บล็อกปูพื้นผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

CONCRETE BLOCK MIXED RECYCLED PLASTIC

โดย

นายหมกฤษ รุ่งฉ่ำรุ่งรัง

นางสาวนริศรา แก้วบัวดี

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

บล็อกปูพื้นผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

CONCRETE BLOCK MIXED RECYCLED PLASTIC

โดย

นายคมกฤช รุ่งจัตุรัส

นางสาวนริศรา แก้วบัวดี

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

CONCRETE BLOCK MIXED RECYCLED PLASTIC

MR.KOMGRISH RUNGJATTURAS

MISS NARITSARA KAEWBUADEE

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF CIvIL ENGINEERING

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงงานพิเศษ

หัวข้อโครงงานพิเศษ บล็อกปูพื้นผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

นักศึกษา นายคมกฤช รุ่งจัตุรัส รหัสประจำตัว 53010168

นางสาวนริศรา แก้วบัวดี รหัสประจำตัว 53010807

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบโครงงานพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ.แหลมทอง เหล่าคงถาวร	
ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์	
ผศ.นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 25 มีนาคม พ.ศ. 2557 เวลาสอบ 11.00 – 12.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร CCA ห้อง 301

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์สุพจน์ ศรีนิล)

ประธานสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 31 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2557

หัวข้อโครงงานพิเศษ	บล็อกปูพื้นผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล			
นักศึกษา	นายคมกฤช	รุ่งจัตุรัส	รหัส	53010168
	นางสาวนริศรา	แก้วบัวดี	รหัส	53010807
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.แหลมทอง	เหล่าคงถาวร		
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา	
ปีการศึกษา	2556			

บทคัดย่อ

ปัจจุบันพลาสติกเป็นวัสดุที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมากและมีแนวโน้มการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกในปริมาณสูงมากขึ้นตามส่วนบล็อกปูพื้นได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำบล็อกปูพื้นผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่มีอัตราส่วนเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่เหมาะสมและเพื่อเป็นการนำเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ไม่สามารถกำจัดได้ในเวลาอันสั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยทำการทดสอบก้อนคอนกรีตตัวอย่างที่ผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในอัตราส่วน 0% 20% 40% 50% 60%และ 80% โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ แล้วนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดกำลังแรงดัดและการหาปริมาณความชื้นในมวลรวมเป็นจำนวนอย่างละ 108 ตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในคอนกรีตในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นกำลังรับแรงอัด แรงประลัย กำลังรับแรงดัด และหน่วยน้ำหนัก จะมีค่าลดลงแต่ค่าความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นราคาต่อหน่วยสูงขึ้น จึงสามารถสรุปได้ว่า การผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลนั้นสามารถลดน้ำหนักของบล็อกคอนกรีตได้จริงและอัตราส่วนเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่เหมาะสมทั้งด้านกำลังรับแรงน้ำหนักและราคาคือ20% โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Title	CONCRETE BLOCK MIXED RECYCLED PLASTIC
Name	MR.KOMGRISH RUNGJATTURAS ID. 53010168
	MISS.NARITSARA KAEWBUADEE ID. 53010807
Advisor	ASSOC.PROF.LAEMTHONG LAOKHONGTHAVORN
Degree	BACHELOR CIVIL ENGINEERING
Year	2013

ABSTRACT

In currently, we use a lot of plastic in daily life and using plastic trend is increased. This causes more waste plastic garbage. The concrete block is the material which is widely used. So this research aims to study the concrete block mixed recycled plastic that have the suitable ratio of recycled plastic and to recycle plastic that cannot be eliminated in a short time. The 108 samples were made by mixing recycled plastic with ratio 0% 20% 40% 50% 60% and 80% by volume of coarse aggregate and tested the compressive strength ,the bending strength test and moisture content test according to ASTM .The study found that the more mixing recycled plastic ratio increase, the more the compressive strength, the bending strength and the unit weight decrease, except moisture content and unit price increase. It can be concluded that mixing recycled plastic can reduce weight of concrete block and the suitable recycled plastic ratio for both strength and weight is 20% by volume of coarse aggregate.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมก่อสร้าง โดยศึกษาเรื่อง บล็อกปูพื้นผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล ซึ่งโครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์แหลมทอง เหล่าคงถาวร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย นอกจากนี้ยังขอขอบคุณอาจารย์ สมเกียรติ ขวัญพฤกษ์ และอาจารย์ นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช สำหรับข้อแนะนำในการทำวิจัย ขอขอบคุณรุ่นพี่ธีรเดช คำวิไล ที่ให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติงานภายในห้องทดสอบให้สำเร็จราบรื่นไปได้ด้วยดี

และท้ายที่สุดต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้าทั้งสองคนมีวันนี้ คือ บิดามารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

นายคมกฤช รุ่งจัตุรัส

นางสาวนริศรา แก้วบัวดี

คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษ

สารบัญ

	หน้า
ปกใน(ภาษาไทย)	ก
ปกใน(ภาษาอังกฤษ)	ข
หน้าอนุมัติ	ค
บทคัดย่อ(ภาษาไทย)	ง
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ)	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฑ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 เม็ดพลาสติกรีไซเคิล	3
2.1.1 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก	4
2.1.2 การแบ่งประเภทของพลาสติก	5
2.2 พลาสติกรีไซเคิลและการรีไซเคิล	7
2.3 สัญลักษณ์มาตรฐานของพลาสติก	10
2.4 สรุปการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล	14
2.5 คอนกรีตมวลเบา (Lightweight concrete)	14
2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของคอนกรีตเบา	15
2.5.2 คอนกรีตเบา	15
2.5.3 จำแนกตามการนำไปใช้งาน	16
2.6 คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Light-Weight Aggregate)	16
2.6.1 ประเภทของมวลรวมเบา	16
2.6.2 คุณสมบัติของคอนกรีตที่ผลิตจากมวลรวมเบา	18

สารบัญ(ต่อ)

		หน้า
	2.7 โฟมคอนกรีตหรือคอนกรีตเติมฟองอากาศ (Aerated or Foam Concrete)	18
	2.7.1 คุณสมบัติที่ของโฟมคอนกรีต	19
	2.8 คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด (No-Fines Concrete)	19
	2.9 สรุปการผลิตคอนกรีตเบา	20
	2.10 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	21
	2.11 หิน	22
	2.12 ทราย	22
	2.12.1 การนำทรายไปใช้ในงานก่อสร้างทางด้านโยธา	23
	2.12.2 องค์ประกอบทางเคมีของทราย	23
บทที่ 3	**การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและอุปกรณ์**	25
	3.1 ขอบเขต	25
	3.2 กล่าวนำ	25
	3.3 ความสัมพันธ์ขั้นมูลฐาน	25
	3.4 ข้อมูลพื้นฐาน	26
	3.5 ขั้นตอนการคำนวณ	27
	3.5.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	32
	3.5.2 การคำนวณ	33
	3.6 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	34
	3.6.1 วัสดุ	35
	3.6.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	35
	3.7 ขั้นตอนการทดลอง	35
บทที่ 4	**การทดสอบ**	38
	4.1 การทดสอบทางกลศาสตร์	38
	4.1.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด	38
	4.1.2 การทดสอบกำลังแรงดัด	40
	4.2 การทดสอบทางกายภาพ	42
	4.2.1 การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม	42

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	92
5.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบ	92
5.2 สรุปผลการทดลอง	93
5.3 ข้อเสนอแนะ	94
บรรณานุกรม	
ภาคผนวก การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	ผก1

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	การจำแนกประเภทของคอนกรีตเบาตามการนำไปใช้	16
2.2	ประเภทและคุณสมบัติของมวลรวมเบา	17
2.3	ข้อดี – ข้อเสียของคอนกรีตเบา	21
2.4	ส่วนประกอบทางเคมีของทราย	24
3.1	ค่ายุบตัวสำหรับงานประเภทต่างๆ	28
3.2	ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต	29
3.3	ความสัมพันธ์ระห่างกำลังคอนกรีตกับอัตราส่วนของน้ำ-ซีเมนต์	30
3.4	อัตราส่วนน้ำ-ซีเมนต์ที่ยอมให้สำหรับงานภายใต้สภาวะพิเศษ	30
3.5	ปริมาตรของหินต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร	31
3.6	น้ำหนักของคอนกรีตสด	31
3.7	แสดงปริมาณและน้ำหนักของเม็ดพลาสติกและหิน	34
4.1	แสดงปริมาณความชื้นของทราย	43
4.2	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 0% ที่ 14 วัน โดยปริมาตร ของมวลรวมทั้งหมด	44
4.3	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 20% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	45
4.4	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 40% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	46
4.5	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	47
4.6	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 60% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	48
4.7	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 80% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	49
4.8	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 0% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	50
4.9	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 20% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	51

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
4.10	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 40% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	52
4.11	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	53
4.12	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 60% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	54
4.13	ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 80% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	55
4.14	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 0% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	56
4.15	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 20% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	57
4.16	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 40% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	58
4.17	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	59
4.18	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 60% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	60
4.19	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 80% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	61
4.20	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 0% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	62
4.21	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 20% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	63
4.22	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 40% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	64
4.23	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	65

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
4.24	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 60% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	66
4.25	ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 80% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	67
4.26	ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 0% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	68
4.27	ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 20% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	69
4.28	ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 40% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	70
4.29	ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	71
4.30	ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 60% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	72
4.31	ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 80% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	73
4.32	ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 0% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	74
4.33	ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 20% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	75
4.34	ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 40% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	76
4.35	ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	77
4.36	ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 60% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	78
4.37	ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 80% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด	79

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
5.1	แสดงน้ำหนักของวัสดุและบล็อกคอนกรีตเทียบกับปริมาตรที่ออกแบบไว้	93
5.2	แสดงราคาของวัสดุและบล็อคคอนกรีตเทียบกับปริมาตรที่ออกแบบไว้	94
ผ.1	การวัดความสามารถเทได้ของคอนกรีต	ผก8
ผ.2	ค่าคงที่ k และค่าร้อยละของกำลังอัดที่ต่ำกว่า f_c'	ผก10
ผ.3	สรุปหาสาเหตุของการผันแปรของกำลังอัด	ผก11
ผ.4	ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ	ผก13
ผ.5	ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ	ผก13
ผ.6	ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่างๆ	ผก14
ผ.7	อัตราน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง	ผก14
ผ.8	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และกำลังอัดประลัยของคอนกรีต	ผก15
ผ.9	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต 10 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ	ผก15
ผ.10	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ	ผก16

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	แสดงขั้นตอนการศึกษา	2
2.1	การกลั่นลำดับส่วน	4
2.2	PETE	11
2.3	HDPE	11
2.4	PVC	12
2.5	LDPE	12
2.6	PP	13
2.7	PS	13
2.8	Other	14
2.9	แผนผังการจำแนกประเภทของคอนกรีตเบา (Lightweight Concrete)	20
2.10	โครงสร้างทางเคมีของซิลิกา	24
3.1	แบบหล่อ	36
3.2	เทคอนกรีตลงในแบบหล่อ	37
3.3	บ่มคอนกรีต	37
4.1	แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อค ด้วยเครื่อง UTM	40
4.2	แสดงตัวอย่างคอนกรีตบล็อค หลังทดสอบกำลังรับแรงอัด	40
4.3	แสดงการทดสอบกำลังรับแรงดัด ด้วยเครื่อง UTM	41
4.4	แสดงตัวอย่างคานคอนกรีต หลังทดสอบกำลังรับแรงดัด	41
4.5	ตู้อบ	42
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 14 วัน	80
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 28 วัน	81
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงประลัยของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 14 วัน	82
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงประลัยของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 28 วัน	83
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของพลาสติกที่ 14 วัน	84

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 28 วัน	85
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 14 วัน	86
4.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 28 วัน	87
4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดต่อหน่วยน้ำหนักและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 14 วัน	88
4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดต่อหน่วยน้ำหนักและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 28 วัน	89
4.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในมวลรวมของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 14 วัน	90
4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในมวลรวมของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 28 วัน	91
ผ.1	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	ผก7
ผ.2	แผนภาพออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา	ผก12

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบัน พลาสติกเป็นวัสดุที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมากและมีแนวโน้มการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นเพราะใช้ทดแทนทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ไม้และเหล็กได้เป็นอย่างดี และ มีราคาถูก น้ำหนักเบา สามารถผลิตให้มีสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการได้จากการเลือกชนิดของวัตถุดิบ ปฏิกิริยาเคมี กระบวนการผลิต และกระบวนการขึ้นรูป นอกจากนี้ยังสามารถปรุงแต่งสมบัติได้ง่ายโดยการเติมสารเติมแต่ง ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ก้าวหน้า และทันสมัยในปัจจุบัน ทำให้เรามีผลิตภัณฑ์พลาสติกหลากหลายรูปแบบ และ สีสันให้เลือกใช้อย่างมากมาย ด้วยสมบัติที่โดดเด่นหลายด้านทำให้พลาสติกได้รับการยอมรับอย่างรวดเร็วและมีปริมาณการใช้งานเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกในปริมาณสูงมากขึ้นตามด้วย ดังนั้นการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่หรือการ รีไซเคิลจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เพราะนอกจากจะช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกแล้วยังเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าอีกด้วย

ส่วนบล็อกปูพื้นได้มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เพราะ มีแบบให้เลือกที่หลากหลาย มีขั้นตอนการปูที่ง่าย มีราคาถูก และ สามารถแก้ไขได้ง่ายเมื่อเกิดการชำรุดเสียหาย เป็นวัสดุที่สามารถใช้ปรับพื้นที่ให้ดูสวยงาม น่ามอง มีมิติ ไม่เลอะเทอะ และยังสามารถนำมาออกแบบลวดลายได้หลากหลายตามความต้องการของเรา อีกทั้งสามารถทำเป็น ถนนเข้า - ออกรถได้ เนื่องจากมีความแข็งแรงสามารถรองรับน้ำหนักของรถวิ่ง เข้า-ออก เราจึงเลือกสร้างบล็อกปูพื้นผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลขึ้น นอกจากจะเป็นช่วยในการลดปริมาณขยะพลาสติกที่ไม่สามารถถูกกำจัดไปได้ในเวลาอันสั้นแล้ว ยังทำให้บล็อกปูพื้นมีน้ำหนักที่เบาส่งผลต่อการลดปัจจัยทางด้านอื่นด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) สามารถนำเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมาใช้ เพื่อเป็นการลดปริมาณขยะพลาสติกที่ไม่สามารถกำจัดได้ในเวลาอันสั้นให้เกิดประโยชน์

2) เพื่อหาอัตราส่วนเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่เหมาะสมในการทำบล็อกปูพื้น

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

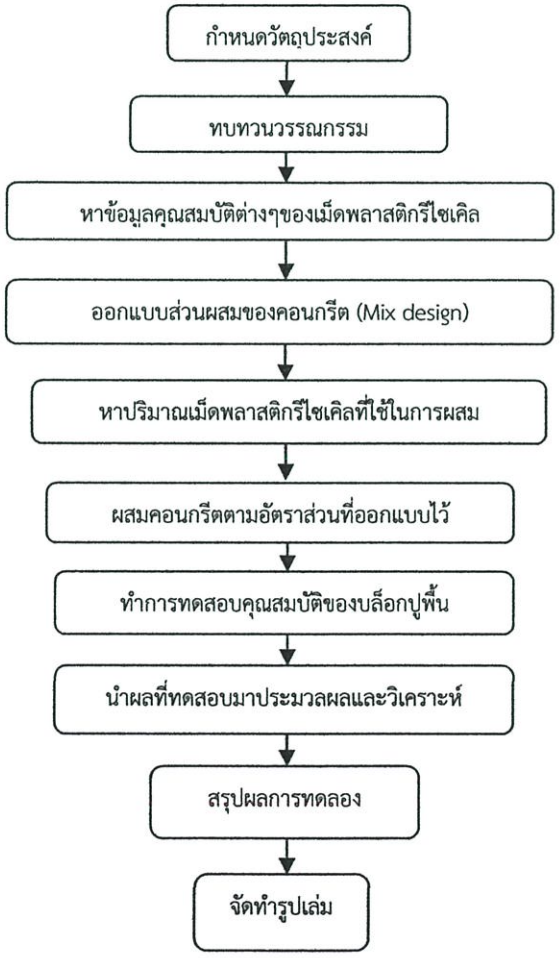
1) สร้างบล็อกปูพื้น รูปตัวหนอน ขนาด 60 x 100 x 200 มม.

2) ออกแบบให้บล็อกปูพื้นสามารถรับกำลังได้ 350 ksc

3) เม็ดพลาสติกรีไซเคิลในอุตสาหกรรมมีอยู่ 7 ชนิด ได้แก่ โพลิเอทิลีนเทเรพทาเลต (PET), โพลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE), โพลิไวนิลคลอไรด์ (PVC), โพลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE), โพลิโพรพิลีน (PP), โพลิสไตรีน (PS), ชนิดสุดท้ายเป็นพลาสติกชนิดอื่นที่ไม่รวมใน6 กลุ่มแรก ซึ่ง ในโครงงานพิเศษนี้จะใช้ โพลิโพรพิลีน (PP) ขนาด 3x3 มม. เป็นรูปทรงกระบอกตัด

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนในการศึกษาสามารถแสดงเป็นแผนภาพ แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน (Flow -chart)



รูปที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาโครงงานพิเศษ ได้ประยุกต์แนวคิดที่สำคัญดังต่อไปนี้

1) เม็ดพลาสติกรีไซเคิล
2) คอนกรีตมวลเบา
3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
4) หิน
5) ทราย
6) การทดสอบทางกลศาสตร์

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 เม็ดพลาสติกรีไซเคิล

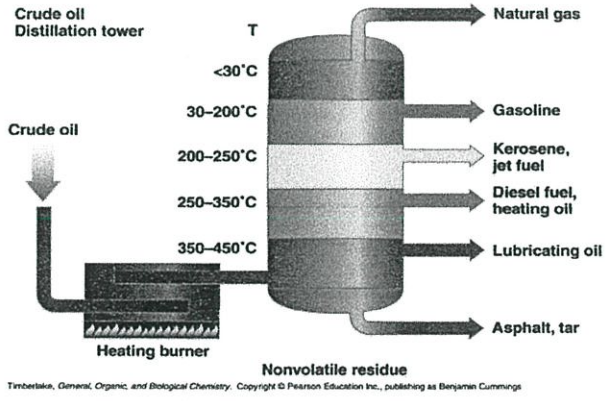
พลาสติกเป็นวัสดุที่มนุษย์คิดค้นและประดิษฐ์ขึ้นเพื่อช่วยให้เรามีชีวิตที่สะดวกสบายยิ่งขึ้น ในอดีตเราไม่เคยรู้จักพลาสติกเลยจนกระทั่งกลางศตวรรษที่ 19 วัสดุดั้งเดิมที่มนุษย์ค้นเคยและใช้อยู่ทั่วไปในชีวิตประจำวันในยุคก่อนหน้านี้ล้วนเป็นวัสดุจากธรรมชาติทั้งสิ้นไม่ว่าจะเป็น แก้ว ไม้ กระดาษ โลหะ ยาง หรือ ขนสัตว์ สิ่งเหล่านี้เคยเป็นวัสดุที่ตอบสนองความต้องการของมนุษย์ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามมนุษย์ยังคงพยายามค้นหาวัสดุใหม่ๆ มาใช้งานอยู่เสมอ

พลาสติกเป็นวัสดุที่ถูกใช้ทำเป็นอุปกรณ์ต่างๆมากมาย เนื่องจากมีความทนทาน ความยืดหยุ่นสูง มีราคาถูก กล่าวคือเราต้องใช้พลาสติกทุกๆวัน ในเกือบทุกเวลา แต่พลาสติกนั้นมีข้อดีก็ต้องมีข้อเสียและข้อเสียที่สำคัญที่สำคัญที่สุดของมันคือไม่สามารถจะทำลายมันได้ด้วยวิธีทั่วๆไป ถ้าจะปล่อยให้ย่อยสลายก็ต้องใช้เวลาเป็นร้อยปีและ ถ้าหากนำไปเผาก็จะเป็นการทำลายชั้นบรรยากาศทำให้เกิดภาวะโลกร้อนตามมา ดังนั้นทางเลือกที่ดีของเราก็คือการนำกลับมาใช้ใหม่หรือเรียกว่าการรีไซเคิล(Recycle) นั้นเอง

2.1.1 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก

พลาสติกที่ใช้กันมากในปัจจุบันอยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ต่างๆเช่น ถุง กล่อง ท่อ แผ่นฟิล์ม ส่วนมากมีแหล่งกำเนิดจากปิโตรเลียม ซึ่งรวมถึงน้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติใต้ผิวดิน และมีความสำคัญต่อชีวิตมนุษย์เพราะเป็นทั้งแหล่งพลังงานและแหล่งวัตถุดิบสำหรับผลิตวัสดุสังเคราะห์ต่างๆ ปิโตรเลียมจะอยู่ในสถานะเป็นก๊าซ ของเหลว หรือของแข็ง ขึ้นกับอุณหภูมิ, ความดัน, และจำนวนหรือการจัดเรียงตัวของคาร์บอนในโมเลกุล โดยทั่วไปสารไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนไม่เกิน 4 อะตอม จะมีสถานะเป็นก๊าซ ถ้ามีคาร์บอนระหว่าง 5-19 อะตอมจะมีสถานะเป็นของเหลว และถ้ามีคาร์บอนตั้งแต่ 20 อะตอม จะมีสถานะเป็นของแข็ง

การกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบ ทำให้เราสามารถแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกเป็นส่วนต่างๆ ซึ่งพบว่ามีปริมาณสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายยาวเกินกว่าความต้องการใช้งานอยู่ปริมาณมาก แต่กลับมีสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสายสั้นที่มีการนำไปใช้ประโยชน์มากกว่าอยู่น้อย จึงต้องนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่เกินความต้องการมาผ่านกระบวนการแยกสลายเพื่อ ตัดความยาวให้สั้นลงได้เป็นสารประกอบขนาดเล็ก เช่น ก๊าซเอทธิลีนและโพรพิลีน ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตพลาสติกบางชนิดโดยก๊าซเหล่านี้จะถูกส่งไปยังโรงงานผลิตเม็ดพลาสติก



รูปที่2.1 การกลั่นลำดับส่วน

กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก เริ่มต้นจากการนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็กซึ่งได้จากกลั่นลำดับส่วนน้ำมันดิบมาทำปฏิกิริยากันจนได้เป็นสายโซ่ยาว เรียกว่าโพลิเมอร์ ซึ่งโพลิเมอร์แต่ละชนิดสังเคราะห์โดยใช้วัตถุดิบเริ่มต้นที่แตกต่างกันไป ทำให้โพลิเมอร์มีสมบัติที่แตกต่างกันออกไปด้วย โดยโพลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้นี้ จะถูกนำไปขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต่อไป ตัวอย่างเช่น การผลิตเม็ดพลาสติกโพลิเอทธิลีน (PE) โดยเริ่มต้นจากก๊าซเอทธิลีนซึ่งถูกเก็บในถังปฏิกิริยา

เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม จะเกิดปฏิกิริยาขึ้น โมเลกุลขนาดเล็กๆ จำนวนมากจะเข้ามาต่อกันเป็นโมเลกุลที่ยาวมากๆ ได้โพลิเอธิลีนที่มีสมบัติเหมาะสมสำหรับนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น ขวด ถุง และของเล่น เป็นต้น

2.1.2 การแบ่งประเภทของพลาสติก

หากแบ่งประเภทของพลาสติกตามสมบัติทางความร้อน เราสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท

1) เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

โพลิเมอร์ประเภทนี้ จะมีโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่โพลิเมอร์เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้นๆ สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืดเนื่องจาก โมเลกุลของโพลิเมอร์ที่พันกันอยู่สามารถเคลื่อนที่ผ่านกันไปมาได้ง่ายขึ้นเมื่อได้รับความร้อน และเมื่อเย็นตัวลงก็จะแข็งตัว ซึ่งการหลอมเหลวและเย็นตัวนี้ สามารถเกิดกลับไปกลับมาได้โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ หรือโครงสร้างของโพลิเมอร์เปลี่ยนไปมากนัก

พลาสติกประเภทนี้ สามารถขึ้นรูปโดยการฉีดขณะที่พลาสติกถูกทำให้อ่อนตัวและไหลได้ด้วยความร้อนและความดัน เข้าไปในแม่แบบที่มีช่องว่างเป็นรูปร่างตามต้องการ ภายหลังจากที่พลาสติกไหลเข้าจนเต็มแม่พิมพ์จะถูกทำให้เย็นตัว และถอดออกจากแม่พิมพ์ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีรูปร่างตามต้องการสามารถนำไปใช้งานได้ เมื่อใช้เสร็จแล้วสามารถนำกลับมารีไซเคิลได้โดยการบด และหลอมด้วยความร้อนเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อีก แต่พลาสติกประเภทนี้มีข้อเสียและขีดจำกัดของการใช้งาน คือไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ เพราะอาจเกิดการบิดเบี้ยวหรือเสียรูปทรงไป ตัวอย่างเช่น ขวดน้ำดื่มไม่เหมาะสำหรับใช้บรรจุน้ำร้อนจัดหรือเดือด

2) เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting)

โพลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างเป็นแบบร่างแห ซึ่งจะหลอมเหลวได้ในขั้นตอนการขึ้นรูปครั้งแรกเท่านั้น ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีปฏิกิกริยาเคมีเกิดขึ้นทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล ทำให้โพลิเมอร์มีรูปร่างที่ถาวร ไม่สามารถหลอมเหลวได้อีกเมื่อได้รับความร้อน และหากได้รับความร้อนสูงเกินไป จะทำให้พันธะระหว่างอะตอมในโมเลกุลแตกออก ได้สารที่ไม่มีสมบัติของความเป็นโพลิเมอร์ต่อไป

การผลิตพลาสติกชนิดเทอร์โมเซตจะแตกต่างจากพลาสติกชนิดเทอร์โมพลาสติกคือ ในขั้นตอนแรกต้องทำให้เกิดปฏิกิริยาโพลิเมอไรเซชันเพียงบางส่วน มีการเชื่อมโยงโมเลกุลเกิดขึ้นบ้างเล็กน้อย และยังสามารถหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน จึงสามารถขึ้นรูปภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงได้ เมื่อผลิตภัณฑ์มีรูปร่างตามต้องการแล้ว ให้คงอุณหภูมิไว้ประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้โครงสร้างแบบร่างแหที่เสถียรและแข็งแรง สามารถนำผลิตภัณฑ์ออกจากแบบโดยไม่ต้องรอให้เย็น เนื่องจากผลิตภัณฑ์จะแข็งตัวอยู่ภายในแม่พิมพ์ ดังนั้นการให้ความร้อนในกระบวนการผลิตพลาสติกเทอร์โมเซตกลับทำให้วัสดุแข็งขึ้น ต่างจากกระบวนการผลิตพลาสติกเทอร์โมพลาสติที่การให้ความร้อนจะทำให้พลาสติกนิ่ม และหลอมเหลว พลาสติกเทอร์โมเซตเมื่อใช้งานเสร็จแล้วไม่สามารถนำมาผ่านการหลอมและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือรีไซเคิล (recycle) ได้อีก และถ้าให้ความร้อนมากเกินไป จะทำให้พลาสติกเกิดการสลายตัวหรือไหม้ โดยไม่เกิดการหลอมเหลว ตัวอย่างของพลาสติกในกลุ่มนี้เช่น เบคเคอไลต์ และเมลามีน เป็นต้น

แต่หากแบ่งพลาสติกตามลักษณะการใช้งานจะแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

(1) พลาสติกใช้งานทั่วไป

(2) พลาสติกใช้งานวิศวกรรม

(3) Specialty plastic

พลาสติกใช้งานทั่วไปที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นจำพวก โพลิโพรพิลีน โพลิเอทิลีน โพลิสไตรีน โพลีไวนิลคลอไรด์ โพลิเมทิล เมทาคริเลต อะคริลิก เอบีเอส เอสเอเอ็น หรือแซน เป็นต้น

สำหรับพลาสติกวิศวกรรมที่เริ่มเข้ามามีบทบาทในประเทศไทย ได้แก่ โพลิออกซิเมทิลีน (POM) โพลิคาร์บอเนต โมดิฟายด์ โพลิโพรพิลีนออกไซด์ โพลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต โพลิบิวทิลีนเทเรฟทาเลต เป็นต้น ลักษณะเด่นของพลาสติกวิศวกรรมที่แตกต่างจากพลาสติกใช้งานทั่วไป คือ พลาสติกวิศวกรรมจะมีคุณสมบัติเชิงกลดีกว่า มีน้ำหนักเบาสามารถปรับแต่งได้เหมือนโลหะ Specialty Plastic เป็นพลาสติกชนิดพิเศษนอกเหนือจาก2กลุ่มแรก เช่น เทฟรอน เป็นต้น

2.2 พลาสติกรีไซเคิลและการรีไซเคิล

พลาสติก เป็นวัสดุที่เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมากและมีแนวโน้มการใช้งานที่เพิ่มมากขึ้นเพราะใช้ทดแทนทรัพยากรธรรมชาติ เช่น ไม้และเหล็กได้เป็นอย่างดี และมีราคาถูก น้ำหนักเบาสามารถผลิตให้มีสมบัติต่างๆ ตามที่ต้องการได้จากการเลือกชนิดของวัตถุดิบ ปฏิกิริยาเคมี กระบวนการผลิตและกระบวนการขึ้นรูป นอกจากนี้ยังสามารถปรุงแต่งสมบัติได้ง่ายโดยการเติมสารเติมแต่ง (Additives) เช่น สารเสริมสภาพพลาสติก (Plasticizer) สารปรับปรุงคุณภาพ (Modifier) สารเสริม (Filler) สารคงสภาพ (Stabilizer) สารยับยั้งปฏิกิริยา (Inhibitor) สารหล่อลื่น (Lubricant) และผงสี (Pigment) เป็นต้น

ด้วยเทคโนโลยีการผลิตที่ก้าวหน้า และทันสมัยในปัจจุบันทำให้เรามีผลิตภัณฑ์พลาสติกหลากหลายรูปแบบ และสีสันให้เลือกใช้อย่างมากมาย ด้วยสมบัติที่โดดเด่นหลายด้านทำให้พลาสติกได้รับการยอมรับอย่างรวดเร็วและมีปริมาณการใช้งานเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้เกิดขยะพลาสติกในปริมาณสูงมากขึ้นตามด้วย ดังนั้นการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่หรือการ รีไซเคิลจึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเพราะนอกจากจะช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกแล้วยังเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าอีกด้วย การพัฒนาทางเทคโนโลยีในช่วงหลายปีที่ผ่านมาทำให้การรีไซเคิลพลาสติกมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยแบ่งเป็น 4 ประเภทหลัก คือ การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ (Primary recycling) การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ (Secondary recycling) การ รีไซเคิลแบบตติยภูมิ (Tertiary recycling) และการ รีไซเคิลแบบจตุภูมิ (Quaternary recycling)

1. การรีไซเคิลแบบปฐมภูมิ

เป็นการนำขวดหรือเศษพลาสติกที่เป็นประเภทเดียวกันและไม่มีสิ่งปนเปื้อน ที่เกิดในกระบวนการผลิตหรือขึ้นรูปกลับมาใช้ซ้ำภายในโรงงาน โดยสามารถนำมาใช้ซ้ำทั้งหมดหรือเติมผสมกับเม็ดใหม่ที่อัตราส่วนต่างๆ

2. การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ

การรีไซเคิลแบบทุติยภูมิหรือกระบวนการหลอมขึ้นรูปใหม่ เป็นการนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาทำความสะอาด บด หลอมและขึ้นรูปกลับไปเป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกอีกครั้ง การรีไซเคิลแบบทุติยภูมินี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้เป็นหลายเทคนิค คือ

การรีไซเคิลเชิงกล (Mechanical recycling)

เป็นเทคนิคที่ง่ายและนิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน โดยการเก็บพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วมาคัดแยกตามประเภท และสีมาล้างทำความสะอาดก่อนนำมาบดเป็นชิ้นเล็กๆ และหลอมเป็นเม็ดพลาสติกเกรดสอง หรือ เม็ดพลาสติกรีไซเคิลเพื่อนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือนำมาผสมกับเม็ดใหม่เพื่อให้ได้สมบัติที่ต้องการก่อนนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูป โดยคุณภาพของเม็ดพลาสติกรีไซเคิลนี้จะเป็นตัวกำหนดการนำไปใช้งานและปริมาณการผสมที่ต้องการ ปัญหาในกระบวนการรีไซเคิลพลาสติกคือ หลังจากผ่านกระบวนการรีไซเคิลในแต่ละครั้ง พลาสติกจะมีคุณภาพต่ำลงปฏิกิริยาการขาดของสายโซ่โมเลกุลของ ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้ในเกิดประโยชน์สูงสุด และมีราคาถูกลงเรื่อยๆ จนบางครั้งไม่คุ้มต่อการลงทุน สาเหตุที่สำคัญเนื่องมาจากมีการปนเปื้อนของสิ่งสกปรก ฉลากเล็กๆ หรือ เศษกาวทำให้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีสีเข้มขึ้นหรือ มีความใสลดลง นอกจากนี้ความชื้นในพลาสติก และความร้อนที่ใช้ในการหลอมพลาสติกยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการสลายตัว หรือเกิดการขาดของสายโซ่โมเลกุลของโพลิเมอร์ที่ใช้ทำพลาสติก ทำให้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีสีเหลือง และมีสมบัติเชิงกลลดลงด้วย

การปรับปรุงโดยวิธีทางเคมี (Chemical modification)

เนื่องจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีข้อจำกัดในด้านสมบัติ การขึ้นรูปและการใช้งาน ดังนั้น การปรับปรุงโดยวิธีการทางเคมี จะช่วยลดข้อจำกัดดังกล่าวหรือทำให้เม็ดรีไซเคิลมีลักษณะใกล้เคียงกับเม็ดใหม่ได้ การปรับปรุงนี้สามารถใช้ได้กับทั้งพลาสติกชนิดเดียวหรือพลาสติกผสม ถ้าเป็นพลาสติกชนิดเดียวก็จะใช้การเติมสารเคมีหรือใช้วิธีการผ่านด้วยรังสี แต่ถ้าเป็นพลาสติกผสมมักใช้สารช่วยในการผสมให้เข้ากันที่รู้จักกันโดยทั่วไปว่า Compatibilizer

การหลอมอัดรีดร่วมและการฉีดร่วม (Coextrusion and Coinjection moulding)

เป็นอีกเทคนิคหนึ่งของการรีไซเคิลแบบทุติยภูมิ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ที่ต้องสัมผัสกับอาหาร ผลิตภัณฑ์พลาสติกที่ผลิตได้จากกระบวนการนี้จะมีลักษณะโครงสร้างเป็นชั้นๆ เหมือนแซนด์วิช โดยที่ผิวหน้าเป็นชั้นที่ผลิตจากพลาสติกใหม่ซึ่งมีความต้านทานต่อแรงดึงสูง ป้องกันการขีดข่วนได้ดีและมีสีสันน่าใช้ ส่วนชั้นกลางเป็นชั้นของพลาสติกรีไซเคิล

3. การรีไซเคิลแบบตติยภูมิ

การรีไซเคิลแบบตติยภูมิแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ การรีไซเคิลทางเคมีและทางความร้อน

การรีไซเคิลทางเคมี (Chemical recycling)

เป็นกระบวนการที่ทำให้โครงสร้างสายโซ่ของพอลิเมอร์ เกิดการขาดหรือแตกออก (Depolymerisation) ได้มอนอเมอร์ (Monomer) หรือโอลิโกเมอร์ (Oligomer) เป็นผลิตภัณฑ์เมื่อนำมาทำให้บริสุทธิ์ โดยการกลั่น และ ตกผลึกได้เป็นสารตั้งต้นที่มีคุณภาพสูงซึ่งสามารถนำไปใช้ผลิตเป็นเพทได้ใหม่

การรีไซเคิลทางความร้อน (Thermolysis)

โครงสร้างของเพทสามารถเกิดการแตกหรือขาดได้โดยใช้ความร้อน เรียกว่า Thermolysis แบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Pyrolysis) แบบใช้ออกซิเจน (Gasification) และ การเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation)

Pyrolysis เป็นกระบวนการที่ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์เกิดการแตกออกโดยใช้ความร้อนแบบไม่ใช้ออกซิเจน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการควบแน่นเป็น ของเหลวที่เรียกว่า น้ำมันดิบสังเคราะห์ (Synthetic crude oil) สามารถนำกลับไปใช้ในโรงกลั่นและส่วนที่ไม่เกิดการควบแน่นจะถูกนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการให้ความร้อนภายในกระบวนการ

Gasification เป็นกระบวนการที่ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์ของเพทเกิดการแตกออกโดยใช้ความร้อนแบบใช้ออกซิเจน กระบวนการนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงกว่า Pyrolysis ผลลัพธ์ที่ได้คือ Syngas ซึ่งประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้โดยตรง แต่ถ้าทำการแยกก่อนนำมาใช้ในรูปของสารเคมีจะมีมูลค่าสูงขึ้น 2 – 3 เท่า

Hydrogenation เป็นเทคนิคที่ปรับปรุงมาจากกระบวนการกลั่นน้ำมันแบบใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา โดยสายโซ่พอลิเมอร์ของเพทจะถูกทำให้แตกหรือขาดออกจากกันด้วยความร้อนและ สัมผัสกับไฮโดรเจนที่มากเกินพอที่ความดันสูงกว่า 100 บรรยากาศ จนเกิดปฏิกิริยาแตกตัว (Cracking) และเกิดการเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) อย่างสมบูรณ์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ส่วนใหญ่เป็นเชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมันแก๊สโซลีนหรือดีเซล

กระบวนการรีไซเคิลทางความร้อนถือได้ว่าเป็นเทคโนโลยีที่มีประโยชน์และ คุ้มค่ากว่าการรีไซเคิลทางเคมีเพราะสามารถจัดการขยะที่เป็นพลาสติกผสมที่มีสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ ที่ไม่ใช่พลาสติกได้ ในขณะที่การรีไซเคิลทางเคมีต้องใช้พลาสติกที่มีความสะอาดค่อนข้างสูงและ มีการผสมหรือปนเปื้อนได้เพียงเล็กน้อย ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการเตรียมวัตถุดิบสูง อย่างไรก็ตามพลาสติกเพทที่จะนำมารีไซเคิลทางความร้อนก็ควรมีการคัดขนาดหรือกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกบ้าง

4. การรีไซเคิลแบบจตุภูมิ

พลาสติกสามารถนำมาเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน โดยการเผาไหม้ของพลาสติกให้ค่าความร้อนใกล้เคียงกับถ่านหิน (23 MJ/kg) ช่วยในการเผาไหม้ส่วนที่เป็นขยะเปียก ทำให้ลดปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการเผาขยะ

แม้ว่าทุกวันนี้การรีไซเคิลพลาสติกยังไม่ได้รับความนิยมมากนัก แต่ก็กำลังได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่เราให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ การนำพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วกลับมารีไซเคิลใช้ซ้ำ จึงเป็นอีกหนทางหนึ่งที่จะช่วยให้เรารักษาความสวยงามและความอุดมสมบูรณ์ของทรัพยากรธรรมชาติไว้ได้ ซึ่งอีกไม่นานเราก็จะก้าวข้ามเข้าสู่ศตวรรษใหม่ที่วิทยาการและเทคโนโลยีต่างๆ จะได้รับการพัฒนาให้ก้าวหน้ายิ่งขึ้น คนแห่งศตวรรษใหม่อาจต้องเปลี่ยนวิสัยทัศน์เกี่ยวกับพลาสติก เมื่อพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้วในศตวรรษหน้าไม่ได้กลายเป็นขยะอีกต่อไป แต่กลับกลายเป็นทรัพยากรสำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่ออนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

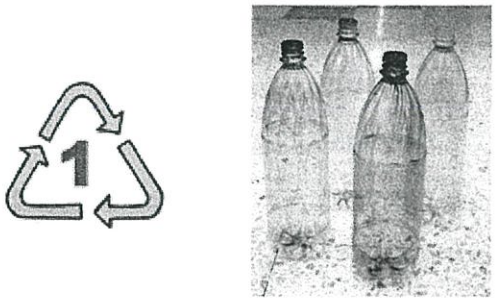
2.3 สัญลักษณ์มาตรฐานของพลาสติก

สัญลักษณ์มาตรฐานของพลาสติกยอดนิยมกลุ่มต่างๆ ที่สามารถนำกลับมาหมุนเวียนได้มีอยู่ 7 ประเภท ดังนี้

1) โพลิเอทธิลีนเทเรฟทาเลต (Poly (ethylene terephthalate), PETE)

ทนแรงกระแทก ไม่เปราะแตกง่าย สามารถทำให้ใสมาก มองเห็นสิ่งที่บรรจุอยู่ภายในจึงนิยมใช้บรรจุน้ำดื่ม น้ำมันพืช และเครื่องสำอาง นอกจากนี้ขวด PET ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้เป็นอย่างดี จึงใช้เป็นภาชนะบรรจุน้ำอัดลม PET สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยนิยม

นำมาผลิตเป็นเส้นใยสำหรับทำเสื้อกันหนาว พรม และเส้นใยสังเคราะห์สำหรับยัดหมอน หรือเสื้อสำหรับเล่นสกี



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลาสติกชนิด PETE

2) โพลิเอทธิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene)

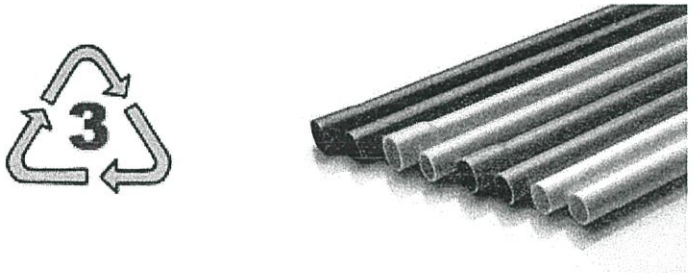
HDPE โพลิเอทธิลีนชนิดหนาแน่นสูงมีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายตรง ค่อนข้างแข็งแต่ยืดได้มาก ไม่แตกง่าย ส่วนใหญ่ทำให้มีสีสันสวยงาม ยกเว้นขวดที่ใช้บรรจุน้ำดื่ม ซึ่งจะขุ่นกว่าขวด PET ราคาถูก ขึ้นรูปได้ง่าย ทนสารเคมี จึงนิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด แชมพูสระผม แป้งเด็ก และ ถุงหูหิ้ว นอกจากนี้ภาชนะที่ทำจาก HDPE ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของความชื้นได้ดี จึงใช้เป็นขวดนมเพื่อยืดอายุของนมให้นานขึ้น

HDPE สามารถนำกลับมารีไซเคิลเพื่อผลิตขวดต่างๆ เช่น ขวดใส่น้ำยาซักผ้า แท่งไม้เทียมเพื่อใช้ทำรั้วหรือม้านั่งในสวน

รูปที่ 2.3 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลาสติกชนิด HDPE

3) โพลิไวนิลคลอไรด์ (Poly (vinyl chloride), PVC)

เป็นพลาสติกแข็งใช้ทำท่อ เช่น ท่อน้ำประปา แต่สามารถทำให้นิ่ม โดยใส่สาร - พลาสติก ไซเซอร์ ใช้ทำสายยางใส แผ่นฟิล์มสำหรับห่ออาหาร ม่านในห้องอาบน้ำ แผ่นกระเบื้องยาง แผ่นพลาสติกปูโต๊ะ ขวดใส่แชมพูสระผม PVC เป็นพลาสติกที่มีสมบัติหลากหลาย สามารถนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์อื่นได้อีกมาก เช่น ประตู หน้าต่าง วงกบ และหนังเทียม PVC สามารถนำกลับมารีไซเคิล เพื่อผลิตท่อประปาสำหรับการเกษตร กรวยจราจร และ เฟอร์นิเจอร์ หรือม้านั่ง

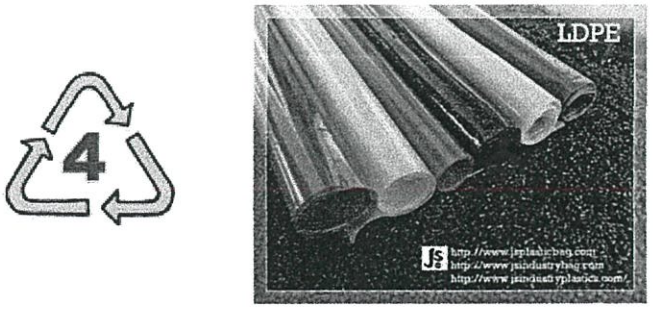


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลาสติกชนิด PVC

4) โพลิเอทธิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene,LDPE)

LDPE เป็นพลาสติกที่นิ่ม สามารถยืดตัวได้มาก มีความใส นิยมนำมาทำเป็นฟิล์มสำหรับห่ออาหารและห่อของ ถุงใส่ขนมปัง และถุงเย็นสำหรับบรรจุอาหาร

LDPE สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยใช้ผลิตเป็นถุงดำสำหรับใส่ขยะ ถุงหูหิ้ว หรือถังขยะ



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลาสติกชนิดLDPE

5) โพลิโพรพิลีน(Polypropylene,PP)

PP เป็นพลาสติกที่แข็ง ทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสารเคมี ความร้อน และน้ำมัน ทำให้มีสีสันสวยงามได้ ส่วนใหญ่นิยมนำมาทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่น กล่อง ชาม จานถัง ตะกร้า หรือกระบอกสำหรับใส่น้ำแช่เย็น

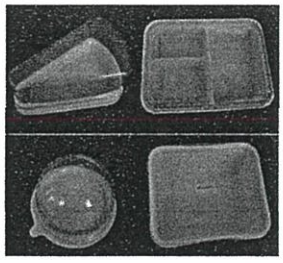
PP สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยนิยมผลิตเป็นกล่องแบตเตอรี่รถยนต์ ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชน และกรวยสำหรับน้ำมัน

รูปที่2.6 PP

6) โพลิสไตรีน (Polystyrene, PS)

PS เป็นพลาสติกที่แข็ง ใส แต่เปราะ และแตกง่าย ราคาถูก นิยมนำมาทำเป็นภาชนะบรรจุของใช้ เช่น เทปเพลง สำลี หรือ ของแห้ง เช่น หมูแผ่น หมูหยอง และ คุ้กกี้ เนื่องจาก PS เปราะและแตกง่าย จึงไม่นิยมนำพลาสติกประเภทนี้มาบรรจุน้ำดื่มหรือแชมพูสระผม เนื่องจากอาจลื่นตกแตกได้ มีการนำพลาสติกประเภทนี้มาใช้ทำภาชนะหรือถาดโฟม สำหรับบรรจุอาหาร โฟมจะมีน้ำหนักที่เบามากเนื่องจากประกอบด้วย PS ประมาณ 2-5 % เท่านั้น ส่วนที่เหลือเป็นอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่าง

PS สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ โดยนิยมผลิตเป็นไม้แขวนเสื้อ กล่องวีดีโอ ไม้บรรทัด หรือของใช้อื่นๆ

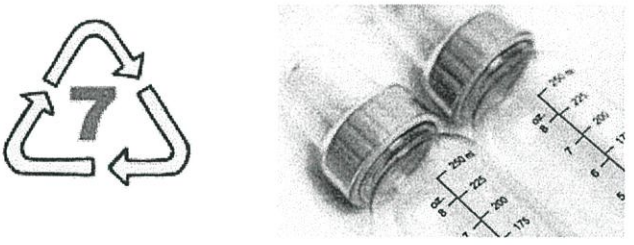


รูปที่ 2.7 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลาสติกชนิด PS

7) พลาสติกอื่นๆที่ไม่ใช่6ชนิดแรกหรือไม่ทราบว่าเป็นพลาสติกชนิดใด

ปัจจุบันเรามีพลาสติกหลายชนิดให้เลือกใช้ พลาสติกที่ใช้ในครัวเรือนส่วนใหญ่สามารถนำกลับมารีไซเคิลเพื่อหลอมใช้ใหม่ได้ การมีสัญลักษณ์ตัวเลข ทำให้เราสามารถแยกพลาสติกออกเป็นชนิดต่างๆเพื่อนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ง่ายขึ้น

สำหรับพลาสติกในกลุ่มที่ 7 เป็นพลาสติกชนิดอื่นที่ไม่ใช่ 6 ชนิดแรก นอกจะมีตัวเลขระบุแล้ว ควรใส่สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษระบุชนิดของพลาสติกนั้นๆ ไว้ เพื่อสะดวกในการแยกและนำกลับมารีไซเคิล เช่น โพลิคาร์บอเนต (Polycarbonate, PC)



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลาสติกชนิด Other

2.4 สรุปการผลิตเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

รวบรวมพลาสติก → แยกชนิด → ทำความสะอาด → ทำการย่อยให้เป็นชิ้นเล็ก

↓

หลอมตัดเม็ด → เม็ดพลาสติกรีไซเคิล

คุณสมบัติของพลาสติก มีข้อดีอยู่หลายประการแต่ในโครงงานนี้ได้เลือกใช้เม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิด โพลิโพรพิลีน(PP) เนื่องจากโพลิโพรพิลีนมีคุณสมบัติที่ดีเช่น มีผิวแข็ง ต่อการขีดข่วน คงตัวไม่เสียรูปง่าย ทนต่อสารเคมี สามารถลอยน้ำได้ มีน้ำหนักที่เบา ทนความร้อนได้ดี มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกตัด ขนาด 3x3 มม.

2.5 คอนกรีตมวลเบา (Lightweight concrete)

ในอาคารสิ่งก่อสร้างต่างๆ น้ำหนักส่วยหนึ่งที่ใช้คิดคำนวณหาเนื้อที่และขนาดของเหล็กเสริมเป็นน้ำหนักของตัวอาคารเอง ซึ่งถ้าหากสามารถทำให้ตัวอาคารมีน้ำหนักเบา ขนาดโครงสร้างย่อมมีขนาดเล็ก

ลง ทำให้ประหยัดราคาก่อสร้างไปได้มากดังนั้นจึงเริ่มมีความต้องการใช้คอนกรีตมวลเบา ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ผสมขึ้นเช่นเดียวกับคอนกรีตธรรมดา แต่ใช้วัสดุผสมที่มีน้ำหนักเบากว่าวัสดุปกติ และอีกคุณสมบัติคือ สามารถป้องกันความร้อนได้ดี ทำให้ประหยัดการใช้พลังงาน ทนต่อเพลิงไหม้ที่อุณหภูมิสูง สามารถกันไฟได้นานกว่าผนังอิฐมอญ และคอนกรีตบล็อกทั่วไป 2-4 เท่า

คอนกรีตเบา เป็นคอนกรีตที่นิยมในต่างประเทศเป็นเวลานาน ซึ่งนำไปใช้ในการก่อสร้างตั้งแต่ทำเป็นฉนวนกันความร้อน จนถึงเป็นชิ้นส่วนโครงสร้าง เช่น พื้น เสา คาน ฐานราก และผนังอาคาร เป็นต้น โดยมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือ ลดน้ำหนักของอาคารส่งผลให้เป็นการประหยัดต้นทุนนั้นเอง ข้อดีอื่น นอกจากความประหยัดและเป็นฉนวนความร้อน คือ สามารถติดตั้งหรือก่อได้ง่ายและเร็ว เพราะสามารถตัด ขัด เจาะ ผลิตภัณฑ์คอนกรีตให้มีขนาดตามต้องการได้ด้วยอุปกรณ์ช่างทั่วไป เช่น เลื่อยมือ สว่าน เป็นต้น

ในประเทศไทย ได้มีการวิจัยและพัฒนาคอนกรีตประเภทนี้มาเป็นเวลานานแล้วแต่ในอดีตยังไม่เป็นที่นิยมเพราะมีราคาต้นทุนที่ยังสูงไม่คุ้มแก่การนำมาใช้ แต่ปัจจุบันมีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น เนื่องจากเทคโนโลยีการผลิตทันสมัยมากขึ้น ทำให้คอนกรีตประเภทนี้มีราคาที่ถูกลงและ เมื่อนำไปใช้ยังประหยัดต้นทุนโดยรวมได้มากขึ้นอีกด้วย

2.5.1 คุณสมบัติทั่วไปของคอนกรีตเบา

(1) ต้านทานความร้อนได้ดีกว่าคอนกรีตปกติและมีอัตราการขยายตัวซึ่งน้อยกว่าคอนกรธรรมดา

(2) สามารถเก็บเสียงได้ดีเนื่องจากในคอนกรีตมีช่องอากาศอยู่มาก

(3) สามารถดูดซึมน้ำได้มากกว่าคอนกรีตปกติเนื่องจากมีรูพรุนอยู่มาก

(4) มีอัตราการหดตัวมากกว่าคอนกรีตธรรมดาประมาณ 5-40% แต่ก็ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ผสมด้วย ถ้าเป็นวัสดุผสมจาก ดินเผา ดินดาล หรือตะกรัน จะทำให้การหดตัวน้อยลง

(5) ค่าปัวส์ซองเรโชเท่ากับของคอนกรีตธรรมดา แต่ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะมีค่าประมาณ ½ - ¾ เท่าของคอนกรีตธรรมดา เมื่อมีค่ากำลังอัดประลัยเท่ากัน และมีน้ำหนักที่เบากว่าคอนกรีตทั่วไป

2.5.2 คอนกรีตเบา

สามารถแบ่งตามวัสดุที่ใช้ผลิตได้ 3 ชนิด คือ

1) คอนกรีตที่ใช้มวลเบา (Light-Weight Aggregate)

2) โฟมคอนกรีตหรือคอนกรีตเติมฟองอากาศ (Aerated or Foam Concrete)

3) คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด (No-Fines Concrete)

2.5.3 จำแนกตามการนำไปใช้งาน

จะแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

ตารางที่2.1 การจำแนกประเภทของคอนกรีตเบาตามการนำไปใช้

ประเภท	กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ (กก. /ตร.ซม.)	หน่วยน้ำหนัก (กก. /ลบ.ม.)
คอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structural Lightweight Concrete)	180-480	1400-1800
คอนกรีตสำหรับงานก่อ (Masonry Concrete)	100-180	500-800
คอนกรีตสำหรับงานฉนวนกันความร้อน (Insulating Concrete)	10-100	น้อยกว่า800

ที่มา : ชัชวาล เศรษฐบุตร พ.ศ. 2536

2.6 คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา(Light-Weight Aggregate)

มวลรวมเบา(Lightweight Concrete) มีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 60-1000 กก./ลบ.ม. เทียบกับของมวลรวมปกติอยู่ที่ 1100-1750 กก./ลบ.ม. หน่วยน้ำหนักของมวลรวมเบาแต่ละชนิดแสดงไว้ในตารางที่ 2.1.

2.6.1 ประเภทของมวลรวมเบา

1) มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ หิน Vermiculite, Perlite, Pumice และ Scoria เกิดขึ้นเวลาภูเขาไฟระเบิด มวลรวมชนิดนี้ใช้ทำคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงมาก

2) มวลรวมเบาที่ได้จากการผลิต เช่น การสังเคราะห์หรือนำวัสดุธรรมชาติมาผลิตขึ้น เป็นมวลรวมเบาที่ใช้ไปทำคอนกรีตมากสุด สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภท

2.1) Expanded Clay Aggregate

เป็นมวลรวมเบาที่ได้จากการนำดินเหนียวมาผสมกับสารที่ก่อให้เกิดฟองอากาศ และนำไปเผาในหม้อ(Rotary Kiln) ที่อุณหภูมิ 1200°C การเผาจะทำให้เกิดฟองอากาศในเนื้อหิน หินที่ได้จะมีลักษณะ รูปร่างกลม แข็ง มีผิวที่เรียบ และภายในหินจะเป็นโพรงอากาศ

2.2) Expanded Shale Aggregate

เป็นมวลรวมเบาที่ได้จากการนำหินดินดาน (Shale) มาผสมกับถ่านที่บดละเอียด แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,200°C วัตถุดิบจะถูกหลอมรวมกันและมีฟองอากาศถูกกักอยู่ในเนื้อ ลักษณะของหินที่ได้จะเป็นหินที่แข็งมาก หลังจากนั้นจะนำไปย่อยให้ได้ขนาดตามต้องการ มวลรวมชนิดนี้มีความแข็งแรงค่อนข้างดี จึงนิยมใช้ผลิตคอนกรีตเบา

2.3) Sintered pulverized-fuel ash

เป็นมวลรวมเบาที่ได้จากการนำเอา Fly Ash หรือ PFA ที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหินไปทำให้เป็นเม็ดก่อน แล้วจึงนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1,400°C ซึ่งอนุภาคของ Ash จะเกาะกัน ผิวของมวลรวมเบาชนิดนี้ค่อนข้างเรียบ มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์ ได้แก่ การใช้ไม้หรือพลาสติกบางชนิด ใส่ผสมเข้าไปในคอนกรีต มวลรวมที่ได้จากของเหลือของขบวนการผลิต ได้แก่ เถ้าหนัก (Furnace Bottom Ash)ที่ได้จากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง หรือได้จากการพ่นน้ำไปบน Slag ที่หลอมเหลว อันจะก่อให้เกิดฟองอากาศจำนวนมากในเนื้อ Slag (Foamed slag) ที่แข็งตัว หลังจากนั้นจะนำไปย่อยเพื่อให้ได้ขนาดตามต้องการ

ตารางที่2.2 ประเภทและคุณสมบัติของมวลรวมเบา ที่มา : ชัชวาล เศรษฐบุตร พ.ศ. 2536

วัสดุ	หน่วยน้ำหนักมวลรวมเบา (กก. /ลบ.ม.)	แหล่งกำเนิด	หน่วยน้ำหนักคอนกรีต (กก. /ลบ.ม.)	กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ (กก./ตร.ซม.)	การดูดซึม (%)
Vermiculite	65-200	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	400-950	8-35	20-35
Perlite	65-200	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	550-800	7-42	10-50
Pumice	-	ธรรมชาติ	800-1300	50-60	สูงมาก
Crushed Stone	1450-1750	ธรรมชาติ	2250-2400	240-550	0.5-2.0
Expanded Clay Expanded Shale	550-1050	ทำจากวัสดุธรรมชาติ	1100-1850	180-450	5-15
Fomed Slag	650-900	สังเคราะห์	1100-1850	180-450	5-15
Sintered Fly ash	600-1000	สังเคราะห์	1350-1900	180-450	14-24

2.6.2 คุณสมบัติของคอนกรีตที่ผลิตจากมวลรวมเบา

1) เป็นคอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 300 – 1,800 กก. /ลบ.ม.
2) กำลังอัดทรงลูกบาศก์ 4-480 กก./ตร.ซม.
3) ใช้ปูนซีเมนต์เท่ากับคอนกรีตทั่วไปหรือมากกว่าปกติถึง70%
4) นำความร้อนต่ำ ทนไฟได้ดี การขยายตัวจากความร้อนต่ำ เหมาะไปทำเป็นฉนวนความร้อน
5) ดูดซึมน้ำสูง
6) มอดุลัสของยัง (Young's modulus) หรือ มอดุลัสของสภาพยืดหยุ่น (modulus of
7) elasticity) มีค่าต่ำ
8) ความเครียดแรงดึงของคอนกรีตมวลเบาจะมากกว่าคอนกรีตปกติ

2.7 โฟมคอนกรีตหรือคอนกรีตเติมฟองอากาศ (Aerated or Foam Concrete)

คอนกรีตที่ได้จากการผสมฟองอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 – 1.0 มิลลิเมตร หรือทเรียกว่า โฟม ลงในคอนกรีต การผสมมี 3 วิธี คือ

1.การผสมโดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมี (Chemical Aerating) คือ การใช้สารเคมีประเภท Aluminium powder หรือใช้ Hydrogen peroxide ที่ร่วมกับ Bleaching powder ผสมเข้ากับคอนกรีต เพื่อทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กที่มีลักษณะคล้ายฟองน้ำขึ้นภายในเนื้อคอนกรีต ฟองอากาศเหล่านี้เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์เพสต์กับสารเคมี ซึ่งจะทำให้คอนกรีตพองตัวฟูขึ้นมีปริมาตรมากกว่าเดิมหลายเท่า และเมื่อแข็งตัวแล้วก็จะกลายเป็นคอนกรีตที่มีรูเล็กๆอยู่ภายในมากมาย ด้วยวิธีนี้อาจทำคอนกรีตให้เบากว่าน้ำได้ถึง 3 เท่า คือหนักเพียง 320 กก. /ลบ.ม. และอาจเรียกคอนกรีตประเภทนี้ว่า “Gas Aerated Concrete”

2.การผสมสารที่ทำให้เกิดโฟม (Foaming Mixture) คือ การใช้สารกักกระจายฟองอากาศ(Air-entrained foam) ผสมร่วมกับคอนกรีต สารชนิดนี้เป็นสารอินทรีย์ที่ทำปฏิกิริยาบนผิวก่อให้เกิดฟองอากาศเล็กๆ ในปริมาณที่สามารถควบคุมได้ภายในเนื้อคอนกรีต ฟองอากาศนี้จะกระจายตัวอยู่สม่ำเสมอและไม่ทะลุซึ่งกันและกัน

3. การผสมโดยทำให้เกิดโฟมก่อนแล้วผสมกับมอร์ต้า เป็นวิธีการสร้างฟองก่อนแล้วจึงผสมร่วมกับซีเมนต์เพสต์ (Preformed foam)อาจเรียกคอนกรีตประเภทนี้ว่า“Foam Aerated Concrete”

2.7.1 คุณสมบัติที่ของโฟมคอนกรีต

1) กำลังอัดและความสามารถนำความร้อนจะลดลงตามน้ำหนัก

2) ถ้าทำการบ่มด้วยวิธีไอน้ำที่มีความดันสูง (Autoclaving) จะทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นได้

3) สามารถทนไฟได้ดี

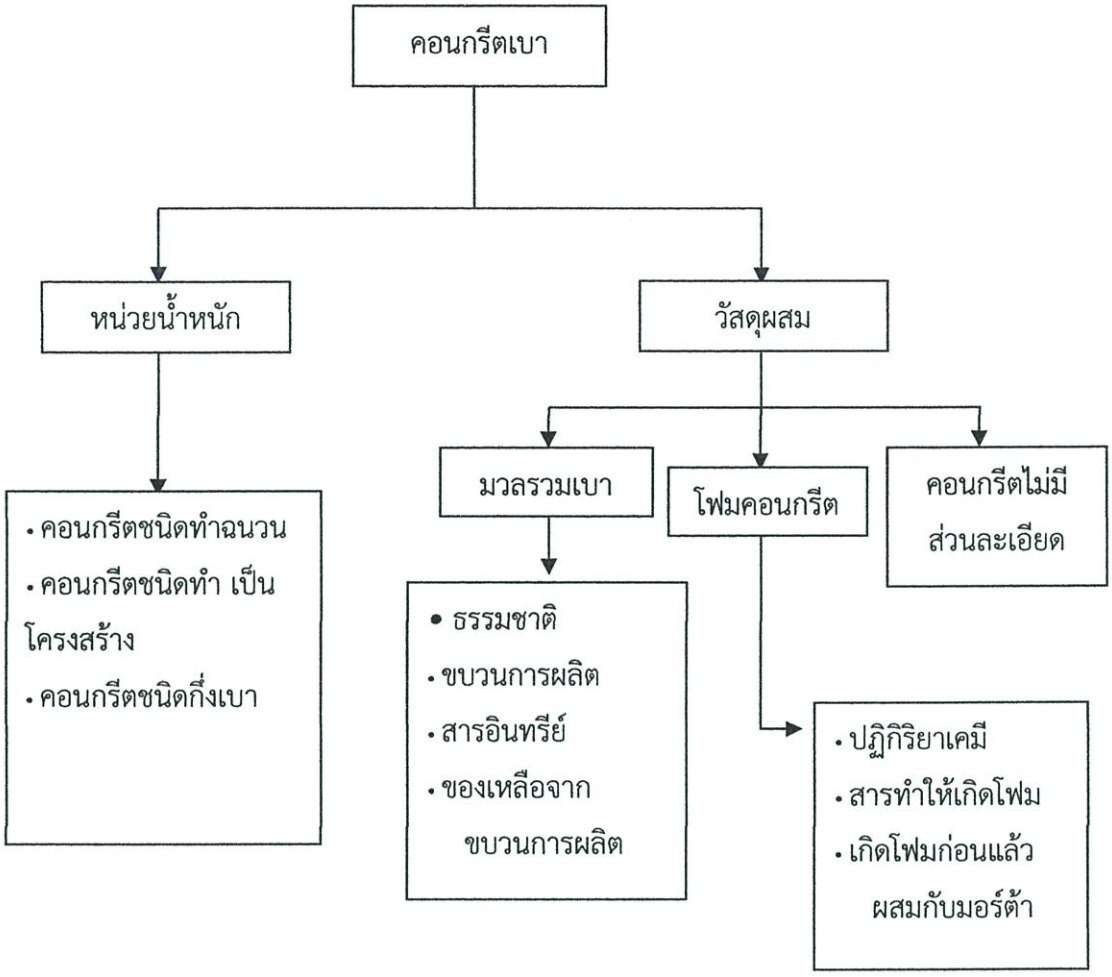
4) การดูดซึมน้ำสูง

5) สามารถเลื่อยหรือตอกตะปูได้

2.8 คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด (No-Fines Concrete)

คอนกรีตที่ไม่ยอมให้มีอนุภาคขนาดเล็ก หรือส่วนผสมละเอียดอยู่ในส่วนผสมของคอนกรีตเลย เพื่อมิให้อนุภาคขนาดเล็กลงไปอุดตันช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในเนื้อคอนกรีต ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา คอนกรีตประเภทนี้จึงไม่ใส่ทรายลงในส่วนผสม โดยมีเพียงแต่มวลรวมหยาบ (หินหรือมวลรวมเบาอื่นๆ) ซึ่งปกติจะใช้มวลรวมหยาบขนาดเดียว และมีน้ำปูนเคลือบอยู่หนาไม่เกิน 1– 3 มิลลิเมตร คอนกรีตประเภทนี้มีช่องว่างหรือโพรงอยู่มาก ส่งผลให้กำลังค่อนข้างต่ำ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมีค่าประมาณ 640กก. /ลบ.ม. คอนกรีตประเภทนี้ไม่ควรทำการจี้มากเพราะอาจจะทำให้น้ำปูนไหลออกจากหินได้ เราสามารถดูได้ด้วยตาเปล่าได้ว่าน้ำปูนเคลือบหินทั่วหรือไม่ และอีกอย่างหนึ่งคือคอนกรีตประเภทนี้จะไม่มีการแยกตัวจึงสามารถเทได้ในทุกระดับ

การทดสอบกำลังอัดแบบทรงลูกบาศก์ของคอนกรีตประเภทนี้อยู่ระหว่าง 18-180กก./ตร.ซม. ขึ้นอยู่กับหน่วยน้ำหนักคอนกรีต ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนที่ใช้ด้วย อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์จะอยู่ระหว่าง 0.38-0.52 เมื่อเรานำไปทำการเทเข้าแบบหล่อจะต้องทิ้งไว้นานกว่าปกติเพราะคอนกรีตมีการยึดเกาะกันต่ำ และไม่ค่อยใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่จำเป็นต้องใช้ก็จะต้องเคลือบเหล็กเสริมด้วยน้ำปูนให้หนาประมาณ 3มม. เพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะและป้องกันการเกิดสนิมในตัวเหล็กเสริม



รูปที่ 2.9 แผนผังการจำแนกประเภทของคอนกรีตเบา (Lightweight Concrete)

2.9 สรุปการผลิตคอนกรีตเบา

คอนกรีตเบาที่ทำขึ้นจากวัสดุผสมต่างๆ กันจะมีน้ำหนักต่างกัน ซึ่งอาจมีความหนาแน่นตั้งแต่ 300-1850 กก.ต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่ากำลังอัดตั้งแต่ 3-400กก.ต่อตารางเซนติเมตร กำลังต้านทานแรงอัดมีค่าขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของคอนกรีตที่ได้ ถ้ามีความหนาแน่นสูงกำลังต้านทานแรงอัดก็สูงด้วย ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ก็มีส่วนต่อกำลังความแข็งแรงของคอนกรีตเช่นกัน กล่าวคือ ถ้าต้องการกำลังอัด 210กก.ต่อตารางเซนติเมตร ก็ต้องใช้ปูนซีเมนต์ 235-400กก.ต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร หรือถ้าต้องการกำลังอัด 310 กก.ต่อตารางเซนติเมตร ก็ต้องใช้ปูนซีเมนต์ 330-490 กก.ต่อคอนกรีตหนึ่งลูกบาศก์เมตร

ความแตกต่างระหว่างคอนกรีตมวลเบาและคอนกรีตทั่วไปมีอยู่หลายประการ แต่ที่เห็นได้อย่างชัดเจนคือการเลือกใช้วัตถุดิบหลัก เช่น การใช้ทรายบดที่มีขนาดอนุภาคเล็กมากแทนการใช้มวลรวมหยาบ การใช้

ปูนสุกแทนบางส่วนของปูนซีเมนต์ การใช้สารเคมี (ผงอลูมิเนียม) ที่ทำปฏิกิริยาแล้วเกิดฟองอากาศขึ้นภายในเนื้อคอนกรีต เป็นต้น ซึ่งวัตถุดิบหลักที่ใช้ล้วนสนับสนุนให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา โดยความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบาที่ผลิตจากโรงงานอยู่ระหว่าง 400 –1,440 กก./ลบ.ม. ซึ่งขอบเขตของช่วงค่าความหนาแน่นจะขึ้นอยู่กับลักษณะการนำไปใช้งาน

ตารางที่2.3 ข้อดี – ข้อเสียของคอนกรีตเบา

ข้อดี	ข้อเสีย
1)น้ำหนักชิ้นส่วนของโครงสร้างลดลง	1)ต้องใช้ความใส่ใจในขั้นตอนการทำงานเป็นพิเศษ
2)แรงดันที่เกิดขึ้นกับไม้แบบลดลง	2)ราคาสูงกว่าคอนกรีตทั่วไป
3)น้ำหนักลดลงทำให้ประสิทธิภาพในการขนส่งเพิ่มขึ้น	3)มีการดูดซึมน้ำมากกว่าก่อให้เกิดการหดตัว (Drying Shrinkage)สูง
4)เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี	
5)ทำให้ฐานรากมีขนาดลดลงเนื่องจากน้ำหนักของโครงสร้างทั้งหมดลดลงด้วย	

2.10 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์เป็นผงผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ (หินปูน หรือปูนขาวกับดินเหนียว หรือดินดาน) จนรวมตัวผสมกันสุกพอดีมีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ แคลเซียมและอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวนี้ จะหมายถึงปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) ที่เมื่อผสมกับน้ำาตามส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้ เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์นั้น การทำปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) อัตราการก่อตัวและแข็งตัวตลอดจนปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นอยู่กับความละเอียดและส่วนประกอบของผงปูน ความแข็งแรงและความทนทานเมื่อแข็งตัวแล้ว ขึ้นอยู่กับสัดส่วนการผสมและการให้ความชื้นในขณะเริ่มแข็งตัว

สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ASTM C 150) และ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (ม.อ.ก.15) แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ออกเป็น 5 ประเภท คือ

ประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในงานก่อสร้างปกติทั่วไป
ประเภทสอง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง
ประเภทสาม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (High-early Strength Portland Cement) หรือที่เรียกว่า ซูเปอร์ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทนี้ ให้กำลังรับแรงสูงในระยะแรก เร็วกว่าปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง มีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา ผลิตโดยการเปลี่ยนสัดส่วนผสม โดยการเติมสารอื่น โดยการบดให้ ละเอียดยิ่งขึ้นหรือโดยการเผาให้ดีขึ้น มีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้งานเร็ว หรือรื้อแบบเร็ว
ประเภทสี่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-Heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุด อัตราการเกิดกำลังของคอนกรีตเป็นไปอย่างช้า ๆ
ประเภทห้า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate-Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดต้านทานซัลเฟตได้สูงกว่าปูนซีเมนต์ ประเภทอื่น ๆ

สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในการทำคอนกรีตมวลเบา ส่วนมากจะใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่หนึ่งในการผลิตเป็นคอนกรีตมวลเบา

2.11 หิน(Rock)

หิน(Rock) คือ อนินทรีย์สารที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ประกอบด้วยแร่ตั้งแต่หนึ่งชนิดขึ้นไป หินบางชนิดอาจมีแร่เด่นเพียงชนิดเดียวและมีแร่อื่นผสมอยู่บ้างในปริมาณน้อยมาก

การจำแนกประเภทของหิน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักๆ คือ

1) หินอัคนี
2) หินตะกอน
3) หินแปร

2.12 ทราย (Sand)

ทรายสำหรับงานก่อสร้างทางด้านงานโยธา หมายถึงวัสดุผสมละเอียด (Fine Aggregate) ที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มิลลิเมตร หรือสามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ทั้งนี้ต้องมีขนาดไม่เล็ก

กว่า 75 ไมโครเมตร หรือผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 200 วัสดุผสมที่เล็กกว่านี้เรียกว่าฝุ่น (Silt หรือ Clay)

ทรายเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ซึ่งมีทั้งทรายที่เกิดเองบนบก เรียกว่า ทรายบก เกิดจากหินทรายที่แตกแยกชำรุดออกมา เป็นเม็ดทรายตามสภาพภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม และฝังจมอยู่ในพื้นดินเป็นแห่งๆ หรือ ในบางกรณีเกิดจากการตกตะกอน ทับถมกันของลำน้ำเก่าที่แปรสภาพเป็นพื้นดินโดยมีซากพืช ซากสัตว์ทับถมที่ผิวหน้าซึ่งเราเรียกกันว่า หน้าดิน ที่มีความหนาประมาณ 2-10 เมตร ทรายที่เกิดจากทะเลทรายก็จัดเป็นทรายบกด้วย และทรายที่เกิดจากลำธาร แม่น้ำ เรียกว่า ทรายแม่น้ำ เกิดจากการกัดเซาะของกระแสน้ำแล้วค่อยๆตกตะกอน สะสมกลายเป็นแหล่งทรายอยู่ใต้ท้องน้ำโดยทรายที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก จะตกตะกอนอยู่บริเวณต้นน้ำ ส่วนทรายละเอียดนั้นก็จะถูกกระแสน้ำพัดพามารวมกันบริเวณท้ายน้ำ

2.12.1 การนำทรายไปใช้ในงานก่อสร้างทางด้านโยธาจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดทราย

ซึ่งจะแบ่งแยกตามงานได้ดังนี้

- ทรายละเอียดเม็ดเล็ก (ทรายอยุธยา) มีขนาด 0.5 – 1.5 มิลลิเมตร ใช้สำหรับงานปูนสอ ปูนฉาบ ปูนถือ
- ทรายเม็ดกลาง (ทรายอ่างทอง) มีขนาด 1.0 – 3.0 มิลลิเมตร ใช้สำหรับงานเทคอนกรีต ปูนก่อที่ต้องรับ แรงอัด ปูนฉาบผนังใต้ดิน พื้น คาน และงานคอนกรีตทั่วไป
- ทรายเม็ดใหญ่ (ทรายราชบุรี) มีขนาด 2.0 – 4.0 มิลลิเมตร ใช้สำหรับงานคอนกรีตเทพื้นฐานรากและงานที่ต้องการให้รับแรงอัดมากๆ

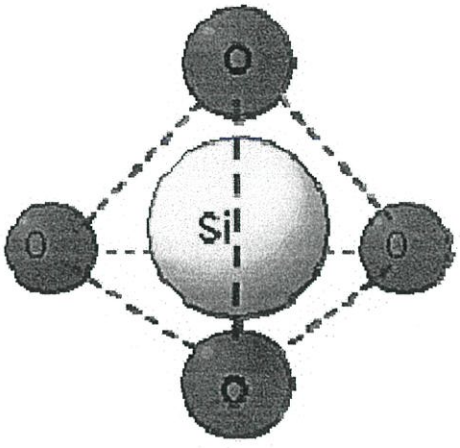
2.12.2 องค์ประกอบทางเคมีของทราย

องค์ประกอบหลักทางเคมีของทรายคือ ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ซึ่งมีปริมาณร้อยละมากกว่า 80 ของสารประกอบทั้งหมด (ตาราง 2.3) ซิลิกอนไดออกไซด์เป็นที่รู้จักกันในชื่อของ ซิลิกา (Silica) ผลึกของซิลิกาที่ความดันบรรยากาศปกติ (ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ 1 atm) มีได้ 3 รูปแบบคือ

1) ควอทซ์ (quartz) พบที่อุณหภูมิต่ำกว่า 870 องศาเซลเซียส

2) ไตรไดไมท์ (tridymite) พบที่อุณหภูมิระหว่าง 870 – 1470 องศาเซลเซียส

3) คริสโตบาไลท์ (cristobalite) พบที่อุณหภูมิระหว่าง 1470 – 1710 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของซิลิกา

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบทางเคมีของทราย

ประเภทของสารประกอบ	ร้อยละโดยประมาณของส่วนประกอบ	โครงสร้างทางเคมีของซิลิกา	ร้อยละโดยประมาณของส่วนประกอบ
SiO_2	85.93	TiO_2	0.18
Al_2O_3	7.70	MgO	0.10
K_2O	3.82	MnO	0.04
Fe_2O_3	0.63	P_2O_5	0.01
CaO	0.31	H_2O	0.20
Na_2O	0.30	Other	0.58

บทที่ 3

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตและอุปกรณ์

3.1 ขอบเขต

วิธีและหลักการคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีตที่จะได้กล่าวถึงต่อไปนี้ ใช้กับคอนกรีตปกติทั่วไปที่ใช้ในโครงสร้างอาคาร และใช้สำหรับกำหนดให้คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานได้เหมาะสมกับสภาพของการเท หรือหล่อในที่ (Cast in place construction)

อย่างไรก็ตาม ถือว่าเป็นเพียงการประมาณอัตราส่วนในชั้นแรกเท่านั้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบผลของอัตราส่วนนี้ จากห้องทดลองปฏิบัติการหรือในสนาม และ มีการปรับปรุงตามความจำเป็น และเหมาะสมกับคุณสมบัติของคอนกรีตตามต้องการ

3.2 กล่าวนำ

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าคอนกรีตนั้น คือ วัสดุผสมซึ่งมีวัสดุที่เป็นหลักอยู่ 2 ชนิด คือซีเมนต์มวลรวมคละ (หยาบและละเอียด) และ น้ำ นอกจากนี้ยังอาจมีสิ่งอื่นเพิ่มเติมเข้ามาอีก แล้วแต่ความต้องการ

สำหรับการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสมนั้น มีข้อควรคำนึงอยู่ 2 ข้อ ที่มีความสำคัญเท่าๆกัน ข้อแรก คือ การประหยัดวัสดุที่สมเหตุสมผล อีกข้อหนึ่งคือความต้องการในความสามารถที่จะรับแรง ความสามารถในการทำงาน ตลอดจนความคงทน เป็นต้น

3.3 ความสัมพันธ์ขั้นมูลฐาน

จากที่ได้กล่าวนำไปแล้วว่าการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีตให้เหมาะสมนั้น ข้อที่ควรคำนึงอีกประการหนึ่งนอกจากการประหยัดแล้วก็คือ ความสามารถในการทำงาน กำลัง ความคงทน สิ่งต่างๆเหล่านี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน พอจะสรุปได้ย่อยๆดังนี้

ความสามารถในการทำงาน (Workability) คำนี้เหมือนจะทำให้คำจำกัดความลงไปอย่างแน่ชัดไม่ได้ โดยทั่วไป เราจะมุ่งถึงคอนกรีตที่สามารถจะทำได้ง่ายสำหรับการผสม การขนส่ง การเทลงไปในแบบหล่อ การอัดแน่น การตกแต่ง ตลอดจนความแข็งแรงของคอนกรีต

ความข้นเหนียว (Consistency) กล่าวง่ายๆ ก็คือ ความเหลวหรือความเปียกของคอนกรีตสดนั้นเอง ความเหลวหรือความเปียกนี้สามารถตรวจสอบได้จากการยุบตัว (slump) คอนกรีตที่มีความยุบตัวสูงก็จะมีคามเหลวมาก ความเหลวในที่นี้ไม่เกี่ยวกับคุณสมบัติความสามารถในการทำงานของคอนกรีต ในการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีต ปริมาณน้ำที่จะใช้เป็นสิ่งสำคัญซึ่งขึ้นอยู่กับแฟคเตอร์หลายประการ

ความคงทน (Durability) คอนกรีตที่ดีจะต้องมีความสามารถในการคงทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ในขณะที่อยู่ในกำลังใช้งาน อาจจะเป็นอากาศหนาวจัดร้อนจัด ฝนตกหรือแดดออกหรือผลจากสารเคมี ซึ่งสิ่งต่างๆ เหล่านี้ควรมีการใช้สารผสมเพิ่ม เพื่อให้คอนกรีตเกิดความคงทนภายใต้สภาวะดังกล่าว ให้กำหนดค่า water-cement ratio ต่ำๆ อาจมีส่วนช่วยยืดอายุคอนกรีตให้คงทนได้มากขึ้น

ความหนาแน่น (Density) คอนกรีตบางชนิดอาจมีความจำเป็นที่ต้องใช้คุณสมบัติจากน้ำหนักของตัวมันเอง ดังนั้น การเลือกใช้วัสดุหรือความหนาแน่นก็ควรจะให้เป็นไปตามต้องการ

3.4 ข้อมูลพื้นฐาน

ในขั้นตอนการคำนวณอัตราส่วนผสมคอนกรีต จำเป็นต้องทราบข้อมูลพื้นฐานบางอย่าง จากวัสดุที่จะนำมาเป็นส่วนผสม ดังต่อไปนี้

1. วิเคราะห์มวลรวมหยาบและละเอียดด้วยตะแกรง
2. ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบ
3. ค่า Bulk specific gravities และค่าดูดซึมขอมวลรวมคละ
4. ปริมาณน้ำที่ต้องการใช้สำหรับการผสมคอนกรีต
5. ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงกับอัตราส่วนน้ำกับซีเมนต์

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลดังกล่าวอาจกำหนดได้จากตารางคำนวณเช่นข้อมูลที่ 4 และ 5 อาจดูได้จากตารางที่จะกำหนดไว้ให้ หรือข้อมูลที่ 3 อาจไม่จำเป็นต้องทราบเลยก็สามารถจะหาอัตราส่วนผสมของคอนกรีตได้เช่นกัน

3.5 ขั้นตอนการคำนวณ

ขั้นตอนสำหรับการเลือกอัตราส่วนผสมคอนกรีต ในที่นี้ควรกระทำไปตามลำดับขั้นตอนที่กำหนด สิ่งแรกก็คือ ความต้องการหรือคุณสมบัติต่างๆของวัสดุที่จะใช้ ซึ่งมีดังนี้

1. อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุด
2. ปริมาณซีเมนต์น้อยสุด
3. ปริมาณอากาศ
4. ค่ายุบตัว
5. ขนาดโตสุดของมวลรวมคละ
6. กำลังคอนกรีต
7. อาจมีความต้องการอื่นๆ อีกนอกเหนือจากการคำนวณ เช่น สารผสมเพิ่มและ ซีเมนต์ชนิดพิเศษ เหล่านี้เป็นต้น

ข้อมูลสำหรับความจำเป็นเบื้องต้นเหล่านี้ มีหลักและวิธีการปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดค่ายุบตัว : หากค่ายุบตัวไม่ได้มีกำหนดไว้ให้ในความต้องการของงาน อาจใช้ตามตารางที่ 1 ช่วยในการกำหนดได้ ค่ายุบตัวต่างๆ ที่คอนกรีตแน่น และ เป็นส่วนผสมที่มีความข้นเหนียวเหมาะแก่สภาพงานอย่างยิ่ง

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดขนาดโตสุดของมวลรวม : มวลรวมคละที่มีขนาดเรียงประกอบ ด้วยขนาดใหญ่ที่มีจำนวนมาก ย่อมจะเกิดช่องว่างน้อยกว่ามวลรวมคละที่มีขนาดใหญ่ต้องการเนื้อปูน หรือมอร์ต้าน้อยกว่า อย่างไรก็ตาม มีข้อกำหนดไว้ว่าขนาดของมวลรวมใหญ่สุดไม่ควรเกิน 1/5 เท่า ของขนาดโครงสร้างที่แคบที่สุด หรือ 1/3 เท่าของความหนาแน่นพื้น หรือ 3/4 เท่าของระยะต่ำสุดของเหล็กเสริมที่อยู่ในแนวเดียวกัน

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดปริมาณน้ำผสมและปริมาณอากาศ : ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ในหนึ่งหน่วยปริมาตรที่จะทำให้เกิดค่ายุบตัวตามกำหนดในขั้นตอนแรกนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดโตสุดขอรูปทรงและขนาดเรียงของมวลรวมคละ และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปริมาณฟองอากาศอีกด้วย ในตารางที่ 2 เป็นตารางที่ช่วยในการประมาณการของจำนวนน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต สำหรับมวลรวมคละขนาด ต่างๆ

ทั้งเป็นคอนกรีตธรรมดาและคอนกรีตกักฟองอากาศ เนื่องจากขนาดและรูปร่างของมวลรวมที่ อาจวัดได้ไม่แน่นอน อาจทำให้ค่าในตารางที่ให้ไว้ผิดพลาดไปบ้างเล็กน้อย แต่คิดว่าจะยังคงถูกต้องเพียงพอ

ขั้นตอนที่ 4 การเลือกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (WCR) : ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต้องการผสมคอนกรีตนั้น มิใช่เพียงเพื่อให้คอนกรีตเกิดกำลังตามความต้องการเท่านั้น แต่ยังเพื่อช่วยให้เกิด ความคงทน และสามารถที่จะตกแต่งได้ด้วย จะเห็นได้ว่าค่า WCR เดียวกันจะทำให้คอนกรีตมีกำลังแตกต่างกันได้ ถ้าใช้มวลรวมคละหรือประเภทของซีเมนต์ที่แตกต่างกัน สิ่งเหล่านี้ที่ควรได้ก่อให้เกิดความปรับปรุงหรือแก้ไขค่า WCR ให้สอดคล้องกันกับวัสดุที่นำมาใช้งานจริงๆ สำหรับงานคอนกรีตต่างๆ คิดจากคอนกรีตที่ได้รับการบ่มอย่างดีในห้องปฏิบัติการครบ 28 วัน ซึ่งจากข้อความนี้ แน่นอนเมื่อต้องการจะเลือกใช้ค่า WCR ในการทำงานจริง ควรเลือกใช้ค่า WCR ของกำลังคอนกรีตที่สูงกว่าต้องการไว้บ้าง ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ค่ากำลังเฉลี่ยในงานจริงต่ำกว่ากำหนดสำหรับในสภาวะที่ทารุณเหลือหลาย (Severe condition) ค่า WCR ควรจะยิ่งต่ำขึ้น เพื่อที่จะทำให้กำลังของคอนกรีตได้ตามต้องการ ซึ่งถ้าเป็นสภาวะเช่นนี้ให้ดูตารางที่ 3 (ข)

ตารางที่ 3.1 ค่ายุบตัวสำหรับงานประเภทต่างๆ

ประเภทงาน	ค่ายุบตัว	
	สูงสุด	ต่ำสุด
ฐานราก ค.ส.ล.	5	2
ฐานรากคอนกรีตล้วน,เคซองและผนังกั้น	6	2
คานและกำแพง ค.ส.ล.	10	2
เสา ค.ส.ล.	10	2
แผ่นพื้นและถนน	6	2
คอนกรีตขนาดใหญ่	6	2

- อาจเพิ่มค่ายุบตัวได้อีก 3 ซ.ม. หากใช้กรรมวิธีอื่นทำให้คอนกรีตแน่น นอกจากวิธีตามปกติ

ตารางที่ 3.2 ปริมาณน้ำผสมคอนกรีต

ค่ายุบตัวของคอนกรีต ซ.ม.	ปริมาณน้ำ,กก/ม^3 สำหรับคอนกรีตที่มีมวลรวมคละขนาดโตสุดเป็น มม.							
	10	12.5	20	25	40	50	70	150
คอนกรีตธรรมดา								
3 ถึง 5	205	200	185	180	150	155	145	125
8 ถึง 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 ถึง 18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณอากาศที่เกิดใน คอนกรีตธรรมดา, %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ								
3 ถึง 5	180	175	165	150	145	140	135	120
8 ถึง 10	200	190	180	175	160	153	150	135
15 ถึง 18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณอากาศที่เกิดใน คอนกรีตธรรมดา, %	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณปริมาณซีเมนต์: ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรนั้นขึ้นอยู่กับค่าที่ได้ในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ที่ผ่านมา โดยที่จำนวนซีเมนต์จะเท่ากับจำนวนน้ำที่ใช้ผสม (ขั้นตอนที่ 3) หารด้วยค่า WCR (ขั้นตอนที่4)

$$\text{ปริมาณซีเมนต์} = \frac{\text{จำนวนน้ำที่ใช้ผสม}}{\text{ค่า } \boldsymbol{WCR}}$$

ขั้นตอนที่ 6 การประเมินปริมาณมวลรวมหยาบ : ปริมาณมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตหาได้จากตารางที่ 4 คูณด้วยหน่วยน้ำหนักแห้ง (dry unit weight) ของมวลรวมซึ่งมีหน่วยเป็นกก. ต่อ ม^3 จะเห็นว่าสำหรับคอนกรีตที่มีความสามารถในการทำงานที่เท่ากันนั้น ปริมาณของมวลรวมหยาบขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวมหยาบและค่า finess modulus ของมวลรวมละเอียดเท่านั้น

ขั้นตอนที่ 7 การประมาณปริมาณมวลรวมละเอียด : การประมาณปริมาณมวลรวมละเอียดนั้นสามารกระทำได้สองวิธี คือ วิธีน้ำหนัก (the weight method) หรือ วิธีปริมาตร (the absolute volumn method)

วิธีน้ำหนัก (the weight method) นี้เริ่มจากน้ำหนักของคอนกรีตจะต้องถูกสมมติขึ้นก่อนโดยอาจประมาณเอาจากประสบการณ์ จากนั้นน้ำหนักของมวลรวมละเอียดที่ต้องการก็จะหาได้ง่าย จากการเอาน้ำหนักคอนกรีตสดหักออกจากน้ำหนักของคอนกรีตก็จะได้ค่าที่ใกล้เคียงขึ้น

ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระห่างกำลังคอนกรีตกับอัตราส่วนของน้ำ-ซีเมนต์

กำลังของคอนกรีตที่ 28 วัน กก/ซม^2	อัตราส่วนน้ำ-ซีเมนต์โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตธรรมดา	คอนกรีตกระจากฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.48
250	0.62	0.55
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

- กำลังของคอนกรีตคิดจากตัวอย่างทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 15x30 ซม. บ่มชื้นจนได้อายุ 28 วัน ที่ อุณหภูมิ 23+1.47 c ถ้าเทียบกับตัวอย่างลูกบาศก์ค่าจะสูงกว่าประมาณ20%

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนน้ำ-ซีเมนต์ที่ยอมให้สำหรับงานภายใต้สภาวะพิเศษ

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกชื้นตลอดเวลา หรือทนต่ออากาศหนาว	คอนกรีตสัมผัสน้ำทะเลหรือซัลเฟต
ชิ้นส่วนเล็กๆ อาทิ ราว, ขอบกั้น, บัว หรือ	0.45	0.40*
หน้าตัดที่มีระยะหุ้มต่ำกว่า 3 ซม. โครงสร้างทั่วไป	0.50	0.45*

- ควรใช้คอนกรีตชนิดสารกระจายฟองอากาศ

ตารางที่ 3.5 ปริมาตรของหินต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร

หินขนาดโตสุด มม.	ปริมาตรของหินต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของทรายที่มีค่าแห่งความละเอียดแตกต่างกัน			
	2.40	2.50	2.80	3.00
10	0.30	0.48	0.45	0.48
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.66	0.62	0.60
25	0.71	0.68	0.68	0.65
40	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.78	0.74	0.72
70	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.87	0.85	0.83	0.81

ค่าแห่งความละเอียดของทราย=ผลรวมของสัดส่วนสะสมที่ค้างบนตะแกรงขนาด 0.149,0.297,0.593,1.78,2.38 และ 4.76 มม.

ตารางที่ 3.6 น้ำหนักของคอนกรีตสด

ขนาดโตสุดของหินที่ใช้ มม.	น้ำหนักคอนกรีตสด,กก./ม^3	
	คอนกรีตธรรมดา	คอนกรีตกระจายฟองอากาศ
10	2285	2180
12.5	2318	2235
20	2355	2280
25	2375	2315
40	2420	2355
50	2445	2375
70	2485	2400
150	2506	2435

สำหรับน้ำหนักคอนกรีต ถ้าต้องการที่จะคำนวณให้ได้ค่าจริง จะหาได้จากสมการดังนี้

$$=10G_a\,(100-A) + C_m\,(1-G_a/G_c) - W_m(G_a-1)$$

U_M= น้ำหนักคอนกรีตสด, กก. /ม^3

G_a = ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของมวลรวมคละ (หยาบ+ละเอียด)

G_c = ความถ่วงจำเพาะของซีเมนต์ (ทั่วไปเท่ากับ 3.14)

A = ปริมาณอากาศ, %

W_m= ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับคอนกรีต

C_m= ปริมาณซีเมนต์, กก. / ม^3

3.5.1 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

จากข้อมูล

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

- ความถ่วงจำเพาะ 3.14

เม็ดพลาสติกรีไซเคิล(PP)

- หน่วยน้ำหนัก 900 กก. / ลบ.ม.

มวลรวมหยาบ(หิน)

- ขนาดโตสุด 10 มม.
- ความถ่วงจำเพาะ 2.70
- หน่วยน้ำหนักแห้ง 1600 กก. / ลบ.ม.

มวลรวมละเอียด(ทราย)

- ความถ่วงจำเพาะ 2.65

3.5.2 การคำนวณ

1) ออกแบบให้มีกำลังอัดที่ 28วัน เป็น 350 กก. / ตร.ม. ตารางที่3 (ก) จะได้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.48

2) ค่าการยุบตัว 2-6 ซม.

3) จากตารางที่ 2 เมื่อขนาดโตสุดเท่ากับ 10 มม. ค่าการยุบตัวเท่ากับ 2-6 ซม. จะได้ปริมาณน้ำที่ต้องใช้เท่ากับ 205 กก. / คอนกรีต 1 ลบ.ม.

4) สามารถหาปริมาณปูนซีเมนต์ได้เท่ากับ 205/0.48 = 427.083 กก.

5) จากตารางที่ 4 เมื่อขนาดโตสุดเท่ากับ 10 มม. ความถ่วงจำเพาะของหินเท่ากับ 2.70 ได้ปริมาตรมวลรวมหลวมเท่ากับ 0.45 ลบ.ม.

6) หน่วยน้ำหนักแห้งเท่ากับ 1600 กก. / ลบ.ม. จะได้น้ำหนักหินเท่ากับ 1600x0.45=720 กก.

7) จากขนาดโตสุดเท่ากับ 10 มม. จะได้น้ำหนักคอนกรีตสดเท่ากับ 2285 กก.

8) ดังนั้นจะได้น้ำหนักทรายเท่ากับ

= น้ำหนักคอนกรีตสด – (น้ำหนักน้ำ+น้ำหนักปูน+น้ำหนักหิน)

= 2285-(205+427.083+720)

= 932.917 กก.

หาปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด

ปริมาตรของน้ำ $\frac{205}{1000}$ = 0.205 ลบ.ม.

ปริมาตรซีเมนต์ $\frac{427.083}{3.14x1000}$ = 0.136 ลบ.ม.

ปริมาตรมวลรวมหยาบ $\frac{720}{2.7x1000}$ =0.2667 ลบ.ม.

ปริมาตรวัสดุทั้งหมดยกเว้นทราย 0.205+0.136+0.2667 = 0.6077 ลบ.ม.

ปริมาตรมวลรวมละเอียด 1-0.6077 = 0.3923 ลบ.ม.

วิธีคำนวณน้ำหนักหินและเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

จากปริมาตรของมวลรวมหยาบ = 0.2667 ลบ.ม.

ปริมาตรเม็ดพลาสติกรีไซเคิล = $\frac{Ax0.2667}{100}$ ลบ.ม.

น้ำหนักของเม็ดพลาสติกรีไซเคิล = $\frac{Ax0.2667x900}{100}$ กก.

ปริมาตรของมวลรวมหยาบ = $\frac{(100-A)x0.2667}{100}$ ลบ.ม.

น้ำหนักของมวลรวมหยาบ= $\frac{(100-A)x0.2667x2700}{100}$ กก.

น้ำหนักคอนกรีต= 205+427.085+932.917+หิน (กก.)+เม็ดพลาสติกรีไซเคิล (กก.)

ตารางที่ 3.7 แสดงปริมาณและน้ำหนักของเม็ดพลาสติกและหิน

	เปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกรีไซเคิล(%)					
	0	20	40	50	60	80
ปริมาตรเม็ดพลาสติกรีไซเคิล (m^3)	0	0.05334	0.10668	0.13335	0.16	0.213
น้ำหนักของเม็ดพลาสติกรีไซเคิล(kg)	0	48.006	96.012	120.015	144.018	192.024
ปริมาตรหิน(m^3)	0.2667	0.21336	0.16002	0.13335	0.10668	0.05334
น้ำหนักหิน(kg)	720.09	576.072	432.054	360.045	288.036	144.018
น้ำหนักคอนกรีต(kg)	2285.09	2189.07	2093.07	2045.06	1997.05	1901.04

**หมายเหตุ A คือ เปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกรีไซเคิล

3.6 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.6.1 วัสดุ

1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

2) หิน

3) ทราย

4) น้ำ

5) เม็ดพลาสติกรีไซเคิล

3.6.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องผสมคอนกรีต

2) ถังน้ำ

3) ช้อนตักคอนกรีต

4) เกรียง

5) เหล็กกระทุ้ง

6) ถาด

7) แบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม.

8) แบบหล่อแท่งคาน ขนาด 15x20 ซม. ยาว 60 ซม.

9) อุปกรณ์ทดสอบการยุบตัว

10) เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal testing machine)

11) ตู้อบ

12) เครื่องชั่งน้ำหนัก

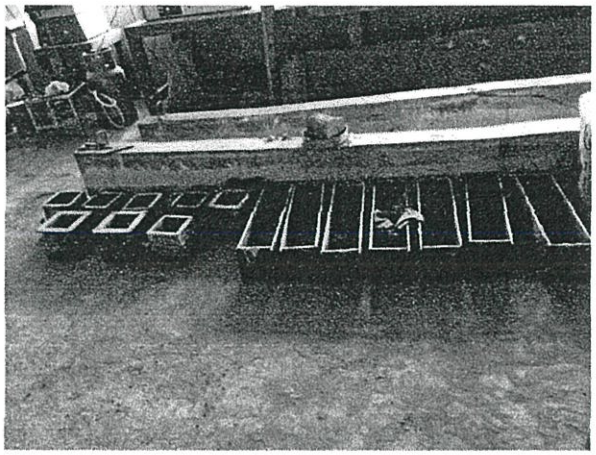
3.7 ขั้นตอนการทดลอง

เมื่อเราได้ทำการออกแบบส่วนผสมเอาไว้แล้วหลังจากนั้นจะมีขั้นตอนต่างๆดังนี้

ก) การเตรียมแบบหล่อ

1) ทำความสะอาดแบบอย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเกาะติดอยู่ ทาน้ำมันด้านผิวใน

2) ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้สมบูรณ์ แล้วทำการประกอบแบบให้สนิท



รูปที่ 3.1 แบบหล่อ

ข) การผสมคอนกรีต

1) เติมน้ำประมาณ 10% ลงในโม้ผสมเสียก่อน

2) ป้อนมวลรวม อันได้แก่หิน ทรายและเม็ดพลาสติก เข้าเครื่องผสม

3) เริ่มเติมปูนซีเมนต์หลังจากป้อนมวลรวมเข้าไปแล้ว 10%

4) เติมน้ำ 80%ระหว่างการป้อนวัสดุอื่น ๆ และเติมน้ำ 10%สุดท้ายเมื่อป้อนวัสดุอื่นๆ ทั้งหมดเข้าเครื่องแล้ว

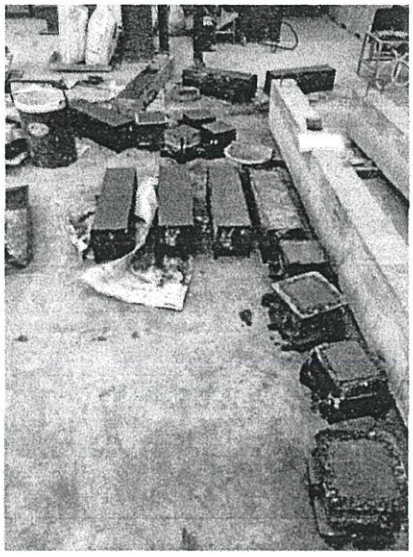
5) หากมีการใส่น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทผงควรผสมรวมกับปูนซีเมนต์ก่อน หากเป็น

6) ของเหลวควรละลายน้ำยาผสมกับน้ำ

ค) การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

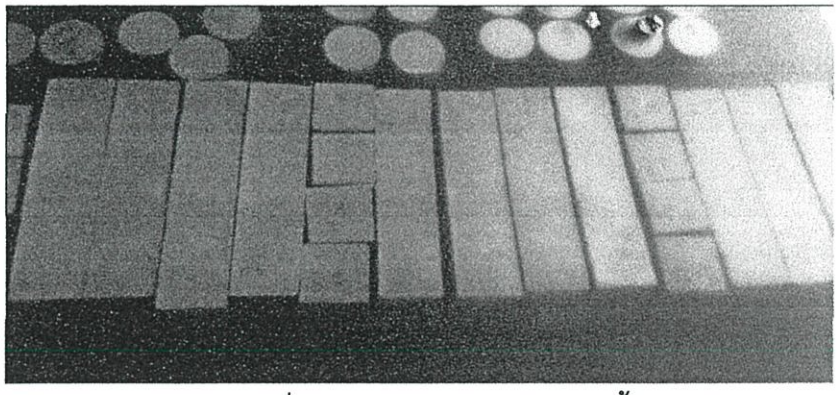
1) สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกใช้คอนกรีตที่อยู่ตรงกลางของเครื่องผสม

2) เทคอนกรีตลงในแบบประมาณให้ได้ความสูง 1ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระทุ้ง 25 ครั้ง แล้วอีกสองชั้นที่เหลือก็ทำแบบเดียวกัน เมื่อคอนกรีตเต็มให้ปาดหน้าให้เรียบ



รูปที่ 3.2 เทคอนกรีตลงในแบบหล่อ

1) เมื่อบรรจุคอนกรีตเรียบร้อยให้ทิ้งไว้ในที่ร่ม 24 ชั่วโมง แล้วจึงถอดออกจากแบบ นำลงไปบ่มไว้ เป็นเวลา 14,28 วัน แล้ว



รูปที่ 3.3 บ่มคอนกรีตโดยการแช่น้ำ

2) จึงนำขึ้นไปทดสอบ

บทที่ 4

การทดสอบ

โครงงานนี้ ศึกษากำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดัด และความชื้นของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบทางกลศาสตร์

4.1.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัด (Test for Compressive Strenght of Cylindrical Concrete Specimen) ASTM : C 39-72

วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุต่างๆกัน โดยการใส่แรงอัดโดยตรงกับแบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกตามมาตรฐาน ASTM

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. แท่งคอนกรีตสำหรับทดสอบรูปทรงกระบอก
2. เครื่องมือทดสอบกำลังอัด (Universal Testing Machine)
3. แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอก ทำด้วยโลหะที่ซีเมนต์ไม่เกาะติด มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6"และ สูง 12"
4. เครื่องชั่งขนาดใหญ่
5. เครื่องมือวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง
6. เครื่องหล่อหมวก (capped) หัวท้ายของแท่งคอนกรีตตัวอย่าง

ขั้นตอนการทดลอง

ก) การเตรียมความสะอาดของแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนติดอยู่ ทาน้ำมันผิวในที่คอนกรีตจะสัมผัสแบบให้ทั่ว

1. ทำความสะอาดแบบ อย่าให้มีฝุ่นหรือเศษปูนเก่าติด ทาน้ำมันผิวด้านในที่คอนกรีต จะสัมผัส แบบให้ทั่ว

2. ตรวจสอบสกรูสำหรับรัดแบบทุกตัวให้อยู่ในสภาพสมบูรณ์ ด้วยการประกอบแบบแล้วขัน หรือรัดให้แน่น ทั้งนี้เป็นการป้องกันไม่ให้เกิดรอยแยกหรือแบบหลุด ขณะเทคอนกรีต หรือกระทุ้งเพื่อให้คอนกรีตแน่น

ข) การเตรียมตัวอย่างคอนกรีต

1. สำหรับคอนกรีตที่ใช้เครื่องผสม พยายามเลือกเอาคอนกรีตที่อยู่ตอนกลางเทออกมาจากเครื่องผสมใหม่ๆ

2. เทคอนกรีตดังกล่าวลงในแบบส่วนหนึ่ง ประมาณให้ได้ความสูง 1 ใน 3 ของแบบ และใช้เหล็กกระทุ้งให้ทั้ง25 ครั้ง จากนั้นกระทำเช่นเดียวกันอีก 2 ชั้น เมื่อ คอนกรีตเต็มแบบแล้ว จึงปาดผิวหน้าให้เรียบ

3. ทิ้งแบบที่บรรจุคอนกรีตเรียบร้อยแล้วไว้ในร่มเฉยๆ ประมาณ 24 ชม. จึงถอดแบบออกนำแท่งคอนกรีตไปบ่มโดยแช่ในถังบ่มจนถึงอายุที่ต้องการ ทดสอบตัวอย่างคอนกรีตที่นำมา ทดสอบ 1 ชุด ควรมีอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

ค) การทดสอบกำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของแท่งคอนกรีตให้ทดสอบโดยเร็วที่สุด หลังจากนำขึ้นจากน้ำเมื่อครบอายุ ก่อนการทดสอบควรตรวจสอบระนาบหัวท้ายของแท่งคอนกรีตว่าแบบราบหรือไม่ ระนาบดัง กล่าวไม่ควรเอียงมากกว่า 0.5% (หรือประมาณ 3 มม.) หากไม่อยู่ภายในขอบเขตดังกล่าวให้ทำ การหล่อหมวกหัวท้ายเสียก่อน โดยปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM C 617-84

ง) การคำนวณ

ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีต จะหาได้จากสูตร

$$f_c = \frac{P}{A}$$

โดย f_c = กำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีต,กก/ซม^2

P = แรงกระทำสูงสุดต่อแท่งตัวอย่าง,กก.

A = พื้นที่หน้าตัดของแท่งตัวอย่างที่วัดตั้งฉากกับแรงกระทำ = $\pi D^2/4$,ซม.^{2}

รูปที่ 4.1 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อค

รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างคอนกรีตบล็อค หลังทดสอบกำลังรับแรงอัด

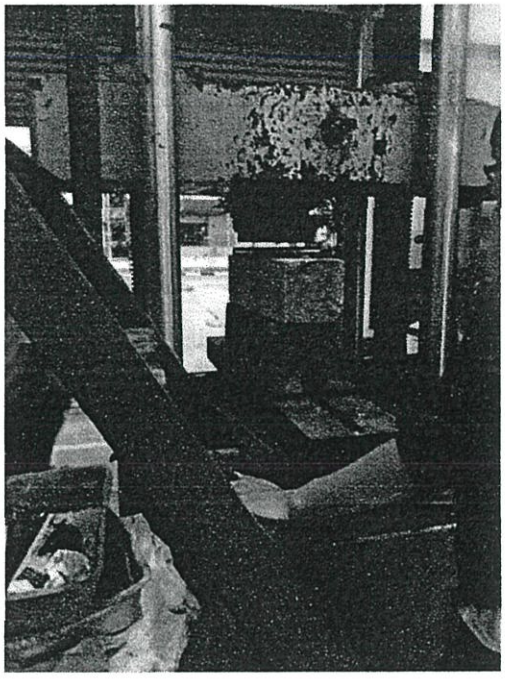
4.1.2 การทดสอบกำลังแรงดัด (Test for flexural strength of concrete using simple beam with third-point loading) ASTM: C 78-94

วัตถุประสงค์

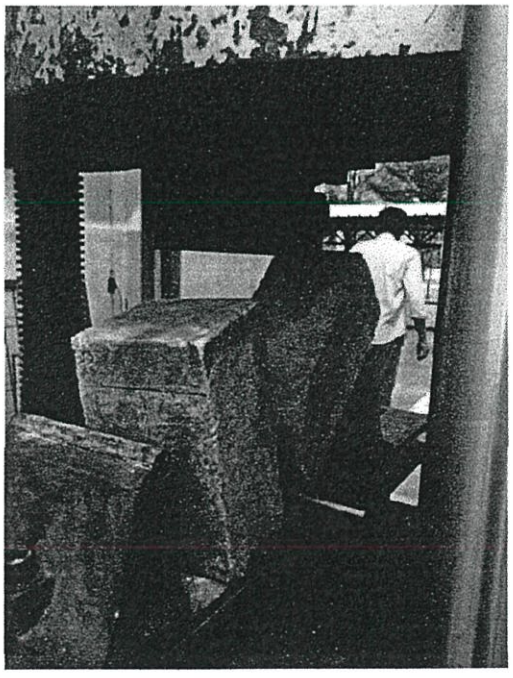
คือ เพื่อทดสอบกำลังดัดของคอนกรีต สำหรับหาค่าโมดูลัสการแตกร้าว ซึ่งเป็นอีก วิธีหนึ่งของการหากำลังดึงของคอนกรีตโดยอ้อม

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1-7 เช่นเดียวกันกับการทดสอบหากำลังอัดคอนกรีต



รูปที่ 4.3 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงดัด ด้วยเครื่อง UTM



รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างคานคอนกรีต หลังทดสอบกำลังรับแรงดัด

4.2 การทดสอบทางกายภาพ

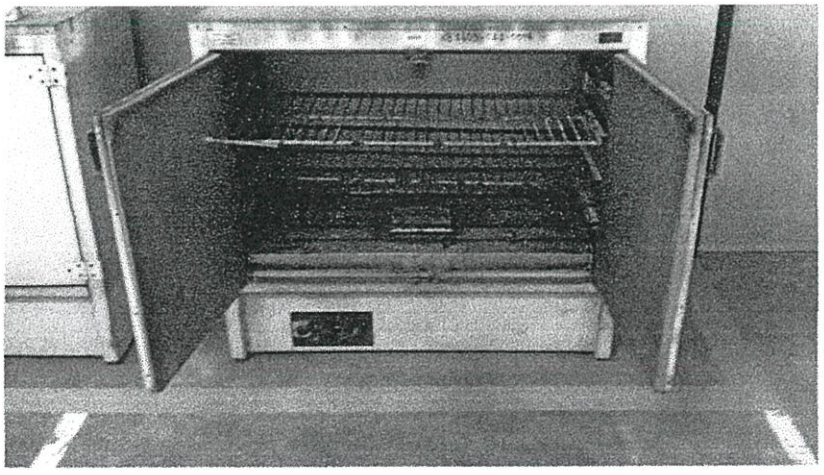
4.2.1 การทดสอบหาปริมาณความชื้นในมวลรวม(Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying) ASTM : C 566-89

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอัตราของความชื้นทั้งห ดที่อยู่ในมวลรวม โดยการทำให้มวลรวมแห้งด้วยการเผา ซึ่งจะทำให้ได้น้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมสำหรับชั่งผสมคอนกรีต

วัสดุและอุปกรณ์การทดสอบ

1. มวลรวม ใช้ประมาณ 2-6 กก. สำหรับมวลรวมหยาบ และ ประมาณ 0.5-1.5 กก. สำหรับมวลรวมละเอียด
2. ตาชั่งที่วัดละเอียดถึง 0.1%
3. ตู้อบ
4. ภาชนะบรรจุตัวอย่าง เช่น ปี๊บ
5. แท่งเหล็กสำหรับคนมวลรวม



รูปที่ 4.5 ตู้อบ

ขั้นตอนการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักที่แท้จริงของมวลรวมชื้นที่นำมาทดสอบ แล้วเทลงในภาชนะบรรจุ นำไปใส่หรือวางบนเตาเผาที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้สม่ำเสมอ ใช้แท่งเหล็กคนมวลรวมเป็นระยะๆ เพื่อให้มวลรวมทุกก้อนได้รับความร้อนทั่วถึง

2. เมื่อมวลรวมแห้งสนิทดีแล้วให้นำไปชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

3. ปริมาณความชื้นที่อยู่ในมวลรวมหาได้จากสูตร

$$P = 100(W-D) / D$$

โดยที่ P = ปริมาณความชื้น, % W= น้ำหนักมวลรวมก่อนเผา D= น้ำหนักมวลรวมแห้งหลังเผา

ตารางที่ 4.1 แสดงปริมาณความชื้นของทราย

สภาพของมวลรวม	ปริมาณความชื้น,%
กรวดหรือหินชื้น	1.5-2
ทรายเปียกมาก	5-8
ทรายเปียกธรรมดา	2-4
ทรายชื้น	0.5-2

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 0%

Specimen	Dimension		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load(kg)	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High					
1	0.02325	0.151	7.887	2246.53	14	69810	300.258
2	0.02325	0.15	8.005	2295.34	14	87485	376.280
3	0.02235	0.149	7.873	2364.16	14	76523	329.131
Average	0.02295	0.15	7.922	2302.01	14	77939	335.223

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 0% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 20%

Specimen	Dimension		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load(kg)	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High					
1	0.0231	0.148	7.68	2246.4	14	53366	231.02
2	0.0234	0.152	7.626	2144.06	14	56992	243.556
3	0.02295	0.151	7.511	2167.4	14	58267	253.887
Average	0.02315	0.151	7.606	2185.95	14	56208	242.821

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 20% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 40%

Specimen	Dimension		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load(kg)	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High					
1	0.0228	0.151	7.584	2202.86	14	49951	219.083
2	0.0234	0.15	7.127	2030.48	14	55836	238.615
3	0.0223	0.151	7.325	2175.33	14	53221	238.659
Average	0.0228	0.151	7.345	2136.22	14	53003	232.119

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 40 % ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 50%

Specimen	Dimension		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load(kg)	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High					
1	0.02325	0.151	7.112	2025.78	14	49192	211.578
2	0.02434	0.151	7.235	1968.53	14	51982	213.566
3	0.0225	0.148	7.102	2132.73	14	51234	227.707
Average	0.02336	0.15	7.15	2042.35	14	50803	217.617

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 60%

Specimen	Dimension		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load(kg)	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High					
1	0.02295	0.152	6.785	1945.02	14	45174	196.836
2	0.0231	0.151	7.011	2009.98	14	47193	204.299
3	0.0228	0.151	6.565	1906.88	14	43495	190.768
Average	0.02295	0.151	6.787	1953.96	14	45287	197.531

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 60% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 80%

Specimen	Dimension		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load(kg)	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High					
1	0.0222	0.151	6.541	1951.26	14	41541	187.122
2	0.0225	0.151	6.477	1906.40	14	46028	204.569
3	0.0231	0.148	6.378	1865.57	14	44321	191.866
Average	0.0226	0.150	6.465	1907.74	14	43963	194.519

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 80% ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 0%

Specimen	Dimension		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load(kg)	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High					
1	0.0225	0.149	7.946	2370.17	28	91256	405.582
2	0.0227	0.151	7.968	2324.59	28	90220	397.445
3	0.0227	0.153	7.998	2302.84	28	90843	400.189
Average	0.0226	0.151	7.971	2332.53	28	90773	401.072

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 0% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 20%

Specimen	Dimension		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load(kg)	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High					
1	0.0228	0.149	7.622	2243.61	28	69935	306.732
2	0.0227	0.152	7.584	2198.01	28	71491	314.938
3	0.023	0.15	7.468	2164.64	28	70675	307.283
Average	0.0228	0.15	7.558	2202.09	28	70700	309.651

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 20% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 40%

Specimen	Dimension		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load(kg)	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High					
1	0.0233	0.15	7.266	2078.97	28	70474	302.464
2	0.0233	0.151	7.308	2077.14	28	65888	282.781
3	0.0228	0.151	7.276	2113.40	28	68163	298.961
Average	0.0231	0.151	7.283	2089.84	28	68175	294.735

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 40% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 50%

Specimen	Dimension		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load(kg)	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High					
1	0.023	0.149	7.136	2082.29	28	62561	272.004
2	0.0228	0.151	7.064	2051.82	28	64319	282.101
3	0.023	0.152	7.012	2005.72	28	63982	278.183
Average	0.023	0.151	7.071	2046.61	28	63621	277.429

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 60%

Specimen	Dimension		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load(kg)	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High					
1	0.0224	0.15	6.91	2056.548	28	55947	249.763
2	0.0228	0.149	6.91	2034.028	28	53361	234.039
3	0.023	0.151	6.942	1998.848	28	57066	248.113
Average	0.0227	0.15	6.921	2029.808	28	55458	243.972

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 60% ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Concrete compressive strength test

Type of Sample : Cubic

Percent of Recycle Plastic : 80%

Specimen	Dimension		Weight	Unit Weight	Day	Ultimate load(kg)	Compressive strength (kg/cm^2)
	Area	High					
1	0.023	0.149	6.432	1876.86	28	48251	209.787
2	0.023	0.15	6.465	1873.913	28	50327	218.813
3	0.0228	0.152	6.389	1843.548	28	49613	217.601
Average	0.0229	0.15	6.429	1864.774	28	49397	215.4

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 80 % ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Flexural strength of concrete test

Type of Sample : beam

Percent of Recycle Plastic : 0%

Specimen No.	Cross-section (cmxcm)	Length (cm)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kg)	Modulus of rupture (ksc)
1	15.1x15.2	60.1	31.4	14	2323.7	60.05
2	14.9x14.9	60.2	30.6	14	2159.6	58.95
3	15.0x15.2	60.1	31.1	14	2286.1	59.47
Average	15.00x15.10	60.13	31.03	14	2256.47	59.49

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 0 % ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Flexural strength of concrete test

Type of Sample : beam

Percent of Recycle Plastic : 20%

Specimen No.	Cross-section (cmxcm)	Length (cm)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kg)	Modulus of rupture (ksc)
1	15.0x15.4	60.1	30.8	14	2142.1	54.28
2	15.2x15.4	59.9	29.8	14	2255.2	56.21
3	15.2x15.2	61.0	31.4	14	2159.6	56.27
Average	15.13x15.33	60.33	30.67	14	2185.63	55.59

ตารางที่ 4.15 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 20 % ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Flexural strength of concrete test

Type of Sample : beam

Percent of Recycle Plastic : 40%

Specimen No.	Cross-section (cmxcm)	Length (cm)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kg)	Modulus of rupture (ksc)
1	14.8x14.9	60.1	28.8	14	1823.9	49.06
2	15.3x14.8	60.0	28.7	14	1812.8	48.68
3	15.1x15.2	60.3	29.1	14	1837.4	47.64
Average	15.07x14.97	60.13	28.87	14	1824.70	48.46

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 40 % ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Flexural strength of concrete test

Type of Sample : beam

Percent of Recycle Plastic : 50%

Specimen No.	Cross-section (cmxcm)	Length (cm)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kg)	Modulus of rupture (ksc)
1	15.2x15.0	60.1	27.4	14	1802.2	45.66
2	15.2x15.3	59.9	28.3	14	1736.9	43.86
3	15.0x15.1	59.8	27.7	14	1754.3	46.01
Average	15.13x15.13	59.93	27.80	14	1764.47	45.18

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50 % ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Flexural strength of concrete test

Type of Sample : beam

Percent of Recycle Plastic : 60%

Specimen No.	Cross-section (cmxcm)	Length (cm)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kg)	Modulus of rupture (ksc)
1	15.2x15.2	60.0	27.5	14	2084.2	53.41
2	15.1x15.3	60.0	27.6	14	1974.3	50.27
3	15.0x15.2	60.2	27.2	14	2016.7	52.55
Average	15.10x15.23	60.07	27.43	14	2025.07	52.08

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 60 % ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Flexural strength of concrete test

Type of Sample : beam

Percent of Recycle Plastic : 80%

Specimen No.	Cross-section (cmxcm)	Length (cm)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kg)	Modulus of rupture (ksc)
1	15.1x15.2	60.0	26.0	14	1946.5	50.21
2	15.0x15.2	60.2	26.1	14	1799.1	46.88
3	15.1x15.1	60.1	26.3	14	1923.7	50.37
Average	15.07x15.17	60.1	26.13	14	1889.77	49.13

ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 80 % ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Flexural strength of concrete test

Type of Sample : beam

Percent of Recycle Plastic : 0%

Specimen No.	Cross-section (cmxcm)	Length (cm)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kg)	Modulus of rupture (ksc)
1	15.0x14.9	59.8	31.2	14	3456.9	93.11
2	15.1x14.8	59.9	31.6	14	2928.4	79.55
3	15.1x15.2	60.1	31.4	14	3101.5	80.14
Average	15.07x14.97	59.93	31.4	14	3162.27	84.27

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 0 % ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Flexural strength of concrete test

Type of Sample : beam

Percent of Recycle Plastic : 20%

Specimen No.	Cross-section (cmxcm)	Length (cm)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kg)	Modulus of rupture (ksc)
1	15.1x15.2	59.8	30.0	14	2369.3	60.92
2	15.3x14.9	59.8	29.4	14	2210.7	58.38
3	15.0x15.2	60.1	30.6	14	2268.4	59.01
Average	15.13x15.10	59.9	30.0	14	2282.8	59.44

ตารางที่ 4.21 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 20 % ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Flexural strength of concrete test

Type of Sample : beam

Percent of Recycle Plastic : 40%

Specimen No.	Cross-section (cmxcm)	Length (cm)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kg)	Modulus of rupture (ksc)
1	15.3x15.2	60.2	29.7	14	2145.2	54.80
2	14.9x15.3	60.1	28.9	14	2078.4	53.72
3	15.1x15.2	59.9	28.4	14	2207.4	56.85
Average	15.10x15.23	60.67	29.00	14	2143.67	55.12

ตารางที่ 4.22 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 40 % ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Flexural strength of concrete test

Type of Sample : beam

Percent of Recycle Plastic : 50%

Specimen No.	Cross-section (cmxcm)	Length (cm)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kg)	Modulus of rupture (ksc)
1	15.4x14.9	62.1	28.6	14	2247.3	61.23
2	15.1x15.2	60.1	28.1	14	2183.7	56.43
3	15.1x15.0	59.8	28.8	14	1988.1	52.49
Average	15.20x15.03	60.67	28.50	14	2139.70	56.72

ตารางที่ 4.23 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50 % ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Flexural strength of concrete test

Type of Sample : beam

Percent of Recycle Plastic : 60%

Specimen No.	Cross-section (cmxcm)	Length (cm)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kg)	Modulus of rupture (ksc)
1	15.3x15.0	60.0	27.8	14	2305.2	60.27
2	15.2x15.1	60.3	28.6	14	1866.3	48.71
3	15.0x15.3	60.2	27.9	14	2015.6	51.83
Average	15.17x15.13	60.17	28.10	14	2062.37	53.60

ตารางที่ 4.24 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 60 % ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Flexural strength of concrete test

Type of Sample : beam

Percent of Recycle Plastic : 80%

Specimen No.	Cross-section (cmxcm)	Length (cm)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (kg)	Modulus of rupture (ksc)
1	15.1x14.9	60.4	26.4	14	1806.4	48.82
2	15.3x15.4	62.5	27.1	14	1663.1	42.97
3	15.2x15.1	60.1	26.6	14	1972.5	51.31
Average	15.20x15.13	61.00	26.70	14	1814.00	47.70

ตารางที่ 4.25 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 80 % ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Total moisture content of aggregate by drying test

Percent of Recycle Plastic : 0%

Trail No.	1	2	3
WT. of sample before drying (kg)	0.0817	0.0388	0.0612
WT. of sample after drying (kg)	0.0755	0.0363	0.0573
Moisture content , %	8.24%	6.94%	6.81%
Average moisture content , %	7.33%		

ตารางที่ 4.26 ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 0 % ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Total moisture content of aggregate by drying test

Percent of Recycle Plastic : 20%

Trail No.	1	2	3
WT. of sample before drying (kg)	0.0334	0.0172	0.0571
WT. of sample after drying (kg)	0.0308	0.0158	0.0532
Moisture content , %	8.44%	8.86%	7.33%
Average moisture content , %	8.21%		

ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 20 % ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Total moisture content of aggregate by drying test

Percent of Recycle Plastic : 40%

Trail No.	1	2	3
WT. of sample before drying (kg)	0.0242	0.0351	0.0276
WT. of sample after drying (kg)	0.0222	0.0324	0.0253
Moisture content , %	9.01%	8.33%	9.09%
Average moisture content , %	8.81%		

ตารางที่ 4.28 ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 40 % ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Total moisture content of aggregate by drying test

Percent of Recycle Plastic : 50%

Trail No.	1	2	3
WT. of sample before drying (kg)	0.0237	0.0472	0.0498
WT. of sample after drying (kg)	0.0217	0.0438	0.0451
Moisture content , %	9.22%	7.76%	10.42%
Average moisture content , %	9.13%		

ตารางที่ 4.29 ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 50 % ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Total moisture content of aggregate by drying test

Percent of Recycle Plastic : 60%

Trail No.	1	2	3
WT. of sample before drying (kg)	0.0196	0.0243	0.0576
WT. of sample after drying (kg)	0.0180	0.0216	0.0526
Moisture content , %	8.89%	12.50%	9.51%
Average moisture content , %	10.30%		

ตารางที่ 4.30 ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 60 % ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Total moisture content of aggregate by drying test

Percent of Recycle Plastic : 80%

Trail No.	1	2	3
WT. of sample before drying (kg)	0.0316	0.0345	0.0489
WT. of sample after drying (kg)	0.0287	0.0316	0.0435
Moisture content , %	10.10%	9.18%	12.41%
Average moisture content , %	10.56%		

ตารางที่ 4.31 ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 80 % ที่ 14 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Total moisture content of aggregate by drying test

Percent of Recycle Plastic : 0%

Trail No.	1	2	3
WT. of sample before drying (kg)	0.0151	0.0247	0.0194
WT. of sample after drying (kg)	0.0141	0.0229	0.0180
Moisture content , %	7.09%	7.86%	7.78%
Average moisture content , %	7.58%		

ตารางที่ 4.32 ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 0 % ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Total moisture content of aggregate by drying test

Percent of Recycle Plastic : 20%

Trail No.	1	2	3
WT. of sample before drying (kg)	0.0216	0.0351	0.0429
WT. of sample after drying (kg)	0.0201	0.0322	0.0398
Moisture content , %	7.46%	9.01%	7.79%
Average moisture content , %	8.09%		

ตารางที่ 4.33 ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 20 % ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Total moisture content of aggregate by drying test

Percent of Recycle Plastic : 40%

Trail No.	1	2	3
WT. of sample before drying (kg)	0.0215	0.0287	0.0338
WT. of sample after drying (kg)	0.0198	0.0261	0.0312
Moisture content , %	8.59%	9.96%	8.33%
Average moisture content , %	8.96%		

ตารางที่ 4.34 ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 40 % ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Total moisture content of aggregate by drying test

Percent of Recycle Plastic : 50%

Trail No.	1	2	3
WT. of sample before drying (kg)	0.0705	0.0355	0.0547
WT. of sample after drying (kg)	0.0640	0.0326	0.0501
Moisture content , %	10.16%	8.90%	9.18%
Average moisture content , %	9.41%		

ตารางที่ 4.35 ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 0 % ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Total moisture content of aggregate by drying test

Percent of Recycle Plastic : 60%

Trail No.	1	2	3
WT. of sample before drying (kg)	0.0375	0.0621	0.0546
WT. of sample after drying (kg)	0.0346	0.0559	0.0492
Moisture content , %	8.38%	11.09%	10.98%
Average moisture content , %	10.15%		

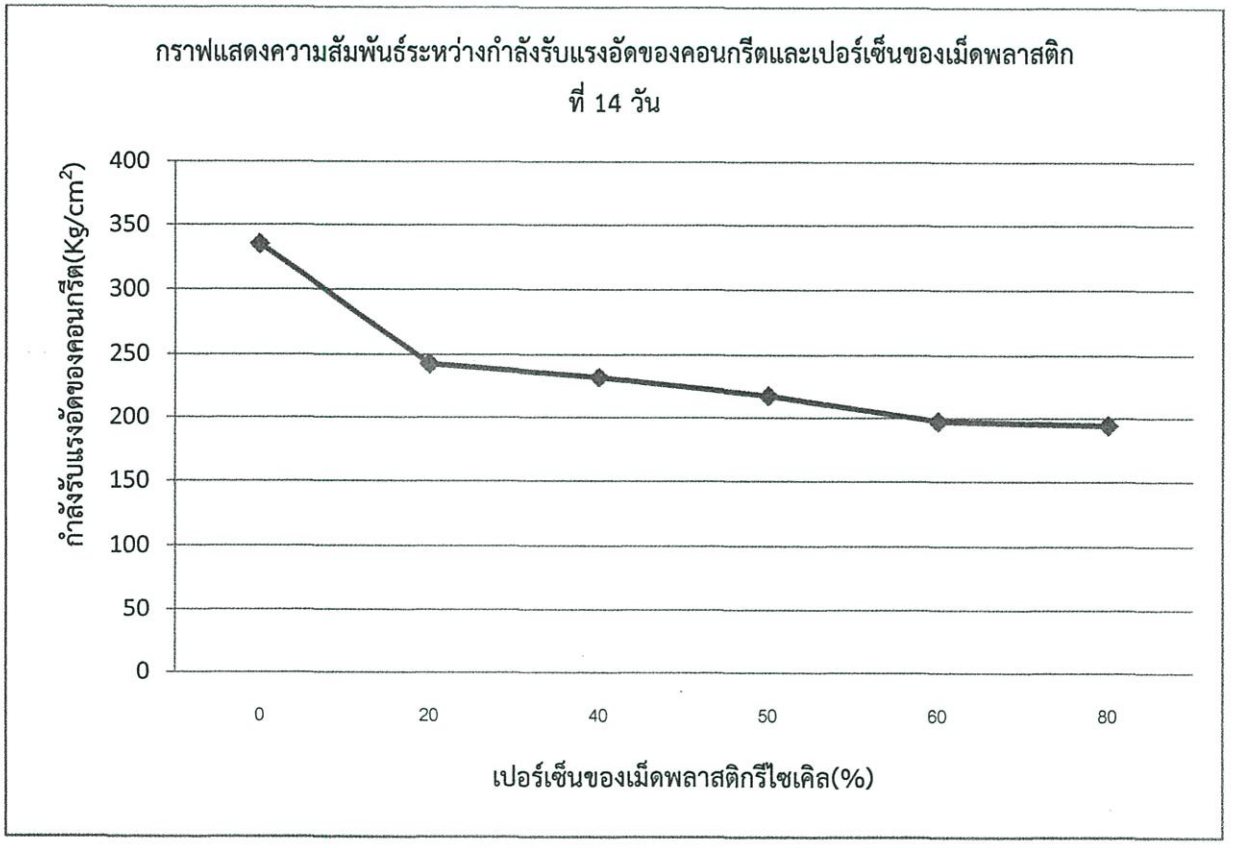
ตารางที่ 4.36 ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 60 % ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ

Testing : Total moisture content of aggregate by drying test

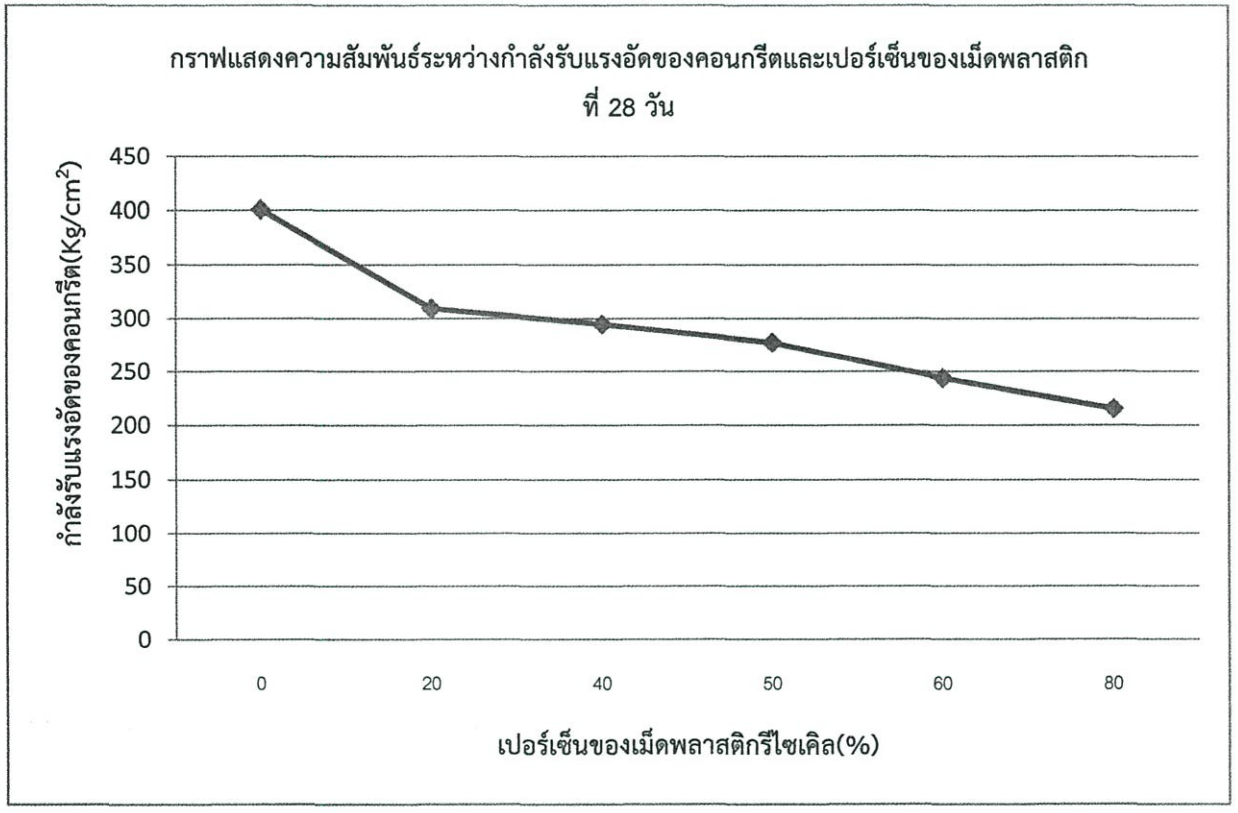
Percent of Recycle Plastic : 80%

Trail No.	1	2	3
WT. of sample before drying (kg)	0.0160	0.0579	0.0317
WT. of sample after drying (kg)	0.0146	0.0521	0.0284
Moisture content , %	9.59%	11.13%	11.62%
Average moisture content , %	10.78%		

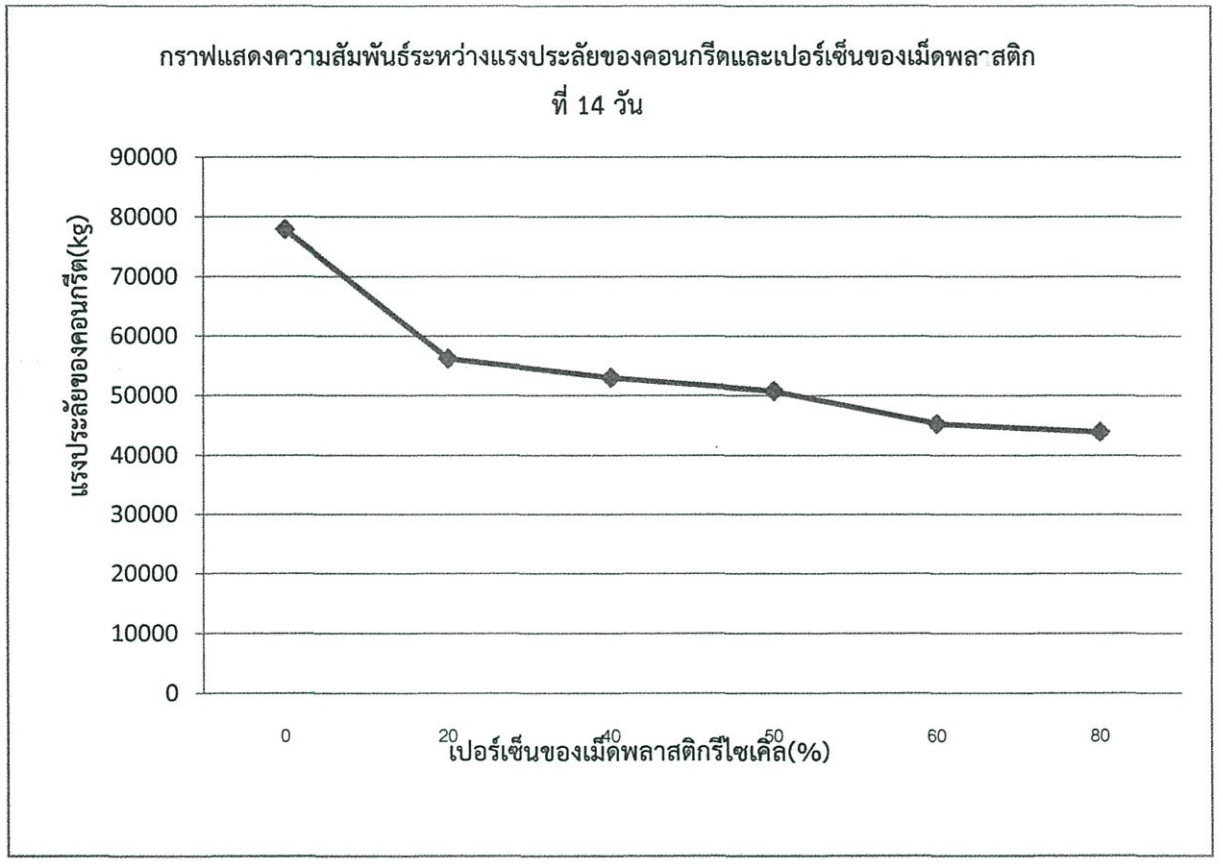
ตารางที่ 4.37 ผลการทดสอบความชื้นมวลรวมของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 80 % ที่ 28 วัน โดยปริมาตรของมวลรวมหยาบ



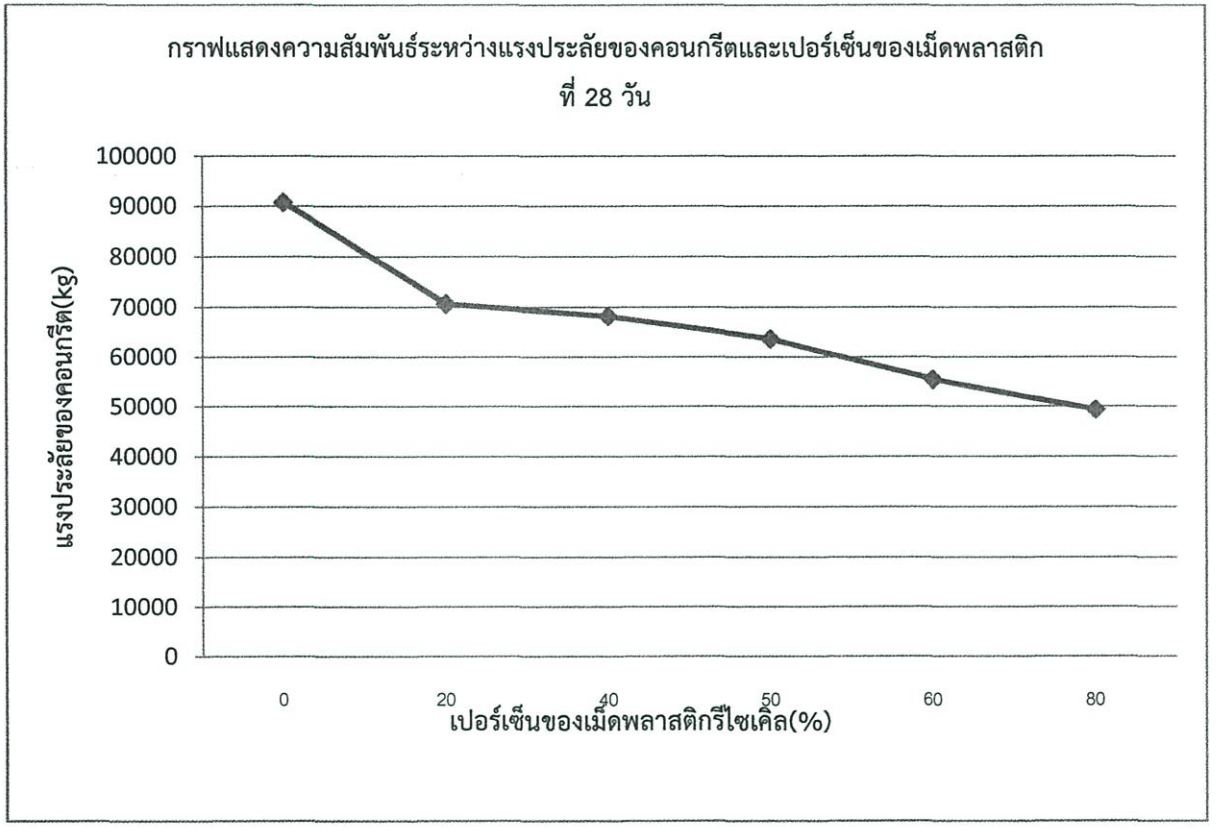
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 14 วัน



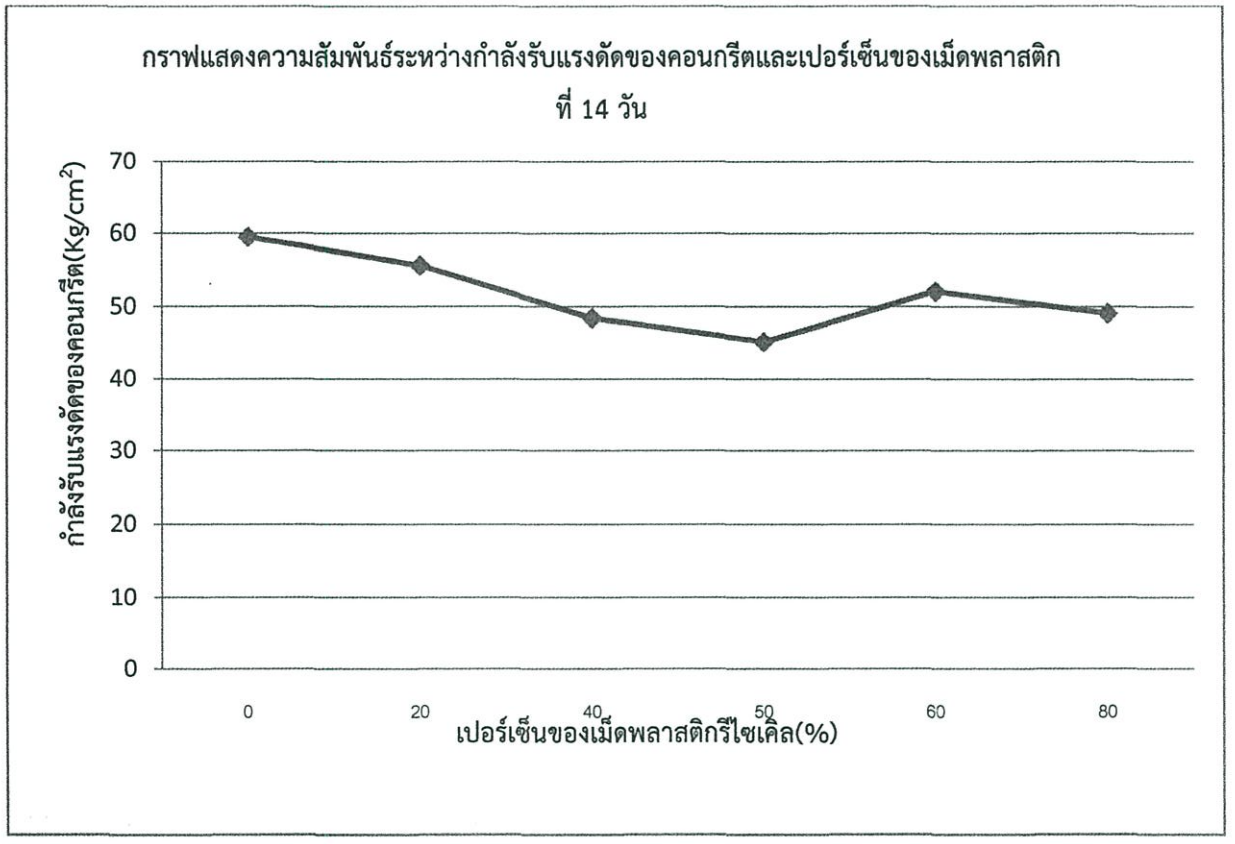
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 28 วัน



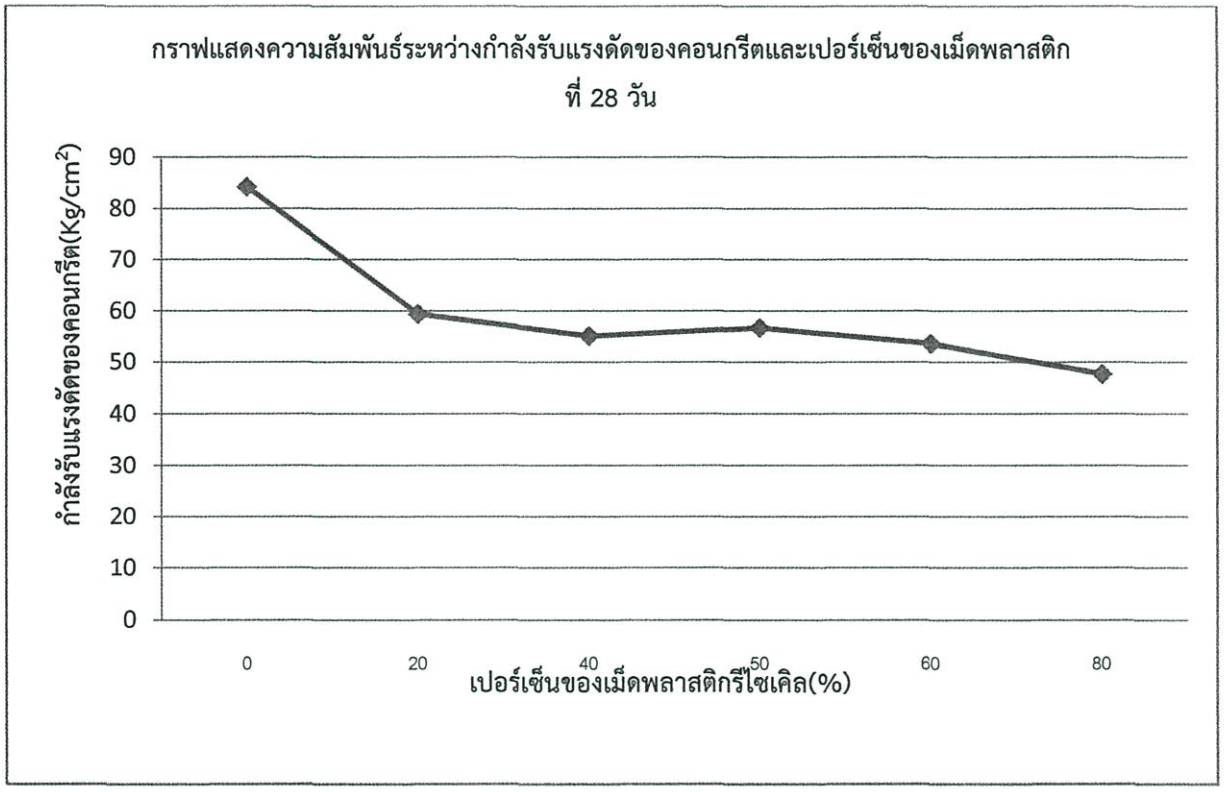
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงประลัยของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 14 วัน



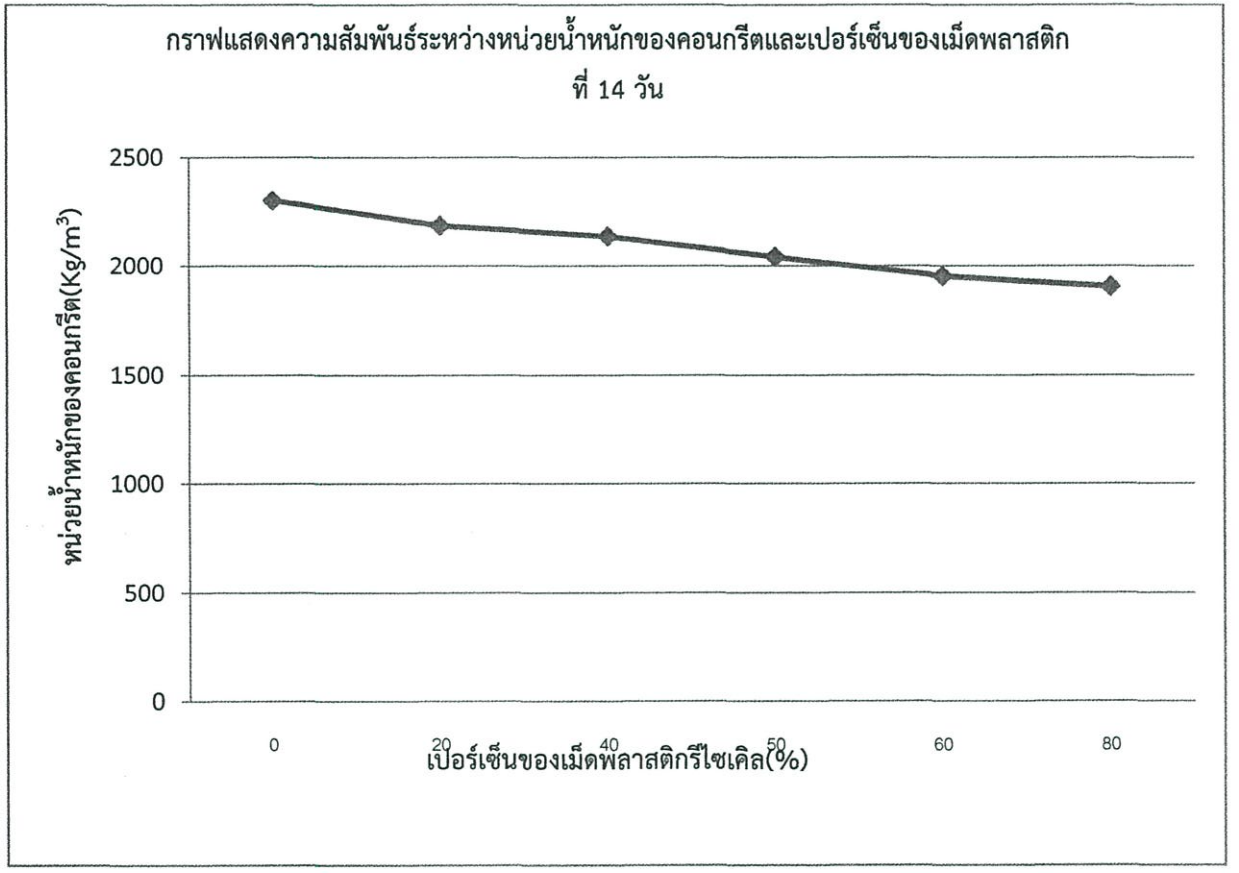
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงประลัยของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 28 วัน



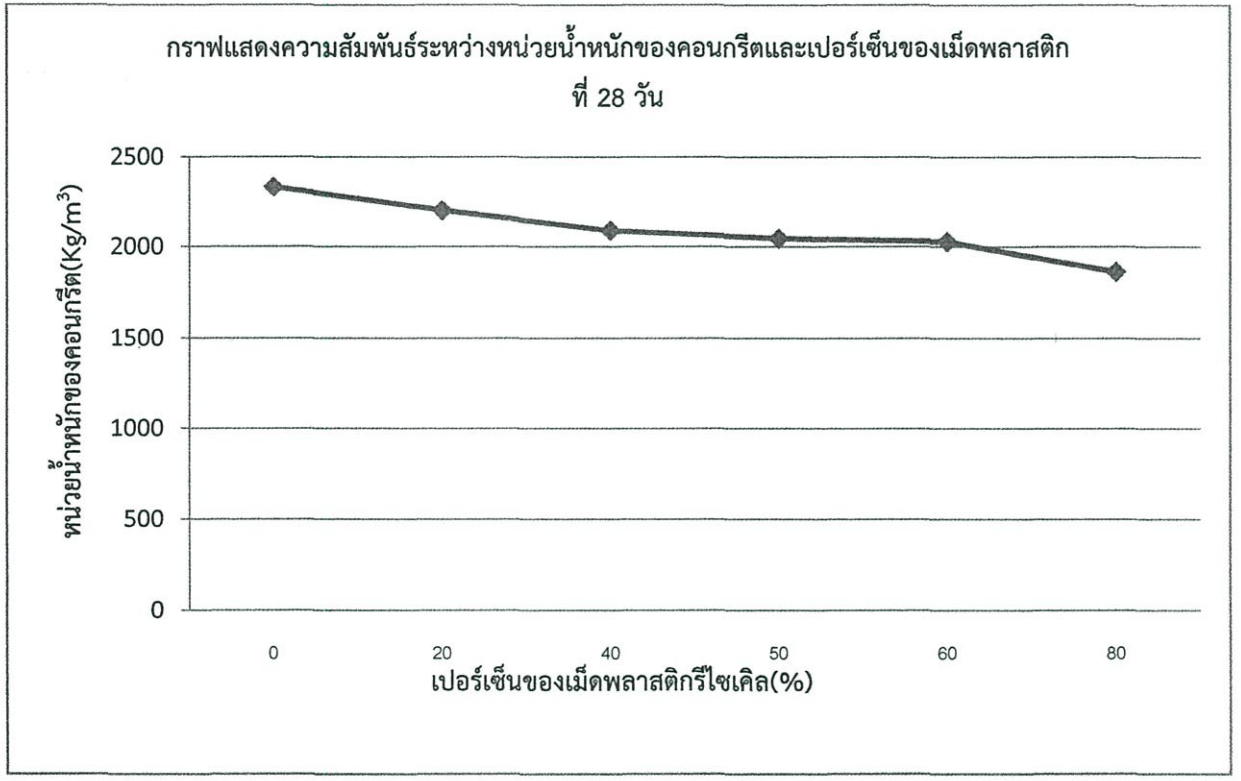
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 14 วัน



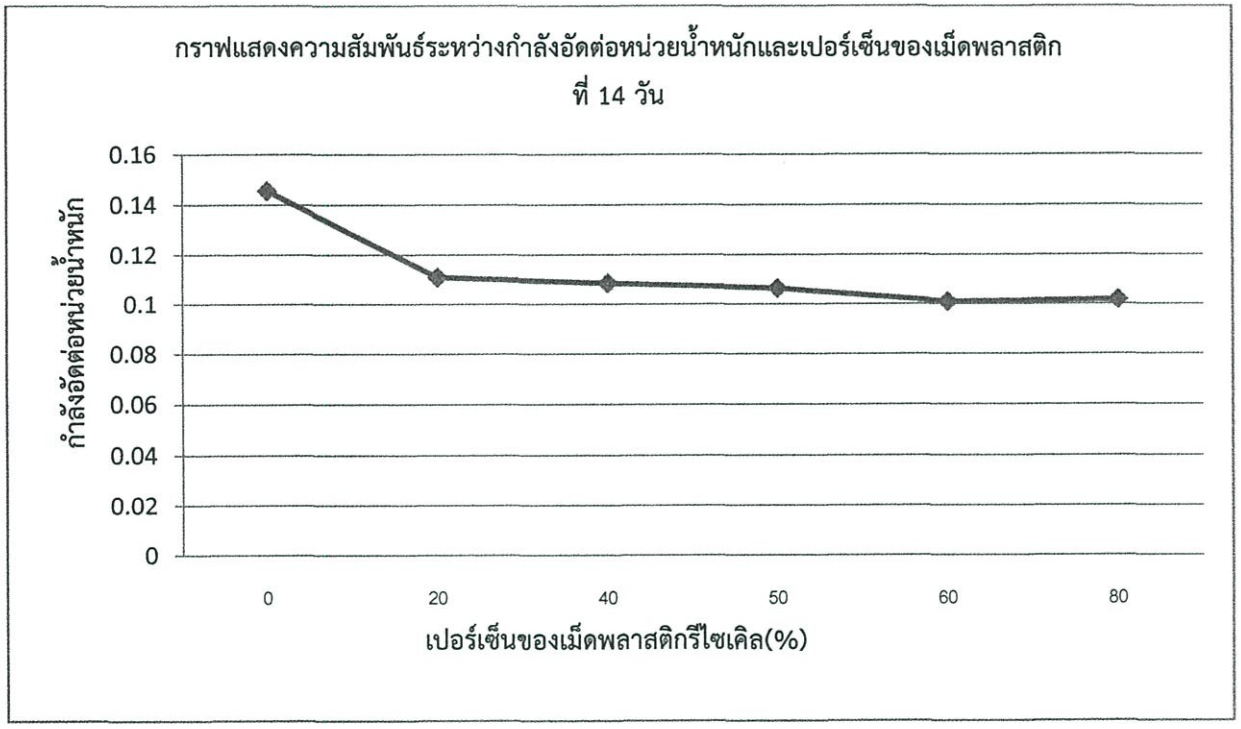
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 28 วัน



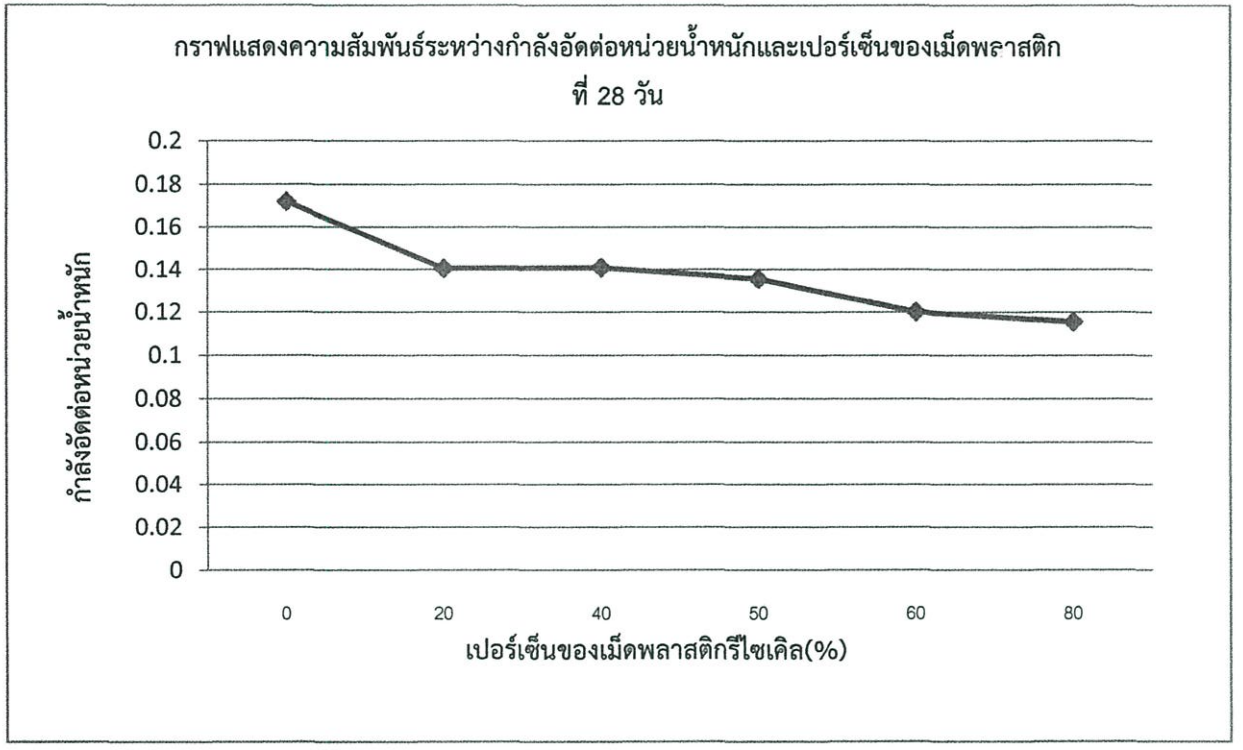
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 14 วัน



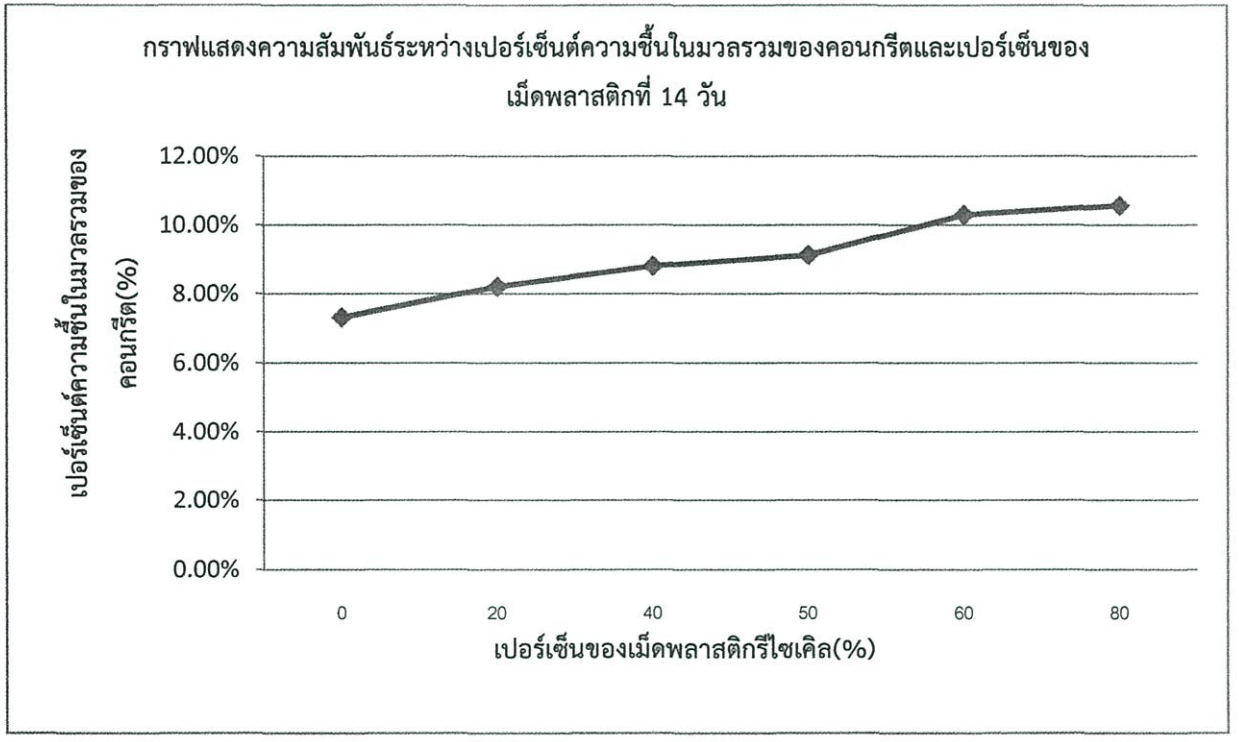
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 28 วัน



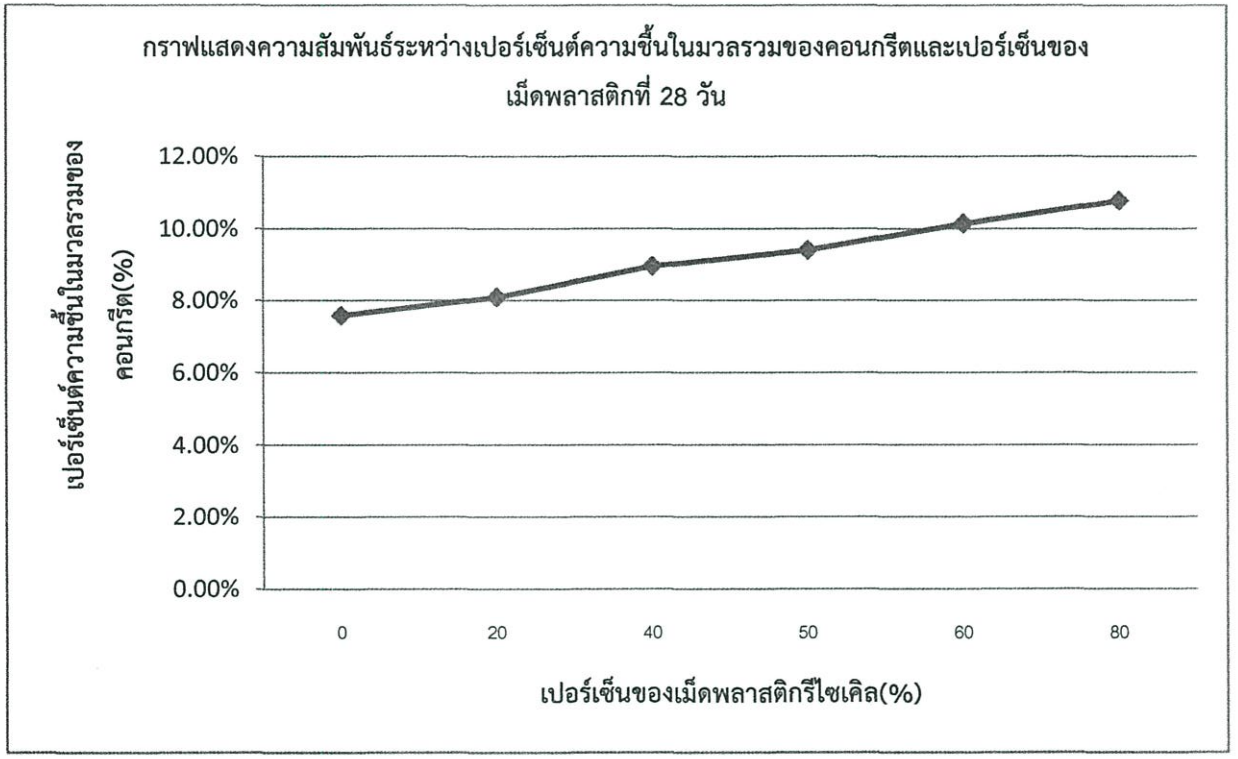
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดต่อหน่วยน้ำหนักและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 14 วัน



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดต่อหน่วยน้ำหนักและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 28 วัน



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในมวลรวมของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 14 วัน



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในมวลรวมของคอนกรีตและเปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกที่ 28 วัน

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

จากผลการทดสอบก้อนคอนกรีตตัวอย่างผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 0% 20% 40% 50% 60% และ 80% โดยปริมาตรของมวลรวมทั้งหมด สามารถนำมาวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบได้ดังนี้

5.1 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบ ในที่นี้เราจะวิเคราะห์จากก้อนคอนกรีตตัวอย่างผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล ที่ 28 วัน

จากรูปที่ 4.2 และ 4.4 จะเห็นว่า กำลังรับแรงอัด , แรงประลัยของคอนกรีต มีแนวโน้มลดลง เมื่อมีการผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในอัตราส่วนที่มากขึ้น คาดว่าเนื่องจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมีกำลังรับแรงอัด, แรงประลัย ต่ำกว่าหิน เมื่อผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลจนถึงค่าหนึ่งกำลังรับแรงของคอนกรีตจะมีอัตราเปลี่ยนแปลงน้อยลงมาก (จากการที่เส้นกราฟมีความชันลดลง) แต่กำลังรับแรงที่ได้ มีค่าที่สูงพอสมควร

จากรูปที่ 4.6 แสดงค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล เมื่อมีการผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในอัตราส่วนที่มากขึ้น จะเห็นว่า ค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตจะมีค่าลดลง

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นว่า หน่วยน้ำหนักจะมีแนวโน้มลดลง ลดลง เมื่อมีการผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในอัตราส่วนที่มากขึ้น เนื่องจากน้ำหนักของเม็ดพลาสติกเบากว่าหิน ดังนั้นเมื่อมีการผสมเม็ดพลาสติกในคอนกรีตในอัตราส่วนที่มากขึ้น จึงทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตปกติ

จากรูปที่ 4.10 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดต่อหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล จะเห็นว่าความชันของเส้นกราฟมีค่าน้อยลง จึงวิเคราะห์ว่าการผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลลงไปในคอนกรีตส่งผลต่อการลดน้ำหนักมากกว่าการลดกำลังอัด

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่าความชื้นของคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล เมื่อมีการผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในอัตราส่วนที่มากขึ้น จะเห็นว่า ค่าความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น คาดว่าเนื่องจากมีช่องว่างภายในเม็ดพลาสติกรีไซเคิลจำนวนมาก จึงทำให้น้ำสามารถแทรกตัวเข้าไปภายในเม็ดพลาสติกรีไซเคิลได้จำนวนมาก

5.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง สามารถสรุปได้ว่า เมื่อผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลในคอนกรีตในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นกำลังรับแรงอัด แรงประลัย กำลังแรงดัด และ หน่วยน้ำหนัก จะมีค่าลดลง แต่ค่าความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น

จากการวิเคราะห์ จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน ควรจะเป็นอัตราส่วนเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่ 20% เนื่องจากได้กำลังอัดใกล้เคียงกับมาตรฐานมากที่สุด(มอก. 827-2531) มีน้ำหนักลดลง และมีราคาที่เหมาะสม

ตารางที่ 5.1 แสดงน้ำหนักของวัสดุและบล็อคคอนกรีตเทียบกับปริมาตรที่ออกแบบไว้

	เปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกรีไซเคิล(%)					
	0	20	40	50	60	80
น้ำหนักของเม็ดพลาสติกรีไซเคิล(kg)	0	48.00	96.01	120.01	144.01	192.02
น้ำหนักหิน(kg)	720.09	576.07	432.05	360.04	288.03	144.01
น้ำหนักทราย(kg)	932.91	932.91	932.91	932.91	932.91	932.91
น้ำหนักปูน(kg)	427.08	427.08	427.08	427.08	427.08	427.08
น้ำหนักน้ำ(kg)	205	205	205	205	205	205
น้ำหนักคอนกรีต((kg/m^3)	2285.09	2189.07	2093.07	2045.06	1997.05	1901.04
น้ำหนักบล็อกคอนกรีต(kg/ก้อน)	3.16	3.01	2.87	2.79	2.72	2.58

ตารางที่ 5.2 แสดงราคาของวัสดุและบล็อคคอนกรีตเทียบกับปริมาตรที่ออกแบบไว้

	เปอร์เซ็นของเม็ดพลาสติกรีไซเคิล(%)					
	0	20	40	50	60	80
ราคาเม็ดพลาสติกรีไซเคิล(บาท)	0	1248.16	2496.31	3120.39	3744.47	4992.62
ราคาหิน(บาท)	1200.15	960.12	720.09	600.08	480.06	240.03
ราคาทราย(บาท)	1554.86	1554.86	1554.86	1554.86	1554.86	1554.86
ราคาปูน(บาท)	1110.42	1110.42	1110.42	1110.42	1110.42	1110.42
รวม(บาท)	3865.43	4873.55	5881.68	6385.74	6889.81	7897.93
ราคาบล๊อกคอนกรีต (บาท/ก้อน)	5.87	7.40	8.93	9.70	10.46	12.00

จากตารางจะเห็นว่า ราคาของบล็อคคอนกรีตที่อัตราส่วนเม็ดพลาสติกรีไซเคิล 20% มีราคาที่สูงกว่าบล็อคคอนกรีตทั่วไป 1.53 บาท แต่มีน้ำหนักที่ลดลง 146 กรัม

หากคำนึงถึงด้านราคา จะเห็นว่า บล็อคคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล มีราคาที่สูงว่าบล็อคคอนกรีตทั่วไป แต่หากเราพิจารณาในด้านการใช้งาน บล็อคคอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิลที่น้ำหนักที่เบากว่า จึงอาจส่งผลให้การทำงานสะดวกมากยิ่งขึ้น และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการนำเม็ดพลาสติกรีไซเคิลมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะ

1) เนื่องจากเม็ดพลาสติกรีไซเคิลเป็นวัสดุที่มีกำลังรับแรงอัดน้อยกว่าหิน จึงทำให้กำลังรับแรงอัดของบล็อคคอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดน้อยกว่าที่ออกแบบไว้ ดังนั้นจึงควรออกแบบให้สูงกว่ามาตรฐานหรือเลือกใช้วัสดุที่มีกำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับหิน

บรรณานุกรม

[1] ผศ.ศิริวัฒน์ ไชยชนะ, 2541. **ปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี**. พิมพ์ครั้งที่ 2

[2] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม Thai industrial Standard มอก. 827-2531. **คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น**.สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม

[3] เยาวรัตน์ ตั้งติวิริยะ และ อุกฤษ ปัจฉิม, 2543. **อิฐระบบล็อคในตัวโดยใช้คอนกรีตผสมเม็ดพลาสติกรีไซเคิล**. ปริญญานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[4] อัศวิน เลิศโสภา , โอภาส วิศรุตธรรม และ ปีใหม่ อาจสาคร, 2542. **วัสดุผสมคอนกรีตและเศษโฟม**. ปริญญานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[5] ชัยรัตน์ วงศ์จารุพรรณ , ณรงค์ฤทธิ์ ว่องไว และ ราม วัฒนาวีรวงศ์, 2543. **ผลิตภัณฑ์จากวัสดุประสมคอนกรีตและเศษโฟม**. ปริญญานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[6] มนตรี อ่อนบรม , วีระพัฒ โนยลาด และ เอกลักษณ์ กัญไทร, 2551. **การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของแอสฟัสต์ซีเมนต์ เกรดเอซี 60/70 ผสมภาชนะพลาสติกใช้แล้ว**. ปริญญานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[7] คมสัน มณีเมือง และ วีรภัทร์ ทองประชาญ, 2551. **กรณีศึกษาการเสริมกำลังคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยแก้ว**.ปริญญานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[8] กมลศิษฎ์ หอสุวรรณจิตร, 2551. **ผลของขนาดและปริมาณของทรายต่อการเกิดผลึกแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ**. วิทยานิพนธ์สาขาวิศวกรรมการก่อสร้าง. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[9] ภานุ อดทน และ นครินทร์ อยู่สุข, 2550. **การศึกษาพฤติกรรมของกำแพงคอนกรีตมวลเบารับแรงตามแนวแกน**. ปริญญานิพนธ์ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา.

ภาคผนวก

ภาคผนวก

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต

ผ.1 หลักการในการออกแบบส่วนผสม

หลักของการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต มี 2 ประการ คือ

1) เพื่อเลือกวัสดุผสมคอนกรีตที่เหมาะสมอันได้แก่ ปูน ซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ น้ำยาผสมคอนกรีต ให้ เป็นไปตามข้อกำหนด และวัตถุประสงค์ของการใช้งาน

2) คำนวณหาสัดส่วนผสมของวัสดุผสมนี้ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสมตามข้อกำหนดและการใช้งานทั้งในสภาพคอนกรีตสดและคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ในราคาที่เหมาะสมที่สุด

เพื่อให้บรรลุเป้าหมายข้างต้น ผู้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) การหาได้ของวัสดุผสมคอนกรีต
2) การผันแปรในคุณสมบัติของวัสดุผสม
3) ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนผสมกับธรรมชาติของวัสดุผสม
4) การผันแปรของคุณสมบัติที่ต้องการในสภาพการใช้งาน

ผ.2 ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการออกแบบ

การออกแบบและการเลือกใช้คอนกรีตให้เหมาะสมกับงานก่อสร้างนั้น ที่จะต้อง พิจารณาปัจจัยต่างๆ ซึ่งอาจกระทบต่อการเลือกใช้ คอนกรีตประเภทนั้นๆ โดยสามารถพิจารณาได้ เป็น 2 ประการ คือ

1) ปัจจัยด้านราคา
2) ปัจจัยด้านเทคนิค

ผ.3 ปัจจัยด้านเทคนิค

วิศวกรผู้ออกแบบต้องพิจารณาปัจจัยด้านเทคนิค ซึ่งแบ่งตามสภาพของคอนกรีต ได้เป็น 2 ประการ คือ

1) สภาพที่คอนกรีตยังเหลวอยู่

2) สภาพที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว

ผ.3.1 สภาพที่คอนกรีตยังเหลวอยู่

ปัจจัยที่พิจารณา มีอยู่ 2 ประการ คือ

1) ความสามารถเทได้

2) การอยู่ตัว

โดยผู้ออกแบบควรเลือกคอนกรีตที่มีคุณภาพดังนี้

- มีความเหลวเพียงพอต่อการใช้งาน คือ คอนกรีตสามารถไหลลื่นเข้าไปเต็มทุกๆ ส่วนขอแบบหล่อ
- ต้องไม่แยกตัวระหว่างการขนย้ายหรือเท
- ต้องสามารถอัดตัวแน่นในแบบหล่อได้อย่างดี

สำหรับปัจจัยการอยู่ตัว หมายถึง คอนกรีตจะคงความสม่ำเสมอของเนื้อคอนกรีตตลอดการใช้งาน โดยไม่เกิดการแยกตัวและไม่เกิดการเยิ้ม ในปัจจุบันยังไม่มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ในการวัดการอยู่ตัว โดยทั่วไปจะใช้การสังเกตเป็นหลัก

ผ.3.2 สภาพที่คอนกรีตแข็งตัวแล้ว

ปัจจัยที่ต้องพิจารณา มีปัจจัยสำคัญ อยู่ 2 ประการ คือ

1) กำลัง

2) ความทนทาน

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยที่สำคัญรองลงมาอีก 2 ประการ คือ

1) การเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นอยู่กับน้ำหนักบรรทุก

2) การเปลี่ยนแปลงที่ไม่ขึ้นกับน้ำหนักบรรทุก

โดยทั่วไปกำลังเป็นคุณสมบัติที่สำคัญและคุณภาพของคอนกรีตก็จะพิจารณาจากกำลังอัด ในหลายๆ กรณี คุณสมบัติอื่นๆ อาจมีความสำคัญมากกว่า เช่น คอนกรีตสำหรับโครงสร้างที่ต้องป้องกันน้ำ

หรือถึงเก็บน้ำ จำเป็นต้องมีคุณสมบัติสำคัญ คือ มีการซึมผ่านของน้ำและอากาศต่ำ และมีการหดตัวต่ำ การเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์เพื่อเพิ่มกำลังอัดจะส่งผลให้เกิดการหดตัวมากซึ่งมีผลเสียอย่างมากต่อคุณสมบัติด้านความคงทนและการซึมผ่านของน้ำ

ข้อกำหนดทั่วไปสำหรับคุณสมบัติของคอนกรีตจะแตกต่างออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการ คือ ชนิดของโครงสร้างและสภาพแวดล้อมขณะใช้งานในหลายๆกรณี ข้อกำหนดจะเกี่ยวข้องกับ

1) กำลังอัดต่ำสุดที่ยอมรับได้ โดยทั่วไปใช้เป็นข้อกำหนดหลักในงานคอนกรีต
2) อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดเพื่อความทนทานของโครงสร้าง
3) ปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำสุดเพื่อความทนทานต่อโครงสร้าง
4) ปริมาณซีเมนต์สูงสุดเพื่อลดการแตกร้าวในโครงสร้างขนาดใหญ่
5) ความหนาแน่นต่ำสุดเพื่องานก่อสร้างบางประเภทเช่นเขื่อนหรือโครงสร้างป้องกันรังสีต่างๆ

แต่ยังมีข้อกำหนดซึ่งระบุคุณสมบัติเฉพาะของคอนกรีตที่ต้องการ เช่น

1) กำหนดให้ได้กำลังอัดในเวลารวดเร็วใช้สำหรับงานซ่อมแซม ,งานถอดำม้แบบเร็ว หรืองานคอนกรีตอัดแรง เป็นต้น
2) กำหนดให้สามารถทนทานซัลเฟตได้ดี
3) กำหนดให้มีความเหลวมากหรือป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดี เป็นต้น

ผ.ก. 4 ปัจจัยด้านราคา

นอกจากปัจจัยด้านเทคนิคแล้ว ผู้ออกแบบจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาปัจจัยด้านราคาด้วย ซึ่งไม่ใช่เฉพาะค่าวัสดุแต่รวมไปถึงค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการกองเก็บวัสดุดิบ การชั่งตวง การผสม การลำเลียง ค่าใช้จ่ายในการเท และทำให้คอนกรีตแน่น รวมไปถึงค่าควบคุมงานคอนกรีต โดยมีรายละเอียด ดังนี้

ผ.4.1 วัสดุ

คอนกรีตประกอบไปด้วย หิน ทราย ซีเมนต์ น้ำและน้ำยาผสมคอนกรีต หรืออาจมีวัสดุเพิ่มช่วยปรับปรุงให้คอนกรีตมีคุณสมบัติดีขึ้น ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับราคาที่ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงได้แก่

(1) การหาได้ของวัสดุพื้นฐาน

ผู้ออกแบบจำเป็นต้องศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุพื้นฐานในภูมิภาคนั้นๆ ว่าหาได้ หรือไม่ เพราะถ้าจำเป็นต้องหาแหล่งอื่น ค่าใช้จ่ายโดยรวมอาจจะสูงมาก ตัวอย่างเช่น ถ้าผู้ออกแบบต้องการออกแบบฐานรากแผ่ขนาดใหญ่ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้คอนกรีตที่มีความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นต่ำ แต่ในประเทศไทยไม่มีการผลิตซีเมนต์ประเภทความร้อนต่ำ(ประเภท 4) ผู้ออกแบบจะต้องดัดแปลงส่วนผสมคอนกรีต เช่น ใช้น้ำยาผสมคอนกรีตหรือในบางภูมิภาคของประเทศไทย สามารถหากรวดได้ง่ายและราคาถูกกว่าหินย่อย ดังนั้นอาจกำหนดให้ใช้กรวดแทนหินย่อยได้โดยคุณสมบัติอื่นๆ เช่น กำลังอัด, ความสามารถเทได้ ต้องได้ตามข้อกำหนดของงาน เป็นต้น

(2) การผันแปรของคุณภาพวัสดุ

วัตถุดิบที่มีความผันแปรของคุณภาพมาก เมื่อนำมาใช้ผสมเป็นคอนกรีต จะก่อให้เกิดต้นทุนความควบคุมที่สูง เพื่อที่จะให้ได้คอนกรีตที่มีคุณภาพตามข้อกำหนด

ผ.ก. 4.2 สัดส่วนผสม

วัสดุพื้นฐานต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้น จะส่งผลต่อราคาของคอนกรีต ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ

1) ลักษณะทั่วไปของวัสดุผสม

วัสดุผสมที่ลักษณะแตกต่างกัน จะส่งผลต่อสัดส่วนเพื่อให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตตามต้องการ เช่น หินที่มีรูปร่างกลมมน จะใช้น้ำปริมาณน้อยกว่าหินที่มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม หรือที่มีลักษณะแบนหรือทรายที่มีความละเอียดจะใช้น้ำมากกว่าทรายหยาบ เมื่อต้องการคอนกรีตที่มีความสามารถเทได้เท่าๆกันนั่นคือ ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในส่วนผสมจะแตกต่างกัน ราคาคอนกรีตก็จะแตกต่างกันด้วย

2) ชนิดของโครงสร้าง

โครงสร้างคอนกรีตที่มีความสำคัญมากๆ เช่น เขื่อนหรือผนังห้องปฏิกรณ์ปรมาณู การออกแบบจำเป็นต้องใช้คอนกรีตที่มีส่วนเผื่อ มากกกว่าคอนกรีตโครงสร้างทั่วๆไป เพื่อให้ได้ความทนทานที่สูง ซึ่งจะส่งผลลกระทบต่อราคาคอนกรีต เป็นต้น

ผ.ก. 4.3 วิธีการทำงาน

ขบวนการลำเลียงวัตถุดิบ วิธีการผสม การลำเลียงคอนกรีตสู่สถานที่เทรวมทั้งการทำให้คอนกรีตแน่น ล้วนแต่กระทบต้นทุนของคอนกรีต ที่ผู้ออกแบบต้องนำมาพิจารณา

ผ.ก. 4.4 การควบคุมงานคอนกรีต

ต้นทุนการควบคุมงานคอนกรีตรวมตั้งแต่ต้นทุนการควบคุมคุณภาพคอนกรีต ณ หน่วยงานก่อสร้าง จนเริ่มใช้งานโครงสร้างนั้น

ผ.ก. 5 ความสัมพันธ์ที่มีประโยชน์ในการออกแบบ

ความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆ ที่มีประโยชน์ต่อการออกแบบ คือ

ผ.ก. 5.1 กำลังอัดและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

สำหรับวัสดุผสมคอนกรีตที่กำหนดให้ ค่ากำลังจะมีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ตาม Ablam's Law ดังนี้

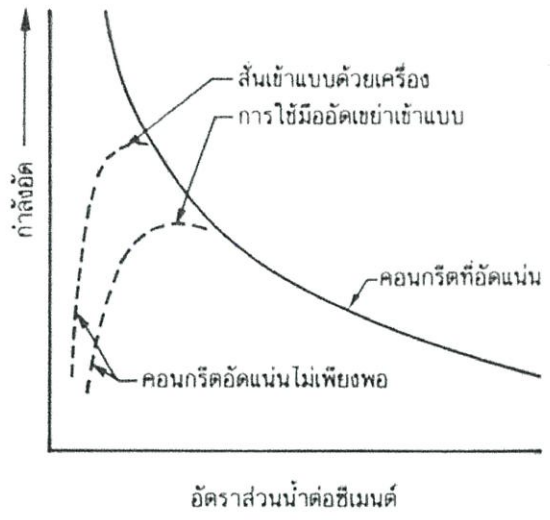
$$F_{cm} = A / B^{1.5/c}$$

โดย ; F_{cm} = ค่ากำลังอัดของคอนกรีต ณ อายุที่กำหนด

A = ค่าคงที่

B = ค่าคงที่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของซีเมนต์และค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก

ตามสมการนี้ จะพบว่า กำลังอัดจะเป็นอัตราส่วนผมผันกับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์



รูปที่ ผ.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ผ.ก. 5.2 คุณสมบัติของมวลรวมกับปริมาณน้ำและความสามารถเทได้ของคอนกรีต

1) รูปร่างและลักษณะผิว

2) ขนาดและส่วนคละ

- ขนาดคละของมวลรวม
- ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม
- อัตราส่วนของมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมหยาบ

3) ปริมาณความชื้น

- การดูดซึมของน้ำและความชื้นที่ผิว
- การเพิ่มขึ้นของปริมาตรของทราย

4) ความถ่วงจำเพาะ

5) หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง ซึ่งสัมพันธ์กับขนาดและส่วนคละของมวลรวม

ผ.ก. 5.3 ความสามารถเทได้ของคอนกรีต

จะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณน้ำในส่วนผสม กล่าวคือ ความสามารถเทได้ของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น แต่ความสัมพันธ์นี้จะเปลี่ยนแปลงไปบ้าง เมื่อคุณสมบัติของวุสดุผสมเปลี่ยนไป รวมทั้งจะเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการใช้วัสดุผสมพิเศษอื่นๆด้วย

การวัดความสามารถเทได้ของคอนกรีตมีหลายวิธี ผู้ออกแบบควรกำหนดวิธีที่เหมาะสมดังแสดงในตารางที่ ผ.1.

ตารางที่ ผ.1 แสดงวิธีการวัดค่าความสามารถเทได้ของคอนกรีต

ประเภทของคอนกรีต	วิธีการวัดค่าความสามารถเทได้
คอนกรีตแข็งหรือกระด้างมาก คอนกรีตทั่วๆไป คอนกรีตเหลวมาก	วัดโดยหาค่าเวลา Vabe (Vabe Test) วัดค่ายุบตัว(Slump Test) วัดค่าศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่กระจายออก(Flow Test)

ผ.ก. 5.4 ต้นทุนและประสิทธิภาพการใช้งาน

เป้าหมายที่สำคัญที่สุดของการหาสัดส่วนผสมคอนกรีต ก็เพื่อจะให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสมตามข้อกำหนดและการใช้งาน ในราคาถูกที่สุด

โดยทั่วไปข้อกำหนดของงานคอนกรีต สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1) กำหนดคุณสมบัติทั่วๆไปเช่น
   - ค่ายุบตัวมาตรฐาน
   - ค่ากำลังอัดทั่วๆไป
   - ความทนทานทั่วๆไป

การที่จะให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติดังกล่าว ทำได้โดยกำหนดสัดส่วนผสมที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ต่ำที่สุด และใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุด เป็นต้น

1) การกำหนดคุณสมบัติพิเศษ

- มีความสามารถเทได้สูงมากๆ
- เกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นไม่สูงมาก
- กำลังอัดสูงหรือกำลังอัดสูงในเวลารวดเร็ว
- ความทนทานพิเศษต่างๆ เช่น ทนต่อซัลเฟต เป็นต้น

ตอนกรีตพวกนี้อาจจำเป็นต้องใช้วัสดุพิเศษประเภทอื่นๆ เป็นส่วนผสมด้วย เช่น ปูนซีเมนต์และวัสดุทดแทนซีเมนต์ เช่น ปูนปอร์ตแลนด์ประเภท 3 , ปูนปอร์ตแลนด์ต้านทานซัลเฟต (ประเภท 5), PFA ,GGBS หรือ MS

สารผสมเพิ่ม เช่น สารเร่งหรือหน่วงการก่อตัว , สารลดน้ำ หรือสารลดน้ำจำนวน มาก, สารกักกระจายฟองอากาศ

มวลรวมพิเศษ เช่น มวลรวมหนัก, มวลรวมเบา,มวลรวมที่มีการหดตัวน้อยมาก

ผ.6 ประเภทของสัดส่วนผสมคอนกรีต

สัดส่วนผสสมคอนกรีตสามารถแยกประเภทได้ดังนี้

1) สัดส่วนผสมโดยปริมาตร

ผู้ออกแบบจะกำหนดอัตราส่วน โดยปริมาตรของปูนซีเมนต์,ทราย,หิน เช่น 1:2:4 คือ ใช้ปูน 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน แบะหิน 4 ส่วนโดยปริมาตร วิธีการนี้เหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็กๆเท่านั้น

2) Prescribed Mix

วิศวกรผู้ออกแบบโครงสร้างหรือผู้รับเหมาจะกำหนดสัดส่วนผสมสำหรับโครงการก่อสร้างหนึ่งๆ รวมทั้งรับผิดชอบว่าสัดส่วนผสมนี้ จะสามารถผลิตเป็นคอนกรีตที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

3) Designed Mix

ผู้ผลิตคอนกรีต เช่น ผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ จะเป็นผู้กำหนดส่วนผสมเพื่อให้ตรง กับความต้องการตามข้อกำหนด รวมทั้งต้องับผิดชอบต่อสัดส่วนผสมนี้ว่าเป็นไปตามความต้องการ

4) สัดส่วนผสมมาตรฐาน (Standard Mix)

ผู้ผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่ผลิตและเก็บรวบรวมคุณสมบัติของคอนกรีตมาเป็นเวลานานจนได้ข้อมูลมากำหนดเป็นสัดส่วนผสมมาตรฐาน

ผ.7 มาตรฐานการออกแบบคอนกรีต

ดังที่ได้ทราบแล้วว่ากำลังอัดของคอนกรีตมีความผันแปรเนื่องจาก องค์ประกอบอื่นมากมาย ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีต จะต้องทำการทดสอบหาคุณสมบัติในห้องปฏิบัติการเก็บรวบรวมข้อมูล นำข้อมูลมาวิเคราะห์และใช้หลักวิชาสถิติมาช่วยในการออกแบบโดยจะต้องออกแบบคอนกรีตให้มีกำลังอัดสูงกว่าที่ข้อกำหนดของงานกำหนดไว้ ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังนี้

$$Fcr = fc' + ks$$

โดย; F_{cr} คือ Target Mean Strength หรือกำลังอัดเฉลี่ยที่ผู้ผลิตคอนกรีตต้องผลิต

fc' คือ กำลังอัดที่กำหนดไว้ในแบบ

ks คือ ส่วนเผื่อซึ่งประกอบด้วยค่า

k คือ ค่าคงที่

S คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัดจากก้อนตัวอย่าง 30 ค่าหรือมากกว่า

ค่า k ในสมการนี้มาจากหลักวิชาสถิติในเรื่องเกี่ยวกับการแจกแจงความถี่มาตรฐาน โดยค่า k จะเพิ่มขึ้นถ้าต้องการให้กำลังอัดต่ำกว่าที่ต้องการลง ดังแสดงค่าในตาราง ผ.2.

ตารางที่ ผ.2 ค่าคงที่ k และค่าร้อยละของกำลังอัดที่ต่ำกว่า f_c'

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

ผ.8 การผันแปรของกำลังอัด

ตามมาตรฐานการออกแบบคอนกรีต ค่าส่วนเผื่อจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของกำลังอัด หรือค่าผันแปรของกำลังอัด นั้นเอง

การผันแปรของกำลังอัดคอนกรีต แบ่งได้เป็น 2 ประเด็นคือ

1) การผันแปรเนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีต
2) การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ

ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ ผ.ก.3

ตารางที่ ผ.3 สรุปหาสาเหตุของการผันแปรของกำลังอัด

การผันแปรเนื่องจากคุณสมบัติของคอนกรีต (ผันแปรในขบวนการผลิต)	การผันแปรเนื่องจากการทดสอบ (การผันแปรในขบวนการควบคุมคุณภาพ)
การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ -ควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมไม่ดีพอ -ความชื้นในหินและทรายมีการเปลี่ยนแปลงมาก การผันแปรในปริมาณความต้องการน้ำในส่วนผสม -ส่วนขนาดคละของหินและทราย -วัสดุผสมมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอ การผันแปรในคุณภาพและอัตราส่วนผสมของวัสดุ -หิน,ทราย -ซีเมนต์	วิธีการสุ่มตัวอย่างไม่เหมาะสม วิธีการเตรียมตัวอย่างไม่แน่นอน -ปริมาณการกระทุ้ง -การเคลื่อนย้ายตัวอย่าง -การดูแลตัวอย่างคอนกรีตสด การเปลี่ยนแปลงจากการบ่ม -อุณหภูมิ -ความชื้น วิธีดำเนินการทดสอบไม่ดี -การหล่อฝา -การทดสอบกำลังอัด

ผ.9 การออกแบบตามมาตรฐานอเมริกา

ในการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตธรรมดา(Normal Weight Concrete) ตามมาตรฐานของอเมริกานี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ออกแบบต้องทราบคุณสมบัติต่างๆ กล่าวคือ

1) ปูนซีเมนต์

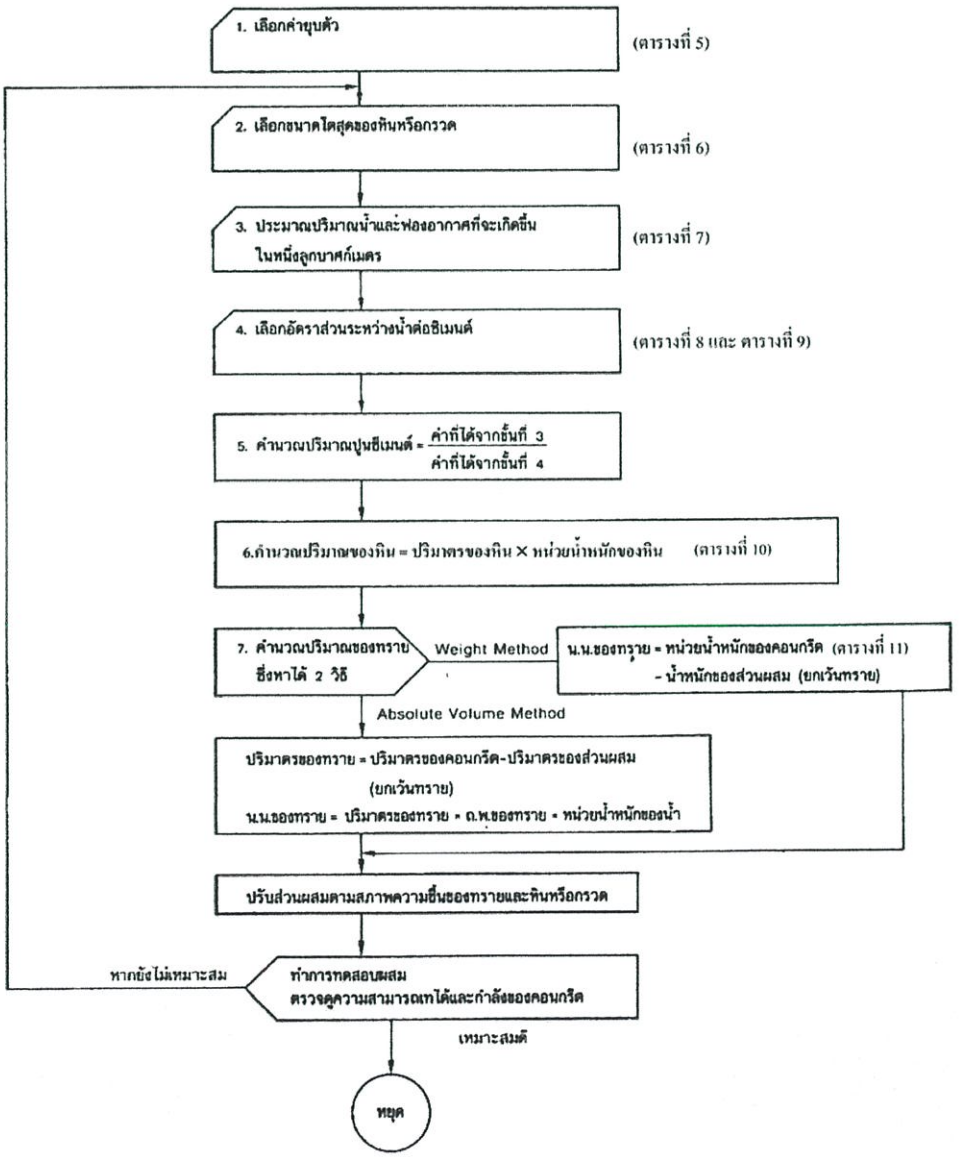
ความถ่วงจำเพาะ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 188 แต่สามารถใช้ค่า 3.15 สำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไป

2) มวลรวม

- ขนาดคละ ควรมีส่วนคละตามมาตรฐาน ASTM C 33
- ความถ่วงจำเพาะ ทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 128

  หิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 127
- ความชื้น ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 70 และ ASTM C 566
- ความละเอียดของทราย ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 125
- หน่วยน้ำหนักของมวลรวม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 29

เมื่อทราบคุณสมบัติต่างๆ ดังกล่าวแล้ว จึงหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามขั้นตอนที่แสดงในรูปที่ ผ.2.



รูปที่ ผ.2 แผนภาพออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา

ตารางที่ ผ.4 ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ

ประเภทของงาน	ค่าความยุบตัว	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
งานฐานราก กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก	8	2
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก	8	2
งานก่อสร้างใต้น้ำ		
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	10	2
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	10	2
งานพื้นถนนคอนกรีตเสริม	8	2
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	5	2

ตารางที่ ผ.5 ขนาดโตสุดของวัสดุผสมสำหรับงานก่อสร้างประเภทต่างๆ

ขนาดความหนาของโครงสร้าง (ซม.)	ขนาดโตสุดของวัสดุผสม							
	คาน ผนัง และเสา คสล.		ผนังคอนกรีตไม่เสริมเหล็ก		พื้นถนน คสล. รับน้ำหนักมาก		พื้นคอนกรีตรับน้ำหนักน้อย	
	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	มม.
5.0-15.0	½- ¾	12.5-20	¾	20	¾-1	20.25	¾-1 ½	20-40
15.0-30.0	¾-1 ½	20.40	1 ½	40	1 ½	40	1 ½-3	40-75
30.0-75.0	1 ½-3	40-75	3	75	1 ½-3	40-70	3	75
มากกว่า 75.0	1 ½-3	40-75	6	150	1 ½-3	40-75	3-6	75-150

ตารางที่ ผ.6 ปริมาณน้ำที่ต้องการสำหรับค่าความยุบตัวและวัสดุผสมขนาดต่างๆ

ค่าความยุบตัว (ซม.)	ปริมาณน้ำเป็นลิตรต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม. สำหรับวัสดุผสมขนาดต่าง ๆ							
	3/8" (10 มม.)	½" (12.5 มม.)	¾" (20 มม.)	1" (25 มม.)	1 ½" (40 มม.)	2" (50 มม.)	3" (75 มม.)	6" (150 มม.)
คอนกรีตที่ไม่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Non Air Entraining Concrete)								
3-5	205	200	185	180	160	155	145	125
8-10	225	215	200	195	175	170	160	140
15-18	240	230	210	205	185	180	170	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศ (Air Entraining Concrete)								
3-5	180	175	165	160	145	140	135	120
8-10	200	190	180	175	160	155	150	135
15-18	215	205	190	185	170	165	160	-
ปริมาณฟองอากาศ (%) โดยปริมาตร	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

ตารางที่ ผ.7 อัตราน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผยรุนแรง

ชนิดของโครงสร้าง	โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลา หรือ มีการเยือกแข็งและการละลายของน้ำ สลับกันบ่อย ๆ (เฉพาะคอนกรีต กระจายกักฟองอากาศเท่านั้น)	โครงสร้างในน้ำทะเล หรือสัมผัสกับซัลเฟต
โครงสร้างบาง ๆ ที่มีเหล็กหุ้มบางกว่า 3 ซม.	0.45	0.40*
โครงสร้างอื่น ๆ ทั้งหมด	0.50	0.45*

ตารางที่ ผ.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของคอนกรีต ที่ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก	
	คอนกรีตไม่กระจาย กักฟองอากาศ	คอนกรีตกระจาย กักฟองอากาศ
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

หมายเหตุ : ค่าที่ใช้จากตารางนี้ ทำการทดลองจากแท่งตัวอย่างรูปทรงมาตรฐาน Ø 15x30 ซม. ถ้าแท่งตัวอย่างเป็นแบบลูกบาศก์ ค่ากำลังอัดประลัยจะสูงกว่าค่าในตารางประมาณ 20%

ตารางที่ ผ.9 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตรของคอนกรีต สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่าง ๆ กัน			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8" (10 มม.)	0.50	0.48	0.46	0.44
½" (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
¾" (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.60
1" (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 ½"(40 มม.)	0.76	0.74	0.72	0.70
2" (50 มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3" (75 มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6" (150 มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

หมายเหตุ ค่าที่กำหนดให้ เป็นค่าสำหรับงานคอนกรีตเสริมเหล็กทั่ว ๆ ไป สำหรับงานคอนกรีตที่ทำได้ง่ายกว่า เช่น ถนน พื้น เป็นต้น อาจเพิ่มค่าเหล่านี้ขึ้นได้อีก 10 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ ผ.10 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตสดโดยประมาณ

ขนาดโตสุดของหิน	หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)	
	คอนกรีตที่ไม่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ	คอนกรีตที่ใช้สารกระจายกักฟองอากาศ
3/8" (10 มม.)	2285	2190
½" (12.5 มม.)	2315	2235
¾" (20 มม.)	2355	2280
1" (25 มม.)	2375	2315
1 ½" (40 มม.)	2420	2355
2" (50 มม.)	2445	2375
3" (75 มม.)	2465	2400
6" (150 มม.)	2505	2435