

การศึกษาการซึมผ่านและการตกค้างของแมกนีเซียมซัลเฟตในคอนกรีตรีไซเคิลที่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสม

Investigation of Magnesium Sulfate Penetration and Retention in Recycled Concrete Incorporating Plastic Waste

ศุภศรี นรลักษณ์¹ ลีรณญา ทองชาติ² และ ฤกษ์ จันทโรทัย^{2,*}

¹ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม

² อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.นครปฐม

*Corresponding author; E-mail address: fengknj@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ปัจจุบันคอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างหลักที่อาศัยวัสดุมวลรวมจากทรัพยากรธรรมชาติ ซึ่งมีปริมาณจำกัด ขณะเดียวกัน ปัญหาขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างรุนแรง การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการซึมผ่านและการตกค้างของแมกนีเซียมซัลเฟตในคอนกรีตรีไซเคิลที่ประกอบด้วยวัสดุมวลรวมรีไซเคิลและขยะพลาสติก โดยใช้ขยะพลาสติกแทนวัสดุมวลรวมละเอียดในส่วนร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการบ่มตัวอย่างในสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และเปรียบเทียบผลที่ระยะเวลา 0 และ 140 วัน ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตที่มีวัสดุมวลรวมรีไซเคิลและขยะพลาสติกมีความต้านทานต่อการซึมผ่านของแมกนีเซียมซัลเฟตลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และเกิดการเสื่อมสภาพเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ ขยะพลาสติกมีอิทธิพลต่อโครงสร้างจุลภาคและการซึมผ่านของสารละลาย การศึกษานี้ชี้ให้เห็นถึงศักยภาพและข้อจำกัดของการใช้ขยะพลาสติกในคอนกรีตรีไซเคิล ซึ่งสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในงานด้านความทนทานของวัสดุก่อสร้างในอนาคต

คำสำคัญ: การซึมผ่านของแมกนีเซียมซัลเฟต, ขยะพลาสติก, คอนกรีตรีไซเคิล, วัสดุมวลรวมรีไซเคิล

Abstract

Concrete is currently a primary construction material that relies heavily on natural aggregates, which are increasingly scarce. At the same time, the growing volume of plastic waste poses a serious threat to the environment. This research aims to investigate the penetration and retention of magnesium sulfate in recycled concrete incorporating recycled aggregates and plastic waste. In this study, plastic waste was used to replace 10% by weight of fine aggregates. The concrete specimens were then cured in a 5% magnesium sulfate solution by weight and examined at 0 and 140 days. The test results revealed that the resistance of recycled concrete containing recycled aggregates and plastic waste to magnesium sulfate penetration decreased over time, leading to significant deterioration. The presence of plastic waste was found to influence the microstructure and permeability of the concrete. This study highlights both the potential and limitations of using plastic waste in recycled

concrete and provides a foundation for future research on enhancing the durability of construction materials.

Keywords: Magnesium sulfate penetration, Plastic waste, Recycled aggregate, Recycled concrete

คำนำ

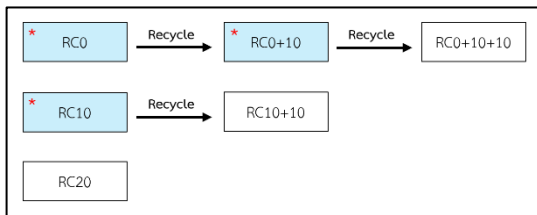
ปัจจุบันประเทศไทยยังคงเผชิญกับปัญหาปริมาณขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีปริมาณขยะรวมสูงถึง 26.95 ล้านตัน ซึ่งในจำนวนนี้ประมาณ 3 ล้านตันเป็นขยะพลาสติกแบบใช้ครั้งเดียวทิ้ง มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์เพียงประมาณ 0.5 ล้านตัน ส่วนที่เหลืออีกประมาณ 2.5 ล้านตันต้องกำจัดโดยการฝังกลบหรือเผาทำลาย [1] พลาสติกเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเฉพาะ เช่น ความหนาแน่นต่ำ ความทนทาน และน้ำหนักเบา ส่งผลให้ใช้พื้นที่ในการฝังกลบมากกว่าขยะประเภทอื่น อีกทั้งยังใช้เวลาย่อยสลายนานนับร้อยปี นำไปสู่การใช้ทรัพยากรในการกำจัดอย่างสิ้นเปลือง และก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการทิ้งขยะอย่างไม่เป็นระบบ เช่น การอุดตันของระบบระบายน้ำ ขยะลอยในแหล่งน้ำธรรมชาติ และการตกค้างของขยะในทะเล

คอนกรีตเป็นวัสดุที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อใช้ในงานก่อสร้าง เช่น อาคาร ถนน เขื่อน และกำแพง โดยอาศัยวัสดุจากธรรมชาติ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ที่ได้จากหินปูน มวลรวมหยาบจากหินย่อย และมวลรวมละเอียดจากทราย ซึ่งกระบวนการได้มาของวัสดุดังกล่าวส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยตรง ปัจจุบันหลายประเทศเริ่มตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมมากขึ้น จึงมีความพยายามในการนำวัสดุเหลือใช้หรือวัสดุรีไซเคิลกลับมาใช้ใหม่ในงานวิศวกรรมโยธา เช่น การนำเศษคอนกรีตจากอาคารที่ถูกรื้อถอนกลับมาเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตใหม่ การใช้วัสดุเชื่อมประสานทดแทนซีเมนต์ และการใช้วัสดุทดแทนมวลรวม

จากแนวคิดข้างต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้คอนกรีตรีไซเคิลที่ผลิตจากวัสดุมวลรวมรีไซเคิลร่วมกับขยะพลาสติก โดยใช้ขยะพลาสติกเป็นวัสดุมวลรวมละเอียด และศึกษาพฤติกรรมการต้านทานการซึมผ่านของแมกนีเซียมซัลเฟตในคอนกรีตที่มีอายุการบ่ม 0 และ 140 วัน เพื่อประเมินผลกระทบต่อความทนทานของคอนกรีต และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาความต้านทานการซึมผ่านของแมกนีเซียมซิลิเกต ที่ใช้วัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจากเศษเสาะซีเมนต์ที่ถูกย่อย และใช้มวลรวมละเอียดจากขยะพลาสติกในอัตราร้อยละ 10 และ 20 โดยมีน้ำและซีเมนต์เป็นส่วนผสมของคอนกรีตรีไซเคิล โดยแบ่งผสมเป็นตัวอย่างทั้งหมด 6 ตัวอย่าง ได้แก่ คอนกรีตที่ไม่ผสมขยะพลาสติก (RC0) คอนกรีตที่ผสมขยะพลาสติกร้อยละ 10 คอนกรีตที่ได้มาจากการนำ (RC0) มาย่อยและนำไปผสมเป็นก้อนคอนกรีตใหม่โดยผสมขยะพลาสติกเพิ่มร้อยละ 10 และตัวอย่างสุดท้ายคือการนำตัวอย่าง (RC10) มาย่อยและนำไปผสมเป็นก้อนคอนกรีตใหม่โดยผสมขยะพลาสติกเพิ่มร้อยละ 10 (RC10+10)



ภาพที่ 1 ขอบเขตของงานวิจัย
(* กรณีศึกษาในงานวิจัยนี้)

จากนั้นจึงนำไปป้อนด้วยสารละลายแมกนีเซียมซิลิเกตในปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของส่วนผสม และทำการเปรียบเทียบความต้านทานการซึมผ่านของแมกนีเซียมซิลิเกต ในช่วงเวลา 0 และ 140 วัน ด้วยการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM analysis) ซึ่งวิธีนี้สามารถตรวจสอบธาตุที่มีอยู่ในก้อนคอนกรีตได้ บ่งบอกถึงปริมาณธาตุที่อยู่ในก้อนคอนกรีต ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบระหว่างตัวอย่างก่อนคอนกรีตที่ผ่านการบ่มในสารละลายแมกนีเซียมซิลิเกต และตัวอย่างก่อนคอนกรีตที่ไม่ผ่านการบ่มสารละลายแมกนีเซียมซิลิเกต

1. วัสดุและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 วัสดุสำหรับผสมคอนกรีต

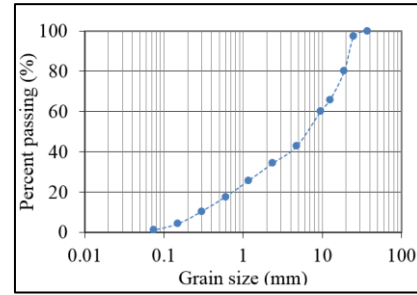
1.1.1 วัสดุมวลรวม

วัสดุมวลรวมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียดที่ได้จากเศษเสาะซีเมนต์ที่ไม่ใช้งานแล้วหรือถูกรื้อถอนมาจากสิ่งปลูกสร้าง งานวิจัยนี้จึงนำเศษเสาะซีเมนต์มาย่อยเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่เป็นวัสดุมวลรวมในการผสมคอนกรีต ซึ่งมีการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทดสอบหาการกระจายขนาดผลของวัสดุมวลรวมรีไซเคิลดังแสดงในภาพ



ภาพที่ 2 วัสดุมวลรวมรีไซเคิลที่ได้จากเศษเสาะซีเมนต์เหลือทิ้ง

ที่มา : Compressive strength of recycled aggregated concrete from concrete waste and plastic waste. Kamphaeng Saen, Kasetsart University [3]



ภาพที่ 3 กราฟแสดงการกระจายขนาดผลของวัสดุมวลรวมรีไซเคิล

ที่มา : Compressive strength of recycled aggregated concrete from concrete waste and plastic waste. Kamphaeng Saen, Kasetsart University [3]

1.1.2 ขยะพลาสติกรีไซเคิล

ขยะพลาสติก (PW) เป็นวัสดุที่นำมาแทนตัววัสดุมวลรวมละเอียดในการผสมคอนกรีต โดยพลาสติกที่นำมาใช้นั้นเป็นพลาสติกที่เหลือจากกระบวนการรีไซเคิล โดยการนำพลาสติกมาใช้นั้นจะต้องนำขยะพลาสติกไปผ่านกระบวนการแยกโดยใช้ความถี่เฉพาะ เพื่อคัดแยกส่วนที่นำมาใช้ได้ หลังจากนั้นจึงนำไปย่อยให้ตัวขยะพลาสติกมีขนาดเล็กกว่า ตะแกรงเบอร์ 4 (0.75 มิลลิเมตร) เพื่อนำไปใช้แทนวัสดุมวลรวมละเอียด ในปริมาณร้อยละ 10 ในการผสมคอนกรีต



ภาพที่ 4 ขยะพลาสติกที่นำมาใช้แทนวัสดุมวลรวมละเอียด

ที่มา : Compressive strength of recycled aggregated concrete from concrete waste and plastic waste. Kamphaeng Saen, Kasetsart University [3]

1.2 การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

วัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีตประกอบด้วยวัสดุมวลรวมหยาบที่ได้จากเศษเสาะซีเมนต์ วัสดุมวลรวมละเอียดที่ได้จากเศษเสาะซีเมนต์และขยะพลาสติก ปูนปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และน้ำสะอาด โดยการผสมคอนกรีตจะเริ่มต้นด้วยการย่อยเศษเสาะซีเมนต์ให้ได้ตามขนาดผลที่กำหนดไว้ เพื่อลดช่องว่างหรือรูพรุนที่จะเกิดในก้อนคอนกรีต โดยจะใช้วัสดุมวลรวมที่มีขนาดค้ำตะแกรงเบอร์ 4 เป็นวัสดุมวลรวมหยาบ และใช้วัสดุที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เป็นมวลรวมละเอียด โดยปริมาณสัดส่วนผสมในแต่ละตัวอย่างจะแตกต่างกันออกไป ดังแสดงในตาราง [1]

ตารางที่ 1 ปริมาณสัดส่วนผสมที่ใช้ในการออกแบบ

ชื่อ	มวลรวม หยาบ (กก.)	มวลรวมละเอียด (กก.)	รวม (กก.)	ทลาสติก (กก.)	น้ำจืด (กก.)	ปูนซีเมนต์ (กก.)
RC0	29.089	21.748	50.838	0.000	8.226	11.840
RC10	22.503	16.824	39.327	0.819	6.607	9.579
RC0+10	22.694	16.967	39.661	0.803	8.472	9.392

ที่มา : การสึกกร่อนของคอนกรีตที่เคลือบด้วยวัสดุผสมเรซินและขี้เถ้าฟอสฟอรัส
ร้อยละ 0 และ 10 [1]

หลังจากผสมคอนกรีตตามสัดส่วนที่ออกแบบไว้ในเครื่องไม่คอนกรีต จะทำการทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump Test) เพื่อวัดค่าความสามารถในการเทคอนกรีต และดูสภาพความชื้นเหลว และลักษณะการไหลตัวของคอนกรีต ก่อนจะนำตัวอย่างที่ได้จากการยุบตัวของคอนกรีต อยู่ที่ประมาณ 8 – 10 เซนติเมตร ไปเทใส่แบบหล่อขนาด 10x10x10 เซนติเมตร และปล่อยให้แห้ง 24 ชั่วโมง จากนั้นถอดตัวอย่างออกจากแบบ และนำไปต้มด้วยน้ำสะอาด 28 วัน หลังจากครบจำนวนวันที่ทำการต้มด้วยน้ำสะอาด ก่อนตัวอย่างจะถูกนำขึ้นมาพักให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน และจะถูกนำไปต้มต่อด้วยสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของส่วนผสม เป็นเวลา 140 วัน

1.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.3.1 ผลกระทบจากซัลเฟตที่มีผลต่อคอนกรีต

สารละลายซัลเฟตเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ทำให้คอนกรีตเกิดการเสื่อมสภาพ โดยเมื่อสารละลายซัลเฟตซึมเข้าสู่ภายในเนื้อคอนกรีต จะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกับองค์ประกอบบางชนิดในปูนซีเมนต์ ก่อให้เกิดสารประกอบที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้น ซึ่งจะดันเนื้อคอนกรีตจากภายใน ส่งผลให้เกิดการพองตัวและแตกร้าวของคอนกรีตในระยะยาว ในงานวิจัยนี้พบว่า คอนกรีตที่ผสมขี้เถ้าฟอสฟอรัสมีโครงสร้างภายในที่มีช่องว่างมากกว่า คอนกรีตทั่วไป ทำให้สารละลายซัลเฟตสามารถซึมผ่านได้ง่ายขึ้น และเร่งให้เกิดการเสื่อมสภาพของเนื้อคอนกรีตเร็วยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีซัลเฟตอยู่ในระดับสูง [12]

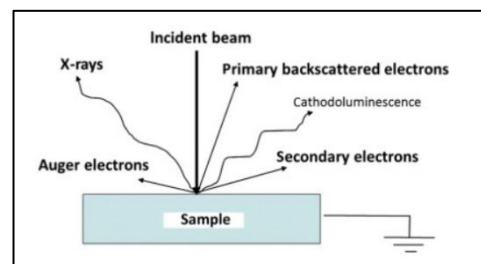
1.4 การทดสอบการต้านทานการซึมผ่านของแมกนีเซียมซัลเฟต ด้วยการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM analysis)

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพที่ออกแบบมาเพื่อตรวจสอบพื้นผิวของวัสดุ ใน SEM ลำแสงอิเล็กตรอนที่มีแรงดันไฟฟ้าแรงสูงถึง 30 กิโลโวลต์จะโฟกัสไปที่ชิ้นงาน [3] ปฏิสัมพันธ์ระหว่างลำแสงอิเล็กตรอนและชิ้นงานจะปล่อยสัญญาณจากชิ้นงาน และเครื่องตรวจจับจะรวบรวมสัญญาณดังกล่าว สัญญาณที่บันทึกได้จะรวมกันเพื่อสร้างภาพ [2]

เมื่อตัวอย่างถูกฉายด้วยลำแสงอิเล็กตรอน จะเกิด "การกระเจิงแบบยืดหยุ่น" ขึ้นจากนิวเคลียสของอะตอมหรืออิเล็กตรอนในเปลือกนอกที่มีพลังงานใกล้เคียงกัน อิเล็กตรอนที่ตกกระทบซึ่งกระเจิงแบบยืดหยุ่นในมุมที่มากกว่า 90 eV [3] SE เป็น สัญญาณที่ใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดใน SEM เนื่องจากอิเล็กตรอนที่ปล่อยออกมา มีพลังงานต่ำ อิเล็กตรอนเหล่านี้สามารถหลุดรอดจากบริเวณที่อยู่ภายในไม่กี่นาโนเมตรของตัวอย่างเท่านั้น จึงให้ข้อมูลภูมิประเทศที่แม่นยำและมีความละเอียดที่ดี องศาเรียกว่า

อิเล็กตรอนที่กระเจิงกลับ (BSE) สัญญาณ BSE ให้ข้อมูลทั้งองค์ประกอบและภูมิประเทศของตัวอย่าง เมื่ออิเล็กตรอนตกกระทบ อิเล็กตรอน และอะตอมของตัวอย่างได้ตอบกัน จะเกิด "การกระเจิงแบบไม่ยืดหยุ่น" ระหว่างการโต้ตอบแบบไม่ยืดหยุ่น อิเล็กตรอนที่เร่งตัวจะถ่ายโอนพลังงานจำนวนมากไปยังอะตอมของตัวอย่าง ทำให้เกิดการกระตุ้นอิเล็กตรอนของตัวอย่างและนำไปสู่การสร้างอิเล็กตรอนรอง (SE) ที่กำหนดด้วยพลังงานน้อยกว่า 50 [2]

SEM ประกอบด้วยปืนอิเล็กตรอนที่เร่งอิเล็กตรอนด้วยแรงดันไฟฟ้า 0.1–30 keV เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าและช่องรับแสงใช้เพื่อโฟกัสอิเล็กตรอนบนลำแสงและลดขนาดให้เท่ากับขนาดของแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (ประมาณ 50 นาโนเมตร) การวิเคราะห์จะดำเนินการในสภาพแวดล้อมที่มีสุญญากาศสูงเพื่อหลีกเลี่ยงการกระเจิงของอิเล็กตรอน เมตรสำหรับ เส้นใย ทั้งหมด) ก่อนที่ลำแสงอิเล็กตรอนจะกระทบตัวอย่างจนได้ขนาดที่ต้องการ (1–100) [2]



ภาพที่ 5 หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

ที่มา : Foundations of Biomaterials Engineering,
Page. 393-469 [8]

SEM เป็นเครื่องมือที่มีความยืดหยุ่นสูงสำหรับการกำหนดลักษณะโครงสร้างของวัสดุชีวภาพ โดยทั่วไปวัสดุเหล่านี้ประกอบด้วยสายโซ่ยาวขององค์ประกอบที่มีเลอะอะตอมต่ำ เช่น คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจน องค์ประกอบที่เบากว่าเหล่านี้มีปฏิสัมพันธ์กับอิเล็กตรอนที่เร่งตัวน้อยกว่า ซึ่งให้ความคมชัดต่ำ ดังนั้น จำเป็นต้องเคลือบหรือย้อมสีโพลีเมอร์เป็นประจำเพื่อศึกษาตัวอย่าง ตัวอย่างโพลีเมอร์ส่วนใหญ่เคลือบด้วยโลหะ เช่น ทองคำเพื่อให้ได้ภาพที่ดีที่สุดด้วย SEM [2]



ภาพที่ 6 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

1.4.1 การเตรียมตัวอย่างก่อนนำไปทดสอบ

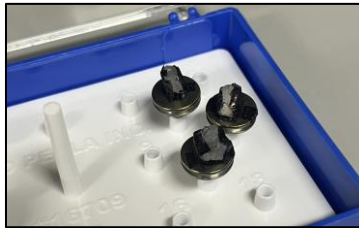
นำก้อนตัวอย่างขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ที่ผ่านการต้มด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตเรียบร้อยแล้วนำมาขึ้นมาสักและปล่อยให้แห้งตัวอย่างแห้งในอุณหภูมิห้อง ก่อนนำก้อนตัวอย่างไปตัดขอบให้ได้ขนาดของชิ้นตัวอย่างไม่เกิน 1x1x1 เซนติเมตร จากนั้นนำเข้าสู่ควมคุมอุณหภูมิโดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อนำความชื้นที่

อยู่ในชั้นตัวอย่างออกให้เหลือน้อยที่สุด และนำเข้าตู้ดูดความชื้นเพื่อไล่ความชื้นที่เหลือออกให้หมดก่อนนำเข้าตัวอย่างไปทดสอบ



ภาพที่ 7 นำชิ้นตัวอย่างเข้าตู้ดูดความชื้น

หลังจากนำก้อนตัวอย่างออกจากตู้ดูดความชื้นแล้ว ให้นำชิ้นตัวอย่างมาติดกับแผ่นเทปคาร์บอน และนำไปเคลือบด้วยผงทองคำ เพื่อให้ตัวอย่างคอนกรีตมีความสามารถในการนำไฟฟ้า เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) จะทำงานควบคู่ไปกับการส่องลำแสงอิเล็กตรอนให้กระทบกับชิ้นตัวอย่าง



ภาพที่ 8 ชิ้นตัวอย่างคอนกรีตที่ติดเทปคาร์บอน



ภาพที่ 9 นำตัวอย่างคอนกรีตเคลือบผงทองคำ

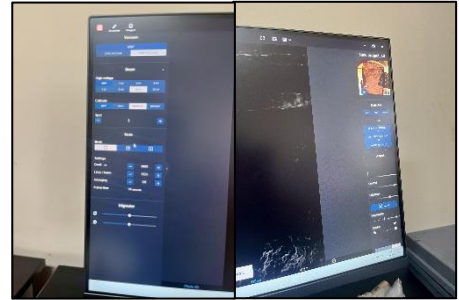
1.4.2 การวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM analysis)

นำชิ้นตัวอย่างที่เตรียมเรียบร้อยแล้วเข้าเครื่องวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM analysis) โดยวางชิ้นตัวอย่างให้อยู่ในจุดที่ระบุไว้ที่ตัวเครื่อง ควบคุมให้ชิ้นตัวอย่างไม่สูงเกินกว่าตำแหน่งที่เครื่องยอมให้ บันทึกภาพด้วยซอฟต์แวร์ Phe-nx Nanos แล้วจึงปิดตู้ Chamber ให้สนิท

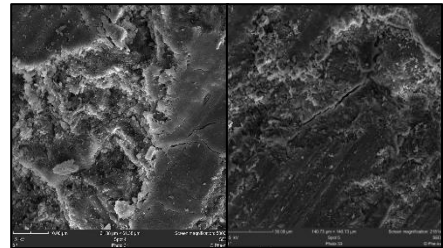


ภาพที่ 10 ภาพชิ้นตัวอย่างที่ถ่ายจากซอฟต์แวร์ Phe-nx Nanos

หลังจากปิดตู้ Chamber เรียบร้อยแล้วให้ไปที่ซอฟต์แวร์ Phe-nx Nanos กดปุ่ม “High Vacuum” เพื่อสร้างสุญญากาศภายใน Chamber จากนั้นให้ปรับพารามิเตอร์ของภาพ เช่น เลือกตัวรับสัญญาณ SE หรือ BSE, Accelerating Voltage (1-20 kV), Cathode Mode (ECO, MEDIUM, BRIGHT), Spot, Focus, Astigmatism, Magnification หรือพารามิเตอร์อื่น ๆ ตามต้องการ หลังจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ของภาพแล้วให้กดบันทึกภาพที่ต้องการ



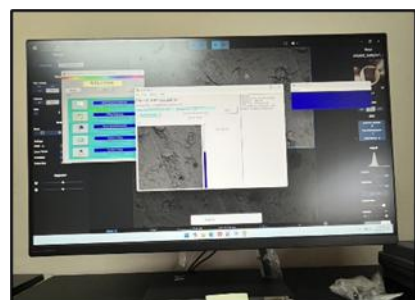
ภาพที่ 11 ตัวอย่างการปรับค่าพารามิเตอร์ในซอฟต์แวร์ Phe-nx Nanos



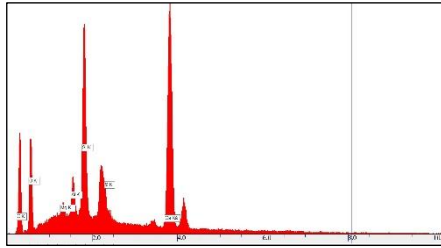
ภาพที่ 12 ภาพที่ถ่ายได้จากซอฟต์แวร์ Phe-nx Nanos หลังจากปรับค่าพารามิเตอร์ภาพ (SE) (RCO)

1.4.3 การวิเคราะห์ Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS)

จากวิธีการทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้น เป็นวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM analysis) โดยในซอฟต์แวร์ Phe-nx Nanos ยังสามารถวิเคราะห์ธาตุในชิ้นตัวอย่างได้ ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ภาพให้เป็น EDS โดย เลือกตำแหน่งของชิ้นตัวอย่างที่ต้องการจะหาธาตุของตัวอย่าง กดปุ่มวิเคราะห์ตัวอย่างเพื่อหาธาตุที่อยู่ในชิ้นตัวอย่าง โดยหลักการทำงานของเครื่องแยกรังสีเอกซ์ที่เป็นลักษณะเฉพาะของธาตุต่างๆ ซึ่งจะช่วยในการวิเคราะห์สเปกตรัมพลังงานและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ [5]



ภาพที่ 13 ตัวอย่างการวิเคราะห์ภาพด้วยระบบ EDS



ภาพที่ 14 ตัวอย่างการวิเคราะห์ธาตุที่ได้
จากซอฟต์แวร์ Phe-nx Nanos (RCO)

2. การวิเคราะห์ผล

ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาการต้านทานการซึมผ่านของแมกนีเซียมซัลเฟต ในคอนกรีตรีไซเคิลที่ได้จากวัสดุผสมรีไซเคิลและขยะพลาสติก โดยการวิเคราะห์ธาตุที่อยู่ในคอนกรีตรีไซเคิล โดยใช้หลักการวิเคราะห์ Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) โดยผลการวิเคราะห์ที่ได้จากการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ปริมาณธาตุที่อยู่ในก้อนตัวอย่าง

จากผลการทดสอบ ได้ทำการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วยระบบ Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) เพื่อทดสอบหาธาตุที่อยู่ในก้อนตัวอย่าง ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตาราง

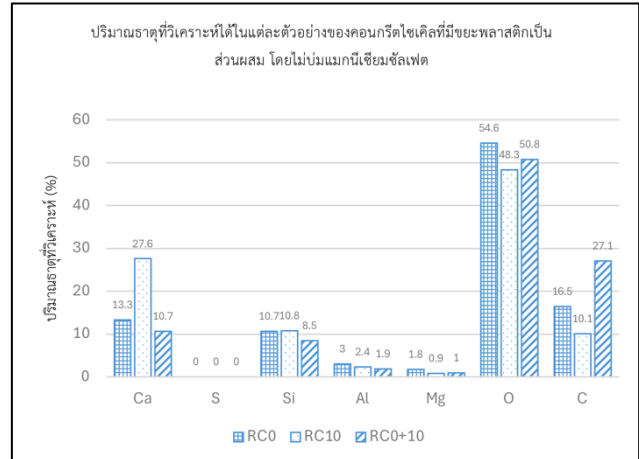
ตารางที่ 2 ปริมาณธาตุที่ได้จากการทดสอบของคอนกรีตรีไซเคิลที่มีขยะพลาสติกและไม่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสม โดยไม่บ่มแมกนีเซียมซัลเฟต

Sample	Mineral (%)							Total
	Ca	S	Si	Al	Mg	O	C	
RCO	13.3	0	10.7	3	0	54.6	16.5	100
RC10	27.6	0	10.8	2.4	0.9	48.3	10.1	100
RC0+10	10.7	0	8.5	1.9	1	50.8	27.1	100

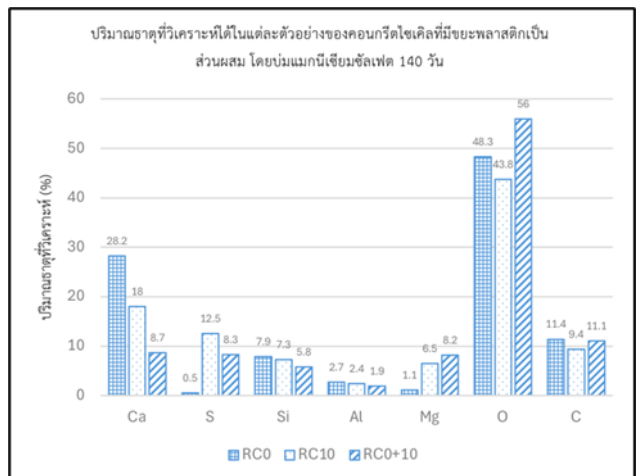
ตารางที่ 3 ปริมาณธาตุที่ได้จากการทดสอบของคอนกรีตรีไซเคิลที่มีขยะพลาสติกและไม่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสม โดยบ่มแมกนีเซียมซัลเฟต 140 วัน

Sample	Mineral (%)							Total
	Ca	S	Si	Al	Mg	O	C	
RCO	28.2	0.5	7.9	2.7	1.1	48.3	11.4	100
RC10	18	12.5	7.3	2.4	6.5	43.8	9.4	100
RC0+10	8.7	8.3	5.8	1.9	8.2	56	11.1	100

เมื่อนำค่าปริมาณธาตุที่ได้จากการทดสอบที่จากตารางมาเทียบเป็นแผนภูมิ จะได้นำมาแสดง



ภาพที่ 15 กราฟแสดงปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละตัวอย่างของคอนกรีตรีไซเคิลที่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสม โดยไม่บ่มแมกนีเซียมซัลเฟต



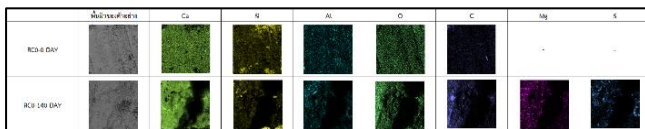
ภาพที่ 16 กราฟแสดงปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้ในแต่ละตัวอย่างของคอนกรีตรีไซเคิลที่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสม โดยบ่มแมกนีเซียมซัลเฟต 140 วัน

จากผลการทดสอบข้างต้นเมื่อนำปริมาณธาตุของคอนกรีตรีไซเคิลที่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสม โดยไม่บ่มแมกนีเซียมซัลเฟตมาเปรียบเทียบกับปริมาณธาตุของคอนกรีตรีไซเคิลที่มีขยะพลาสติกและไม่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสม โดยบ่มแมกนีเซียมซัลเฟต 140 วัน พบว่าระบบ Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) ตรวจพบสาร ซัลเฟอร์ (S) ในตัวอย่างคอนกรีตรีไซเคิลที่มีขยะพลาสติกและไม่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสม โดยบ่มแมกนีเซียมซัลเฟต 140 วัน เนื่องจากซัลเฟอร์เป็น 1 ในส่วนผสมของแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) จึงไม่พบซัลเฟอร์ในคอนกรีตรีไซเคิลที่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสม โดยไม่บ่มแมกนีเซียมซัลเฟต

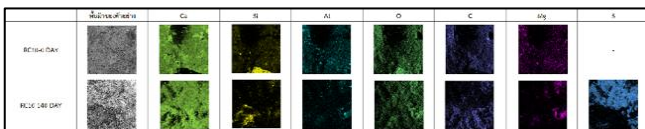
โดยคอนกรีตที่มีขยะพลาสติกจะมีแมกนีเซียมอยู่ในก้อนตัวอย่างมากกว่าคอนกรีตที่ไม่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสม เนื่องจากแมกนีเซียมเป็นธาตุที่มีอยู่ในเทอร์โมพลาสติกส่งผลให้พบปริมาณแมกนีเซียมทั้งในคอนกรีตรีไซเคิลที่ไม่บ่มแมกนีเซียมซัลเฟตและบ่มแมกนีเซียมซัลเฟต จะมีเพียงกรณีคอนกรีตรีไซเคิลที่ไม่มีขยะพลาสติก และไม่บ่มแมกนีเซียมซัลเฟต (RCO) ที่ตรวจไม่พบทั้งธาตุแมกนีเซียมและซัลเฟอร์

เมื่อเทียบปริมาณแมกนีเซียมระหว่างคอนกรีตไร้เซลล์ที่ไม่บ่มแมกนีเซียมซัลเฟตและบ่มแมกนีเซียมซัลเฟตพบว่าตัวอย่างที่มีขยะพลาสติกและบ่มด้วยแมกนีเซียมซัลเฟตคอนกรีตมีแนวโน้มพบปริมาณธาตุแมกนีเซียมและซัลเฟอร์มากกว่า เนื่องจากเป็นปริมาณธาตุจากสารประกอบแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) และส่วนผสมจากเทอร์โมพลาสติก

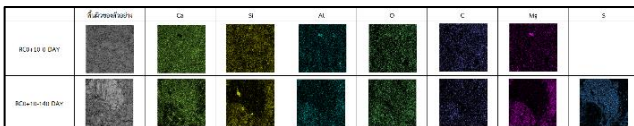
โดยคอนกรีตไร้เซลล์ (RC0, RC10, RC0+10) ที่ไม่บ่มแมกนีเซียมซัลเฟตจะมีปริมาณธาตุแมกนีเซียมร้อยละ 0, 0.9, 1 ตามลำดับ และคอนกรีตไร้เซลล์ที่บ่มแมกนีเซียมซัลเฟตจะมีปริมาณธาตุแมกนีเซียมร้อยละ 1.1, 6.5, 8.2 และมีปริมาณธาตุซัลเฟอร์ร้อยละ 0.5 12.5 8.3 ตามลำดับ



ภาพที่ 17 เปรียบเทียบธาตุที่วิเคราะห์ได้ของคอนกรีตไร้เซลล์ที่ไม่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสม (RC0) โดยไม่บ่มแมกนีเซียมซัลเฟตและบ่มแมกนีเซียมซัลเฟต 140 วัน



ภาพที่ 18 เปรียบเทียบธาตุที่วิเคราะห์ได้ของคอนกรีตไร้เซลล์ที่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสมร้อยละ 10 (RC10) โดยไม่บ่มแมกนีเซียมซัลเฟตและบ่มแมกนีเซียมซัลเฟต 140 วัน



ภาพที่ 19 เปรียบเทียบธาตุที่วิเคราะห์ได้ของคอนกรีตไร้เซลล์ที่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสมร้อยละ 10 (RC0+10) โดยไม่บ่มแมกนีเซียมซัลเฟตและบ่มแมกนีเซียมซัลเฟต 140 วัน

เบื้องต้นงานวิจัยนี้ทำการทดสอบไปเพียงแค่ 3 กรณี จาก 6 กรณี เพื่อศึกษาแนวโน้มเบื้องต้นของการตรวจพบธาตุด้วยระบบ Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) โดยพบว่าคอนกรีตที่ไม่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสมและไม่บ่มแมกนีเซียมซัลเฟตจะไม่พบแมกนีเซียมและซัลเฟอร์ เนื่องจากไม่มีแมกนีเซียมซัลเฟตเป็นส่วนผสมของเทอร์โมพลาสติกและไม่มีสารประกอบแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) ในส่วนของคอนกรีตที่มีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสมและไม่บ่มแมกนีเซียมซัลเฟตจะพบปริมาณแมกนีเซียมที่ได้มาจากส่วนผสมของเทอร์โมพลาสติกน้อยและไม่พบธาตุซัลเฟอร์เนื่องจากไม่มีสารประกอบแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) และสุดท้ายคือกรณีที่คอนกรีตมีขยะพลาสติกเป็นส่วนผสมและบ่มแมกนีเซียมซัลเฟตจะพบปริมาณแมกนีเซียมที่ได้มาจากส่วนผสมของเทอร์โมพลาสติกและพบธาตุซัลเฟอร์จากสารประกอบแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) ค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับกรณีอื่น

3. บทสรุป

จากการทดสอบตัวอย่างคอนกรีตไร้เซลล์ด้วยเทคนิค Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) พบว่าตัวอย่างคอนกรีตที่มีส่วนผสมขยะพลาสติกมีแนวโน้มตรวจพบปริมาณธาตุแมกนีเซียม (Mg) และซัลเฟอร์ (S) สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่มีส่วนผสมพลาสติก โดยเฉพาะในกรณีที่บ่มด้วยสารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต เนื่องจากเทอร์โมพลาสติกมีแมกนีเซียมเป็นองค์ประกอบ จึงตรวจพบ Mg ในตัวอย่างที่มีส่วนผสมพลาสติกแม้ไม่ได้บ่มซัลเฟต ในขณะที่ตัวอย่าง RC0 ซึ่งไม่มีพลาสติกและไม่บ่มซัลเฟตจะไม่พบ Mg เลย

การเพิ่มปริมาณขยะพลาสติกในคอนกรีตส่งผลต่อโครงสร้างจุลภาคของเนื้อคอนกรีต โดยพลาสติกมีโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำและไม่สามารถยึดเกาะกับซีเมนต์เพสต์ได้ดี จึงเกิดโพรงและช่องว่างรอบอนุภาคพลาสติกมากกว่าวัสดุมวลรวมตามธรรมชาติ ส่งผลให้คอนกรีตมีความพรุนสูงขึ้น และมีแนวโน้มในการดูดซึมน้ำและสารละลายซัลเฟตได้ง่ายขึ้น

สารละลายซัลเฟตที่ซึมเข้าสู่เนื้อคอนกรีตจะทำปฏิกิริยากับส่วนผสมในซีเมนต์เพสต์ ก่อให้เกิดสารประกอบที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตเกิดการพองตัวและแตกร้าวในระยะยาว ซึ่งในงานวิจัยนี้ พบว่าตัวอย่างที่มีส่วนผสมพลาสติกและบ่มด้วยซัลเฟตมีปริมาณ Mg และ S สูงที่สุด โดยตัวอย่าง RC10 และ RC0+10 ที่บ่ม 140 วัน ตรวจพบ Mg ที่ 6.5% และ 8.2% และตรวจพบ S ที่ 12.5% และ 8.3% ตามลำดับ

ผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดของการใช้ขยะพลาสติกในคอนกรีตไร้เซลล์ในแง่ความทนทานต่อซัลเฟต แต่ขณะเดียวกันก็ชี้ให้เห็นถึงแนวทางในการพัฒนาต่อ ทั้งด้านการปรับปรุงวัสดุประสาน หรือการเลือกใช้ในโครงสร้างที่ไม่ได้รับน้ำหนักโดยตรง เช่น งานโครงสร้างชั้นทางหรืองานตกแต่งที่ต้องเผชิญกับสภาวะแวดล้อมที่มีซัลเฟต เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศุทธศรี นราลักษณ์, สุวิมล สริมล้ำจวน. 2566. การสึกกร่อนของคอนกรีตไร้เซลล์ที่มีได้จากวัสดุมวลรวมรีไซเคิลและขยะพลาสติกร้อยละ 0 และ 10. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กำแพงแสน, นครปฐม.
- [2] นาโนคอมโพสิตจากพอลิเมอร์สำหรับการใช้พลังงานและสิ่งแวดล้อม. 2018. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
- [3] Krissana Jantarachot, Wanchai Yodsudjai, Nirachorn Nokkaew, and Somchai Prayongphan. 2023. COMPRESSIVE STRENGTH OF RECYCLED AGGREGATED CONCRETE FROM CONCRETE WASTE AND PLASTIC WASTE. Kamphaeng Saen, Kasetsart University
- [4] SECAT Providing Technical Solutions. SEM analysis is short for Scanning Electron Microscopy analysis. Coldstream Research Campus (University of Kentucky). Lexington, KY 40511, USA
- [5] SCIMED Global Brands, Local support. A Brief Introduction to SEM (Scanning Electron Microscopy). Stockport, Cheshire SK4 3GN United Kingdom

- [6] YanetRodriguez Herrero, Karen Lopez Camas, Aman Ullah. 2023. Advanced Applications of Biobased Materials Food, Biomedical, and Environmental Application, Page 111-143
- [7] Niranjana Karak. 2019. Nanomaterials and Polymer Nanocomposites Raw Materials to Applications, Page 47-89
- [8] Maria Cristina Tanzi, Silvia Farè, Gabriele Candiani. 2019. Foundations of Biomaterials Engineerin, Page. 393-469
- [9] Christine G. Golding, Lindsey L. Lamboo, Daniel R. Beniac & Timothy F. Booth. 2016. The scanning electron microscope in microbiology and diagnosis of infectious disease.
- [10] EA Technology. 2023. Scanning Electron Microscopy & SEM-EDX | SEM-EDX Analysis.
- [11] Yong-Chang Guo, Xie-Mi Li, Joe Zhang, Jin-Xiang Lin. 2023. A review on the influence of recycled plastic aggregate on the engineering properties of concrete.
- [12] Narakorn Sudtamnong. 2019. Study of suitable concrete for sulfate environment.