

การออกแบบโครงสร้างเครื่องจักรภายใต้ภาระสถิตย์ที่เหมาะสมที่สุด

Optimum Design of Machine Structure Subjected to Static Loadings

ชุมพล เหลืองบรรเจิด, รศ.ดร.ธนู ฉูฉายและ รศ.ดร.ศิริศักดิ์ หาญชูวงศ์
ศูนย์วิจัยการคำนวณขั้นสูง ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ถนนพิบูลสงคราม เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10800
โทร (02)9132500 ต่อ 8311 โทรสาร (02)5870026 E-mail: tcc@kmitnb.ac.th และ shw@kmitnb.ac.th

Chumpol Luengbunjerd, Thanu Chouychai and Sirisark Hachuwong
Research center for Advanced Computational Engineering , Department of Mechanical Engineering
King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok , Piboolsongkram Rd.10800 Thailand
Tel:(662) 9132500 Ext.8311 Fax:(662) 5870026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ วิเคราะห์หาโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดของโครงสร้างเครื่องจักรความเร็วสูงโดยวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งเครื่องจักรมีความเร่งสูงสุดที่ 1 g และวัสดุที่ใช้ในการผลิต คือ อลูมิเนียมผสม ชนิด 7075 T6 ซึ่งเครื่องจักรที่นำมาวิเคราะห์และออกแบบเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อน การหาสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับโครงสร้างเพื่อทำการออปติไมซ์โดยวิธีโดยตรงนั้นทำได้ยาก ต้องใช้การออปติไมซ์แบบตัดทอนและคำนวณซ้ำ โดยอาศัยทฤษฎีโมเมนต์ชั้นที่สองของพื้นที่ และผลการทดลองที่ผ่านมา โดยโครงสร้างต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขคือ ระยะกระจัดต้องไม่เกิน 10 μm และความเค้นไม่เกินความเค้นสูงสุดที่วัสดุยอมรับได้ เพื่อให้ได้น้ำหนักที่น้อยที่สุด และใช้วัสดุในการผลิตเครื่องจักรให้น้อยที่สุด ซึ่งทำให้ผลที่ได้เป็นการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด

ผลการคำนวณสรุปได้ว่า โครงสร้างที่แข็งแรงที่สุด คือโครงสร้างแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีสันภายในเป็นแนวทแยง ความหนาของโครงสร้างหลักและฐานเท่ากัน คือ 25 มิลลิเมตร และมีขอบสันด้านนอกเป็นสันแนวขวางมีน้ำหนักมวลของโครงสร้างน้อยกว่าแบบอื่นเท่ากับ 506.9 kg ซึ่งทำให้ระยะกระจัดของโครงสร้างมีค่า 9.847 μm ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์การออกแบบที่เหมาะสมที่สุด

Abstract

The purpose of this research is to optimize a high-speed machine structure by using Finite Element method. The machine operates at 1 g and is constructed from aluminum alloy type 7075 T6. The milling machine is used as the structure for analysis and design purposes. The structure is complex such that it is difficult to formulate a mathematical model. Therefore the cut-and-try method under constrain equations has been employed whereas the displacement be not exceed 10 μm and the stress within the

maximum allowable value. The aim of design is to minimize weight of the machine for reducing cost of materials.

From the experiment result, it can be concluded that the strongest structure configuration was the rectangular model with internal diagonal and external parallel ribs and 25 mm. thick, main and base structures. The total weight and displacement were 506.9 kg and 9.847 μm , respectively, being the appropriate value for optimum design.

บทนำ

ออปติไมซ์เซชัน (Optimization Method) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ ที่มีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด ไม่ว่าจะเป็นค่าต่ำสุด หรือค่ามากที่สุด เช่นการลดน้ำหนักของเครื่องจักรให้ต่ำที่สุดโดยค่าความแข็งแรงยังคงยอมรับได้ ,การคำนวณให้ได้อายุที่ต่ำที่สุด หรือการออกแบบให้ได้ระยะแอ่น(deflection) ที่น้อยที่สุด เหล่านี้จึงประสงค์ให้ได้ค่าที่น้อยที่สุด ส่วนการออกแบบให้ได้ค่าที่มากที่สุดเช่นการออกแบบให้รับภาระ (Loading) ให้มากที่สุด ,ความสามารถในการส่งผ่านกำลัง, ความสามารถในการเร่งความเร็ว เป็นต้น เป้าหมายหลักเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง หรือให้คุ้มกับการลงทุนมากที่ซึ่งโครงสร้างของการออปติไมซ์เซชันโดยนิยามคือการหาค่าเวกเตอร์ $\{x\}$ โดย $\{x\} = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ ที่ทำให้ได้ฟังก์ชันมีค่าต่ำสุดหรือสูงสุด

$$f(x) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{ภายใต้เงื่อนไข } h_k &= 0 & k &= 1, \dots, K \\ g_j(x) &\geq 0 & j &= 1, \dots, J \\ x_i^U &\geq x \geq x_i^L & i &= 1, \dots, N \end{aligned}$$

โดย $f(x)$ เป็น ฟังก์ชันเป้าหมายประสงค์
 $h_k = 0$ เป็นสมการบังคับ

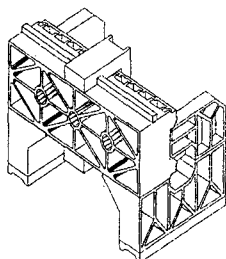
$g_i(x) \geq 0$ เป็นอสมการของสมการบังคับ

$x_i^U \geq x \geq x_i^L$ เป็นการกำหนดช่วงหรือขอบเขตของตัวแปร

เรียกสมการและอสมการทั้งหมดนี้ว่าปัญหาการออปติไมซ์แบบบังคับ (constrained optimization problem) มีงานวิจัยหลายๆ งานได้นำวิธีนี้ไปใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานนั้นๆ ดังตัวอย่างงานวิจัยของ Oda, J. และ Yomaichi, R.[1] ทำการหารูปร่างที่เหมาะสมโดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ และอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ค่าความแข็งแรงยังยอมรับได้หรืองานวิจัยที่มีทฤษฎีต่างๆ มาประยุกต์เช่น งานวิจัยของ Hideyuki Azegami[2] อาศัยทฤษฎีการสร้างสมการที่สร้างขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงลักษณะที่เพิ่มขึ้น เพื่อลดขนาดรูปร่างของคานาให้น้อยที่สุดแต่ยังคงไว้ซึ่งความแข็งแรงและกำหนดให้มีขอบเขตในภาวะสถิตซึ่งทำให้คานามีขนาดลดลง ส่วนงานวิจัยของ Yasushiko N.[3] ใช้การกำหนดเงื่อนไขขอบโดยรอบ เพื่อลดจำนวนโครงสร้างของเฟรมที่อยู่ภายใต้ภาระกระทำให้น้อยที่สุด โดยทำการคำนวณเพื่อทดลองทั้ง 2 มิติและ 3 มิติ นอกจากนี้งานวิจัยอื่นที่สร้างสมการเพื่อลดต้นทุนในการดำเนินการของเครื่องกัด^[4] ทำการลดต้นทุนในการผลิตต่ำลง อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าว โครงสร้างของโมเดลเป็นรูปทรงที่ไม่ซับซ้อน สามารถคำนวณและสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ และสามารถนำมาวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมได้ไม่ยากนัก ซึ่งในการออกแบบเพื่อใช้งานจริง โครงสร้างเครื่องจักรเป็นลักษณะที่ซับซ้อนและเป็นการยากที่จะสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ ดังนั้น จึงต้องอาศัยวิธีการออปติไมซ์วิธีอื่น ซึ่งแบ่งออกตามลักษณะของวิธีหาค่าเช่นวิธีโทปอลอจีคัล(Topological Optimization)[5,6] เป็นวิธีการออปติไมซ์แบบอาศัยรูปภาพ ส่วนวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งมีหลักการคือการดึงเอาเอลิเมนต์ที่ไม่มีผลกระทบต่อน้ำหนักหรือมีผลน้อยออก จนได้ค่าของแบบจำลองที่น้อยที่สุด หรือ การออปติไมซ์แบบลองผิดลองถูก (Trial-and-error method) เป็นการหาค่าที่ดีที่สุดโดยการสุ่ม และการออปติไมซ์แบบ ตัดและทดลอง (Cut-and-try method) เป็นการอาศัยผลการทดลองที่ได้เป็นข้อบังคับในการหาค่าต่อไป จนได้ค่าที่ดีที่สุดในการออกแบบ

การออกแบบโครงสร้าง

ผู้วิจัยได้ใช้โครงสร้างเดิมของเครื่องกัดความเร็วสูงที่ผลิตในประเทศไทยรุ่นหนึ่ง ซึ่งมีความหนา(t) เท่ากับ 20 มิลลิเมตร มีรูปแบบดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงภาพของแบบจำลองชนิดที่ 1

จากนั้นทำการวิเคราะห์โครงสร้างในโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยมีข้อสมมติฐานดังนี้

1. คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าเป็นแบบไอโซโทรปิกและโฮโมจีเนียส
2. ลักษณะของภาระที่กระทำต่อหัวกัดเป็นแบบค่าคงที่
3. แบบจำลองเป็นโครงสร้างเครื่องจักรความเร็วสูง คิดในสภาวะสถิตย์ โดยกำหนดจุดที่ฐานของแบบจำลองหยุดนิ่ง (Displacement เท่ากับศูนย์)
4. โครงสร้างทำจากอลูมิเนียมมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (E) เท่ากับ 72 GPa ค่าปัวซอง (ν) เท่ากับ 0.33 และความหนาแน่น เท่ากับ 2770 kg /m³ ส่วนหัวกัดทำจากเหล็ก มีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น (E) เท่ากับ 200 GPa ค่าปัวซอง (ν) เท่ากับ 0.29 และความหนาแน่น เท่ากับ 7850 kg /m³
5. กำหนดลักษณะของแบบจำลองเครื่องจักรความเร็วสูงดัง ตารางที่ 1

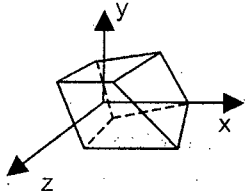
ตารางที่ 1 แสดงคุณลักษณะของแบบจำลองเครื่องจักร

ลักษณะข้อมูล	ค่า
การเคลื่อนที่	
• ตามแนวยาว Z	800 (mm)
• ตามแนวขวาง Y.	500 (mm)
• ตามแนวตั้ง X	500 (mm)
อัตราป้อน	
• ความเร็ว X-, Z- แกน	0 – 30,000 mm/min
Y- แกน	0 – 20,000 mm/min
• ความเร็ว X-, Y-, Z- แกน	9.8 m/s
อัตราเร็วหัวกัด	0-24000 rpm

6. กำหนดค่าระยะกระจัด (Displacement) ของโครงสร้างมีค่าไม่เกิน 10 μ m

ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้เอลิเมนต์แบบอิฐ 8 จุดหัว (Brick Element) แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งมีสมการรูปร่างเป็นดังสมการที่ 2 ทำการจับแบบอิสระ จากนั้นใส่ภาระของแรงกระทำ โดยการประมาณจากผลการทดลองเพื่อทำนายแรงที่ได้จากเครื่องกัดความเร็วสูง [7,8] ด้วยการทดสอบกับวัสดุต่างๆ และทดลองกับเครื่องกัดความเร็วในระดับปานกลาง[9,10] ซึ่งจากงานวิจัยพบว่าแรงสูงสุดมีค่าไม่เกิน 1000 N ดังนั้นจึงประมาณแรงได้เป็นดังสมการที่ 4 ซึ่งเป็นแรงทั้งแกน x,y และ z รวมทั้งแรงเนื่องจากโมเมนต์บิดของหัวกัดซึ่ง

มีค่าเท่ากับ 60 Nm และระยะกระจัดพื้นฐานมีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากพิจารณาในสภาวะสถิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 2 แสดงการกระจัดที่จุดขั้วของเอลิเมนต์แบบอิฐ

$$\begin{aligned} \Psi_1 &= \frac{1}{8}(1+\xi)(1-\eta)(1+\zeta) & \Psi_2 &= \frac{1}{8}(1+\xi)(1+\eta)(1+\zeta) \\ \Psi_3 &= \frac{1}{8}(1-\xi)(1+\eta)(1+\zeta) & \Psi_4 &= \frac{1}{8}(1-\xi)(1+\eta)(1-\zeta) \\ \Psi_5 &= \frac{1}{8}(1+\xi)(1-\eta)(1-\zeta) & \Psi_6 &= \frac{1}{8}(1+\xi)(1+\eta)(1-\zeta) \\ \Psi_7 &= \frac{1}{8}(1-\xi)(1-\eta)(1-\zeta) & \Psi_8 &= \frac{1}{8}(1-\xi)(1-\eta)(1+\zeta) \end{aligned} \quad (2)$$

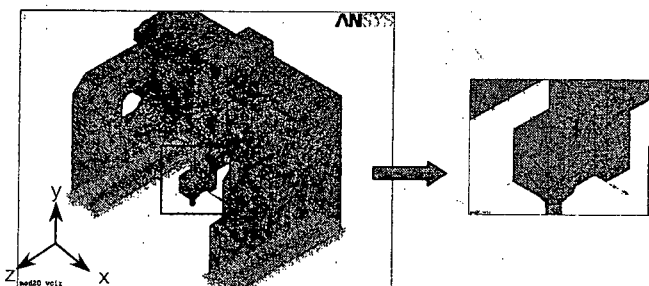
โดย Ψ_i เป็นฟังก์ชันรูปร่างของเอลิเมนต์แบบ 8 จุดขั้ว

$$\begin{aligned} F_u &= S * F_p \\ &= 5 \times 1000 \\ &= 5000 \end{aligned} \quad (3)$$

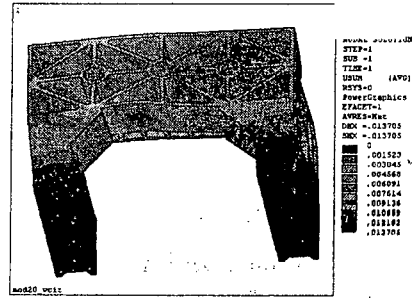
โดย F_p เป็นแรงที่ได้จากการทดลอง มีค่าเท่ากับ 1000 N

S เป็นค่าความปลอดภัย ของโครงสร้างเครื่องจักรมีค่าเท่า 5

ผลการทดลองพบว่า มีจำนวนเอลิเมนต์ 80,562 เอลิเมนต์ และมีจำนวนจุดขั้วเท่ากับ 22183 จุดขั้ว ได้ระยะกระจัดเท่ากับ 13.705 μm และมีน้ำหนักของโครงสร้างเท่ากับ 442.04 kg ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่ากำหนด ดังนั้นจึงต้องทำการปรับปรุงโครงสร้างต่อไป



รูปที่ 3 แสดงการจับเอลิเมนต์แบบอิสระและการกระทำ

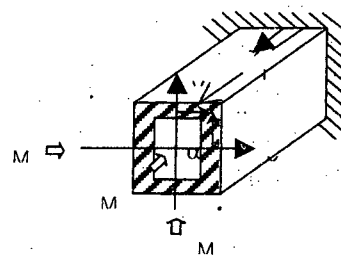


รูปที่ 4 แสดงระยะกระจัดของโครงสร้างแบบที่ 1

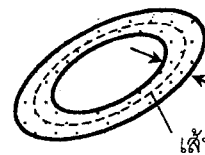
การปรับปรุงโครงสร้าง

ทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างหลักของแบบจำลองโดยอาศัยทฤษฎีโมเมนต์ชั้นที่สองของพื้นที่และผลการทดลอง[11] ซึ่งทำการทดลองกับพื้นที่หน้าตัดแบบต่างๆ เพื่อทดสอบการต้านทานการกระเือนเมนต์ พบว่า พื้นที่หน้าตัดแบบวงกลม และสี่เหลี่ยม มีค่าในการต้านทานที่สูงกว่าพื้นที่แบบอื่น อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ หากพิจารณาถึงโครงสร้างทั้งหมดของแบบจำลองพบว่า โครงสร้างที่มีพื้นที่หน้าตัดแบบสี่เหลี่ยม จะง่ายต่อการสร้างมากกว่าพื้นที่แบบวงกลม จึงพิจารณาเลือกพื้นที่หน้าตัดแบบสี่เหลี่ยมเป็นหลัก

นอกจากนี้การเพิ่ม สัน ((Rib) เป็นการเพิ่มความสามารถในการต้านทานการกระเือนเมนต์ได้มากเช่นกันโดยเฉพาะสันตามแนวแรงแงกมุมช่วยต้านทานการกระเือนทั้งสองได้มากที่สุด



รูปที่ 5 โมเมนต์ชั้นที่สองของพื้นที่รอบแกนหลัก



รูปที่ 6 แสดงพื้นที่หน้าตัดใดๆในสมการของเบรตท์

$$J_T = \frac{4A_m^2 s}{U_m} \quad (4)$$

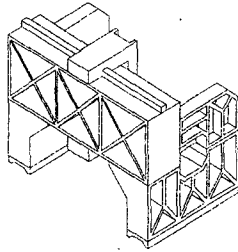
โดย J_T เป็นค่าต้านทานโมเมนต์บิด

A_m เป็นพื้นที่หน้าตัดตามเส้นกลาง

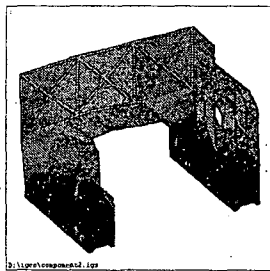
U_m เป็นความยาวของเส้นกลาง

s เป็นความหนาของพื้น

จากข้อมูลที่ได้ทั้งหมด สามารถออกแบบ แบบจำลองใหม่ในโปรแกรมCad โดยกำหนดให้มีความหนา (t) เท่ากับแบบจำลองที่ 1 คือ 20 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งผลจากการวิจัยพบว่า มีจำนวนเอลิเมนต์เหลือ 53502 และจำนวนจุดข้อต่อเท่ากับ 16740 มีระยะกระจัดเท่ากับ 15.223 μm มีน้ำหนักเท่ากับ 396.73 kg จะเห็นว่ามีน้ำหนักน้อยกว่าแบบที่หนึ่งถึง 46 kg แต่ระยะกระจัดน้อยกว่า 1.5 μm ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างที่มีการปรับปรุงมีค่าในการต้านทานภาวะโมเมนต์ได้ดีกว่า



รูปที่ 7 แสดงโครงสร้างที่ปรับปรุง



รูปที่ 8 แสดงผลการคำนวณของโครงสร้างที่ 2

จากนั้นทำการเพิ่มความหนาของโครงสร้างไปเรื่อยๆ จนได้ค่าที่ต้องการ ซึ่งทั้งหมดต้องอยู่ภายใต้ขอบเขต, สมการบังคับและผลจากการทดลองสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันของการออกแบบได้เป็น

$$W = f(t_1, t_2, N_1, N_2) \quad (5)$$

$$\sigma < \sigma_{\max}$$

$$\delta \leq \delta_{\max}$$

W เป็นฟังก์ชันเป้าหมายที่ต้องการลด

t_1, t_2 เป็นความหนาของโครงสร้างหลักและฐาน

N_1 เป็นรูปแบบของโครงสร้างตามหลักทฤษฎีโมเมนต์ชั้นที่สองของพื้นที่และผลการทดลอง[11]

N_2 เป็นรูปแบบของโครงสร้างตามผลการทดลอง

σ เป็นความเค้นของโครงสร้าง

$\sigma_{\max}$ เป็นความเค้นสูงสุดของโครงสร้างเท่ากับ 500 MPa

δ เป็นระยะกระจัดของโครงสร้าง

$\delta_{\max}$ เป็นระยะกระจัดสูงสุดของโครงสร้างเท่ากับ 10 μm

ผลการทดลองทั้งหมดสามารถแบ่งลักษณะโครงสร้างได้เป็น 3 ลักษณะคือ

โครงสร้างลักษณะที่ 1 เป็นโครงสร้างเดิมและที่ปรับปรุงด้วยการเพิ่มความหนาทั้งโครงสร้างหลักและฐานได้ผลดังนี้

โครงสร้างที่	น้ำหนัก (kg)	ระยะกระจัด (μm)	ความเค้น (N/mm^2)
1 ($t = 20$)	442.04	13.705	4.452
2 ($t = 20$)	396.73	15.223	3.134
3 ($t = 25$)	458.87	12.285	2.725
4 ($t = 30$)	522.57	10.172	2.176
5 ($t = 35$)	583.98	8.966	1.499
6 ($t = 40$)	645.53	8.239	2.24

โครงสร้างลักษณะที่ 2 การเพิ่มความหนาที่โครงสร้างหลักและฐานแตกต่างกัน

โครงสร้างที่	น้ำหนัก (kg)	ระยะกระจัด (μm)	ความเค้น (N/mm^2)
7 ($t = 35, 30$)	552.93	9.5	1.56
8 ($t = 40, 25$)	549.79	10.144	1.739

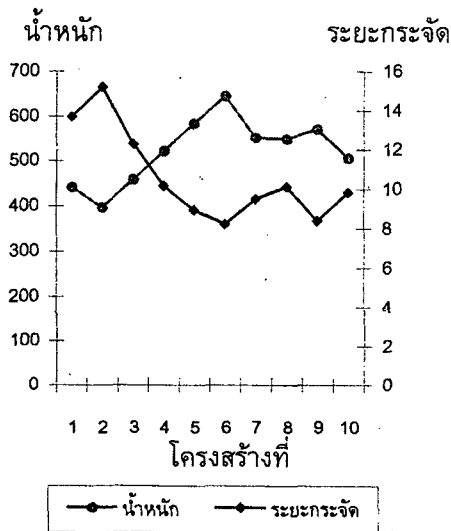
หมายเหตุ 35,30 คือโครงสร้างหลักหนา 35 มม.ฐานหนา 30

โครงสร้างลักษณะที่ 3 เพิ่มสันแนวขวางซึ่งมีลักษณะดังภาพที่ได้ผลดังตาราง

โครงสร้างที่	น้ำหนัก (kg)	ระยะกระจัด (μm)	ความเค้น (N/mm^2)
9 ($t=30, \text{rib}$)	570.6	8.399	1.514
1 ($t=25, \text{rib}$)	506.9	9.847	1.666

การวิเคราะห์ผลการทดลอง

1. โครงสร้างแบบที่ 2 เป็นโครงสร้างที่ได้ปรับขึ้นโดยอาศัยทฤษฎี, ผลการทดลองและผลจากโครงสร้างแบบที่ 1 ซึ่งพบว่าโครงสร้างแบบที่ 2 มีระยะกระจัดมากกว่าแบบที่ 1 เพียง 1.5 μm แต่มีน้ำหนักน้อยกว่าถึง 45.31 kg ทำให้กล่าวได้ว่าโครงสร้างแบบที่ 2 มีความสามารถในการต้านทานภาวะเนื่องจากโมเมนต์มากกว่าโครงสร้างแบบที่ 1 เมื่อพิจารณาความเค้นที่เกิดขึ้นสูงสุดนั้นพบว่า ส่วนล่างของโครงสร้างหลักจะมีค่าความเค้นสูงสุด และมีระยะกระจัดที่มากที่สุดด้วย



รูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบโครงสร้างทั้งหมด

2. โครงสร้างแบบที่ 3 ($t=25$) ความหนาเพิ่มขึ้น 5 มิลลิเมตรทั้งโครงสร้าง ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น 62 kg แต่ระยะกระจัดลดลงถึง 3 μm ขณะเดียวกันเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างแบบที่ 1 มีน้ำหนักมากกว่าเพียง 16 kg แต่มีระยะกระจัดที่ต่ำกว่าถึง 1.5 μm ซึ่งก็เป็นการแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนอีกทางหนึ่งว่าโครงสร้างที่ปรับขึ้นมีความสามารถในการต้านทานโมเมนต์ได้ดีกว่าโครงสร้างเดิมจริง

3. โครงสร้างแบบที่ 4, 5 และ 6 พบว่าความเค้นสูงสุด และระยะกระจัดที่มากที่สุด ก็เกิดขึ้นที่ ส่วนล่างของโครงสร้างด้วยเช่นกัน

4. โครงสร้างแบบที่ 5 และ 6 เป็นโครงสร้างที่มีระยะกระจัดน้อยกว่า 10 μm แต่โครงสร้างแบบที่ 5 เป็นโครงสร้างที่ดีที่สุดเนื่องจากมีน้ำหนักที่น้อยที่สุด

5. โครงสร้างแบบที่ 7 เกิดจากการปรับขนาดโครงสร้างพื้นฐานของโครงสร้างที่ 5 ให้มีความหนาที่ฐานลดลงเหลือ 30 มิลลิเมตร พบว่าน้ำหนักลดลงไป 30 kg โดยที่ระยะกระจัดยังคงยอมรับได้

6. โครงสร้างแบบที่ 8 เกิดจากการปรับขนาดโครงสร้างพื้นฐานของโครงสร้างที่ 6 ให้มีความหนาที่ฐานลดลงเหลือ 25 มิลลิเมตร พบว่าน้ำหนักลดลงไป 80 kg โดยที่ระยะกระจัดมากกว่าค่าที่กำหนดเพียงเล็กน้อย

7. โครงสร้างที่ 7 และ 8 มีความเค้น และระยะกระจัดสูงสุดที่ด้านล่างของโครงสร้างที่ตำแหน่งเดียวกับโครงสร้างอื่นๆ ด้วยเช่นกัน

8. เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่ 7 กับ 8 จะเห็นว่าน้ำหนักต่างกันเพียง 3 kg แต่โครงสร้างที่ 7 มีระยะกระจัดที่ต่ำกว่า ดังนั้นโครงสร้างที่ 7 จึงเป็นโครงสร้างที่ดีกว่าโครงสร้างที่ 8 จึงไม่จำเป็นต้องพัฒนาโครงสร้างที่ 8

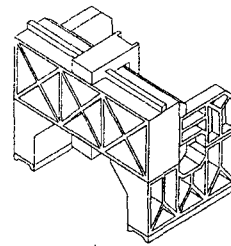
9. โครงสร้างแบบที่ 9 เป็นการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างแบบที่ 4 ซึ่งมีระยะกระจัดเกินกว่าค่าที่กำหนดไป 0.172 μm พบว่ามีระยะกระจัดเป็น 8.399 μm ดีกว่าเดิมเกือบ 2 μm น้ำหนักมากขึ้นกว่าเดิม 49 kg เป็นการแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มสัน (rib) ช่วยต้านทานโมเมนต์ได้มากขึ้น

10. โครงสร้างแบบที่ 10 เป็นการเสริมความแข็งแรงให้กับโครงสร้างแบบที่ 3 พบว่ามีระยะกระจัดเป็น 9.847 μm น้ำหนักที่ 506.9 49 kg

11. โครงสร้างแบบที่ 9 และ 10 มีความเค้นและระยะกระจัดสูงสุดที่ด้านล่างเยื้องไปทางสันขอบล่าง ซึ่งจากภาพเป็นการแสดงอิทธิพลของสัน ที่มีผลต่อการต้านทานโมเมนต์ของโครงสร้าง

12. โครงสร้างแบบที่ 10 และ 9 มีระยะกระจัดที่ต่ำกว่าที่กำหนด แต่โครงสร้างแบบที่ 10 มีน้ำหนักน้อยกว่า จึงถือว่าเป็นโครงสร้างที่ดีกว่า

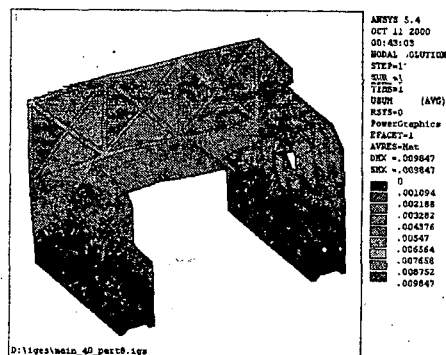
13. นำผลการวิจัยทั้งหมด เขียนเป็นกราฟแสดงดังรูปที่ 9 และเมื่อพิจารณาถึงระยะกระจัดที่มีค่าต่ำกว่า 10 μm ได้แก่โครงสร้างที่ 5, 6, 7, 9 และ 10 ซึ่งจะเห็นว่าโครงสร้างที่มีน้ำหนักน้อยที่สุดคือโครงสร้างที่ 10 จึงเป็นโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุดด้วย



รูปที่ 11 แสดงโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด

สรุปผลการทดลอง

จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า โครงสร้างที่แข็งแรงที่สุดควรเป็นโครงสร้างสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีสันภายในเป็นแนวทแยง โครงสร้างหลักและฐานควรมีความหนาเท่ากัน และมีขอบสันด้านนอกเป็นแนวขวาง และจากการคำนวณโครงสร้างแบบดังกล่าว พบว่าโครงสร้างมีความแข็งแรงมากกว่าแบบอื่นโดยที่มีมวลเพียง 506.9 kg และมีระยะกระจัดอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดคือ 9.847 μm



รูปที่ 12 แสดงระยะกระจัดของโครงสร้างที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Oda, J. and Yamazaki, K. "On a Technique to Obtain an Optimum Strength Shape by the Finite Element Method." JSME International Journal . 22 (1979) :131

- [2] Hideyuki, A. "A Proposal of a shape-Optimization Method Using a Constitutive Equation of Growth" (In case of a static elastic body) " JSME International Journal. 33 (1990): 64-71.
- [3] Yasuhiko, N. and Shigueru, N. "Optimization of Frame Topology Using Boundary Cycle and Genetic Algorithm" JSME International Journal Series A , 39 (1996)
- [4] Tolouei-Rad, M. "On the optimization of machining parameters for milling operations." International Journal machine tool and manufacturing. 37 (1997) : 1-16.
- [5] Bennett Wallander. "Topological Optimization The Conceptual Design Tool." Ansys, Inc.
- [6] Hosam Ali. "Optimization for finite element applications." Mechanical Engineering (1994) :68-70.
- [7] Kuang-Hua Fuh ; Ren-Ming Hwang. "A predicted Milling force model for high-speed end milling operation." International Journal machine tool & manufacturing 37 (1997) : 969-979.
- [8] Robert I. King. Handbook of high speed machine technology. New York : Chapman and Hall, 1985.
- [9] Young Hong-Tsu ; P. Mathew. "Predicting cutting forces in face milling." International Journal machine tool and manufacturing 34 (1994) :771-783
- [10] Yung C. Shin. "A new procedure to determine instantaneous cutting force coefficients for machining force prediction." International Journal machine tool and manufacturing 37 (1997) : 1337-1351.
- [11] Manfred Weck. Handbook of Machine tools volume 2, Construction and Mathematical Analysis. Great Britain : John Wiley & Sons, 1984.