

บทที่ 4

ผลการวิจัย

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองจากการพัฒนาระบบ ออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ สามารถแบ่งผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วนหลัก ได้แก่

ส่วนที่ 1 ผลจากการพัฒนาระบบออกแบบอัตโนมัติ

ผลการทดลองที่ 1 ผลการศึกษาองค์ประกอบของเครื่องประดับแหวน

ผลการทดลองที่ 2 ผลการศึกษาระบวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสาม

มิติด้วยโปรแกรม Rhinoceros 5.0

ผลการทดลองที่ 3 ผลการศึกษารูปแบบเชิงพารามิเตอร์

ผลการทดลองที่ 4 ผลการศึกษารูปสร้างไวยากรณ์รูปร่างของเครื่องประดับแหวน

ผลการทดลองที่ 5 ผลการศึกษารูปแบบค่าพารามิเตอร์

ผลการทดลองที่ 6 ผลจากการพัฒนาระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ

ส่วนที่ 2 ผลการทดลองและประเมินระบบออกแบบอัตโนมัติ

ผลการทดลองที่ 1 ผลการทดลองจากการศึกษาทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรง เครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม และความแปลกใหม่

ผลการทดลองที่ 2 ผลการทดลองจากการใช้งานระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดย อัตโนมัติ โดยประเมินผลลัพธ์จากผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ

ผลจากการพัฒนาระบบออกแบบอัตโนมัติ

1. ผลการศึกษาองค์ประกอบของเครื่องประดับแหวน

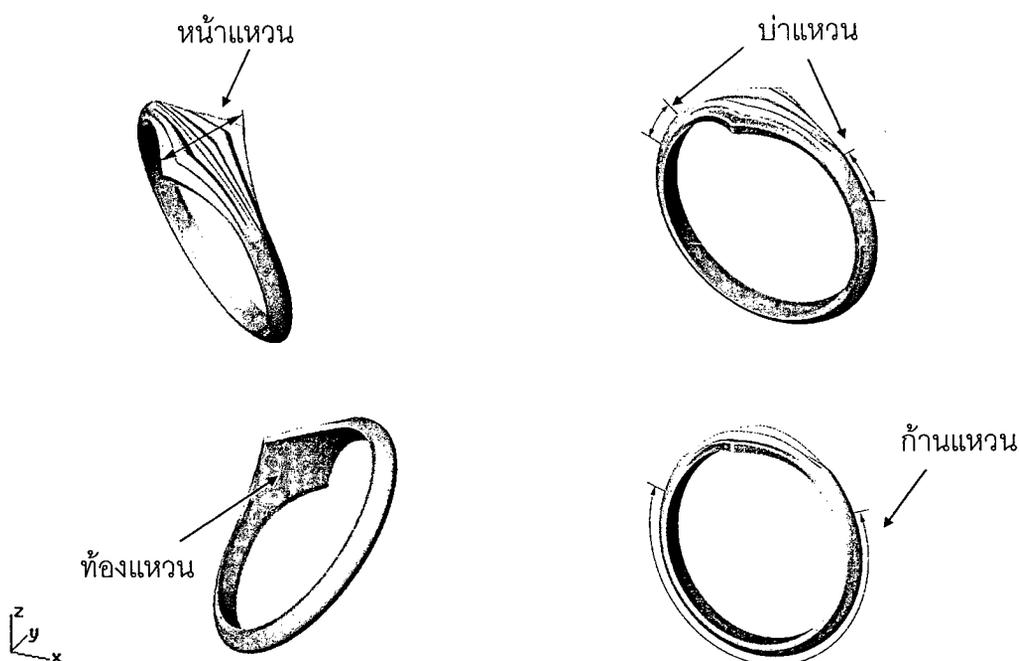
จากการศึกษาองค์ประกอบของเครื่องประดับแหวน พบว่า องค์ประกอบของรูปทรง เครื่องประดับแหวน สามารถแบ่งการพิจารณาออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 หน้าแหวน ส่วนที่ 2 บ่าแหวน ส่วนที่ 3 ก้านแหวน และส่วนที่ 4 ท้องแหวน ดังแสดงในภาพ 42 ในงานวิจัยนี้ ทำการ เปลี่ยนแปลงรูปทรงเครื่องประดับแหวนบริเวณส่วนของหน้าแหวน โดยที่บริเวณส่วนของบ่าแหวน ก้านแหวน และท้องแหวน บริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงเครื่องประดับ แหวน โดยรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ได้จากการศึกษาและสำรวจสามารถกำหนดเงื่อนไขในการ สร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนสำหรับระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ ซึ่งมี รายละเอียด ดังนี้

1.1 รูปทรงเครื่องประดับแหวนมีมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของวงแหวนพิจารณาช่วงที่ 11 ถึง 25 มิลลิเมตร (ดังแสดงในภาคผนวก ก ตาราง 1)

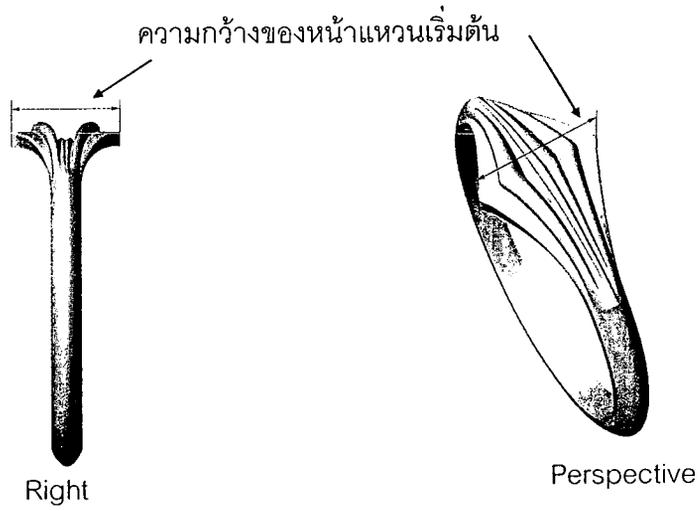
1.2 ขนาดความกว้างของหน้าแหวนไม่ต่ำกว่า 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 43

1.3 ขนาดความกว้างและความยาวของหน้าแหวนไม่เกิน 15 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 44

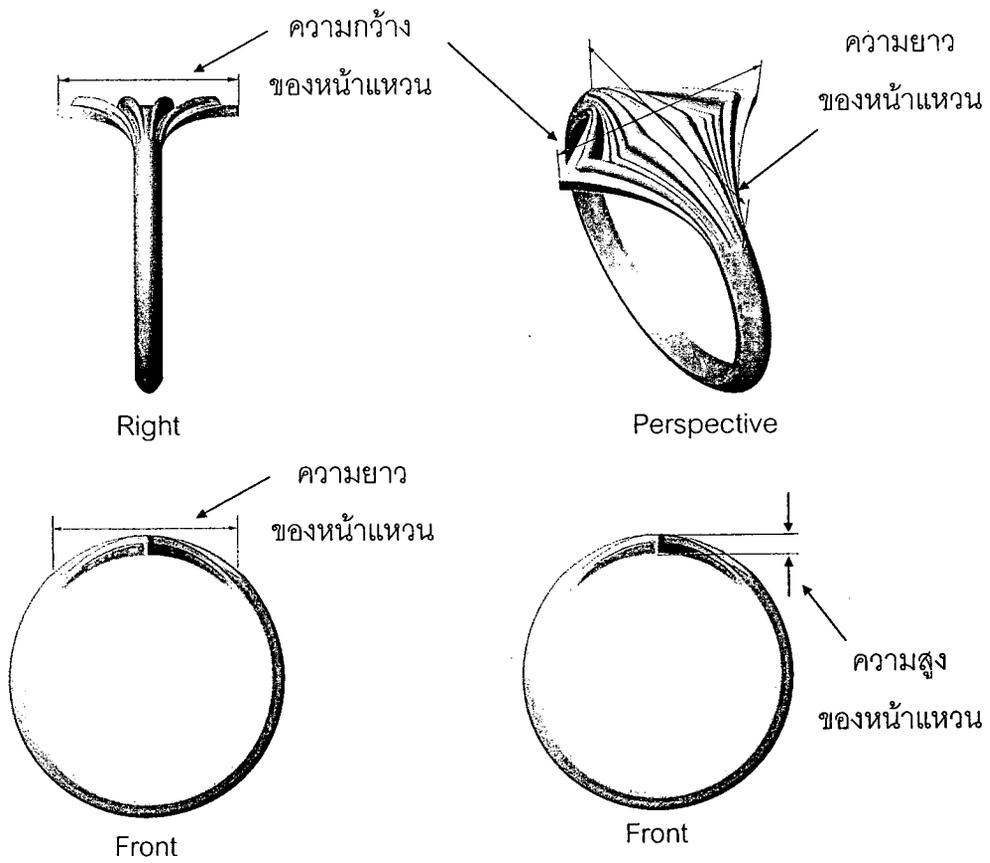
1.4 ขนาดความสูงของหน้าแหวนไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพ 44



ภาพ 42 แสดงลักษณะองค์ประกอบของรูปทรงเครื่องประดับแหวน



ภาพ 43 แสดงขนาดความกว้างของรูปทรงเครื่องประดับแหวน



ภาพ 44 แสดงความกว้าง ความยาว และความสูงของรูปทรงเครื่องประดับแหวน

2. ผลการศึกษากระบวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้วยโปรแกรม Rhinoceros 5.0

จากการศึกษากระบวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้วยโปรแกรม Rhinoceros 5.0 สามารถแบ่งผลการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ผลการศึกษากระบวนการทำงานของวีบีสคริปต์บนโปรแกรม Rhinoceros 5.0 และส่วนที่ 2 ผลการศึกษากระบวนการสร้างรูปทรงของเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติบนโปรแกรม Rhinoceros 5.0

2.1 ผลการศึกษากระบวนการทำงานของวีบีสคริปต์บนโปรแกรม Rhinoceros 5.0

ผลจากการศึกษา พบว่า กระบวนการทำงานของวีบีสคริปต์ เริ่มต้นโดยการเรียกใช้หน้าต่างของวีบีสคริปต์ ดังแสดงในภาพ 45 ซึ่งหน้าต่างวีบีสคริปต์ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ได้แก่ ส่วนที่ 1 ส่วนหัวข้อ (Header) เป็นการระบุข้อความ เพื่อบ่งบอกรายละเอียดต่างๆ เช่น ชื่อผู้เขียน ชื่องาน วันและเวลา เป็นต้น สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการของผู้ใช้งาน ส่วนที่ 2 ส่วนของคำสั่งการเรียกใช้งานฟังก์ชันหลัก และส่วนที่ 3 ส่วนฟังก์ชันหลัก ส่วนนี้ใช้สำหรับเขียนคำสั่งต่างๆ ที่ต้องการแสดงผลลัพธ์บนวีบีสคริปต์ มีลักษณะการทำงานโดยระบบจะอ่านข้อมูลเรียงตามลำดับบรรทัดของการเขียน จากนั้นทำการทดลองเขียนคำสั่งสำหรับการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนลงในส่วนที่ 3 บนหน้าต่างวีบีสคริปต์ แล้วทำทดสอบแสดงผลลัพธ์ที่ได้ ดังแสดงในภาพ 46

```

1 Option Explicit
2 'Script written by <Prapasson>
3 'Script copyrighted by <insert company name>
4 'Script version 5 กรกฎาคม 2556 10:46:48
5
6 Call Main()
7
8 Sub Main()
9
10     Dim arrStart, arrEnd
11
12     arrStart = array(0, 0, 0)
13
14     arrEnd = array(10, 10, 10)
15
16     Rhino.AddLine arrStart, arrEnd
17
18
19 End Sub

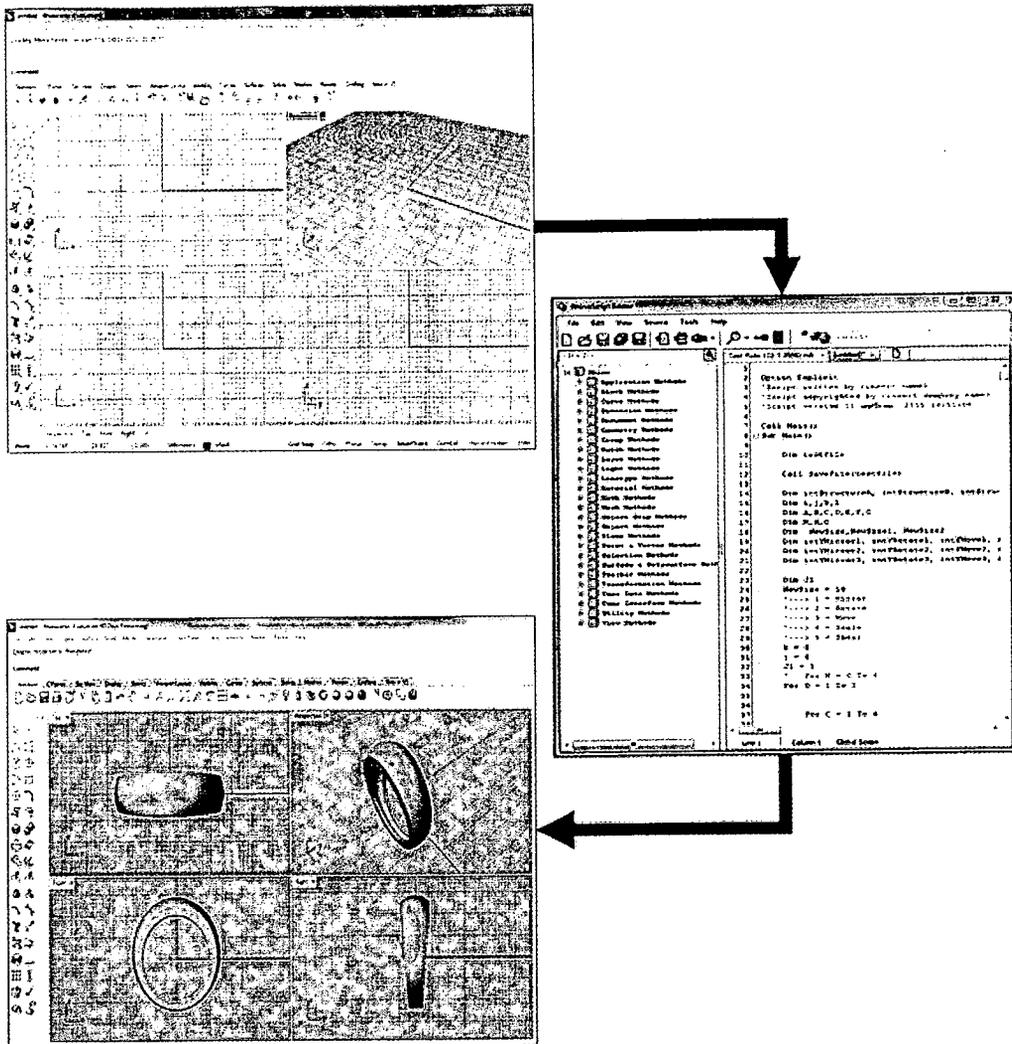
```

ส่วนที่ 1

ส่วนที่ 2

ส่วนที่ 3

ภาพ 45 แสดงตัวอย่างวีบีสคริปต์ในโปรแกรม Rhinoceros 5.0



ภาพ 46 แสดงตัวอย่างกระบวนการทำงานของวิบีสคริปต์บน
โปรแกรม Rhinoceros 5.0 ที่ทำการทดลองเบื้องต้น

2.2 ผลการศึกษากระบวนการสร้างรูปทรงของเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติบน
โปรแกรม Rhinoceros 5.0

หลังจากที่ได้ศึกษาการเขียนวีบีสคริปต์บนโปรแกรม Rhinoceros 5.0 จึง
ทำการศึกษาการสร้างรูปทรงของเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติบนโปรแกรม Rhinoceros 5.0
พบว่า สามารถสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนได้หลากหลายเทคนิค ในงานวิจัยนี้ ทำ
การเลือกศึกษาเทคนิคการสร้างพื้นผิวของรูปทรงจำนวน 3 เทคนิค ได้แก่ เทคนิคสวิป (Sweep)

เทคนิคคอปท์ (Loft) และเทคนิคเครือข่ายเส้นโค้ง (Curve Network) ซึ่งแต่ละเทคนิคจะมีขั้นตอนการสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่แตกต่างกัน อธิบายในรายละเอียดได้ดังนี้

2.2.1 การสร้างรูปทรงด้วยเทคนิคสวิฟ (Sweep)

การสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคสวิฟ ดังแสดงในภาพ 47 มีขั้นตอนในการสร้างรูปทรง โดยอ้างอิงการหมุนรอบแกน X, Y และ Z ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการสร้างรูปร่างเริ่มต้น (หน้าตัดเริ่มต้น) บนระนาบ YZ รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดที่ 1 (C_1)”

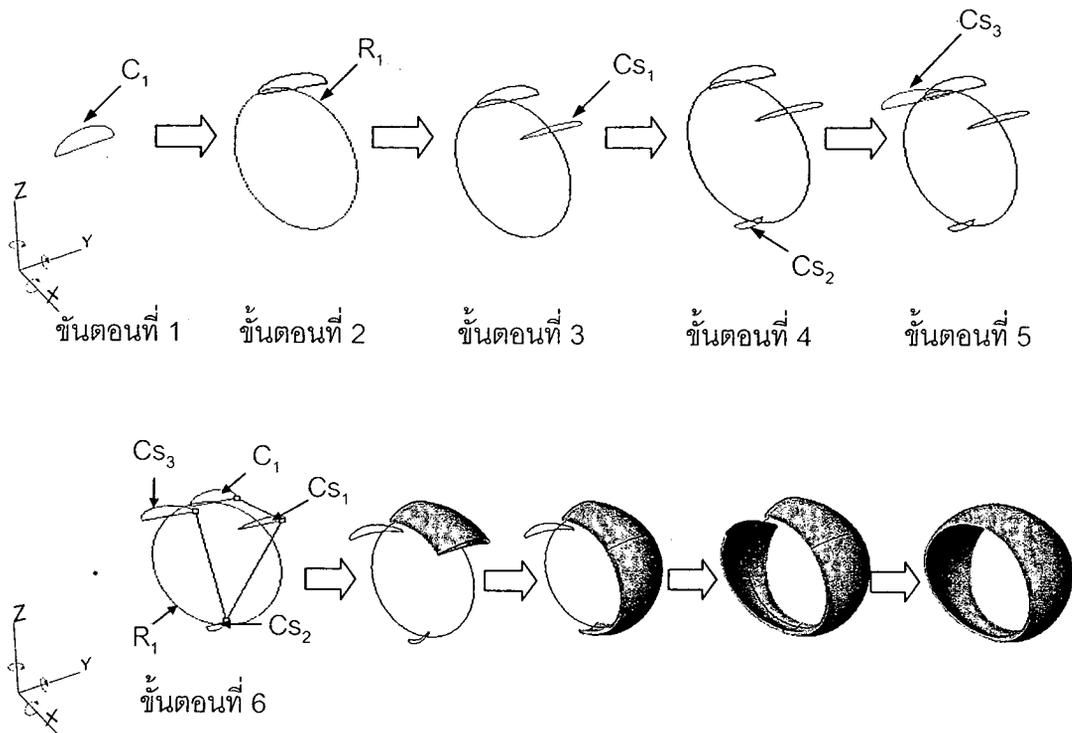
ขั้นตอนที่ 2 ทำการสร้างเส้นรอบวงภายในของวงแหวนบนระนาบ XZ ที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลาง (0,0,0) รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “วงแหวนภายในที่ 1 (R_1)”

ขั้นตอนที่ 3 ทำการสร้างหน้าตัดสวิฟบนระนาบ YZ รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดสวิฟที่ 1 (Cs_1)” และทำการหมุนหน้าตัดสวิฟที่ 1 รอบแกน Y ทำมุมกับแกน Z 45 องศา

ขั้นตอนที่ 4 ทำการสร้างหน้าตัดสวิฟบนระนาบ YZ รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดสวิฟที่ 2 (Cs_2)” และทำการหมุนหน้าตัดสวิฟที่ 2 รอบแกน Y ทำมุมกับแกน Z 180 องศา

ขั้นตอนที่ 5 ทำการสร้างหน้าตัดสวิฟบนระนาบ YZ รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดสวิฟที่ 3 (Cs_3)” และทำการหมุนหน้าตัดสวิฟที่ 3 รอบแกน Y ทำมุมกับแกน Z 315 องศา

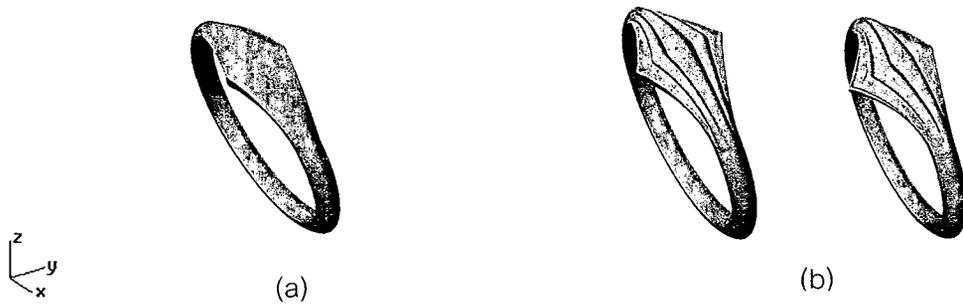
ขั้นตอนที่ 6 ทำการสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคสวิฟ โดยทำการเลือกวงแหวนภายใน หน้าตัดเริ่มต้น และหน้าตัดสวิฟ ตามลำดับต่อไปนี้ ได้แก่ R_1 , C_1 , Cs_1 , Cs_2 และ Cs_3 ตามลำดับ



ภาพ 47 แสดงตัวอย่างการสร้างพื้นผิวด้วยเทคนิคสวิตช์

จากขั้นตอนการสร้างพบว่าหน้าตัดที่ 1 หน้าตัดสวิตช์ที่ 1 และ 3 (Cs_1 , C_1 , Cs_3) ควบคุมพื้นผิวบริเวณหน้าแหวน และหน้าตัดสวิตช์ที่ 1 ถึง 3 (Cs_1 , Cs_2 , Cs_3) ควบคุมพื้นผิวบริเวณบ่าแหวนและก้านแหวน ซึ่งในงานวิจัยนี้พิจารณาบ่าแหวนและก้านแหวนเป็นพื้นผิวเดียวกัน ดังแสดงในภาพ 47

ดังนั้น รูปทรงของเครื่องประดับแหวน จะแปรผันตามจำนวนและรูปร่างของหน้าตัดที่ 1 (C_1) ซึ่งทั้งสองพารามิเตอร์จะส่งผลทำให้รูปร่างบริเวณส่วนของหน้าแหวนเกิดการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในภาพ 48



ภาพ 48 แสดงตัวอย่างรูปทรงของเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคสวิต

- หมายเหตุ: (a) รูปทรงเครื่องประดับแหวนเริ่มต้น มีหน้าตัดเริ่มต้น (C_1) หน้าตัดเดียว
 (b) รูปทรงเครื่องประดับแหวน มีการเปลี่ยนแปลงของหน้าตัดเริ่มต้น (C_1) และมีหน้าตัดเดียว

2.2.2 การสร้างรูปทรงด้วยเทคนิคลอฟท์ (Loft)

การสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยวิธีลอฟท์ ดังแสดงในภาพ 49-51 สามารถแบ่งวิธีการสร้างออกเป็น 2 วิธี มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

วิธีที่ 1 การสร้างพื้นผิวของรูปทรงด้วยโพรไฟล์เดียว

การสร้างพื้นผิวของรูปทรงด้วยโพรไฟล์เดียว มีขั้นตอนในการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนทั้งหมด 9 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพ 49-50 โดยอ้างอิงการหมุนรอบแกน X, Y และ Z ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการสร้างหน้าตัดเริ่มต้นบนระนาบ XZ ในตำแหน่งเริ่มต้น (PT_1) รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดที่ 1 (C_1)”

ขั้นตอนที่ 2 ทำการสร้างหน้าตัดลอฟท์บนระนาบ XZ ในตำแหน่งเริ่มต้น (PT_1) รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดลอฟท์ที่ 1 (Cl_1)”

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเชื่อมต่อหน้าตัดเริ่มต้น (C_1) กับหน้าตัดลอฟท์ (Cl_1) รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “โพรไฟล์ที่ 1 (Pl_1)”

ขั้นตอนที่ 4 ทำการสร้างเส้นรอบวงภายในของวงแหวนบนระนาบ XZ ในตำแหน่งเริ่มต้น (PT_1) รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “วงแหวนภายในที่ 1 (R_1)” และทำการหมุน (Rotate) วงแหวนภายในที่ 1 โดยการหมุนรอบแกน X ทำมุมกับแกน Z 5 องศา

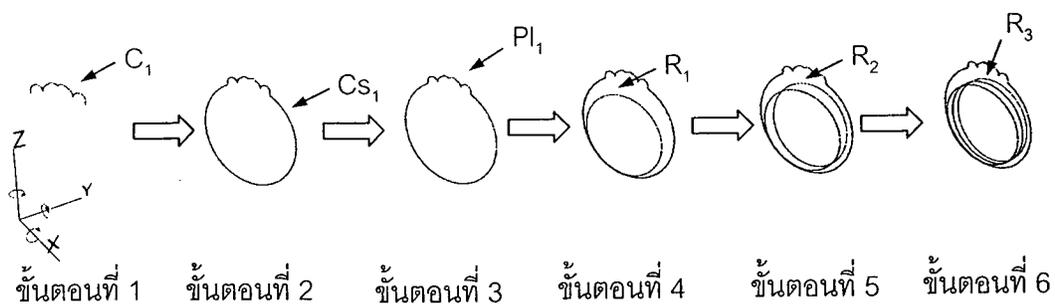
ขั้นตอนที่ 5 ทำการสร้างเส้นรอบวงภายในของวงแหวนบนระนาบ XZ ในตำแหน่งเริ่มต้น (PT_1) รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “วงแหวนภายในที่ 2 (R_2)” และทำการย้าย R_2 ยังตำแหน่งที่ 2 (PT_2) ตามแนวแกน Y ซึ่งตำแหน่ง PT_2 ขึ้นอยู่กับครึ่งหนึ่งของความหนา (T) ของรูปทรงเครื่องประดับแหวน

ขั้นตอนที่ 6 ทำการสร้างเส้นรอบวงภายในของวงแหวนบนระนาบ XZ ในตำแหน่งเริ่มต้น (PT_1) รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “วงแหวนภายในที่ 3 (R_3)” และทำการย้าย R_3 ไปยังตำแหน่งที่ 3 (PT_3) ตามแนวแกน -Y ซึ่งตำแหน่ง PT_3 ขึ้นอยู่กับความหนา (T) ของรูปทรงเครื่องประดับแหวน และทำการหมุน (Rotate) R_3 โดยหมุนรอบแกน X ทำมุมกับแกน Z -5 องศา

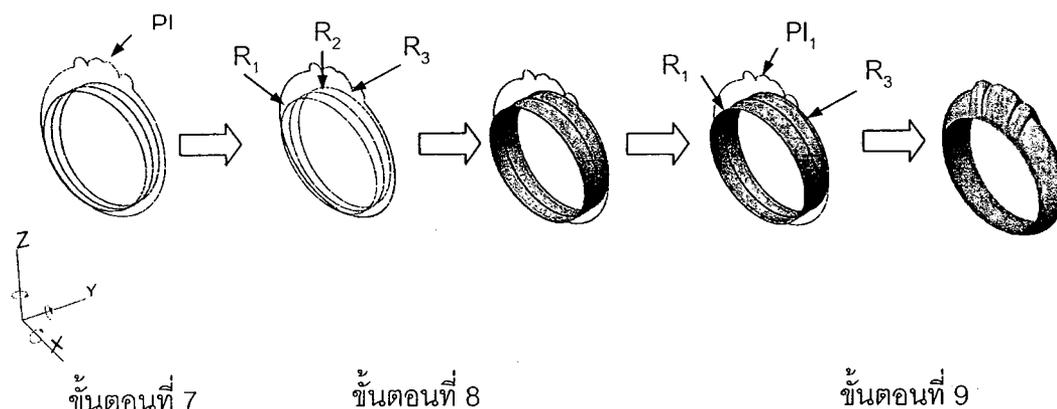
ขั้นตอนที่ 7 ทำการย้ายโพรไฟล์ที่ 1 (PI_1) ไปยังตำแหน่งที่ 2 (PT_2) ตามแนวแกน Y ขึ้นอยู่กับครึ่งหนึ่งของความหนา (T) ของรูปทรงเครื่องประดับแหวน

ขั้นตอนที่ 8 ทำการสร้างพื้นผิวรูปทรงลอฟท์ด้านใน โดยเลือกวงแหวนภายในตามลำดับต่อไปนี้ ได้แก่ R_1 , R_2 และ R_3

ขั้นตอนที่ 9 ทำการสร้างพื้นผิวรูปทรงลอฟท์ด้านนอก โดยเลือกวงแหวนภายในและโพรไฟล์ตามลำดับต่อไปนี้ ได้แก่ R_1 , PI_1 , และ R_2 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพ 50



ภาพ 49 แสดงตัวอย่างการสร้างพื้นผิวด้วยเทคนิคลอฟท์ในขั้นตอนที่ 1-6



ภาพ 50 แสดงตัวอย่างการสร้างพื้นผิวด้วยเทคนิคลอฟท์วิธีที่ 1 ในขั้นตอนที่ 7-9

วิธีที่ 2 การสร้างพื้นผิวของรูปทรงด้วยหลายโพรไฟล์

การสร้างพื้นผิวของรูปทรงด้วยหลายโพรไฟล์ มีขั้นตอนในการสร้างรูปทรงแหวนทั้งหมด 12 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพ 49 และ 51 ซึ่งมีการใช้ขั้นตอนที่ 1 ถึง 6 สำหรับสร้างรูปทรงแหวนด้วยขั้นตอนเดียวกัน ดังแสดงในภาพ 49 โดยอ้างอิงการหมุนรอบแกน X, Y และ Z ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา มีรายละเอียดขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 7 ทำการตัดลอกโพรไฟล์ที่ 1 (PI_1) รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “โพรไฟล์ที่ 2 (PI_2)” และทำการย้าย PI_2 ไปยังตำแหน่งที่ 2 (PT_2)

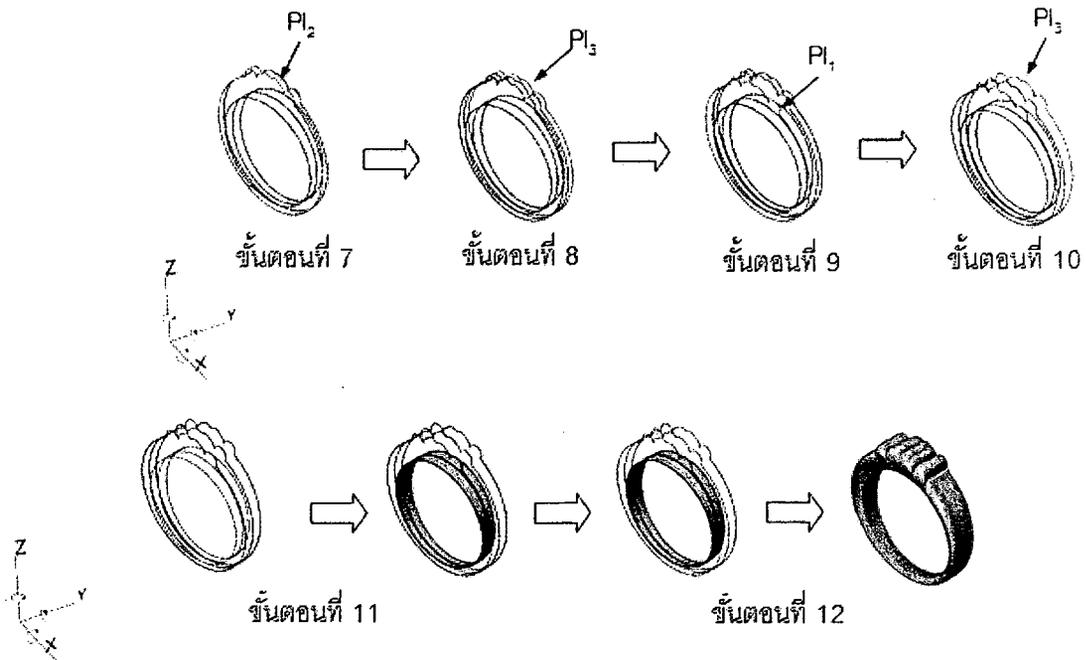
ขั้นตอนที่ 8 ทำการตัดลอกโพรไฟล์ที่ 2 (PI_2) รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “โพรไฟล์ที่ 3 (PI_3)” และทำการย้าย PI_3 ไปยังตำแหน่งที่ 3 (PT_3)

ขั้นตอนที่ 9 ทำการหมุนโพรไฟล์ที่ 1 (PI_1) โดยหมุนรอบแกน X ทำมุมกับแกน Z 5 องศา

ขั้นตอนที่ 10 ทำการหมุนโพรไฟล์ที่ 3 (PI_3) โดยหมุนรอบแกน X ทำมุมกับแกน Z -5 องศา

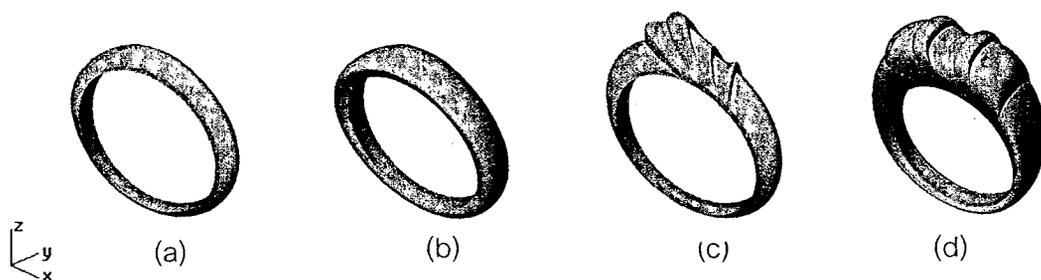
ขั้นตอนที่ 11 ทำการสร้างพื้นผิวรูปทรงลอฟท์ด้านใน โดยทำการเลือกวงแหวนภายใน ตามลำดับต่อไปนี้ ได้แก่ R_1 , R_2 และ R_3

ขั้นตอนที่ 12 ทำการสร้างพื้นผิวรูปทรงลอฟท์ด้านนอก โดยทำการเลือกวงแหวนภายในและโพรไฟล์ตามลำดับต่อไปนี้ ได้แก่ R_1 , PI_1 , PI_2 , PI_3 และ R_2 ตามลำดับ



ภาพ 51 แสดงตัวอย่างการสร้างพื้นผิวด้วยเทคนิคคอปท์วิธีที่ 2 ในขั้นตอนที่ 7-12

จากการทดลองวาดรูปแหวนด้วยเทคนิคคอปท์ พบว่า รูปทรงของเครื่องประดับแหวน จะแปรผันตามจำนวนและรูปร่างของโพรไฟล์ที่ 1, 2 และ 3 (PI_1 , PI_2 และ PI_3) ซึ่งทั้งสองพารามิเตอร์ จะส่งผลให้รูปทรงส่วนของหน้าแหวนเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในภาพ 52 โดยในภาพ 52a แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวนเริ่มต้น หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตัดและมีโพรไฟล์เดียว โดยในภาพ 52b แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวนเริ่มต้น หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตัด และมีหลายโพรไฟล์ โดยในภาพ 52c แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตัดและมีโพรไฟล์เดียว และในภาพ 52d แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหน้าตัดและมีหลายโพรไฟล์



ภาพ 52 แสดงตัวอย่างรูปทรงของเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคลอฟท์

- หมายเหตุ: (a) แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวนเริ่มต้น มีโพรไฟล์เดียว
 (b) แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวนเริ่มต้น มีหลายโพรไฟล์
 (c) แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวน มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโพรไฟล์ และมีโพรไฟล์เดียว
 (d) แสดงรูปทรงของเครื่องประดับแหวน มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างโพรไฟล์ และมีหลายโพรไฟล์

2.2.3 การสร้างรูปทรงด้วยเทคนิคเครือข่ายเส้นโค้ง (Curve Network)

วิธีการสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคเครือข่ายเส้นโค้งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 สร้างหน้าแหวน และส่วนที่ 2 สร้างก้านแหวน มีขั้นตอนการสร้างรูปทรงทั้งหมด 17 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ส่วนที่ 1 สร้างหน้าแหวน

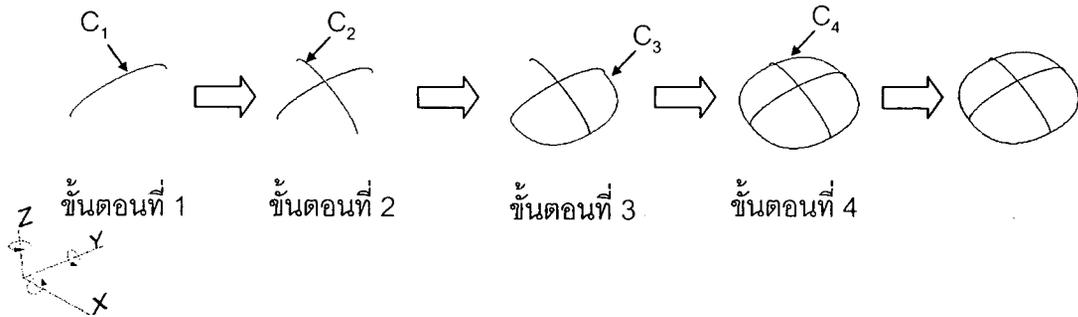
การสร้างพื้นผิวบริเวณส่วนของหน้าแหวน มีขั้นตอนการสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนทั้งหมด 4 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพ 53 โดยอ้างอิงการหมุนรอบแกน X, Y และ Z ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการสร้างหน้าตัดเริ่มต้นบนระนาบ YZ รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดที่ 1 (C_1)”

ขั้นตอนที่ 2 ทำการตัดลอกหน้าตัดที่ 1 บนระนาบ YZ รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดที่ 2 (C_2)” และทำการหมุน C_2 ตามแนวแกน Z ทำมุมกับแกน X 90 องศา

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างหน้าตัดบนระนาบ XY โดยอ้างอิงจุดเริ่มต้น และจุดสุดท้ายของหน้าตัดที่ 1 และ 2 รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดที่ 3 (C_3)”

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างหน้าตัดบนระนาบ XY โดยอ้างอิงจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้ายของหน้าตัดที่ 1 และ 2 รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดที่ 4 (C_4)”



ภาพ 53 แสดงตัวอย่างการสร้างพื้นผิวด้วยเทคนิคเครือข่ายเส้นโค้งในขั้นตอนที่ 1-4

ส่วนที่ 2 สร้างก้านแหวน

การสร้างพื้นผิวบริเวณส่วนของก้านแหวน มีขั้นตอนการสร้างพื้นผิว ดังแสดงในภาพ 54 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 5 ทำการสร้างเส้นรอบวงภายในของวงแหวนบนระนาบ XZ ในตำแหน่งเริ่มต้น (ตำแหน่ง $(0,0,0)$) (PT_1) รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “วงแหวนภายในที่ 1 (R_1)” และทำการย้าย R_1 ไปยังตำแหน่งที่ 1 (PT_1) ตามแนวแกน Y ขึ้นอยู่กับครึ่งหนึ่งของความหนา (T) ของเครื่องประดับแหวน

ขั้นตอนที่ 6 ทำการสร้างเส้นรอบวงภายในของวงแหวนบนระนาบ XZ ในตำแหน่งเริ่มต้น (ตำแหน่ง $(0,0,0)$) (PT_1) รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “วงแหวนภายในที่ 2 (R_2)” และทำการย้าย R_2 ไปยังตำแหน่งที่ 2 (PT_2) ตามแนวแกน Y ขึ้นอยู่กับของของความหนา (T) ของเครื่องประดับแหวน

ขั้นตอนที่ 7 ทำการสร้างหน้าตัดเครือข่ายเส้นโค้งบนระนาบ YZ รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดเครือข่ายเส้นโค้งที่ 1 (Cc_1)” และทำการหมุน Cc_1 รอบแกน Y ทำมุมกับแกน Z 45 องศา

ขั้นตอนที่ 8 ทำการสร้างหน้าตัดเครือข่ายเส้นโค้งบนระนาบ YZ รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดเครือข่ายเส้นโค้งที่ 2 (Cc_2)” และทำการหมุน Cc_2 รอบแกน Y ทำมุมกับแกน Z 90 องศา

ขั้นตอนที่ 9 ทำการสร้างหน้าตัดเครื่องข่ายเส้นโค้งบนระนาบ YZ รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดเครื่องข่ายเส้นโค้งที่ 3 (Cc_3)” รอบแกน Y ทำมุมกับแกน Z 180 องศา

ขั้นตอนที่ 10 ทำการสร้างหน้าตัดเครื่องข่ายเส้นโค้งบนระนาบ YZ รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดเครื่องข่ายเส้นโค้งที่ 4 (Cc_4)” และทำการหมุน Cc_4 รอบแกน Y ทำมุมกับแกน Z 225 องศา

ขั้นตอนที่ 11 ทำการสร้างหน้าตัดเครื่องข่ายเส้นโค้งบนระนาบ YZ รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “หน้าตัดเครื่องข่ายเส้นโค้งที่ 5 (Cc_5)” และทำการหมุน Cc_5 รอบแกน Y ทำมุมกับแกน Z 270 องศา

ขั้นตอนที่ 12 ทำการสร้างเส้นโค้งอิสระบนระนาบ XZ รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “เส้นโค้งอิสระที่ 1 (Cf_1)”

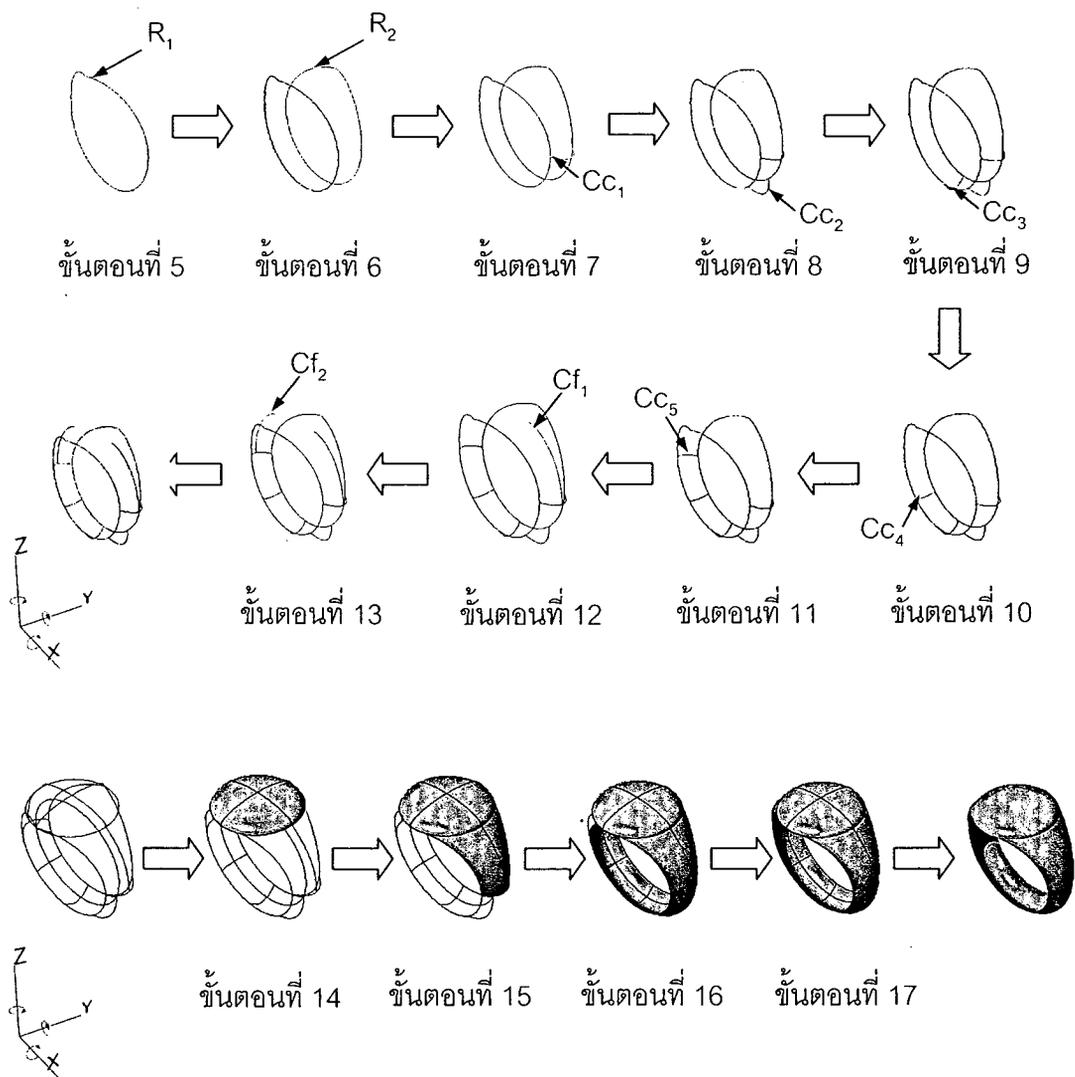
ขั้นตอนที่ 13 ทำการสร้างเส้นโค้งอิสระบนระนาบ XZ รูปร่างดังกล่าวเรียกว่า “เส้นโค้งอิสระที่ 2 (Cf_2)”

ขั้นตอนที่ 14 ทำการสร้างพื้นผิวรูปทรงของหน้าแหวนแบบเครื่องข่ายเส้นโค้ง โดยทำการเลือกหน้าตัดตามลำดับต่อไปนี้ ได้แก่ C_1 , C_3 , C_4 และ C_2

ขั้นตอนที่ 15 ทำการสร้างพื้นผิวรูปทรงของก้านแหวนแบบเครื่องข่ายเส้นโค้ง โดยทำการเลือกหน้าตัดตามลำดับต่อไปนี้ ได้แก่ R_1 , Cf_1 , R_2 , Cc_1 และ C_3

ขั้นตอนที่ 16 ทำการสร้างพื้นผิวรูปทรงของก้านแหวนแบบเครื่องข่ายเส้นโค้ง โดยทำการเลือกหน้าตัดตามลำดับต่อไปนี้ ได้แก่ R_1 , R_2 , Cc_1 , Cc_2 , Cc_3 , Cc_4 และ Cc_5

ขั้นตอนที่ 17 ทำการสร้างพื้นผิวรูปทรงของก้านแหวนแบบเครื่องข่ายเส้นโค้ง โดยทำการเลือกหน้าตัดตามลำดับต่อไปนี้ ได้แก่ R_1 , Cf_1 , R_2 , Cc_1 และ C_3



ภาพ 54 แสดงตัวอย่างการสร้างพื้นผิวด้วยเทคนิคเครือข่ายเส้นโค้งในชั้นตอนที่ 5-17

จากการศึกษาขั้นตอนการสร้างพื้นผิวด้วยเทคนิคเครือข่ายเส้นโค้ง พบว่า รูปทรงเครื่องประดับแหวน จะแปรผันตามพารามิเตอร์หน้าตัดที่ 1 และ 2 พารามิเตอร์เหล่านี้ส่งผลทำให้รูปทรงบริเวณหน้าแหวนเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในภาพ 55 โดยในภาพ 55a แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหน้าตัด และในภาพ 55b แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหน้าตัด



ภาพ 55 แสดงตัวอย่างรูปทรงเครื่องประดับด้วยเทคนิคเครือข่ายเส้นโค้ง

หมายเหตุ: (a) รูปทรงเครื่องประดับแหวนเริ่มต้น

(b) รูปทรงเครื่องประดับแหวน มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของหน้าตัด

จะเห็นได้ว่า ทั้งสามเทคนิคดังกล่าว มีการเลือกใช้เส้นโค้งแบบเนิร์ป (NURBS) สำหรับสร้างเส้นโค้งของโครงสร้างเครื่องประดับแหวน และมีขั้นตอนการสร้างพื้นผิวของรูปทรงที่แตกต่างกัน โดยเทคนิคสวิตช์ครอบคลุมการสร้างพื้นผิวตามแนวแกน X เทคนิคลอฟท์ครอบคลุมการสร้างพื้นผิวตามแนวแกน Y และเทคนิคเครือข่ายเส้นโค้งครอบคลุมการสร้างพื้นผิวตามแนวแกน X และ Y อีกทั้งพารามิเตอร์ของจำนวนและรูปร่างของหน้าตัด ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปทรงบริเวณหน้าแหวน ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของวงแหวนถูกกำหนดตามความต้องการของผู้ใช้งาน จากข้อมูลดังกล่าวจึงนำไปสู่ขั้นตอนการออกแบบเชิงพารามิเตอร์ในส่วนตัวไป

3. ผลจากการศึกษาการออกแบบเชิงพารามิเตอร์

จากการศึกษาเทคนิคการสร้างพื้นผิว ของรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติ พบว่า สามารถนำข้อมูลจากขั้นตอนก่อนหน้ามากำหนดรายละเอียดของ ชื่อ สัญลักษณ์ และความหมายของพารามิเตอร์ในเทคนิคสวิตช์ ลอฟท์ และเครือข่ายเส้นโค้ง ซึ่งแสดงรายละเอียดดังตาราง 12

ตาราง 12 แสดงพารามิเตอร์จากการศึกษาการสร้างรูปทรงในแต่ละเทคนิค

เทคนิค	พารามิเตอร์	ชื่อ	ความหมาย
สวิตช์	C_i	หน้าตัดที่ i	หน้าตัดของหน้าแหวน ลำดับที่ i
	R_i	วงแหวนภายในที่ i	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ลำดับที่ i
	Cs_i	หน้าตัดสวิตช์ที่ i	หน้าตัดสวิตช์ของก้านแหวนลำดับที่ i
ลอปท์	C_i	หน้าตัดที่ i	หน้าตัดของหน้าแหวนลำดับที่ i
	R_i	วงแหวนภายในที่ i	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ลำดับที่ i
	Cl_i	หน้าตัดลอปท์ที่ i	หน้าตัดลอปท์ของก้านแหวนลำดับที่ i
	Pl_i	โพรไฟล์ลอปท์ที่ i	โพรไฟล์ลอปท์ของรูปทรงลำดับที่ i (เกิดจากการเชื่อมต่อกันระหว่างหน้าตัดและหน้าตัดลอปท์ในลำดับที่ i เดียวกัน หรือ $C_i + Cl_i = Pl_i$)
	C_i	หน้าตัดที่ i	หน้าตัดของหน้าแหวนลำดับที่ i
เครื่องข่ายเส้นโค้ง	R_i	วงแหวนภายในที่ i	ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน ลำดับที่ i
	Cc_i	หน้าตัดเครื่องข่ายเส้นโค้งที่ i	หน้าตัดเครื่องข่ายเส้นโค้งของก้านแหวนลำดับที่ i
	Cf_i	เส้นโค้งอิสระที่ i	เส้นโค้งอิสระของก้านแหวนลำดับที่ i

4. ผลจากการศึกษาการสร้างไวยากรณ์รูปร่างของเครื่องประดับแหวน

จากการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับวิธีไวยากรณ์รูปร่าง (กล่าวไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ เทคนิคไวยากรณ์รูปร่าง) พบว่า งานวิจัยเหล่านั้น มีการนำเสนอกฎรูปร่างสำหรับการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างที่แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งการนำเสนอออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ (Components of Product)

กลุ่มที่ 2 การแยกส่วนของผลิตภัณฑ์ (Partitioning of Product)

กลุ่มที่ 3 หน้าตัดของผลิตภัณฑ์ (Cross Section of Product)

งานวิจัยนี้ ทำการศึกษาการออกแบบเครื่องประดับแหวน โดยทำการพิจารณาแยกองค์ประกอบของเครื่องประดับแหวนเพื่อเปลี่ยนแปลงบริเวณหน้าแหวน และใช้หน้าตัดสำหรับสร้างพื้นผิวรูปทรงแหวนแบบสามมิติ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงจัดอยู่ในประเภทการผสมผสานกันระหว่างการแยกส่วนและหน้าตัดของผลิตภัณฑ์ (Partitioning and Cross Section of Product) และสามารถสร้างไวอากรณูรูปร่าง โดยมีส่วนประกอบ 4 ส่วน ดังนี้

$$SG = \{S, R, P, I\}$$

- SG คือ ไวอากรณูรูปร่าง
- S ประกอบด้วย จุดและเส้น
- R ประกอบด้วย กฎเริ่มต้น กฎเปลี่ยนแปลง กฎเฉพาะ และกฎสิ้นสุด
- P ประกอบด้วย เครื่องหมายจุด •
- I ประกอบด้วย เส้น (—)

โดยเซตขอบเขตของกฎรูปร่าง มีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

4.1 กฎเริ่มต้น (Original Rule)

กฎเริ่มต้น เป็นกฎสำหรับอธิบายการแบ่งช่วงของเส้น (Break Curve) ซึ่งจะถูกระบุการใช้สำหรับการแบ่งช่วงของเส้นบนหน้าตัด โดยช่วงดังกล่าวถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ด้วยขนาดที่เท่ากัน ดังแสดงในภาพ 56



ภาพ 56 แสดงตัวอย่างกฎเริ่มต้น

4.2 กฎการเปลี่ยนแปลง (Transitional Rule)

กฎการเปลี่ยนแปลง สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน มีรายละเอียด ดังนี้

ส่วนที่ 1 ผลจากการทบทวนวรรณกรรมในบทที่ 2 หัวข้อกฎรูปร่าง ดังแสดงในภาพ 14 นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ เรียกว่า กฎทั่วไป โดยกฎดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น

2 กลุ่ม คือ การเปลี่ยนแปลงโครงร่าง (Outline Transformation) และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง (Structure Transformation) ใช้เพื่อเปลี่ยนแปลงรูปทรงบริเวณหน้าแหวน ดังแสดงในตาราง 13

ส่วนที่ 2 ผลจากการศึกษาวิธีการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติ นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ เรียกว่า กฎเฉพาะเทคนิคสวิตช์ ลอพท์ และเครือข่ายเส้นโค้ง ใช้เพื่อสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวน

ส่วนที่ 3 ผลจากการศึกษาการออกแบบเครื่องประดับแหวน พบว่า การออกแบบเครื่องประดับแหวนจำเป็นต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้สวมใส่ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงนำกฎด้านความปลอดภัยมาใช้เพื่อปรับเหลี่ยมมุมที่มีความแหลมคมไม่ให้เกิดอันตรายเมื่อสวมใส่แหวน ดังแสดงในตาราง 13

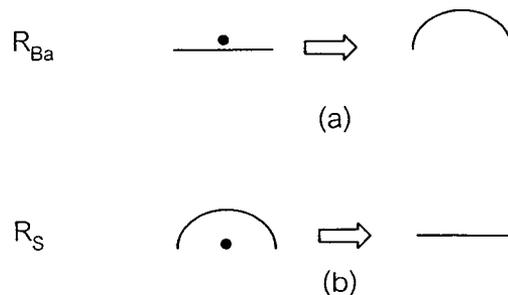
ตาราง 13 แสดงพารามิเตอร์ของกฎรูปร่าง

กลุ่ม	พารามิเตอร์	ชื่อ	ความหมาย
การเปลี่ยนแปลง โครงร่าง	R_S	Straighten	ตรง
	R_{Ba}	Bend Convex	โค้งนูนขึ้นหรือโค้งขึ้น
	R_{Bb}	Bend Concave	โค้งเว้าลงหรือโค้งลง
	R_{Ca}	Change Angles 1	การเปลี่ยนมุมแบบที่ 1
	R_{Cb}	Change Angles 2	การเปลี่ยนมุมแบบที่ 2
การเปลี่ยนแปลง โครงสร้าง	R_M	Mirror	การสะท้อน
	R_R	Rotate	การหมุน
	R_{CL}	Change Length	การเปลี่ยนความกว้าง
	R_{CW}	Change Height	การเปลี่ยนความสูง
	R_{CS}	Change Scale	การเปลี่ยนขนาดหรือ สัดส่วน
	R_A	Add Shape	การเพิ่มรูปร่างใหม่
	RA	Add Shape	การเพิ่มรูปร่างใหม่
	RC	Cut Shape	การตัดรูปร่าง

ตาราง 13 (ต่อ)

กลุ่ม	พารามิเตอร์	ชื่อ	ความหมาย
	R_{MO}	Change Shape Position (Move)	การเปลี่ยนตำแหน่ง รูปร่างหรือการย้าย ตำแหน่งรูปร่าง
	R_{COS}	Combine Shapes	การรวมรูปร่างอย่างน้อย 2 รูปร่าง
ด้านความปลอดภัย	R_{BC}	Bend Corner	กฎปรับเหลี่ยมมุม

ยกตัวอย่างการใช้กฎทั่วไป ดังแสดงในภาพ 57 เช่น ตัวอย่างการใช้กฎ R_{Ba} เป็นกฎสำหรับเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากเส้นตรงเปลี่ยนเป็นเส้นโค้งแบบนูนขึ้น (Bend Convex) ดังแสดงในภาพ 57a และตัวอย่างการใช้กฎ R_S เป็นกฎสำหรับเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากเส้นโค้งนูนขึ้นเปลี่ยนเป็นเส้นตรง ดังแสดงในภาพ 57b โดยกฎการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจะถูกประยุกต์ใช้ในตำแหน่งที่ถูกทำเครื่องหมายระบุตำแหน่ง (•) ไว้



ภาพ 57 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง

หมายเหตุ: (a) กฎโค้งขึ้น (Bend; R_{Ba})

(b) กฎตรง (Straighten; R_S)

อีกหนึ่งตัวอย่างเป็นการใช้กฎ R_{cos} ซึ่งเป็นการใช้กฎสำหรับการรวมรูปร่าง อย่างน้อยสองรูปร่างเข้าด้วยกัน กฎการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจะถูกประยุกต์ใช้ในตำแหน่งที่ถูกทำเครื่องหมายระบุตำแหน่ง (•) ไว้ดังแสดงในภาพ 58

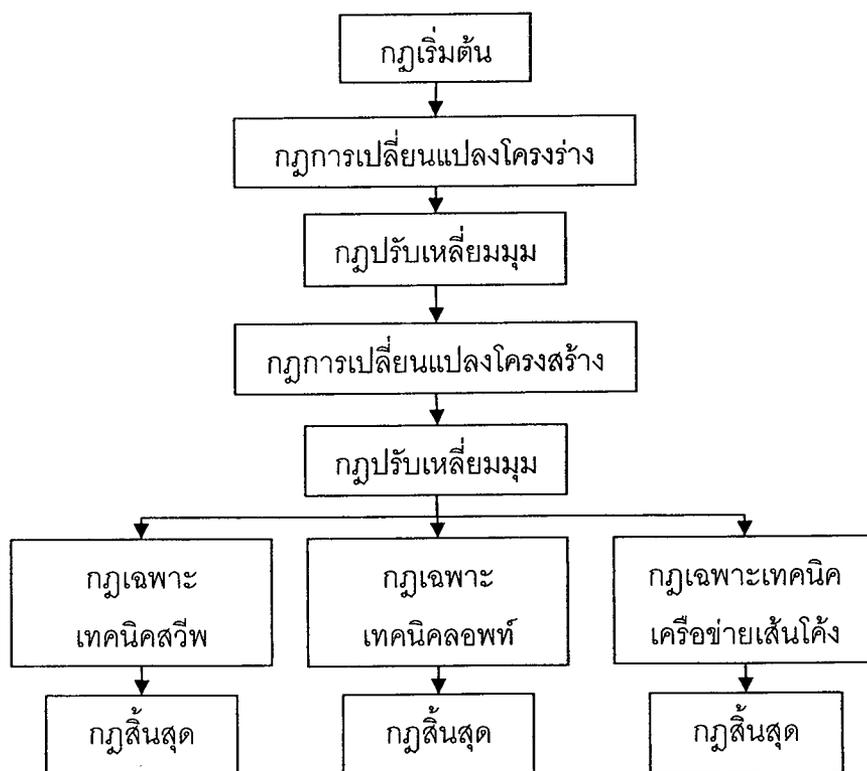


ภาพ 58 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้กฎการรวมรูปร่าง (Combine Shape; R_{cos})

4.3 กฎสิ้นสุด (Terminal Rule)

กฎสิ้นสุด เป็นกฎเงื่อนไขสำหรับหยุดการทำงานของระบบ ซึ่งจะถูกประยุกต์ใช้ในขั้นตอนสุดท้าย เพื่อหยุดการออกแบบเครื่องประดับแหวน

จากกฎรูปร่างที่ได้กล่าวมาข้างต้น มีรายละเอียดและขั้นตอนการประยุกต์ใช้กฎ ดังนี้ ในขั้นตอนแรก ระบบทำการสร้างหน้าตัดเริ่มต้น จากนั้นหน้าตัดดังกล่าวจะถูกประยุกต์ใช้กฎเริ่มต้น เพื่อทำการแบ่งช่วงของเส้นบนหน้าตัด ซึ่งแต่ละช่วงของเส้นจะถูกประยุกต์ใช้กฎการเปลี่ยนแปลงโครงร่าง เพื่อการสร้างลวดลาย จากนั้นหน้าตัดดังกล่าวจะถูกประยุกต์ใช้กฎการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง เพื่อให้หน้าตัดเกิดการเปลี่ยนแปลง หลังจากมีการประยุกต์ใช้กฎการเปลี่ยนแปลงโครงร่างและโครงสร้างทุกครั้ง จำเป็นต้องมีการใช้กฎปรับเปลี่ยนมุม เพื่อทำการปรับส่วนที่มีความแหลมคมของหน้าตัด ขั้นตอนต่อมาหน้าตัดดังกล่าวจะนำมาประยุกต์ใช้กฎเฉพาะเทคนิคเพียงกฎเดียว สำหรับสร้างพื้นผิวของรูปทรงแหวนแบบสามมิติ และในขั้นตอนสุดท้ายทำการประยุกต์ใช้กฎสิ้นสุด เพื่อหยุดการทำงานของระบบ ดังแสดงในภาพ 59



ภาพ 59 แสดงขั้นตอนการประยุกต์ใช้กฎในงานวิจัยนี้

5. ผลจากการศึกษาการออกแบบค่าพารามิเตอร์

จากการศึกษาการออกแบบค่าพารามิเตอร์ พบว่า จากการศึกษาขั้นตอนก่อนหน้า พารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของรูปทรงเครื่องประดับแหวน มีรายละเอียดดังนี้ พารามิเตอร์ของการแบ่งช่วงของเส้นบนหน้าตัด พารามิเตอร์ของกฎโครงร่าง พารามิเตอร์ของกฎโครงสร้าง จึงสามารถแบ่งผลการทดลองออกเป็น 5 กรณี ได้แก่

กรณีที่ 1 ผลการทดลองจากการศึกษาพารามิเตอร์การแบ่งช่วงของเส้นบนหน้าตัด

กรณีที่ 2 ผลการทดลองจากการศึกษาลำดับของการประยุกต์ใช้กฎโครงร่าง

กรณีที่ 3 ผลการทดลองการคัดเลือกตัวแทนของกลุ่มตัวอย่าง

กรณีที่ 4 ผลการทดลองการศึกษา ขอบเขตของพารามิเตอร์การประยุกต์ใช้กฎ

โครงสร้าง

กรณีที่ 5 ผลการทดลองการลำดับของการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง

กรณีศึกษาที่ 1 ผลการทดลองจากการศึกษาพารามิเตอร์การแบ่งช่วงของเส้นบนหน้าตัด

จากการศึกษาจำนวนการแบ่งช่วงของเส้นบนหน้าตัด ทำการทดลองโดยการสร้างหน้าตัดทุกกรณีที่เป็นไปได้ ซึ่งหน้าตัดดังกล่าวจะถูกแบ่งช่วงของเส้นตั้งแต่ช่วงที่ 1 ถึง 10 และทำการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างจำนวน 5 กฎ ซึ่งประกอบด้วย R_S , R_{Ba} , R_{Bb} , R_{Ca} และ R_{Cb} และทำการคัดเลือกหน้าตัดจำนวน 300 หน้าตัด พบว่า จำนวนของการแบ่งช่วงของเส้นบนหน้าตัดตั้งแต่ช่วงที่ 1 ถึง 5 หน้าตัดที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน และตั้งแต่ช่วงที่ 6 ขึ้นไป หน้าตัดดังกล่าวมีคล้ายคลึงกัน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้ขอบเขตของการแบ่งช่วงของเส้นไม่เกิน 5 ช่วง ดังแสดงในตาราง 14

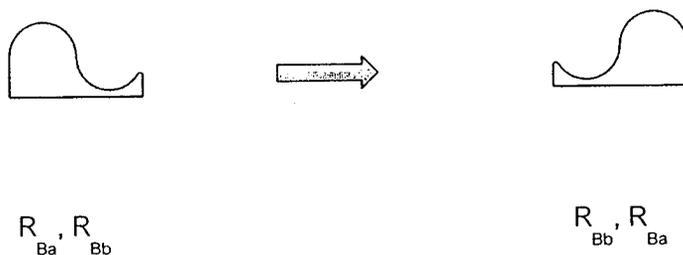
ตาราง 14 แสดงตัวอย่างผลการทดลองของการแบ่งช่วงของเส้นตั้งแต่ช่วงที่ 1 ถึง 10

ลำดับ ตัวอย่าง	จำนวนการแบ่งช่วงของเส้น									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										

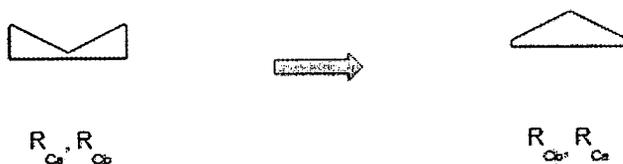
กรณีที่ 2 ผลการทดลองจากการศึกษาการลำดับของการประยุกต์ใช้กฎ โครงร่าง

จากการศึกษาการลำดับของการประยุกต์ใช้กฎโครงร่าง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 การลำดับของการประยุกต์ใช้กฎโครงร่างจำนวน 2 ครั้ง และกรณีที่ 2 การลำดับของการประยุกต์ใช้กฎโครงร่างจำนวน 3 ครั้งขึ้นไป (ดังแสดงตัวอย่างในตารางภาคผนวก ก ตาราง 41-45)

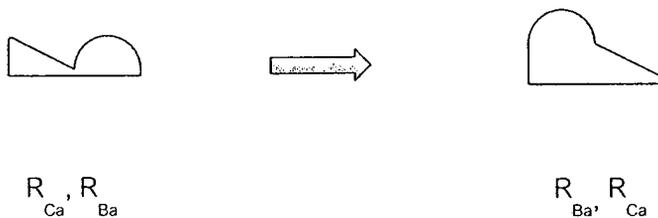
ผลการทดลองกรณีที่ 1 พบว่า การประยุกต์ใช้กฎ R_s , R_{Ba} และ R_{Bb} การจัดลำดับหรือ สลับตำแหน่งของกฎโครงร่างไม่ส่งผลทำให้รูปทรงเครื่องประดับแหวนเกิดการเปลี่ยนแปลง เพราะ กฎดังกล่าวส่งผลทำให้น้ำตัดมีความสมมาตร จึงสามารถลดจำนวนการทดลองได้ ตัวอย่างเช่น การใช้กฎ R_{Ba} และ R_{Bb} จัดลำดับใหม่เป็น R_{Bb} และ R_{Ba} ดังแสดงในภาพ 60 แต่เมื่อมีการ ประยุกต์ใช้กฎ R_{Ca} และ R_{Cb} การจัดลำดับของการประยุกต์ใช้กฎดังกล่าว ส่งผลต่อหน้าตัดของ รูปทรงเครื่องประดับแหวนเกิดการเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น การใช้กฎ R_{Ca} และ R_{Cb} จัดลำดับใหม่ เป็น R_{Cb} และ R_{Ca} ดังแสดงในภาพ 61 หากมีการประยุกต์ใช้กฎ R_{Ca} และ R_{Cb} ร่วมกับกฎ R_s , R_{Ba} และ R_{Bb} พบว่า การจัดลำดับส่งผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนเกิดการเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น การใช้กฎ R_{Ca} และ R_{Ba} จัดลำดับใหม่เป็น R_{Ba} และ R_{Ca} ดังแสดงในภาพ 62



ภาพ 60 แสดงตัวอย่างหน้าตัดจากการประยุกต์ใช้กฎ R_{Ba} และ R_{Bb}

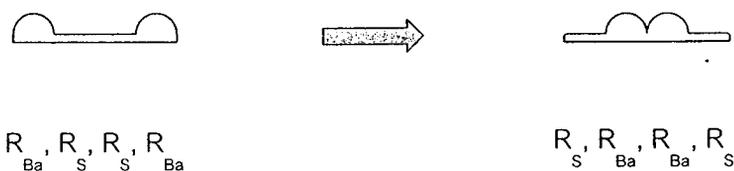


ภาพ 61 แสดงตัวอย่างหน้าตัดจากการประยุกต์ใช้กฎ R_{Ca} และ R_{Cb}



ภาพ 62 แสดงตัวอย่างหน้าตัดจากการประยุกต์ใช้กฎ R_{Ca} และ R_{Ba}

ผลการทดลองกรณีที่ 2 พบว่า การประยุกต์ใช้กฎ R_S , R_{Ba} , R_{Bb} , R_{Ca} และ R_{Cb} การจัดลำดับหรือสลับตำแหน่งของกฎโครงร่างจำนวน 3 ครั้งขึ้นไป ส่งผลทำให้รูปทรงเครื่องประดับแหวนเกิดการเปลี่ยนแปลง และมีความแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การใช้กฎ R_{Ba} , R_S , R_S และ R_{Ba} จัดลำดับใหม่เป็น R_S , R_{Ba} , R_{Ba} และ R_S ดังแสดงในภาพ 63 และตัวอย่างการใช้กฎ R_{Ca} และ R_S จัดลำดับใหม่เป็น R_S และ R_{Ca} ดังแสดงในภาพ 64



ภาพ 63 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้โครงร่างจำนวน 4 ครั้ง ประกอบด้วย กฎ R_{Ba} , R_S , R_S และ R_{Ba}

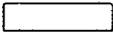
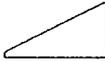
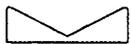
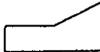
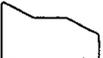


ภาพ 64 แสดงตัวอย่างการประยุกต์ใช้โครงร่างจำนวน 4 ครั้ง ประกอบด้วย กฎ R_{Ca} , R_{Bb} , R_{Bb} และ R_{Cb}

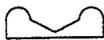
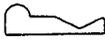
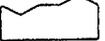
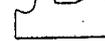
กรณี 3 ผลการทดลองการคัดเลือกตัวแทนของกลุ่มตัวอย่าง

ผลการทดลองการคัดเลือกตัวแทนของกลุ่มตัวอย่างด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบสวิตช์ โดยมีเกณฑ์ในการเลือกรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่มีหน้าแหวนแบบสมมาตรและไม่สมมาตร เพื่อใช้สำหรับการทดลองหาขอบเขตของค่าพารามิเตอร์ของแต่ละกฎโครงสร้างและการจัดลำดับหรือสลับตำแหน่งการใช้กฎโครงสร้าง มีจำนวนทั้งหมด 30 หน้าตัด ดังแสดงในตาราง 15

ตาราง 15 แสดงผลการทดลองการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิว แบบสวิตช์

กฎโครงร่าง	R_S	R_{Ba}	R_{Bb}	R_{Ca}	R_{Cb}	R_{Ba}, R_{Ba}
หน้าตัด						
						
กฎโครงร่าง	R_{Ca}, R_{Cb}	R_{Cb}, R_{Ca}	R_{Ba}, R_S	R_{Ba}, R_{Bb}	R_{Cb}, R_S	R_S, R_{Ba}, R_S
หน้าตัด						
						
กฎโครงร่าง	R_{Ba}, R_S, R_{Ba}	R_{Ca}, R_S, R_{Ca}	R_{Ba}, R_{Cb}, R_{Ca}	R_{Ca}, R_S, R_{Ba}	R_{Bb}, R_S, R_{Ca}	R_S, R_{Ba}, R_{Ba}, R_S
หน้าตัด						
						

ตาราง 15 (ต่อ)

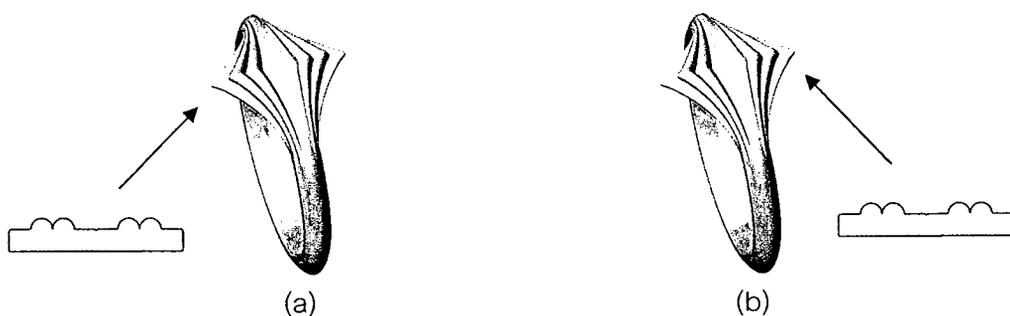
กฎโครงสร้าง	$R_{Ba}, R_{Cb}, R_{Ca}, R_{Ba}$	$R_{Bb}, R_{Ca}, R_{Cb}, R_{Bb}$	R_S, R_{Bb}, R_{Ba}, R_S	$R_{Ba}, R_S, R_{Cb}, R_{Ca}$	$R_{Ca}, R_{Cb}, R_{Ba}, R_{Bb}$	$R_S, R_{Ba}, R_S, R_{Ba}, R_S$
หน้าตัด						
						
กฎโครงสร้าง	$R_{Ba}, R_S, R_{Bb}, R_S, R_{Ba}$	$R_{Cb}, R_{Ca}, R_S, R_{Ca}, R_{Cb}$	$R_S, R_{Ba}, R_{Bb}, R_{Ca}, R_{Cb}$	$R_{Ca}, R_{Cb}, R_S, R_{Cb}, R_{Ca}$	$R_{Cb}, R_{Ca}, R_S, R_{Ba}, R_{Bb}$	$R_{Ca}, R_S, R_{Ba}, R_S, R_{Cb}$
หน้าตัด						
						

กรณีที่ 4 ผลการทดลองจากการศึกษาขอบเขตของพารามิเตอร์ในการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง

จากการคัดเลือกตัวแทนของกลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 หน้าตัด นำหน้าตัดดังกล่าวมาทดสอบหาขอบเขตของการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง พบว่า สามารถแบ่งผลการทดลองออกเป็น 8 กรณี ได้แก่

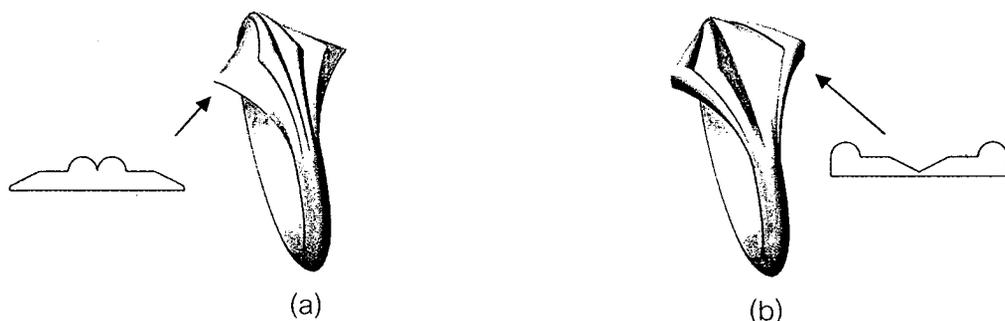
กรณีที่ 1 การประยุกต์ใช้กฎการสะท้อน (R_M) ทำการทดลองจำนวน 10 ครั้งต่อหนึ่งหน้าตัด โดยทำการเพิ่มค่าพารามิเตอร์ของตำแหน่งการประยุกต์ใช้กฎ R_M (PR_M) ครั้งละ 0.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในตาราง 16 จากผลการทดลองที่ได้สามารถแบ่งผลลัพธ์ออกเป็น 2 รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ 1 หน้าแหวนของรูปทรงที่มีความสมมาตร เมื่อทำการประยุกต์ใช้กฎ R_M ณ ตำแหน่งด้านซ้ายและขวาของรูปทรง พบว่า หน้าแหวนของรูปทรงที่ได้มีความคล้ายคลึงกัน และสามารถลดจำนวนการทดลองได้ ดังแสดงในภาพ 65



ภาพ 65 แสดงตัวอย่างการกฎประยุกต์ใช้กฎ R_M ตำแหน่งด้านซ้าย (-) และขวา (+) ของหน้าตัด

รูปแบบที่ 2 หน้าแหวนของรูปทรงที่ไม่มีความสมมาตร เมื่อทำประยุกต์ใช้กฎ R_M ณ ตำแหน่งด้านซ้ายและขวาของรูปทรง พบว่า รูปทรงที่ได้มีความแตกต่างกัน และสามารถประยุกต์ใช้กฎ R_M อย่างต่อเนื่องได้ไม่เกิน 2.5 มิลลิเมตร ($-2.5 \leq PR_M \leq 2.5$) ดังแสดงในภาพ 66

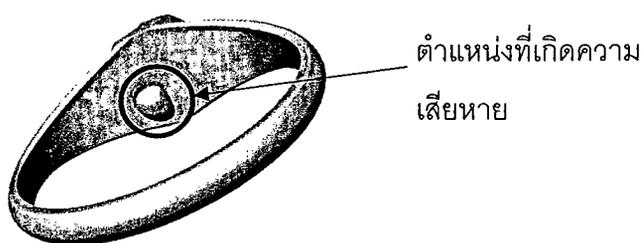


ภาพ 66 แสดงตัวอย่างการกฎประกยุคตี้ใช้กฎ R_M ตำแหน่งด้านซ้าย (-) และขวา (+) ของหน้าตัด

หมายเหตุ: (a) ตำแหน่งด้านซ้าย (-)

(b) ตำแหน่งด้านขวา (+)

กรณีนี้ที่ 2 การประกยุคตี้ใช้กฎการหมุน (R_R) ทำการทดลองจำนวน 16 ครั้งต่อหนึ่งหน้าตัด โดยทำการเพิ่มค่าพารามิเตอร์ขององศา (PR_R) ครั้งละ 10 องศา ผลการทดลองพบว่า รูปทรงที่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลง และสามารถเพิ่มองศาได้สูงสุดไม่เกิน 80 องศา ($-80 \leq PR_R \leq 80$) ดังแสดงในตาราง 17 เนื่องจากหากมีการประกยุคตี้ใช้กฎ R_R มากกว่า 80 องศา รูปทรงที่ได้เกิดมีขนาดความสูงเกินกว่าที่กำหนดไว้ และเกิดความเสียหาย ดังแสดงในภาพ 67



ภาพ 67 แสดงตัวอย่างรูปทรงที่เกิดความเสียหายจากการกฎประกยุคตี้ใช้กฎ R_R

กรณีนี้ที่ 3 การประกยุคตี้ใช้กฎการเปลี่ยนความกว้าง (R_{CL}) ทำการทดลองจำนวน 9 ครั้งต่อหนึ่งหน้าตัด โดยทำการเพิ่มค่าพารามิเตอร์ขนาดของกฎ R_{CL} (PR_{CL}) ครั้งละ 0.5 เท่า ผลการทดลองพบว่า รูปทรงที่ได้มีความคล้ายคลึงกัน แต่มีขนาดของรูปทรงกว้างขึ้น ซึ่งสามารถเพิ่ม

ค่าพารามิเตอร์ของกฎ R_{CL} ไม่เกิน 3 เท่า ($1.5 \leq PR_{CL} \leq 3$) เพราะหากค่าพารามิเตอร์เกินกว่าค่าดังกล่าว รูปทรงของเครื่องประดับแหวนจะมีขนาดของรูปทรงเกินกว่าที่กำหนดไว้ ดังแสดงในตาราง 18

กรณีที่ 4 การประยุกต์ใช้กฎการเปลี่ยนความสูง (R_{CW}) ทำการทดลองจำนวน 9 ครั้งต่อหนึ่งหน้าตัด โดยทำการเพิ่มค่าพารามิเตอร์ของกฎ R_{CW} (PR_{CW}) ครั้งละ 0.5 เท่า ผลการทดลองพบว่า รูปทรงที่ได้มีความคล้ายคลึงกัน แต่มีขนาดความสูงของรูปทรงมากขึ้น ซึ่งสามารถเพิ่มค่าพารามิเตอร์ไม่เกิน 3 เท่า ($1.5 \leq PR_{CW} \leq 3$) เพราะหากค่าพารามิเตอร์เกินกว่าค่าดังกล่าว รูปทรงของเครื่องประดับแหวนจะมีขนาดความสูงของรูปทรงเกินกว่าที่กำหนดไว้ ดังแสดงในตาราง 19

กรณีที่ 5 การประยุกต์ใช้กฎการเปลี่ยนขนาดหรือสัดส่วน (R_{CS}) ทำการทดลองจำนวน 9 ครั้งต่อหนึ่งหน้าตัด โดยทำการเพิ่มค่าพารามิเตอร์ของกฎ R_{CS} (PR_{CS}) ครั้งละ 0.5 เท่า ผลการทดลองพบว่า รูปทรงที่ได้มีความคล้ายคลึงกัน แต่มีขนาดความกว้างและความสูงของรูปทรงเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน ซึ่งสามารถเพิ่มค่าพารามิเตอร์ของกฎ R_{CS} ไม่เกิน 3 เท่า ($1.5 \leq PR_{CS} \leq 3$) เพราะหากค่าพารามิเตอร์เกินกว่าค่าดังกล่าว รูปทรงเครื่องประดับแหวนจะมีขนาดของความกว้างและความสูงเกินกว่าที่กำหนดไว้ ดังแสดงในตาราง 20

กรณีที่ 6 การประยุกต์ใช้กฎการเพิ่มรูปร่างใหม่ (R_A) ทำการเพิ่มรูปร่างใหม่ โดยใช้รูปร่างวงกลม ณ ตำแหน่งจุดตัดกึ่งกลางของรูปร่าง และทำการเพิ่มขนาดของรัศมีวงกลม (PR_A) ครั้งละ 0.5 มิลลิเมตร โดยทำการทดลองจำนวน 10 ครั้งต่อหนึ่งหน้าตัด ผลการทดลองพบว่า รูปร่างที่ได้เกิดการเปลี่ยนแปลง และมีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถเพิ่มค่าพารามิเตอร์ของกฎ R_A ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร ($1 \leq PR_A \leq 3$) เนื่องจากหากค่าพารามิเตอร์เกินกว่าค่าดังกล่าว รูปทรงที่ได้มีความคล้ายคลึงกัน ดังแสดงในตาราง 21

กรณีที่ 7 การประยุกต์ใช้กฎการตัดรูปร่าง (R_C) ทำการตัดรูปร่าง และลบรูปร่างที่ไม่ต้องการทิ้ง ทำการทดลองจำนวน 9 ครั้งต่อหนึ่งหน้าตัด โดยเพิ่มค่าพารามิเตอร์ของกฎ R_C (PR_C) ครั้งละ 0.5 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่า รูปทรงเครื่องประดับแหวนเกิดการเปลี่ยนแปลง และมีความแตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองสามารถกำหนดขอบเขตค่าพารามิเตอร์ของกฎ R_C โดยการประยุกต์ใช้กฎ R_C อย่างต่อเนื่องได้ไม่เกิน 4 ครั้ง ($1 \leq PR_C \leq 4$) หากค่าพารามิเตอร์เกินกว่าค่าดังกล่าว รูปทรงเครื่องประดับแหวนจะมีขนาดเล็กเกินกว่าขนาดที่กำหนด ดังแสดงในตาราง 22

กรณีที่ 8 การประยุกต์ใช้กฎการย้ายรูปร่าง (R_{MO}) ทำการย้ายรูปร่างไปยังตำแหน่งใหม่ และเพิ่มค่าพารามิเตอร์ของกฎ R_{MO} (PR_{MO}) ครั้งละ 1 มิลลิเมตร ทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง

ต่อหนึ่งหน้าตัด ผลการทดลอง พบว่า รูปทรงเกิดการเปลี่ยนแปลง และมีความแตกต่างกัน จากการทดลองสามารถกำหนดขอบเขตของค่าพารามิเตอร์ของกฎ R_{MO} โดยการประยุกต์ใช้กฎ R_{MO} อย่างต่อเนื่องได้ไม่เกิน 5 ครั้ง ($-5 \leq PR_{MO} \leq 5$) หากเกินกว่าค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว รูปทรงเครื่องประดับแหวนมีขนาดเกินกว่าที่กำหนดไว้ ดังแสดงในตาราง 23

ตาราง 16 แสดงตัวอย่างผลการทดลองจากการประยุกต์ใช้กฎ R_M

กฎโครงสร้าง	ตำแหน่ง											
	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5	1	1.5	2	2.5	
R_{Ca}, R_{Cb}												
$R_{Ca},$ R_S, R_{Ba}												
$R_S, R_{Ba},$ R_{Ba}, R_S												
$R_{Cb}, R_{Ca},$ R_S, R_{Ba}, R_{Bb}												

ตาราง 17 แสดงผลการทดลองจากการประยุกต์ใช้กฎ R_R

กฎโครงร่าง	ตำแหน่ง (องศา)															
	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	10	20	30	40	50	60	70	80
$R_{Ca'}, R_{Cb}$																
$R_{Ca'}$ $R_{S'}, R_{Ba}$																
$R_{S'}, R_{Ba'}$ $R_{Ba'}, R_S$																
$R_{Cb'}, R_{Ca'}$ $R_{S'}, R_{Ba'}, R_{Bb}$																

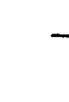
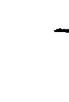
ตาราง 18 แสดงผลการทดลองจากการประยุกต์ใช้กฎ R_{CL}

กฎโครงสร้าง	ขนาด (เท่า)								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
R_{Ca}, R_{Cb}									
R_{Ca}, R_{S}, R_{Ba}									
R_{S}, R_{Ba} R_{Ba}, R_{S}									
R_{Cb}, R_{Ca} R_{S}, R_{Ba}, R_{Bb}									

ตาราง 19 แสดงผลการทดลองจากการประยุกต์ใช้กฎ R_{CW}

กฎโครงร่าง	ขนาด (เท่า)								
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
R_S, R_{Ba}, R_S									
R_{Ca}, R_S, R_{Ba}									
$R_S, R_{Ba},$ R_{Ba}, R_S									
$R_{Cb}, R_{Ca},$ R_S, R_{Ba}, R_{Bb}									

ตาราง 20 แสดงผลการทดลองจากการประยุกต์ใช้กฎ R_{CS}

กฎโครงร่าง	ขนาด (เท่า)									
	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	
R_S, R_{Ba}, R_S										
R_{Ca}, R_S, R_{Ba}										
$R_S, R_{Ba},$ R_{Ba}, R_S										
$R_{Cb}, R_{Ca},$ R_S, R_{Ba}, R_{Bb}										

ตาราง 21 แสดงผลการทดลองจากการประยุกต์ใช้กฎ R_A

กฎโครงสร้าง	ขนาดรัศมี (มิลลิเมตร)									
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
R_{Ca}, R_{Cb}										
R_{Ca}, R_{S}, R_{Ba}										
$R_{S}, R_{Ba}, R_{Ba}, R_{S}$										
$R_{Cb}, R_{Ca}, R_{S}, R_{Ba}, R_{Bb}$										

ตาราง 22 แสดงผลการทดลองจากการประยุกต์ใช้กฎ R_c

กฎโครงร่าง	จำนวนครั้ง								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_{Ca}, R_{Cb}									
R_{Ca}, R_S, R_{Ba}									
R_S, R_{Ba}, R_{Ba}, R_S									
$R_{Cb}, R_{Ca}, R_S, R_{Ba}, R_{Bb}$									

ตาราง 23 แสดงผลการทดลองจากการประยุกต์ใช้กฎ R_{Mo}

กฎโครงสร้าง	ตำแหน่ง (มิลลิเมตร)										
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
R_{Ba}, R_S											
R_{Ca}, R_S, R_{Ba}											
R_S, R_{Ba}, R_{Ba}, R_S											
$R_{Cb}, R_{Ca}, R_S, R_{Ba}, R_{Bb}$											

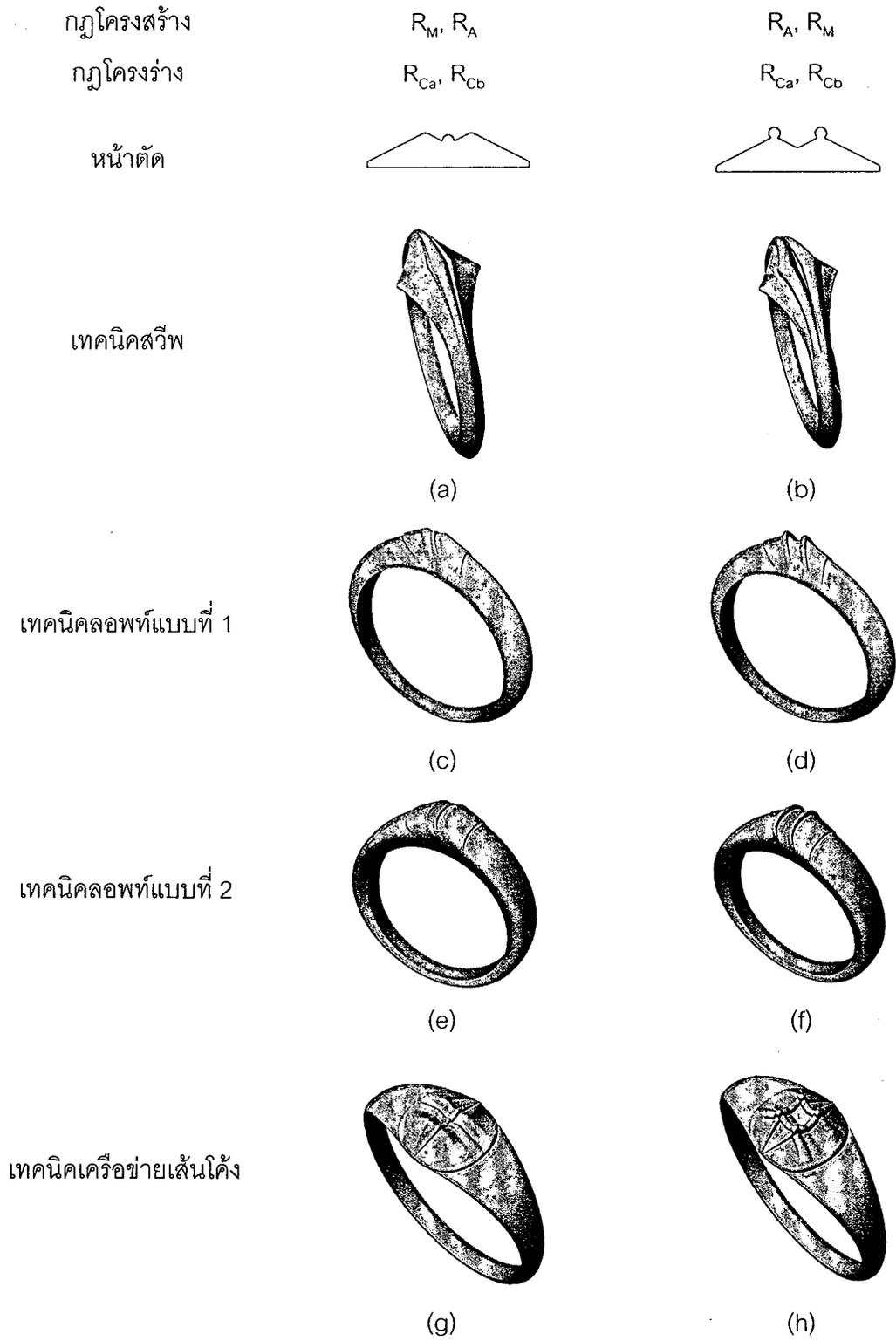
จากผลการทดลองทั้งหมด ซึ่งสามารถนำมาสรุปขอบเขตพารามิเตอร์ของกฎโครงสร้าง ดังแสดงในตาราง 24

ตาราง 24 แสดงขอบเขตพารามิเตอร์ของกฎโครงสร้าง

ลำดับ	กฎโครงสร้าง	สมการ	ค่าพารามิเตอร์สูงสุด	หน่วย
1	R_M	$-2.5 \leq R_M \leq 2.5$	2.5	มิลลิเมตร
2	R_R	$-80 \leq R_R \leq 80$	80	องศา
3	R_{CL}	$1.5 \leq R_{CL} \leq 3$	3	เท่า
4	R_{CW}	$1.5 \leq R_{CW} \leq 3$	3	เท่า
5	R_{CS}	$1.5 \leq R_{CS} \leq 3$	3	เท่า
6	R_A	$1 \leq R_A \leq 3$	3	มิลลิเมตร
7	R_C	$1 \leq R_C \leq 4$	4	ครั้ง
8	R_{MO}	$-5 \leq R_{MO} \leq 5$	5	มิลลิเมตร

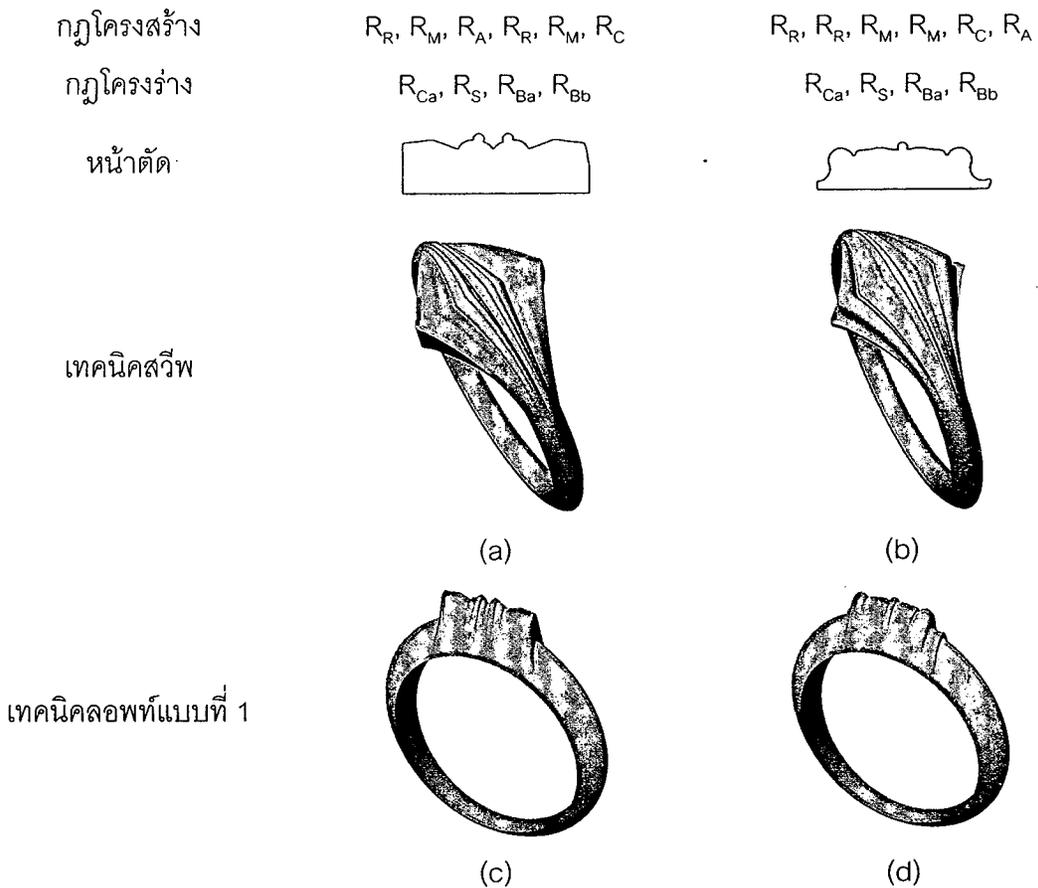
กรณีที่ 5 ผลการทดลองการลำดับของการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง

จากผลการศึกษาการลำดับของการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างจำนวน 2 ครั้งขึ้นไป (ดังแสดงตัวอย่างในภาคผนวก ก ตาราง 46-48) ตามลำดับ พบว่า การประยุกต์ใช้โครงสร้างมากกว่า 1 กฎขึ้นไป ส่งผลให้รูปทรงเครื่องประดับแหวนมีการเปลี่ยนแปลง และมีความแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างจำนวน 2 ครั้ง ประกอบด้วยกฎโครงสร้าง R_{Ca} และ R_{Cb} สำหรับการสร้างหน้าตัด และกฎโครงสร้าง R_M และ R_A ซึ่งมีการจัดลำดับกฎโครงสร้างดังนี้ R_M, R_A จัดลำดับใหม่เป็น R_A, R_M ดังแสดงในภาพ 68 และตัวอย่างการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างจำนวน 5 ครั้ง ประกอบด้วยกฎโครงสร้าง R_{Ca}, R_S, R_{Ba} และ R_{Bb} สำหรับการสร้างหน้าตัด และกฎโครงสร้าง R_M, R_M, R_R, R_R, R_A และ R_C ซึ่งมีการจัดลำดับกฎโครงสร้างดังนี้ $R_R, R_M, R_A, R_R, R_M, R_C$ จัดลำดับใหม่เป็น $R_R, R_R, R_M, R_M, R_C, R_A$ ดังแสดงในภาพ 69

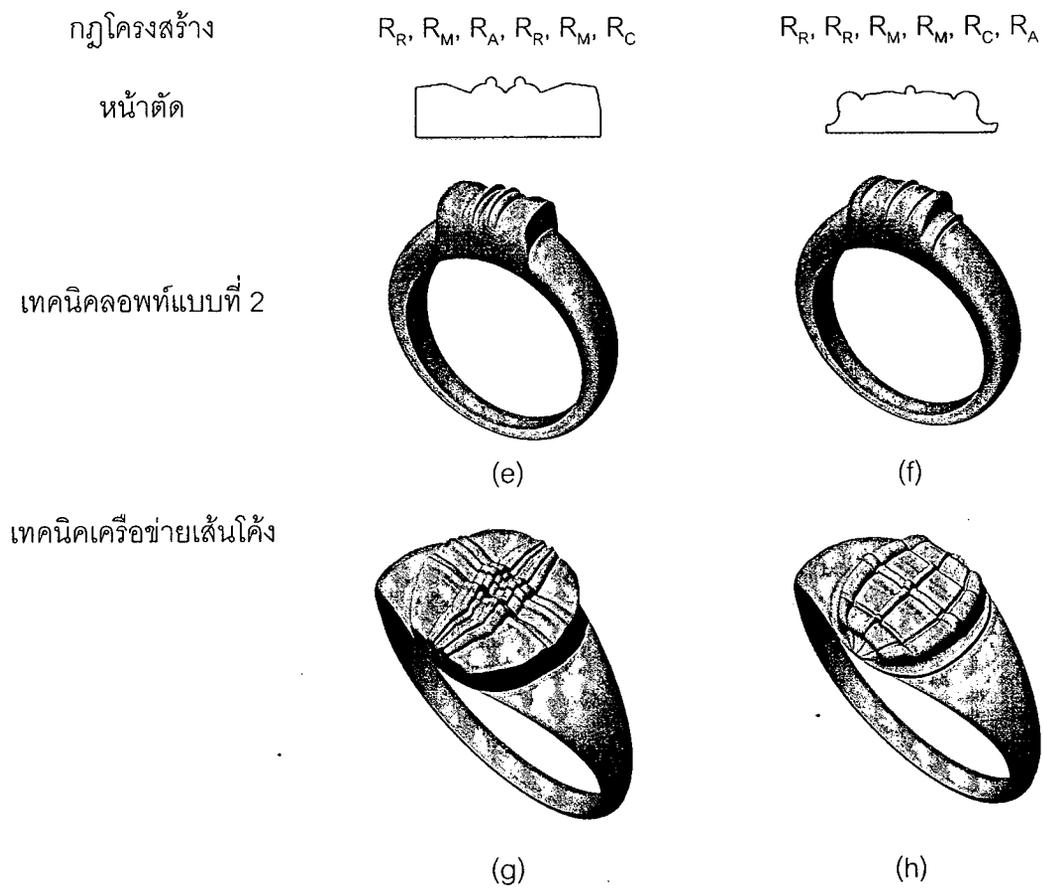


ภาพ 68 แสดงตัวอย่างการจัดลำดับตำแหน่งของการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง R_M และ R_A

- หมายเหตุ: (a) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ R_M และ R_A ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบสลีฟ
 (b) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ R_A และ R_M ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบสลีฟ
 (c) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ R_M และ R_A ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบลอฟท์ 1
 (d) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ R_A และ R_M ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบลอฟท์ 1
 (e) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ R_M และ R_A ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบลอฟท์ 2
 (f) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ R_A และ R_M ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบลอฟท์ 2
 (h) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ R_M และ R_A ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบเครือข่ายเส้นโค้ง
 (g) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ R_A และ R_M ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบเครือข่ายเส้นโค้ง



ภาพ 69 แสดงตัวอย่างการจัดลำดับตำแหน่งของการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง R_R, R_R, R_M, R_M, R_C และ R_A



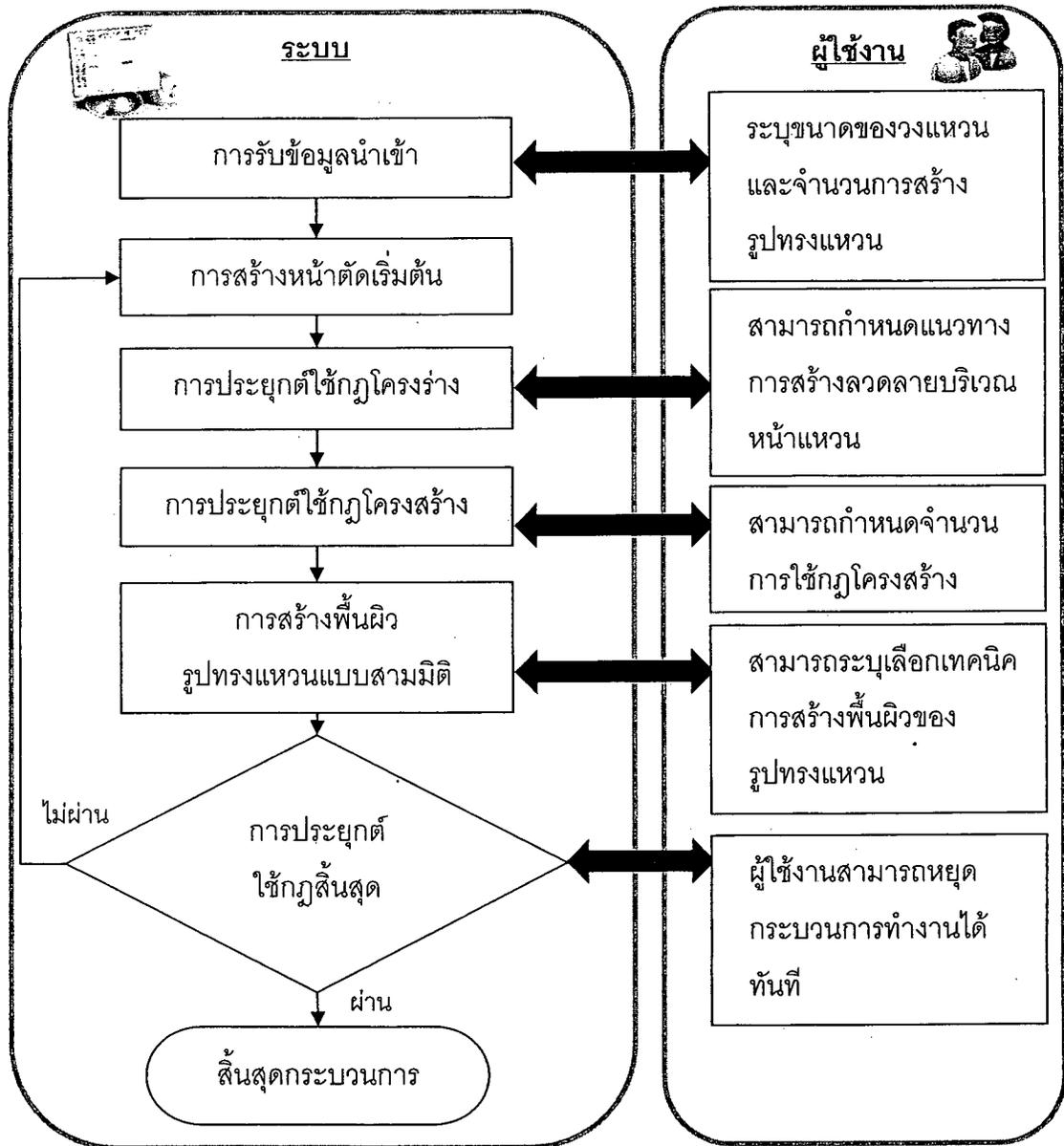
ภาพ 69 (ต่อ)

- หมายเหตุ: (a) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ $R_R, R_M, R_A, R_R, R_M, R_C$ ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบสวิตช์
- (b) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ $R_R, R_R, R_M, R_M, R_C, R_A$ ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบสวิตช์
- (c) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ $R_R, R_M, R_A, R_R, R_M, R_C$ ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบลอฟท์ 1
- (d) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ $R_R, R_R, R_M, R_M, R_C, R_A$ ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบลอฟท์ 1
- (e) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ $R_R, R_M, R_A, R_R, R_M, R_C$ ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบลอฟท์ 2

- (f) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ $R_R, R_R, R_M, R_M, R_C, R_A$ ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบลอฟท์ 2
- (h) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ $R_R, R_M, R_A, R_R, R_M, R_C$ ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบเครือข่ายเส้นโค้ง
- (g) รูปทรงแหวนประยุกต์ใช้กฎ $R_R, R_R, R_M, R_M, R_C, R_A$ ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวแบบเครือข่ายเส้นโค้ง

6. ผลการพัฒนาระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ

จากการพัฒนาระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติโดยใช้วิธีไวยากรณ์รูปร่าง ด้วยภาษาวิปัสคริปต์บนโปรแกรม Rhinoceros 5.0 มีขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 7 ขั้นตอน ดังแสดงในภาพ 70 และรายละเอียดขั้นตอน ดังนี้



ภาพ 70 แสดงแผนผังการไหลของขั้นตอนการทำงานของระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติด้วยวิธีไวยากรณ์รูปร่าง

1. การรับข้อมูลนำเข้า

ระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ ทำการรับข้อมูลนำเข้าจากผู้ใช้งาน โดยผู้ใช้งานป้อนข้อมูลนำเข้า ซึ่งข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย ขนาดของวงแหวนและจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวน

2. การสร้างหน้าตัดเริ่มต้น (Initial Shape)

ระบบทำการสร้างเส้นโค้งหน้าตัดเริ่มต้น (Cross-Section Curve/Curves)

3. การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง

ระบบทำการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังแสดงในภาพ 71 เริ่มต้นระบบทำการสุ่มจำนวนการแบ่งช่วงของเส้น (หรือสามารถพัฒนาให้ผู้ใช้งานสามารถระบุจำนวนการแบ่งช่วงของเส้นได้) และทำการแบ่งช่วงของเส้นบนหน้าตัด จากนั้นระบบสุ่มเลือกกฎโครงสร้าง เพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลงเส้นโค้งบนหน้าตัด ซึ่งกฎดังกล่าวประกอบด้วย กฎตรง กฎโค้ง ขึ้น กฎโค้งลง กฎการเปลี่ยนมุมแบบที่ 1 และกฎการเปลี่ยนมุมแบบที่ 2 ระบบทำการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างบนหน้าตัด หลังจากนั้นระบบทำการประยุกต์ใช้กฎปรับเปลี่ยนมุม และจะมีการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างซ้ำจนกว่าครบจำนวนการแบ่งช่วงของเส้น

4. การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง

ระบบทำการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างบนหน้าตัด ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังแสดงในภาพ 72 เริ่มต้นโดยระบบทำการสุ่มเลือกจำนวนการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง (หรือสามารถพัฒนาให้ผู้ใช้งานสามารถระบุจำนวนการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างได้) จากนั้นระบบสุ่มเลือกกฎโครงสร้าง เพื่อใช้เปลี่ยนแปลงโครงสร้างเส้นโค้งของหน้าตัด ซึ่งกฎดังกล่าวประกอบด้วย กฎการสะท้อน กฎการหมุน กฎการเปลี่ยนความกว้าง กฎการเปลี่ยนความสูง กฎการเปลี่ยนขนาดเป็นสัดส่วน กฎการเพิ่มรูปร่างใหม่ กฎการตัดรูปร่าง และกฎการย้ายตำแหน่งรูปร่าง หลังจากนั้นระบบทำการประยุกต์ใช้กฎปรับเปลี่ยนมุม และจะมีการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างซ้ำจนกว่าครบจำนวนการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง

5. การสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติ

ระบบทำการประยุกต์ใช้กฎเฉพาะ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังแสดงในภาพ 73 เริ่มต้นระบบทำการเลือกเทคนิคการสร้างพื้นผิวของรูปทรงแหวน (หรือสามารถพัฒนาให้ผู้ใช้งานสามารถระบุเลือกเทคนิคการสร้างพื้นผิวของรูปทรงแหวนได้) เพื่อใช้สร้างพื้นผิวรูปทรงแหวนแบบสามมิติ ประกอบด้วย เทคนิคแบบสวิฟ เทคนิคแบบลอฟท์ที่ 1 เทคนิคแบบลอฟท์ที่ 2 และเทคนิคแบบเครือข่ายเส้นโค้ง

6. การประยุกต์ใช้กฎสิ้นสุด

ระบบทำการประยุกต์ใช้กฎสิ้นสุด โดยทำการตรวจเช็คจำนวนการสร้างรูปทรงแหวนครบหรือไม่ โดยระบบรับข้อมูลดังกล่าวจากขั้นตอนที่ 1 (จากผู้ใช้งานกำหนดไว้) และระบบ

สามารถหยุดการทำงานทันทีเมื่อผู้ใช้งานหยุดการทำงาน และถ้าจำนวนการสร้างรูปทรงแหวนไม่ครบจะกลับไปดำเนินงานตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

7. สิ้นสุดกระบวนการทำงานของระบบ

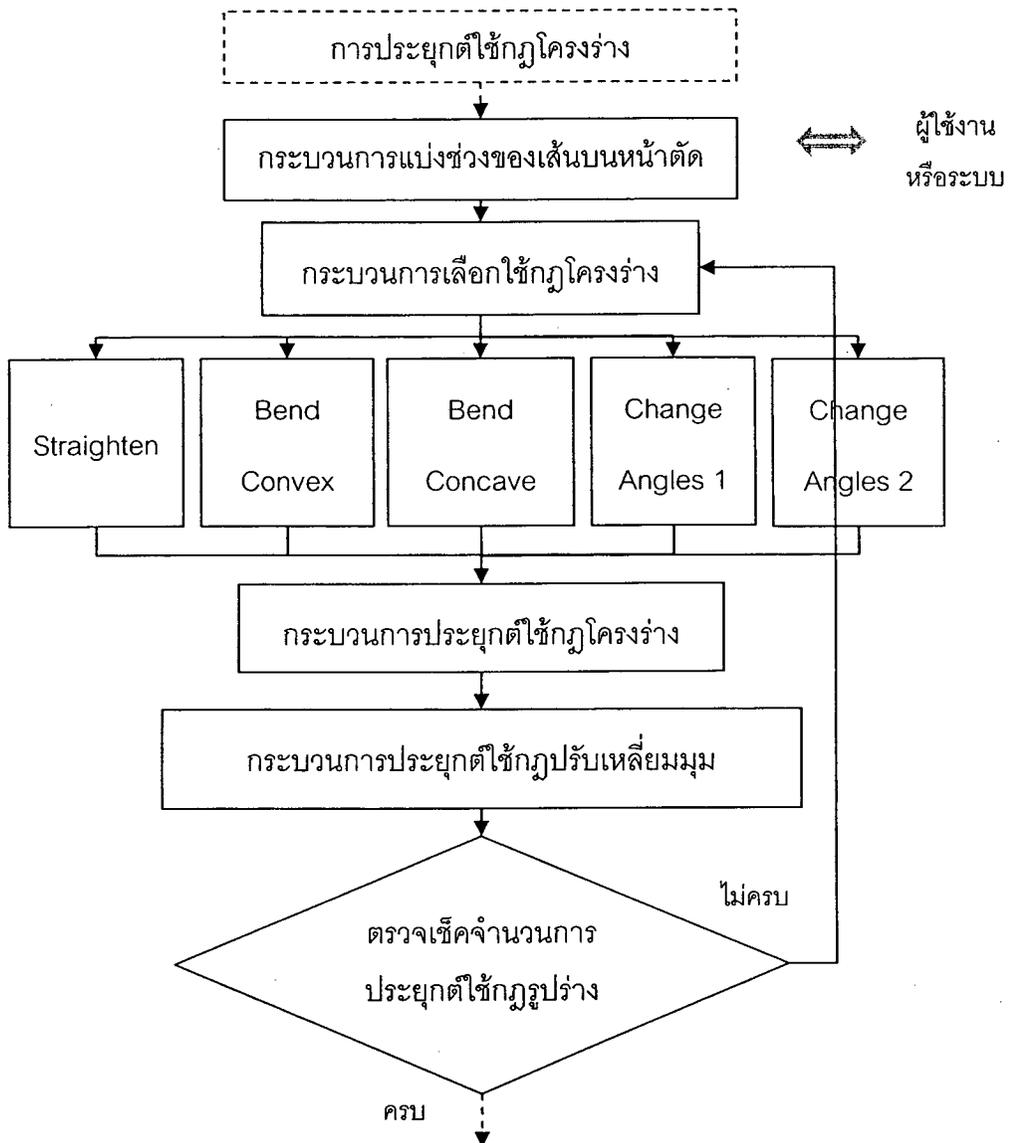
ระบบแสดงผลพัทธ์รูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติทั้งหมดตามจำนวนของการสร้างรูปทรงแหวนตามที่คุณใช้งานกำหนดไว้บนหน้าจอโปรแกรม Rhinoceros 5.0 ดังแสดงในภาพ 74

จากการพัฒนาระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ ทำการทดลองสร้างการออกแบบด้วยจำนวนผลพัทธ์ 10, 20, 30, 50, 70 และ 100 รูปทรง ด้วยเทคนิคการสร้างพื้นผิวรูปทรงแหวนแบบสวิตช์ ลอพท์แบบที่ 1 ลอพท์แบบที่ 2 และเครื่องข่ายเส้นโค้ง พบว่า การออกแบบรูปทรงแหวนจำนวน 10, 20, 30, 50 และ 100 รูปทรง ระบบใช้เวลาในการทำงาน 00.25, 00.55, 02.10, 06.35, 09.10 และ 13.56 นาที ตามลำดับ ดังแสดงในตาราง 25

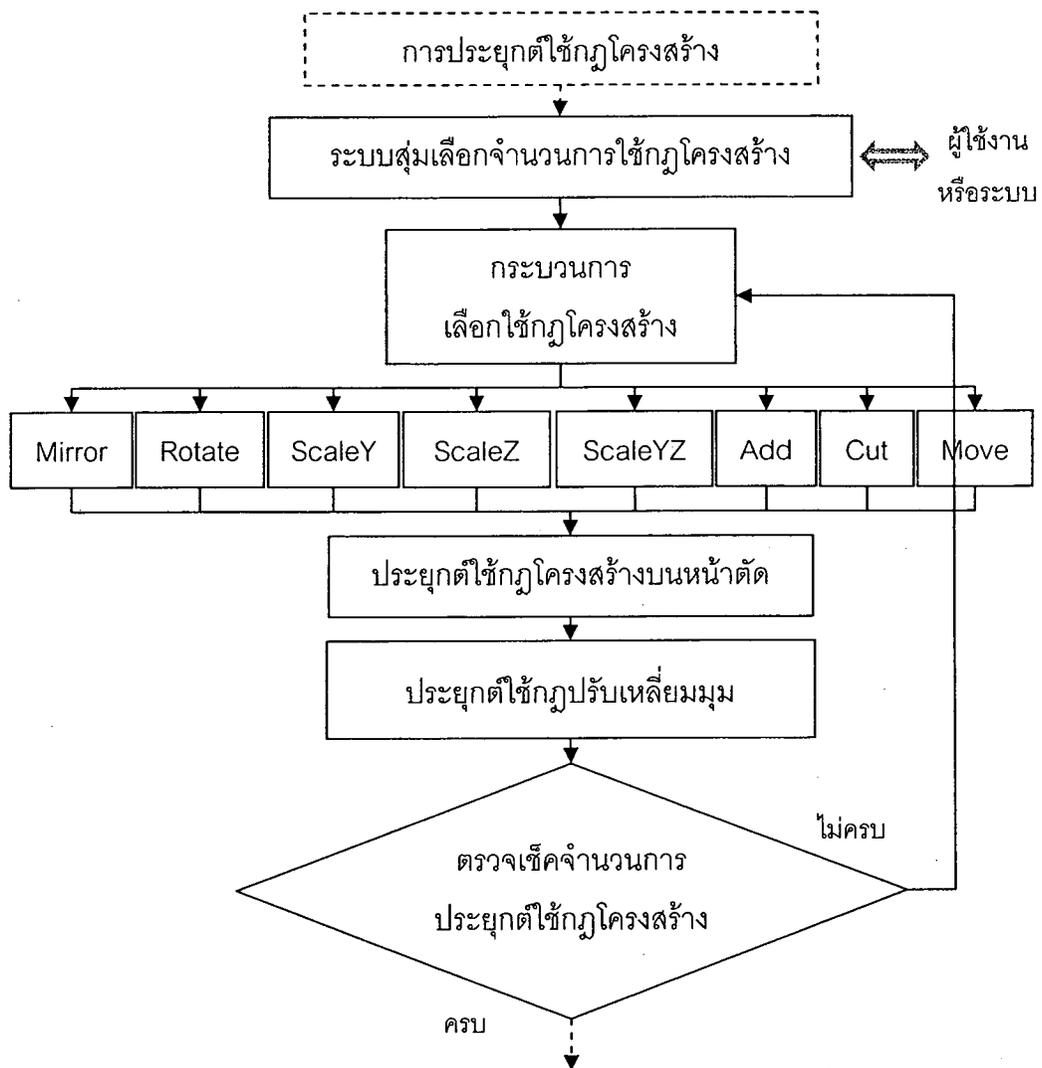
ระบบดังกล่าวสามารถสร้างและแสดงผลพัทธ์ของรูปทรงแหวนที่มีความหลากหลายได้จำนวนมาก และรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ได้มีความสวยงามและแปลกใหม่ ดังแสดงในภาพ 74

ตาราง 25 แสดงตัวอย่างจำนวนการสร้างรูปทรงแหวนและเวลาที่ใช้ในการทำงานของระบบ

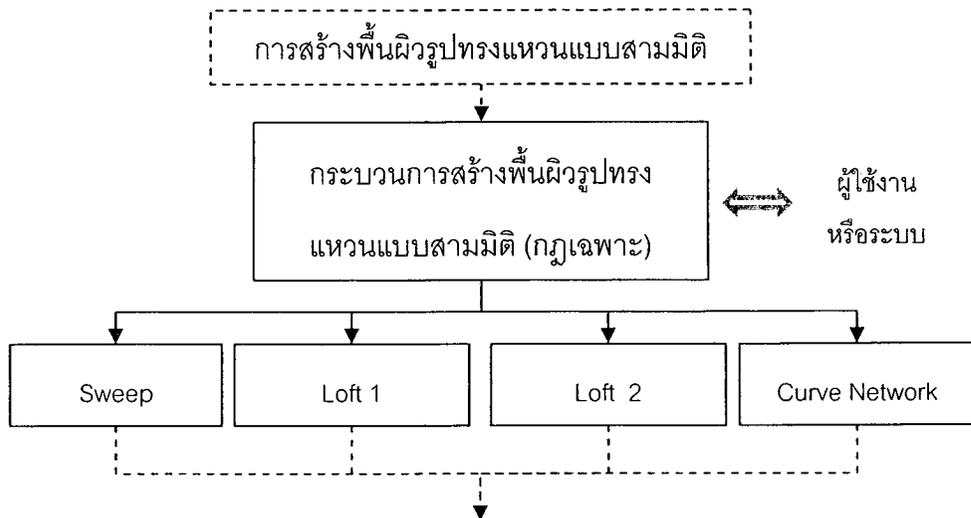
จำนวนรูปทรงแหวน	เวลาที่ใช้ในการทำงาน (นาที)
10	00.25
20	00.55
30	02.10
50	06.35
70	09.10
100	13.56



ภาพ 71 แสดงแผนภาพการไหลกระบวนการประยุกต์ใช้กฎโครงร่าง



ภาพ 72 แสดงแผนภาพการไหลกระบวนการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง



ภาพ 73 แสดงแผนภาพการไหลกระบวนการสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติ



ภาพ 74 แสดงตัวอย่างผลลัพธ์ของรูปทรงแหวนที่ได้จากระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ

ผลการทดลองผลลัพธ์และประเมินระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ

จากการศึกษาการทดสอบผลลัพธ์และประเมินระบบในขั้นตอนที่ 8, 9 และ 11 สามารถแบ่งผลการทดลองออกเป็น 3 ผลการทดลอง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ผลการศึกษาการออกแบบการทดลอง

ผลจากการศึกษาการออกแบบการทดลอง พบว่า สามารถออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล สามารถแบ่งพารามิเตอร์ของไวยากรณ์รูปร่างในงานวิจัยนี้ออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

พารามิเตอร์กลุ่มที่ 1 พารามิเตอร์การแบ่งช่วงของเส้น ได้จากการศึกษาผลลัพธ์ของจำนวนการแบ่งช่วงของเส้นบนหน้าตัด (กล่าวไว้ในบทที่ 4 ส่วนที่ 1 หัวข้อที่ 5 กรณีที่ 1) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่

ระดับที่ 1 พารามิเตอร์จำนวนการแบ่งช่วงของเส้นน้อย (จำนวนช่วงของเส้น 1-3 ช่วง)

ระดับที่ 2 พารามิเตอร์จำนวนการแบ่งช่วงของเส้นมาก (จำนวนช่วงของเส้น 4-5 ช่วง)

พารามิเตอร์กลุ่มที่ 2 พารามิเตอร์การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง ได้จากการศึกษาผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง (กล่าวไว้ในบทที่ 4 ส่วนที่ 1 หัวข้อที่ 5 กรณีที่ 4 และ 5) แบ่งออกเป็น 3 วิธี ได้แก่

วิธีที่ 1 พารามิเตอร์การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างซ้ำกันแบบต่อเนื่อง (เช่น R_A , R_A , R_A , R_M)

วิธีที่ 2 พารามิเตอร์การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างซ้ำกันแบบไม่ต่อเนื่อง (เช่น R_A , R_M , R_A , R_M)

วิธีที่ 3 พารามิเตอร์การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างไม่ซ้ำกัน (เช่น R_C , R_R , R_A , R_M)

พารามิเตอร์กลุ่มที่ 3 พารามิเตอร์การสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติ ได้จากการศึกษาผลลัพธ์ของเทคนิคการสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติ (กล่าวไว้ในบทที่ 4 ส่วนที่ 1 หัวข้อที่ 2) พารามิเตอร์นี้แบ่งออกเป็น 4 เทคนิค ได้แก่

เทคนิคที่ 1 พารามิเตอร์การสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้วยเทคนิคสวิตช์

เทคนิคที่ 2 พารามิเตอร์การสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้วยเทคนิคลอฟท์แบบที่ 1

เทคนิคที่ 3 พารามิเตอร์การสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้วยเทคนิคลอฟท์แบบที่ 2

เทคนิคที่ 4 พารามิเตอร์การสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติ
ด้วยเทคนิคเครื่องข่ายเส้นโค้ง

โดยมีรายละเอียดพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้

- | | | |
|-------|-----|--|
| X_1 | คือ | พารามิเตอร์จำนวนการแบ่งช่วงของเส้น |
| X_2 | คือ | พารามิเตอร์การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง |
| X_3 | คือ | พารามิเตอร์เทคนิคการสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติ |
| Y_1 | คือ | พารามิเตอร์ค่าความถี่ของระดับคะแนนน้อยที่สุด |
| Y_2 | คือ | พารามิเตอร์ค่าความถี่ของระดับคะแนนน้อย |
| Y_3 | คือ | พารามิเตอร์ค่าความถี่ของระดับคะแนนปานกลาง |
| Y_4 | คือ | พารามิเตอร์ค่าความถี่ของระดับคะแนนมาก |
| Y_5 | คือ | พารามิเตอร์ค่าความถี่ของระดับคะแนนมากที่สุด |
| M_0 | คือ | พารามิเตอร์ของค่าฐานนิยม |

จากพารามิเตอร์ของไวยากรณ์รูปร่างในงานวิจัยนี้ สามารถออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลได้จำนวนการทดลอง 24 การทดลอง ($2 \times 3 \times 4 = 24$) ซึ่งแต่ละการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้งในการศึกษานี้มีจำนวนการทดลองทั้งหมด 72 การทดลอง ($24 \times 3 = 72$) ดังนั้นรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติมีจำนวนทั้งหมด 72 รูปทรง ดังแสดงในตาราง 26

ผลการทดลองนี้นำไปใช้ในขั้นตอนการทำแบบสอบถาม เพื่อทดสอบผลลัพธ์โดยการสำรวจทัศนคติของผู้บริโภคที่ส่งผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวน

ตาราง 26 แสดงการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

ลำดับ	X_1	X_2	X_3	รูปทรงสามมิติ		
				ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
1	1	1	1			
2	1	1	2			
3	1	1	3			
4	1	1	4			
5	1	2	1			
6	1	2	2			
7	1	2	3			
8	1	2	4			

ตาราง 26 (ต่อ)

ลำดับ	X_1	X_2	X_3	รูปทรงสามมิติ		
				ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
9	1	3	1			
10	1	3	2			
11	1	3	3			
12	1	3	4			
13	2	1	1			
14	2	1	2			
15	2	1	3			
16	2	1	4			

ตาราง 26 (ต่อ)

ลำดับ	X_1	X_2	X_3	รูปทรงสามมิติ		
				ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3
17	2	2	1			
18	2	2	2			
19	2	2	3			
20	2	2	4			
21	2	3	1			
22	2	3	2			
23	2	3	3			
24	2	3	4			

2. ผลการทดลองจากการศึกษาทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงามและความแปลกใหม่

จากการสำรวจผู้บริโภคและแหล่งซื้อขายเครื่องประดับแหวนเบื้องต้นจำนวน 200 ท่าน พบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการซื้อเครื่องประดับแหวน ได้แก่ ด้านความสวยงาม ความแปลกใหม่ ขนาดและวัสดุที่ใช้ในกระบวนการผลิตเครื่องประดับแหวน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงเลือกทำการศึกษาทัศนคติผู้บริโภคที่ส่งผลต่อเครื่องประดับแหวนด้านความสวยงามและด้านความแปลกใหม่

ผลการทดลองจากการประเมินรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติ จากทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงามและด้านความแปลกใหม่ โดยใช้จำนวนชุดข้อมูลทั้งหมด 100 ชุดข้อมูล สำรวจทัศนคติของกลุ่มตัวอย่างในช่วงอายุ 18-25 ปี โดยการเก็บข้อมูลได้จากการนำเสนอข้อมูลรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติ ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การเก็บข้อมูลแบบออนไลน์จำนวน 45 ชุดข้อมูล และแบบภาคสนามจำนวน 55 ชุดข้อมูล แสดงผลดังตาราง 27 และ 28 ตามลำดับ

ตาราง 27 แสดงผลลัพธ์จากการศึกษาทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรง
เครื่องประดับแหวน แบบสามมิติด้านความสวยงาม

ลำดับ	X_1	X_2	X_3	ค่าความถี่					M_o
				Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	
1	1	1	1	1	11	47	16	25	3
2	1	1	2	3	14	39	35	9	3
3	1	1	3	0	25	46	26	3	3
4	1	1	4	7	38	35	11	9	2
5	1	2	1	6	19	34	20	21	3
6	1	2	2	0	17	43	30	10	3
7	1	2	3	2	18	22	42	16	4
8	1	2	4	7	18	49	16	10	3
9	1	3	1	2	15	36	23	24	3
10	1	3	2	0	12	36	45	7	4
11	1	3	3	0	12	34	39	15	4
12	1	3	4	5	34	40	15	6	3
13	2	1	1	1	16	32	24	27	3
14	2	1	2	2	12	40	32	14	3
15	2	1	3	8	15	43	30	4	3
16	2	1	4	8	38	22	18	14	2
17	2	2	1	8	14	23	26	29	5
18	2	2	2	0	13	46	29	12	3
19	2	2	3	6	18	45	18	13	3
20	2	2	4	14	30	32	19	5	3
21	2	3	1	1	24	28	21	26	3
22	2	3	2	3	17	41	29	10	3
23	2	3	3	2	17	26	40	15	4
24	2	3	4	6	34	34	19	7	3

จากตาราง 27 ผลการวิเคราะห์ค่าฐานนิยมของการศึกษาทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม พบว่า รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 17 ได้รับคะแนนความพึงพอใจมากที่สุด (5 คะแนน) จำนวนซ้ำกันมากที่สุด โดยมีค่าความพึงพอใจมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 29 มีรายละเอียดดังนี้ พารามิเตอร์ X_1 เท่ากับ จำนวนการแบ่งช่วงของเส้นมาก พารามิเตอร์ X_2 เท่ากับ การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างซ้ำกันแบบไม่ต่อเนื่อง และ พารามิเตอร์ X_3 เท่ากับ การสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคสกีพ ดังแสดงในภาพ 75a

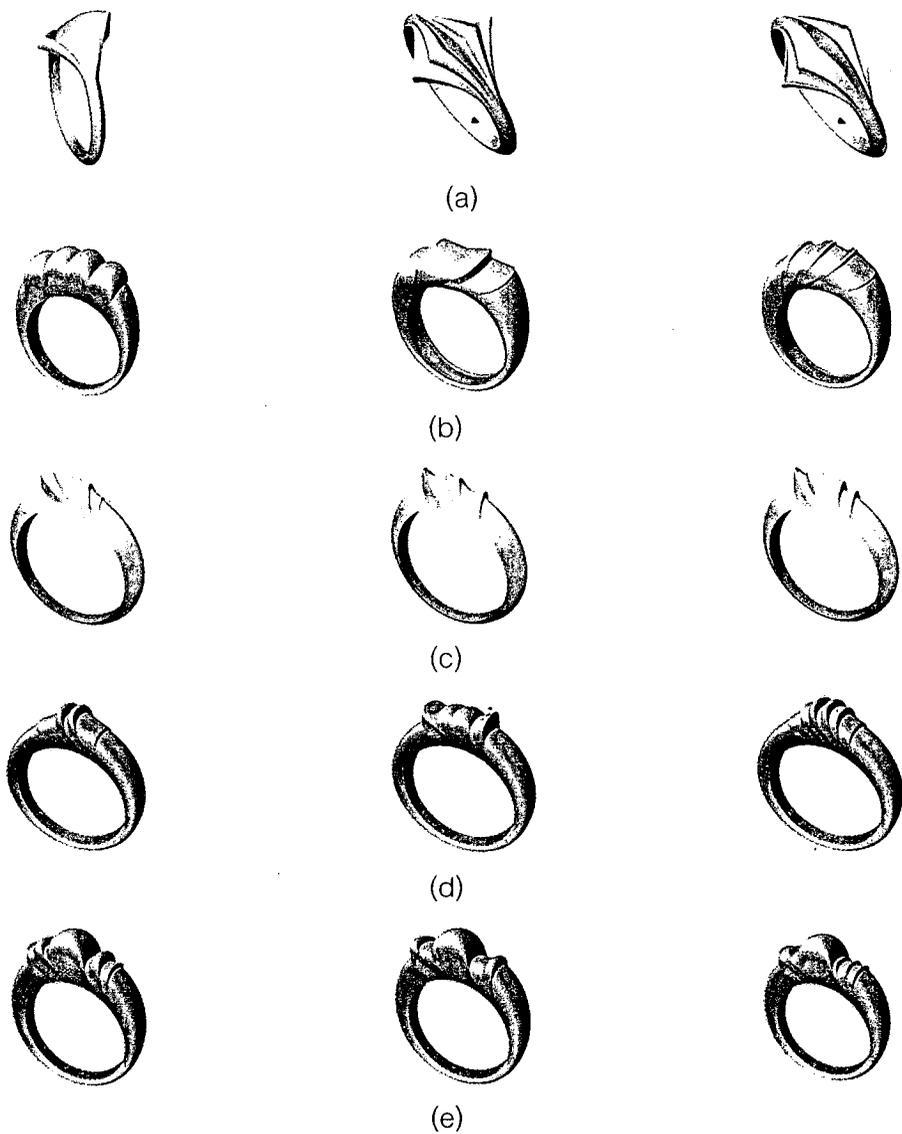
รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 7, 10, 11 และ 23 ได้รับคะแนนความพึงพอใจมาก (4 คะแนน) จำนวนซ้ำกันมากที่สุด โดยมีค่าความพึงพอใจมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 42, 45, 39 และ 40 ตามลำดับ มีรายละเอียดดังนี้

รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 7 พารามิเตอร์ X_1 เท่ากับ จำนวนการแบ่งช่วงของเส้นน้อย พารามิเตอร์ X_2 เท่ากับ การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างซ้ำกันแบบไม่ต่อเนื่อง และ พารามิเตอร์ X_3 เท่ากับ การสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคลอฟท์แบบที่ 2 ดังแสดงในภาพ 75b

รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 10 พารามิเตอร์ X_1 เท่ากับ จำนวนการแบ่งช่วงของเส้นน้อย พารามิเตอร์ X_2 เท่ากับ การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างไม่ซ้ำกัน และพารามิเตอร์ X_3 เท่ากับ การสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคลอฟท์แบบที่ 1 ดังแสดงในภาพ 75c

รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 11 พารามิเตอร์ X_1 เท่ากับ จำนวนการแบ่งช่วงของเส้นน้อย พารามิเตอร์ X_2 เท่ากับ การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างไม่ซ้ำกัน และพารามิเตอร์ X_3 เท่ากับ การสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคลอฟท์แบบที่ 2 ดังแสดงในภาพ 75d

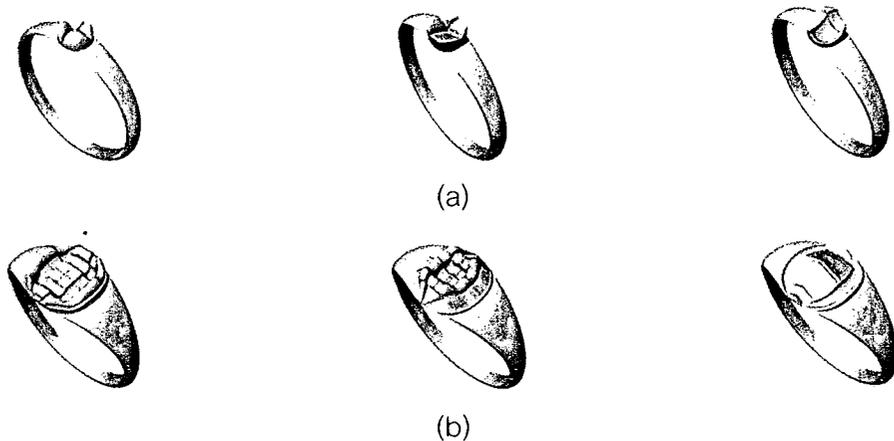
รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 23 พารามิเตอร์ X_1 เท่ากับ จำนวนการแบ่งช่วงของเส้นมาก พารามิเตอร์ X_2 เท่ากับ การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างไม่ซ้ำกัน และพารามิเตอร์ X_3 เท่ากับ การสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคลอฟท์แบบที่ 2 ดังแสดงในภาพ 75e



ภาพ 75 แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวนสามมิตีที่ได้รับคะแนนความพึงพอใจ
ด้านความสวยงาม

- หมายเหตุ: (a) รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 17 ได้รับคะแนนความพึงพอใจมากที่สุด
 (b) รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 7 ได้รับคะแนนความพึงพอใจมาก
 (c) รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 10 ได้รับคะแนนความพึงพอใจมาก
 (d) รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 11 ได้รับคะแนนความพึงพอใจมาก
 (e) รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 23 ได้รับคะแนนความพึงพอใจมาก

รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 4 และ 16 ได้รับคะแนนความพึงพอใจน้อย (2 คะแนน) จำนวนซ้ำกันมากที่สุด โดยมีค่าความพึงพอใจน้อย คิดเป็นร้อยละ 38 เท่ากันทั้ง 2 ลำดับ มีรายละเอียดดังนี้ รูปทรงลำดับที่ 4 พารามิเตอร์ X_1 เท่ากับ จำนวนการแบ่งช่วงของเส้นน้อย พารามิเตอร์ X_2 เท่ากับ การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างซ้ำกันแบบต่อเนื่อง และพารามิเตอร์ X_3 เท่ากับ การสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคเครือข่ายเส้นโค้ง และรูปทรงลำดับที่ 16 พารามิเตอร์ X_1 เท่ากับ จำนวนการแบ่งช่วงของเส้นมาก พารามิเตอร์ X_2 เท่ากับ การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างซ้ำกันแบบต่อเนื่อง และพารามิเตอร์ X_3 เท่ากับ การสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคเครือข่ายเส้นโค้ง ดังแสดงในภาพ 76



ภาพ 76 แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวนสามมิติที่ได้รับคะแนนความพึงพอใจน้อย ด้านความสวยงาม

หมายเหตุ: (a) รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 4 ได้รับคะแนนความพึงพอใจน้อย
(b) รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 16 ได้รับคะแนนความพึงพอใจน้อย

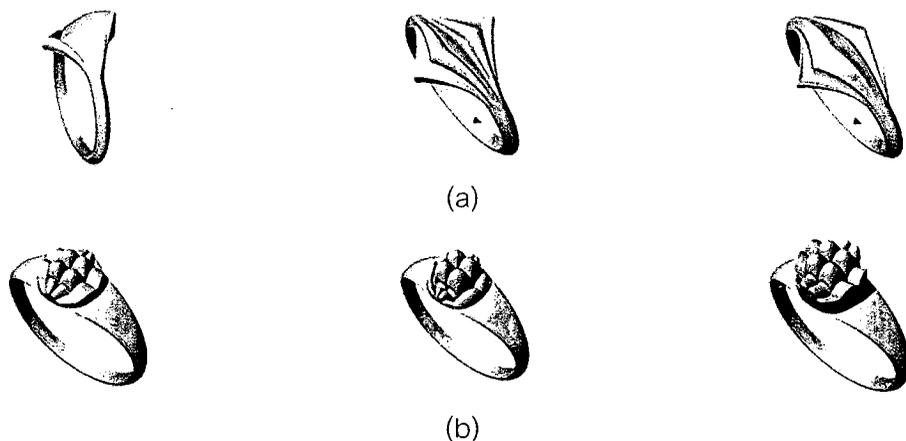
ตาราง 28 แสดงผลลัพธ์จากการศึกษาทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรง
เครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

ลำดับ	X_1	X_2	X_3	ค่าความถี่					M_0
				Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	
1	1	1	1	6	17	34	21	22	3
2	1	1	2	1	22	35	26	16	3
3	1	1	3	1	32	36	21	10	3
4	1	1	4	9	24	33	22	12	3
5	1	2	1	7	16	29	21	27	3
6	1	2	2	1	24	35	32	8	3
7	1	2	3	2	25	37	22	14	3
8	1	2	4	4	25	37	21	13	3
9	1	3	1	7	21	28	21	23	3
10	1	3	2	0	17	44	27	12	3
11	1	3	3	1	27	37	24	11	3
12	1	3	4	5	20	34	22	19	3
13	2	1	1	8	17	35	15	25	3
14	2	1	2	4	20	39	27	10	3
15	2	1	3	3	24	42	26	5	3
16	2	1	4	5	27	29	21	18	3
17	2	2	1	2	27	24	18	29	5
18	2	2	2	2	22	40	28	8	3
19	2	2	3	4	28	40	16	12	3
20	2	2	4	4	34	23	24	15	2
21	2	3	1	8	18	33	23	18	3
22	2	3	2	1	14	52	23	10	3
23	2	3	3	0	20	38	31	11	3
24	2	3	4	4	29	21	32	14	4

จากตาราง 28 ผลการวิเคราะห์ค่าฐานนิยมของการศึกษาทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผล
ต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่ พบว่า รูปทรงเครื่องประดับแหวน

ลำดับที่ 17 ได้รับคะแนนความพึงพอใจมากที่สุด (5 คะแนน) จำนวนซ้ำกันมากที่สุด โดยมีค่าความพึงพอใจมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 29 มีรายละเอียดดังนี้ พารามิเตอร์ X_1 เท่ากับ จำนวนการแบ่งช่วงของเส้นมาก พารามิเตอร์ X_2 เท่ากับ การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างซ้ำกันแบบไม่ต่อเนื่อง และพารามิเตอร์ X_3 เท่ากับ การสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคสวิตช์ ดังแสดงในภาพ 77a

รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 24 ได้รับคะแนนความพึงพอใจมาก (4 คะแนน) จำนวนซ้ำกันมากที่สุด โดยมีค่าความพึงพอใจมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 32 มีรายละเอียด ดังนี้ พารามิเตอร์ X_1 เท่ากับ จำนวนการแบ่งช่วงของเส้นมาก พารามิเตอร์ X_2 เท่ากับ การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างไม่ซ้ำกัน และพารามิเตอร์ X_3 เท่ากับ การสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคเครือข่ายเส้นโค้ง ดังแสดงในภาพ 77b



ภาพ 77 แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวนสามมิติที่ได้รับคะแนนความพึงพอใจด้านความแปลกใหม่

หมายเหตุ: (a) รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 17 ได้รับคะแนนความพึงพอใจมากที่สุด
(b) รูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 24 ได้รับคะแนนความพึงพอใจมากที่สุด

รูปทรงเครื่องประดับแหวนชุดข้อมูลลำดับที่ 20 ได้รับคะแนนความพึงพอใจน้อย (2 คะแนน) จำนวนซ้ำกันมากที่สุด โดยมีค่าความพึงพอใจน้อย คิดเป็นร้อยละ 34 มีรายละเอียด ดังนี้ พารามิเตอร์ X_1 เท่ากับ จำนวนการแบ่งช่วงของเส้นมาก พารามิเตอร์ X_2 เท่ากับ การ

ประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างซ้ำกันแบบไม่ต่อเนื่อง และพารามิเตอร์ X_3 เท่ากับ การสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคเครื่องข่ายเส้นโค้ง ดังแสดงในภาพ 78



ภาพ 78 แสดงรูปทรงเครื่องประดับแหวนสามมิติที่ได้รับคะแนนความพึงพอใจน้อย ด้านความแปลกใหม่

ตาราง 29 แสดงผลลัพธ์ทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
X_1	1	0.602	0.602	0.602	0.58	0.445
X_2	2	3.626	3.626	1.813	1.76	0.173
X_3	3	139.717	139.717	46.572	45.12	0.000
$X_1 * X_2$	2	3.986	3.986	1.993	1.93	0.145
$X_1 * X_3$	3	4.308	4.308	1.436	1.39	0.244
$X_2 * X_3$	6	19.771	19.771	3.295	3.19	0.004
$X_1 * X_2 * X_3$	6	11.364	11.364	1.894	1.83	0.089
Error	2376	2452.460	2452.460	1.032		
Total	2399	2635.833				

จากตาราง 29 ผลลัพธ์ทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้านความสวยงาม โดยมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษา 7 ข้อ ดังนี้

วัตถุประสงค์ที่ 1 พารามิเตอร์ X_1 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงามหรือไม่

H_0 : พารามิเตอร์ X_1 ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม

H_1 : พารามิเตอร์ X_1 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม

ผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ X_1 โดยค่า p-value ของพารามิเตอร์ $X_1 = 0.445 > 0.05$ ดังแสดงในตาราง 29 พบว่ายอมรับ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_1 (การแบ่งช่วงของเส้น) ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม

วัตถุประสงค์ที่ 2 พารามิเตอร์ X_2 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงามหรือไม่

H_0 : พารามิเตอร์ X_2 ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม

H_1 : พารามิเตอร์ X_2 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม

ผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ X_2 โดยค่า p-value ของพารามิเตอร์ $X_2 = 0.173 > 0.05$ ดังแสดงในตาราง 29 พบว่ายอมรับ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_2 (การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง) ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม

วัตถุประสงค์ที่ 3 พารามิเตอร์ X_3 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงามหรือไม่

H_0 : พารามิเตอร์ X_3 ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม

H_1 : พารามิเตอร์ X_3 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม

ผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ X_3 โดยค่า p-value ของพารามิเตอร์ $X_3 = 0.000 < 0.05$ ดังแสดงในตาราง 29 พบว่า ปฏิเสธ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_3 (การสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับ

ผลจากการวิเคราะห์ผลกระทบรวมของพารามิเตอร์ X_2 และ X_3 โดยค่า p-value ของผลกระทบรวมพารามิเตอร์ X_2 และ $X_3 = 0.004 < 0.05$ ดังแสดงในตาราง 29 พบว่าปฏิเสธ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_2 และ X_3 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม

วัตถุประสงค์ที่ 7 พารามิเตอร์ X_1 , X_2 และ X_3 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงามหรือไม่

H_0 : พารามิเตอร์ X_1 , X_2 และ X_3 ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม

H_1 : พารามิเตอร์ X_1 , X_2 และ X_3 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม

ผลจากการวิเคราะห์ผลกระทบรวมของพารามิเตอร์ X_1 , X_2 และ X_3 โดยค่า p-value ของผลกระทบรวมพารามิเตอร์ X_1 , X_2 และ $X_3 = 0.089 > 0.05$ ดังแสดงในตาราง 29 พบว่ายอมรับ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_1 , X_2 และ X_3 ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างในช่วงอายุ 18-25 ปี ซึ่งเป็นเป้าหมายของงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่า เมื่อพิจารณาผลกระทบหลัก X_1 และ X_2 และผลกระทบรวมระหว่าง X_1X_2 , X_1X_3 และ $X_1X_2X_3$ จะไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม แต่เมื่อพิจารณาผลกระทบหลัก X_3 และผลกระทบรวม X_2X_3 จะส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความสวยงาม

ตาราง 30 แสดงผลลัพธ์ทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
X_1	1	0.510	0.510	0.510	0.44	0.507
X_2	2	2.591	2.591	1.295	1.12	0.327
X_3	3	15.751	15.751	5.250	4.53	0.004
$X_1 * X_2$	2	0.386	0.386	0.193	0.17	0.847
$X_1 * X_3$	3	1.031	1.031	0.344	0.30	0.828
$X_2 * X_3$	6	7.023	7.023	1.170	1.01	0.417
$X_1 * X_2 * X_3$	6	4.168	4.168	0.695	0.60	0.731
Error	2376	2754.270	2754.270	1.159		
Total	2399	2785.730				

จากตาราง 30 ผลลัพธ์ทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้านความแปลกใหม่ โดยมีค่าระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยมีวัตถุประสงค์ในการศึกษา 7 ข้อ ดังนี้

วัตถุประสงค์ที่ 1 พารามิเตอร์ X_1 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่ หรือไม่

H_0 : พารามิเตอร์ X_1 ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

H_1 : พารามิเตอร์ X_1 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

ผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ X_1 โดยค่า p-value ของพารามิเตอร์ $X_1 = 0.507 > 0.05$ ดังแสดงในตาราง 30 พบว่ายอมรับ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_1 (การแบ่งช่วงของเส้น) ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

วัตถุประสงค์ที่ 2 พารามิเตอร์ X_2 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงของเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่ หรือไม่

H_0 : พารามิเตอร์ X_2 ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

H_1 : พารามิเตอร์ X_2 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

ผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ X_2 โดยค่า p-value ของพารามิเตอร์ $X_2 = 0.327 > 0.05$ ดังแสดงในตาราง 30 พบว่ายอมรับ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_2 (การประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง) ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

วัตถุประสงค์ที่ 3 พารามิเตอร์ X_3 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงของเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่หรือไม่

H_0 : พารามิเตอร์ X_3 ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

H_1 : พารามิเตอร์ X_3 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

ผลจากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ X_3 โดยค่า p-value ของพารามิเตอร์ $X_3 = 0.004 < 0.05$ ดังแสดงในตาราง 30 พบว่า ปฏิเสธ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_3 (การสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติ) ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

วัตถุประสงค์ที่ 4 พารามิเตอร์ X_1 และ X_2 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่หรือไม่

H_0 : พารามิเตอร์ X_1 และ X_2 ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

H_1 : พารามิเตอร์ X_1 และ X_2 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

ผลจากการวิเคราะห์ผลกระทบรวมของพารามิเตอร์ X_1 และ X_2 โดยค่า p-value ของผลกระทบรวมพารามิเตอร์ X_1 และ $X_2 = 0.847 > 0.05$ ดังแสดงในตาราง 30 พบว่ายอมรับ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_1 และ X_2 ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

วัตถุประสงค์ที่ 5 พารามิเตอร์ X_1 และ X_3 ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่หรือไม่

H_0 : พารามิเตอร์ X_1 และ X_3 ไม่ส่งผลต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

H_1 : พารามิเตอร์ X_1 และ X_3 ส่งผลกระทบต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

ผลจากการวิเคราะห์ผลกระทบรวมของพารามิเตอร์ X_1 และ X_3 โดยค่า p-value ของผลกระทบรวมพารามิเตอร์ X_1 และ $X_3 = 0.828 > 0.05$ ดังแสดงในตาราง 30 พบว่ายอมรับ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_1 และ X_3 ไม่ส่งผลกระทบต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

วัตถุประสงค์ที่ 6 พารามิเตอร์ X_2 และ X_3 ส่งผลกระทบต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่หรือไม่

H_0 : พารามิเตอร์ X_2 และ X_3 ไม่ส่งผลกระทบต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

H_1 : พารามิเตอร์ X_2 และ X_3 ส่งผลกระทบต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

ผลจากการวิเคราะห์ผลกระทบรวมของพารามิเตอร์ X_2 และ X_3 โดยค่า p-value ของผลกระทบรวมพารามิเตอร์ X_2 และ $X_3 = 0.417 > 0.05$ ดังแสดงในตาราง 30 พบว่ายอมรับ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_2 และ X_3 ไม่ส่งผลกระทบต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

วัตถุประสงค์ที่ 7 พารามิเตอร์ X_1 , X_2 และ X_3 ส่งผลกระทบต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่หรือไม่

H_0 : พารามิเตอร์ X_1 , X_2 และ X_3 ไม่ส่งผลกระทบต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

H_1 : พารามิเตอร์ X_1 , X_2 และ X_3 ส่งผลกระทบต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

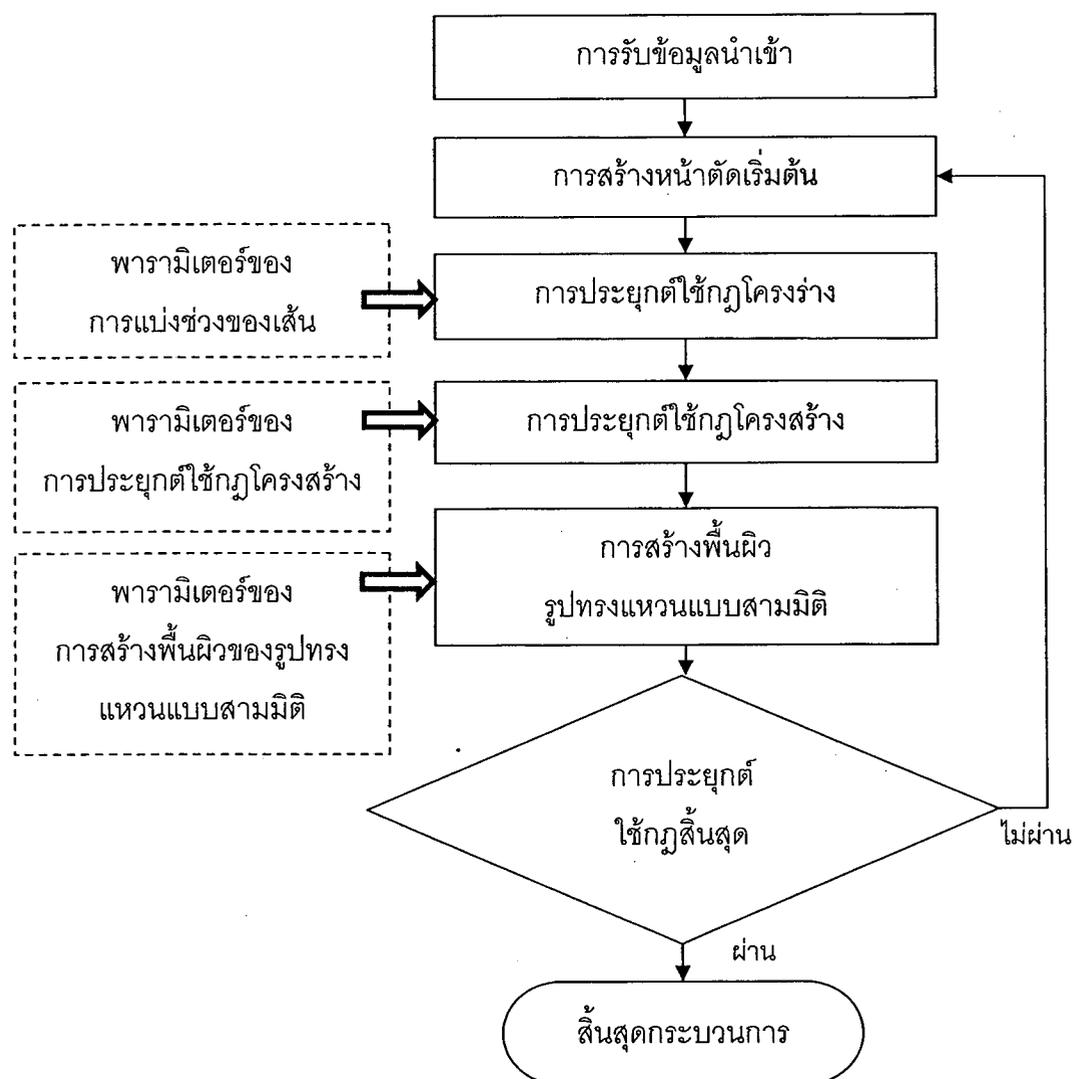
ผลจากการวิเคราะห์ผลกระทบรวมของพารามิเตอร์ X_1 , X_2 และ X_3 โดยค่า p-value ของผลกระทบรวมพารามิเตอร์ X_1 , X_2 และ $X_3 = 0.731 > 0.05$ ดังแสดงในตาราง 30 พบว่ายอมรับ H_0 ซึ่งพารามิเตอร์ X_1 , X_2 และ X_3 ไม่ส่งผลกระทบต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างในช่วงอายุ 18-25 ปี ซึ่งเป็นเป้าหมายของงานวิจัยนี้ จะเห็นได้ว่า เมื่อพิจารณาผลกระทบหลัก X_1 และ X_2 และผลกระทบรวม X_1X_2 , X_1X_3 , X_2X_3 และ $X_1X_2X_3$ จะไม่ส่งผลกระทบต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสาม

มิติด้านความแปลกใหม่ แต่เมื่อพิจารณาผลกระทบหลัก X_3 จะส่งผลกระทบต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีผลต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติด้านความแปลกใหม่

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้เป็นการทดสอบผลลัพธ์เกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่ได้จากการออกแบบจากขั้นตอนก่อนหน้าส่งผลกระทบต่อทัศนคติผู้บริโภคด้านความสวยงามและความแปลกใหม่หรือไม่ หากต้องการแก้ไขและปรับปรุงผลลัพธ์ จะต้องไปแก้ไขในขั้นตอนการศึกษารูปแบบค่าพารามิเตอร์และออกแบบการทดลอง โดยการกำหนดขอบเขตและศึกษาพารามิเตอร์ใหม่อีกครั้ง ซึ่งพารามิเตอร์ดังกล่าวส่งผลกระทบต่อระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนอัตโนมัติ โดยพารามิเตอร์ของจำนวนการแบ่งช่วงของเส้นส่งผลต่อขั้นตอนการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง พารามิเตอร์ของการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้างส่งผลต่อขั้นตอนการประยุกต์ใช้กฎโครงสร้าง และพารามิเตอร์ของการสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติส่งผลต่อขั้นตอนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติ ดังแสดงในภาพ 79

โดยจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง พบว่า พารามิเตอร์ดังกล่าวส่งผลกระทบต่อทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้านสวยงามและความแปลกใหม่ ดังนั้น จึงนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาระบบออกแบบอัตโนมัติในขั้นตอนต่อไป



ภาพ 79 แสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาและกระบวนการทำงานของระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ

3. ผลการทดลองจากการใช้งานระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ

ในขั้นตอนนี้ เป็นการทดสอบระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น โดยเชิญผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบจำนวน 4 ท่าน เพื่อทำการทดสอบและใช้งาน

ระบบ ซึ่งผู้เชี่ยวชาญทั้ง 4 ท่าน แสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้งานและผลลัพธ์ที่ได้จากระบบ ออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ ดังนี้

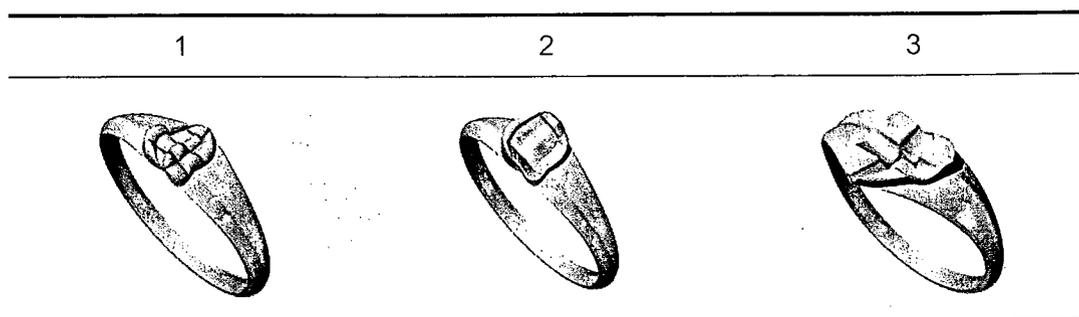
3.1 ผลลัพธ์จากการประเมินรูปทรงเครื่องประดับแหวนและการใช้งานระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติโดยผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1

ผู้เชี่ยวชาญมีความเชี่ยวชาญด้านการออกแบบกราฟฟิกและแอนิเมชัน ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง Editor and Graphic แผนก Production บริษัท Animagic

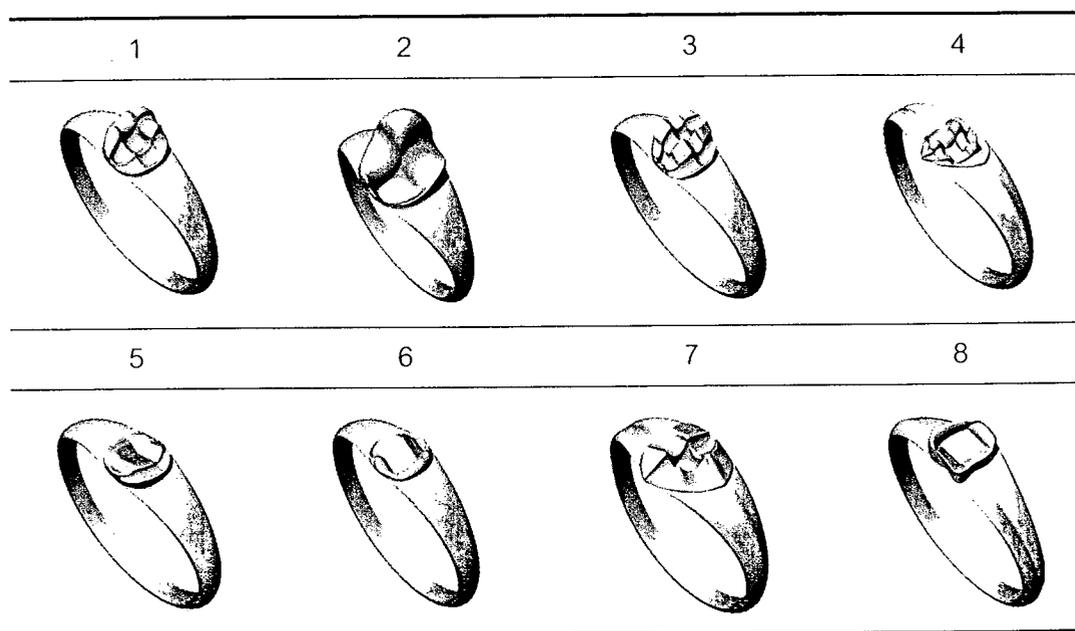
ผู้เชี่ยวชาญเริ่มต้นทำการเลือกขนาดของรูปทรงเครื่องประดับแหวน และ จำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวนทั้งหมด 100 รูปทรง จากนั้นผู้เชี่ยวชาญทำการพิจารณาเลือกรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ชื่นชอบจำนวน 3 รูปทรง ดังแสดงในตาราง 31 ต่อมาผู้เชี่ยวชาญต้องการให้ระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนเฉพาะประเภทการสร้างพื้นผิวรูปทรงเครื่องประดับแหวนด้วยเทคนิคเครือข่ายเส้นโค้ง โดยระบุจำนวนที่ต้องการทั้งหมด 20 รูปทรง และทำการพิจารณาเลือกรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวน 8 รูปทรง ดังแสดงในตาราง 32

ผู้เชี่ยวชาญ กล่าวว่า ระบบสามารถสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่มีความหลากหลายทั้งขนาดและรูปแบบ โดยใช้แนวความคิดสำหรับเลือกรูปทรงที่มีลักษณะหน้าแหวนขนาดเล็กและมีรายละเอียดมากๆ และระบบการออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติสามารถกระตุ้นแนวความคิดสำหรับนำไปต่อยอดจากรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ได้จากระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติสร้างขึ้น เช่น สามารถนำรูปทรงเครื่องประดับแหวนมาลดขนาด และนำไปประดับอัญมณีบนหน้าแหวนของรูปทรงดังกล่าว จะช่วยเพิ่มความสวยงามและมูลค่าให้มากขึ้น

ตาราง 31 แสดงผลลัพธ์จากการเลือกของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1 ในรอบการทำงานที่ 1



ตาราง 32 แสดงผลลัพธ์จากการเลือกของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 1 ในรอบการทำงานที่ 2



3.2 ผลลัพธ์จากการประเมินรูปทรงเครื่องประดับแหวนและการใช้งานระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติโดยผู้เชี่ยวชาญคนที่ 2

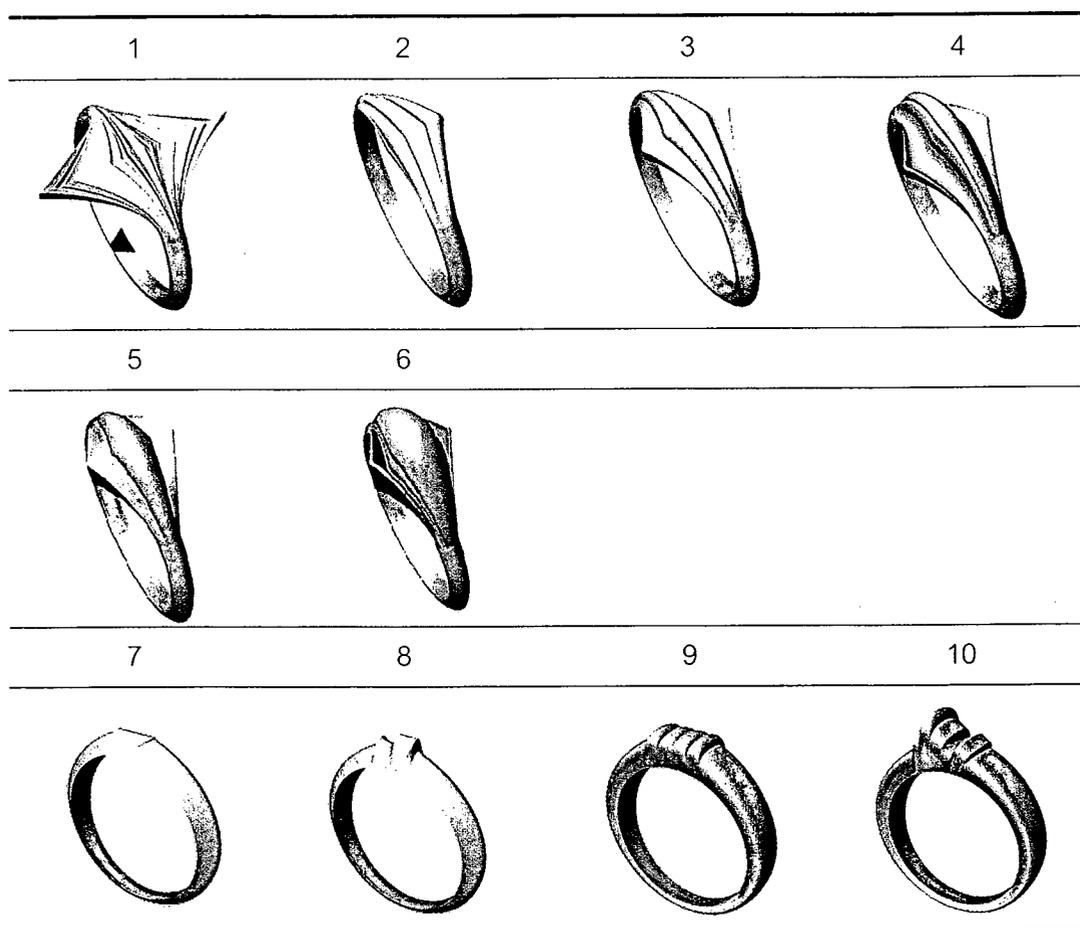
ผู้เชี่ยวชาญมีความเชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งอาจารย์ประจำ สาขาวิชาออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ภาควิชาเทคโนโลยีสื่อสารและอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้เชี่ยวชาญเริ่มต้นทำการเลือกขนาดของรูปทรงเครื่องประดับแหวน และจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวนทั้งหมด 10 รูปทรง ในรอบการทำงานที่ 1 เพื่อพิจารณารูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ได้จากระบบในเบื้องต้น จากนั้นผู้เชี่ยวชาญทำการใช้โปรแกรมใหม่อีกครั้งในรอบการทำงานที่ 2 โดยทำการเลือกขนาดของรูปทรงเครื่องประดับแหวน และจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวนทั้งหมด 100 รูปทรง จากนั้นทำการพิจารณาเลือกรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวน 10 รูปทรง ดังแสดงในตาราง 33

ผู้เชี่ยวชาญ กล่าวว่า ระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติใช้งานง่ายสำหรับนักออกแบบ แต่ใช้งานยากสำหรับผู้บริโภค และรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยในรอบการทำงานที่ 1 เป็นแสดงผลลัพธ์เพื่อใช้สำหรับสร้างแนวความคิด

โดยตัวอย่างแนวความคิดที่ได้จากรอบการทำงานดังกล่าว คือ แนวความคิดของการเลียนแบบ ดอกบัวในลักษณะระยะการเจริญเติบโตที่แตกต่างกัน เช่น ดอกบัวตูม ดอกบัวแย้มกลีบ และ ดอกบัวบาน โดยการพิจารณาเลือกขนาดของหน้าแหวนที่แตกต่างกัน เพราะขนาดของหน้าแหวน ส่งผลต่อราคาและกำลังการซื้อของผู้บริโภค ขนาดที่แตกต่างกันนั้น ยังสามารถนำมาปรับปรุง แก้ไขให้ตรงตามความต้องการได้ โดยรูปทรงที่ได้สามารถนำมาประดับพลอย อัญมณี เม็ดหินสี ต่างๆ และวัสดุตามความเชื่อในแต่ละท้องถิ่น เพื่อเพิ่มความสวยงาม และแปลกใหม่ อีกทั้งยังสามารถเปลี่ยนหรือแก้ไขพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนได้สะดวก สำหรับการนำเสนอให้กับ ผู้บริโภคได้เห็นก่อนนำเข้าสู่กระบวนการผลิตรูปทรงเครื่องประดับแหวนจริง

ตาราง 33 แสดงผลลัพธ์จากการเลือกของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 2



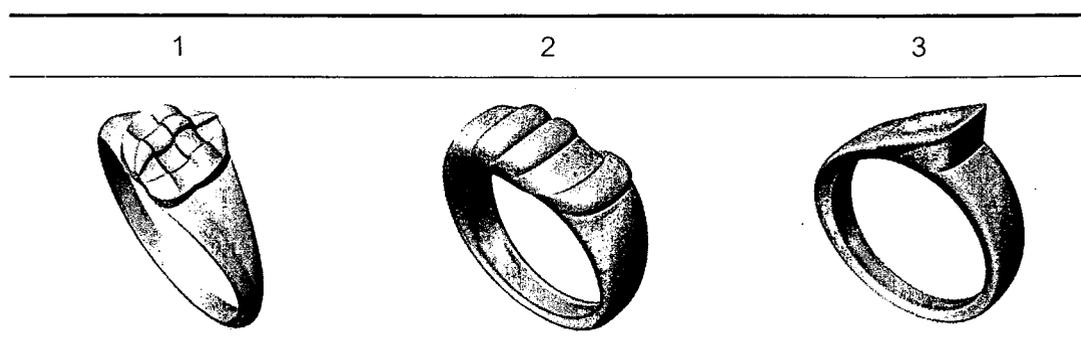
3.3 ผลลัพธ์จากการใช้งานระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ โดยผู้เชี่ยวชาญคนที่ 3

ผู้เชี่ยวชาญมีความเชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ ปัจจุบันกำลังศึกษาปริญญาโทด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์

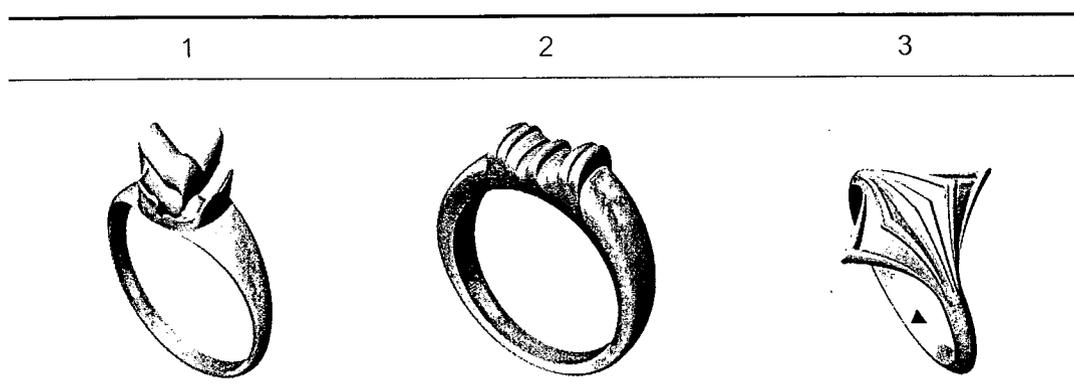
ผู้เชี่ยวชาญเริ่มต้นทำการเลือกขนาดของรูปทรงเครื่องประดับแหวน และจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวนทั้งหมด 20 รูปทรง ในรอบการทำงานที่ 1 ทำการพิจารณา และเลือกรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวน 3 รูปทรง ดังแสดงในตาราง 34 จากนั้นผู้เชี่ยวชาญทำการเริ่มใช้งานระบบใหม่ในรอบการทำงานที่ 2 โดยทำการเลือกขนาดของรูปทรงเครื่องประดับแหวน และจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวนทั้งหมด 50 รูปทรง ทำการพิจารณา และเลือกรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวน 3 รูปทรง ดังแสดงในตาราง 35 และผู้เชี่ยวชาญทำการเริ่มใช้งานระบบใหม่ในรอบการทำงานที่ 3 โดยทำการเลือกขนาดของรูปทรงเครื่องประดับแหวน และจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวนทั้งหมด 30 รูปทรง ทำการพิจารณา และเลือกรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวน 7 รูปทรง ดังแสดงในตาราง 36

ผู้เชี่ยวชาญ กล่าวว่า ระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนใช้งานง่ายและใช้เวลาน้อยในการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวน และรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ได้มีความแปลกใหม่และหลากหลายทั้งขนาด และรูปแบบของรูปทรงเครื่องประดับแหวน โดยแนวความคิดที่ใช้ในการเลือก คือ ต้องการเลือกรูปทรงให้มีความหลากหลาย เพื่อสามารถนำไปใช้งานได้จริงกับทั้งผู้หญิงและผู้ชาย และสามารถนำรูปทรงเครื่องประดับแหวนมาแก้ไข และตกแต่งเพิ่มเติม ตัวอย่างเช่นรูปทรงเครื่องประดับแหวนลำดับที่ 3 แสดงในตาราง 34 สามารถนำลวดลายต่างๆ มาสร้างบนพื้นผิวในส่วนของหน้าแหวนได้ ทำให้รูปทรงเครื่องประดับแหวนเกิดความสวยงามมากขึ้น

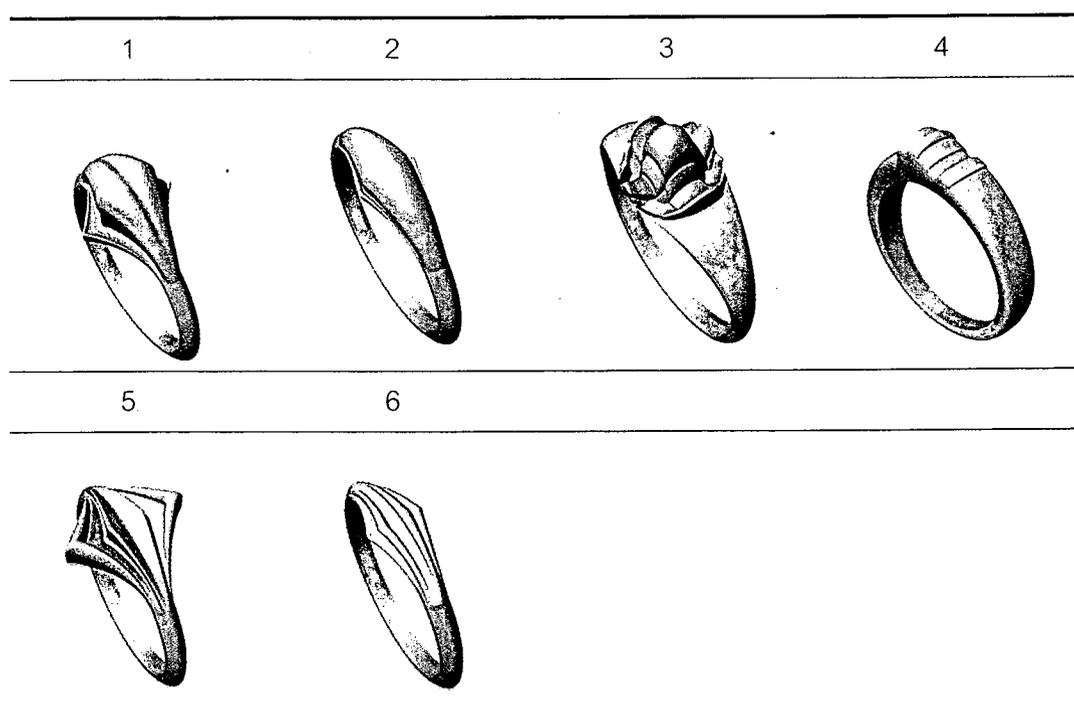
ตาราง 34 แสดงผลลัพธ์จากการเลือกของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 3 รอบการทำงานที่ 1



ตาราง 35 แสดงผลลัพธ์จากการเลือกของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 3 รอบการทำงานที่ 2



ตาราง 36 แสดงผลลัพธ์จากการเลือกของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 3 รอบการทำงานที่ 3



3.4 ผลลัพธ์จากการประเมินรูปทรงเครื่องประดับแหวนและการใช้งานระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติโดยผู้เชี่ยวชาญคนที่ 4

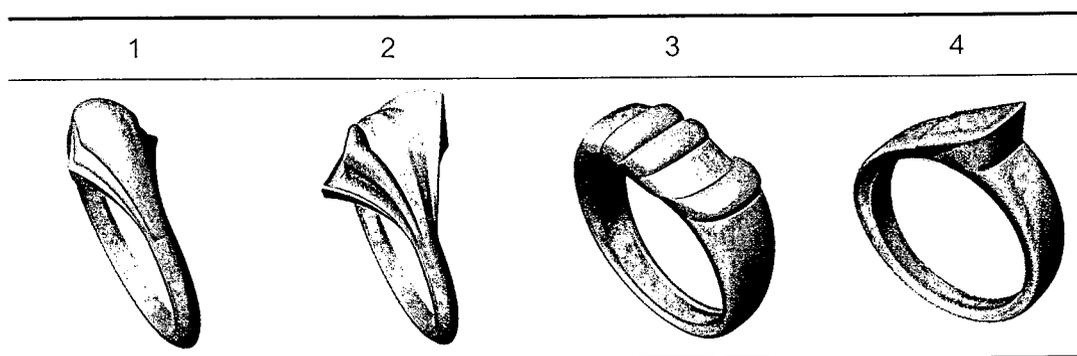
ผู้เชี่ยวชาญมีความเชี่ยวชาญด้านการพัฒนาระบบออกแบบอัตโนมัติ

ผู้เชี่ยวชาญเริ่มต้นทำการเลือกขนาดของรูปทรงเครื่องประดับแหวน และจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวนทั้งหมด 20 รูปทรง ในรอบการทำงานที่ 1 เพื่อพิจารณา

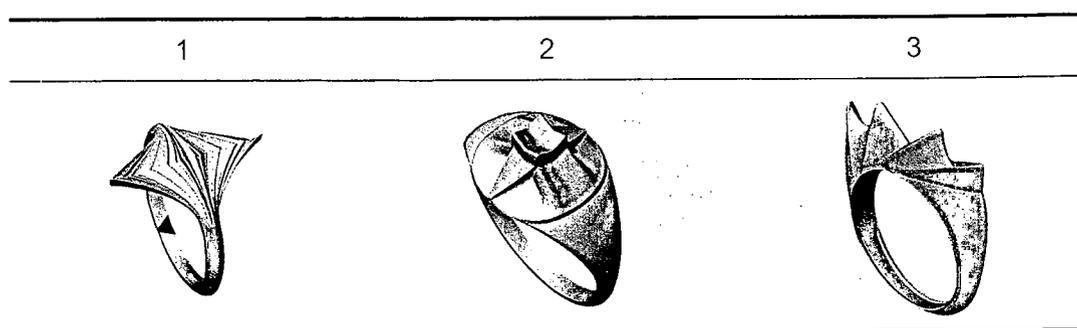
รูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ได้จากระบบในเบื้องต้น และเลือกรูปทรงเครื่องประดับแหวนทั้งหมด 4 รูปทรง ดังแสดงในตาราง 37 จากนั้นผู้เชี่ยวชาญเริ่มใช้งานระบบใหม่ในรอบการทำงานที่ 2 โดยเลือกขนาดของรูปทรงเครื่องประดับแหวน และจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวนทั้งหมด 50 รูปทรง ทำการเลือกรูปทรงเครื่องประดับแหวนทั้งหมด 3 รูปทรง ดังแสดงในตาราง 38 และผู้เชี่ยวชาญเริ่มใช้งานระบบใหม่ในรอบการทำงานที่ 3 โดยเลือกขนาดของรูปทรงเครื่องประดับแหวน และจำนวนการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนจำนวนทั้งหมด 100 รูปทรง ทำการเลือกรูปทรงเครื่องประดับแหวนทั้งหมด 4 รูปทรง ดังแสดงในตาราง 39

ผู้เชี่ยวชาญ กล่าวว่า การระบุจำนวนการสร้างรูปทรงที่มากขึ้นจะส่งผลทำให้รูปทรงมีความหลากหลายมากขึ้น และแนวความคิดที่ใช้ในการเลือกรูปทรงเครื่องประดับแหวน คือเลือกตามความชื่นชอบ และเลือกรูปทรงที่มีความแปลกใหม่ โดยผู้เชี่ยวชาญเสนอแนะว่า หากระบบมีเครื่องมือสำหรับการเลือกสีพื้นผิวให้กับรูปทรงเครื่องประดับแหวนจะมีการใช้งานได้ง่ายและสะดวกขึ้น

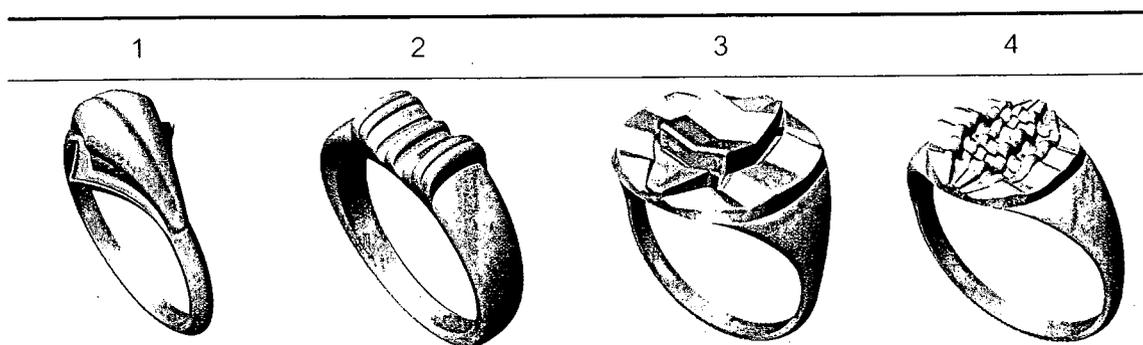
ตาราง 37 แสดงผลลัพธ์จากการเลือกของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 4 รอบการทำงานที่ 1



ตาราง 38 แสดงผลลัพธ์จากการเลือกของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 4 รอบการทำงานที่ 2



ตาราง 39 แสดงผลลัพธ์จากการเลือกของผู้เชี่ยวชาญคนที่ 4 รอบการทำงานที่ 3



จากการทดลองใช้ระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบจำนวน 4 ท่าน พบว่า ผู้เชี่ยวชาญได้แสดงความคิดเห็นว่าระบบสามารถสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่มีความหลากหลาย แปลกใหม่ ได้จำนวนมาก โดยที่จำนวนการสร้างที่มากส่งผลทำให้รูปทรงมีความหลากหลายมากขึ้น และสามารถช่วยสร้างแนวทางในการออกแบบได้ อีกทั้งระบบออกแบบใช้งานง่ายสำหรับนักออกแบบ และรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน หากต้องการแก้ไขและปรับปรุงระบบดังกล่าว จะต้องไปแก้ไขในขั้นตอนการพัฒนาออกแบบเครื่องประดับ โดยการกำหนดขอบเขตและศึกษาพารามิเตอร์ใหม่อีกครั้ง แต่จากผลลัพธ์ดังกล่าว พบว่า เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ระบบสามารถสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติที่มีความหลากหลายได้จำนวนมาก

ข้อจำกัดและประโยชน์ของระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ

1. ข้อจำกัดของระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ

ผู้ใช้งานสามารถเลือกขนาดของวงแหวนและจำนวนการสร้างของรูปทรงเครื่องประดับแหวนได้ตามความต้องการ

ผู้ใช้งานสามารถหยุดการทำงานของระบบได้ทันทีเมื่อพบรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่พึงพอใจ

ระบบสามารถสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนได้สูงสุดครั้งละ 100 รูปทรง

เทคนิคสวิตช์ เป็นการสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนตามแนวแกน X โดยรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ได้ลักษณะของหน้าแหวนมีความโค้งมน และหน้าแหวนมีทั้งขนาดเล็กและใหญ่

เทคนิคคลอพท์ เป็นการสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนตามแนวแกน Y โดยรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ได้ลักษณะของหน้าแหวนมีทั้งเหลี่ยมและมน และมีขนาดเล็ก

เทคนิคเครือข่ายเส้นโค้ง เป็นการสร้างพื้นผิวของรูปทรงเครื่องประดับแหวนตามแนวแกน X และ Y ลักษณะของหน้าแหวนมีขนาดใหญ่ และมีรายละเอียดของหน้าแหวนที่มากและน้อย

2. ประโยชน์ของระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติ

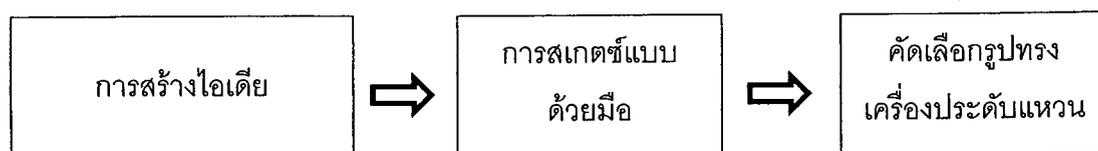
ในภาพ 80 โดยทั่วไปกระบวนการออกแบบเครื่องประดับแหวน สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 การสร้างไอเดีย ในส่วนนี้เป็นการสร้างไอเดียหรือการรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับแนวความคิดสำหรับสร้างกรอบข้อมูลของการออกแบบเครื่องประดับแหวน

ส่วนที่ 2 การสเก็ตช์แบบด้วยมือ ในส่วนนี้นักออกแบบจะทำการสเก็ตช์แบบด้วยมือให้มีความหลากหลายแบบเป็นจำนวนมาก เพื่อสร้างแนวทางหรือทางเลือกในการออกแบบ

ส่วนที่ 3 การคัดเลือกรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ต้องการ

ระบบออกแบบเครื่องประดับแหวนโดยอัตโนมัติสามารถช่วยในขั้นตอนของการสร้างไอเดียและขั้นตอนการสเก็ตช์แบบด้วยมือ ซึ่งระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยลดเวลาในกระบวนการออกแบบ ระบบใช้เวลาน้อยในการสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนแบบสามมิติ ระบบมีการรับข้อมูลนำเข้าน้อยซึ่งรูปทรงเครื่องประดับแหวนที่ได้จากข้อมูลนำเข้ามีความหลากหลายและสามารถสร้างรูปทรงเครื่องประดับแหวนได้จำนวนมาก



ภาพ 80 แสดงกระบวนการออกแบบเครื่องประดับแหวน