

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันการเติบโตของภาคอุตสาหกรรม ความต้องการด้านอุปโภคบริโภคและการผลิตยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้มีของเสียเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะอุตสาหกรรมอาหารทะเลทั่วโลกที่สร้างของเหลือเปลือกหอยหลายล้านตันต่อปี จากปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมดังกล่าว นักวิจัยหลายท่านได้มีความพยายามในการนำเปลือกหอยใช้เป็นวัสดุทางเลือกชนิดใหม่ เนื่องจากเปลือกหอยมีแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) เป็นองค์ประกอบหลัก จึงมีสมบัติทางกลที่เป็นประโยชน์หลายประการ เช่น มีความแข็งแรง ทนต่อสารเคมี มีเสถียรภาพทางความร้อน และเข้ากันได้ทางชีวภาพ เมื่อบดละเอียดแล้ว เปลือกหอยสามารถใช้เป็นสารตัวเติมในไบโอพลาสติก ซีเมนต์ กระเบื้อง และวัสดุคอมโพสิตอื่น ๆ ได้ ดังนั้นจึงมีการนำเปลือกหอยผสมในวัสดุคอมโพสิตเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของวัสดุและลดต้นทุนการผลิต ข้อมูลจากการสำรวจสถิติการเลี้ยงหอยทะเลในประเทศไทยของกรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ในปีพ.ศ. 2566 [1] พบว่าปริมาณผลผลิตของหอยแมลงภู่ (Mussel shell) มีจำนวนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 54.79 ของผลผลิตหอยทะเลทั้งหมด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ของเหลือจากเปลือกหอยแมลงภู่มาทำการผสมเพื่อพัฒนาวัสดุใหม่ เมื่อมีการนำวัสดุเหลือใช้มาผสมเป็นวัสดุชนิดใหม่มักจะเป็นการผสมกับวัสดุกลุ่มพอลิเมอร์ด้วยสมบัติในการขึ้นรูปและสมบัติทางกลที่ค่อนข้างดี ซึ่งอีพอกซีเรซินเป็นหนึ่งในวัสดุที่ได้รับความนิยมในการนำมาทำวัสดุคอมโพสิต อีพอกซีเรซินเป็นพอลิเมอร์ชนิดเทอร์โมเซตติง (Thermosetting) มีลักษณะเป็นของเหลวความหนืดต่ำ เมื่อผสมกับสารช่วยแข็งจะทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีจนเกิดการแข็งตัว ซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี มีสมบัติทางกลที่สูงและมีความสามารถในการต้านทานไฟฟ้า เนื่องจากประสิทธิภาพที่โดดเด่น จึงใช้ในงานเคลือบ วัสดุฉนวนไฟฟ้า วัสดุโครงสร้าง และอุตสาหกรรมคอมโพสิต อย่างไรก็ตาม ด้วยโครงสร้างที่มีความหนาแน่นของการเชื่อมขวาง (Crosslink) สูง [2] ส่งผลให้อีพอกซีเรซินมีความสามารถในการต้านทานการแตกหัก หรือการแพร่กระจายของรอยร้าวได้ต่ำ จึงไม่สามารถใช้ในงานวัสดุเคลือบและงานคอมโพสิตด้านวิศวกรรมได้ ดังนั้นการนำวัสดุผสมจากเปลือกหอยและอีพอกซีเรซินไปใช้ในงานเชิงวิศวกรรมจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความต้านทานการแตกหักของวัสดุด้วยความต้านทานการแตกหักนั้นเป็นพารามิเตอร์ที่อธิบายความสามารถในการต้านทานการเติบโตของรอยร้าวจากขนาดรอยร้าวเริ่มต้นของวัสดุ ซึ่งเกี่ยวข้องกับกลศาสตร์การแตกหักที่ศึกษาพฤติกรรมการแตกหักและการตอบสนองต่อทิศทางการรับภาระของวัสดุ [3] สามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบ คือ รูปแบบเปิด (รูปแบบ 1) รูปแบบแรงเฉือนในระนาบ (รูปแบบ 2) และรูปแบบแรงเฉือนนอกระนาบ (รูปแบบ 3) แต่ในการใช้งานทางด้านวิศวกรรมโดยส่วน

ใหญ่ทิศทางการรับภาระจะอยู่ในรูปแบบผสม ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญในการออกแบบและประเมินความสมบูรณ์ของโครงสร้างวัสดุและชิ้นส่วนทางวิศวกรรม วิธีการดั้งเดิมในการหาค่าความต้านทานการแตกหักของวัสดุสามารถหาจากการทดสอบวัสดุจริงและนำค่าภาระที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณค่าความต้านทานการแตกหัก ซึ่งเป็นการทดสอบแบบทำลาย จึงใช้ต้นทุนในการทดสอบสูง และใช้เวลานาน อีกหนึ่งวิธีคือการคำนวณด้วยเกณฑ์การแตกหัก (Fracture criteria) ที่สามารถคาดการณ์ความต้านทานการแตกหักเบื้องต้นของวัสดุว่าวัสดุจะแตกหักหรือไม่เมื่อรับภาระภายใต้สภาวะต่าง ๆ ด้วยสมการความสัมพันธ์ของความเค้น ความเครียด หรือพลังงานที่เกิดขึ้นบริเวณการแตกหัก ซึ่งวิธีการนี้มีต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่ต่ำ แต่ผลการทำนายที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนจากค่าความต้านทานการแตกหักจริงที่ได้จากการทดสอบ เพื่อลดการใช้ทรัพยากรหรือความคลาดเคลื่อนในการคำนวณความต้านทานการแตกหัก นักวิจัยหลายท่านได้นำวิธีการปัญญาประดิษฐ์มาช่วยในการทำนายพฤติกรรมและตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อ การแตกหัก เช่น ความต้านทานการแตกหัก [4-6] ทิศทางการแพร่กระจายของรอยร้าว [7, 8]

วิธีปัญญาประดิษฐ์มีลักษณะเลียนแบบการเรียนรู้ของมนุษย์ แบบจำลองจำเป็นต้องใช้ข้อมูลหรือพารามิเตอร์จำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการแตกหักของวัสดุในการฝึกสอนเพื่อให้สามารถตอบสนองพฤติกรรมของปัญหาได้ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวได้จากการทดสอบด้วยวิธีทดสอบแบบทำลาย และในการทดสอบแต่ละครั้งมักจะเก็บข้อมูลได้เพียงจุดเดียว ด้วยปริมาณข้อมูลที่มีอย่างจำกัด ส่งผลให้ในการสร้างแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ให้ได้ประสิทธิภาพและมีความแม่นยำเพื่อทำนายความต้านทานการแตกหักมีต้นทุนและค่าใช้จ่ายที่สูง นักวิจัยได้พัฒนาการใช้ปัญญาประดิษฐ์เพื่อปรับปรุงการทำนายความต้านทานการแตกหักด้วยข้อมูลการทดลองที่มีอยู่อย่างจำกัด แนวทางที่มีแนวโน้มที่ดีแนวทางหนึ่งคือการสร้างแบบจำลองซึ่งบูรณาการจากข้อมูลหลายแหล่ง เมื่อแหล่งข้อมูลมีความแม่นยำแตกต่างกัน ข้อมูลที่มีความแม่นยำสูงจะเรียกว่า "ความเที่ยงตรงสูง" ในขณะที่ข้อมูลที่มีความแม่นยำต่ำจะเรียกว่า "ความเที่ยงตรงต่ำ" การผสมผสานข้อมูลที่มีระดับความเที่ยงตรงต่างกันมักเรียกกันว่าการสร้างแบบจำลองหลายระดับความเที่ยงตรง (Multi-fidelity model) [9, 10] วิธีการสร้างแบบจำลองนี้ช่วยเพิ่มความแม่นยำและความน่าเชื่อถือในการทำนายได้โดยการใช้ประโยชน์จากข้อมูลจากทั้งการทดสอบในเชิงทดลองและการทำนายทางทฤษฎีหรือการคำนวณ ด้วยการบูรณาการแหล่งข้อมูลที่หลากหลาย แบบจำลองหลายระดับความเที่ยงตรงจะชดเชยข้อมูลการทดลองที่มีไม่เพียงพอในขณะที่ยังคงประสิทธิภาพการทำนายที่แม่นยำ

สำหรับงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายความต้านทานการแตกหักภายใต้ภาระแบบผสม 1 และ 3 ของวัสดุอีพอกซีเรซินเสริมแรงด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ด้วยวิธีปัญญาประดิษฐ์จากข้อมูลหลายระดับความเที่ยงตรง ซึ่งข้อมูลที่มีความเที่ยงตรงสูงได้มาจากการทดสอบบนชิ้นงานทดสอบแบบมีรอยร้าวข้างเดียวรับแรงกดดัด 3 จุด (Single edge notch bend – three point bending test) และข้อมูลที่มีความเที่ยงตรงต่ำได้จากการคำนวณด้วยเกณฑ์การแตกหักแบบ Maximum tangential stress (MTS) [21] และเกณฑ์การแตกหักแบบ Local strain energy density (Local SED) [22]

โดยเปรียบเทียบกับการทำนายด้วยแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ทั่วไปที่ใช้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลที่มีความเที่ยงตรงสูงเพียงอย่างเดียว และเพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยและสัดส่วนการผสมต่อความต้านทานการแตกหัก ปัจจัยรับเข้า (Input factors) ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ทั้งสามประเภท ได้แก่ อุณหภูมิการเผาเปลือกหอย สัดส่วนการผสมพารามิเตอร์การรับภาระแบบผสม ส่วนผลลัพธ์ของการทำนาย ได้แก่ ความต้านทานการแตกหักภายใต้ภาระรูปแบบที่ 1 (K_I) และความต้านทานการแตกหักภายใต้ภาระรูปแบบที่ 3 (K_{III}) อัลกอริทึมปัญญาประดิษฐ์ที่เลือกใช้คือโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep neural network, DNN) ประสิทธิภาพการทำนายของแบบจำลองจะได้รับการประเมินโดยใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่หลากหลาย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแมลงภู่ต่อความต้านทานการแตกหักภายใต้ภาระแบบผสม 1 และ 3 ของอีพอกซีเรซินเสริมแรงด้วยเปลือกหอยแมลงภู่

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของสัดส่วนการผสมเปลือกหอยแมลงภู่ต่อความต้านทานการแตกหักภายใต้ภาระแบบผสม 1 และ 3 ของอีพอกซีเรซินเสริมแรงด้วยเปลือกหอยแมลงภู่

1.2.3 เพื่อศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแมลงภู่และสัดส่วนการผสมเปลือกหอยแมลงภู่ต่อความต้านทานการแตกหักภายใต้ภาระแบบผสม 1 และ 3 ของอีพอกซีเรซินเสริมแรงด้วยเปลือกหอยแมลงภู่

1.2.4 เพื่อสร้างแบบจำลองทำนายผลความต้านทานการแตกหักภายใต้ภาระแบบผสม 1 และ 3 ของอีพอกซีเรซินเสริมแรงด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ภายใต้อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแมลงภู่และสัดส่วนการผสมเปลือกหอยแมลงภู่ด้วยวิธีปัญญาประดิษฐ์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาบนอีพอกซีเรซินชนิด Bisphenol-A Diglycidyl Ether (BADGE) และสารช่วยให้แข็งตัว (Hardener) ชนิด Aliphatic amine

1.3.2 ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแมลงภู่ที่ 500, 700 และ 900 องศาเซลเซียส

1.3.3 ศึกษาผลกระทบของสัดส่วนการผสมเปลือกหอยแมลงภู่ในวัสดุผสมคิดเป็นร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนัก

1.3.4 ศึกษาผลกระทบร่วมระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแมลงภู่และสัดส่วนการผสมเปลือกหอยแมลงภู่ต่อความต้านทานการแตกหักภายใต้ภาระแบบผสม 1 และ 3 ของอีพอกซีเรซินเสริมแรงด้วยเปลือกหอยแมลงภู่

1.3.5 สร้างแบบจำลองทำนายความต้านทานการแตกหักภายใต้ภาระแบบผสม 1 และ 3 ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบมีผู้ฝึกสอน (Supervised learning)

1.3.6 วัดประสิทธิภาพการทำนายผลของแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ภายใต้ขอบเขตของปัจจัยที่ใช้สร้างแบบจำลองเท่านั้น

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ออกแบบการทดลองและเตรียมชิ้นทดสอบ

1.4.3 ทดสอบตามการออกแบบการทดลอง

1.4.4 วิเคราะห์ผลการทดลองและสร้างแบบจำลองทำนายผลการทดลอง

1.4.5 สรุปผลการทดลอง

1.4.6 เผยแพร่งานวิจัย

1.5 สถานที่ทำวิจัย

1.3.1 อาคารเครื่องมือ 1, 3, 5, 6 และ 10 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบลสุรนารี อำเภอเมืองนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา รหัสไปรษณีย์ 30000

1.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

1.6.1 เครื่องบด (Crushing machine) ยี่ห้อ Fritsch รุ่น Fritsch D-55734 สำหรับบดเปลือกหอยแมลงภู่

1.6.2 เครื่องร่อนและตะแกรกร่อน (Sieve shaker machine) ยี่ห้อ Fritsch รุ่น A-3 Pro สำหรับร่อนเปลือกหอยแมลงภู่ที่ผ่านการบดแล้วเพื่อคัดแยกขนาด

1.6.3 ตู้อบลมร้อน (Hot air oven) สำหรับขั้นตอนการเตรียมอีพอกซีเรซินเสริมแรงด้วยเปลือกหอยแมลงภู่

1.6.4 เตาเผาวัสดุ (High temperature furnaces) ยี่ห้อ Carbolite สำหรับเผาเปลือกหอยแมลงภู่

1.6.5 เครื่องกัด (Milling machine) สำหรับการเตรียมชิ้นทดสอบให้ได้ขนาดและรูปร่างที่ต้องการ

1.6.6 เครื่องทดสอบแรงดึงแบบประสม (Universal testing machines, UTM) ยี่ห้อ Lloyd รุ่น LD series กำลังการทดสอบ 100 กิโลนิวตัน ใช้สำหรับการทดสอบความต้านทานการแตกหักและการทดสอบแรงดึงของอีพอกซีเรซินเสริมแรงด้วยเปลือกหอยแมลงภู่

1.6.7 กล้องจุลทรรศน์ถ่ายภาพและจำลองพื้นผิวแบบ 3 มิติ (3D Measuring laser microscope) ยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น OLS5100 สำหรับการวัดความยาวรอยร้าวเริ่มต้นของชิ้นทดสอบ ความต้านทานการแตกหักและการศึกษาพื้นผิวการแตกหักของชิ้นทดสอบ

1.6.8 เครื่องวัดขนาดอนุภาคโดยใช้เลเซอร์ (Laser diffraction particle size analyzer) ยี่ห้อ Horiba รุ่น LA-950V2 เพื่อวัดขนาดอนุภาคของเปลือกหอยหลังจากขั้นตอนการร่อน

1.6.9 กล้องจุลทรรศน์แบบสเตอริโอ (Stereo microscope with integrated camera) ยี่ห้อ Leica รุ่น EZ4W สำหรับถ่ายภาพพื้นผิวการแตกหักของชิ้นทดสอบ

1.6.10 เครื่องเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์เพื่อศึกษาวัสดุทางการแพทย์แบบผง (Powder x-ray diffractometer: XRD) ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 Advance เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบของเปลือกหอยแมลงภู่

1.6.11 เครื่องวิเคราะห์ธาตุด้วยการเรืองแสงรังสีเอ็กซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy dispersive spectrometer x-ray fluorescence: ED-XRF) ยี่ห้อ Horiba รุ่น XGT-5200 วิเคราะห์ธาตุของเปลือกหอยแมลงภู่

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ทราบถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแมลงภู่ต่อความต้านทานการแตกหักภายใต้ภาระแบบผสม 1 และ 3 ของอีพอกซีเรซินเสริมแรงด้วยเปลือกหอยแมลงภู่

1.7.2 ทราบถึงผลกระทบของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแมลงภู่ต่อความต้านทานการแตกหักภายใต้ภาระแบบผสม 1 และ 3 ของอีพอกซีเรซินเสริมแรงด้วยเปลือกหอยแมลงภู่

1.7.3 ทราบถึงผลกระทบร่วมระหว่างอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแมลงภู่และสัดส่วนการผสมเปลือกหอยแมลงภู่ต่อความต้านทานการแตกหักภายใต้ภาระแบบผสม 1 และ 3 ของอีพอกซีเรซินเสริมแรงด้วยเปลือกหอยแมลงภู่

1.7.4 สามารถสร้างแบบจำลองปัญญาประดิษฐ์ในการทำนายผลความต้านทานการแตกหักภายใต้ภาระแบบผสม 1 และ 3 ของอีพอกซีเรซินเสริมแรงด้วยเปลือกหอยแมลงภู่ภายใต้อิทธิพลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเปลือกหอยแมลงภู่และสัดส่วนการผสมเปลือกหอยแมลงภู่