

การศึกษาผลกระทบของชนิดหินต่อการหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว
ด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย

A STUDY OF EFFECT OF ROCK TYPE ON THE DETERMINATION OF ROCK
CONTENT IN HARDENED CONCRETE BY IMAGE PROCESSING

นิวัฒน์ คำพันธ์

ธิษัมพร ไชยรัตน์สัมพันธ์

โครงการวิศวกรรมนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยบูรพา ปีการศึกษา 2560

A STUDY OF EFFECT OF ROCK TYPE ON THE DETERMINATION OF ROCK
CONTENT IN HARDENED CONCRETE BY IMAGE PROCESSING

Niwat Kampan
Thikamporn Chairatsamphan

An Engineering Project Submitted in Partial Fulfillment of Requirements
for the Degree of Bachelor of Engineering
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering
Burapha University 2017

หัวข้อโครงการ การศึกษาผลกระทบของชนิดหินต่อการหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วยการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย

โดย นายนิวัฒน์ คำพันธ์
 นางสาวธิมมพร ไชยรัตน์สัมพันธ์

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ธิดาพร เชื้อสวัสด์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติโครงการทางวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต



หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

(ดร.ชาญยุทธ กาฬกาญจน์)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร.ธิดาพร เชื้อสวัสด์)



อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย สำราญวานิช)

คณะกรรมการสอบโครงการ



ประธานกรรมการ

(ดร.ธิดาพร เชื้อสวัสด์)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิชัย สำราญวานิช)



กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อานนท์ วงษ์แก้ว)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลกระทบของชนิดของหินต่อการหาปริมาณมวลรวมหยาบในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วยวิธีการทางภาพถ่าย โดยใช้ขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ $\frac{3}{4}$ " นิ้ว ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.40, 0.50 และ 0.60 และใช้อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด 0.30, 0.44 และ 0.60 ศึกษาตัวอย่างรูปทรงกระบอก 2 ขนาด คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร โดยนำตัวอย่างมาตัดให้มีขนาดความหนาเท่าๆกัน และนำไปถ่ายภาพหน้าตัดตัวอย่าง เพื่อทำการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย (Image analysis) สำหรับหาปริมาณมวลรวมหยาบต่อไป

จากการศึกษาพบว่า ชนิดหินที่แตกต่างกันส่งผลกระทบต่อการหาปริมาณหินในคอนกรีต เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของหินที่ต่างกัน อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ส่งผลกระทบต่อการหาปริมาณหินในคอนกรีตด้วย โดยที่คอนกรีตอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.40 และ 0.60 มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าคอนกรีตที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.50 เนื่องจากปริมาณน้ำน้อยไปทำให้หินกระจายตัวกันไม่ดี และปริมาณน้ำมากทำให้หินจมอยู่กับของแบบหล่อก่อนตัวอย่าง และอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดมีผลกระทบต่อการหาปริมาณหินในคอนกรีตด้วย เนื่องจากอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดสูง ทำให้มีปริมาณหินน้อย และปริมาณทรายมากทำให้หินจมตัวอยู่ด้านล่างของตัวอย่างจึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนสูง สุดท้ายขนาดของตัวอย่างต่างกัน ส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์หาปริมาณหินในคอนกรีต โดยก้อนตัวอย่างขนาดใหญ่มีการกระจายตัวของหินได้ดีกว่าก้อนตัวอย่างขนาดเล็กจึงมีความคลาดเคลื่อนน้อย

คำสำคัญ : กระบวนการทางภาพถ่าย, ปริมาณมวลรวมหยาบ, ทรงกระบอก, ส่วนผสมคอนกรีต, คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว

Abstract

This research aims to study the effect of coarse aggregate type on the determination of coarse aggregate content in hardened concrete by image processing method. Maximum size of coarse aggregate was $\frac{3}{4}$ inch. Water to content ratios were 0.40, 0.50 and 0.60 and fine aggregate to aggregate ratio were 0.30, 0.44 and 0.60. Sample shapes were cylinder with 2 size of 10-cm diameter and 20-cm height and 15-cm diameter and 30-cm height. Concrete sample were cut into pieces with the same thickness, then were taken photographs of cross section in order to determine coarse aggregate content by using image analysis

From the study, it was found that coarse aggregate type affects on the determination of coarse aggregate content in concrete because physical characteristics of coarse aggregate were different. Water cement ratio (w/c) affects on the determination of coarse aggregate content in concrete. Concrete with w/c of 0.40 and 0.60 have higher error than that of 0.50. This is because low water content results in poor distribution of coarse aggregate and high water content leads to sinking of coarse aggregate at bottom of mold. Find aggregate to aggregate ratio (s/a) affects on the determination of coarse aggregate content in concrete. High s/a results in lower coarse aggregate content and higher fine aggregate content, so leading to the sinking of coarse aggregate at bottom of mold and high error. Finally, the sample size affects on the determination of coarse aggregate content in concrete. Larger size of sample results in better distribution of coarse aggregate particles than smaller one, leading to lower error.

Keywords : Image processing, Coarse aggregate content, Cylinder, Mix proportion, Concrete.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการทางวิศวกรรมเล่มนี้สำเร็จขึ้นเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์ เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ดร.ธิดาพร เชื้อสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีชัย สำราญวานิช อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่คอยให้คำแนะนำในส่วนของการรายละเอียดของโครงการ ตลอดจนการปรับปรุงและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่งของอาจารย์ ผู้ศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ผู้ศึกษาขอขอบคุณอาจารย์คณะกรรมการที่ให้คำแนะนำติชม แก่โครงการนี้ รวมไปถึงท่านอาจารย์ทุกท่าน เจ้าหน้าที่ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การช่วยเหลือ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่มีส่วนผลักดันและเป็นที่กำลังใจ ซึ่งคณะผู้ศึกษาซาบซึ้งในความกรุณาอันยิ่งใหญ่จากท่าน และขอขอบพระคุณ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ช
สารบัญตาราง	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ชนิดและแหล่งหินที่นำมาใช้ผสมคอนกรีต	3
2.1.1 หินตะกอนหรือหินชั้น (Sedimentary Rock)	3
2.1.2 หินอัคนี (Igneous Rock)	4
2.1.3 กรวด (Gravel)	5
2.2 คุณสมบัติของหินหรือมวลรวมหยาบ	5
2.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของมวลรวมหยาบ	5
2.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ	6
2.2.3 คุณสมบัติทางเคมี	12
2.3 ปัญหาของหินในงานวิศวกรรม	13
2.3.1 หินอัคนี	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 หินตะกอน	14
2.4 วิธีการทางภาพถ่าย	15
2.5 วิธีการหาปริมาณมวลรวมหยาบในคอนกรีตที่ แข็งตัวแล้ว	17
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการทดลอง	19
3.1 ขั้นตอนการทดลอง	19
3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้	20
3.2.1 วัสดุที่ใช้	20
3.2.2 ส่วนผสมของคอนกรีต	21
3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	23
3.2.4 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดลอง	25
3.3 การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ	25
3.3.1 การทดสอบด้วยวิธีการทางภาพถ่าย	25
3.3.2 การทดสอบด้วยวิธีการทางภาพถ่าย	26
3.3.3 การทดสอบหาพื้นที่หินด้วยโปรแกรม MATLAB	29
3.3.4 การคำนวณหาปริมาณหิน	29
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	32
4.1 ผลการทดสอบด้วยวิธีการทางภาพถ่าย	32
4.2 ผลการคำนวณหาน้ำหนักของหิน	51
4.3 ความคลาดเคลื่อนของการหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย	52
4.3.1 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชนิดหิน	52
4.3.2 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	53

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.3 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด	54
4.3.4 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากขนาดก้อนตัวอย่าง	55
บทที่ 5 สรุปผล	56
5.1 สรุปผล	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	58
ภาคผนวก ก ภาพถ่ายหน้าตัดตัวอย่างของคอนกรีตแต่ละหน้า	58
ภาคผนวก ข ผลการคำนวณและความคลาดเคลื่อนของปริมาณหินแต่ละหน้าตัด	84
ภาคผนวก ค ขนาดผลของทรายและหิน	95
บทความ	98
ประวัติผู้จัดทำโครงการ	107

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 หินปูน	3
รูปที่ 2.2 หินแกรนิต	4
รูปที่ 2.3 หินแอนดีไซต์	4
รูปที่ 2.4 หินบะซอลต์	5
รูปที่ 2.5 กรวด	5
รูปที่ 2.6 การแบ่งชนิดของมวลรวมตามรูปร่าง	7
รูปที่ 2.7 การเรียงตัวของขนาดผลที่ต่างกัน	9
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างแผนภูมิขนาดผลของมวลรวมที่มีขนาดผลได้ตามกำหนด	9
รูปที่ 2.9 ตัวอย่างแผนภูมิขนาดผลของมวลรวมที่มีขนาดผลไม่ได้ตามที่กำหนด	10
รูปที่ 2.10 สภาพความชื้นของมวลรวม	11
รูปที่ 2.11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จาก DIP ที่ปรับแก้แล้วกับการร่อนผ่านตะแกรง	15
รูปที่ 2.12 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากการทำนายมวลโดยการสุ่มตัวอย่าง	16
รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน	19
รูปที่ 3.2 ขนาดผลของมวลรวมละเอียด	20
รูปที่ 3.3 ขนาดผลของหินปูนขนาดใหญ่สุด $\frac{3}{4}$ นิ้ว	21
รูปที่ 3.4 เครื่องผสมคอนกรีต	23
รูปที่ 3.5 แบบหล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีต	23
รูปที่ 3.6 เครื่องตัดคอนกรีต	24
รูปที่ 3.7 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล	24
รูปที่ 3.8 คอมพิวเตอร์	24
รูปที่ 3.9 โปรแกรม Adobe Photoshop	25
รูปที่ 3.10 โปรแกรม MATLAB	25
รูปที่ 3.11 การตัดก้อนตัวอย่าง	26
รูปที่ 3.12 กรอบตัดภาพและปรับความละเอียดภาพ	27

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.13 เครื่องมือ Magnetic Lasso Tool และเลือกมวลรวมหยาบ	27
รูปที่ 3.14 คำสั่ง Fill และ คำสั่ง Select Inverse	28
รูปที่ 3.15 ภาพที่ได้จากการคัดเลือกขอบเขตหิน	28
รูปที่ 3.16 ภาพที่ได้จากการหาพื้นที่ของหินโดย MATLAB	29
รูปที่ 3.17 พื้นที่ได้กราฟ Z-Score	30
รูปที่ 4.1 การเรียงลำดับภาพถ่าย	32
รูปที่ 4.2 ความคลาดเคลื่อนของปริมาณหินเนื่องจากชนิดของหิน	52
รูปที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนของปริมาณหินเนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	53
รูปที่ 4.4 ความคลาดเคลื่อนของปริมาณหินเนื่องจากอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด	54
รูปที่ 4.5 ความคลาดเคลื่อนของปริมาณหินเนื่องจากขนาดของตัวอย่าง	55

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 กำลังอัดของหิน	6
ตารางที่ 2.2 ลักษณะผิวของหิน	8
ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมที่ใช้ในการผสมคอนกรีต	22
ตารางที่ 4.1 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W40SA44LSL (pixel)	32
ตารางที่ 4.2 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA30LSL (pixel)	32
ตารางที่ 4.3 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA44LSL (pixel)	33
ตารางที่ 4.4 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA60LSL (pixel)	33
ตารางที่ 4.5 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W60SA44LSL (pixel)	34
ตารางที่ 4.6 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W40SA44LSS (pixel)	35
ตารางที่ 4.7 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA30LSS (pixel)	36
ตารางที่ 4.8 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA44LSS (pixel)	37
ตารางที่ 4.9 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA60LSS (pixel)	38
ตารางที่ 4.10 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W60SA44LSS (pixel)	39
ตารางที่ 4.11 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W40SA44GNS (pixel)	40
ตารางที่ 4.12 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA30GNS (pixel)	41
ตารางที่ 4.13 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA44GNS (pixel)	42
ตารางที่ 4.14 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA60GNS (pixel)	43
ตารางที่ 4.15 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W60SA44GNS (pixel)	44
ตารางที่ 4.16 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W40SA44BSS (pixel)	45
ตารางที่ 4.17 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA30BSS (pixel)	46
ตารางที่ 4.18 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA44BSS (pixel)	47
ตารางที่ 4.19 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA60BSS (pixel)	48
ตารางที่ 4.20 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W60SA44BSS (pixel)	49
ตารางที่ 4.21 ผลจากการคำนวณหาปริมาณหิน	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันแพร่หลายตั้งแต่อดีตจวบจนปัจจุบัน เพราะเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมทั้งด้านราคา ความคงทนแข็งแรง เป็นวัสดุที่สามารถก่อสร้างให้มีรูปร่างลักษณะได้ตามความต้องการ สามารถสร้างโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ได้ง่าย คอนกรีตประกอบด้วยส่วนผสม 2 ส่วน คือ วัสดุประสาน ซึ่งได้แก่ ปูนซีเมนต์ น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ผสมกับวัสดุผสมซึ่งได้แก่ หิน หรือกรวด เมื่อนำมาผสมกันจะคงสภาพเหลวอยู่ช่วงเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะแปรสภาพเป็นของแข็ง มีความแข็งแรงมากขึ้นตามอายุของคอนกรีตที่มากขึ้นจนถึงช่วงอายุหนึ่งก็จะมีค่าความแข็งแรงคงที่ ในปัจจุบันได้มีการศึกษาและปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตให้ดีขึ้น โดยได้มีการนำวัสดุอื่น ๆ มาผสมในคอนกรีตทำให้คอนกรีตมีความทนทาน รวมทั้งยังได้คอนกรีตมีราคาที่เหมาะสมกับความทนทานและความสวยงาม

การศึกษาหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว จะทำให้สามารถรู้ถึงอัตราส่วนหินที่ใช้ในการผสมคอนกรีตและสามารถตรวจสอบปัญหาของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้วเนื่องจากผลกระทบของปริมาณหินในคอนกรีต เช่น ปัญหาคุณสมบัติของคอนกรีตไม่เหมาะสมกับการใช้งาน ปัญหาการเสื่อมสภาพของคอนกรีตก่อนกำหนดอายุการใช้งาน หรือกำลังรับแรงอัดไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งปัญหาเหล่านี้ทำให้เกิดความขัดแย้งระหว่างผู้รับเหมากับผู้ผลิตคอนกรีต ทำให้ยากที่จะบอกว่าฝ่ายไหนผิด ส่วนผสมจึงเป็นหนึ่งในข้อมูลสำคัญที่จำเป็นต่อการพิจารณาหาสาเหตุความเสียหาย ดังนั้นการตรวจสอบหาปริมาณหินจากคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วจึงเข้ามามีส่วนร่วมในการตรวจสอบปัญหาที่เกิดขึ้นกับคอนกรีต นอกจากนี้ยังศึกษาถึงผลกระทบของชนิดหินว่ามีผลกระทบต่อการหาปริมาณหินอย่างไร เนื่องจากหินแต่ละชนิดมีสี รูปร่าง ลักษณะพื้นผิวที่แตกต่างกัน

การศึกษาและพัฒนาเกี่ยวกับการหาส่วนผสมของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วยการวิเคราะห์ทางภาพถ่ายในปัจจุบันยังมีการศึกษากันน้อยและมีข้อจำกัดหลายด้าน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการหาปริมาณหินของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วยการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย และหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่ช่วยให้การหาส่วนผสมของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วได้พัฒนาต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลกระทบของชนิดหินต่อการหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วยการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย
2. เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ด้วยการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย
3. เพื่อศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดด้วยการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย
4. เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดของตัวอย่างด้วยการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ในการศึกษาผลกระทบของชนิดหินต่อการหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ชนิดหินที่นำมาผสมคอนกรีต 3 ชนิดคือ หินปูน หินแกรนิตและหินบะซอลต์ โดยใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คือ 0.40, 0.50 และ 0.60 ใช้อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดคือ 0.30, 0.44 และ 0.60 ตัวอย่างที่นำมาศึกษาคือรูปทรงกระบอก (Cylinder) 2 ขนาด ได้แก่ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตรและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร.

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทำให้ทราบผลกระทบของชนิดหินต่อการหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วยการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย
2. ทำให้ทราบผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ด้วยการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย
3. ทำให้ทราบผลกระทบของอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดด้วยการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย
4. เพื่อศึกษาผลกระทบของขนาดของตัวอย่างด้วยการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชนิดและแหล่งหินที่นำมาใช้ผสมคอนกรีต

การจำแนกประเภทหินตามการกำเนิดจากธรรมชาติ แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ หินอัคนี หินตะกอนหรือหินชั้น และหินแปร ซึ่งหินที่สามารถนำมาผสมคอนกรีตจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับ ปูนซีเมนต์ ในประเทศไทยมีการนำหินชนิดต่างๆมาใช้ผสมคอนกรีต ได้แก่

2.1.1 หินตะกอนหรือหินชั้น (Sedimentary Rock)

หินตะกอนหรือหินชั้น เป็นหินที่มีมากถึง 75% ของหินที่โผล่บนผิวโลก ส่วนมากเป็นหินดินดาน (Shale) รองลงมาคือ หินทราย (Sandstone) และหินปูน (Limestone) หินตะกอนเกิดจากการสลายตัวของหินชนิดใดๆก็ได้มาลงเคมีหรือทางกายภาพ จนหลุดเป็นตะกอนที่มีลักษณะร่วนไม่อัดตัวของเศษหิน ตะกอนเกิดการทับถม และผ่านกระบวนการแข็งอัดตัว (Lithification) ที่อุณหภูมิและความดันธรรมดา กลายเป็นหินตะกอนเมื่อทับถมกันมากก็เกิดเป็นชั้น (Bed) หลายๆชั้นรวมกันเป็นชั้นหินสตราตัม (Stratum) หลายๆสตราตัมรวมกันเรียกว่า สตราตา (Strata)

ลักษณะเด่นของหินตะกอนคือ มีลักษณะเป็นชั้นๆ แร่ในหินมีการคัดขนาดและลบเหลี่ยมมุมไปบ้าง มีแร่ ควอร์ตซ์และแคลไซต์มากในหิน มีแร่ที่เกิดจากการตกตะกอนจากสารละลายปนมา เช่น ยิปซัม และเฮไลต์ อาจพบซากดึกดำบรรพ์ปนอยู่ในหิน และเป็นหินที่พบบ่อยและคุ้นเคยมากกว่าหินชนิดอื่นๆ หินตะกอนที่นิยมใช้ผสมคอนกรีตได้แก่ หินปูน (Limestone) ซึ่งเกิดจากการทับถมตัวของซากสัตว์ทะเล เป็นชนิดหินที่นำมาใช้ผสมคอนกรีตมากที่สุดในประเทศ เนื่องจากมีภูเขาหินปูนกระจายอยู่ทั่วประเทศ หินปูนที่พบในประเทศไทยมีการตกผลึกจากสารละลาย CaCO_3 มีผลึกแร่สมานติดแน่น ส่วนใหญ่สีจะออก โทนสีเทาแต่อาจจะพบมีสีอื่นๆเช่น สีเทาดำ สีเทาปนน้ำตาล และอาจพบซากดึกดำบรรพ์ (Fossil) ในชั้น หินปูนด้วย ดังรูปที่ 2.1 โดยมีแหล่งผลิตสำคัญอยู่แถบจังหวัด สระบุรี ราชบุรี ชลบุรี กำแพงเพชร ลำปาง เลย และนครศรีธรรมราช



รูปที่ 2.1 หินปูน

2.1.2 หินอัคนี (Igneous Rock)

หินอัคนีเกิดจากหินหนืดหรือลาวาเย็นตัวแล้วแข็งตัวตกผลึก (Crystallization) มีลักษณะเด่น คือ เม็ดแร่จับประสานตัวกันแน่น (Interlocking) มีความพรุนต่ำ เนื้อหินสมานแน่น (Massive) ผลึกหน้าตัดเป็นรูปหกเหลี่ยม (Columnar Jointing) มีแร่เฟลด์สปาร์สูง และบางส่วนของเนื้อหินจะมีแก้วธรรมชาติปนอยู่ หินอัคนีมีความแข็งแกร่งกว่าหินปูนแต่ไม่มีผู้ผลิตมากนัก เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตและค่าสีที่สูง มักจะผลิตในท้องถิ่นที่ไม่สามารถหาแหล่งหินปูนได้ หินอัคนีที่มีการผลิตในประเทศ ได้แก่

หินแกรนิต (Granite) เป็นหินที่มีเนื้อหยาบตกผลึกเกาะกันแน่นเห็นได้ชัด โดยทั่วไปเป็นหินสีจาง เพราะแร่ส่วนใหญ่เป็นพวกเฟลด์สปาร์และ ควอร์ตซ์ หินแกรนิตในประเทศไทยมีสีจางออกโทนสีเทา ผลึกแรมองเห็นค่อนข้างชัดเจน เนื้อหินมีทั้งชนิดเนื้อเม็ดผลึกเล็กละเอียดกับเนื้อเม็ดผลึกสองขนาด แร่ประกอบหินที่สำคัญเป็นแร่ควอร์ตซ์ เฟลด์สปาร์ ไมกา อาจมีแร่อื่นปะปนในหินแกรนิตบ้าง ดังรูปที่ 2.2 มีแหล่งอยู่ที่จังหวัดชลบุรี ระยอง ตาก ปราจีนบุรี สงขลา และสุราษฎร์ธานี



รูปที่ 2.2 หินแกรนิต

หินแอนดีไซต์ (Andesite) เกิดจากหินหนืดเย็นตัวบนพื้นผิวโลก เป็นหินที่เนื้อละเอียด ผลึกของแรมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น เพราะแร่ตกผลึกอย่างรวดเร็ว ทำให้ผลึกแร่มีขนาดเล็ก มีสีม่วง เขียว เทาแก่ หรือดำ ดังรูปที่ 2.3 มีแหล่งผลิตแถบจังหวัด สระบุรี เพชรบุรี และสระแก้ว



รูปที่ 2.3 หินแอนดีไซต์

หินบะซอลต์ (Basalt) หินบะซอลต์เป็นหินอัคนีพุ หรือหินภูเขาไฟชนิดหนึ่งที่เกิดจากหินหนืดขึ้นมาเย็นตัวบนพื้นผิวโลกหรือปล่องภูเขาไฟที่เรียกว่าลาวา สีของหินบะซอลต์ส่วนมากเป็นสีดำ เทา เขียว หรือม่วงปนดำ ลักษณะเนื้อของหินบะซอลต์ที่พบตั้งแต่เนื้อละเอียดจนถึงเนื้อหยาบ ส่วนมากมีรูพรุน ดังรูปที่ 2.4 มีแหล่งผลิตแถบจังหวัดสุรินทร์ บุรีรัมย์ และศรีสะเกษ



รูปที่ 2.4 หินบะซอลต์

2.1.3 กรวด (Gravel)

เกิดจากการผุพังของหินอัคนีพบอยู่ทั่วไปตามแม่น้ำลำธาร สามารถนำมาผสมคอนกรีตได้ดีเท่าหินชนิดอื่น โดยนำมาร่อนให้มีขนาดและส่วนคละตามมาตรฐาน ในประเทศไทยยังไม่นิยมใช้กรวดในการผสมคอนกรีตมากนักแต่ในอุตสาหกรรมคอนกรีตในประเทศสหรัฐอเมริกาประมาณครึ่งหนึ่งก็นำกรวดมาใช้เป็นมวลรวมหยาบ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กรวด

2.2 คุณสมบัติของหินหรือมวลรวมหยาบ

2.2.1 คุณสมบัติทั่วไปของมวลรวมหยาบ

มวลรวมหยาบ ควรจะมีคุณสมบัติทำให้คอนกรีตนั้นมีความสามารถเทได้ง่าย แข็งแรงคงทน และมีความประหยัดและควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1) ความแข็งแรง (Strength) มวลรวมจะต้องมีความสามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังของคอนกรีตที่ต้องการ ซึ่งปกติมวลรวมที่ใช้โดยทั่วไปจะมีความสามารถรับแรงกดได้ 700-3500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของมวลรวมที่ใช้ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กำลังอัดของหิน

ชนิดของหิน	กำลังอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)
หินควอร์ตไซต์	1,500-3,000
หินแกรนิต	1,000-2,500
หินบะซอลต์	1,000-3,000
หินปูน	300-2,500

2) ความต้านทานต่อแรงกระแทกและการขัดสี (Impact and abrasion resistance)

ความสามารถในการต้านทานต่อแรงกระแทกและการขัดสีของมวลรวม เป็นคุณสมบัติที่สามารถใช้เป็นตัวบอกลักษณะของมวลรวม และมีความสำคัญมากสำหรับมวลรวมที่ใช้ผสมทำคอนกรีตที่ต้องรับแรงกระแทกหรือการขัดสี เช่น พื้นถนน พื้นโรงงาน และสนามบิน เป็นต้น ดังนั้นมวลรวมที่ใช้ควรมีความแข็งแรงสูงและมีเนื้อแน่น

3) ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical stability) มวลรวมจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมีกับปูนซีเมนต์ หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ในบางพื้นที่มวลรวมบางประเภทสามารถทำปฏิกิริยากับด่าง (Alkali) ในปูนซีเมนต์ได้ ก่อให้เกิดเป็นวุ้นและขยายตัวจนเกิดรอยแตกร้าวกระจายอยู่ทั่วบริเวณผิวหน้าคอนกรีต ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า “ปฏิกิริยาระหว่างด่างกับมวลรวม”

2.2.2 คุณสมบัติทางกายภาพ

รูปร่าง

รูปร่างและลักษณะผิวของมวลรวมมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมากกว่าคุณสมบัติของคอนกรีตที่แข็งตัว โดยทั่วไปแล้วจะแบ่งลักษณะทางกายภาพใหญ่ๆออกเป็น 2 ประเภท คือ กลม (Rounded) และเหลี่ยม (Angular) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 หินที่ลักษณะกลมนั้นจะมีความสามารถในการทำงานที่ดี (Good-workability) แต่จะมีการขัดกันของอนุภาคที่ต่ำ จึงไม่นิยมใช้ในงานคอนกรีตกำลังสูง แตกต่างจากมวลรวมที่ลักษณะเหลี่ยมที่มีความสามารถในการทำงานต่ำ (Least workability) แต่เนื่องจากการขัดกันของอนุภาคที่มาก ทำให้นิยมใช้กับงานที่ต้องการกำลังรับแรงอัดสูง เช่น งานคอนกรีตกำลังสูง เป็นต้น ซึ่งตามมาตรฐานอังกฤษ BS812 Part1 1975 ได้ให้คำนิยามของรูปร่างและลักษณะมวลรวมไว้ ดังนี้

- กลม (Rounded) ลักษณะผิวของมวลรวมเกลี้ยงไม่มีเหลี่ยมเนื่องจากการเสียดสีกันเอง เช่น กรวด ทรายจากแม่น้ำ หรือชายทะเล มวลรวมที่มีลักษณะก้นกลมจะช่วยให้ทำงานง่ายและประหยัด เพราะต้องการการปูซีเมนต์และน้ำในส่วนผสมน้อยกว่า เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสที่น้อยกว่า

- บิดเบี้ยว (Irregular) มีลักษณะรูปร่างของมวลรวมไม่สม่ำเสมอโดยธรรมชาติ หรือถูกเสียดสีมาบ้างและมีเหลี่ยมมน เช่น กรวดทรายที่ได้จากบ่อ หินเหล็กไฟ ที่ได้จากพื้นดินหรือขุดขึ้นมา

- เหลี่ยม (Angular) ลักษณะรูปร่างของมวลรวมมีเหลี่ยมเกิดจากด้านที่เรียบมาบรรจบกันและเห็นได้ชัด เช่น หินย่อยจากเครื่องโม่ทุกแบบ หินที่ตกตามไหล่เขา

- แบน (Flat or Flaky) ลักษณะรูปร่างของมวลรวมมีความหนาน้อยมากเมื่อเทียบกับความกว้างหรือความยาว ปกติจะเป็นเหลี่ยมด้วย เช่น หินที่มีลักษณะเป็นชั้น การพิจารณาว่ามวลรวมนั้นแบนก็ต่อเมื่อมีความหนาน้อยกว่า 0.6 เท่า ของค่าเฉลี่ยขนาดตะแกรงมาตรฐาน ซึ่งใช้เป็นตัวกำหนดขนาดของอนุภาคในแต่ละขนาดตะแกรง

กลม (Rounded)



กลม

(Spherical)



บิดเบี้ยว

(Irregular)



บิดเบี้ยวมาก

(Highly Irregular)



แบน

(Flat)



ยาวเรียว

(Elongated (Needle-Like))

เป็นเหลี่ยมมุม (Angular)



ลูกบาศก์

(Cubical)



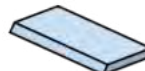
บิดเบี้ยว

(Irregular (Chunky))



บิดเบี้ยวมาก

(Highly Irregular)



แบน

(Flat or Flaky)



ยาวเรียว

(Elongated (Prismatic))

รูปที่ 2.6 การแบ่งชนิดของมวลรวมตามรูปร่าง

พื้นผิว

ลักษณะพื้นผิวของหินจะขึ้นกับหลายปัจจัย ได้แก่ ชนิดแร่ประกอบของหิน ลักษณะทางภูมิภาคของแหล่งที่อยู่ กระบวนการและวัฏจักรทางธรรมชาติของสิ่งแวดล้อม ปัจจัยเหล่านี้ทำให้เกิดความหลากหลายของหิน ทั้งในด้านขององค์ประกอบของแร่ธาตุ ความคงทน คุณสมบัติทางเคมีตลอดจนรูปร่างลักษณะของพื้นผิว ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะผิวของหิน

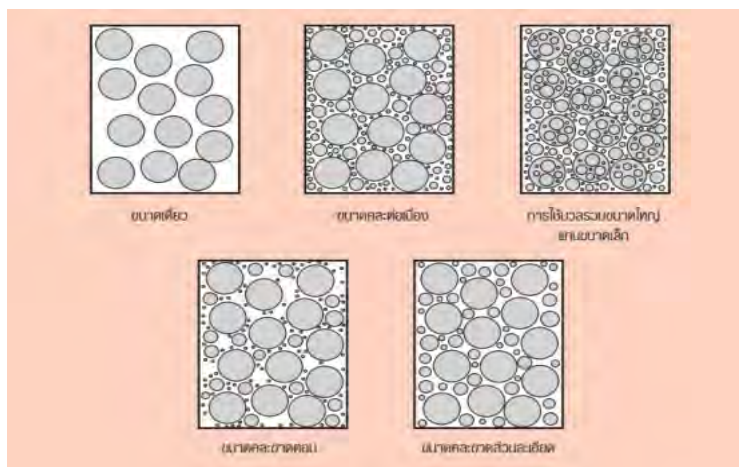
พื้นผิว	ตัวอย่าง
ใสคล้ายแก้ว	หินเหล็กไฟดำ
เรียบ	หินเชิร์ต หินชนวน หินอ่อน
เป็นเม็ด	หินทราย หินอุโลต์
เป็นผลึก	อย่างละเอียด: หินบะซอลต์ หินแกรนไฟร์ อย่างกลาง: หินแกรนูลอต์ หินปูนบางชนิด อย่างหยาบ : หินไนส์ หินแกรนิต
เป็นรูพรุน	หินสกอเรีย หินพัมมิช

ขนาด

ขนาดคละของมวลรวม มีผลต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตสด และปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต การทำคอนกรีตที่ดีนั้น แต่ละอนุภาคของมวลรวมจะต้องถูกห่อหุ้มด้วยซีเมนต์เพสต์ไม่ว่ามวลรวมนั้นจะมีขนาดเล็กหรือใหญ่ก็ตาม นอกจากนี้มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม

ผลของขนาดคละต่อคุณสมบัติของคอนกรีต

ปริมาณซีเมนต์เพสต์ คอนกรีตที่มีขนาดคละของมวลรวมดี มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อนำมาผสมรวมกันแล้วมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่าจะต้องบรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่าให้มากที่สุดดังรูปที่ 2.7 การที่มวลรวมมีขนาดคละที่ดีดังกล่าวจะส่งผลให้ช่องว่างระหว่างมวลรวมมีปริมาณน้อยลง ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ใช้เพื่อยึดมวลรวมและอุดช่องว่างจึงลดลง ทำให้ลดปริมาณส่วนผสมของปูนซีเมนต์ลงได้

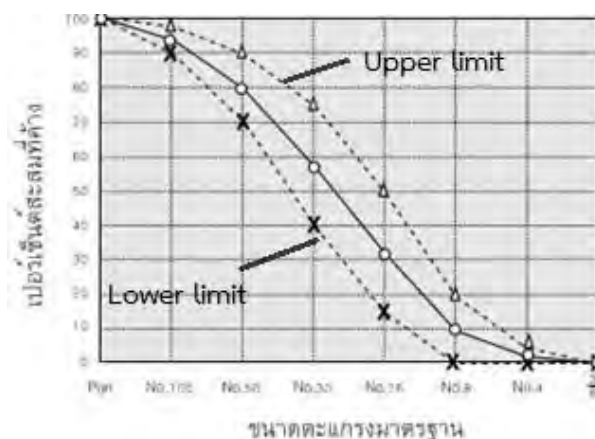


รูปที่ 2.7 การเรียงตัวของขนาดคละที่ต่างกัน

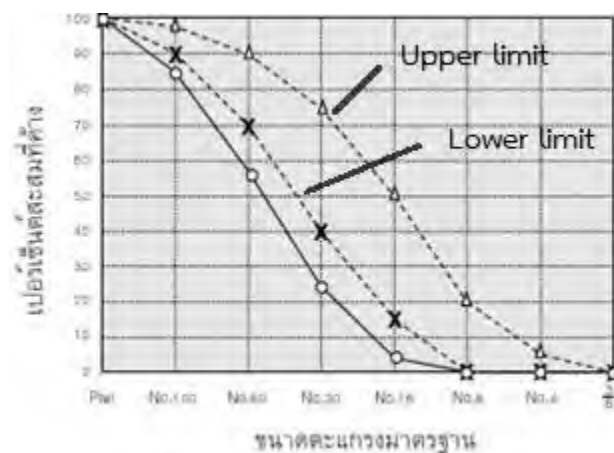
ความสามารถเทได้ (Workability) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมซึ่งมีขนาดคละดี จะมีปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่เหลือจากการเติมช่องว่างในมวลรวมมากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดเดียว หรือขนาดคละขาดช่วง ดังนั้นปริมาณซีเมนต์เพสต์ดังกล่าวจะทำให้หน้าหล่อลื่นและลดแรงเสียดทานระหว่างมวลรวมทำให้มีความสามารถเทได้เพิ่มขึ้น

การแยกตัว (Segregation) โดยปกติการแยกตัวของคอนกรีตมี 2 ชนิด คือการแยกตัวของมอร์ตาร์ออกจากเนื้อคอนกรีตในคอนกรีตปกติทั่วไปที่ได้รับการจี้เขย่ามากเกินไป ส่วนอีกประเภทหนึ่งคือการแยกน้ำ โดยมีลักษณะคือ การจมลงของมวลรวมซึ่งจะดันให้น้ำบางส่วนลอยตัวขึ้นมาบนผิวหน้าของคอนกรีตซึ่งมีสาเหตุมาจากความสามารถของส่วนผสมที่จะกักน้ำที่แผ่กระจายอยู่เอาไว้ในขณะที่มวลรวมที่หนักกว่าน้ำจะจมลง

แผนภูมิขนาดคละ (Gradation curves) คือการนำผลการวิเคราะห์ขนาดคละมาเขียนแผนภูมิคละซึ่งสามารถช่วยในการเปรียบเทียบขนาดคละของมวลรวมว่าสอดคล้องหรือไม่ กับมาตรฐานที่กำหนดได้อย่างรวดเร็ว ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างแผนภูมิขนาดคละของมวลรวมที่มีขนาดคละได้ตามกำหนด



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างแผนภูมิขนาดคละของมวลรวมที่มีขนาดคละไม่ได้ตามที่กำหนด

ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness modulus) คือ ตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของก้อนวัสดุในมวลรวม เป็นตัวบ่งบอกว่าลักษณะทรายนั้นหยาบหรือละเอียด ค่าโมดูลัสความละเอียดไม่สามารถใช้บอกขนาดคละของมวลรวมได้ แต่สามารถใช้ควบคุมความสม่ำเสมอของมวลรวมที่ผลิตจากแหล่งเดียวกัน ทรายที่มี F.M. สูง คือ ทรายที่มีความหยาบมาก เช่นทรายที่มี F.M. = 3.2 จะมีความหยาบมากกว่าทรายที่มี F.M. = 2.3 ทรายที่มีเหมาะสมสำหรับผลิตคอนกรีต ควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดในช่วง 2.30 – 3.20

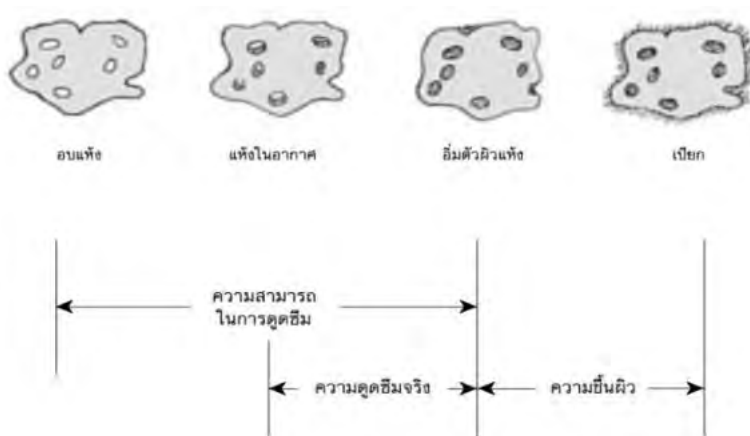
ขนาดใหญ่สุดของมวลรวม จะพิจารณาจากขนาดของตะแกรงที่ใหญ่กว่าถัดขึ้นไปจากตะแกรงที่ใหญ่ที่สุดที่มีมวลรวมค้างอยู่ไม่น้อยกว่าร้อยละ 15 ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้มีผลโดยตรงกับปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ต้องการและขนาดคละของวัสดุผสม กล่าวคือ มวลรวมที่มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ผิวโดยรวมน้อยกว่ามวลรวมที่มีขนาดเล็กเมื่อมีน้ำหนักมวลรวมเท่ากัน ดังนั้นมวลรวมที่มีขนาดใหญ่จึงต้องการปริมาณน้ำปูนและปูนซีเมนต์น้อยกว่าเพื่อให้มีความสามารถในการเทได้เท่ากัน โดยกำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นถ้าใช้มวลรวมขนาดใหญ่ขึ้น เพราะสามารถลดน้ำหรือลดอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ลงได้ ขนาดใหญ่สุดของมวลรวมที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไปมีขนาดไม่เกิน 40 มิลลิเมตร และขนาดเล็กลงเมื่อใช้ในงานคอนกรีตกำลังอัดสูง

ความถ่วงจำเพาะ(Specific gravity) คืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของมวลรวมต่อความหนาแน่นของน้ำ ความถ่วงจำเพาะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของแร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของมวลรวม และรูพรุนภายในอนุภาคมวลรวม มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในประเทศไทยจะมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.7และ 2.65 ตามลำดับ ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะในการแปลงปริมาตรเป็นน้ำหนัก

หน่วยน้ำหนักและช่องว่าง (Unit weight and voids) คือ น้ำหนักของมวลรวมต่อหน่วยปริมาตร หน่วยน้ำหนักจะบอกถึงปริมาตรและช่องว่างระหว่างมวลรวม ที่มวลรวมน้ำหนักหนึ่งๆ จะบรรจุลงได้ ดังนั้นหน่วยน้ำหนักขึ้นอยู่กับ ขนาด รูปร่าง และขนาดของมวลรวม สภาพความชื้นของมวลรวม และระดับของการบดอัด เราใช้หน่วยน้ำหนักในการคำนวณหาปริมาตรเมื่อใช้วิธีวงในการวัดส่วนผสมของคอนกรีต หน่วยน้ำหนักของมวลรวมที่ใช้อยู่ทั่วไปในประเทศไทยมีค่าอยู่ที่ 1,300-1,700 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

สภาพความชื้น มวลรวมมีรูพรุนภายในบางส่วนที่ติดต่อกับผิวนอก ดังนั้นมวลรวมจึงสามารถดูดความชื้น นอกจากนี้บางส่วนยังสามารถเกาะบริเวณผิวของมวลรวม ดังนั้นมวลรวมที่เก็บอยู่ในธรรมชาติจึงมีความชื้นต่างกันไป สภาพความชื้นของมวลรวมแบ่งได้เป็น 4 ลักษณะดังรูปที่ 2.10

- 1.สภาพอบแห้ง (Oven-dry) คือ สภาพที่ความชื้นในมวลรวมทั้งหมด ถูกขับออกด้วยความร้อน จากเตาอบจนมวลรวมมีน้ำหนักคงที่
- 2.สภาพแห้งในอากาศ (Air-dry, AD) คือ สภาพที่มวลรวมผิวแห้งแต่อาจมีน้ำในช่องว่างที่น้ำซึมผ่านได้
- 3.สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry, SSD) คือ สภาพของมวลรวมที่รูพรุนเต็มไปด้วยน้ำ แต่มีผิวที่แห้ง
- 4.สภาพเปียก (Wet, W) คือ สภาพที่มวลรวมมีผิวเปียกและมีน้ำเต็มช่องว่างที่น้ำซึมผ่านได้



รูปที่ 2.10 สภาพความชื้นของมวลรวม

2.2.3 คุณสมบัติทางเคมี

คุณสมบัติทางเคมี (Chemical properties) เป็นคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี หรือการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสาร เช่น การเกิดแก๊ส การเกิดตะกอน การผุกร่อน การติดไฟ การเกิดสนิม การเผาไหม้ การเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนหรือแสงเป็นต้น ซึ่งหินแต่ละชนิดก็จะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน ดังนี้

1) หินตะกอน (Sedimentary rock) โดยทั่วไปอยู่ในรูปสารประกอบออกไซด์ของธาตุต่างๆ ซึ่งปกติหาปริมาณได้จากการวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการ ภายใต้สมมติฐานที่ว่าธาตุต่างๆ อยู่ในรูปออกไซด์ ดังนั้น จึงไม่หาปริมาณของออกซิเจนออกมาในรูปของธาตุออกซิเจนโดยตรง แม้ว่าส่วนประกอบทางเคมีของตะกอนมีลักษณะแปรเปลี่ยนไปในช่วงกว้าง หรือเป็นไปตามลักษณะทางกายภาพของหิน และขนาดของอนุภาคก็ตาม

2) หินอัคนี (Igneous rock) การจำแนกหินอัคนีมีหลากหลายวิธีซึ่งหินแต่ละประเภทก็ให้ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพการเกิดที่แตกต่างกัน ลักษณะสำคัญ 2 ประการที่ใช้ในการจำแนกหินอัคนีคือขนาดผลึกซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการเย็นตัวของหิน และแร่องค์ประกอบ แร่ฟันม้า (Feldspar), แร่เขี้ยวหนุมาน (Quartz), แร่โอลิวีน (Olivine), แร่ไพรอกซีน (Pyroxene), แร่แอมฟิโบล (Amphibole) และแร่กลีบหิน (Mica) เป็นแร่ที่มีความสำคัญในการจำแนกประเภทของหินอัคนี การจำแนกอย่างง่ายคือการแยกโดยใช้แร่ฟันม้าและแร่เขี้ยวหนุมาน โดยหินที่มีปริมาณแร่เขี้ยวหนุมานสูงจัดเป็นแร่ที่มีปริมาณซิลิกาสูง (Silica-oversaturated) และหินที่มีปริมาณแร่ฟันม้าสูงจัดเป็นแร่ที่มีปริมาณซิลิกาดำ (Silica under saturated)

3) กรวด (Gravel) หินชนิดนี้เกิดขึ้นโดยกระบวนการกลายเป็นหินของตะกอนก้อนกรวด (Gravel) หินกรวดแบ่งเป็น 2 ชนิด ตามลักษณะความมนของอนุภาค ได้แก่ หินกรวดมน เป็นหินตะกอนภาคพื้นทวีป เนื้อหยาบที่เกิดจากกระบวนการกลายเป็นหินของก้อนกรวดกลม และ หินกรวดเหลี่ยม เป็นหินตะกอนภาคพื้นทวีปเนื้อหยาบที่เกิดจากกระบวนการกลายเป็นหินของกรวดเหลี่ยมเนื้อหินทั้งสองชนิด ประกอบด้วยอนุภาคตะกอนที่ม้วนผ่านศูนย์กลางขนาดตั้งแต่ 2 มม. ขึ้นไป อยู่มากกว่า 30% อนุภาคตะกอนอาจเป็นขนาดกรวดเล็ก (Granule) กรวด (Pebble) ก้อนหินมนเล็ก (Cobble) และก้อนหินมนใหญ่ (Boulder) หรืออาจมีอนุภาคหลายขนาดปนกันก็ได้

2.3 ปัญหาของหินในงานวิศวกรรม

ปัญหาของหินในงานวิศวกรรมมักเกิดขึ้นจากสาเหตุดังนี้

- 1.) แร่ขยายตัวเมื่อสัมผัสกับน้ำ เมื่อส่วนประกอบบางอย่างของแร่ที่เป็นส่วนประกอบของหินทำปฏิกิริยาเคมีกับน้ำหรือน้ำปูนก็จะเกิดการขยายปริมาตร ไปดันแทรกทำให้คอนกรีตแตกร้าว
- 2.) แร่ละลายน้ำ เมื่อแร่ละลายน้ำจะหายไปหรือทำให้น้ำและดินเค็มมากขึ้น ถ้ามีโพรงในหินก็ต้องอุดซ่อม
- 3.) เนื้อหยาบหรือผิวเรียบลื่น ทำให้การยึดเกาะหรือเกิดแรงเสียดทานลดน้อยลง
- 4.) หินผุ ทำให้สมบัติทางวิศวกรรมด้อยลงไป
- 5.) โครงสร้างของหิน หินที่เป็นแผ่นมักแตกออกเมื่อแรงกดทับลดลง หินที่เอียงเทมักเกิดการสไลด์ลงสู่ที่ต่ำกว่า การเรียงตัวของแร่ทำให้ความสามารถในการรับแรงกดทับในด้านต่างๆกันแตกต่างกันไป

2.3.1 หินอัคนี

การใช้หินอัคนีเป็นมวลรวมในคอนกรีตเกิดปัญหาได้ดังนี้

- 1.) หินที่มีซิลิกา เพราะอาจทำให้ปูนเกิดการขยายตัว เช่น หินแกรนิต หินแอนดีไซต์ กินไรโอไลต์ กินเถ้าภูเขาไฟ กินหาวดเหลียมภูเขาไฟ กินออบซิเดียน และกินพัมมิช แต่หินบะซอลต์ซึ่งมีซิลิกาน้อย ไม่มีปัญหา ปัญหานี้เรียกว่า ปฏิกิริยาแอลคาไล-ซิลิกา

ปฏิกิริยาแอลคาไล-ซิลิกา คือ การทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างซีเมนต์และซิลิกาที่ทำให้คอนกรีตมีรอยแตกเมื่อแข็งตัว แอลคาไล คือ เบสที่ละลายน้ำได้หรือสารละลายที่สามารถเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสจากสีแดงเป็นน้ำเงิน เช่น ไฮดรอกไซด์หรือคาร์บอเนตของโลหะแอลคาไลหมู่ 1 เช่น โซเดียมและโพแทสเซียม เมื่อผสมปูนซีเมนต์กับน้ำ น้ำจะละลายแอลคาไลออกจากปูนซีเมนต์จนมีความเข้มข้นของแอลคาไลสูงมากขึ้น น้ำทำปฏิกิริยาเคมีกับมวลรวมที่มีซิลิกาสูงกลายเป็น ซิลิกาเจล ซึ่งจะดูดน้ำและฟองตัวขึ้น สิ่งนี้ทำให้คอนกรีตมีรอยแตกเมื่อแข็งตัว

วิศวกรแก้ไขปัญหাপฏิกิริยาแอลคาไล-ซิลิกา โดยใช้ปูนที่มีแอลคาไลต่ำ ใช้หินปูนที่ไม่ทำปฏิกิริยาเดิมพอสโซแลน เป็นส่วนผสมของคอนกรีต พอสโซแลนเป็นหินชนิดหนึ่ง หรือเติมเถ้าลอย ซึ่งเหลือจากการเผาถ่านหิน เถ้าลอยจะมีซิลิกาขนาดเล็กผสมอยู่ เพราะล้าดินเหนียวออกจากถ่านหินไม่สะอาด เมื่อเผาถ่านหินจึงมีซิลิกาผสมในเนื้อเถ้า

- 2.) หินอัคนีมีเนื้อหยาบ เช่น หินเพกมาไทต์และหินแกรนิตมีเนื้อหยาบ ไม่เหมาะสมที่จะทำเป็นมวลรวมในงานก่อสร้าง ยิ่งขนาดผลึกโตมาก ความทนทานต่อการเสียดสีจะลดลง หินอัคนีเนื้อหยาบจึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ปูพื้นถนนก่อนลาดยางมะตอย ผสมในคอนกรีต หรือใช้เป็นหินถ่วงน้ำหนัก

3.) หินที่มีแร่ซีโอไลต์ ที่อยู่ในโพรงชายของหินอัคนีจะละลายน้ำง่ายจึงไม่ทนทานต่อการผุพังของอยู่กับที่

4.) หินผุ วิศวกรต้องไม่ก่อสร้างบนหรือในหินผุ เพราะหินผุไม่มีความแข็งแรงพอที่จะรับแรง เช่น งานฐานรากอาคาร เชื้อเพลิง สะพาน ท่าเรือ และสิ่งก่อสร้างใต้ดิน วิศวกรต้องขุดลอกหินออกจนถึงหินสดเสมอ ควรเลือกใช้หินสด เช่น หินแกรนิตและหินแอมไฟบร

2.3.2 หินตะกอน

หินตะกอนที่มีคุณภาพดีที่สุดที่ใช้ผสมคอนกรีตคือ หินปูนและหินโดโลไมต์ หินที่ไม่ควรใช้ ได้แก่ หินทราย หินทรายแป้ง หินดินดาน และหินกรวดมน

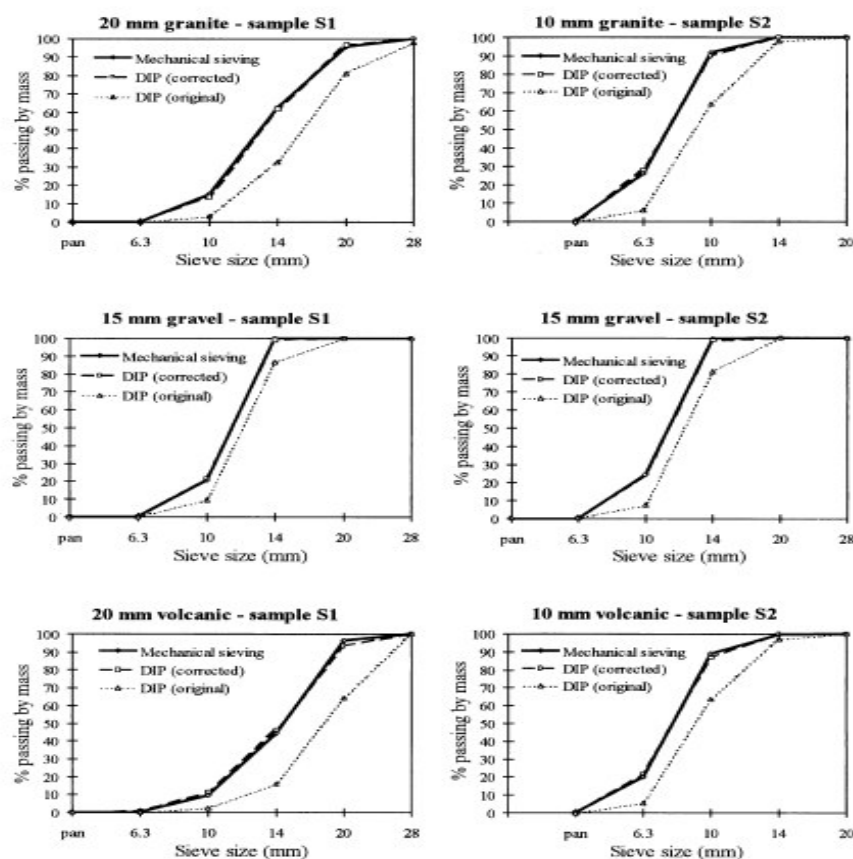
1.) หินดินดาน ที่อัดตัวแน่นใต้ดิน เมื่อนำมาใช้ถมถนนจะเกิดปัญหา เพราะน้ำซึมลงไปแล้วจะบวมน้ำได้ ทำให้พื้นถนนยุบตัวหรือความลาดชันไม่เสถียรได้ ควรบดย่อยให้ละเอียดแล้วบดอัดให้แน่น ทำเหมือนกันกับดินปกติ

2.) หินปูนเนื้อหยาบมีโพรง หินปูนเนื้อหยาบไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นมวลรวมเพราะว่าย่อยแล้วไม่ได้ขนาดตามต้องการ การก่อสร้างบนหินปูต้องระวังหลุมยุบหรือถ้าใต้ดินที่มองไม่เห็น เพราะเมื่อสิ่งปลูกสร้างวางน้ำหนักลงบนหินเหล่านี้ โพรงจะยุบลงได้ พื้นที่กักเก็บน้ำของเขื่อน และอ่างเก็บน้ำต้องระวังหินปูน เพราะบริเวณที่มีหินปูนจะมีโพรง ทำให้น้ำที่กักเก็บรั่วไหล วิธีแก้คือ ต้องอัดปูนซีเมนต์ผสมดินเบนทอไนต์ลงไปอุดรอยรั่ว เรียกว่าการเกรต หรือต้องขุดให้พบโพรงแล้วใส่หินที่นำมาจากที่อื่นใส่ลงไปแทน เมื่อมีหลุมจำนวนมากและมีขนาดใหญ่ควรย้ายไปเลือกปลูกสร้างบนพื้นที่อื่นแทน

2.4 วิธีการทางภาพถ่าย

ในปัจจุบัน วิธีการทางภาพถ่ายนิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างหรือตรวจสอบคอนกรีตกันอย่างแพร่หลาย อีกทั้ง มีการศึกษาเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์คุณสมบัติของมวลรวมหยาบต่างๆ ดังนี้

Mora et.al (1998) นำเสนอเทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล (digital image processing : DIP) เพื่อวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคหยาบ เนื่องจาก DIP สร้างการไล่ระดับสีเฉพาะพื้นที่ที่ใช้การกำหนดขนาดอนุภาคที่แตกต่างจากขนาดตะแกรงจึงไม่สามารถเปรียบเทียบได้โดยตรงเว้นแต่จะมีการจัดแนวการไล่ระดับสีและนิยามขนาดอนุภาคไว้ นอกจากนี้ยังใช้ปัจจัยการแก้ไขขนาดที่ใช้ในการแปลงขนาดของอนุภาคที่วัดโดย DIP ไปเป็นเทียบเท่ากับขนาดของตะแกรงเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบระหว่าง DIP กับผลที่ได้ การศึกษาแสดงให้เห็นว่าเป็นเทคนิคที่รวดเร็วสะดวกและถูกต้องสำหรับการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค ดังรูปที่ 2.11

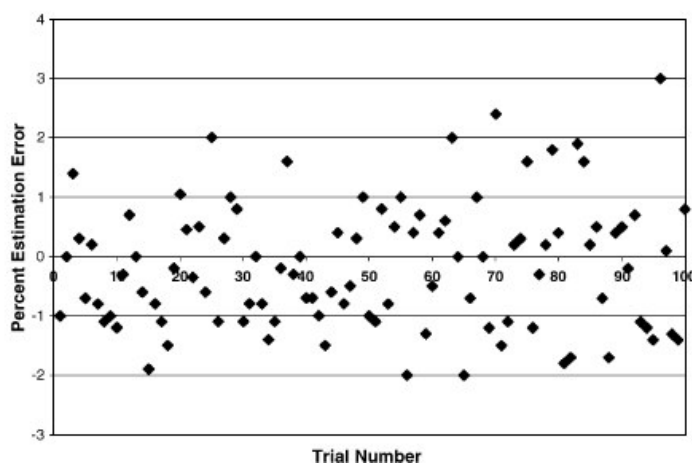


รูปที่ 2.11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จาก DIP ที่ปรับแก้แล้วกับการร่อนผ่านตะแกรง

Wang (1999) ได้มีการนำเสนอการถ่ายภาพ โดยการแก้ปัญหาของการปรับภาพระดับสีเทา (Grayscale) และมีการพัฒนากระบวนการกำหนดเกณฑ์การปรับตัวแบบใหม่ที่เราเรียกว่าเกณฑ์การบีบอัด (between class variance :BCV) เพื่อสร้างภาพรวมของอนุภาคที่ตกอย่างอิสระ แต่วิธีนี้มีตัวแปรที่ทำให้ค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนอยู่มาก เช่น ภาพที่ถ่ายติดก้อนเมฆจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวิเคราะห์และถ้าหากหินที่ตกโดนแสงอาทิตย์จะทำให้บริเวณขอบนั้นกลืนหายไปกับพื้นหลัง ทำให้เกิดค่าคลาดเคลื่อนขึ้น

Fernlund (2005) ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์ภาพ 3 มิติ (Image Analysis : IA) ในการหารูปร่างอนุภาคของมวลรวมหยาบ ใช้ภาพตัวอย่างรวมสองภาพเพื่อกำหนดขนาดของความยาวทั้งสามแกนของอนุภาค เพื่อแปลงเป็นภาพ 3 มิติ ผลการวิเคราะห์ภาพจะถูกถ่ายโอนไปยัง Excel, Microsoft software โดยอัตโนมัติ ค่าของผลลัพธ์จะถูกจัดเรียงอย่างอิสระและสะสมเส้นโค้งของความสัมพันธ์ตามแนววางแผน โดยใช้ Kalidagraph เป็นซอฟต์แวร์ของ Synergy ผลการทดลองในภาพทั้ง 10 ภาพมีความใกล้เคียงกันและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่าวิธีการวัดแกนทั้งสามของอนุภาคทั้งหมดในตัวอย่างอย่างแม่นยำ

Banta et al. (2003) ใช้กล้อง CCD โดยจะแปลงสัญญาณให้เป็นดิจิตอลจะใช้ framegrabber เพื่อประเมินหินปูนด้วยภาพ 2 มิติ ภาพจะถูกประมวลผลเพื่อแยกผิวสัมผัสและอนุภาคที่ทับซ้อนกัน มีการกำหนดพารามิเตอร์ที่ได้จากรูปภาพและสร้างเป็นแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้น สำหรับทำนายมวลของหินปูน ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการทำนายน้อยกว่า 2 % ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 เปอร์เซนต์ความผิดพลาดจากการทำนายมวลโดยการสุ่มตัวอย่าง

2.5 วิธีการหาปริมาณมวลรวมหยาบในคอนกรีตที่ แข็งตัวแล้ว

มวลรวมหยาบเป็นส่วนประกอบสำคัญในคอนกรีต ซึ่งในปัจจุบันมีการศึกษาหาปริมาณมวลรวมในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในด้านต่างๆ และมีความยุ่งยากในการทดสอบ

Beton (1988) วิธีการนี้สามารถหามวลรวมหยาบของคอนกรีต การจำแนกชนิดของมวลรวมมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยในการตีความผลการวิเคราะห์ทางเคมี หากจำเป็นต้องมีการระบุและจำแนกประเภทของมวลรวมที่แม่นยำยิ่งขึ้นให้อ้างอิงถึง petrographer ระบุลักษณะทั่วไปของการรวมและเปรียบเทียบการเปิดเผยข้อมูลทั้งหมดกับตัวอย่างที่เป็นที่รู้จัก

Jung et al. (2012) ได้นำเสนอวิธีการศึกษาโดยอาศัยระดับความเป็นกรด (Acid neutralization capacity, ANC) เป็นข้อมูลนำมาวิเคราะห์หาปริมาณปูนซีเมนต์, น้ำ และมวลรวม แต่ไม่สามารถแยกส่วนปริมาณระหว่างมวลรวมหยาบกับมวลรวมละเอียดได้ด้วยวิธีที่นำมาใช้ทำการทดสอบเป็นตัวอย่างที่อายุ 200 วันวิธีการนี้ใช้กรดไนตริกผสมทำปฏิกิริยากับผงตัวอย่างคอนกรีต และพิจารณาค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ของสารแขวนลอยที่มีตัวอย่างคอนกรีตผสมอยู่นั้น โดยจะใช้ความเข้มข้นของสารละลายที่ความเข้มข้นต่างๆกันทดสอบ เพื่อให้ค่า pH ของสารแขวนลอยนั้นเปลี่ยนไปจากนั้นจะนำค่ากรด-ด่าง(pH) ดังกล่าวไปสร้างกราฟความสัมพันธ์และทำการเปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ที่สร้างไว้ แล้วจึงพิจารณาหาค่าต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาส่วนผสมโดยใช้สมการที่สร้างขึ้น(Empirical Equation) วิธีการนี้ไม่เหมาะสำหรับคอนกรีตที่มีมวลรวมบางประเภทที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารเคมีที่ใช้ได้ เพราะจะทำให้ค่ากรด-ด่าง(pH) ที่ได้คลาดเคลื่อนไป อีกทั้ง วิธีการนี้จะเหมาะสมกับตัวอย่างที่เกิดปฏิกิริยาเต็มที่แล้ว

Chuosavasdi et al. (2014) ได้เสนอการหามวลรวมหยาบโดยประมาณด้วยเทคนิคการประมาณผลภาพ ผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของข้อผิดพลาดอยู่ระหว่าง 0.93 ถึง 5.28% ข้อผิดพลาดสูงสุดคือ 5.28% (หรือ 54 กก. / ลบ.ม.) ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ เทคนิคนี้สามารถยืนยันได้ว่าเทคนิคการประมาณผลภาพสามารถนำมาใช้เพื่อกำหนดเนื้อหารวมที่แข็งของคอนกรีตที่แข็งได้

พันธุ์คุปต์ เปรียบปาน (2559) ได้เสนอการหาผลกระทบของขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบรูปทรงหน้าตัดตัวอย่าง สัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานและอายุของคอนกรีตต่อการหาปริมาณมวลรวมหยาบในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่ามวลรวมหยาบที่มีขนาดแตกต่างกันมีผลต่อการหาปริมาณมวลรวมหยาบ รูปทรงที่แตกต่างกันไม่มีผลต่อการหาปริมาณมวลรวมหยาบ ผลกระทบเนื่องจากน้ำต่อวัสดุประสานไม่มีผลต่อการวิเคราะห์มวลรวมหยาบ และผลกระทบเนื่องจากอายุของคอนกรีต ไม่มีผลกระทบต่อการหาปริมาณมวลรวมหยาบที่แข็งตัวแล้ว

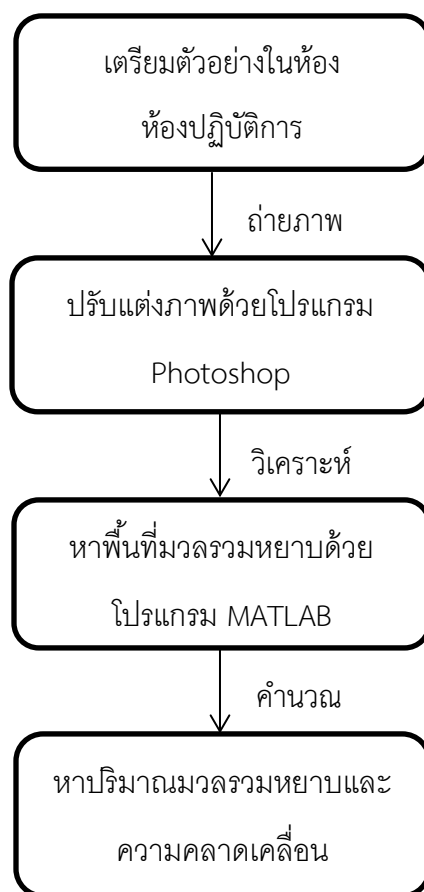
ปิติพัฒน์ ล้วนธนเศรษฐ์ (2559) ได้เสนอการหาผลกระทบของขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ รูปทรงหน้าตัดตัวอย่าง อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดต่อการหาปริมาณมวลรวมหยาบใน คอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ผลการวิเคราะห์สรุปได้ว่ามวลรวมหยาบที่มีขนาดแตกต่างกันมีผลต่อการหา ปริมาณมวลรวมหยาบ รูปทรงหน้าตัดตัวอย่างคอนกรีตที่แตกต่างกันไม่มีผลกระทบต่อการหาปริมาณมวล รวมหยาบ และอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดไม่มีผลต่อการวิเคราะห์หาปริมาณมวลรวม หยาบด้วยวิธีการทางภาพถ่าย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 ขั้นตอนการทดลอง

ในการศึกษาพัฒนาวิธีการประเมินหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว มีแผนการดำเนินงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบจะถูกเตรียมขึ้นในห้องปฏิบัติการ ทำให้ทราบปริมาณของหินที่ใช้ในคอนกรีต ตัวอย่างที่ได้จะถูกนำไปใช้วิเคราะห์หาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วยการวิเคราะห์ทางภาพถ่ายและสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

3.2.1 วัสดุที่ใช้

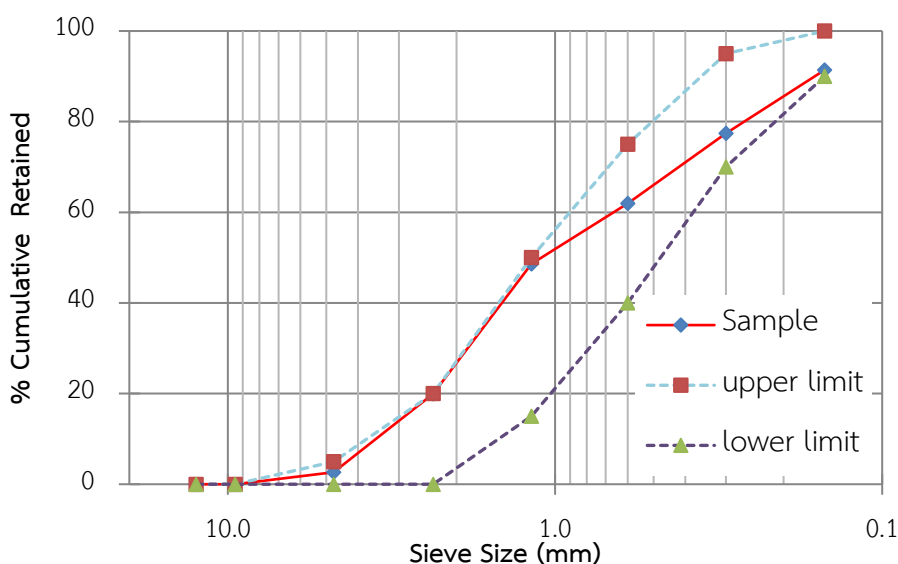
1) ปูนซีเมนต์ (Cement)

ในการศึกษานี้เลือกใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland cement- Type

1) ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย มอก.15 เล่ม 1-2547

2) มวลรวมละเอียด (Fine aggregate)

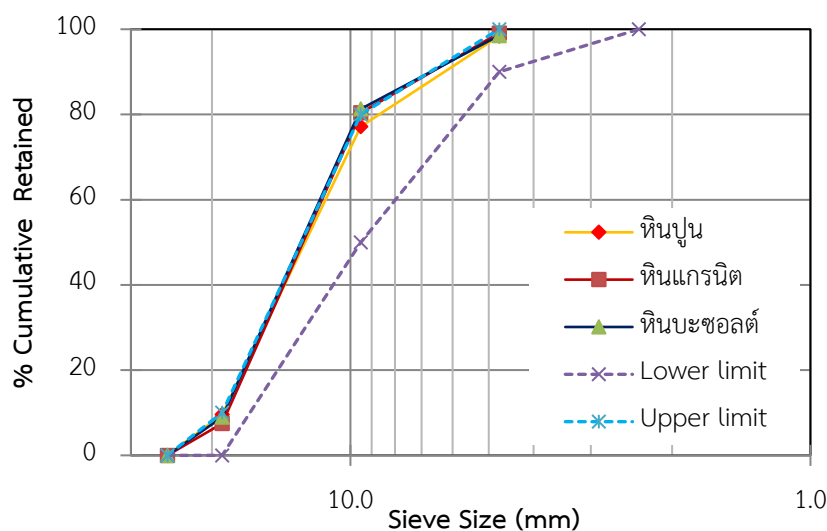
มวลรวมละเอียดที่ใช้ในการศึกษา คือ ทรายมาตรฐานที่ใช้สำหรับงานก่อสร้าง มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างตะแกรงเบอร์ 100 ขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C 33 ผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.2 และความถ่วงจำเพาะของมวลรวมละเอียดอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 128 จะได้ค่าความถ่วงจำเพาะ 2.55 และร้อยละการดูดซึม 1.50



รูปที่ 3.2 ขนาดคละของมวลรวมละเอียด

3) มวลรวมหยาบ (Coarse aggregate)

มวลรวมหยาบที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นมวลรวมหยาบมาตรฐานที่ใช้สำหรับงานก่อสร้าง ซึ่งจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันคือมีขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ คือ ขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว โดยมีขนาดคละตามมาตรฐาน ASTM C 33 และความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบอยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C 127 มวลรวมหยาบที่นำมาทดสอบมี 3 ชนิด คือ หินปูน หินแกรนิต และหินบะซอลต์ มีผลทดสอบดังรูปที่ 3.3 และตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.3 ขนาดคละของหินปูนขนาดใหญ่สุด ¾ นิ้ว

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของหิน

ชนิดหิน	ความถ่วงจำเพาะ	การดูดซึ้ม (%)	ดัชนีความแบน (%)
หินปูน	2.69	0.65	22.05
หินแกรนิต	2.65	0.76	17.66
หินบะซอลต์	3.14	3.09	26.59

3.2.2 ส่วนผสมของคอนกรีต

ตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบจะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ขนาดใหญ่สุดของหินในการทดสอบ คือ ขนาด ¾ นิ้ว รูปทรงตัวอย่างคอนกรีต 2 ขนาดคือ รูปทรงกระบอก (Cylinder) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร และรูปทรงกระบอก (Cylinder) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความสูง 30 เซนติเมตร ทดสอบที่ช่วงอายุ (7 วัน) ซึ่งมีสัดส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) 3 สัดส่วนคือ 0.40, 0.50 และ 0.60 และอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด 3 สัดส่วนคือ 0.30, 0.44 และ 0.60 ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของคอนกรีต

No.	Mix id.	Diameter x Height (cm x cm)	Mix proportion of concrete (kg/m ³)			
			Cement	Water	Sand(SSD)	Rock(SSD)
1	W40SA44LSL	15x30	435	169	769	1,018
	W40SA44LSS	10x20				
2	W50SA30LSL	15x30	382	189	524	1,273
	W50SA30LSS	10x20				
3	W50SA44LSL	15x30	382	186	769	1,018
	W50SA44LSS	10x20				
4	W50SA60LSL	15x30	382	147	1,082	729
	W50SA60LSS	10x20				
5	W60SA44LSL	15x30	340	173	793	1,021
	W60SA44LSS	10x20				
6	W40SA44GNS	10x20	435	115	820	1,005
3	W50SA30GNS	10x20	382	197	519	1,251
8	W50SA44GNS	10x20	382	190	767	1,001
9	W50SA60GNS	10x20	382	186	1,046	715
10	W60SA44GNS	10x20	340	203	767	1,001
11	W40SA44BSS	10x20	435	199	768	1,145
12	W50SA30BSS	10x20	382	225	522	1,433
13	W50SA44BSS	10x20	382	216	766	1,147
14	W50SA60BSS	10x20	382	205	1,045	819
15	W60SA44BSS	10x20	340	229	768	1,145

*หมายเหตุ W คือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์, SA คือ อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด, LS คือ หินปูน, GN คือ หินแกรนิต, BS คือ หินบะซอลต์, S คือ ทรงกระบอก Ø10x20 cm., L คือ ทรงกระบอก Ø15x30 cm.

3.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1) เครื่องผสมคอนกรีต ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เครื่องผสมคอนกรีต

2) แบบหล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีต 2 รูปทรง คือ แบบหล่อทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ความสูง 20 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความสูง 30 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แบบหล่อก้อนตัวอย่างคอนกรีต

3) เครื่องตัดคอนกรีต ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 เครื่องตัดคอนกรีต

4) กล้องถ่ายภาพดิจิทัล ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 กล้องถ่ายภาพดิจิทัล

5) คอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 คอมพิวเตอร์

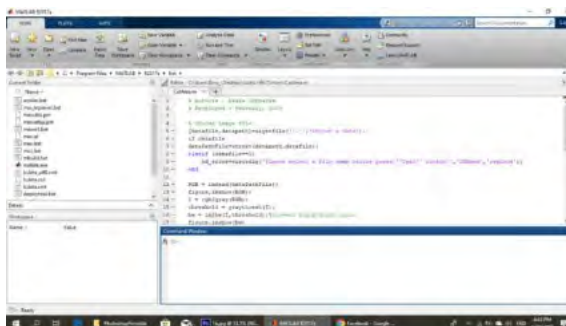
3.2.4 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) ซอฟต์แวร์ปรับแต่งภาพ Adobe Photoshop ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 โปรแกรม Adobe Photoshop

- 2) ซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพ MATLAB ดังรูปที่ 3.10

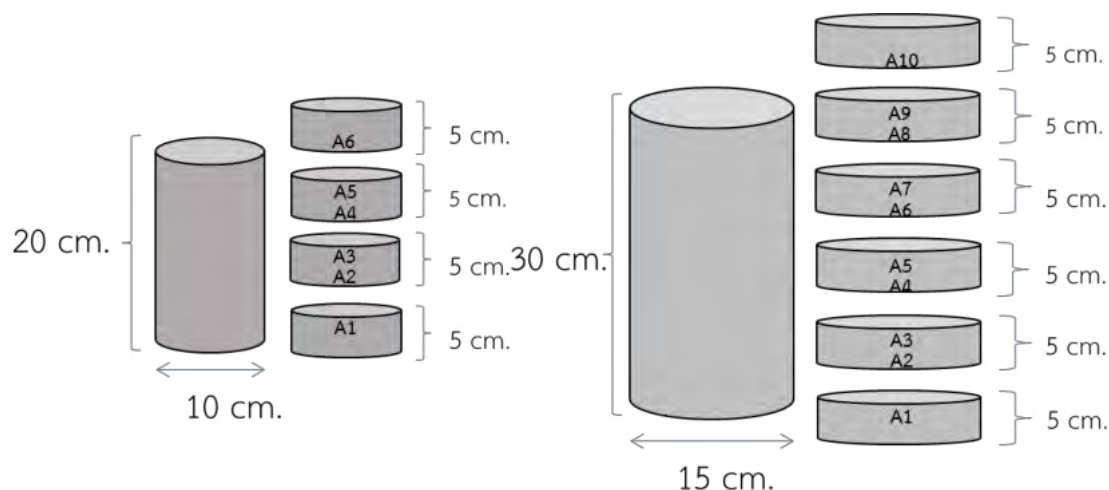


รูปที่ 3.10 โปรแกรม MATLAB

3.3 การเตรียมตัวอย่างและขั้นตอนการทดสอบ

3.3.1 การทดสอบด้วยวิธีการทางภาพถ่าย

การเตรียมตัวอย่างของคอนกรีตจะใช้แบบหล่อคอนกรีตรูปทรงกระบอกที่มีอัตราส่วน ความยาว ต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (L/D) เท่ากับ 2.0 สอดคล้องตามมาตรฐานการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีต ทรงกระบอก (ASTM C 39) โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมีค่าเป็นสามเท่าของขนาดใหญ่สุดของมวลรวม ตามมาตรฐาน (ASTM C42) โดยทำการผสมคอนกรีตและเทคอนกรีตเข้าสู่แบบหล่อ ซึ่งขณะเทจะใช้วิธีการจี้หรือเขย่าด้วยเครื่องเขย่า เพื่อลดฟองอากาศที่อยู่ในคอนกรีตจากนั้นทิ้งให้คอนกรีตแข็งตัว และนำ คอนกรีตไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเพื่อบ่มคอนกรีตตามระยะเวลาที่กำหนด เมื่อครบกำหนดแล้วจึงนำ ตัวอย่างไปตัดให้ได้ขนาดดังรูปที่ 3.11 เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางภาพถ่าย (Image Processing) ต่อไป



รูปที่ 3.11 การตัดก้อนตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างทรงกระบอก

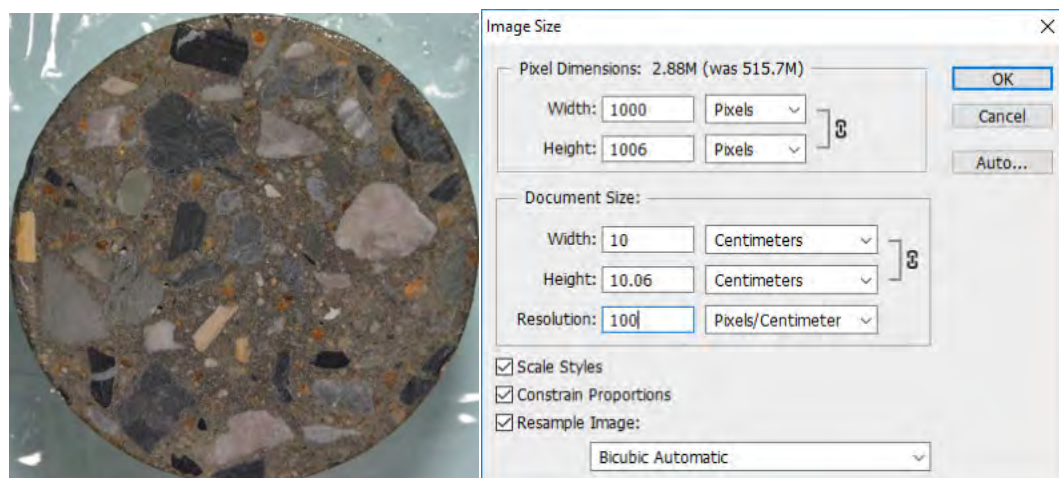
นำตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกมาตัดออกเป็นชั้น โดยจะตัดที่ความสูง 5 เซนติเมตร โดยหน้าตัดทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ความสูง 20 เซนติเมตร จะถ่ายภาพทั้งหมด 6 รูป ต่อ 1 ก้อนตัวอย่าง และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ความสูง 30 เซนติเมตร จะถ่ายภาพทั้งหมด 10 รูป ต่อ 1 ก้อนตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างผิวด้านล่างสุด และผิวด้านบนสุด จะไม่นำมาพิจารณา

3.3.2 การทดสอบด้วยวิธีการทางภาพถ่าย

เมื่อทำการตัดคอนกรีตเป็นชิ้นส่วนแล้วจะเข้าสู่กระบวนการ Image- processing โดยจะทำการถ่ายภาพพื้นผิวของคอนกรีตหลังจากนั้นก็ให้นำภาพถ่ายไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมโดยภาพที่ถ่ายนั้นจะต้องมีความละเอียดและความสว่างของภาพที่เหมาะสมเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ภาพด้วยกระบวนการทางภาพถ่าย (Image processing) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1. ทำการถ่ายภาพผิวของหน้าตัดคอนกรีต

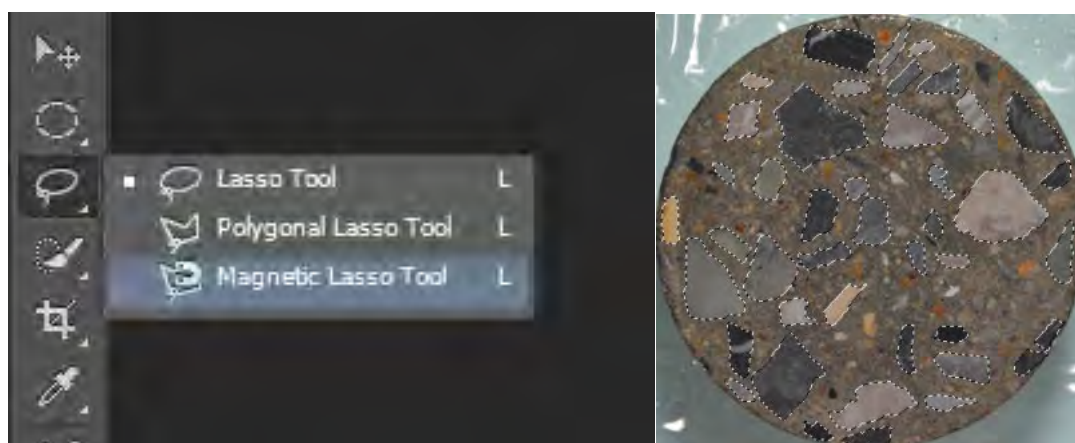
ขั้นตอนที่ 2. นำภาพถ่ายไปปรับแต่งด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop โดยในการปรับแต่งขั้นแรกนั้นจะทำการครอบตัดภาพให้มีความกว้างและความยาวเท่ากับก้อนตัวอย่างตามขนาดจริงจากนั้นปรับค่าความละเอียดของภาพ เท่ากับ 100 พิกเซล/เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 กรอบตัดภาพและปรับความละเอียดภาพ

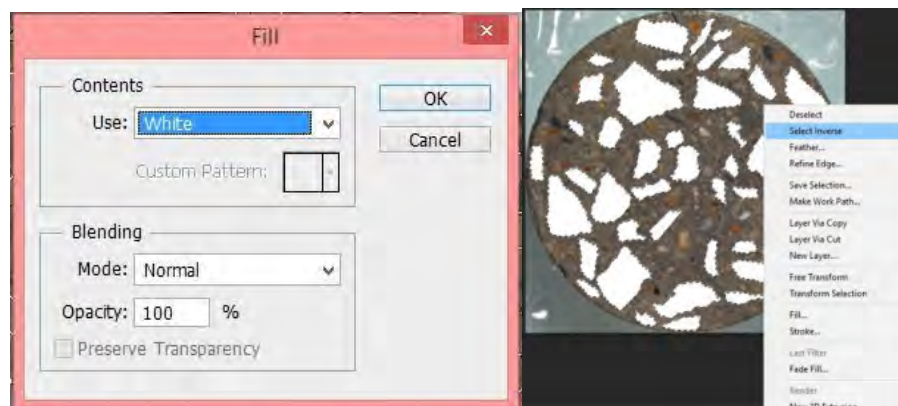
ขั้นตอนที่ 3. ปรับแต่งความสว่างของภาพเพื่อให้ง่ายต่อการเลือกขอบเขตหิน

ขั้นตอนที่ 4. ใช้เครื่องมือ Magnetic Lasso Tool ในการกำหนดขอบเขตหิน โดยมีหลักเกณฑ์ที่ใช้คัดเลือกจะอ้างอิงจากขนาดของตะแกรงเบอร์ 4 ตามมาตรฐาน ASTM C 136, C 33 ที่มีขนาดช่องว่าง 4.75 มิลลิเมตร มาเป็นตัวคัดเลือกหินโดยใช้เครื่องมือ Clone Stamp Tool ในการจำลองช่องของตะแกรงเบอร์ 4 ขึ้นมาเพื่อไว้สำหรับคัดเลือกหิน ดังรูปที่ 3.13



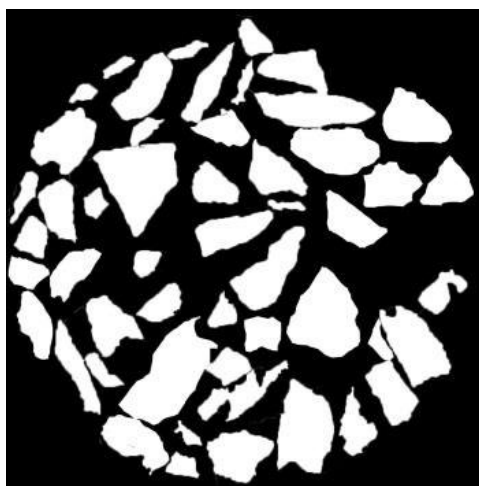
รูปที่ 3.13 เครื่องมือ Magnetic Lasso Tool และเลือกมวลรวม

ขั้นตอนที่ 5. ทำการเปลี่ยนรูปภาพเป็นสีขาวดำ โดยเปลี่ยนพื้นที่ของหินเป็นสีขาวและเปลี่ยนพื้นที่ที่เหลือในภาพเป็นสีดำ โดยใช้คำสั่ง Fill และคำสั่ง Select Inverse เพื่อเลือกพื้นที่ที่ตรงกันข้ามกับพื้นที่ก่อนหน้านี้ ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 คำสั่ง Fill และ คำสั่ง Select Inverse

ขั้นตอนที่ 6. จากนั้นให้บันทึกเป็นไฟล์ JPEG และนำไฟล์ที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB ต่อไป ดังรูปที่ 3.15



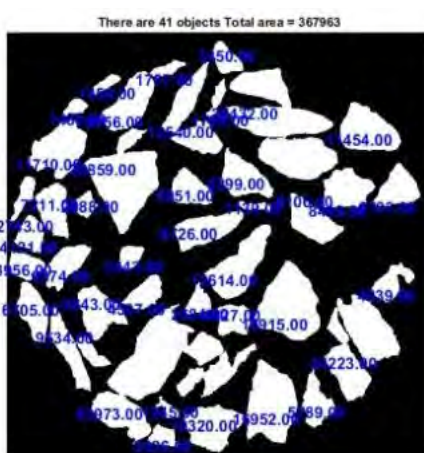
รูปที่ 3.15 ภาพที่ได้จากการคัดเลือกขอบเขตหิน

3.3.3 การทดสอบหาพื้นที่หินด้วยโปรแกรม MATLAB

ขั้นตอนที่ 1. เปิดโปรแกรม MATLAB และเปิดสคริปต์คำสั่งจากโฟลเดอร์ที่เก็บไฟล์ไว้

ขั้นตอนที่ 2. กด run สคริปต์คำสั่ง ตัวโปรแกรมจะแสดงหน้าต่างขึ้นมา ให้ทำการเลือกภาพขาวดำที่จะทำการวิเคราะห์

ขั้นตอนที่ 3. เมื่อนำภาพเข้าสู่การวิเคราะห์แล้ว ตัวโปรแกรมจะประมวลผลและแสดงภาพที่ถูกวิเคราะห์ โดยจำนวนพิกเซลของหินแต่ละก้อน และจำนวนพิกเซลทั้งหมดของหินจะแสดงอยู่ด้านบนสุดของภาพ ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ภาพที่ได้จากการหาพื้นที่ของหินโดย MATLAB

ขั้นตอนที่ 4. บันทึกภาพเป็นไฟล์ภาพถ่ายเพื่อพร้อมสำหรับการวิเคราะห์ขั้นต่อไป

3.3.4 การคำนวณหาปริมาณหิน

ในการคำนวณเพื่อหาปริมาณหินมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

ขั้นตอนที่ 1. คำนวณหาพื้นที่หินโดยทำการคิดจากปริมาณหินในหน่วยพิกเซลที่ได้จากโปรแกรม MATLAB ให้อยู่ในหน่วยของตารางเซนติเมตร ดังสมการที่ 3.1

$$\text{พื้นที่หินจากกระบวนการทางภาพถ่าย} = \frac{\text{จำนวนพิกเซล}}{100^2} \quad (3.1)$$

ขั้นตอนที่ 2. คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดตัวอย่างจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดจากหน้าตัดตัวอย่างจริงในหน่วยตารางเซนติเมตร ดังสมการที่ 3.2

$$\text{พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างจริง} = \pi r^2 \quad (3.2)$$

ขั้นตอนที่ 3. หาอัตราส่วนของพื้นที่หินต่อพื้นที่หน้าตัดตัวอย่าง ดังสมการที่ 3.3

$$\text{อัตราส่วนพื้นที่หินต่อจากกระบวนการทางภาพถ่ายต่อพื้นที่หน้าตัดตัวอย่างจริง} = \frac{\text{พื้นที่ของหิน (cm}^2\text{)}}{\text{พื้นที่หน้าตัดตัวอย่าง (cm}^2\text{)}} \quad (3.3)$$

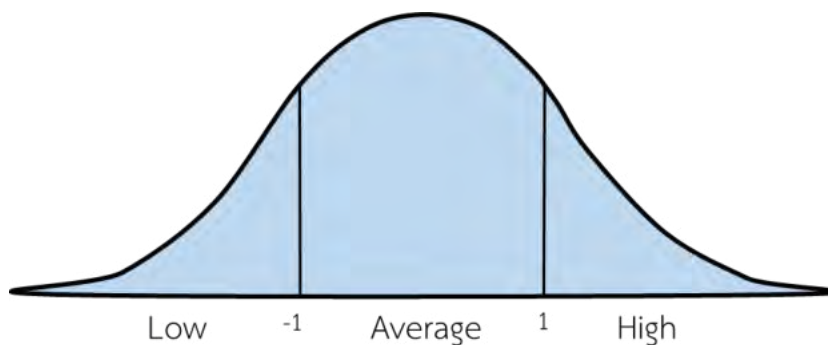
ขั้นตอนที่ 4. คำนวณหาปริมาณหิน หน่วยกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังสมการที่ 3.4

$$\text{น้ำหนักหิน (kg/m}^3\text{)} = \text{อัตราส่วนของพื้นที่ของหินหินต่อพื้นที่หน้าตัด} \times \text{ความหนาแน่นของหิน (kg/m}^3\text{)} \quad (3.4)$$

ขั้นตอนที่ 5. หาค่าเฉลี่ยเลขคณิตของปริมาณหินจากหน้าตัดตัวอย่างในสัดส่วนผสมคอนกรีต ดังสมการที่ 3.5

$$\text{ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของปริมาณหิน} = \frac{\text{ผลรวมของปริมาณหิน (kg)}}{\text{จำนวนหน้าตัดที่พิจารณา}} \quad (3.5)$$

เกณฑ์การพิจารณาปริมาณหิน โดยหาค่าคลาดเคลื่อนของแต่ละหน้าตัด ค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของหน้าตัดทั้งหมดในแต่ละส่วนผสม และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากนั้นคำนวณค่า Z-Score ของแต่ละหน้าตัดจากสมการที่ 3.6 และนำมาวิเคราะห์ โดยนำค่า Z-Score ที่อยู่ในช่วง ± 1 มาพิจารณา และตัดข้อมูลที่อยู่นอกช่วง ± 1 ออก ดังรูปที่ 3.17 เนื่องจากมีความคลาดเคลื่อนสูงทำให้ข้อมูลไม่เกาะกลุ่มกัน ซึ่งเกณฑ์การพิจารณานี้ทำให้ข้อมูลมีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้นในการหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย



รูปที่ 3.17 พื้นที่ใต้กราฟ Z-Score

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{S.D.} \quad (3.6)$$

เมื่อ Z = ค่า Z-Score

X = ข้อมูล

$\bar{X}$ = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล (Average)

S.D. = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล (Standard deviation)

ตัวอย่างการคำนวณ

กำหนดให้ปริมาณหินที่ได้จากการวิเคราะห์ 1,337.9 กิโลกรัม มีค่าเฉลี่ยของข้อมูลปริมาณหินที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 1,250.7 กิโลกรัม และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลปริมาณหินที่ได้จากการวิเคราะห์คือ 78.8 จะหาค่า Z-Score ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ 3.6} \quad Z &= \frac{X - \bar{X}}{S.D.} \\ Z &= \frac{1,337.9 - 1,250.7}{78.8} \\ Z &= 1.11 \end{aligned}$$

ดังนั้นค่า Z-Score เท่ากับ 1.11 ซึ่งมีความมากกว่า 1.0 จึงไม่นำข้อมูลปริมาณหินที่ได้จากการวิเคราะห์นี้มาพิจารณา

ขั้นตอนที่ 6. นำค่าเฉลี่ยปริมาณหินที่ได้จากการวิเคราะห์มาหาค่าความคลาดเคลื่อนโดยเทียบกับน้ำหนักหินจากส่วนผสมจริง ดังสมการที่ 3.7

$$\% \text{ความคลาดเคลื่อน} = \left(\frac{\text{น้ำหนักหินจากการวิเคราะห์} - \text{น้ำหนักหินจากส่วนผสมจริง}}{\text{น้ำหนักหินจากส่วนผสมจริง}} \right) \times 100 \quad (3.7)$$

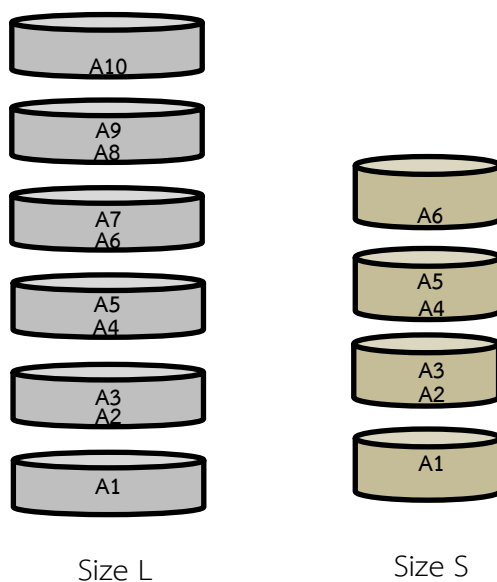
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดสอบด้วยวิธีการทางภาพถ่าย

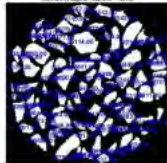
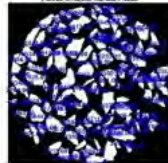
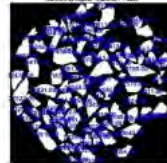
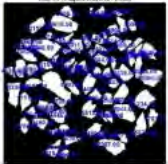
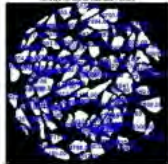
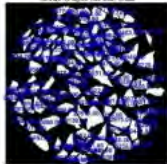
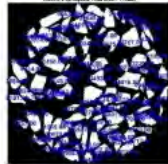
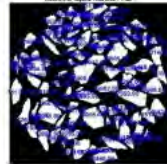
การหาพื้นที่ของหิน จะพิจารณาเลือกขอบเขตของหิน โดยอาศัยโปรแกรมปรับแต่งรูปภาพ หลังจากนั้นนำภาพที่ได้เข้าสู่โปรแกรม (MATLAB) เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ของหินในหน่วยพิกเซล ซึ่งผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินปูนแสดงดังตารางที่ 4.1 ถึง 4.10 ตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินแกรนิตจะแสดงดังตารางที่ 4.11 ถึง 4.15 และตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินบะซอลต์แสดงดังตารางที่ 4.16 ถึง 4.20

ผลการทดสอบก่อนตัวอย่างจะเรียงลำดับหน้าตัดและกำหนดตัวอักษร ดังนี้ A คือ ตัวอย่างที่ตัดมาจากก้อนคอนกรีตทรงกระบอกก้อนที่ 1 และ B คือ ตัวอย่างที่ตัดมาจากก้อนคอนกรีตทรงกระบอกก้อนที่ 2 และการเรียงลำดับภาพถ่ายจะกำหนดเป็นตัวเลขจากด้านล่างขึ้นด้านบนของก้อนตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกตามลำดับ โดยไม่พิจารณาด้านล่างสุดและด้านบนสุดของตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.1

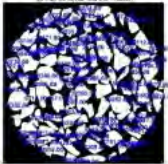
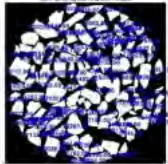
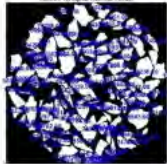
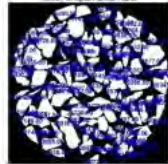
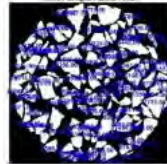
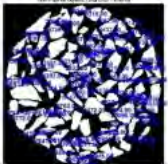
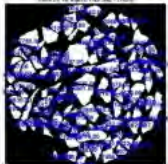
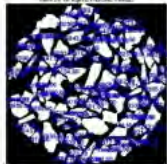
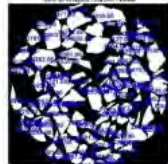
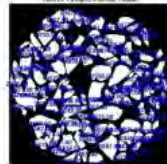


รูปที่ 4.1 การเรียงลำดับภาพถ่าย

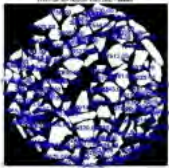
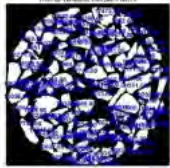
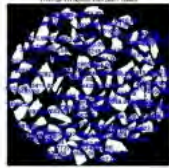
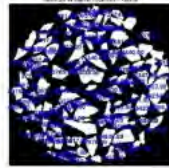
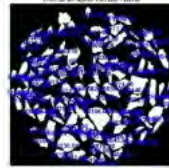
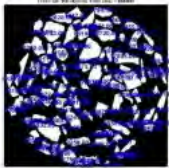
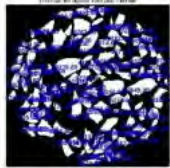
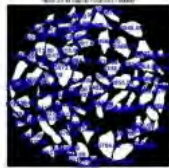
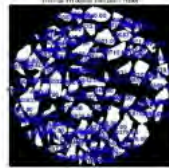
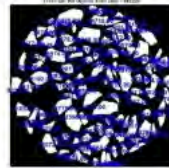
ตารางที่ 4.1 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W40SA44LSL

W40SA44LSL				
A1	A2	A3	A4	A5
778,567 pixel	780,257 pixel	707,998 pixel	722,606 pixel	712,294 pixel
				
A6	A7	A8	A9	A10
678,878 pixel	690,370 pixel	651,222 pixel	710,225 pixel	712,511 pixel
				

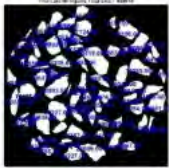
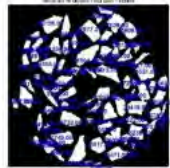
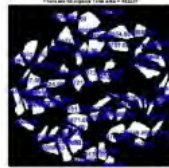
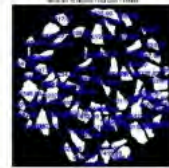
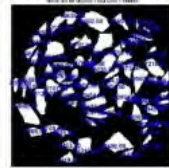
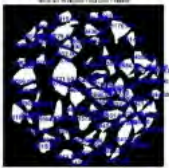
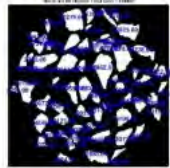
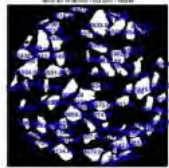
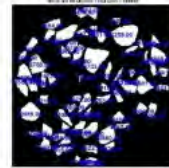
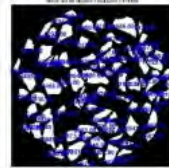
ตารางที่ 4.2 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA30LSL

W50SA30LSL				
A1	A2	A3	A4	A5
1,020,401 pixel	992,503 pixel	891,257 pixel	942,187 pixel	907,271 pixel
				
A6	A7	A8	A9	A10
914,170 pixel	774,139 pixel	890,327 pixel	898,094 pixel	843,993 pixel
				

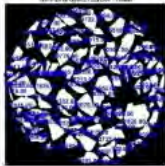
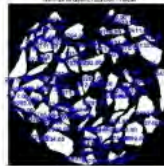
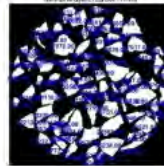
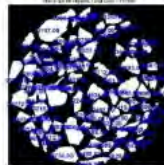
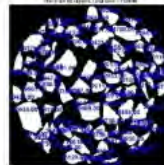
ตารางที่ 4.3 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA44LSL

W50SA44LSL				
A1	A2	A3	A4	A5
904,691 pixel	907,213 pixel	735,415 pixel	737,810 pixel	629,143 pixel
				
A6	A7	A8	A9	A10
656,469 pixel	651,348 pixel	690,597 pixel	712,601 pixel	682,223 pixel
				

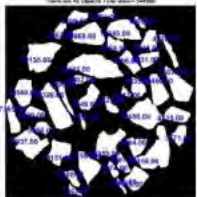
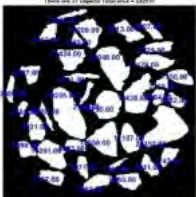
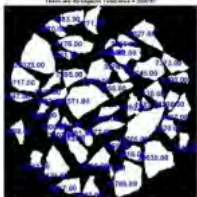
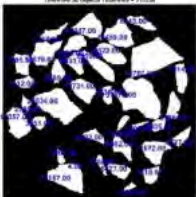
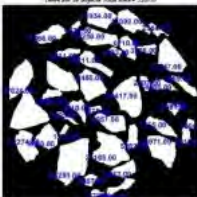
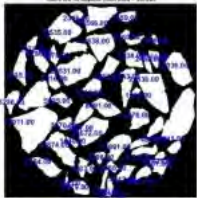
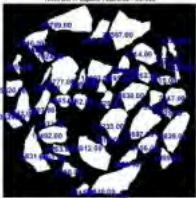
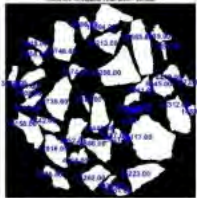
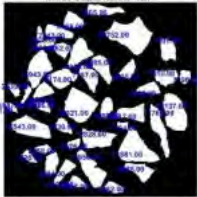
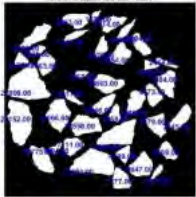
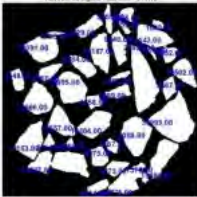
ตารางที่ 4.4 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA60LSL

W50SA60LSL				
A1	A2	A3	A4	A5
609,614 pixel	623,470 pixel	483,257 pixel	511,483 pixel	544,003 pixel
				
A6	A7	A8	A9	A10
546,092 pixel	534,957 pixel	543,246 pixel	509,862 pixel	570,139 pixel
				

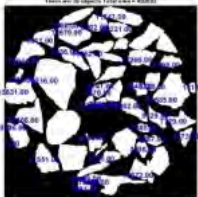
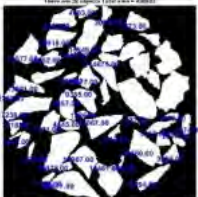
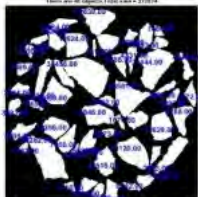
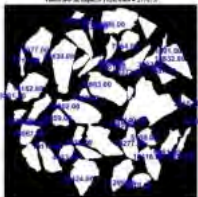
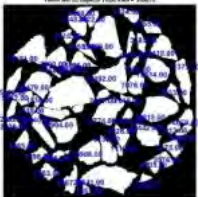
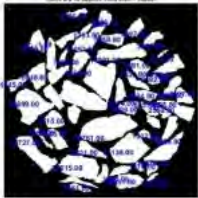
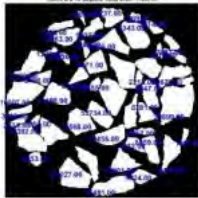
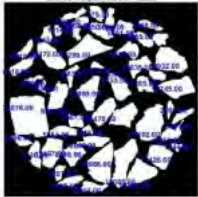
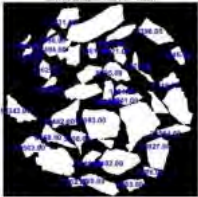
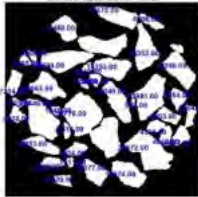
ตารางที่ 4.5 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W60SA44LSL

W60SA44LSL				
A1	A2	A3	A4	A5
807,928 pixel	795,595 pixel	719,321 pixel	700,240 pixel	717,370 pixel
				
A6	A7	A8	A9	A10
640,655 pixel	707,577 pixel	669,828 pixel	737,747 pixel	733,896 pixel
				

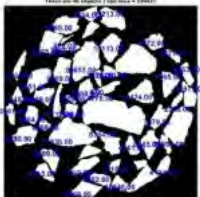
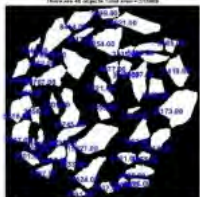
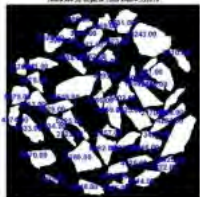
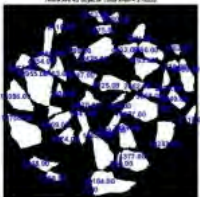
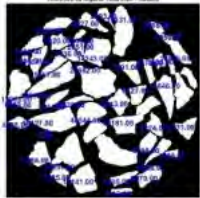
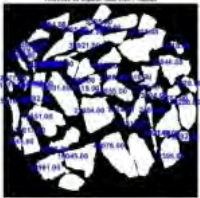
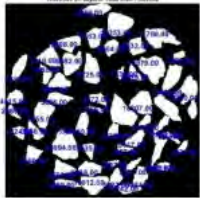
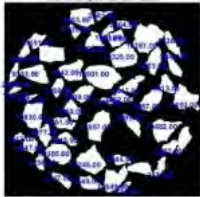
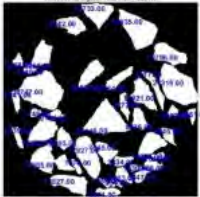
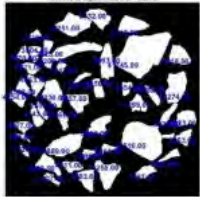
ตารางที่ 4.6 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W40SA44LSS

W40SA44LSS		
A1	A2	A3
344,509 pixel	332,937 pixel	369,761 pixel
		
A4	A5	A6
364,764 pixel	313,338 pixel	333,737 pixel
		
B1	B2	B3
387,583 pixel	327,965 pixel	382,768 pixel
		
B4	B5	B6
323,141 pixel	340,221 pixel	302,611 pixel
		

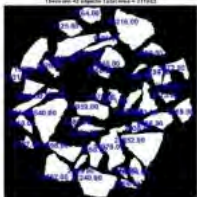
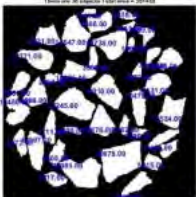
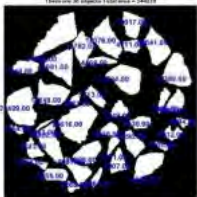
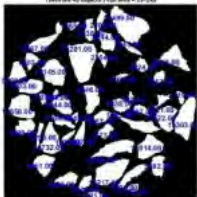
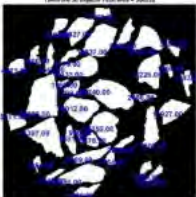
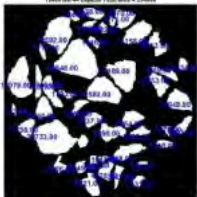
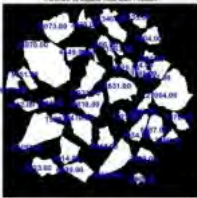
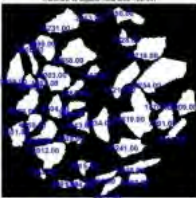
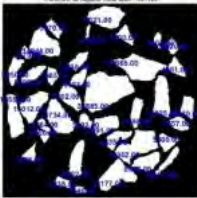
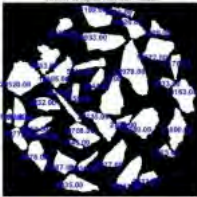
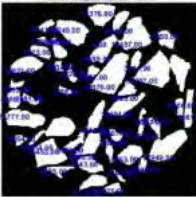
ตารางที่ 4.7 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA30LSS

W50SA30LSS		
A1	A2	A3
402,632 pixel	408,922 pixel	372,874 pixel
		
A4	A5	A6
377,975 pixel	389,876 pixel	391,108 pixel
		
B1	B2	B3
389,694 pixel	405,239 pixel	392,349 pixel
		
B4	B5	B6
392,349 pixel	356,217 pixel	399,028 pixel
		

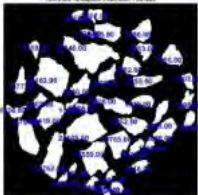
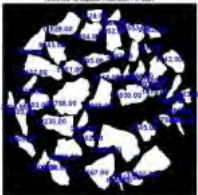
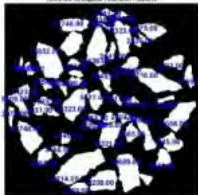
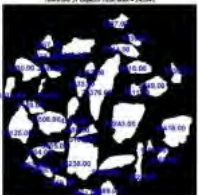
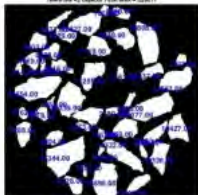
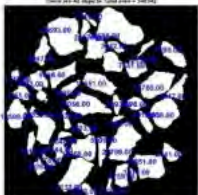
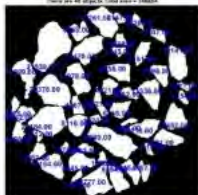
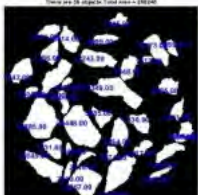
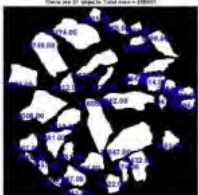
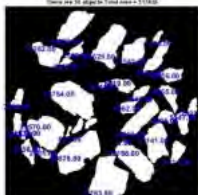
ตารางที่ 4.8 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA44LSS

W50SA44LSS		
A1	A2	A3
388,310 pixel	394,427 pixel	315,966 pixel
		
A4	A5	A6
333,219 pixel	376,332 pixel	298,860 pixel
		
B1	B2	B3
394,905 pixel	409,595 pixel	301,562 pixel
		
B4	B5	B6
307,703 pixel	328,476 pixel	309,143 pixel
		

ตารางที่ 4.10 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W60SA44LSS

W60SA44LSS		
A1	A2	A3
311,923 pixel	361,439 pixel	344,219 pixel
		
A4	A5	A6
297,249 pixel	308,520 pixel	284,908 pixel
		
B1	B2	B3
305,894 pixel	287,041 pixel	307,102 pixel
		
B4	B5	B6
309,865 pixel	311,177 pixel	295,204 pixel
		

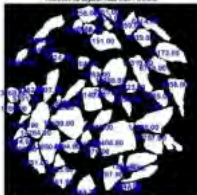
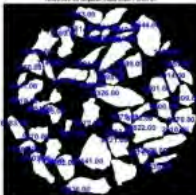
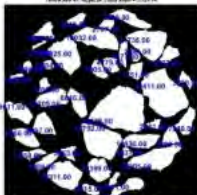
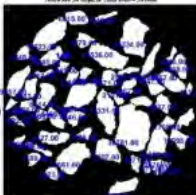
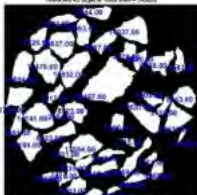
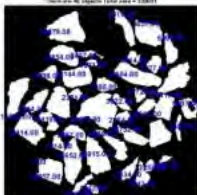
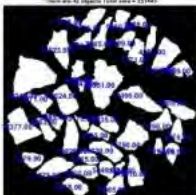
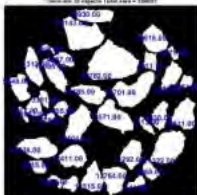
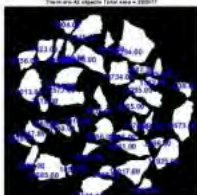
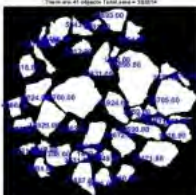
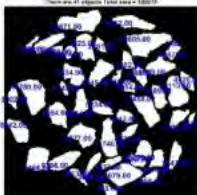
ตารางที่ 4.11 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W40SA44GNS

W40SA44GNS		
A1	A2	A3
294,250 pixel	319,621 pixel	309,819 pixel
		
A4	A5	A6
339,927 pixel	249,343 pixel	329,871 pixel
		
B1	B2	B3
348,342 pixel	272,199 pixel	266,684 pixel
		
B4	B5	B6
288,248 pixel	246,651 pixel	317,835 pixel
		

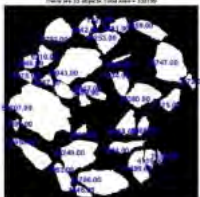
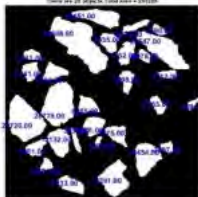
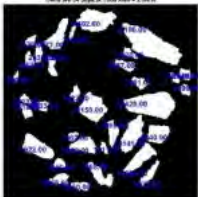
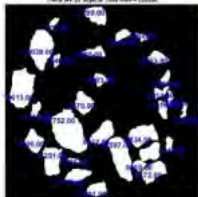
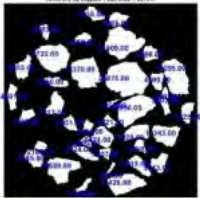
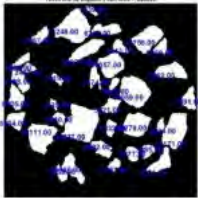
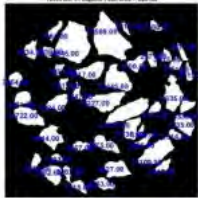
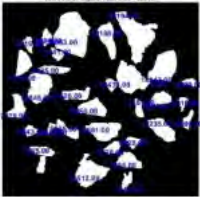
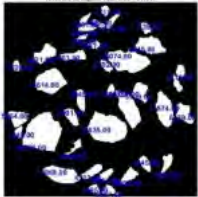
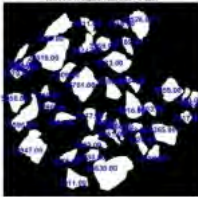
ตารางที่ 4.12 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA30GNS

W50SA30GNS		
A1	A2	A3
378,800 pixel	354,168 pixel	410,427 pixel
A4	A5	A6
399,000 pixel	375,746 pixel	355,299 pixel
B1	B2	B3
400,296 pixel	418,891 pixel	384,584 pixel
B4	B5	B6
355,907 pixel	422,887 pixel	367,946 pixel

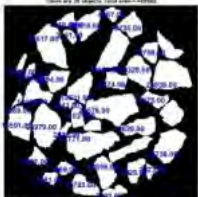
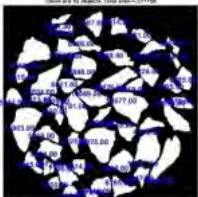
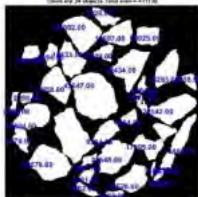
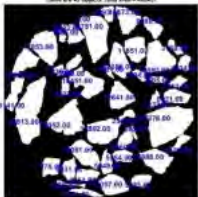
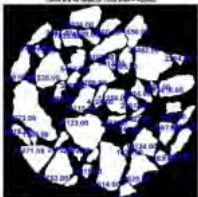
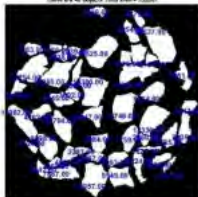
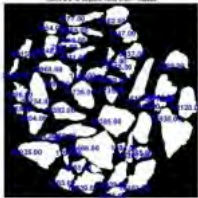
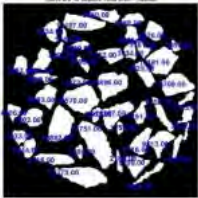
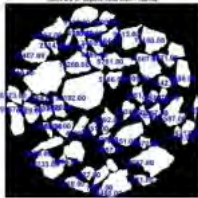
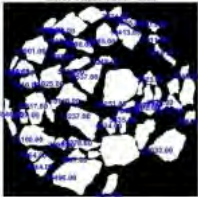
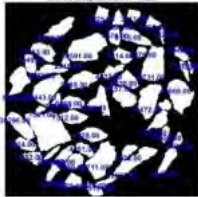
ตารางที่ 4.13 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA44GNS

W50SA44GNS		
A1	A2	A3
347,249 pixel	345,701 pixel	355,003 pixel
		
A4	A5	A6
378,714 pixel	341,404 pixel	345,208 pixel
		
B1	B2	B3
339,051 pixel	351,443 pixel	356,807 pixel
		
B4	B5	B6
285,977 pixel	353,514 pixel	309,275 pixel
		

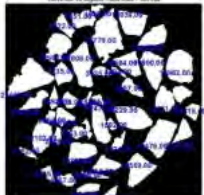
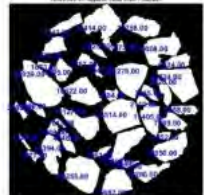
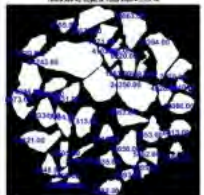
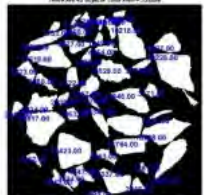
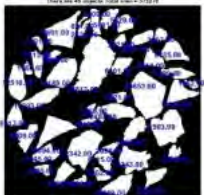
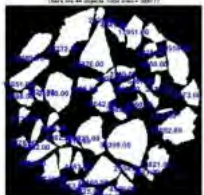
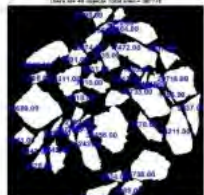
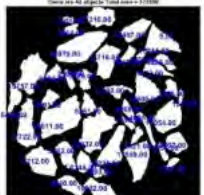
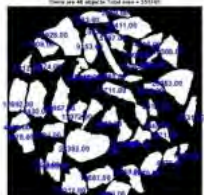
ตารางที่ 4.14 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA60GNS

W50SA60GNS		
A1	A2	A3
333,799 pixel	219,024 pixel	291,285 pixel
		
A4	A5	A6
227,442 pixel	218,616 pixel	250,998 pixel
		
B1	B2	B3
287,947 pixel	266,632 pixel	266,480 pixel
		
B4	B5	B6
252,167 pixel	217,907 pixel	242,834 pixel
		

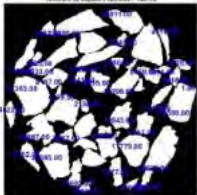
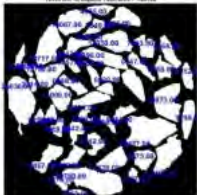
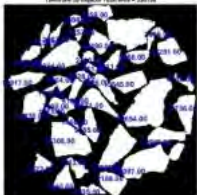
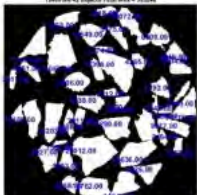
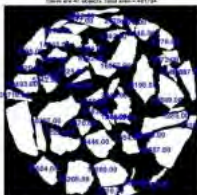
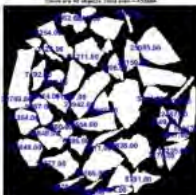
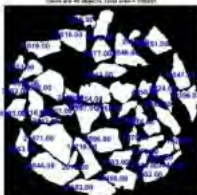
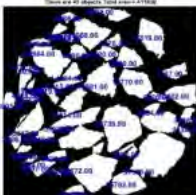
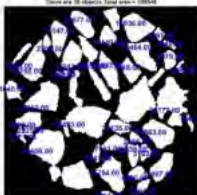
ตารางที่ 4.15 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W60SA44GNS

W60SA44GNS		
A1	A2	A3
409,582 pixel	371,758 pixel	411,130 pixel
		
A4	A5	A6
406,491 pixel	425,903 pixel	333,001 pixel
		
B1	B2	B3
366,292 pixel	325,063 pixel	393,430 pixel
		
B4	B5	B6
336,613 pixel	378,567 pixel	358,837 pixel
		

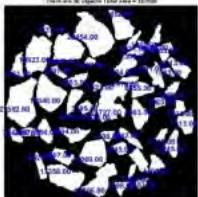
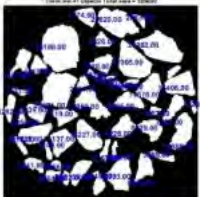
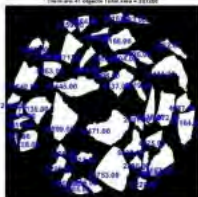
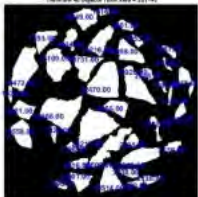
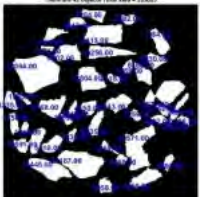
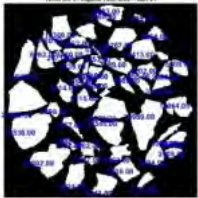
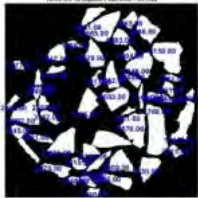
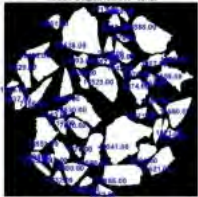
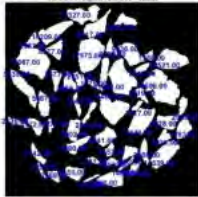
ตารางที่ 4.16 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W40SA44BSS

W40SA44BSS		
A1	A2	A3
321,874 pixel	357,668 pixel	387,881 pixel
		
A4	A5	A6
370,714 pixel	333,686 pixel	297,794 pixel
		
B1	B2	B3
373,270 pixel	385,177 pixel	367,778 pixel
		
B4	B5	B6
373,596 pixel	382,156 pixel	351,761 pixel
		

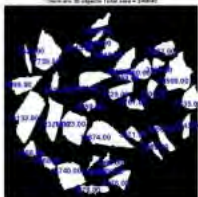
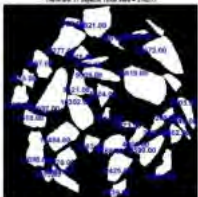
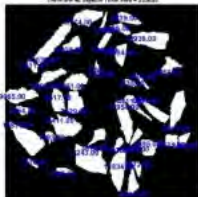
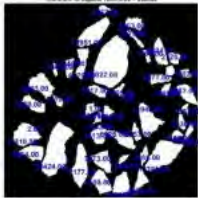
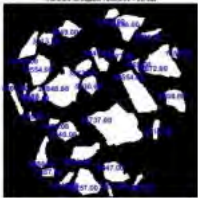
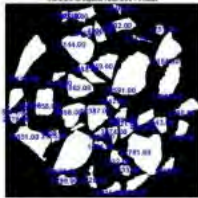
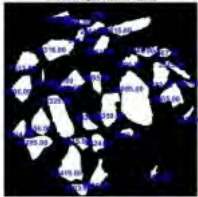
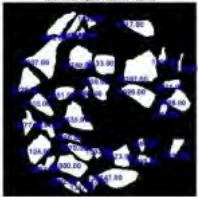
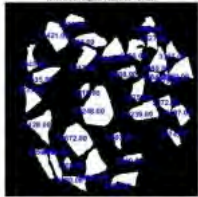
ตารางที่ 4.17 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA30BSS

W50SA30BSS		
A1	A2	A3
405,733 pixel	383,477 pixel	409,498 pixel
		
A4	A5	A6
390,190 pixel	423,022 pixel	363,848 pixel
		
B1	B2	B3
401,724 pixel	453,684 pixel	395,291 pixel
		
B4	B5	B6
379,165 pixel	411,630 pixel	395,548 pixel
		

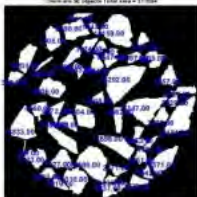
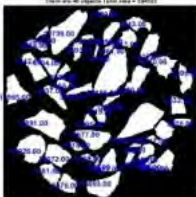
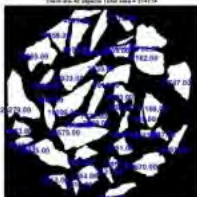
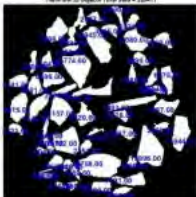
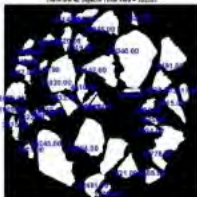
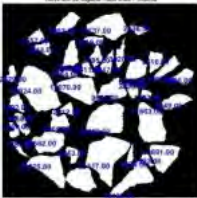
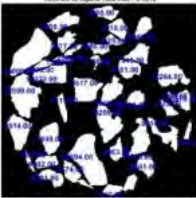
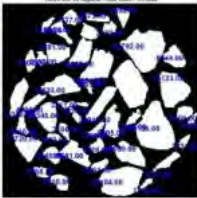
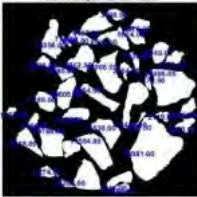
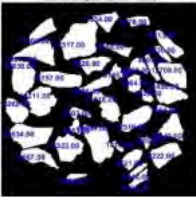
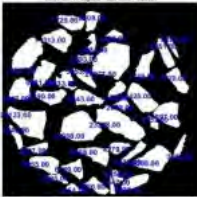
ตารางที่ 4.18 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA44BSS

W50SA44BSS		
A1	A2	A3
357,806 pixel	385,000 pixel	291,268 pixel
		
A4	A5	A6
291,142 pixel	283,003 pixel	298,320 pixel
		
B1	B2	B3
359,724 pixel	362,334 pixel	315,982 pixel
		
B4	B5	B6
361,453 pixel	312,290 pixel	303,588 pixel
		

ตารางที่ 4.19 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W50SA60BSS

W50SA60BSS		
A1	A2	A3
240,640 pixel	269,921 pixel	305,473 pixel
		
A4	A5	A6
210,286 pixel	316,277 pixel	225,680 pixel
		
B1	B2	B3
259,508 pixel	237,369 pixel	315,083 pixel
		
B4	B5	B6
220,758 pixel	228,453 pixel	214,097 pixel
		

ตารางที่ 4.20 พื้นที่หินจากการวิเคราะห์ด้วย MATLAB จากส่วนผสม W60SA44BSS

W60SA44BSS		
A1	A2	A3
317,004 pixel	304,522 pixel	314,714 pixel
		
A4	A5	A6
361,055 pixel	286,471 pixel	302,593 pixel
		
B1	B2	B3
345,653 pixel	314,076 pixel	374,989 pixel
		
B4	B5	B6
333,790 pixel	332,075 pixel	326,454 pixel
		

4.2 ผลการคำนวณหาน้ำหนักของหิน

การหาน้ำหนักของหิน จะพิจารณาโดยอาศัยการวิเคราะห์ภาพถ่ายของหน้าตัดตัวอย่างและขั้นตอนการวิเคราะห์ที่ได้กล่าวไปในบทที่ 3 ได้ผลการคำนวณหาปริมาณหินดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 ผลจากการคำนวณหาปริมาณหิน

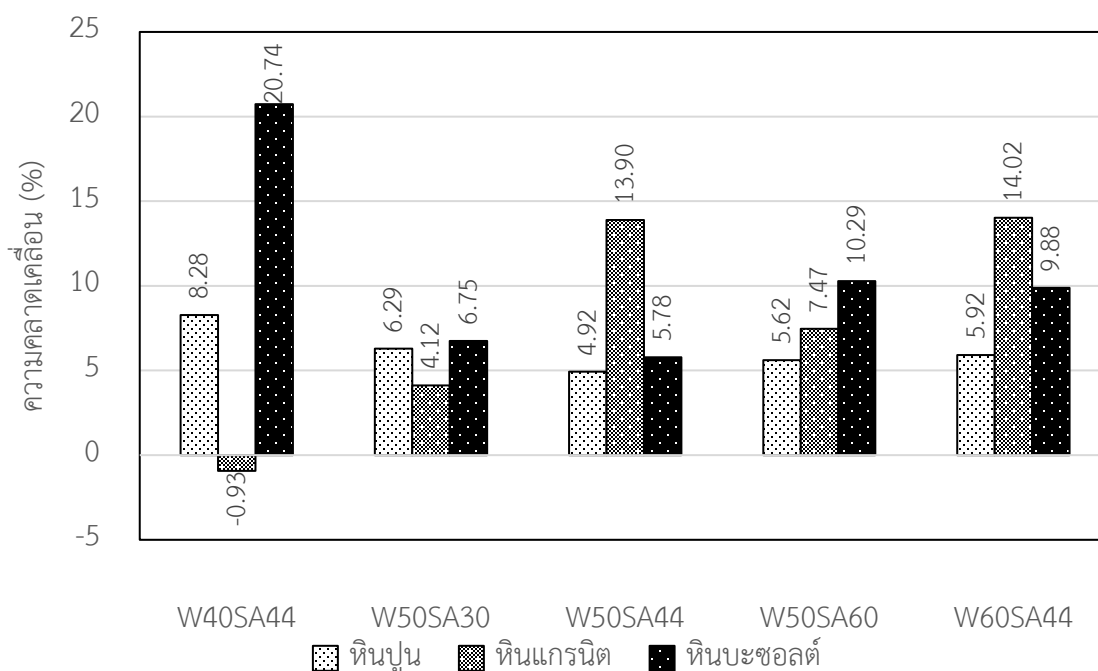
No.	Mix id.	น้ำหนักหินจากการส่วนผสมจริง (kg/m ³)	น้ำหนักหินจากการวิเคราะห์ (kg/m ³)
1	W40SA44LSL	1,018	1,059
	W40SA44LSS	1,018	1,150
2	W50SA30LSL	1,273	1,348
	W50SA30LSS	1,273	1,353
3	W50SA44LSL	1,018	1,044
	W50SA44LSS	1,018	1,068
4	W50SA60LSL	729	770
	W50SA60LSS	729	770
5	W60SA44LSL	1,021	1,070
	W60SA44LSS	1,021	1,088
6	W40SA44GNS	1,005	996
7	W50SA30GNS	1,251	1,254
8	W50SA44GNS	1,001	1,164
9	W50SA60GNS	715	788
10	W60SA44GNS	1,001	1,257
11	W40SA44BSS	1,145	1,420
12	W50SA30BSS	1,433	1,595
13	W50SA44BSS	1,147	1,260
14	W50SA60BSS	819	939
15	W60SA44BSS	1,145	1,295

*หมายเหตุ W คือ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์, SA คือ อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด, LS คือ หินปูน, GN คือ หินแกรนิต, BS คือ หินบะซอลต์, S คือ ทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร, L คือ ทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร

4.3 ความคลาดเคลื่อนของการหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย

4.3.1 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากชนิดหิน

จากผลการคำนวณหาปริมาณหินในคอนกรีต และความคลาดเคลื่อนโดยเทียบกับส่วนผสมจริงของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้หินต่างชนิดกัน ซึ่งได้แก่ หินปูน หินแกรนิต และหินบะซอลต์จะได้ดังรูปที่ 4.2



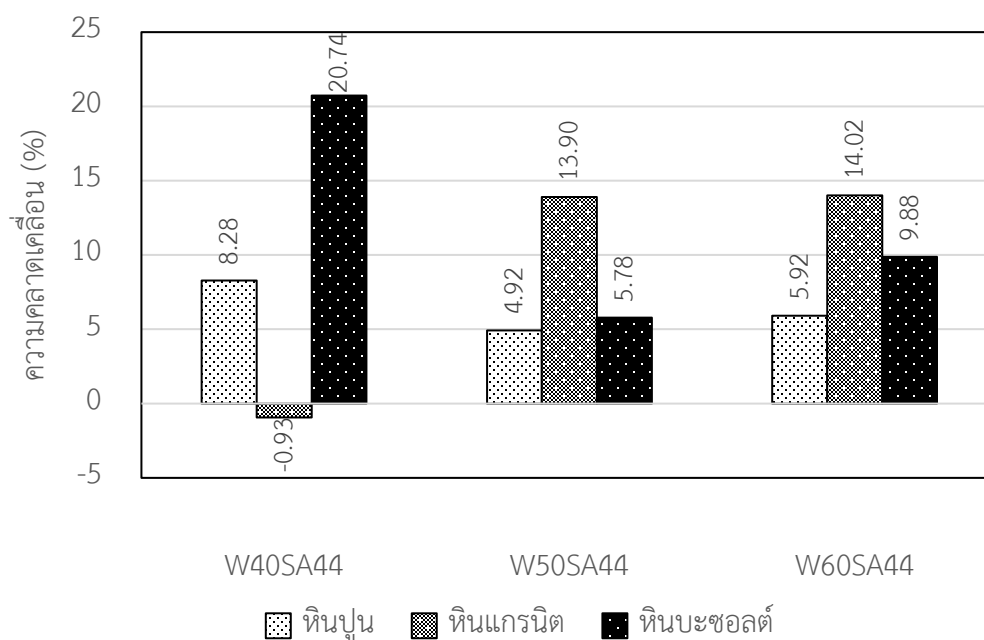
รูปที่ 4.2 ความคลาดเคลื่อนของปริมาณหินเนื่องจากชนิดของหิน

เมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนของปริมาณหินจากการวิเคราะห์โดยเทียบกับส่วนผสมจริงของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ชนิดหินต่างกัน โดยตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินปูนมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 4.92 % ถึง 8.28 % ตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินแกรนิตมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง

-0.93 % ถึง 14.02 % และตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินบะซอลต์มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 5.78 % ถึง 20.74 % แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินปูนมีความคลาดเคลื่อนต่างกันน้อยกว่าหินชนิดอื่น ผลการวิเคราะห์หาปริมาณเนื่องจากชนิดหินที่ต่างกันมีคุณสมบัติทางกายภาพที่ต่างกัน เช่น ขนาดคละ, ผิว, สี และดัชนีความแบนของหิน เมื่อหินมีดัชนีความแบนสูง และเรียงตัวกันในแนวนอนจะทำให้พื้นที่ของหินที่ได้จากการวิเคราะห์สูงตามไปด้วย จากการวิเคราะห์หาดัชนีความแบนพบว่าหินบะซอลต์มีดัชนีความแบนสูงกว่าหินชนิดอื่น จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนสูงที่สุด

4.3.2 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

จากผลการคำนวณหาปริมาณหินในคอนกรีต และความคลาดเคลื่อนโดยเทียบกับส่วนผสมจริงของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ของตัวอย่างที่แตกต่างกัน คือ 0.40, 0.50 และ 0.60 จากผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.3

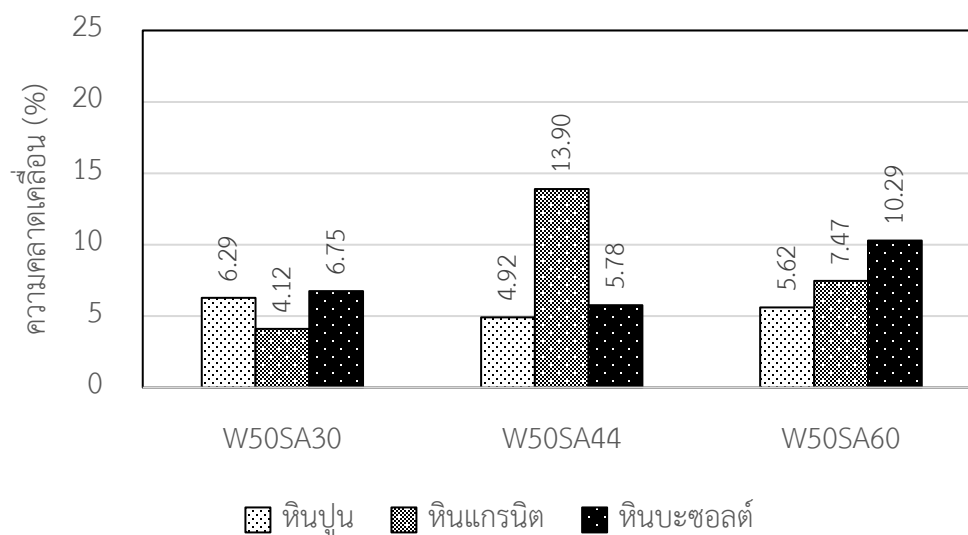


รูปที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนของปริมาณหินเนื่องจากอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

เมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนของปริมาณหินจากการคำนวณโดยเทียบกับส่วนผสมจริงของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่างกัน โดยตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินปูนมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 4.92 % ถึง 8.28 % ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.50 มีความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด ตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินบะซอลต์มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง -0.93 % ถึง 14.02 % ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.40 มีความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด และตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินบะซอลต์มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 5.78 % ถึง 20.74 % ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.50 มีความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินปูนมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินชนิดอื่น ผลกระทบต่อการหาปริมาณหินเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูง แสดงว่ามีน้ำผสมอยู่ในคอนกรีตมาก ทำให้หินจมอยู่ด้านล่างของแบบหล่อตัวอย่าง เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ต่ำ แสดงว่ามีน้ำผสมอยู่ในคอนกรีตน้อย ทำให้คอนกรีตมีความชื้นเหลวต่ำ ส่งผลให้หินไหลลงในแบบได้ยาก เมื่อคอนกรีตที่ปริมาณน้ำมากและน้อยจนเกินไปจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้สูง

4.3.3 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด

จากผลการคำนวณหาปริมาณหินในคอนกรีต และความคลาดเคลื่อนโดยเทียบกับส่วนผสมจริงของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด (s/a) คือ 0.30 ,0.44 และ 0.60 ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.3

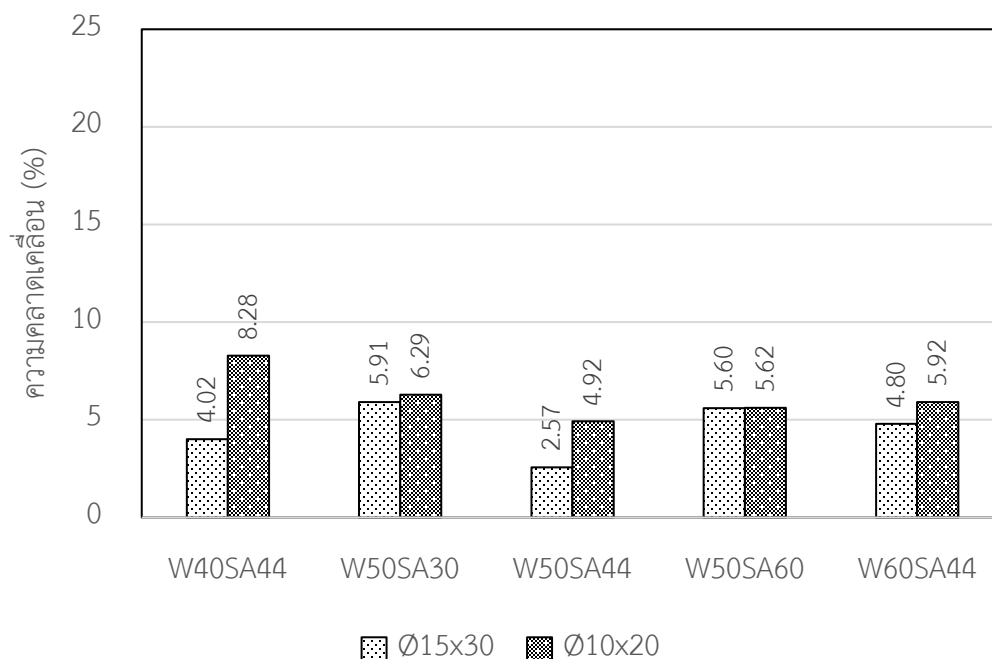


รูปที่ 4.4 ความคลาดเคลื่อนของปริมาณหินเนื่องจากอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด

เมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนของปริมาณหินจากการคำนวณโดยเทียบกับส่วนผสมจริงของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดต่างกันโดยมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากัน ตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินปูนมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 4.92 % ถึง 6.29 % ตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินแกรนิตมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 4.12 % ถึง 13.90 % และตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินบะซอลต์มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 5.78 % ถึง 10.29 % ตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินปูนมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าตัวอย่างที่ใช้มวลรวมหยาบเป็นหินชนิดอื่น และอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดที่ 0.30 มีความคลาดเคลื่อนของหินแต่ละชนิดต่างกันน้อยที่สุดจึงมีผลกระทบต่อการหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วน้อยกว่าอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดที่ 0.44 และ 0.60 ซึ่งผลกระทบเนื่องจากอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดสูงขึ้น ทำให้มีหินน้อยกว่าทราย เมื่อตัดก้อนตัวอย่างอาจทำให้ตัดไม่พบส่วนที่เป็นหินหรือพบในปริมาณที่น้อย และเมื่อมีทรายมากทำให้คอนกรีตมีความเหลว หินจึงจมที่ด้านล่างของตัวอย่าง เมื่อค่าอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดสูงจะทำให้ความคลาดเคลื่อนสูงตามไปด้วย

4.3.4 ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากขนาดก้อนตัวอย่าง

จากผลการคำนวณหาปริมาณมวลรวมหยาบในคอนกรีต และความคลาดเคลื่อนโดยเทียบกับค่าออกแบบของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ก้อนตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.5 ความคลาดเคลื่อนของปริมาณหินเนื่องจากขนาดของตัวอย่าง

เมื่อพิจารณาความคลาดเคลื่อนของปริมาณหินจากการคำนวณโดยเทียบกับส่วนผสมจริงของตัวอย่างคอนกรีตที่ใช้ขนาดของตัวอย่างแตกต่างกัน ก้อนตัวอย่างขนาดใหญ่มีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 2.57 % ถึง 5.91 % และก้อนตัวอย่างขนาดเล็กมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 4.92 % ถึง 8.28 % จะแสดงให้เห็นว่าก้อนตัวอย่างขนาดใหญ่มีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าก้อนตัวอย่างขนาดเล็กทุกส่วนผสม ซึ่งก้อนตัวอย่างมีขนาดใหญ่จะส่งผลให้หินมีการกระจายตัวได้ดีกว่าก้อนตัวอย่างขนาดเล็ก เนื่องจากก้อนตัวอย่างขนาดเล็กทำให้หินมีการเรียงตัวแบบชิดกัน ถ้ามีหินขนาดใหญ่จำนวนมากทำให้การกระจายตัวของหินไม่ดี ส่งผลให้ก้อนตัวอย่างขนาดเล็กเกิดความคลาดเคลื่อนมากกว่าก้อนตัวอย่างขนาดใหญ่

บทที่ 5

สรุปผล

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาผลกระทบของชนิดหินต่อการหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วยวิธีการทางภาพถ่าย สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การศึกษาผลกระทบของชนิดหินที่แตกต่างกัน ส่งผลกระทบต่อการหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของหินที่ต่างกัน โดยตัวอย่างหินปูนมีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

2. การศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ส่งผลกระทบต่อการหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.40 และ 0.60 มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.50 เนื่องจากน้ำน้อยทำให้หินกระจายตัวกันไม่ดี และน้ำมากทำให้หินจมอยู่กับกันของแบบหล่อก่อนตัวอย่าง

3. การศึกษาผลกระทบของอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมด (s/a) ส่งผลกระทบต่อการหาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย เนื่องจากอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดสูง ทำให้มีปริมาณหินน้อย และทรายมากทำให้หินลงไปกองอยู่ด้านล่างของก้อนตัวอย่าง จึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนสูง โดยอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดที่ 0.30 มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

4. การศึกษาผลกระทบของขนาดของตัวอย่างต่างกัน ส่งผลกระทบต่อการวิเคราะห์หาปริมาณหินในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางภาพถ่าย เพราะก้อนตัวอย่างขนาดใหญ่มีการกระจายตัวของหินได้ดีกว่าก้อนตัวอย่างขนาดเล็กจึงมีความคลาดเคลื่อนน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษพบว่า บริเวณด้านล่างของก้อนตัวอย่างมีปริมาณหินมากกว่าด้านบนของก้อนตัวอย่างจึงส่งผลให้มีความคลาดเคลื่อนสูง จึงควรศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของผลกระทบในด้านการทำให้แน่น เช่น การกระทุ้งด้วยมือ และการเขย่าด้วยเครื่อง

บรรณานุกรม

- กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. กันยายน (2547). หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง. หจก.ซี
นาย คอมพิวเตอร์กราฟฟิค. กรุงเทพมหานคร.
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. (2537). คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 3. บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง
จำกัด. กรุงเทพมหานคร.
- ปิติพัฒน์ ล้วนธนเศรษฐ์. (2559). การศึกษาผลกระทบของขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ รูปทรงหน้า
ตัดตัวอย่าง และอัตราส่วนมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมทั้งหมดในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วด้วย
วิธีการทางภาพถ่าย. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- พันธุ์คุปต์ เปรียบพาน. (2559). การศึกษาผลกระทบของขนาดใหญ่สุดของมวลรวมหยาบ รูปทรงหน้าตัด
ตัวอย่าง และสัดส่วนน้ำต่อวัสดุประสานต่อการหาปริมาณมวลรวมหยาบในคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว
ด้วยวิธีการทางภาพถ่าย. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.
- มยุรี ปาลวงศ์. (2544). หินเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง. กองวิชาการและวางแผน กรมทรัพยากรธรณี.
กรุงเทพมหานคร.
- C.F. Mora, A.K.H. Kwan, et al. (1998). Particle size distribution analysis of coarse aggregate
using digital image processing. Cement and Concrete Research, 28(1998) 921–932.
- J.M.R. Fernlund (2005). Image analysis method for determining 3-D shape of coarse
aggregate. Cement and Concrete Research, 35 (2005) 1629 – 1637.
- L. Banta, K. Cheng, et al. (2003). Estimation of limestone particle mass from 2D
images. Powder Technology, 132 (2003) 184 – 189.
- M.S. Jung, M.C. Shin, et al. (2012). Fingerprinting of a concrete mix proportion using the
acid neutralisation capacity of concrete matrices. Construction and Building
Materials, 26 (2012) 65–71.
- P.V. Beton (1988). Methods for analysis of hardened concrete. Testing concrete, Part 124
(1988).
- T. Chuosavasdi, W. Saengsoy, et al. (2014). Determination of mix proportion of hardened
OPC concrete. The 19 th National Convention on Civil Engineering, Khon-Kaen,
Thailand. (2014) 670-675.
- W. Wang. (1999). Image analysis of aggregates. Division of Engineering Geology.
Construction and Building Materials, 26 (2012) 65–71.