5.4 วิจารณ์ผลการทดสอบคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์

การทดสอบคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์จากทั้ง 3 โรงงานที่ได้ทำการทดสอบในหัวข้อที่ผ่านมาตัวอย่างน้ำสลัดจ์ที่ใช้ทำการทดสอบของทั้ง 3 โรงงานมีคุณสมบัติแสดงได้ดังตารางที่ 5.21 จากตารางพบว่าค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสลัดจ์ที่ใช้ผสมคอนกรีตมีค่าอยู่ในช่วง 51,200 ถึง 57,534 มก/ล. หรือร้อยละ 5.12 ถึง 5.75 ซึ่งเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกับค่าที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างน้ำสลัดจ์คือร้อยละ 5.20 ถึง 5.80 แสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสลัดจ์คำนวณจากสมการที่ (5.5) สามารถใช้ได้กับน้ำสลัดจ์จากทั้ง 3 โรงงาน ผลการทดสอบคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์ของทั้ง 3 โรงงานสามารถวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นเป็นหัวข้อตามลำดับได้ดังนี้

ตารางที่ 5.21
รายละเอียดคุณสมบัติของน้ำสลัดจ์ที่ใช้ในผสมคอนกรีตทั้ง 3 โรงงาน

ชนิดการทดสอบ	ศูนย์นิคมอุตสาหกรรมอิตาเลียน-ไทย	บริษัทเอเชียผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ จำกัด	บริษัททีพีไอคอนกรีต จำกัด	ช่วงของข้อมูล (ค่าเฉลี่ย)
ปริมาณคลอไรด์ (มก./ล.)	7.92-12.32	8.37-11.16	17.46-26.11	7.92-26.11 (13.29)
ปริมาณซัลเฟต (มก./ล.)	18.00-19.10	20.15-24.41	26.97-28.01	18.00-28.01 (22.75)
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (มก./ล.)	53,253-57,534	51,200-53,400	53,110-54,560	51,200-57,534 (53,781)
ปริมาณอัลคาลินิตี้ ($CaCO_3$) (มก./ล.)	1,062-2,128	1,230-1,839	1,572-1,673	1,062-1,839 (1,547)
ความถ่วงจำเพาะ	1.037-1.039	1.033-1.034	1.033-1.035	1.033-1.039 (1.035)
ความเป็นกรดด่าง	12.38-12.63	11.97-12.12	11.81-12.13	11.97-12.63 (12.21)

5.4.1 คุณสมบัติความสามารถเทได้

ผลการทดสอบความสามารถเทได้ของคอนกรีตเทียบกับตัวอย่างควบคุมของศูนย์นิคมอุตสาหกรรมอิตาเลียน-ไทย บริษัทเอเซียผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ จำกัดและบริษัททีพีไอ คอนกรีต จำกัด แสดงดังภาพที่ 5.35, 5.91 และ 5.131 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีความสามารถเทได้ของคอนกรีตลดลง สาเหตุหลักเป็นผลจากอนุภาคตะกอนขนาดเล็กที่อยู่ในน้ำสลัดจ์มีส่วนในการเก็บกักน้ำไว้ (ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2544) และผงตะกอนบางส่วนสามารถทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นทำให้ปริมาณน้ำส่วนเกินลดลง สาเหตุทั้งสองทำให้ตัวอย่างคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีค่าการยุบตัวต่ำกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำประปา ซึ่งเพื่อเพิ่มความสามารถเทได้หรือค่าการยุบตัวก็ต้องมีการเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมที่มากขึ้น ผลการทดสอบที่ได้พบว่าสอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้เสนอไว้ (Sato et al.,1999; Sandrolini and Franzoni, 2001; Moon et al., 2001; Nan Su et al., 2002) จากการที่ตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นย่อมส่งผลกระทบต่อถึงคุณสมบัติอย่างอื่นของคอนกรีตเช่นมีผลทำให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตลดลง การหดตัวของคอนกรีตมากขึ้น

ผลกระทบต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตเมื่อผสมด้วยน้ำสลัดจ์ดังแสดงในตารางที่ 5.22 พบว่าคอนกรีตทั้งไม่ผสมสารผสมเพิ่มและผสมสารผสมเพิ่มต้องผสมด้วยปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อผสมด้วยน้ำสลัดจ์ โดยในส่วนคอนกรีตผสมสารเคมีผสมเพิ่มเมื่อเทียบกับเกณฑ์การลดปริมาณน้ำในส่วนผสมตามมาตรฐาน ASTM C494 พบว่าไม่ผ่านเกณฑ์ทั้ง 3 ชนิดรายละเอียดคือ คอนกรีตผสมสารลดน้ำระดับสูงผสมด้วยน้ำสลัดจ์ไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบทั้ง 3 ตัวอย่าง ส่วนคอนกรีตผสมสารกันซึมแบบลดน้ำผสมด้วยน้ำสลัดจ์มี 1 ตัวอย่างจาก 3 ตัวอย่างไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ และคอนกรีตผสมสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัวผสมด้วยน้ำสลัดจ์ไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบทั้ง 3 ตัวอย่าง การเปรียบเทียบแสดงไว้ในตารางที่ 5.23

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าอนุภาคตะกอนในน้ำสลัดจ์ทำให้ประสิทธิภาพของสารเคมีผสมเพิ่มลดลง ทำให้ต้องมีการปรับปริมาณอัตราการใช้สารเคมีผสมเพิ่มให้เพิ่มขึ้นในกรณีผสมคอนกรีตด้วยน้ำสลัดจ์ สำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยควรมีการทดสอบหาปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับการผสมคอนกรีตด้วยน้ำสลัดจ์หรือพิจารณาใช้สารเคมีผสมเพิ่มร่วมด้วยเนื่องจากต้องพิจารณาผลทางด้านอื่นเช่นด้านค่ากำลังอัดประกอบด้วย ซึ่งในงานวิจัยคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์และมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยตะกรันเตาถลุง (Moon et al., 2001) พบว่าตัวอย่างที่มีค่าอัตราการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยตะกรันเตาถลุงที่ร้อยละ 20 ให้ผลการทดสอบ

ที่ดี โดยคอนกรีตที่ทดสอบมีการผสมสารผสมเพิ่มประเภทลดน้ำร่วมด้วย ส่วนคอนกรีตไม่ผสมสารผสมเพิ่มอาจจะใช้วิธีการปรับปรุงส่วนผสมด้วยการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์หรือเพิ่มสารปอซโซลาน เช่นเถ้าลอยเพื่อเพิ่มส่วนปริมาณเพสต์ในคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ที่มากขึ้น

5.4.2 หน่วยน้ำหนักและปริมาณอากาศของคอนกรีต

ผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเทียบกับตัวอย่างควบคุมของศูนย์นิคมอุตสาหกรรมอิตาเลียน-ไทย บริษัทเอเซียผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ จำกัดและบริษัททีพีไอ คอนกรีต จำกัด แสดงดังภาพที่ 5.39, 5.94 และ 5.134 ตามลำดับ ส่วนผลการทดสอบปริมาณอากาศในคอนกรีตเทียบกับตัวอย่างควบคุมของศูนย์นิคมอุตสาหกรรมอิตาเลียน-ไทย บริษัทเอเซียผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ จำกัดและบริษัททีพีไอ คอนกรีต จำกัด แสดงดังภาพที่ 5.43, 5.97 และ 5.137 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าการใช้น้ำสลัดจ์ผสมคอนกรีตทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตและปริมาณอากาศในคอนกรีตมีค่าลดลง ซึ่งค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ลดลงเป็นผลจากการเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมของตัวอย่างผสมด้วยน้ำสลัดจ์ ส่วนปริมาณอากาศในคอนกรีตที่ลดลงเป็นผลจากลักษณะของน้ำสลัดจ์ที่มีค่าความกระด้างที่สูง (Neville, 2000) และผงอนุภาคขนาดเล็กในน้ำสลัดจ์ก็มีส่วนในการลดปริมาณอากาศ (ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2544)

ผลกระทบต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตและปริมาณอากาศในคอนกรีตจากการผสมด้วยน้ำสลัดจ์ของคอนกรีตทั้งไม่ผสมสารผสมเพิ่มและผสมสารผสมเพิ่มแสดงดังตารางที่ 5.23 พบว่าค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 1.52 เมื่อเทียบกับค่าปริมาณอากาศในคอนกรีตที่มีลดลงสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 27.27 ถึง 53.33 ซึ่งเป็นค่าที่สูงมีนัยสำคัญ ปริมาณอากาศในคอนกรีตที่ลดลงนี้ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ความสามารถเทได้ของคอนกรีตลดลง จากการศึกษาข้อมูลพบว่าในต่างประเทศก็มีข้อแนะนำให้หลีกเลี่ยงการใช้น้ำสลัดจ์ผสมคอนกรีตผสมสารกักกระจายฟองอากาศ (Neville, 2000) หรือต้องเพิ่มอัตราการใช้สารผสมเพิ่มชนิดสารกักกระจายฟองอากาศ (Iowa Department of Transportation, 2005) อย่างไรก็ตามคอนกรีตผสมสารกักกระจายฟองอากาศเป็นคอนกรีตที่มีปริมาณการใช้ในประเทศไทยในปริมาณไม่มาก ซึ่งในกรณีมีการใช้สารกักกระจายฟองอากาศผสมคอนกรีต ควรผสมด้วยน้ำประปาเพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบที่จะเกิดขึ้น

5.4.3 ระยะเวลาในการก่อตัวของคอนกรีต

ในการทดสอบคอนกรีตมีการควบคุมค่าการยุบตัวให้ใกล้เคียงกันทุกตัวอย่าง ทำให้คอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีปริมาณน้ำในส่วนผสมที่มากขึ้นดังสรุปในหัวข้อ 5.4.1 ซึ่งปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้าไปมีผลต่อค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต จากผลการทดสอบซีเมนต์เพสต์ผสมด้วยน้ำสลัดจ์พบว่าลักษณะทางกายภาพของอนุภาคตะกอนขนาดเล็กของน้ำสลัดจ์มีส่วนในการดูดซับน้ำเอาไว้และการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของอนุภาคในน้ำสลัดจ์มีผลทำให้เกิดการก่อตัวที่เร็วขึ้น แต่ผลของการทดสอบค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตจะแตกต่างจากผลการทดสอบซีเมนต์เพสต์ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมและผลจากสารผสมเพิ่มที่ใช้ในคอนกรีต ผลการทดสอบค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตเทียบกับตัวอย่างควบคุมของศูนย์นิคมอุตสาหกรรมอิตาเลียน-ไทย บริษัทเอเชียผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ จำกัดและบริษัททีพีไอ คอนกรีต จำกัด แสดงดังภาพที่ 5.47, 5.48, 5.100, 5.101, 5.140 และ 5.141 ตามลำดับ และผลกระทบต่อค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตเมื่อผสมด้วยน้ำสลัดจ์ทั้งชนิดไม่ผสมสารผสมเพิ่มและผสมสารผสมเพิ่มแสดงได้ดังตารางที่ 5.23

จากผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมสารผสมเพิ่มและคอนกรีตผสมเถ้าลอยเมื่อผสมด้วยน้ำสลัดจ์ทำให้มีค่าระยะเวลาการก่อตัวที่ใกล้เคียงกับตัวอย่างผสมด้วยน้ำประปาถึงมากกว่าประมาณ 30 นาที เนื่องจากการเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมทำให้มีปริมาณน้ำส่วนเกินที่มากขึ้น ส่วนคอนกรีตผสมสารเคมีผสมเพิ่มเมื่อผสมด้วยน้ำสลัดจ์ทำให้มีค่าระยะเวลาการก่อตัวที่น้อยกว่ากับตัวอย่างผสมด้วยน้ำประปา เนื่องจากอนุภาคตะกอนในน้ำสลัดจ์ทำให้ประสิทธิภาพของสารเคมีผสมเพิ่มลดลง แต่เมื่อเทียบกับเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C494 พบว่าคอนกรีตผสมสารเพิ่มชนิดสารเคมีผสมเพิ่มทั้ง 3 ชนิดคือ สารลดน้ำระดับสูง สารกันซึมแบบลดน้ำ สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัวผสมยังผ่านเกณฑ์การทดสอบ ซึ่งผลจากงานวิจัยของต่างประเทศที่ได้ทดสอบค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์และผสมสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (Chini et al., 2001) พบว่าผลการทดสอบผ่านเกณฑ์ ASTM C494 เช่นกัน

จากผลการทดสอบคอนกรีตผสมสารเคมีผสมเพิ่มผสมด้วยน้ำสลัดจ์ที่มีค่าระยะเวลาการก่อตัวที่ลดลง ถึงแม้ว่าค่าที่ลดลงยังอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C494 แต่ผลกระทบดังกล่าวมีผลต่อทำให้ระยะเวลาในการทำงานเช่น การขนส่งคอนกรีต การเทเข้าแบบหล่อ ทำให้มีเวลาการทำงานที่ลดลง การปรับปรุงคุณสมบัติคอนกรีตเพื่อชดเชยผลกระทบที่เกิดขึ้นกระทำได้โดยอาจจะเพิ่มปริมาณอัตราการใช้สารเคมีผสมเพิ่มให้มากขึ้นหรือเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมเพื่อ

เพิ่มค่าระยะเวลาในการก่อตัวให้นานขึ้น ซึ่งจะต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านอื่นของคอนกรีตเช่นผลต่อค่ากำลังอัด

5.4.4 การสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีต

ผลการทดสอบการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีตของทั้ง 3 โรงงานแสดงดังภาพที่ 5.53, 5.54, 5.55, 5.101, 5.104, 5.105, 5.144 และ 5.145 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตไม่ผสมสารผสมเพิ่มผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่เร็วกว่าคอนกรีตไม่ผสมสารผสมเพิ่มผสมด้วยน้ำประปา ส่วนคอนกรีตผสมเถ้าลอย คอนกรีตผสมสารกันซึมแบบลดน้ำและคอนกรีตผสมสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัวพบว่ามีการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีตของคอนกรีตที่ใกล้เคียงกันระหว่างผสมด้วยน้ำสลัดจ์และผสมด้วยน้ำประปา โดยช่วงเวลาที่ค่าการยุบตัวมีค่าเท่ากับศูนย์ของคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีค่าที่ค่าน้อยกว่า ส่วนคอนกรีตผสมสารลดปริมาณน้ำระดับสูงพบว่ามีการสูญเสียค่าการยุบตัวลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเทียบระหว่างผสมด้วยน้ำสลัดจ์และผสมด้วยน้ำประปา ผลที่เกิดขึ้นเป็นผลจากการที่คอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีปริมาณน้ำส่วนเกินลดลงเนื่องจากการดูดซับน้ำเอาไว้ของอนุภาคตะกอนในน้ำสลัดจ์ ซึ่งเมื่อมีปริมาณน้ำส่วนเกินที่น้อยกว่ามีผลทำให้การสูญเสียค่าการยุบตัวก็เกิดขึ้นเร็วกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำประปา โดยในคอนกรีตผสมสารผสมเพิ่มพบว่าการผสมด้วยน้ำสลัดจ์ทำให้ประสิทธิภาพของสารผสมเพิ่มลดลงทำให้ช่วงเวลาที่ค่าการยุบตัวมีค่าเท่ากับศูนย์มีค่าที่น้อยกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำประปา

การปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตเพื่อชดเชยผลกระทบต่อการสูญเสียค่าการยุบตัวเช่นการเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมหรือเพิ่มอัตราการใช้สารผสมเพิ่ม อาจจะต้องพิจารณาร่วมกับการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตด้านอื่นเช่นความสามารถเทได้ ค่าระยะเวลาการก่อตัวเนื่องจากคุณสมบัติการสูญเสียค่าการยุบตัวมีผลจากหลายปัจจัยเช่นปริมาณน้ำในส่วนผสม ชนิดสารผสมเพิ่มที่ใช้ ตลอดจนค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

5.4.5 คุณสมบัติทางกลของคอนกรีต

คุณสมบัติทางกลที่ทำการทดสอบประกอบไปด้วยการทดสอบกำลังอัด กำลังดัดและโมดูลัสยืดหยุ่น ผลการทดสอบกำลังอัดและกำลังดัดเทียบกับตัวอย่างควบคุมของศูนย์นิคม

อุตสาหกรรมอิตาเลียน-ไทยแสดงดังภาพที่ 5.57, 5.58, 5.62, 5.67, 5.69 และ 5.72 ส่วนผลการทดสอบกำลังอัดและกำลังดัดเทียบกับตัวอย่างควบคุมของบริษัทเอเซียผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ จำกัด แสดงดังภาพที่ 5.107, 5.109, 5.114 และ 5.116 และผลการทดสอบเทียบกำลังอัดและกำลังดัดกับตัวอย่างควบคุมของบริษัททีพีไอ คอนกรีต จำกัด แสดงดังภาพที่ 5.147, 5.149, 5.154 และ 5.156 จากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยด้วยน้ำสลัดจ์ทำให้ค่ากำลังอัดและค่ากำลังดัดน้อยกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำประปาแสดงได้ดังตารางที่ 5.22 ส่วนผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของตัวอย่างทั้งหมดพบว่ามีความสัมพันธ์ในลักษณะแปรผันกับค่ากำลังอัด โดยผลการทดสอบมีค่าสูงกว่าค่าที่แนะนำไว้ตามมาตรฐาน ว.ส.ท 1008

ในส่วนผลการทดสอบคอนกรีตผสมสารเคมีผสมเพิ่มผสมด้วยน้ำสลัดจ์เมื่อเทียบกับเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C494 แสดงดังตารางที่ 5.23 พบว่าคอนกรีตผสมสารลดน้ำระดับสูงผสมด้วยน้ำสลัดจ์ไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบค่ากำลังอัด 1 ตัวอย่างและไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบค่ากำลังดัดทั้ง 3 ตัวอย่าง คอนกรีตผสมสารกันซึมแบบลดน้ำและคอนกรีตผสมสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัวเมื่อผสมด้วยน้ำสลัดจ์พบว่าไม่ผ่านเกณฑ์การทดสอบค่ากำลังอัดทั้ง 3 ตัวอย่าง จากการสังเกตุพบว่าคอนกรีตผสมสารเคมีผสมเพิ่มทั้งสามชนิดมีผลการทดสอบทั้งกำลังอัดและกำลังดัดสูงกว่าตัวอย่างควบคุม แต่ผลการทดสอบกำลังอัดมีค่าสูงไม่เพียงพอที่จะทำให้ผ่านเกณฑ์ของกำลังอัดของ ASTM C494 ส่วนเกณฑ์ของกำลังดัดของคอนกรีตผสมสารกันซึมแบบลดน้ำและสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัวตามมาตรฐาน ASTM C494 ชนิด A และ D พบว่ามีค่าเท่ากับร้อยละ 100 ของตัวอย่างควบคุม ซึ่งทำให้ผลการทดสอบของตัวอย่างผสมด้วยน้ำสลัดจ์ผ่านเกณฑ์

สาเหตุของตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีค่ากำลังอัดและค่ากำลังที่น้อยกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำประปาเป็นผลมาจากการที่ต้องเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีตทำให้ตัวอย่างผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์มีค่าที่สูงกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำประปา (ปริญญาและชัย, 2547, น. 183) จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสลัดจ์ที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบค่ากำลังอัดที่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของการทดสอบซีเมนต์เพสต์ แต่ก็มีผลทำให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมสารผสมเพิ่มและผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีผลการทดสอบในบางอายุมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 90 ได้ จากการเปรียบเทียบกับงานวิจัยของต่างประเทศ (Chini et al., 2001; Sandrolini and Franzoni, 2001; Moon et al., 2001; Nan Su et al., 2002) พบว่าค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดในน้ำสลัดจ์ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าที่สูงกว่า ซึ่งถึงแม้จะเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับที่มาตรฐาน ASTM C94 แนะนำไว้ แต่ก็ยังเป็นค่าที่มีผลกระทบต่อ

ตัวอย่างดังที่แสดงไว้ดังตารางที่ 5.22 การปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์ให้ดีขึ้น ควรใช้วิธีปรับอัตราการใช้สารผสมเพิ่ม (Sato et al., 1999) เพื่อให้สามารถผสมได้โดยใช้ปริมาณน้ำที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ผสมด้วยน้ำประปาหรือใช้วิธีเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสม ซึ่งอาจจะต้องมีทดสอบหาปริมาณที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นสูงเกินไป

5.4.6 คุณสมบัติทางความทนทานของคอนกรีต

ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านความทนทานเทียบกับตัวอย่างควบคุมของคอนกรีตของทั้ง 3 โรงงานได้แก่ การเปลี่ยนแปลงความยาวแสดงดังภาพที่ 5.75, 5.119 และ 5.159 ความสามารถในการซึมผ่านได้ของน้ำแสดงดังภาพที่ 5.83, 5.125 และ 5.165 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเมื่อแช่ในสารละลายกรดซัลฟุริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักแสดงดังภาพที่ 5.75, 5.119 และ 5.159 ส่วนการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักเมื่อแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนักแสดงดังภาพที่ 5.87, 5.128 และ 5.168 จากผลการทดสอบของทั้ง 3 โรงงานพบว่าคอนกรีตไม่ผสมสารผสมเพิ่มและคอนกรีตผสมเถ้าลอยเมื่อผสมด้วยน้ำสลัดจ์มีคุณสมบัติด้านความทนทานด้อยกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำประปา สำหรับคอนกรีตผสมสารเคมีผสมเพิ่มพบว่าคอนกรีตผสมสารกันซึมแบบลดน้ำ และคอนกรีตผสมสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัวเมื่อผสมด้วยน้ำสลัดจ์ทำให้ตัวอย่างมีคุณสมบัติด้านความทนทานด้อยกว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำประปา ส่วนคอนกรีตผสมสารลดน้ำระดับสูงเมื่อผสมด้วยน้ำสลัดจ์พบว่ามีค่ามีคุณสมบัติด้านความทนทานบางค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างผสมด้วยน้ำประปาคือค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ของน้ำ ค่าน้ำหนักเปลี่ยนแปลงเมื่อแช่กรดซัลฟุริกและสารโซเดียมซัลเฟต รายละเอียดของผลการทดสอบแสดงได้ดังตารางที่ 5.22 ส่วนผลการทดสอบค่าเปลี่ยนแปลงความยาวของตัวอย่างคอนกรีตผสมสารเคมีผสมเพิ่มเมื่อผสมด้วยน้ำสลัดจ์เทียบกับเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C494 พบว่าคอนกรีตผสมสารเพิ่มชนิดสารเคมีผสมเพิ่มทั้ง 3 ชนิดคือ สารลดน้ำระดับสูง สารกันซึมแบบลดน้ำ สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัวผสมผ่านเกณฑ์การทดสอบทั้ง 3 ตัวอย่าง

สาเหตุที่ทำให้ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านความทนทานของตัวอย่างผสมด้วยน้ำสลัดจ์ลดลงเนื่องจากตัวอย่างคอนกรีตเมื่อผสมด้วยน้ำสลัดจ์ทำให้ต้องมีการเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีตมากขึ้น ทำให้ตัวอย่างคอนกรีตมีค่าความพรุน (Porosity) ที่มากขึ้น ซึ่งค่าความพรุนนี้มีผลต่อคุณสมบัติด้านความทนทาน (Neville A. M., 1996) กล่าวคือทำให้น้ำสามารถซึมผ่านได้มากขึ้น การทนทานต่อสารเคมีลดลง ดังนั้นการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมด้วยน้ำ

สลัดจ์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติด้านความทนทานควรจะมีการผสมสารผสมเพิ่มร่วมด้วย เพื่อช่วยลดปริมาณในส่วนผสมโดยปริมาณอัตราการใช้สารผสมเพิ่มควรจะมีการทดสอบเพื่อปรับให้เหมาะสมทั้งในเรื่องต้นทุนการผลิตและผลกระทบต่อคุณสมบัติด้านอื่นๆของคอนกรีต

5.4.7 ข้อแนะนำสำหรับการนำน้ำสลัดจ์กลับมาผสมคอนกรีต

จากการผลการทดสอบและการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการใช้น้ำสลัดจ์ผสมคอนกรีตมีผลทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติด้อยลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ผสมด้วยน้ำประปา สาเหตุเนื่องจากอนุภาคตะกอนในน้ำสลัดจ์มีส่วนในการดูดซับน้ำไว้และทำให้ประสิทธิภาพของสารเคมีผสมเพิ่มลดลง ผลดังกล่าวทำให้คอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์ต้องใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมที่มากขึ้น จากผลการทดสอบคอนกรีตและการทดสอบซีเมนต์เพสต์ผสมด้วยน้ำสลัดจ์ที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าอนุภาคตะกอนในน้ำสลัดจ์มีผลต่อคุณสมบัติของตัวอย่าง ดังนั้นการเลือกใช้ปริมาณความเข้มข้นของน้ำสลัดจ์สำหรับการผสมคอนกรีตจึงเป็นเรื่องที่ต้องพิจารณาให้ความสำคัญ ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีเลือกค่าความเข้มข้นของน้ำสลัดจ์จากการทดสอบซีเมนต์เพสต์ผสมด้วยน้ำสลัดจ์โดยใช้เกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C94 ตารางที่ 3.4 จากการทดสอบค่าที่ผ่านเกณฑ์คือค่าที่อยู่ในช่วงร้อยละ 5.12 ถึง 5.75 ซึ่งพบว่าเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่มาตรฐาน ว.ส.ท. 1014 และ ASTM C94 แนะนำไว้คือไม่เกินร้อยละ 5 เมื่อนำมาทดสอบผสมคอนกรีตก็ทำให้เกิดผลต่อตัวอย่างเมื่อเทียบกับตัวอย่างผสมน้ำประปาดังตารางที่ 5.22 โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นเป็นผลจากการทดสอบตามขอบเขตเงื่อนไขของงานวิจัยนี้

การทำให้มีผลกระทบจากการใช้น้ำสลัดจ์ผสมคอนกรีตลดลง สามารถทำได้หลายวิธี เช่นเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสม เพิ่มอัตราการใช้สารเคมีผสมคอนกรีต หรือใช้เถ้าลอยในปริมาณที่พอเหมาะเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเทได้ ตลอดจนการผสมด้วยน้ำสลัดจ์เฉพาะส่วนใส (Souwerbren, 1996) หรือมีค่าความเข้มข้นไม่มากเกินไป (Chini et al., 2001; Sandrolini and Franzoni, 2001; Moon et al., 2001; Nan Su et al., 2002) ซึ่งจากผลการทดสอบตามขอบเขตของงานวิจัยนี้พบว่าคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์ที่ผสมสารผสมเพิ่มมีคุณสมบัติทั้งทางกลและความทนทานที่ดีกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมสารเพิ่มและผสมด้วยน้ำสลัดจ์ แสดงให้เห็นการการใช้สารผสมเพิ่มช่วยปรับปรุงคุณภาพคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์ได้

ขั้นตอนการนำน้ำสลัดจ์กลับมาใช้ผสมคอนกรีตควรเริ่มต้นจากการทดสอบหาค่าปริมาณสารเคมีในน้ำสลัดจ์ โดยใช้เกณฑ์ของมาตรฐาน ASTM C94 ในการเปรียบเทียบ ขั้นตอน

ต่อไปคือการเลือกหาค่าปริมาณความเข้มข้นของน้ำสลัดจ์ ซึ่งการเลือกความเข้มข้นสามารถใช้วิธีการทดสอบด้วยการผสมน้ำสลัดจ์เป็นมอร์ตาร์หรือเป็นซีเมนต์เพสต์เหมือนกับในงานวิจัยนี้ โดยใช้เกณฑ์การทดสอบของมาตรฐาน ASTM C94 ประกอบด้วยการทดสอบค่ากำลังอัดที่อายุ 7 วัน และค่าระยะเวลาการก่อตัว ขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์ ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อหาความเหมาะสมทั้งในแง่ต้นทุนการผลิตและคุณสมบัติของคอนกรีต การผสมคอนกรีตด้วยน้ำสลัดจ์ควรจะเริ่มจากการผสมด้วยน้ำสลัดจ์ที่มีค่าปริมาณความเข้มข้นที่น้อยก่อน เพื่อศึกษาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นและเพื่อให้ได้ผลการทดสอบตามค่าที่ออกแบบและมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ทั้งผู้ผลิตและผู้ใช้คอนกรีต

ตารางที่ 5.22

ผลการเปรียบเทียบตัวอย่างผสมด้วยน้ำสลัดจ์กับผสมด้วยน้ำประปาของแต่ละชนิดคอนกรีต

ชนิดการทดสอบ	ผลกระทบจากการผสมด้วยน้ำสลัดจ์เมื่อเทียบกับผสมด้วยน้ำประปา		
	คอนกรีตไม่ผสมสารผสมเพิ่ม	คอนกรีตผสมเถ้าลอย	คอนกรีตผสมสารเคมีผสมเพิ่ม
ความสามารถเทได้	เพิ่มปริมาณน้ำ ร้อยละ 4.25 ถึง 6.22	เพิ่มปริมาณน้ำ ร้อยละ 5.17 ถึง 8.02	เพิ่มปริมาณน้ำ ร้อยละ 4.72 ถึง 9.10
ค่าหน่วยน้ำหนัก	ลดลง ร้อยละ 0.38 ถึง 1.14	ลดลง ร้อยละ 0.46 ถึง 1.52	ลดลง ร้อยละ 0.13 ถึง 1.23
ค่าปริมาณอากาศในคอนกรีต	ลดลง ร้อยละ 28.57 ถึง 33.33	ลดลง ร้อยละ 46.67 ถึง 53.33	ลดลง ร้อยละ 27.27 ถึง 43.33
ค่าระยะเวลาการก่อตัว	มากกว่าอยู่ในช่วง 7 ถึง 30 นาที	อยู่ในช่วงน้อยกว่า 10 ถึงมากกว่า 29 นาที	น้อยกว่าอยู่ในช่วง 21 ถึง 81 นาที
การสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีต	เร็วขึ้น	ไม่แตกต่าง	เร็วขึ้นเฉพาะสารลดน้ำระดับสูง
ค่ากำลังอัด	ลดลง ร้อยละ 2.38 ถึง 9.38	ลดลง ร้อยละ 6.15 ถึง 21.96	ลดลง ร้อยละ 2.77 ถึง 17.28
ค่ากำลังดัด	ลดลง ร้อยละ 5.28 ถึง 10.51	ลดลง ร้อยละ 9.86 ถึง 40.61	ลดลง ร้อยละ 1.02 ถึง 12.42
ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง	ไม่แตกต่าง
ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว	เพิ่มขึ้น ร้อยละ 4.97 ถึง 9.47	เพิ่มขึ้น ร้อยละ 31.52 ถึง 81.52	เพิ่มขึ้น ร้อยละ 21.32 ถึง 55.56
ค่าความสามารถในการซึมผ่านได้ของน้ำ	เพิ่มขึ้น ร้อยละ 26.46 ถึง 69.94	เพิ่มขึ้น ร้อยละ 5.61 ถึง 63.03	ลดลงร้อยละ 14.27 ถึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.30
ค่าน้ำหนักเปลี่ยนแปลงเมื่อแช่กรดซัลฟุริก	เพิ่มขึ้น ร้อยละ 3.61 ถึง 6.44	เพิ่มขึ้น ร้อยละ 11.41 ถึง 22.40	ลดลงร้อยละ 19.09 ถึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.18
ค่าน้ำหนักเปลี่ยนแปลงเมื่อแช่สารโซเดียมซัลเฟต	เพิ่มขึ้น ร้อยละ 9.88 ถึง 30.58	เพิ่มขึ้น ร้อยละ 49.64 ถึง 65.47	ลดลงร้อยละ 29.25 ถึงเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.32

ตารางที่ 5.23

รายละเอียดของผลการเปรียบเทียบคอนกรีตผสมสารเคมีผสมเพิ่มผสมด้วยน้ำสลัดจ์ตามเกณฑ์ของมาตรฐาน ASTM C494

ชนิดการทดสอบ	ชนิดของสารผสมเพิ่ม		
	สารลดน้ำ (ASTM C494 ชนิด A)	สารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (ASTM C494 ชนิด D)	สารลดน้ำระดับสูง (ASTM C494 ชนิด F)
ร้อยละของปริมาณน้ำในส่วนผสมเทียบกับคอนกรีตควบคุม	ไม่ผ่าน 1 ตัวอย่าง	ไม่ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ไม่ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง
ค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นเทียบกับคอนกรีตควบคุม	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง
ค่าระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายเทียบกับคอนกรีตควบคุม	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง
ร้อยละของค่ากำลังอัดเทียบกับคอนกรีตควบคุม ที่อายุ			
1 วัน	-	-	ไม่ผ่าน 1 ตัวอย่าง
3 วัน	ไม่ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ไม่ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง
7 วัน	ไม่ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ไม่ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง
28 วัน	ไม่ผ่านทั้ง 1 ตัวอย่าง	ไม่ผ่านทั้ง 2 ตัวอย่าง	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง
ร้อยละของค่ากำลังดัดเทียบกับคอนกรีตควบคุม ที่อายุ			
3 วัน	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ไม่ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง
7 วัน	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ไม่ผ่านทั้ง 1 ตัวอย่าง
28 วัน	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ไม่ผ่านทั้ง 1 ตัวอย่าง
ร้อยละของค่าเปลี่ยนแปลงความยาวเทียบกับคอนกรีตควบคุม	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง	ผ่านทั้ง 3 ตัวอย่าง