

การออกแบบการทดลองด้วยหลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน และวิธีการทาคุชิ
กรณีศึกษากระบวนการย่ำหมุดอลูมิเนียม
Experimental Design with Shainin and Taguchi Methods:
A Case Study of Aluminum Riveting Process

ธนกานต์ วิจิระประเสริฐ^{1*}, ทศพล เกียรติเจริญผล²

^{1*},²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
E-mail: thanakarn.v@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและกำหนดแนวทางการประยุกต์ใช้วิธีการของทาคุชิและหลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน โดยอาศัยกรณีศึกษากระบวนการย่ำหมุดอลูมิเนียม และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองของทาคุชิ หลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน กับวิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ซึ่งวิธีการออกแบบการทดลองของทาคุชิ จะดำเนินการทดลองแบบตารางแนวฉาก (Orthogonal Array) เป็น L16 และหลักการค้นหาตัวแปรของไชนินจะดำเนินการ 4 ขั้นตอน ส่วนวิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล จะมีรูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2⁵ Factorial Design จากผลการทดลองพบว่าวิธีการออกแบบการทดลองของทาคุชิสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองที่สำคัญได้เหมือนกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล คือ มีความเชื่อมั่นในทางสถิติที่สูง และยังใช้จำนวนการทดลองที่น้อยครั้งกว่า ส่วนวิธีการของไชนินใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่าวิธีการของทาคุชิและการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ซึ่งจะช่วยให้เกิดประโยชน์ในเรื่องการประหยัดต้นทุนในการทดลอง การประยุกต์ใช้วิธีการของทาคุชิ และไชนิน มีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาตัวแปร ในกรณีที่มีการดำเนินการทดลองไม่สามารถทำการทดลองได้จำนวนมากและมีจำนวนตัวแปรที่ศึกษาเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองแบบคัดกรอง (Screening) แต่อย่างไรก็ตามการวางแผนการทดลองของวิธีการของทาคุชิและไชนิน ต้องอาศัยความรู้ในกระบวนการตัวอย่างนั้นเป็นแนวทางในการกำหนดตัวแปรและระดับของการทดลองมากกว่าแบบแฟคทอเรียล

คำสำคัญ: วิธีการของทาคุชิ, หลักการค้นหาตัวแปรของไชนิน, ตารางแนวฉาก, แผนการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล, วิธีการทดลองแบบแฟคทอเรียล

Abstract

The aim of this research is to study and provide the implementation of Taguchi method and Shainin methods by using a case of Aluminum Riveting Process. Then, comparative analysis of Taguchi, Shainin and classical factorial experiment designs was carried out. Taguchi method uses the experiment of Orthogonal Array (L16) and Shainin method operates in four processes. 2⁵ Factorial Design is used as a classical experimental designs. Taguchi method give the same result as the classical factorial experiment that provides high confidence with fewer number of trials. The number of trials of Shainin method is less than those of Taguchi method and classical factorial experiment. It is valuable to reduce cost and time of experiments. Therefore, applications of Taguchi and Shainin methods are useful for the study when a number of trials cannot be performed on many experiments, especially in case of the screening experiment. However, the approaches of Taguchi and Shainin methods require the understanding of process parameters more than that of classical factorial design in order to select factors and to set suitable levels of experimental conditions.

Keyword: Taguchi method, Shainin method, Orthogonal Array, Factorial Design, Classical factorial experiment designs

1. บทนำ

เนื่องจากเทคนิคการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะสามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่างๆที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Outputs or Responses) จากกระบวนการหรือระบบนั้น [1] ซึ่งเป็นวิธีการที่ได้รับการยอมรับมากขึ้นในแวดวงอุตสาหกรรม ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการผลิต อุตสาหกรรมเคมี ตลอดจนอุตสาหกรรมการผลิต โดยการออกแบบการทดลองจะมี 4 ขั้นตอน คือ การวางแผน (Planning) การคัดกรอง (Screening หรือ Process characterization) การหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization) และการทวนสอบ (Verification) ใช้ในงานด้านการพัฒนากระบวนการผลิต ซึ่งเป็นการลดจำนวนตัวแปรให้มีจำนวนน้อยลง โดยคัดเลือกตัวแปรที่มีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การลดจำนวนตัวแปรทำให้เราสามารถที่จะพิจารณาเฉพาะตัวแปรที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเท่านั้น โดยทั่วไปจะใช้แบบแฟคทอเรียล (ปัจจัยมีค่าระดับมากกว่า 2 ค่าขึ้นไป) อีกเทคนิคที่ถูกเรียกว่า หลักการค้นหาตัวแปร (Variable Search Method) ซึ่งเป็นเครื่องมือหนึ่งในการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของโชนิน วิธีการนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นโดย โดเรียน โชนิน (Dorian Shainin) ชาวอเมริกา ผู้ซึ่งเป็นที่ปรึกษาของบริษัทชั้นนำต่างๆมากกว่า 800 แห่ง เทคนิคนี้ถือว่าเป็นเทคนิคในการเก็บรวบรวมข้อมูลอย่างง่าย แต่ให้ประสิทธิภาพสูง และทำให้ผู้แก้ปัญหาสามารถเข้าถึงปัญหาได้ดี โดยเทคนิคของโชนินถือเป็นกลุ่มวิธีการที่ได้รับการยอมรับมากขึ้นในแวดวงอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่จำเป็นต้องพึ่งหลักการทางสถิติที่ซับซ้อนมากนัก และเป็นวิธีการที่มีกระบวนการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบเป็นขั้นตอน รวมทั้งได้รับการพิสูจน์ว่าสามารถประยุกต์ใช้ได้ ในอุตสาหกรรมต่างๆได้เป็นอย่างดี [2]

นอกจากนี้วิธีการอีกอย่างหนึ่งที่ได้รับการยอมรับในเชิงปฏิบัติ คือ การออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ เป็นการลดความสูญเสีย ที่เกิดจากคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไม่ตรงตามเป้าหมาย โดยการตรวจสอบจากผลรวมของความสูญเสียทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ อันเกิดจากองค์ประกอบต่างๆผันแปรไปจากคุณภาพของเป้าหมาย และหาว่าเงื่อนไขของกระบวนการผลิตนั้นเป็นอย่างไร รวมไปถึงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่จะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ทนต่อสภาพแวดล้อมและปัจจัยอื่น ๆ ที่นอกเหนือการควบคุม [3] โดยสำหรับในงานวิจัยนี้พัฒนาจากงานวิจัยของสมชาย [4] กรณีศึกษากระบวนการย้าหมุดอลูมิเนียม และทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล หลักการค้นหาตัวแปร และวิธีการทากูชิ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิธีการของโชนิน (Shainin Method)

วิธีการของโชนิน ให้เทคนิคของหลักการค้นหาตัวแปร ซึ่งมีประโยชน์เมื่อมีจำนวนตัวแปรที่ศึกษาเท่ากับหรือมากกว่า 4 ตัวแปรขึ้นไปในระบบ ซึ่งวิธีการของโชนินได้ให้คำนิยามของตัวแปรที่มีความสำคัญมากที่สุดว่า Red X และตัวแปรที่มีความสำคัญอันดับที่ 2 ว่า PinkX และถัดมาเป็น PalePinkX และกำหนดให้ค่าตัวแปรตอบสนองเรียกว่า GreenY [5] หลักการค้นหาตัวแปรสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน

2.1.1 กำหนดตัวแปร

มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดตัวแปรและค่าที่ถูกต้องในแต่ละการทดลองโดยเริ่มจากการกำหนดเลือก Green Y ที่ใช้ในการวัดคุณภาพและทำการวิเคราะห์และกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อคุณภาพสินค้า หลังจากนั้นจึงกำหนดค่าตัวแปรหรือปัจจัยแต่ละปัจจัยเพื่อการทดลอง โดยแบ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด (Best Level; B) และค่าที่แย่มากที่สุด (Marginal Level; M) โดยกำหนดขนาดตัวอย่าง ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดเพียง 2 ชั้น คือ BOB (Best Of Best) และ WOW (Worst Of Worst) อย่างละชั้นและทำการประเมินหาแนวโน้มอย่างคร่าวๆ โดยทำการทดลอง 2 ครั้ง ครั้งแรกที่ค่าที่ดีที่สุด ครั้งที่สองที่ค่าที่แย่มากที่สุดของทุกปัจจัย โดยถ้ามีความแตกต่างของค่า Green Y อย่างมากระหว่างค่าที่ดีที่สุด และค่าที่แย่มากที่สุด แสดงว่าปัจจัยที่เลือกไว้มีแนวโน้มว่าจะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพอย่างแท้จริง ซึ่งถ้าค่าที่ดีที่สุดทุกค่าดีกว่าค่าที่แย่มากที่สุด แต่แตกต่างกันไม่มากแสดงว่ายังมีปัจจัยที่ไม่ถูกเลือกซึ่งมีผลต่อคุณภาพหรือค่า Green Y แต่ถ้าค่าที่ดีที่สุดไม่ได้แสดงอย่างชัดเจนว่าดีกว่าค่าที่แย่มากที่สุด แสดงว่าปัจจัยที่เลือกไว้ไม่มีผลต่อคุณภาพและให้ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วจึงทดสอบนัยสำคัญเพื่อพิสูจน์ว่า Green Y ของค่าที่ดีที่สุดทั้ง 3 ตัวดีกว่า Green Y ของค่าที่แย่มากที่สุดทั้ง 3 ตัว โดยการทดสอบนัยสำคัญจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด คือ Green Y ของค่าที่ดีที่สุดทั้ง 3 ตัว ต้องดีกว่า Green Y ของค่าที่แย่มากที่สุดทั้ง 3 ตัว และอัตราส่วน $D : d$ ต้องมากกว่าหรือเท่ากับ $1.25 : 1$ ซึ่งถ้าการทดสอบนัยสำคัญผ่าน จะถือว่าขั้นตอนที่ 1 เสร็จสิ้น แสดงว่าปัจจัยที่เลือกไว้ถูกต้องแล้วถ้าการทดสอบนัยสำคัญไม่ผ่าน แสดงว่าปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพยังไม่ถูกเลือกให้กลับไปทำการวิเคราะห์และกำหนดปัจจัยที่คาดว่าจะมีผลต่อคุณภาพสินค้าใหม่อีกครั้ง

2.1.2 จำแนกแยกแยะปัจจัย

มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกตัวแปรที่สำคัญออกจากตัวแปรที่ไม่สำคัญและกำจัดตัวแปรที่ไม่สำคัญออกไปรวมทั้งอันตรายที่มาจากตัวแปรนั้นออกไปด้วย โดยเริ่มจากการทดลองโดยการสลับค่าตัวแปรทีละคู่ แล้วคำนวณค่าสูงสุดและต่ำสุดของขอบเขตการตัดสินใจ โดยใช้สูตร $\text{median} \pm 2.776 d / 1.81$ ซึ่งผลลัพธ์ที่เป็นไปได้จะมี 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 ถ้า $A_M R_B$ อยู่ใน Decision limits-high และ $A_B R_M$ อยู่ใน decision limits-low แสดงว่า A ไม่มีนัยสำคัญ กรณีที่ 2 ถ้า $A_M R_B$ และ $A_B R_M$ ให้ผล

ตรงข้ามกัน คือ $A_M R_B$ ให้ผลเหมือนกรณี All Best และ ให้ผลเหมือนกรณี All Marginal แสดงว่า A เท่านั้นที่เป็นปัจจัยที่มีนัยสำคัญ ปัจจัยอื่นๆ ตัดออกได้ทั้งหมด กรณีที่ 3 ถ้า $A_M R_B$ และ $A_B R_M$ ค่าใดค่าหนึ่งหรือทั้งสองค่า ตกออกนอก Decision limits คือ $A_M R_B$ ตกออกนอก Decision limits-high และ $A_B R_M$ ตกออกนอก Decision limits-low แต่มีได้ให้ผลตรงข้ามกัน แสดงว่า A มีนัยสำคัญร่วมกับปัจจัยอื่นด้วย ซึ่งถ้าผลลัพธ์เป็นแบบกรณีที่ 1 หรือ 3 ให้ทดลองต่อ สำหรับปัจจัยที่เหลือคือ B,C,D,... และปัจจัยอื่นต่อไปแต่ถ้าผลลัพธ์เป็นแบบกรณีที่ 2 ให้หยุดการทดลองแสดงว่าได้ Red X เพียงตัวเดียว

2.1.3 ยืนยันตัวแปร

มีวัตถุประสงค์เพื่อยืนยันตัวแปรที่สำคัญและยืนยันความสำคัญของตัวแปรนั้น โดยทดสอบยืนยันผลของตัวแปรและอันตรกิริยาโดยสลับค่าของปัจจัย เช่น $A_B B_B R_M$ และ $A_M B_M R_B$ ทดสอบยืนยันผลอันตรกิริยา 3 ตัว (ถ้ามีปัจจัยที่มีนัยสำคัญมากกว่าหรือเท่ากับ 3 ปัจจัย)

2.1.4 การวิเคราะห์ตัวแปร

มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาค่าของปัจจัยสำคัญที่จะทำให้อุณหภูมิสินค้าดีที่สุด โดยการหาอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมซึ่งในกรณีที่อันตรกิริยาของปัจจัยหรือตัวแปรคู่ใดมีนัยสำคัญให้เขียนกราฟอิทธิพลร่วม เพื่อหาว่าอันตรกิริยาของปัจจัยคู่นั้นมีมากหรือไม่ เพื่อนำไปสู่การกำหนดค่าของปัจจัยที่จะทำให้อุณหภูมิสินค้าดีที่สุดต่อไป [6]

2.2 วิธีการทากูชิ (Taguchi Method)

วิธีการทากูชิ เป็นวิธีการที่ใช้คัดกรองปัจจัย โดยคำนึงถึงปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือปัจจัยรบกวนของกระบวนการซึ่งวิธีการทากูชินั้น ถือเป็นฟังก์ชันความสูญเสีย โดยวัตถุประสงค์ของการออกแบบที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง คือ การทำให้ค่าความสูญเสียมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งทากูชิได้สรุปว่าการเบี่ยงเบนใดๆของกระบวนการ ผลลัพธ์ที่ออกห่างจากค่าเป้าหมายจะก่อให้เกิดค่าความสูญเสีย

2.2.1 กำหนดตารางแผนการทดลองโดยใช้ตารางแนวฉาก (Orthogonal Array) และ linear graph ใน Robust Design ในขั้นตอนการวางแผนการทดลองจะเริ่มที่การออกแบบแผนการทดลองแบบเมตริกซ์ ซึ่งทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาปัจจัยหลายๆปัจจัยพร้อมๆ กัน คือ การกำหนดตารางแผนการทดลองโดยใช้ตารางแนวฉาก

ตารางที่ 1 ตารางแนวฉาก

แผนผังการทดลอง	จำนวนตัวแปรสูงสุด	จำนวนระดับของตัวแปรสูงสุด
L4	3	2
L8	7	2
L9	4	3
L12	11	2
L16	15	2
	5	4
L18	1	2
	7	3
L27	13	3
L32	31	2
	1	2
	9	4

จากตารางข้างต้น จำนวนตัวเลขของ L คือ จำนวนครั้งของการทดลอง เช่น L8 จะมีการทดลอง 8 ครั้ง หรือ L16 จะมีการทดลอง 16 ครั้ง เป็นต้น โดยจำนวนครั้งของการทดลองยิ่งมากความสามารถในการตรวจสอบยิ่งมากตามไปด้วย หรือกล่าวได้ว่าการทดลองนั้นยังมีความถูกต้อง ซึ่งโดยปกติปัจจัยในการเลือกขึ้นอยู่กับ [7]

1. จำนวนของตัวแปรที่สนใจ
2. จำนวนระดับของตัวแปรที่ต้องการ
3. ความต้องการของผู้ทดลอง, งบประมาณ, และข้อจำกัดในด้านอื่นๆ

2.2.2 การวิเคราะห์ (ANOVA) ผลการทดลองจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนของ Signal-to-Noise (S/N Ratio)

อัตราส่วนของ Signal-to-Noise (S/N Ratio) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ Smaller – the – better (กรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี) , Nominal – the – best (กรณีค่าตรงเป้าหมายดีที่สุด) และ Larger – the – better (กรณีค่ายิ่งมากยิ่งดี) [1]

สำหรับในงานวิจัยนี้ค่าตอบสนองที่มีค่ามาก คือ ค่าที่ดีที่สุด จากกฎของทากูชิ จุดที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย คือ จุดที่ให้ค่า S/N ratio สูงสุด

2.2.3 ปัจจัยที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง (Robustness factor)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยจะได้ค่าอัตราส่วน Signal-to-Noise Ratio ของแต่ละระดับปัจจัย ซึ่งจะได้ผลลัพธ์คือ ปัจจัยที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง (Robustness factor) ซึ่งไม่จำเป็นต้องไปวิเคราะห์ในขั้นตอนการหาค่าตอบที่เหมาะสมเนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้นั้น ไม่มีความแตกต่างกันในแต่ละระดับปัจจัย

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 กำหนดกรณีศึกษาที่ทราบว่าตัวแปรใด มีผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วม

กรณีศึกษาพัฒนาจากงานวิจัยกระบวนการย้าหมุดอลูมิเนียม เพื่อหาสภาวะของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่มีอิทธิพลต่อแรงเฉือนสูงสุดของหมุดย้าอลูมิเนียม [4] ซึ่งมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวแปร ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สภาวะของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดที่มีอิทธิพลต่อแรงเฉือนสูงสุดของหมุดย้าอลูมิเนียม

พารามิเตอร์	ระดับ	
	ต่ำ(-)	สูง(+)
1. ขนาดแรงกด (A)	ต่ำ	สูง
2. ขนาดรูเจาะ (B)	เล็ก	ใหญ่
3. ความหนาของงาน (C)	บาง	หนา
4. ความยาวหมุดย้า (D)	สั้น	ยาว
5. เวลาในการกดแช่ (E)	น้อย	มาก

3.2 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design

ดำเนินการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ โดยมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวแปร และแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็นแบบ 2^5 มีจำนวนการทดลองเท่ากับ 32 ครั้ง แต่ครั้งของการทดลอง กำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง จึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 160 ครั้ง และจัดการทดลองให้เป็นแบบสุ่ม

3.3 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้หลักการค้นหาตัวแปร ด้วยวิธีการของโซนิค

ดำเนินการตามขั้นตอนของการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองตามหลักการค้นหาตัวแปรของโซนิค 4 ขั้นตอน [8]

3.4 การดำเนินการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้วิธีการทากูชิ

ดำเนินการทดลองแบบตารางแนวฉาก ซึ่งจะได้รูปแบบการทดลองเป็น $L_{16}(2^5)$ โดยมีตัวแปรทั้งสิ้น 5 ตัวแปร และแต่ละตัวแปร มี 2 ระดับ มีจำนวนการทดลองเท่ากับ 16 ครั้ง แต่ครั้งของการทดลอง กำหนดให้มีจำนวนการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง จึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 80 ครั้ง

จากนั้นนำมาสรุป เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์จากการออกแบบการทดลองทั้ง 3 แบบ

4. ผลการดำเนินงานและบทวิจารณ์

4.1 การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ 2^k Full Factorial Design

ดำเนินการวิเคราะห์ผลทางสถิติ โดยอาศัยโปรแกรม Minitab โดยแยกวิเคราะห์ผลแต่ละปัจจัย โดยทดสอบที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 พบว่าตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อแรงเฉือนสูงสุดของหมุดย้าอลูมิเนียม คือ ปัจจัย B (ขนาดรูเจาะ) , ปัจจัย C (ความหนาของงาน) และอันตรกิริยาระหว่างปัจจัยของ B และ C

4.1.1 สมการถดถอย

$$Y = 1283.75 + 98.00 B + 6.00 C - 15.75 B * C \quad (1)$$

เมื่อ Y = แรงเฉือนสูงสุด (Shear Force)

B = ขนาดรูเจาะ (Size)

C = ความหนาของงาน (Thick)

4.2 การออกแบบการทดลองวิธีการของโซนิค

4.2.1 ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดตัวแปร

จากการทดลอง 3 ครั้งสำหรับค่าที่ดีที่สุด และ 3 ครั้งสำหรับค่าที่แย่ที่สุด ได้ค่าดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 Ball Park

พารามิเตอร์	ระดับ		หน่วย
	ต่ำ (-) Marginal Level	สูง (+) Best Level	
1. ขนาดแรงกด (A)	ต่ำ	สูง	-
2. ขนาดรูเจาะ (B)	เล็ก	ใหญ่	-
3. ความหนาของงาน (C)	หนา	บาง	-
4. ความยาวหมุดย้า (D)	สั้น	ยาว	-
5. เวลาในการกดแช่ (E)	น้อย	มาก	-
ผลการทดลองครั้งที่ 1	1170	1390	N/mm ²
ผลการทดลองครั้งที่ 2	1250	1360	N/mm ²
ผลการทดลองครั้งที่ 3	1230	1410	N/mm ²

จากการทดลองพบว่าค่า All-Best ทุกครั้ง ดีกว่า All-Marginal และค่ามัธยฐานของ All-Best คือ 1390 และของ All-Marginal คือ 1230 โดย $D = 1390 - 1230 = 160$ และ $\bar{d} = ((1410 - 1360) + (1250 - 1170)) / 2 = 65$ ดังนั้น $D : \bar{d} = 160 : 65$ หรือเท่ากับ 2.46 : 1 ซึ่งมีค่ามากกว่า 1.25 แสดงว่า ปัจจัยที่เลือกไว้ (A ถึง E) อย่างน้อย 1 ตัว มีนัยสำคัญ

4.2.2 ขั้นตอนที่ 2 : จำแนกแยกแยะปัจจัย แสดงผลในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 จำแนกแยกแยะปัจจัย

Test	Combination	Result	Median	Decision Limits	Conclusion
1	A _M R _B	1420	1390	1290.31 to 1489.69	A not significant
2	A _B R _M	1200	1230	1130.31 to 1329.69	
3	B _M R _B	1170	1390	1290.31 to 1489.69	B significant
4	B _B R _M	1380	1230	1130.31 to 1329.69	
5	C _M R _B	1390	1390	1290.31 to 1489.69	C not significant
6	C _B R _M	1160	1230	1130.31 to 1329.69	
7	D _M R _B	1330	1390	1290.31 to 1489.69	D not significant
8	D _B R _M	1220	1230	1130.31 to 1329.69	
9	E _M R _B	1410	1390	1290.31 to 1489.69	E not significant
10	E _B R _M	1240	1230	1130.31 to 1329.69	

ขอบเขตการตัดสินใจ คือ Decision Limits (High sides) = $1390 \pm 2.776 \bar{d} / 1.81 = 1290.31$ ถึง 1489.69 และ Decision Limits (Low sides) = $1230 \pm 2.776 \bar{d} / 1.81 = 1130.31$ ถึง 1329.69 จากผลการทดลองแสดงว่าปัจจัย A, C, D และ E มีผลลัพธ์ที่อยู่ภายใน Decision Limits ดังนั้นปัจจัย

A, C, D และ E จึงไม่มีนัยสำคัญ ส่วนปัจจัย B มีผลลัพธ์อยู่นอกเหนือจาก Decision Limits แสดงว่าปัจจัย B มีนัยสำคัญ
4.2.3 ขั้นตอนที่ 3: ยืนยันตัวแปร แสดงผลในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ยืนยันตัวแปร

Test	Combination	Result	Median	Decision Limits	Conclusion
1	A _B B _B R _M	1300	1390	1290.31 to 1489.69	AB significant
2	A _M B _M R _B	1180	1230	1130.31 to 1329.69	
3	B _B C _B R _M	1440	1390	1290.31 to 1489.69	BC significant
4	B _M C _M R _B	1210	1230	1130.31 to 1329.69	
5	B _B D _B R _M	1370	1390	1290.31 to 1489.69	BD not significant
6	B _M D _M R _B	1100	1230	1130.31 to 1329.69	
7	B _B E _B R _M	1370	1390	1290.31 to 1489.69	BE not significant
8	B _M E _M R _B	1120	1230	1130.31 to 1329.69	

จากผลการทดลองพบว่า A_BB_BR_M , A_MB_MR_B และ B_BC_BR_M , B_MC_MR_B มีผลลัพธ์ที่อยู่ภายใน Decision Limits ดังนั้นปัจจัย B

จึงมีอิทธิพลร่วมกับปัจจัย A และ C ดังนั้นจึงมีปัจจัย A, B, C และอันตรกิริยา AB และ BC ที่มีนัยสำคัญ
4.2.4 ขั้นตอนที่ 4 : การวิเคราะห์ตัวแปร แสดงผลในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ตัวแปร

	A Best	A Marginal	C Best	C Marginal
B	1390 1390	1420	1420 1390	1380
Best	1330 1360	1380	1330 1360	1390
	1410 1410		1410 1410	
	1300		1440	
5585	Median=1390	Median=1400	Median=1410	Median=1385
B	1200	1160 1170	1160	1200 1170
Marginal	1170	1220 1250	1170	1220 1250
		1240 1230		1240 1230
		1180		1210
4790	Median=1185	Median=1220	Median=1165	Median=1220

A best	= 1390+1185=2575	C best	= 1410+1165=2575
A marginal	= 1400+1220=2620	C marginal	= 1385+1220=2605
A _B B _B -A _M B _M	= 1390+1220=2610	B _B C _B -B _M C _M	= 1410+1220=2630
A _M B _B -A _B B _M	= 1400+1185=2585	B _B C _M -B _M C _B	= 1385+1165=2550

อิทธิพลหลักของปัจจัย A = (2620-2575) / 2 = 22.5
 อิทธิพลหลักของปัจจัย B = (5585-4790) / 4 = 198.75
 อิทธิพลหลักของปัจจัย C = (2605-2575) / 2 = 15
 อันตรกิริยาระหว่างปัจจัย A และ B = (2610-2585) / 2 = 12.5
 อันตรกิริยาระหว่างปัจจัย B และ C = (2630-2550) / 2 = 40
 จากตารางที่ 6 การวิเคราะห์ที่ปัจจัยสามารถสรุปได้ว่าปัจจัย B มีความสำคัญมากที่สุด หรือเรียกว่า Red X ซึ่งมีค่าคือเท่ากับ 198.75 และปัจจัยที่มีความสำคัญอันดับ 2 คือการเกิดอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัย B และ C โดยมีค่าเท่ากับ 40 หรือเรียกว่า Pink X และปัจจัยที่มีความสำคัญเป็นอันดับสุดท้ายคือ ปัจจัย A โดยมีค่าเท่ากับ 22.5 หรือเรียกว่า PalePinkX

สรุป จากผลลัพธ์ข้างต้นแสดงอย่างชัดเจนว่า ปัจจัย A (ขนาดแรงกด), ปัจจัย B (ขนาดรูเจาะ) และอันตรกิริยาของปัจจัย B และ C มีนัยสำคัญ ที่มีอิทธิพลต่อแรงเฉือนสูงสุดของหมุดย้ำอลูมิเนียม

4.3 การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้ทากูชิ

สำหรับงานวิจัยนี้ เลือกใช้ค่าตอบสนองที่มีค่ามาก (Larger – the –better) และเลือกตารางแนวฉากแบบ L16

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Force	1	42	42	42	0.14	0.720
Size	1	156420	156420	156420	523.87	0.000
Thick	1	650	650	650	2.18	0.190
Length	1	0	0	0	0.00	0.978
Time	1	2	2	2	0.01	0.934
Force*Size	1	240	240	240	0.80	0.404
Size*Thick	1	4290	4290	4290	14.37	0.009
Size*Length	1	6	6	6	0.02	0.890
Size*Time	1	6	6	6	0.02	0.890
Residual Error	6	1792	1792	299		
Total	15	163450				

รูปที่ 1 ข้อมูล ANOVA

จากรูปที่ 1 ข้อมูล ANOVA พบว่า ตัวแปรหลัก (Main Effect) คือ ปัจจัย B (ขนาดรูเจาะ), ปัจจัย C (ความหนาของงาน) และอันตรกิริยาระหว่างของปัจจัย B และ C มีอิทธิพลต่อแรงเฉือนสูงสุดของหมุดย้ำอลูมิเนียม เนื่องจาก P-value < α = 0.05 ซึ่งส่งผลต่อค่าเฉลี่ยของแรงเฉือนสูงสุด

ค่าตอบสนองที่มีค่ามาก Larger – the –better คือ ค่าที่ดีที่สุดจากกฎของทากูชิ จุดที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย คือ จุดที่ให้ค่า S/N ratio สูงสุด โดยทำให้เกิดความสูญเสียที่น้อยที่สุด ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$\frac{S}{N} = -10\log(\sum \frac{1}{y^2})/n \quad (2)$$

จากรูปที่ 2 ข้อมูล Signal to Noise Ratios พบว่าปัจจัย A (ขนาดแรงกด), ปัจจัย E (เวลาในการกดแช่) และปัจจัย D (ความยาวหมุดย้ำ) เป็น Robustness คือ ปัจจัยเหล่านี้มีสภาวะที่ทนต่อสภาพแวดล้อมและปัจจัยอื่นๆที่นอกเหนือการควบคุม

โดยพบว่าปัจจัย B (ขนาดรูเจาะ) ที่ระดับ High (ค่า 62.81) และปัจจัย C (ความหนาของงาน) ที่ระดับ High (ค่า 62.19) ให้ค่า S/N ratio ที่สูง ซึ่งมีความสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยของแรงเฉือนสูงสุดด้วย ที่ปัจจัย B (ขนาดรูเจาะ) ที่ระดับ High (ค่า 1383) และปัจจัย C (ความหนาของงาน) ที่ระดับ High (ค่า 1290) ที่มีค่าสูงเช่นกัน

Level	Force	Size	Thick	Length	Time
1	62.13	61.46	62.08	62.13	62.14
2	62.14	62.81	62.19	62.14	62.13
Delta	0.01	1.34	0.11	0.00	0.00
Rank	3	1	2	5	4

Level	Force	Size	Thick	Length	Time
1	1282	1185	1277	1284	1284
2	1285	1383	1290	1284	1283
Delta	3	198	13	0	1
Rank	3	1	2	5	4

รูปที่ 2 ข้อมูล Signal to Noise Ratios

โดยมีสมการถดถอย คือ

$$Y = 1283.63 - 98.87B - 6.38C - 16.37B*C \quad (3)$$

4.4 การเปรียบเทียบวิธีออกแบบการทดลอง

จากกรณีศึกษาการย้ำหมุดอลูมิเนียม พบว่าวิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของทากูชิ และการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล จะได้ตัวแปรหลัก คือ ปัจจัย B (ขนาดรูเจาะ), ปัจจัย C (ความหนาของงาน) และอันตรกิริยาระหว่างของปัจจัย B และ C ที่มีอิทธิพลต่อแรงเฉือนสูงสุดของหมุดย้ำอลูมิเนียม และวิธีการของโชนิชิน จะได้ปัจจัย A (ขนาดแรงกด), ปัจจัย B (ขนาดรูเจาะ) และอันตรกิริยาของปัจจัย B และ C มีนัยสำคัญ ที่มีอิทธิพลต่อแรงเฉือนสูงสุดของหมุดย้ำอลูมิเนียม ดังแสดงในตารางที่ 7

ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาแต่ละวิธีการทดลอง จะพบจุดเด่นที่แตกต่างกัน โดยสามารถสรุปดังตารางที่ 8

ตารางที่ 7 สรุปผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อแรงเฉือนสูงสุดของหมุดย้ำอลูมิเนียมอย่างมีนัยสำคัญเปรียบเทียบกันทั้ง 3 วิธีของการทดลองการออกแบบการทดลอง

วิธีการออกแบบการทดลอง	ตัวแปร					Signal to noise ratio (S/N)	Linear Model
	A	B	C	AB	BC		
วิธีการทากูชิ		✓	✓			✓	✓
วิธีการของไชนิน	✓	✓			✓		
2 ^k Factorial Design		✓	✓		✓		✓

ตารางที่ 8 สรุปเปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการทากูชิไชนิน และการออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน 2^k Factorial Design

หัวข้อที่เปรียบเทียบ	วิธีการของทากูชิ	วิธีการของไชนิน	การออกแบบการทดลองแบบมาตรฐาน (แฟคทอเรียล)
เปอร์เซ็นต์จำนวนครั้งในการทดลองที่ลดลงได้	80 ครั้ง (ลดลง 50%)	10 ครั้ง (ลดลง 93.75%)	160 ครั้ง
ต้นทุนที่ใช้ในการทดลอง	ปานกลาง (ตามจำนวนครั้งของการทดลอง)	ต่ำ	สูง (ตามจำนวนครั้งของการทดลอง)
หลักการของการวิเคราะห์	ANOVA และ S/N Ratio	Median	ANOVA
สมการถดถอย	มี	ไม่มี	มี
ความยุ่งยากซับซ้อนในการวิเคราะห์ทางสถิติ	มาก (อาศัยวิธีการทางสถิติ ANOVA และ S/N Ratio)	น้อย (อาศัยเพียงหลักเหตุผลและผล (Rule of Thumb))	มาก (อาศัยวิธีการทางสถิติ ANOVA)
ความเชื่อมั่นในทางสถิติ	สูง (ใช้ ANOVA และ S/N Ratio)	น้อย (อาศัยเพียงหลักเหตุผลและผล (Rule of Thumb))	สูง (ใช้ ANOVA)
จำนวนตัวแปรที่ได้กับการทดลอง	ปานกลาง	มาก (หากมีตัวแปรจำนวนมาก การทดลองก็ยิ่งน้อยอยู่ดี)	น้อย (เพราะ ยังมีจำนวนตัวแปรมาก การทดลองก็ยิ่งมาก)

5. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำให้การวิเคราะห์เปรียบเทียบวิธีการออกแบบการทดลองวิธีการของทากูชิ วิธีการของไชนิน และการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยอาศัยกรณีศึกษาของการย้ำหมุดอลูมิเนียม โดยมีทั้งหมด 5 ปัจจัย พบว่าการออกแบบการทดลองของทากูชิสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองที่สำคัญได้เหมือนกับวิธีการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล คือ มีความเชื่อมั่นในทางสถิติที่สูง อีกทั้งยังใช้จำนวนครั้งในการทดลองที่น้อยกว่า คือ 80 ครั้ง (ลดลง 50%) ซึ่งวิธีการของไชนินจะใช้จำนวนครั้งของการทดลองที่น้อยกว่า

วิธีการของทากูชิและการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลคือใช้เพียง 10 ครั้ง (ลดลง 93.75%) ซึ่งจะช่วยให้เกิดประโยชน์ในเรื่องการประหยัดต้นทุนในการทดลอง แต่ทั้งนี้วิธีการของไชนินไม่อาศัยการคำนวณทางสถิติที่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับวิธีการของทากูชิและการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล ทำให้ได้รับการยอมรับที่น้อยกว่า และไม่สามารถแสดงผลของสมการถดถอยของความสัมพันธ์ของตัวแปรได้

จากกรณีศึกษา สามารถสรุปได้ว่าเมื่อจำนวนตัวแปรในการทดลองมีมากขึ้น จำนวนครั้งของการทดลองของวิธีแฟคทอเรียลจะมีจำนวนครั้งที่สูงขึ้นอย่างมาก ทำให้ยากต่อการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรม

ผู้วิจัยจึงเสนอการออกแบบการทดลองแบบวิธีการของทากูชิและวิธีการของไชนิน เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการศึกษาตัวแปร ที่ลดจำนวนครั้งในการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามวิธีการของทากูชิและไชนิน ต้องอาศัยความรู้ในกระบวนการตัวอย่งนั้นเป็นแนวทางในการกำหนดตัวแปรและระดับของการทดลอง ทำให้สามารถนำไปใช้ในภาคปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิต

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Montgomery, Douglas C. (2013). Design and analysis of experiments. 8th ed. Hoboken, NJ : Wiley.
- [2] Bhote, K. (2000). World Class Quality : Using Design of Experiment to Make It Happen. 2nd ed. Amacom. New York
- [3] Peace, Glen Stuart. (1993). Taguchi method : a hands-on approach. Addison-Wesley Publishing Company.
- [4] สมชาย ม้วนโคกสูง. (2553). การหาจุดเหมาะสมสำหรับการย้ำหมุดอลูมิเนียม โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [5] Andrew, thomas.; & Jiju, Antony. (2004). Applying Shainin's variables search methodology in aerospace applications. Assembly Automation. 24: 184-191.
- [6] พิชิต สุขเจริญพงษ์. (2550). "Shainin DOE : เทคนิคของไชนินสำหรับการออกแบบการทดลองเพื่อการปรับปรุงคุณภาพ," ในเอกสารประกอบการสัมมนาสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ.
- [7] P.J. Ross. (1996). บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย, สืบค้นจาก <http://digi.library.tu.ac.th/thesis/en/0423/04chapter3.pdf>
- [8] ยศวัฒน์ ศิริกมลชัย. (2554). การศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการของไชนิน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ).