

ที่ วท 5401.08/ 05-008/48

29 พฤศจิกายน 2547

เรื่อง การอนุมัติให้เริ่มต้นดำเนินโครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย

เรียน คุณบุญชัย วัชรคันโสภณ

- สิ่งที่ส่งมาด้วย
1. ขั้นตอนการขอรับการสนับสนุนโครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย
 2. แบบประเมินผลโครงการ ITAP โดยบริษัท (F-CO-ITAP-16)
 3. แบบคำขอรับการสนับสนุนโครงการ ITAP (F-CO-ITAP-17)

ตามที่ บริษัท เฟอร์โร คอนสตรัคชั่น โปรดักส์ จำกัด ได้ติดต่อขอใช้บริการของโครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย (ITAP) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) และได้ติดต่อผู้เชี่ยวชาญ ดร. อานนท์ ชัยพานิช เพื่อเป็นที่ปรึกษาและจัดทำโครงการเรื่อง “ การปรับปรุงและพัฒนาสมบัติของวัสดุขดมันผิวแกร่งสำหรับพื้นโรงงานอุตสาหกรรม ” นั้น บัดนี้ สำนักงานฯ ได้พิจารณาเห็นชอบให้ผู้เชี่ยวชาญเริ่มต้นดำเนินโครงการดังกล่าวให้กับบริษัทฯ

สำนักงานฯ จะพิจารณาให้การสนับสนุนค่าใช้จ่ายในโครงการดังกล่าว ภายใต้หลักการดังต่อไปนี้

(สิ่งที่ส่งมาด้วย 1-3)

1. บริษัทฯ ต้องสำรองเงินค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นไปก่อนล่วงหน้า จนจบโครงการ
2. บริษัทฯ จะจัดส่งเอกสารด้านการเงิน และเอกสารอื่น ๆ ตามที่ระบุไว้ใน ขั้นตอนการขอรับการสนับสนุนโครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมไทย มาเพื่อใช้ในการเบิกเงินสนับสนุนย้อนหลังจากสำนักงานฯ ตามระยะเวลาที่กำหนด
3. สำนักงานฯ จะสงวนสิทธิ์การพิจารณาการสนับสนุนทางการเงินให้กับบริษัทฯ ไม่เกินร้อยละ 50 ของค่าใช้จ่ายในส่วนค่าจ้างที่ปรึกษาในโครงการฯ
4. สำนักงานฯ จะให้การสนับสนุนตามสัดส่วนของวงเงิน โดยพิจารณาจากการให้ความร่วมมือของบริษัทฯ ที่มีต่อผู้เชี่ยวชาญ และ ผลสำเร็จของโครงการ
5. ในกรณีที่เกิดความขัดแย้งหรือปัญหาระหว่างบริษัทฯ กับผู้เชี่ยวชาญ โปรดแจ้งให้สำนักงานฯ ทราบทันที เพื่อดำเนินการแก้ไขโดยเร็วต่อไป
6. ในกรณีที่ผู้เชี่ยวชาญไม่สามารถดำเนินโครงการฯ ได้เสร็จสิ้นตามกำหนดเวลา ขอให้บริษัทฯ แจ้งให้สำนักงานฯ ทราบเป็นลายลักษณ์อักษร เพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป
7. สำนักงานฯ ขอความร่วมมือเข้าเยี่ยมบริษัทฯ เพื่อติดตามความก้าวหน้า และประเมินผลโครงการฯ อย่างน้อย 1 ครั้ง

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	3
บทที่ 2 ทฤษฎี	5
2.1 คอนกรีต (Concrete)	5
2.2 ปูนซีเมนต์ (Cement)	6
2.3 มวลรวม	8
2.4 น้ำ	10
2.5 การผสมคอนกรีต	12
2.6 การบ่มคอนกรีต	14
2.7 มอร์ต้า (Mortar)	16
2.8 การสีกหรือ	16
2.9 การทดสอบการสีกหรือ	17
2.10 ค่าความต้านทานการสีกหรือ	25
2.11 ความแข็งแรงต่อการอัดของคอนกรีต	28
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	30
3.1 วัสดุ อุปกรณ์	30
3.2 ส่วนผสม	31
3.3 วิธีการทดลอง	31
บทที่ 4 ผลการทดลอง	34
4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต	34
4.2 ผลทดสอบการสีกหรือของคอนกรีต	38
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	41

ขั้นตอนการทำวิจัย	ระยะเวลา (เดือน)											
	1		2		3		4		5		6	
1. การจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์และรวบรวมข้อมูลทั่วไป												
2. ทำเครื่องทดสอบการสีกกร่อนของคอนกรีต												
3. การผสมคอนกรีต												
4. ทำการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต												
5. ทำการทดสอบการสีกกร่อนของคอนกรีต												
6. ทำการศึกษาสมบัติต่างๆเพื่อพัฒนาคอนกรีต (ถ้ามี)												
7. สรุปและเขียนรายงานผลการวิจัย												

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 คอนกรีต (Concrete)

คอนกรีต คือ วัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคาและคุณสมบัติต่างๆ คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ วัสดุประสาน อันได้แก่ ปูนซีเมนต์กับน้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ผสมกับวัสดุผสม ได้แก่ ทราย หินหรือกรวด เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง พอที่จะนำไปเทลงในแบบหล่อที่มีรูปร่างตามต้องการ หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรงและสามารถรับน้ำหนักได้มากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น

2.1.1 องค์ประกอบของคอนกรีต

คอนกรีตประกอบด้วยปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต โดยเมื่อนำส่วนผสมต่างๆเหล่านี้มาผสมกันจะมีชื่อเรียก ดังนี้

- ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste)
- ซีเมนต์เพสต์ผสมกับทราย เรียกว่า มอร์ต้า (Mortar)
- มอร์ต้าผสมกับหินหรือกรวด เรียกว่า คอนกรีต (Concrete)

2.1.2 หน้าที่และคุณสมบัติของส่วนผสม

1. ซีเมนต์เพสต์

หน้าที่ของซีเมนต์เพสต์มีดังนี้

- เสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม
- หล่อลื่นคอนกรีตสดขณะเทหล่อ
- ให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัว รวมทั้งป้องกันการซึมผ่านของน้ำ

คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ขึ้นอยู่กับ

- คุณภาพของปูนซีเมนต์
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์
- ความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชัน

2. มวลรวม (aggregate)

หน้าที่ของมวลรวมมีดังนี้

- เป็นตัวแทรกประสานราคาถูกที่กระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์

- ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก

คุณสมบัติของมวลรวมที่สำคัญ

- มีความแข็งแรง
- การเปลี่ยนแปลงปริมาตรต่ำ
- คงทนต่อปฏิกิริยาเคมี
- ความต้านทานต่อแรงกระแทก และการเสียดสี

3. น้ำ

หน้าที่หลักของน้ำสำหรับงานคอนกรีตมี 3 ประการ คือ

- ใช้ล้างวัสดุมวลรวมต่างๆ
- ใช้ผสมทำคอนกรีต
- ใช้บ่มคอนกรีต

หน้าที่หลักของน้ำในฐานะที่ใช้ผสมทำคอนกรีตยังแบ่งได้อีก 3 ประการ

- ก่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกับปูนซีเมนต์
- ทำหน้าที่หล่อลื่นเพื่อให้คอนกรีตอยู่ในสภาพเหลวสามารถเทได้
- เคลือบ หิน ทราย ให้เปียกเพื่อให้ซีเมนต์เพสต์จะสามารถเข้าเกาะได้โดยรอบ

2.2 ปูนซีเมนต์ (Cement)

ในวงการก่อสร้างปัจจุบัน ได้นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement) มาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์สมัยใหม่ที่สามารถทดสอบคุณสมบัติต่างๆ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการคำนวณ ใช้ในโครงสร้างอาคาร ถนน เขื่อน และงานก่อสร้างอื่นๆ ได้อย่างปลอดภัย

เดิมทีเดียว เมื่อปี พ.ศ. 2299 วิศวกรชาวอังกฤษชื่อ John Smeaton ได้ค้นพบ Hydraulic Cement และได้นำไปสร้างประภาคาร Eddy-Stone Lighthouse ให้คงทนอยู่ได้ถึง 125 ปี จนกระทั่งมีการค้นคว้าปูนซีเมนต์ในคุณสมบัติต่างๆ จนได้เกิดโรมันซีเมนต์ บริติชซีเมนต์ขึ้น ในปี พ.ศ. 2376 Joseph Asdin เป็นบุคคลที่ได้รับการยกย่องให้เป็นบิดาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์สมัยใหม่ เขาเป็นช่างเรียงและก่ออิฐจากเมืองลีดส์ประเทศอังกฤษได้ค้นพบปูนซีเมนต์ที่เรียกว่า “ปอร์ตแลนด์” (Portland) เพราะเขาพบว่ามันคล้ายกับหินบนเกาะเล็กๆ ของปอร์ตแลนด์ ได้จากการผสมหินปูน (Limestone) และดิน (Clay) โดยการเผาให้ร้อนที่อุณหภูมิ 800 °F จะทำให้น้ำถูกไล่ออกไปหมด และจะกลายเป็นปูนเม็ดในเตาเผา (Rotary Kilns) ที่อุณหภูมิ 1,600 °F และจะเผาต่อไปจนถึงอุณหภูมิสุดท้าย 2,700 - 3,000 °F หินปูนจะแยกตัวออกเป็นแคลเซียมออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ ปูนเม็ดที่ออกจากเตาเรียก Clinker จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1/6 – 2 นิ้ว เมื่อเย็นลงก็ส่งไปบด พร้อมกับยิมซัม (Gypsum) ประมาณ 3 % บดปูนซีเมนต์ให้มีขนาดของเม็ดเล็กมาก ยิ่งละเอียดเท่าใดก็ยิ่งทำให้การก่อตัว (Set) ได้เร็วขึ้น

2.2.1 ชนิดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตามมาตรฐาน ASTM C150-61

The American Society for Testing Material ได้กำหนดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงานก่อสร้างได้ 5 ประเภท ดังนี้

- ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (ordinary portland cement)

เป็นปูนซีเมนต์ชนิดมาตรฐานที่มีการผลิตใช้มากที่สุด เหมาะที่จะใช้กับงานก่อสร้างทั่วไปโดยเฉพาะงานคอนกรีตเสริมเหล็ก (reinforced concrete) ในงานก่อสร้างอาคาร, สะพาน, ผิวถนน, ลานบิน และอื่นๆ ในประเทศไทยเทียบได้กับปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราเพชร ตราพญานาคเขียว เป็นต้น

- ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (modified portland cement)

เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ผลิตขึ้นเพื่อต้านทานเกลือซัลเฟต เมื่อปูนมีปฏิกิริยากับน้ำ (hydration) จะเกิดความร้อนต่ำและเพิ่มขึ้นช้ากว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 เหมาะที่จะนำมาใช้ในงานคอนกรีตที่เกิดความร้อนและซัลเฟตได้ปานกลาง ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีการผลิตใช้ในประเทศไทย

- ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทให้กำลังอัดเร็ว (high early strength portland cement)

เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ให้กำลังอัดเร็วในระยะแรก เพราะมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เหมาะสำหรับการทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้งานเร็วหรือถอดไม้แบบในเวลาอันสั้น ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ ตราสามเพชร เป็นต้น ข้อควรระวัง คือ ไม่ควรใช้ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ในงานโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่ เพราะความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะเกิดสูงมากในช่วงต้นอันจะก่อให้เกิดโครงสร้างนั้นแตกร้าวได้

- ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (low heat portland cement)

เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำ เหมาะสำหรับงานคอนกรีตหยาบ (mass concrete) เช่นการก่อสร้างเขื่อน เนื่องจากทำให้อุณหภูมิของคอนกรีตขณะก่อตัวต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่น ซึ่งเป็นการลดปัญหาความเสี่ยงจากการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน (thermal cracking) ในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตปูนซีเมนต์ประเภทนี้ ปัจจุบันปูนประเภทนี้ถูกทดแทนโดยการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมกับ Pulverized Fuel Ash (PFA) และ Ground Granular Blast Furnace Slag (GGBS)

- ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภททนซัลเฟตได้สูง (sulphate resistance portland cement)

ปูนซีเมนต์ประเภทนี้เหมาะสำหรับโครงสร้างที่มีการกระทำของซัลเฟต ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังอัดช้าและให้ความร้อนต่ำกว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตรงช้างฟ้า ตราฉลาม

2.3 มวลรวม

มวลรวมหรือวัสดุผสม คือ วัสดุย่อย อันได้แก่ หิน ททราย กรวด ที่เป็นส่วนผสมที่สำคัญของคอนกรีต เนื่องจากมวลรวมมีปริมาตร 70 – 80 % ของปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมด ดังนั้นจึงไม่เป็นที่น่าสงสัยเลยว่า ทำไมคุณภาพของมวลรวมจึงมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของคอนกรีต และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ความสนใจในเรื่องนี้อย่างมาก

ในอดีต มวลรวมถูกคิดว่าเป็นเพียงวัสดุย่อย ที่ใช้เป็นตัวแทรกประสานโดยกระจายตัวอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์เท่านั้น ในปัจจุบันนี้พบว่า มวลรวมยังทำหน้าที่อื่นที่สำคัญอีก ประการแรก เนื่องจากมวลรวมเป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่มีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้นในส่วนผสมของคอนกรีตจึงควรใช้ปริมาณมวลรวมให้พอเหมาะเพื่อที่จะให้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดน้อยลง ประการต่อมา คุณสมบัติของมวลรวม จะช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน (durability) และปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก (volume stability) รวมทั้งมวลรวมยังทำหน้าที่ต้านทานน้ำหนักที่กดบนคอนกรีตด้วย กำลังและคุณสมบัติทางกายภาพอีกหลายประการของมวลรวม มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตเหลวและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ดังนั้นการเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสม ไม่เพียงแต่เป็นการประหยัด แต่ยังช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นด้วย มวลรวมที่ดีซึ่งจะส่งผลให้คอนกรีตมีความทนทานสูง ควรมีคุณสมบัติพื้นฐานที่ดีดังนี้ คือ ต้องมีความคงทน ไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบในซีเมนต์ ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อเสถียรภาพทางปริมาตรของคอนกรีต และมวลรวมจะต้องไม่มีสิ่งเจือปนที่มีผลเสียต่อกำลังและความคงตัวของซีเมนต์เพสต์

2.3.1 ประเภทของมวลรวม

- แบ่งมวลรวมตามแหล่งกำเนิดออกเป็น 2 กลุ่ม คือ
 - ก. มวลรวมที่เกิดจากธรรมชาติ (Natural mineral aggregate) เกิดจากขบวนการกัดกร่อนและเสียดสีตามธรรมชาติ
 - ข. มวลรวมที่มนุษย์ทำขึ้น (Artificial aggregate) เช่น มวลรวมเบาบางประเภทที่ได้จากการเผาดิน เป็นต้น
- แบ่งตามความหนาแน่น หรือ หน่วยน้ำหนัก สามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ
 - ก. มวลรวมเบา (Light weight aggregate) มีความหนาแน่นตั้งแต่ 300 – 1,100 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
 - ข. มวลรวมปกติ (Normal weight aggregate) มีความหนาแน่นตั้งแต่ 2,400 – 3,000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร
 - ค. มวลรวมหนัก (Heavyweight Aggregate) มีความหนาแน่นมากกว่า 4,000 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

- แบ่งตามขนาดของมวลรวม สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

ก. มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้แก่ หินหรือกรวดที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มิลลิเมตร ขึ้นไป หรือค้างอยู่บนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4

ข. มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ได้แก่ ทรายที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มิลลิเมตร หรือสามารถผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ต้องไม่เล็กกว่า 0.07 มิลลิเมตร หรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200

ส่วนที่มีขนาดเล็กกว่ามวลรวมละเอียด ซึ่งมีอยู่จำนวนน้อยมากในส่วนผสมคอนกรีต สามารถแบ่งได้เป็น

Silt จะมีขนาดประมาณ 0.07 มิลลิเมตร

Clay จะมีขนาดอยู่ในช่วง 0.02 – 0.06 มิลลิเมตร

2.3.2 ทราย

ทรายเป็นวัสดุที่สำคัญชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นส่วนผสมของคอนกรีตประเภทมวลรวมละเอียด (Fine aggregate) เพื่อความแข็งแรง และเป็นตัวแทรกของคอนกรีต นอกจากนี้ยังเป็นส่วนผสมที่สำคัญของมอร์ต้า ที่นำมาใช้ก่อ และฉาบด้วย ทรายเป็นหินแข็งซึ่งแตกแยกออกมาจากก้อนหินใหญ่ หรืออาจเรียกว่าเป็นหินเม็ดเล็กก็ได้ มันเกิดการแยกตัวขึ้นได้เองตามธรรมชาติ สำหรับประเทศไทย ทรายมีเพียงพอสำหรับความต้องการใช้งาน ปัจจุบันมีเรือขุดหรือดูดจากลำน้ำ นำทรายขึ้นมาได้รวดเร็วและเป็นจำนวนมาก

ทรายมีขนาดอยู่ระหว่าง $1/12$ นิ้ว - $1/400$ นิ้ว สำหรับมาตรฐานทั่วไป ถ้าเล็กกว่านี้ไปอีก ทรายจะกลายสภาพเป็นฝุ่น เมื่อผสมกับน้ำจะคล้ายดินโคลน จึงไม่นิยมนำเอาทรายที่เล็กมาผสม เพราะจะทำให้คอนกรีตเป็นรอยแตกร้าวได้ง่าย เมื่อเกิดการหดตัวขึ้นในสภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือในเวลาที่คอนกรีตก่อตัว

ทรายมีวัตถุดิบอย่างผสมอยู่ ส่วนมากประกอบด้วยหินแข็งจำพวกหนึ่ง เรียกว่า Quartz หรือ Basalt ซึ่งแยกย่อยลงมาเป็นชิ้นเล็กๆเรียกว่า “หินละเอียด” หรือมวลรวมละเอียด (fine aggregate) การที่จะปรากฏเป็นรูปร่างเช่นนี้ ทรายจะต้องอาศัยปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น แดด ฝน คลื่นในทะเลหรือคลื่นในแม่น้ำลำคลอง ชัดให้เม็ดหินขัดสีกันเป็นก้อนค่อนข้างกลม ผิวมันมีสีต่างๆ ตามลักษณะของหินที่แตกออกมา

เหตุผลที่นำทรายมาเป็นส่วนผสมของคอนกรีต

ทรายเป็นหินแข็งเม็ดเล็ก ซึ่งสามารถแทรกตัวเข้าไปในส่วนผสมต่างๆได้ โดยเคลือบคลุมและยึดประสานด้วยซีเมนต์ ซึ่งหินจะไม่สามารถแทรกตัวเข้าไปได้ในช่องว่างเล็กๆ ถ้าขาดทราย ช่องว่างจะเกิดขึ้น และเป็นสาเหตุทำให้ความแข็งแรง การยึดเหนี่ยวต่ำลง เพราะตามธรรมชาติ หินมีช่องว่างอยู่ประมาณ 40 – 50 % ของสิ่งที่บรรจุนั้น จึงต้องอาศัยทรายเป็นเครื่องแทรกตัวไปตามช่องว่างต่างๆ และยึดเกาะด้วย

ปูนซีเมนต์ เป็นคอนกรีตที่แน่นและแข็งแรงเต็ม โดยต้องมีการกระตุ้นหรือเขย่าหรือผสมด้วยตัวเติม (additive) ให้มีฟองอากาศขังตัวน้อยที่สุด

ทรายต้านทานการยึดหดได้ดี เป็นเครื่องช่วยผ่อนคลายการแตกร้าวหรือรอยปริ อันเกิดจากการที่คอนกรีตขยายตัวหรือหดตัวตามผิว ในสภาพที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเป็นร้อนหรือเย็นก็ตาม ขนาดเม็ดของทรายมีขนาดเล็กจึงช่วยถ่ายเทความร้อน และเฉลี่ยแรงยึดหดที่ได้รับบรรทุกจากน้ำหนักต่าง ๆ นั้นอย่างรวดเร็ว จึงสามารถช่วยต้านทานอยู่ได้

ทรายจะทำให้เกิดช่องว่างเล็กๆ ขึ้นภายในเนื้อคอนกรีต ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปช่วยให้การแข็งตัวของปูนซีเมนต์ได้ดี

ลักษณะของทรายที่มีเหลี่ยมคม ทำให้การยึดเกาะของทรายกับปูนซีเมนต์ดีขึ้น ซึ่งมีผลทำให้กำลังอัดเพิ่มของคอนกรีตเพิ่มขึ้นด้วย

ช่วยเพิ่มปริมาณของส่วนผสม ซึ่งทรายมีราคาถูกกว่าวัสดุชนิดอื่น ทั้งยังหาง่ายและแข็งแรงดี

2.3.3 หิน

หินเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ทั่วทุกแห่ง ประโยชน์ของหินที่จริงแล้วมีมากมายหลายอย่าง เช่น ใช้ในการก่อสร้าง ทำหินประดับการตกแต่งภายในและภายนอกอาคาร ทำเครื่องประดับ ทำหินลับมีด ปูพื้น ส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ ทำอิฐ ทำกระเบื้อง ทำเครื่องปั้นดินเผา หินรองพื้นทางเดิน แกะสลัก การจัดสวนและอื่นๆ อีกมากมายหลายอย่าง

ความหมายของคำว่า หิน โดยความหมายอย่างกว้างๆ ทางธรณีวิทยา หมายถึง สารที่เป็นของแข็ง ประกอบเป็นส่วนสำคัญของโลก ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นพวกๆ ได้ คำว่า หิน ยังรวมถึงพวกกรวด และดินอีกด้วย หินแบ่งเป็น 3 ประเภท คือ หินอัคนี หินชั้นหรือหินตะกอน และหินแปร ซึ่งหินแต่ละชนิดยังสามารถแบ่งประเภทย่อยๆ ได้อีก ตัวอย่างหินที่ใช้เป็นส่วนประกอบของคอนกรีต เช่น หินไรโอไลต์ หินบะซอลต์ หินกรวดเหลี่ยม หินกรวดมน หินทรายและหินไนส์

2.4 น้ำ

ปริมาณน้ำและคุณภาพของน้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีต และสิ่งเจือปนต่างๆ ในน้ำอาจจะมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต เช่น เวลาการแข็งตัว กำลังอัด ทำให้สีของคอนกรีตไม่สม่ำเสมอ ด้วยเหตุนี้การเลือกน้ำที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับผสมและบ่มคอนกรีต จึงจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ

2.4.1 ความสำคัญของน้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตคอนกรีต โดยทำหน้าที่ 3 ประการ คือ

ก. ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันรวมทั้งทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการเท

ข. ใช้ปั๊มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้น

ค. ใช้ล้างมวลรวมที่สกปรก

ปัญหาที่มักพบอยู่เสมอเกี่ยวกับปริมาณน้ำในงานคอนกรีตที่แข็งตัว คือ

ก. ในขณะที่เป็นคอนกรีตสด คอนกรีตต้องการน้ำจำนวนเพียงพอให้ลื่นไหลเข้าไปได้ แต่ผู้ทำงานมักจะใส่น้ำปริมาณมากเพื่อให้คอนกรีตเหลวมาก สะดวกในการเทแต่กำลังอัดจะลดต่ำลง

ข. ในขณะที่เป็นคอนกรีตแข็งตัวแล้ว คอนกรีตต้องการน้ำจำนวนมาก เพื่อบ่มให้กำลังอัดได้พัฒนาขึ้นตามเวลา

2.4.2 สิ่งเจือปน

ถ้าในน้ำที่ผสมคอนกรีตมีสิ่งเจือปนอยู่มากเกินระดับหนึ่งอาจก่อปัญหาทางด้านคุณภาพ ได้แก่

ก. กำลังและความทนทานของคอนกรีตลดลง

ข. เวลาการก่อตัวเปลี่ยนแปลงไป

ค. คอนกรีตเกิดการหดตัวมากกว่าปกติ

สิ่งเจือปนที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของคอนกรีตมี 3 ประเภท คือ ตะกอน สารละลาย อนินทรีย์ หากมีสิ่งเจือปนเหล่านี้ปริมาณน้อย ก็จะไม่ก่อให้เกิดผลเสียร้ายแรง นอกจากนี้ยังมีข้อกำหนดของเขตความเข้มข้นของสิ่งเจือปนโดยละเอียด ดังตาราง 2.1

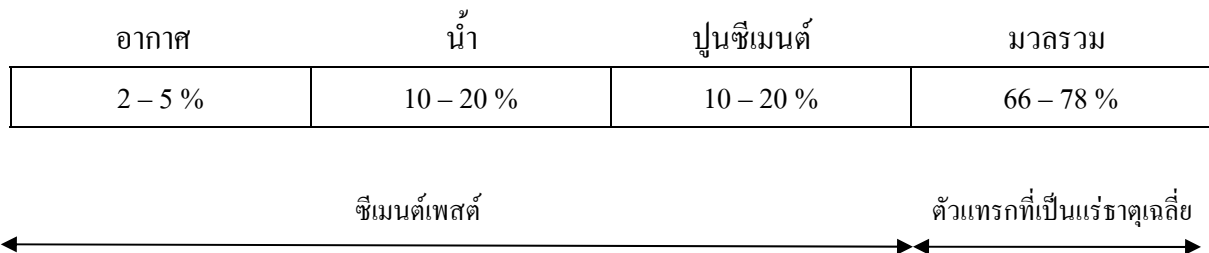
ตาราง 2.1 แสดงขอบเขตและผลกระทบของสิ่งเจือปนในน้ำ [7]

สิ่งเจือปน	ความเข้มข้น สูงสุด (PPM)	ผลกระทบ/ตัวอย่าง
ตะกอน	2,000	- ตะกอนดินเหนียว สารอินทรีย์
เหล็ก	500 – 1,000	- เพิ่มฟองอากาศ
เกลือคาร์บอเนต	1,000	- ลดเวลาก่อตัว
เกลือไบคาร์บอเนต	400 -1,000	- 400 ส่วนต่อล้านส่วน สำหรับเกลือไบคาร์บอเนตของแคลเซียมและแมกนีเซียม
โซเดียมซัลเฟต	10,000	- อาจเพิ่มกำลังระยะแรก แต่ลดกำลังระยะยาว
แมกนีเซียมซัลเฟต	40,000	- อาจเพิ่มกำลังระยะแรก แต่ลดกำลังระยะยาว
โซเดียมคลอไรด์	20,000	- ลดเวลาก่อตัว เพิ่มกำลังระยะแรก ลดกำลังสูงสุด
แคลเซียมคลอไรด์	50,000	- ลดเวลาก่อตัว เพิ่มกำลังระยะแรก ลดกำลังสูงสุด
แมกนีเซียมคลอไรด์	40,000	- ลดเวลาก่อตัว เพิ่มกำลังระยะแรก ลดกำลังสูงสุด
ฟอสเฟต, อาร์ซีเนต, โบรเฮตส์	500	- ลดเวลาก่อตัว
แมงกานีส และดีบุก	500	- ลดเวลาก่อตัว
กรดอินทรีย์	10,000	- PH ไม่ต่ำกว่า 3.0
โซเดียมซิลิเฟต	100	- ควรหล่อคอนกรีตทดสอบ

2.5 การผสมคอนกรีต

คอนกรีตโดยทั่วไปเป็นของผสมที่ได้จากการผสมปูนซีเมนต์กับวัสดุผสม ได้แก่ ทราย หินหรือกรวด และน้ำเข้าด้วยกัน ตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ เพื่อให้ได้สัดส่วนผสมที่ขึ้นเหลวพอที่จะเทได้และสะดวกแก่การใช้งาน คอนกรีตที่ดีนั้นได้จากการที่อนุภาคของมวลรวม ทั้งอนุภาคเล็กและใหญ่ทุกอนุภาค ถูกเคลือบและหุ้มไว้ด้วยซีเมนต์เพสต์ หมายถึง ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ล้วนๆ กับน้ำซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างกัน ทำให้คุณสมบัติเป็นวุ้นและจับตัวเกาะแน่นกับวัสดุผสมได้ มอร์ต้า เป็นส่วนผสมของซีเมนต์ น้ำและวัสดุผสมย่อยหรือมวลรวมละเอียด ถ้ารวมกับวัสดุผสมหยาบหรือมวลรวมหยาบ ก็จะได้คอนกรีตเช่นเดียวกัน

คอนกรีตที่ผสมใหม่และยังเหลวอยู่นั้น ส่วนที่เป็นของแข็งรวมทั้งปูนซีเมนต์ จะลอยตัวอยู่ในน้ำชั่วคราว ปูนซีเมนต์แต่ละเม็ดจะถูกแยกไว้ด้วยชั้นบางๆ ของน้ำ ในขณะเดียวกันจะเกิดแรงยึดเกาะขึ้นระหว่างเม็ดปูนซีเมนต์เล็กๆ ทำให้ส่วนผสมนี้เหลวพอเทได้ โดยปกติคอนกรีตที่ผสมแล้วในขณะที่ยังเหลวอยู่สามารถแยกออกเป็นสองส่วนใหญ่ คือ ซีเมนต์เพสต์และมวลรวม ซึ่งมวลรวมแต่ละชั้นจะถูกห่อหุ้มด้วยซีเมนต์เพสต์ ปริมาตรของส่วนผสมที่ได้จะเท่ากับปริมาณของซีเมนต์รวมกับปริมาณของมวลรวมตามรูป 2.1



รูป 2.1 แสดงปริมาตรของส่วนประกอบของส่วนผสมคอนกรีตธรรมดา [3]

ปริมาตรของอากาศที่เกิดขึ้นนี้ขึ้นอยู่กับปริมาตรของปูนซีเมนต์ที่ใช้ ถ้าอัตราส่วนผสมและคุณสมบัติของวัสดุผสมแต่ละที่คงที่ ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ลดลง ปริมาตรของอากาศจะเพิ่มขึ้น ช่องว่าง (void) ที่เกิดขึ้นในคอนกรีตเป็นช่องว่างตามธรรมชาติ

คอนกรีตจะมีคุณสมบัติจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดส่วนผสมที่ดีและเหมาะสมอย่างเดียวยังได้กำหนดจำนวนของน้ำที่มีต่อปูนซีเมนต์ที่ผสม เรียกว่า อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ (water cement ratio หรือ w/c ratio)

ได้มีการทดลองกันอย่างแน่ชัดว่าคอนกรีตที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ (w/c ratio) น้อยย่อมมีความแข็งแรงมากกว่าคอนกรีตที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์มาก แต่อย่างไรก็ตาม จำนวนอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ (w/c ratio) อาจถูกกำหนดขึ้นก่อนตามความเหมาะสมของงานก่อสร้าง

โดยทั่วไปการกำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ (w/c ratio) เป็นเพียงแสดงไว้ในรายการเพื่อเป็นหลักการไว้ แต่จะต้องพิจารณางานแต่ละส่วนในโครงสร้าง เพื่อกำหนดให้คอนกรีตมีความชื้นเหลว (consistency) สามารถที่จะเทคอนกรีตได้เต็มแบบหล่อได้ เรียกว่า Workability เป็นต้น

จากจำนวนน้ำที่ใส่เข้าผสมกับปูนซีเมนต์ ทำให้เกิดพฤติกรรม 2 ประการ คือ

ก. น้ำจะเข้าไปชุ่มในเนื้อผงปูนซีเมนต์ และเคลือบเมล็ดทรายและหินให้ลื่นและเหลวพอที่จะแผ่เข้าแทรกตัวเต็มแบบหล่อ การกระทุ้งหรือใช้เครื่องเขย่าจะทำให้ส่วนผสมรวมกันแน่น จนกระทั่งอากาศที่มีอยู่ลอยตัวหนีออกข้างนอก

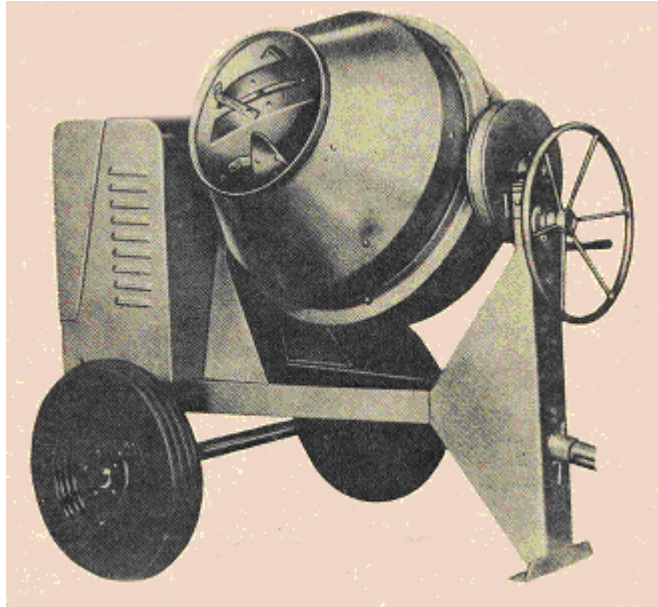
ข. น้ำที่ผสมเข้าไปจะกระจายอยู่ทั่วไป ทำให้เนื้อปูนซีเมนต์นั้นค่อยๆ เปลี่ยนแปลงเป็นวงกลมเกาะตัวทำปฏิกิริยากันให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัวขึ้นตามลำดับ สามารถยึดเกาะเมล็ดทรายและก้อนหินให้อยู่ในรูปร่างของแบบหล่อได้

2.5.1 วิธีการผสม มีอยู่ 2 วิธี

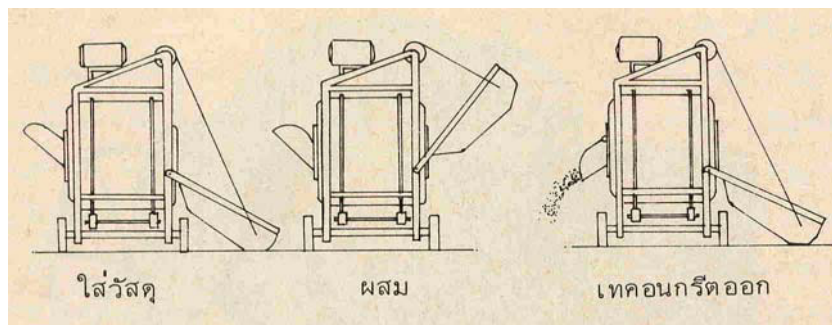
ก. การผสมด้วยมือ (Hand mixing) เหมาะกับงานขนาดเล็กที่ไม่เคร่งครัดเรื่องคุณภาพ เพราะคุณภาพของคอนกรีตที่ได้มักไม่สม่ำเสมอ วิธีการจะผสมปูนกับทรายให้เข้ากันก่อนจึงค่อยผสมหิน สุดท้ายจะใส่น้ำในปริมาณที่กำหนด ปล่อยให้หน้าสัมผัสส่วนผสมขณะหนึ่ง แล้วผสมจนเข้ากัน จึงนำไปใช้งานได้

ข. การผสมด้วยเครื่อง (Machine mixing) หลักการที่ยึดถือสำหรับการผลิตคอนกรีต คือ การผสมให้วัสดุผสมต่างๆ เข้ากันอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้โดยนำวัสดุ เช่น ปูนซีเมนต์และน้ำที่มีจำนวนต้องใช้ และมวลรวมซึ่งไหลลงมาจากถังตวง (batch) นำเข้ายังเครื่องผสมและได้กระทำการผสม mixing action การให้ซีเมนต์เพสต์ (cement paste) ผสมคลุกเคล้ากับผิวของแต่ละชั้นของมวลรวมนั้น เครื่องผสมจะต้องมีการออกแบบพร้อมทั้งกำหนดกระบวนการอันเกี่ยวข้องกับการใช้เวลาในการผสม

ชนิดของเครื่องผสม (types of mixer) การทำงานในหน่วยก่อสร้างหรือในสนาม เครื่องผสม (machine mixing) นำวัสดุผสมใส่ถังผสม (batch mixer) มีการยกถังด้วยวิธีต่างๆ เป็นการนำวัสดุเข้ายังไม่ (drum mixer) มีทั้งเครื่องผสมที่ใช้กับสถานีผสมและที่อื่น ชนิดไม่ผสมเอียง (tilting) รูป 2.2 และไม่เอียง (untilting) รูป 2.3 ชนิดเอียงมีรูปร่างเป็นถังรูปกรวยที่มีปลายบนรับวัสดุเข้า และเทคอนกรีตออก แต่ชนิดไม่เอียงก็เป็นถังมีการเทโดยการเหวี่ยงคอนกรีตให้ออกโดยที่ตรง



รูป 2.2 แสดงเครื่องผสมคอนกรีตชนิดผสมเอียง (Tiling Drum Mixer) [3]



รูป 2.3 แสดงเครื่องผสมคอนกรีตชนิดผสมแบบไม่เอียง Close Drum or Free Fall Mixer [3]

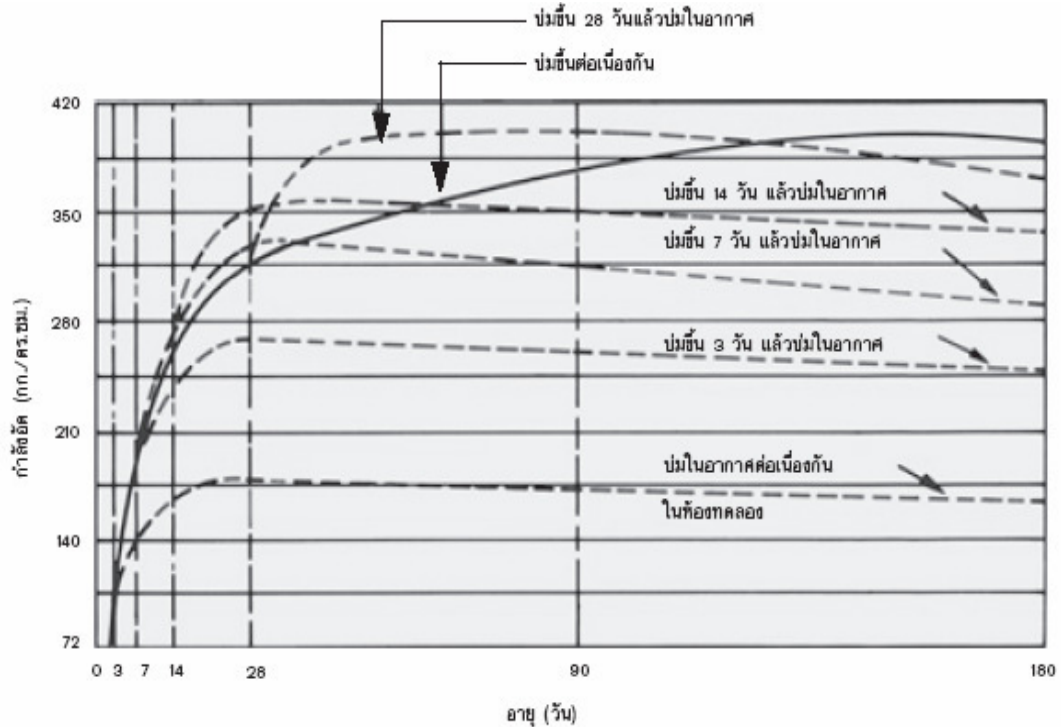
2.6 การบ่มคอนกรีต

การบ่ม (Curing) คือ วิธีการที่ช่วยให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ซึ่งส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง วิธีการทำโดยให้น้ำแก่คอนกรีตหลังจากที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว

หน้าที่สำคัญของการบ่มคอนกรีตมีด้วยกัน 2 ประการ คือ

- ก. ป้องกันการสูญเสียความชื้นจากเนื้อคอนกรีต
- ข. รักษาระดับอุณหภูมิให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม สำหรับวัตถุประสงค์ที่สำคัญของการบ่มคอนกรีต คือ
 - เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังและความทนทาน
 - เพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต โดยรักษาระดับอุณหภูมิให้เหมาะสม และลดการระเหยของน้ำให้น้อยที่สุด

นอกจากนี้การบ่มอาจหมายถึงการควบคุมอุณหภูมิของคอนกรีตด้วยทั้งนี้เพราะอุณหภูมิที่สูงจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาไฮเดรชันให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว อันทำให้คุณภาพของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะแรก อย่างไรก็ตามการเร่งนี้อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อคุณสมบัติของคอนกรีตในระยะยาว



รูป 2.4 แสดงผลของการบ่มที่มีต่อกำลังอัดของคอนกรีต [7]

จากรูป 2.4 แสดงอิทธิพลของการบ่มต่อกำลังอัดของคอนกรีตซึ่งสรุปได้ดังนี้

- กำลังของคอนกรีตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงวันแรกๆ ของการบ่ม ซึ่งชี้ถึงความสำคัญของการบ่มในระยะแรก
- กำลังของคอนกรีตมีโอกาสเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หลังอายุ 28 วัน โดยอัตราการเพิ่มของกำลังจะช้าลง แต่ก็ยังเพิ่มขึ้นตลอดเวลา หากได้รับการบ่มที่ดี
- หากขาดความชื้น กำลังคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นสักระยะหนึ่งเพราะความชื้นที่เหลืออยู่ แต่หลังจากนั้นกำลังจะไม่เพิ่มขึ้นอีก เช่น กำลังของคอนกรีตที่ได้รับการบ่ม 3 วัน จะมีกำลังเพียง 75-80% ของกำลังคอนกรีตที่บ่มขึ้นครบ 28 วัน

จะเห็นได้ว่า ควรบ่มคอนกรีตให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ นั่นคือ บ่มจนกว่าคอนกรีตมีกำลังสูงตามที่ต้องการ แต่ในทางปฏิบัติมักไม่สามารถบ่มคอนกรีตได้นานนัก ทั้งนี้ก็เพราะข้อจำกัดในเรื่องกำหนดการก่อสร้างและค่าใช้จ่าย จากรูป 2.4 แสดงให้เห็นว่า การบ่มขึ้น 7 วัน ทำให้กำลังของคอนกรีตสูงทัดเทียมกับกำลังคอนกรีตที่บ่มและทดสอบในสภาพชื้นถึง 28 วัน ตามมาตรฐานอเมริกาแนะนำให้ใช้เวลาบ่มขึ้น 7 วัน สำหรับโครงสร้างของคอนกรีตทั่วไป หรือเวลาที่จำเป็นเพื่อให้ได้กำลัง 70% ของกำลัง

อัดหรือกำลังอัดที่กำหนด ซึ่งแล้วแต่ว่าเวลาไหนน้อยกว่ากัน แต่สำหรับคอนกรีตที่มีปริมาณมาก ๆ เช่น ฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ จำเป็นต้องบ่มนานถึงอย่างน้อย 2 สัปดาห์

ในกรณีที่ต้องการบ่มต้องหยุดชะงักไประยะเวลาหนึ่งด้วยเหตุผลใดก็ตาม เมื่อคอนกรีตได้รับความชื้น ปฏิกิริยาไฮเดรชันก็สามารถเกิดขึ้นต่อไปได้ ทำให้กำลังของคอนกรีตสูงเพิ่มขึ้นไปอีก

2.7 มอร์ต้า (Mortar)

มอร์ต้าประกอบด้วยส่วนผสมกันของวัสดุที่ยึดติดกับมวลรวมละเอียด อัตราส่วนที่กำหนดตามชนิดของงานที่จะก่อหรือฉาบให้มีความเหลวพอเหมาะ เช่น ปูนซีเมนต์ผสมกับทรายและน้ำ ปูนขาวผสมกับทรายและน้ำ และปูนซีเมนต์ ปูนขาวรวมผสมกับทรายและน้ำ เป็นต้น

- กำลังของมอร์ต้า กำลังของมอร์ต้ามีบทบาทอย่างมากต่อกำลังอัดของคอนกรีตโดยกำลังของมอร์ต้าขึ้นอยู่กับความพรุนภายในเนื้อมอร์ต้า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และ degree of hydration แต่ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังและความพรุน จะถูกควบคุมด้วยอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กำลังของมอร์ต้าขึ้นอยู่กับอย่างมากกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

การเปลี่ยนแปลงในคุณสมบัติของมวลรวม เช่น การเปลี่ยนขนาดกะ ปริมาณ กำลัง ลักษณะผิวขนาดใหญ่ที่สุด การดูดซึมและแร่ธาตุต่างๆ จะส่งผลต่อกำลังของคอนกรีตไม่มากนัก

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงกำลังคั้งน้อยกว่ากำลังอัด โดยอัตราส่วนของกำลังคั้งต่อกำลังอัดของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มขึ้น

2.8 การสึกหรอ

การสึกหรอ (wear) หมายถึง การสูญเสียหรือความเสียหายของผิววัสดุที่เกิดจากการสัมผัสหรือเคลื่อนที่ผ่านกันของวัสดุด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การเสียดสี การขัดถู การกระแทก การไถล เป็นต้น

2.8.1 ประเภทของการสึกหรอ

การสึกหรอสามารถแบ่งตามลักษณะการเกิดการสึกหรอได้ 6 ประเภท คือ การสึกหรอแบบขัดถู (abrasive wear) การสึกหรอแบบติดกัน (adhesive wear) การสึกหรอแบบการกัดเซาะ (erosive wear) การสึกหรอแบบการกัดกร่อน (corrosion wear) การสึกหรอแบบความล้า (fatigue wear) และการสึกหรอแบบการสั่น (fretting wear)

2.8.2 การสึกหรอแบบขัดถู

การสึกหรอแบบขัดถู (abrasive wear) เป็นการสึกหรออันเนื่องมาจากผิวสัมผัสที่แข็งและขรุขระหรืออนุภาคที่มีความแข็งเคลื่อนที่ผ่านไปบนผิววัสดุอีกชิ้นที่มีความแข็งน้อยกว่า ทำให้เกิดความเสียหายของผิววัสดุทั้งแบบพลาสติก (plastic deformation) และแบบแตกหัก (fracture) โดยการสึกหรอใน

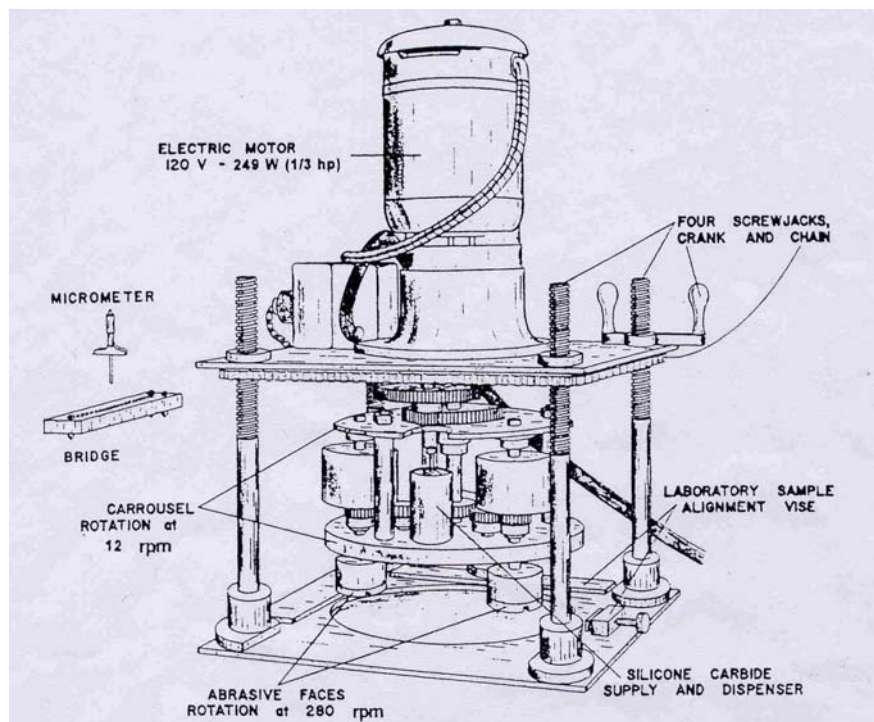
ลักษณะนี้จะพบว่าเป็นการสึกหรอที่สำคัญที่สุดในกระบวนการสึกหรอ ซึ่งในอุตสาหกรรมที่มีการสึกหรอพบว่าการสึกหรอแบบขัดถูมากถึง 50 % ของการสึกหรอแบบอื่น ๆ

2.9 การทดสอบการสึกหรอ

มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาค่าความต้านทานการเสียดสีของพื้นผิวคอนกรีต และมุ่งหมายเพื่อใช้ในการกำหนดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตโดยอัตราส่วนผสม, การดูแลรักษาพื้นผิวคอนกรีต , แบ่งเป็น 3 การปฏิบัติ โดยแต่ละการปฏิบัติจะมีแรงในการเสียดสีแตกต่างกัน

2.9.1 การปฏิบัติ A – เครื่องทดสอบการเสียดสีแบบการหมุนของแผ่นกลม (Revolving disks abrasion test machine)

- การเสียดสีเกิดจากการสไลด์และขีดของโลหะแผ่นกลม



รูป 2.5 แสดง Revolving disks abrasion test machine [8]

ก. เครื่องมือ

- เครื่องมือแสดงดังรูป 2.5 ใช้ทดสอบการเสียดสีของวัสดุพื้นผิวเรียบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 มิลลิเมตร ($2\frac{3}{8}$ นิ้ว) การเสียดสีจะเกิดจากการหมุนของโลหะแผ่นกลม ซึ่งหมุนโดยมอเตอร์ไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ด้านบนของเครื่อง ร่องรอยการเสียดสีมีลักษณะเป็นรอยลึกตั้งฉากลงไป ลึก 5 มิลลิเมตร ($\frac{3}{16}$ นิ้ว)

กว้าง 6 มิลลิเมตร (1/4 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 150 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) และมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 275 มิลลิเมตร (11 นิ้ว)

- แผ่นเหล็กแทนหมุนซึ่งมีหน้าที่ยึดโลหะแผ่นกลมติดกับตัวเครื่อง และหมุนได้เร็ว 12 รอบต่อนาที (12 rpm) และทำให้โลหะแผ่นกลมหมุนด้วยความเร็ว 280 รอบต่อนาที (280 rpm) ถ้วยยึดแผ่นโลหะกลมด้านบนแต่ละแผ่นจะให้น้ำหนัก 22 นิวตัน (5 lbf)

- วัสดุที่ใช้ทำหน้าที่ขัดเสียดสีประกอบด้วยซิลิกอนคาร์ไบด์ 250 นิวตัน ซิลิกอนคาร์ไบด์นี้จะถูกปล่อยลงมาจากถังเก็บด้านบนผ่านช่องซึ่งกว้าง 3 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) ด้วยอัตรา 4-6 กรัม/นาาที ซิลิกอนคาร์ไบด์จะตกลงตรงกลางของรอยเสียดสี และตระหว่งแผ่นโลหะกลมที่ทำหน้าที่เสียดสี

- มาตรการประกอบด้วย มาตรการรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) ยาว 300 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) รองรับด้วยขาตั้ง 3 ขา ตรงกลางถูกเจาะให้เป็นช่องยาว มีความกว้าง 3 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) และลึก 6 มิลลิเมตร (1/4 นิ้ว) การวัดทำได้โดยเข็มวัดที่ยาวประมาณ 25-50 มิลลิเมตร (1-2 นิ้ว) และมีความละเอียด 0.025 มิลลิเมตร (0.001 นิ้ว)

ข. วัสดุทดสอบ

- วัสดุที่จะนำมาทดสอบถูกออกแบบให้มีความเหมาะสม ซึ่งมีขนาด 300×300 มิลลิเมตร (12×12 นิ้ว) หรือต้องมีความหนาน้อยที่สุด 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) เครื่องสามารถปรับให้มีความเหมาะสมแก่การทดสอบโดยการปรับพื้นผิวและสายโซ่ ส่วนที่ค่าเครื่องด้านบนจะเป็นเสาหลัก 4 เสา ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) และสามารถเคลื่อนย้ายเครื่องมือนี้ นำไปทดสอบพื้นผิวได้โดยตรง

ค. กระบวนการ

- ก่อนที่จะทำการทดสอบจะต้องทำการปรับพื้นผิวที่มีส่วนไม่สม่ำเสมอหรือไม่เรียบ ให้เรียบและเสมอกันเสียก่อน โดยใช้เครื่องมือเสียดสีประมาณ 5 นาที หลังจากปรับพื้นผิวแล้วจะได้พื้นผิวที่ถูกเสียดสีลงไป 0.025 มิลลิเมตร (0.001 นิ้ว) ซึ่งวัดโดยมาตรวัด การวัดจะแบ่งพื้นที่ในการวัดเป็นส่วนๆ วัด 20 ครั้ง โดยนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับเพื่อที่จะทำให้ได้ค่าที่แม่นยำ และเพื่อความแน่นอนในการวัดครั้งสุดท้ายจะทำการวัดโดยกำหนดค่าเริ่มต้นก่อนจึงทำการวัด

- การทดสอบบนผิวคอนกรีตจะทำการทดสอบ 30 นาที การทดสอบจะทำให้พื้นผิวของคอนกรีตเป็นรอยลึกลงไป และสามารถทำการทดสอบได้ถึง 60 นาที ถ้าต้องการข้อมูลที่มากขึ้น

- เครื่องมือสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกและปลอดภัย เนื่องจากที่ฐานของตัวเครื่องมีปุ่มยางกันกระแทก และไม่เพียงป้องกันการแตกร้าวระหว่างการทดสอบการเสียดสี ยังสามารถป้องกันการคลาดเคลื่อนซึ่งเป็นผลกระทบจากการทดสอบการเสียดสีในเรื่องขนาดพื้นที่ที่ทดสอบและการเลือกพื้นที่ในการทดสอบให้มีขนาดเล็กสามารถช่วยลดผลกระทบจากการแตกร้าว

- วัดความลึกของรอยสึกด้วยมาตรวัดที่มีความละเอียด 0.025 มิลลิเมตร (0.001 นิ้ว) และทำการปรับมาตรวัดให้ได้มาตรฐานก่อนทำการวัด จากนั้นทำความสะอาดพื้นผิวคอนกรีตที่ทำการทดสอบด้วยความระมัดระวัง โดยปัดฝุ่นที่ได้จากการทดสอบการเสียดสี

- เพื่อความแน่นอนในการสรุปค่า ควรคิดจากการทดสอบการเสียดสี 3 ครั้ง

ง. การอธิบายผล

- การเปรียบเทียบความลึกเฉลี่ย โดยการวัดจากพื้นผิวคอนกรีตที่ผ่านการทดสอบ 30-60 นาที จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของค่าความต้านทานการสึกหรอของพื้นผิวคอนกรีต

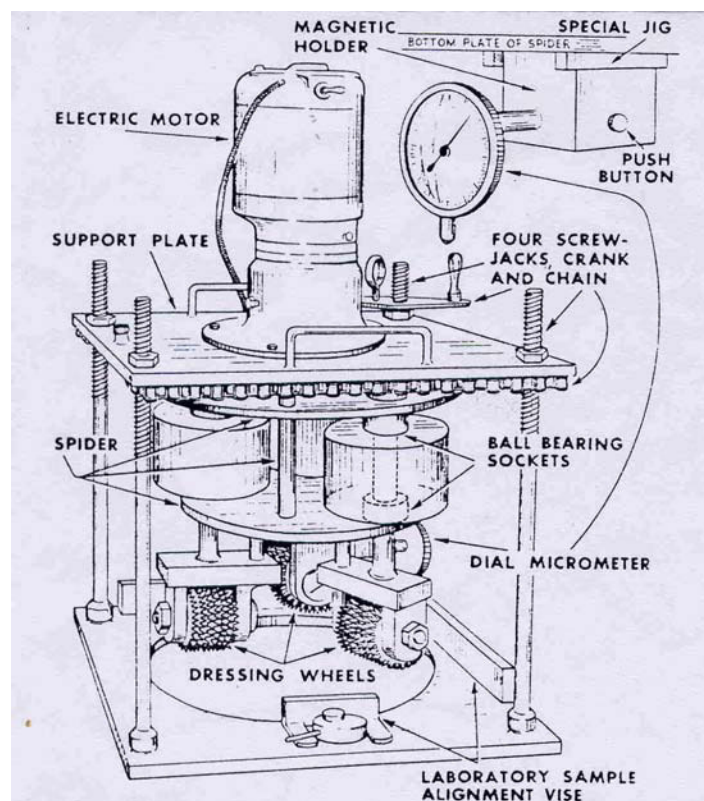
จ. การรายงานผล

- ค่าความลึกที่ได้จากการทดสอบ เมื่อนำมาเฉลี่ยจะมีความแม่นยำใกล้เคียงกับค่าความลึกจริง

- การบันทึกผลควรบันทึกอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (w/c ratio) ความถ่วงจำเพาะ ความละเอียดและความหยาบของมวลรวม ชนิดของปูน ชนิดของมวลรวม ชนิดและขนาดของแบบหล่อ คอนกรีต ข้อมูลการเก็บรักษา (บ่ม) อายุของคอนกรีตขณะทำการทดสอบ

2.9.2 การปฏิบัติ B – เครื่องทดสอบการเสียดสีแบบล้อหนาม (Dressing wheel abrasion test machine)

- การสึกหรอที่เกิดจากการกระแทกและสไลด์โดยล้อเหล็กหนาม



รูป 2.6 แสดง Dressing wheel abrasion test machine [8]

ก. เครื่องมือ

- เครื่องมือจะทำหน้าที่เสียดสีพื้นผิวเรียบของคอนกรีตโดยล้อเหล็กหนาม โดยล้อเหล็กจะลอยสูงจากพื้นและสามารถหมุนได้อย่างอิสระและมีแรงกดลงมาจากด้านบน โดยแรงกดจะตั้งฉากกับพื้นผิวคอนกรีต

- แต่ละล้อจะประกอบไปด้วยหนาม 7 ชั้น และแต่ละล้อจะห่างกัน 40 มิลลิเมตร ($1\frac{1}{2}$ นิ้ว) ล้อนี้จะทำให้สึกกร่อนเป็นรอยรูปวงกลมซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านใน 140 มิลลิเมตร ($5\frac{1}{2}$ นิ้ว) และเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 220 มิลลิเมตร ($8\frac{1}{2}$ นิ้ว)

- เครื่องมือจะประกอบด้วยมอเตอร์ (Spider) ซึ่งขับเคลื่อนแกนและแผ่นรองทำให้มีกำลังหมุน 56 รอบ/นาทิต (56 rpm) ซึ่งแกนและแผ่นรอง Spider นี้จะเชื่อมต่อกับมอเตอร์ด้านบนทำมุมตั้งฉากกัน โดยมีเสาควง 4 เสา และสามารถปรับขึ้นลงได้โดยมีสกรูเป็นตัวยึด มีแกนทั้ง 3 ทำมุมตั้งฉากกับแผ่นรอง Spider แกนทั้ง 3 นี้ถูกหมุนโดย Spider และมันสามารถปรับขึ้นลงได้อย่างอิสระเพื่อยึดเบาเอาไว้

- หนาม 7 ชั้นในล้อทั้งสามถูกเชื่อมต่อกันไว้อย่างเหมาะสม น้ำหนักโดยรวมของชิ้นส่วนประกอบล้อหนามที่กดลงบนพื้นผิวคอนกรีตรวม 7.5 กิโลกรัม (16.5 lb)

- ล้อหนามมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก 60 มิลลิเมตร ($2\frac{3}{8}$ นิ้ว) และหนา 3 มิลลิเมตร ($1/8$ นิ้ว) และจัดเตรียมจุดเรียบ 18 จุด มีขนาด 3×2 มิลลิเมตร (0.125×0.075 นิ้ว) ระหว่างซี่หนามทั้ง 7 ชั้นจะมีเหล็กทำความสะอาด ความกว้างโดยรวมซี่หนามทั้ง 7 และเหล็กทำความสะอาด 8 ชั้น ประมาณ 40 มิลลิเมตร ($1\frac{1}{2}$ นิ้ว) ซี่หนามจะถูกล็อกไว้อย่างหลวมพอที่จะหมุนได้อย่างอิสระ

- การวัด ค่าวัดโดยอ่านค่าจากหน้าปัดวัด ซึ่งอ่านได้ละเอียดถึง 0.0025 มิลลิเมตร (0.001 นิ้ว) ด้วยความถี่ 10 มิลลิเมตร (0.4 นิ้ว) โดยมาตรวัดนี้จะมีแกนทรงกลมซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 มิลลิเมตร ($3/8$ นิ้ว) เชื่อมต่อกับอุปกรณ์การวัด ซึ่งอุปกรณ์การวัด (JIG) อยู่ด้านล่างมอเตอร์ Spider และมีแม่เหล็กอยู่ตรงกลางของส่วนที่เป็นล้อหนาม

ข. วัสดุทดสอบ

- ขนาดของวัสดุทดสอบควรมีขนาด $300 \times 300 \times 100$ มิลลิเมตร ($12 \times 12 \times 4$ นิ้ว) ยึดจับวัสดุทดสอบด้วยที่ยึดด้านล่าง และไม่ควรเคลื่อนย้ายวัสดุทดสอบจนกว่าการทดสอบจะเสร็จสิ้น และควรทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำ

ค. กระบวนการ

- ปรับตำแหน่งของเครื่องมือเหนือพื้นผิวคอนกรีต โดยเครื่องมือจะมีแผ่นยางรองอยู่ด้านล่าง ปรับสกรูจนกระทั่งล้อหนามกดลงบนพื้นผิวคอนกรีตและไม่มีน้ำหนักกดทับจากแกนและแผ่นรอง Spider เว้นช่องว่างสำหรับเคลื่อนย้ายล้อหนาม 15 มิลลิเมตร (0.5 นิ้ว) จากนั้นล็อกสกรูเพื่อป้องกันการเลื่อนของแกนและแผ่นรอง Spider ขณะทำการทดสอบ

- ก่อนทำการทดสอบต้องหมุนแกนและแผ่นรอง Spider 2 รอบด้วยมือเพื่อปรับมาตรวัดให้ได้ 0.025 มิลลิเมตร (0.001 นิ้ว) โดยอ่านจากหน้าปัด จัดค่าเริ่มต้นเอาไว้เพื่อเปรียบเทียบและปรับมาตรวัดให้

เหมือนเดิม เริ่มทำการทดสอบเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นปิดเสียงออกและทำการวัดและอ่านค่าจากหน้าปัด จดบันทึกค่าจากการวัดค่าจากส่วนต่างๆ รอบร่องรอยการสึกหรอ แล้วนำมาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ยความแตกต่างระหว่างค่าที่จดบันทึกเริ่มต้นและหลัง 30 นาที จะเป็นค่าที่แสดงความสึก

- ทำการทดสอบ 3 ครั้ง โดยใช้ชิ้นงานคอนกรีต 3 ชิ้น และแต่ละครั้งควรปรับล้อหนามให้ได้ระยะที่เหมาะสมกับชิ้นงานคอนกรีต

- การทดสอบการเสียดสี 30 นาที จะทำให้เกิดร่องรอยการสึกหรอ สามารถขยายเวลาทดสอบเป็นเวลา 60 นาที ถ้าต้องการข้อมูลที่มากขึ้น และทำการพล็อตกราฟระหว่างความสึกจากการเสียดสีและเวลา โดยอาจแบ่งเป็นช่วง ช่วงละ 15 นาที และ ช่วงละ 0.025 มิลลิเมตร (0.001 นิ้ว)

ง. การอธิบายผล

- การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวัดความสึกจากพื้นผิวคอนกรีตที่ผ่านการทดสอบ 30-60 นาที จะแสดงค่าความต้านทานการสึกหรอ

- การเปรียบเทียบจากกราฟสามารถบ่งบอกถึงค่าความต้านทานการสึกหรอและสามารถบอกได้ถึงน้ำหนักที่ทำให้คอนกรีตเริ่มสึกหรอ

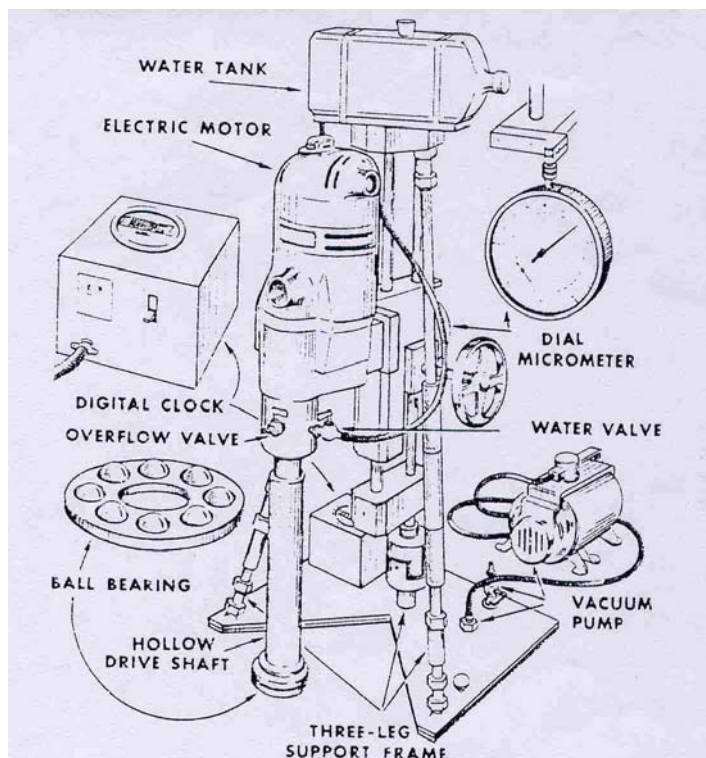
จ. การรายงาน

- พล็อตกราฟระหว่างเวลาและความสึกของร่องรอยการสึกหรอ ในการทดสอบ 30-60 นาที พล็อตทั้ง 3 ชิ้นงาน และพล็อตเส้นค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 ชิ้นงาน

- การบันทึกผลควรบันทึกอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (w/c ratio) ความถ่วงจำเพาะ ความละเอียดและความหยาบของมวลรวม ชนิดของปูน ชนิดของมวลรวม ชนิดและขนาดของแบบหล่อ คอนกรีต ข้อมูลการเก็บรักษา (บ่ม) อายุของคอนกรีตขณะทำการทดสอบ

2.9.3 การปฏิบัติ C – เครื่องทดสอบการเสียดสีแบบบอลเหล็ก (Ball bearing abrasion test machine)

- การสึกหรอเกิดจาก ความเค้นสูง แรงกระแทก การสไลด์ของบอลเหล็ก



รูป 2.7 แสดง Ball bearing abrasion test machine [8]

ก. เครื่องมือ

- การทดสอบด้วยเครื่องมือนี้สามารถทดสอบการสึกหรอได้โดยการหมุนอย่างรวดเร็วของบอลเหล็ก, การกระแทกและการเสียดสีจากสไลด์ภายใต้น้ำหนักกดบนพื้นผิวคอนกรีตที่ทดสอบ และใช้น้ำชะล้างสิ่งที่หลุดออกมาจากการทดสอบ

- เครื่องมือจะประกอบด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อน, แกนของบอลเหล็กซึ่งตั้งฉากกับบอลเหล็ก, แกนที่ต่อขึ้นมาจากบอลเหล็กซึ่งทำหน้าที่หมุนให้เกิดการเสียดสีของบอลเหล็กกับพื้นผิวคอนกรีต การอ่านค่าความลึกสามารถอ่านได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องหยุดการทดสอบ

- นาฬิกาแบบดิจิตอลถูกเชื่อมต่อกับมอเตอร์ขับเคลื่อน ดังนั้นนาฬิกาจะเริ่มจับเมื่อเริ่มการทดสอบทันที โดยจะเริ่มพร้อมๆ กัน นาฬิกาสามารถอ่านได้ในหน่วยวินาที และสามารถอ่านได้ถึง 9999 วินาที

- เครื่องมือจะประกอบด้วยบอลเหล็กขนาด 18 มิลลิเมตร ($\frac{23}{32}$ นิ้ว) ในท่วงแหวนที่มีขนาดเท่ากัน เส้นผ่านศูนย์กลางของบอลมีค่า 60 มิลลิเมตร ($2\frac{1}{2}$ นิ้ว) การทดสอบจะใช้เวลา 300 วินาที และจะเปลี่ยนเครื่องมือบอลเหล็กสึกหรอไป 17.8 มิลลิเมตร (0.7 นิ้ว)

- แกนของบอลเหล็กซึ่งตั้งฉากกับบอลเหล็กจะถูกกันไว้ด้วยขอบของฐานของเครื่องมือ และในแกนของบอลเหล็กจะมีท่อ น้ำซึ่งจะปล่อยน้ำเพื่อชำระชะล้าง โดยมีท่อปล่อยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) แกนของบอลเหล็กสามารถปรับได้ในแนวดิ่ง เพื่อความเหมาะสมของการทดสอบ น้ำหนักรวมที่กดทับลงบนพื้นผิวคอนกรีตมีค่า 120 นิวตัน (27 lbf) ซึ่งรวมบอลเหล็ก, แกนของบอลเหล็ก, มอเตอร์ขับเคลื่อน, น้ำที่บรรจุในท่อ ส่วนมอเตอร์ขับเคลื่อนสามารถขับเคลื่อนได้ 1000 รอบ/นาที (1000 rpm) ภายใต้ น้ำหนักกด

- เข็มขึ้นหน้าปัดของมาตรวัดสามารถเคลื่อนได้ถึง 15 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) และละเอียดถึง 0.025 มิลลิเมตร (0.001 นิ้ว)

- ถังพลาสติกบรรจุ 4 ลิตร (1 gal) ตั้งอยู่บนมอเตอร์ขับเคลื่อน น้ำในถังจะไหลตามแรงดึงดูดของโลก ไหลตามท่อลงมาชะล้างพื้นผิวคอนกรีต

- ที่ฐานของเครื่องจะถูกป้องกันด้วยอุปกรณ์ป้องกันสุญญากาศ 3 จุด

ข. วัสดุทดสอบ

- การทดสอบจะทำการทดสอบบนพื้นผิวคอนกรีตที่เรียบและหนา ซึ่งชิ้นงานคอนกรีตจะถูกยึดไว้อย่างมั่นคง

- ขนาดของชิ้นงานมีขนาด $300 \times 300 \times 100$ มิลลิเมตร ($12 \times 12 \times 4$ นิ้ว) ซึ่งเป็นขนาดของชิ้นงานคอนกรีตที่พบมากถึง 90 % ในการทดสอบ และขนาดของชิ้นงานนี้เองส่งผลกระทบต่ออัตราของการวัดการสึกหรอ

ค. กระบวนการ

- ปรับเครื่องมือให้มั่นคงและยึดกับพื้นผิวคอนกรีต โดยใช้เครื่องมือปัมสุญญากาศ

- วางแผ่นกระดาษลงบนพื้นผิวคอนกรีตที่จะทำการทดสอบด้วยบอลเหล็กภายใต้ น้ำหนักกดจากมอเตอร์ หมุนด้วยแกนของบอลเหล็กด้วยมือเพื่อให้เกิดรอยบนกระดาษเพื่อให้กระดาษเป็นตัวอย่างของร่องรอย และนำไปเทียบกับพื้นผิวคอนกรีต ถ้าร่องรอยไม่ตรงกับพื้นผิวก็ปรับให้แกนของบอลเหล็กให้ตรงและแม่นยำ ทำกระบวนการนี้ซ้ำอีก จนกระทั่งได้ร่องรอยที่ตรงและแม่นยำ

- เปิดลิ้นเปิดปิดทั้ง 2 ซึ่งอยู่ข้างใต้มอเตอร์ขับเคลื่อน ลิ้นแรกเปิดเพื่อให้ น้ำไหลลงสู่ท่อในแกนของบอลเหล็กให้เต็ม ส่วนอีกลิ้นเปิดเพื่อกำหนดและปรับขนาดของท่อในแกนของบอลเหล็ก เมื่อปรับได้ขนาดที่ต้องการแล้วให้ปิดลิ้นที่กำหนดขนาด เติมน้ำในถังก็ให้น้ำให้เต็มตามที่ขีดกำหนด

- ปรับที่ขีดขาคัดมอเตอร์ขับเคลื่อน และปรับนาฬิกาดิจิตอลเป็นศูนย์

- อ่านและบันทึกค่าจากหน้าปัดที่เปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยอย่างฉับพลัน หลังจากมอเตอร์เริ่มหมุนเพื่อนำมาเป็นข้อมูลอ้างอิง

- อ่านและบันทึกค่าจากหน้าปัดที่ละเอียดถึง 0.025 มิลลิเมตร (0.001 นิ้ว) ของการสึกหรอทุกๆ 50 วินาทีเป็นเวลาทั้งหมด 1200 วินาที หรือจนกระทั่งได้ความลึกมากที่สุด 3.0 มิลลิเมตร (0.1225 นิ้ว) จากนั้นนำค่าที่อ่านมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

- ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง โดยใช้ชิ้นงานคอนกรีตใหม่ทุกครั้ง เพื่อหาค่าที่ถูกต้องและแม่นยำ

ง. การอธิบาย

- กำหนดความลึกในการทดสอบเป็นช่วงๆ และพล็อตกราฟระหว่างความลึกของการสึกหรอของพื้นผิวคอนกรีตและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ กราฟนี้จะแสดงได้ถึงค่าความต้านทานการสึกหรอของพื้นผิวคอนกรีต

- วัสดุทดสอบที่มีการสึกหรอคล้ายกันจะมีค่าความต้านทานการสึกหรอใกล้เคียงกันโดยจะได้กราฟที่แสดงเป็นกราฟเส้นพาราโบลา ซึ่งการเปรียบเทียบกราฟนี้จะทำให้ทราบถึงค่าความต้านทานการสึกหรอซึ่งสำคัญต่อความลึกของพื้นผิวที่สึกหรอลงไป

- การเปรียบเทียบผลความลึกของการสึกหรอของพื้นผิวคอนกรีต จะทำให้สามารถกำหนดความลึก และเวลาได้ตามต้องการ

จ. การรายงาน

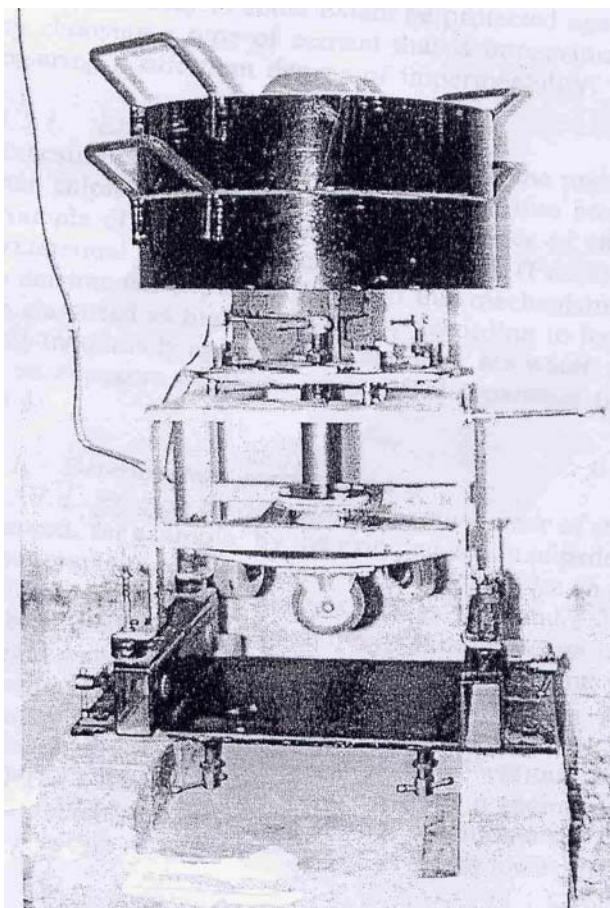
- พล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และ ความลึกของการสึกกร่อนของทั้ง 3 การทดสอบ และหาเส้นกราฟเฉลี่ย

- การบันทึกผลควรบันทึกอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ (w/c ratio) ความถ่วงจำเพาะ

- ความละเอียดและความหยาบของมวลรวม ชนิดของปูน ชนิดของมวลรวม ชนิดและขนาดของแบบหล่อคอนกรีต ข้อมูลการเก็บรักษา (บ่ม) อายุของคอนกรีตขณะทำการทดสอบ

2.10 ค่าความต้านทานการสึกหรอ (Abrasion resistance)

2.10.1 ค่าความต้านทานการสึกหรอของพื้นผิวคอนกรีตถูกกำหนดโดยเครื่องมือทดสอบการเสียดสีซึ่งตัวเครื่องถูกออกแบบโดย สมาคมซีเมนต์และคอนกรีต [ปัจจุบันนี้คือ สมาคมซีเมนต์แห่งอังกฤษ (BCA)] เครื่องเสียดสีเป็นแบบล้อหมุน การเสียดสีบนพื้นผิวคอนกรีตเกิดจากการหมุน การสไลด์ การกระแทก



รูป 2.8 แสดงเครื่องมือทดสอบการสึกหรอ (abrasion test machine) [9]

เพื่อให้สามารถทำการทดสอบได้และเพิ่มขีดความสามารถของเครื่องมือ BCA ได้ออกแบบและปรับปรุงวิธีการ และวิธีการเตรียมวัสดุทดสอบได้ถูกพัฒนาขึ้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

ก. วัสดุทดสอบจะมีขนาดพื้นที่ $295 \times 295 \times 100$ มิลลิเมตร และบ่มในน้ำอุณหภูมิ 20°C เป็นเวลา 28 วัน และถูกทำให้แห้งในเวลา 21 วัน ก่อนทดสอบ วัสดุถูกวางในตำแหน่งซึ่งเป็นพื้นที่ระหว่างขาตั้งเครื่องที่ถูกกำหนดโดยมีการปรับล็อกวัสดุทดสอบได้

ข. ร่องรอยการสึกหรอที่เกิดขึ้น จะมีความหนาอยู่ระหว่าง 5-30 มิลลิเมตร ซึ่งระดับของความหนานี้มีความพอเหมาะที่จะไม่เป็นอันตรายต่อชิ้นงานทดสอบระหว่างทำการทดสอบ

ก. เครื่องมือทดสอบการเสียดสีนี้จะทำงานในแนวนอนโดยมีน้ำหนักกดในแนวตั้งขณะที่ทำการทดสอบ

ง. น้ำหนัก 40 กิโลกรัมถูกแทนที่ด้วยน้ำหนัก 20 กิโลกรัม มีรูปร่างคล้ายวงแหวน ซึ่งสวมอยู่ที่แกนช่องแคบทั้ง 3 เป็นศูนย์กลางของน้ำหนัก โดยยึดด้วยเครื่องหนีบเพื่อหลีกเลี่ยงการกระแทกบนชิ้นงานทดสอบ

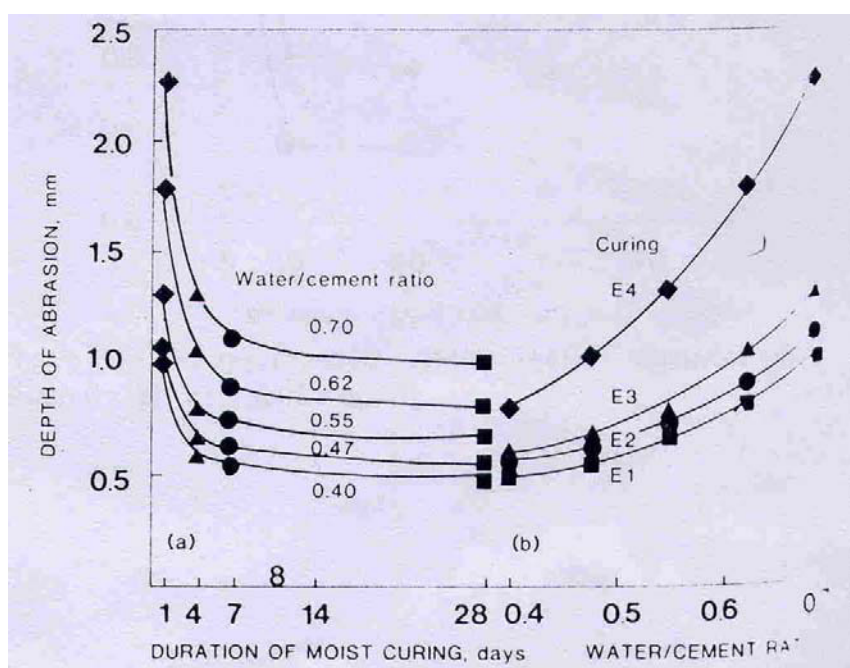
จ. นาฬิกาแบบอัตโนมัติถูกนำมาใช้เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากผู้ทำการทดสอบในการทดสอบต่อเนื่อง

ฉ. เครื่องมือทดสอบและตำแหน่งของวัสดุทดสอบถูกยึดให้อยู่กับที่โดยยึดและปรับตำแหน่งวัสดุทดสอบโดยสกรูและที่ล็อก ก่อนทดสอบต้องปรับจนพื้นผิววัสดุทดสอบและล้อหมุนได้ระดับตั้งแต่ปริมาณความชื้นมีผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต

ช. ร่องรอยการสึกหรอมีลักษณะเป็นวงกลม และวัดเป็น 8 จุด และหาค่าเฉลี่ยโดยใช้เครื่องวัด electronic depth gauge

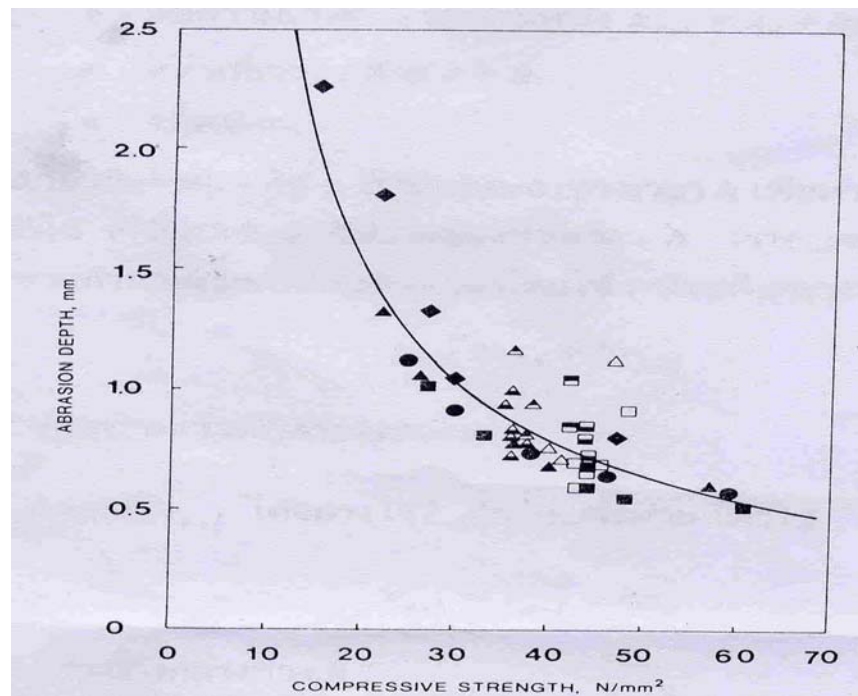
2.10.2 การทำนายค่าความต้านทานการสึกหรอ

รูป 2.9 แสดงให้เห็นถึงค่าความต้านทานการสึกหรอของคอนกรีต ซึ่งมีผลกระทบจากค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และการบ่ม เพราะทั้ง 2 ปัจจัยนี้จะมีอิทธิพลต่อปฏิกิริยาไฮเดรชันและคุณภาพและรูพรุนในก้อนคอนกรีต ปัจจัยเหล่านี้จะมีผลกระทบต่อการสึกหรอ



รูป 2.9 (a) กราฟแสดงผลกระทบจากความชื้นในการเก็บบ่มที่ส่งผลต่อการสึกหรอ

(b) กราฟแสดงผลกระทบจากw/c ratio ที่ส่งผลต่อการสึกหรอ [9]



รูป 2.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงต้อกำลังอัด
กับความลึกของการสึกหรอ [9]

ค่าความต้านทานการสึกหรอและค่ากำลังอัดเป็นสมบัติเฉพาะตัวของคอนกรีต ซึ่งค่ากำลังอัดของคอนกรีตนั้นเป็นปัจจัยสำคัญมากต่อการกำหนดค่าความต้านทานการสึกหรอของคอนกรีต รูป 2.10 แสดงแนวโน้มของค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นตามกำลังอัดวัสดุทดสอบจะผ่านการเก็บรักษาหลากหลายวิธี แต่จะมีความแข็งแรงเท่ากัน

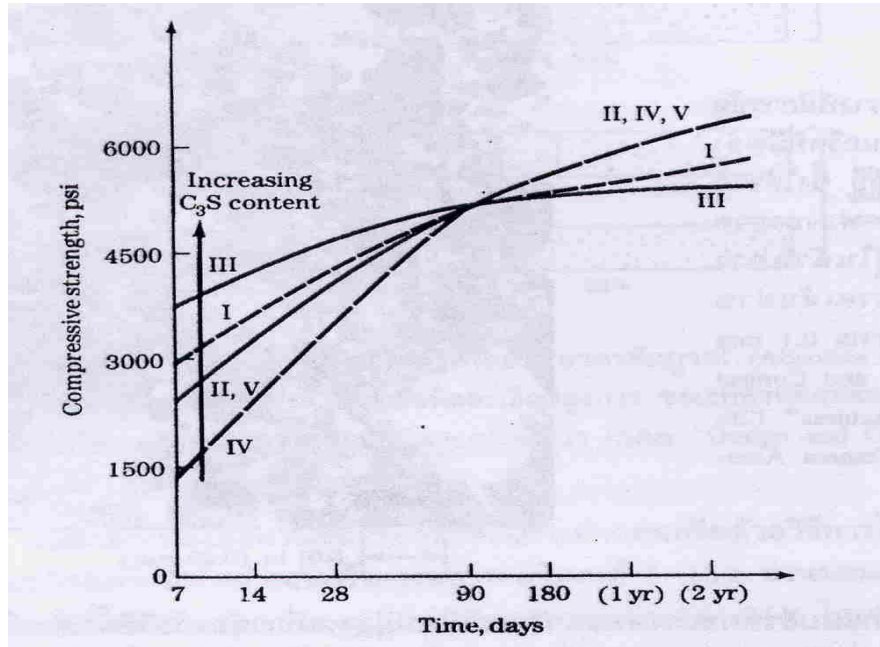
2.10.3 คุณสมบัติที่ส่งผลกระทบต่อค่าความต้านทานการสึกหรอ

คุณสมบัตินี้ทดลองโดยการวัดความลึกที่สึกหรอของก้อนตัวอย่างที่ผ่านการขัดผิว ความต้านทานการสึกหรอนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

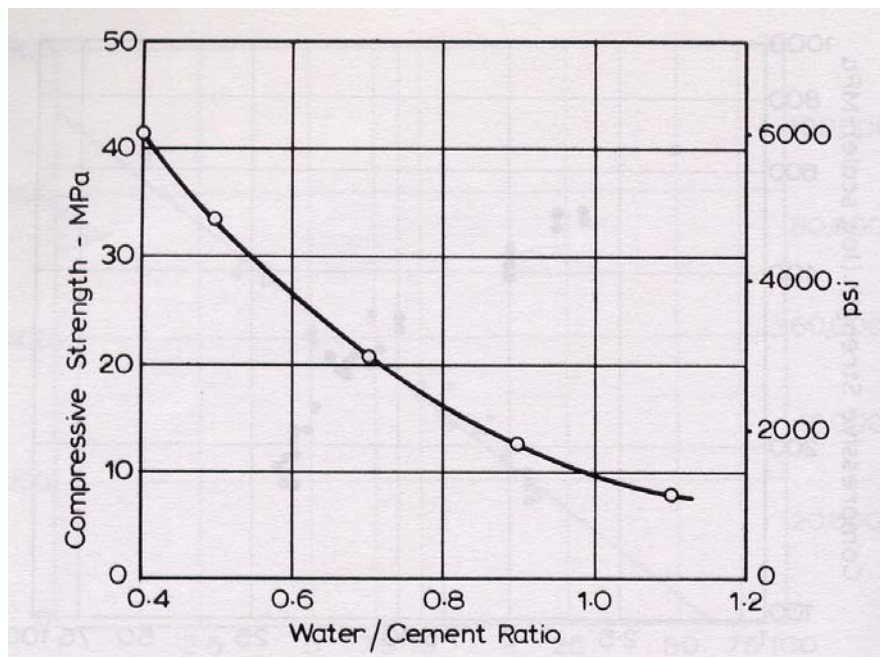
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ หรือ กำลังอัด
- การต้านทานจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้คอนกรีตที่มีอัตราส่วนของมวลรวมต่อปูนซีเมนต์สูง
- การต้านทานการเสียดทานจะต่ำมากในคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา
- การต้านทานจะเพิ่มขึ้นถ้าการเย็นเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย
- การต้านทานจะเพิ่มถ้าเลื่อนเวลาการแต่งผิวหน้าคอนกรีตออกไปเล็กน้อย
- การบ่มคอนกรีตอย่างถูกต้องและเพียงพอ จะช่วยเพิ่มความต้านทานการสึกหรออย่างมาก

2.11 ความแข็งแรงต่อการอัดของคอนกรีต

คอนกรีตโดยพื้นฐานแล้วเป็นวัสดุผสมเซรามิก ซึ่งมีความแข็งแรงมากต่อแรงอัดมากกว่าแรงดึง ดังนั้นการออกแบบทางวิศวกรรมจึงใช้คอนกรีตเป็นหลักสำหรับรับแรงกดหรือแรงอัด



รูปที่ 2.11 แสดงคอนกรีตแรงอัดที่ทำด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
ตามมาตรฐาน ASTM แบบต่างสัมพันธ์กับเวลาบ่ม [5]



รูป 2.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของคอนกรีตที่มีอายุ 7 วัน
กับอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อน้ำของคอนกรีตที่ผสมจากปูนซีเมนต์ประเภทให้กำลังอัดเร็ว

ดังรูป 2.11 แสดงให้เห็นว่าความแข็งแรงของคอนกรีตนั้นขึ้นอยู่กับเวลา เพราะความแข็งแรงพัฒนาขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ซึ่งจะทำให้สมบรณ์ได้ต้องใช้เวลา ในทำนองเดียวกันความแข็งแรงของคอนกรีตแรงอัดก็ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ ถ้าใช้อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงจะทำให้คอนกรีตที่ผลิตได้มีความแข็งแรงต่ำกว่า รูป 2.12 อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดว่าจะใช้อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่ำขนาดไหนที่จะเป็นไปได้ เพราะว่าถ้าใช้น้ำน้อยจะทำให้การใช้คอนกรีตยากกว่า และการจะทำให้อยู่ในรูปของคอนกรีตที่สมบรณ์ก็ยากกว่าด้วย

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ อุปกรณ์

วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในรายการข้างล่าง

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 | 14. แท่งกระทุ้งปูน |
| 2. ทรายธรรมดา | 15. น้ำมันทาแบบหล่อ |
| 3. FS40100 | 16. ตาชั่งน้ำหนัก |
| 4. SiC | 17. ที่ฉาบปูน |
| 5. FS2440 | 18. ที่ตักปูน |
| 6. FS1424 | 19. พลาสติกใส |
| 7. FS1014 | 20. เครื่องผสมคอนกรีตแบบเอียง |
| 8. FS 4-10 | 21. เครื่องทดสอบกำลังอัด SSI รุ่น 1612 |
| 9. F-10 | 22. เครื่องตัดเหล็ก EXCAL |
| 10. Cr_2O_3 | 23. เครื่องกลึงเหล็ก C6232E |
| 11. Fe_2O_3 | 24. เครื่องเชื่อมเหล็ก MUREX |
| 12. น้ำ | 25. เครื่องทดสอบการสึกหรอของ
คอนกรีต |
| 13. แบบหล่อ | 26. ถังปั๊มขึ้นงาน |

3.2 ส่วนผสม

ส่วนผสมที่ใช้ดังแสดงตาราง 3.1 โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.5

ตาราง 3.1 แสดงสัดส่วนการผสมมอร์ต้า

MATERIALS	MIX PROPORTION, kg		
	PC	NM	MT
PC	6	6	6
Free Water	3	3	3
Ordinary sand	18	-	-
FS40100	-	5	5
SiC	-		5.5
FS2440	-	5.5	
FS1424	-	3.5	3.5
FS1014	-	3	3
FS 4-10	-	1	1
F-10	-	0.006	0.006
Cr ₂ O ₃	-	1	-
Fe ₂ O ₃	-	-	1

3.3 วิธีการทดลอง

1. หล่อแบบมอร์ต้า

- 1.1 ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดที่ 1 ทรายและน้ำในอัตราส่วน ดังตาราง 3.1 โดยชั่งน้ำหนักและผสมโดยเครื่องผสมปูน จนส่วนผสมทั้งหมดกลายเป็นเนื้อเดียวกัน (มอร์ต้าเหลว)
- 1.2 ทาน้ำมันที่แบบหล่อ และเทมอร์ต้าเหลวลงแบบหล่อโดยระหว่างเทจะกระทุ้งมอร์ต้าเหลวเพื่อให้เนื้อของมอร์ต้าเหลวแน่น
- 1.3 ปิดแบบหล่อด้วยพลาสติกใส เพื่อกันสิ่งปนเปื้อน
- 1.4 รอมอร์ต้าก่อตัว 1 วัน และนำไปบ่มน้ำ จนถึงอายุการทดสอบกำลังอัด

3. การทดสอบ

3.1 นำมอร์ต้าที่มีอายุ 7 14 และ 28 วัน ทดสอบกำลังอัด ตามมาตรฐาน ASTM-C109

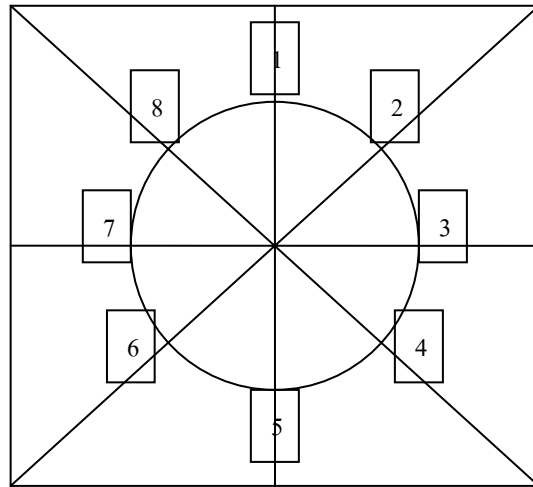
- วางชิ้นงานที่จะทดสอบให้ขนานกับพื้นผิวที่ใช้กด
- เพิ่มน้ำหนักกดทับอย่างช้าๆ จนชิ้นงานเกิดความเสียหาย
- บันทึกค่า
- ทำการทดสอบซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง โดยใช้ชิ้นงานใหม่ทุกครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ย

3.2 นำมอร์ต้าที่มีอายุ 28 วัน ทดสอบการสึกหรอ พัฒนามาจากมาตรฐาน ASTM-C779 และ BCA

- น้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ คือ 180 นิวตัน
- วางชิ้นงานที่จะทดสอบ และปรับแกนล้อหมุนให้สัมผัสชิ้นงาน (ดังแสดงในรูปที่ 3.1)
- เปิดสวิทช์เครื่อง และเริ่มจับเวลา 5 นาที



รูป 3.1 แสดงล้อหมุนที่ใช้ทดสอบการสึกหรอของคอนกรีต



รูป 3.2 แสดงรอยการสึกหรอและตำแหน่งที่วัดทั้ง 8 ตำแหน่ง

- รอยการสึกหรอเป็นรูปวงกลม ดังแสดงในรูป 3.2 ทำการวัดรอยสึกหรอ โดยแบ่งพื้นที่ที่วัดเป็น 8 ตำแหน่ง และใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์โดยให้ตั้งฉากกับพื้นผิวชิ้นงาน (บริเวณรอยสึกหรอ) และวัดความลึกของการสึกหรอ ดังรูป 3.3



รูป 3.3 แสดงการวัดความลึกของรอยสึกหรอ

- บันทึกค่าทั้ง 8 ค่าและทำการหาค่าเฉลี่ย

บทที่ 4

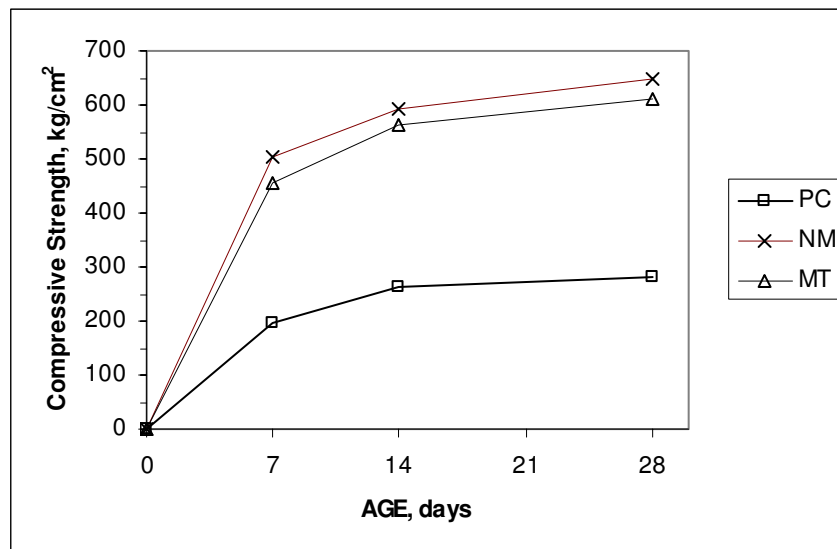
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

จากผลการทดลองดังตาราง 4.1 และรูป 4.1 พบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีต NM และ MT มีค่ามากกว่าค่ากำลังอัดที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทุกระยะเวลาในการทดสอบ (7, 14 และ 28 วัน) ณ 28 วัน พบว่าค่ากำลังอัดสูงสุดในคอนกรีต NM มีค่าเท่ากับ 649 kg/cm^2 รองลงมาคือคอนกรีต MT และคอนกรีต PC โดยมีค่ากำลังอัดเท่ากับ 611.5 kg/cm^2 และ 282 kg/cm^2 ตามลำดับ

ตาราง 4.1 แสดงผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตชนิดต่าง ๆ

AGE, days	COMPRESSIVE STRENGTH, kg/cm^2		
	PC	NM	MT
0	0	0	0.0
7	198.0	503.0	455.5
14	262.5	594.0	562.0
28	282.0	649.0	611.5



รูป 4.1 แสดงค่ากำลังอัดกับอายุการบ่มของคอนกรีต PC, NM และ MT

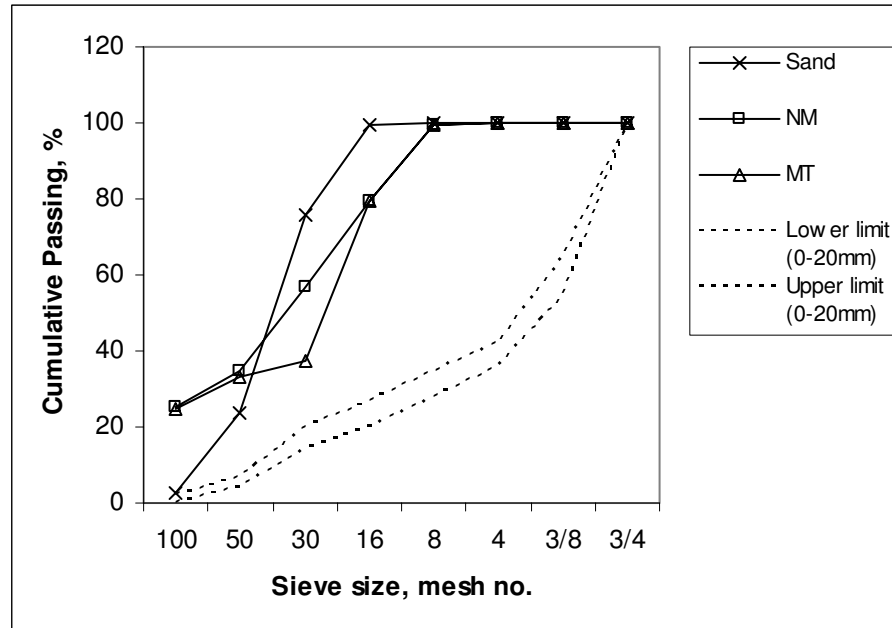
ค่ากำลังอัดที่เพิ่มขึ้นนั้น สำหรับคอนกรีต NM และ MT น่าจะมาจากการคละกั้นของมวลรวมที่เหมาะสมกว่าคอนกรีตที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมทรายธรรมดา จากตาราง 4.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ต่าง ๆ พบว่าอนุภาคของมวลรวมของ NM และ MT มีความละเอียดมากกว่าของทรายธรรมดาระหว่างตะแกรงเบอร์ 50 – 100 (300 μ m - 150 μ m) โดย NM และ MT นั้นมีค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 100 (150 μ m) อยู่ที่ 25.02 % และ 24.94 % ตามลำดับ แต่โดยรวมนั้นจะเห็นได้ว่าค่า NM มีค่ามากกว่าเล็กน้อย น่าจะเป็นเพราะว่าขนาดของซิลิกอนคาร์ไบด์จากมวลรวม MT มีขนาดใหญ่กว่าเล็กน้อย อย่างไรก็ตามพบว่าทรายนั้นมีความละเอียดมากกว่าในช่วงที่ขนาดใหญ่มากกว่า 600 μ m (ตะแกรงเบอร์ 30)

จากรูป 4.2 จะเห็นได้ว่าการคละกั้นของมวลรวมของ NM และ MT นั้น มีความคล้ายคลึงกับการคละกั้นที่เหมาะสมของมวลรวมทั่วไปที่ใช้ระหว่าง 150 μ m – 20 mm ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะของความชันของเส้นกราฟทั้งสองชนิด ทั้งนี้ต่างจากกรณีของมวลรวมที่ใช้ทรายธรรมดา ซึ่งมีลักษณะความชันมากกว่า

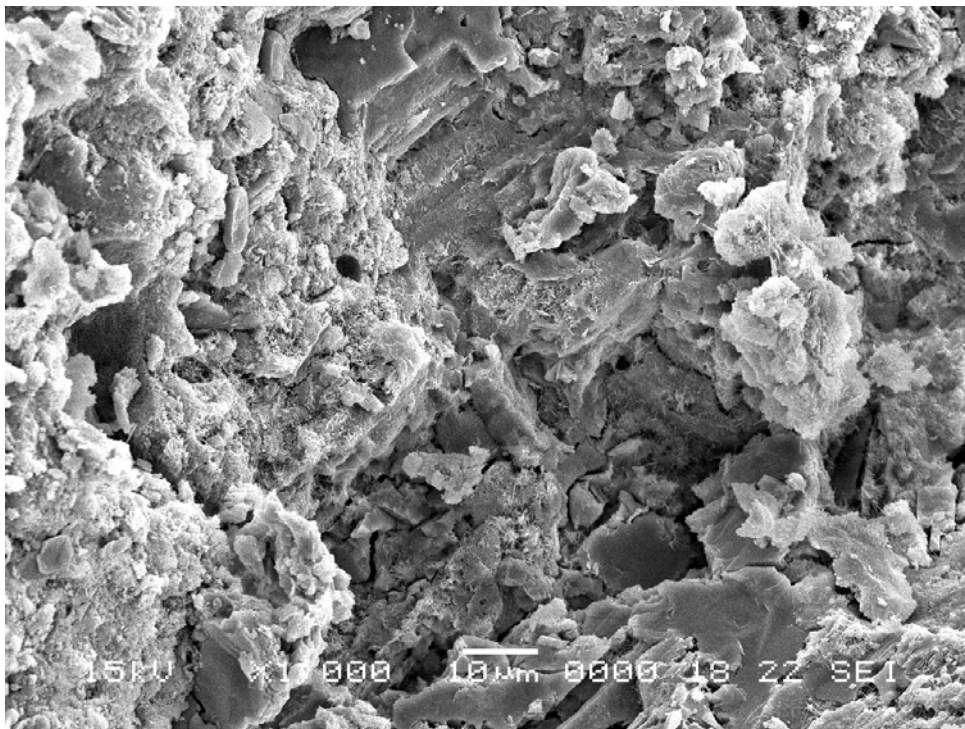
นอกจากนี้ยังจะเห็นได้ว่าคอนกรีต NM และ MT มีลักษณะที่แน่นกว่าคอนกรีต PC ดังจะดูได้จากภาพถ่าย SEM ดังรูป 4.3–4.5

ตาราง 4.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ต่าง ๆ

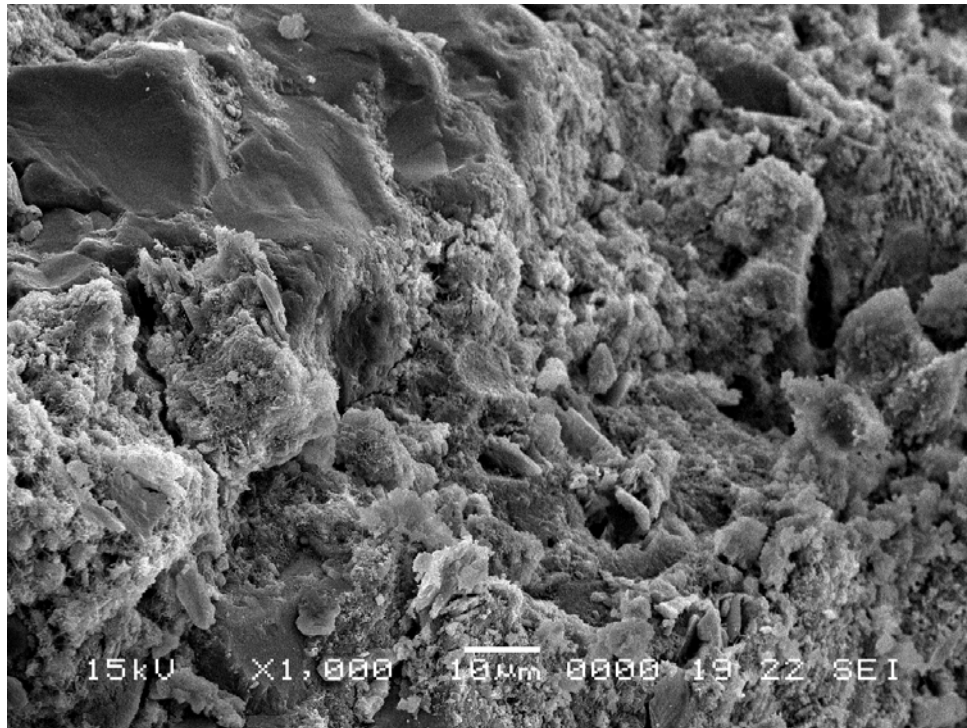
Sieve Size	CUMULATIVE PASSING, %			
	Mesh No.	Sand	NM	MT
150 μ m	100	2.88	25.02	24.94
300 μ m	50	23.73	34.91	33.3
600 μ m	30	75.81	57.03	37.43
1.18mm	16	99.45	79.56	79.58
2.36mm	8	99.78	99.29	99.34
4.75mm	4	99.91	100	100
9.5mm	3/8	100	100	100
19mm	3/4	100	100	100



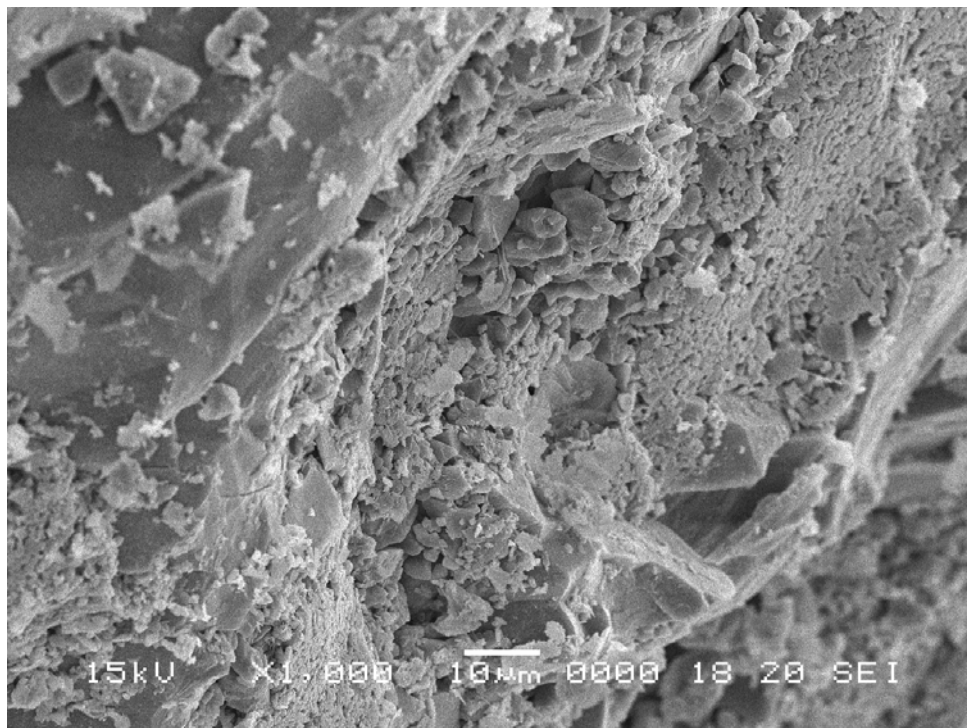
รูป 4.2 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ต่าง ๆ เปรียบเทียบขนาดคละที่ต้องการสำหรับมวลรวมที่มีขนาด 0- 20 มม.



รูป 4.3 ภาพถ่าย SEM ของคอนกรีต PC ที่กำลังขยาย 1000 เท่า



รูป4.4 ภาพถ่าย SEM ของคอนกรีต NM ที่กำลังขยาย 1000 เท่า



รูป4.5 ภาพถ่าย SEM ของคอนกรีต MT ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

4.2 ผลทดสอบการสึกหรอของคอนกรีต

ผลการทดสอบค่าความลึกของการสึกหรอของคอนกรีต PC, NM และ MT โดยใช้น้ำหนักกด 180 นิวตัน ดังตาราง 4.3 พบว่าค่าเฉลี่ยความลึกของการสึกหรอของคอนกรีต NM และ MT มีค่าเท่ากับ 0.39 mm และ 0.29 mm ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความลึกของการสึกหรอของคอนกรีตน้อยกว่าของคอนกรีต PC ธรรมดา (3.69 mm) ซึ่งพบว่ามีค่าน้อยกว่าประมาณ 9 และ 12 เท่า ตามลำดับ(ดังแสดงในรูป 4.6-4.8)

เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความลึกของการสึกหรอของคอนกรีต PC, NM และ MT กับค่ากำลังอัด ณ 28 วัน พบว่ามีความสัมพันธ์กัน คือ เมื่อกำลังอัดสูงขึ้นค่าการสึกหรอก็จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด

อย่างไรก็ตามพบว่าค่าเฉลี่ยความลึกของการสึกหรอของคอนกรีต MT มีค่าน้อยที่สุด ถึงแม้ว่าค่ากำลังของคอนกรีต MT จะน้อยกว่าค่ากำลังอัดของ NM ก็ตาม ทั้งนี้เพราะว่าปัจจัยของการสึกหรอนั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่ากำลังอัดเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับความแข็งของมวลรวมด้วย ซึ่งซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ผสมอยู่ในมวลรวมของคอนกรีต MT น่าจะทำให้การสึกหรอมีค่าน้อยลง (ดังรูป 4.9)

ตาราง 4.3 ผลการทดสอบค่าความลึกของการสึกหรอของคอนกรีต PC, NM และ MT

Reading	ABRASION DEPTH, mm		
	PC	NM-Green	MT-Red
1	3.55	0.55	0.55
2	3.85	0.40	0.30
3	3.95	0.40	0.25
4	3.45	0.35	0.25
5	3.75	0.35	0.25
6	3.60	0.50	0.25
7	3.65	0.35	0.25
8	3.75	0.20	0.20
AVERAGE	3.69	0.39	0.29
SD	0.16	0.11	0.11



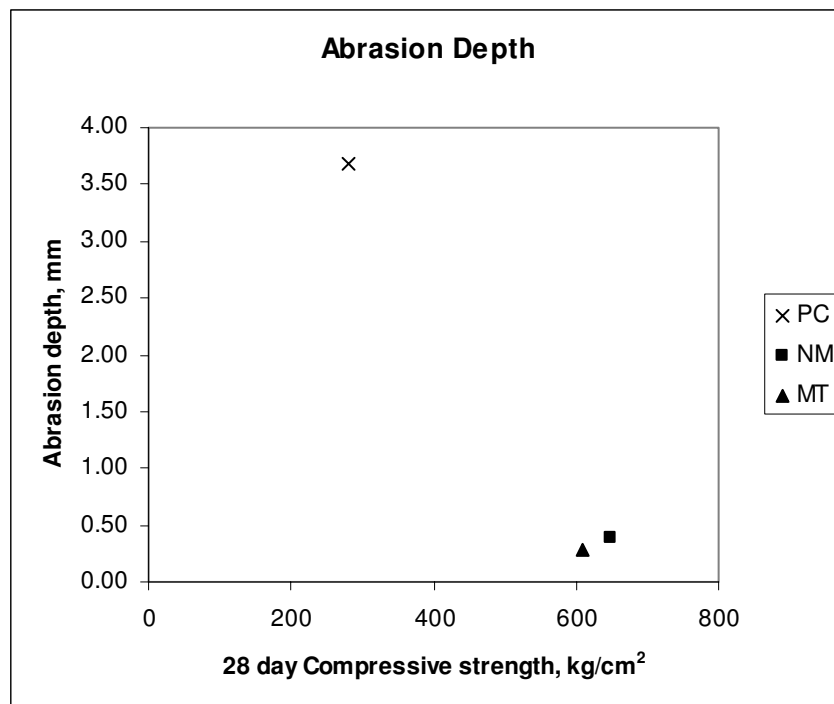
รูป 4.6 ผลการทดสอบการสึกหรอของคอนกรีต PC



รูป 4.7 ผลการทดสอบการสึกหรอของคอนกรีต NM



รูป 4.8 ผลการทดสอบการสึกหรอของคอนกรีต MT



รูป 4.9 ผลการทดสอบค่าความลึกของการสึกหรอเปรียบเทียบกับค่ากำลังอัด ณ 28 วันของคอนกรีต

PC, NM และ MT

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

- จากผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตพบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีต PC ณ 28 วัน มีค่าเท่ากับ 282 kg/cm^2 ส่วนคอนกรีต NM และ MT มีค่ากำลังอัดเท่ากับ 649 kg/cm^2 และ 611.5 kg/cm^2 ตามลำดับ ทั้งนี้พบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีต NM และ MT นั้นมีค่ามากกว่า 350 kg/cm^2 ที่อายุ 28 วัน
- พบว่าค่าความลึกเฉลี่ยของการสึกหรอของคอนกรีต NM และ MT มีค่าเท่ากับ 0.39 mm และ 0.29 mm ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยความลึกของการสึกหรอของคอนกรีตน้อยกว่าของคอนกรีต PC ธรรมดา (3.69 mm) ซึ่งพบว่ามีค่าน้อยกว่าประมาณ 9 และ 12 เท่า ตามลำดับ