



สถานีฝึกไต่หน้าผาจำลองกึ่งอัตโนมัติสำหรับกีฬาไต่หน้าผาในประเทศไทย SEMI AUTOMATIC ROCK CLIMBING WALL STATION FOR SPORT CLIMBING IN THAILAND

ฉัตรฐ เอี่ยมเก็บ^{1*}, ภาณุภูมิ ศรีมรินทร์¹, นิตตอลิน พันธุ์อภัย¹ และ ชีรภัทร หลิมบุญเรือง¹

^{1*}ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ นครนายก 26120

E-mail: pdc_tirrut@yahoo.com, โทร 086-792-5431, โทรสาร 037-322609

Tirrut Eaumkeb^{1*}, Parkpum Sriromreun, Nittalin Phun-apai and Teerapath Limboonrung

^{1*}Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University Ongkharak,
Nakhornayok Thailand 26120

Email: pdc_tirrut@yahoo.com, Tel: 086-792-5431, Fax: 037-322609

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบกลไกและวิเคราะห์โครงสร้างสถานีฝึกไต่หน้าผาจำลองกึ่งอัตโนมัติสำหรับกีฬาไต่หน้าผาจำลองในประเทศไทย เพื่อใช้ฝึกทักษะสำหรับนักกีฬาไต่หน้าผาหรือผู้ที่สนใจและสนับสนุนการออกกำลังกาย สามารถใช้ในสถานที่ที่มีพื้นที่จำกัดได้ หลักการทำงานของสถานีฝึกฯ จะสามารถปรับองศาความชันเพื่อให้มีลักษณะใกล้เคียงกับหน้าผาของจริงที่มีความชันแตกต่างกันไปและสามารถปรับความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวหน้าผาจำลองเพื่อเพิ่มสมรรถนะของผู้ฝึกได้ สถานีฝึกมีชุดควบคุมการทำงานของมอเตอร์ 2 ตัว สำหรับการปรับองศาความชันและการเคลื่อนที่ของสายพานตามลำดับ ความชันของหน้าผาจำลองสามารถปรับได้ตั้งแต่ -30 ถึง 30 องศาตามแนวตั้งแบบจำลองโครงสร้างสถานีฝึกไต่หน้าผาจำลองกึ่งอัตโนมัติถูกออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อีลิเมนต์ พบว่าโครงสร้างทั้งหมดมีความแข็งแรง ไม่เกิดความเสียหาย เหมาะสมในการสร้างภายใต้ขอบเขตที่กำหนดได้

คำหลัก: ไต่หน้าผา, หน้าผาจำลอง, กีฬาปีนหน้าผา, การออกแบบหน้าผาจำลอง

Abstract

The aims of this research are mechanism design and structural analysis of a semi-automatic rock climbing wall station for sport climbing in Thailand. This will be used for athlete training and people who are interested in exercise with an extreme sport. This station can be placed in limited area; moreover, its slope and rotating speed can be adjusted by user in order that athletes feel as climbing on a real cliff and increase their efficiency. There are two motors for slope adjusting and belt moving respectively. The slope of the climbing station can be changed from -30 to 30 degree referred to a vertical axis. The simulated model of a climbing wall station are designed and analyzed strength by the finite element method (FEM) and found that all of construction components are not destroyed, strength enough and suitable to build under need conditions.

Keywords: Rock Climbing, Climbing station, Sport climbing, Device Training

1. บทนำ

กีฬาปีนหน้าผานั้นส่วนใหญ่มักจะปีนไปตามหน้าผาที่ค่อนข้างสูง หรือลาดชัน ซึ่งปัจจุบันนี้กีฬาปีนหน้าผาเป็นกิจกรรมที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในต่างประเทศทั้งในแถบยุโรปและอเมริกาโดยพัฒนามาจากการไต่หน้าผาจริง ในระยะต่อมาได้เริ่มมีการขุดเจาะเพื่อทำเส้นทางปีนตามหน้าผาต่าง ๆ อีกทั้งยังพัฒนาอุปกรณ์สำหรับกีฬาไต่หน้าผาอีกมากมาย กีฬาปีนหน้าผาจึงได้เริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้น หลังจากนั้นกีฬาประเภทนี้ก็แพร่หลายไปทั่วโลก แม้ว่าจะเป็นกีฬาที่ไม่ได้แพร่หลายมากเท่ากับกีฬาสportอื่นก็ตาม เนื่องจากต้องอาศัยพื้นที่ทางธรรมชาติทำกิจกรรมนั่นเอง แต่ในปัจจุบันได้มีการสร้างหน้าผาจำลองให้ผู้ที่ชื่นชอบได้ฝึกฝนกำลังกันตามสถานที่ต่างๆ ถึงในเมืองเพื่อความง่ายต่อการเล่นกีฬาชนิดนี้ [1-5] ในต่างประเทศได้มีการพัฒนา ผลิตและจำหน่ายเครื่องไต่หน้าผาจำลองรูปแบบต่าง ๆ [6-26] ซึ่งสามารถใช้ได้ในสถานที่ที่มีพื้นที่จำกัดได้และยังได้มีการออกแบบเพื่อความสะดวกในการเข้าถึงการฝึกและเล่นกีฬาชนิดนี้มากขึ้นด้วย

สำหรับในประเทศไทย กีฬาไต่หน้าผาเริ่มมีความนิยมมากขึ้นตามลำดับ ทางคณะผู้วิจัยจึงเห็นว่าหากมีการวิจัยเครื่องมือสำหรับช่วยในการฝึกซ้อมและเพิ่มขีดความสามารถของนักกีฬาไต่หน้าผาเพื่อสร้างชื่อเสียงให้กับประเทศไทยคงจะเป็นการดี แต่หากในปัจจุบันในประเทศไทยมีอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์การกีฬาชนิดนี้อย่างจำกัด ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการวิจัยและพัฒนาต้นแบบสถานีสําหรับฝึกไต่หน้าผาจำลองกึ่งอัตโนมัติสำหรับกีฬาไต่หน้าผา ที่สามารถใช้งานได้ง่ายและมีประสิทธิภาพเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อการนำไปใช้ประกอบการฝึกซ้อม ลดต้นทุนในการนำเข้าของอุปกรณ์ฝึกและเป็นเครื่องมือของผู้ฝึกสอนในการพัฒนาศักยภาพของนักกีฬาไต่หน้าผาได้

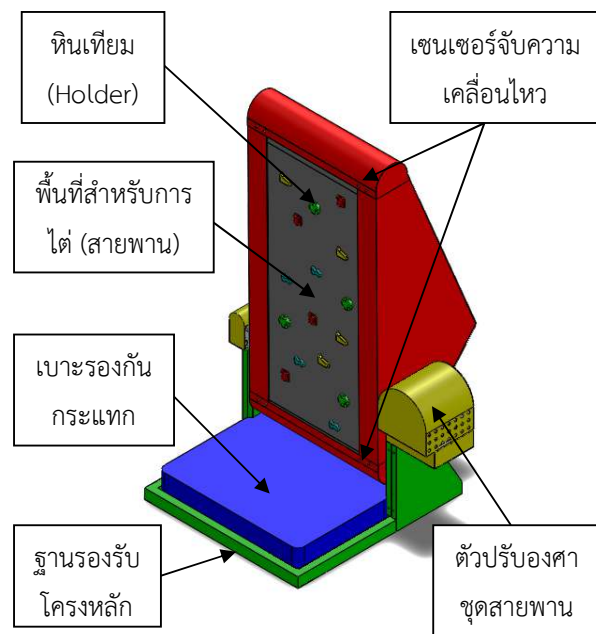
2. การคำนวณและการออกแบบ

2.1 โครงสร้างและส่วนประกอบของสถานีฝึกไต่หน้าผาจำลองกึ่งอัตโนมัติ

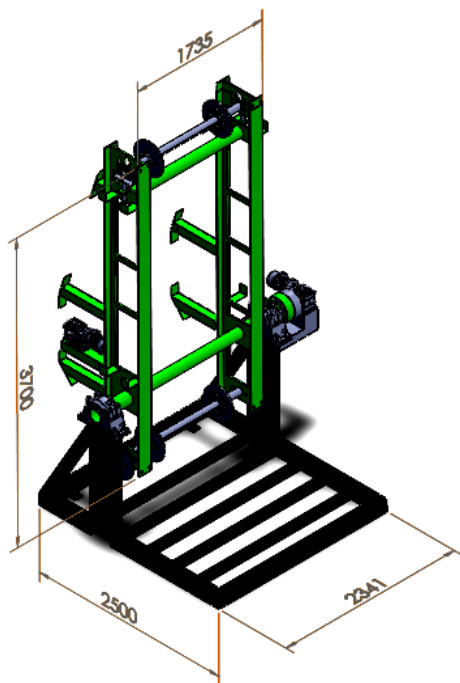
สถานีฝึกไต่หน้าผาจำลองกึ่งอัตโนมัติจะออกแบบให้มีแนวคิดในการให้ผู้ที่ไต่หน้าผาหรือผู้ที่สนใจสามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระในพื้นที่ที่ได้ออกแบบไว้ สามารถปรับองศาความชัน ให้เสมือนกับความชันของหน้าผาจริงๆ ได้ โดยมีขอบเขตดังนี้

- ขุดสายพานสามารถปรับองศาของความชันได้ระหว่าง -30° ถึง 30° (จากแนวดิ่ง)
- สามารถรับน้ำหนักของผู้ไต่หน้าผา (1 คน) ได้สูงสุดไม่เกิน 150 kg
- มีขนาดของพื้นที่สำหรับการไต่หน้าผาจำลองไม่เกิน 4.5 m^2
- สายพานเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วไม่เกิน 17 m/min

มีโครงสร้างและส่วนประกอบดังรูปที่ 1 และขนาดโดยรวมดังรูปที่ 2

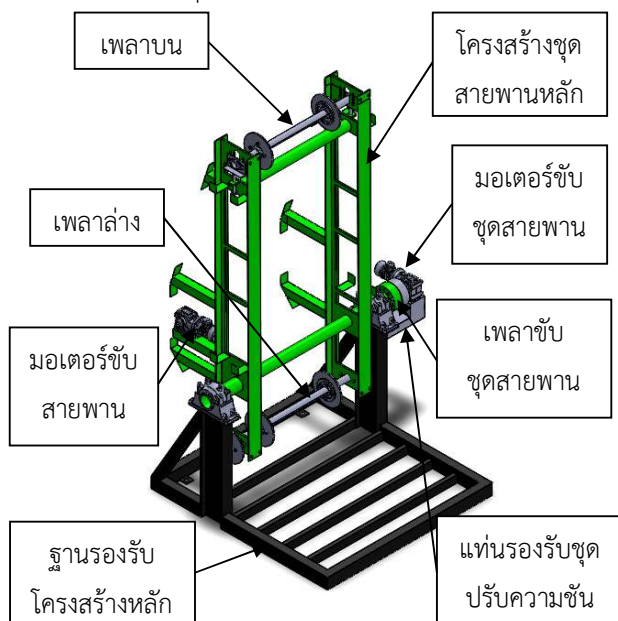


รูปที่ 1 ส่วนประกอบโดยรวมของอุปกรณ์



รูปที่ 2 ขนาดโดยรวมของอุปกรณ์ (หน่วย : mm)

ในส่วนของการวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างจะใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ จะใช้แบบจำลองโครงสร้างสถานีฝึกได้หน้าผาจำลองกึ่งอัตโนมัติที่มีส่วนประกอบหลักดังรูปที่ 3 และมีรายละเอียดดังตารางที่ 1



รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบหลัก

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของโครงสร้าง

ชิ้นส่วน	วัสดุ	ค่าความต้านแรงคราก Yield Strength (MPa)
โครงสร้างชุดสายพานหลัก	AISI 1020	351.571
เพลaban	AISI 1020	351.571
เพลาล่าง	AISI 1020	351.571
ฐานรองรับโครงสร้างหลัก	AISI 1020	351.571
แท่นรับชุดปรับความชัน	AISI 1020	351.571
เพลขับเคลื่อนชุดสายพาน	AISI 1020	351.571

2.2 การวิเคราะห์ความแข็งแรงของสถานีฝึกได้หน้าผาจำลองกึ่งอัตโนมัติ

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของแบบจำลองสถานีฝึกด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม SolidWorks Simulation เวอร์ชัน 2014 โดยวิเคราะห์แต่ละชิ้นส่วน ผลการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อใหญ่ ๆ คือ ค่าความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) ระยะเวลาเสียรูป (Displacement) และค่าความปลอดภัย (Safety Factor) โดยกำหนดให้ค่าความปลอดภัยเทียบกับค่าความเค้นที่จุดคราก (Yield strength) ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.5

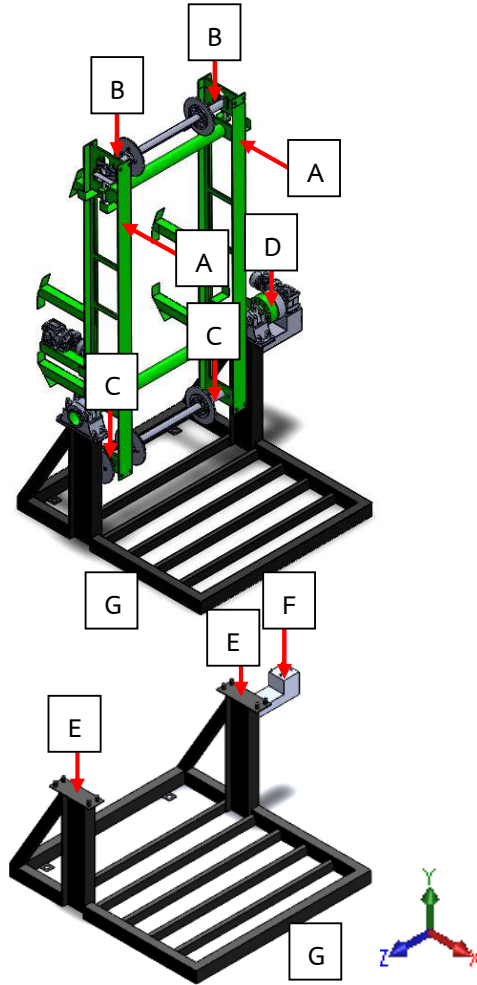
2.3 ขอบเขตและเงื่อนไขการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

กำหนดขอบเขตการวิเคราะห์และสมมุติฐานไว้ดังนี้

- วัสดุของแบบจำลองโครงสร้างหลักเป็นเนื้อเดียวกัน และมีคุณสมบัติเหมือนกันทุกทิศทาง
- การวิเคราะห์เป็นแบบสถิตศาสตร์
- ไม่คิดความเค้นตกค้างที่เกิดขึ้นหลังจากการผลิต
- กำหนดการไหลตามขอบเขตและคุณสมบัติทางกลของวัสดุตามคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้
- กำหนดโครงตาข่ายเป็นแบบ 3D Mesh

2.4 การกำหนดจุดยึดและภาระโหลดกระทำ

ภาระโหลดที่กระทำต่อสถานีฝึกไต่หน้าผาจำลอง กิ่งอัตโนมัติพิจารณาจากน้ำหนักของโครงสร้างและของผู้ที่ไต่หน้าผา (ตามขอบเขตที่กำหนด) ได้แสดงดังรูปที่ 4 และ ตารางที่ 2



รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งของภาระโหลดที่กระทำโครงสร้าง ตารางที่ 2 ภาระโหลดที่กระทำ ณ ตำแหน่งต่างๆ (N)

ตำแหน่ง	แกน X	แกน Y	แกน Z	หมายเหตุ
A	1,640	0	0	-
B	0	1,000	0	-
C	0	1,000	0	-
D	0	12,000	0	-
E	0	7,500	0	-
F	0	5,000	0	-
G	0	0	0	Fix point

2.5 การคำนวณขนาดของเพลลา [27]

ในการคำนวณหาขนาดของเพลลาขับและเพลลาตามของสถานีฝึกไต่หน้าผาจำลองกิ่งอัตโนมัติ เนื่องจากเป็นเพลลาตัน ไม่มีแรงมากระทำ และไม่มีแรงจากการตัดสามารถหาขนาดของเพลลาได้จากสมการที่ 1

$$d^3 = \frac{16}{\pi \tau_d} \left[(C_t T)^2 + (C_m M)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

เมื่อ d คือ ขนาดของเพลลา, mm

τ_d คือ ความเค้นเฉือนนอกแบบของเพลลา, N/mm²

T คือ โมเมนต์บิด, N.m

M คือ โมเมนต์ดัด, N.m

C_t คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

C_m คือ ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการดัด

2.6 ขนาดของมอเตอร์

การหากำลังของมอเตอร์สำหรับขับโครงสร้างของต้นแบบ สามารถหาได้จากสมการที่ 2

$$P_0 = T \times \omega \quad (2)$$

เมื่อ P_0 คือ กำลังมอเตอร์, Watt

T คือ แรงบิด, N.m

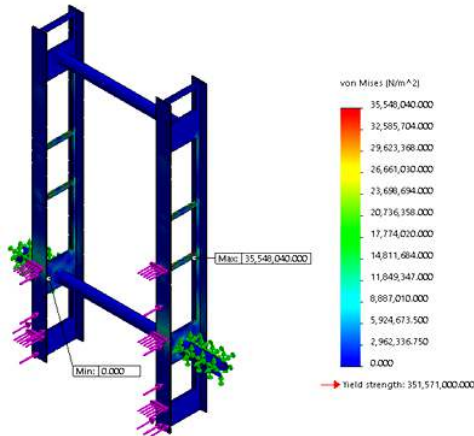
ω คือ ความเร็วเชิงมุม, rad/s

3. ผลการวิเคราะห์และทดสอบ

3.1 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างชุดสายพานหลัก

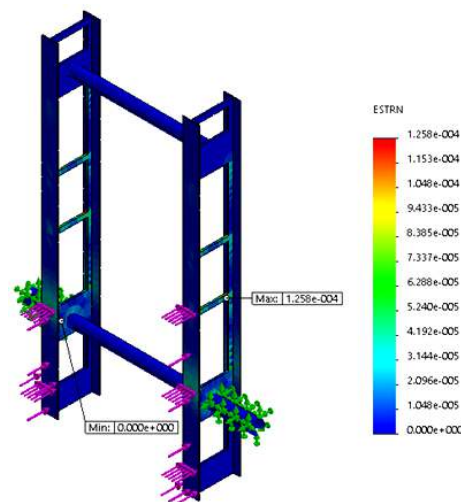
ผลการวิเคราะห์จะแสดงในส่วนของโครงสร้างชุดสายพานหลักและฐานรองรับโครงสร้างหลัก ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญของสถานีฝึกไต่หน้าผาจำลองกิ่งอัตโนมัติ ผลการวิเคราะห์ในชิ้นส่วนอื่น ๆ ได้แสดงดังตารางที่ 3 ในส่วนของโครงสร้างชุดสายพานหลักจะขึ้นรูปด้วย I - Beam ขนาด 450 x 75 x 20 mm เชื่อมติดกันด้วย Steel tube ขนาด $\varnothing 127 \times 2.5$ mm ผลการวิเคราะห์การกระจายของความเค้น (Stress Distribution) ภายในโครงสร้างชุดสายพานหลักจะเห็นได้ว่าการกระจายของความเค้นที่มีค่ามากบริเวณส่วนกลางของโครงสร้างหลัก โดยบริเวณดังกล่าวนี้จะมีค่าของความเค้นมากที่สุด

เท่ากับ 35.54×10^5 MPa และค่าต่ำสุดคือ 0 MPa ดังรูปที่ 5 จะพบว่าค่าความเค้นสูงสุดมีค่าน้อยกว่าค่า Yield Strength ซึ่งแสดงให้เห็นโครงสร้างชุดสายพานหลัก รับภาระโหลดที่กระทำได้ สำหรับในส่วนบริเวณอื่นๆ จะมีการกระจายของความเค้นค่อนข้างสม่ำเสมอ



รูปที่ 5 ค่าความเค้นของโครงสร้างชุดสายพานหลัก

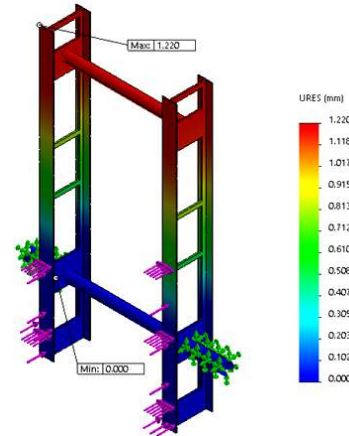
ผลการวิเคราะห์ค่าความเครียด (Strain) จากรูปที่ 6 พบว่าค่าความเครียดสูงสุดคือ 1.26×10^{-4} และต่ำสุดคือ 0 ซึ่งค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณช่วงกลางของโครงสร้างชุดสายพานหลักเช่นเดียวกับความเค้น



รูปที่ 6 ค่าความเครียดของโครงสร้างชุดสายพานหลัก

ผลการวิเคราะห์ระยะการเสียรูป (Displacement) ของโครงสร้างชุดสายพานหลัก พบว่าการเสียรูปสูงสุดนั้นจะมากที่สุดบริเวณช่วงปลายหรือด้านบนของ

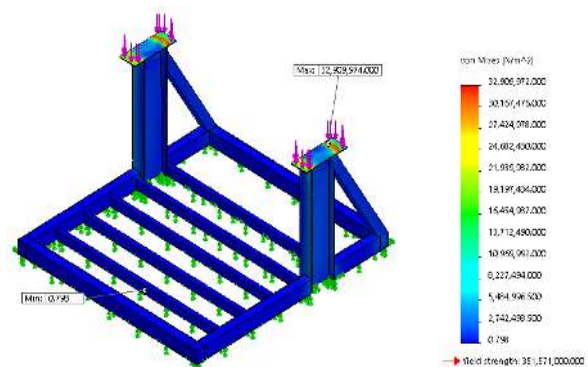
โครงสร้างชุดสายพานหลัก โดยมีการเสียรูปอยู่ที่ 1.22 mm ดังรูปที่ 7 ซึ่งถือได้ว่ามีค่าค่อนข้างน้อยมาก ซึ่งเป็นผลดีต่อการออกแบบโครงสร้างชุดสายพานหลัก แสดงว่าโครงสร้างดังกล่าวแข็งแรง



รูปที่ 7 ค่าระยะการเสียรูปของโครงสร้างชุดสายพานหลัก

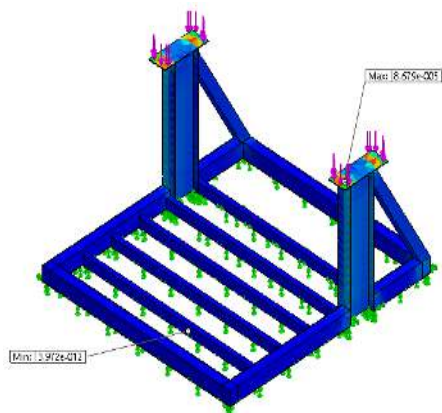
3.2 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของฐานรองรับโครงสร้างหลัก

ในส่วนของฐานรองรับโครงสร้างหลักจะขึ้นรูปด้วย I-Beam ขนาด $350 \times 150 \times 20$ mm เชื่อมติดกันด้วย Steel tube ขนาด $153 \times 101 \times 4.5$ mm และ Steel tube ขนาด $101 \times 50 \times 4.5$ mm ผลการวิเคราะห์การกระจายของความเค้น (Stress Distribution) ภายในฐานรองรับโครงสร้างหลักจะเห็นได้ว่าการกระจายของความเค้นที่มีค่ามากนั้น คือ บริเวณจุดรองรับโครงสร้างชุดสายพานหลัก โดยบริเวณดังกล่าวนี้จะมีค่าของความเค้นมากที่สุดเท่ากับ 32.91 MPa และค่าต่ำสุดคือ 0.79 MPa ดังแสดงในรูปที่ 8



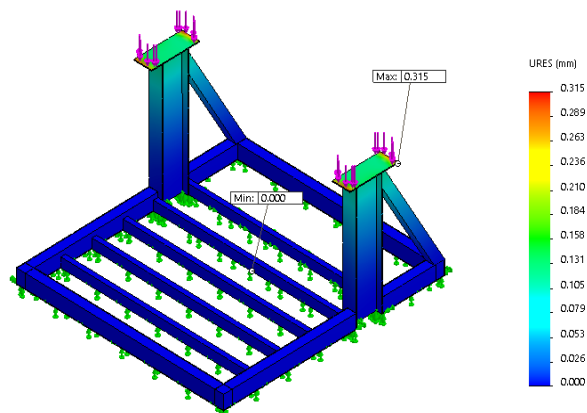
รูปที่ 8 ค่าความเค้นของฐานรองรับโครงสร้างหลัก

ผลการวิเคราะห์ค่าความเครียด (Strain) จากรูปที่ 9 จะสังเกตได้ว่าค่าความเครียดสูงสุดคือ 8.68×10^{-5} และต่ำสุดคือ 3.97×10^{-12} ซึ่งค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่บริเวณจุดรองรับโครงสร้างชุดสายพานหลัก เช่นเดียวกับความเค้น



รูปที่ 9 ค่าความเครียดของฐานรองรับโครงสร้างหลัก

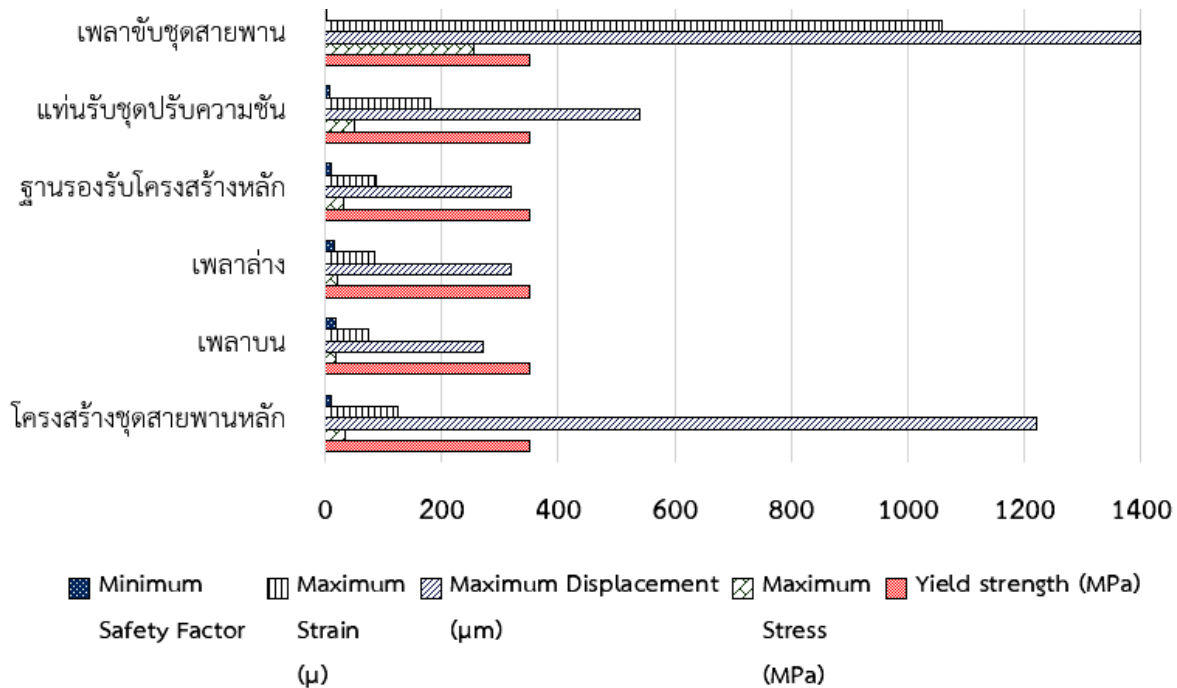
ผลการวิเคราะห์ระยะการเสียรูป (Displacement) ของฐานรองรับโครงสร้างหลัก จะพบว่ามีค่ามากที่สุดบริเวณจุดรองรับโครงสร้างชุดสายพานหลัก โดยมีระยะการเสียรูปเท่ากับ 0.32 mm ซึ่งถือได้ว่ามีค่าน้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 การเสียรูปของฐานรองรับโครงสร้างหลัก

ตารางที่ 3 สรุปผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของสถานีไต่หน้าผาจำลองกึ่งอัตโนมัติโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยวิธี Finite Element

Component	Material	Yield strength (MPa)	Maximum Stress (MPa)	Maximum Displacement (mm)	Maximum Strain (μ)	Minimum Safety Factor
โครงสร้างชุดสายพานหลัก	AISI 1020	351.57	35.55	1.22	125.00	9.89
เพลaban	AISI 1020	351.57	19.40	0.27	74.00	18.11
เพลาล่าง	AISI 1020	351.57	22.13	0.32	85.00	15.86
ฐานรองรับโครงสร้างหลัก	AISI 1020	351.57	32.91	0.32	86.80	10.68
แท่นรับชุดปรับความชัน	AISI 1020	351.57	51.11	0.54	180.00	6.87
เพลาชับชุดสายพาน	AISI 1020	351.57	253.86	1.40	1059.00	1.40



รูปที่ 11 แสดงค่าต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์

3.2 ผลการสร้างต้นแบบจากการวิเคราะห์

เมื่อนำผลจากการออกแบบและวิเคราะห์มาสร้างจริง พบว่าโครงสร้างทั้งหมดมีความแข็งแรง ไม่เกิดความเสียหาย มีความเหมาะสมในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพภายใต้ขอบเขตที่ได้กำหนดไว้ ดังรูปที่ 12 ได้แสดงต้นแบบสถานีฝึกไต่หน้าผาจำลองกึ่งอัตโนมัติ



รูปที่ 12 ต้นแบบของสถานีฝึกไต่หน้าผาจำลอง

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายการออกแบบกลไกและวิเคราะห์โครงสร้างสถานีฝึกไต่หน้าผาจำลองกึ่งอัตโนมัติสำหรับกีฬาไต่หน้าผาจำลองในประเทศไทย เพื่อใช้ฝึกทักษะนักกีฬาไต่หน้าผาหรือผู้ที่สนใจการออกกำลังกาย เครื่องต้นแบบสามารถปรับองศาความชันได้ เพื่อให้มีลักษณะใกล้เคียงกับหน้าผาของจริงที่มีความชันแตกต่างกันไป การวิเคราะห์แบบจำลองอยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนด โดยมีชิ้นส่วนหลักที่นำมาวิเคราะห์คือ โครงสร้างชุดสายพานหลัก, เพลาบน, เพลาล่าง, ฐานรองรับโครงสร้างหลัก, แท่นรับชุดปรับความชื้นและเพลาขับชุดสายพาน โดยผลการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็นหัวข้อใหญ่ๆ คือ ค่าความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) ระยะการเสียรูป (Displacement) และค่าความปลอดภัย (Safety Factor) จากการวิเคราะห์พบว่าเกิดค่าความเค้นสูงสุดเกิดขึ้นที่เพลาขับชุดสายพาน มีค่าเท่ากับ 253.86 MPa ค่าความเครียดสูงสุดเกิดขึ้นที่เพลาขับชุดสายพาน มีค่าเท่ากับ 1059×10^{-6} ค่าระยะการเสียรูปสูงสุดเกิดขึ้นที่เพลาขับชุด



สายพาน มีค่าเท่ากับ 1.40 mm และค่าความปลอดภัยต่ำสุดเกิดขึ้นที่เพลาขับเคลื่อนสายพาน มีค่าเท่ากับ 1.40 ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าเพลาขับเคลื่อนสายพานเป็นชิ้นส่วนที่ต้องให้ความสนใจในผลอย่างมาก ผลจากการออกแบบและวิเคราะห์สามารถนำมาสร้างสถานีฝึกไต่หน้าผาจำลองกึ่งอัตโนมัติได้จริง โครงสร้างทั้งหมดมีความแข็งแรง ไม่เกิดความเสียหาย มีความเหมาะสมในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้ได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2559 ตามสัญญาเลขที่ 090/2559

6. เอกสารอ้างอิง

[1]http://board.trekkingthai.com/board/show.php?forum_id=36&topic_no=61246&topic_id=61650 (2006), access on 15/02/2017.

[2]http://adventure.tourismthailand.org/rock_climbing.php (2012), access on 12/02/2017.

[3]<http://climbing.about.com/od/climbingtechniques/tp/4-Tips-to-Climb-Hard-Slab-Routes.htm> (2015), access on 11/04/2017.

[4]<http://andylibrande.com/homeclimbingwall/> 2014/01/choosing-climbing-wall-angles (2014), access on 10/01/2017.

[5]<http://www.tusports.net/Climb001.html> (2013), access on 5/01/2017.

[6] Clarence E. Saylor, 1974, "ROPE CLIMBING MACHINE", U.S.A. Patent No.3782718, January 1.

[7] Richard D. Charnitski, 1991, "CLIMBING EXERCISE MACHINE", U.S.A. Patent No.5040785, August 20.

[8] Eric R. Ulner and Alan B. Carrier, 1992, "CLIMBING SYSTEM", U.S.A. Patent No.5092587, March 3.

[9] George Brewer, 1992, "SIMULATED CLIMBING WALL", U.S.A. Patent No.5125877, January 30.

[10] Donald Robinson, 1993, "CLIMBING EQUIPMENT", U.S.A. Patent No.5256116, October 26.

[11] Minoru Yoshida; Kazuyuki Shiomi and Seiji Hocchi, 2003, "MOVABLE ARTIFICIAL WALL AND FREE CLIMBING APPARATUS", U.S.A. Patent No.6544145 B2, April 8.

[12] Yu Feng Wu, 2005, "ROCK CLIMBING EXERCISE FOR INDOOR USE", U.S.A. Patent No.6860836, March 1.

[13] Nathan B. Postma and Kevin E. Cieszkowski, 2006, "WALL-CLIMBING ACCESSORY", U.S.A. Patent No.0116244 A1, June 1.

[14] Yu Feng Wu, 2007, "ROCK CLIMBING APPARATUS", U.S.A. Patent No.7195582, March 27

[15] Yu Feng Wu, 2010, "ROTATABLE ROCK CLIMBING PRACTICE DEVICE", U.S.A. Patent No.2010/0016126, January 21

[16] Terry D. McCall, 2010, "ROCK CLIMBING SIMULATOR APPARATUS", U.S.A. Patent No.7727118, June 1.

[17] A.J.G. Nuttall and G. Lodewijks, 2006, "Traction versus slip in a wheel-driven belt conveyor", Mechanism and Machine Theory, Volume 41, Issue 11, Pages 1336-1345, March 2.



- [18] M. Sujata; M.A. Venkataswamy; M.A. Parameswara and S.K. Bhaumik, 2006, "Failure analysis of conveyor chain links", Engineering Failure Analysis, Volume 13, Issue 6, Pages 914-924, September 2.
- [19] Dariusz Mazurkiewicz, 2008, "Analysis of the ageing impact on the strength of the adhesive sealed joints of conveyor belts", Journal of Materials Processing Technology, Volume 208, Issue 1-3, Pages 477-485, January 18.
- [20] Lihua ZHAO and Yin LIN, 2011, "Typical failure analysis and processing of belt conveyor", Procedia Engineering, Volume 26, Pages 942-946, December 30.
- [21] Xiaolun Liu; Wencheng Wang; Wei Sun; Tiansong Wu; Jiajun Liu and Jianfang Liu, 2012, "Design and Experimental Analyse of Low Noise Double-Pitch Silent Chain for Conveyor", Procedia Engineering, Volume 29, Pages 2146-2150, February 15.
- [22] Gabriel Fedorko and Vladimir Ivanco, 2012, "Analysis of Force Ratios in Conveyor Belt of Classic Belt Conveyor", Procedia Engineering, Volume 48, Pages 123-128, November 2.
- [23] Gys van Zyl and Abdulmohsin Al-Sahli, 2013, "Failure analysis of conveyor pulley shaft", Case Studies in Engineering Failure Analysis, Volume 1, Issue 2, Pages 144-155, April 29.
- [24] Shirong Zhang and Xiaohua Xia, 2010, "Optimal control of operation efficiency of belt conveyor systems", Applied Energy, Volume 87, Issue 6, Pages 1929-1937, February 9.
- [25] Hou Youfu; Xie Fangwei and Huang Fei, 2011, "Control strategy of disc braking systems for downward belt conveyors", Mining Science and Technology (China), Volume 21, Issue 4, Pages 491-494, July 13.
- [26] Rong Li; Jing Luo; Chun-geng Sun and Sen Liu, 2012, "Analysis of Electro-hydraulic Proportional Speed Control System on Conveyor", Procedia Engineering, Volume 31, Pages 1185-1193, February 18.
- [27] วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ รศ.ชาญ ญัตติงาน, การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1, 2 (2556), ซีเอ็ดดูเคชั่น กรุงเทพฯ.