

ผลของตัวทำละลายต่อสมบัติด้านแรงดัดและการเพิ่มสมบัติด้านแรงดึงของ วัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็ก

Effect of solvent on flexural properties and enhanced tensile properties of composite carbon black reinforced epoxy resin

^{1*}ณัฐพล เกษางาม, ^{2#}วรุฒ ธรรมวิชัย

¹สำนักบัณฑิตศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

²ภาควิชาเคมีฟิสิกส์ กองวิชาวิทยาศาสตร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

^{1*}Nattapon Kesangam, ^{2#} Warut Thammawichai

¹The Graduate School of Navaminda Kasatriyadhiraj Raoyal Air Force Academy,

Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

²Chemistry and Physics Department, Sciences Division, Faculty of Academic,

Navaminda Kasatriyadhiraj Royal Air Force Academy

*nkkesangam@gmail.com, #warut_t@rtaf.mi.th

Received : March 6, 2024

Revised : March 21, 2024

Accepted : April 1, 2024

บทคัดย่อ

วัสดุคอมโพสิตที่มีอีพ็อกซีเรซินเป็นเนื้อสารเป็นวัสดุที่เริ่มมีการใช้งานในช่วงศตวรรษที่ 20 และปัจจุบันมีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากขึ้นในชีวิตประจำวัน โดยมีการเติมสารเสริมแรงในกลุ่มที่มีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักเพื่อให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น ในงานวิจัยนี้การศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุอีพ็อกซีคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็ก โดยมีวัตถุประสงค์หลัก คือ ศึกษาผลของตัวทำละลายที่มีผลต่อสมบัติด้านแรงดัดของอีพ็อกซีเรซิน และศึกษาสมบัติด้านแรงดึงของวัสดุอีพ็อกซีคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็ก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วต่างกัน 4 ชนิด คือ เอทานอล (Ethanol, EtOH), เมทานอล (Methanol, MeOH), อะซิโตน (Acetone) และเมทิลอีเทอร์คีโตน (Methyl Ethyl Ketone, MEK) ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักไม่มีผลที่เป็นนัยสำคัญต่อค่าความเค้น ค่า Young's modulus และค่าความเค้น ณ จุดคราก นอกจากนี้วัสดุอีพ็อกซีคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กในปริมาณ 0.05, 0.2, 0.3, 0.4 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีผลต่อสมบัติด้านแรงดึง โดยวัสดุอีพ็อกซีคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กในปริมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถเพิ่มค่าความเค้น ณ จุดครากได้ถึง 33%

คำสำคัญ: วัสดุอีพ็อกซีคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็ก, ตัวทำละลาย, สมบัติด้านแรงดัด, สมบัติด้านแรงดึง

Abstract

In the 20th century, epoxy resins have found great applications that are widely used in everyday life with the carbon group reinforcing to have better mechanical properties. This research was studied the mechanical properties of epoxy composites reinforced with carbon black composite materials. The main objective is to study the effect of solvents on the flexural properties of epoxy resin and tensile properties of epoxy composite materials reinforced carbon black. The results indicated that all 4 different polarity solvents that are ethanol (EtOH), Methanol (MeOH), Acetone and Methyl Ethyl Ketone (MEK) in 1 wt.% had no significantly effect on the stress, Young's modulus, and stress at yield point in flexural property of epoxy resin. In addition, the composite materials reinforced with carbon black in 0.05, 0.2, 0.3, 0.4, and 1 wt.% affect the tensile properties. The composite materials reinforced with 0.3 wt.% of carbon black increase the stress at yield point to 33%.

Keywords: composite materials reinforced carbon black, solvent, flexural property, tensile property.

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมทั้งในและต่างประเทศได้มีการนำวัสดุในกลุ่มพอลิเมอร์มาใช้อย่างแพร่หลาย ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นสินค้าในกลุ่มอุปโภค บริโภค รวมทั้งเครื่องมือ เครื่องใช้ต่าง ๆ ก็มีส่วนประกอบของวัสดุพอลิเมอร์ทั้งสิ้น สาเหตุเนื่องจากวัสดุพอลิเมอร์มีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งาน มีน้ำหนักเบา และมีความสามารถในการขึ้นรูปที่ซับซ้อนได้ อย่างไรก็ตามวัสดุพอลิเมอร์บริสุทธิ์ไม่สามารถตอบโจทย์การใช้งานในหลากหลายรูปแบบ จึงทำให้มีการคิดค้นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีการเสริมแรงเกิดขึ้น เรียกว่า วัสดุคอมโพสิต (Composite material) เป็นการรวมกันระหว่างพอลิเมอร์ที่เป็นเนื้อหลัก (Matrix) กับสารเสริมแรง (Reinforcement) โดยการเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตสามารถทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นชนิดผง ชนิดเส้นใย รวมทั้งชนิดแผ่นเสริมแรง เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการ

คาร์บอนแบล็กเป็นวัสดุที่ได้จากกระบวนการเผาในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นธาตุคาร์บอนที่มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมสิ่งพิมพ์ อุตสาหกรรมสารเคลือบ อุตสาหกรรมพลาสติกและอุตสาหกรรมยานยนต์ จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการนำคาร์บอนแบล็กมาใช้เป็นสารเสริมแรงในวัสดุพอลิเมอร์มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น โดยมีการนำคาร์บอนแบล็กมาผสมกับสีเพื่อทำสารเคลือบที่มีคุณสมบัติทางแสงที่ดีขึ้น นำคาร์บอนแบล็กมาผสมกับน้ำยางเพื่อทำยางรถยนต์ที่มีอายุการใช้งานนานขึ้น และนำคาร์บอนแบล็กมาผสมกับน้ำยางพาราเพื่อทำพื้นรองเท้าที่มีความทนทาน

อย่างไรก็ตามยังมียางวิจัยที่มีการนำคาร์บอนแบล็กมาผสมกับพอลิเมอร์ในกลุ่มเทอร์โมเซตติง (Thermosetting plastic) โดยเฉพาะอีพ็อกซีเรซินเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลยังมีปริมาณไม่มากนัก คณะผู้วิจัยจึงสนใจการนำคาร์บอนแบล็กมาใช้เป็นสารเสริมแรงเพื่อเพิ่มสมบัติด้านแรงดึงของวัสดุ โดยศึกษาตัวทำละลายที่ใช้ในการกระจายตัวคาร์บอนแบล็กที่มีความเป็นขั้วต่างกัน 4 ชนิด คือ เอทานอล (Ethanol, EtOH), เมทานอล (Methanol, MeOH), อะซิโตน (Acetone) และเมทิลอีเทอร์คีโตน (Methyl Ethyl Ketone, MEK) ที่ส่งผลต่อความต้านทานแรงดึงของอีพ็อกซีเรซิน และศึกษาความเป็นไปได้ในใช้คาร์บอนแบล็กเป็นสารเสริมแรงในวัสดุคอมโพสิตที่มีส่งผลต่อสมบัติด้านแรงดึง

2. ขอบเขตงานวิจัย

2.1 ตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้วต่างกัน 4 ชนิด คือ EtOH, MeOH, Acetone และ MEK

2.2 ขึ้นรูปวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กโดยมีอีพ็อกซีเรซินเป็นเนื้อสารด้วยเทคนิคการหล่อขึ้นรูปบนแม่พิมพ์ซิลิโคน

2.3 ศึกษาสมบัติความต้านแรงดึงและแรงดึงในส่วนของความเค้น ณ จุดครากของวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กโดยมีเรซินเป็นเนื้อสารด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal Testing Machine, UTM) รุ่น NRT-TS500-50B หัวกดขนาด 10 ตัน และวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม NNI-Testing Machine (V.4.0)

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

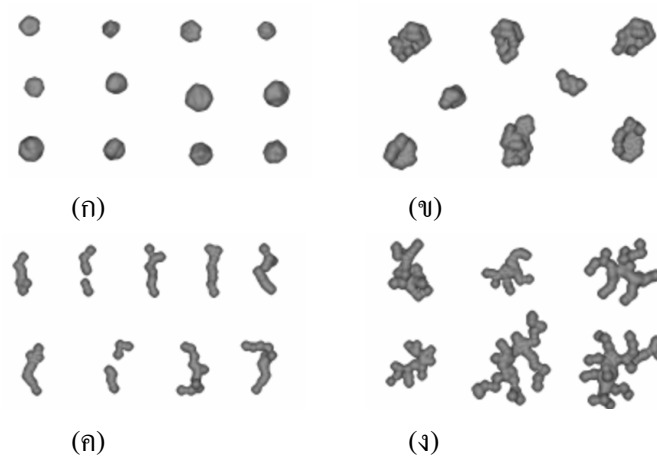
3.1 พอลิเมอร์คอมโพสิต (Polymer composite)

พอลิเมอร์คอมโพสิตเป็นวัสดุพอลิเมอร์ที่มีการเติมสารเสริมแรงโดยพอลิเมอร์จะทำหน้าที่เป็นเมทริกซ์แทรกซึมเข้าไปยึดเกาะกับสารเสริมแรง [1] เพื่อเพิ่มสมบัติของวัสดุให้ดีขึ้น เช่น สมบัติทางไฟฟ้า สมบัติทางแม่เหล็ก และสมบัติเชิงกล ซึ่งในทศวรรษที่ 20 มีการออกแบบวัสดุให้มีคุณสมบัติเฉพาะตัวเพื่อรองรับการใช้งานในด้านอุตสาหกรรม

โดยอีพ็อกซีเรซินจัดเป็นพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตที่ถูกคิดค้นมาตั้งแต่ศตวรรษที่ 19 ถูกนำมาพัฒนาต่อยอดอย่างแพร่หลายในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมด้านการบิน อุตสาหกรรมด้านยานยนต์ หรือแม้กระทั่งอุตสาหกรรมด้านอาคาร [2] เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่โดดเด่น คือ แข็งแรง ทนความร้อน และสามารถยึดเกาะได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงทำให้นักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาการเสริมแรงในอีพ็อกซีด้วยวัสดุนาโน ไม่ว่าจะเป็นซิลิกา, แกร์ฟีน, จีเถ้า และคาร์บอนแบล็ก [3-8] ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันคือ ได้วัสดุใหม่ที่มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

3.2 คาร์บอนแบล็ก (Carbon black)

คาร์บอนแบล็กเป็นอีกรูปหนึ่งของคาร์บอนที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักสูงคล้ายกับกราไฟต์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการออกแบบทางวิศวกรรมที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนที่ได้มาจากการเผาไหม้บางส่วนหรือสลายตัวด้วยความร้อนของไฮโดรคาร์บอน [9] มีโครงสร้างหลักแบ่งได้เป็น 4 แบบ คือ แบบกลม, แบบรูปไข่, แบบตรง, และแบบกึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 1 คาร์บอนแบล็กเป็นวัสดุผสมที่มีการใช้งานมาอย่างยาวนานกว่า 28,000 ปี มีการค้นพบหลักฐานภาพเขียนที่มีส่วนผสมของคาร์บอนแบล็กบนผนังถ้ำในประเทศฝรั่งเศส หลังจากนั้นมีการค้นพบการพัฒนาใช้คาร์บอนแบล็กในการพิมพ์โดยใช้เป็นส่วนผสมของหมึกพิมพ์และเริ่มธุรกิจสิ่งพิมพ์ในช่วงปี 1450 นอกจากนี้ ในช่วงปี 1910 คาร์บอนแบล็กได้ถูกนำมาผสมในตัวกลางชนิดอื่นเพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกล โดยมีการผสมกับน้ำมันยางเพื่อผลิตเป็นยางรถยนต์ที่มีความทนทานเพิ่มมากขึ้น [10] ปัจจุบันคาร์บอนแบล็กถือเป็นสารเสริมแรงสำคัญที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการเปลี่ยนแปลงเชิงกล, ไฟฟ้า, และคุณสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ซึ่งคาร์บอนแบล็กสามารถออกแบบให้มีขนาดอนุภาคเล็กในระดับ 10 นาโนเมตร ไปจนถึงหลายร้อยนาโนเมตร ทำให้สามารถกระจายเข้าไปในเนื้อสารได้ดี



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของคาร์บอนแบล็ก (ก) แบบกลม (ข) แบบรูปไข่ (ค) แบบตรง และ (ง) แบบกึ่ง [11]

GülŞah Alar Öner (2022) ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติทางความร้อนของวัสดุอีพ็อกซีเรซินเสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กในปริมาณ 0.3, 0.6 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งผลการศึกษาพบว่า คาร์บอนแบล็กสามารถเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุได้ 11.6 % สำหรับการทดสอบความต้านทานแรงดัด

Tanusree Bera และคณะ (2018) ได้สังเคราะห์และทดสอบสมบัติเชิงกลของวัสดุอีพ็อกซีเรซินเสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กในปริมาณ 1, 2, 3, 4 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยงานนี้สามารถสังเคราะห์วัสดุอีพ็อกซีเรซินเสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กขนาด 30 นาโนเมตร ในปริมาณมากที่สุด 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมีความต้านทานแรงดึงเพิ่มขึ้นประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์

3.3 การเตรียมสารเสริมแรงตัวทำละลาย

อีพ็อกซีเรซินเกิดจากการทำปฏิกิริยากันระหว่างอีพอกไซด์กับสารทำให้แข็งตัวเกิดเป็นพอลิเมอร์ที่มีสมบัติเชิงกลที่ดี เนื่องจากมีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง ทำให้มีการพัฒนาร่วมกับวัสดุนาโนเพื่อให้มีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น โดยทั่วไปมีการผสมคาร์บอนแบล็กกับอีพ็อกซีเรซินแล้วทำการผสมด้วยเครื่องกวนเชิงกล (mechanical stirrer) [12] อย่างไรก็ตาม สามารถผสมคาร์บอนแบล็กกับอีพ็อกซีเรซินด้วยเครื่องอัลตราโซนิก (Ultrasonic waves) โดยกระจายตัวคาร์บอนแบล็กในตัวทำละลายด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก และทำการระเหยสารละลายออกบางส่วนแล้วนำไปผสมกับอีพอกไซด์ หลังจากนั้นผสมให้เข้ากันอีกครั้งด้วยเทคนิคอัลตราโซนิก ก่อนเติมสารทำให้แข็งตัวลงไป [13] ซึ่งเทคนิคนี้จะทำให้คาร์บอนแบล็กกระจายตัวออกจากกันและกระจายได้ทั่วเนื้อสาร Marcio R. Loos และคณะ (2008) [14] ศึกษาปริมาณอะซิโตนที่ใช้ในการกระจายตัวสารเสริมแรงกับอีพ็อกซีเรซิน พบว่าอะซิโตนที่ตกค้างปริมาณมากส่งผลให้ชิ้นงานมีความเปราะ และสามารถเติมอะซิโตนได้สูงสุด 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก Saad B. H. Farid, Dr. Akram R. Jabur และ Khalid K. Abbass (2010) [15] การศึกษาปริมาณสารละลายโทลูอีและอะซิโตนที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของอีพ็อกซีเรซิน ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณสารละลายมีผลต่อสมบัติเชิงกล โดยอะซิโตน 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้สมบัติเชิงกลของวัสดุลดลง ทำให้ปริมาณสารละลายเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลของอีพ็อกซีเรซิน

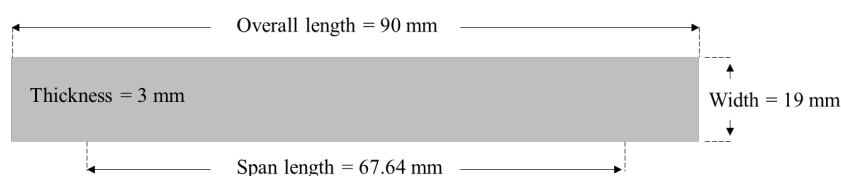
4. การดำเนินการวิจัย

4.1 การเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบตัวทำละลายที่มีผลต่อสมบัติด้านแรงดัดของเรซิน

ผสมตัวทำละลาย EtOH, MeOH, Acetone และ MEK กับอีพอกไซด์ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและผสมให้สารละลายเข้ากันได้ดีโดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิก ภายใต้อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นผสมกับสารทำให้แข็งตัวในอัตราส่วนระหว่างอีพอกไซด์กับสารทำให้แข็งตัวเท่ากับ 100 : 35 โดยน้ำหนัก พร้อมทั้งกำจัดฟองอากาศด้วยสุญญากาศเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นขึ้นรูปตามมาตรฐาน ASTM D790 เป็นชิ้นงานทดสอบด้วยเทคนิคการหล่อขึ้นรูปบนแม่พิมพ์ซิลิโคน จากนั้นทิ้งให้ชิ้นงานแข็งตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์และนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ด้วยเตาอบ

4.2 การทดสอบสมบัติเชิงดัดแรงดัดของชิ้นงาน

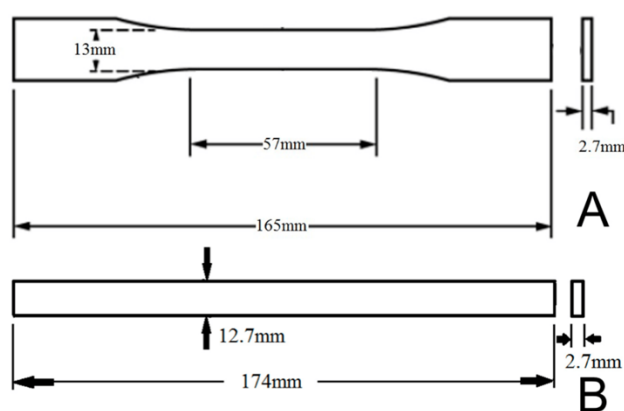
นำชิ้นงานไปทดสอบสมบัติด้านแรงดัด ตามมาตรฐาน ASTM D790 [16] ดังแสดงในรูปที่ 2 ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติเชิงกล (Universal testing machine) รุ่น NRT-TS500-50B ขนาดหัวกด 10 ตัน ที่ความเร็วหัวกด (Cross head speed) เท่ากับ 2.0 มิลลิเมตร/นาที



รูปที่ 2 ขนาดชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติด้านแรงดัดตามมาตรฐาน ASTM D790

4.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการเติมสารเสริมแรงที่มีผลต่อสมบัติด้านแรงดึง

เตรียมคาร์บอนแบล็กน้ำหนัก 0.02 กรัม และสารละลายปริมาตร 50 มิลลิลิตรในบีกเกอร์ ผสมเข้าด้วยกันโดยการสั่นด้วยเทคนิคอัลตราโซนิกอยู่เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำคาร์บอนแบล็กที่ผ่านการกระจายตัวไปหย่อนมีสารละลายเหลือ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ผสมกับอีพอกไซด์และทำให้สารเข้ากันได้ดีโดยใช้เทคนิคอัลตราโซนิกอีกครั้ง ภายใต้อุณหภูมิห้อง และผสมกับสารทำให้แข็งตัวด้วยอัตราส่วนระหว่างอีพอกไซด์กับสารทำให้แข็งตัวเท่ากับ 100 : 35 โดยน้ำหนัก ใส่ฟองอากาศด้วยสุญญากาศเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นขึ้นรูปชิ้นงานตามมาตรฐาน ASTM D638 [17] ดังแสดงในรูปที่ 3 ด้วยเทคนิคการหล่อขึ้นรูปบนแม่พิมพ์ซิลิโคน และทิ้งไว้ให้ชิ้นงานแข็งตัวที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และขึ้นงานออกจากแม่พิมพ์และอบด้วยเตาอบอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง



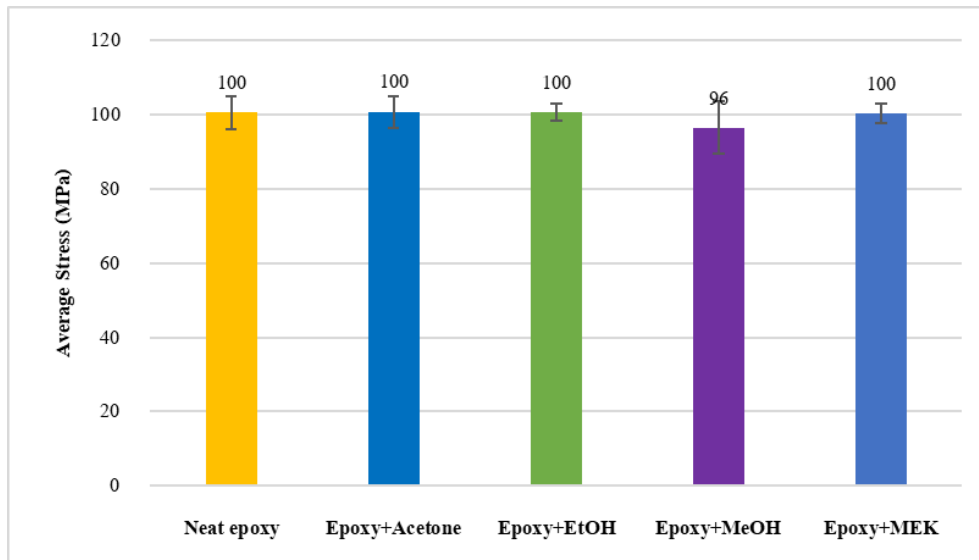
รูปที่ 3 ลักษณะและขนาดชิ้นงานสำหรับทดสอบสมบัติด้านแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638

5. ผลการวิจัย

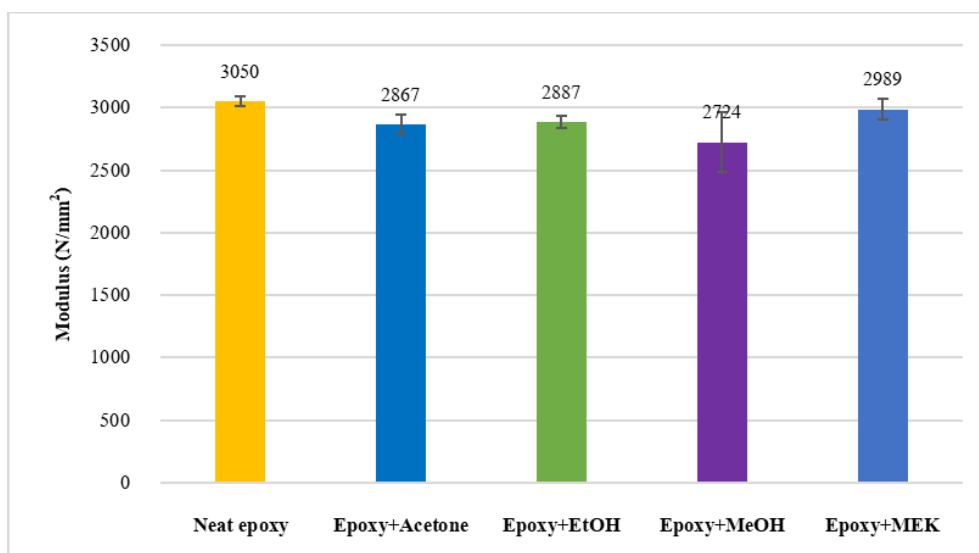
5.1 ผลของสารละลายในเรซินที่มีผลต่อสมบัติด้านแรงดึง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของตัวทำละลาย Acetone, EtOH, MeOH และ MEK ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ที่มีผลต่อสมบัติด้านแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D790 เมื่อวิเคราะห์ชิ้นงานภายใต้ขอบเขตการเปลี่ยนแปลงแบบอีลาสติก (Elastic region) ซึ่งเป็นบริเวณที่วัสดุสามารถกลับคืนสภาพเดิมได้เมื่อเอาแรงกระทำออกจากวัสดุ [18,19] ดังแสดงในรูปที่ 4-6 โดยค่าความแข็งแรงของชิ้นงานที่เติมสารละลาย Acetone, EtOH, MeOH และ MEK ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ไม่มีผลต่อความเค้นของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 4

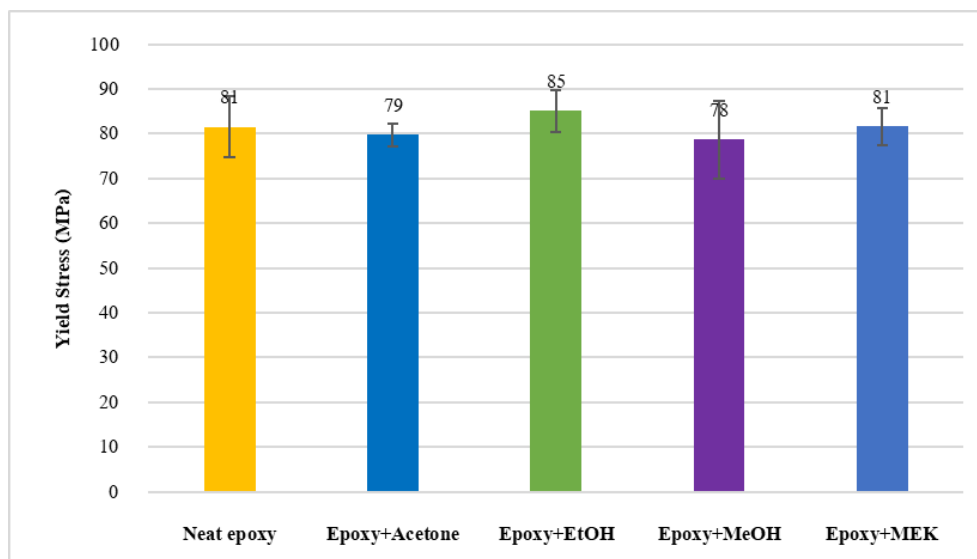
จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่า Young's modulus ของชิ้นงานมีแนวโน้มเช่นเดียวกับความเค้น ณ จุดคราก คือ มีการเปลี่ยนแปลงน้อย และจากรูปที่ 6 จะเห็นว่าจุดครากของชิ้นงานก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับสมบัติเชิงกลที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ทราบว่า สารละลายในปริมาณน้อย (1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติด้านแรงดึงของอีพอกซีเรซิน



รูปที่ 4 ความเค้นของชิ้นงานที่เติมสารละลาย Acetone, EtOH, MeOH และ MEK ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



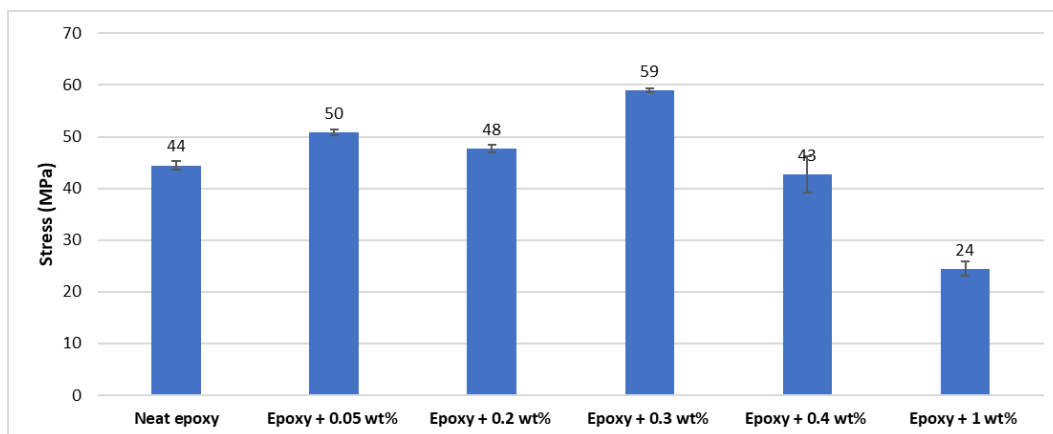
รูปที่ 5 ค่า Young's modulus ของชิ้นงานที่เติมสารละลาย Acetone, EtOH, MeOH และ MEK ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก



รูปที่ 6 ความเค้น ณ จุดครากของชิ้นงานที่เติมสารละลาย Acetone, EtOH, MeOH และ MEK ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

5.2 ผลการเติมสารเสริมแรงที่มีผลต่อสมบัติด้านแรงดึง

ผลการเติมสารละลาย Acetone, EtOH, MeOH และ MEK ในปริมาณ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในอีพ็อกซีเรซินทำให้ทราบว่า สารละลายปริมาณน้อยไม่มีผลต่อสมบัติด้านแรงดึงของชิ้นงาน และงานวิจัยของณัฐพล (2022) ซึ่งได้เตรียมและศึกษาสมบัติด้านแรงดึงของวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กโดยมีเรซินเป็นเนื้อสารพบว่า อนุภาคคาร์บอนแบล็กสามารถกระจายตัวในสารละลาย MeOH และสามารถเพิ่มค่าความเค้น ณ จุดคราก ได้สูงถึง 19 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ค่ามอดุลัสของยังมีค่าคงเดิม เมื่อเติมคาร์บอนแบล็กปริมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำให้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กต่อสมบัติด้านแรงดึง เนื่องจากวัสดุที่ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D790 จะมีแรงกระทำ 2 ชนิด เกิดขึ้นที่บริเวณด้านบนและด้านล่างของวัสดุ โดยบริเวณด้านบนจะมีแรงกดกระทำ และด้านล่างจะมีแรงดึงกระทำ ด้วยเหตุนี้คณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษาสมบัติด้านแรงดึงเพียงอย่างเดียวเพิ่มเติม โดยผลการวิจัยพบว่า เมื่อเติมคาร์บอนแบล็กปริมาณ 0.05, 0.2, 0.3, 0.4 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่งผลทำให้ความแข็งแรง ณ จุดครากของชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงไป ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กปริมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จะมีความเค้น ณ จุดครากเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผลการทดลองด้านแรงดึงในงานวิจัยก่อนหน้านี้ โดยมีค่าความเค้น ณ จุดครากเพิ่มขึ้นถึง 33 %



รูปที่ 7 ความเค้น ณ จุดครากของวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กปริมาณ 0, 0.05, 0.2, 0.3, 0.4 และ 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

6. สรุปผล

6.1 สารละลาย Acetone, EtOH, MeOH และ MEK ในปริมาณ 1 wt% ไม่มีผลต่อความเค้น ค่า Young's modulus และความเค้น ณ จุดครากของอีพ็อกซีเรซิน

6.2 วัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กปริมาณ 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีความเค้น ณ จุดครากเพิ่มขึ้น 33 %

6.3 วัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กมีแนวโน้มเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุได้เช่นเดียวกับการทดสอบความต้านทานแรงดัด

7. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ศึกษาการเสริมแรงวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กโดยมีเรซินเป็นเนื้อสารตามขอบเขตที่กำหนดเท่านั้น ซึ่งสามารถศึกษาเพิ่มเติมในหัวข้อผลของการเสริมแรงวัสดุคอมโพสิตด้วยอนุภาคคาร์บอนแบล็กในเนื้อสารชนิดอื่นๆ การเสริมแรงวัสดุคอมโพสิตด้วยอนุภาคคาร์บอนแบล็กที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลอื่น เช่น สมบัติด้านแรงกระแทกหรือสมบัติด้านแรงบิด เป็นต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถนำไปต่อยอดในการพัฒนาวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็กให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบดำรงคุณวุฒิและคุณสมบัติของอาจารย์ รร.นกก. ทั้งนี้คณะวิจัยขอขอบพระคุณ น.ต.ฉัฐวัฒน์ ภูักดี, ร.ท.เกริกภูมิ ชัยวงษ์, ร.ท.กิตติภพ จันทรดา และ ร.ท.ภิเชก เนคะมานุรักษ์ ที่ให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ จนทำให้โครงการวิจัยบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ท้ายที่สุดนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกรรมการบริหารงบดำรงคุณวุฒิและคุณสมบัติของอาจารย์ งานวิจัย รร.นกก. ที่อำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัยมาโดยตลอด

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Joseph P. Greene.(2021). **Automotive Plastics and Composites Materials and Processing.**
- [2] เอนก ภู่อานนท์. (2553). วัสดุอีพอกซีเรซินกับการขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติก. MTEC. เมษายน - มิถุนายน 2553: 14 – 20.
- [3] Blackman, B.R.K., et al., (2007). The fracture and fatigue behaviour of nano-modified epoxy polymers. *Journal of Materials Science*. 42: 7049-7051.
- [4] Ma, J., et al (2008)., Effect of inorganic nanoparticles on mechanical property, fracture toughness and toughening mechanism of two epoxy systems. *Polymer*. 49: 3510-3523
- [5] Gojny, F.H., et al. (2005), Influence of different carbon nanotubes on the mechanical properties of epoxy matrix composites – A comparative study. *Composites Science and Technology*. 65: 2300-2313.
- [6] Zhang, X.-H., et al., (2008) Toughening of cycloaliphatic epoxy resin by multiwalled carbon nanotubes. *Journal of Applied Polymer Science*. 110: 1351-1357.
- [7] Zainal, N., Arifin, H.H., Zardasti, L., Yahaya, N., Lim, K.S. and Md Noor, N. (2018) Mechanical Properties of Graphene-Modified Epoxy Grout for Pipeline Composite Repair. *International Journal of Integrated Engineering*. 10: 4.
- [8] Koh, K.L., et al. (2017), Fracture Toughness and Elastic Modulus of Epoxy-Based Nanocomposites with Dopamine- Modified Nano-Fillers. *Materials*. 10: 776-780.
- [9] **ASTM vol 9.01 D3053** page 465 (2004).
- [10] Jehr, Francis. Menlo Park Reminiscences, vol 1, Edison Institute, Dearborn, Michigan. Page 331.
- [11] Juan López-de-Uralde, Iraide Ruiz, Igor Santos, Agustín Zubillaga, Automatic Morphological Categorisation of Carbon Black Nano-aggregates, Database and Expert Systems Applications, 21th International Conference, DEXA 2010, Bilbao, Spain, August 30 - September 3, 2010, Proceedings, Part II.
- [12] Tanusree Bera, S.K. Acharya, Punyapriya Mishra, Synthesis, mechanical and thermal properties of carbon lack/epoxy composites, *International Journal of Engineering, Science and Technology*. 10(4), 2018: 12-20.
- [13] ณัฐพล เกษางาม, วรุต ธรรมวิชัย, การเตรียมและสมบัติด้านแรงค้ำของวัสดุคอมโพสิตที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนแบล็ก โดยมีเรซินเป็นเนื้อสาร, *Sci & Tech.J.NKRAFA*. [2022]. 18(2): 40 – 56.
- [14] Marcio R. Loos, Luiz Antonio F. Coelho, Sérgio H. Pezzin, viscosThe Effect of Acetone Addition on the Properties of Epoxy, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*. 18(1), 2008: 76-80.
- [15] Saad B. H. Farid, Dr. Akram R. Jabur & Khalid K. Abbass, The Effect of Solvent Additions on the Mechanical Properties of Epoxy, *Eng. & Tech. Journal*. 28(18), 2010: 5732-5743.
- [16] ASTM D790. **Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials 1.** ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
- [17] ASTM D638. **Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials 1.** ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

- [18] Ridaoui H, Jada A, Vidal L & Donnet JB. (2006). Effect of cationic surfactant and block copolymer on carbon black particle surface charge and size. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 278(1-3): 149–159.
- [19] Hsiang Yi Hsieh & Weng Tung Cheng. (2021). Fabrication and Stabilization of Oxidized Carbon Black Nanoparticle Dispersion in Aqueous Solution for Photothermal Conversion Enhancement. *ACS Omega* 2021. 21(6) : 3693–3700.