การลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในกระบวนการผลิตเครื่องประดับไทเทเนียม

เจนณรงค์ ถิ่นสุข[1] และ นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์[2*]

Received: 04 February 2025; Revised: 19 May 2025; Accepted: 19 June 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในกระบวนการผลิตต่างหูไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 โดยกระบวนการผลิตมีปัญหาความลึกของรูต่างหูแตกต่างจากมาตรฐานที่กำหนดไว้เท่ากับ 6 มิลลิเมตร ซึ่งปัญหาดังกล่าวเกิดจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ไม่เหมาะสม ได้แก่ ความเร็วรอบเครื่องจักร อัตราป้อนมีด และอัตราการเจาะ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้ได้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของการตั้งค่าเครื่องจักร ผลการวิจัยพบว่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมีอิทธิพลหลักและอิทธิร่วมต่อการเจาะรูต่างหู โดยควรกำหนดความเร็วรอบของเครื่องจักรที่ระดับ 3,750 รอบต่อนาที อัตราป้อนมีดที่ระดับ 0.0175 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการเจาะที่ระดับ 0.0628 มิลลิเมตรต่อรอบ เมื่อนำผลการวิจัยไปทดลองใช้จริงพบว่าสภาวะการผลิตที่เหมาะสมทำให้ค่าความลึกของรูต่างหูไม่แตกต่างจาก 6 มิลลิเมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การปรับค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรทำให้ปริมาณเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหาความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนดลดลงเหลือ 1,050 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นการลดลงร้อยละ 56.03 เมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต ผลจากการปรับปรุงนี้ทำให้บริษัทมีต้นทุนการผลิตเฉลี่ยลดลง 43,013 บาทต่อเดือน ประโยชน์จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการลดปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดของเครื่องประดับอื่นและเป็นแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลอง, เครื่องประดับไทเทเนียม, การลดปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด, สภาวะการผลิตที่เหมาะสม

* *E-mail Address (Corresponding Author): Nitidetch.k@rumail.ru.ac.th*

[1] *สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง*

[2] *ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง*

Reduction of Non-Conforming Products in the Titanium Jewelry Manufacturing Process

Jennarong Tinsok[1] and Nitidetch Koohathongsumrit[2*]

Received: 04 February 2025; Revised: 19 May 2025; Accepted: 19 June 2025

Abstract

The purpose of this research is to reduce the number of non-conforming products in the titanium jewelry manufacturing process of Tita 0.5×1.2×08×4. The production process has encountered a problem in which the depth of earring holes deviates from the standard value of 6 millimeters. This issue arises from inappropriate machine parameter settings, including speed, feed rate, and depth rate. To address this problem, this research employed the 2^k factorial design to determine the optimal manufacturing conditions. The findings revealed that all the parameters had significant main and interaction effects on the depth of the earring holes. The settings should be as follows: speed of 3,750 revolutions per minute, feed rate of 0.0175 millimeters per minute, and depth rate of 0.0628 millimeters per revolution. The findings were implemented, and it was found that the optimal manufacturing conditions resulted in earring hole depths that were not significantly different from 6 millimeters. The adjustments of the machine parameters reduced the average quantity of the non-conforming earrings to 1,050 pieces per month, representing 56.03% decrease compared to the period before process improvement. As a result, the average manufacturing cost of the company case was reduced to only 43,013 baht per month. The benefits of this research can be utilized to reduce non-conforming products in other types of jewelry and serve as a guideline for continuous improvement of manufacturing processes.

Keywords: Design of Experiment, Titanium Jewelry, Reduction of Non-Conforming Products, Optimal Manufacturing Condition

* *E-mail Address (Corresponding Author): Nitidetch.k@rumail.ru.ac.th*

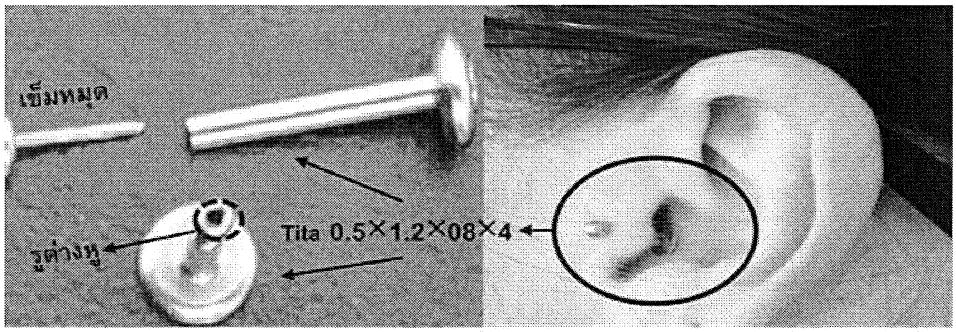
[1] *Engineering Management and Technology, Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University*

[2] *Department of Statistics, Faculty of Science, Ramkhamhaeng University*

1. บทนำ

ภายในช่วงหลายปีที่ผ่านมาประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกเครื่องประดับไทเทเนียมเฉลี่ย 507.77 ล้านบาท คิดเป็นอัตราร้อยละ 2.83 โดยมูลค่าการส่งออกเครื่องประดับไทเทเนียมคิดเป็นสัดส่วนประมาณร้อยละ 0.10 ของมูลค่าการส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับทั้งหมดของประเทศไทย สอดคล้องกับสภาวะเศรษฐกิจปัจจุบันที่เครื่องประดับไทเทเนียมได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีสีสันหลากหลาย คงทน น้ำหนักเบา และไม่ระคายเคืองต่อผิวหนัง อีกทั้งการผลิตเครื่องประดับไทเทเนียมมีต้นทุนการผลิตต่ำเมื่อเทียบกับการผลิตเครื่องประดับที่ทำจากวัสดุอื่นที่มีมูลค่าสูง ทำให้ผู้ประกอบการสามารถผลิตเครื่องประดับไทเทเนียมได้ปริมาณมาก (ศูนย์ข้อมูลอัญมณีและเครื่องประดับ, 2567)

บริษัทกรณีศึกษาดำเนินธุรกิจผลิตต่างหูไทเทเนียมที่ใช้รูต่างหูในการประกอบกับเข็มหมุดมีจุดเชื่อมติดกับตัวเรือนเครื่องประดับ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 30 ของปริมาณการผลิตทั้งหมด ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ต่างหูไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 ซึ่งมีรูปร่างผลิตภัณฑ์เป็นทรงกระบอกขนาด 1.2 มิลลิเมตร ตรงปลายกระบอกมีรูต่างหูกว้าง 0.5 มิลลิเมตร ลึก 6 มิลลิเมตร มีมุมโค้งด้านหลังขนาด 0.5 มิลลิเมตร แสดงดังรูปภาพที่ 1

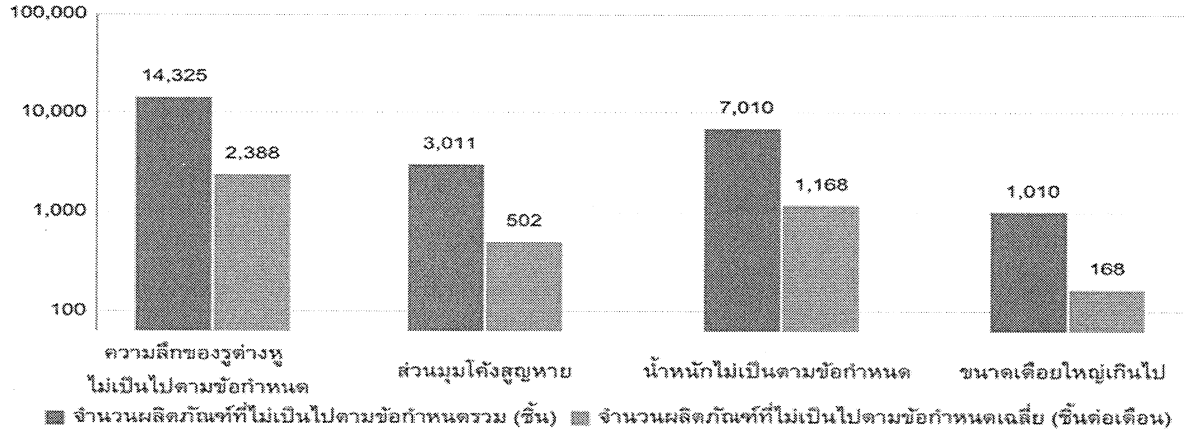


รูปภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์ต่างหูไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 (ที่มา: ผู้วิจัย)

จากข้อมูลรายงานการผลิตในช่วงเดือน มกราคมถึงมิถุนายน 2567 พบจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดซึ่งสามารถแบ่งเป็น 4 ลักษณะสำคัญ ได้แก่ ความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนดจำนวน 14,325 ชิ้น คิดเป็นจำนวนเฉลี่ย 2,388 ชิ้นต่อเดือน น้ำหนักไม่เป็นตามข้อกำหนดจำนวน 7,010 ชิ้น คิดเป็นจำนวนเฉลี่ย 1,168 ชิ้นต่อเดือน มุมโค้งสูญหายจำนวน 3,011 ชิ้น คิดเป็นจำนวนเฉลี่ย 502 ชิ้นต่อเดือน และขนาดเดือยใหญ่เกินไปจำนวน 1,010 ชิ้น คิดเป็นจำนวนเฉลี่ย 168 ชิ้นต่อเดือน แสดงดังตารางที่ 1 และรูปภาพที่ 2

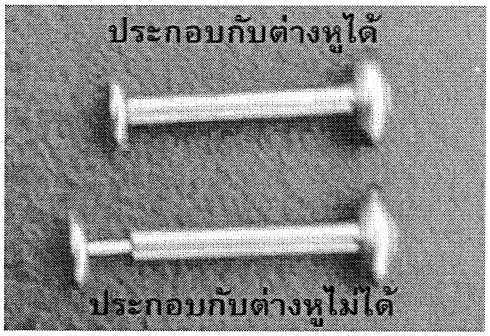
ตารางที่ 1 จำนวนของผลิตภัณฑ์ไม่เป็นตามที่กำหนดต่อเดือน (หน่วย: ชิ้น)

ลำดับ	หัวข้อปัญหา	มกราคม	กุมภาพันธ์	มีนาคม	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	เฉลี่ย	ร้อยละ	มูลค่าความสูญเสียเฉลี่ย (บาทต่อเดือน)
1	ความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	2,135	1,753	2,475	2,803	2,746	2,413	2,388	56.50	86,026
2	ส่วนมุมโค้งสูญหาย	423	237	675	356	567	753	502	11.87	18,073
3	น้ำหนักไม่เป็นตามข้อกำหนด	1,154	1,275	1,182	1,098	1,178	1,123	1,168	27.65	42,099
4	ขนาดเดือยใหญ่เกินไป	154	175	182	198	178	123	168	3.98	6,059
รวม		3,866	3,440	4,514	4,455	4,669	4,412	4,226	100	152,258



รูปภาพที่ 2 จำนวนผลิตภัณฑ์ไม่เป็นตามที่กำหนด (ที่มา: ผู้วิจัย)

โดยปัญหาจำนวนของผลิตภัณฑ์ที่มีความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนดมีปริมาณมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 56.50 ทั้งนี้ลักษณะปัญหาความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนดจะทำชิ้นงานประกอบได้ไม่สนิท แสดงดังรูปภาพที่ 3 จากการศึกษาปัญหาดังกล่าวพบว่าเกิดจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรอัตโนมัติที่ส่งผลต่อค่าความลึกของรูต่างหูที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยปัจจุบันการตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ใช้ในการเจาะรูต่างหูนั้นดำเนินการตามประสบการณ์ของผู้ควบคุมการผลิต ได้แก่ ความเร็วรอบของเครื่องจักร (Speed) อัตราป้อนมีด (Feed Rate) อัตราการเจาะ (Depth Rate) ตามลำดับ ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเจาะรูต่างหูของผลิตภัณฑ์ไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4



รูปภาพที่ 3 ปัญหาผลิตภัณฑ์รุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 ความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (ที่มา: ผู้วิจัย)

เมื่อทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับของเครื่องจักรและการลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เช่น งานวิจัยของนันทวัฒน์ อภิกมลกุล และ กรรณชัย กัลป์ยาศิริ (2563) ศึกษาการลดรูพรุนในเครื่องประดับที่ผลิตจากเงินสีชมพูด้วยด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลแบบเต็มจำนวน งานวิจัยของ ปิ่นชณัณ สุวรรณชนะ และ สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ (2564) ศึกษาการปรับปรุงความแข็งของสร้อยข้อมือสายหนังด้วยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลองแฟกทอเรียลแบบสามระดับ งานวิจัยของ Sidelnikov et al. (2022) ได้สร้างแบบจำลองกระบวนการรีดแท่งโลหะเป็นท่อนแปดเหลี่ยมเพื่อกำหนดพารามิเตอร์และกำลังพลังงานของแท่งโลหะที่รีดด้วยการออกแบบการทดลอง งานวิจัยของ Das & Singh (2023) ศึกษาการออกแบบโต๊ะขัดเครื่องประดับด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบทากูชิ งานวิจัยของ Akansha et al. (2025) ศึกษาการลดปัญหาในกระบวนการผลิตเครื่องประดับตามแนวทางของซิกซ์ซิกมาด้วยการออกแบบการทดลอง โดยงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นได้นำการ

ออกแบบการทดลองนำไปใช้ในการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของเครื่องจักรเกี่ยวกับอุตสาหกรรมเครื่องประดับเพื่อใช้แก้ปัญหาการผลิตและลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดได้อย่างเหมาะสม

จากการทบทวนวรรณกรรมและความสำคัญของปัญหาที่กล่าวมาในข้างต้น การศึกษาวิจัยนี้ต้องการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าเครื่องจักรอัตโนมัติที่ใช้ ในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนต่างหูไทเทเนียม และลดปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k โดยประโยชน์จากงานวิจัยนี้จะช่วยลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นตามข้อกำหนดและลดต้นทุนการผลิตรวมลงได้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตเครื่องประดับต่างหูไทเทเนียมในประเทศไทย

การผลิตเครื่องประดับต่างหูและแหวนจากไทเทเนียมเป็นกระบวนการผลิตที่เริ่มต้นจากการนำเข้าไทเทเนียมสำเร็จในรูปแบบแท่ง เนื่องจากการผลิตโลหะไทเทเนียมชนิดแท่งมีต้นทุนที่สูงเมื่อเทียมกับโลหะอื่น เช่น สแตนเลส ทองเหลือง ทองแดง เป็นต้น จากนั้นจึงทำการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้รูปแบบตามข้อกำหนดและนำไทเทเนียมสำเร็จในรูปแบบแท่งไปทำการผลิตในเครื่องจักรอัตโนมัติ ได้แก่ การกลึงและการเจาะรูแบบอัตโนมัติ การลบมุมครีบ การขัดผิวมันเงา การบรรจุเพื่อเข้าคลังสินค้า และการส่งออกไปยังลูกค้าที่ผ่านกระบวนการชุบทองคำและอื่น ๆ ทำให้สามารถผลิตเครื่องประดับไทเทเนียมในต้นทุนที่ต่ำกว่า (El Khalloufi et al., 2021) จากเหตุผลในข้างต้นทำให้เครื่องประดับที่ทำจากไทเทเนียมเป็นที่นิยมในอุตสาหกรรมเครื่องประดับสมัยใหม่

2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ใช้ในกรณีที่มีอิทธิพล k พารามิเตอร์ ซึ่งแต่ละอิทธิพลประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้อาจเกิดขึ้นจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน เวลา ฯลฯ หรือ อาจจะเกิดได้จากข้อมูลคุณภาพ เช่น เครื่องจักร คนงาน เป็นต้น ซึ่งใน 2 ระดับที่กล่าวข้างต้นนี้จะแทนในระดับ “สูง” หรือ “ต่ำ” ของอิทธิพลหนึ่งหรือการมีหรือไม่มีของอิทธิพลนั้นใน 1 ซ้ำ เช่น กรณีที่มีพารามิเตอร์ที่ต้องการ 2 พารามิเตอร์คือ พารามิเตอร์ A และ พารามิเตอร์ B ระดับสูงและระดับต่ำของพารามิเตอร์ A จะแทนได้ด้วย A^+ และ A^- ตามลำดับ และระดับสูงและระดับต่ำของพารามิเตอร์ B จะแทนได้ด้วย B^+ และ B^- ตามลำดับ (Montgomery, 2005) การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k ที่ใช้ในการวิจัยนี้กำหนดให้พารามิเตอร์ทั้งหมดมีค่าตายตัวเป็นแบบเชิงสุ่มสมบูรณ์ (ปารเมศ ชุติมา, 2545) ความเป็นปกติที่ยอมรับได้ โดยมีอิทธิพลหลักคือผลกระทบโดยตรงของอิทธิพลหนึ่ง ๆ ที่ส่งผลต่อค่าตอบสนอง (Response) โดยไม่พิจารณาผลกระทบจากพารามิเตอร์อื่น ค่าของอิทธิพลหลักคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของค่าตอบสนองในแต่ละระดับ อิทธิพลร่วมหมายถึงผลกระทบที่เกิดจากการทำงานร่วมกันของพารามิเตอร์ตั้งแต่ 2 พารามิเตอร์ขึ้นไป ตัวอย่างเช่น พารามิเตอร์ A และ B มีอิทธิพลร่วมกัน ผลตอบสนองจะไม่สามารถอธิบายได้โดยผลกระทบของ A หรือ B เพียงอย่างเดียว จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ค่าตอบสนองในแต่ละระดับของอิทธิพลร่วม ซึ่งส่งผลให้การตัดสินใจบนพื้นฐานข้อมูลมีความแม่นยำมากขึ้น

2.3 แนวคิดการควบคุมคุณภาพและเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด

การแก้ไขปัญหาในกระบวนการผลิตเครื่องประดับต่างหูไทเทเนียมให้ความสำสำคัญการควบคุมคุณภาพ ช่วยในการจัดการกระบวนการผลิตให้มีคุณภาพดีขึ้นอย่างเป็นระบบ โดยการใช้เครื่องมือพื้นฐานการจัดการคุณภาพด้วยเครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (QC 7 tools) ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อวิเคราะห์ แก้ไขปัญหา และตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagrams) ใช้ในการจัดลำดับความสำคัญปัญหา ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagrams) ใช้หาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น แผนภูมิควบคุม (Control Charts) ใช้ติดตามกระบวนการผลิตเพื่อให้มีความเสถียร แผนภูมิฮิสโตแกรม (Histograms) วิเคราะห์การกระจายของข้อมูล กราฟ (Graphs) วิเคราะห์ข้อมูลผ่านภาพโดยรวม แผ่นตรวจสอบ (Check sheets) ใช้รวบรวมข้อมูลและตรวจสอบข้อผิดพลาด ผังการกระจาย (Scatter Diagrams) ใช้ค้นหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรในกระบวนการ รายละเอียดการ

ประยุกต์ใช้เครื่องมือต่าง ๆ สามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมจากงานวิจัยของ McDermott et al. (2022) และงานวิจัยของ หัสยา วงศ์วัน และจักพันธ์ พรนิมิตร (2567)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Das & Singh (2023) ศึกษาการทำงานของผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการขัดอัญมณีโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบทากูชิ ผลการวิจับพบว่าความสูงของการขัดมีผลอย่างมากต่อการทำงานของกล้ามเนื้อและความรู้สึกไม่สบายในบริเวณไหล่และหลังส่วนล่าง ขณะที่ตำแหน่งเครื่องมือมีผลต่อการทำงานของกล้ามเนื้อแขนและความรู้สึกไม่สบายในบริเวณข้อมือและแขน โดยควรออกแบบให้การขัดอัญมณีที่ความสูง 15 เซนติเมตร และตำแหน่งเครื่องมือที่มุม 20 องศา ผลลัพธ์จากการวิจัยทำให้เกิดการออกแบบโต๊ะขัดที่เหมาะสำหรับสรีรศาสตร์

Sidelnikov et al. (2022) ศึกษาการผลิตลวดสำหรับทำสร้อยเครื่องประดับจากโลหะผสมทองคำ 585 ชนิดใหม่ที่ปราศจากนิกเกิล โดยใช้การออกแบบการทดลองเต็มรูปและแบบจำลองกระบวนการรีดแท่งโลหะเพื่อกำหนดพารามิเตอร์และกำลังพลังงานของแท่งโลหะที่รีด ผลการวิจัยพบว่าการออกแบบกระบวนการผลิตช่วยลดขนาดในกระบวนการรีดโลหะผสม สามารถออกแบบกระบวนการการผลิตสร้อยเครื่องประดับจากโลหะผสมทองคำ 585 ชนิดใหม่ โดยสามารถใช้อิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของพารามิเตอร์เพื่อกำหนดคุณสมบัติของเครื่องประดับได้

ปิ่นชณัณ สุวรรณชนะ และ สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ (2564) ศึกษาการลดของเสียจากการประกอบสายข้อมือหลุดด้วยการเพิ่มค่าแรงดึงของสร้อยข้อมือสายหนังให้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 78 นิวตัน โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผลการวิจัยพบว่าระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเพิ่มค่าแรงดึงคือ อัตราส่วนกาว Resin: Hardener ที่ 1 ต่อ 0.6 ปริมาณกาว 12 มิลลิกรัม และขนาดหัวบีบ 2.7 มิลลิเมตร

Akansha et al. (2025) ศึกษาการแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ มุ่งลดปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิตเครื่องประดับโลหะด้วยแนวทางซิกซ์ซิกม่า ผลการวิจัยพบว่าการใช้หลักการเชิงข้อมูลและเครื่องมือคุณภาพส่งผลให้กระบวนการผลิตเครื่องประดับโลหะได้รับการปรับปรุงอย่างมีนัยสำคัญและอัตราผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดลดลง นอกจากนี้ความสามารถของกระบวนการยังได้รับการปรับปรุงด้วยการลดความแปรปรวนของกระบวนการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตมากขึ้น

นันทวัฒน์ อภิกมลกุล และ กรรณชัย กัลป์ยาศิริ (2563) ศึกษาการลดปัญหารูพรุนจากการหดตัวในการผลิตเครื่องประดับจากเงินสีชมพูโดยวิธีการหล่อแบบประณีตด้วยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ การศึกษาพบว่าพารามิเตอร์ ได้แก่ อุณหภูมิอบเบ้าและอุณหภูมิหล่อ ผลการวิจัยพบว่าควรใช้อุณหภูมิอบเบ้า 600 องศาเซลเซียส อุณหภูมิหล่อ 1,030 องศาเซลเซียส หรือ 480 องศาเซลเซียส กับ 1,060 องศาเซลเซียส มีผลต่อกระบวนการผลิต ผลการปรับปรุงทำให้จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดลดลงเฉลี่ยร้อยละ 29.5

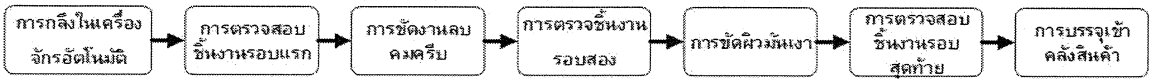
3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องการลดผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในกระบวนการผลิตเครื่องประดับต่างหูไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k มีรายละเอียดดังนี้ การศึกษากระบวนการผลิตเครื่องประดับต่างหูไทเทเนียม การวิเคราะห์สภาพปัญหา การกำหนดระดับพารามิเตอร์ของการทดลอง การกำหนดวิธีเก็บรวบรวมข้อมูล การเก็บรวบรวมข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลและหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการผลิต การทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันผลของการวิเคราะห์ข้อมูล มีรายละเอียดดังนี้

3.1 ศึกษากระบวนการผลิตเครื่องประดับต่างหูไทเทเนียม

เครื่องประดับต่างหูไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูต่างหูสำหรับประกอบกับเข็มหมุดที่ผลิตจากวัสดุไทเทเนียมซึ่งเป็นโลหะที่ผสมรวมกันระหว่างวัสดุไทเทเนียมกับธาตุอื่น เช่น ไนโอบิอัล วานาเดียม หรืออะลูมิเนียม โดยกระบวนการผลิตประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ได้แก่ การกลึงในเครื่องจักรอัตโนมัติ การตรวจสอบชิ้นงาน

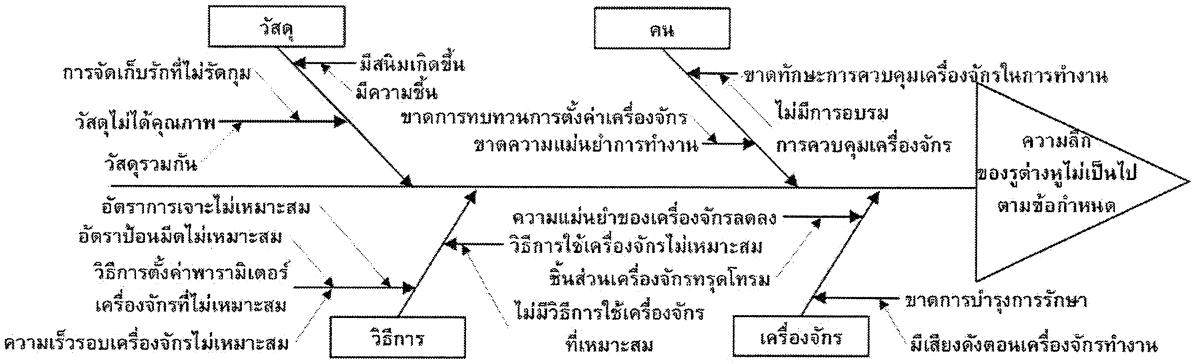
รอบแรก การขัดงานลบคมครีบ การตรวจสอบชิ้นงานรอบสอง การขัดผิวมันเงา การตรวจสอบชิ้นงานรอบสุดท้าย การบรรจุเข้าคลังสินค้า ตามลำดับ แสดงดังรูปภาพที่ 4



รูปภาพที่ 4 ขั้นตอนการผลิตเครื่องประดับต่างหูไทเทเนียม (ที่มา: ผู้วิจัย)

3.2 วิเคราะห์สภาพปัญหา

ในขั้นตอนนี้เป็นการระดมสมองโดยทีมงานซึ่งประกอบด้วยพนักงานชำนาญงาน หัวหน้างาน และผู้จัดการฝ่าย จำนวน 3 ราย ทำการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาค่าความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล (McDermott et al., 2022) แสดงดังภาพที่ 5



รูปภาพที่ 5 การวิเคราะห์ปัญหาความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (ที่มา: ผู้วิจัย)

จากรูปภาพที่ 5 แผนภาพแสดงเหตุและผลได้ถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์ปัญหาของการความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนดโดยสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเกิดจากการเจาะรูต่างหู เพื่อหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาที่เกิดขึ้นจากปัจจัย ได้แก่ คน เครื่องจักร วิธีการทำงาน และวัสดุ ซึ่งประกอบไปด้วยสาเหตุต่าง ๆ และมีรายละเอียดดังนี้

1) ปัจจัยด้านคน มีสาเหตุหลัก ได้แก่ ขาดความแม่นยำการทำงานและขาดทักษะการควบคุมเครื่องจักร มีสาเหตุรองได้แก่ ขาดการทบทวนการตั้งค่าเครื่องจักรและไม่มีการอบรมการควบคุมเครื่องจักร แนวทางปรับปรุงแก้ไขใช้คู่มือระหว่างปฏิบัติงานอย่างถูกต้อง และเพิ่มการฝึกอบรมเกี่ยวกับด้านเทคนิคการควบคุมเครื่องจักรในการทำงาน

2) ปัจจัยด้านเครื่องจักร มีสาเหตุหลักได้แก่ ความแม่นยำของเครื่องจักรลดลงและขาดการบำรุงการรักษา มีสาเหตุรองได้แก่ ชิ้นส่วนเครื่องจักรทรุดโทรมและมีเสียงดังตอนเครื่องจักรทำงาน แนวทางปรับปรุงแก้ไขตรวจสอบความเที่ยงตรงของเครื่องจักรเป็นระยะและความพร้อมก่อนใช้งานเครื่องจักร

3) ปัจจัยด้านวิธีการ มีสาเหตุหลัก ได้แก่ วิธีการตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรที่ไม่เหมาะสมและวิธีการใช้เครื่องจักรที่ไม่เหมาะสม มีสาเหตุรองได้แก่ ความเร็วรอบเครื่องจักรไม่เหมาะสม อัตราป้อนมีดไม่เหมาะสม อัตราการเจาะและไม่มีวิธีการใช้เครื่องจักรที่เหมาะสม แนวทางปรับปรุงแก้ไขใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสม เช่น การออกแบบการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์และวิธีการใช้งานเครื่องจักรที่เหมาะสม

4) ปัจจัยด้านวัสดุ มีสาเหตุหลัก ได้แก่ วัสดุไม่ได้คุณภาพและมีสนิมเกิดขึ้น มีสาเหตุรองได้แก่ มีความชื้น วัสดุรวมกันและการจัดเก็บที่รักษาที่ไม่รัดกุม แนวทางปรับปรุงแก้ไข จัดเก็บวัสดุในสภาพแวดล้อมที่แห้งปราศจากความชื้นและแยกกับวัสดุอื่น

ขั้นตอนต่อไปคือการนำสาเหตุของปัญหามาทำประเมินแบบฉันทมติด้วยทีมงานในข้างต้น โดยให้คะแนนเพื่อประเมินสาเหตุของปัญหาทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ ความรุนแรง (Severity: S) ความถี่โอกาสที่จะเกิด (Occurrence: O) และ

ความสามารถในการตรวจสอบ (Detection: D) จากนั้นคำนวณคะแนนค่าความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) โดยสาเหตุที่มีค่า RPN มากกว่า 50 คะแนนขึ้นไปจะถูกนำไปแก้ไข โดยระดับการประเมินสาเหตุดัดแปลงจากงานวิจัยของ Koohathongsumrit & Meethom (2021) ผลการวิเคราะห์และการประเมินความเสี่ยงของสาเหตุ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์และการประเมินความเสี่ยงของสาเหตุ

พารามิเตอร์	สาเหตุรอง	การประเมินความสำคัญจากสาเหตุของปัญหา			
		S	O	D	RPN
คน	ขาดการทบทวนการตั้งค่าเครื่องจักร	4	1	1	4
คน	ไม่มีการอบรมการควบคุมเครื่องจักร	2	3	1	6
เครื่องจักร	ชิ้นส่วนเครื่องจักรทรุดโทรม	2	2	2	8
คน	ขาดการทบทวนการตั้งค่าเครื่องจักร	4	1	1	4
คน	ไม่มีการอบรมการควบคุมเครื่องจักร	2	3	1	6
เครื่องจักร	มีชิ้นส่วนเครื่องจักรทรุดโทรม	2	2	2	8
เครื่องจักร	มีเสียงดังตอนเครื่องจักรทำงาน	2	1	1	2
วิธีการทำงาน	วิธีการตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรไม่เหมาะสม	5	5	5	125
วิธีการทำงาน	ไม่มีวิธีการใช้เครื่องจักรที่เหมาะสม	2	2	1	4
วัสดุ	วัสดุไม่ได้คุณภาพ	3	1	1	3
วัสดุ	มีสนิมเกิดขึ้น	1	1	1	1

จากตารางที่ 2 พบว่า วิธีการตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรที่ไม่เหมาะสม เป็นสาเหตุที่มีผลกระทบต่อความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนดมากที่สุด เมื่อการตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความเร็วรอบ อัตราป้อนมีด และอัตราการเจาะ จากข้อสรุปงานวิจัยนี้ต้องการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าเครื่องจักรในการเจาะรูต่างหูไทเทเนียมในผลิตภัณฑ์รุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 โดยใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

3.3 การกำหนดระดับพารามิเตอร์ของการทดลอง

สำหรับกระบวนการเจาะรูต่างหูไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความเร็วรอบของเครื่องจักร อัตราป้อนมีด อัตราการเจาะ โดยปัจจุบันระดับของพารามิเตอร์ทั้งหมดถูกกำหนดอยู่ในระดับต่ำและสูงซึ่งกำหนดจากการประมาณค่าตามประประสบการณ์การทำงานของพนักงานที่มีหน้าที่ควบคุมการผลิตจำนวน 3 ราย ได้แก่ ความเร็วรอบเครื่องจักรมีค่าระหว่าง 3,000 ถึง 4,500 รอบต่อนาที อัตราป้อนมีดมีค่าระหว่าง 0.01 ถึง 0.025 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการเจาะมีค่าระหว่าง 0.05 ถึง 0.20 มิลลิเมตรต่อรอบ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระดับของพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ระดับของพารามิเตอร์	
	ต่ำ	สูง
ความเร็วรอบเครื่องจักร (รอบต่อนาที)	3,000	4,500
อัตราป้อนมีด (มิลลิเมตรต่อนาที)	0.01	0.025
อัตราการเจาะ (มิลลิเมตรต่อรอบ)	0.05	0.20

3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

จากข้อมูลในข้างต้นการศึกษาวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 เมื่อกำหนดทดลองซ้ำเท่ากับ 10 ครั้ง ดังนั้นจึงมีการทดลองแบบสุ่มทั้งหมด 80 การทดลอง ซึ่งจำนวนการทำซ้ำของการทดลองให้ค่ากำลังการทดสอบ (Power of Test) เท่ากับ 1 มีโอกาสตรวจพบความแตกต่างทางสถิติถึงร้อยละ 100 โดยมอบหมายพนักงานใช้เครื่องมือเกจวัดความลึกของรูต่างหูที่มีชื่อว่า Digital Depth Gauge เก็บข้อมูลความลึกของรูต่างหูเพียงคนเดียว โดยพนักงานเก็บข้อมูลที่มีประสบการณ์การทำงานเก็บข้อมูลความลึกของรูต่างหูอย่างน้อย 5 ปี ทั้งนี้เพื่อลดความผันแปรที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของพนักงาน

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลและการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของกระบวนการผลิต

การวิเคราะห์ข้อมูลดำเนินการด้วยโปรแกรมมินิแท็บ (Minitab) เพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเจาะรูต่างหูไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 พิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นของการทดสอบ (P-Value) ของอิทธิพลที่มาจากอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วม หากค่า P-Value มีค่าน้อยกว่ากว่าระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 หมายถึงอิทธิพลมีผลต่อความลึกของรูต่างหู และอิทธิพลใดมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญ หมายถึงอิทธิพลไม่มีผลต่อความลึกของรูต่างหู และต้องนำออกจากการวิเคราะห์ข้อมูล จากนั้นจึงดำเนินการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อการเจาะรูต่างหูด้วย Response Optimizer เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการตั้งค่าเครื่องจักร โดยกำหนดค่าตามเป้าหมายที่ต้องการ (Target Goal) คือความลึกของรูต่างหูที่ 6 มิลลิเมตร

3.6 การกำหนดทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันผลของการวิเคราะห์ข้อมูล

ในขั้นตอนนี้เป็นการตรวจสอบระดับพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่าความลึกของรูต่างหูในผลิตภัณฑ์เครื่องประดับไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 ว่าเป็นไปตามข้อกำหนดหรือไม่ โดยใช้ระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากผลลัพธ์ในขั้นตอนก่อนหน้าทำการเจาะรูต่างหูและสุ่มต่างหูอย่างน้อย 30 ชิ้น จากนั้นคำนวณค่าความลึกเฉลี่ยของรูต่างหูเพื่อนำไปทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยโปรแกรมมินิแท็บ ทั้งนี้หากค่า P-Value เท่ากับหรือน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05 จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และยอมรับสมมติฐานรอง H_1 คือค่าความลึกของรูต่างหูมีความแตกต่างจาก 6 มิลลิเมตร แต่หาก P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญจะยอมรับสมมติฐานหลัก H_0 และปฏิเสธสมมติฐานรอง H_1 คือค่าความลึกของรูต่างหูไม่แตกต่างจาก 6 มิลลิเมตร

4. ผลการวิจัย

จากการออกแบบการทดลองในขั้นตอนที่ผ่านมาด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 และทำการเก็บข้อมูลความลึกของรูต่างหูไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 ตามแผนการทดลอง ในขั้นตอนนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ Analyze Factorial Design ศึกษาอิทธิพลว่ามีผลต่อความลึกของรูต่างหูหรือไม่ ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อเจาะรูต่างหูไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 แสดงดังตารางที่ 4

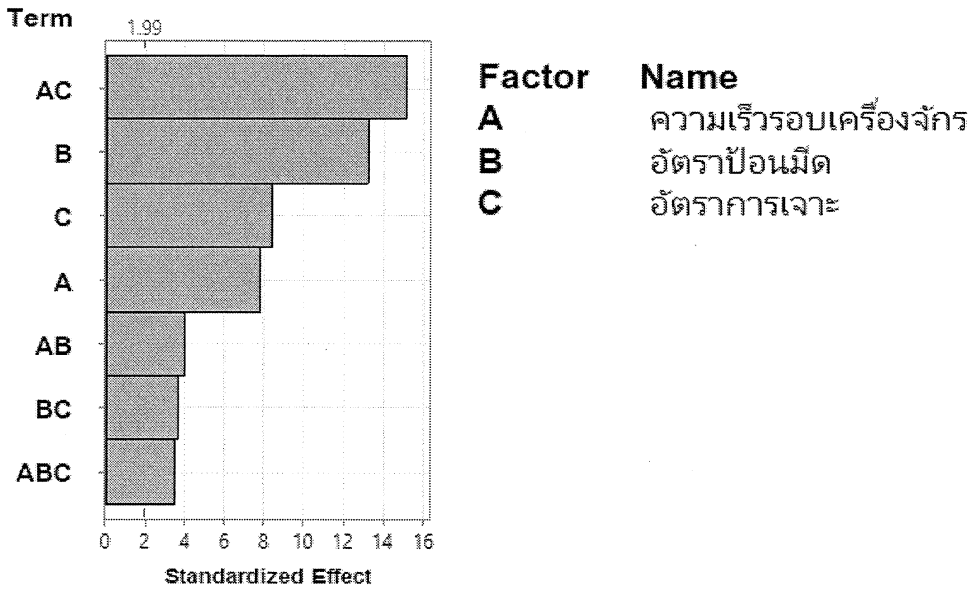
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเจาะรูต่างหูไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4

แหล่งที่มา (Source)	องศาอิสระ (DF)	ผลรวมกำลังสอง (Adj SS)	ค่าเฉลี่ยผลรวมกำลังสอง (Adj MS)	F-Value	P-Value
แบบจำลอง (Model)	7	0.201979	0.028854	82.41	0.000
เชิงเส้น (Linear)	3	0.107354	0.035785	102.2	0.000
ความเร็วรอบเครื่องจักร	1	0.021451	0.021451	61.26	0.000
อัตราป้อนมีด	1	0.061051	0.061051	174.36	0.000
อัตราการเจาะ	1	0.024851	0.024851	70.98	0.000
อิทธิพลร่วม 2 พารามิเตอร์ (2-Way Interactions)	3	0.093001	0.030091	88.94	0.000
ความเร็วรอบ × อัตราป้อนมีด	1	0.005611	0.005611	16.03	0.000
ความเร็วรอบ × อัตราการเจาะ	1	0.004465	0.004465	12.76	0.001
อัตราป้อนมีด × อัตราการเจาะ	1	0.004351	0.004351	12.43	0.001
อิทธิพลร่วม 3 พารามิเตอร์ (3-Way Interactions)	1	0.004351	0.004351	12.43	0.001
ความคลาดเคลื่อน (Error)	72	0.025210	0.000350		
ผลรวม (Total)	79	0.227189			

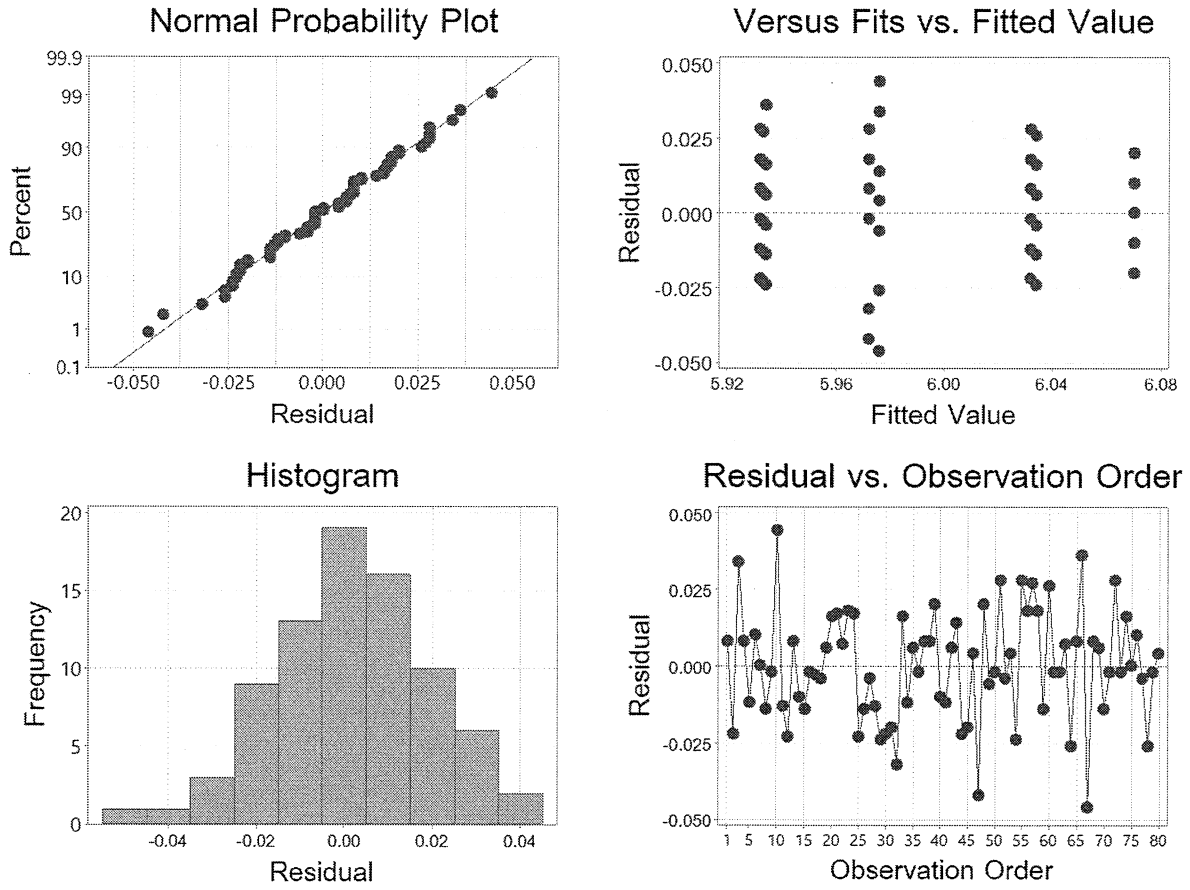
จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพิจารณาแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมีอิทธิพลต่อค่าความลึกของรูต่างหูไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 โดยพบว่าอิทธิพลหลักของความเร็วรอบเครื่องจักร อัตราป้อนมีด และอัตราการเจาะ มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าอิทธิพลหลักทั้ง 3 พารามิเตอร์มีผลต่อความลึกของรูต่างหูอย่างมีนัยสำคัญ อิทธิพลร่วมระหว่าง 2 พารามิเตอร์ (2-Way Interaction) ได้แก่ ความเร็วรอบเครื่องจักรร่วมกับอัตราป้อนมีด ความเร็วรอบเครื่องจักรร่วมกับอัตราการเจาะ อัตราป้อนมีดร่วมกับอัตราการเจาะ แต่ละคู่มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าอิทธิพลร่วมระหว่าง 2 พารามิเตอร์ทั้งหมดมีผลต่อความลึกของรูต่างหูอย่างมีนัยสำคัญ อิทธิพลร่วมระหว่าง 3 พารามิเตอร์ (3-Way Interaction) ได้แก่ ความเร็วรอบเครื่องจักรร่วมกับอัตราป้อนมีดร่วมกับอัตราการเจาะ มีค่า P-Value เท่ากับ 0.000 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 0.05 จึงสรุปได้ว่าอิทธิพลร่วมระหว่าง 3 พารามิเตอร์มีผลต่อความลึกของรูต่างหูอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมทั้งหมดมีผลต่อความลึกของรูต่างหูไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) มีค่าเท่ากับ 88.90% ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าพารามิเตอร์และตัวแปรตอบสนองมีความสัมพันธ์กันมาก นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์แผนภูมิพาเรโต สามารถสรุปได้ว่าอิทธิพลทั้งหมดอยู่เลยจากเส้นวิกฤตที่ระดับ 1.99 ดังนั้นอิทธิพลทั้งหมดมีผลต่อความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนดอย่างมีนัยสำคัญ โดยอิทธิพลที่มีผลต่อความลึกของรูต่างหูมากที่สุด ได้แก่ อิทธิพลร่วมความเร็วรอบเครื่องจักรกับอัตราการเจาะ แสดงดังรูปภาพที่ 6

4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของการทดลองจะตรวจสอบการแจกแจงของค่าส่วนตกค้าง การกระจายตัวของส่วนตกค้าง และความเหมาะสมของข้อมูลที่ได้จากค่าส่วนตกค้าง แสดงดังรูปภาพที่ 7 โดยสามารถวิเคราะห์การตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลองได้ดังนี้ ส่วนตกค้างมีการแจกแจงปกติ (Normal Probability Plot) พบว่าลักษณะเป็นเส้นตรงแสดงว่าข้อมูลมีการแจกแจงเป็นแบบปกติสอดคล้องกับแผนภูมิฮีสโตแกรม (Histogram) มีลักษณะเส้นโค้งปกติ เมื่อพิจารณาการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับผลตอบสนองที่ได้จากตัวแบบถอดถอย (Residuals vs. Fitted Valus) พบว่ามีลักษณะการเรียงตัวที่ไม่แน่นอนแสดงว่าข้อมูลเป็นแบบสุ่มและแต่ละกลุ่มมีความแปรปรวนเท่า ๆ กัน และการกระจายระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการเก็บข้อมูล (Residuals vs. Observation Order) มีการกระจายตัวอย่างสูงแสดงว่าข้อมูลเป็นอิสระต่อกัน สรุปได้ว่าข้อมูลการทดลองครั้งนี้มีความเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ศึกษาอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมได้



รูปภาพที่ 6 อิทธิพลที่มีผลต่อความลึกของรูต่างหู (ที่มา: ผู้วิจัย)

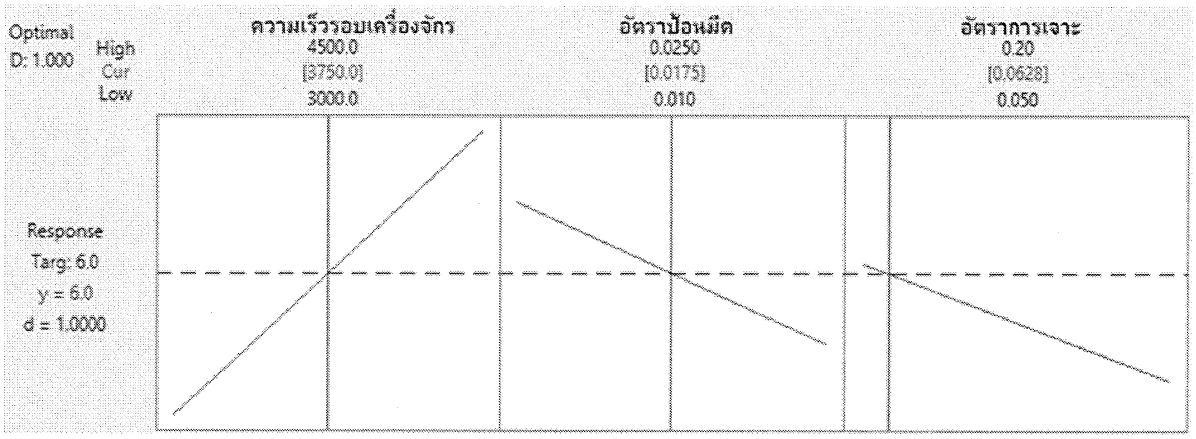


รูปภาพที่ 7 การตรวจสอบความถูกต้องของการทดลอง (ที่มา: ผู้วิจัย)

4.2 การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการเจาะรูเพื่อผลิตต่างหูไทเทเนียม

ในขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการเจาะรูต่างหูดำเนินการด้วยคำสั่ง Response Optimizer ในโปรแกรมมินิแท็บ กำหนดการวิเคราะห์เป็นแบบค่าเป้าหมาย (Target Goal) ที่ความลึกของรูต่างหูเท่ากับ

6 มิลลิเมตร โดยพบว่าควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสำหรับการเจาะรูต่างหู ได้แก่ ความเร็วรอบของเครื่องจักรที่ระดับ 3,750 รอบต่อนาที อัตราป้อนมีดที่ระดับ 0.0175 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการเจาะที่ระดับ 0.0628 มิลลิเมตรต่อรอบ จะทำให้ค่าความลึกของรูเท่ากับ 6 มิลลิเมตร ผลการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมการตั้งค่าจักรเพื่อเจาะรูต่างหูไทเทเนียมแสดงดังรูปภาพที่ 8



รูปภาพที่ 8 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการตั้งค่าเครื่องจักร (ที่มา: ผู้วิจัย)

4.3 ผลการทดสอบสมมติฐานเพื่อยืนยันผลระดับของพารามิเตอร์

ขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบเพื่อยืนยันว่าค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ Response Optimizer สามารถเจาะรูต่างหูให้มีค่าความลึกตามเป้าหมายไม่แตกต่างจาก 6 มิลลิเมตร ได้หรือไม่ โดยทำการเจาะรูต่างหูเมื่อกำหนดความเร็วรอบของเครื่องจักรที่ระดับ 3,750 รอบต่อนาที อัตราป้อนมีดที่ระดับ 0.0175 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการเจาะที่ระดับ 0.0628 มิลลิเมตรต่อรอบ พร้อมสุ่มต่างหูจำนวน 32 ชิ้น และทำการบันทึกค่าความลึกของรูต่างหู แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลความลึกรูต่างหูไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 เพื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติ

ชิ้นงานที่	ค่าความลึกของรู (มิลลิเมตร)	ชิ้นงานที่	ค่าความลึกของรู (มิลลิเมตร)	ชิ้นงานที่	ค่าความลึกของรู (มิลลิเมตร)	ชิ้นงานที่	ค่าความลึกของรู (มิลลิเมตร)
1	5.98	9	5.97	17	6.00	25	6.01
2	5.99	10	6.00	18	6.01	26	5.97
3	6.01	11	6.01	19	6.02	27	5.99
4	6.02	12	6.02	20	5.99	28	6.01
5	5.99	13	5.99	21	5.97	29	5.98
6	6.02	14	5.97	22	6.01	30	6.02
7	6.00	15	5.98	23	5.98	31	5.98
8	5.99	16	5.97	24	6.00	32	6.01

จากนั้นใช้โปรแกรมมินิแท็บเพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความลึกรูต่างหูรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 ตามสมมติฐานที่ได้กำหนดไว้ในหัวข้อ 3.6 การวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่าค่าความลึกของรูต่างหูไทเทเนียมซ์รุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 ผลการวิเคราะห์พบว่าการทดสอบสมมติฐานทางสถิติมีค่า P-Value เท่ากับ 0.621 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังนั้นจึงไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 คือค่าเฉลี่ยความลึกของรูต่างหูไม่มี

ความแตกต่างจาก 6 มิลลิเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดสอบในข้างต้นแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างมีเสถียรภาพ ผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติ แสดงดังรูปภาพที่ 9

Descriptive Statistics

N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for μ
32	5.99562	0.01722	0.00884	(5.97830, 6.01295)

μ: population mean of ค่าความลึกของรูต่างหู

Known standard deviation = 0.05

Test

Null hypothesis	H_0: $\mu = 6$
Alternative hypothesis	H_1: $\mu \neq 6$

Z-Value	P-Value
-0.49	0.621

รูปภาพที่ 9 ผลการทดสอบสมติฐานทางสถิติ (ที่มา: ผู้วิจัย)

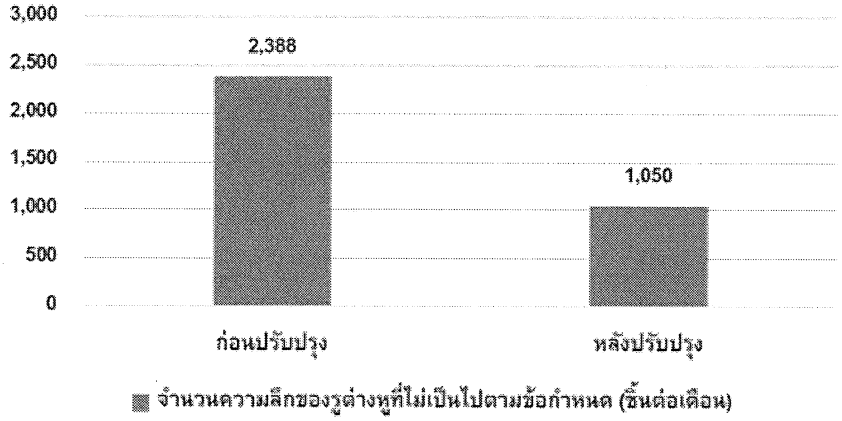
5. สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลและอภิปรายการศึกษา

การศึกษาวิจัยนี้ต้องการลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในกระบวนการเจาะรูต่างหูไทเทเนียม รุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 ด้วยเครื่องจักร ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความเร็วรอบเครื่องจักร อัตราป้อนมีด และอัตราการเจาะ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นงานวิจัยได้ใช้การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เพื่อกำหนดหาสภาวะการผลิตที่เหมาะสม ผลการวิจัยแสดงเห็นได้ชัดว่าพารามิเตอร์ทั้งหมดมีอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมต่อการเจาะรูต่างหูอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เพื่อให้ได้ความลึกของรูต่างหูเป็นไปตามข้อกำหนด มีรายละเอียดดังนี้ ความเร็วรอบของเครื่องจักรที่ระดับ 3,750 รอบต่อนาที อัตราป้อนมีดที่ระดับ 0.0175 มิลลิเมตรต่อนาที อัตราการเจาะที่ระดับ 0.0628 มิลลิเมตรต่อรอบ ผลลัพธ์จากการวิจัยในครั้งนี้ส่งผลให้บริษัทกรณีศึกษาสามารถลดจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนดเหลือเพียง 1,050 ชิ้นต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 56.03 เมื่อเทียบกับจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนดก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังพบว่ามีมูลค่าความสูญเสียจากปัญหาผลิตภัณฑ์ที่มีความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนดลดลงเหลือ 43,013 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับมูลค่าความสูญเสียก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิต รายละเอียดจำนวนจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดจากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักร แสดงดังตารางที่ 6 และการเปรียบเทียบจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนด แสดงดังรูปภาพที่ 10

ตารางที่ 6 จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดจากการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่เหมาะสม

ลำดับ	หัวข้อปัญหา	ตุลาคม	พฤจิกายน	ธันวาคม	เฉลี่ย	มูลค่าของบกพร่อง/เดือน
1	ความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนด	1,207	1,068	877	1,050	43,013
2	ส่วนมุมโค้งสูญหาย	541	454	339	445	14,476
3	น้ำหนักไม่เป็นตามข้อกำหนด	806	748	694	750	26,628
4	ขนาดเดือยใหญ่เกินไป	166	169	168	168	5,756
รวม		2,720	2,438	2,078	2,412	89,873



รูปภาพที่ 10 การเปรียบเทียบจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีความลึกของรูต่างหูไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (ที่มา: ผู้วิจัย)

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยในอนาคตอาจศึกษาคุณสมบัติวัสดุไทเทเนียมชนิดอื่น หรือวัสดุผสมไทเทเนียมอื่นเพื่อเพิ่มความสามารถในการลดผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด รวมถึงการนำเทคโนโลยีการเรียนรู้ของเครื่องจักรมาปรับใช้ตั้งค่าพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้อาจนำแนวคิดที่ได้จากการวิจัยนี้ไปใช้สำหรับการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่สามารถตั้งค่าพารามิเตอร์เครื่องจักรได้แบบทันที

5.3 ข้อจำกัดงานวิจัย

การศึกษาวิจัยนี้มีข้อจำกัดคือวัสดุไทเทเนียมที่นำมาใช้สำหรับการทดลองผลิตภัณฑ์ต่างหูไทเทเนียมรุ่น Tita 0.5×1.2×08×4 ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของทางลูกค้าที่สั่งทำเครื่องประดับเพียงเท่านั้น ในทำนองเดียวกันการใช้ดอกสว่านเจาะสำหรับรูต่างหูเป็นต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของบริษัท จึงไม่สามารถศึกษาอิทธิพลของชนิดวัสดุไทเทเนียมและชนิดของดอกสว่านได้ นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดด้านการเก็บข้อมูลความลึกของรูต่างหู ซึ่งต้องอาศัยพนักงานผู้ที่มีประสบการณ์ในการทำงานและมีความเชี่ยวชาญสูงในการวัดค่าความลึกของรูต่างหู

เอกสารอ้างอิง

นันทวัฒน์ อภิกมลกุล และ กรรณชัย กัลป์ยาศิริ. (2563). การลดรูพรุนในเงินสีชมพูที่หล่อด้วยวิธีการหล่อแบบประณีต: กรณีศึกษาของบริษัทผลิตเครื่องประดับ. **วารสารวิจัยการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม**, 28(2), 87-99.

ปารเมศ ชุติมา. (2545). **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม**. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิ่นชณัณ สุวรรณชนะ และ สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ (2021) การปรับปรุงความแข็งแรงของสร้อยข้อมือสายหนังโดยการประยุกต์การออกแบบการทดลอง. **วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**, 28(2), 87-99.

ศูนย์ข้อมูลอัญมณีและเครื่องประดับ. (2567). **สถานการณ์ส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับไทยเดือนมกราคม-ธันวาคม ปี 2566**. ค้นเมื่อ 12 สิงหาคม 2567 จาก https://infocenter.git.or.th/th/article/article-20240209.

หัสยา วงศ์วัน และ จักพันธ์ พรนิมิตร. (2567). การควบคุมคุณภาพด้วยวิธีการทางสถิติเพื่อลดต้นทุนในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก. **วารสารสถิติประยุกต์และเทคโนโลยีสารสนเทศ**, 9(1), 24-41.

Akansha, Kanchan H., Gupta M., Shandilya S., & Arora J. (2025). Quality problem solving in the jewellery industry - the Six Sigma way. **Productivity and Quality Management**, 44(3), 304-330.

Das, D. & Singh, A. K. (2023). Ergonomic design and evaluation of gemstone polishing workstation. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, 29(4), 1301-1318.

El Khalloufi, M., Drevelle, O., & Soucy, G. (2021). Titanium: An overview of resources and production methods. **Minerals**, 11(12), 1425.

Koohathongsumrit, N., & Meethom, W. (2021). An integrated approach of fuzzy risk assessment model and data envelopment analysis for route selection in multimodal transportation networks. **Expert System with Applications**, 171, 114342.

McDermott, O., Antony, J., Sony, M., Rosa, A., Hickey, M., & Grant, T. A. (2022). A study on Ishikawa's original basic tools of quality control in healthcare. **The TQM Journal**, 35(7), 1686-1705.

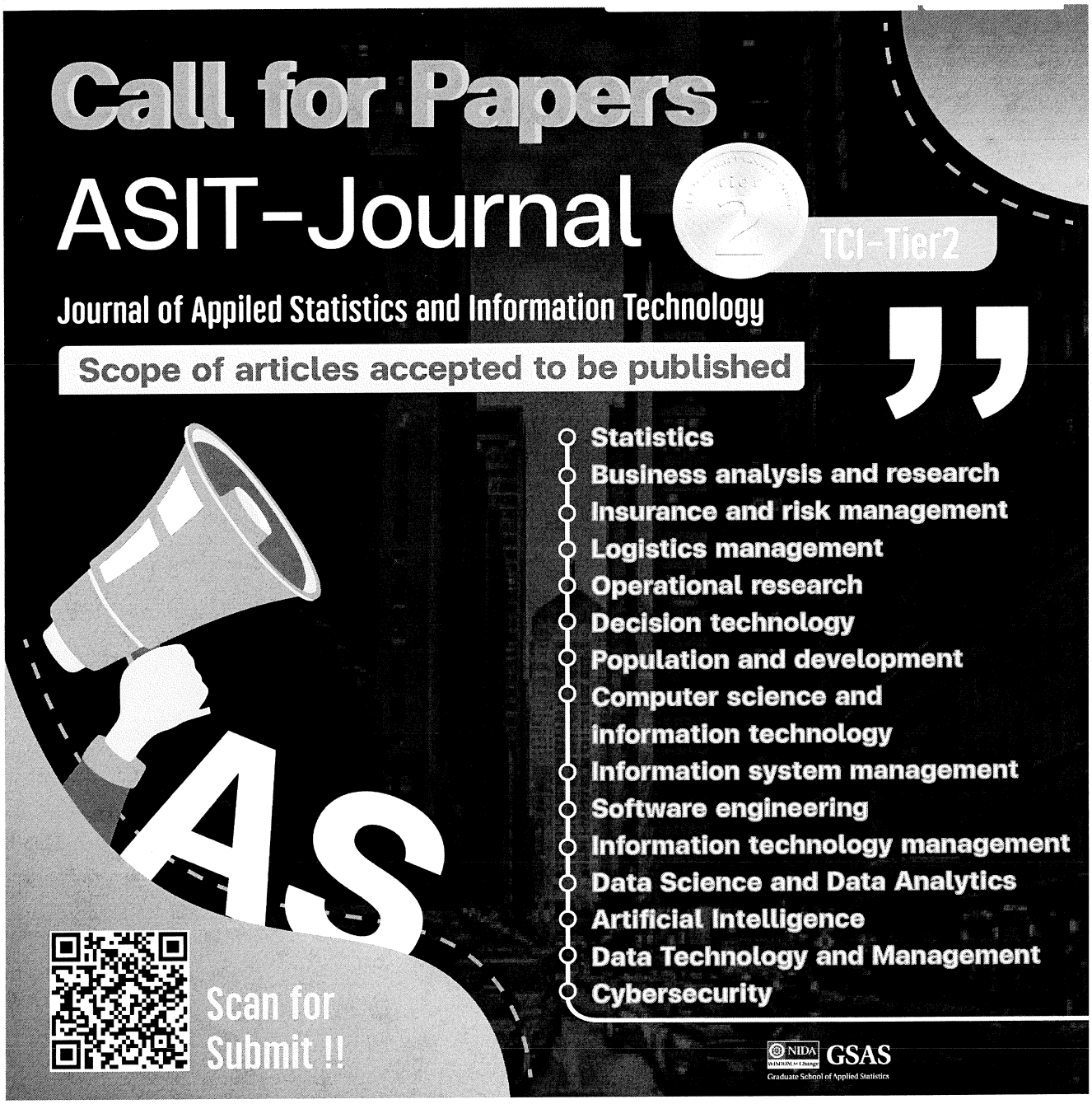
Montgomery, D. C. (2005). **Design and analysis of experiments**. (6th ed.). United States: John Wiley & Sons.

Sidelnikov, S. B., Ditkovskaia, Y. D., Lopatina, E. S., Voroshilov, D. S., Lebedeva, O. S., Konstantinov, I. L., Galiev, R. I., Mansurov, Y. N., Ber, V. I., Rudnitskiy, E. A., & Lopatin, V. A. (2022). Modeling and research of the deformation treatment process of 585 gold fineness alloys for obtaining wire for jewelry purpose. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 119(3), 4303-4316.

Journal of Applied Statistics and Information Technology วารสารสถิติประยุกต์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ISSN: 3027-6349 (Online)

Call for Papers

2018-11-09



Read More ›

Current Issue

Vol. 10 No. 1 (2025): Journal of Applied Statistics and Information Technology Vol 10 No 1 (January - June 2025)

Published: 2025-06-19

Academic Articles

Exploration and Comparison of No-Code AI for Website Development

Salintip Cheerapakorn

1-17

PDF

Research Articles

Development of a Smart Pig Housing Model using Microcontroller and Internet of Things Technology

Kamonrat Dadtonram, Suphaphit Panayhamma, Prem Enkvetchakul

18-32

PDF

Reduction of Non-Conforming Products in the Titanium Jewelry Manufacturing Process

Jennarong Tinsok, Nitidetch Koohathongsumrit

33-47

PDF

Forecasting the number of mobile phone users in Thailand

Orawan Suebsen, Thirarat Maikaew

48-63

PDF

View All Issues ›

Journal Information

Indexed in TCI

Editor : Associate Prof Dr.Ohm Sornil

Make a Submission

Language

English

ภาษาไทย

Information

For Readers

For Authors

For Librarians

Visitors

Counter installed: November 9, 2018

Graduate School of Applied Statistics (GSAS) National Institute of Development Administration (NIDA)
148, 12th Floor, Navamindradhiraj Building, Serithai Road, Klong-Chan, Bangkapi, Bangkok THAILAND 10240
Tel: 02-727-3035-36 Fax: 02-374-4061