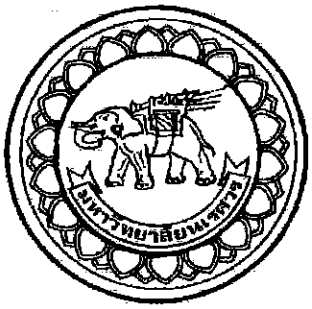


คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้มวลรวมหยาบสังเคราะห์จากพลาสติกรีไซเคิล

Mechanical Properties of Light Weight Concrete by Using Recycle Plastic Sphere as Coarse Aggregate.

นางสาวฐาปนี	ศุภกิจวัฒนา	รหัส 50360852
นายทัศไนย	สีสด	รหัส 50361040
นายนฤดล	ช่างประดิษฐ์	รหัส 50361408

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 11 กค 2554
เลขทะเบียน 15570074
เลขเรียกหนังสือ ว.
ว319 ก 2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้มวลรวมหยาบสังเคราะห์จากพลาสติกรีไซเคิล		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวฐาปนี	ศุภกิจวัฒนา	รหัส 50360852
	นายทัศไนย	สีสด	รหัส 50361040
	นายนฤดล	ช่างประดิษฐ์	รหัส 50361408
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. รัฐภูมิ	ปริชาตปรีชา	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2553		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร. รัฐภูมิ ปริชาตปรีชา)

.....กรรมการ
(ดร.ดุษฎี สถิรเศรษฐทวี)

.....กรรมการ
(ดร. ปฤษทัศ ศีตะปันย์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้มวลรวมหยาบสังเคราะห์จากพลาสติกรีไซเคิล		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวฐาปนี	ศุภกิจวัฒนา	รหัส 50360852
	นายทัศไนย	**สีสด**	**รหัส** 50361040
	นายนฤดล	ช่างประดิษฐ์	รหัส 50361408
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร. รัฐภูมิ	ปริชาตปรีชา	
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา		
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
ปีการศึกษา	2553		

.....

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อการพัฒนาคอนกรีตให้มีหน่วยน้ำหนักที่น้อยลงจากหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตทั่วไป โดยใช้ประโยชน์จากวัสดุสังเคราะห์ขึ้นรูป (Recycle Plastic Sphere, RPS) ประเภทพลาสติกรีไซเคิล มาแทนที่มวลรวมหยาบบางส่วนลงในส่วนผสมของคอนกรีตทั่วไปเพื่อลดหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต โดยงานวิจัยนี้จะกระทำการศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตทั่วไปกับคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ส่วนผสมของวัสดุสังเคราะห์แทนที่มวลรวมหยาบบางส่วน และควบคุมปริมาณมวลรวมหยาบระหว่างทรายกับวัสดุสังเคราะห์ขึ้นรูป (Recycle Plastic Sphere, RPS) ให้มีหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเป็น 2,000, 1,800, 1,600 และ 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตทั่วไปมีค่ากำลังอัด ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และค่ากำลังต้านทานแรงดัดมากกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุสังเคราะห์ขึ้นรูป (Recycle Plastic Sphere, RPS) แทนที่มวลรวมหยาบ จากผลการทดสอบยังพบอีกว่าหน่วยน้ำหนักที่ลดลงจะเป็นปฏิภาคผกผันกับคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต การแทนที่มวลรวมหยาบด้วยมวลรวมสังเคราะห์สามารถลดหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตได้ 7-35 % และมีคุณสมบัติทางกลที่สามารถนำไปใช้งานโครงสร้างได้

Project title	Mechanical Properties of Light Weight Concrete by Using Recycle Plastic Sphere as Coarse Aggregate.		
Name	Miss.Thapanee	Supakitwattana	ID. 50360852
	Mr. Thassanai	Sisod	ID. 50361040
	Mr. Naruedon	Changpradits	ID. 50361408
Project advisor	Dr. Ruttaphum	Prichatprecha	
Major	Civil Engineering		
Department	Civil Engineering		
Academic year	2010		

Abstract

This research aims to investigate the mechanical properties of light weight concrete by using recycle plastic sphere (RPS) as coarse aggregate. Four proportions of concrete are conducted by varying percent replacement of sand with the target unit weight of 2,000, 1,800, 1,600 and 1400 kg/m^3, respectively. The physical and mechanical of different concrete proportions are investigated and compared with the concrete without RPS. Based on the results obtained, it can be found that the higher the unit weight the lower the mechanical properties of concrete. The 28 days compressive strength of RPS concrete with unit weight of 2,000-1,400 kg/m^3 was in the range of 525-186 kg/cm^2. It can be concluded that the replacing of aggregate by RPS can be used as structural light weight concrete with suitable mechanical properties.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพราะได้รับทุนอุดหนุนจากงานวิจัยสำหรับนักศึกษาปริญญาตรี และท่านอาจารย์ดร.รัฐภูมิ ปริชาตปรีชา ซึ่งเป็นที่ปรึกษาโครงงาน ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจสอบ แก้ไข และชี้แนะการทำโครงงาน จึงขอขอบพระคุณ เป็นอย่างสูงไว้ ณ นี้ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม

นางสาวฐาปนี ศุภกิจวัฒนา

นายทัศไนย สีสด

นายนฤดล ช่างประดิษฐ์

มีนาคม 2554

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 แผนการดำเนินงาน.....3
1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน.....3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....4
2.1 มวลรวมหยาบสังเคราะห์ (พลาสติกรีไซเคิล).....4
2.2 คอนกรีต (Concrete).....7
2.3 คอนกรีตมวลเบา (Lightweight concrete).....11
2.4 งานวิจัยที่ผ่านมา.....16

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน.....17
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....17
3.2 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ.....18
3.3 วัตถุดิบที่ใช้ทำการทดสอบ.....19
3.4 การวิเคราะห์อัตราส่วนผสม.....19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การทดสอบ.....21

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์.....29

4.1 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ.....29

4.2 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต.....30

4.3 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว.....32

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....39

เอกสารอ้างอิง.....41

ภาคผนวก ก.....42

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แผนการดำเนินงาน.....3

2.1 ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (วินิต, 2544).....10

2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1.....10

2.3 การจำแนกประเภทของคอนกรีตมวลเบาตามลักษณะการนำไปใช้งาน.....12

3.1 แสดงปริมาณส่วนผสม.....20

4.1 แสดงการหาหน่วยน้ำหนักของ RPS (Recycle Plastic Sphere).....30

4.2 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของหน่วยน้ำหนักที่คำนวณตามสมการกับหน่วยน้ำหนักที่ได้จริงของคอนกรีต 32

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ตัวอย่างเม็ดพลาสติกรีไซเคิล....6

2.2 โครงสร้างทางเคมีของโพลิเอทิลินชนิดความหนาแน่นสูง.... 6

2.3 โครงสร้างทางเคมีของโพลิเอทิลินชนิดความหนาแน่นต่ำ....6

2.4 โครงสร้างทางเคมีของโพลิสไตรีน....7

2.5 โครงสร้างทางเคมีของโพลิโพรพิลีน....7

2.6 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการบ่มของคอนกรีต (Keats, 1994)....8

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 17

3.2 วัสดุสังเคราะห์ขึ้นรูป (Recycle Plastic Sphere, RPS) จากพลาสติกรีไซเคิล ที่จะนำมาใช้แทนมวลรวมหยาบในงานวิจัยนี้....19

3.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นทรายและวัสดุสังเคราะห์....20

3.4 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทำการทดสอบ....27

3.5 แสดงการหาค่าความเหนียวจากพื้นที่ใต้กราฟที่มีลักษณะรูปเว้าก่อน ถึงจุดแตกหักของคาน ตาม ASTM C1018-94b....28

4.1 แสดงการเก็บข้อมูลคุณสมบัติของ RPS (Recycle Plastic Sphere)....29

4.2 แสดงการหาค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด.... 30

4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด.... 31

4.4 กราฟแสดงผลคุณสมบัติกำลังอัดของคอนกรีต.... 33

4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต....34

4.6 เปรียบเทียบค่ากำลังต้านทานแรงดัดกับค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต....35

4.7 แสดงการวิบัติของคานคอนกรีตที่ไม่มีการผสม RPS ลงในคอนกรีต (Control)....36

4.8 แสดงการวิบัติของคานคอนกรีตที่ผสม RPS แทนที่มวลรวมหยาบบางส่วนลงในคอนกรีต....36

4.9 กราฟแสดงผลการทดสอบค่าดัชนีความเหนียวของคานคอนกรีตไม่มีการผสม RPS ลงในคอนกรีต (Control)....37

4.10 กราฟแสดงผลการทดสอบค่าดัชนีความเหนียวของคานคอนกรีตที่ผสม RPSแทนที่มวลรวมหยาบบางส่วนลงในคอนกรีต....37

ก1 เครื่องทดสอบกำลังอัด....42
ก2 เกรียง....42
ก3 ถุงมือยาง....42
ก4 ถังปั่มคอนกรีต....42
ก5 ที่ตัก....42
ก6 โม่....42
ก7 ตลับเมตร....43
ก8 กระบอกตวง....43
ก9 เครื่องชั่งความละเอียด 0.001 กิโลกรัม....43
ก10 กระบะปูนซีเมนต์....43
ก11 Dial gauge ความละเอียด 0.002 มิลลิเมตร....43
ก12 แบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์....44
ก13 แบบหล่อรูปทรงกระบอก....44
ก14 เครื่องอบ....44
ก15 เครื่อง Universal Testig machines....44
ก16 ทรายแม่น้ำ....45
ก17 พลาสติกรีไซเคิล....45
ก18 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตราช้าง....45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันเทคโนโลยีด้านคอนกรีตได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้สามารถนำคอนกรีตไปใช้ได้อย่างเหมาะสมกับประเภทของงานก่อสร้าง ซึ่งโดยทั่วไปนั้นคอนกรีตจะเป็นวัสดุที่มีกำลังอัดสูง แต่มีข้อด้อยคือเป็นวัสดุที่มีหน่วยน้ำหนักมาก โดยที่คอนกรีตที่ใช้งานทั่วไปจะมีหน่วยน้ำหนักประมาณ 2,300-2,500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเป็นปัญหาสำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างที่ไม่จำเป็นต้องรับแรงกระทำมากนัก การนำคอนกรีตโดยทั่วไปมาใช้งานจะทำให้ชิ้นส่วนโครงสร้างนั้นมีน้ำหนักมากเกินไปและเป็นภาระสำหรับโครงสร้างโดยรวมในการที่จะต้องรับน้ำหนักกระทำส่วนเกินนั้น

ทั้งนี้จึงมีการพัฒนาคอนกรีตให้เหมาะสมกับงานโครงสร้างที่ต้องการหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่น้อยกว่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตโดยทั่วไปที่เรียกว่า คอนกรีตมวลเบา (Autoclaved Aerated Concrete : AAC) ซึ่งคอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไปจะผลิตจากส่วนผสมของปูนปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทราย ปูนขาว ยิบซั่ม และผงอลูมิเนียมที่ใช้เพิ่มฟองอากาศ โดยการผสมสูตรที่เหมาะสมและผ่านการอบด้วยไอน้ำแรงดันสูงทำให้มีฟองอากาศมากถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตร จึงทำให้วัสดุคอนกรีตมวลเบา เบากว่าน้ำ (ลอยน้ำ) โดยมีน้ำหนักระหว่าง 600 – 700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ความเบาของวัสดุทำให้โครงสร้างเบาลง แต่คอนกรีตมวลเบายังคงมีข้อด้วย คือ ความแข็งแรงน้อย ไม่คงทนต่อสภาพการกัดกร่อนจากสารเคมี กำลังอัดและความทนทานต่ำไม่สามารถนำไปใช้ในงานโครงสร้างได้

อย่างไรก็ตามการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาเพื่อนำไปใช้ในงานโครงสร้างได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง และเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการพัฒนาคอนกรีตมวลเบาจากพลาสติกรีไซเคิล สามารถรับกำลังอัดได้สูงและมีหน่วยน้ำหนักต่ำกว่าคอนกรีตโดยทั่วไป (รายงานผลการแข่งขันคอนกรีตมวลเบาครั้งที่ 4, 2553) ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาที่แทนที่มวลรวมหยาบบางส่วนด้วยพลาสติกรีไซเคิลขึ้นรูปทรงกลม โดยที่มวลรวมหยาบที่ใช้เป็นพลาสติกรีไซเคิลที่ผ่านการการขึ้นรูปมีลักษณะทรงกลม กระจายอยู่ในเนื้อคอนกรีต ซึ่งส่งผลให้คุณสมบัติในด้านต่างๆมีความแตกต่างไปจากคอนกรีตโดยทั่วไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้การแทนที่มวลรวมหยาบบางส่วนด้วยพลาสติกรีไซเคิล จากวัตถุประสงค์หลักดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็นวัตถุประสงค์ย่อยได้ดังนี้

1.2.1 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตทั่วไปกับคอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุสังเคราะห์แทนที่มวลรวมหยาบ

1.2.2 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตทั่วไปกับคอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุสังเคราะห์แทนที่มวลรวมหยาบ

1.2.3 เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาและการนำไปใช้ประโยชน์สำหรับงานคอนกรีตมวลเบาต่อไป

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.3.1 การใช้วัสดุทดแทนมวลรวมบางส่วนในงานคอนกรีต ซึ่งทำให้น้ำหนักของมวลรวมเบาลงและยังคงรับกำลังอัดได้ดี

1.3.2 การใช้วัสดุสังเคราะห์เพื่อทดแทนมวลรวมบางส่วนในงานคอนกรีต ก่อให้เกิดคุณสมบัติด้านอื่นๆที่เพิ่มขึ้นจากคอนกรีตทั่วไป

1.3.3 เพิ่มแนวทางใหม่ๆให้กับงานคอนกรีตมวลเบา

1.3.4 เป็นการนำวัสดุรีไซเคิลที่มีคุณสมบัติเหมาะสมมาใช้ให้เกิดประโยชน์

1.4 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.4.1 วัสดุสังเคราะห์ที่ใช้ในการทำคอนกรีตมวลเบานี้ คือ พลาสติกรีไซเคิล ประเภท โพลิเอทิลีน (HDPE) ซึ่งมีลักษณ์เหนียว แข็ง ทนความร้อน และเป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี

1.4.2 ใช้ทรายแม่น้ำ เป็น มวลรวมที่ใช้ควบคู่กับวัสดุสังเคราะห์

1.4.3 ใช้สารผสมเพิ่ม คือ สารลดน้ำ 5%

1.4.4 กำหนดการผสมคอนกรีตมวลเบาเพื่อการเปรียบเทียบกับคอนกรีตทั่วไปไว้ที่หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตดังนี้ 2,000 กก/ม^3 1,800 กก/ม^3 1,600 กก/ม^3 และ 1,400 กก/ม^3

1.4.5 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ตราช้างแดง

1.4.6 การทดสอบคุณสมบัติการต้านทานแรงอัดของคอนกรีตเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM

1.4.7 การทดสอบคุณสมบัติการต้านทานแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 1 วัน, 7 วันและ 28 วัน

1.4.8 การทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตเป็นไปตาม ASTM C469-94

1.4.9 การทดสอบหาค่ากำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีตเป็นไปตาม ASTM C 78-94, 193

1.4.10 การทดสอบคุณสมบัติความเหนียวของคอนกรีตเป็นไปตาม ASTM C1018-94b

1.5 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	พ.ย.52				ธ.ค.52				ม.ค.53				ก.พ.53			
	สัปดาห์				สัปดาห์				สัปดาห์				สัปดาห์			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ศึกษาและรวบรวมแนวทางการทำงานคอนกรีตมวลเบา	←	→														
เก็บรวบรวมข้อมูลวัสดุของงานคอนกรีตมวลเบา		←	—	→												
ศึกษาขอบข่ายงาน และเตรียมวัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมและการทดสอบของงานคอนกรีตมวลเบา					←	—	→									
ทำการผสมคอนกรีตมวลเบาที่ตามที่คำนวณ และทดสอบผลที่อายุ 1 วัน, 7 วันและ 28 วัน								←	—	—	—	→				
วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ															←	→

1.6 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงงาน

แบ่งค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ มีดังนี้

4.6.1. ค่าวัสดุและอุปกรณ์สำหรับผสมคอนกรีต (ปูนซีเมนต์ ทราย และวัสดุสิ้นเปลืองอื่นๆ)	2,500 บาท
4.6.2. ค่าใช้จ่ายเอกสาร	500 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น	3,000 บาท
	(สามพันบาทถ้วน)

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

ในปัจจุบันการก่อสร้างโดยทั่วไป ประกอบขึ้นด้วย วัสดุจำพวก คอนกรีตเป็นวัสดุหลัก การใช้คอนกรีตมีความสะดวกและมีความเหมาะสมกว่าวัสดุอื่นๆ เช่น ไม้ เหล็ก เพราะสามารถทำคอนกรีตให้ได้รูปร่าง ลักษณะ และขนาด ตามความต้องการได้ง่าย นอกจากนี้คอนกรีตยังเป็นวัสดุทนไฟและเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี โดยปกติแล้วคอนกรีตมีน้ำหนักมาก ถ้าสามารถลดน้ำหนักของคอนกรีตลงได้จะทำให้การก่อสร้างประหยัดลงไปได้มาก ซึ่งจากเหตุผลนี้ คอนกรีตมวลเบาจึงเริ่มมีการใช้อย่างแพร่หลายขึ้น เนื่องจากคุณสมบัติในด้านที่มีน้ำหนักน้อย และมีจุดเด่นในด้านที่เป็นฉนวนในด้านการกันความร้อน และเก็บเสียงได้ดี ดังนั้นการเลือกใช้วัสดุอื่นมาช่วยในการลดน้ำหนักให้กับโครงสร้างจึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในงานคอนกรีตมวลเบา ยกตัวอย่างเช่น วัสดุสังเคราะห์จำพวกพลาสติก

2.1 มวลรวมหยาบสังเคราะห์ (พลาสติกรีไซเคิล)

โดยในปัจจุบันพลาสติกได้กลายเป็นผลิตภัณฑ์สำคัญอย่างหนึ่ง ที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน และมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้น และนำมาแทนทรัพยากรธรรมชาติได้หลายอย่าง เช่น ไม้ เหล็ก เนื่องจากพลาสติกมีราคาถูก มีน้ำหนักเบา และมีขอบข่ายการใช้งานได้กว้าง เนื่องจากเราสามารถผลิตพลาสติกให้มีคุณสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการได้ โดยขึ้นกับการเลือกใช้วัตถุดิบปฏิกิริยาเคมี กระบวนการผลิต และกระบวนการขึ้นรูปทรงต่างๆ ได้อย่างมากมาย และนอกจากนี้ยังสามารถปรุงแต่งคุณสมบัติได้ง่าย โดยการเติมสารเติมแต่ง (Additives) เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารเสริม (Filler) สารคงสภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) และผงสี (Pigment) เป็นต้น

พลาสติกโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastics) เป็นพลาสติกที่อ่อนตัวเมื่อถูกความร้อน และแข็งตัวเมื่อเย็นลง พลาสติกประเภทนี้สามารถนำมาหลอมและขึ้นรูปใหม่ได้ ตัวอย่างของพลาสติกประเภทนี้ ได้แก่ โพลีเอทธิลีน (PE) โพลีโพรพิลีน (PP) โพลีสไตรลีน (PS) โพลีไวนิลคลอไรด์ (PVC) โพลีเอสเตอร์ (PET)

2. เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting) เป็นพลาสติกที่เกิดปฏิกริยาเคมีเมื่อนำไปขึ้นรูป พลาสติกประเภทนี้ไม่สามารถนำไปหลอมเพื่อนำมาใช้ใหม่ ตัวอย่างของพลาสติกประเภทนี้ ได้แก่ โพลียูเรเธน (PUR) อีพอกซี่ (Epoxy) ฟีโนลิค (Phenolic) เมลามีน (Melamine)

การจำกัดขยะพลาสติกสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การนำไปฝัง (Burial) หรือนำไปถมดิน (Landfill) การนำไปเผาเป็นเชื้อเพลิง (Incineration) และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) อย่างไรก็ตาม การนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ โดยทั่วไปแล้วถูกพิจารณาว่า เป็นทางเลือกที่ให้ประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดทางหนึ่ง ในการแก้ไขปัญหาขยะพลาสติก อย่างไรก็ตาม การนำพลาสติกกลับมาหมุนเวียนใช้ใหม่นั้น ประเด็นสำคัญอยู่ที่การแยกประเภทของพลาสติกก่อนที่จะนำไปรีไซเคิล และการกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออกไป โดยปกติแล้วพลาสติกผสมเกือบทุกประเภทจะมีหลายเฟส เนื่องจากโพลีเมอร์ที่ถึงแม้จะมีโครงสร้างทางเคมีที่เหมือนกัน แต่ไม่สามารถเข้ากันได้เสมอไป (Incompatible) ตัวอย่างเช่น โพลีเอสเตอร์ ที่ใช้ทำขวดพลาสติก จะเป็นโพลีเอสเตอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงกว่า เมื่อเทียบกับโพลีเอสเตอร์ที่ใช้ในการผลิตเส้นใย (Fiber) อย่างไรก็ตาม ยังมีสารเติมแต่งอีกประเภท ได้แก่ พวก Compatibilizer ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการรีไซเคิลของพลาสติก สารเติมแต่งนี้จะช่วยให้เกิดพันธะทางเคมีระหว่างโพลีเมอร์ 2 ประเภทที่เข้ากันไม่ได้ ดังนั้น Compatibilizer จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการรีไซเคิล ตัวอย่างเช่น การใช้ Chlorinated PE สำหรับพลาสติกผสม PE/PVC

หลังจากที่ทำการแยกประเภทพลาสติกและทำความสะอาดแล้ว ก็สามารถนำพลาสติกนั้นกลับมาหลอมและขึ้นรูปใหม่ได้ ในกรณีที่พลาสติกนั้นเป็นประเภทเทอร์โมพลาสติก สำหรับพลาสติกบางประเภทสามารถทำให้เกิดปฏิกริยา Depolymerization ได้ เช่น โพลีเอสเตอร์ สามารถทำปฏิกริยากับเมธานอลกลับไปเป็นสารตั้งต้น คือ Dimethylterephthalate และ Ethylene Glycol ซึ่งสารเคมีทั้งสองตัวนี้สามารถนำมาทำให้บริสุทธิ์ได้โดยการกลั่น และนำมาใช้ใหม่ในการผลิตโพลีเอสเตอร์ หรือไม่ก็สามารถเปลี่ยนโพลีเอสเตอร์ ให้เป็นไปอยู่ในรูปสารเคมีอื่นที่นำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยใช้ปฏิกริยา Esterification หรือ Hydrolysis โพลีสไตรลีนสามารถเปลี่ยนกลับไปเป็นโมโนเมอร์ (Monomer) ได้โดยกระบวนการ Pyrolysis โดยทั่วไปการใช้โพลีเมอร์ประเภทเดียวกันมีความจำเป็นต่อการเกิดปฏิกริยา Depolymerization อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นวิธีนี้จึงนิยมใช้กับเศษพลาสติกจากกระบวนการผลิต และขึ้นรูปจากโรงงานอุตสาหกรรมมากกว่าขยะพลาสติกจากผู้ใช้ผู้บริโภค

ความแข็งแรงของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ หลังจากที่ผสม และมีการพัฒนาความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้นโดยประมาณแล้วหลังจาก 28 วัน ความแข็งแรงจะเริ่มคงที่ คอนกรีตจะนิยมใช้ในงานก่อสร้างหลายชนิด เช่น อาคาร ถนน เขื่อน สะพาน โดยเมื่อนำมาอัดบล็อก จะเรียกว่าอิฐบล็อกหรือคอนกรีตบล็อก ซึ่งนิยมนำมาใช้ในงานก่อสร้างต่างๆ ทั่วไป เนื่องจากมีราคาถูกและก่อสร้างได้สะดวกและรวดเร็วการกำหนดอัตราส่วนผสมมีทั้งการกำหนดโดยน้ำหนักและปริมาตร โดยคอนกรีตที่ดีจะเป็นผสมาจากการที่วัสดุผสมทุกๆ อนุภาคถูกห่อหุ้มไว้ด้วยซีเมนต์เพสต์ (Cement paste) ซึ่งประกอบด้วยปูนซีเมนต์และน้ำที่ทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน ระหว่างกันจนทำให้มีสมบัติจับเกาะแน่นกับวัสดุผสมต่างๆอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water-Cement ratio) ยังเป็นปัจจัยสำคัญ ซึ่งพบว่าคอนกรีตที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์น้อย จะมีความแข็งแรงมากกว่าคอนกรีตที่มีอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์มาก โดยปฏิกิริยาไฮเดรชันในคอนกรีตนี้จะอยู่ในรูปโครงสร้างของผลึกตามปฏิกิริยาของ

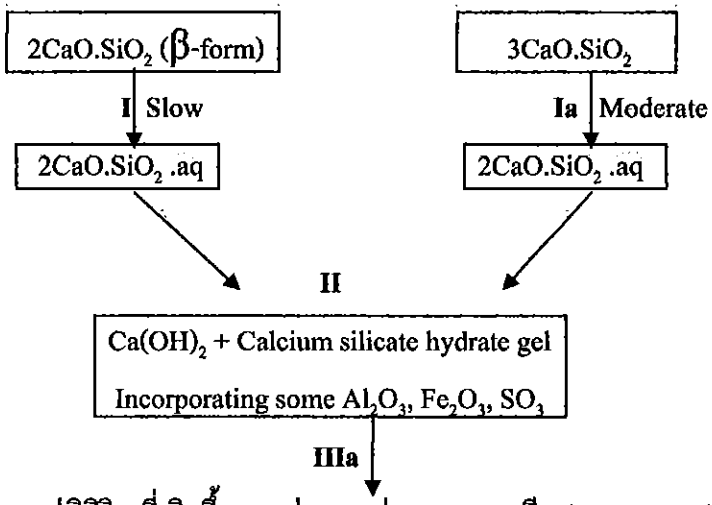
Tricalcium silicate แสดงดังสมการที่ 2.1

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_3.3H_2O + 3Ca(OH)_2 \qquad (2.1)$$

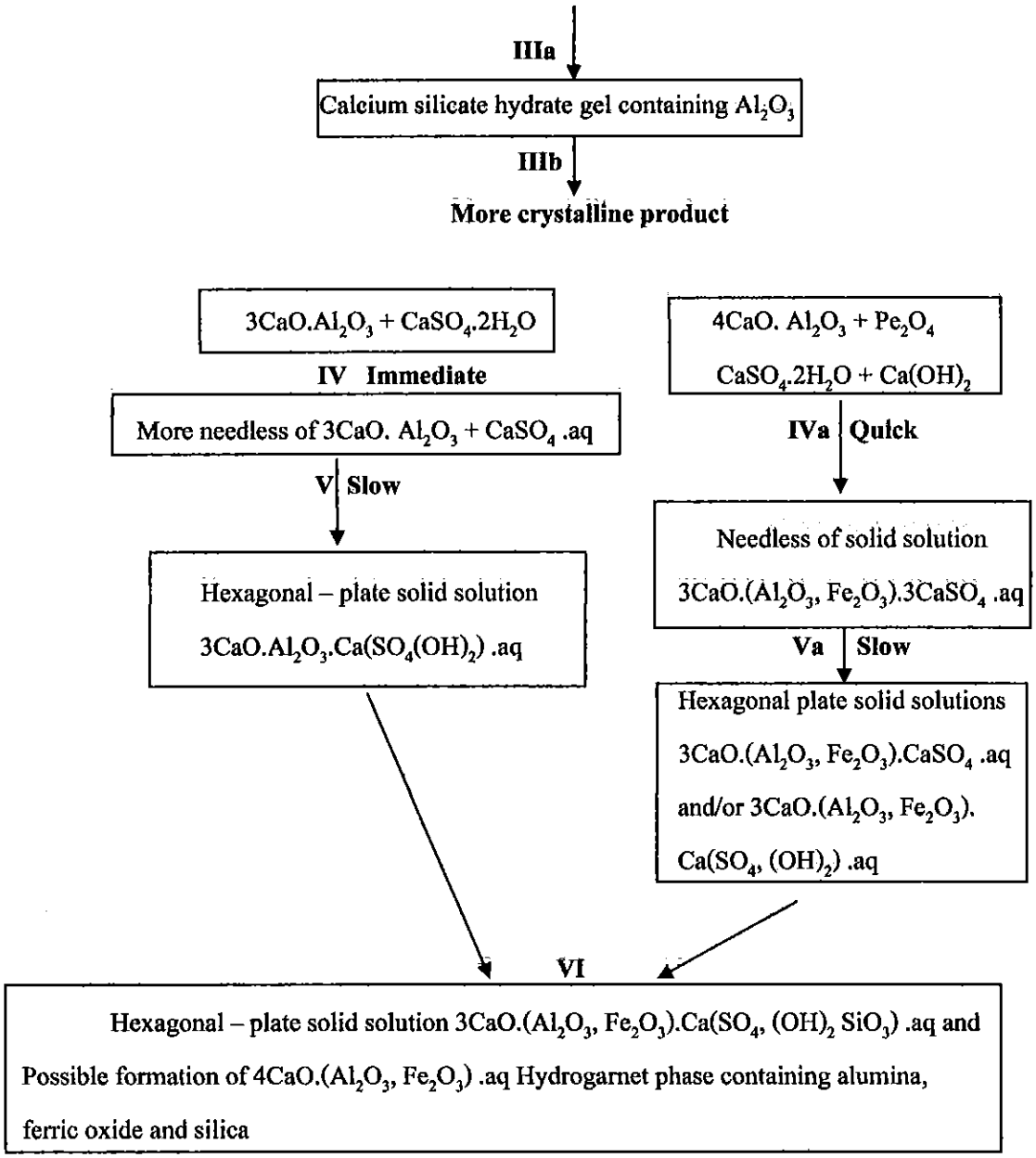
และปฏิกิริยาของ Dicalcium silicate แสดงดังสมการที่ 2.2

$$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2 \qquad (2.2)$$

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลทำให้เกิดเจล (Gel) ซึ่งมีสมบัติเป็นตัวประสาน มีความเหนียวคล้ายกาว เกิดการแข็งตัวและยึดเกาะกับวัสดุผสม (วินิต ก่อวิเชียร, 2539) ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งสอดคล้องกับปฏิกิริยาการบ่มคอนกรีต ดังแสดงตามสมการของ Keats, 1994



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการบ่มของคอนกรีต (Keats, 1994)



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างการบ่มของคอนกรีต (Keats, 1994) (ต่อ)

และปฏิกิริยาของ Tricalcium aluminate ที่เกิดขึ้นทันทีทันใดในปูนซีเมนต์เป็นดังสมการ

$3CaO.Al_2O_3 + 6H_2O \rightarrow 3CaO.2Al_2O_3.6H_2O$ + heat (Keats, 1994)

ปูนซีเมนต์ที่จะใช้ในส่วนผสมของคอนกรีต สามารถแบ่งตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุของอเมริกา (ASTM) ซึ่งได้แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

Type 1 Ordinary Portland cement

Type 2 Moderate heat and sulphate resisting Portland cement

Type 3 High early strength Portland cement

Type 4 Low heat Portland cement

Type 5 Sulphate resisting Portland cement

ส่วนประกอบสำคัญที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แสดงดังตารางที่ 2.1 ในงานก่อสร้างโดยทั่วไป มักจะนิยมใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ซึ่งจะมีส่วนประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 2.4 โดยเมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาเคมีได้ผลผลิตเป็น Calcium silicate hydrates ซึ่งจะทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น (วรชัยและอนุภาค, 2529)

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (วินิต, 2544)

ชื่อส่วนประกอบ	สูตรเคมี	ชื่อย่อ
Tricalcium silicate	$3CaO.SiO_2$	C_3S
Dicalcium silicate	$2CaO.SiO_2$	C_2S
Tricalcium aluminate	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Tetracalcium aluminoferrite	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1

ส่วนประกอบ	% โดยน้ำหนัก
SiO_2	20.67
Al_2O_3	5.96
Fe_2O_3	2.35
CaO	63.62
SO_2	2.13

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (ต่อ)

ส่วนประกอบ	% โดยน้ำหนัก
MgO	2.53
Na_2O	0.12
K_2O	0.94
Free CaO	1.43
Loss on ignition	1.37
Insoluble residue	0.26

2.3 คอนกรีตมวลเบา (Light weight concrete)

คอนกรีตมวลเบา คือ คอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาและมีความหนาแน่นน้อยกว่าคอนกรีตที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนได้ในกรณีงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการรับน้ำหนักหรือรับความต้านการอัดมาก ซึ่งจะทำให้สามารถลดขนาดของงานโครงสร้างได้ มีผลทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตและแรงงานได้ด้วย อีกทั้งยังมีสมบัติ เป็นฉนวนกันความร้อนและเก็บเสียงได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา โดยทั่วไปแล้วส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุผสมน้ำหนักเบาเป็นส่วนผสม(Light weight aggregate concrete) นั้นมักจะประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ วัสดุผสมชนิดต่างๆ ได้แก่ ทรายละเอียด ทรายหยาบ หรือหินคลุกและน้ำ โดยจะใส่วัสดุผสมอื่นๆ ที่มีน้ำหนักเบาเข้าไปแทนที่ ทรายละเอียด ทรายหยาบ หรือหินคลุก ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับรูปร่างและลักษณะของวัสดุ ซึ่งวัสดุส่วนใหญ่ที่นำมาใช้มักได้มาจากการผลิตขึ้นโดยตรงจากอุตสาหกรรมหรือผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น เถ้าของถ่านหินจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ตะกรันจากเตาเผาโรงงานถลุงเหล็ก เถ้าเชื้อเพลิงผง หรือได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้ได้ เช่น แกลบสด ขี้เถ้าแกลบ กากจากผลผลิตทางการเกษตรต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะนำวัสดุเหลือใช้ต่างๆ เหล่านี้นำกลับมาใช้อีกให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

2.3.1 ชนิดของคอนกรีตมวลเบา

2.3.1.1 จำแนกตามลักษณะการนำไปใช้งาน

สามารถจำแนกได้ 3 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การจำแนกประเภทของคอนกรีตมวลเบาตามลักษณะการนำไปใช้งาน

ประเภท	ความต้านการอัด (kg/cm^2)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
1) คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structural Lightweight Concrete)	180 – 480	1,400 – 1,800
2) คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานก่อ (Masonry Lightweight Concrete)	100 – 180	500 – 800
3) คอนกรีตมวลเบาสำหรับงานฉนวนความร้อน (Insulating Lightweight Concrete)	10 – 100	น้อยกว่า 800

* แบ่งตาม ACI. DESIGNATION : 213R-87

2.3.1.2 จำแนกตามเทคนิคหรือกระบวนการผลิต

สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) คอนกรีตมวลเบาที่ได้จากวัสดุผสมน้ำหนักเบา (Lightweight Aggregate Concrete)

คอนกรีตที่ใช้วัสดุผสมน้ำ หนักเบา แทนที่วัสดุผสมปกติ ซึ่งวัสดุผสมน้ำ หนักเบา (Lightweight Aggregate) มีหน่วยมวลระหว่าง 60 ถึง 1,000 กก./ลบ.ม. เทียบกับ 1,100 ถึง 1,750 กก./ลบ.ม. ของวัสดุผสมปกติ มวลรวมสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ชนิด คือ

1.1) วัสดุผสมน้ำหนักเบา ที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ Vermiculite, Perlite, Pumice และ Scoria ซึ่งเป็นลาวาที่พองตัวโดยธรรมชาติเวลาที่ ภูเขาไฟระเบิด วัสดุผสมเหล่านี้นำมาใช้ผสมทำคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงมากนักและวัสดุผสมเหล่านี้จะมีการดูดซึมน้ำมาก

1.2) วัสดุผสมน้ำหนักเบาที่ได้จากขบวนการผลิต เป็นคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ผลิตคอนกรีตมากที่สุดสามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท คือ ได้แก่

1.2.1) Expanded Clay Aggregate ได้จากการนำดินเหนียวมาผสมกับสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศ และนำไปเผาในเตาเผา (Rotary Kiln) ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสซึ่งอุณหภูมิ นี้จะมีการขยายตัว เนื่องจากการเผาไหม้ของสารอินทรีย์ เกิดเป็นฟองอากาศอยู่ ในเนื้อหินลักษณะของหินพวกนี้มีรูปร่างกลมแข็ง ผิวเรียบแน่น แต่เนื้อภายในเป็นโพรงอากาศ

1.2.2) Expanded Shale Aggregate ได้จากการนำดินดาน (Shale) มาผสมกับ ถ่านที่บดละเอียดแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส วัตถุดิบจะถูกหลอมรวมกันและจะมีฟองอากาศถูกกักไว้ภายในเนื้อหินลักษณะจะเป็นหินที่ มีความแข็งมาก หลังจากที่เผาวัสดุผสมทั้ง 2 นี้ได้ที่แล้ว จะนำมวลเบาที่ได้ไปย่อยให้ได้ขนาดที่ต้องการ วัสดุผสมน้ำหนักเบาชนิดนี้จะมีความแข็งแรงค่อนข้างดี จึงเป็นที่นิยมใช้ผลิตคอนกรีตมวลเบา

1.2.3) Sintered Fly Ash ได้จากการนำเอา Fly Ash หรือ SFA ที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหินไปทำให้เป็นเม็ดก่อน แล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ ประมาณ 1,400 องศาเซลเซียส

อุณหภูมินี้อนุภาคของ Ash จะเกาะกัน โดยผิวของวัสดุผสมน้ำหนักเบาชนิดนี้ค่อนข้างเรียบ

1.3) วัสดุผสมน้ำหนักเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ได้แก่ แกลบ ขี้เถ้าแกลบ ขี้เลื่อย เป็นต้น นำมาผสมเข้าไปในคอนกรีต

1.4) วัสดุผสมน้ำหนักเบาที่ได้จากของเหลือของขบวนการผลิต ได้แก่ เถ้าที่หนัก (Furnace Bottom Ash) ที่ได้จากโรงงานไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง และ Slag ที่ได้จากโรงงานอุตสาหกรรมหลอมเหล็ก เป็นการพ่นน้ำลงไปบน Slag ที่หลอมเหลวอันจะก่อให้ เกิดฟองอากาศจำนวนมากในเนื้อ Slag ที่แข็งตัว หลังจากนั้นนำไปย่อยให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ ส่วนใหญ่จะได้จากการล้างเตาหลอมเหล็ก

2) คอนกรีตมวลเบาที่ได้จากการกักฟองอากาศ (Cellular or Aerated Concrete)

คอนกรีตมวลเบาที่ผลิตโดยวิธีกักฟองอากาศ แตกต่างจากคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตโดยใช้วัสดุผสมน้ำหนักเบา โดยในกระบวนการผลิตจะเป็นการใส่ฟองอากาศปริมาณสูงเข้าไปแทนที่ซีเมนต์ จากนั้นปล่อยให้คอนกรีตที่ได้แข็งตัว จะได้คอนกรีตที่มีปริมาณฟองอากาศปริมาณสูงกระจายอยู่ทั่วไป ซึ่งคอนกรีตที่ได้จะมีมวลเบาตามต้องการ กระบวนการผลิตสามารถแบ่งได้ออกเป็น 2 ประเภทหลักคือ

2.1) การผลิตโดยใช้อลูมินัมออกไซด์ กระบวนการผลิตนี้ถูกคิดค้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1914 โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมีของผงอลูมินัมกับซีเมนต์ดังสมการที่ 2.3 ซึ่งอลูมินัมจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์เกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้นในเนื้อคอนกรีต ทำให้เกิดการขยายตัวและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น เมื่อคอนกรีตแข็งตัวก็จะได้คอนกรีตที่มีรูพรุนสูงและน้ำหนักเบา

$$2Al + 3Ca(OH)_2 + 6H_2O \rightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O + 3H_2 \qquad (2.3)$$

วิธีนี้ถึงแม้ว่าจะเป็นเทคโนโลยีเก่า แต่ยังมีการใช้อยู่ทั่วไป ข้อเสียของวิธีนี้ คือกระบวนการผลิตที่ยุ่งยากและใช้พลังงานสูง เพราะกระบวนการเกิดแก๊สไฮโดรเจนนั้น เป็นปฏิกิริยาเคมีที่ไม่ใช่ปฏิกิริยาหลัก (Primary) แต่เป็นปฏิกิริยารองที่เรียกว่า Secondary โดยมีความจำเป็นต้องรอการเกิดของแคลเซียมไฮดรอกไซด์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันก่อน จากนั้นเมื่อแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับผงอลูมินัม กระบวนการเกิดฟองแก๊สไฮโดรเจนจึงเริ่มขึ้น ดังนั้น

เราจึงพบว่าโดยทั่วไป ถ้าไม่มีการเร่งปฏิกิริยากระบวนการเกิดแก๊สจะเริ่มประมาณ 30 นาที หลังจากการผลิต การที่ปฏิกิริยาการเกิดแก๊สเป็นปฏิกิริยารองนั่นเอง ซึ่งเป็นที่มาของปัญหาใหญ่ในกระบวนการผลิตในช่วงต้นที่คอนกรีตยังมีสภาพเป็นของเหลวมีความยืดหยุ่นสูง การขยายตัวของเนื้อคอนกรีตเนื่องมาจากแก๊สไฮโดรเจนนั้นไม่ได้ก่อให้เกิดปัญหาแต่อย่างใดๆ เมื่อคอนกรีตเริ่มก่อตัว (Setting) ที่ประมาณ 2 ถึง 3ชั่วโมง หลังจากการผสม คอนกรีตที่เริ่มแข็งตัว จะมีความยืดหยุ่นลดลง เมื่อกระบวนการเกิดแก๊สและการขยายตัวของเนื้อคอนกรีตดำเนินต่อไป จะเกิดปัญหาความไม่สัมพันธ์กันระหว่างระยะเวลาการเกิดแก๊สและการแข็งตัวคอนกรีต ส่งผลให้คอนกรีตที่ได้มักจะมีรอยร้าวขนาดใหญ่ กำลังอัดต่ำ แตกหักง่าย ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงต้องมีการใช้ความร้อนและความดันเข้ามาช่วย และจะต้องให้ความร้อนเพื่อเป็นการเร่งปฏิกิริยาการเกิดแก๊ส ให้สัมพันธ์กับการก่อตัว เพื่อไม่ให้คอนกรีตเกิดรอยแตกร้าวขนาดใหญ่ และได้คอนกรีตที่มีสมบัติและรูปร่างตามต้องการ

2.2) การผลิตโดยการทำฟองหรือการทำโฟมก่อน วิธีนี้ถูกคิดค้นในปี ค.ศ. 1950 แนวคิดของกระบวนการผลิตด้วยวิธีนี้ คือ การทำฟองอากาศปริมาณสูงขึ้นมา ก่อนที่จะผสมลงไปพร้อมกับคอนกรีต ในช่วงแรกของการคิดค้นสารสร้างฟองอากาศ มักจะใช้ผงซักฟอกหรือน้ำยาซักผ้า ซึ่งมีข้อเสีย คือ ฟองอากาศที่ได้มักจะไม่เสถียรและแตกหักง่าย แต่ในกระบวนการผลิตปัจจุบัน จะใช้สารกักฟองอากาศ ที่มีส่วนผสมทางเคมี คือ Polyoxy ethylene alkyl ether โดยฟองอากาศที่ได้โดยวิธีนี้จะมีความเสถียรและคงรูปมากกว่าฟองอากาศที่ได้จากผงซักฟอก กระบวนการผลิตจะเริ่มต้นที่การใส่สารกักฟองอากาศปริมาณสูงลงปั่นในเครื่องผลิตฟอง จากนั้นฉีดพ่นเข้าไปในโม่ผสมคอนกรีตเพื่อให้ฟองอากาศเข้าไปแทรกตัวตามเนื้อคอนกรีต เมื่อคอนกรีตแข็งตัวแล้วเนื้อคอนกรีตที่ได้จะมีรูพรุนสูงและมีน้ำหนักเบากระบวนการผลิตคอนกรีตมวลเบา ด้วยวิธีนี้ค่อนข้างง่ายกว่าวิธีแรก เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อนและความดันเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ต้นทุนด้านพลังงานต่ำ

นอกจากนี้ยังมีคอนกรีตมวลเบาปานกลาง (Moderate lightweight concrete) เป็นคอนกรีตมวลเบาที่เกิดจากการแทนที่มวลเบาประเภท กากโลหะ (Scoria) หินภูเขาไฟ (Pumice) มีหน่วยมวลต่อปริมาตรแห้งตั้งแต่ 800 ถึง 1400 กก/ลบ.ม. และค่ากำลังอัดตั้งแต่ 1,000 ถึง 2,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว (6.89 ถึง17.24 เมกกะปาสคาล)

2.3.2 สมบัติของคอนกรีตมวลเบา

2.3.2.1 สมบัติทั่วไป

1) น้ำหนักเบา มีมวลต่อปริมาตรแห้ง ตั้งแต่ 500 ถึง 650 กก/ลบ.ม.

2) ค่าความต้านการอัด (Compressive strength) ที่อายุการบ่ม 28 วัน ของคอนกรีตมวลเบาจะมีค่าขึ้นอยู่กับประเภทของการผลิต โดยมีค่าตั้งแต่ 10 ถึง 240 กก/ตร.ม.

3) ค่าสัมประสิทธิ์การแตกหัก (Modulus of rupture) คอนกรีตมวลเบา จะมีค่าสัมประสิทธิ์การแตกหักสูงกว่าคอนกรีตปกติทั่วไปที่มีกำลังอัดเท่ากัน

4) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) คอนกรีตมวลเบาจะค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ต่ำกว่าคอนกรีตทั่วไป โดยค่า E ของวัสดุผสมของคอนกรีตมวลเบา จะอยู่ระหว่าง 1/3 ถึง 2/3 ของคอนกรีตทั่วไป และค่า Poisson's ratio ของคอนกรีตเบาจะมีค่าเท่ากับคอนกรีตทั่วไป ซึ่งคอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไป ไม่สามารถทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมี จึงไม่เหมาะสมกับการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีสารซัลเฟตสูงปนอยู่หรือดินชื้นและการกระทบกระแทกจากแรงภายนอก เนื่องจากคอนกรีตเบานั้นมีความพรุนมาก

5) สัมประสิทธิ์การขยายตัว คอนกรีตมวลเบาจะมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว มีค่าอยู่ระหว่าง 7×10^{-6} ถึง 14×10^{-6} ต่อองศาเซนติเกรด ดังนั้นการหดตัวเมื่อแห้งและการเปลี่ยนแปลงความชื้นในคอนกรีตเบา ในบางกรณีอาจมีค่าสูง

6) การหดตัวเมื่อแห้ง โดยปกติแล้วคอนกรีตมวลเบาจะมีการหดตัวมากกว่าคอนกรีตทั่วไปและมีค่าการหดตัวอยู่ระหว่างร้อยละ 5 ถึง 40

7) การคืบตัวหรือการหล้า คอนกรีตมวลเบาโดยทั่วไปแล้ว จะมีการคืบตัวและยืดตัวจากความชื้นมากกว่าคอนกรีตทั่วไป ถ้าหากเกิดการคืบตัวมาก ๆ จะสามารถช่วยลดความเค้นดึงเนื่องจากการหดตัว อีกทั้งยังช่วยลดการแตกร้าวได้

2.3.2.2 สมบัติที่เกี่ยวกับความร้อนของคอนกรีต (Thermal properties of concrete)

สมบัติที่เกี่ยวกับความร้อนของคอนกรีตเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญโดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับอุณหภูมิจะทำให้เกิดความเครียดเนื่องจากความร้อน การดัดงอ และยังทำให้เกิดรอยแตกร้าวอย่างรวดเร็วในคอนกรีตและสมบัติในด้านนี้ มีส่วนช่วยในการป้องกันมิให้ไฟฟ้ารั่วโดยตรงกับการใช้งานคอนกรีต นอกจากนี้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ยังสามารถบอกถึงความเป็นฉนวนกันความร้อน (Thermal insulation) ที่ดีได้อีกด้วย

1) ฉนวนกันความร้อน (Thermal insulation) หมายถึง วัสดุหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนผ่านโครงสร้างจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง โดยที่อุณหภูมิทั้งสองด้านจะต้องแตกต่างกัน

2) การป้องกันไฟ คอนกรีตมวลเบาบางชนิด มีความต้านทานต่อการติดไฟได้ดีกว่าคอนกรีตทั่วไป เนื่องจากคอนกรีตมวลเบาเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี โดยความต้านทานต่อไฟนั้น จะขึ้น อยู่กับความหนาของคอนกรีตมวลเบา

2.4 ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

K.Perevozchikov พบว่า คอนกรีตที่ประกอบด้วยฟองโพลีเอทิลีน 30% ของปริมาตรทั้งหมด และเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของน้ำและซีเมนต์ จะทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบาขึ้น มีความหนาแน่นระหว่าง 1592-1840 กก/ลบ.ม. และมีกำลังอัด 2.31-8.44 เมกะปาสคาล

Bing Chen , Juanyu Liu พบว่า โพลีสไตรีนในรูปของเส้นใยเหล็ก จะเพิ่มกำลังอัด 10-25 เมกะปาสคาล โดยมีความหนาแน่น 800-1800 กก/ลบ.ม. และยังสามารถเพิ่มกำลังรับแรงดึง ปรับปรุงคุณสมบัติด้านการต้านทานการหดตัวของคอนกรีตอีกด้วย

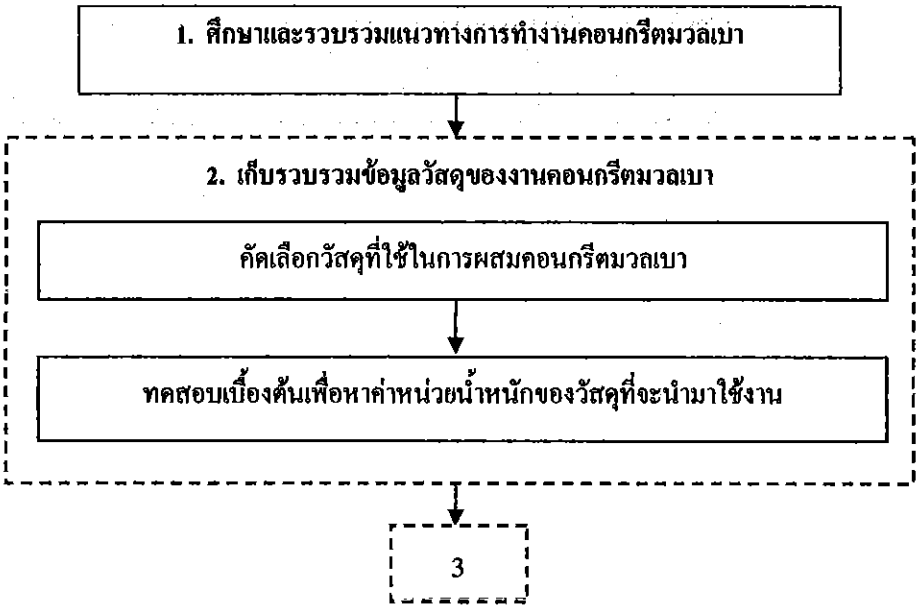
ดนุพล ตันนโยภาส และ กัลยาณี คุปตานนท์ พบว่า กำลังอัดของก้อนคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันครั้งนี้ พบว่าค่ามากที่สุดอยู่ที่ราว 29 เมกะปาสคาไม่เติมหินฝุ่นแกรนิต บ่ม 7 วัน และค่ากำลังอัดต่ำสุดราว 16 เมกะพาสคัล ที่เติมหินฝุ่นแกรนิต 30% ซึ่แนวโน้มของพัฒนาการกำลังอัดของคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันมีค่าลดลงเมื่อปริมาณหินฝุ่นแกรนิตมากกว่า 10% ขึ้นไป ของทุก

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

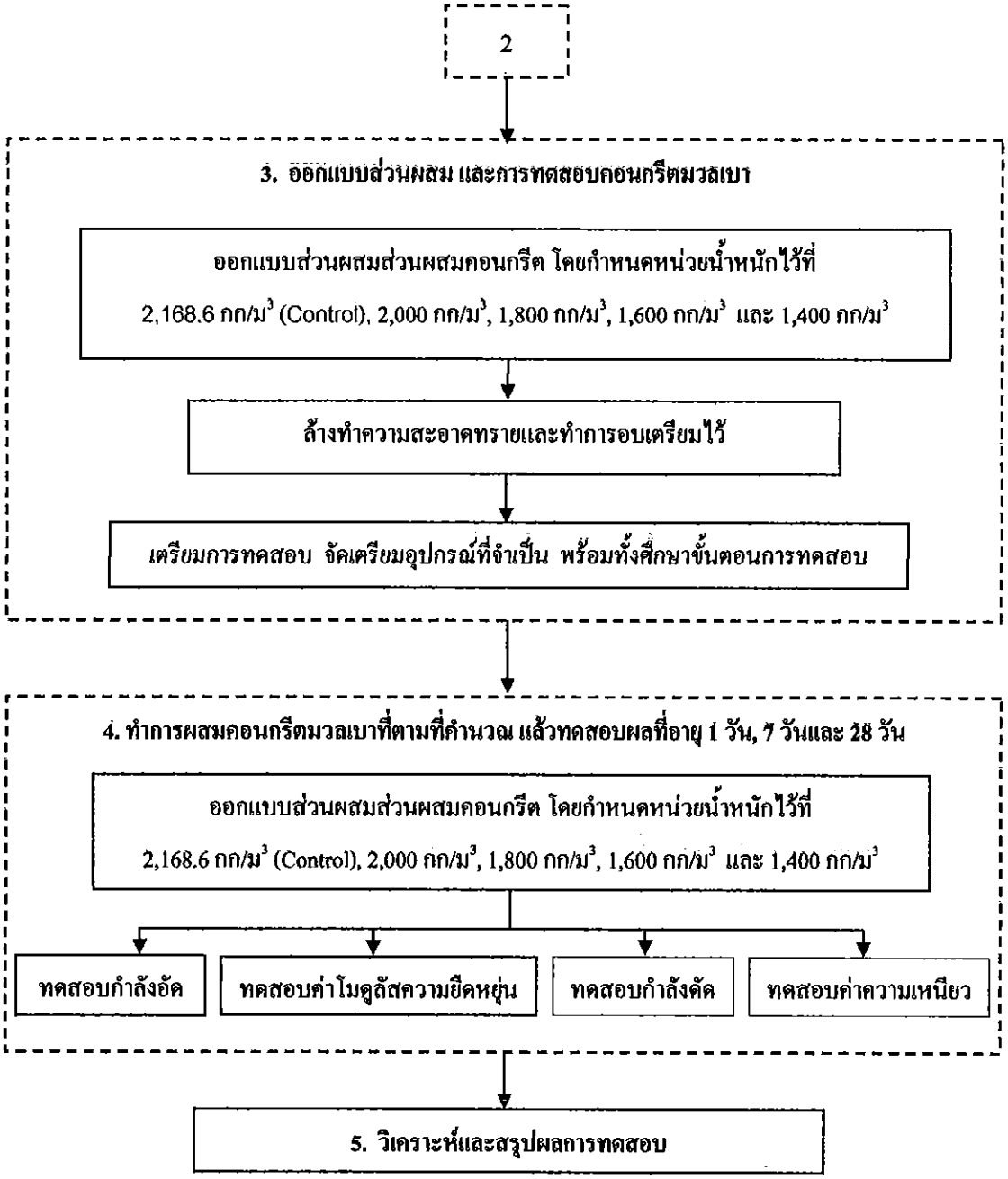
ในบทนี้จะกล่าวถึงมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ วัสดุ เครื่องมือ ขั้นตอนการทดสอบ วิธีการคำนวณค่าผลการทดสอบแต่ละวิธีในการทดสอบตามรายละเอียดการดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ตามที่ได้ตั้งไว้

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

แนวทางการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปเป็นขั้นตอนหลักได้ 5 ขั้นตอนคือ ศึกษาและรวบรวมแนวทางการทำงานคอนกรีตมวลเบา, เก็บรวบรวมข้อมูลวัสดุของงานคอนกรีตมวลเบา, ออกแบบการทดสอบ จัดเตรียมวัสดุ และการทดสอบของงานคอนกรีตมวลเบา, ทำการผสมคอนกรีตมวลเบาที่ตามที่คำนวณ แล้วทดสอบผลที่อายุ 1 วัน, 7 วันและ 28 วันและวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย (ต่อ)

3.2 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

1. มาตรฐาน ASTM C 31, 39, 192 และมาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 409-2525
   (การทดสอบหาความต้านทานแรงอัดของคอนกรีต)
2. มาตรฐาน ASTM C 469-94
   (การทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต)

3. มาตรฐาน ASTM C 293-79
   (การทดสอบหาค่ากำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีต)
4. มาตรฐาน ASTM C 1018-94b
   (การทดสอบคุณสมบัติความเหนียวของคอนกรีต)

3.3 วัตถุดิบที่ใช้ทำการทดสอบ

1. ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 ตราช้างแดง
2. มวลรวมหยาบสังเคราะห์เป็นพลาสติกสังเคราะห์

รูปที่ 3.2 วัสดุสังเคราะห์ขึ้นรูป (Recycle Plastic Sphere, RPS) จากพลาสติกรีไซเคิล ที่จะนำมาใช้แทนมวลรวมหยาบในงานวิจัยนี้

3. ทรายที่ใช้เป็น ทรายแม่น้ำมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.30
4. สารผสมเพิ่มที่ใช้คือ สารลดน้ำพิเศษ (Poly-Carboxilic Ether Co-Polymer)

3.4 การวิเคราะห์อัตราส่วนผสม

จากแผนการดำเนินการในตารางที่ 3.1 มีการกำหนดค่าหน่วยน้ำหนักที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จำนวน 4 หน่วยน้ำหนัก โดยจะทำการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วย RPS โดยคงสัดส่วนผสมอื่นไว้ทั้งหมด ซึ่งมีหลักการในการคำนวณส่วนผสมดังนี้

กำหนด ค่า W/C = 0. 350 ที่ f'c 500 กก/ตร.ซม.

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ Type I = 500 กก. , น้ำ = 175 กก. , PEC (สารลดน้ำ) = 5 กก.

ให้ A = ทราย (กก.) และ B = มวลรวมหยาบสังเคราะห์ (กก.)

สมมติ ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ 2,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

จะได้ 500/3,151+175/1,000+ 5/1,100+A/2,300+B/305 = 1 ⟶ สมการ 4.1

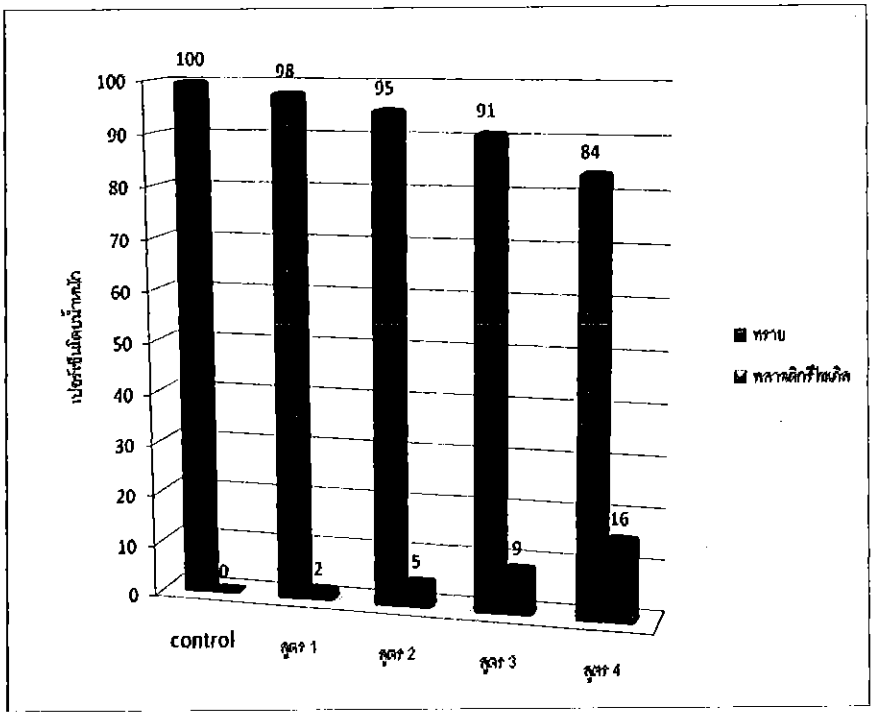
500 + 175 + 5 + A + B = 2,000 ⟶ สมการ 4.2

จากการแก้สมการจะได้ค่าข้างต้นจะได้ปริมาณส่วนผสมดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณส่วนผสม

	Density กก./ลบ.ม.	ปูนซีเมนต์ กก./ลบ.ม.	น้ำ กก./ลบ.ม.	PEC กก./ลบ.ม.	ทราย กก./ลบ.ม.	พลาสติกสังเคราะห์ กก./ลบ.ม.
Control	2,167	500	175	5	1,487	0
สูตร 1	2,000	500	175	5	1,294	26
สูตร 2	1,800	500	175	5	1,064	56
สูตร 3	1,600	500	175	5	833	87
สูตร 4	1,400	500	175	5	603	117

จากตางรางที่ 3.1 เมื่อความหนาแน่นของคอนกรีตลง พบว่าปริมาณทรายที่ใช้ลดลงและใช้ปริมาณมวลรวมหยาบสังเคราะห์เพิ่มขึ้น ดังจะสังเกตได้จากรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นทรายและวัสดุสังเคราะห์

3.5 การทดสอบ

3.5.1 การทดสอบหาความต้านทานแรงอัดของคอนกรีต

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์

เอกสารอ้างอิง

1) มาตรฐาน ASTM C 31, 39, 192
2) มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก. 409-2525

วัสดุ

วัสดุซึ่งใช้ในการเตรียมแท่งตัวอย่างคอนกรีตซึ่งประกอบด้วยซีเมนต์มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ เพื่อให้ได้คอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์จำนวน 3 ตัวอย่าง

เครื่องมือ

1). แบบหล่อแท่งทดสอบรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม.และแบบหล่อรูปลูกบาศก์ขนาด 15x15x15ซม.
2). เครื่องทำให้แน่นซึ่งอาจเป็นเครื่องเขย่าแบบโต๊ะ หรือเครื่องเขย่าแบบแท่ง ซึ่งจะต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 1/5ของมิติของด้านที่เล็กที่สุดของแท่งทดสอบ หรือแท่งกระทุ้ง ซึ่งเป็นเหล็กแท่งกลมขนาด 15 มม. ยาว 500-600 มม.ปลายมน
3). เครื่องทดสอบแรงกดมาตรฐานแบบไฮโดรลิค
4). เวอร์เนียคาร์ลิเปอร์
5). เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียดถึง 1 กรัม
6). เครื่องมือที่จำเป็น เช่น พลั่ว เกรียง แปลง

การเตรียมคอนกรีตทดสอบซึ่งได้จากการหล่อ

1). ก่อนใส่คอนกรีตลงในแบบหล่อจะต้องเคลือบภายในแบบหล่อด้วยน้ำมันหล่อลื่นที่ไม่ทำปฏิกิริยากับคอนกรีตเพื่อป้องกันไม่ให้คอนกรีตเกาะติดแบบหล่อ แล้ววางแบบหล่อลงบนพื้นที่ราบและมั่นคง
2). เทคอนกรีตลงในแบบหล่อเป็นชั้นๆ โดยพยายามไม่ให้คอนกรีตเกิดการแยกตัว
3). เขย่าคอนกรีตโดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่งดังต่อไปนี้
   3.1) ใช้เครื่องเขย่าแบบโต๊ะ แบบหล่อจะต้องยึดแน่นกับโต๊ะเขย่าอย่างมั่นคง การเขย่าต้องดำเนินติดต่อกันและหยุดเมื่อถึงจุดที่ไม่ปรากฏฟองอากาศขนาดใหญ่ขึ้นมา และมีมอร์ตาเป็นชั้นบางๆ ปรากฏขึ้นที่ผิวหน้าคอนกรีต

3.2) ใช้เครื่องเขย่าแบบแท่ง แท่งเขย่าจะต้องอยู่ในแนวดิ่งและห่างจากแบบหล่อประมาณ 20มม.เขย่าคอนกรีตในลักษณะนี้จนกว่าจะไม่ปรากฏฟองอากาศขนาดใหญ่ขึ้นมาและมีมอร์ตาเป็นชั้นบางๆ ปรากฏขึ้นที่ผิวหน้าคอนกรีต การนำแท่งคอนกรีตออกให้นำออกอย่างช้าๆ

3.3) ใช้แท่งกระทุ้งด้วยมือ คอนกรีตที่ใส่ลงในแบบหล่อให้ใส่เป็นชั้นๆละประมาณ 100-150 มม. แต่ละชั้นกระทุ้งให้ทั่วด้วยแท่งเหล็ก โดยกระทุ้ง1ครั้งต่อพื้นที่ประมาณ 1000 มม^2 ของพื้นที่หน้าตัดแบบหล่อ การกระทุ้งแต่ละครั้งต้องกระทุ้งให้จมลงไปเท่ากับความหนาของชั้นที่ใส่ลงไป

4). หลังจากเขย่าคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้วให้ตกแต่งผิวของคอนกรีตให้เรียบร้อย ให้ตกแต่งผิวคอนกรีตให้เรียบร้อยด้วยเกรียง

การบ่มแท่งคอนกรีตซึ่งได้จากการหล่อ

1). หลังจากหล่อเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้คลุมผิวบนด้วยเหล็กหรือแผ่นพลาสติก เพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำ แล้วเก็บไว้ในที่อุณหภูมิประมาณ 16-27 องศา และป้องกันไม่ให้มีการสั่นสะเทือนด้วย

2). ให้ถอดแบบออกหลังจากหล่อแท่งทดสอบระหว่าง 20 ± 4ชั่วโมงหลังจากนั่นบ่มแท่งตัวอย่างในที่ชื้นอุณหภูมิ 23 ± 1.7องศา จนกว่าจะถึงเวลาทดสอบถ้าแท่งตัวอย่างเป็นรูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ต้องเช็ดผิวหน้าแท่งทดสอบให้แห้ง แล้วทดสอบภายในหนึ่งชั่วโมง และถ้าแท่งทดสอบเป็นรูปทรงกระบอกต้องเช็ดผิวหน้าให้แห้งและเคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบ

การเคลือบผิวหน้าแท่งทดสอบ

ในกรณีที่ผิวหน้าของแท่งทดสอบไม่เรียบ ให้เคลือบผิวหน้าของแท่งทดสอบด้วยส่วนผสมของกำมะถันกับผงแร่หรือซีเมนต์เพลส

ในการเคลือบนั้น อุปกรณ์จะต้องตั้งอยู่ในแนวแกนของแท่งทดสอบและผิวหน้าด้านที่จะใช้จะต้องมีมุมที่ถูกต้อง และขณะที่วัตถุที่ใช้เคลือบแข็งตัว ต้องป้องกันการระเหยน้ำด้วย

วิธีทดสอบ

1). วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของแท่งคอนกรีต

2). ทำความสะอาดแท่งคอนกรีตและผิวแท่นทั้งบนและล่างของเครื่องทดสอบ

3). วางแท่งทดสอบให้อยู่ในแนวแกนของน้ำหนักกด แล้วเลื่อนหรือหมุนผิวแท่นให้สัมผัสกับแท่งทดสอบสนิท

4). เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราคงที่อยู่ในเกณฑ์ช่วง 14-34 นิวตันต่อตารางมลลิเมตรต่อวินาที ในระยะช่วงครึ่งแรกของน้ำหนัก กดสูงสุดที่แท่งทดสอบจะรับได้นั้น อาจใช้อัตราการกดสูงกว่าที่กำหนดให้ ส่วนในการควบคุมเครื่อง

ทดสอบขณะที่แท่งทดสอบถึงจุดคราก อย่างรวดเร็วทันทีก่อนเกิดถึงจุดประลัยนั้น ห้ามปรับอัตราการกดหรือส่วนใดๆของเครื่องทดสอบ

5). ให้กดจนกระทั่งแท่งทดสอบถึงจุดประลัย

6). บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดที่แท่งทดสอบสามารถรับค่าได้ พร้อมทั้งบันทึกรูปลักษณะการแตกของแท่งทดสอบนั้นด้วย

7). คำนวณหาความต้านแรงอัดของแท่งทดสอบ

การคำนวณ

กำลังอัดของแต่ละก้อนคำนวณได้จากสูตร

$$f'c = P / A \qquad (3.1)$$

เมื่อ $f'c$ = กำลังอัด,ksc

P = แรงอัดประลัย,kg

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างจริง cm^2

3.5.2 การทดสอบหาค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต

วัตถุประสงค์

1). เพื่อศึกษาเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์กับคอนกรีตรูปทรงกระบอก

2). เพื่อหาค่า Modulus of Elasticity ของคอนกรีตรูปทรงกระบอกเมื่อรับกำลังอัด

เอกสารอ้างอิง

1). มาตรฐาน ASTM C 469-94

วัสดุ

แท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก จำนวน 3 ตัวอย่าง

เครื่องมือ

1). เครื่องชั่งอ่านได้ละเอียดไม่น้อยกว่า 0.1 ก.

2). ตลับเมตร

3). เวอร์เนียคาร์ลิเปอร์

4). Compressometer

5). Dial Gauge

6). เครื่องทดสอบแรงอัด Compression Machine

วิธีทดสอบ

1). นำแท่งตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักและวัดขนาดก้อนตัวอย่าง จดบันทึกไว้

2). ทำการ Cap ผิวด้านหัวและท้ายของตัวอย่างคอนกรีตด้วยกำมะถัน หนาประมาณ 2 เซนติเมตร แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้แข็งตัว

3). ทำการติดตั้ง Compressometer เพื่อวัดระยะหดตัวของก้อนตัวอย่างในขณะทำการทดสอบสำหรับก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอก

4). วัดพิกัดความยาวเริ่มต้น (Initial Gauge Length) ของ Compressometer

5). วางก้อนตัวอย่างลงบนเครื่องทดสอบโดยให้จุดศูนย์กลางของก้อนตัวอย่างและเครื่องทดสอบแรงอัดตรงกัน จากนั้นเลื่อน Upper Bearing Plate ของเครื่องทดสอบลงมาสัมผัสกับผิวด้านบนของแท่งตัวอย่างทดสอบ

6). ทำการปรับ Dial Gauge ของ Compressometer และค่าแรงกระทำที่ Compression Machine ให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์

7). เพิ่มแรงกดด้วยอัตราเร็วสม่ำเสมอเท่ากับ 1.43-3.47 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที สำหรับทรงลูกกระบอก

8). บันทึกค่านำหนักกับระยะการหดตัว จนกระทั่งเลยจุด Proportional Limit จึงถอด Compressometer ออกแล้วกดต่อไปจนกระทั่งตัวอย่างพังทลาย บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุดที่ได้

9). บันทึกลักษณะการวิบัติและวาดรูปไว้

การคำนวณ

เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection พร้อมทั้งกำหนดจุดProportional Limit และจุด Yield Point ในเส้นกราฟ

Modulus of Elasticity = Slope of stress-strain curve

3.5.3 การทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดัดของคอนกรีต

วัตถุประสงค์

1). เพื่อหาค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีต (Flexural Strength) ของคานช่วงเดียว (Simple Beam)

2). ศึกษาและอธิบายลักษณะการ Failure

3). เพื่อศึกษาถึงองค์ประกอบที่มีความสำคัญต่อกำลังคอนกรีต

4). เพื่อศึกษาถึงอัตราส่วนผสมที่มีผลกระทบกับค่าการรับกำลังดัดของตัวอย่างคานคอนกรีต

เอกสารอ้างอิง

1). มาตรฐาน ASTM C 78-94

2). มาตรฐาน ASTM C 193

วัสดุ

คานคอนกรีต ขนาด 15x15x65

เครื่องมือ

1). เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine

2). ตลับเมตร

3). เครื่องของ DATA LOGER

4). Displacement Transducer

5). Transducer

6). เครื่องคอมพิวเตอร์

7). Load cells 50 kN.

155Y0074
มร.
ว310A
2553

วิธีทดสอบ

1). นำตัวอย่างคานที่ได้เตรียมไว้เมื่อครั้งมีการทดสอบคอนกรีตสด โดยตัวอย่างควรให้มีอายุครบ 28 วัน มาวัดขนาด หาปริมาตรของตัวอย่าง

2). แบ่งความยาวของคานออกเป็น 3 ช่วงเท่า ๆ กัน แล้วติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดลอง Transversetest

3). จัดระยะของ Support ให้ห่างกัน 45 ซม.(หรือ 3 เท่าของขนาดความลึกของคาน ตัวอย่าง)

4). นำคานคอนกรีตวางบน Support โดยให้คานวางบน Support เหลือหัว-ท้าย เท่า ๆ กัน

5). วางตัวอย่างคานคอนกรีตลงบน Support พร้อมทั้งนำแท่นกดด้านบนวางที่ตำแหน่งที่แบ่งความยาวไว้

6). ติดตั้ง load cell เข้ากับเครื่อง DATA LOGGER และนำเครื่อง DATA LOGGER ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์

7). บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุด และส่วนต่าง ๆ ของตัวอย่าง เช่นความกว้าง ความลึก ของส่วนที่พังเพื่อนำไปคำนวณค่ากำลังดัด พร้อมทั้งวาดรูปลักษณะการพังของตัวอย่างการทดสอง

การคำนวณ

คำนวณค่ากำลังรับแรงดัด (Modulus of Rupture) กรณีให้แรงกดสองจุดที่แบ่งคานทดสอบออกเป็น 3 ช่วง เท่าๆ กัน การคำนวณหาร กำลังรับแรงดัดเมื่อรอยแตกอยู่ในช่วงกลางคานหาได้จาก

$$R = PL/2bd^2$$

เมื่อ R = โมดูลัสการแตกร้าว (Middle one of Span), กก/ตร.ซม.

P = น้ำหนักสูงสุด (Maximum Load), กก.

L = ความยาวคาน (Span Length), ซม.

b = ความกว้างเฉลี่ยของคาน, ซม.

d = ความลึกเฉลี่ยของคาน, ซม.

3.5.4 การทดสอบคุณสมบัติความเหนียวของคอนกรีตของคอนกรีต

วัตถุประสงค์

1). เพื่อหาค่าดัชนีความเหนียวของคอนกรีต

2). ศึกษาและอธิบายลักษณะการ Failure

3). เพื่อศึกษาถึงอัตราส่วนผสมที่มีผลกระทบกับค่าดัชนีความเหนียวของตัวอย่างคานคอนกรีต

เอกสารอ้างอิง

มาตรฐาน ASTM C 1018-94b

เครื่องมือ

1). เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine

2). ตลับเมตร

3). เครื่องของ DATA LOGER

4). Displacement Transducer

5). Transducer

6). เครื่องคอมพิวเตอร์

7). Load cells 50 kN.

วิธีทดสอบ

1). นำตัวอย่างคานที่ได้เตรียมไว้เมื่อครั้งมีการทดสอบคอนกรีตสด โดยตัวอย่างควรให้มีอายุครบ 28 วัน มาวัดขนาด หาปริมาตรของตัวอย่าง

2). แบ่งความยาวของคานออกเป็น 3 ช่วงเท่า ๆ กัน แล้วติดตั้งอุปกรณ์สำหรับทดลอง Transversetest

3). จัดระยะของ Support ให้ห่างกัน 45 ซม.(หรือ 3 เท่าของขนาดความลึกของคานตัวอย่าง)

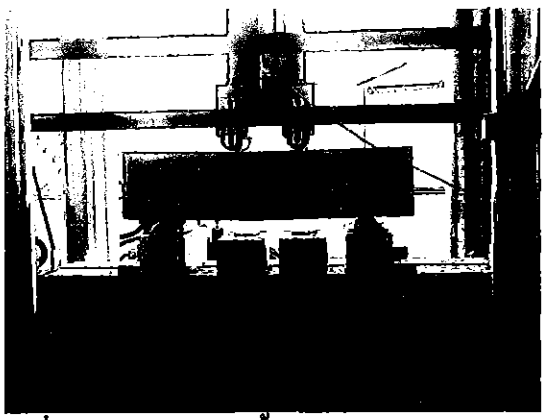
4). นำคานคอนกรีตวางบน Support โดยให้คานวางบน Support เหลือหัว-ท้าย เท่า ๆ กัน

5). วางตัวอย่างคานคอนกรีตลงบน Support พร้อมทั้งนำแท่นกดด้านบนวางที่ตำแหน่งที่แบ่งความยาวไว้

6). ติดตั้ง load cell เข้ากับเครื่อง DATA LOGGER และนำเครื่อง DATA LOGGER ต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์

7). บันทึกค่าน้ำหนักสูงสุด และส่วนต่าง ๆ ของตัวอย่าง เช่นความกว้าง ความลึก ของส่วนที่พังเพื่อนำไปคำนวณค่ากำลังดัด พร้อมทั้งวาดรูปลักษณะการพังของตัวอย่างการทดลอง

8). นำค่าที่ได้มา พล๊อตกราฟระหว่าง *Load* กับ *Deflection*



รูปที่ 3.4 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ทำการทดสอบ

การคำนวณ

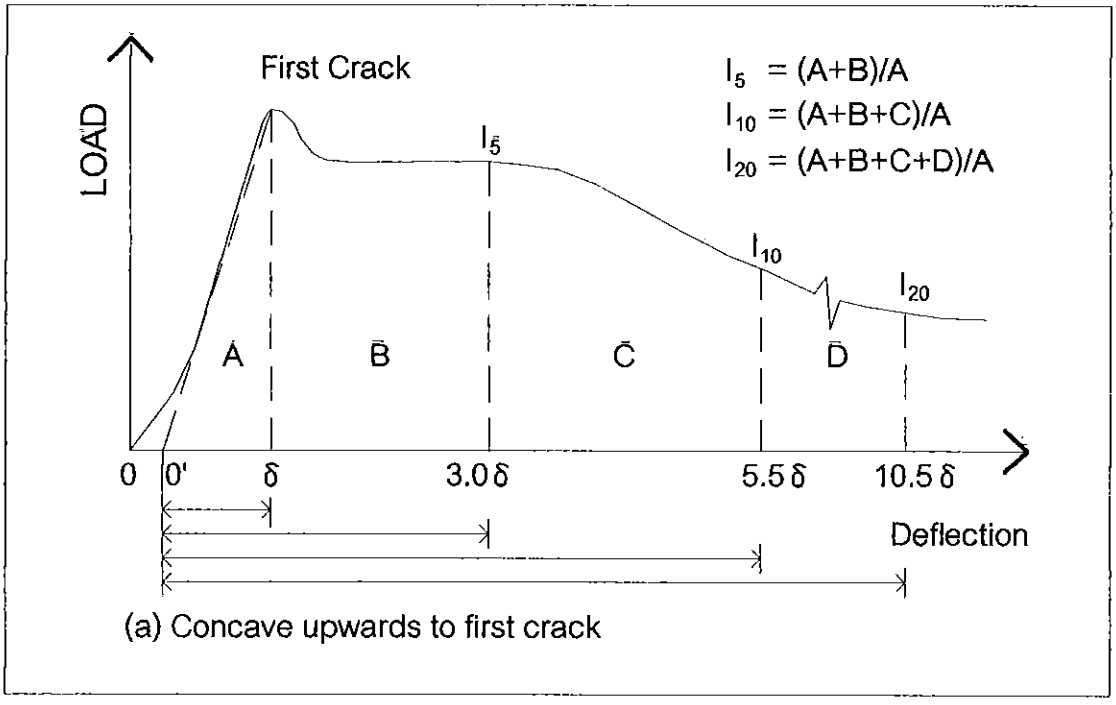
เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load กับ Deflection และหาค่าดัชนีความเหนียว ดังต่อไปนี้

กำหนดแนวทางการคำนวณจากภาพ 5 ค่าดัชนีความเหนียวจะแสดงอยู่ในรูปสัดส่วนระหว่างความเหนียวที่ตำแหน่งใดๆ กับค่าความเหนียวยืดหยุ่น โดยคำนวณหาจากพื้นที่ใต้กราฟ เรียก I_5, I_{10} และ I_{20} แทนค่าดัชนีความเหนียวของคานที่เกิดการโก่งตัวน้อย, โก่งตัวปานกลาง และ โก่งตัวมาก ตามลำดับ โดยหาได้จากสมการ

I_5 = (พื้นที่ OACD) / (พื้นที่ OAB).....(1)

I_{10} = (พื้นที่ OAEF) / (พื้นที่ OAB).....(2)

I_{20} = (พื้นที่ OAGH) / (พื้นที่ OAB).....(3)



รูปที่ 3.5 แสดงการหาค่าความเหนียวจากพื้นที่ใต้กราฟที่มีลักษณะรูปเว้าก่อนถึงจุดแตกหักของคาน ตาม ASTM C1018-94b

บทที่ 4
ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการเก็บสำรวจข้อมูลและทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ได้ทำการแบ่งผลการทดสอบและการวิเคราะห์ 3 ส่วนหลัก ๆ คือ

- ผลและการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ
- ผลและการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตสด
- ผลและการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

4.1 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

- **ทราย**

การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของทรายตามมาตรฐาน ASTM C 127 พบว่าทรายมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2,300 กิโลกรัมลูกบาศก์เมตรต่อ และการทดสอบค่าโมดูลัสความละเอียดตามมาตรฐาน ASTM C 33-78 พบว่ามีค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายเท่ากับ 2.70 ซึ่งอยู่ในช่วง 2.30-3.20 แสดงว่าทรายใช้ในการทดสอบนี้เป็นทรายหยาบ

- **RPS (Recycle Plastic Sphere)**

การทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของ RPS (Recycle Plastic Sphere) โดยการหาขนาดและน้ำหนัก ดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 แสดงการเก็บข้อมูลคุณสมบัติของ RPS (Recycle Plastic Sphere)

จากการสุ่มตัวอย่าง 3 ตัวอย่าง ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงการหาหน่วยน้ำหนักของ RPS (Recycle Plastic Sphere)

ตัวอย่างที่	น้ำหนักวัสดุ (g)	เส้นผ่าศูนย์กลางของวัสดุ (cm.)				ปริมาตรทรงกลม (cm^3.)	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
1	1.3383	2.044	2.076	2.084	2.068	4.628	289.2
2	1.3980	2.068	2.060	2.004	2.044	4.469	312.8
3	1.3792	2.060	2.000	2.040	2.033	4.400	313.5

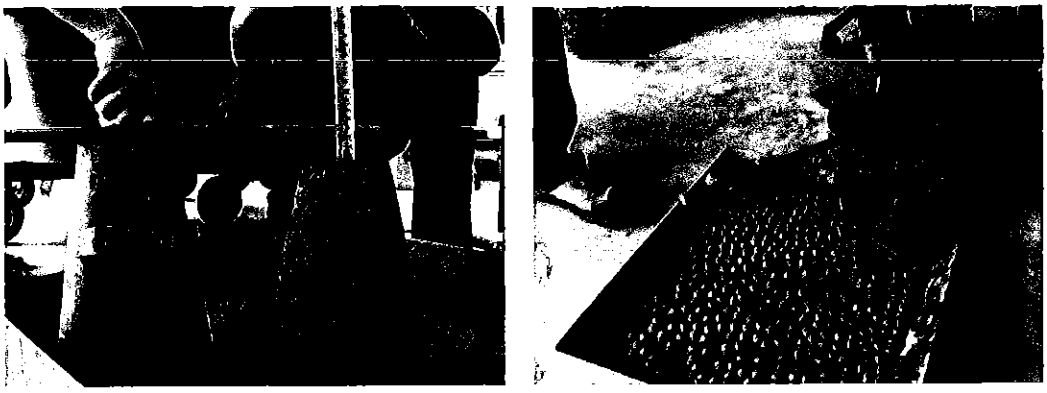
$\overline{x}$ = 305.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

SD = 11.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

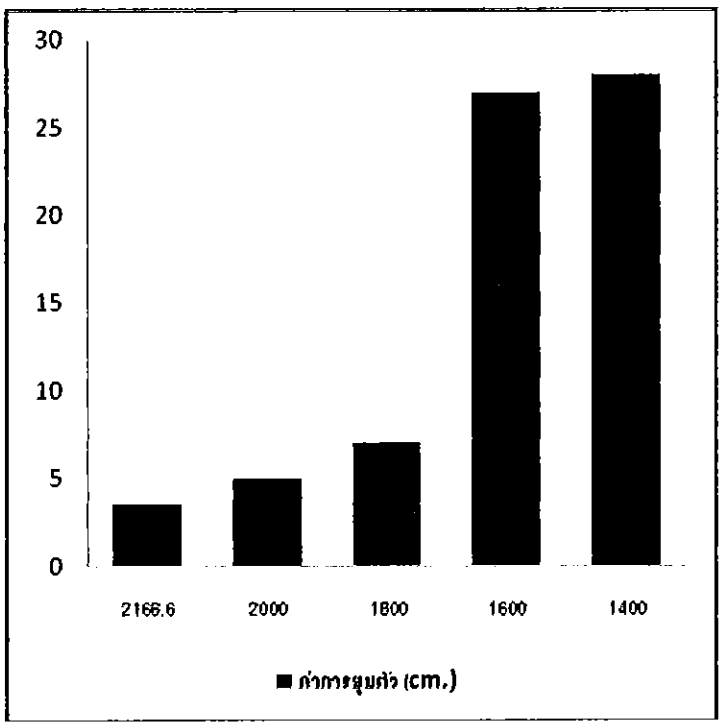
จากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของ RPS (Recycle Plastic Sphere) จะได้ว่า ใน RPS (Recycle Plastic Sphere) 3 ชิ้นตัวอย่างที่นำมาทดสอบ พบว่า RPS (Recycle Plastic Sphere) มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 305.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลเท่ากับ 11.3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

4.2 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต

- **ค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด**



รูปที่ 4.2 แสดงการหาค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด

จากผลการทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีตสดดังรูปที่ 4.3 มีผลการทดสอบดังนี้ คอนกรีตที่หน่วยน้ำหนัก 2,168.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมีค่าการยุบตัว 3.5 เซนติเมตร คอนกรีตที่หน่วยน้ำหนัก 2,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมีค่าการยุบตัว 5 เซนติเมตร คอนกรีตที่หน่วยน้ำหนัก 1,800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรมีค่าการยุบตัว 7 เซนติเมตร และคอนกรีตที่หน่วยน้ำหนัก 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและคอนกรีตที่หน่วยน้ำหนัก 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าการยุบตัว 27 เซนติเมตร และ 28 เซนติเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้มีผลมาจาก RPS (Recycle Plastic Sphere) ไม่สามารถดูดซึมน้ำทำให้ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทำปฏิกิริยามีปริมาณที่มากเกินความต้องการ จึงส่งผลให้คอนกรีตสดมีค่าการยุบตัวสูง

- **หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต**

จากการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักของ RPS (Recycle Plastic Sphere) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 305.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อนำวัสดุดังกล่าวมาผสมในเนื้อคอนกรีตสดแทนทรายตามอัตราส่วนผสมดังตารางที่ 3.1 เพื่อจะทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดมีค่าลดลงตามอัตราส่วนผสมที่ได้จากการคำนวณตามสมการ โดยค่าหน่วยน้ำหนักจริงของคอนกรีตสดที่ควบคุม

นั้นมีค่าหน่วยน้ำหนักที่คลาดเคลื่อน ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของหน่วยน้ำหนักที่คำนวณตามสมการกับหน่วยน้ำหนักที่ได้จริงแสดงดังตารางที่ 4.2

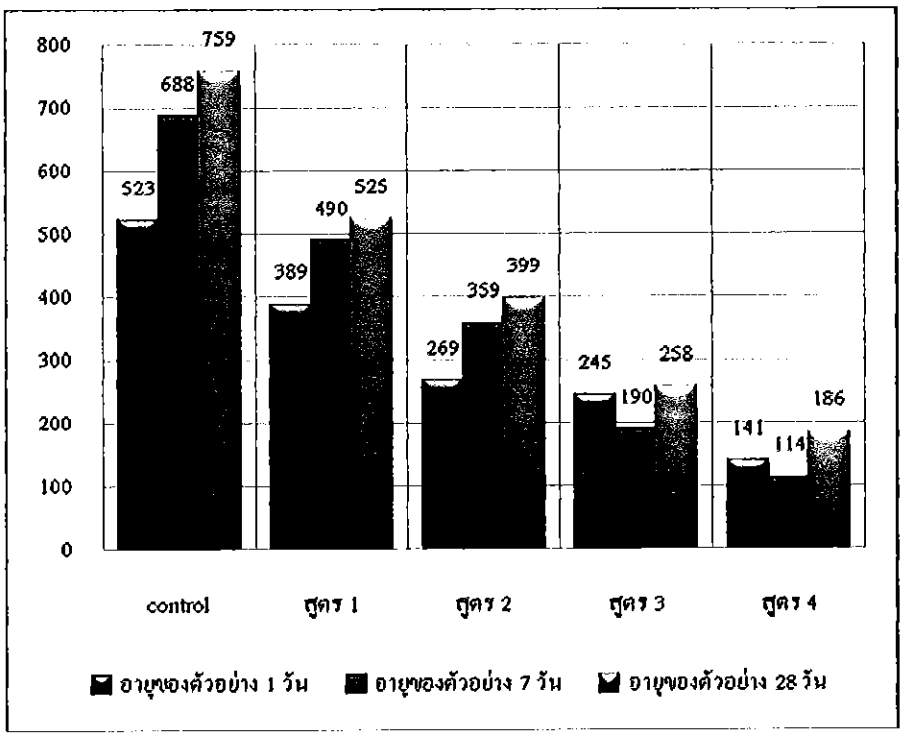
ตาราง 4.2 ตารางแสดงความคลาดเคลื่อนของหน่วยน้ำหนักที่คำนวณตามสมการกับหน่วยน้ำหนักที่ได้จริงของคอนกรีต

หน่วยน้ำหนักจากการคำนวณ (กก/ลบ.ม.)		2,168.7	2,000	1,800	1,600	1,400
หน่วยน้ำหนักจากการทดลอง (กก/ลบ.ม.)	ตัวอย่างที่ 1	1,990	2,010	1,830	1,610	1,365
	ตัวอย่างที่ 2	2,035	2,080	1,835	1,610	1,375
	ตัวอย่างที่ 3	2,041	2,050	1,800	1,570	1,405
	ตัวอย่างที่ 4	2,155	2,005	1,820	1,545	1,375
	ตัวอย่างที่ 5	2,180	2,025	1,860	1,540	1,395
	ตัวอย่างที่ 6	2,250	2,085	1,780	1,500	1,345
	ตัวอย่างที่ 7	2,195	2,075	1,810	1,555	1,370
	ตัวอย่างที่ 8	2,175	2,055	1,810	1,530	1,400
	ตัวอย่างที่ 9	2,180	2,000	1,815	1,510	1,400
เฉลี่ย (กก/ลบ.ม.)		2,133	2,043	1,818	1,552	1,381
% ความคลาดเคลื่อน		1.6	2.1	1.0	3.0	1.3

4.3 ผลและการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

- **การพัฒนากำลังอัด**

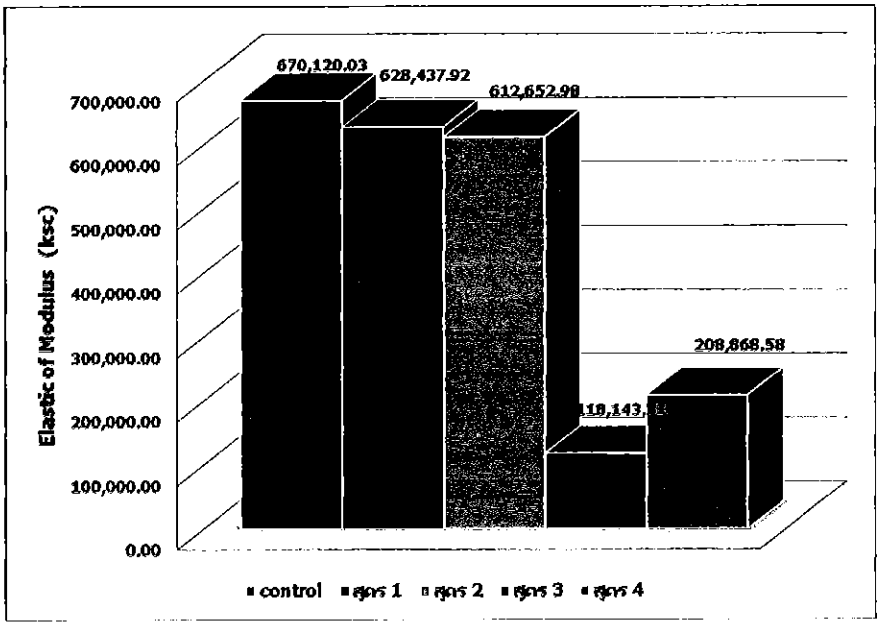
ผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ชิ้นตัวอย่างอายุ 1 วัน, 7 วัน และ 28 วัน ของชิ้นตัวอย่างทั้ง 5 ตัวอย่างได้แก่ Control (2,168.6 กก/ม^3), สูตร 1 (2,000 กก/ม^3), สูตร 2 (1,800 กก/ม^3), สูตร 3 (1,600 กก/ม^3) และ สูตร 4 (1,400 กก/ม^3)



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงผลคุณสมบัติกำลังอัดของคอนกรีต

จากผลการทดสอบกำลังอัดดังรูปแสดงที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าที่ลดลง เมื่อความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง และส่วนผสมของคอนกรีตที่ความหนาแน่น 2,168.6 กก/ม^3 (Control), 2,000 กก/ม^3(สูตร 1), 1,800 กก/ม^3(สูตร 2) ค่ากำลังอัดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุการบ่มเพิ่มขึ้นโดยอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดที่อายุการบ่ม 7 วันจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 30 ของกำลังอัดที่อายุการบ่ม 1 วันและค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุการบ่ม 28 วัน จะเพิ่มขึ้นเฉลี่ยอีกร้อยละ 10 จากกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุการบ่ม 7 วัน แต่สำหรับส่วนผสมของคอนกรีตที่ความหนาแน่น 1,600 กก/ม^3 (สูตร 3) และ 1,400 กก/ม^3 (สูตร 4) จะเห็นได้ว่าที่อายุการบ่ม 7 วัน ค่ากำลังจะลดลงจาก ชิ้นตัวอย่างที่อายุการบ่ม 1 วันในอัตราเฉลี่ยร้อยละ 20 และเมื่อชิ้นตัวอย่างอายุการบ่มครบ 28 วัน ค่ากำลังอัดจะเพิ่มขึ้นสูงสุด จากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ค่ากำลังอัดของคอนกรีตแปรผันตามค่าความหาแน่นของคอนกรีต

- **ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น**



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงผลการทดสอบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีต

จากผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตสามารถนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้มีแนวโน้วที่ลดลงเมื่อค่าความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง หรืออาจกล่าวได้ว่าคุณสมบัติความยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบแปรผันตามค่าความหนาแน่นของคอนกรีต

- **ค่ากำลังรับแรงดัดหรือค่าโมดูลัสแตกหัก**

ความต้านทานแรงดึงสูงสุด ใช้เป็นเครื่องชี้วัดค่าความเค้นที่วัสดุสามารถต้านทานรับไว้ได้ ถ้าค่าความเค้นมากกว่านี้ วัสดุจะเกิดการฉีกขาดเสียหาย ซึ่งในกรณีให้แรงกดสองจุดที่แบ่งคานทดสอบออกเป็น 3 ช่วง เท่าๆ กัน การคำนวณหา กำลังรับแรงดัด เมื่อรอยแตกอยู่ในช่วงกลางคาน หาได้จาก

$$R = PL/2bd^2$$

เมื่อ R = โมดูลัสการแตกร้าว (Middle one of Span), กก/ตร.ซม.

P = น้ำหนักสูงสุด (Maximum Load), กก.

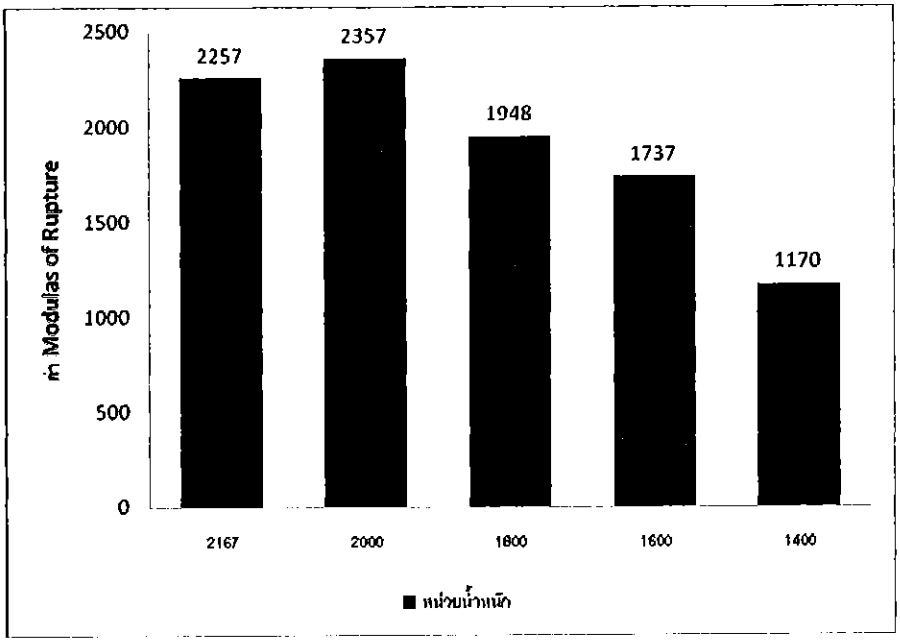
L = ความยาวคาน (Span Length), ซม.

b = ความกว้างเฉลี่ยของคาน, ซม.

d = ความลึกเฉลี่ยของคาน, ซม.

เมื่อนำกำลังอัดสูงสุดของแต่ละหน่วยน้ำหนักมาแทนในสมการข้างต้น จะได้ค่าโมดูลัสการแตกร้าว ดังนี้

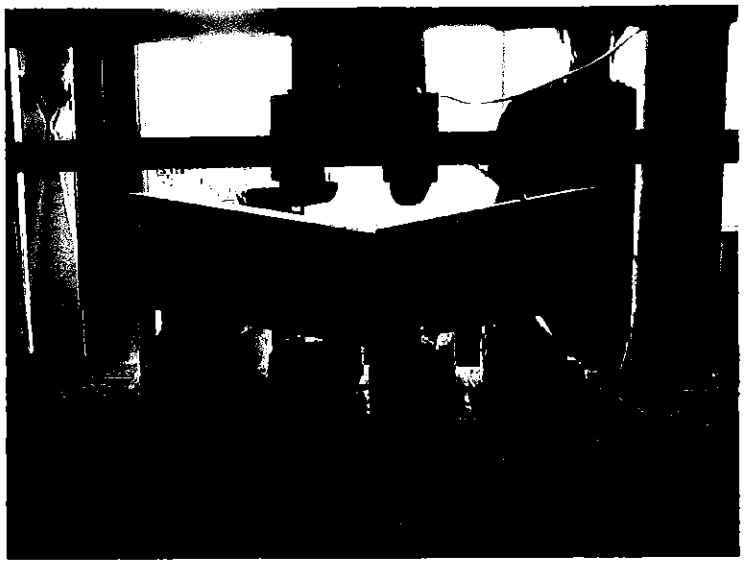
คอนกรีตที่ความหนาแน่น 2,168.557 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าโมดูลัสต้านทานการแตกร้าว 2,257 กิโลนิวตันต่อตารางเมตรและคอนกรีตที่ความหนาแน่น 2,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าโมดูลัสต้านทานการแตกร้าว 2,257.4 กิโลนิวตันต่อตารางเมตรและคอนกรีตที่ความหนาแน่น 1800 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าโมดูลัสต้านทานการแตกร้าว 1,947.9 กิโลนิวตันต่อตารางเมตรและคอนกรีตที่ความหนาแน่น 1,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าโมดูลัสต้านทานการแตกร้าว 1,736.9 กิโลนิวตันต่อตารางเมตรและคอนกรีตที่ความหนาแน่น 1,400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าโมดูลัสต้านทานการแตกร้าว 1,169.7 กิโลนิวตันต่อตารางเมตรเมื่อนำค่ามาพลอตกราฟจะได้ดังนี้



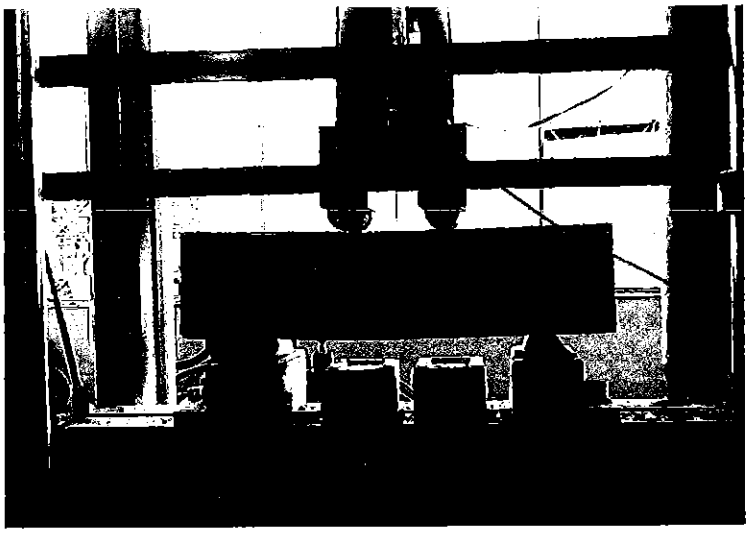
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบค่ากำลังต้านทานแรงดัดกับค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต

จากรูปที่ 4.6 พบว่า ค่ากำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีตมีค่าแปรผันตามค่าความหนาแน่นของคอนกรีต กล่าวคือเมื่อความหนาแน่นของคอนกรีตมีค่าน้อยลงจะพบว่าค่าโมดูลัสการแตกร้าวก็จะลดลงด้วย

- **ค่าดัชนีความเหนียว**

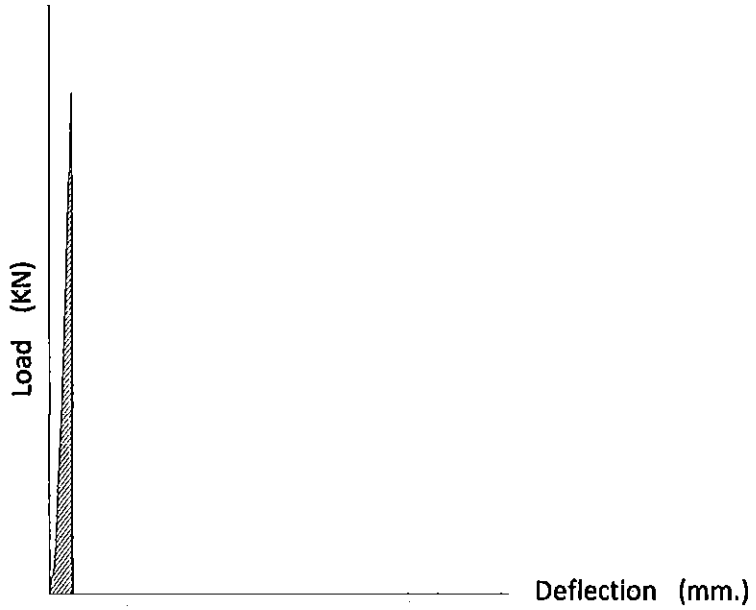


รูปที่ 4.7 แสดงการวิบัติของคานคอนกรีตที่ไม่มีการผสม RPS ลงในคอนกรีต (Control)



รูปที่ 4.8 แสดงการวิบัติของคานคอนกรีตที่ผสม RPS แทนที่มวลรวมหยาบบางส่วนลงในคอนกรีต

ค่าดัชนีความเหนียว เป็นเครื่องมือชี้วัดความสามารถของวัสดุที่จะต้านทานต่อแรงกระทำตั้งแต่เริ่มรับแรงจนแตกหักเสียหาย วัสดุที่มีความเหนียวมากจะรับแรงกระทำได้ดี ซึ่งจากผลการทดสอบคุณสมบัติด้านความเหนียวเมื่อนำมาพล็อตกราฟ ได้ผลดังรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการทดสอบค่าดัชนีความเหนียวของคานคอนกรีตไม่มีการผสม RPS ลงในคอนกรีต (Control)

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงผลการทดสอบค่าดัชนีความเหนียวของคานคอนกรีตที่ผสม RPS แทนที่มวลรวมหยาบบางส่วนลงในคอนกรีต

จากรูปที่ 4.9 และ 4.10 กราฟที่พล็อตออกมานั้นไม่สามารถหาค่าดัชนีความเหนียวได้ เนื่องจากคานคอนกรีตมวลเบาที่ใช้ในการทดสอบ เป็นวัสดุที่เมื่อถูกแรงกระทำจนถึงจุด Yield Point แล้วจะไม่สามารถรับแรงได้อีก ดังนั้นสรุปได้ว่าคานคอนกรีตมวลเบาที่ได้นั้น เป็นวัสดุเปราะ

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

- จากการศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตทั่วไปกับคอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุสังเคราะห์แทนที่มวลรวมหยาบ พบว่าคอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุสังเคราะห์ RPS (Recycle Plastic Sphere) แทนที่มวลรวมหยาบสามารถลดหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตได้ถึง 7-35 เปอร์เซ็นต์
- จากการศึกษาและเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตทั่วไปกับคอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุสังเคราะห์แทนที่มวลรวมหยาบ พบว่า
  - คอนกรีตทั่วไปมีกำลังอัดมากกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุสังเคราะห์ RPS (Recycle Plastic Sphere) แทนที่มวลรวมหยาบบางส่วน โดยค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบามีค่าต่ำกว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตควบคุม 30-82 เปอร์เซ็นต์
  - คอนกรีตทั่วไปมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมากกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุสังเคราะห์ RPS (Recycle Plastic Sphere) แทนที่มวลรวมหยาบบางส่วน โดยค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตมวลเบามีค่าต่ำกว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตควบคุม 7-75 เปอร์เซ็นต์
  - คอนกรีตทั่วไปมีกำลังรับแรงดัดมากกว่าคอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุสังเคราะห์ RPS (Recycle Plastic Sphere) แทนที่มวลรวมหยาบบางส่วน โดยกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตมวลเบามีค่าต่ำกว่าค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตควบคุม 5-45 เปอร์เซ็นต์
  - คอนกรีตทั่วไปและคอนกรีตมวลเบาที่ใช้วัสดุสังเคราะห์ RPS (Recycle Plastic Sphere) แทนที่มวลรวมหยาบเป็นวัสดุเปราะ
- จากการนำผลทดสอบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบามาเปรียบเทียบกับหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ได้ จึงสรุปได้ว่าควรแทนที่วัสดุสังเคราะห์ RPS (Recycle Plastic Sphere) ในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของมวลรวมหยาบทั้งหมดในคอนกรีตมวลเบา จึงจะเหมาะสมในการนำไปใช้งานที่สุด เพราะเมื่อเทียบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบากับหน่วยน้ำหนัก พบว่าการแทนที่วัสดุสังเคราะห์ RPS (Recycle Plastic Sphere) ในปริมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของมวลรวมหยาบ ทำให้คุณสมบัติด้านโมดูลัสยืดหยุ่นและกำลังรับแรงดัดมีคุณสมบัติที่ดี ทั้งยังมีค่าการยุบตัวที่เหมาะสมและง่ายต่อการควบคุมหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบาอีกด้วย

ข้อเสนอแนะ

- การนำวัสดุสังเคราะห์(พลาสติกรีไซเคิล) มาใช้เป็นมวลรวมหยาบเพื่อลดน้ำหนักโครงสร้าง โดยการควบคุมค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตให้ได้ตามต้องการนั้นทำได้ยาก จึงไม่เหมาะกับงานโครงสร้างใหญ่ๆ
- การนำพลาสติกสังเคราะห์ดังตัวอย่างมาใช้เป็นมวลรวมหยาบเพื่อลดน้ำหนักให้โครงสร้างนั้น มีผลทำให้ยากต่อการการควบคุมการกระจายของมวลรวมในคอนกรีตเมื่อต้องการหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่มีค่าน้อย

เอกสารอ้างอิง

วิวรรณ ธรรมมงคล **พลาสติกรีไซเคิล** ศูนย์วิจัยและพัฒนาการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย สืบค้นเมื่อ 26 กุมภาพันธ์ 2554 จาก http://kanchanapisek.or.th/kp11/articles/article-2.th.html

ผศ.เผ่าพงศ์ นิจจันทร์พันธ์ศรี,ดร.สมหมาย ผิวสะอาด,ประชุม คำพุฒ **การใช้ดินขาวผสมในคอนกรีตมวล เบาแบบปานกลาง** สืบค้นเมื่อ 26 กุมภาพันธ์ 2554 จาก http://www.rtir.rmutt.ac.th/bitstream/123456789/268/1/103979.pdf

วรเชษฐ์ ป้อมเชียงพิณ **คุณสมบัติเชิงกลของดานคอนกรีตผสมเส้นใยหลังการเผาไหม้** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 2550 สืบค้นเมื่อ 26 กุมภาพันธ์ 2554 จาก http://www.gits.kmutnb.ac.th/ethesis/data/4910980038.pdf

ดนุพล ต้นโยภาส และ กัลยาณี คุปตานนท์ **คอนกรีตมวลเบาที่ทำจากมวลรวมกะลาปาล์มน้ำมันผสมหินฝุ่นแกรนิต** สืบค้นเมื่อ 26 กุมภาพันธ์ 2554 จาก http://www.pt.tsu.ac.th/rdi/ConAll/ORAL19/O8.pdf

รศ. ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ, รศ.ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2549). **ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต(ฉบับปรับปรุง)**

American Society for Testing and Material, 1993, Annual Book of ASTM Standard, Vol 4.02, United State of America.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร. **คู่มือปฏิบัติการวัสดุวิศวกรรมโยธาและการทดสอบ**

อมรรัตน์ วิจิตรเศรณี, วิชัยแสงอาทิตย์ และอำนาจ อภิชาตวัลลภ **การใช้เส้นพลาสติกที่ใช้แล้วแบบสั้นผสมในคอนกรีต** มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี 2549 สืบค้นเมื่อ 26 กุมภาพันธ์ 2554 จาก http://clrem-opac.sut.ac.th/BibDetail.aspx?bibno=102525&keyid=19848&searchresultpage=BibList.aspx&mainresultpage=BasicSearch.aspx&showform

ภาคผนวก ก

ภาพอุปกรณ์และวัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ

1.อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

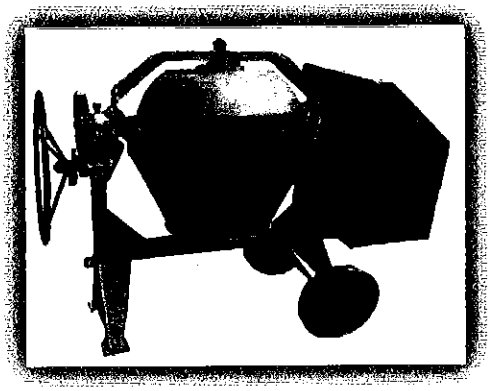
รูปที่ ก1 เครื่องทดสอบแรงกด

รูปที่ ก2 เกรียง

รูปที่ ก3 ถุงมือยาง

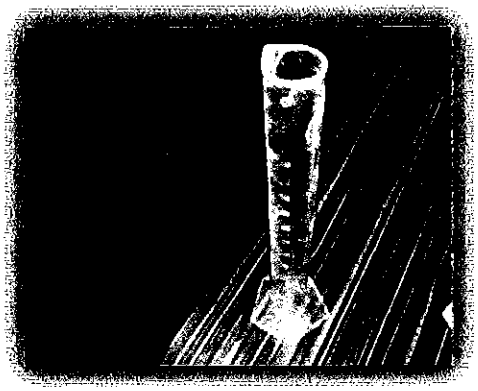
รูปที่ ก4 ถังบ่มคอนกรีต

รูปที่ ก5 ที่ตัก



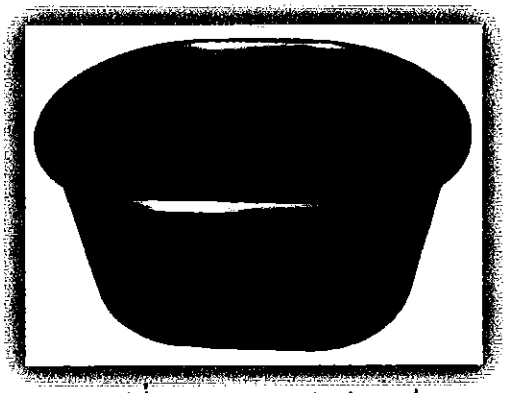
รูปที่ ก6 โม่

รูปที่ ก7 ตลับเมตร

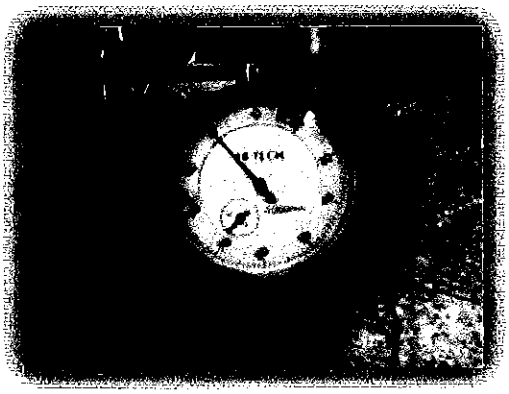


รูปที่ ก8 กระบอกตวง

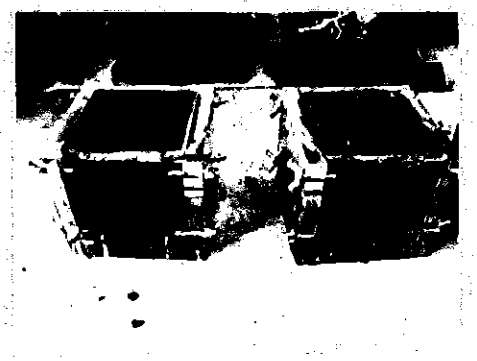
รูปที่ ก9 เครื่องชั่งความละเอียด 0.001 กิโลกรัม



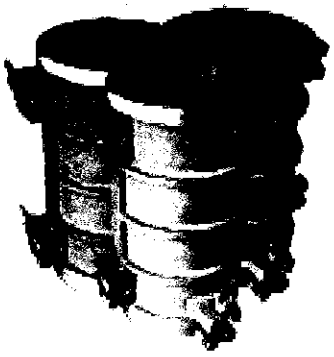
รูปที่ ก10 กระบะปูนซีเมนต์



รูปที่ ก11 dial gauge ความละเอียด 0.002 มิลลิเมตร



รูปที่ ก12 แบบหล่อรูปทรงลูกบาศก์

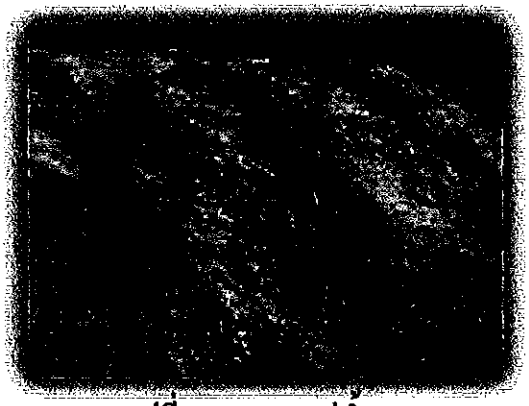


รูปที่ ก13 แบบหล่อรูปทรงกระบอก

รูปที่ ก14 เครื่องอบ

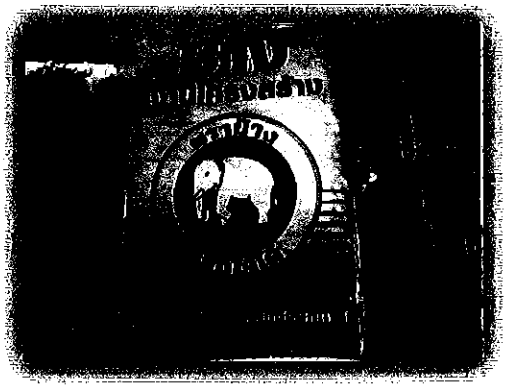
รูปที่ ก15 เครื่อง Universal Testig machines

2.วัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ ก16 ทรายแม่น้ำ

รูปที่ ก17 พลาสติกรีไซเคิล



รูปที่ ก18 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ตราช้าง

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวฐาปนี ศุภกิจวัฒนา

ภูมิลำเนา 71 หมู่ 4 ต.เขาบางแกรก อ.บ้านไร่ จ.อุทัยธานี

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหนองฉางวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: milasinee_@hotmail.com

ชื่อ นายทัศไนย สีสด

ภูมิลำเนา 67 หมู่ 13 ต.เมืองการุ้ง อ.บ้านไร่ จ. อุทัยธานี

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหนองฉางวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: thassanai05@hotmail.com

ชื่อ นายนฤดล ช่างประดิษฐ์

ภูมิลำเนา 26/1 หมู่ 5 ต.ทับคล้อ อ. ทับคล้อ
จ. พิจิตร

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนตะพานหิน
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: naruedon_ce@hotmmail.com