. Vaidya OS, Kumar S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. European Journal of operational research. 2006 Feb 16;169(1):1-29.
22. Velasquez M, Hester PT. An analysis of multi-criteria decision making methods. International journal of operations research. 2013 May;10(2):56-66.