

บทที่ 4

ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

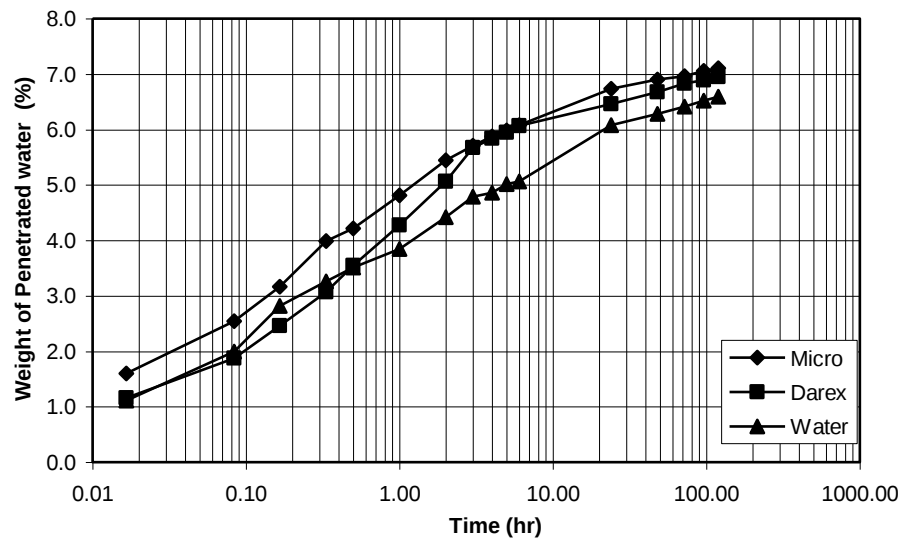
4.1 กล่าวนำ

ในการศึกษาเพื่อจะได้ทราบพฤติกรรมของสารละลายลดแรงดึงผิวเมื่อใช้ในการบ่มคอนกรีตที่ได้รับการบ่มแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องในสถานะที่แตกต่างกัน โดยการแบ่งการทดสอบออกเป็น 5 การทดสอบ คือ

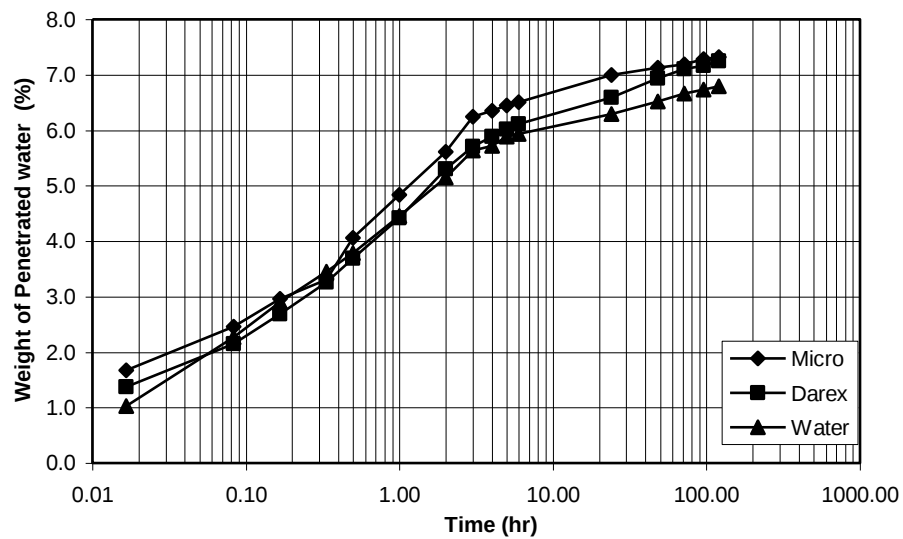
1. การทดสอบสำหรับการหาความสามารถการซึมผ่านของซีเมนต์เพสต์แข็งตัว อ้างอิงมาตรฐาน ASTM C 1585-04
2. การทดสอบสำหรับการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์เพสต์แข็งตัว ในแต่ละระดับชั้นความลึกต่างๆ (Hydration) อ้างอิง JSCE. No. 767 / V-64, pp. 301-312
3. การทดสอบสำหรับการหาการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยวัดจากการหดตัวทางเคมี (Chemical Shrinkage) อ้างอิง JSCE. No. 767 / V-64, pp. 301-312
4. การทดสอบสำหรับการทดลองการยึดหดตัวในซีเมนต์เพสต์ ตามมาตรฐาน JIS A 1129
5. การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ตามมาตรฐาน BS 1881 Part 108
6. การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM)

4.2 การทดสอบสำหรับการหาความสามารถการซึมผ่านของซีเมนต์เพสต์แข็งตัวอ้างอิงมาตรฐาน ASTM C 1585-04

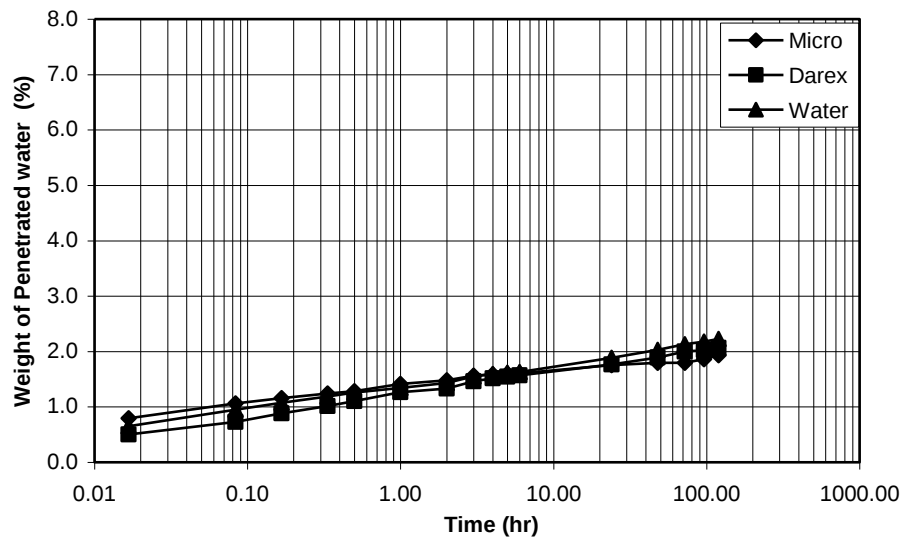
การวัดค่าการซึมผ่านของซีเมนต์เพสต์ที่แข็งตัวแล้ว เป็นการวัดน้ำหนักรวมของซีเมนต์เพสต์ที่เพิ่มขึ้นหลังจากขึ้นตัวอย่างได้สัมผัสน้ำแล้ว ซึ่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นเกิดจากมีน้ำหนักของน้ำที่ทดสอบซึมผ่านเข้าไป เมื่อทำการทดสอบไปเป็นเวลานานๆ น้ำที่ซึมผ่านจะมากขึ้นจนกระทั่งถึงจุดที่ไม่สามารถซึมผ่านได้อีก น้ำหนักของตัวอย่างก็จะคงที่ สภาพของตัวอย่างจะเลือกใช้ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25 ซึ่งมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ เพื่อแสดงให้เห็นค่าการซึมผ่านได้อย่างชัดเจน และก่อนที่จะตัวอย่างจะนำมาทดสอบ จะนำไปบ่มด้วยวิธีต่างๆ เพื่อหาค่าการซึมผ่านเปรียบเทียบระหว่างน้ำและน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ว่าสารใดที่ยังสามารถซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างได้มากกว่ากัน



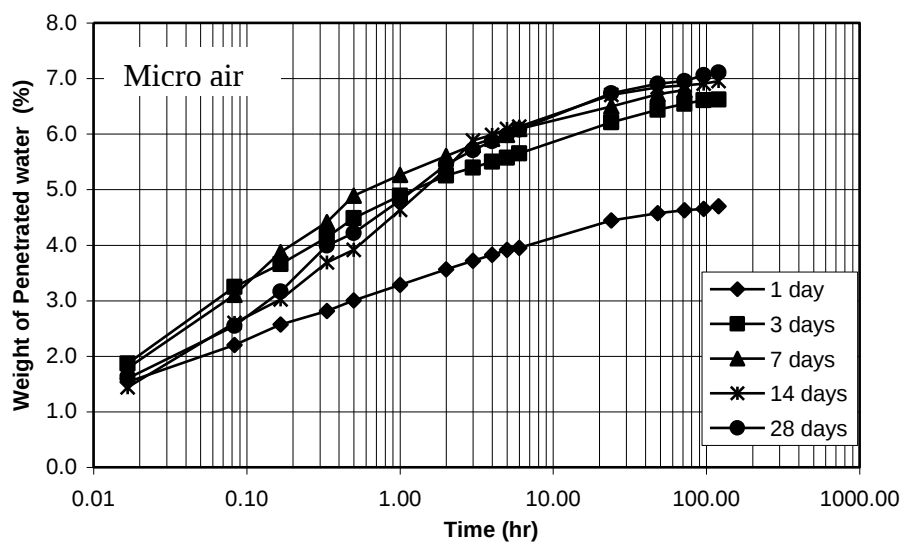
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทำการบ่มแบบปล่อยทิ้งไว้ในอากาศ ที่อายุ 28 วัน



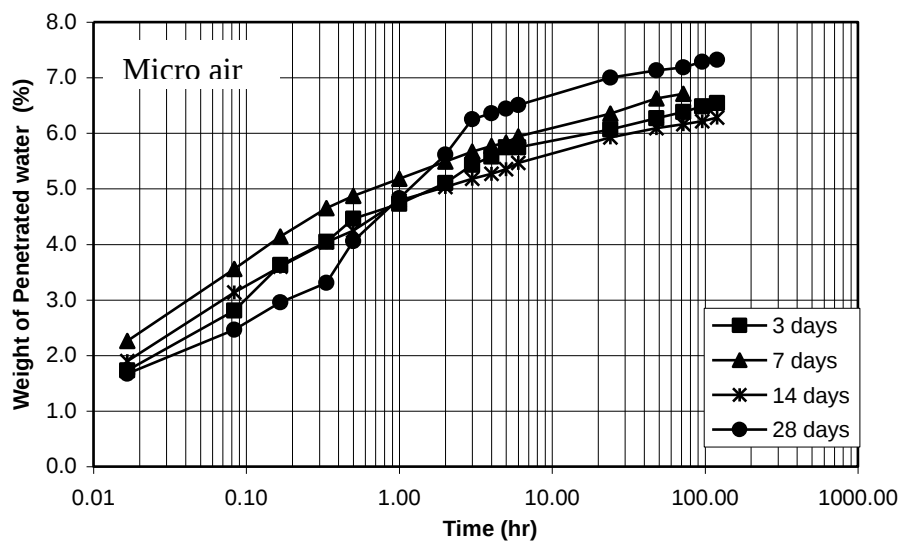
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทำการบ่มแบบ Wrapping ที่อายุ 28 วัน



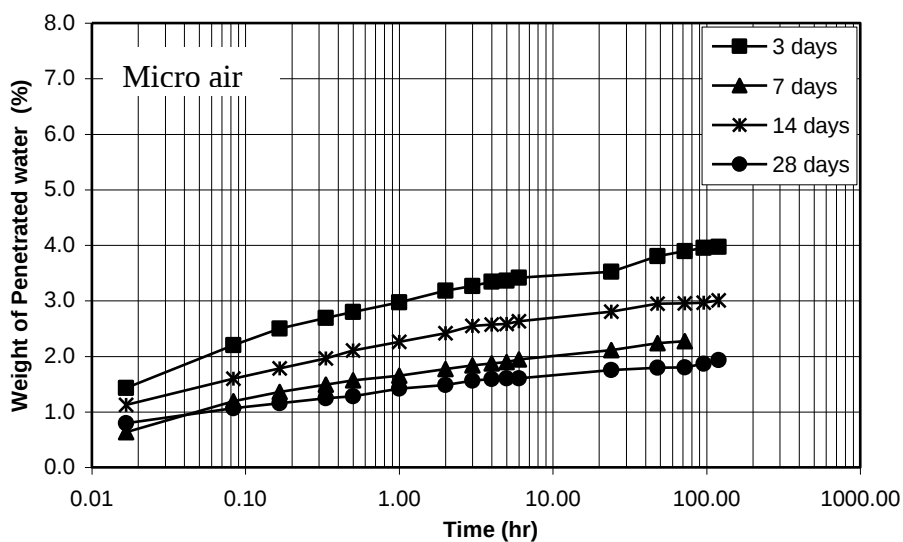
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทำการบ่มด้วยน้ำ ที่อายุ 28 วัน



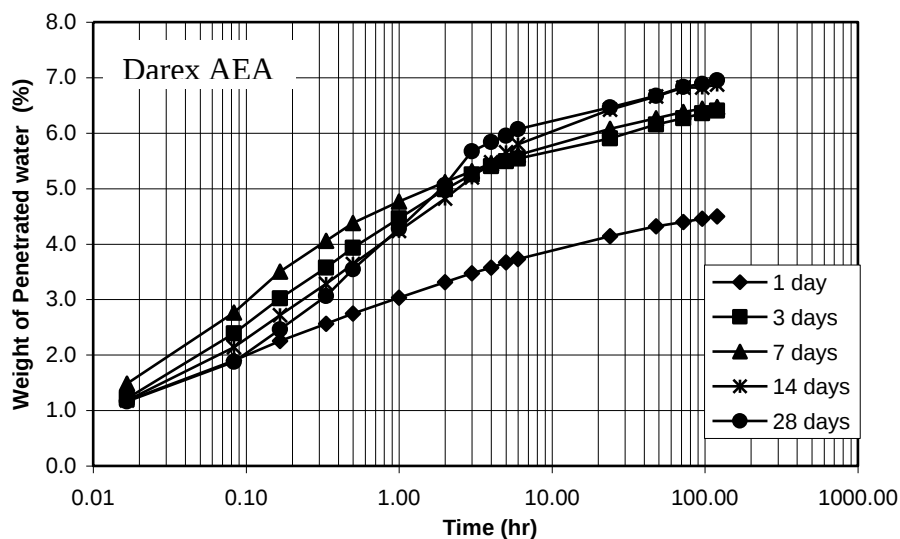
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทดสอบด้วยน้ำผสม Micro air เข้มข้น 1 % ที่ทำการบ่มแบบปล่อยทิ้งไว้ในอากาศ



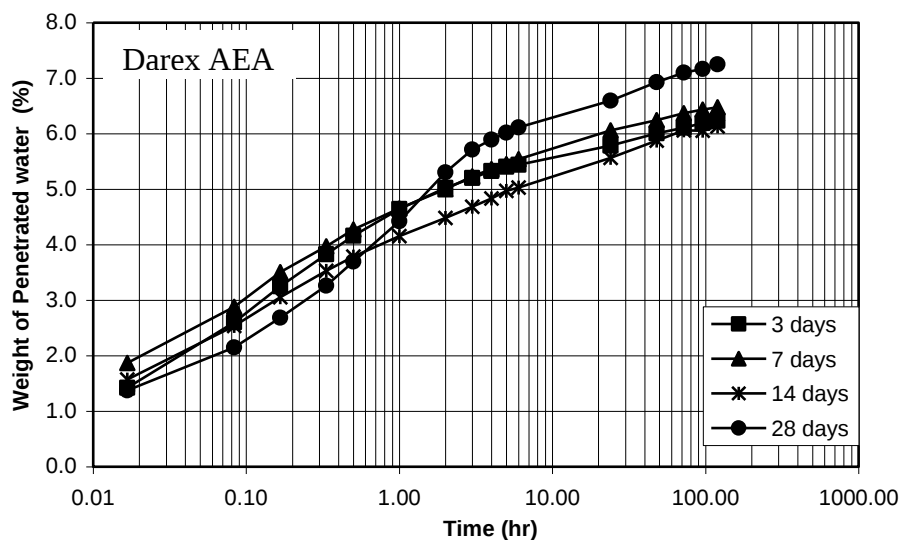
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทดสอบด้วยน้ำผสม Micro air เข้มข้น 1 % โดยทำการบ่มแบบ Wrapping



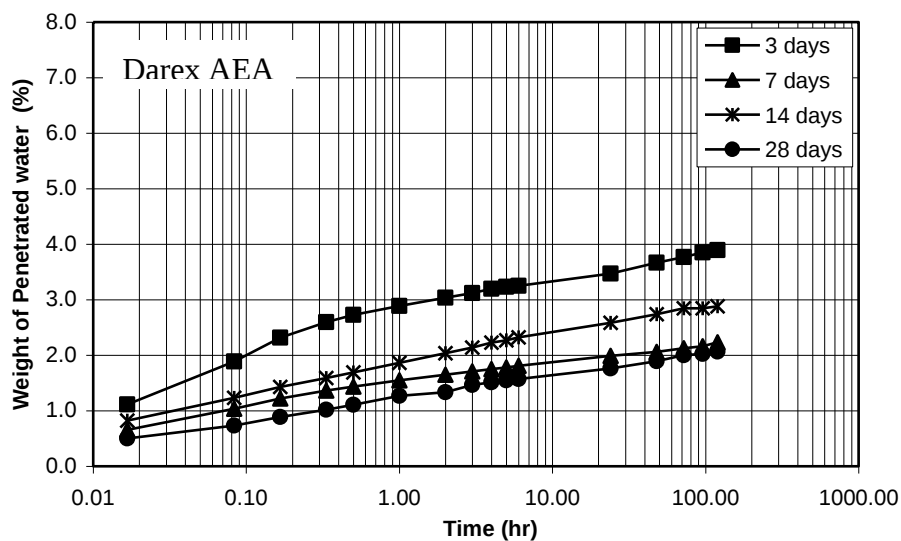
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทดสอบด้วยน้ำผสม Micro air เข้มข้น 1 % โดยทำการบ่มด้วยน้ำ



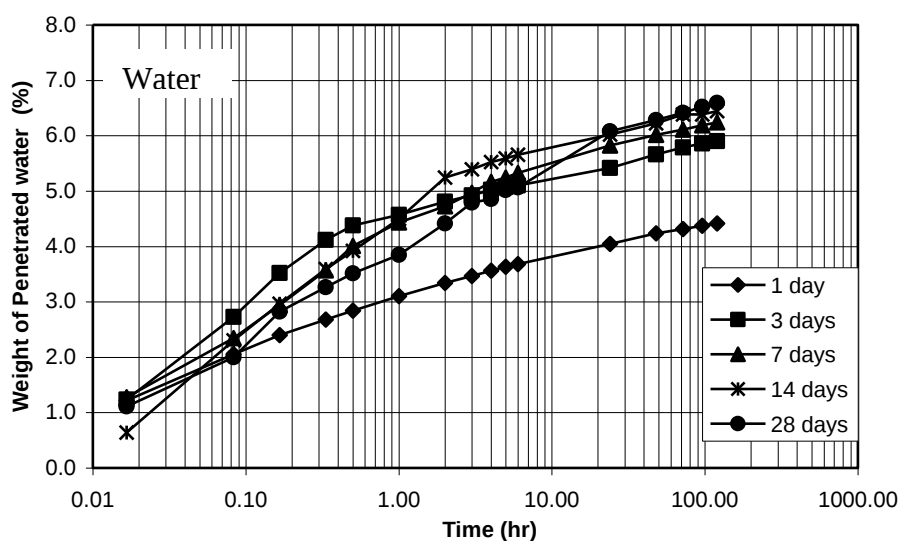
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทดสอบด้วยน้ำผสม Darex AEA เข้มข้น 1 % ที่ทำการบ่มแบบปล่อยทิ้งไว้ในอากาศ



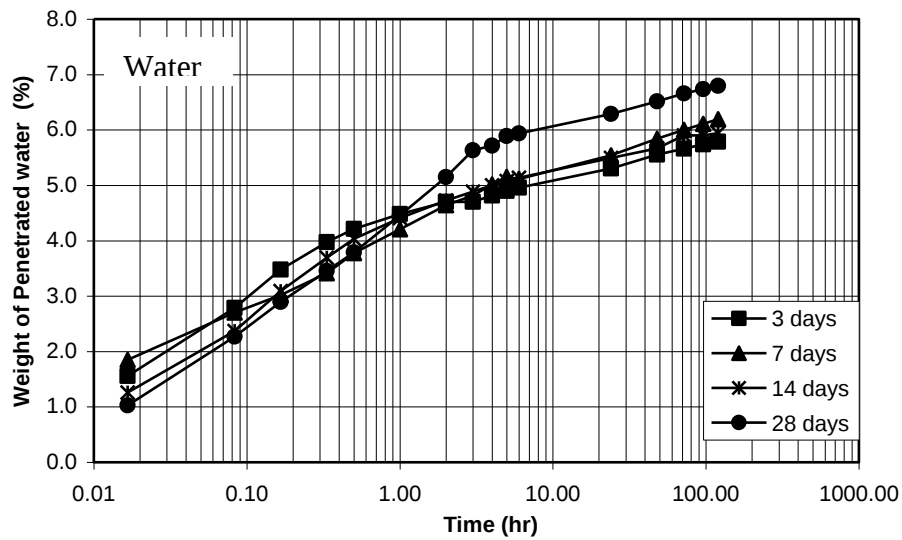
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบ โดยทดสอบด้วยน้ำผสม Darex AEA เข้มข้น 1 % โดยทำการบ่มแบบ Wrapping



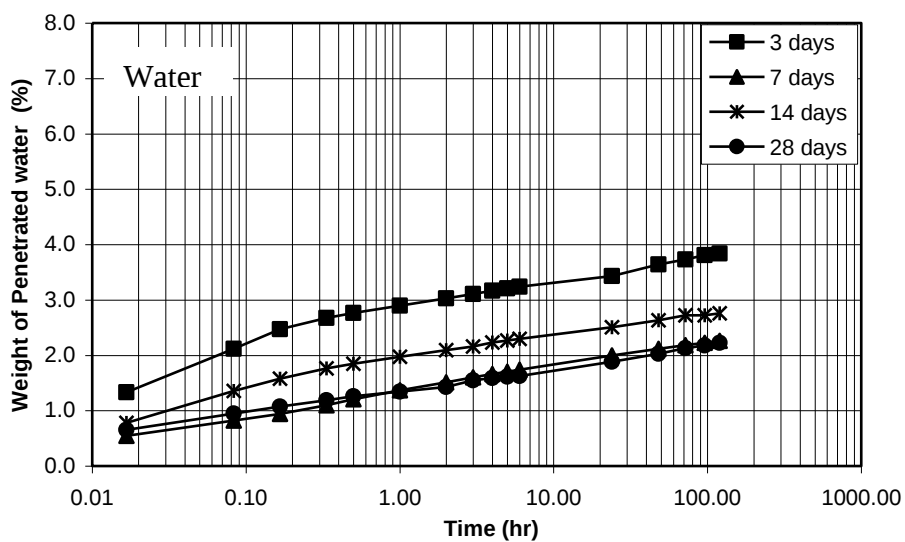
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบโดยทดสอบด้วยน้ำผสม Darex AEA เข้มข้น 1 % โดยทำการบ่มด้วยน้ำ



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบโดยน้ำ ที่ทำการบ่มแบบปล่อยทิ้งไว้ในอากาศ



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบโดยน้ำ โดยทำการบ่มแบบ Wrapping



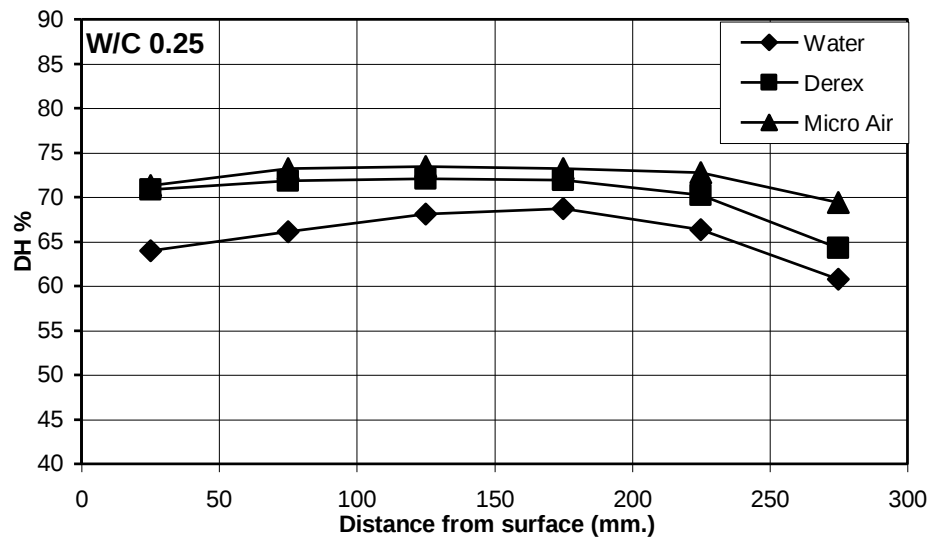
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ซึมผ่านกับระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบโดยน้ำ โดยทำการบ่มด้วยน้ำ

จากรูปที่ 4.1 - 4.4 จะพบว่าการทดสอบตัวอย่างด้วยการบ่มแบบต่อเนื่องตลอดเวลาด้วยการบ่มแบบ Wrapping บ่มด้วยน้ำ และปล่อยทิ้งไว้ในอากาศ ที่อายุ 28 วัน โดยทดสอบด้วยน้ำและน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ทั้ง 2 ชนิด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับจะพบว่าอัตราการซึมผ่านของตัวอย่างที่ทดสอบด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ทั้ง 2 ชนิด จะมีค่าการซึมผ่านที่มากกว่า ตัวอย่างที่ทดสอบด้วยน้ำ โดยมีผลมาจากน้ำที่มีแรงดึงดูดลงทำให้ความสามารถในการซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างดีขึ้น และจากการทดสอบด้วยการบ่มด้วยอากาศ Wrapping และน้ำ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระหว่างวิธีการบ่ม พบว่าการบ่มด้วยอากาศ และ Wrapping มีอัตราการซึมผ่านได้ดีกว่าการบ่มด้วยน้ำ เนื่องจากตัวอย่างที่ทำการบ่มด้วยน้ำ ตัวอย่างจะมีความหนาแน่นจากการเกิดปฏิกิริยาที่มากกว่า ตัวอย่างที่บ่มด้วยอากาศ และ Wrapping ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ยากขึ้น

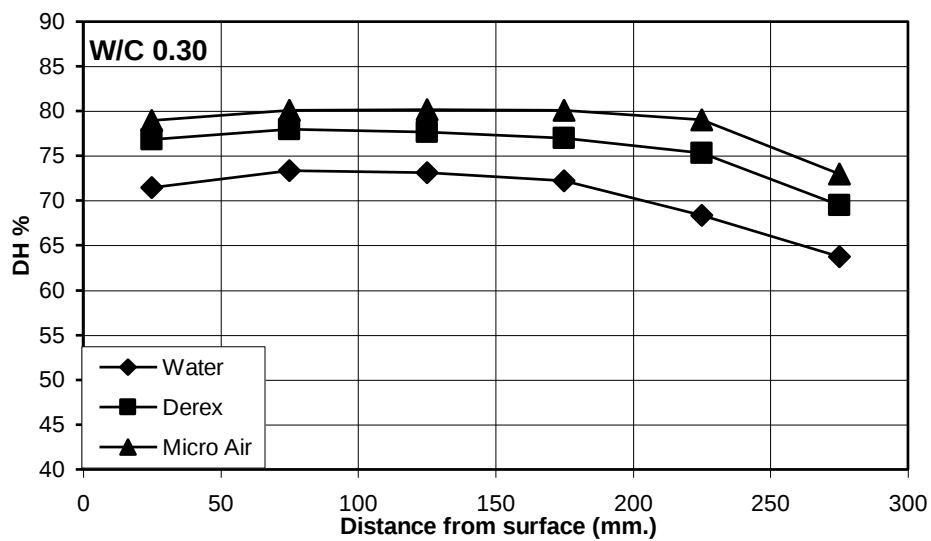
จากรูปที่ 4.5 - 4.12 จะพบว่าการทดสอบตัวอย่างด้วยการบ่มแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องจนอายุของซีเมนต์เพสต์ครบ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน แล้วนำมาทดสอบ พบว่าการทดสอบกับน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ทั้ง 2 ชนิด มีอัตราการซึมผ่านที่สูงขึ้น เมื่อระยะเวลาในการบ่มแบบปล่อยทิ้งไว้ในอากาศและการบ่มแบบ Wrapping นานขึ้น เนื่องจากน้ำในตัวอย่างระเหยออกไปและไม่มีน้ำจากภายนอกเข้ามา ทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างไม่สมบูรณ์ เป็นผลทำให้ช่องว่างเล็กๆ ที่อยู่ในโครงสร้างซีเมนต์เพสต์ยังมีอยู่ในชิ้นตัวอย่างทำให้การซึมผ่านมีมากขึ้น แต่จากการบ่มด้วยน้ำ มีค่ากลับกันคือเมื่อเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นกลับทำให้อัตราการซึมผ่านมีน้อยลง อันเนื่องมาจากน้ำที่ใช้บ่มซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างเพียงพอ เป็นผลทำให้ตัวอย่างมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปได้ยากขึ้น

4.3 ผลการทดสอบการหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์เพสต์แข็งตัว ในแต่ละระดับชั้นความลึกต่างๆ (Hydration)

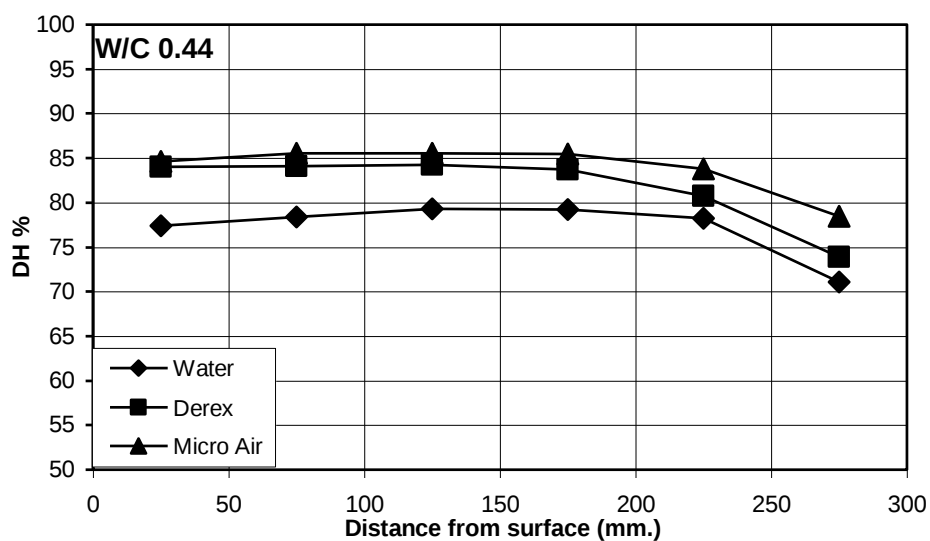
การวัดการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ความลึกต่างๆ เป็นการวัดการซึมผ่านของน้ำบ่มลงไป ในชั้นความลึกต่างๆ ซึ่งการซึมผ่านของน้ำที่ใช้บ่มนั้นจะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันดำเนินไปทั่วทั้งตัวอย่าง ในการทดสอบจะเป็นการหาน้ำหนักที่หายไปของตัวอย่างหลังจากผ่านการอบแล้ว ซึ่งค่าน้ำหนักที่หายไปจะนำไปคำนวณหาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน วิธีที่ใช้บ่มทดสอบคือ บ่มด้วยน้ำและบ่มด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องกัน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับ สภาพของตัวอย่างจะเลือกใช้ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25, 0.30 และ 0.44 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกัน



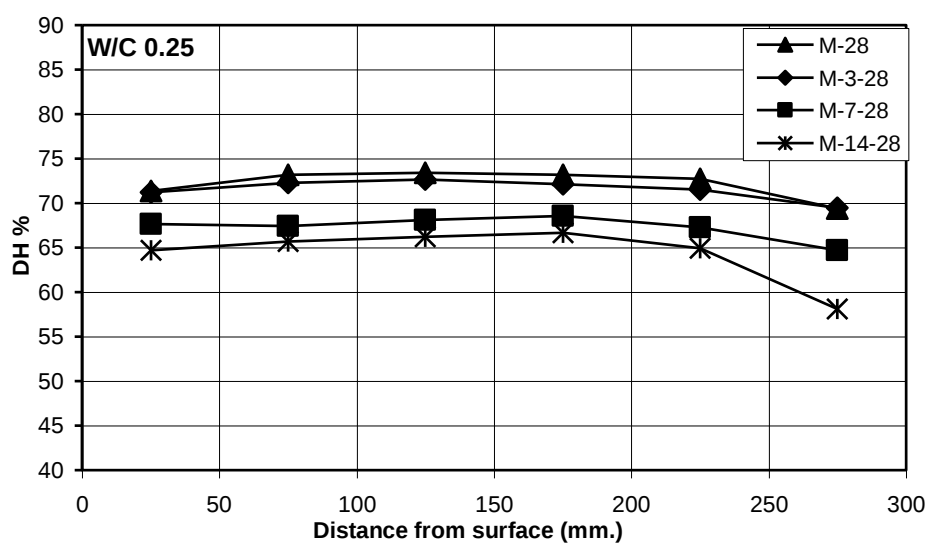
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำ และน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ทั้ง 2 ชนิด ที่อายุ 28 วัน W/C 0.25



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำ และน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ทั้ง 2 ชนิด ที่อายุ 28 วัน W/C 0.30

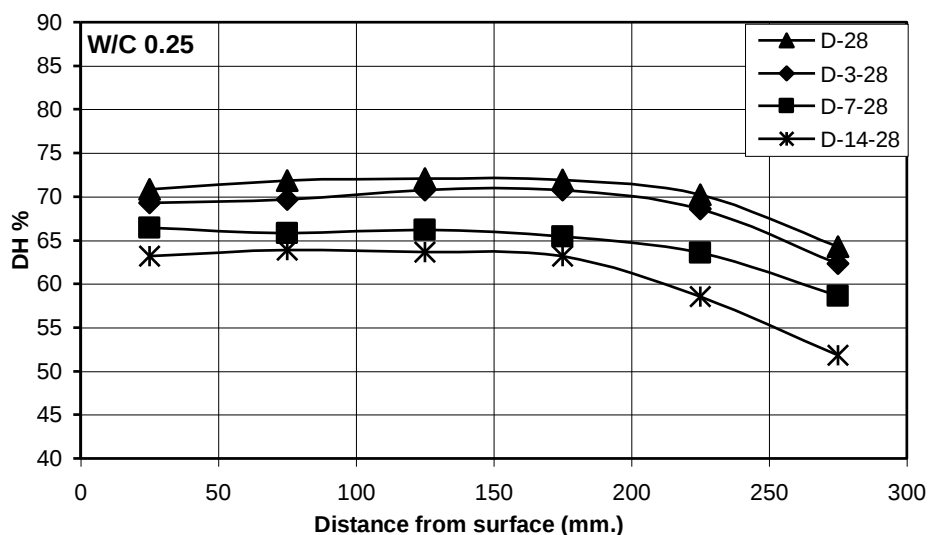


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำ และน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ทั้ง 2 ชนิด ที่อายุ 28 วัน W/C 0.44



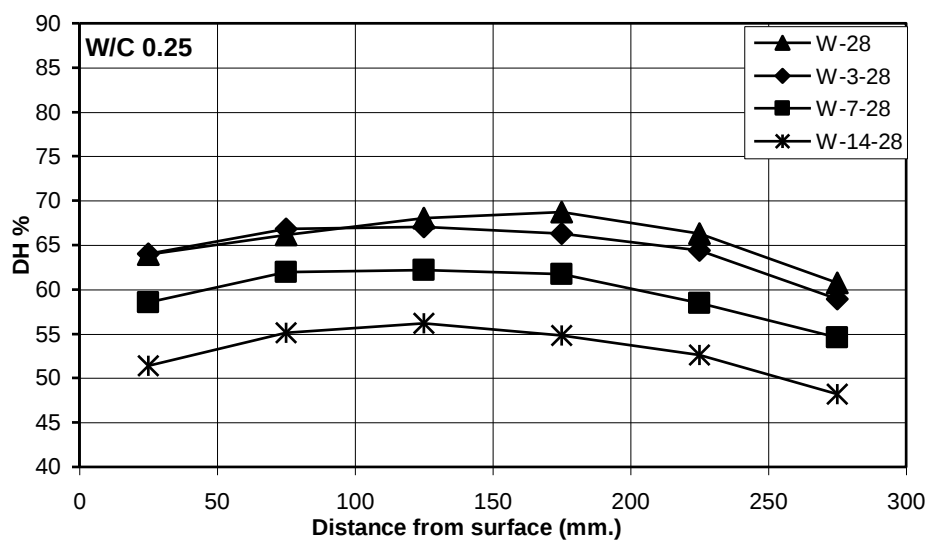
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำผสม Micro air เข้มข้น 1 % โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.25

หมายเหตุ : 1) M-28 หมายถึง ตัวอย่างที่บ่มตลอดเวลา 28 วันด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ชนิด Micro air
 2) M-3-28, M-7-28 และ M-14-28 หมายถึง ตัวอย่างที่ทำการทิ้งไว้ในห้องทดลองที่อายุ 3, 7, และ 14 วัน แล้วจึงนำมาบ่มด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ชนิด Micro air จนอายุ 28 วัน



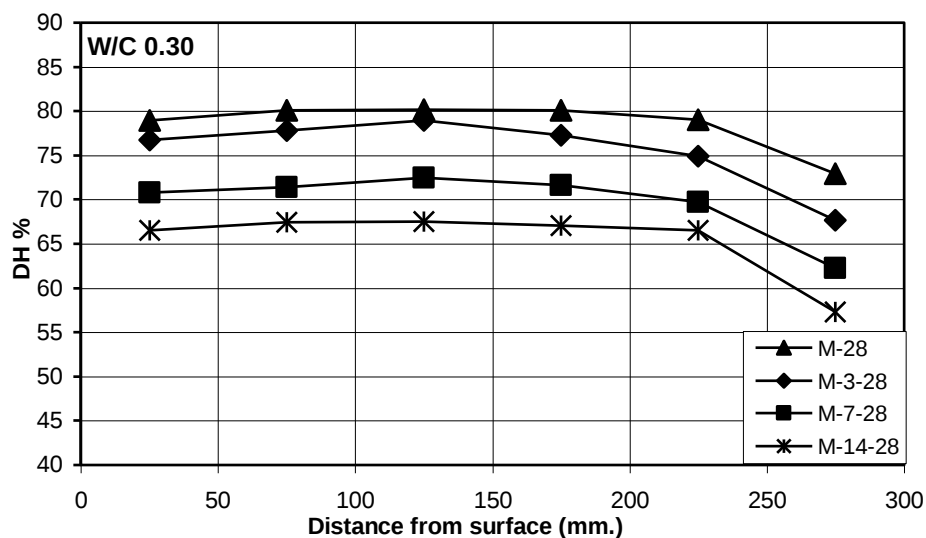
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำผสม Darex AEA เข้มข้น 1 % โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.25

หมายเหตุ : 1) D-28 หมายถึง ตัวอย่างที่บ่มตลอดเวลา 28 วันด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ชนิด Darex AEA
 2) D-3-28, D-7-28 และ D-14-28 หมายถึง ตัวอย่างที่ทำการทิ้งไว้ในห้องทดลองที่อายุ 3, 7, และ 14 วัน แล้วจึงนำมาบ่มด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ชนิด Darex AEA จนอายุ 28 วัน

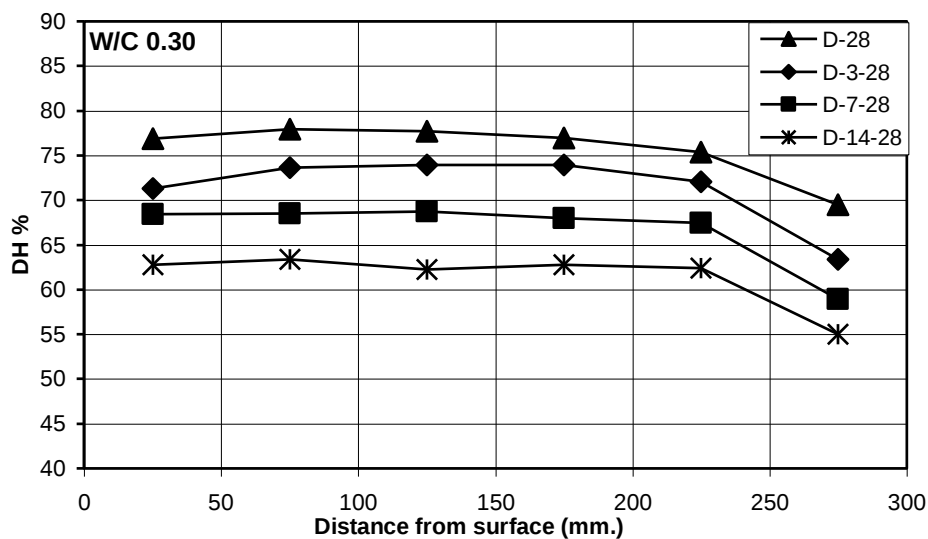


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำ โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.25

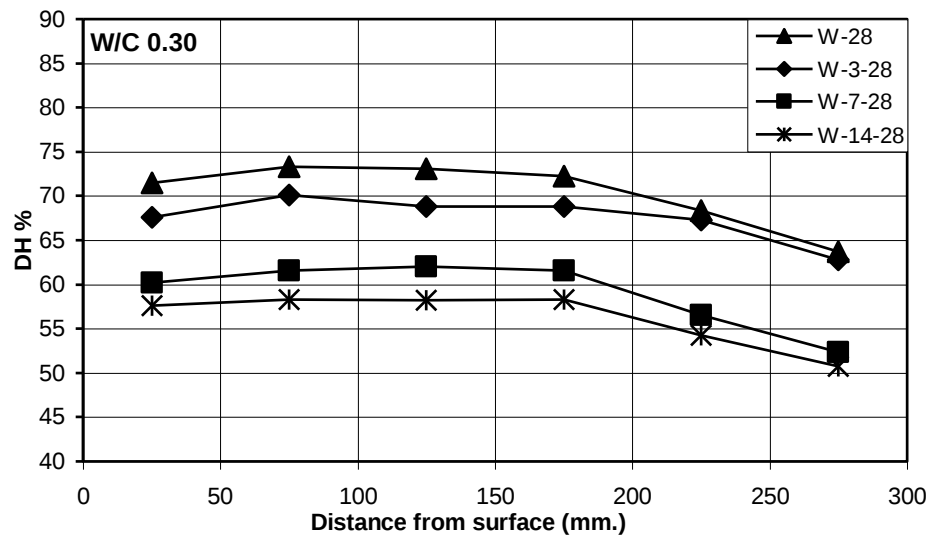
หมายเหตุ : 1) W-28 หมายถึง ตัวอย่างที่บ่มตลอดเวลา 28 วันด้วยน้ำ
 2) W-3-28, W-7-28 และ W-14-28 หมายถึง ตัวอย่างที่ทำการทิ้งไว้ในห้องทดลองที่อายุ 3, 7, และ 14 วัน แล้วจึงนำมาบ่มด้วยน้ำ จนอายุ 28 วัน



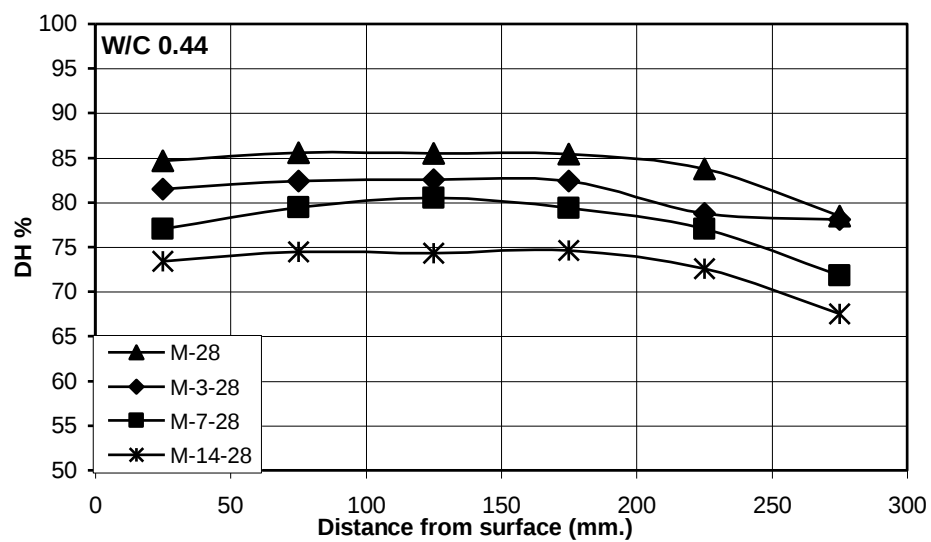
รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่ม
ด้วยน้ำผสม Micro air เพิ่มขึ้น 1 % โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.30



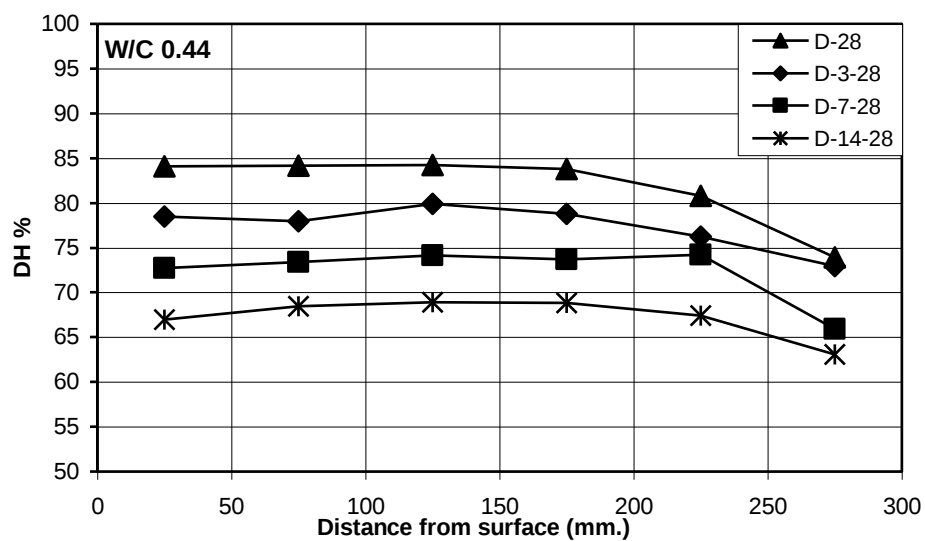
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่ม
ด้วยน้ำผสม Darex AEA เพิ่มขึ้น 1 % โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.30



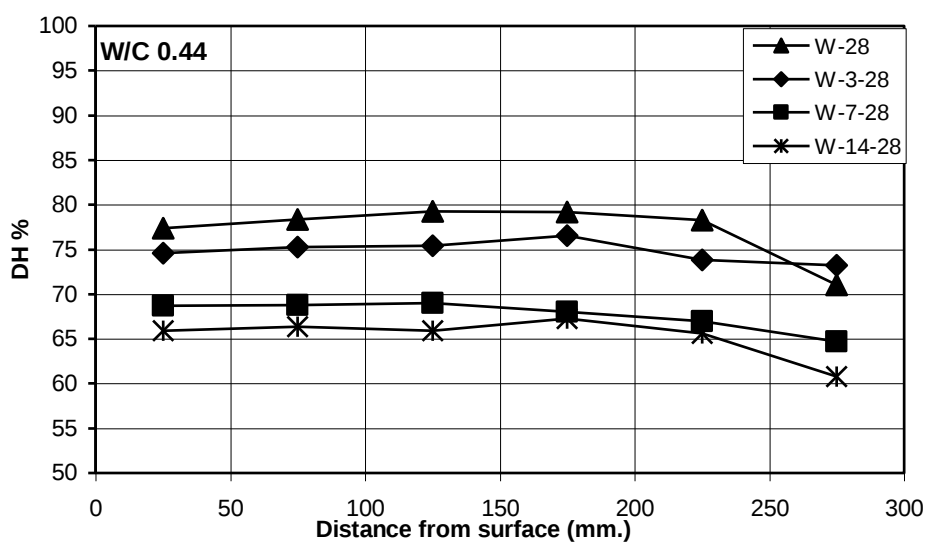
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำ โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.30



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่มด้วยน้ำผสม Micro air เข้มข้น 1 % โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.44



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่ม
ด้วยน้ำผสม Darex AEA เข้มข้น 1 % โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.44



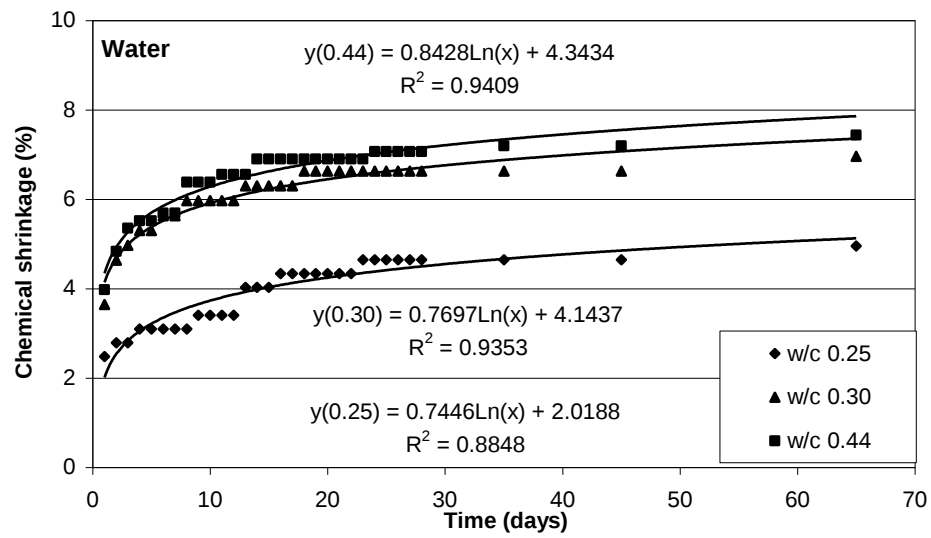
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮดรชันกับระยะความลึกของตัวอย่าง ที่ทำการบ่ม
ด้วยน้ำ โดยการบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ที่ W/C 0.44

จากรูปที่ 4.13 - 4.15 จะพบว่าตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25, 0.30 และ 0.44 ที่อายุ 28 วัน เมื่อทำการบ่มด้วยน้ำผสมสารลดแรงดึงผิวทั้ง 2 ชนิดจะช่วยเพิ่มปฏิกิริยาไฮเดรชันให้สูงขึ้นและยังมีค่าสม่ำเสมอมากกว่าการบ่มด้วยน้ำ โดยมีผลมาจากน้ำที่มีแรงดึงผิวลดลงทำให้ความสามารถในการซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างดีขึ้น จึงเป็นผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าเพิ่มขึ้นตามมา

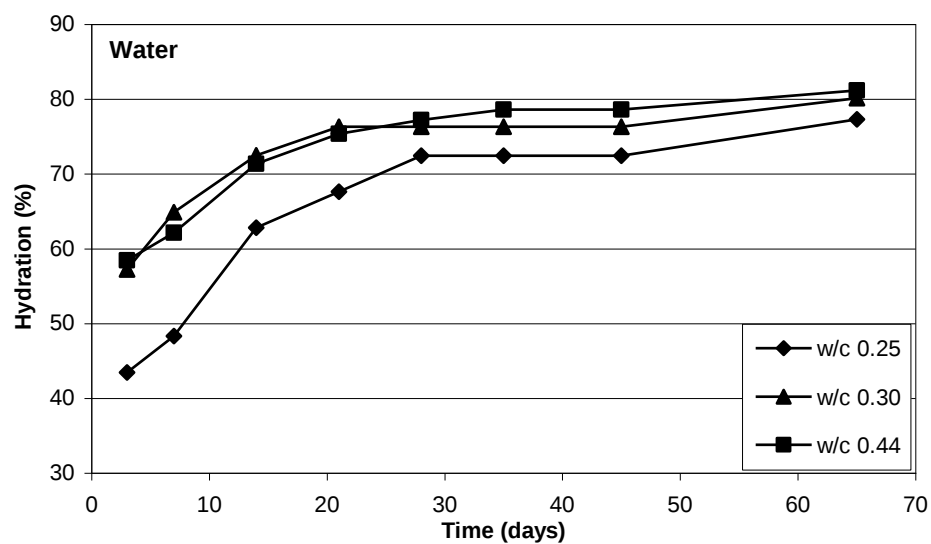
จากรูปที่ 4.16 - 4.24 จะพบว่าจากการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่องโดยทิ้งตัวอย่างไว้ในห้องทดลองที่อายุ 1, 3, 7 และ 14 วัน แล้วทำการบ่มด้วยน้ำและน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ทั้ง 2 ชนิด จนอายุซีเมนต์ครบ 28 แล้วนำมาทดสอบ พบว่าปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมีค่าลดลงตามเงื่อนไขแบบไม่ต่อเนื่องในการบ่ม เนื่องจากเมื่อซีเมนต์เพสต์เกิดการแข็งตัวและมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จากการเกิดปฏิกิริยาที่ดำเนินไปเรื่อยๆ น้ำธรรมดาจึงไม่สามารถที่จะซึมผ่านเข้าไปได้มาก แต่น้ำที่มีแรงดึงผิวต่ำสามารถแพร่ซึมเข้าไปในตัวอย่างที่มีความหนาแน่นได้ดีกว่าน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เพิ่มขึ้นอีกทั้งยังมีค่าปฏิกิริยาไฮเดรชันอย่างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาการบ่ม และจะช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ 14 วันมีค่าใกล้เคียงกับการบ่มด้วยน้ำตลอดเวลา

4.4 ผลการทดลองสำหรับการหาการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยวัดจากค่าการหดตัวทางเคมี (Chemical Shrinkage)

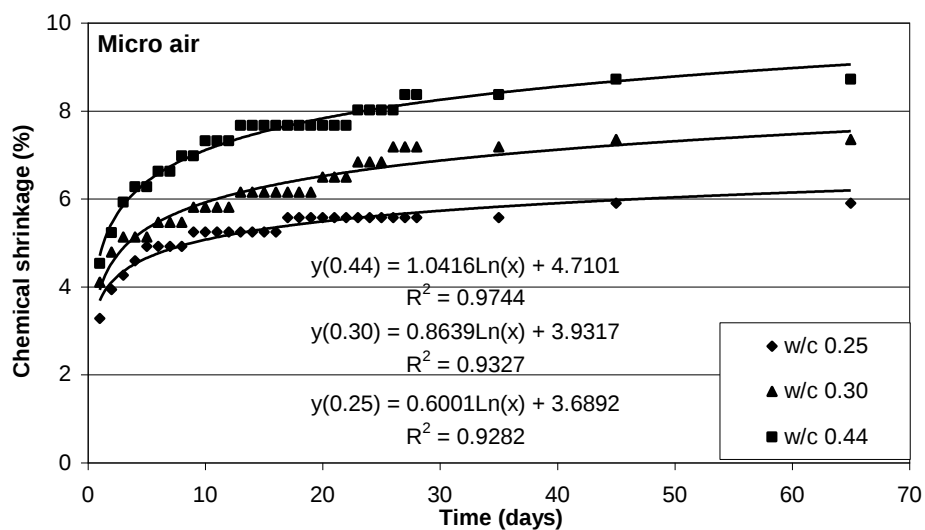
การวัดการเกิดปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical Shrinkage) เป็นการวัดการหดตัวลงขึ้นตัวอย่าง อันเป็นเพราะปริมาณมวลรวมของของเหลวและของแข็งก่อนเกิดปฏิกิริยา มีปริมาณที่ลดลงหลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้ว ซึ่งปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical Shrinkage) ที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับปฏิกิริยาไฮเดรชัน จึงสามารถนำไปคำนวณการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชันได้อีกด้วย ในการทดสอบจะเป็นการนำค่าระดับน้ำในหลอดปิเปตที่ลดลง ซึ่งค่าของระดับน้ำที่ลดลงนั้น จะนำไปคำนวณการเกิดปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical Shrinkage) ได้หลังจากทำการบันทึกข้อมูลจนครบ 28 วัน ก็จะหาค่าการเกิดปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี (Chemical Shrinkage) สูงสุดได้ ซึ่งค่านี้จะนำไปเทียบกับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ที่ 100 % ได้และจะหาการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชัน สภาพของขึ้นตัวอย่างจะเลือกใช้ขึ้นตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25, 0.30 ซึ่งมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอให้เกิดปฏิกิริยาได้สมบูรณ์ และ 0.44 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับ



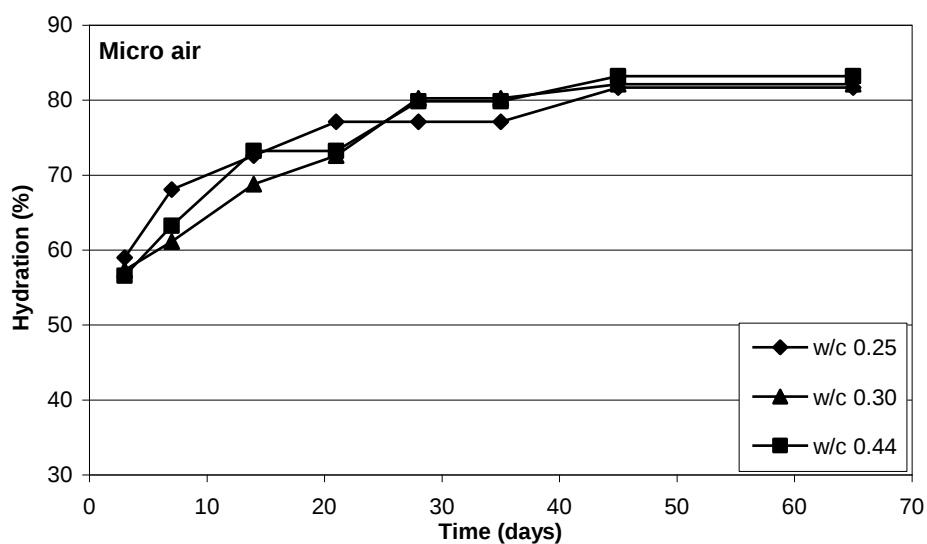
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมีกับระยะเวลา ของตัวอย่างที่ทดสอบด้วยน้ำ



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชัน กับระยะเวลา ของตัวอย่างที่ทดสอบด้วยน้ำ



รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมีกับระยะเวลา ของตัวอย่างที่ทดสอบด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 %

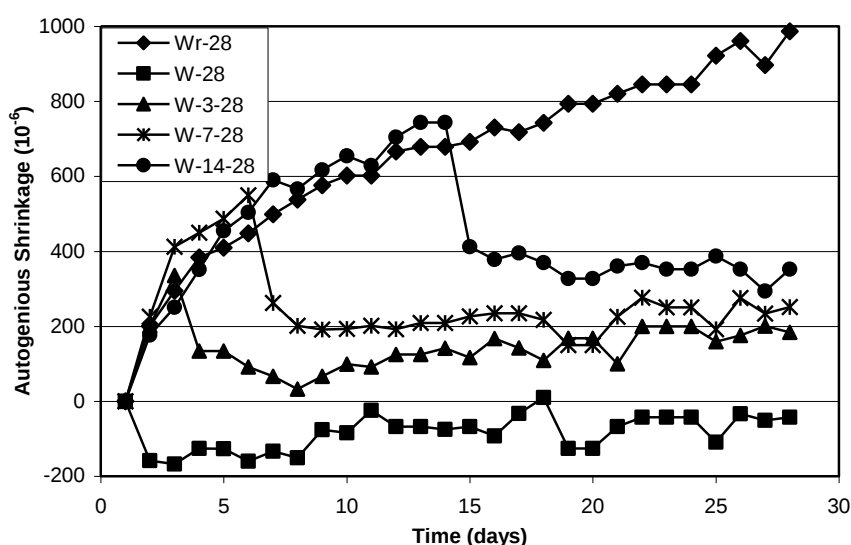


รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างปฏิกิริยาไฮเดรชันกับระยะเวลา ของตัวอย่างที่ทดสอบด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 %

จากรูปที่ 4.25 - 4.28 จะพบว่าตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.44 จะเกิดปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมีขึ้นมากกว่าตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยจากการทดสอบกับน้ำและน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % พบว่า การเกิดปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมี ของน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % จะมีแนวโน้มที่เกิดขึ้นมากกว่าและต่อเนื่องมากกว่า ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกว่ามากในช่วงเวลาแรกๆ

4.5 การทดสอบการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ ตามมาตรฐาน JIS A 1129

การวัดการหดตัวในซีเมนต์เพสต์ (Autogenous Shrinkage) เป็นการวัดการหดตัวภายนอกของซีเมนต์เพสต์ อันเนื่องจากการหดของตัวซีเมนต์เพสต์และเพราะปริมาณมวลรวมของของเหลวและของแข็ง เกิดปฏิกิริยามีปริมาณที่ลดลงหลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้ว โดยทดสอบด้วยการบ่มแบบ Wrapping บ่มด้วยน้ำ และบ่มด้วยน้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศเข้มข้น 1 % โดยเลือกใช้ชนิด Micro air มาทำการทดสอบ ตามเงื่อนไขโดยทำการบ่มแบบต่อเนื่องตลอดเวลาและทำการบ่มแบบไม่ต่อเนื่อง คือทิ้งไว้ในห้องทดลองควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 50 % จนได้อายุที่ 1, 3, 7 และ 14 วัน แล้วจึงทำการบ่ม

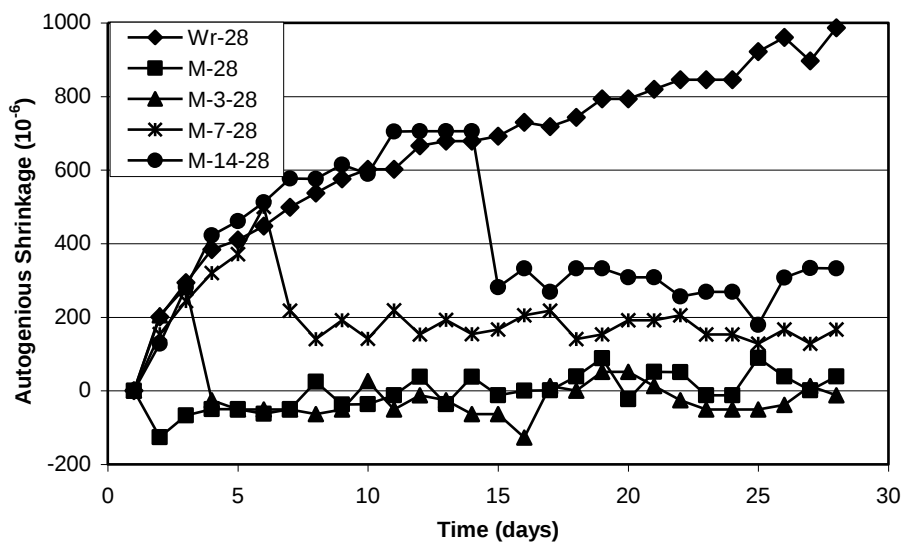


รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวในซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลา ที่ทดสอบด้วยน้ำ ที่ W/C 0.25

หมายเหตุ : 1) Wr-28 หมายถึง ตัวอย่างที่บ่มตลอดเวลา 28 วันด้วยวิธี Wrapping

2) W-28 หมายถึง ตัวอย่างที่บ่มตลอดเวลา 28 วันด้วยน้ำ

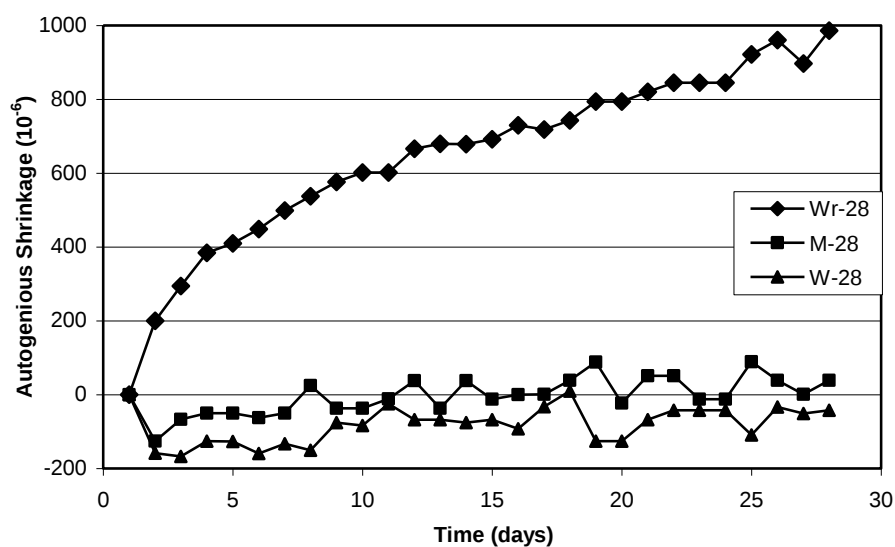
3) W-3-28, W-7-28 และ W-14-28 หมายถึง ตัวอย่างที่ทำการทิ้งไว้ในห้องทดลองที่อายุ 3, 7, และ 14 วัน แล้วจึงนำมาบ่มด้วยน้ำ จนอายุ 28 วัน



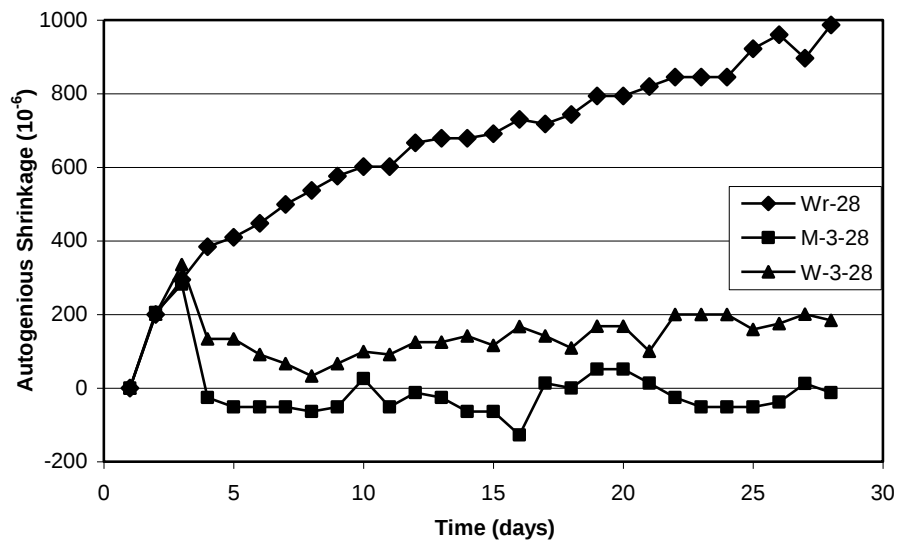
รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวในซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลา ที่ทดสอบด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ที่ W/C 0.25

หมายเหตุ : 1) M-28 หมายถึง ตัวอย่างที่บ่มตลอดเวลา 28 วันด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 %

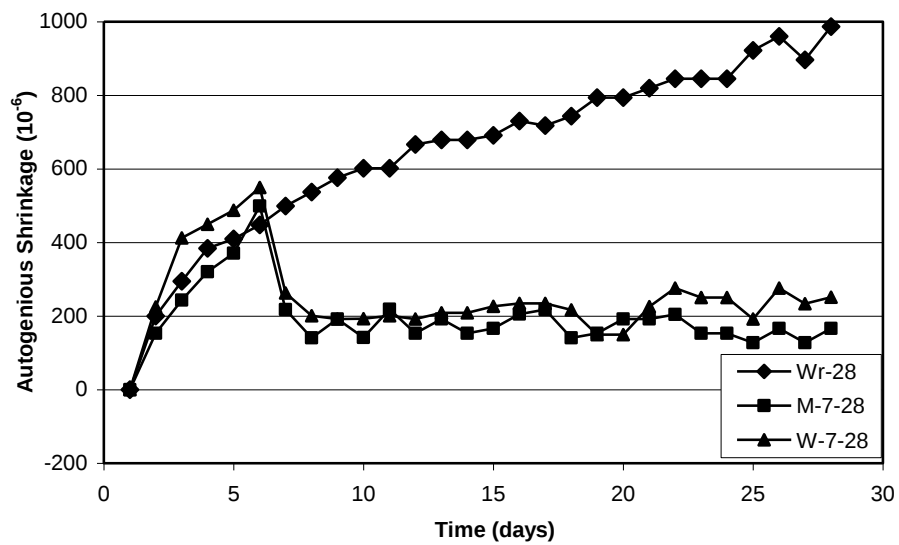
2) M-3-28, M-7-28 และ M-14-28 หมายถึง ตัวอย่างที่ทำการทิ้งไว้ในห้องทดลองที่อายุ 3, 7, และ 14 วัน แล้วจึงนำมาบ่มด้วย AE เข้มข้น 1 % จนอายุ 28 วัน



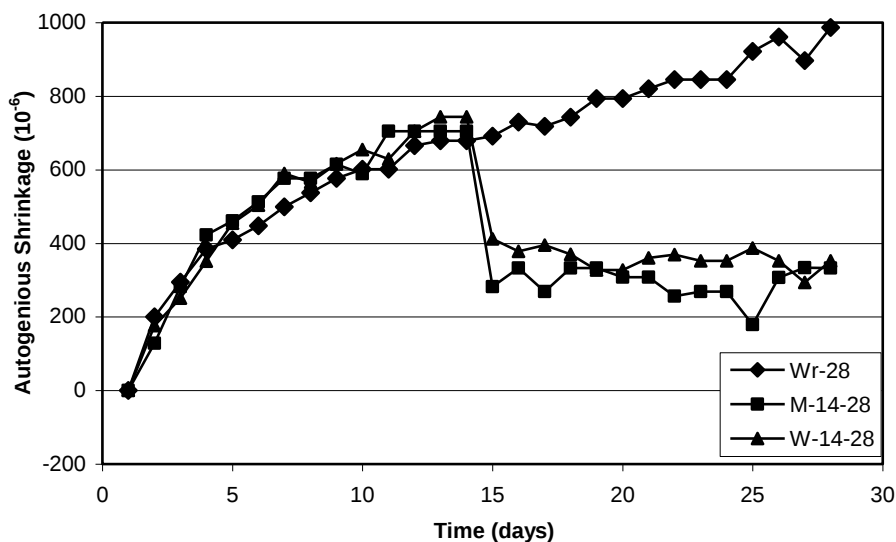
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวในซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลา ตามเงื่อนไขการบ่มแบบต่อเนื่องเปรียบเทียบกับการบ่มแบบ Wrapping ที่ W/C 0.25



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวในซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลา ตามเงื่อนไขการบ่มแบบไม่ต่อเนื่องที่ 3 วัน เปรียบเทียบกับการบ่มแบบ Wrapping ที่ W/C 0.25



รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวในซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลา ตามเงื่อนไขการบ่มแบบไม่ต่อเนื่องที่ 7 วัน เปรียบเทียบกับการบ่มแบบ Wrapping ที่ W/C 0.25



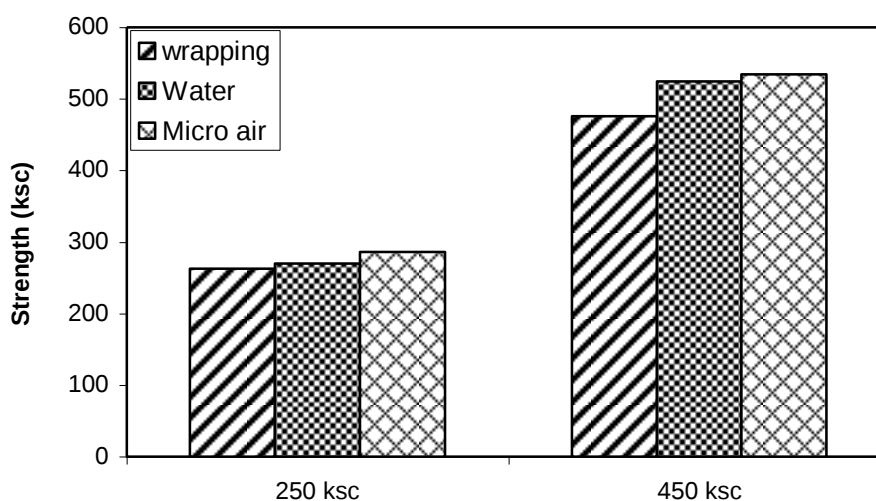
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวในซีเมนต์เพสต์กับระยะเวลา ตามเงื่อนไขการบ่มแบบไม่ต่อเนื่องที่ 14 วัน เปรียบเทียบกับการบ่มแบบ Wrapping ที่ W/C 0.25

จากรูปที่ 4.29 - 4.34 การหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ทดสอบโดย Wrapping น้ำ และ AE เพิ่มขึ้น 1 % ชนิด Micro air พบว่าเมื่อทดสอบโดยการนำมาบ่มด้วยน้ำและน้ำผสม AE ตลอดเวลา จะมีการหดตัวเพียงเล็กน้อย ตลอดระยะเวลาในการทดสอบ และการบ่มแบบ Wrapping มีการหดตัวอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาในการทดสอบ แต่เมื่อทดสอบโดยการนำมาบ่มด้วยน้ำและสารลดแรงตึงผิว AE เพิ่มขึ้น 1% ผสมกับน้ำแบบไม่ต่อเนื่องจะมีการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ในช่วงแรกสูง เพราะตัวอย่างสัมผัสอากาศโดยตรง และจะเกิดการขยายตัวเมื่อถึงวันที่ทำการบ่ม

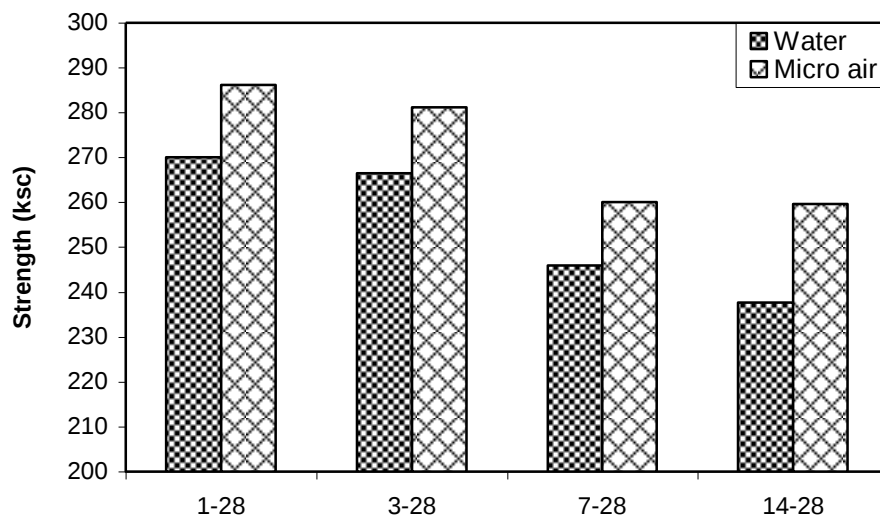
จากรูปที่ 4.32 - 4.35 การหดตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ทดสอบโดยการบ่มแบบ Wrapping ตลอดเวลากับการบ่มด้วยน้ำและสารลดแรงตึงผิว AE เพิ่มขึ้น 1% ผสมกับน้ำ แบบไม่ต่อเนื่องที่อายุซีเมนต์เพสต์ 1, 3, 7 และ 14 วัน พบว่าช่วงแรกของการทดสอบแบบไม่ต่อเนื่อง มีการหดตัวอย่างต่อเนื่องและมีค่ามากกว่าการทดสอบแบบ Wrapping เนื่องจากตัวอย่างสัมผัสกับอากาศโดยตรงเกิดการระเหยของน้ำหรือเนื่องมาจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงทำให้เกิดการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ แต่เมื่อครบกำหนดนำตัวอย่างไปทำการบ่ม ตัวอย่างจะเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากโมเลกุลของน้ำถูกดูดเข้าไปในซีเมนต์เพสต์ทำให้เกิดแรงต้านแรงยึดเกาะกัน และทำให้แรงตึงผิวของอนุภาคซีเมนต์ลดลง แต่หลังจากทำการบ่มต่อไปแบบต่อเนื่องซีเมนต์เพสต์จะเกิดการหดตัวเพียงเล็กน้อยตลอดระยะเวลาในการทดสอบ

4.6 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต (Strength)

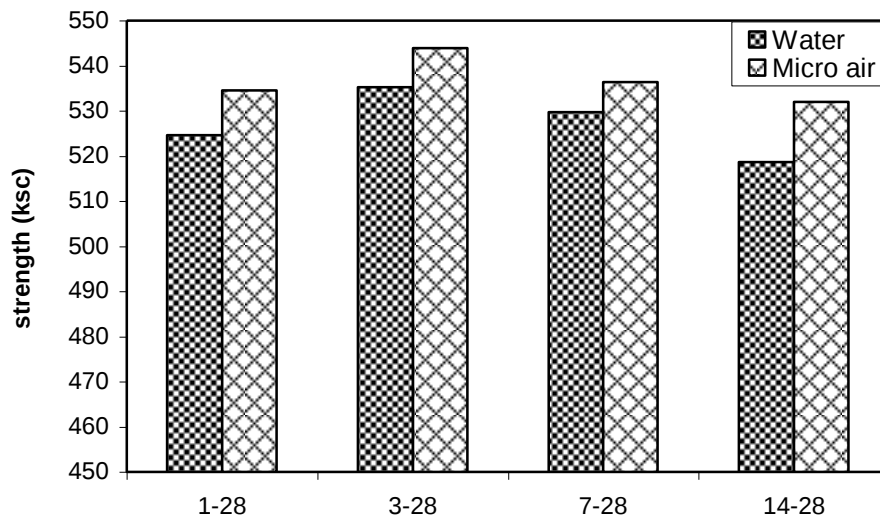
การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน BS 1881 Part 108 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต ที่ได้รับการบ่มแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง โดยตัวอย่างที่เลือกใช้ เป็นตัวอย่างที่ออกแบบให้รับกำลังอัดที่ 250 ksc. และ 450 ksc. เพื่อทำการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเพื่อทำการเปรียบเทียบ ด้วยวิธีการบ่มที่แตกต่างกันโดยทดสอบด้วยการบ่มแบบ Wrapping บ่มด้วยน้ำ และบ่มด้วยน้ำผสมสารกักกระจายฟองอากาศ ทำการบ่มแบบต่อเนื่องตลอดเวลาและทำการบ่มแบบไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 4.35 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด (Strength) กับค่ากำลังที่ออกแบบ โดยการบ่มแบบต่อเนื่องตลอดเวลาด้วย Wrapping น้ำ และ AE เข้มข้น 1 % ที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด (Strength) กับค่ากำลังออกแบบที่ 250 ksc.
โดยบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องด้วยน้ำ และน้ำผสม AE เข้มข้น 1 %



รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด (Strength) กับค่ากำลังออกแบบที่ 450 ksc.
โดยบ่มแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องด้วยน้ำ และน้ำผสม AE เข้มข้น 1 %

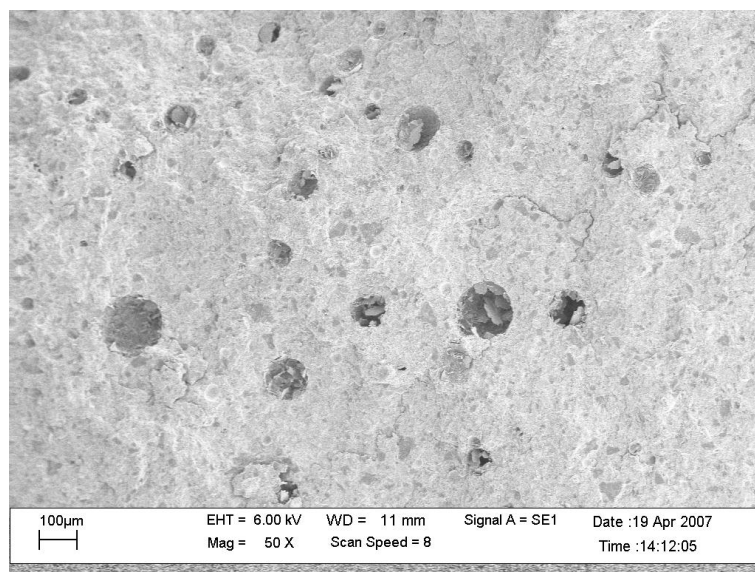
จากรูปที่ 4.36 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตพบว่า ที่การออกแบบกำลังอัดคอนกรีต 250 ksc. ที่อายุ 28 วัน โดยการบ่มแบบต่อเนื่องด้วย Wrapping ด้วยน้ำ และน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ค่ากำลังอัดที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่สูง น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตมีเพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน และจากการทดสอบที่การออกแบบกำลังอัดคอนกรีต 450 ksc. พบค่ากำลังอัดที่ได้มีค่าแตกต่างกัน โดยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % ให้ค่ากำลังอัดที่สูงสุด เนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำ น้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตมีไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ตัวอย่างต้องการน้ำจากภายนอกเข้าไปทำให้เกิดปฏิกิริยาที่เพียงพอ แต่เนื่องจากการออกแบบที่ต้องการกำลังอัดที่สูง คอนกรีตมีความหนาแน่นมาก ทำให้น้ำธรรมดาซึมผ่านเข้าได้ไม่ทั่วถึง แต่น้ำที่มีแรงดึงต่ำจะมีความสามารถซึมผ่านเข้าไปได้ดีกว่า

จากรูปที่ 4.37 - 4.38 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต โดยทำการบ่มแบบต่อเนื่องตลอดเวลาและแบบไม่ต่อเนื่องที่ 3, 7 และ 14 วัน พบว่าที่ออกแบบกำลังอัดที่ 250 ksc. และ ที่ 450 ksc. ค่ากำลังอัดที่ได้มีค่าลดลงตามเงื่อนไขของการบ่มแบบไม่ต่อเนื่องในการบ่ม แต่ตัวอย่างที่บ่มด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % จะมีค่าสูงกว่าการบ่มด้วยน้ำธรรมดา เนื่องมาจากตัวอย่างที่ปล่อยทิ้งไว้ในห้องควบคุมอุณหภูมิมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นทำให้น้ำธรรมดาไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาได้เพียงพอกำลังอัดของคอนกรีตจึงลดลง แต่น้ำที่มีแรงดึงต่ำสามารถซึมผ่านเข้าไปได้ดีกว่าทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นนั่นเอง

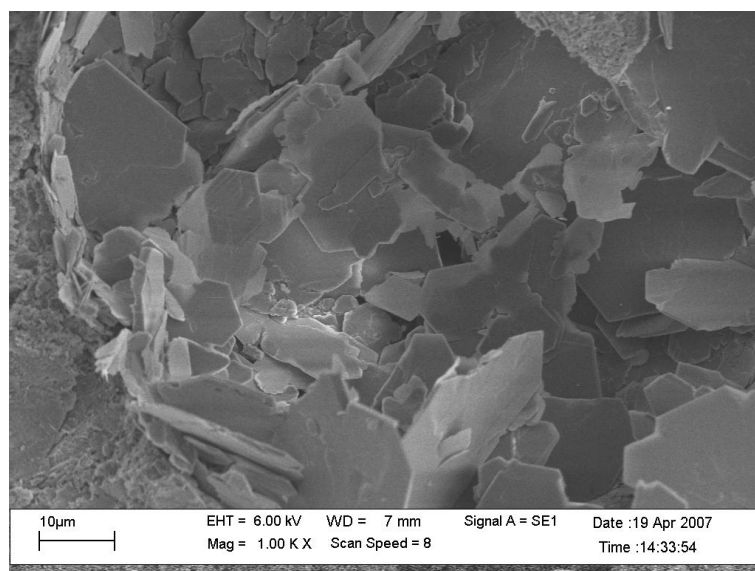
4.7 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด Scanning

Electron Microscope (SEM)

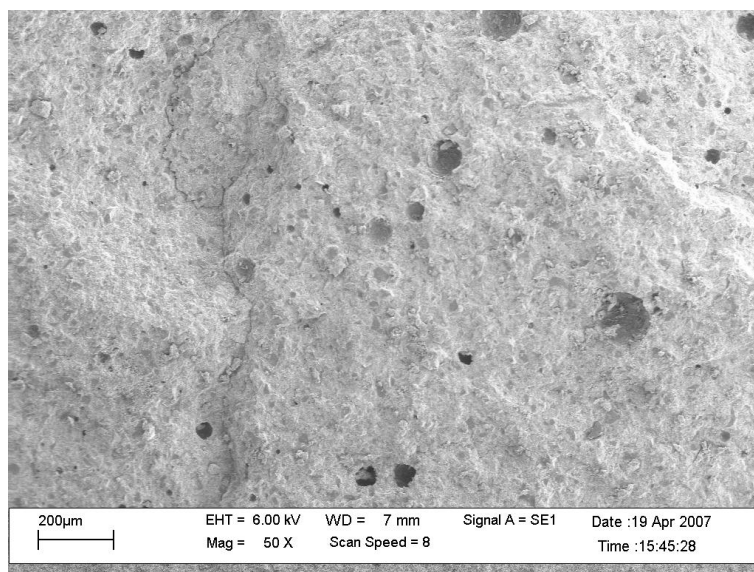
การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM) โดยใช้ตัวอย่างที่มี W/C 0.25 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการพัฒนาโครงสร้างผลึกที่เกิดขึ้นภายในตัวอย่าง ที่ได้รับการบ่มแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง โดยทดสอบด้วยการบ่มแบบ Wrapping บ่มด้วยน้ำ และบ่มด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 %



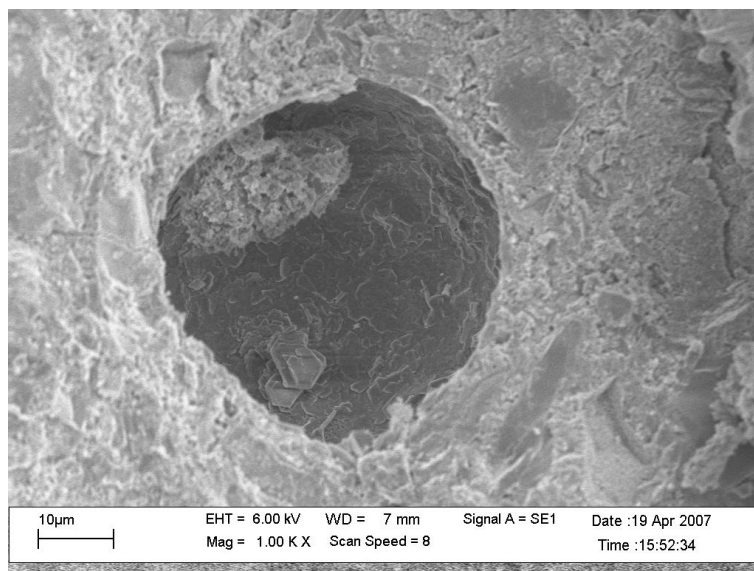
รูปที่ 4.38 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มด้วยน้ำแบบต่อเนื่อง



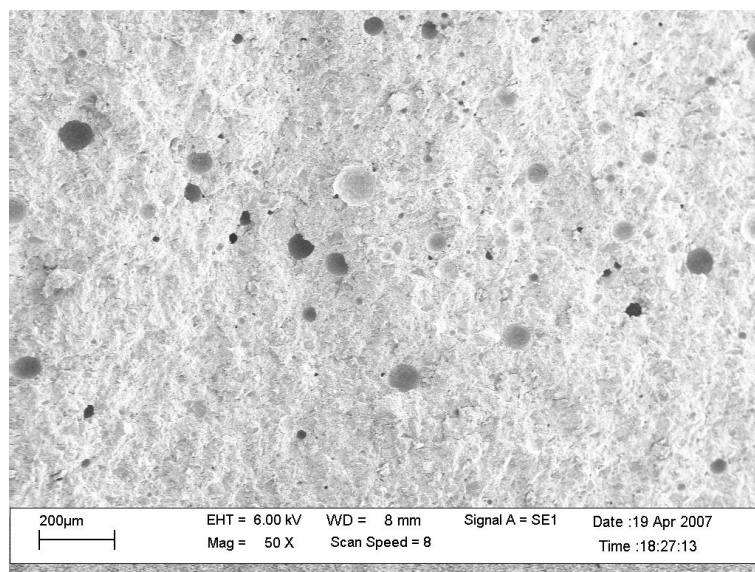
รูปที่ 4.39 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.38 ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



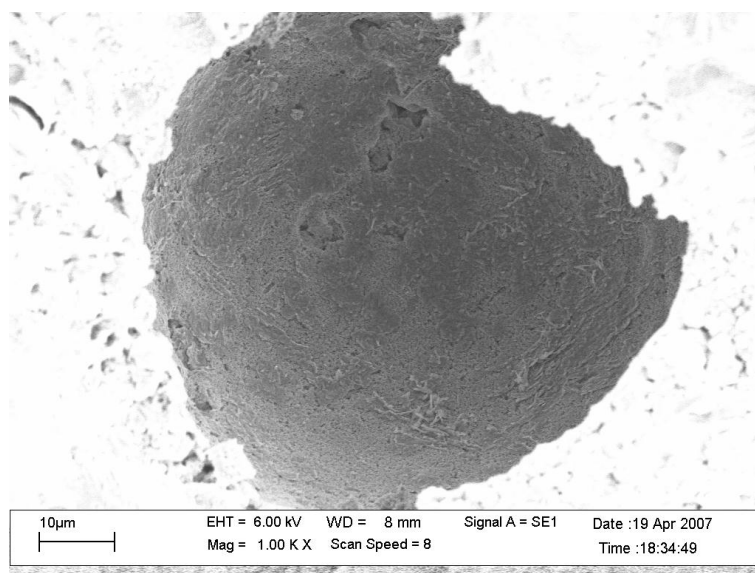
รูปที่ 4.40 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มแบบต่อเนื่องด้วยน้ำ
ผสม AE เข้มข้น 1 %



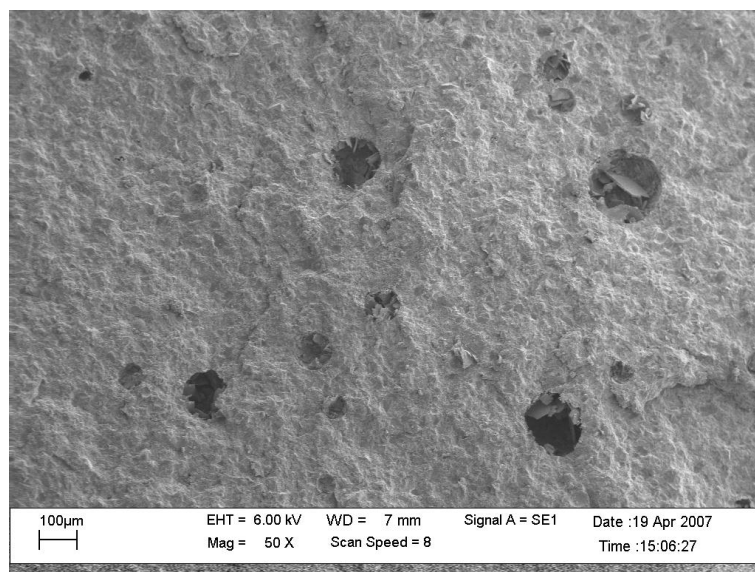
รูปที่ 4.41 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.40 ด้วยกล้อง SEM
ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



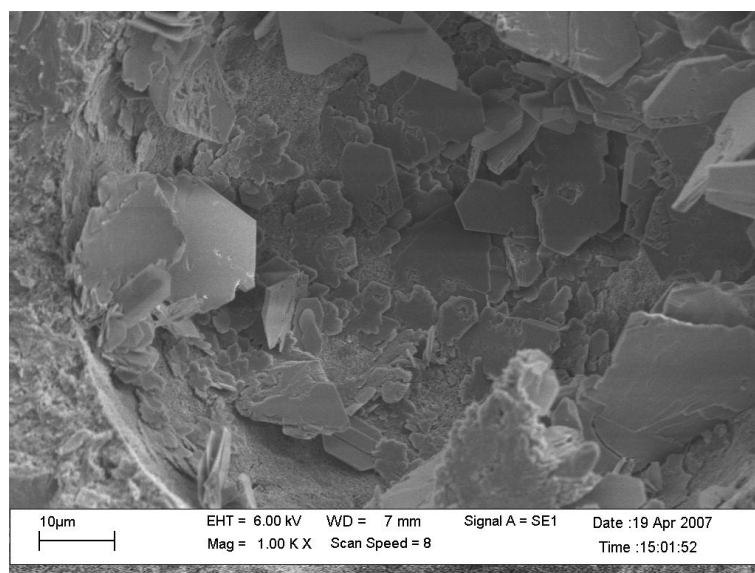
รูปที่ 4.42 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มแบบต่อเนื่องด้วย Wrapping



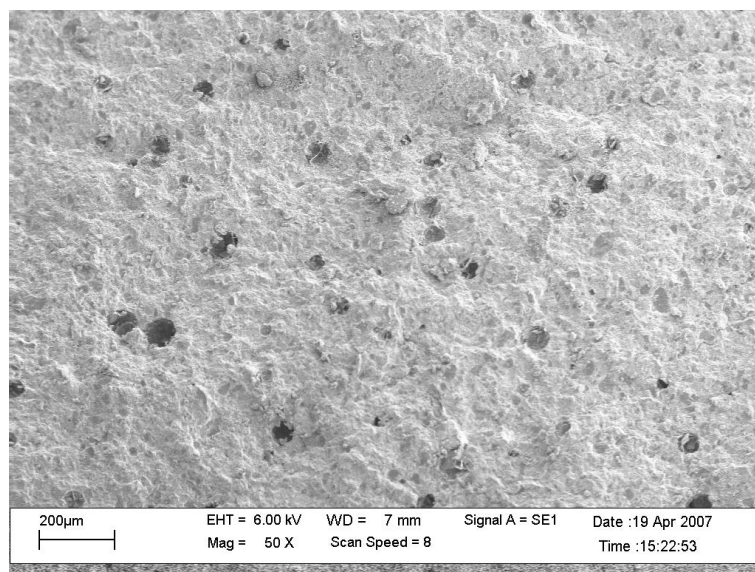
รูปที่ 4.43 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.42 ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



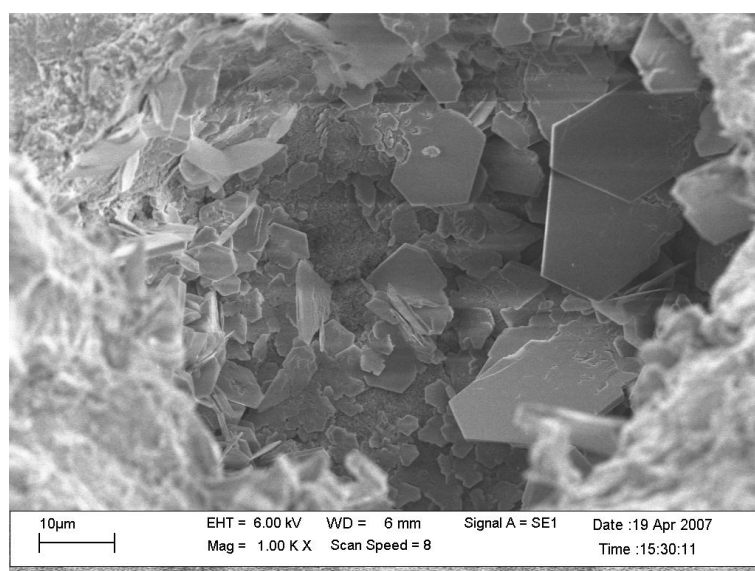
รูปที่ 4.44 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มด้วยน้ำแบบไม่ต่อเนื่อง
ที่ 3 วัน



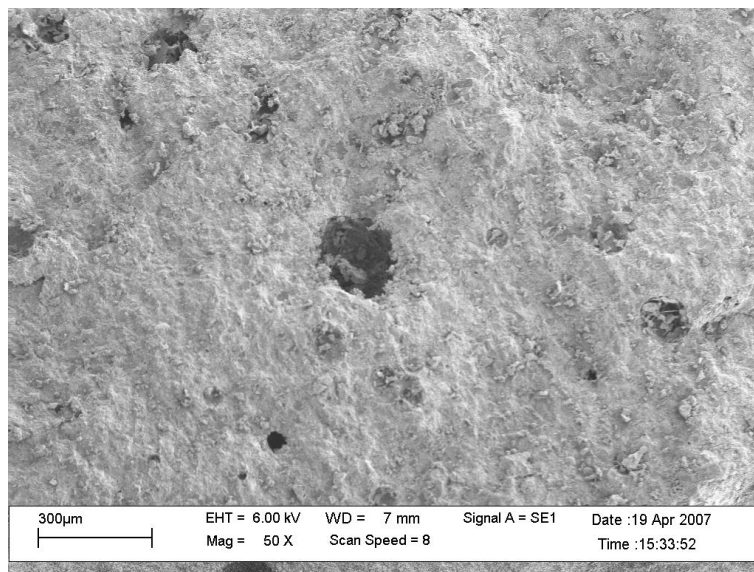
รูปที่ 4.45 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.44 ด้วยกล้อง SEM
ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



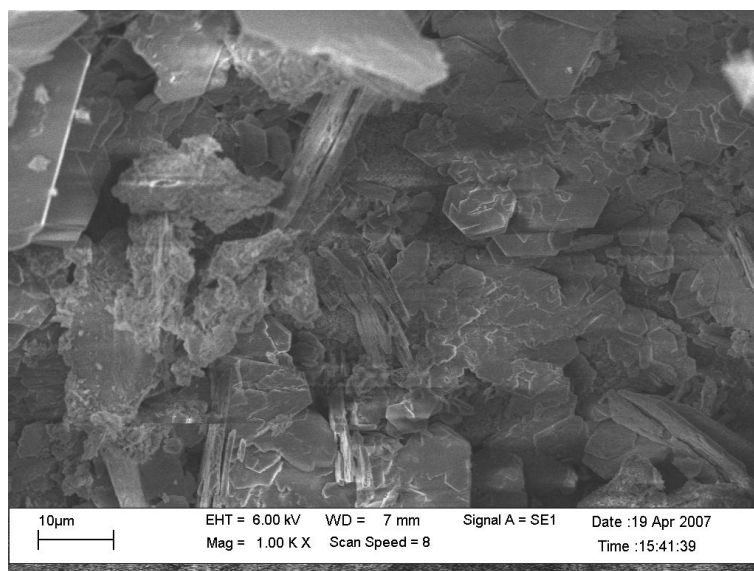
รูปที่ 4.46 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มด้วยน้ำแบบไม่ต่อเนื่อง
ที่ 7 วัน



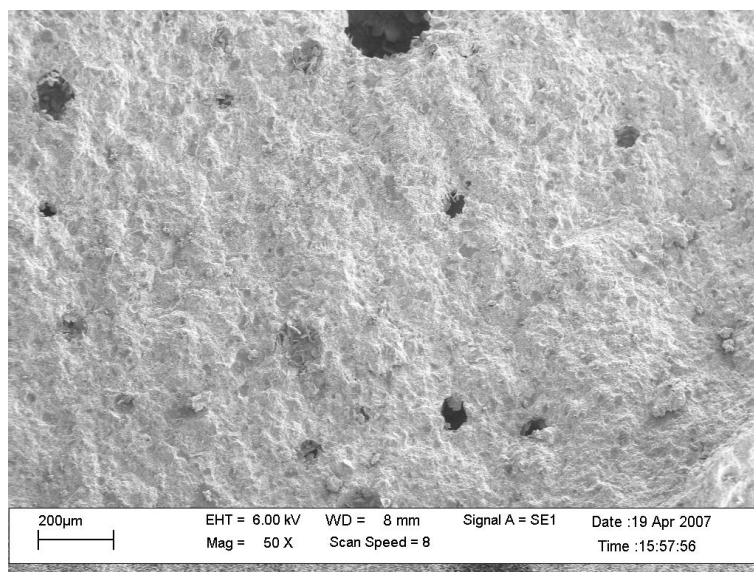
รูปที่ 4.47 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.46 ด้วยกล้อง SEM
ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



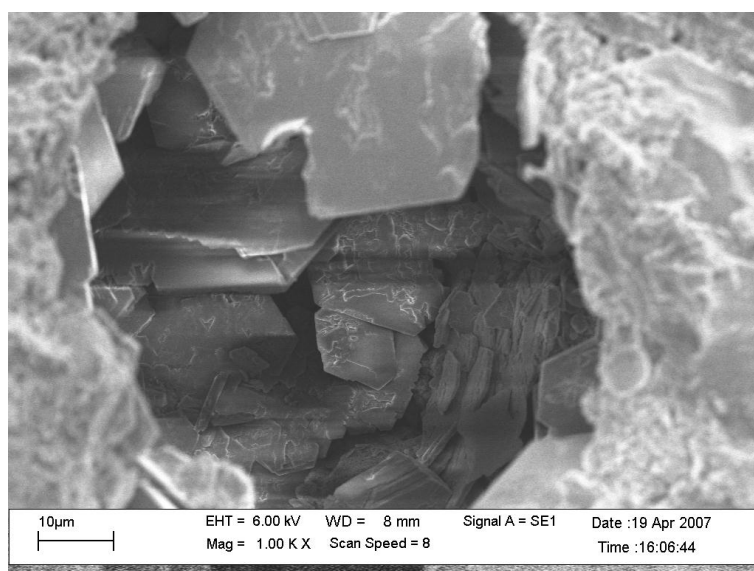
รูปที่ 4.48 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มด้วยน้ำแบบไม่ต่อเนื่อง
ที่ 14 วัน



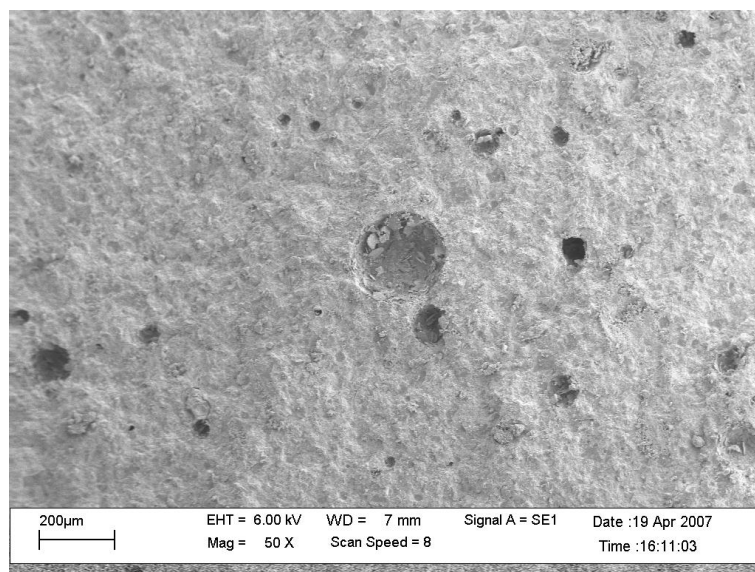
รูปที่ 4.49 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.48 ด้วยกล้อง SEM
ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



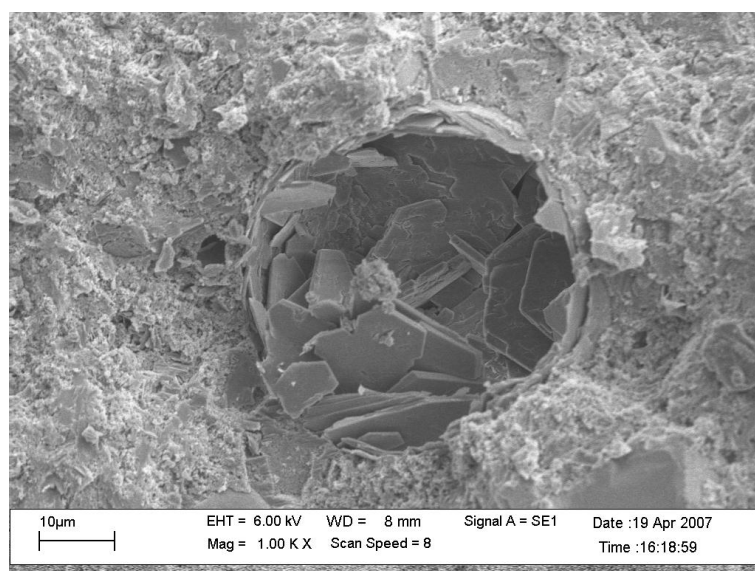
รูปที่ 4.50 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มแบบไม่ต่อเนื่องด้วยน้ำ ผสม AE เข้มข้น 1 % ที่ 3 วัน



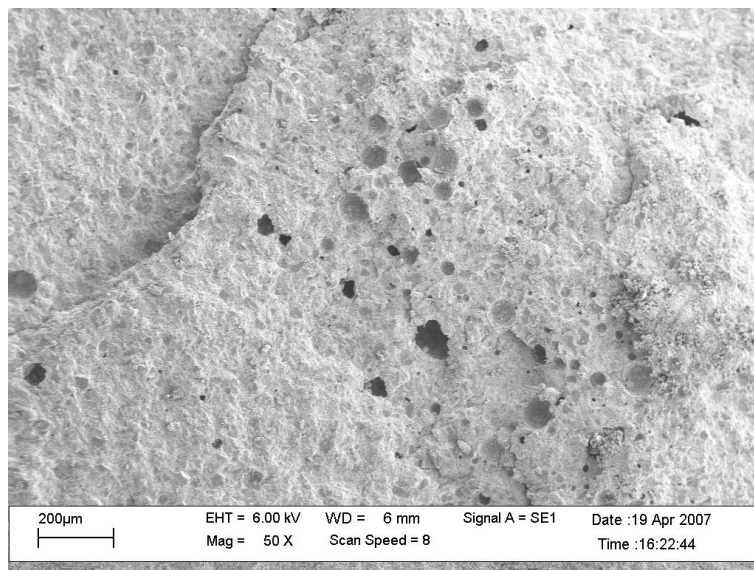
รูปที่ 4.51 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.50 ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



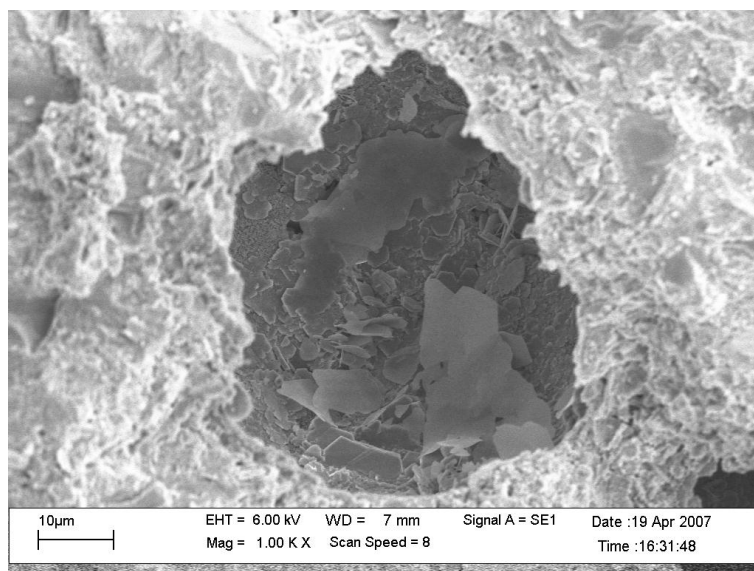
รูปที่ 4.52 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มแบบไม่ต่อเนื่องด้วยน้ำ ผสม AE เข้มข้น 1 % ที่ 7 วัน



รูปที่ 4.53 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.52 ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า



รูปที่ 4.54 แสดงโครงสร้างผลึกด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 50 เท่า โดยบ่มแบบไม่ต่อเนื่องด้วยน้ำ ผสม AE เข้มข้น 1 % ที่ 14 วัน



รูปที่ 4.55 แสดงโครงสร้างผลึกภายในโพรงช่องว่างของรูปที่ 4.54 ด้วยกล้อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

จากรูปที่ 4.38 - 4.43 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM) โดยวิธีการบ่มแบบต่อเนื่องตลอดเวลา พบว่าการก่อตัวของโครงสร้างผลึกจากปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นแตกต่างกัน โดยตัวอย่างที่ทำการบ่มแบบต่อเนื่องด้วยน้ำ มีช่องว่างเล็กๆ เกิดขึ้นมากกว่าการบ่มด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % เพราะว่าการซึมผ่านเข้าไปของน้ำมีมากกว่า ทำให้ตัวอย่างเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่า ส่วนตัวอย่างที่ทำการ Wrapping นั้นไม่มีน้ำภายนอกเข้ามาช่วยจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดช่องว่างเล็กๆ อยู่มาก และการก่อตัวของโครงสร้างผลึกจึงเกิดขึ้นน้อย

จากรูปที่ 4.44 - 4.55 การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM) โดยวิธีการบ่มแบบไม่ต่อเนื่อง พบว่าการก่อตัวของโครงสร้างผลึกจากปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นแตกต่างกัน เพราะว่าการซึมผ่านเข้าไปของน้ำมีมากน้อยขึ้นอยู่ที่ระยะเวลาในการบ่ม ทำให้ตัวอย่างเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันไม่สมบูรณ์ จึงทำให้เกิดช่องว่างเล็กๆ และการก่อตัวของโครงสร้างผลึก เกิดขึ้นมาน้อยขึ้นอยู่กัระยะเวลาในเงื่อนไขของการบ่ม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

เนื่องจากคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์แข็งตัวขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ เพื่อเพิ่มระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์เพสต์ จากการบ่มด้วยสารลดแรงตึงผิวจะสามารถเข้าไปช่วยเพิ่มปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ และเมื่อทำการบ่มแบบไม่ต่อเนื่องจะพบว่าน้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปได้ดีทำให้เกิดปฏิกิริยาไม่เพียงพอเท่าสารลดแรงตึงผิว จากการทดสอบพบว่าน้ำภายนอกที่ซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างมีผลอย่างมากต่อปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ และตัวอย่างที่ทิ้งไว้ในอากาศที่เวลาต่างๆ หรือไม่ได้รับการบ่มมาเลย ซึ่งผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1. จากการทดสอบหาความสามารถในการซึมผ่านของซีเมนต์เพสต์แข็งตัว น้ำที่ใช้ในการบ่มคอนกรีตมีค่าแรงตึงผิวประมาณ 69 mN/m เมื่อทำการผสมด้วยสารกักกระจายฟองอากาศความเข้มข้น 1% จะมีค่าแรงตึงผิวลดลงเหลือประมาณ 32 mN/m ทำให้มีความสามารถในการซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างได้ดีกว่าน้ำ และยังสามารถซึมผ่านเข้าไปในตัวอย่างที่ยังทิ้งไว้ในอากาศที่เวลาต่างๆ กันหรือไม่ได้รับการบ่มเลยได้ดีอีกด้วย จากการทดสอบการหาความสามารถการซึมผ่านของซีเมนต์เพสต์แข็งตัว ทดสอบตัวอย่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25 ที่ไม่ได้ทำการบ่มเลย จะมีอัตราการซึมผ่านที่มากเป็น 5 เท่าของอัตราการซึมผ่านของตัวอย่างที่บ่มด้วยน้ำมาแล้ว ตัวอย่างที่ทดสอบกับสารลดแรงตึงผิวนั้นมีค่าอัตราการซึมผ่านได้ดีกว่าตัวอย่างที่ทดสอบกับน้ำ เมื่อทำการบ่มแบบต่อเนื่องและบ่มแบบไม่ต่อเนื่อง เป็นผลมาจาก ช่องว่างเล็กๆ ที่อยู่ในโครงสร้างซีเมนต์เพสต์ เมื่อทำการบ่มไปเรื่อยๆ ช่องว่างเล็กๆ นั้น จะค่อยๆ เล็กลงจนน้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างเล็กๆ นั้นได้ง่าย แต่สารลดแรงตึงผิวซึ่งมีคุณสมบัติซึมผ่านได้ดี จะสามารถที่จะซึมผ่านเข้าไปในช่องว่างเล็กๆ ในซีเมนต์เพสต์ได้

2. จากการทดสอบหาระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ขึ้นความลึกต่างๆ โดยวิธีการบ่มแบบต่อเนื่องและบ่มแบบไม่ต่อเนื่องโดยทิ้งตัวอย่างไว้ในห้องทดลอง 3, 7 และ 14 วัน แล้วทำการบ่มด้วยสารลดแรงตึงผิวจนอายุซีเมนต์ครบ 28 วัน พบว่าปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมีค่าที่ลดลงตามเงื่อนไขของการบ่มแต่จะช่วยให้อัตราปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ 14 วันมีค่าใกล้เคียงกับการบ่มด้วยน้ำตลอดเวลา จากการบ่มแบบต่อเนื่องและบ่มแบบไม่ต่อเนื่อง พบว่าการบ่มด้วยสารลดแรงตึงผิว AE เข้มข้น 1% ชนิด Micro Air เกิดค่าปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ต่อเนื่องและสม่ำเสมอจนถึงชั้นความลึกของแท่งทดสอบที่ระยะ 22.5 เซนติเมตร ส่วนปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมีค่าผกผันตามอายุของการบ่มแบบไม่ต่อเนื่อง การบ่มด้วยน้ำนั้น ระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันจะมีลักษณะลดลงตามระยะความลึกจากผิวบ่ม ในทุกๆ ระยะเวลากการบ่ม เป็นเพราะน้ำจากการบ่มที่ผิวบนจะซึมผ่านเข้าไปในช่องว่าง

โครงสร้างซีเมนต์เพสต์ที่ได้ไม่มากนัก ซึ่งสันนิษฐานได้ว่า ที่น้ำจากผิวบนจะซึมผ่านซีเมนต์เพสต์ได้ยากเพราะน้ำมีแรงดึงดูดผิวที่มากจึงซึมเข้าไปในช่องว่างโครงสร้างซีเมนต์เพสต์ได้น้อยและใช้เวลานาน สำหรับการบ่มด้วยอากาศหรือไม่ได้บ่ม จะมีระดับปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อยกว่าการบ่มด้วยวิธีอื่น แต่ถ้าไม่เปรียบเทียบกับวิธีอื่น พบว่าตรงกลางของชิ้นตัวอย่างมีแนวโน้มปฏิกิริยาไฮเดรชันค่อนข้างมากเพราะที่ตรงส่วนนี้มีปริมาณน้ำมากกว่าส่วนอื่น เนื่องจากผิวบนเป็นระบบเปิด น้ำที่ใช้ผสมซีเมนต์ก็ต้องเสียปริมาณส่วนหนึ่งไปกับการระเหย ส่วนผิวล่างซีเมนต์ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะมาก จึงตกลงไปด้านล่างดันน้ำขึ้นมาตรงบริเวณตรงกลางของระยะชิ้นตัวอย่าง

3. จากการทำการดำเนินไปของปฏิกิริยาไฮเดรชันโดยวัดจากการหดตัวทางเคมี การที่ปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมีเกิดขึ้นมาก ในช่วงเวลาแรกนั้น เป็นเพราะมีปริมาณของซีเมนต์อยู่มาก แต่เมื่อเวลาผ่านไป ซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25 จะเกิดปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมีลดลง เพราะเกิดการขาดน้ำที่จะนำไปทำปฏิกิริยาต่อ ขณะที่ซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.30 และ 0.44 ยังพอมีน้ำเพียงพอให้เกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องได้ จึงทำให้มีค่าปฏิกิริยาการหดตัวทางเคมีมากขึ้น ที่เวลาผ่านไป ตัวอย่างที่ทดสอบกับสารลดแรงดึงผิวนั้น จะมีค่าของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สูงกว่าชิ้นตัวอย่างที่ทดสอบกับน้ำ ตลอดระยะเวลาการทดสอบ 28 วัน เป็นผลมาจากสารลดแรงดึงผิวสามารถซึมผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ได้ดีกว่าน้ำ โดยเฉพาะตัวอย่างที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.25 ซึ่งมีปริมาณของซีเมนต์อยู่มาก เมื่อทำการทดสอบกับสารลดแรงดึงผิว จะให้ค่าปฏิกิริยาไฮเดรชันมากกว่าการทดสอบกับน้ำถึง 15 % ของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้น ในช่วง 1-7 วันแรก

4. จากการทดสอบหาการหดตัวของซีเมนต์เพสต์ พบว่าการบ่มด้วยน้ำ และ AE เข้มข้น 1% การหดตัวเกิดขึ้นต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อทำการบ่มแบบ Wrapping ตัวอย่างมีการหดตัวอย่างต่อเนื่อง และมีแนวโน้มมากขึ้นเรื่อยๆ โดยมีค่าสูงกว่าการบ่มด้วยน้ำ และ AE เข้มข้น 1 % ประมาณ 600 μm ที่ 28 วัน การบ่มแบบไม่ต่อเนื่องมีผลต่อการหดตัวของซีเมนต์เป็นอย่างมากดังจะเห็นได้จากจากการบ่มโดยด้วยการ Wrapping จะมีการหดตัวของซีเมนต์เพสต์อย่างต่อเนื่อง และการบ่มโดยน้ำและสารลดแรงดึงผิว กลับพบว่ามีการหดตัวคงที่ในช่วงระยะเริ่มต้น เมื่อมีการบ่มแบบไม่ต่อเนื่องจะพบว่าพฤติกรรมหดตัวในช่วงเริ่มต้นเมื่อถึงอายุซีเมนต์เพสต์ที่ต้องนำมาบ่มแบบไม่ต่อเนื่องกลับเป็นการขยายตัวอย่างฉับพลัน ในระยะเวลาการบ่ม 24 ชั่วโมง เนื่องจากโมเลกุลของน้ำถูกดูดเข้าไปในซีเมนต์เพสต์ทำให้เกิดแรงดันแรงยึดเกาะกัน และทำให้แรงดึงดูดของอนุภาคซีเมนต์ลดลง โดยเป็นลักษณะเดียวกันทุกเงื่อนไขการบ่ม แต่พบว่าการบ่มด้วย AE เข้มข้น 1 % มีผลในการขยายตัวของซีเมนต์เพสต์ได้มากกว่า

5. จากการทดสอบกำลังอัด การบ่มแบบต่อเนื่องโดยใช้ น้ำ และน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % การทดสอบที่การออกแบบกำลังอัดที่ต่ำ น้ำมีปริมาณที่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ส่วนการออกแบบกำลังอัดที่สูงการบ่มด้วยน้ำผสม AE เข้มข้น 1 % จะให้ค่ากำลังอัดที่สูงกว่าการบ่มด้วย

น้ำธรรมดาจะเห็นได้ทั้งการบ่มแบบต่อเนื่องและการบ่มแบบไม่ต่อเนื่อง โดยที่อายุคอนกรีตรับ 3, 7 และ 14 วัน พบว่าการบ่มด้วย AE เพิ่มขึ้น 1 % จะให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตมากกว่าการบ่มด้วยน้ำแต่จะมีค่าลดลงตามอายุของเงื่อนไขการบ่ม เนื่องจากความหนาแน่นของคอนกรีตมีค่าสูงและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้ ออกแบบกำลังอัดมีค่าที่น้อย จึงทำให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำที่จะเข้าไปช่วยเพิ่มปฏิกิริยาไฮเดรชัน น้ำที่ผสมด้วย AE เพิ่มขึ้น 1 % จึงซึมผ่านเข้าไปช่วยเพิ่มปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้ให้กำลังอัดของคอนกรีตสูงกว่าการบ่มด้วยน้ำธรรมดา

6. การตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด Scanning Electron Microscope (SEM) โดยวิธีการบ่มแบบต่อเนื่องตลอดเวลา และวิธีการบ่มแบบไม่ต่อเนื่อง พบว่าการก่อตัวของโครงสร้างผลึกจากปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นแตกต่างกัน โดยตัวอย่างที่ทำการบ่มแบบต่อเนื่องด้วยน้ำ มีช่องว่างเล็กๆ เกิดขึ้นมากกว่าการบ่มด้วยน้ำผสม AE เพิ่มขึ้น 1 % เพราะว่าการซึมผ่านเข้าไปของน้ำมีมากกว่า ทำให้ตัวอย่างเกิดปฏิกิริยาได้ดีกว่า ส่วนตัวอย่างที่ทำการ Wrapping นั้นไม่มีน้ำภายนอกเข้ามาจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดช่องว่างเล็กๆ อยู่มาก และการก่อตัวของโครงสร้างผลึกจึงเกิดขึ้นน้อย และจากวิธีการบ่มแบบไม่ต่อเนื่อง พบว่าการเกิดช่องว่างเล็กๆ และการก่อตัวของโครงสร้างผลึก เกิดขึ้นมาน้อยขึ้นอยู่กัระยะเวลาในการบ่ม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการบ่มและอายุการบ่มที่แตกต่างกัน เพื่อให้มีความใกล้เคียงกับงานจริง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการทำงานหน้างานไม่สามารถที่จะควบคุมการบ่มให้เหมาะสมและถูกต้องเสมอไปได้ ทำให้คอนกรีตเกิดปฏิกิริยาที่ไม่เพียงพอ วิธีการที่นำเสนอนี้ เพื่อจะเป็นตัวเลือกในวิธีการบ่มคอนกรีตให้มีคุณสมบัติเป็นไปอย่างที่ต้องการ และเหมาะสมกับการทำงานด้วย

บรรณานุกรม

- [1] Tazawa, E., **Autogenous Shrinkage of Concrete**, Proceeding of the International Workshop organized by JCI, pp.3-67, 1998.
- [2] Taylor, H.F.W., **Cement chemistry 2nd edition**, pp. 227-255, 1997.
- [3] Neville, A.M., **Properties of Concrete**, pp. 5-53, 1963.
- [4] Bentz, D.P., **Influence of Curing Conditions on Water Loss and Hydration in Cement Pastes with and without Fly Ash Substitution**, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6886, July 2002.
- [5] Powers, T.C., **Capillary Continuity or Discontinuity in Cement Paste**, PCA Bullentin, No. 10, pp. 2-12, 1959.
- [6] Powers, T.C., **A Discussion of Cement Hydration in Relation to the Curing of Concrete**, Proc. Of the Highway Research Board, 27, pp.178-188, 1974.
- [7] Bentz, D.P., Garboczi, E.J., **Percolation of Phases in a Three-Dimensional Cement Paste Microstructure Model**, Cement and Concrete Research, Vol.21, pp. 325-344, 1991.
- [8] Power, T.C., **Absorption of water by Portland cement paste during the hardening process**, Industrial and Engineering Chemistry, Vol. 27, pp. 790-794, 1935.
- [9] Maleesee, K., Kasai, T., **Effect of Penetration of Curing Water on Self-desiccation and Strength of Cementitious Materials**, Cement Science and Concrete Technology by JCA, Vol.55, pp. 109-115, 2001.
- [10] Maleesee, K., Kasai, T., **Effect of Penetrative Conditions. of Water for Curing on Strength of Concrete**, Proceeding of the first fib Congress 2002, Osaka, Japan, pp. 289-296, 2002.
- [11] Maleesee, K., Panitkulpong, A., Kasai, T., **Effect of Penetrative Conditions of Water for Curing on Properties of Hardened Cement Paste**, Concrete Research and Technology by JCI, Vol.25, pp. 581-586, 2003.
- [12] Maleesee, K. and Kasai, T., **Influences of Penetrative Curing on Properties of Cementitious Materials**, Journal of Materials, Concrete Structures and Pavements, JSCE, No. 767 / V-64, pp. 301-312, 2004