วิธีการทากูชิเพื่อการขึ้นรูปชิ้นงานโลหะด้วยเลเซอร์

Taguchi Method for Material Deposition Process using LASER

ดร.คุณยุต เอี่ยมสอาด[1,3*], ณัฐรินทร์ ชัยภักดี[1], ณัฐพร บุญเลิศเจริญศักดิ์[1],
Frank Liou[4], ดร.ชนะ รักษ์ศิริ[2,3], ดร.ศุภสิทธิ์ รอดขวัญ[1,3]
[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล [2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ [3] สถาบันค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตทางอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900
โทร 0-2942-8555 ต่อ 1836 โทรสาร 0-2579-4576 *อีเมล์ fengkye@ku.ac.th
[4] Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering,
University of Missouri, Rolla, Missouri 65409, USA

Kunnayut Eiamsa-ard[1,3*], Nattarin Chaipukdee[1], Nuttaporn Boonlerdcharoensak[1],
Frank Liou[4], Chana Raksiri[2,3], and Suppasit Rodkwan[1,3]
[1] Department of Mechanical Engineering, [2] Department of Industrial Engineering,
[3] Research and Development Institute of Industrial Production Technology, Faculty of Engineering,
Kasetsart University, Bangkhen, Bangkok 10900, Thailand
Tel: 0-2942-8555 Ext. 1836, Fax: 0-2579-4576, *E-mail: fengkye@ku.ac.th
[4] Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering,
University of Missouri, Rolla, Missouri 65409, USA

บทคัดย่อ

แนวคิดของวิธีทากูชิเป็นแนวคิดที่ใช้ในปรับปรุงคุณภาพคุณภาพของชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีการออกแบบการทดลอง (DOE) ซึ่งแทนที่จะใช้การสุ่มทดลองค่าตัวแปรต่างๆที่มีอยู่มากมาย โดยสุ่มทดลองหลายครั้ง บางครั้งกว่าจะได้ค่าที่ดีที่สุดมาอาจต้องทดลองถึงพันครั้งเลยทีเดียวซึ่งการสุ่มทดลองหาค่าที่เหมาะสมในการผลิตแบบทั่วไป วิธีของทากูชิ (Taguchi method) ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการสร้างคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ วิธีนี้ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมญี่ปุ่น โดยทั่วไปแล้วคุณภาพจะลดลงโดยการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอนของสิ่งแวดล้อม ดังนั้นวิธีการของทากูชิ (Taguchi method) พยายามทำให้ขบวนการทำงานได้ตามที่ถูกออกแบบโดยมีภูมิคุ้มกันต่อสิ่งรบกวนหรือการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แน่นอน ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่าย และระยะเวลาในการทำการทดลอง

Abstract

Taguchi Method is a tool for improving the quality of the products. This method is used as a Design of Experiment (DOE) process. Taguchi Method can reduce the numbers of trials in case of too many parameters. This method is proved and accepted as an efficient tool to improve the quality of the products. Taguchi Method is wide used in the Japanese industries. Quality of the products usually changes according to the environment. However, Taguchi Method can be used to reduce the cost and time for the experiments. This is mainly because unimportant parameters can detected. Also, the numbers of experiments are reduced drastically.

1. บทนำ

ในปัจจุบันนั้น การทำ Rapid Prototype นั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกันและวัสดุหลายชนิดที่สามารถนำมาทำได้ ซึ่งโลหะก็เป็นวัสดุหนึ่งที่กำลังเป็นที่ต้องการของหลายบริษัท ส่วนวิธีการทำ Rapid Prototype จากโลหะนั้นจะแบ่งขั้นตอนออกเป็นหลายส่วนเช่น ส่วนทำ mold ส่วนที่ทำการหล่อขึ้นรูป และส่วนfinishing ฯลฯ ทำให้ต้องใช้เวลานาน จึงเป็นแนวคิดที่จะหาวิธีการลดขั้นตอน และบุคลากร โดยวิธีที่สามารถทำชิ้นงานได้อย่างต่อเนื่องจนสำเร็จในครั้งเดียว เนื่องจากการทำ Rapid Prototype ด้วยวิธีการเติมเนื้อโลหะมีหลายๆปัจจัยที่ส่งผลต่อกระบวนการขึ้นรูป ซึ่งการขึ้นรูปให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์และสวยงาม เราจะต้องศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปและปรับค่าต่างๆที่มีผลต่อการ

ขึ้นรูปให้มีความเหมาะสมจึงจะทำให้ชิ้นงานมีคุณภาพ โดยปัจจัยที่ส่งผลนั้นมีอยู่หลายปัจจัยซึ่งในแต่ละปัจจัยมีความสัมพันธ์กันและมีผลต่อการขึ้นรูปทั้งสิ้น ดังนั้นเราจึงต้องทำการศึกษาค้นคว้าและทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์และปรับตั้งค่าให้เหมาะสมเพื่อลดต้นทุน และเพิ่มคุณภาพของชิ้นงานที่ได้

เมื่อกล่าวถึงเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping Technology : RP) การสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping, RP) คือเทคโนโลยีที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางกายภาพหรือต้นแบบของชิ้นงานหรืออุปกรณ์ภายหลัง จากการออกแบบ ด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer Aided Design , CAD) จากนั้นใช้การตัดแบ่งวัตถุออกเป็นชั้นบาง ๆ ตามภาคตัดขวาง (Cross-section) แล้วจึงส่งข้อมูลไปยังเครื่อง Rapid Prototyping (RP) เพื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบ เทคโนโลยีนี้จะช่วยลดระยะเวลาและเพิ่มความถูกต้องและแม่นยำ ในการผลิตชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ต่างๆ และยังช่วยเพิ่มความได้เปรียบในการแข่งขันทางการตลาดให้มากขึ้นอีกด้วย

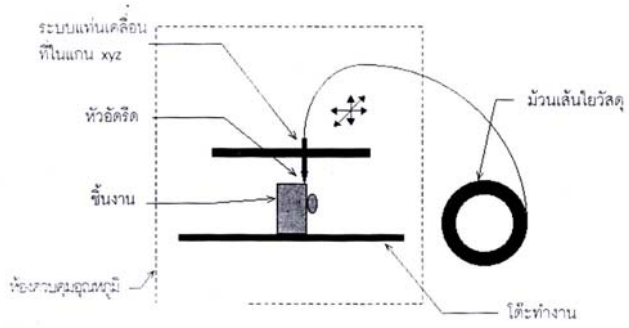
ในปัจจุบันนั้นมีมากกว่า 30 เทคนิคแต่ละเทคนิคจะมีหลักการคล้ายคลึงกันแตกต่างกันที่ระบบการทำงานการขึ้นรูปและวัสดุที่ใช้ไสนการสร้างชิ้นงานซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบและพัฒนาที่แตกต่างกัน จุดประสงค์หลักของการทำต้นแบบมีอยู่ 3 ประการ คือ

1. เพื่อดูรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกแบบและใช้สื่อสารกันได้ง่ายขึ้นในการผลิต
2. เพื่อใช้ทดลองในการประกอบเข้าด้วยกัน
3. เพื่อใช้ทดสอบการทำงาน

กระบวนการและกรรมวิธี ทำต้นแบบโดยทั่วไปแบ่งได้เป็น 3 กรรมวิธีคือ

1. กรรมวิธีหักออก subtractive process
2. กรรมวิธีเพิ่มเข้า additive process
3. กรรมวิธีอัดขึ้นรูป Compressive process

กรรมวิธีเพิ่มเข้า (additive process) เป็นกรรมวิธีที่เครื่อง RP. ใช้หลักการนี้ทำต้นแบบ จะทำโดยการเติมวัสดุลงตามพื้นที่ภาคตัดขวาง ในแนวนอนของต้นแบบทีละชั้น โดยเริ่มจากชั้นล่างสุดขึ้นมาถึงชั้นบนสุด ซึ่งโดยทั่วไปแต่ละชั้นจะมีความหนาประมาณ 0.1 ม.ม. (ความหนาแต่ละชั้นขึ้นอยู่กับกรรมวิธีและวัสดุที่ใช้) กรรมวิธีนี้สามารถสร้างต้นแบบได้รวดเร็ว และมีรูปร่างซับซ้อนได้แต่มีข้อจำกัดเรื่องวัสดุที่ใช้ทำต้นแบบ ในส่วนของกรรมวิธีเพิ่มเข้า โดยหลักการทำงานของเครื่อง Fused Deposition Modeling (FDM) เนื้อวัสดุจะถูกป้อนเข้ามาเป็น Filament แล้วถูกหลอมละลายตรงหัว Nozzie ที่ใช้ในการเคลือบหัวอัดรีด เติมเนื้องานใน ชั้นงาน Layer เมื่อเสร็จหนึ่งชั้น (Layer) หัว Nozzie จะค่อย ๆ ยกขึ้นเป็นความสูงของชั้นเนื้องาน ชั้นเนื้องานจะถูกสร้างทับกันไปเรื่อย ๆ จนเป็นรูปชิ้นงานสำเร็จ โดยใช้หลักการเดียวกับเครื่อง CNC 3 แกน เริ่มจากรูปต้นแบบในไฟล์. STL ถูกตัดออกเป็นชั้น ๆ ตัดขวางในแนวนอนแล้วเก็บในไฟล์. SLC ไฟล์. SLC จะถูกแปลงเป็นโฟล์. SML ซึ่งเป็นโฟล์ที่เก็บรหัสคำสั่งของเครื่อง ภาพที่ 1 แสดงการเติมเนื้อชิ้นงานของหัวอัดรีดระบบแท่นเคลื่อนที่ในแนวแกน xyz ของเครื่อง Fused Deposition Modeling (FDM)

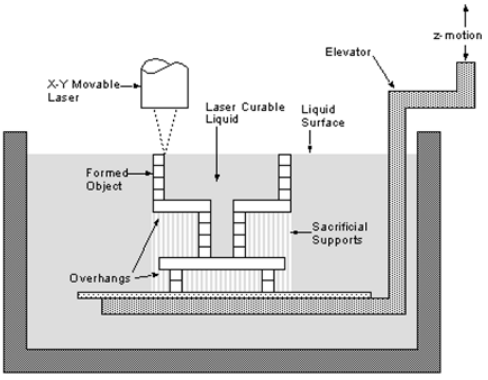


ภาพที่ 1 แสดงการทำงาน Fused Deposition Modeling (FDM)

ซึ่งในการวิจัยนี้วิเคราะห์วิธีการเติมเนื้อโลหะ (Deposition Process) โดยทำการศึกษาค้นคว้าและทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์และปรับตั้งค่าให้เหมาะสมหลักการของ Taguchi สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งจำแนกการควบคุมคุณภาพออกเป็น 3 ส่วนคือ ออกแบบระบบ (system design) ออกแบบข้อกำหนด และปัจจัย (parameter design) และออกแบบความคลาดเคลื่อน (tolerance design) ซึ่งเป็น วิธีการรวมงานวิศวกรรมและวิธีการทางสถิติเข้าด้วยกันในกระบวนการของการทำงาน มีการออกแบบเชิงทดลองเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล และใช้วิธีการทางสถิติเพื่อกำหนดปัจจัยที่เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาทางด้านคุณภาพมากที่สุด เพื่อให้ได้วิธีการผลิตชิ้นงานต้นแบบด้วยวิธีการใหม่ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการทำ Prototype

เทคนิคของ (RP) ที่ได้รับความนิยมมากในการขึ้นรูปได้แก่

1. เครื่องStereo Lithography Apparatus (SLA) รูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการออกแบบด้วย CAD จะถูกนำเข้าเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการ SLA โดยจะถูกแยกรูปแบบของชิ้นส่วนออกเป็นชิ้นส่วนย่อย ๆเพื่อนำเข้าเป็นแฟ้มข้อมูลสกุล STL ในคอมพิวเตอร์ในส่วน

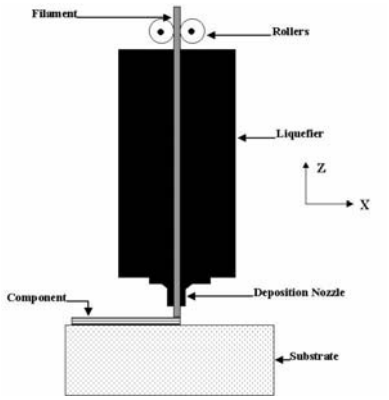


ภาพที่ 2 เครื่อง Stereo Lithography Apparatus (SLA)

ของภาคตัดขวางของชิ้นงานนั้นจะทำการสร้างผิวของชิ้นงานของต้นแบบขึ้นโดยการฉายเลเซอร์บีมลงไปบนผิวหน้าของเรซินที่อยู่ใน

แม่พิมพ์เลเซอร์นี้จะทำปฏิกิริยาต่อเรซินให้แห้งลงชิ้นงานจะถูกสร้างทีละชั้นโดยการแสกนเลเซอร์เพื่อทำให้เรซิ่นแข็งตัว เครื่องจะนำ Platform ที่ติดตั้งอยู่บน Elevator ค่อยๆจุ่มลงไปในเรซิ่นเหลวลึกชั้นละประมาณ 0.1 mm เครื่อง Stereo Lithography Apparatus (SLA) แสดงดังในภาพที่ 2

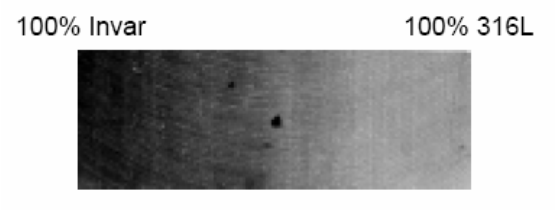
2. เครื่อง Fused Deposition Modeling (FDM) เทคนิคนี้มีกระบวนการขึ้นรูปงานโดยไม่ใช้แสงเลเซอร์ วัสดุที่ใช้มีลักษณะเป็นลวดพลาสติกขนาดเล็กมากโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.78 มิลลิเมตร เส้นลวดพลาสติกนี้จะถูกป้อนเข้าที่หัวรีดที่สามารถควบคุมความร้อนได้ร้อนนี้จะทำให้พลาสติกเกิดการหลอมเหลว พลาสติกเหลวในหัวส่งจะถูกฉีดออกมาเป็นลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.254 มิลลิเมตรและสแกนไปตามแกน X และ Y จนกระทั่งขึ้นรูปเป็นชิ้นงาน



ภาพที่ 3 Fused Deposition Modeling (FDM)

อีกเครื่องที่นิยมใช้กันคือ Laser Engineered Net Shaping (LENS), Direct Metal Deposition (DMD), และ Laser Aided Manufacturing Process (LAMP) หลักการการทำงานของระบบการผลิตชิ้นงานต้นแบบโลหะโดยวิธีดังกล่าวข้างต้น (LENS, DMD, และ LAMP) คือชิ้นงานจะถูกขึ้นรูปโดยการเติมเนื้อโลหะลงไปเป็นชั้น (Layer) ชั้นเนื้องานจะถูกทำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆทางด้านบนของชั้นที่เสร็จแล้วจนกระทั่งได้รูปชิ้นงานตามแบบ CAD Drawing ซึ่งถูกแสดงไว้ในภาพที่ 3 คือ ผงโลหะจะถูกส่งออกมาจาก Nozzle ซึ่งจะถูกเลเซอร์หลอมละลายX-Y Table จะถูกเคลื่อนไปเพื่อที่จะขึ้นรูปชิ้นงานหนึ่งชั้นหลังจากนั้นหัว Nozzle จะถูกเคลื่อนขึ้นเพื่อทำชั้นต่อไป

ด้วยวิธีการดังกล่าวข้างต้นนี้ทำให้วิธีนี้เป็นที่นิยมเนื่องจากสามารถผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้มากกว่าระบบการกัดเนื้องานออก นอกจากนั้นในอนาคตวิธีนี้ยังเป็นพื้นฐานของการผลิตชิ้นงานหรือแม่พิมพ์ที่ต้องการเนื้อวัสดุแบบผสมแบบ Functional Gradient Material (FGM) คุณสมบัติของเนื้องานของ FGM นั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยต่อเนื่อง(Gradually Change)ตามฟังก์ชั่นการทำงานของชิ้นงานดังภาพที่ 3 ซึ่งแสดงชิ้นงานตัวอย่าง FGM ที่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเนื้อวัสดุโดยต่อเนื่องจากฝั่งซ้ายซึ่งเป็น 100% INVAR ไปขวา ซึ่งเป็น 100% Stainless Steel



ภาพที่ 4 Functional Gradient Material (FGM)

สำหรับในกรณีนี้เป็นการทดลองเพื่อหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบโดยวิธีทากุชิ ในการประยุกต์การออกแบบการทดลอง ปัจจัยควบคุม(Control factor) เช่น ขนาดของชิ้นงาน ชนิดวัสดุ ฯลฯ ซึ่งสามารถควบคุมได้ง่ายโดยผู้ออกแบบ ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factor) หรือ Noise factor เช่น กรรมวิธีการขึ้นรูปที่ไม่สมบูรณ์ ฯลฯ ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ยังเป็นแหล่งของความผันแปรอีกด้วย ซึ่งอิทธิพลที่เกิดจากตัวแปรเหล่านี้ไม่สามารถที่จะกำจัดได้ เพราะฉะนั้นหน้าที่หลักของวิธีทากุชิ เป็นการลดความผันแปรของชิ้นงาน หรือผลิตภัณฑ์ โดยทำการลดความไวของชิ้นงานที่มีต่อค่าวามผันแปร โดยทำการควบคุมค่าความผันแปรเหล่านี้ หรืออีกนัยหนึ่งคือ วิธีออกแบบการทดลองแบบทากุชิ จะลดความผันแปรของค่าตอบสนอง โดยทำการเลือกปรับตั้งปัจจัยควบคุม (Control factor) เพื่อลดอิทธิพลของตัวแปรที่ควบคุมได้ยาก (Hard – to – Control Noise) หรือตัวแปรที่ไม่มีผลผลต่อการขึ้นรูปชิ้นงานต้นแบบอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototyping)โดยวิธีการเติมเนื้อโลหะ ซึ่งเราใช้ผงโลหะในการเติม และหลอม เป็นลักษณะของชั้นโลหะบางๆ ขึ้นทีละชั้น โดยใช้เครื่อง CO_2 LASER 300W ในการหลอมผงโลหะ ซึ่งเครื่อง CO_2 LASER 300W นี้ เราสมารถใช้คำสั่งจาก CAD/CAM SOFTWARE ในการเดินเครื่อง ให้เราสามารถขึ้นรูปได้ทีละชั้นและได้รูปทรงตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งหากเป็นผลสำเร็จก็จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการสร้างชิ้นงานอย่างรวดเร็ว ซึ่งขณะนี้อยู่ระหว่างการทดลองเพื่อหาค่าปัจจัยและตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดเพื่อการพัฒนาไปยังขั้นตอนถัดไป

2. วิธีการดำเนินการทดลอง

เริ่มจากการออกแบบตารางการทดลอง (Design the matrix experiment) ซึ่งทางเลือกหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการศึกษาปัจจัยหลายๆ ปัจจัยพร้อมๆ กันคือ การกำหนดตารางแผนการทดลองโดยใช้ Orthogonal Array ประโยชน์ของ Orthogonal Array มีหลายประการด้วยกัน คือ

1. ผลสรุปที่ได้จากการทดลองแต่ละการทดลอง จะใช้ได้คลอบคลุมกับขอบเขตของการทดลองทั้งสิ้นโดยการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการทดลอง
2. ประหยัดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทดลองเป็นอย่างมาก
3. ง่ายในการวิเคราะห์ข้อมูล
4. สามารถตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงได้จาก additive model

ในการทดลองใดๆก็ตามหากต้องวิเคราะห์ว่า ผลจากการทดลองขึ้นชิ้นงานต่างๆที่ได้นั้นขึ้นกับปัจจัย (Factor) ใดบ้าง มากน้อยเพียงไร ซึ่งวิธีโดยทั่วไปคือ การสร้างแบบจำลองแล้วทดลองด้วยการปรับเปลี่ยนตัวแปรแต่ละตัวในแต่ละปัจจัย เป็นค่าต่างๆ จนกว่าจะได้ประสิทธิภาพ

ตารางที่ 1 ตารางแบบสมบูรณ์ ศึกษาอิทธิพลจาก 7 ตัวแปร ปัจจัยละ 2 ค่า

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร ก	ตัวแปร ข	ตัวแปร ค	ตัวแปร ง	ตัวแปร จ	ตัวแปร ฉ	ตัวแปร ช	ประสิทธิภาพ
1	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า A	T
2	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า B	U
3	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า B	ค่า A	V
. . .								
126	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า B	X
127	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า B	Y
128	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า B	Z

ตารางที่ 2 ออกแบบตารางโดยใช้ Orthogonal Array

การทดลองครั้งที่	ตัวแปร ก	ตัวแปร ข	ตัวแปร ค	ตัวแปร ง	ตัวแปร จ	ตัวแปร ฉ	ตัวแปร ช	ประสิทธิภาพ
1	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า A	T
2	ค่า A	ค่า A	ค่า A	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า B	U
3	ค่า A	ค่า B	ค่า B	ค่า A	ค่า A	ค่า B	ค่า B	V
4	ค่า A	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า B	ค่า A	ค่า A	
5	ค่า B	ค่า A	ค่า B	ค่า A	ค่า B	ค่า A	ค่า B	
6	ค่า B	ค่า A	ค่า B	ค่า B	ค่า A	ค่า B	ค่า A	
7	ค่า B	ค่า B	ค่า A	ค่า A	ค่า B	ค่า B	ค่า A	
8	ค่า B	ค่า B	ค่า A	ค่า B	ค่า A	ค่า A	ค่า B	

การทำงานที่ดีที่สุดวิธีนี้เป็นวิธีที่ต้องทดลองซ้ำเป็นจำนวนมาก ทำให้เสียเวลา รวมทั้งไม่มีการศึกษาผลของตัวแปรหนึ่งต่ออีกตัวแปรนั่นคือเป็น การทดลองอย่างไร้ทิศทางทำให้เสียเวลาและสิ้นเปลืองมาก เราจึงหันมาใช้วิธีการทดลองด้วยวิธีของทากุชิ โดยศึกษาอิทธิพลจากตัวแปรทีละตัว คือการทดลองโดยเปรียบเทียบครั้งใดครั้งหนึ่งกับครั้งถัดมา ให้มีความต่างกันเพียง 1 ตัวแปร ดังตารางที่ 1

หากเราทำการทดลองแบบสมบูรณ์ (Full Factorial) ซึ่งการทดลองด้วยธีนี้คือ การทดลองทุกรูปแบบที่เป็นไปได้ โดยจะเปลี่ยนตัวแปรครบทุกตัวแปรในแต่ละปัจจัย ฉะนั้นการทดลองจะมีจำนวนครั้งเท่ากับจำนวนค่าในตัวแปรยกกำลังจำนวนตัวแปร (กรณีทุกปัจจัยมีจำนวนค่าเท่ากันหมด) ดังเช่น ตารางที่ 1 ซึ่งเป็นการทดลองโดยศึกษาอิทธิพลจาก 7 ตัวแปร ปัจจัยละ 2 ค่า ฉะนั้นจะมีการทดลองทั้งหมด 27 =128 การทดลอง

และจากตาราง ที่ 1 จะเห็นว่าการทดลองแบบนี้จะสามารถบอกได้ว่า อิทธิพลจากตัวแปรใดบ้างมีผล และมากน้อยเพียงไร แต่ก็มีข้อเสียอย่างมากตรงที่ต้องทดลองมากครั้งและใช้เวลามากดังนั้นเมื่อเราออกแบบการทดลองโดยวิธีทากุชิ

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ต่างกันที่ปัจจัย ปัจจัย ก คือ ครั้งแรกจะเป็นค่า A และครั้งถัดมาจะเป็นตัวแปร B แม้วิธีนี้จะบอกผลได้แน่นอนว่าขณะที่ตัวแปร ก เป็นค่า A และตัวแปร ก เป็นตัวแปร Bให้ประสิทธิภาพต่างกันดังแสดงตารางที่ 1 แต่การทดลองแบบนี้ก็ยังขาดการคำนึงถึงผลของตัวแปร ก และ ค ที่อาจส่งผลในเวลาเดียวกัน

การสร้างตารางแผนการทดลอง (Matrix experiment) โดยใช้ตารางพิเศษที่เรียกว่า Orthogonal Array จะทำให้สามารถหาอิทธิพลของปัจจัยหลายๆ ปัจจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นเทคนิคที่มีความสำคัญใน Robust Design (RD) ในการจัดปัจจัยควบคุมหรือตัวแปรที่ออกแบบไว้ให้กับ Orthogonal Array จะต้องจัดให้อยู่ในคอลัมน์ของตาราง (Array) โดยแปลงจำนวนเต็มในคอลัมน์ของตาราง (Array) ให้เป็นเซตที่แท้จริงของปัจจัยที่ได้ถูกจัดไว้ คอลัมน์ที่ไม่ได้ถูกจัดจะถูกลบทิ้งออกจากตาราง (Array) เพื่อให้

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าการทดลองจริงที่ใช้กับเครื่อง CO_2 LASER 300W

การทดลองครั้งที่	Duty of cycle (%)	pulse width (Lamda)	Speed (rpm)	Stand off (ตำแหน่งfocus)
1	5	20	100	ผิว-ผง
2	5	100	1000	ผิว-เหล็ก
3	5	300	2000	ผิว-เหล็ก
4	15	20	1000	ผิว-ผง
5	15	100	2000	ผิว-ผง
6	15	300	100	ผิว-เหล็ก
7	30	20	2000	ผิว-เหล็ก
8	30	100	1000	ผิว-ผง
9	30	300	100	ผิว-ผง

ง่ายในการเลือกใช้ Orthogonal Array ผู้ออกแบบการทดลองสามารถเลือกใช้ได้

3. ตัวแปรที่ต้องการศึกษา

เมื่อผู้ออกแบบการทดลองทราบจำนวนของปัจจัยควบคุม (Control Factor) และระดับของปัจจัยควบคุม (Control Factor Level) ที่ได้ออกแบบไว้ โดยนำค่าทั้งสองนี้มาทำการพิจารณาเลือก Orthogonal Array ที่เหมาะสม ดังขั้นตอนต่อไปนี้

1. พิจารณาตัวแปรที่มีผลต่อการขึ้นรูปโดยการเติมเนื้อโลหะ(ผงโลหะ)โดยพิจารณาเลือกตัวแปรที่ต้องการศึกษาโดยการปรับค่าจากเครื่อง CO_2 LASER 300W คือ % duty of cycle, pulse width (ความยาวคลื่น), Speed, Stand off (10mm) ส่วนตัวแปรที่ไม่ต้องการศึกษาจะต้องกำหนดวิธีการควบคุมตัวแปรเพื่อให้ความแปรปรวนเนื่องจากปัจจัยภายนอก เกิดขึ้นน้อยที่สุดเช่น แรงลมซึ่งช่วยป้องกันความเสียหายของเลนส์
2. กำหนดวัสดุที่ใช้เป็นเครื่องมือวิจัยหรือหน่วยทดลอง ได้แก่ เหล็ก
3. กำหนดระดับของตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง โดยกำหนดให้ตัวแปรมี 4 ตัว และกำหนดตัวแปรละ 3 ระดับค่า ดังแสดงในตารางที่ 3
4. เลือก Standard Orthogonal Array กำหนดจำนวนของเครื่องมือวิจัยหรือหน่วยทดลองที่ใช้ในการทดลอง โดยในการกำหนดจำนวนการทดลองนั้นจะทำการทดลองทั้งหมด 9 ครั้ง

จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจากผงโลหะด้วยเครื่อง CO_2 LASER 300W พบว่าปัจจัยที่มีผลทำให้ได้ชั้นของโลหะที่ดี มีเปอเซนต์การเกาะตัวของเนื้อโลหะดีที่สุดนั้น ปัจจัยที่มีผลที่สุดคือ PW และ % Duty of cycle และค่าตัวแปรที่ดีอ pulse width (ความยาวคลื่น) ระหว่าง 40-90 , % duty of cycle (การทำงานของเครื่อง) 40-50% จึงทำการทดลองซ้ำโดยออกแบบการทดลองขึ้นใหม่ และใช้ปัจจัยเพียง 2 ปัจจัย ซึ่งช่วยจำนวนครั้งในการทดลองและตัดปัจจัยที่ไม่มีผลต่อชิ้นงานได้ ทำให้เหลือตัวแปรน้อย และเราสมารถนำปัจจัยตัวแปรที่ได้จากวิธีทากุชิ นำมาทดลองแบบสมบูรณ์ได้ ซึ่งเหลือเพียง 12 ครั้ง ซึ่งตารางแผนการทดลอง (Matrix experiment) ที่เหมาะสมสำหรับการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบอย่างรวดเร็วที่ได้ดังตารางที่ 4เมื่อได้ค่าที่ออกแบบไว้ตามตารางแล้ว เราจะนำค่าที่ได้นี้มาทดลองกับเครื่อง CO2 LASER 300W เพื่อดูผลที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเราจะทดลองยิงเป็นลักษณะตารางเมตริกโดยใช้ CAD/CAM SOFTWARE ในการสร้างคำสั่ง ซึ่งมีขนาดความกว้างประมาณ 1 cm x 1cm ดังภาพที่ 4

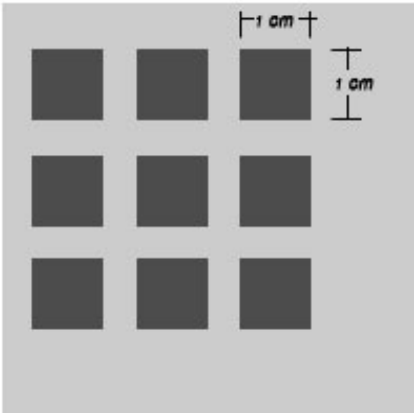
4. ผลการทดลอง

จากการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจากผงโลหะด้วยเครื่อง CO_2 LASER 300W พบว่าปัจจัยที่มีผลทำให้ได้ชั้นของโลหะที่ดี มีเปอเซนต์การเกาะตัวของเนื้อโลหะดีที่สุดนั้น ปัจจัยที่มีผลที่สุดคือ PW และ % Duty of cycle และค่าตัวแปรที่ดีอ pulse width (ความยาวคลื่น) ระหว่าง 40-90 , % duty of cycle (การทำงานของเครื่อง) 40-50% จึงทำการทดลองซ้ำโดยออกแบบการทดลองขึ้นใหม่ และใช้ระดับค่าเพียง 2-3 ค่า ซึ่งช่วยจำนวนครั้งในการทดลองและตัดตัวแปรที่ไม่มีผลต่อชิ้นงานได้ ทำให้เหลือตัวแปรน้อย และเราสมารถนำค่าตัวแปรที่ได้จากวิธีทากุชิ นำมาทดลองแบบสมบูรณ์ได้ ซึ่งเหลือเพียง 12 ครั้ง ดังตารางที่ 4 จากนั้นนำไปทดลองยิงด้วยเครื่อง CO_2 LASER 300W จะได้ผลดังภาพที่ 5

จากการทดลองครั้งนี้ทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ การทดลองครั้งที่ 6, 8 และ9 จากนั้นได้นำค่านี้ไปทดลองซ้ำอีกหลายครั้งเพื่อทดสอบความแน่นอนของตัวแปรที่ได้ว่า ผลที่ออกมานั้นออกมาตรงตามที่ต้องการทุกครั้งหรือไปไม่ และทดลองนำค่าที่เหลือจากการทดลองทั้งสามครั้งมาเปรียบเทียบกันเพื่อให้ได้ค่าที่เหมาสมเพียงชุดเดียว

จากการศึกษาทดลองและการวิเคราะห์ผลที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปชิ้นงานอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototyping) โดยวิธีการเติมเนื้อโลหะ ซึ่งเราใช้ผงโลหะในการเติม มีปัจจัยและตัวแปรที่มีผลต่อการขึ้นรูปคือ pulse width (ความยาวคลื่น) และ % duty of cycleซึ่งค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ Pulse width

(ความยาวคลื่น) 80 และ Duty of cycle 40%ซึ่งเป็นการยืนยันว่ามีความเป็นไปได้สูงที่ประสบความสำเร็จในการขึ้นรูปด้วยวิธีนี้โดย ขั้นตอนสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยกระบวนการเติมเนื้อวัสดุประกอบด้วย



ภาพที่ 4 ลักษณะการทดลองยิงเลเซอร์เพื่อหลอมผงโลหะ

ภาพที่ 5 ผลที่ได้จากการทดลอง

1. หาปัจจัยที่ดีที่สุดในการเติมเนื้อวัสดุ
2. ทดลองการหลอมผงโลหะด้วยเครื่อง CO_2 LASER 300W ด้วยค่าปัจจัยต่าง ๆ
3. เมื่อทำการเชื่อมแบบคาร์บอนไดออกไซด์คลุม (CO_2) ด้วยค่าปัจจัยต่าง ๆ และนำแนวเชื่อมที่ดีที่สุดไปทำซ้ำอีกหลายครั้งเพื่อทดสอบความแน่นอนของการหลอม
4. วาด CAD จากโปรแกรม UNIGRAPHICS เป็นรูปทรงสีเหลี่ยมขนาด 5 x 5 เซนติเมตรแล้วใช้เทคโนโลยี CAM ของโปรแกรม UNIGRAPHICS เพื่อช่วยในการหาโปรแกรม Numerical control (NC) เพื่อใช้ในการควบคุมเครื่องต้นแบบ ในการเชื่อมเติมเนื้อวัสดุนั้นจะเติมเนื้อวัสดุตามโปรแกรม NC ที่ได้มาจากการ CAM จากโปรแกรม UNIGRAPHICS และปัจจัยที่ใช้เป็นปัจจัยที่ดีที่สุดในขบวนการเชื่อมเติมเนื้อโลหะชิ้นงาน และในขณะเชื่อมเติมเนื้อโลหะลงบนชิ้นงานในแต่ละชั้นนั้นจะต้องพักช่วงเพื่อรอให้ชิ้นงานเย็นตัวลง เนื่องจากถ้าเชื่อมแต่ละชั้นต่อเนื่องจะเกิดความร้อนสะสมบริเวณชิ้นงานมากทำให้ลวดเชื่อมที่ใช้เติมลงไปในเนื้อชิ้นงานเกิด

ภาพที่ 6 เครื่อง CO_2 LASER 300W

การไหลตัวออกมา เนื่องจากความร้อนดังนั้นจึงต้องหยุดพักเป็นเวลา 2-3 นาที แล้วจึงค่อยเชื่อมเติมเนื้อชิ้นงานต่อไปจนเสร็จ สำหรับชิ้นงานที่ได้นั้นมีรูปร่างเหมือนใน CAD Drawing แต่ในบางจุดของชิ้นงานอาจจะมีเปอร์เซนต์การยึดเกาะของโลหะไม่ดีพอซึ่งอาจจะเกิดได้จากการปรับตั้งค่า

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาปัจจัยและตัวแปรที่เหมาะสมสำหรับใช้ในกระบวนการขึ้นรูปชิ้นงานอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototyping) ซึ่งยังเป็นวิธีการที่ใหม่ และนอกจากนี้ยังเป็นการประยุกต์ใช้เครื่องมือที่มีอยู่ซึ่งมีราคาที่สูงให้สามารถทำงานได้หลากหลายยิ่งขึ้น

โดยเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองนี้คือ เครื่อง CO_2 LASER 300W การปรับตั้งเครื่อง CO_2 LASER 300W ในการหาปัจจัยที่ดีที่สุดในการเชื่อม ควรเพิ่มปัจจัยให้มีจำนวนมาก ซึ่งจะได้ค่าที่ละเอียดและดียิ่งขึ้น ซึ่งก่อนทำการเติมเนื้อโลหะด้วยการเชื่อมควรทำความสะอาดชิ้นงานให้สะอาดก่อนทุกครั้ง และเพื่อความปลอดภัยในการเติมเนื้อวัสดุด้วยการใช้เลเซอร์ทุกครั้งควรมีอุปกรณ์ป้องกันให้รัดกุมก่อนทำการเติมเนื้อวัสดุด้วยการใช้แสงเลเซอร์ เช่น แว่นตา

ในการถ่ายหลอมละลายผงโลหะเพื่อทำการขึ้นรูปชิ้นงานทีละชั้น ในลักษณะหลอมแบบกึ่งอัตโนมัติ ค่าปัจจัยและการทำงานของเครื่องเป็นการสั่งอัตโนมัติ แต่การเคลื่อนย้ายชิ้นงานในแต่ละครั้งเพื่อทำการเกลี่ยผงโลหะในชั้นถัดมา อาจทำให้เกิดการคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ตั้งไว้ได้ ซึ่งในการพัฒนาขั้นต่อไป ควรปรับเปลี่ยนวิธีการเกลี่ยเป็นวิธีการโรยผงโลหะแทน โดยอาจจะนำเครื่องตรงมายึดติดกับหัวยิงเลเซอร์ ซึ่งเป็นผลทำให้เราไม่ต้องเคลื่อนย้ายชิ้นงานบ่อยครั้ง นอกจากนี้ซึ่งการเดินแนวระยะห่างของหัวเชื่อมกับชิ้นงานและความเร็วในการเดินหัวเชื่อม อาจไม่คงที่สม่ำเสมอ ซึ่งข้อดีคือสามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ได้เพราะเครื่อง CO_2 LASER 300W นี้มีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับเครื่องมือทำ Rapid Prototype อื่นๆ แต่ต้นทุนในการทำขณะนี้นั้นยังคง สิ้นเปลืองมาก แต่หากมีการพัฒนาในขั้นต่อไป การขึ้นรูปชิ้นงานอย่างรวดเร็ว (Rapid Prototyping) ด้วยวิธีนี้จะเป็นประโยชน์มากสำหรับอุตสาหกรรมในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ LASER Aided Manufacturing Process LAB, University of Missouri

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2542, การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA), พิมพ์ครั้งที่ 1, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น). หน้า 55-60

[2] Phillip J.Ross, Taguchi Techniques for Quality Engineering, McGrew-Hill Book Company, New york.

[3] ชาญวุฒิ ตั้งจิตวิทยาและสาโรช ฐิติเกียรติพงศ์2538,วัสดุในงานวิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: บริษัท พี.เอ. ลิฟวิ่ง จำกัด. หน้า 161-209