

บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 คอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่อการใช้งานด้านโครงสร้าง และเป็นวัสดุที่สามารถสร้างให้มีรูปร่างลักษณะตามต้องการและเหมาะสมกับงาน ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบประการหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ เช่น ไม้ อิฐ หรือ เหล็ก ดังแสดงในตารางที่ 2.1 คอนกรีตเกิดจากการผสมซีเมนต์ น้ำ ซึ่งทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นวัสดุประสาน รวมเรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ กับ ทราย หิน หรือกรวด ที่เป็นวัสดุผสมหรือมวลรวม ส่วนผสมทั้งหมดจะแข็งตัวภายใน 24 ชั่วโมง และสามารถทนแรงอัดได้ดีขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุ ทรายเท่าที่มีน้ำอยู่ในโครงสร้างเพื่อทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน

คอนกรีตโดยทั่วไปจะมีปริมาณของซีเมนต์เพสต์อยู่ประมาณ 25 - 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแยกออกเป็นปริมาณของซีเมนต์ 7 - 15 เปอร์เซ็นต์ น้ำ 14 - 21 เปอร์เซ็นต์ และฟองอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่างประมาณ 0.5 - 3 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือจะเป็นปริมาณของวัสดุผสม (วินิต ซอวิเชียร, 2539) สมบัติของซีเมนต์เพสต์ขึ้นอยู่กับ คุณภาพของซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำและซีเมนต์ ซีเมนต์เพสต์จะทำหน้าที่เสริมช่องว่างระหว่างวัสดุผสม หล่อลื่นคอนกรีตสดในขณะทำงาน ให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัว และป้องกันการซึมผ่านของน้ำ ในขณะที่วัสดุผสมมีหน้าที่เป็นตัวแทรกประสานอยู่ในซีเมนต์เพสต์เนื่องจากมีราคาถูก และช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน ปริมาณไม่เปลี่ยนแปลง (��ชวาลัย เศรษฐบุตร, 2539)

ตารางที่ 2.1 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของคอนกรีต (��ชวาลัย เศรษฐบุตร, 2539)

ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1. สามารถหล่อขึ้นรูปร่างตามความต้องการได้	1. ความสามารถรับแรงดึงต่ำ
2. ราคาถูก	2. มีความยึดตัวต่ำ
3. มีความทนทานสูง	3. มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณ
4. ทนไฟได้ดี และไม่ไหม้ไฟ	4. อัตรากำลังต่อน้ำหนักต่ำ
5. สามารถเทหล่อได้ในสภาพที่ก่อสร้าง	
6. สามารถทำให้ผิวสวยงามได้	

2.1.1 ซีเมนต์พอร์ตแลนด์

ซีเมนต์พอร์ตแลนด์ เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญในทางวิศวกรรมศาสตร์ และเป็นส่วนผสมหลักในคอนกรีต โดยมีหลักฐานยืนยันว่าถูกใช้มาตั้งแต่สมัยโบราณ ซีเมนต์มีสมบัติที่สำคัญ คือ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดสารที่มีความสามารถในการจับยึดส่วนต่างๆ หรืออนุภาคที่เป็นของแข็ง (หิน และ ทราย) ให้รวมตัวกัน ซีเมนต์พอร์ตแลนด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ดซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ หินปูน และ ดินเหนียว ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,400 - 1,500 องศาเซลเซียส ส่วนประกอบของสารประกอบในซีเมนต์พอร์ตแลนด์โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ออกไซด์ของธาตุหลักในปูนเม็ดซีเมนต์พอร์ตแลนด์ (วินิต ช่อวิเชียร, 2539)

สารประกอบออกไซด์	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	60 - 65	20 - 24	4 - 8	2 - 5

ในระหว่างขั้นตอนการเผาวัตถุดิบของการผลิตซีเมนต์ สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน อะลูมิเนียม และเหล็ก จะทำปฏิกิริยาเคมีรวมตัวกันได้สารประกอบที่สำคัญ 4 ชนิด ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต ไดแคลเซียมซิลิเกต ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต และเตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ ซึ่งมีชื่อเรียกย่อๆ ว่า C₃S C₂S C₃A และ C₄AF ตามลำดับ

ประเภทของซีเมนต์พอร์ตแลนด์

ซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เรียกว่า Normal portland cement หรือ Ordinary portland cement เพราะซีเมนต์ชนิดนี้ถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐาน เพื่อจะได้ทราบความแตกต่างของซีเมนต์ชนิดต่างๆ ที่ผลิตขึ้นมาภายหลัง เป็นที่ยอมรับกันว่าซีเมนต์ชนิดนี้ เหมาะที่จะนำมาใช้ในงานก่อสร้าง ซีเมนต์ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ซีเมนต์ตราช้าง ซีเมนต์ตราเพชร ซีเมนต์พญานาคเศียรเดียวสีเขียว และซีเมนต์ตราดอกจิก

ซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 2 เรียกว่า Modified portland cement เป็นซีเมนต์ที่มีความต้านทานพวกเกลือซัลเฟตมากกว่าประเภทที่ 1 จึงนำมาใช้กับการสร้างคลองส่งน้ำได้ และมีความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (Heat of hydration) ต่ำโดยอัตราการเพิ่มขึ้นช้ากว่าประเภทที่ 1 ซีเมนต์ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ซีเมนต์ตราพญานาค 7 เศียร

ซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 High-early strength portland cement เป็นซีเมนต์ที่ให้กำลังได้รวดเร็วในเวลาอันสั้น คอนกรีตที่ผสมด้วยซีเมนต์ชนิดนี้ที่เวลา 24 ชั่วโมง จะมีความแข็งแรงเท่ากับคอนกรีตที่ผสมด้วยซีเมนต์ประเภทที่ 1 อายุถึง 3 วัน และเท่ากับงานที่ผสมด้วยซีเมนต์ประเภทที่ 2 อายุ 28 วัน เหมาะที่จะนำมาใช้ในช่วงสภาพอากาศหนาวได้เป็น

อย่างดี ซีเมนต์ที่จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกันนี้ ได้แก่ ซีเมนต์ตราเอราวัณ ซีเมนต์ตราสามเพชร และซีเมนต์ตราพญานาคเศียรเดียวสีแดง

ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 4 Low-heat portland cement เป็นซีเมนต์ชนิดพิเศษที่ใช้กับงานที่ต้องการให้อัตราความร้อนที่เกิดขึ้นต่ำ โดยกำลังจะพัฒนาขึ้นอย่างช้าๆ มีประโยชน์อย่างมากเมื่อเลือกใช้กับงานการสร้างเขื่อนที่มีขนาดใหญ่

ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 Sulfate-resistant portland cement เป็นซีเมนต์ที่ตั้งใจผลิตขึ้นเพื่อใช้ในงานโครงสร้างที่ต้องอยู่กับสารจำพวกเกลือ เช่น การแช่อยู่ในน้ำหรือจำเป็นต้องสร้างในบริเวณใกล้ทะเล ซีเมนต์ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ซีเมนต์ตราฉลาม

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยทั่วไปประกอบด้วยสารประกอบดังนี้

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate)

มีชื่อย่อว่า C_3S ($3CaO \cdot SiO_2$) ลักษณะเป็นผลึก 6 เหลี่ยม สีเทาเข้ม สมบัติโดยทั่วไปเหมือนกับสมบัติของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อผสมกับน้ำแล้วจะแข็งตัวภายในเวลา 2 - 3 ชั่วโมง ดังนั้นกำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในระยะเริ่มแรก และมีอยู่ในซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประมาณ 35 - 55 เปอร์เซ็นต์

2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate)

มีชื่อย่อว่า C_2S ($2CaO \cdot SiO_2$) ลักษณะกลม มีหลายรูปแบบ แต่มีเพียง βC_2S เท่านั้นที่คงตัวในอุณหภูมิทั่วไป สารประกอบดังกล่าวนี้มีสมบัติยึดเกาะดี และเมื่อแข็งตัวแล้วจะพัฒนากำลังรับแรงอัดขึ้นอย่างช้าๆ แต่ในระยะยาวจะสามารถพัฒนากำลังรับแรงอัดได้ใกล้เคียงกับ C_3S มีปริมาณประมาณ 15 - 35 เปอร์เซ็นต์

3. ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (Tricalcium aluminate)

มีชื่อย่อว่า C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$) เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม สีเทาอ่อน ทำปฏิกิริยากับน้ำทันที ให้ความร้อนสูง กำลังรับแรงอัดของสารประกอบนี้จะพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 1 - 2 วัน แต่ค่อนข้างต่ำ มีอยู่ในซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประมาณ 7 - 15 เปอร์เซ็นต์

4. เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (Tetracalcium aluminoferrite)

ชื่อย่อว่า C_4AF ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) เป็นสารประกอบที่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้รวดเร็วมาก และก่อตัวภายในเวลาเพียงไม่กี่นาที แต่กำลังรับแรงอัดค่อนข้างต่ำ มีอยู่ในซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประมาณ 5 - 10 เปอร์เซ็นต์

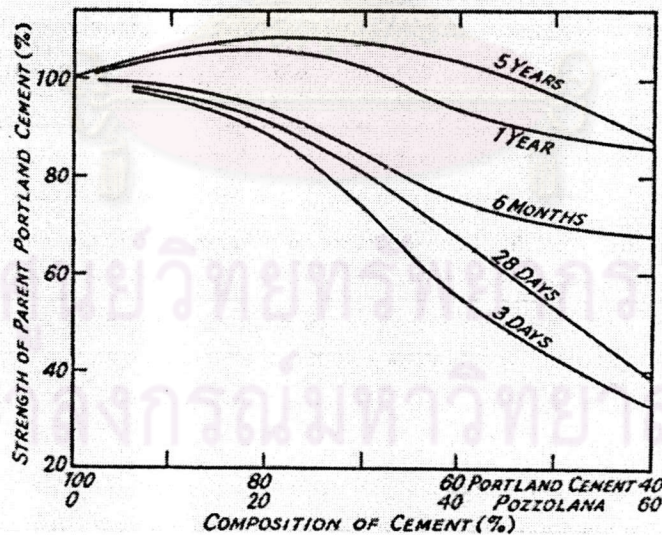
อุดม หงษ์ประธานพร (2533) อ้างว่า ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะมีสารประกอบไตรแคลเซียมซิลิเกตและไดแคลเซียมซิลิเกตรวมกันอยู่ประมาณ 70 - 80 เปอร์เซ็นต์ โดยประมาณ และเป็นสารประกอบสำคัญที่ควบคุมความแข็งแรงของซีเมนต์ เพราะฉะนั้นจึงได้ทำ

การวิเคราะห์โดยใช้ X-ray diffraction spectrometer เพื่อศึกษาสารประกอบไตรแคลเซียมซิลิเกต ไดแคลเซียมซิลิเกต และตัวประสาน (C-S-H) ซึ่งเป็นตัวก่อการประสาน และช่วยในการรับกำลังของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หลังการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

2.1.2 วัสดุปอซโซลานและคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลาน

ในระยะแรกนั้นวัสดุปอซโซลานถูกใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติการทนทานต่อสารเคมีในซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์ หรือคอนกรีตให้ดีขึ้น เนื่องจากวัสดุดังกล่าวสามารถทำปฏิกิริยากับปูนขาว หรือสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์

Lea (1970) กล่าวว่า การแทนที่ซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลานจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดในช่วงแรกของตัวอย่างลดลง แต่ค่ากำลังรับแรงอัดช่วงปลายอาจเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดสัมพัทธ์ของตัวอย่างที่แทนที่ซีเมนต์ด้วย Burnt shale ในสัดส่วนและระยะเวลาบ่มต่างๆ กัน ดังนั้นการพิจารณาลักษณะสมบัติของวัสดุปอซโซลานนั้นควรพิจารณาที่ระยะยาว เนื่องจากค่ากำลังรับแรงอัดในช่วงแรกส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบในซีเมนต์ไม่ใช่วัสดุปอซโซลาน คอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานต้องการระยะเวลาบ่มที่ยาวนานกว่าคอนกรีตธรรมดาทั่วไป เพื่อให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบ่มในน้ำหรือสภาพชื้น จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าการบ่มในอากาศธรรมดา



รูปที่ 2.1 ผลกระทบเนื่องจากการแทนที่ซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลานต่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมด้วยอัตราส่วน 1 : 2 : 4 : 0.6 และบ่มในน้ำที่อุณหภูมิ 18 องศาเซลเซียส (Lea, 1970)

เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ คอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานจะให้ค่าการยุบตัวต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา ยกเว้นคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่มีองค์ประกอบของ

คาร์บอนต่ำแต่มีความละเอียดของอนุภาคสูง จะทำให้ความต้องการน้ำเพื่อคงความสามารถในการทำงานได้ลดลง ดังนั้นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ คอนกรีตผสมเถ้าลอยจะให้ค่าการยุบตัวสูงกว่า แต่ถ้าพิจารณาที่ค่าการยุบตัวเดียวกัน สมบัติโดยทั่วไปของคอนกรีตสด เช่น ความยืดหยุ่น (Plasticity) การแยกตัว (Segregation) และการเยิ้ม (Bleeding) จะมีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน ในขณะที่ความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตสดอาจแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เดียวกัน

ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะลดลงเมื่อเติมวัสดุปอซโซลาน โดยจากการคำนวณอย่างคร่าวๆ Lea (1970) พบว่า เปรอร์เซ็นต์ความร้อนที่ลดลงในช่วงระยะเวลา 7 - 28 วัน มีค่าประมาณ 1.5 เท่าของเปรอร์เซ็นต์การแทนที่ซีเมนต์โดยวัสดุแต่ละชนิดจะให้ค่าที่แตกต่างกัน

การแทนที่ซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลานในคอนกรีต แทบไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการซึมน้ำของตัวอย่าง อีกทั้งยังอาจเป็นการปรับปรุงสมบัติดังกล่าวให้กับคอนกรีตในระยะยาวถ้ามีการบ่มอย่างต่อเนื่องในสภาพชื้น

ข้อกำหนดของวัสดุปอซโซลานและปอซโซลานซีเมนต์

การทดสอบความเป็นวัสดุปอซโซลานค่อนข้างซับซ้อน เพราะตัววัสดุเองไม่มีสมบัติเป็นตัวประสาน แต่จะแสดงสมบัติดังกล่าวเมื่อเกิดการทำปฏิกิริยากับปูนขาวหรือด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ประกอบกับสมบัติที่สำคัญส่วนใหญ่ เช่น ค่ากำลังรับแรงอัด ที่เกิดจากการแทนที่ซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลานนั้นจะเกิดขึ้นในระยะยาว ดังนั้นในบางประเทศ รวมถึงประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดสมบัติของวัสดุปอซโซลานจากองค์ประกอบทางเคมี โดยวัสดุปอซโซลานต้องมีสัดส่วนโดยรวมสารประกอบออกไซด์ของ ซิลิกอน อะลูมิเนียม และเหล็ก ไม่น้อยกว่า 70 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (ASTM C618-96) แต่ในประเทศญี่ปุ่นกลับใช้เพียง SiO_2 เป็นตัวกำหนดความเป็นวัสดุปอซโซลาน โดยต้องมีปริมาณของสารประกอบดังกล่าวไม่น้อยกว่า 60 เปรอร์เซ็นต์ ข้อกำหนดขีดจำกัดความเป็นวัสดุปอซโซลานด้วยองค์ประกอบทางเคมีไม่มีปรากฏในมาตรฐานของกลุ่มประเทศยุโรป ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า ข้อกำหนดความเป็นวัสดุปอซโซลานต่างๆ ที่ระบุด้วยองค์ประกอบทางเคมีอาจไม่มีความจำเป็นสำหรับการใช้งานจริง (Lea, 1970)

ปริมาณซัลเฟตที่มีในวัสดุปอซโซลานถูกกำหนดตรงกัน ไม่ว่าจะ เป็นมาตรฐานของประเทศอังกฤษ หรือมาตรฐาน ASTM ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งต้องมีค่าไม่มากกว่า 5 เปรอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และมาตรฐานของประเทศอังกฤษยังกำหนดอีกว่า ปริมาณ MgO ต้องมีค่าไม่มากกว่า 4 เปรอร์เซ็นต์

ในหลายๆ ประเทศไม่มีการกำหนดมาตรฐานความเป็นวัสดุปอซโซลาน แต่กำหนดในรูปของปอซโซลานซีเมนต์แทน ประเทศอิตาลีที่มีประวัติการใช้วัสดุปอซโซลานมาอย่างยาวนาน ไม่มีการกำหนดอัตราส่วนการแทนที่ซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลานที่แน่นอน โดยในหลายๆ ประเทศกำหนดให้แทนที่ได้ในช่วงตั้งแต่ 15 ถึง 50 เปรอร์เซ็นต์ ขณะที่ประเทศ

สหรัฐอเมริกาและเยอรมันกำหนดให้สามารถแทนที่ได้ตั้งแต่ 15 ถึง 40 และ 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

2.1.3 ปฏิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

ปฏิริยาไฮเดรชัน (Hydration reaction)

ปฏิริยาไฮเดรชัน เป็นปฏิริยาเคมีที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำปฏิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ทำให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัวเป็นคอนกรีตแข็ง ปฏิริยาจะขึ้นกับสารประกอบในซีเมนต์ตั้งได้กล่าวข้างต้น ซึ่งทำปฏิริยากันและเปลี่ยนเป็นวัสดุประสาน ผลผลิตของปฏิริยาไฮเดรชันมีชื่อเรียกรวมๆ ว่า ซีเมนต์เจล หรือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Cement gel หรือ C-S-H gel) ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำมากและแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซีเมนต์เจลจะมีลักษณะโครงสร้างไม่สม่ำเสมอและมีรูพรุน องค์ประกอบขึ้นกับอายุ อุณหภูมิ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2539) ปฏิริยาไฮเดรชันจะเกิดได้มากขึ้นถ้าเพิ่มเวลาในการบ่มให้มากขึ้น โดยสามารถเกิดขึ้นใน 2 ลักษณะ คือ การอาศัยสารละลาย เมื่อซีเมนต์ละลายในน้ำจะก่อให้เกิดไอออนในสารละลาย และไอออนเหล่านี้จะผสมกันทำให้เกิดสารประกอบใหม่ หรือ เกิดจากปฏิริยาโดยตรงที่ผิวของแข็ง โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารละลาย เรียกว่า Solid state reaction ปฏิริยาไฮเดรชันจะเกิดขึ้นทั้ง 2 ลักษณะ โดยช่วงแรกจะอาศัยสารละลาย แต่ในช่วงต่อๆ ไปจะเกิดปฏิริยาระหว่างของแข็ง

ปฏิริยาไฮเดรชันเป็นดังสมการต่อไปนี้



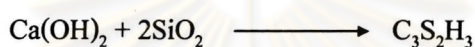
สมการสตอยชิโอเมตริกที่แสดงไม่ใช่สูตรที่แน่นอน ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิการก่อตัว เป็นต้น

จากปฏิริยาไฮเดรชันข้างต้นจะเห็นได้ว่า ความเป็นด่างที่เกิดขึ้นนั้นอยู่ในรูปแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นตัวแสดงความจุบัฟเฟอร์ (Buffering capacity) ของซีเมนต์ โดยเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมสูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอชสูงกว่า 11 ผลึกแคลเซียมที่ไม่ละลายจะรวมตัวเกิดเป็นโครงสร้างซีเมนต์ ในซีเมนต์เจล (Cement gel) จะมีช่องว่างเล็กเกิดขึ้นโดยคิดเป็นค่าความพรุนได้ประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในช่องว่างเหล่านี้เป็นที่อยู่ของน้ำ ปริมาตรของช่องว่างเหล่านี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ และปฏิริยาไฮเดรชัน

* สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$: $C_3S_2H_3$)

ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction)

วัสดุปอซโซลาน หมายถึง วัสดุซึ่งไม่มีความสามารถเป็นวัสดุประสาน แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายต่าง เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะก่อตัวเป็นวัสดุประสาน สารประกอบหลักที่มีในวัสดุปอซโซลาน คือ SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ CaO โดยผลรวมของสารประกอบออกไซด์ของ ซิลิกอน อะลูมิเนียม และเหล็ก ต้องมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ (ASTM C618-32T อ้างถึงใน วราภรณ์ กิจชัยนุกูล, ศศิธร พุทธวงษ์ และภาวิณี ชัยประเสริฐ, 2542) วัสดุปอซโซลานในซีเมนต์เพสต์จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต เช่นเดียวกับปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมซิลิเกตและไดแคลเซียมซิลิเกต ที่มีสมบัติเป็นสารเชื่อมเกาะและจะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนถึงขีดจำกัดหนึ่ง ปฏิกิริยาปอซโซลานสามารถแสดงได้ดังนี้



สมการสโตยชิโอเมตริกที่แสดง ไม่ใช่สูตรที่แน่นอน ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิการก่อตัว เป็นต้น

2.1.4 น้ำ

น้ำสำหรับผสมคอนกรีตมีหน้าที่หลักคือ ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อให้เกิดการจับตัวแน่นกับวัสดุผสมทำให้เกิดการเกาะตัวเป็นก้อนวัสดุที่แข็ง ช่วยเคลือบผิววัสดุผสมให้เปียกเพื่อการยึดจับกับซีเมนต์เพสต์ได้ดี และยังช่วยทำให้ส่วนผสมมีความชื้น มีความชื้นเหลือพอที่สามารถทำงานได้อย่างสะดวก และหล่อเข้าแบบได้ตามต้องการ ดังนั้นคุณภาพและปริมาณน้ำจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต น้ำที่นำมาผสมในคอนกรีตจะต้องเป็นน้ำสะอาด ไม่มีน้ำมัน กรด ค่าง สารอินทรีย์ และต้องมีความชื้นไม่เกิน 2,000 ส่วนในล้านส่วน ที่จะส่งผลต่อคุณภาพของคอนกรีตที่ผลิตได้ เช่นระยะเวลาในการแข็งตัว ค่ากำลังรับแรงอัด หรือทำให้คอนกรีตมีสีผิวที่ไม่สม่ำเสมอ

ตะกอนที่ทำให้เกิดความชื้นเกินค่ามาตรฐาน อาจทำให้ต้องใช้น้ำปริมาณมากกว่าปกติ เกิดการหดตัวของคอนกรีตเพิ่มมากขึ้น หรือในบางครั้งอาจทำให้เกิดคราบเกลือที่ผิวคอนกรีต (Efflorescence) น้ำตาล ในเตรต กรดแทนนิก และสารอินทรีย์ในน้ำ ทำให้คอนกรีตแข็งตัวช้า ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ช้าลง และค่ากำลังรับแรงอัดลดลง อีกทั้งยังอาจทำให้เกิดฟองอากาศปริมาณมากจนกระทบต่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ในขณะที่คาร์บอนเนตและไบคาร์บอนเนต ทำให้คอนกรีตแข็งตัวเร็วเกินไป คอนกรีตที่ได้จึงกำลังต่ำ น้ำที่มีซัลเฟตปนอยู่เพียงปริมาณเล็กน้อย สามารถทำให้คอนกรีตกำลังลดลงได้เช่นกัน (ประณต กุลประสูตร, 2541) ปริมาณซัลเฟตที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต แสดงดังตารางที่ 2.3 โดยทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วันลดลง แต่อาจส่งผลให้การก่อตัวและแข็งตัวของคอนกรีตเร็วขึ้น

เนื่องจากเกลือของซัลเฟตจะทำให้การตกผลึกของเอตทริ่งใจท์ซัลลง ซัซวาล เศรษฐบุศร (2539) กล่าวว่าสารละลายเกลืออนินทรีย์บางชนิด อาจทำให้การก่อตัวและแข็งตัวของซัลลง เช่น เกลือของ สังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แมงกานีส และดีบุก เช่นเดียวกับฟอสเฟต อาร์ซีเนตและบอเรต โดยอนุโลม ให้นำมีระดับความเข้มข้นของสารเหล่านี้ได้ไม่เกิน 500 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งสารละลายดังกล่าวพบ มากในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่ได้ผ่านระบบบำบัด หรือน้ำที่ซึมออกมาจากเหมืองแร่

ตารางที่ 2.3 กำลังของคอนกรีตที่ลดลงเนื่องจากซัลเฟตที่ปนอยู่ในน้ำ (ประณต กุลประสูตร, 2541)

ปริมาณซัลเฟตในน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	กำลังของคอนกรีตที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
0.5	4
1.0	10
มากกว่า 10	ไม่ควรใช้ในการผสมคอนกรีตเนื่องจากทำให้ กำลังลดลงอย่างมาก

น้ำที่มีความเป็นกรดหรือด่างเพียงเล็กน้อย อาจไม่ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับ คอนกรีต ขณะที่น้ำที่มีปริมาณโซเดียมหรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์เกิน 500 ส่วนในล้านส่วน อาจทำให้เกิดการก่อตัวเร็วและค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลง

คอนกรีตต้องการน้ำจำนวนเพียงให้สามารถหล่อเข้าแบบหล่อได้ แต่ การใส่น้ำปริมาณมากเกินไปอาจทำให้คอนกรีตมีสภาพเหลว ซึ่งอาจมีความสะดวกต่อการเทแต่ค่า กำลังรับแรงอัดที่ได้จะมีค่าต่ำลง จากตารางที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดเป็นสัดส่วนผกผัน กับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

น้ำสำหรับการบ่มเป็นน้ำที่คอนกรีตต้องการในขณะที่แข็งตัวแล้ว ต้อง เป็นน้ำสะอาด เพื่อป้องกันผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีต และรอยเปื้อนที่ผิวอันเกิดจากการใช้น้ำ สกปรกบ่มคอนกรีต ส่วนน้ำสำหรับการใช้ล้างวัสดุนั้น ไม่จำเป็นต้องสะอาดเหมือนกับน้ำสำหรับ ส่วนผสมและบ่ม แต่ก็ควรเป็นน้ำที่สะอาดพอควร ไม่มีฝุ่น เกลือ หรือสารอินทรีย์ ปนอยู่ เพราะอาจ เกลือบผิววัสดุผสมและทำให้คอนกรีตที่ได้กำลังอัดลดลงหรือแข็งตัวช้า

2.1.5 วัสดุผสม (Aggregates)

วัสดุผสม หรือบางครั้งเรียกว่า มวลรวม เป็นวัสดุเนื้อที่สำคัญสำหรับการ ผลิตคอนกรีต โดยจะแทรกประสานกระจายตัวอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์ มีปริมาตรเป็น 70 - 80 เปอร์เซ็นต์ ของส่วนผสมทั้งหมด วัสดุผสมโดยทั่วไปได้แก่ หินย่อย กรวด และทรายหยาบ ซึ่งเมื่อผสมกับ ซีเมนต์แล้วทำให้คอนกรีตมีความคงทน ความแข็งแรง (Durability) เพราะวัสดุผสมโดยทั่วไปใน ธรรมชาติสามารถรับกำลังอัดได้ดีกว่าคอนกรีต (วัสดุผสมทั่วไปสามารถรับแรงกดได้ 700 - 3,500

กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ปริมาตรของคอนกรีตไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก (Volume stability) และที่สำคัญยังช่วยให้คอนกรีตมีราคาที่ถูกกลง กำลังและสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสมหลายอย่าง มีผลต่อสมบัติของคอนกรีตทั้งในสภาพเหลวและแข็งตัวแล้ว ดังนั้นการเลือกวัสดุผสมที่เหมาะสม ไม่เพียงเป็นการประหยัด ยังเท่ากับเป็นการช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นด้วย วัสดุผสมที่ใช้ในงานคอนกรีตสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทตามขนาด คือ

2.1.5.1 วัสดุผสมละเอียด (Fine aggregates) เป็นวัสดุที่ส่วนใหญ่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 (4.76 มิลลิเมตร) ได้ แต่ต้องไม่เล็กจนเป็นฝุ่น (0.07 มิลลิเมตร) หรือผ่านตะแกรงเบอร์ 200 วัสดุผสมละเอียดที่นิยมใช้คือ ทรายธรรมชาติ และควรเป็นทรายน้ำจืดที่สะอาด มีเหลี่ยมคม และขนาดของเม็ดสม่ำเสมอ

2.1.5.2 วัสดุผสมหยาบ (Coarse aggregates) คือ วัสดุส่วนใหญ่ที่ค้างบนตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 อาจมีบางส่วนที่ละเอียดปนอยู่บ้างแต่ต้องไม่เกินปริมาณที่มาตรฐานกำหนด วัสดุผสมหยาบได้แก่ หินย่อย หรือ กรวด หินที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตต้องมีเหลี่ยมมุมแข็ง ผิวขรุขระ ยึดหดตัวต่ำ และทนทานต่อการสึกหรอได้ดี และมีสัดส่วนละเอียดที่เหมาะสม ขนาดของหินโดยทั่วไปที่ใช้กันจะอยู่ในช่วง 4.76 - 76.20 มิลลิเมตร (3/16 - 3 นิ้ว) โดยสามารถแบ่งออกเป็นหินย่อยเบอร์ 1 ซึ่งมีขนาด 4.76 - 19.05 มิลลิเมตร (3/16 - 3/4 นิ้ว) หินย่อยเบอร์ 2 มีขนาด 19.05 - 38.10 มิลลิเมตร (3/4 - 1½ นิ้ว) และหินย่อยเบอร์ 3 ที่มีขนาดตั้งแต่ 38.10 - 76.20 มิลลิเมตร (1½ - 3 นิ้ว) วัสดุผสมต้องมีรูพรุนพอที่จะสามารถดูดซับน้ำและเป็นที่สำหรับการขยายตัวของน้ำ เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต

ตารางที่ 2.4 ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน สำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างๆ (ประณต กุลประสูตร, 2541)

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	ค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
0.35	500	420
0.40	450	380
0.45	410	340
0.50	350	280
0.55	320	250
0.60	280	210
0.65	250	190
0.70	210	170

2.1.5.3 ส่วนคละของวัสดุผสม (Gradation) ส่วนคละมีผลอย่างมากต่อความสามารถทำงานได้ และปริมาณซีเมนต์ แต่ละก้อนหรืออนุภาคของวัสดุผสมจะต้องถูกห่อหุ้มด้วยซีเมนต์เพสต์ ไม่ว่าวัสดุผสมนั้นจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ นอกจากนี้วัสดุผสมหยาบและละเอียดจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมเมื่อผสมรวมกัน เพื่อให้วัสดุผสมขนาดเล็กสามารถแทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่างของวัสดุผสมที่ใหญ่กว่าให้มากที่สุด ซึ่งมีผลทำให้ประหยัดซีเมนต์เพสต์ที่จะยึดวัสดุผสมเข้าไว้ด้วยกัน และลดช่องว่างระหว่างวัสดุผสม ประณต กุลประสูตร (2541) กล่าวว่า ส่วนคละของวัสดุผสมมีผลต่อเนื้อและคุณภาพคอนกรีต ปกติอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบกำหนดโดยให้ปริมาตรของวัสดุผสมละเอียดมากกว่าปริมาตรช่องว่างในวัสดุผสมหยาบประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ช่องว่างระหว่างวัสดุหยาบอาจมีมากถึง 45 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรวัสดุหยาบแห้ง ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงมักจะมีการกำหนดปริมาตรของวัสดุผสมละเอียดให้เท่ากับประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาตรของวัสดุผสมหยาบที่แห้ง แต่เพื่อให้ส่วนผสมของคอนกรีตง่ายต่อการเท จึงได้มีการกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบไว้ โดยอยู่ระหว่าง 1 : 1½ ถึง 1 : 2½ อัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 อัตราส่วนผสมโดยปริมาตรระหว่างวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบ
(ประณต กุลประสูตร, 2541)

ขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ		อัตราส่วนของวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบ	
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
3/8 นิ้ว	หินเกล็ด	0.55	0.70
3/4 นิ้ว	หิน 1	0.40	0.60
1 นิ้ว หรือมากกว่า	หิน 2	0.30	0.50

2.1.6 ความสามารถทำงานได้ (Workability)

ความสามารถทำงานได้เป็นสมบัติประการหนึ่งของคอนกรีตสด ซึ่งมี ความสำคัญมาก ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร (2539) ได้ให้เหตุผลว่าสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว เช่น ค่ากำลังรับแรงอัด การคงตัว ความทนทาน และการซึมผ่านของน้ำ เป็นผลมาจากการอัดแน่น และการทำให้คอนกรีตอัดแน่น รวมไปถึงการขนส่ง การเทลงแบบ และการแต่งผิวหน้าโดยไม่มีการแยกตัว (Segregation) ซึ่งล้วนแต่เป็นผลมาจาก ความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตสดทั้งสิ้น

โดยนิยามแล้วความสามารถทำงานได้ คือ ปริมาณงานที่ใช้ในการอัดคอนกรีตให้แน่นโดยปราศจากการแยกตัว หรือ ผลรวมของพลังงานที่จะเอาชนะแรงเสียดทาน

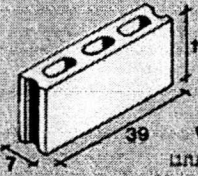
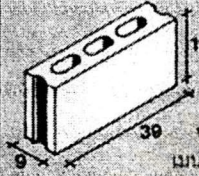
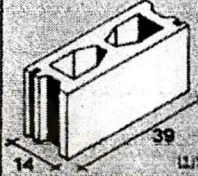
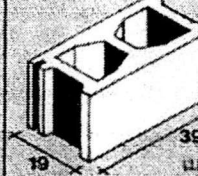
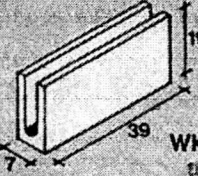
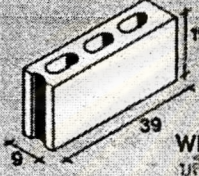
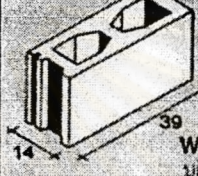
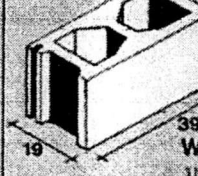
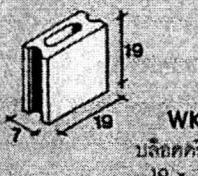
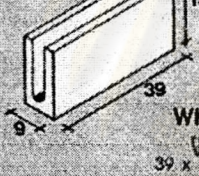
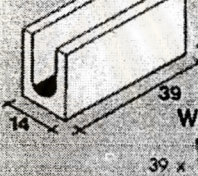
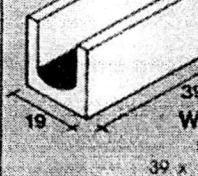
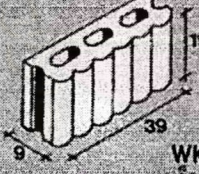
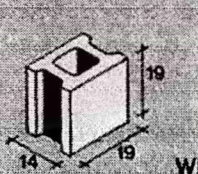
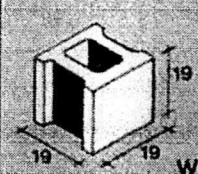
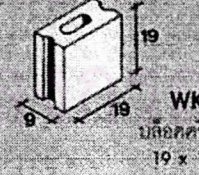
ระหว่างอนุภาค ที่จะก่อให้เกิดการอัดแน่นของคอนกรีตอย่างสมบูรณ์ (ัชชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2539) แต่ในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะสามารถวัดค่าความสามารถทำงานได้ของคอนกรีต ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะแปรผันกับปริมาณช่องว่างที่แทรกอยู่ระหว่างเนื้อคอนกรีต โดยช่องว่างนี้จะทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นน้อยลง และส่งผลถึงค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตอย่างมาก ช่องว่างที่เกิดขึ้นเพียง 5 เปอร์เซ็นต์ สามารถทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงได้ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ช่องว่างที่อยู่ในเนื้อคอนกรีตสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ช่องว่างที่เกิดจากการจีเขย่าไม่ดี (Entrapped air) และ ที่เกิดจากน้ำส่วนเกิน (Excess water) ที่ระเหยออกไป การลดช่องว่างทำได้โดยเลือกใช้ส่วนผสมที่มีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ วัสดุผสมที่มีส่วนคละดี และที่สำคัญต้องมีการจีเขย่าคอนกรีตอย่างถูกต้องและเพียงพอ

การเพิ่มปริมาณของน้ำในส่วนผสมทำให้เกิดการหล่อนระหว่างอนุภาคมากขึ้น แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อคอนกรีตที่แข็งตัวมากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงควรหาปริมาณน้ำที่เหมาะสม หินและทรายที่มีส่วนคละดีสามารถทำให้คอนกรีตมีความสามารถทำงานได้เพิ่มขึ้น หินที่มีลักษณะกลม ผิวเกลี้ยงสามารถลื่นไหลดีกว่าหินที่แบนและผิวขรุขระ ความพรุนของวัสดุผสมก็เป็นส่วนสำคัญ การดูดซึมน้ำที่สูงเกินไปอาจทำให้ความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตลดลง ถ้าพิจารณาที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ ความสามารถทำงานได้มีค่าเพิ่มขึ้นถ้าอัตราส่วนวัสดุผสมต่อซีเมนต์มีค่าลดลง และการใช้ทรายในส่วนผสมมากเกินไปอาจทำให้การทำงานง่ายขึ้น แต่ก็เป็นกรลั่นเปลืองปริมาณซีเมนต์ ถ้าคงค่ากำลังรับแรงอัดไว้เท่าเดิม (ัชชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2539)

Rusch (1960) (อ้างถึงโดย Nilson, 1997) กล่าวว่า ปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันขึ้นอย่างสมบูรณ์นั้นมีค่าประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของซีเมนต์ แต่ในทางปฏิบัติจำเป็นต้องเติมน้ำมากขึ้นกว่าสัดส่วนดังกล่าว เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ (Mobility) ของน้ำในซีเมนต์เพสต์ระหว่างการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และเพิ่มความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตสด ดังนั้นโดยทั่วไปแล้วอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้สำหรับการผสมคอนกรีตจะอยู่ในช่วง 0.4 ถึง 0.6

2.2 คอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อก เป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ถูกนิยมนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยใช้ก่อเป็นผนังกันหรือกำแพงทั้งภายในและภายนอกของอาคาร หรือปูเป็นพื้นทางเท้า ถนนเป็นต้น ด้วยสมบัติในการทนไฟและระบายความร้อนได้ดี น้ำหนักเบา แข็งแรงทนทาน ขนาดและคุณภาพได้ตามมาตรฐาน ทำให้คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุที่มีประโยชน์อย่างมากต่องานก่อสร้างคอนกรีตบล็อกที่ดีต้องมีสมบัติได้มาตรฐานที่กำหนดโดย สมาคมทดสอบวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา

คอนกรีตบล็อกมาตรฐาน แบบและขนาดต่าง ๆ			
Size 3ins Block บล็อกขนาด 3 นิ้ว	Size 4ins Block บล็อกขนาด 4 นิ้ว	Size 6ins Block บล็อกขนาด 6 นิ้ว	Size 8ins Block บล็อกขนาด 8 นิ้ว
 <p>WK 3 แบบ-บล็อก 39 x 19 x 7 wt. 7.6 kg</p>	 <p>WK 4 แบบ-บล็อก 39 x 19 x 9 wt. 8.5 kg</p>	 <p>WK 6 แบบ-บล็อก 39 x 19 x 14 wt. 13.0 kg</p>	 <p>WK 8 แบบ-บล็อก 39 x 19 x 19 wt. 18.3 kg</p>
 <p>WK 3-1 รู-บล็อก 39 x 19 x 7 wt. 7.5 kg</p>	 <p>WK 4-1 บล็อก-นม 39 x 19 x 9 wt. 9.0 kg</p>	 <p>WK 6-1 บล็อก-นม 39 x 19 x 14 wt. 13.0 kg</p>	 <p>WK 8-1 บล็อก-นม 39 x 19 x 19 wt. 19.0 kg</p>
 <p>WK 3-2 บล็อกครึ่งก้อน 19 x 19 x 7 wt. 4.0 kg</p>	 <p>WK 4-2 รู-บล็อก 39 x 19 x 9 wt. 9.4 kg</p>	 <p>WK 6-2 รู-บล็อก 39 x 19 x 14 wt. 13.0 kg</p>	 <p>WK 8-2 รู-บล็อก 39 x 19 x 19 wt. 19.3 kg</p>
	 <p>WK 4-3 บล็อก-ก้อน 39 x 19 x 9 wt. 8.4 kg</p>	 <p>WK 6-3 บล็อกครึ่งก้อน 19 x 19 x 14 wt. 6.0 kg</p>	 <p>WK 8-3 บล็อกครึ่งก้อน 19 x 19 x 19 wt. 8.0 kg</p>
	 <p>WK 4-4 บล็อกครึ่งก้อน 19 x 19 x 9 wt. 4.5 kg</p>		

รูปที่ 2.2 คอนกรีตบล็อกก่อผนังแบบกลวงมาตรฐาน แบบและขนาดต่างๆ
ที่มา: แผ่นพับห้างหุ้นส่วนจำกัดดวงกลม

ก. ขอบคันหินซีแพค สำหรับก่อสร้างขอบคันทางเดินหรือขอบของถนนที่ปูด้วยบล็อกชนิดนี้ ให้มีความเรียบร้อยสวยงาม

ง. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรูปตัว "ไอ" เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการปูซ้อนเพื่อทำพื้นถนน

รายละเอียดของบล็อกแต่ละชนิดให้ดูจากรูปที่ 2.3 ประกอบ
ข้อพิจารณาในการเลือกใช้

ก. ปูง่ายสะดวกรวดเร็ว เสร็จแล้วใช้งานได้ทันที คอนกรีตบล็อกปูถนน ออกแบบมาให้สามารถล็อกกันได้ในตัว

ข. สะดวกและง่ายในการซ่อมบำรุง ด้วยเหตุที่มีรูปลักษณะเป็นก้อนต่อเนื่องกัน คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจึงไม่มีการแตกหักเป็นรอยร้าวเหมือนพื้นคอนกรีตทั่วไป แต่ในกรณีที่ต้องเปลี่ยนหรือซ่อมก็สามารถถอดเปลี่ยนได้เฉพาะก้อน

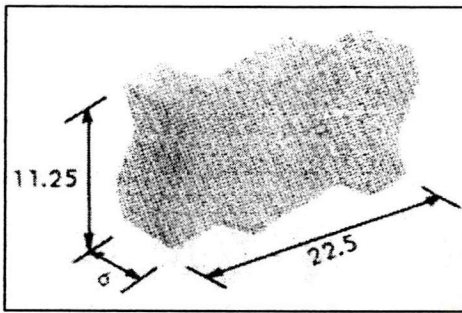
2.2.3 เกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

ก. มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรม ให้เป็นไปตามตารางที่ 2.6 แต่มาตรฐาน ASTM C936-82 ได้กำหนดมิติอย่างกว้างๆ โดยคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแต่ละก้อนต้องมีความกว้าง และความยาวไม่เกิน 140 และ 240 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความหนาต้องไม่มากกว่า 140 มิลลิเมตร เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความกว้างและความยาวกำหนดโดย ASTM C936-82 มีค่า ± 1.6 มิลลิเมตร ขณะที่ความคลาดเคลื่อนของความหนามีค่าเท่ากันหมด คือ ± 3.2 มิลลิเมตร โดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C140-96

ตารางที่ 2.6 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

(กระทรวงอุตสาหกรรม, 2532)

มิติ	เกณฑ์ที่กำหนด (มิลลิเมตร)	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)
ความกว้างและความยาว	ไม่เกิน 295	± 2
ความหนา	60	± 2
	80	± 2
	100	± 3
	120	± 3
ความหนาของชั้นผิวหน้า (เฉพาะชั้นผิวหน้าที่ทำเป็นสี)	ต่ำสุด 3	



บล็อกปูถนนซีแพค 6 ซม.

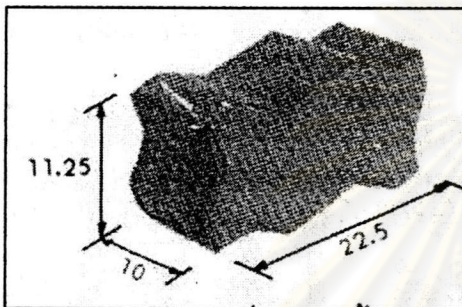
สำหรับงานปูทางเท้า จอครถนนภายในบ้าน

1 ตารางเมตร ใช้ 40 ก้อน

ความยาว 22.5 ซม.

ความกว้าง 11.25 ซม.

หนา 6 ซม.



บล็อกปูถนนซีแพค 10 ซม.

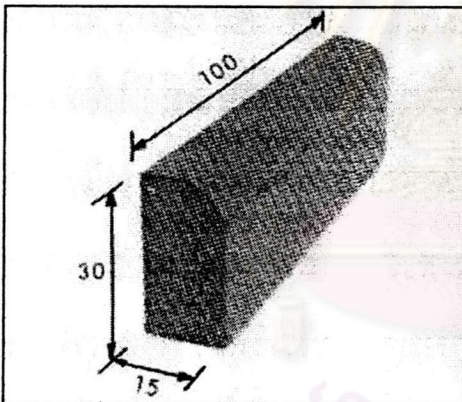
สำหรับใช้งานที่ต้องรับน้ำหนักสูง เช่น ลานจอครถนน
โรงงาน โกดังสินค้า ถนนสาธารณะ

1 ตารางเมตร ใช้ 40 ก้อน

ความยาว 22.5 ซม.

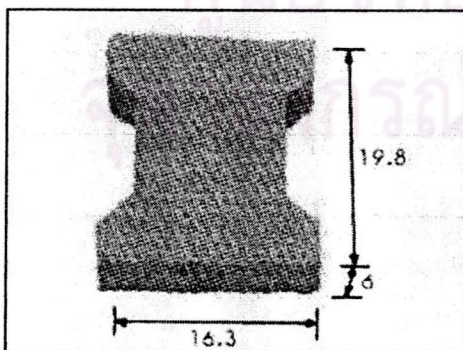
ความกว้าง 11.25 ซม.

หนา 10 ซม.



ขอบคันหินซีแพค

เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการสร้างถนน ซีแพคได้
ผลิตขอบคันหินสำเร็จรูป ขนาดกว้าง 15 ซม. สูง 30 ซม.
ยาว 1 เมตร เพื่อให้ทำขอบถนนต่างๆไป เหมาะสมมาก
สำหรับใช้ควบคู่ไปกับบล็อกปูถนนซีแพค สามารถทำ
การติดตั้งได้ง่ายเพียงแต่วางเรียงต่อกันเท่านั้น



บล็อกปูถนนรูปตัว "ไอ"

เป็นบล็อกปูถนนซีแพคแบบใหม่ มีลักษณะรูปตัวไอ

1 ตารางเมตร ใช้ 35 ก้อน

ความกว้าง 16.3 ซม.

ความยาว 19.8 ซม.

หนา 6 ซม.

น้ำหนัก 3.8 กิโลกรัม

รูปที่ 2.3 ลักษณะและขนาดของบล็อกประสานปูพื้นแต่ละชนิด (พิภพ สุนทรสมัย, 2530)

ข. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นต้องมีเนื้อแน่น ไม่ร้าวและสีของชั้นผิวหน้าต้องสม่ำเสมอ การทดสอบทำโดยการตรวจพินิจ

ค. ความได้ฉาก

- คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่มีเกณฑ์กำหนดของความหนาไม่เกิน 80 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากได้ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร

- คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่มีเกณฑ์กำหนดของความหนาเกิน 80 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

ง. ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแต่ละก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 35 เมกะปาสคาล และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 40 เมกะปาสคาล ขณะที่ ASTM C936-82 กำหนดให้แต่ละก้อนของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 50 เมกะปาสคาล โดยให้ค่าเฉลี่ยมากกว่า 55 เมกะปาสคาล ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C140-96

จ. ASTM C936 กำหนดให้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และวัสดุปอชโซลานที่ใช้ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน ASTM C150-95a และ C618-96 ตามลำดับ วัสดุผสมต้องได้มาตรฐานตามข้อกำหนด ASTM C33-93 ยกเว้นสัดส่วนคละที่ไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด โดยสามารถใช้ได้ทั้งวัสดุผสมธรรมดา หรือวัสดุผสมน้ำหนักเบา (Light weight aggregate) การดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกต้องไม่มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ โดยในแต่ละก้อนต้องมีค่าไม่มากกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ ทดสอบตามวิธีในมาตรฐาน ASTM C140-96

มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดให้ คอนกรีตบล็อกที่นำมาทดสอบต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 7 วัน

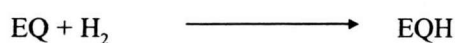
ชวลิต นิตยะ (2524) กล่าวว่า วิธีการในการสร้างคอนกรีตบล็อกที่ดี หลักใหญ่คือทำให้รับกำลังได้ดีที่สุดในขณะที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด และให้ใช้ซีเมนต์น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นเพื่อเป็นการลดค่าวัสดุ และการหัดตัวจะได้ลดน้อยลงด้วย

2.3 ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว (Spent silica-alumina)

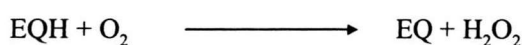
ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมที่ได้จากกระบวนการผลิตสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนทำปฏิกิริยากันโดยมีสาร Working solution (EQ) ซึ่งเป็นสารละลายที่เกิดจากสารประกอบในกลุ่มแอนทราควิโนน สาร Working solution นี้เป็นสารที่ทำให้เกิดการรวมตัวของก๊าซทั้งสอง ในขณะที่สาร Working solution เมื่อใช้ครบ 1 รอบการทำงานจะเกิดความชื้นและมีสิ่งสกปรกปนเปื้อน จึงจำเป็นต้องใช้สารซิลิกา-อะลูมินาในการดูดความชื้นและสิ่งสกปรกออก ดังนั้นในกระบวนการนี้เองทำให้เกิด

ซัลฟิดา-อะลูมินาที่ใช้แล้วซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 2.7 และ 2.8 โดยปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเป็นดังนี้

ปฏิกิริยาไฮโดรจีเนชัน



ปฏิกิริยาออกซิเดชัน



การดูดความชื้นและสิ่งสกปรก



ตารางที่ 2.7 ส่วนประกอบซัลฟิดา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

(ข้อมูลจากโรงงานผลิตสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จังหวัดระยอง)

ส่วนประกอบ	ปริมาณโดยน้ำหนัก	
	มก./ก.	%
Aluminium oxide	550-630	55.0-63.0
Silicium oxide	120-160	12.0-16.0
Water soluble salt	70-130	7.0-13.0
Moisture content	100	10.0
Ethyl tetrahydro anthraquinone	23.08	2.31
Ethyl anthraquinone	9.85	0.99
Ethyl dihydroxy anthraquinone	6.61	0.66

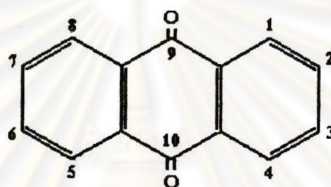
ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของซัลฟิดา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว (สุจิตรา กัญญาวิลาศ, 2545)*

สารประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	สารประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
Na ₂ O	12.92	CaO	0.46
Al ₂ O ₃	67.27	Cl	Trace
SiO ₂	16.12	K ₂ O	Trace
SO ₃	3.23		

* วิเคราะห์ด้วยเครื่อง X-ray fluorescence spectrometer (XRF)

2.3.1 สารแอนทราควิโนน (Anthraquinone)

สารแอนทราควิโนนมีสูตรทางเคมีคือ $C_{14}H_8O_2$ (9, 10-anthracenedione; 9, 10-anthraquinone; 9, 10-dioxoanthracene) ประกอบด้วยคาร์บอน 80.76 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 3.87 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน 15.37 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็มสีเหลือง หลอมเหลวที่อุณหภูมิ 286 องศาเซลเซียส และเดือดที่อุณหภูมิ 377 องศาเซลเซียส (ความดันมาตรฐาน) ไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายในแอลกอฮอล์ อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน และโทลูอีน สารควิโนบางชนิดใช้เป็นสารให้สีในเครื่องสำอาง ทำสีย้อมผ้า หรือแม้แต่ยาถ่าย โดยมีสูตรโครงสร้างประกอบไปด้วยระบบวงแหวน ดังแสดงในรูปที่ 2.4 สารในกลุ่มนี้ทั่วไปมีความเป็นพิษต่ำ แต่อาจทำให้เกิดการระคายเคืองหรือภูมิแพ้ที่ผิวหนังได้



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของสารแอนทราควิโนน

2.4 การกำจัดโดยการทำให้เสถียรและการทำก้อนแข็ง

2.4.1 คำจำกัดความและวัตถุประสงค์การทำเสถียร

การทำเสถียร (Stabilization) หมายถึง กระบวนการจำกัดฤทธิ์หรือลดความเป็นพิษของของเสียที่เป็นอันตราย (Hazardous wastes) โดยการทำให้ของเสียมีสมบัติที่เฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยา วัตถุประสงค์ในการทำเสถียร คือ การทำให้อัตรการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และลดระดับความเป็นพิษของสารอันตรายนั้น LaGrega, Buckingham และ Evans (1994) ได้กล่าวสรุปว่า การทำเสถียร หมายถึง กระบวนการที่มีการเติมสาร (Reagent) เพื่อลดความเป็นพิษ หรือความอันตรายของของเสียนั้น โดยการเปลี่ยนของเสียและส่วนประกอบที่เป็นอันตรายภายในของเสียนั้นให้อัตราการเคลื่อนที่ หรือการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลง และรวมถึงลดระดับความเป็นพิษให้น้อยลงด้วย สารที่ใช้เติมในกระบวนการทำเสถียรจะช่วยปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของของเสียหรือสารอันตรายให้สามารถจัดการได้ง่ายขึ้น ลดพื้นที่ผิวเพื่อลดโอกาสที่สารพิษจะปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม จำกัดค่าการละลายของสารมลพิษ หรือลดความเป็นพิษของสารที่จะปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

2.4.2 คำจำกัดความและวัตถุประสงค์การทำก้อนแข็ง

สำหรับการทำก้อนแข็ง (Solidification) LaGrega และคณะ (1994) ได้นิยามว่า คือ กระบวนการเติมสารหรือวัสดุประสาน (Binder) ที่ช่วยให้เกิดการแข็งตัว หรือคงรูป

ในของเสียที่อันตราย โดยสารที่เพิ่มเติมลงไปจะช่วยเพิ่มกำลัง ลดความสามารถในการถูกบีบอัด (Compressibility) และลดค่าการซึมผ่านของของเสียนั้น

วัตถุประสงค์ของการทำก้อนแข็ง มีดังนี้

- เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายขนส่ง
- ลดพื้นที่ผิวของของเสียเพื่อลดการแพร่กระจายของสารพิษ
- จำกัดอัตราการละลายของสารพิษเมื่อสัมผัสกับสารละลาย
- ลดความเป็นพิษ

2.4.3 วิธีการทำก้อนแข็ง

วิธีที่ใช้จัดการกับของเสียในกระบวนการทำก้อนแข็งมีมากมาย ดังนี้

- ก. วิธีการใช้ซีเมนต์ (Cement - based techniques)
- ข. วิธีการใช้ปูนขาว หรือ วัสดุปอซโซลาน (Lime - based techniques / Pozzolanic techniques)
- ค. วิธีการใช้วัสดุที่มีสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์ (Self-cementing method)
- ง. วิธีการหลอมให้เป็นแก้ว (Glassification)
- จ. วิธีการเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic techniques)
- ฉ. วิธีการเทอร์โมเซตติง (Thermosetting techniques)
- ช. วิธีการเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation techniques)

โดย 4 วิธีแรกเหมาะกับกระบวนการที่ใช้เพื่อจับยึดสารอินทรีย์ ในขณะที่ 3 วิธีหลังเหมาะกับกระบวนการจับยึดสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ประจุลบ รายละเอียดของกระบวนการทำก้อนแข็งตามวิธีต่างๆ ข้างต้น แสดงไว้ในตารางที่ 2.9 เพื่อที่สามารถเลือกวิธีการบำบัดได้อย่างเหมาะสมกับชนิดและลักษณะของเสียที่ต้องการบำบัด

2.4.4 กลไกการจับยึดในการทำก้อนแข็ง

การทำความเข้าใจพื้นฐานของกลไกการจับยึดในการทำก้อนแข็งเป็นสิ่งที่ควรทราบเนื่องจากเป็นการประเมินถึงความสามารถหรือประสิทธิภาพของการทำเสถียร โดยที่กลไกการจับยึดในวัสดุมีดังนี้

- 2.4.4.1. แมคโครเอนแคปซูเลชัน (Macroencapsulation)
- 2.4.4.2. ไมโครเอนแคปซูเลชัน (Microencapsulation)
- 2.4.4.3. การดูดซับ (Absorption)
- 2.4.4.4. การดูดซึม (Adsorption)
- 2.4.4.5. การทำให้ตกผลึก (Precipitation)

ตารางที่ 2.9 รายละเอียดและข้อดีข้อเสียของวิธีการทำก้อนแข็ง (LaGrega และคณะ, 1994)

วิธีการทำก้อนแข็ง	รายละเอียดของวิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
1. ซีเมนต์	นำของเสียผสมซีเมนต์และเติมส่วนผสมอื่นๆ จากนั้นทิ้งไว้ให้แข็งตัว	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - สามารถกำจัดของเสียจำพวกโลหะหนักได้ดี - ไม่เกิดปัญหาเกี่ยวกับเรื่องกำลังรับแรงอัด 	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่เหมาะสมกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ - เป็นการเพิ่มน้ำหนักและขนาดของของเสีย - เป็นปัญหาต่อการใช้ประโยชน์ของที่ดิน
2. ปูนขาว หรือ ปอชโซลาน	นำของเสียผสมปูนขาวและวัสดุที่เป็นปอชโซลานพร้อมทั้งผสมกับน้ำทิ้งไว้ให้แข็งตัว	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - สามารถกำจัดของเสีย 2 ชนิดภายในขั้นตอนเดียวกัน 	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่เหมาะสมกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ - เป็นการเพิ่มน้ำหนักและขนาดของของเสีย - เป็นปัญหาต่อการใช้ประโยชน์ของที่ดิน
3. วัสดุที่มีคุณสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์	นำของเสียผสมกับสารที่มีสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์ เช่น แคลเซียมซัลเฟต และแคลเซียมซัลไฟด์ที่เกิดจากการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรม	<ul style="list-style-type: none"> - มีสารเติมในส่วนผสมที่ทำให้การแข็งตัวของซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว 	<ul style="list-style-type: none"> - สารอินทรีย์บางชนิดทำลายการแข็งตัวของซีเมนต์
4. หลอมให้เป็นแก้ว	นำของเสียอันตรายนประเภทสารกัมมันตภาพรังสีมาผสมกับทรายแล้วหลอมให้เป็นแก้วหรือผลึกซิลิเกต ซึ่งสามารถนำไปทิ้งโดยไม่ต้องมีการห่อหุ้มอีกต่อไป	<ul style="list-style-type: none"> - วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - การห่อหุ้มอยู่ในเกณฑ์ดี - สามารถใช้ในการบำบัดสารกัมมันตภาพรังสีได้ 	<ul style="list-style-type: none"> - เสียค่าใช้จ่ายมากในการให้ความร้อนแก่อุปกรณ์ - ค่าใช้จ่ายสูงมากสำหรับการบำบัดของเสียที่ไม่ใช่สารกัมมันตภาพรังสี
5. ทอร์โมพลาสติก	นำของเสียมาทำให้แห้งจากนั้นทำให้กระจายตัวอยู่ในพลาสติกร้อน เช่น พาราฟิน (Parafin) บิทูเมน (Bitumen) ทิ้งไว้ให้เย็นลงจะเกิดการแข็งตัว	<ul style="list-style-type: none"> - สามารถลดการรั่วไหลของสารเคมีได้เป็นอย่างดี 	<ul style="list-style-type: none"> - เครื่องมือที่ใช้มีราคาแพง - ต้องการบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านในการควบคุมดูแล
6. วิธีการเทอร์โมเซตติง	นำของเสียผสมกับสารประเภทออร์แกนิกโพลีเมอร์ จากนั้นใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ผสมก่อนที่จะเกิดการแข็งตัวของโพลีเมอร์	<ul style="list-style-type: none"> - ค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อย - เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นต่ำ 	<ul style="list-style-type: none"> - การหุ้มห่อเป็นไปอย่างหลวมๆ - สารที่มีค่า pH ต่ำจะทำให้โลหะละลายได้มากขึ้น
7. เอนแคปซูเลชัน	นำของเสียมาอัดให้เกาะตัวกันแน่น จากนั้นจะใช้วัสดุเหนียว เช่น Polyethylene หรือ Organic resin หุ้มผิวนอก	<ul style="list-style-type: none"> - ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีอื่นๆ - ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถป้องกันน้ำได้ดี 	<ul style="list-style-type: none"> - ไม่เหมาะกับการใช้งานเมื่อมีปริมาณของเสียมากๆ

2.4.4.6. การทำให้ความเป็นพิษลดลง (Detoxification)

รายละเอียดของกลไกการจับยึดในการทำก่อนแข็งนั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.10

2.4.5 ตัวแปรที่มีผลต่อการบำบัดของเสียโดยการทำก่อนแข็ง

Shin และ Sujiwatthana (1988) ได้ศึกษาและกล่าวสรุปว่า ตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการถูกชะละลาย และการรับแรงอัดของตัวอย่างก่อนแข็ง ได้แก่ ปริมาณของเสียเริ่มต้น อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร และระยะเวลาการบ่มตัวอย่าง ซึ่งกล่าวในรายละเอียดในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 2.10 รายละเอียดกลไกการจับยึดในการทำก่อนแข็ง (LaGrega และคณะ, 1994)

กลไกการจับยึด	รายละเอียด
1. แมคโครเอนแคปซูเลชัน	เป็นวิธีทางกายภาพซึ่งเป็นลักษณะของรูภายในที่ไม่ต่อเนื่องจับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ให้เกิดการเคลื่อนที่อย่างอิสระน้อยลง
2. ไมโครเอนแคปซูเลชัน	เป็นวิธีทางกายภาพซึ่งของเสียจะถูกจับภายในโครงสร้างของผลึก โดยจะจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กเป็นส่วนมาก
3. การดูดซับ	เป็นวิธีทางเคมีซึ่งใช้ในการปรับปรุงลักษณะของก้อนเพื่อให้สะดวกต่อการทำก่อน กระบวนการแรกๆของวิธีนี้คือการดูดซับของเหลวที่อยู่ในของเสีย
4. การดูดซึม	เป็นวิธีการทางเคมีเกิดขึ้นที่ผิว และยังเป็นวิธีการทำให้เกิดการจับตัวกันซึ่งอาจจะหมายถึงพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ มักจะเกิดเมื่อวัสดุประเภทซีเมนต์เป็นวัสดุประสานของของเสียประเภทอนินทรีย์
5. การทำให้ตกผลึก	เป็นวิธีการทางเคมีเพื่อทำให้เสถียรมากขึ้น โดยเป็นวิธีที่ใช้กับของเสียประเภทอนินทรีย์ สารที่เป็นตัวก่อให้เกิดผลึกได้แก่ ไฮดรอกไซด์ ซัลไฟด์ ซิลิเกต คาร์บอเนต และฟอสเฟต
6. การทำให้ความเป็นพิษลดลง	เป็นวิธีการทางเคมีที่เกิดขึ้นขณะเกิดกระบวนการทำเสถียร เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเพื่อให้เกิดสารรูปอื่นๆ ที่มีความเป็นพิษน้อยลง หรือไม่มีความเป็นพิษเลย

2.5 ความสามารถในการถูกชะละลาย (Leachability)

ความสามารถในการถูกชะละลาย หมายถึง อัตราส่วนของความเข้มข้นของสารที่ถูกชะละลายออกไปหลังจากผ่านการสกัดต่อความเข้มข้นของสารที่มีอยู่ในตอนเริ่มต้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$L = W_i / W_o$$

โดยที่ L = ความสามารถในการถูกชะละลาย

W_i = ความเข้มข้นของสารที่ถูกชะละลายออกไป

W_o = ความเข้มข้นของสารที่มีอยู่ในตอนเริ่มต้น

ประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย (E) สามารถเขียนแทนด้วยสมการดังนี้

$$E = (L_o - L_s) \times 100 / L_o$$

โดยที่ E = ประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย

L_o = ความสามารถในการถูกชะละลายของสารก่อน
กระบวนการทำก้อนแข็ง

L_s = ความสามารถในการถูกชะละลายของสารหลัง
กระบวนการทำก้อนแข็ง

2.6 วัสดุใหม่สำหรับงานคอนกรีต

การศึกษาด้านวัสดุศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีต ได้เจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วมากในศตวรรษนี้ มีการวิจัยและพัฒนาวัสดุผสมคอนกรีตประเภทอื่นๆ เพื่อวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตให้ดีขึ้น ทั้งคอนกรีตที่อยู่ในสภาพเหลว เช่น ความสามารถทำงานได้ (Workability) และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว เช่น กำลังรับแรงอัด และที่สำคัญที่สุดคือ ต้องการให้ได้คอนกรีตที่มีความทนทาน รวมทั้งราคาเหมาะสม วัสดุที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันได้แก่

- Pulverized fuel ash (PFA) เป็นของแข็งเม็ดกลมละเอียด เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินที่บดละเอียด (Pulverized coal) โดยทั่วไปเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่เกิดจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า PFA ที่ได้จากการเผาส่วนใหญ่มักประกอบเป็นออกไซด์ของซิลิกอน และอะลูมิเนียม

- Ground granulated blast furnace slag (GGBS) เป็นของเหลือ (By-product) จากกระบวนการผลิตเหล็กโดยใช้เตาหลอม Slag ที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลอันเนื่องมาจากการหลอมตัวของแคลเซียมออกไซด์ของหินปูนกับซิลิกอน และอะลูมิเนียม

- Microsilica (MS) หรือบางครั้งเรียกว่า Silica fume เป็นของเหลือ (By-product) จากกระบวนการผลิต Silicon metal หรือ Ferrosilicon alloy

2.6.1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุ

องค์ประกอบทางเคมีหลักของ Pulverized fuel ash (PFA) Ground granulated blast furnace slag (GGBS) และไมโครซิลิกา (Microsilica, MS) เหมือนกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพียงแต่สัดส่วนจะแตกต่างกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 องค์ประกอบทางเคมีของซีเมนต์ PFA GGBS และ MS (ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2539)

ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก			
	OPC	PFA	GGBS	MS
SiO ₂	20	48	37	92
Al ₂ O ₃	5	26	11	0.7
Fe ₂ O ₃	3	10	0.3	1.2
CaO	65	3	40	0.2
MgO	1.1	2	7	0.2
SO ₃	2.4	0.7	0.3	-1.2
Na ₂ O	0.2	1.0	0.4	1.9
K ₂ O	0.9	3.0	0.7	2.6
ออกไซด์อื่นๆ	1.4	1.3	2.3	-
Loss on ignition	1	5	-	-

2.6.2 ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของซีเมนต์ Pulverized fuel ash (PFA) Ground granulated blast furnace slag (GGBS) และไมโครซิลิกา แสดงเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 2.12

จากตารางที่ 2.12 จะเห็นได้ว่า

1. ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดธรรมดา PFA และ GGBS ที่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตจะมีความละเอียดใกล้เคียงกัน ในขณะที่ไมโครซิลิกาจะมีความละเอียดสูงมาก
2. จากค่าความถ่วงจำเพาะ ถ้านำ PFA GGBS หรือไมโครซิลิกา มาผสมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เท่ากับเป็นการเพิ่มปริมาตรของส่วนละเอียด ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถทำงานได้ของคอนกรีต ดังนั้นผู้ออกแบบจะต้องนำมาพิจารณาประกอบด้วยเมื่อนำวัสดุมาใช้งาน

3. ไมโครซิลิกาที่มีขนาดเล็กกว่าซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประมาณ 100 เท่าทำให้การจัดเก็บและลำเลียงทำได้ยากลำบาก แก้ไขโดยการผสมน้ำกับไมโครซิลิกาในอัตราส่วนเท่ากัน เพื่อให้ได้ของเหลว (Slurry) เพื่อความสะดวกในการจัดเก็บและการลำเลียง รวมทั้งช่วยให้การกระจายตัวของไมโครซิลิกาในส่วนผสมของคอนกรีตสดดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.12 ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของซีเมนต์ PFA GGBS และไมโครซิลิกา
(รัชวาลย์ เศรษฐบุตร, 2539)

สมบัติ	OPC	PFA	GGBS	Microsilica
ความละเอียด (ตารางเซนติเมตรต่อกรัม)	3,400	3,800	3,500	150,000
ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	1,400	900	1,200	240
ความถ่วงจำเพาะ (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	3.15	2.3	2.9	2.2
สี	เทา	เทาอ่อน	ขาว	เทาดำ

2.6.3 ลักษณะการทำงาน

2.6.3.1 Pulverized fuel ash

ซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้สารประกอบ 2 ชนิด คือ Calcium silicate hydrate (C-S-H) และ Free lime หรือ Calcium hydroxide, Ca(OH)_2 ดังที่กล่าวไว้ในปฏิกิริยาไฮเดรชัน C-S-H ทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมให้ส่วนผสมของคอนกรีตจับตัวกัน ส่วน Ca(OH)_2 ที่เกิดขึ้นนี้คิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ไม่ก่อเกิดประโยชน์ใดๆ ในบางครั้งยังก่อให้เกิดผลเสียกับคอนกรีตด้วย เช่น ก่อให้เกิดฝ้าขาวบนผิวหน้าคอนกรีต (Efflorescence) หรือเกิดเป็นฟิล์มบนผิววัสดุผสม ทำให้การจับยึดระหว่างวัสดุผสมและมอร์ต้าไม่ดีนัก แต่เมื่อใส่ PFA ที่มีส่วนผสมของ SiO_2 อยู่จำนวนมาก PFA จะทำปฏิกิริยากับ Ca(OH)_2 และก่อให้เกิด C-S-H เพิ่มขึ้น C-S-H ซึ่งทำหน้าที่เป็นกาว จะช่วยปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตให้ดีขึ้นไม่ว่าจะเป็นด้านกำลังรับแรงอัด ความทนทาน และการต้านการซึมผ่านของน้ำ เป็นต้น

2.6.3.2 Ground granulated blast furnace slag

เนื่องจาก GGBS มีองค์ประกอบทางเคมีของ CaO อยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นปฏิกิริยาไฮเดรชันของ GGBS จึงใกล้เคียงกับปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ทั่วไป แต่เกิดช้ากว่า หลังจากเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันแล้วก็จะเกิดปฏิกิริยาระหว่าง SiO_2 ใน GGBS กับ Ca(OH)_2

ในภายหลังที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์แล้วระยะหนึ่ง ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ GGBS อาจเร่งให้เกิดเร็วขึ้นได้โดยบด GGBS ให้มีความละเอียดขึ้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยา

2.6.3.3 ไมโครซิลิกา

เนื่องจากไมโครซิลิกามีปริมาณ SiO_2 อยู่สูงถึงกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ปฏิกิริยาของไมโครซิลิกาในส่วนผสมคอนกรีตจะเหมือนกับของ PFA แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเร็วมาก เนื่องจากไมโครซิลิกามีความละเอียดสูงส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดทั้งช่วงต้นและช่วงปลายเป็นไปได้เร็วกว่าคอนกรีตทั่วไป นอกจากนี้ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นแล้วไมโครซิลิกายังช่วยปรับปรุงสมบัติของคอนกรีตบางประการ กล่าวคือ ไมโครซิลิกาเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก ดังนั้นจะไปอุดช่องว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์ (Microfiller effect) ทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นสูง เป็นผลดีทั้งด้านกำลังรับแรงอัดและความทนทาน

2.6.4 ประโยชน์และการใช้งาน

2.6.4.1 Pulverized fuel ash

ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ PFA เป็นส่วนผสมคอนกรีต คือ สามารถปรับปรุงความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตให้สั้นไหลเข้าแบบได้ดี เนื่องจากมีรูปร่างกลม และลดการเยิ้ม (Bleeding) ตลอดจนแนวโน้มการแยกตัวของคอนกรีตสด (Segregation) ได้อีกทั้งยังทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันช้าลง ความร้อนจากปฏิกิริยาจึงลดลงทำให้ลดโอกาสการแตกร้าวของคอนกรีตโดยเฉพาะสำหรับโครงสร้างขนาดใหญ่ PFA ยังสามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุมากกว่า 28 วัน และเพิ่มความทนทานของคอนกรีตเนื่องจากปริมาณน้ำที่ใช้ลดลงเมื่อต้องการความสามารถทำงานได้เท่ากัน และปฏิกิริยาระหว่าง PFA กับ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ทำให้ช่องว่างในเนื้อคอนกรีตลดลง

การใช้งาน PFA ทำได้ 2 ลักษณะ คือผสมกับซีเมนต์ในปริมาณที่ต้องการจากโรงงานผสม และใช้ PFA เสมือนเป็นส่วนผสมอีกส่วนหนึ่งของคอนกรีต โดยผสม ณ โรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ ปริมาณที่ใช้จะอยู่ในช่วง 15 - 50 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซีเมนต์ ข้อควรคำนึงในการใช้ PFA คือ โดยทั่วไปวัสดุชนิดนี้จะลดกำลังอัดของคอนกรีตในช่วงแรก และการบ่มมีผลอย่างมากต่อคอนกรีตที่ผสม PFA กล่าวคือการพัฒนากำลังอัดของ PFA คอนกรีตจะเกิดเมื่อคอนกรีตนั้นได้รับการบ่มขึ้นเท่านั้น

2.6.4.2 Ground granulated blast furnace slag

เนื่องจากปฏิกิริยาของคอนกรีตที่ผสม GGBS จะช้ากว่าคอนกรีตทั่วไปทำให้ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาค่า เหมาะสมสำหรับงานโครงสร้างที่มีปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน เช่น ฐานรากแผ่นขนาดใหญ่ หรือ เขื่อนเป็นต้น อีกทั้งคอนกรีตยังมีความทนทานต่อซัลเฟต น้ำทะเล สารเคมี และลดปฏิกิริยา Alkali-aggregate reaction ได้ คอนกรีตผสม GGBS จะ

มีเนื้อแน่น ความต้านทานการซึมผ่านของน้ำสูง (Low permeability) เหมาะที่จะใช้ในงานสระว่ายน้ำ ถังเก็บน้ำ เป็นต้น โดยจะเพิ่มกำลังรับแรงอัดและกำลังดัด (Flexural strength) ของคอนกรีตที่อายุมากกว่า 28 วัน แต่ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตที่ผสมด้วย GGBS จะช้ากว่าคอนกรีตทั่วไป และการบ่มมีผลต่อการพัฒนากำลังอย่างมากเช่นเดียวกับคอนกรีตที่ผสม PFA

การใช้งาน GGBS ทำได้ 2 ลักษณะเช่นเดียวกับ PFA โดยปริมาณการใช้จะอยู่ในช่วง 25 - 65 เปอร์เซ็นต์ แต่สำหรับ Supersulfate ซีเมนต์อาจผสม Slag สูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์

2.6.4.3 ไมโครซิลิกา

ไมโครซิลิกาที่ผสมคอนกรีตสามารถลดการเปื้อน (Bleeding) และการแยกตัวของคอนกรีตสดได้ อีกทั้งยังเพิ่มกำลังรับแรงอัด และความหนาแน่นของคอนกรีตทั้งในระยะสั้นและระยะยาวทำให้คอนกรีตมีความทนทานสูงการซึมผ่านของน้ำและอากาศเป็นไปได้ยาก ในทางปฏิบัติเราสามารถใส่ไมโครซิลิกาในลักษณะที่เป็นของแข็งผสมในคอนกรีตลักษณะเดียวกับซีเมนต์ได้เลย หรืออาจผสมในรูปของเหลวเหมือนน้ำยาผสมคอนกรีต โดยปริมาณการใช้อยู่ในช่วง 7 - 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของซีเมนต์

2.7 การศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shin และ Sujiwatthana (1988) พบว่าความสามารถในการชะละลาย และค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างในการทำก้อนแข็ง ขึ้นอยู่กับ ปริมาณของเสี้ยวเริ่มต้น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตร และระยะเวลาการบ่มก้อนตัวอย่าง จากการทดลองด้วยการสกัด (Extraction test) โดยการสกัดของเสี้ยวที่แข็งตัวในซีเมนต์ด้วยกรดอะซิติก พบว่า ปริมาณของเสี้ยวที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณของเสี้ยวที่ถูกชะละลายออกมามากเพิ่มขึ้นตามกัน โดยปริมาณของเสี้ยวในน้ำชะละลายจะเพิ่มขึ้นต่ำกว่าการเพิ่มปริมาณของเสี้ยวเริ่มต้น และค่ากำลังรับแรงอัดเป็นสัดส่วนผกผันกับปริมาณของเสี้ยวเริ่มต้น อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ให้ค่าความสามารถในการชะละลายต่ำที่สุด และค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุด อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์มีผลต่อค่าความพรุนของซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว ซึ่งมีผลกระทบต่อค่ากำลังรับแรงอัด ถ้าปริมาณน้ำที่เติมในซีเมนต์น้อยเกินไป จะทำให้การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและการเกิดผลึกไมคิ การรั่วไหลของของเสี้ยวก็จะมากขึ้น การเติมน้ำมากขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้ดีขึ้น แต่หากมีน้ำมากเกินไปจะทำให้เกิดความพรุน โอกาสการรั่วไหลของเสี้ยวก็จะมากขึ้นเช่นกัน อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.5 ให้ค่าความสามารถในการรับแรงอัดสูงสุด อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรยิ่งสูง ซีเมนต์เพสต์จะมีโอกาสถูกชะละลายมากขึ้น ระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่างนานจะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นได้ดี แต่ค่าความสามารถในการถูกชะละลายไม่ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทั้งนี้การรั่วของของเสี้ยวต่างๆ ขึ้นอยู่กับกลไก 2 ประการคือ การดูดซับ-การแทรกผ่าน และการจำกัดการละลายของ

โครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ ดังนั้นการแปรค่าระยะเวลาในการบ่มซีเมนต์จึงไม่มีผลต่อการถูกระบายของเสีย แต่จะเพิ่มความสามารถในการรับแรงอัดให้กับก้อนตัวอย่าง

นภฤกษ์ แสงเงิน และ อรุณชัย ดิงธนาธิกุล (2537) ศึกษาการนำเถ้าลอยลิกไนต์ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ในการกำจัดตะกั่วและทองแดงในรูปสารประกอบ $\text{Cu}(\text{OH})_2$, PbO_2 และ $\text{Pb}(\text{OH})_2$ โดยวิธีทำก้อนแข็ง ทั้งยังศึกษาแนวทางการความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการบูรณาการรับพื้นที่ทางเท้า โดยทำการพิจารณาเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดว่าเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้หรือไม่ และความสามารถในการถูกสกัดที่อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการใช้งาน โดยแปรค่าอัตราส่วนเถ้าลอยลิกไนต์ต่อซีเมนต์ในอัตราส่วน 0 0.33 1.00 และ 3.00 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเป็นอัตราส่วน 0.10 0.25 0.50 และ 0.75 โดยน้ำหนัก พบว่าอัตราส่วนของเถ้าลอยต่อซีเมนต์ที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดสำหรับ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ และ $\text{Pb}(\text{OH})_2$ คือ 0.3 ส่วน PbO_2 อัตราส่วนอยู่ในช่วง 0 - 0.33 ความสามารถในการถูกสกัดที่อัตราส่วนเถ้าลอยต่อซีเมนต์เท่ากับ 3.00 จะทำให้ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ และ PbO_2 ถูกสกัดออกมาได้น้อยที่สุด และที่อัตราส่วนเถ้าลอยต่อซีเมนต์เท่ากับ 1.00 สำหรับ $\text{Pb}(\text{OH})_2$ ผลของการใส่โลหะหนักลงไปพบว่า เมื่อใส่โลหะหนักลงไปมาก ค่ากำลังรับแรงอัดจะลดลงและปริมาณของโลหะหนักที่ถูกสกัดก็จะมากด้วย การนำส่วนผสมมาประยุกต์ใช้ทำวัสดุปูพื้น สามารถใช้ประโยชน์ได้จริงเมื่อปริมาณของโลหะหนักน้อย เพื่อให้อัตราส่วนระหว่างเถ้าลอยลิกไนต์ต่อซีเมนต์อยู่ในเกณฑ์ที่ทำให้เกิดค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในสถานะที่ใช้งานได้จริง

นฤมิต คินิมาน (2537) ศึกษาความสามารถในการทำละลายฤทธิ์ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอไซด์โดยการทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์ ทดสอบกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น ความชื้นได้ของน้ำ และการชะละลายเพื่อหาความเข้มข้นของโครเมียมโปรท และเหล็ก ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.25 ที่อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน 0.25 และระยะเวลาบ่ม 28 วัน ทำให้สมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับการทดสอบการชะละลายพบว่า ความเข้มข้นของโปรทในน้ำสกัดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่ความเข้มข้นของโครเมียมและเหล็กมีค่าต่ำมาก จึงสรุปว่าซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ 50 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการลดการถูกระบายของโปรท โครเมียม และเหล็กเท่ากับ 30.7 50 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าใช้จ่ายของวัสดุประสานที่ใช้ในการทำให้เป็นก้อนมีค่า 3,600 บาทต่อตันของตะกอนโลหะหนักแห้ง

รัชพล ชูชาติ (2538) ศึกษาวัสดุประสานที่เหมาะสมต่อการทำเสถียรกากตะกอนจาโรไซต์ให้เป็นก้อน โดยวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมปูนขาว และซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกากแร่สังกะสีซิลิเกต ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดและความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด จากผลการทดสอบพบว่า ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้ผลการทดลองเหมาะสมที่สุด ที่อัตราส่วนผสมซีเมนต์ 11 เปอร์เซ็นต์สำหรับกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดา และ 15 เปอร์เซ็นต์สำหรับกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ การทดสอบชะละลายแบบคอลัมน์ที่ระยะเวลา 90 วัน ที่อัตราส่วนผสมซีเมนต์ 10 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

Shannag และ Yeginobali (1995) ศึกษาผลกระทบของวัสดุปอซโซลานที่มีอยู่ในท้องถิ่นต่อสมบัติเบื้องต้นของซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์ และคอนกรีต โดยแปรค่าสัดส่วนผสมระหว่างวัสดุปอซโซลานต่อซีเมนต์เป็น 15 25 และ 35 เปอร์เซ็นต์ วัสดุปอซโซลานที่ใช้มี 2 ชนิดซึ่งเป็นแก้วภูเขาไฟเหมือนกันแต่เกิดในพื้นที่ต่างกัน (ชนิด A และ B) ชนิด A มีสัดส่วนของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เป็น 40.1 13.4 และ 12.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ชนิด B มีสัดส่วนเป็น 38.5 12.8 และ 11.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดัชนีความเป็นปอซโซลาน (Pozzolanic activity index) ของวัสดุทั้ง 2 มีค่าเป็น 60 และ 83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีขนาดความละเอียดเป็นไปตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ขนาดที่เล็กลงของวัสดุจะทำให้ความสามารถในการทำปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้น โดยวัสดุชนิด B มีอัตราการทำปฏิกิริยาและประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุชนิด A คอนกรีตที่ผสมโดยแทนที่วัสดุปอซโซลานชนิด B ในสัดส่วน 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 และ 90 วัน จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับสัดส่วนควบคุมที่ใช้ซีเมนต์ปอซโซลานที่จำหน่ายทั่วไป ในขณะที่เมื่อแทนที่ในสัดส่วน 35 เปอร์เซ็นต์จะให้ค่าต่ำกว่ามาก โดยนอกจากค่ากำลังรับแรงอัดแล้ว Shannag และ Yeginobali ยังได้สรุปผลกระทบที่มีต่อระยะเวลาการก่อตัว การหดตัว และความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตอีกด้วย

Zhang และ Malhotra (1995) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่เรียกว่า Thermally activated alumina-silicate ต่อสมบัติของคอนกรีตสด (ความสามารถทำงานได้ การแข็งตัว ระยะเวลาการก่อตัว และความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน) และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว (กำลังรับแรงอัด โมดูลัสความยืดหยุ่น การหดตัว และความต้านทานต่อสารเคมีต่างๆ) เปรียบเทียบกับสัดส่วนควบคุม และกับคอนกรีตที่ใช้ซิลิกาฟูม วัสดุดังกล่าวเป็นผงสีขาว มีส่วนประกอบหลักเป็น SiO_2 ซึ่งมีค่าเป็น 51.34 เปอร์เซ็นต์ และ Al_2O_3 41.95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.3 ไมครอน และมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น Amorphous โดยมีส่วนที่เป็นผลึก (Crystallized phases) เพียงเล็กน้อย ผลการศึกษาพบว่า วัสดุดังกล่าวมีความเป็นปอซโซลานสูง และสามารถใช้เป็นวัสดุประสานในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงได้ การแทนที่ในสัดส่วน 10 เปอร์เซ็นต์

จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าสัดส่วนควบคุมในทุกระยะเวลาการบ่มยาวนานไปจนถึง 180 วัน และยังสามารถพัฒนาค่ากำลังรับแรงอัดในช่วงต้นได้เร็วกว่าคอนกรีตที่แทนที่ซีเมนต์ด้วยซิลิกาฟูม เนื่องจากอัตราการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เร็วกว่า สังเกตได้จากอุณหภูมิในคอนกรีตสดที่เพิ่มขึ้นสูงกว่า ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน คอนกรีตแทนที่ซีเมนต์ด้วย Thermally activated alumina-silicate จะมีสมบัติโดยทั่วไปดีกว่าสัดส่วนควบคุม และคอนกรีตแทนที่ซีเมนต์ด้วยซิลิกาฟูม

อนุวัฒน์ ปูนพันธ์ฉาย (2539) ศึกษาการทำเสถียรกากตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอไซด์โดยการเติมโซเดียมซัลไฟด์ลงไปในตะกอนก่อนกระบวนการทำให้เป็นก้อน โดยใช้ซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์ ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น ความชื้นได้ของน้ำ และการชะละลายเพื่อหาความเข้มข้นของโครเมียม โปรท และเหล็ก ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพในการทำเสถียรของโครเมียมและเหล็กมีค่าเท่ากับ 60.01 และ 91.40 เปอร์เซ็นต์ ที่สัดส่วนการเติมโซเดียมซัลไฟด์ 1.75 เท่าตามลำดับ และที่สัดส่วนการเติมโซเดียมซัลไฟด์ 3.00 เท่า มีประสิทธิภาพเท่ากับ 94.00 และ 99.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนผสมของตะกอนต่อตัวประสานเท่ากับ 0.25 และการประมาณค่าใช้จ่ายในการบำบัดสำหรับการเติมโซเดียมซัลไฟด์ 1.75 เท่าและ 3.00 เท่า มีค่าเท่ากับ 5,000 และ 5,790 บาทต่อตันของตะกอน แต่ถ้าหากไม่มีการเติมโซเดียมซัลไฟด์เลย ค่าใช้จ่ายจะประมาณ 3,900 บาทต่อตันของตะกอน แต่ความเข้มข้นของโปรทสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

พชรพงศ์ ชื่นศิริ และ แสงวงสิน เกตุโตประการ (2540) ศึกษาการนำกากตะกอนของสีน้ำทาบ้านมาเป็นส่วนผสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ผลการทดลองพบว่า สามารถผสมเสร็จได้เร็ว และกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วในคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถรับแรงกดได้สูงสุด 131.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราการชะละลายของโลหะหนักในน้ำมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด (ยกเว้นเหล็กที่มีอัตราการละลายสูงสุด 0.9 - 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ให้ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร) น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้เบากว่าผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาด 1.136 เท่า ส่วนราคาของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้นั้นมีราคาถูกกว่าผลิตภัณฑ์ทั่วไปตามท้องตลาดประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ราคายังไม่ได้รวมราคาต้นทุนจากการทำเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วแบบเปียกให้แห้ง และบดให้ละเอียด

ประเสริฐ งามเลิศประเสริฐ (2541) ศึกษาการทำเสถียรตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอไซด์และกากหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยการเติมโซเดียมซัลไฟด์ และทำให้เป็นก้อนโดยใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นวัสดุประสาน ผลการทดลองพบว่าการทำตะกอนโลหะหนักจากน้ำเสียซีโอไซด์ให้เป็นก้อนโดยใช้ซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้

แล้ว มีอัตราส่วนผสมของตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมเท่ากับ 0.50 และอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.6 โดยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์เท่ากับ 1.75 เท่าของปริมาณทางทฤษฎี ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ประสิทธิภาพในการทำปอร์ตและโครเมียมให้คงตัวเท่ากับ 88.39 และ 82.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดการชะละลายของสารแอนทราควิโนนเท่ากับ 61.97 เปอร์เซ็นต์ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 5,110 บาทต่อตันตะกอนแห้ง ส่วนการทำกากหลอคฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อน โดยใช้ซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาจะมีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือ อัตราส่วนผสมของตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.75 อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์เท่ากับ 1.75 เท่าของปริมาณทางทฤษฎี ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน มีประสิทธิภาพในการทำให้ปอร์ตคงตัวเท่ากับ 82.17 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการลดการชะละลายของสารแอนทราควิโนนเท่ากับ 60.56 เปอร์เซ็นต์ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 5,620 บาทต่อตันตะกอนแห้ง

โลหิตย อภิธรรมวิริยะ (2542) ศึกษาการนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นวัสดุปูพื้นได้แก่ บล็อกซีเมนต์เพสต์ประสาน และ กระเบื้องดินเผา โดยทำการทดสอบผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อการทำก้อนแข็งและสมบัติทางกายภาพเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ เช่น ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น ความชื้นน้ำ และทดสอบการชะละลายสารแอนทราควิโนน พบว่า อัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.25 ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.50 เนื่องจากผลการทดสอบให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด (37.47 เมกะปาสคาล และความหนาแน่น 2.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลาย 72 เปอร์เซ็นต์ ต้นทุนค่าใช้จ่ายของบล็อกที่ผลิตได้เป็น 3.76 บาทต่อขนาดบล็อกซีเมนต์เพสต์ประสานปูพื้นขนาด 3 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาบ่มที่เหมาะสม 28 วัน เมื่อทำการศึกษาในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่อัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.50 และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เป็น 0.50 พบว่า ระยะเวลาบ่มที่เหมาะสมคือ 14 วัน บล็อกประสานปูพื้นมีค่ากำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นเป็น 30.55 เมกะปาสคาลและ 2.08 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ โดยให้ค่าประสิทธิภาพการลดการชะละลายแอนทราควิโนน 54 เปอร์เซ็นต์ ต้นทุนค่าใช้จ่าย 3.30 บาทต่อขนาดบล็อกซีเมนต์เพสต์ประสานปูพื้นขนาด 3 กิโลกรัม

Damanhuri, Munaf และ Djarnal (2000) ได้ศึกษาการยึดตรึง (Fixation) ของโลหะหนักในเถ้าจากอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กกล้าโดยการผสมในซีเมนต์ ผลิตเป็นคอนกรีตเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง พบว่า อัตราส่วนผสมของเถ้าลอยต่อซีเมนต์ที่ 15 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน สามารถรับกำลังอัดได้ 473 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และผ่านมาตรฐานการชะละลาย TCLP ของประเทศอินโดนีเซีย นอกจากนี้ยังได้ทำการทดสอบในสภาวะแบบชื้นและแบบแห้งโดย

การทำให้ก้อนตัวอย่างชุ่มน้ำสลับกับการให้ความร้อนเป็นระยะๆ เป็นเวลา 13 วัน พบว่า มีการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง 8.15 - 10.87 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผ่านเกณฑ์ของ ASTM D4843 (ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์)

Koe และคณะ (2000) ได้ศึกษาถึงปฏิกิริยาไฮเดรชันในระหว่างการทำให้เป็นก้อน และการทำเสถียรของเสียที่เป็นพิษ โดยทำการผสมซีเมนต์ วัสดุพอซโซลาน (เถ้าลอย) และตะกอนจากการชุบโลหะที่สัดส่วนต่างๆ กัน ทำการศึกษาด้านการแข็ง ค่ากำลังรับแรงอัด และความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน พบว่าอัตราส่วนผสมของของเสียมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลในการชะลอการแข็งตัวและทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลง ความร้อนอันเกิดเนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชันได้รับผลกระทบจากองค์ประกอบของของเสีย

Peralta, Ballesteros และ Cepeda (2000) ได้ศึกษาเรื่องการบำบัดและกำจัดของเสียที่มีโลหะหนักโดยการทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์ ในการศึกษาได้ใช้ตะกอนจากหอระบายความร้อนของโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีปริมาณโลหะหนักในระดับที่สูง เช่น อาร์เซนิก เงิน แคลเซียม โครเมียม โปรทและตะกั่ว มาทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์ และซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบในอัตราส่วนที่เท่าๆ กัน พบว่าต้องใช้วัสดุประสานเป็นปริมาณ 3 เท่าของตะกอน จึงสามารถหยุดการเคลื่อนที่ของโลหะหนักและสามารถใช้วัสดุประสานทั้งคู่ได้เป็นอย่างดี

ณัฐพล เกตุเหล็ก, ธราพงษ์ พากเพียร และวีระศักดิ์ มะขามป้อม (2544) ทดลองนำเส้นใยมะพร้าวมาใช้ในการผสมบดกปูนพื้นคอนกรีต เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัด หน่วยแรงคด ค่าความหนาแน่น และค่าการดูดซึมน้ำ โดยแปรค่าปริมาณเส้นใยมะพร้าวเป็น 8 16 และ 24 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับหินเกล็ด และระยะเวลาการบ่มที่ 7 14 และ 28 วัน จากการทดลองพบว่าเมื่อผสมเส้นใยมะพร้าว 8 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างมีความสามารถในการรับกำลังอัดประลัยดีที่สุด และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น การรับแรงคด และค่าความหนาแน่น มีความสามารถลดลง แต่ความสามารถในการดูดซึมน้ำจะมากขึ้น เมื่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น เพราะว่าเส้นใยมะพร้าวดูดซึมน้ำได้ดี โดยที่บดกปูนพื้นคอนกรีตธรรมดาจะมีกำลังอัดประลัย 548.83 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีน้ำหนัก 3.146 กิโลกรัม ค่ากำลังคดประลัย 1,221 กิโลกรัม ค่าความหนาแน่น 2,080 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าการดูดซึมน้ำ 3.48 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่บดกปูนพื้นคอนกรีตผสมเส้นใยมะพร้าวที่ 8 เปอร์เซ็นต์ มีกำลังอัดเพิ่มขึ้นประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ ส่วนบดกปูนพื้นคอนกรีตผสมเส้นใยมะพร้าวที่ 16 และ 24 เปอร์เซ็นต์ มีกำลังอัดลดลงประมาณ 36.9 และ 47.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เปรมฤดี กาญจนปิยะ (2544) ศึกษาการนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นวัตถุดิบผลิตซีเมนต์อะลูมินาสูงร่วมกับปูนขาวและตะกรันเหล็ก โดยเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพพื้นฐาน ได้แก่ กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และระยะเวลาการก่อตัวกับค่ามาตรฐาน พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ทำให้กำลังรับแรงอัดของ HAC ที่อัตราส่วนปูนขาวต่อซิลิกา-อะลูมินาเท่ากับ 40/60 เเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ณ เวลา 3 วัน และ HAC ผสม GGBS ณ 28 วัน มีค่าสูงสุดคือ 0.65 และ 0.6 ตามลำดับ สัดส่วนของปูนขาวต่อซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว อุณหภูมิและเวลาเผาที่เหมาะสมต่อการผลิต HAC และ HAC ผสม GGBS คือ 40/60 1,300 องศาเซลเซียส และ 3.5 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยที่ กำลังรับแรงอัดของ HAC ที่ผลิตได้มีค่าน้อยกว่ามาตรฐาน ACI 225R-85 และกำลังอัดของ HAC ผสม GGBS มีค่าน้อยกว่าซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐาน ASTM C109-95 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน แต่ที่ 60 วันจะให้ค่าสูงกว่า ค่าเวลาการก่อตัวของ HAC ที่ผลิตได้ในสถานะที่เหมาะสมไม่ผ่านมาตรฐานและมีค่าน้อยกว่ามาก ส่วนระยะเวลาการก่อตัวของ HAC ผสม GGBS มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานเมื่อเทียบกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐาน ASTM C191-92 ซีเมนต์ที่ผลิตได้จะนำไปใช้ในการทำเสถียรตะกอนนิกเกิลให้เป็นที่ถาวรแทนการใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พบว่าการใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อซีเมนต์เท่ากับ 1 ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.65 จะทำให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการชะละลายของก้อนแข็งตัวอย่างตะกอนนิกเกิลที่ผสม HAC และ HAC ผสม GGBS มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานโดยมีประสิทธิภาพในการลดการชะละลายเท่ากับ 99.99 เปอร์เซ็นต์

สุจิตรา กันยาวีลาศ (2545) ศึกษาการทำตะกอนนิกเกิลไฮดรอกไซด์ให้เป็นที่ถาวรด้วยการใช้ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ร่วมกับปูนขาว และซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง ซิลิกา-อะลูมินาต่อปูนขาว และซิลิกา-อะลูมินาต่อซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พิจารณาจากสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงอัด และประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย ผลการทดลองสรุปว่า อัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนที่เหมาะสมคือ 0.25 อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาต่อปูนขาวและต่อซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เหมาะสมเป็น 0.4 และ 0.2 ตามลำดับ ซิลิกา-อะลูมินาที่บดก่อนให้ผลในการทำก้อนแข็งตะกอนนิกเกิลไฮดรอกไซด์ได้ดีกว่าวัสดุที่ยังไม่ได้บด

Isaia, Gastaldini และ Moraes (2003) อธิบายว่าวัสดุปอซโซลานที่เติมแทนที่ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไปนั้น ส่วนใหญ่เพื่อเพิ่มสมบัติรับน้ำหนักเชิงกล (Mechanical strength) และความคงทน (Durability) ของโครงสร้างคอนกรีต เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้น และโครงสร้างรูพรุน (Pore structure) ในเนื้อคอนกรีตที่ลดลง อันเนื่องมาจากขนาดอนุภาคของวัสดุที่ลดลงสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นตัวเติมเต็ม (Physical filler) ให้กับโครงสร้างคอนกรีตอีกด้วย คอนกรีตที่ใช้ในการทดลองจะถูกแทนที่ด้วยวัสดุประสานต่างๆ ได้แก่ เถ้าลอยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า เถ้าแกลบจากโรงสี และปูนขาวที่บดให้ละเอียด ในสัดส่วนที่

ต่างๆ กัน (12.5 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์) รวมถึงแทนที่ด้วยวัสดุประสาน 2 ชนิดร่วมกันในสัดส่วน
ถ้ำลอยและถ้ำกลบเท่ากับ 12.5 + 12.5 และ 25 + 25 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสัดส่วนควบคุมที่
ใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.35 0.5 และ 0.65 จากผลการ
ทดลองสามารถสรุปได้ว่าปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic effect) และสมบัติการเติมเต็ม (Filler
effect) จะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการเพิ่มของวัสดุปอซโซลานในส่วนผสม โดยอัตราการเพิ่มขึ้นที่
ระยะเวลา 91 วันจะมีค่าสูงกว่าที่ 28 วัน เมื่อพิจารณาที่ค่ากำลังรับแรงอัดคงที่ สมบัติการเติมเต็มจะมี
ผลกระทบต่อค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าปฏิกิริยาปอซโซลาน



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย