บทที่ 4
ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

บทนี้กล่าวถึงผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบหาค่าความข้นเหลวปกติของซีเมนต์เพสต์ และระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางข้น ที่อัตราส่วนการแทนที่น้ำด้วยน้ำยางข้นร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนัก รวมถึงการวิเคราะห์ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของแต่ละส่วนผสมร่วมกับผลที่ได้จากการทดสอบความข้นเหลวปกติ และระยะเวลาการก่อตัวต้นของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางข้นเทียบกับซีเมนต์เพสต์ปกติ

4.1 ผลของน้ำยางข้นต่อความข้นเหลวปกติของซีเมนต์เพสต์

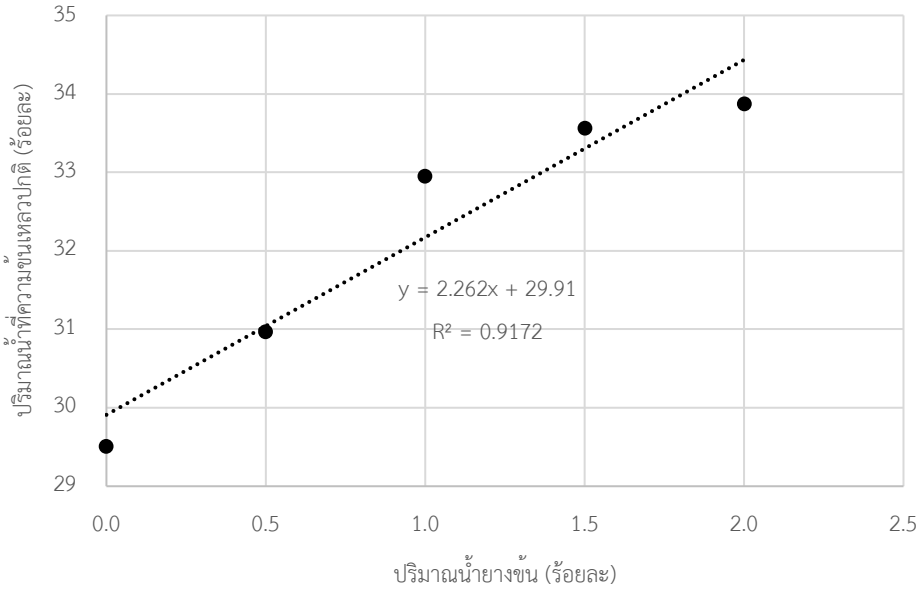
ผลการทดสอบความข้นเหลวปกติเป็นการหาค่าปริมาณน้ำ และน้ำยางข้นที่พอเหมาะสำหรับผสมปูนซีเมนต์ ความข้นเหลวปกติของปูนซีเมนต์ผสมน้ำยางข้นเป็นค่าแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการจมปลายเข็ม Plunger และอัตราส่วนของน้ำ และน้ำยางข้นต่อปูนซีเมนต์ ซึ่งการทดสอบความข้นเหลวปกติได้กำหนดอัตราส่วนของน้ำยางข้นต่อปริมาณน้ำ (P/W) เท่ากับร้อยละ 0, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนัก ซึ่งตามมาตรฐานการทดสอบกำหนดไว้ระยะจมปลาย Plunger เทียบกับอัตราส่วนของน้ำที่ระยะจม 10±1 มม. ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่า อัตราการส่วนผสมของปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำ และน้ำยางข้นอยู่ระหว่างร้อยละ 29.51 – 33.87 ซึ่งอัตราส่วนของน้ำ และน้ำยางข้นจากผลการทดสอบความข้นเหลวปกติจะนำไปทดสอบระยะการก่อตัวเริ่มต้นของปูนซีเมนต์ต่อไป

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบหาปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติของส่วนผสมต่างๆ

ส่วนผสม	ปริมาณของเหลวที่ความข้นเหลวปกติ (ร้อยละ)
Control	29.51
R0.5	30.97
R1.0	32.95
R1.5	33.56
R2.0	33.87

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความต้องการปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติคิดเป็นร้อยละ พบว่าส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำยางข้นร้อยละศูนย์ หรือเรียกว่าชุด Control มีปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติเท่ากับร้อยละ 29.51 ซึ่งอยู่ในช่วงปกติของความต้องการน้ำของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งมักมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 25 ถึงร้อยละ 35 ขึ้นกับสภาพปัจจัยแวดล้อมขณะทดสอบ และเมื่อเติมน้ำยางข้นลงไปในส่วนผสมในปริมาณร้อยละ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 จะทำให้ส่วนผสมมีความต้องการปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 30.97, 32.95, 33.56 และ 33.87 ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าในการผสมน้ำยางข้นลงไปในซีเมนต์เพสต์จะต้องมีการเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมเพื่อรักษาความข้นเหลวปกติของซีเมนต์เพสต์ให้อยู่ในช่วงที่สามารถทำงานได้จริง และพบว่าส่วนผสมที่มีน้ำยางข้นร้อยละ 0.5 และ 1.0 จะมีปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเทียบกับส่วนผสมชุด Control กล่าวคือมีปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติเพิ่มขึ้นสูงถึงร้อยละ 11.7 ในขณะที่อัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติจะลดลงเรื่อยๆ โดยจะสังเกตได้ว่าปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติของส่วนผสมที่มีน้ำยางข้นร้อยละ 2.0 เพิ่มขึ้นจากส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำยางข้นร้อยละ 1.0 เพียงร้อยละ 2.8 ซึ่งจะสามารถมองเห็นปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ชัดเจนขึ้นจากภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติและปริมาณน้ำยางข้นของซีเมนต์เพสต์

ซึ่งสมการที่นำเสนอในภาพที่ 4.1 สามารถใช้ทำนายปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติของมอร์ต้าร์ที่มีปริมาณน้ำยางข้นต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ ซึ่งแม้จะใช้สมการเส้นตรงในการทำนายแต่ก็สามารถให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณสูงถึง 0.92 ในช่วงของส่วนผสมซีเมนต์เพสต์ที่มีปริมาณน้ำยางข้นไม่เกินร้อยละ 2.0 เมื่อใช้สมการดังกล่าวคำนวณค่าปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับส่วนผสม R2.0 จะพบว่าส่วนผสมดังกล่าวมีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นสูงถึงประมาณร้อยละ 15 เมื่อเทียบกับชุด Control

4.2 ผลของน้ำยางข้นต่อระยะเวลาการก่อตัวต้นของซีเมนต์เพสต์

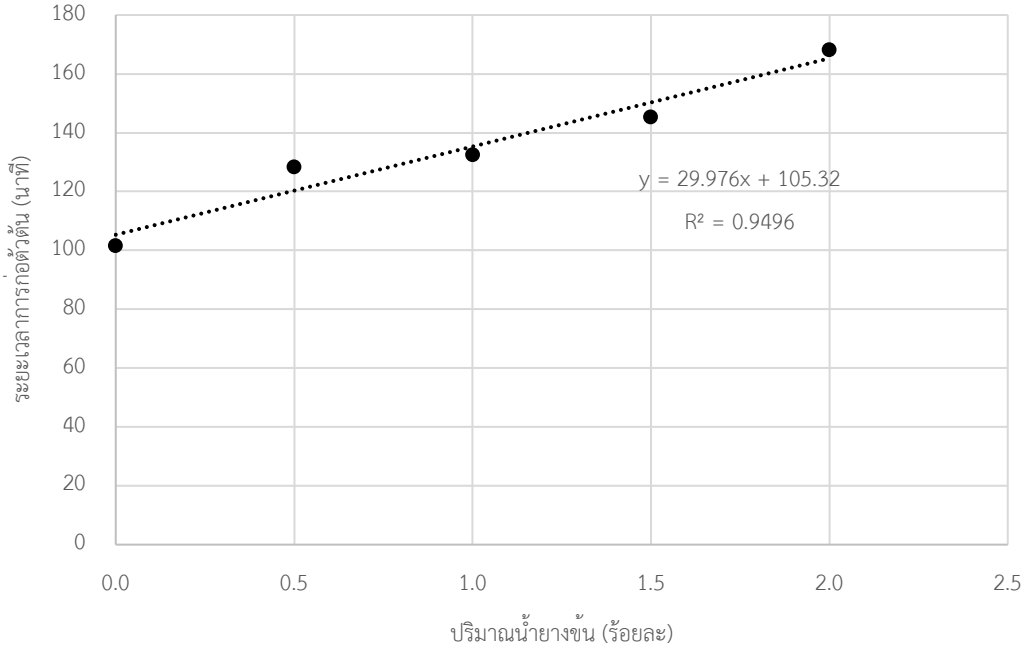
การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ทั้งที่ผสมและไม่ผสมน้ำยางข้นใช้วิธีการทดสอบตามที่กำหนดไว้ใน ASTM C191 จากการทดสอบพบว่าน้ำยางข้นส่งผลต่อระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์อย่างมีนัยสำคัญและผลการทดสอบที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 4.2 ซึ่งจากข้อมูลในตารางพบว่าระยะเวลาการก่อตัวต้นของซีเมนต์เพสต์เพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำยางข้นที่เพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำยางข้นเพียงร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักของน้ำส่งผลให้ระยะเวลาการก่อตัวต้นเพิ่มขึ้นประมาณ 27 นาที หรือคิดเป็นประมาณร้อยละ 26 เมื่อเทียบกับส่วนผสมชุด Control ในขณะที่ส่วนผสมที่มีปริมาณน้ำยางข้นร้อยละ 2.0 ซีเมนต์เพสต์จะมีระยะเวลาการก่อตัวต้นเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 65 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 65 เมื่อเทียบกับส่วนผสมชุด Control ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าน้ำยางข้นมีผลกระทบต่อระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์อย่างมาก เนื่องจากอนุภาคของยางจะมีขนาดประมาณ 200-800 นาโนเมตร (Guo และคณะ, 2023; Wei และคณะ, 2022) ในขณะที่อนุภาคเม็ดปูนซีเมนต์มีขนาดประมาณ 10-60 ไมโครเมตร (Neville & Brooks, 2010) ซึ่งจะเห็นว่าอนุภาคของยางเล็กกว่าอนุภาคของปูนซีเมนต์โดยเฉลี่ยประมาณ 50 เท่า จึงอาจเป็นไปได้ว่าอนุภาคของน้ำยางข้นเข้าไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นระหว่างอนุภาคเม็ดปูนซีเมนต์กับน้ำ ซึ่งอาจสามารถสังเกตุได้จากการศึกษาโครงสร้างจุลภาค

ตารางที่ 4.2 ระยะเวลาการก่อตัวของซีเมนต์เพสต์ที่มีส่วนผสมของน้ำยางข้นต่างๆ

ส่วนผสม	ระยะเวลาการก่อตัวต้น (นาที)
Control	101.72
R0.5	128.48
R1.0	132.69
R1.5	145.38
R2.0	168.21

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

ภาพที่ 4.2 ได้เสนอสมการที่ใช้ทำนายระยะเวลาการก่อตัวต้นของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางข้นในปริมาณต่างๆ ซึ่งสมการดังกล่าวสามารถทำนายระยะเวลาการก่อตัวต้นของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางข้นได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณสูงถึง 0.95

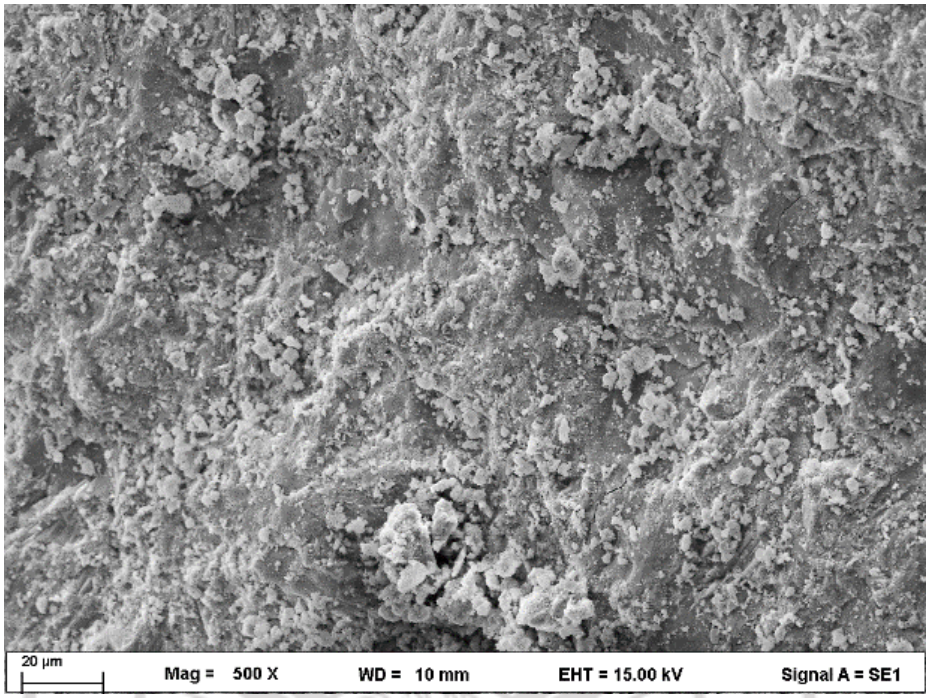


ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการก่อตัวต้นและปริมาณน้ำยางข้นของซีเมนต์เพสต์ที่ผสมน้ำยางข้น

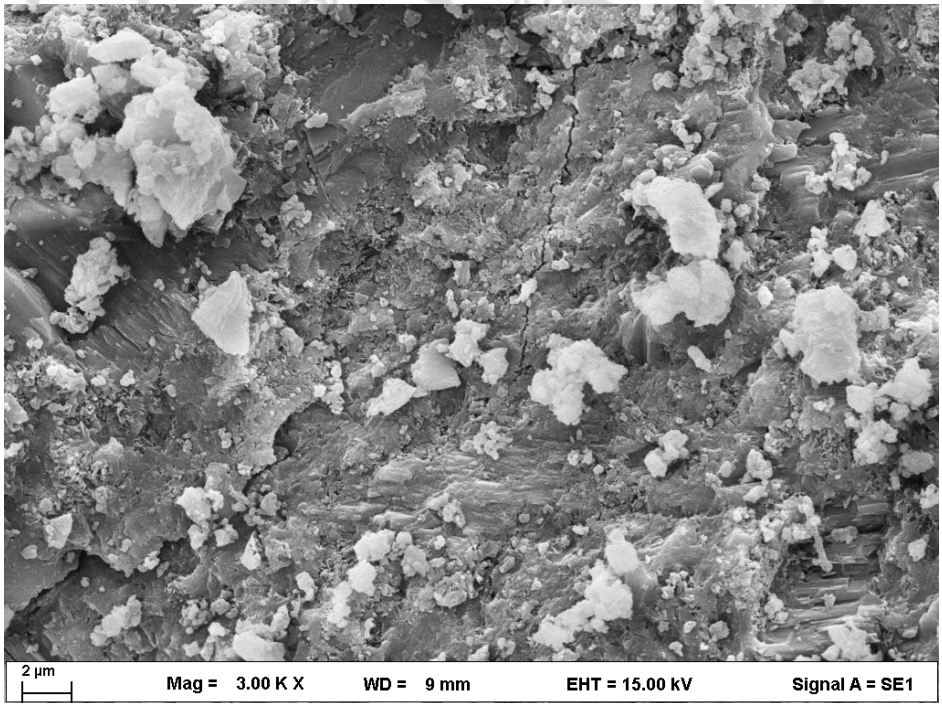
4.3 โครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ผสมน้ำยางข้น

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาโครงสร้างจุลภาคด้วยการใช้เทคนิคการถ่ายภาพขยายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) ด้วยกำลังขยาย 500 และ 3000 เท่า โดยภาพที่ 4.3 ถึง 4.7 เป็นภาพขยายของซีเมนต์เพสต์ของตัวอย่างชุด Control, R0.5, R1.0, R1.5 และ R2.0 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

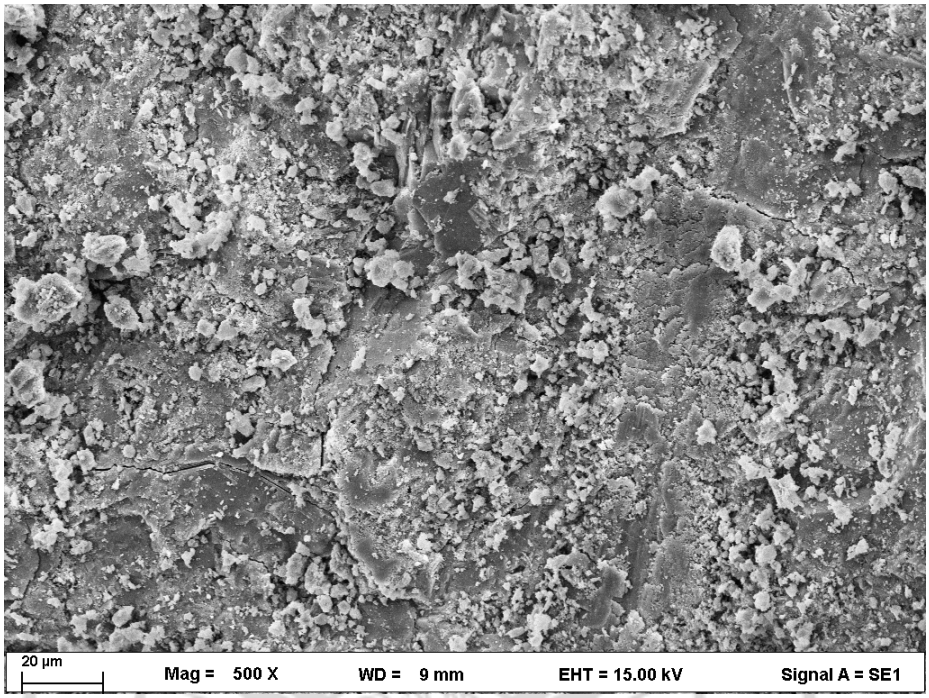


(ก)

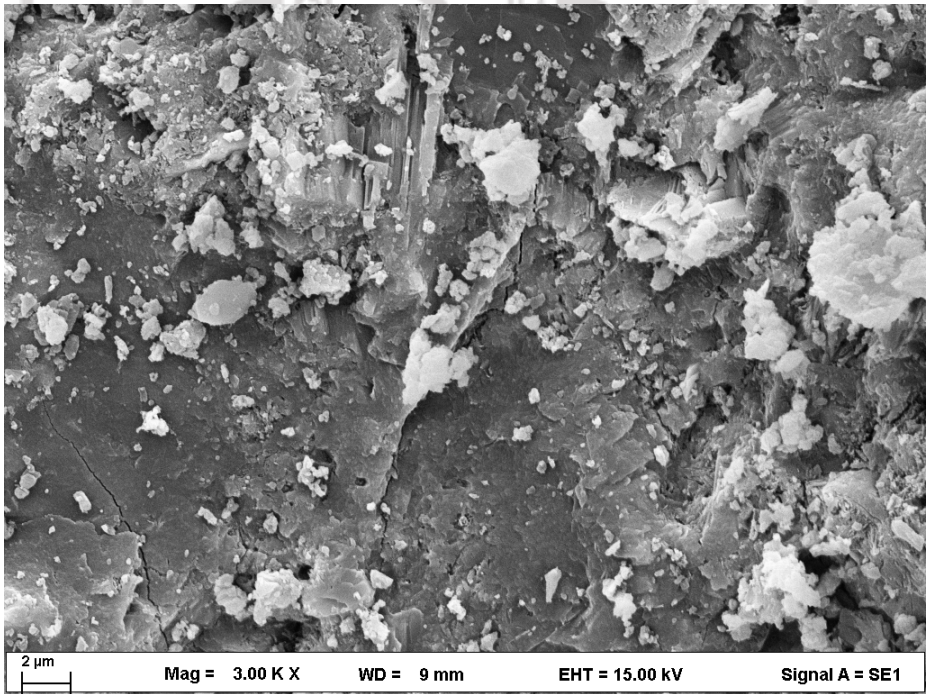


(ข)

ภาพที่ 4.3 ภาพขยายซีเมนต์เพสต์ชุด Control ด้วยกำลังขยาย (ก) 500 เท่า (ข) 3000 เท่า

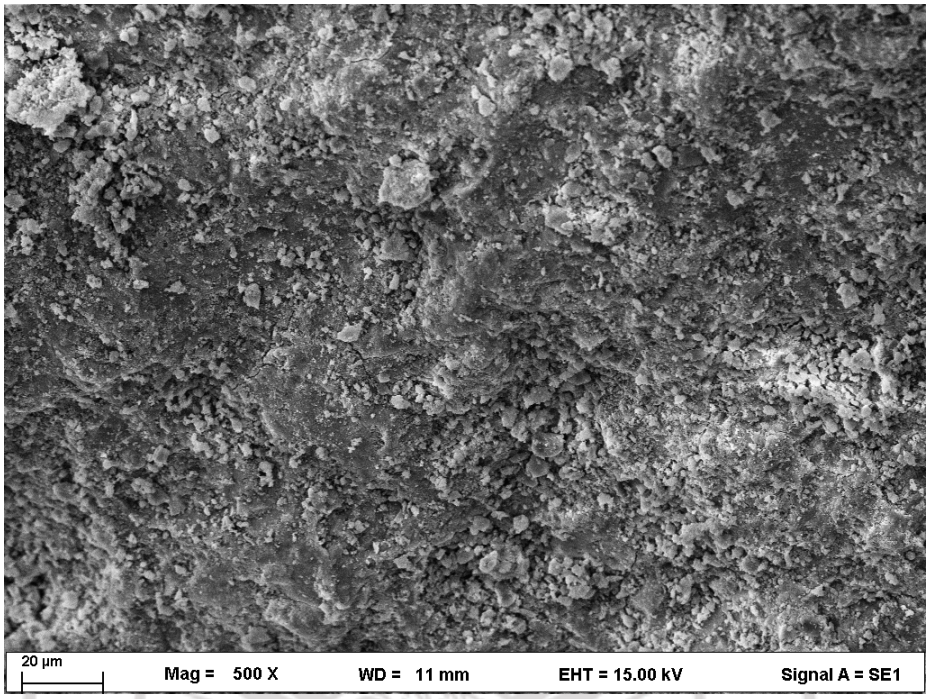


(ก)

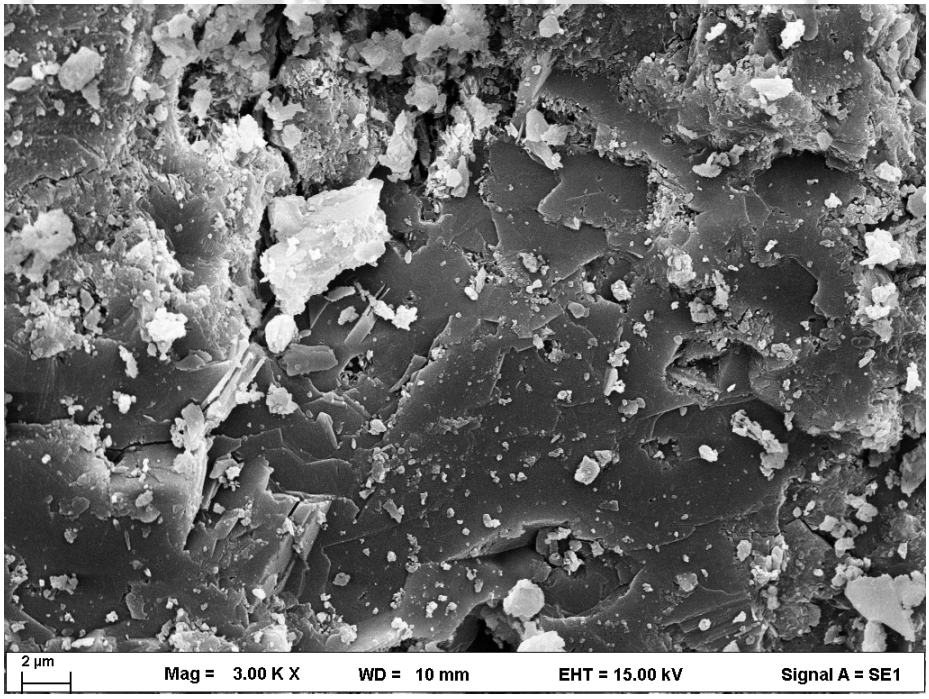


(ข)

ภาพที่ 4.4 ภาพขยายซีเมนต์เพสต์ชุด R0.5 ด้วยกำลังขยาย (ก) 500 เท่า (ข) 3000 เท่า

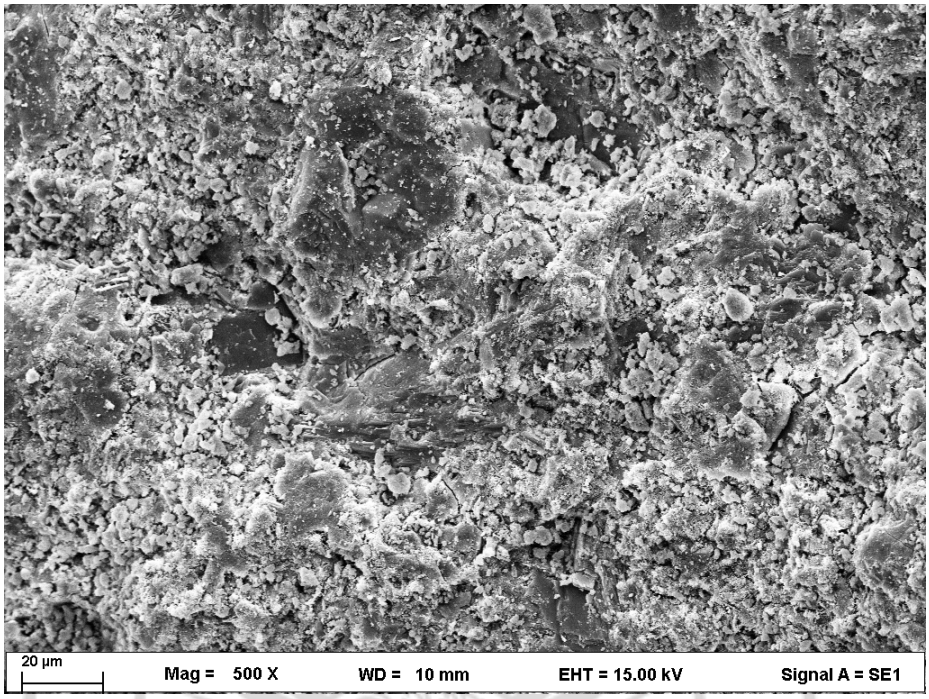


(ก)

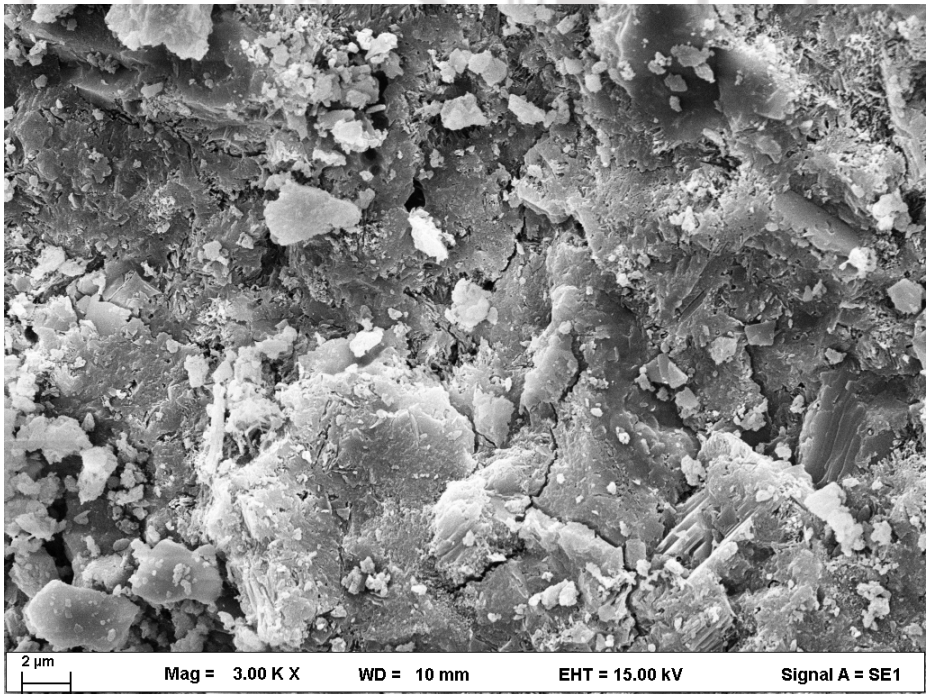


(ข)

ภาพที่ 4.5 ภาพขยายซีเมนต์เพสต์ชุด R1.0 ด้วยกำลังขยาย (ก) 500 เท่า (ข) 3000 เท่า

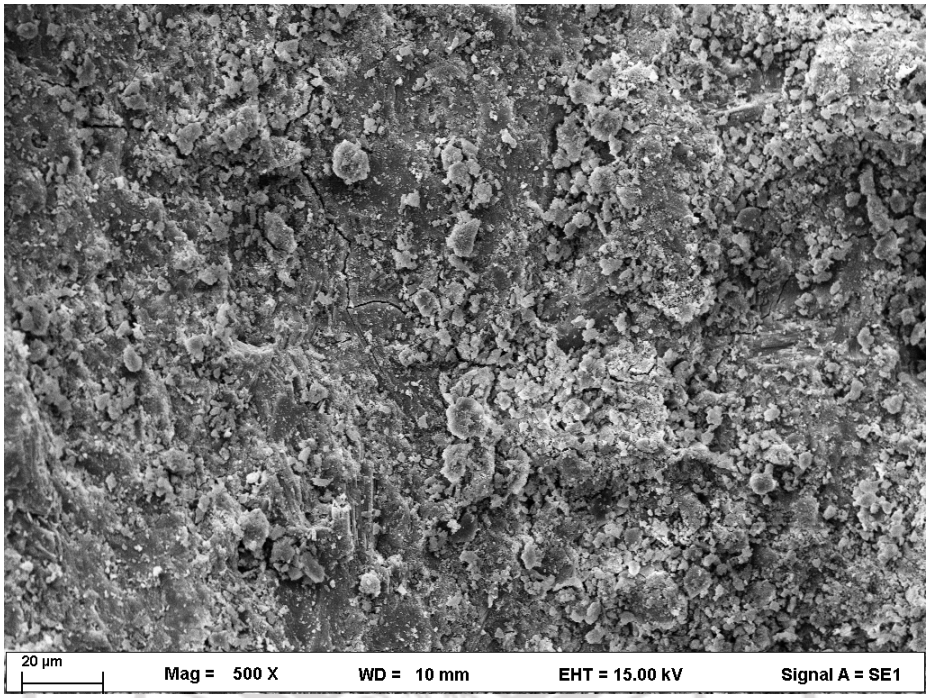


(ก)

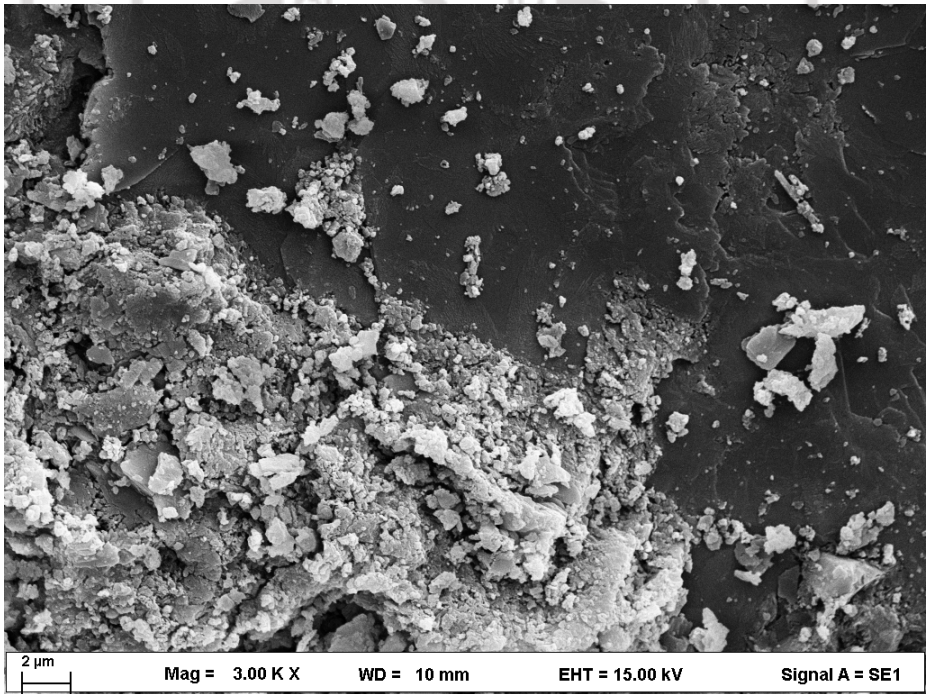


(ข)

ภาพที่ 4.6 ภาพขยายซีเมนต์เพสต์ชุด R1.5 ด้วยกำลังขยาย (ก) 500 เท่า (ข) 3000 เท่า



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.7 ภาพขยายซีเมนต์เพสต์ชุด R2.0 ด้วยกำลังขยาย (ก) 500 เท่า (ข) 3000 เท่า

โดยในภาพที่ 4.3 พบว่าผลผลิตที่เกิดขึ้นจากกระบวนการไฮเดรชั่นเกิดขึ้นและกระจายตัวในลักษณะปกติ ซึ่งสามารถเห็นได้ชัดเจนทั้งในภาพที่ 4.3 (ก) และ 4.3 (ข) และเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยางข้นเข้าไปในส่วนผสมจะพบว่าผลผลิตที่เกิดจากกระบวนการไฮเดรชั่นจะเริ่มจับตัวเป็นกลุ่มก้อน ไม่กระจายตัวอย่างเกิดขึ้นในชุดควบคุม ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้นเมื่อส่วนผสมมีปริมาณน้ำยางข้นสูงขึ้น เช่น R1.5 และ R2.0 ในภาพที่ 4.6 และ 4.7 และเนื่องจากอนุภาคของเม็ดยางมีขนาดเล็กกว่าขนาดของเม็ดปูนซีเมนต์ถึง 50 เท่าโดยประมาณตามที่กล่าวมาข้างต้น จึงมีแนวโน้มที่จะไม่สามารถมองเห็นอนุภาคเม็ดยางได้อย่างชัดเจนเหมือนกับอนุภาคเม็ดปูนซีเมนต์และผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น แต่คุณสมบัติยึดประสานของอนุภาคเม็ดยางยังคงสามารถส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ได้ เนื่องจากอนุภาคเม็ดยางสามารถเชื่อมประสานกันเองได้อย่างอิสระและมีลักษณะกึ่งเหลวสามารถเคลื่อนตัวไปพร้อมกับของเหลวในส่วนผสมได้ และสามารถจับตัวกันเองกลายเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ได้ (Guo และคณะ, 2023) ซึ่งแผ่นฟิล์มดังกล่าวจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ยึดอนุภาคปูนซีเมนต์และผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเอาไว้ด้วยกัน จึงทำให้ส่วนผสมมีความเหนียวข้นซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการทดสอบหาค่าปริมาณน้ำที่ความข้นเหลวปกติ รวมถึงการทดสอบหาค่าการไหลของมอร์ต้าร์ และแผ่นฟิล์มดังกล่าวจะเป็นตัวขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นในช่วงแรก จึงส่งผลให้ซีเมนต์เพสต์มีระยะเวลาการก่อตัวต้นที่นานขึ้นเมื่อเทียบกับซีเมนต์เพสต์ควบคุม

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี