

การออกแบบพารามิเตอร์แบบสองจุดประสงค์สำหรับตะขอยก

นิตยา ศิริวัณ ¹ กมลชนก ประสาททอง ¹ อภิชาติ มณีงาม ^{1*} พัชรพิมล สุวรรณกาญจน์ ¹ และ กัลยา อุบลทิพย์ ¹

วันที่รับ 12 พฤศจิกายน 2563 วันที่แก้ไข 21 ธันวาคม 2563 วันที่ตอบรับ 22 ธันวาคม 2563

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบสองจุดประสงค์สำหรับปัญหาการออกแบบตะขอยก เพื่อเพิ่มค่าปัจจัยความปลอดภัยให้สูงขึ้นและลดน้ำหนักให้น้อยลง แบ่งวิธีการออกแบบเป็นสองขั้นตอน ดังนี้ ขั้นตอนแรกคือ การสร้างตะขอยกตามมาตรฐาน ISO 7597: 2013 (Forged Steel Lifting Hooks with Latch, Grade 8) เพื่อใช้เป็นตะขอยกต้นแบบตัวอย่าง จากนั้นหาค่าปัจจัยด้านความปลอดภัยและน้ำหนักของตะขอยกโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ขั้นตอนที่สองแก้ปัญหาการออกแบบตะขอยกแบบสองวัตถุประสงค์สำหรับตะขอยกโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่าตะขอยกที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ สามารถลดน้ำหนักของวัสดุได้ 27.5% ต่อชิ้น และเพิ่มปัจจัยด้านความปลอดภัยเท่ากับ 42.16% เมื่อกำหนดวัตถุประสงค์ทั้งสองให้มีความสำคัญเท่าเทียมกัน

คำสำคัญ: แบบจำลองโปรแกรมค่าเหมาะที่สุดสองวัตถุประสงค์, การออกแบบตะขอยก, การหาค่าเหมาะสมของพารามิเตอร์, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้แต่ง, อีเมลล์: apichit.a@cit.kmutnb.ac.th

Bi-objective Optimization of Design Parameters for Lifting Hook

Kamonchanok Prasatthong¹ Apichit Maneengam^{1*} Patpimol Suwankan¹ and Kanlaya U - bontip¹

Received 11 November 2020, Revised 21 December 2020, Accepted 22 December 2020

Abstract

In this paper, present a bi-objective mathematical model for lifting hook designing problem with maximized safety factor value and minimized weight of the lifting hook. Divided the design method into two steps. The first step was to create a lifting hook by ISO 7597: 2013 standard (Forged Steel Lifting Hooks with Latch, Grade 8) to be an initial lifting hook. Then, we found out the safety factor value and weight of the lifting hook by the finite element method. In the second step, we solved the bi-objective lifting hook designing problem using a mathematical model. The results showed that lifting hook that was designed by the method presented in this research managed to reduce weight of the materials by 27.5% per piece with increased safety factor equal to 42.16% when determining both objectives to be equally important.

Keywords: Bi-objective programming model, Hook design, Parameter optimization, Finite Element Analysis

¹ Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Thailand.

* Corresponding author, E-mail: apichit.a@cit.kmutnb.ac.th

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมปัจจุบันมีการแข่งขันกันทางธุรกิจที่สูงขึ้น การพัฒนาประสิทธิภาพของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้งานมีส่วนสำคัญอย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งเครื่องมือและอุปกรณ์จำเป็นต้องให้มีความปลอดภัยสามารถลดอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้นได้ เช่น ตะขอ (Hook) เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มความเสถียรในการเคลื่อนย้ายสิ่งของที่มีน้ำหนักมากได้เป็นอย่างดี จึงเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปเกือบทุกโรงงาน

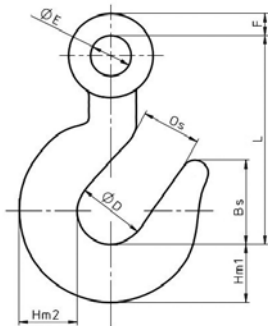
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการขนย้ายสิ่งของต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ในอุตสาหกรรมการผลิตจึงจำเป็นต้องมีบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านการออกแบบและวิเคราะห์โครงสร้างของวัสดุ โดยต้องอาศัยความชำนาญและประสบการณ์เป็นหลัก การออกแบบแต่ละครั้งต้องมีการสร้างแบบจำลองในการทำการทดลองจริงและการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น แต่ปัจจุบันสามารถวิเคราะห์ผลโดยการใส่โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทางวิศวกรรมเข้ามามีส่วนร่วมเพื่อความรวดเร็วมากขึ้น ซึ่งโปรแกรมในการวิเคราะห์ผลมีการใช้หลักการคำนวณวิเคราะห์ที่ละเอียดมีความแม่นยำสูง โดยการประมวลผลจะขึ้นอยู่กับรูปร่างวัสดุของชิ้นงาน การรับแรงภายใต้การกระทำต่อชิ้นงานและสมรรถนะของเครื่องคอมพิวเตอร์ รวมทั้งขีดจำกัดความสามารถของโปรแกรมที่นำมาวิเคราะห์ด้วย เช่น 1) ในการใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์วิเคราะห์ชิ้นส่วนที่ใช้ในล้อสายพานเพลาลูกเบี้ยว เพื่อหาขนาดความยาวของชิ้นงานที่เตรียมก่อนการทุบขึ้นรูปและแรงที่ใช้ในการทุบขึ้นรูปที่น้อยที่สุดด้วยมิติรูปร่างชิ้นส่วนที่เป็นไปตามแบบที่โรงงานกำหนด และยังสามารถลดระยะเวลาในการทดลองการทุบขึ้นรูปซึ่งมีขั้นตอนการออกแบบและสร้างแบบจำลองจาก

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อดูผลการออกแบบว่าได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ทั้งในด้านการเติมเต็มของเนื้อวัสดุและรูปร่างชิ้นงานที่ได้ แล้วทดลองทุบขึ้นรูปชิ้นงานจริงตามที่ออกแบบไว้ นำผลจากการวิเคราะห์มาเปรียบเทียบกับกระบวนการทดลองแม่พิมพ์จริงแล้ว ปรากฏผลว่าสอดคล้องใกล้เคียงกัน ปรับขนาดวัตถุดิบได้ร้อยละ 50 และยังสามารถลดค่าใช้จ่ายในการปรับแม่พิมพ์ได้ร้อยละ 25 ส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการผลิต เพราะจะช่วยให้การกำหนดเงื่อนไข 2) ในการออกแบบแม่พิมพ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นและเกิดประโยชน์ต่อการนำไปใช้ในเชิงปฏิบัติต่อไป

โดยงานวิจัยนี้วิเคราะห์ผลการออกแบบตะขอยกตามมาตรฐาน ISO 7597 : 2013 (Forged Steel Lifting Hooks with latch, grade 8) เพื่อปรับปรุงค่าความปลอดภัยให้ดียิ่งขึ้น และลดน้ำหนักของตัวตะขอยกให้น้อยกว่า โดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบ (Computer-Aided Design, CAD) และคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม (Computer Aided Engineering, CAE) ซึ่งอาศัยหลักการวิเคราะห์เชิงระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) ร่วมกับหลักการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Design) เข้ามาช่วยในการออกแบบ

2. ลักษณะของปัญหา

ปัญหาการออกแบบพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับตะขอที่มีสองจุดประสงค์ (Bi-objective Optimization of Design Parameter for Lifting Hook Problem) ตามมาตรฐาน ISO 7597: 2013 ต้องการกำหนดขนาดที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ตามงานวิจัยของ Manee - ngam และคณะ [1] เพื่อให้ตะขอที่ออกแบบมีค่าความปลอดภัยมากที่สุดและมีน้ำหนักของตะขอรวมน้อยที่สุด



$$36.0 \leq B_s \leq 45.0$$

$$30.4 \leq D \leq 40.0$$

$$20.0 \leq E \leq 25.0$$

$$10.0 \leq F \leq 14.4$$

$$27.0 \leq H_{m1} \leq 34.4$$

$$27.0 \leq H_{m2} \leq 34.4$$

$$100.0 \leq L \leq 124.0$$

$$35.0 \leq O_s \leq 44.0$$

รูปที่ 1 ตะขอที่ออกแบบตามมาตรฐาน ISO 7597: 2013 ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ตามงานวิจัยของ Manee - ngam และคณะ [1]

ตะขอนี้ถูกผลิตโดยการตีขึ้นรูป (Forging) ซึ่งจะใช้วัสดุ AISI 4340 หรือ DIN 34CrNiMo6 ซึ่งเป็นเหล็กกล้าผสมมีความแข็งแรงสูง มีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อนและสึกหรอได้ดี โดยมีส่วนประกอบทางเคมี (Chemical Composition) และมีคุณสมบัติทางกล (Mechanical Properties) ตามมาตรฐานที่ใช้กันในปัจจุบัน สำหรับการจำลองเพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของตะขอนี้มีการกำหนดการจับยึดเป็นแบบ Fixed Geometry ที่บริเวณพื้นผิวตำแหน่ง E และกำหนดแรงที่มากระทำกับตะขอยกเป็นแรงกดลงขนาด 19,620 N หรือน้ำหนัก 2 ตัน ตรงกึ่งกลางส่วนที่มีผิวโค้งตำแหน่ง D นอกจากนี้ ตะขอจะต้องใช้งานร่วมกับโช้ที่มีลักษณะเป็นแบบห่วง (Eye Type) ดังนั้นค่า O_s คือความกว้างของปากตะขอจะต้องมีขนาดที่เล็กกว่าความกว้างของโช้

3. ทบทวนวรรณกรรม

ชิ้นส่วนตะขอของชุดอุปกรณ์เครนยกใช้เคลื่อนย้ายวัตถุหนักได้ชิ้นนี้ เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในงานด้านวิศวกรรมเป็นอย่างมาก [2] การออกแบบตะขอยกในอุตสาหกรรมเป็นไปเพื่อวัตถุประสงค์ปรับปรุงค่าความปลอดภัยให้ดียิ่งขึ้น สามารถใช้โปรแกรมออกแบบทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์เพื่อหาคุณสมบัติของวัสดุ ซึ่งการออกแบบตะขอยกด้วยการวิเคราะห์เชิงระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis: FEA) [3] ภายใต้งานชิ้นน้ำหนักของตัวตะขอยกยังคงเท่าเดิม โดยใช้เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์เพื่อการออกแบบ (Computer-Aided Design: CAD) และคอมพิวเตอร์ช่วยงานวิศวกรรม (Computer Aided Engineering: CAE) ร่วมกับหลักการออกแบบที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Design) เข้ามาช่วยในการออกแบบ [4] ชิ้นงานแผ่นเหล็กขึ้นรูปเป็นโครงร่างตะขอวิเคราะห์ผลนำมาออกแบบในขั้นตอนแรก แล้วมาวิเคราะห์ด้วยวิธีให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighted Factors Rating Method) [5]

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบตะขอยกสำหรับรับน้ำหนัก 2 ตัน ให้มีค่าความปลอดภัยมากที่สุดและมีน้ำหนักของตะขอน้อยที่สุด โดยแบ่งวิธีการออกแบบเป็น 2 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างโมเดลตะขอยกสำหรับรับน้ำหนัก 2 ตัน ตามที่มาตรฐาน ISO 7597: 2013 แนะนำไว้ แล้ววิเคราะห์ความแข็งแรงของตะขอด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ในโปรแกรม SolidWorks 2017 โดยผู้วิจัยได้ตั้งค่าตามลักษณะของปัญหาดังนี้ วัสดุของตะขอเป็น AISI 4340 กำหนดการจับยึดเป็นแบบ Fixed Geometry ที่บริเวณพื้นผิวตำแหน่ง E และกำหนดแรงที่มากระทำกับตะขอยกเป็นแรงกดลง

ขนาด 19,620 N หรือน้ำหนัก 2 ตัน ตรงกึ่งกลางส่วนที่มีผิวโค้งตำแหน่ง D ซึ่งขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ค่าความปลอดภัยและน้ำหนักของตะขอตามที่มาตรฐาน ISO 7597: 2013 แนะนำไว้ และยังสามารถใช้ทั้งสองค่านี้เป็นค่าตั้งต้นในการหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดในขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 2 ทีมผู้วิจัยแก้ปัญหาการออกแบบตะขอที่มีสองจุดประสงค์โดยสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่มีสองฟังก์ชันจุดประสงค์ ประกอบด้วย ฟังก์ชันจุดประสงค์เพื่อทำให้ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety: $F.O.S$) มากที่สุดและฟังก์ชันจุดประสงค์เพื่อให้น้ำหนักรวมของตะขอ (W) น้อยที่สุด ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ นอกจากนี้ กำหนด C คือ พารามิเตอร์ขนาดความกว้างสูงสุดของโซ่ที่สามารถใช้งานกับตะขอนี้ ซึ่ง C มีค่าเท่ากับ 35 มิลลิเมตร และ t คือ ค่าความเผื่อที่จะทำให้ส่วนโซ่เข้าไปในตะขอได้ง่ายขึ้น สำหรับงานวิจัยนี้กำหนด $t = 2$ มิลลิเมตร ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการออกแบบตะขอที่มีสองจุดประสงค์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ฟังก์ชันจุดประสงค์

$$\text{Max } F.O.S \quad (1)$$

$$\text{Min } W \quad (2)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$36.00 \leq B_s \leq 45.00 \quad (3)$$

$$30.40 \leq D \leq 40.00 \quad (4)$$

$$20.00 \leq E \leq 25.00 \quad (5)$$

$$10.00 \leq F \leq 14.40 \quad (6)$$

$$27.00 \leq H_{m1} \leq 34.40 \quad (7)$$

$$27.00 \leq H_{m2} \leq 34.40 \quad (8)$$

$$100.00 \leq L \leq 124.00 \quad (9)$$

$$35.00 \leq O_s \leq 44.00 \quad (10)$$

$$O_s \geq C + t \quad (11)$$

$$B_s, D, E, F, H_{m1}, H_{m2}, L, O_s \geq 0 \quad (12)$$

เงื่อนไขที่ (3) ถึง (10) ถูกกำหนดขึ้นตามงานวิจัยของ อภิชาติ และคณะ [1] ซึ่งเป็นขอบเขตบนและล่างที่ตัวแปรการออกแบบจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เงื่อนไขที่ (11) ทำให้มั่นใจได้ว่าขนาดของ O_s จะกว้างพอที่จะสวมโซ่เข้าไปในตะขอได้อย่างสะดวก เงื่อนไขที่ (12) ทำให้มั่นใจว่าตัวแปรการออกแบบทั้งหมดต้องไม่มีค่าติดลบ

ต่อมาทีมผู้วิจัยแก้ปัญหาการออกแบบตะขอด้วยโปรแกรม SolidWorks 2017 โดยกำหนดเงื่อนไขของแต่ละตัวแปรและเป้าหมายตามตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงในรูปที่ 2 และกำหนดค่าน้ำหนักของแต่ละฟังก์ชันจุดประสงค์เท่ากับ 0.5 ซึ่งหมายความว่าทั้งสองจุดประสงค์มีความสำคัญเท่ากัน



Variables				
D	Range	Min: 30.4mm	Max: 40mm	
E1	Range	Min: 20mm	Max: 25mm	
F	Range	Min: 10mm	Max: 14.4mm	
Hm1	Range	Min: 27mm	Max: 34.4mm	
L	Range	Min: 100mm	Max: 124mm	
Bs	Range	Min: 36mm	Max: 45mm	
Hm2	Range	Min: 27mm	Max: 34.4mm	
O	Range	Min: 35mm	Max: 44mm	
Click here to add Variables				
Constraints				
Dimension1	is greater tha	Min: 37mm		
Click here to add Constraints				
Goals				
Minimum Factor of Safety1	Maximize	Weight: 0.50		Study 1
Mass1	Minimize	Weight: 0.50		
Click here to add Goals				

รูปที่ 2 ตัวอย่างการกำหนดตัวแบบทางคณิตศาสตร์นี้ ลงไปในโปรแกรม SolidWorks 2017

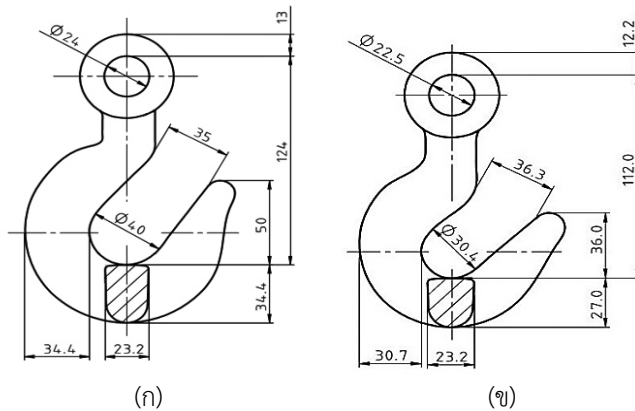
5. ผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบตะขอให้มีค่าความปลอดภัยมากที่สุดและมีน้ำหนักของตะขอรวมน้อยที่สุดจากการวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม SolidWorks 2017 ที่ติดตั้งในคอมพิวเตอร์ Intel® Core™ i7-4712MQ CPU @ 2.30GHz มีหน่วย

ความจำ 8 GB ซึ่งผลการเปรียบเทียบระหว่างขนาดตะขอแบบที่มีมาตรฐานแนะนำกับขนาดตะขอที่เหมาะสม ดังแสดงตารางที่ 1 และ รูปที่ 3 ในขณะผลการเปรียบเทียบค่าความปลอดภัยและน้ำหนักรวมของตะขอที่ออกแบบกับตะขอตามมาตรฐานแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบขนาดตะขอแบบที่มีมาตรฐานแนะนำกับขนาดตะขอที่เหมาะสม

ตัวแปรออกแบบ	ขนาดตะขอแบบที่มีมาตรฐาน ISO 7597: 2013 แนะนำ (มิลลิเมตร)	ขนาดตะขอที่เหมาะสม (มิลลิเมตร)	ผลต่างระหว่างขนาดตะขอแบบที่มีมาตรฐานแนะนำกับขนาดตะขอที่เหมาะสม (มิลลิเมตร)
B_s	50.0	36.0	-14.0
D	40.0	30.4	-9.6
E	24.0	22.5	-1.5
F	13.0	12.2	-0.8
H_{m1}	34.4	27.0	-7.4
H_{m2}	34.4	30.7	-3.7
L	124.0	112	-12.0
O_s	35.0	36.26	+1.26



รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบรูปร่างขนาดของตะขอมาตรฐาน

(ก) ตะขอแบบที่มีมาตรฐาน ISO 7597: 2013 แนะนำ

(ข) ตะขอที่เหมาะสม

จากตารางที่ 1 และรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า ตะขอที่เหมาะสมนั้นมีขนาดที่น้อยกว่าขนาดของ ตะขอที่มาตรฐานแนะนำซึ่งส่งผลให้ความสูงและ ความกว้างโดยรวมของตะขอที่เหมาะสมน้อยกว่า ตะขอที่มาตรฐานแนะนำแต่มีเพียงขนาดเท่านั้นที่

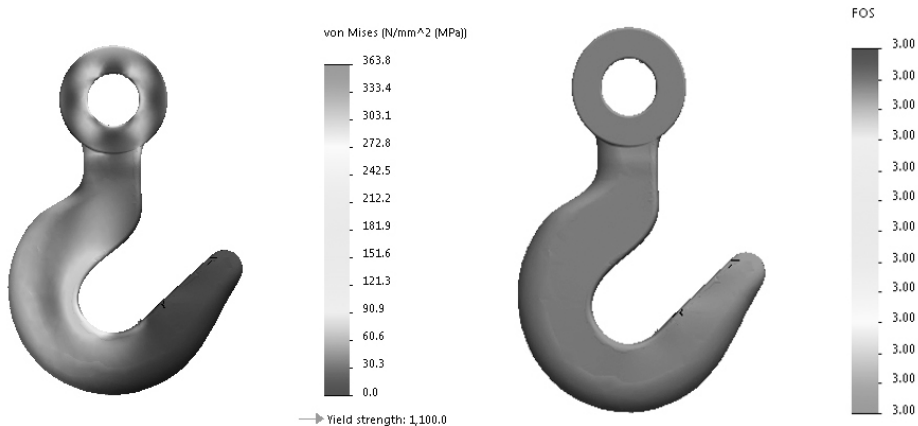
ตะขอที่เหมาะสมมีค่ามากขึ้น นอกจากนี้ ผู้วิจัยยัง ได้เปรียบเทียบค่าความปลอดภัยและน้ำหนักรวม ของตะขอที่ออกแบบกับตะขอตามมาตรฐานเพื่อให้ เห็นประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ ดังแสดงใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบค่าความปลอดภัยและน้ำหนักรวมของตะขอที่ออกแบบกับตะขอตามมาตรฐาน

ผลลัพธ์	ตะขอแบบที่มาตรฐาน ISO 7597: 2013 แนะนำ	ตะขอที่เหมาะสม	ผลต่างระหว่างตะขอแบบที่ มาตรฐานแนะนำกับ ตะขอที่เหมาะสม
ค่าความปลอดภัย	1.85	3.00	1.15
น้ำหนัก (กรัม)	1,375.95	1,020.80	-355.15

จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าตะขอที่เหมาะสมมีค่าความปลอดภัยที่มากกว่าตะขอที่มาตรฐาน แนะนำ 1.15 หรือมากขึ้น 62.16% และมีน้ำหนัก รวมน้อยกว่าตะขอที่มาตรฐานแนะนำ 355.15 กรัม

หรือ ลดลง 25.81% ตะขอที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ ของงานวิจัยได้ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์ของตะขอที่เหมาะสม (ก) ค่า Von Mises Stress (ข) ค่าความปลอดภัยของตะขอที่เหมาะสม

6. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอปัญหาการออกแบบพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดสำหรับตะขอยกสำหรับภาระขนาด 2 ตัน ปัญหานี้มีสองจุดประสงค์ คือ การเพิ่มความปลอดภัยให้มากที่สุดและลดน้ำหนักของตะขอให้น้อยที่สุด เรากำหนดให้ทั้งสองจุดประสงค์นี้มีความสำคัญเท่ากัน ใช้วัสดุเหล็กกล้าผสม AISI 4340 เป็นวัสดุในการวิเคราะห์ โดยทำการออกแบบตามมาตรฐาน ISO 7597 ซึ่งตัวแปรที่นำมาศึกษา คือ B_s , D , E , F , H_{m1} , H_{m2} , L และ O วิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ร่วมกับการวิเคราะห์การออกแบบที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม SolidWorks เพื่อให้ได้ขนาดของตะขอยกที่มีความเหมาะสม จากผลการวิจัยพบว่าตะขอที่เหมาะสมมีค่าความปลอดภัยมากกว่าตะขอที่มาตรฐานแนะนำ 1.15 หรือมากขึ้น 62.16% และ มีน้ำหนักรวมน้อยกว่าตะขอที่มาตรฐานแนะนำ 355.15 กรัม หรือ ลดลง 25.81% ผลลัพธ์นี้ทำให้มั่นใจได้ว่าตะขอที่ออกแบบด้วยวิธีที่นำเสนอทำให้บริษัทผู้ผลิตสินค้ามีความสามารถในการแข่งขันมากขึ้น เนื่องจากมีการใช้วัสดุดีในการสร้างตะขอยกน้อยลงจากตะขอที่มีน้ำหนักน้อยลง โดยมีความปลอดภัยสูงขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Manee-ngam A., Saisirirat P. and Suwankan P., Hook Design Loading by the optimization method with weighted factors rating method, Energy Procedia 138, 2017, p337 - 342.

[2] Naresh C. and Bhatt P., Improving

the durability of the E.O.T. crane structure by finite element analysis, And optimize the hook material for improving its solidity, Procedia Engineering 38, 2012, p837 – 842.

[3] Vikky K., Pradip T. and Novel S., Design and analysis of crane hook trapezoidal cross - section using finite element analysis VSRD International Journal of Mechanical, Civil, Automobile and Production Engineering 5, 2015, p89 - 94.

[4] Y.X. Qin and et al, Crane hook stress analysis upon boundary interpolated reproducing kernel particle method, Engineering Analysis with Boundary Elements 63, 2016, p74 – 81.

[5] Lanjekar K. and Patil A.N., Weight Optimization of Laminated Hook by Topological Approach, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE), Volume 13, 2016, p7-20.