บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่มีการศึกษาเกี่ยวข้องกับการนำน้ำสลัดจ์มาใช้ในการผลิตคอนกรีตมีดังนี้

Chini S. A. and Mbwambo W.J. (1996) ได้รวบรวมการศึกษาวิจัยและจากประสบการณ์ของโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จในรัฐฟลอริด้า ประเทศสหรัฐอเมริกา จากงานวิจัยพบว่าปริมาณน้ำสำหรับใช้ในการทำความสะอาดรถขนส่งมีปริมาณประมาณ 330 ถึง 660 ลิตรต่อคันต่อวัน น้ำสลัดจ์มีค่าความเป็นด่างสูง น้ำสลัดจ์ที่ผ่านบ่อตกตะกอนมีค่าปริมาณสารแขวนลอยประมาณ 100 ppm. และมีค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (Dissolved solids) อยู่ในช่วง 500 ถึง 2,500 ppm. ในงานวิจัยแสดงผลการศึกษาจากโรงงานผสมเสร็จ 9 โรงในรัฐฟลอริด้าพบว่าระบบจัดการน้ำสลัดจ์ในรูปแบบบ่อตกตะกอนมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการปนเปื้อนไปสู่น้ำใต้ดินและแหล่งน้ำ โดยต้องมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอและบ่อตกตะกอนต้องมีการขยายขนาดให้เพียงพอต่อการขนาดของการผลิต

ในงานวิจัยแสดงข้อมูลทางเลือกในการจัดการน้ำสลัดจ์คือการใช้สารปรับสภาพ (Stabilizing admixture) ซึ่งเป็นสารผสมในน้ำสลัดจ์เพื่อหยุดการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ในน้ำสลัดจ์ทำให้สามารถนำน้ำสลัดจ์ไปผสมคอนกรีตได้ทันที ซึ่งในงานวิจัยพบว่าคอนกรีตที่ใช้สารปรับสภาพ มีคุณสมบัติคล้ายกับคอนกรีตปกติและมีค่ากำลังอัดที่สูงกว่า ในงานวิจัยได้ให้ข้อมูลของการทดสอบคุณภาพของน้ำสลัดจ์โดยใช้เกณฑ์ของมาตรฐาน ASTM C 94 (Standard Specification for Ready-mixed Concrete) และแนะนำให้มีการศึกษาถึงผลกระทบจากการใช้น้ำสลัดจ์ผสมคอนกรีตเพื่อปรับปรุงข้อกำหนดต่อไป

Souwerbren C. (1996) ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดการของเสียเกี่ยวกับงานคอนกรีต (Concrete Waste) ของประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งการจัดการน้ำสลัดจ์ (ในบทความใช้ศัพท์เรียกเป็นน้ำล้าง(Wash Water)) ของประเทศเนเธอร์แลนด์จมีทั้งระบบนำน้ำล้างกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งจะต้องมีถังสำหรับบรรจุน้ำล้างและมีระบบกวนอย่างสม่ำเสมอ การนำกลับไปผสมคอนกรีตใหม่จะใช้การคำนวณ

ที่คิดแยกส่วนที่เป็นน้ำและส่วนที่เป็นตะกอนของน้ำล้าง โดยในส่วนตะกอนของน้ำล้างจะถูกคิดรวมกับส่วนมวลรวมละเอียด ส่วนในระบบบ่อตกตะกอนพบว่าน้ำล้างที่ผ่านการตกตะกอนอย่างสมบูรณ์สามารถนำมาผสมคอนกรีตได้ทั้งหมด

ในงานวิจัยได้นิยามความหมายของน้ำล้าง (Wash Water) ตามมาตรฐาน EN1008 คือน้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดภายในโรงงานผสมคอนกรีตทั้งหมดได้แก่ เครื่องผสม รถขนส่งคอนกรีต และปั๊มคอนกรีต รวมถึงน้ำที่ได้จากกิจกรรมการตัด บดและย่อยคอนกรีตและมีขอบเขตการใช้ผสมคอนกรีตคือปริมาณมวลรวมละเอียดที่เกิดขึ้นจากใช้น้ำล้างผสมคอนกรีตต้องมีปริมาณที่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของน้ำหนักปริมาณมวลรวมทั้งหมด น้ำล้างที่มีความหนาแน่นมากกว่า 1,010 กก./ลบ.ม. จะต้องทำการกวนให้สม่ำเสมอเพื่อให้ส่วนตะกอนในน้ำกระจายตัวอย่างทั่วถึง ส่วนน้ำล้างที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า 1,010 กก./ลบ.ม. นั้นสามารถใช้ผสมคอนกรีตได้ทันที อัตราการผสมน้ำล้างในคอนกรีตในการผลิตทั้งวันควรเป็นปริมาณที่สม่ำเสมอและสำหรับงานคอนกรีตพิเศษเช่นคอนกรีตผสมสารกักกระจายฟองอากาศ คอนกรีตอัดแรงและคอนกรีตที่ต้องการความทนทานสูงต้องมีการคำนึงถึงผลกระทบจากการใช้น้ำล้างผสมคอนกรีต

บุรฉัตร ฉัตรวีระและ คณะ (1999) ได้ศึกษาคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ผสมด้วยน้ำสลัดจ์ (ในบทความใช้ศัพท์เรียกเป็นน้ำล้างโม่) โดยใช้อัตราส่วนการแทนที่น้ำล้างโม่ในน้ำประปาโดยน้ำหนักที่ร้อยละ 0, 30, 70 และ 100 และใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.3 และ 0.4 จากผลงานวิจัยพบว่าน้ำล้างโม่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 10 และมีปริมาณของแข็งเท่ากับ 1,616 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดสอบตัวอย่างซีเมนต์เพสต์ที่ผสมด้วยน้ำล้างโม่พบว่าตัวอย่างที่มีปริมาณการแทนที่น้ำล้างโม่ในน้ำประปามากขึ้นมีค่าความข้นเหลวปกติ (Normal consistency) เพิ่มขึ้น ค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและสุดท้ายเพิ่มขึ้น ค่าการขยายตัวในน้ำและการหดตัวแบบออโตจีเนียสลดลง

Sato Y. et al. (1999) ได้ศึกษาผลของการใช้น้ำสลัดจ์จากโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จมาผสมคอนกรีต โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่ 1 เป็นคอนกรีตผสมด้วยน้ำสลัดจ์ โดยน้ำสลัดจ์ที่ใช้นั้นมีอายุ 1 วัน และมีปริมาณของแข็งเท่ากับร้อยละ 3, 5 และ 10 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์และส่วนที่ 2 เป็นคอนกรีตผสมด้วยผงสลัดจ์ ซึ่งมีปริมาณของแข็งร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยตัวอย่างคอนกรีตทั้ง 2 ส่วนใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุ

ผง (w/b) เท่ากับ 0.50, 0.55, 0.60, 0.65 และ 0.70 สารผสมเพิ่มที่ใช้คือสารลดน้ำระดับสูงและหน่วงการแข็งตัว (ASTM C494 ชนิด G) และมีค่าการยุบตัวของคอนกรีตเท่ากับ 8 และ 18 ซม. การออกแบบส่วนผสมจะใช้วิธีเพิ่มสารผสมเพิ่มเพื่อควบคุมค่าการยุบตัวให้ได้ค่าที่กำหนด ผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตที่ผสมด้วยน้ำสลัดจ์ทุกส่วนผสมและคอนกรีตที่ผสมด้วยผงสลัดจ์ที่ร้อยละ 10 และ 20 ไม่มีผลกระทบต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีต ในขณะที่ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่ 28 วัน และ 1 ปี พบว่าคอนกรีตที่ผสมด้วยน้ำสลัดจ์ทุกส่วนผสมและคอนกรีตที่ผสมด้วยผงสลัดจ์ที่ร้อยละ 10 ให้ผลกำลังอัดที่ไม่แตกต่างจากคอนกรีตปกติ และได้ให้ข้อสรุปเพิ่มเติมว่าการใช้น้ำสลัดจ์จากโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จมาผสมคอนกรีตนั้นไม่มีผลกระทบกับคุณสมบัติของคอนกรีต แต่ควรจำกัดปริมาณของแข็งที่ไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของปริมาณปูนซีเมนต์ เนื่องจากการใช้สลัดจ์ผสมมากนั้นจะทำให้ความต้องการปริมาณน้ำในส่วนผสมของคอนกรีตเพิ่มขึ้น

Chini A. R. et al. (2001) ได้ศึกษาผลของคุณสมบัติของน้ำสลัดจ์ (ในบทความใช้ศัพท์เรียกเป็นน้ำล้าง (Wash Water)) จากรถขนส่งคอนกรีตของโรงงานผลิตคอนกรีตในรัฐฟลอริด้า โดยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของน้ำล้างดังกล่าวตามมาตรฐานของ Florida Department of Transportation (FDOT) มาตรฐาน ASTM C94 และมาตรฐาน AASHTO M157 ตัวอย่างน้ำล้างเก็บโรงงานผลิตคอนกรีตจำนวน 10 โรงพบว่าคุณสมบัติปริมาณสารเคมีในน้ำผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASTM C94 และ AASHTO M157 แต่ไม่ผ่านมาตรฐานของ FDOT

ในการทดสอบผสมตัวอย่างคอนกรีตของงานวิจัยใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมตามมาตรฐาน FDOT ประเภทที่ 1 สำหรับคอนกรีตที่ไม่ใช่โครงสร้างหลัก โดยกำหนดค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 17.2 เมกะปาสคาล การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยชนิด F เท่ากับร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก คอนกรีตใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.50 และมีค่าการยุบตัวของคอนกรีตอยู่ในช่วง 5 ถึง 10 ซม. สารผสมเพิ่มที่ใช้คือสารกักกระจายฟองอากาศและสารลดน้ำและหน่วงการก่อตัว (ASTM C494 ชนิด D) น้ำล้างที่ใช้ผสมคอนกรีตมีค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วง 380 ถึง 2,400 ppm. ผลการทดสอบคอนกรีตพบว่าค่าระยะเวลาการก่อตัวของตัวอย่างผ่านเกณฑ์ของมาตรฐานทั้ง 3 มาตรฐานคืออยู่ในช่วงน้อยกว่า 1 ชั่วโมงหรือมากกว่าไม่เกิน 1.5 ชั่วโมง90 เมื่อเทียบกับคอนกรีตผสมด้วยน้ำประปา ผลทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างพบว่ากำลังอัดของคอนกรีตผสมด้วยน้ำล้างที่อายุของคอนกรีตเท่ากับ 7, 14 และ 28 วัน มีค่ากำลังอัดสูงกว่าร้อยละ 90 เมื่อเทียบ

กับคอนกรีตผสมด้วยน้ำประปา ส่วนผลการทดสอบกำลังดัดของตัวอย่างพบว่าคอนกรีตผสมด้วยน้ำล้างมีค่าที่ต่ำกว่าคอนกรีตผสมด้วยน้ำประปาอยู่ในช่วงร้อยละ 7 ถึง 14 สำหรับผลการทดสอบการหดตัวแบบแห้งของตัวอย่างคอนกรีตที่อายุเท่ากับ 68 สัปดาห์พบว่ามีการหดตัวมากกว่าคอนกรีตผสมด้วยน้ำประปา

Sandrolini F. and Franzoni E. (2001) ได้ศึกษาผลกระทบของการทดสอบน้ำสลัดจ์จากโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ (ในบทความใช้ศัพท์เรียกเป็นน้ำล้าง (Wash Water)) ซึ่งเป็นการทดสอบโดยนำมาผสมเป็นมอร์ต้าร์และคอนกรีต ผลการทดสอบตัวอย่างน้ำล้างพบว่ามีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อยู่ในช่วงร้อยละ 13 ถึง 13.5 ค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วง 8,200 ถึง 39,900 มก/ล. ค่าปริมาณสารเคมีในน้ำล้างผ่านตามเกณฑ์ของมาตรฐาน EN1008 และ ASTM C94 การออกแบบคอนกรีตใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก/ลบม. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.57 ไม่ผสมสารผสมเพิ่ม อัตราการผสมน้ำล้างในคอนกรีตกำหนดให้มีปริมาณของแข็งไม่เกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของมวลรวม

จากผลการวิจัยพบว่าค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมด้วยน้ำล้างมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตผสมด้วยน้ำกลั่นเนื่องจากมีส่วนละเอียดของมวลรวมที่เพิ่มขึ้นและมีปริมาณน้ำที่ใช้ผสมจริงต่ำกว่า ค่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์และคอนกรีตผสมด้วยน้ำล้างที่อายุคอนกรีต 28 วันมีกำลังอัดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 96 เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำกลั่น จากผลทดสอบพบว่ามีค่าที่สูงกว่าข้อกำหนดตามมาตรฐาน EN1008 คือค่ากำลังอัดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 สำหรับการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตที่ผสมด้วยน้ำล้างพบว่าไม่มีระบุในข้อกำหนดของมาตรฐาน EN1008 ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าคอนกรีตผสมด้วยน้ำล้างที่อายุคอนกรีต 28 วันมีค่ากำลังดัดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 90 เมื่อเทียบกับคอนกรีตผสมด้วยน้ำกลั่น ผลการทดสอบการดูดซับน้ำของคอนกรีตและความพรุนของมอร์ต้าร์พบว่ามีค่าที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำกลั่น ซึ่งอาจจะเป็นผลจากการอุดตัวของส่วนละเอียด (Fine-Filler) การลดลงของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ มีผลทำให้ความสามารถทางด้านความทนทานเพิ่มขึ้น

Moon H. Y. et al. (2001) ได้ศึกษาถึงการผสมคอนกรีตด้วยน้ำสลัดจ์จากโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จในประเทศเกาหลีใต้ โดยในงานวิจัยทำการศึกษา 2 ส่วนคือการศึกษาเพื่อนำผง

สลัดจ์ที่ผ่านขั้นการอบและบดมาเป็นสารผสมเพิ่มและการศึกษาน้ำสลัดจ์ที่มีค่าอัลคาไลสูงเพื่อเป็นสารกระตุ้นตะกรันเตาถลุง (Ground Granulate Blast Furnace Slag (SG)) ตัวอย่างน้ำสลัดจ์ที่นำมาทดสอบเป็นน้ำสลัดจ์ส่วนที่ใสมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 12.8 การทดสอบผงสลัดจ์กระทำโดยผสมเป็นตัวอย่างมอร์ตาร์ มีข้อกำหนดคือการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยตะกรันเตาถลุง (SG) ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 อัตราการผสมผงสลัดจ์คือร้อยละ 0 และ 5 ผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างที่ผสมผงสลัดจ์มีค่าการไหลแผ่ที่ลดลงและพบว่าค่ากำลังอัดของตัวอย่างที่มีการแทนที่วัสดุผงด้วย SG เท่ากับร้อยละ 10 และ ร้อยละ 20 มีค่าน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่ผสมผงสลัดจ์ ส่วนตัวอย่างที่ผสมผงสลัดจ์ที่มีการแทนที่วัสดุผงด้วย SG เท่ากับร้อยละ 30 และ 40 มีค่ามากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผสมผงสลัดจ์

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตออกแบบให้มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 24.5 เมกะปาสคาล ค่าการยุบตัวของคอนกรีตอยู่ในช่วง 13.5 ถึง 16.5 ซม. สารผสมเพิ่มที่ใช้เป็นประเภทสารกักกระจายฟองอากาศและลดปริมาณน้ำ การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยตะกรันเตาถลุง (SG) ที่ร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ส่วนน้ำสลัดจ์ใช้อัตราส่วนการผสมเท่ากับร้อยละ 0, 30, 50 และ 100 ของน้ำประปา แล้วทำการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน จากผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ 7 วัน และ 28 วัน มีค่าสูงกว่าคอนกรีตผสมด้วยน้ำประปา โดยเฉพาะตัวอย่างที่มีการแทนที่วัสดุผงด้วย SG เท่ากับร้อยละ 20 มีค่าสูงที่สุด

Nan Su et al. (2002) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติของมอร์ต้าร์และคอนกรีตที่ใช้น้ำผสมจากหลายแหล่ง ได้แก่ น้ำประปา น้ำบาดาล และน้ำสลัดจ์ (ในบทความใช้ศัพท์เรียกเป็นน้ำล้าง (Wash Water)) ของโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จในประเทศไต้หวัน ซึ่งตัวอย่างน้ำล้างทำการเก็บจากบ่อตกตะกอนโดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือส่วนบน ส่วนกลาง และส่วนล่างของบ่อตกตะกอน จากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างน้ำล้างทั้ง 3 ส่วนมีค่าปริมาณสารเคมีผ่านเกณฑ์ของ ASTM C94 มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) อยู่ในช่วง 12.0 ถึง 12.7 และค่าปริมาณของแข็งทั้งหมดอยู่ในช่วง 550 ถึง 11,050 มก./ล. สำหรับการทดสอบคอนกรีตออกแบบให้มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 14, 21 และ 28 เมกะปาสคาล ค่าการยุบตัวของคอนกรีตอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 ซม. สารผสมเพิ่มที่ใช้ประกอบด้วยเถ้าลอย ตะกรันเตาถลุงและสารลดน้ำระดับสูงและหน่วงการแข็งตัว (ASTM C494 ชนิด G)

จากผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างผสมด้วยน้ำจากส่วนล่างของบ่อตกตะกอนมีค่าการไหลแผ่น้อยกว่าตัวอย่างผสมด้วยน้ำประปาเนื่องจากมีส่วนละเอียดของตะกอนน้ำล้างที่มากขึ้น ในขณะที่

ตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำบาดาล น้ำล้างส่วนบนและส่วนกลางของบ่อตกตะกอนนั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกัน ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตพบว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำบาดาลและน้ำล้างมีค่าที่มากกว่าคอนกรีตผสมด้วยน้ำประปา โดยคอนกรีตผสมด้วยน้ำล้างพบว่าตัวอย่างที่ผสมด้วยน้ำล้างส่วนล่างมีค่ากำลังอัดสูงที่สุด ในส่วนสรุปของงานวิจัยได้แนะนำให้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนคุณสมบัติอื่น ๆ ได้แก่คุณสมบัติด้านความทนทาน ผลกระทบต่อกลไกของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของน้ำบาดาลและน้ำล้าง