รายงานการวิจัย

การศึกษากำลังอัดคอนกรีตโดยใช้หินฝุ่นเป็นวัสดุผสมทดแทนทรายหยาบ

The study of "Compressive Strength of Concrete" by using siltstone instead of sand.

ผู้วิจัย
นพวรรณ แท่นเล็ก

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณกองทุนเพื่อการวิจัย
(เงินรายได้)
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การศึกษากำลังอัดคอนกรีตโดยใช้หินฝุ่นเป็นวัสดุผสมทดแทนทรายหยาบ
แหล่งเงินทุน งบประมาณกองทุนเพื่อการวิจัย (เงินรายได้) **ประจำปีงบประมาณ** 2558
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี **ตั้งแต่** 2 ตุลาคม 2558 **ถึง** 30 กันยายน 2559
ชื่อ-นามสกุล หัวหน้าโครงการ นางสาวนพวรรณ แท่นเล็ก
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของหินฝุ่น และเปรียบเทียบผลของกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียด และใช้หินฝุ่นแทนที่ทราย โดยใช้หินฝุ่นจากโรงโม่หินผาทอง ทุ่งสง ผสมคอนกรีตโดยใช้สัดส่วนผสมที่แตกต่างกัน 5 สูตร แปรเปลี่ยนตามสัดส่วนการใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายในอัตราส่วนทรายต่อหินฝุ่น 100:0 80:20 50:50 20:80 และ 0:100 บ่มคอนกรีต 3 ช่วงอายุคือ 7 วัน 14 วันและ 28 วัน ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดของลูกบู่น พบว่า การใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายในอัตราส่วน 50:50 ให้กำลังอัดของคอนกรีตได้ดีที่สุด รองลงมาคือการใช้ทรายในอัตราส่วนร้อยละ 100 และที่อัตราส่วนทรายต่อหินฝุ่น 80:20 พบว่า คอนกรีตให้กำลังได้ดีที่สุดเมื่ออายุ 14 วัน และเมื่ออายุ 28 วันกำลังอัดที่ได้จะลดลงร้อยละ 11.15 เมื่อทดลองใช้หินฝุ่นในอัตราส่วนที่มากกว่าทราย พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ได้จะมีค่าลง

คำสำคัญ: หินฝุ่น ทราย คอนกรีต

Research Title: The study of "Compressive Strength of Concrete" by using siltstone instead of sand.
Researcher: Miss Noppawan Thaenlek
Faculty: Industrial of Technology
Department: Nakhon Si Thammarat Rajabhat University

ABSTRACT

The objective of this research are to study engineering properties of siltstone and the compressive strength of the concrete that has siltstone from Phathong GroupTungsong instead of sand. The siltstone replaces some quantity of sand in the concrete mixture, ranging from the ratio of 0 (only sand), 20, 50. 80 and 100 percentage (only siltstone) by weight. The time duration for water curing are 7, 14 and 28 days. The testing results of this research have shown that the compressive strength at mixture ratio 50:50 (sand: siltstone) has the best compressive strength at 362.80 kilograms per square centimeter (ksc). The concrete that has only sand in its normal mixture has the compressive strength at 355.12 ksc. That found the normal concrete and the concrete with siltstone replaced by sand in their mixture that has different value of compressive strength about 11.15%. When using siltstone to replace some portion more than of sand that caused the reduction of compressive strength.

KeywordS: Siltstone, Sand, Concrete

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่าน รศ.วิมล ดำศรี อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราชและ ดร.ธนาภรณี ดมืองมุงคุณ คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ที่ให้การสนับสนุนในการทำงานวิจัย ให้สามารถดำเนินการลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและเจ้าหน้าที่ทุกท่านในการให้การสนับสนุนการทำวิจัยครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ และนักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีโยธา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัย และจัดพิมพ์รายงานจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

นพวรรณ แท่นเล็ก
ผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 สมมติฐานการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 คอนกรีตและคุณสมบัติคอนกรีต	3
2.2 วัสดุผสมคอนกรีต	5
2.3 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	11
2.4 คุณสมบัติของหินฝุ่น	13
2.5 วัสดุทดแทนผสมคอนกรีต	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	17
3.1 การทดสอบหาขนาดส่วนคละของมวลรวม	17
3.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ	18
3.3 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	19
บทที่ 4 ผลการวิจัย	32
4.1 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต	32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	35
5.1 สรุปผลการวิจัย	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	36
ภาคผนวก	37

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

อุตสาหกรรมการก่อสร้างได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากต่อการพัฒนาและปรับเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างทางสังคม เพื่อแสดงออกถึงความเจริญทางด้านเศรษฐกิจและการขยายตัวของสังคมเมือง ความต้องการที่อยู่อาศัย/อาคาร/สิ่งก่อสร้าง ที่มีความแข็งแรงทนทาน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน สามารถก่อสร้างและจัดหาวัสดุได้ง่าย ส่งผลให้มีการพัฒนาองค์ความรู้ ทางด้านนวัตกรรมและเทคโนโลยีทางด้านอุตสาหกรรมก่อสร้าง อย่างต่อเนื่อง คอนกรีตจึงเป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมและถูกเลือกใช้งานมากกว่าวัสดุก่อสร้างประเภทไม้อย่างเช่นในอดีต หรือวัสดุก่อสร้างประเภทอื่นๆ ส่งผลให้เกิดการวิจัย ศึกษา และคิดค้นเทคโนโลยีรวมไปถึงวิธีการใหม่ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งคอนกรีตที่มาคุณภาพที่สูงขึ้น สามารถนำมาใช้งานได้สะดวกขึ้น และประหยัดค่าใช้จ่ายลงแต่ยังคงคุณสมบัติในการรับกำลังไว้ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มอุตสาหกรรมก่อสร้าง วัสดุผสมคอนกรีตโดยทั่วไปประกอบด้วยปูนซีเมนต์ หิน ทราย และน้ำ

จังหวัดนครศรีธรรมราช โดยเฉพาะอำเภอทุ่งสง และอำเภอร่อนพิบูลย์ เป็นพื้นที่ที่มีแหล่งเหมืองหินสำหรับงานก่อสร้างเป็นจำนวนมาก จากกระบวนการโม่หินในแต่ละวันทำให้ให้มีปริมาณหินฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการผลิตหินเป็นจำนวนมากทางผู้ประกอบการส่วนใหญ่มองว่าหินฝุ่นเป็นวัสดุเหลือทิ้ง บ้างจึงนำไปกองทิ้งรวมถมหลุมถมที่ หรือขายเป็นหินคลุกแทนการกำจัดทิ้ง จากการศึกษาและค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยในอดีต พบว่า หินฝุ่นสามารถใช้เป็นวัสดุผสมคอนกรีตแทนทรายได้ ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาสัดส่วนของหินฝุ่นจากโรงโม่หินบริษัทผาทอง 24 ทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งเป็นฝุ่นหินปูน เมื่อใช้ทดแทนทรายแล้วเปรียบเทียบคุณสมบัติคอนกรีต ซึ่งจะทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิต และส่งผลให้สามารถนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ให้เกิดคุณค่าได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) ศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของหินฝุ่นจากโรงโม่หินบริษัทผาทอง 24 จำกัด อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช

(2) เปรียบเทียบผลของกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียด และใช้หินฝุ่นแทนทรายในอัตราส่วนต่างๆ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

(1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตราช้าง

(2) แหล่งวัสดุผสมคอนกรีตได้แก่ ทราย หิน และหินฝุ่น จากโรงโม่หินบริษัทผาทองทุ่งสง 24 จำกัด

(3) ทดสอบค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีตที่ 240 ksc ที่อายุ 7 14 และ 28 วัน

(4) กำหนดการทดสอบค่ากำลังการรับกำลังอัดสัดส่วนละ 3 ครั้ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

(1) ทราบคุณภาพของคอนกรีตผสมเสร็จหลังจากการใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายสำหรับมวลรวมละเอียด

(2) ทราบสัดส่วนที่เหมาะสมของหินฝุ่นและทรายที่ใช้ในการผลิตคอนกรีต

1.5 สมมติฐานการวิจัย

หินฝุ่นจากแหล่งตัวอย่าง สามารถใช้ทดแทนทรายในการผลิตคอนกรีตได้ โดยยังคงคุณสมบัติเดิมของคอนกรีตไว้

บทที่ 2
ทบวนวรรณกรรม

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบผลการรับกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ทราย เป็นมวลรวมละเอียด และใช้หินฝุ่นแทนทรายในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสม ระหว่าง ทราย : หินฝุ่น ที่ทำให้คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้สูงโดยผู้วิจัยได้ศึกษา ทบทวนเอกสาร งานวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับวัตถุประสงค์และเนื้อหา โดยแบ่งการนำเสนอออกเป็นหัวข้อหลักพอสังเขป ดังนี้

(1) คุณสมบัติคอนกรีต
(2) วัสดุผสมคอนกรีต และการทดสอบ
(3) การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต
(4) คุณสมบัติของหินฝุ่น
(5) วัสดุทดแทนวัสดุผสมคอนกรีต

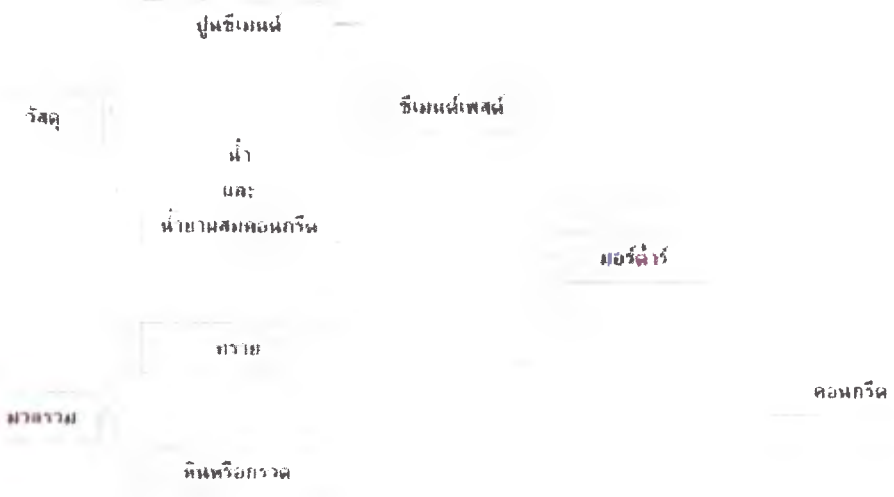
2.1 คอนกรีตและคุณสมบัติคอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่เป็นที่นิยมใช้งานก่อสร้างอย่างแพร่หลาย เนื่องด้วย คุณสมบัติต่างๆ ทั้งด้านวิธีการจัดหาวัสดุ การผลิต ราคา ความแข็งแรง ความคงทน และการหล่อขึ้น รูป โดยคอนกรีตประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือวัสดุประสาน ได้แก่ ปูนซีเมนต์ น้ำ และน้ำยาผสม คอนกรีต ส่วนนี้จะทำหน้าที่คล้ายกาว เคลือบผิววัสดุผสมและช่องว่างระหว่างวัสดุผสม ส่วนที่ 2 คือ วัสดุผสมหรือมวลรวม (Aggregate) แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ วัสดุมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ได้แก่ทราย ฝุ่น และวัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ได้แก่ หิน กรวด หรือวัสดุอื่นๆ เมื่อนำ ส่วนผสมทั้งสองผสมเข้าด้วยกันในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้ คอนกรีต ที่สามารถนำไปเทเข้าแบบ หรือขึ้นรูปได้ตามต้องการ เมื่อปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 24 ชั่วโมง คอนกรีตจะแข็งตัว เริ่มสามารถรับ กำลังอัดได้ และจะสามารถรับกำลังอัดได้เพิ่มขึ้นตามอายุคอนกรีต โดยจะมีค่าการรับกำลังอัดสูงสุด เฉลี่ยที่อายุคอนกรีต 28 วัน หลังจากนั้นค่าการรับกำลังอัดจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยและเริ่มคงที่ (บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด, 2551)

องค์ประกอบของคอนกรีต

คอนกรีตประกอบด้วยปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต โดยเมื่อนำ ส่วนผสมต่างๆ มาผสมกันจะมีชื่อเรียกเฉพาะดังนี้

ปูนซีเมนต์ ผสมกับน้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต	เรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste)
ซีเมนต์เพสต์ผสมกับ ทราย	เรียกว่า มอร์ต้าร์ (Mortar)
มอร์ต้า ผสมกับ หินหรือกรวด	เรียกว่า คอนกรีต (Concrete)



ภาพที่ 2.1 ชื่อเฉพาะองค์ประกอบของคอนกรีต

(ชัชวาลย์, 2543, หน้า 4)

ซีเมนต์เพสต์ (Cement Paste) คือส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ และน้ำ โดยโดยทั่วไปเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีกำลังรับแรงดีควรพิจารณาเลือกใช้ซีเมนต์เพสต์ที่มีความข้นเหลวที่เหมาะสมหรืออาจเรียกว่ามีอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม (water cement ratio; W/C Ratio) เนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อปูนที่เหมาะสมจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีที่สมบูรณ์ โดยปฏิกิริยาเคมีดังกล่าว เรียกว่า ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น คือ ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างปูนซีเมนต์และน้ำ เมื่อผสมรวมกัน จะก่อให้เกิดความร้อน (Heat of Hydration) ซึ่งเกิดจากการคายความร้อนออกจากปูนซีเมนต์ โดยช่วงระยะแรกๆ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้คอนกรีตเกิดการก่อตัวและแข็งตัว ปฏิกิริยาจะเกิดช้าลงในระยะหลังๆ ภายใต้สภาวะของอุณหภูมิ เวลา ความชื้นที่เหมาะสม และปฏิกิริยาจะสิ้นสุดเมื่อปริมาณน้ำในซีเมนต์เพสต์หมด

หน้าที่และคุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ (ชัชวาลย์, 2543)

(1) เสริมช่องว่างระหว่างมวลรวม

(2) หล่อลื่นคอนกรีตสดขณะเทลงแบบหล่อ

(3) ให้กำลังแก่คอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัว และป้องกันการซึมผ่านของน้ำ

คุณสมบัติของซีเมนต์เพสต์ ขึ้นอยู่กับ

(1) คุณภาพของปูนซีเมนต์

(2) อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

(3) ความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์

2.2 วัสดุผสมคอนกรีต

วัสดุผสมคอนกรีตหรือมวลรวม (Aggregate) คือวัสดุเฉื่อยที่ไม่ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสต์ ได้แก่ หิน ทราย กรวด วัสดุผสมอาจเรียกว่าเป็นตัวแทรก (Filler Materials) มวลรวมในคอนกรีตมีปริมาตร 70 – 80% ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด (บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด, 2551) มวลรวม เมื่อแบ่งตามขนาดสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) และมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) โดยการพิจารณาว่าเป็นมวลรวมประเภทใดจะพิจารณาจากการลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 หากเป็นมวลรวมละเอียดจะสามารถลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ได้ ซึ่งได้แก่ ทราย หินบดละเอียด ส่วนมวลรวมหยาบจะมีขนาดเม็ดโตไม่สามารถลอดผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4 ได้ ได้แก่ กรวด หิน เป็นต้น (วินิต, 2539)

หน้าที่ของมวลรวม (ชัชวาลย์, 2543)

(1) เป็นตัวแทรกประสานราคาถูก เนื่องจากมวลรวมเป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่มีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ดังนั้นในส่วนผสมของคอนกรีตจึงควรใช้ปริมารมวลรวมที่ให้พอเหมาะเพื่อที่จะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่น้อยลง

(2) ช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน และปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก

(3) ทำหน้าที่ต้านทานน้ำหนักที่กดลงบนคอนกรีต

กำลังและคุณสมบัติทางกายภาพอีกหลายประการของมวลรวม มีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตเหลวและคอนกรีตแข็งตัวแล้ว ดังนั้นการเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสม ไม่เพียงแต่เป็นการประหยัด แต่ยังคงช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นด้วย มวลรวมที่ดีจะส่งผลให้คอนกรีตมีความทนทานสูง ควรมีคุณสมบัติพื้นฐานที่ดีดังนี้ (บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด, 2551)

(1) ความแข็งแรง (Strength) กำลังอัด (Compressive Strength) ของคอนกรีตขึ้นอยู่กับความแข็งแกร่งของมวลรวม ดังนั้นเมื่อมวลรวมมีความแข็งแกร่งจะทำให้คอนกรีตสามารถรับกำลังอัดได้สูงขึ้น ซึ่งมวลรวมต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีต

(2) รูปร่างและลักษณะผิว (Particle Shape and Surface Texture) รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมจะมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสดมากกว่าของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว มวลรวมที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นแง่เหลี่ยมคม ไม่เป็นแผ่นแบนหรือชิ้นยาว ควรมีผิวหยาบหรือด้านเพื่อช่วยให้มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างก้อนดีขึ้น

(3) ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical Stability) มวลรวมต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์ หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอกมวลรวมบางประเภทจะทำปฏิกิริยากับด่าง (Alkali) ในปูนซีเมนต์เกิดเป็นวุ้นและขยายตัวก่อให้เกิดรอยร้าว โดยทั่วไปในคอนกรีตเรียกปฏิกิริยานี้ว่า Alkali – Aggregate Reaction (AAR)

(4) ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม (Maximum Size of Aggregate) ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมพิจารณาจากขนาดตะแกรงอันที่ใหญ่กว่าถัดไปจากตะแกรงที่มีเปอร์เซ็นต์ของมวลรวมที่ค้างมากกว่าหรือเท่ากับ 15% มวลรวมขนาดใหญ่ต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่ามวลรวมที่มีขนาดเล็ก

เพื่อให้การเทได้ (Workability) เท่ากัน เนื่องจากมีพื้นที่ผิวสัมผัสโดยรอบน้อยกว่าเมื่อน้ำหนักของมวลรวมเท่ากัน โดยขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปจะมีขนาดไม่เกิน 40 มิลลิเมตร

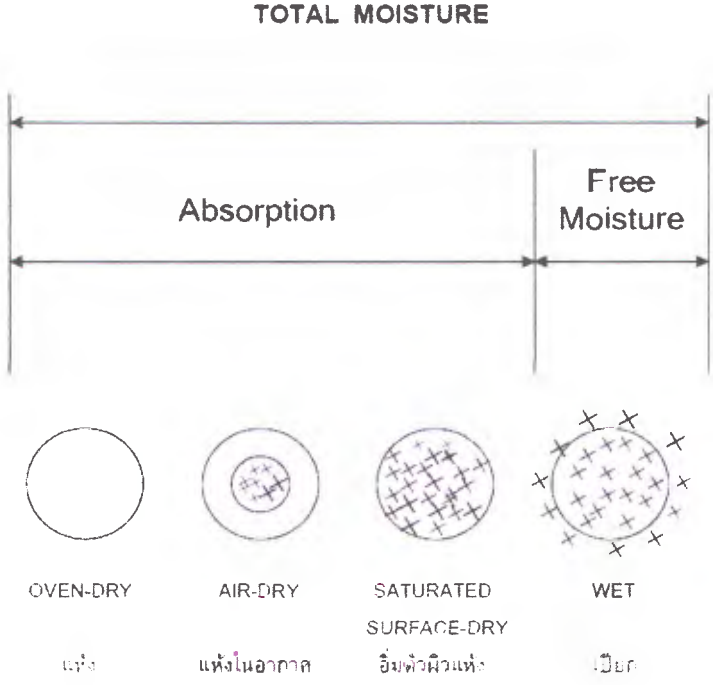
(5) ขนาดคละ (Gradation) คือ การกระจายของขนาดต่างๆ ของอนุภาคมวลรวมในคอนกรีต คอนกรีตที่ใช้มวลรวมที่มีขนาดคละดีจะมีส่วนผสมที่เข้ากันสม่ำเสมอ เทเข้าแบบได้ง่าย ไม่ออกหินออกทราย ทำให้แน่นได้ง่าย การปาดแต่งผิวหน้า กำลังอัดและความทนทานเป็นไปตามข้อกำหนด

มวลรวมที่มีขนาดคละดี หมายถึง มวลรวมที่มีมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดขนาดต่างๆ กัน คละกันให้เหลือช่องว่างน้อยที่สุด

(6) ค่าความละเอียด (Fineness Modulus: F.M.) โมดูลัสความละเอียดเป็นค่าที่บอกความละเอียดของทรายหาได้โดยการรวมค่าเปอร์เซ็นต์ค้างสะสม (Cumulative Percentage Retained) บนตะแกรงเบอร์ 4,8,16,30, 50 และ 100 แล้วหารด้วย 100

- ทรายสำหรับผลิตคอนกรีต ควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดตั้งแต่ 2.2 - 3.2
- ค่า F.M. น้อย (F.M. 2.2) แสดงว่า ทรายละเอียด
- ค่า F.M. มาก (F.M. 3.2) แสดงว่า ทรายหยาบ
- ค่า F.M. ที่เหมาะกับงานคอนกรีต = 2.7

(7) ความชื้นและการดูดซึม (Moisture and Absorption) เนื่องจากมวลรวมมีรูพรุนจึงสามารถดูดความชื้นและน้ำได้บางส่วน สามารถแบ่งสภาพความชื้นได้ 4 ลักษณะ ดังนี้



ภาพที่ 2.2 การแบ่งสภาพความชื้น 4 ลักษณะ

(บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด, 2551)

1. อบแห้ง (Oven - Dry) ความชื้นถูกขับออกด้วยความร้อนในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซียลเซียส จนมีน้ำหนักคงที่

2. แห้งในอากาศ (Air - Dry) ผิวแห้งแต่อาจมีน้ำในรูพรุน

3. อิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface - Dry) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำแต่ผิวแห้ง

4. เปียก (Wet) รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำ และมีน้ำบนผิวด้วย

ในการคำนวณออกแบบส่วนผสมทุกครั้งจะถือว่ามวลรวมอยู่ในสภาวะ“อิ่มตัว” ผิวแหง (SSD)แล้วจึงปรับปริมาณน้ำตามลักษณะของวัสดุที่เป็นจริง (บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด, 2551)

$$\text{TOTAL MOISTURE} = \left(\frac{\text{น.น.ทราย} - \text{น.น.ทรายแหง}}{\text{น.น.ทรายแหง}}\right) \times 100$$

$$\text{ABSORPTION} = \left(\frac{\text{น.น.ทรายอิ่มตัวผิวแหง} - \text{น.น.ทรายแหง}}{\text{น.น.ทรายแหง}}\right) \times 100$$

FREE MOISTURE = TOTAL MOISTURE – ABSORPTION

ABSORPTIONของทราย = 0.7% โดยน้ำหนัก

ABSORPTIONของหิน = 0.5% โดยน้ำหนัก

(8) ความถ่วงจำเพาะ (SPECIFIC GRAVITY) ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม คือ อัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของมวลรวมต่อความหนาแน่นของน้ำ

หรือ ถ.พ. ของมวลรวม= น้ำหนักมวลรวม/ น้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากัน

ถ.พ. ทราย = 2.65

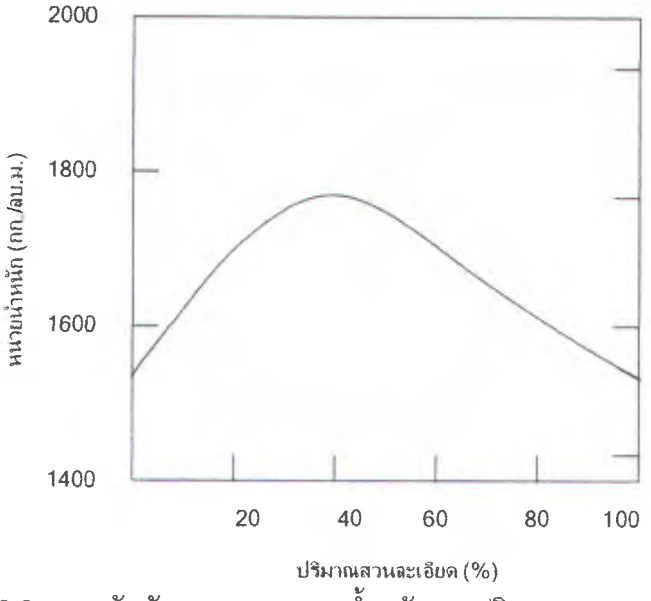
ถ.พ. หิน = 2.70

ถ.พ. ซีเมนต์ = 3.15

คา ถ.พ. ใช้ในการแปลงน้ำหนักของวัตถุนั้นให้เป็นปริมาตร

เช่น ซีเมนต์หนัก315 ก.ก. = 315 / 3.15 = 100 ลิตร

(9) หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง (UNITWEIGHT AND VOID) หน่วยน้ำหนัก คือ น้ำหนักของมวลรวมในขนาดคละที่ต้องการต่อหน่วยปริมาตร หน่วยน้ำหนักจะบอกถึงปริมาตรและช่องว่างระหว่างมวลรวมที่มวลรวมน้ำหนักหนึ่งๆ จะบรรจุลงได้หน่วยน้ำหนักของมวลรวมที่ใช้อยู่ทั่วๆไปในประเทศไทยมีค่า 1,400-1,600 กก./ลบ.เมตร การนำเอามวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดมาผสมกันด้วยอัตราส่วนต่างๆ จะมีผลต่อหน่วยน้ำหนักของมวลรวมผสม ดังภาพ



ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธระหวางหนวยน้ำหนักและปริมาณมวลรวมละเอียด

(บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด, 2551)

ตามมาตรฐานASTM C33

หินที่ใช้ในการผสมทำคอนกรีต ไดแก หินปูน หินแกรนิต กรวด แล้วนำมาแปรรูปให้มีคุณสมบัติเหมาะสมแกการใช้งาน

ขนาดของหินที่จะนำมาใช้ผสมทำคอนกรีตใช้SIZE NUMBER

- 6 (19 - 9.5 mm)
- 7 (12.5 - 4.75 mm)
- 67 (19 - 4.75 mm)

ทรายที่นำมาผสมทำคอนกรีตไดแก ทรายแม่น้ำ มีขนาดเล็กกว่า4.75 มม. หรือที่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์4 แต่ต้องมีขนาดไมเล็กกว่า0.07 มม.

ในงานคอนกรีตทั่วไป ใช้ทรายเม็ดหยาบขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง0.07-4.75 มม. ใช้ในงานคอนกรีตเทพื้น ฐานราก และในที่ที่ต้องการให้รับแรงอัดมากๆ

ตารางที่ 2.1 SIZE NUMBER 6 (บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด, 2551)

ขนาดตะแกรง	% ผ่านตะแกรง
1”	100
3/4”	90 – 100
1/2”	20 – 55
3/8”	0 – 15
NO. 4	0 – 5

ตารางที่ 2.2 SIZE NUMBER 7 (บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด, 2551)

ขนาดตะแกรง	% ผ่านตะแกรง
3/4"	100
1/2"	90 – 100
3/8"	40 – 70
NO. 4	0 – 15
NO. 8	0 – 5

ตารางที่ 2.3 SIZE NUMBER 67 (บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด, 2551)

ขนาดตะแกรง	% ผ่านตะแกรง
1"	100
3/4"	90 – 100
1/2"	–
3/8"	20 – 55
NO. 4	0 – 10
NO. 8	0 – 5

ตารางที่ 2.4 ขนาดคละของทรายมาตรฐาน ASTM C33 (บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด, 2551)

ขนาดตะแกรง	% ผ่านตะแกรง
3/8"	100
NO. 4	95 – 100
NO. 8	80 – 100
NO. 16	50 – 85
NO. 30	25 – 60
NO. 50	10 – 30
NO. 100	2 – 10

น้ำ เป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตคอนกรีต โดยน้ำทำหน้าที่ 3 ประการคือ (ชัชวาลย์, 2543)

(1) ใช้ผสมในปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นรวมทั้งทำให้คอนกรีตมีความสามารถในการเทได้

(2) .ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้น

(3) ใช้ล้างมวลรวมที่สกปรก

สิ่งที่ควรคำนึงถึงในการใช้น้ำ (บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด, 2551)

- ต้องเป็นน้ำที่สะอาด เช่น น้ำประปา เพราะจะมีผลต่อคุณภาพของซีเมนต์เพสต

- น้ำมีหน้าที่ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์เรียกว่า"ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น" ซึ่งปฏิกิริยานี้จะทำต่อเนื่องไปประมาณ 28 วัน

- ปริมาณน้ำที่ใช้ในปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ปูนซีเมนต์ 100 กก. จะใช้น้ำอย่างน้อยโดยประมาณ24 ลิตร ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่น หรือ น้ำ : ซีเมนต์ (w/c) = 0.24

- น้ำส่วนเกินเพื่อให้คอนกรีตมีความเหลวพอที่จะเทลงแบบได้เราต้องใช้น้ำมากขึ้น โดยทั่วไปจะใช้น้ำประมาณ48 - 80 ลิตรต่อปูนซีเมนต์ 100 กก.

- การผสมคอนกรีตยิ่งใช้น้ำน้อยคอนกรีตก็จะมีคุณภาพดี ถ้าใช้น้ำมากกำลังจะตก ความแข็งแรงจะลดลง (การใช้น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทลดน้ำจึงทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงคุณภาพดีขึ้นได)

ข้อกำหนดของน้ำผสมคอนกรีต

ความเป็นกรด-ด่าง(PH VALUE)	6-8
ปริมาณของแข็ง (TOTAL SOLIDS)	ไมมากกว่า 2000 ppm
ปริมาณซัลเฟต (SULFATE , SO4)	ไมมากกว่า 1000 ppm
ปริมาณคลอไรด (CHLORIDE Cl)	ไมมากกว่า 500 ppm

การทดสอบคุณสมบัติ ปริมาณน้ำที่จะทดสอบจะต้องไม่น้อยกว่า5 ลิตร น้ำที่เหมาะสมสำหรับผสมคอนกรีต ควรมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ค่าก่อตัวเริ่มขึ้น(Initial Setting Time) ต่างจากตัวอย่างที่ทำจากน้ำกลั่นไม่เกิน 30 นาที

(2) คาเฉลี่ยของกำลังอัดของตัวอย่างที่ใช้น้ำที่นำมาทดสอบต้องได้ค่าที่ไม่น้อยกว่า 90% ของกำลังอัดของตัวอย่างที่ใช้น้ำกลั่น สารผสมคอนกรีต แบ่งเป็น3 พวกใหญ่ๆ คือ สารกระจายฟองอากาศ (AIR ENTRAINING), น้ำยาเคมี (CHEMICAL ADMIXTURE) และสารประสมประเภทแร(MINERAL ADMIXTURE), AIR ENTRAINING สารกระจายกักฟองอากาศ และCHEMICAL ADMIXTURE ตามมาตรฐานA.S.T.M. C 494 แบงออกเป็น 7 ประเภท คือ

TYPE A WATER-REDUCING (ลดน้ำ)

TYPE B RETARDER (หนวงระยะเวลาการก่อตัว)

TYPE C ACCELERATOR (เร่งระยะเวลาการก่อตัว)

TYPE D WATER-REDUCING AND RETARDER (ลดน้ำและหนวงการก่อตัว)

TYPE E WATER-REDUCING AND ACCELERATOR (ลดน้ำและเร่งการก่อตัว)

TYPE F HIGH RANGE WATER-REDUCING (ลดน้ำจำนวนมาก)

TYPE G HIGH RANGE WATER-REDUCING AND RETARDER (ลดน้ำจำนวนมากและหนวงการก่อตัว)

- MINERAL ADMIXTURE ไดแก่ FLY ASH , MICROSILICA etc.

2.3 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

2.3.1 ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตเพื่อให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ของการใช้งานทั้งใน สภาพคอนกรีตสด คอนกรีตที่แข็งตัวแล้วและประหยัด (สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน, 2551)

(1) หลักการในการออกแบบส่วนผสม

- เพื่อเลือกวัสดุผสมคอนกรีตที่เหมาะสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์การใช้งาน
- คำนวณหาสัดส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสม เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามข้อกำหนดและการใช้งานที่ต้องการทั้งในสภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

(2) กำลังรับแรงอัด คากำลังอัดของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water-Content Ratio; w/c) โดยค่ากำลังอัดจะเป็นสัดส่วนกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ โดยถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์มาก กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะต่ำ แต่ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะสูง ซึ่งในการผสมคอนกรีตถ้าสามารถรักษาอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ให้คงที่แลว แม้ส่วนผสมอื่นจะเปลี่ยนแปลงไปบ้าง แต่กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะไมมีการเปลี่ยนแปลงมากนัก

(3) ความสามารถเทได้ ความสามารถเทไดของคอนกรีตมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณนำในส่วนผสม โดยปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นความสามารถเทไดของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้น(หรือคอนกรีตเหลวขึ้น) คอนกรีตสดควรมีความข้นเหลวพอเหมาะที่จะเทเขาแบบไดสะดวกเพราะถ้าคอนกรีตข้นหรือแห้งเกินไปการทำให้แน่นยากอาจทำให้เกิดรูโพรง แต่ถ้าคอนกรีตเหลวเกินไปจะทำให้เกิดการแยกตัวขณะลำเลียงและทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำลงไม่ทนทาน และมีโอกาสแตกร้าวง่ายซึ่งการวัดความสามารถเทไดควรกำหนดวิธีที่เหมาะสม

(4) ความทนทานคอนกรีตที่ใช้งานในสภาพปกติโดยทั่วไปจะมีความทนทานอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจอยู่แล้วแต่ถ้าคอนกรีตอยู่ในสภาวะที่เกิดการกัดกร่อนรุนแรง เช่น โครงสร้างในน้ำทะเล โครงสร้างในดินที่มีซัลเฟต หรือโครงสร้างคอนกรีตที่อยู่ในสภาวะเปียกสลับแหง ความทนทานของคอนกรีตจะลดลง ซึ่งอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์มีผลต่อความทนทานของคอนกรีต ดังนั้นจึงมีการกำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมกับคอนกรีตที่สภาวะต่างๆ

2.3.2 วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต (สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน, 2551)

(1) มาตรฐานการออกแบบคอนกรีต หลักในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดมากกว่ากำลังอัดของงานที่กำหนดไวทั้งนี้เพื่อสร้างความเชื่อมั่นว่าเมื่อนำคอนกรีตไปใช้งาน แลวจะมีกำลังอัดไม่น้อยกว่ากำลังอัดของที่งานกำหนดแม้ว่าส่วนผสมคอนกรีตจะมีความผิดเพี้ยนไปบ้างไมว่าจะเกิดจากสาเหตุใดก็ตาม

(2) การออกแบบตามมาตรฐานอมริ กาในการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา (Normal Weight Concrete) ตามมาตรฐานของอมริกานี้จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบต้องทราบคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่ใช้ผสมคอนกรีต ดังนี้

ปูนซีเมนต์

- ความถ่วงจำเพาะ (สามารถใช้ค่า 3.15 สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1)

มวลรวม

- ขนาดคละ
- ความถ่วงจำเพาะ
- ความชื้น
- พิกัดความละเอียดของมวลรวมละเอียด (Fineness Modulus, F.M.)
- หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ

สำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะกำหนดส่วนผสมของคอนกรีตโดยปริมาตร เช่น 1: 2:4 คือ ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน หิน 4 ส่วน โดยปริมาตร การที่จะแปลงส่วนผสมโดยปริมาตร ดังกล่าวให้เป็นส่วนผสมโดยน้ำหนักสามารถทำได้ดังนี้ (วิศวกรรมโยธา, 2553)

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

(1) หน่วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ = 1,4000 กก./ลบ.ม.

(2) หน่วยน้ำหนักของหินทราย = 1,450 กก./ ลบ.ม.

การคำนวณ

(1) ปูน 1 ถุง 50 กก. มีปริมาตร = 0.036 x 1 = 0.036 ลบ.ม.

(2) ทราย 2 ส่วน มีปริมาตร = 0.036 x 2 = 0.072 ลบ.ม.

(3) หิน 4 ส่วน มีปริมาตร = 0.036 x 4 = 0.144 ลบ.ม.

(4) น้ำหนักหิน = 0.144 x 1450 = 206 กก.

(5) ปริมาณน้ำที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับปูน 1 ถุง เพื่อให้ได้ค่ายุบตัวประมาณ 10 ซม. เท่ากับ 30 ลิตร

(6) น้ำหนักของส่วน ผสมทั้งหมดเมื่อใช้ปูน 1 ถึง = 50 + 104 + 209 + 30= 393 กก.

(7) หน่วยน้ำหนักคอนกรีต 1 ลบ.ม. = 2,400 กก.

(8) ต้องใช้ปริมาณปูน = 2,400 / 393 = 6.1 ถุง = 305 กก./ ลบ.ม.

สรุปส่วนผสมที่ใช้ในคอนกรีต 1 ลบ.ม.

(1) ปูนซีเมนต์ = 305 กก./ลบ.ม.

(2) ทราย = 635 กก./ ลบ.ม.

(3) หิน = 1,275 กก./ลบ.ม.

(4) น้ำ = 185 กก./ ลบ.ม.

โดยมีค่ายุบตัว ประมาณ 10 ซม.

มาตรฐานการทดสอบ

(1) ปูนซีเมนต์

- ค่าความถ่วงจำเพาะ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 188 แต่สามารถใช้ค่าสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไป

(2) มวลรวม

- ขนาดคละ ควรมีส่วนคละตามมาตรฐาน ASTM C 33
- ความถ่วงจำเพาะ

(3) ทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 128

(4) หิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 127

– ความชื้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTMC 70 และ ASTM C 565
- ความละเอียดของทรายทดสอบมาตรฐาน ASTM C 125
- หน่วยน้ำหนักของมวลรวม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 2

2.4 คุณสมบัติของหินฝุ่น

หิน แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ (กรมทางหลวงชนบท, 2554)

(1) หินอัคนี (Igneous Rocks) เป็นหินเก่าแก่เกิดจากการเย็นตัวของลาวา หินชนิดนี้มีเม็ดหยาบได้แก่หินแกรนิต ซึ่งเป็นหินที่มีการเย็นตัวอย่างช้าๆ ส่วนหินที่มีขนาดเม็ดละเอียดได้แก่ หินบะซอลต์ ซึ่งเป็นหินที่มีการเย็นตัวเร็ว

(2) หินชั้น (Sedimentary Rocks) เกิดจากปฏิกิริยาการเกิดเป็นของแข็งของตะกอนของแร่ธาตุ จะมีลักษณะเป็นชั้นๆ ชนิดของหินชั้นมีอาทิเช่น หินปูน , หินโดโลไมท์ หินดินดาน , หินทราย เป็นต้น

(3) หินแปร (Metamorphic Rocks) เกิดจากหินอัคนีหรือหินตะกอนที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากความร้อนและแรงดันที่รุนแรง อาทิเช่น หินชนวน , หินอ่อน , หินเขี้ยวหนุมาน เป็นต้น ในการก่อสร้างหินจะต้องทำการย่อยก่อนที่จะนำไปใช้ในงานก่อสร้างตามความเหมาะสมของงานนั้นๆ ส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะใช้หินปูนมาทำการย่อย เพื่อใช้ในงานก่อสร้างเพราะมีอยู่เป็นจำนวนมาก คุณสมบัติของหินที่จะใช้ในงานก่อสร้างจะต้องมีความแข็งแรง มีความต้านทานต่อการสึกกร่อน มีความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี มีลักษณะรูปร่างและผิวไม่บาง , แบน , ยาว มีอัตราส่วนคละที่ดี

หินฝุ่น คือ หินปูนบดหยาบๆเป็นผลพลอยได้จากการโม่หินปูน มีองค์ประกอบหากหลายขึ้นอยู่กับแหล่งของหินว่ามีสิ่งเจือปนมากน้อย พบว่ามีองค์ประกอบสำคัญ คือ แคลเซียม ประมาณ 30 – 35 % แมกนีเซียมประมาณ 3 – 5 % และธาตุอื่นๆปะปนในปริมาณเล็กน้อย คือ ฟอสฟอรัส กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดงสังกะสี

หินฝุ่นสามารถละลายในน้ำได้อย่างช้าๆ แต่ในดินที่เป็นกรดสามารถละลายในน้ำได้เร็วขึ้น และในดินที่มีความเป็นกรดค่อนข้างจัด ที่พีเอช (pH)ต่ำกว่า 5 มักจะละลายหมดภายใน 4 – 6 เดือน จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถละลายน้ำได้ 90.6 % มีกากเหลือที่ไม่ละลายน้ำเพียง 9.4 % หินฝุ่นมารถละลายได้ในดินด่าง (pHอยู่ระหว่าง 7 – 7.5) หรือดินเค็มเล็กน้อย (ค่า EC อยู่ระหว่าง 0.5 – 1.5 ds/m) (ผศ.ดร.เรณู ขำเลิศ, 2554)

(อิทธิพล แก้วบัวดี, 2554)หินฝุ่นคือส่วนละเอียดของหิน ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการโม่หินโดยการร่อนแยกขนาดของหินเบอร์ที่ใช้สำหรับงานก่อสร้าง หินฝุ่นจัดเป็นวัสดุมวลหยาบ(Granular Materials) และเป็นวัสดุประเภทNon-Plastic มีขนาดเม็ดโตสุดไม่เกิน9.5 มม. หินฝุ่นมีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ระหว่าง2.61 - 2.79 ค่าการดูดซึมน้ำอยู่ระหว่าง0.58 - 1.98% ค่าความ

สึกหรออยู่ระหว่าง18.9 - 34.4% ขึ้นอยู่กับชนิดของหิน ต้นกำเนิด ค่าความแน่นแห้งสูงสุดอยู่ระหว่าง 2.035 - 2.295 gm./ml. ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (OMC) อยู่ระหว่าง6.1- 10.0% ค่าCBR อยู่ระหว่าง39.5 - 88.0% และมีค่าการบวมตัว(Swelling) น้อยกว่า0.1%

หินฝุ่นเป็นวัสดุที่มีค่าCBR สูง แต่เมื่อผ่านการบดอัดเม็ดหินจะเกิดการแตกหักเป็นส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เพิ่มมากขึ้นจึงไม่ควรบดอัดหินฝุ่นด้วยพลังงานที่สูงเกินไป(Over-Compaction) เพื่อป้องกันการแตกหักของเม็ดหินอันอาจจะส่งผลต่อค่าCBR ดังนั้นในงานก่อสร้างจึงควรควบคุมความแน่นแห้งให้อยู่ในช่วง95% ถึง100% ของความแน่นแห้งสูงสุดการบดอัดหินฝุ่นที่ปริมาณความชื้นOMC หรือต่ำกว่าOMC (Dry Side) เล็กน้อย จะได้ความแน่นแห้งที่ผ่านตามเกณฑ์และได้ค่าCBR สูง ทั้งนี้การควบคุมงานขณะทำการก่อสร้างต้องปฏิบัติตามมาตรฐานอย่างเคร่งครัด ความหนาหลังการบดทับแต่ละชั้นต้องไม่เกิน 20 เซนติเมตร

ปริมาณส่วนผ่านตะแกรงเบอร์200 ไม่เกิน25% และปริมาณความชื้นที่ใช้ในการเกลี่ยผสมคลุกเคล้า(Mixed Process) และบดอัดที่OMC ± 2% เป็นปริมาณความชื้นที่เหมาะสมสำหรับใช้ก่อสร้างคันทางด้วยหินฝุ่น

2.5 วัสดุทดแทนวัสดุผสมคอนกรีต

วัสดุทดแทน คือ วัสดุที่นำมาใช้ทดแทนวัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีตดังเดิมเพราะมีราคาถูก และหาง่าย สะดวกในการดำเนินงาน (Kanokporn)

2.5.1 เถ้าลอยเถ้าลอย (Fly ash) เป็นเถ้าหรือวัสดุเหลือทิ้งจากการเผาถ่านหินเพื่อให้พลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า เถ้าถ่านหินที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่จะตกลงก้นเตา เรียกว่าเถ้าก้นเตา ส่วนเถ้าถ่านหินที่ขนาดเล็กประมาณ ≤1 - 200 μm จะลอยขึ้นเหนือเตาไปกับอากาศร้อน เรียกว่า เถ้าลอย ซึ่งจะถูกดักจับโดยเครื่องดักจับฝุ่นไฟฟ้าสถิตย์(Electrostatic precipitation) เพื่อไม่ให้หลุดออกไปเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

เถ้าลอยมีมาตรฐานต่างๆจะแบ่งเถ้าลอยออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

(1) เถ้าลอยชนิด F (Class F) เกิดจากการเผาถ่านหินแอนทราไซต์และบิทูมินัส มีปริมาณผลรวมของซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) มากกว่าร้อยละ 70 มีปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ต่ำ

(2) เถ้าลอยชนิด C (Class C) เกิดจากการเผาถ่านหินลิกไนต์ และซับบิทูมินัส มีปริมาณผลรวมของซิลิกา (SiO_2) อะลูมินา (Al_2O_3) และเฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3) มากกว่าร้อยละ 50 ปริมาณแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูงรายละเอียดอื่นๆ แสดงดังตาราง

ตารางที่ 5 สมบัติของเถ้าลอย (Kanokporn)

สมบัติ	ชนิดของเถ้าลอย	
	F	C
1. ปริมาณ $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$อย่างต่ำ, ร้อยละ	70	50
2. SO_3อย่างสูง, ร้อยละ	5	5
3. ความชื้นสูงสุด, ร้อยละ	3	3

สมบัติ	ชนิดของเถ้าลอย	
	F	C
4. LOI อย่างสูง, ร้อยละ	6	6
5. Alkali (เทียบเท่า Na_2O) สูงสุด, ร้อยละ	1.5	1.5

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยโดยทั่วไปจะประกอบด้วย SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3และ CaO เป็นองค์ประกอบหลักอาจมีปริมาณมากถึงร้อยละ 80-90 มี MgO มีออกไซด์ของอัลคาไลในรูป Na_2O, K_2O และ SO_3 เป็นองค์ประกอบรองและมีความชื้น

2.5.2 เถ้าชานอ้อย เถ้าชานอ้อย (Bagasse Ash) เป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งใช้ชานอ้อยและใบอ้อย เผาเป็นเชื่อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะนำไปใช้สำหรับอุตสาหกรรมภายในโรงงานและส่วนที่เหลือสามารถขายให้แก่การไฟฟ้าที่ฝ่ายผลิตแห่งประเทศ

ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าชานอ้อย ถ้าชานอ้อยมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม ไม่แน่นอน ผิวขรุขระ และมีรูพรุนสูง โดยมีขนาดของอนุภาคใหญ่กว่า 30 ไมครอนขึ้นไป เมื่อบดเถ้าชานอ้อยให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นลักษณะอนุภาคคล้ายกันกับเถ้าแกลบหรือเถ้าแกลบหรือเถ้าปาล์มน้ำมันหลังผ่านการบดทั่วไป คือ เป็นเหลี่ยมมุม รูปร่างไม่แน่นอน อนุภาคมีขนาดและความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับเถ้าชานอ้อยก่อนบด สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยพบว่าเถ้าชานอ้อยมี SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักเหมือนกับเถ้าแกลบบดละเอียดและเถ้าปาล์มน้ำมันโดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 65-75 มีปริมาณ SO_3 ต่ำ แต่ปริมาณของ LOI ค่อนข้างสูงซึ่งอาจสูงถึงร้อยละ 20-30 การที่ LOI ของเถ้าชานอ้อยมีค่าค่อนข้างสูงมักเกิดขึ้นเช่นเดียวกับเถ้าชีวมวลทั่วไป ตารางที่ 19.5 เป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยในประเทศไทย ที่มี LOI สูง และ LOI ต่ำ หากเถ้าชานอ้อยมี LOI สูง มักจะมี SiO_2 ต่ำกว่าเถ้าชานอ้อยที่มี LOI ต่ำ

2.5.3 เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้าปาล์มน้ำมัน (Palm Oil Fuel Ash) เป็นวัสดุพลอยได้จากการนำกากของผลปาล์มน้ำมัน ได้แก่ เศษกะลา เส้นใย และทลายปาล์มเปล่าของผลปาล์มเผาเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อกำเนิดไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า มีอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ประมาณ 800-900 องศาเซลเซียส (ลดาวัลย์ สินสุพรรณ์, 2556)

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมัน พบว่ามีปริมาณ SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกับเถ้าแกลบและเถ้าแกลบเปลือกไม้ แต่มีปริมาณที่น้อยกว่า คือประมาณร้อยละ 60-70 มีผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ประมาณร้อยละ 70 มีปริมาณ SO_3 ต่ำกว่าร้อยละ 4 และปริมาณ LOI ร้อยละ 10 ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูง ซึ่งปริมาณ LOI ที่สูงนี้อาจเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไม่สูงมากและระยะเวลาที่ใช้ในการเผาที่สั้น เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าปาล์มน้ำมันตามมาตรฐาน ASTM C618 พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันมีองค์ประกอบทางเคมีที่ตรงกับข้อกำหนดของวัสดุปอซโซลาน Class N ได้ แม้ว่าเถ้าปาล์มน้ำมันจะถือได้ว่าเป็นวัสดุปอซโซลานสังเคราะห์ (เพราะได้จากการเผากากของผลปาล์มน้ำมัน) ซึ่งแตกต่างจาก ASTM C618 ที่ระบุว่าวัสดุปอซโซลาน Class N เป็นวัสดุปอซโซลานจากธรรมชาติ

คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าปาล์มน้ำมัน ลักษณะอนุภาคของเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนและหลังบดแสดงในรูปที่ 19.3 และ 19.4 พบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันก่อนบดมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ผิวขรุขระ ความพรุนสูง รูปร่างกลมมนติดต่อกันเป็นกลุ่มก้อน และขนาดไม่สม่ำเสมอ ส่วนเถ้าปาล์มน้ำมันหลังบดมีลักษณะอนุภาคเป็นเหลี่ยมมุม รูปร่างไม่แน่นอน อนุภาคมีขนาดและความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับเถ้าปาล์มน้ำมันก่อบด เถ้าปาล์มน้ำมันที่ได้จากโรงงานโดยตรงมีความละเอียดต่ำและมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่มาก ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้น้อย การบดจึงเป็นการเพิ่มความละเอียดของเถ้าปาล์มน้ำมัน และเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวในการทำปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าปาล์มน้ำมัน การบดไม่เพียงเพิ่มความละเอียดของเถ้าปาล์มน้ำมันแต่ยังเป็นการลดความพรุนของเถ้าปาล์มน้ำมันด้วย ซึ่งสังเกตได้จากค่าความถ่วงจำเพาะของเถ้าปาล์มน้ำมันที่มีค่าเพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 19.2 ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นค่อนข้างมากคือจาก 1.97 เป็น 2.33 เมื่อน้ำหนักของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ลดลงจากร้อยละ 41.2 เหลือร้อยละ 1.5 ตามลำดับ

2.5.4 ขี้เถ้าแกลบ ขี้เถ้าแกลบถือเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเผาไหม้ของแกลบมีลักษณะหลายสีขึ้นอยู่กับกระบวนการเผา แบ่งเป็น 3 ชนิด คือ (us, 2557)

(1) ขี้เถ้าแกลบเทา เป็นขี้เถ้าแกลบที่มีลักษณะสีเทา เนื้อขี้เถ้าแกลบแข็งและคงรูปมากกว่าแกลบชนิดอื่น แต่จะแตกละเอียดหากได้รับแรงกดบีบเป็นแกลบที่ได้จากการเผาที่อุณหภูมิไม่เกิน 600 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์ขณะเผาไหม้จะไม่เกิดเปลวไฟ

(2) ขี้เถ้าแกลบดำ เป็นขี้เถ้าแกลบที่มีลักษณะสีดำ เนื้อขี้เถ้ามีการคงรูปของแกลบบางส่วน เนื้อแกลบแข็งและเปราะง่านกว่าแกลบสีเทาแต่จะแตกละเอียดหากได้รับแรงกดบีบ เป็นแกลบที่ได้จากการเผาอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิไม่เกิน 1200 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอทำให้การเผาไหม้ไม่สมบูรณ์โดยไม่เกิดเปลวไฟขณะเผาไหม้

(3) ขี้เถ้าแกลบขาว เป็นขี้เถ้าแกลบที่มีลักษณะสีขาว เนื้อขี้เถ้าแกลบแตกหักเป็นผงขนาดเล็กเป็นแกลบที่ได้จากการเผาอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิสูง ภายใต้สภาวะออกซิเจนที่มีเกินพอทำให้เกิดการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ โดยส่วนมากมักจะเกิดเปลวไฟขณะเผาไหม้หากเผาในที่โล่งที่มีอากาศกระจายสู่พื้นผิวขณะเผาไหม้ที่เพียงพอ นอกจากการเผาที่อุณหภูมิสูงแล้วยังสามารถเผาได้จากแกลบดำที่อุณหภูมิต่ำอย่างต่อเนื่องได้อีกวิธี แกลบชนิดนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์มากในอุตสาหกรรม เนื่องจากองค์ประกอบส่วนมากจะเป็นซิลิกา

เมื่อแกลบเผาไหม้จะทำให้เกิดเถ้าร้อยละ 13-30 ที่ประกอบด้วยซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2) ประมาณร้อยละ 85-97 ส่วนอื่นจะประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ เช่น K_2O 2.3%, MgO 0.5%, Al_2O 0.4%, CaO 0.4%, Fe_2O3 0.2% และ Na_2O 0.1%

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การทดสอบหาขนาดส่วนคละของมวลรวม ตามมาตรฐาน ASTM C33

เครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องชั่งสามารถอ่านค่าละเอียดได้ถึง 0.5 กรัม และมีความถูกต้องไม่น้อยกว่า 0.1 %ของน้ำหนักที่ชั่งทั้งหมด
2. ตะแกรงมาตรฐาน ขนาด 3" 1 ½" ¾" ⅜" และเบอร์ 4 สำหรับมวลรวมหยาบ ตะแกรงมาตรฐาน ขนาด No.4 No.8 No.16 No.30 No. 50 และ No. 100 สำหรับมวลรวมละเอียด
3. เครื่องเขย่าตะแกรง (Mechanical Sieve Shaker) มวลรวมหยาบพร้อมตะแกรงมาตรฐาน
4. เครื่องเขย่าตะแกรง (Mechanical Sieve Shaker) มวลรวมละเอียด
5. ตู้อบไฟฟ้า ควบคุมอุณหภูมิได้ ระหว่าง 105 °c – 110 °c

วิธีการทดลอง

มวลรวมละเอียด

1. นำทรายที่ต้องการทดสอบมาหา Quatering หรือ Sand spliter และชั่งน้ำหนักมา 500กรัม ตัวอย่างทดลองต้องแห้งจนมีน้ำหนักคงที่
2. เททรายตัวอย่างลงในตะแกรงที่เรียงกันไว้ตามลำดับจากหยาบไปหาละเอียดปิดฝาและยึดให้แน่น
3. เดินเครื่องเขย่าประมาณ 10 นาที แล้วหยุดเครื่อง ชั่งน้ำหนักของทรายที่ค้างอยู่บนตะแกรงแต่ละชั้นอย่างละเอียด

* สำหรับการหาส่วนคละของหินฝุ่นใช้ขนาดตะแกรงชุดเดียวกับทราย และการหาส่วนคละของหินใช้ขนาดตะแกรงตามที่กำหนด

การคำนวณ

1. คำนวณหาน้ำหนักของมวลที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาดเป็นเปอร์เซ็นต์ (Individual percentage retained)
2. หาน้ำหนักของมวลเป็นเปอร์เซ็นต์สะสมบนตะแกรงแต่ละขนาด (Cumulative percentage retained)
3. คำนวณหาค่า Fineness Modulus (F.M.) โดยใช้ค่าผลรวมของเปอร์เซ็นต์สะสมที่ค้างบนตะแกรงขนาดต่างๆ แล้วหารด้วย 100 (มาตรฐาน ASTM C 125)

3.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ มาตรฐาน ASTM C127 และ ASTM C128 (ปริญญา, 2557)

เครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องชั่งสามารถอ่านค่าละเอียดได้ถึง 0.5 กรัม และมีความถูกต้องไม่น้อยกว่า 0.1 %ของน้ำหนักที่ชั่งทั้งหมด
2. กระบอกตวง (Flask) ขนาดความจุ 500 ml
3. ตู้อบไฟฟ้า ควบคุมอุณหภูมิได้ ระหว่าง 105 °c – 110 °c 4. แท่งกระทุ้งปลายเรียบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 25 ± 3 mm
5. ถาดโลหะสำหรับใส่ทราย

วิธีการทดลอง

มวลรวมละเอียด

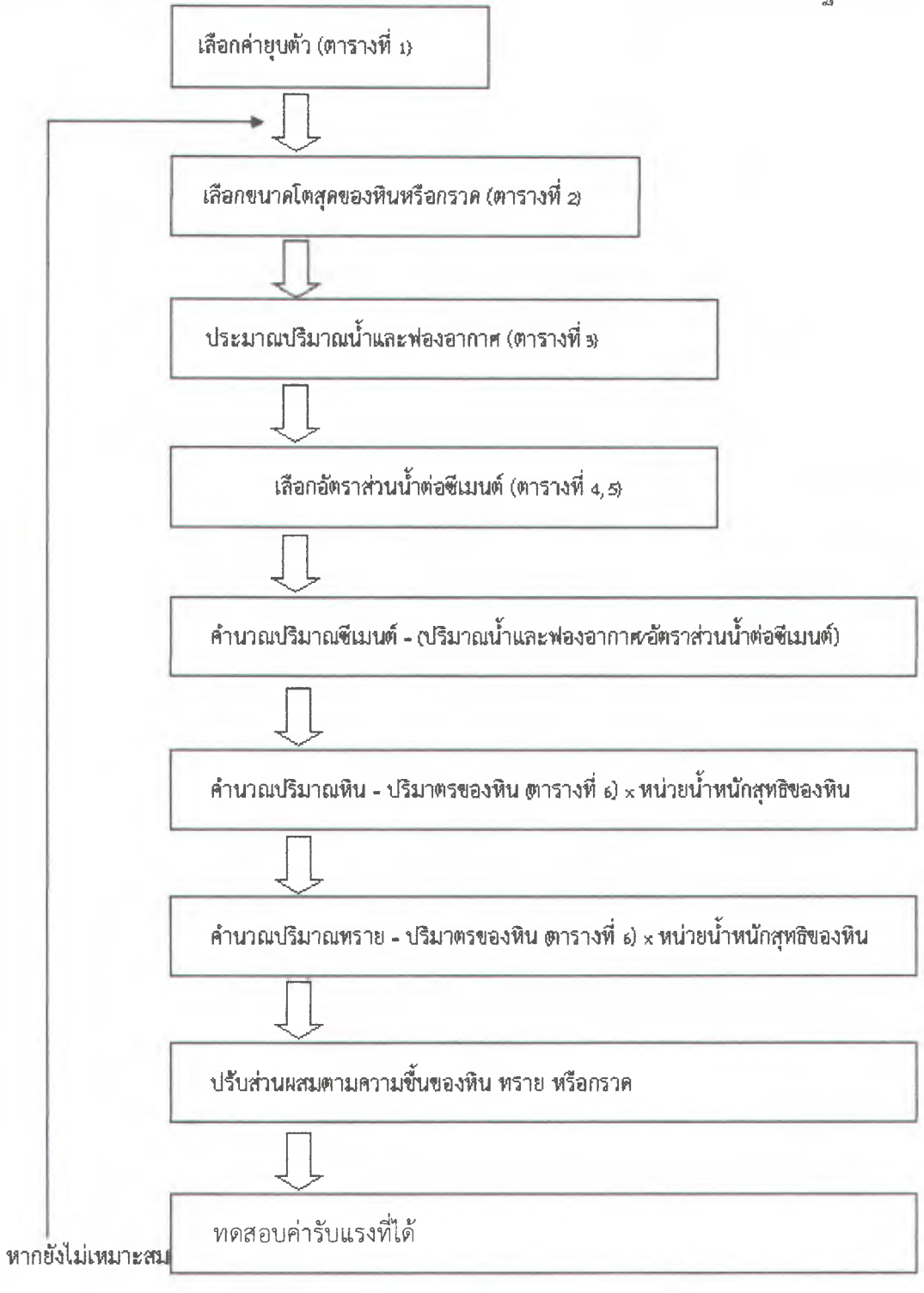
1. นำทรายที่ต้องการทดสอบประมาณ 500กรัม ใส่ลงในกระบอกตวง 500 ml จากนั้นเติมน้ำจนถึงขีดบอกระดับ 500 ml หากมีฟองอากาศให้ไล่ฟองอากาศออกให้หมด
2. ชั่งน้ำหนักกระบอกตวงในข้อ 1 บันทึกค่า
3. เททรายในกระบอกตวง ลงในถาดโลหะ นำไปอบในตู้อบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 105 °c – 110 °c ประมาณ 24 ชม.
4. นำทรายออกจากตู้อบ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1-2 ชม.
5. ชั่งน้ำหนักทรายที่อบแห้ง และชั่งหาน้ำหนักกระบวกตวงที่มีน้ำอยู่ที่ขีดบอกระกับ 500 ml บันทึกค่า

การคำนวณ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวผิวแห้ง } (Bsd) = \frac{\text{น้ำหนักของทรายในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง } (W_s)}{\text{น้ำหนักกระบอกตวงและน้ำ } (B) + \text{ น้ำหนักทรายอบแห้ง } (A) + \text{ น้ำหนักกระบวกตวง มีทราย และน้ำ } (W_t)}$$

3.3 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตที่ค่าการรับกำลังอัดประลัยที่ 240 ksc ตามมาตรฐานอเมริกา



ภาพที่ 3.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา

หมายเหตุ: ปริมาณของทรายที่ใช้ผสมคอนกรีตจะถูกทดแทนด้วยหินฝุ่นตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ข้างต้น

1. ค่ากำลังอัดออกแบบหาได้จากสมการ

$$f_{cr} = f_c' + ks$$

เมื่อ fcr คือ กำลังอัดเฉลี่ยที่ต้องการออกแบบ

fc' คือ กำลังอัดที่กำหนดไว้ในแบบ

ks คือ ส่วนเผื่อ k คือ ค่าคงที่

s คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S=40 ksc)

ตารางที่ 3.1 ค่าร้อยละกำลังอัดที่ต่ำกว่า f_c' เทียบกับค่า k (พิภพ, 2546)

ค่าร้อยละกำลังอัดที่ต่ำกว่า f_c'	k
20	0.842
10	1.282
5	1.645
2.5	1.960
2	2.054
1	2.326
0	3.000

2. สัดส่วนผสมคอนกรีตที่ได้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ หิน น้ำ และ ทราย โดยจะทดแทนทรายด้วยหินฝุ่นที่สัดส่วน ทราย: หินฝุ่น เท่ากับ 100: 0, 80: 20, 50: 50, 20: 80; และ 0: 100

3. ผสมคอนกรีตตามสัดส่วนผสมที่ได้จากการคำนวณ จำนวนส่วนผสมละ 9 ก้อนตัวอย่าง สำหรับทดสอบหาค่ากำลังอัดแต่ละช่วงอายุ ช่วงอายุละ 3 ก้อน

4. ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน

5. วิเคราะห์ และสรุป ผลการทดสอบค่ากำลังอัดที่ได้โดยทำการทดสอบแท่งตัวอย่างทรงลูกบาศก์ด้วยเครื่องทดสอบกำลังอัด (ภาพที่ 3.2)

ภาพที่ 3.2 เครื่องทดสอบกำลังอัด

ตารางที่ 3.2 ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างประเภทต่างๆ (ชัชวาลย์, 2536)

ประเภทของงาน	ค่าความยุบตัว (ซม.)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานใต้น้ำ	8.0	2.0
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10.0	2.0
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	5.0	2.0

ตารางที่ 3.3 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ (ชัชวาลย์, 2536)

ขนาดความหนาของโครงสร้าง (ซม.)	ขนาดโตสุดของวัสดุผสม							
	คาน ผนัง และเสา คสล.		ผนังคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก		พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักมาก		พื้นคอมกรีตรับน้ำหนักน้อย	
	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.
5.0-15.0	1/2 - 3/4	12.5-20	3/4	20	3/4 -1	20+25	¾ - 1	20-40
15.0-30.0	3/4 - 1	20-40	1 1/2	40	1 1/2	40	1/2	40-75
30.0-75.0	1/2	40-75	3	75	1 1/2-3	40-70	1 1/2 - 3	75
มากกว่า 75.0	1 1/2 - 3	40-75	6	150	1 1/2-3	40-75	3	75-150
	1 1/2 - 3						3-6	

ตารางที่ 3.4 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่างๆ (ชัชวาลย์, 2536)

ค่าความยุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ม.^{3} สำหรับวัสดุผสมขนาดต่างๆ (มม.)							
	3/8" (10 มม.)	1/2" (12.5 มม.)	3/4" (20 มม.)	1" (25 มม.)	1 1/2" (40 มม.)	2" (50 มม.)	3" (75 มม.)	6" (150 มม.)
คอมกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Non Air Entraining Concrete)								
3-5	205	200	185	180	160	155	145	125
8-10	225	215	200	195	175	170	160	140
15-18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Ari Entraining Concrete)								
3-5	180	175	165	160	145	140	135	120
8-10	200	190	180	175	160	155	150	135
15-18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	8	8	6	5	4.5	4	3.5	3

ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง (ชัชวาลย์, 2536)

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลา หรือมีการเยือกแข็งและการละลายของน้ำสลับกันบ่อยๆ (เฉพาะคอนกรีตกระจายกักฟองอากาศเท่านั้น	โครงสร้างในน้ำทะเลหรือสัมผัสกับซัลเฟต
โครงสร้างบางๆ ที่มีเหล็กหุ้ม บางกว่า 3 ซม.	0.45	0.45”
โครงสร้างอื่นๆทั้งหมด	0.50	0.45”

*ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต อาจเพิ่มค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ได้อีก 0.05

ตารางที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต (ชัชวาลย์, 2536)

กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน (ksc)	**อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก**	
	คอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ	**คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ**
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

ตารางที่ 3.7 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรคอนกรีต (ชัชวาลย์, 2536)

ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่างๆ กัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8" (10 มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2" (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4" (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1" (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2" (40 มม.)	0.76	0.74	0.72	0.70
2" (50 มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3" (75 มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6" (150 มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

3.4 ขั้นตอนการผสมคอนกรีต และการทดสอบ

1. เตรียมแบบหล่อคอนกรีต ทำความสะอาดให้ผิวสัมผัสด้านในสะอาด และทาน้ำมันที่ผิวสัมผัสด้านใน

2.ชั่งน้ำหนักวัสดุผสม

3.นำวัสดุผสม ผสมเข้าด้วยกัน

4.นำคอนกรีตที่ได้ตักลงแบบหล่อทรงลูกบาศก์ที่เตรียมไว้จากข้อ 1 โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นกระทุ้งให้แน่น

5.ปาดแต่งผิวหน้าลูกปูนให้เรียบ แล้วตั้งทิ้งไว้ประมาณ 24 ชม.

6. แกะแบบ นำลูกปูนไปบ่มในน้ำสะอาด ตามอายุ

7.นำลูกปูนออกจากน้ำ ตั้งทิ้งให้แห้ง

8. วัดขนาดพื้นที่หน้าตัดของลูกปูน

9.นำลูกปูนเข้าเครื่องทดสอบกำลังอัด

10.บันทึกผล พร้อมคำนวณ

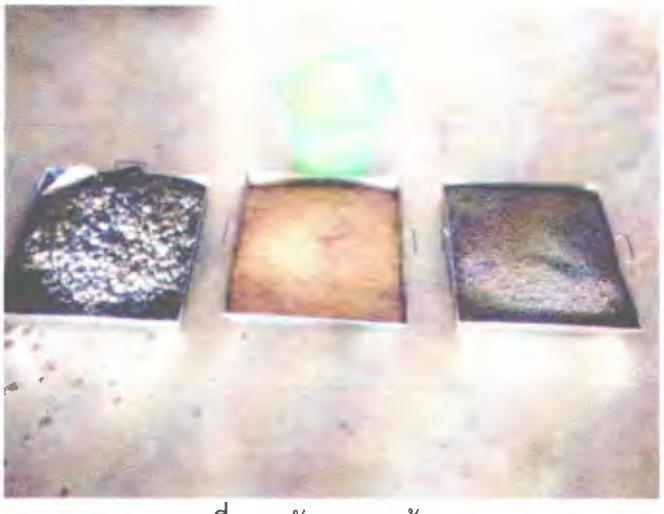
ภาพที่ 3.3 เตรียมแบบหล่อคอนกรีต

2. ปรับระดับ และตั้งค่าของตาชั่งให้สมดุล และมีค่าเป็น 0.00

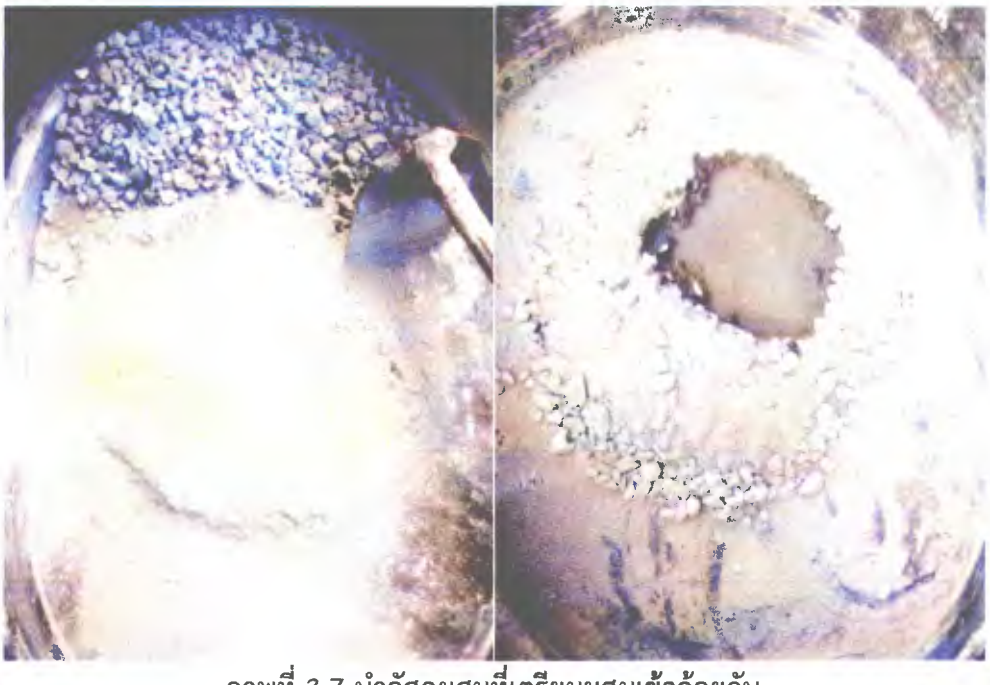
ภาพที่ 3.4 เตรียมตาชั่งให้พร้อมใช้งาน

3. ชั่งน้ำหนักวัสดุผสมแต่ละชนิดตามขนาดที่ได้จากการคำนวณ

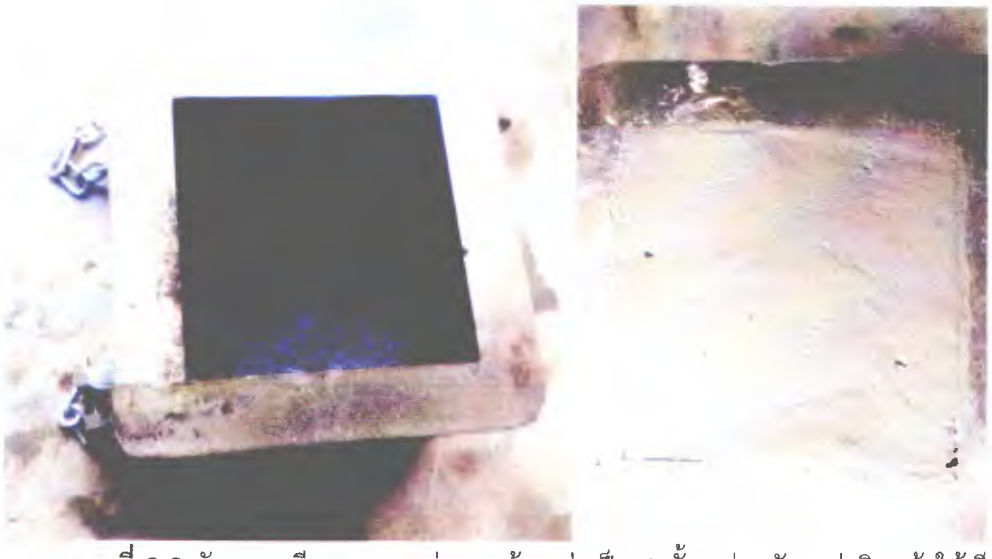
ภาพที่ 3.5 ชั่งน้ำหนักส่วนผสม



ภาพที่ 3.6 วัสดุผสมพร้อมผสม

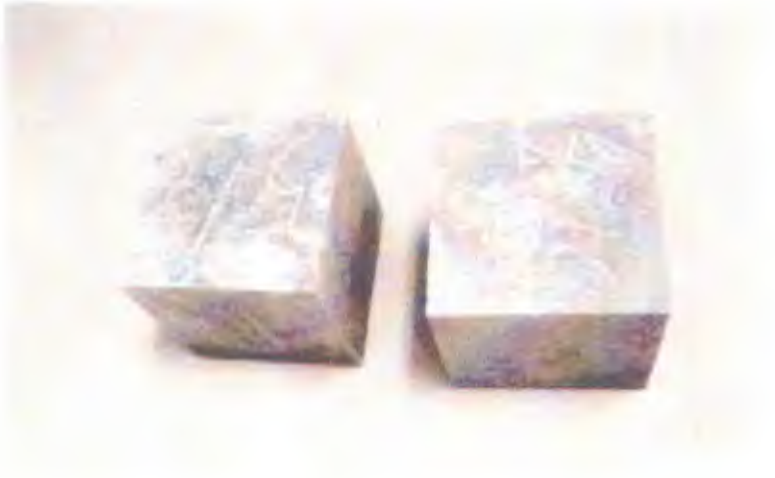


ภาพที่ 3.7 นำวัสดุผสมที่เตรียมผสมเข้าด้วยกัน



ภาพที่ 3.8 ตักคอนกรีตลงแบบหล่อกระทุ้ง แบ่งเป็น 3 ชั้น เท่าๆกัน แต่งผิวหน้าให้เรียบ

ภาพที่ 3.9 หลังทิ้งไว้ 24 ชม. ถอดแบบแกะลูกปูนบ่มน้ำ



ภาพที่ 3.10 เมื่อครบอายุบ่ม นำลูกปูนขึ้นจากน้ำ วางทิ้งไว้ให้แห้ง

ภาพที่ 3.11 วัดขนาดหน้าตัดผิวหน้าลูกปูน แล้วนำเข้าเครื่องทดสอบ

ภาพที่ 3.12 อ่านค่าบันทึกผล

การคำนวณ

เนื่องจากค่าที่อ่านได้จากการทดสอบโดยเครื่องทดสอบกำลังอัดมีหน่วยเป็น kN ดังนั้นการคำนวณเพื่อเปลี่ยนหน่วยจาก kN เป็น ksc สามารถทำได้ดังนี้

สมมติ กดตัวอย่างคอนกรีต ชนิดลูกบาศก์ ที่อายุ 28 วัน ได้ค่า 520 kN ต้องการเปลี่ยนให้ค่าที่ได้อยู่ในหน่วย ksc

เปลี่ยนจาก kN เป็น N นำค่าของ k = 1,000 ไปคูณ

520x1000 = 520,000 N

1 kg = 1 gN เมื่อค่า g = 10

520,000/10 = 52,000 kg

ขนาดพื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ 15x15 cm^2.

52,000 / (15x15) = 231.11 kg/cm^2 (ksc)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ในบทนี้จะแสดงผลการศึกษาการทดสอบการผสมคอนกรีตโดยใช้หินฝุ่นทดแทนทราย

เมื่อ ถ.พ.ปูนซีเมนต์ = 3.15 ทราย ถ.พ. = 2.60

หิน ขนาดเม็ดโตสุด = 20 มม. ถ.พ.= 2.65

เมื่อทรายและหินฝุ่นอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง

จากการคำนวณจะได้ปริมาณน้ำหนัก ปูน หิน ทราย ฝุ่น และน้ำ ดังนี้

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักส่วนผสมคอนกรีต

ส่วนผสม	อัตราส่วน ทราย : หินฝุ่น	น้ำหนัก (กก.)				
		ปูน	หิน	ทราย	หินฝุ่น	น้ำ
1	100 : 0	4	10.5	10	0	2.5
2	80 : 20	4	10.5	7.5	2	2.5
3	50 : 50	4	10.5	4	4	2.5
4	20 : 80	4	10.5	2	7.5	2.5
5	0 : 100	4	10.5	0	10	2.5

4.1 การทดสอบกำลังอัดคอนกรีต

การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตที่สัดส่วนผสมต่างๆ ตามอายุของคอนกรีต ระยะเวลาบ่มน้ำทิ้งไว้ 7 วัน

ส่วนผสม	กำลังอัดที่ได้ (kN)				กำลังอัด (ksc)
	1	2	3	เฉลี่ย	
1	602.55	605.20	586.80	598.18	265.86
2	649.20	626.05	677.55	650.93	289.30
3	632.05	626.25	649.40	635.90	282.62
4	434.10	423.75	433.40	430.42	191.30
5	561.25	548.10	571.20	560.18	248.97

จากผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังอัดที่ต้องการคือ 240 ksc ซึ่งได้ออกแบบส่วนผสมเผื่อไว้เป็น 290 ksc โดยกำลังอัดของคอนกรีตทรงลูกบาศก์ที่อายุ 7 วันควรมีค่ากำลังอัดไม่น้อยกว่า 75 - 80% ของค่ากำลังอัดที่อายุ 28 วัน จากผลการทดสอบ เห็นได้ว่าที่ส่วนผสมเดียวกันค่าที่กดได้จะใกล้เคียงกัน โดยส่วนผสมที่ 2 (ใช้หินฝุ่นทดแทนทราย ร้อยละ 20) ได้ค่ากำลังอัดมากที่สุดคือ 289.30 ksc รองลงมาคือส่วนผสมที่ 3 (ใช้หินฝุ่นทดแทนทรายร้อยละ 50) ส่วนผสมที่ 1 กำลังอัด (ทราย ร้อยละ 100) ส่วนผสมที่ 5 (หินฝุ่น ร้อยละ 100) และ 4 (ใช้หินฝุ่นทดแทนทรายร้อยละ80) มีค่ากำลังอัด 282.62 265.86 248.97 และ 191.30 ตามลำดับ

ระยะเวลาบ่มน้ำทิ้งไว้ 14 วัน

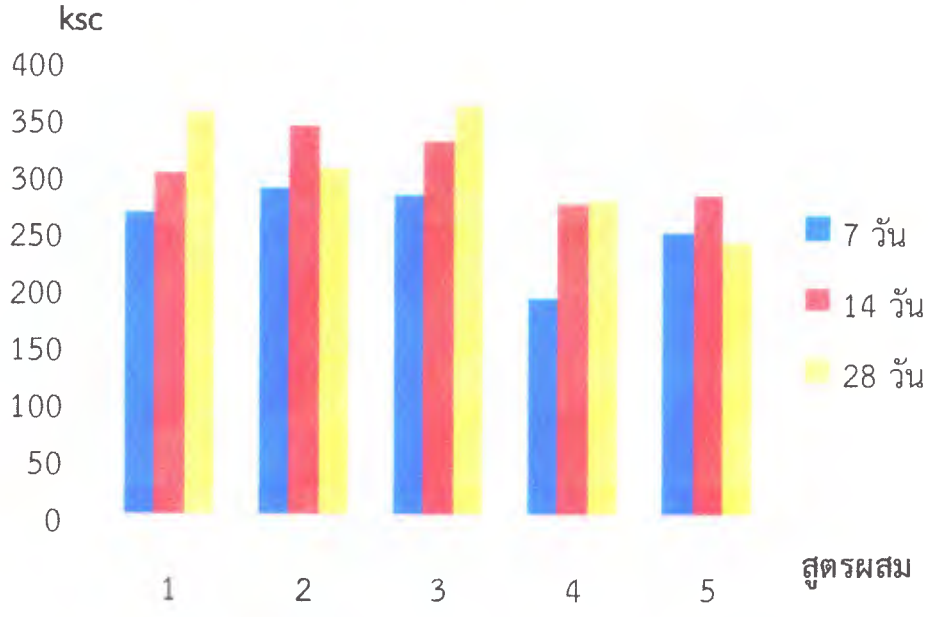
ส่วนผสม	กำลังอัดที่ได้ (kN)				กำลังอัด (ksc)
	1	2	3	เฉลี่ย	
1	667.35	685.50	643.00	681.78	303.01
2	708.15	770.55	771.05	773.92	343.96
3	762.55	715.20	755.35	744.37	330.83
4	589.60	631.65	637.20	619.48	275.32
5	647.45	642.40	617.60	635.82	282.59

จากผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังอัดที่ต้องการคือ 240 ksc โดยได้ออกแบบส่วนผสมเผื่อไว้เป็น 290 ksc จากผลการทดสอบ เห็นได้ว่าที่ส่วนผสมเดียวกันค่าที่กดได้จะใกล้เคียงกัน โดยส่วนผสมที่ 2 (ใช้หินฝุ่นทดแทนทราย ร้อยละ 20) ได้ค่ากำลังอัดมากที่สุดคือ 343.96 ksc รองลงมาคือส่วนผสมที่ 3 (ใช้หินฝุ่นทดแทนทรายร้อยละ 50) ส่วนผสมที่ 1 กำลังอัด (ทราย ร้อยละ 100) ส่วนผสมที่ 5 (หินฝุ่น ร้อยละ 100) และ 4 (ใช้หินฝุ่นทดแทนทรายร้อยละ80) มีค่ากำลังอัด 330.83 303.01 282.59 และ 275.32 ตามลำดับ

ระยะเวลาบ่มน้ำทิ้งไว้ 28 วัน

ส่วนผสม	กำลังอัดที่ได้ (kN)				กำลังอัด (ksc)
	1	2	3	เฉลี่ย	
1	807.20	782.60	807.30	799.03	355.12
2	669.10	670.60	723.20	687.63	305.61
3	851.65	778.05	819.20	816.30	362.80
4	644.85	649.50	589.95	628.10	279.15
5	543.60	536.60	546.40	542.20	240.98

จากผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังอัดที่ต้องการคือ 240 ksc โดยได้ออกแบบส่วนผสมเผื่อไว้เป็น 290 ksc จากผลการทดสอบ เห็นได้ว่าที่ส่วนผสมเดียวกันค่าที่กดได้จะใกล้เคียงกัน โดยส่วนผสมที่ 3 (ใช้หินฝุ่นทดแทนทราย ร้อยละ 50) ได้ค่ากำลังอัดมากที่สุดคือ 362.80 ksc รองลงมาคือส่วนผสมที่ 1 (ทราย ร้อยละ 100) ส่วนผสมที่ 2 กำลังอัด (ใช้หินฝุ่นทดแทนทราย ร้อยละ 20) 4 (ใช้หินฝุ่นทดแทนทรายร้อยละ80) และส่วนผสมที่ 5 (หินฝุ่น ร้อยละ 100) มีค่ากำลังอัด 355.12 305.61 279.15 และ 240.98 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.1 ค่ากำลังอัดคอนกรีต

จากกราฟเปรียบเทียบจะเห็นว่าการใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายในอัตราส่วนที่ที่หินฝุ่นมากกว่าทรายจะทำให้ค่ารับกำลังอัดลดลง และอัตราส่วนที่ดีที่สุดของการการใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายคือการทรายต่อหินฝุ่น 50:50 ซึ่งจะให้ทำได้คอนกรีตที่มีค่ารับกำลังอัดได้สูงขึ้นตามอายุ และสามารถรับกำลังอัดได้ดีที่สุดเมื่ออายุ 28 วัน คือสามารถรับกำลังอัดได้ 362.80 ksc

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยพบว่า การใช้หินฝุ่นแทนที่ทรายผสมคอนกรีต เมื่อใช้ทรายและหินฝุ่นที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งสัดส่วนที่ให้ค่ากำลังอัดคอนกรีตดีที่สุดคือส่วนผสมสูตรที่ 3 (ทราย:หินฝุ่น = 50:50) รองลงมาคือส่วนผสมสูตรที่ 1 (ใช้ทราย 100%) ซึ่งมีค่ากำลังอัดที่แต่ละอายุคอนกรีตต่างจากสูตรที่ 1 เพียงเล็กน้อย จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าหินฝุ่นสามารถใช้ทดแทนทรายหยาบผสมคอนกรีตได้ โดยการแทนที่ทรายหยาบในอัตราส่วน 50 : 50

5.2 ข้อเสนอแนะ

เพิ่มการทดลองผลโดยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

เพิ่มการทดลองผลเมื่อเปลี่ยนแหล่งวัสดุผสม

บรรณานุกรม

กรมทางหลวงชนบท. (2554). *คู่มือควบคุมคุณภาพวัสดุ.* กรมทางหลวงชนบท.

บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด. (2551). *คอนกรีตเทคโนโลยี.* กรุงเทพมหานคร: บริษัท ทีพีไอ คอนกรีต จำกัด.

รศ.ดร.เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช,ดร.อัคคพัฒน์ สว่างสุรีย์ อิทธิพล แก้วบัวดี. (2554). การประยุกต์ใช้หินฝุ่นสำหรับงานถมคันทาง ตามมาตรฐานทรายถมคันทางที่ ทล.-ม. 103/2532. กรุงเทพมหานคร

รักช้อน สำเริง และจินดาประเสริฐ ปริญญา. (2557). *ทฤษฎีและการทดสอบ คอนกรีตเทคโนโลยี.* นนทบุรี: แองเกิ้ลออฟไซ.

ผศ.ดร.เรณู ขำเลิศ. (2554). การใช้หินฝุ่นเพื่อเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง. นครราชสีมา

วริญญา ใจใส,ทิพนภา ทองโชติ ลดาวัลย์ สินสุพรรณ์. (2556). เถ้าปาล์มน้ำมัน เถ้าชานอ้อย และวัสดุปอซโซลานชนิดอื่น. มหาสารคาม

วินิต ช่อวิเชียร วินิต. (2539). *คอนกรีตเทคโนโลยี.* กรุงเทพมหานคร: ป.สัมพันธ์พาณิชย์.

เศรษฐบุตร ชัชวาลย์. (2543). *คอนกรีตเทคโนโลยี.* กรุงเทพมหานคร: คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค.

สุนทรสมัย พิภพ. (2546). *คู่มือการออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต โดยวิธี ACI CODE.* กรุงเทพ: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).

สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน. (2551). *มาตรฐานการทดสอบ การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต.* นนทบุรี: สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน.

about us/contact us. (14 ตุลาคม 2557). puechkaset. เรียกใช้เมื่อ 31 กรกฎาคม 2559 จาก: http://puechkaset.com/%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%9A/

ภาคผนวก

ผลการวิเคราะห์หาสัดส่วนคละและค่าความละเอียดของทรายและหินฝุ่น

ตารางที่ 1 ค่าสัดส่วนคละของทราย

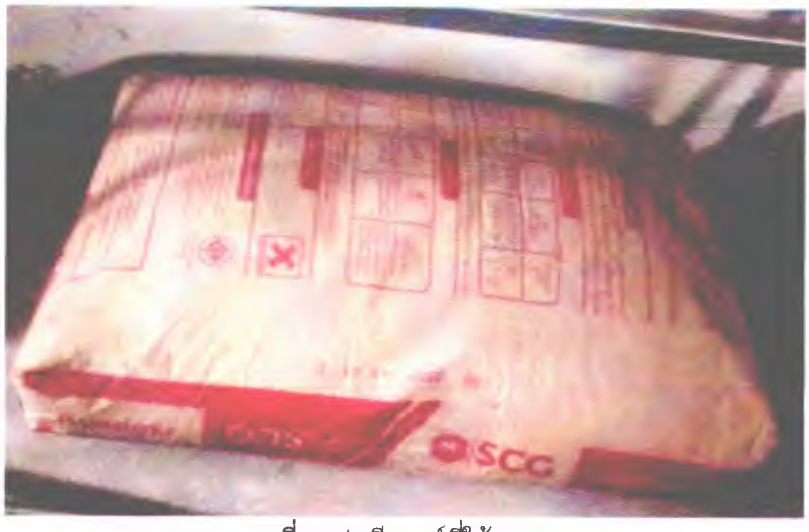
เบอร์ตะแกรง	นน.ค้างตะแกรง	ร้อยละ นน.ค้าง	ร้อยละค้างสะสม	ร้อยละสะสมที่ผ่านตะแกรง
4	0.025	5.06	5.06	94.94
8	0.103	20.85	25.91	74.09
16	0.135	27.33	53.24	46.76
30	0.129	26.11	79.35	20.65
50	0.074	14.98	94.33	5.67
100	0.028	5.67	100	0
รวม			357.89	

พิกัดความละเอียด (F.M.)= $\frac{357.89}{100}$ = 3.579

ตารางที่ 2 ค่าสัดส่วนคละของหินฝุ่น

เบอร์ตะแกรง	นน.ค้างตะแกรง	ร้อยละ นน.ค้าง	ร้อยละค้างสะสม	ร้อยละสะสมที่ผ่านตะแกรง
4	0.024	5.06	5.06	94.94
8	0.168	35.44	40.50	59.50
16	0.151	31.86	72.36	27.64
30	0.077	16.24	88.60	11.64
50	0.034	7.17	95.77	4.23
100	0.02	4.22	100	0
รวม	0.474		402.29	

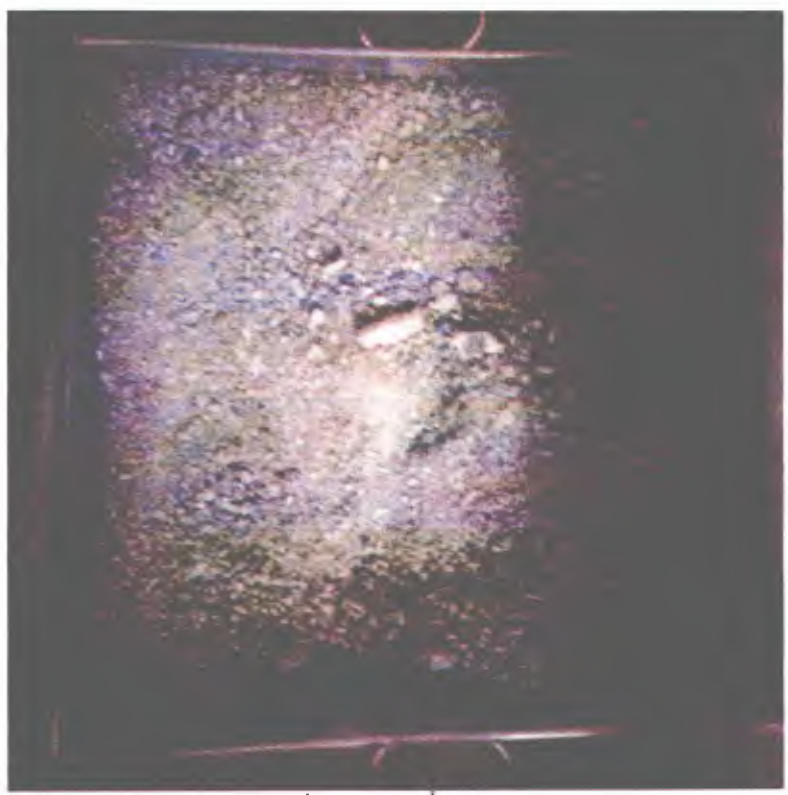
พิกัดความละเอียด (F.M.)= $\frac{402.29}{100}$ = 4.023



ภาพที่ 1 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ทดสอบ

ภาพที่ 2 หินแกรนิตที่ใช้ทดสอบ

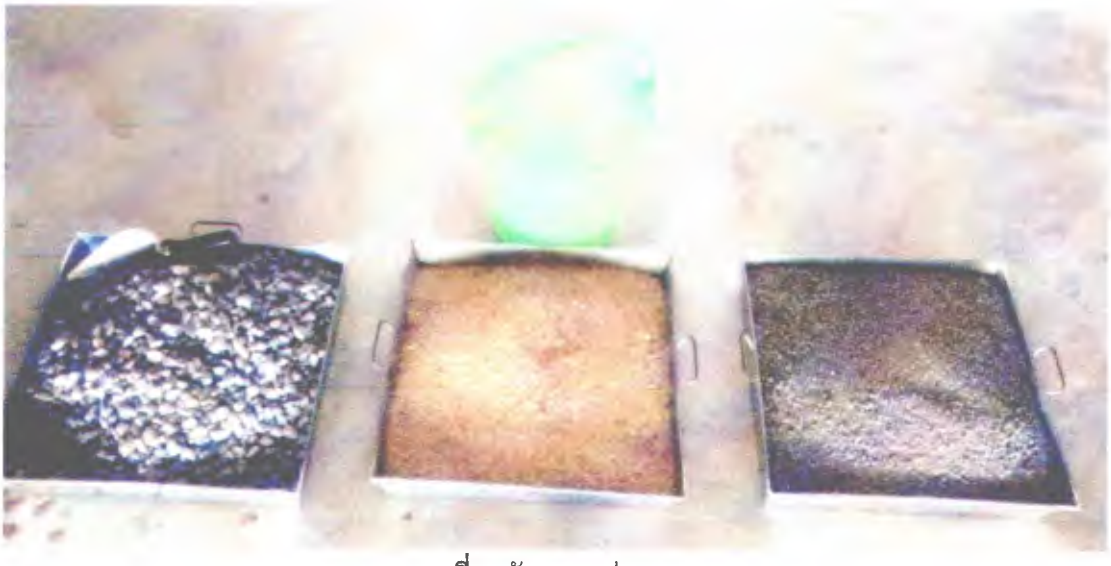
ภาพที่ 3 ทรายที่ใช้ทดสอบ



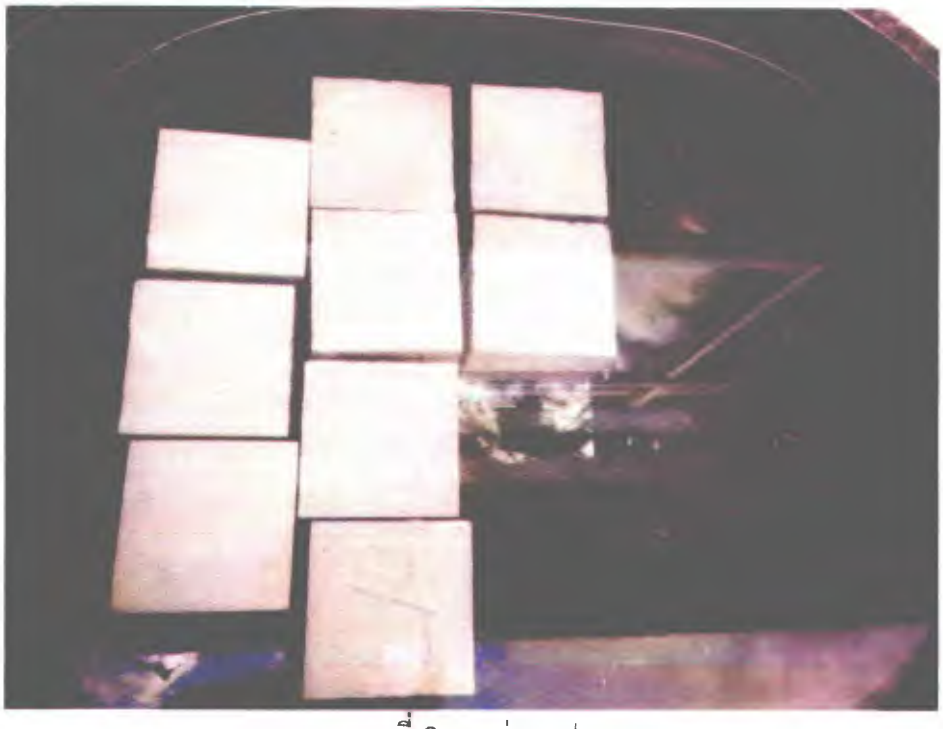
ภาพที่ 4 หินฝุ่นที่ใช้ทดสอบ

ภาพที่ 5 ชั่งน้ำหนักตะแกรงเพื่อหาค่าสัดส่วนคละของทรายและหินฝุ่น

ภาพที่ 6 ทดสอบหาค่าสัดส่วนคละของทรายและหินฝุ่น



ภาพที่ 7 วัสดุผสมก่อนผสม



ภาพที่ 8 การบ่มลูกปูน

ภาพที่ 9 ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด

ภาพที่ 10 ลูกปูนหลังทำการทดสอบ