การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการทนแรงบิดสำหรับทดสอบแท่งคอนกรีตผสมโฟมเสริมเหล็ก

Design and fabrication of torsion testing machine for reinforced foam concrete

กรีฑา สมเกียรติกุล[1] วุฒิกรณ์ จริยตันติเวทย์[2] ชูตระกูล ศิริไพบูลย์[3*]

Kreetha Somkeattikul[1] Wuttikon Jariyatontivait[2] Chootrakul Siripaiboon[3*]

[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิศวกรรมการผลิตยานยนต์ สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์ ตำบลบางตลาด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120

[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสยาม แขวงบางหว้า เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160

[3]สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แขนงวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ตำบลบางพูด อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120

[1]Department of Automotive Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Panyapiwat Institute of Management, Nonthaburi 11120, Thailand

[2]Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Siam University, Bangkok 10160, Thailand

[3]Department of Industrial Technology, School of Science and Technology, Sukhothai Thammathirat Open University, Nonthaburi 11120, Thailand

[*]ผู้รับผิดชอบบทความ: Chootrakulsiripaiboon@gmail.com เบอร์โทรศัพท์ 08-6404-6063

Received: 18 March 2023, Revised: 21 September 2023, Accepted: 19 December 2023

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อการออกแบบสร้างเครื่องทดสอบการทนแรงบิด เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้วัสดุที่มีการผสมด้วยคอนกรีตรับแรงที่เกิดจากแรงบิดมากขึ้น โดยใช้หลักการจากแรงบิดจากมอเตอร์ที่มีเกียร์ทดส่งผ่านไปยังชุดเฟืองโซ่ แล้วใช้โหลดเซลล์วัดแรงที่เกิดขึ้นจากแรงดึงของโซ่สามารถใช้งานได้ จากการสอบเทียบกับชิ้นงานมาตรฐานที่มีค่าคุณสมบัติในการรับแรงบิด ซึ่งจากการทดลองได้ค่าทนแรงบิดทั้งสามชิ้นในช่วง 75-100 นิวตันเมตร และจะขาดออกจากกันหลังจากเกิดมุมบิดมากกว่า 35 องศา เมื่อนำมาใช้ในการบิดคอนกรีตผสมโฟมเสริมเหล็ก พบว่าลักษณะรอยแตกเป็นไปตามแรงที่เกิดขึ้นกับแนวแกน ซึ่งยืนยันในการเกิดแรงบิดกับวัสดุทดสอบได้ และยังสามารถหาค่าการทนแรงบิดเฉลี่ยของคอนกรีตผสมโฟมเสริมเหล็กตามสูตรที่เปลี่ยนความหนาแน่นประมาณ 600 700 และ 800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ได้ 13.05 22.67 และ 31.87 นิวตันเมตร ตามลำดับ และเครื่องทดสอบนี้สามารถใช้ในการหาคุณสมบัติการทนแรงบิดของวัสดุผสมอื่น ๆ เช่น คอนกรีตผสมไฟเบอร์ และคอนกรีตผสมไม้

คำสำคัญ: เครื่องทดสอบการทนแรงบิด คอนกรีต โฟม

Abstract

The objective of this research was to design and fabricate a torsion testing machine. Recently, there have been more applications of composite concrete materials for torsion. The torsion testing machine used the principle of torque from the motor with a gear ratio-reduced speed, which was then transmitted to the chain. The load cell was used to measure the force generated by the chain's tension. During calibration, the standard workpiece properties were compared to the experimental data of the new torsion testing machine, and the results showed that they were acceptable. From the experiments, the torsion resistance values of all three pieces were in the

range of 75-100 N·m, and they would break apart after the twisting angle exceeded 35 degrees. In the case of reinforced foam concrete, cracks were observed to appear along the axial direction, confirming torsion. The average torsional resistance of reinforced foam concrete, calculated using formulas that adjusted the densities to approximately 600, 700, and 800 kg/m3, were found to be 13.05, 22.67, and 31.87 N·m, respectively. Furthermore, these findings can be helpful in determining the torsional resistance properties of other materials, such as fiber-concrete and wood-concrete.

Keywords: Torsion Testing Machine, Concrete, Foam

1. บทนำ

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาทางวิศวกรรม เนื่องจากวัสดุในปัจจุบันมีความหลากหลายมากขึ้น อาทิเช่น วัสดุผสม เมื่อมีการทำวัสดุผสมขึ้นชนิดใหม่จำเป็นต้องทดสอบค่าคุณสมบัติ เพื่อนำมาเปรียบเทียบข้อดีและข้อด้อยกับวัสดุชนิดอื่นก่อนจะนำวัสดุที่มาใช้จริง

ในการทดสอบค่าความแข็งแรงวัสดุของคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งในรูปแบบของการกดอัด การโก่ง มีเครื่องทดสอบที่มีใช้เป็นมาตรฐานในปัจจุบัน[1] เช่น เครื่องทดสอบแรงอัด (Compression Machine) และเครื่องทดสอบภายใต้แรงดัด (Flexural and Transverse Machine) ซึ่งเครื่องทดสอบทั่วไปนั้นมีแนวคิดพื้นฐานมาจากแรงที่เกิดจากการใช้งานจริงของวัสดุประเภทคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงทำให้มีค่าแรงบิด (Torsion) ของวัสดุประเภทคอนกรีตเสริมแรงเหล็กยังไม่เป็นปัจจัยที่มีความสนใจเมื่อเทียบกับวัสดุประเภทเพลาส่งกำลังที่มีเครื่องทดสอบมาตรฐานทั่วไป

ในปัจจุบันมีการนำวัสดุโฟมมาผสมกับคอนกรีตเสริมแรงเหล็ก[2] เพื่อทำให้คอนกรีตเสริมแรงสามารถลอยน้ำได้ ซึ่งมีประโยชน์ในการใช้งานในการรับแรงที่มากระทบจะบนผิวน้ำและให้ความเสถียรสำหรับพื้นที่ต้องการลอยบนผิวน้ำ เนื่องจากแรงที่มาจากผิวน้ำ เช่น คลื่น สามารถกระทำภาระแรงบิดต่อโฟมผสมคอนกรีตเสริมเหล็ก ทำให้มีความจำเป็นต้องค่าหาการทนรับแรงบิด ซึ่งเป็นแรงที่เกิดจากการใช้งานจริง

ในงานวิจัยนี้ต้องการทดสอบค่าแรงบิดของวัสดุประเภทคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อนำค่าไปเป็นดัชนีชี้วัดการรับแรงบิดของวัสดุคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงจำเป็นต้องสร้างเครื่องทดสอบการทนต่อแรงบิด ซึ่งจากเครื่องทดสอบทั่วไปนั้นไม่สามารถหาเครื่องทดสอบที่เหมาะสมได้ เนื่องจากเครื่องทดสอบแรงบิดทั่วไปนั้นจะออกแบบให้ทดสอบวัสดุที่แรงรับแรงบิดประเภทเพลาที่เป็นวัสดุประเภทโลหะ ทำให้แรงบิดที่ออกแบบไม่เหมาะสมกับการใช้กับวัสดุประเภทคอนกรีต รวมไปถึงลักษณะหัวจับที่เหมาะสมในการทดสอบ โดยออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการทนแรงบิดของแท่งคอนกรีตสามารถวัดแรงบิดได้ไม่น้อยกว่า 1,000 นิวตันเมตร ความยาวของชิ้นงานทดสอบไม่น้อยกว่า 30 เซนติเมตร สามารถบิดหมุนได้มากที่สุด 180 องศา และมีการสอบเทียบกับชิ้นงานมาตรฐานตามงานวิจัย[3] ก่อนนำทดสอบกับวัสดุเพื่อให้ได้ที่ถูกต้องของเครื่องทดสอบก่อนนำไปใช้ในการทดสอบจริง

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 การออกแบบเครื่องทดสอบการทนแรงบิด

การออกแบบเครื่องทดสอบการทนแรงบิดของแท่งคอนกรีต ได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรมสามมิติมีลักษณะดังแสดงใน รูปที่ 1 (a) ในส่วนหลักการของเครื่องทดสอบจะใช้มอเตอร์ขนาด 3 แรงม้า ที่มีอัตราทดสูงเป็นตัวบิด ซึ่งการใช้มอเตอร์อัตราทดสูงจะทำให้ความเร็วในการใช้งานลดลง และได้แรงบิดสูงขึ้นซึ่งเป็นลักษณะที่ต้องการในการใช้ทดสอบการทนแรงบิด อีกทั้งการใช้อัตราทดสูงจะทำให้มอเตอร์ไม่จำเป็นต้องใช้กำลังไฟฟ้าสูงด้วย เมื่อมอเตอร์หมุนผ่านชุดลูกปืนที่ต่อเข้ากับเฟืองโซ่ (Sprocket) จากนั้นเฟืองโซ่ที่ต่อกับมอเตอร์จะส่งการเคลื่อนที่ไปยังเฟืองโซ่ที่มีการยึดจับกับชิ้นงานผ่านโซ่ที่คล้องกัน ซึ่งจะมีอุปกรณ์วัดแรงดึง (Load Cell) จะทำหน้าที่อ่านค่าแรงที่เกิดขึ้นจากโซ่ และส่งไปเก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณเป็นค่าของแรงบิด เมื่อผ่านการคูณกับระยะทางหน่วยเป็นนิวตันเมตร ซึ่งจะใช้โปรแกรมที่เขียนใช้ร่วมกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

(Microcontroller) ซึ่งความยาวของการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์วัดแรงดึงต้องเพียงพอที่ทำให้ชิ้นทดสอบหักออกจากกัน โดยออกแบบให้สามารถบิดชิ้นงานทดสอบที่มุมบิดมากที่สุด 180 องศา

จากขอบเขตในการออกแบบข้างต้น ความต้องการในการทดสอบการทนต่อแรงบิดของวัสดุประเภทซีเมนต์เสริมเหล็กเครื่องทดสอบแรงบิดต้องสามารถทดสอบแรงบิดได้สูงสุด 1,000 นิวตันเมตร และสามารถทดสอบมุมบิดได้มากที่สุด 180 องศา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของเพลาที่มีหน้าที่สำคัญในการรับแรงบิด 1,000 นิวตันเมตร ด้วยหลักการระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์(4) ผลการวิเคราะห์ดังแสดงใน รูปที่ 1 (b) จะเห็นได้ว่ามีค่าความเผื่อ (Factor of Safety) ประมาณ 1.293 ซึ่งสามารถยืนยันการรับแรงบิด 1,000 นิวตันเมตร ได้จากการออกแบบ

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบจะใช้การขึ้นรูปวัสดุผสมด้วยแบบหล่อคอนกรีต ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร ซึ่งจะได้ชิ้นงานทดสอบดังรูปที่ 2 (a) คอนกรีตที่ใช้มาเป็นส่วนผสมเป็นคอนกรีตแห้งทนซัลเฟต ดังรูปที่ 2 (b)

การเลือกโซ่เป็นอุปกรณ์ในการรับแรงดึง เนื่องจากมีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งาน ดังนั้นจึงเลือกโซ่เดี่ยวเบอร์ 80 ซึ่งสามารถรับแรงได้ 14.71 กิโลนิวตัน อีกทั้งโซ่ยังสามารถตัดต่อเป็นข้อทำให้มีความสะดวกในการประกอบติดตั้งและใช้งาน ในการวัดองศาการบิดจะใช้อุปกรณ์วัดการหมุน (Encoder) สามารถวัดองศาที่เป็นเปลี่ยนไปของการบิดซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับแรงที่ใช้ จากนั้นจะส่งค่าไปเก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์เพื่อเป็นค่าอินพุตในการคำนวณเป็นมุมบิด หน่วยเป็น องศา โดยคำนวณและเลือกใช้เฟืองโซ่ที่มีจำนวนฟันและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเฟืองโซ่ที่เหมาะสมและเพียงพอกับแรงดึงในโซ่และแรงบิดจึงเลือกขนาดของเฟืองโซ่ ซึ่งเลือกใช้เฟืองโซ่เบอร์ 80 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 468 มิลลิเมตร จำนวนฟัน 56 ฟัน นำมาคำนวณแรงดึงที่เกิดขึ้นในแนวโซ่ จะได้แรงดึงประมาณ 4,300 นิวตัน โซ่เบอร์ 80 สามารถทนต่อแรงดึงได้ถึง 14,000 นิวตัน มีค่าความเผื่อ (Factor of Safety) ประมาณ 3 เท่า ในส่วนของเซนเซอร์วัดแรงต้านการบิดเลือกใช้โหลดเซลล์ (Load Cell) ในการวัดแรงดึงที่เกิดขึ้นในแนวโซ่ ประมาณ 4,300 นิวตัน ดังนั้นจึงเลือกใช้โหลดเซลล์ ประเภท S-Type ที่สามารถทนและวัดค่าแรงดึงได้สูงสุด 10,000 นิวตัน และการเลือกใช้มอเตอร์ไฟฟ้าและหัวเกียร์ทดให้เหมาะสมและเพียงพอต่อแรงบิดและความเร็วรอบในการหมุนของการทดสอบ จากการคำนวณได้เลือกมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์แบบเฟสเดี่ยว กำลังไฟฟ้า 2.2 กิโลวัตต์ โดยความเร็วรอบ 1,430 รอบต่อนาที และหัวเกียร์อัตราทด 1:180 จะส่งผลให้มีความเร็วรอบสูงสุดประมาณ 7 รอบต่อนาที มีความเหมาะสมในการทดสอบ และมีแรงบิดสูงสุดประมาณ 2,500 นิวตันเมตร ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานทดสอบ จากนั้นจึงได้ดำเนินการในการสร้างเครื่องทดสอบการทนแรงบิดตามต้องการ

2.2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ

2.2.1 สมการแรงบิดตามแนวแกน

เมื่อมีแรงกระทำตามแนวยาวของวัสดุจะเกิดการบิดในแนวแกน (Torsion) โดยสมมุติให้แรงที่เกิดมีความสมมาตรกันในเนื้อวัสดุ จะมีสมการแสดงดังนี้ (5)

$$\theta = \frac{Tl}{GJ} \quad (1)$$

เมื่อ θ คือ มุมที่บิด (Angle of Twist) องศา

T คือ แรงบิด (Torque) นิวตันเมตร

l คือ ความยาว (Length) เมตร

G คือ โมดูลัสของความแข็งแรงของวัสดุ (Modulus of Rigidity) จิกะปาสกาล

J โมเมนต์ต้านทานการเปลี่ยนรูปในแนวองศา (Polar Second Moment Area) เมตร^4

2.2.2 สมการโมเมนต์ต้านทานการเปลี่ยนรูปในแนวองศา

ในการหาค่าโมเมนต์ต้านทานการเปลี่ยนรูปในแนวองศา (J) สามารถหาได้หน้าตัด (Cross Section) ของวัสดุทดสอบจากสมการดังนี้[5]

$$J = \int r^2 dA = \int (x^2 + y^2) dA = I_x + I_y \quad (2)$$

เมื่อ r คือ ผลรวมโมเมนต์ต้านทานการเปลี่ยนรูป

A คือ พื้นที่หน้าตัด

x คือ โมเมนต์พื้นที่รอบแกน x

y คือ โมเมนต์พื้นที่รอบแกน y

I_x คือ โมเมนต์ต้านทานการเปลี่ยนรูปในแนวแกน x

I_y คือ โมเมนต์ต้านทานการเปลี่ยนรูปในแนวแกน y

2.2.3 สมการการยืดหยุ่นยืดตามสัดส่วนของแรง

ในการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยหลักการระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ใช้กฎของฮุค (Hooke's Law) เพื่ออธิบายว่าลักษณะการยืดหยุ่นยืดตามสัดส่วนของแรงดังสมการต่อไปนี้ [6] โดยจะได้ค่าโมดุลัสความยืดหยุ่น จะนำไปใช้คำนวณการเสียรูปในเชิงมุม ในสมการที่ (1) ของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

$$\sigma=E\varepsilon \quad (3)$$

เมื่อ σ คือ ความเค้น ปาสคาล

E คือ โมดุลัสความยืดหยุ่น จิกะปาสกาล

ε คือ ความเครียด

2.2.4 สมการเกณฑ์การวิเคราะห์ความเสียหายแบบการเสียรูปมากที่สุด

ในการวิเคราะห์ความเสียหายจะใช้เกณฑ์การวิเคราะห์ความเสียหาย แบบการเสียรูปมากที่สุด (Maximum Distortion Criterion หรือ Von Mises Yield Criterion) โดยเมื่อความเค้นภายในมีลักษณะทั่วไป และอยู่ในเงื่อนไขแบบไม่ข้อจำกัด มีสมการดังนี้[7]

$$\sigma_v=\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_{11}-\sigma_{22})^2+(\sigma_{22}-\sigma_{33})^2+(\sigma_{33}-\sigma_{11})^2]+3(\sigma_{12}^2+\sigma_{23}^2+\sigma_{31}^2)} \quad (4)$$

เมื่อ σ_v คือ ความเค้นจากเกณฑ์การเสียรูปมากที่สุดของ Von Mises Yield Criterion

σ_{11} คือ ความเค้นที่เกิดขึ้นในทิศทางแกน 1 ในระบบแกน 3 มิติ

σ_{22} คือ ความเค้นที่เกิดขึ้นในทิศทางแกน 2 ในระบบแกน 3 มิติ

σ_{33} คือ ความเค้นที่เกิดขึ้นในทิศทางแกน 3 ในระบบแกน 3 มิติ

σ_{12} คือ ความเค้นที่เกิดขึ้นในทิศทางเริ่มต้นที่แกน 1 ไปยังทิศทางแกน 2 ในระบบแกน 3 มิติ

σ_{23} คือ ความเค้นที่เกิดขึ้นในทิศทางเริ่มต้นที่แกน 2 ไปยังทิศทางแกน 3 ในระบบแกน 3 มิติ

σ_{31} คือ ความเค้นที่เกิดขึ้นในทิศทางเริ่มต้นที่แกน 3 ไปยังทิศทางแกน 1 ในระบบแกน 3 มิติ

2.2.5 สมการการหาค่าเฉลี่ยการทนต่อแรงบิด

ในการวิเคราะห์หาการทนต่อแรงบิดจะใช้ค่าเฉลี่ยของในการทดสอบการทนต่อแรงบิดจะใช้ทั้งหมด 3 ค่าจากการทดลอง โดยที่จะเลือกค่าที่มากที่สุด ก่อนที่แรงตึงโซ่จะลดลงแบบรวดเร็วตามกราฟที่ได้จากการทดลองซึ่งหมายถึงวัสดุได้มีการแตกหักโดยสมบูรณ์

$$\tau_{ave}=\frac{\tau_{\max,1}+\tau_{\max,3}+\tau_{\max,3}}{3} \quad (5)$$

เมื่อ τ_{ave} คือ ค่าเฉลี่ยการทนแรงบิดได้จากการทดลอง

$\tau_{\max,1}$ คือ ค่าแรงบิดสูงสุดที่เกิดขึ้นในการทดลองที่ 1

$\tau_{\max,2}$ คือ ค่าแรงบิดสูงสุดที่เกิดขึ้นในการทดลองที่ 2

$\tau_{\max,3}$ คือ ค่าแรงบิดสูงสุดที่เกิดขึ้นในการทดลองที่ 3

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 การสอบเทียบเครื่องทดสอบการทนแรงบิดสำหรับแท่งคอนกรีต

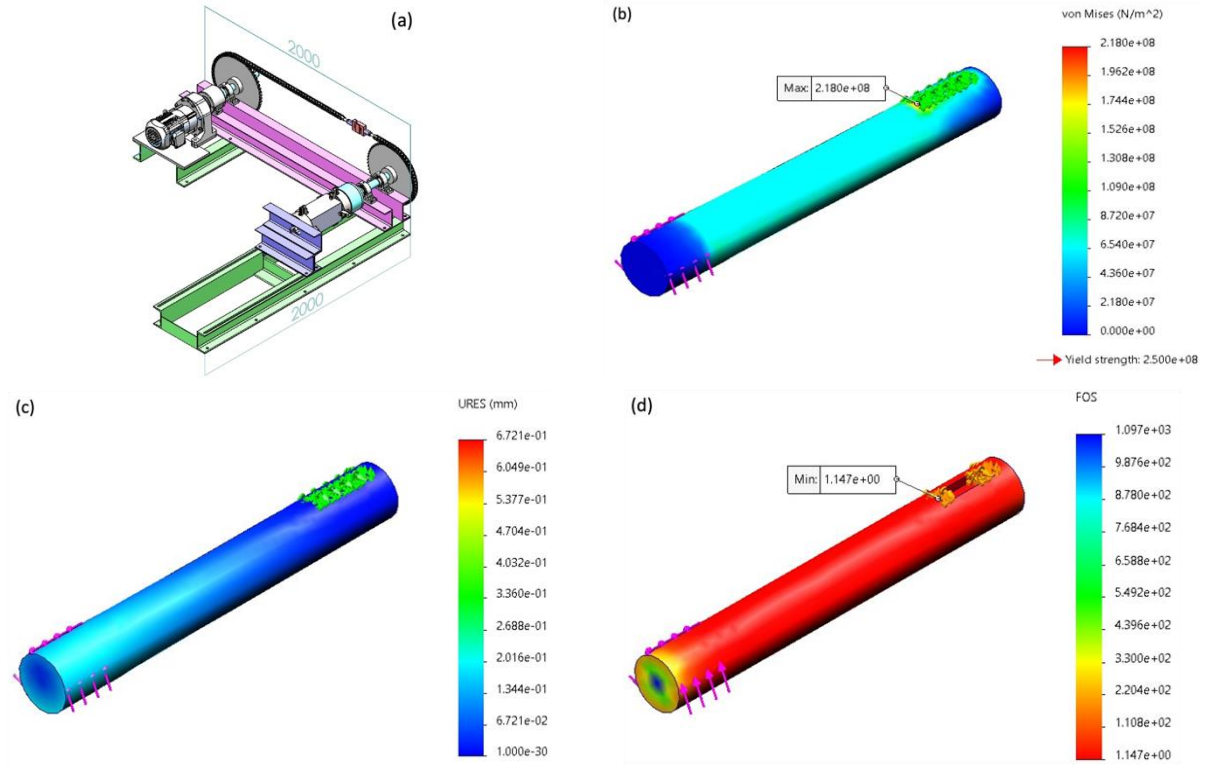
ในการทดสอบ และสอบเทียบเครื่องทดสอบทนแรงบิดของแท่งคอนกรีตจะใช้การอ้างอิงจากงานวิจัยทดสอบของวัสดุเหล็กชิ้นทดสอบ[3] มีลักษณะดังแสดงใน รูป 3 และมีขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการสอบเทียบดังแสดงใน ตารางที่ 2 นำชิ้นงานทดสอบมาบิดเพื่อดูลักษณะการเสียหาย จะได้ผลกราฟแรงบิดต่อองศา และรูปชิ้นงานทดสอบหลังจากทดสอบแล้วดังแสดงดัง ตารางที่ 3 ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟจะใกล้เคียงกันทั้ง 3 ชิ้นทดสอบ รวมทั้งยังมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยที่อ้างอิง โดยจะแตกต่างกันตรงช่วงในการรับแรงบิด ซึ่งจากการทดลองได้ค่าทนแรงบิดทั้งสามชิ้นในช่วง 75-100 นิวตันเมตร และจะขาดออกจากกันหลังจากเกิดมุมบิดมากกว่า 35 องศา ดังนั้นการสอบเทียบเครื่องทดสอบการทนแรงบิดสามารถเทียบได้กับเครื่องที่ใช้ในการงานวิจัยที่นำมาอ้างอิงได้

3.2 ผลการทดสอบการทนแรงบิดของแท่งซีเมนต์ผสมโฟมเสริมเหล็ก

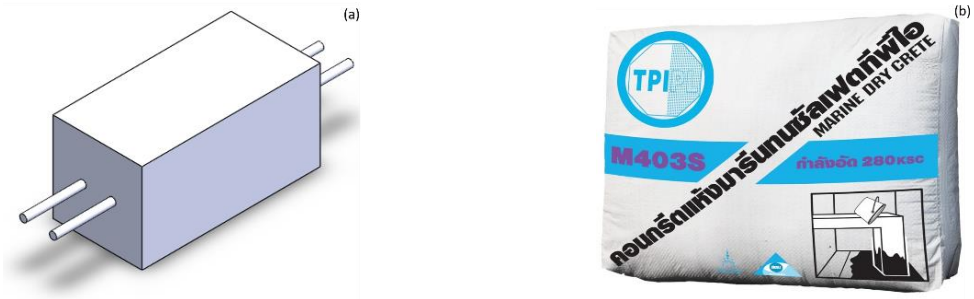
การทดสอบแท่งซีเมนต์เสริมเหล็กเส้นข้ออ้อยจำนวน 3 สูตร ได้แก่สูตรที่ 1-3 ดังแสดงใน ตารางที่ 1 โดยจะทดสอบสูตรละ 3 ครั้ง โดยแต่ละสูตรจะมีความหนาแน่นต่างกันคือ 600 700 และ 800 kg/m^3 และรูปภาพชิ้นงานทดสอบหลังจากบิดจะแสดงใน ตารางที่ 4 5 และ 6 โดยที่ ตารางที่

4 จะเป็นอัตราส่วนผสมที่ 1 ในส่วน ตารางที่ 5 จะเป็นอัตราส่วนผสมที่ 2 และ ตารางที่ 6 จะเป็นอัตราส่วนผสมที่ 3 จากผลการทดลอง และการคำนวณหาค่าทนต่อแรงบิดในสมการที่ (5) จะสังเกตได้ว่าการทนต่อแรงบิดของส่วนผสมคอนกรีตสูตรที่ 1 จะน้อยที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยในการรับแรงอยู่ที่ 13.05 นิวตันเมตร ต่อมาจะเป็นอัตราส่วนผสมคอนกรีตสูตรที่ 2 โดยมีค่าเฉลี่ยในการรับแรงอยู่ที่ 22.67 นิวตันเมตร และอัตราส่วนผสมคอนกรีตสูตรที่ 3 โดยมีค่าเฉลี่ยในการรับแรงอยู่ที่ 31.87 นิวตันเมตร จะทนต่อแรงบิดได้มากที่สุด

จากผลการทดสอบที่ได้จะสังเกตได้ว่าเนื่องจากสูตรที่ 1 มีส่วนผสมของซีเมนต์น้อยและมีปริมาณโฟมมากจึงทำให้การยึดเกาะระหว่างอนุภาคและความสม่ำเสมอในการผสมไม่ดี จึงทำให้สามารถทนต่อแรงบิดได้น้อยและลักษณะการแตกไม่แน่นอนเช่นเดียวกับสูตรที่ 2 แต่เนื่องจากสูตรที่ 2 มีอัตราส่วนผสมของซีเมนต์สูงกว่าสูตรที่ 1 จึงส่งผลทำให้สามารถทนต่อแรงบิดได้มากกว่าสูตรที่ 1 และจากผลการทดสอบอัตราส่วนผสมในสูตรที่ 3 จะเห็นได้ว่าแท่งซีเมนต์ผสมโฟมที่มีประมาณซีเมนต์มากที่สุด สามารถทนต่อแรงบิดได้มากที่สุด และมีลักษณะการแตกร้าวไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งเกิดขึ้นตามแนวยาวของวัสดุเนื่องจากแรงบิดที่กระทำตามแนวแกน และยังสามารถคาดเดาลักษณะการแตกร้าวได้ ดังนั้นเครื่องทดสอบการทนแรงบิดนั้นสามารถนำมาใช้งานในการทดสอบแรงบิดของวัสดุต่าง ๆ ได้โดยสามารถทดสอบชิ้นงานได้ยาวมากที่สุดถึง 1 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางมากสุด 30 เซนติเมตร จึงทำให้เครื่องทดสอบการทนแรงบิดนี้มีประโยชน์ในการหาคุณสมบัติในการทนแรงบิดของวัสดุอย่างอื่นได้อีกมาก



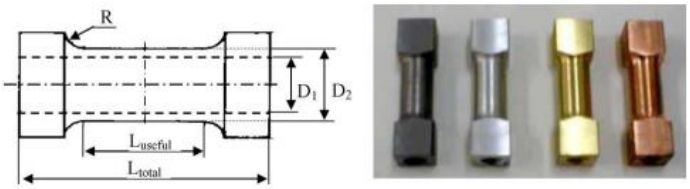
รูปที่ 1 การออกแบบเครื่องทดสอบการทนแรงบิดด้วยโปรแกรมสามมิติ
a) ลักษณะของเครื่องทดสอบการทนแรงบิด b) แบบจำลองค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อวัสดุเมื่อมีแรงกระทำ
c) แบบจำลองระยะการเสียรูปเมื่อวัสดุทดสอบถูกแรงกระทำ d) แบบจำลองค่าความเผื่อ (FOS) ในการรับแรงของชิ้นส่วนเพลา



รูปที่ 2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ: a) ลักษณะวัสดุที่ใช้ในการทดสอบการทนแรงบิด b) คอนกรีตแห้งมารีนทนซัลเฟต

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมซีเมนต์กับโฟม 3 สูตร

	ส่วนผสม (%โดยปริมาตร)				ความหนาแน่น (kg/m^3)	
สูตร	ซีเมนต์	น้ำ	โฟม	รวม	ซีเมนต์ผสมโฟม	ซีเมนต์ผสมโฟมเสริมเหล็ก
1	32.00	9.60	58.40	100.00	500	600
2	40.00	12.00	48.00	100.00	600	700
3	44.00	13.20	42.80	100.00	700	800

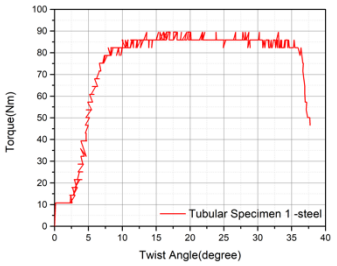
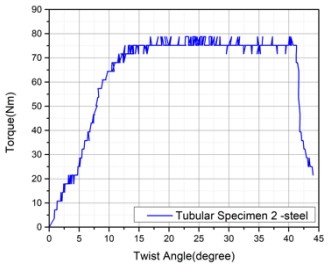
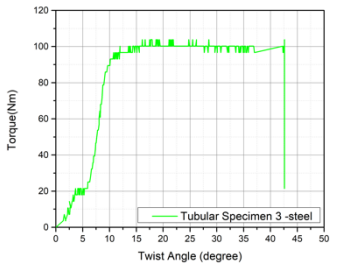


รูปที่ 3 ลักษณะ และขนาดของวัสดุที่นำมาสอบเทียบตามงานวิจัย(3)

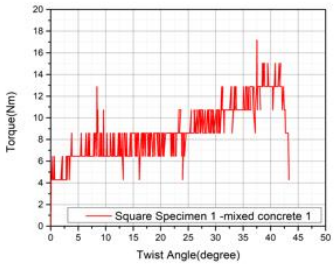
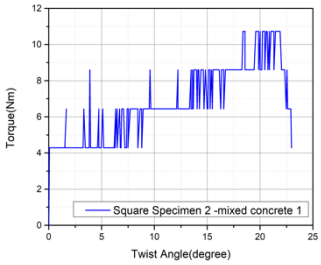
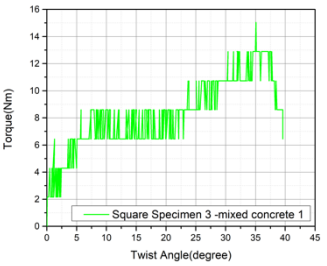
ตารางที่ 2 ขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการสอบเทียบ

Tubular specimen	Tubular					
Material/dimension	L_{useful}(mm)	L_{total}(mm)	D_1(mm)	D_2(mm)	Thickness(mm)	R(mm)
AISI 1020 steel	16	50	8	12	2	5

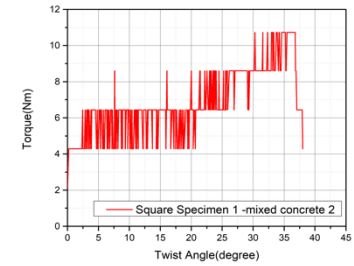
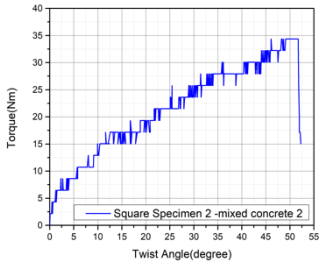
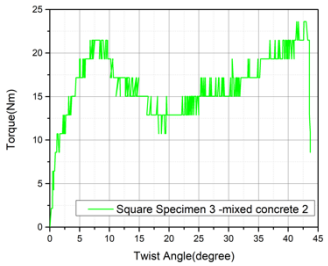
ตารางที่ 3 ความสัมพันธ์แรงบิดต่อองศา และรูปชิ้นงานสอบเทียบ ซึ่งเป็นเหล็ก AISI 1020 หลังจากเกิดความเสียหายจากแรงบิด โดยมีการการทำซ้ำ 3 ครั้ง

ชิ้นที่	กราฟแรงบิดต่อองศา และรูปชิ้นทดสอบ
1	
2	
3	

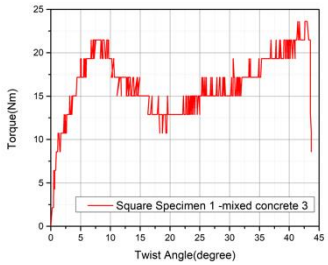
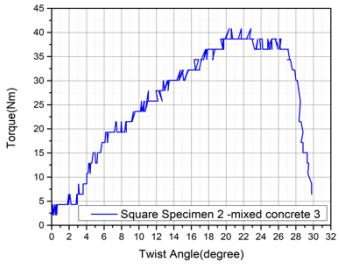
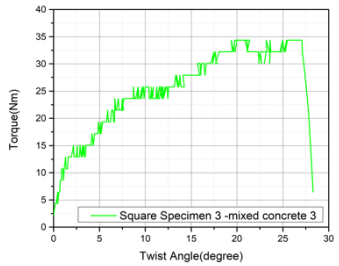
ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์แรงบิดต่อองศา และรูปชิ้นงานทดสอบ ซึ่งเป็นซีเมนต์ผสมโฟมเสริมเหล็กส่วนผสมที่ 1 ที่มีความหนาแน่น 600 kg/m3 โดยมีการการทำซ้ำ 3 ครั้ง

ชิ้นที่	กราฟแรงบิดต่อองศา และรูปชิ้นทดสอบ
1	
2	
3	

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์แรงบิดต่อองศา และรูปชิ้นงานทดสอบ ซึ่งเป็นซีเมนต์ผสมโฟมเสริมเหล็กส่วนผสมที่ 2 ที่มีความหนาแน่น 700 kg/m^3 โดยมีการการทำซ้ำ 3 ครั้ง ซึ่งแสดงดังตารางเรียงตามแถว และชิ้นงาน

ชิ้นที่	กราฟแรงบิดต่อองศา และรูปชิ้นทดสอบ
1	
2	
3	

ตารางที่ 6 ความสัมพันธ์แรงบิดต่อองศา และรูปชิ้นงานทดสอบ ซึ่งเป็นซีเมนต์ผสมโฟมเสริมเหล็กส่วนผสมที่ 3 ที่มีความหนาแน่น 800 kg/m3 ซึ่งแสดงดังตารางเรียงตามแถว และชิ้นงาน

ชิ้นที่	กราฟแรงบิดต่อองศา และรูปชิ้นทดสอบ
1	
2	
3	

4. บทสรุป

การออกแบบสร้างเครื่องทดสอบการทนแรงบิดสำหรับแท่งคอนกรีต สามารถสรุปได้ดังนี้

1.สามารถสร้างเครื่องทดสอบการทนแรงบิดโดยใช้หลักการใช้แรงบิดจากมอเตอร์ที่มีเกียร์ทดส่งผ่านไปยังชุดเฟืองโซ่ แล้วใช้โหลดเซลล์วัดแรงที่เกิดขึ้นจากโซ่สามารถใช้งานได้จริง

2.สามารถสอบเทียบความแม่นยำของเครื่องทดสอบกับงานวิจัยอื่น โดยใช้ชิ้นทดสอบชิ้นเดียวกันได้

3.สามารถนำมาบิดแท่งซีเมนต์ผสมโฟมเสริมเหล็กเพื่อหาคุณสมบัติของการทนต่อแรงบิดได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ขอแสดงความขอบคุณ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้สถานที่ในการทำงาน และบริษัท ดอลฟินอินดัสทรีส์ จำกัด และโครงการ ITAP ที่ให้ความร่วมมือแหล่งทุน

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Elwell DJ, Fu G. Compression testing of concrete: cylinders vs. cubes. 1995.

[2] Ramamurthy K, Nambiar EK, Ranjani GI. A classification of studies on properties of foam concrete. Cement and Concrete Composites. 2009; 31(6):388-96.

[3] Bressan JD, Unfer RK. Construction and validation tests of a torsion test machine. Journal of Materials Processing Technology. 2006; 179(1-3):23-9.

[4] Akin JE. Finite element analysis concepts: via SolidWorks: World Scientific; 2010.

[5] Shigley JE, Mischke CR. Standard handbook of machine design. (No Title). 1996.

[6] Larrabee Jr WF. A finite element model of skin deformation. I. Biomechanics of skin and soft tissue: a review. The Laryngoscope. 1986 ; 96(4):399-405.

[7] Mises RV. Mechanik der festen Körper im plastisch-deformablen Zustand. Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse. 1913;1913: 582-92.