

การพัฒนาอนกฤตกำลังสูงระยะต้นที่ใช้มวลรวมหยาบของอนกฤตถนนเก่า
ที่นำกลับมาใช้ใหม่

นายอลงกต บุญศิริ

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2557

การพัฒนาอนกฤตกำลังสูงระยะต้นที่ใช้มวลรวมหยาบของอนกฤตถนนเก่า
ที่นำกลับมาใช้ใหม่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงการ

(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐียงกูร)

ประธานกรรมการ

(ศ. ดร.สุสันต์ หอพิบูลสุข)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ)

(รศ. ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร)

กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อลงกต บุญศิริ : การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงระยะต้นที่ใช้มวลรวมหยาบของคอนกรีตถนน
เก่าที่นำกลับมาใช้ใหม่ (DEVELOPMENT OF HIGH EARLY STRENGTH CONCRETE
USING RECYCLED CONCRETE PAVEMENT AGGREGATE) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตกำลังสูงเร็วโดยใช้วัสดุมวลรวมหยาบรีไซเคิลจากคอนกรีตถนนเก่าของกรมทางหลวงในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งจะเรียกว่า “คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิล” กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิล และคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรีไซเคิลผสมมวลรวมหยาบธรรมชาติ (ในอัตราส่วน 50:50) นำมาเปรียบเทียบกับกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบธรรมชาติ คอนกรีตทดสอบทั้งหมดถูกออกแบบให้มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เริ่มต้นเท่ากับ 0.3 ส่วนผสมคอนกรีตจะผสมกับสารลดน้ำอย่างแรง (SikaViscoCrete-10) เพื่อคอนกรีตทดสอบมีค่าการยุบตัวระหว่าง 7 ถึง 10 เซนติเมตร นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังศึกษาอิทธิพลของสารเร่งการก่อตัว (SikaRapid-1) ต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบธรรมชาติและมวลรวมหยาบรีไซเคิล ผลการศึกษาพบว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลสามารถใช้เป็นคอนกรีตกำลังสูงเร็วและคอนกรีตกำลังสูง และมีกำลังอัดที่อายุบ่ม 24 ชั่วโมง และ 28 วัน สูงกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ เนื่องจากมวลรวมรีไซเคิลมีความสามารถในการดูดซึมน้ำที่สูงกว่า จึงส่งผลให้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ประสิทธิภาพต่ำกว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบผสมระหว่างมวลรวมหยาบรีไซเคิลและมวลรวมหยาบธรรมชาติมีกำลังอัดที่ต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบธรรมชาติ เนื่องจากมอร์ต้าที่เกาะที่ผิวของมวลรวมหยาบมีความแข็งแรงต่ำ สารเร่งการก่อตัวแทบไม่มีผลกระทบต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลและคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ แต่ช่วยพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมผสมระหว่างมวลรวมธรรมชาติและมวลรวมหยาบรีไซเคิล การใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงเร็วและคอนกรีตกำลังสูงมีประสิทธิภาพทั้งในแง่วิศวกรรม สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ ต้นทุนการผลิตคอนกรีตสามารถลดลงได้ถึงร้อยละ 10 เมื่อใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลเป็นส่วนผสม

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

ALONGKOT BUNSIRI: DEVELOPMENT OF HIGH EARLY STRENGTH
CONCRETE USING RECYCLED CONCRETE PAVEMENT
AGGREGATE. ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., P. E.

This research aims to investigate the strength development of high early strength concrete and high strength concrete using Recycled Concrete Aggregate (RCA) from a damaged rigid pavement in Nakhon Ratchasima under supervision of Department of Highways, Thailand. The compressive strengths of RCA concrete and RCA-natural aggregate (NG) concrete (505:50 ratio) were compared with those of NG concrete. All tested concretes were prepared at the same initial water/cement ratio of 0.3. Water reducing admixture (SikaViscoCrete-10) was mixed with tested concretes to control a slump of 7-10 cm. This research also investigates a role of accelerating admixture (SikaRapid-1) on the strength development of tested concretes. The results show that the RCA concrete can be regarded as high early strength and high strength concrete. The 24 hour- and 28 day-strengths of RCA concrete are greater than those of NA concrete because the water absorption of RCA is higher than that of NA and hence lower effective water/cement ratio. The strengths of RCA-NA concrete are lower than those of NA concrete because the weakness of mortar attached on the RCA particles. The accelerating admixture insignificantly improves strength of the NC concrete and RCA concrete but can improve the strength of the RCA-NC concrete. The usage of RCA in manufacturing high early strength and high strength concretes are useful in term of engineering, environmental and economical perspectives. The manufacturing cost reduces up to 10 percent when RCA is used as coarse aggregate.

School of Civil Engineering
Academic Year 2014

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

Co-Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

โครงการศึกษานี้ สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจาก ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข และ ดร.รัฐพล สมณา อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำในการตรวจแก้ไข ข้อบกพร่องต่างๆ แนะนำแนวทางการทำงานเพิ่มเติม และให้ความเอาใจใส่ ความเมตตากรุณา ถ่ายทอดความรู้แก่ศิษย์เป็นอย่างดี ทั้งยังปลุกฝังให้ผู้ศึกษามีความอดทน มีกำลังใจ มีวินัย หมั่น ค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมทั้งทางพฤติกรรมและพฤติกรรม ผู้ศึกษาจึงขอกราบขอบพระคุณท่าน ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข และดร.รัฐพล สมณา ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกๆ ท่าน ที่ท่านได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ใน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ให้แก่ผู้ศึกษาซึ่งเป็นความรู้ประสบการณ์ที่มีค่าและมีประโยชน์ในการทำงานของผู้ ศึกษาต่อไป ผู้ศึกษาขอระลึกถึงพระคุณบิดา และมารดา ที่ได้อบรมสั่งสอนให้เป็นคนดี รัก การศึกษาและหมั่นหาความรู้เพิ่มเติม อย่างไม่ย่อท้อต่อปัญหา และอุปสรรคต่างๆ

ท้ายสุดขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ นักศึกษาทุก ๆ ท่าน พร้อมทั้งครอบครัวที่น่ารัก ที่ คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมา ตลอดการศึกษาในครั้งนี้เป็นอย่างดี

อลงกต บุญศิริ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา.....	4
1.4.2 วิธีการทดสอบ.....	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตกำลังสูงและกำลังสูงเร็ว.....	6
2.1.1 การใช้คอนกรีตกำลังสูงและคอนกรีตกำลังสูงเร็วในประเทศไทย.....	6
2.1.2 วัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตกำลังสูง.....	6
2.1.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	7
2.1.2.2 ประเภทของมวลรวม.....	7
2.1.2.3 มวลรวมจากเศษคอนกรีต.....	8
2.1.2.4 น้ำ.....	8
2.1.2.5 สารเคมีผสมเพิ่ม.....	9
2.1.3 ส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงและกำลังสูงเร็ว.....	10
2.1.3.1 กำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูง.....	11
2.1.3.2 อายุที่ใช้ทดสอบคอนกรีตกำลังสูง.....	11

2.1.3.3	ปริมาณปูนซีเมนต์และน้ำ	12
2.1.3.4	ความสามารถในการเทของคอนกรีตกำลังสูง	12
2.2	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
3	วิธีดำเนินการวิจัย	16
3.1	วัสดุที่ใช้ในการศึกษา	16
3.1.1	ปูนซีเมนต์	16
3.1.2	วัสดุผสม (Aggregate)	16
3.1.3	สารเคมีผสมเพิ่ม	16
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา	17
3.3	การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุมวลรวม	20
3.3.1	วิธีการทดสอบวิเคราะห์ขนาดมวลรวมละเอียด	20
3.3.2	วิธีการทดสอบวิเคราะห์ขนาดมวลหยาบ	20
3.3.3	วิธีการทดสอบหาค่าถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด	20
3.3.4	วิธีการทดสอบหาค่าถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ	20
3.3.5	วิธีการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและช่องว่างของมวลรวม	20
3.4	การทดสอบหาปริมาณการใช้สารเคมีผสมเพิ่มที่เหมาะสม	20
3.4.1	การแบ่งปริมาณการใช้สารเคมีผสมเพิ่ม	20
3.4.2	แผนการทดสอบกำลังอัดเพื่อหาปริมาณการใช้สารเคมีผสมเพิ่มที่เหมาะสม	21
3.4.3	สัญลักษณ์ของอัตราส่วนผสมและปฏิกิริยาส่วนผสมคอนกรีต	21
3.4.4	การผลิตแท่งตัวอย่างคอนกรีต	22
3.4.5	ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง	22
3.4.6	เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่มีปริมาณการใช้สารเคมีผสมเพิ่ม	23
3.5	การศึกษาการพัฒนากำลังอัดทั้งระยะต้นและระยะปลาย	23
4	ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล	24
4.1	คุณสมบัติของมวลรวม	24
4.2	กำลังอัดของคอนกรีต	27
5	สรุปผลการทดสอบ และข้อเสนอแนะ	33
5.1	สรุปผลการทดลอง	33
5.2	ข้อเสนอแนะ	33

เอกสารอ้างอิง.....	34
ภาคผนวก ก ตารางและรูปแสดงคุณสมบัติจำเพาะของมวลรวม.....	36
ภาคผนวก ข ตารางและรูปแสดงผลการทดสอบค่าการยุบตัวและกำลังอัดของคอนกรีต.....	45
ภาคผนวก ค รูปแสดงผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต.....	48
ประวัติผู้เขียน.....	55

สารบัญญัตินำ

ตารางที่	หน้า
3.1 การแบ่งการใช้ปริมาณสารเคมีผสมเพิ่ม.....	21
3.2 ปฏิภาศส่วนผสมสำหรับการศึกษา.....	22
3.3 มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง (Strategic Highway Research Program, Zia et al., 1993) (ACI Committee 363, 1992).....	23
4.1 คุณสมบัติของมวลรวมที่ใช้ในงานวิจัย.....	25
4.2 กำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 24 ชั่วโมง.....	28
4.3 กำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน.....	29
4.4 ค่าการดูดซึมน้ำในมวลรวมส่งผลให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เปลี่ยนไป.....	30
4.5 เปรียบเทียบราคาคอนกรีต (100R0.8V).....	31
ก.1 ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด.....	37
ก.2 การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมละเอียดโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 1.....	37
ก.3 การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมละเอียดโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 2.....	38
ก.4 การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมละเอียดโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 3.....	38
ก.5 ความหนาแน่นปรากฏของมวลละเอียด (ทรายแม่น้ำ).....	39
ก.6 ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ(หินธรรมชาติ).....	39
ก.7 การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมหยาบ(หินธรรมชาติ)โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 1.....	39
ก.8 การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมหยาบ(หินธรรมชาติ)โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 2.....	40
ก.9 การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมหยาบ(หินธรรมชาติ)โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 3.....	40
ก.10 ความหนาแน่นปรากฏของมวลรวมหยาบ(หินธรรมชาติ).....	41
ก.11 การต้านทานการสึกกร่อนของมวลรวมหยาบ(หินธรรมชาติ)โดยเครื่องทดสอบ ลอสแอนเจลีส.....	41
ก.12 ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ(คอนกรีตถนนเก่า).....	42
ก.13 การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมหยาบ (คอนกรีตถนนเก่า) โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 1.....	42
ก.14 การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมหยาบ (คอนกรีตถนนเก่า) โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 2.....	43
ก.15 การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมหยาบ (คอนกรีตถนนเก่า) โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 3.....	43

ก.17 ความหนาแน่นปรากฏของมวลรวมหยาบ (คอนกรีตถนนเก่า).....	44
ก.18 การต้านทานการสึกกร่อนของมวลรวมหยาบ (คอนกรีตถนนเก่า)	
โดยเครื่องทดสอบลอสแอนเจลิส.....	44
ข.1 กำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 24 ชั่วโมง.....	46
ข.2 กำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน.....	47

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 การทุบรื้อถนน.....	1
1.2 การขุดรื้อถนนเก่า.....	2
1.3 เศษคอนกรีตถนน.....	2
3.1 มวลรวมหยาบหินธรรมชาติและมวลรวมหยาบจากคอนกรีตถนนเก่า.....	17
3.2 สารเคมีผสมเพิ่ม SikaViscoCrete –10และ Sika Rapid 1.....	17
3.3 ตะแกรงวิเคราะห์ขนาดมวลรวม.....	18
3.4 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม.....	18
3.5 ชุดเครื่องมือหาค่าความถ่วงจำเพาะ.....	18
3.6 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ 105 – 115 องศาเซลเซียส.....	19
3.7 ชุดทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต.....	19
3.8 แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 10x10x10 ซม.....	19
3.9 เครื่องผสมคอนกรีต.....	19
3.10 เครื่องทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต.....	19
4.1 การกระจายตัวของมวลรวมละเอียด.....	25
4.2 การกระจายตัวของมวลรวมหยาบ(หินธรรมชาติ).....	26
4.3 การกระจายตัวของมวลรวมหยาบ(หินจากถนนเก่า).....	26
4.4 แผนภูมิแสดงกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 24 ชั่วโมง.....	29
4.5 แผนภูมิแสดงกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน.....	31
ค.1 กำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 24 ชั่วโมง.....	49
ค.2 กำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน.....	49
ค.3 ผลการทดสอบกำลังอัดของถนนกรมทางหลวง.....	50
ค.4 การเตรียมตัวอย่างก่อนผสม.....	51
ค.5 ภาพคอนกรีตสดที่ไม่ใส่น้ำยาลดน้ำ W/C = 0.30.....	51
ค.6 ภาพคอนกรีตสดที่ใส่น้ำยาลดน้ำร้อยละ 0.8 ที่ W/C = 0.30.....	52
ค.7 ภาพการทดสอบความยุบตัวของคอนกรีตสดที่ใส่น้ำยาลดน้ำร้อยละ 0.8 ที่ W/C = 0.30.....	52
ค.8 การเก็บก้อนตัวอย่าง.....	53
ค.9 ก้อนตัวอย่างก่อนทดสอบกำลังอัด.....	53

ค.10 การทดสอบกำลังอัด.....	54
ค.11 ก้อนตัวอย่างหลังทดสอบกำลังอัด.....	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน คอนกรีตประกอบไปด้วยปูนซีเมนต์ มวลรวมละเอียดหรือทราย มวลรวมหยาบหรือหินปูนย่อย น้ำ และสารผสมเพิ่มต่าง ๆ ถนนคอนกรีตที่เสื่อมสภาพส่วนใหญ่จะถูกรื้อถอนเพื่อสร้างใหม่ (รูปที่ 1.1 และ 1.2) ก่อให้เกิดขยะและปัญหาสิ่งแวดล้อม (รูปที่ 1.3) ซึ่งต้องการพื้นที่ในการจัดทิ้งที่เหมาะสมจำนวนมาก การนำเศษคอนกรีตจากถนนที่ชำรุดกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยการนำมาย่อยแล้วใช้เป็นมวลรวมหยาบในงานคอนกรีต นอกจากจะสามารถลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือใช้แล้ว ยังเป็นการอนุรักษ์แหล่งมวลรวมหยาบตามธรรมชาติให้มีใช้ไปได้อีกนาน อย่างไรก็ตาม การจะนำเศษคอนกรีตเหลือทิ้งมาใช้เป็นมวลรวมหยาบในงานคอนกรีต จำเป็นต้องตรวจสอบและประเมินคุณสมบัติของมวลรวมดังกล่าวให้ผ่านมาตรฐานของมวลรวม งานวิจัยในอดีตหลายฉบับได้รายงานว่ามวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตมีความถ่วงจำเพาะและความต้านทานการสึกกร่อนจากการขัดสีต่ำกว่ามวลรวมหยาบธรรมชาติ และมีค่าการดูดซึมน้ำสูงกว่าของมวลรวมหยาบธรรมชาติ (Hansen and Narud, year1983) (Ravindrajah and Tam, year 1985) และเมื่อนำมวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตเก่ามาใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตทั้งหมดหรือแทนแทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติ คอนกรีตที่ได้จะมีกำลังอัดและโมดูลัสความยืดหยุ่นต่ำกว่า และสัมประสิทธิ์การซึมผ่านน้ำต่ำกว่าคอนกรีตปกติที่ใช้มวลรวมหยาบจากธรรมชาติในส่วนผสม (Rahal, year2007) นักวิจัยหลายท่านพบว่าการใช้วัสดุพอชโซลาน เช่น ถ้ำ แกลบ เปลือกไม้บดละเอียด ถ้ำถ่านหินบดละเอียด ตะกรันเตาถลุงเหล็กบดละเอียด ดินขาวเผา และซิลิกาฟูม เป็นต้น สามารถช่วยเพิ่มกำลังอัดและเพิ่มความต้านทานคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตเก่าได้ (Kou et al., year 2007)



รูปที่ 1.1 การทุบรื้อถนน



รูปที่ 1.2 การขุดรื้อถนนเก่า



รูปที่ 1.3 เศษคอนกรีตถนน

สารลดน้ำจำนวนมาก (High Range Water-Reducers) เป็นน้ำยาลดน้ำประเภทพิเศษ ซึ่งมักเรียกว่า Superplasticizers หรือ HRWRs และมีทั้งฐานลิกโนซัลโฟเนตและโพลีคาร์บอกซิลิกเอสเตอ์ สารลดน้ำจำนวนมากนี้สามารถลดน้ำที่ใช้ในส่วนผสมคอนกรีตลงได้ถึงร้อยละ 12-25 โดยมากมักใช้เพื่อเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตและใช้ลดการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีต เนื่องจากสามารถลดปริมาณน้ำที่ใช้ในส่วนผสมคอนกรีตลงได้ อีกทั้งยังใช้ในการผลิตคอนกรีตเพื่อเพิ่มความสามารถในการไหลเข้าแบบ เนื่องจากสามารถเพิ่มค่ายุบตัวให้กับคอนกรีตได้มากโดยไม่ต้องเพิ่มน้ำ สารผสมเพิ่มประเภทนี้เป็นส่วนประกอบสำคัญในการผลิตคอนกรีตกำลังอัดสูงและคอนกรีตประสิทธิภาพสูงต่าง ๆ ที่มีการใช้วัสดุประสาน (Cementitious) ในปริมาณสูงและในคอนกรีตที่มีการใช้ซิลิกาฟูมเป็นส่วนผสม สำหรับส่วนผสมคอนกรีตปกติที่มีค่ายุบตัว 7.5-10 ซม. เมื่อผสมด้วยสารลดน้ำจำนวนมากในปริมาณปกติที่ผู้ผลิตแนะนำจะสามารถเพิ่มค่ายุบตัวได้ถึง 20

ชม. ได้โดยไม่ต้องเพิ่มน้ำในส่วนผสม สารลดน้ำจำนวนมากบางชนิดอาจทำให้เกิดอัตราการสูญเสียค่ายุบกับเวลาที่เร็วกว่าปกติโดยค่ายุบตัวอาจลดลงอย่างมากภายใน 30-45 นาที การเพิ่มสารลดน้ำจำนวนมากเพื่อเพิ่มค่ายุบตัวของคอนกรีตที่หน้างานต้องกระทำโดยผู้ที่เชี่ยวชาญและได้รับอนุญาตจากผู้ควบคุมงานก่อน สารลดน้ำจำนวนมากที่ใช้ในงานคอนกรีตเทียบเท่ากับมาตรฐาน ASTM C 494 Specification for Chemical Admixtures for Concrete ประเภท F และ G และประเภท 1 และ 2 ใน ASTM C 1017 Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete

สารเร่งการก่อตัว (ACCELERATORS) จะทำให้คอนกรีตก่อตัว และแข็งตัวเร็วขึ้นกว่าปกติ ส่งผลให้คอนกรีตมีกำลังในระยะแรกสูงกว่าคอนกรีตธรรมดา โดยทั่วไปแล้ว สารเร่งการก่อตัวจะใช้เมื่อต้องการเร่งเวลาในการถอดแบบหล่อ หรือเมื่อต้องการให้คอนกรีตรับแรงได้เร็วกว่าปกติ เช่น การทำเสาเข็มธรรมดาและเสาคอนกรีตอัดแรง และการอุดรูรั่วในเนื้อคอนกรีต เป็นต้น สารที่นิยมใช้เป็นตัวเร่งการก่อตัวคือ แคลเซียมคลอไรด์ และ โซเดียมซิลิเกต เป็นต้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้เศษคอนกรีตจากถนนเก่าเป็นมวลรวมหยาบ และเปรียบเทียบกำลังอัดที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน กับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ การเร่งการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเพิ่มกำลังอัดทำการด้วยการเพิ่มสารลดน้ำจำนวนมากและสารเร่งการก่อตัว เศษคอนกรีตถนนเก่าได้จากการขุดหรือถนนที่ชำรุดในโครงการก่อสร้างทางหลวงหมายเลข 2 กม. 174+412 ถึง กม. 197+012 (สามแยกบ้านดอนหวาย ถึง สามแยกบ้านตลาดแค) เขตรับผิดชอบของหมวดการทางโนนสูง แขวงการทางนครราชสีมาที่ 1 กำลังอัดเป้าหมายของคอนกรีตในงานวิจัยนี้คือมากกว่า 400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์) ที่อายุ 24 ชั่วโมง และมากกว่า 480 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ก้อนตัวอย่างทรงลูกบาศก์) ที่อายุ 28 วัน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงเร็วและคอนกรีตกำลังสูง โดยใช้เศษคอนกรีตจากถนนเก่าของกรมทางหลวงเป็นมวลรวมหยาบ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาปฏิกิริยาส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงเร็วและคอนกรีตกำลังสูง โดยใช้เศษคอนกรีตจากถนนเก่าของกรมทางหลวงเป็นมวลรวมหยาบ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาส่วนผสม อายุ และกำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูงเร็วและคอนกรีตกำลังสูง โดยใช้เศษคอนกรีตจากถนนเก่าของกรมทางหลวงเป็นมวลรวมหยาบ

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 ได้คอนกรีตกำลังสูงเร็วและคอนกรีตกำลังสูง โดยใช้เศษคอนกรีตจากถนนเก่าของกรมทางหลวงเป็นมวลรวมหยาบ
- 1.3.2 ทราบถึงปฏิกิริยาส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงเร็วและคอนกรีตกำลังสูง โดยใช้เศษคอนกรีตจากถนนเก่าของกรมทางหลวงเป็นมวลรวมหยาบ
- 1.3.3 ทราบถึงความสัมพันธ์ของปฏิกิริยาส่วนผสม อายุและกำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูงเร็วและคอนกรีตกำลังสูง โดยใช้เศษคอนกรีตจากถนนเก่าของกรมทางหลวงเป็นมวลรวมหยาบ
- 1.3.4 ลดปัญหาขยะจากการรื้อถอน โครงสร้างถนนคอนกรีตของกรมทางหลวงและอนุรักษ์แหล่งมวลรวมหยาบตามธรรมชาติให้มีใช้ไปได้อีกนานด้วย

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตการดำเนินการวิจัยมีดังต่อไปนี้

1.4.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

- 1.4.1.1 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษาเป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement Type I)
- 1.4.1.2 วัสดุมวลรวมธรรมชาติ วัสดุมวลรวมละเอียด ได้จากอำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา วัสดุมวลรวมหยาบ ใช้ขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว ได้แก่ หินปูนย่อยจากโรงงานผลิตคอนกรีตในจังหวัดนครราชสีมา และมวลรวมหยาบจากคอนกรีตถนนเก่าของกรมทางหลวง ในจังหวัดนครราชสีมา
- 1.4.1.3 สารเคมีผสมเพิ่มที่ใช้มี 2 ประเภท คือ
 - ก. สารลดน้ำอย่างแรงคุณสมบัติสูง (High Performance Superplasticser) มาตรฐาน ASTM C494 Type A & F, EN 934-2 และ SIA 262(2003)
 - ข. สารเร่งการแข็งตัว (Accelerating Admixtures) มาตรฐาน ASTM C494-81 Type C

1.4.2 วิธีการทดสอบ

- 1.4.2.1 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุมวลรวมประกอบด้วย
 - ก. การทดสอบวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 136-96a (American Society for Testing and Materials) โดยคัดส่วนขนาดละเอียดและค่าโมดูลัสความละเอียด

ของทรายและหินได้เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ASTM C 33-01(American Society for Testing and Materials)

- ข. การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 128-97 (American Society for Testing and Materials) สำหรับมวลรวมละเอียดและทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 127-88 (American Society for Testing and Materials) สำหรับมวลรวมหยาบ
- ค. การทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและช่องว่างของมวลรวม ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 29/C29M-97a (American Society for Testing and Materials)

1.4.2.2 การผลิตก้อนตัวอย่างคอนกรีตและการทดสอบกำลังอัด ทำการผสมและเก็บก้อนตัวอย่างคอนกรีตตามมาตรฐาน BS1881 : PART 3 (British Standard Institute) โดยตัวอย่างเป็นรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ทำการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตในแต่ละการทดสอบละ 3 ตัวอย่าง และทำการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน BS1881 : PART 4 (British Standard Institute) ที่อายุคอนกรีตต่างๆ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีตกำลังสูงและกำลังสูงเร็ว

2.1.1 การใช้คอนกรีตกำลังสูงและคอนกรีตกำลังสูงเร็วในประเทศไทย

คอนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete ; HSC) มีบทบาทในวงการก่อสร้างของประเทศไทยเมื่อไม่นานมานี้ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2530 เป็นต้นมา การขยายตัวทางเศรษฐกิจอย่างรวดเร็วทำให้ที่ดินมีราคาสูงขึ้นมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จึงนิยมก่อสร้างอาคารสูงและใช้คอนกรีตกำลังสูงสำหรับเสาของอาคาร คอนกรีตกำลังสูงเป็นเรื่องที่ค่อนข้างใหม่สำหรับวิศวกรของไทย แต่ในต่างประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศแถบยุโรป ญี่ปุ่น และสหรัฐอเมริกาได้มีการศึกษาเรื่องคอนกรีตกำลังสูงมานานพอสมควร การพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงเริ่มขึ้นในสหรัฐอเมริกา ในช่วงปี ค.ศ. 1950 ในขณะนั้นถือว่าคอนกรีตมีกำลังสูงเมื่อกำลังอัดประลัยของคอนกรีตทรงกระบอกมาตรฐานสูงกว่า 340 ksc หลังปี 1960 จึงมีการพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงช่วง 410 ถึง 520 ksc เพื่อใช้ในการก่อสร้างอาคาร และในต้นทศวรรษต่อมาสามารถพัฒนากำลังอัดได้สูงถึง 620 ksc

ในปัจจุบันนี้วิทยาการคอนกรีตเทคโนโลยีได้พัฒนาไปมาก มีการใช้สารเคมีในการลดปริมาณน้ำเพื่อทำให้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำลง มีการใช้วัสดุปอซโซลานเพื่อเพิ่มกำลังอัดประลัยและความทนทานของคอนกรีตให้สูงขึ้น ดังนั้น การทำคอนกรีตที่มีกำลังอัดสูงกว่า 1,100 ksc จึงเป็นเรื่องที่สามารถทำได้ไม่ยากนัก สมาคมคอนกรีตของอเมริกาได้กำหนดให้คอนกรีตที่มีกำลังอัดมากกว่า 41 MPa (410 ksc) (แท่งตัวอย่างทรงกระบอก) เป็นคอนกรีตกำลังสูง (ACI Committee 363, 1992.)

คอนกรีตกำลังสูงเร็ว (High Early Strength Concrete; HES) มีบทบาทในวงการก่อสร้างของประเทศไทย หลังจากที่เกิดกรมทางหลวงมีนโยบายที่จะซ่อมบำรุงถนนคอนกรีต โดยใช้คอนกรีตแข็งตัวเร็ว เพื่อเปิดการจราจรได้ภายใน 24 ชั่วโมง และมีกำลังรับแรงอัดได้ไม่น้อยกว่า 35 MPa (350 ksc) (แท่งตัวอย่างทรงกระบอก) (วิจิตอัจฉรา สรรพกิจจานงและเลิศ พัดฉวี 2545)

2.1.2 วัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตกำลังสูง

วัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตกำลังสูงประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวม น้ำ และสารลดปริมาณน้ำหรือสารลดน้ำ (Superplasticizer) นอกจากนี้นิยมผสมวัสดุปอซโซลาน เช่น เถ้าถ่านหินหรือซิลิกาฟูม เพื่อทำปฏิกิริยาปอซโซลานและเพิ่มกำลังอัดประลัยของคอนกรีตให้สูงขึ้น (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ 2551)

2.1.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

การทำคอนกรีตกำลังสูงส่วนใหญ่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และไม่นิยมใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 ยกเว้นกรณีที่ต้องการกำลังอัดในช่วงอายุต้นสูง เช่น คอนกรีตอัดแรง เพราะปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 มีราคาสูง นอกจากนี้การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 จะทำให้คอนกรีตมีความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันสูงในช่วงอายุต้น ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อคอนกรีตได้ ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้สำหรับส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงจะค่อนข้างสูงระหว่าง 400 ถึง 600 kg/m³ ซึ่งทำให้เกิดความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชันมาก เช่น ในการก่อสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กของตึก Water Tower Place ที่เมืองชิคาโกที่มีขนาดหน้าตัด 1.2 x 1.2 ม ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 502 kg/m³ มีอุณหภูมิของคอนกรีตเพิ่มขึ้นจาก 24 องศาเซลเซียส เป็น 66 องศาเซลเซียส (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ 2551) ซึ่งหากโครงสร้างคอนกรีตมีขนาดใหญ่กว่านี้หรือใช้ปริมาณปูนซีเมนต์มากกว่านี้จะก่อให้เกิดปัญหาจากความร้อนได้ ดังนั้น อาจเลือกใช้ปูนซีเมนต์ความร้อนต่ำหรือใช้วัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์มากขึ้น ทั้งนี้ต้องแน่ใจว่ากำลังอัดและคุณสมบัติอื่นๆ ของคอนกรีตกำลังสูงยังคงเป็นไปตามที่ต้องการ (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ, 2551)

2.1.2.2 ประเภทของมวลรวม

มวลรวมหรือวัสดุผสม (Aggregate) คือวัสดุเนื้อหยาบ อันได้แก่ หิน ทราย กรวด มวลรวมเป็นส่วนผสมที่สำคัญของคอนกรีตเนื่องจากมีปริมาตรร้อยละ 70-80 ของปริมาณของส่วนผสมทั้งหมด ดังนั้นคุณภาพของมวลรวม จึงมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของคอนกรีตและจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ความสนใจในเรื่องนี้อย่างมากในอดีตมวลรวมถูกคิดว่าเป็นเพียงวัสดุเนื้อหยาบที่ใช้เป็นตัวแทรกประสานโดยกระจายอยู่ทั่วซีเมนต์เพสต์เท่านั้น ในปัจจุบันพบว่ามวลรวมยังทำหน้าที่อื่นที่สำคัญอีกประการแรกเนื่องจาก มวลรวมเป็นส่วนผสมของคอนกรีตที่มีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้นในส่วนผสมของคอนกรีตจึง ควรใช้ปริมาณมวลรวมให้พอเหมาะเพื่อที่จะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ลดลง ประการต่อมาคุณสมบัติของมวลรวมจะช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน (Durability) และปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลงมาก (Volume Stability) รวมทั้ง มวลรวมยังทำหน้าที่ด้านทานน้ำหนักที่เกิดลงบนคอนกรีตด้วยกำลังและคุณสมบัติทางกายภาพอีกหลายประการของมวลรวมมีผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต ทั้งในสภาพที่เป็นคอนกรีตเหลวและคอนกรีตแข็งตัวแล้วดังนั้นการเลือกใช้มวลรวมที่เหมาะสมไม่เพียงแต่เป็นการประหยัด แต่ยังคงช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้นด้วย มวลรวมที่ดีที่จะส่งให้ คอนกรีตมีความทนทานสูง ควรมีคุณสมบัติพื้นฐานที่ดีดังนี้ คือ ต้องมีความคงทนไม่ทำปฏิกิริยากับส่วนประกอบในปูนซีเมนต์ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อเสถียรภาพทางปริมาตรของ

คอนกรีต และมวลรวมต้องไม่มีสิ่งเจือปนสารที่มีผลเสียต่อกำลังและความคงตัวของซีเมนต์เพสต์ คุณสมบัติ ของคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วขึ้นอยู่กับขบวนการย่อยแปรสภาพของมวลรวม

2.1.2.3 มวลรวมจากเศษคอนกรีต

รัฐพล สมนา และคณะ, ปี 2553 มวลรวมจากเศษคอนกรีต หรือ Recycled Concrete Aggregate ตามคากาจำกัดความของ (ว.ส.ท. 1014 ,25) หมายถึง มวลรวมที่เคยใช้แล้วซึ่งประกอบด้วย วัสดุก่อสร้างจากคอนกรีตที่แตก หรือวัสดุเหลือใช้จากการรื้อสิ่งก่อสร้าง ซึ่งอาจเป็นมวลรวมหยาบ หรือมวลรวมละเอียด ดังนั้นมวลรวมที่ได้จากเศษคอนกรีตจึงเป็นมวลรวมที่มีคุณภาพที่ต่ำกว่ามวลรวมที่ได้จากการย่อยหินตามธรรมชาติ เพราะมีการ ดูดน้ำที่สูง มีความแข็งแรงต่ำ สึกหรือได้ง่าย เมื่อเทียบกับมวลรวมที่ได้จากธรรมชาติ เมื่อนำมวลรวมที่ได้ จากเศษคอนกรีตไปเป็นส่วนผสมในคอนกรีตพบว่าคุณภาพของคอนกรีตจะต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้ หินย่อยจากธรรมชาติเป็นส่วนผสม ดังนั้นจะต้องเข้าใจปัญหาและอุปสรรคของการใช้มวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีต จึงทำให้เข้าใจ การนำมวลรวมจากเศษคอนกรีตมาใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่ก่อให้เกิดปัญหา ตามมาในภายหลัง ปัญหาของการใช้มวลรวมจากเศษคอนกรีตในคอนกรีต ในการย่อยเศษคอนกรีต ดังกล่าวอาจต้องมีการล้างด้วยน้ำเพื่อขจัดฝุ่นหรือสิ่ง สกปรกบางอย่างที่อาจปะปนมาและเป็น อันตรายต่อคอนกรีต เช่น เศษดิน ซากใบไม้ พีชเน่า วัสดุที่ปนมา เป็นต้น มวลรวมจากเศษคอนกรีต มักมีลักษณะและคุณภาพที่ต่ำกว่ามวลรวมที่ได้จากธรรมชาติ โดยทั่วไปมักมีคุณภาพที่ต่ำกว่าไม่ว่า จะเป็นเรื่องขนาด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำร้อยละ การสึกกร่อนจากการขัดสี เป็นต้น นอกจากนี้คอนกรีตที่ใช้มวลรวมดังกล่าวในส่วนผสมมักมี 6 คุณสมบัติทางกลที่ต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากธรรมชาติ เช่น ด้านกำลังอัด โมดูลัสความ ยืดหยุ่น กำลังดึง และการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต เป็นต้น

2.1.2.4 น้ำ

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตกำลังสูงควรเป็นน้ำสะอาด ในกรณีที่สงสัยว่าน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตไม่สะอาดพอควรทำการทดสอบให้แน่ใจก่อนนำไปใช้งาน โดยนำน้ำที่สงสัยไปผสมมอร์ตาร์และทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน จากนั้นเปรียบเทียบกำลังอัดของมอร์ตาร์ที่ใช้น้ำกลั่นในการผสม หากน้ำที่สงสัยสามารถให้กำลังอัดของมอร์ตาร์ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 ของมอร์ตาร์ที่ใช้น้ำกลั่น ถือได้ว่าน้ำนั้นสามารถนำมาผสมคอนกรีตกำลังสูงได้ (ASTM C 94)

2.1.2.5 สารเคมีผสมเพิ่ม

Sika ViscoCrete -10 นํ้ายาผสมคอนกรีตซุเปอร์พลาสติกไฮเซออร์ ประเภทโพลีคาร์บอเนตซีเมนต์ ที่พัฒนาให้เหมาะสำหรับคอนกรีตประเภทไหลเข้าแบบได้ด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องทำการจี้เขย่าหรือสั่น คุณสมบัติเทียบเท่ากับมาตรฐาน EN 934-2 เกี่ยวกับคุณสมบัติลดนํ้าอย่างมาก และควบคุมการเซ็ตตัว

การใช้งาน Sika ViscoCrete -10 เหมาะสำหรับการผสมบริเวณหน้างาน หรือผลิตเป็นคอนกรีตผสมเสร็จเหมาะกับภูมิอากาศในประเทศร้อน หรือต้องการยืดระยะเวลาลำเลียงขนส่งยาวนานออกไป Sika ViscoCrete -10 ให้คุณสมบัติการลดนํ้าที่สูงมาก และยังให้ความสามารถในการไหลตัวได้ดีมาก เนื่องจาก ลักษณะการจับตัวกันอย่างเพียงพอ จึงทำให้สามารถอัดแน่นด้วยตัวมันเองได้ เหมาะสำหรับการใช้งาน ดังต่อไปนี้

- คอนกรีตที่ต้องการออกแบบให้มีอัตราลดนํ้ามากถึง 30%
- คอนกรีตอุณหภูมิเมืองร้อน และประเภทคอนกรีตที่มีระยะเวลา การลำเลียงที่ยาวนานออกไป หรือสาเหตุจากระยะเวลาในการเทยาวนาน
- คอนกรีตที่ได้รับการออกแบบให้มีคุณภาพสูง

คุณสมบัติของ Sika ViscoCrete -10 มีกลไกในการทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ที่แตกต่างจากพฤติกรรมทั่วไป โดยสารละลายเข้าไปกระจายตัว และถูกดูดซับบริเวณพื้นผิวของซีเมนต์โดยทั่วขณะเดียวกันกลไกการทำปฏิกิริยานั้น จะกระทำในบางส่วนกับซีเมนต์ ในที่นี้รวมถึงขบวนการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน ด้วยคุณลักษณะเด่นดังต่อไปนี้

- มีความสามารถในการลดนํ้าสูงมาก (เป็นผลให้ความทึบน้ำสูง ให้กำลังอัดสูง และลดอัตราการซึมผ่าน)
- มีความสามารถในการไหลตัวดีเยี่ยม (เป็นผลให้ลดภาระในการลำเลียงหรือเท ได้มาก และรวมถึงความพยายามในการจี้ให้แน่นก็ลดตามไปด้วย)
- ลดการหดตัวระหว่างการบ่ม และลดการคืบเมื่อคอนกรีตแข็งตัว

Sika ViscoCrete -10 ไม่มีส่วนผสมของคลอไรด์ หรือวัสดุเจือปนอื่น ๆ ที่ก่อให้เกิดการกระตุ้นให้เกิดการกัดกร่อนของสนิมในเหล็ก จึงสามารถใช้ได้กับงานคอนกรีต ที่มีเหล็กเสริม งาน Pre-Stressed หรืองานคอนกรีตก่อสร้างทั่วไป (<http://tha.sika.com>)

SikaRapid-1 นํ้ายาผสมคอนกรีตเพื่อเร่งการแข็งตัวของคอนกรีต เร่งการพัฒนากำลังอัดในช่วงต้นได้อย่างดีเยี่ยม คุณสมบัติเทียบเท่ากับมาตรฐาน EN 934-2 การใช้งาน SikaRapid®-1 เป็นนํ้ายาเสริมให้กับนํ้ายาผสมคอนกรีตมาตรฐานทั่วไป หรือใช้ผสมร่วมกับนํ้ายาลดนํ้าที่ปราศจากสาร

หน่วยงานวัตถุประสงค์การใช้งาน โดยสามารถช่วยเร่งการพัฒนากำลังอัดในช่วงต้นในระยะเวลา 6-24 ชั่วโมง เหมาะสำหรับการใช้งาน ดังต่อไปนี้

- แผ่นคอนกรีตสำเร็จรูป
- คอนกรีตอัดแรง
- งานคอนกรีตที่สร้างขึ้นจากแบบหล่อคอนกรีต

คุณสมบัติของ SikaRapid -1 โดยปกติแล้วจะใช้ร่วมกับน้ำยาประเภทซุเปอร์พลาสติกไซเซอร์ (Sikament) ซึ่งจะไม่ทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตเปลี่ยนแปลงไป อาทิเช่น พฤติกรรมการเซ็ตตัวของซีเมนต์ในระยะแรกเริ่ม หรือคุณลักษณะคอนกรีตเหลว อันเนื่องจาก น้ำยาประเภทซุเปอร์พลาสติกไซเซอร์ ปริมาณการใช้ SikaRapid -1 จะช่วยเพิ่มการพัฒนากำลังอัดในระยะ 24 ชั่วโมงแรกได้บรรลุตามเป้าหมาย เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้ Sikament เพียงอย่างเดียว (<http://tha.sika.com>)

2.1.3 ส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงและกำลังสูงเร็ว

ส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น กำลังอัดที่ต้องการ อายุที่ระบุในการทดสอบ วัสดุที่นำมาใช้ในส่วนผสม เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลให้การเลือกส่วนผสมของคอนกรีตแตกต่างกันไป แต่โดยทั่วไป คอนกรีตกำลังสูงมักมีปูนซีเมนต์หรือวัสดุประสานที่ค่อนข้างสูงและมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่ำ การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงส่วนมากได้มาจากการปรับปรุง หรือคัดแปลงส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงที่เคยใช้หรือมีอยู่แล้วมากกว่าจะเป็นการออกแบบปฏิบัติการส่วนผสมดังที่เคยปฏิบัติในคอนกรีตกำลังธรรมดา กำลังอัดที่อายุ 28 และ 90 วัน ของคอนกรีตที่มีเด็ถ่านหินสูงกว่ากำลังแรงรับของคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กำลังอัดที่อายุ 7 วัน 28 วัน และ 60 วัน ของคอนกรีตที่มีซิลิกาฟูม ควบแน่นมีค่าสูงกว่าคอนกรีตธรรมดาค่อนข้างมาก (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญาจินดาประเสริฐ 2551)

กรมทางหลวงของอเมริกา (Minnesota Department of Transportation, 2003) ได้ทำการปรับปรุงเพื่อให้ได้คอนกรีตกำลังสูงเร็ว 3 วิธี คือ

1. เพิ่มปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ไปจากส่วนของปูนซีเมนต์ปกติ มวลรวมละเอียดจะลดลง ในขณะที่ ปริมาณน้ำและอากาศยังคงไม่เปลี่ยนแปลง
2. เพิ่มสารเคมีผสมเพิ่ม ถึงส่วนผสมมาตรฐาน
3. ผสมผสานกันทั้ง 1 และ 2

การเพิ่มส่วนของปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 หรือเพิ่มสารลดน้ำ จะเพิ่มอัตราส่วนช่องว่างต่อซีเมนต์ขึ้นและด้วยเหตุนี้ความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้น การเพิ่มสารเร่งการแข็งตัวถึงส่วนผสม

มาตรฐาน โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงส่วนของปูนซีเมนต์และน้ำจะเพิ่มอัตราของปฏิกิริยาไฮเดรชัน จะช่วยเพิ่มกำลังสูงเร็ว แต่จะลดกำลังอัดสูงสุด

2.1.3.1 กำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูง

โดยทั่วไปแล้วผลการทดสอบคอนกรีตกำลังสูงมีความเบี่ยงเบนสูงกว่าคอนกรีตกำลังธรรมดา การที่ผลการทดสอบคอนกรีตกำลังสูงมีความเบี่ยงเบนมากย่อมทำให้ต้องเผื่อค่ากำลังคอนกรีตมากขึ้นกว่าปกติ (ACI Committee 363, 1992.) ได้กำหนดการยอมรับกำลังของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบดังนี้

- ก. กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ทดสอบทั้ง 3 ตัวอย่างติดต่อกัน ต้องมีค่าเท่ากับหรือมากกว่ากำลังคอนกรีตที่ออกแบบ
- ข. กำลังของคอนกรีตที่ทดสอบได้ ต้องไม่มีตัวอย่างอันใดที่มีกำลังอัดต่ำกว่าค่าที่ออกแบบไว้เกิน 3.4 MPa

ข้อกำหนดนี้ใช้ได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับคอนกรีตที่มีกำลังอัดในช่วงระหว่าง 20 ถึง 34 MPa ในกรณีที่ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูงไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ควรดูรายละเอียดของผลการทดสอบและข้อมูลอื่นประกอบการตัดสินใจ เช่น เมื่อพบว่าผลการทดสอบกำลังอัดของบางตัวอย่างต่ำกว่า 3.4 MPa ไม่มากนัก จะต้องตรวจสอบส่วนผสมและปรับส่วนผสมให้มีกำลังอัดตามที่ต้องการในการทำงานต่อไป และสำหรับคอนกรีตที่เทไปแล้วให้พิจารณาการพัฒนากำลังอัดและอายุการใช้งาน เนื่องจากคอนกรีตกำลังสูงมักมีการพัฒนากำลังอัดที่ดีแม้ว่าจะมีอายุมากกว่า 28 วันขึ้นไป และหากการทำการก่อสร้างอาคารดังกล่าวสามารถยึดออกไปได้ก็ไม่จำเป็นต้องทุบทิ้งและทำใหม่ เพราะกำลังของคอนกรีตอาจสูงเพียงพอที่จะรับน้ำหนักเมื่อเปิดใช้งานอาคารดังกล่าว ทั้งนี้อาจใช้การทดสอบการรับน้ำหนักตามมาตรฐานระบุเพื่อให้มั่นใจในความแข็งแรงประกอบด้วย อย่างไรก็ตาม หากผลการทดสอบกำลังอัดต่ำกว่ากำลังอัดที่ต้องการค่อนข้างมาก ไม่ควรใช้คอนกรีตดังกล่าวและหาสาเหตุเพื่อแก้ไขส่วนผสมของคอนกรีตต่อไป (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ 2551)

2.1.3.2 อายุที่ใช้ทดสอบคอนกรีตกำลังสูง

การเลือกอายุในการทดสอบคอนกรีตจะมีผลต่อการเลือกส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงด้วย โดยทั่วไปนิยมการเลือกใช้การทดสอบกำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เป็นเกณฑ์ แต่สำหรับงานที่ต้องการคอนกรีตมีกำลังที่สูงมากในช่วงอายุดัน เช่น งานคอนกรีตสำเร็จรูปซึ่งต้องการกำลังอัดที่สูงในช่วงอายุ 12 ถึง 24 ชั่วโมงหรืองานซ่อมแซมถนนซึ่งต้องการกำลังอัดที่สูงในช่วงอายุประมาณ 3 วัน งานเหล่านี้ควรใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 แทนการใช้ปูนซีเมนต์

ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และไม่ควรรใช้เถ้าถ่านหินที่มีความละเอียดต่ำในส่วนผสมคอนกรีต คอนกรีตกำลังสูงมักมีส่วนผสมของวัสดุปอซโซลานอยู่ด้วย ซึ่งจะให้กำลังแก่คอนกรีตเพิ่มขึ้น แม้ว่าอายุของคอนกรีตจะมากกว่า 28 วัน ดังนั้นในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต อาจกำหนด กำลังอัดที่อายุ 56 หรือ 90 วันและทำการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วันด้วยเพื่อดู แนวโน้มว่าคอนกรีตที่มีอายุเพิ่มขึ้นเป็น 56 หรือ 90 วัน จะมีกำลังสูงตามที่ต้องการหรือไม่ เพราะคอนกรีตกำลังสูงนิยมใช้เสาหรือฐานราก ซึ่งองค์อาคารดังกล่าวจะรับน้ำหนักอย่างเต็ม ตามที่ออกแบบไว้ต้องใช้เวลาในการก่อสร้างอาคารมากกว่า 6 เดือนขึ้นไป ซึ่งกรณีเช่นนี้การ ใช้เถ้าถ่านหินหรือวัสดุปอซโซลานในส่วนผสมของคอนกรีตกำลังสูงจะทำให้ประหยัดและมีกำลังอัด ประลัยตามอายุที่ต้องการ (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ 2551)

2.1.3.3 ปริมาณปูนซีเมนต์และน้ำ

คอนกรีตกำลังสูงจะมีปริมาณปูนซีเมนต์สูงกว่าคอนกรีตกำลังธรรมดา ปริมาณปูนซีเมนต์ อยู่ในช่วง 400 ถึง 600 kg/m³ การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากขึ้นกว่าค่าดังกล่าวจะทำให้กำลังรับ แรงของคอนกรีตลดลง นอกจากนี้การใช้น้ำปูนซีเมนต์ผสมวัสดุปอซโซลานในอัตราส่วนที่พอเหมาะ สามารถเพิ่มปริมาณวัสดุประสานในส่วนผสมและทำให้กำลังอัดเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณวัสดุประสานที่ ให้กำลังอัดสูงสุดจะขึ้นอยู่กับชนิดของปูนซีเมนต์ สารเคมีผสมเพิ่มที่ใช้ ชนิดของทรายและหิน รวมทั้งวัสดุปอซโซลานที่ใช้ เนื่องจากวัสดุปอซโซลานจัดเป็นวัสดุประสานด้วย ดังนั้นจึงใช้ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์บวกวัสดุปอซโซลาน) แทนการใช้อัตราส่วนน้ำต่อ ปูนซีเมนต์ นอกจากนี้ในสารเคมีผสมเพิ่ม เช่น สารลดน้ำพิเศษที่ใช้ในการลดปริมาณน้ำใน ส่วนผสมคอนกรีตจะมีน้ำเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย เพราะฉะนั้นปริมาณน้ำที่ใช้จริงต้องรวมปริมาณน้ำ ที่มีอยู่ในสารเคมีผสมเพิ่มเหล่านี้ด้วย โดยทั่วไปอัตราส่วนต่อวัสดุประสานที่ใช้ในคอนกรีตกำลัง สูงมักอยู่ระหว่าง 0.25 ถึง 0.40 (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ 2551)

2.1.3.4 ความสามารถในการเทของคอนกรีตกำลังสูง

ความสามารถในการเทของคอนกรีตกำลังสูงมักใช้ค่ายุบตัวของคอนกรีตในการกำหนด แต่ข้อเสียของการทดสอบโดยวิธียุบตัวของคอนกรีต คือ ไม่เหมาะที่จะใช้กับคอนกรีตที่มีการ ยุบตัวต่ำมากหรือสูงมาก ในการทดสอบคอนกรีตที่มีค่ายุบตัวต่ำมากหรือสูงมากควรเลือกใช้วิธี เวลาของวิบีจะให้ค่าที่ดีกว่า คอนกรีตกำลังสูงที่ดีควรมีความหนาแน่นสูงสามารถกระทุ้งหรือเขย่า หรือทำให้แน่นได้อย่างเต็มที่ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องเทในบริเวณที่มีเหล็กเสริมหนาแน่น โดยทั่วไปแล้วมักกำหนดค่ายุบตัวประมาณ 10 ซม. อย่างไรก็ตามก่อนการกำหนดค่ายุบตัวของ คอนกรีตควรพิจารณาถึงรายละเอียดของแบบหล่อคอนกรีต และระยะแคบที่สุดของเหล็กเสริม การเลือกใช้ค่ายุบตัวที่ต่ำกว่า 7.5 ซม. จะต้องมีเครื่องมือในการช่วยเขย่าหรือทำคอนกรีตให้แน่น

คอนกรีตกำลังสูงมีแนวโน้มที่จะสูญเสียค่าการยุบตัวที่เร็วกว่าคอนกรีตกำลังธรรมดา ดังนั้นควรตรวจสอบระยะเวลาที่สามารถเทคอนกรีตได้โดยไม่มีปัญหาเพื่อจะได้กำหนดการเทคอนกรีตให้เสร็จก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว ซึ่งหากคอนกรีตแข็งตัวแล้วจะทำให้ทำงานได้ยากหรือไม่สามารถเทคอนกรีตเข้าแบบได้ คอนกรีตกำลังสูงมักมีความเหนียวหนืดมากกว่าคอนกรีตธรรมดาเนื่องจากการมีใช้วัสดุละเอียดในส่วนผสมสูง การใช้ปูนซีเมนต์ผสมกับวัสดุปอซโซลานในปริมาณที่มากจะทำให้คอนกรีตสดเหนียวหนืด เทเข้าแบบได้ยาก และเป็นผลเสียต่อการไหลของคอนกรีต ในการกำหนดส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงต้องใช้วัสดุประสานเท่าที่จำเป็น โดยที่ยังมีกำลังอัดสูงตามที่ต้องการ ควรใช้มวลหยาบหรือหินให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ แต่ยังคงมีความสามารถในการเทตามที่ต้องการ ในกรณีที่คอนกรีตกำลังสูงที่ออกแบบและนำมาใช้ในสนามมีความเหนียวหนืดมากขึ้นจากเดิมอย่างผิดปกติ ควรทำการตรวจสอบส่วนผสมที่ซึ่งดวงไว้ และหาสาเหตุอื่นที่ก่อให้เกิดปัญหาดังกล่าว เช่น มีการก่อตัวผิดปกติของปูนซีเมนต์หรือไม่ เพื่อจะได้ดำเนินการแก้ไข (ชัย จาคูพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ 2551)

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รัฐพล สมณา และคณะ (2553) การพัฒนาคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตด้วยวัสดุปอซโซลาน จากข้อมูลเบื้องต้นที่น่าเสนอพบว่ามวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่ได้จากการย่อยเศษ คอนกรีตมีคุณภาพและคุณสมบัติที่ต่ำกว่ามวลรวมที่ได้จากการย่อยหินที่ได้จากธรรมชาติ จึงคาดหมายได้ว่าย่อมทำให้คุณภาพของคอนกรีตต่ำลง และเป็นเหตุผลสำคัญที่ผู้รับผิดชอบที่โรงงานผสมคอนกรีต ไม่ใช้มวลรวมที่ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตในส่วนผสมของคอนกรีต อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยเริ่มพบว่ามีกรณีรื้อถอนอาคารคอนกรีต ขณะที่หน่วยบางแห่งได้ลงทุนซื้อเครื่องจักรเพื่อทำการย่อยคอนกรีตเหล่านี้เพื่อนำเหล็กเสริมออกมาใช้ประโยชน์และทำการย่อยเศษคอนกรีตให้มีขนาดเล็กลง และนำไปใช้เป็นวัสดุถมในการสร้างถนน ซึ่งเป็นการนำเศษคอนกรีตกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่ง วัสดุปอซโซลานหลายชนิด เช่น เถ้าถ่านหิน เถ้าแกลบ เถ้าขานอ้อย หรือเถ้าปาล์มน้ำมัน เป็นต้น พบว่าเมื่อมีความละเอียดสูง ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่ไม่มากนักเกินไป และมีองค์ประกอบทางเคมีที่เหมาะสม สามารถพัฒนาคุณภาพของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากธรรมชาติได้ดี ดังนั้นแนวคิดในการนำวัสดุปอซโซลานมาพัฒนาคุณภาพของคอนกรีตที่ผสมมวลรวมจากการย่อยเศษคอนกรีตจึงเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการลดจุดด้อยของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมจากการย่อยเศษ คอนกรีตในส่วนผสม

ประจักษ์ เข็มบุบผา (2548) ศึกษามวลรวมหยาบจากการย่อยคอนกรีตเก่าที่ผ่านห้องทดสอบที่ออกแบบกำลังอัด 200,400 และ $600 \pm 10\%$ กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ของคอนกรีต

ทรงลูกบาศก์ แล้วตัดเอากระแทกเฉพาะส่วนที่ข้างตะแกรงขนาด 1/2, 3/8 นิ้ว และตะแกรงเบอร์ 4 มาผสมกัน ของแต่ละกำลังของส่วนที่ข้างตะแกรง และมวลรวมหยาบแต่ละกำลังอัดของคอนกรีต 200+400+600 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มาผสมกันตามสัดส่วนที่ข้างตะแกรง แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติและนำไปผสมคอนกรีตเพื่อทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7 วัน 14 วัน 28 วัน และ 56 วัน กำหนดค่ายุบตัว 8-10 ซม. ผลการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมหยาบ พบว่าความถ่วงจำเพาะและหน่วยน้ำหนักต่ำกว่ามวลรวมหยาบจากธรรมชาติ ส่วนอัตราการดูดซึมน้ำและความต้านทานการสึกกร่อนสูงกว่ามวลรวมหยาบจากธรรมชาติ เนื่องจากปริมาณการยึดเกาะของซีเมนต์เพสต์ติดกับผิวหิน ถ้าใช้มวลรวมหยาบแทนที่ทั้งหมดและเพิ่มมวลรวมหยาบร้อยละ 25-50 ของน้ำหนักมวลรวมหยาบปกติ พบว่ากำลังอัดและกำลังดึงจะต่ำลงตามปริมาณการเพิ่มมวลรวมหยาบ ถ้าลดมวลรวมหยาบร้อยละ 25-50 และเพิ่มปูนซีเมนต์ร้อยละ 25-50 โดยน้ำหนัก กำลังอัดและกำลังดึงมีค่าใกล้เคียงและสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากธรรมชาติ การเพิ่มปูนซีเมนต์จะให้ผลดีกว่าการลดมวลรวมหยาบ แต่กำลังจะไม่สูงมาก เนื่องจากถูกจำกัดด้วยชนิดของมวลรวมหยาบและอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้

พุทธิพงษ์ ทะลีหิรัธนาวัฒนา และเอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ (2547) การศึกษาสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของมวลรวมหยาบจำพวกย่อยประเภทหินปูนหินแกรนิต และหินบะซอลต์ ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดของหินตั้งแต่ 3/8 จนถึง 1 นิ้ว ผลทดสอบพบว่า หินย่อยที่มีขนาดใหญ่จะมีสมบัติทางกายภาพที่ดีกว่าขนาดเล็ก อันได้แก่ การดูดซึมน้ำหน่วยน้ำหนัก และปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาค หินย่อยขนาดเล็กมีแนวโน้มที่มีดัชนีความแบนและความยาวมากกว่าหินย่อยขนาดใหญ่ เนื่องมาจากปัจจัยที่เกิดจากกระบวนการย่อยหิน สำหรับสมบัติเชิงกลหินย่อยขนาดเล็กจะมีกำลังแรงกดจุด ความทนทานต่อการบดอัด และการสึกกร่อนดีกว่าหินย่อยขนาดใหญ่ ซึ่งอาจใช้เป็นเหตุผลในการพิจารณาค่าดัชนีกำลัง และนำมาเชื่อมโยงกับการจัดขนาดคละของมวลรวมหยาบ เพื่อใช้ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตให้มีกำลังตามต้องการได้

ธนบดี อินทรเพชรและชูชัย สุจิวิรกุล (2554) วิจัยเพื่อพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงเร็ว และคอนกรีตกำลังสูงสำหรับใช้งานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนโดยใช้วัสดุมวลรวมในพื้นที่มาผลิตเป็นคอนกรีต ได้แก่ ทราย หินปูน กรวดร่อน กรวดย่อย จากแม่น้ำโขง สารเคมีผสมเพิ่มที่ใช้ในการศึกษาคือสารลดน้ำอย่างแรง (SikaViscoCrete-HE20) และสารเร่งการก่อตัว (SikaRapid-1) ในการศึกษานี้ได้แบ่งคอนกรีตออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่ม C ทำการศึกษาปริมาณการใช้สารเคมีผสมเพิ่มที่เหมาะสม โดยทำการศึกษาจากกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 1 วัน ขณะที่กลุ่ม A และ B ทำการศึกษาปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ และมวลรวม ที่มีผลต่อการพัฒนากำลังอัดที่อายุคอนกรีต 6, 8, 12 ชั่วโมง และ 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน โดยกลุ่ม A ใช้ปูนซีเมนต์ 550 kg/m^3 ส่วนกลุ่ม B ใช้

ซีเมนต์ 700 kg/m³ ตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้มีขนาด 15x15x15 ซม. ซึ่งเตรียมตัวอย่างตามมาตรฐาน BS-1881 โดยคอนกรีตกำลังสูงเร็วควรมีกำลังอัดที่อายุ 6 ชั่วโมง และ 1 วัน ไม่ต่ำกว่า 160 และ 400 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ ตามมาตรฐาน SHRP-C-364 และคอนกรีตกำลังสูงควรมีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ไม่ต่ำกว่า 480 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามมาตรฐาน ACI 363R-92 ผลการวิจัยนี้พบว่าวัสดุผสมรวมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนสามารถนำมาใช้ผลิตเป็นคอนกรีตกำลังสูงเร็วและคอนกรีตกำลังสูงได้ โดยการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ในปริมาณปกติคือที่ 550 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และใช้สารลดน้ำอย่างแรงที่ร้อยละ 0.8 และสารเร่งการก่อตัวที่ร้อยละ 1.0 เทียบกับน้ำหนักปูนซีเมนต์

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

บทที่ 3 กล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วย การหาวัตถุดิบ (มวลรวมหยาบ จากถนนเก่ากรมทางหลวง และมวลรวมหยาบธรรมชาติ) การคัดเลือกใช้วัตถุดิบ แหล่งที่ได้มา และ กระบวนการเตรียมตัวอย่าง

3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

3.1.1 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการศึกษาเป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement Type I) สามารถใช้ร่วมกับสารลดน้ำอย่างแรง (Superplasticizer) ทุกยี่ห้อได้ดี

3.1.2 วัสดุผสม (Aggregate)

3.1.2.1 มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ใช้ทรายแม่น้ำตามมาตรฐาน ASTM C 33-03 (ทรายจาก อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา)

3.1.2.2 มวลรวมหยาบรีไซเคิล (Recycle Coarse Aggregate) ได้จากถนนเก่ากรมทางหลวงเลือกใช้มวลรวมหยาบที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 4 และขนาดโตสุด $\frac{3}{4}$ นิ้ว จากจังหวัดนครราชสีมา แสดงดังรูปที่ 3.1

3.1.2.3 มวลรวมหยาบจากธรรมชาติ (Coarse Aggregate) ได้จากโรงโม่หิน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 4 และขนาดโตสุด $\frac{3}{4}$ นิ้ว แสดงดังรูปที่ 3.1

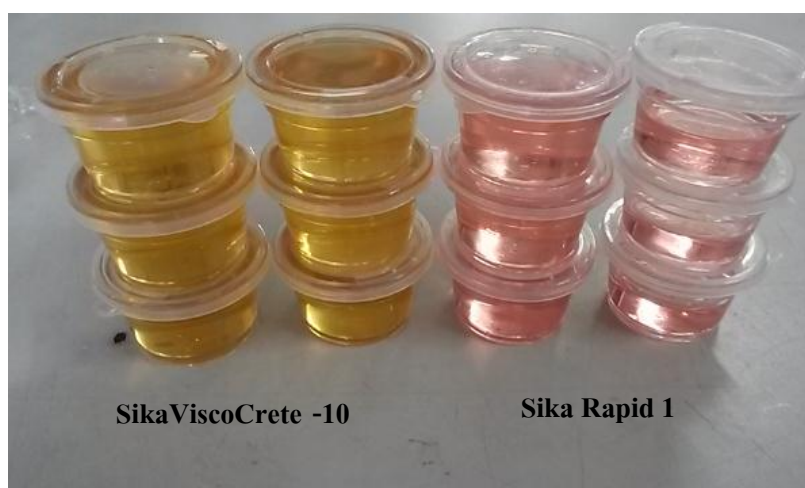
3.1.3 สารเคมีผสมเพิ่ม

สารเคมีผสมเพิ่มที่ใช้มี 2 ประเภท แสดงดังรูปที่ 3.2 คือ สารลดน้ำอย่างแรงคุณสมบัติสูง (High Performance Superplasticer) มาตรฐาน ASTM C494 Type A & F, EN 934-2 และ SIA 262(2003) ยี่ห้อ Sika ชื่อผลิตภัณฑ์ SikaViscoCrete -10 อัตราการใช้สำหรับปรับปรุงความสามารถในการเทระดับปานกลาง แนะนำให้ใช้อัตรา 0.2 – 0.8 ซีซี ต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์ 100 กิโลกรัม และสำหรับคอนกรีตที่ต้องการควบคุมความสามารถในการเทสูง เหลวจนถึงอัตรา น้ำต่อซีเมนต์ต่ำมาก ๆ และใช้ออกแบบเป็น Self Compacting Concrete แนะนำให้ใช้ร้อยละ 1.0 – 2.0 ต่อน้ำหนักปูนซีเมนต์ 100 กิโลกรัม และสารเร่งการแข็งตัว (Accelerating Admixtures) มาตรฐาน ASTM C494-81 Type C ยี่ห้อ Sika ชื่อ SikaRapid 1 อัตราการใช้ 500-1500 ซีซี

ต่อน้ำหนักปูน 100 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับอัตราเร่งที่ต้องการ(T. Hirschi, H. Knauber, M. Lanz, J. Schlumpf, J. Schrabback, C.Spirig, U. Waeber)



รูปที่ 3.1 มวลรวมหยาบหินธรรมชาติและมวลรวมหยาบจากคอนกรีตถนนเก่า



รูปที่ 3.2 สารเคมีผสมเพิ่ม SikaViscoCrete -10 และ Sika Rapid 1

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

- 3.2.1 ตะแกรงวิเคราะห์ขนาดมวลรวม แสดงดังรูปที่ 3.3
- 3.2.2 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม แสดงดังรูปที่ 3.4
- 3.2.3 ชุดทดสอบความถ่วงจำเพาะ แสดงดังรูปที่ 3.5
- 3.2.4 ตู้อบควบคุมอุณหภูมิปรับอุณหภูมิ แสดงดังรูปที่ 3.6
- 3.2.5 ชุดทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต แสดงดังรูปที่ 3.7
- 3.2.6 แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 10×10×10 ซม. แสดงดังรูปที่ 3.8

3.2.7 เครื่องผสมคอนกรีต แสดงดังรูปที่ 3.9

3.2.8 เครื่องทดสอบกำลังอัด แสดงดังรูปที่ 3.10

3.2.9 บ่อบ่มคอนกรีต



รูปที่ 3.3 ตะแกรงวิเคราะห์ขนาดมวลรวม



รูปที่ 3.4 เครื่องชั่งน้ำหนักไฟฟ้าอ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม



รูปที่ 3.5 ชุดเครื่องมือหาค่าความถ่วงจำเพาะ



รูปที่ 3.6 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ 105 - 115 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.7 ชุดทดสอบค่ายุบตัวของคอนกรีต



รูปที่ 3.8 แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ ขนาด 10×10×10 ซม.



รูปที่ 3.9 เครื่องผสมคอนกรีต



รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

3.3 การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุมวลรวม

การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ แบ่งการทดสอบออกเป็นดังนี้

3.3.1 วิธีการทดสอบวิเคราะห์ขนาดมวลรวมละเอียด

การทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C 136-96a Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates (American Society for Testing and Materials)

โดยสัดส่วนขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายที่ใช้ ควรเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 33-01 Standard Specification for Concrete Aggregates (American Society for Testing and Materials)

3.3.2 วิธีการทดสอบวิเคราะห์ขนาดมวลหยาบ

การทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C 136-96a Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates (American Society for Testing and Materials) โดย สัดส่วนขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียดของหินปูนย่อยและคอนกรีตถนนเก่า ควรเป็นไป ตามมาตรฐาน ASTM C 33-01 Standard Specification for Concrete Aggregates (American Society for Testing and Materials)

3.3.3 วิธีการทดสอบหาค่าถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด

การทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C 128-97 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregates (American Society for Testing and Materials)

3.3.4 วิธีการทดสอบหาค่าถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ

การทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C 127-88 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coars Aggregates (American Society for Testing and Materials)

3.3.5 วิธีการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและช่องว่างของมวลรวม

การทดสอบทำตามมาตรฐาน ASTM C 29/C29M-97a Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregates (American Society for Testing and Materials)

3.4 การทดสอบหาปริมาณการใช้สารเคมีผสมเพิ่มที่เหมาะสม

3.4.1 การแบ่งปริมาณการใช้สารเคมีผสมเพิ่ม

ปริมาณการใช้สารเคมีผสมเพิ่มแบ่งเป็น 3 ระดับ ดังตารางที่ 3.1 เพื่อนำไปเป็นส่วนผสม คอนกรีต โดยคิดเป็นร้อยละต่อ 100 กิโลกรัม ของปูนซีเมนต์ คือ Sika Viscocrete -10 ชนิดเดียว ร้อยละ 0.8 และ Sika Viscocrete -10 + Sika Rapid 1 รวมกันร้อยละ 0.8+0.4 และ 0.8+0.8

ตารางที่ 3.1 การแบ่งการใช้ปริมาณสารเคมีผสมเพิ่ม

สารเคมีผสมเพิ่ม	ร้อยละปริมาณการใช้/ 100 กิโลกรัม ซีเมนต์	
	ขั้นต่ำสุด	มากที่สุด
Sika ViscoCrete -10	0.4	0.8
Sika Rapid 1	0.4	0.8
Sika ViscoCrete -10 + Sika Rapid 1	0.4	0.8

3.4.2 แผนการทดสอบกำลังอัดเพื่อหาปริมาณการใช้สารเคมีผสมเพิ่มที่เหมาะสม

แผนการทดสอบกำลังอัดเพื่อหาปริมาณการใช้สารเคมีผสมเพิ่มคือสารลดน้ำอย่างมากและสารเร่งการก่อตัว ที่เหมาะสม แสดงดังตารางที่ 3.2 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตดำเนินการที่อายุ 1 วัน การศึกษานี้จะควบคุมให้ปริมาณปูนซีเมนต์ ทราย และหินปูนย่อยคงที่ และปรับเปลี่ยนปริมาณสารผสมเพิ่ม (สารลดน้ำอย่างแรงและสารเร่งการแข็งตัว) โดยที่ให้อัตราส่วนน้ำ + สารผสมเพิ่ม ต่อซีเมนต์คงที่เท่ากับ 0.30

3.4.3 สัญลักษณ์ของอัตราส่วนผสมและปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต

สัญลักษณ์ของอัตราส่วนผสม

ABC

เมื่อ

- A หมายถึง ชนิดของมวลรวมหยาบ
- B หมายถึง สารลดน้ำ
- C หมายถึง สารเร่งการแข็งตัว
- NC หมายถึง มวลรวมหยาบที่ได้จากหินธรรมชาติ
- 50R หมายถึง คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบร้อยละ 50% ผสมกับมวลรวมหยาบธรรมชาติ 50%
- 100R หมายถึง คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบร้อยละ 100%
- VC-10 หมายถึง สารลดน้ำอย่างแรง (Superplasticizer) Sika ViscoCrete-10
- P-1 หมายถึง สารเร่งการแข็งตัว (Accelerating Admixtures) Sika Rapid 1
- 0.8V หมายถึง สารลดน้ำอย่างแรง (Superplasticizer) Sika ViscoCrete-10 จำนวน 0.8% โดยน้ำหนัก ปูนซีเมนต์
- 0.4P หมายถึง สารเร่งการแข็งตัว (Accelerating Admixtures) Sika Rapid 1 จำนวน 0.8% โดยน้ำหนัก ปูนซีเมนต์

ตารางที่ 3.2 ปฏิภาคส่วนผสมสำหรับการศึกษา

Mix ID	Mixed Proportion (kg/m ³)							W/C
	Cement	Sand	Coarse Aggregates		water	Admixtures		
			Natural	Recycle		VC-10	P-1	
NC 0.8V	550	847	917	-	161	4.40	-	0.30
50R 0.8V	550	847	458.5	458.5	161	4.40	-	0.30
100R 0.8V	550	847	-	917	161	4.40	-	0.30
NC 0.8V0.4P	550	847	917	-	158	4.40	2.20	0.30
50R 0.8V0.4P	550	847	458.5	458.5	158	4.40	2.20	0.30
100R 0.8V0.4P	550	847	-	917	158	4.40	2.20	0.30
NC 0.8V0.8P	550	847	917	-	156	4.40	4.40	0.30
50R 0.8V0.8P	550	847	458.5	458.5	156	4.40	4.40	0.30
100R 0.8V0.8P	550	847	-	917	156	4.40	4.40	0.30

3.4.4 การผลิตแท่งตัวอย่างคอนกรีต

การผสมและเก็บก้อนตัวอย่างคอนกรีตทำตามมาตรฐาน BS 1881:PART 3 Method of Making and Curing Test Specimens ตัวอย่างคอนกรีตส่วนผสมส่วนผสมละ 3 ก้อน จำนวน 9 ส่วนผสม คือ NC0.8V, 50R0.8V, 100R0.8V, NC0.8V0.4P, 50R0.8V0.4P, 100R0.8V0.4P, NC0.8V0.8P, 50R0.8V0.8P, 100R0.8V0.8P การผลิตก้อนตัวอย่างคอนกรีตและการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตทำการผสมและเก็บก้อนตัวอย่างคอนกรีตตามมาตรฐาน BS 1881:PART 3 Method of Making and Curing Test Specimens (British Standard Institute) และทำการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน BS 1881:PART 4 Method of Testing Concrete for Strength (British Standard Institute) โดยกำหนดอายุที่ทำการทดสอบคือ 1 และ 28 วัน จำนวนรวมทั้ง 54 ก้อนตัวอย่าง หาค่าเฉลี่ยจากการกดก้อนตัวอย่างอายุละ 3 ก้อน

3.4.5 ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 24 ชั่วโมง

การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตทำตามมาตรฐาน BS 1881: PART 4 Method of Testing Concrete for Strength (British Standard Institute)

3.4.6 เปรียบเทียบค่ากำลังอัดของก้อนตัวอย่างที่มีปริมาณการใช้สารเคมีผสมเพิ่ม

ค่ากำลังอัดของก้อนคอนกรีตที่มีชนิดและปริมาณการใช้สารเคมีผสมเพิ่มต่าง ๆ จะนำมาเปรียบเทียบเพื่อศึกษาอิทธิพลของสารผสมเพิ่มและปริมาณของสารผสมเพิ่มต่อการพัฒนากำลังอัดระยะต้นและปลาย

3.5 การศึกษาการพัฒนากำลังอัดทั้งระยะต้นและระยะปลาย

หลักการและวิธีการออกแบบปฏิบัติการส่วนผสมคอนกรีตใช้ตามวิธีของสมาคมคอนกรีตอเมริกัน (American Concrete Institute; ACI) แล้วทำการปรับปรุงเพื่อให้ได้กำลังสูงเร็วตามกรมการขนส่งอเมริกา (Department of Transportation; DOT) โดยเพิ่มปูนซีเมนต์เข้าไปอีกไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 และลดปริมาณมวลรวมละเอียดหรือทรายลง ให้ไม่เกินร้อยละ 40 ของมวลรวมทั้งหมด เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน

มาตรฐานที่ใช้อ้างอิงในการทดสอบ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือมาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดค่ากำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูงเร็ว คือใช้มาตรฐาน (Strategic Highway Research Program) (SHRP-C-364) และมาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดค่ากำลังอัดของคอนกรีตกำลังสูง คือมาตรฐาน (ACI 363-1992) (ACI Committee 363) รายละเอียดของค่ากำลังต่ำสุดที่ควรได้รับได้แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 มาตรฐานที่ใช้ในการอ้างอิง (Strategic Highway Research Program, Zia et al., 1993) (ACI Committee 363, 1992)

Standard	Category of High Performance Concrete	Min. Compressive Strength	
		Cylinder	Cube
SHRP-C-364	High Early Strength (HES) (in 24 hours)	35 Mpa [350 ksc]	40 Mpa [400 ksc]
ACI 363R-92	High Strength (HS) (in 28 days)	41 Mpa [410 ksc]	48 Mpa [480 ksc]

ตาราง 3.3 แสดงให้เห็นว่าควรศึกษาและพัฒนาคอนกรีตที่มีกำลังสูงเร็วที่ 24 ชั่วโมงได้ กำลังอัด 350 ksc Cylinder หรือ 400 ksc Cube ซึ่งเรียกว่า High Early Strength Concrete (HES) หรือคอนกรีตกำลังสูงเร็ว โดย SHRP-C-363 (Strategic Highway Research Program.) และที่อายุ 28 วัน ได้กำลังอัดไม่น้อยกว่า 410 ksc Cylinder หรือ 480 ksc Cube เรียกว่า High Strength Concrete (HS) หรือ คอนกรีตกำลังสูงโดย ACI (ACI Committee 363)

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

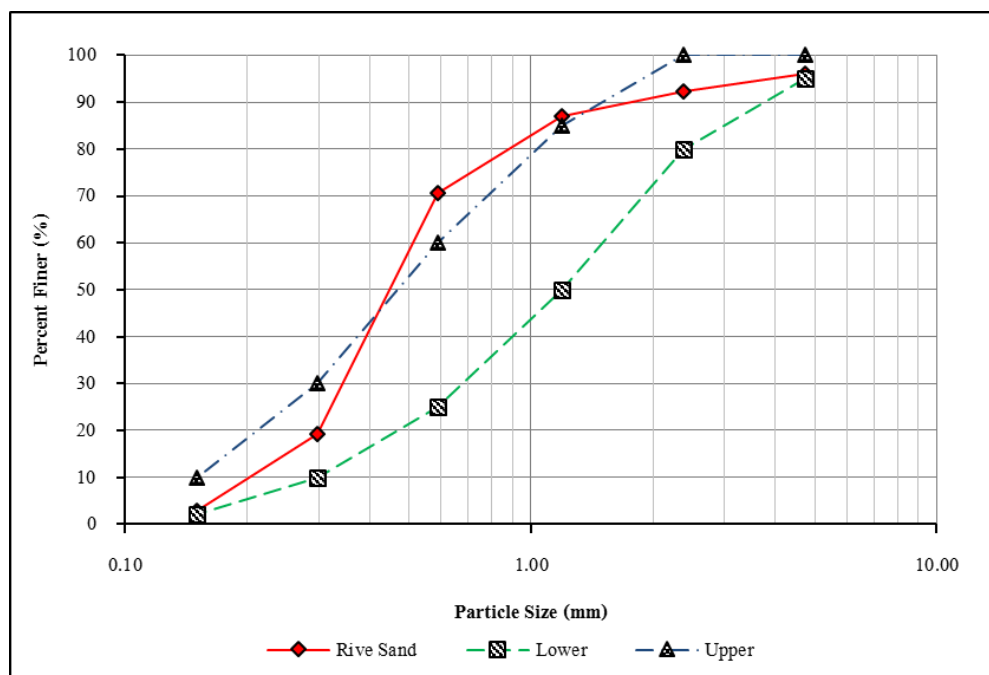
บทที่ 4 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของมวลหยาบธรรมชาติและมวลรวมหยาบรีไซเคิล (ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตถนนเก่าของกรมทางหลวง) และคุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตที่มวลรวมหยาบธรรมชาติและมวลรวมหยาบรีไซเคิล (ได้จากการย่อยเศษคอนกรีตถนนเก่าของกรมทางหลวง) ท้ายสุด ผู้วิจัยได้แสดงอิทธิพลของสารผสมเพิ่ม (สารลดน้ำและสารเร่งการก่อตัว) ต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต

4.1 คุณสมบัติของมวลรวม

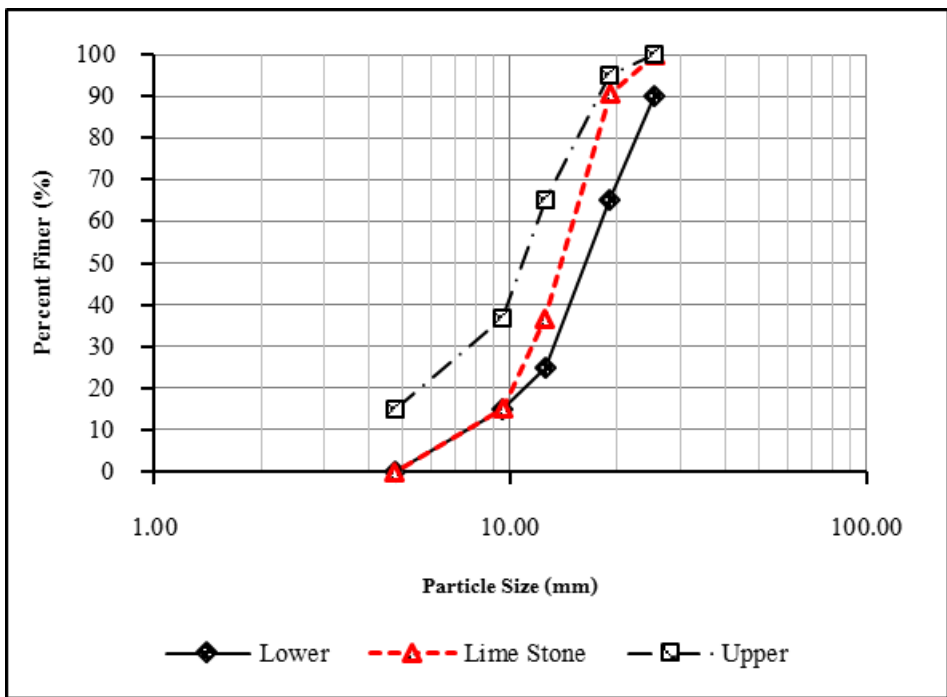
คุณสมบัติของมวลรวมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 4.1 งานวิจัยนี้ใช้ทรายแม่น้ำซึ่งมีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.25 การกระจายตัวของมวลรวมละเอียดแสดงในรูปที่ 4.1 มวลรวมละเอียดมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.64 ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 0.70 หน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,613.075 กก/ม³ และโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.25 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของ ASTM C33 เล็กน้อย ที่กำหนดให้โมดูลัสความละเอียดมีค่าระหว่าง 2.3 ถึง 3.2 ดังนั้นคอนกรีตจึงมีความเหนียว และติดไม่ขณะผสม สำหรับมวลรวมหยาบจากธรรมชาติ (หินธรรมชาติ) มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 7.61 การกระจายตัวของมวลรวมหยาบ(หินธรรมชาติ) แสดงในรูปที่ 4.2 ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.75 ค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 0.61 มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,523.456 กก/ม³ และการสึกกร่อนจากการขัดสีเท่ากับร้อยละ 20.55 โดยน้ำหนัก สำหรับมวลรวมหยาบจากการย่อยเศษคอนกรีตจากถนนเก่าของกรมทางหลวงหรือมวลรวมหยาบรีไซเคิล มีค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 7.53 การกระจายตัวของมวลรวมหยาบ(หินจากถนนเก่า) แสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับหินธรรมชาติ ส่วนค่าความถ่วงจำเพาะและหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบรีไซเคิลมีค่าเท่ากับ 2.67 และ 1,302.471 กก/ม³ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าของหินธรรมชาติ เนื่องจากมวลรวมหยาบรีไซเคิลมีเศษมอร์ตาร์ซึ่งมีความพรุนเกาะติดอยู่ที่ผิวของมวลรวม จึงทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบรีไซเคิลมีค่าต่ำกว่าของหินธรรมชาติ นอกจากนี้มวลรวมรีไซเคิลยังมีการดูดซึมน้ำและค่าการสูญเสียน้ำหนักจากการสึกกร่อนเท่ากับร้อยละ 5.60 และ 40 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่าหินธรรมชาติ ทั้งนี้เนื่องจากการที่มวลรวมหยาบรีไซเคิลมีเศษมอร์ตาร์ซึ่งมีความพรุนเกาะติดอยู่ที่ผิวของมวลรวม และมอร์ตาร์ที่ติดอยู่นั้นมีความแข็งแรงต่ำกว่าหินธรรมชาติ จึงส่งผลให้มวลรวมหยาบรีไซเคิลมีการดูดซึมน้ำที่สูง และแตกหักจากการขัดสีและการสึกกร่อนได้มากกว่าหินธรรมชาติ

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติของมวลรวมที่ใช้ในงานวิจัย

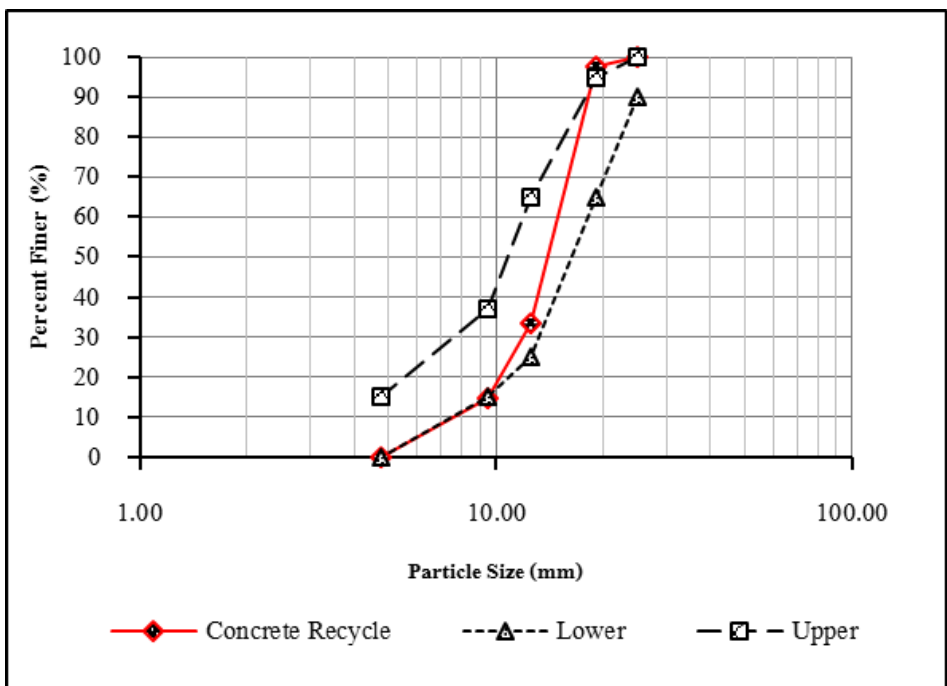
คุณสมบัติวัสดุ	ทราย	หินธรรมชาติ	หินจากถนนเก่า กรมทางหลวง
โมดูลัสความละเอียด	2.25	7.61	7.53
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	2.64	2.75	2.67
เปอร์เซ็นต์ช่องว่าง ; (%)	38.8	44.6	51.2
ความหนาแน่นรวม; (kg/m ³)	1,613	1,523	1,302
ค่าการดูดซึมน้ำ	0.70	0.61	5.60
การต้านทานการสึกกร่อน; (%)	-	20	25



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของมวลรวมละเอียด



รูปที่ 4.2 การกระจายตัวของมวลรวมหยาบ (หินธรรมชาติ)



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของมวลรวมหยาบ (หินจากถนนเก่า)

4.2 กำลังอัดของคอนกรีต

ผลทดสอบกำลังอัดของก้อนตัวอย่างคอนกรีตทุกส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 4.2 ถึง 4.4 ตัวอย่างกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบธรรมชาติและมวลรวมหยาบรีไซเคิล และผสมสารลดน้ำ (NC0.8V และ 100R0.8V) มีกำลังอัดที่ 24 ชั่วโมง เกินกว่า 400 ksc ซึ่งจัดเป็นคอนกรีตกำลังสูงเร็ว (High Early Strength Concrete : HES) ของ Strategic Highway Research Program (SHRP – C – 364) และมีกำลังอัดที่ 28 วัน เกินกว่า 480 ksc ซึ่งจัดเป็นคอนกรีตกำลังสูง (High Strength Concrete : HSC) ตามมาตรฐานขั้นต่ำของ ACI 363 – 1992 คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลมีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เริ่มต้นเท่ากัน (W/C = 0.3) แม้ว่ามอร์ต้าที่เกาะที่ผิวของมวลรวมหยาบรีไซเคิลจะมีความแกร่งต่ำ แต่การดูดซึมน้ำที่สูงของมอร์ต้าทำให้มอร์ต้าสามารถดูดน้ำในน้ำปูนและช่วยลดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ประสิทธิผล (W/C ประสิทธิผล = 0.28 และ 0.20 สำหรับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติและมวลรวมรีไซเคิล) สารลดน้ำที่ใส่ลงในคอนกรีตสดสามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการทำงานและทำให้น้ำทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์ได้เป็นอย่างดี ดังนั้น จึงกล่าวได้ว่ามวลรวมรีไซเคิลสามารถใช้ทำคอนกรีตกำลังสูงเร็วและคอนกรีตกำลังสูงได้ การใช้สารลดน้ำช่วยชดเชยการดูดซึมน้ำของมอร์ต้าที่เกาะที่ผิวของมวลรวมหยาบ ด้วยปริมาณปูนซีเมนต์ที่เท่ากัน มวลรวมที่มีความสามารถในการดูดน้ำที่สูงกว่าจึงให้กำลังอัดของคอนกรีตที่สูงกว่า

เมื่อแทนที่มวลรวมหยาบธรรมชาติด้วยมวลรวมหยาบรีไซเคิลในอัตราส่วนร้อยละ 50 และนำมาทำคอนกรีตที่ W/C = 0.3 (50R0.8V) และเติมสารลดน้ำในปริมาณร้อยละ 0.8 พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีค่า 321.9 ksc ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานคอนกรีตกำลังสูงเร็ว อย่างไรก็ตาม คอนกรีตนี้สามารถประยุกต์ใช้เป็นคอนกรีตกำลังสูงได้ โดยมีกำลังอัดที่ 28 วัน เท่ากับ 621.74 ksc เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติและมวลรวมรีไซเคิล พบว่าคอนกรีตนี้มีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมรีไซเคิล ทั้งนี้อาจเนื่องจาก W/C ประสิทธิภาพของคอนกรีตที่มวลรวมรีไซเคิลมีค่าต่ำกว่า แม้ว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบธรรมชาติผสมมวลรวมหยาบรีไซเคิลจะมีค่า W/C ประสิทธิภาพต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ แต่ความอ่อนแอของมอร์ต้าที่ผิวของมวลรวมรีไซเคิลส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบธรรมชาติผสมมวลรวมหยาบรีไซเคิลมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ

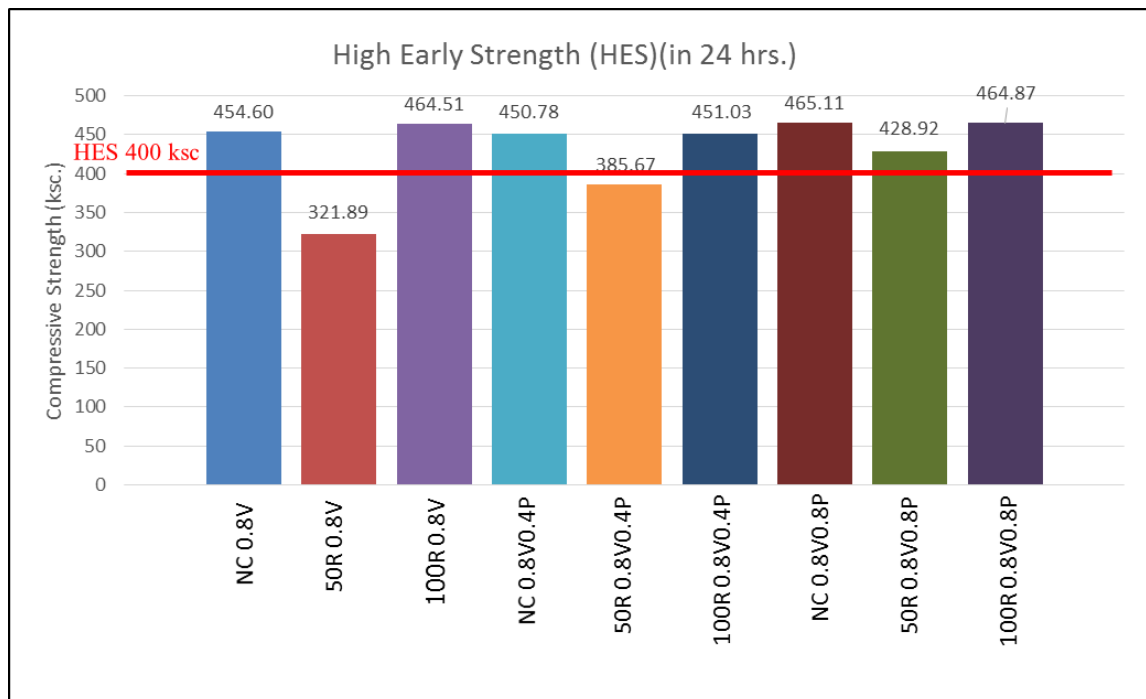
การเติมสารเร่งการก่อตัวในอัตราส่วนร้อยละ 0.4 และ 0.8 แทบไม่มีส่วนช่วยในการพัฒนา กำลังอัดที่อายุบ่ม 24 ชั่วโมง ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบธรรมชาติและมวลรวมหยาบรีไซเคิล แต่มีส่วนใช้พัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมผสมระหว่างมวลรวมธรรมชาติและมวลรวมหยาบรีไซเคิล ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.4 ซึ่งกำลังอัดที่อายุบ่ม 24 ชั่วโมง ของคอนกรีตที่ใช้มวล

รวมหยาบธรรมชาติและมวลรวมหยาบรีไซเคิลมีค่าเท่ากับ 321.89, 385.67 และ 428.92 ksc เมื่อไม่เติมสารเร่งการก่อตัว และเมื่อเติมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณร้อยละ 0.4 และ 0.8 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ Strategic Highway Research Program (SHRP – C – 364) คอนกรีตที่เติมสารเร่งการก่อตัวในปริมาณร้อยละ 0.8 มีกำลังอัดผ่านเกณฑ์การเป็นคอนกรีตกำลังสูงเร็ว

รูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าการเติมสารเร่งการก่อตัวช่วยพัฒนากำลังอัดที่อายุบ่ม 28 วัน ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบธรรมชาติและมวลรวมหยาบรีไซเคิล ไม่มากนัก เช่นเดียวกับในกรณีของการบ่มที่อายุบ่ม 24 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม สารเร่งการก่อตัวมีส่วนช่วยพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบธรรมชาติผสมมวลรวมหยาบรีไซเคิล ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าส่วนผสมที่มีประสิทธิภาพที่สุดในด้านต้นทุนและสิ่งแวดล้อมคือ 100R0.8V ซึ่งเป็นการใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลทั้งหมดโดยปราศจากการใส่สารเร่งก่อตัว

ตารางที่ 4.2 กำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 24 ชั่วโมง

Mix ID	Mixed Proportion (kg/m ³)							Average Strength 24 hrs. (ksc.)	
	Cement	Sand	Coarse Aggregates		water	Admixtures			W/C
			Natural	Recycle		VC-10	P-1		
NC 0.8V	550	847	917	-	161	4.40	-	0.30	454
50R 0.8V	550	847	458.5	458.5	161	4.40	-	0.30	321
100R 0.8V	550	847	-	917	161	4.40	-	0.30	464
NC 0.8V0.4P	550	847	917	-	158	4.40	2.20	0.30	450
50R 0.8V0.4P	550	847	458.5	458.5	158	4.40	2.20	0.30	385
100R 0.8V0.4P	550	847	-	917	158	4.40	2.20	0.30	451
NC 0.8V0.8P	550	847	917	-	156	4.40	4.40	0.30	465
50R 0.8V0.8P	550	847	458.5	458.5	156	4.40	4.40	0.30	428
100R 0.8V0.8P	550	847	-	917	156	4.40	4.40	0.30	464



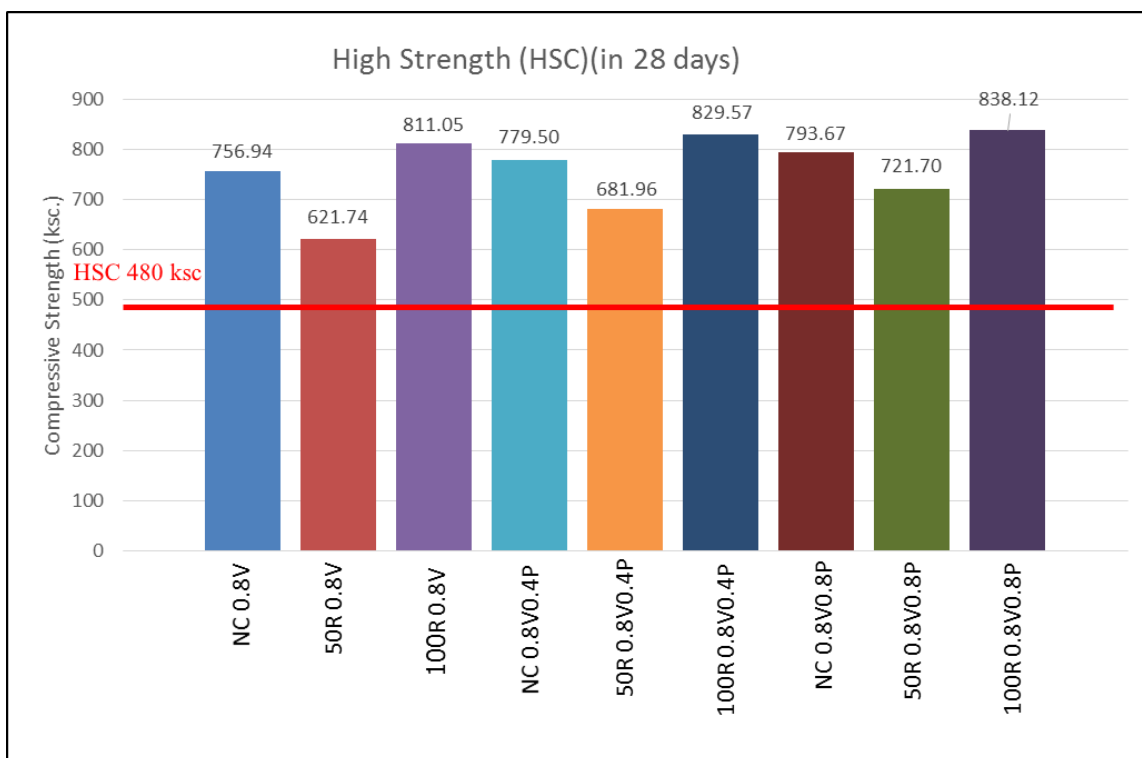
รูปที่ 4.4 แผนภูมิแสดงกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 24 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.3 กำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน

Mix ID	Mixed Proportion (kg/m ³)							Average Strength 28 day (ksc.)	
	Cement	Sand	Coarse Aggregates		water	Admixtures			W/C
			Natural	Recycle		VC-10	P-1		
NC 0.8V	550	847	917	-	161	4.40	-	0.30	756
50R 0.8V	550	847	458.5	458.5	161	4.40	-	0.30	621
100R 0.8V	550	847	-	917	161	4.40	-	0.30	811
NC 0.8V0.4P	550	847	917	-	158	4.40	2.20	0.30	779
50R 0.8V0.4P	550	847	458.5	458.5	158	4.40	2.20	0.30	681
100R 0.8V0.4P	550	847	-	917	158	4.40	2.20	0.30	829
NC 0.8V0.8P	550	847	917	-	156	4.40	4.40	0.30	793
50R 0.8V0.8P	550	847	458.5	458.5	156	4.40	4.40	0.30	721
100R 0.8V0.8P	550	847	-	917	156	4.40	4.40	0.30	838

ตารางที่ 4.4 ค่าการดูดซึมของน้ำในมวลรวมส่งผลให้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เปลี่ยนไป

Mix ID	Mixing Water + Admixtures	Absorption Water (kg/m ³)			Effective Water (kg/m ³)	Effective W/C	Slump (cm.)	Average Strength 24 hrs.(ksc.)	Average Strength 28 days.(ksc.)
		Sand	Coarse Aggregates						
			Natural	Recycle					
NC 0.8V	165	5.93	5.59	-	153.48	0.28	6.5	454.60	756.73
50R 0.8V	165	5.93	2.79	25.67	130.61	0.24	7.5	321.89	621.74
100R 0.8V	165	5.93	-	51.35	107.72	0.20	7.5	464.51	811.05
NC 0.8V0.4P	165	5.93	5.59	-	153.48	0.28	10	450.78	779.50
50R 0.8V0.4P	165	5.93	2.79	25.67	130.61	0.24	7	385.67	681.96
100R 0.8V0.4P	165	5.93	-	51.35	107.72	0.20	8	451.03	829.57
NC 0.8V0.8P	165	5.93	5.59	-	153.48	0.28	7	465.11	793.67
50R 0.8V0.8P	165	5.93	2.79	25.67	130.61	0.24	6.5	428.92	721.70
100R 0.8V0.8P	165	5.93	-	51.35	107.72	0.20	7	464.87	838.12



รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดงกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน

ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบราคาคอนกรีต (100R0.8V)

รายการ	ปริมาณงาน (kg/m ³)	ราคาต่อ หน่วย(บาท)	คอนกรีตหิน ธรรมชาติ	คอนกรีตหิน ถนนเก่า
Cement	550.00	2.40	1,320.00	1,320.00
Sand	847.00	0.19	157.53	157.53
Coarse Aggregates	917.00	0.36	331.06	-
Recycle Coarse Aggregates	917.00	0.18	-	168.98
Sika ViscoCrete-10	4.40	200.00	880.00	880.00
ราคารวม			2,688.59	2,526.51
ส่วนต่างราคา			162.08	

การเปรียบเทียบราคาคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบธรรมชาติกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลแสดงในตารางที่ 4.4 ราคาปูนซีเมนต์ราคา กิโลกรัมละ 2.40 บาท ทรายลูกลบาศก์เมตรละ 300

บาท (ทรายหนัก $1,613 \text{ kg/m}^3$) ทรายราคา กิโลกรัมละ 0.19 บาท มวลรวมหยาบธรรมชาติลูกบาศก์เมตรละ 550 บาท (หินธรรมชาติหนัก $1,523.45 \text{ kg/m}^3$) หินธรรมชาติราคา กิโลกรัมละ 0.36 บาท มวลรวมหยาบปรีไซเคิลจากถนนเก่าคิดค่าย่อยเป็นราคาน้ำมันดีเซล 3 ลิตร (น้ำมันดีเซลราคา 30 บาทต่อลิตร ค่าแรงรวมค่าใช้จ่ายอื่นๆประมาณ 150 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และมวลรวมหยาบจากถนนเก่าหนัก $1,302.4 \text{ kg/m}^3$) หินจากถนนเก่าราคา กิโลกรัมละ 0.18 บาท และสารเคมีผสมเพิ่มราคาประมาณลิตรละ 200 บาท จะเห็นได้ว่าการใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตถนนเก่า มีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่า 162.08 บาท แสดงให้เห็นว่าการใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตถนนเก่า สามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในทางวิศวกรรมและเศรษฐศาสตร์

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาทั้งหมดของงานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- 5.1.1 คอนกรีตกำลังสูงระยะต้นและคอนกรีตกำลังสูงสามารถพัฒนาโดยใช้วัสดุมวลรวมหยาบจากคอนกรีตถนนเก่าของกรมทางหลวง (ซึ่งมีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 325 กก/ซม²) ร่วมกับสารเคมีผสมเพิ่ม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตได้
- 5.1.2 การใช้สารลดน้ำอย่างแรง (Super plasticizers) ที่ร้อยละ 0.8 ในคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.30 ช่วยเพิ่มค่าการยุบตัวในอยู่ในช่วง 7-10 เซนติเมตร ด้วยความสามารถในการดูดซึมน้ำที่สูงของมวลรวมรีไซเคิล คอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลมีกำลังอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ สารเร่งการก่อตัว (Accelerators) แทบไม่มีส่วนช่วยในการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่มวลรวมธรรมชาติและคอนกรีตมวลรวมหยาบรีไซเคิล แต่ช่วยเพิ่มกำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ส่วนผสมของมวลรวมธรรมชาติและมวลรวมรีไซเคิลในสัดส่วนร้อยละ 50:50
- 5.1.3 งานวิจัยนี้เป็นการส่งเสริมการนำเศษคอนกรีตจากการรื้อถอนถนนเก่ามาย่อยเพื่อใช้เป็นมวลรวมหยาบในการซ่อมแซมถนนเดิมที่ชำรุดเสียหายให้กลับมาใช้งานได้ดีดังเดิม ซึ่งเป็นการอนุรักษ์แหล่งมวลรวมหยาบตามธรรมชาติให้มีใช้ไปได้อีกนานในด้านราคาต้นทุน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิลในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงระยะต้นมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าการใช้มวลรวมหยาบธรรมชาติถึงร้อยละ 10

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาทั้งหมดของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

- 5.1.1 ควรศึกษาถึงคุณสมบัติอื่นของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตถนนเก่า เช่น การทนการขัดสี และการทนต่อซัลเฟตและคลอไรด์ เป็นต้น
- 5.1.2 ควรศึกษาการลดปริมาณปูนซีเมนต์ในการใช้ผสมคอนกรีตให้น้อยลงและเพิ่มสารลดน้ำอย่างแรงกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตถนนเก่าในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตและลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม

เอกสารอ้างอิง

- ประจักษ์ เข็มบุปผา (2548). การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมหยาบจากคอนกรีตเก่าที่ถูกทำลายที่มีกำลังอัดต่างกัน. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พุทธิพงษ์ หะลีรัตน์พัฒนาและเอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ (2547). ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของมวลรวมหยาบที่มีขนาดต่างกัน. การประชุมวิชาการ โยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9/2547 ธนบุรี อินทรเพชรและชูชัย สุจิรวงศ์ (2554) งานวิจัยเพื่อพัฒนาคอนกรีตกำลังสูงเร็ว และคอนกรีตกำลังสูงสำหรับใช้งานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. วิทยานิพนธ์ครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- วิจิตต์ อัจฉรา สรรพกิจงานงและเลิศ พัดฉวี (2545) คอนกรีตแข็งตัวเร็วสำหรับงานบำรุงเร่งด่วน, รายงานฉบับที่ วพ.195 ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทางกรรมทางหลวง
- Somna, R, Jaturapitakkul, C. and Amde, A.M. (2012), “Effect of ground fly ash and ground bagasse ash on the durability of recycled aggregate concrete”, *Cement and Concrete Composite*, Vol.34, pp.848-854.
- T. Hirschi, H. Knauber, M. Lanz, J. Schlumpf, J. Schrabback, C.Spirig, U. Waeber, 2005. **Sika® Concrete Handbook**. SikaServices AG Corporate Construction CH-80 8 ZürichSwitzerland
- American Society for Testing and Materials, Standards, 2001.ASTM C94/C94M-00 Standard Specification for Ready-Mixed Concrete, **Annual Book of ASTM Standard**. V. 04.02. Philadelphia. 43-52p.
- American Society for Testing and Materials, Standards, 2001.ASTM C 33-01 Standard Specification for Concrete Aggregates, **Annual Book of ASTM Standard**. V. 04.02. Philadelphia. 10-17p.
- American Society for Testing and Materials, Standards, 2001.ASTM C 128-97 Standard Test Method for Specific Gravity andAbsorption of Fine Aggregates. **Annual Book of ASTMStandard**. V. 04.02. Philadelphia. 69-73p.
- American Society for Testing and Materials, Standards, 2001.ASTM C 127-88 Standard Test Method For Specific Gravityand Absorption of Coarse Aggregates. **Annual Book of ASTM Standard**. V. 04.02. Philadelphia. 64-68p.

- American Society for Testing and Materials, Standards, 2001. ASTM C 29/C29M-97a Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregates. **Annual Book of ASTM Standard**. V.04.02. Philadelphia. 1-4p.
- British Standard Institute, 1997. **BS 1881: Part 3 Method of Making and Curing Test Specimens**, London.
- British Standard Institute, 1997. **BS 1881: Part 4 Method of Testing Concrete for Strength**. London.
- P. Zia, S. H. Ahmad, M. L. Leming, J. J. Schemmel, and R. P. Elliott. 1993d. **Mechanical Behavior of High Performance Concretes**, Volume 4: High Early Strength Concrete. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D. C., xi, 179 pp. (SHRP-C-364)
- ACI Committee 363, 1992. **State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete (ACI 363R-92)**, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 55 pp.
- American Society for Testing and Materials, Standards, 2001. ASTM C 136-96a Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. **Annual Book of ASTM Standard**, Vol. 04.02. Philadelphia. 78-82p.
- ชัย จาคูรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ, 2551, **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลานและคอนกรีต**, พิมพ์ครั้งที่ 5, สมาคมคอนกรีตไทย, หน้า 345-368.
- American Concrete Institute, 2000, "ACI 318M-95 Building Requirements for Structural Concrete", **ACI Manual of Concrete Practice**, Part 3, Michigan
- Minnesota Department of Transportation ; Mn/DOT, 2003, **Concrete Manual V5-694**.
- Hansen, T.C. and Narud, H., 1983, "Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate", **Concrete International**, Vol. 5, No. 1, pp. 79-83.
- Ravindraja, R.S. and Tam, C.T., 1985, "Properties of concrete made with crushed concrete as coarse aggregate", **Magazine of Concrete Research**, Vol. 37, Issue 130, March, pp. 29-38.
- Rahal, K., 2007, "Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate", **Building and Environment**, Vol. 42, pp. 407-415.
- Kou, S.C., Poon, K.C., and Chan, D., 2007, "Influence of fly ash as cement replacement on the properties of recycled aggregate concrete", **Journal of Materials in Civil Engineering**, Vol. 19, No. 9, pp. 709-717.

ภาคผนวก ก
ตารางและรูปแสดงคุณสมบัติจำเพาะของมวลรวม

ตารางที่ ก.1 ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียด

ตัวอย่างที่	1	2	3	เฉลี่ย
A : นน.ของทรายหลังจากอบแห้ง (กรัม)	496.60	496.90	496.60	
B : นน.ของขวดแก้วพิกโนมิเตอร์ ที่ใส่น้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	701.90	701.90	701.90	
C : นน.ของขวดแก้วพิกโนมิเตอร์ ที่ใส่ทรายและน้ำจนถึงขีดที่กำหนด (กรัม)	1008.40	1011.50	1011.60	
S : นน.ของทรายที่สภาวะอิ่มตัวแห้ง (กรัม)	500.00	500.20	500.30	
ความถ่วงจำเพาะรวม	2.57	2.61	2.61	2.59
ความถ่วงจำเพาะรวม-อิ่มตัวผิวแห้ง	2.58	2.62	2.62	2.61
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	2.61	2.65	2.66	2.64
ร้อยละการดูดซึมน้ำของทราย	0.68	0.66	0.75	0.70

ตารางที่ ก.2 การวิเคราะห์ขนาดอนุกรมมวลรวมละเอียดโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 1

ตะแกรง	ช่องเปิด	นน. ตะแกรง	นน. ตะแกรง+ นน.ทราย	นน.ค้าง	ร้อยละ	ร้อยละค้าง สะสม	ร้อยละ ผ่าน สะสม
เบอร์ 4	4.75	576.9	615.3	38.4	3.835	3.835	96.165
เบอร์ 8	2.36	684.1	723	38.9	3.885	7.720	92.280
เบอร์ 16	1.18	632.4	684	51.6	5.153	12.873	87.127
เบอร์ 30	0.6	453.5	617.4	163.9	16.369	29.242	70.758
เบอร์ 50	0.3	532.9	1049.1	516.2	51.553	80.795	19.205
เบอร์ 100	0.15	518.6	683.2	164.6	16.439	97.234	2.766
ถาดรอง		496	523.7	27.7	2.766	100.000	0.000
น้ำหนักมวลรวมละเอียด =				1001.3		231.699	
โมดูลัสความละเอียด =				2.32			

ตารางที่ ก.3 การวิเคราะห์ขนาดนอวมวลรวมละเอียดโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 2

ตะแกรง	ช่องเปิด	นน. ตะแกรง	นน. ตะแกรง+ นน.ทราย	นน.ค้ำ	ร้อยละ	ร้อยละค้ำ สะสม	ร้อยละ ผ่าน สะสม
เบอร์ 4	4.75	576.9	613.7	36.8	3.673	3.673	96.327
เบอร์ 8	2.36	684.1	719.3	35.2	3.513	7.186	92.814
เบอร์ 16	1.18	632.4	685.7	53.3	5.320	12.506	87.494
เบอร์ 30	0.6	453.5	609.5	156	15.570	28.077	71.923
เบอร์ 50	0.3	532.9	997.2	464.3	46.342	74.419	25.581
เบอร์ 100	0.15	518.6	741.1	222.5	22.208	96.626	3.374
ถาดรอง		496	529.8	33.8	3.374	100.000	0.000
น้ำหนักมวลรวมละเอียด =				1001.9		222.487	
โมดูลัสความละเอียด =				2.22			

ตารางที่ ก.4 การวิเคราะห์ขนาดนอวมวลรวมละเอียดโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 3

ตะแกรง	ช่องเปิด	นน. ตะแกรง	นน. ตะแกรง+ นน.ทราย	นน.ค้ำ	ร้อยละ	ร้อยละค้ำ สะสม	ร้อยละ ผ่าน สะสม
เบอร์ 4	4.75	576.9	603.4	26.5	2.644	2.644	97.356
เบอร์ 8	2.36	684.1	714.2	30.1	3.003	5.648	94.352
เบอร์ 16	1.18	632.4	682.1	49.7	4.959	10.607	89.393
เบอร์ 30	0.6	453.5	622.6	169.1	16.873	27.480	72.520
เบอร์ 50	0.3	532.9	1047.1	514.2	51.307	78.787	21.213
เบอร์ 100	0.15	518.6	702.1	183.5	18.310	97.096	2.904
ถาดรอง		496	525.1	29.1	2.904	100.000	0.000
น้ำหนักมวลรวมละเอียด =				1002.2		222.261	
โมดูลัสความละเอียด =				2.22			

ตารางที่ ก.5 ความหนาแน่นปรากฏของมวลละเอียด (ทรายแม่น้ำ)

Test No.	1
น้ำหนัก mold ; (g)	5321.6
น้ำหนัก ทราย + mold ; (g)	7507.3
Mold Volume ; (cm ³)	1354.99
Bulk Density ; (kg/m ³)	1613.075
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	2.640
% Air void ; (%)	38.899

ตารางที่ ก.6 ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ(หินธรรมชาติ)

ตัวอย่างที่	1	2	3	เฉลี่ย
A :นน.ของหินหลังจากอบแห้ง ชั่งในอากาศ (กรัม)	2983.50	2982.00	2981.80	
B :นน.ของหินในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ชั่งในอากาศ (กรัม)	3000.20	3000.20	3001.10	
C :นน.ของหินในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ชั่งในน้ำ (กรัม)	1898.80	1896.90	1899.10	
ความถ่วงจำเพาะรวม	2.71	2.70	2.71	2.71
ความถ่วงจำเพาะรวม-อิ่มตัวผิวแห้ง	2.72	2.72	2.72	2.72
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	2.75	2.75	2.75	2.75
ค่าการดูดซึมน้ำ	0.56	0.61	0.65	0.61

ตารางที่ ก.7 การวิเคราะห์ขนาดอนุกรมมวลรวมหยาบ(หินธรรมชาติ)โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 1

ตะแกรง	ช่องเปิด	นน. ตะแกรง	นน. ตะแกรง+ นน.หิน	นน.ค้ำ	ร้อยละ	ร้อยละค้ำ	ร้อยละผ่าน
						สะสม	สะสม
1 นิ้ว	25.4	724	724	0	0.000	0.000	100.000
3/4 นิ้ว	19	467	647.9	180.9	9.272	9.272	90.728
1/2 นิ้ว	12.7	764.6	1821.9	1057.3	54.193	63.465	36.535
3/8 นิ้ว	9.5	754.1	1170	415.9	21.317	84.782	15.218
เบอร์ 4	4.75	577.2	874.1	296.9	15.218	100.000	0.000
ถาดรอง		398.9	398.9	0	0.000	-	-
น้ำหนักมวลรวมละเอียด =				1951		257.519	
โมดูลัสความละเอียด =				7.58			

ตารางที่ ก.8 การวิเคราะห์ขนาดนอวมวลรวมหยาบ (หินธรรมชาติ)โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 2

ตะแกรง	ช่องเปิด	นน. ตะแกรง	นน. ตะแกรง+ นน.หิน	นน.ค้าง	ร้อยละ	ร้อยละค้าง สะสม	ร้อยละผ่าน สะสม
1 นิ้ว	25.4	724	724	0	0.000	0.000	100.000
3/4 นิ้ว	19	467	616.7	149.7	7.482	7.482	92.518
1/2 นิ้ว	12.7	764.6	1908.8	1144.2	57.187	64.669	35.331
3/8 นิ้ว	9.5	754.1	1178.2	424.1	21.197	85.866	14.134
เบอร์ 4	4.75	577.2	860	282.8	14.134	100.000	0.000
ถาดรอง		398.9	398.9	0	0.000	-	-
น้ำหนักมวลรวมละเอียด =				2000.8		258.017	
โมดูลัสความละเอียด =				7.58			

ตารางที่ ก.9 การวิเคราะห์ขนาดนอวมวลรวมหยาบ (หินธรรมชาติ)โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง ครั้งที่ 3

ตะแกรง	ช่องเปิด	นน. ตะแกรง	นน. ตะแกรง+ นน.หิน	นน.ค้าง	ร้อยละ	ร้อยละค้าง สะสม	ร้อยละผ่าน สะสม
1 นิ้ว	25.4	724	724	0	0.000	0.000	100.000
3/4 นิ้ว	19	467	659	192	9.618	9.618	90.382
1/2 นิ้ว	12.7	764.6	1920.7	1156.1	57.915	67.533	32.467
3/8 นิ้ว	9.5	754.1	1174.3	420.2	21.050	88.583	11.417
เบอร์ 4	4.75	577.2	805.1	227.9	11.417	100.000	0.000
ถาดรอง		398.9	398.9	0	0.000	-	-
น้ำหนักมวลรวมละเอียด =				1996.2		265.735	
โมดูลัสความละเอียด =				7.66			

ตารางที่ ก.10 ความหนาแน่นปรากฏของมวลรวมหยาบ (หินธรรมชาติ)

Test No.	1
น้ำหนัก mold ; (g)	9670
น้ำหนัก ทราย + mold ; (g)	31455
Mold Volume ; (cm ³)	14299.74
Bulk Density ; (kg/m ³)	1523.454
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	2.750
% Air void ; (%)	44.602

ตารางที่ ก.11 การต้านทานการสึกกร่อนของมวลรวมหยาบ (หินธรรมชาติ) โดยเครื่องทดสอบ ลอสแอนเจลีส

Sieve Size				Accumulative Mass of Sample (g)
Passing		Retained		
mm	inch	mm	inch	
75.0	3	63.0	2 1/2	-
63.0	2 1/2	50.0	2	-
50.0	2	37.5	1 1/2	-
37.5	1 1/2	25.0	1	-
25.0	1	19.0	3/4	-
19.0	3/4	12.5	1/2	2500
12.5	1/2	9.50	3/8	2500
9.50	3/8	6.30	1/4	-
6.30	1/4	4.75	No.4	-
4.75	No.4	2.36	No.8	-

Grading	B	B	B
Number of Charge	11	11	11
Mass of Charge	4583	4583	4583 (g)
Original Mass of Sample	5000	5000	5000 (g)
Final Mass of Sample	3962.4	3959.2	3995.4 (g)
Percent of Wear	20.75	20.82	20.09 (%)
Everage		20.55	(%)

ตารางที่ ก.12 ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ (คอนกรีตถนนเก่า)

ตัวอย่างที่	1	2	3	เฉลี่ย
A :นน.ของหินหลังจากอบแห้ง ชั่งในอากาศ (กรัม)	2841.00	2840.60	2843.30	
B :นน.ของหินในสภาพอิมั้ตัวผิวแห้ง ชั่งในอากาศ (กรัม)	3000.50	3001.80	3000.20	
C :นน.ของหินในสภาพอิมั้ตัวผิวแห้ง ชั่งในน้ำ (กรัม)	1778.50	1778.50	1780.50	
ความถ่วงจำเพาะรวม	2.32	2.32	2.33	2.33
ความถ่วงจำเพาะรวม-อิมั้ตัวผิวแห้ง	2.46	2.45	2.46	2.46
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	2.67	2.67	2.68	2.67
ค่าการดูดซึ้มน้ำ	5.61	5.67	5.52	5.60

ตารางที่ ก.13 การวิเคราะห์ขนาดของมวลรวมหยาบ (คอนกรีตถนนเก่า) โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรงครั้งที่ 1

ตะแกรง	ช่องเปิด	นน. ตะแกรง	นน. ตะแกรง+ นน.หิน	นน.ค้ำ	ร้อยละ	ร้อยละ ค้ำ สะสม	ร้อยละผ่าน สะสม
1 นิ้ว	25.4	724	724	0	0.000	0.000	100.000
3/4 นิ้ว	19	467	549.5	82.5	4.128	4.128	95.872
1/2 นิ้ว	12.7	764.6	2096.4	1331.8	66.633	70.761	29.239
3/8 นิ้ว	9.5	754.1	1056.2	302.1	15.115	85.876	14.124
เบอร์ 4	4.75	577.2	856.1	278.9	13.954	99.830	0.170
ถาดรอง		398.9	402.3	3.4	0.170	-	-
น้ำหนักมวลรวมละเอียด =			1998.7		260.594		
โมดูลัสความละเอียด =			7.61				

ตารางที่ ก.14 การวิเคราะห์ขนาดนอวมวลรวมหยาบ (คอนกรีตถนนเก่า) โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง
ครั้งที่ 2

ตะแกรง	ช่องเปิด	นน. ตะแกรง	นน. ตะแกรง+ นน.หิน	นน.ค้าง	ร้อยละ	ร้อยละ ค้าง สะสม	ร้อยละผ่าน สะสม
1 นิ้ว	25.4	724	724	0	0.000	0.000	100.000
3/4 นิ้ว	19	467	507.6	40.6	2.069	2.069	97.931
1/2 นิ้ว	12.7	764.6	1909.3	1144.7	58.338	60.407	39.593
3/8 นิ้ว	9.5	754.1	1151.7	397.6	20.263	80.670	19.330
เบอร์ 4	4.75	577.2	954.1	376.9	19.208	99.878	0.122
ถาดรอง		398.9	401.3	2.4	0.122	-	-
น้ำหนักมวลรวมละเอียด =				1962.2		243.023	
โมดูลัสความละเอียด =				7.43			

ตารางที่ ก.15 การวิเคราะห์ขนาดนอวมวลรวมหยาบ (คอนกรีตถนนเก่า) โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง
ครั้งที่ 3

ตะแกรง	ช่องเปิด	นน. ตะแกรง	นน. ตะแกรง+ นน.หิน	นน.ค้าง	ร้อยละ	ร้อยละ ค้าง สะสม	ร้อยละผ่าน สะสม
1 นิ้ว	25.4	724	724	0	0.000	0.000	100.000
3/4 นิ้ว	19	467	514.3	47.3	2.396	2.396	97.604
1/2 นิ้ว	12.7	764.6	2030.1	1265.5	64.115	66.511	33.489
3/8 นิ้ว	9.5	754.1	1124.6	370.5	18.771	85.282	14.718
เบอร์ 4	4.75	577.2	865.9	288.7	14.627	99.909	0.091
ถาดรอง		398.9	400.7	1.8	0.091	-	-
น้ำหนักมวลรวมละเอียด =				1973.8		254.099	
โมดูลัสความละเอียด =				7.54			

ตารางที่ ก.17 ความหนาแน่นปรากฏของมวลรวมหยาบ (คอนกรีตถนนเก่า)

Test No.	1
น้ำหนัก mold ; (g)	9670
น้ำหนัก ทราย + mold ; (g)	28295
Mold Volume ; (cm ³)	14299.74
Bulk Density ; (kg/m ³)	1302.471
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ	2.670
% Air void ; (%)	51.218

ตารางที่ ก.18 การต้านทานการสึกกร่อนของมวลรวมหยาบ (คอนกรีตถนนเก่า) โดยเครื่องทดสอบลอสเองเจ็ลีส

Sieve Size				Accumulative Mass of Sample (g)
Passing		Retained		
mm	inch	mm	inch	
75.0	3	63.0	2 1/2	-
63.0	2 1/2	50.0	2	-
50.0	2	37.5	1 1/2	-
37.5	1 1/2	25.0	1	-
25.0	1	19.0	3/4	-
19.0	3/4	12.5	1/2	2500
12.5	1/2	9.50	3/8	2500
9.50	3/8	6.30	1/4	-
6.30	1/4	4.75	No.4	-
4.75	No.4	2.36	No.8	-

Grading	B	B	B	
Number of Charge	11	11	11	
Mass of Charge	4583	4583	4583	(g)
Original Mass of Sample	5000	5000	5000	(g)
Final Mass of Sample	3702.2	3728.5	3732.2	(g)
Percent of Wear	25.96	25.43	25.36	(%)
Everage		25.58		

ภาคผนวก ข
ตารางและรูปแสดงผลการทดสอบค่าการยุบตัว
และกำลังอัดของคอนกรีต

ตารางที่ ข.1 กำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 24 ชั่วโมง

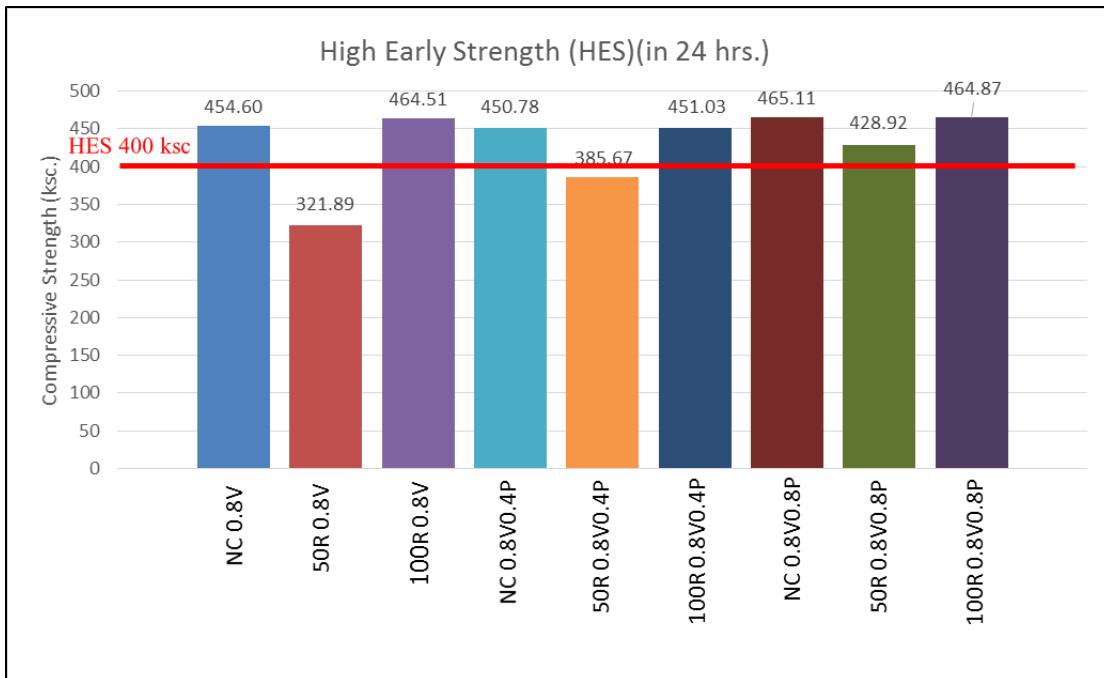
Mix ID	Detail of Admixtures	No.	Slump (cm.)	High Early Strength (HES)(in 24 hours)						
				Dimantion (cm.)			Weig ht	Strengt h	Strengt h	Average
				A	B	H	(Kg.)	(kN.)	(ksc.)	Strengt h (ksc.)
NC 0.8V	VC-10 0.8%	1	6.5	10.05	10.15	10.15	2.430	441.10	440.79	454.60
		2		10.05	10.00	10.00	2.425	457.00	463.53	
		3		10.05	10.00	10.00	2.420	453.00	459.48	
50R 0.8V	VC-10 0.8%	1	7.5	10.05	10.05	10.15	2.380	315.00	317.91	321.89
		2		10.00	10.00	10.00	2.330	309.80	315.80	
		3		10.05	10.05	10.00	2.325	328.90	331.94	
100R 0.8V	VC-10 0.8%	1	7.5	10.15	10.05	10.15	2.445	454.40	454.09	464.51
		2		10.05	10.05	10.00	2.420	475.20	479.60	
		3		10.00	10.00	10.05	2.455	451.10	459.84	
NC 0.8V0.4P	VC-10 0.8%+ P-1 0.4%	1	10	10.15	10.05	10.05	2.445	450.80	450.49	450.78
		2		10.05	10.05	10.00	2.420	446.60	450.73	
		3		10.05	10.05	10.05	2.455	447.00	451.13	
50R 0.8V0.4P	VC-10 0.8%+ P-1 0.4%	1	7	10.05	10.00	10.05	2.310	384.00	389.49	385.67
		2		10.00	10.05	10.00	2.300	379.20	384.62	
		3		10.05	10.05	10.00	2.305	379.40	382.91	
100R 0.8V0.4P	VC-10 0.8%+ P-1 0.4%	1	8	10.05	10.00	10.00	2.305	438.00	444.26	451.03
		2		10.00	10.05	10.00	2.310	450.60	457.04	
		3		10.15	10.05	10.05	2.300	452.10	451.79	
NC 0.8V0.8P	VC-10 0.8%+ P-1 0.8%	1	7	10.00	10.05	10.00	2.415	456.00	462.52	465.11
		2		9.95	10.05	10.05	2.395	454.70	463.52	
		3		10.05	10.05	10.00	2.435	465.00	469.30	
50R 0.8V0.8P	VC-10 0.8%+ P-1 0.8%	1	6.5	10.05	10.15	10.00	2.320	425.00	424.71	428.92
		2		10.05	10.00	10.00	2.355	435.40	441.62	
		3		10.05	10.00	10.00	2.350	414.50	420.43	
100R 0.8V0.8P	VC-10 0.8%+ P-1 0.8%	1	7	10.00	10.05	10.00	2.415	456.00	462.52	464.87
		2		10.00	10.00	10.05	2.395	454.00	462.79	
		3		10.05	10.05	10.00	2.435	465.00	469.30	

ตารางที่ ข.2 กำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน

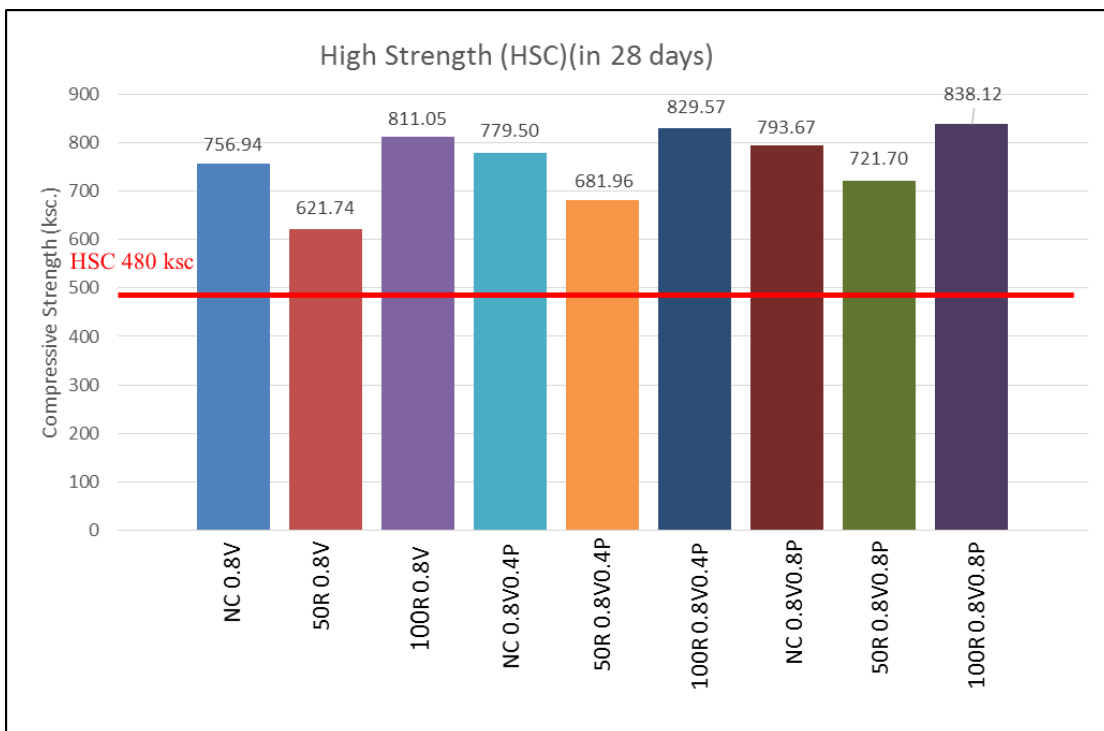
Mix ID	Detail of Admixtures	No.	Slump (cm.)	High Strength (HES)(in 28 day)						
				Dimantion (cm.)			Weight	Strengt h	Strengt h	Average Strength (ksc.)
				A	B	H	(kg.)	(kN.)	(ksc.)	
NC 0.8V	VC-10 0.8%	4	6.5	10.05	10.05	10.05	2.465	744.70	751.59	756.73
		5		10.05	10.00	10.10	2.455	734.70	745.20	
		6		10.05	10.00	10.05	2.465	762.50	773.40	
50R 0.8V	VC-10 0.8%	4	7.5	10.05	10.10	10.05	2.400	612.00	614.60	621.74
		5		10.00	10.05	10.10	2.375	643.00	652.19	
		6		10.00	10.05	10.05	2.375	590.00	598.43	
100R 0.8V	VC-10 0.8%	4	7.5	10.10	10.10	10.00	2.365	821.80	821.21	811.05
		5		10.05	10.05	10.10	2.360	809.00	816.48	
		6		10.05	10.10	10.10	2.370	792.10	795.47	
NC 0.8V0.4P	VC-10 0.8%+P-1 0.4%	4	10	10.10	10.10	10.10	2.460	762.30	761.75	779.50
		5		10.05	10.10	10.10	2.465	793.67	797.05	
		6		10.05	10.10	10.05	2.470	776.40	779.70	
50R 0.8V0.4P	VC-10 0.8%+P-1 0.4%	4	7	10.10	10.00	10.10	2.320	687.90	694.28	681.96
		5		10.10	10.05	10.05	2.365	679.10	681.99	
		6		10.00	10.00	10.10	2.325	656.90	669.62	
100R 0.8V0.4P	VC-10 0.8%+P-1 0.4%	4	8	10.05	10.05	10.10	2.345	812.60	820.12	829.57
		5		10.05	10.10	10.05	2.365	823.40	826.90	
		6		10.05	10.10	10.10	2.365	838.12	841.69	
NC 0.8V0.8P	VC-10 0.8%+P-1 0.8%	4	7	10.10	10.00	10.10	2.460	784.50	791.78	793.67
		5		10.10	10.05	10.05	2.450	768.20	771.47	
		6		10.10	10.05	10.10	2.460	814.30	817.76	
50R 0.8V0.8P	VC-10 0.8%+P-1 0.8%	4	6.5	10.05	10.05	10.10	2.365	711.50	718.08	721.70
		5		10.10	10.05	10.05	2.375	702.00	704.99	
		6		10.10	10.05	10.10	2.370	738.90	742.04	
100R 0.8V0.8P	VC-10 0.8% + P-1 0.8%	4	7	10.10	10.05	10.10	2.370	847.20	850.80	838.12
		5		10.10	10.10	10.05	2.370	826.10	825.51	
		6		10.10	10.05	10.00	2.355	834.50	838.05	

ภาคผนวก ค

รูปแสดงผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต



รูปที่ ค.1 กำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 24 ชั่วโมง



รูปที่ ค.2 กำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุ 28 วัน

สำนักงานโครงการตรวจสอบ กรมทางหลวง

อนุมัติการทดลองที่ C- ๑๑๐ /๙๖
 เข้าของตัวอย่าง ทชก.โครงการโยธา วันที่รับตัวอย่าง 30 มิ.ย.57
 ทางสาย 206 ตอน คลาดเต-วังหิน ลงวันที่ สัญญาที่ 1 นร.30/57 วันที่รับหนังสือ 30 มิ.ย.57
 ลงวันที่ 17 มิ.ย.57 วันที่รับหนังสือ 30 มิ.ย.57
 เจ้าพนักงานทดลอง บิยะ+1 ลงวันที่ 1/๙

รายงานผลการทดลองแรงอัดของแท่งคอนกรีต

* แรงอัดประลัย

อันดับที่	แท่งที่	ส่วนของโครงสร้างที่นำมาทดสอบ	ส่วนผสม	ชนิดซีเมนต์	ความหนาแน่น	ความหนาแน่นในแบบ	วันที่หล่อ	วันที่ทดลอง	อายุ	ขนาด	น้ำหนัก	ความหนาแน่น	แรงกด	หน่วย	หมายเหตุ
1	1	Concrete Pavement	400::650:1203	ปอร์ตแลนด์	8.0	350	30/06/57	28/07/57	28	15	8112	2403.6	850	385.2	กก/ซม ²
	2	0+010.5 - 0+060 L.T.1	"	ประเภท 1	8.0	"	"	"	"	"	8215	2434.1	880	398.8	กก/ซม ²
	3		"	"	8.0	"	"	"	"	"	8174	2421.9	880	398.8	กก/ซม ²
2	1	Concrete Pavement	400::650:1203	ปอร์ตแลนด์	8.0	350	30/06/57	28/07/57	28	15	8183	2424.6	850	385.2	กก/ซม ²
	2	10+196 - 10+330 L.T.1	"	ประเภท 1	8.0	"	"	"	"	"	8193	2427.6	850	385.2	กก/ซม ²
	3		"	"	8.0	"	"	"	"	"	8190	2426.7	880	398.8	กก/ซม ²
3	1	Concrete Pavement	400::650:1203	ปอร์ตแลนด์	8.0	350	30/06/57	28/07/57	28	15	8113	2403.9	880	398.8	กก/ซม ²
	2	10+296 - 10+432 R.T.1	"	ประเภท 1	8.0	"	"	"	"	"	8212	2433.2	880	398.8	กก/ซม ²
	3		"	"	8.0	"	"	"	"	"	8248	2443.9	880	398.8	กก/ซม ²
							(นายวิฑูรย์ หล่อเทียนนท์)								
							ว.ท.ล.8								

คำขอรบเนื้อการวิเคราะห์เป็นเงิน.....ผลการวิเคราะห์ที่รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ส่งมาวิเคราะห์และตรวจสอบได้รับเท่านั้น

รูปที่ ค.3 ผลการทดสอบกำลังอัดของถนนกรมทางหลวง

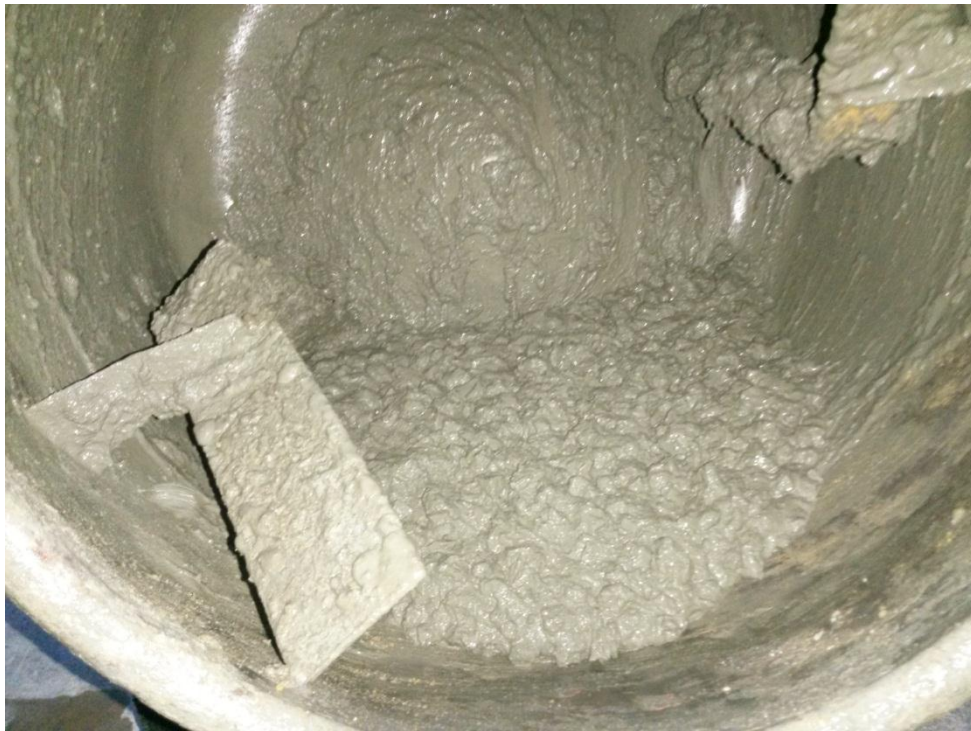
(Handwritten signature)



รูปที่ ค.4 การเตรียมตัวอย่างก่อนผสม



รูปที่ ค.5 ภาพคอนกรีตสดที่ไม่ใส่น้ำยาลดน้ำ $W/C = 0.30$



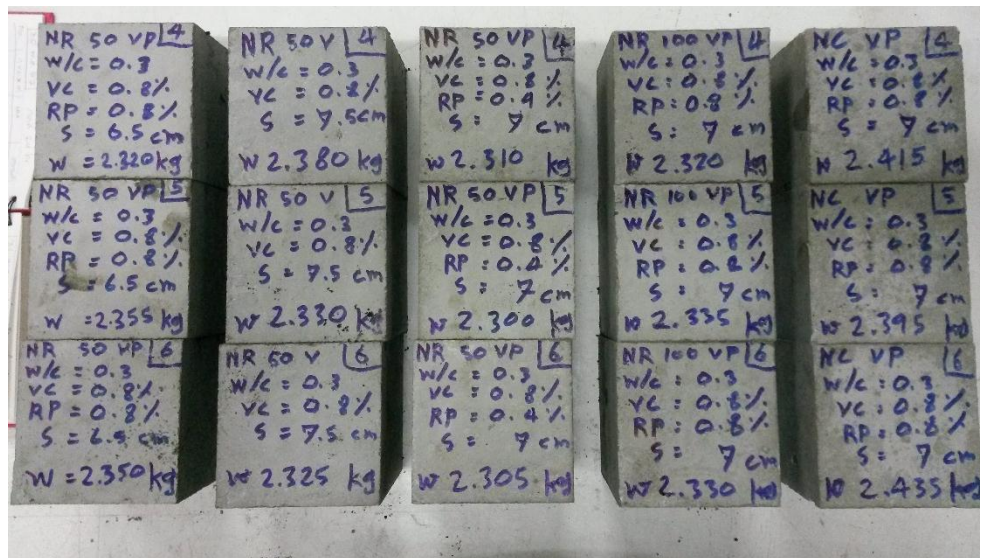
รูปที่ ค.6 ภาพคอนกรีตสดที่ใส่น้ำยาลดน้ำร้อยละ 0.8 ที่ $W/C = 0.30$



รูปที่ ค.7 ภาพการทดสอบความยุบตัวของคอนกรีตสดที่ใส่น้ำยาลดน้ำร้อยละ 0.8 ที่ $W/C = 0.30$



รูปที่ ค.8 การเก็บก้อนตัวอย่าง



รูปที่ ค.9 ก้อนตัวอย่างก่อนทดสอบกำลังอัด



รูปที่ ค.10 การทดสอบกำลังอัด



รูปที่ ค.11 ก้อนตัวอย่างหลังทดสอบกำลังอัด

ประวัติผู้เขียน

นายอลงกต บุญศิริ เกิดเมื่อวันที่ 31 พฤษภาคม 2519 ที่อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี สถานที่อยู่ปัจจุบัน 133/1 ถนนอศุขเดช ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน หน้าที่ส่วนผู้จัดการ ห้างหุ้นส่วนจำกัด เอ็นพีซีอาร์ เอ็นเตอร์ไพรส์ ด้านการศึกษาจบการศึกษา ชั้นประถมศึกษา โรงเรียนบ้านหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 3 โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง เดิมชื่อสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่น ปัจจุบันชื่อ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น และระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร และขณะนี้ได้ศึกษาต่อระดับ ปริญญาโท สาขาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา