

การพัฒนาระบบออกแบบอัตโนมัติ โดยใช้วิธีไวยากรณ์รูปร่าง

กรณีศึกษาการออกแบบเครื่องประดับ

ประภัศกร ประคองพงษ์เพชร และสมลักษณ์ วรรณฤมล กีเขลาโรว่า*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000 E-mail: somlakw@nu.ac.th

บทคัดย่อ – บทความวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอการพัฒนาระบบออกแบบอัตโนมัติโดยอาศัยหลักการไวยากรณ์รูปร่างเพื่อประยุกต์ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้กระบวนการออกแบบแนวคิด สามารถใช้ในการสำรวจรูปร่างที่ใช้การออกแบบและสร้างแรงบันดาลใจให้นักออกแบบ โดยได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของรูปร่างในขั้นตอนการออกแบบเครื่องประดับ ศึกษาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากรูปร่างเริ่มต้นไปเป็นรูปร่างเป้าหมาย ซึ่งการเปลี่ยนแปลงอย่างมีตรรกะของโครงร่างเส้นโค้งสามารถอธิบายได้ด้วยไวยากรณ์รูปร่างและกฎรูปร่าง จากผลการทดลองการวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง พบว่าผลกระทบร่วมของสองพารามิเตอร์ ได้แก่ จำนวนของการแบ่งช่วงเส้นและจำนวนการประยุกต์ใช้กฎรูปร่างมีอิทธิพลต่อความพึงพอใจของผู้สวมใส่เครื่องประดับแหวนต่อรูปทรงของเครื่องประดับแหวน และการออกแบบด้วยระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติใช้เวลาน้อยกว่าการออกแบบด้วยมือบนโปรแกรม คิดเป็น 30 เท่า โดยผลลัพธ์ของการศึกษานี้ถูกนำมาใช้เพื่อพัฒนาระบบการออกแบบอัตโนมัติสำหรับสร้างรูปทรงสามมิติโดยใช้เซตของกฎรูปร่างในจำนวนจำกัดที่กำหนดไว้ภายใต้ไวยากรณ์รูปร่าง ในบทความวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวอย่างของการออกแบบเครื่องประดับแหวนที่สร้างขึ้นโดยใช้วิธีไวยากรณ์รูปร่างและระบบการออกแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น

คำสำคัญ – ระบบการออกแบบอัตโนมัติ ไวยากรณ์รูปร่าง การออกแบบเครื่องประดับ

Abstract – This paper proposes a generative design system based on shape grammar. It aims to use for

jewelry design application. The system is aimed to support designers during exploring shapes in conceptual design, and as a source of inspiration. We studied shape transformations in jewelry design process to identify how shapes are transformed from one state to another. Shape grammar and shape rules are used to explain the transformations of curved outlines in a logical manner. The experimental results indicates that the interaction of both parameters (number of piecewise lines and number of shape rule applications) influence on the satisfaction of wearers onto jewelry ring shapes. Comparing to design by hand, the proposed automatic design system spends shorter time less than 30 times to generate a set of preference shapes. The proposed system creates 3D new shapes based on a finite set of shape rules defined within a shape grammar by applying transformations to primitive elements. Some examples of jewelry ring designs generated by the proposed system are illustrated in the paper.

Keywords – Generative design, shape grammar, jewelry design

1. บทนำ

กระบวนการออกแบบเครื่องประดับเป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยทักษะในหลายด้าน ได้แก่ พื้นฐานในการออกแบบ ความคิดสร้างสรรค์ การสร้างสมดุล การวาดรูปการวิเคราะห์ความรู้ทางด้านวัสดุเทคนิค และกระบวนการผลิต

*Corresponding Author

เครื่องประดับ [1, 2] ซึ่งกระบวนการออกแบบเครื่องประดับสามารถทำได้โดยการวาดภาพหรือสเก็ตช์ (Sketch) ด้วยมือและการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer-Aided Design; CAD)

ในปัจจุบัน CAD เข้ามามีบทบาทสำคัญในกระบวนการออกแบบเพื่ออำนวยความสะดวกในการสร้างและแก้ไขโมเดลซึ่งในขั้นตอนการออกแบบแนวความคิด (Conceptual Design) นักออกแบบจะทำการสเก็ตช์แบบหลากหลายแบบ เพื่อกระตุ้นแนวความคิดสร้างสรรค์ ดังนั้นการพัฒนาระบบที่สามารถสร้างรูปแบบที่มีความหลากหลายโดยอัตโนมัติหรือเรียกว่า Generative Design System (GD) จึงเป็นสิ่งสำคัญและน่าสนใจ ในขั้นตอนการออกแบบแนวความคิด ระบบออกแบบโดยอัตโนมัติเป็นเครื่องมือที่ช่วยตอบโจทย์นี้เพราะสามารถสร้างรูปทรงที่มีความหลากหลายจำนวนมากๆ ได้อย่างรวดเร็วและช่วยสร้างกระบวนการออกแบบที่สามารถลดเวลาลงได้

ในกระบวนการออกแบบการสร้างแนวความคิด (Idea Creation) ใหม่มีความสำคัญอย่างมาก ซึ่งในระบบออกแบบอัตโนมัติมีวิธียาकरणรูปร่างเป็นเทคนิคหนึ่งที่น่าสนใจเพราะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาสำหรับการออกแบบ ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติโดยใช้วิธียาकरणรูปร่างและระบบสามารถสร้างรูปทรงของเครื่องประดับแหวนที่มีความหลากหลายได้เป็นจำนวนมาก

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบเครื่องประดับ

การออกแบบเครื่องประดับเป็นการนำเสนอความคิดเพื่อแสดงออกในการสร้างสรรค์สิ่งใหม่อาจจะมีการปรับปรุงแก้ไขสิ่งเดิมที่มีอยู่ให้เหมาะสมกับประโยชน์ใช้สอย และมีการเปลี่ยนแปลงตามยุคสมัย [3] การออกแบบเครื่องประดับในปัจจุบันสามารถทำได้ทั้งโดยการวาดภาพด้วยมือและการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่างๆ มาช่วยในการออกแบบ ซึ่งมีให้เลือกใช้ได้ตามความต้องการและความถนัดของนักออกแบบ

2.1.1 การออกแบบด้วยมือ

การออกแบบด้วยมือหรือการวาดแบบร่างด้วยมือเป็น

วิธีการที่นิยมใช้ของนักออกแบบสำหรับขั้นตอนเริ่มต้นในการออกแบบต่างๆ และมักถูกใช้บ่อยในการบันทึกไอเดียเพื่อใช้ในภายหลังได้อย่างรวดเร็ว และเพื่อสำรวจทางเลือกของการออกแบบ [4] เนื่องจากสะดวกและมีค่าใช้จ่ายต่ำ

2.1.2 การออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์

ในปัจจุบันระบบ CAD เป็นเทคโนโลยีที่ถูกนำมาเพื่อช่วยสร้าง วิเคราะห์ ประเมิน และแก้ไขโมเดลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และรวดเร็ว ช่วยลดเวลาในกระบวนการออกแบบและผลิตระบบ CAD [5] สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องจักรกลอัตโนมัติที่สามารถสร้างต้นแบบโดยอัตโนมัติแทนการสร้างต้นแบบด้วยมือ

ระบบ CAD มีการสร้างโมเดลในลักษณะ Solid Modeling และ Surface Modeling ซึ่ง Surface Modeling เหมาะกับการสร้างวัตถุสามมิติที่มีพื้นผิวเป็นส่วนเว้าส่วนโค้ง พื้นผิวที่ไม่ราบเรียบ และพื้นผิวอิสระ (Freeform Surface) โดยระบบ CAD มีวิธีการสร้างโมเดลแบบพื้นผิวมีหลากหลายวิธี เช่น Loft สวิป (Sweep) เครือข่ายเส้นโค้ง (Curve Network) และอื่นๆ เป็นต้น [6]

ในกระบวนการออกแบบเครื่องประดับแหวนไม่ว่าจะเป็นการออกแบบด้วยมือและคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นเทคนิคพื้นฐานสำหรับนำมาสู่การพัฒนาวิธียาकरणรูปร่างและกฎรูปร่างสำหรับงานวิจัยนี้

2.2 ระบบออกแบบอัตโนมัติ

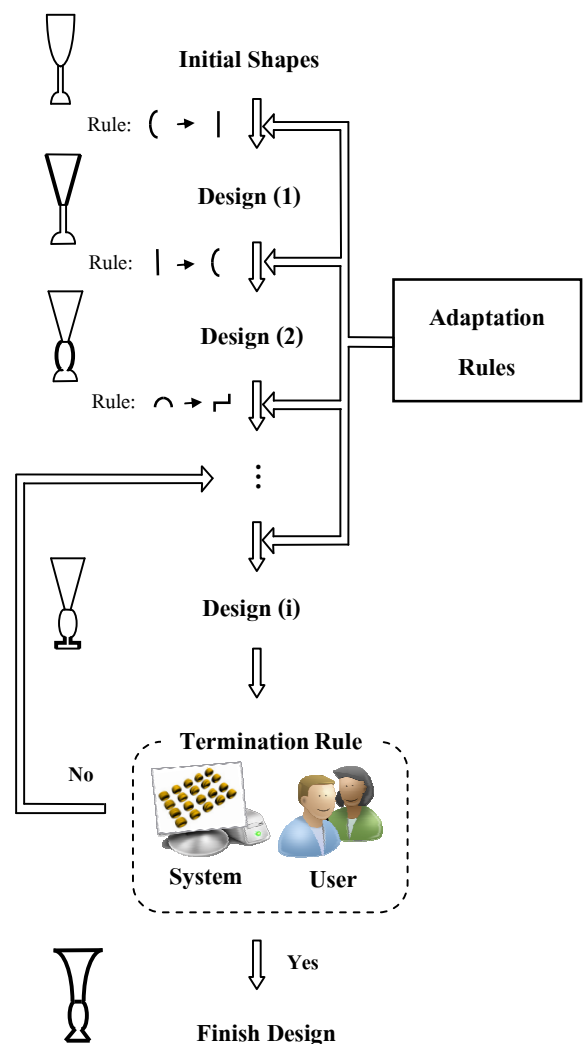
ระบบออกแบบอัตโนมัติเป็นวิธีการเชิงคำนวณในขั้นตอนการออกแบบเพื่อสนับสนุนนักออกแบบและ(หรือ) สร้างรูปร่างในกระบวนการออกแบบ ระบบออกแบบอัตโนมัติมีความสามารถในการสำรวจพื้นที่การออกแบบขนาดใหญ่ และสนับสนุนการสร้างการออกแบบที่มีประสิทธิภาพ เช่น การออกแบบในระยะเวลาจำกัด ซึ่งได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหาของการเริ่มต้นออกแบบโดยมีเทคนิคมากมายสำหรับการสร้างกระบวนการออกแบบ ซึ่งเทคนิคดังกล่าวถูกสำรวจโดย Singh และ Gu ในปี ค.ศ. 2012 โดยระบบออกแบบอัตโนมัติที่นิยมใช้มี 5 เทคนิค ได้แก่ ระบบแอล (L-Systems; LS) เซลลูลาร์ออโตมาตา (Cellular Automata; CA) ขั้นตอน

วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms; GA) ปัญญารวมหมู่ (Swarm Intelligence; SI) และไวยากรณ์รูปร่าง (Shape Grammars; SG) [7] ซึ่งวิธีไวยากรณ์รูปร่างถูกนำมาพัฒนาในกระบวนการออกแบบหลายด้าน อาทิ ด้านจิตรกรรมและประติมากรรม [8] ด้านการออกแบบทางสถาปัตยกรรม เช่น การวางแผนผังบ้านสไตล์พาล-เลเดียน [9] และสไตล์แพร์รี [10] การออกแบบทางวิศวกรรม เช่น การออกแบบโครงสร้าง [11] และไวยากรณ์โมโครเทคโนโลยี [12] และในงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในงานออกแบบซึ่งที่ผ่านมาได้มีผู้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เช่น การออกแบบเครื่องชงกาแฟ [13] รถจักรยานยนต์ฮาร์เลย์เดวิดสัน [14] ขวดโคคา-โคล่าและขวดแชมพูเซดแอนด์โซว์เดอร์ [15] ขวดบรรจุภัณฑ์ [16] และลายปักผ้าเชื้อชาติยูนนาน [17]

2.3 ไวยากรณ์รูปร่าง

ไวยากรณ์รูปร่างเป็นวิธีการสร้างเซตขอบเขตของการออกแบบหรือเรียกว่า ภาษาออกแบบ ซึ่งมีการกำหนดเซตขอบเขตของรูปร่างและกฎรูปร่างในกระบวนการออกแบบ โดยเริ่มต้นจากการสร้างรูปทรงเริ่มต้น จากนั้นมีการประยุกต์ใช้กฎรูปร่างทีละขั้นตอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนมีการประยุกต์ใช้กฎอย่างน้อย 1 กฎรูปร่าง และมีการประยุกต์ใช้อย่างต่อเนื่อง เพื่อพัฒนาและเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยทำการประยุกต์ใช้กฎจนกว่าระบบหรือผู้ใช้งานสั่งหยุดทำงาน [13, 18] ดังแสดงในรูปที่ 1

ไวยากรณ์รูปร่างสามารถประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์ อธิบาย และสร้างกระบวนการออกแบบความคิดสร้างสรรค์ [19] ซึ่งมีส่วนประกอบพื้นฐานทั้งหมด 4 ส่วน ได้แก่ V_T , V_M , R และ I โดยที่ V_T คือ เซตขอบเขตของรูปร่าง V_M คือ เซตขอบเขตของสัญลักษณ์ R คือ เซตขอบเขตของกฎรูปร่าง และ I คือ รูปร่างเริ่มต้น [20, 21] และไวยากรณ์รูปร่างยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานและคอมพิวเตอร์ เพื่อกระตุ้นแนวความคิดสร้างสรรค์ [14, 15]



รูปที่ 1 แผนภาพการไหลของกระบวนการออกแบบพื้นวิธีการไวยากรณ์รูปร่าง

2.3.1 กฎรูปร่าง

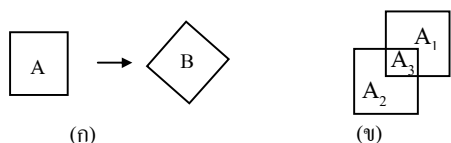
กฎรูปร่างเป็นการกำหนดวิธีการหรือส่วนหนึ่งของรูปร่างที่มีอยู่ ซึ่งรูปร่างนั้นสามารถมีการเปลี่ยนแปลงได้ กฎรูปร่างประกอบด้วย 2 ส่วนที่แยกออกจากกัน โดยถูกสร้างขึ้นจากซ้ายไปขวา ซึ่งด้านซ้ายมือแสดงให้เห็นเงื่อนไขของรูปร่างและเครื่องหมายระบุตำแหน่ง ส่วนด้านขวามือแสดงให้เห็นวิธีการทำให้รูปร่างด้านซ้ายมือมีการเปลี่ยนแปลงโดยใช้กฎรูปร่างเป็นกฎการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง A เป็น B เมื่อรูปร่างถูกหมุนรอบจุดศูนย์กลางของรูปร่าง 45 องศา จะได้รูปร่างที่

เปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในรูปที่ 2ก และรูปร่างเริ่มต้นสามารถวิเคราะห์หรือแสดงให้เห็นรูปร่างย่อย (Sub-Shape) ได้ 3 รูปร่าง คือ A_1 , A_2 และ A_3 ดังแสดงในรูปที่ 2ข

ในรูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้กฎรูปร่างสำหรับรูปร่างเริ่มต้นมี 3 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 มีการประยุกต์ใช้กฎรูปร่างไปยังรูปร่าง A_1 เท่านั้น กรณีที่ 2 มีการประยุกต์ใช้กฎรูปร่างไปยังรูปร่างทั้งรูปร่าง A_1 และ A_2 พร้อมกัน และกรณีที่ 3 มีการประยุกต์ใช้กฎรูปร่างไปยังรูปร่าง A_3 เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3ก, 3ข และ 3ค ตามลำดับ ซึ่งจะสร้างรูปร่างสุดท้ายที่มีความแตกต่างกัน [4]

ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอกฎประเภทใหม่เรียกว่า กฎเชิงเส้นเป็นช่วง (Piecewise Line-Rule) [4] ใช้ร่วมกับกฎการย่อยเพื่ออธิบายและเปลี่ยนแปลงเส้นโค้งโครงร่างและการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยการใช้กฎรูปร่างทั่วไป

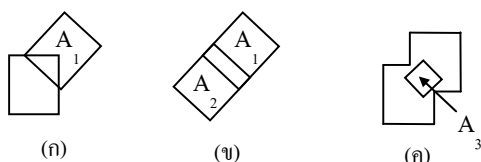
ตัวอย่าง เช่น การเปลี่ยนแปลงโครงร่าง (Outline Transformation) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (Structure Transformation) การเพิ่ม (Add Element) การลบ (Delete Element) การตัด (Cut Element) และการแทนที่ (Substitute Element) [4] ซึ่งเทคนิคดังกล่าว สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาระบบออกแบบอัตโนมัติเพื่อสร้างทางเลือกในการออกแบบได้



รูปที่ 2 ตัวอย่างของกฎรูปร่างและรูปร่างเริ่มต้น [4]

หมายเหตุ: (ก) กฎรูปร่าง

(ข) รูปร่างเริ่มต้น



รูปที่ 3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้กฎรูปร่าง [4]

หมายเหตุ: (ก) ประยุกต์ใช้กฎรูปร่างไปยังรูปร่าง A_1

(ข) ประยุกต์ใช้กฎรูปร่างไปยังรูปร่าง A_1 และ A_2

(ค) ประยุกต์ใช้กฎรูปร่างไปยังรูปร่าง A_3

2.4 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง เป็นการออกแบบการทดสอบ ซึ่งอาจจะทำเพียงครั้งเดียวหรือแบบต่อเนื่อง โดยเปลี่ยนแปลงตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่กำลังศึกษา เพื่อที่จะสามารถสังเกตและบ่งชี้ถึงสาเหตุที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Output or Responses) จากกระบวนการหรือระบบ [22]

การออกแบบการทดลองมีหลายประเภท ซึ่งการทดลองแบบแฟกทอเรียล (Factorial Experiment) เป็นวิธีการทดลองที่ใช้ในการออกแบบการทดลองสำหรับการศึกษาผลกระทบระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัยขึ้นไป ใช้สำหรับศึกษาจำนวนปัจจัยที่ไม่จำกัด และศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ ผลกระทบหลักหรือผลกระทบปัจจัยเดียว (Main Effects) และผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Interaction) เป็นต้น [22]

2.4.1 การออกแบบสอบถาม

แบบสอบถาม (Questionnaire) เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในงานวิจัยแบบสำรวจ โดยมีความคล้ายกับแบบทดสอบ แต่แตกต่างกันตรงที่แบบสอบถามจะเน้นถามความเป็นจริง (Fact) ของตัวผู้ตอบ และความรู้สึกรู้สึกนึกคิดของผู้ตอบต่อเหตุการณ์หรือสถานการณ์ต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ของแบบสอบถาม [23]

2.4.2 การทดสอบสมมติฐานและทฤษฎีทางสถิติ

สมมติฐานทางสถิติ เป็นสมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบค่าทางสถิติโดยแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ สมมติฐานหลัก (H_0) และสมมติฐานรอง (H_1) [22, 24]

2.4.2.1 การทดสอบสมมติฐาน

หากผู้วิจัยมีการตั้งสมมติฐานในงานวิจัยไว้ จะต้องมีการทดสอบสมมติฐานการวิจัยนั้นว่าผลการวิจัยเป็นไปตามสมมติฐานการวิจัยที่ตั้งไว้หรือไม่ โดยจะต้องพิจารณาพร้อมกับระดับความมีนัยสำคัญ (α) ระดับความเชื่อมั่น ขอบเขตวิกฤต และค่าวิกฤต [22, 24]

2.4.2.2 ทฤษฎีทางสถิติ

สถิติ ประกอบด้วย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล (Data Collection) การนำเสนอข้อมูล (Data Presentation) การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) อย่างเป็นระบบ ค่าสถิติเป็นเครื่องมือช่วยในการอธิบายพฤติกรรมของระบบ เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยตัวสถิติที่นิยมนำมาใช้ในการทดสอบสมมติฐาน ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: Anova) และ F-test [22, 24]

ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง (Sample Mean) คือ วิธีการหนึ่งในการคำนวณหาค่ากลางของข้อมูล เช่น ถ้ามีข้อมูล $x_1, x_2, \dots, x_n$ รวม n ตัว ดังสมการ (1)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_n}{n} \quad (1)$$

เมื่อ $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) ของตัวอย่าง
 n คือ จำนวนหรือขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คำนวณได้จากการคำนวณค่ารากที่สองของผลรวมของความแตกต่างระหว่างข้อมูลดิบกับค่าเฉลี่ยยกกำลังสอง (Sum of Squares ของผลต่าง) หาด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด สำหรับข้อมูลที่ได้จากกลุ่มตัวอย่างดังสมการ (2)

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

เมื่อ S คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
 x คือ ข้อมูลแต่ละจำนวน
 $\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) ของข้อมูลในชุดนั้น
 n คือ จำนวนข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง [22, 24]

3. การดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ทำการปรับปรุงและพัฒนากระบวนการจากงานวิจัยก่อนหน้า [25, 26] มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังแสดงในรูปที่ 4 อธิบายได้ดังต่อไปนี้

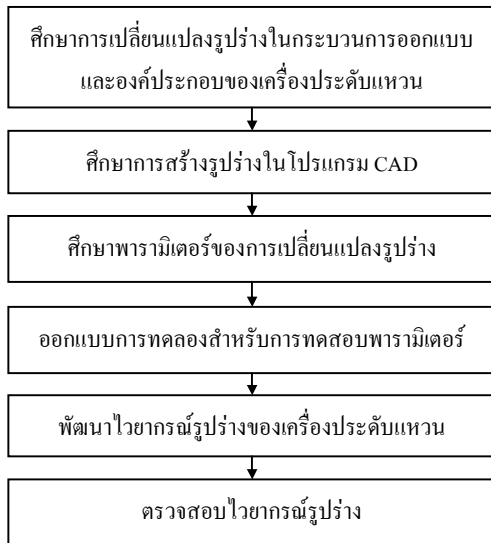
1. เริ่มต้นจากการวิเคราะห์องค์ประกอบของเครื่องประดับแหวน โดยทำการศึกษารูปทรงของเครื่องประดับแหวนที่มีอยู่ในท้องตลาดปัจจุบัน จำนวน 500 รูปทรง จากแหล่งข้อมูลที่แตกต่างกันไป เช่น ตำรา หนังสือ วารสาร และเว็บไซต์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องประดับ และเก็บรวบรวมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในกระบวนการออกแบบเครื่องประดับแหวนของนักออกแบบ พบว่าสามารถใช้ประโยชน์จากรูปร่างหรือรูปร่างย่อยในการพัฒนารูปร่างเริ่มต้นไปเป็นรูปร่างเป้าหมายได้

2. ศึกษาการสร้างรูปร่างในโปรแกรมเพื่อช่วยในการออกแบบ Rhinoceros 5.0 โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ศึกษากระบวนการทำงานของภาษาวิบีสคริปต์ และการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติ

3. ศึกษาพารามิเตอร์และเก็บรวบรวมพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในกระบวนการออกแบบเครื่องประดับแหวน โดยทำการสังเกตพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง

4. พัฒนาระบบออกแบบเครื่องประดับโดยอัตโนมัติด้วยวิธีการไวยากรณ์รูปร่างสำหรับการออกแบบเครื่องประดับแหวน

5. ออกแบบการทดลองสำหรับทดสอบพารามิเตอร์ โดยการทดลองแฟคทอเรียลและทำการประเมินความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่มีความหลากหลายโดยแบบสอบถามจากกลุ่มตัวอย่างในช่วงอายุ 18-25 ปี และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์และวิจัยข้อมูลทางสถิติ



รูปที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

6. ทำการตรวจสอบความถูกต้องของไวเยอร์รูปร่างโดยวิธีการนำผลลัพธ์ที่ได้จากระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติเปรียบเทียบกับการวาดด้วยมือบนโปรแกรม Rhinoceros 5.0

4. วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การสำรวจการทดลอง

ผลลัพธ์ที่ได้จากการสังเกตและการสัมภาษณ์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ กระบวนการสังเกตในการออกแบบเครื่องประดับ ที่มาของการสำรวจและแรงบันดาลใจสำหรับการออกแบบเครื่องประดับ และการเปลี่ยนของรูปร่างในการสังเกตโดยมีรายละเอียดของผลลัพธ์ ดังต่อไปนี้

การออกแบบเครื่องประดับมีขั้นตอนการออกแบบเช่นเดียวกับกระบวนการออกแบบอุตสาหกรรมอื่นๆ คือ ต้องอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างความสวยงามและฟังก์ชันการทำงาน ซึ่งในกระบวนการออกแบบจะเกี่ยวข้องกับความคิดสร้างสรรค์ การวิเคราะห์และการพัฒนา โดยกระบวนการออกแบบเครื่องประดับมักเริ่มต้นด้วยกรอบแนวความคิดการออกแบบที่ถูกกำหนดโดยลูกค้าหรือบริษัทเครื่องประดับ นักออกแบบส่วนใหญ่นิยมออกแบบเครื่องประดับด้วยการ sketch ด้วยมือก่อน และจึงสร้างรายละเอียดของการออกแบบ โดยใช้ระบบ CAD ในภายหลัง

4.2 การเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

ผลลัพธ์ที่ได้จากการสังเกตในการสังเกตกระบวนการออกแบบเครื่องประดับ นักออกแบบสร้างการออกแบบใหม่บนพื้นฐานการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง กฎไวเยอร์รูปร่างส่วนใหญ่ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนแปลงรูปร่างมีดังต่อไปนี้

- การย้าย (Move): เป็นการย้ายรูปร่างไปยังตำแหน่งอื่นๆ
- การหมุน (Rotate): เป็นการหมุนรูปร่างรอบจุดศูนย์กลางหรือแกน
- การปรับขนาด (Scale): เป็นการเปลี่ยนขนาดตามสัดส่วน
- การสะท้อน (Mirror): เป็นการสะท้อนรูปร่างที่อยู่ในแนวอนหรือแนวตั้ง
- การรวม (Combine): เป็นการรวมรูปร่างอย่างน้อย 2 รูปร่าง เพื่อให้เกิดรูปร่างใหม่

กฎไวเยอร์รูปร่างที่ใช้ในการออกแบบเครื่องประดับมีความคล้ายคลึงกับกฎรูปร่างทั่วไปดังแสดงในตารางที่ 1 [4, 19, 27]

ตารางที่ 1 ตารางสัญลักษณ์และความหมายของพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ความหมาย
R_{Ba}	โค้งนูนขึ้นหรือโค้งขึ้น (Bend Convex)
R_{Bb}	โค้งเว้าลงหรือโค้งลง (Bend Concave)
R_S	ตรง (Straighten)
R_{CL}	การเปลี่ยนความยาว (Change Length)
R_{CW}	การเปลี่ยนความกว้าง (Change Width)
R_{CA}	การเปลี่ยนมุม (Change Angles)
R_M	การสะท้อน (Mirror)
R_{CSP}	การเปลี่ยนตำแหน่งรูปร่าง (Move)
R_{COS}	การรวมรูปร่าง 2 รูปร่างขึ้นไป (Combine Shapes)
R_{SS}	การแยกรูปร่าง (Split Shape)
R_{SU}	การแทนที่ (Substitute)
R_A	การเพิ่ม (Add)
R_D	การลบออก (Delete)
R_C	การตัด (Cut)
R_{RO}	การหมุน (Rotate)
R_{CO}	การคัดลอก (Copy)
R_{CS}	การเปลี่ยนขนาดหรือสัดส่วน (Change Scale)
R_{CT}	การรวมกฎการเปลี่ยนแปลง (Combine of Transformations)

4.3 การพัฒนาระบบออกแบบอัตโนมัติโดยใช้วิธีไวยากรณ์รูปร่าง

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาระบบออกแบบอัตโนมัติด้วยวิธีสคริปต์ (Visual Basic Script) บนโปรแกรม Rhinoceros 5.0 สำหรับสร้างรูปทรงของเครื่องประดับแหวนการพัฒนาไวยากรณ์รูปร่างประกอบด้วยการสร้างของกฎรูปร่างและกลไกการควบคุม

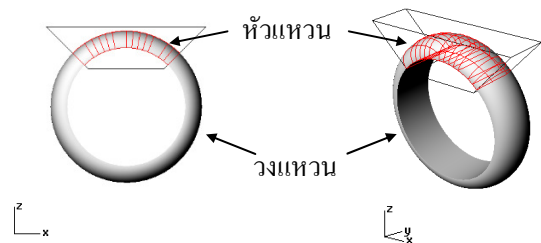
จากการศึกษาองค์ประกอบและวิเคราะห์รูปทรงของเครื่องประดับแหวน สามารถกำหนดขอบเขตและพื้นที่สีแดงดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่สามารถการเปลี่ยนแปลงรูปทรงเครื่องประดับแหวนได้หรือเรียกว่าบริเวณหัวแหวน โดยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 25 ของพื้นที่ทั้งหมด ในรูปที่ 6 รูปด้านซ้ายมือแสดงรูปทรงเริ่มต้นและรูปด้านขวามือแสดงโครงร่างของมัน โดยที่เส้นหน้าตัดสีแดงคือรูปร่างเริ่มต้นเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กฎรูปร่าง

ไวยากรณ์รูปร่างและกฎรูปร่างได้มาจากการสำรวจการสเกッチด้วยมือ กระบวนการออกแบบเครื่องประดับ และเทคนิคการสร้างพื้นผิวโมเดล โดยวิธีไวยากรณ์รูปร่างมีการทดสอบแก้ไข และกลั่นกรองเพื่อผลิตภาษาพื้นฐานของการออกแบบเครื่องประดับ ซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะสร้างไวยากรณ์รูปร่างซึ่งสามารถครอบคลุมการออกแบบเครื่องประดับทั้งหมดได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเริ่มต้นด้วยการศึกษาไวยากรณ์รูปร่างในการออกแบบเครื่องประดับขั้นพื้นฐานมากกว่ารูปแบบเฉพาะเจาะจง อย่างไรก็ตาม ไวยากรณ์รูปร่างของรูปแบบเฉพาะเจาะจงสามารถพัฒนาและรวมเข้าไปในระบบได้ในภายหลัง

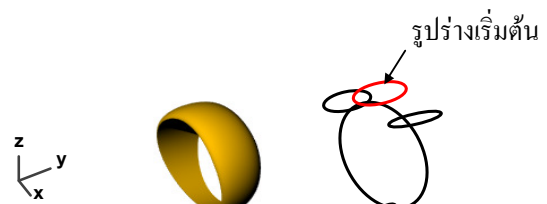
ไวยากรณ์รูปร่างประยุกต์ใช้ในการออกแบบรูปทรงของเครื่องประดับแหวน โดยมีการกำหนดของกฎรูปร่างและเงื่อนไขการจับคู่รูปร่างหรือรูปร่างย่อย ตัวอย่างเช่น กฎโค้งขึ้น (R_{Ba}) ทำให้เกิดรูปร่างโค้งงูขึ้นและกฎตรง (R_S) ทำให้เกิดรูปร่างตรงดังแสดงในรูปที่ 7

ในการประยุกต์ใช้กฎรูปร่างโดยทำการประยุกต์ใช้กฎแยกรูปร่าง (R_{SS}) เพื่อทำการแบ่งเส้นในรูปร่างเริ่มต้นทำให้เกิดรูปร่างย่อย และนำเซตของกฎรูปร่างมาประยุกต์ใช้ในรูปร่างย่อย (ช่วงของเส้น) เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง เมื่อนำเซตของกฎรูปร่างมาประยุกต์ในหน้าตัดของเครื่องประดับแหวน พบว่าเกิดรูปทรงเครื่องประดับแหวนใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 8 และระบบออกแบบอัตโนมัติสามารถสร้างรูปทรงเครื่องประดับที่มี

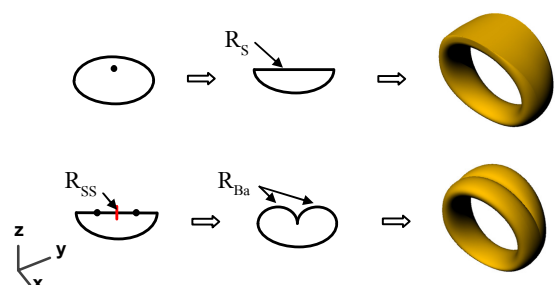
ความแตกต่างกันโดยมีการเปลี่ยนแปลงส่วนของหัวแหวนตามแนวแกน Y



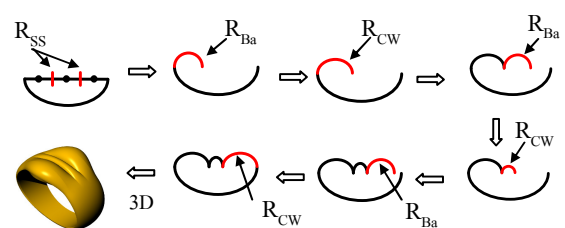
รูปที่ 5 ขอบเขตและพื้นที่ของเครื่องประดับแหวนแบบสองมิติ (รูปด้านซ้ายมือ) และสามมิติ (รูปด้านขวามือ)



รูปที่ 6 รูปทรงเครื่องประดับแหวนเริ่มต้น



รูปที่ 7 ตัวอย่างการประยุกต์วิธีไวยากรณ์รูปร่างโดยใช้กฎรูปร่าง R_{Ba} และกฎ R_S



รูปที่ 8 ตัวอย่างการประยุกต์วิธีไวยากรณ์รูปร่างโดยใช้กฎรูปร่าง R_{SS} , R_{Ba} และ R_{CW}

4.4 ผลการทดลอง

ผลการทดลองจากการพัฒนาระบบออกแบบเครื่องประดับโดยอัตโนมัติแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ผลการทดลองจากการศึกษาพารามิเตอร์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของรูปร่าง และส่วนที่ 2 ผลการทดลองจากระบบออกแบบโดยอัตโนมัติเปรียบเทียบกับกรวดด้วยมือบนโปรแกรม Rhinoceros 5.0

4.4.1 ผลการทดลองจากการศึกษาพารามิเตอร์

ผลลัพธ์ที่ได้จากการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างหลังจากประยุกต์ใช้กฎรูปร่าง โดยมีรายละเอียดพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

X_1 คือ จำนวนของการแบ่งช่วงเส้น

X_2 คือ จำนวนการประยุกต์ใช้กฎรูปร่าง

$\bar{X}$ คือ ค่าเฉลี่ยของความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวน

S.D. คือ ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวน

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแฟกทอเรียลพารามิเตอร์ X_1 มี 5 ระดับ และพารามิเตอร์ X_2 มี 3 ระดับ เริ่มต้นทำการสุ่มตัวอย่างรูปทรงเครื่องประดับแหวน 20 รูปทรง จากนั้นทำการประเมินรูปทรงเครื่องประดับแหวนโดยแบบสอบถามจำนวน 33 ชุดข้อมูล จากกลุ่มตัวอย่างในช่วงอายุ 18-25 ปี โดยการเก็บข้อมูลได้จากการนำเสนอข้อมูล 2 ประเภท ได้แก่ การนำเสนอข้อมูลรูปทรงสามมิติบนโปรแกรมประยุกต์ใช้งาน iRhino 3D บน iPad จำนวน 23 ชุดข้อมูล และการนำเสนอข้อมูลรูปทรงสามมิติแบบออนไลน์จำนวน 10 ชุดข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า รูปทรงที่ 6 ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ $X_1 = 2$, $X_{11} = 2$, $X_{12} = 4$, $X_2 = 1$, $X_{21} = 0$, $X_{31} = -1$ ได้คะแนนเฉลี่ยสูงสุด 3.79 คะแนน ดังแสดงในรูปที่ 9 และรูปทรงที่ 15 ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ $X_1 = 4$, $X_{11} = 2$, $X_{12} = 2$, $X_{13} = 0$, $X_{14} = 1$, $X_2 = 2$, $X_{21} = 4$, $X_{22} = 0$, $X_{31} = 2$, $X_{32} = 1$ ได้คะแนนเฉลี่ยน้อยสุด 2.33 คะแนน ดังแสดงในรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่า กลุ่มตัวอย่างที่ได้ทำการสำรวจมีความนิยมและชอบรูปร่างที่มีความเรียบง่ายมากกว่ารูปร่างที่มีลวดลายซับซ้อน

ได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์และวิจัยข้อมูลทางสถิติ Minitab 16 โดยการทดลองแฟกทอเรียลโดยทำ

การตั้งสมมติฐานวัตถุประสงค์ 3 ข้อดังนี้

วัตถุประสงค์ที่ 1 พารามิเตอร์ X_1 ส่งผลต่อความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวนหรือไม่

H_0 : พารามิเตอร์ X_1 ไม่ส่งผลต่อความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวน

H_1 : พารามิเตอร์ X_1 ส่งผลต่อความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวน

ผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ X_1 โดยค่า p-value ของพารามิเตอร์ $X_1 = 0.207 > 0.05$ ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่ายอมรับ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_1 (จำนวนการแบ่งช่วงของเส้น) ไม่ส่งผลต่อความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวน

วัตถุประสงค์ที่ 2 พารามิเตอร์ X_2 ส่งผลต่อความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวนหรือไม่

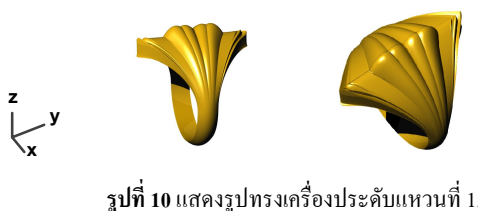
H_0 : พารามิเตอร์ X_2 ไม่ส่งผลต่อความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวน

H_1 : พารามิเตอร์ X_2 ส่งผลต่อความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวน

ผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ X_2 โดยค่า p-value ของพารามิเตอร์ $X_2 = 0.000 < 0.05$ ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าปฏิเสธ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_2 (จำนวนการประยุกต์ใช้กฎรูปร่าง) ส่งผลต่อความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวน



รูปที่ 9 แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ 6



รูปที่ 10 แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ 15

ตารางที่ 2 แสดงการทดลองและผลการทดลอง

รูปทรง	X_1	X_2	$\bar{X}$	S.D.
1	1	0	3.18	1.10
2	1	1	2.39	1.03
3	1	2	3.09	1.07
4	1	3	3.06	0.97
5	2	0	3.18	1.21
6	2	1	3.79	1.08
7	2	2	2.48	1.15
8	2	3	3.27	1.23
9	3	0	3.24	1.25
10	3	1	3.18	0.98
11	3	2	2.52	1.28
12	3	3	2.52	1.23
13	4	0	3.58	1.17
14	4	1	2.82	0.92
15	4	2	2.33	1.22
16	4	3	3.06	1.06
17	5	0	3.24	1.06
18	5	1	2.97	1.16
19	5	2	3.09	1.31
20	5	3	2.55	1.18

วัตถุประสงค์ที่ 3 พารามิเตอร์ X_1 และ X_2 ส่งผลต่อความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวนหรือไม่

H_0 : พารามิเตอร์ X_1 และ X_2 ไม่ส่งผลต่อความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวน

H_1 : พารามิเตอร์ X_1 และ X_2 ส่งผลต่อความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวน

ผลจากการวิเคราะห์ผลกระทบรวมของพารามิเตอร์ X_1 และ X_2 โดยค่า p-value ของผลกระทบรวมพารามิเตอร์ X_1 และ $X_2 = 0.000 < 0.05$ ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่าปฏิเสธ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_1 และ X_2 ส่งผลต่อความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวน

ตารางที่ 3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนสำหรับศึกษาความพึงพอใจของ

รูปทรงเครื่องประดับแหวน

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
X_1	4	7.652	7.652	1.913	1.48	0.207
X_2	3	29.714	29.714	9.905	7.65	0.000
$X_1 * X_2$	12	63.112	63.112	5.259	4.06	0.000
Error	640	828.18	828.18	1.294		
Total	659	928.65				

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างในช่วงอายุ 18-25 ปี ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายของงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่า เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ X_1 ตัวเดียวจะไม่ส่งผลต่อความพึงพอใจรูปทรงเครื่องประดับแหวน แต่เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ X_1 และพารามิเตอร์ X_2 ร่วมกัน หรือผลกระทบร่วมของสองพารามิเตอร์จะมีอิทธิพลต่อความพึงพอใจรูปทรงเครื่องประดับแหวนเนื่องจากการแบ่งช่วงของเส้น กฏรูปร่างจะถูกเรียกมาประยุกต์ใช้ทุกครั้ง ทำให้การแบ่งช่วงของเส้นและจำนวนการประยุกต์ใช้กฎรูปร่าง เมื่อนำมาใช้ร่วมกันจึงส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้สวมใส่ต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวน

4.4.2 ระบบออกแบบเครื่องประดับโดยอัตโนมัติโดยใช้วิธีการไวยากรณ์รูปร่าง

จากการพัฒนาระบบออกแบบเครื่องประดับโดยอัตโนมัติโดยใช้วิธีไวยากรณ์รูปร่าง มีขั้นตอนการทำงานและภาพรวมของระบบออกแบบเครื่องประดับโดยอัตโนมัติดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การรับข้อมูลนำเข้า (Input Data) ระบบทำการรับข้อมูลนำเข้าจากผู้ใช้งานโดยให้ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลนำเข้าให้กับระบบออกแบบเครื่องประดับโดยอัตโนมัติ ข้อมูลนำเข้า ประกอบด้วยขนาดเส้นรอบวงของวงแหวน และจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวน เป็นต้น

2. การสร้างรูปทรงเริ่มต้น (Initial Shape) ระบบทำการสร้างรูปทรงเริ่มต้นหรือเส้นโค้งหน้าตัดเริ่มต้น (Cross-Section Curve/Curves)

3. การประยุกต์ใช้กฎรูปร่างเซตที่ 1 (Apply Shape Rule Set 1) ระบบทำการประยุกต์ใช้กฎรูปร่าง โดยเริ่มต้นทำการสุ่ม

เลือกจำนวนการแบ่งช่วงของเส้นและเลือกกฎรูปร่างจากเซตกฎรูปร่างที่ 1 เพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลงเส้นโค้งหน้าตัด ซึ่งเซตกฎรูปร่างที่ 1 ประกอบด้วย กฎโค้งขึ้น กฎโค้งลง กฎตรง การเปลี่ยนมุม เป็นต้น จะมีการประยุกต์ใช้กฎรูปร่างซ้ำจนกว่าครบจำนวนการแบ่งช่วงของเส้น

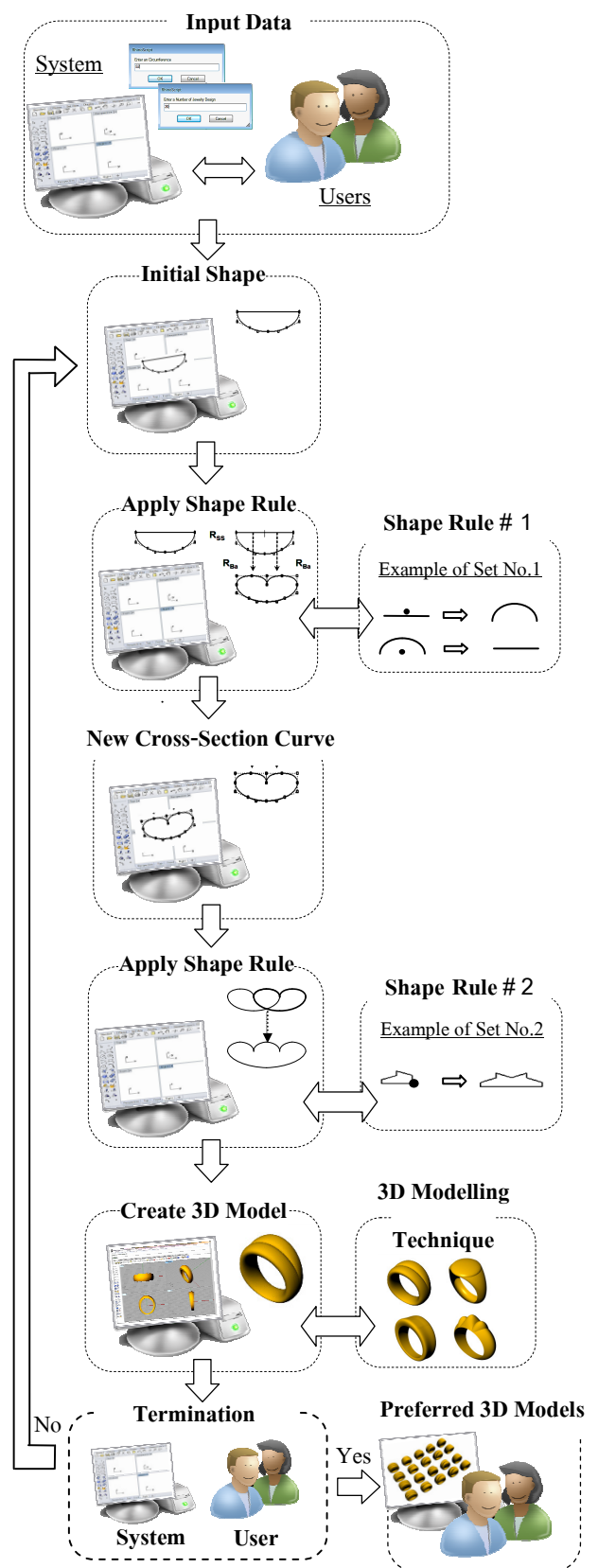
4. เส้นโค้งหน้าตัดใหม่ (New Cross-Section Curve/Curves) ระบบทำการซ่อมแซมเส้นโค้งหน้าตัดให้สมบูรณ์ โดยทำการสร้างเส้นโค้งเชื่อมต่อระหว่างเส้นโค้งให้เป็นรูปร่างแบบปิด

5. การประยุกต์ใช้กฎรูปร่างเซตที่ 2 (Apply Shape Rule Set 2) ระบบทำการประยุกต์ใช้กฎรูปร่าง โดยทำการสุ่มเลือกจำนวนการประยุกต์ใช้กฎรูปร่างและเลือกกฎรูปร่างจากเซตกฎที่ 2 เพื่อเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเส้นโค้งหน้าตัด ซึ่งเซตกฎรูปร่างที่ 2 ประกอบด้วย กฎการสะท้อน กฎเปลี่ยนตำแหน่งรูปร่าง กฎการรวมรูปร่าง 2 รูปร่างขึ้นไป กฎการแยกรูปร่าง กฎการแทนที่ กฎการเพิ่ม กฎการลบออก กฎการตัด เป็นต้น จะมีการประยุกต์ใช้กฎรูปร่างซ้ำจนกว่าครบจำนวนการประยุกต์ใช้กฎรูปร่าง

6. สร้างรูปทรงสามมิติ (Create 3D Model) ระบบทำการสร้างรูปทรงสามมิติ โดยทำการสุ่มเลือกเทคนิคการสร้างพื้นผิวรูปทรงสามมิติ ซึ่งเทคนิคการสร้างรูปทรงสามมิติ ประกอบด้วย เทคนิคสวิตช์ เทคนิคคอปท์ เทคนิคเครือข่ายเส้นโค้ง เพื่อใช้สร้างพื้นผิวของรูปทรงสามมิติ

7. หยุดการทำงาน (Termination) ระบบทำการตรวจสอบจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนตามที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้หรือสามารถหยุดการทำงานทันทีเมื่อผู้ใช้งานหยุดการทำงาน แต่ถ้าระบบทำการตรวจสอบจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนไม่ครบระบบจะกลับไปดำเนินการตั้งแต่ในขั้นตอนที่ 2 เป็นต้นไป

8. ระบบแสดงผลลัพท์รูปทรงสามมิติ (Preferred 3D Models) ระบบทำการแสดงผลลัพท์ของรูปทรงเครื่องประดับแหวนทั้งหมดตามจำนวนของการสร้างรูปทรงเครื่องประดับตามที่ผู้ใช้งานกำหนดไว้บนหน้าจอโปรแกรม Rhinoceros 5.0



รูปที่ 11 ตัวอย่างแสดงภาพรวมของกระบวนการทำงานระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนอัตโนมัติ

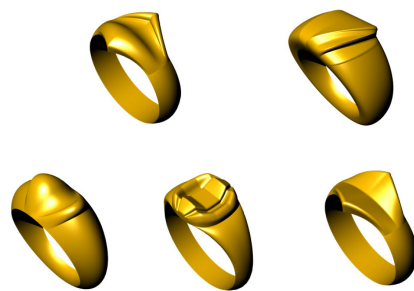
ผลลัพธ์ที่ได้จากการพัฒนาระบบออกแบบเครื่องประดับอัตโนมัติด้วยวิธีไวยากรณ์รูปร่าง โดยให้ผู้ใช้งานจำนวน 3 ท่านทำการทดสอบระบบออกแบบเครื่องประดับอัตโนมัติ พบว่าผู้ใช้งานคนที่ 1 นักศึกษาสาขาออกแบบบรรจุภัณฑ์ เริ่มต้นทำการระบุจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวน 50 รูปทรง เมื่อระบบสร้างรูปทรงจนถึงรูปทรงที่ 30 ดังแสดงในรูปที่ 12 ใช้เวลา 1.40 นาที ผู้ใช้งานจึงสั่งหยุดการทำงานเนื่องจากได้รูปทรงเครื่องประดับแหวนที่พึงพอใจ และให้ความคิดเห็นว่า รูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ได้มีรูปทรงดูแปลกใหม่ มีความหลากหลาย และเป็นรูปทรงอิมเมจชั่น คือเป็นรูปทรงที่เกิดขึ้นเฉพาะในกระบวนการมีความโดดเด่น และสร้างความประหลาดใจ

ผู้ใช้งานคนที่ 2 นักศึกษาสาขาออกแบบบรรจุภัณฑ์ เริ่มต้นทำการระบุจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวน 50 รูปทรง เมื่อระบบสร้างรูปทรงจนครบตามจำนวนที่ระบุ ใช้เวลา 3.50 นาที จากนั้นผู้ใช้งานเลือกรูปทรงที่ชื่นชอบได้ทั้งหมด 5 รูปทรง ดังแสดงในรูปที่ 13 โดยให้ความคิดเห็นว่า ระบบให้รูปทรงที่มีหลากหลายและชื่นชอบรูปทรงที่มีความเรียบง่าย แต่น่าจะมีการนำไปประดับอัญมณีเพื่อเพิ่มความสวยงาม

ผู้ใช้งานคนที่ 3 นักศึกษาสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า เริ่มต้นทำการระบุจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวน 30 รูปทรง เมื่อระบบสร้างรูปทรงจนครบตามจำนวนที่ระบุ ใช้เวลา 1.50 นาที จากนั้นผู้ใช้งานเลือกรูปทรงที่ชื่นชอบทั้งหมด 3 รูปทรง ดังแสดงในรูปที่ 14 และให้ความคิดเห็นว่ารูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ได้จากระบบมีความหลากหลาย แปลกตา รู้สึกตื่นตาตื่นใจขณะระบบทำการสร้างรูปทรง โดยผู้ใช้งานคนที่ 3 ชื่นชอบรูปทรงของแหวนที่มีขนาดหัวแหวนไม่ใหญ่มาก



รูปที่ 12 รูปทรงแหวนที่ผู้ใช้งานคนที่ 1 ชื่นชอบ



รูปที่ 13 รูปทรงแหวนที่ผู้ใช้งานคนที่ 2 ชื่นชอบ



รูปที่ 14 รูปทรงแหวนที่ผู้ใช้งานคนที่ 3 ชื่นชอบ

ผลจากการทดสอบระบบโดยผู้ใช้งานจำนวน 3 ท่าน พบว่าผู้ใช้งานแต่ละท่านมีความชื่นชอบในรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่แตกต่างกัน แต่ผู้ใช้งานทั้ง 3 ท่าน ให้ความเห็นตรงกันว่าระบบสามารถสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่มีความหลากหลายได้จำนวนมากตามความต้องการ และมีความแปลกใหม่ ซึ่งทำให้ผู้ใช้งานระบบเกิดแนวความคิดว่าหากมีการประดับด้วยอัญมณีจะทำให้แหวนเกิดความสวยงามมากขึ้น ซึ่งจากการทดลองใช้งานระบบ พบว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ผู้วิจัยจะนำความคิดเห็นจากผู้ใช้งานดังกล่าว มาใช้เพื่อปรับปรุงและพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานระบบดียิ่งขึ้น

4.4.3 ผลการทดลองจากระบบออกแบบอัตโนมัติเกี่ยวกับการวาดด้วยมือบนโปรแกรม Rhinoceros 5.0

จากการทดลองระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติถูกพัฒนาขึ้นด้วยไวยากรณ์รูปร่าง เมื่อเปรียบเทียบกับ การวาดรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยมือบนโปรแกรม Rhinoceros 5.0 จากค่าพารามิเตอร์ค่าเดียวกัน พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากระบบออกแบบเครื่องประดับแหวน โดยอัตโนมัติ จะใกล้เคียงกับวาดด้วยมือแต่ใช้เวลาน้อยกว่ามาก โดยมีตัวอย่างการเปรียบเทียบดังนี้ ในการวาดรูปโมเดลเครื่องประดับแหวนที่มีค่าพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ $X_1 = 2$, $X_{11} = 0$, $X_{12} = 2$, $X_2 = 2$,

$X_{21} = 0$, $X_{22} = 0$, $X_{31} = -2$, $X_{32} = -5$, $X_4 = 1$ ใช้เวลาประมาณ 1 นาที ดังแสดงในรูปที่ 15 ด้านซ้ายมือ และผลลัพธ์ที่ได้จากการวาดด้วยมือบนโปรแกรม Rhinoceros 5.0 โดยมีค่าพารามิเตอร์เหมือนกับค่าพารามิเตอร์ของรูปทรงแหวนที่สร้างจากระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ โดยใช้เวลาประมาณ 30 นาที ดังแสดงในรูปที่ 15 ด้านขวามือ พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้มีความคล้ายคลึงกับของรูปทรงเครื่องประดับแหวน และผลลัพธ์ที่ได้จากระบบออกแบบเครื่องประดับโดยอัตโนมัติใช้เวลาน้อยกว่าการวาดด้วยมือบนโปรแกรม Rhinoceros 5.0 คิดเป็น 30 เท่า

อย่างไรก็ตาม เวลาที่ใช้ในการเปรียบเทียบไม่ได้คำนึงถึงระยะเวลาในการพัฒนาระบบ ซึ่งจะประกอบด้วยหลายขั้นตอน เช่น การสร้างไวยากรณ์รูปร่าง และสร้างโค้ด (Program Coding) ในกระบวนการพัฒนาอาจใช้เวลาในขั้นตอนเริ่มต้นมาก แต่สามารถนำระบบที่พัฒนาขึ้นมาใช้ได้หลายครั้ง คู่ค่ากับเวลาที่ลงทุนในการพัฒนาระบบ

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการสำรวจในกระบวนการสังเคราะห์ของนักออกแบบเครื่องประดับ การสำรวจทำให้เข้าใจการเปลี่ยนแปลงและการพัฒนารูปร่างในการออกแบบแนวความคิด โดยการวิเคราะห์ข้อมูลการทดลองนำไปสู่การอธิบายความหมายของการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง โดยผลลัพธ์เหล่านี้สามารถนำไปใช้เพื่อเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้



รูปที่ 15 แสดงผลลัพธ์ที่จากระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ (ด้านซ้ายมือ) เปรียบกับการวาดด้วยมือบนโปรแกรม Rhinoceros 5.0 (ด้านขวามือ)

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบออกแบบรูปทรงโดยอัตโนมัติซึ่งประกอบด้วยไวยากรณ์รูปร่าง กฎรูปร่าง และกลไกการควบคุมระบบออกแบบรูปทรงโดยอัตโนมัติ มีวัตถุประสงค์เพื่อสนับสนุนนักออกแบบตั้งแต่ต้นเริ่มต้นของการออกแบบช่วยให้นักออกแบบสำรวจและพัฒนาแนวความคิดการออกแบบ

จากผลลัพธ์ของการวิจัย พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างนักออกแบบและการสังเคราะห์ของนักออกแบบ สามารถแทนด้วยกฎรูปร่างในจำนวนจำกัด ซึ่งกฎรูปร่างสามารถตีความและเปลี่ยนแปลงรูปร่างเพื่อใช้สำหรับพัฒนาระบบการออกแบบโดยอัตโนมัติได้ และผลลัพธ์ของการสำรวจจากกลุ่มตัวอย่างในช่วงอายุ 18-25 ปี มีความชอบรูปร่างที่มีความเรียบง่ายมากกว่าที่มีลวดลายซับซ้อน โดยที่จำนวนการแบ่งช่วงของเส้นไม่ส่งผลต่อความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวน แต่เมื่อนำการแบ่งช่วงของเส้นมาใช้งานร่วมกับจำนวนการประยุกต์ใช้กฎรูปร่างทำให้ส่งผลต่อความพึงพอใจของรูปทรงเครื่องประดับแหวน และผลลัพธ์ที่ได้จากระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติใช้เวลาน้อยกว่าการวาดด้วยมือบนโปรแกรม Rhinoceros 5.0 คิดเป็น 30 เท่า

ระบบออกแบบอัตโนมัติช่วยให้นักออกแบบสร้างรูปทรงโดยอัตโนมัติบนพื้นฐานขั้นตอนวิธีการและค่าพารามิเตอร์งานวิจัยนี้อธิบายวิธีการไวยากรณ์รูปร่างซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์

ระบบออกแบบอัตโนมัติสามารถนำเสนอการทำงานที่สามารถแก้ปัญหาการออกแบบและสร้างรูปร่างอีเมอเจนซ์ (Emergence Shape) ดังนั้นระบบที่นำเสนอสามารถเพิ่มความคิดสร้างสรรค์และสร้างกระบวนการออกแบบเครื่องประดับแหวนได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยการพัฒนาด้านแบบโปรแกรมที่ช่วยในการออกแบบที่สามารถสร้างภาพร่างอัตโนมัติเพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องประดับ ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา (สกอ.) และมหาวิทยาลัยนเรศวร สัญญาหมายเลข MRG5380223

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] วัฒนะ จุฑะวิภาต, *การออกแบบเครื่องประดับ*, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [2] ศศิธร ชุมแสง พอล, *Jewelry Design*, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2549.
- [3] วรณรัตน์ ตั้งเจริญ, *การออกแบบและกระบวนการผลิตเครื่องประดับในสมัยกรุงศรีอยุธยา*, คณะศิลปกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2544.
- [4] M. Prats, S. Lim, I. Jowers, S.W. Garner, and S. Chase, "Transforming shape in design: observations from studies of sketching," *Design Studies*, vol. 30, pp. 503-520, 2009.
- [5] วิทยา สงวนวรรณ, *เริ่มต้นสมบูรณ์แบบกับ AutoCAD Release 12*, กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2537.
- [6] ภาณุพงษ์ ปัตติสิงห์, *คู่มือการใช้โปรแกรม AutoCAD Release 14 (For Windows 95 & NT) สำหรับงานเขียนแบบสามมิติ*, กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น (มหาชน), 2537.
- [7] V. Singh and N. Gu, "Towards an integrated generative design framework," *Design Studies*, vol. 33, pp. 185-207, 2012.
- [8] G. Stiny and J. Gips, "Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture," *Information Processing '71 (1972)*, pp. 1460-1465, 1972.
- [9] G. Stiny and W. J. Mitchell, "The palladian grammar," *Environment and Planning B*, vol. 5, pp. 5-18, 1978.
- [10] H. Koning and J. Eizenberg, "The language of the prairie: Frank Lloyd Wright's prairie houses," *Environment and Planning B*, vol. 8, pp. 295-323, 1981.
- [11] K. Shea and J. Cagan, "The design of novel roof trusses with shape annealing: assessing the ability of a computational method in aiding structural designers with varying design intent," *Design Studies*, vol. 20, pp. 3-23, 1999.
- [12] M. Agarwal, J. Cagan, and G. Stiny, "A micro language: generating MEMS resonators by using a coupled form - function shape grammar," *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 27, pp. 615-626, 2000.
- [13] A. Manish and C. Jonathan, "A blend of different tastes : the language of coffee makers, " *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 25, pp. 205-226, 1998.
- [14] M. Pugliese and J. Cagan, "Capturing a rebel: modeling the Harley-Davidson brand through a motorcycle shape grammar," *Research in Engineering Design*, vol. 13, pp. 139-156, 2002.
- [15] H. H. Chau, X. Chen, A. McKay, and A. De Pennington, "Evaluation of a 3D shape grammar implementation," *Design Computing and Cognition*, 2004.
- [16] X. Chen, A. McKay, A. De Pennington, and H. H. Chau, "Package shape design principles to support brand identity," Presented at the 14th IAPRI World Conference on Packaging, Stockholm, Sweden, 2004.
- [17] J. Cui and M.-X. Tang, "Integrating shape grammars into a generative system for Zhuang ethnic embroidery design exploration," *Computer-Aided Design*, vol. 45, pp. 591-604, 2013.
- [18] T. Knight. (1999, 18 April). *Shape Grammars in Education and Practice: History and Prospects*. Available: <http://www.mit.edu/~tknight/IJDC/>
- [19] M. Prats, C. Earl, S. Garner, and I. Jowers, "Shape exploration of designs in a style: Toward generation of product designs," *Artif. Intell. Eng. Des. Anal. Manuf.*, vol. 20, pp. 201-215, 2006.

- [20] G. Stiny, "Introduction to shape and shape grammars," *Environment and Planning B*, vol. 7, pp. 343-351, 1980.
- [21] T. Trescak, M. Esteva, and I. Rodriguez, "A shape grammar interpreter for rectilinear forms," *Computer-Aided Design*, vol. 44, pp. 657-670, 2012.
- [22] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงษ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, *การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง*, กรุงเทพฯ: บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2551.
- [23] มารยาท โยทองยศ, *การสร้างแบบสอบถามเพื่องานวิจัย*, สืบค้นเมื่อวันที่ 1 มกราคม 2556 จาก <http://www.bcn.ac.th>
- [24] ชานินทร์ ศิลป์จารุ, *การวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ด้วย SPSS และ AMOS 13ed*, กรุงเทพฯ: บริษัท เอส. อาร์. พรินติ้ง แมสโปรดักส์ จำกัด, 2555.
- [25] S. Wannarumon, P. Pradujphongphet, and E.L.J. Bohez, "The development of shape transformation tool used in computer-based jewelry design system," *Proceedings of International Conference on Engineering Industry*, Seoul, South Korea., pp. 1304-1310, 2012.
- [26] S. Wannarumon, P. Pradujphongphet, and E.L.J. Bohez, "The framework of generative design system using shape grammar for jewelry design," *International Journal of Intelligent Information Processing*, vol. 4, pp. 1-13, 2013.
- [27] M. Prats, "Shape exploration in product design," Ph.D. dissertations, Open University, Milton Keynes, UK, 2007.