SWU Engineering Journal (2015) 10(2), 1-8
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 10 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม–ธันวาคม พ.ศ.2558

การออกแบบและพัฒนาตัวจับยึดบนหน้าผาจำลอง สำหรับกีฬาไต่หน้าผาในประเทศไทย

Design and Development of Place Holder on Rock Climbing Wall for Sport Climbing in Thailand

นิตต์อลิน พันธุ์อภัย* ธีรภัทร หลิ่มบุญเรือง
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ นครนายก 26120
*Corresponding author: Email: nittalin@g.swu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบตัวจับยึด (Holds) บนหน้าผาจำลองที่ผลิตขึ้นมาจากวัสดุที่หาได้ภายในประเทศ โดยใช้วัสดุเรซิ่น (Polycarbonate Resin, PC) สำหรับการออกแบบ วิเคราะห์และการสร้างต้นแบบ ตัวจับยึดต้องสามารถรับภาระโหลดตามทิศทางที่เป็นมาตรฐานได้ไม่น้อยกว่า 150 กิโลกรัม โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการศึกษาวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรม SolidWorks Simulation โดยพิจารณาหาค่าความเค้น (Stress) การเสียรูป (Deformation) และค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ของตัวจับยึด

ผลการทดสอบสรุปได้ว่า วัสดุที่ใช้ตัวจับยึดเป็นหลักคือเรซิ่น (Polycarbonate Resin, PC) และใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นส่วนประกอบเพื่อเสริมความแข็งแรง โดยมีอัตราส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตต่อเรซิ่น 100% เท่ากับ 2.679% ตัวจับยึดต้นแบบทั้ง 4 รูปแบบ มีค่าความปลอดภัยไม่น้อยกว่า 1.5 สามารถรับภาระตามแนวที่กำหนดเป็นมาตรฐานได้สูงสุด 180 กิโลกรัม โดยตัวจับยึดไม่เกิดการเสียรูปและเสียหาย ซึ่งวิธีการวิเคราะห์และผลของการออกแบบนี้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาเพื่อออกแบบและสร้างตัวจับยึดในลักษณะอื่นๆ และสามารถพัฒนาเป็นมาตรฐานตัวจับยึดสำหรับกีฬาไต่หน้าผาจำลองในประเทศไทยได้

คำสำคัญ: ตัวจับยึดบนหน้าผาจำลอง ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ กีฬาไต่หน้าผา

ABSTRACT

The aim of this research is to design of climbing holds for climbing wall plans which produced by cheap local material and easy to molding. Polycarbonate Resin (PC) and Calcium carbonate ($CaCO_3$) are used for designing, analyzing and shaping in order to create prototypes. The holds have to be able to carry on standard direction loads which are not less than 150 kg. SolidWorks Simulation program and the finite element method are applied to calculate stress, strain and safety factor of the prototypes.

From the result of the research, the main materials are Polycarbonate Resin (PC) and use calcium carbonate ($CaCO_3$) for supporting model strengths and the ratio between Polycarbonate Resin and calcium carbonate is 100: 2.679. Safety factor of 4 hold models are more than 1.5 and can handle the maximum load 180 kg that been in accomplish of the designing. The analysis and result of the designing can be developed for the other models and the standard of climbing holds for climbing sport in Thailand.

Keyword: Holder, Finite Element method, Climbing Sport

1. บทนำ

กีฬาไต่หน้าผา (Sport Rock Climbing) โดยทั่วไปแล้วมักจะปีนไปตามหน้าผาที่ค่อนข้างสูงหรือลาดชัน ซึ่งในปัจจุบันเป็นกิจกรรมที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในต่างประเทศทั้งในแถบยุโรปและอเมริกา [1] มีการทำเส้นทางการไต่ตามหน้าผา มีการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับการเล่นกีฬาชนิดนี้ กีฬาไต่หน้าผาจึงได้เริ่มเป็นที่นิยมมากขึ้นและได้แพร่หลายไปทั่วโลก [2, 3, 4, 5, 6] แต่เนื่องด้วยกีฬาชนิดนี้ต้องอาศัยพื้นที่ทางธรรมชาติในการทำกิจกรรม จึงทำให้ในปัจจุบันได้มีการสร้างหน้าผาจำลองตามสถานที่ต่างๆ ถึงในเมืองเพื่อความง่ายต่อการเล่นกีฬาชนิดนี้

สำหรับประเทศไทยนั้นได้มีการพัฒนาของกีฬาชนิดนี้อย่างต่อเนื่องและเป็นที่แพร่หลายมากขึ้น แต่ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการเล่นกีฬาชนิดนี้ยังต้องอาศัยการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ เช่น หน้าผาจำลอง ตัวจับยึด (Holds) เป็นต้น ซึ่งทำให้สูญเสียเงินตราไปสู่ต่างประเทศมากมาย จากที่กล่าวมาตัวจับยึด เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากเป็นอันดับต้นๆ และทีมวิจัยเห็นถึงความสำคัญที่จะวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ดังกล่าวขึ้นใช้เองในประเทศไทย ซึ่งในประเทศไทยนั้นอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์การกีฬาชนิดนี้มีอยู่อย่างจำกัดและให้เป็นมาตรฐานสำหรับการออกแบบตัวจับยึด สำหรับหน้าผาจำลองในประเทศไทยเพื่อลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศได้ ในขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัยจะกำหนดขอบเขตให้ใช้วัสดุเป็นเรซิ่น (Polycarbonate Resin, PC) สำหรับการวิเคราะห์ และสร้างต้นแบบตัวจับยึด ตัวจับยึดที่ออกแบบต้องสามารถรับภาระตามแนวที่กำหนดเป็นมาตรฐานได้สูงสุด 150 กิโลกรัม จากขอบเขตดังกล่าวจะนำมาวิเคราะห์หาค่าความเค้น (Stress) การเสียรูป (Deformation) และค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ของตัวจับยึด

จากที่กล่าวมาข้างต้นตัวจับยึดเป็นอุปกรณ์มีความสำคัญมากเป็นอันดับต้นๆ และทางทีมวิจัยเห็นถึงความสำคัญที่น่าจะวิจัยและพัฒนาอุปกรณ์ดังกล่าวขึ้นใช้เองในประเทศไทย ซึ่งในประเทศไทยนั้นอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์การกีฬาชนิดนี้มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงได้จัดทำโครงการวิจัยและพัฒนาตัวจับยึด สำหรับหน้าผาจำลองขึ้นใช้เองในประเทศไทยสำหรับกีฬาไต่หน้าผาให้เป็นมาตรฐานการออกแบบตัวจับยึด สำหรับหน้าผาจำลองในประเทศไทยและสามารถลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศได้

2. ขั้นตอนและการดำเนินงานวิจัย

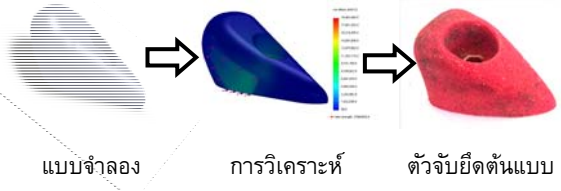
2.1 การคำนวณและการออกแบบ

ในการคำนวณและออกแบบตัวจับยึด (Holds) นั้น จะออกแบบให้มีลักษณะตรงกับมาตรฐานการใช้งานทั่วๆ ไป และสร้างชุดหน้าผาจำลองเพื่อใช้ในการทดสอบตัวจับยึด จะมีการออกแบบวิธีการจับวัสดุที่จะใช้ การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเมื่อขึ้นรูปแล้ว ว่าเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ ในทิศทางตามรูปแบบมาตรฐานการจับยึดของกีฬาไต่หน้าผา

ตารางที่ 1 ลักษณะการจับยึดในกีฬาปีนหน้าผาจำลอง

ลำดับ	ภาพของการจับ	ชื่อเรียกของการจับ
1.		Jug
2.		Flatties
3.		Crimps
4.		Slopers
5.		Pinches
6.		Pocket

ในขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัยจะเริ่มจากออกแบบตัวจับยึดในโปรแกรม SolidWorks จากนั้นจึงวิเคราะห์ต้นแบบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมแล้วจึงนำต้นแบบไปสร้างต้นแบบตัวจับยึดต่อไป ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินการออกแบบตัวจับยึด

โดยกำหนดรูปแบบของตัวจับยึดที่ใช้ในการวิเคราะห์ เป็นรูปแบบต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 2 รูปแบบของตัวจับยึดที่ใช้ในการวิเคราะห์

แบบที่	รูปแบบ	แบบที่	รูปแบบ
1		3	
2		4	

2.2 การหาค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ [7, 8]

โดยวิเคราะห์จากคุณสมบัติวัสดุของเรซิ่นที่ใช้เป็นวัสดุในการหล่อตัวจับยึด (Holds) ทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ ส่วนผสมของเรซิ่น และใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นส่วนประกอบเพื่อเสริมความแข็งแรง ในสูตรส่วนผสมที่ต่างกัน เพื่อหาค่าความเค้นที่จุดคราก (Yield strength) และค่ายังโมดูลัส (Young's modulus) ที่เหมาะสมที่สุด มาใช้ในการออกแบบ

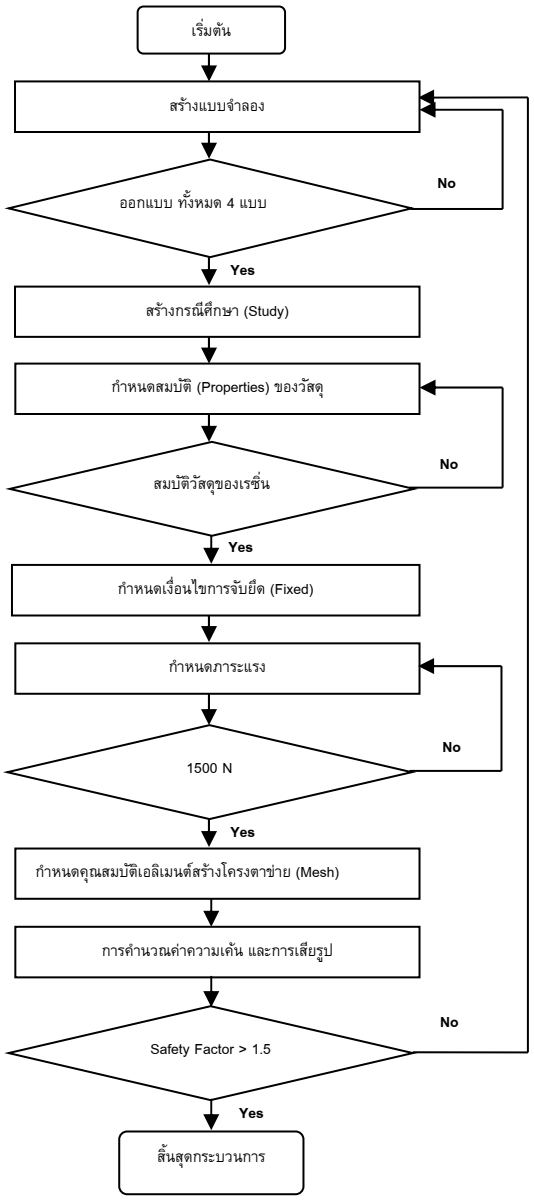
ตารางที่ 3 อัตราส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตต่อเรซิ่น 100% ของชิ้นงานทดสอบ

ลำดับ	ชิ้นทดสอบ	% $CaCO_3$
1		0.644
2		1.170
3		1.605
ลำดับ	ชิ้นทดสอบ	% $CaCO_3$
4		2.106
5		2.679

2.3 ขั้นตอนการดำเนินการวิเคราะห์ [9]

ในการคำนวณและออกแบบตัวจับยึด (Holds) นั้น จะทำการวิเคราะห์ค่าความเค้น ความเครียด การเสียรูปและค่าความปลอดภัย ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม SolidWorks Simulation และกำหนดให้มีภาระที่มากระทำที่ตัวจับยึดไม่ต่ำกว่า 150 กิโลกรัม ในทิศทางตามรูปแบบมาตรฐานการจับยึดของกีฬาไต่หน้าผา

ขั้นตอนของการดำเนินงานวิเคราะห์หาค่าความเค้น การเสียรูป และค่าความปลอดภัยของตัวจับยึด จะมีขั้นตอนหลักๆ ดังนี้



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิเคราะห์

ซึ่งผลการวิเคราะห์จะแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อใหญ่คือ ค่าความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) การเสียรูป (Displacement) และค่าความปลอดภัย (Safety Factor) โดยพิจารณาจากค่าความปลอดภัย ที่

กำหนดให้มีค่าความปลอดภัยเทียบกับค่าความเค้นที่จุดคราก (Yield strength) ต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1.5

2.4 ขั้นตอนการสร้างชิ้นงานทดสอบ

เมื่อได้ผลการวิเคราะห์แล้ว จึงนำผลการวิเคราะห์มาสร้างตัวจับยึดต้นแบบโดยใช้วัสดุหลักคือเรซิ่น(Polycarbonate Resin, PC) และใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นส่วนประกอบเพื่อเสริมความแข็งแรง โดยมีขั้นตอนการสร้างแบบหล่อตัวจับยึดและตัวจับยึดต้นแบบเพื่อใช้ในการทดสอบจริงดังนี้

ตารางที่ 4 แสดงขั้นตอนการสร้างแบบหล่อตัวจับยึด

ขั้นตอน	รูปแสดงขั้นตอน	วิธีการทำ
1		ตัดแบ่งโฟมตามขนาดและรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้ตามตารางที่ 2
2		ทำการขัดให้พื้นผิวของแบบโฟมมีความเรียบ
3		เจาะรูแบบโฟม ให้มีเส้นผ่านศูนย์ กลางเท่ากับน็อตที่ใช้ยึดตัวจับยึดต้นแบบกับผนัง
4		ตัดฟิวเจอร์บอร์ดให้ใหญ่กว่าแบบโฟมเล็กน้อย เพื่อใช้สำหรับการหล่อชิ้นงาน
5		เทซิลิโคนลงในแบบเพื่อทำแบบหล่อต้นแบบตัวจับยึดและปล่อยไว้จนแห้ง
6		แกะฟิวเจอร์บอร์ดและโฟมออกจากซิลิโคน จะได้แบบหล่อที่มีลักษณะแบบและพื้นผิวตามที่ออกแบบไว้

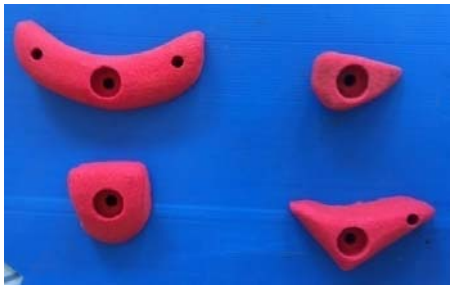
ตารางที่ 5 แสดงขั้นตอนการสร้างตัวจับยึด

ขั้นตอน	รูปแสดงขั้นตอน	วิธีการทำ
1		นำเรซิ่น ปริมาณ 1000 ml ผสมกับสี คนจนกว่าสีและเรซิ่นจะเป็นเนื้อเดียวกัน
2		ทำการผสมแคลเซียม เรซิ่นและตัวเร่งปฏิกิริยาในอัตราส่วนที่กำหนด คนจนกว่าจะเป็นเนื้อเดียวกัน
3		นำส่วนผสมทั้งหมดเทลงในยังแบบหล่อ (Mold) ที่เตรียมเอาไว้
4		เมื่อส่วนผสมแห้งดีแล้วจึงจะสามารถนำตัวจับยึด (Holds) ที่หล่อไว้ออกมาจากแบบหล่อ จะได้ตัวจับยึดที่ใช้สำหรับทดลอง

2.5 อุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ทำการทดสอบคือ ต้นแบบตัวจับยึดที่สร้างขึ้นจากผลการวิเคราะห์โดยนำไปติดตั้งไว้ที่หน้าผาจำลอง และน้ำหนักทดสอบที่ใช้ในการทดสอบความแข็งแรงของต้นแบบตัวจับยึด

โดยวิธีการทดสอบจะเริ่มจากติดตั้งต้นแบบตัวจับยึดกับหน้าผาจำลอง จากนั้นนำน้ำหนักทดสอบมาถ่วงกับตัวจับยึดตามทิศทางต่างๆ ที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานของตัวจับยึด และเพิ่มค่าน้ำหนักขึ้นจนถึงค่าที่กำหนดไว้ และสังเกตพฤติกรรมของต้นแบบตัวจับยึด

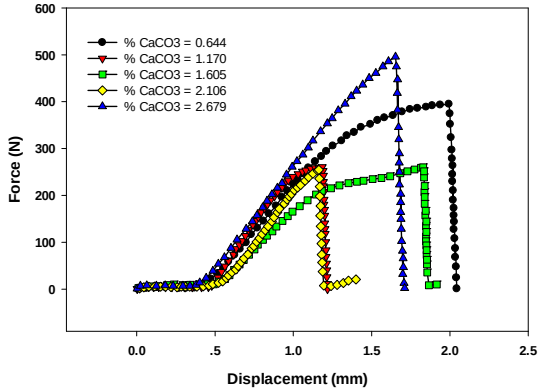


รูปที่ 3 รูปแบบของตัวจับยึดที่ใช้ในการทดสอบ

3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ผลการหาค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ [10, 11, 12]

ผลการทดสอบหาค่าคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ส่วนผสมของเรซิ่น (Polycarbonate Resin, PC) และใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นส่วนประกอบเพื่อเสริมความแข็งแรงในส่วนผสมที่ต่างกันและนำมาสร้างเป็นชิ้นงานทดสอบตามมาตรฐาน ASTM Type IV[B] แบบละ 3 ชิ้นและนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยได้ค่าของแรงดึงต่อระยะยืดตัวของเรซิ่นผสมแคลเซียมคาร์บอเนต ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับระยะยืดตัวของเรซิ่นผสมแคลเซียมคาร์บอเนต

จากกราฟแสดงค่าระยะยืดของต้นแบบเทียบกับแรงที่มากระทำ เลือกค่าเปอร์เซ็นต์ของแคลเซียมคาร์บอเนต ที่ 2.679 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ต้นแบบตัวจับยึดรับแรงได้มากที่สุด และระยะยืดก็ไม่มากหรือน้อยจนเกินไป นำค่าแรงและระยะยืดมาคำนวณหาค่าความเค้นที่จุดคราก ได้เท่ากับ 37.86 MPa และค่ายังโมดูลัส ได้เท่ากับ 546.82 MPa และนำค่าไปกำหนดในคุณสมบัติของวัสดุในโปรแกรมต่อไป

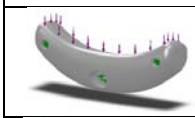
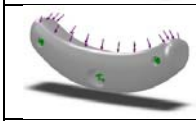
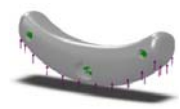
3.2 ผลการวิเคราะห์และออกแบบตัวจับยึด

ผลการวิเคราะห์และออกแบบตัวจับยึด (Holds) โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยโปรแกรม SolidWorks Simulation โดยกำหนดให้มีภาระที่มากระทำที่ตัวจับยึดไม่ต่ำกว่า 150 กิโลกรัม ในทิศทางตามรูปแบบมาตรฐานการจับยึดของกีฬาไต่หน้าผา ซึ่งผลการวิเคราะห์จะพิจารณาถึงค่าหลักๆ 3 ค่า คือ ค่าความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) การเสียรูป (Displacement) และค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ของตัวจับยึดรูปแบบต่างๆ ที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ ตามตารางที่ 6-9

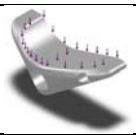
ตารางที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวจับยึดรูปแบบที่ 1

รูปแบบการรับแรง	Maximum Stress (MPa)	Displacement (mm)	Safety Factor
	17.25	0.1205	2.19
	15.18	0.0898	2.49
	19.46	0.1377	1.95

ตารางที่ 7 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวจับยึดรูปแบบที่ 2

รูปแบบการรับแรง	Maximum Stress (MPa)	Displacement (mm)	Safety Factor
	3.65	0.0138	10.36
	8.06	0.0335	4.69
	3.60	0.0105	10.51

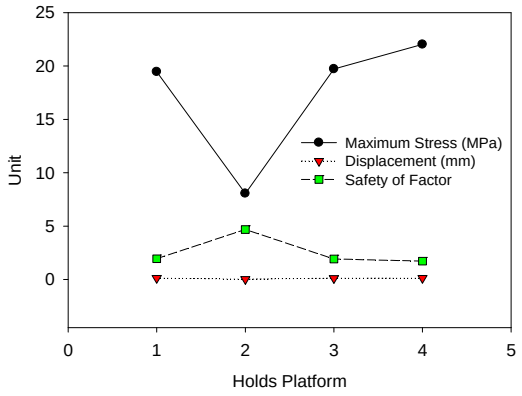
ตารางที่ 8 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวจับยึดรูปแบบที่ 3

รูปแบบการรับแรง	Maximum Stress (MPa)	Displacement (mm)	Safety Factor
	19.72	0.1293	1.92
	15.32	0.4913	2.47
	10.45	0.0561	3.62

ตารางที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ตัวจับยึดรูปแบบที่ 4

รูปแบบการรับแรง	Maximum Stress (MPa)	Displacement (mm)	Safety Factor
	9.12	0.0320	4.12
	22.02	0.1312	1.72
	8.27	0.0434	4.58

จากตารางที่ 6-9 พิจารณาค่าความเค้นสูงสุดในแต่ละรูปแบบของตัวจับยึดมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ กับรูปแบบของตัวจับยึดดังรูปที่ 5

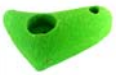


รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ กับรูปแบบของตัวจับยึด

3.3 ผลการสร้างตัวจับยึดต้นแบบ

เมื่อได้ผลการวิเคราะห์ค่าต่างๆ แล้ว ทำการสร้างตัวจับยึดต้นแบบตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยผลแสดงตามตารางที่ 10

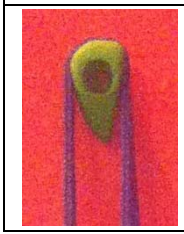
ตารางที่ 10 แสดงผลการสร้างตัวจับยึดต้นแบบ

รูปแบบที่	แบบจำลองที่ออกแบบ	ตัวจับยึดต้นแบบ
1		
2		
3		
4		

3.4 ผลการทดสอบตัวจับยึดต้นแบบ

ทดสอบโดยติดตั้งต้นแบบตัวจับยึดกับหน้าผาจำลอง และนำน้ำหนักทดสอบมาถ่วงกับตัวจับยึดตามทิศทางต่างๆ ที่กำหนดไว้ โดยผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 11 และ12

ตารางที่ 11 แสดงการทดสอบคุณภาพของตัวจับยึด

ตัวจับยึด	น้ำหนักทดสอบ (kg)		
	100	140	180
			

ตารางที่ 12 แสดงผลการทดสอบของตัวจับยึด

รูปแบบตัวจับยึด	น้ำหนักทดสอบ (kg)		
	100	140	180
	✓	✓	✓
	✓	✓	✓
	✓	✓	✓
	✓	✓	✓

3.5 ต้นทุนการสร้างตัวจับยึดต้นแบบ

สามารถคำนวณราคาของตัวจับยึดต้นแบบแต่ละแบบ โดยคิดจากปริมาณของเรซิ่นและแคลเซียมคาร์บอเนต [13] ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 8 – 26 บาท ตามรูปแบบของตัวจับยึด ตามตารางที่ 13 ซึ่งเป็นต้นทุนที่มีราคาที่ถูกมากเมื่อเทียบกับตัวจับยึดที่มีการนำเข้ามาจากต่างประเทศ ที่มีราคาต่อชิ้นไม่ต่ำกว่า 150 บาท [14]

ตารางที่ 13 ต้นทุนราคาของตัวจับยึดทั้ง 4 แบบ

รูปแบบตัวจับยึด	ปริมาตร (cm^3)	ราคา (บาท)
	38	8
	120	26
	60	14
	78	16

3.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองเมื่อนำต้นแบบตัวจับยึดมาติดตั้งกับหน้าผาจำลอง และนำน้ำหนักทดสอบมาถ่วงกับตามทิศทางต่างๆ ที่กำหนดไว้ โดยใช้ค่าคุณสมบัติของตัวจับยึดที่ทำจากวัสดุเรซิ่น (PC) ผสมด้วยผงแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) 2.679% จากการทดสอบหาค่าคุณสมบัติจะได้ค่าความเค้นที่จุดคราก (Yield strength) ของวัสดุได้เท่ากับ 37.86 MPa และค่ายังโมดูลัส (Young's modulus) ได้เท่ากับ 546.82 MPa และเมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SolidWorks Simulation โดยมีเงื่อนไขคือ ภาระที่มากระทำกำหนดให้เท่ากับ 150 kg ≈ 1500 N มากระทำที่ต้นแบบตัวจับยึด ตามทิศทางต่างๆ ที่กำหนด พบว่าตัวจับยึดทุกแบบสามารถทนภาระที่มากระทำได้โดยมีค่าความเค้นสูงสุดไม่เกินค่าความเค้นที่จุดครากของวัสดุ และทุกแบบมีค่าความปลอดภัยมากกว่า 1.5 โดยในแบบที่ 4 มีค่าความเค้นสูงสุดเท่ากับ 22.02 MPa และในแบบที่ 2 มีค่าความเค้นต่ำสุดเกิดเท่ากับ 8.06 MPa ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าโดยตัวจับยึดทุกแบบจะเกิดค่าความเค้นสูงสุดที่บริเวณรูยึดของต้นแบบตัวจับยึด

จากรูปที่ 5 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆ กับรูปแบบของตัวจับยึด พบว่าค่าความเค้นจะแปรผกผันกับค่าความปลอดภัย ซึ่งตัวจับยึดแบบที่ 2 จะเกิดค่าความเค้นต่ำที่สุดเท่ากับ 8.06 MPa แต่จะให้ค่าความปลอดภัยสูงสุดเท่ากับ 4.69 และตัวจับยึดแบบที่ 4 จะเกิดค่าความเค้นสูงที่สุดเท่ากับ 22.02 MPa แต่จะให้ค่าความปลอดภัยต่ำสุดเท่ากับ 1.72 ส่วนค่าการเสียรูปทั้ง 4 แบบ มีค่าไม่เกิน 1 mm

เมื่อนำผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม SolidWorks Simulation มาสร้างชิ้นงานต้นแบบพบว่าต้นแบบตัวจับยึดทั้ง 4 แบบ สามารถทนภาระทดสอบได้สูงสุด 180 kg ตามที่ออกแบบไว้โดยไม่เกิดการเสียหาย ซึ่งเมื่อนำราคาต้นทุนการผลิตชิ้นงานต้นแบบมาเปรียบเทียบกับราคาชิ้นงานที่สั่งซื้อจากต่างประเทศจะพบว่าราคาชิ้นงานที่ผลิตขึ้นเองมีราคาถูกกว่าที่สั่งซื้อจากต่างประเทศหลายเท่าตัว

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบตัวจับยึด (Holds) บนหน้าผาจำลองที่ผลิตขึ้นมาจากวัสดุที่หาได้ภายในประเทศ เพื่อเป็นการลดการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศและเป็นการสร้างองค์ความรู้เพื่อพัฒนาและต่อยอดเทคโนโลยีทางการกีฬาขึ้นใช้เองในประเทศไทย โดยเลือกใช้วัสดุเป็นเรซิ่น (Polycarbonate Resin, PC) สำหรับการออกแบบวิเคราะห์และการสร้างต้นแบบ ตัวจับยึดต้องสามารถรับภาระโหลดตามทิศทางที่เป็นมาตรฐานได้ไม่น้อยกว่า 150 กิโลกรัม โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการศึกษาวิเคราะห์ ด้วยโปรแกรม SolidWorks Simulation โดยพิจารณาหาค่าความเค้น (Stress) การเสียรูป (Deformation) และค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ของตัวจับยึด

ผลการทดสอบสรุปได้ว่า วัสดุที่ใช้ตัวจับยึดเป็นหลักคือเรซิ่น (Polycarbonate Resin, PC) และใช้แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นส่วนประกอบเพื่อเสริมความแข็งแรง โดยมีอัตราส่วนแคลเซียมคาร์บอเนตต่อเรซิ่น 100% เท่ากับ 2.679% ตัวจับยึดต้นแบบทั้ง 4 รูปแบบ มีค่าความปลอดภัยไม่น้อยกว่า 1.5 สามารถรับภาระตามแนวที่กำหนดเป็นมาตรฐานได้สูงสุด 180 กิโลกรัม โดยไม่เกิดการเสียรูปและเสียหาย และราคาในการผลิตถูกกว่าการนำเข้าจากต่างประเทศไม่ต่ำกว่า 5 เท่า ซึ่งวิธีการวิเคราะห์และผลของการออกแบบนี้สามารถนำไปใช้ในการพัฒนาเพื่อออกแบบและสร้างตัวจับยึดในลักษณะอื่นๆ และสามารถพัฒนาเป็นมาตรฐานตัวจับยึดสำหรับกีฬาไต่หน้าผาจำลองในประเทศไทยได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ได้ให้การสนับสนุนเงินทุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2557 ตามสัญญาเลขที่ 352/2557 ตลอดจนเจ้าหน้าที่ฝ่ายวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และได้ให้คำแนะนำในการจัดทำงานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ นายภรัณยู ลิ้มทวีโชค และนายนรวีร์ ทองดอนแอ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่เอื้อเฟื้อในการเก็บข้อมูลในการทดลอง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] http://dvice.com/archives/2009/01/the-climbstatio.php, (2014, Sep. 25).

[2] Davis H.E., Troxell G.E., Hauck G.F.W., “The testing of engineering materials,” McGraw-Hill, Japan, 1982.

[3] Donald Robinson, 1993, “CLIMBING EQUIPMENT”, U.S.A. Patent No.5256116, (2014, Oct. 26).

[4] Eric R. Ulner and Alan B. Carrier, 1992, “CLIMBING SYSTEM”, U.S.A. Patent No.5092587, (2014, Mar. 3).

[5] Nathan B. Postma and Kevin E. Cieszkowski, 2006, “WALL-CLIMBING ACCESSORY”, U.S.A. Patent No.0116244 A1, (2014, Jun. 1).

[6] Minoru Yoshida; Kazuyuki Shiomi and Seiji Hocchi, 2003, “MOVABLE ARTIFICIAL WALL AND FREE CLIMBING APPARATUS”, U.S.A. Patent No.6544145 B2, (2014, Apr. 8).

[7] W.D. Callister, Jr., “Materials Science and Engineering: An Introduction,” John Wiley & Son, Inc., New York, 1997.

[8] W.F. Smith, “Foundations of Materials Science and Engineering,” McGraw-Hill, New York, 1990.

[9] ปราโมทย์ เดชะอำไพ, *ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม*, พิมพ์ครั้งที่ 6, กรุงเทพฯ: วีพริ้นท์, (2552).

[10] จินตมัย สุวรรณประทีป, *การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก*, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี, (2547).

[11] มานพ ตันตระบัณฑิตย์, *วัสดุวิศวกรรม*, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น), (2539).

[12] เอกสารมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) ของผลิตภัณฑ์ และการทดสอบ.

[13] http://www.resin-thai.com, (2014, Sep. 25).

[14] http://www.threeballclimbing.com, (2014, Sep. 25).