**NUEJ**
**Naresuan University**
**Engineering Journal**

# การออกแบบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการออกแบบเจเนอเรทีฟแบบหลายวัตถุประสงค์ กรณีศึกษาการออกแบบเครื่องประดับเข็มกลัดอาร์ตเดโคแบบกลัดคู่

# Product Design with Multi-objective Optimization Generative Design Method: A Case Study of Art Deco Double Clip Brooch Design

สุนิษา แสนศรี, สมลักษณ์ วรรณถุมล กีเยลาโรว่า*
Sunisa Sansri, Somlak Wannarumon Kielarova*

iD3 หน่วยวิจัย ด้านการออกแบบ การตัดสินใจ และการพัฒนาทางอุตสาหกรรม
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
iD3 Research Center for Industrial Design, Decision and Development
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University

*Corresponding author e-mail: somlakw@nu.ac.th

(Received: 21 July 2020, Revised: 14 January 2021, Accepted: 27 January 2021)

**บทคัดย่อ**

บทความนี้นำเสนอระบบออกแบบอัตโนมัติด้วยหลักการของเจเนอเรทีฟดีไซน์ ที่ช่วยค้นหาคำตอบที่เหมาะสมแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective Optimization Generative Design: MOOGD) เพื่อสร้างคำตอบของงานออกแบบที่แสดงผลลัพธ์ในลักษณะของโมเดลสามมิติที่มีความหลากหลายและเป็นจำนวนมาก ภายใต้วัตถุประสงค์ในการออกแบบที่มากกว่าหนึ่งวัตถุประสงค์ โดยเริ่มจากการสร้างโมเดลพาราเมตริกดีไซน์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นการสร้างโมเดลสามมิติของผลิตภัณฑ์ด้วยพารามิเตอร์ และควบคุมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโมเดลสามมิติด้วยพารามิเตอร์ และพัฒนากระบวนการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมแบบหลายวัตถุประสงค์ด้วยอัลกอริที่มวิวัฒนาการความแข็งแรงของพาเรโต 2 (Strength Pareto Evolutionary Algorithm II) ดังนั้นอัลกอริที่ม MOOGD ใช้วิธีค้นหาคำตอบที่อยู่บริเวณด้านหน้าของพาเรโต (Pareto-Optimal Front) โดยจะให้ชุดคำตอบที่มากกว่าหนึ่งคำตอบ ซึ่งชุดคำตอบเหล่านี้ จะถูกถอดรหัสโดยอัตโนมัติแปลงเป็นโมเดลสามมิติ นำเสนอต่อนักออกแบบบนโปรแกรมช่วยในการออกแบบ ดังนั้น MOOGD ทำหน้าที่เสมือนเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวอย่างกรณีศึกษาการออกแบบเข็มกลัดสไตล์ยุคอาร์ตเดโค ที่สามารถแยกออกเป็นสองชิ้น (Art Deco Double Clip Brooch) โดยมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบให้ได้น้ำหนักของเข็มกลัดที่น้อยที่สุด พร้อมกับมีสัดส่วนของเข็มกลัดใกล้เคียงกับอัตราส่วนทองมากที่สุด กรอบงานวิจัยนี้ สามารถนำไปพัฒนาประยุกต์ใช้กับการออกแบบผลิตภัณฑ์อื่นๆ ได้

**คำสำคัญ:** ระบบออกแบบอัตโนมัติ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบโต้ตอบ อัลกอริที่มวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์ อัลกอริที่ม วิวัฒนาการความแข็งแรงของพาเรโต อัตราส่วนทอง

**Abstract**

This research proposes Multi-Objective Optimization Generative Design (MOOGD) system that searches the optimal solutions within multiple objectives. MOOGD is able to generate various and number of three-dimensional (3D) models of the solutions. The parametric design model algorithm is created to generate parametric 3D models and parametrically control shapes of the 3D models. As well as, the optimal search for multiple objectives is developed based on Strength Pareto Evolutionary Algorithm II (SPEA-II). MOOGD uses Pareto-Optimal Front method to search a set of optimal solutions. Those solutions are automatically decoded to 3D models and presented in Computer-Aided Design (CAD) software to designers. MOOGD, therefore, works as a decision support tool in product design process. The research methodology is presented via a case study of

the design of Art Deco double clip brooch with two objectives: minimum weight of the brooch, while maximize golden ratio of the brooch. The research methodology can be applied to design other industrial products.

**Keywords:** Generative design, Interactive Genetic Algorithm, Multi-objective optimization, SPEA-II, Golden ratio

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบและงานศิลปะ (Computer-aided Design: CAD) เป็นเครื่องมือสำคัญในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยจะช่วยผู้ที่สนใจและนักออกแบบตั้งแต่กระบวนการสร้างแนวคิดไปจนถึงการพิจารณาถึงการออกแบบรูปร่างรูปทรงและรายละเอียดที่ต่าง ๆ (Séquin, 1997) กระบวนการสร้างแนวคิดเป็นกระบวนการในการสร้างการออกแบบที่ไม่จำกัดหรือเป็นการสร้างการออกแบบเพื่อหาทางเลือกที่มากมายหลากหลาย (Lipson & Shpitalni, 2000) ดังนั้นในขั้นตอนนี้นักออกแบบมักจะทำกิจกรรมที่ทำให้เกิดแนวคิด เช่น การออกแบบและบันทึกแนวคิด การต่อยอดแนวคิด หรือการสำรวจแนวคิดที่เป็นไปได้ ซึ่งปัญหาการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยส่วนใหญ่นั้นจะกำหนดด้วยวัตถุประสงค์ต่าง ๆ โดยครอบคลุมทั้งวัตถุประสงค์ทางด้านปริมาณและวัตถุประสงค์ทางด้านคุณภาพ ซึ่งนับว่าเป็นปัญหาการออกแบบที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์

ในส่วนของวัตถุประสงค์ด้านคุณภาพ เช่น ความสวยงาม อารมณ์ ความพึงพอใจ หรือความรู้สึกนั้น เป็นวัตถุประสงค์ที่ต้องมีมนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง ทำให้เกิดความไม่แน่นอนตามแต่ละตัวบุคคลไป วัดออกมาเป็นตัวเลขค่อนข้างยาก ในขั้นตอนการออกแบบจึงจำเป็นต้องมี การคำนวณเชิงวิวัฒนาการแบบโต้ตอบ (Interactive Evolutionary Computation: IEC) เข้ามาเกี่ยวข้อง เพราะนักออกแบบแต่ละบุคคลสามารถที่จะโต้ตอบในระหว่างการออกแบบได้ทันทีเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบที่ต้องการ (Takagi, 2001)

กิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการออกแบบนั้น นำมาซึ่งการออกแบบที่หลากหลาย นักออกแบบจึงต้องการเครื่องมือที่จะช่วยพวกเขาเลือกแนวคิดที่ดีที่สุด ด้วยเหตุผลนี้จึงเป็นแรงจูงใจที่ทำให้เกิดการพัฒนาระบบออกแบบอัตโนมัติเชิงโต้ตอบร่วมกับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์เพื่อช่วยสนับสนุนนักออกแบบระหว่างการออกแบบแนวคิดซึ่งเป็นขั้นตอนเริ่มต้นของกระบวนการออกแบบ และระบบที่พัฒนานี้ยังช่วยกลุ่มนักออกแบบที่ไม่นิยมใช้เทคโนโลยี CAD ให้สามารถเข้าถึง CAD ให้ง่ายขึ้น

ในบทความนี้แบ่งออกเป็น 5 ส่วน ประกอบด้วย ส่วนที่ 1 บทนำ ส่วนที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ระบบออกแบบเจเนอเรทีฟ (Generative Design System) การคำนวณเชิงวิวัฒนาการแบบโต้ตอบ (Interactive Evolutionary Computation: IEC) การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ด้วยอัลกอลิทึ่มทางพันธุกรรม (Multi-objective Optimization with Genetic Algorithm) อัลกอริทึ่มวิวัฒนาการความแข็งแรงของพาเรโต (Strength Pareto Evolutionary Algorithm II: SPEA-II) การออกแบบเครื่องประดับ การออกแบบแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล การออกแบบสอบถาม และโปรแกรมออกแบบ Rhinoceros ส่วนที่ 3 กรอบแนวคิดของงานวิจัย ส่วนที่ 4 การศึกษากรณีการออกแบบเข็มกลัดอาร์ตเดโคแบบกลัดคู่ และส่วนที่ 5 บทสรุปของงานวิจัยและงานในอนาคต

## 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### *2.1 ระบบออกแบบเจเนอเรทีฟ (Generative Design System)*

ระบบออกแบบเจเนอเรทีฟ คือ ระบบออกแบบโดยอัตโนมัติ โดยระบบสามารถออกแบบรูปร่างรูปทรงได้เป็นจำนวนมากภายในขอบเขตที่นักออกแบบหรือผู้ใช้เป็นผู้กำหนด กระบวนการทำงานของระบบออกแบบเจเนอเรทีฟ ส่วนใหญ่จะมีการทำซ้ำเพื่อให้เกิดรูปร่างรูปทรงที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมอย่างหลายหลาย (Soddu, 1994) ในการออกแบบนั้น การใช้มือวาดแนวคิดที่ออกแบบมาจากหัวของนักออกแบบโดยตรงเป็นวิธีที่นักออกแบบนิยมทำกันอย่างแพร่หลาย เพราะเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และประหยัด หากแต่อาจจะเกิดปัญหาจากความเหนื่อยล้าในการที่จะคิดออกแบบแนวคิดให้ออกมาเป็นจำนวนมาก ๆ จึงมีการพัฒนาระบบออกแบบเจเนอเรทีฟ ขึ้นมาเพื่อช่วยนักออกแบบในการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือค้นหารูปร่างรูปทรงที่หลากหลาย

ระบบออกแบบเจเนอเรทีฟ ได้ถูกนำไปใช้ในการออกแบบสิ่งต่าง ๆ มากมาย โดยมี 5 เทคนิคที่นิยมอย่างแพร่หลาย (Singh & Gu, 2012) ได้แก่ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ไวยากรณ์รูปร่าง (Shape Grammar) เซลลูลาร์ออโตมาตา (Cellular Automata) ระบบแอล (L-System) และความฉลาดแบบกลุ่ม (Swarm Intelligence)

มีงานวิจัยมากมายที่นำระบบออกแบบเจเนอเรทีฟ ไปพัฒนาระบบออกแบบ Agarwal and Cagan (1998) ได้นำระบบออกแบบเจเนอเรทีฟไปพัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องชงกาแฟโดยใช้เทคนิค ไวยากรณ์รูปร่าง Tang et al. (2013) ได้นำเทคนิคขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมร่วมกับเทคนิค Artificial

Neural Network ไปใช้ในการออกแบบรูปร่างของโทรศัพท์มือถือ โดยมีคนเข้าไปเกี่ยวข้องในขั้นตอนการประเมินรูปร่างของโทรศัพท์มือถือที่มีขายในท้องตลาดก่อนที่จะนำผลประเมินเหล่านั้นไปร่วมออกแบบ หรือแม้กระทั่งในงานออกแบบเครื่องประดับ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ขนาดเล็ก ต้องอาศัยความชำนาญในการออกแบบแต่ละชิ้น Kielarova & Pradujphongphet (2013) ได้นำเทคนิค ไวยากรณ์รูปร่าง มาพัฒนาออกแบบแหวนให้มีรูปร่างรูปทรงที่แปลกใหม่เป็นจำนวนมาก

*2.2 การคำนวณเชิงวิวัฒนาการแบบโต้ตอบ (Interactive Evolutionary Computation: IEC)*

IEC คือ เทคนิคในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดซึ่งอยู่บนพื้นฐานของการคำนวณเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Computation: EC) แต่จะใช้การประเมินของมนุษย์ในส่วนฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Fitness Function) เพราะฉะนั้นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยระบบ IEC จะมีเป้าหมายเพื่อให้บรรลุผลที่ต้องการโดยขึ้นอยู่กับการประเมินของผู้ใช้งาน Takagi (2001) กล่าวไว้ว่า IEC ถือเป็นวิธีการที่ฝังเอาอารมณ์ความพึงพอใจ ญาณหยั่งรู้ หรือความรู้สึก (Named Kansei) ของมนุษย์เข้าไปในเป้าหมายของระบบ นิยมนำไปใช้ในงานต่าง ๆ ที่หลากหลาย เช่น การสร้างสรรค์ภาพทางศิลปะ การออกแบบผลิตภัณฑ์ และด้านวิศวกรรม ในบทความนี้เรามุ่งเน้นไปที่การนำไปใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์และการออกแบบเชิงอุตสาหกรรม

Brintrup et al. (2007) ได้ทำการพัฒนา IGA สำหรับการออกแบบเก้าอี้โดยมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่เป็นทั้งด้านปริมาณและด้านคุณภาพ พวกเขาได้ทำการเปรียบเทียบประเภทของ IGA ที่แตกต่างกันในหลาย ๆ เกณฑ์ด้วยกัน Hu et al. (2008) พัฒนาระบบ CAD เชิงวิวัฒนาการร่วมกับการโต้ตอบ (Interactive Co-Evolutionary CAD System) ที่ใช้สำหรับการออกแบบรูปแบบของเสื้อผ้า โดยส่วนสำคัญของระบบเป็นการใช้แรงบันดาลใจของผู้ใช้ร่วมกับอัลกอริทึ่มเชิงวิวัฒนาการสำหรับการทำงานกับผู้ใช้ที่พอมีทักษะอยู่บ้างแล้ว Sun et al. (2012) พัฒนา IGA สำหรับการออกแบบเลนส์ของแว่นกันแดดโดยอัลกอริทึ่มสามารถที่จะทำงานร่วมกับกลุ่มประชากรขนาดใหญ่ซึ่งใช้วิธีการเรียนรู้กึ่งการควบคุม Lu et al. (2014) เสนอการออกแบบการโต้ตอบเชิงวิวัฒนาการ (Interactive Evolutionary) ในการสร้างรูปแบบลายหินอ่อนบนสิ่งทอ Dou et al. (2016) เสนออัลกอริทึ่มทางพันธุกรรมเชิงโต้ตอบแบบหลายขั้นตอน (Multi-Stage Interactive Genetic Algorithm: MS-IGA) โดยมีการแบ่งกลุ่มประชากรที่มีขนาดใหญ่ใน IGA แบบดั้งเดิมออกเป็นหลาย ๆ ขั้นตอนในความสัมพันธ์ในทำงานที่แตกต่างกัน พวกเขาประยุกต์ใช้ MS-IGA สำหรับระบบออกแบบคอนโซลรถยนต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเอาความต้องการของแต่ละผู้ใช้มาทำการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สำเร็จ Kielarova and Sansri (2016) เสนอระบบออกแบบ Interactive Genetic Algorithm (IGA) ที่ทำงานร่วมกับ Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA) ในการออกแบบขวดน้ำหอม โดยวัตถุประสงค์เชิงปริมาณ ได้แก่ ความสูง 10 เซนติเมตร และปริมาณ 100 มิลลิลิตร ส่วนวัตถุประสงค์เชิงคุณภาพคือความพึงพอใจของผู้ใช้งานระบบ

*2.3 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ด้วยอัลกอลิทึ่มทางพันธุกรรม (Multi-objective Optimization with Genetic Algorithm)*

อัลกอลิทึ่มทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เป็นส่วนหนึ่งของ EC โดยเทคนิคนี้มักจะถูกนำไปใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ เพราะมีความเหมาะสมหลายประการ (Deb, 2011)

Shibuya et al. (1991) ได้ทำการผสมผสานระหว่างการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ร่วมกับ IGA เพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบแอนิเมชั่น ระบบของพวกเขายอมให้ผู้ใช้มามีส่วนช่วยในการจัดอันดับตามความคิดเห็นส่วนบุคคล Brintrup et al. (2008) นำเสนอกรอบของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ด้วย IGA สำหรับปัญหาการออกแบบเก้าอี้ Zhang et al. (2016) ได้นำเสนอ MOGA ในการหารูปร่างฟรีฟอร์มของตึกในเขตโซนหนาวเย็นของประเทศจีน โดย MOGA โดยมีวัตถุประสงค์ 3 ข้อ ได้แก่ ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มากที่สุด (Solar Radiation Gain) บริเวณพื้นที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด (Space Efficiency) และ ค่าสัมประสิทธิ์รูปร่างน้อยที่สุด (Shape Coefficient) วิธีหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดบริเวณด้านหน้าของพาเรโตถูกนำเสนอมาใช้ในการแก้ปัญหา และช่วยนักออกแบบในการตัดสินใจขั้นสุดท้าย ในระบบการออกแบบนั้นการคำนวณที่อยู่บนพื้นฐานของกรอบแนวคิดจะสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อมีการควบคุมดูแลในด้านคุณภาพด้วย ในงานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องประดับ Sansri and Kielarova (2018) ได้นำการหาค่าที่เหมาะสมแบบหลายวัตถุประสงค์มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบเข็มกลัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเข็มกลัดที่ผลิตโดยใช้น้ำหนักของโลหะน้อยที่สุด และต้องการหารูปทรงของเข็มกลัดที่มีสัดส่วนเข้าใกล้ (Golden Ratio)

*2.4 อัลกอริทึ่มวิวัฒนาการแบบความแข็งแรงของพาเรโต (Strength Pareto Evolutionary Algorithm II: SPEA-II)*

อัลกอริทึ่มวิวัฒนาการแบบความแข็งแรงของพาเรโต หรือ SPEA นำเสนอโดย Zitzler and Thiele (1999) โดยลักษณะของ SPEA มีดังนี้: 1) การจัดเก็บคำตอบ จะจัดเก็บจากคำตอบที่ไม่ได้ถูกครอบงำจากภายนอก 2) การประเมินสมรรถภาพของแต่ละคำตอบ จะขึ้นอยู่กับจำนวนคำตอบที่ไม่ได้ครอบงำจากรอบก่อนหน้า 3) ใช้การครอบงำแบบพาเรโต เพื่อรักษาความหลากหลายของประชากร 4) มีการลดคำตอบที่ไม่ได้ถูกครอบงำหรือคำตอบที่ไม่โดดเด่นด้วยการจัดกลุ่ม

ต่อมา Zitzler et al. (2001) ได้ทำการพัฒนาปรับปรุง SPEA โดยตั้งชื่อว่า SPEA-II พวกเขาพยายามที่จะลดจุดอ่อนของ SPEA เพื่อออกแบบอัลกอริทึ่ม EMO ที่ทันสมัย โดย SPEA-II มี 3 ข้อที่แตกต่างจาก SPEA ดั้งเดิม ได้แก่ 1) การกำหนดค่าความเหมาะสมซึ่งคำนึงถึงคำตอบทั้งหมดในการค้นหา 2) การค้นหาโดยใช้เทคนิคการประเมินค่าความหนาแน่นของเพื่อนบ้าน (Nearest Neighbor) ในการประเมินความหนาแน่น และ 3) มีกระบวนการจัดเก็บอย่างถาวร

*2.5 การออกแบบเครื่องประดับ*

วัตถุประสงค์ของการเลือกใช้เครื่องประดับนั้นมีมากมาย ไม่ว่าจะเป็น เพื่อความสวยงาม เพื่อแสดงถึงตำแหน่งหน้าที่ หรือเพื่อแสดงออกถึงเอกลักษณ์ (Chuthavipa, 2002) การออกแบบเครื่องประดับแต่ละประเภทจะแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ แต่โดยรวมจะคำนึงถึงความสวยงามเป็นสำคัญ โดยแนวทางสำหรับการออกแบบเครื่องประดับแต่ละประเภทจะต่างกันออกไป อาทิเช่น การออกแบบแหวน จะออกแบบให้มีลักษณะโค้งมนเข้ากับลักษณะของนิ้วมือเพื่อลดการกระแทก เพราะนิ้วมือเป็นส่วนที่สัมผัสหรือกระทบกับสิ่งอื่น ๆ ได้ง่าย การออกแบบเข็มกลัด จะออกแบบโดยเน้นไปที่เรื่องความสมดุล เพราะเข็มกลัดต้องติดอยู่กับผ้า หากไม่สมดุลจะทำให้เข็มกลัดถ่วงไปด้านใดด้านหนึ่ง

การออกแบบเครื่องประดับนั้นยังสามารถแบ่งได้ตามยุคสมัย (Jongyoklang, 2012) ดังนี้ เครื่องประดับสมัยอียิปต์โบราณ เครื่องประดับสมัยอินเดียโบราณ เครื่องประดับสมัยอีทราสคาน เครื่องประดับสมัยกรีกและโรมัน เครื่องประดับสมัยธิเบต เครื่องประดับสมัยเรอเนซองค์ เครื่องประดับสมัยบารอค เครื่องประดับสมัยวิคตอเรีย เครื่องประดับสมัยอาร์ตนูโว และเครื่องประดับสมัยอาร์ตเดโค

เครื่องประดับสมัยอาร์ตเดโคอยู่ในช่วงปี ค.ศ. 1910 – ค.ศ. 1930 (Mouillefarine & Posseme, 2009) โดยเกิดขึ้นหลังสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง รู้จักแพร่หลายในงานนิทรรศการนานาชาติ de Arts Decoratifs et Industriels Modernes ในกรุงปารีส เมื่อปี ค.ศ. 1925 โดยเครื่องประดับในยุคสมัยนี้มีลักษณะโดดเด่น คือ การนำรูปทรงเรขาคณิตมาใช้ในการออกแบบ โดยยุคสมัยนั้นเกิดการเจียระไนอัญมณีแบบทรงกลม (Round) สี่เหลี่ยมผืนผ้า (Baguette) และ สี่เหลี่ยมจัสตุรัส (Square) ทำให้เหมาะแก่การนำไปออกแบบกับรูปทรงเรขาคณิต และการฝังอัญมณีนั้นจะเป็นการฝังแบบจิกไข่ปลา (Pave Setting) และการฝังรีด (Channel Setting)

*2.6 การออกแบบแผนการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล*

การออกแบบแผนการทดลอง (Experimental Design or Design of Experiments) (Nayutthaya, 2008) คือ การทดสอบแค่เพียงหนึ่งครั้งหรือหลาย ๆ ครั้งอย่างต่อเนื่อง เพื่อสังเกตและทราบถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Responses) มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในกระบวนการนั้น ๆ โดยส่วนของการกำหนดค่าตัวแปรนำเข้า หรือค่าพารามิเตอร์ที่จะนำไปใช้ในกระบวนการนั้นเป็นสิ่งที่น่าสนใจ จะเรียกว่าขั้นตอน Parameter Design ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการออกแบบกระบวนการ (Design Process) อีกด้วย

การทดลองแฟคทอเรียล เป็นการทดลองที่ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการออกแบบแผนการทดลอง เพราะสามารถที่จะศึกษาปัจจัยได้พร้อมกันหลาย ๆ ปัจจัย การทดลองแฟคทอเรียลสามารถแบ่งออกเป็นกรณีหลัก ๆ ได้แก่ การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full Factorial Experiment) และการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional Factorial Experiment) ซึ่งจะนิยมใช้ในกรณีที่จำนวนของปัจจัยมีเยอะ ทำให้ต้องทำการทดลองจำนวนมาก ทำให้การใช้ทรัพยากรเพื่อการทดลองมากยิ่งขึ้นตามไปด้วย

สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล หมายถึง วิธีการจัดการกับข้อมูลตั้งแต่เริ่มการเก็บรวบรวมข้อมูลจนถึงกระทั่งการวิเคราะห์และแปลผลข้อมูล เพื่อใช้ในการตัดสินใจในภาวะความไม่แน่นอน (Uncertain) โดยอยู่บนพื้นฐานของหลักความน่าจะเป็น (Probability) โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เช่น การแจกแจงความถี่ การวัดแนวโน้มเข้าสู่ส่วนกลาง การวัดการกระจาย และสถิติอ้างอิง (Inference Statistics) หรือเรียกอีกอย่างว่าสถิติเชิงอนุมาน คือ การนำผลข้อมูลที่ผู้วิจัยเก็บรวบรวมมาจากกลุ่มตัวอย่าง (Sample) ไปใช้ในการอ้างอิงรวมถึงอธิบายถึงกลุ่มประชากร (Population) ทั้งหมด โดยใช้ความน่าจะเป็น (Probability)

*2.7 การออกแบบสอบถาม*

แบบสอบถาม คือ เครื่องมือที่นิยมนำไปใช้ในงานวิจัยอย่างแพร่หลายที่สุด เป็นการจัดรวบรวมคำถามเป็นชุดอย่างมีระบบ เพื่อใช้วัดสิ่งที่ต้องการจะวัดจากกลุ่มตัวอย่างหรือกลุ่มประชากรทำให้ได้มาซึ่งข้อเท็จจริง (Sinjaru, 2012) ลักษณะของแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ แบบสอบถามปลายเปิด สามารถให้ผู้ตอบแบบสอบถามตอบแบบสอบถามได้อย่างอิสระ และแบบสอบถามปลายปิด เป็นแบบสอบถามที่ต้องการคำตอบที่เฉพาะเจาะจง มีตัวเลือกให้เลือกตอบชัดเจน (Yotongyos, 2016)

ขั้นตอนในการสร้างแบบสอบถาม แบ่งเป็น 13 ขั้นตอน ดังนี้ 1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูล เพื่อนำมากำหนดโครงสร้างของคำถาม 2) กำหนดโครงสร้างของแบบสอบถาม 3) สร้างแบบสอบถาม 4) เสนอที่ปรึกษาในการตรวจสอบแบบสอบถาม โดยตรวจสอบความเหมาะสมด้านภาษา ความเหมาะสมด้านการเลือกใช้รูป 5) นำแบบสอบถามนั้นนำเสนอแก่ผู้เชี่ยวชาญเพื่อตรวจสอบค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม 6) คำนวณค่าความเที่ยงตรงตามเนื้อหาของแบบสอบถาม โดยค่าสถิติที่ใช้ในการหาคุณภาพได้แก่ ค่าความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์หรือเนื้อหา (Index of Item Objective Congruence: IOC) 7) ทดลองใช้แบบสอบถามกับกลุ่มทดลองเพื่อคำนวณหาค่าความเชื่อมั่น และอำนาจจำแนก 8) คำนวณค่าความเชื่อมั่น และอำนาจจำแนกของแบบสอบถาม 9) ปรับปรุงแก้ไขแบบสอบถาม 10) ตรวจสอบแบบสอบถาม 11) จัดทำแบบสอบถามฉบับสมบูรณ์ 12) นำไปสอบถามกลุ่มเป้าหมาย 13) วิเคราะห์และสรุปผล โดยการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้โปรแกรม เช่น โปรแกรม SPSS Statistics หรือโปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

*2.8 โปรแกรมออกแบบ Rhinoceros*

โปรแกรมออกแบบ Rhinoceros (McNeel, 2017) เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับสร้างโมเดลสามมิติ นิยมนำไปใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เพราะมีความโดดเด่นในการสร้างรูปทรงอย่างอิสระ หรือรูปทรง Free Form สามารถแก้ไขโมเดลนั้นได้อย่างง่ายดาย รวมถึงสามารถเรนเดอร์โมเดลนั้นให้มีความเหมือนจริง

นอกจากนี้โปรแกรมออกแบบ Rhinoceros ยังมี Plug-in เสริมช่วยนักออกแบบในด้านต่างๆ เช่น Plug-in เสริม Grasshopper ถูกพัฒนาขึ้นโดย Scott Davidson (Davidson, 2017) เป็นอัลกอริทึมการสร้างโมเดล (Algorithmic Modeling) จะสร้างโมเดลในลักษณะที่เป็นพาราเมตริกดีไซน์ กล่าวคือโมเดลจะสามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างได้โดยอาศัยตัวพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน

Plug-in เสริม Octopus ถูกพัฒนาขึ้นโดย Robert Vierlinger (Vierlinger, 2017) ประยุกต์ใช้หลักวิวัฒนาการสำหรับพาราเมตริกดีไซน์ และการแก้ปัญหาในวัตถุประสงค์เดียว หรือปัญหาที่มากกว่าหนึ่งวัตถุประสงค์ ถูกสร้างขึ้นมาจากหลักการ SPEA-II

## 3. กรอบแนวคิดของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เสนอกรอบแนวคิดการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ในการออกแบบอัตโนมัติ (MOOGD) สำหรับการหารูปทรงที่เหมาะสมที่สุดซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาในกระบวนการการออกแบบผลิตภัณฑ์

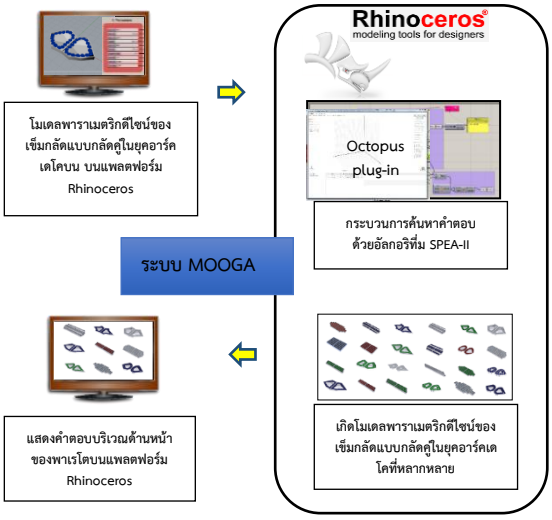
ในการพัฒนาระบบ MOOGA เพื่อค้นหาคำตอบภายใต้หลายวัตถุประสงค์ มีขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. เริ่มจากการสร้างโมเดลพาราเมตริกดีไซน์ของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นการสร้างโมเดลสามมิติของผลิตภัณฑ์ด้วยพารามิเตอร์ และควบคุมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโมเดลสามมิติด้วยพารามิเตอร์

2. พัฒนากระบวนการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมแบบหลายวัตถุประสงค์ด้วยอัลกอริทึ่มวิวัฒนาการความแข็งแรงของพาเรโต 2 (SPEA-II) ซึ่งใช้วิธีค้นหาคำตอบที่อยู่บริเวณด้านหน้าของพาเรโต (Pareto-Optimal Front) โดยจะให้ชุดคำตอบที่มากกว่าหนึ่งคำตอบ

3. พัฒนาอัลกอริทึ่มเพื่อทำการถอดรหัสคำตอบ และแปลงเป็นโมเดลสามมิติโดยอัตโนมัติ เพื่อนำเสนอต่อนักออกแบบบนโปรแกรมช่วยในการออกแบบ

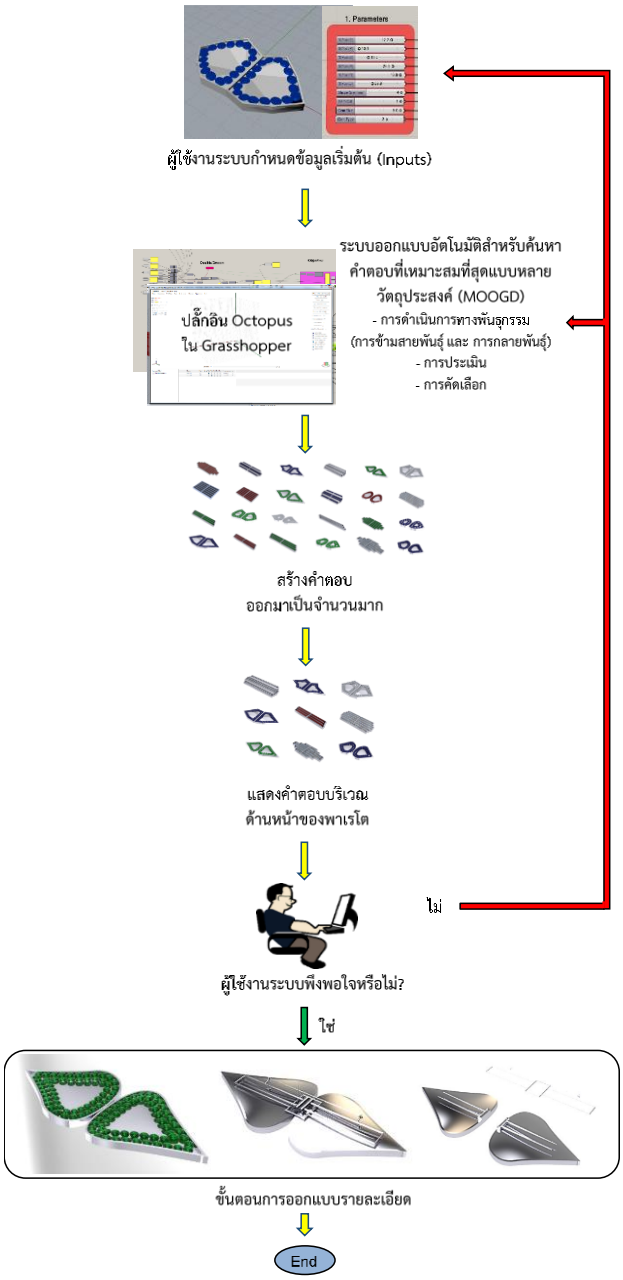
ในการพัฒนา อัลกอริทึ่ม SPEA-II จะเริ่มจากสุ่มประชากรเริ่มต้นและใช้วิธีหาคำตอบบริเวณด้านหน้าของพาเรโตในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดภายใต้วัตถุประสงค์ที่กำหนด โดยจะหาคำตอบที่โดดเด่นที่อยู่ด้านหน้าของพาเรโต ซึ่งไม่ถูกครอบงำด้วยคำตอบอื่น ๆ ถ้ายังไม่เข้าเงื่อนไขกระบวนการหยุดค้นหาคำตอบ จะมีการนำคำตอบในรอบนั้น ๆ มาเข้าสู่รอบถัดไปโดยการดำเนินการทางพันธุกรรม (การข้ามสายพันธุ์และการกลายพันธุ์) จากนั้นจะมีการรวมคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำในรอบก่อนหน้าและคำตอบในรอบปัจจุบัน เพื่อนำมาหากลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำต่อไป หากกลุ่มคำตอบที่ได้มามีมากเกินกว่าที่กำหนดไว้จะใช้เทคนิคการประเมินค่าความหนาแน่นของเพื่อนบ้านในการลบคำตอบออกไป สำหรับเงื่อนไขในการหยุดนั้นจะใช้การเปลี่ยนแปลงโดยเฉลี่ยของการแพร่กระจายคำตอบบนส่วนหน้าของพาเรโต หรือจำนวนรุ่นที่มากที่สุด และสุดท้ายระบบจะแสดงกลุ่มคำตอบที่ได้จากระบบผ่านโปรแกรม CAD ไปยังผู้ใช้งานระบบหรือนักออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 1




**รูปที่ 1** การพัฒนาระบบ MOOGA

ในระบบออกแบบอัตโนมัติ MOOGD ที่นำเสนอนี้ การทำงานจะเริ่มจากผู้ใช้งานระบบโดยจะเป็นนักออกแบบ หรือผู้ใช้งานที่สนใจออกแบบผลิตภัณฑ์เป็นผู้กำหนดข้อมูลเริ่มต้นหรือพารามิเตอร์แต่ละตัว (Inputs) เพื่อให้แสดงรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ผู้ใช้งานพึงพอใจ ข้อมูลเหล่านั้นจะถูกนำมาสร้างเป็นโมเดลพาราเมตริกดีไซน์ และเข้าสู่การคำนวณค้นหาคำตอบภายใต้วัตถุประสงค์สัดส่วน และน้ำหนักต่อไป

โดยระบบจะเข้าสู่กระบวนการ Multi-objective Optimization เพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดผ่านอัลกอริทึม SPEA-II สุดท้ายระบบจะใช้วิธี Pareto-based Method เพื่อกรองกลุ่มคำตอบที่อยู่บริเวณด้านหน้าของพาเรโต ซึ่งเป็นคำตอบที่โดดเด่นที่คำนึงถึงทุกวัตถุประสงค์ นำกลุ่มคำตอบเหล่านั้นมาแสดงแก่ผู้ใช้งานระบบอีกครั้งเพื่อให้ผู้ใช้พิจารณารูปแบบของผลิตภัณฑ์ว่าพึงพอใจหรือไม่ หากผู้ใช้พึงพอใจรูปแบบใดก็สามารถนำรูปแบบนั้นไปเข้าสู่ขั้นตอนการออกแบบรายละเอียดต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2



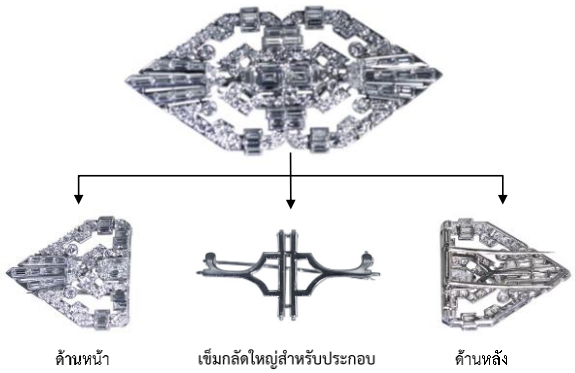

**รูปที่ 2** กรอบแนวคิดของงานวิจัย

### 4. กรณีศึกษาการออกแบบเข็มกลัดอาร์ตเดโคแบบกลัดคู่

งานวิจัยนี้เสนอกรอบแนวคิดการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ในการออกแบบ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกปัญหาการออกแบบเครื่องประดับเข็มกลัดอาร์ตเดโคแบบกลัดคู่เป็นกรณีศึกษา

เครื่องประดับเข็มกลัดแบบกลัดคู่เป็นเครื่องประดับหนึ่งที่ถือกำเนิดขึ้นในยุคอาร์ตเดโค โดย Louis Cartier ในปี ค.ศ. 1927 เป็นผู้ริเริ่มในการผลิต (Kang, 2014) มีลักษณะเด่น คือ เข็มกลัดสามารถแยกออกมาเป็นสองชิ้น หรือรวมกันเป็นชิ้นใหญ่ชิ้นเดียว ทำให้สามารถใช้กลัดตกแต่งเสื้อผ้าได้หลากหลายแบบ โดยเข็มกลัดประเภทนี้นิยมนำอัญมณีประเภทเพชรมาจัดเรียง และออกแบบรูปทรงเข็มกลัดให้เป็นรูปทรงเรขาคณิต เช่น รูปทรงสี่เหลี่ยม รูปทรงสามเหลี่ยม รวมถึงออกแบบให้เข็มกลัดทั้งสองข้างมีความสมมาตรกัน (Martinez, 2016) ดังแสดงในรูปที่ 3

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบเข็มกลัดนั้น การออกแบบจะไม่นิยมให้ใหญ่รุงรังและไม่ออกแบบให้มีน้ำหนักมากจนเกินไป เพราะจะรั้งเสื้อผ้าลงมาทำให้เสียรูปได้ และผู้ออกแบบจะเน้นในเรื่องความสมดุลของเข็มกลัดเพราะหากออกแบบมาไม่มีความสมดุลทำให้น้ำหนักถ่วงไปด้านใดด้านหนึ่งจะส่งผลให้เข็มกลัดเอียงได้เมื่อมีการนำไปประดับบนเสื้อผ้า ในส่วนของเข็มกลัดอาร์ตเดโคแบบกลัดคู่ Sansri (2018) ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลเข็มกลัดอาร์ตเดโคแบบกลัดคู่ ทั้งสิ้นจำนวน 100 แบบ โดยสัดส่วน (ความยาว/ความกว้าง) ของเข็มกลัดที่พบมากที่สุด คือ สัดส่วน 2.5 ดังนั้นในการออกแบบเข็มกลัดครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบอยู่ 2 ข้อ ได้แก่ การหาเข็มกลัดที่มีน้ำหนักน้อยที่สุด และการหาสัดส่วนของเข็มกลัดที่เข้าใกล้สัดส่วน 2.5 มากที่สุด




**รูปที่ 3** เข็มกลัดอาร์ตเดโคแบบกลัดคู่
**ที่มา:** Fearnley, 2018

*4.1 การกำหนดพารามิเตอร์และขอบเขต*

โมเดลของเข็มกลัดสร้างขึ้นจากพารามิเตอร์จำนวน 10 ตัว บนโปรแกรม Rhinoceros และตัวเสริม (plug-in) Grasshopper ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ควบคุมการสร้างรูปร่าง รวมถึงน้ำหนักและสัดส่วนของเข็มกลัด ซึ่งขอบเขตของพารามิเตอร์ทั้ง 10 ตัว แสดงดังตารางที่ 1 ดังนี้

**ตารางที่ 1** แสดงค่าของพารามิเตอร์

| ลำดับ | พารามิเตอร์ | | ขอบเขต |
|---|---|---|---|
| 1 | Shape Control | Y Point1 | 10.0 – 20.0 |
| 2 | | X Point2 | 10.0 – 15.0 |
| 3 | | Y Point2 | 17.0 – 20.0 |
| 4 | | X Point3 | 20.0 – 25.0 |
| 5 | | Y Point3 | 9.0 – 13.0 |
| 6 | | X Point4 | 25.0 – 40.0 |
| 7 | Shape Grammar | | 0 – 4 |
| 8 | Gem Cut | | 0 – 1 |
| 9 | Gem Size | | 2.5 – 5.0 |
| 10 | Gem Type | | 0 - 3 |

จากตารางที่ 1 Shape Control เป็นพารามิเตอร์สำหรับควบคุมรูปร่างของโครงเข็มกลัด โดยจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์จำนวน 6 ตัว ในแต่ละตัวแสดงถึงค่าบนแกน X และแกน Y ที่ทำให้เกิดจุด (ตำแหน่ง) จำนวน 4 จุด

Shape Grammar เป็นพารามิเตอร์สำหรับควบคุมรูปแบบของโมเดลสามมิติของเข็มกลัด แสดงด้วยจำนวนเต็มระหว่าง 0-4 ซึ่งแต่ละค่าจะแสดงรูปแบบการสร้างโมเดลสามมิติด้วยวิธีที่แตกต่างกันออกไป

Gem Cut เป็นพารามิเตอร์สำหรับควบคุมรูปร่างของอัญมณีที่ถูกใช้ฝังบนตัวเรือนของเข็มกลัด แสดงด้วยจำนวนเต็มระหว่าง 0-1 ค่า 0 จะแสดงถึงรูปร่างอัญมณีรูปกลม และ ค่า 1 จะแสดงถึงรูปร่างอัญมณีที่มีรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

Gem Size เป็นพารามิเตอร์สำหรับควบคุมขนาดของอัญมณีที่ถูกใช้ฝังบนตัวเรือนของเข็มกลัด แสดงด้วยจำนวนจริงระหว่าง 2.5 – 5.0 ซึ่งค่านี้จะแสดงถึงความกว้างของอัญมณีมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

Gem Type เป็นพารามิเตอร์สำหรับควบคุมประเภทของอัญมณีที่ใช้ในการประดับบนเข็มกลัด แสดงด้วยตัวเลขจำนวนเต็มระหว่าง 0 – 3 ค่า 0 จะแสดงอัญมณีประเภทเพชรที่มีสีขาว, ค่า 1 จะแสดงอัญมณีประเภทแซปไฟร์ที่มีสีน้ำเงิน, ค่า 2 จะแสดงอัญมณีประเภทมรกตที่มีสีเขียว และ ค่า 3 จะแสดงอัญมณีประเภททับทิมที่มีสีแดง

โดยน้ำหนักของเข็มกลัดจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ทั้ง 10 ตัว ดังตารางที่กล่าวมา แต่สัดส่วนของเข็มกลัดจะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์จำนวน 7 ตัว (จากทั้งหมด 10 ตัว) ได้แก่ Shape Control จำนวน 6 ตัว และ Shape Grammar

*4.2 การตั้งค่าภายในระบบ MOOGD*

ระบบ MOOGD ถูกพัฒนาขึ้นบนตัวเสริม Grasshopper ในโปรแกรม Rhinoceros 5.0 บนคอมพิวเตอร์เวิร์คสเตชั่น (Intel Xeon 2.8 GHz processor, 8G RAM, 64 bit) โดย

ระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นประมวลผลค้นหาคำตอบโดยตัวเสริม Octopus

จากงานวิจัยของ Sansri (2018) ได้มีการหาระดับการตั้งค่าที่เหมาะสมที่สุดให้แก่ปัจจัยต่าง ๆ ทั้ง 6 ปัจจัย ได้แก่ Populations Size, Max Generations, Elitism, Mutation Probability, Mutation Rate และ Crossover Rate ที่อยู่ในตัวเสริม Octopus โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน $2^{6-3}$ โดยในแต่ละปัจจัยจะถูกกำหนดให้มี 2 ระดับที่แตกต่างกันออกไป ได้แก่ ระดับต่ำและระดับสูง จากผลการทดลองดังกล่าวปรากฏว่า การตั้งค่าในแต่ละพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแสดงรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** แสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ใน GA

| ลำดับ | พารามิเตอร์ | ค่า |
|---|---|---|
| 1 | Populations Size | 20 |
| 2 | Max Generations | 5 |
| 3 | Elitism | 0.5 |
| 4 | Mutation Probability | 0.9 |
| 5 | Mutation Rate | 0.5 |
| 6 | Crossover Rate | 0.5 |

เมื่อกำหนดการตั้งค่าพารามิเตอร์ดังรายละเอียดข้างต้น ระบบ MOOGA จะดำเนินการค้นหาคำตอบเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ทั้ง 2 ข้อ ได้แก่ สัดส่วนเข้าใกล้ 2.5 (อัตราส่วนทอง) และน้ำหนักน้อย โดยการแสดงคำตอบจะแสดงเป็นกลุ่ม กล่าวคือมีมากกว่าสองคำตอบ ในบางคำตอบอาจจะเด่นในวัตถุประสงค์ด้านสัดส่วน มีสัดส่วนเข้าใกล้ 2.5 มากที่สุด ในบางคำตอบอาจจะเด่นในวัตถุประสงค์ด้านน้ำหนัก มีน้ำหนักน้อยที่สุด ในขั้นตอนนี้ผู้ใช้งานระบบสามารถที่เลือกคำตอบที่ตรงกับความต้องการของตนเอง เพื่อนำไปเข้าสู่ขั้นตอนการออกแบบรายละเอียด และพัฒนาเป็นชิ้นงานต้นแบบต่อไป

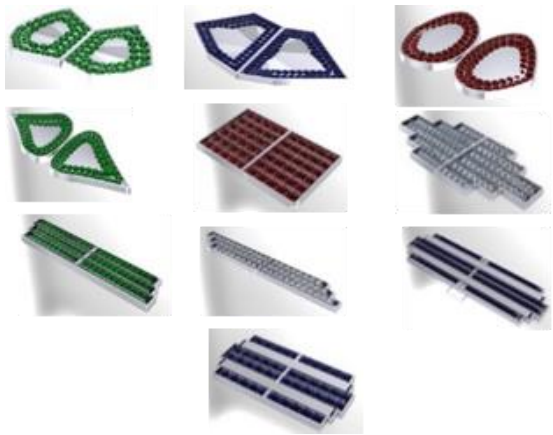
*4.3 การทดสอบความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อผลลัพธ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากระบบ*

การทดสอบความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อผลลัพธ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากระบบ จากผู้ตอบแบบสอบถามทั้งหมดจำนวน 100 คน ตามหลักการคำนวณขนาดตัวอย่างด้วยวิธีของ Taro Yamane (1970) กลุ่มตัวอย่างนั้นเป็นผู้หญิงที่มีอายุอยู่ในช่วง 25 ปี – 55 ปี Insuya et al. (2016) เพราะเป็นบุคคลที่อยู่ในช่วงวัยผู้ใหญ่ตอนต้น (Early Adulthood) ที่มักจะมีรสนิยมในการแต่งตัว รักสวยรักงาม ไปจนถึงวัยกลางคน (Middle Adulthood) ที่มีตำแหน่งหน้าที่การงานและทรัพย์สินที่มั่นคงแล้ว สามารถที่จะเลือกซื้อสินค้าที่มีราคาสูงหรือสินค้าฟุ่มเฟือยได้

งานวิจัยนี้เลือกวิเคราะห์ความพึงพอใจต่อกลุ่มคำตอบที่อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต และกลุ่มคำตอบที่ไม่ได้อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต ว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่ โดยมีตัวอย่างของรูปร่างเข็มกลัดที่จัดอยู่ในกลุ่มส่วนหน้าของพาเรโต จำนวน 10 รูป ดังแสดงในรูปที่ 4 และรูปร่างเข็มกลัดที่ไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มส่วนหน้าของพาเรโต จำนวน 10 รูป ดังแสดงในรูปที่ 5 ให้ผู้ตอบแบบสอบถามทำการให้คะแนนความชื่นชอบ โดยใช้เครื่องมือแบบสอบถามแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับตามวิธีของ Likert (1961) และแปรผลโดยใช้เกณฑ์ของ Best (1981) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ค่าเฉลี่ย 4.21 - 5.00 หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด
ค่าเฉลี่ย 3.41 – 4.20 หมายถึง พึงพอใจมาก
ค่าเฉลี่ย 2.61 – 3.40 หมายถึง พึงพอใจปานกลาง
ค่าเฉลี่ย 1.81 – 2.60 หมายถึง พึงพอใจน้อย
ค่าเฉลี่ย 1.00 – 1.80 หมายถึง พึงพอใจน้อยที่สุด

**รูปที่ 4** รูปร่างเข็มกลัดที่จัดอยู่ในกลุ่มส่วนหน้าของพาเรโต



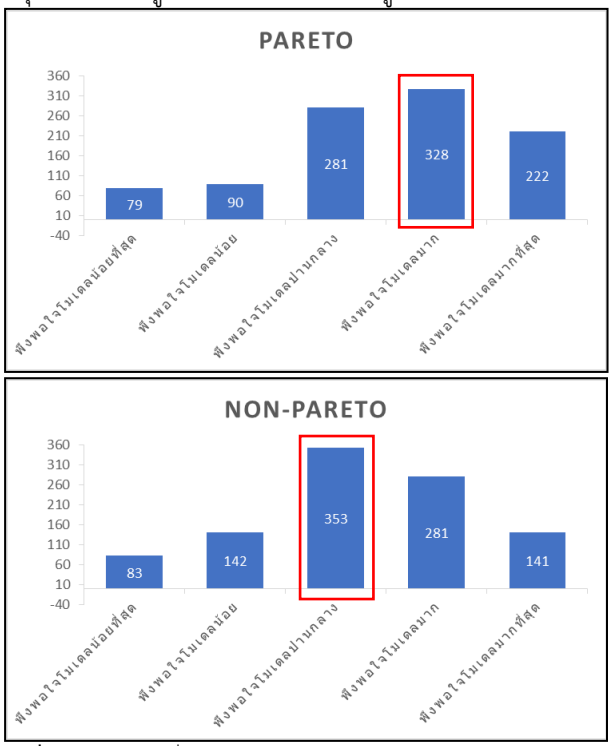
**รูปที่ 5** รูปร่างเข็มกลัดที่ไม่ได้จัดอยู่ในกลุ่มส่วนหน้าของพาเรโต

จากแบบสอบถามจะได้ข้อมูลทั้งหมด 2 ชุด คือ ข้อมูลคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มคำตอบที่อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต จำนวน 100 ข้อมูล และข้อมูลคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มคำตอบที่ไม่ได้อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต จำนวน 100 ข้อมูล ได้ผลลัพธ์ดังนี้

**ตารางที่ 3** แสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาของความพึงพอใจต่อโมเดลสามมิติแบบแยกกลุ่มคำตอบที่อยู่บนพาเรโต และไม่ได้อยู่บนพาเรโต

| | N | Minimum | Maximum | Mean | SD | Mode |
|---|---|---|---|---|---|---|
| พาเรโต | 100 | 1 | 5 | 3.52 | 0.84 | 4 |
| ไม่ได้อยู่บนพาเรโต | 100 | 1 | 4.90 | 3.26 | 0.76 | 3 |

จากตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าสถิติเชิงพรรณนาแบบแยกกลุ่มคำตอบที่อยู่บนพาเรโต และไม่ได้อยู่บนพาเรโต จากทั้งหมดจะพบว่าค่าเฉลี่ยความพึงพอใจที่สูงที่สุดมาจาก กลุ่มคำตอบที่อยู่บนพาเรโต คือ 3.52 ส่วนค่าฐานนิยม จะพบว่าค่าฐานนิยมความพึงพอใจที่สูงที่สุดก็มาจากกลุ่มคำตอบที่อยู่บนพาเรโตเช่นกัน คือ 4 แสดงว่าค่ากลางทั้งสองชนิดสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกันโดยผู้ตอบแบบสอบถามชื่นชอบกลุ่มคำตอบที่อยู่บนพาเรโตมากกว่ากลุ่มคำตอบที่ไม่ได้อยู่บนพาเรโต และรูปที่ 6 แสดงความถี่ของการให้คะแนนความพึงพอใจแบบแยกกลุ่มคำตอบที่อยู่บนพาเรโต และไม่ได้อยู่บนพาเรโต




**รูปที่ 6** แสดงความถี่ของคะแนนความพึงพอใจในแบบแยกกลุ่มคำตอบที่อยู่บนพาเรโตและไม่ได้อยู่บนพาเรโต

สำหรับขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานนั้น งานวิจัยนี้ได้ตั้งสมมติฐาน ความพึงพอใจต่อกลุ่มคำตอบที่อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโตจะมากกว่ากลุ่มคำตอบที่ไม่ได้อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต เพราะกลุ่มคำตอบบนส่วนหน้าพาเรโตจะเป็นกลุ่มคำตอบที่มีน้ำหนักน้อย และมีสัดส่วนเข้าใกล้ 2.5 ซึ่งผู้ทำวิจัยหวังว่าจะทำให้ผู้ตอบแบบสอบถามพึงพอใจมากกว่ากลุ่มคำตอบที่ไม่ได้อยู่บนส่วนหน้าพาเรโต โดยขั้นตอนการตั้งสมมติฐานทางสถิติมีดังนี้ ตั้งสมมติฐานทางสถิติ

สมมติฐานหลัก ($H_0$): คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยต่อกลุ่มคำตอบที่อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต น้อยกว่าหรือเท่ากับกลุ่มคำตอบที่ไม่ได้อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต ( $\mu \leq \mu_0$ )

สมมติฐานรอง ($H_1$): คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยต่อกลุ่มคำตอบที่อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต มากกว่ากลุ่มคำตอบที่ไม่ได้อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต ( $\mu > \mu_0$ )

กำหนดระดับนัยสำคัญ $\alpha$ = 0.05

เลือกสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐานโดยเลือกใช้สถิติ Pair t – test มาใช้ในการทดสอบเพราะจำนวนของทั้งสองข้อมูลมากกว่า 30 จำนวน และกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่มไม่เป็นอิสระต่อกัน

ทำการทดสอบผลในโปรแกรม SPSS ได้ผลดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5

**ตารางที่ 4** แสดงสถิติเชิงพรรณา

| Row | Group Variable | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Pareto | 100 | 3.524 | 0.841 | 0.084 |
| 2 | Non-Pareto | 100 | 3.255 | 0.761 | 0.076 |

**ตารางที่ 5** แสดงตาราง Paired Samples Test

| | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | t | df | Sig.(2-tailed) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pareto-Non Pareto | 0.23 | 0.38 | 0.04 | 7.035 | 99 | 0.00 |

สรุปผล เนื่องจาก P-Value 0.000 โดยเป็นการทดสอบทางเดียวจึงนำค่า Sig. ไปหาร 2 ปรากฏว่าได้เท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 ดังนั้นทำให้สรุปได้ว่าปฏิเสธสมมติฐานหลัก ($H_0$) และยอมรับสมมติฐานรอง ($H_1$) ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha$ = 0.05 หรือคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยต่อกลุ่มคำตอบที่อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต มีค่าเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มคำตอบที่ไม่ได้

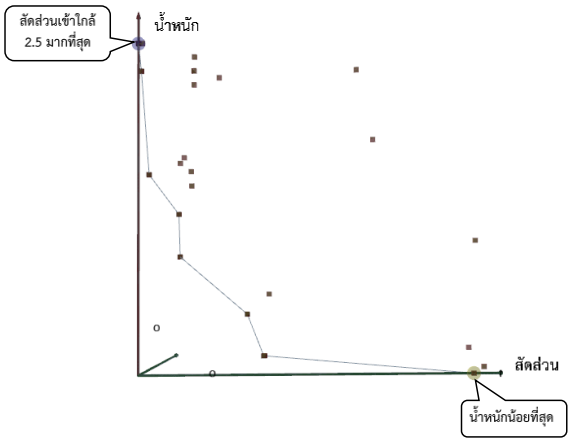
อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต ซึ่งสอดคล้องกับค่าสถิติเชิงพรรณนา ทำให้สามารถสรุปได้ว่ากลุ่มตัวอย่างพึงพอใจคำตอบที่อยู่บนพาเรโตมากกว่า

*4.4 ผลลัพธ์*

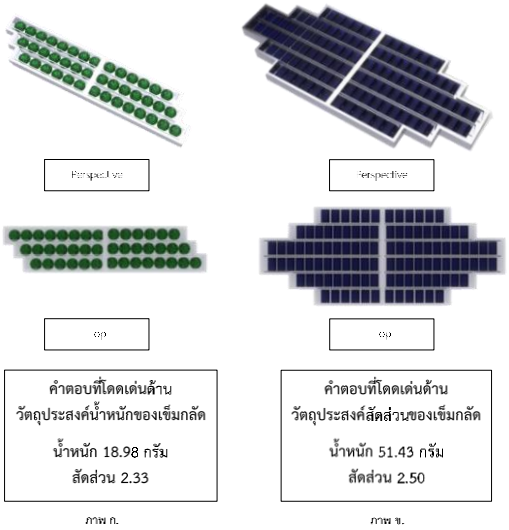
จากการทำงานของระบบ MOOGD จะเริ่มต้นทำงานโดยข้อมูลเริ่มต้นที่ผู้ใช้งานเป็นผู้กำหนด หลังจากนั้นระบบ MOOGD จะทำการค้นหารูปร่างของเข็มกลัดที่เหมาะสมที่สุด โดยคำนึงถึงวัตถุประสงค์ด้านน้ำหนักและสัดส่วนของเข็มกลัด จนกระทั่งระบบหยุดและแสดงคำตอบที่อยู่บริเวณด้านหน้าของพาเรโต โดยในรอบสุดท้ายของระบบกลุ่มคำตอบที่อยู่บริเวณด้านหน้าของพาเรโตมีทั้งสิ้นจำนวน 8 คำตอบ ดังแสดงด้วยเส้นที่ลากผ่านกล่องลูกบาศก์จำนวน 8 กล่อง ซึ่งแสดงถึงบริเวณด้านหน้าของพาเรโต ดังรูปที่ 6

และคำตอบที่โดดเด่นที่แตกต่างกันในวัตถุประสงค์ทั้งสองด้าน แสดงในรูปที่ 7 รูป ก. แสดงรูปของคำตอบที่โดดเด่นในด้านน้ำหนักน้อยที่สุด คือ มีน้ำหนัก 18.98 กรัม โดยตัวเรือนเข็มกลัดทำจากโลหะประเภทเงิน มีขนาดด้านยาว 66.00 มิลลิเมตร ด้านกว้าง 28.30 มิลลิเมตร สัดส่วน 2.33 ประดับด้วยอัญมณีประเภทมรกตรูปทรงกลม ขนาด 3.80 มิลลิเมตร จำนวน 42 เม็ด

ส่วนรูปที่ 7 รูป ข. แสดงรูปของคำตอบที่โดดเด่นในด้านสัดส่วนที่เข้าใกล้ 2.5 มากที่สุด คือ มีขนาดด้านยาว 79.80 มิลลิเมตร ด้านกว้าง 31.90 มิลลิเมตร สัดส่วน 2.50 โดยตัวเรือนเข็มกลัดทำจากโลหะประเภทเงิน มีน้ำหนัก 51.43 กรัม ประดับด้วยอัญมณีประเภทไพลินรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 4.4 มิลลิเมตร จำนวน 108 เม็ด




**รูปที่ 6** คำตอบที่อยู่บริเวณด้านหน้าพาเรโตของระบบ MOOGD




**รูปที่ 7** คำตอบที่โดดเด่นในแต่ละวัตถุประสงค์

โมเดลของเข็มกลัดแบบกลัดคู่นี้พัฒนาบนตัวเสริม Grasshopper บนโปรแกรม Rhinoceros และระบบ MOOGD พัฒนาโดยใช้อัลกอริทึ่ม SPEA-II ที่อยู่ในตัวเสริม Octopus บน Grasshopper ระบบที่นำเสนอนี้จะแสดงผลลัพธ์แก่ผู้ใช้งานเป็นกลุ่มคำตอบ โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกคำตอบที่พึงพอใจมากที่สุด หรือคำตอบที่เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งานได้ตามความชื่นชอบ

## 5. วิจารณ์ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการพัฒนาของระบบ MOOGA ในการกำหนดพารามิเตอร์และขอบเขตมีการกำหนดพารามิเตอร์ไว้จำนวน 10 ตัว สำหรับออกแบบเครื่องประดับเข็มกลัดแบบกลัดคู่ โดยแต่ละพารามิเตอร์มีขอบเขตที่ชัดเจน จากขอบเขตเหล่านี้จะทำให้ได้ทราบถึงบริเวณพื้นที่ของคำตอบทั้งหมด หากมีการเพิ่มขอบเขตของพารามิเตอร์เหล่านั้น จะทำให้ขนาดของพื้นที่คำตอบใหญ่มากขึ้นตามไปเช่นกัน อาจจะทำให้ระบบมีโอกาสพบกับรูปร่างเข็มกลัดที่เข้าใกล้วัตถุประสงค์มากยิ่งขึ้น

ระบบ MOOGA นี้มีการกล่าวถึงการตั้งค่าภายในระบบจากงานวิจัย Sansri (2018) ได้มีการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งสิ้น 6 ปัจจัย ได้แก่ Populations Size, Max Generations, Elitism, Mutation Probability, Mutation Rate และ Crossover Rate หากทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับปัจจัยอื่นที่นอกเหนือจากปัจจัยดังกล่าว อาจทำให้ระบบมีการค้นหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน $2^{6-3}$ เพราะทำให้ประหยัดเวลาและทรัพยากร ขณะเดียวกันหากทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ จะทำให้ขยายขอบเขตของการสรุปผลได้ดีกว่า และในการทดสอบความพึงพอใจของกลุ่ม

ตัวอย่างที่มีต่อผลลัพธ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากระบบ โดยวิเคราะห์ความพึงพอใจต่อกลุ่มคำตอบที่อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต และกลุ่มคำตอบที่ไม่ได้อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต ผลลัพธ์ทำให้ทราบว่าคะแนนความพึงพอใจโดยเฉลี่ยต่อกลุ่มคำตอบที่อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต มีค่าเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มคำตอบที่ไม่ได้อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาข้อมูลของเข็มกลัดอาร์ตเดโคแบบกลัดคู่ที่มักจะพบเจอกับเข็มกลัดที่มีสัดส่วนเข้าใกล้ 2.5 และหลักการออกแบบเข็มกลัด ที่ออกแบบมาให้มีน้ำหนักน้อยเพื่อให้ผู้สวมใส่รู้สึกสบาย ไม่หนักจนเกินไป และเป็นการใช้วัสดุอย่างคุ้มค่า

## 6. บทสรุป

บทความนี้นำเสนอระบบ MOOGD ที่ใช้ในการแก้ปัญหางานออกแบบที่มีวัตถุประสงค์มากกว่าหนึ่งวัตถุประสงค์ โดยนำเสนอกรณีศึกษาการออกแบบเข็มกลัดอาร์ตเดโคแบบกลัดคู่ ซึ่งมีวัตถุประสงค์การออกแบบเข็มกลัดที่ต้องการออกแบบให้เข็มกลัดมีน้ำหนักน้อยที่สุด พร้อมทั้งมีสัดส่วนใกล้เคียงกับ 2.5 มากที่สุด

โดยระบบ MOOGD ที่กล่าวถึงพัฒนาอยู่บนแพลตฟอร์ม Rhinoceros โดยใช้ตัวเสริม Grasshopper ในการสร้างรูปร่างโมเดลสามมิติของเข็มกลัดอาร์ตเดโคแบบกลัดคู่ จากนั้นระบบจะทำการค้นหาคำตอบโดยนำอัลกอรึทึ่มวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์ประเภท SPEA-II ซึ่งอยู่ในตัวเสริม Octopus มาคำนวณค้นหาคำตอบที่เหมาะสมแล้วนำเสนอคำตอบเหล่านั้นไปยังผู้ใช้งานในลักษณะของกลุ่มคำตอบที่มีคำตอบมากกว่าหนึ่งคำตอบ เพื่อให้ผู้ใช้งานได้พิจารณาและเลือกตามความชื่นชอบของผู้ใช้งาน

โดยบทความนี้ได้ทำการทดสอบความพึงพอใจของกลุ่มตัวอย่างที่มีต่อผลลัพธ์ที่ถูกสร้างขึ้นจากระบบ เปรียบเทียบกันระหว่างกลุ่มคำตอบที่เข้าใกล้วัตถุประสงค์ในเรื่องของสัดส่วนและน้ำหนักที่เรียกว่ากลุ่มคำตอบที่อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต และกลุ่มคำตอบที่จัดว่าอยู่ห่างจากวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ไม่ได้อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต ผลลัพธ์ทำให้ทราบว่าคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยต่อกลุ่มคำตอบที่อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต มีค่าเฉลี่ยมากกว่ากลุ่มคำตอบที่ไม่ได้อยู่บนส่วนหน้าของพาเรโต กลุ่มตัวอย่างพึงพอใจกับคำตอบที่อยู่บนส่วนหน้าพาเรโต หรือกล่าวว่ากลุ่มตัวอย่างชื่นชอบเข็มกลัดที่มีสัดส่วนเข้าใกล้ 2.5 และมีน้ำหนักน้อยมากกว่า

นอกจากนี้กระบวนการพัฒนาระบบ MOOGD ของงานวิจัยนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการพัฒนาระบบออกแบบในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้ต่อไปในอนาคต

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2561 มหาวิทยาลัยนเรศวร รหัสโครงการ R2561B072 และ ได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการจัดการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้เขียนขอขอบพระคุณแหล่งทุนดังกล่าวมา ณ โอกาสนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

Agarwal, M., & Cagan, J. (1998). A blend of different tastes: the language of coffeemakers. *Environment and Planning B: Planning and Design*, *25*(2), 205-226.

Best, J. W. (1981). *Research in education*. Prentice-Hall.

Brintrup, A. M., Ramsden, J., & Tiwari, A. (2007). An interactive genetic algorithm-based framework for handling qualitative criteria in design optimization. *Computers in Industry*, *58*(3), 279-291.

Brintrup, A. M., Ramsden, J., Takagi, H., & Tiwari, A. (2008). Ergonomic chair design by fusing qualitative and quantitative criteria using interactive genetic algorithms. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, *12*(3), 343-354.

Chuthavipa, W. (2002). *Jewelry design*. The Publisher of Chulalongkorn University.

Davidson, S. (2017). *Grasshopper Algorithmic Modeling for Rhino.* Grasshopper. http://www.grasshopper3d.com/

Deb, K. (2011). *Multi-objective Optimisation Using Evolutionary Algorithms: An Introduction*. Springer London.

Dou, R., Zong, C., & Nan, G. (2016). Multi-stage interactive genetic algorithm for collaborative product customization. *Knowledge-Based Systems*, *92*, 43-54.

Hu, Z. H., Ding, Y. S., Zhang, W. B., & Yan, Q. (2008). An interactive co-evolutionary CAD system for garment pattern design. *Computer-Aided Design*, *40*(12), 1094-1104.

Insuya, J., Laokafang, P., Jitkwang, P., Chomphooja, S. & Ratanamano, S. (2016). *Adolescents and middle-aged*. Human cmu. http://human.cmu.ac.th/home/hc/ebook/006305/07-teenage.pdf

Jongyoklang, S. (2012). *Elements of jewelry design*. Blogger. http://blackevil408.blogspot.com/p/blog-page_6677.html

Kang, B. (2014). *Covetable Convertible - Art Deco Jewels*. http://revivaljewels.com/blog/2014/7/8/how-to-get-additional-wardrobe-mileage-from-your-jewellery

Kielarova, S. W., & Pradujphongphet, P. (2013). Development of generative jewelry design system using shape grammar method: a case study of jewelry ring design. *Naresuan University Journal: Science and Technology, 8*(2), 21-34.

Kielarova, S. W., & Sansri, S. (2016, December). Shape optimization in product design using interactive genetic algorithm integrated with multi-objective optimization. In *International Workshop on Multi-disciplinary Trends in Artificial Intelligence* (pp. 76-86). Springer.

Likert, R. (1961). N*ew patterns of management.* McGraw-Hill.

Lipson, H., & Shpitalni, M. (2000). Conceptual design and analysis by sketching. *AI EDAM, 14*(5), 391-401.

Lu, S., Mok, P. Y., & Jin, X. (2014). From design methodology to evolutionary design: An interactive creation of marble-like textile patterns. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, *32*, 124-135.

Martinez, S. (2016). *Dress Clips.* Lang Antiques http://university.langantiques.com/index.php/Dress_Clips

McNeel, R. (2017). *Rhinoceros*. Rhinoceros. https://www.rhino3d.com/

Mouillefarine, L., & Posseme, E. (2009). *Art deco jewelry: modernist masterworks and their makers*. Thames & Hudson.

Nayutthaya, P. (2008). *Design and analysis of experiments*. Top Publishing.

Sansri, S. (2018). *Development of generative jewelry design system with interactive evolutionary multi-objective optimization for art deco double clip brooch design* (Unpublished master's thesis). Naresuan University.

Sansri, S., & Kielarova, S. W. (2018). Multi-objective shape optimization in generative design: art deco double clip brooch jewelry design. In *IT Convergence and Security 2017* (pp. 248-255). Springer, Singapore.

Séquin, C. H. (1997). Virtual prototyping of scherk-collins saddle rings. *Leonardo, 30*(2), 89-96.

Shibuya, M., Kita, H., & Kobayashi, S. (1999). Integration of multi-objective and interactive genetic algorithms and its application to animation design. *1999 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics* (pp. 646-651). IEEE.

Singh, V., & Gu, N. (2012). Towards an integrated generative design framework. *Design studies*, *33*(2), 185-207.

Sinjaru, T. (2012). *Research and statistical analysis with SPSS and AMOS.* Business R & D Ordinary Partnership.

Soddu, C. (1994). *GENERATIVE ART*. http://www.soddu.it/design/GA_soddu_e.htm

Sun, X., Gong, D., & Zhang, W. (2012). Interactive genetic algorithms with large population and semi-supervised learning. *Applied Soft Computing*, *12*(9), 3004-3013.

Takagi, H. (2001). Interactive evolutionary computation: Fusion of the capabilities of EC optimization and human evaluation. *IEEE*, *89*(9), 1275-1296.

Takagi, H. (2001). Interactive evolutionary computation: Fusion of the capabilities of EC optimization and human evaluation. *IEEE*, *89*(9), 1275-1296.

Tang, C. Y., Fung, K. Y., Lee, E. W., Ho, G. T., Siu, K. W., & Mou, W. L. (2013). Product form design using customer perception evaluation by a combined superellipse fitting and ANN approach. *Advanced Engineering Informatics*, *27*(3), 386-394.

Vierlinger, R. (2017). *Octopus*. Octopus. http://www.food4rhino.com/app/octopus

Yamane, T. (1970). *Statistics : An Introductory Analysis*. Harper & Row.

Yotongyos, M. (2016). *Questionnaire for research.* KM_Research. www. bcn. ac. th/ web/ 2007 / KM_ Research/การสร้างแบบสอบถามเพื่อการวิจัย.pdf

Zhang, L., Zhang, L., & Wang, Y. (2016). Shape optimization of free-form buildings based on solar radiation gain and space efficiency using a multi-objective genetic algorithm in the severe cold zones of China. *Solar Energy*, *132*, 38-50.

Zitzler, E., & Thiele, L. (1999). Multiobjective evolutionary algorithms: a comparative case study and the strength Pareto approach. *IEEE transactions on Evolutionary Computation*, *3*(4), 257-271.

Zitzler, E., Laumanns, M., & Thiele, L. (2001). SPEA2: Improving the strength Pareto evolutionary algorithm. *TIK-report*, *103*.

## 9. ประวัติผู้เขียนบทความ

**นางสาวสุนิษา แสนศรี** จบการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร ระดับปริญญาโท วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยนเรศวร ผลงานวิจัยที่ผ่านมาจะเน้นด้าน ระบบออกแบบอัตโนมัติ (Generative Design) ปัจจุบันดำรงตำแหน่งสังกัดคณะโลจิสติกส์และดิจิทัลซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยนเรศวร

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมลักษณ์ วรรณฤมลกีเยลาโรว่า** สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขา Manufacturing Systems Engineering และระดับปริญญาเอก Doctor of Engineering สาขา Design and Manufacturing Engineering จาก สถาบัน Asian Institute of Technology หลังจากนั้น ได้รับทุนสนับสนุนเพื่อทำ Post doctoral research ในสาขา Jewelry Engineering ณ สถาบัน Politechico di Torino ประเทศอิตาลี เริ่มรับราชการเป็นอาจารย์ประจำสังกัดภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 โดยมีผลงานวิจัยทางด้าน การพัฒนาระบบออกแบบอัตโนมัติ (Generative Design), การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design), การออกแบบเชิงพาราเมตริก (Parametric Design) และ Artificial Intelligence for Product Design