การศึกษาพฤติกรรมการหดตัวของคอนกรีต เนื่องจากอิทธิพลของมวลรวมละเอียด

Study of shrinkage behavior of concrete due to the influence of fine Aggregate

นางสาวทิพวรรณ อิ่มเอิบ รหัส 54364603

นางสาวรุจน์จิกรณ์ วิรุฬบุตร รหัส 54364832

นายสุธางค์ สุขสวัสดิ์ รหัส 54364993

ห้องสมุดกลาง และวิศวกรรมสารสนเทศ
วันที่รับ ...
เลขทะเบียน 16911869
เลขเรียกหนังสือ ...
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2557

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การศึกษาพฤติกรรมการหดตัวของคอนกรีต เนื่องจากอิทธิพลของมวลรวมละเอียด

ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวทิพวรรณ	อิ่มเอิบ	รหัส 54364603
	นางสาวรุจน์จิกรณ์	วิรุฬบุตร	รหัส 54364832
	นายสุธางค์	สุขสวัสดิ์	รหัส 54364993
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2557		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์)

.....กรรมการ
(ผศ.ดร.สสิกรณณ์ เหลืองวิชชเจริญ)

.....กรรมการ
(อ.บุญพล มีไชโย)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษาพฤติกรรมการหดตัวของคอนกรีต เนื่องจากอิทธิพลของมวลรวมละเอียด		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวทิพวรรณ	อิ่มเอิบ	รหัส 54364603
	นางสาวรุจน์จิกรณ์	วิรุฬบุตร	รหัส 54364832
	นายสุธางค์	สุขสวัสดิ์	รหัส 54364993
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2557		

.....

บทคัดย่อ

โครงงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของมวลรวมละเอียดที่มีผลต่อพฤติกรรมการหดตัวของคอนกรีตทั้งแบบออโตจีนัสและแบบโดยรวม ปัจจัยที่พิจารณาในการศึกษาประกอบด้วย ชนิดของมวลรวมละเอียด (ทรายบกและทรายแม่น้ำ) อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (0.35และ0.55) และอัตราส่วนระหว่างมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด (0.32 0.42 และ 0.48)

จากผลการทดลองพบว่า การหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวโดยรวมมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนระหว่างมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดมีค่าลดลง ชนิดของมวลรวมละเอียดไม่มีผลต่อพฤติกรรมการหดตัวของคอนกรีต นอกจากนี้การหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวโดยรวมมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงตามลำดับ

Project title	Study of shrinkage behavior of concrete due to the influence of fine Aggregate		
Name	Ms.Tippawan	Im-earb	ID. 54364603
	Ms.Rutchikon	Wirunbut	ID. 54364832
	Mr.Suthang	Suksawad	ID. 54364993
Project advisor	Assistant Professor Saranagon Hemaviboon, Ph.D.		
Major	Civil Engineering		
Department	Civil Engineering		
Academic year	2014		

Abstract

The objective of this project is to study the effect of fine Aggregate on the autogenous and total shrinkage behavior of concrete. Factors considered in this study include types of fine aggregate (river sand and bank sand), water-cement ratio (0.35 and 0.55) and sand-aggregate ratio (0.32, 0.42 and 0.48).

The result showed that an autogenous and total shrinkage decrease of sand-total aggregate ratio (S/A). Types of fine aggregate have little effect on the shrinkage behavior of concrete. In addition, autogenous and total shrinkage of concrete are influenced by the water-cement ratio. An increase of the water-cement ratio will decrease the autogenous shrinkage strains. On the contrary, the total shrinkage strain will decrease with the reduction of the water-cement ratio.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำแนะนำ คำปรึกษาและความช่วยเหลือจาก ผศ.ดร.สรัณกร เหมะวิบูลย์ ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และนายชำนาญ น้อยพิทักษ์ ทั้งสองท่าน ซึ่งได้ให้ความอนุเคราะห์และคำแนะนำ คำปรึกษา วิธีการแก้ปัญหา รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ความดูแลเอาใจใส่ รวมถึงติดตามการดำเนินงานมาโดยตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงาน ขอขอบคุณคณะอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวรทุกท่าน ที่ได้ให้วิชาความรู้ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณบุคลากรในคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยนเรศวรที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือต่างๆ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาและแนะนำจนเสร็จโครงงาน

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิดให้การดูแล อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมาตลอดการดำเนินโครงงานจนสำเร็จการศึกษา และสุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนที่คอยช่วยเหลือให้ปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นางสาวทิพวรรณ อิ่มเอิบ
นางสาวรุจน์จิกรณ์ วิรุฬบุตร
นายสุธางค์ สุขสวัสดิ์
พฤษภาคม 2558

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญานิพนธ์	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	5
1.6 แผนการดำเนินงาน	5
1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	6
2.1 การหดตัวของคอนกรีต	6
2.2 การแตกร้าวของคอนกรีต	9
2.3 มวลรวม	17
2.4 การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต (Mix Design)	22
2.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน	28
3.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในโครงงาน	28
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในโครงงาน	35
3.3 ปัจจัยที่ทำการศึกษา	36
3.4 วิธีการศึกษาโครงงาน	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์	51
4.1 ผลการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต	51
4.2 ผลการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต	64
4.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยและแนวทางในการหดตัวของคอนกรีต	77
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	79
5.1 สรุปผล	79
5.2 ข้อเสนอแนะ	80
เอกสารอ้างอิง	81
ภาคผนวก ก	83
ภาคผนวก ข	92

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงาน	5
2.1	ปริมาณสูงสุดของวัสดุไม่ผึงประสงค์ในมวลรวมหยาบ	20
2.2	ค่ายุบตัวของคอนกรีตที่เหมาะสมกับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ	23
3.1	ขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตของทรายบก	39
3.2	ขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตของทรายแม่น้ำ	40

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงแผนผังขอบเขตการศึกษากรณีของทรายแม่น้ำ	3
1.2 แสดงแผนผังขอบเขตการศึกษากรณีของทรายบก	4
2.1 การเกิดหน่วยแรงดึง เนื่องจากการยึดรั้งภายใน	10
2.2 การแตกร้าวของกำแพงคอนกรีต เนื่องจากการยึดรั้งภายนอก	10
2.3 ภาพจำลองแสดงการแตกร้าวของคอนกรีต	11
2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงดึงสุทธิที่เกิดขึ้นและกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต	12
2.5 ชนิดของการแตกร้าวของคอนกรีต ก่อนคอนกรีตแข็งตัวและหลังคอนกรีตแข็งตัว	14
2.6 ตัวอย่างการแตกร้าวด้วยสาเหตุต่างๆ	15
2.7 ทรายบกและทรายแม่น้ำ	18
2.8 การเก็บรักษาทราย	19
2.9 ขนาดคละของมวลรวมละเอียดที่ใช้ในการผสมคอนกรีต	19
2.10 ขนาดคละของมวลรวมหยาบที่ใช้ในการผสมคอนกรีต	21
3.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์	29
3.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง)	29
3.3 มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดสอบ ทรายบกและทรายแม่น้ำ	31
3.4 การเตรียมทรายให้มีสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักและจัดเก็บเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น	31
3.5 แสดงขนาดคละของทรายบกและทรายแม่น้ำ	32
3.6 มวลรวมหยาบ	33
3.7 ขั้นตอนการเตรียมมวลรวมหยาบ	33
3.8 แสดงขนาดคละของมวลรวมหยาบตามมาตรฐาน ASTM C 136	33
3.9 ขั้นตอนการเตรียมแบบหล่อคอนกรีตและอุปกรณ์วัดค่าการยุบตัว	38
3.10 แสดงน้ำหนักและการเตรียมวัสดุก่อนการผสมคอนกรีต	42
3.11 การเคลือบเครื่องผสมด้วยซีเมนต์มอร์ต้า เพื่อป้องกันการดูดซึมน้ำของเครื่องผสมคอนกรีต	42
3.12 การใส่มวลรวม เพื่อผสมคอนกรีตแบบแห้ง	43
3.13 การผสมคอนกรีตแบบเปียก	43

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

3.14 การเทคอนกรีตลงในแบบหล่อและใช้เครื่องเขย่าไล่ฟองอากาศออกจากคอนกรีต ปิดบริเวณผิวหน้าของคอนกรีตด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น 43
3.15 การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต 44
3.16 การร่อนส่วนผสมคอนกรีตผ่านตะแกรงเบอร์4 และการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต 45
3.17 กระบวนการตัวอย่างของการวัดค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต 47
3.18 การห่อหุ้มก้อนตัวอย่างคอนกรีตแบบออโตจีนัส 48
3.19 การวัดก้อนตัวอย่างคอนกรีตแบบออโตจีนัส 49
3.20 ชั่งน้ำหนักหาค่าการสูญเสียความชื้นของก้อนตัวอย่าง 49
3.21 การเก็บก้อนตัวอย่างคอนกรีต เพื่อวัดการหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต 49
3.22 การวัดค่าการหดตัวโดยรวมและชั่งน้ำหนักหาค่าการสูญเสียความชื้นของก้อนตัวอย่าง 50
4.1 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.32_w/c0.35 กับ SA0.48_w/c0.35 51
4.2 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.32_w/c0.55 กับ SA0.48_w/c0.55 52
4.3 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.35 กับ R_SA0.48_w/c0.35 53
4.4 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.55 กับ R_SA0.48_w/c0.55 54
4.5 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.35 กับ SA0.32_w/c0.35 55
4.6 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.48_w/c0.35 กับ SA0.48_w/c0.35 56
4.7 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.55 กับ SA0.32_w/c0.55 57
4.8 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.48_w/c0.55 กับ SA0.48_w/c0.55 58
4.9 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.32_w/c0.55 กับ SA0.32_w/c0.35 59
4.10 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.48_w/c0.55 กับ SA0.48_w/c0.35 60
4.11 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.55 กับR_SA0.32_w/c0.35 61
4.12 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.42_w/c0.55กับR_SA0.42_w/c0.35 62
4.13 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.48_w/c0.55กับR_SA0.48_w/c0.35 63
4.14 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.32_w/c0.35 กับ SA0.48_w/c0.35 64
4.15 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.32_w/c0.55 กับ SA0.48_w/c0.55 65

สารบัญรูป(ต่อ)

หน้า

4.16 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.35 กับ R_SA0.48_w/c0.35 66
4.17 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.55 กับ R_SA0.48_w/c0.55 67
4.18 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.35 กับ SA0.32_w/c0.35 68
4.19 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.48_w/c0.35 กับ SA0.48_w/c0.35 69
4.20 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.55 กับ SA0.32_w/c0.55 70
4.21 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.48_w/c0.55 กับ SA0.48_w/c0.35 71
4.22 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.32_w/c0.55 กับ SA0.32_w/c0.35 72
4.23 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.48_w/c0.55 กับ SA0.48_w/c0.35 73
4.24 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.55 กับ R_SA0.32_w/c0.35 74
4.25 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.48_w/c0.55 กับ R_SA0.48_w/c0.35 75
4.26 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.42_w/c0.35 กับ R_SA0.42_w/c0.55 76

บทที่ 1

บทนำ

ปัญหาการแตกร้าวในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ณ ปัจจุบันนี้ เป็นปัญหาใหญ่และมีความสำคัญมากต่อพฤติกรรมการพังทลายของคอนกรีตหลังเกิดการแตกร้าวขึ้น สำหรับการแตกร้าวที่เกิดขึ้นนี้ นอกจากจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อปัญหาด้านความคงทน (Durability Problems) ของโครงสร้างอีกด้วย การแตกร้าวที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ไม่ว่าจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาการก่อสร้างหรือหลังจากการก่อสร้างเสร็จแล้ว จะเป็นตัวการสำคัญที่เร่งให้เกิดปัญหาด้านความคงทนของคอนกรีตให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อคอนกรีตเกิดการแตกร้าว น้ำ อากาศ หรือสสารต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตและเหล็กเสริม สามารถแทรกผ่านรอยแตกเหล่านั้นเข้าไปทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมได้อย่างเร็ว ทำให้โครงสร้างคอนกรีตเกิดความเสียหายและมีอายุการใช้งานสั้นลง[1] ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเพิ่มมากขึ้น การแตกร้าวเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว การแตกร้าวเนื่องจากการทรุดตัว การแตกร้าวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการแตกร้าวเนื่องจากการรับน้ำหนักของคอนกรีต เป็นต้น

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัญหาการแตกร้าวในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ณ ปัจจุบันนี้ เป็นปัญหาใหญ่และมีความสำคัญมากต่อพฤติกรรมการพังทลายของคอนกรีตหลังเกิดการแตกร้าวขึ้น สำหรับการแตกร้าวที่เกิดขึ้นนี้ นอกจากจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรับน้ำหนักของโครงสร้างแล้ว ยังส่งผลกระทบต่อปัญหาด้านความคงทน (Durability Problems) ของโครงสร้างอีกด้วย การแตกร้าวที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ไม่ว่าจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาการก่อสร้างหรือหลังจากการก่อสร้างเสร็จแล้ว จะเป็นตัวการสำคัญที่เร่งให้เกิดปัญหาด้านความคงทนของคอนกรีตให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อคอนกรีตเกิดการแตกร้าว น้ำ อากาศ หรือสสารต่างๆ ที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตและเหล็กเสริม สามารถแทรกผ่านรอยแตกเหล่านั้นเข้าไปทำปฏิกิริยากับเหล็กเสริมได้อย่างเร็ว ทำให้โครงสร้างคอนกรีตเกิดความเสียหายและมีอายุการใช้งานสั้นลง[1] ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมเพิ่มมากขึ้น การแตกร้าวเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว การแตกร้าวเนื่องจากการทรุดตัว การแตกร้าวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและการแตกร้าวเนื่องจากการรับน้ำหนักของคอนกรีต เป็นต้น ปัญหาที่พบมากในโครงการก่อสร้างต่างๆ ในปัจจุบัน คือ การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัว ซึ่งได้แก่ การหดตัวแบบออโตจีนัส (Autogenous Shrinkage) และการหดตัวโดยรวม (Drying Shrinkage) การหดตัวสองประเภทข้างต้นนี้เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดการแตกร้าวของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ในปัจจุบันพบว่ามีการใช้คอนกรีตกำลังสูงในโครงการก่อสร้างขนาดใหญ่และนำไปสู่ปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัสเพิ่มมากขึ้น และจากสภาพภูมิอากาศของโลกที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นทุกปี ซึ่งเป็นผลมาจากภาวะโลกร้อน ทำให้พบปัญหาการแตกร้าวจากการหดตัวโดยรวมเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ด้วยเหตุนี้วิศวกรผู้ออกแบบจึง

จำเป็นต้องทราบค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสและค่าการหดตัวโดยรวมของคอนกรีตและการหดตัวแบบอื่นๆ เพื่อนำข้อมูลการหดตัวนี้ไปใช้ออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตให้มีโอกาสเกิดการแตกร้าวลดลง ปัจจัยที่มีผลต่อการหดตัวสองประเภทข้างต้น เกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ อาทิเช่น การใช้ปริมาณน้ำที่ไม่เหมาะสม การใช้สารเคมีผสมเพิ่ม เพื่อลดปริมาณน้ำในงานโครงสร้างกำลังอัดสูง การใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่สูงเกินไป การบ่มคอนกรีตไม่ถูกวิธี การใช้ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบที่ไม่เหมาะสมกับประเภทของงาน อุณหภูมิและความชื้นที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้ล้วนก่อให้เกิดปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตทั้งสิ้น หากไม่รู้จักคุณสมบัติและวิธีการใช้ที่เหมาะสม ปัจจุบันจึงมีการศึกษาจำนวนมากที่ศึกษาปัจจัยที่มีผลและแนวทางในการลดการหดตัวของคอนกรีต

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวและแนวทางในการลดการหดตัวของคอนกรีต ได้แก่ อัตราส่วนของมวลรวมละเอียด ชนิดของมวลรวมละเอียด และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น รวมถึงใช้เป็นแนวทางในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต เพื่อช่วยลดปัญหาการแตกร้าว และใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการประยุกต์ใช้กับงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กภายในประเทศต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาผลของมวลรวมละเอียด วัสดุ ที่ส่งผลต่อการหดตัวของคอนกรีต

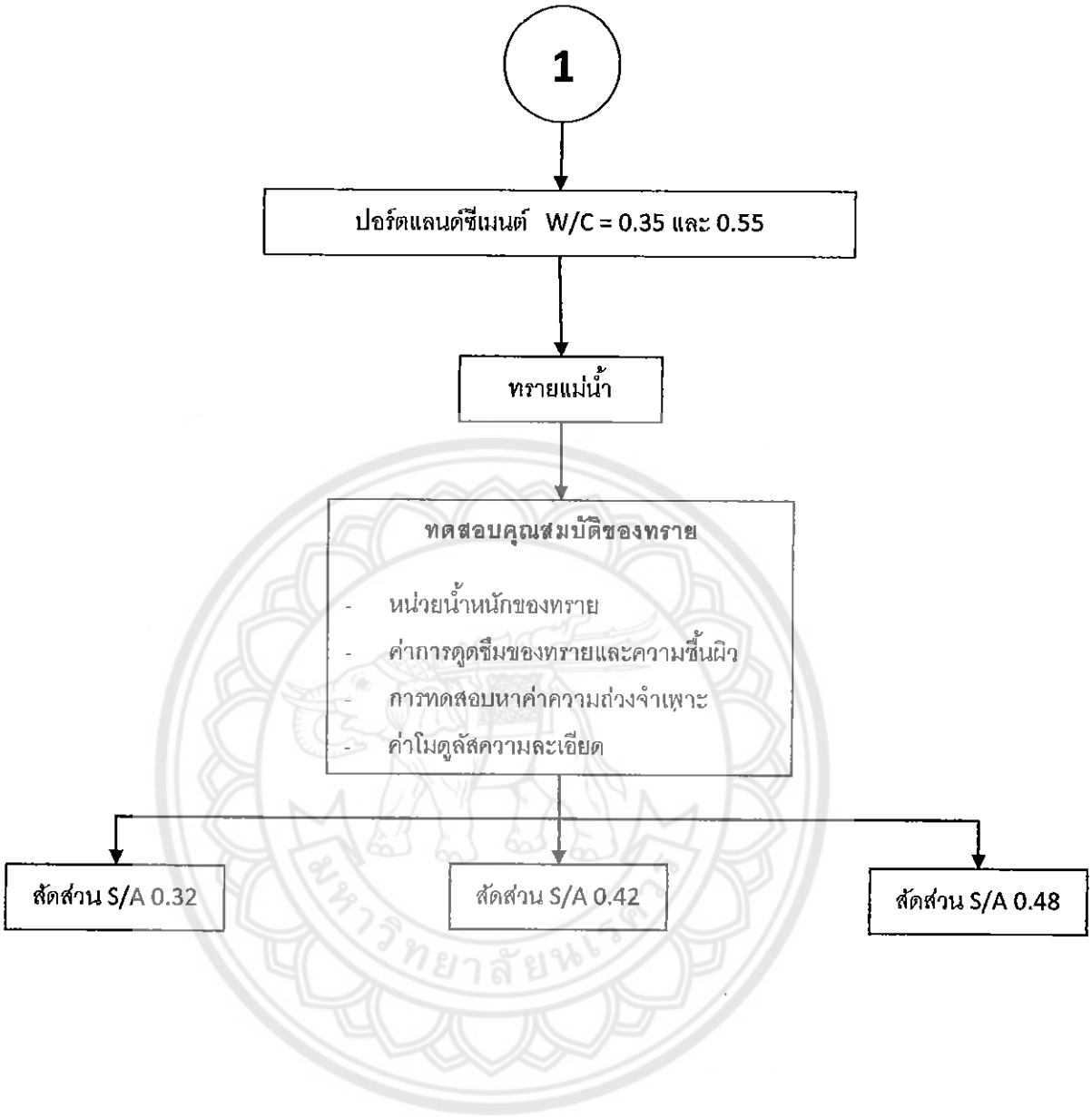
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 เพื่อทราบผลของมวลรวมละเอียดที่ส่งผลต่อการหดตัวของคอนกรีต

1.3.2 เพื่อทราบถึงแนวทางการลดการหดตัวของคอนกรีต โดยการควบคุมวัสดุมวลรวม

1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน

งานนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวและแนวทางในการลดการหดตัวของคอนกรีต ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อคอนกรีตและมวลรวมละเอียดซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ทรายบกและทรายแม่น้ำ ซึ่งปัจจัยที่จะนำมาใช้ในการศึกษาการหดตัวของคอนกรีต ได้แก่ อัตราส่วนของมวลรวมละเอียดกับมวลรวมหยาบและอัตราส่วนของน้ำต่อคอนกรีต



รูปที่ 1.1 แสดงแผนผังขอบเขตการศึกษากรณีของทรายแม่น้ำ

รูปที่ 1.2 แสดงแผนผังขอบเขตการศึกษากรณีของทรายบก

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 การนำเสนอโครงงาน
1.5.2 ตรวจดูสถานที่ทำโครงงาน
1.5.3 ติดต่อข้อมูลจากสำนักงานที่เกี่ยวข้อง
1.5.4 วิเคราะห์ ปัญหาที่เกิดขึ้น
1.5.5 เขียนโครงการ

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

เดือน / กิจกรรม	ตุลาคม 1 2 3 4	พฤศจิกายน 1 2 3 4	ธันวาคม 1 2 3 4	มกราคม 1 2 3 4	กุมภาพันธ์ 1 2 3 4
1. การนำเสนอโครงงาน					
2. ตรวจดูสถานที่ทำโครงงาน					
3. ติดต่อข้อมูลจากสำนักงานที่เกี่ยวข้อง					
4. วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น					
5. เขียนโครงการ					

1.7 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

1.7.1 ค่าถ่ายเอกสาร	จำนวนเงิน	1500 บาท
1.7.2 ค่าเข้าเล่ม	จำนวนเงิน	1500 บาท
	รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	3000 บาท (สามพันบาทถ้วน)

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 การหดตัวของคอนกรีต

การหดตัวของคอนกรีตมักเกิดขึ้นในส่วนของซีเมนต์เพสต์(Cement Paste) การหดตัวของคอนกรีตเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ และเกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ กัน การหัวตัวแบ่งออกได้เป็น 5 ชนิด ดังนี้

- การหดตัวเนื่องจาปฏิกิริยาไฮเดรชั่น
- การหดตัวแบบพลาสติก
- การหดตัวแบบออโตจีนัส
- การหดตัวโดยรวม
- การหดตัวแบบคาร์บอเนชั่น

2.1.1 การหดตัวเนื่องจาปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

การหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration Shrinkage หรือ Chemical Shrinkage) คือ การหดตัวที่เกิดจากการสูญเสียน้ำในการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำ หรือเรียกว่า "ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น" ส่งผลให้คอนกรีตเกิดการหดตัว โดยการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาก่อนการก่อตัวเริ่มต้นของคอนกรีต (Initial Setting Time) หรือช่วงพลาสติก (Plastic State) ซึ่งการหดตัวแบบนี้จะไม่มีผลเสียหายต่อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จึงไม่เป็นอันตรายต่อโครงสร้าง เนื่องจากจะเกิดมากในช่วงเวลาเริ่มแรกก่อนระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายของคอนกรีต (Final Setting Time) ซึ่งคอนกรีตจะสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้โดยไม่เกิดหน่วยแรงจึงไม่ค่อยมีผลต่อเปลี่ยนแปลงปริมาตรของคอนกรีต ดังนั้นการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจึงไม่ค่อยได้รับความสนใจมากนัก ในการนำมาพิจารณาหาวิธีการลดการแตกร้าว เนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต[2]

2.1.2 การหดตัวแบบพลาสติก

การหดตัวแบบพลาสติก คือ การหดตัวที่เกิดจากการสูญเสียน้ำในขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัวหรืออยู่ในสภาพพลาสติก[3] ส่งผลให้คอนกรีตมีปริมาตรลดลงและเกิดการหดตัว โดยการสูญเสียน้ำของคอนกรีตเกิดจากการที่น้ำระเหยออกจากผิวหน้าของคอนกรีต หรือเกิดจากการดูดซับน้ำของวัสดุบริเวณผิวล่างออกจากคอนกรีต เช่น ไม้แบบ และพื้นดินที่แห้งใต้คอนกรีต เป็นต้น นอกจากนี้การทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำก็ทำให้คอนกรีตมีปริมาตรลดลงและคอนกรีตเกิดการหดตัว การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบพลาสติกสามารถป้องกันได้ โดยการลดการระเหยของน้ำออกจากผิวหน้าคอนกรีตไม่ให้เกิน 0.05 กิโลกรัม/ตารางเมตร/ชั่วโมง ซึ่งต่ำกว่าอัตราการเยิ้มของน้ำขึ้นสู่ผิวหน้าของคอนกรีต และอัตราการระเหยของน้ำไม่ควรมากกว่า 1 กิโลกรัม/ตารางเมตร/ชั่วโมง ซึ่งจากการสังเกตจะเห็นได้ว่า การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบพลาสติกจะรุนแรงในสภาวะอุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูง ความชื้นสภาพแวดล้อมต่ำ ลมแรง และการเยิ้มน้ำต่ำ เป็นต้น ซึ่งสภาพแวดล้อมเหล่านี้จะทำให้การ

สูญเสียน้ำบริเวณผิวหน้ามาก จึงเกิดการหดตัวขึ้น ส่งผลให้เกิดการแตกร้าว เนื่องจากการหดตัวแบบพลาสติก

2.1.3 การหดตัวแบบออโตจีนัส

การหดตัวแบบออโตจีนัส คือ การหดตัวที่เกิดจากการสูญเสียน้ำภายในคอนกรีต เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำ โดยไม่รวมถึงการสูญเสียความชื้นสู่สภาพแวดล้อม[2] การหดตัวแบบออโตจีนัสเป็นการหดตัวเนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นหลังจากการก่อตัวเริ่มต้นของคอนกรีตรวมกับการสูญเสียความชื้นในช่องว่างคาปิลารี ส่งผลให้คอนกรีตเกิดการหดตัวขึ้น การหดตัวแบบออโตจีนัสจะไม่มีการสูญเสียความชื้นระเหยออกสู่ภายนอกหรือจากภายนอกเข้าสู่ภายในตัวคอนกรีต แต่จะเป็นการสูญเสียความชื้นภายในตัวคอนกรีต

โดยกระบวนการการหดตัวแบบออโตจีนัสเริ่มจาก การดึงน้ำที่มีอยู่ภายในคอนกรีตไปใช้ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับวัสดุประสาน ซึ่งน้ำที่ใช้นี้จะถูกดึงมาจากช่างคาปิลลารี (Capillary Pores) และโพรงเจล (Gel Pores) เมื่อน้ำถูกดึงไปใช้ในการทำปฏิกิริยาแล้วทำให้โพรงมีสภาพว่างเปล่าทำให้เกิดแรงดันคาปิลารีขึ้นรอบๆ ช่องว่างคาปิลารี เพื่อการรักษาสมดุลย์ของแรง โดยเรียกแรงนี้ว่า "Capillary Suction" อันเป็นสาเหตุให้คอนกรีตเกิดหดตัว เนื่องจากแรง Capillary Suction นี้ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า "Self-desiccation"

การหดตัวแบบออโตจีนัสโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นทันทีหลังจากที่ผสมคอนกรีตเสร็จ แต่ในทางปฏิบัติการเปลี่ยนแปลงปริมาตรก่อนการก่อตัวจะไม่ทำให้เกิดหน่วยแรงในคอนกรีต ดังนั้นจึงนิยมวัดค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสโดยเริ่มจากระยะเวลาก่อตัวเริ่มต้น แต่ในงานวิจัยนี้จะทำการเริ่มวัดการหดตัวแบบออโตจีนัส เมื่อคอนกรีตอายุครบระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายของคอนกรีตและเพิ่มอีก 2 ชั่วโมง เพื่อง่ายต่อการแกะแบบและไม่ก่อให้ผลเสียต่อก้อนตัวอย่างคอนกรีต

ปัจจุบันการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัสมีผลสำคัญเป็นอย่างมากต่องานโครงสร้างคอนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete) สาเหตุของการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัสในงานโครงสร้างคอนกรีตกำลังสูง เช่น ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์มาก ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ และการใช้สารผสมเพิ่มชนิดต่างๆ เพื่อเร่งกำลังอัดของคอนกรีต เป็นต้น
ซึ่งคอนกรีตเหล่านี้จะมีค่าความซึมน้ำต่ำ ช่องว่างคาปิลลารีมีปริมาณน้อย มีขนาดที่เล็กและไม่ต่อเนื่องกัน เมื่อความชื้นในช่องว่างคาปิลลารีถูกนำไปใช้ในปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะทำให้โพรงมีสภาพว่างเปล่าทำให้เกิดแรงดันคาปิลารีขึ้นรอบๆ ช่องว่างคาปิลารี เพื่อการรักษาสมดุลย์ของแรง ส่งผลให้คอนกรีตมีความเสี่ยงต่อการแตกร้าว เนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัสที่สูง ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุสำคัญที่ไม่สามารถละเลยได้สำหรับการออกแบบส่วนผสมในงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ณ ปัจจุบันนี้

การใช้คอนกรีตกำลังอัดสูงมีอยู่มากในงานโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วโลก ณ ปัจจุบัน ซึ่งแต่ละประเทศต่างก็ใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เป็นส่วนผสมคอนกรีตตามแต่ละภูมิประเทศนั้นๆ นอกจากนี้สภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน ย่อมส่งผลต่อการหดตัวของคอนกรีตแทบทั้งสิ้น ทำให้คอนกรีตในแต่ละประเทศมีค่าการหดตัวที่สูงหรือต่ำแตกต่างกันออกไป ซึ่งจากผลการหดตัวของคอนกรีตนี้ จะส่งผลโดยตรงต่อปัญหาด้านความคงทนของคอนกรีต

2.1.4 การหดตัวโดยรวม

การหดตัวโดยรวม คือ การหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำออกจากคอนกรีตสู่สภาพแวดล้อมอย่างอิสระ โดยการระเหยของน้ำเกิดจากการที่คอนกรีตอยู่ในสภาพแวดล้อมต่างๆ[2] ได้แก่ อุณหภูมิที่สูง หรือความชื้นที่ต่ำ ทำให้คอนกรีตบริเวณที่ผิวสัมผัสกับอากาศเกิดการสูญเสียน้ำ ส่งผลให้คอนกรีตเกิดการหดตัว และเกิดการแตกร้าวขึ้นได้ โดยกลไกลการหดตัวโดยรวมเกิดการที่น้ำภายในช่องว่างคาปิลลารีและโพรงเจลระเหยออกสู่สภาพแวดล้อมอย่างอิสระ ทำให้ช่องว่างเกิดการบีบตัว จึงส่งผลให้เกิดแรงตึงผิวคาปิลลารีขึ้น เพื่อการรักษาสมดุลของแรง เป็นสาเหตุให้คอนกรีตมีปริมาตรลดลง และนำไปสู่การแตกร้าว หรือการบิดงอของโครงสร้าง เนื่องจากการยึดรั้งในขณะที่คอนกรีตเกิดการหดตัว

ในปัจจุบันปัญหาการแตกร้าว เนื่องจากการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต เป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลให้โครงสร้างคอนกรีตเกิดความเสียหายอย่างมากอีกปัญหาหนึ่ง เนื่องจากสภาพภูมิอากาศปัจจุบันเพิ่มสูงขึ้นทุกปี ทำให้พบปัญหาการแตกร้าว เนื่องจากการหดตัวโดยรวมนี้เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งปัญหาการแตกร้าวนี้ มักพบในโครงสร้างที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศมากๆ เช่น พื้น หรือ กำแพง เป็นต้น จึงทำให้ปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต เป็นปัญหาสำคัญอีกปัญหาหนึ่ง ที่ไม่สามารถละเลยได้ สำหรับใช้ในการออกแบบส่วนผสมในงานโครงสร้างคอนกรีต ณ ปัจจุบันนี้

2.1.5 การหดตัวแบบคาร์บอเนชั่น

การหดตัวแบบคาร์บอเนชัน คือ การหดตัวที่เกิดจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ในเนื้อคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ (CO_2) เกิดเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ทำให้คอนกรีตหรือซีเมนต์เพสต์เกิดการหดตัว ปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า “ปฏิกิริยาคาร์บอเนชัน” และเรียกการหดตัวที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยานี้ว่า “การหดตัวเนื่องจากคาร์บอเนชัน ” แสดงดังสมการ (1) [2]

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O \qquad (1)$$

การหดตัวแบบคาร์บอเนชันเกิดขึ้นมากในบริเวณที่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูง เช่น คอนกรีตที่มีการจราจรหนาแน่น เป็นต้น โดยการหดตัวขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ค่าความซึมน้ำได้ของคอนกรีต (Permeability) ปริมาณน้ำภายใน ปริมาณของ CO2 และค่าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ เป็นต้น ดังนั้นคอนกรีตใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำๆ เช่น คอนกรีตกำลังสูง เป็นต้น การหดตัวแบบคาร์บอเนชันจะเกิดขึ้นน้อยกว่าคอนกรีตปกติ เนื่องจากคอนกรีตกำลังสูงจะมีค่าความพรุนต่ำ CO2 จึงแทรกซึมเข้าไปในคอนกรีตได้ช้า

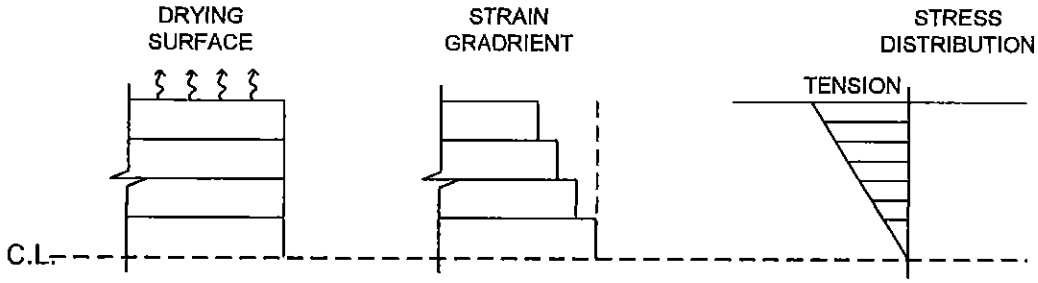
2.2 การแตกร้าวของคอนกรีต

การแตกร้าวของคอนกรีตเกิดขึ้นได้จากสาเหตุหลายประการ เช่น เกิดจากการคำนวณออกแบบหรือขั้นตอนการก่อสร้างที่ไม่ถูกต้อง เช่น การแตกร้าวที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกใช้งาน มากกว่าค่าที่ได้ออกแบบไว้ การทรุดตัวที่ไม่เท่ากันของโครงสร้าง การเสริมเหล็กไม่เพียงพอ หรือการจัดวางเหล็กเสริมผิดตำแหน่ง การเทและการบ่มคอนกรีตอย่างไม่ถูกต้อง หรือการออกแบบที่ไม่ได้คำนึงถึงการหดตัวในระยะยาวของคอนกรีต เป็นต้น ปัญหาเหล่านี้สามารถป้องกันได้ โดยการใช้หลักการออกแบบที่ถูกต้อง และการควบคุมการก่อสร้างอย่างเคร่งครัดให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ สาเหตุอีกประการที่เป็นปัญหาอย่างมากคือการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต เช่น การแตกร้าวเนื่องจาก การหดตัวแบบพลาสติก(Plastic Shrinkage) การหดตัวแบบออโตจีนัส(Autogenous Shrinkage) และการหดตัวแบบแห้ง(Drying Shrinkage) เป็นต้น การแตกร้าวจากการหดตัวของคอนกรีต สามารถเกิดขึ้นได้ตั้งแต่ใช่ช่วงที่คอนกรีตเริ่มแข็งตัว ไปจนตลอดอายุการใช้งานของโครงสร้าง ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและคุณสมบัติของคอนกรีตเป็นสำคัญ การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบพลาสติก เกิดขึ้นในช่วงที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัวจึงสามารถแก้ไขได้ง่าย ในขณะที่การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวแบบแห้ง เกิดขึ้นหลังจากคอนกรีตแข็งตัวแล้ว การแก้ไขจึงทำได้ยากและเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก ในโครงงงานวิจัยนี้จะเน้นการศึกษาเกี่ยวกับการหดตัวที่ทำให้เกิดแตกร้าวในคอนกรีตขึ้น[2]

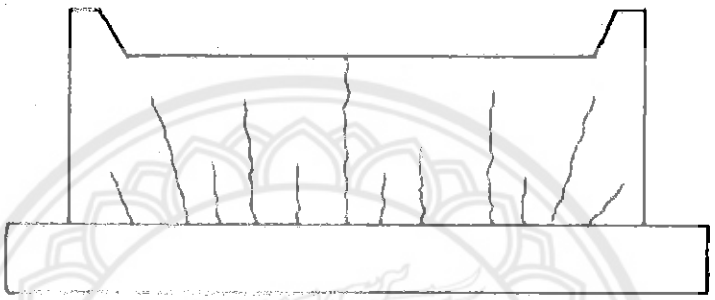
2.2.1 การแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต

การหดตัวของคอนกรีตจะไม่ทำให้เกิดการแตกร้าว หากคอนกรีตสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ แต่ในความเป็นจริงโครงสร้างต่างๆ ล้วนถูกยึดรั้งแทบทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็นการยึดรั้งภายในหรือการยึดรั้งภายนอก จึงทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้ การยึดรั้งภายใน(Internal Restraint) ได้แก่ การยึดรั้งที่เกิดจากมวลรวม และการยึดรั้งที่เกิดจากตัวคอนกรีตเอง(Self-restraint) การหดตัวจะเกิดขึ้นในส่วนของเพสต์ ในขณะที่มวลรวมจะยึดรั้งการหดตัวนี้ทำให้การหดตัวโดยรวมของคอนกรีตลดลง ส่วนการยึดรั้งที่เกิดจากตัวคอนกรีตเอง เกิดขึ้นเนื่องจากที่ผิวของคอนกรีตมีการระเหยของน้ำมากกว่าคอนกรีตส่วนที่อยู่ด้านใน ทำให้ที่ผิวมีการหดตัวมากกว่า การหดตัวที่แตกต่างกันระหว่างที่ผิวและด้านในของคอนกรีตจะทำให้เกิดหน่วยแรงดึงขึ้นที่ผิว เมื่อหน่วยแรงดึงนี้มากกว่ากำลังดึงของคอนกรีต ก็จะทำให้เกิดการแตกร้าวที่ผิวคอนกรีตได้ รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะการเกิดหน่วยแรงดึงที่ผิวของคอนกรีต เมื่อการหดตัวที่ผิวและด้านในของคอนกรีตมีค่าไม่เท่ากัน ส่วนการยึดรั้งภายนอก (External Restraint) ได้แก่ การที่คอนกรีตถูกยึดรั้งจากวัสดุรอบข้าง เช่น แบบหล่อ ดินที่อยู่ด้านล่างหรือด้านข้าง (ในกรณีของคอนกรีตสัมผัสกับดิน) โครงสร้างคอนกรีตข้างเคียงที่ยึดติดกัน หรือแม้แต่เหล็กเสริมในคอนกรีต รูปที่ 2.2 แสดงการแตกร้าวของกำแพงคอนกรีต เนื่องจากกำแพงถูกยึดรั้งจากฐานซึ่งเป็นคอนกรีตเก่าและมีการหดตัวไม่เท่ากันกับการหดตัวของกำแพง ซึ่งสร้างภายหลัง

เมื่อคอนกรีตเกิดการหดตัวและถูกยึดรั้ง จะทำให้เกิดหน่วยแรงดึง หรือหากพิจารณาในด้านของความเครียดจะทำให้เกิด ความเครียดยึดรั้ง (Restrained Strain) หากความเครียดยึดรั้งมีค่ามากกว่า ความสามารถในการต้านทานการแตกร้าวของคอนกรีต คอนกรีตก็จะเกิดการแตกร้าว เนื่องจากการหดตัวของคอนกรีตจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ จึงทำให้เกิดการคืบตัวแบบดึงขึ้นในคอนกรีต และจะทำให้ความเครียดยึดรั้งมีค่าลดลง ทำให้การแตกร้าวเกิดช้าลง[2]



รูปที่ 2.1 การเกิดหน่วยแรงดึง เนื่องจากการยึดรั้งภายใน



รูปที่ 2.2 การแตกร้าวของกำแพงคอนกรีต เนื่องจากการยึดรั้งภายนอก

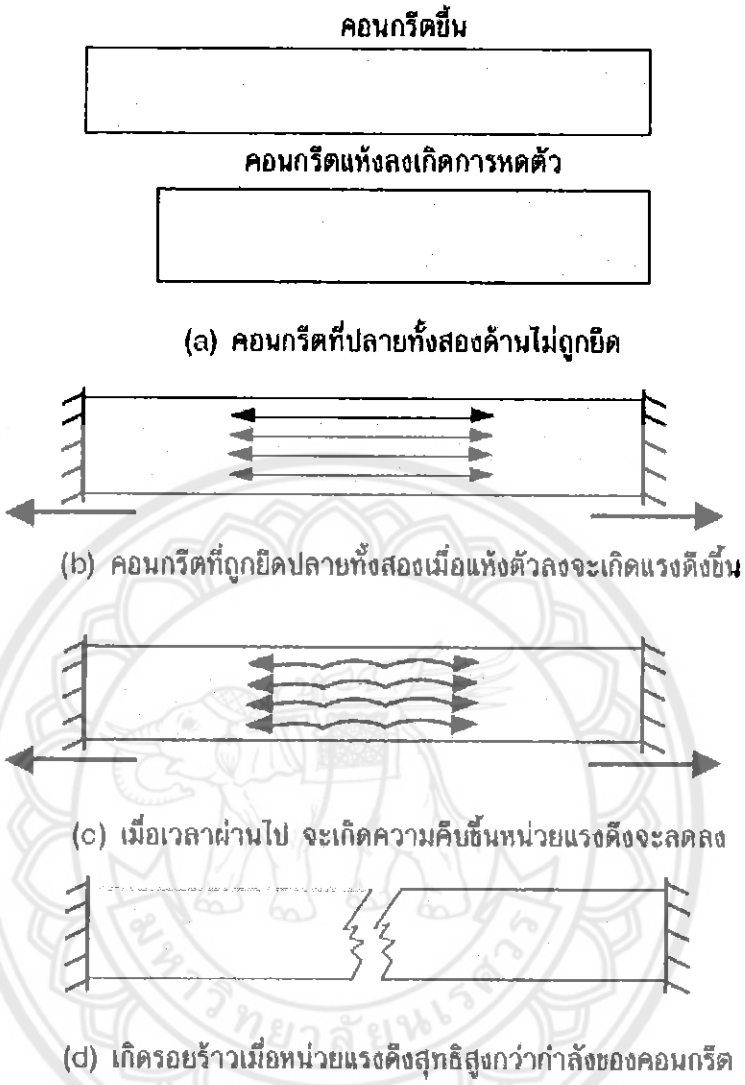
2.2.2 ขั้นตอนการเกิดการแตกร้าว

การแตกร้าวของคอนกรีตเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ โดยสาเหตุหนึ่งที่สำคัญเกิดจากการหดตัวของคอนกรีต และเพื่อแสดงถึงขั้นตอนของการแตกร้าวอย่างชัดเจน เราจึงใช้แบบจำลองของแท่งคอนกรีตมาเป็นตัวอย่างในการพิจารณา

ขั้นตอนแรกพิจารณาแท่งคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวดี ซึ่งยังมีความชื้นอยู่และปลายทั้งสองด้านของแท่งคอนเรีตถูกปล่อยไว้อย่างอิสระ ไม่ยึดกับวัตถุอื่นใด ดังรูปที่ 2.3(a) ต่อมาเมื่อแท่งคอนกรีตแข็งตัวแล้วและแห้งลงก็จะเกิดการหดตัวอย่างอิสระ โดยไม่ถูกรั้งที่ปลายทั้งสองด้านจึงไม่เกิดหน่วยแรง (Stress) ใดๆ ในเนื้อคอนกรีต ในสภาวะเช่นนี้จะไม่เกิดการแตกร้าว

การแตกร้าวนั้นจะเกิดขึ้นในกรณีที่แท่งคอนกรีตถูกยึดปลายทั้งสองไว้ ดังรูป 2.3(b) เมื่อคอนกรีตแห้งตัวจะทำให้เกิดหน่วยแรงดึง (Tensile Stress) ขึ้นในเนื้อคอนกรีต ลักษณะเช่นนี้เหมือนกับว่าเราปล่อยให้คอนกรีตแข็งตัวและเกิดการหดตัวโดยอิสระ ในขณะเดียวกันเราก็จะดึงแท่งคอนกรีตนี้ให้ยาวออกไปเท่าเดิม แต่เมื่อเวลาผ่านไป คอนกรีตจะเกิดความคืบ (Creep) ขึ้น ซึ่งทำให้หน่วยแรงดึงในคอนกรีตลดลง รูปที่ 2.3(c) และเมื่อไรก็ตามไม่ว่าจะเป็นคอนกรีตสดหรือคอนกรีตแข็งตัวแล้วถ้าหน่วยแรงดึง (Tensile Stress) ที่เกิดขึ้นสูงกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (Tensile Strength) คอนกรีตจะเกิดการแตกร้าว และหน่วยแรงดึงในคอนกรีตจะหมดไป รูปที่ 2.3(d)

ทั้งสี่ขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้น เป็นขั้นตอนโดยคร่าวๆของขบวนการการเกิดรอยแตกร้าวทุกชนิดในคอนกรีตไม่ว่าจะเป็นการแตกร้าวขนาดใหญ่หรือเล็กๆ ก็ตาม[3]



รูปที่ 2.3 ภาพจำลองแสดงการแตกร้าวของคอนกรีต

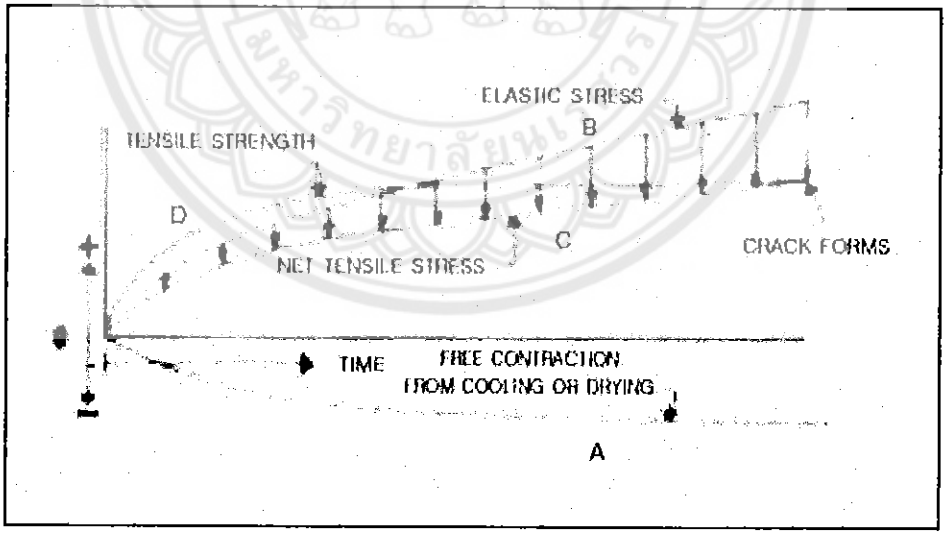
2.2.3 หน่วยแรงกับการแตกร้าว

การแตกร้าวเป็นผลเกิดจากการกระทำของหน่วยแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในคอนกรีต ซึ่งสามารถแสดงด้วยกราฟในรูปที่ 2.4 ที่ชี้ให้เห็นถึงการกระทำของหน่วยแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในคอนกรีตดังนี้

ให้แกนนอนเป็นแกนของเวลา ส่วนแกนตั้งจะเป็นแกนของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหน่วยแรง (Stress) กำลัง (Strength) และความคืบ (Creep) เมื่อเวลาผ่านไปคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลงจะเกิดการหดตัว ดังเส้นโค้ง A แต่ถ้าปลายทั้งสองคอนกรีตถูกยึดไว้จะเกิดหน่วยแรงขึ้นในแท่งคอนกรีตดังเส้นโค้ง B ขณะเดียวกันความคืบ (Creep) ในคอนกรีตก็จะเกิดขึ้นพร้อมๆกัน ซึ่งทำให้หน่วยแรงดึงในคอนกรีตลดลง ดังเส้นโค้ง C เป็นผลทำให้หน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นน้อยกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีตซึ่งแทนด้วยเส้นโค้ง D เมื่อไรก็ตามที่หน่วยแรงดึง C มีค่าเท่ากับกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต คอนกรีตก็จะแตก แต่ถ้าหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่ากำลังรับแรงดึงของคอนกรีต การแตกร้าวของคอนกรีตก็จะไม่เกิดขึ้น[3]

จากที่กล่าวมาพอจะสรุปได้ว่า การแตกร้าวของคอนกรีตจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เหล่านี้

- การหดตัวของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตแห้งและเย็นตัวลง
- คอนกรีตถูกยึดรั้งไว้ไม่สามารถเคลื่อนตัวได้อิสระ
- ความยืดหยุ่นของคอนกรีต (Elasticity)
- ความคืบของคอนกรีต (Creep)
- กำลังรับแรงดึงของคอนกรีต (Tensile Strength)



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของหน่วยแรงดึงสุทธิที่เกิดขึ้นและกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

2.2.4 สาเหตุของการแตกร้าว[5]

2.2.4.1 Structural Crack อาจมาจากสาเหตุหลัก 3 ประการ คือ

ก. การแตกร้าวเนื่องจากการออกแบบไม่ถูกต้อง เช่น การคำนวณออกแบบหรือการให้รายละเอียดการเสริมเหล็กไม่ถูกต้อง

ข. การแตกร้าว เนื่องจากการใช้วัสดุก่อสร้างไม่มีคุณภาพ เช่น ใช้หินผุ หินมีดินปน ทรายสกปรก น้ำสกปรก หรือ ทำการผสมคอนกรีตไม่ได้สัดส่วนที่ถูกต้อง รวมทั้งการใช้เหล็กเสริมที่เป็นสนิมมาก

ค. การแตกร้าว เนื่องจากการก่อสร้างไม่ได้มาตรฐาน เช่น การผสม การขนส่ง การเทลงแบบ การหล่อคอนกรีตไม่ดีพอ การถอดค้ำยันก่อนกำหนด ขาดการบ่มที่ดีพอ หรือ แบบหล่อคอนกรีตโก่งงอ

2.2.4.2 Non Structural Crack อาจมาจากสาเหตุต่างๆ ดังนี้

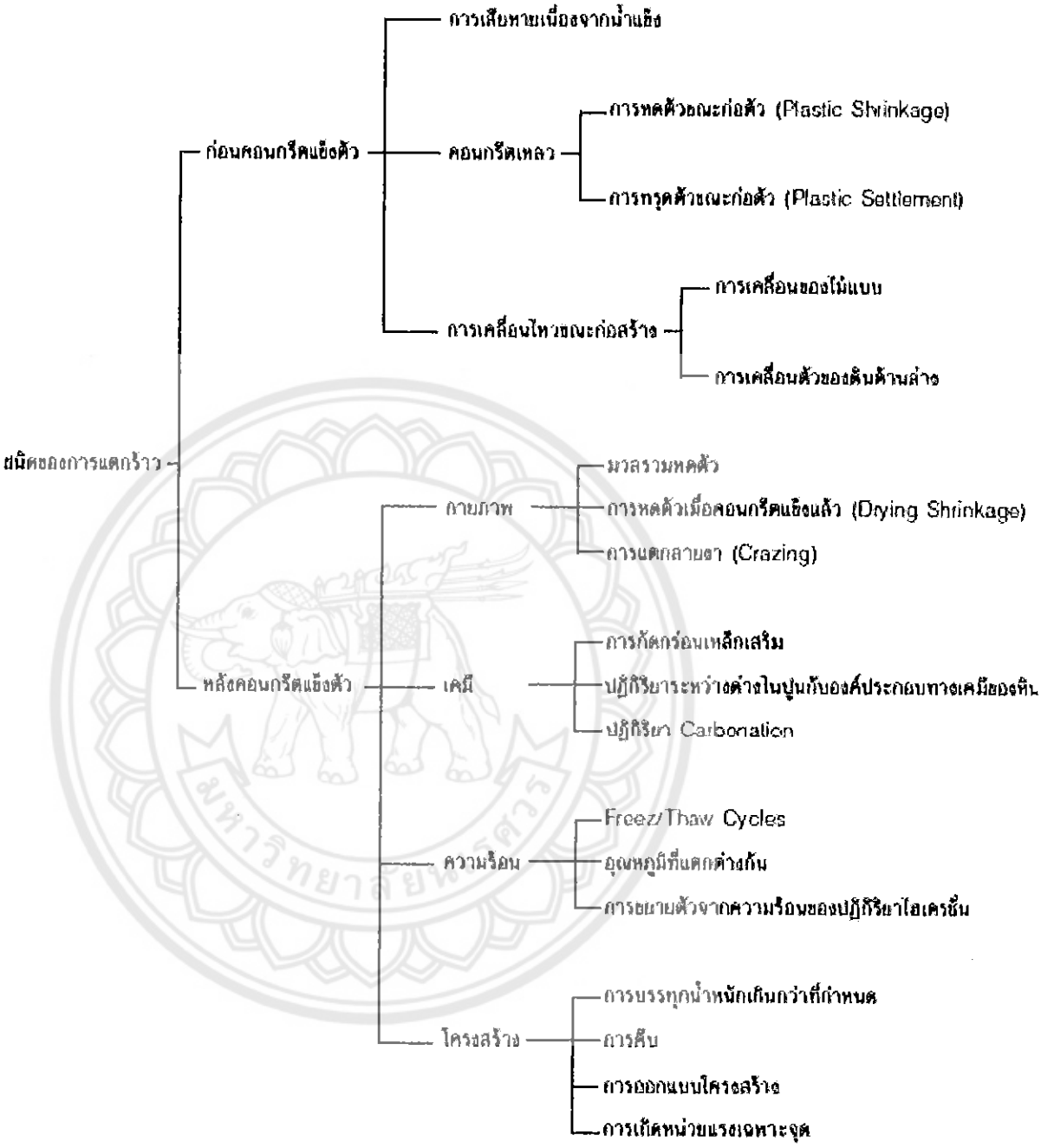
ก. การหดตัวของคอนกรีต

ข. การทรุดตัวของคอนกรีต

ค. ความร้อน

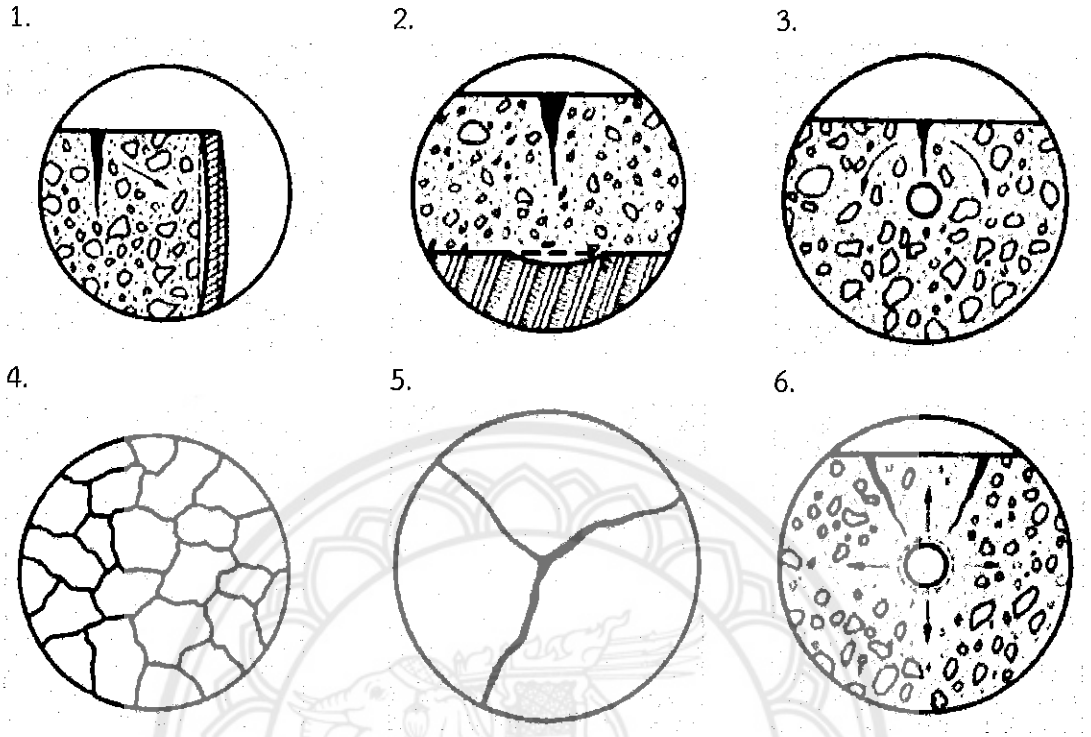
ง. อื่นๆ

ซึ่งการแตกร้าวพวกนี้สามารถจำแนกตามเวลาที่เกิดขึ้นได้ เป็นการแตกร้าวของคอนกรีตก่อนคอนกรีตแข็งตัวและการแตกร้าวของคอนกรีตหลังจากคอนกรีตแข็งตัว โดยสรุปได้ดัง รูปที่ 2.5 และตัวอย่างการแตกร้าวด้วยสาเหตุต่างๆ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 ชนิดของการแตกร้าวของคอนกรีต ก่อนคอนกรีตแข็งตัวและหลังคอนกรีตแข็งตัว

- ตัวอย่างการแตกร้าวด้วยสาเหตุต่างๆ [5] แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการแตกร้าวด้วยสาเหตุต่างๆ

1. รอยแตกร้าวที่เกิดจากแบบโป่ง งอ หรือ เคลื่อนที่เนื่องจากไม้ขยายตัว ตะปูหรือเครื่องยึดเหนี่ยวหลุด แบบไม่แข็งแรงพอ ฯลฯ รอยร้าวเหล่านี้ไม่แสดงแบบที่ชี้บอกลักษณะที่แน่นอน

2. รอยแตกร้าวที่เกิดจากพื้นดินข้างล่างไม่แข็งแรงพอ ยุบตัวลงทำให้คอนกรีตเคลื่อนทรุดลง ขณะที่กำลังจะแข็งตัว นี้ก็เป็นอีกแบบหนึ่งที่ไม่แสดงแบบที่ชี้ลักษณะของรอยแตกร้าวที่แน่นอน

3. รอยแตกร้าวที่อาจเกิดขึ้นเหนือเหล็กเสริมคอนกรีต เมื่อคอนกรีตทรุดตัวลงบนเหล็ก จะป้องกันได้โดยใช้คอนกรีตที่มีการยุบตัวน้อย และทำให้พื้นข้างล่างแข็งแรงพอ

4. รอยแตกร้าวลายงา เกิดได้เนื่องจากการบ่นที่ไม่เพียงพอ หรือเกิดจากการใส่ซีเมนต์มากเกินไป หรือเกิดจากการพองตัวของทรายหรือซีเมนต์ที่เผาไม่สุก

5. รอยแตกร้าวจากการหดตัวที่เกิดในขณะที่คอนกรีตยังไม่แข็งตัว เนื่องจากคอนกรีตเสียน้ำไปอย่างรวดเร็ว จากการระเหยไปในอากาศหรือถูกพื้นดินแห้งข้างล่างดูดน้ำไป

6. รอยแตกร้าวที่เกิดจากสนิมของเหล็กเสริมคอนกรีตขยายตัว จะป้องกันได้โดยใช้คอนกรีตที่มีส่วนผสมแน่นดี และมีคอนกรีตหุ้มเหล็กอย่างพอเพียง เพื่อป้องกันความชื้นเข้าไปทำให้เหล็กเป็นสนิม

2.2.5 ปัจจัยที่ทำให้เกิดแตกร้าว[5]

2.2.5.1 วัตถุดิบและสัดส่วนการผสมคอนกรีต ได้แก่

ก. วัสดุมวลรวม ได้แก่ หิน ทราย แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ รูปร่างลักษณะของผิวและส่วนคละของวัสดุมวลรวม มีผลต่อการออกแบบส่วนผสม สัมประสิทธิ์การนำความร้อน Drying

Shrinkage Stiffness Creep และความแข็งแรงของคอนกรีต เช่น หินและทรายมีดินเหนียวปนอยู่ ดินเหนียวจะหดตัวมากกว่าปูนซีเมนต์จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าว

ข. ปูนซีเมนต์ โดยทั่วไปคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์มากหรือเป็นปูนซีเมนต์ที่มีปริมาณซิลิกาสูงหรือมีความละเอียดสูง เช่น ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ ประเภท 3 มีโอกาสที่จะเกิดการแตกร้าวได้มาก

ค. น้ำ เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการผสมคอนกรีตเพราะถ้าใช้ปริมาณที่มากเกินความจำเป็น ก็มีแนวโน้มที่จะเกิดการแตกตัวได้มาก และยังทำให้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำลงด้วย

ง. น้ำยาผสมคอนกรีต น้ำยาบางชนิดอาจส่งผลต่อการแตกร้าวของคอนกรีตได้ เช่น น้ำยาเร่งการแข็งตัว แต่น้ำยาบางชนิดก็ช่วยลดการแตกร้าวได้เช่น น้ำยาหน่วงการก่อตัว

2.2.5.2 การเทคอนกรีต

อัตราการเทและสภาพการทำงานมีผลต่อการแตกร้าวอย่างแน่นอน ซึ่งมักเป็นผลมาจากการเยิ้มของคอนกรีตจะทำให้เกิดช่องว่างใต้หิน โดยเฉพาะส่วนที่อยู่ลึกๆ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการแตกร้าวภายในได้ รวมทั้งการแยกตัวของคอนกรีต อุณหภูมิภายนอก การทรุดตัวไม่เท่ากันของพื้นล่างหรือส่วนที่เป็นแบบรองรับคอนกรีต ก็สามารถทำให้เกิดการแตกร้าวเช่นกัน

2.2.5.3 สภาพการทำงาน นับเป็นปัจจัยภายนอกที่เข้ามาเกี่ยวข้องในขณะทำงาน ดังนี้

ก. อุณหภูมิ (Temperature) ปกติอัตราการรับกำลังได้ของคอนกรีตจะแปรตามอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามอิทธิพลที่สำคัญของอุณหภูมิที่มีต่อคอนกรีตคือ เมื่อคอนกรีตเย็นตัวลง จะหดตัว โดยเฉพาะงานคอนกรีตในอากาศร้อน และงานคอนกรีตปริมาณมากๆ (Mass Concrete) พื้นคอนกรีตที่หล่อขณะอากาศเย็นจะเกิดการแตกร้าวน้อยกว่าหล่อขณะอากาศร้อนลักษณะเช่นนี้จะเกิดกับงานคอนกรีตสำหรับโครงสร้างอื่นๆด้วย เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ การเทคอนกรีตปริมาณมากๆ จึงมักเทในเวลากลางคืน

ข. การสัมผัสกับอากาศรอบข้าง (Exposure) ลักษณะที่คอนกรีตสัมผัสอากาศมีอิทธิพลอย่างมากต่อการแตกร้าวของคอนกรีต อุณหภูมิและความชื้นที่ต่างกันมากในช่วงวัน เป็นผลทำให้เกิดการรั้งภายในคอนกรีตอย่างมาก (Internal Restraint) เพราะการยืดหดตัวของผิว และส่วนที่อยู่ภายในจะไม่เท่ากันทำให้คอนกรีตเกิดการแตกร้าวได้

2.2.5.4 การบ่มคอนกรีต (Curing)

ความชื้นในคอนกรีตเป็นสิ่งที่สำคัญมากไม่ว่าก่อนหรือหลังบ่ม สำหรับงานพื้นถ้าคอนกรีตแห้งเร็วเกินไป อัตราการระเหยของน้ำที่ผิวหน้าคอนกรีต อาจจะเร็วกว่าอัตราการเยิ้ม (Bleeding) เมื่อเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้น ผิวหน้าของคอนกรีตจะเกิดการหดตัว ทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้น การป้องกันสามารถทำได้โดยทำให้แบบหล่อชุ่มน้ำหลีกเลี่ยงการเทคอนกรีตในช่วงที่มีอุณหภูมิสูง บ่มคอนกรีตทันทีที่ทำได้ พยายามป้องกันลมและแสงแดดขณะเทคอนกรีตเพื่อไม่ให้น้ำในคอนกรีตระเหยเร็วเกินไป

2.2.5.5 การยึดรั้งตัว (Restraint)

คอนกรีตที่ถูกยึดรั้งไว้ไม่สามารถเคลื่อนตัวได้ไม่ว่าจะเป็นการยึดรั้งจากฐานรากหรือโครงสร้างใกล้เคียงก็จะทำให้เกิดการแตกร้าวขึ้นได้ การเกิดรอยแตกในแนวดิ่งที่ฐานกำแพงของ

อาคารถือเป็นเรื่องปกติ ถ้ารอยแตกนั้นไม่ขยายต่อถึงด้านบน ดังนั้นจึงมักพบว่า กำแพงหรือพื้นยาวที่ไม่มีการตัด Joint มักจะเกิดรอยแตกขึ้นเป็นช่วงๆได้ ส่วนกำแพงที่หล่อติดเป็นชิ้นเดียวกันกับโครงสร้าง มีโอกาสที่จะแตกร้าวทั้งในแนวดิ่งและแนวราบ การยึดรั้งก็มักจะเกิดขึ้นเมื่อมีการทรุดที่ไม่เท่ากันของโครงสร้างและคอนกรีตที่เกิดการยึดรั้งภายในอาจเกิดขึ้นได้ถ้าเป็นโครงสร้างเดียวกัน แต่ใช้คอนกรีตที่มีส่วนผสมต่างกัน เช่น ใช้ปูนซีเมนต์ไม่เท่ากันหรือสัดส่วนของหิน-ทราย ที่ต่างกัน

2.3 มวลรวม

2.3.1 มวลรวมละเอียด

ทราย เป็นสสารแบบเม็ด ซึ่งเกิดจากหินชั้นที่แตกย่อยเป็นเม็ดละเอียด[6] อาจเป็นการแตกของเปลือกหอยในทะเลและถูกน้ำซัดไปมาจนแตกละเอียด เรียกว่าทรายที่มีอยู่ตามชายทะเล บางแห่งขุดทรายได้จากในแม่น้ำ หรือจากบ่อทรายซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีทรายเป็นจำนวนมาก มนุษย์นำทรายไปใช้ในการก่อสร้าง เช่น ใช้ในการผสมคอนกรีต ใช้ผสมปูนขาวและปูนซีเมนต์ ทำปูนก่อ ปูนฉาบ เป็นต้น

2.3.1.1 ชนิดของทราย

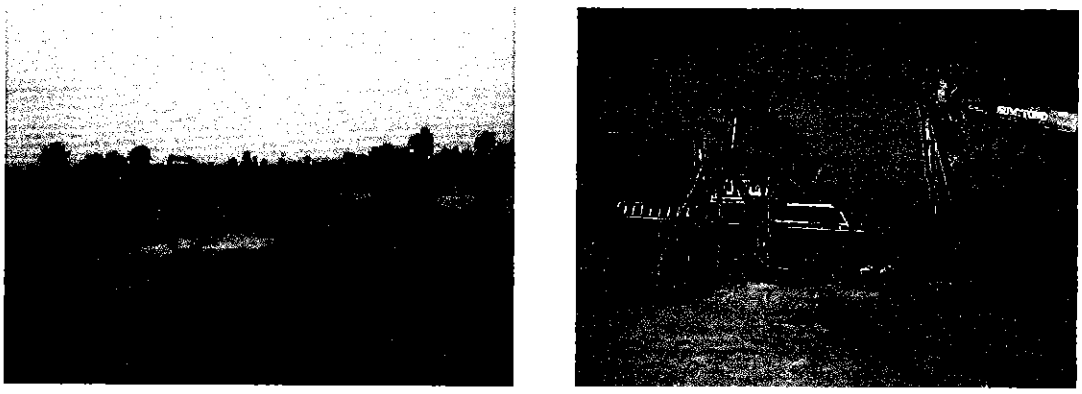
ทรายเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยการแปรรูปหรือการกะเทาะแบ่งส่วนมาจากหินและกรวด ทรายที่ขุดได้บนพื้นดินเรียกว่าทรายบก ที่เกิดจากลำธารแม่น้ำเรียกว่าทรายแม่น้ำ ที่เกิดจากทะเลเรียกว่าทรายน้ำเค็ม[7] ทรายที่นิยมนำมาใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างมี 2 ชนิดคือ ทรายบก และทรายแม่น้ำ

ก. ทรายบก เกิดจากหินทรายที่แตกแยกชำรุดออกมา เป็นเม็ดทรายละเอียดตามสภาพภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม และจะฝังจมอยู่ในพื้นดินเป็นแห่ง ๆ ทรายชนิดนี้จะมีดิน ซากพืช และซากสัตว์ปะปนอยู่ด้วย ในการใช้งานจึงต้องนำทรายมาล้างแยกดิน ซากพืช และซากสัตว์ออกให้สะอาด [7][8] การผลิตทรายบกแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

ก.1 ผลิตจากวิธีดั้งเดิม โดยการเปิดหน้าดินด้วยรถตักดินจนถึงระดับน้ำใต้ดินจนมีสภาพเป็นแอ่งน้ำขนาดใหญ่แล้วจึงนำเรือมาดูด หรือใช้รถตักทรายขึ้นมาผ่านตะแกรงเพื่อแยกกรวดออก[7][8]

ก.2 การใช้เครื่องจักรในการผลิตทราย โดยอาศัยการเปิดหน้าดินเหมือนวิธีแรก หลังจากนั้นจะผ่านขั้นตอนและเครื่องจักรต่างๆ[7][8]

ข. ทรายแม่น้ำ ทรายชนิดนี้มีอยู่ทั่วไปในที่ราบลุ่มของแม่น้ำเกิดจากกระแสน้ำได้พัดพาทรายจากที่ต่างๆ มาตกตะกอนรวมกันในแหล่งที่ราบลุ่ม เป็นทรายที่นิยมนำไปใช้ในการก่อสร้าง เพราะเป็นทรายที่สะอาด เม็ดมีเหลี่ยมมีมุมขนาดต่างๆกันเมื่อผ่านตะแกรงร่อนแล้วนำไปใช้ในการก่อสร้าง เช่น งานโครงสร้าง งานปูนฉาบ ปูนก่อ ส่วนทรายแม่น้ำที่มีส่วนผสมของสารอินทรีย์มาก มีสีดำปนสีน้ำตาลเข้ม ใช้ในการก่อสร้างไม่ได้ แต่นิยมนำมาใช้โรยบนหน้าดินก่อนทำสนามหญ้าและใช้ถมที่ดินเพราะมีราคาถูก เรียกว่า ทรายขี้เป็ด[8]



รูปที่ 2.7 ทรายบกและทรายแม่น้ำ (ที่มา : www.homebaan.blogspot.com)

2.3.1.2 ขนาดของทราย

ทรายในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง คือวัตถุผสมละเอียดที่มีขนาดผ่านตะแกรงร่อน4.75 มิลลิเมตร เม็ดทรายมีลักษณะแข็งแกร่ง ทนทาน มีเหลี่ยมคม ไม่ขยายตัวมาก มีสารประกอบอื่นเจือปนอยู่น้อยโดยทรายที่ใช้ผสมปูนซีเมนต์จะเรียกว่าวัสดุผสมละเอียดมีขนาด 0.5 - 4.75 มิลลิเมตร[8]

ก. ทรายละเอียด มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 - 1.5 มิลลิเมตร ใช้งานในปูนก่อ ปูนฉาบ ปูนถือ

ข. ทรายกลาง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.0 - 3.0 มิลลิเมตร ใช้ในงานคอนกรีต ปูนก่อที่ต้องรับแรงอัด ปูนฉาบผนังใต้ดิน พื้น คาน ไม่นิยมใช้ในการผสมคอนกรีตที่รับน้ำหนักมากมีสีอ่อนกว่าทรายหยาบ

ค. ทรายหยาบ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2- 4.75 มิลลิเมตร ใช้ในการผสมคอนกรีตทั่วไปที่ต้องการรับน้ำหนักมาก งานคอนกรีตเทพื้น ฐานราก และงานที่ต้องการแรงอัดมา

2.3.1.3 คุณสมบัติของทราย

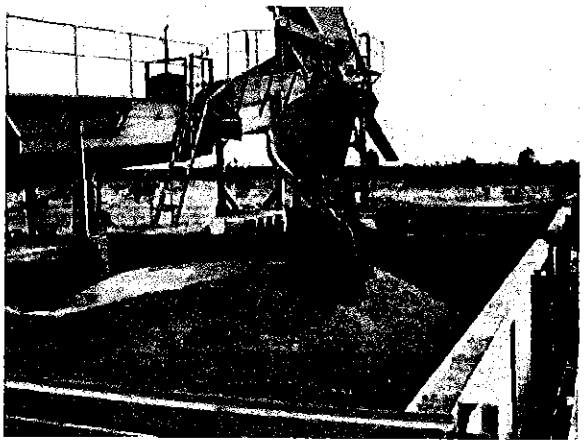
ก. ทรายแทรกเข้าไปในช่องว่างของหินในการผสมคอนกรีตทำให้เนื้อคอนกรีตแน่น

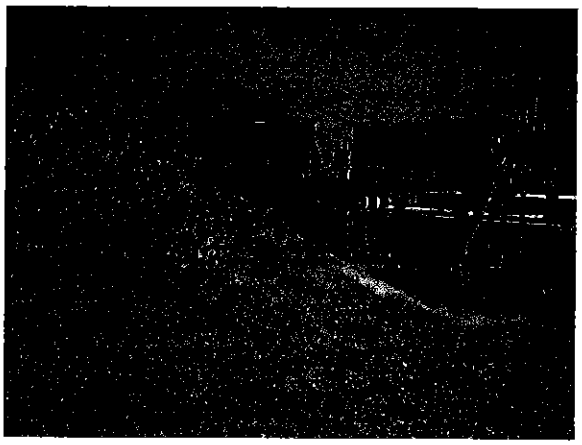
ข. ทรายช่วยลดการแตกร้าวของปูนฉาบ

ค. ทรายช่วยเพิ่มปริมาณส่วนผสมในคอนกรีต ทำให้ราคาปูนก่อ ปูนฉาบ และคอนกรีตถูกลง

2.3.1.4 การเก็บรักษาทราย

ทรายเมื่อถูกดูดขึ้นมาจากแม่น้ำ หรือบ่อทราย นำขึ้นผ่านสายพานลำเลียงใส่รถบรรทุกที่รอรับเพื่อนำไปจำหน่าย ส่วนที่ยังไม่ได้จำหน่ายต้องกองไว้ในบริเวณที่แห้ง





รูปที่ 2.8 การเก็บรักษาทราย (ที่มา : www.ssincom.com)

2.3.1.5 ขนาดคละของมวลรวมละเอียดที่ใช้ในการผสมคอนกรีต[9] แสดงดังรูปที่ 2.9

Table 3.22 BS and ASTM Grading Requirements for Fine Aggregate

Sieve size		*Percentage by mass passing sieves*				
		BS 882 : 1992				*ASTM C 33 93*
BS	*ASTM No.*	*Overall grading*	*Coarse grading*	*Medium grading*	*Fine grading*	
10.0 mm	$\frac{3}{8}$ in.	100				100
5.0 mm	$\frac{3}{16}$ in.	89–100				95–100
2.36 mm	8	60–100	60–100	65–100	80–100	80–100
1.18 mm	16	30–100	30–90	45–100	70–100	50–85
600 μm	30	15–100	15–54	25–80	55–100	25–60
300 μm	50	5–70	5–40	5–48	5–70	10–30
150 μm	100	0–15*				2–10

*For crushed stone fine aggregate, the permissible limit is increased to 20 per cent except for heavy duty floors.

รูปที่ 2.9 ขนาดคละของมวลรวมละเอียดที่ใช้ในการผสมคอนกรีต

2.3.2 มวลรวมหยาบ

ข้อกำหนดนี้ประกอบด้วยการควบคุมคุณภาพและขนาดคละของมวลรวมหยาบ สำหรับผสมคอนกรีตในงานก่อสร้างทั่วไป เช่น ถนนปอรตแลนดซีเมนตคอนกรีต สะพานคอนกรีตเสริมเหล็ก เป็นตน ทั้งนี้ไมรวมถึงงานคอนกรีตพิเศษซึ่งมีข่อกำหนดเฉพาะงาน[10]

2.3.2.1 วัสดุ

มวลรวมหยาบที่ใช้กันทั่วไปในงานคอนกรีต คือ หินยอย , กรวดและกรวดยอย หรือวัสดุอื่นใดที่นายชางผู้ควบคุมงานพิจารณาแล้วให้ใช้ต่องเป็นวัสดุที่มีเม็ดแข็ง ทนทาน ไมผุ ไมมีลักษณะแบนหรือยาวมากเกินไป สะอาดไมมีฝุ่นผง หรือสิ่งอื่นใดเคลือบผิว ปราศจากสิ่งไมพึงประสงคตาง ๆ จากแหลงที่ไดรับความเห็นชอบจากนายชางผู้ควบคุมงานแลว

ในกรณีที่ไมไดระบุคุณสมบัติไวในแบบเปนอยางอื่น วัสดุที่ใช่ทำมวลรวมหยาบสำหรับผสมคอนกรีตจะตองมีคุณสมบัติดังตอไปนี้

ก. เปนวัสดุที่มีเนื้อแข็ง เหนียว ไม่ผุ สะอาด และปราศจากวัสดุอื่นเจือปน

ข. ไมเปนวัสดุเนื้อหยาบและเนื้อพรุน

ค. ต่องไมมีวัสดุไม่พึงประสงคอื่นใดเจือปนอยูเกินกว่าปริมาณที่กำหนดไวในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณสูงสุดของวัสดุไม่พึงประสงค์ในมวลรวมหยาบ[10]

วัสดุไม่พึงประสงค์	ร้อยละโดยมวล	วิธีการทดลอง
ส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มม. (เบอร์ 200)	1.0	AASHTO T 11 หรือเทียบเท่าตามที่กรมทางหลวงกำหนดขึ้น
ก้อนดินเหนียและวัสดุที่แตกร่วนง่าย	3.0	AASHTO T 112 หรือเทียบเท่าตามที่กรมทางหลวงกำหนดขึ้น
ถ่านหินและลิไนท์	0.5	AASHTO T 113 หรือเทียบเท่าตามที่กรมทางหลวงกำหนดขึ้น

ฉ. มีขนาดคละเมื่อทดลองตามวิธีการทดลอง วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง" ให้เป็นไปตามตารางที่ 2 ส่วนขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้ ถ้าไม่ได้ระบุไว้ในแบบ ควรมีขนาดไม่เกิน 1 ใน 5 ของส่วนที่บางสุดของโครงสร้างและต้องไม่เกิน 3 ใน 4 ของช่องว่างระหว่างเหล็กเสริม ทั้งนี้โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน

2.3.2.2 ขนาดคละของมวลรวมหยาบที่ใช้ในการผสมคอนกรีต[9] แสดงดังรูปที่ 2.10

Table 3.25 Grading Requirements for Coarse Aggregate According to ASTM C 33-93

Sieve size		*Percentage by mass passing sieves*				
		Nominal size of graded aggregate			*Nominal size of single-sized aggregate*	
mm	*in.*	*37.5 to 4.75 mm 1½ in. to #4*	*19.0 to 4.75 mm ¾ in. to #4*	*12.5 to 4.75 mm ½ in. to #4*	*63 mm 2½ in.*	*37.5 mm 1½ in.*
75	3	—	—	—	100	—
63.0	2½	—	—	—	90–100	—
50.0	2	100	—	—	35–70	100
38.1	1½	95–100	—	—	0–15	90–100
25.0	1	—	100	—	—	20–55
19.0	¾	35–70	90–100	100	0–5	0–15
12.5	½	—	—	90–100	—	—
9.5	⅜	10–30	20–55	40–70	—	0–5
4.75	#4	0–5	0–10	0–15	—	—
2.36	No. 8	—	0–5	0–5	—	—

รูปที่ 2.10 ขนาดคละของมวลรวมหยาบที่ใช้ในการผสมคอนกรีต

2.3.2.3 การกองวัสดุ

การกองวัสดุมวลรวมหยาบจากแหล่งเมื่อผ่านการทดสอบคุณภาพว่าใช้ได้แล้ว และเตรียมที่จะนำมาใช้งานผสมคอนกรีต จะต้องป้องกันมิให้วัสดุอื่นมาปะปน ห้ามกองไว้บนหลังทางวัสดุต่างชนิดต่างแหล่งและขนาด ห้ามนำมาผสมกันกองเดียว หรือใช้ร่วมกันในงานก่อสร้างที่ดำเนินการอย่างต่อเนื่องโดยไม่ได้รับอนุญาตจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน ถ้าวัสดุนั้นเกิดการแยกตัวก็ให้คลุกเคล้าให้เข้ากันใหม่ และถ้าไม่สะอาดให้ล้างก่อนนำไปใช้งาน บริเวณที่เตรียมไว้กองวัสดุ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน ต้นไม้ พุ่มไม้ ตอไม้ ไม้ผุ ขยะ วัชพืช และสิ่งไม่พึงประสงค์ต่างๆ จะต้องกำจัดออกไปให้พ้นบริเวณ ถ้าผลการทดสอบคุณภาพของตัวอย่างมวลรวมหยาบจากกองวัสดุ ไม่ได้ตามข้อกำหนดไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ผู้รับจ้างจะต้องเปลี่ยนหรือปรับปรุงแก้ไขจนได้คุณภาพถูกต้อง ทั้งนี้เป็นไปตามดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน โดยที่ค่าใช้จ่ายต่างๆ เป็นภาระของผู้รับจ้างทั้งสิ้น[10]

2.3.2.4 หนังสืออ้างอิง

ก.1 The American Association of State Highway Officials. Standard Specification for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing, Part 1, AASHTO Designation: M80-87 (1995)

ก.2 The American Society for Testing and Materials. ASTM Designation: C33-99

2.4 การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต (Mix Design)

2.4.1 หลักการในการออกแบบส่วนผสม

เป้าหมายหลักของการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตหรือการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต [11] มีด้วยกัน 2 ประการคือ

2.4.1.1 เพื่อเลือกวัสดุผสมคอนกรีตที่เหมาะสมอันได้แก่ ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ น้ำยาผสมคอนกรีต ให้เป็นไปตามข้อกำหนดและวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

2.4.2.2 คำนวณหาสัดส่วนผสมของวัสดุผสมนี้ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสมตามข้อกำหนดและการใช่งานทั้งในสภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ในราคาที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้บรรลุเป้าหมาย ผู้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ต่อไปนี้

ก. การหาได้ของวัสดุผสมคอนกรีต

ข. การผันแปรในคุณสมบัติของวัสดุผสม

ค. ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนผสมกับธรรมชาติของวัสดุผสม

ง. การผันแปรของคุณสมบัติที่ต้องการในสภาพการใช้งาน

2.4.2 ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการออกแบบ

การออกแบบและเลือกใช้คอนกรีตให้เหมาะสมกับงานก่อสร้างนั้นที่จะต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆซึ่งอาจจะกระทบต่อการเลือกใช้คอนกรีตประเภทนั้นๆ โดยสามารถแยกพิจารณาได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.4.2.1 ปัจจัยด้านเทคนิค

วิศวกรผู้ออกแบบต้องพิจารณาปัจจัยด้านเทคนิค ซึ่งแบ่งตามสภาพของคอนกรีตได้เป็น 2 ประเภทคือ

ก. สภาพที่คอนกรีตยังเหลวอยู่ ปัจจัยที่ต้องพิจารณา 2 ประการคือ

ก.1 ความสามารถเทได้ โดยผู้ออกแบบควรเลือกคอนกรีตสดที่มีคุณสมบัติดังนี้

ก.1.1 มีความเหลวเพียงพอต่อการใช้งาน คือ คอนกรีตสามารถไหลลื่นเข้าไปเต็มทุกๆส่วนของแบบหล่อ

ก.1.2 ต้องไม่แยกตัวระหว่างการขนย้ายหรือการเท

ก.1.3 ต้องสามารถอัดตัวแน่นในแบบหล่อได้อย่างดี

วิธีการใช้วัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตที่ใช้กันแพร่หลาย คือ การวัดค่ายุบตัว ตัวอย่างค่ายุบตัวของคอนกรีตที่เหมาะสมกับงานก่อสร้างทั่วๆไปในประเทศไทย ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่ายุบตัวของคอนกรีตที่เหมาะสมกับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

ประเภทของโครงสร้าง	ค่ายุบตัว (เซนติเมตร)	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพง คอนกรีตเสริมเหล็ก	8.0	2.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก งานก่อสร้างใต้น้ำ	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

ก.2 การอยู่ตัว หมายถึง คอนกรีตจะคงความสม่ำเสมอของเนื้อคอนกรีตตลอดการใช้งาน โดยไม่เกิดการแยกตัวและไม่เกิดการเยิ้มในปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการวัดการอยู่ตัว โดยทั่วไปจะใช้การสังเกตเป็นหลัก

ข. สภาพที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว ปัจจัยที่ผู้ออกแบบต้องพิจารณาที่สำคัญ 2 ประการคือ

ข.1 กำลัง

ข.2 ความทนทาน

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่สำคัญรองลงมาอีก 2 ประการคือ

ข.3 การเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุก

ข.4 การเปลี่ยนแปลงที่ไม่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุก

โดยทั่วไป กำลังเป็นคุณสมบัติที่สำคัญและคุณภาพของคอนกรีตก็จะพิจารณาจากกำลังอัด ในหลายๆกรณี คุณสมบัติอื่นๆอาจมีความสำคัญมากกว่า เช่น คอนกรีตสำหรับโครงสร้างที่ต้องป้องกันน้ำ หรือถังเก็บน้ำ จำเป็นต้องมีคุณสมบัติสำคัญ คือ มีการซึมผ่านของน้ำและอากาศต่ำ และมีการหดตัวต่ำ การเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์เพื่อเพิ่มกำลังอัดจะส่งผลให้เกิดการหดตัวมาก ซึ่งมีผลเสียอย่างมากต่อคุณสมบัติด้านความทนทาน และการซึมผ่านของน้ำ

2.4.2.2 ปัจจัยด้านราคา

นอกจากปัจจัยด้านเทคนิคแล้วผู้ออกแบบจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาปัจจัยด้านราคาด้วยซึ่งไม่ใช่ค่าเฉพาะวัสดุแต่รวมไปถึงค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับกองเก็บวัตถุดิบ การชั่งตวง การผสม การลำเลียง ค่าใช้จ่ายในการเท และการทำให้คอนกรีตแน่น รวมไปถึงค่าควบคุมงานคอนกรีต โดยมีรายละเอียดดังนี้

ก.1 วัสดุ

ก.1.1 วัสดุองค์ประกอบ

คอนกรีตประกอบด้วย หิน ทราย ซีเมนต์ น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต หรืออาจมีวัสดุเพิ่มมาช่วยปรับปรุงให้คอนกรีตมีคุณสมบัติดีขึ้น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับราคาที่ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึง ได้แก่

ก.1.1.1 การหาได้ของวัสดุพื้นฐาน

ผู้ออกแบบจำเป็นต้องศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุพื้นฐานในภูมิภาคนั้นๆว่าหาได้หรือไม่ เพราะถ้าจำเป็นต้องหาแหล่งอื่นค่าใช้จ่ายโดยรวมอาจจะสูงมาก

ก.1.1.2 การผันแปรของคุณภาพวัสดุ

วัตถุดิบที่มีความผันแปรของคุณภาพมาก เมื่อนำมาใช้ผสมเป็นคอนกรีต จะก่อให้เกิดต้นทุนการควบคุมที่สูง เพื่อที่จะให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพตามข้อกำหนด

ก.1.2 สัดส่วนผสม

วัสดุพื้นฐานต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น จะส่งผลต่อราคาของคอนกรีต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

ก.1.2.1 ลักษณะทั่วไปของวัสดุผสม

วัสดุผสมที่มีลักษณะแตกต่างกัน จะส่งผลต่อสัดส่วนเพื่อให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตตามต้องการ เช่น หินที่มีรูปร่างกลมมนจะใช้ปริมาณน้ำน้อยกว่าหินที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมหรือที่มีลักษณะแบน หรือทรายที่มีความละเอียดจะใช้ปริมาณน้ำที่มากกว่าทรายหยาบ เมื่อต้องการคอนกรีตที่มีความสามารถเทได้เท่าๆกัน นั่นคือ ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในส่วนผสมจะแตกต่างกัน ราคาคอนกรีตก็จะแตกต่างกันด้วย

ก.1.2.2 ชนิดของโครงสร้าง

โครงสร้างคอนกรีตที่มีความสำคัญมากๆ เช่น เขื่อนหรือผนังห้องปฏิกรณ์ปรมาณู การออกแบบจำเป็นต้องใช้คอนกรีตที่มีส่วนเผื่อมากกว่าคอนกรีตโครงสร้างทั่วไปๆ ไปหรือโครงสร้างคอนกรีตสำหรับบ่อบำบัดน้ำเสีย ผู้ออกแบบจำเป็นต้องเลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีตที่มีปริมาณและชนิดของซีเมนต์ที่แตกต่างจากโครงสร้างทั่วๆไป เพื่อให้ได้ความทนทานที่สูง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อราคาคอนกรีต เป็นต้น

ก.2 วิธีการทำงาน

ขบวนการลำเลียงวัตถุดิบ วิธีการผสม การลำเลียงคอนกรีตสู่สถานที่เท รวมถึงการทำให้คอนกรีตอัดแน่น ล้วนแต่กระทบต้นทุนของคอนกรีต ที่ผู้ออกแบบต้องนำมาพิจารณา

ก.3 การควบคุมงานคอนกรีต

ต้นทุนการควบคุมงานคอนกรีตนี้ รวมตั้งแต่ต้นทุนการควบคุมคุณภาพคอนกรีต ณ หน่วยงานก่อสร้าง จนเริ่มใช้งานโครงสร้างนั้น

2.4.3 ความสัมพันธ์ที่มีประโยชน์ในการออกแบบ

2.4.3.1 กำลังอัดและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

2.4.3.2 คุณสมบัติของมวลรวมกับปริมาณน้ำ และความสามารถเทได้ของคอนกรีต[11] มีดังนี้

ก. รูปร่างและลักษณะผิว

ข. ขนาดและส่วนคละ

ข.1 ขนาดคละของมวลรวม

ข.2 ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม

ข.3 อัตราส่วนของมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมหยาบ

ค.ปริมาณความชื้น

ค.1 การดูดซึมของน้ำและความชื้อที่ผิว

ค.2 การเพิ่มขึ้นของปริมาตรของทราย

ง. ความถ่วงจำเพาะ

จ. หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดและส่วนคละของมวลรวม

2.4.3.3 ความสามารถเทได้และปริมาณน้ำ

ความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณน้ำในส่วนผสม กล่าวคือ ความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น แต่ความสัมพันธ์นี้จะเปลี่ยนแปลงไปบ้าง เมื่อคุณสมบัติของวัสดุผสมเปลี่ยนแปลงไปรวมทั้งจะเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการใช้วัสดุผสมพิเศษอื่นๆ ด้วย

2.4.3.4 ต้นทุนและประสิทธิภาพการใช้งาน

เป้าหมายที่สำคัญที่สุดของการหาสัดส่วนผสมคอนกรีตก็เพื่อจะให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสมตามข้อกำหนดและการใช้งาน ในราคาที่ถูกที่สุด โดยทั่วไปข้อกำหนดของงานคอนกรีตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ

ก. การกำหนดคุณสมบัติทั่วๆไป

ก.1 ค่ายุบตัวมาตรฐาน

ก.2 ค่ากำลังอัดทั่วๆไป

ก.3 ความทนทานทั่วๆไป

การที่จะให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติดังกล่าว ทำได้โดยกำหนดสัดส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำที่สุด และใช้อัตราส่วนน้ำ เป็นต้น

ข. การกำหนดคุณสมบัติพิเศษ

ข.1 มีความสามารถเทได้สูงมากๆ

ข.2 เกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นไม่สูงมาก

ข.3 กำลังอัดสูง หรือกำลังอัดสูงในเวลารวดเร็ว

ข.4 ความทนทานพิเศษต่างๆ เช่น ทนต่อซัลเฟต เป็นต้น

คอนกรีตพวกนี้อาจจำเป็นต้องใช้วัสดุพิเศษประเภทอื่นๆ เป็นส่วนผสมด้วย เช่น

- ปูนซีเมนต์และวัสดุทดทนแทนปูนซีเมนต์ เช่น ปูนปอร์ตแลนด์ ประเภท 3, ปูนปอร์ตแลนด์ต้านทานซัลเฟต(ประเภท 5) ,PFA ,GGBS ,MS

- สารผสมเพิ่ม เช่น สารเร่งหรือหน่วงการก่อตัว, สารลดน้ำหรือสารลดน้ำจำนวนมาก, สารกักกระจายฟองอากาศ

- มวลรวมพิเศษ เช่น มวลรวมหนัก, มวลรวมเบา, มวลรวมที่มีการหดตัวน้อยมาก

2.4.4 ประเภทของสัดส่วนผสมคอนกรีต

2.4.4.1 สัดส่วนผสมโดยปริมาตร

ผู้ออกแบบจะกำหนดอัตราส่วนโดยปริมาตรของปูนซีเมนต์ทราย หิน เช่น 1:2:4 คือใช้ปูน 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน และหิน 4 ส่วนโดยปริมาตร วิธีการนี้เหมาะสำหรับงานก่อสร้าง ขนาดเล็กๆ เท่านั้น

2.4.4.2 Prescribed Mix

วิศวกรผู้ออกแบบโครงสร้างหรือผู้รับเหมาจะกำหนดสัดส่วนผสมสำหรับโครงการก่อสร้างหนึ่งๆ รวมทั้งรับผิดชอบว่าสัดส่วนผสมนี้ จะสามารถผลิตเป็นคอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

2.4.4.3 Designed Mix

ผู้ผลิตคอนกรีต เช่น ผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ จะเป็นผู้กำหนดสัดส่วนผสมเพื่อให้ตรงกับความต้องการตามข้อกำหนดรวมทั้งต้องรับผิดชอบต่อสัดส่วนผสมนี้ว่าเป็นไปตามความต้องการ

2.4.4.4 สัดส่วนผสมตามมาตรฐาน (Standard Mix)

ผู้ผลิตคอนกรีตคอนกรีตผสมเสร็จที่ผลิตและเก็บรวบรวมคุณสมบัติของคอนกรีตมาเป็นเวลานาน จนได้ข้อมูลมากำหนดเป็นสัดส่วนผสมมาตรฐาน

2.4.5 การออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตร

สำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก ส่วนใหญ่จะกำหนดสัดส่วนโดยปริมาตร เช่น 1:2:4 อัตราส่วนที่กล่าวถึงนี้ คือ ใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน 4 หิน 4 ส่วน โดยปริมาตร การที่จะแปลงส่วนผสมโดยปริมาตรดังกล่าวให้เป็นส่วนผสมโดยน้ำหนักสามารถทำได้ดังนี้

<u>ตัวอย่าง</u> การคำนวณการออกแบบผสมคอนกรีตใน 1 ลบ.ม.[11]

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ – หน่วยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ = 1400 กก./ลบ.ม

-หน่วยน้ำหนักของหินทราย = 1450 กก./ลบ.ม.

การคำนวณ - ปูน 1 ถุง 50 กก. มีปริมาตร = 50/1400 = 0.036 ลบ.ม.

- ทราย 2 ส่วน มีปริมาตร = 0.036 x 2 = 0.072 ลบ.ม.
- น้ำหนักทราย = 0.072 x 1450 = 104 กก.
- หิน 4 ส่วน มีปริมาตร = 0.036 x 4 = 0.144 ลบ.ม

วิธีการคำนวณ น้ำหนักหิน = 0.144 x 1450 = 209 กก.

ปริมาตรน้ำที่ใช้โดยทั่วไปสำหรับปูน 1 ถุง เพื่อให้ได้ค่ายุบตัวประมาณ 10 ซม. เท่ากับ 30 ลิตร

น้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมดเมื่อใช้ปูน 1 ถุง = 50 + 104 + 209 + 30 = 393 กก.

หน่วยน้ำหนักคอนกรีต 1 ลบ.ม. = 2400 กก.

ต้องใช้ปริมาณปูน = 2400/393 = 6.1 ถุง = 305 กก./ลบ.ม.

2.5 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

E. Tazawa และ S. Miyazawa, (1995) [13] ศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ชนิดของปูนซีเมนต์ และองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ จากการศึกษาพบว่า อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูง จะทำให้การหดตัวแบบออโตจีนัสต่ำ เนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูง ช่องคะปิลารีจะมีขนาดใหญ่ ทำให้ความชื้มน้ำสูง ความชื้นสามารถเข้าไปทั่วถึงภายในคอนกรีต เมื่อความชื้นในช่องคะปิลารีถูกดึงไปใช้ทำปฏิกิริยา ความชื้นในส่วนต่างๆ ภายในคอนกรีตสามารถมาทดแทนได้ การหดตัวแบบออโตจีนัสจึงลดลง องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และอัตราส่วนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น มีผลต่อการหดตัวแบบออโตจีนัส โดยเฉพาะอย่างยิ่ง C3A และ C4AF ซึ่งเป็นขององค์ประกอบที่มีผลต่อการหดตัวแบบออโตจีนัสอย่างมาก และปูนซีเมนต์ที่มีความละเอียดสูง จะทำให้การหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีตในช่วงต้นมีค่าสูง

C. M. Tam และคณะ, (2012) [14] ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานและสารเคมีผสมเพิ่ม ชนิดสารลดน้ำพิเศษต่อการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีต โดยการใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.17, 0.20, 0.23 และ 0.40 สารเคมีผสมเพิ่ม ชนิดสารลดน้ำพิเศษในปริมาณร้อยละ 2, 2.5, 3, และ 4 ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานทำให้การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำในคอนกรีตมีมากทำให้น้ำระเหยออกจากคอนกรีตสู่สภาพแวดล้อมมาก การหดตัวของแบบแห้งคอนกรีตจึงมีค่ามากตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคอนกรีตในช่วงอายุต้น นอกจากนี้การเกิดแรงตึงผิวของรูพรุนขนาดเล็ก เนื่องจากการสูญเสียน้ำออกจากรูพรุนทำให้ผนังของรูพรุนเกิดการบีบอัดเข้าหากัน การหดตัวของคอนกรีตจึงเกิดขึ้น การใช้สารเคมีผสมเพิ่ม ชนิดสารลดน้ำพิเศษ ทำให้การหดตัวเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มของการหดตัวมีความสัมพันธ์ตามปริมาณสารเคมีผสมเพิ่ม ชนิดสารลดน้ำพิเศษที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากสารเคมีผสมเพิ่มจะเข้าไปทำให้โครงสร้างของช่องว่างเกิดการเปลี่ยนแปลง มีผลต่อพฤติกรรมการก่อตัวและการระเหยของน้ำ สังเกตจาก เมื่อเพิ่มสารเคมีผสมเพิ่ม จะทำให้การสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตมีค่าเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตเพิ่มขึ้น

G. Appa Rao, (2001) [15] ศึกษาผลของขนาดมวลรวมละเอียดต่อการหดตัวแบบแห้งของมอร์ต้า โดยใช้มวลรวมละเอียดขนาดโตสุดเท่ากับ 1.18 มม. และ 2.36 มม.จากผลการศึกษาพบว่า การใช้มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะช่วยลดการหดตัวแบบแห้งสูงสุด เนื่องจากมวลรวมที่มีขนาดใหญ่ มีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นสูง ทำให้การยึดเกาะระหว่างซีเมนต์เพสต์กับมวลรวมมั่นคงแข็งแรง ทำให้ช่วยลดการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีต จึงเป็นสาเหตุของการช่วยลดการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตได้

บทที่ 3

วิธีดำเนินโครงงาน

บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของวัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในโครงงาน รวมถึงการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุประสาน มวลรวม และคุณสมบัติของคอนกรีต ตามมาตรฐานต่างๆ การหดตัวแบบออโตจีนัส และการหดตัวโดยรวม ซึ่งการหดตัวโดยรวมของคอนกรีตเป็นการหดตัวที่เกิดจากการสูญเสียความชื้นออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่การหดตัวโดยรวมไม่สามารถทำการวัดได้โดยตรง เนื่องจากตัวอย่างที่ไม่มีการห่อหุ้ม ซึ่งใช้วัดการหดตัวทั่วไป ยังคงมีการหดตัวแบบออโตจีนัสเกิดขึ้นได้ ทำให้ค่าที่วัดได้จากตัวอย่างที่ไม่ห่อหุ้ม เป็นการหดตัวโดยรวม (Total Shrinkage) คือ มีทั้งการหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวโดยรวมรวมกัน ดังนั้นในโครงงานนี้จึงศึกษาผลของการหดตัวโดยรวม และการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต โดยทำการวัดตั้งแต่ถอดแบบ จนกระทั่งค่าการหดตัวของตัวอย่างมีค่าคงที่ โดยมีปัจจัยที่ศึกษาในโครงงานนี้คือการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวของคอนกรีต

การศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวของคอนกรีต แบ่งออกเป็น 3 ปัจจัย ได้แก่

- ศึกษาอัตราส่วนของมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด (0.32 , 0.42 และ0.48)
- ชนิดของมวลรวมละเอียดประกอบด้วย ทรายบกและทรายแม่น้ำ
- อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (0.35 และ 0.55)

3.1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในโครงงาน

3.1.1 วัสดุที่ใช้ในโครงงาน

วัสดุที่ใช้ในโครงงาน ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ มวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบ โดยใช้ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบศึกษาผลต่อการหดตัวของคอนกรีต เพื่อศึกษาแนวทางในการลดการหดตัวของคอนกรีต เพื่อใช้ศึกษาผลต่อการหดตัวของคอนกรีต และน้ำ ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดดังนี้

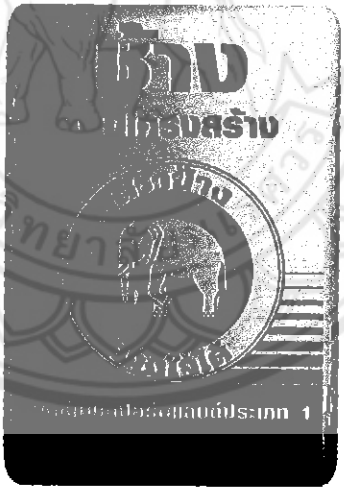
3.1.1.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัย คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตราช้างแดง ผลิตโดย บริษัทปูนซีเมนต์ไทย (ลำปาง) จำกัด และจัดจำหน่ายโดย บริษัทเอสซีจีซีเมนต์ จำกัด ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม 15-2532 ขนาดบรรจุ 50 กก./ถุง แสดงดังรูปที่ 3.2 โดยมีองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังรูปที่ 3.1

ค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้มีค่าเท่ากับ 3.11 (ภาคผนวก ก) โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C188[16]

สารประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
สารประกอบหลัก	
CaO	60.0-67.0
SiO_2	17.0-25.0
Al_2O_3	3.0-8.0
Fe_2O_3	0.5-6.0
สารประกอบรอง	
MgO	0.1-5.5
$Na_2O + K_2O$	0.5-1.3
TiO_2	0.1-0.4
P_2O_5	0.1-0.2
SO_3	1.0-3.0

รูปที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์



รูปที่ 3.2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ตราช้าง)

3.1.1.2 มวลรวมละเอียด

มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดสอบ คือ

ก.) ทรายบก ที่นำมาใช้มาจากบ้านวังเป็ด อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ที่ตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ ของจังหวัดพิษณุโลก ลักษณะภูมิประเทศ พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นที่ราบลุ่ม ดินร่วนปนทราย เหมาะในการทำนา ,ทำไร่อ้อย เป็นพื้นที่การเกษตร 505,934 ไร่ เป็นพื้นที่ที่อยู่อาศัย 29,296 ไร่ เป็นพื้นที่สาธารณะ 41,993 ไร่[26]

ข.) ทรายแม่น้ำ ที่ใช้นำมาจากลุ่มแม่น้ำปิง จังหวัดกำแพงเพชร ซึ่งมีแม่น้ำปิงไหลผ่านเป็นระยะทางยาวประมาณ 104 กิโลเมตร มีลักษณะภูมิประเทศแบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ

ลักษณะที่ 1 เป็นที่ราบลุ่ม แม่น้ำเจ้าพระยา ตอนบนแบบตะพักลุ่มน้ำ (Alluvial Terrace) มีระดับความสูงประมาณ 43 - 107 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง อยู่บริเวณทางด้านทิศตะวันออกกลางและใต้ของจังหวัด

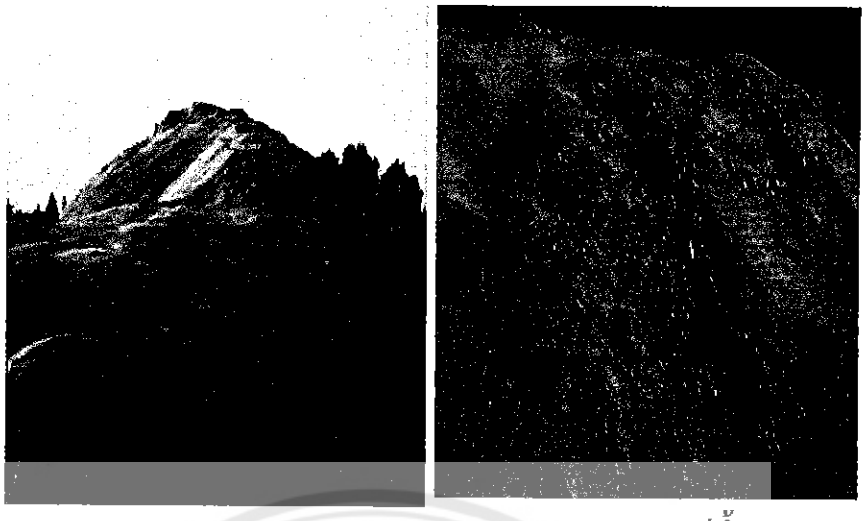
ลักษณะที่ 2 เป็นเนินเขาเตี้ย ๆ สลับที่ราบพบเห็นบริเวณด้านเหนือ และตอนกลางของจังหวัด

ลักษณะที่ 3 เป็นภูเขาสลับซับซ้อนเป็นแหล่งแร่ธาตุ และต้นน้ำ ลำธารต่าง ๆ ที่สำคัญ เช่น คลองวังเจ้า คลองสวนหมาก คลองขลุง และคลองวังไทรไหลลงสู่แม่น้ำปิง

โดยสรุปลักษณะพื้นที่ของจังหวัดกำแพงเพชร ด้านตะวันตกเป็นภูเขาสูงลาดลงมาทางด้านตะวันออก ลักษณะเป็นดินปน ทราย เหมาะแก่การทำนาและปลูกพืชไร่ [27] โดยทำการร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ดังรูปที่ 3.3

การเตรียมทรายที่จะใช้ในการทอลองนั้น จะนำทรายที่มีความชื้นไม่สม่ำเสมอกันผึ่งในที่ร่ม จนกว่าทรายจะอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง หรือให้มีความชื้นอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำทรายที่จะใช้ในการทดลองนั้นเก็บใส่ถุงพลาสติกมัดปากถุงไว้ โดยชั่งน้ำหนักให้ได้ตามที่คำนวณไว้ของแต่ละการทดลอง แล้วนำไปเก็บไว้ในถังพลาสติกอีกทีปิดฝาให้แน่นเพื่อป้องกันฝุ่นละอองและการสูญเสียความชื้น แสดงดังรูปที่ 3.4

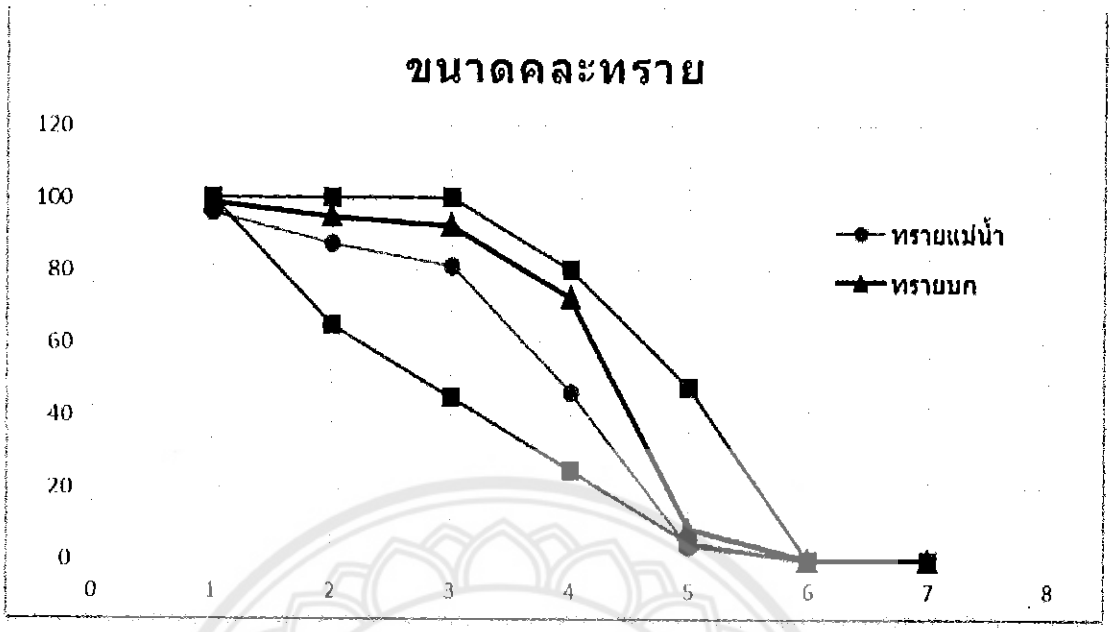
วิธีหาค่าความถ่วงจำเพาะและขนาดคละของมวลรวมละเอียดโดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C128[17] และมาตรฐาน ASTM C136[18] ตามลำดับ มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดลองมีค่าความความถ่วงจำเพาะในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งเท่ากับ 2.60(ภาคผนวก ก) ทั้งทรายบกและทรายแม่น้ำ และมีขนาดคละของทรายบกเป็นแบบFine grading และทรายแม่น้ำเป็นแบบMedium grading(ภาคผนวก ก) แสดงดังรูปที่ 3.5



ก.ทรายบก ข.ทรายแม่น้ำ

รูปที่ 3.3 มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการทดสอบ ทรายบกและทรายแม่น้ำ **ตามลำดับ**

รูปที่ 3.4 การเตรียมทรายให้มีสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง พร้อมทั้งชั่งน้ำหนักและจัดเก็บเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น



รูปที่ 3.5 แสดงขนาดคละของทรายบกและทรายแม่น้ำ

3.1.1.3 มวลรวมหยาบ

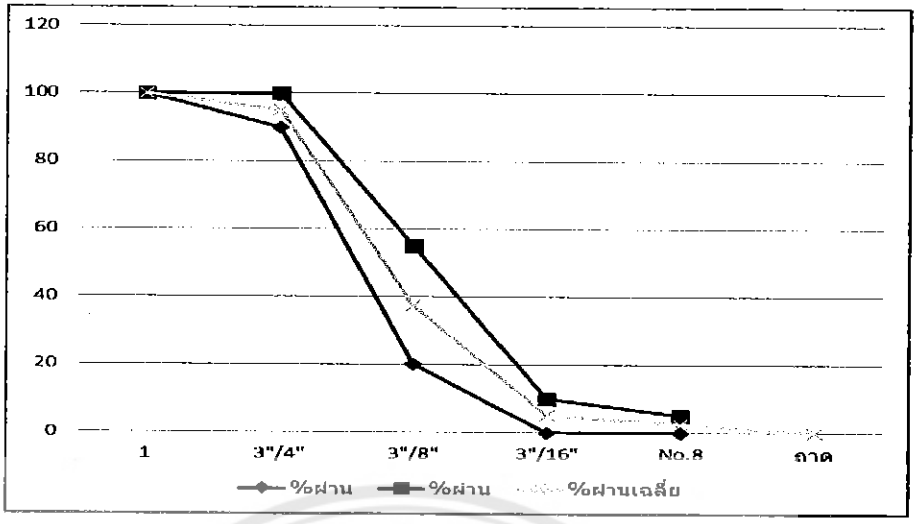
มวลรวมหยาบที่ใช้ในการทดสอบ คือ หินปูน (Limestone) ดังรูปที่ 3.6 ขนาดโตสุดของหินที่ใช้เท่ากับ ¾ นิ้ว โดยมีแหล่งผลิตอยู่ที่จังหวัดสระบุรี

การเตรียมหินที่ใช้ในการทดลองจะต้องทำการล้างหินโดยการตักใส่ในน้ำสะอาดที่เตรียมไว้ แช่น้ำไว้มากกว่า 24 ชั่วโมง จากนั้นนำหินที่แช่ไว้มาล้างให้สะอาดให้ปราศจากดินหรือเศษวัสดุที่อาจจะติดมากับหินออกให้หมด จากนั้นนำหินที่ล้างเสร็จแล้วมาเช็ดจนกว่าหินจะอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และทำการชั่งน้ำหนักพร้อมทั้งเก็บไว้ในถุงพลาสติกมัดปากถุงไว้ เพื่อป้องกันฝุ่นและการสูญเสียความชื้นแล้วนำไปเก็บไว้ในถังพลาสติกอีกที

วิธีการหาค่าความถ่วงจำเพาะและช่วงขนาดคละของหินเบอร์ ¾ ที่ใช้ในการทดลอง โดยทดสอบตามมาตรฐาน ASTM 127[19] และมาตรฐานASTM C 33[20] ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่ามวลรวมหยาบที่ใช้มีค่าความถ่วงจำเพาะในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้งเท่ากับ 2.69(ภาคผนวก ก) และใช้ช่วงขนาดคละ ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.6 มวลรวมหยาบ

รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการเตรียมมวลรวมหยาบ



รูปที่ 3.8 แสดงขนาดคละของมวลรวมหยาบตามมาตรฐาน ASTM C 136เบอร์ 3/4in to 3/16in

3.1.1.4 สารเคมีผสมเพิ่ม

สารลดปริมาณน้ำ (WATER REDUCING ADMIXTURE หรือ Plasticizers) ช่วยลดปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในส่วนผสมคอนกรีต แต่ยังได้ความข้นเหลวเทียบเท่ากับคอนกรีตธรรมดา เมื่อใช้น้ำในส่วนผสมคอนกรีตน้อยลง (อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์น้อยลง) จะมีผลในการเพิ่มกำลังของคอนกรีต สารชนิดนี้เป็นสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่ทำมาจากเกลือลิกโนซัลโฟนิค (Lignosulfonic acid) หรือเกลือ และสารประกอบของกรดไฮดรอกซี่ คาร์บอซีลิค (Hydroxycarboxylic Acid) หรือสารประกอบโพลีเมอร์บางชนิด เช่น โพลิเมอร์ ไฮดรอกซีเลต (Hydroxylated Polymers)

สารลดน้ำถูกนำมาใช้ใน 2 วัตถุประสงค์หลักในงานคอนกรีต คือ

1. ใช้ลดน้ำในส่วนผสมคอนกรีต โดยที่ยังได้ค่ายุบตัวที่เท่าเดิม ทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดเพิ่มขึ้น
2. ได้รับค่ายุบตัวที่เพิ่มขึ้นโดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงส่วนผสมและไม่ต้องเพิ่มน้ำอีก

สารลดน้ำเมื่อเติมลงในส่วนผสมคอนกรีตจะสามารถลดปริมาณน้ำที่ใช้ผสมโดยได้ค่ายุบตัวตามต้องการ คอนกรีตที่ใส่สารลดน้ำจะให้ค่ากำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตทั่วไปเล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องมาจากสารลดน้ำจะช่วยทำให้อนุภาคปูนซีเมนต์เกิดการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ จากคุณสมบัติของน้ำยาลดน้ำเราสามารถลดปริมาณปูนซีเมนต์และน้ำที่ใช้ลงโดยยังคงอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) ที่ยังเท่าเดิมได้ สารลดน้ำมักถูกนำมาใช้สำหรับงานที่ต้องการคุณภาพสูงมีลักษณะการทำงานที่ยากลำบาก เช่น คอนกรีตปั๊มหรืออุณหภูมิหน้างานร้อนจัดเพื่อชดเชยความต้องการน้ำที่สูญเสียไประหว่างการเทคอนกรีตและช่วยให้อัตราการสูญเสียค่ายุบตัวของคอนกรีตยาวนานขึ้นด้วย สารลดน้ำที่ใช้ในงานคอนกรีตเทียบเท่ามาตรฐาน ASTM C 494 [21]Specification for Chemical Admixtures for Concrete ประเภท A

3.1.1.5 น้ำ

น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับงานคอนกรีต โดยทำหน้าที่ 3 ประการ ได้แก่ น้ำผสมคอนกรีต น้ำล้างมวลรวมและน้ำบ่มคอนกรีต

1. น้ำผสมคอนกรีต : ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น อันมีผลต่อความสามารถในการใช้งานของคอนกรีตสด และกำลังและความคงทนของคอนกรีตแข็งตัวแล้ว

2. น้ำล้างมวลรวม : ใช้ล้างมวลรวมที่สกปรกให้สะอาดพอที่จะนำมวลรวมมาใช้ผสมทำคอนกรีตได้

3. น้ำบ่มคอนกรีต : ใช้บ่มคอนกรีตให้มีกำลังเพิ่มขึ้นและเป็นการป้องกันปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีต

ข้อกำหนดสำหรับน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต

ASTM C 1602[22] ซึ่งเป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับน้ำที่ใช้ผลิตคอนกรีตได้ระบุถึงแหล่งที่มาของน้ำที่ใช้ไว้ดังนี้

1. น้ำที่ใช้ผสมหลักซึ่งอาจเป็นน้ำประปาหรือน้ำจากแหล่งน้ำอื่นๆ หรือน้ำจากกระบวนการผลิตคอนกรีต

2. น้ำแข็งสำหรับลดอุณหภูมิของคอนกรีตสามารถใช้ผสมคอนกรีตได้และน้ำแข็งจะต้องละลายหมดเมื่อทำการผสมคอนกรีตเสร็จ

3. ASTM C49[23] ยินยอมให้มีการเติมน้ำภายหลังโดยพนักงานขับรถเพื่อเพิ่มค่ายุบตัวคอนกรีตให้ได้ตามที่ระบุแต่ทั้งนี้ W/C จะต้องไม่เกินค่าที่กำหนดไว้

4. น้ำส่วนเกินจากมวลรวม (Free Water) ถือเป็นส่วนหนึ่งของน้ำผสมคอนกรีตจะต้องปราศจากสิ่งเจือปนที่เป็นอันตราย

5. น้ำที่ผสมอยู่ในสารผสมเพิ่มโดยจะถือเป็นส่วนหนึ่งของน้ำผสมคอนกรีต ถ้าน้ำมีปริมาณมากพอที่จะส่งผลค่า W/C เปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 0.01 ขึ้นไป

ดังนั้นคุณภาพและปริมาณของน้ำผสมคอนกรีตเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่มีอิทธิพลอย่างมากต่อความแข็งแรงและความคงทนของคอนกรีต น้ำผสมคอนกรีตควรสะอาด ใส ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และสามารถดื่มได้ หรือถ้าไม่สามารถดื่มได้ก็ควรมีคุณสมบัติผ่านข้อกำหนดของน้ำผสมคอนกรีต นอกจากนี้น้ำผสมคอนกรีตจะต้องมีสิ่งเจือปนต่างๆ ที่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของคอนกรีต เช่น ความสามารถเทได้ ระยะเวลาการก่อตัว การแข็งตัว กำลัง และการเปลี่ยนแปลงปริมาตร อีกทั้งต้องไม่มีผลทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิม

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในโครงงาน

- ตะแกรงร่อนมาตรฐานของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด
- ชุดทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์
- ชุดทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต
- ชุดทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต
- เครื่องทดสอบกำลังอัด (Compression Tenting Machine)
- เครื่องผสมมอร์ต้า
- เครื่องผสมคอนกรีต
- โต๊ะเขย่าไล่อากาศ
- แบบหล่อปริซึมขนาด 7.5 x 7.5 x 28.5 เซนติเมตร
- แบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร
- เครื่องวัดการหดตัวของคอนกรีต
- เครื่องชั่งน้ำหนัก
- ถังบ่มคอนกรีต
- ห้องปรับอุณหภูมิและความชื้นได้

3.3 ปัจจัยที่ทำการศึกษา

ปัจจัยที่ทำการศึกษาในโครงงานนี้ คือ การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวของคอนกรีตโดยโครงงานนี้ศึกษาการหดตัวของคอนกรีต 2 วิธี คือ การหดตัวแบบออโตจีนัส และการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต โดยมีรายละเอียดการอ่านสัญลักษณ์และปัจจัยที่ทำการศึกษาในโครงงาน ดังต่อไปนี้

3.3.1 สัญลักษณ์ที่ใช้ในโครงงาน

สัญลักษณ์และตัวอย่างการอ่านสัญลักษณ์ที่ใช้โครงงาน มีดังต่อไปนี้

สัญลักษณ์ที่ใช้ในโครงงาน

- γ หมายถึง อัตราส่วนปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่น
- w/c หรือ w/b หมายถึง อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (Water /Cement)
- C หมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- G หมายถึง มวลรวมหยาบ
- S หมายถึง มวลรวมละเอียด
- Sa หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด
- Sp หมายถึง สารเคมีผสมเพิ่ม ชนิดสารลดน้ำพิเศษ
- 3"/4" 3"/8" 3"/16" No.8 ถาด. หมายถึง การใช้ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบขนาด 3"/4" 3"/8" 3"/16" No.8 ถาด. ตามลำดับ
- 7.5 x 7.5 x 28.5 เซนติเมตร หมายถึง การใช้ก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่มีขนาด 7.5 x 7.5 x 28.5 เซนติเมตร ตามลำดับ

ตัวอย่างการอ่านสัญลักษณ์ที่ใช้ในโครงงาน

- γ 1.4 หมายถึง คอนกรีตใช้อัตราส่วนปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่นเท่ากับ 1.4
- w/c55 หมายถึง คอนกรีตใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55 หรือคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานร้อยละ 55 โดยน้ำหนัก
- sa42 หมายถึง คอนกรีตใช้อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดเท่ากับ 0.42 หรือ คอนกรีตใช้อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดร้อยละ 42 โดยน้ำหนัก
- sp0.8 หมายถึง คอนกรีตใช้สารผสมเพิ่มเท่ากับ 0.8 หรือ ร้อยละ 8โดยน้ำหนัก

ดังนั้น γ1.4w55sa42sp0.8 หมายถึง คอนกรีตใช้อัตราส่วนปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรช่องว่างระหว่างมวลรวมเท่ากับ 1.4 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับร้อยละ 55 และใช้อัตราส่วนระหว่างมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 42 และใส่สารผสมเพิ่มร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก

3.3.2 การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการหดตัวของคอนกรีต

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต ได้แก่

- อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (0.35 – 0.55)
- สารเคมีผสมเพิ่ม ชนิดสารลดน้ำพิเศษ (ร้อยละ) (0.7 – 0.8)
- อัตราส่วนปริมาตรเพสต์ต่อปริมาตรช่องว่างระหว่างมวลรวมที่อัดแน่น(γ) (1.1-1.5)
- อุณหภูมิ (27 - 30^{0}C)
- ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ) (45 – 55 %RH)
- ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ (3"/4" 3"/8" 3"/16 "No.8 ถาด.)
- ขนาดของก้อนตัวอย่าง (7.5 x 7.5 x 28.5. ซม.)

3.4 วิธีการศึกษาโครงงาน

ในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึงการเตรียมวัสดุก่อนการผสมคอนกรีต รวมถึงขั้นตอนและวิธีการทดสอบต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน ซึ่งประกอบด้วย

1) วิธีการเตรียมวัสดุก่อนการผสมคอนกรีต โดยการหาค่าความถ่วงจำเพาะในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งของมวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด ค่าการดูดซึมของมวลรวมละเอียด และขนาดคละ

2) ขั้นตอนการผสมคอนกรีต

3) วิธีการทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต

4) วิธีการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต โดยใช้ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายของคอนกรีตและเพิ่มอีก 2 ชั่วโมง เป็นจุดเริ่มต้นของการวัดการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต

5) วิธีการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต ซึ่งประกอบด้วย การหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต ซึ่งมีรายละเอียดของการทดสอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

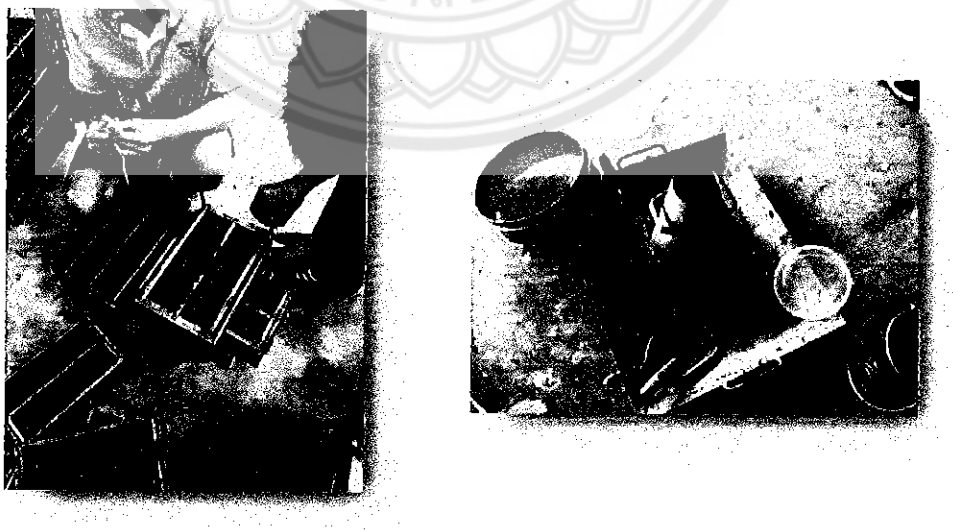
3.4.1. วิธีการเตรียมวัสดุก่อนการผสมคอนกรีต

3.4.1.1 วิธีการเตรียมวัสดุก่อนการผสมคอนกรีต โดยการหาค่าความถ่วงจำเพาะในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งของมวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด ค่าการดูดซึมของมวลรวมละเอียด และขนาดคละ

3.4.1.2 การคำนวณการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแสดงในตาราง4 และตาราง5

3.4.1.3 การเตรียมแบบหล่อแท่งคอนกรีตและอุปกรณ์วัดค่าการยุบตัว ดังแสดงดังรูปที่ 3.9

การเตรียมแบบหล่อแท่งคอนกรีต
- เช็ดทำความสะอาดแล้วนำแต่ละชิ้นส่วนมาประกอบกัน
- นำดินน้ำมันมาอุดตามรอยต่อของแบบ
- ทาน้ำมันให้ทั่วแบบ



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการเตรียมแบบหล่อคอนกรีตและอุปกรณ์วัดค่าการยุบตัว

ตารางที่ 3.1 ขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตของทรายบก

Mix Proportion		γ1.4wc35sa32r0	γ1.4wc35sa48r0	γ1.4wc55sa32r0	γ1.4wc55sa48r0
γ		1.40	1.40	1.40	1.40
w/c		0.35	0.35	0.55	0.55
Sp (%)		0.80	0.80	-	-
C		14.01	14.01	10.79	9.00
W		4.85	4.85	5.94	4.95
G	1"	-	-	-	-
	3/4"	3.72	2.85	3.72	2.37
	1/2"	-	-	-	-
	3/8"	26.04	19.35	25.50	11.86
	No.4	5.58	4.84	6.10	7.11
	No.8	1.86	1.42	1.86	2.37
	Sum	37.2	28.45	37.18	23.71
S		17.14	25.71	16.88	21.43
SP (g)		0.093	0.093	-	-
Slump (cm)		9.50	10.50	16.00	10.75

ตารางที่ 3.2 ขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตของทรายแม่น้ำ

Mix Proportion		γ1.4wc35sa 32r0	γ1.4wc35sa 42r0	γ1.4wc35sa 48r0	γ1.4wc55sa 32r0	γ1.4wc55sa 42r0	γ1.4wc55sa 48r0
γ		1.40	1.40	1.40	1.40	1.40	1.40
w/c		0.35	0.35	0.35	0.55	0.55	0.55
Sp (%)		0.80	0.80	0.80	-	-	-
C		11.67	11.67	11.67	9.00	9.00	9.00
W		4.04	4.03	4.04	4.95	4.95	4.95
G	1"	-	-	-	-	-	-
	3/4"	3.10	2.64	2.37	3.10	2.64	2.37
	1/2"	-	-	-	-	-	-
	3/8"	10.85	13.88	8.30	18.60	13.88	11.86
	No.4	13.95	8.59	10.67	6.20	8.59	7.11
	No.8	3.10	1.32	2.37	3.10	1.32	2.37
	Sum	31.00	26.44	23.71	3.100	26.44	23.71
S		142.9	18.75	21.43	14.29	18.75	21.43
SP (g)		0.093	0.093	0.093	-	-	-
Slump (cm)		16.25	7.25	8.50	12.25	8.00	9.75

3.4.2. ขั้นตอนการผสมคอนกรีต

ขั้นตอนการผสมคอนกรีตเริ่มจากการคำนวณการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต แสดงในตาราง4 และตาราง5 จากนั้นชั่งน้ำหนักและเตรียมส่วนผสมต่างๆ ตามที่คำนวณไว้ในตารางข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 น้ำสะอาด สารเคมีผสมเพิ่ม (สำหรับส่วนผสมที่ใช้สารเคมีผสมเพิ่ม) หินและทราย ซึ่งอยู่ในสรูปอิ่มตัวผิวแห้ง ก่อนการผสมคอนกรีตทุกครั้งจะมีการเคลือบเครื่องผสมคอนกรีตด้วยมอร์ต้า เพื่อป้องกันการดูดซึมน้ำของเครื่องผสมคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 3.11 จากนั้นนำทรายและหินใส่ลงในเครื่องผสมคอนกรีต จากนั้นนำปูนซีเมนต์ที่เตรียมไว้ค่อยๆ ใส่ลงไปในเครื่องผสมตามลำดับ และทำการผสมแห้งประมาณ 2 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.12 จากนั้นใส่น้ำลงในเครื่องผสมคอนกรีตเพื่อทำการผสมเปียก โดยแบ่งออกเป็นอยู่ 2 ลักษณะ ได้แก่ ส่วนผสมที่ใช้สารเคมีผสมเพิ่ม จะใส่น้ำที่เตรียมไว้ โดยการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน คือ ส่วนแรกเป็นน้ำเพียงอย่างเดียวและส่วนที่สองเป็นน้ำผสมสารเคมีผสมเพิ่ม (สำหรับส่วนผสมที่ใช้สารเคมีผสมเพิ่ม) ซึ่งการใส่น้ำเพียงอย่างเดียวหรือน้ำผสมสารเคมีผสมเพิ่ม จะต้องพยายามใส่ให้น้ำกระจายและทั่วถึงวัสดุผสม จากนั้นทำการผสมเปียกประมาณ 1-2 นาที และสำหรับส่วนผสมที่ไม่ใช้สารเคมีผสมเพิ่ม จะใส่น้ำที่เตรียมไว้ โดยการแบ่งน้ำออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน ซึ่งการใส่น้ำจะต้องพยายามใส่ให้น้ำกระจายและทั่วถึงวัสดุผสม และทำการผสมเปียกประมาณ 1 - 2 นาที ดังแสดงในรูปที่ 3.13 เทคอนกรีตลงในแบบหล่อปริซึม ซึ่งงานวิจัยนี้ทดสอบแบบหล่อที่มีขนาด 7.5 x 7.5 x 28.5 เซนติเมตร แล้วนำไปวางบนเครื่องเขย่าคอนกรีต ทำการเขย่าประมาณ 20 - 30 วินาที แล้วนำไปเก็บในที่ร่มที่จัดเตรียมไว้ และปิดบริเวณผิวหน้าของคอนกรีตด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น ดังแสดงในรูปที่ 3.14 แกะคอนกรีตออกจากแบบเมื่ออายุครบระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายและเพิ่มอีก 2 ชั่วโมง เพื่อเริ่มต้นวัดค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต และส่วนผสมที่วัดการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต จากนั้นนำคอนกรีตไปบ่มในน้ำ ½ ชั่วโมง จนอายุครบ 24 ชั่วโมง (1 วัน) แล้วทำการวัดการวัดค่าการหดตัวของคอนกรีต โดยการศึกษากรณีนี้จะทำการวัดบ่มน้ำจนครบ 7 วัน แล้วนำคอนกรีตขึ้นจากน้ำ และวางคอนกรีตบนชั้นวางก้อนตัวอย่างคอนกรีตในห้องควบคุมอุณหภูมิ แล้วทำการวัดการวัดค่าการหดตัวของคอนกรีต โดยการศึกษาทั้งกรณีนี้จะทำการวัดค่าการหดตัวจนการหดตัวของคอนกรีตมีค่าคงที่

รูปที่ 3.10 แสดงน้ำหนักและการเตรียมวัสดุก่อนการผสมคอนกรีต

รูปที่ 3.11 การเคลือบเครื่องผสมด้วยซีเมนต์มอร์ต้า เพื่อป้องกันการดูดซึมน้ำของเครื่องผสมคอนกรีต

3.4.3 วิธีการทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต

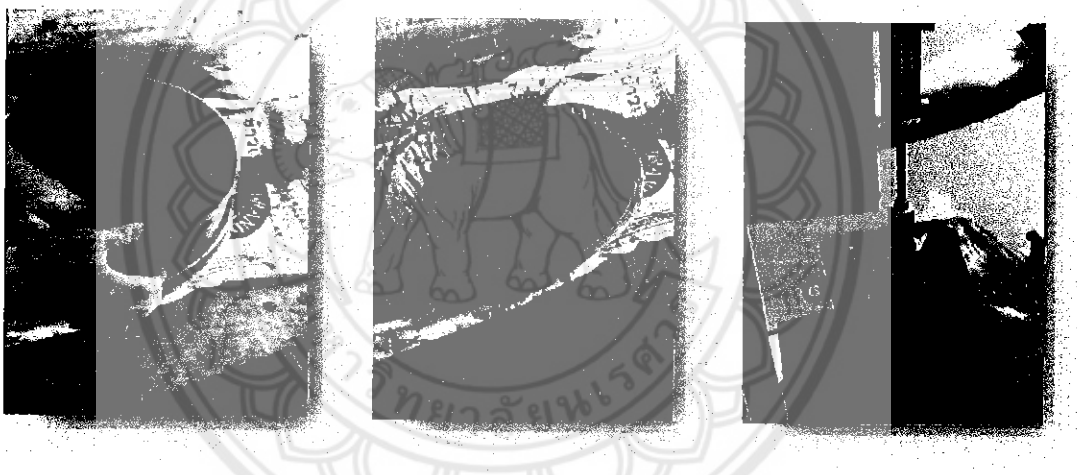
การทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต ตามมาตรฐานASTM C143[24] เป็นวิธีการทดสอบหาปริมาณน้ำที่พอเหมาะสำหรับคอนกรีต เพื่อให้คอนกรีตมีความข้นเหลวเหมาะที่จะนำไปใช้งานอย่างมีประสิทธิรูป โดยไม่ให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงกำหนดค่าการยุบตัวของคอนกรีตระหว่าง 7.5 – 12.5 เซนติเมตร สำหรับส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ เพื่อหาปริมาณสารเคมีผสมเพิ่ม ชนิดสารลดน้ำพิเศษที่เหมาะสม เพื่อทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ โดยคอนกรีตในแต่ละส่วนผสมจะใช้สารเคมีผสมเพิ่ม ชนิดสารลดน้ำพิเศษในปริมาณที่ไม่เท่ากันทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าการยุบตัวของคอนกรีตระหว่าง 7.5 - 12.5 เซนติเมตร ซึ่งก่อนการผสมจริงทุกครั้งต้องทำการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต โดยถ้าส่วนผสมคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวมากกว่า 12.5 เซนติเมตร จะไม่ใส่สารเคมีผสมเพิ่ม ชนิดสารลดน้ำพิเศษ และในทางกลับกันถ้าค่าการยุบตัวมีค่าต่ำกว่า 7.5 เซนติเมตร จะต้องทำการทดสอบผสมคอนกรีตใหม่ โดยการใส่สารเคมีผสมเพิ่ม ชนิดสารลดน้ำพิเศษไปในส่วนผสมนั้นๆ เพื่อให้ค่าการยุบตัวอยู่ระหว่าง 7.5 - 12.5 เซนติเมตร โดยแสดงค่าการยุบตัวของคอนกรีตแสดงดังรูปที่ 3.15

รูปที่ 3.15 การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต

3.4.4 วิธีการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต ตามมาตรฐานASTM C191[25] เพื่อใช้ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายและเพิ่มอีก 2 ชั่วโมง เป็นจุดเริ่มต้นของการวัดการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต ซึ่งระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต ที่ใช้ทดสอบการก่อตัวมีขนาด 15 x 15 x 15 เซนติเมตร ในแต่ละส่วนผสมใช้จำนวน 2 ตัวอย่าง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายและเพิ่มอีก 2 ชั่วโมง จะใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดเวลาเริ่มวัดการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต เนื่องจากการทดสอบพบว่าเป็นระยะเวลาที่พอเหมาะ สำหรับการแข็งตัวของคอนกรีตและคอนกรีตไม่ก่อให้เกิดความเสียหายเมื่อแกะแบบ และง่ายต่อการห่อหุ้มและเริ่มต้นวัดการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีตได้อย่างเหมาะสม การหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ การทดสอบหาระยะตั้งแต่เริ่มทำการ

ผสมคอนกรีตจนกระทั่งคอนกรีตไม่มีคุณสมบัติการลื่นไหลหรือมีคุณสมบัติพลาสติกได้อีกต่อไป หรือเรียกช่วงระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้น ณ จุดแข็งตัวของคอนกรีต และระยะตั้งแต่เริ่มผสมคอนกรีตจนกระทั่งคอนกรีตเปลี่ยนสรูปเป็นของแข็ง หรือเรียก ระยะเวลาการก่อตัวสุดท้าย ณ จุดแข็งตัวสุดท้ายของคอนกรีต โดยระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ 276 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งค่าเหล่านี้เป็นค่าที่กำหนดขึ้นโดยการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตด้วยวิธีการหาความต้านทานต่อการกด (Penetration Resistance) ของมอร์ต้าที่ได้จากการร่อนส่วนผสมคอนกรีตผ่านตะแกรงร่อนตามมาตรฐานดังแสดงในรูปที่ 3.16 จากการศึกษาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต เนื่องการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีตจะมีเปลี่ยนแปลงมากในช่วงระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นก่อนการแข็งตัวของคอนกรีต แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำการวัดการหดตัวได้เพราะว่าคอนกรีตอยู่ในสรูปไม่แข็งตัว ดังนั้นการวัดการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีตจึงทำการวัดหลังจากระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายของคอนกรีต



รูปที่ 3.16 การร่อนส่วนผสมคอนกรีตผ่านตะแกรงเบอร์4 และการทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต

3.4.5 วิธีการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต

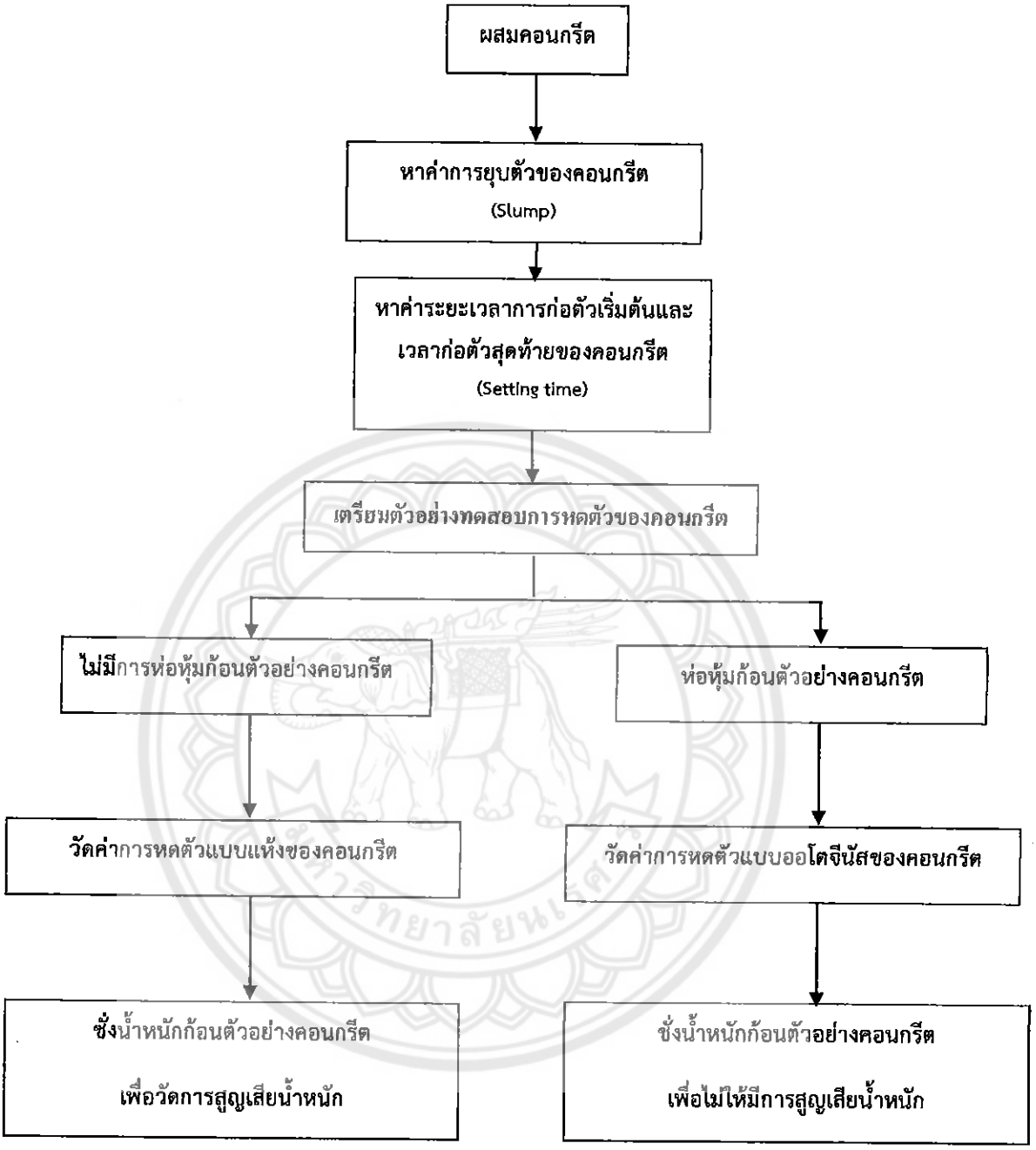
ในหัวข้อนี้จะเป็นการกล่าวถึง การเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การเตรียมตัวอย่างการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต วิธีการทดสอบการหดตัวแบบออโตจีนัสและวิธีการทดสอบการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต โดยมีรายละเอียดวิธีการทดสอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.4.5.1 วิธีการเตรียมตัวอย่างการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต

วิธีการเตรียมตัวอย่างการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตในหัวข้อนี้ คือ การเตรียมตัวอย่างการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต โดยมีรายละเอียดวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

ก.) การเตรียมตัวอย่างการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต

การเตรียมตัวอย่างการทดสอบการหดตัวของคอนกรีต แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การเตรียมตัวอย่างการวัดการหดตัวแบบออโตจีนัสและการเตรียมตัวอย่างการวัดการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต ซึ่งการเตรียมตัวอย่างของการวัดการหดตัวทั้งสองนี้ มีลักษณะการเตรียมที่แตกต่างกัน คือ การวัดการหดตัวแบบออโตจีนัสจะมีการห่อหุ้มตัวอย่างคอนกรีตเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นออกจากก้อนตัวอย่าง ส่วนการวัดการหดตัวโดยรวมของคอนกรีตจะไม่มีการห่อหุ้มก้อนตัวอย่าง ซึ่งการทดสอบการหดตัวทั้ง 2 ชนิด ใช้ตัวอย่างปริซึมขนาด 7.5 x 7.5 x 28.5 เซนติเมตร ในแต่ละส่วนผสมใช้ตัวอย่างจำนวน 4 ตัวอย่าง เก็บตัวอย่างไว้ในห้องควบคุมที่มีอุณหภูมิ 27-30 ^{0}C และความชื้นสัมพัทธ์ 45-55 % ตลอดการทดสอบ โดยมีรูปของการเตรียมตัวอย่างสำหรับการหาค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวโดยรวมของคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 3.17

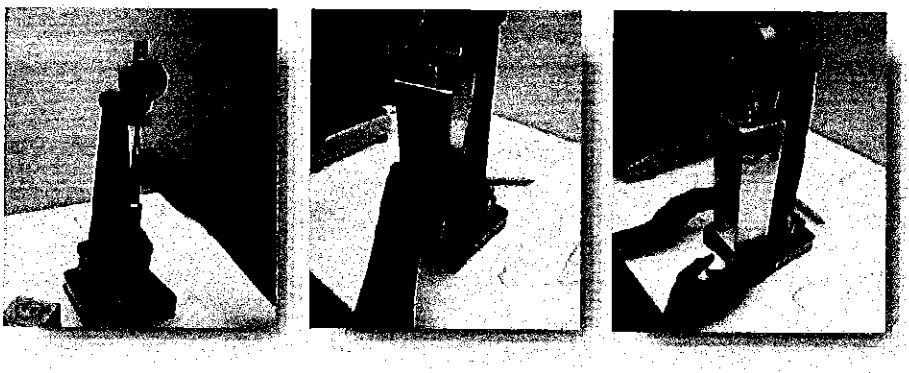


รูปที่ 3.17 กระบวนการตัวอย่างของการวัดค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต

ข.) วิธีการทดสอบการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต

ทดสอบการหดตัวแบบออโตจีนัส ตัวอย่างที่ใช้มีขนาด 7.5 x 7.5 x 28.5 เซนติเมตร จำนวน 4 ตัวอย่างเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ในงานวิจัยนี้เริ่มวัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของตัวอย่าง เมื่อคอนกรีตมีอายุครบระยะเวลาก่อตัวสุดท้ายและเพิ่มอีก 2 ชั่วโมง เพื่อให้ก้อนตัวอย่างมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะถอดออกจากแบบโดยไม่เกิดความเสียหาย การหดตัวแบบออโตจีนัสเป็นการหดตัวที่ไม่มีการสูญเสียความชื้นออกสู่สิ่งแวดล้อม จึงทำการห่อหุ้มก้อนตัวอย่างด้วยเทปอลูมิเนียมหนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชั้นตามด้วย พลาสติกใส 5 ชั้นและเทปกาวใส 2 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.18 วัดค่าการหดตัวพร้อมทั้งชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.19 และ รูปที่ 3.20 ตามลำดับ เพื่อตรวจสอบว่ามีน้ำระเหยออกจากตัวอย่างหรือไม่ การสูญเสียน้ำหนักต้องไม่เกินร้อยละ 0.05 ของน้ำหนักเริ่มต้น เก็บตัวอย่างไว้ในห้องควบคุมที่มีอุณหภูมิ 27-30^{0}C และความชื้นสัมพัทธ์ 45-55 % ตลอดการทดสอบ และเก็บก้อนตัวอย่างไว้บนชั้นวาง ดังแสดงในรูปที่ 3.21

รูปที่ 3.18 การห่อหุ้มก้อนตัวอย่างคอนกรีตแบบออโตจีนัส



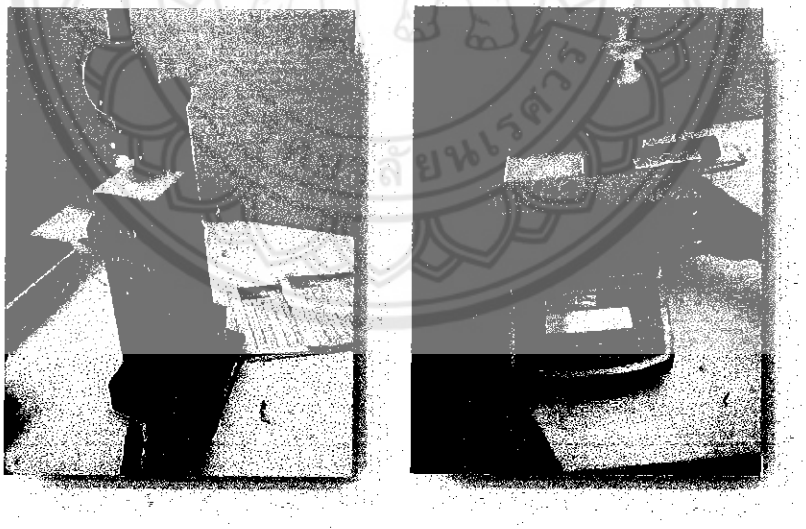
รูปที่ 3.19 การวัดก้อนตัวอย่างคอนกรีตแบบออโตจีนัส

รูปที่ 3.20 ชั่งน้ำหนักหาค่าการสูญเสียความชื้นของก้อนตัวอย่าง

รูปที่ 3.21 การเก็บก้อนตัวอย่างคอนกรีต เพื่อวัดการหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต

3.4.5.2 วิธีการทดสอบการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต

การหดตัวโดยรวมของคอนกรีตไม่สามารถวัดค่าได้จากก้อนตัวอย่างโดยตรง เนื่องจากก้อนตัวอย่างที่ไม่มีการหุ้มผิว (Unsealed Specimen) ยังคงมีการหดตัวแบบออโตจีนัสเกิดขึ้นได้ ทำให้ค่าที่วัดได้จากก้อนตัวอย่างที่ไม่หุ้มผิวเป็น "การหดตัวโดยรวมของคอนกรีต" คือ มีทั้งการหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวโดยรวมรวมกันอยู่ ซึ่งการหดตัวโดยรวมของคอนกรีตนี้จะเกิดขึ้นในช่วงก่อนการแข็งตัวของคอนกรีต แต่เมื่อคอนกรีตเกิดการแข็งตัวและยังคงสรูปมีการหดตัวไปเรื่อยๆ โดยที่ไม่มีการห่อหุ้มคอนกรีตนั้นจะเรียกการหดตัวในช่วงนี้ว่า "การหดตัวโดยรวมแบบสมบูรณ์" ดังนั้น ในการหาค่าการหดตัวโดยรวมจะต้องทำการวัดการหดตัวของก้อนตัวอย่างที่ถูกหุ้มและไม่ถูกหุ้มควบคู่กันไป ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการศึกษา "การหดตัวโดยรวมของคอนกรีต" การวัด คือ นำก้อนตัวอย่างคอนกรีตบ่มในน้ำ 7 วัน ทดสอบการหดตัวโดยรวมของคอนกรีตจะทดสอบ ตัวอย่างที่ใช้มีขนาด 7.5 x 7.5 x 28.5 เซนติเมตร จำนวน 4 ตัวอย่าง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย ถอดแบบเมื่ออายุครบ $23^{1}/_{2}$ ชั่วโมง โดยแบ่งการทดสอบ คือ นำคอนกรีตไปบ่มในน้ำเป็นระยะเวลาจนครบ 7 วัน ต่อจากนั้นนำก้อนตัวอย่างคอนกรีตมาวัดค่าการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต บันทึกค่าวันที่ 1 ของการทดสอบ (ครบ 24 ชั่วโมง) แสดงดังรูป 3.15 และนำมาเก็บไว้ในห้องควบคุมที่มีอุณหภูมิ 27-30 ^{0}C และความชื้นสัมพัทธ์ 45-55 % วัดค่าการเปลี่ยนแปลงความยาวพร้อมทั้งชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง ทั้งในช่วงที่บ่มในน้ำและหลังจากขึ้นจากน้ำ ซึ่งการวัดค่าการหดตัวจะกระทำตั้งแต่หลังจากการแกะคอนกรีตออกจากแบบหล่อ จนกระทั่งตัวอย่างมีการหดตัวคงที่ แสดงดังรูป3.22 และเก็บก้อนตัวอย่างไว้บนชั้นวาง



รูปที่ 3.22 การวัดค่าการหดตัวโดยรวมและชั่งน้ำหนักหาค่าการสูญเสียความชื้นของก้อนตัวอย่าง

บทที่ 4

ผลวิจัย

บทนี้เป็นการกล่าวถึงผลการศึกษาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน คือ การศึกษาผลของปัจจัยที่เกี่ยวข้องการหดตัวของคอนกรีต เพื่อใช้เป็นข้อมูลและแนวทางในการลดปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากการหดตัวของคอนกรีต โดยจะแบ่งผลการศึกษาระหว่าง ผลการหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดโดยรวมของคอนกรีต ซึ่งแบ่งการศึกษาตามปัจจัยต่างๆ ออกเป็น 3 ส่วน คือ

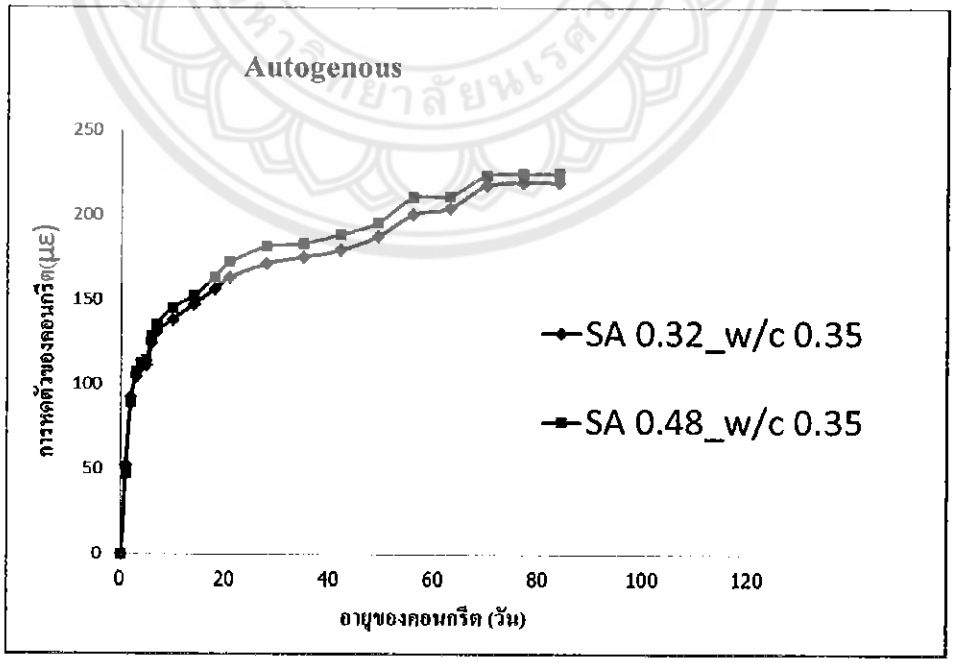
1. น้ำ
2. อัตราส่วนมวลรวม
3. ชนิดของมวลรวมละเอียด

4.1 ผลการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต

4.1.1 อัตราส่วนมวลรวมต่างกัน

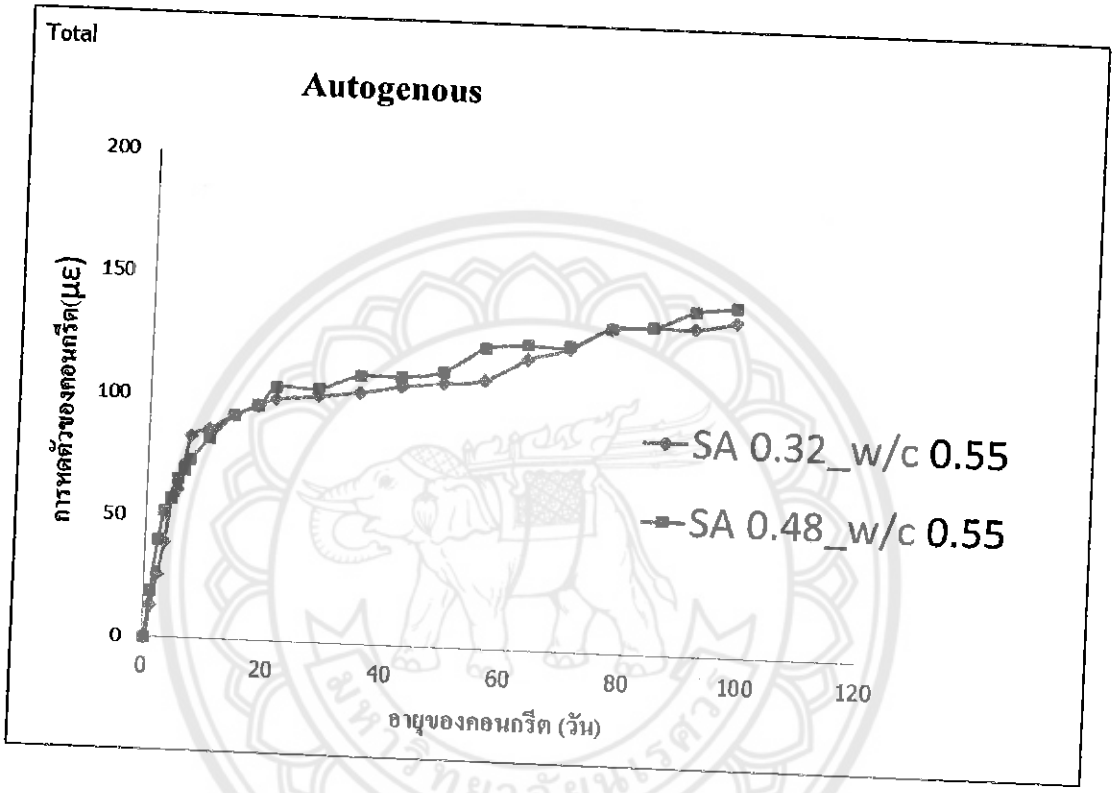
ผลการทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากันและเปรียบเทียบระหว่างทรายชนิดเดียวกัน

4.1.1.1 ทรายบก



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.32_w/c0.35 กับ SA0.48_w/c0.35

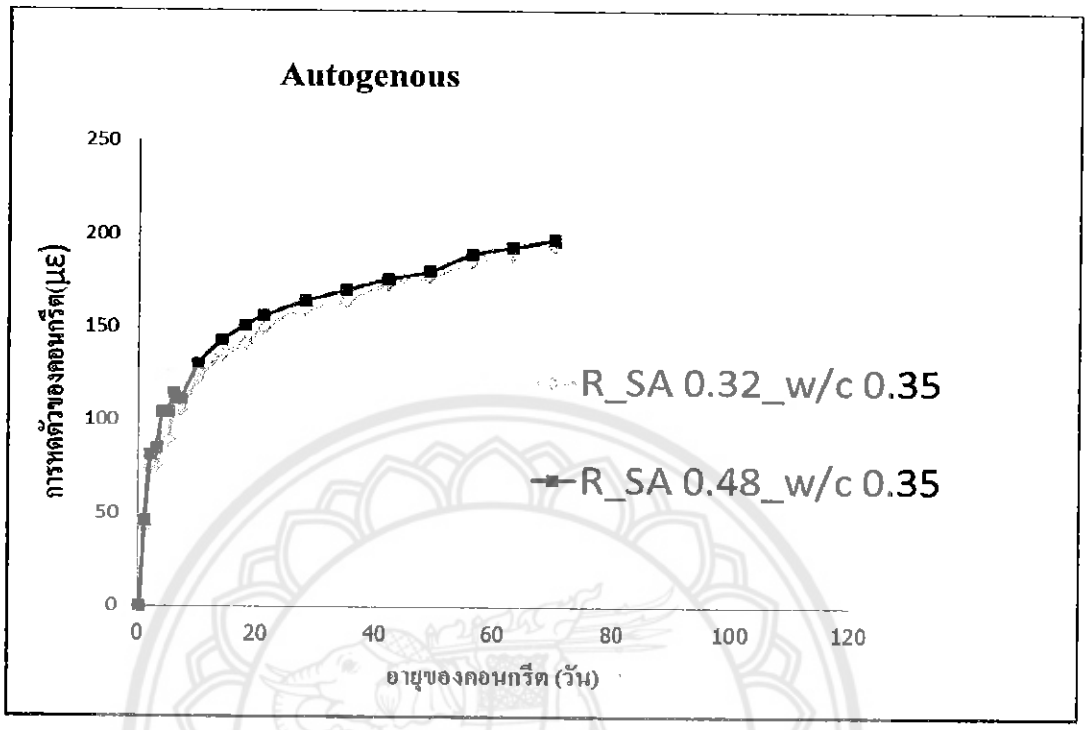
จากรูปที่ 4.1 ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 35 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 32 เนื่องจากปริมาณมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 48 มากกว่าปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 32 ในทางกลับกันมวลรวมหยาบร้อยละ 32 มีมากกว่าร้อยละ 48 จึงทำให้ประสิทธิภาพการต้านทานการยึดรั้งจากมวลรวมหยาบมากขึ้น ส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตมีค่ามาก



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.32_w/c0.55 กับ SA0.48_w/c0.55

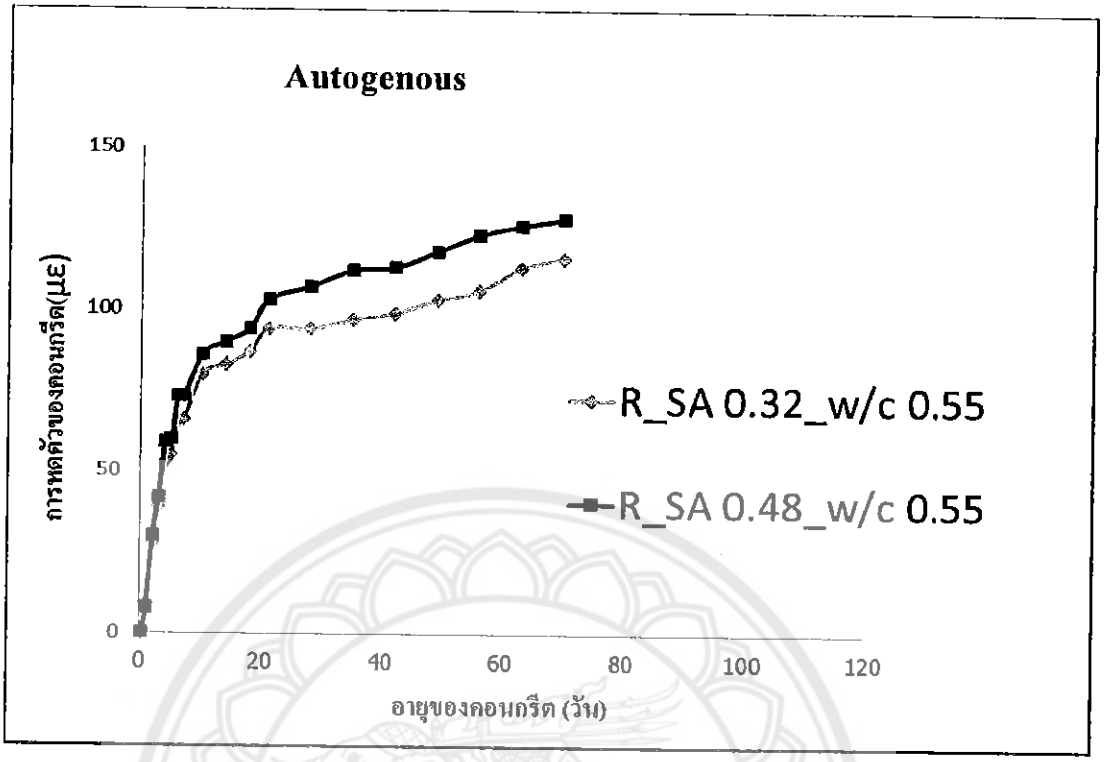
จากรูปที่ 4.2 ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 55 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 32 เนื่องจากปริมาณมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 48 มากกว่าปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 32 ในทางกลับกันมวลรวมหยาบร้อยละ 32 มีมากกว่าร้อยละ 48 จึงทำให้ประสิทธิภาพการต้านทานการยึดรั้งจากมวลรวมหยาบมากขึ้น ส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตมีค่ามาก

4.1.1.2 ทรายแม่น้ำ



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.35 กับ R_SA0.48_w/c0.35

จากรูปที่ 4.3 ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 35 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 32 เนื่องจากปริมาณมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 48 มากกว่าปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 32 ในทางกลับกันมวลรวมหยาบร้อยละ 32 มีมากกว่าร้อยละ 48 จึงทำให้ประสิทธิภาพการต้านทานการยึดรั้งจากมวลรวมหยาบมากขึ้น ส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตมีค่ามาก

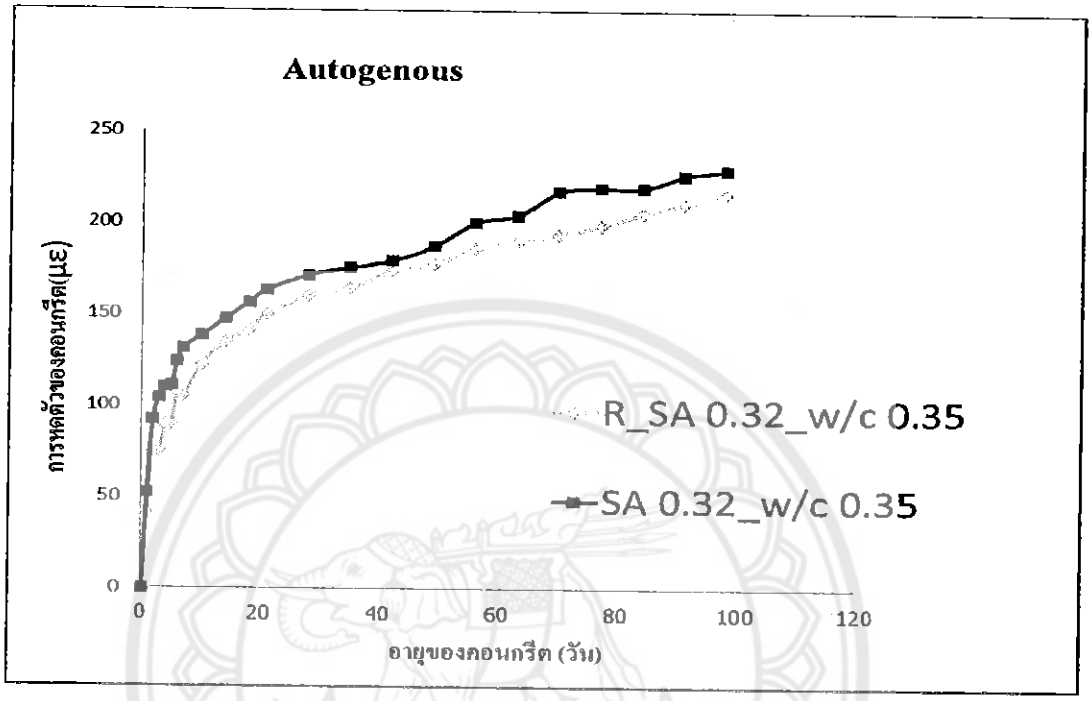


รูปที่ 4.4 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.55 กับ R_SA0.48_w/c0.55

จากรูปที่ 4.4 ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 55 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 32 เนื่องจากปริมาณมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 48 มากกว่าปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 32 ในทางกลับกันมวลรวมหยาบร้อยละ 32 มีมากกว่าร้อยละ 48 จึงทำให้ประสิทธิภาพการต้านทานการยึดรั้งจากมวลรวมหยาบมากขึ้น ส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตมีค่ามาก

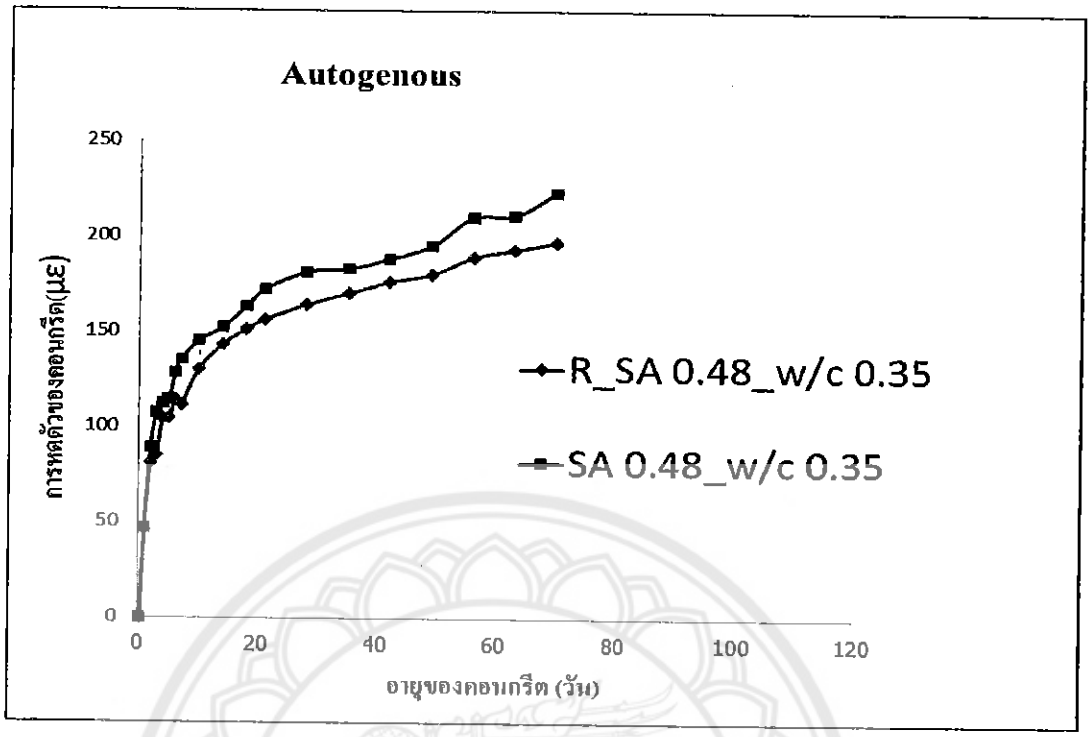
4.1.2 ชนิดทรายต่างกัน

ผลการทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และอัตราส่วนมวลรวมเท่ากัน



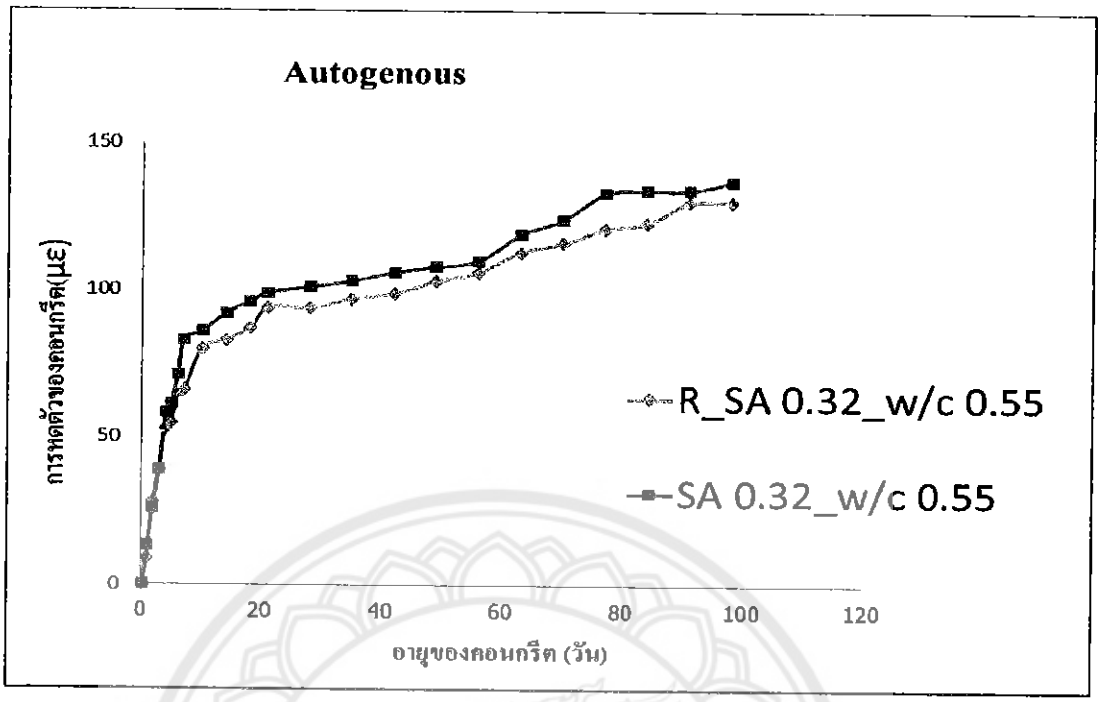
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.35 กับ SA0.32_w/c0.35

จากรูปที่ 4.5 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 32 และที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 35 ทรายบกมีค่าการหดตัวมากกว่าทรายแม่น้ำเล็กน้อย เนื่องจากทรายแม่น้ำมีขนาดคละที่โตกว่า จึงทำให้มีการยึดรั้งที่ดีกว่าทรายบก ที่มีขนาดคละเล็กว่า



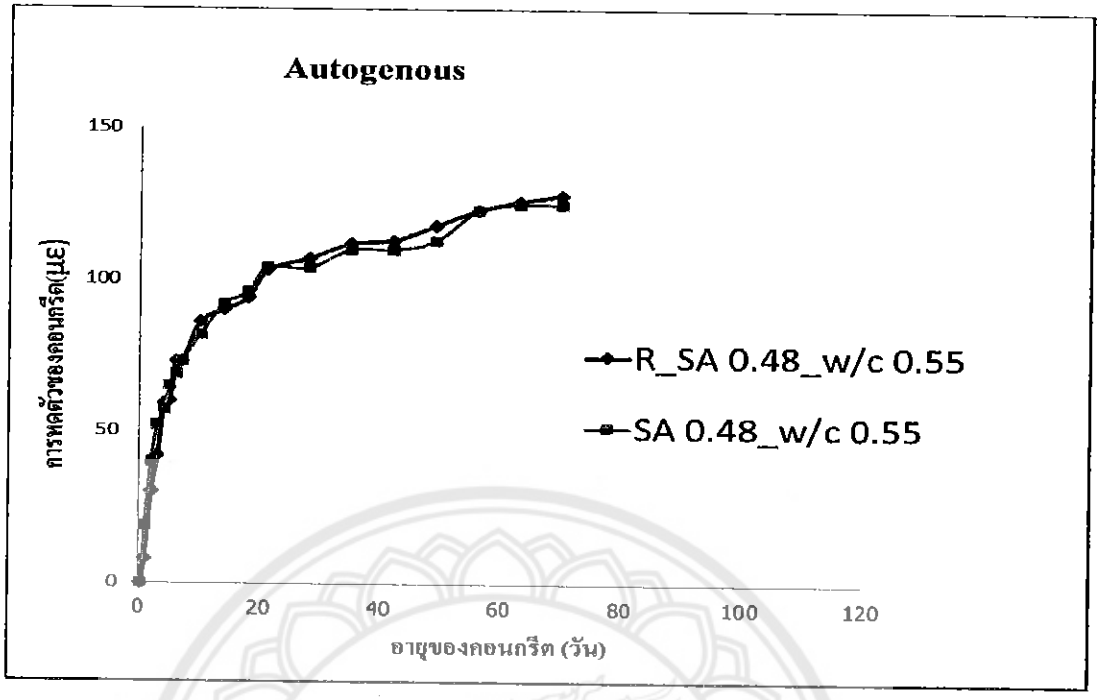
รูปที่ 4.6 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.48_w/c0.35 กับ SA0.48_w/c0.35

จากรูปที่ 4.6 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 และที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 35 ทรายบกมีค่าการหดตัวมากกว่าทรายแม่น้ำเล็กน้อย เนื่องจากทรายแม่น้ำมีขนาดคละที่โตกว่าทรายบกเล็กน้อย จึงทำให้มีการยึดรั้งที่ดีกว่า



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.55 กับ SA0.32_w/c0.55

จากรูปที่ 4.7 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 32 และที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 55 ทรายบกมีค่าการหดตัวมากกว่าทรายแม่น้ำเล็กน้อย เนื่องจากทรายแม่น้ำมีขนาดคละที่โตกว่าทรายบกเล็กน้อย จึงทำให้มีการยึดรั้งที่ดีกว่า



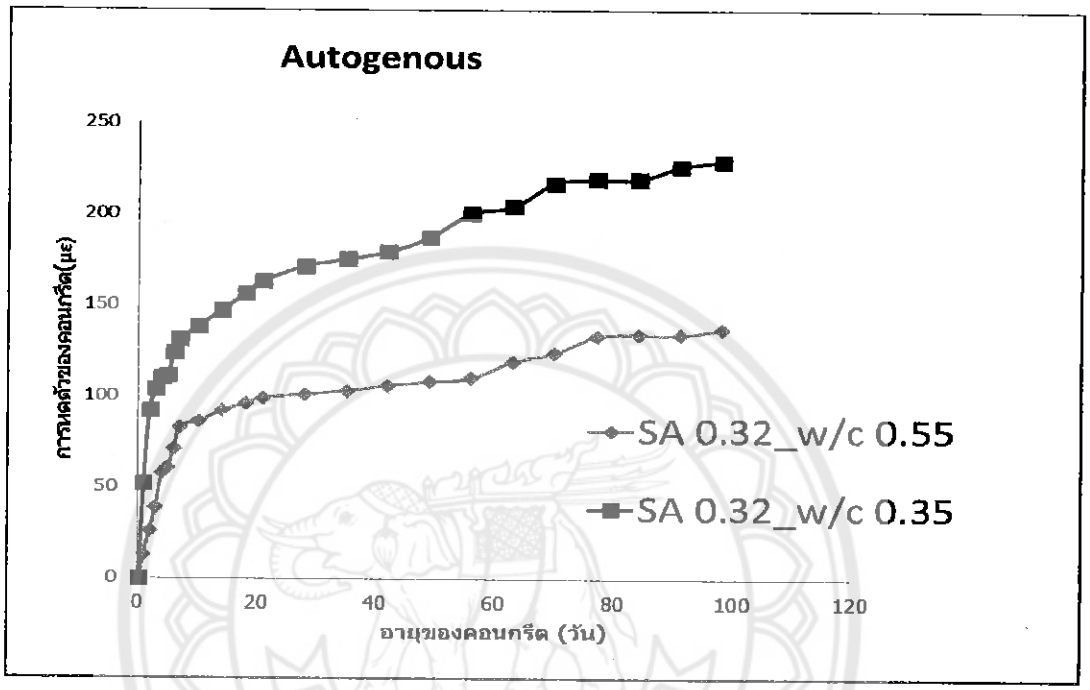
รูปที่ 4.8 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.48_w/c0.55 กับ SA0.48_w/c0.55

จากรูปที่ 4.8 อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 และที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 55 ทรายบกมีค่าการหดตัวใกล้เคียงกับทรายแม่น้ำ เนื่องจากขนาดคละของทรายบกและทรายแม่น้ำ มีขนาดใกล้เคียงกันมาก

4.1.3 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกัน

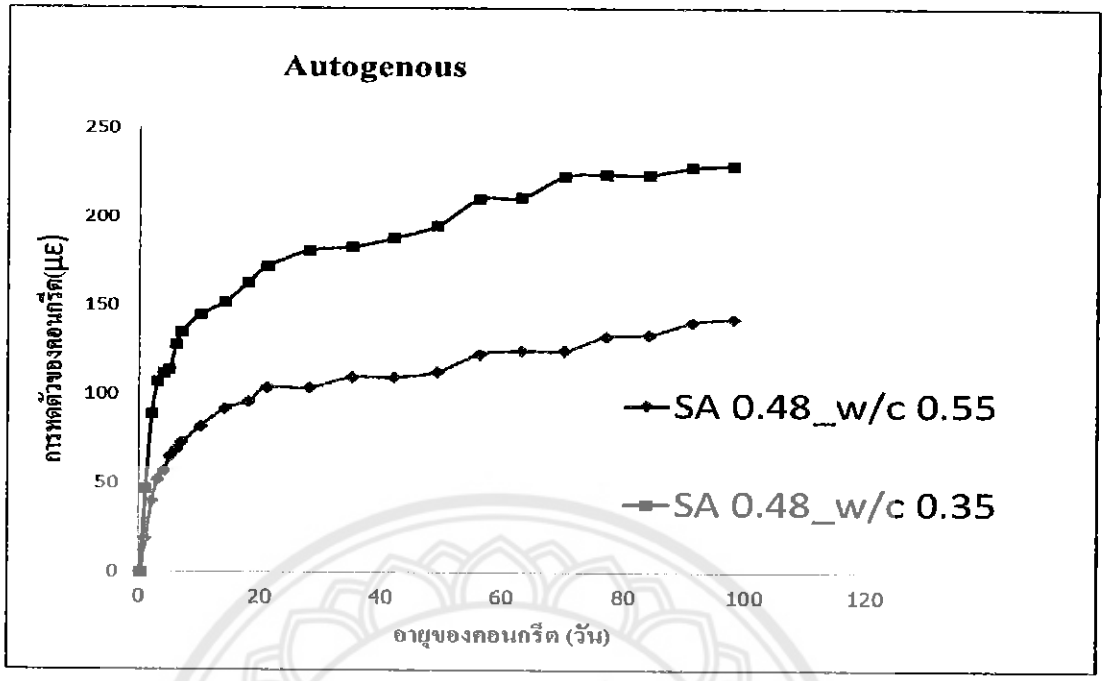
ผลการทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต โดยมีอัตราส่วนมวลรวมเท่ากันและเปรียบเทียบระหว่างทรายชนิดเดียวกัน

4.1.3.1 ทรายบก



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.32_w/c0.55 กับ SA0.32_w/c0.35

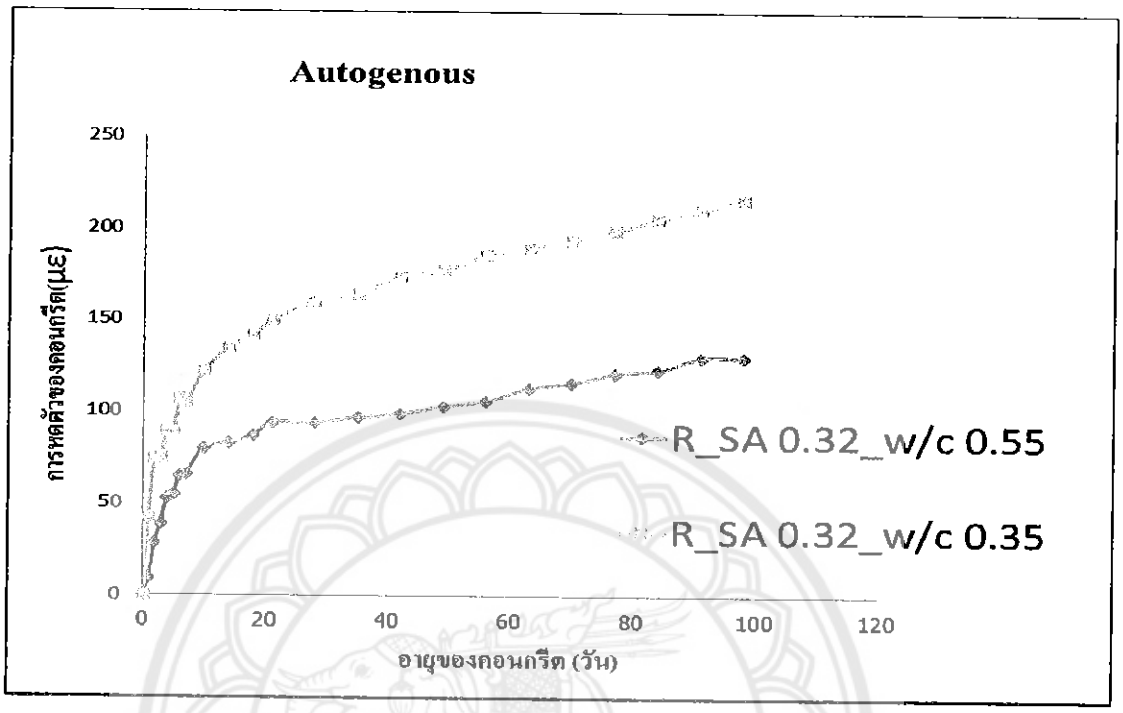
จากรูปที่ 4.9 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 32 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 35 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 55 เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นช่วงแรกต้องใช้น้ำ ทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในแท่งทดสอบลดลง และมีบางส่วนเกิดจากปฏิกิริยาเคมีของวัสดุ ที่เปลี่ยนไปทำให้ปริมาตรลดลง



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.48_w/c0.55 กับ SA0.48_w/c0.35

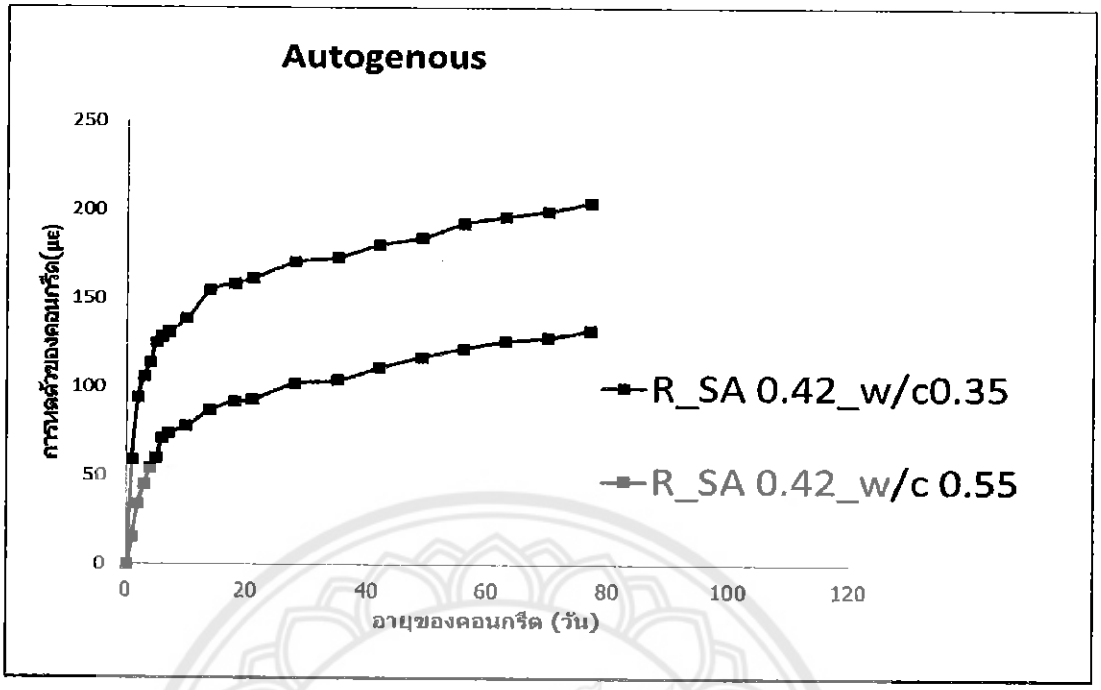
จากรูปที่ 4.10 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 35 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 55 เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นช่วงแรกต้องใช้น้ำ ทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในแท่งทดสอบลดลง และมีบางส่วนเกิดจากปฏิกิริยาเคมีของวัสดุ ที่เปลี่ยนไปทำให้ปริมาตรลดลง

4.1.3.2 ทรายแม่น้ำ



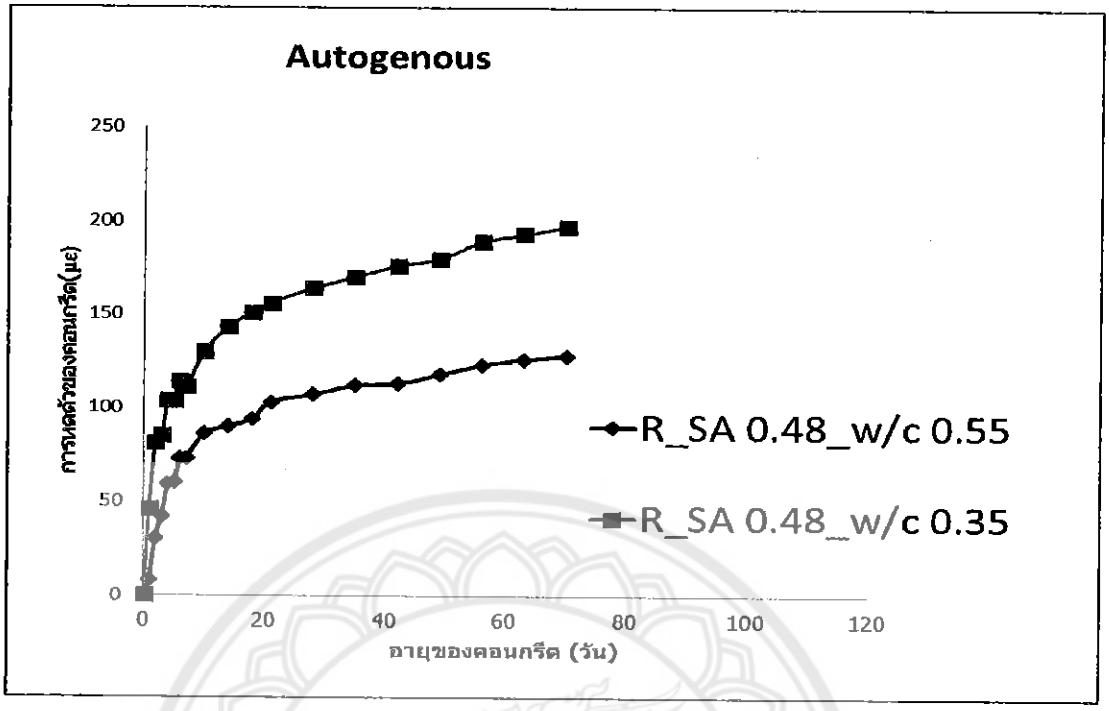
รูปที่ 4.11 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.55 กับR_SA0.32_w/c0.35

จากรูปที่ 4.11 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 32 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 35 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 55 เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นช่วงแรกต้องใช้น้ำ ทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในแท่งทดสอบลดลง และมีบางส่วนเกิดจากปฏิกิริยาเคมีของวัสดุ ที่เปลี่ยนไปทำให้ปริมาตรลดลง



รูปที่ 4.12 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.42_w/c0.35กับR_SA0.42_w/c0.55

จากรูปที่ 4.12 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 42 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 35 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 55 เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นช่วงแรกต้องใช้น้ำ ทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในแท่งทดสอบลดลง และมีบางส่วนเกิดจากปฏิกิริยาเคมีของวัสดุ ที่เปลี่ยนไปทำให้ปริมาตรลดลง



รูปที่ 4.13 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.48_w/c0.55กับR_SA0.48_w/c0.35

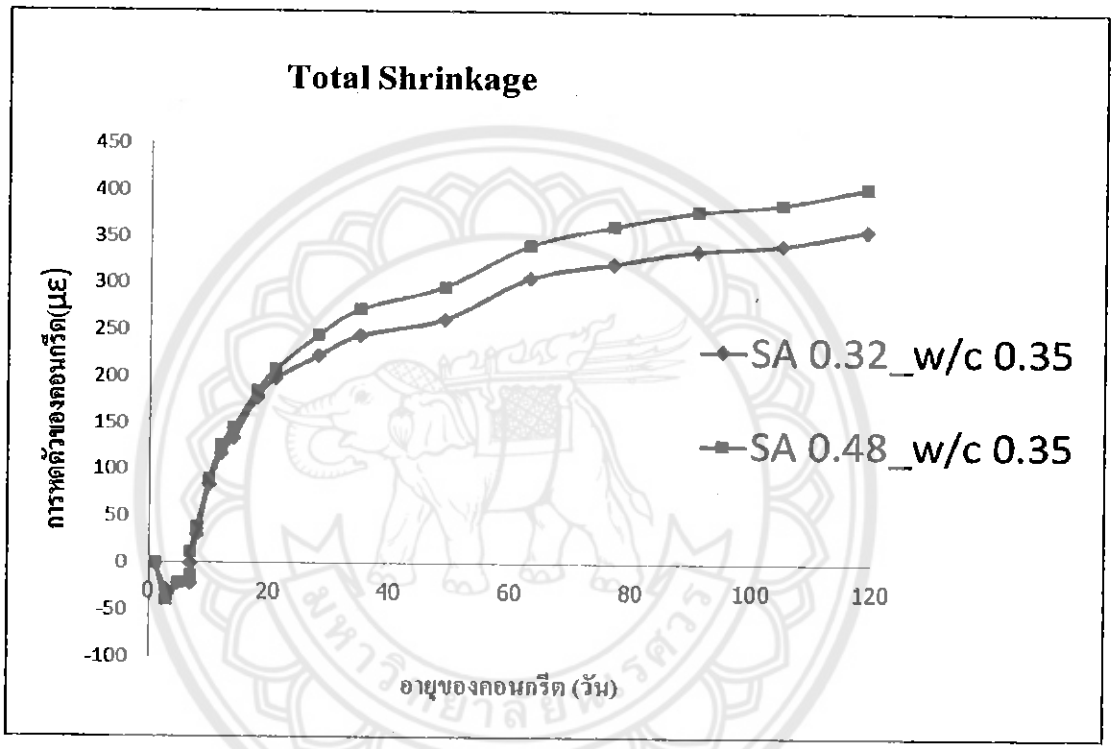
จากรูปที่ 4.13 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 35 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 55 เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นช่วงแรกต้องใช้น้ำ ทำให้ปริมาณน้ำที่อยู่ในแท่งทดสอบลดลง และมีบางส่วนเกิดจากปฏิกิริยาเคมีของวัสดุ ที่เปลี่ยนไปทำให้ปริมาตรลดลง

4.2 ผลการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต

4.2.1 อัตราส่วนมวลรวมต่างกัน

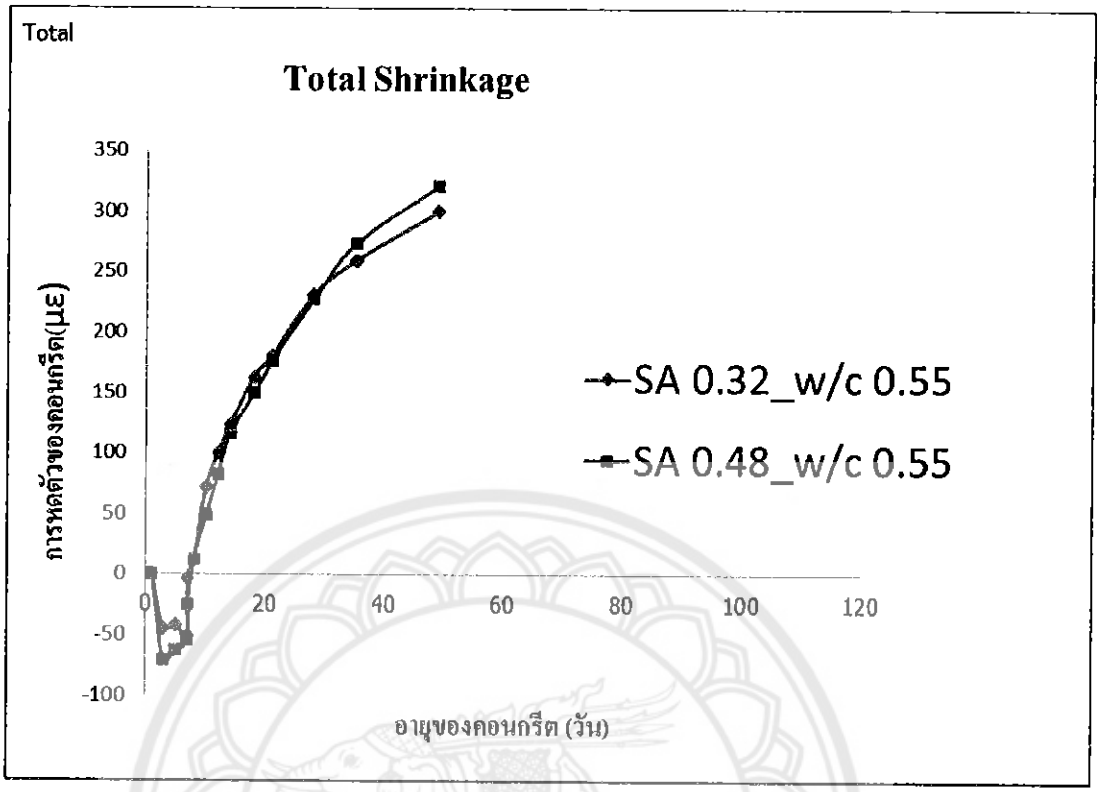
ผลการทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบค่าการหดตัวโดยรวม**ของคอนกรีต** โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากันและเปรียบเทียบระหว่างทรายชนิดเดียวกัน

4.2.1.1 ทรายบก



รูปที่ 4.14 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.32_w/c0.35 กับ SA0.48_w/c0.35

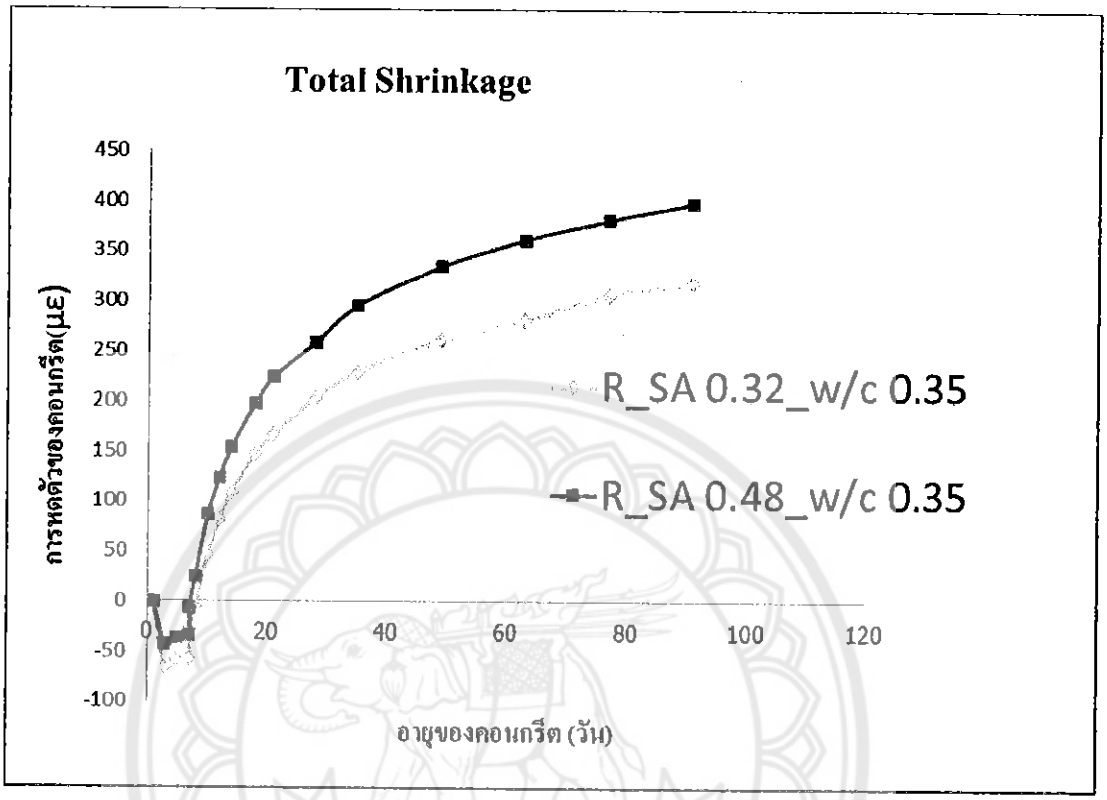
จากรูปที่ 4.14 ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 35 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 32 เนื่องจากปริมาณมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 48 มากกว่าปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 32 ในทางกลับกันมวลรวมหยาบร้อยละ 32 มีมากกว่าร้อยละ 48 จึงทำให้ประสิทธิภาพการต้านทานการยึดรั้งจากมวลรวมหยาบมากขึ้น ส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตมีค่ามาก



รูปที่ 4.15 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.32_w/c0.55 กับ SA0.48_w/c0.55

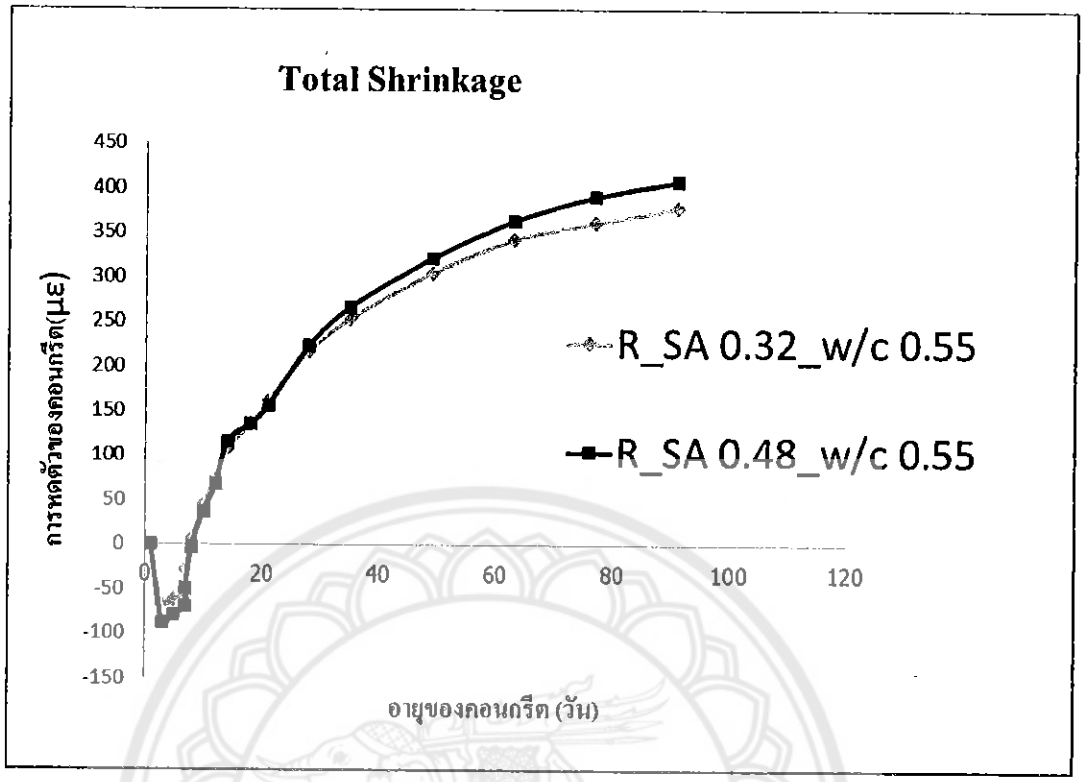
จากรูปที่ 4.15 ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 55 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 32 เนื่องจากปริมาณมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 48 มากกว่าปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 32 ในทางกลับกันมวลรวมหยาบร้อยละ 32 มีมากกว่าร้อยละ 48 จึงทำให้ประสิทธิภาพการต้านทานการยึดรั้งจากมวลรวมหยาบมากขึ้น ส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตมีค่ามาก

4.2.1.2 ทรายแม่น้ำ



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.35 กับ R_SA0.48_w/c0.35

จากรูปที่ 4.16 ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 35 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 32 เนื่องจากปริมาณมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 48 มากกว่าปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 32 ในทางกลับกันมวลรวมหยาบร้อยละ 32 มีมากกว่าร้อยละ 48 จึงทำให้ประสิทธิภาพการต้านทานการยึดรั้งจากมวลรวมหยาบมากขึ้น ส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตมีค่ามาก

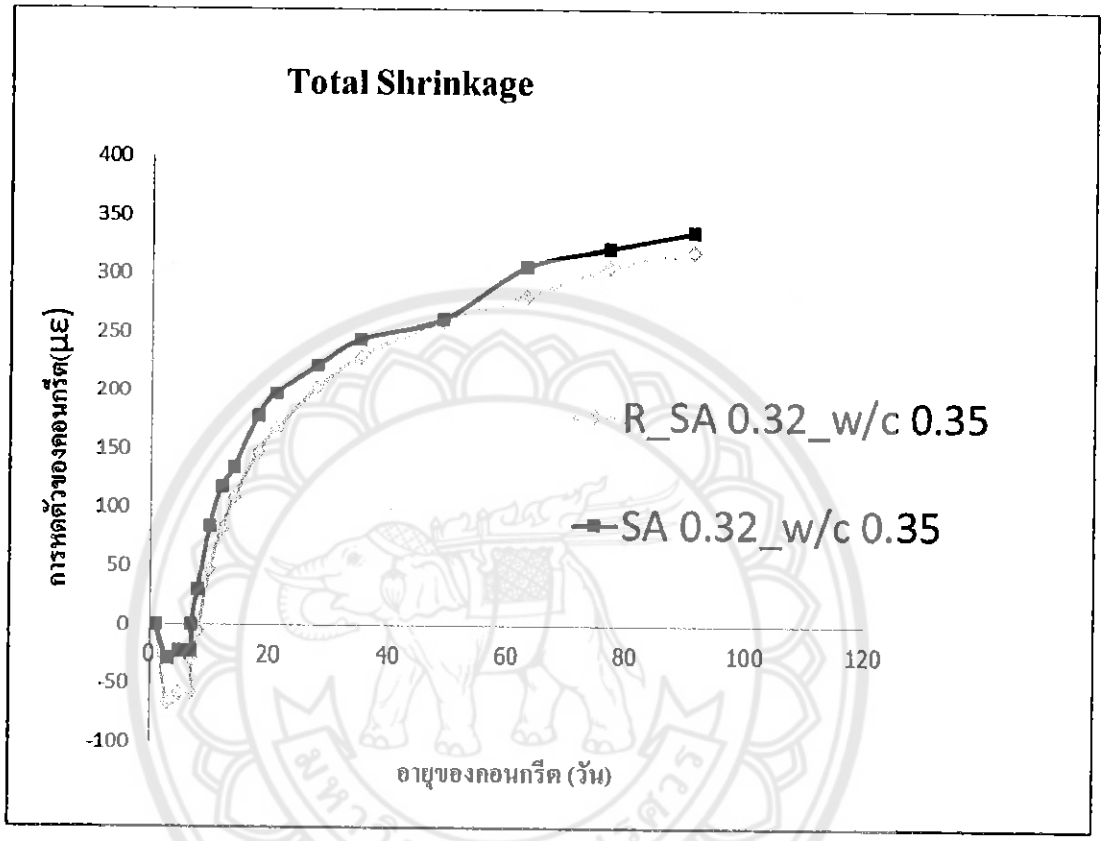


รูปที่ 4.17 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.55 กับ R_SA0.48_w/c0.55

จากรูปที่ 4.17 ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 55 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 32 เนื่องจากปริมาณมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 48 มากกว่าปริมาณมวลรวมละเอียดร้อยล่ะ 32 ในทางกลับกันมวลรวมหยาบร้อยละ 32 มีมากกว่าร้อยละ 48 จึงทำให้ประสิทธิภาพการต้านทานการยืดรั้งจากมวลรวมหยาบมากขึ้น ส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตมีค่ามาก

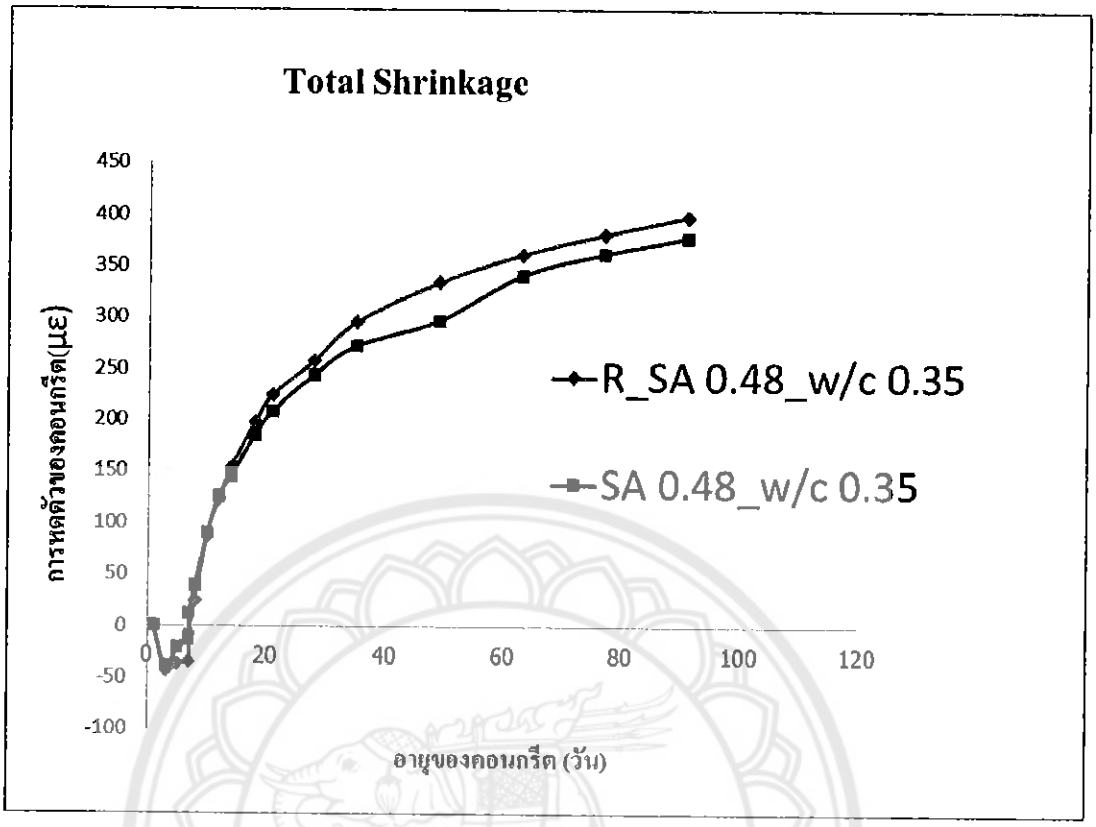
4.2.2 ชนิดทรายต่างกัน

ผลการทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบค่าการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต โดยมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และอัตราส่วนมวลรวมเท่ากัน



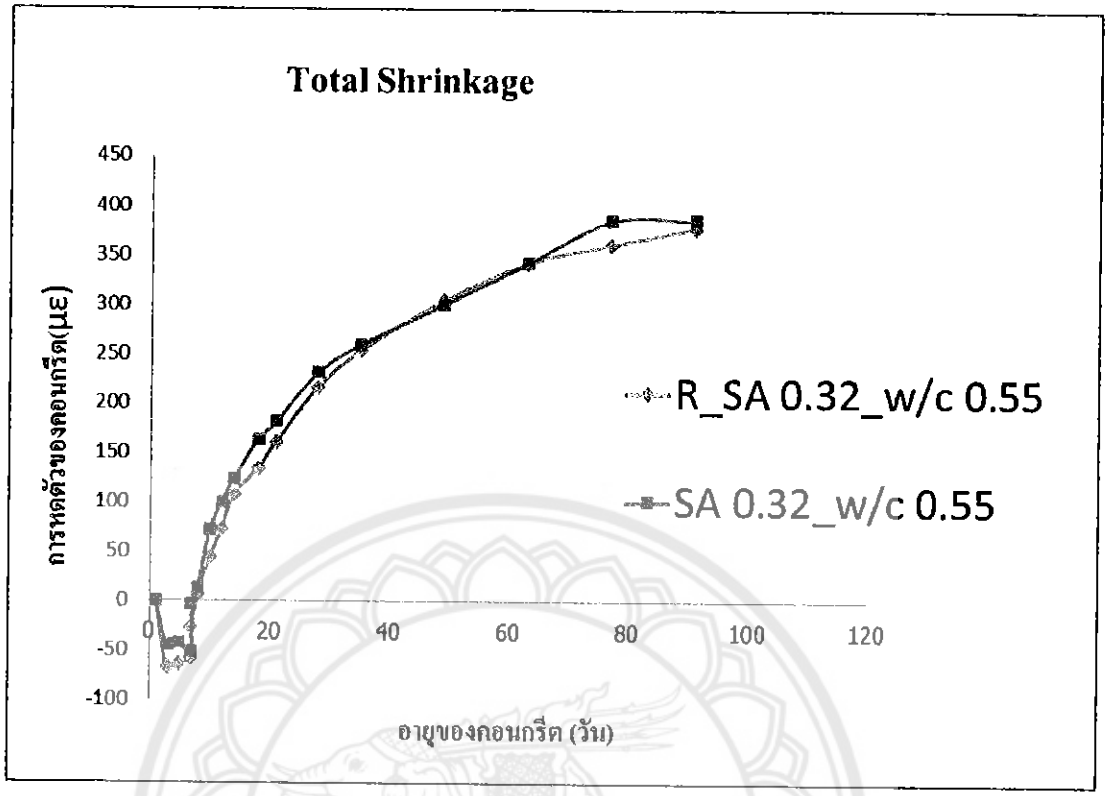
รูปที่ 4.18 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.35 กับ SA0.32_w/c0.35

จากรูปที่ 4.18 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 32 และที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 35 ทรายบกมีค่าการหดตัวมากกว่าทรายแม่น้ำ เนื่องจากทรายแม่น้ำมีขนาดคละที่โตกว่า จึงทำให้มีการยึดรั้งที่ดีกว่าทรายบก



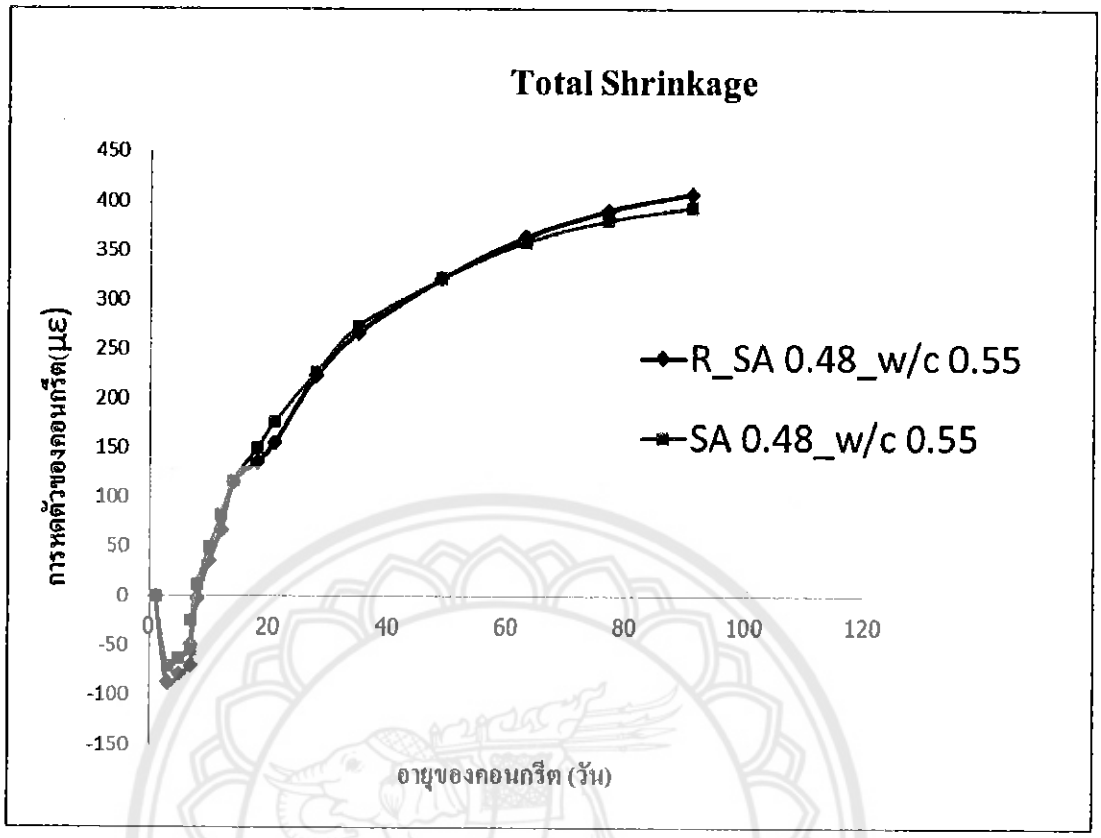
รูปที่ 4.19 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.48_w/c0.35 กับ SA0.48_w/c0.35

จากรูปที่ 4.19 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 และที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 35 ทรายแม่น้ำมีค่าการหดตัวมากกว่าทรายบก เนื่องจากในการนำทรายมาใช้อาจจะได้ในจุดที่ ขนาดคละของทรายบกมีขนาดใหญ่กว่า



รูปที่ 4.20 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.55 กับ SA0.32_w/c0.55

จากรูปที่ 4.20 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 32 และที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 55 ทรายบกมีค่าการหดตัวมากกว่าทรายแม่น้ำ เนื่องจากทรายแม่น้ำมีขนาดคละที่โตกว่า จึงทำให้มีการยึดรั้งที่ดีกว่าทรายบก ที่มีขนาดคละเล็กว่า



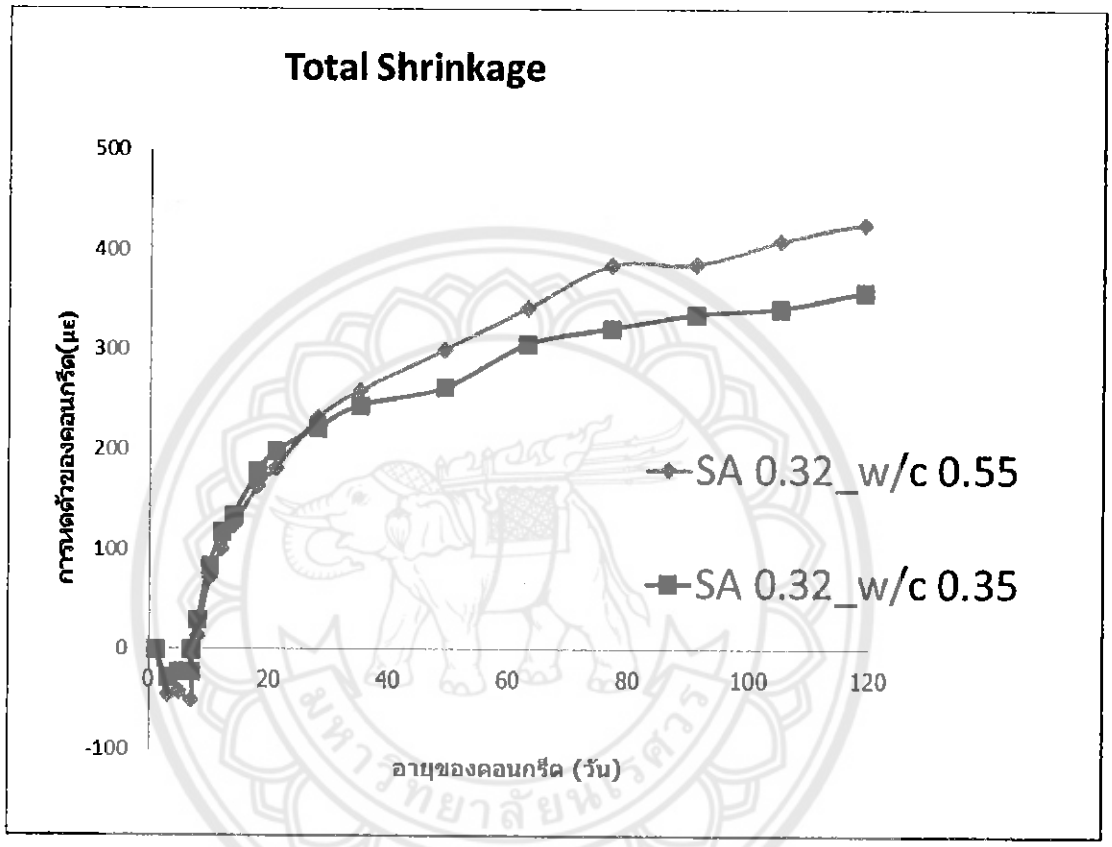
รูปที่ 4.21 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.48_w/c0.55 กับ SA0.48_w/c0.35

จากรูปที่ 4.21 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 และที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 55 ทรายบกมีค่าการหดตัวใกล้เคียงกับทรายแม่น้ำ เนื่องจากทรายแม่น้ำมีขนาดคละที่โตกว่า จึงทำให้มีการยึดรั้งที่ดีกว่าทรายบก ที่มีขนาดคละเล็กว่า

4.2.3 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกัน

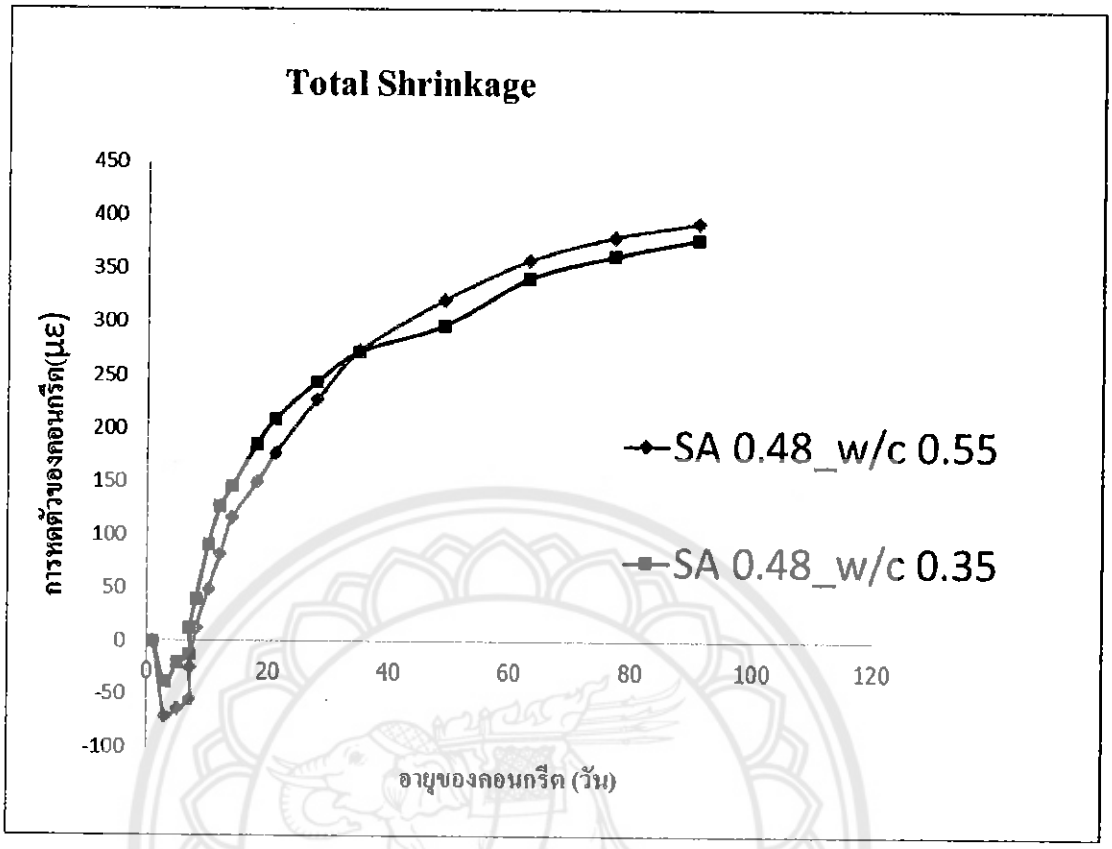
ผลการทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบค่าการหดตัวโดยรวมของคอนกรีต โดยมีอัตราส่วนมวลรวมเท่ากันและเปรียบเทียบระหว่างทรายชนิดเดียวกัน

4.2.3.1 ทรายบก



รูปที่ 4.22 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.32_w/c0.55 กับ SA0.32_w/c0.35

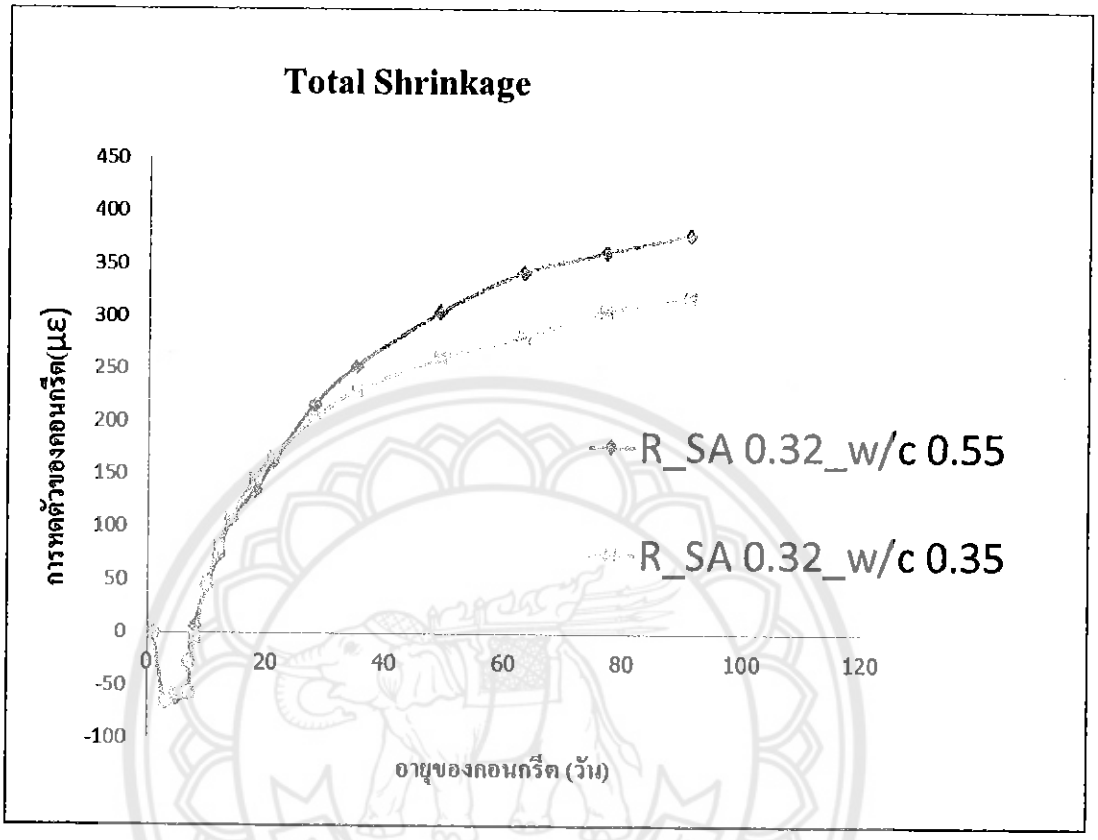
จากรูปที่ 4.22 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 32 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 55 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 35 เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต้องใช้น้ำ และบางส่วนระเหยสู่บรรยากาศ จึงเกิดช่องว่างภายในแท่งทดสอบทำให้แท่งทดสอบที่มีน้ำปริมาณมากหดตัวมากกว่า



รูปที่ 4.23 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง SA0.48_w/c0.55 กับ SA0.48_w/c0.35

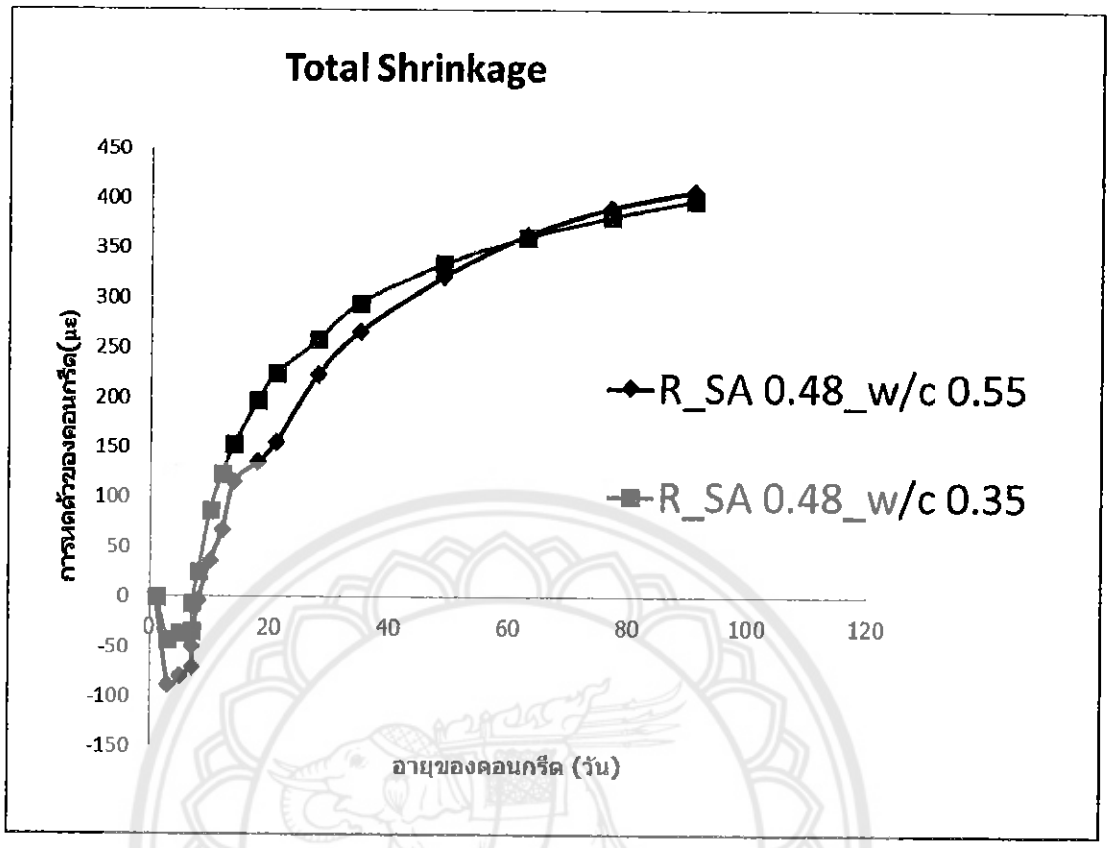
จากรูปที่ 4.23 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 55 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 35 เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต้องใช้น้ำ และบางส่วนระเหยสู่บรรยากาศ จึงเกิดช่องว่างภายในแท่งทดสอบทำให้แท่งทดสอบที่มีน้ำปริมาณมากหดตัวมากกว่า

4.2.3.2 ทรายแม่น้ำ



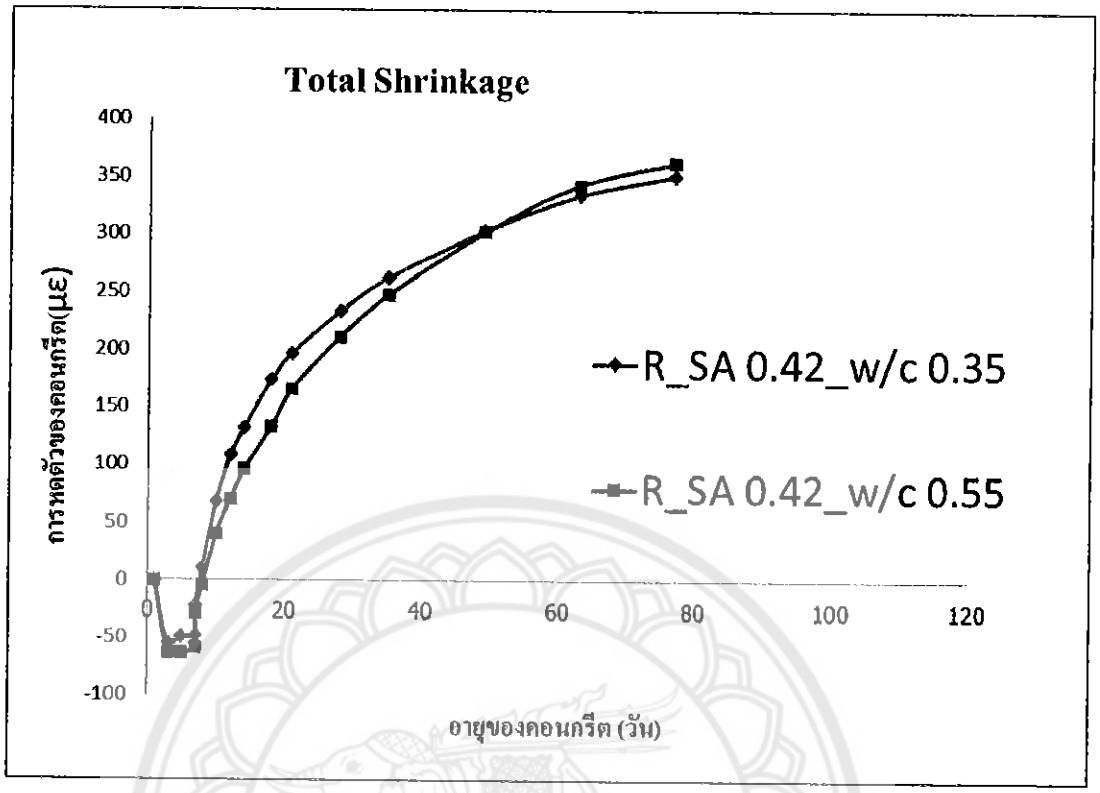
รูปที่ 4.24 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.32_w/c0.55 กับ R_SA0.32_w/c0.35

จากรูปที่ 4.24 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 32 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 55 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 35 เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต้องใช้น้ำ และบางส่วนระเหยสู่บรรยากาศ จึงเกิดช่องว่างภายในแท่งทดสอบทำให้แท่งทดสอบที่มีน้ำปริมาณมากหดตัวมากกว่า



รูปที่ 4.25 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.48_w/c0.55 กับ R_SA0.48_w/c0.35

จากรูปที่ 4.25 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 48 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 55 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 35 เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต้องใช้น้ำ และบางส่วนระเหยสู่บรรยากาศ จึงเกิดช่องว่างภายในแท่งทดสอบทำให้แท่งทดสอบที่มีน้ำปริมาณมากหดตัวมากกว่า



รูปที่ 4.26 แสดงกราฟเปรียบเทียบการหดตัวระหว่าง R_SA0.42_w/c0.35 กับ R_SA0.42_w/c0.55

จากรูปที่ 4.26 ที่อัตราส่วนมวลรวมร้อยละ 42 สรุปได้ว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ร้อยละ 55 มีค่าการหดตัวมากกว่าร้อยละ 35 เนื่องจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต้องใช้น้ำ และบางส่วนระเหยสู่บรรยากาศ จึงเกิดช่องว่างภายในแท่งทดสอบทำให้แท่งทดสอบที่มีน้ำปริมาณมากหดตัวมากกว่า

4.3 การวิเคราะห์ผลของปัจจัยและแนวทางในการหดตัวของคอนกรีต

หัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์ผลของการศึกษาปัจจัยและและคุณสมบัติของมวลรวม วัสดุ ที่ส่งผลต่อการหดตัวของคอนกรีต โดยแบ่งการสรุปออกเป็น 3 ส่วน คือ การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการหดตัวของคอนกรีต คือ น้ำ อัตราส่วนมวลรวม ชนิดของทราย และแนวทางในการนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งมีรายละเอียดการสรุปและวิเคราะห์ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

4.3.1 การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการหดตัวของคอนกรีต

4.3.1.1 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ก. การหดตัวแบบออโตจีนัสของ

การหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ลดลง เนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ ทำให้ปริมาณน้ำอิสระภายในคอนกรีตลดลง ซึ่งการหดตัวแบบออโตจีนัสเกิดจากการสูญเสียน้ำจากปฏิกิริยาไฮเดรชันออกจากช่องว่างคาปิลารี ดังนั้นเมื่อมีปริมาณน้ำอิสระลดลง จึงทำให้การหดตัวแบบออโตจีนัสสูง และการใช้ปริมาณน้ำในส่วนผสมน้อย ทำให้ขนาดของช่องว่างคาปิลารีเล็ก เมื่อลักษณะโครงสร้างของช่องว่างในซีเมนต์เพสต์ยิ่งมีขนาดเล็ก จะทำให้แรงดึงแบบคาปิลารี สูง จึงทำให้คอนกรีตเกิดการบีบอัดของแรงภายในช่องว่างคาปิลารี ส่งผลให้เกิด Self-desiccation มาก ค่าการหดตัวแบบออโตจีนัสจึงมีค่ามาก

ข. การหดตัวโดยรวมของคอนกรีต

การหดตัวโดยรวมของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ จะทำให้ปริมาณน้ำอิสระมีมาก ช่องว่างคาปิลารีในซีเมนต์มีขนาดใหญ่ การที่คอนกรีตมีช่องว่างคาปิลารีที่ใหญ่และจำนวนมาก จะทำให้น้ำสามารถระเหยออกจากคอนกรีตได้สะดวก ส่งผลให้เกิดแรงดึงในช่องว่างคาปิลารีมาก การหดตัวโดยรวมของคอนกรีตจึงมีค่ามาก

4.3.1.2 อัตราส่วนมวลรวม

ก. การหดตัวแบบออโตจีนัสของ

การหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนมวลรวมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นผิวสัมผัสของมวลรวมมีมากขึ้นจึงทำให้มีการดูดซึมน้ำมาก ส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตมีค่ามาก

ข. การหดตัวโดยรวมของคอนกรีต

การหดตัวโดยรวมของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนมวลรวมที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากพื้นผิวสัมผัสของมวลรวมมีมากขึ้นจึงทำให้มีการดูดซึมน้ำมาก และน้ำสามารถระเหยออกจากคอนกรีตได้สะดวก ส่งผลให้การหดตัวโดยรวมของคอนกรีตจึงมีค่ามาก

4.3.1.3 ชนิดทราย

ก. การหดตัวแบบออโตจีนัสของ

การหดตัวแบบออโตจีนัสของทรายบกจะมีค่าการหดตัวมากกว่าของทรายแม่น้ำ เนื่องจากขนาดคละของทรายบกเป็นแบบ Medium Grading ทำให้มีค่าการหดตัวมากกว่าแบบ Fine Grading ส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตมีค่ามาก

การหดตัวโดยรวมของคอนกรีต

การหดตัวโดยรวมของทรายบกจะมีค่าการหดตัวมากกว่าของทรายแม่น้ำ เนื่องจากขนาดคละของทรายบกเป็นแบบ Medium Grading ทำให้มีค่าการหดตัวมากกว่าแบบ Fine Grading ส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตมีค่ามาก

4.3.1.4 สภาพแวดล้อม

ก. ความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน

สภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต ซึ่งการหดตัวแบบออโตจีนัสเป็นการหดตัวที่เกิดจากการสูญเสียน้ำจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันภายในคอนกรีต โดยความชื้นสัมพัทธ์จากสภาพแวดล้อมภายนอกของคอนกรีตไม่ส่งผลกระทบใดๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์ภายในคอนกรีตได้

การหดตัวโดยรวมของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นตามความชื้นสัมพัทธ์ของสภาพแวดล้อมที่ลดลง เนื่องจากคอนกรีตในสภาวะแวดล้อมที่มีความความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ทำให้น้ำที่มีอยู่ภายในคอนกรีตสามารถระเหยออกสู่สภาพแวดล้อมได้ง่ายและปริมาณมาก การหดตัวจึงมีค่าเพิ่มขึ้น

ข. อุณหภูมิที่แตกต่างกัน

การหดตัวแบบออโตจีนัสและการหดตัวโดยรวมของคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงจะทำให้น้ำที่มีอยู่ภายในช่องว่างเกิดการระเหยออกจากช่องว่างได้มาก ส่งผลให้การหดตัวของคอนกรีตจึงเกิดขึ้นมากตามไปด้วย

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

การสรุปผลของการศึกษาปัจจัยและคุณสมบัติของมวลรวม วัสดุ ในการหดตัวของคอนกรีต โดยสรุปออกเป็นผลของการศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการหดตัวของคอนกรีตคือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ อัตราส่วนมวลรวม และชนิดของทราย ซึ่งมีรายละเอียดการสรุปผลการศึกษาดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

5.1.1 ผลการหดตัวแบบออโตจีนัสของคอนกรีต

5.1.1.1 **อัตราส่วนมวลรวมแตกต่างกัน(s/a) 0.32 0.42 และ0.48 จากผลการทดลอง** หาค่าการหดตัวแบบออโตจีนัส ทั้งในทรายบกและทรายแม่น้ำ ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35 และ 0.55 พบว่าคอนกรีตมีค่าการหดตัวลดลงตามอัตราส่วนมวลรวม(s/a) ที่ลดลง

5.1.1.2 **มวลรวมละเอียดต่างชนิดกัน ได้แก่ ทรายบก และทรายแม่น้ำ จากผลการ** ทดสอบหาค่าการหดตัวแบบออโตจีนัส ในอัตราส่วนมวลรวม(s/a) 0.32 0.42 และ0.48 **ที่อัตราส่วนน้ำต่อ** วัสดุประสาน 0.35 และ0.55 พบว่าทรายแม่น้ำมีแนวโน้มที่จะมีค่าการหดตัวที่น้อยกว่าทรายบก

5.1.1.3 **อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานแตกต่างกัน 0.35 และ0.55 จากผลการทดลอง** หาค่าการหดตัวแบบออโตจีนัส ทั้งในทรายบกและทรายแม่น้ำ ที่อัตราส่วนมวลรวม(s/a) 0.32 0.42 และ 0.48 พบว่าคอนกรีตมีค่าการหดตัวลดลงตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ลดลง

5.1.2 ผลการหดตัวแบบโดยรวมของคอนกรีต

5.1.2.1 **อัตราส่วนมวลรวมแตกต่างกัน(s/a) 0.32 0.42 และ0.48 จากผลการทดลอง** หาค่าการหดตัวแบบโดยรวม ทั้งในทรายบกและทรายแม่น้ำ ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.35 และ 0.55 พบว่าคอนกรีตมีค่าการหดตัวลดลงตามอัตราส่วนมวลรวม(s/a) ที่ลดลง

5.1.2.2 **มวลรวมละเอียดต่างชนิดกัน ได้แก่ ทรายบก และทรายแม่น้ำ จากผลการ** ทดสอบหาค่าการหดตัวแบบโดยรวม ในอัตราส่วนมวลรวม(s/a) 0.32 0.42 และ0.48 **ที่อัตราส่วนน้ำต่อ** วัสดุประสาน 0.35 และ0.55 พบว่าทรายแม่น้ำมีแนวโน้มที่จะมีค่าการหดตัวที่น้อยกว่าทรายบก

5.1.2.3 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานแตกต่างกัน 0.35 และ0.55 จากผลการทดลอง หาค่าการหดตัวแบบออโตจีนัส ทั้งในทรายบกและทรายแม่น้ำ ที่อัตราส่วนมวลรวม(s/a) 0.32 0.42 และ 0.48 พบว่าคอนกรีตมีค่าการหดตัวลดลงตามอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่เพิ่มขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ในการผสมคอนกรีตแต่ละครั้ง ต้องมีการควบคุมอัตราส่วนผสม ความสะอาดอย่างเข้มงวด เนื่องจากหากมีการใช้อัตราส่วนผสมไม่ถูกต้อง หรืออุปกรณ์ไม่สะอาดอาจจะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนไป

2) ในการวัดค่าการหดตัวของคอนกรีตในแต่ละครั้งนั้น ควรใช้ค่าที่ต่ำที่สุดสามค่ามาเฉลี่ยหาค่าการหดตัวของคอนกรีต เพื่อความถูกต้องของข้อมูลมากยิ่งขึ้น

3) ในการวัดค่าการหดตัวของคอนกรีตบางครั้งเกิดความผิดพลาด เนื่องจากในขั้นตอนการประกอบแบบนั้นมีการวางน็อตในก้อนตัวอย่างไม่ดี ทำให้น็อตในก้อนตัวอย่างหลวมไม่มั่นคง ทำให้ก้อนตัวอย่างมีค่าการหดตัวเปลี่ยนแปลงไป

4) ตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นในห้องทดสอบอยู่เสมอ

เอกสารอ้างอิง

[1] สมนึก ตั้งเติมสิริกุล, สุวิมล สัจจวานิชย์, บุญรอด คุปติทัพหิ และ มนสิช สาริกะภูติ. (2543). ความคงทนของคอนกรีต.

[2] สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ แบบ ว-1ด (ฉบับปรับปรุงปี พ.ศ.2551) (https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0CDsQFjAF&url=http%3A%2F%2Fvijai.rmutl.ac.th%2Fupload%2Fres%2F1010271046265.doc&ei=f1NcVZyuFIe8uASf64H4Bw&usg=AFQjCNE5Bknp7MhIjXPLqu0WaJPi4Th_Gw&sig2=GV_wd132M-wSy1JFFEGWLw&bvm=bv.93756505,d.c2E)

[3] ADVANCED CONCRETE TECHNOLOGY โมดูลัสยืดหยุ่น การหดตัว การคืบ และการล้าของคอนกรีต (Nattapong Makaratat,Ph.D.)

[4] Concrete technology C-PAC (http://xn--12cfn5csu9and2eb2a1i6g9d.blogspot.com/2014/11/blog-post_13.html)

[5] Concrete technology C-PAC (http://xn--12cfn5csu9and2eb2a1i6g9d.blogspot.com/2014/11/blog-post_14.html)

[6] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี

[7] บริษัท ซี.พี.ซี.คอนกรีตอัดแรง จำกัด 225 หมู่ 1 ถ.สิงหวัฒน์ ต.บ้านกร่าง อ.เมือง จ.พิษณุโลก

[8] http://building.cmtc.ac.th/main/images/stories/Taweesak/unit_1.3.pdf

[9] หนังสือ ปฐพีกลศาสตร์ Soil mechanics ผู้แต่ง Braja M. Das

[10] กรมทางหลวง ข้อกำหนดมวลรวมหยาบสำหรับผสมคอนกรีต

[11] [PPT]17.การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต.pptx

[12] คอนกรีตเทคโนโลยี (วินิต ช่อวิเชียร) (2) หน้า 74

[13] Tazawa, E-i. and Miyazawa, S. (1995).Influence of cement and admixture on autogenous shrinkage of cement paste. Cement and Concrete Research, 25(2), 281-287.

[14] Tam, C. M., Tam, V. W. Y. and Ng, K. M. (2012). Assessing drying shrinkage and water permeability of reactive powder concrete produced in Hong Kong. Construction and Building Materials, 26(1), 79-89.

[15] Rao, G. A. (2001). Long-term drying shrinkage of mortar — influence of silica fume and size of fine aggregate. Cement and Concrete Research, 31(2), 171-175.

[16] ASTM C188-14, Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014,www.astm.org

[17] ASTM C128-15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org

[18] ASTM C136 / C136M-14, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014, www.astm.org

[19] ASTM C127-15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, www.astm.org

[20] ASTM C33 / C33M-13, Standard Specification for Concrete Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013,www.astm.org

[21] ASTM C494 / C494M-13, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org

[22] ASTM C1602 / C1602M-12, Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org

[23] ASTM C911-06(2011), Standard Specification for Quicklime, Hydrated Lime, and Limestone for Selected Chemical and Industrial Uses, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011, www.astm.org

[24] ASTM C143 / C143M-12, Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012, www.astm.org

[25] ASTM C191-13, Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013, www.astm.org

[26] สำนักงานพัฒนาชุมชนอำเภอบางระกำ

[27] สำนักงานส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น จังหวัดกำแพงเพชร

ภาคผนวก ก
คุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ในการทดลอง

การทดสอบคุณสมบัติจำเพาะของวัสดุประสาน ซึ่งวัสดุประสานที่ใช้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์

ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ คือค่าอัตราส่วนของน้ำหนักของซีเมนต์ในอากาศต่อน้ำหนักของน้ำหนักของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิ 4 °ซ. ที่มีปริมาตรเท่ากับซีเมนต์ ค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ โดยปกติมักใช้ประกอบในการคำนวณหาค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ (Specific Surface) ของซีเมนต์ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการบอกถึงความละเอียด (Fineness) ของซีเมนต์ นอกจากนั้นความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ยังใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสม (Mix Proportion or Mix Design) ของคอนกรีตอีกด้วย ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ยังใช้เป็นข้อมูลที่สำคัญในการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสม (Mix Proportion or Mix Design) ของคอนกรีตอีกด้วย ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 3.05 – 3.20 ซึ่งค่าจะมากหรือน้อยนั้นโดยทั่ว ๆ ไปขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของเนื้อซีเมนต์และความละเอียดของซีเมนต์ ซีเมนต์ผสมหรือซีเมนต์ซิลิก้าจะมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าค่าดังกล่าวข้างต้น ซีเมนต์ที่มีความละเอียดมากก็จะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง ในกรณีที่ไม่ได้มีการทดสอบหาค่ามาก่อนมักจะสมมุติค่าความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ปริมาณ 3.15

วัสดุทดสอบ

ซีเมนต์ผงที่ต้องการทดสอบหนักประมาณ 1000 กรัม

เครื่องมือทดสอบ

1. ขวดทดลองมาตรฐานเลอแชทีเลียร์ (Standard Le Chatelier Flask) จำนวน 1 ใบ
2. หลอดกรวยสำหรับกรอกซีเมนต์ผงลงในขวดมาตรฐาน จำนวน 1 ใบ
3. เทอร์โมมิเตอร์ (0 – 100 องศาเซลเซียส) จำนวน 1 อัน
4. น้ำมันก๊าด (Kerosene) ปริมาตรประมาณ 1000 มล.
5. อ่างน้ำขนาดประมาณ 2000 มล. จำนวน 1 ใบ
6. เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 กรัม
7. ถาดสำหรับใส่ซีเมนต์ จำนวน 1 ใบ

วิธีทดสอบ

1. จัดเตรียมน้ำในอ่างให้มีอุณหภูมิคงที่ที่ 20 องศาเซลเซียส ตามที่กำหนดไว้ พยายามควบคุมอุณหภูมิในอ่างน้ำให้มีอุณหภูมิคงที่ตลอดการทดลอง
2. เทน้ำมันก๊าดลงในขวดทดลองมาตรฐานเลอแชทที่เลียร์ จนกระทั่งระดับของน้ำมันก๊าดอยู่ระหว่างขีดบอกปริมาตร 0 และ 1 มล. คอขวดซึ่งอยู่เหนือระดับน้ำมันก๊าดควรเช็ดให้แห้ง
3. จุ่มขวดทดลองในอ่างน้ำในข้อที่ 1. แล้วให้ทิ้งไว้จนกระทั่งอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดและน้ำในอ่างเท่ากัน อ่านค่าอุณหภูมิของน้ำและขีดค่าปริมาตรของน้ำมันก๊าดในขวดทดลอง
4. ชั่งน้ำหนักของขวดทดลองและน้ำมันก๊าดครั้งแรก จากนั้นค่อย ๆ ใส่ซีเมนต์ลงในขวดทดลอง การใส่ซีเมนต์ควรไม่ให้ซีเมนต์ตกกระจาย และจะต้องระวังไม่ให้ซีเมนต์เกาะติดตามคอขวดทดลองด้วย
5. ให้หยุดใส่ซีเมนต์เมื่อระดับของน้ำมันก๊าดขึ้นมาอยู่ระหว่างช่วงของขีดบอกปริมาตรส่วนบนของขวดทดลอง จากนั้นทำการไล่ฟองอากาศซึ่งอาจเกาะอยู่กับผงซีเมนต์ การไล่ฟองอากาศให้ปิดปากขวดทดลองด้วยจุกแก้ว แล้วเอียงขวดและหมุนช้า ๆ จนกระทั่งไม่มีฟองอากาศลอยขึ้นมาอีก
6. จุ่มขวดทดลองในอ่างน้ำอีกครั้งหนึ่ง เช่นเดียวกับข้อที่ 3. ก่อนจะอ่านปริมาตรทุกครั้ง ผู้ทำการทดลองจะต้องแน่ใจว่าอุณหภูมิของน้ำมันก๊าดในขวดทดลองเท่ากับอุณหภูมิของน้ำในอ่าง เพื่อที่จะไม่ให้อุณหภูมิของน้ำมันก๊าดในการอ่านครั้งแรกและครั้งที่สองต่างกันไม่เกินกว่า 0.2 องศาเซลเซียส
7. อ่านอุณหภูมิของน้ำและปริมาตรของน้ำมันก๊าดในขวดทดลอง
8. ชั่งน้ำหนักของขวดทดลองและน้ำมันก๊าดครั้งหลัง ผลต่างของน้ำหนักของการชั่งสองครั้งจะเท่ากับน้ำหนักของซีเมนต์ที่ใส่ลงไปในขวดทดลอง
9. ทำการทดลองซ้ำอีกอย่างน้อย 1 ครั้ง จากข้อ 2. ถึงข้อ 8. จนกว่าจะได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ

หมายเหตุ : ในการทำความสะอาดขวดทดลองให้ใช้น้ำมันก๊าดล้างเท่านั้น ห้ามใช้น้ำล้างเป็นอันขาด

ตารางที่ ก1 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ มาตรฐาน ASTM C188[16]

รายการ	การคำนวณ	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ขีดระดับของเหลวเริ่มต้น(มิลลิลิตร)	0.4	0.7
อุณหภูมิเริ่มต้นของเคโรซีน(°C)	20	20
น้ำหนักปูนซีเมนต์และภาชนะตอนเริ่มต้น(กรัม)	1109.2	1053.1
ขีดระดับของเหลวสุดท้าย(มิลลิลิตร)	18.4	18.2
อุณหภูมิสุดท้ายของเคโรซีน(°C)	20	20
น้ำหนักปูนซีเมนต์และภาชนะตอนสุดท้าย(กรัม)	1053.1	990
น้ำหนักปูนซีเมนต์ที่ใส่,Wc (กรัม)	18	17.5
ปริมาตรปูนซีเมนต์โดยการแทนที่,Vc (Cm^3)	56.1	54.1
ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์	3.12	3.09
ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์	3.11	

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมของมวลรวมละเอียด

<u>วัสดุทดสอบ</u>

มวลรวมละเอียดที่ต้องการทดสอบน้ำหนักประมาณ 500 กรัม

<u>เครื่องมือทดสอบ</u>

1. เครื่องชั่งที่สามารถชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม
2. กระบอกตวง ขนาดความจุ 500มล.
3. กรวยโลหะ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.75 ซม. เส้นผ่านศูนย์กลางส่วนล่าง 8.9 ซม. ความสูง 7.4 ซม. ทำด้วยแผ่นโลหะหนาประมาณ 0.9 มิลลิเมตร
4. เหล็กกระทุ้ง ปลายเรียบเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 ซม. น้ำหนัก 340 กรัม
5. ตะกร้าลวดเหล็ก
6. เครื่องเป่าผม
7. ถาดโลหะ
8. ผ้าแห้ง
9. เตาอบ

วิธีทดสอบ

1. นำเอามวลรวมละเอียดจากที่เก็บมาประมาณ 1000 กรัม โดยใช้วิธีการของการแบ่งสี่ (Method of Quartering)
2. จากนั้นนำมวลรวมละเอียดมาทำให้แห้งโดยใช้เครื่องเป่าผมเป่ามวลรวมละเอียดให้ทั่ว จนมวลรวมละเอียดนั้นแห้งสม่ำเสมอและอยู่ในสภาวะของการไหลอิสระ (Free Flowing)
3. การทดสอบว่ามวลรวมละเอียดอยู่ในสภาวะของการไหลอิสระทำได้โดยเทมวลรวมละเอียดนั้นลงในกรวยโลหะจนเต็ม แล้วกระทุ้งเบา ๆ ด้วยเหล็กกระทุ้ง เป็นจำนวน 25 ครั้ง จากนั้นยกกรวยขึ้นตรง ๆ ในแนวดิ่ง ถ้าหากว่ามวลรวมละเอียดยังมีความชื้นที่ผิว (Surface Moisture) อยู่ มวลรวมละเอียดนั้นจะยังคงรูปร่างเป็นรูปกรวยอยู่
4. ในกรณีที่ยังมีความชื้นที่ผิวอยู่ ให้ใช้เครื่องเป่าผมไล่ความชื้นที่ผิวต่อไปอีก แล้วนำมวลรวมละเอียดไปทดสอบในกรวยโลหะอีกเช่นเดิม ทำเช่นนี้เป็นช่วง ๆ จนกระทั่งเห็นว่า เมื่อยกกรวยขึ้นแล้วมวลรวมละเอียดยุบตัวลงเล็กน้อย ซึ่งแสดงว่ามวลรวมละเอียดนั้นมีการไหลตัวอิสระ ไม่มีความชื้นที่ผิว เราเรียกว่าอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry)
5. จากนั้นให้เทมวลรวมละเอียดจำนวน 500 กรัม ลงไปในกระบอกตวง แล้วเติมน้ำจนถึงขีดระดับประมาณ 450 มล.
6. เขย่ากระบอกตวงเพื่อไล่ฟองอากาศออก เติมน้ำจนถึงระดับ 500 มิลลิลิตร
7. ชั่งหาน้ำหนักของกระบอกตวง มวลรวมและน้ำทั้งหมด
8. เทมวลรวมละเอียดออกจากกระบอกตวงใส่ในถาดโลหะ แล้วนำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100-110 เซลเซียส จนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่ (อบประมาณ 24 ชั่วโมง) จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1 – 1 ½ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่แห้ง
9. ชั่งหาน้ำหนักของกระบอกตวงที่มีน้ำที่ระดับ 500 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิประมาณ 23 °ซ.

ตารางที่ ก2 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด (ทรายบก) มาตรฐาน ASTM C128[17]

รายการ	การคำนวณ	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักทรายในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง(S),g	505.4	500.8
น้ำหนักขวดหา ถ.พ.+ทราย+น้ำ(C),g	972.7	943.9
น้ำหนักทรายที่อบแห้ง(A),g	501.9	496.4
น้ำหนักขวดหา ถ.พ.+น้ำ(B),g	661.4	635.4
ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง(Bulk specific gravity)	2.585	2.58
ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพ SSD (Bulk specific gravity at SSD)	2.6	2.6
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ(Apparent specific gravity)	2.63	2.64
การดูดซึม,%	0.697	0.886

1.ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง 2.585
2.ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพ SSD 2.6
3.ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะปรากฏ 2.635
4.ค่าเฉลี่ยการดูดซึม,% 0.795

ตารางที่ ก3 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด (ทรายแม่น้ำ) มาตรฐาน ASTM C128[17]

รายการ	การคำนวณ	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักทรายในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง(S),g	501.8	503.7
น้ำหนักขวดหา ถ.พ.+ทราย+น้ำ(C),g	970.2	945.7
น้ำหนักทรายที่อบแห้ง(A),g	497.3	498.6
น้ำหนักขวดหา ถ.พ.+น้ำ(B),g	661.4	635.4
ความถ่วงจำเพราะทั้งหมดที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง(Bulk specific gravity)	2.58	2.58
ความถ่วงจำเพราะทั้งหมดที่สภาพ SSD (Bulk specific gravity at SSD)	2.6	2.6
ความถ่วงจำเพราะปรากฏ(Apparent specific gravity)	2.64	2.65
การดูดซึม,%	0.90	1.02

1.ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพราะทั้งหมดที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง 2.58
2.ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพราะทั้งหมดที่สภาพ SSD 2.6
3.ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพราะปรากฏ 2.645
4.ค่าเฉลี่ยการดูดซึม,% 0.96

การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ

วัสดุทดลอง

หินโม่ (หรือกรวด) ที่ต้องการทดสอบ

เครื่องมือทดสอบ

1. ตะแกรงมาตรฐานอเมริกัน (U.S. Sieves) สำหรับร่อนหิน ขนาด 2", 1 ½ ", 1", 3/4" ,1/2", 3/8" และเบอร์ 4
2. เครื่องชั่งซึ่งมีความละเอียดไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักของมวลรวมที่ต้องการทดสอบ
3. แปรงทำความสะอาดตะแกรง
4. เครื่องร่อนมวลรวมละเอียดและเครื่องร่อนมวลรวมหยาบ
5. ผ้าสำหรับเช็ด
6. ตะกร้าลวดเหล็ก
7. เตาอบ

วิธีทดสอบ

1. นำมวลรวมหยาบจากที่เก็บมาประมาณเท่าที่ต้องการ โดยวิธีการของการแบ่งสี่ (Method of Quartering) ร่อนเอาส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ทิ้งไป
2. ล้างมวลรวมหยาบด้วยน้ำ เพื่อขจัดฝุ่นและสิ่งสกปรกที่ติดตามผิวของมวลรวมหยาบนั้น
3. นำเอามวลรวมหยาบแต่ละก้อนมาเช็ดถูด้วยผ้า ให้น้ำที่เกาะตามผิวของมวลรวมหยาบถูกดูดซับไป โดยที่ผิวของมวลรวมหยาบยังชื้นอยู่ หลีกเลี่ยงอย่าให้มีการระเหยของความชื้นในขณะเช็ดถู มวลรวมหยาบจะอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
4. ชั่งน้ำหนักของมวลรวมหยาบในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง
5. เทมวลรวมหยาบในสภาวะอิ่มตัวผิวห้างนี้ลงในตะกร้าลวดเหล็กแล้วชั่งหาน้ำหนักในน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 23 ° ซ.
6. จากนั้นนำเอามวลรวมหยาบนั้นไปอบในเตาอบอุณหภูมิประมาณ 100–110 ° ซ. จนได้น้ำหนักคงที่แล้วทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1-3 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปชั่ง

ตารางที่ ก4 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ มาตรฐาน ASTM 127[19]

รายการ	การคำนวณ	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
น้ำหนักของตัวอย่างในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง(B),g	2442.9	1993.5
น้ำหนักของภาชนะ(ตะกร้า)ในน้ำ,g		
น้ำหนักของภาชนะและตัวอย่างในน้ำ,g		
น้ำหนักของตัวอย่างในน้ำ(C),g	1511.4	1231.9
น้ำหนักของตัวอย่างที่อบแห้งในอากาศ(A),g		
ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพแห้ง(Bulk specific gravity)		
ความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพ SSD (Bulk specific gravity at SSD)		
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ(Apparent specific gravity)		
การดูดซึม,%		

1.ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง
2.ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะทั้งหมดที่สภาพ SSD
3.ค่าเฉลี่ยความถ่วงจำเพาะปรากฏ
4.ค่าเฉลี่ยการดูดซึม,%

ตารางที่ ก5 การหาขนาดคละมวลรวมละเอียด กรณี ทรายบก มาตรฐาน ASTM C136[18]

น้ำหนักทรายบก		0.4	หน่วย กรัม			
เบอร์	น้ำหนักตะแกรง	ทราย + ตะแกรง	น้ำหนักทรายที่ค้าง	น้ำหนักทรายที่ค้าง %	น้ำหนักทรายที่ค้างสะสม %	ส่วนที่ผ่านตะแกรง %
4	0.47	0.475	0.005	1.25	1.25	98.75
8	0.435	0.45	0.015	3.75	5	95
10	0.69	0.7	0.01	2.5	7.5	92.5
20	0.64	0.72	0.08	20	27.5	72.5
60	0.53	0.785	0.255	63.75	91.25	8.75
100	0.525	0.56	0.035	8.75	100	0
ถาด	0.485	0.485	0	0	100	0
		sum	0.4	100		

ตารางที่ ก6 การหาขนาดคละมวลรวมละเอียด กรณี ทรายแม่น้ำ มาตรฐาน ASTM C136[18]

น้ำหนักทรายแม่น้ำ		0.4	หน่วย กรัม			
เบอร์	น้ำหนักตะแกรง	ทราย + ตะแกรง	น้ำหนักทรายที่ค้าง	น้ำหนักทรายที่ค้าง %	น้ำหนักทรายที่ค้างสะสม %	ส่วนที่ผ่านตะแกรง %
4	0.47	0.485	0.015	3.75	3.75	96.25
8	0.435	0.47	0.035	8.75	12.5	87.5
10	0.69	0.715	0.025	6.25	18.75	81.25
20	0.64	0.78	0.14	35	53.75	46.25
60	0.53	0.7	0.17	42.5	96.25	3.75
100	0.525	0.54	0.015	3.75	100	0
ถาด	0.485	0.485	0	0	100	0
		sum	0.4	100		

ภาคผนวก ข

ไฟล์ CD ชื่อ SAND

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวทิพวรรณ อิ่มเอิบ
ภูมิลำเนา 18/1 หมู่2 ต.ไกรใน อ.กงไกรลาศ จ.สุโขทัย
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอุดมดรุณี จังหวัดสุโขทัย
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : pao_tippawan@hotmail.com

ชื่อ นางสาวรุจน์จิกรณ์ วิรุฬบุตร
ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 109หมู่9 ต.ตาดทอง อ.เมือง จ.ยโสธร
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนยโสธรพิทยาคม จังหวัดยโสธร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : Rutchikon_tk@hotmail.co.th

ชื่อ นายสุธางค์ สุขสวัสดิ์
ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 234/6 หมู่ 4 ต.ผาสิงห์ อ.เมืองน่าน จ.น่าน
ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : trustsuthang@gmail.com