บทที่ 5
การปรับปรุงเพื่อลดงานทำซ้ำในโรงงานตัวอย่าง

การแก้ปัญหาสำหรับแผนกหล่อตัวเรือน

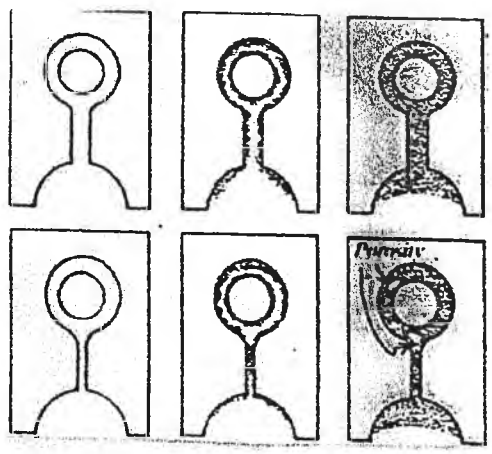
จากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพชิ้นงานสำหรับการหล่อตัวเรือน จึงได้ทำการควบคุม, กำหนดวิธีในการทำงาน และ กำหนดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการหล่อตัวเรือน ตามปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

การทำแม่พิมพ์และการต่อเดือย

ขนาดและตำแหน่งเดือยที่เหมาะสมเป็นส่วนสำคัญที่จะมีผลต่อคุณภาพของงานหล่อ ความหนาของเดือยที่เหมาะสมอย่างน้อยจะต้องหนาเท่ากับความหนาของชิ้นงานหล่อ ในกรณีที่ขนาดเดือยบางกว่าจะเกิดการแข็งตัวก่อนชิ้นงานหล่อและตัดการไหลของน้ำโลหะเหลวไปยัง ชิ้นงานหล่อจะทำให้เกิดรูพรุนในบริเวณที่น้ำโลหะเหลวไปไม่ถึง

ขนาดเดือยเหมาะสม แหวนจะแข็งตัวก่อน (หรือในเวลาเดียวกันกับทางเดือย)

ขนาดเดือยไม่เหมาะสมหรือส่วนบางของแหวน ขณะแข็งตัวจะตัดการไหลของน้ำโลหะไปยังส่วนที่หลอมเหลวอยู่ผลที่เกิดขึ้นคือรู

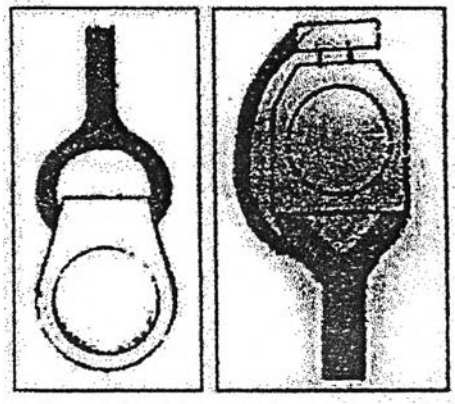


รูปที่ 5.1 แสดงขั้นตอนการแข็งตัวของโลหะ

จากรูปที่ 5.1 ด้านบนแสดงให้เห็นถึงการแข็งตัวของแหวนที่เกิดขึ้นก่อนหรือในเวลาเดียวกันกับเดือย ส่วนรูปด้านล่างแสดงให้เห็นถึงขนาดเดือยที่ไม่เหมาะสม เดือยแหวนจะแข็งตัวก่อนแหวนตัดการส่งน้ำโลหะเหลวไปยังแหวนทำให้เกิดรูพรุนจากการหดตัวขึ้น

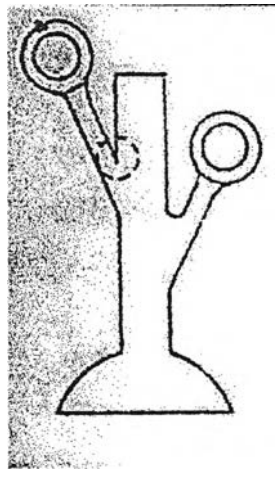
ตำแหน่งของเดือยจะต้องต่อกับส่วนที่มีน้ำหนักมากที่สุดของชิ้นงานหล่อ ในกรณีที่น้ำโลหะเหลวไหลผ่านหน้าตัดบาง ๆ ก่อนถึงหน้าตัดที่หนักกว่าจะทำให้บริเวณหน้าตัดที่บางเกิดการ

แข็งตัวก่อนตัดการส่งน้ำโลหะเหลวก่อนเวลาอันควร ในกรณีที่ชิ้นงานหล่อมีความหนามากให้พิจารณาการใช้เดือยหลายเดือยตามรูปที่ 5.2

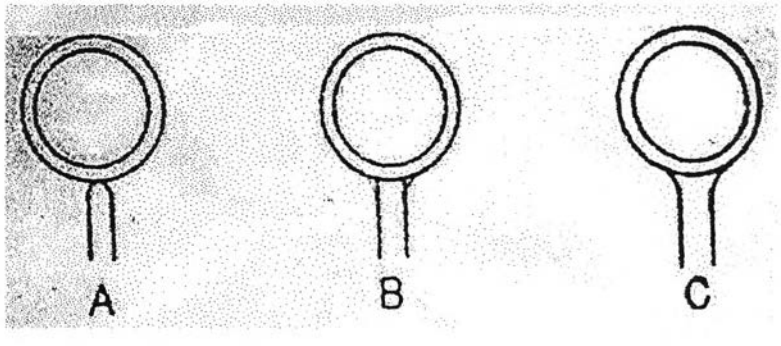


รูปที่ 5.2 แสดงการต่อเดือยหลายเดือยกับชิ้นงาน

หลีกเลี่ยงการใช้มุมแหลมบริเวณจุดที่เชื่อมต่อกับต้นเทียน โดยถ้าจุดที่เชื่อมต่อกับต้นเทียนมีความโค้งมนจะป้องกันเศษรูปหล่อแตกหลุดเข้าไปในชิ้นงานหล่อได้ ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 แสดงการต่อเดือยกับต้นเทียน



รูปที่ 5.4 แสดงความผิดพลาดที่พบโดยสม่ำเสมอในรูป A และ B ส่วนรูป C เป็นการต่อเดือยที่ถูกต้อง

รูปที่ 5.3 แสดงให้เห็นถึงการต่อเดือยของแหวนด้านซ้ายมือกับต้นเทียนที่ไม่ถูกต้อง ส่วนด้านขวามือแสดงการเชื่อมต่อกับต้นเทียนอย่างถูกวิธี

รูปที่ 5.4 แสดงให้เห็นถึงข้อผิดพลาดที่พบอยู่เสมอ โดยรูปที่ A แสดงให้เห็นถึงเดือยที่มีคอคอด จะมีการแข็งตัวอย่างรวดเร็วบริเวณคอซึ่งจะตัดการส่งน้ำโลหะเหลวไปยังชิ้นงานส่วนที่เหลือถึงแม้ว่าคอคอดจะทำหน้าที่คล้ายหัวฉีด เดือยในรูปที่ B จะมีการต่อเดือยเข้ากับชิ้นงานหล่อมีรูปตัดเป็นสี่เหลี่ยมจะทำให้การไหลของน้ำโลหะเข้าไปในแบบหล่อเรียบขึ้น เทคนิคการต่อเดือยที่ถูกต้องแสดงดังรูปที่ C จะมีจุดต่อเป็นรูปโค้งเข้ากับชิ้นงานหล่อซึ่งจะทำให้น้ำโลหะไหลเข้าสู่ชิ้นงานหล่อสะดวก ไม่เกิดการไหลวกวนหรือพลุ่งพล่านขึ้น

สำหรับโรงงานตัวอย่างได้มีการทดลองเพื่อปรับปรุงขนาดและตำแหน่งของเดือยที่เหมาะสมกับชิ้นงานมาตลอด แต่ไม่ได้มีการจัดทำเป็นมาตรฐาน เมื่อมีชิ้นงานแบบใหม่เข้ามาจะใช้ประสบการณ์ของผู้รับผิดชอบเป็นหลักในการกำหนดขนาดและตำแหน่งของเดือย ก่อให้เกิดความยุ่งยากเนื่องจากถ้าทางเดือยที่กำหนดขึ้นมาใหม่ไม่เหมาะสมกับขนาดและรูปร่างของชิ้นงานจะก่อให้เกิดของเสียเป็นจำนวนมาก และต้องกำหนดทางเดือยใหม่ขึ้นมาเพื่อทำแม่พิมพ์ จากนั้นจะนำไปทดลองผลิตอีกครั้ง จนกว่าของเสียที่เกิดขึ้นจะอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้จึงจะกำหนดใช้ทางเดือยนั้นต่อไป ดังนั้นการจัดทำมาตรฐานเพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดทางเดือยที่เหมาะสมสำหรับชิ้นงานแต่ละแบบ จึงเป็นสิ่งที่จำเป็น และสามารถลดจำนวนงานทำซ้ำลงได้

การกำหนดทางเดือยนั้น จะพิจารณาจาก 2 ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง คือ น้ำหนักและรูปร่างของชิ้นงาน ถ้าน้ำหนักชิ้นงานมากกว่า 5 กรัม จะใช้ทางเดือยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ซึ่งถือว่าเป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่ที่สุด เนื่องจากว่าหากใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่านี้จะทำให้การตัดชิ้นงานออกจากต้นซ่อทำได้ลำบาก สำหรับชิ้นงานที่มีน้ำหนักต่ำกว่า 4 กรัม จะใช้ทางเดือยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร และจะทำเดือยโค้งเข้าสู่ชิ้นงาน เพื่อที่เวลาน้ำโลหะไหลเข้าสู่ชิ้นงานจะได้ไม่เกิดแรงกระแทกต่อชิ้นงานมากเกินไป

สำหรับรูปร่างของชิ้นงานนั้น ถ้าชิ้นงานมีขนาดใหญ่ จะต้องเพิ่มจำนวนทางเดือยขึ้นเพื่อให้น้ำโลหะสามารถไหลเข้าสู่ชิ้นงานได้ทุกจุด และเลือกที่จะให้ทางเดือยไหลเข้าสู่บริเวณที่มีความหนาหรือใกล้บริเวณลวดลายที่ชิ้นงานจะไม่เต็มได้ง่าย ถ้าชิ้นงานมีขนาดเล็กสามารถใช้ทางเดือยเดียวต่อโค้งเข้าสู่ชิ้นงานได้เลย

ทางเดือยที่เหมาะสมสามารถแยกตามประเภทของผลิตภัณฑ์ ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงลักษณะทางเดือยที่เหมาะสมแยกตามประเภทผลิตภัณฑ์

ประเภทผลิตภัณฑ์	ลักษณะของทางเดือย
แหวน	- แหวนที่มีขนาดเล็กทางเดือยจะต่อเป็นทางตรงออกมาจากตัวเรือน - แหวนขนาดปานกลางขึ้นไปที่มีลวดลายรอบวง ทางเดือยรูปตัว "ยู" จะต่อออกมาจากขอบด้านข้างของแหวนสองข้าง โดยที่ทางเดือย 2 ทาง จะอยู่ในแนวเดียวกัน ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ทางเดือยมีผลกระทบต่อลวดลายของแหวน - แหวนขนาดปานกลางขึ้นไปที่ไม่มีลวดลายรอบวง สามารถต่อทางเดือยรูปตัว "ยู" ออกมาจากตัวเรือนบริเวณที่ไม่มีลวดลายได้เลย และ ถ้าชิ้นงานมีความหนามาก ควรเลือกต่อทางเดือยออกมาจากบริเวณของชิ้นงานที่มีความหนามากกว่าบริเวณอื่น หมายเหตุ ทางเดือยรูปตัว "ยู" แต่ละทางเดือยจะห่างกันประมาณ 1 cm. – 2 cm. ขึ้นอยู่กับขนาดของแหวน แหวนขนาดใหญ่ ทางเดือยจะห่างกันมากกว่าแหวนขนาดเล็ก
ต่างหู	- ชิ้นงานขนาดเล็กจะต่อทางเดือยเชื่อมต่างหูติดกันชิ้นละ 2 คู่ ทางเดือยเป็นรูปตัว "ไอ" - ชิ้นงานขนาดปานกลางขึ้นไปจะต่อทางเดือยเชื่อมต่างหูติดกันชิ้นละ 1 คู่ ทางเดือยเป็นรูปตัว "วี"
จี้	- ชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก ใช้ทางเดือยต่อตรงเข้าสู่ชิ้นงาน - ชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมตันหรือเป็นแผ่นบาง ทางเดือยเป็นรูปเกาะก้านร่มออกจากด้านหลังของชิ้นงาน - ชิ้นงานยาวแต่เป็นสี่เหลี่ยมตัน ทางเดือยเป็นรูปเกาะก้านร่มเข้าสู่ชิ้นงาน 2 ทาง - ชิ้นงานที่มีลวดลายโดยรอบ ทางเดือยเป็นรูปเกาะก้านร่ม 2 ทาง ต่อออกมาจากขอบของชิ้นงาน - ชิ้นงานที่มีส่วนประกอบอื่น ๆ จะต่อทางเดือยเป็นรูปตัว "วี" เชื่อมระหว่างชิ้นงานและส่วนประกอบ - ชิ้นงานลักษณะอื่น ๆ จะใช้เดือยรูปตัว "ยู"

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงลักษณะทางเดือยที่เหมาะสมแยกตามประเภทผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

ประเภทผลิตภัณฑ์	ลักษณะของทางเดือย
เข็มกลัด	- ชิ้นงานที่มีลักษณะบาง สามารถต่อทางเดือยตรงเข้าสู่ชิ้นงานได้ - ชิ้นงานที่มีส่วนประกอบอื่น ๆ จะต่อทางเดือยเป็นรูปตัว "วี" เชื่อมระหว่างชิ้นงานและส่วนประกอบ - ชิ้นงานลักษณะอื่น ๆ จะใช้ทางเดือยรูปตัว "ยู" ความห่างของทางเดือยขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงาน
อื่น ๆ	- ทางเดือยรูปตัว "ยู" ความห่างของทางเดือย ขึ้นกับความกว้างของชิ้นงาน

หมายเหตุ ถ้าชิ้นงาน หนา หรือมีขนาดใหญ่มาก ๆ สามารถเพิ่มจำนวนทางเดือยได้อีกตามความเหมาะสม (รูปแสดงลักษณะทางเดือยที่เหมาะสมสำหรับงานแต่ละประเภทแสดงดังภาคผนวก ข)

นอกจากนี้ก่อนการหล่อโลหะ จะต้องตรวจสอบแม่พิมพ์ทั้งหมดดูว่ามีรายละเอียดทางด้านคุณภาพสินค้าครบถ้วนหรือไม่

1. ชิ้นงานโลหะจะต้องถูกตรวจสอบ ดังนี้
   - ไม่มีรอยไหม้หรือรอยคล้ำ (Firescale and burn)
   - ไม่มีรู และ ตามด (Porosity and pinholes)
   - ไม่มีรอยผ่าพิมพ์ (Parting lines)
   - ไม่มีรอยบุ๋ม (Sinks or dimples)
   - ไม่มีรอยขรุขระแบบผิวส้ม (Orange peel)
   - ไม่มีตุ่มโลหะจากฟองอากาศ (Filled air bubbles)
   - ไม่มีรอยด่าง (Stains)
   - ไม่มีรอยฝ้าขาว (Haze or dull film)
2. ชิ้นงานจะต้องไม่แตกร้าว (Stress cracking)
3. ชิ้นงานตรงส่วนที่เป็นสัน, ขอบ หรือ เส้นลวด จะต้องสม่ำเสมอ ไม่เป็นคลื่น หรือหยักเป็นฟันปลา โดยเฉพาะแนวที่ผ่าทางลมของยาง
4. ทุกส่วนทุกซอกจะต้องไม่มีเศษปูนติดค้าง

การหล่อปูน (INVESTING)

การหล่อปูนที่ถูกต้องและเหมาะสมขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของชนิดของปูนที่ใช้ สำหรับโรงงานตัวอย่างใช้ปูนของบริษัท JPL (JEWELRY PLASTER LTD.) ซึ่งผลิตปูนหล่อ (Investment Powders) สำหรับงานหล่อที่ไม่ใช่เหล็ก และงานหล่อเครื่องประดับเงิน ผลิตภัณฑ์ที่โรงงานตัวอย่างใช้ในปัจจุบัน คือ

ซิลค์แคสป้ายเหลือง (SILK CAST YELLOW LABEL)

วัตถุประสงค์ทั่วไป ใช้กับการหล่อเครื่องประดับ หรือ การหล่อเงิน , ทองเหลือง หรือ ทองบรอนซ์ โดยมีการกำหนดและออกแบบการผลิตเพื่อลดการเกิดการขยายตัวหรือหดตัวอย่างรวดเร็วเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (THERMAL SHOCK) ในรอบของการให้ความร้อน และขณะให้เย็นตัวลง ความแข็งแรงดีมาก สามารถใช้กับโลหะทุกชนิดรวมถึงทอง 22 K เหมาะสำหรับรูปปั้นขนาดใหญ่ หรืองานลวดลายเส้นละเอียด

สำหรับปูนซิลค์แคสป้ายเหลืองที่โรงงานตัวอย่างใช้นั้น มีข้อกำหนดเกี่ยวกับขั้นตอนการผสมปูนที่จำเป็นต้องปฏิบัติตามอย่างเคร่งครัด เพื่อคุณภาพที่ดีของชิ้นงานหล่อ มีดังนี้

1. ผสมปูนในอัตราส่วน ปริมาณน้ำ 600 CC / 1 เบ้า และ ปูน 1,560 กรัม / 1 เบ้า
2. ผสมปูนโดยใช้มือภายใน 30 วินาที เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีผงปูนติดที่ภาชนะ
3. ผสมปูนด้วยเครื่อง ใช้เวลา 3 นาที
4. ดูดอากาศออกจากส่วนผสมในภาชนะเป็นเวลา 1.5 นาที
5. เทส่วนผสมลงในกระบอก และดูดอากาศออกเป็นเวลา 1.5 – 2 นาที
6. ทิ้งเบ้าไม่ให้ได้รับการกระทบกระเทือนเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ห้ามไม่ให้ขยับหรือเคลื่อนย้ายเบ้าขณะทำการเซ็ตตัว
7. ดึงฐานยางออก พร้อมทั้งขูดแต่งปูนส่วนที่เกินออก และนำเบ้าเข้าเตาอบ

เมื่อนำข้อกำหนดของการผสมปูนนี้มาใช้กับโรงงานตัวอย่างซึ่งมีเครื่องสำหรับทำการผสมปูน จึงมีการกำหนดเป็นขั้นตอนของการหล่อปูนดังนี้

1. ล้างต้นเทียนด้วยน้ำยาล้างคราบไขมันเพื่อทำความสะอาด และเป่าให้แห้ง
2. นำต้นเทียนใส่ลงในเบ้าสแตนเลส แล้วครอบเบ้าด้วยยางเพื่อป้องกันไม่ให้ปูนล้นออกนอกเบ้า
3. นำเบ้าใส่เครื่องหล่อปูน (1 ครั้ง สามารถ หล่อได้ 8 เบ้า)
4. ผสมปูนในอัตราส่วน ปริมาณน้ำ 600 CC / 1 เบ้า (น้ำที่ใช้จะผ่านการกรองโดยเครื่องกรองน้ำ เพื่อป้องกันสิ่งสกปรก) และ ปูน 1,560 กรัม / 1 เบ้า (ปูนยี่ห้อ JPL รุ่นป้าย

เหลือง) เปิดสวิตช์ให้เครื่องผสมปูนทำงาน และ เปิดสวิตช์ดูดอากาศ พร้อมทั้งหมุนสวิตช์สั่นสะเทือนไปที่ 30% เพื่อไล่อากาศออกจากปูนที่ผสมแล้ว

5. เปิดวาล์วเพื่อให้ปูนที่ผสมเสร็จแล้วลงไปในเบ้า จากนั้นทำการตรวจสอบว่าปูนลงเต็มทุกเบ้าหรือไม่ ถ้าไม่เต็มให้เติมปูนที่เหลือลงให้เต็มเบ้าพร้อมกับปรับสวิตช์สั่นสะเทือนไปยังตำแหน่ง 100% ทิ้งไว้ 3 นาที เพื่อให้อากาศออกมานอกเบ้าได้มากขึ้น
6. ยกเบ้าปูนออกจากเครื่องผสมปูน พักไว้ 60 นาที เพื่อให้ปูนเซ็ตตัว (สังเกตได้จากถ้าปูนแห้งสนิทจะไม่ติดมือ)
7. ถอดยางที่ครอบเบ้าออก แล้วขูดปูนที่ติดตามขอบและส่วนที่เกินออก
8. ดึงฐานยางออก แล้วรอนำเบ้าเข้าเตาอบ

การอบเบ้า (BURNOUT)

การอบเบ้าจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งนอกเหนือจากการหล่อปูนที่ขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของปูนแต่ละประเภท สำหรับในการอบเบ้าโดยใช้ปูนซิลค์แคสนี้ มีข้อกำหนดซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นขั้นตอนการละลายเทียน และขั้นตอนการอบเบ้า ดังนี้

<u>ขั้นตอนการละลายเทียน</u>

ปูนซิลค์แคส สามารถใช้วิธีการละลายเทียนได้ 2 กรณี คือ การอบ และการใช้ไอน้ำ กฎโดยทั่วไป คือ เบ้าขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการละลายเทียนนานกว่าเบ้าขนาดเล็ก การละลายเทียนโดย การอบควรอบในเตาที่อุณหภูมิ 175 – 200 °C ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเบ้า สำหรับโรงงานตัวอย่างใช้เบ้าขนาด 6″ x 4″ ซึ่งควรใช้เวลาในการอบเท่ากับ 3 ชั่วโมงจึงจะถือว่าเหมาะสม และในกรณีที่ใช้ไอน้ำจะใช้เวลา 2 ชั่วโมง จึงจะเหมาะสม

<u>ขั้นตอนการอบเบ้า</u> มีข้อกำหนดต่าง ๆ ดังนี้

<u>รอบของการอบ</u>

รอบของการอบจะขึ้นอยู่กับขนาดของเบ้าเป็นปัจจัยสำคัญ เบ้าที่มีขนาดใหญ่กว่าปริมาณเทียนภายในมากกว่า จะต้องใช้เวลาในการอบที่ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ สำหรับเบ้าขนาด 6″ x 4″ จะใช้เวลาในการอบประมาณ 7 ชั่วโมง รวมทั้งเตาอบจะต้องมีการระบายอากาศที่ดีเพื่อที่จะทำให้ การอบสะอาด ถ้าภายหลังการอบ เบ้ายังคงเป็นสีเทา เนื่องจากคาร์บอนที่ตกค้างจากเทียนรวมตัวกับออกซิเจนในอากาศ กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และจากนั้นจะหนีผ่านรูของปูน

หล่อออกมา จะต้องเพิ่มปริมาณอากาศเข้าไปในเตาอบ ห้ามเพิ่มอุณหภูมิ เนื่องจากจะเป็นสาเหตุของการทำความเสียหายให้ปูนหล่อ

ภายหลังจากการอบสมบูรณ์ เบ้าจะถูกทิ้งให้เย็นลงถึงอุณหภูมิหล่อ เบ้าหล่อสามารถหล่อโดยวิธีการหล่อเหวี่ยงหรือหล่อสุญญากาศ

หมายเหตุ ห้ามไม่ให้อุณหภูมิของเตาอบสูงเกินกว่า 750 °C

จากข้อกำหนดต่าง ๆ เหล่านี้ จึงกำหนดขั้นตอนการละลายเทียน และขั้นตอนการอบเบ้าที่เหมาะสม ที่จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายแก่ปูนหล่อ ดังนี้

1. นำเบ้าปูนที่ทำการหล่อปูนแล้วเข้าเตานึ่งเพื่อละลายเทียนโดยการใช้ไอน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นตรวจเบ้าปูนว่าเทียนละลายออกหมดหรือยัง ถ้ายังไม่หมดให้อบต่อไปอีกจนกว่าเทียนจะหลอมหมด
2. นำเบ้าปูนเข้าเตาอบและตั้งอุณหภูมิที่ 250 °C ใช้เวลาในการอบเบ้า 1 ชั่วโมง
3. ปรับอุณหภูมิของเตาอบขึ้นไปที่ 750 °C และอบเบ้าที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. ลดอุณหภูมิเตาลงมาที่อุณหภูมิเบ้าที่ต้องการ (โดยปกติใช้อุณหภูมิที่ 550 °C) และอบเบ้าเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นอบเบ้าทิ้งไว้จนกว่าจะนำเบ้าไปทำการหล่อ
5. นำเบ้าปูนไปทำการหล่อด้วยเครื่องหล่อสุญญากาศ

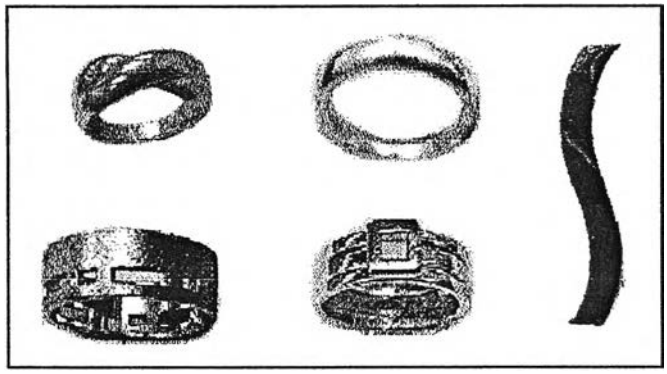
หมายเหตุ จำนวนเบ้าสำหรับการอบเบ้าปูนแต่ละครั้งต้องไม่เกิน 16 เบ้า

สำหรับปัจจัยที่เหลือ 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิเทน้ำโลหะ อุณหภูมิแบบหล่อ และ เวลาในการดูดอากาศนั้น จะดำเนินการแก้ไขโดยการออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละปัจจัย ซึ่งรูปแบบของการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) มีดังนี้

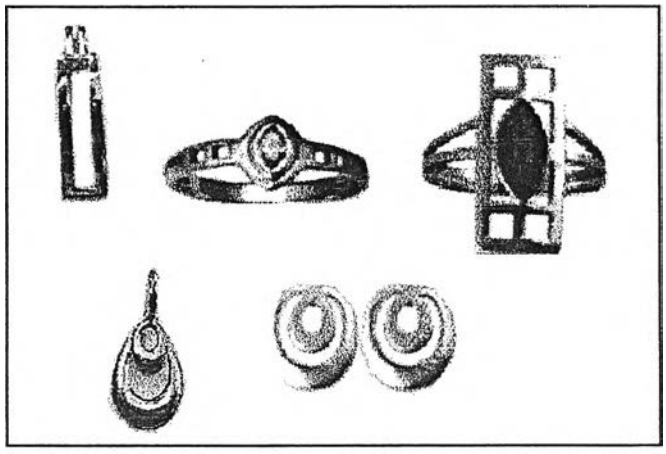
ปัจจัยที่ 1 อุณหภูมิเทน้ำโลหะ (°C) = แฟคเตอร์ A
ปัจจัยที่ 2 อุณหภูมิแบบหล่อ (°C) = แฟคเตอร์ B
ปัจจัยที่ 3 เวลาในการดูดอากาศ (วินาที) = แฟคเตอร์ C

โดยจะทำการแบ่งช่วงของระดับปัจจัยแต่ละปัจจัยของเครื่องประดับชนิดต่าง ๆ ตามความหนาของเครื่องประดับ ดังนี้

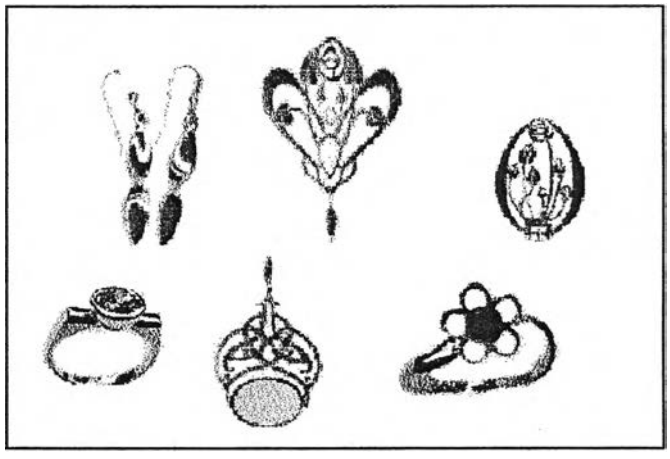
1. ลักษณะหนา มีขนาดใหญ่ ชิ้นงานหนา และ ไม่มีลวดลายเล็ก ๆ หรือ ซอกมุม
2. ลักษณะปานกลาง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ ไม่มีลวดลายและซอกมุมเล็ก ๆ มากนัก
3. ลักษณะบาง มีขนาดเล็ก และมีลวดลายเล็ก ๆ หรือ ซอกมุมมาก



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5.5 แสดงรูปแบบของชิ้นงาน

(ก) ชิ้นงานลักษณะหนา

(ข) ชิ้นงานลักษณะปานกลาง

(ค) ชิ้นงานลักษณะบาง

โรงงานตัวอย่างใช้อุณหภูมิเทน้ำโลหะสำหรับงานหนาอยู่ในช่วง 950 – 990 °C งานปานกลาง ใช้ช่วงอุณหภูมิ 1000 – 1040 °C และงานบาง 1050 – 1090 °C โดยผู้ทำการหล่อจะเป็นคนทำการกำหนดค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมเอง โดยใช้ประสบการณ์ที่เคยทำมา โดยไม่มีการบันทึกหรือจัดทำมาตรฐานสำหรับอุณหภูมิเทน้ำโลหะในการหล่อตัวเรือนที่เหมาะสม สำหรับอุณหภูมิแบบหล่อนั้นโดยปกติโรงงานตัวอย่างจะใช้อุณหภูมิ 550 °C ดังนั้นในการทำการทดลองจึงกำหนดอุณหภูมิที่จะทดลอง โดยเพิ่มและลด 20 °C เวลาในการดูดอากาศก็เช่นเดียวกัน โรงงานตัวอย่างใช้เวลา 90 วินาทีในการทำงาน จึงทำการทดลองโดยการเพิ่มและลดเวลา 15 วินาที ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงการแบ่งช่วงระดับปัจจัยต่าง ๆ ของเครื่องประดับแต่ละประเภท

ปัจจัย / ประเภทเครื่องประดับ	อุณหภูมิเทน้ำโลหะ (°C)	อุณหภูมิแบบหล่อ (°C)	เวลาในการดูดอากาศ (s)
หนา	1 = 950 2 = 970 3 = 990	1 = 520 2 = 550 3 = 580	1 = 75 2 = 90 3 = 105
ปานกลาง	1 = 1000 2 = 1020 3 = 1040	1 = 520 2 = 550 3 = 580	1 = 75 2 = 90 3 = 105
บาง	1 = 1050 2 = 1070 3 = 1090	1 = 520 2 = 550 3 = 580	1 = 75 2 = 90 3 = 105

การออกแบบสภาวะทำโดยใช้วิธีฟิกซ์เอฟเฟก (Fixed Effects Model) ซึ่งได้แบ่งสภาวะการทดลองในแต่ละประเภทของเครื่องประดับออกเป็น 27 สภาวะการหล่อ โดยแต่ละสภาวะทำการทดลอง 4 ครั้ง และในการผลิตนั้นได้ตั้งโปรแกรมเครื่องหล่อให้เหมือนกันทุกครั้งที่ทำการหล่อ จากนั้นบันทึกผลการทดลองด้วยสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้น โดยชิ้นงานแต่ละชิ้นที่หล่อออกมาจะผ่านขั้นตอนการแต่งและขัดด้วย ซึ่งสัดส่วนของเสียที่บันทึกในตารางจะเป็นสัดส่วนของเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดในกระบวนการผลิตจนถึงขั้นตอนสุดท้าย โดยของเสียในแผนกแต่งและขัด ที่นำมาคิดสัดส่วนของเสียนั้น จะเป็นของเสียที่มีสาเหตุมาจากแผนกหล่อ แต่อาจจะพบในแผนกอื่น ๆ

ขั้นตอนการหล่อตัวเรือน

1. เปิดเครื่องเพื่อทำการอุ่นเบ้า พร้อมเอาเบ้าเปล่าใส่เพื่อดูดอากาศ
2. เมื่อเบ้าร้อน เปิดฝาออก ยก Stopper ขึ้น 1 ครั้ง จากนั้นปล่อยลงแล้วหมุน 2 ครั้ง เพื่อให้ Stopper เข้ากับเบ้ากราไฟต์ ไม่อย่างนั้นเนื้อเงินจะหยดและไม่สามารถทำการหล่อได้
3. เทเม็ดเงินใส่เบ้า แล้วหมุนวาล์วมาที่ Vacuum ทิ้งไว้ 60 วินาที แล้วตั้งค่าอุณหภูมิการหลอมเนื้อเงินขึ้นไปที่ 1110 ^{o}C ทิ้งไว้ 90 วินาที
4. ลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิที่จะทำการหล่อ
5. ทิ้งไว้ตามเวลาที่ใช้ในการดูดอากาศแล้วนำเบ้าออกจากเครื่องอบเบ้ามาเข้าเครื่องหล่อเพื่อทำการหล่อตัวเรือน
6. หมุน Vacuum เพื่อดูดอากาศออก
7. ทิ้งไว้ 30 วินาที แล้วจึงยก Stopper ขึ้น
8. ทิ้งเบ้าไว้ในเครื่อง 120 วินาที แล้วจึงหมุน Vacuum มาที่ Normal
9. นำเบ้าออกมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนนำไปล้าง 30 นาที
10. เสร็จขั้นตอนการหล่อตัวเรือน

วิธีการคำนวณ Experimental

สมมติฐานที่ใช้ในการทดสอบปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับ ประเภท หนา ปานกลาง บาง มีดังนี้ คือ

1. อิทธิพลเนื่องจากปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ มีผลต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับเนื่องจากการหล่อด้วยเครื่องสุญญากาศ จริงหรือไม่

$H_0 = \Sigma\tau_i = 0$ ปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะไม่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสีย

$H_1 = \Sigma\tau_i \neq 0$ ปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะมีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสีย

2. อิทธิพลเนื่องจากปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ มีผลต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับเนื่องจากการหล่อด้วยเครื่องสุญญากาศ จริงหรือไม่

$H_0 = \Sigma\beta_j = 0$ ปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อไม่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสีย

$H_1 = \Sigma\beta_j \neq 0$ ปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อมีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสีย

3. อิทธิพลเนื่องจากปัจจัยเวลาในการดูดอากาศ มีผลต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับเนื่องจากการหล่อด้วยเครื่องสุญญากาศ จริงหรือไม่

$H_0 = \Sigma\gamma_k = 0$ ปัจจัยเวลาในการดูดอากาศไม่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสีย

$H_1 = \Sigma\gamma_k \neq 0$ ปัจจัยเวลาในการดูดอากาศมีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสีย

4. อิทธิพลเนื่องจากปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะและอุณหภูมิแบบหล่อ มีผลต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับเนื่องจากการหล่อด้วยเครื่องสุญญากาศ จริงหรือไม่

$H_0 = \Sigma(\tau\beta)_{ij} = 0$ ปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะและอุณหภูมิแบบหล่อไม่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสีย

$H_1 = \Sigma(\tau\beta)_{ij} \neq 0$ ปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะและอุณหภูมิแบบหล่อมีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสีย

5. อิทธิพลเนื่องจากปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะและเวลาในการดูดอากาศ มีผลต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับเนื่องจากการหล่อด้วยเครื่องสุญญากาศ จริงหรือไม่

$H_0 = \Sigma(\tau\gamma)_{ik} = 0$ ปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะและเวลาในการดูดอากาศไม่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสีย

$H_1 = \Sigma(\tau\gamma)_{ik} \neq 0$ ปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะและเวลาในการดูดอากาศมีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสีย

6. อิทธิพลเนื่องจากปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อและเวลาในการดูดอากาศ มีผลต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับเนื่องจากการหล่อด้วยเครื่องสุญญากาศ จริงหรือไม่

$H_0 = \Sigma(\beta\gamma)_{jk} = 0$ ปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อและเวลาในการดูดอากาศไม่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสีย

$H_1 = \Sigma(\beta\gamma)_{jk} \neq 0$ ปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อและเวลาในการดูดอากาศมีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสีย

7. อิทธิพลเนื่องจากปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ อุณหภูมิแบบหล่อและเวลาในการดูดอากาศ มีผลต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับเนื่องจากการหล่อด้วยเครื่องสุญญากาศ จริงหรือไม่

$H_0 = \Sigma(\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0$ ปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ อุณหภูมิแบบหล่อและเวลาในการดูดอากาศไม่มีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสีย

$H_1 = \Sigma(\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$ ปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ อุณหภูมิแบบหล่อและเวลาในการดูดอากาศมีอิทธิพลต่อสัดส่วนของเสีย

เมื่อกำหนดสมมติฐานแล้ว สามารถนำไปทดสอบปัจจัยต่าง ๆ ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบ Three factor ได้ดังวิธีการต่อไปนี้

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงผลการทดลองของเครื่องประดับลักษณะหนา

อุณหภูมิเทน้ำโลหะ °C (A)	อุณหภูมิแบบหล่อ °C (B)																		$y_{i...}$
	520						550						580						
	เวลาในการดูดอากาศ s (C)						เวลาในการดูดอากาศ s (C)						เวลาในการดูดอากาศ s (C)						
	75		90		105		75		90		105		75		90		105		
950	0.48	0.45	0.25	0.18	0.11	0.18	0.21	0.34	0.22	0.15	0.08	0.06	0.36	0.28	0.30	0.25	0.15	0.28	8.62
	0.35	0.32	0.11	0.32	0.10	0.21	0.28	0.16	0.18	0.26	0.11	0.12	0.45	0.32	0.38	0.27	0.19	0.16	
970	0.30	0.32	0.25	0.21	0.15	0.10	0.05	0.00	0.08	0.12	0.00	0.01	0.50	0.38	0.55	0.38	0.45	0.36	8.32
	0.26	0.40	0.14	0.18	0.20	0.18	0.08	0.03	0.06	0.15	0.00	0.04	0.67	0.42	0.31	0.42	0.30	0.27	
990	0.27	0.32	0.38	0.27	0.28	0.30	0.05	0.18	0.04	0.13	0.11	0.15	0.73	0.61	0.64	0.72	0.51	0.58	12.03
	0.18	0.25	0.35	0.29	0.16	0.22	0.11	0.22	0.06	0.15	0.07	0.06	0.57	0.90	0.56	0.48	0.48	0.65	
B*C Totals($y_{.jk.}$)	3.90		2.93		2.19		1.71		1.60		0.81		6.19		5.26		4.38		$y_{....}$ = 28.97
$y_{.j..}$	9.02						4.12						15.83						
$y_{..k.}$	11.80						9.79						7.38						

A*B Total ($y_{ij.}$)

A	B		
	520	550	580
950	3.06	2.17	3.39
970	2.69	0.62	5.01
990	3.27	1.33	7.43

A*C Total ($y_{i.k}$)

A	C		
	75	90	105
950	4.00	2.87	1.75
970	3.41	2.85	2.06
990	4.39	4.07	3.57

<u>รูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์</u>

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

โดยที่ $i = 1, 2, \ldots, a \ (a = 3)$

$j = 1, 2, \ldots, b \ (b = 3)$

$k = 1, 2, \ldots, c \ (c = 3)$

คำนวณค่า SS ส่วนต่าง ๆ

$$SS_T = \sum_{i}^{a}\sum_{j}^{b}\sum_{k}^{c}\sum_{l}^{n} y^2_{ijkl} - \frac{y^2_{....}}{abcn} = [(0.48)^2 + (0.45)^2 + (0.25)^2 + \ldots + (0.65)^2] - \frac{(28.97)^2}{108}$$

$$= 11.339 - 7.771$$

$$= 3.568$$

$$SS_A = \sum_{i}^{a} \frac{y^2_{i...}}{bcn} - \frac{y^2_{....}}{abcn} = \frac{[(8.62)^2 + (8.32)^2 + (12.03)^2]}{3(3)(4)} - \frac{(28.97)^2}{108}$$

$$= 8.007 - 7.771$$

$$= 0.236$$

$$SS_B = \sum_{j}^{b} \frac{y_{.j..}^2}{acn} - \frac{y_{....}^2}{abcn} = \frac{[(9.02)^2 + (4.12)^2 + (15.83)^2]}{3(3)(4)} - \frac{(28.97)^2}{108}$$

$$= 9.692 - 7.771$$

$$= 1.921$$

$$SS_C = \sum_{k}^{c} \frac{y_{..k.}^2}{abn} - \frac{y_{....}^2}{abcn} = \frac{[(11.80)^2 + (9.79)^2 + (7.38)^2]}{3(3)(4)} - \frac{(28.97)^2}{108}$$

$$= 8.043 - 7.771$$

$$= 0.272$$

$$SS_{AB} = \sum_{i}^{a}\sum_{j}^{b} \frac{y_{ij..}^2}{cn} - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_B$$

$$= \frac{[(3.06)^2 + (2.17)^2 + \ldots + (7.43)^2]}{3(4)} - \frac{(28.97)^2}{108} - (0.236 + 1.921)$$

$$= 10.496 - 7.771 - 2.157$$

$$= 0.568$$

$$SS_{AC} = \sum_{i}^{a}\sum_{k}^{c} \frac{y_{i.k.}^2}{bn} - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_C$$

$$= \frac{[(4.00)^2 + (2.87)^2 + \ldots + (3.57)^2]}{3(4)} - \frac{(28.97)^2}{108} - (0.236 + 0.272)$$

$$= 8.323 - 7.771 - 0.508$$

$$= 0.044$$

$$SS_{BC} = \sum_{j}^{b}\sum_{k}^{c} \frac{y_{.jk.}^2}{an} - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_B - SS_C$$

$$= \frac{[(3.90)^2 + (2.93)^2 + \ldots + (4.38)^2]}{3(4)} - \frac{(28.97)^2}{108} - (1.921 + 0.272)$$

$$= 9.992 - 7.771 - 2.193$$

$$= 0.028$$

$$SS_{ABC} = \sum_{i}^{a}\sum_{j}^{b}\sum_{k}^{c} \frac{y_{ijk.}^2}{n} - \frac{y_{....}^2}{abcn} - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_{AB} + SS_{AC} + SS_{BC})$$

$$= \frac{[(1.60)^2 + (0.86)^2 + \ldots + (2.22)^2]}{4} - \frac{(28.97)^2}{108}$$

$$- (0.236+1.921+0.272+0.568+0.044+0.028)$$

$$= 10.918 - 7.771 - 3.069$$

$$= 0.078$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Subtotal}$$

$$= 3.568 - 3.147$$

$$= 0.421$$

ตารางที่ 5.4 แสดงตาราง ANOVA

Source of variation	Sum of square	df	Mean Square	F_0
A	0.236	2	0.118	22.703
B	1.921	2	0.961	184.799
C	0.272	2	0.136	26.166
AB	0.568	4	0.142	27.321
AC	0.044	4	0.011	2.116
BC	0.028	4	0.007	1.347
ABC	0.078	8	0.010	1.876
Error	0.421	81	0.005	
Total	3.568	107		

ทดสอบสมมุติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

<u>กำหนดบริเวณวิกฤต</u> ของการทดสอบปัจจัย A B และ C ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ

$F_{\alpha, \upsilon_1, \upsilon_2} = F_{0.05, 2, 24} = 3.40$

$F_0 = 22.703 > F_{0.05, 2, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ

F_0 = 184.799 > $F_{0.05, 2, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ

F_0 = 26.166 > $F_{0.05, 2, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยเวลาในการดูดอากาศ

คือ อุณหภูมิเทน้ำโลหะ อุณหภูมิแบบหล่อ และ เวลาในการดูดอากาศ เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05

<u>กำหนดบริเวณวิกฤต</u> ของการทดสอบปัจจัย Interaction Effect ของ AB AC และ BC ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ $F_{\alpha, \upsilon_1, \upsilon_2} = F_{0.05, 4, 24} = 2.78$

F_0 = 27.321 > $F_{0.05, 4, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ และปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ

F_0 = 2.166 < $F_{0.05, 4, 24}$ ดังนั้น Accept H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ และปัจจัยเวลาในการดูดอากาศ

F_0 = 1.347 < $F_{0.05, 4, 24}$ ดังนั้น Accept H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ และปัจจัยเวลาในการดูดอากาศ

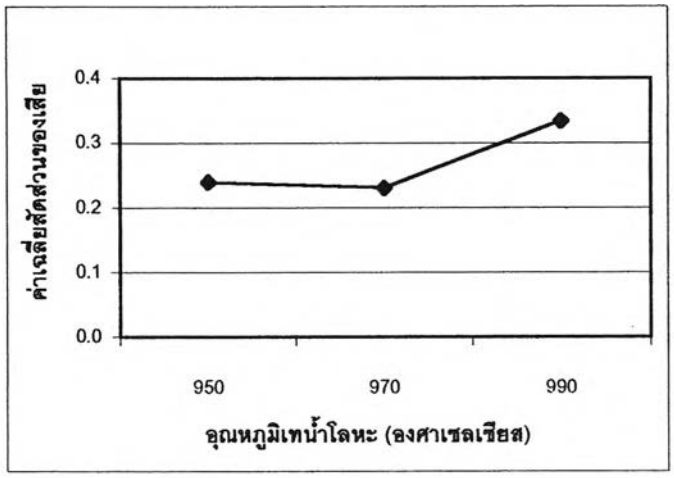
คือ มี Interaction Effect ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ และปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อเท่านั้น ที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับ ด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05

<u>กำหนดบริเวณวิกฤต</u> ของการทดสอบปัจจัย Interaction Effect ของ ABC ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ $F_{\alpha, \upsilon_1, \upsilon_2} = F_{0.05, 8, 24} = 2.36$

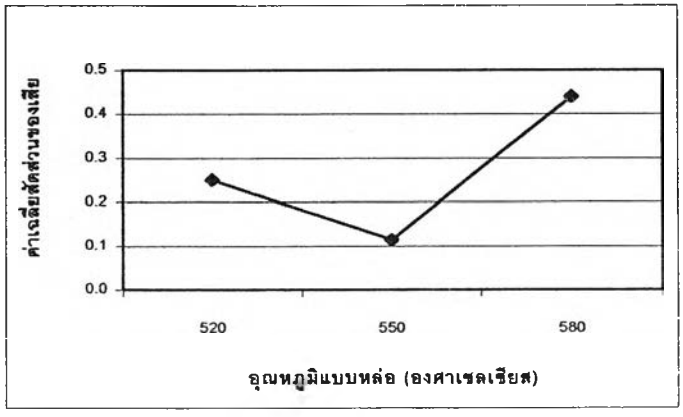
F_0 = 1.876 < $F_{0.05, 8, 24}$ ดังนั้น Accept H_0

คือ ไม่มี Interaction ของ อุณหภูมิเทน้ำโลหะ อุณหภูมิแบบหล่อ และ เวลาในการดูดอากาศ เกี่ยวข้องต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับ ด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05

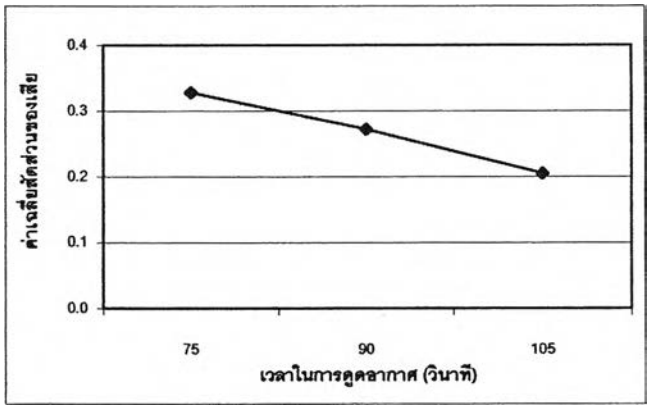
นำข้อมูลที่มีผลต่อการทดลองมาแสดงด้วยกราฟของปัจจัยหลักและกราฟแสดงปฏิสัมพันธ์กับสัดส่วนของเสีย จะได้กราฟดังนี้



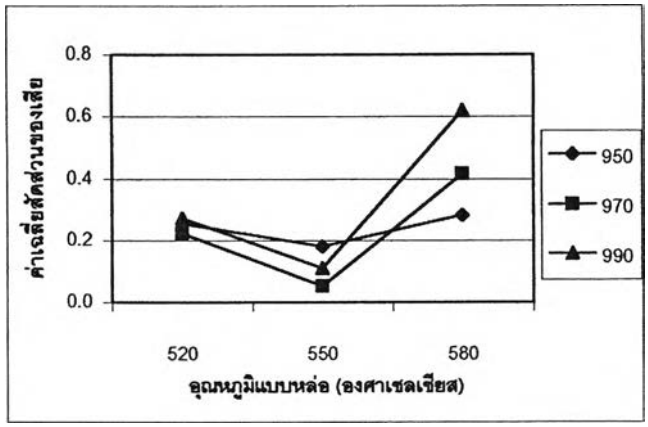
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทน้ำโลหะกับค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเสีย



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแบบหล่อกับค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเสีย



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดอากาศกับค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเสีย



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทน้ำโลหะกับอุณหภูมิแบบหล่อ

จากกราฟแสดงปฏิสัมพันธ์รูปที่ 5.9 พบว่า อุณหภูมิเทน้ำโลหะ และอุณหภูมิแบบหล่อ ที่ก่อให้เกิดสัดส่วนของเสียน้อยที่สุดได้แก่ อุณหภูมิเทน้ำโลหะที่ 970 ^{o}C และอุณหภูมิแบบหล่อที่ 550 ^{o}C และจากกราฟแสดงปัจจัยหลักกับสัดส่วนของเสีย ของปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ และอุณหภูมิแบบหล่อ จะพบว่าข้อสรุปนี้เป็นข้อสรุปที่ถูกต้อง สำหรับปัจจัยเวลาในการดูดอากาศพบว่าเวลาในการดูดอากาศที่ 105 วินาทีเป็นเวลาที่ดีที่สุด ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการหล่อด้วยเครื่องสุญญากาศสำหรับเครื่องประดับขนาดหนา คือ

- อุณหภูมิเทน้ำโลหะ 970 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิแบบหล่อ 550 องศาเซลเซียส
- เวลาในการดูดอากาศ 105 วินาที

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการวิเคราะห์แบบ ANOVA

เป็นการพิสูจน์ว่าการใช้วิธีวิเคราะห์แบบ ANOVA มาวิเคราะห์ข้อมูลมานั้นถูกต้อง

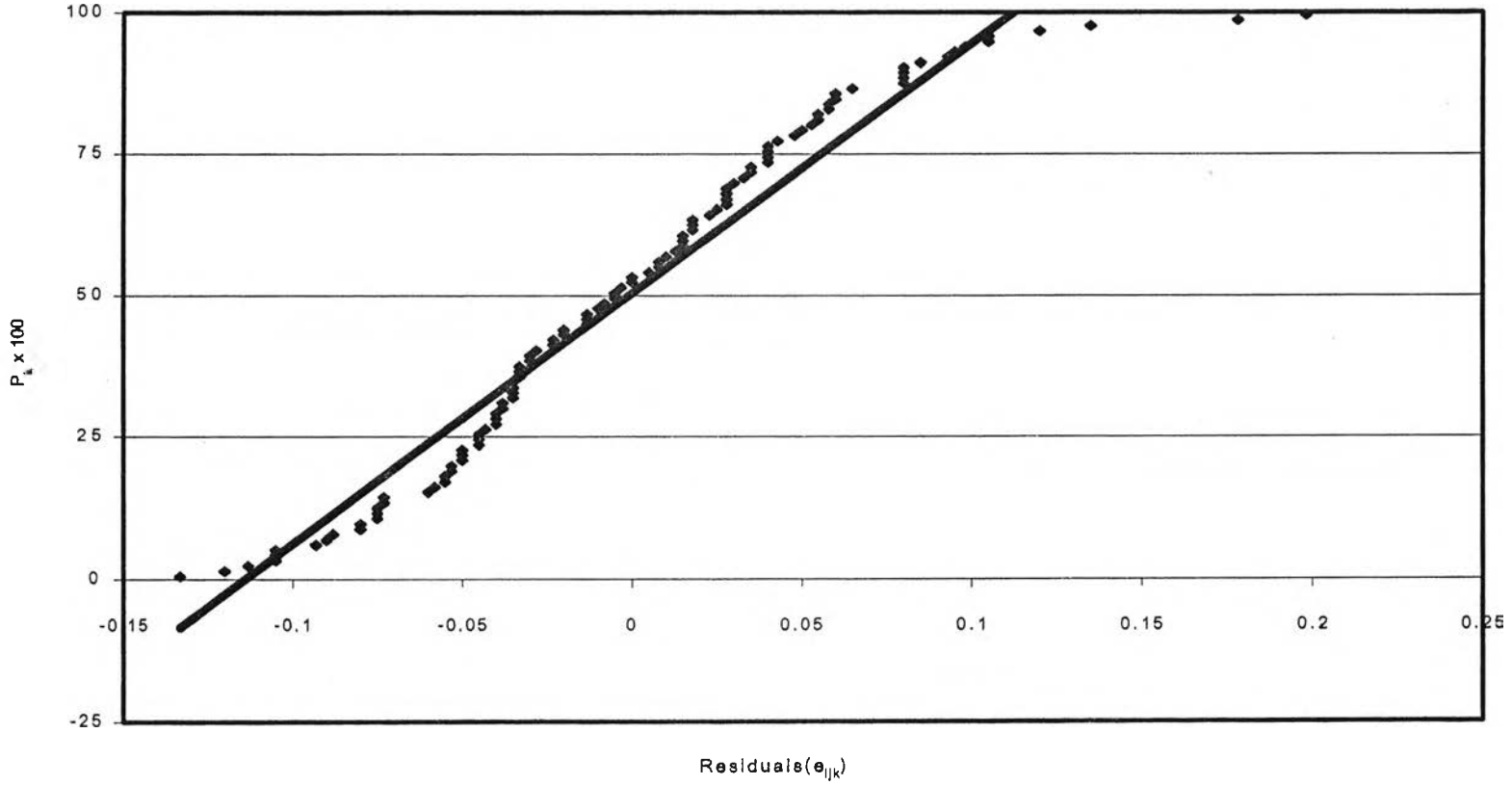
<u>ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล</u> (Residual, e_{ijkn})

จะต้องมีการแจกแจงแบบปกติและอิสระด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 [$e_{ijkn} \sim NID(0, \sigma^2)$]

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ ANOVA – Two factors factorial design จะได้ว่า

$$e_{ijkn} = y_{ijkn} - \bar{y}_{ijk.}$$

นำค่า e_{ijkn} มาสร้างกราฟ Normal probability plot โดยทำการเรียงข้อมูล e_{ijkn} จากน้อยไปหามากแล้วหาค่าความถี่สะสม (cumulative frequency) จากกราฟ Normal probability plot e_{ijkn} กับความถี่สะสมในรูปที่ 5-9 จะได้กราฟเส้นตรงแสดงความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (e_{ijkn}) มีการแจกแจงแบบปกติและอิสระด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 [$e_{ijkn} \sim$ NID $(0, \sigma^2)$]



รูปที่ 5.10 กราฟ Normal probability plot

ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงผลการทดลองของเครื่องประดับลักษณะปานกลาง

อุณหภูมิเทน้ำโลหะ °C (A)	อุณหภูมิแบบหล่อ °C (B)																		$y_{i...}$
	520						550						580						
	เวลาในการดูดอากาศ s (C)						เวลาในการดูดอากาศ s (C)						เวลาในการดูดอากาศ s (C)						
	75		90		105		75		90		105		75		90		105		
1000	0.75	0.86	0.55	0.69	0.23	0.10	0.42	0.44	0.11	0.18	0.00	0.01	0.36	0.32	0.19	0.12	0.22	0.29	11.78
	0.62	0.66	0.58	0.57	0.16	0.14	0.70	0.48	0.09	0.21	0.03	0.02	0.28	0.37	0.28	0.23	0.21	0.31	
1020	0.67	0.42	0.25	0.24	0.21	0.12	0.36	0.18	0.00	0.00	0.02	0.00	0.32	0.44	0.46	0.36	0.13	0.21	8.76
	0.44	0.53	0.19	0.27	0.16	0.08	0.21	0.24	0.03	0.01	0.00	0.03	0.37	0.57	0.32	0.34	0.26	0.32	
1040	0.49	0.39	0.30	0.32	0.34	0.17	0.16	0.28	0.07	0.20	0.02	0.04	0.63	0.61	0.57	0.43	0.09	0.14	10.36
	0.35	0.44	0.43	0.21	0.28	0.22	0.14	0.22	0.13	0.06	0.06	0.11	0.75	0.50	0.39	0.63	0.07	0.12	
B*C Totals($y_{.jk.}$)	6.62		4.60		2.21		3.83		1.09		0.34		5.52		4.32		2.37		$y_{....}$ = 30.90
$y_{.j..}$	13.43						5.26						12.21						
$y_{..k.}$	15.97						10.01						4.92						

A*B Total ($y_{ij.}$)

A	B		
	520	550	580
1000	5.91	2.69	3.18
1020	3.58	1.08	4.10
1040	3.94	1.49	4.93

A*C Total ($y_{i.k}$)

A	C		
	75	90	105
1000	6.26	3.80	1.72
1020	4.75	2.47	1.54
1040	4.96	3.74	1.66

<u>รูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์</u>

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

โดยที่ $i = 1, 2, \ldots, a \ (a = 3)$

$j = 1, 2, \ldots, b \ (b = 3)$

$k = 1, 2, \ldots, c \ (c = 3)$

คำนวณค่า SS ส่วนต่าง ๆ

$$SS_T = \sum_{i}^{a}\sum_{j}^{b}\sum_{k}^{c}\sum_{l}^{n} y^2_{ijkl} - \frac{y^2_{....}}{abcn} = [(0.75)^2 + (0.86)^2 + (0.55)^2 + \ldots + (0.12)^2] - \frac{(30.90)^2}{108}$$

$$= 13.337 - 8.841$$

$$= 4.496$$

$$SS_A = \sum_{i}^{a} \frac{y^2_{i...}}{bcn} - \frac{y^2_{....}}{abcn} = \frac{[(11.78)^2 + (8.76)^2 + (10.36)^2]}{3(3)(4)} - \frac{(30.90)^2}{108}$$

$$= 8.968 - 8.841$$

$$= 0.127$$

$$SS_B = \sum_j^b \frac{y_{.j..}^2}{acn} - \frac{y_{....}^2}{abcn} = \frac{[(13.43)^2 + (5.26)^2 + (12.21)^2]}{3(3)(4)} - \frac{(30.90)^2}{108}$$

$$= 9.920 - 8.841$$

$$= 1.079$$

$$SS_C = \sum_k^c \frac{y_{..k.}^2}{abn} - \frac{y_{....}^2}{abcn} = \frac{[(15.97)^2 + (10.01)^2 + (4.92)^2]}{3(3)(4)} - \frac{(30.90)^2}{108}$$

$$= 10.540 - 8.841$$

$$= 1.699$$

$$SS_{AB} = \sum_i^a \sum_j^b \frac{y_{ij..}^2}{cn} - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_B$$

$$= \frac{[(5.91)^2 + (2.69)^2 + \ldots + (4.93)^2]}{3(4)} - \frac{(30.90)^2}{108} - (0.127 + 1.079)$$

$$= 10.427 - 8.841 - 1.206$$

$$= 0.38$$

$$SS_{AC} = \sum_i^a \sum_k^c \frac{y_{i.k.}^2}{bn} - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_C$$

$$= \frac{[(6.26)^2 + (3.80)^2 + \ldots + (1.66)^2]}{3(4)} - \frac{(30.90)^2}{108} - (0.127 + 1.699)$$

$$= 10.747 - 8.841 - 1.826$$

$$= 0.08$$

$$SS_{BC} = \sum_j^b \sum_k^c \frac{y_{.jk.}^2}{an} - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_B - SS_C$$

$$= \frac{[(6.62)^2 + (4.60)^2 + \ldots + (2.37)^2]}{3(4)} - \frac{(30.90)^2}{108} - (1.079 + 1.699)$$

$$= 11.716 - 8.841 - 2.778$$

$$= 0.097$$

$$SS_{ABC} = \sum_{i}^{a}\sum_{j}^{b}\sum_{k}^{c} \frac{y_{ijk.}^2}{n} - \frac{y_{...}^2}{abcn} - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_{AB} + SS_{AC} + SS_{BC})$$

$$= \frac{[(2.89)^2 + (2.39)^2 + \ldots + (0.42)^2]}{4} - \frac{(30.90)^2}{108}$$

$$- (0.127+1.079+1.699+0.38+0.08+0.097)$$

$$= 12.863 - 8.841 - 3.462$$

$$= 0.56$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Subtotal}$$

$$= 4.496 - 4.022$$

$$= 0.474$$

ตารางที่ 5.6 แสดงตาราง ANOVA

Source of variation	Sum of square	df	Mean Square	F_0
A	0.127	2	0.064	10.851
B	1.079	2	0.540	92.193
C	1.699	2	0.850	145.168
AB	0.38	4	0.095	16.234
AC	0.08	4	0.020	3.418
BC	0.097	4	0.024	4.144
ABC	0.56	8	0.070	11.962
Error	0.474	81	0.006	
Total	4.496	107		

ทดสอบสมมุติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

<u>กำหนดบริเวณวิกฤต</u> ของการทดสอบปัจจัย A B และ C ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ

$F_{\alpha, \upsilon_1, \upsilon_2} = F_{0.05, 2, 24} = 3.40$

$F_0 = 10.851 > F_{0.05, 2, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ

$F_0 = 92.193 > F_{0.05, 2, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ

$F_0 = 145.168 > F_{0.05, 2, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยเวลาในการดูดอากาศ

คือ อุณหภูมิเทน้ำโลหะ อุณหภูมิแบบหล่อ และ เวลาในการดูดอากาศ เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05

<u>กำหนดบริเวณวิกฤต</u> ของการทดสอบปัจจัย Interaction Effect ของ AB AC และ BC ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ $F_{\alpha, \upsilon_1, \upsilon_2} = F_{0.05, 4, 24} = 2.78$

$F_0 = 16.234 > F_{0.05, 4, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ และปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ

$F_0 = 3.418 > F_{0.05, 4, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ และปัจจัยเวลาในการดูดอากาศ

$F_0 = 4.144 > F_{0.05, 4, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ และปัจจัยเวลาในการดูดอากาศ

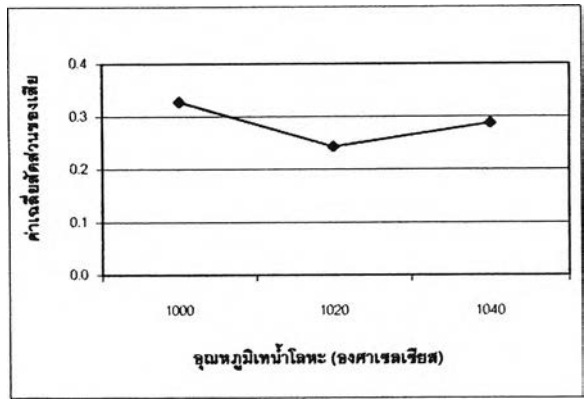
คือ มี Interaction Effect ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ และปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ ปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ และปัจจัยเวลาในการดูดอากาศ ปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ และปัจจัยเวลาในการดูดอากาศ มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับ ด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05

<u>กำหนดบริเวณวิกฤต</u> ของการทดสอบปัจจัย Interaction Effect ของ ABC ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ $F_{\alpha, \upsilon_1, \upsilon_2} = F_{0.05, 8, 24} = 2.36$

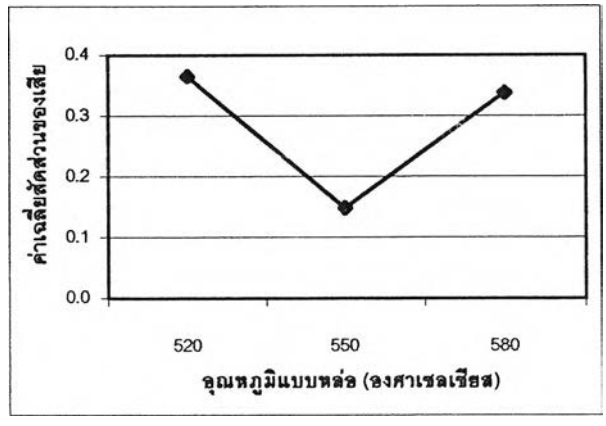
$F_0 = 11.962 > F_{0.05, 8, 24}$ ดังนั้น Reject H_0

คือ มี Interaction ของ อุณหภูมิเทน้ำโลหะ อุณหภูมิแบบหล่อ และ เวลาในการดูดอากาศ เกี่ยวข้องต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับ ด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05

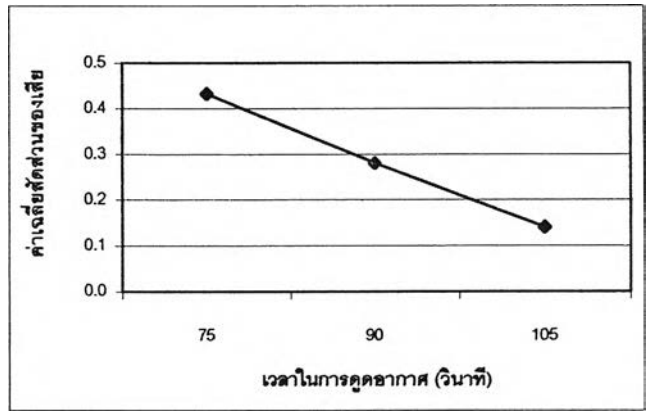
นำข้อมูลที่มีผลต่อการทดลองมาแสดงด้วยกราฟของปัจจัยหลักและกราฟแสดงปฏิสัมพันธ์กับสัดส่วนของเสีย จะได้กราฟดังนี้



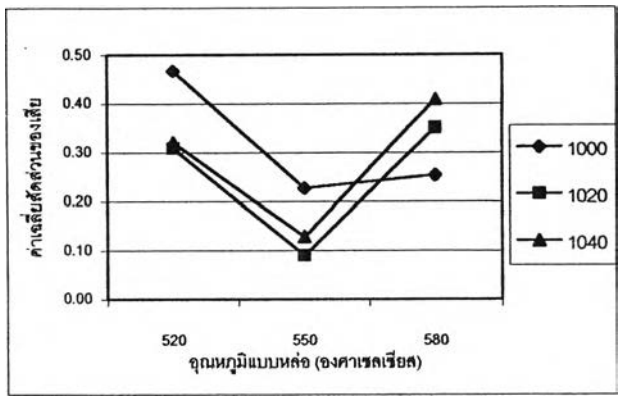
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเหน้ำโลหะกับค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเสีย



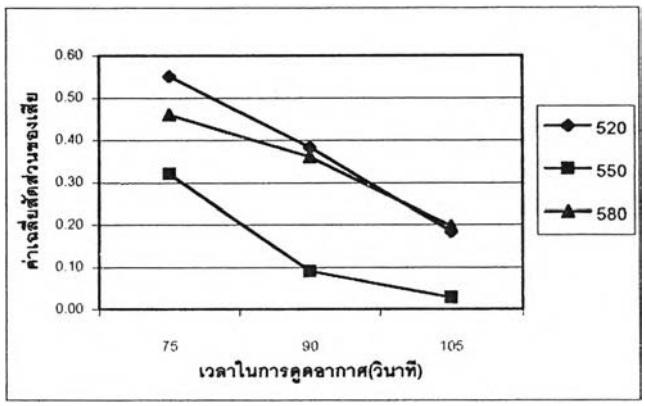
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแบบหล่อกับค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเสีย



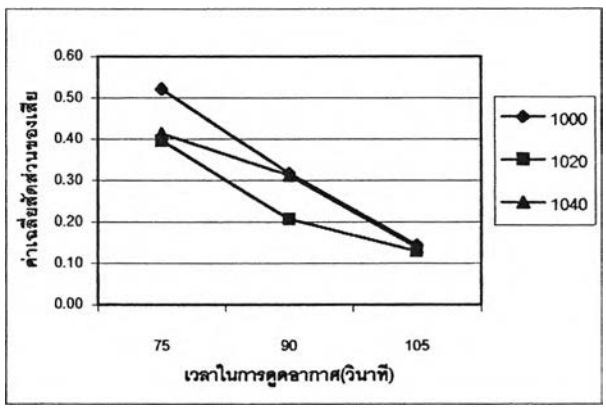
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดอากาศกับค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเสีย



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทน้ำโลหะกับอุณหภูมิแบบหล่อ



รูปที่ 5.15 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแบบหล่อกับเวลาในการดูดอากาศ



รูปที่ 5.16 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทน้ำโลหะกับเวลาในการดูดอากาศ

จากกราฟแสดงปฏิสัมพันธ์รูปที่ 5.14 5.15 และ 5.16 พบว่า อุณหภูมิเทน้ำโลหะ และอุณหภูมิแบบหล่อ ที่ก่อให้เกิดสัดส่วนของเสียน้อยที่สุดได้แก่ อุณหภูมิเทน้ำโลหะที่ 1020°C อุณหภูมิแบบหล่อที่ 550°C และ เวลาในการดูดอากาศที่ 105 วินาทีเป็นเวลาที่ดีที่สุด ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมในการหล่อด้วยเครื่องสุญญากาศสำหรับเครื่องประดับขนาดปานกลาง คือ

- อุณหภูมิเทน้ำโลหะ 1020 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิแบบหล่อ 550 องศาเซลเซียส
- เวลาในการดูดอากาศ 105 วินาที

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการวิเคราะห์แบบ ANOVA

เป็นการพิสูจน์ว่าการใช้วิธีวิเคราะห์แบบ ANOVA มาวิเคราะห์ข้อมูลมานั้นถูกต้อง

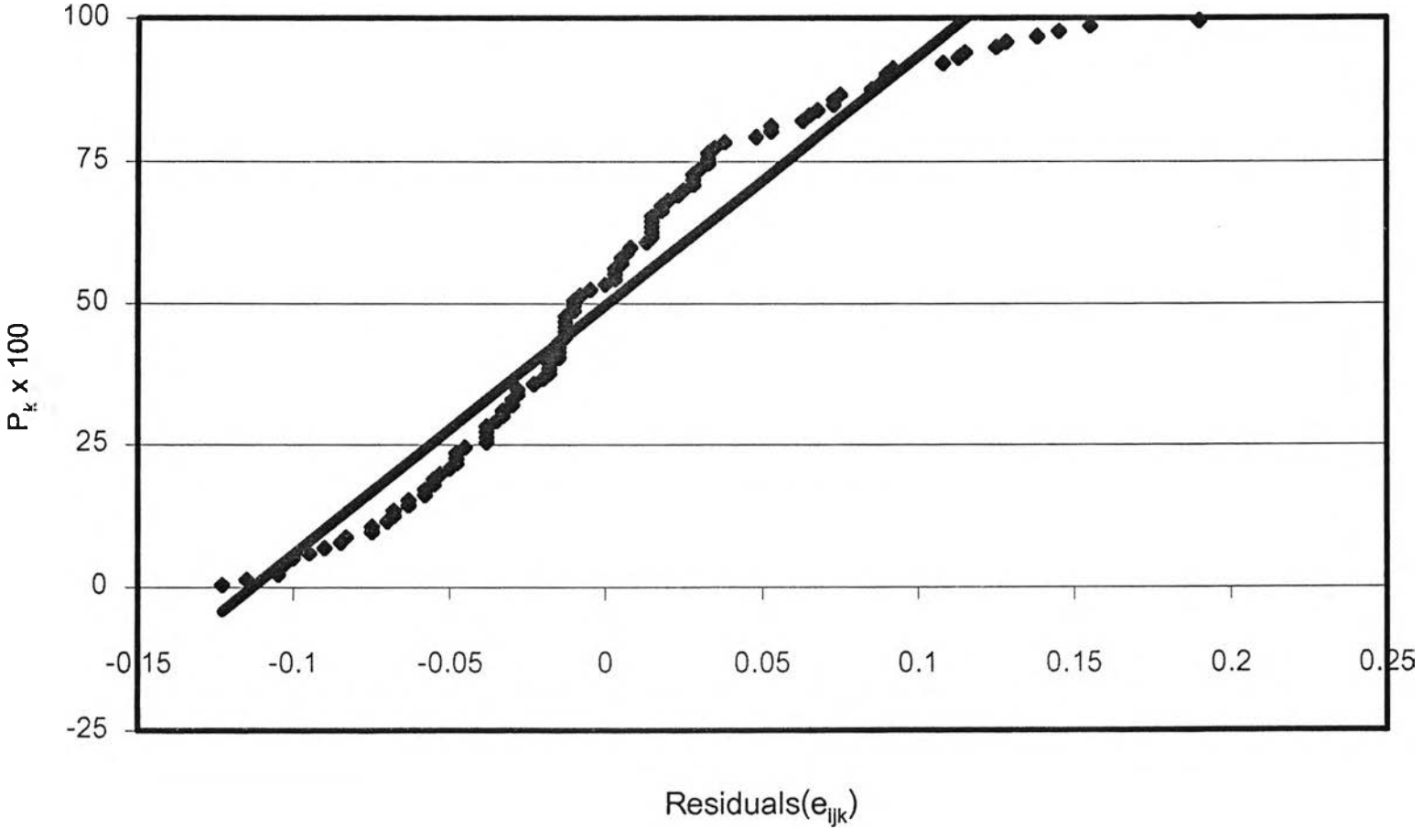
<u>ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล</u> (Residual, e_{ijkn})

จะต้องมีการแจกแจงแบบปกติและอิสระด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 [$e_{ijkn} \sim NID(0, \sigma^2)$]

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ ANOVA – Two factors factorial design จะได้ว่า

$$e_{ijkn} = y_{ijkn} - \bar{y}_{ijk.}$$

นำค่า e_{ijkn} มาสร้างกราฟ Normal probability plot โดยทำการเรียงข้อมูล e_{ijkn} จากน้อยไปหามากแล้วหาค่าความถี่สะสม (cumulative frequency) จากกราฟ Normal probability plot e_{ijkn} กับความถี่สะสมในรูปที่ 5-9 จะได้กราฟเส้นตรงแสดงความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (e_{ijkn}) มีการแจกแจงแบบปกติและอิสระด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 [$e_{ijkn} \sim NID(0, \sigma^2)$]



รูปที่ 5.17 กราฟ Normal probability plot

ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงผลการทดลองของเครื่องประดับลักษณะบาง

อุณหภูมิเท น้ำโลหะ °C (A)	อุณหภูมิแบบหล่อ °C (B)																		$y_{i...}$
	520						550						580						
	เวลาในการดูดอากาศ s (C)						เวลาในการดูดอากาศ s (C)						เวลาในการดูดอากาศ s (C)						
	75		90		105		75		90		105		75		90		105		
1050	0.75	0.62	0.42	0.65	0.42	0.51	0.23	0.18	0.05	0.03	0.02	0.01	0.32	0.46	0.15	0.13	0.06	0.11	9.59
	0.58	0.66	0.49	0.50	0.31	0.38	0.09	0.11	0.02	0.08	0.00	0.01	0.38	0.28	0.20	0.14	0.08	0.16	
1070	0.24	0.31	0.07	0.14	0.05	0.13	0.11	0.08	0.05	0.03	0.04	0.05	0.26	0.35	0.22	0.16	0.21	0.19	5.40
	0.25	0.38	0.03	0.18	0.11	0.17	0.13	0.12	0.01	0.00	0.02	0.03	0.33	0.29	0.18	0.25	0.16	0.07	
1090	0.48	0.39	0.23	0.16	0.15	0.20	0.15	0.22	0.15	0.12	0.21	0.12	0.37	0.43	0.29	0.24	0.33	0.32	8.79
	0.41	0.36	0.19	0.21	0.08	0.18	0.18	0.29	0.06	0.07	0.14	0.17	0.44	0.32	0.19	0.33	0.37	0.24	
B*C Totals($y_{.jk.}$)	5.43		3.27		2.69		1.89		0.67		0.82		4.23		2.48		2.30		$y_{....}$ = 23.78
$y_{.j..}$	11.39						3.38						9.01						
$y_{..k.}$	11.55						6.42						5.81						

A*B Total ($y_{ij..}$)

A	B		
	520	550	580
1050	6.29	0.83	2.47
1070	2.06	0.67	2.67
1090	3.04	1.88	3.87

A*C Total ($y_{i.k}$)

A	C		
	75	90	105
1050	4.66	2.86	2.07
1070	2.85	1.32	1.23
1090	4.04	2.24	2.51

<u>รูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์</u>

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk}$$

โดยที่ $i = 1, 2, \ldots, a \ (a = 3)$

$j = 1, 2, \ldots, b \ (b = 3)$

$k = 1, 2, \ldots, c \ (c = 3)$

คำนวณค่า SS ส่วนต่าง ๆ

$$SS_T = \sum_{i}^{a}\sum_{j}^{b}\sum_{k}^{c}\sum_{l}^{n} y^2_{ijkl} - \frac{y^2_{....}}{abcn} = [(0.75)^2 + (0.62)^2 + (0.42)^2 + \ldots + (0.24)^2] - \frac{(23.78)^2}{108}$$

$$= 8.075 - 5.236$$

$$= 2.839$$

$$SS_A = \sum_{i}^{a} \frac{y^2_{i...}}{bcn} - \frac{y^2_{....}}{abcn} = \frac{[(9.59)^2 + (5.40)^2 + (8.79)^2]}{3(3)(4)} - \frac{(23.78)^2}{108}$$

$$= 5.511 - 5.236$$

$$= 0.275$$

$$SS_B = \sum_{j}^{b} \frac{y_{j..}^2}{acn} - \frac{y_{....}^2}{abcn} = \frac{[(11.39)^2 + (3.38)^2 + (9.01)^2]}{3(3)(4)} - \frac{(23.78)^2}{108}$$

$$= 6.176 - 5.236$$

$$= 0.94$$

$$SS_C = \sum_{k}^{c} \frac{y_{..k.}^2}{abn} - \frac{y_{....}^2}{abcn} = \frac{[(11.55)^2 + (6.42)^2 + (6.11)^2]}{3(3)(4)} - \frac{(23.78)^2}{108}$$

$$= 5.788 - 5.236$$

$$= 0.552$$

$$SS_{AB} = \sum_{i}^{a}\sum_{j}^{b} \frac{y_{ij..}^2}{cn} - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_B$$

$$= \frac{[(6.29)^2 + (0.83)^2 + \ldots + (3.87)^2]}{3(4)} - \frac{(23.78)^2}{108} - (0.275 + 0.94)$$

$$= 7.161 - 5.236 - 1.215$$

$$= 0.71$$

$$SS_{AC} = \sum_{i}^{a}\sum_{k}^{c} \frac{y_{i.k.}^2}{bn} - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_A - SS_C$$

$$= \frac{[(4.66)^2 + (2.86)^2 + \ldots + (2.51)^2]}{3(4)} - \frac{(23.78)^2}{108} - (0.275 + 0.552)$$

$$= 6.1 - 5.236 - 0.827$$

$$= 0.037$$

$$SS_{BC} = \sum_{j}^{b}\sum_{k}^{c} \frac{y_{.jk.}^2}{an} - \frac{y_{....}^2}{abcn} - SS_B - SS_C$$

$$= \frac{[(5.43)^2 + (3.27)^2 + \ldots + (2.30)^2]}{3(4)} - \frac{(23.78)^2}{108} - (0.94 + 0.552)$$

$$= 6.787 - 5.236 - 1.492$$

$$= 0.059$$

$$SS_{ABC} = \sum_{i}\sum_{j}\sum_{k}^{a\ b\ c} \frac{y_{ijk.}^2}{n} - \frac{y_{....}^2}{abcn} - (SS_A + SS_B + SS_C + SS_{AB} + SS_{AC} + SS_{BC})$$

$$= \frac{[(2.61)^2 + (2.06)^2 + \ldots + (1.26)^2]}{4} - \frac{(23.78)^2}{108}$$

$$- (0.275+0.94+0.552+0.71+0.037+0.059)$$

$$= 7.841 - 5.236 - 2.573$$

$$= 0.032$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Subtotal}$$

$$= 2.864 - 2.605$$

$$= 0.259$$

ตารางที่ 5.8 แสดงตาราง ANOVA

Source of variation	Sum of square	df	Mean Square	F_0
A	0.275	2	0.138	43.002
B	0.94	2	0.470	146.988
C	0.552	2	0.276	86.317
AB	0.71	4	0.178	55.512
AC	0.037	4	0.009	2.893
BC	0.059	4	0.015	4.613
ABC	0.032	8	0.004	1.251
Error	0.259	81	0.003	
Total	2.839	107		

ทดสอบสมมุติฐานที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

<u>กำหนดบริเวณวิกฤต</u> ของการทดสอบปัจจัย A B และ C ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ

$F_{\alpha, \upsilon_1, \upsilon_2} = F_{0.05, 2, 24} = 3.40$

$F_0 = 43.002 > F_{0.05, 2, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ

$F_0 = 146.988 > F_{0.05, 2, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ

$F_0 = 86.317 > F_{0.05, 2, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยเวลาในการดูดอากาศ

คือ อุณหภูมิเทน้ำโลหะ อุณหภูมิแบบหล่อ และ เวลาในการดูดอากาศ เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05

<u>กำหนดบริเวณวิกฤต</u> ของการทดสอบปัจจัย Interaction Effect ของ AB AC และ BC ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ $F_{\alpha, \upsilon_1, \upsilon_2} = F_{0.05, 4, 24} = 2.78$

$F_0 = 55.512 > F_{0.05, 4, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ และปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ

$F_0 = 2.893 > F_{0.05, 4, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ และปัจจัยเวลาในการดูดอากาศ

$F_0 = 4.613 > F_{0.05, 4, 24}$ ดังนั้น Reject H_0 สำหรับปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ และปัจจัยเวลาในการดูดอากาศ

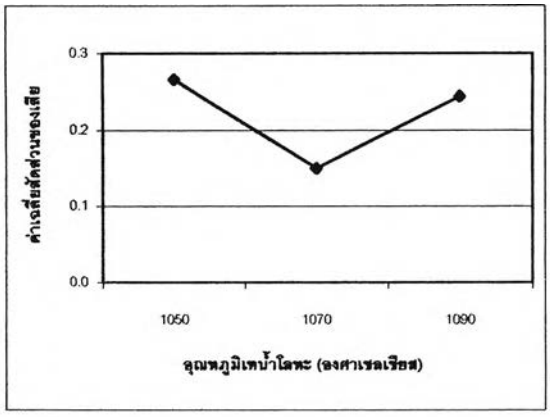
คือ มี Interaction Effect ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ และปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ ปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ และปัจจัยเวลาในการดูดอากาศ ปัจจัยอุณหภูมิแบบหล่อ และปัจจัยเวลาในการดูดอากาศ มีอิทธิพลต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับ ด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05

<u>กำหนดบริเวณวิกฤต</u> ของการทดสอบปัจจัย Interaction Effect ของ ABC ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% คือ $F_{\alpha, \upsilon_1, \upsilon_2} = F_{0.05, 8, 24} = 2.36$

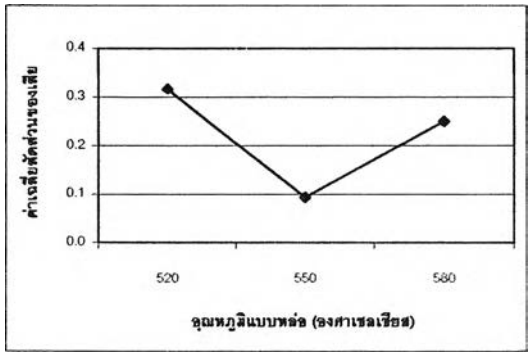
$F_0 = 1.251 < F_{0.05, 8, 24}$ ดังนั้น Accept H_0

คือ ไม่มี Interaction ของ อุณหภูมิเทน้ำโลหะ อุณหภูมิแบบหล่อ และ เวลาในการดูดอากาศ เกี่ยวข้องต่อการเกิดของเสียของเครื่องประดับ ด้วยระดับนัยสำคัญ 0.05

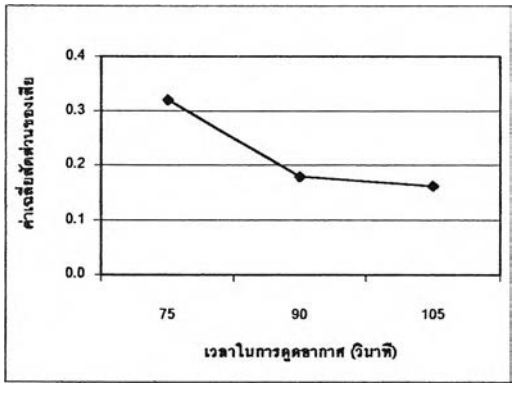
นำข้อมูลที่มีผลต่อการทดลองมาแสดงด้วยกราฟของปัจจัยหลักและกราฟแสดงปฏิสัมพันธ์กับสัดส่วนของเสีย จะได้กราฟดังนี้



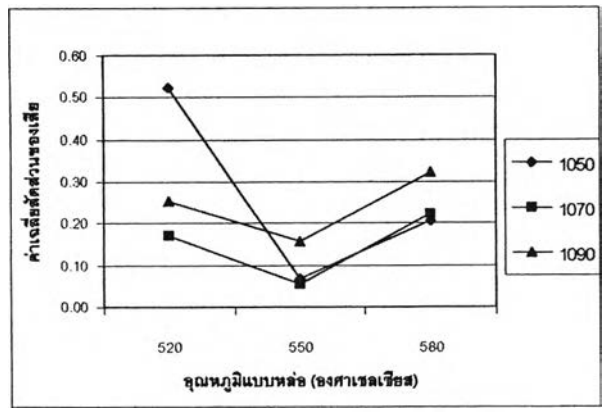
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทน้ำโลหะกับค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเสีย



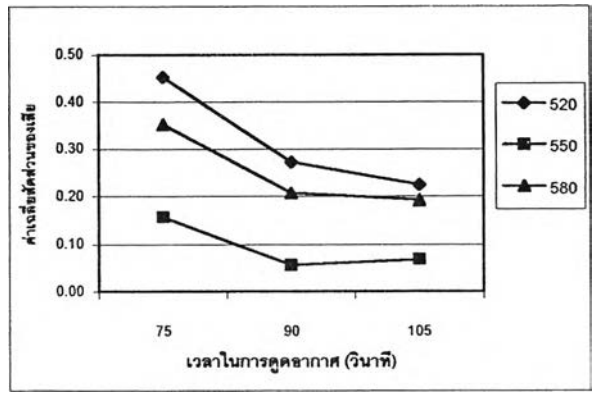
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแบบหล่อกับค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเสีย



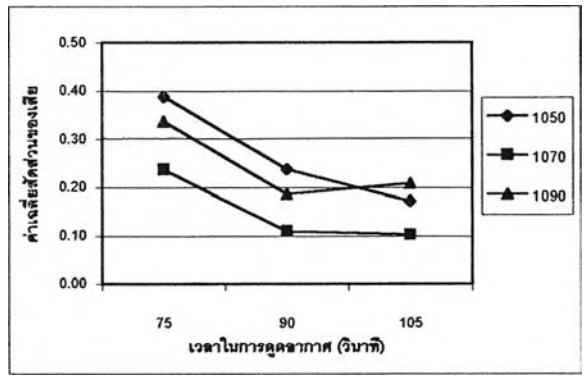
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการดูดอากาศกับค่าเฉลี่ยสัดส่วนของเสีย



รูปที่ 5.21 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทน้ำโลหะกับอุณหภูมิแบบหล่อ



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแบบหล่อกับเวลาในการดูดอากาศ



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทน้ำโลหะกับเวลาในการดูดอากาศ

จากกราฟแสดงปฏิสัมพันธ์รูปที่ 5.21 5.22 และ 5.23 พบว่า อุณหภูมิเทน้ำโลหะ และอุณหภูมิแบบหล่อ และเวลาในการดูดอากาศ ที่ก่อให้เกิดสัดส่วนของเสียน้อยที่สุดได้แก่ อุณหภูมิเทน้ำโลหะที่ 1070°C อุณหภูมิแบบหล่อที่ 550°C และเวลาในการดูดอากาศที่ 105 วินาที ซึ่งจาก

กราฟแสดงปัจจัยหลักกับสัดส่วนของเสีย ของปัจจัยอุณหภูมิเทน้ำโลหะ อุณหภูมิแบบหล่อ และเวลาในการดูดอากาศ จะพบว่าข้อสรุปนี้เป็นข้อสรุปที่ถูกต้อง ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการหล่อด้วยเครื่องสุญญากาศสำหรับเครื่องประดับขนาดบาง คือ

- อุณหภูมิเทน้ำโลหะ 1070 องศาเซลเซียส
- อุณหภูมิแบบหล่อ 550 องศาเซลเซียส
- เวลาในการดูดอากาศ 105 วินาที

การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับการวิเคราะห์แบบ ANOVA

เป็นการพิสูจน์ว่าการใช้วิธีวิเคราะห์แบบ ANOVA มาวิเคราะห์ข้อมูลมานั้นถูกต้อง

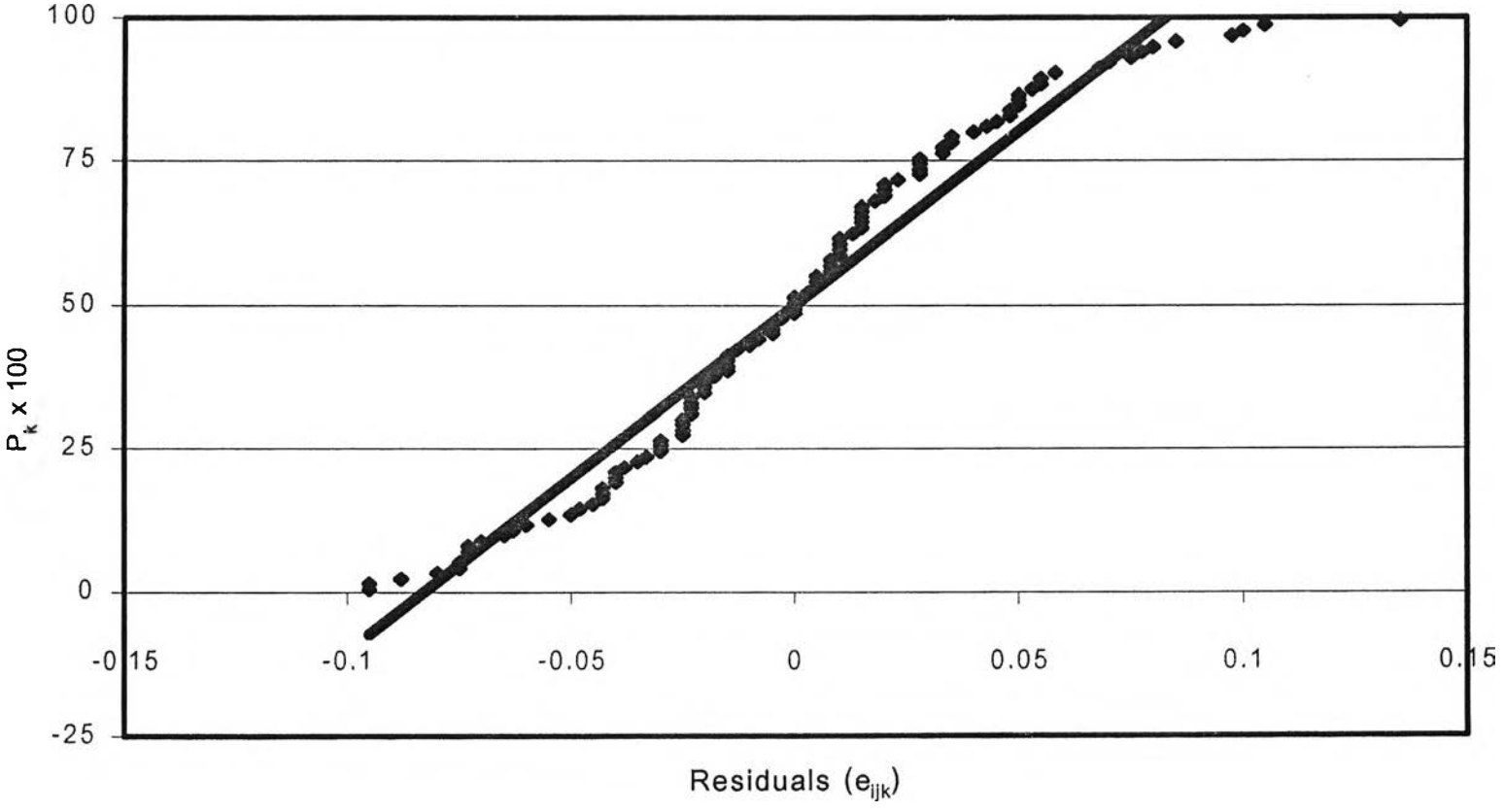
<u>ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล</u> (Residual, e_{ijkn})

จะต้องมีการแจกแจงแบบปกติและอิสระด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 [$e_{ijkn} \sim NID(0, \sigma^2)$]

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลแบบ ANOVA – Two factors factorial design จะได้ว่า

$$e_{ijkn} = y_{ijkn} - \bar{y}_{ijk.}$$

นำค่า e_{ijkn} มาสร้างกราฟ Normal probability plot โดยทำการเรียงข้อมูล e_{ijkn} จากน้อยไปหามากแล้วหาค่าความถี่สะสม (cumulative frequency) จากกราฟ Normal probability plot e_{ijkn} กับความถี่สะสมในรูปที่ 5-9 จะได้กราฟเส้นตรงแสดงความคลาดเคลื่อนของข้อมูล (e_{ijkn}) มีการแจกแจงแบบปกติและอิสระด้วยค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0 และความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 [$e_{ijkn} \sim NID(0, \sigma^2)$]



รูปที่ 5.24 กราฟ Normal probability plot

การแก้ปัญหาสำหรับแผนกขัด

จากขั้นตอนการทำงาน และ การวิเคราะห์ถึงสาเหตุของของเสียที่เกิดขึ้นพบว่า ของเสียส่วนใหญ่จะเกิดจากการทำงานที่ไม่ระมัดระวังของคน ยกตัวอย่างเช่น ขั้นตอนการขัดยาดิน เนื่องจากลูกผ้าที่ใช้สำหรับขัดยาดินจะมีความแข็งสำหรับการขัดเพื่อลบรอย หากพนักงานไม่ชำนาญ และใช้แรงในการขัดไม่เหมาะสมแล้ว ลูกผ้าจะขัดชิ้นงานออกไปมากเกินความจำเป็น โดยเฉพาะชิ้นงานที่มีลวดลายบาง ๆ หรือชิ้นงานที่มีกระเปาะจะต้องใช้ความระมัดระวังมากเป็นพิเศษเพื่อไม่ให้ชิ้นงานเสียหาย เป็นต้น

ด้วยเหตุนี้การแก้ปัญหาสำหรับขั้นตอนการขัด จึงเป็นการแก้ปัญหาที่การทำงานของคนเป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากงานขัดของโรงงานตัวอย่างโดยส่วนใหญ่ประมาณ 80% จะจ้างช่างภายนอกในการทำงาน การติดตามเพื่อการแก้ไขปัญหาจึงทำได้ยาก และไม่สามารถควบคุมได้ อีกทั้งการขัดที่ดีจะต้องอาศัยประสบการณ์ และ ความชำนาญในการทำงานค่อนข้างมาก จึงจะทำให้การทำงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น จึงต้องการลดปัญหาของเสียอันเนื่องมาจากความผิดพลาดของคนลง โดยการนำเครื่องจักรซึ่งสามารถควบคุมได้ง่ายเข้ามาใช้งานแทน

จากการศึกษาหาข้อมูลทั้งทางทฤษฎี และ การปฏิบัติงานของโรงงานเครื่องประดับอื่น ๆ พบว่า มีอุปกรณ์บางอย่างที่สามารถใช้แทนการขัดโดยช่างฝีมือได้ นั่นก็คือ เครื่องโม่ ซึ่งที่โรงงานตัวอย่างนี้ มีเครื่องโม่อยู่ 2 เครื่องแล้ว เพียงแต่ไม่ได้ใช้แทนการขัดแต่จะใช้สำหรับกำจัดเศษปูนที่ติดตามซอกของเครื่องประดับหลังจากทำการหล่อเสร็จแล้ว ซึ่งเครื่องโม่ชนิดนี้ เครื่องหนึ่งเป็นเครื่องโม่ที่ใช้เข็มที่เป็นแม่เหล็กในการโม่ และอีกเครื่องหนึ่งใช้ลูกเหล็กในการโม่ ซึ่งการโม่ด้วย ลูกเหล็กสามารถนำมาใช้แทนการขัดเงาได้ แต่เนื่องจากของเสียส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการขัดยาดิน ซึ่งการโม่ด้วยเข็มแม่เหล็กจะทำได้ไม่ละเอียดพอ ทำได้แค่เพียงลบรอยบนชิ้นงานได้บางส่วนเท่านั้น และจากทฤษฎีกล่าวว่า อย่างน้อยควรใช้การขัดโม่ 2 ขั้นตอนก่อนที่จะถึงขั้นตอนการขัดเงาครั้งสุดท้าย ดังนั้นจึงเสนอให้โรงงานตัวอย่างนำเครื่องโม่เข้ามาเพิ่มเติมอีก 1 เครื่อง ซึ่งเป็นเครื่องโม่แบบสั่นสะเทือน (Vibratory Tumbler) และใช้พลาสติกเป็นตัวขัดผิว คือ เครื่องโม่ Grinding เครื่องโม่ชนิดนี้จะทำการลบรอยจากการแต่งให้เรียบ เหมือนขั้นตอนการขัดยาดิน

จากการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ของโรงงานตัวอย่าง พบว่าเครื่องโม่ไม่สามารถใช้กับผลิตภัณฑ์ของโรงงานตัวอย่างได้ทุกชนิด คือ สำหรับการโม่ Grinding จะมีข้อจำกัดบางประการ ทำให้ไม่เหมาะสำหรับงานบางประเภท ได้แก่ งานที่บอบบางมาก ๆ และ งานที่ต้องนำไปฝังประเภทฝังไข่ปลา หรืองานที่ต้องนำไปติด M เพราะจะทำให้ไข่ปลาสำหรับล็อคนั้นถูกขัดหลุดหายไป และกระเปาะสำหรับฝังชิ้นงานจะขยายทำให้พลอยหลุดได้ง่าย งานประเภทนี้จึงจำเป็นที่จะต้องทำการขัดโดยช่างฝีมือในขั้นตอนของการขัดก่อนที่จะทำการฝัง เนื่องจากเมื่อทำการฝังเรียบร้อยแล้ว

สามารถนำไปโม่ลูกเหล็กก่อนการบรรจุหีบห่อได้ สัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้เครื่องโม่แทนได้ แยกตามชนิดผลิตภัณฑ์ โดยทำการเก็บข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการขัด ทั้งในแผนกขัด และแผนกชุบซึ่งจะต้องทำการขัดก่อนการชุบ เป็นเวลา 3 เดือน แสดงดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.9 แสดงสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้เครื่องโม่แทนได้

ชนิดผลิตภัณฑ์	จำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่ผ่านการขัด (ชิ้น)	จำนวนชิ้นงานที่ใช้เครื่องโม่ได้ (ชิ้น)	% ผลิตภัณฑ์ที่สามารถใช้เครื่องโม่ได้
แหวน	330,561	286,716	86.74%
จี้	102,738	71,166	69.27%
ต่างหู	77,316	49,608	64.16%
เข็มกลัด	11,652	9,504	81.57%
สร้อย	9,126	8,643	94.71%
กำไล	8,583	7,950	92.62%
รวม	539,976	433,587	80.30%

จากตารางที่ 5.9 สามารถสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์ของโรงงานตัวอย่างประมาณ 80% จะสามารถใช้เครื่องโม่แทนขั้นตอนการขัดโดยช่างฝีมือได้ ซึ่งนับได้ว่าเป็นปริมาณที่มากพอสมควร จึงได้ทำการกำหนดขั้นตอนการทำงานที่เหมาะสมสำหรับการใช้เครื่องโม่ ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการโม่ที่เหมาะสมนั้น จะใช้เครื่องโม่ทั้ง 3 ชนิด เรียงตามลำดับ ดังนี้

ขั้นที่ 1 โม่ Magnetic เพื่อใช้กำจัดเศษปูนตามซอกของชิ้นงานที่อาจจะตกค้างมา และช่วยลบคมครีบ ลบลายที่เกิดจากการแต่ง อีกทั้งยังช่วยลดความหยาบของผิวชิ้นงาน และทำให้เกิดรอยโม่ที่สม่ำเสมอ ซึ่งเป็นการเตรียมผิวชิ้นงานให้เรียบขึ้นก่อนที่จะนำไปขัดในขั้นตอนต่อไป

ขั้นที่ 2 โม่ Grinding ใช้สำหรับลบรอยขีดข่วนที่เกิดจากการโม่ Magnetic จะทำให้ผิวชิ้นงานเรียบขึ้น และชิ้นงานจะเงาขึ้นกว่าการโม่ด้วย Magnetic

ขั้นที่ 3 โม่ลูกเหล็ก ใช้แทนขั้นตอนการขัดเงา ชิ้นงานที่ได้จะเงาสวย และสามารถนำไปชุบได้ทันที

โม่ Magnetic

เป็นการโม่เพื่อช่วยในการขัดชิ้นงาน วิธีการใช้งานนั้นเพียงแต่นำชิ้นงาน, เซ็มสแตนเลสสำหรับขัดชิ้นงาน (วัสดุขัดโม่) น้ำยาลดแรงตึงผิว (น้ำยาเหลือง 910) และเติมน้ำให้พอท่วมชิ้นงานลงในภาชนะพลาสติกแล้วนำไปตั้งไว้บนเครื่องโม่ (Centrifugal Disc) เมื่อกดปุ่มให้เครื่องเริ่มทำงาน เซ็มสแตนเลสซึ่งถูกแรงดึงดูดของแม่เหล็กตรึงไว้ก็จะเริ่มเคลื่อนที่และหมุนไปตามแรงของมอเตอร์ เซ็มสแตนเลสเหล่านั้นจะกระโดดไป-มา และทำให้เซ็มไปสัมผัสกับชิ้นงาน ทำให้คราบสกปรกที่ไม่ต้องการหลุดออกและจะไม่ทำให้ชิ้นงานสึกหรอ อีกทั้งยังช่วยทำให้ผิวของชิ้นงานเงาขึ้นด้วย

ชิ้นงานที่จะทำการโม่จะต้องผ่านกระบวนการโม่ด้วยระบบแม่เหล็กก่อนเสมอ เพื่อกำจัดเศษปูนและสิ่งสกปรกที่ติดค้างอยู่ตามซอกมุมของชิ้นงาน การโม่ด้วยวิธีนี้ไม่สามารถทำให้ผิวของชิ้นงานเรียบขึ้นได้ เวลาที่ใช้ในการโม่แต่ละครั้งขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และจำนวนของชิ้นงาน

ขั้นตอนการโม่ Magnetic

1. ตรวจดูน้ำยาในเครื่องว่ายังสามารถใช้ต่อได้หรือไม่ โดยถ้าน้ำยาดำให้เปลี่ยนน้ำยาทิ้ง และทำความสะอาดถังและเซ็มด้วยน้ำเปล่า แล้วเติมน้ำยาใหม่เข้าไป ถ้าน้ำยายังไม่ดำให้นำชิ้นงานลงเครื่อง แล้วปิดฝา
2. ตั้งเวลาตามที่กำหนดไว้ คือประมาณ 20 นาที และเปิดสวิตซ์ เครื่องจะปิดโดยอัตโนมัติเมื่อครบตามเวลาที่กำหนด
3. สุ่มตรวจชิ้นงาน ถ้ายังมีคราบเศษปูนอยู่ให้โม่ต่อไปอีกแล้วทำการตรวจเช็คทุก 5 นาที
4. เมื่อชิ้นงานไม่มีเศษปูนติดอยู่แล้ว ให้นำชิ้นงานออกจากเครื่องโม่
5. ล้างชิ้นงานด้วยน้ำสะอาด และเป่าให้แห้ง

ลักษณะของเสียจากงานโม่ Magnetic

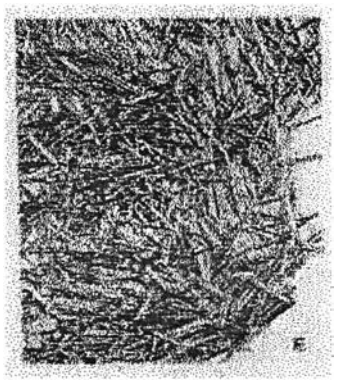
- คราบสิ่งสกปรกตามผิวงานออกไม่หมด
- มีเศษปูนติดตามซอกมุมของชิ้นงาน

เกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพของการโม่ Magnetic

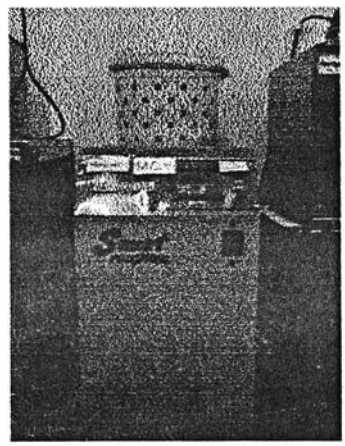
ชิ้นงานไม่มีคราบสิ่งสกปรกติดตามผิวงาน ไม่มีเศษปูนติดตามซอกมุมของชิ้นงาน

<u>เวลาที่ใช้ในการโม่ Magnetic</u> (การทดลองโม่เพื่อกำหนดเวลาที่เหมาะสมสำหรับงานประเภทต่าง ๆ แสดงดังภาคผนวก ค)

20 - 25 นาที ด้วยน้ำหนักงาน 550 กรัม ต่อ การโม่ 1 ครั้ง



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.25 แสดงอุปกรณ์ในการโม่ด้วยระบบแม่เหล็ก

(ก) เข็มสแตนเลส

(ข) เครื่องโม่ Centrifugal Disc

โม่ Grinding

เป็นการทำความสะอาด และ ขัดผิวชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดของผิวงานระดับปานกลาง ซึ่งชิ้นงานจะผ่านกระบวนการโม่ Magnetic หรือ ผ่านการแต่งด้วยกระดาษทรายมาแล้ว นำมาทำการโม่เพื่อที่จะลบรอยกระดาษทรายหรือร่องรอยที่เกิดจากการโม่ Magnetic เพื่อทำให้ผิวของชิ้นงานมีความเรียบขึ้น โดยใช้น้ำยาและวัสดุขัดโม่ที่มีรูปทรงต่าง ๆ เช่น พีระมิด ทรงกรวย ทรงกลม เป็นต้น วิธีการทำงาน คือ ใส่ชิ้นงานในเครื่องโม่ (Vibratory Tumbler) ที่มีวัสดุขัดโม่อยู่ เติมน้ำและน้ำยาลงไปในปริมาณที่เหมาะสม กดสวิตช์ให้เครื่องทำงาน วัสดุขัดโม่และชิ้นงานจะถูกเขย่าด้วยแรงของมอเตอร์ทำให้เคลื่อนที่ลงสู่บริเวณก้นของภาชนะ ทำให้ชิ้นงานถูกกดและขัดสีด้วยวัสดุขัดโม่

<u>ขั้นตอนการโม่ Grinding</u>

1. ผสมน้ำยาโม่ในอัตราส่วน น้ำยาโม่ Grinding 50 กรัมต่อน้ำ 3 ลิตร
2. เปิดเครื่องโม่ Grinding

3. ใส่ชิ้นงานลงในเครื่องโม่ โดยน้ำหนักชิ้นงานในการโม่ต่อครั้งต้องไม่เกิน 5 กิโลกรัม
4. เทน้ำยาโม่ที่ผสมแล้วในข้อ 1 ลงไปในเครื่อง
5. เปลี่ยนถ่ายน้ำยาโม่ Grinding ออกทุก ๆ 1 ชั่วโมง และใส่น้ำยาใหม่ที่เตรียมไว้ลงไปในเครื่องโม่
6. ทำการโม่ Grinding จนครบเวลาที่กำหนด ประมาณ 8 ชั่วโมง จากนั้นปิดเครื่อง และนำชิ้นงานออกจากเครื่องโม่
7. สุ่มตรวจชิ้นงาน ถ้ายังไม่ได้ให้นำชิ้นงานกลับเข้าเครื่องและทำการโม่ต่อไป จากนั้นสุ่มตรวจชิ้นงานทุก 30 นาที จนกระทั่งชิ้นงานไม่มีร่องรอยของการแต่งด้วยกระดาษทราย และบริเวณผิวชิ้นงานมีความมันเงา
8. ล้างชิ้นงานด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง จึงเสร็จขั้นตอนการโม่ Grinding

<u>หมายเหตุ</u>

งานที่ไม่ควรโม่ Grinding ได้แก่ งานที่ต้องนำไปฝัง ประเภทฝังไข่ปลา หรืองานที่ต้องนำไปติด M เพราะจะทำให้ไข่ปลาสำหรับล็อคนั้นถูกขัดหลุดหายไป

<u>ลักษณะของเสียจากงานโม่ Grinding</u>

- มีรอยกระดาษทราย
- มีรอยผ่าพิมพ์
- ผิวงานไม่ละเอียด
- ลวดลายหาย
- ตัวเรือนบาง
- ตัวเรือนหัก งอ เสียรูปทรง
- กระเปาะบาง

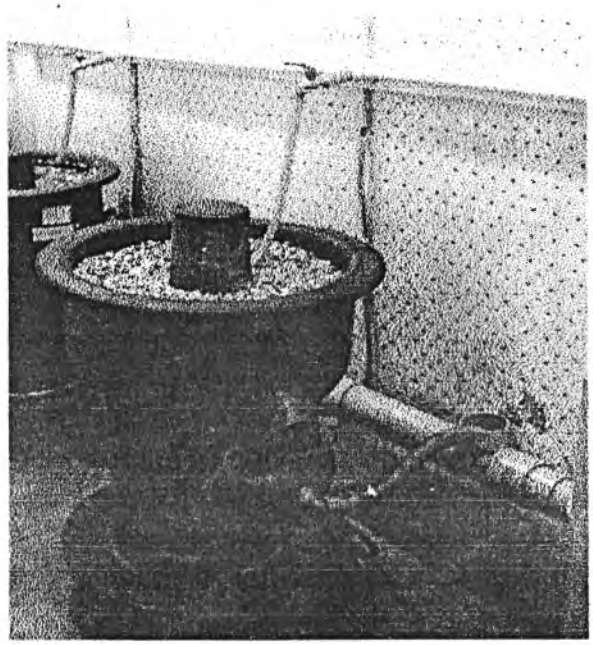
<u>เกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพของการโม่ Grinding</u>

ชิ้นงานไม่มีร่องรอยจากการแต่งด้วยกระดาษทรายไม่มีรอยจากการผ่าพิมพ์ยาง บริเวณผิวและตามขอกมุมของชิ้นงานมีความเงา

<u>เวลาที่ใช้ในการโม่ Grinding</u> (การทดลองโม่เพื่อกำหนดเวลาที่เหมาะสมสำหรับงานประเภทต่าง ๆ แสดงดังภาคผนวก ค)

8 ชั่วโมง ด้วยน้ำหนักงาน 5,000 กรัม ต่อการโม่ 1 ครั้ง

(ก)



(ข)

รูปที่ 5.26 แสดงอุปกรณ์ในการโม่ Grinding
(ก) วัสดุขัดโม่พลาสติกรูปทรงต่าง ๆ
(ข) เครื่องสำหรับการโม่ Grinding

โม่ลูกเหล็ก

เป็นการขัดผิวชิ้นชิ้นงานที่ต้องการความละเอียดผิวสูงและให้เกิดความเงางาม (Fine Cut Cycle) โดยใช้วัสดุขัดโม่ที่เป็นโลหะรูปทรงกลม รูปเม็ดข้าว และรูปจานบินขัดผิวชิ้นงาน วิธีการทำงาน คือ ใส่ชิ้นงานในภาชนะที่มีวัสดุขัดโม่และน้ำยา จากนั้นจึงปิดภาชนะทั้งหมดของเครื่องโม่ (Rotary Tumbler) กดสวิตซ์ให้เครื่องทำงาน ระบบมอเตอร์จะหมุนให้ภาชนะที่บรรจุชิ้นงานและ

วัสดุขัดโม่หมุนรอบแกนหมุน การทำงานในลักษณะเช่นนี้จะทำให้ชิ้นงานกับวัสดุขัดโม่เกิดการสัมผัสและกระทบกัน ซึ่งจะเป็นการขัดและทำให้ผิวของชิ้นงานมีความเงางาม

ชิ้นงานที่จะโม่ลูกเหล็กควรผ่านการโม่ Grinding หรือผ่านการขัดหยาบมาก่อนเพื่อเป็นการเตรียมผิวให้เรียบ น้ำยาที่ใช้ในการโม่จะเป็นน้ำยาโม่สีขาว และน้ำยาเหลือง ผสมกันในอัตราส่วน 1 : 2 เวลาที่ใช้ในการโม่ด้วยวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณ ขนาด และรูปร่างของชิ้นงาน

ขั้นตอนการโม่ลูกเหล็ก

1. ใส่น้ำลงในเครื่องโม่เพื่อล้างลูกเหล็กให้สะอาด จากนั้นจึงถ่ายน้ำออก
2. ใส่น้ำลงในเครื่องโม่ให้ท่วมลูกเหล็กประมาณ 1 นิ้ว
3. เติมน้ำยาผงโม่สีขาว : ผงสีเหลือง ในอัตรา 1: 2 ลงในเครื่องโม่
4. ปิดฝาเครื่องโม่แล้วหมุนนอตให้สนิท
5. เปิดสวิตซ์เดินเครื่องเพื่อให้น้ำยาละลาย 30 นาทีแล้วปิดเครื่อง
6. นำชิ้นงานลงในถังโม่ไม่เกิน 1,500 กรัมต่อการโม่ 1 ครั้ง
7. ตั้งเวลาตามที่กำหนดไว้ จากนั้นเปิดสวิตซ์เดินเครื่อง
8. เมื่อครบกำหนดเวลาที่กำหนด เครื่องจะปิดเองโดยอัตโนมัติ
9. สุ่มตรวจชิ้นงาน ถ้ายังใช้ไม่ได้ให้นำกลับเข้าเครื่องโม่แล้วเดินเครื่องต่อตามกำหนดเวลาที่เหมาะสม
10. นำชิ้นงานออกจากเครื่องโม่แล้วล้างทำความสะอาด และเป่าชิ้นงานให้แห้ง

หมายเหตุ

ในการโม่ลูกเหล็กสำหรับงานที่ต้องการรักษารูปทรง ควรปรับความเร็วรอบของเครื่องโม่ให้ช้าลงแล้วทำการเพิ่มเวลาในการโม่ให้นานขึ้นก็จะสามารถรักษารูปทรงของชิ้นงานไม่ให้เสียได้

ลักษณะของเสียจากงานโม่ลูกเหล็ก

- ตัวเรือนเสียทรง
- ผิวเรียบ ไม่เงา

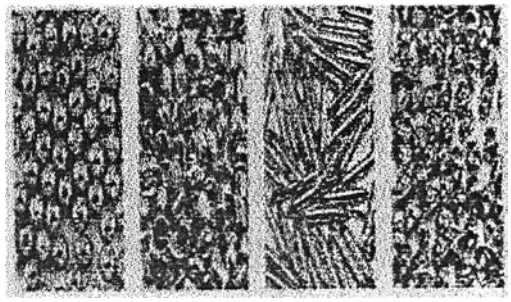
เกณฑ์การตรวจสอบคุณภาพของการโม่ลูกเหล็ก

ชิ้นงานมีผิวเรียบมันเป็นเงา

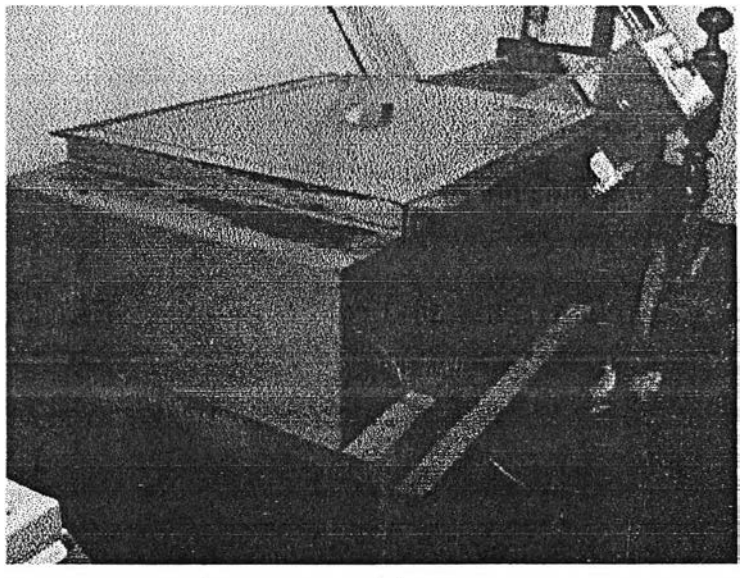
<u>เวลาที่ใช้ในการโม่ลูกเหล็ก</u> (การทดลองโม่เพื่อกำหนดเวลาที่เหมาะสมสำหรับงานประเภทต่าง ๆ แสดงดังภาคผนวก ค)

น้ำหนัก 1,500 กรัมต่อการโม่ 1 ครั้ง และแบ่งเวลาที่ใช้ในการโม่ตามขั้นตอนที่จะนำไปผลิตต่อไป ได้แก่

1. โม่ลูกเหล็กเพื่อไปฝัง
   - 20 นาทีสำหรับงานที่ไม่มีซอกมุม
   - 30 นาทีสำหรับงานที่มีลวดลายไม่มาก
   - 60 นาทีสำหรับงานที่โปร่งมีลวดลายมาก
2. โม่ลูกเหล็กเพื่อไป Pack ใช้เวลา 2 - 2.5 ชั่วโมง



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.27 แสดงอุปกรณ์ในการโม่ขัดเงาด้วยลูกเหล็ก

(ก) ลูกเหล็กรูปทรงต่าง ๆ

(ข) เครื่องโม่ Rotary Tumbler

เพื่อเป็นการป้องกันปัญหาเรื่องชิ้นงานมีรอยขีดข่วนหลังจากการโม่ทุกประเภท ดังนั้นหลังจากการโม่เสร็จในแต่ละขั้นตอน จะต้องล้างทำความสะอาดชิ้นงานเพื่อเอาเศษผงออกให้หมดก่อนที่จะโม่ในขั้นตอนต่อไป อีกสาเหตุหนึ่ง คือเข็มต่างหูและเข็มกลัด จะต้องเสียบด้วยหลอดยางเพื่อป้องกันปลายเข็มกระแทกชิ้นงาน

คุณภาพของชิ้นงานที่ได้จากการโม่นั้น มีความแตกต่างจากการขัดด้วยช่างฝีมือเล็กน้อย แต่ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ถือว่ายอมรับได้ นอกจากนี้ การโม่จะใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่าการขัดโดยช่าง ฝีมือ ดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 แสดงเวลาในการทำงานโดยการโม่

วิธีการโม่	เวลา (โดยประมาณ)	น้ำหนัก	จำนวน (1 ชิ้น ≈ 4 กรัม)
โม่ Magnetic	20 นาที	550 กรัม	137
โม่ Grinding	8 ชั่วโมง	5000 กรัม	1250
โม่ลูกเหล็ก	1 ชั่วโมง 30 นาที	1500 กรัม	375
รวม	9 ชั่วโมง 50 นาที (590 นาที)	7050 กรัม	1762 ชิ้น

จากตารางสามารถสรุปได้ว่าการโม่จะใช้เวลาในการทำงานทั้งหมด คือ 1762/590 ≈ 3 ชิ้นต่อนาที ซึ่งถ้าหากนำมาเปรียบเทียบกับการขัดโดยช่างฝีมือแล้วจะพบว่า งานโม่จะใช้เวลาน้อยกว่า เนื่องจากการขัดโดยช่างฝีมือจะใช้เวลาในการทำงานเฉลี่ย 2-5 นาทีต่อชิ้น ขึ้นอยู่กับความยากง่ายของงานแต่ละประเภท อีกทั้งงานโม่ยังสามารถลดความสูญเสียที่เกิดจากความผิดพลาดในการทำงานของคนลงได้ด้วย

จากการเก็บข้อมูลการทำงานโดยการใช้เครื่องโม่เป็นระยะเวลา 1 เดือนพบว่าของเสียที่เกิดขึ้นจากการโม่เป็นดังนี้

ตารางที่ 5.11 ข้อมูลสาเหตุของเสียที่เกิดขึ้นจากการโม่

ชนิดของการโม่	**จำนวนการตรวจสอบ (ชิ้น)**	**สาเหตุของเสีย**	**จำนวน (ชิ้น)**	**% ของเสีย**
โม่ Magnetic	32,734	ปูนติดตามซอก	113	0.629
		ผิวงานมีคราบปูน	93	
โม่ Grinding	30,458	ตัวเรือนเสียทรง	85	1.136
		มีรอยกระดาษทราย	187	
		ลวดลายหาย	74	

ตารางที่ 5.11 ข้อมูลสาเหตุของเสียที่เกิดขึ้นจากการโม่ (ต่อ)

ชนิดของการโม่	จำนวนการตรวจสอบ (ชิ้น)	สาเหตุของเสีย	จำนวน (ชิ้น)	% ของเสีย
โม่ลูกเหล็ก	28,431	ตัวเรือนเสียทรง	190	0.872
		ลวดลายหาย	58	
			รวม	2.637

เมื่อนำข้อมูลของเสียที่พบในการขัดโดยช่างฝีมือเปรียบเทียบกับการโม่แล้วจะได้ดังตารางที่ 5.12 โดยที่จำนวนการตรวจสอบของงานขัดที่นำมาเปรียบเทียบนั้น จะเป็นข้อมูลการตรวจสอบของเสียใน 1 เดือนสำหรับงานที่สามารถเปลี่ยนจากการขัดโดยช่างฝีมือมาเป็นการขัดโดยใช้เครื่องโม่ได้เท่านั้น

ตารางที่ 5.12 ตารางแสดงการเปรียบเทียบของเสียระหว่างการขัดและการโม่

แผนก	จำนวนการตรวจสอบ	งานซ่อม	%	งานเสีย	%
ขัด	100,046	6,784	6.781	912	0.912
โม่	30,458	668	2.193	132	0.433
		ผลต่าง	4.588		0.479

เมื่อเปรียบเทียบของเสียที่เกิดขึ้นพบว่าเมื่อนำเครื่องโม่เข้ามาใช้แทนการขัดโดยช่างฝีมือแล้วทำให้ของเสียที่เกิดขึ้นลดลง โดยงานซ่อมจะมีค่าลดลง 4.588% ต่อเดือน และงานเสียจะมีค่าลดลง 0.479% ต่อเดือน ดังนั้นการโม่จะช่วยลดของเสียลงได้ถึงประมาณ 5.067% ต่อเดือน เมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ลดลงจะได้ดังนี้

ปริมาณการผลิตสำหรับงานที่จะต้องผ่านกระบวนการขัดของโรงงานตัวอย่างและสามารถนำการโม่มาใช้แทนการขัด มีประมาณ 120,000 ชิ้นต่อเดือน แสดงว่า โรงงานตัวอย่างสามารถลดของเสียไปได้เดือนละ 120,000 x 5.067% = 6,081 ชิ้น ซึ่งแบ่งออกเป็นงานซ่อม 5,506 ชิ้น และงานเสีย 575 ชิ้น ค่าใช้จ่ายที่โรงงานตัวอย่างประหยัดได้ จะคำนวณโดยใช้ราคาตามใบเทคนิค ดังนี้

- ค่าแรงในการหลอมใหม่ (คิดรวมค่าเนื้อเงินที่เพิ่ม) 6.672 บาท/ชิ้น
- ค่าแรงในการหล่อ 2.45 บาท/ชิ้น
- ค่าแรงในการแต่ง 8 บาท/ชิ้น
- ค่าแรงในการขัด 5 บาท/ชิ้น

- ค่าแรงในการตรวจสอบคุณภาพ 0.4 บาท/ชิ้น

<u>งานซ่อม</u>

งานซ่อมจะไม่คิดค่าแรงช่างเพิ่มในการทำงานแต่จะเสียค่าตรวจสอบสำหรับพนักงานตรวจสอบคุณภาพ 2 ครั้ง

ค่าแรงในการตรวจสอบคุณภาพ 2 ครั้ง = 2 x 0.4 x 5,506 = 4,404.8 บาท

∴ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สำหรับงานซ่อม คือ 4,404.8 บาทต่อเดือน

<u>งานเสีย</u>

การคิดต้นทุนที่เพิ่มขึ้น เมื่อเกิดงานเสียที่แผนกขัดจะมีค่าใช้จ่ายดังนี้

ราคาในการหลอมเนื้อเงินเพื่อนำมาใช้ใหม่ = 575 x 6.672 = 3,836.4 บาท

ราคาในการหล่อ = 575 x 2.45 = 1,408.75 บาท

ราคาในการแต่ง = 575 x 8 = 4,600 บาท

ราคาในการขัด = 575 x 5 = 2,875 บาท

ตรวจสอบคุณภาพ 2 ครั้ง = 2 x 0.4 x 575 = 460 บาท

∴ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้สำหรับงานเสีย คือ 13,180.15 บาทต่อเดือน

∴ ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้ทั้งหมด คือ 17,584.95 บาทต่อเดือน

การคิดค่าใช้จ่ายในการโม่

ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นสำหรับการนำเครื่องโม่เข้ามาใช้นั้น มีค่าน้ำยาโม่, ค่าวัสดุขัดโม่ และค่าแรงงาน ที่จะต้องใช้สำหรับการโม่แต่ละประเภท และเนื่องจากโรงงานตัวอย่างยังไม่มีเครื่องโม่ Grinding จึงต้องเสียค่าใช้จ่ายส่วนนี้ด้วย ซึ่งค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะคิดเป็นรายเดือน ดังนี้

โม่ Magnetic

<u>ค่าน้ำยาโม่</u>

ราคาน้ำยาโม่ขาว 180 บาท/กิโลกรัม

การใช้น้ำยาโม่ขาวจะใช้ประมาณ 17.4 กรัม/ครั้ง เท่ากับ 0.0174 กิโลกรัม/ครั้ง

∴ ใช้ 1 ครั้ง คิดเป็นเงิน 180 x 0.0174 = 3.132 บาท

การโม่ Magnetic ส่วนมากจะมีการเปลี่ยนน้ำ เมื่อมีการโม่ประมาณ 2-3 ครั้ง ดังนั้นจะให้ถือว่าจะมีการเปลี่ยนน้ำเมื่อมีการโม่งานเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

∴ ค่าน้ำยาจะเป็น 3.132 บาท/ชั่วโมง

ใน 1 เดือน มี 26 วันทำงาน

ใน 1 วัน มี 8 ชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมงทำงานปกติ)

∴ ค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำยาโม่ 3.132 x 26 x 8 = 651.456 บาท/เดือน

<u>ค่าวัสดุขัดโม่</u>

ราคาวัสดุขัดโม่ 10 บาท/กรัม

เครื่องโม่ 1 เครื่อง ใช้วัสดุขัดโม่ 250 กรัม

∴ คิดเป็นเงิน 2,500 บาท

วัสดุขัดโม่มีอายุการใช้งานประมาณ 3 ปี

∴ คิดเป็นเงิน 2500 ÷ 3(12) = 69.44 บาท/เดือน

โม่ Grinding

<u>ค่าน้ำยาโม่</u>

ราคาน้ำยาโม่ 2000 บาท/gal คิดเป็น 0.53 บาท/c.c.

ปริมาณการใช้น้ำยา 50 มิลลิลิตร/ชั่วโมง คิดเป็น 50 c.c./ชั่วโมง

∴ ค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำยาโม่ 0.53 x 50 = 26.5 บาท/ชั่วโมง

ใน 1 เดือน มี 26 วันทำงาน

ใน 1 วัน มี 8 ชั่วโมงการทำงาน (ชั่วโมงทำงานปกติ)

∴ ค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำยาโม่ 26.5 x 26 x 8 = 5512 บาท/เดือน

<u>ค่าวัสดุขัดโม่</u>

ราคาวัสดุขัดโม่ประมาณ 300 บาท/กิโลกรัม

เครื่องโม่ 1 เครื่อง จะใช้วัสดุขัดโม่ประมาณ 45 กิโลกรัม

∴ คิดเป็นเงิน 300 x 45 = 13,500 บาท

วัสดุขัดโม่พลาสติกมีอายุการใช้งานประมาณ 3 ปี

∴ คิดเป็นเงิน 13,500 ÷ 3(12) = 375 บาท/เดือน

ค่าเครื่องโม่ Grinding

ราคาเครื่อง Vibratory tumbler 50,000 บาท

ราคาอุปกรณ์ต่าง ๆ 4,400 บาท

∴ ราคาทรัพย์สิน 50,000 + 4,400 = 54,400 บาท

โม่ลูกเหล็ก

ค่าน้ำยาโม่

น้ำยาโม่ที่ใช้กับการโม่ลูกเหล็กจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. น้ำยาโม่เหลือง

ราคาน้ำยาโม่เหลือง 80 บาท/กิโลกรัม

การใช้น้ำยาโม่เหลืองจะใช้ประมาณ 1.2 กิโลกรัม/ครั้ง

∴ การใช้น้ำยาโม่ 1 ครั้ง คิดเป็นเงิน 80 x 1.2 = 96 บาท

น้ำยาที่ใช้เติมนี้จะใช้ประมาณ 1 อาทิตย์ถึงจะเปลี่ยนน้ำยาใหม่

∴ ค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำยา 96 x 4 = 384 บาท/เดือน

2. น้ำยาโม่ขาว

ราคาน้ำยาโม่ขาว 180 บาท/กิโลกรัม

การใช้น้ำยาโม่ขาวจะใช้ประมาณ 0.90 กิโลกรัม/ครั้ง

∴ การใช้น้ำยาโม่ 1 ครั้ง คิดเป็นเงิน 180 x 0.90 = 162 บาท

น้ำยาที่ใช้เติมนี้จะใช้ประมาณ 1 อาทิตย์ถึงจะเปลี่ยนน้ำยาใหม่

∴ ค่าใช้จ่ายในการใช้น้ำยา 162 x 4 = 648 บาท/เดือน

∴ รวมค่าน้ำยาโม่ทั้งหมด 384 + 648 = 1032 บาท/เดือน

ค่าวัสดุขัดโม่

ราคาวัสดุขัดโม่ประมาณ 1200 บาท/กิโลกรัม

เครื่องโม่ 1 เครื่องจะใช้วัสดุขัดโม่ประมาณ 35 กิโลกรัม

∴ คิดเป็นเงิน 1,200 x 35 = 42,000 บาท

วัสดุขัดโม่มีอายุการใช้งานประมาณ 5 ปี

∴ คิดเป็นเงิน 42,000 x 5(12) = 700 บาท/เดือน

ค่าแรงงาน สำหรับเครื่องโม่ทั้ง 3 ประเภท

อัตราค่าแรงของพนักงาน 6000 บาท/เดือน

ค่าใช้จ่ายในการโม่ 651.456+69.44+5,512+375+1,032+700+6,000=14,339.896 บาท/เดือน

ค่าเครื่องโม่ Grinding = 54,400 บาท

เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่โรงงานประหยัดได้จากของเสียที่ลดลง และ ค่าใช้จ่ายในการโม่ที่เกิดขึ้นจะพบว่า ในแต่ละเดือนโรงงานจะมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงประมาณ 3,245.054 บาท ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเครื่องโม่ Grinding ที่ลงทุนไปตอนเริ่มแรกนั้นพบว่าจะคุ้มทุนเมื่อใช้เครื่องโม่แทนการขัดเป็นระยะเวลาประมาณ 54,400 ÷ 3,245.054 ≈ 17 เดือน ซึ่งเครื่องโม่ Grinding มีอายุการใช้งานอย่างน้อย 5 ปี

นอกจากนี้ในเครื่องโม่สามารถโม่ชิ้นงานได้ประมาณ 32,500 ชิ้นต่อเดือน และใช้ค่าใช้จ่าย14,339.896 บาท/เดือน ดังนั้นเครื่องโม่จะมีค่าใช้จ่ายต่อชิ้นเพียง 14,339.896 ÷ 32,500 = 0.441 บาท/ชิ้น ซึ่งชิ้นงาน 32,500 ชิ้น ถ้าใช้การขัดโดยช่างฝีมือจะเสียค่าใช้จ่ายถึง 32,500 x 5 = 162,500 บาท จึงสามารถสรุปได้ว่าการนำเครื่องโม่มาใช้จะช่วยลดต้นทุนได้ถึง 4.559 บาท/ชิ้น

ถึงแม้ว่าการนำเครื่องโม่เข้ามาใช้แทนการขัดโดยช่างฝีมือนั้นจะมีข้อดีมาก แต่ก็มีข้อจำกัดบางประการ คือ การโม่ Grinding ไม่สามารถทำได้กับงานทุกประเภท ซึ่งงานที่ไม่เหมาะสำหรับการโม่ Grinding ได้แก่ งานที่ต้องนำไปฝัง ประเภทฝังไข่ปลา หรืองานที่ต้องนำไปติด M เพราะจะทำให้ไข่ปลาสำหรับล็อคนั้นถูกขัดหลุดหายไป งานประเภทนี้จึงจำเป็นที่จะต้องทำการขัดโดยช่างฝีมือในขั้นตอนของการขัดก่อนที่จะทำการฝัง เนื่องจากเมื่อทำการฝังเรียบร้อยแล้ว สามารถนำไปโม่ลูกเหล็กก่อนการบรรจุหีบห่อได้

เนื่องจากการขัดโดยช่างฝีมือนั้นมีข้อควรระวังในการทำงานค่อนข้างมาก มิฉะนั้นอาจจะเป็นสาเหตุของการเกิดของเสียได้ ดังนั้นขั้นตอนการทำงานและข้อควรระวังที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการขัดโดยช่างฝีมือเป็นอย่างมาก สำหรับขั้นตอนการทำงานที่เหมาะสมนี้กำหนดขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับงานฝังประเภทฝังไข่ปลา และงานที่จะนำไปติด M นั้นจะแบ่งออกตามประเภทของชิ้นงานที่ผลิตเป็นจำนวนมากในโรงงานตัวอย่าง ได้แก่ แหวน ต่างหู และ จี้ เนื่องจากมีวิธีในการขัดและมีอุปกรณ์บางอย่างที่แตกต่างกัน

ขั้นตอนการขัดที่เหมาะสมสำหรับแหวน

1. นำลูกผ้าปอเสียบเข้ากับแกนของมอเตอร์ จากนั้นหมุนเกลียวยึดให้แน่น ตรวจดูลูกผ้าปอให้เรียบร้อยก่อนทำการขัดว่าแกนของมอเตอร์ไม่เอียง ซึ่งจะทำให้ลูกผ้าปอเบี้ยวและไม่สามารถทำการขัดได้อย่างถนัด จากนั้นเปิดสวิตช์ของมอเตอร์
2. ใช้ก้อนยาดินป้ายกับขอบนอกหรือริมของลูกผ้าปอที่หมุนอยู่เล็กน้อยแล้วจับชิ้นงานไปจ่อบริเวณริมของลูกแปรง ควรนำแหวนสวมลงในไม้ขัด เพื่อช่วยให้สามารถขัดเงาได้สะดวกขึ้น และแหวนจะไม่เสียรูปทรงขณะทำการขัดมากนัก เนื่องจากถ้าเป็นแหวนขนาดเล็กเมื่อทำการขัดอาจเกิดการบิดงอได้ง่าย จากนั้นทำการขัดด้วยแรงที่เหมาะสมและสม่ำเสมอ ไม่ควรกดชิ้นงานกับลูกผ้าแรงเกินไป เนื่องจากจะทำให้ชิ้นงานไม่เสมอกัน และทำการขัดจนกระทั่งร่องรอยจากการแต่ง เช่น รอยกระดาษทรายหมดไป
3. การขัดยาดินด้วยมอเตอร์โดยใช้ลูกผ้าสี ขั้นตอนการขัดจะเหมือนกับขั้นตอนการขัดยาดินโดยใช้ลูกผ้าปอทุกประการ เพียงแต่จะใช้ลูกผ้าสีซึ่งมีความละเอียดกว่าแทนลูกผ้าปอเท่านั้น เพื่อให้สามารถลบร่องรอยจากการแต่งได้ดียิ่งขึ้น หลังจากเสร็จขั้นตอนนี้ ชิ้นงานจะต้องเรียบไม่มีรอยกระดาษทรายหรือร่องรอยการตะไบเหลืออยู่เลย
4. การลงแปรงจี้กลมบริเวณกระเปาะ เพื่อเก็บซอกตามขอบกระเปาะหรือบริเวณลวดลายเล็ก ๆ ที่การใช้ลูกผ้าไม่สามารถขัดได้ถึง โดยทำเช่นเดียวกับการใช้ลูกผ้าปอเพียงแต่จะใช้แปรงจี้กลมแทนลูกผ้าปอในการขัดเท่านั้น เนื่องจากแปรงจี้กลมจะสามารถขัดตามซอก หรือขอบกระเปาะได้ละเอียดกว่า
5. การหมุนวงในโดยใช้ยาดิน ทำได้โดยใช้ผ้าดิบพันแกนมอเตอร์ แล้วป้ายยาดินที่ผ้าเพียงเล็กน้อยจากนั้นนำแหวนมาคล้องแกนมอเตอร์ กดด้านใดด้านหนึ่งของแหวนให้ติดกับผ้าดิบแล้วหมุนไปจนกระทั่งรอบวง
6. ทำความสะอาดชิ้นงานโดยนำชิ้นงานใส่ตะกร้า แล้วแช่ลงในน้ำยาในเครื่องอุลตราโซนิคเพื่อล้างยาดินออกจากชิ้นงาน และจะสามารถนำชิ้นงานขึ้นได้เมื่อไม่มีคราบดำของยาดินติดอยู่บนชิ้นงานแล้ว (ประมาณ 5 นาทีเป็นอย่างน้อย) จากนั้นนำชิ้นงานไปเป่าให้แห้ง จึงจะนำไปทำการขัดในขั้นตอนต่อไปได้
7. ปัดลูกผ้าเงาด้วยมอเตอร์โดยใช้ยาขาวและยาแดง โดยนำลูกผ้าเงาเสียบเข้ากับแกนของมอเตอร์ จากนั้นหมุนเกลียวยึดให้แน่น ตรวจดูลูกผ้าเงาให้เรียบร้อยว่าแกนของมอเตอร์ไม่เบี้ยว หรือเอียง จากนั้นเปิดสวิตช์ของมอเตอร์ วิธีการขัดอาจจะขัดด้วยยาขาวก่อน แล้วตามด้วยการขัดด้วยยาแดง หรือจะป้ายยาขาวและยาแดงพร้อมกันก่อนแล้วจึงขัดก็ได้

8. ทำการหมุนวงในด้วยยาขาว และยาแดงซึ่งมีวิธีการที่เหมือนกับการหมุนวงในยาดิน การขัดเงาอาจจะขัดด้วยยาขาวแล้วตามด้วยยาแดงหรือจะป้ายยาขาวและยาแดงพร้อมกันแล้วจึงขัดก็ได้
9. ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องอุลตราโซนิคเหมือนการล้างยาดินในครั้งแรก เพื่อทำความสะอาดชิ้นงานครั้งสุดท้ายก่อนการส่ง Pack

ขั้นตอนการขัดที่เหมาะสมสำหรับจี้

1. นำลูกผ้าปอเสียบเข้ากับแกนของมอเตอร์ จากนั้นหมุนเกลียวยึดให้แน่น ตรวจดูลูกผ้าปอให้เรียบร้อยก่อนทำการขัดว่าแกนของมอเตอร์ไม่เอียง ซึ่งจะทำให้ลูกผ้าปอเบี้ยวและไม่สามารถทำการขัดได้อย่างถนัด จากนั้นเปิดสวิตช์ของมอเตอร์
2. ใช้ก้อนยาดินป้ายกับขอบนอกหรือริมของลูกผ้าปอที่หมุนอยู่เล็กน้อยแล้วจับชิ้นงานไปจ่อบริเวณริมของลูกแปรง อาจจะใช้คีมจับชิ้นงานหรือใช้มือจับก็ได้ แล้วแต่ความถนัด จากนั้นทำการขัดด้วยแรงที่เหมาะสมและสม่ำเสมอ ไม่ควรกด ชิ้นงานกับลูกผ้าแรงเกินไป เนื่องจากจะทำให้ชิ้นงานไม่เสมอกัน และทำการขัดจนกระทั่งร่องรอยจากการแต่ง เช่น รอยกระดาษทรายหมดไป
3. การขัดยาดินด้วยมอเตอร์โดยใช้ลูกผ้าสี ขั้นตอนการขัดจะเหมือนกับขั้นตอนการขัดยาดินโดยใช้ลูกผ้าปอทุกประการ เพียงแต่จะใช้ลูกผ้าสีซึ่งมีความละเอียดกว่าแทนลูกผ้าปอเท่านั้น เพื่อให้สามารถลบร่องรอยจากการแต่งได้ดียิ่งขึ้น หลังจากเสร็จขั้นตอนนี้ ชิ้นงานจะต้องเรียบไม่มีรอยกระดาษทรายหรือร่องรอยการตะไบเหลืออยู่เลย
4. การลงแปรงจี้กลมบริเวณกระเปาะ เพื่อเก็บซอกตามขอบกระเปาะหรือบริเวณลวดลายเล็ก ๆ ที่การใช้ลูกผ้าไม่สามารถขัดได้ถึง โดยทำเช่นเดียวกับการใช้ลูกผ้าปอเพียงแต่จะใช้แปรงจี้กลมแทนลูกผ้าปอในการขัดเท่านั้น เนื่องจากแปรงจี้กลมจะสามารถขัดตามซอก หรือขอบกระเปาะได้ละเอียดกว่า
5. ทำความสะอาดชิ้นงานโดยนำชิ้นงานใส่ตะกร้า แล้วแช่ลงในน้ำยาในเครื่องอุลตราโซนิคเพื่อล้างยาดินออกจากชิ้นงาน และจะสามารถนำชิ้นงานขึ้นได้เมื่อไม่มีคราบดำของยาดินติดอยู่บนชิ้นงานแล้ว (ประมาณ 5 นาทีเป็นอย่างน้อย) จากนั้นนำชิ้นงานไปเป่าให้แห้ง จึงจะนำไปทำการขัดในขั้นตอนต่อไปได้
6. ปัดลูกผ้าเงาด้วยมอเตอร์โดยใช้ยาขาวและยาแดง โดยนำลูกผ้าเงาเสียบเข้ากับแกนของมอเตอร์ จากนั้นหมุนเกลียวยึดให้แน่น ตรวจดูลูกผ้าเงาให้เรียบร้อยว่าแกนของมอเตอร์ไม่

เบี้ยว หรือเอียง จากนั้นเปิดสวิตช์ของมอเตอร์ วิธีการขัดอาจจะขัดด้วยยาขาวก่อน แล้วตามด้วยการขัดด้วยยาแดง หรือจะป้ายยาขาวและยาแดงพร้อมกันก่อนแล้วจึงขัดก็ได้

7. ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องอุลตราโซนิคเหมือนการล้างยาดินในครั้งแรก เพื่อทำความสะอาดชิ้นงานครั้งสุดท้ายก่อนการส่ง Pack

ขั้นตอนการขัดที่เหมาะสมสำหรับต่างหู

1. นำลูกผ้าปอเสียบเข้ากับแกนของมอเตอร์ จากนั้นหมุนเกลียวยึดให้แน่น ตรวจดูลูกผ้าปอให้เรียบร้อยก่อนทำการขัดว่าแกนของมอเตอร์ไม่เอียง ซึ่งจะทำให้ลูกผ้าปอเบี้ยวและไม่สามารถทำการขัดได้อย่างถนัด จากนั้นเปิดสวิตช์ของมอเตอร์
2. ใช้ก้อนยาดินป้ายกับขอบนอกหรือริมของลูกผ้าปอที่หมุนอยู่เล็กน้อยแล้วจับชิ้นงานไปจ่อบริเวณริมของลูกแปรง อาจจะนำต่างหูเสียบลงในแกนสำหรับจับเข็มต่างหู เพื่อให้สามารถขัดเงาได้ง่ายขึ้น และจะช่วยทำให้ก้านต่างหูไม่เสียรูปทรงด้วย จากนั้นทำการขัดด้วยแรงที่เหมาะสมและสม่ำเสมอ ไม่ควรกดชิ้นงานกับลูกผ้าแรงเกินไป เนื่องจากจะทำให้ชิ้นงานไม่เสมอกัน และทำการขัดจนกระทั่งร่องรอยจากการแต่ง เช่น รอยกระดาษทรายหมดไป
3. การขัดยาดินด้วยมอเตอร์โดยใช้ลูกผ้าสี ขั้นตอนการขัดจะเหมือนกับขั้นตอนการขัดยาดินโดยใช้ลูกผ้าปอทุกประการ เพียงแต่จะใช้ลูกผ้าสีซึ่งมีความละเอียดกว่าแทนลูกผ้าปอเท่านั้น เพื่อให้สามารถลบร่องรอยจากการแต่งได้ดียิ่งขึ้น หลังจากเสร็จขั้นตอนนี้ ชิ้นงานจะต้องเรียบไม่มีรอยกระดาษทรายหรือร่องรอยการตะไบเหลืออยู่เลย
4. การลงแปรงจี้กลมบริเวณกระเปาะ เพื่อเก็บขอกตามขอบกระเปาะหรือบริเวณลวดลายเล็ก ๆ ที่การใช้ลูกผ้าไม่สามารถขัดได้ถึง โดยทำเช่นเดียวกับการใช้ลูกผ้าปอเพียงแต่จะใช้แปรงจี้กลมแทนลูกผ้าปอในการขัดเท่านั้น เนื่องจากแปรงจี้กลมจะสามารถขัดตามขอก หรือขอบกระเปาะได้ละเอียดกว่า
5. ทำความสะอาดชิ้นงานโดยนำชิ้นงานใส่ตะกร้า แล้วแช่ลงในน้ำยาในเครื่องอุลตราโซนิคเพื่อล้างยาดินออกจากชิ้นงาน และจะสามารถนำชิ้นงานขึ้นได้เมื่อไม่มีคราบดำของยาดินติดอยู่บนชิ้นงานแล้ว (ประมาณ 5 นาทีเป็นอย่างน้อย) จากนั้นนำชิ้นงานไปเป่าให้แห้ง จึงจะนำไปทำการขัดในขั้นตอนต่อไปได้
6. ปัดลูกผ้าเงาด้วยมอเตอร์โดยใช้ยาขาวและยาแดง โดยนำลูกผ้าเงาเสียบเข้ากับแกนของมอเตอร์ จากนั้นหมุนเกลียวยึดให้แน่น ตรวจดูลูกผ้าเงาให้เรียบร้อยว่าแกนของมอเตอร์ไม่เบี้ยว หรือเอียง จากนั้นเปิดสวิตช์ของมอเตอร์ วิธีการขัดอาจจะขัดด้วยยาขาวก่อน แล้วตามด้วยการขัดด้วยยาแดง หรือจะป้ายยาขาวและยาแดงพร้อมกันก่อนแล้วจึงขัดก็ได้

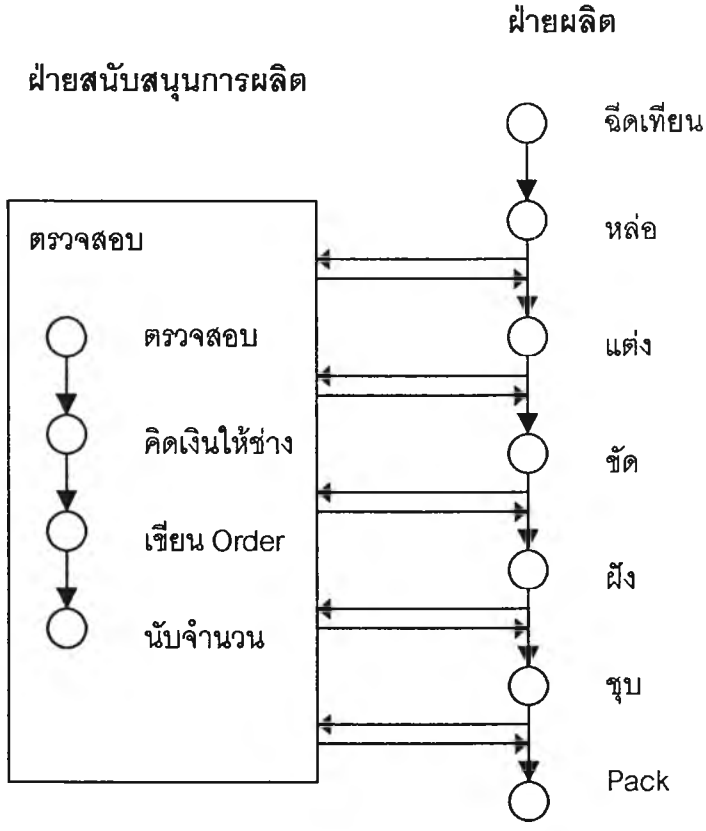
7. ทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องอุลตราโซนิคเหมือนการล้างยาดินในครั้งแรก เพื่อทำความสะอาดชิ้นงานครั้งสุดท้ายก่อนการส่ง Pack

<u>หมายเหตุ</u>

1. ควรเปลี่ยนลูกผ้าทุกเดือน เพื่อให้สามารถทำการขัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากการใช้ลูกผ้าที่หมดอายุการใช้งานจะทำให้ชิ้นงานไม่เงา และไม่สามารถขัดร่องรอยต่าง ๆ ได้
2. การป้ายยาขัดชนิดต่าง ๆ ควรป้ายครั้งละเล็กน้อย แต่บ่อยครั้ง
3. การขัดแหวนต้องขัดด้วยแรงสม่ำเสมอ เพื่อป้องกันไม่ให้ชิ้นงานแหว่งเข้าไปด้านใดด้านหนึ่ง ชิ้นงานที่ได้ต้องหนาเสมอกัน
4. ชิ้นงานที่ผ่านการขัดแล้วจะต้องมีลักษณะ ดังนี้
    4.1 ชิ้นงานโลหะจะต้องขัดเงาให้สะอาด เรียบร้อย สวยงาม คงทน และจะต้องไม่มีฝ้าขาว, ดำ
    4.2 ตรวจสอบงานขัดเงา ดังนี้
        - ไม่มีเศษเสี้ยน
        - ไม่มีรอยขีดข่วน
        - ไม่มีปีกโลหะหรือตุ่มโลหะเกิน
        - ขอบต้องไม่หยาบ
        - ไม่มีรอยดำ คล้ำ
        - ไม่มีรู หรือ ตามด
        - ไม่มีเศษสำลี หรือ เศษผ้าขัด
        - ไม่มีเศษโลหะ หรือ เศษปูน
        - ไม่มีเศษผงยาขัดชนิดต่าง ๆ ติดอยู่
    4.3 การขัดเงามากเกินไป จนทำให้เสียสมดุลย์ระหว่างความแข็งแรงและความคมชัดจะทำให้ไม่ผ่านการตรวจรับ
    4.4 รูปแบบหรือส่วนสำคัญของชิ้นงานต้องคงรูปเอาไว้ทั้งหมด ตัวอย่างเช่น
        - ไม่มีขอบกระเปาะบางจนเกินไป
        - ขอบมุมต่าง ๆ จะต้องคมชัด และไม่ขรุขระหรือเป็นคลื่น

สำหรับการลดปริมาณงานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากแผนกหล่อตัวเรือนและแผนกขัดสำหรับโรงงานตัวอย่างดังที่กล่าวมาแล้วนั้น นับได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาของเวลาสูญเสียลง แต่ยังมีสาเหตุอีกส่วนหนึ่ง คือเวลาไร้ประสิทธิภาพที่เกิดขึ้น ซึ่งก็นับว่าเป็นปัญหาสำคัญอีกปัญหาหนึ่ง ที่ควรจะต้องทำการแก้ไข แต่เนื่องจากว่าปัญหาส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นสามารถแก้ไขได้โดยการกำหนดนโยบายในการทำงานบางเรื่องขึ้นใหม่ ซึ่งอยู่นอกเหนืออำนาจความควบคุมจึงได้ทำการเสนอแนะแนวทางแก้ไขไว้ ดังนี้

จากข้อมูลเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำ จะพบว่ามีเวลาสูญเสียอันเกิดจากเวลารอคอย เนื่องจากปริมาณชิ้นงานที่มาก ทำให้เมื่อมีชิ้นงานเข้าสู่การผลิต ชิ้นงานจะต้องเสียเวลารอคอยเป็นเวลานานซึ่งนับได้ว่าเป็นเวลาสูญเสียอย่างหนึ่ง อีกทั้งเมื่อมีชิ้นงานด่วนเข้ามาในการผลิต ช่างจะทำงานด่วนนั้นก่อน ทำให้ชิ้นงานที่ไม่ด่วนหรือไม่มีการเร่งจะต้องเสียเวลารอคอยไปอีกนาน และเมื่อมีงานทำซ้ำเข้ามาในการผลิต งานเหล่านี้จะต้องเสียเวลาในการรอคอยเพื่อที่จะซ่อมแซมชิ้นงานอีก ดังนั้นการลดปริมาณงานทำซ้ำลงจึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้น คือสามารถลดเวลารอคอยของชิ้นงาน และช่วยทำให้ปริมาณชิ้นงานที่เข้าสู่การผลิตลดลงด้วย ตัวอย่างของเวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 5.13



รูปที่ 5.28 แสดงขั้นตอนการทำงานของโรงงานตัวอย่าง

ตารางที่ 5.13 ตารางแสดงการเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในแต่ละแผนก

แผนก	เวลาทำงานจริง (นาที)	เวลาส่วนเกิน (นาที)		เวลาไร้ประสิทธิภาพ (เวลารอ) (นาที)	เวลารวม
		ตรวจสอบ	ขนย้ายชิ้นงาน		
ฉีดเทียน	290.13	15	3	146	454.13
หล่อ	825.53	1	15.17	583	1,424.70
แต่ง	255.5	-	6	110	371.50
ขัด	153.3	8	12	227	400.30
ฝัง	132	8	9	52.2	201.20
ชุบ	774.8	10	10	255.2	1,050.00
ตรวจสอบ	122.65	-	7	339	468.65
รวม	**2,553.91**	**42**	**62.17**	**1,712.4**	**4,370.48**

ตารางที่ 5.14 สัดส่วนของเวลาในการผลิตเทียบกับเวลาทั้งหมดในแต่ละแผนก

แผนก	เวลาทำงานจริง (%)	เวลาส่วนเกิน (%)	เวลาไร้ประสิทธิภาพ (เวลารอ) (%)
ฉีดเทียน	63.89	3.96	32.15
หล่อ	57.94	1.13	40.92
แต่ง	68.78	1.62	29.61
ขัด	38.30	5.00	56.71
ฝัง	65.61	8.45	25.94
ชุบ	73.79	1.90	24.30
ตรวจสอบ	26.17	1.49	72.34
รวม	**58.44**	**2.38**	**39.18**

จากตารางที่ 5.14 จะเห็นได้ว่าเวลาไร้ประสิทธิภาพโดยรวมมีค่าถึงประมาณ 39.18% ของเวลาในการทำงานทั้งหมด ซึ่งนับว่าเป็นความสูญเสียอย่างมากที่เกิดขึ้นกับโรงงานตัวอย่าง โดยเฉพาะขั้นตอนในการตรวจสอบจะมีเวลารอคอยมากที่สุด เนื่องจากปริมาณงานของทุกแผนกจะรวมอยู่ที่นี่เพียงที่เดียว ดังแสดงในรูปที่ 5.28 อีกทั้งขั้นตอนในการทำงานที่ยุ่งยากซับซ้อน เช่น การชั่งน้ำหนักหลายครั้ง เนื่องจากในแผนกตรวจสอบ แบ่งออกเป็นแผนกย่อย ๆ 4 แผนก คือ แผนกตรวจสอบ แผนกที่ทำหน้าที่ลงบิลสำหรับคิดเงินให้ช่าง แผนกที่ทำหน้าที่เขียนบิลสำหรับการ

สั่งงานในกระบวนการถัดไปให้กับช่าง และ แผนกที่ทำหน้าที่นับชิ้นงานเพื่อตรวจสอบความถูกต้องเรียบร้อยของชิ้นงานก่อนที่จะส่งชิ้นงานไปให้ช่าง และเพื่อเป็นการป้องกันการสูญหายของชิ้นงานก่อนที่จะส่งชิ้นงานให้แผนก ย่อย ๆ ถัดไป ก็จะต้องมีการรอนำไปส่งทีละมาก ๆ เพื่อความสะดวกในการเซ็นรับชิ้นงาน และการทำงานในขั้นตอนต่าง ๆ นี้ จะมีขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำกันมาก เช่น การตรวจนับ และการชั่งน้ำหนักชิ้นงาน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องและป้องกันการสูญหาย ด้วยสาเหตุนี้ทำให้ชิ้นงานที่ผ่านแผนกตรวจสอบใช้เวลานานก่อนที่จะผ่านสู่การผลิตขั้นตอนต่อไป และเนื่องจากแผนกตรวจสอบเป็นแผนกที่สำคัญ ก่อนที่ชิ้นงานจะผ่านไปสู่กระบวนการถัดไป จะต้องผ่านการตรวจสอบนี้ก่อนทุกครั้ง จึงควรเร่งปรับปรุงแก้ไขปัญหานี้ แต่เนื่องด้วยนโยบายของผู้บริหารที่ต้องการให้รักษาการทำงานในส่วนนี้ไว้ เพื่อความปลอดภัยของชิ้นงานจึงไม่สามารถทำการแก้ไขตรงจุดนี้ได้ จึงขอเสนอแนะแนวทางการแก้ไขไว้ดังนี้

จากแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องในรูปที่ 3.8 แสดงการผลิตของแผนกตรวจสอบจะเห็นได้ว่ามีขั้นตอนของการชั่งน้ำหนัก 3 ครั้ง การนับ 2 ครั้ง และ ขั้นตอนในการรอเพื่อที่จะส่งงานไปยังแผนกย่อยถัดไป 3 ครั้ง เนื่องจากโรงงานตัวอย่างถือว่า แต่ละแผนกย่อยเปรียบเสมือนเป็นคนละแผนกกัน ดังนั้นจะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของกันและกันเพื่อป้องกันชิ้นงานสูญหาย ข้อเสนอแนะสำหรับการแก้ปัญหาตรงจุดนี้ คือ จัดให้แต่ละแผนกย่อยมาทำงานอยู่ร่วมกัน โดยถือว่าเป็นแผนกเดียวกันถ้ามีการสูญหายของชิ้นงานก็รับผิดชอบร่วมกัน เมื่อตรวจสอบชิ้นงานเสร็จก็ส่งให้คนต่อไปทำการลงบิล และเขียนคำสั่งสำหรับขั้นตอนต่อไปได้เลย ส่วนขั้นตอนการนับก่อนการส่งงานนั้นสามารถตัดทิ้งไปได้ เนื่องจากว่าขณะที่ทำการตรวจสอบก็มีการนับจำนวนชิ้นงานไปด้วยอยู่แล้ว การทำงานลักษณะนี้จะทำให้การไหลของชิ้นงานเป็นไปอย่างรวดเร็วมากขึ้น

นอกจากนี้ จากการเก็บข้อมูลขั้นตอนในการทำงานของแต่ละแผนกดังแสดงในแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องในรูปที่ 3.2 ถึง รูปที่ 3.8 จะแสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลเวลาในการทำงานของแหวนแบบง่ายจำนวน 100 วง ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าเวลาไร้ประสิทธิภาพส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นใน 2 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 คือ ก่อนที่ชิ้นงานจะถูกผลิตชิ้นงานจะต้องมารอ เนื่องจากต้องรอให้ช่างทำงานที่ค้างอยู่เสียก่อน และบางครั้งมีงานเร่งด่วนเข้ามาก็จะต้องทำงานที่เร่งก่อนโดยจะมีพนักงานจากแผนกจ่ายงาน เป็นคนตามงานด้วยตนเอง สำหรับการแก้ปัญหาในขั้นตอนนี้ คือ ควรจะมีการจัดระบบการจ่ายงานที่เหมาะสม โดยมีการวัดระดับความสามารถในการทำงานของช่าง ถ้ายังมีงานค้างอยู่ที่ช่างมาก ก็ไม่ควรจ่ายงานใหม่เพิ่มเข้าไป มีการจัดตารางการผลิตสำหรับงานที่เข้ามาในแต่ละแผนก และ ควรนำระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในการวางแผนการผลิต เพื่อให้ง่ายในการติดตามข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณงาน และสถานะการผลิตของชิ้นงานตั้งแต่เริ่มต้นรับ Order เข้ามา การผลิตในโรงงาน จนถึงผลิตภัณฑ์ถูกนำไป Pack และส่งงานให้กับฝ่ายขาย

ขั้นตอนที่ 2 คือ เมื่อชิ้นงานผลิตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก่อนที่จะนำไปส่งให้แผนกจ่ายงานเพื่อส่งงานเข้าแผนกตรวจสอบอีกครั้ง ซึ่งในแต่ละแผนก (ยกเว้นแผนกฝัง) จะทำการส่งชิ้นงานไปที่จ่ายงานเพียงวันละ 1 รอบในตอนเย็นเท่านั้น ดังนั้นชิ้นงานที่ทำเสร็จแล้ว แต่ยังไม่ถึงเวลาส่งงานก็จะต้องถูกกองรอรวมกันอยู่ ทำให้การไหลของงานเป็นไปอย่างไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นการแก้ปัญหาในประเด็นนี้ จึงควรมีการส่งงานให้มากขึ้น ไม่ควรให้มีการกองงานรวมอยู่มากเกินไป ใน 1 วันอาจจะเพิ่มจำนวนครั้งของการส่งงานเป็น 4 ครั้ง เพื่อให้ชิ้นงานไหลไปสู่การผลิตขั้นตอนต่อไปได้ดีขึ้น นอกจากนี้ ยังสามารถแก้ไขปัญหาได้โดยการกำหนดปริมาณของการหล่อให้มากขึ้นเพื่อลดเวลาในการฉีดเทียน และ การหล่อตัวเรือนลง การยกตัวอย่างปริมาณงานทำซ้ำที่เกิดขึ้นแยกตามชนิดผลิตภัณฑ์ในเดือนมกราคมแสดงดังตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15 ตารางแสดงปริมาณงานทำซ้ำที่เกิดขึ้นแยกตามชนิดผลิตภัณฑ์ในเดือนมกราคม

แผนกที่พบงานทำซ้ำ	ชนิดผลิตภัณฑ์	จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ (ชิ้น)	จำนวนชิ้นงานทำซ้ำ			
			งานเสีย		งานซ่อม	
			จำนวนชิ้น	%	จำนวนชิ้น	%
โรงหล่อ	แหวน	186,250	4,107	2.20	-	-
	จี้	62,083	1,286	2.07	-	-
	ต่างหู	46,563	962	2.07	-	-
	อื่น ๆ	15,521	324	2.09	-	-
รวม		**310,417**	**6,679**	**2.15**	-	-
หล่อ	แหวน	171,293	2,943	1.72	-	-
	จี้	57,098	898	1.57	-	-
	ต่างหู	42,823	671	1.57	-	-
	อื่น ๆ	14,274	227	1.59	-	-
รวม		**285,488**	**4,739**	**1.66**	-	-
แต่ง	แหวน	223,725	3,418	1.53	12,669	5.66
	จี้	74,575	1,083	1.45	4,166	5.59
	ต่างหู	55,931	794	1.42	3,107	5.56
	อื่น ๆ	18,644	268	1.44	1,039	5.57
รวม		**372,875**	**5,563**	**1.49**	**20,981**	**5.63**

ตารางที่ 5.15 ตารางแสดงปริมาณงานทำซ้ำที่เกิดขึ้นแยกตามชนิดผลิตภัณฑ์ในเดือนมกราคม (ต่อ)

แผนกที่พบงานทำซ้ำ	ชนิดผลิตภัณฑ์	จำนวนชิ้นงานตรวจสอบ (ชิ้น)	จำนวนชิ้นงานทำซ้ำ			
			งานเสีย		งานซ่อม	
			จำนวนชิ้น	%	จำนวนชิ้น	%
ขัด	แหวน	51,289	847	1.65	1,786	3.48
	จี้	17,096	252	1.48	559	3.27
	ต่างหู	12,822	194	1.51	414	3.23
	อื่น ๆ	4,274	68	1.59	135	3.15
รวม		**85,481**	**1,361**	**1.59**	**2,894**	**3.39**
ฝัง	แหวน	56,587	632	1.12	3,991	7.05
	จี้	18,862	181	0.96	1,294	6.86
	ต่างหู	14,147	140	0.99	965	6.82
	อื่น ๆ	4,716	50	1.06	318	6.75
รวม		**94,312**	**1,003**	**1.06**	**6,568**	**6.96**
ชุบ	แหวน	69,074	1,259	1.82	3,062	4.43
	จี้	23,025	390	1.69	984	4.27
	ต่างหู	17,268	297	1.72	733	4.24
	อื่น ๆ	5,756	102	1.78	241	4.19
รวม		**115,123**	**2,048**	**1.78**	**5,020**	**4.36**

จากตารางที่ 5.15 สามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างของปริมาณงานทำซ้ำที่เกิดขึ้นในเดือนมกราคมรวมทุกแผนกมีทั้งหมด 29.8% โดยแยกเป็นงานเสีย 9.73% และงานซ่อม 20.07% ซึ่งจากตัวเลขนี้ สามารถนำไปกำหนดเป็นนโยบายของการหล่อได้ คือ จากสถิติพบว่างานที่จะต้องถูกนำไปหลอมใหม่หรืองานเสียรวมของทุกแผนกมีค่าประมาณ 10% ดังนั้น ควรกำหนดให้มีการหล่อชิ้นงานเผื่อไว้ในกรณีที่ชิ้นงานเกิดความเสียหายจะได้ไม่ต้องเสียเวลาในการหล่อชิ้นงานใหม่ โดยอาจจะเผื่อไว้ประมาณ 10% ซึ่งชิ้นงานส่วนที่เผื่อไว้นี้จะเก็บไว้ รอจนกว่ามีชิ้นงานเสียที่จะต้องนำไปหลอมใหม่เกิดขึ้นก็นำชิ้นงานเหล่านี้ออกมาผลิตต่อโดยข้ามขั้นตอนของการหล่อไปก็จะลดเวลาสูญเสียลงไปได้

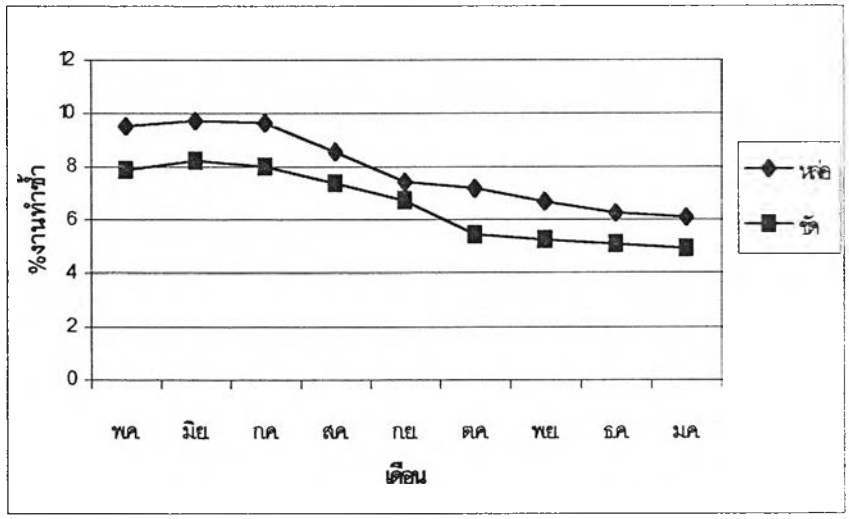
ข้อเสนอแนะเหล่านี้จะช่วยให้เวลาสูญเสียในกระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่างลดลงและทำให้สามารถผลิตสินค้าได้ทันกำหนดมากขึ้น

การประเมินผลการปรับปรุง

จากการปรับปรุงเพื่อลดปัญหางานทำซ้ำในแผนกหล่อตัวเรือน และแผนกขัด พบว่าปริมาณของงานทำซ้ำของโรงงานตัวอย่างลดลง โดยทำการเก็บข้อมูลของเปอร์เซ็นต์ของงานทำซ้ำในช่วงก่อนปรับปรุง ขณะปรับปรุง และ หลังปรับปรุง ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2544 ถึง เดือน มกราคม 2545 ดังตารางที่ 5.16 และเมื่อนำมาเขียนกราฟ จะได้ ดังรูปที่ 5.29

ตารางที่ 5.16 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ของงานทำซ้ำตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2544 ถึง เดือนมกราคม 2545

เดือน / แผนก	ก่อนปรับปรุง			ขณะปรับปรุง			หลังปรับปรุง		
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
หล่อ	9.51	9.72	9.64	8.54	7.41	7.18	6.68	6.24	6.08
ขัด	7.88	8.21	7.99	7.36	6.71	5.42	5.23	5.08	4.91



รูปที่ 5.29 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของงานทำซ้ำตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2544 ถึง เดือนมกราคม 2545

จากตารางที่ 5.16 จะเห็นว่าหลังปรับปรุงเปอร์เซ็นต์ของงานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากแผนกหล่อตัวเรือนและแผนกขัดลดลงประมาณแผนกละ 3% ซึ่งจำนวน และเปอร์เซ็นต์ของงานทำซ้ำในตารางที่ 5.16 และ รูปที่ 5.29 สามารถแยกตามชนิดผลิตภัณฑ์ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.17 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ของงานทำซ้ำที่มีสาเหตุจากแผนกหล่อตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2544 ถึง เดือนมกราคม 2545 แยกตามชนิดผลิตภัณฑ์

เดือน	แหวน			จี้			ต่างหู			อื่น ๆ		
	ตรวจ	งานเสีย	%	ตรวจ	งานเสีย	%	ตรวจ	งานเสีย	%	ตรวจ	งานเสีย	%
พ.ค.	180,912	17,565	9.71%	58,637	5,422	9.25%	44,228	4,004	9.05%	14,409	1,368	9.49%
มิ.ย.	181,617	17,806	9.80%	59,706	5,702	9.55%	44,654	4,289	9.60%	15,051	1,463	9.72%
ก.ค.	182,141	17,666	9.70%	61,047	5,689	9.32%	46,035	4,221	9.17%	15,012	1,422	9.47%
ส.ค.	180,226	15,521	8.61%	58,909	4,924	8.36%	43,057	3,685	8.56%	14,852	1,238	8.34%
ก.ย.	175,822	13,106	7.45%	56,607	4,169	7.36%	41,706	3,052	7.32%	13,902	1,017	7.32%
ต.ค.	168,112	12,127	7.21%	54,871	3,876	7.06%	40,528	2,932	7.23%	13,343	944	7.07%
พ.ย.	170,297	11,392	6.69%	55,099	3,697	6.71%	41,574	2,761	6.64%	13,525	887	6.56%
ธ.ค.	175,028	11,022	6.30%	58,343	3,601	6.17%	43,757	2,680	6.13%	14,586	900	6.17%
ม.ค.	173,260	10,594	6.11%	57,753	3,491	6.05%	43,315	2,614	6.03%	14,438	858	5.94%

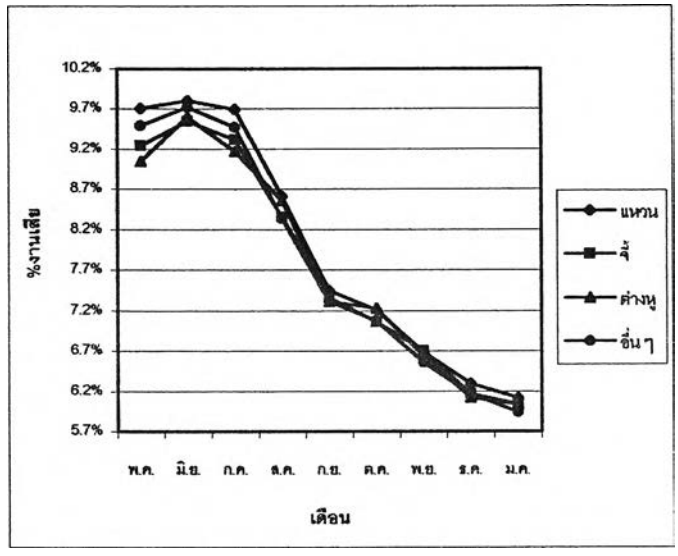
ตารางที่ 5.18 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ของงานซ่อมที่มีสาเหตุจากแผนกขัดตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2544 ถึง เดือนมกราคม 2545 แยกตามชนิดผลิตภัณฑ์

เดือน	แหวน			จี้			ต่างหู			อื่น ๆ		
	ตรวจ	งานซ่อม	%	ตรวจ	งานซ่อม	%	ตรวจ	งานซ่อม	%	ตรวจ	งานซ่อม	%
พ.ค.	78,291	4,747	6.06%	26,097	1,492	5.72%	19,573	1,107	5.65%	6,524	366	5.60%
มิ.ย.	72,452	4,461	6.16%	24,151	1,467	6.07%	18,113	1,125	6.21%	6,038	382	6.32%
ก.ค.	68,150	4,184	6.14%	22,717	1,311	5.77%	17,038	971	5.70%	5,679	340	5.99%
ส.ค.	80,739	4,507	5.58%	26,913	1,466	5.45%	20,185	1,084	5.37%	6,728	371	5.52%
ก.ย.	79,214	4,026	5.08%	26,405	1,304	4.94%	19,804	982	4.96%	6,601	332	5.03%
ต.ค.	72,347	2,971	4.11%	24,116	965	4.00%	18,087	720	3.98%	6,029	245	4.07%
พ.ย.	72,795	2,890	3.97%	24,265	932	3.84%	18,199	699	3.84%	6,066	238	3.92%
ธ.ค.	82,529	3,174	3.85%	27,510	1,038	3.77%	20,632	766	3.71%	6,877	262	3.81%
ม.ค.	66,914	2,479	3.70%	22,305	811	3.64%	16,729	606	3.62%	5,576	210	3.77%

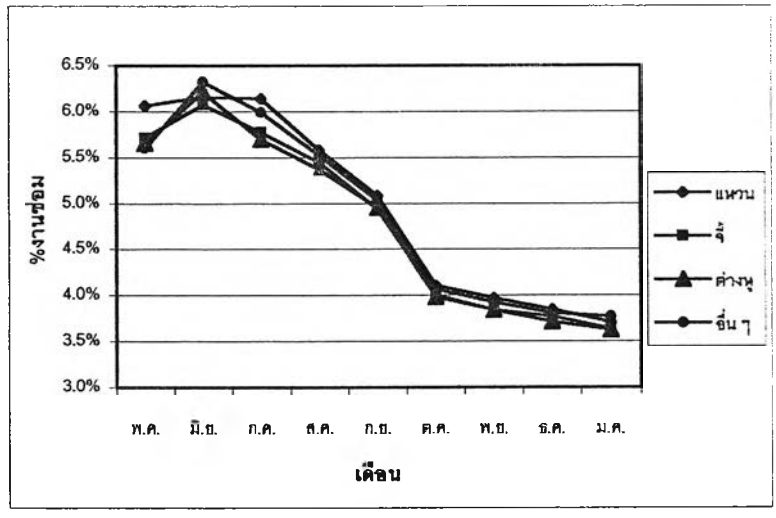
ตารางที่ 5.19 ตารางแสดงเปอร์เซ็นต์ของงานเสียที่มีสาเหตุจากแผนกขัดตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2544 ถึง เดือนมกราคม 2545 แยกตามชนิดผลิตภัณฑ์

เดือน	แหวน			จี้			ต่างหู			อื่น ๆ		
	ตรวจ	งานเสีย	%	ตรวจ	งานเสีย	%	ตรวจ	งานเสีย	%	ตรวจ	งานเสีย	%
พ.ค.	78,291	1,562	2.00%	26,097	504	1.93%	19,573	376	1.92%	6,524	129	1.97%
มิ.ย.	72,452	1,537	2.12%	24,151	476	1.97%	18,113	352	1.94%	6,038	114	1.89%
ก.ค.	68,150	1,381	2.03%	22,717	444	1.95%	17,038	335	1.97%	5,679	108	1.91%
ส.ค.	80,739	1,516	1.88%	26,913	480	1.78%	20,185	361	1.79%	6,728	119	1.77%
ก.ย.	79,214	1,349	1.70%	26,405	433	1.64%	19,804	322	1.63%	6,601	111	1.68%
ต.ค.	72,347	1,015	1.40%	24,116	312	1.29%	18,087	230	1.27%	6,029	77	1.27%
พ.ย.	72,795	962	1.32%	24,265	312	1.29%	18,199	233	1.28%	6,066	79	1.31%
ธ.ค.	82,529	1,068	1.29%	27,510	339	1.23%	20,632	252	1.22%	6,877	82	1.20%
ม.ค.	66,914	841	1.26%	22,305	264	1.18%	16,729	200	1.20%	5,576	63	1.14%

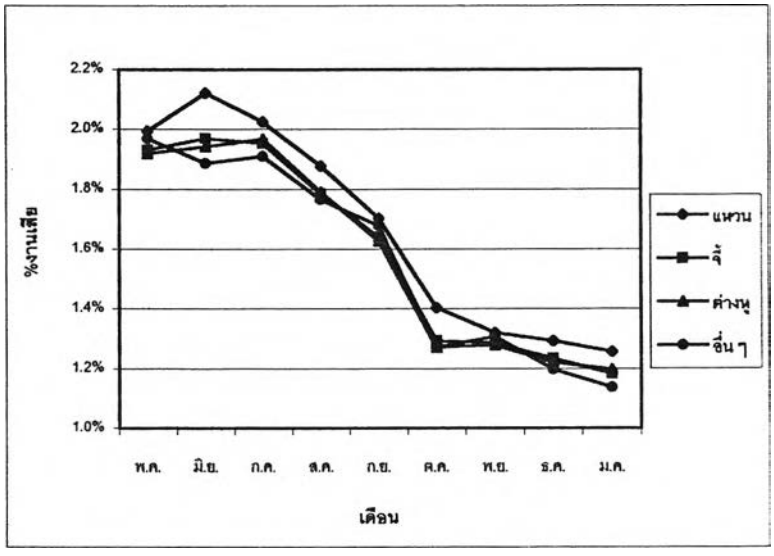
จากตารางที่ 5.17 ตารางที่ 5.18 และ ตารางที่ 5.19 สามารถแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 5.30 รูปที่ 5.31 และ รูปที่ 5.32 ตามลำดับ



รูปที่ 5.30 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของงานทำซ้ำที่มีสาเหตุจากแผนกหล่อ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2544 ถึง เดือนมกราคม 2545 แยกตามชนิดผลิตภัณฑ์



รูปที่ 5.31 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของงานซ่อมที่มีสาเหตุจากแผนกขัด ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2544 ถึง เดือนมกราคม 2545 แยกตามชนิดผลิตภัณฑ์



รูปที่ 5.32 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของงานเสียที่มีสาเหตุจากแผนกขัด ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2544 ถึง เดือนมกราคม 2545 แยกตามชนิดผลิตภัณฑ์

จากเปอร์เซ็นต์งานทำซ้ำที่ลดลง ส่งผลให้ต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำของโรงงานตัวอย่างลดลงด้วย ตารางที่ 5.20 แสดงการเก็บข้อมูลปริมาณของงานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากแผนกหล่อตัวเรือนในเดือนต่าง ๆ ก่อนปรับปรุง ขณะปรับปรุง และ หลังปรับปรุง ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2544 ถึงเดือน มกราคม 2545 ซึ่งสามารถตรวจพบได้ในทุก ๆ แผนกตั้งแต่แผนกหล่อตัวเรือน ถึงแผนกชุบ และตารางที่ 5.21 แสดงการเก็บข้อมูลปริมาณของงานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากแผนกขัดในเดือนต่าง ๆ ก่อนปรับปรุง ขณะปรับปรุง และ หลังปรับปรุง ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2544 ถึงเดือน มกราคม 2545 แยกตามประเภทงานเสีย และงานซ่อมซึ่งสามารถตรวจพบได้ในแผนกขัดและแผนกชุบ

เมื่อนำปริมาณงานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากแผนกหล่อตัวเรือน และแผนกขัด ดังตารางที่ 5.20 และ ตารางที่ 5.21 ตามลำดับมาคำนวณเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำของโรงงานตัวอย่าง จะพบว่าโรงงานสามารถลดต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำได้เป็นจำนวนมาก ดังแสดงในตารางที่ 5.22 และ ตารางที่ 5.23 คืองานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากแผนกหล่อตัวเรือนจะสามารถลดต้นทุนได้ถึงประมาณ 200,000 บาท จากต้นทุนเฉลี่ย 3 เดือน ก่อนการปรับปรุงประมาณ 522,376 บาท คิดเป็น 38% จากการปรับปรุงเป็นเวลา 3 เดือน และงานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากแผนกขัดจะสามารถลดต้นทุนได้ประมาณ 28,000 บาท จากต้นทุนเฉลี่ย 3 เดือน ก่อนการปรับปรุงประมาณ 74,932 บาท คิดเป็น 37% จากการปรับปรุงเป็นเวลา 3 เดือน เช่นกัน

ตารางที่ 5.20 ตารางแสดงปริมาณงานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากแผนกหล่อตัวเรือน

เดือน	แผนกที่พบงานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากแผนกหล่อตัวเรือน				
	หล่อ	แต่ง	ขัด	ฝัง	ชุบ
พ.ค.	11,574	8,506	1,942	725	5,611
มิ.ย.	11,966	8,876	2,005	646	5,766
ก.ค.	11,936	8,681	2,033	689	5,604
ส.ค.	10,461	7,609	1,782	604	4,912
ก.ย.	8,802	6,402	1,499	508	4,133
ต.ค.	8,197	5,962	1,396	473	3,849
พ.ย.	7,727	5,620	1,316	446	3,628
ธ.ค.	7,507	5,460	1,279	433	3,525
ม.ค.	7,240	5,306	1,223	418	3,370

จากปริมาณงานทำซ้ำที่พบดังตารางที่ 5.17 จะสามารถคำนวณเป็นต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากขั้นตอนการหล่อตัวเรือนได้โดยใช้ราคาตามใบเทคนิคดังนี้

- ค่าแรงในการหลอมใหม่ (คิดรวมค่าเนื้อเงินที่เพิ่ม) 6.672 บาท/ชิ้น
- ค่าแรงในการหล่อ 2.45 บาท/ชิ้น
- ค่าแรงในการแต่ง 8 บาท/ชิ้น
- ค่าแรงในการขัด 5 บาท/ชิ้น
- ค่าแรงในการฝัง 10 บาท/ชิ้น
- ค่าแรงในการชุบ 0.5 บาท/ชิ้น
- ค่าแรงในการตรวจสอบคุณภาพ 0.4 บาท/ชิ้น

ยกตัวอย่างการคำนวณต้นทุนในเดือนพฤษภาคม ดังนี้ งานทำซ้ำที่พบในแผนกหล่อจะเสียค่าแรงในการหลอม และค่าแรงในการหล่อใหม่ คิดเป็น (11,574*6.672) + (11,574*2.45) + = 105,578.03 บาท งานทำซ้ำที่พบในแผนกแต่งจะมีค่าใช้จ่ายเหมือนงานทำซ้ำที่พบในแผนกหล่อแต่เพิ่มค่าแรงในการแต่ง และค่าแรงในการตรวจสอบคุณภาพ คิดเป็น (8,506*6.672) + (8,506*2.45) + (8,506*8) + (8,506*0.4) = 149,042.13 บาท งานทำซ้ำที่พบในแผนกขัดจะมีค่าใช้จ่ายเหมือนงานทำซ้ำที่พบในแผนกแต่งแต่เพิ่มค่าแรงในการขัด และค่าแรงในการตรวจสอบคุณภาพอีกหนึ่งครั้ง คิดเป็น (1,942*6.672) + (1,942*2.45) + (1,942*8) + (1,942*5) +

(1,942*2*0.4) = 44,514.52 บาท งานทำซ้ำที่พบในแผนกฝังจะมีค่าใช้จ่ายเหมือนงานทำซ้ำที่พบในแผนกขัดแต่เพิ่มค่าแรงในการฝัง และค่าแรงในการตรวจสอบคุณภาพอีกหนึ่งครั้ง คิดเป็น (725*6.672) + (725*2.45) + (725*8) + (725*5) + (725*10) + (725*3*0.4) = 24,158.45 บาท งานทำซ้ำที่พบในแผนกขุบจะมีค่าใช้จ่ายเหมือนงานทำซ้ำที่พบในแผนกฝังแต่เพิ่มค่าแรงในการขุบและค่าแรงในการตรวจสอบคุณภาพอีกหนึ่งครั้ง คิดเป็น (5,611*6.672) + (5,611*2.45) + (5,611*8) + (5,611*5) + (5,611*10) + (5,611*0.5) + (5,611*4*0.4) = 192,019.64 บาท ดังนั้น ในเดือน พฤษภาคม จะมีต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากขั้นตอนการหล่อตัวเรือนเท่ากับ 515,312.77 บาท เป็นต้น

ตารางที่ 5.21 ตารางแสดงจำนวนงานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากแผนกขัด

เดือน	แผนกที่พบงานเสียของขัด		แผนกที่พบงานซ่อมของขัด	
	ขัด	ขุบ	ขัด	ขุบ
พ.ค.	995	1,576	3,523	4,189
มิ.ย.	1,073	1,405	3,493	3,943
ก.ค.	978	1,291	3,047	3,759
ส.ค.	1,122	1,354	3,489	3,939
ก.ย.	1,104	1,111	3,121	3,523
ต.ค.	740	893	2,302	2,599
พ.ย.	719	867	2,236	2,523
ธ.ค.	784	835	2,282	2,576
ม.ค.	676	815	2,102	2,372

การคำนวณต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากแผนกขัด สามารถยกตัวอย่างการคำนวณของเดือนพฤษภาคมได้ดังนี้ สำหรับงานเสีย จะคิดต้นทุนเหมือนงานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากขั้นตอนการหล่อตัวเรือนที่พบในแผนกขัด และแผนกขุบ คือ งานเสียที่พบในแผนกขัดมีต้นทุนเท่ากับ (995*6.672) + (995*2.45) + (995*8) + (995*5) + (995*2*0.4) = 22,807.39 บาท และงานเสียที่พบในแผนกขุบมีต้นทุนเท่ากับ (1,576*6.672) + (1,576*2.45) + (1,576*8) + (1,576*5) + (1,576*10) + (1,576*0.5) + (1,576*4*0.4) = 53,933.87 บาท สำหรับงานซ่อมจะไม่คิดค่าแรงในการทำขั้นตอนใด ๆ เพิ่ม แต่จะเสียค่าแรงในการตรวจสอบคุณภาพครั้งใหม่ คือ งานซ่อมที่พบในแผนกขัดมีต้นทุนเท่ากับ 3,523*0.4 = 1,409.20 บาท และงานซ่อมที่พบในแผนก

ชุบมีต้นทุนเท่ากับ 4,189*0.4 = 1,675.60 บาท ดังนั้นสรุปว่า ในเดือน พฤษภาคม จะมีต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำที่มีสาเหตุมาจากขั้นตอนขัดเท่ากับ 79,826.06 บาท

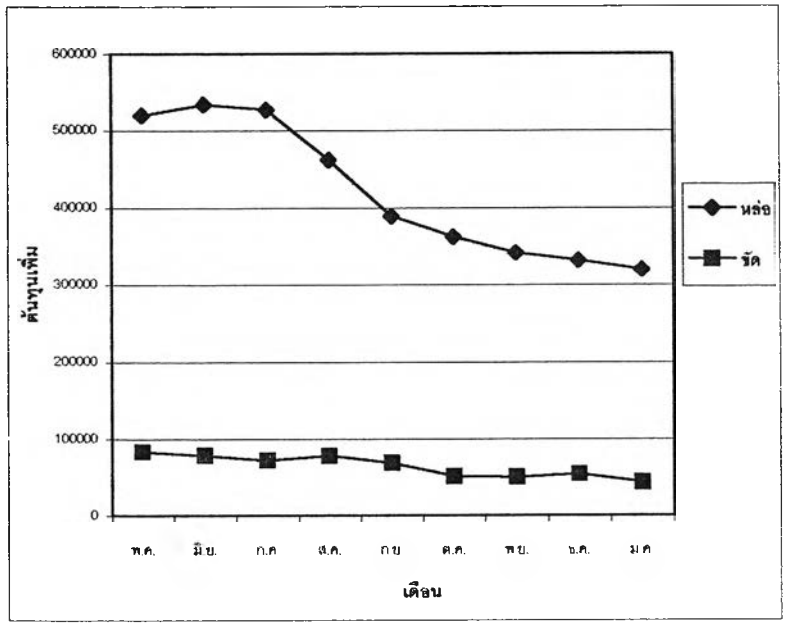
ตารางที่ 5.22 ตารางแสดงต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำที่มีสาเหตุจากแผนกหล่อตัวเรือน

เดือน	แผนกที่พบงานทำซ้ำ					
	หล่อ	แต่ง	ขัด	ฝัง	ชุบ	รวม
พ.ค.	105,578.03	149,042.13	44,514.52	24,158.45	192,019.64	515,312.78
มิ.ย.	109,153.85	155,525.27	45,958.61	21,526.01	197,324.05	529,487.80
ก.ค.	108,880.19	152,108.48	46,600.43	22,958.86	191,780.09	522,328.05
ส.ค.	95,425.24	133,324.90	40,847.00	20,126.49	168,098.46	457,822.10
ก.ย.	80,291.84	112,175.84	34,360.08	16,927.58	141,439.53	385,194.87
ต.ค.	74,773.03	104,466.16	31,999.11	15,761.31	131,720.48	358,720.09
พ.ย.	70,485.69	98,473.64	30,165.35	14,861.61	124,157.42	338,143.71
ธ.ค.	68,478.85	95,670.12	29,317.24	14,428.43	120,632.55	328,527.19
ม.ค.	66,043.28	92,971.73	28,033.61	13,928.60	115,328.14	316,305.35

ตารางที่ 5.23 ตารางแสดงต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำที่มีสาเหตุจากแผนกขัด

เดือน	แผนกที่พบงานเสียของขัด		แผนกที่พบงานซ่อมของขัด		รวม
	ขัด	ชุบ	ขัด	ชุบ	
พ.ค.	22,807.39	53,933.87	1,409.20	1,675.60	79,826.06
มิ.ย.	24,595.31	48,081.91	1,397.20	1,577.20	75,651.62
ก.ค.	22,417.72	44,180.60	1,218.80	1,503.60	69,320.72
ส.ค.	25,718.48	46,336.59	1,395.60	1,575.60	75,026.27
ก.ย.	25,305.89	38,020.64	1,248.40	1,409.20	65,984.13
ต.ค.	16,962.28	30,560.25	920.80	1,039.60	49,482.93
พ.ย.	16,480.92	29,670.47	894.40	1,009.20	48,054.99
ธ.ค.	17,970.85	28,575.37	912.80	1,030.40	48,489.42
ม.ค.	15,495.27	27,890.93	840.80	948.80	45,175.80

จากต้นทุนที่เกิดขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำ ในตารางที่ 5.22 และ ตารางที่ 5.23 สามารถแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 5.33



นอก‘

งานตัวอย่างลดลง ดังตารางที่ 5.24 แสดงเวลาสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2544 ถึง เดือนมกราคม 2545

ตารางที่ 5.24 ตารางแสดงเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำ

เดือน	เวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานเสีย (ชั่วโมง)	เวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานซ่อม (ชั่วโมง)
พ.ค.	296.17	243.26
มิ.ย.	298.64	240.49
ก.ค.	300.60	244.11
ส.ค.	289.98	238.05
ก.ย.	236.99	160.96

ตารางที่ 5.24 ตารางแสดงเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำ (ต่อ)

เดือน	เวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานเสีย (ชั่วโมง)	เวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานซ่อม (ชั่วโมง)
ต.ค.	229.81	155.22
พ.ย.	217.59	131.40
ธ.ค.	173.86	118.13
ม.ค.	139.30	92.38

จากตารางที่ 5.24 สามารถแสดงเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำแยกตามผลิตภัณฑ์ ได้ดังตารางที่ 5.25

ตารางที่ 5.25 ตารางแสดงเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำแยกตามชนิดผลิตภัณฑ์

เดือน	ผลิตภัณฑ์	เวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานเสีย (ชั่วโมง)	เวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานซ่อม (ชั่วโมง)
พ.ค.	แหวน	100.88	81.01
	จี้	70.21	57.93
	ต่างหู	66.37	55.05
	อื่น ๆ	58.70	49.28
มิ.ย.	แหวน	102.36	79.35
	จี้	70.70	57.38
	ต่างหู	66.74	54.63
	อื่น ๆ	58.83	49.14
ก.ค.	แหวน	103.54	81.52
	จี้	71.09	58.10
	ต่างหู	67.04	55.17
	อื่น ๆ	58.93	49.32
ส.ค.	แหวน	97.17	77.88
	จี้	68.97	56.89
	ต่างหู	65.45	54.26
	อื่น ๆ	58.39	49.02

ตารางที่ 5.25 ตารางแสดงเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำแยกตามชนิดผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

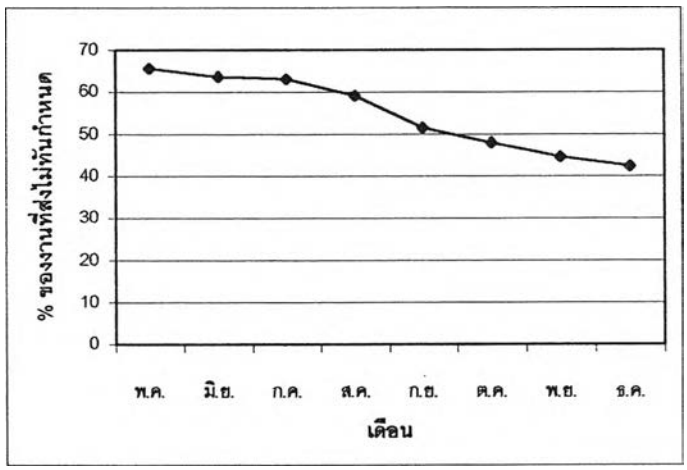
เดือน	ผลิตภัณฑ์	เวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานเสีย (ชั่วโมง)	เวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานซ่อม (ชั่วโมง)
ก.ย.	แหวน	75.10	54.96
	จี้	56.98	38.14
	ต่างหู	54.72	36.03
	อื่น ๆ	50.19	31.83
พ.ย.	แหวน	66.37	44.23
	จี้	52.69	31.23
	ต่างหู	50.98	29.60
	อื่น ๆ	47.55	26.35
ธ.ค.	แหวน	54.59	40.47
	จี้	41.88	27.97
	ต่างหู	40.29	26.41
	อื่น ๆ	37.11	23.29
ม.ค.	แหวน	44.74	32.94
	จี้	33.41	21.69
	ต่างหู	31.99	20.28
	อื่น ๆ	29.16	17.47

จากตารางที่ 5.25 แสดงเวลาที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำแยกตามชนิดผลิตภัณฑ์ จะเห็นได้ว่า เวลาที่เกิดขึ้นเนื่องจากงานทำซ้ำลดลงในทุกชนิดผลิตภัณฑ์ หมายความว่าเวลาในการผลิตชิ้นงานอื่น ๆ ของโรงงานตัวอย่างนอกเหนือจากงานทำซ้ำจะเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลให้จำนวนงานที่ส่งไม่ทันกำหนดของโรงงานตัวอย่างลดลง ดังตารางที่ 5.26

ตารางที่ 5.26 ตารางแสดงจำนวนงานที่ส่งไม่ทันกำหนดระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนธันวาคม 2544

เดือน	ก่อนปรับปรุง			ขณะปรับปรุง			หลังปรับปรุง	
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
จำนวน Order ทั้งหมด	632	678	596	531	637	554	501	518
จำนวน Order ที่ส่งไม่ทันกำหนด	415	432	376	314	328	266	223	219
สัดส่วนของงานที่ส่งไม่ทันกำหนด (%)	65.66	63.72	63.09	59.13	51.49	48.01	44.51	42.28

และจากตารางที่ 5.26 สามารถแสดงได้ดังกราฟรูปที่ 5.34 ดังนี้



รูปที่ 5.34 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของงานที่ส่งไม่ทันกำหนด

จากตารางที่ 5.26 จะพบว่าจำนวน Order ที่ส่งไม่ทันกำหนดลดลงถึง 20 % ซึ่งเมื่อคิดเป็นจำนวนชิ้นงานที่ส่งไม่ทันกำหนดเนื่องจากงานทำซ้ำแยกตามชนิดผลิตภัณฑ์ จะได้ดังตารางที่ 5.27 ดังนี้

ตารางที่ 5.27 ตารางแสดงจำนวนงานที่ส่งไม่ทันกำหนดระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนธันวาคม 2544 แยกตามชนิดผลิตภัณฑ์

เดือน	ผลิตภัณฑ์	จำนวนทั้งหมด (ชิ้น)	จำนวนที่ส่งไม่ทันกำหนด (ชิ้น)	สัดส่วนของงานที่ส่งไม่ทันกำหนด (%)
พ.ค.	แหวน	132,154	42,758	32.35%
	จี้	42,001	13,721	32.67%
	ต่างหู	31,123	9,872	31.72%
	อื่น ๆ	10,433	3,257	31.22%
มิ.ย.	แหวน	140,286	43,489	31.00%
	จี้	45,978	14,515	31.57%
	ต่างหู	34,025	10,141	29.80%
	อื่น ๆ	11,306	3,514	31.08%
ก.ค.	แหวน	123,828	38,942	31.45%
	จี้	40,155	11,769	29.31%
	ต่างหู	29,601	9,046	30.56%
	อื่น ๆ	9,652	2,891	29.95%
ส.ค.	แหวน	110,850	32,014	28.88%
	จี้	35,312	9,875	27.96%
	ต่างหู	26,257	7,306	27.82%
	อื่น ๆ	8,653	2,315	26.75%
ก.ย.	แหวน	132,537	32,786	24.74%
	จี้	42,541	10,305	24.22%
	ต่างหู	31,679	7,815	24.67%
	อื่น ๆ	10,460	2,541	24.29%
ต.ค.	แหวน	115,755	26,797	23.15%
	จี้	36,681	8,214	22.39%
	ต่างหู	27,433	6,045	22.04%
	อื่น ๆ	9,045	1,947	21.53%

ตารางที่ 5.27 ตารางแสดงจำนวนงานที่ส่งไม่ทันกำหนดระหว่างเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนธันวาคม 2544 แยกตามชนิดผลิตภัณฑ์ (ต่อ)

เดือน	ผลิตภัณฑ์	จำนวนทั้งหมด (ชิ้น)	จำนวนที่ส่งไม่ทันกำหนด (ชิ้น)	สัดส่วนของงานที่ส่งไม่ทันกำหนด (%)
พ.ย.	แหวน	105,212	22,871	21.74%
	จี้	32,966	6,732	20.42%
	ต่างหู	24,622	5,041	20.47%
	อื่น ๆ	8,041	1,544	19.20%
ธ.ค.	แหวน	108,190	21,483	19.86%
	จี้	34,426	6,780	19.69%
	ต่างหู	25,592	5,019	19.61%
	อื่น ๆ	8,431	1,578	18.72%

จากตารางที่ 5.27 แสดงให้เห็นว่า จำนวนงานที่ส่งไม่ทันกำหนดเนื่องมาจากงานทำซ้ำ ในทุกชนิดผลิตภัณฑ์ลดลง คือ แหวน ลดลงจาก 32.35% เหลือ 19.86%, จี้ ลดลงจาก 32.67% เหลือ 19.69%, ต่างหู ลดลงจาก 31.72% เหลือ 19.61% และ ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ลดลงจาก 31.22% เหลือ 18.72%