

การศึกษาปัจจัยกระบวนการผลิตเพื่อการทำนายลวดลาย โมกุ่ม่ กาเน่
แบบแผ่นรีด จากโลหะเงินและทองแดง



เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอัญมณีและเครื่องประดับ
สิงหาคม 2558

การศึกษาปัจจัยกระบวนการผลิตเพื่อการทำนายลวดลาย โมกุ่ม่ กาเน่
แบบแผ่นรีด จากโลหะเงินและทองแดง



ปริญญานิพนธ์
ของ
สุรัชย์ พรสมิทธิกุล

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอัญมณีและเครื่องประดับ

สิงหาคม 2558

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การศึกษาปัจจัยกระบวนการผลิตเพื่อการทำนายลวดลาย โมกุ่ม่ กาเน่
แบบแผ่นรีด จากโลหะเงินและทองแดง



บทคัดย่อ
ของ
สุรัชย์ พรสมิทธิกุล

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอัญมณีและเครื่องประดับ
สิงหาคม 2558

สรุขชัย พรสมิทธิกุล. (2558). การศึกษาปัจจัยกระบวนการผลิตเพื่อการทำนายลวดลาย โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด จากโลหะเงินและทองแดง. วิทยานิพนธ์ วท.ม. (เทคโนโลยีอัญมณี และเครื่องประดับ). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจีพร วงศ์ปรีดี.

โมกุเม่ กาเน่ เป็นเทคนิคการผลิตลวดลายที่เกิดจากการอบแพร์โลหะ สองชนิดหรือมากกว่าและขึ้นรูปภายใต้ความร้อน และความดัน เพื่อให้เกิดลวดลายต่างๆ ซึ่ง ปัญหาของการผลิต โมกุเม่ กาเน่ ด้วยเทคนิคการผลิตแบบดั้งเดิมมีการสูญเสียมาก และต้นทุนการผลิตที่สูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาเทคนิคการผลิตแบบแผ่นรีด เพื่อให้ได้ลวดลายที่หลากหลาย และทำการเปรียบเทียบลวดลายกับกระบวนการแบบดั้งเดิม รวมถึงต้นทุนการผลิต รวมทั้งการศึกษาปัจจัยที่มีผลกับขนาดลวดลายของ โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด ประกอบด้วยทิศทางการรีด ความหนาของการเตรียมแผ่นโลหะวัตถุดิบ ความหนาของการลดขนาดขนาดของรอยเจาะ และขนาดความหนาของแผ่นลายที่รีดสำเร็จรวมถึงการพยากรณ์ขนาดลวดลาย ทำให้สามารถสร้างลายได้ตรงความต้องการ และลดต้นทุนการผลิตลวดลายจากเทคนิค โมกุเม่ กาเน่ จากผลการทดลองพบว่า ปัจจัยของการเกิดลาย คือ ลวดลายจะมีความยาวของลายจะเพิ่มขึ้นในทิศทางการรีด เมื่อมีการลดขนาดลง หากมีการเพิ่มขึ้นของแผ่นโลหะที่ทำให้ความหนาเพิ่มขึ้น เมื่อลดขนาดในปริมาณที่เท่ากันเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่มีขนาดชิ้นและความหนาน้อยกว่า จะทำให้ขนาดความยาวของลายน้อยลง แต่จำนวนวงรอบของลวดลายเพิ่มขึ้น ขนาดของรอยเจาะที่กว้าง 5 มิลลิเมตร ซึ่งกว้างที่สุดจะทำให้ขนาดลายกว้างมากกว่าการเจาะด้วย 4 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ และการคำนึงถึง ความหนาแน่นของก้อน โมกุเม่ กาเน่ แต่ละก้อนจะมีค่าความหนาแน่นค่าหนึ่งเสมอ จะสามารถคำนวณได้จากความหนาแน่นของส่วนผสมเฉลี่ยที่อยู่ในก้อน โมกุเม่ กาเน่ นั้น ซึ่งเมื่อก้อน โมกุเม่ กาเน่ ผ่านกระบวนการลดขนาดความหนาแน่นมากจะมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงความหนาแน่นเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณ นอกจากนี้กระบวนการผลิตโมกุเม่กาเน่แบบรีดสามารถทำนายลวดลายการเกิดได้และทำให้คำนวณต้นทุนในการผลิตที่คงตัวได้

STUDY OF PRODUCTION PROCESSES EFFECTING TO THE PREDICTION
OF SILVER AND COPPER MOKUME GANE SHEET PATTERN



ABSTRACT
BY
SURACHAI PHORNSMITHIKUL

Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for The
Master of Science Program in Technology of Gems and Jewelry
at Srinakharinwirot University
August 2015

Surachai Phornsmithikul. (2015). *Study of production processes effecting to the prediction of silver and copper mokume gane sheet pattern*. Master thesis, M.Sc. (Technology of Gems and Jewelry). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University.
Advisor: Asst.Prof.Dr. Kageeporn Wongpreedee.

Mokume Gane is made from various of metal sheets with two or more composition with high contrast of metal color. The metals is formed under pressure and temperature to produce the texture of metal patterns. The problems of mokume gane processes are process loss and texture control as well as high costs of productions. This thesis was to study the texture production controls of mokume gane sheet techniques comparing to the original techniques as well as cost of productions. In additions, the rolling directions factors, thickness, reductions, and drilling size resulting to sizes and shapes of mokume gane texture were investigated. The results of this experiment showed that the factors of texture were rolling directions, thickness and drilling sizes with the control parameter of constant density. The length of textures was increased with the directions of rolling. With adding the layers of sheets the length of texture was reduced but the ring patterns were increased comparing with the fix conditions of drilling sizes and thickness reductions. The density were a important parameter need to measure to control the measurement of patterns. It was found that the density from experiment was saturated and close to the calculation data when the thickness were reduced vigorously. Moreover, the mokume gane sheet techniques can be predicted and calculated the precise costs of productions.

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาปัจจัยกระบวนการผลิตเพื่อการทำนายผลตาย โมกุ่ม กานะ แบบแผ่นรีด
จากโลหะเงินและทองแดง
สุรัชย์ พรสมิทกุล

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอัญมณีและเครื่องประดับ
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)

วันที่ เดือน พ.ศ. 2558

คณะกรรมการควบคุมปริญญานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....

..... ประธาน

ประธาน

(ดร.ชัยสิทธิ์ บรรจงประเสริฐ)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจีพร วงศ์ปรีดี)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัด จินตโกศล)

..... กรรมการ

(ดร.ดวงแข บุตรกุล)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจีพร วงศ์ปรีดี)

ประกาศคุณูปการ

งานวิจัยฉบับนี้ จะสำเร็จไม่ได้หากไม่ได้รับการสนับสนุน จากหลายบุคคลที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือ และชี้แนะ โดยผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขจีพร วงศ์ปรีดี ประธานที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ที่สละเวลาอันมีค่ามาเป็นที่ปรึกษา พร้อมคณาจารย์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ถ่ายทอดความรู้ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ทางด้านอณูมณีและเครื่องประดับให้แก่ข้าพเจ้า ทั้งให้ความกรุณาและคำชี้แนะเพื่อแก้ไขข้อบกพร่องจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์

เหนือสิ่งใดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ของผู้วิจัย ที่สนับสนุนและส่งเสริมในการศึกษาในทุกทาง

สุรัชย์ พรสมิทธิกุล



สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ.....	1
ภูมิหลัง.....	1
ความมุ่งหมายของการวิจัย.....	2
ความสำคัญของการวิจัย.....	2
ขอบเขตการวิจัย.....	3
ตัวแปรที่ศึกษา.....	3
นิยามศัพท์เฉพาะ.....	3
กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	5
สมมติฐานของการวิจัย.....	5
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
โมกูเม่ กาเน่ (Mokume Gane).....	6
ส่วนผสมโลหะในงาน โมกูเม่ กาเน่.....	8
การเกิดลวดลายของ โมกูเม่ กาเน่.....	11
สมบัติของโลหะเงิน และโลหะทองแดง.....	14
แผนภาพสมดุลภาค(Phase Diagram) Ag-Cu.....	15
ความหนาแน่น(Density).....	15
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity).....	17
เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	18
เครื่องวัดค่าความถ่วงจำเพาะ.....	18
เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier caliper).....	19
ไมโครมิเตอร์ (Micrometer).....	20
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	21
แผนการดำเนินงานวิจัย.....	21
การผลิต ก้อน โมกูเม่ กาเน่.....	22
วิธีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการลดขนาด กับความหนาแน่น.....	24
การผลิตเครื่องประดับ โมกูเม่ กาเน่ แบบดั้งเดิม.....	25
การผลิตเครื่องประดับจาก โมกูเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด.....	31
วิธีการศึกษาวัดความกว้าง ความยาว.....	34
วิธีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อลวดลายของ โมกูเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด.....	36

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 การนำเสนอผลของข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล	43
การเกิดลายของการผลิต โมกุ่ม กานะ แบบดั้งเดิม.....	43
ขั้นตอนการเกิดลวดลายของ โมกุ่ม กานะ.....	43
ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการลดขนาดด้วยการรีดที่ศึกษาผลต่อความหนาแน่น ของ โมกุ่ม กานะ จากโลหะเงินและทองแดง.....	45
การเปลี่ยนแปลงความกว้าง ของก้อน โมกุ่ม กานะ ที่ผ่านกระบวนการทุบ	50
การเปลี่ยนแปลงความกว้าง ของก้อน โมกุ่ม กานะ ที่ผ่านกระบวนการรีด	50
การเปลี่ยนแปลงความยาว ของก้อน โมกุ่ม กานะ ที่ผ่านกระบวนการทุบ.....	51
การเปลี่ยนแปลงความยาว ของก้อน โมกุ่ม กานะ ที่ผ่านกระบวนการรีด.....	51
ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของก้อน โมกุ่ม กานะจากโลหะเงิน และทองแดงที่ผ่านการเจาะทำลวดลายกับการลดขนาดด้วยการรีด.....	55
ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของแผ่น และความกว้างของลาย กับการลดขนาดด้วยการรีด โมกุ่ม กานะ จากโลหะเงินและทองแดง.....	57
ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาว ความกว้าง และความหนา ของแผ่น และลาย การลดขนาดด้วยการรีด โมกุ่ม กานะ จากโลหะเงินและทองแดง	61
5 การสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	70
การเกิดลายของการผลิต โมกุ่ม กานะ แบบดั้งเดิม และ แบบแผ่นรีด.....	70
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดลวดลาย โมกุ่ม กานะ ด้วยการรีดทิศทางเดียว.....	71
ผลของการลดขนาด ต่อความหนาแน่นของก้อน โมกุ่ม กานะ.....	71
ผลของการลดขนาด ต่อความกว้าง ความยาวของ ก้อนและลาย โมกุ่ม กานะ	72
สมการคำนวณสำหรับการพยากรณ์ ความสัมพันธ์ของลวดลายที่เกิดจากการเจาะ ของ โมกุ่ม กานะ แบบแผ่นรีด จากเงินและทองแดง.....	73
ข้อเสนอแนะ.....	78
บรรณานุกรม	79
ภาคผนวก	81
ประวัติย่อผู้วิจัย	85

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
1 ส่วนผสมโลหะของ Shakudo & Murasaki gane (purple metal).....	9
2 ส่วนผสมโลหะของ Shibuichi.....	10
3 ส่วนผสมโลหะของKuro (black) Shibuichi.....	10
4 ส่วนผสมโลหะของ Kuromido.....	10
5 ส่วนผสมโลหะของ Yamagane(simulated native copper).....	11
6 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของโลหะเงิน.....	14
7 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของทองแดง.....	14
8 ความหนาแน่นของธาตุโลหะในสถานะของแข็ง.....	16
9 แสดงขั้นตอนการผลิตก้อน โมกุเม่ กาเน่ จากเงิน และทองแดง.....	23
10 แสดงขั้นตอนการผลิต โมกุเม่ กาเน่ แบบดั้งเดิมลายเกลียว (Twist).....	26
11 แสดงขั้นตอนการผลิต โมกุเม่ กาเน่ แบบดั้งเดิมลายวงไม้(Wood Grain).....	27
12 แสดงขั้นตอนการผลิต โมกุเม่ กาเน่ แบบดั้งเดิมลายเส้นตรง(Linear).....	28
13 แสดงขั้นตอนการผลิต โมกุเม่ กาเน่ แบบดั้งเดิมลายคลื่นทะเล (Seawave).....	29
14 แสดงขั้นตอนการผลิต โมกุเม่ กาเน่ แบบดั้งเดิมลายดาว (Star).....	30
15 แสดงกระบวนการประกอบและแหวนจาก โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด.....	32
16 ความยาวของลาย โมกุเม่ กาเน่ เจาะที่ความหนา50%และ29% ตามลำดับ และวัดที่ความหนาแผ่นที่0.5 มิลลิเมตร ในแนวขนาดกึ่งแนวการรีด.....	37
17 แสดงปัจจัยในการทดลองเพื่อพยากรณ์ลวดลายของ โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด จากโลหะเงิน และทองแดง.....	38
18 แสดงตัวอย่างชิ้นงาน โมกุเม่ กาเน่ เพื่อการทดลอง.....	42
19 แสดงกระบวนการผลิตของลวดลายที่เกิดจากการผลิต.....	43
20 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีของการผลิต โมกุเม่ กาเน่ แบบดั้งเดิมกับแผ่นรีด.....	44
21 แสดงการเปรียบเทียบข้อจำกัดของการผลิต โมกุเม่ กาเน่ แบบดั้งเดิมกับแผ่นรีด...	45
22 แสดงน้ำหนักในอากาศ และในน้ำ ความกว้าง ยาว และหนา ของก้อน โมกุเม่ กาเน่ ที่ไม่สมบูรณ์ และไม่ผ่านการเจาะ.....	46
23 แสดงน้ำหนักในอากาศ และในน้ำ ความกว้าง ยาว และหนา ของก้อน โมกุเม่ กาเน่ เมื่อผ่านกระบวนการลดขนาดด้วยการทุบเหลือประมาณ 50% และลดขนาด ด้วยการรีดเหลือประมาณ 5%.....	48

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
24 แสดงอัตราของการลดความหนา อัตราของการเพิ่มความยาว และอัตราของการเพิ่มความกว้างของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ เมื่อผ่านกระบวนการลดขนาดด้วยการทุบ.....	52
25 แสดงอัตราของการลดความหนา อัตราของการเพิ่มความยาว และอัตราของการเพิ่มความกว้างของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ เมื่อผ่านกระบวนการลดขนาดด้วยการรีด.....	53
26 แสดงความหนาแน่นของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ที่ใช้วัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร ที่ผ่านการเจาะ ลดขนาดด้วยการรีด เหลือ 2.0มิลลิเมตร, 1.5มิลลิเมตร, 1.0มิลลิเมตร, 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ	55
27 แสดงความหนาแน่นของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ที่ใช้วัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร ที่ผ่านการเจาะ ลดขนาดด้วยการรีด เหลือ 2.0มิลลิเมตร, 1.5มิลลิเมตร, 1.0มิลลิเมตร, 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ	56
28 แสดงความกว้างของแผ่น และความกว้างของลาย ของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ จากโลหะเงินและทองแดง ที่ความหนาของแผ่นตั้งต้น 1 มิลลิเมตร ที่วัดในตำแหน่งที่เจาะด้วยสว่านขนาด 5 มิลลิเมตร และลดขนาดด้วยการรีดหนา 2.0, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร	57
29 แสดงความกว้างของแผ่น และความกว้างของลาย ของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ จากโลหะเงินและทองแดง ที่ความหนาของแผ่นตั้งต้น 2 มิลลิเมตร ที่วัดในตำแหน่งที่เจาะด้วยสว่านขนาด 5 มิลลิเมตร และลดขนาดด้วยการรีดหนา 2.0, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร	58
30 แสดงการเปรียบเทียบความกว้างที่ได้จากการคำนวณและความกว้างที่ได้จากการวัด ของแผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร และเจาะที่ระดับความหนา 4.42 มิลลิเมตร แล้วลดขนาดด้วยการรีดทิศทางเดียวในระดับความหนา 2, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ	59
31 แสดงการเปรียบเทียบความกว้างที่ได้จากการคำนวณและความกว้างที่ได้จากการวัด ของแผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร และเจาะที่ระดับความหนา 4.42 มิลลิเมตร แล้วลดขนาดด้วยการรีดทิศทางเดียวในระดับความหนา 2, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ	60

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
32	แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่น ความกว้างของแผ่น ความยาวของแผ่น ความกว้างของลาย และความยาวของลาย อัตราการเปลี่ยนแปลงของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42 มิลลิเมตร.....	62
33	แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่น ความกว้างของแผ่น ความยาวของแผ่น ความกว้างของลาย และความยาวของลาย อัตราการเปลี่ยนแปลงของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 3.86 มิลลิเมตร.....	62
34	แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่นความกว้างของแผ่นความยาวของแผ่นความกว้างของลายและความยาวของลายอัตราการเปลี่ยนแปลงของก้อนโมกุ่ม่กาเน่ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 3.40 มิลลิเมตร.....	63
35	แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่น ความกว้างของแผ่น ความยาวของแผ่น ความกว้างของลาย และความยาวของลาย อัตราการเปลี่ยนแปลงของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42 มิลลิเมตร.....	63
36	แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่น ความกว้างของแผ่น ความยาวของแผ่น ความกว้างของลาย และความยาวของลาย อัตราการเปลี่ยนแปลงของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.07 มิลลิเมตร.....	64
37	แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่น ความกว้างของแผ่น ความยาวของแผ่น ความกว้างของลาย และความยาวของลาย อัตราการเปลี่ยนแปลงของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 3.40 มิลลิเมตร.....	64
38	แสดงความลึกของรอยเจาะบนแผ่นตัวอย่าง โมกุ่ม่ กาเน่ ที่ตำแหน่งรอยเจาะ 5 มิลลิเมตร ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 3.86, 3.40 มิลลิเมตร และแผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 4.07, 3.40 มิลลิเมตร.....	67

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
39 แสดงสมการคำนวณสำหรับการพยากรณ์ ลวดลายจากการเจาะ ของ โมกุ่ม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด จากเงินและทองแดง.....	73
40 แสดงการเปรียบเทียบ ค่าความกว้าง ความยาวของแผ่น และความกว้าง ความยาว ของลาย ที่ได้จากการพยากรณ์ กับ ค่าที่วัดได้จริง.....	77
41 ผลการชั่งน้ำหนักทองแดงในอากาศ และในน้ำ เพื่อหาค่าความหนาแน่นของทองแดง ของเครื่องชั่งน้ำหนักในการทดลอง.....	83
42 ผลการชั่งน้ำหนักเงินในอากาศ และในน้ำ เพื่อหาค่าความหนาแน่นของเงิน ของเครื่องชั่งน้ำหนักในการทดลอง.....	84



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 กรอบแนวคิดในการวิจัย.....	5
2 แสดงการเตรียมแผ่นเหล็กกดทับและชั้นโลหะก่อนอบ.....	7
3 ภาพแสดงลวดลายของแหวนโมกุ่ม่กาเน่.....	11
4 ภาพแสดงลวดลายของแหวน โมกุ่ม่ กาเน่ จาก สีที่แตกต่างกัน.....	12
5 ภาพแสดงลวดลายของแหวน โมกุ่ม่ กาเน่ จาก โทนสี.....	12
6 ภาพแสดงลวดลายของแหวน โมกุ่ม่ กาเน่ จาก พื้นผิวที่แตกต่างกัน.....	13
7 แสดงแผนภาพPhase Diagram ระหว่างCu-Ag.....	15
8 แสดงอุปกรณ์วัดความหนาแน่น โดยการชั่งน้ำหนักในอากาศ และในน้ำ.....	19
9 เวอร์เนียคาลิเพอร์ (Vernier caliper).....	19
10 ไมโครมิเตอร์ (Micrometer).....	20
11 แผนผังภาพรวมของกระบวนการวิจัย.....	22
12 แหวน โมกุ่ม่ กาเน่ ที่ผลิตจากเทคนิคแบบดั้งเดิม.....	25
13 กระบวนการผลิตเครื่องประดับจาก โมกุ่ม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด.....	31
14 แสดงวิธีการวัดขนาดของลาย.....	34
15 วิธีการวัดโดยใช้เวอร์เนียคาลิเพอร์ร่วมกับการคำนวณด้วยโปรแกรมกราฟฟิค....	35
16 การนำค่าที่วัดได้มาคำนวณโดยโปรแกรมExcel เพื่อให้ได้หน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร	36
17 ลวดลาย โมกุ่ม่ กาเน่ ที่เกิดจากการเจาะและลดขนาดในขนาดที่แตกต่างกัน.....	36
18 แผนภาพแสดงลำดับการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับการเกิดลายของ โมกุ่ม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด.....	39
19 แผนภาพแสดงรายการตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง.....	41
20 กราฟแสดงความหนาแน่นของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ที่ไม่สมบูรณ์ และไม่ผ่านการเจาะ	47
21 กราฟแสดงความหนาแน่นของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ เมื่อลดขนาดก้อน.....	49
22 กราฟแสดงความกว้าง ที่สัมพันธ์กับการลดขนาดด้วยกระบวนการทุบ.....	50
23 กราฟแสดงความกว้าง ที่สัมพันธ์กับการลดขนาดด้วยกระบวนการรีด.....	50
24 กราฟแสดงความยาว ที่สัมพันธ์กับการลดขนาดด้วยกระบวนการทุบ.....	51
25 กราฟแสดงความยาว ที่สัมพันธ์กับการลดขนาดด้วยกระบวนการรีด.....	51
26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราของการลดความหนา อัตราของการเพิ่ม ความยาว และอัตราของการเพิ่มความกว้าง ด้วยการทุบ.....	53

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราของการลดความหนา อัตราของการเพิ่มความยาว และอัตราของการเพิ่มความกว้าง ด้วยการรีด.....	54
28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความหนา กับความหนาแน่นของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ที่ใช้แผ่นวัตถุบิขนาด 1 มิลลิเมตร ที่เจาะในระดับความหนาที่แตกต่างกัน.....	55
29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความหนา กับความหนาแน่นของก้อน.....	56
30 กราฟแสดงความกว้างของแผ่น และความกว้างของลาย ของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ จากโลหะเงินและทองแดง ที่ความหนาของแผ่นตั้งต้น 1, 2 มิลลิเมตร ที่วัดในตำแหน่งที่เจาะด้วยสว่านขนาด 5 มิลลิเมตร และลดขนาดด้วยการรีดเหลือความหนา 2.0 มิลลิเมตร, 1.5 มิลลิเมตร.....	58
31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความกว้างที่ได้จากการคำนวณและความกว้างที่ได้จากการวัด ของแผ่นวัตถุบิหนา 1 มิลลิเมตร และเจาะที่ระดับความหนา 4.42 มิลลิเมตร แล้วลดขนาดด้วยการรีดทิศทางเดียวในระดับความหนา 2, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ.....	60
32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความกว้างที่ได้จากการคำนวณและความกว้างที่ได้จากการวัด ของแผ่นวัตถุบิหนา 2 มิลลิเมตร และเจาะที่ระดับความหนา 4.42 มิลลิเมตร แล้วลดขนาดด้วยการรีดทิศทางเดียวในระดับความหนา 2, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ.....	61
33 กราฟแสดงอัตราความกว้างของแผ่นที่เพิ่มขึ้น กับอัตราความหนาที่ลดลง.....	65
34 กราฟแสดงอัตราความยาวของแผ่นที่เพิ่มขึ้นกับอัตราความหนาที่ลดลง ของก้อนโมกุ่ม่กาเน่ใช้แผ่นวัตถุบิหนา1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 3.86, 3.40 มิลลิเมตร และแผ่นวัตถุบิหนา2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา4.42, 4.07, 3.40 มิลลิเมตร.....	66
35 กราฟแสดงอัตราความกว้างของลายที่เพิ่มขึ้น กับอัตราความหนาที่ลดลง ของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ใช้แผ่นวัตถุบิหนา 1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 3.86, 3.40 มิลลิเมตร และแผ่นวัตถุบิหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 4.07, 3.40 มิลลิเมตร.....	66

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
36 กราฟแสดงอัตราความยาวของลายที่เพิ่มขึ้น กับอัตราความหนาที่ลดลง ของก้อน โมกุ่ม กาเน่ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 3.86, 3.40 มิลลิเมตร และแผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 4.07, 3.40 มิลลิเมตร.....	66
37 กราฟแสดงอัตราความกว้างของแผ่น และความกว้างของลาย กับอัตราความหนา ที่ลดลง ของก้อน โมกุ่ม กาเน่ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 เจาะที่ความหนา 4.42 มิลลิเมตร และแผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42 มิลลิเมตร.....	68
38 กราฟแสดงอัตราความกว้างของแผ่น และความกว้างของลาย กับอัตราความหนา ที่ลดลง ของก้อน โมกุ่ม กาเน่ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 เจาะที่ความหนา 3.86 มิลลิเมตร และแผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.07 มิลลิเมตร.....	69
39 กราฟแสดงอัตราความกว้างของแผ่น และความกว้างของลาย กับอัตราความหนา ที่ลดลง ของก้อน โมกุ่ม กาเน่ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 เจาะที่ความหนา 3.40 มิลลิเมตร และแผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 3.40 มิลลิเมตร.....	69
40 ภาพอธิบายตำแหน่งของค่าที่ใช้ในการพยากรณ์ขนาดของลาย.....	76
41 เครื่องชั่งในการทดลอง.....	82

บทที่ 1

บทนำ

ภูมิหลัง

โมกุ่ม กาเน่ หรือ โลหะที่มีลวดลายตาไม้เป็นเทคนิคการผลิตดั้งเดิมมาจากเทคนิคการทำ ลวดลายสำหรับ ดาบชามุไรญี่ปุ่น ปัจจุบันนิยมใช้ในการผลิตลวดลายของเครื่องประดับ งานเครื่อง โลหะ และงานศิลปะ เทคนิค โมกุ่ม กาเน่ เป็นวิธีการผลิตลวดลายธรรมชาติ เช่น ลายไม้ จากโลหะ ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปที่แตกต่างกันโดยใช้การอบติดกันด้วยความร้อน สูงแต่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลว ภายใต้ความดัน ให้โลหะ 2 ชนิดเกิดการแพร่เข้าหากัน ในสถานะของแข็ง แล้วเมื่อแผ่นโลหะติดกัน จะนำมาทำลวดลาย โดยการเจาะถากเซาะร่องทาบตีบดรีดและขัดแต่ง แล้วนำไปขึ้นรูปเป็น เครื่องประดับ

สำหรับการผลิตเครื่องประดับด้วยเทคนิค โมกุ่ม กาเน่ สามารถจำแนกรูปแบบคร่าวๆ จากการเตรียมลวดลายได้ใน 2 รูปแบบคือ โมกุ่ม กาเน่ แบบดั้งเดิมและ โมกุ่ม กาเน่ แบบแผ่นรีด โดยวิธีการผลิต โมกุ่ม กาเน่ แบบดั้งเดิมจะมีกระบวนการทำให้เกิดขึ้นลวดลาย ทั้งก่อน และ ใน ระหว่างขั้นตอนการขึ้นรูปเครื่องประดับโดยไม่มีการเตรียมลวดลาย ที่สมบูรณ์ไว้ก่อนและเมื่อผ่าน กระบวนการในแต่ละขั้นตอน ลวดลายก็จะเปลี่ยนไปตามชั้น หรือเนื้อ โลหะที่หายไปพร้อมกับการ ตกแต่งผิวเครื่องประดับ ซึ่งต้องใช้ทักษะ ความชำนาญ และจิ นตนาการเป็นอย่างมาก ส่วนการผลิต โมกุ่ม กาเน่ แบบแผ่นรีด จะมีการเตรียมลาย โมกุ่ม กาเน่ ไว้เรียบร้อยแล้วและรีดเป็นแผ่นที่มี ความหนาตามต้องการก่อนนำไปประกอบเข้ากับตัวเรือนเครื่องประดับ เครื่องประดับที่นิยมผลิตใน ปัจจุบัน จะเป็นประเภท แหวนทรงปโลกมิต ซึ่งรูปแบบยังไม่หลากหลาย

เทคนิค โมกุ่ม กาเน่ เป็นเทคนิคที่เพิ่มมูลค่าให้กับ วัตถุดิบหลายเท่าตัว และเนื่องจากเป็น งานที่ใช้ความชำนาญและแรงงานฝีมือ มีลวดลายที่เป็น เอกลักษณ์เฉพาะตัว มีความสวยงาม และ เครื่องประดับที่มีศิลปะ ทำให้ เมื่อเทียบ ราคาขาย กับต้นทุนวัตถุดิบ อาจ จะสูง กว่ากัน 10-20 เท่า เนื่องจากเทคนิคการผลิตที่ซับซ้อน ต้นทุนการผลิตลวดลายค่อนข้างที่จะสูงมาก ต้องใช้แรงงานที่มี ความชำนาญและการสูญเสียในกระบวนการผลิตค่อนข้างสูงทำให้การผลิตยังไม่เป็นที่แพร่หลาย ดังนั้น เทคนิคการผลิต นี้ น่าสนใจในการพัฒนาเพื่อสร้างโอกาสให้กับอุตสาหกรรมผลิต เครื่องประดับของไทยในอนาคต ในการสร้างให้เกิดลวดลายให้ตรงตามความต้องการ เกิดจาก ความ สวยงามของลวดลายไม่ได้เกิดจากน้ำหนักหรือปริมาณโลหะมีเพียงอย่างเดียว

งานวิจัยนี้เกิดจากความสนใจในเชิงการผลิตและการทดลองตลาดของผู้วิจัย โดยผู้วิจัยได้ ทำการ เปิดบริษัท สมิตี จิวเวลรี่ จำกัด เพื่อพัฒนาสินค้าควบคู่ไปกับการทำการวิจัยพัฒนาลวดลาย และต่อยอดเทคนิควิธีการผลิตใหม่ พร้อมกับศึกษาและ ควบคุมต้นทุนในการ ผลิตให้สินค้าสามารถจัด จำหน่ายและสร้างมูลค่าเพิ่มได้อย่างแท้จริง จากการสำรวจโดยการสังเกตผลิตภัณฑ์ได้เริ่มทดลอง ผลิตและจำหน่ายในระหว่างการจัดงานบางกอกเจมส์แอนด์จิวเวลรี่แฟร์ครั้งที่ 50 เมื่อปี 2555 เพื่อ นำมาตั้งเป็นหัวข้องานวิจัยที่ตรงกับความต้องการของตลาด พบว่าลูกค้าที่เข้าใจในเทคนิค โมกุ่ม

กาเน่ จะสนใจในลวดลายเป็นอันดับแรกโดยจะเลือกซื้อสินค้าจากลวดลายก่อนหากสามารถผลิต โมกุเม่ กาเน่ ที่มีลวดลายที่สวยงามตรงตามความต้องการของลูกค้าได้จะสามารถสร้างมูลค่าทางการตลาดได้ โดยลูกค้ากลุ่มนี้ไม่นำสินค้ามาเปรียบเทียบกับราคาต้นทุนของวัตถุดิบและค่าแรง ซึ่งต่างกับลูกค้าใหม่ที่ยังไม่รู้จัก เทคนิคการทำเครื่องประดับและทำ สินค้า โมกุเม่ กาเน่ ทำให้ปัจจัยในเรื่อง ต้นทุนการผลิต โมกุเม่ กาเน่ แบบดั้งเดิมที่สูง ทำให้ยากต่อการเข้าตลาดหากต้องการลด ต้นทุนลง ก็สามารถทำได้โดยง่าย โดยการริดยายลาย และลดความหนาของ โมกุเม่ กาเน่ ลง จะทำให้ต้นทุนแผ่นลวดลายของ โมกุเม่ กาเน่ ลดลงทันที

ปัญหาที่พบจากการผลิต โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีดในเบื้องต้น คือไม่สามารถพยากรณ์ ลวดลายที่จะเกิดขึ้นก่อน การลดขนาดและการรีดในขนาดความหนาที่ต้องการ และลวดลาย โมกุเม่ กาเน่ ไม่สามารถผลิตลวดลายให้ได้ขนาดที่เหมาะสมกับขนาดของเครื่องประดับหรือออกแบบลวดลาย ได้ก่อนการผลิต เพราะลวดลายจะพบก็ต่อเมื่อ ผ่านกระบวนการรีดเป็นแผ่นแล้วเท่านั้น จากปัญหาดังกล่าว ทำให้สูญเสียต้นทุนจากการผลิตจำนวนมาก ดังนั้น การทำนายลวดลายของแผ่น โมกุเม่ กาเน่ ทำให้เพิ่มความสามารถในการผลิตสินค้าที่ตรงความต้องการของลูกค้า ในราคาต้นทุนที่ประหยัดลง ได้แบบแผ่นรีดได้ โดยปัจจัยการเตรียมวัตถุดิบการผลิตกระบวนการลดขนาดกระบวนการทำลวดลาย และทิศทางการรีด ตั้งแต่เริ่มต้นจะช่วยให้สามารถ ผลิตลวดลายได้ตรงความต้องการของลูกค้า ในราคาที่เหมาะสม

ดังนั้นงานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดลวดลายลายของ โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีดที่สัมพันธ์กับกระบวนการผลิตให้เกิดขนาดลายตามต้องการ โดยใช้การผลิตลวดลาย จากโลหะเงิน และ โลหะทองแดงซึ่งสามารถผลิตได้ง่าย และต้นทุนไม่สูงมากโดยประโยชน์ที่จะได้รับหากสามารถทราบถึงผลลัพธ์ของลายที่จะเกิดกับแผ่น โมกุเม่ กาเน่ ที่กำลังจะผลิตจะสามารถ ควบคุมการสูญเสียเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผลของผลผลิตที่ได้จากวัตถุดิบและลดต้นทุนการผลิตที่สำคัญได้อีกทางหนึ่งด้วย

ความมุ่งหมายของการวิจัย

ศึกษาผลของปัจจัยด้านกระบวนการผลิตที่มีผลต่อการเกิดลายของ โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด

ความสำคัญของการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการผลิตที่มีผลต่อการเกิดลายของ โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดลวดลาย โมกุเม่ กาเน่ ด้วยการรีดทิศทางเดียว
3. ทำนายความสัมพันธ์ของลวดลายที่เกิดจากการเจาะและการรีด

ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลของลวดลาย โมกุเม่ กาเน่
2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดลวดลายของ โมกุเม่ กาเน่
3. ศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัย ที่มีผลต่อการเกิดลายของ โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด เช่น ความหนาของแผ่นโลหะตั้งต้นในการทำก่อน โมกุเม่ กาเน่ ขนาดความกว้างของการเจาะ ความหนาของก้อน โมกุเม่ กาเน่ ขณะเจาะ และความหนาของแผ่นรีดที่ต้องการ เป็นต้น
4. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัย กับขนาดของลาย โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด
5. สรุปความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย กับขนาดของลาย โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด
6. สรุปผลโครงการ

ตัวแปรที่ศึกษา

1. ตัวแปรอิสระ คือ
 - 1.1.ความหนาของการเตรียมแผ่นโลหะความหนาแผ่นโลหะ 1.0, 2.0 มิลลิเมตร
 - 1.2.ความหนาของการลดขนาด 4.5, 4.0, 3.5 มิลลิเมตร
 - 1.3.ขนาดของรอยเจาะโดยใช้ดอกสว่านขนาด 5.0, 4.0, 3.2 มิลลิเมตร
 - 1.4.ขนาดความหนาของแผ่นรีด 2.0, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร
2. ตัวแปรตาม คือ
 - 2.1.ความกว้าง ของแผ่น โมกุเม่ กาเน่
 - 2.2.ความยาว ของแผ่น โมกุเม่ กาเน่
 - 2.3.ความกว้าง ของลาย โมกุเม่ กาเน่
 - 2.4.ความยาว ของลาย โมกุเม่ กาเน่
3. ตัวแปรควบคุม คือ
 - 3.1.ชนิดของโลหะ จาก โลหะเงิน 95% และทองแดง
 - 3.2.ทิศทางการรีด
 - 3.3.ความลึกการเจาะ

นิยามศัพท์เฉพาะ

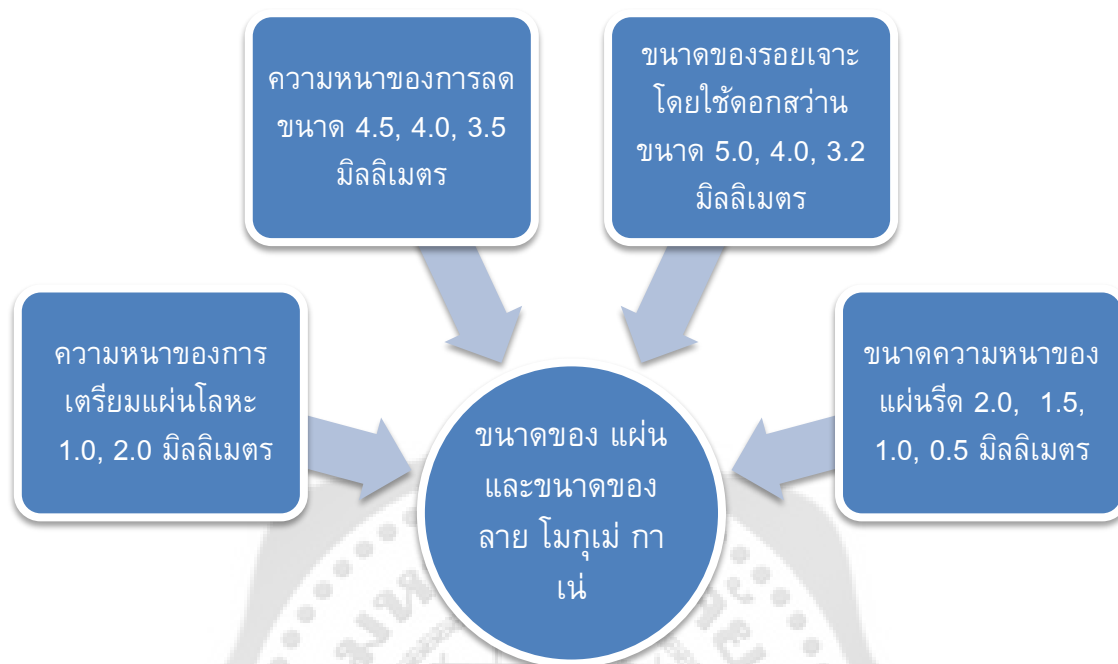
1. ก้อน โมกุเม่ กาเน่ หมายถึง ก้อนโลหะที่เกิดจากการอบโลหะตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปด้วยความร้อนที่ต่ำกว่าจุดหลอมเหลว ภายใต้ความดัน ทำให้แผ่นวัตถุดิบโลหะ 2 ชนิดติดกัน โดยการแพร่ระหว่างโลหะ 2 ชนิดในสถานะของแข็ง

2. โมกุเม่ กาเน่ แบบดั้งเดิม หมายถึง เทคนิคการผลิตลวดลายโลหะ โดยการนำ ก้อน โมกุเม่ กาเน่ มาทำเป็นเครื่องประดับที่มีลวดลายไม้ ซึ่งลวดลายจะเกิดขึ้นด้วยการเจาะ ขุด บิด ทูบ ขัด หรือวิธีการอื่นๆ ทั้งก่อน และระหว่างการผลิตเครื่องประดับ โดยเครื่องประดับจะผลิตจากก้อน โมกุเม่ กาเน่ ทั้งชิ้น หรือเกือบทั้งชิ้น

3. **โมกุ่ม่ กาน่ แบบแผ่นรึด** หมายถึง เทคนิคการผลิตลวดลายโลหะ ให้เป็นแผ่นลวดลายไม้ แล้วรึดเป็นแผ่น ก่อนมาประกอบเข้ากับตัวเรือนเครื่องประดับ โดยแผ่นลวดลาย เกิดจากการนำก้อน โมกุ่ม่ กาน่ มาทำลวดลายด้วยการ ขุด บิด ทูป ขัด หรือวิธีการอื่นๆ ก่อน และขยายลวดลายด้วยกระบวนการรึดให้เป็นแผ่น ก่อนนำไปใช้ในการผลิตสินค้า
4. **โลหะเงินบริสุทธิ์** หมายถึงโลหะเงินร้อยละ 99.99 โดยน้ำหนัก
5. **อัลลอยเงิน 95** หมายถึง โลหะเงินร้อยละ 95 โดยน้ำหนัก โลหะทองแดงร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก



กรอบแนวคิดในการวิจัย



ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

สมมติฐานของการวิจัย

ปัจจัยของกระบวนการผลิต โมกูเม่ กาเน่ ที่สัมพันธ์กับขนาดความหนาของการเตรียมแผ่นโลหะการเจาะ ณ ขนาดของความหนา ตั้งต้นของก้อน โมกูเม่ กาเน่ ที่แตกต่างกัน และความหนาของแผ่น โมกูเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีดที่สำเร็จ รวมทั้งการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ปัจจัยกับขนาดความกว้างและความยาวลดลายของ โมกูเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีดเพื่อการพยากรณ์ขนาดความกว้างและยาว ที่มีผลต่อลดลายของ โมกูเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีดได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โมกุเม่ กาเน่ (Mokume Gane)

เครื่องประดับ โมกุเม่ กาเน่ หรือ เครื่องประดับ ที่มีลวดลายตาไม้ ที่มีลวดลายที่เกิดจากการนำแผ่นโลหะที่มีสีแตกต่างกันตั้งแต่ 2 สีหรือมากกว่า มาซ้อนสลับกัน และกดอัดด้วยความดัน และให้ความร้อนที่เหมาะสมเป็นสาเหตุให้เกิดสภาพการเสถียรของอะตอม และเกิดการเคลื่อนตัวของอะตอมที่ผิวของชั้นโลหะ ถูกสร้างขึ้นระหว่างแต่ละชั้นทำให้เกิดการเชื่อมติดกัน โดยปราศจากตัวเชื่อมประสานและไม่หลอมละลายเข้าด้วยกัน โลหะจะเชื่อมติดกันทั้งที่ยังเป็นของแข็งอยู่ เมื่อโลหะที่ได้ติดกันแล้วจึงนำชั้นโลหะนั้น มาผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีทางเชิงกล เช่น การตี การม้วนบิด การแกะสลัก หรือใช้แรงกระทำแก่ชั้นโลหะ ทำให้เกิดลวดลายคล้ายลายเนื้อไม้หรือตาไม้ จึงเป็นที่มาของความหมายในภาษาญี่ปุ่นว่า Mokume แปลว่า ลายของเนื้อไม้หรือตาไม้ Gane แปลว่า

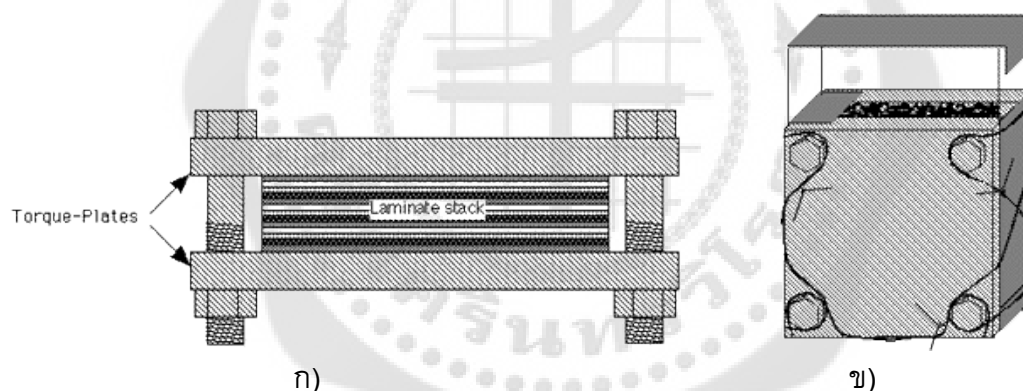
เทคนิค โมกุเม่ กาเน่ คือ การนำแผ่นโลหะที่มีสีแตกต่างกันตั้งแต่ 2 สีหรือมากกว่า มาซ้อนสลับกัน จากนั้นกดอัดด้วยความดัน และให้ความร้อนที่เหมาะสมเป็นสาเหตุให้เกิดการก่อตัวของสภาพการเสถียรของอะตอมและเกิดการเคลื่อนตัวของอะตอมที่ผิวของชั้นโลหะ โครงสร้างของโมเลกุลใหม่ถูกสร้างขึ้นระหว่างแต่ละชั้นทำให้เกิดการเชื่อมติดกัน โดยปราศจากตัวเชื่อมประสาน และโลหะยังเป็นของแข็งอยู่ เมื่อโลหะที่ได้ติดกันแล้วจึงนำชั้นโลหะนี้ มาผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยวิธีทางเชิงกล เช่น การตี การม้วนบิด การแกะสลัก หรือใช้แรงกระทำแก่ชั้นโลหะ ทำให้เกิดลวดลายคล้ายลายเนื้อไม้หรือตาไม้ จึงเป็นที่มาของความหมายในภาษา ญี่ปุ่นว่า Mokume แปลว่า ลายของเนื้อไม้หรือตาไม้ Gane แปลว่า ทำจากโลหะต่างๆ [2]

ต้นกำเนิดของเทคนิค โมกุเม่ กาเน่ เริ่มจากรูปแบบ การตีโลหะสำหรับทำดาบ เมื่อประมาณ ศตวรรษที่ 16 โดย Cassiodor นักวิชาการชาวโรมัน ซึ่งอธิบายว่าอาวุธนั้นคือ ดาบที่ดีขึ้นจากเหล็ก ภูเขาไฟ หรืออีกความหมายหนึ่งคือ ดาบที่ทำจากเหล็กคุณภาพสูง มีลายเส้น เรียกว่า ดามาสคัส สตีล (Damascus Steel) จนกระทั่งในศตวรรษที่ 17 ช่วงปี ค.ศ.1651-1728 ช่างทำดาบ Denbei Shoami ในเขตมณฑล อะคิตะ (Akita) ประเทศญี่ปุ่น เป็นผู้ค้นพบเทคนิค โมกุเม่ กาเน่ โดยโลหะที่ไม่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบ ซึ่งงานชิ้นแรกของ Shoami ประกอบด้วยโลหะ 2 ชนิดคือทองแดง และ ซากุโด (Shakudo) (ภาษาญี่ปุ่น หมายถึง โลหะผสมระหว่างทองแดง 2.5 เปอร์เซ็นต์ ถึง 4 เปอร์เซ็นต์ กับ ทองบริสุทธิ์) มีลักษณะเป็นชั้นๆ สลับกันและได้พัฒนาวิธีการที่ไม่ต้องใช้ตัวประสานในการเชื่อมให้โลหะติดกัน แต่ทำโดยการให้ความร้อนแก่ชั้นโลหะจนประสานกันเอง เป็นที่มาของงานศิลปะ และมีการใช้สัญลักษณ์บนดาบของตัวเอง [3]

แผ่นโลหะส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทำเทคนิค โมกุเม่ กาเน่ ควรมีความหนาประมาณ 0.5 - 1.6 มิลลิเมตร เรียงซ้อนกันประมาณ 8 - 40 ชั้น [4] โดยช่างญี่ปุ่นสมัยก่อนจะเตรียมผิวโลหะก่อนนำไปเรียงซ้อนกันเพื่ออบประสานชั้นโลหะนั้นจะทำโดยการนำไปต้มในสารละลายผงซีอิ๊ว (สารละลายต่าง)

ก่อน แล้วขัดด้วยท่อนถ่านไม้ (Charcoal block) จากนั้นจุ่มลงในสารละลายที่ผสมเกลือบกับน้ำส้มสายชูที่ทำจากลูกพลัม และล้างอีกครั้งด้วยสารละลายด่างอ่อน อีกวิธีหนึ่งคือ การทำความสะอาดโลหะโดยการขัดด้วยกระดาษทราย สก็อตไบต์ (Wet Purple Scotch - Brite) และหินพุมไมส์ (Pumice) [5] หรือขัดด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์ [6] ก่อน แล้วล้างน้ำให้สะอาดและเป่าให้แห้งทันที ด้วยเครื่องเป่าลมสูญญากาศ (Vacuum Cleaner Blower) แต่ในปัจจุบันพัฒนามาใช้ การจุ่มในกรดไนตริก, โพแทสเซียมไซยาไนด์ หรือต้มในสารละลายโซเดียมโบคาบอเนต ขจัดคราบออกไซด์ด้วยการทำพิกกิ้ง (Pickling)

James E. Binnion [5] ทำการอบโดยใช้แผ่นฟอยล์หุ้มชั้นโลหะที่ต้องการประสานและมัดด้วยกล่องลวดดังรูปที่ 2.4 โดยให้ความร้อนกับกล่อง นอกจากนี้ยัง ใส่ถ่านวางโดยรอบเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับชิ้นงาน จากนั้นนำชั้นโลหะออกจากแผ่นเหล็กอัดทับและตีขณะที่ยังร้อน ใช้หัวเป่าไฟให้ความร้อนชิ้นงานขณะตี โดยความร้อนของชิ้นงานนั้นสามารถสังเกตได้ ในช่วงที่ชิ้นงานเปลี่ยนจากสีแดงมากเป็นสีดำ (จุด Blackheat) ที่ 482.22 องศาเซลเซียส โลหะผสมนิกเกิล (Ni) อาจจะแยกออก ถ้าไม่ตีก่อนที่จะเริ่มเย็น ดีให้ความหนาลดลง 50 เปอร์เซ็นต์หรือมากกว่า ตัดเอาขอบแต่ละด้านออกด้านละ 1/8 - 1/4 นิ้ว เพื่อลดความเสี่ยงในการแตกระหว่างการตีและการรีด



ภาพประกอบ 2 แสดงการเตรียมแผ่นเหล็กกดทับและชั้นโลหะก่อนอบ

ก) แสดงการอัดชั้นโลหะด้วยแผ่นเหล็กกดทับ (Torque - Plate)

ข) แสดงแผ่นเหล็กกดทับที่ใส่ถ่านและมัดกล่องด้วยลวด

ส่วน Hiroko Sato Pijanowski และ Gene Michael Pijanowski [7] ได้ทำการวางแผ่นเหล็กไว้ด้านบนผนังอิฐทนไฟ ทำหน้าที่เหมือนเป็นหลังคาที่บรรจุความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง การติดไฟของถ่านโค้กจะทำให้ไฟเผาทั่วหมด เมื่อให้เปลวไฟแรงขึ้น เปลวใหญ่อยู่ด้านบนในเตา เปลวไฟจะทำให้ลดอากาศโดยรอบ ความร้อนจะดูดอากาศ 10 - 20 นาทีขึ้นอยู่กับปริมาณถ่าน ทำให้เกิดสภาพบรรยากาศแบบรีดักชั่น (Reduction Atmosphere) โลหะ 20 ชิ้น ขนาด 10 เซนติเมตร x 10 เซนติเมตร x 1.6 มิลลิเมตร จะใช้เวลาในการแพร่ 10 นาที การตีโลหะทำได้เมื่อชั้นโลหะด้านล่างเริ่มเปลี่ยนเป็นสีแดง เมื่อมีการกระจายความร้อนทั่วแล้ว เอาออกจากเตาเผา เมื่อชั้นโลหะยังคงแดงอยู่ให้ตีขณะร้อนแดง

จากขอบนอกเข้าไปยังตรงกลางเพื่อกันการแยกออกจากกัน ถ้าใช้ชั้นโลหะเงิน เมื่อเงินเริ่มหลอม (Sweat) หยดให้ความร้อนทันที เมื่อชิ้นงานอยู่ที่อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการตี นำไปวางบนทั้งเหล็กและเริ่มตี ชิ้นงานจะเย็นตัวอย่างรวดเร็วขณะที่มันสัมผัสกับทั้ง บริเวณที่ไม่ติดจะสังเกตเห็นเส้นสีดำระหว่างชั้น ตัดทิ้งจนกว่าจะไม่เห็น ให้ความร้อนและตีจนกระทั่งได้รูปทรงที่พอใจ

ขจีพร และคณะ [1] ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการประสานระหว่างชั้นโลหะเงิน 925 และทองแดง คือ ความสะอาดของโลหะเงิน 925 และทองแดง การเตรียมผิวแผ่นโลหะ โดยการกำจัดคราบออกไซด์ การเลือกใช้อุณหภูมิ ซึ่ง เลือกใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าเส้น Liquidus ของโลหะที่นำมาใช้ คือ ต่ำกว่า 780 องศาเซลเซียส เมื่อใช้โลหะเงิน 925 เพื่อป้องกันการไหลของเงิน และการอัดลดความหนาชั้นโลหะก่อนนำไปทำลวดลาย ด้วยเครื่องอัดไฮโดรลิก เพื่อลดปัญหาการแยกของชั้นโลหะ เนื่องจากแรงกดกระทำในพื้นที่ที่สม่ำเสมอ นอกจากนี้ยังศึกษาการสูญเสียเนื้อโลหะโดยเฉลี่ย จากการทำลวดลายด้วยเทคนิค โมกุเม่ กานะ คิดเป็น 37.62เปอร์เซ็นต์ จากน้ำหนักโลหะ การนำชิ้นงานที่ได้จากเทคนิค โมกุเม่ กานะ ไปประกอบเป็นเครื่องประดับ พบว่า ชิ้นงานที่ทำด้วยเทคนิค โมกุเม่ กานะ นั้น ไม่ควรประกอบเครื่องประดับโดยการเชื่อมด้วยหัวเป่าไฟ เนื่องจากอาจเกิดการขยายตัวของโลหะทำให้เกิดการแยกของชั้นโลหะได้ รวมถึงน้ำประสานโลหะที่ใช้จะปกคลุมลวดลาย เมื่อขัดน้ำประสานออกจะทำให้ลวดลายหายไปบางส่วน ดังนั้น อาจเชื่อมด้วยเลเซอร์ หรือประกอบด้วยวิธีอื่น

ส่วนผสมโลหะในงาน โมกุเม่ กานะ

ในการผลิตลวดลายจากโลหะ สามารถจำแนกราวๆ ได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม Damascus Steel ที่ใช้โลหะหลักที่มีส่วนผสมของเหล็ก และ กลุ่ม Mokume Gane ที่ใช้อัลลอยด์โลหะอื่นๆ จากการรวบรวมส่วนผสมโลหะจากหลายๆ แหล่งที่สามารถจำแนกโลหะที่ใช้ในการผลิต โมกุเม่ กานะ จากโลหะมีค่า เป็นกลุ่มได้ดังนี้

1. กลุ่มทอง
 - 1.1. ทองกะรัต (Karat Gold)
2. กลุ่มทองแดง
 - 2.1. ทองแดงบริสุทธิ์ (Copper)
 - 2.2. ทองเหลืองและบรอนซ์ (Brass and Bronze)
 - 2.3. เงินนิกเกิล (Nickel Silver)
3. กลุ่มเงิน
 - 3.1. เงินบริสุทธิ์
 - 3.2. เงินสเตอร์ลิง

4. กลุ่มโลหะมีค่าอื่นๆ

4.1. พาลาเดียม (Paladium)

4.2. แพลทินัม (Platinum)

5. กลุ่มIrogane Alloyกลุ่มอัลลอยด์ดั้งเดิมของญี่ปุ่นที่ใช้ในการผลิต โมกุเม่ กานะ

5.1. Shibuichi เป็นอัลลอยด์ที่มีส่วนผสมของเงินไม่เกิน60%กับทองแดง

5.2. Shakudo เป็นอัลลอยด์ที่มีทองผสมอยู่โดยส่วนใหญ่จะมีทองไม่เกิน 5%หรือบางครั้งอาจมากกว่า10%

5.3. Kuromido เป็นอัลลอยด์ที่มีทองแดงเป็นหลักและมีสารหนูเป็นส่วนผสมไม่เกิน3%

5.4. Kuro Shibuichi เป็นอัลลอยด์หรือ Shibuichi ดำซึ่งใช้ส่วนผสมจาก Shakudo กับ Shibuichi หรือเงินและทองแดง

6. กลุ่มโลหะอื่น

6.1. Titanium

โดยโลหะที่จะนำมาใช้ในการผลิต ต้องมีคุณสมบัติที่สามารถแพร่เข้ากันได้ในสถานะของแข็ง

ตาราง 1 ส่วนผสมโลหะของ Shakudo & Murasaki gane (purple metal)

ชื่อโลหะ	วิธีการเตรียมโลหะ (ส่วน)				รวม (ส่วน)
	Shakudo	Gold	Copper	Kuromido Silver	
Topshakudo	5		100		105
Goodshakudo	3		100		103
Middleshakudo	2			100	102
Lowshakudo	1			100 1	101
Grape	0.5			100	100.5
Purple 1	15		100		115
Purple 2	20		100		120
Purple 3	30		100		130

*Kuromido มีส่วนผสมทองแดง100 ส่วนผสมกับสารหนู (Arsenic) 3 ส่วน (คำเตือนเป็นอันตรายมาก)

ตาราง 2 ส่วนผสมโลหะของ Shibuichi

ชื่อโลหะ	วิธีการเตรียมโลหะ		รวม (ส่วน)
	Silver	Copper	
Shibuichi			
White shibu	60	40	100
White shibu	50	50	100
Good shibu	40	60	100
Nami shibu	25	75	100

ตาราง 3 ส่วนผสมโลหะของKuro (black) Shibuichi

ชื่อโลหะ	วิธีการเตรียมโลหะ (ส่วน)				รวม (ส่วน)
	Good shakudo	Copper	Silver	Kuro mido	
Kuro (black) Shibuichi					
สูตร 1	100	20	10		130
สูตร 2	100	30	10		140
สูตร 3	100	40	20		160
สูตร 4	100	60	40		200
สูตร 5	100	75	25		200
สูตร 6			30	100	130
สูตร 7	100		30		130

Good shakudo มีส่วนผสมทอง 3 ส่วนกับทองแดง 100 ส่วน

Kuromido มีส่วนผสมทองแดง 100 ส่วนผสมกับสารหนู (Arsenic) 3 ส่วน (คำเตือนเป็นอันตรายมาก)

ตาราง 4 ส่วนผสมโลหะของ Kuromido

โลหะ	วิธีการเตรียมโลหะ (ส่วน)		รวม (ส่วน)
	Copper	Arsenic	
Kuromido			
สูตร 1	99	1	100
สูตร 2	97	3	100

ตาราง 5 ส่วนผสมโลหะของ Yamagane(simulated native copper)

โลหะ	วิธีการเตรียมโลหะ (ส่วน)					รวม (ส่วน)
	Copper	Zinc	Tin	Lead	Silver	
Yamagane	93	2	1	2	2	100

ทองแดงและ Kuromi-do หรือ Shakudo เป็นโลหะที่ใช้ทั่วไปใน โมกุเม่ กานะ เนื่องจากต้นทุนที่ต่ำ

การเกิดลวดลายของ โมกุเม่ กานะ

ลวดลายของ โมกุเม่ กานะ เกิดจากชั้นของโลหะ ที่ซ้อนทับกัน เมื่อตัดมีการขูด ตัด หรือ บิดเนื้อโลหะ ก็จะทำให้เห็น ความแตกต่างระหว่างโลหะ 2 ชนิด ที่ผสมกันติดกัน โดยจะมองเห็นลวดลาย เมื่อสามารถแยกความแตกต่างระหว่างโลหะทั้ง 2 ชนิดได้ โดยเรียกโลหะชนิดหนึ่งว่า “สีของลาย” และโลหะอีกชนิดว่า “สีของพื้น”



ภาพประกอบ 3 ภาพแสดงลวดลายของแหวนโมกุเม่กานะ

ที่มา: www.instagram.com/SmithiJewelry

ความแตกต่างของโลหะที่ทำให้เกิดลวดลายของ โมกุเม่ กานะ ได้แก่

1. สี (Color) เป็นสิ่งที่มองเห็นชัดเจนที่สุดโดยจะมอง สีของโลหะชนิดหนึ่ง เป็นสีพื้นและโลหะอีกชนิดเป็นสีลาย



ภาพประกอบ 4 ภาพแสดงลวดลายของแหวน โมกุกะเมะ กานะ จาก สีที่แตกต่างกัน

ที่มา: www.SmithiJewelry.com

2. โทนสี (Tone) ความสว่าง และความเข้ม ของสีโลหะที่แม้จะเป็นสีที่ใกล้เคียงกันแต่มี โทนสี ความสว่าง และความเข้มที่แตกต่างกันก็จะทำให้เห็นลวดลายของ โมกุกะเมะ กานะ ได้ชัดเจน เช่นกัน



ภาพประกอบ 5 ภาพแสดงลวดลายของแหวน โมกุกะเมะ กานะ จากโทนสี

ที่มา: www.mokume-gane.com/uploads/wce000_7.jpg

3. พื้นผิว (Texture) โลหะทั้ง 2 ชนิด ที่สามารถทำให้มีพื้นผิวที่แตกต่างกัน ทำให้เห็นถึง ลวดลายจากความแตกต่างระหว่างโลหะของพื้นผิวของทั้ง 2 ชนิดได้เช่นกัน



ภาพประกอบ 6 ภาพแสดงลวดลายของแหวน โมกุ่ม่ กาเน่ จาก พื้นผิวที่แตกต่างกัน

ที่มา: https://img1.etsystatic.com/000/0/6114840/il_570xN.286320189.jpg

เราจะเห็นลวดลาย โมกุ่ม่ กาเน่ ได้จากความแตกต่างของโลหะที่ใช้ในการผลิต ซึ่งหากสามารถเห็นความแตกต่างของโลหะทั้งสองชนิดได้ชัดเจน จะทำให้เห็นลวดลายชัด แต่หากไม่สามารถจำแนกความแตกต่างได้ชัดเจน หรือโลหะทั้งสองมีคุณสมบัติทางกายภาพคล้ายกันมาก ก็อาจจะไม่ทำให้เกิดลวดลายที่น่าสนใจ

ลวดลายที่เกิด ในการ จำแนกว่าโลหะชนิดใดเป็นโลหะที่เป็นสีพื้น หรือ โลหะชนิดใดเป็นโลหะที่เป็นสีลาย จะไม่สามารถระบุได้ชัดเจนขึ้นอยู่กับมุมมองของผู้ดูเช่น โมกุ่ม่ กาเน่ จากโลหะเงิน และทองแดงอาจจะเรียก โลหะเงินว่าเป็นสีพื้นและโลหะทองแดงเป็นสีของลายหรือ เรียกโลหะทองแดงเป็นสีพื้นแล้วเรียกโลหะเงินเป็นสีของลายได้เช่นกันแต่ส่วนใหญ่จะจำแนก สีที่อ่อนกว่าว่าเป็น สีพื้น และสีที่เข้มกว่าว่าเป็น สีของลาย หรือประมาณพื้นที่โลหะที่มากกว่า สีพื้น และโลหะที่น้อยกว่า สีของลาย เป็นต้น

ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาระหว่าง ทองแดง และ อลloyเงิน 95 โดยในการศึกษาจะใช้ อลloyเงิน 95 เป็นโลหะชั้นนอกสุด ซึ่งทองแดงจะมีสีที่เข้มกว่า อลloyเงิน 95 จึงศึกษาการเกิด “ลาย” ที่เกิดขึ้นจาก ทองแดง โดยทองแดงชั้นที่อยู่นอกที่สุดจะเป็นโลหะทองแดง ชั้นที่ 2 ถัดจาก อลloyเงิน 95 ชั้นนอกสุด

สมบัติของโลหะเงิน และโลหะทองแดง

โลหะเงิน (silver) คือธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 47 และสัญลักษณ์คือ Ag (ละติน: Argentum) เงินเป็นโลหะทรานซิชันสีขาวเงินสำหรับโลหะเงินที่ใช้ในการทดลองนี้ จะใช้ในรูปแบบของอัลลอยเงิน 95 ซึ่งเมื่อผลิตเป็นเครื่องประดับ โมกุ่ม่ กาน่ แล้ว จะทำให้ได้สีของเครื่องประดับเป็นสีขาว และจะใช้เป็นแผ่นชั้นนอกสุดของการผลิตก่อน โมกุ่ม่ กาน่ ในกระบวนการผลิตเพื่อการทดลองครั้งนี้

ตาราง 6 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของโลหะเงิน

สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น (ไกล์ร.ต.)	10.49 g/cm ³
ความหนาแน่นของของเหลวที่ m.p.	9.320 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	1234.93 K(961.78 °C)
จุดเดือด	2435 K(2162 °C)
ความร้อนของการหลอมเหลว	11.28 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	258 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะ	(25 °C) 25.350 J/(mol·K)

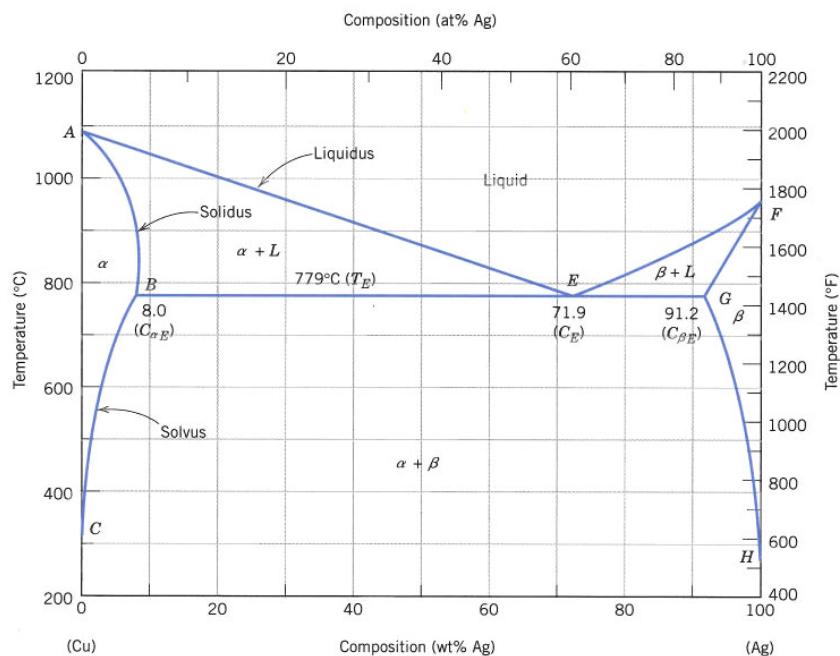
ทองแดง (Copper) คือธาตุที่มีเลขอะตอม 29 และสัญลักษณ์คือ Cu ทองแดงสำหรับการทดลองครั้งนี้จะใช้โลหะทองแดง 100% โดยสีของทองแดง จะมีช่วงสีตั้งแต่ สีชมพู จนถึงสีน้ำตาลเข้มเมื่อใช้อัลลอยเงิน 95 กับทองแดงที่ใช้ในการผลิตเครื่องประดับ โมกุ่ม่ กาน่ จะทำให้สามารถเห็นความแตกต่างของสีของพื้นและสีของลายได้ชัดเจน

ตาราง 7 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของทองแดง

สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น (ไกล์ร.ต.)	8.96 g/cm ³
ความหนาแน่นของของเหลวที่ m.p.	8.02 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	1357.77 K(1084.62 °C)
จุดเดือด	2835 K (2562 °C)
ความร้อนของการหลอมเหลว	13.26 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	300.4 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะ	(25 °C) 24.440 J/(mol·K)

แผนภาพสมดุลภาค(Phase Diagram) Ag-Cu

ระหว่างธาตุเงินและทองแดงจะมี Phase diagram ในรูปแบบของ Binary Eutectic Alloys System



ภาพประกอบ 7 แสดงแผนภาพPhase Diagram ระหว่างCu-Ag

ระบบนี้เป็นระบบที่ธาตุ 2 ธาตุ หรือสาร 2 ชนิดละลายกันได้หมดในสภาพของเหลวแต่จะละลายได้เพียงบางส่วนเมื่อกลายสภาพเป็นของแข็ง แผนภาพสมดุล เฟสของระบบนี้เป็นแผนภาพสมดุลระหว่าง โลหะ Agและโลหะ Cu จะเห็นว่าในระบบนี้มี 6เฟสด้วยกัน ประกอบด้วยเฟสของเหลว, (เฟสของแข็ง α + ของเหลว), (เฟสของแข็ง β + ของเหลว), เฟสของแข็ง α , เฟสของแข็ง β , และเฟสของแข็ง(α + β)โดยปกติเฟสของแข็ง α หมายความว่า เฟสCuที่มี Agละลายอยู่บ้าง และ β เป็นเฟสAg ที่มี Cuละลายอยู่บ้าง โดยทั้งสองธาตุในทุกระดับอุณหภูมิจะไม่มีการเกิดสารประกอบใหม่และไม่เปลี่ยนรูปแบบของโครงสร้างผลึก โดยทั้ง 2 ธาตุจะละลายกัน และอยู่ในแต่ละสถานะเท่านั้น ซึ่งในอุณหภูมิห้องโลหะทั้งสองชนิดจะอยู่ในเฟสของแข็ง(α + β)

ความหนาแน่น(Density)

เป็นการวัดมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรยิ่งวัตถุมีความหนาแน่นมากขึ้นมวลต่อหน่วยปริมาตรก็ยิ่งมากขึ้นกล่าวอีกนัยหนึ่งคือสารที่มีความหนาแน่นสูง (เช่นเหล็ก) จะมีปริมาตรน้อยกว่าสารความหนาแน่นต่ำ (เช่นน้ำ) ที่มีมวลเท่ากันสารชนิดเดียวกันที่อยู่ในสถานะเดียวกันไม่ว่าจะมีปริมาตรขนาดใดก็就会有ความหนาแน่นที่เท่ากัน

$$\rho = \frac{M}{V}$$

โดยที่ ρ : ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

M : มวล (กรัม)

V : ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร) = กว้าง x ยาว x สูง

ตาราง 8 ความหนาแน่นของธาตุโลหะในสถานะของแข็ง

ธาตุ (Element symbol)	ชื่อธาตุ (Element name)	เลขอะตอม (Atomic number)	ความหนาแน่น Density (กรัมต่อ ลูกบาศก์เซนติเมตร)
Ni	Nickel	28	8.9
Cu	Copper	29	8.96
Zn	Zinc	30	7.14
Pd	Palladium	46	12
Ag	Silver	47	10.49
Pt	Platinum	78	21.5
Au	Gold	79	19.3

ความหนาแน่นเฉลี่ย

สำหรับของธาตุเงิน และทองแดง ที่มีสมดุลภาค (Phase Diagram) ในระบบ Binary Eutectic Alloys System ที่อุณหภูมิห้องจะไม่เกิดการเกิดสารประกอบใหม่ หรือการเปลี่ยนแปลงของรูปแบบโครงสร้างผลึก หรือสถานะใหม่ จึงทำให้ความ หนาแน่นของธาตุที่อยู่ในรูปของสารละลาย ไม่มีการเปลี่ยนแปลงซึ่งทำให้สามารถคำนวณความหนาแน่นเฉลี่ยได้จากค่าของความ หนาแน่นของ โลหะได้หากสามารถทราบถึงสัดส่วนของปริมาณโลหะที่อยู่ในก้อน โมกเม่ กานะ จะทำให้สามารถ คำนวณค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของโลหะนั้นๆ ขึ้นมาได้ โดยสามารถนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่น ได้จากสมการคำนวณ ดังนี้

ความหนาแน่นเฉลี่ย ($\rho_{average}$)

$$\rho_{average} = \frac{1}{\sum \left(\frac{P_i}{\rho_i} \right)}$$

e.g.

$$\rho_{average} = \frac{1}{\left(\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{P_3}{\rho_3} + \frac{P_4}{\rho_4} \right)}$$

โดยที่ P_i : % (w/w) ของวัสดุโดยน้ำหนัก

$\rho_{average}$: ความหนาแน่นเฉลี่ย (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

ρ_i : ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

ในการทดลองครั้งนี้ จะใช้ความหนาแน่นโดยการคำนวณความหนาแน่นเฉลี่ยจากค่าความหนาแน่นของโลหะแต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการทำก้อน โมกุ่ม กานะ โดยการคำนวณหาน้ำหนักของโลหะที่อยู่ในก้อนที่ผ่านการตัดขอบแล้ว เพื่อให้ก้อน โมกุ่ม กานะ ไม่มีปัญหาการแตกร่อน ในระหว่างการทดลอง และการผลิต แล้วจึงนำมาคำนวณค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของก้อน โมกุ่ม กานะ

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

ความถ่วงจำเพาะ คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของสารหนึ่งๆ ต่อความหนาแน่นของน้ำ เมื่อทั้งสองอย่างมีอุณหภูมิเท่ากัน ความถ่วงจำเพาะจึงเป็นปริมาณที่ไร้มิติ (ไม่มีหน่วย) วัตถุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าหนึ่ง หมายความว่าวัตถุนั้นมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ดังนั้นวัตถุนั้นจะจมน้ำ (โดยไม่นับผลจากแรงตึงผิวของน้ำ) ทางกลับกัน หากความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าหนึ่ง วัตถุนั้นจะลอยน้ำ ความถ่วงจำเพาะ (SG) หรือ ถ.พ. สามารถแสดงได้ด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$SG = \frac{\rho_{Substance}}{\rho_{H_2O}}$$

โดยที่ SG : ความถ่วงจำเพาะ

ρ : ความหนาแน่น

$\rho_{Substance}$: ความหนาแน่นของสาร

ρ_{H_2O} : ความหนาแน่นของน้ำ

แต่ความหนาแน่นของน้ำนั้นเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและความดันจึงกำหนดให้ความหนาแน่นจำเพาะใช้ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 4°C (39.2°F) และความดันบรรยากาศปกติ 1 atm ซึ่งจะได้เท่ากับ 1000 kg/m³ หรือ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

$$\rho_{\text{Substance}} = SG \times \rho_{H_2O}$$

$$\rho_{\text{Substance}} = SG \times 1$$

$$\rho_{\text{Substance}} = SG$$

ที่อุณหภูมิ 4°C (39.2°F) และความดันบรรยากาศปกติ 1 atm ความหนาแน่นของสสาร จะมีค่าเท่ากับค่าความหนาแน่นจำเพาะของสสารนั้น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

แต่ในการทดลอง การควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ที่ 4°C ทำได้ยาก และอุณหภูมิที่อุณหภูมิห้อง มีค่าความหนาแน่นไม่ต่างกันมาก ในการทดลองครั้งนี้จึงใช้การวัดค่าความหนาแน่น โดยคำนวณจากการชั่งน้ำหนักตัวอย่างในอากาศ และในน้ำ ที่อุณหภูมิห้อง ในเวลาที่ใกล้เคียงกัน และใช้วิธีการวัดนี้กับก้อน โมกเม กานะ ที่เจาะรูเพื่อให้เกิดลาย และไม่เจาะ

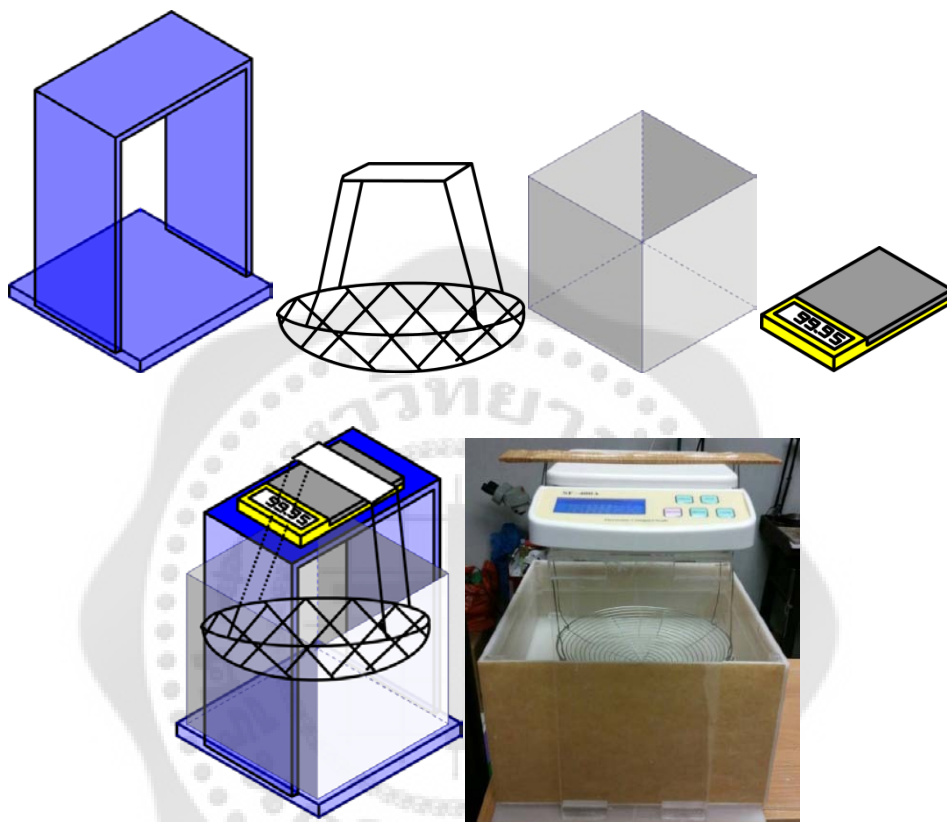
เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

เครื่องวัดค่าความถ่วงจำเพาะ

ในการทดลอง จำเป็นต้องใช้เครื่องซึ่งสามารถวัดน้ำหนัก เมื่อตัวอย่างมีการเปลี่ยนแปลงขนาดที่หลากหลาย น้ำหนักที่ชั่งได้ระหว่าง 0.01-250.00 กรัม และขนาด 1- 25 เซนติเมตรจึงจำเป็นต้องออกแบบเครื่องซึ่งหาความถ่วงจำเพาะที่สามารถชั่งน้ำหนัก ทั้งน้ำหนักในน้ำ และน้ำหนักในอากาศ จึงได้มีการออกแบบอุปกรณ์ ดังรูป และเลือก ใช้เครื่องซึ่งแบบพกพาขนาด 500 กรัมที่มีความละเอียด 0.01 กรัมสามารถชั่งน้ำหนักในน้ำและในอากาศเพื่อตรวจสอบค่าความหนาแน่นได้ใกล้เคียงกับความหนาแน่นมาตรฐานใช้ในการบันทึกค่าน้ำหนักจากผลการทดลองและต้องมีการวัดระนาบ ด้วยเครื่องมือวัดระดับน้ำก่อนการชั่งทุกครั้ง เพื่อให้เครื่องซึ่งอยู่ในระนาบเสมอ และต้องมีการปรับเทียบน้ำหนักมาตรฐานเครื่องซึ่งด้วยตุ้มน้ำหนักขนาด 500 กรัมทุก ๆ การชั่ง 5-10 ครั้งเพื่อปรับให้ค่าน้ำหนักที่ชั่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

โดยอุปกรณ์ประกอบด้วย ฐานรองเพื่อวางอ่างน้ำ อ่างน้ำรูปทรงสี่เหลี่ยม ตะแกรงเหล็กที่สามารถรองรับชิ้นงานได้ และเครื่องซึ่งน้ำหนักแบบพกพา โดยในการติดตั้ง ต้องในเครื่องวัดระดับ น้ำวัดระดับของเครื่องวัดค่าความถ่วงจำเพาะ เพื่อปรับให้เครื่องซึ่งอยู่ในระนาบ ไม่เอียงไปข้างใดข้างหนึ่ง และในอ่างน้ำต้องใส่น้ำบริสุทธิ์ลงในอ่าง สูงท่วมตะแกรง และชิ้นงานตัวอย่าง

วิธีการใช้งาน โดยการชั่งน้ำหนักตัวอย่างในอากาศ ตั้งปรับเครื่องชั่งให้เป็น 0.00 ก่อน และวางตัวอย่างที่ต้องการชั่งบนเครื่องชั่ง แล้วบันทึกน้ำหนัก จากนั้นเมื่อต้องการชั่งน้ำหนักตัวอย่างในน้ำ ต้องนำตะแกรงมาวาง แล้วปรับเครื่องชั่งน้ำหนักให้เป็น 0.00 แล้วจึงวางตัวอย่างในตะแกรงในน้ำให้น้ำสูงท่วมตัวอย่าง และตะแกรงต้องไม่ชนกับของอ่าง และบันทึกค่าน้ำหนักเป็นค่าของน้ำหนักที่ชั่งในน้ำ



ภาพประกอบ 8 แสดงอุปกรณ์วัดความหนาแน่น โดยการชั่งน้ำหนักในอากาศ และในน้ำ

เวอร์เนียคาลิเพอร์ (Vernier caliper)

ใช้สำหรับวัดความยาวและความกว้างของแผ่นตัวอย่าง โดยวัดได้ระหว่าง 0.00 –150.00 มิลลิเมตร ความละเอียด 0.05 มิลลิเมตร วิธีใช้งาน จะใช้กางและหนีบชิ้นงานตำแหน่งที่ต้องการวัด แล้วอ่านค่าจากช่องตำแหน่งที่วัด



ภาพประกอบ 9 เวอร์เนียคาลิเพอร์ (Vernier caliper)

ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)

ใช้สำหรับวัดความหนาของก้อน โมกู่เม่ กาน้ำ ความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร โดยวัดได้ระหว่าง 0.00 – 25.00 มิลลิเมตร โดยวิธีใช้งาน จะใช้วัดขอบนอกโดยวางชิ้นงาน ระหว่างเหล็กแกนวัดของไมโครมิเตอร์ แล้วหมุนแกนด้านหลังเพื่อให้เหล็กแกนวัดหนีบชิ้นงาน และอ่านค่าความหนาจากร่องด้านหลัง



ภาพประกอบ 10 ไมโครมิเตอร์ (Micrometer)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลองที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาข้อมูล และกระบวนการทำให้เกิดลวดลายของ โมกุ่ม กานะ แบบแผ่นรีด จากโลหะเงินและทองแดง ผลของปัจจัยด้านกระบวนการผลิตที่มีผลต่อการเกิดลาย และ ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยด้านกระบวนการผลิต กับ ความหนาแน่น และขนาดของลายของ โมกุ่ม กานะ แบบแผ่นรีดโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาข้อมูล และกระบวนการทำให้เกิดลวดลายของ เทคนิคการผลิต โมกุ่ม กานะ แบบดั้งเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบัน และ โมกุ่ม กานะ แบบแผ่นรีด จากโลหะเงินและทองแดง

2. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อลวดลายของ โมกุ่ม กานะ แบบแผ่นรีด จากโลหะเงินและทองแดงโดยจำแนกปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของลวดลาย โมกุ่ม กานะ แบบแผ่นรีด ที่มีผลต่อขนาดของแผ่นและขนาดของลาย โมกุ่ม กานะ แบบแผ่นรีด

2.1 ทิศทางการรีด (Rolling Direction)

2.2 ความหนาของการเตรียมแผ่นโลหะวัตถุดิบ (Material Thickness)

2.3 ความหนาของการลดขนาด (Reduction Thickness)

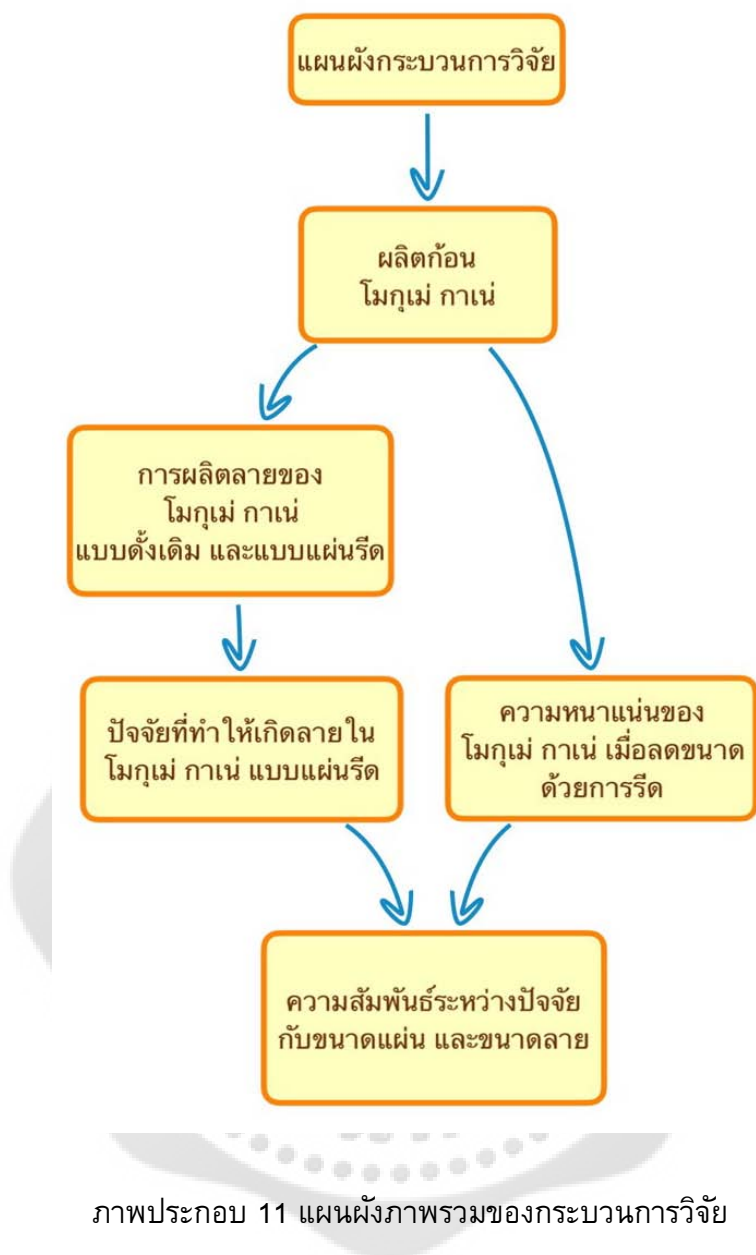
2.4 ขนาดของรอยเจาะ (Drilling Size)

2.5 ขนาดความหนาของแผ่นรีด (Final Thickness)

3. ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการลดขนาดด้วยการรีด ที่มีผลต่อ ความ หนาแน่นของ โมกุ่ม กานะ จากโลหะเงินและทองแดง เพื่อหา ความสัมพันธ์ระหว่าง การลดขนาดกับการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของก้อน โมกุ่ม กานะ ที่ผ่านกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอน

4. วิเคราะห์ และ สรุปความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย กับขนาดของลาย โมกุ่ม กานะ แบบแผ่นรีด จากเงินและทองแดง

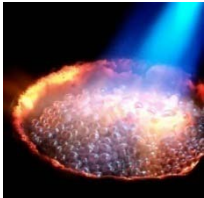
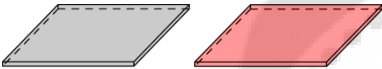
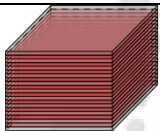
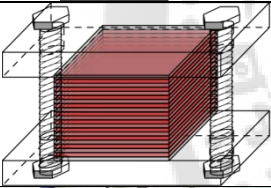
5. สรุปผลการทดลอง



การผลิต ก้อน โมกูเม่ กานะ

ในการผลิตเครื่องประดับที่มีลวดลายไม้ จากเทคนิค โมกูเม่ กานะ นี้ จะต้องผลิตก้อน โมกูเม่ กานะ จากการอบโลหะ เป็นวัตถุดิบตั้งต้นก่อนการทำลวดลายเสมอโดยการผลิตก้อนโลหะ สำหรับการผลิตเครื่องประดับแบบดั้งเดิมและแบบแผ่นรีด จะมีขั้นตอนการผลิตก้อนโลหะที่เหมือนกันในทุกกระบวนการแต่สิ่งที่จะแตกต่างกัน คือ ความหนาของก้อน ที่จะใช้ในการผลิตเครื่องประดับซึ่งต้องมีการออกแบบไว้ก่อน ว่าจะต้องเตรียมก้อนโลหะที่มีความหนาเพียงใดเพื่อให้ได้ลวดลายตามต้องการ

ตาราง 9 แสดงขั้นตอนการผลิตก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ จากเงิน และทองแดง

ภาพประกอบ	ขั้นตอนการผลิต
	เตรียมแผ่นวัตถุดิบ โดยหลอมให้ละลายส่วนผสมให้เข้ากัน - ผสมโลหะเงิน 100% กับ ทองแดง 100% ในสัดส่วน โลหะเงิน 95% โลหะทองแดง 5% - ทองแดง 100%
	รีดเป็นแผ่นหนา 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร ตามความหนาของแผ่นวัตถุดิบที่กำหนด
	ตัด แผ่นอัลลอยเงิน95และแผ่นทองแดงขนาด1.5"x1.5"ขัดด้วยกระดาษทราย และล้างด้วยอะซิโตนเพื่อกำจัดคราบน้ำมันที่เกิดจากการรีด
	เรียงแผ่นวัตถุดิบ โมกุ่ม่ กาเน่ สลับกันแบบ 1:1โดยเรียงจากแผ่นอัลลอยเงิน95 เป็นต้นไป
	การอัดโดยใช้จิ๊กเหล็กบีบอัดแผ่นวัตถุดิบ โมกุ่ม่ กาเน่ และใช้หัวอัดค้อนมาในการช่วยกดให้จิ๊กเหล็กบีบอัดแน่น ชั้นน้ำอัดให้แน่น
	ก่อนเอาก้อนโลหะเข้าเตาอบ ใส่ก้อนจิ๊กที่อัด ในถุง ฟรอยด์ สเทนเลส ที่ใส่ถ่านหุงต้มเพื่อลดอากาศและความชื้น แล้วนำไปใส่ในเตาอบในขณะที่ร้อน อบด้วยเตาอบโดยตั้งอุณหภูมิ680°C ระยะเวลา8ชั่วโมงแล้วนำก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ออกมาทิ้งให้เย็นตัวในอากาศ แล้วจึงนำไปจุ่มน้ำ
	ตัดขอบออกประมาณ 5-10 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องตัดมอเตอร์เพื่อตัดขอบของก้อนที่ชั้นโลหะไม่ติดกัน ป้องกันการแยกของชั้นเมื่อลดขนาด

ตาราง 9 (ต่อ)

ภาพประกอบ	ขั้นตอนการผลิต
	ก้อน โมกู่เม่ กาเน่ หลังจากตัดขอบแล้ว
	ลดขนาดของก้อน โมกู่เม่ กาเน่ ตามขนาดที่ต้องการโดย อบ อ่อนโดยใช้ไฟเผา ให้แดง และลดขนาดโดยการทุบให้เหลือ 50% จากนั้น อบอ่อนโดยใช้ไฟเผา ให้แดงแล้วรีดให้ได้ตาม ขนาดที่ต้องการ

โดยขั้นตอนการผลิต ก้อน โมกู่เม่ กาเน่ จะใช้ขั้นตอนเดียวกันทั้งหมด แต่จะมีจำนวนชั้นที่แตกต่างกัน โดยในการผลิตก้อน โมกู่เม่ กาเน่ เพื่อการทดลองการเกิดลายของเครื่องป ระดับ โมกู่เม่ กาเน่ ดังนี้

1. ก้อน โมกู่เม่ กาเน่ ที่มีจำนวนชั้น ๗ ชั้น ประกอบด้วย อัลลอยเงิน ๔ ชั้น และทองแดง ๓ ชั้น
2. ก้อน โมกู่เม่ กาเน่ ที่มีจำนวนชั้น 11 ชั้น ประกอบด้วย อัลลอยเงิน 6 ชั้น และทองแดง 5 ชั้น
3. ก้อน โมกู่เม่ กาเน่ ที่มีจำนวนชั้น 21 ชั้น ประกอบด้วย อัลลอย เงิน 11 ชั้น และทองแดง 10 ชั้น

วิธีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการลดขนาด กับความหนาแน่น

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการลดขนาด ในกระบวนการผลิต ทั้งการทุบ และ การรีด ว่ามีผลอย่างไรต่อ ความหนาแน่นของ โมกู่เม่ กาเน่ จากโลหะเงินและทองแดง เนื่องจากหากความหนาแน่นของ ก้อน โมกู่เม่ กาเน่ มีความหนาแน่นที่เปลี่ยนไป

1. เตรียมก้อนโลหะตัวอย่าง 1 ก้อน โดยวิธีการผลิตก้อน โมกู่เม่ กาเน่ ที่มีจำนวนชั้น 21 ชั้น ประกอบด้วย อัลลอยเงิน 11 ชั้น และทองแดง 10 ชั้น
2. ลดขนาดด้วยวิธีการทุบ สลับกับการอบอ่อน ให้เหลือความหนา 50% วัดขนาดความกว้าง ยาว หนา และชั่งน้ำหนักทั้งในน้ำ และในอากาศ
3. ลดขนาดด้วยวิธีการรีด สลับกับการอบอ่อน ให้เหลือความหนา 5% (ประมาณ 1 มิลลิเมตร) วัดขนาดความกว้าง ยาว หนา และชั่งน้ำหนักทั้งในน้ำ และในอากาศ

4. นำข้อมูลทั้งหมดมาคำนวณหาความหนาแน่น และสรุปผล

การผลิตเครื่องประดับ โมกู่เม่ กาเน่ แบบดั้งเดิม

เทคนิคการผลิตลวดลาย โมกู่เม่ กาเน่ แบบดั้งเดิมได้ค้นคว้า รูปแบบของลายที่มีอยู่ในอินเทอร์เน็ตและเลือกลายที่เป็นที่นิยมผลิตกันมากและเลือกลายที่จะทดลองหาวิธีการผลิตโดยศึกษาขั้นตอนการผลิตและวิธีการเกิดลายของ โมกู่เม่ กาเน่ แบบดั้งเดิมและ แบบแผ่นรีด จากเงินและทองแดงโดยพบว่าการเกิดลายของ โมกู่เม่ กาเน่ โดยการผลิตแบบดั้งเดิม เป็นการผลิตลวดลายจากก้อน โมกู่เม่ กาเน่ ทั้งก้อน การเกิดลายจะเกิดขึ้นทั้งมีการเตรียมไว้ก่อน และในระหว่างการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับซึ่งโดยมากจะผลิตเป็นแหวนทรงปลอกมิตที่มีลวดลายอยู่รอบวงลักษณะที่สังเกตเห็นได้จากการผลิตเครื่องประดับ โมกู่เม่ กาเน่ แบบดั้งเดิม คือจะมีลวดลายทั้งด้านนอก และด้านของของตัวแหวนและสังเกตเห็นลายและชั้นลายได้ตลอดทั่วทั้งชิ้นงาน



ภาพประกอบ 12 แหวน โมกู่เม่ กาเน่ ที่ผลิตจากเทคนิคแบบดั้งเดิม

โดยใช้เทคนิคแบบดั้งเดิมได้ทดลองผลิตก่อน โมกุ่ม่ กาเน ในแต่ละลายมีดังนี้

1. ลายเกลียว (TWIST)

ลักษณะลวดลายเป็นลายเส้นแนวเฉียงขนานกันพันรอบวงแหวนลวดลายแหวนเกิดจากการบิดชั้นโลหะที่ซ้อนกันเป็นเกลียวให้ชั้นโลหะที่ซ้อนกันมาอยู่ทางด้านหน้า

ตาราง 10 แสดงขั้นตอนการผลิต โมกุ่ม่ กาเน แบบดั้งเดิมลายเกลียว (Twist)

รูปวิธีการผลิต	ขั้นตอนการผลิตที่ทำให้เกิดลวดลาย
	1. ตัดก้อน โมกุ่ม่ กาเน กว้าง6 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร
	2. บิดก้อนโมกุ่ม่เพื่อให้ชั้นโลหะที่ซ้อนทับกันจากด้านข้างกลับ ชั้นมาด้านหน้าเป็นเกลียวให้ได้5รอบโดยสลับกับการอบอ่อน
	3. เคาะหรือรีดให้ได้รูปทรงแท่งที่เรียบ
	4. ม้วนเป็นวงแหวนแต่งและขัดแต่งด้วยตะไบและกระดาษทราย
	แหวน โมกุ่ม่ กาเน จากเงินและทองแดงลายเกลียว (Twist)

2. ลายวงไม้ (Wood Grain)

ลักษณะลวดลายลายเส้นซ้อนเป็นชั้นลวดลายไม้สม่ำเสมอ

ตาราง 11 แสดงขั้นตอนการผลิต โมกุ่ม่ กานะ แบบดั้งเดิมลายวงไม้(Wood Grain)

รูปวิธีการผลิต	ขั้นตอนการผลิตที่ทำให้เกิดลวดลาย
	ขุดเนื้อโลหะออกด้วยวิธีการเจาะตกให้เป็นรูหรือร่องด้วย สว่านหรืออุปกรณ์อื่นบนหน้าแผ่นลึงลงไปหลายชั้น
	แล้วใช้ค้อนทุบแผ่นหรือรีดให้ได้รูปทรงแท่งที่เรียบ
	ม้วนเป็นวงแหวนแต่งและขัดตัวเรือนให้เรียบ

3. ลายเส้นตรง(Linear)

ลักษณะของลายจะเป็นเส้นขนานกันรอบวงแหวน

ตาราง 12 แสดงขั้นตอนการผลิต โมกุ่ม่ กาเน่ แบบดั้งเดิมลายเส้นตรง (Linear)

รูปวิธีการผลิต	ขั้นตอนการผลิตที่ทำให้เกิดลวดลาย
	ตัดก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ โดยใช้ใบเลื่อยตัดในความหนา 2.5 มิลลิเมตร แล้วแต่งด้วยตะไบ และกระดาษทรายให้เรียบ
	หันด้านลายจากชั้นของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ รีดให้เรียบแล้วมาพันเป็นวงแหวนและตกแต่งขึ้นเป็นตัวเรือนเครื่องประดับจะได้ลายจากการซ้อนทับกันของชั้นโลหะทันที
	แหวน โมกุ่ม่ กาเน่ จากเงินและทองแดงลายเส้นตรง (Linear)

4. ลายคลื่นทะเล (Seawave)

ลักษณะของลายคล้ายรูปคลื่นเป็นเส้นโค้งไปมาไม่สม่ำเสมอ

ตาราง 13 แสดงขั้นตอนการผลิต โมกุ่ม่ กาเน่ แบบดั้งเดิมลายคลื่นทะเล (Seawave)

รูปวิธีการผลิต	ขั้นตอนการผลิตที่ทำให้เกิดลวดลาย
	ใช้แท่ง โมกุ่ม่ กาเน่ ริดให้มีขนาดความหนา 5 มิลลิเมตร
	นำแท่ง โมกุ่ม่ กาเน่ ม้วนและเชื่อมให้เป็นวงแหวน ขนาดเล็กกว่าขนาดที่ต้องการแล้วเคาะให้เป็นรูปทรง
	ใช้สว่านเจาะโดยใช้ดอกสว่านขนาด 2 มิลลิเมตร เจาะรอบวง ลึกเข้าไป 2-4 ชั้น
	ใช้ค้อนเคาะรอบวงแหวนให้เรียบ ใช้กระดาษทรายแต่งพื้นผิวให้เรียบ
	แหวน โมกุ่ม่ กาเน่ จากเงินและทองแดงลายคลื่นทะเล (Seawave)

5. ลายดาว (Star)

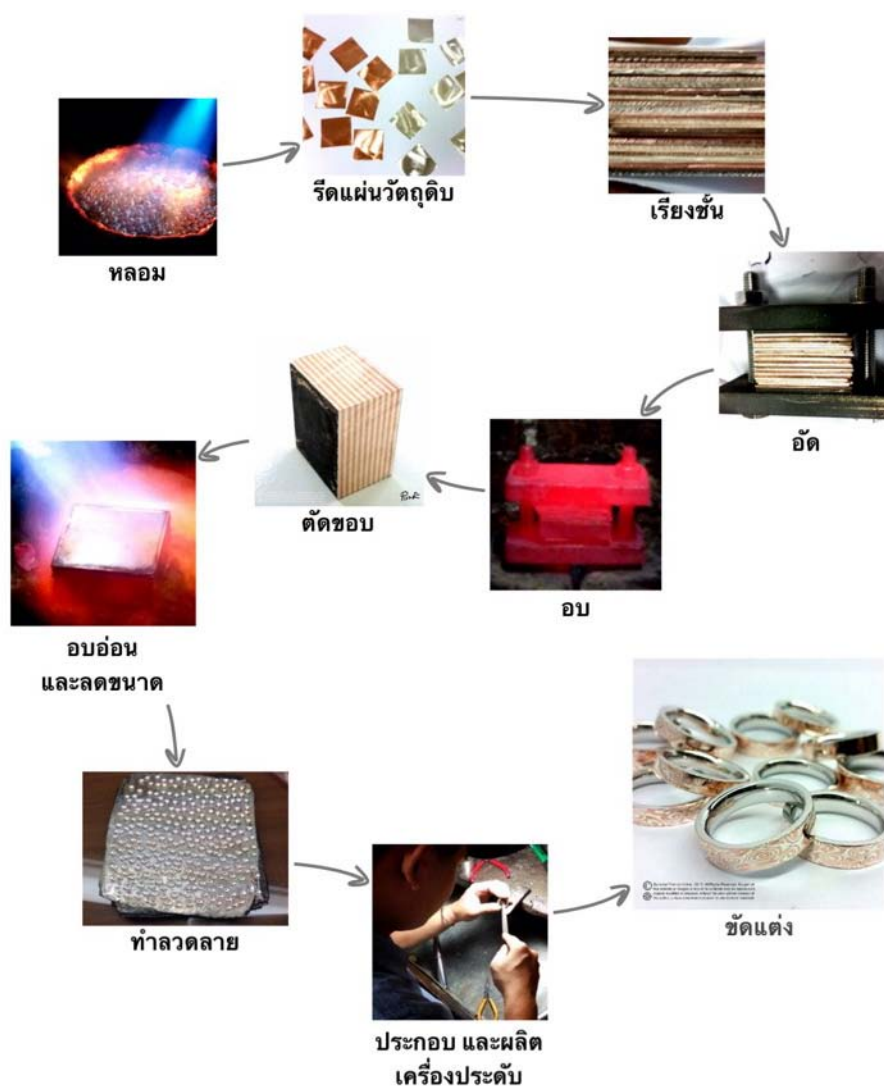
มีลักษณะมีรูปกากบาทหรือรูปดาว

ตาราง 14 แสดงขั้นตอนการผลิต โมกุ่ม่ กาเน่ แบบดั้งเดิมลายดาว (Star)

รูปวิธีการผลิต	ขั้นตอนการผลิตที่ทำให้เกิดลวดลาย
	1. บิดเกลียวกันในทิศทางเดียวกันจนได้เกลียว 3-5 รอบ
	2. ผ่าก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ที่บิดเกลียวตรงกลางแบ่งออกเป็น 2 ก้อนลายดาวจะเป็นลายที่อยู่ด้านในของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ที่บิดเกลียวแล้ว
	3. นำมาเคาะหรือรีดให้เรียบ
	4. นำไปตกแต่งขึ้นเป็นตัวเรือนเครื่องประดับ

การผลิตเครื่องประดับจาก โมกู่เม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด

การผลิตเครื่องประดับจาก โมกู่เม่ กาเน่ แบบแผ่นรีดนั้น วิธีการเกิดลายของ โมกู่เม่ กาเน่ และขั้นตอนการทำลวดลาย จะมีลักษณะคล้ายกัน และใช้เครื่องมือเดียวกัน แต่จะแตกต่างกันที่แบบแผ่นรีด จะผลิตลวดลายให้เป็นแผ่นลายที่ตรงความต้องการก่อน แล้วจึงนำไปประกอบกับตัวเรือนเครื่องประดับ ซึ่งจะทำให้สามารถผลิตลวดลายที่มีขนาดตรงตามความต้องการ และตรงกับขนาดที่ได้มีการออกแบบไว้ได้



ภาพประกอบ 13 กระบวนการผลิตเครื่องประดับจาก โมกู่เม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด

ตาราง 15 แสดงกระบวนการประกอบและแหวนจาก โมกู่เม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด

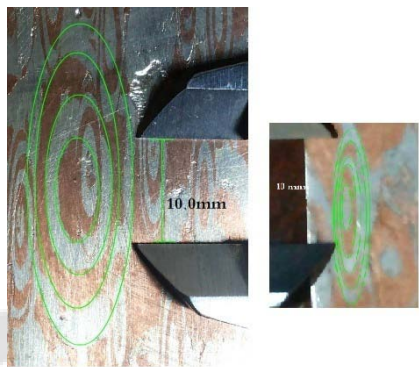
รูปแสดงขั้นตอนการผลิต	วิธีการผลิต
	เตรียมแหวนเงิน
	เตรียมแผ่น โมกู่เม่ กาเน่ ความหนา 0.35 มิลลิเมตร ขึ้นไป
	ตัดแผ่น โมกู่เม่ กาเน่ แบบแผ่นรีดให้มีขนาดกว้าง กว่าความกว้างของหน้าแหวนประมาณ 1-2 มิลลิเมตร
	ตัดขนาดแผ่น โมกู่เม่ กาเน่ ให้พอดีกับขนาดของ แหวนที่ต้องการประกอบ
	ตะไบขอบของแผ่น โมกู่เม่ กาเน่ ให้พอดีและเรียบ
	วางตำแหน่งขอบแผ่นโลหะให้สนิทพอดีเพื่อเชื่อม แผ่น โมกู่เม่ กาเน่ ให้ติดกัน
	ใช้การเชื่อมแผ่น โมกู่เม่ กาเน่ ให้ติดกันจากด้าน ในด้วยน้ำประสานหรือเลเซอร์

ตาราง 15 (ต่อ)

รูปแสดงขั้นตอนการผลิต	วิธีการผลิต
	สวมแผ่น โมกุ่ม่ กาเน่ เข้ากับแหวนเงินให้พอดี
	เชื่อมแผ่น โมกุ่ม่ กาเน่ กับแหวนเงินตรงขอบทั้งหมด
	เชื่อมทั้ง 2 ด้าน
	ใช้ตะไบถูขอบแผ่น โมกุ่ม่ กาเน่ ออกให้เรียบ
	ขัดทั้ง 2 ด้านทั้งด้วยตะไบและกระดาษทราย
	ได้แหวนเงินที่ผลิตจาก โมกุ่ม่ กาเน่ แบบแผ่นรีดด้วยการเชื่อมหุ้มลายที่ผิวชิ้นงาน
	แต่งขอบของชิ้นงานและส่งขัดชิ้นงานให้เงา

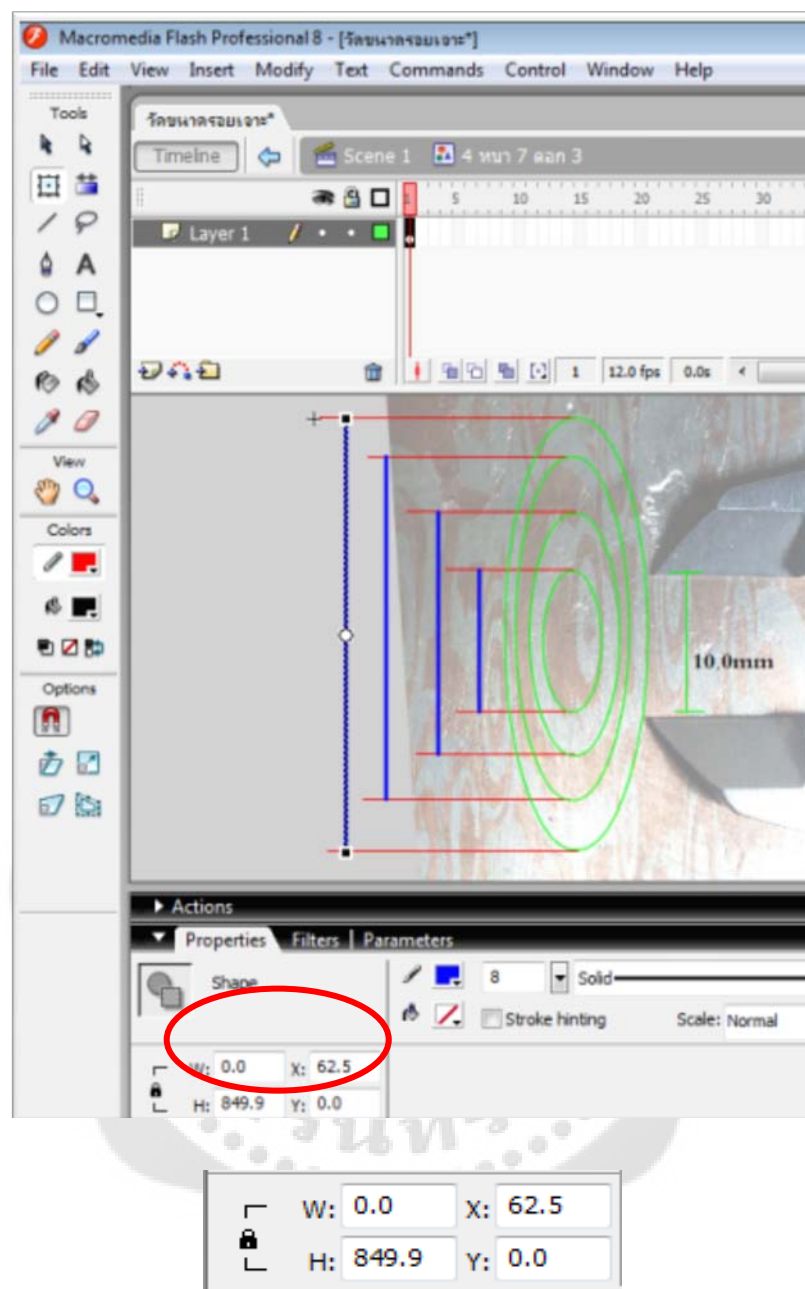
วิธีการศึกษาวัดความกว้าง ความยาว

วิธีการวัดความกว้าง ความยาวจะใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper) ความละเอียด 0.05 มิลลิเมตร ร่วมกับการคำนวณด้วยโปรแกรมกราฟฟิคแบบเว็คเตอร์ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถลากเส้นอ้างอิงได้ และอ่านค่าความยาวจากเส้นที่อ้างอิงได้

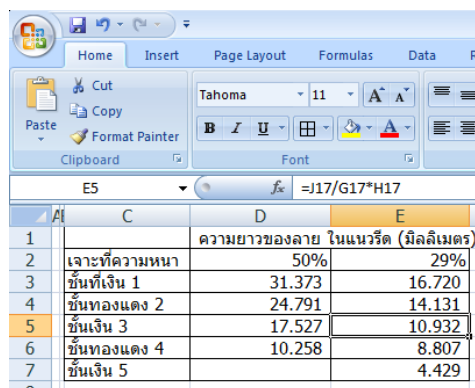


ภาพประกอบ 14 แสดงวิธีการวัดขนาดของลาย

1. ใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์ทางเป็นขนาดอ้างอิง เช่น หากขนาดเล็กใช้ทางขนาด 5.0 มิลลิเมตร ขนาดกลาง ทางขนาด 10.0 มิลลิเมตร ขนาดใหญ่ ทางขนาด 50.0 มิลลิเมตร วางทาบบนขนาดของลายที่ต้องการวัด และถ่ายรูปบันทึก
2. ถ่ายรูปลาย พร้อมเวอร์เนียคาลิเปอร์
3. โปรแกรมกราฟฟิคแบบเว็คเตอร์จากการทดลองใช้โปรแกรม Macromedia Flash 8.0 เนื่องจากการวาดเส้นง่ายและลากเส้นอ้างอิงง่ายเนื่องจากโปรแกรมช่วยลากให้เส้นไปถึงจุดตัดได้ วาดเส้นอ้างอิงที่ 10.0 มิลลิเมตร
4. วาดลายที่ต้องการวัด (สีเขียว)
5. ลากเส้นอ้างอิงขนาดและอ่านค่า H (Height) แล้วนำไปเทียบขนาดกับเส้นอ้างอิงที่ 10.0 มิลลิเมตร จะได้ขนาดของลายที่น่าเสนอ
6. นำค่าที่วัดได้มาคำนวณเป็นขนาดโดยโปรแกรม Excel เพื่อให้ได้หน่วยวัด เป็น มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 15 วิธีการวัดโดยใช้เวอร์เนียร์เนียคาลิปเปอร์ร่วมกับการคำนวณด้วยโปรแกรมกราฟฟิค

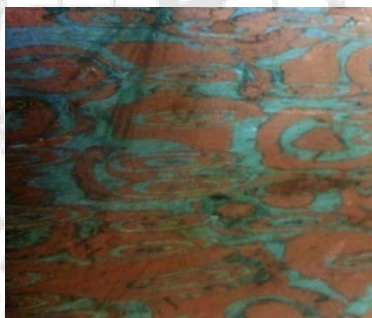


	A	C	D	E
1			ความยาวของลาย ในแนวรีด (มิลลิเมตร)	
2		เจาะที่ความหนา	50%	29%
3		ชั้นที่เงิน 1	31.373	16.720
4		ชั้นทองแดง 2	24.791	14.131
5		ชั้นเงิน 3	17.527	10.932
6		ชั้นทองแดง 4	10.258	8.807
7		ชั้นเงิน 5		4.429

ภาพประกอบ 16 การนำค่าที่วัดได้มาคำนวณโดยโปรแกรมExcel เพื่อให้ได้หน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร

วิธีการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อลวดลายของ โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด

การทดลองเพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของลาย โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีดจากเงินและทองแดงโดยใช้การเจาะ และลดขนาดที่แตกต่างกัน เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของลาย หลังจากการรีด



ภาพประกอบ 17 ลวดลาย โมกุเม่ กาเน่ ที่เกิดจากการเจาะและลดขนาดในขนาดที่แตกต่างกัน

วิธีการทดลอง

1. ใช้แผ่นเงินหนา 1.0 มิลลิเมตร
2. สลับกับทองแดงหนา 1.0 มิลลิเมตร
3. จำนวนรวม 14 แผ่น
4. อบและลดขนาดเหลือ 7.0 มิลลิเมตร
5. ใช้สว่านขนาด 3.0 มิลลิเมตร เจาะ
6. ลดขนาดเหลือ 4.0 มิลลิเมตร
7. ใช้สว่านขนาด 3.0 มิลลิเมตร เจาะ
8. รีดเหลือขนาด 0.5 มิลลิเมตร

ตาราง 16 ความยาวของลาย โมกุเม่ กาเน่ เจาะที่ความหนา 50% และ 29% ตามลำดับ และวัดที่ความหนาแผ่นที่ 0.5 มิลลิเมตร ในแนวขนาดกบแนวการรีด

ระดับความหนาที่เจาะ	ความยาวของลายในแนวรีด (มิลลิเมตร)	
	50%	29%
ชั้นที่เงิน 1	31.373	16.72
ชั้นทองแดง 2	24.791	14.131
ชั้นเงิน 3	17.527	10.932
ชั้นทองแดง 4	10.258	8.807
ชั้นเงิน 5		4.429

จากตาราง 16 พบว่าความหนาของการลดขนาดในขณะเจาะโดยมีรอยเจาะที่มีขนาดเท่ากัน ความหนาของกอน โมกุเม่ กาเน่ ในขณะเจาะที่ 50% มีผลทำให้ขนาดของลายของทุกชั้นมีขนาดใหญ่มากกว่าความหนาในขณะเจาะที่ 29% โดยสิ่งที่สังเกตที่ทำให้ขนาดของลายไม่เท่ากัน คือ ขนาดของรอยเจาะที่ใหญ่จะทำให้เกิดลายที่ใหญ่กว่าขนาดของรอยเจาะที่เล็ก ความหนาของแผ่นโลหะตั้งต้นทำให้เนื้อโลหะที่เป็นลายมีขนาดต่างกันเมื่อเจาะที่ขนาดความหนาที่เท่ากัน การเจาะทำลวดลายที่ความหนาจากการลดขนาดต่างกัน ทำให้ได้ขนาดของลวดลายที่ต่างกัน เมื่อเข้ากระบวนการรีดขนาดของลายจะขยายกว้างขึ้นทั้ง 2 ทิศทาง คือ ทิศทางเดียวกับทิศทางการรีดและทิศทางตั้งฉากกับทิศทางการรีด โดยอัตราการขยายจะขยายในทิศทางเดียวกับการรีดในสัดส่วนที่มากกว่า และขยายในทิศทางที่ตั้งฉากกับการรีดเพียงเล็กน้อย

จากการทดลองเบื้องต้นสามารถแยกสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลให้เปลี่ยนแปลงทำให้ขนาดของลาย มีดังนี้

1. ทิศทางการรีด (Rolling Direction)
2. ความหนาของการเตรียมแผ่นโลหะวัตถุดิบ (Material Thickness)
3. ความหนาของการลดขนาด (Reduction Thickness)
4. ขนาดของรอยเจาะ (Drilling Size)
5. ขนาดความหนาของแผ่นรีด (Final Thickness)

โดยปัจจัยที่จะนำไปใช้ในการทดลอง จากปัจจัยการเกิดลวดลาย โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีดจากเงินและทองแดงประกอบด้วย

1. ความหนาของการเตรียมแผ่นโลหะวัตถุดิบ (M : Material Thickness)

2. ความหนาของการลดขนาด (R : Reduction Thickness)

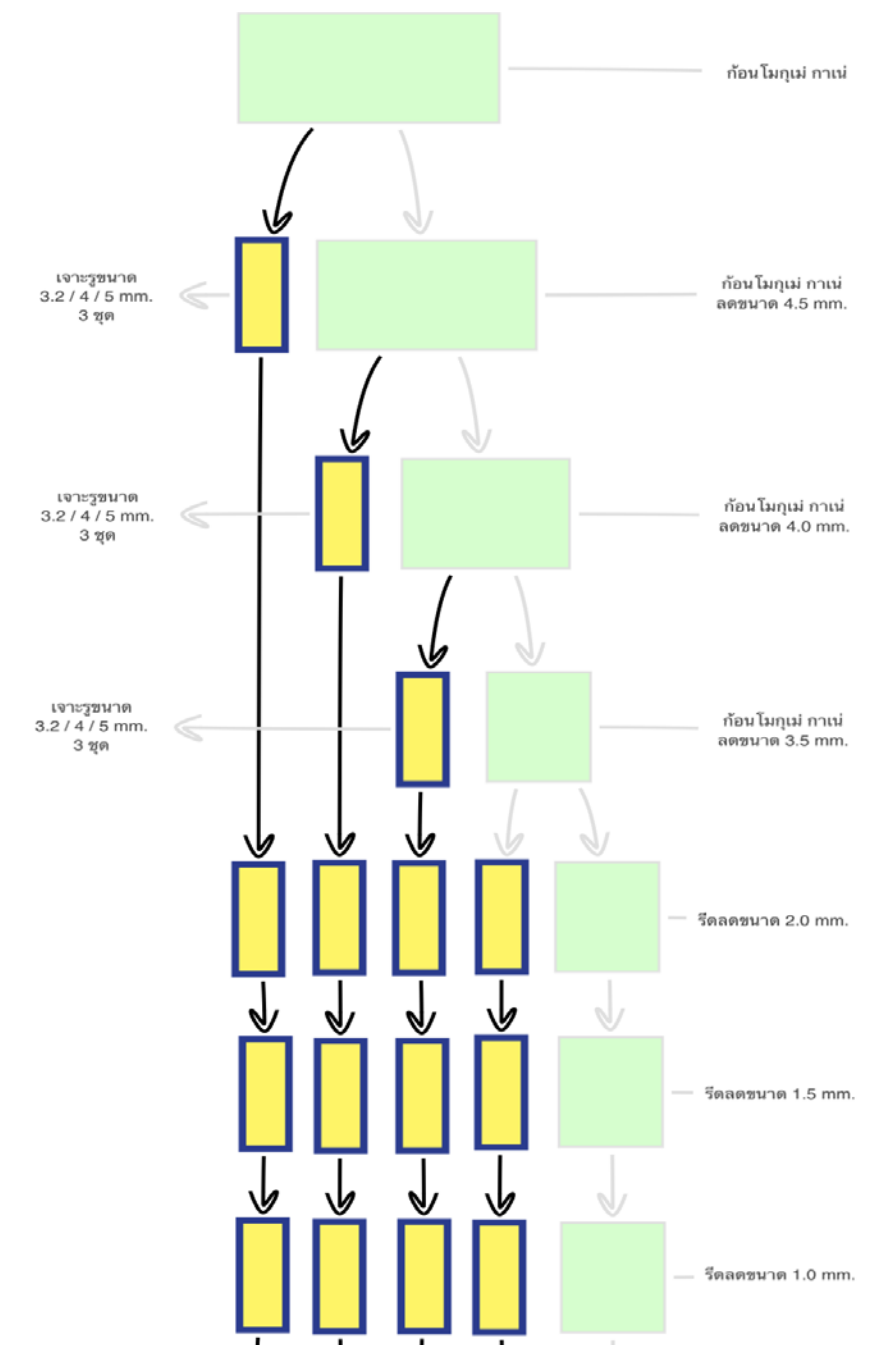
3. ขนาดของรอยเจาะ (D : Drilling Size)

4. ขนาดความหนาของแผ่นรีด (F : Final Thickness)

โดยปัจจัยที่เป็นปัจจัยควบคุมคือทิศทางการรีดโดยรีดในทิศทางเดียวเท่านั้นความลึกของรอยเจาะ 1.5 มิลลิเมตร

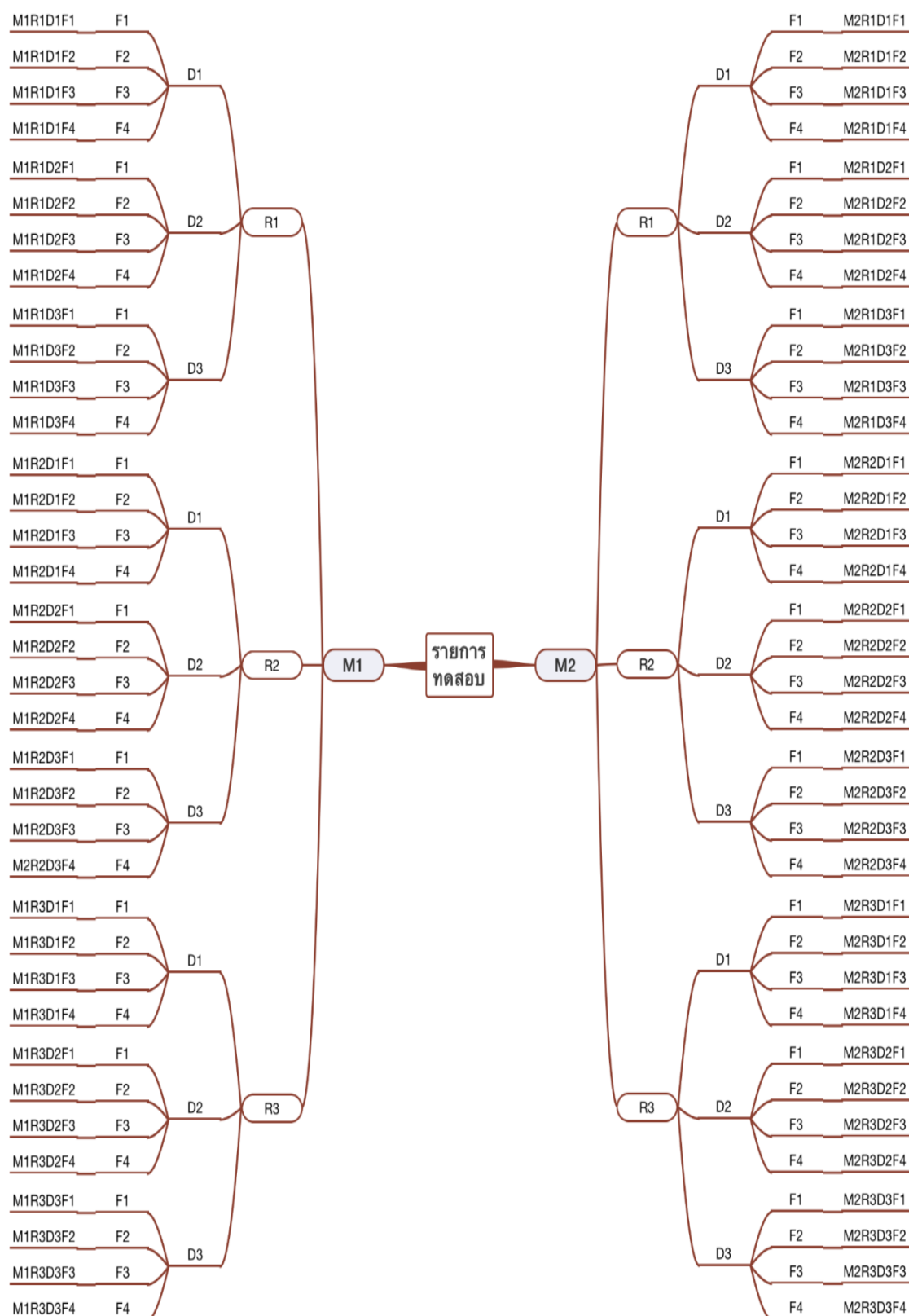
ตาราง 17 แสดงปัจจัยในการทดลองเพื่อพยากรณ์ลวดลายของ โมกุเม่ กานะ แบบแผ่นรีด จากโลหะเงิน และทองแดง

ปัจจัย	1	2	3	4
ความหนาของการเตรียมแผ่นโลหะ (M)	M1 1.0 มิลลิเมตร	M2 2.0 มิลลิเมตร		
ความหนาของการลดขนาด (R)	R1 4.5 มิลลิเมตร	R2 4.0 มิลลิเมตร	R3 3.5 มิลลิเมตร	
ขนาดของรอยเจาะ (D)	D1 5.0 มิลลิเมตร	D2 4.0 มิลลิเมตร	D3 3.2 มิลลิเมตร	
ขนาดความหนาของแผ่นรีด (F)	F1 2.0 มิลลิเมตร	F2 1.5 มิลลิเมตร	F3 1.0 มิลลิเมตร	F4 0.5 มิลลิเมตร



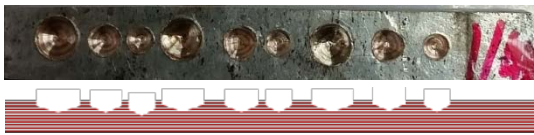
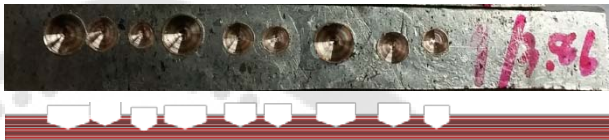
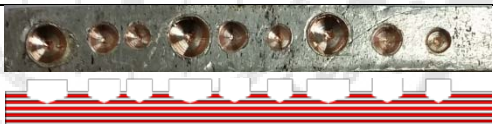
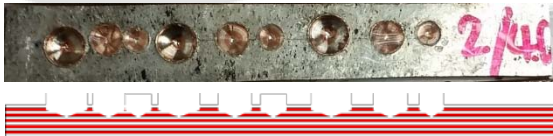
ภาพประกอบ 18 แผนภาพแสดงลำดับการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับการเกิดลายของ โมกุ่ม กาเน แบบแผ่นรีด

ลำดับของการเตรียมชิ้นงาน ชั่งน้ำหนัก วัดขนาดของแผ่น และลวดลาย ของ โมกุ่ม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด จากโลหะเงิน และทองแดงโดย เริ่มจากการเตรียมก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ด้วยกระบวนการผลิตก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ แล้วทำการลดขนาดก้อนด้วยการทุบ ให้เหลือ 50% แล้วลดขนาดด้วยการรีดให้ได้ขนาด 4.5 มิลลิเมตร ตัดชิ้นโลหะขนาด กว้างประมาณ 10 มิลลิเมตร แล้วนำไปเจาะด้วยสว่านขนาด 5, 4, 3.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความลึก 1.5 มิลลิเมตร จำนวน 3 ครั้ง ชั่งน้ำหนักทั้งในน้ำ และในอากาศ วัดขนาด และความหนาจริงของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ แล้วทำการบันทึก ส่วนก้อนที่เหลือนำไปลดด้วยการรีดให้ได้ขนาด 4.0 มิลลิเมตร ตัดชิ้นโลหะขนาด กว้างประมาณ 10 มิลลิเมตร แล้วนำไปเจาะด้วยสว่านขนาด 5, 4, 3.2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความลึก 1.5 มิลลิเมตร จำนวน 3 ครั้ง ชั่งน้ำหนักทั้งในน้ำ และในอากาศ วัดขนาด และความหนาจริงของก้อนโมกุ่ม่ กาเน่ แล้วทำการบันทึก จากนั้นจึงนำก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ที่เจาะแล้วทั้งหมดไปรีดลดขนาดลงเหลือ 2.0, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยหลังจากลดขนาดด้วยการรีดแล้ว ชั่งน้ำหนักทั้งในน้ำ และในอากาศ วัดขนาด และความหนาจริงของแผ่น โมกุ่ม่ กาเน่ ที่รีด แล้วทำการบันทึก



ภาพประกอบ 19 แผนภาพแสดงรายการตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง

ตาราง 18 แสดงตัวอย่างชิ้นงาน โมกุ่ม่ กาน่ เพื่อการทดลอง

รหัส	จำนวนชั้น ที่เจาะ		รูปแสดงการเจาะแผ่นทดลอง
M1R1	1	7	
มิลลิเมตร			
หนา 4.42			
มิลลิเมตร			
M1R2	1	8	
มิลลิเมตร			
หนา 3.86			
มิลลิเมตร			
M1R3	1	9	
มิลลิเมตร			
หนา 3.40			
มิลลิเมตร			
M2R1	2	3	
มิลลิเมตร			
หนา 4.42			
มิลลิเมตร			
M2R2	2	4	
มิลลิเมตร			
หนา 4.07			
มิลลิเมตร			
M2R3	2	4	
มิลลิเมตร			
หนา 3.40			
มิลลิเมตร			

บทที่ 4

การนำเสนอผลของข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

การเกิดลายของการผลิต โม่กูเม่ กาเน่ แบบดั้งเดิม

จากการทดลองผลิตลวดลาย โม่กูเม่ กาเน่ แบบดั้งเดิม เพื่อการศึกษา ข้อมูล และกระบวนการทำให้เกิดลวดลายของ เทคนิคการผลิต โม่กูเม่ กาเน่ แบบดั้งเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบัน และ โม่กูเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด จากโลหะเงินและทองแดง นั้น ได้ทดลองผลิตลวดลายทั้ง 5 ลาย โดยแต่ละลายจะมีขั้นตอนและ ลำดับวิธีการผลิต หรือกระบวนการที่แตกต่างกัน แต่อาจจะการใช้วิธีการผลิตบางอย่างร่วมกัน การจัดลำดับของวิธีการผลิต ความชำนาญของช่าง มีผลต่อลวดลายทั้งสิ้น โดยลวดลายจะเกิดขึ้น และเปลี่ยนแปลงไปพร้อมๆ การขึ้นรูปตัวเรือนเครื่องประดับ

ตาราง 19 แสดงกระบวนการผลิตของลวดลายที่เกิดจากการผลิต

กระบวนการผลิต /	3. ลาย			5. ลาย	
ลวดลาย	1. ลายบิต	2. ลายวงไม้	เส้นตรง	4. ลายคลื่น	ดาว
เจาะ		X		X	
บิต	X				X
ผ่า					X
รีด	X	X		X	X
แต่ง ขัดชิ้นงาน	X	X	X	X	X

ขั้นตอนการเกิดลวดลายของ โม่กูเม่ กาเน่

จากตาราง 19 แสดงผลของชิ้นงานที่เกิดขึ้นจาก 5 ชนิดของลวดลายที่ผลิตมาจาก 5 ก้อนของการอัดชิ้นงาน 17 ชิ้นของเงินและทองแดงจะเห็นได้ว่า การเกิดลายของลายเส้นตรง เกิดจากเส้นของชั้นโลหะที่เรียงซ้อนทับกัน เมื่อผ่าก้อน โม่กูเม่ กาเน่ แล้วนำไปขึ้นตัวเรือนเครื่องประดับ จะได้ลายเส้นตรงทันที ลายวงไม้มีการเกิดลวดลายเป็นวง จากการเจาะก้อน โม่กูเม่ กาเน่ ก่อนการนำไปขึ้นรูปวงแหวน แต่เมื่อขึ้นรูปวงแหวน ลวดลายที่ได้มีการเจาะจะโดนขัดถูออกไปมีการเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ลวดลายจะเกิดลายคลื่นที่เกิดจากการขึ้นตัวเรือนแหวนเป็นวงก่อน เมื่อเจาะแล้วเคาะ ลวดลายคลื่นก็จะเกิดขึ้น และเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามการเคาะและเจาะ ลวด ลายบิตเกิดจากชั้นของก้อน โม่กูเม่ กาเน่ ที่ถูกบิตขึ้นมาไว้ด้านหน้า เมื่อเคาะขึ้นรูปเครื่องประดับ ลวดลายและตำแหน่งของลายจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ส่วนลายดาวเกิดจากการบิต แล้วผ่าก้อน โม่กูเม่ กาเน่ ที่บิตแล้วตรงกลางจะมีลวดลายดาวเกิดขึ้น เมื่อนำมาขึ้นรูปเครื่องประดับ หากมีการเคาะขึ้นรูป ลวดลายก็จะมีเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อย

หากต้องการผลิตเครื่องประดับจากแผ่นลวดลาย โมกุ่ม กานะ แบบแผ่นรีด การเกิดลายจะมีลักษณะคล้ายกับแบบดั้งเดิม แต่เพียงต้องผ่านกระบวนการลดขนาด โดยการรีด เพื่อขยายขนาดลวดลาย และเพิ่มปริมาณลายให้สามารถนำไปใช้ผลิตเป็นเครื่องประดับได้มากขึ้น โดยในการรีดขนาดความกว้างยาวของลาย โดยความยาวจะเพิ่มขึ้นแปรผกผันกับความหนาของแผ่น โมกุ่ม กานะ ในแม้การผลิตลวดลายแบบแผ่นรีดสามารถผลิตได้จากวิธีแบบดั้งเดิมทั้งหมด แต่ลวดลายที่ผลิตและใช้ทำลวดลาย โมกุ่ม กานะ แบบแผ่น ในปัจจุบัน จะใช้วิธีการเจาะ ก่อน โมกุ่ม กานะ ซึ่งทำได้ง่าย และได้ลวดลายที่ชัดเจน แล้วจึงนำไปลดขนาดด้วยวิธีการรีด จึงสรุปได้ว่า ปัจจัย ที่มีผลให้เปลี่ยนแปลงทำให้ขนาดของลาย ทิศทางการรีด (Rolling Direction)ขนาดความหนาของแผ่นรีด (Final Thickness) ความหนาของการเตรียมแผ่นโลหะวัตถุดิบ (Material Thickness) ส่วนลวดลายที่เกิดจากการเจาะ ในการทดลองครั้งนี้ ขนาดของลายจะขึ้นกับ ขนาดของรอยเจาะ (Drilling Size) ความหนาของการลดขนาด (Reduction Thickness) ก่อนที่จะทำการเจาะด้วย

เมื่อทราบปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของลวดลาย โมกุ่ม กานะ แล้ว อีกปัจจัยที่มีผลต่อการขยายขนาดของแผ่น คือ ความหนาแน่นของแผ่น โมกุ่ม กานะ เนื่องจากในกระบวนการรีดนั้น มวลของก้อน โมกุ่ม กานะ ระหว่างก่อนรีด กับหลังรีด จะยังคงแตกต่างกัน ไม่มาก หากความหนาแน่นทั้งก่อนและหลังรีด มีความหนาแน่นเท่ากัน จึงทำให้สามารถพยากรณ์ได้ว่าความกว้างยาวของแผ่น โมกุ่ม กานะ จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร และหากแผ่น โมกุ่ม กานะ ที่ผ่านกระบวนการต่างๆ แล้วมีความหนาแน่นที่ เปลี่ยนแปลงไป หากสามารถทราบถึง การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่น จะสามารถพยากรณ์ขนาดความกว้างยาวของก้อน โมกุ่ม กานะ ได้เช่นกัน

ตาราง 20 แสดงการเปรียบเทียบข้อดีของการผลิต โมกุ่ม กานะ แบบดั้งเดิมกับแผ่นรีด

แบบดั้งเดิม	แบบแผ่นรีด
1. ลวดลายมีทั้งตัวเรือนเมื่อเกิดการขัดผิวก็จะมีลายแม้ลายจะเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม	1. ประหยัดเนื้อโลหะโมกุ่ม กานะ ทำให้ต้นทุนในการผลิตต่ำลง
2. ลวดลายคงทน และอยู่ในตัวเรือนเครื่องประดับทั้งชิ้น	2. สามารถนำไปขึ้นรูปได้หลากหลาย
3. สามารถผลิตลวดลายได้หลากหลาย บางลวดลายมีเอกลักษณ์เฉพาะ เช่น ลายดาว, ลายปิด เป็นต้น	3. สามารถผลิตลวดลายที่มีความละเอียดมากได้ง่าย
	4. สามารถกำหนดตำแหน่งลายและเลือกlayได้ว่าลายไหนจะอยู่ตรงตำแหน่งไหนของชิ้นงาน
	5. สามารถปรับเปลี่ยนขนาดแหวนก่อนแล้วประกอบลายเข้าที่หลังได้

ตาราง 21 แสดงการเปรียบเทียบข้อจำกัดของการผลิต โมกุ่ม กาเน่ แบบดั้งเดิมกับแผ่นรีด

แบบดั้งเดิม	แบบแผ่นรีด
1. หนดัดขึ้นรูปยาก	1. เนื้อ โมกุ่ม กาเน่ แผ่นบางจะติดไว้เฉพาะด้านนอกเท่านั้น
2. โอกาสที่เกิดความเสียหายในระหว่างการทำลวดลายง่ายกว่า	2. การเชื่อมต่อระว่างอย่างมาก เนื่องจากอาจจะมีการหดตัวหรือลอร่อนขณะเชื่อมได้
3. ต้องใช้ต้นทุนแรงงานในการผลิตต่อหน่วยที่ค่อนข้างสูง	3. ต้องใช้ช่างที่มีความชำนาญสูงในการผลิต
4. ความละเอียดของลายจะขึ้นกับจำนวนชั้นและความหนาของโลหะหากลายมีความละเอียดมากต้องมีจำนวนชั้นของโลหะมากตามไปด้วย	4. ขนาดของลวดลายจะขยายเมื่อมีการลดขนาด จนอาจจะมีขนาดลวดลายไม่ตรงตามที่ต้องการ หรือที่ออกแบบไว้
5. ต้องใช้ความชำนาญมากเป็นพิเศษ	
6. ไม่สามารถกำหนดตำแหน่งลายได้ว่าจะใช้ลายตรงไหนของชิ้นงานเป็นหน้า	
7. การกำหนดขนาดแหวนต้องวางแผนไว้ตั้งแต่ก่อนการผลิตก่อน โมกุ่ม กาเน่	
8. ใช้เนื้อก้อนโลหะ โมกุ่ม กาเน่ จำนวนมากจึงทำให้ต้นทุนสูง	
9. มีการสูญเสียเนื้อโลหะมาก เนื่องจากจำเป็นต้องตัดแต่งโลหะมาก จึงจะสามารถขึ้นตัวเรือนเครื่องประดับที่พอดีได้	

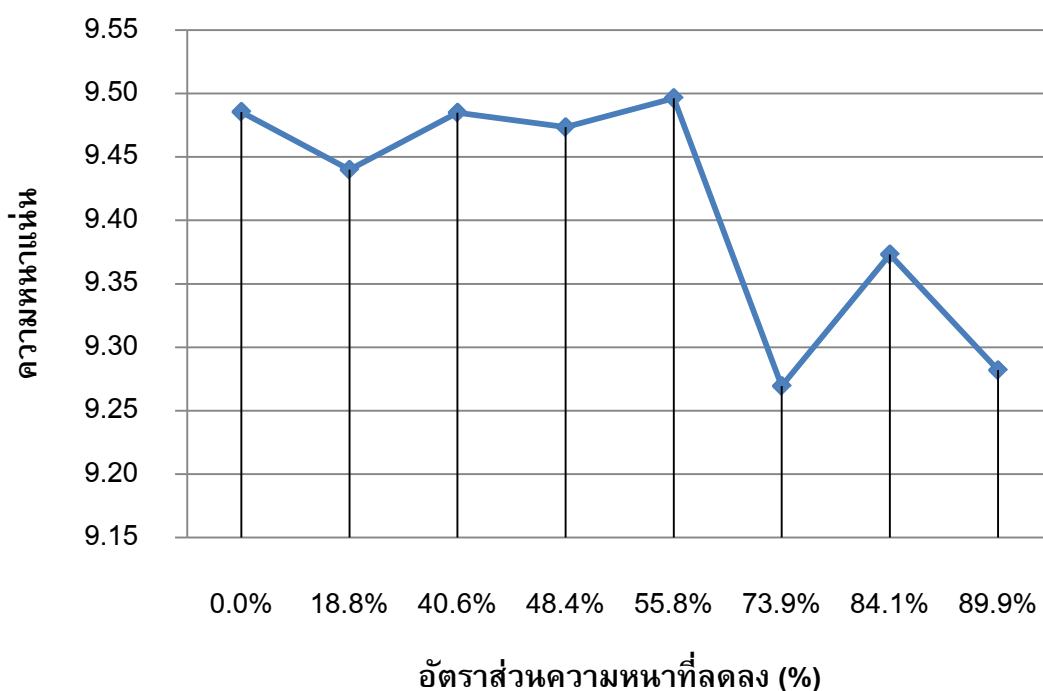
ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการลดขนาดด้วยการรีด ที่มีผลต่อ ความ หนาแน่นของ โมกุ่ม กาเน่ จากโลหะเงินและทองแดง

ผลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการลดขนาดด้วย การทุบ และการรีด ที่มีผลต่อความหนาแน่นของ โมกุ่ม กาเน่ จากโลหะเงินและทองแดง จากการศึกษาความหนาแน่นของโลหะ เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของ ก้อน โมกุ่ม กาเน่ ที่ผ่านกระบวนการผลิตในแต่ละขั้นตอน จะมีความหนาแน่นที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อก้อน โมกุ่ม กาเน่ ที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการเจาะทำลวดลาย และในทุกกระบวนการผลิต จะมีการอบอ่อน ทุกครั้ง

ก้อน โมกุ่ม กานะ ที่สมบูรณ์ไม่ควรมีฟองอากาศ หรือการฉีกขาดตรงขอบ แต่ก่อน เนื่องจาก หากมีฟองอากาศระหว่างชั้นแผ่น เมื่อผ่านกระบวนการลดขนาดจนเป็นแผ่นรีดบาง จะทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับลวดลาย หรือกระบวนการผลิตเครื่องประดับ ในการทดลองครั้งนี้ เพื่อศึกษาความหนาแน่นของการลดขนาด โดยพบว่า ก้อน โมกุ่ม กานะ ที่ผ่านการลดขนาด สังเกตเห็นฟองอากาศ ในระหว่างกระบวนการทดลอง ซึ่งเป็นแผ่นที่ไม่สมบูรณ์ ได้ผลการทดลองดังตาราง 22

ตาราง 22 แสดงน้ำหนักในอากาศ และในน้ำ ความกว้าง ยาว และหนา ของก้อน โมกุ่ม กานะ ที่ไม่สมบูรณ์ และไม่ผ่านการเจาะ

กระบวนการ	น้ำหนักในอากาศ(กรัม)	น้ำหนักในน้ำ (กรัม)	ความยาว (ม.ม.)	ความกว้าง (ม.ม.)	ความหนา (ม.ม.)	อัตราส่วนการลดขนาด	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
ก้อนโมกุ่ม กานะ ดัดขอบ	392.7	351.3	7	9	6.9	100.0%	9.49
รีดแนวยาว	392.7	351.1	7	11.2	5.6	81.2%	9.44
ซั้งทวน น้ำหนักก่อน	392.2	350.85	7	15.2	4.1	59.4%	9.48
รีดแนวยาว	392.2	350.8	7	17	3.56	51.6%	9.47
รีดแนวยาว	392.2	350.9	7	20	3.05	44.2%	9.50
ทุบ	392.1	349.8	7.8	21	1.8	26.1%	9.27
รีดแนวขวาง	391.8	350	13.7	21	1.1	15.9%	9.37
รีดแนวยาว	391.7	349.5	13.7	33.5	0.7	10.1%	9.28



ภาพประกอบ 20 กราฟแสดงความหนาแน่นของก้อน โมกู่เม่ กาเน่ ที่ไม่สมบูรณ์ และไม่ผ่านการเจาะ

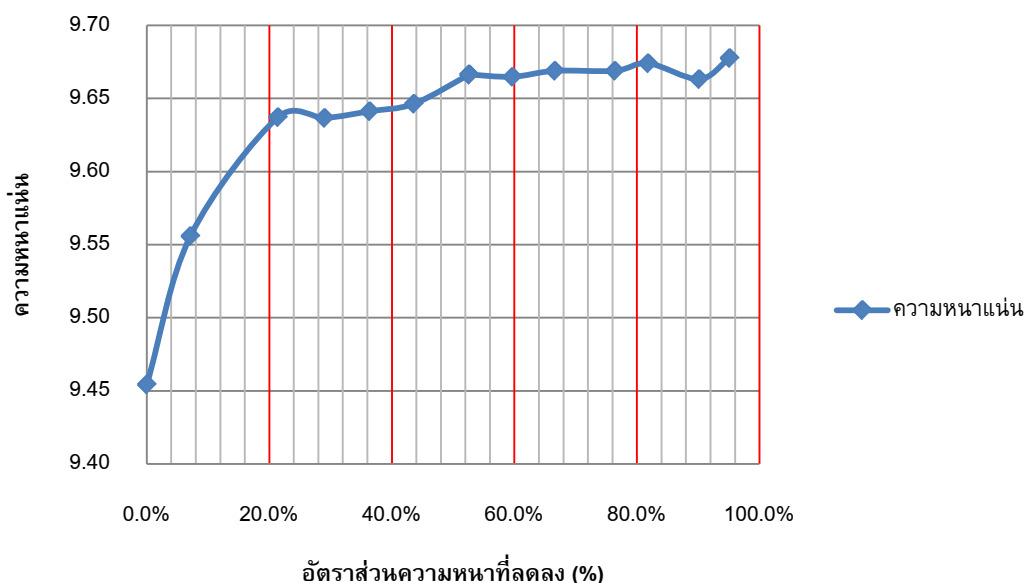
จากภาพประกอบ 20 เป็นชิ้นงานที่เสียในกระบวนการพบว่า ไม่สามารถวัดความหนาแน่นที่แน่นอนได้ โดยอธิบายได้ดังนี้ ความหนาแน่นของก้อน โมกู่เม่ กาเน่ ที่ผ่านการลดขนาด มีความหนาแน่นที่ไม่คงที่ และลดลงบ้าง เพิ่มขึ้นบ้าง เมื่อสังเกตแผ่น หลังการรีด จะไม่พบอาการ แต่เมื่อผ่านกระบวนการอบอ่อนจะพบรอยร้าวจากชั้น ด้านในของก้อน โมกู่เม่ กาเน่ เนื่องจากฟองอากาศที่อยู่ระหว่างชั้นของก้อน โมกู่เม่ กาเน่ เมื่อถูกไฟที่ใช้ในการอบอ่อน อากาศจะขยายตัวทำให้ค่า ความหนาแน่นของ ก้อนโลหะเปลี่ยนแปลงลดลง ซึ่งทำให้ไม่สามารถที่จะพยากรณ์ความหนาแน่นที่เปลี่ยนแปลงไป

ฟองอากาศที่แทรกระหว่างชั้น จะทำให้เกิดการฉีกขาดเมื่อผ่านกระบวนการรีด และหากนำไปใช้ในการผลิตสินค้า และเกิดปัญหาเมื่อใช้กระบวนการเชื่อม หรือเมื่อใช้ไฟ ซึ่งปัญหาที่พบ คือ เมื่อโดนไฟจะ เกิดรอยบวมปูด และ เป็นจุดสะสมความร้อนทำให้ลวดลายละลาย มีปัญหาเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

สำหรับก้อน โมกู่เม่ กาเน่ ที่ศึกษาความหนาแน่นที่สมบูรณ์ มีค่าของความหนาแน่นตามที่บันทึกในตาราง 23

ตาราง 23 แสดงน้ำหนักในอากาศ และในน้ำ ความกว้าง ยาว และหนา ของก้อน โมกู่เม่ กาเน่
เมื่อผ่านกระบวนการลดขนาดด้วยการทุบเหลือประมาณ 50% และลดขนาดด้วยการรีดเหลือ
ประมาณ 5%

กระบวนการ	น้ำหนักใน อากาศ (กรัม)	น้ำหนัก ในน้ำ (กรัม)	ความ ยาว (ม.ม.)	ความ กว้าง (ม.ม.)	ความ หนา (ม.ม.)	อัตราส่วน การลด ขนาด	ความ หนาแน่น (กรัมต่อ ลูกบาศก์ เซนติเมตร)
ตัดขอบ	181.24	162.07	28.5	34.3	20.51	100.0%	9.45
ทุบ	181.18	162.22	29.5	35.6	19.05	92.9%	9.56
ทุบ	181.18	162.38	32.4	38.4	16.12	78.6%	9.64
ทุบ	181.17	162.37	34.3	40.6	14.56	71.0%	9.64
ทุบ	181.16	162.37	36	42.8	13.05	63.6%	9.64
ทุบ	181.16	162.38	38.6	45.6	11.57	56.4%	9.65
ทุบ	181.15	162.41	41.5	49.2	9.72	47.4%	9.67
รีดแนว X	181.12	162.38	47.5	49.4	8.27	40.3%	9.66
รีดแนว X	181.1	162.37	57	50.1	6.85	33.4%	9.67
รีดแนว X	181.1	162.37	78.2	52.5	4.84	23.6%	9.67
รีดแนว X	181.1	162.38	95	54.5	3.73	18.2%	9.67
รีดแนว X	181.09	162.34	160	55.2	2.02	9.8%	9.66
รีดแนว X	181.07	162.36	330	58	1	4.9%	9.68



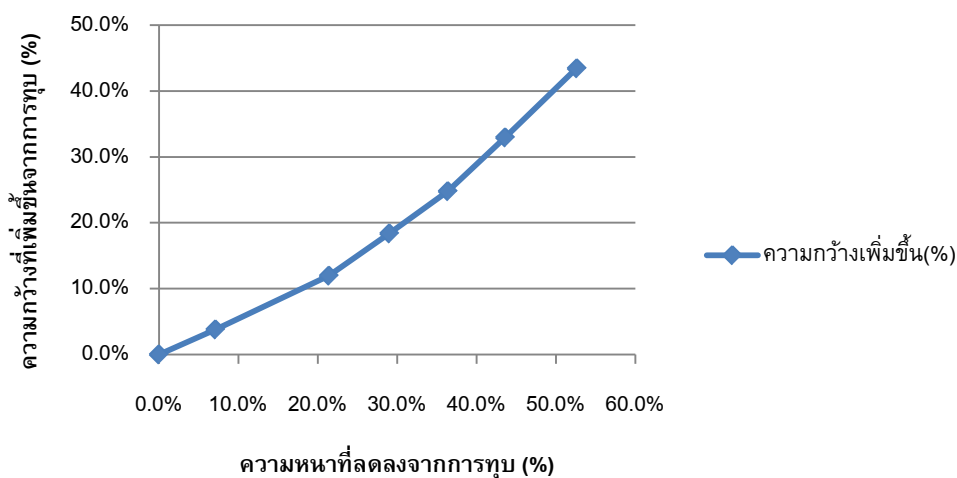
ภาพประกอบ 21 กราฟแสดงความหนาแน่นของก้อน โมกุ่ม กานะ เมื่อลดขนาดก้อน

ภาพประกอบ 21 ของชิ้นงานก้อนโมกุ่มกานะ ที่สมบูรณ์ แสดงลักษณะทิศทางของความหนาแน่น ดังนี้ ก้อน โมกุ่ม กานะ มีความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก จนถึงระดับที่ความหนาแน่นลดลงประมาณ 20 % และพบว่า ความหนาแน่นแปรผันในปริมาณที่น้อยลงตามแสดงดังภาพ นอกจากนี้จากการสังเกตสภาพทางกายภาพ พบว่า การ ลดขนาด ด้วยกระบวนการทุบจนเหลือขนาด 47.4% และลดขนาดด้วยกระบวนการรีดจนเหลือขนาด 4.9% พบว่าลักษณะภายนอกของก้อนโลหะ ผิวของก้อนโลหะเรียบ ไม่มีรอยบุบ หรือแตก ทั้งในขณะทุบ รีด และ ผ่านกระบวนการอบอ่อน

ความหนาแน่นเฉลี่ย ที่ได้จากการคำนวณ จากก้อน โมกุ่ม กานะ ที่ผ่านการตัดขอบให้เรียบ และคำนวณค่าเฉลี่ยของน้ำหนักโลหะในก้อน เป็นค่า ความหนาแน่นเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 9.702 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากกราฟพบว่า ก้อน โมกุ่ม กานะ ที่ผ่านกระบวนการอบ จะมีค่าความหนาแน่นที่ 9.45 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าความหนาแน่นเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณ และเมื่อผ่านกระบวนการลดขนาดด้วยการทุบ และรีด ความหนาแน่นจะเพิ่มมากขึ้น จนใกล้เคียงกับความหนาแน่นเฉลี่ย

ความหนาแน่นของก้อน โมกุ่ม กานะ ที่ได้ หลังอบที่ 9.45 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรซึ่งมีความใกล้เคียงกับ ค่าได้จากการคำนวณ $\pm 2.6\%$ ซึ่งสามารถทำให้ทำนายก้อน โมกุ่ม กานะ ที่เหมาะสม และมีความสมบูรณ์พร้อมที่จะนำมาทำลวดลายโดยไม่เกิดการเสียหายระหว่าง กระบวนการทำลวดลาย การรีด และการอบอ่อน เนื่องมาจากฟองอากาศ หรือจากชั้นโลหะที่ไม่ติดกัน

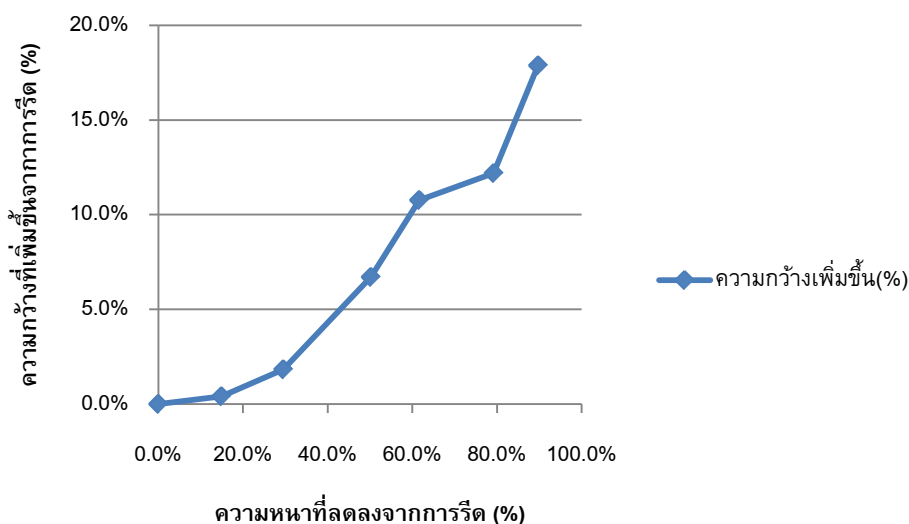
การเปลี่ยนแปลงความกว้าง ของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ที่ผ่านกระบวนการทุบ



ภาพประกอบ 22 กราฟแสดงความกว้าง ที่สัมพันธ์กับการลดขนาดด้วยกระบวนการทุบ

จากภาพประกอบ 22 เมื่อความหนาลดลงทำให้ความกว้างของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ เพิ่มขึ้น สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ ระหว่าง อัตราความกว้างที่เพิ่มขึ้นจากการทุบ กับอัตราความหนาที่ลดลง

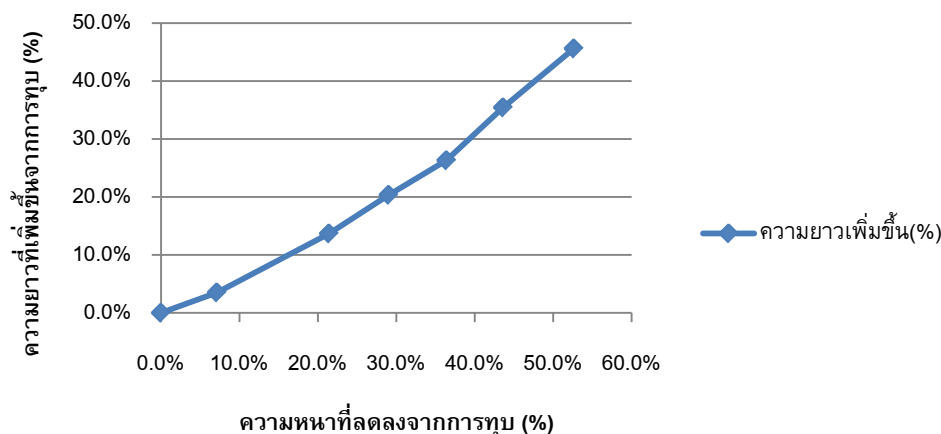
การเปลี่ยนแปลงความกว้าง ของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ที่ผ่านกระบวนการรีด



ภาพประกอบ 23 กราฟแสดงความกว้าง ที่สัมพันธ์กับการลดขนาดด้วยกระบวนการรีด

จากภาพประกอบ 23 เมื่อความหนาลดลงทำให้ความกว้างของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ เพิ่มขึ้น สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราความกว้างที่เพิ่มขึ้นจากการรีด กับ อัตราความหนาที่ลดลง

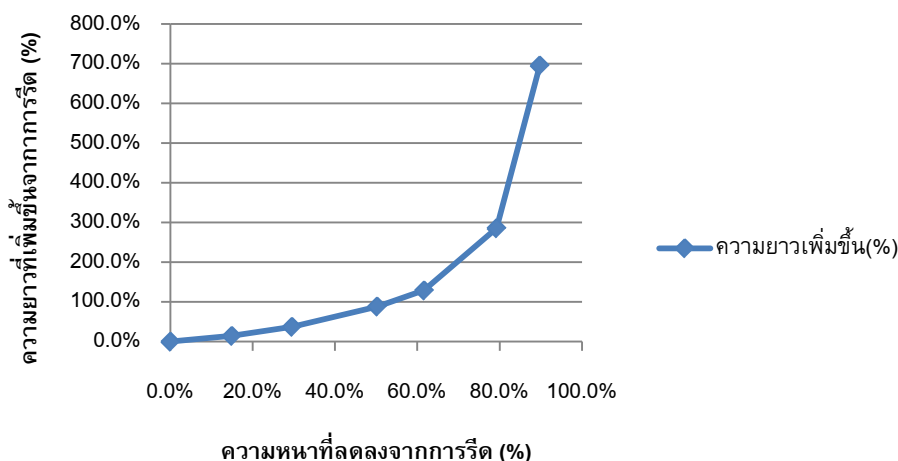
การเปลี่ยนแปลงความยาว ของก้อน โมกู่เม่ กาเน่ ที่ผ่านกระบวนการทุบ



ภาพประกอบ 24 กราฟแสดงความยาว ที่สัมพันธ์กับการลดขนาดด้วยกระบวนการทุบ

จากภาพประกอบ 24 เมื่อความหนาลดลงทำให้ความยาวของก้อน โมกู่เม่ กาเน่ เพิ่มขึ้น สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราความยาวที่เพิ่มขึ้นจากการทุบ กับ อัตราความหนาที่ลดลง

การเปลี่ยนแปลงความยาว ของก้อน โมกู่เม่ กาเน่ ที่ผ่านกระบวนการรีด



ภาพประกอบ 25 กราฟแสดงความยาว ที่สัมพันธ์กับการลดขนาดด้วยกระบวนการรีด

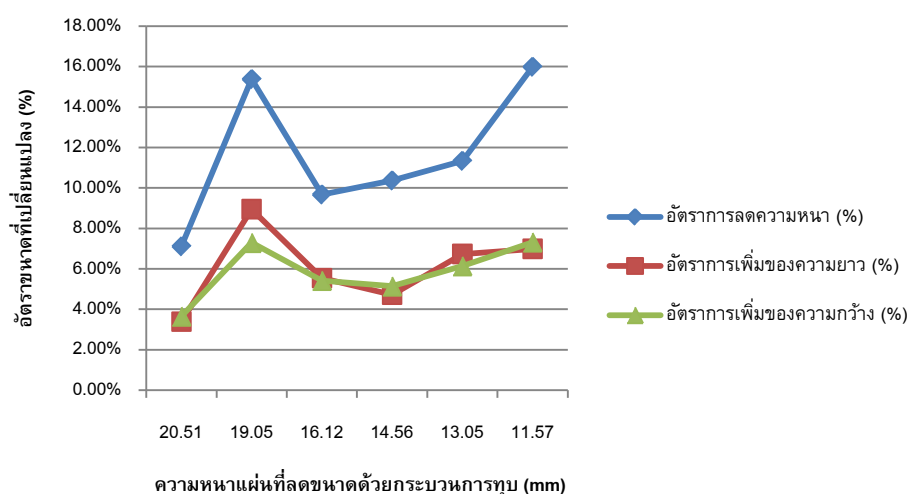
จากภาพประกอบ 25 เมื่อความหนาลดลงทำให้ความยาวของก้อน โมกู่เม่ กาเน่ เพิ่มขึ้น ผลการทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของก้อน โมกู่เม่ กาเน่ กับความหนาจากการลดขนาดเพื่อใช้สำหรับการพยากรณ์ความหนาแน่นเมื่อลดขนาดก้อน โมกู่เม่ กาเน่ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับความหนาของก้อน โมกู่เม่ กาเน่ ที่วางแผนในการผลิต โดยใช้ชิ้นงานสลัชิ้นเงิน 11 กับทองแดง 10 ชิ้นไม่ละลายโดยวัดความหนาของโลหะเงินก่อนการอบได้ 10.73 มิลลิเมตร และความหนาของ

โลหะทองแดงก่อนการอบได้ 10.09 มิลลิเมตร รวม 20.82 มิลลิเมตร และเมื่ออบแล้ว ความหนาของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ จากเงินและทองแดงเหลือ 20.51 มิลลิเมตร

จากแผนภูมิแสดงความหนาแน่นของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ เมื่อผ่านกระบวนการอบอยู่ที่ 9.45 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และเพิ่มขึ้นแปรผกผันกับความหนาของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ที่ลดลงและเมื่อลดขนาดโดยการทุบลงเหลือ 78.60% ของขนาดก้อนหลังผ่านกระบวนการอบความหนาแน่นของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ จะมีความหนาแน่นที่ค่อนข้างคงที่ที่ระหว่าง 9.64-9.68 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ตาราง 24 แสดงอัตราของการลดความหนา อัตราของการเพิ่มความยาว และอัตราของการเพิ่มความกว้างของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ เมื่อผ่านกระบวนการลดขนาดด้วยการทุบ

ความหนา (ม.ม.) A	อัตราการลด ของความ หนา (%) B	อัตราการเพิ่ม ของความ ยาว (%) C	อัตราการเพิ่ม ของความกว้าง (%) D	อัตราส่วน C : B	อัตราส่วน D : B
20.51	7.12%	3.39%	3.65%	47.62%	51.30%
19.05	15.38%	8.95%	7.29%	58.19%	47.41%
16.12	9.68%	5.54%	5.42%	57.24%	55.99%
14.56	10.37%	4.72%	5.14%	45.53%	49.56%
13.05	11.34%	6.74%	6.14%	59.39%	54.14%
11.57	15.99%	6.99%	7.32%	43.70%	45.76%
ค่าเฉลี่ย				51.95%	50.69%



ภาพประกอบ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราของการลดความหนา อัตราของการเพิ่มความยาว และอัตราของการเพิ่มความกว้าง ด้วยการทุบ

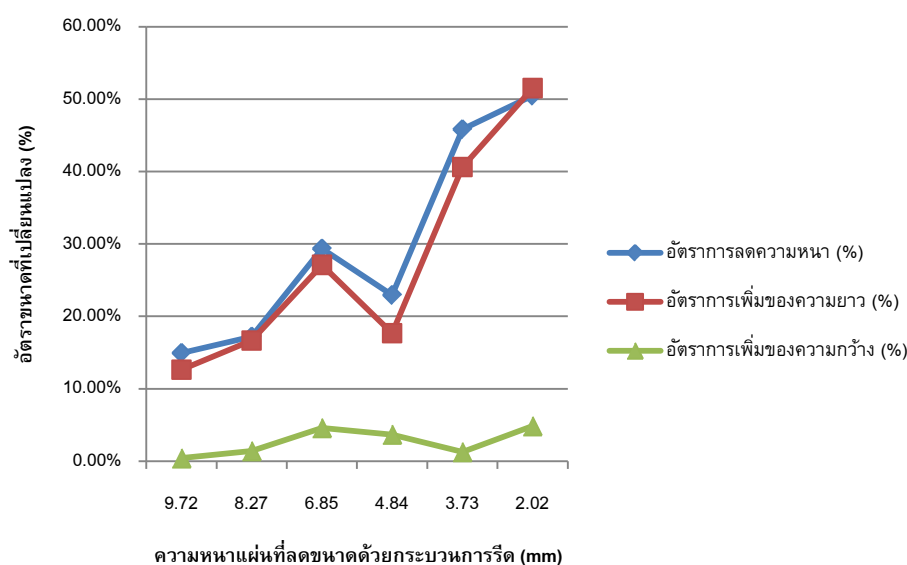
จากตาราง 26 พบว่า เมื่อลดขนาดด้วยกระบวนการทุบ อัตราการลดลงของความหนา เทียบกับอัตราการเพิ่มขึ้นของความยาว มีค่าเฉลี่ย 51.95% และ อัตราการลดลงของความหนา เทียบกับอัตราการเพิ่มขึ้นของความกว้าง มีค่าเฉลี่ย 50.69% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ 50%อธิบายได้ว่า อัตราความหนาที่ลดลงจากการทุบ (ในแนวแกน Z) จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มทั้งอัตราการเพิ่มขึ้นของความกว้าง (ในแนวแกน X) และอัตราการเพิ่มขึ้นของความยาว (ในแนวแกน Y) ด้านละเท่าๆ กัน

ตาราง 25 แสดงอัตราของการลดความหนา อัตราของการเพิ่มความยาว และอัตราของการเพิ่มความกว้างของก้อน โมกู่เม่ กาเน่ เมื่อผ่านกระบวนการลดขนาดด้วยการรีด

ความหนา (ม.ม.)	อัตราการลด ของความ หนา (%)	อัตราการเพิ่ม ของความ ยาว (%)	อัตราการเพิ่ม ของความกว้าง (%)	อัตราส่วน	อัตราส่วน
A	B	C	D	C : B	D : B
9.72	14.92%	12.63%	0.40%	84.68%	2.71%
8.27	17.17%	16.67%	1.40%	97.07%	8.14%
6.85	29.34%	27.11%	4.57%	92.39%	15.58%

ตาราง 25 (ต่อ)

ความหนา (ม.ม.)	อัตราการลด ของความ หนา (%)	อัตราการเพิ่ม ของความ ยาว (%)	อัตราการเพิ่ม ของความกว้าง (%)	อัตราส่วน	อัตราส่วน
A	B	C	D	C : B	D : B
4.84	22.93%	17.68%	3.67%	77.11%	16.00%
3.73	45.84%	40.63%	1.27%	88.61%	2.77%
2.02	50.50%	51.52%	4.83%	102.02%	9.56%
ค่าเฉลี่ย				90.31%	9.13%



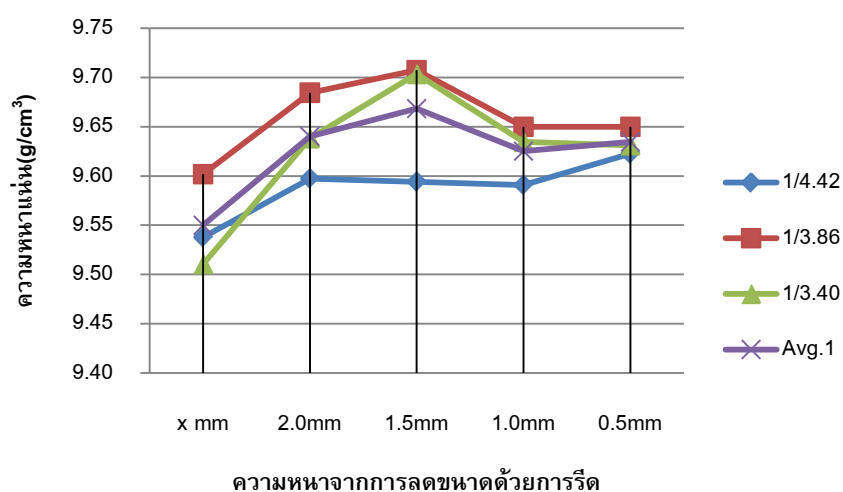
ภาพประกอบ 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราของการลดความหนา อัตราของการเพิ่มความยาว และอัตราของการเพิ่มความกว้าง ด้วยการรีด

จากตาราง 27 พบว่า เมื่อลดขนาดด้วยกระบวนการทุบ อัตราการลดลงของความหนา เทียบกับอัตราการเพิ่มขึ้นของความยาว มีค่าเฉลี่ย 90.31% และ อัตราการลดลงของความหนา เทียบกับอัตราการเพิ่มขึ้นของความกว้าง มีค่าเฉลี่ย 9.13% อธิบายได้ว่าอัตราความหนาที่ลดลง จากการรีด (ในแนวแกน Z) จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่ม โดยและอัตราการเพิ่มขึ้นของความยาว (ในแนวแกน Y ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับทิศทางรีด) 90.31% อัตราการเพิ่มขึ้นของความกว้าง (ในแนวแกน Xซึ่งเป็นทิศทางตั้งฉากกับทิศทางรีด) 9.13% ทำให้แผ่นที่ผ่านกระบวนการรีด มีการขยายในทิศทางเดียวกับทิศทางรีด มากกว่าทิศทางตั้งฉากกับทิศทางรีด

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของก้อน โมกู่เม่ กาเน่ จากโลหะเงิน และทองแดงที่ผ่านการเจาะทำลวดลาย กับการลดขนาดด้วยการรีด

ตาราง 26 แสดงความหนาแน่นของก้อน โมกู่เม่ กาเน่ ที่ใช้วัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร ที่ผ่านการเจาะลดขนาดด้วยการรีด เหลือ 2.0 มิลลิเมตร, 1.5 มิลลิเมตร, 1.0 มิลลิเมตร, 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

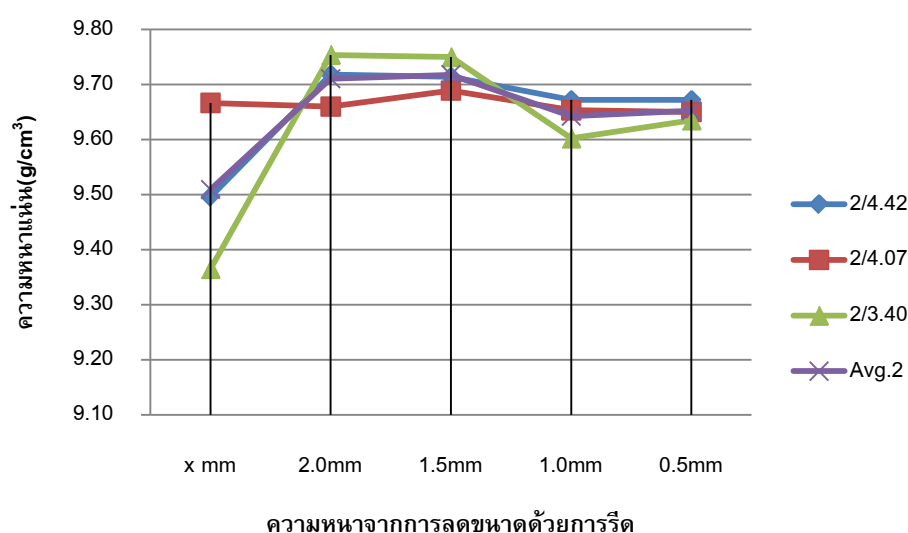
	x มิลลิเมตร	2.0 มิลลิเมตร	1.5 มิลลิเมตร	1.0 มิลลิเมตร	0.5 มิลลิเมตร
1/4.42	9.54	9.60	9.59	9.59	9.62
1/3.86	9.60	9.68	9.71	9.65	9.65
1/3.40	9.51	9.64	9.70	9.63	9.63
ค่าเฉลี่ย 1	9.55	9.64	9.67	9.63	9.63



ภาพประกอบ 28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความหนา กับความหนาแน่นของก้อนโมกู่เม่ กาเน่ ที่ใช้แผ่นวัตถุดิบขนาด 1 มิลลิเมตร ที่เจาะในระดับความหนาที่แตกต่างกัน

ตาราง 27 แสดงความหนาแน่นของก้อน โมกู่เม่ กาน่ ที่ใช้วัตถุบหนา 2 มิลลิเมตร ที่ผ่านการเจาะลดขนาดด้วยการรีด เหลือ 2.0มิลลิเมตร, 1.5มิลลิเมตร, 1.0มิลลิเมตร, 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

		2.0	1.5	1.0	0.5
	x มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร
2/4.42	9.50	9.72	9.71	9.67	9.67
2/4.07	9.67	9.66	9.69	9.65	9.65
2/3.40	9.37	9.75	9.75	9.60	9.63
ค่าเฉลี่ย2	9.51	9.71	9.72	9.64	9.65



ภาพประกอบ 29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความหนา กับความหนาแน่นของก้อน โมกู่เม่ กาน่ ที่ใช้แผ่นวัตถุบหนา 2 มิลลิเมตร ที่เจาะในระดับความหนาที่แตกต่างกัน

จากภาพประกอบ 29, 30 ความหนาแน่นของ ก้อนโลหะ โมกู่เม่ กาน่ ที่มีการเจาะที่ความหนาต่างกัน และที่ขนาดความหนาของแผ่นวัตถุบที่ 1 และ 2 มิลลิเมตร พบว่าความหนาแน่นที่วัดได้ที่ความหนา 2.0 มิลลิเมตร จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากยังมีรูบนผิวหน้าของก้อนโลหะ ซึ่งจะมีผลให้เกิดการผิดพลาดของการชั่งน้ำหนักในน้ำ และสังเกตได้ว่าความหนาแน่นของทุกแผ่นจะใกล้เคียงกัน

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของแผ่น และความกว้างของลาย กับการลดขนาดด้วยการรีด โมกุ่ม่ กาเน่ จากโลหะเงินและทองแดง

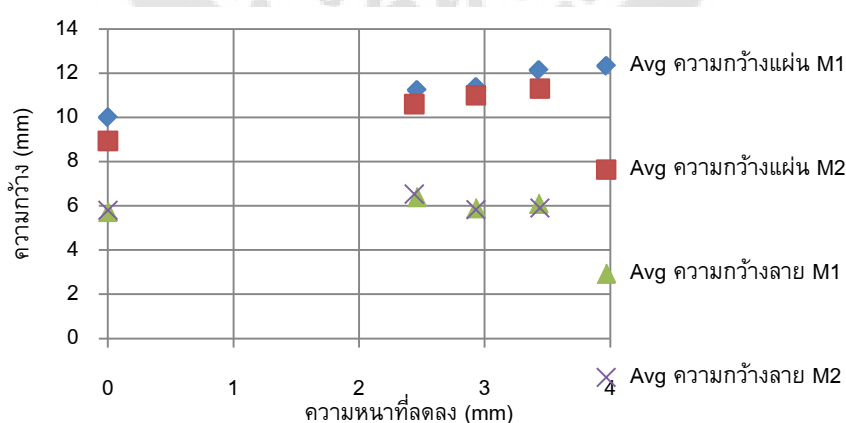
ความกว้าง คือ ความยาวที่วัดในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางรีด การวัดขนาดของความกว้างของแผ่น เมื่อทำการเจาะที่ความหนา 4.42 มิลลิเมตร และลดขนาดด้วยการรีดแบบทิศทางเดียวและวัดในตำแหน่งที่เจาะด้วยสว่านขนาด 5 มิลลิเมตร ทั้ง 3 รอยเจาะและหาค่าเฉลี่ยของขนาดความกว้างของแผ่น M1, M2 และความกว้างของลายของ M1, M2

ตาราง 28 แสดงความกว้างของแผ่น และความกว้างของลาย ของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ จากโลหะเงินและทองแดง ที่ความหนาของแผ่นตั้งต้น 1 มิลลิเมตร ที่วัดในตำแหน่งที่เจาะด้วยสว่านขนาด 5 มิลลิเมตร และลดขนาดด้วยการรีดหนา 2.0, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร

		ตำแหน่งที่วัด	4.42mm	2.0mm	1.5mm	1.0mm	0.5mm
ความหนาแผ่นขณะวัด (มิลลิเมตร)			4.42	1.98	1.49	0.98	0.5
ความหนาที่ลดลง (มิลลิเมตร)			0	2.44	2.93	3.44	3.92
ความกว้างแผ่น M1	1/4.42/5.0-1		9.80	11.10	11.30	12.00	13.20
	1/4.42/5.0-2		10.10	11.30	11.40	12.30	13.20
	1/4.42/5.0-3		10.10	11.30	11.40	12.10	12.90
ค่าเฉลี่ยความกว้างแผ่น M1			10.00	11.23	11.37	12.13	13.10
ความกว้างลาย M1	1/4.42/5.0-1		6.00	6.80	5.80	6.20	6.70
	1/4.42/5.0-2		5.80	6.40	6.20	6.10	6.50
	1/4.42/5.0-3		5.40	6.00	5.70	6.00	6.30
ค่าเฉลี่ยความกว้างลาย M1			5.73	6.40	5.90	6.10	6.50

ตาราง 29 แสดงความกว้างของแผ่น และความกว้างของลาย ของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ จากโลหะเงิน และทองแดง ที่ความหนาของแผ่นตั้งต้น 2 มิลลิเมตร ที่วัดในตำแหน่งที่เจาะด้วยสว่าน ขนาด 5 มิลลิเมตร และลดขนาดด้วยการรีดหนา 2.0, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร

		4.42m	2.0m	1.5m	1.0m	0.5m
ตำแหน่งที่วัด		m	m	m	m	m
ความหนาแผ่นขณะวัด (มิลลิเมตร)		4.42	1.98	1.49	0.98	0.5
ความหนาที่ลดลง (มิลลิเมตร)		0	2.44	2.93	3.44	3.92
ความกว้างแผ่น M2	2/4.42/5.0-1	8.93	10.6	11	11.3	12.03
	2/4.42/5.0-2	9.05	10.65	11.05	11.3	12.15
	2/4.42/5.0-3	9	10.7	11	11.2	12
ค่าเฉลี่ยความกว้างแผ่น M2		8.99	10.65	11.02	11.27	12.06
ความกว้างลาย M2	2/4.42/5.0-1	5.7	6.7	5.7	5.8	6.2
	2/4.42/5.0-2	6.2	6.5	5.9	6	6.1
	2/4.42/5.0-3	5.5	6.4	5.9	5.9	6.5
ค่าเฉลี่ยความกว้างลาย M2		5.8	6.53	5.83	5.9	6.27



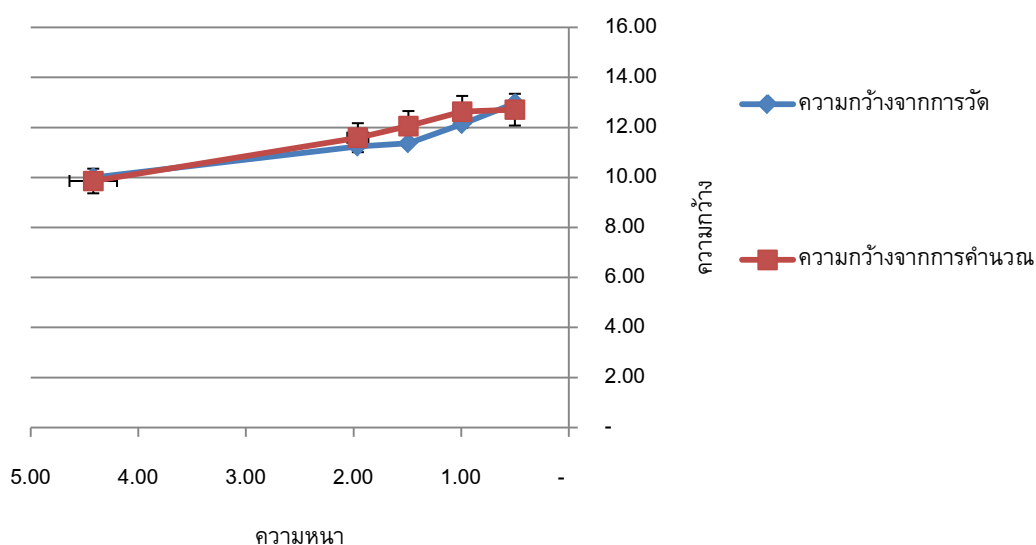
ภาพประกอบ 30 กราฟแสดงความกว้างของแผ่น และความกว้างของลาย ของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ จากโลหะเงินและทองแดง ที่ความหนาของแผ่นตั้งต้น 1, 2 มิลลิเมตร ที่วัดในตำแหน่งที่เจาะด้วยสว่านขนาด 5 มิลลิเมตร และลดขนาดด้วยการรีดเหลือความหนา 2.0 มิลลิเมตร, 1.5 มิลลิเมตร

จากการทดลอง เมื่อมีการรีดแผ่น โมกุ่ม กานะ ที่ผ่านการเจาะรู เพื่อลดขนาดในทิศทางเดียว พบว่าความกว้างของแผ่น โมกุ่ม กานะ จะลดลงในแนวเส้นตรง โดยแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่รีดลดขนาดและยังมียูที่่เกิดจากการเจาะ (ความหนาสูงกว่า 1.5 มิลลิเมตร) และช่วงที่รีดลดขนาดโดยที่ไม่มียูที่่เกิดจากการเจาะ (ความหนาดต่ำกว่า 1.5 มิลลิเมตร) โดยพบว่า ช่วงที่รีดลดขนาด และยังมีรอยเจาะจะมีอัตราขยายของแผ่นลายที่แผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร มีค่าเป็น 0.477 และ 0.688 ตามลำดับ

ส่วนช่วงที่รีดลดขนาด ในขณะที่แผ่นเรียบและไม่มีรูเจาะ จะมีอัตราขยายของแผ่นลายที่แผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร มีค่าเป็น 1.615 และ 1.51 ตามลำดับ

ตาราง 30 แสดงการเปรียบเทียบความกว้างที่ได้จากการคำนวณและความกว้างที่ได้จากการวัดของแผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร และเจาะที่ระดับความหนา 4.42 มิลลิเมตร แล้วลดขนาดด้วยการรีดทิศทางเดียวในระดับความหนา 2, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

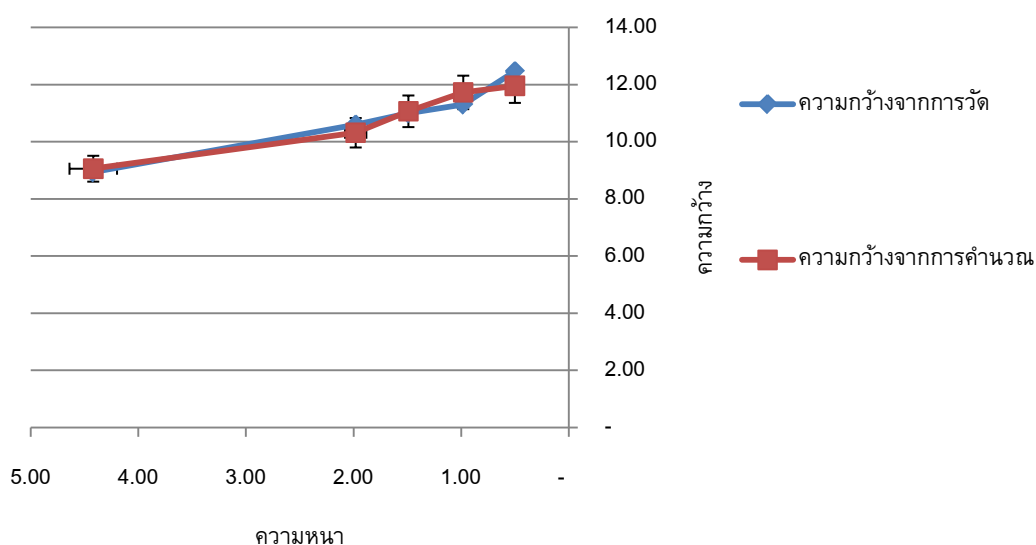
		2.0	1.5	1.0	0.5
ระดับความหนา	1/4.42	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร
น้ำหนักในอากาศ (กรัม)	29.09	29.08	29.07	29.06	29.06
ความยาว (มิลลิเมตร)	70.00	133.38	168.72	242.35	475.20
ความหนาแน่น(กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	9.54	9.60	9.59	9.59	9.62
ความหนา(มิลลิเมตร)	4.42	1.96	1.49	0.99	0.50
ความกว้างจากการวัด(มิลลิเมตร)	10.00	11.23	11.37	12.13	12.97
ความกว้างจากการคำนวณ (มิลลิเมตร)	9.86	11.59	12.05	12.63	12.71



ภาพประกอบ 31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความกว้างที่ได้จากการคำนวณและความกว้างที่ได้จากการวัด ของแผ่นวัตถุหนา 1 มิลลิเมตร และเจาะที่ระดับความหนา 4.42 มิลลิเมตร แล้วลดขนาดด้วยการรีดทิศทางเดียวในระดับความหนา 2, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ตาราง 31 แสดงการเปรียบเทียบความกว้างที่ได้จากการคำนวณและความกว้างที่ได้จากการวัด ของแผ่นวัตถุหนา 2 มิลลิเมตร และเจาะที่ระดับความหนา 4.42 มิลลิเมตร แล้วลดขนาดด้วยการรีดทิศทางเดียวในระดับความหนา 2, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

	2/4.42	2.0	1.5	1.0	0.5
ระดับความหนา		มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร	มิลลิเมตร
น้ำหนักในอากาศ	24.5	24.49	24.48	24.47	24.47
ความยาว	64.46	123.40	152.85	220.17	423.20
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	9.50	9.72	9.71	9.67	9.67
ความหนา(มิลลิเมตร)	4.42	1.98	1.49	0.98	0.50
ความกว้างจากการวัด(มิลลิเมตร)	8.99	10.65	11.02	11.27	12.52
ความกว้างจากการคำนวณ (มิลลิเมตร)	9.06	10.31	11.06	11.73	11.96



ภาพประกอบ 32 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความกว้างที่ได้จากการคำนวณและความกว้างที่ได้จากการวัด ของแผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร และเจาะที่ระดับความหนา 4.42 มิลลิเมตร แล้วลดขนาดด้วยการรีดทิศทางเดียวในระดับความหนา 2, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร ตามลำดับ

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความยาว ความกว้าง และความหนา ของแผ่น และลาย กับการลดขนาดด้วยการรีด โมกุ่ม่ กาเห่ จากโลหะเงินและทองแดง

ในการทดลองนี้ ความยาว คือ ความยาวที่วัดในทิศทางเดียวกันกับทิศทางรีด พบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของความหนา ความกว้าง และความยาว ของแผ่น และลาย ดังนี้

ตาราง 32 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่น ความกว้างของแผ่น ความยาวของแผ่น ความกว้างของลาย และความยาวของลาย อัตราการเปลี่ยนแปลง ของก้อน โมกุ่ม่ กาน้ำ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42 มิลลิเมตร

ความ หนา	ความ ยาวแผ่น	ความ กว้าง แผ่น	ความ ยาวลาย	ความ กว้าง ลาย	อัตราความ หนาลดลง(%)	อัตราความยาวแผ่น 1/4.42 เพิ่ม (%)	อัตราความกว้างแผ่น 1/4.42 เพิ่ม (%)	อัตราความยาวลาย 1/4.42 เพิ่ม (%)	อัตราความกว้างลาย 1/4.42 เพิ่ม (%)
4.42	70.00	10.00	5.74	5.73	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1.96	133.38	11.23	9.90	6.40	55.66%	90.54%	12.33%	72.47%	11.63%
1.49	168.72	11.37	12.27	5.90	66.29%	141.03%	13.67%	113.76%	2.91%
0.99	242.35	12.13	17.45	6.10	77.60%	246.21%	21.33%	204.01%	6.40%
0.50	475.20	12.97	33.40	6.40	88.69%	578.86%	29.67%	481.88%	11.63%

ตาราง 33 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่น ความกว้างของแผ่น ความยาวของแผ่น ความกว้างของลาย และความยาวของลาย อัตราการเปลี่ยนแปลง ของก้อน โมกุ่ม่ กาน้ำ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 3.86 มิลลิเมตร

ความ หนา	ความ ยาวแผ่น	ความ กว้าง แผ่น	ความ ยาวลาย	ความ กว้าง ลาย	อัตราความ หนาลดลง(%)	อัตราความยาวแผ่น 1/3.86 เพิ่ม (%)	อัตราความกว้างแผ่น 1/3.86 เพิ่ม (%)	อัตราความยาวลาย 1/3.86 เพิ่ม (%)	อัตราความกว้างลาย 1/3.86 เพิ่ม (%)
3.86	79.82	11.50	5.53	5.33	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1.98	136.88	12.63	8.83	5.17	48.70%	71.49%	9.86%	59.67%	-3.12%
1.48	175.82	12.93	11.37	4.73	61.66%	120.27%	12.46%	105.61%	-11.25%
0.99	252.21	13.43	15.59	4.87	74.35%	215.97%	16.81%	181.92%	-8.75%
0.50	505.00	14.33	30.00	4.97	87.05%	532.67%	24.64%	442.50%	-6.88%

ตาราง 34 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่นความกว้างของแผ่นความยาวของแผ่นความกว้างของลายและความยาวของลายอัตราการ
เปลี่ยนแปลงของก้อนโมกุ่ม่กาเนใช้แผ่นวัตถุติบหนา 1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 3.40 มิลลิเมตร

ความ หนา	ความ ยาวแผ่น	ความ กว้าง แผ่น	ความ ยาวลาย	ความ กว้าง ลาย	อัตราความ หนาลดลง(%)	อัตราความยาวแผ่น 1/3.40 เพิ่ม (%)	อัตราความกว้างแผ่น 1/3.40 เพิ่ม (%)	อัตราความยาวลาย 1/3.40 เพิ่ม (%)	อัตราความกว้างลาย 1/3.40 เพิ่ม (%)
3.40	90.99	9.57	5.30	5.63	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1.99	135.45	10.43	7.64	5.67	41.47%	48.86%	9.06%	44.15%	0.59%
1.49	170.48	10.60	9.17	5.40	56.18%	87.36%	10.80%	73.02%	-4.14%
0.99	243.87	11.50	13.02	5.57	70.88%	168.02%	20.21%	145.66%	-1.18%
0.50	475.60	12.23	25.80	5.60	85.29%	422.69%	27.87%	386.79%	-0.59%

ตาราง 35 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่น ความกว้างของแผ่น ความยาวของแผ่น ความกว้างของลาย และความยาวของลาย อัตราการ
เปลี่ยนแปลง ของก้อน โมกุ่ม่ กาเน ใช้แผ่นวัตถุติบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42 มิลลิเมตร

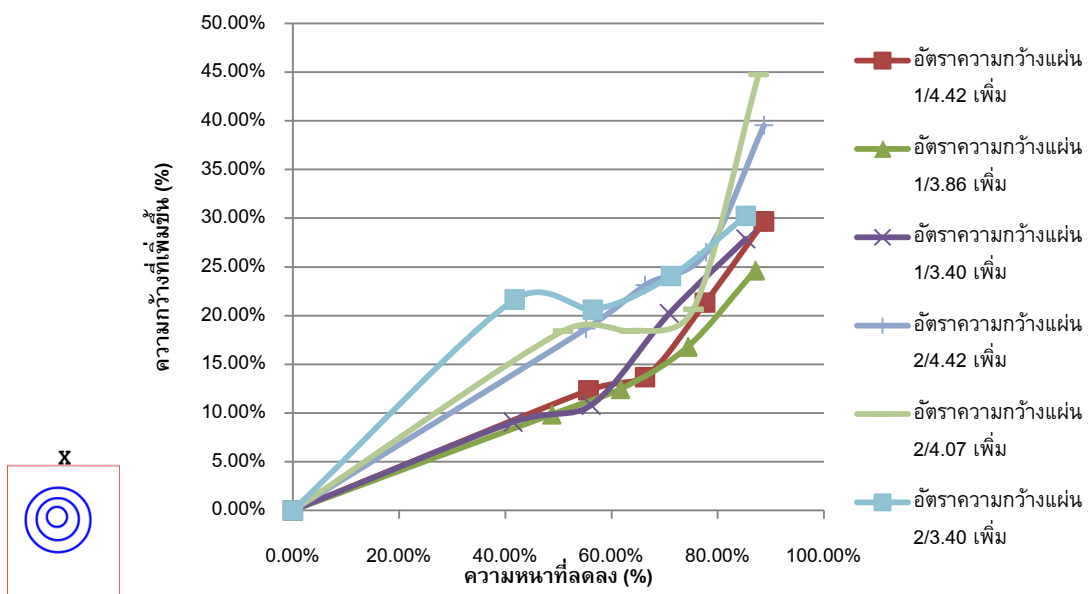
ความ หนา	ความ ยาวแผ่น	ความ กว้าง แผ่น	ความ ยาวลาย	ความ กว้าง ลาย	อัตราความ หนาลดลง(%)	อัตราความยาวแผ่น 2/4.42 เพิ่ม (%)	อัตราความกว้างแผ่น 2/4.42 เพิ่ม (%)	อัตราความยาวลาย 2/4.42 เพิ่ม (%)	อัตราความกว้างลาย 2/4.42 เพิ่ม (%)
4.42	64.46	8.93	5.27	5.80	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1.98	123.40	10.60	9.61	6.53	55.20%	91.44%	18.66%	82.35%	12.64%
1.49	152.85	11.00	11.22	5.83	66.29%	137.12%	23.13%	112.90%	0.57%
0.98	220.17	11.30	16.91	5.90	77.83%	241.56%	26.49%	220.87%	1.72%
0.50	423.20	12.47	32.00	6.37	88.69%	556.53%	39.55%	507.21%	9.77%

ตาราง 36 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่น ความกว้างของแผ่น ความยาวของแผ่น ความกว้างของลาย และความยาวของลาย อัตราการเปลี่ยนแปลง ของก้อน โมกุ่ม่ กาน้ำ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.07 มิลลิเมตร

ความ หนา	ความ ยาวแผ่น	ความ กว้าง แผ่น	ความ ยาวลาย	ความ กว้าง ลาย	อัตราความ หนาลดลง(%)	อัตราความยาวแผ่น 2/4.07 เพิ่ม (%)	อัตราความกว้างแผ่น 2/4.07 เพิ่ม (%)	อัตราความยาวลาย 2/4.07 เพิ่ม (%)	อัตราความกว้างลาย 2/4.07 เพิ่ม (%)
4.07	72.41	10.50	5.39	5.47	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
2.00	131.32	12.43	9.33	5.87	50.86%	81.36%	18.41%	73.10%	7.32%
1.49	164.55	12.43	11.60	5.87	63.39%	127.25%	18.41%	115.21%	7.32%
1.00	232.64	12.67	16.55	5.63	75.43%	221.28%	20.63%	207.05%	3.05%
0.50	465.00	15.20	31.80	5.87	87.71%	542.18%	44.76%	489.98%	7.32%

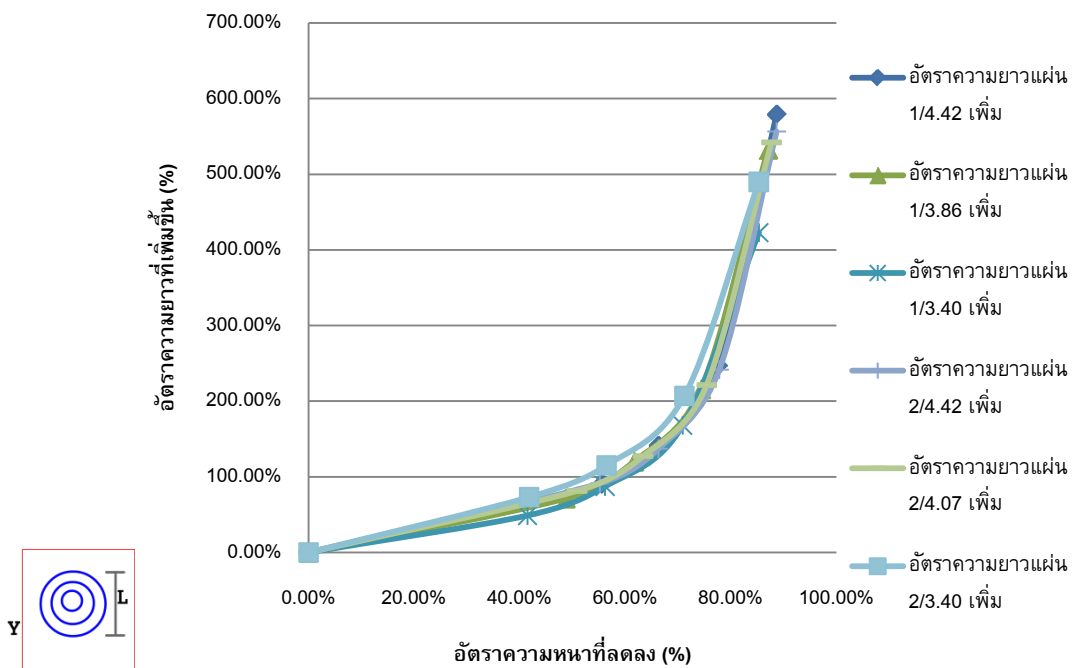
ตาราง 37 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความหนาของแผ่น ความกว้างของแผ่น ความยาวของแผ่น ความกว้างของลาย และความยาวของลาย อัตราการเปลี่ยนแปลง ของก้อน โมกุ่ม่ กาน้ำ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 3.40 มิลลิเมตร

ความ หนา	ความ ยาวแผ่น	ความ กว้าง แผ่น	ความ ยาวลาย	ความ กว้าง ลาย	อัตราความ หนาลดลง(%)	อัตราความยาวแผ่น 2/3.40 เพิ่ม (%)	อัตราความกว้างแผ่น 2/3.40 เพิ่ม (%)	อัตราความยาวลาย 2/3.40 เพิ่ม (%)	อัตราความกว้างลาย 2/3.40 เพิ่ม (%)
3.40	85.61	9.70	5.32	5.30	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
1.98	132.68	11.80	8.10	6.07	41.76%	54.98%	21.65%	52.26%	14.47%
1.48	160.71	11.70	9.00	4.80	56.47%	87.72%	20.62%	69.17%	-9.43%
0.98	228.90	12.03	13.16	5.10	71.18%	167.38%	24.05%	147.37%	-3.77%
0.50	444.90	12.63	23.40	5.43	85.29%	419.68%	30.24%	339.85%	2.52%

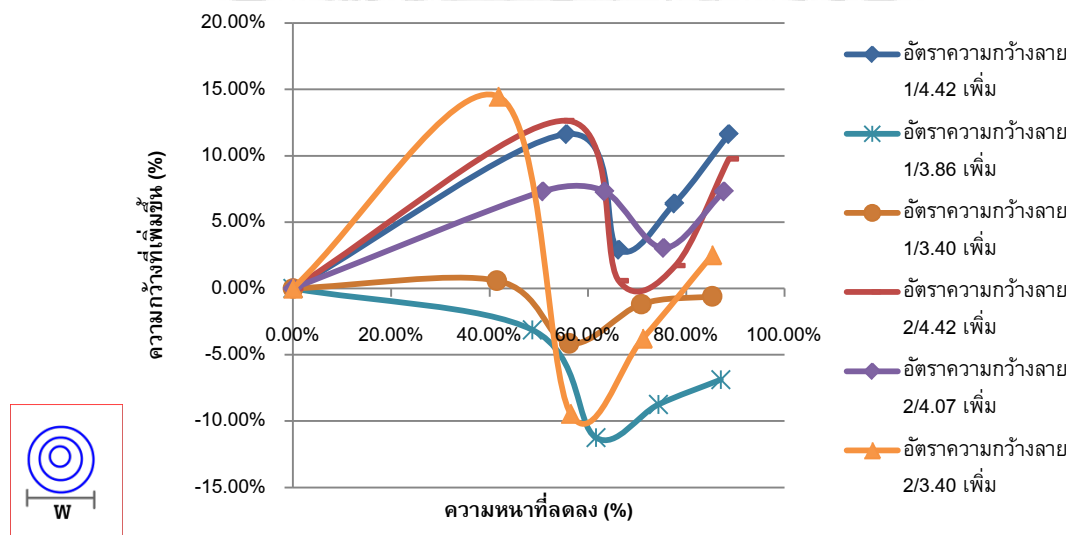


ภาพประกอบ 33 กราฟแสดงอัตราความกว้างของแผ่นที่เพิ่มขึ้น กับอัตราความหนาที่ลดลง ของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 3.86, 3.40 มิลลิเมตร และแผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 4.07, 3.40 มิลลิเมตร

ความกว้างของแผ่นที่เจาะ เมื่อผ่านกระบวนการรีด จะมีการขยายของความกว้างไม่สม่ำเสมอ จากกระบวนการรีด เนื่องจากรูรอยเจาะที่ยังมีอยู่บนแผ่น ทำให้เนื้อโลหะที่รีดถูกบีบขยายเข้าไปในรูรอยเจาะ



ภาพประกอบ 34 กราฟแสดงอัตราความยาวของแผ่นที่เพิ่มขึ้นกับอัตราความหนาที่ลดลงของก้อน
โมกุ่มะกาเนใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 3.86, 3.40 มิลลิเมตร และ
แผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 4.07, 3.40 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 35 กราฟแสดงอัตราความกว้างของลายที่เพิ่มขึ้น กับอัตราความหนาที่ลดลงของก้อน
โมกุ่มะ กาเน ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 3.86, 3.40 มิลลิเมตร
และแผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 4.07, 3.40 มิลลิเมตร

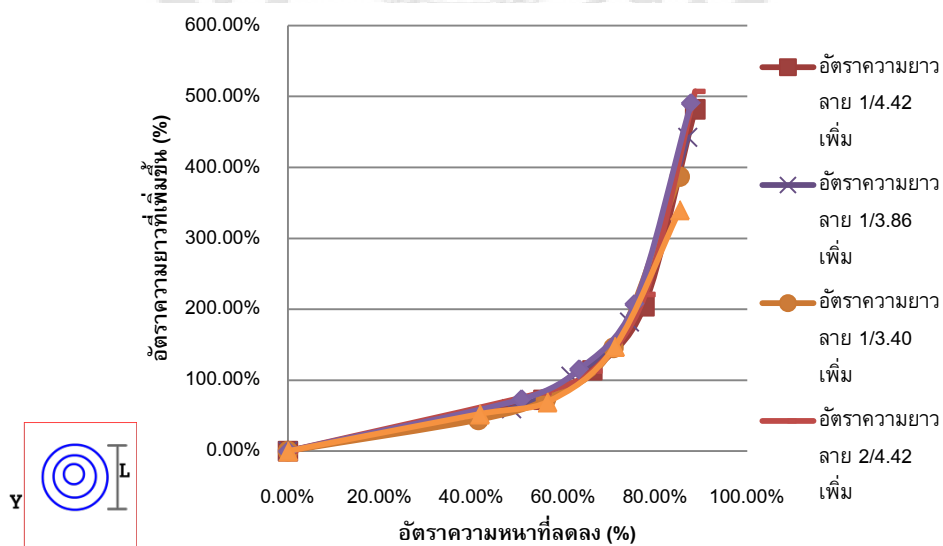
ตาราง 38 แสดงความลึกของรอยเจาะบนแผ่นตัวอย่างโมกุ่ม่ กาเน่ที่ตำแหน่งรอยเจาะ 5 มิลลิเมตร
ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 3.86, 3.40 มิลลิเมตร และแผ่นวัตถุดิบ
หนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 4.07, 3.40 มิลลิเมตร

แผ่นตัวอย่าง	1/4.42	1/3.86	1/3.40	2/4.42	2/4.07	2/3.40
ความลึกตำแหน่ง						
รอยเจาะ	1.47	1.68	1.54	1.49	1.5	2

พบว่า อัตราความกว้างของลายเมื่อผ่านการลดขนาดด้วยการรีด จะมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในช่วงแรกของการลดขนาด แล้วอัตราการเพิ่มขึ้นของความกว้าง จะลดลง จนเมื่อมีการลดขนาดลงในช่วงระหว่างการลดขนาดความหนาที่ 41.47%-75.43% แล้วจึงมีการเพิ่มขึ้น

โดยแผ่นตัวอย่างจำนวน 3 ชิ้น จาก 6 ชิ้น เมื่อเริ่มรีดจะมีความกว้างของลายที่เพิ่มขึ้นจากการขยายออกของรูรอยเจาะเมื่อถูกรีดกดทับ จนถึงระดับหนึ่งขอบสันของรอยเจาะจะถูกบีบเข้าในรูรอยเจาะ จึงทำให้ขนาดความกว้างของลายลดลง แล้วเมื่อรีดจนถึงระดับที่ไม่มีรูรอยเจาะ ขนาดความกว้างของลายก็จะมีอัตราเพิ่มขึ้น ส่วนอีก 3 ชิ้น เมื่อเริ่มรีด จะมีอัตราการขยายของลายเพิ่มขึ้น

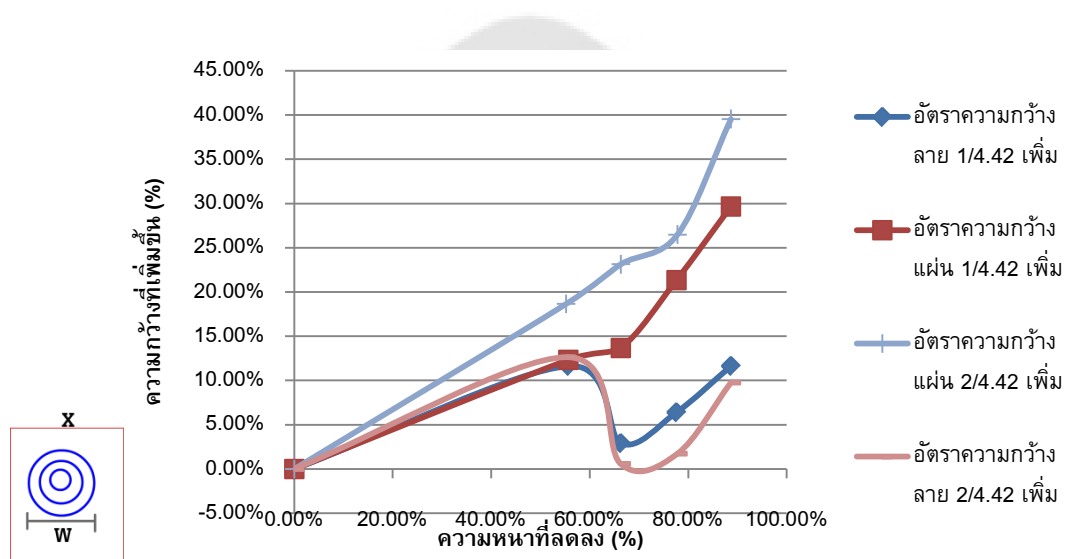
โดยแผ่นที่มีอัตราความกว้างของลายมีค่าต่ำกว่า 0 หรือขนาดลายเล็กลง คือ แผ่นตัวอย่าง 2/3.40, แผ่นตัวอย่าง 1/3.86 และ แผ่นตัวอย่าง 1/3.40 ซึ่งทั้ง 3 แผ่น มีความลึกจริงจากการเจาะมากกว่า 1.5 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อรอยเจาะลึกมาก สันของรอยเจาะมีขอบสันสูง ทำให้ในขณะรีด ขนาดของลาย จึงถูกบีบให้เข้าไปในรอยเจาะ จึงทำให้มีขนาดของความกว้างลายเล็กลง



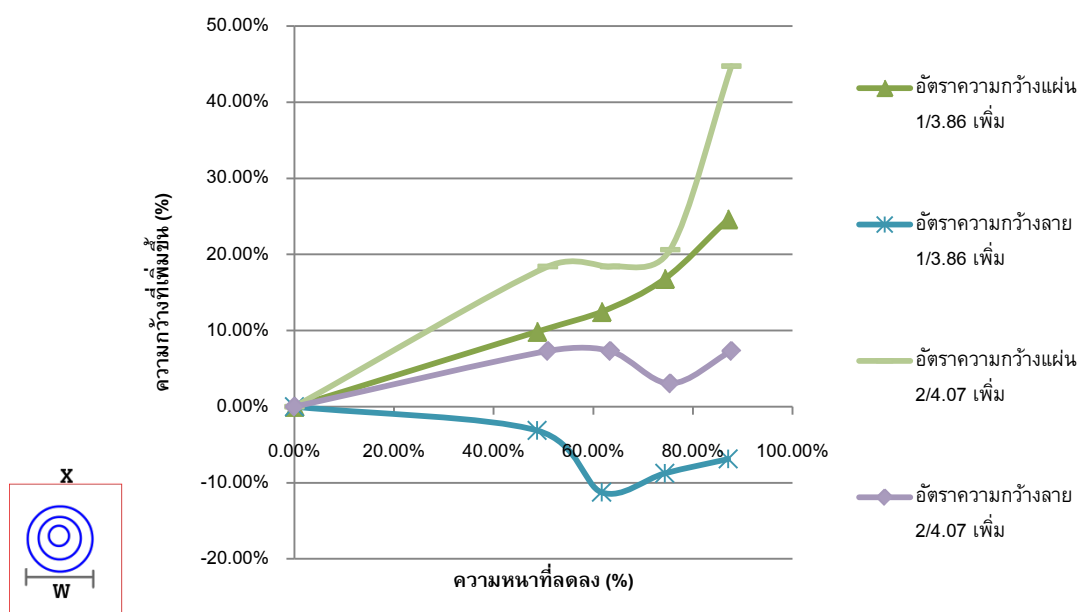
ภาพประกอบ 36 กราฟแสดงอัตราความยาวของลายที่เพิ่มขึ้น กับอัตราความหนาที่ลดลง ของก้อนโมกุ่ม่ กาเน่ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 3.86, 3.40 มิลลิเมตร และแผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42, 4.07, 3.40 มิลลิเมตร

จากภาพประกอบ 35 และ 36 พบว่า การขยายออกของแผ่น และลาย จะเปลี่ยนแปลงไปตามทิศทางการรีด (Rolling Direction)

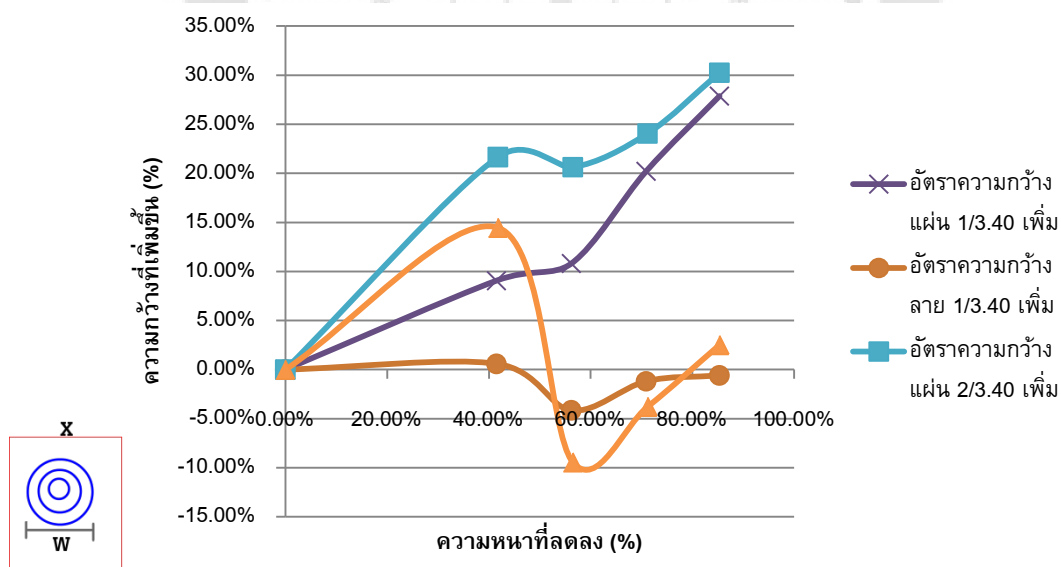
ความหนาของการเตรียมแผ่นโลหะวัตถุดิบ (Material Thickness) มีผลกับจำนวนชั้นที่เจาะได้ในความลึกที่เท่ากัน หากความหนาของแผ่นโลหะวัตถุดิบมากกว่า จะทำให้จำนวนชั้นที่เจาะน้อยกว่า ซึ่งทำให้ลายที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการรีด มีความหนาของเส้นลายที่มากกว่า เนื่องจากในอัตราการเพิ่มขึ้นของความยาวแผ่น และความยาวลายที่เท่ากัน มีจำนวนชั้นของลายที่น้อยกว่าขนาดความหนาของแผ่นรีด (Final Thickness)



ภาพประกอบ 37 กราฟแสดงอัตราความกว้างของแผ่น และความกว้างของลาย กับอัตราความหนาที่ลดลง ของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ใช้แผ่นวัตถุดิบหนา 1 เจาะที่ความหนา 4.42 มิลลิเมตร และแผ่นวัตถุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.42 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 38 กราฟแสดงอัตราความกว้างของแผ่น และความกว้างของลาย กับอัตราความหนาที่ลดลง ของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ใช้แผ่นวัสดุดิบหนา 1 เจาะที่ความหนา 3.86 มิลลิเมตร และแผ่นวัสดุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 4.07 มิลลิเมตร



ภาพประกอบ 39 กราฟแสดงอัตราความกว้างของแผ่น และความกว้างของลาย กับอัตราความหนาที่ลดลง ของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ใช้แผ่นวัสดุดิบหนา 1 เจาะที่ความหนา 3.40 มิลลิเมตร และแผ่นวัสดุดิบหนา 2 มิลลิเมตร เจาะที่ความหนา 3.40 มิลลิเมตร

บทที่ 5

การสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การเกิดลายของการผลิต โมกุ่ม กาเน่ แบบดั้งเดิม และ แบบแผ่นรีด

ลายเกิดจากการตัดกันของสีของโลหะ โดยใช้การเจาะบิต หรือถากลายหรือเฉือนโลหะ ออกตามชั้นโลหะแล้วเคาะ เป็นวงแหวนลักษณะของของลวดลายที่ไม่สม่ำเสมอเกิดจากการให้แรงที่ไม่ สม่ำเสมอในตำแหน่งและทิศทางต่างๆ ทำให้ลวดลายเกิดการบิดเบี้ยวในทิศทางที่แตกต่างกันในขนาด ที่แตกต่างกันลักษณะลายที่เป็นวงซ้อนกันเป็นชั้น เกิดจากการขุด เนื้อโลหะออกด้วยวิธีการ เจาะ ถาก ให้เป็นรูหรือร่องด้วยสว่าน หรืออุปกรณ์อื่น จากผิวหน้าแผ่นลึกลงไปหลายชั้นลักษณะลายเส้น ขนานกัน เกิดจากลายของชั้นโลหะที่เรียงซ้อนกันเป็นชั้นใช้วิธีการบิต เพื่อให้ลายชั้นขึ้นมา หรือ ขัด ออกในแนวเฉียงด้วยกระดาษทราย หรือตะไบลายกากบาท เป็นลายที่อยู่ด้านในที่เกิดจากการบิด เกี้ยวแล้วผ่าออก

การเกิดลายของเทคนิคการผลิตแบบดั้งเดิมเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิตลวดลายจะ เปลี่ยนไปเรื่อยๆ เมื่อมีการขัดแต่ง หรือเคาะตัวเรือนเครื่องประดับทำให้ รูปแบบลายส่วนใหญ่ ไม่ สามารถควบคุมให้การผลิตเหมือนเดิมได้ และพบว่าต้นทุนในการผลิต โมกุ่ม กาเน่ จะมีต้นทุนการ ผลิตที่สูงมาก เนื่องจากจำเป็นต้องใช้ก้อน โมกุ่ม กาเน่ ในปริมาณที่มากถึง 58.84% ซึ่งคงสูงมาก หากต้องการให้ได้แหวนที่มีลวดลายโมกุ่ม กาเน่ ก็สามารถผลิตด้วยวิธีการลดขนาดของโมกุ่ม กาเน่ ด้วยการรีด เพื่อขยายปริมาณลายลายทั้งหมดของ โมกุ่ม กาเน่ แบบแผ่นรีด จึงมีวิธีการเกิดลาย วิธีการเดียวกันกับ โมกุ่ม กาเน่ แบบดั้งเดิมและสามารถเพิ่มปริมาณและขยายขนาดของลวดลาย โดยการรีดลดขนาดความหนาของลาย โมกุ่ม กาเน่ ลงแล้วนำไปประกอบกับตัวเรือนเครื่องประดับ ได้แต่กระบวนการผลิตลวดลายต้องมีการวางแผนการผลิตก่อน

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดลวดลาย โมกุเม่ กาเน่ ด้วยการรีดทิศทางเดียว

การเกิดลายจากกระบวนการเจาะ เพื่อทำลวดลายของ โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด เมื่อเจาะที่ความหนาของการลดขนาด 4.5, 4.0, 3.5 มิลลิเมตร เมื่อเจาะลายที่ความหนาที่มากกว่า และรีดลดขนาดให้เหลือความหนาที่เท่ากันจะพบว่า ความหนาขณะเจาะที่มากกว่า จะมีขนาดความกว้าง และ ยาว ของลายที่มากกว่า

เมื่อใช้ส่วาน ที่ทำให้ ขนาดของรอยเจาะโดยใช้ดอกส่วานขนาด 5.0, 4.0, 3.2 มิลลิเมตร การเกิดลายจากกระบวนการเจาะ เพื่อทำลวดลายของ โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด ลายจากดอกส่วาน ที่มีขนาดใหญ่กว่าจะมีขนาดของลวดลายใหญ่กว่า ดอกส่วานที่มีขนาดเล็กกว่า

ขนาดความหนาของแผ่นรีด 2.0, 1.5, 1.0, 0.5 มิลลิเมตร การเกิดลายจากกระบวนการเจาะ เพื่อทำลวดลายของ โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีดจะมีขนาดความกว้างยาว ที่เพิ่มขึ้น เมื่อลดขนาดลง

ผลของการลดขนาด ต่อความหนาแน่นของก้อน โมกุเม่ กาเน่

ความหนาแน่น ของก้อน โมกุเม่ กาเน่ เมื่อผ่านกระบวนการอบ และลดขนาดด้วยการทุบ 50% และรีดตามลำดับความหนาแน่นจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อให้แรงกระทำต่อก้อน โมกุเม่ กาเน่ โดยจะเพิ่มขึ้นเมื่อลดขนาดด้วยการทุบ และเริ่มคงที่เมื่อมีความหนาที่ 78.6 % ของก้อน โมกุเม่ กาเน่ หลังอบจนใกล้เคียงความหนาแน่นเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณความหนาแน่นเฉลี่ย ($\rho_{average}$)

ความหนาแน่น ของก้อน โมกุเม่ กาเน่ ก้อนหนึ่งๆ ที่ผ่านกระบวนการลดขนาดโดยไม่ได้มีการสูญเสียเนื้อโลหะ ไม่มีความผิดพลาดในกระบวนการผลิต ไม่มีการแตก หรือแยกชั้นของขอบ ก้อน โมกุเม่ กาเน่ หรือฟองอากาศในชั้นโลหะ จะมีค่าความหนาแน่นค่าหนึ่งเสมอ

สามารถใช้การวัดค่าความหนาแน่นของก้อน โมกุเม่ กาเน่ ในการตรวจสอบว่า ก้อน โมกุเม่ กาเน่ ที่ผลิตขึ้นมา มีความสมบูรณ์หรือไม่ หรือมีฟองอากาศในระหว่างชั้นโลหะ โดยการคำนวณหาค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของก้อน โมกุเม่ กาเน่ ที่ผลิต และตัดขอบ เพื่อโลหะส่วนที่ไม่ติดกันออกให้เรียบร้อย แล้วใช้เครื่องชั่งหาค่าความหนาแน่น โดยการชั่งน้ำหนักในน้ำและ ในอากาศ หากค่าความหนาแน่นจากการคำนวณ และจากการชั่งน้ำหนักจริงใกล้เคียงกัน ก็สามารถมั่นใจได้ว่าเป็นก้อน โมกุเม่ กาเน่ ที่น่าจะสมบูรณ์ สามารถนำไปผลิตลวดลายได้ดี แต่หากต่างกันมาก ก็อาจจะสันนิษฐานได้ว่ามีฟองอากาศอยู่ด้านใน ซึ่งคาดการณ์ได้ว่า เมื่อผ่านกระบวนการ ผลิตลวดลายแล้ว รีด เมื่ออบอ่อนในขั้นตอนสุดท้ายน่าจะพบฟองอากาศที่อยู่ในระหว่างชั้นโลหะ ซึ่งกรณีนี้ไม่ควรทำลวดลายต่อ แล้วส่งเข้ากระบวนการสกัดเพื่อนำโลหะกลับมาใช้ใหม่เลย เนื่องจากก้อนโลหะไม่สมบูรณ์ จึงเป็นวิธีในหยุดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น และจำกัดการสูญเสีย ไม่ให้มากขึ้น

ผลของการลดขนาด ต่อความกว้าง ความยาวของ ก้อนและลาย โมกุเม่ กาเน่

การเกิดลายจากกระบวนการเจาะ เพื่อทำลวดลายของ โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด ความหนาของการเตรียมแผ่นโลหะ 1.0, 2.0 มิลลิเมตร ความหนาแผ่นโลหะ ที่หนาขึ้น จะทำให้ขนาดของลาย มีความกว้าง และ ความยาวมากขึ้น เนื่องจาก หน้าตัดของชั้นโลหะที่เกิดลาย มีความยาวกว่า ความหนาของการเตรียมแผ่นที่บางกว่า

ในกระบวนการทาบ ที่ให้แรงในแนวแกน Z จะมีการเพิ่มขึ้นของความยาว (Y) และความกว้าง(X) เท่าๆกัน และสัมพันธ์กับความหนาที่ลดลง

ในกระบวนการรีด ที่ให้ลูกรีด รีดก้อน โมกุเม่ กาเน่ ในแนวแกน Y จะมีการเพิ่มขึ้นของความกว้าง(X) เพียงเล็กน้อย โดยเพิ่มขึ้นในด้านความยาว(Y) เกือบทั้งหมด สัมพันธ์กับความหนาที่ลดลง

ความกว้างลายหลังรีด (W) มีความสัมพันธ์กับความกว้างของแผ่นโลหะ 2 ช่วงด้วยกัน คือ ในขณะที่รีด และยังมีรูอยู่บนแผ่น ขนาดของลายจะสัมพันธ์กันแบบ Polynomial หากรูที่เจาะมีเส้นแนวเส้นตรงตั้งฉากกับรู ต้องมีการคำนวณความกว้างของขนาดของลายใหม่ เนื่องจากเมื่อลดขนาดลงไป สันของรอยเจาะจะถูกบีบทำให้ลายแคบเข้าในรูเจาะ แต่เมื่อรีดจนไม่มี รูรอยเจาะ จะมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง

ความหนาของชั้นโลหะในก้อน โมกุเม่ กาเน่ ก่อนรีด สามารถคำนวณได้จากความหนาของก้อน โมกุเม่ กาเน่ ก่อนรีด กับจำนวนแผ่นโลหะที่ใช้ในการผลิตก้อน โมกุเม่ กาเน่

ความหนาของชั้นโลหะในก้อน โมกุเม่ กาเน่ หลังรีดสามารถคำนวณได้จากความหนาของก้อน โมกุเม่ กาเน่ หลังรีด กับจำนวนแผ่นโลหะที่ใช้ในการผลิตก้อน โมกุเม่ กาเน่

ความยาวรอยเจาะ ของสว่าน โดยรอยเจาะเป็นรูป V ซึ่งวัดจากความยาวของรอยเจาะ โดยจะขึ้นกับรูปร่างของรอยเจาะ หากใช้เป็นสว่านที่เจาะเป็นทรงกรวย จะสามารถคำนวณความยาวรอยเป็นแนวเส้นตรง โดยใช้สมการสามเหลี่ยม แต่หากใช้เครื่องมืออื่น เช่น สว่านเม็ดมะยม เป็นต้น ต้องคำนวณรอยเจาะ จากรูปร่างของหัวเจาะอีกครั้ง

จำนวนชั้นลายที่เจาะได้ หากได้ความหนาของชั้นโลหะในก้อน โมกุเม่ กาเน่ และทราบความลึกของปลายหัวเจาะ จะสามารถหาจำนวนชั้นลายที่เจาะ ได้ โดยในการเจาะ หากเจาะลึกเกินระยะของปลายหัวเจาะ จะเกิดสันขึ้นในรูของรอยเจาะ ซึ่งสันนั้นจะไม่ทำให้เกิดลายที่สม่ำเสมอ สูญเสียเนื้อโลหะโดยไม่ทำให้เกิดลาย และสร้างปัญหาในกระบวนการรีดเนื่องจากรอยพับได้

ขนาดของเส้นลายด้านยาวก่อน และหลังรีด ขนาดของเส้นลายที่เกิด ขึ้นกับรอยเจาะก่อนการรีด จะส่งผลต่อขนาดหรือความหนาของลายเส้น เมื่อรีดโลหะไปในความหนาที่ต้องการ

สมการคำนวณสำหรับการพยากรณ์ความสัมพันธ์ของลวดลายที่เกิดจากการเจาะของ โมกุ่ม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด จากเงินและทองแดง

ตาราง 39 แสดงสมการคำนวณสำหรับการพยากรณ์ ลวดลายจากการเจาะ ของ โมกุ่ม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด จากเงินและทองแดง

ค่า	สมการ
ความหนาแน่น(Density: ρ)	$\rho = \frac{M}{V}$
ความหนาแน่นเฉลี่ย ($\rho_{average}$)	$\rho_{average} = \frac{1}{\sum \left(\frac{P_i}{\rho_i} \right)}$
ความกว้างของแผ่นหลังรีด ช่วงที่แผ่นมีรู (X_3)	$X_3 = 0.801(2R) + X_1$
ความกว้างของแผ่นหลังรีด (X_2) ช่วงที่แผ่นเรียบ (ความกว้างของแผ่นที่ไม่เจาะจากการรีด)	$X_2 = 1.615(Z_1 - 2R - Z_2) + X_3$
ความยาวของแผ่นหลังรีด (Y_2)	$Y_2 = \frac{\rho_1 X_1 Y_1 Z_1}{\rho_2 X_2 Z_2}$
ความกว้างลายหลังรีด (W_2)	$W_2 = \frac{W_1 X_2}{X_1}$
ความยาวลายหลังรีด (L_2)	$L_2 = \frac{L_1 Y_2}{V_1}$
ความหนาของชั้นโลหะในก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ก่อน(Z_1)	$Z_1 = \frac{Z_1}{N}$
ความหนาของชั้นโลหะในก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ หลังรีด(Z_2)	$Z_2 = \frac{Z_2}{N}$

ตาราง 39 (ต่อ)

ค่า	สมการ
ความยาวรอยเจาะ ของสว่าน ($2Q$) โดยรอยเจาะเป็นรูป V	$2Q = 2 \times \sqrt{M^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}$
จำนวนชั้นลายที่เจาะได้ (r)	$r = \frac{NR}{Z_1} - 1$
ขนาดของเส้นลายด้านยาวก่อนรีด (l_1) โดยรอยเจาะเป็นรูป V	$l_1 = \frac{Q}{r}$
ความยาวของผิวของก้อน โมกู่เม่ กาน้ำ ใน แกน Y ก่อนรีดที่ผ่านการเจาะมากที่สุด (V_1)	$V_1 = \frac{Y_1}{D} \times l_1$
ขนาดของเส้นลายด้านยาวหลังรีด (l_2)	$l_2 = \frac{L_1 Y_2}{2r Y_1}$

โดย :

 ρ : ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) M : มวล (กรัม) V : ปริมาตร (ลูกบาศก์เซนติเมตร) = กว้าง x ยาว x สูง = $X \times Y \times Z$ P_i : % (w/w) ของวัสดุโดยน้ำหนัก $\rho_{average}$: ความหนาแน่นเฉลี่ย (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) ρ_i : ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) X_0 : ความกว้างของก้อน โมกู่เม่ กาน้ำ ตั้งต้น X_1 : ความกว้างของก้อน โมกู่เม่ กาน้ำ ก่อนรีด X_3 : ความกว้างของก้อน โมกู่เม่ กาน้ำ หลังรีดเมื่อมีรูเจาะบนก้อน โมกู่เม่ กาน้ำ

(ที่ตำแหน่งความลึกเป็น 2 เท่าของความลึกของรอยเจาะ)

X_2 : ความกว้างของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ หลังรีด

Y_0 : ความยาวของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ตั้งต้น

Y_1 : ความยาวของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ก่อนรีด

Y_2 : ความยาวของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ หลังรีด

V_1 : ความยาวของผิวของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ในแกน Y ก่อนรีด

Z_0 : ความหนาของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ตั้งต้น

Z_1 : ความหนาของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ก่อนรีด

Z_2 : ความหนาของก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ หลังรีด

Z_0 : ความหนาของชั้นโลหะในก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ตั้งต้น

Z_1 : ความหนาของชั้นโลหะในก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ ก่อนรีด

Z_2 : ความหนาของชั้นโลหะในก้อน โมกุ่ม่ กาเน่ หลังรีด

W_1 : ความกว้างของลายก่อนรีด

W_2 : ความกว้างของลายหลังรีด

L_1 : ความยาวของลายก่อนรีด

L_2 : ความยาวของลายหลังรีด

R : ความลึกของอุปกรณ์เจาะวัดจากขอบที่กว้างที่สุดของหัวเจาะถึงปลายหัวเจาะ

D : ความกว้างของอุปกรณ์เจาะวัดจากขอบที่กว้างที่สุดของหัวเจาะ

Q : ความยาวสันลายรอบเจาะวัดจากขอบที่กว้างที่สุดของหัวเจาะถึงปลายหัวเจาะ

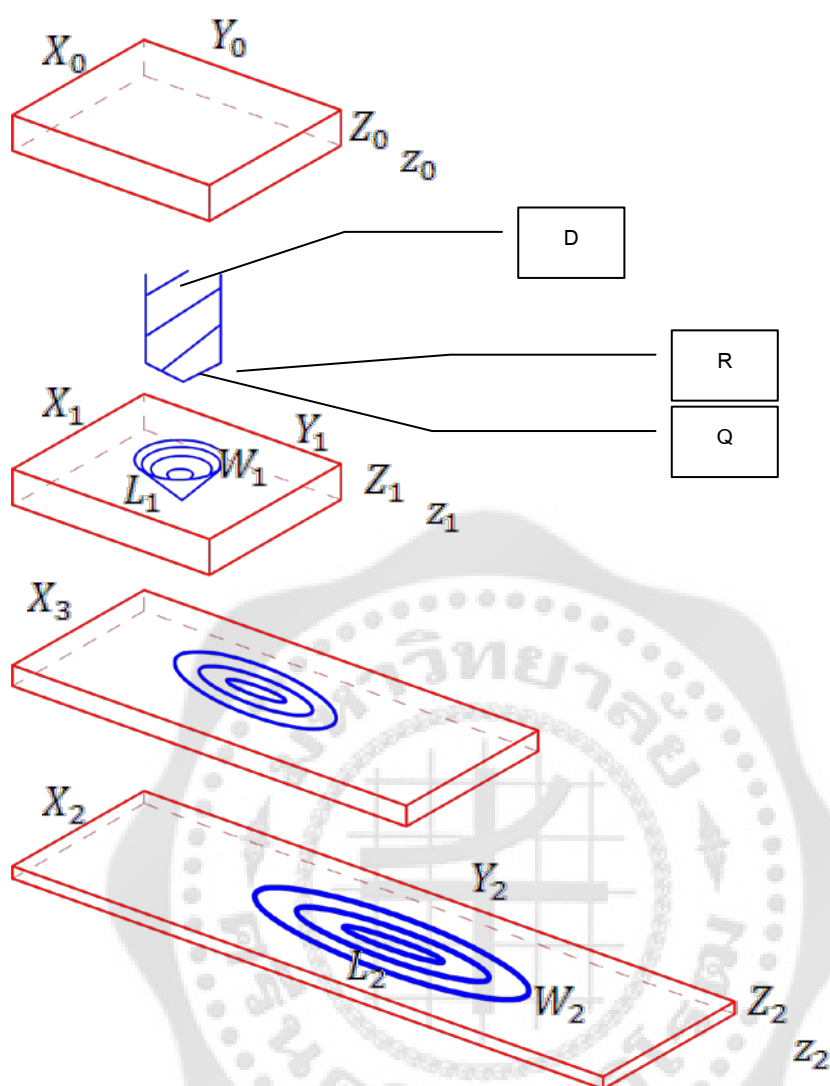
T : ความหนาของวัตถุตั้งต้น

N : จำนวนชั้นของโลหะตั้งต้น

r : จำนวนชั้นของลายที่เจาะได้

l_1 : ขนาดของเส้นลายด้านยาวก่อนรีด

l_2 : ขนาดของเส้นลายด้านยาวหลังรีด



ภาพประกอบ 40 ภาพอธิบายตำแหน่งของค่าที่ใช้ในการพยากรณ์ขนาดของลาย โมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด

จากสมการที่ได้ เพื่อการพยากรณ์ขนาดความกว้าง ความยาวของแผ่น และขนาดความกว้าง ความยาวของลวดลายโมกุเม่ กาเน่ แบบแผ่นรีด เมื่อนำค่าที่ได้จากการทดลองป้อนข้อมูลและคำนวณ โดยสมการที่ได้ ได้ผลดังตาราง 41

ตาราง 40 แสดงการเปรียบเทียบ ค่าความกว้าง ความยาวของแผ่น และความกว้าง ความยาวของลาย ที่ได้จากการพยากรณ์ กับ ค่าที่วัดได้จริง

	แผ่น	1/4.42	1/3.86	1/3.4	2/4.42	2/4.07	2/3.4
ตัวแปรพยากรณ์	ความหนาขณะเจาะ	4.42	3.86	3.40	4.42	4.07	3.40
	ความหนาสุดท้าย	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	น้ำหนักอากาศ	29.09	32.55	27.20	24.50	29.00	25.38
	น้ำหนักในน้ำ	26.04	29.16	24.34	21.92	26.00	22.67
	ความหนาแน่นจริง	9.54	9.60	9.51	9.50	9.67	9.37
	ความหนาแน่นจากคำนวณ	9.70	9.70	9.70	9.73	9.73	9.73
		1.69%	1.03%	1.98%	2.37%	0.62%	3.72%
ค่าพยากรณ์	ความกว้างของแผ่นหลังรีด (X_2)	12.39	13.28	13.03	11.62	12.62	10.74
	ความยาวของแผ่นหลังรีด (Y_2)	481.15	527.98	445.37	427.63	487.29	506.24
	ความกว้างลายหลังรีด (W_2)	6.72	6.14	7.24	6.91	6.39	5.88
	ความยาวลายหลังรีด (L_2)	36.53	35.15	26.01	35.25	35.76	31.42
	ขนาดของเส้นลายด้านยาวหลังรีด (l_2)	4.57	4.39	2.60	8.81	8.94	7.86
ค่าจากการวัด	ความกว้างของแผ่นหลังรีด (X_2)	12.97	14.33	12.23	12.47	13.6	12.63
	ความยาวของแผ่นหลังรีด (Y_2)	475.2	505	475.6	423.2	465	444.9
	ความกว้างลายหลังรีด (W_2)	6.4	4.97	5.6	6.37	6.37	5.43
	ความยาวลายหลังรีด (L_2)	33.4	30	25.8	32	31.8	23.4
ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์							
	ความกว้างของแผ่นหลังรีด (X_2)	-4.68%	-7.88%	6.16%	-7.34%	-7.75%	-17.60%
ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์							
	ความยาวของแผ่นหลังรีด (Y_2)	1.24%	4.35%	-6.79%	1.04%	4.57%	12.12%
ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์							
	ความกว้างลายหลังรีด (W_2)	4.74%	19.03%	22.62%	7.86%	0.28%	7.71%
ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์							
	ความยาวลายหลังรีด (L_2)	8.56%	14.65%	0.81%	9.23%	11.08%	25.53%

จากตาราง 40 แสดงการเปรียบเทียบ ค่าความกว้าง ความยาวของแผ่น และความกว้าง ความยาวของลาย ที่ได้จากการพยากรณ์ กับ ค่าที่วัดได้จริง พบว่าสมการพยากรณ์ขนาด ยังไม่สามารถคำนวณค่าได้ตรงตามขนาดที่วัดได้จริง โดยมี ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ความกว้างของแผ่นหลังรีด (X_2)ระหว่าง -17.60% ถึง 6.16%ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ความยาวของแผ่นหลังรีด (Y_2)ระหว่าง -6.79% ถึง 12.12%ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ความกว้างลายหลังรีด (W_2)ระหว่าง 0.28% ถึง 22.62%ความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ความยาวลายหลังรีด (L_2)ระหว่าง 0.81% ถึง 25.53%ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

1. การออกแบบโลหะ โมกุ่ม กานะ ต้องอบให้ติดกันให้แน่น เพื่อไม่ให้มีฟองก๊าซ แทรกอยู่ในระหว่างชั้นผิวของโลหะ ซึ่งฟองก๊าซ ไม่ว่าจะเล็กหรือใหญ่ จะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของก้อน โมกุ่ม กานะ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ และฟองก๊าซที่อยู่ด้านในก้อน โมกุ่ม กานะ จะไม่สามารถเอาออกได้ชั้นได้ด้วยวิธีการอบ จำเป็นต้องประยุกต์ด้วยการตัดและทำลวดลายตรงส่วนนั้นใหม่
2. การทำลวดลาย ด้วยกระบวนการเจาะ ถาก หรือ เซาะร่อง ที่จะเป็นการตัดเนื้อผิว เนื้อของโลหะออก ควรทำในปริมาณเท่าๆ กันทั่วทั้งก้อน เพื่อให้เกิด การแผ่ได้สม่ำเสมอ ไม่มีจุดสะสมความเครียดเมื่อมีการรีด ที่จะทำให้ก้อน โมกุ่ม กานะ แตกระหว่างการรีด
3. การขึ้นรูปชิ้นงานจากเทคนิค โมกุ่ม กานะ แบบแผ่นรีด สามารถ พัฒนาการขึ้นรูปเครื่องประดับได้หลากหลายรูปแบบ ควรนำไปพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าและใช้ประกอบกับเครื่องประดับหรือเครื่องโลหะอื่นๆ เช่น งานโลหะทางศิลปะของไทย
4. การเกิดลายของเทคนิค โมกุ่ม กานะ ยังมีอีกหลากหลายวิธีที่ใช้ในการสร้างลาย หากสามารถศึกษาเทคนิคใหม่ๆ ในการผสมผสานติดด้วยกระบวนการแพร่แบบ โมกุ่ม กานะ จะช่วยให้สามารถสร้างลวดลายได้หลากหลาย
5. โลหะที่ใช้ในการผลิตลวดลายด้วยเทคนิค โมกุ่ม กานะ ยังใช้โลหะมีค่า เช่น ทอง พลาเดียม เงิน เป็นต้น ซึ่งยังมีราคาค่อนข้างสูง หากสามารถใช้โลหะ ทดแทนโลหะมีค่า จะสามารถสร้างทางเลือกและเพิ่มความหลากหลายของสินค้าจากเทคนิค โมกุ่ม กานะ ได้มากขึ้น
6. นอกจากต้นทุนในการผลิตลวดลายของเทคนิค โมกุ่ม กานะ จะสูงแล้ว ยังมีต้นทุนในการประกอบ และแต่งเครื่องประดับที่ใช้ลวดลายจากเทคนิค โมกุ่ม กานะ ยังสูงด้วย หากสามารถหาวิธีลดต้นทุนทั้งจากกระบวนการผลิตลาย และกระบวนการประกอบลายกับเครื่องประดับ จะสามารถทำให้ราคาสินค้าของสินค้าลดลงได้



บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- 1) Kageeporn Wongpreedee, Prasarn Jiambutr, Tipsuda Sathukijchai, Panphot Ruethaitananon ,
“Mokume Gane Processes as a Mass Production in Jewelry Industry” The 3rd
International Gem & Jewelry Conference (GIT2012) December 12-16, 2012, Bangkok
Thailand and Pailin Cambodia.
- 2) James E. Binnion, Old Process, “New Technology: Modern Mokume Gane”. James Binnion
Metal Arts , Bellingham, WA, USA (2002)
- 3) O'DUBHGHAILL, C. and JONES, A. H. “Japanese irogane alloys and patination” (Sheffield
Hallam University, 2009)
- 4) Ian Ferguson. (2002). *Mokume Gane*. Pp 12, 86, 11, 63, 64, 78, 99
- 5) James E. Binnion. (n.d.). *Mokume-Gane Workshop*. Retrieved September 26 , 2014 from
<http://www.artmetal.com/project/TOC/proces/forgemokume01.html>
- 6) Method for producing a semi-finished part for mokume gane jewelry. Patent : WO
2010118820 A1 (October 2009)
- 7) Hiroko Sato Pijanowski & Gene Michael Pijanowski. Wood Grained Metal: Mokume-Gane.
Retrieved September 26, 2014. from <http://www.silversmithing.com/1mokume.htm>

ภาคผนวก



เลือกเครื่องชั่งน้ำหนัก เพื่อใช้ในการทดลอง



ภาพประกอบ 41 เครื่องชั่งในการทดลอง

เครื่องชั่งในการทดลองใช้เครื่องชั่งน้ำหนักระบบดิจิทัล

1. เครื่องชั่ง 1000 กรัม ความละเอียด 0.05 กรัม
2. เครื่องชั่ง 200 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม
3. เครื่องชั่ง 500 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม

วิธีการทดลองเพื่อตรวจสอบเครื่องชั่งน้ำหนัก

1. เตรียมแผ่นโลหะมาตรฐานทองแดง 100% จำนวน 8 แผ่นค่าความหนาแน่น 8.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
2. เตรียมแผ่นโลหะมาตรฐานโลหะเงินบริสุทธิ์ จำนวน 4 แผ่นค่าความหนาแน่น 10.49 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
3. ชั่งน้ำหนักแผ่นโลหะมาตรฐานทุกแผ่นด้วยเครื่องชั่งทั้ง 3 เครื่องในอากาศ
4. ชั่งน้ำหนักแผ่นโลหะมาตรฐานทุกแผ่นด้วยเครื่องชั่งทั้ง 3 เครื่องในน้ำ
5. คำนวณหาค่าความหนาแน่นของโลหะมาตรฐานทุกแผ่น
6. หาค่าเฉลี่ยของแผ่นโลหะมาตรฐานทองแดง 100%
7. หาค่าเฉลี่ยของแผ่นโลหะมาตรฐานเงินบริสุทธิ์
8. เลือกเครื่องชั่งที่มีค่าเฉลี่ยความหนาแน่นทองแดงใกล้เคียงกับ 8.96 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และ ความหนาแน่นเงินใกล้เคียงกับ 10.49 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มากที่สุด

จากการตรวจสอบเครื่องชั่งน้ำหนักทั้ง 3 เครื่องพบว่าเครื่องชั่งขนาด 500 กรัมที่มีความละเอียด 0.01 กรัม สามารถชั่งน้ำหนักในน้ำและในอากาศเพื่อตรวจสอบค่าความหนาแน่นได้ใกล้เคียงกับความหนาแน่นมาตรฐานเลือกใช้เครื่องชั่งขนาด 500 กรัมที่มีความละเอียด 0.01 กรัมในการบันทึกน้ำหนักจากผลการทดลองและต้องมีการ ปรับตั้งค่าด้วยตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน เพื่อปรับเทียบ น้ำหนักมาตรฐานเครื่องชั่งด้วยตุ้มน้ำหนักขนาด 500 กรัมทุก ๆ การชั่ง 5-10 ครั้งและในการชั่งน้ำหนักในอากาศ และการชั่งน้ำหนักในน้ำควรมีการชั่ง 2-3 ครั้งเพื่อตรวจสอบค่าน้ำหนักว่ามีการคลาดเคลื่อนหรือไม่ก่อนการบันทึกน้ำหนักทุกครั้ง

ตาราง 41 ผลการชั่งน้ำหนักทองแดงในอากาศ และในน้ำ เพื่อหาค่าความหนาแน่นของทองแดง ของเครื่องชั่งน้ำหนักในการทดลอง

		แผ่นโลหะที่ใช้ทดสอบ				เครื่องชั่ง 1000 กรัม ความละเอียด 0.05 กรัม			เครื่องชั่ง 200 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม			เครื่องชั่ง 500 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม		
โลหะ	ค่าความหนาแน่นมาตรฐาน	ลำดับที่	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	หนา (mm)	น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	ความหนาแน่น (g/cm^3)
ทองแดง	8.96	1	5.02	5.02	3.07	71.3	63.1	8.7	71.48	63.47	8.92	71.44	63.49	8.99
ทองแดง	8.96	2	5.02	5.02	2	45.9	40.9	9.18	46.06	40.96	9.03	46.03	40.92	9.01
ทองแดง	8.96	3	5.02	5.02	1	23.1	20.55	9.06	23.1	20.5	8.88	23.26	20.64	8.88
ทองแดง	8.96	4	5.02	5.02	1	23.05	20.4	8.7	23.08	20.48	8.88	23.13	20.51	8.83
ทองแดง	8.96	5	3.8	3.8	1	12.9	11.35	8.32	13.03	11.57	8.92	13.02	11.58	9.04
ทองแดง	8.96	6	3.8	3.8	1.01	13.15	11.65	8.77	13.07	11.63	9.08	13.07	11.61	8.95
ทองแดง	8.96	7	3.8	3.8	1	12.9	11.55	9.56	12.95	11.52	9.06	12.94	11.48	8.86
ทองแดง	8.96	8	3.8	3.8	1	12.9	11.5	9.21	12.99	11.56	9.08	12.99	11.56	9.08
		เฉลี่ย							8.94				8.98	8.96

ตาราง 42 ผลการชั่งน้ำหนักเงินในอากาศ และในน้ำ เพื่อหาค่าความหนาแน่นของเงิน ของเครื่องชั่งน้ำหนักในการทดลอง

		แผ่นโลหะที่ใช้ทดสอบ				เครื่องชั่ง 1000 กรัม ความละเอียด 0.05 กรัม			เครื่องชั่ง 200 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม			เครื่องชั่ง 500 กรัม ความละเอียด 0.01 กรัม		
โลหะ	ค่าความหนาแน่นมาตรฐาน	ลำดับที่	กว้าง (mm)	ยาว (mm)	หนา (mm)	น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	น้ำหนักชั่งในอากาศ (กรัม)	น้ำหนักชั่งในน้ำ (กรัม)	ความหนาแน่น (g/cm^3)
เงิน 100%	10.49	9	3.8	3.8	0.97	13.5	12.25	10.8	13.53	12.25	10.57	13.54	12.24	10.42
เงิน 100%	10.49	10	3.8	3.8	0.98	13.55	12.25	10.42	13.66	12.34	10.35	13.64	12.33	10.41
เงิน 100%	10.49	11	3.8	3.8	0.98	13.55	12.2	10.04	13.63	12.35	10.65	13.62	12.32	10.48
เงิน 100%	10.49	12	3.8	3.8	0.97	14.1	12.85	11.28	14.33	12.97	10.54	14.32	12.99	10.77
		เฉลี่ย							10.64				10.53	10.52



ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายสุรชัย พรสมิทธิกุล SURACHAI PHORNSMITHIKUL
วันเดือนปีเกิด	29 กันยายน 2522
สถานที่เกิด	ต.ทุ่งยาว อ.ปะเหลียน จ.ตรัง
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท สมิทธิ จิวเวลรี่ จำกัด D304 ชั้น 3 ดีโอล์ด์ สยามพลาซ่า แขวงวังบูรพาภิรมย์ เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200
E-mail	SmithiJewelry@hotmail.com , Ponk35@yahoo.com
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2540	ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จาก โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย ตรัง
พ.ศ. 2544	ระดับปริญญาตรีบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชาเอกคอมพิวเตอร์ธุรกิจ จาก มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
พ.ศ. 2549	ระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาการจัดการ แขนงบริหารธุรกิจ วิชาเอกการตลาด จาก มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
พ.ศ. 2551	ระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาการจัดการ แขนงบริหารธุรกิจ วิชาเอกการจัดการทั่วไป จาก มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช
พ.ศ. 2558	ระดับปริญญาโทวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอัญมณี และเครื่องประดับ จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ