บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบสามารถสรุปเป็นเป็นหัวข้อตามข้อมูลการทดสอบและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมที่จะใช้ในการพัฒนาวิจัยต่อไปมีรายละเอียดตามลำดับดังนี้

6.1 สรุปผลการศึกษา

6.1.1 คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

1. วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยของทั้งสองโรงงานได้แก่ มวลรวม ปูนซีเมนต์ น้ำ เถ้าลอย สารผสมเพิ่มมีคุณสมบัติผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

2. ค่าปริมาณสารเคมีในน้ำสลัดจ์ของทั้งสามโรงงานผ่านเกณฑ์ตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM C94 โดยปริมาณค่าอัลคาไลเทียบเท่าของน้ำสลัดจ์ทำการทดสอบในรูปผงสลัดจ์ด้วยวิธี XRF และเทียบย้อนกลับจากปริมาณที่ในรูปผงสลัดจ์เป็นปริมาณอัลคาไลเทียบเท่าของอนุภาคในน้ำสลัดจ์ การทดสอบหาองค์ประกอบของผงสลัดจ์ทั้งสองวิธีคือวิธี XRF และวิธี XRD ให้ผลการทดสอบที่สอดคล้องกัน โดยวิธี XRF มีความเหมาะสมสำหรับการทดสอบผงสลัดจ์ในทางปฏิบัติมากกว่า

3. ผงสลัดจ์มีสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีอยู่ระหว่างปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และเถ้าลอย โดยผงสลัดจ์มีค่าสูญเสียจากการเผาไหม้ที่สูงกว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 และเถ้าลอย ลักษณะทางกายภาพของผงสลัดจ์มีลักษณะเป็นโพรง ผิวอนุภาคขรุขระ ประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ขนาดของอนุภาคผงสลัดจ์มีขนาดเฉลี่ยที่ใหญ่กว่าตัวอย่างผงปูนซีเมนต์ชนิดที่ 1 ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 28.58 ไมโครเมตร ค่าขนาดเฉลี่ยของผงสลัดจ์จากศูนย์นิคมอุตสาหกรรมอิตาเลียน-ไทย บริษัทเอเซียผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ จำกัดและของบริษัททีพีไอ คอนกรีต จำกัดมีค่าเท่ากับ 50.32 55.53 และ 46.75 ไมโครเมตร ตามลำดับ

6.1.2 คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ผสมด้วยน้ำสลัดจ์

1. น้ำสลัดจ์ที่มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นหรือมีส่วนตะกอนเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำสลัดจ์เพิ่มขึ้นตาม โดยลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบแปรผันตรง โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดกับความถ่วงจำเพาะของน้ำสลัดจ์ของทั้ง 3 โรงงานสามารถสรุปได้เป็นสมการ (6.1) ถึง (6.3) ตามลำดับดังนี้

ค่าความถ่วงจำเพาะ = ค่าร้อยละปริมาณของแข็งทั้งหมด x A + B

ศูนย์นิคมอุตสาหกรรมอิตาเลียน-ไทย	A=0.0080, B= 0.9950	(6.1)
บริษัทเอเชียผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ จำกัด	A=0.0075, B= 0.9954	(6.2)
บริษัททีพีไอ คอนกรีต จำกัด	A=0.0078, B= 0.9943	(6.3)

โดยทั้งนี้ความสัมพันธ์ดังกล่าวขึ้นอยู่กับขนาดตะแกรงที่ใช้ร่อนแยกเอามวลรวมออก ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ที่ขนาด 0.30 มม.หรือ 300 ไมโครเมตร

2. เมื่อเพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสลัดจ์ทำให้ตัวอย่างซีเมนต์เพสต์มีค่ากำลังอัดที่อายุ 7 วันและค่าระยะเวลาการก่อตัวลดลง เนื่องจากปริมาณอนุภาคขนาดเล็กในน้ำสลัดจ์ที่เพิ่มขึ้นทำให้มีการดูดซับน้ำที่มากขึ้นและจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของอนุภาคในน้ำสลัดจ์ทำให้มีน้ำเหลือในการทำปฏิกิริยาน้อยลง โดยตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำสลัดจ์ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำพบว่าตัวอย่างซีเมนต์เพสต์มีค่าค่ากำลังอัดและค่าระยะเวลาการก่อตัวใกล้เคียงหรือสูงกว่าตัวอย่างควบคุมเล็กน้อย เมื่อตัวอย่างซีเมนต์เพสผสมด้วยน้ำสลัดจ์ที่มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดเพิ่มขึ้นพบว่าผลการทดสอบกำลังอัดและค่าระยะเวลาการก่อตัวมีค่าที่น้อยกว่าตัวอย่างควบคุม

3. เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน ASTM C94 ความเข้มข้นของน้ำสลัดจ์ในรูปของปริมาณค่าของแข็งทั้งหมดของทั้ง 3 โรงงานที่ผ่านเกณฑ์ในการทดสอบซีเมนต์เพสต์ผสมด้วยน้ำสลัดจ์คือตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำสลัดจ์ที่มีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วงเท่ากับร้อยละ 5.24 ถึง 5.84 หรือ 52,400 ถึง 58,400 มก./ล. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 5.59 และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับร้อยละ 0.31 เมื่อเทียบกับค่าที่แนะนำไว้ของมาตรฐาน ASTM C94 คือร้อยละ 5 พบว่าค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบมีค่าสูงกว่าอยู่ในช่วงร้อยละ

5 ถึง 17 ซึ่งผลสรุปของการเลือกใช้ช่วงของค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสลัดจ์สำหรับการทดสอบคอนกรีตด้วยน้ำสลัดจ์คือช่วงของค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสลัดจ์เท่ากับร้อยละ 5.25 ถึง 5.80

6.1.3 คุณสมบัติของคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์

1. จากผลการทดสอบคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีที่มีค่าปริมาณค่าของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วง 51,200 ถึง 57,534 มก./ล. พบว่าตัวอย่างคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีความสามารถเทได้ลดลง เนื่องจากอนุภาคตะกอนในน้ำสลัดจ์ได้กักเก็บน้ำไว้และทำให้ประสิทธิภาพของสารเคมีผสมเพิ่มลดลง ผลดังกล่าวทำให้ทำให้ตัวอย่างคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีปริมาณน้ำในส่วนผสมที่มากกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำประปา เมื่อเทียบกับเกณฑ์การลดปริมาณน้ำในส่วนผสมตามมาตรฐาน ASTM C494 พบว่าตัวอย่างผสมด้วยน้ำสลัดจ์ของคอนกรีตผสมสารลดน้ำระดับสูงและคอนกรีตผสมสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัวไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ ส่วนคอนกรีตผสมสารกันซึมแบบลดน้ำผสมด้วยน้ำสลัดจ์มี 1 ตัวอย่างจาก 3 ตัวอย่างไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ

2. ผลจากปริมาณน้ำในส่วนผสมที่มากขึ้นเนื่องจากการผสมคอนกรีตด้วยน้ำสลัดจ์ทำให้ค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีค่าต่ำกว่าคอนกรีตผสมด้วยน้ำประปา โดยค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลงสูงสุดมีเท่ากับร้อยละ 1.52 ค่าปริมาณอากาศในคอนกรีตผสมโดยใช้น้ำสลัดจ์ก็มีค่าที่ต่ำกว่าคอนกรีตผสมด้วยน้ำประปา โดยมีค่าต่ำกว่าอยู่ในในช่วงร้อยละ 27.27 ถึง 53.33 จากผลการทดสอบพบว่าค่าที่ทดสอบได้เป็นค่าที่สูงมีนัยสำคัญสอดคล้องกับข้อมูลของต่างประเทศ (Neville, 2000; Iowa Department of Transportation, 2005) ที่แนะนำให้หลีกเลี่ยงการใช้น้ำสลัดจ์ผสมคอนกรีตผสมสารกักกระจายฟองอากาศ

3. คอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีค่าระยะเวลาในการก่อตัวเร็วกว่าคอนกรีตผสมด้วยน้ำประปา แต่เนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์ที่มากกว่าทำให้ค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตไม่ผสมสารผสมเพิ่มผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุมอยู่ในช่วง 7 ถึง 30 นาที คอนกรีตผสมเถ้าลอยเมื่อผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีค่าระยะเวลาการก่อตัวมากกว่าตัวอย่างผสมด้วยน้ำประปาอยู่ในช่วงน้อยกว่า 10 นาทีถึงมากกว่า 29 นาที เมื่อเทียบกับเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C494 พบว่าคอนกรีตผสมสารเพิ่มชนิดสารเคมีผสมเพิ่มทั้ง 3 ชนิดคือ สารลดน้ำระดับสูง สารกันซึมแบบลดน้ำ สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัวผสมผ่านเกณฑ์การทดสอบทั้ง 3 ตัวอย่าง

4. ผลการทดสอบการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีตของทั้ง 3 โรงงานพบว่าคอนกรีตไม่ผสมสารผสมเพิ่มและคอนกรีตผสมสารลดน้ำระดับสูงที่ผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่เร็วกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำประปา ส่วนคอนกรีตผสมเถ้าลอย คอนกรีตผสมสารกันซึมแบบลดน้ำและคอนกรีตผสมสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัวพบว่ามีการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีตของคอนกรีตที่ใกล้เคียงกันระหว่างผสมด้วยน้ำสลัดจ์และผสมด้วยน้ำประปา โดยช่วงเวลาที่ค่าการยุบตัวมีค่าเท่ากับศูนย์ของคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีค่าที่น้อยกว่า

5. ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตพบว่าตัวอย่างคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีคุณสมบัติทางกลที่ลดลง โดยคอนกรีตที่ไม่ผสมสารผสมเพิ่มมีค่ากำลังอัดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 2.38 ถึง 9.38 และค่ากำลังดัดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 5.28 ถึง 10.51 คอนกรีตผสมสารลดน้ำระดับสูงมีค่ากำลังอัดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 3.66 ถึง 17.28 และค่ากำลังดัดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 5.91 ถึง 20.04 คอนกรีตผสมสารกันซึมแบบลดน้ำมีค่ากำลังอัดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 6.06 ถึง 18.33 และค่ากำลังดัดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 1.02 ถึง 12.42 คอนกรีตผสมสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัวมีค่ากำลังอัดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 2.77 ถึง 11.79 และค่ากำลังดัดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 2.14 ถึง 9.69 ส่วนคอนกรีตผสมเถ้าลอยเมื่อผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีค่ากำลังอัดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 6.15 ถึง 21.96 และค่ากำลังดัดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 9.86 ถึง 40.61 เมื่อเทียบกับเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C494 พบว่าคอนกรีตผสมสารเคมีผสมเพิ่มทั้ง 3 ชนิดไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบส่วนค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของตัวอย่างทั้งหมดพบว่ามีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผันกับค่ากำลังอัด โดยค่าที่ทดสอบได้มีค่าสูงกว่าค่าที่แนะนำไว้ตามมาตรฐาน ว.ส.ท 1008

6. ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านความทนทานของคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์พบว่าตัวอย่างคอนกรีตไม่ผสมสารผสมเพิ่มผสมด้วยน้ำสลัดจ์เป็นตัวอย่างเดียวที่มีค่าผลการทดสอบคุณสมบัติด้านความทนทานที่มากกว่าตัวอย่างควบคุม สำหรับคอนกรีตผสมสารลดน้ำระดับสูงพบว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีค่ามีคุณสมบัติด้านความทนทานใกล้เคียงกับตัวอย่างผสมด้วยน้ำประปา ส่วนคอนกรีตผสมเถ้าลอย คอนกรีตผสมสารกันซึมแบบลดน้ำและคอนกรีตผสมสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัวพบว่าเมื่อผสมด้วยน้ำสลัดจ์ทำให้ตัวอย่างมีคุณสมบัติด้านความทนทานลดลง ผลการทดสอบค่าเปลี่ยนแปลงความยาวของตัวอย่างคอนกรีตผสมสารเพิ่มชนิดสารเคมีผสมเพิ่มทั้ง 3 ชนิดพบว่าตัวอย่างผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีค่าเปลี่ยนแปลงความยาวอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C494

6.1.4 ข้อเสนอแนะสำหรับการน้ำสลัดจ์กลับมาผสมคอนกรีต

1. ขั้นตอนการนำน้ำสลัดจ์กลับมาใช้ผสมคอนกรีตควรประกอบด้วยการทดสอบหาค่าปริมาณสารเคมีในน้ำสลัดจ์ การเลือกหาค่าปริมาณความเข้มข้นของน้ำสลัดจ์ ซึ่งขั้นตอนทั้งสองอาจจะใช้เกณฑ์ของมาตรฐาน ASTM C94 ในการช่วยพิจรณาเปรียบเทียบ ขั้นตอนสุดท้ายคือการทดสอบคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์ที่ความเข้มข้นนั้นๆ เพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสมทั้งในแง่ต้นทุนการผลิตและคุณสมบัติของคอนกรีต

2. จากผลการทดสอบตามขอบเขตของงานวิจัยนี้พบว่าคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์และผสมสารผสมเพิ่มมีคุณสมบัติที่ดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมสารเพิ่มและผสมด้วยน้ำสลัดจ์ แสดงให้เห็นว่าการผสมสารผสมเพิ่มสามารถช่วยปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตผสมน้ำสลัดจ์ได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องการศึกษาในเรื่องคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์นี้มีส่วนที่เกี่ยวข้องทั้งด้านวิศกรรมวัสดุและด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ดังนั้นเพื่อให้เกิดภาพที่สมบูรณ์ของงานที่เกี่ยวข้องจึงขอเสนอแนะข้อมูลเพื่อใช้ในการศึกษาและพัฒนาข้อมูลต่อไปทั้ง 2 ด้านดังนี้

1. ศึกษาผลกระทบของอายุของน้ำสลัดจ์ที่มีผลต่อคอนกรีต เพื่อหาอายุของน้ำสลัดจ์ที่เหมาะสมในการนำกลับมาใช้ใหม่

2. ศึกษาถึงแนวทางในการนำน้ำสลัดจ์กลับมาใช้ทันที โดยพัฒนาสารหยุดยั้งปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่ใช้วัสดุในประเทศ

3. ศึกษาถึงแนวทางในการนำน้ำสลัดจ์มาใช้เป็นตัวกระตุ้นสารปอซโซลาน

4. ศึกษาถึงการออกแบบระบบโรงงาน ตลอดจนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่ผสมด้วยน้ำสลัดจ์ที่เหมาะสมในระดับใช้งานจริง

5. ศึกษาถึงแนวทางในการใช้ของเสียอื่นในโรงงานคอนกรีตผสมเสร็จคือมวลรวมและก้อนคอนกรีต ในการผลิตคอนกรีตใหม่ร่วมกับน้ำสลัดจ์ เพื่อพัฒนาไปสู่การนำกลับไปใช้ทั้งหมด

6. ศึกษาถึงแนวทางในจัดการของเสียที่เกี่ยวข้องกับงานคอนกรีต (Concrete Waste) ความเหมาะสมของรูปแบบในการจัดการ ตลอดจนผลกระทบที่เกิดขึ้น ซึ่งอาจรวมถึงการศึกษาวงจรชีวิต (Life Cycle) ของส่วนที่เกี่ยวข้อง

7. ศึกษาถึงแนวทางในการใช้น้ำสลัดจ์ที่มีค่าความเป็นด่างสูงใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียตลอดจนในการจัดการของเสียที่มีค่าความเป็นกรดสูง