การเพิ่มมูลค่าของหินฝุ่นแกรนิตเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง

นางสาวโสมธิดา สินธุกูฏ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

VALUE ADDED OF CRUSHED GRANITE FINE FOR CONSTRUCTION MATERIAL

Miss Somthida Sinthugoot

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Georesources Engineering

Department of Mining and Petroleum Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มมูลค่าของหินฝุ่นแกรนิตเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง
โดย	นางสาวโสมธิดา สินธุกูฏ
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	อาจารย์ ดร. อภิสิทธิ์ น้ำประสานไทย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(อาจารย์ ดร. อภิสิทธิ์ น้ำประสานไทย)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. ภิญโญ มีชำนะ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

โสมธิดา สินธุกูฏ : การเพิ่มมูลค่าของหินฝุ่นแกรนิตเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง (VALUE ADDED OF CRUSHED GRANITE FINE FOR CONSTRUCTION MATERIAL) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: อ. ดร. อภิสิทธิ์ น้ำประสานไทย, 119 หน้า.

หินฝุ่นแกรนิตคือหินก่อสร้างชนิดหนึ่งที่เป็นผลผลิตจากการโม่หินแกรนิต แต่ไม่มีตลาดในการจำหน่ายมากนัก ทำให้หินฝุ่นแกรนิตกลายเป็นวัสดุเหลือทิ้งในโรงโม่หินไปในที่สุด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อแต่งหินฝุ่นแกรนิตที่ให้อยู่ในช่วงขนาดที่ทดแทนทรายก่อสร้างได้ตามมาตรฐาน ASTM C-33 และเพิ่มมูลค่าของสินค้าคงคลังที่ไม่มีการเคลื่อนไหวให้ขายได้อีกครั้ง รวมถึงประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตอีกด้วย ทั้งนี้ได้วิเคราะห์ข้อมูลขนาดคละและโมดูลัสความละเอียดของโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตของบริษัท สโตนวัน และโรงล้างทรายบ่อทรายซีแพคสี่ร้อย เพื่อนำมาออกแบบโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตให้แก่โรงโม่หินแกรนิตบริษัท ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ ซึ่งมีปัญหาในด้านการจัดการกองหินฝุ่นแกรนิตคงค้างอยู่ในปัจจุบัน โดยได้ออกแบบโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตแบบเปียกด้วยเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน (Wet process Bucket wheel classifiers) ที่สามารถลดปริมาณขนาดละเอียดและแต่งหินฝุ่นแกรนิตให้มีค่าโมดูลัสความละเอียด 2.4- 3.0 และมีช่วงขนาดตามมาตรฐาน ASTM-C33 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการทดแทนทรายก่อสร้างในงานอุตสาหกรรมได้ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งให้กลายเป็นรายได้แก่ผู้ประกอบการอีกด้วย การประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ถูกนำเสนอโดยมีค่าดัชนีกำไรที่ 1.27 มีอัตราผลตอบแทนภายในคิดเป็น 66% มูลค่าปัจจุปันสุทธิเท่ากับ 141.36 ล้าน และมีระยะเวลาคืนทุน 1ปีกับ 5 เดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา	วิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา	วิศวกรรมทรัพยากรธรณี	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
ปีการศึกษา	2559	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

5670447321 : MAJOR GEORESOURCES ENGINEERING

KEYWORDS: BUCKET WHEEL CLASSIFIER, CRUSHED GRANITE FINE, CONSTRUCTION SAND, WASHING PLANT,

SOMTHIDA SINTHUGOOT: VALUE ADDED OF CRUSHED GRANITE FINE FOR CONSTRUCTION MATERIAL. ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMSAK SAISINCHAI, CO-ADVISOR: APISIT NUMPRASANTHAI, Ph.D., 119 pp.

Crushed granite fine (CGF) is a product from granite crushing plant which is no market for sale . Recently, CGF becomes waste in many granite plants. The purpose of this research is to design the process for CGF by using bucket wheel classifier in order to adding value. Pre-feasibility study in washing plant was also undertaken. The particular size and fineness modulus of CGF washing plant from Stone One Public Co., and sand washing plant from CPAC Si Roi Co., were investigated as a benchmark for CGF washing plant determination. Wet process by using bucket wheel classifiers were mainly applied to the plant. Regarding to the results, bucket wheel classifier was able to decrease particular size and fineness modulus to 2.4-3.0 within appropriate to replace construction sand referring to ASTM-C33 standard. In addition, it can add the value the waste product to make the profit for industry. Pre-feasibility study presented profitability Index 1.27; with an internal rate of return at 66%, a net present value at 141.36 million and a payback period at 1 year and 5 months.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department:	Mining and Petroleum Engineering	Student's Signature	.....
		Advisor's Signature	.....
Field of Study:	Georesources Engineering	Co-Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2016		

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์และช่วยเหลือจากบุคคลและองค์กรหลายฝ่าย อันดับแรก ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบพระคุณ รศ.สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่ช่วยเหลือแนะแนวทางในการวิจัย ให้คำปรึกษา ตรวจแก้ไขข้อผิดพลาด ทำให้งานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วง ขอขอบคุณ อ.ดร.อภิสิทธิ์ น้ำประสานไทย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำปรึกษา รวมไปถึงตรวจทานรูปเล่มวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะสำเร็จไม่ได้เลยหากปราศจากอาจารย์ทั้ง 2 ท่าน ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่อดทนสอนสั่งและเคี่ยวเค็ญค่ะ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ และ รศ.ดร.ภิญโญ มีชำนะ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับข้อเสนอแนะต่างๆ ที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบริษัทสโตนวัน จำกัด (มหาชน) รวมไปถึงเจ้าหน้าที่ วิศวกรและพนักงาน ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างหินฝุ่นแกรนิต รวมไปถึงแนะนำเกี่ยวกับโรงโม่หินและโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณบริษัทพลอยเมืองกาญจน์ อินเตอร์กรุ๊พ จำกัด เจ้าของบ่อทรายซีแพคสี่ร้อย รวมไปถึงวิศวกร พนักงาน และเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการทุกๆท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างทรายบก ทั้งให้ความสะดวกในการใช้เครื่องปฏิบัติการวิเคราะห์ตัวอย่างในการวิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ รวมไปถึงวิศวกร พนักงาน และเจ้าหน้าที่ทุกๆท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บตัวอย่างหินฝุ่นแกรนิต และให้ความสะดวกในหลายเรื่อง ขอบพระคุณค่ะ

นอกจากนี้ขอขอบคุณอาจารย์ในภาควิชาทุกท่าน ธุรการภาควิชา เพื่อนๆพี่ๆน้องๆร่วมรุ่น ร่วมห้องพักนิสิตปริญญาโทสาขาทรัพยากรธรณีทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ ปลอบโยนให้กำลังใจให้คำปรึกษาด้วยดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณมารดา ญาติพี่น้องที่คอยให้กำลังใจกำลังทรัพย์สนับสนุน จนสำเร็จการศึกษาด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฎ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.4 ขอบเขตและวิธีดำเนินงานวิทยานิพนธ์ 3

1.5 แผนการดำเนินงาน 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง 5

2.1.1 ประเภทของมวลรวมในงานก่อสร้าง 6

2.1.2 ปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง 7

2.1.3 หินแกรนิตเพื่อการก่อสร้าง 8

2.1.4 ข้อมูลการใช้หินปูนและหินแกรนิตในอุตสาหกรรมของประเทศไทย 9

2.2 การหาขนาดคละของมวลรวม ค่าโมดูลัสความละเอียด 9

2.2.1 การหาขนาดคละ 9

2.2.2 ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus) 15

2.3 หินฝุ่น 16

2.3.1 หินฝุ่นหินปูน 16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.3.2 หินฝุ่นแกรนิต 17
2.4 การใช้หินฝุ่นแกรนิตแทนที่วัสดุก่อสร้าง 18
2.4.1 การใช้หินฝุ่นแกรนิตแทนที่ทรายก่อสร้าง 18
2.4.2 การใช้หินฝุ่นแกรนิตแทนที่วัสดุก่อสร้างอื่นๆ 19
2.5 ทราย 20
2.5.1 ชนิดของแหล่งทรายในประเทศไทย 20
2.5.1.1 ทรายบก 20
2.5.1.2 ทรายทะเล 21
2.5.2 คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ของทรายก่อสร้าง 21
2.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 22
2.6.1 ตะแกรง (Screen) 22
2.6.2 เครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier 26
2.6.2.1 หลักการคัดขนาดด้วยของไหล (Principles of Classification) 26
2.6.2.2 หลักการทำงานของเครื่องคัดขนาดแบบ Spiral classifier 27
2.6.3 เครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน (Bucket wheels classifier) 30
2.6.4 เครื่องควบคุมค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness modulus control machine) 32
2.7 โรงล้างหินฝุ่น 33
2.7.1 กระบวนการล้างแบบแห้ง (Dry Process) 33
2.7.2 กระบวนการล้างแบบเปียก (Wet Process) 36
2.8 ลักษณะธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา 37
2.8.1 บริษัทสโตนวัน 37
2.8.1.1 ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่ 37
2.8.2 บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย จ.อ่างทอง 43

หน้า

2.8.3 บริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ 45
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 49
3.1 รวบรวมข้อมูลกรณีศึกษาเบื้องต้น 50
3.2 การเก็บตัวอย่าง 50
3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) 56
3.4 การหาขนาดคละ (gradation) 57
บทที่ 4 ผลการวิจัย 60
4.1 ผลการศึกษากรณีศึกษา โรงล้างหินฝุ่นแกรนิต แหล่งหินหนองข่า บริษัทสโตนวัน 60
4.1.1 ลักษณะที่ตั้งและภูมิประเทศ 60
4.1.2 โรงโม่หินแกรนิตสโตนวัน 61
4.1.3 โรงล้างหินฝุ่นแกรนิตบริษัทสโตนวัน 62
4.1.4 ผลการหาขนาดคละ (gradation) และโมดูลัสละเอียด (Fineness Modulus, F.M.) 66
4.2 ผลการศึกษากรณีศึกษาบ่อทราย ซีแพคสี่ร้อย จ.อ่างทอง 70
4.2.1 ลักษณะที่ตั้งและภูมิประเทศ 70
4.2.2 โรงล้างทราย บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย 71
4.2.3 ผลการหาขนาดคละ (gradation) และโมดูลัสละเอียด (Fineness Modulus, F.M.) 72
บทที่ 5 ผลการวิจัยและออกแบบโรงล้างหินฝุ่น 77
5.1 แหล่งหินเขาน้อยเจ้าเจ็ด บริษัท ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ จำกัด 77
5.2 ผลการหาขนาดคละ (gradation) และโมดูลัสละเอียด (Fineness Modulus, F.M.) 78
5.3 การออกแบบโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต 79
บทที่ 6 การวิเคราะห์การลงทุนสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต 82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

6.1 การวิเคราะห์ทางเลือกการลงทุน 82
6.2 เกณฑ์ในการประเมินโครงการลงทุน 82
6.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period,PP) 83
6.2.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) 83
6.2.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return,IRR) 84
6.2.4 ดัชนีกำไร (Profitability Index,PI) 85
6.3 การประมาณค่าใช้จ่ายในการประเมินโครงการ 86
6.3.1 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital costs) 86
6.3.2 ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (Operating costs) 86
6.4 การวิเคราะห์การลงทุนสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต 87
6.4.1 การประมาณค่าใช้จ่าย รายได้ ปริมาณแร่ และหลักเกณฑ์ต่างๆของโครงการสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต 88
6.4.2 สมมติฐานการลงทุน 89
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย 92
รายการอ้างอิง 94
ภาคผนวก 96
ภาคผนวก ก 97
ภาคผนวก ข 105
ภาคผนวก ค 107
ภาคผนวก ง 113
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 119

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1ปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมทั่วประเทศ 7
ตารางที่ 2.2 ตารางการใช้หินปูนและหินแกรนิตในงานอุตสาหกรรมของประเทศไทย 5 ปี ย้อนหลัง 10
ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์ขนาดคละ 12
ตารางที่ 2.4ปริมาณส่วนละเอียดเมื่อใช้หินขนาดใหญ่สุดต่างกัน 14
ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของหินฝุ่นแกรนิต 17
ตารางที่ 2.6 ตารางเปรียบเทียบความถ่วงจำเพาะของหินฝุ่นแกรนิตกับทรายหยาบ 18
ตารางที่ 2.7รายชื่อเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการแบบแห้ง 33
ตารางที่ 2.8รายชื่อเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการ wet process 37
ตารางที่ 3.1 แสดงชนิดและจำนวนตัวอย่างที่เก็บ 50
ตารางที่ 4.1 ค่ามาตรฐานช่วงคละของทรายหยาบ ตามมาตรฐาน ASTM C-33 66
ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบการคำนวนหาค่า F.M.ของตัวอย่างหินฝุ่นแกรนิตก่อนเข้ากระบวนการล้าง 67
ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบการคำนวนหาค่า F.M.ของตัวอย่างหินฝุ่นแกรนิตหลังเข้ากระบวนการล้าง 69
ตารางที่ 4.4 ตารางเปรียบเทียบการคำนวนหาค่า F.M.ของตัวอย่างทราย บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย 73
ตารางที่ 4. 5 ตารางเปรียบเทียบการคำนวนหาค่าF.M.ของตัวอย่างทรายก่อสร้าง ก่อนเข้าเครื่อง Bucket Wheel 75
ตารางที่ 5.1 ตารางการคำนวนหาค่า F.M.ของตัวอย่างหินฝุ่นแกรนิต ของ บ.ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ 78
ตารางที่ 5.2 รายชื่อเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการ wet process (Bucket wheel classifiers) 80
ตารางที่ 6. 1 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน 87
ตารางที่ 6.2 ข้อสมมติฐานของการประเมินโครงการด้านการเงิน 90
ตารางที่ 6.3 สรุปการประเมินโครงการลงทุนโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต 90

Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1กราฟวงกลมแสดงปริมาณสำรองหินอุตสาหกกรรมทั่วประเทศ 8
รูปที่ 2.2 แผนภูมิขนาดคละของมวลรวม 11
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแผนภูมิขนาดคละของมวลรวมที่มีขนาดคละได้ตามกำหนด 13
รูปที่ 2.4ตัวอย่างแผนภูมิขนาดคละของมวลรวมที่มีขนาดคละไม่ได้ตามกำหนด 14
รูปที่ 2.5รูปแสดงความหนาของลวดที่มีผลต่อการอุดตันของสินแร่ 23
รูปที่ 2.6 แสดงการคัดขนาดช่วงต้นและช่วงท้ายของตะแกรง 24
รูปที่ 2.7แสดงของการเอียงตะแกรงที่มีผลต่อขนาดของสินแร่ที่นำมาคัดขนาด 24
รูปที่ 2.8ลักษณะการเคลื่อนที่เนื่องจากการสั่นของตะแกรง 25
รูปที่ 2.9 เครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier 28
รูปที่ 2.10เครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier 28
รูปที่ 2.11เครื่องคัดขนาดแบบประตูน้ำต่ำ (Low Weir Classifier) 29
รูปที่ 2.12เครื่องคัดขนาดแบบประตูน้ำสูง (High Weir Classifier) 30
รูปที่ 2.13เครื่องคัดขนาดแบบจมใต้น้ำ (Submerged Spiral) 30
รูปที่ 2.14เครื่องคัดขนาดบุ้งกี๋หมุนที่ใช้ในบ่อทรายซีแพคสี่ร้อย 31
รูปที่ 2.15เครื่องคัดขนาดบุ้งกี๋หมุนที่ใช้ในการ Finlay special hydrasander ประเทศอังกฤษ 31
รูปที่ 2.16แสดงภาพตัดขวางการทำงานของเครื่องควบคุมค่าโมดูลัสความละเอียด 32
รูปที่ 2.17 แสดง Flow chart แบบ Dry process 35
รูปที่ 2.18แสดง Flow chart แบบ Wet process 36
รูปที่ 2.19แผนที่ธรณีวิทยาของจังหวัดชลบุรี 40
รูปที่ 2.20 คำอธิบายของแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดชลบุรี 41
รูปที่ 2.21 คำอธิบายของแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดชลบุรี (ต่อ) 42
รูปที่ 2.22 คำอธิบายแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดอ่างทอง 43
รูปที่ 2.23 แผนที่ทางธรณีวิทยาของจังหวัดอ่างทอง 44
รูปที่ 2.24 แผนที่ทางธรณีวิทยาของจังหวัดกาญจนบุรี 47
รูปที่ 2.25 คำอธิบายแผนที่ทางธรณีวิทยาของจังหวัดกาญจนบุรี 48
รูปที่ 3. 1 flow chart แสดงกระบวนการในการวิจัย 49
รูปที่ 3.2 แผนผังการเก็บตัวอย่างที่โรงล้างหินฝุ่นแกรนิต บริษัทสโตนวัน 51
รูปที่ 3.3 แผนผังการเก็บตัวอย่างที่โรงล้างทรายบ่อทรายซีแพคสี่ร้อย 51

รูปที่ 3.4 ภาพบริเวณโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต บริษัทสโตนวัน 52
รูปที่ 3.5ภาพบริเวณโรงล้างทราย บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย 53
รูปที่ 3.6 ภาพแสดงจุดที่เก็บตัวอย่าง บริษัทสโตนวัน ก = การเก็บตัวอย่างหินฝุ่นก่อนเข้าโรงล้างโดยวิธีการสุ่ม ข = หินฝุ่นแกรนิตก่อนเข้ากระบวนการ ค= การเก็บตัวอย่างหินเกร็ดโดยวิธีการสุ่ม และ ง = หินเกร็ด 53
รูปที่ 3.7 ภาพแสดงจุดที่เก็บตัวอย่าง จากบริษัทสโตนวัน (ต่อ) ก= การเก็บตัวอย่างหินฝุ่นหลังเข้าโรงล้างโดยวิธีการสุ่ม ข = หินฝุ่นแกรนิต (หลังออกจากกระบวนการล้าง) ค= การเก็บตัวอย่างทรายขนาดSilt โดยวิธีแบบสุ่ม และ ง = ทรายขนาดSilt 54
รูปที่ 3.8 ภาพแสดงจุดที่เก็บตัวอย่างจาก บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย จ.อ่างทอง ก= การเก็บตัวอย่างทรายก่อนเข้าเครื่อง Bucket wheel ข = ลักษณะทรายก่อนเข้าเครื่องคัดขนาด ค= การเก็บตัวอย่างทรายหลังออกจากเครื่อง Bucket wheel บนสายพาน และ ง=ลักษณะทรายหลังเข้าเครื่องBucket wheel 55
รูปที่ 3.9 ก=ภาพพื้นที่กองสต็อกหินฝุ่นแกรนิต และข =ลักษณะตัวอย่างจากบริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ 56
รูปที่ 3.10 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (Mechanical Sieve Shaker) และตะแกรงมาตรฐาน 57
รูปที่ 3. 11 เครื่องอบ (Oven) ที่นำตัวอย่างไปอบ 58
รูปที่ 3. 12 เทตัวอย่างหินฝุ่นลงไปในเครื่อง (Mechanical Sieve Shaker) 59
รูปที่ 4. 1 แผนที่เหมืองหินแกรนิตหนองข่า บริษัทสโตนวัน 61
รูปที่ 4.2 ลักษณะหน้าเหมืองหินแกรนิต (บริษัทสโตนวัน จำกัด (มหาชน)) 61
รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงกระบวนการล้างหินฝุ่นแกรนิตหนองข่า บริษัทสโตนวัน 62
รูปที่ 4. 4 แผนภาพแสดงกระบวนการย่อยหินของโรงโม่หินแกรนิตหนองข่า 63
รูปที่ 4.5 ภาพรวมของโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตบริษัทสโตนวัน 64
รูปที่ 4. 6 ตะแกรงสั่นคัดขนาดในโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต 65
รูปที่ 4. 7 เครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier ในโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต 65
รูปที่ 4. 8 ขนาดคละของหินฝุ่นแกรนิตแหล่งหนองข่า บริษัทสโตนวัน (ก่อนเข้ากระบวนการล้าง) 68
รูปที่ 4.9 ขนาดคละของหินฝุ่นแกรนิตแหล่งหนองข่า บริษัทสโตนวัน (หลังเข้ากระบวนการล้าง) 69
รูปที่ 4. 10 แผนที่บ่อทราย CPAC 400 จ.อ่างทอง 71
รูปที่ 4.11 แผนภาพแสดงกระบวนการล้างทราย บ่อทราย ซีแพคสี่ร้อย 72
รูปที่ 4. 12 ขนาดคละของทรายก่อนเข้าเครื่อง Bucket wheel 74
รูปที่ 4. 13 ขนาดคละของทรายก่อนเข้าเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน 75

รูปที่ 5.1 การหาขนาดคละของหินฝุ่นแกรนิต แหล่งเขาน้อยเจ้าเจ็ด บ.ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ จำกัด.....79
รูปที่ 5. 2 แสดง Flow chart แบบ Wet process 81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง เป็นหินที่มีความสำคัญต่อการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศ นอกจากจะเป็นวัตถุดิบหลักในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนแล้ว ยังรวมไปถึงระบบสาธารณูปโภคต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน เช่น การก่อสร้างถนน สะพาน ทางรถไฟฟ้า ทางรถไฟความเร็วสูง (มินิไฮสปีดเทรน) เป็นต้น ซึ่งการเติบโตของเศรษฐกิจและพัฒนาระบบการคมนาคมของรัฐบาลเป็นปัจจัยที่ทำให้หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างในประเทศไทยเป็นที่ต้องการและมีแนวโน้มการผลิตเพิ่มสูงมากขึ้น

ซึ่งหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างในไทย เป็นหินที่ผ่านกระบวนการย่อยของโรงโม่ให้ได้ขนาดเหมาะสมสำหรับงานก่อสร้าง จำพวก หินเบอร์3 หินเบอร์ 2 หินเบอร์ 1 หินเกร็ด หินฝุ่น และหินคลุก ซึ่งส่วนมากจะเป็นหินปูน รองลงมาจึงเป็นพวกหินบะซอลล์ หินแกรนิต หินทรายเป็นต้น โดยหินฝุ่นแกรนิตนั้นก็จัดเป็นหินกลุ่มหนึ่งของหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง โดยปกติแล้วจะมีขนาดอยู่ที่น้อยกว่า 0.075 มิลลิเมตรจนถึง 5 มิลลิเมตร มีสีเทาดำตามหินต้นกำเนิด ซึ่งนับว่าเป็นหินที่มีขนาดเล็กที่สุดในหินที่ใช้ในการก่อสร้างทั้งหมด ปัจจุบันหินฝุ่นแกรนิตยังไม่มีการนำไปใช้แพร่หลายนัก และกลายเป็นวัสดุเหลือทิ้งของโรงโม่หินเป็นจำนวนมาก

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แม้ว่าหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างจะเป็นที่ต้องการในตลาด เนื่องจากมีการขยายตัวของเศรษฐกิจและระบบสาธารณูปโภค แต่หินฝุ่นแกรนิตกลับไม่เป็นที่นิยมนำไปใช้เท่าไหร่นัก เนื่องจากส่วนมากหินฝุ่นแกรนิตจะนำไปเป็นส่วนประกอบของอิฐบล็อคซึ่งปัจจุบันมีตลาดค่อนข้างน้อยไม่เป็นที่นิยม ปริมาณการใช้หินฝุ่นแกรนิตในตลาดจึงน้อยลงไปด้วย ถึงจะมีขายในท้องตลาดอยู่บ้างก็ขายกันในราคาถูกคือตั้งแต่ 50-150 บาท/ตัน แต่ผู้ผลิตก็ไม่สามารถขายหินอุตสาหกรรมชนิดนี้ในตลาดได้ ทั้งลักษณะที่มีฝุ่นเยอะจึงไม่เหมาะแก่การนำไปใช้ประโยชน์อื่น เช่น ถมที่ดิน ผู้ประกอบการโรงโม่หินส่วนใหญ่จึงคิดว่าหินฝุ่นเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งจากขบวนการผลิตที่จำเป็นต้องนำไปกำจัดทิ้ง จนปัจจุบันหินฝุ่นแกรนิตกลายเป็นวัตถุไร้ค่าของโรงโม่หลายโรงในประเทศไทยไปในที่สุด ยิ่งนับวันปริมาณสำรองหินฝุ่นแกรนิตในโรงโม่ยิ่งเพิ่มปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆทุกครั้งที่มีกระบวนการย่อยหิน ขณะที่วัสดุถมทรายคันทาง ที่ต้องใช้ปริมาณทรายหยาบในการก่อสร้างจำนวนมาก กลับเป็นที่นิยม

อย่างแพร่หลาย แม้การผลิตทรายบกจะส่งผลกระทบต่อความสิ่งแวดล้อมและความเป็นอยู่ของประชาชนก็ตาม

ด้วยลักษณะของหินฝุ่นแกรนิต ที่มีปริมาณแร่หลักคือควอตซ์สูง คล้ายคลึงกับทรายหยาบ ทำให้มีการใช้หินฝุ่นแกรนิตทดแทนทรายหยาบในงานคอนกรีตอยู่บ้าง แต่ด้วยลักษณะของหินฝุ่นแต่ละแหล่งก็จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันไปขึ้นกับหินต้นกำเนิด เพราะฉะนั้นหากนำหินฝุ่นมาล้างเพื่อกำจัดฝุ่นจากกระบวนการผลิต คุณสมบัติของหินฝุ่นแกรนิตล้างจะใกล้เคียงกับทรายหยาบ ซึ่งสามารถซื้อขายได้ในตลาดหินอุตสาหกรรมก่อสร้างต่อไป

ทั้งนี้โรงโม่หินแหล่งเขาน้อยเจ้าเจ็ดของบริษัท ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ จำกัด ก็ประสบปัญหาไม่สามารถระบายปริมาณสำรองหินฝุ่นแกรนิตได้ โดยปัจจุบันทางโรงโม่ได้กองหินเหล่านี้ทิ้งไว้จนกลายเป็นภูเขาวัสดุเหลือทิ้งปริมาณนับล้านตัน

เพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของหินฝุ่นแกรนิตจากแหล่งเขาน้อยเจ้าเจ็ด การศึกษานี้จึงได้ศึกษากระบวนการเก็บกลับคืนทรายก่อสร้างจากหินฝุ่นแกรนิตที่เหลือใช้จากโรงโม่ นอกจากจะสามารถเพิ่มมูลค่าให้วัสดุเหลือทิ้งแล้ว ยังสามารถช่วยปรับภูมิทัศน์ภายในโรงโม่ได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการแต่งหินฝุ่นแกรนิต โดยกระบวนการคัดขนาดแบบ Spiral Classifier และกระบวนการคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน (Bucket wheel classifier) ให้หินฝุ่นแกรนิตมีขนาดช่วงคละและค่าโมดูลัสความละเอียดอยู่ในมาตรฐาน ASTM-C33 เพื่อทดแทนทรายก่อสร้าง ซึ่งจะสามารถเพิ่มมูลค่าของสินค้าคงคลังที่ไม่มีการเคลื่อนไหวให้ขายได้อีกครั้ง รวมถึงประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เพื่อเป็นแนวทางการล้างหินฝุ่นแกรนิตในโรงโม่หิน ซึ่งจะสามารถเพิ่มมูลค่าผลผลิตเหลือทิ้งและเป็นการจัดการสิ่งแวดล้อมภายในโรงโม่ได้อีกด้วย

1.4 ขอบเขตและวิธีดำเนินงานวิทยานิพนธ์

งานวิจัยในเรื่องนี้เป็นเรื่องการศึกษาและออกแบบกระบวนการล้างหินฝุ่นแกรนิต ศึกษาลักษณะเบื้องต้นของวัสดุหินฝุ่นแกรนิต (CGF) ของบริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ จากนั้นจึงทำการศึกษาโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตโดยวิธีการคัดขนาดแบบ Spiral Classifier กรณีศึกษาบริษัทสโตนวัน อ.หนองข่า จ.ชลบุรี ซึ่งเป็นโรงโม่หินแกรนิตแห่งหนึ่งในประเทศไทยที่มีการจัดการนำหินฝุ่นแกรนิตมาล้างเพื่อออกขายในตลาดหินอุตสาหกรรมก่อสร้าง และศึกษาโรงล้างทรายด้วยวิธีการคัดขนาดแบบบุ่งกี๋หมุน (Bucket wheel classifier) ของบ่อทราย ซีแพคสี่ร้อย จ.อ่างทอง

จากการวิเคราะห์ขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียดของโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตโดยวิธีการคัดขนาดแบบ Spiral Classifier นั้นพบว่าเครื่อง Spiral classifier นั้นมีหลักการทำงานโดยการกวนสินแร่ขึ้น สินแร่ที่มีน้ำหนักมากจะตกลงส่วนล่างของเครื่องมือ และถูกกลไกกวาดสวนทิศทางการไหลของน้ำขึ้นมาด้านบน ส่วนสินแร่ที่มีน้ำหนักน้อย จมตัวได้ช้ากว่าก็จะไหลล้นผ่านประตูน้ำ ซึ่งอยู่ทางด้านตรงกันข้ามออกไป ซึ่งเมื่อเทียบกับผลที่ได้แล้ว เครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier นั้นอาจยังไม่เหมาะสมกับการล้างหินฝุ่นแกรนิต จึงได้ศึกษาเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุนเพิ่มเติม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาคุณภาพการแต่งหินฝุ่นแกรนิตหรือทราย เปรียบเทียบกันระหว่างเครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier และ เครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน จากนั้นจึงนำไปออกแบบโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตให้แก่บริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ และศึกษาประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 แผนการดำเนินงาน

1) ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
   - หินฝุ่นแกรนิต
   - กระบวนการแต่งหินฝุ่นแกรนิตในประเทศไทยและต่างประเทศ
2) รวบรวมข้อมูลพื้นฐาน
   - ศึกษาการล้างหินฝุ่นในโรงโม่หิน บริษัทสโตนวัน จำกัด
   - ศึกษากระบวนการล้างทรายในบ่อทราย ซีแพคสี่ร้อย จ.อ่างทอง
   - รวบรวมข้อมูลด้านธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา และกระบวนการโม่หินของโรงโม่หินเขาเจ้าเจ็ด
3) สำรวจ เก็บตัวอย่างและวิเคราะห์หินฝุ่นแกรนิต บริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์เบื้องต้น

4) ทำการศึกษาและเก็บตัวอย่างของผลิตผลหินฝุ่นแกรนิตที่ผ่านโรงล้างโดยวิธีการคัดขนาดแบบ Spiral Classifier กรณีศึกษาบริษัทสโตนวัน อ.หนองข่า จ.ชลบุรี

5) นำตัวอย่างของบริษัทสโตนวันมาวิเคราะห์ขนาดช่วงคละและค่าโมดูลัสความละเอียด

6) ศึกษาและเก็บตัวอย่างเพิ่มเติมกรณีศึกษาโรงล้างทรายด้วยวิธีการคัดขนาดแบบบุ่งกี๋หมุน (Bucket wheel classifier) ของบ่อทราย ซีแพคสี่ร้อย จ.อ่างทอง

7) วิเคราะห์เปรียบเทียบเชิงคุณภาพของหินฝุ่นแกรนิต/ทราย ที่ใช้วิธีคัดขนาดแบบ Spiral classifier กับ บุ้งกี๋หมุน

8) ออกแบบโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตให้แก่บริษัท ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์

9) วิเคราะห์และประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

10) สรุปพร้อมจัดทำเล่มรายงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2547) ได้กล่าวว่า หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างในประเทศไทยมีหลายชนิด โดยส่วนมากเป็นหินปูน รองลงมาจึงเป็นหินพวกหินบะซอลล์ หินแกรนิต หินทราย หินไรโอไลต์ หินทรายแป้ง และหินกรวด

หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างในประเทศไทยตามกฎกระทรวงฉบับที่ 77 (พ.ศ.2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติแร่ พ.ศ.2510 ได้กำหนดให้หินกรวดมน (conglomerate) หินกรวดเหลี่ยม(Breccia) หินแกรนิต (Granite) หินทราเวอร์ทีน (Travertine) หินนาคกระสวย (Serpentinite) หินไนส์ (gneiss) หินบะซอลล์ (basalt) หินปูน (Limestone) หินชนวน (Slate) หินทราย(Sandstone) สามารถนำมาใช้เป็นหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างได้

หินปูนเป็นหินที่มีการผลิตเพื่อนำมาใช้เป็นหินเพื่อการก่อสร้างมากที่สุด รองลงมาได้แก่ หินแกรนิต หินบะซอลล์และหินชนิดอื่นๆ

หินเพื่อการก่อสร้างที่ซื้อขายในประเทศไทยเป็นหินที่ผ่านกระบวนการย่อยหินจากโรงโม่หินให้ได้ขนาดสำหรับงานก่อสร้าง โดยขนาดของหินมีการเปลี่ยนแปรไปบ้างตามภูมิภาคหรือท้องถิ่น ประเภทที่นิยมใช้และมีชื่อเรียกตามลักษณะการซื้อขาย ดังนี้

1) **หินเบอร์ 3** มีขนาดหิน 15-3 นิ้ว ใช้ในงานก่อสร้าง เช่น เขื่อน ทางรถไฟ และท่าเรือ
2) **หินเบอร์ 2** หินขนาดนี้แบ่งออกได้หลายช่วง ตั้งแต่ ¾ - 1 นิ้ว หรือขนาดตั้งแต่ 7/8 – 1 1/8 นิ้ว ซึ่งขนาดโดยรวมอยู่ระหว่าง 20-25 มม. หินประเภทนี้ใช้ผสมในงานคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างทั่วไป งานทำถนน อาคร ตึกที่อยู่อาศัย เป็นต้น
3) **หินเบอร์ 1** หินชนิดนี้แบ่งออกเป็นหลายช่วงขนาด ตั้งแต่ 3/8 – ¾ นิ้ว หรือมีขนาด 3/8 – 7/8 นิ้ว ซึ่งขนาดโดยรวมอยู่ระหว่าง 10-20 มม. เป็นหินใช้ทำถนน สะพาน สนามบิน ตึกที่อยู่อาศัย เป็นหินที่มีความต้องการใช้มากที่สุด และมีราคาสูงกว่าหินประเภทอื่นๆ
4) **หินเกล็ด** ขนาดของหินมีระหว่าง ¼ - 3/8 กับขนาด 3/16 – 3/8 นิ้ว โดยเฉลี่ยมีขนาดประมาณ 5-10 มิลลิเมตร ซึ่งส่วนใหญ่มักมีขนาดไม่คงที ใช้สำหรับผสมยางมะตอยสำหรับผิวทางและผสมกับหินฝุ่นในการทำคอนกรีตบล็อค

5) **หินฝุ่น** ขนาดของหินฝุ่น (น้อยกว่า 0.075 มิลลิเมตร) จนถึง 5 มิลลิเมตร หินประเภทนี้ใช้ผสมกับหินเกร็ดในการทำคอนกรีตบล็อคหรือนำไปโรยบนพื้นถนนลาดยาง และบางครั้งใช้ในการผสมคอนกรีต

6) **หินคลุก** เป็นหินผสมระหว่างหินประเภทต่างๆใช้เป็นวัสดุรองพื้นทาง (Pavement base) (เล็กกว่า 1 ¼ นิ้ว)

2.1.1 ประเภทของมวลรวมในงานก่อสร้าง

มวลรวมธรรมชาติหรือที่มีการผลิตขึ้น และใช้เป็นส่วนผสมในมวลสารของโครงสร้าง สิ่งก่อสร้าง มีหลายประเภทและหลายขนาด ชื่อเรียกสำหรับมวลรวมในงานก่อสร้าง (Construction aggregates) ดังนี้

1) มวลรวมหยาบ (Coarse aggregate) ปกติ เป็นหินโม่บดย่อยหลังจากบดย่อยแล้วนำไปร่อนอนุภาคจะค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 (อิงตาม U.S. standard sieve size) หรือมีขนาดของอนุภาค 0.187 นิ้ว (4.75 มม.)

2) มวลรวมละเอียด (Fine aggregate) ปกติเป็นหินที่โม่บดย่อยขนาดเล็กหรือเป็นหินฝุ่นที่มีขนาดผ่านตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว (9.50 มม.) ทั้งนี้ส่วนใหญ่จะผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) แต่จะค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 (75 ไมครอนหรือ 0.075 มม.)

3) กรวด (gravel) ปกติ เป็นหินที่โม่บดย่อยแล้วอนุภาคค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) ทั้งนี้เกิดจากการแตกหักและขัดสีของหินตามกระบวนการธรรมชาติ และเกิดจากกระบวนการผุกร่อนของกรวดขนาดใหญ่

4) ทราย (sand) คืออนุภาคขนาดเล็กซึ่งผ่านตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว (9.50 มม.) ทั้งนี้ส่วนใหญ่จะผ่านตะแกรงเบอร์ 4(4.75 มม.) แต่จะค้างตะแกรงเบอร์ 200 (75 ไมครอน) อนุภาคเหล่านี้จะเกิดจากการแตกหัก และขัดสีของหินที่มีสารซิลิกาสูงตามกระบวนการธรรมชาติ และกระบวนการผุกร่อนของหินทราย

5) กรวดชายฝั่ง (bank gravel) คือ กรวดซึ่งเกิดจากการสะสมตัวตามธรรมชาติ มักจะพบปะปนอยู่กับทราและดินเหนียว ดังนั้นจึงมีชื่อเรียกต่างกันตามขนาดของอนุภาคที่มปะปนคือ gravelly clay, gravelly sand, clayey gravel และ sandy gravel

6) กรวดแตก (crushed gravel) คือกรวดซึ่งเกิดจากการทำให้แตกออกมาจากเนื้อวัสดุอื่นทั้งนี้จะต้องมีหน้าแตกหน้าหนึ่งเป็นเนื้อของวัสดุเดิมนั้น

Chulalongkorn University

7) หินแตก (crushed stone) คือ หินซึ่งเกิดจากการทำให้แตกออกมาจากหินก้อนขนาดใหญ่ , หินกรวดมน หรือหินขนาดเล็กตามธรรมชาติ ทั้งนี้จะต้องมีหน้าแตกหน้าหนึ่งเป็นเนื้อของวัสดุเดิมนั้น

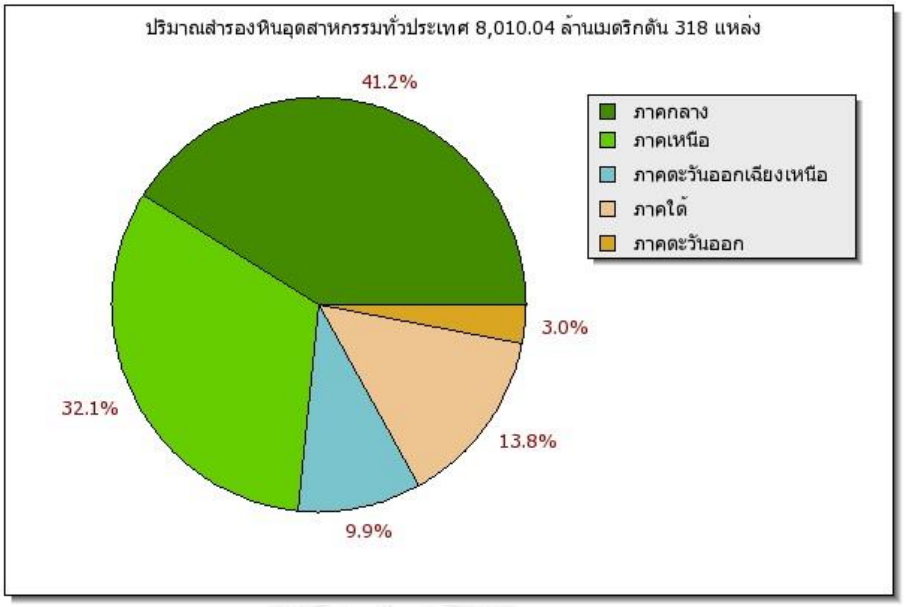
2.1.2 ปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง

ปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้างทั้งประเทศ สามารถหาได้จากการรวมปริมาณสำรองแหล่งหินทั้ง 3 ประเภท คือ แหล่งหินที่ได้รับการประภาศเป็นแหล่งหินอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมแหล่งหินในที่ดินกกรมสิทธิ์ และแหล่งหินจากประทานบัตรที่ได้รับการอนุญาตให้เพิ่มแร่หิน เพื่อการก่อสร้างลงในประทานบัตร

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ได้แสดงแหล่งปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมทั่วทั้งประเทศเท่ากับ 8,010.04 ล้านเมตริกตัน 318 แหล่ง โดยภาคกลางมีปริมาณสำรองแหล่งหินรวมมากที่สุด 3296.81 ล้านเมตริกตัน คิดเป็นร้อยละ 41.16 ของปริมาณสำรองแหล่งหินรวมทั้งประเทศ รองลงมาได้แก่ ภาคเหนือ และภาคใต้ตามลำดับ รายละเอียดตามตาราง 2.1 และกราฟวงกลมรูป2.1

ตารางที่ 2.1ปริมาณสำรองหินอุตสาหกรรมทั่วประเทศ (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่)

ลำดับ	ภาค	จำนวนแหล่งหิน	พื้นที่ (ไร่)	ปริมาณสำรองล้านเมตริกตัน	เปอร์เซ็นต์
1	ภาคกลาง	62	26,900	3,296.81	41.16
2	ภาคเหนือ	118	45,394	2,574.32	32.14
3	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	49	43,110	791.60	9.88
4	ภาคใต้	77	20,399	1,108.56	13.84
5	ภาคตะวันออก	12	5,501	238.75	2.98
รวม		318	141,394	8,010.04	100.00



รูปที่ 2.1กราฟวงกลมแสดงปริมาณสำรองหินอุตสาหกกรรมทั่วประเทศ
(กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่)

2.1.3 หินแกรนิตเพื่อการก่อสร้าง

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ (2547) สภาพแหล่งแกรนิตเกิดเป็นหินโผล่กระจัดกระจายอยู่ทั่วไปของประเทศไทยยกเว้นบริเวณที่ราบสูงโคราช หินแกรนิตจัดเป็นหินอัคนี (Igneous Rock) ชนิดหนึ่ง หินอัคนีหมายถึงหินที่เกิดจากการเย็นตัว และตกผลึกของหินหนืด (Magma) ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นใต้ผิวโลกหรือเกิดขึ้นบนพื้นผิวโลกก็ได้ จึงเป็นหินที่มีเนื้อหยาบตกผลึกเกาะกันแน่นเห็นได้ชัด โดยทั่วไปเป็นหินสีจาง เพราะแร่ส่วนใหญ่เป็นแร่พวกเฟลด์สปาร์และควอรตซ์ หินแกรนิตในประเทศไทยมีสีจางออกโทนสีเทา ผลึกแร่มองเห็นค่อนข้างชัดเจน เนื้อหินมีทั้งชนิดเนื้อเม็ดผลึกเล็กละเอียดกับเนื้อเม็ดผลึกสองขนาด แร่ประกอบหินที่สำคัญเป็นแร่ควอรตซ์ เฟลด์สปาร์ ไมกา อาจมีแร่อื่นปะปนในหินแกรนิตบ้าง หินแกรนิตในประเทศไทยเกิดเป็นหย่อมๆ เนินเขาเตี้ยลูกเล็กๆ ไม่สามารถจัดเป็นแหล่งหินขนาดใหญ่ได้ หินแกรนิตมีค่ากำลังวัสดุสูงกว่าหินปูนแต่เนื่องจากเนื้อหินมีการจับประสานกันแน่นและแร่ประกอบหินเป็นแร่ที่ความแข็งสูงทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการผลิต

หินอุตสาหกรรมชนิดแกรนิตเป็นหินที่มีการใช้เพื่อการก่อสร้างรองลงมาจากการใช้หินปูน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ขาดแคลนหินปูน เช่น จังหวัดชลบุรีและนราธิวาส นอกจากนี้หินอุตสาหกรรม

ชนิดแกรนิตยังมีการใช้ในงานคอนกรีตที่ต้องการความแข็งแรงสูงเช่น การก่อสร้างฐานรากของโครงการตึกสูงๆ หินรองรับทางรถไฟ ทำพื้นสนามบิน เป็นต้น

2.1.4 ข้อมูลการใช้หินปูนและหินแกรนิตในอุตสาหกรรมของประเทศไทย

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ได้แสดงข้อมูลการใช้หินปูนและหินแกรนิตในงานอุตสาหกรรมย้อนหลัง 5 ปี ตามตารางที่ 2.2

ในปี 2553 มีการใช้หินปูนและหินแกรนิตในด้านอุตสาหกรรมรวม 137 ล้านตัน และมีการขยายตัวขึ้นในปี 2554 ร้อยละ 3.9 และจากนั้นก็มีการเติบโตขึ้นทุกปีในอัตราร้อยละ 5-10 ในทุกปี ซึ่งเห็นได้ว่าในประเทศไทยมีความต้องการใช้หินปูนและหินแกรนิตในทางอุตสาหกรรมอยู่ และมีแนวโน้มจะเพิ่มมากในอนาคต

2.2 การหาขนาดคละของมวลรวม ค่าโมดูลัสความละเอียด

2.2.1 การหาขนาดคละ The Concrete products and Aggregate Co. (2543) กล่าวว่าผลของขนาดคละที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีต มีทั้งหมด 4 ข้อ ดังนี้

- **ปริมาณซีเมนต์เพสท์** คอนกรีตที่มีขนาดคละของมวลรวมดี มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดจะต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม เมื่อนำมาผสมรวมกันแล้วมวลรวมที่ขนาดเล็กกว่าจะต้องบรรจุอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมที่ใหญ่กว่าให้มากที่สุด ดังรูป2.2และ2.3 การที่มวลรวมมีขนาดคละที่ดีดังกล่าว จะส่งผลให้ช่องว่างระหว่างมวลรวมมีปริมาณน้อยลง ปริมาณซีเมนต์เพสท์ที่ใช้เพื่อยึดมวลรวมและอุดช่องว่างจึงลดลง ทำให้ลดปริมาณส่วนผสมของปูนซีเมนต์ลงได้

- **ความสามารถเทได้ (Workability)** คอนกรีตที่ใช้มวลรวมซึ่งมีขนาดคละดี จะมีปริมาณซีเมนต์เพสท์ที่เหลือจากการเติมช่องว่างในมวลรวมมากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมขนาดคละเดียว (Single size) หรือขนาดคละขาดช่วง (Gap grade) ดังนั้นปริมาณซีเมนต์เพลสท์ดังกล่าวจะทำหน้าที่หล่อลื่นและลดแรงเสียดทานระหว่างมวลรวมทำให้ความสามารถเทได้เพิ่มขึ้น

ลำดับ	ชื่อหิน	ประเภท	2553		2554		2555	
			ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
1	หินปูน	ใช้ในงานอุตสาหกรรมซีเมนต์	60,614,383.0	7,273.7	62,530,873.0	7,503.7	63,783,890.0	7,654.1
		ใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง	69,205,206.0	7,266.5	71,189,845.0	7,474.9	78,356,664.0	8,227.4
		ใช้ในงานอุตสาหกรรมอื่นๆ	3,383,776.0	406.1	4,246,781.0	509.6	4,987,854.0	598.5
2	หินแกรนิต	ใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง	4,199,593.0	566.9	5,013,445.0	676.8	5,293,829.0	714.7
รวม			137,402,958.0	15,513.2	142,980,944.0	16,165.0	152,422,237.0	17,194.7

ลำดับ	ชื่อหิน	ประเภท	2556		2557		2558	
			ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)	ปริมาณ (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
1	หินปูน	ใช้ในงานอุตสาหกรรมซีเมนต์	65,731,000.0	7,887.7	66,468,509.0	7,976.2	68,188,880.0	9,343.5
		ใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง	86,494,047.0	9,081.9	89,267,612.0	9,373.1	95,625,701.0	11,034.3
		ใช้ในงานอุตสาหกรรมอื่นๆ	5,816,898.0	698.0	6,262,694.0	751.5	6,568,305.0	900.4
2	หินแกรนิต	ใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง	7,601,333.0	1,026.2	6,807,192.0	918.9	7,893,062.0	1,142.9
รวม			165,643,278.0	18,693.8	168,806,007.0	19,019.7	178,275,948.0	22,421.1

ตารางที่ 2.2 ตารางการใช้หินปูนและหินแกรนิตในงานอุตสาหกรรมของประเทศไทย 5 ปีย้อนหลัง (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่)

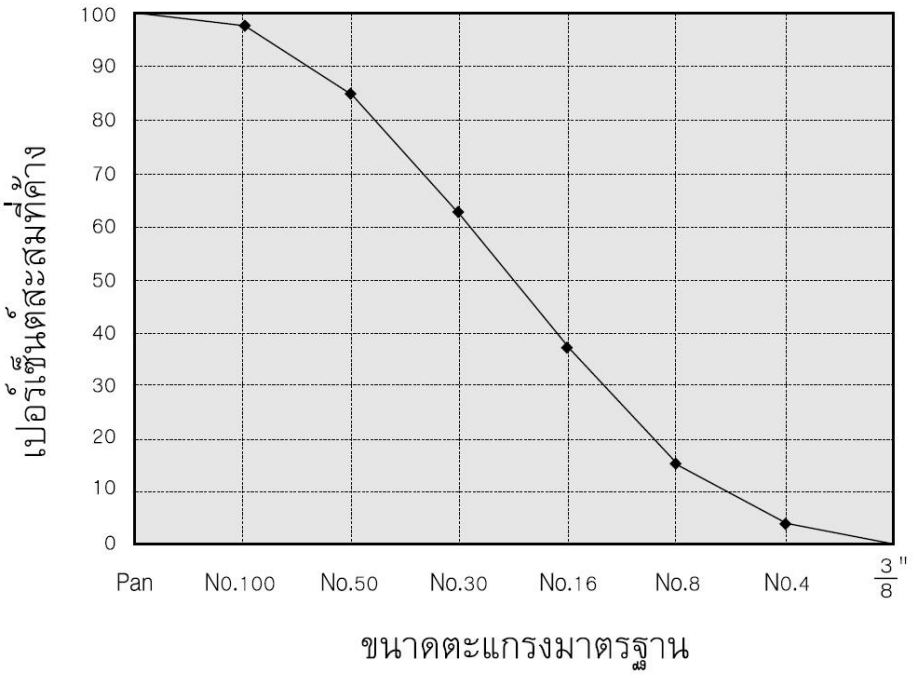
- **การแยกตัว (Segragation)** โดยปกติการแยกตัวของคอนกรีตมี 2 ชนิด คือ การแยกตัวของมอร์ต้าออกจากเนื้อคอนกรีตในคอนกรีตปกติทั่วไปที่ได้รับการจี้เขย่ามากเกินไป (Overvibration) ส่วนอีกประเภทหนึ่งคือ การเยิ้ม (Bleeding) โดยมีลักษณะคือจะมีการจมลงของมวลรวม (องค์ประกอบที่หนักกว่า) จะดันให้น้ำบางส่วน (ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่เบาที่สุดของส่วนผสม) ลอยตัวขึ้นมาบนผิวหน้าของคอนกรีต ซึ่งมีสาเหตุมาจากความไม่สามารถของส่วนผสมที่จะกักน้ำที่แผ่กระจายอยู่เอาไว้ขณะที่มวลรวมที่หนักกว่าน้ำจมลง

- **การวิเคราะห์ขนาดคละของวัสดุผสมด้วยการร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน** เพื่อควบคุมตรวจสอบให้ขนาดคละของมวลรวมเป็นไปตามที่กำหนดไว้รวมทั้งใช้เพื่อหาอัตราส่วนผสมของมวลรวมขนาดต่างๆเพื่อให้ได้ขนาดคละที่เหมาะสม

การวิเคราะห์ทำได้โดยการเก็บตัวอย่างมาปริมาณหนึ่งมาร่อนบนตะแกรงขนาดต่างๆ ซึ่งวางเรียงกันตามขนาดช่องว่างของตะแกรงขนาดใหญ่สุดอยู่ข้างบนจนถึงขนาดเล็กสุด โดยใช้การเขย่าชุดตะแกรงดังกล่าวผลที่ได้นำมาใส่ตารางตามตัวอย่างในตารางที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย

น้ำหนักที่ค้าง คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด

เปอร์เซ็นต์ที่ค้าง คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด



รูปที่ 2.2 แผนภูมิขนาดคละของมวลรวม (The Concrete products and Aggregate Co., 2543)

เปอร์เซ็นต์ที่ค้างสะสม คือ ค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด

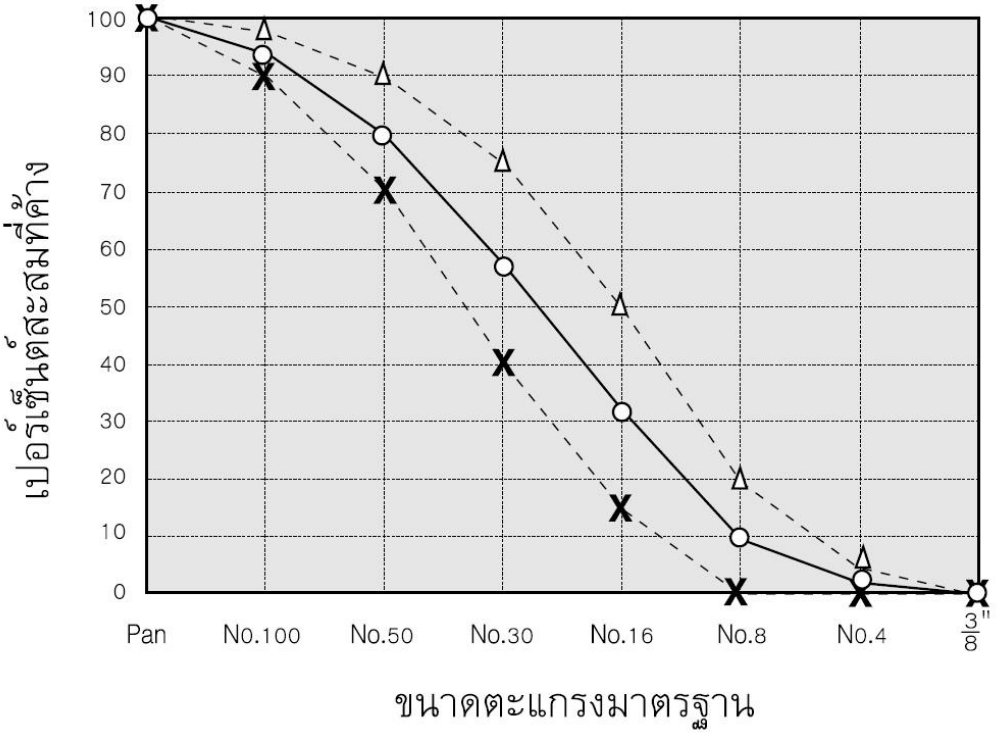
เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านสะสม คือ ค่าเปอร์เซ็นต์สะสมของวัสดุที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด

ผลทดสอบที่ได้สามารถนำมาเขียนแผนภูมิขนาดคละของมวลรวม ดังรูปที่ 2.2 และตารางที่2.3 และคำนวนหาค่าโมดูลัสความละเอียดต่อไป

ตารางที่ 2.3 การวิเคราะห์ขนาดคละ(The Concrete products and Aggregate Co., 2543)

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักที่ค้าง	เปอร์เซ็นต์ที่ค้าง	เปอร์เซ็นต์ที่ค้างสะสม	เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านสะสม
#4	61.52	4	4	96
#8	169.18	11	15	85
#16	338.50	22	37	63
#30	384.50	25	62	38
#50	353.74	23	85	15
#100	199.94	13	98	2
ถาดรอง	30.76	2	-	-
รวม	1,538.00	100	301	-

แผนภูมิขนาดคละ (Gradation Curves) คือ การนำผลการวิเคราะห์ขนาดคละมาเขียนแผนภูมิคละซึ่งสามารถช่วยในการเปรียบเทียบขนาดคละของมวลรวมว่าสอดคล้องหรือไม่กับ *มาตรฐานที่กำหนดได้อย่างรวดเร็วดังรูป2.3และ2.4*

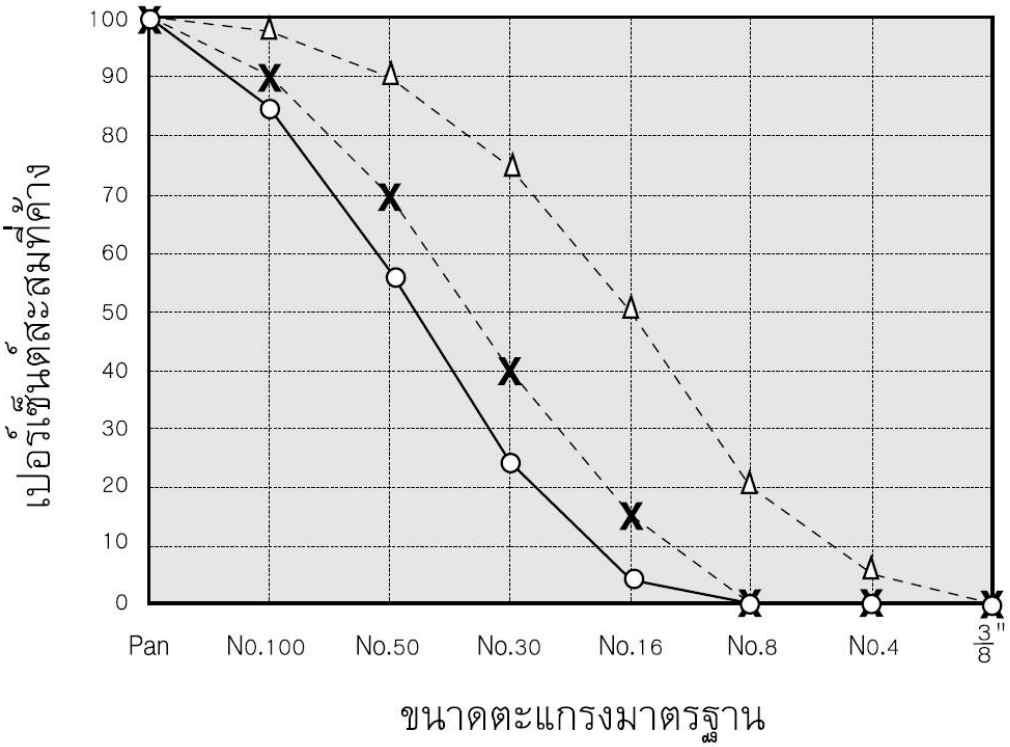


รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแผนภูมิขนาดคละของมวลรวมที่มีขนาดคละได้ตามกำหนด (The Concrete products and Aggregate Co., 2543)

ข้อแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับขนาดคละ

สำหรับทราย ปริมาณอนุภาคละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 และ 100 มีผลต่อความสามารถเทได้การแต่งผิวหน้าและการเยิ้มของคอนกรีตสด (Bleeding) นอกจากนี้อนุภาคขนาดเล็กยังช่วยให้คอนกรีตเกาะรวมตัวกันได้ดี ดังนั้นปริมาณที่เหมาะสมของอนุภาคละเอียดคือ ผ่านตะแกรงเบอร์ 50 อย่างน้อย 15% และเบอร์ 100 อย่างน้อย 5% เพราะอนุภาคขนาดเล็กมักประกอบด้วยดินเหนียว ซึ่งมีผลคือจะต้องใช้ปริมาณน้ำมากขึ้นในการผสมทำให้ปริมาตรของคอนกรีตมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูง (เกิดการหดตัว)

สำหรับงานหิน งานก่อสร้างทั่วไปในประเทศไทยพบว่าหินที่ใช้ผสมคอนกรีตมักเป็นหินเพียงขนาดเดียว (Single size) เช่นหิน 1 หรือหิน 2 ซึ่งไม่ได้มีขนาดคละที่ถูกต้องตามทฤษฎีสำหรับงานคอนนกรีต ดังนั้นจึงมีข้อแนะนำในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสำหรับประเทศไทย คือ เมื่อใช้หินย่อยและทรายแม่น้ำที่เป็นวัตถุดิบหลักในประเทศไทยนั้น ปริมาณส่วนละเอียด ได้แก่ ปริมาณปูนซีเมนต์และปริมาณทรายที่เหมาะสมที่จะทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ไม่แยกตัวหรือเกิดการเยิ้มมากและได้กำลังอัดตามต้องการมีค่าดังแสดงในตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.4ตัวอย่างแผนภูมิขนาดคละของมวลรวมที่มีขนาดคละไม่ได้ตามกำหนด

(The Concrete products and Aggregate Co., 2543)

ตารางที่ 2.4ปริมาณส่วนละเอียดเมื่อใช้หินขนาดใหญ่สุดต่างกัน

ขนาดหิน	ปริมาณปูนซีเมนต์+ปริมาณทราย
1" - #4	38% โดยปริมาตร หรือ 380 ลิตร
3/4" - #4	40% โดยปริมาตร หรือ 400 ลิตร

สำหรับงานพิเศษบางประเภทเช่น งานคอนกรีตเสาเข็มเจาะขาดใหญ่ที่มีค่ายุบตัวมากกว่า 15 ซม. นั้นในการออกแบบอาจจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณส่วนละเอียดขึ้นไปเป็น 42%-45% โดยปริมาตร เพื่อป้องกันปัญหาการแยกตัว

2.2.2 ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus)

The Concrete products and Aggregate Co. (2543) กล่าวว่า ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus; F.M.) คือ ตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของก้อนวัสดุในมวลรวม โดยที่

F.M. = (1/100) ผลบวกของเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน)

ค่าโมดูลัสละเอียด เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย เป็นตัวบ่งบอกว่าลักษณะทรายนั้นหยาบหรือละเอียด ค่าโมดูลัสละเอียดไม่สามารถใช้บอกขนาดคละของวลรวมได้ แต่สามารถใช้ควบคุมความสม่ำเสมอของมวลรวมที่ผลิตจากแหล่งเดียวกัน เช่น ทรายที่มี F.M. = 3.2 จะมีขนาดหยาบมากกว่าทรายที่มี F.M. = 2.3

เนื่องจากทรายที่มีความละเอียดมากจำเป็นต้องใช้น้ำมากเพื่อให้ได้ความสามารถเทได้เท่าๆกัน ดังนั้นทรายที่เหมาะสำหรับผลิตคอนกรีต ควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดอยู่ในช่วง 2.30-3.20 นอกจากนี้ค่าโมดูลัสความละเอียดยังบอกถึงขนาดโดยส่วนใหญ่ของมวลรวมว่าค้างอยู่บนตะแกรงลำดับที่เท่าใดโดยเริ่มนับจากตะแกรงเบอร์ 100 ตัวอย่างเช่น ค่า F.M. = 3 หมายถึงมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงลำดับที่ 3 (เบอร์ 30) นับจากตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 100 เป็นขนาดเฉลี่ยโดยส่วนใหญ่ของมวลรวมซึ่งหาได้จากการคิดที่ว่า ถาดรองเป็นตะแกรงลำดับที่ 0 ตะแกรงเบอร์ 100 เป็นตะแกรงลำดับที่ 1 จนถึงตะแกรงเบอร์ 4 เป็นลำดับที่ 6 ตามลำดับ ต่อจากนั้นทำการหา F.M. จากค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของตะแกรงและเปอร์เซ็นต์ที่ค้าง

ค่าโมดูลัสความละเอียดนอกจากใช้บอกถึงความละเอียดของมวลรวมแล้วยังมีประโยชน์ในการนำไปใช้หาอัตราส่วนผสมของมวลรวม (Combined Aggreagate) แต่ละชนิดอีกด้วย ซึ่งทำได้โดยการทดลองหาอัตราส่วนผสมของมวลรวมหยาบต่อมวลรวมละเอียดเพื่อให้ได้ขนาดคละของมวลรวมผสมอยู่ในขอบเขตที่กำหนด

2.3 หินฝุ่น

หินฝุ่นเกิดจากกระบวนการบดในโรงโม่หิน มีขนาดตั้งแต่ เล็กกว่า0.075 มิลลิเมตร ไปจนถึง5 มิลลิเมตร ซึ่งองค์ประกอบของหินฝุ่นนั้นแตกต่างกันไปตามแหล่งและชนิดของหิน ในประเทศไทยมีหินฝุ่นหลักๆอยู่ คือหินฝุ่นหินปูน นอกจากนั้นก็มีหินฝุ่นแกรนิต รองลงมา และหินชนิดอื่นๆบ้างประปราย

2.3.1 หินฝุ่นหินปูน

อาทร ชูพลสัตย์ (2556) ได้ให้ความหมายคำว่าหินฝุ่นหินปูน คือ หินปูนบด หยาบๆ เป็นผลพลอยได้จากการโม่หินปูน มีองค์ประกอบหากหลายขึ้นอยู่กับแหล่งของหินว่ามีสิ่งเจือปนมากน้อยเท่าใด ในการศึกษาตัวอย่างหินฝุ่นจากโรงโม่หิน อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา พบว่ามีองค์ประกอบสำคัญ คือ แคลเซียมประมาณ 30 – 35 % แมกนีเซียมประมาณ 3 – 5 % และธาตุอื่นๆปะปนในปริมาณเล็กน้อย คือ ฟอสฟอรัส กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดงสังกะสี ซึ่งเป็นธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อมันสำปะหลัง

หินฝุ่นสามารถละลายในน้ำได้อย่างช้าๆ แต่ในดินที่เป็นกรดสามารถละลายในน้ำได้เร็วขึ้น และในดินที่มีความเป็นกรดค่อนข้างจัด ที่พีเอช (pH)ต่ำกว่า 5 มักจะละลายหมดภายใน 4 – 6 เดือน จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการสามารถละลายน้ำได้ 90.6 % มีกากเหลือที่ไม่ละลายน้ำเพียง 9.4 % หินฝุ่นมารถละลายได้ในดินด่าง เมื่ออยู่ใกล้รากพืชจึงสามารถเป็นประโยชน์ต่อมันสำปะหลังได้ในดินด่างเล็กน้อย (pHอยู่ระหว่าง 7 – 7.5) หรือดินเค็มเล็กน้อย (ค่า EC อยู่ระหว่าง 0.5 – 1.5 ds/m)

ประโยชน์ของหินฝุ่นหินปูน

เรณู ขำเลิศ ได้ให้ประโยชน์หินฝุ่นหินปูนไว้ดังนี้

1. เป็นแหล่งของธาตุอาหารพืชที่มีราคาถูกมาก โดยละลายให้แคลเซียม แมกนีเซียม และธาตุอื่นๆปะปนในปริมาณเล็กน้อย คือ ฟอสฟอรัส กำมะถัน เหล็ก แมงกานีส ทองแดงสังกะสี ซึ่งเป็นธาตุอาหารพืชที่จำเป็นต่อมันสำปะหลัง
2. ช่วยลดความเป็นกรดของดิน
3. ช่วยให้สภาพของดินร่วนซุยขึ้น
4. ช่วยให้ดินอุ้มน้ำได้ดี

5. ช่วยให้ดินระบายน้ำได้ดี

6. ช่วยให้จุลินทรีย์ในดินทำงานได้ดี

7. เมื่อใช้ร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยเคมีอย่างเหมาะสมจะทำให้พืชใช้ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสมดุลดีขึ้น นั่นคือพืชจะใช้ธาตุทั้งสามนั้นน้อยลงต่อการสร้างมันสำปะหลัง 1 กิโลกรัม พื้นที่ปลูกมันสำปะหลังที่เป็นดินทรายจัดส่วนมากจะขาดธาตุแคลเซียม แมกนีเซียม และจุลธาตุต่างๆ จึงมีความจำเป็นต้องใช้ “ หินฝุ่น ”

2.3.2 หินฝุ่นแกรนิต

สุรชัย โกเมนธรรมโสภณ (2555) ได้ให้ความหมายหินฝุ่นแกรนิตว่า เป็นหินก่อสร้างชนิดหนึ่งที่เป็นผลผลิตจากการโม่หินแกรนิตในโรงโม่ โดยหินแกรนิตที่โม่นั้นเป็นหินที่ขนส่งมาจากหน้างานการทำเหมืองหินแกรนิต โดยปกติ ผลผลิตที่ได้จากโรงโม่หินก่อสร้าง จะประกอบไปด้วย หินก่อสร้างชนิดต่างๆ ได้แก่ หิน 1 นิ้ว หิน 3/4 นิ้วหินเกล็ด (หรือหิน 3/8 นิ้ว) และ หินฝุ่น (หรือ หิน 3/16 นิ้ว) อย่างไรก็ตาม หินฝุ่นมักจะเป็นผลผลิตของโรงโม่ที่มียอดจำหน่ายน้อย (ส่วนใหญ่ใช้เฉพาะเป็นวัสดุผสมในอิฐบล๊อก) หลายครั้งเป็นภาระแก่ผู้ประกอบการ ในการหาพื้นที่เก็บกอง สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนย้าย ดั้งนั้น ผู้ประกอบการในหลายพื้นที่จึงถือว่า หินฝุ่น เป็นวัสดุเหลือใช้ที่ไม่มีประโยชน์

พวงแก้ว บัวทอง (2557)ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของหินฝุ่นแกรนิตด้วยวิธี XRF ตารางที่ 2.1 พบว่าหินฝุ่นแกรนิตมีซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ราวร้อยละ 64-65 รองลงมาคือ อะลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ร้อยละ 14-15 และเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ร้อยละ 4-5 ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของหินฝุ่นแกรนิต (พวงแก้ว บัวทอง, 2557)

องค์ประกอบทางเคมีของหินฝุ่นแกรนิต (%)									
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	CaO	TiO_2	P_2O_5	MgO	LOI
64.62	15.02	4.65	8.52	3.38	2.03	0.48	0.5	0.43	0.8

โดยที่หินฝุ่นแกรนิตมีคุณสมบัติทางกายภาพเปรียบเทียบกับทรายแล้วไม่ต่างกันเท่าไหร่นัก ตารางที่2.6 จะเห็นได้ว่าความถ่วงจำเพาะของทรายกับหินฝุ่นแกรนิตต่างกันเพียง 0.4 เท่านั้น

ตารางที่ 2.6 ตารางเปรียบเทียบความถ่วงจำเพาะของหินฝุ่นแกรนิตกับทรายหยาบ (ADIGUN, 2013)

ชนิด	ความถ่วงจำเพาะ
หินแกรนิต	2.72
ทราย	2.67
หินฝุ่นแกรนิต	2.71

2.4 การใช้หินฝุ่นแกรนิตแทนที่วัสดุก่อสร้าง

2.4.1 การใช้หินฝุ่นแกรนิตแทนที่ทรายก่อสร้าง

JOEL (2010) ศึกษาความเหมาะสมของความเป็นไปได้ในการแทนที่ทรายแม่น้ำในงานถนนคอนกรีต โดยทดสอบความแข็งแรงทางแรงกด (Compressive Strength) ความแข็งแรงทางแรงดึง (Tensile Strength) ของคอนกรีตที่กระทำบนคอนกรีตใหม่ อายุ28 วัน มีแรงอัดสูงสุดที่ 40.7 และ2.30 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร พบว่าในการผสมหินฝุ่นแกรนิตเข้าไปในงานคอนกรีตต้องเพิ่มปริมาณน้ำเข้าไปมากกว่าใช้ทรายหยาบอย่างเดียว ซึ่งเขาได้แนะนำให้ใช้หินฝุ่นแกรนิตแทนที่ทรายแม่น้ำที่ 20% โดยถ้าไม่มีปัจจัยด้านการขนส่งและขาดแคลนทรายแม่น้ำ สามารถใช้หินฝุ่นแกรนิตทดแทนทรายแม่น้ำได้100%

ADIGUN (2013) ศึกษาความเป็นไปได้ในการแทนที่ทรายหยาบด้วยหินฝุ่นแกรนิตในงานคอนกรีตผสม โดยวิธีการทดลองเปรียบเทียบแรงอัดและค่าการยุบตัว มีอัตราส่วนของ คอนกรีต: ทราย:หินฝุ่นแกรนิต ที่ 1:1:2 และ 1:1½: 3 ความแข็งแรงทางแรงกดที่ 30และ 35 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ซึ่งพบว่าหินฝุ่นแกรนิตสามารถแทนที่ทรายก่อสร้างในงานคอนกรีตผสมได้ โดยเขาแนะนำให้ผสมหินฝุ่นแกรนิตอยู่ที่ 25 – 37.5% ในงานคอนกรีต

เช่นเดียวกับที่ในประเทศก็มีหลายงานวิจัยที่นำหินฝุ่นแกรนิตไปใช้แทนที่ทรายหยาบในงานคนกรีต

ธีระ เทพพรหม (2551) ได้ศึกษากำลังอัดคอนกรีตโดยใช้หินฝุ่นแกรนิตทดแทนทรายหยาบ กรณีศึกษาหินฝุ่นโรงโม่หิน นราธิวาส โดยใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบที่ร้อยละ 0,40,60,80,90 และแทนทรายทั้งหมด บ่มคอนกรีตโดยวิธีแช่น้ำตลอดอายุคอนกรีตที่อายุคอนกรีต 7

วัน ,14 วัน และ 28 วัน ที่ค่าการออกแบบกำลังอัดประลัย 250 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร พบว่าคอนกรีตที่ผสมหินฝุ่นจากโรงโม่หินนราธิวาสเป็นส่วนผสมประเภทมวลรวมละเอียดแทนทรายหยาบสามารถรับกำลังอัดได้ใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ผสมด้วยทรายหยาบจากแม่น้ำเป็นมวลรวมละเอียดทั้งหมด เพราะฉะนั้นจึงถือว่าหินฝุ่นสามารถแทนที่ทรายหยาบในการทำคอนกรีตโครงสร้างทั่วไปได้

2.4.2 การใช้หินฝุ่นแกรนิตแทนที่วัสดุก่อสร้างอื่นๆ

พวงแก้ว บัวทอง (2557) ศึกษาสมบัติทางการภาพและเชิงกลของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตที่ดัดแปร โดยเขานำหินฝุ่นแกรนิตไปบดและเผาที่อุณหภูมิ 900, 1050 องศาเซลเซียส คงอุณหภูมิไว้ 2 ชั่วโมง เพื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในมอร์ต้าร์ด้วยอัตราส่วนผสมร้อยละ 0 5 10 และ 15 ไม่บ่มและบ่มด้วยความชื้นที่ 7 และ 28 วัน พบว่ากำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตเผาที่อุณหภูมิ 1,050 องศาเซลเซียส 10% บ่ม 28 วัน มีกำลังอัดสูงสุดประมาณ 61 เมกะพาสคัล ซึ่งพบว่าหินฝุ่นแกรนิตนั้นเป็นวัสดุสารสีเซรามิกและวัสดุแร่ผสมเพิ่มอย่างมีประสิทธิผลของมอร์ต้าได้

ดนุพล ตันนโยภาส (2553) ได้ศึกษาคุณลักษณะของคอนกรีตมวลเบาที่ใช้กะลาปาล์มน้ำมันเป็นมวลรวมหยาบผสมหินฝุ่นแกรนิต ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ผสมกับหินฝุ่นแกรนิตร้อยละ 10 20 และ 30 โดยน้ำหนัก บ่มในน้ำ ทดสอบที่ 1 7 14 21 28 และ 56 วัน พบว่ากำลังอัดของคอนกรีตกะลาปาล์มน้ำมันเฉลี่ยอยู่ในช่วง 16-29 เมกะพาสคัล ซึ่งแสดงว่าหินฝุ่นแกรนิตสามารถใช้ผสมสำหรับงานคอนกรีตมวลเบาด้านโครงสร้างได้

อาทร ชูพลสัตย์ (2556) ได้ศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการใช้บล็อคประสานทั่วไป กับบล็อกประสานจากหินฝุ่น ที่อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นเท่ากับ 1:5 , 1:7 และ 1:8 โดยน้ำหนัก พบว่าบล็อกประสานที่ผลิตจากหินฝุ่นมีค่าความสามารับกำลังอัด การดูดกลืน ความหนาแน่นแห้ง การสึกหรอ และการนำความร้อน อยู่ในเกณฑ์ที่สามารยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับบล็อกประสานโดยทั่วไป สรุปว่าสามารถนำหินฝุ่นนี้มาใช้ในงานบล็อกประสานได้ดีในทุกๆอัตราผสม

2.5 ทราย

สิน สินสกุล (2540) ได้กล่าวว่า ทราย เป็นวัสดุธรรมชาติ มีลักษณะร่วนซุย เป็นเม็ด มีเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดระหว่าง 0.06-2 มิลลิมตร ทรายเป็นแร่ควอรตซ์ (Quartz) มีส่วนประกอบทางเคมีเป็นซิลิกาไดออกไซด์ (SiO_2)

ทรายมีขนาดต่างๆกัน โดยแบ่งตามขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็ดทราย คือ

ทรายละเอียด	มีขนาดตั้งแต่	0.125-0.25	มิลลิเมตร
ทรายขนาดกลาง	มีขนาดตั้งแต่	0.25-0.5	มิลลิเมตร
ทรายหยาบ	มีขนาดตั้งแต่	0.5-1	มิลลิเมตร
ทรายหยาบมาก	มีขนาดตั้งแต่	1-2	มิลลิเมตร

ถ้าวัสดุนั้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 2 มิลลิเมตร และอยู่ระหว่าง 2-64 มิลิเมตร จัดเป็นกรวด (Gravel) กรวดจะเกิดร่วมกับทราย แต่กรวดนอกจากจะเป็นแร่ควอรตซ์ยังเป็นหินและแร่ชนิดอื่นด้วย

2.5.1 ชนิดของแหล่งทรายในประเทศไทย

โดยทั่วไปชนิดของทรายในประเทศไทยแบ่งออกตามกากำเนิดได้ 2 แบบ คือ

1. **ทรายบก** หมายถึง ทรายที่มีต้นกำเนิดอยู่บนแผ่นดิน ส่วนมากจะถูกพัดพาสะสมตัวโดยทางน้ำบนบกในรูปแบบต่างๆกัน ทั้งในอดีตและปัจจุบัน

2. **ทรายทะเล** หมายถึง ทรายที่สะสมตัวอยู่ในทะเล รวมทั้งทรายที่ถูกคลื่นและกระแสน้ำพัดพามาสะสมตัวตามชายฝั่ง ทั้งในอดีตและปัจจุบัน

2.5.1.1 ทรายบก เป็นทรายที่นำขึ้นมาใช้ประโยชน์มากที่สุด แบ่งออกเป็น

ก) ทรายแม่น้ำ (Stream channel deposits) หมายถึง ทรายที่ถูกพัดพามาสะสมตัวตามแม่น้ำ ลำคลอง ลำห้วยต่างๆ โดยรวมทั้งลำน้ำในอดีตและปัจจุบัน ทรายที่สะสมตัวลักษณะนี้ ถ้าอยู่ในที่ราบจะแผ่เป็นบริเวณกว้าง เนื่องจากมีการสะสมของตะกอนทรายและกรวด เมื่อพอกพูนก็ทำให้ทางน้ำเปลี่ยนแปลง เกิดการกัดเซาะพื้นที่จนเป็นทางน้ำคดโค้ง

แม่น้ำที่มีการไกลของสายน้ำอย่างสม่ำเสมอ จะมีตะกอนทรายมาสะสมพอกพูนอยู่เรื่อยๆ ส่วนทรายที่เกิดจากทางน้ำเก่าก็จะมีชั้นทรายแป้ง ดินเหนียว และซากไม้ปิดทับอยู่ตอนบน ทรายแม่น้ำเป็นทรายที่มีคุณภาพดี เนื่องจากในขณะที่ถูดพัดพามาได้มีการขัดถูกันเองระหว่างเม็ดทรายทำให้ส่วนที่เปราะบางหลุดสลายไป เหลือแต่เม็ดทราย ที่มีความแข็งและคงทน ทรายแม่น้ำมักจะมีรูปร่างกลมจนถึงค่อนข้างกลม ซึ่งเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีต

ข) ทรายตะกอนรูปพัด (Alluvial Fan) หมายถึงทรายและกรวดที่ถูกพัดพามาโดยลำน้ำตามความลาดชันของภูเขาไหลลงสู่ที่ราบหรือหุบเขาซึ่งมีพื้นที่กว้างและระดับต่ำกว่า การเปลี่ยนระดับของพื้นที่ทำให้ความเร็วของน้ำลดลง เกิดการสะสมตัวของกรวดทรายบริเวณปากลำน้ำหรือต้นน้ำแผ่กว้างมีรูปร่างคล้ายพัดที่กางออก จึงเรียกว่าตะกอนน้ำพารูปพัด

ตะกอนทรายและกรวดจะสะสมอยู่ต้นน้ำ ส่วนตะกอนเม็ดเล็กจะถูกพัดพาไปได้ไกลกว่าจึงสะสมตัวอยู่ตามขอบนอกของแหล่งสะสมตัว ถ้าเป็นการสะสมตัวที่เกิดขึ้นในอดีตและเกิดซ้ำหลายครั้งตามฤดูที่เปลี่ยนไป จะทำให้เกิดชั้นทรายและกรวดทับถมกันหนามาก มีชั้นดินปกคลุมอยู่ตอนบน การนำไปใช้ประโยชน์ต้องเปิดหน้าดินจากด้านบนออก แหล่งทรายลักษณะนี้ชาวบ้านมักเรียกกันว่าทรายบก เพราะไม่ได้เกิดอยู่ริมแม่น้ำ แต่ในทางวิชาการธรณีวิทยาทั้งทรายแม่น้ำและทรายตะกอนน้ำพารูปพัด จัดเป็นทรายบก เพราะสะสมตัวโดยทางน้ำบนบก

2.5.1.2 ทรายทะเล

เป็นทรายที่เกิดจากการสะสมตัวโดยกระบวนการของน้ำทะเล พบอยู่ในพื้นที่ชายฝั่งทะเลและท้องทะเล ซึ่งกล่าวถึงเฉพาะทรายที่เกิดในพื้นที่ชายฝั่งเท่านั้น ซึ่งทรายชายฝั่งจะพบในบริเวณหาดทราย (Beach sand) สันดอนทราย เป็นต้น แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ทรายชายฝั่งโบราณ และทรายชายฝั่งปัจจุบัน

2.5.2 คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ของทรายก่อสร้าง

ทรายในประเทศไทยส่วนมากใช้เป็นวัสดุก่อสร้างประมาณ 80% ใช้ในการอุตสาหกรรมประมาณ 15 % นอกนั้นเป็นการใช้ประโยชน์อย่างอื่น

ทรายก่อสร้างใช้ประโยชน์ในงานก่อสร้างหลายๆด้าน อาทิ งานโครงสร้างคอนกรีต งานก่ออิฐฉาบ งานเท ทรายก่อสร้างที่มีความเหมาะสมเพื่อการก่อสร้างต้องเป็นทรายที่สะอาด มีเม็ดทรายที่แข็งทนทานต่อการสึกกร่อนและผุพัง มีมลทินหรือสารประกอบอื่นอยู่น้อยมาก โดยทั่วไปทรายที่ใช้เพื่อการก่อสร้างจะต้องมีการตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้น ซึ่งอาจจะตรวจด้วยตาเปล่า แว่นขยาย หรือกล้องจุลทรรศน์ เช่น

- รูปร่างของเม็ดทราย
- ขนาดของเม็ดทราย
- ลักษณะของเนื้อทรายโดยรวม
- การเกาะกลุ่มและการเชื่อมประสานกันของเม็ดทราย
- สีของทราย
- แร่อื่นๆที่ปะปนด้วย คุณสมบัติของทรายก่อสร้างที่ต้องตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการของประแทศไทย ส่วนมากกำหนดมาตรฐานตามสมาคมทดสอบและวัสดุแห่งอเมริกา (American Societ for testing and Materials : ASTM)
- ความแข็งและความทนทาน ทรายก่อสร้างจะต้องมีความทนทานต่อการขัดสี
- การทดสอบเพื่อหามวลทรายล้วนๆโดยไม่มีน้ำปน
- ความถ่วงจำเพาะต้องมากกว่า 2.55
- การคัดขนาดโดยใช้ตะแกรงคัดขนาดต่างๆกัน เพื่อทดสอบความแข็งแกร่งที่จะเกิดจากการไหลของน้ำและการสะสมตะกอนตามร่องเม็ดทราย
- ไม่มีสารอินทรีย์ เช่น ถ่าน ลิกไนต์หรือเศษไม้เจือปน
- มีความสะอาดจะต้องไม่มีวัสดุอย่างอื่นปะปนรวมทั้งดินเหนียว หรือทรายแป้งที่ผ่านตะแกรงคัดขนาด 200 เมช ทดสอบเพื่อดูการจับตัวของซีเมนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาเครื่องจักรหลายตัวเพื่อนำมาใช้ให้เหมาะสมที่สุดในการเพิ่มมูลค่าของหินฝุ่นแกรนิตเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ดังต่อไปนี้

2.6.1 ตะแกรง (Screen)

ตะแกรง (Screen) เป็นเครื่องมือที่ใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรม โดยใช้สำหรับคัดสินแร่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 250 ไมครอนได้ดี ซึ่งสามารถใช้ก่อนหรือหลังการย่อยหรือการบดก็ได้ เนื่องจากเหมาะกับสินแร่ขนาดใหญ่ สินแร่ที่มีขนาดเล็กจึงไม่เหมาะที่จะใช้ตะแกรงเท่าไหร่นัก เนื่องจากจะทำให้เกิดปัญหาอุดตันในรูตะแกรงได้

ภิญโญ มีชำนะ (2551) ได้กล่าวถึงจุดประสงค์ของการคัดขนาดด้วยตะแกรงเพื่อ

1. ป้องกันมิให้สินแร่ขนาดเล็กที่ได้ขนาดแล้วเข้าสู่เครื่องย่อย หรือเครื่องบด ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องย่อยหรือเครื่องบดนั้น

2. ป้องกันมิให้สินแร่ที่มีขนาดโตเกินไปที่จะป้อนเข้าไปยังเครื่องย่อยในขั้นที่สอง (Secondary Crusher) โดยที่สินแร่ที่มีขนาดใหญ่จะถูกนำย้อนกลับไปย่อยใหม่ในวงจรปิด

3. ทำให้สินแร่ที่ถูกลดขนาดแล้วมีขนาดใกล้เคียงกัน อันจะเป็นผลดีในการแต่งแร่ด้วยวิธีอาศัยความแตกต่างของน้ำหนักแร่ (Gravity Concentration)

4. ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (Final Product) มีขนาดใกล้เคียงกัน ซึ่งผลิตภัณฑ์บางอย่างได้กำหนดขนาดในการซื้อขายผลิตภัณฑ์นั้นด้วย เช่น หินที่ใช้ในการก่อสร้าง เป็นต้น

ปัจจัยที่มีผลต่อโอกาสของการคัดขนาดด้วยตะแกรง มี 3 ปัจจัยหลัก คือ

1. ปัจจัยที่เกิดจากตัวตะแกรง (Screen Medium) ซึ่งประกอบด้วย

ก) **ขนาดของรูตะแกรง** หากทำการคัดขนาดสินแร่ด้วยตะแกรงรูใหญ่ ก็จะสามารถป้อนสินแร่ได้มาก ในตรงกันข้ามหากทำการคัดสินแร่ด้วยตะแกรงรูเล็กลง ก็จะต้องป้อนสินแร่ด้วยอัตราการป้อนที่ต่ำลง

ข) **รูปร่างของรูตะแกรง** มีผลต่อรูปร่างรวมไปถึงการกระจายของขนาด (Size Distribution) ของสินแร่ที่คัดได้

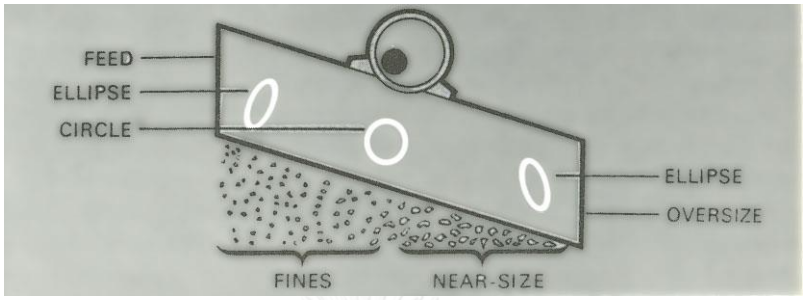
ค) **อัตราส่วนของพื้นที่รูเปิด** ยิ่งขนาดของสินแร่มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับรูตะแกรงแล้ว สินแร่ก้อนนั้นๆย่อมคัดขนาดง่ายขึ้น

ง) **ความหนาของลวดที่ใช้ทำตะแกรง** หากลวดตะแกรงมีความหนา ก็จะทำให้สินแร่ติดที่ตะแกรงได้ง่ายขึ้น ดังรูป 2.5

รูปที่ 2.5รูปแสดงความหนาของลวดที่มีผลต่อการอุดตันของสินแร่ (ภิญโญ มีชำนะ, 2551)

จ) **ความกว้างและยาวของตะแกรง** ช่วงต้นๆ ของตะแกรงสินแร่ที่ถูกคัดออกมาได้มักจะมีขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับรูตะแกรง ส่วนบริเวณท้ายๆ ตะแกรง สินแร่ที่คัดได้จะมีขนาด

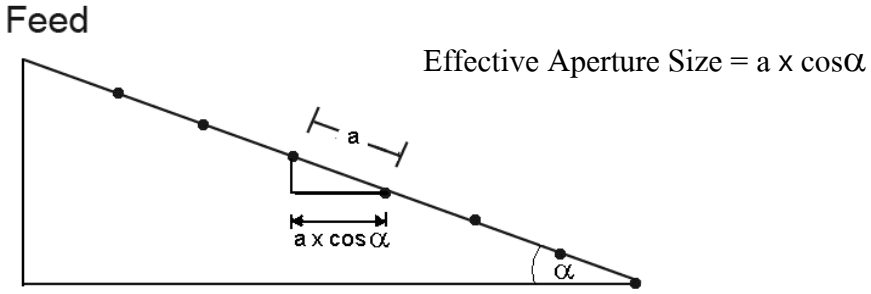
ใกล้เคียงกับรูตะแกรง (Near-Size) การเพิ่มตะแกรงให้ยาวขึ้นก็จะเพิ่มโอกาสให้สินแร่ที่มีขนาดใหญ่โดยเฉพาะพวกที่มีขนาดใกล้เคียงกับรูตะแกรง ให้มีโอกาสที่จะลอดผ่านรูตะแกรงมากขึ้นส่วนความกว้างของตะแกรงเมื่อเพิ่มขึ้นก็จะไปเพิ่มความจุ (Capacity) ของตะแกรง รูปที่ 2.6 แสดงถึงขนาดของสินแร่ที่คัดได้ตรงบริเวณช่วงต้น และช่วงท้ายของตะแกรง



รูปที่ 2.6 แสดงการคัดขนาดช่วงต้นและช่วงท้ายของตะแกรง (ภิญโญ มีชำนะ, 2551)

2. ปัจจัยที่เกิดจากวิธีการทำงานของตะแกรง

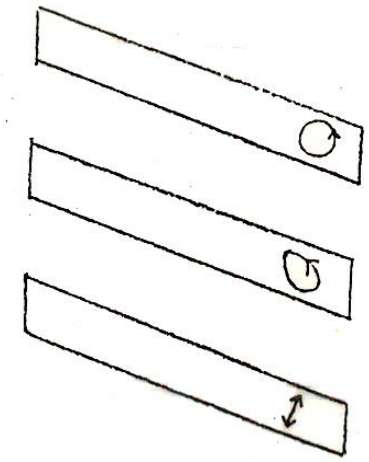
ก) ความเอียง (Inclination) เนื่องจากตะแกรงมีความฝืดสถิต (Static Friction) จึงมักวางตะแกรงให้เอียงประมาณ 30-45 องศา เพื่อลดแรงฝืด อย่างไรก็ตามการที่ตะแกรงเอียงไปจากแนวราบก็จะทำให้ขนาดของรูตะแกรงที่มีผลต่อการคัด (Effective Aperture Size) ลดลง (ดูรูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7แสดงของการเอียงตะแกรงที่มีผลต่อขนาดของสินแร่ที่นำมาคัดขนาด
(ภิญโญ มีชำนะ, 2551)

ข) การหมุน (Revolving) การหมุนของตะแกรงหมุน ทำให้สินแร่ขนาดเล็กที่ป้อนเข้ามามีโอกาสเคลื่อนที่ลอดผ่านรูตะแกรงลงมาได้

ค) การสั่น (Vibration) การสั่นทำให้ตะแกรงมีการเคลื่อนที่ ซึ่งการเคลื่อนที่มี 3 แบบ ตามรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8ลักษณะการเคลื่อนที่เนื่องจากการสั่นของตะแกรง (ภิญโญ มีชำนะ, 2551)

ซึ่งการคัดขนาดด้วยตะแกรงเป็นเรื่องของโอกาสของสินแร่ที่จะลอดผ่านรูตะแกรง การสั่นจะไปเพิ่มโอกาสของสินแร่ที่ลอดผ่านรูตะแกรง การเพิ่มจำนวนครั้งคือการเพิ่มประสิทธิภาพในการคัดขนาด แต่ถ้าสั่นมากเกินไปประสิทธิภาพก็สามารถลดได้เช่นกัน นอกจากนั้นการสั่นยังช่วยลดการอุดตันอีกด้วย

การปรับการสั่นนั้นจะสามารถปรับระยะชัดและความถี่ โดยคำนึงถึงหลักการดังนี้

หากคัดสินแร่ขนาดใหญ่ ระยะชักยาว ความถี่ต่ำ

หากคัดสนแร่ขนาดเล็ก ระยะชัดสั้น ความถี่สูง

3. ปัจจัยที่เกิดจากสินแร่ที่จะคัดขนาด

ก) การกระจายตัวของสินแร่ หากสินแร่ที่คัดมีขนาดส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับรูตะแกรง ประสิทธิภาพในการคัดขนาดย่อมลดลง เนื่องจากอาจจะเกิดการอุดตันของรูตะแกรง

ข) ความชื้นที่อยู่ในสินแร่ที่จะทำการคัดขนาด สินแร่ที่มีความชื้นมักจะทำให้เกิดความอุดตันได้ง่าย เพราะฉะนั้นสินแร่ที่จะป้อนเข้าเครื่องควรแห้งสนิทหรือไม่เปียกมาก

ค) ความหนาของชั้นสินแร่ หากสินแร่น้อยเกินไปจนไม่ทำให้เกิดชั้นบางๆ สินแร่จะเคลื่อนที่ช้า ทำให้ใช้ประโยชน์ของตะแกรงไม่เต็มที่ หากสินแร่มีความหนามาก อัตราไหลจะช้า เพราะฉะนั้นควรให้สินแร่เกิดเป็นชั้นบางๆบนตะแกรง นอกจากจะทำการไหลของสินแร่มากที่สุดแล้ว สินแร่ยังผ่านรูตะแกรงได้มากที่สุดด้วย

ตะแกรงสั่น (Vibrating Screen)

ในงานแต่งแร่ส่วนมาก ใช้ตะแกรงสั่นกันอย่างแพร่หลาย โดยสามารถคัดขนาดแร่ได้ใหญ่สุด 25 เซนติเมตร และเล็กสุดไปถึง 250 ไมครอน การสั่นจะอยู่ในแนวตั้ง โดยการหมุนของของอุปกรณ์ที่เคลื่อนไหวไป-มา (Reciprocating Device) โดยการสั่นจะส่งผ่านไปยังโครง (Casing) ของตะแกรง หรือบางแบบอาจใช้การสั่นที่มาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยตรง ตะแกรงสั่นจะสามารถทำงานที่ความชัน (Slope) ต่ำ โดยใช้ความสูง (Headroom) น้อย

การที่จะคัดขนาดสินแร่เล็กๆให้ได้ประสิทธิภาพดี มีข้อควรคำนึง 2 ประการคือ ประการแรก จะต้องนำเอาสินแร่ที่ต้องการนำมาคัดขนาดเข้าไปสัมผัสกับรูตะแกรงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ประการที่สองจะต้องทำให้การอุดตันของรูตะแกรง (Blinding) เกิดขึ้นน้อยที่สุดการที่สินแร่เข้าไปสัมผัสกับรูตะแกรงได้ดีนั้น มักจะเกิดที่ความถี่ของการสั่นระหว่าง 20-50 Hz ในขณะที่การลดการอุดตันของรูตะแกรงจะเกิดที่ความถี่ของการสั่นระหว่าง 10-30 kHz

2.6.2 เครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier

การคัดขนาดด้วยของไหลนี้ อาศัยหลักการจมตัวของสินแร่ที่มีขนาดต่างๆผ่านตัวกลางของไหล เช่น น้ำ และอากาศ เป็นต้น ซึ่งมักจะใช้กับการคัดขนาดที่มีขนาดค่อนข้างละเอียด

2.6.2.1 หลักการคัดขนาดด้วยของไหล (Principles of Classification)

Taggart (1945) ได้อธิบายหลักการของการคัดขนาดโดยการจมตัวในของไหลไว้ดังนี้

1. วัตถุ 2 ชนิดที่มีความถ่วงจำเพาะและรูปร่างเหมือนกัน แต่มีขนาดต่างกัน พบว่าวัตถุที่มีขนาดใหญ่กว่า (น้ำหนักมากกว่า) จะจมตัวได้เร็วกว่าวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่า (น้ำหนักน้อยกว่า)

2. วัตถุ 2 ชนิดมีรูปร่างเหมือนกันและมีขนาดเท่ากัน แต่มีความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันพบว่าวัตถุที่มีความถ่วงจำเพาะสูงกว่า (น้ำหนักมากกว่า) จะจมตัวได้เร็วกว่าวัตถุที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำ (น้ำหนักน้อยกว่า)

3. วัตถุ 2 ชนิด มีน้ำหนักเท่ากัน แต่รูปร่างต่างกัน พบว่า วัตถุที่มีรูปร่างใกล้เคียงทรงกลมมากกว่า จะจมตัวได้เร็วกว่า

4. ความต้านทานของการจมตัวของวัตถุในของไหลที่กำหนด จะแปรผันโดยตรงกับความเร็วของการจมตัวขณะความเร็วต่ำ และจะแปรผันโดยตรงกับความเร็วยกกำลังสองขณะความเร็วสูง

5. หากความเร็วในการจมตัวของวัตถุ 2 ชนิดเท่ากันแล้ว สำหรับวัตถุที่มีขนาดเล็กความเร็วในการจมตัวของวัตถุขนาดเล็กจะแปรผันโดยตรงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุยกกำลังสอง แต่สำหรับวัตถุที่มีขนาดใหญ่ความเร็วในการจมตัวของวัตถุขนาดใหญ่ จะผันแปรตรงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของวัตถุยกกำลัง 1/2

6. ความต้านทานของการจมตัวของวัตถุจะเพิ่มขึ้น เมื่อความหนาแน่นของของไหลเพิ่มขึ้น

7. ความต้านทานของการจมตัวของวัตถุจะเพิ่มขึ้น เมื่อความหนืดของของไหลเพิ่มขึ้น

โดยเครื่องมือคัดขนาดแบบอาศัยการจมตัวของวัตถุในของไหลนี้ แบ่งได้อย่างกว้างๆเป็น 2 แบบคือ

ก) แบบที่การไหลของของไหลในแนวราบ เช่น เครื่องกลคัดขนาด (Mechanical Classifier) แบบต่างๆ

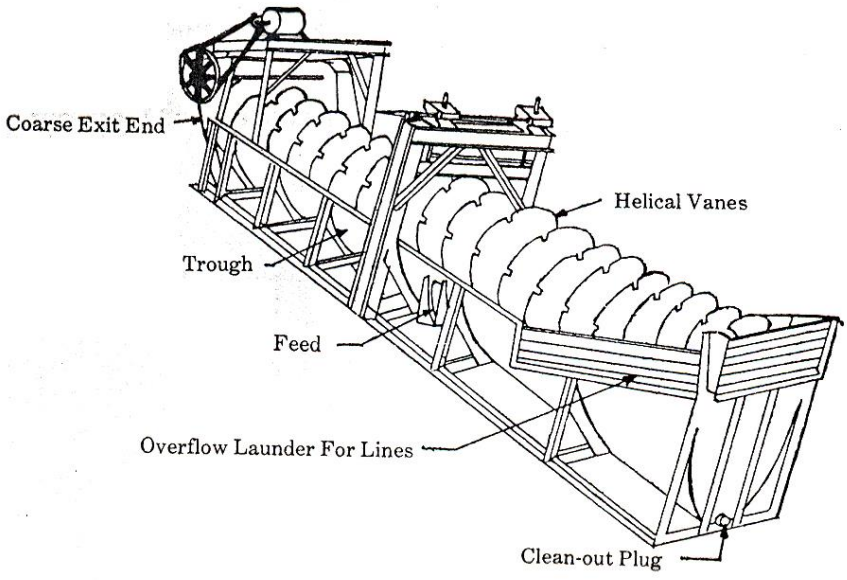
ข) แบบที่การไหลของของไหลในแนวดิ่ง เช่น เครื่องคัดขนาดด้วยแรงดันของน้ำ (Hydraulic Classifier) หรืออาจเรียกว่าเป็นแบบ Pool และแบบ Hydraulic

2.6.2.2 หลักการทำงานของเครื่องคัดขนาดแบบ Spiral classifier

การทำงานของเครื่องคัดขนาดชนิดนี้ทำได้โดยป้อนสินแร่ผสมน้ำลงไปในช่องป้อนแร่ (รูป2.9และ2.10) เมื่อกลไกทำงานจะกวนสินแร่ขึ้น สินแร่ที่มีขนาดใหญ่ (น้ำหนักมาก) จะตกลงส่วนล่างของเครื่องมือ และถูกกลไกกวาดสวนทิศทางการไหลของน้ำขึ้นมาด้านบน (Underflow) ส่วนสินแร่ที่มีขนาดเล็ก (น้ำหนักน้อย) จมตัวได้ช้ากว่าก็จะไหลล้นผ่านประตูน้ำ ซึ่งอยู่ทางด้านตรงกันข้ามออกไป (Overflow) เครื่องมือชนิดนี้สามารถปรับให้คัดขนาดต่างๆ ได้ตามต้องการ โดยการเปลี่ยนส่วนผสมระหว่างน้ำและสินแร่ หรือโดยการปรับเครื่องมือให้เอียงมากน้อย หรือบังคับให้เครื่องกลไกหมุนช้าลงหรือเร็วขึ้น

รูปที่ 2.9 เครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier

ภิญโญ มีชำนะ (2551) กล่าวว่า ประโยชน์ของเครื่องกลคัดขนาดนี้ นอกจากจะใช้สำหรับคัดขนาดแล้วยังมาใช้ในการกำจัดโคลนหรือฝุ่นแร่ (Clay or Slime) ออกเช่น นำมาใช้ในการล้างสินแร่ออกจากดินโคลนหรือก่อนทำการแต่งแร่



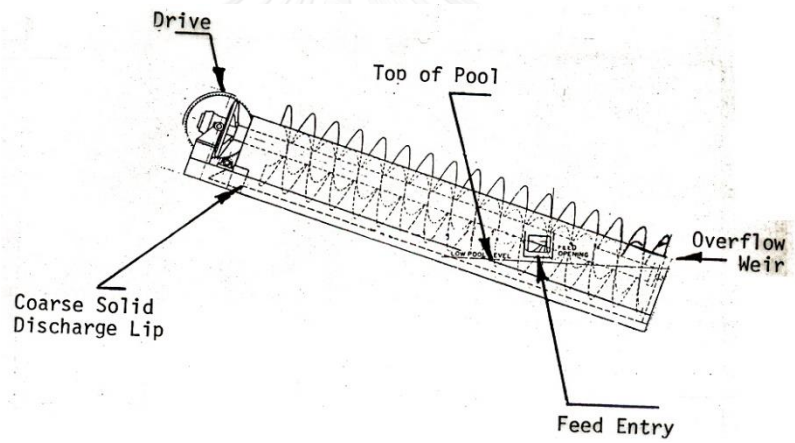
รูปที่ 2.10เครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier (ภิญโญ มีชำนะ, 2551)

เครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier อาจแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

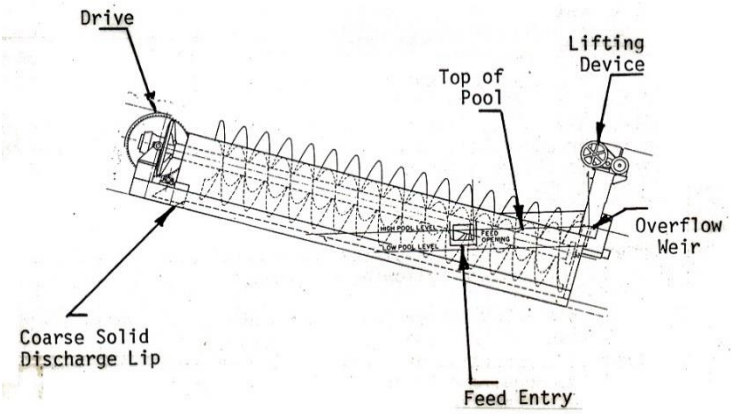
1) แบบระดับประตูน้ำต่ำ (Low Weir Classifier) เครื่องมือแบบนี้จะมีช่องป้อนสินแร่อยู่สูงกว่าระดับน้ำในถัง ดังแสดงตามรูปที่ 2.11 เหมาะสมสำหรับทำการล้างสินแร่ หรือคัดขนาดสินแร่ขนาดหยาบๆ ช่องป้อนจะป้อนช่วงปลายของถัง

2) แบบระดับประตูน้ำสูง (High Weir Classifier) เครื่องมือแบบนี้จะมีช่องป้อนอยู่ที่ระดับน้ำในถัง ดังแสดงตามรูปที่ 2.12 เหมาะสำหรับทำการคัดขนาดหยาบช่วง 20-65 เมช ช่องป้อนจะป้อนช่วงปลายของถัง

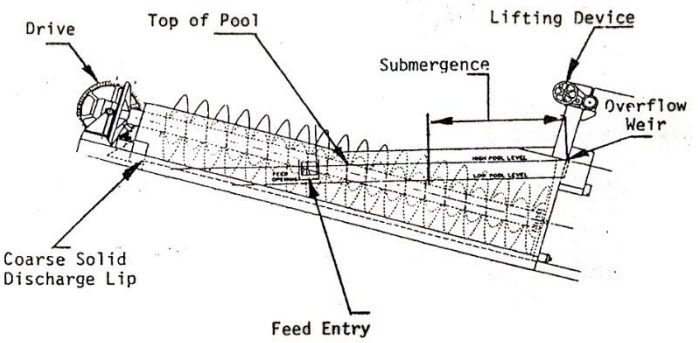
3) แบบจมใต้น้ำ (Submerged Spiral) แบบนี้เหมาะสำหรับทำการคัดขนาดสินแร่ขนาดละเอียดช่วง 65 - 200 เมช ช่องป้อนจะอยู่ตรงกลางของถัง ระดับน้ำในถังจะสูง สินแร่ละเอียดมีโอกาสลอยตัวไหลล้นผ่านประตูน้ำ ช่องป้อนจะจมอยู่ใต้ระดับน้ำในถัง ดังแสดงตามรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.11เครื่องคัดขนาดแบบประตูน้ำต่ำ (Low Weir Classifier) (ภิญโญ มีชำนะ, 2551)



รูปที่ 2.12เครื่องคัดขนาดแบบประตูน้ำสูง (High Weir Classifier)(ภิญโญ มีชำนะ, 2551)



รูปที่ 2.13เครื่องคัดขนาดแบบจมใต้น้ำ (Submerged Spiral) (ภิญโญ มีชำนะ, 2551)

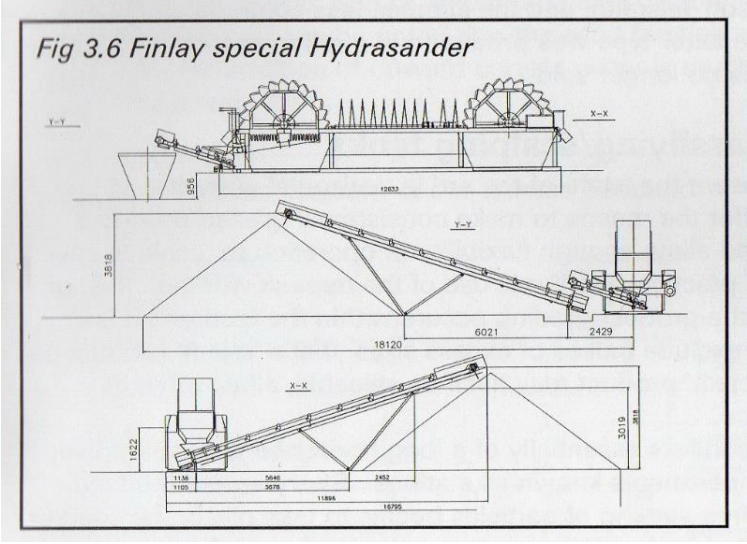
2.6.3 เครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน (Bucket wheels classifier)

เครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุนเป็นเครื่องจักรหนึ่ง ที่นิยมใช้ในการทำความสะอาดและผลิตทรายก่อสร้าง หลักการทำงานของเครื่องจักรนี้ทำงานบนหลักการที่ว่า ทรายซึ่งมีน้ำหนักมากกว่าจะตกลงข้างล่าง ส่วนขนาดละเอียดที่เบากว่าจะลอยและถูกคัดแยกออกไปผ่านตัวกลางน้ำ

โดยลักษณะของเครื่องจักรนี้มีรูปร่างคล้ายบุ้งกี๋ขนาดใหญ่ รูป 2.14 เมื่อป้อนทรายหยาบเข้าไปแล้ว ระบบจะปั๊มน้ำเข้ามาเครื่องจักร และค่อยๆหมุนให้ทรายเคลื่อนที่ ดินขนาดละเอียดจะลอยขึ้นข้างบน ส่วนทรายที่ผ่านการคัดแยกจะถูกส่งผ่านสายพานไปกองเพื่อตากให้น้ำละเหยความชื้นออกก่อนส่งขาย

รูปที่ 2.14เครื่องคัดขนาดบุ้งกี๋หมุนที่ใช้ในบ่อทรายซีแพคสี่ร้อย

ซึ่งบางโรงล้างอาจจะใช้เครื่องคัดขนาดบุ้งกี๋หมุนถึง 2 ตัวก็ได้เพื่อให้ทรายสะอาด อย่างเช่น Finlay special hydradander ที่ประเทศอังกฤษ ดังรูป2.15

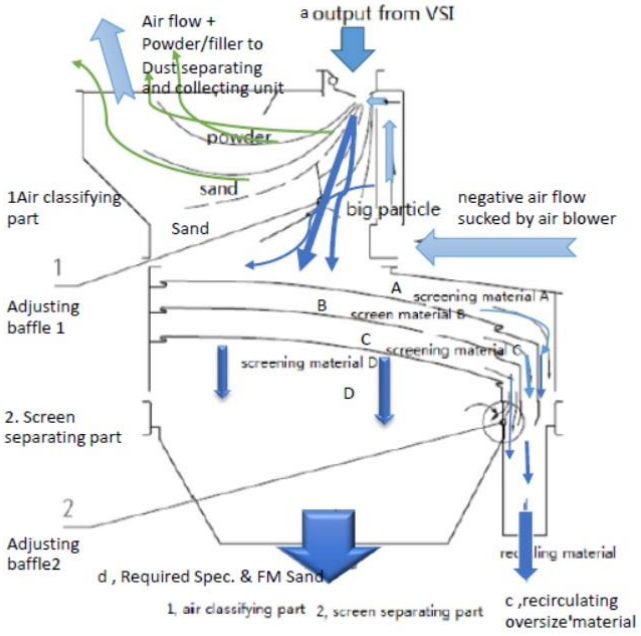


รูปที่ 2.15เครื่องคัดขนาดบุ้งกี๋หมุนที่ใช้ในการ Finlay special hydrasander ประเทศอังกฤษ (Littler, 1990)

2.6.4 เครื่องควบคุมค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness modulus control machine)

Shanghai Shibang Machinery Co. กล่าวว่า เครื่องควบคุมค่าโมดูลัสความละเอียดประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 2 ส่วน คือ

1. ส่วนคัดแยกด้วยอากาศ
2. ส่วนคัดแยกด้วยตะแกรง



รูปที่ 2.16แสดงภาพตัดขวางการทำงานของเครื่องควบคุมค่าโมดูลัสความละเอียด (Shanghai Shibang Machinery Co.)

ขณะที่แร่ป้อนผ่านส่วนคัดแยกด้วยอากาศ กระแสลมดูดจากเครื่องดูดอากาศเครื่องดักฝุ่นจะยกพามวลที่ละเอียดมากกว่าและน้ำหนักเบากว่า (ระดับฝุ่นหรือแป้ง) ไหลเข้าสู่ท่อ เราสามารถควบคุมอัตราปริมาณและขนาด หรือเปอร์เซ็นต์ของฝุ่นหรือแป้งได้โดยการปรับอัตราการไหลอากาศที่ถูกดูดผ่านและลิ้นกั้นสำหรับปรับ ระดับการปรับดังกล่าวมีผลต่อค่า FM ที่ต้องการ มวลละเอียดที่โตกว่าและหนักกว่าจะตกลงสู่ส่วนตะแกรงคัดขนาดซึ่งประกอบด้วยตะแกรง 3 ชั้น พื้นที่ขนาดใหญ่ คือ A,B และ C ซึ่งขนาดรูคัดตามมาตรฐานที่ลูกค้ากำหนด รูตะแกรงที่ขนาดต่างกันและมอเตอร์เขย่าจะทำการคัดขนาดมวลที่โตกว่าที่ค้างตะแกรง A,B และทั้งหมดหรือ ขนาดที่ใหญ่กว่าตะแกรง C (+4.75) ถูกนำกลับไปลดขนาดอีกที่เครื่องย่อย Vertical Shaft Impact (VSI) ด้วยสายพานกระพ้อ ส่วนที่เล็กกว่าจะผ่านรูตะแกรง C ลงสู่กระบวนการต่อไป ซึ่งระบบจะสามารถควบคุมอัตโนมัติตามคุณสมบัติและ FM ที่ต้องการ ทรายจะมีคุณภาพตามที่ต้องการของตลาด

2.7 โรงล้างหินฝุ่น

สุพัฒรา วุฒิชาติวาณิช (2547) กล่าวว่าการบดย่อยหินแข็งผ่านตะแกรงร่อนให้มีขนาดเท่าเม็ดทราย ที่เรียกว่าทรายโม่ หรือทรายหินโม่ (Crushed rock sand) ซึ่งมีการใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในหลายประเทศ ถือเป็นทรัพยากรทดแทนทรายแม่น้ำในหลายประเทศ เช่นที่ประเทศจาไมกา ที่หินฝุ่นถูกผลิตในช่วงการบดย่อยหินปูน และถูกขายเพื่อใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตและยางมะตอย ทรายโม่ยังสามารถผลิตโดยการโม่หรือบดย่อยกรวดแม่น้ำจากหลายๆแหล่ง แต่ทรายพวกนี้ส่วนใหญ่เหมาะที่จะใช้เป็นส่วนผสมในการทำคอนกรีตและซีเมนต์บล็อคคุณภาพต่ำ การคัดขนาดและรูปร่างของทรายโม่จะมีคุณภาพดี ถ้าใช้เครื่องโม่หินที่เหมาะสม

Shanghai Shibang Machinery Co. ได้มีการออกแบบโรงล้างหินฝุ่นหรือโรงบดหินแข็งเพื่อใช้เป็นทรายก่อสร้างอยู่ 2 แบบ คือ

2.7.1 กระบวนการล้างแบบแห้ง (Dry Process)

Dry process หรือกระบวนการล้างแบบแห้งนี้ มีต้นแบบมาจาก (Shanghai Shibang Machinery Co.,Ltd) มีลักษณะเป็นโรงล้างรูปทรง Tower (หรือหอคอย) กินระยะพื้นที่ 40X15 เมตร ประกอบด้วยเครื่องจักรทั้งสิ้น 10 ตัว ดังตาราง 2.7

ตารางที่ 2.7รายชื่อเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการแบบแห้ง(Shanghai Shibang Machinery Co.)

	Machine
1	VSI (VU Sand Making Crusher)
2	FM Control Screen
3	Particle Shape
4	Moisture Content Control machine
5	Dust separating and Collecting system
6	Air blower
7	Electrical Control (ควบคุมมอเตอร์)
8	Bucket elevator
9	Belt Convenyor
10	Steel Structure

โดยแบ่งออกเป็นขั้นตอนสำคัญๆ ดังนี้ (รูป 2.17)

1) การลดขนาด

หลังจากป้อนหินฝุ่นเข้าสู่ถังป้อนแร่แล้ว จะถูกลำเลียงตักขึ้นสู่ Bucket Elevator ด้วยเครื่อง Vibrating feeder ควบคุมอัตราการป้อนด้วยอัตรา 120 ตัน/ชั่วโมง เพื่อป้อนเข้ายัง Vertical Shaft Impact (VSI) Crusher ซึ่งเป็นเครื่องที่ลดขนาดของหินฝุ่นลง โดยใช้หลักการหมุนให้หินวิ่งชนกัน (Rock on Rock)

2) การคัดขนาด

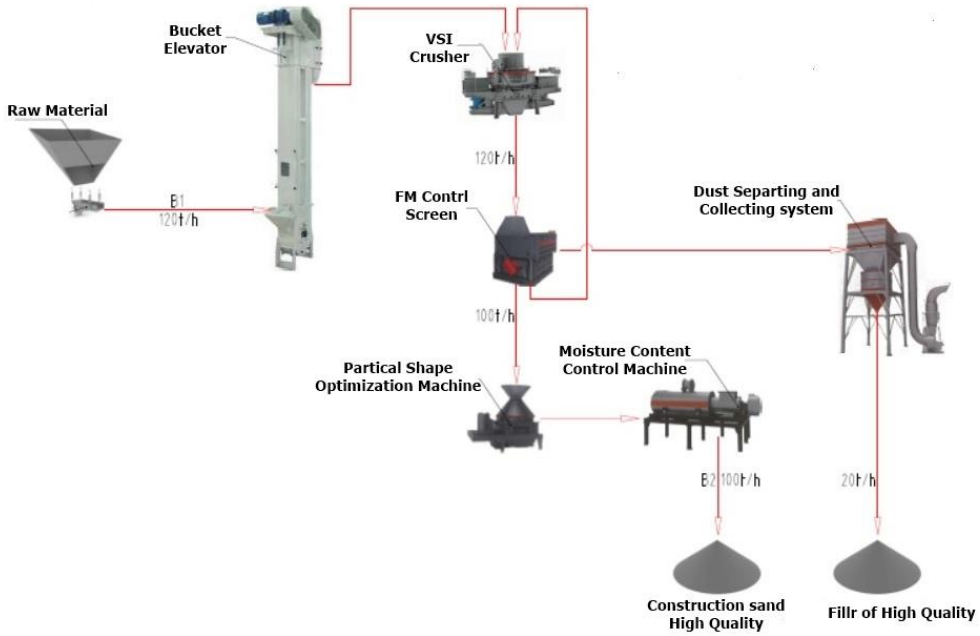
เมื่อผ่านขั้นตอนการลดขนาดแล้ว หินฝุ่นจะถูกลำเลียงมายังเครื่อง FM Control ซึ่งกล่าวไว้ในบทที่ 2 แล้วว่า เป็นเครื่องที่มีส่วนประกอบหลัก 2 ส่วน คือ ส่วนที่คัดแยกด้วยอากาศและคัดแยกด้วยตะแกรง ซึ่งขั้นตอนนี้ทำให้สามารถกำจัดหินฝุ่นแกรนิตขนาดละเอียดได้ โดยเมื่อป้อนหินฝุ่นเข้าไป ในส่วนที่คัดแยกด้วยอากาศจะมีกระแสลมดูดจากเครื่องดูดอากาศดักฝุ่น เพื่อยกมวลที่ละเอียดมากและเบาไหลเข้าสู่ท่อและส่งไปยังเครื่อง Dust separating and Collecting system ต่อไป ส่วนหินฝุ่นที่มีขนาดโตและหนักกว่าจะตกลงสู่ส่วนตะแกรงคัดขนาด ซึ่งประกอบไปด้วยตะแกรง 3 ชั้น บางส่วนที่มีขนาดใหญ่กว่า +4.75 ระบบจะส่งกลับไปยังเครื่อง VSI อีกครั้ง

3) การขัดสีรูปร่างของหินฝุ่น

เมื่อผ่านการคัดขนาดแล้ว ลักษณะพิเศษของโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตด้วย Dry Process อย่างนึงคือการที่สามารถขัดสีรูปร่างของหินฝุ่นให้มีเหลี่ยมมุมและขนาดที่เท่าๆกันได้ ซึ่งสำหรับงานคอนกรีตแล้วการที่หินฝุ่นมีเหลี่ยมมุมจะทำให้งานวัสดุผสมคอนกรีตมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

4) การปรับค่าความชื้น

เนื่องจากโรงล้างแบบ Dry Process มีขั้นตอนที่แห้งมีความชื้นต่ำ ซึ่งเป็นอุปสรรคในระบบขนส่ง จึงจำเป็นต้องผ่านเครื่อง Moisture Content Control Machine เพื่อให้มีค่าความชื้นพอเหมาะ



รูปที่ 2.17 แสดง Flow chart แบบ Dry process(Shanghai Shibang Machinery Co.)

ข้อดีของโรงล้างหินฝุ่นแบบ Dry Process

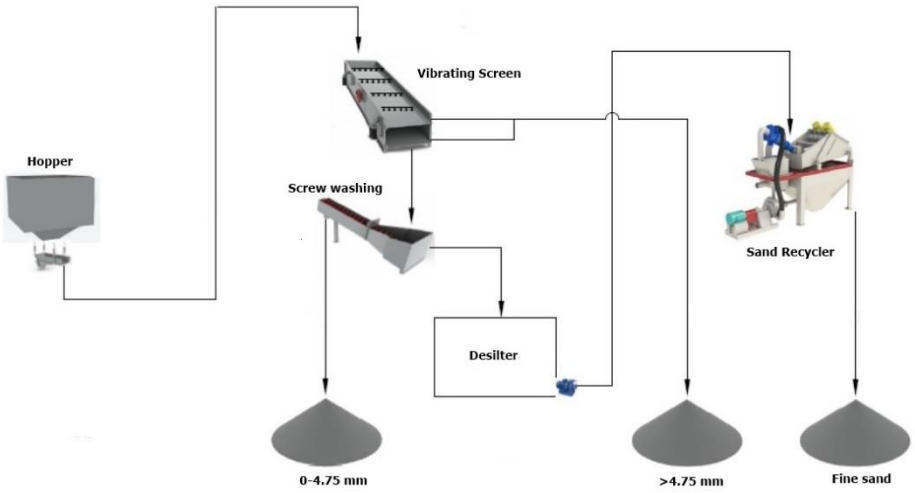
1) ประหยัดพื้นที่ เนื่องจากเป็นโรงล้างในรูปแบบหอคอย จึงใช้พื้นที่เพียง 40X15 เมตร เท่านั้น
2) สามารถควบคุมขนาดคละได้ง่าย สามารถปรับการคัดขนาดที่ต้องการได้ง่าย ทำให้สามารถผลิตหินฝุ่นล้างได้ตามสเป็คที่ลูกค้าต้องการ
3) มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

ข้อเสียของโรงล้างหินฝุ่นแบบ Dry Process

1) มีราคาสูง
2) มีระบบและเครื่องมือหลายชนิด ทำให้ยากในการบำรุงรักษา

2.7.2 กระบวนการล้างแบบเปียก (Wet Process)

Wet process หรือกระบวนการล้างแบบเปียกนี้ มีลักษณะเป็นโรงล้างในแนวราบ กินระยะพื้นที่ 90X50 เมตร ข้อดีของระบบนี้เป็นระบบที่ใช้งานง่าย ติดตั้งง่าย แต่ทั้งนี้ข้อเสียของระบบเปียกนี้ก็คือ ควบคุมค่า F.M. ยาก ซึ่งต้องใช้แรงงานคนการเกลี่ย และเมื่อมีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง ก็จำเป็นต้องดูเรื่องระบบบำบัดน้ำเพื่อไม่ให้เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมต่อไป นอกจากนั้น Operating cost ของระบบยังสูงอีกด้วย และอาจมีปัญหาเครื่องจักรบางส่วนก็เสียบ่อย เช่นตัว Screw เป็นต้น



รูปที่ 2.18แสดง Flow chart แบบ Wet process (Shanghai Shibang Machinery Co.)

เมื่อผ่านกระบวนการย่อยเพื่อลดขนาดแล้วแร่ป้อนที่ขนาด 0-9.5 มม. เข้าไปในกระบวนการโดยมี Vibrating feeder เพื่อช่วยให้การเคลื่อนตัวของแร่ป้อนขนาด 6.45เข้าไปยัง Vibrating screen ขนาดที่มากกว่า 4.75 ก็จะลอดผ่านไปกองสต็อก ขนาดตั้งแต่ 0-4.75 ก็ผ่านเข้า Screw washing เพื่อล้าง คัดขนาดและ dehydrating หินฝุ่นแกรนิตที่มีขนาด 0-4.75 ก็จะไปกองสต็อก ส่วนขนาดที่เล็กกว่าก็จะส่งไปกักเก็บที่บ่อ desilter ซึ่งมีมอเตอร์กวนอยู่ไม่ให้ตะกอนตกตะกอน จากนั้นจึงปั๊มขึ้นไปที่ sand recycler เพื่อ dehydrating ออก ก็จะกลายเป็น fine sand ต่อไป

ตารางที่ 2.8รายชื่อเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการ wet process
(Shanghai Shibang Machinery Co.)

	Machine
1	VSI (VU Sand Making Crusher)
2	Vibrating feeder
3	Vibrating screen
4	Screw washer
5	Water pump
6	Reclying Machine
7	Water basin
8	Belt Convenyor
9	Wheel Loader
10	Electical control
11	Pipe

2.8 ลักษณะธรณีวิทยาในพื้นที่ศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้ ได้มีการเก็บข้อมูลจากกรณีศึกษาทั้งหมด 3 ที่ ได้แก่ โรงล้างหินหนองข่า บริษัท สโตนวัน จ.ชลบุรี กระบวนการผลิตทรายบกบ่อทรายซีแพคสี่ร้อย จ.อ่างทอง และแหล่งหินฝุ่นเขาน้อยเจ้าเจ็ด บริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ ดังนี้

2.8.1 บริษัทสโตนวัน

2.8.1.1 ลักษณะธรณีวิทยาแหล่งแร่

ข้อมูลด้านธรณีวิทยาในพื้นที่เหมืองหินแกรนิตนี้ เป็นข้อมูลที่ นรรัตน์ บุญกันภัย (2552) ได้รวบรวมมาจากรายงานและแผนที่ธรณีวิทยามาตราส่วน 1 : 50,000 ประกอบด้วยหินแปร หินตะกอน รวมทั้งชั้นตะกอนที่ยังไม่แข็งตัว และหินอัคนี ดังมีแผนที่ธรณีและคำอธิบายตามรูป 2.17-2.19

1) หินแปรและหินตะกอน

หินแปรและหินตะกอนที่พบในจังหวัดชลบุรี อ.ศรีราชา มีลำดับชั้นหินต่างๆเรียงจากหินยุคที่มีอายุแก่กว่าไปยังหินยุคที่มีอายุแก่กว่าไปยังหินยุคที่มีอายุอ่อนกว่า ตามลำดับ ดังนี้

ก. หินมหายุคพรีแคมเบียน (PE)

หินที่เกิดในช่วงมหายุคพรีแคมเบียน พบกระจายทางตอนกลางและค่อนไปทางด้านตะวันออกของจังหวัด ในท้องที่อำเภอบ่อทอง หนองใหญ่ และอำเภอบ้านบึง ลักษณะโดยทั่วไปเป็นหินแปรเกรดสูง ประกอบด้วย หินชีสต์ หินไมกาชีสต์ และหินควอตซ์-ไมกาชีสต์ สีเทา-เข้ม หินไบโอไทต์-ฮอร์นเบลนด์ไนส์ สีเทาเข้ม แสดงลักษณะการเรียงตัวเป็นริ้วขนาดชัดเจน หินส่วนใหญ่มีการคดโค้งอย่างรุนแรง เป็นรูปประทุนและประทุนหงาย และมีการแตกเป็นจำนวนมาก ในบางบริเวณยังพบหินควอตซ์-เฟลด์สปาร์-ไบโอไทต์ไนส์ สีเทาขาว มีแถบบชั้นสีอ่อนสลับเข้ม และเป็นริ้วขนานชัดเจน เม็ดแร่มักถูกบดและมีลักษณ์เป็นเลนส์รูปตา นอกจากนั้นยังมีหินมิกมาไทต์ และเลนส์ของหินอ่อนปะปนอยู่ด้วยเล็กน้อย หินในมหายุคนี้โดยทั่วไปมักมีสายเพกมาไทต์ตัดแทรกและแทรกขนานอยู่ด้วยเป็นบางส่วน

ข. หินยุคคาร์บอนิเฟอรัส – เพอร์เมียน (CP)

หินที่เกิดในช่วงยุคนี้ พบแพร่กระจายทางด้านตะวันตกและด้านใต้ของพื้นที่จังหวัดชลบุรีได้ตั้งชื่อเป็นกลุ่มหินชลบุรี (Chon Buri Group) ใช้เรียกชื่อหินในบริเวณภาคตะวันออกที่สะสมตัวในยุคคาร์บอนิเฟอรัส มีการแผ่กระจายตัวตลอดแนวชายฝั่งทะเลจากชลบุรี-สัตหีบ รวมถึงเกาะต่างๆ เช่น เกาะสีชัง เกาะคราม เกาะแสมสาร เกาะเสม็ดและถัดไปทางตะวันออก ที่จังหวัดระยองและบางส่วนของจังหวัดฉะเชิงเทรา สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 หมวดหิน เรียงจากอายุแก่ไปหาอายุอ่อนได้ดังนี้ คือ หมวดหินธรรมรัตน์ในหมวดหินพลูตาหลวง และหมวดหินศรีราชา สำหรับหินที่แพร่กระจายอยู่ในจังหวัดชลบุรี พบหมวดหินพลูตาหลวงเพียงหมวดหินเดียว

ค. หินยุคเพอร์เมียน-ไทรแอสซิก

หินที่เกิดสะสมตัวในช่วงยุคนี้ พบแพร่กระจายอยู่ทางด้านตะวันออกของพื้นที่จังหวัดได้แก่ บริเวณด้านทิศตะวันออกเฉียงใต้ของอำเภอบ่อทอง หินที่พบประกอบด้วยหินดินดาน หินทราย และหินทรายแป้ง สีเขียวมะกอก หินชนวนสีดำ หินชิ้นภูเขาไฟและหินทัพพ์ที่ถูกแปรสภาพและหินปูนสีเทาเข้ม ที่มีลักษณะเนื้อแบบเม็ดไข่ปลา

ง. หินยุคไทรแอสซิก (TR)

หินที่เกิดสะสมในช่วงยุคไทรแอสซิก พบทางด้านตะวันออกของพื้นที่จังหวด ครอบคลุมพื้นที่ไม่มากนัก โดยพบแพร่กระจายต่อเนื่องกับยุคไทรแอสซิกถึงเพอร์เมียน หินที่พบประกอบหินโคลนเกิดแทรกสลับกับหินทรายแป้งและหินทรายอาร์โคส เนื้อละเอียด สีน้ำตาลอ่อนและสีเทาเข้ม มีลักษณะเป็นชั้นดี พบการเรียงขนาดเม็ดตะกอนเป็นแบบเม็ดละเอียดอยู่ด้านบน

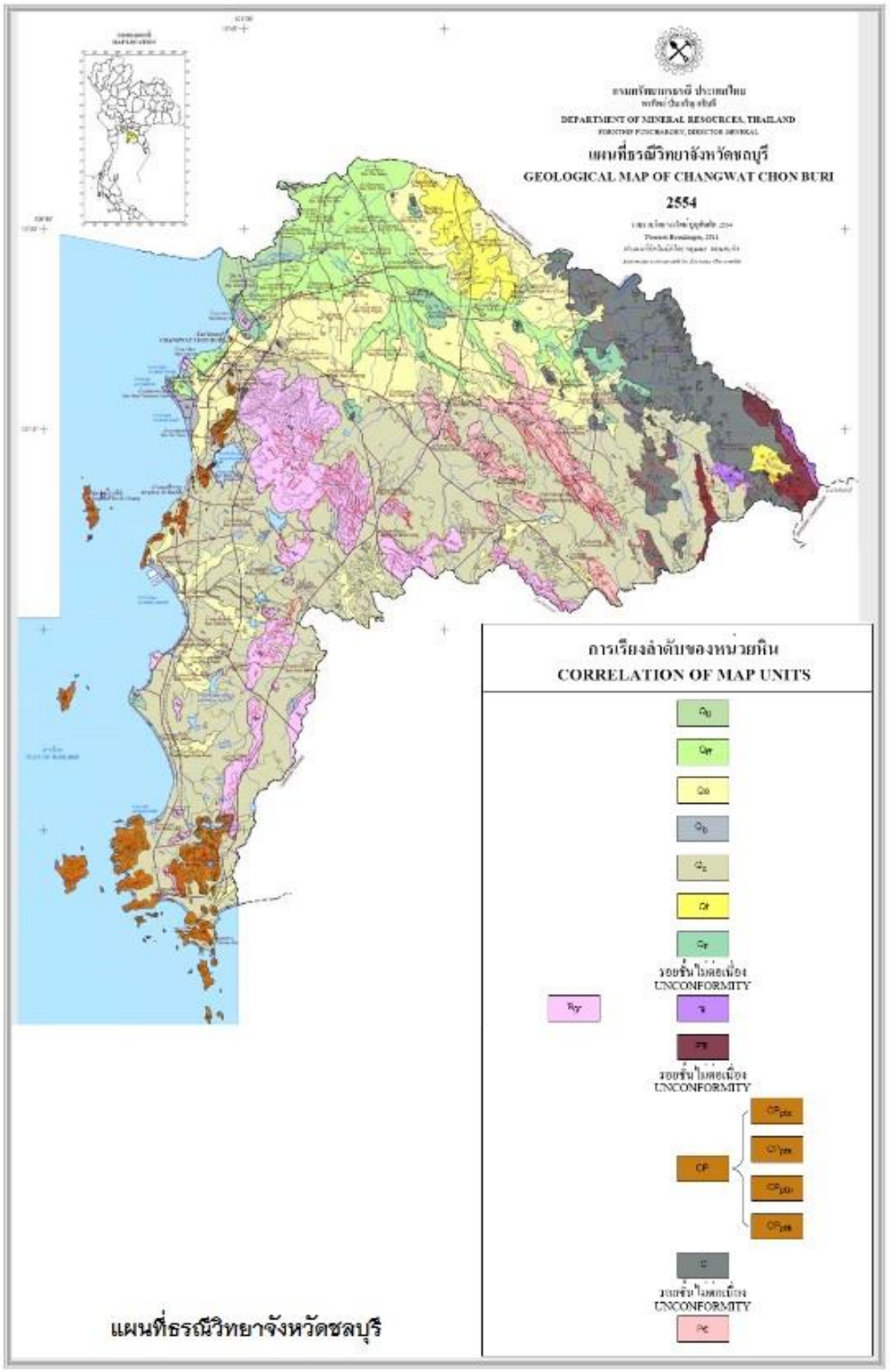
จ. ตะกอนยุคควอเทอร์นารี (Q)

พื้นที่โดยทั่วไปของจังหวัดชลบุรี ในบริเวณซึ่งเป็นพื้นที่ราบและที่ราบสลับกับเนินต่ำๆแบบลอนลูกระนาด จะมีชั้นตะกอนที่สะสมตัวในช่วงยุคควอเทอร์นารี เกิดแพร่กระจายอยู่เป็นบริเวณกว้าง

2) หินอัคนี

ในพื้นที่นี้พบหินอัคนีเพียงชนิดเดียว คือ หินแกรนิตที่แทรกหนุนขึ้นมาในยุคไทรแอสซิก โดยพบแพร่กระจายในบริเวณตอนกลาง ชายทะเลตะวันตก และด้านใต้ของพื้นที่จังหวัด เป็นหินที่มีลักษณะและส่วนประกอบเป็นหินฮอร์นเบลนด์-ไบโอไทต์แกรนิต เนื้อปานกลางถึงหยาบ ผลึกเท่ากันและผลึกสองขนาด บางส่วนเป็นหินไบโอไทต์แกรนิตผลึกขนาดเท่ากันและมีแร่ทัวร์มาลีนเป็นส่สวนประกอบอยู่ในบางส่วน และในบางส่วนบริเวณมีพนังของหินไดออไรต์แทรกอยู่ด้วย

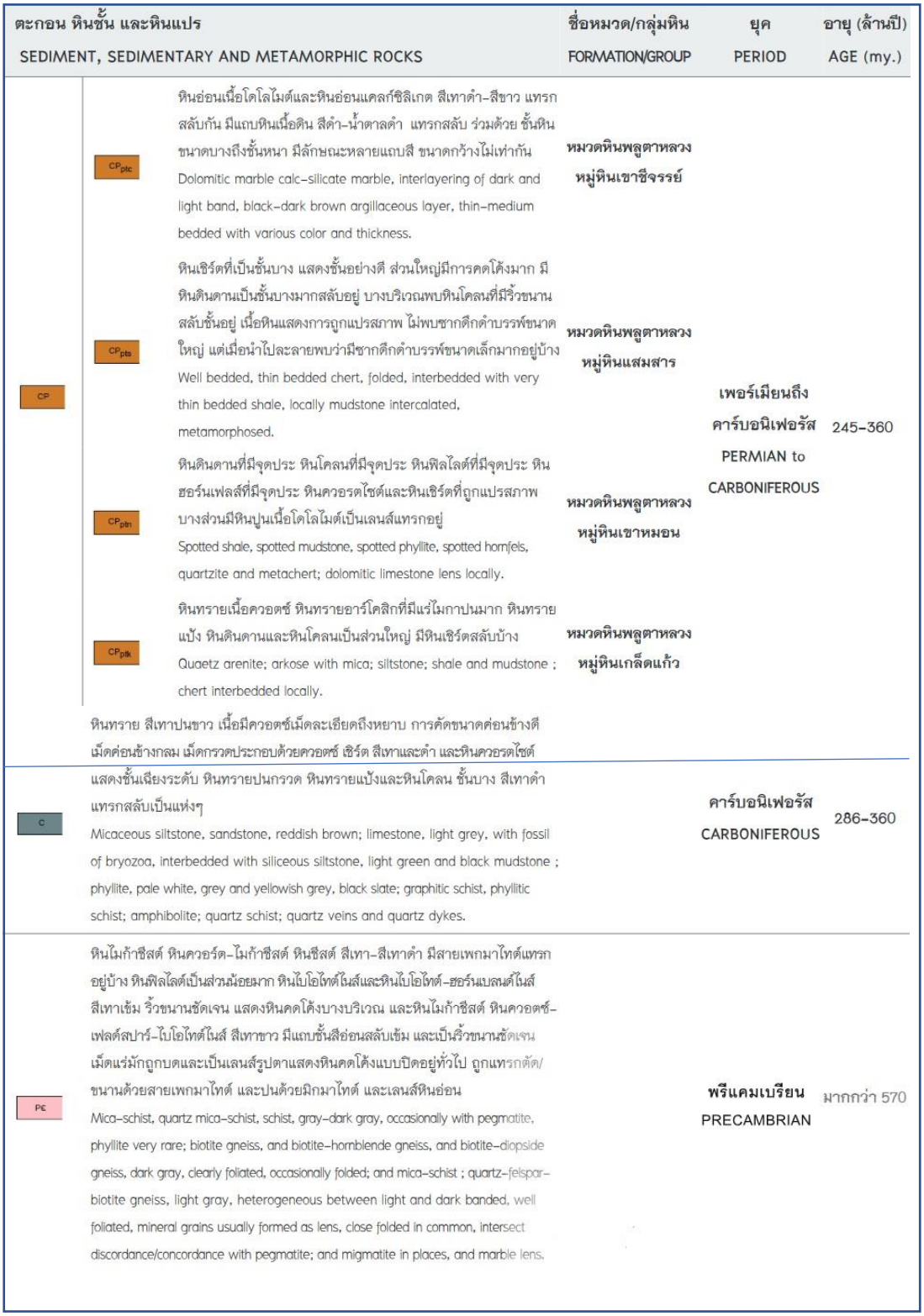
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.19แผนที่ธรณีวิทยาของจังหวัดชลบุรี (กรมทรัพยากรธรณี, 2554)

ตะกอน หินชั้น และหินแปร SEDIMENT, SEDIMENTARY AND METAMORPHIC ROCKS	ชื่อหมวด/กลุ่มหิน FORMATION/GROUP	ยุค PERIOD	อายุ (ล้านปี) AGE (my.)
Q_{tf} ตะกอนดินเคลย์น้ำขึ้นน้ำลง : ดินเคลย์เนื้อนิ่ม มีเศษพืชและเศษเปลือกหอยปน มีทรายละเอียดมากเป็นแถบชั้นบางแทรกสลับ สะสมตัวภายใต้อิทธิพลของกระแสน้ำขึ้นน้ำลง Tidal clay deposits: clay, soft, abundant plant remains and shell fragments; with very fine sand lamination, deposited by tide.			
Q_{ff} ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง : ดินเคลย์ปนทรายละเอียด มีชั้นทรายร่วน หรือชั้นทรายร่วนปนกรวดละเอียดแทรก Flood plain deposits: clay, sandy clay , fine-grained with loose sand or gravelly sand layers.			
Q_a ตะกอนทรายและดินเคลย์น้ำพา : ทรายละเอียดปนดินเคลย์ แน่นมาก เหนียวมาก สลับกับชั้นดินเคลย์ปนทราย มักพบเม็ดเหล็กปน Alluvial sand and clay deposits: sand, slightly clayey, dense, very firm intercalated with sandy clay, common ferricretes and iron concretions.			
Q_b ตะกอนชายหาดปัจจุบัน : ทราย ทรายแป้ง เละเศษเปลือกหอย Recent beach deposits: sand, silt and shell fragments.		ควอเทอร์นารี QUATERNARY	0.01–1.6
Q_c ตะกอนเศษหินเชิงเขา : เศษหินแกรนิตและสายแร่ควอตซ์ กรวด ทราย ดินเคลย์ ดินลูกรัง และศิลาแลง Colluvial deposits: granite and quartz fragments, gravel, sand, clay, lateritic soil and laterite.			
Q_t ตะกอนตะพักระดับสูง : กรวดปนดินเคลย์และทราย High terrace gravel deposits: gravel, slightly clayey and sandy.			
Q_r ตะกอนหินผุ : ดินเคลย์ปนทราย และทรายแป้ง มีชั้นแม่รังและเศษหินปน วางตัวบนหินเดิมอย่างต่อเนื่อง Residual deposits : clay, sandy, silty with laterite layer and rock fragments.			
Tr หินโคลนสลับหินทรายแป้งและหินทรายอาร์โคสิก เนื้อละเอียด สีน้ำตาลอ่อนและสีเทาเข้ม เป็นชั้นอย่างดี มีชั้นบางสลับ พบการเรียงขนาดเม็ด ตะกอนแบบเม็ดละเอียดอยู่ด้านบนและการลำดับชั้นแบบบูมาได้ทั่วไป Mudstone interbeded with siltstone and fine grained arkosic sandstone, pale brown and dark gray, well bedded, thin bedded with lamination. fining upward graded bedding and bouma sequence are common.		ไทรแอสซิก TRIASSIC	210–245
PTr หินดินดาน หินทราย หินทรายแป้ง สีเขียวมะกอก หินชนวน สีดำ หินชั้นภูเขาไฟและหินทัฟฟ์ที่ถูกแปรสภาพ สลับชั้นกัน หินปูนแบบเม็ดไข่ปลา สีเทาเข้ม Shale, sandstone, siltstone, olive-green; black slate and meta-tuff interbedded; oolitic limestone, dark grey.		ไทรแอสซิก ถึงเพอร์เมียน TRIASSIC to PERMAIN	210–286

รูปที่ 2.20 คำอธิบายของแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดชลบุรี (กรมทรัพยากรธรณี, 2554)



รูปที่ 2.21 คำอธิบายของแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดชลบุรี (ต่อ) (กรมทรัพยากรธรณี, 2554)

2.8.2 บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย จ.อ่างทอง

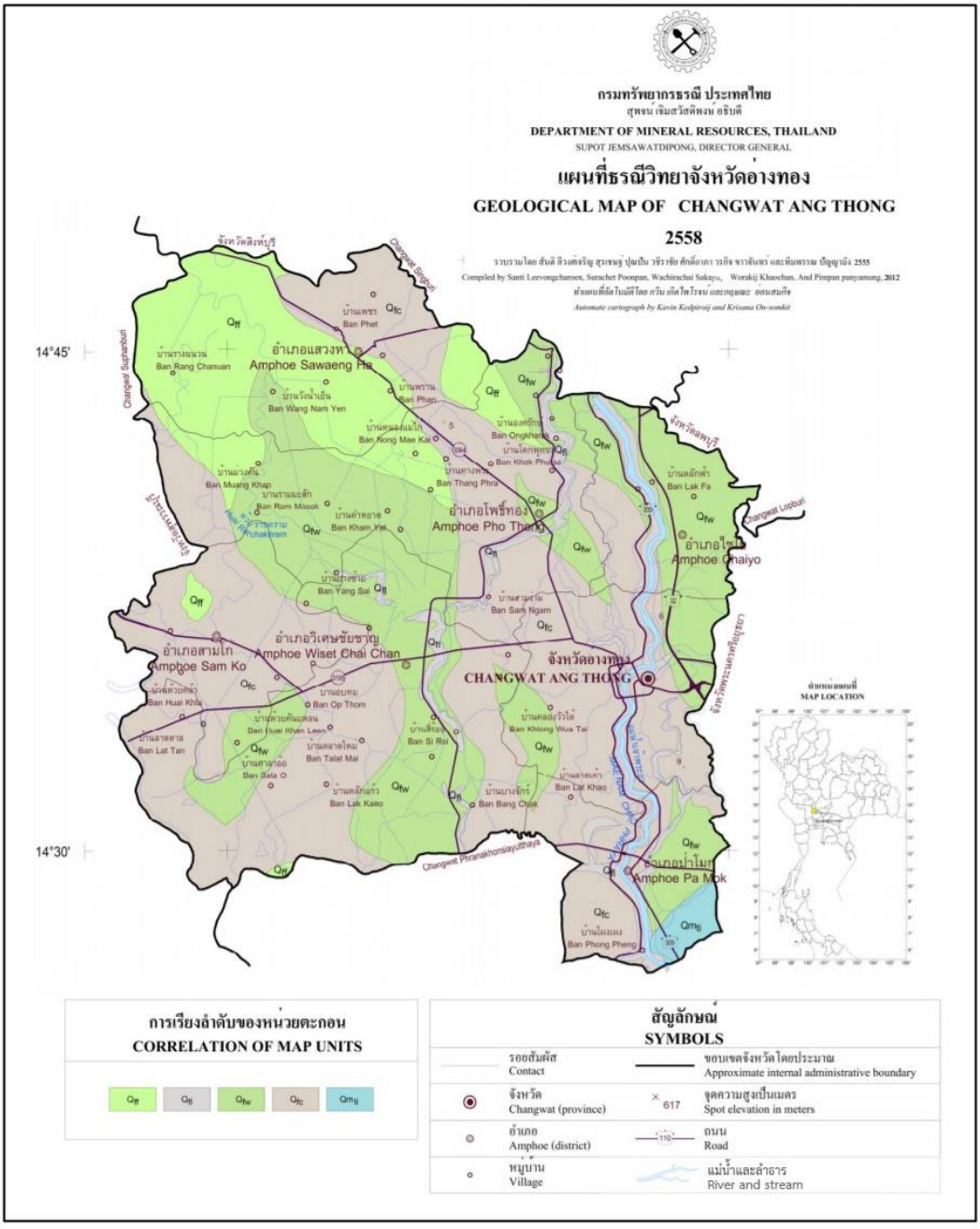
กรมทรัพยากรธรณี (2558) ได้สำรวจข้อมูลทางธรณีวิทยาว่า บริเวณที่บ่อทรายสี่ร้อย ตั้งอยู่บนตะกอนที่ลุ่มน้ำขัง (Swamp deposits, Q_{fw}) คือ ตะกอนที่ลุ่มน้ำขังสะสมตัวตะกอนเป็นส่วนหนึ่งของระบบธารน้ำพา เกิดร่วมกับตะกอนน้ำท่วมถึง โดยที่เป็นบริเวณที่ต่ำสุด หลังแนวคันดินธรรมชาติ บริเวณที่เป็นแอ่งกว้างจึงมีน้ำขังเป็นเวลานานในฤดูฝน มีพืชเจริญเติบโตหนาแน่น และเมื่อฤดูแล้งระดับน้ำลดลงมากจนเกือบแห้ง พืชเหล่านั้นมักล้มตายทับถมปนกับตะกอน ตะกอนชุดนี้พบกระจายตัวเป็นแอ่งกว้างด้านบริเวณตอนกลางของจังหวัดอ่างทอง พาดผ่านจากฝั่งตะวันออกไปหาฝั่งตะวันตกของจังหวัดอ่างทอง ดังแผนที่ธรณีวิทยารูป 2.20-2.21

โดยบ่อทรายสี่ร้อย เป็นแหล่งทรายก่อสร้าง ชนิดทรายบกที่เกิดจากการสะสมตัวในทางน้ำเก่าที่มีบริเวณกว้างมากที่สุดในพื้นที่จังหวัดอ่างทอง เนื่องจากอยู่บริเวณที่ลุ่มระหว่างทางน้ำกวัดแกว่งของแม่น้ำน้อยกับแม่น้ำเจ้าพระยา แหล่งทรายสะสมตัวในสภาวะกระแสน้ำปานกลางถึงสม่ำเสมอ พบมีชั้นทรายหยาบปนกรวดขนาดเล็ก สีน้ำตาลแกมเหลือง เนื้อร่วนการคัดขนาดปานกลางถึงดี เม็ดกลมมนดี ประกอบด้วยแร่ควอตซ์ แร่ไม่กา เหล็กออกไซต์ แร่เฟลด์สปาร์ เศษหิน เศษไม้และแร่อื่นๆ

คำอธิบายแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดอ่างทอง

ตะกอน SEDIMENTS	ยุค	อายุ (ล้านปี)
Q_{ff} **ตะกอนที่ราบน้ำท่วมถึง** : ดินเคลย์ สีเทา สีน้ำตาล มีจุดประมาก สีน้ำตาลแกมเหลือง สีน้ำตาลแกมแดง เนื้อแน่นเหนียว ชั้นหนา มีชั้นบางของทรายละเอียดแทรก Q_{fl} **ตะกอนคันดินธรรมชาติ** : ทรายแป้ง ปนทรายเนื้อละเอียดมาก สีน้ำตาลถึงน้ำตาลอ่อน เนื้อร่วน การคัดขนาดดี ชั้นบาง ประกอบด้วย แร่ควอตซ์ และไมกา วางทับบนดินเคลย์ ชั้นหนา Q_{fw} **ตะกอนที่ลุ่มน้ำขัง** : ดินเคลย์ สีเทา สีน้ำตาล และสีดำ เนื้อแน่นเหนียว ชั้นหนา มีจุดประมาก สีน้ำตาลแกมเหลือง สีน้ำตาลแกมแดง พบซากพืชหรือฮิวมัสปนมากในบางชั้น Q_{fc} **ตะกอนร่องน้ำเก่า** : ทราย สีเทา เม็ดละเอียดถึงหยาบมาก การคัดขนาดดี เนื้อกลมมนดี เนื้อร่วน ชั้นหนา ประกอบด้วย แร่ควอตซ์ และเศษหิน มักถูกปิดทับด้วยชั้นเคลย์หนา Qm_{ti} **ตะกอนชายฝั่งทะเลโดยอิทธิพลน้ำขึ้น-น้ำลง** : ดินเคลย์ ดินเคลย์ปนทรายแป้ง สีเทามะกอกอ่อน ถึงเทาแกมเขียวอ่อน เหนียวมาก มีจุดประบ้างเล็กน้อย สีเหลืองมะกอก ถึงน้ำตาลแกมเหลือง มีเม็ดปูนปน	**ควอเทอร์นารี**	0.01-1.6

รูปที่ 2.22 คำอธิบายแผนที่ธรณีวิทยาจังหวัดอ่างทอง (กรมทรัพยากรธรณี, 2558)



รูปที่ 2.23 แผนที่ทางธรณีวิทยาของจังหวัดอ่างทอง (กรมทรัพยากรธรณี, 2558)

2.8.3 บริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์

- **ลักษณะธรณีวิทยาทั่วไป**

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2555) ได้สำรวจลักษณะธรณีวิทยาโดยทั่วไปในบริเวณนี้ และพื้นที่ใกล้เคียง ประกอบด้วยหินชั้น หินแปรและหินอัคนี ตามแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:250,000 ระวาง ND 47-11 ของกรมทรัพยากรธรณี พ.ศ.2519 ประกอบด้วยหินชนิดต่างๆดังนี้ (รูปที่2.22-2.23) แสดงแผนที่ธรณีวิทยาแหล่งแร่

อักษรย่อ Qa อยู่ในยุคความเทอร์นารี (Quarternary) หรือยุคย่อยได้แก่ โฮโลซีน (Holocene) มีลักษณะเป็นที่ราบลุ่ม ประกอบด้วยกรวดทรายของแม่น้ำ,ทรายแป้ง,ดิน โคลน ที่ถูกแม่น้ำพัดมาสะสมตัวตามที่ราบ

อักษรย่อ Qt อยู่ในยุคควาเทอร์นารี (Quarternary) หรือยุคหินย่อยได้แก่ ไพลสโตซีน (Pleistocene) ชุดแม่กลอง (Mae klong group) หน่วยท่าตะคร้อ (Tha takhroa) มีลักษณะเป็นที่ราบเก่าชั้นของกรวดทรายประกอบด้วย หินมน หินหลุด และเม็ดของหินควอร์ตไซต์, หินควอร์ต, หินเชิร์ต หินชนวน หินทราย และหินแกรนิต ที่สะสมตัวตามไหล่เขา นอกจากนี้ยังพบดินลูกรังอยู่ข้างบนหรือที่ระดับสูงในบางบริเวณ

อักษรย่อ SD อยู่ในยุคซิลูเรียน – ดีโวเนียน (Silurian-Devonian) ชุดกาญจนบุรี (Kanchanaburi group) ประกอบด้วยหินควอร์ตไซต์ มีลักษณะสีน้ำตาล สีน้ำตาลอมเหลือง หินฟิลไลนต์สีน้ำตาลถึงอมเทาเขียว แทรกสลับด้วยหินควอร์ตไซต์ในบางบริเวณและที่รอยคดโค้งเล็กๆ เกิดขึ้นบนผิวระนาบของชีสต์โตซิตี้ บางแห่งพบเป็นจุดๆ หินชนวน มีลักษณะสีเทาถึงสีเทาแก่

อักษรย่อ O_{kr} ในยุคออร์โดวิเชียน (Ordovician) ชุดทุ่งสง (Thungsong group) หน่วยเขารวก (Khao Ruak) หินปูนมีลักษณะเป็นชั้นหนาและมวลเนื้อหนา เนื้อหินตกผลึก ใหม่สีเทา-เทาแก่ บริเวณใกล้กับรอยสัมผัสกับหินอัคนี โดยมากจะพบเป็นหินอ่อน เนื้อผลึกหยาบคล้ายผลึกน้ำตาลทราย มีแผ่นผลึกมัสโคไวต์ประปรายเนื้อหินสีขาว เทา ฟ้า และเทาเขียว และมีชั้นหินปูนโลโลไมต์ด้วย

อักษรย่อ CO อยู่ในยุคแคมเบรียน-ออร์โดวิเชียน (Cambrian-Ordovician) ชุดเขาตาพั้น (Khao ta phan group) เป็นพวกหินแปรรวมถึงหินซิลิมาไนต์,ไมกาซิลต์,หินพาราไนซ์,หินแคลก์-ซิลิเกต,หินแกรนิตไนซ์ และหินสิวโคแกรนิตไนซ์

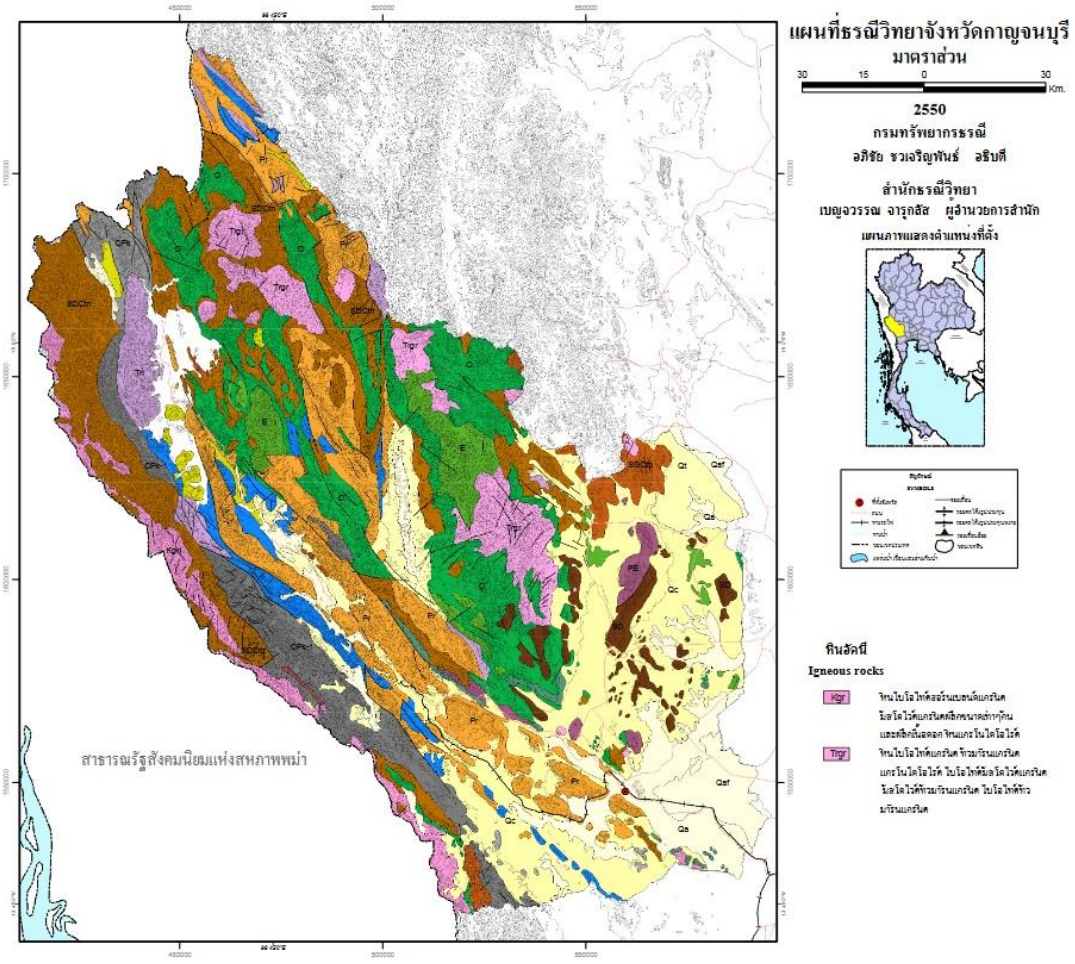
อักษรย่อ K_{gr} อยู่ในยุคจูแรสซิก – ครีเทเชียส (Jarassic – Cretaecous) ประกอบด้วยหินแกรนิต,มีลักษณะเนื้อหินเป็นดอก หยาบปานกลางถึงหยาบมีแร่ประกอบหินจำพวกแร่ทัวมาลีนมัสโคไวต์,หินเพกมาไทต์,หินแอฟไลต์,สายหินควอรตซ์ และผนังหินควอรตซ์

- **ลักษณะธรณีวิทยาของแหล่งแร่**

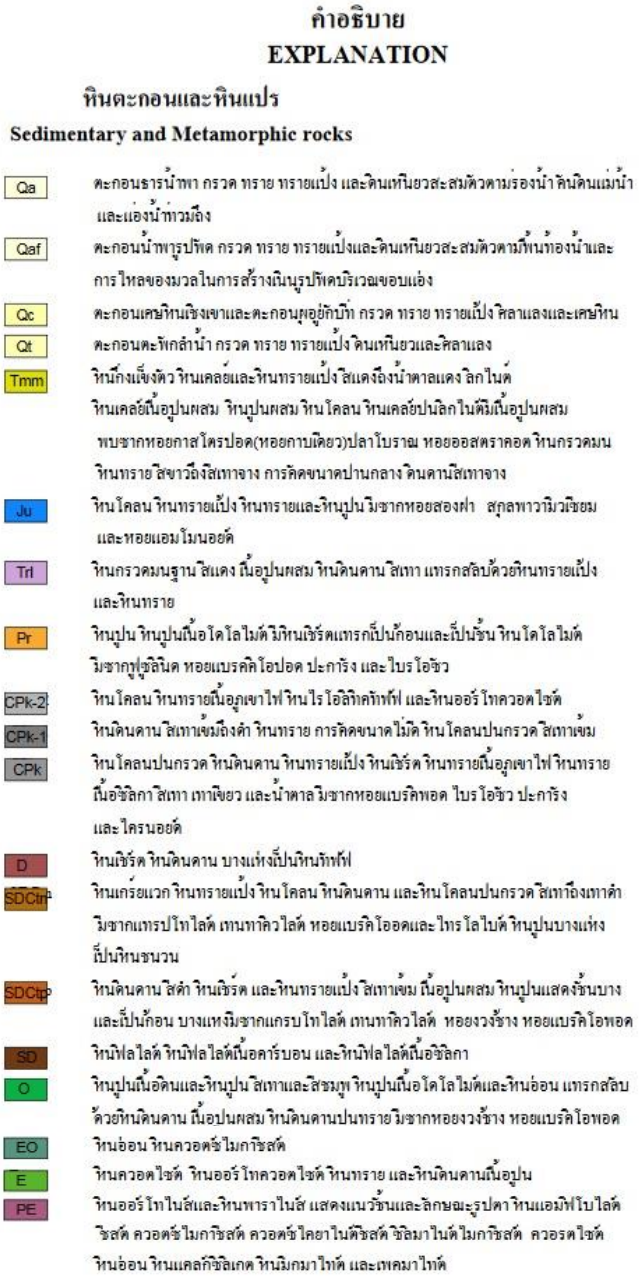
แหล่งแร่หินแกรนิตในเขตพื้นที่ประทานบัตรแปลงนี้ จากการสำรวจพบเกิดอยู่ทั่วไปในบริเวณพื้นที่ฟอร์มตัวเป็นภูเขาเตี้ยๆ ที่มีความสูงประมาณ 40-115 เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง วางตัวอยู่ในแนวตะวันออกเฉียงเหนือ-ตะวันตกเฉียงใต้ ลักษณะของหินเป็นหินอัคนีสีจาง (ขาวอมเทา) มีแร่ประกอบหินต่างๆกระจัดกระจายเสมอทั่วเนื้อหิน มีเปลือกดินปิดทับแหล่งแร่น้อยมาก ความหนาของเปลือกดินโดยเฉลี่ยประมาณ 1-3 ฟุต โดยทั่วทั้งพื้นที่ประกอบด้วยหินแกรนิตแบบหินโผล่ให้เห็น (Out Crop) ชัดเจนเป็นส่วนใหญ่และต่อเนื่อง มีเฉพาะบางส่วนคือบริเวณเชิงเขาที่มีดินปกคลุม บริเวณผิวนอกของหินเกิดผุพังจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายนอกโดยทางด้านทิศตะวันออกของเนินเขา เนื้อหินจับตัวแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน พบรอยแตกร้าวน้อยและมีกระจายของแร่ประกอบหินสม่ำเสมอ

แร่ประกอบหินที่พบอยู่ทั่วไปในเนื้อหิน ได้แก่แร่เฟลด์สปาร์ที่มีลักษณะผลึกสี่เหลี่ยมสีขาว แร่ควอทซ์ที่มีลักษณะเป็นผลึกสีแก้วโปรงใส แร่ฮอนร์เบลนด์ (Hornblend) มีลักษณะเป็นผลึกแท่งสีดำ และแร่ไมก้าชนิดไบโอไทต์มีผลึกเป็นแผ่นบางๆ ซ้อนกันมีสีดำ ในส่วนลักษณะของหินทางด้านทิศตะวันตกของเนินเขา พบว่าเนื้อหินมีการแตกร้าวค่อนข้างมาก และพบสายเพกมาไทต์ (Pegmatite) แทรกอยู่ทั่วไป เนื่องจากการตกผลึกของแร่จากของไหลที่มีไอน้ำและไอของก๊าซต่างๆปนอยู่มาก ทำให้การตัดบล็อกมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสียค่อนข้างมากตลอดจนหินแผ่นที่ได้ขัดผิวให้มันแล้ว ในเนื้อหินยังพบว่ามีรอยแตกร้าวอยู่หลายแนว

หินแกรนิตในบริเวณนี้เกิดจากหินอัคนีแทรกซ้อน ที่เกิดจากการเย็นตัวและตกผลึกแม็กม่าซึ่งเป็นสารหลอมเหลวและอยู่ใต้เปลือกโลก เมื่อหมดความคล่องตัวในการเคลื่อนที่อุณหภูมิของหินหนืดจะสูญเสียไปเรื่อยๆ จนหินหนืดแข็งตัวและกลายเป็นหินในที่สุด ลักษณะโครงสร้างที่เกิดแทรกดันตัวขึ้นมา บริเวณในเขตพื้นที่ประทานบัตรและบริเวณใกล้เคียงเป็น Discordant Pluton คือ การที่มวลหินอัคนีแทรกซ้อนที่ตัดผ่านแนวของชั้นหินท้องที่ โผลให้เห็นในลักษณะที่เรียกว่าลำหินอัคนี Stock ซึ่งมีลักษณะเป็นมวลอัคนีแทรกซอนระดับความลึกขนาดใหญ่รูปร่างภายนอกไม่แน่นอน มีอาณาเขตพื้นที่ประมาณ 10-15 ตารางกิโลเมตร



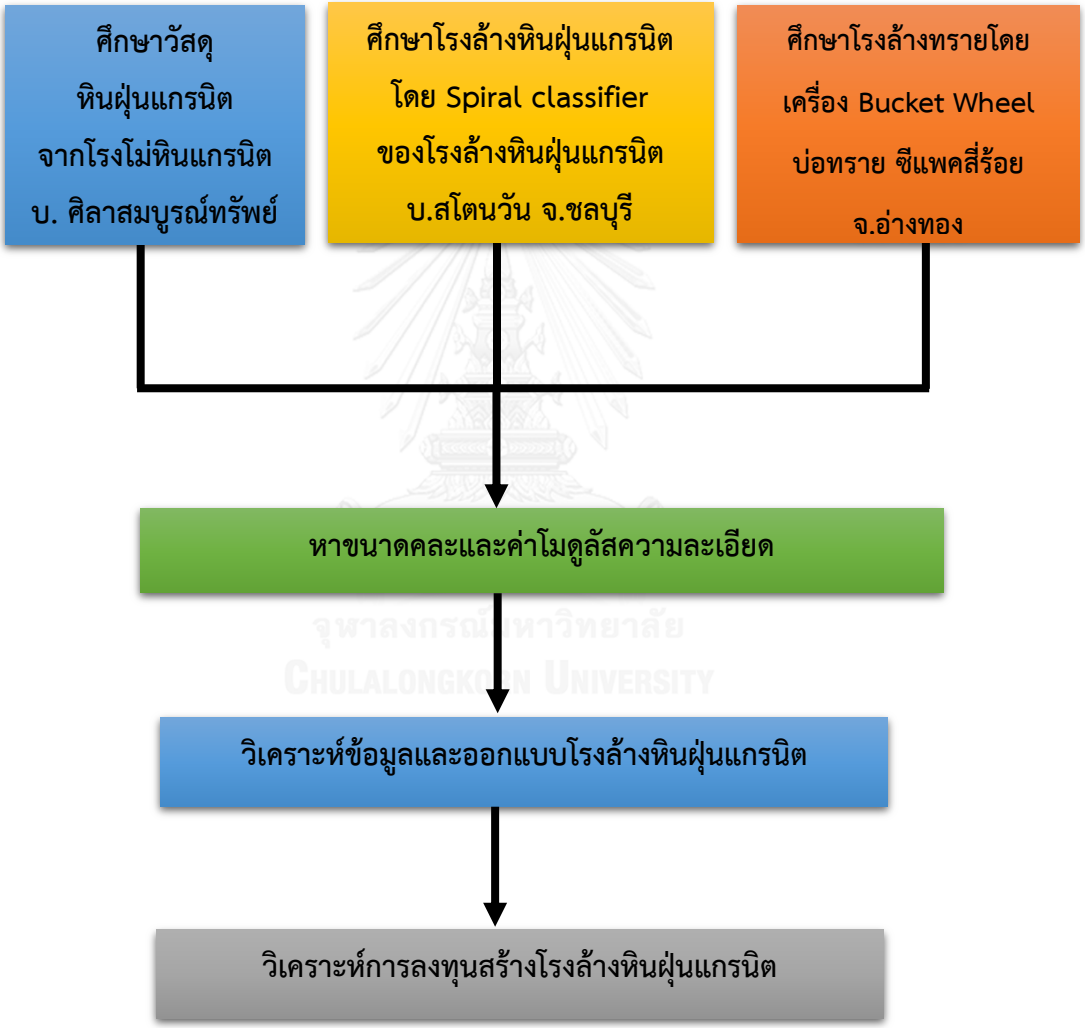
รูปที่ 2.24 แผนที่ทางธรณีวิทยาของจังหวัดกาญจนบุรี (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)



รูปที่ 2.25 คำอธิบายแผนที่ทางธรณีวิทยาของจังหวัดกาญจนบุรี (กรมทรัพยากรธรณี, 2551)

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ นั่นคือ 1) ศึกษาลักษณะโรงล้างหินฝุ่น แหล่งหินแกรนิตหนองข่า ของบริษัทสโตนวัน จำกัด (มหาชน) จ.ชลบุรี และบ่อทรายซีแพคสี่ร้อย จ. อ่างทอง 2)เก็บตัวอย่าง 3) การหาขนาดคละ (gradation) ของหินฝุ่นแกรนิต



รูปที่ 3. 1 flow chart แสดงกระบวนการในการวิจัย

3.1 รวบรวมข้อมูลกรณีศึกษาเบื้องต้น

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการรวบรวมข้อมูลโรงล้างหินฝุ่น ของบริษัทสโตนวัน อ.หนองข่า จ.ชลบุรี และโรงล้างทรายก่อสร้าง บ่อทราย ซีแพคสี่ร้อย จ.อ่างทอง รวมถึงลักษณะหินฝุ่นแกรนิตที่จะออกแบบสร้างโรงล้างหินฝุ่น ของบริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ จ.กาญจนบุรี

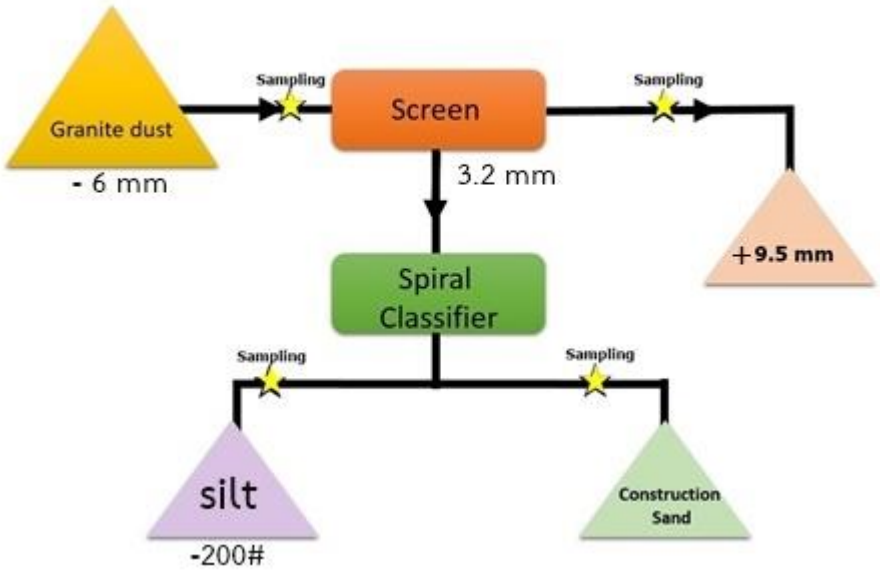
3.2 การเก็บตัวอย่าง

ในการศึกษาในครั้งนี้ได้ออกสนามเพื่อเก็บตัวอย่างทั้งหมด 3 พื้นที่ คือ โรงล้างหินฝุ่นของบริษัทสโตนวัน จำกัด (มหาชน) จ.ชลบุรี โรงล้างทรายบ่อทรายซีแพคสี่ร้อย จ.อ่างทอง และแหล่งหินแกรนิตเขาน้อยเจ้าเจ็ด ของบริษัท ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ จำกัด

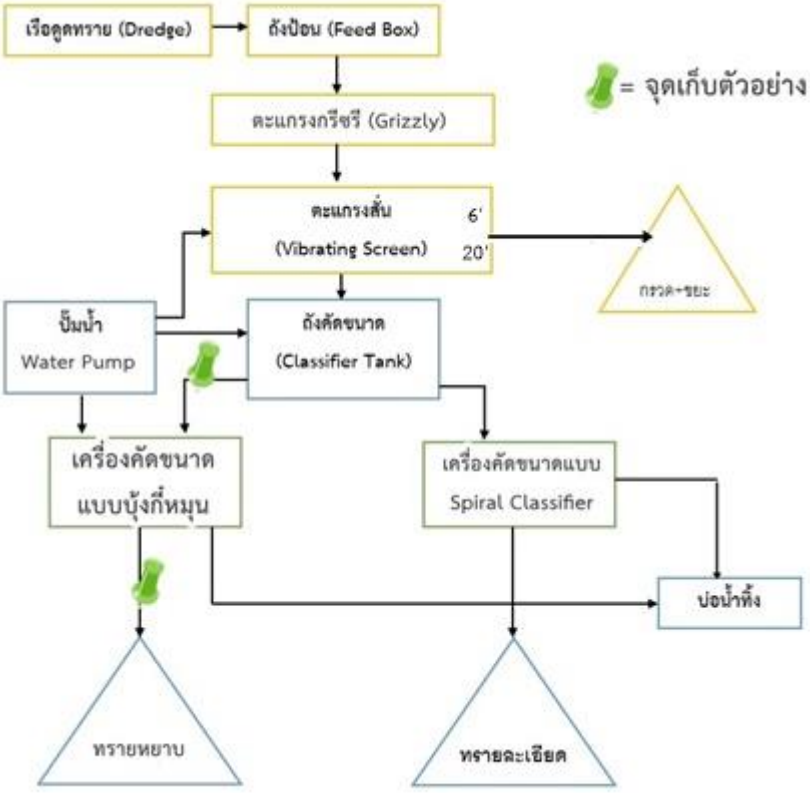
โดยแบ่งการเก็บตัวอย่างออกเป็น จากแหล่งสโตนวัน 8 ตัวอย่าง จากแหล่งบ่อทรายซีแพคสี่ร้อย 2 ตัวอย่าง และจากแหล่งหินฝุ่นแกรนิตศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ 4 ตัวอย่าง ดังตาราง 3.1 โดยในโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตสโตนวันนั้นจะเก็บตัวอย่างจากบริเวณโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตทั้งหมด 4 จุด ดังรูป 3.2 และที่โรงล้างทราย บ่อทราย ซีแพคสี่ร้อย จะเก็บตัวอย่างที่บริเวณก่อนและหลังเข้าเครื่อง Bucket Wheels รูป3.3 เพื่อมาเทียบเคียงวิเคราะห์เป็นโมเดลในการออกแบบโรงล้างให้แหล่งเขาน้อยเจ้าเจ็ดอีกครั้ง

ตารางที่ 3.1 แสดงชนิดและจำนวนตัวอย่างที่เก็บ

ลำดับ	รายการ	จำนวนตัวอย่าง
บริษัทสโตนวัน		
1	หินฝุ่นแกรนิต (ก่อนเข้ากระบวนการ)	2
2	หินเกล็ด (ที่ออกจากโรงล้างหินฝุ่น)	2
3	Silt	2
4	หินฝุ่นแกรนิต (หลังออกจากกระบวนการ)	2
บ่อทราย ซีแพคสี่ร้อย		
5	ทรายก่อสร้าง (ก่อนเข้าเครื่อง Bucket wheels)	1
6	ทรายก่อสร้าง (หลังเข้าเครื่อง Bucket wheels)	1
บ.ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์		
7	หินฝุ่นแกรนิต	2
8	หินเกล็ด	2
รวมทั้งหมด		14



รูปที่ 3.2 แผนผังการเก็บตัวอย่างที่โรงล้างหินฝุ่นแกรนิต บริษัทสโตนวัน



รูปที่ 3.3 แผนผังการเก็บตัวอย่างที่โรงล้างทรายบ่อทรายซีแพคสี่ร้อย

โดยมีรายละเอียดการเก็บตัวอย่างดังนี้

1) กำหนดขอบเขตและพื้นที่เก็บตัวอย่าง โดยขอบเขตการเก็บตัวอย่างแบ่งออกเป็น 3 สถานที่ดังนี้

ก. บริษัทสโตนวัน เก็บทั้งหมด 4 จุด คือ หินฝุ่นแกรนิตก่อนเข้ากระบวนการล้าง ขนาด – 6 mm หลังจากออกจากตะแกรง (กองหินเกล็ดของโรงล้างหินฝุ่น) มีขนาด ไม่เกิน – 9.5 mm หลังจากผ่านเครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier อีก 2 จุด คือกองหินซิลต์(Silt) ซึ่งจะมีขนาดน้อยกว่า -200# และหินฝุ่นล้าง (CGF) มีขนาด 0.5- 1 mm โดยประมาณ ดังรูปที่3.2

ข. บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย เก็บทั้งหมด 2 จุด คือ จุดก่อนเข้าเครื่องบุ้งกี๋หมุน และหลังจากออกเครื่องบักเก็ตวีล ซึ่งมีขนาด 0.5- 1 mm (รูปที่3.3)

ค. บริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ เก็บทั้งสิ้น 2 จุดคือ กองหินฝุ่น และหินเกร็ด

2) เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่าง ได้แก่ พลั่วตักดิน ,ถุงเก็บตัวอย่าง , ปากกาเคมี , กล้องถ่ายภาพ สมุดบันทึก เป็นต้น

3) เก็บตัวอย่างโดยสุ่มตักจากกองเก็บ หรือบนสายพานที่กล่าวไว้ตามรูป3.2และ3.3

4) ตักตัวอย่างโดยใช้พลั่วใส่ถุงเก็บตัวอย่าง จุดละประมาณ 10-15 กิโลกรัม (รูปที่ 3.6)

5) เขียนชื่อตัวอย่างและชนิดหินลงบนถุงเก็บตัวอย่าง เพื่อความสะดวกในการทดสอบต่อไป

รูปที่ 3.4 ภาพบริเวณโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต บริษัทสโตนวัน

รูปที่ 3.5ภาพบริเวณโรงล้างทราย บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย

รูปที่ 3.6 ภาพแสดงจุดที่เก็บตัวอย่าง บริษัทสโตนวัน ก = การเก็บตัวอย่างหินฝุ่นก่อนเข้าโรงล้างโดยวิธีการสุ่ม ข = หินฝุ่นแกรนิตก่อนเข้ากระบวนการ ค= การเก็บตัวอย่างหินเกร็ดโดยวิธีการสุ่ม และ ง = หินเกร็ด

รูปที่ 3.7 ภาพแสดงจุดที่เก็บตัวอย่าง จากบริษัทสโตนวัน (ต่อ) ก= การเก็บตัวอย่างหินฝุ่นหลังเข้าโรงล้างโดยวิธีการสุ่ม ข = หินฝุ่นแกรนิต (หลังออกจากกระบวนการล้าง) ค= การเก็บตัวอย่างทรายขนาดSilt โดยวิธีแบบสุ่ม และ ง = ทรายขนาดSilt

รูปที่ 3.8 ภาพแสดงจุดที่เก็บตัวอย่างจาก บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย จ.อ่างทอง ก= การเก็บตัวอย่างทรายก่อนเข้าเครื่อง Bucket wheel ข = ลักษณะทรายก่อนเข้าเครื่องคัดขนาด ค= การเก็บตัวอย่างทรายหลังออกจากเครื่อง Bucket wheel บนสายพาน และ ง=ลักษณะทรายหลังเข้าเครื่องBucket wheel

รูปที่ 3.9 ก=ภาพพื้นที่กองสต็อกหินฝุ่นแกรนิต และข =ลักษณะตัวอย่างจากบริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์

3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่าง ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF)

ในการวิเคราะห์ครั้งนี้ ทำการชักตัวอย่างด้วยวิธีการทำ Jones Riffler จนได้ตัวอย่างปริมาณ 200 กรัม จากนั้นนำตัวอย่างมาบดอัดจนมีขนาด 60 เมช (mesh) ด้วยเครื่องบดแบบถ้วย (Vibrating cup mill) ซึ่งเป็นเครื่องบดสินแร่ด้วยแรงสั่น โดยใช้หลักการกระแทกและขัดสีตามแรงสั่น โดยใช้เวลาประมาณ 3 -5 นาที แล้วนำตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ไปอัดเป็นแผ่นโดยการใส่ลงไปในถ้วยอะลูมิเนียม แล้วอัดด้วยเครื่องอัดขนาด 20 ตัน ใช้เวลาประมาณ 20 วินาที จนได้ตัวอย่างเป็นแผ่นแบนแล้วจึงนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องการเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) เพื่อดูองค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างต่อไป

3.4 การหาขนาดคละ (gradation)

อุปกรณ์

1) เครื่องชั่งน้ำหนัก
2) ตู้อบ Oven
3) เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (Mechanical Sieve Shaker) ต้องมีการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งหรือในแนวราบและดิ่งปนกัน เพื่อที่จะให้อนุภาคกระแทกและกลิ้งไปมาบนผิวตะแกรงอย่างทั่วถึง
4) ตะแกรงร่อน (เบอร์ 3/4",4,7,16,30,50,100,200 และ PAN)

รูปที่ 3.10 เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน (Mechanical Sieve Shaker) และตะแกรงมาตรฐาน

วิธีการทดสอบ

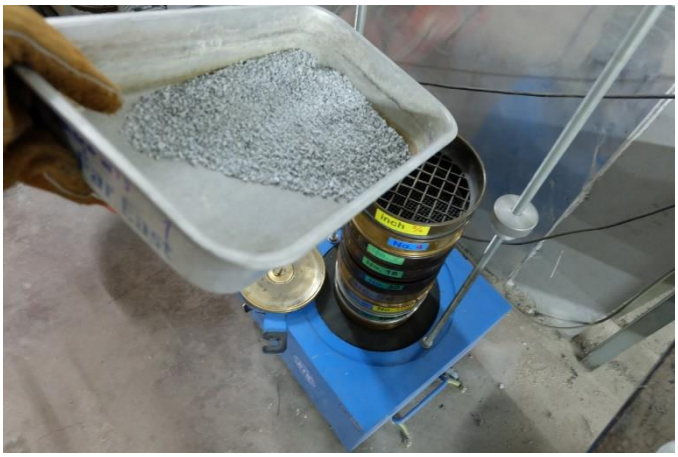
1) ชักตัวอย่างแบบสุ่มในแต่ละจุดเก็บ โดยในแต่ละครั้งใช้ตัวอย่างอยู่ที่ 1 กิโลกรัม
2) นำตัวอย่างทดสอบไปอบที่อุณหภูมิ 110 ±5 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างแห้ง (ประมาณ 24ชั่วโมง) ดังรูป3.10
3) ชั่งน้ำหนักทรายหลังอบแห้ง

4) นำตะแกรงขนาด เบอร์ ¾”, 4#,7#,16#,30#,50#,100#,200# และ PAN มาวางซ้อนกันเป็นชุดบนเครื่องเขย่า (Mechanical Seive Shaker) โดยเรียงให้ตะแกรงขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ชั้นบน
5) เทตัวอย่างลงบนตะแกรงบนสุด ปิดฝาให้แน่นแล้วนำเข้าเครื่องเขย่า เขย่าทรายที่ค้างบนตะแกรงไปยังตะแกรงถัดไป ซึ่งให้เวลาราว 20 นาที ดังรูป3.11
6) ชั่งน้ำหนักที่ค้างบนแต่ละตะแกรง และทำการเปรียบเทียบน้ำหนักรวมทั้งหมดของทรายหลังการร่อนกับน้ำหนักทรายแห้งเริ่มแรกก่อนการร่อน ถ้าหากพบว่ามีค่าแตกต่างมากกว่า 0.3% ของน้ำนักแห้งก่อนร่อน แสดงว่ามีทรายหายไปขณะทำการทดสอบซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดในการชั่งหรือการทดสอบ ดังนั้นไม่ควรทำผลการทดสอบมาพิจารณา
7) คำนวนหา
    - เปอร์เซ็นต์ที่ค้างตะแกรงแต่ละขนาด
    - เปอร์เซ็นต์ที่ค้างสะสมบนตะแกรงแต่ละขนาด
    - เปอร์เซ็นต์ที่ผ่านสะสมบนตระแกรงแต่ละขนาด

โดยใช้น้ำหนักแห้งก่อนการทดสอบเป็นฐานในการคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ต่างๆ

8) คำนวณหาค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus, F.M.) ได้จากการรวมค่าเปอร์เซ็นต์ที่ค้างสะสมแต่ละขนาด หารด้วย 100 โดยคำนวณตามขนาดตะแกรงดังนี้ เบอร์ 100 , เบอร์ 50, เบอร์ 30, เบอร์ 16, เบอร์ 7, เบอร์ 4 และเบอร์ ¾”

รูปที่ 3. 11 เครื่องอบ (Oven) ที่นำตัวอย่างไปอบ



รูปที่ 3. 12 เทตัวอย่างหินฝุ่นลงไปในเครื่อง (Mechanical Sieve Shaker)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการศึกษาในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นผลการศึกษากรณีศึกษาโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต แหล่งหินหนองข่า บริษัทสโตนวัน จ.ชลบุรี และโรงล้างทราย บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย จ.อ่างทอง

4.1 ผลการศึกษากรณีศึกษา โรงล้างหินฝุ่นแกรนิต แหล่งหินหนองข่า บริษัทสโตนวัน

บริษัทสโตนวัน จำกัด (มหาชน) จดทะเบียนจัดตั้งบริษัท เมื่อวันที่ 25 มกราคม 2539 ประกอบธุรกิจเหมืองหินและบ่อทราย ซึ่งได้รับสัมปทานเหมืองและใบอนุญาตบ่อทรายในหลายพื้นที่ทั่วประเทศไทย โดยผลิตและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์หินอุตสาหกรรมและทรายเพื่อใช้ในการก่อสร้าง รวมถึงการให้บริการด้านโลจิสติกส์ เพื่อการขนส่งสินค้าและบริหารจัดการควบคุมสต๊อคสินค้าให้แก่ลูกค้าที่หน่วยงานอย่างครบวงจร

ผลิตและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์หินอุตสาหกรรมและทราย โดยมีเหมืองหินและบ่อทราย 3 แห่ง

1. เหมืองหินอุตสาหกรรม (หินแกรนิต) หนองข่า ตั้งอยู่ที่ ตำบลบางพระ อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี
2. เหมืองหินอุตสาหกรรม (หินปูน) จอมบึง ตั้งอยู่ที่ ตำบลจอมบึง อำเภอจอมบึง จังหวัดราชบุรี
3. บ่อทราย - ป่าโมก ตั้งอยู่ที่ตำบลนรสิงห์ อำเภอป่าโมก จังหวัดอ่างทอง

นอกจากนั้นยังมีบริการด้านโลจิสติกส์ เพื่อการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุกรวมถึงการบริหารจัดการควบคุมสต๊อคสินค้าให้แก่ลูกค้าที่หน่วยงานอย่างมีระบบและประสิทธิภาพ

4.1.1 ลักษณะที่ตั้งและภูมิประเทศ

เหมืองหินหนองข่า ตั้งอยู่เลขที่ 70/2 หมู่บ้านหนองข่า หมู่ที่ 11 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี โดยมีพื้นที่กลุ่มประทานบัตร จำนวน 2 แปลง ได้แก่ ประทานบัตร 21400/15786 และ 21375/15320 ซึ่งร่วแผนผังโครงการเดียวกันเพื่อทำเหมืองหินอุตสาหกรรม ชนิดหินแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้างโดยวิธีเหมืองหาบ มีเนื้อที่รวม 317-0-22.0 ไร่ หรือ 126,822.0 ตารางวา และ

98-1-94.0 ไร่ หรือ 39,394.0 ตารางวา ตามลำดับ ปรากฏอยู่ในแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1: 4,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวาง 5135-II-1664 และ 5135-I-1666

รูปที่ 4. 1 แผนที่เหมืองหินแกรนิตหนองข่า บริษัทสโตนวัน

รูปที่ 4.2 ลักษณะหน้าเหมืองหินแกรนิต (บริษัทสโตนวัน จำกัด (มหาชน))

4.1.2 โรงโม่หินแกรนิตสโตนวัน

โรงโม่หินแกรนิตของบริษัทสโตนวัน มีกำลังการผลิตที่ 500 ตัน/ชั่วโมง โดยทำงานที่ 13 ชั่วโมงต่อวัน โดยมีการทำงานพอสังเขปดังนี้

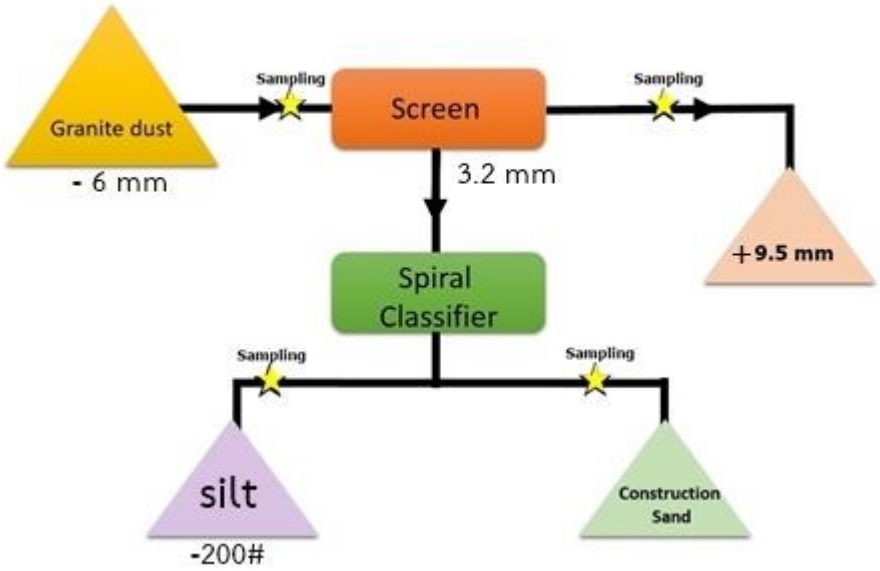
หินแกรนิตที่ได้จากการทำเหมืองจะถูกรถบรรทุก มาเทใส่ยุ้ง (Hopper) โดยมีขนาดหินประมาณ800มิลลิเมตร จากนั้นจึงไปผ่านเครื่องป้อนแร่แบบแท่งตะแกรง (Grizzly Feeder) ขนาดรูตะแกรง 4 นิ้ว หินที่มีขนาดโตกว่า 4 นิ้วจะป้อนเข้าเครื่องย่อยจอว์ (Jaw Crusher) ส่วนหินที่เล็กกว่า

4 นิ้วไปป้อนตะแกรงสั่นมีขนาดรู 25 มิลลิเมตร ทำให้ได้ผลผลิตเป็นหินคลุก B ที่มีปริมาณ 4-5 % ของกระบวนการทั้งหมด ส่วนหินที่ขนาดโตกว่า 25 มิลลิเมตรก็จะถูกลำเลียงไปรวมกับหินที่ผ่านการย่อยจากเครื่องย่อยจอว์ (Jaw Crusher) ซึ่งจะนำไปกักเก็บที่ กองหินใหญ่ (Surge pile)

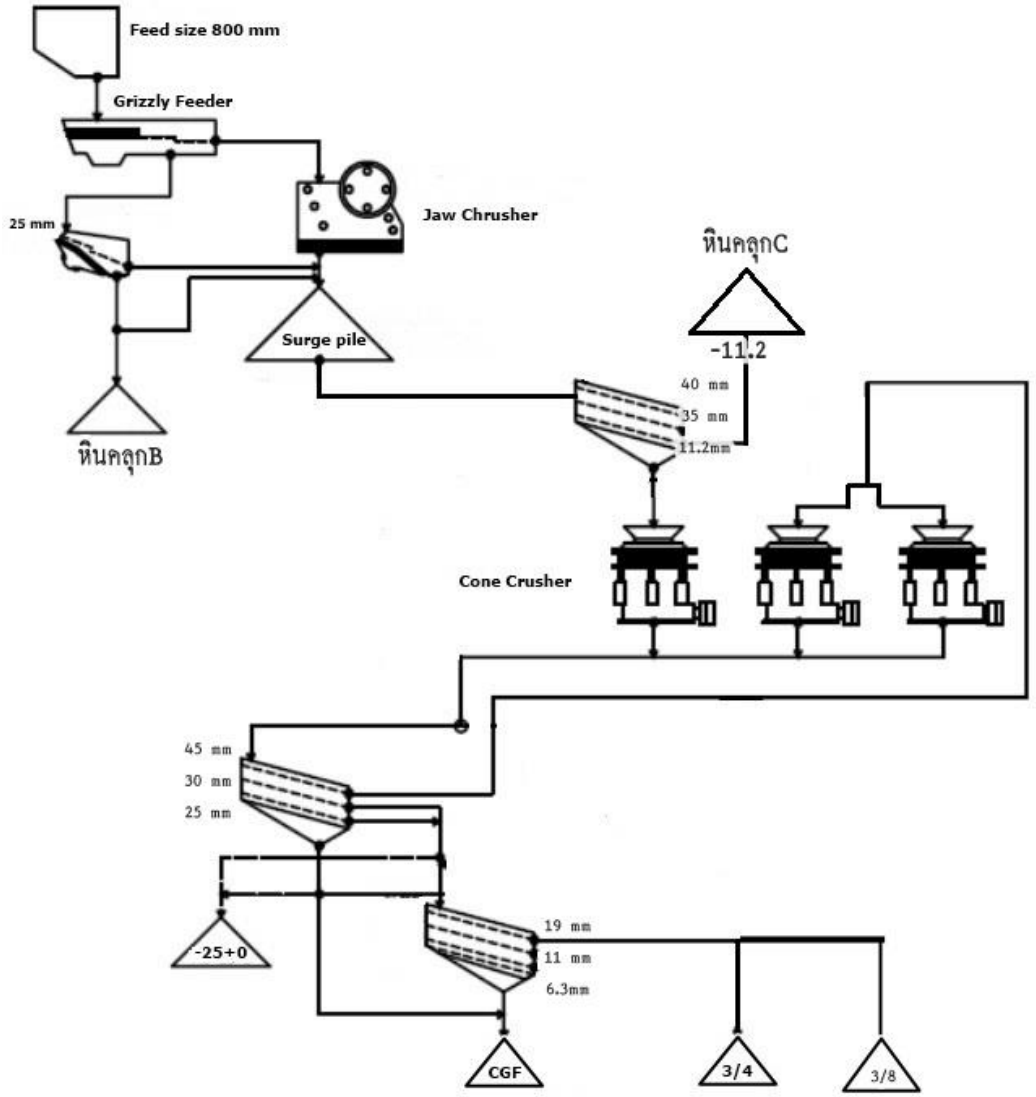
จากนั้นจึงได้นำไปคัดขนาดที่ตะแกรง ขนาด 40,35,11.2 มิลลิเมตร โดยหินที่มีขนาดเล็กกว่า 11.2 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตเป็น หินคลุก C ส่วนหินที่มีขนาดใหญ่กว่า 11.2 จะส่งไปย่อยขั้นที่ 2 ที่เครื่องย่อยแบบกรวย (Cone Crusher) แล้วจึงไปผ่านตะแกรงคัดขนาด ขนาด 45,30,25 มิลลิเมตร หินที่มีขนาดใหญ่กว่า 25 มิลลิเมตรก็จะวนไปย่อยซ้ำที่เครื่องย่อยแบบกรวยตัวที่ 2 และ 3 ต่อไป สำหรับหินมีขนาดเล็กกว่า 25 มิลลิเมตร จะถูกลำเลียงผ่านตระแกรงคัดขนาด ขนาด 19,11,6.3 มิลลิเมตร โดยหินขนาดใหญ่กว่า 6.3 จะได้ผลผลิตเป็นหินเบอร์หนึ่ง ซึ่งมีขนาดอยู่ระหว่าง 3/8-3/4 นิ้ว ส่วนหินที่มีขนาดเล็กกว่า 6.3 เป็นผลผลิตที่เรียกว่าหินฝุ่นแกรนิต ดังรูป 4.4

4.1.3 โรงล้างหินฝุ่นแกรนิตบริษัทสโตนวัน

หินฝุ่นแกรนิต ที่ได้จากกระบวนการย่อยจากโรงโม่หินจะถูกเชื่อมด้วยสายพาน มายังโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต เพื่อปรับปรุงคุณภาพของผลผลิต โดยมีกระบวนการตามรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงกระบวนการล้างหินฝุ่นแกรนิตหนองข่า บริษัทสโตนวัน



รูปที่ 4. 4 แผนภาพแสดงกระบวนการย่อยหินของโรงโม่หินแกรนิตหนองข่า
(บริษัทสโตนวัน จำกัด (มหาชน))

โดยกระบวนการล้างหินฝุ่นแกรนิต (รูป4.5) เมื่อลำเลียงผ่านสายพานแล้วจะนำมาผ่านตระแกรงสั่นคัดขนาด ขนาด 8 และ 4.7 มิลลิเมตร (รูป4.6) หินที่มีขนาดใหญ่กว่า 4.7 มิลลิเมตรจะถูกคัดไปกอง ทำให้ได้ผลผลิตคือหินเกร็ด ที่มีขนาดของหินในช่วง 4.7- 8 มิลลิเมตร หรือมีขนาดระหว่าง ¼ - 3/8 นิ้ว ส่วนหินที่มีขนาดเล็กกว่า 4.7 มิลลิเมตร จะนำไปผ่านเครื่องคัดขนาด Spiral Classifier (รูป 4.7) ซึ่งได้กล่าวถึงหน้าที่ของเครื่องมือไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.6.3 จึงทำให้ได้ผลผลิต 2 กอง นั้นคือ หินฝุ่นแกรนิตล้าง และ ทรายขนาดsilt

รูปที่ 4.5 ภาพรวมของโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตบริษัทสโตนวัน

รูปที่ 4. 6 ตะแกรงสั่นคัดขนาดในโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต

รูปที่ 4. 7 เครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier ในโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต

4.1.4 ผลการหาขนาดคละ (gradation) และโมดูลัสละเอียด (Fineness Modulus, F.M.)

ผลการหาขนาดคละและโมดูลัสละเอียดในหัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างจากพื้นที่ศึกษาทั้งสิ้น 8 ตัวอย่าง โดยเป็นตัวอย่างจากโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต บริษัทสโตนวัน (ตารางที่ 3.1) ซึ่งตัวอย่างทั้งหมดจะนำมาทำการทดลองหาขนาดคละและโมดูลัสละเอียด และเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ASTM Standard C-33 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานสำหรับงานวัสดุผสมคอนกรีต (Concrete Aggregates) โดยค่าโมดูลัสละเอียดที่ได้รับการยอมรับจากผู้ประกอบการซีเมนต์เท่ากับ 2.4-3.0 และมีช่วงขนาดคละตามตาราง 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่ามาตรฐานช่วงคละของทรายหยาบ ตามมาตรฐาน ASTM C-33
(The Concrete products and Aggregate Co., 2543)

Sieve no.	ASTM STANDARD C-33		Market standard	
	Coarse (B-)	Fine (C-)	Coarse (B)	Fine (C)
3/8"	100	100	100	100
NO.4	95	100	96	99
NO.8	80	100	85	95
NO.16	50	85	59	76
NO.30	25	60	34	51
NO.50	10	30	15	25
NO.100	2	10	4	8
PAN	0	0	0	0

ASTM Standard หรือมาตรฐานช่วงคละที่ของทรายหยาบนั้นตามตาราง 4.1 ตะแกรง 3/8” ไม่ควรเกิน 100 และ ตะแกรง NO.4 ควรอยู่ในช่วง 95-100 ตะแกรง NO.8 ควรอยู่ในช่วง 80-100 ตะแกรง NO.16 ควรอยู่ในช่วง 50-85 ตะแกรง NO.30 ควรอยู่ในช่วง 25-60 ตะแกรง NO.50 ควรอยู่ในช่วง 10-30 ตะแกรง NO.100 ควรอยู่ในช่วง 2-10 และ PAN หรือขนาดที่ -100 ควรมีเปอร์เซ็นต์ไม่เกิน 5-7 %

Market standard หรือมาตรฐานช่วงคละของทรายหยาบที่เหมาะสมแก่ผู้ประกอบการซีเมนต์ ตามตาราง 4.1 ตะแกรง 3/8” ไม่ควรเกิน 100 และ ตะแกรง NO.4 ควรอยู่ในช่วง 96-99

ตะแกรง NO.8 ควรอยู่ในช่วง 85-95 ตะแกรง NO.16 ควรอยู่ในช่วง 59-76 ตะแกรง NO.30 ควรอยู่ในช่วง 34-51 ตะแกรง NO.50 ควรอยู่ในช่วง 15-25 ตะแกรง NO.100 ควรอยู่ในช่วง 4-8 และ PAN หรือขนาดที่ -100 ควรมีเปอร์เซ็นต์ไม่เกิน 5 %

ก. ก่อนเข้ากระบวนการล้าง

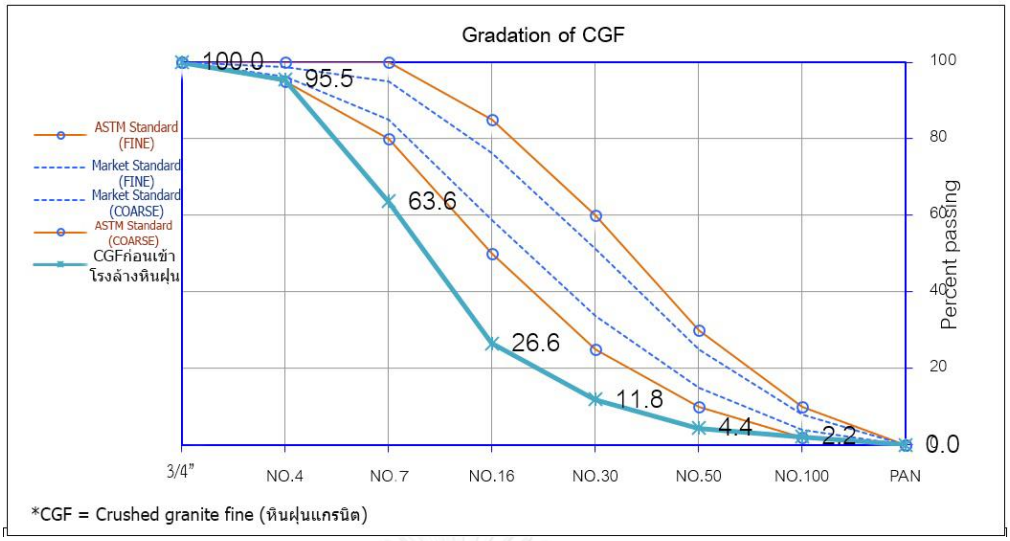
จากการทดลองพบว่าการหาขนาดคละของมวลรวมของหินฝุ่นก่อนเข้ากระบวนการล้าง เมื่อเทียบกับ ASTM Standard และ Market Standard ตามตารางที่ 4.1 หินฝุ่นแกรนิตของบริษัทสโตนวันก่อนเข้ากระบวนการล้าง พบว่าช่วงขนาดที่อยู่ใน Standard Zone มีคือช่วงของขนาดตะแกรง ¾” , NO.4 และ NO.100 ตามตาราง 4.2 และรูป4.8 ส่วนช่วงขนาดคละที่ไม่ได้เกณฑ์มาตรฐาน(ไฮไลท์สีชมพู) นั้นอยู่ในช่วง NO.7 , NO.16 , NO.30 และ NO.50

และไม่พบช่วงขนาดที่อยู่ในเกณฑ์ Market zone เลย ซึ่งแสดงให้เห็นว่า หินฝุ่นแกรนิตก่อนล้างของบริษัทสโตนวันมีขนาดคละขนาดค่อนข้างหยาบและไม่ตรงตามเกณฑ์มาตรฐานที่ใช้งานคอนกรีต จำเป็นต้องมีการล้างก่อนที่จะนำไปทดแทนทรายก่อสร้างได้

นอกจากนั้นค่าโมดูลัสละเอียด (F.M.) ของหินฝุ่นแกรนิตก่อนเข้ากระบวนการล้างยังมีค่าสูงถึง 3.96 (วิธีคำนวนตามภาคผนวก) ทั้งนี้ค่า F.M. ที่เหมาะสมในงานคอนกรีตอยู่ที่ 2.4 – 3.0 เท่านั้น

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบการคำนวนหาค่า F.M.ของตัวอย่างหินฝุ่นแกรนิตก่อนเข้ากระบวนการล้าง

Sieve no.	Weight Sample Retained (gram.)	Cumulative% Retained	Percent Passing (%)	Spec limit
3/4"	0	0.0	100.0	100
NO.4	44	4.5	95.5	95 - 100
NO.7	309	36.4	63.6	80 - 100
NO.16	360	73.4	26.6	50 - 85
NO.30	143	88.2	11.8	25 - 60
NO.50	72	95.6	4.4	10 - 30
NO.100	22	97.8	2.2	2 - 10
PAN	21	100.0	0.0	
TOTAL	971.0	**F.M.**	3.96	



รูปที่ 4. 8 ขนาดคละของหินฝุ่นแกรนิตแหล่งหนองข่า บริษัทสโตนวัน (ก่อนเข้ากระบวนการล้าง)

ข. หลังเข้ากระบวนการล้าง

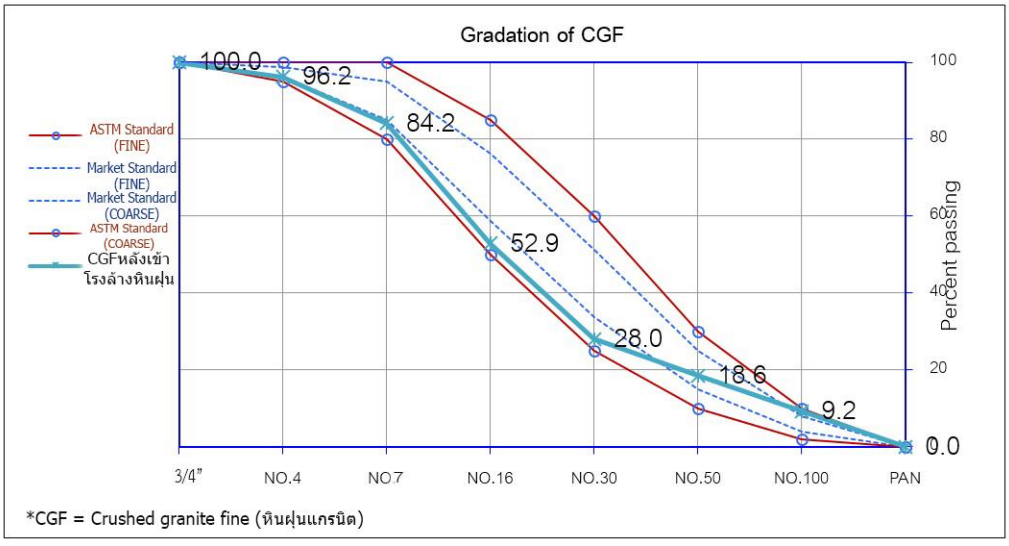
จากการทดลองพบว่าการหาขนาดคละของมวลรวมของหินฝุ่นก่อนเข้ากระบวนการล้าง เมื่อเทียบกับมาตรฐาน ASTM-C33 Standard และ Market Standard นั้น พบว่าปริมาณเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านสะสมของหินฝุ่นแกรนิตล้างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานASTMที่จำกัดไว้ทุกช่วงขนาด (ตารางที่4.2และรูปที่4.9)

แต่เมื่อเทียบกับ Market Standard สำหรับซีเมนต์แล้วยังพบว่ามี ช่วงNo.30และNo.16 น้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และพบว่ามีปริมาณของขนาดละเอียด ค้างในตะแกรงที่1 (เบอร์100) สูง คิดเป็น 9.2 % ของทั้งหมด ซึ่งตามมาตรฐานควรอยู่ไม่เกิน 5-7 % เท่านั้น

ทั้งนี้ค่าโมดูลัสความละเอียด ของหินฝุ่นแกรนิตที่ผ่านโรงล้างด้วยเครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier ของบริษัทสโตนวัน ยังเท่ากับ 3.11 (วิธีคำนวนตามภาคผนวก) ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ อีกด้วย

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบการคำนวนหาค่า F.M.ของตัวอย่างหินฝุ่นแกรนิตหลังเข้ากระบวนการล้าง

Sieve no.	Weight Sample Retained (gram.)	Cumulative% Retained	Percent Passing (%)	Spec limit
3/4"	0	0.0	100.0	100
NO.4	37.6	3.8	96.2	95 - 100
NO.7	120.4	15.8	84.2	80 - 100
NO.16	312.3	47.1	52.9	50 - 85
NO.30	248.2	72.0	28.0	25 - 60
NO.50	94.6	81.4	18.6	10 - 30
NO.100	93.6	90.8	9.2	2 - 10
PAN	91.8	100.0	0.0	
TOTAL	998.5	F.M.	3.11	



รูปที่ 4.9 ขนาดคละของหินฝุ่นแกรนิตแหล่งหนองข่า บริษัทสโตนวัน (หลังเข้ากระบวนการล้าง)

สรุป

จากผลการหาช่วงขนาดคละที่โดยเทียบกับมาตรฐานของ ASTM และ Market Standard พบว่าหินฝุ่นแกรนิตที่ล้างโดยกระบวนการแบบ Spiral Classifier ของบริษัทสโตนวันนั้น จากหินฝุ่นแกรนิตที่ไม่ได้มาตรฐาน ASTM เมื่อผ่านการล้างแล้ว จึงได้ขนาดคละในเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C-33

แต่ใน Market Standard ยังมีช่วงขนาดคละที่ไม่ได้มาตรฐานอยู่ และค่าโมดูลัสความละเอียดเมื่อผ่านการล้างแล้วลดลง แต่ยังไม่มากพอจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ผู้ประกอบการต้องการได้ ทั้งนี้ขนาดละเอียด -200# ยังมีมากกว่ามาตรฐานที่ตั้งไว้ ทำให้คุณภาพของหินฝุ่นแกรนิตอาจยังไม่ดีนัก

ซึ่งผลผลิตหินฝุ่นแกรนิตนี้ สามารถนำไปขายเพื่อทดแทนทรายก่อสร้างได้เนื่องจากได้มาตรฐาน ASTM แต่หากจะใช้หินฝุ่นแกรนิตทดแทนทรายก่อสร้าง 100% อาจยังไม่เหมาะสมนักหากจะนำไปใช้ ผู้ประกอบการจำเป็นต้องนำไปผสมกับทรายหยาบอีกส่วนหนึ่ง

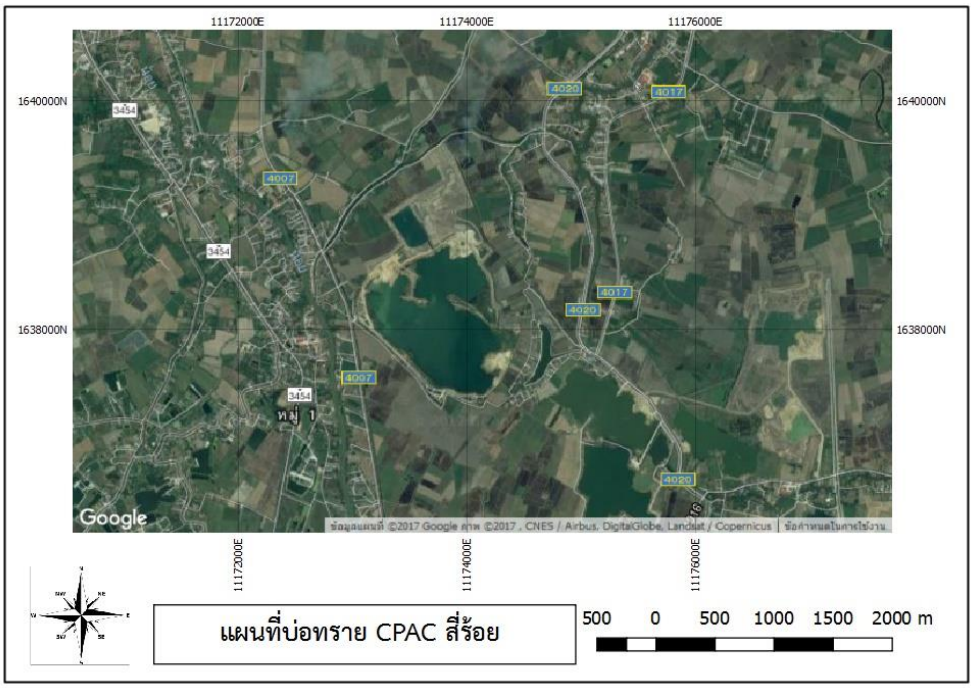
ทั้งนี้ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับเครื่องคัดขนาด โดยพบว่าเครื่องคัดขนาดที่เหมาะสมในการล้างดินทราย หรือมีหลักการคล้ายคลึงกับเครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier นั้นยังมีเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน (Bucket wheel) ที่เป็นที่นิยมในโรงล้างทราย จึงได้สนใจและออกภาคสนามเพื่อเก็บตัวอย่างมาทดลองเปรียบเทียบต่อไป

4.2 ผลการศึกษากรณีศึกษาบ่อทราย ซีแพคสี่ร้อย จ.อ่างทอง

บ่อทราย ซีแพคสี่ร้อย นี้ เป็นของบริษัท พลอยกาญจน์ อินเตอร์กรุ๊พ จำกัด มีพื้นที่โดยรวมโครงการประมาณ 1250 ไร่

4.2.1 ลักษณะที่ตั้งและภูมิประเทศ

บ่อทราย CPAC สี่ร้อย ตั้งอยู่บนเหมืองหินหนองข่า ตั้งอยู่บนเลขที่ หมู่ 4 ตำบล สี่ร้อย อำเภอ วิเศษชัยชาญ จังหวัด อ่างทอง ปรากฏอยู่ในแผนที่ภูมิประเทศมาตราส่วน 1: 4,000 ของกรมแผนที่ทหาร ระวาง 5038-II-4610 , 5038-II-4810 ,5038-II-4808 และ5038-II-4608

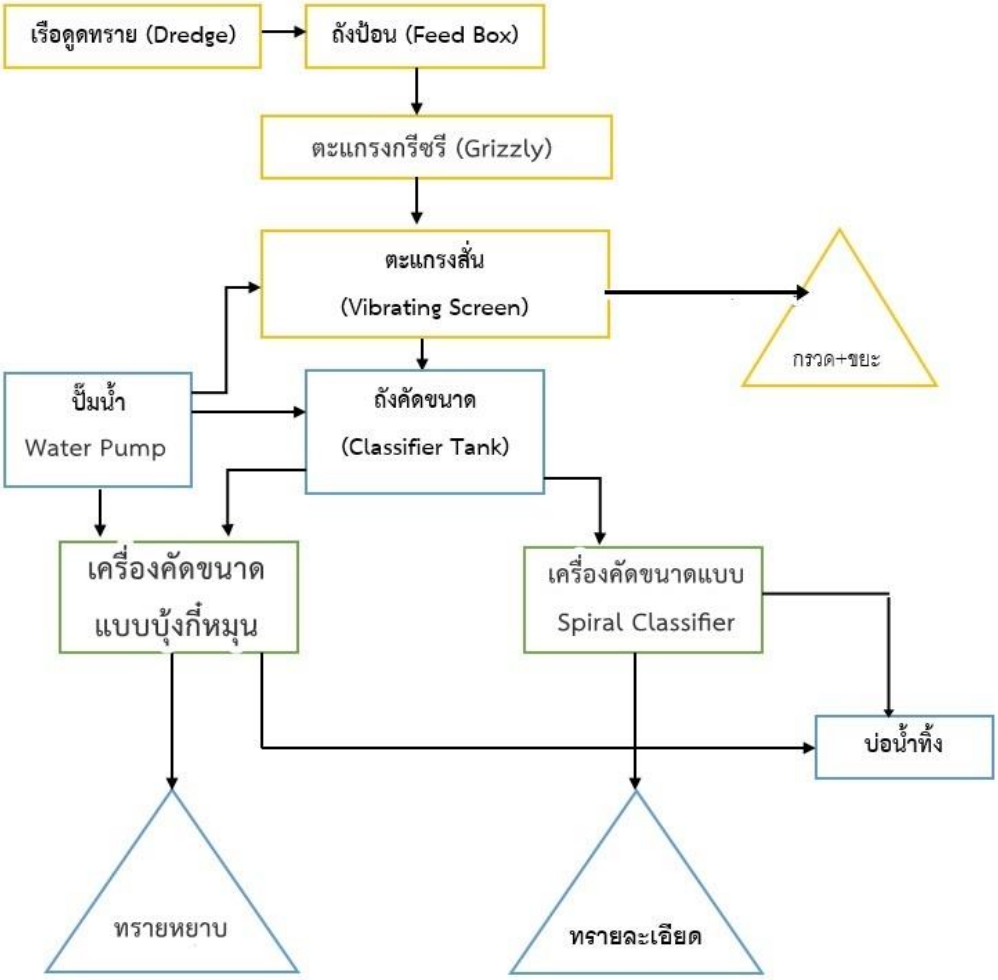


รูปที่ 4. 10 แผนที่บ่อทราย CPAC 400 จ.อ่างทอง

4.2.2 โรงล้างทราย บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย

เนื่องจากทรายบกนั้นมักจะมีดินและซากพืชซากสัตว์ปะปนอยู่ เมื่อจะนำทรายไปจำหน่ายหรือใช้งาน จะเป็นต้องทำความสะอาดเสียก่อน ซึ่งโรงล้างทรายก่อสร้างมีกระบวนการโดยสังเขปดังนี้ (รูป 4.11)

บ่อทรายสี่ร้อย จะมีเรือดูดทรายซึ่งทำงานได้ 300 ตัน/ชั่วโมง เพื่อปั๊มขึ้นมายังถังป้อน (Feed box) ก่อนจะผ่านมาที่ตะแกรงกระด้าง (Grizzly bar) เพื่อคัดเอาก้อนดิน ซากพืชซากสัตว์ออกไปในขั้นต้น แล้วจึงนำไปผ่านตะแกรงสั่น (Vibrating screen) ในขั้นตอนนี้จะคัดเอาก้อนดิน วัชพืช กรวดออกไป ส่วนทรายก็จะถูกคัดมายังถังคัดขนาด (Classifier Tank) ที่มีตัวกลางเป็นของไหล โดยดินและทรายขนาดเล็กที่เบาก็จะไหลออกไปกับน้ำและถูกดูดไปยังบ่อน้ำทิ้ง ซึ่งถังคัดขนาดนี้จะสามารถแยกทรายออกเป็น ทรายหยาบที่จะนำไปเข้ากระบวนการคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุนต่อไป ส่วนทรายละเอียดจะถูกป้อนไปที่เครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifierต่อไป ก่อนที่ทั้ง 2 จะลำเลียงโดยสายพานไปกองสต็อกไว้ ซึ่งกองสต็อกทรายหยาบมีปริมาณประมาณ 8,000 ตัน ส่วนกองสต็อกทรายละเอียดมีปริมาณประมาณ 4,000 ตัน



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.11 แผนภาพแสดงกระบวนการล้างทราย บ่อทราย ซีแพคสี่ร้อย

4.2.3 ผลการหาขนาดคละ (gradation) และโมดูลัสละเอียด (Fineness Modulus, F.M.)

ผลการหาขนาดคละและโมดูลัสละเอียดในหัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์ตัวอย่างจากพื้นที่ศึกษา บ่อทราย ซีแพคสี่ร้อย ทั้งสิ้น 2 ตัวอย่าง โดยเป็นตัวอย่างจากโรงล้างทราย บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย (ตารางที่ 3.1) ซึ่งตัวอย่างทั้งหมดจะนำมาทำการทดลองหาค่าโมดูลัสละเอียด ในบ่อทรายนี้ใช้เกณฑ์มาตรฐานของบริษัทซีแพค ซึ่งค่า F.M. ต้องอยู่ในช่วง 2.4-3.0 และเปรียบเทียบขนาดคละกับเกณฑ์มาตรฐาน ASTM Standard C-33 -78 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานสำหรับงานวัสดุผสมคอนกรีต (Concrete Aggregates) และเปรียบเทียบกับ Market Standard ที่เหมาะสมแก่ผู้ประกอบการซีเมนต์

ก. ตัวอย่าง ก่อนเข้าเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน

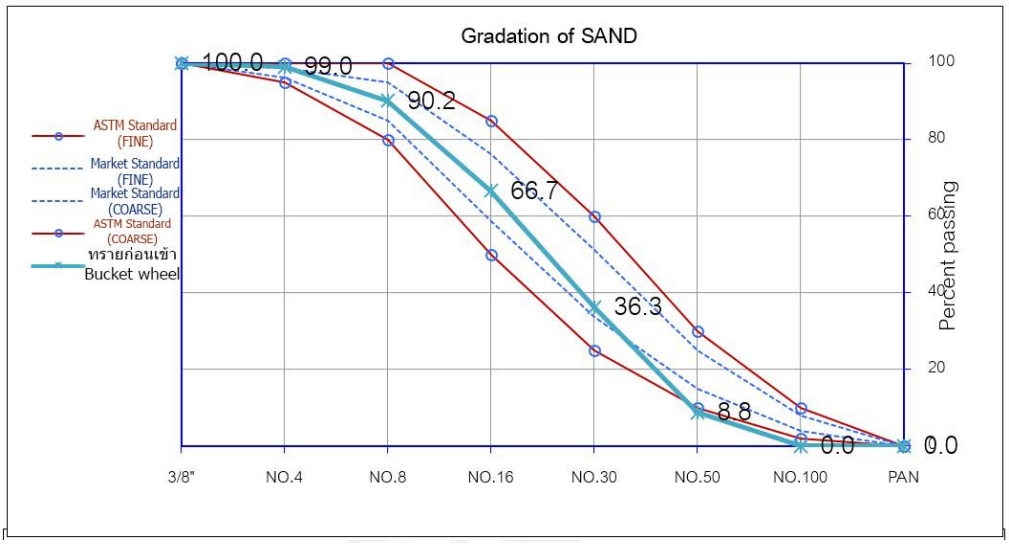
จากการทดลองพบว่าการหาขนาดคละของมวลรวมของทรายบกก่อนเข้ากระบวนการล้าง เมื่อเทียบกับมาตรฐาน ASTM-C33 Standard และ Market Standard นั้น พบว่าปริมาณเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านสะสมของทรายอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานASTMในช่วง 3/8” , No.4 , No.8 , No.16 No.30 (ตารางที่4.3และรูปที่4.12) แต่ช่วงขนาด No.50 และ No.100 ไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน(ไฮไลท์สีชมพู)มีปริมาณเปอร์เซ็นต์ผ่านสะสมน้อยกว่ามาตรฐาน ASTM C-33

เมื่อเทียบกับ Market Standard สำหรับซีเมนต์แล้วยังพบว่าส่วนมากอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ขนาดคละในช่วง No.50 และ No.100 มีปริมาณเปอร์เซ็นต์ผ่านสะสมน้อยกว่ามาตรฐาน แสดงว่าและส่วนปริมาณของขนาดละเอียดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ทั้งนี้ค่าโมดูลัสความละเอียด ของหินฝุ่นแกรนิตที่ผ่านโรงล้างด้วยเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุนของบ่อทรายซีแพคสี่ร้อย เท่ากับ 2.99 (วิธีคำนวนตามภาคผนวก) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และมีปริมาณฝุ่นเท่ากับ 2.86 %

ตารางที่ 4.4 ตารางเปรียบเทียบการคำนวนหาค่า F.M.ของตัวอย่างทราย บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย

Sieve no.	Weight Sample Retained	Cumulative% Retained	Percent Passing (%)	Spec limit
3/8"	0	0.0	100.0	100
NO.4	5.0	1.0	99.0	95 - 100
NO.8	45.0	9.8	90.2	80 - 100
NO.16	120.0	33.3	66.7	50 - 85
NO.30	155.0	63.7	36.3	25 - 60
NO.50	140.0	91.2	8.8	10 - 30
NO.100	45.0	100.0	0.0	2 - 10
PAN	0.0	100.0	0.0	
TOTAL	510.0	**F.M.**	**2.99**	



รูปที่ 4. 12 ขนาดคละของทรายก่อนเข้าเครื่อง Bucket wheel

ข. ตัวอย่าง หลังออกจากเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน

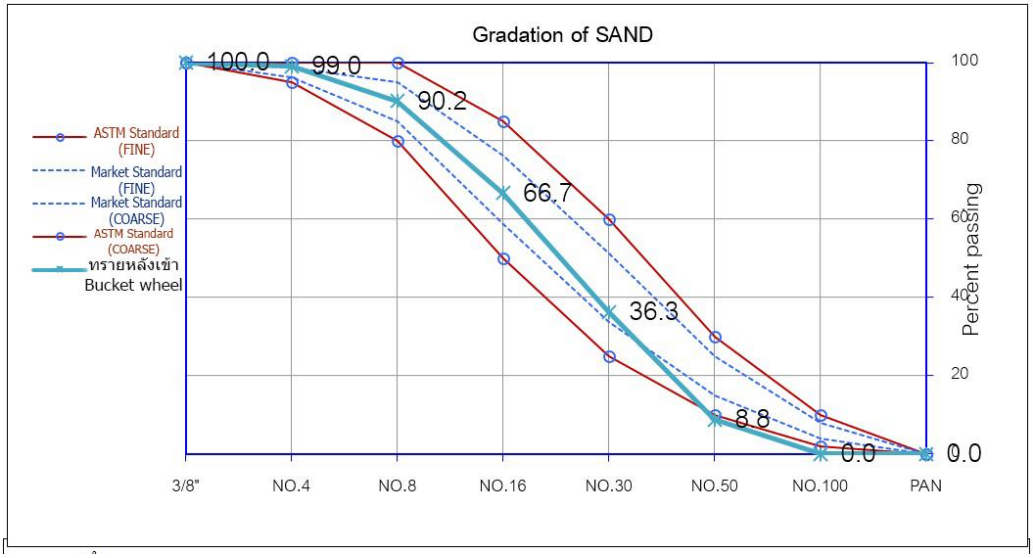
หลังจากทรายบกเข้าเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุนแล้ว ผลการหาช่วงขนาดคละและโมดูลัสความละเอียดเทียบกับมาตรฐาน ASTM-C33 Standard และ Market Standard นั้น พบว่าปริมาณเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านสะสมของทราย ในช่วง 3/8” , No.4 , No.8 , No.16 No.30 และ No.50 อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานASTM (ตารางที่4.4และรูปที่4.13) แต่ช่วงขนาด No.100 มีปริมาณผ่านสะสมของทรายน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (ไฮไลท์สีชมพู)

เมื่อเทียบกับ Market Standard สำหรับซีเมนต์แล้วยังพบว่าส่วนมากอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเหมือนใน ASTM Standard แต่ช่วงขนาด No.100 มีปริมาณผ่านสะสมของทรายน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

ทั้งนี้ค่าโมดูลัสความละเอียด ของหินฝุ่นแกรนิตที่ผ่านโรงล้างด้วยเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุนของบ่อทรายซีแพคสี่ร้อย เท่ากับ 2.61 (วิธีคำนวนตามภาคผนวก) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และลดลงจากก่อนยังไม่เข้าเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน รวมถึงปริมาณฝุ่นวัดได้ 1.92%

ตารางที่ 4. 5 ตารางเปรียบเทียบการคำนวนหาค่าF.M.ของตัวอย่างทรายก่อสร้าง ก่อนเข้าเครื่อง Bucket Wheel

Sieve no.	Wt. ret (gm)	Cum % ret	Cum % pass	Spec limit
3/8"	0	0.0	100.0	100
NO.4	5.0	1.0	99.0	95 - 100
NO.8	30.0	6.8	93.2	80 - 100
NO.16	85.0	23.3	76.7	50 - 85
NO.30	135.0	49.5	50.5	25 - 60
NO.50	165.0	81.6	18.4	10 - 30
NO.100	90.0	99.0	1.0	2 - 10
PAN	5.0	100.0	0.0	
TOTAL	515.0	F.M.	2.61	



รูปที่ 4. 13 ขนาดคละของทรายก่อนเข้าเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน

สรุป

จากผลการทดลองหาขนาดคละและค่าโมดูลัสความละเอียด ตามมาตรฐาน ASTM และ Market Standard พบว่า ก่อนที่ทรายบกเข้าเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุนมีค่า F.M. อยู่ที่ 2.99 ซึ่งเกือบจะถึงลิมิตสูงสุดที่ตลาดรับซื้อ (F.M. = 3) แต่หลังจากผ่านเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุนแล้ว ค่า F.M. ลดลงมาอยู่ที่ 2.61 ซึ่งลดลงจากเดิม 0.38 หรือคิดเป็นร้อยละ 12.71

นอกจากนั้นปริมาณฝุ่นจาก 2.86 ยังลดลงมาอยู่ที่ 1.92 ซึ่งลดลงไป 0.94 หรือคิดเป็น 32.87% ขนาดคละเดิมของทรายค่อนข้างได้มาตรฐานตามที่ตลาดต้องการอยู่แล้ว ยกเว้นแต่ช่วง No.100 ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐานนิดหน่อย

เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier แล้ว ค่าโมดูลัสละเอียดลงลงจาก F.M. = 3.96 เหลือ 3.11 ซึ่งลดลงจากเดิม 0.85 คิดเป็น 21.46% แสดงว่า ทั้ง 2 เครื่องนี้สามารถลดค่า F.M ได้คล้ายคลึงกัน แต่ในช่วงขนาดละเอียดเครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier ยังไม่สามารถคัดให้ขนาดเล็กน้อยกว่า 100 หรือ 200# ออกไปได้มากนัก หากเปลี่ยนมาเป็นเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุนอาจจะช่วยกระจายตัวของขนาดทรายได้ดีกว่า

ทำให้สามารถสรุปได้ว่า เครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุนเป็นเครื่องจักรตัวหนึ่งที่สามารถลดปริมาณฝุ่น และปรับลดค่า F.M.ลงได้ดี และน่าจะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจที่จะนำมาออกแบบโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตของบริษัท ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
ผลการวิจัยและออกแบบโรงล้างหินฝุ่น

ผลการวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนแรกคือข้อมูลทั่วไปของพื้นที่การศึกษา ส่วนที่ 2 คือการวิเคราะห์หินฝุ่นเบื้องต้นของ หินฝุ่นแกรนิต บริษัท ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ และส่วนสุดท้ายคือการเสนอแนะแนวทางออกแบบโรงล้างหินฝุ่น

5.1 แหล่งหินเขาน้อยเจ้าเจ็ด บริษัท ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ จำกัด

ข้อมูลทั่วไป

พื้นที่โครงการ

พื้นที่โครงการประกอบด้วยพื้นที่แปลงประทานบัตร 2 แปลง ของบริษัทฯและพื้นที่ซึ่งเป็นที่ตั้งของโรงโม่หิน จากแหล่งหินเขาคันหอก รวมถึงพื้นที่ซึ่งคาดว่าจะเป็นที่ตั้งของโรงโม่หินซึ่งจะรับหินจากแหล่งหินเขาเจ้าเจ็ด

ลักษณะและสภาพของพื้นที่โดยทั่วไป

- **ตำแหน่งที่ตั้ง**

สำหรับประทานบัตรแปลงนี้ ตั้งอยู่ในแผนที่ภูมิประเทศของกรมแผนที่ทหาร มาตราส่วน 1:50,000 ลำดับชุด L7017 ระวาง 4936IV ระหว่างเส้นกริดตั้งแต่ 568-570 ตะวันออก และเส้นกริดนอนที่ 1535-1536 เหนือ ซึ่งตั้งอยู่ที่ตำบลพรุ อำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี แผนที่แสดงเขตและจุดที่ตั้งคำขอประทานบัตร

- **ลักษณะภูมิประเทศ ประเภท และขนาดของพื้นที่**

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2555) ได้สำรวจว่าพื้นที่ประทานบัตรแปลงนี้ มีลักษณ์ภูมิประเทศเป็นเนินเขาเตี้ยๆ มีความสูงจากระดับน้ำทะเลปานกลางตั้งแต่ระดับ 40 เมตรถึง 115 เมตร อยู่ห่างชุมชนบ้านรางสะเดาทางทิศตะวันออกประมาณ 1 กิโลเมตร ชุมชนบ้านตะล่อมทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ประมาณ 500 เมตร ชุมชนบ้านสระเศรษฐีทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ประมาณ 1 กิโลเมตร และมีอาณาเขตโดยรอบพื้นที่ติดกับพื้นที่เกษตรกรรมไร่อ้อย ไม่มีเส้นทางสาธารณะหรือทางน้ำสาธารณะไหลผ่านเขตประทานบัตร

สภาพป่าเป็นป่าไม้เต็งรังหรือป่าแคระเสื่อมโทรม ชนิดไม้ที่ขึ้นอยู่ได้แก่ ไม้งิ้ว มะกอก เลื่อม มะค่าแต้ ปอฝ้าย สะเดา มะขามป้อม ซึ่งมีขนาดลำต้นต่ำกว่า 50 เซนติเมตร รวมทั้งไผ่รวก

เล็บเหยี่ยว ขึ้นอยู่ทั่วไป อยู่ในเขตป่าตามมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 31 กรกฎาคม 2516 จำแนกไว้เป็นที่จัดสรรเพื่อการเกษตรกรรมอื่นๆ

โดยประทานบัตรมีพื้นที่ทั้งหมด 183-01-24 ไร่ มีพื้นที่ที่ทำเหมืองได้สำหรับหินประดับชนิดหินแกรนิต ประมาณ 19-00-95 ไร่ และหินอุตสาหกรรมชนิดหินแกรนิตเพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง ประมาณ 77-01-64 ไร่ (ตามแผนผังโครงการฯ)

5.2 ผลการหาขนาดคละ (gradation) และโมดูลัสละเอียด (Fineness Modulus, F.M.)

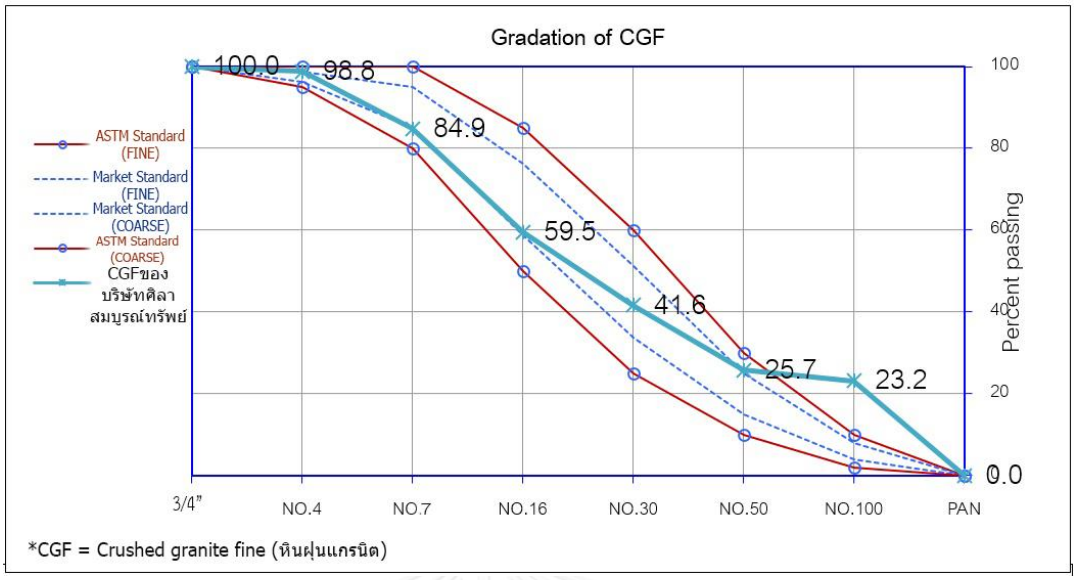
จากการทดลองหาขนาดคละและโมดูลัสละเอียดของหินฝุ่นแกรนิตตามมาตรฐาน ASTM C-33 พบว่า ค่า F.M. ของแหล่งเขาเจ้าเจ็ดนั้นมีอยู่ที่ 2.66 (วิธีคำนวนอยู่ในภาคผนวก) ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนขนาดคละของหินฝุ่นแกรนิตนั้นมีเปอร์เซ็ตการสะสมของช่วงขนาด 3/4”,No.4 , No.7 , No.16 , No.30 และ No.50 อยู่ในช่วงมาตรฐานของ ASTM-C33 ยกเว้น NO.100 (ไฮไลท์สีชมพู) ที่มีเปอร์เซ็นต์ค้างสะสมอยู่เกินมาตรฐานไปมาก รวมถึงขนาดละเอียด -100# ที่มีกว่า 23% ซึ่งตามมาตรฐานควรมี 5-7% แสดงว่าหินฝุ่นแกรนิตของบริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์นั้น มีปริมาณขนาดละเอียดมาก (รูปที่ 5.1และตารางที่ 5.2)

ส่วน Market Standard พบว่ามีเปอร์เซนต์ค้างสะสมในช่วงขนาด ¾”, No.4 , No.16 และ No.30 ที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ส่วนช่วงขนาด No.7 , No.50 และ No.100 ยังไม่ได้มาตรฐานนัก

ดังนั้นการจะออกแบบโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตแหล่งหินเขาเจ้าเจ็ด ควรมีกระบวนการล้างหรือปรับให้ปริมาณขนาดละเอียดลดลงจากเดิม เพื่อให้ได้ขนาดคละที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของผู้รับซื้อ

ตารางที่ 5.1 ตารางการคำนวนหาค่า F.M.ของตัวอย่างหินฝุ่นแกรนิต ของ บ.ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์

Sieve no.	Weight Sample Retained	Cumulative% Retained	Percent Passing (%)	Spec limit
3/4"	0	0.0	100.0	100
NO.4	12	1.2	98.8	95 - 100
NO.7	138	15.1	84.9	80 - 100
NO.16	252	40.5	59.5	50 - 85
NO.30	177	58.4	41.6	25 - 60
NO.50	158	74.3	25.7	10 - 30
NO.100	25	76.8	23.2	2 - 10
PAN	230	100.0	0.0	
TOTAL	992.0	**F.M.**	2.66	



รูปที่ 5.1 การหาขนาดคละของหินฝุ่นแกรนิต แหล่งเขาน้อยเจ้าเจ็ด บ.ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ จำกัด

5.3 การออกแบบโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต

จากผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของหินฝุ่นแกรนิตแหล่งเขาเจ้าเจ็ด พบว่าค่าโมดูลัสละเอียดอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐาน แต่ขนาดคละของหินฝุ่นยังไม่ได้มาตรฐาน ASTM C33-78 รวมถึงยังมีหลายช่วงที่ตก Market Standard เช่นกัน (ตามตาราง 4.1) การออกแบบโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตนั้นจึงควรมุ่งเน้นไปที่การลดขนาดละเอียด ที่ช่วงตะแกรง No. 100 ซึ่งมาตรฐานของทรายหยาบขนาดละเอียดควรจะมีปริมาณเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านสะสม ไม่เกิน 2-10 แต่หินฝุ่นแกรนิตที่แหล่งเขาเจ้าเจ็ดพบว่ามีปริมาณขนาดละเอียดเกิดมาตรฐานจากสูงสุด 10 (ตารางที่5.2) เกินไป เป็น 23.2 ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 2.3เท่า นับเป็นปริมาณที่สูงกว่ามาตรฐานมาก นอกจากนี้ ขนาด -100# หรือ Pan ยังมีมากถึง 23% ซึ่งแสดงว่าหินฝุ่นแกรนิตของบริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ประกอบไปด้วยขนาดละเอียดจำนวนมาก

ดังนั้นการเสนอแนวทางการออกแบบโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต สำหรับแหล่งหินแกรนิตเขาน้อยเจ้าเจ็ด ของบริษัท ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ จำกัด นั้น ผู้วิจัยได้อ้างอิงจากกระบวนการล้างของโรงล้างหินบริษัทสโตนวัน ด้วยเครื่องคัดขนาดแบบ Spiral Classifier และโรงล้างทรายบ่อทรายซีแพคสี่ร้อยด้วยเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน (Bucket Wheel) มาผนวกกันจนได้กระบวนการล้างแบบเปียกโดยเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน (Wet process (Bucket wheel classifiers) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

กระบวนการล้างแบบเปียก โดยเครื่องคัดขนาดบุ้งกี๋หมุน

โรงล้างหินฝุ่นด้วยกรรมวิธีแบบเปียกนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาต้นแบบมาจากกรณีศึกษาโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตของบริษัทสโตนวัน ซึ่งเป็นกรรมวิธีที่ง่าย และสามารถทำได้จริง แต่ค้นพบว่าข้อด้อยของโรงล้างหินฝุ่นสโตนวันคือไม่สามารถคุมค่า F.M. ให้ได้ขนาดคละที่ตรงตามมาตรฐาน ASTM C33-78 ได้ จึงได้นำมาดัดแปลงเปลี่ยนเครื่องมือบางชนิด เพื่อให้ได้วิธีการที่เหมาะกับหินฝุ่นของบริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์

โดยโรงล้างด้วยวิธีใช้เครื่องจักร ทั้งหมด 11 ตัว ดังนี้ (ตาราง 5.5)

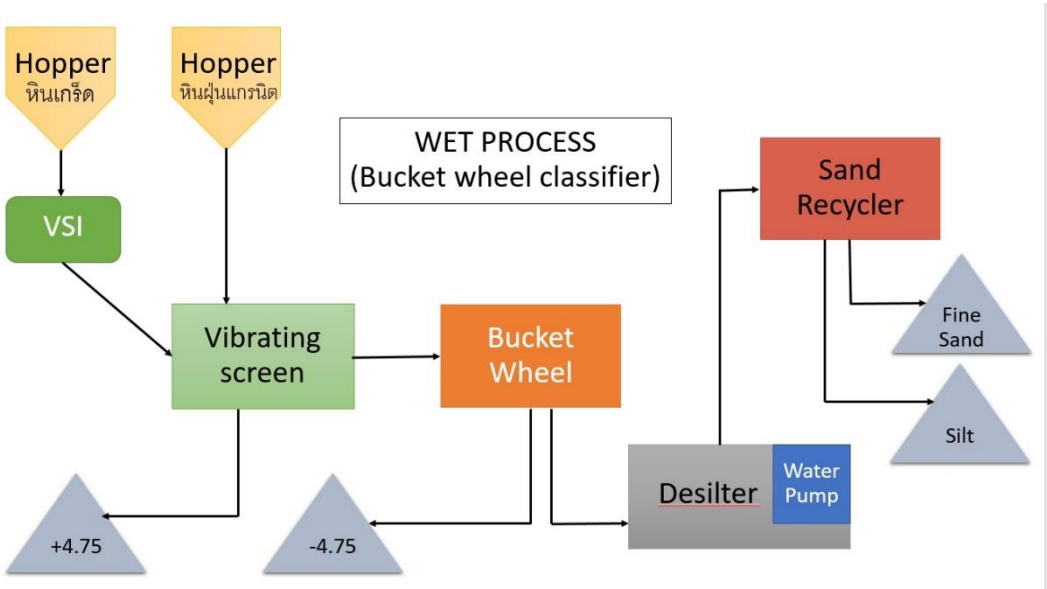
ตารางที่ 5.2 รายชื่อเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการ wet process (Bucket wheel classifiers)

	Machine
1	VSI (VU Sand Making Crusher)
2	Vibrating feeder
3	Vibrating screen
4	Bucket Wheel
5	Water pump
6	Sand recycler
7	Water basin
8	Belt Convenyor
9	Wheel Loader
10	Electrical control
11	Pipe

โดยแบ่งออกเป็นขั้นตอนสำคัญๆ ดังนี้ (รูป 5.2)

1) การลดขนาด

เนื่องจากหินฝุ่นแกรนิตที่บริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์นั้นมีขนาดละเอียดค่อนข้างมาก หากจะให้ขนาดช่วงคละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM และ Market Standard แล้วอาจจะต้องทำหินเกล็ด (ผลิตภัณฑ์จากโรงโม่หิน)ที่มีขนาดใหญ่มาผสม และลดขนาดด้วยเครื่อง VSI Crusher ซึ่งเป็นเครื่องที่ลดขนาดของหินฝุ่นลง โดยใช้หลักเกณฑ์ Rock on Rock ให้ยุ้งแบ่งออกเป็นยุ้งของหินฝุ่นแกรนิตและยุ้งของหินเกร็ด



รูปที่ 5. 2 แสดง Flow chart แบบ Wet process

2) การคัดขนาด

ดังที่ได้กล่าวไปในบทที่ 2 การคัดขนาดด้วย Vibrating Screen จะคัดขนาดตะกอนที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งมีขนาดประมาณ +4.5 มิลลิเมตรออกจากหินฝุ่น ได้เป็นผลผลิตกองสต๊อกหินเกร็ด (ในโรงล้าง)

3) การกำจัดขนาดละเอียดด้วยเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน

เครื่อง Bucket Wheel เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้มากในกระบวนการล้างทราย และได้กล่าวถึงลักษณะการทำงานในบทที่ 2 แล้ว โดยการคัดแยกด้วยเครื่อง Bucket Wheel นี้จะทำให้สามารถคัดเอาหินฝุ่นขนาดละเอียดออกจากหินฝุ่นได้ ซึ่ง จะได้ผลผลิตออกมา 2 อย่าง คือ หินฝุ่นแกรนิตล้าง (หรือทรายก่อสร้าง) ซึ่งมีขนาดน้อยกว่า 4.75 มิลลิเมตร และ Sand size silt

4) การล้างขนาดละเอียด

เมื่อเข้าคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุนแล้ว ขนาดละเอียดจะล้นออก (Over flow) และถูกดูดเข้ามาที่ Desilter ซึ่งมีเครื่องปั๊มน้ำแล้วส่งไปยังกระบวนการ Sand Recycler ที่ประกอบไปด้วยปั๊มน้ำข้างล่าง และไฮโดรไซโคลน เพื่อแยกเอา Silt ออกจากทรายละเอียด เมื่อผ่านไฮโดรไซโคลนแล้วจะมีตะแกรงความถี่สูงสะเด็ดน้ำเร็ว ซึ่งทำให้ได้ผลผลิตเป็นทรายขนาดละเอียดต่อไป

บทที่ 6
การวิเคราะห์การลงทุนสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต

แนวทางในการวิเคราะห์โครงการสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตจากหินฝุ่นที่คงค้างในโรงโม่ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบว่าการลงทุนนี้มีความคุ้มค่า และน่าลงทุนมากน้อยเพียงใด โดยใช้การประมาณการกระแสเงินสดของโครงการในอัตราคิดลด หลักเกณฑ์การพิจารณายอมรับโครงการหรือไม่นั้นจะใช้ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ระยะเวลาคืนทุน (Playback Period) และดัชนีราคา (PI)

6.1 การวิเคราะห์ทางเลือกการลงทุน

สถาบันพัฒนาความรู้ตลาดทุนตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย (2548) กล่าวว่า งบประมาณการลงทุนหมายถึงการใช้จ่ายลงทุนเพื่อให้ได้มาซึ่งสินทรัพย์โดยคาดหวังว่าสินทรัพย์เหล่านั้นจะสามารถสร้างรายได้ กระแสเงินสดตลอดจนให้ผลตอบแทน แก่ผู้ลงทุน

การตัดสินใจเกี่ยวกับงบประมาณลงทุน เป็นการตัดสินใจของบริษัทที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากการตัดสินใจลงทุนในโครงการ หรือสินทรัพย์ถาวรต่างๆจะมีผลกระทบกับกระแสเงินสดของบริษัท เป็นระยะเวลาหลายปีหลังจากการตัดสินใจ โดยปกติแล้วการตัดสินใจลงทุนมักใช้เงินลงทุนจำนวนมากหากตัดสินใจผิดพลาด หรือ ประมาณการกระแสเงินสดของการลงทุนคลาดเคลื่อนไปมาก บริษัทก็จะสูญเสียสภาพคล่องทางการเงิน และสูญเสียโอกาสทางธุรกิจจากการที่เงินทุนต้องไปจมอยู่กับการลงทุนที่ไม่ก่อเกิดกระแสเงินสดรับ ตามที่ได้ประมาณการไว้ ดังนั้น ผู้บริหาร นักประเมินโครงการ และผู้เกี่ยวข้องจึงจำเป็นต้องศึกษาหลักเกณฑ์และเทคนิคในการวิเคราะห์การลงทุนต่างๆ เพื่อให้การตัดสินใจลงทุนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

6.2 เกณฑ์ในการประเมินโครงการลงทุน

สถาบันพัฒนาความรู้ตลาดทุนตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย (2548) กล่าวว่า ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางเลือกในการลงทุนอัตราผลตอบแทนของการลงทุนเป็นอัตราคิดลดที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของรายได้ หรือ ผลประโยชน์เท่ากับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายในการลงทุน ผลตอบแทนในอัตรานี้เป็นผลตอบแทนที่จะได้ตลอดช่วงอายุของโครงการ โครงการที่มีผลตอบแทนในการลงทุนสูงก่าอัตราขั้นต่ำที่กำหนดจะเป็นโครงการที่เหมาะสมที่จะดำเนินการต่อไป โดยอัตราคิดลด

ควรมากกว่าอัตราดอกเบี้ยในขณะนั้น และมักใช้เกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้ อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) เป็นต้น

6.2.1 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period,PP)

ระยะเวลาคืนทุน คือ จำนวนปีที่กิจการได้รับเงินลงทุนเริ่มต้นของโครงการกลับคืน หรือระยะเวลาที่กระแสเงินสดสะสมของโครงการเป็นศูนย์พอดี โดยแบ่งเป็น 2 กรณีคือ

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินทุนเริ่มต้น}}{\text{กระแสเงินสดสุทธิ}}$$

ในการใช้หลักเกณฑ์ระยะเวลาการคืนทุนในการประเมินโครงการ องค์กรธุรกิจจะตั้งเป้าหมายไว้ก่อนว่าต้องการจะได้เงินลงทุนคืนจากโครงการนี้ภายในระยะเวลาเท่าใด ดังนั้นถ้าระยะเวลาคืนทุนที่คำนวนได้น้อยกว่าหรือเท่ากับระยะเวลาคืนทุนที่ตั้งเป้าหมายไว้ องค์กรธุรกิจจะก็จะลงทุนในโครงการนั้น แต่ถ้าระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณได้มากกว่าองค์กรธุรกิจก็จะไม่ลงทุน

ในกรณที่มีหลายโครงการองค์กรธุรกิจควรเลือกลงทุนในโครงการที่มีระยเวลาคืนทุนสั้นที่สุด แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นควรใช้ปัจจัยอื่นร่วมด้วยในการพิจารณา เช่น ภาวะการแข่งขัน การเสื่อมของเครื่องจักร ความเสี่ยงของโครงการ เป็นต้น

6.2.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ หมายถึงปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิ ซึ่งใช้ต้นทุนของเงินทุนเป็นอัตราคิดลดแล้วนำมาหักด้วยจำนวนเงินที่ลงทุนซึ่งสามารถหามูลค่าปัจจุบันสุทธิได้ดังนี้

NPV = PVNCF – I

โดยที่ PVNCF = ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง n ที่คิดลดด้วยอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ (i%)

I = ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายลงทุน

จากสูตร NPV = $CF_0 + \frac{□□_1}{(1-□)^1} + \frac{□□_2}{(1-□)^2} + \cdots + \frac{□□_□}{(1-□)^□}$

CF_n = กระแสเงินสด ณ ปีที่ n

n = 0,1,2,3,...,n

k = ต้นทุนส่วนเพิ่มของเงินทุน

เมื่อคำนวณค่า NPV ออกมาแล้วถ้าค่า NPV เป็นบวก หมายความว่าผลรวมของกระแสเงินรับสุทธิ ตลอดอายุของโครงการซึ่งคิดเป็นมู,ค่าปัจจุบัน มีค่าสูงกว่าจำนวนเงินที่ลงทุนโรงการลงทุนนั้นจะให้ผลตอบแทนสูงกว่าจำนวนเงินที่ลงทุน องค์กรธุรกิจจะตัดสินใจลงทุนในโครงการนั้น ถ้าค่า NPV เป็นลบ หมายความว่าผลรวมขงกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงกร ซึ่งคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันมีค่าต่ำกว่าจำนวนเงินที่ลงทุน องค์กรธุรกิจจะไม่ลงทุนในโครงการนั้น

6.2.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return,IRR)

อัตราผลตอบแทนภายใน หมายถึง อัตราหักลดกระแสเงินสดรับสุทธิที่คาดว่าจะได้รับตลอดอายุของโครงการ ให้มีมูลค่าปัจจุบันเท่ากับเงินลงทุนเมื่อเริ่มต้น การคำนวณอัตราผลตอบแทนภายในหาได้ดังนี้

PVNCF = I

โดยที่ PVNCF = ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง n ที่คิดลดด้วยอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ (i%)

I = ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายลงทุน

จากสูตร NPV = $CF_0 + \frac{□□_1}{(1-□)^1} + \frac{□□_2}{(1-□)^2} + \cdots + \frac{□□_□}{(1-□)^□}$

CF_n = กระแสเงินสด ณ ปีที่ n

n = 0,1,2,3,...,n

เมื่อคำนวนค่า IRR ของโครงการได้แล้ว ก็นำมาเปรียบเทียบกับต้นทุนของเงินทุนและองค์กรธุรกิจจะตัดสินใจลงทุนเมื่อ IRR มากกว่าเงินลงทุนและจะตัดสินใจไม่ลงทุน เมื่อค่า IRR น้อยกว่าเงินลงทุน

6.2.4 ดัชนีกำไร (Profitability Index,PI)

ดัชนีกำไร หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดสุทธิรวมตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนสุทธิ

$$PI = \frac{\mathbf{PVNCF}}{\mathbf{I}}$$

โดยที่ PVNCF = ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง n ที่คิดลดด้วยอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ (i%)

I = ค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่ายลงทุน

จากสูตรดัชนีกำไร (PI) = $\frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับ}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย}}$

หรือ ดัชนีกำไร (PI) = $\frac{\mathbf{NVP+1}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย}}$

เมื่อคำนวณค่า PI ของโครงการได้แล้วองค์กรธุรกิจจะตัดสินใจลงทุนเมื่อ PI มากกว่า 1 และจะตัดสินใจไม่ลงทุนเมื่อค่า PI น้อยกว่า 1 ในกรณีที่มีหลายโครงการมีโครงการให้ลงทุนที่ค่า PI สูงกว่า 1 หลายโครงการ องค์กรธุรกิจก็จะเรียงลำดับโครงการจากโครงการที่มีค่า PI สูงไปหาค่า PI ต่ำ

การประมาณกระแสเงินสดสุทธิ (Net cash flow) ที่คาดว่าจะได้รับในอนาคตอันเนื่องมาจากการลงทุน และควรเป็นกระแสเงินสดสุทธิหลังหักภาษีแล้ว กระแสเงินสดสุทธิคำนวณได้จากส่วนต่างระหว่างกระแสเงินสดรับ กับกระแสเงินสดจ่าย ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

กระแสเงินสดสุทธิ = กระแสเงินสดรับ – กระแสเงินสดจ่าย

โดยกระแสเงินสดรับ หมายถึง รายรับที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินโครงการในแต่ละช่วงเวลา และกระแสเงินสดจ่าย หมายถึง รายจ่ายต่างๆที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการดำเนินงานในแต่ละช่วงเวลา

6.3 การประมาณค่าใช้จ่ายในการประเมินโครงการ

ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์ (2553) ในการลงทุนทำโรงงานแต่งแร่ข้อมูลที่สำคัญเบื้องต้นสำหรับการประเมินโครงการ คือ ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการลงทุนละค่าใช้จ่ายในการทำงานโดยมีการแสดงรายละเอียดของค่าใช้จ่ายดังนี้

6.3.1 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital costs)

การประมาณค่าใช้จ่ายในการลงทุนเบื้องต้นอาจมีความไม่แน่นอนสูง เนื่องจากความแตกต่างของพื้นที่ตั้ง การออกแบบ มาตรฐานการก่อสร้าง และวิธีประมาณการ โดยทั่วไปค่าใช้จ่ายในการลงทุนจะประมาณการจากที่ดิน ค่าก่อสร้างโรงงาน ราคาเครื่องจักรอุปกรณ์หลัก รวมทั้งค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับการลงทุนครั้งแรก โดยมีรายละเอียดดังตาราง 6.1

6.3.2 ค่าใช้จ่ายในการทำงาน (Operating costs)

ค่าใช้จ่ายในการทำงานโดยทั่วไปมักจะประมาณการเป็นค่าใช้จ่ายต่อปีและค่าใช้จ่ายต่อหน่วมการผลิตการประมาณค่าใช้จ่ายในการทำงานเบื้องต้นสามารถพิจารณาจากรายการค่าใช้จ่ายแปรผันที่รู้ราคาได้ และประมาณค่าใช้จ่ายรายการอื่นที่ไม่รู้ค่า เป็นสัดส่วนตามความเหมาะสม ค่าใช้จ่ายในการทำงานแบ่งออกเป็น

ก) ค่าใช้จ่ายตรง (Direct costs) ได้แก่ ค่าวัตถุดิบ ค่าน้ำ ค่าพลังงาน ค่าจ้างแรงงาน ค่าบำรุงรักษา ค่าวัสดุสิ้นเปลือง สารเคมี ค่าเผื่อเหลือเผื่อขาด เป็นต้น

ข) ค่าใช้จ่ายตรง (Direct costs) ได้แก่ ค่าวัตถุดิบ ค่าน้ำ ค่าพลังงาน ค่าจ้างแรงงาน ค่าบำรุงรักษา ค่าวัสดุสิ้นเปลือง สารเคมี ค่าเผื่อเหลือเผื่อขาด เป็นต้น

ค) ค่าใช้จ่ายทางอ้อม (Indirect costs) ได้แก่ค่าเงินเดือนและค่าจ้างในส่วนอื่นๆ เช่น ฝ่ายบริหาร ห้องวิเคราะห์ เป็นต้น ค่าใช้จ่ายสำนักงาน ค่าติดต่อสื่อสารและยานพาหนะ ค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการ ค่าภาษีและค่าประกันภัย เป็นต้น ค่าใช้จ่ายในการทำงานจะประมาณการจากจำนวนวันในการทำงานใน 1 ปี โดยจะแสดงเป็นค่าใช้จ่ายต่อปี และค่าใช้จ่ายต่อหน่วยการผลิต ซึ่งเมื่อรวมค่าใช้จ่ายลงทุนต่อปี จะได้เป็นค่าใช้จ่ายต้นทุนการผลิตต่อหน่วยที่ผลิตได้

ตารางที่ 6. 1 ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์, 2553)

(1)	ค่าเครื่องจักรอุปกรณ์หลัก (รวม)	1.0
(2)	ค่าติดตั้ง	17-25% ของ(1)
(3)	ระบบท่อรวมติดตั้ง	17-25% ของ(1)
(4)	ระบบไฟฟ้ารวมติดตั้ง (ไม่รวมระบบไฟฟ้าในสำนักงาน)	13-25% ของ(1)
(5)	ระบบวัดคุม	3-12% ของ (1)
(6)	อาคารโรงงานรวมระบบไฟฟ้าเครื่องกล	33-50% ของ(1)
(7)	อาคารอื่นๆ (โรงซ่อม สำนักงาน ฯลฯ)	7-15% ของ(1)
(8)	ระบบสาธารณูปโภคและสาธารณูปการสนับสนุน	7-15% ของ(1)
(9)	ค่าปรับพื้นที่และองค์ประกอบ (เช่น รั้ว ถนน)	3-18% ของ(1)
(10)	ค่าบริหารจัดการการก่อสร้าง	10-12% ของ(1)
(11)	ค่าบริหารโครงการรวมค่าวิศวกรรมและค่าก่อสร้าง	30-33% ของ(1)
(12)	ค่าเผื่อขาด	10-15% ของ(1)
(13)	ค่าใช้จ่ายลงทุนคงที่	รวม(1) ถึง (12)
(14)	ค่าที่ดิน	
(15)	ค่าดอกเบี้ยระหว่างการก่อสร้าง	
(16)	ลงทุนหมุนเวียน (ประมาณเท่ากับค่าใช้จ่ายทำงาน 3 เดือน	
(17)	ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินระบบ	
(18)	ค่าใช้จ่ายลงทุนทั้งหมด	รวม (13) กับ (17)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.4 การวิเคราะห์การลงทุนสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต

การวิเคราะห์โครงการลงทุนสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบมูลค่าของการลงทุนว่าในโรงล้างหินฝุ่นแบบเปียกโดยเครื่องคัดขนาดบุ้งกี๋แบบหมุน มีความคุ้มค่าและน่าลงทุนหรือไม่ โดยใช้วิธีการประมาณการกระแสเงินสดในโครงการ และมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาโดยใช้ค่า ระยะเวลาคืนทุน (PP), มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV) , อัตราตอบแทนภายใน (IRR) และดัชนีกำไร (PI)

6.4.1 การประมาณค่าใช้จ่าย รายได้ ปริมาณแร่ และหลักเกณฑ์ต่างๆของโครงการสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต

นุชรี สองรักษ (2554) การประมาณค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มต้นนั้น เป็นการประมาณการรายการสินทรัพย์และจำนวนเงินที่ลงทุนเมื่อแรกเริ่มตั้งธุรกิจว่าโครงการมีเงินลงทุนเท่าไร ในการวิเคราะห์เงินทุนโครงการเริ่มต้นต้องพิจารณาเงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและแหล่งที่มาของเงินทุนทั้งทุนส่วนของเจ้าของและจากแหล่งเงินกู้อื่นๆโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital expenditures) ค่าใช้จ่ายในการลงทุนในการสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต มีการประมาณค่าใช้จ่ายต่างๆได้ดังนี้ ค่าที่ดิน ค่าเครื่องจักร ค่าจ้างเหมาติดตั้งเครื่องจักรทั้งหมด ทั้งติดตั้งเครื่องจักร ระบบไฟฟ้า และอาคารสำนักงาน ค่าประมาณการเผื่อเหลือเผื่อขาด ค่าธรรมเนียมต่างๆก่อนการดำเนินงาน เงินทุนหมุนเวียน โดยกำหนดให้เงินลงทุนในโครงการทั้งหมดเป็นเงินลงทุนของเจ้าของกิจการเอง โดยประมาณค่าใช้จ่ายในการลงทุนในการสร้างโรงล้างหินฝุ่นทั้งหมดนั้นมีรายละเอียดดังภาคผนวก

2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating expenditures) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานในการสร้างโรงล้างหินฝุ่นโดยอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 6.1 ในการพิจารณาซึ่งประมาณค่าใช้จ่ายได้ดังนี้ ค่าภาคหลวงแร่ ค่าไฟฟ้า และน้ำประปา ค่าจ้างแรงงาน (วิศวกร ฝ่ายบัญชี ฝ่ายขาย ฝ่ายการตลาด หัวหน้าคนงาน คนงาน ผู้รักษาความปลอดภัย แม่บ้าน) ค่าใช้จ่ายสวัสดิการและบริหาร ค่าบำรุงรักษา ค่าวิเคราะห์ ทดสอบ ค่าวัสดุสิ้นเปลืองอื่นๆ

โดยประมาณการค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของการลงทุนโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตนั้นมีรายละเอียดดังภาคผนวก

3. รายได้ของโครงการในการดำเนินการสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต เจ้าของโครงการจะได้รับรายได้หลักจากการขายหินฝุ่นแกรนิตล้างเป็นทรายก่อสร้าง ซึ่งราคาขายหินฝุ่นล้างอยู่ที่ 220 บาท/ตัน

4. ปริมาณของหินฝุ่นแกรนิตล้างที่ผลิตได้ โดยกำหนดให้มีปริมาณแร่ป้อน 100 ตัน/ชม. ดังแสดงในภาคผนวก

5. จำนวนชั่วโมงในการทำงานต่อปี ในการดำเนินงานกำหนดให้ทำงานวันละ 10 ชม. โดยเดือนละ 25 วัน และ 300 วันต่อปี

6. ภาษี การคิดภาษีเป็นการคิดภาษีจากรายได้สุทธิทั้งหมด โดยคิดอัตราภาษีที่ 20 % ต่อปี

7. ค่าเสื่อมราคา เป็นค่าใช้จ่ายประเภทหนึ่งทางบัญชี และทางภาษีอากรเพื่อคำนวณหากำไรสุทธิของกิจการ โดยค่าใช้จ่ายนี้ไม่ได้เป็นค่าใช้จ่ายที่มีการจ่ายเป็นตัวเงินแต่เป็นค่าใช้จ่ายที่ประมาณการขึ้นมาสำหรับสินทรัพย์ที่มีอายุเกินการใช้งาน 1 ปี เช่น รถ อาคาร โดยมีหลักเกษณ์การคิดคำนวนแตกต่างกันออกไปในแต่ละสินทรัพย์ เช่น อาคารสิ่งก่อนสร้างมีอายุใช้งาน 20 ปี เครื่องจักรและอุปกรณ์ในการแต่งแร่มีอายุการใช้งาน 10 ปี ยานพาหนะมีอายุ 5 ปี

6.4.2 สมมติฐานการลงทุน

ในกรณีศึกษานี้ กำหนดให้ ราคาของหินฝุ่นแกรนิตล้างอยู่ที่ 220 บาท/ตัน โดยอ้างอิงมาจากราคาของหินฝุ่นแกรนิตล้างบริษัทสโตนวัน ค่าติดตั้งเครื่องจักร(บริษัทรับเหมา รวมค่าติดตั้งและค่าเครื่องจักรแล้ว) ค่าเงินทุนหมุนเวียน ค่าเผื่อขาด มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนของโรงล้างแบบกระบวนการแบบเปียกโดยเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน 37 ล้านบาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าจ้างแรงงาน (ผู้จัดการโรงงาน วิศวกร ฝ่ายบัญชี ฝ่ายขาย ฝ่ายการตลาด หัวหน้าคนงาน คนงาน ผู้รักษาความปลอดภัย แม่บ้าน) ค่าบำรุงรักษา ค่าวัสดุสิ้นเปลืองอื่นๆ ค่าไฟ คิดเป็น 80 บาท/ตัน 1,400,000 บาท/เดือน

โดยมีอัตราแร่ป้อน 100 ตัน/ชม ทำงานทั้งสิ้น 25 วัน และ 300 วัน/ปี คิดเป็นผลผลิตทั้งสิ้น 300,000 ตัน/ปี ดังตารางที่ 6.2 และข้อมูลรายละเอียดค่าใช้จ่ายทั้งหมดของโรงล้างหินแกรนิตทั้ง 2 แบบดังภาคผนวก

จากการประมาณการกระแสเงินสดในโครงการโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตทั้ง 2 แบบ พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ของโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตแบบกระบวนการแบบเปียกโดยเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน ได้เท่ากับ 141.365 ล้านบาท

ค่าอัตราตอบแทนภายใน ได้เท่ากับ 66% ดัชนีกำไร (PI) ได้เท่ากับ 1.27 ระยะเวลาคืนทุน (PP) มีระยะเวลาคืนทุนใน 1 ปี 5 เดือน ตามตาราง 6.3

ตารางที่ 6.2 ข้อสมมติฐานของการประเมินโครงการด้านการเงิน

ตัวแปร	wet process (Bucket wheel classifiers)
	สมมติฐาน
ราคาหินฝุ่นแกรนิตล้าง	220 บาทต่อตัน
ปริมาณแร่ป้อน	300,000 ตัน/ปี
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	80 บาท/ตัน
ค่าใช้จ่ายลงทุน	52,550,000 บาท
อัตราภาษี	20% ต่อปี
เงินเฟ้อ	5% ต่อปี
ระยะเวลาโครงการ	10 ปี
ค่าภาคหลวงทราย	14 บาทต่อตันแร่
ค่าเสื่อมราคา	10 ปี

ตารางที่ 6.3 สรุปการประเมินโครงการลงทุนโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต

	กระบวนการแบบเปียกโดยเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV)	**฿141,365,481**
อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR)	**66%**
ดัชนีกำไร (Profitability Index, PI)	**1.27**
ระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PP)	**1 ปี 5 เดือน**

เมื่อพิจารณาจากค่าของมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และค่าดัชนีราคา (PI) แสดงให้เห็นว่าโครงการสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตเพื่อเพิ่มมูลค่าสินค้าคงคลังในโรงโม่หินนี้น่าลงทุน เนื่องจาก มูลค่าปัจจุบันสุทธิมากกว่าศูนย์ อัตราผลตอบแทนภายใน อยู่ที่66 % เนื่องจากโครงการนี้ให้ผลตอบแทนมากกว่าอัตราผลตอบแทนคิดลด และดัชนีราคา (PI) มากกว่า 1 ซึ่งโครงการที่น่าลงทุนควรไม่น้อยกว่า 1 ทั้งนี้ ระยะเวลาคืนทุน (PP) ของโครงการนี้ใช้ระยะเวลาเพียง 1 ปี 5 เดือน ซึ่งจากปัจจัยที่หมดที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าโครงการนี้คุ้มทุนและเหมาะสมที่ผู้ประกอบการจะลงทุน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยเรื่องการเพิ่มมูลค่าหินฝุ่นแกรนิตให้เป็นวัสดุก่อสร้าง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการแต่งหินฝุ่นแกรนิต โดยกระบวนการคัดขนาดแบบ Spiral Classifier และกระบวนการคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน ให้หินฝุ่นแกรนิตมีขนาดช่วงคละและค่าโมดูลัสความละเอียดอยู่ในมาตรฐาน ASTM-C33 เพื่อทดแทนทรายก่อสร้าง ซึ่งจะสามารถเพิ่มมูลค่าของสินค้าคงคลังที่ไม่มีการเคลื่อนไหวให้ขายได้อีกครั้ง รวมถึงประเมินความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ในการสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต

จากการศึกษาพบว่าหินฝุ่นแกรนิตนั้นมีองค์ประกอบคล้ายทรายจากการศึกษาด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ นั่นคือมีปริมาณ SiO_2 สูง มีโพแทสเซียมเฟลสปาร์เป็นองค์ประกอบและมีปริมาณ K_2O พอสมควร ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับทรายหยาบ และสามารถแต่งหินฝุ่นแกรนิตให้กลายเป็นทรายก่อสร้างได้ เนื่องจากด้วยคุณสมบัติของหินแกรนิตที่มีปริมาณแร่ควอทซ์มากและมีขนาดคละที่เมื่อผ่านกระบวนการล้างแล้วจะสามารถใช้ทดแทนทรายก่อสร้างได้

ปัจจุบันมูลค่าหินฝุ่นแกรนิตมีราคาอยู่ในช่วง 50-100 บาท เมื่อแต่งให้เป็นทรายก่อสร้างแล้วจะสามารถเพิ่มราคาขึ้นได้ถึงเป็น 220 - 490 บาท/ตัน

การสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตนั้น มีอยู่หลายแบบ ในงานวิจัยนี้ได้อ้างอิงจากโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตกรณีศึกษาของบริษัทสโตนวัน และโรงล้างทราย บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย พบว่า โรงล้างทรายของบริษัทสโตนวันนั้น สามารถแต่งหินฝุ่นแกรนิตให้มีมาตรฐานขนาดคละคล้ายทรายก่อนสร้าง แต่ยังมีค่า F.M. สูงกว่าที่ผู้ซื้อต้องการ ทำให้เวลานำเอาหินฝุ่นแกรนิตล้างไปใช้ จำเป็นต้องนำไปผสมกับทรายก่อสร้างด้วย ไม่สามารถใช้ทดแทนได้ 100%

เพื่อปรับปรุงให้การล้างหินฝุ่นแกรนิตมีขนาดคละและค่า F.M. ที่ใกล้เคียงกับทรายก่อสร้างมากที่สุด จึงได้เสนอแนวทางสำหรับสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต ที่กรณีศึกษา บริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์ด้วยกระบวนการล้างแบบเปียก โดยเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน (Wet process Bucket wheel classifiers)

เนื่องจากลักษณะหินฝุ่นแกรนิตของของบริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์มีค่า F.M. อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแล้ว และขนาดคละก็มีช่วงขนาดใกล้เคียงกับทรายก่อสร้างตามมาตรฐาน ASTM C-33 ยกเว้นแต่มีเปอร์เซ็นต์ผ่านสะสมเบอร์ No.100 และค้างใน PAN (-100) สูง ซึ่งแสดงว่ามีขนาด

ละเอียดเป็นจำนวนมาก ทำให้การออกแบบโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตนี้ เน้นการล้างหินฝุ่นแกรนิตให้มีขนาดคละและมีค่า F.M. ที่ได้มาตรฐานเพื่อให้ผู้ประกอบการสามารถนำไปใช้แทนที่ทรายก่อสร้างได้ 100%

ซึ่งเครื่องจักรที่นิยมใช้ในการล้างดินออกจากทราย หรือล้างขนาดละเอียดในอุตสาหกรรม นิยมใช้เครื่องคัดแยกแบบ Spiral classifier และ เครื่องคัดแยกแบบบุ้งกี๋หมุน เมื่อได้ศึกษากรณีศึกษาบริษัทสโตนวันที่ใช้เครื่องคัดแยกแบบ Spiral classifier เป็นหลักแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ทำการดัดแปรงออกแบบโรงล้างโดยอ้างอิงจากของบริษัทสโตนวันเดิม หากปรับเป็นใช้เครื่องคัดแยกแบบบุ้งกี๋หมุนแทน

ทั้งนี้ ได้ทำการศึกษาแล้วว่า เครื่องคัดแยกแบบบุ้งกี๋หมุนนั้น สามารถคัดแยกดินหรือทรายขนาดละเอียดพร้อมทั้งลดปริมาณฝุ่นลงได้ จากการทดลองหาขนาดคละและปริมาณฝุ่นของทรายในบ่อทรายซีแพคสี่ร้อย ที่มีการใช้เครื่องคัดแยกแบบบุ้งกี๋หมุนอยู่ในโรงล้างทรายนั้น พบว่าปริมาณฝุ่นลดลง 32.87% และสามารถลดค่า F.M. ลง คิดเป็นร้อยละ 12.71 ทั้งมีขนาดคละที่ได้มาตรฐานอีกด้วย

ผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลงทุน ในกระบวนการการเก็บกลับคืน และเพิ่มมูลค่าหินฝุ่นแกรนิต จากต้นแบบโรงงานกระบวนการล้างแบบเปียก โดยเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน (Wet process Bucket wheel classifiers) พบว่า ผลตอบแทนที่ได้รับของกระบวนการล้างแบบเปียก โดยเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุนนั้นดีกว่า นั่นคือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) ของโครงการนี้เท่ากับ 141.4 ล้านบาท อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) ของโครงการคือ 66% ดัชนีกำไร (Profitability Index, PI) ของโครงการเท่ากับ 1.27 ซึ่งมากกว่า 1 แสดงว่าโครงการการลงทุนสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิตแบบกระบวนการล้างแบบเปียกโดยเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมนน่าลงทุน ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โครงการจะมีระยะเวลาคืนทุน (Payback period, PP) อยู่ที่ 1 ปี 5 เดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

ADIGUN, M. A. (2013). Cost Effectiveness of Replacing Sand with Crushed Granite Fine (CGF) In the Mixed Design of Concrete. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering,* 10(1 (Nov. - Dec. 2013)), 01-06.

JOEL, M. (2010). *Use of Crushed Granite Fine as Replacement to River Sand in Concrete Production.* Universtiy of Agriculture.

Littler, A. (1990). *Sand and Gravel Production*. United Kingdom: The Institute of Quarrying First Published.

Shanghai Shibang Machinery Co., L. Stone crusher and sandmaking series products.

Taggart, A. F. (1945). *Handbook of Mineral Dressing; Ores and Industrial Minerals (Wiley Engineering Handbook Series)* (J. W. S. Inc Ed.).

The Concrete products and Aggregate Co., L. (2543). *CPAC Concrete Technology*.

กรมทรัพยากรธรณี. (2551). การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดกาญจนบุรี: กรมทรัพยากรธรณี.

กรมทรัพยากรธรณี. (2554). การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดชลบุรี: กรมทรัพยากรธรณี.

กรมทรัพยากรธรณี. (2558). การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณี จังหวัดอ่างทอง.

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. Retrieved from http://mis.dpim.go.th/sourcestone-service_public/sourcestone_data/index.html

กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. (2547). หินอุตสาหกรรมเพื่อการก่อสร้าง (พิมพ์ครั้งที่ 1 ed.): หจก ซีนาย คอมพิวกราฟฟิค.

ขวัญชัย ลีเผ่าพันธุ์. (2553). การเก็บกลับคืนทรัพยากรและการนำมาใช้ใหม่: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์.

ดนุพล ตันนโยภาส, ก. ค. (2553). คอนกรีตมวลเบาที่ทำจากมวลรวมกะลาปาล์มน้ำมันผสมหินฝุ่นแกรนิต. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ธีระ เทพพรหม. (2551). การศึกษากำลังอัดคอนกรีตโดยใช้หินฝุ่นเป็นส่วนผสมแทนทรายหยาบ กรณีศึกษาหินฝุ่นโรงโม่หิน นราธิวาสโรงโม่หิน. วิทยาลัยเทคนิคนราธิวาส มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์.

นรรัตน์ บุญกันภัย. (2552). ธรณีวิทยาระวางอำเภอบางละมุง (5134 *I)* ระวางอำเภอสัตหีบ (5134 *II)* และระวางอำเภอปลวกแดง (5234 *IV)*: สำนักธรณีวิทยา กรมทรัพยากรธรณี.

นุชรี สองรักษ. (2554). การศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้นของการลอยแร่โพแทสเซียมเฟลด์สปาร์จากทรายเหลือทิ้ง. (วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บริษัทสโตนวัน จำกัด (มหาชน). Retrieved from http://www.stoneone.co.th/

พวงแก้ว บัวทอง, ร. อ., ดนุพล ตันนโยภาส,. (2557). สมบัติของมอร์ต้าร์ผสมหินฝุ่นแกรนิตดัดแปร. (วิทยานิพนธ์ปริญญาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ภิญโญ มีชำนะ. (2551). เอกสารประกอบคำสอนรายวิชา *Mineral and Process Engineering*. ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เรณู ขำเลิศ. การใช้หินฝุ่นเพื่อเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง. Retrieved from http://www.clinictech.most.go.th/online/pages/techlist_display.asp?tid=281

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2555). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการกำหนดแผนแม่บทการออกแบบขุมเหมืองและโรงโม่หิน (เหมืองเขาน้อยเจ้าเจ็ด)

สถาบันพัฒนาความรู้ตลาดทุนตลาดหลักทรัพย์แห่งประเทศไทย. (2548). การเงินธุรกิจ: บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับบิชชิ่ง จำกัด

สิน สินสกุล. (2540). ทรายในประเทศไทย In พิสิทธิ์ ธีรดิลก (Ed.), เอกสารการสัมมมนา เรื่อง การจัดการทรัพยากรทรายของประเทศไทย (pp. 1-12).

สุพัฒรา วุฒิชาติวาณิช, ส. จ., ธวัชชัย เชื้อเหล่าวานิช,ศิริพร สูงปานเขา,. (2547). การขุด-ตักและดูดทรายน้ำจืด การประชุมสัมมนาทางวิชาการ บริบทใหม่ : การบริหารจัดการแหล่งทรายน้ำจืดในประเทศไทย(29 - 30 กรกฎาคม 2547) (pp. 35 - 57).

สุรชัย โกเมนธรรมโสภณ. (2555). การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้ฝุ่นแกรนิตคัดขนาดเป็นส่วนผสมแทนทรายกรณีศึกษา หินฝุ่นแกรนิตจากโรงโม่หินของบริษัทโรงโม่ไทยจำกัด. (วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

อาทร ชูพลสัตย์, ณ. ม. (2556). บล็อกประสานจากขยะคอนกรีต: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

ผลวิเคราะห์ XRF

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
อาคารสถาบัน 3 ชั้น 3 จุฬาซอย 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. (662) 218-8032, 218-8101 โทรสาร (662) 218-8032, 254-021
SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH EQUIPMENT CENTRE CHULALONGKORN UNIVERSITY
CHULALONGKORN SOI 62 PHAYA-THAI ROAD PHATUMWAN BANGKOK 10330 THAILAND TEL. (662) 218-8032, 218-8101 FAX: (662) 218-8032, 254-0

รายงานผลการวิเคราะห์

ตัวอย่าง : เศษหิน (ชื่อ: หินฝุ่นแกรนิต)
เจ้าของตัวอย่าง : คุณโสมธิดา สินธุกูฏ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วัตถุประสงค์ : เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ
วิธีวิเคราะห์ : Wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry
เครื่องมือวิเคราะห์ : X-ray fluorescence spectrometer, Bruker model S8 Tiger
ผู้วิเคราะห์ : นายสมบูรณ์ เหรียญภูมิการกิจ
วันที่วิเคราะห์ : 5 กรกฎาคม 2559

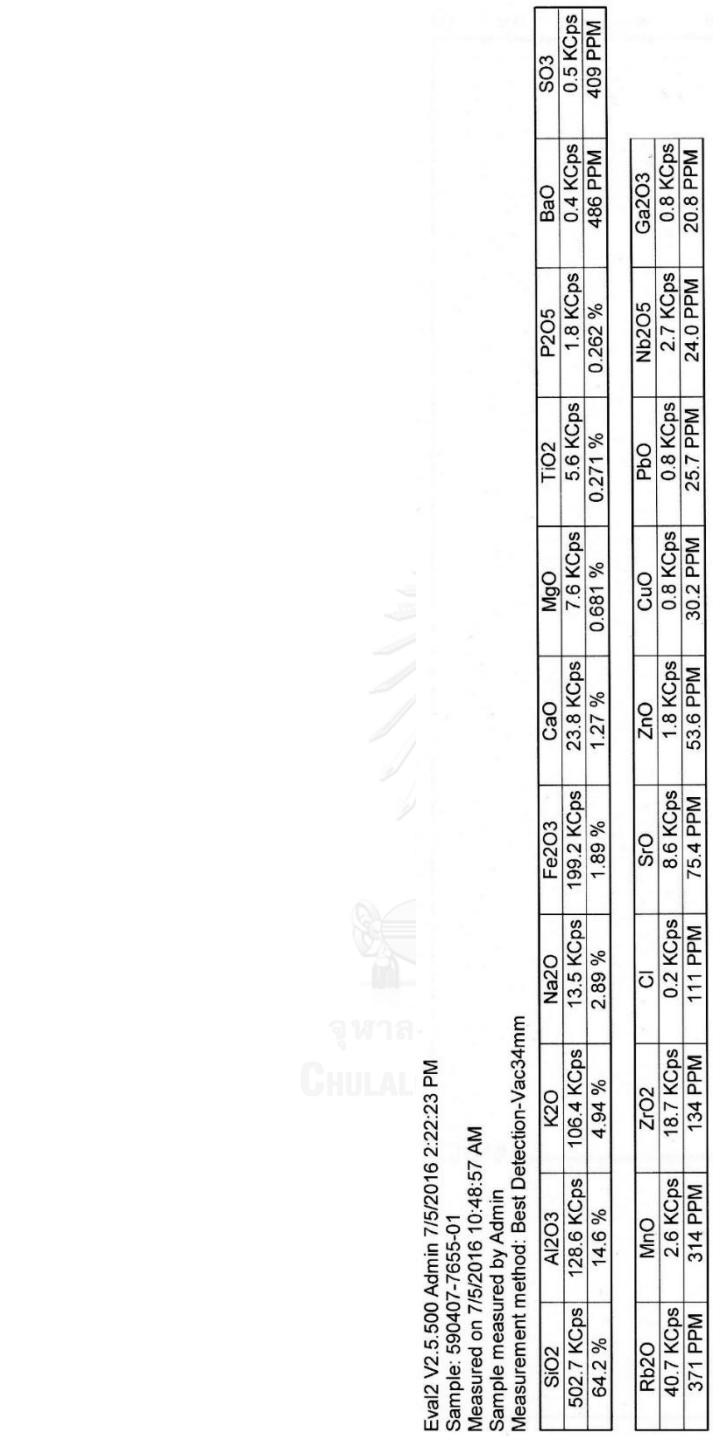
ผลการวิเคราะห์

ปริมาณธาตุ(ร้อยละโดยน้ำหนัก)*
รายละเอียดตามเอกสารแนบ

* 1.ปริมาณธาตุหาโดยวิธี Theoretical formulas, “fundamental parameter calculations”
2. ปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้คำนวณค่าให้อยู่ในรูป oxide ของธาตุนั้น ๆ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ก-2 ผลวิเคราะห์ XRF ของหินฝุ่นแกรนิต

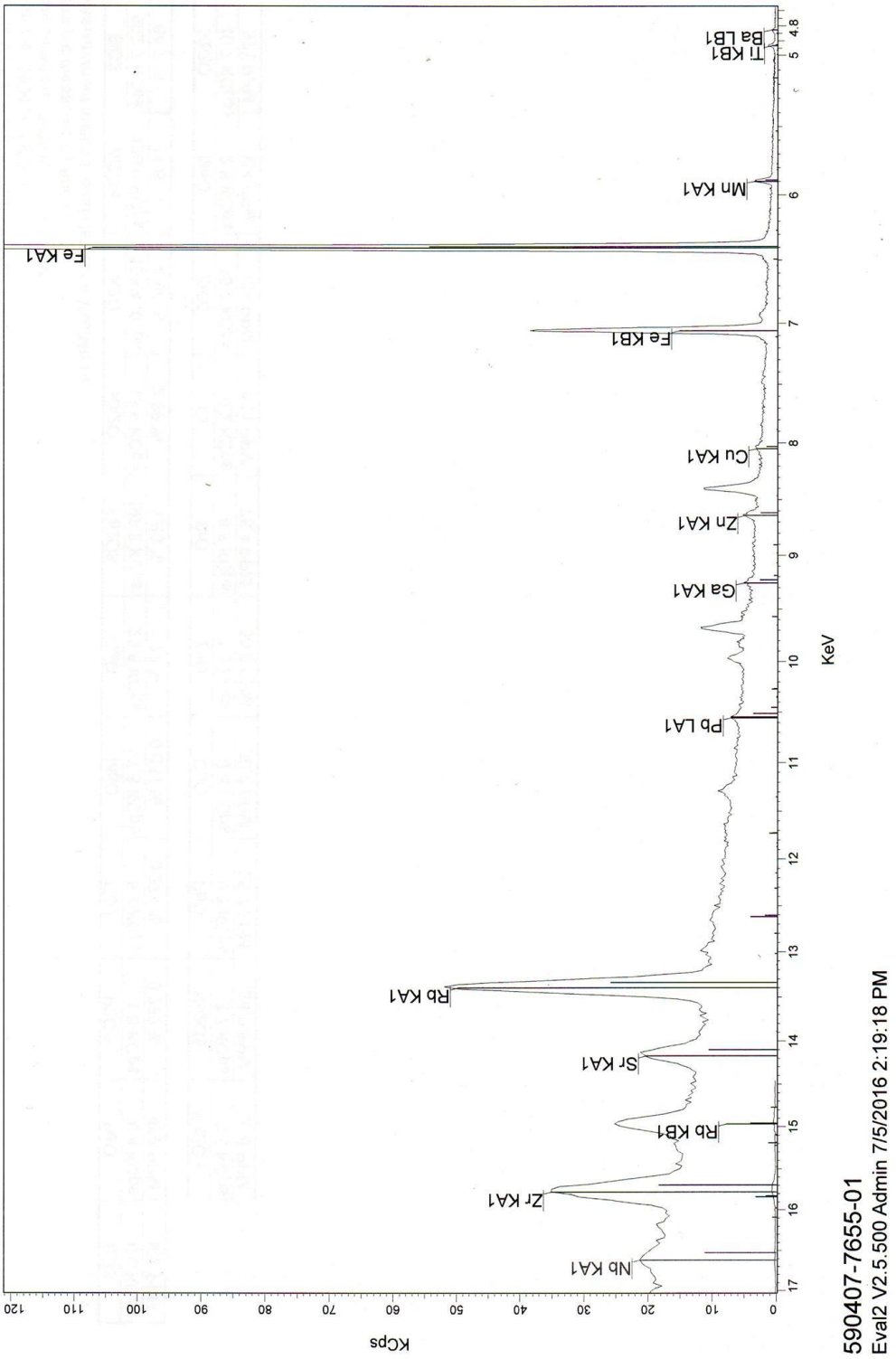


Eval2 V2.5.500 Admin 7/5/2016 2:22:23 PM
Sample: 590407-7655-01
Measured on 7/5/2016 10:48:57 AM
Sample measured by Admin
Measurement method: Best Detection-Vac34mm

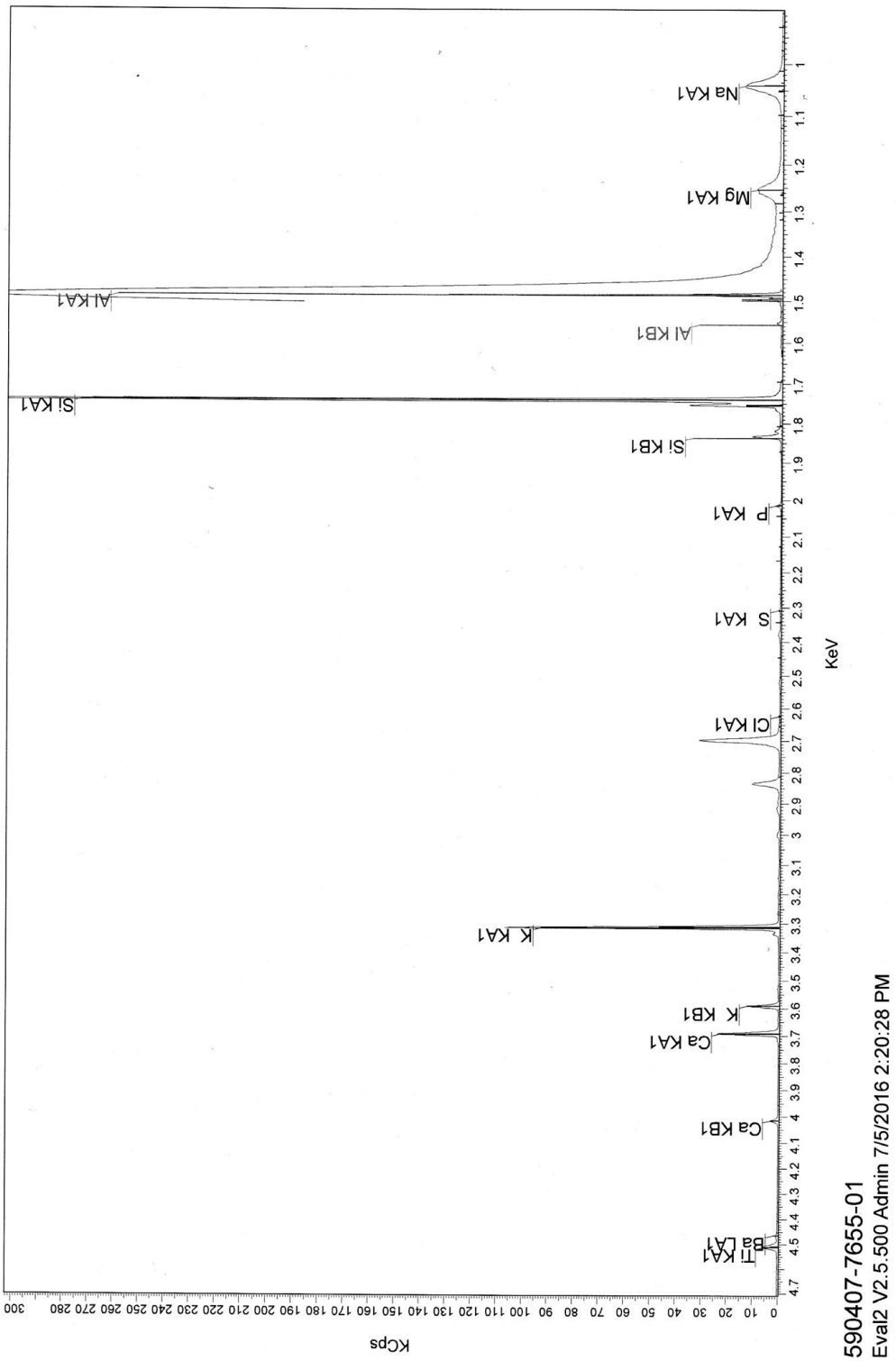
SiO2	Al2O3	K2O	Na2O	Fe2O3	CaO	MgO	TiO2	P2O5	BaO	SO3
502.7 KCps	128.6 KCps	106.4 KCps	13.5 KCps	199.2 KCps	23.8 KCps	7.6 KCps	5.6 KCps	1.8 KCps	0.4 KCps	0.5 KCps
64.2 %	14.6 %	4.94 %	2.89 %	1.89 %	1.27 %	0.681 %	0.271 %	0.262 %	486 PPM	409 PPM

Rb2O	MnO	ZrO2	Cl	SrO	ZnO	CuO	PbO	Nb2O5	Ga2O3
40.7 KCps	2.6 KCps	18.7 KCps	0.2 KCps	8.6 KCps	1.8 KCps	0.8 KCps	0.8 KCps	2.7 KCps	0.8 KCps
371 PPM	314 PPM	134 PPM	111 PPM	75.4 PPM	53.6 PPM	30.2 PPM	25.7 PPM	24.0 PPM	20.8 PPM

ก-2 ผลวิเคราะห์ XRF ของหินฝุ่นแกรนิต แหล่งหนองข่า บริษัทสโตนวัน



ก-3 ผลวิเคราะห์ XRF ของหินฝุ่นแกรนิต แหล่งหนองข่า บริษัทสโตนวัน



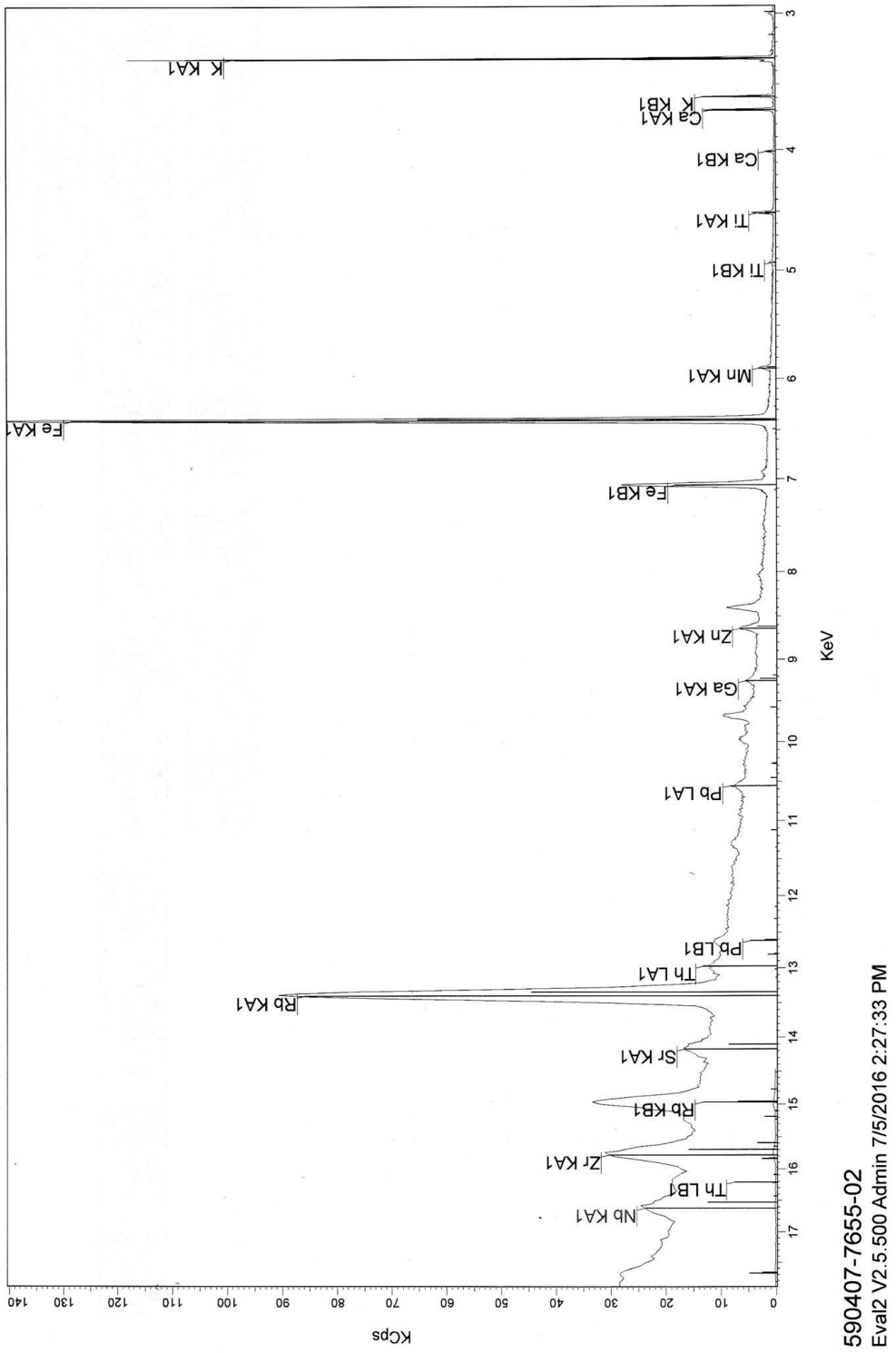
ก-4 ผลวิเคราะห์ XRF ของหินฝุ่นแกรนิต แหล่งหนองข่า บริษัทสโตนวัน

Eval2 V2.5.500 Admin 7/5/2016 2:24:38 PM
Sample: 590407-7655-02
Measured on 7/5/2016 11:07:18 AM
Sample measured by Admin
Measurement method: Best Detection-Vac34mm

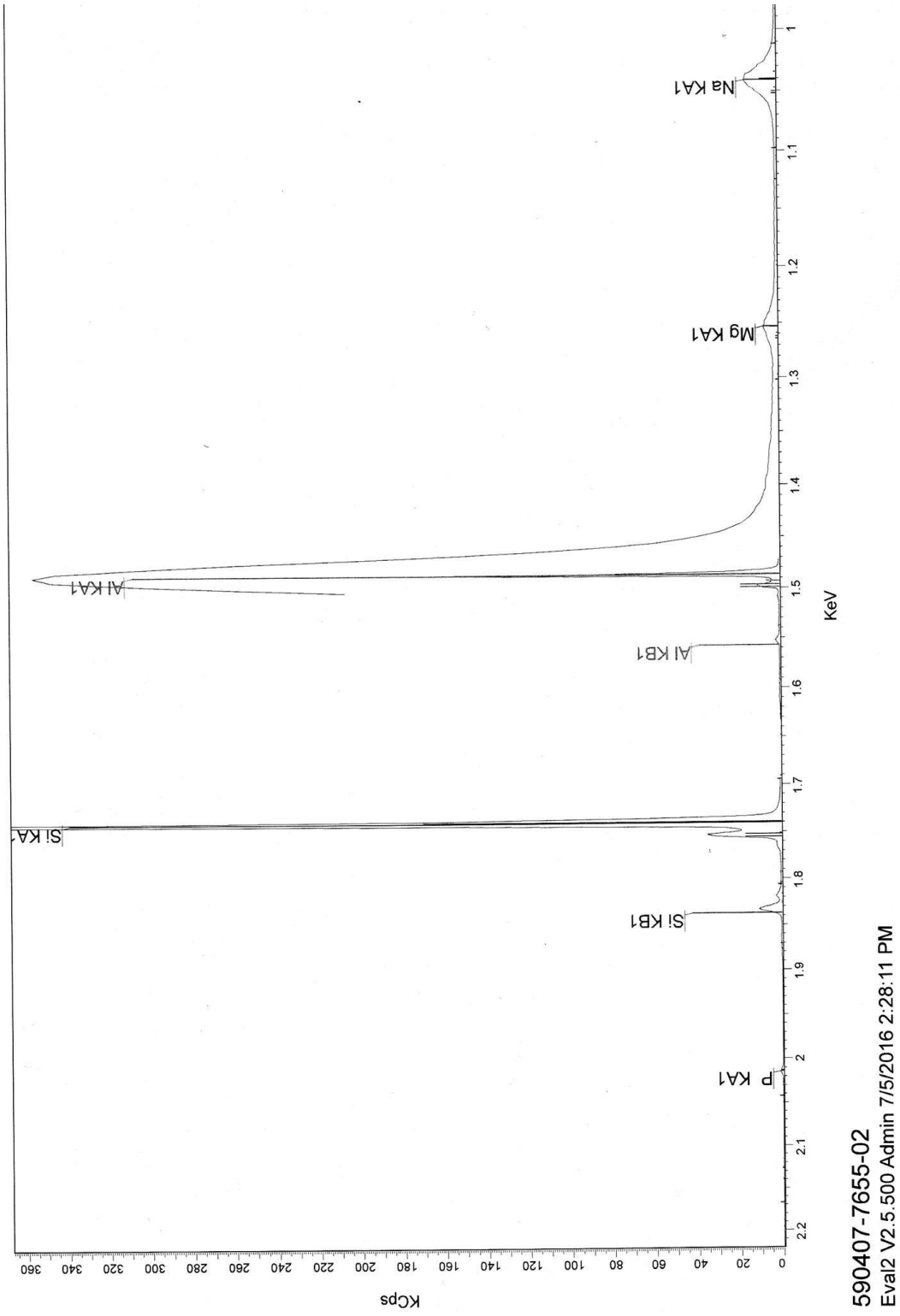
SiO2	Al2O3	K2O	Na2O	Fe2O3	CaO	MgO	TiO2	P2O5	Rb2O	MnO
492.0 KCps	144.3 KCps	118.1 KCps	13.8 KCps	141.5 KCps	12.8 KCps	4.4 KCps	3.9 KCps	1.3 KCps	78.7 KCps	2.0 KCps
62.6 %	16.0 %	5.47 %	2.89 %	1.33 %	0.687 %	0.382 %	0.187 %	0.185 %	692 PPM	241 PPM

ZrO2	ZnO	PbO	Nb2O5	ThO2	Ga2O3	SrO
14.0 KCps	3.3 KCps	1.7 KCps	5.4 KCps	1.8 KCps	1.3 KCps	3.9 KCps
102 PPM	97.5 PPM	58.1 PPM	45.3 PPM	41.6 PPM	33.2 PPM	32.7 PPM

ก-5 ผลวิเคราะห์ XRF ของหินฝุ่นแกรนิต เขาน้อยเจ้าเจ็ด บริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์



ก-6 ผลวิเคราะห์ XRF ของหินฝุ่นแกรนิต เขาน้อยเจ้าเจ็ด บริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์



ก-7 ผลวิเคราะห์ XRF ของหินฝุ่นแกรนิต เขาน้อยเจ้าเจ็ด บริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์

ภาคผนวก ข

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข – 1 เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF)

เครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอกซ์ (XRF) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบในสารตัวอย่าง โดยใช้การวัดปริมาณรังสีเอกซ์ฟลูออเรสเซนต์ที่ปลดปล่อยออกมาจากธาตุประกอบแต่ละชนิดในสารตัวอย่าง

หลักการและวิธีในการวิเคราะห์

เมื่อรังสีเอกซ์ปฐมภูมิจากหลอดรังสีเอกซ์ พุ่งเข้าชนสารตัวอย่างจะเป็นผลให้อิเล็กครอยวงในสุดของอะตอมภายในสารตัวอย่างหลุดออกจากอะตอมในรูปโปโต้อิเล็กตรอนทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในอิเล็กตรอนนั้น ซึ่งสภาวะนี้อะตอมจะไม่เสถียร อะตอมจะกลับสู่สภาวะที่เสถียรขึ้นโดยการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจะมีการปลดปล่อยรังสีเอกซ์ทุติยภูมิ ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ฟลูออร์เรสเซนต์ พลังงานของรังสีเอกซ์ทุติยภูมิที่ปลดปล่อยออกมาจะมีค่าที่แตกต่างกัน ขึ้นกับความแตกต่างของระดับพลังงานเริ่มต้นของอิเล็กตรอนวงนอก ที่เกิดการเปลี่ยนระดับพลังงานกับระดับพลังงานของช่องว่าง ที่เกิดจากรังสีเอกซ์ปฐมภูมิ รังสีเอกซ์ที่เกิดจากปรากฏการณ์ปลูออเรสเซนต์จะเป็นรังสีเอกซ์ที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของธาตุแต่ละชนิด ดังนั้นเทคนิคนี้จึงใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบของสารตัวอย่าง

ที่มา :

http://www.bestsci.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=538907996&Ntype=17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่มา : https://cns.fas.harvard.edu/XRF

ภาคผนวก ค

การคำนวนค่าโมดูลัสความละเอียด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus)

ซีแพค คอนกรีตเทคโนโลยี (2000) กล่าวว่า ค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus; F.M.) คือ ตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของก้อนวัสดุในมวลรวม โดยที่

F.M. = (1/100) ผลบวกของเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน)

ค.1 การคำนวนค่าโมดูลัสละเอียดของโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต บริษัท สโตนวัน

ค.1.1 ก่อนเข้าโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต

ตาราง ค1 ตารางเปรียบเทียบการคำนวนหาค่า F.M.ของตัวอย่างหินฝุ่นแกรนิตก่อนเข้ากระบวนการล้าง

Sieve no.	Weight Sample Retained (gram.)	Cumulative% Retained	Percent Passing (%)	Spec limit
3/4"	0	0.0	100.0	100
NO.4	44	4.5	95.5	95 - 100
NO.7	309	36.4	63.6	80 - 100
NO.16	360	73.4	26.6	50 - 85
NO.30	143	88.2	11.8	25 - 60
NO.50	72	95.6	4.4	10 - 30
NO.100	22	97.8	2.2	2 - 10
PAN	21	100.0	0.0	
TOTAL	971.0	F.M.	3.96	

$$\text{F.M.} = \frac{\text{ผลบวกของเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน}}{100}$$

$$= \frac{0+4.5+36.4+73.4+88.2+95.6+97.8}{100}$$

$$\text{F.M.} = 3.96$$

ค.1.2 หลังเข้าโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต

ตารางที่ ค-2 ตารางเปรียบเทียบการคำนวนหาค่า F.M.ของตัวอย่างหินฝุ่นแกรนิตหลังเข้ากระบวนการล้าง

Sieve no.	Weight Sample Retained (gram.)	Cumulative% Retained	Percent Passing (%)	Spec limit
3/4"	0	0.0	100.0	100
NO.4	37.6	3.8	96.2	95 - 100
NO.7	120.4	15.8	84.2	80 - 100
NO.16	312.3	47.1	52.9	50 - 85
NO.30	248.2	72.0	28.0	25 - 60
NO.50	94.6	81.4	18.6	10 - 30
NO.100	93.6	90.8	9.2	2 - 10
PAN	91.8	100.0	0.0	
TOTAL	998.5	F.M.	3.11	

$$\text{F.M.} = \frac{\text{ผลบวกของเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน}}{100}$$

$$= \frac{0+38+15.8+47.1+72.0+81.4+90.8}{100}$$

$$\text{F.M.} = 3.11$$

ค.2 การคำนวนค่าโมดูลัสละเอียดของโรงล้างหินทราย บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย

ค.2.1 ตัวอย่าง ก่อนเข้าเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน

ตารางที่ ค-3 ตารางเปรียบเทียบการคำนวนหาค่า F.M.ของตัวอย่างทรายก่อสร้าง บ่อทรายซีแพคสี่ร้อย

Sieve no.	Weight Sample Retained	Cumulative% Retained	Percent Passing (%)	Spec limit
3/8"	0	0.0	100.0	100
NO.4	5.0	1.0	99.0	95 - 100
NO.8	45.0	9.8	90.2	80 - 100
NO.16	120.0	33.3	66.7	50 - 85
NO.30	155.0	63.7	36.3	25 - 60
NO.50	140.0	91.2	8.8	10 - 30
NO.100	45.0	100.0	0.0	2 - 10
PAN	0.0	100.0	0.0	
TOTAL	510.0	**F.M.**	**2.99**	

$$\text{F.M.} = \frac{\text{ผลบวกของเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน}}{100}$$

$$= \frac{0+1.0+9.8+33.3+63.7+91.2+100}{100}$$

$$\text{F.M.} = 2.99$$

ค.2.2 ตัวอย่าง หลังเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน

ตารางที่ ค-4 ตารางเปรียบเทียบการคำนวนหาค่าF.M.ของตัวอย่างทรายก่อสร้าง หลังเข้าเครื่อง คัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน

Sieve no.	Wt. ret (gm)	Cum % ret	Cum % pass	Spec limit
3/8"	0	0.0	100.0	100
NO.4	5.0	1.0	99.0	95 - 100
NO.8	30.0	6.8	93.2	80 - 100
NO.16	85.0	23.3	76.7	50 - 85
NO.30	135.0	49.5	50.5	25 - 60
NO.50	165.0	81.6	18.4	10 - 30
NO.100	90.0	99.0	1.0	2 - 10
PAN	5.0	100.0	0.0	
TOTAL	515.0	F.M.	2.61	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$\text{F.M.} = \frac{\text{ผลบวกของเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน}}{100}$$

$$= \frac{0+1.0+6.8+23.3+49.5+81.6+99}{100}$$

$$\text{F.M.} = 2.61$$

ค.3 การคำนวนค่าโมดูลัสละเอียดของหินฝุ่นแกรนิต บริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์

ตารางที่ ค-5 ตารางการคำนวนหาค่า F.M.ของตัวอย่างหินฝุ่นแกรนิต ของ บ.ศิลาสมบูรณ์ทรัพย์

Sieve no.	Weight Sample Retained	Cumulative% Retained	Percent Passing (%)	Spec limit
3/4"	0	0.0	100.0	100
NO.4	12	1.2	98.8	95 - 100
NO.7	138	15.1	84.9	80 - 100
NO.16	252	40.5	59.5	50 - 85
NO.30	177	58.4	41.6	25 - 60
NO.50	158	74.3	25.7	10 - 30
NO.100	25	76.8	23.2	2 - 10
PAN	230	100.0	0.0	
TOTAL	992.0	F.M.	2.66	

$$\text{F.M.} = \frac{\text{ผลบวกของเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน}}{100}$$

$$= \frac{0+1.2+15.1+40.5+58.4+74.3+76.8}{100}$$

$$\text{F.M.} = 2.66$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ง

กระแสเงินสดของโครงการสร้างโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต แบบกระบวนการล้างแบบเปียก โดยเครื่องคัดขนาดแบบบุ้งกี๋หมุน (Wet process Bucket wheel classifiers)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อสมมติในแบบจำลองกระแสเงินสด

รายการ	wet process (Bucket wheel classifiers)

สมมติฐานทางการเงิน

ตารางที่ ค-1 เงินลงทุนในสินทรัพย์ระยะยาว

รายการ	บาท
เครื่องจักร, อุปกรณ์ และยานพาหนะ (อายุการใช้งาน 10 ปี)	37,000,000
รวม	37,000,000

ตารางที่ ค-2 ค่าใช้จ่ายก่อนดำเนินการ (Capital Expenditure, CAPEX)

รายการ	บาท
การติดตั้งเครื่องจักร (บริษัทรับเหมา)	10,000,000
ระบบท่อ	-
ระบบไฟ	-
ระบบน้ำเสีย	-
ค่าเผื่อขาด (15% ของราคาเครื่องจักร)	5,550,000
รวม	15,550,000
รวม CAPEX	52,550,000
ค่าเงินทุนหมุนเวียน (Working Capital)	1,751,868
รวม	54,301,868

ตารางที่ ค-3 แหล่งเงินทุน

รายการ	บาท
เงินลงทุนของเจ้าของกิจการทั้งหมด	52,550,000
รวม	52,550,000

รายการ	wet process (Bucket wheel classifiers)

ตารางที่ ค-4. รายได้

	บาท	บาท
ราคาหินฝุ่นแกรนิตล้าง (ทรายก่อสร้าง) (บาท/ตัน)	220	220
ปริมาณการป้อน	100	ตัน/ชม
ผลผลิตหินฝุ่นแกรนิต	1,000	ตัน/วัน
ผลผลิตหินฝุ่นแกรนิต	25,000	ตัน/เดือน
ผลผลิตหินฝุ่นแกรนิต	300,000	ตัน/ปี
reserves	6,000,000	ตัน

ตารางที่ ค-5 รายได้ของโรงล้างหินฝุ่นแกรนิต

	wet process (Bucket wheel classifiers)	
	หินฝุ่นแกรนิตล้าง (ตัน)	revenue (บาท)
ตัน/วัน	700	154,000
ตัน/เดือน	17,500	3,850,000
ตัน/ปี	210,000	46,200,000

รายการ	wet process (Bucket wheel classifiers)

ตารางที่ ค-6. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating Expense, OPEX)

ค่าจ้างแรงงาน	รวม
ผู้จัดการโรงงาน	35,000
วิศวกร	30,000
ฝ่ายบัญชี	21,000
ฝ่ายขาย	18,000
ฝ่ายการตลาด	18,000
หัวหน้าคนงาน	21,000
คนงาน	135,000
ผู้รักษาความปลอดภัย	15,000
แม่บ้าน	7,300
Total	300,300

ค่าไฟ	3,403,872

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าบำรุงรักษา (5 % ของค่าใช้จ่ายลงทุน)	1,850,000	บาท
ค่าวัสดุสิ้นเปลืองอื่น ๆ (1% ของค่าใช้จ่ายลงทุน)	370,000	บาท
Electric cost	283,656	บาท/เดือน
Total	3,903,656	บาท
Oprating cost	80	บาท/ตัน
Oprating cost เดือน	1,400,000	บาท/เดือน

ตารางที่ ค-7 ปริมาณสำรองของCGF ของบริษัทศิลาสมบูรณ์ทรัพย์

ปริมาณสำรอง	48,000,000	ตัน
CGF 15%	7,200,000	ตัน
CGF stockpile	35,000	ตัน
stocpile & reserve	7,235,000	ตัน
Plant life	24	year

ตาราง ค-8 รายละเอียดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของการเพิ่มมูลค่าของหินฝุ่นแกรนิต

Table 7. Detail of operating Expense for Washing Processing	0	1	2	3	4	5
ปีที่						
ค่าใช้จ่ายในการแต่งแร่ (Processing cost)	50,443,872	5,044,387	5,044,387	5,044,387	5,044,387	5,044,387
ค่าแรงงาน (เพิ่มขึ้น 10% ต่อปี) (Labour Cost increase 10%/year)	300,300	300,300	330,330	360,360	393,393	429,429
ค่าเงินเฟ้อ (เพิ่มขึ้น 5% ต่อปี) (Inflation cost increase 5%/year)	100	105	110	116	122	128
ค่าแรงงาน เมื่อเกิดภาวะเงินเฟ้อ (Labour cost and inflation)		315,315	364,189	417,162	478,172	548,072
ค่าใช้จ่ายสวัสดิการ และการบริหาร (50% (7.)) (Welfare and management (50%))		157,658	182,094	208,581	239,086	274,036
ค่าวิเคราะห์ทดสอบ (10% (7.)) (Analyze cost (10%))		31,532	36,419	41,716	47,817	54,807
Total Opex		5,548,891	5,627,089	5,711,846	5,809,462	5,921,303

Table 7. Detail of operating Expense for Washing Processing	6	7	8	9	10
ปีที่					
ค่าใช้จ่ายในการแต่งแร่ (Processing cost)	5,044,387	5,044,387	5,044,387	5,044,387	5,044,387
ค่าแรงงาน (เพิ่มขึ้น 10% ต่อปี) (Labour Cost increase 10%/year)	468,768	511,711	558,588	609,759	665,618
ค่าเงินเฟ้อ (เพิ่มขึ้น 5% ต่อปี) (Inflation cost increase 5%/year)	134	141	148	155	163
ค่าแรงงาน เมื่อเกิดภาวะเงินเฟ้อ (Labour cost and inflation)	628,194	720,029	825,289	945,937	1,084,222
ค่าใช้จ่ายสวัสดิการ และการบริหาร (50% (7.)) (Welfare and management (50%))	314,097	360,015	412,644	472,968	542,111
ค่าวิเคราะห์ทดสอบ (10% (7.)) (Analyze cost (10%))	62,819	72,003	82,529	94,594	108,422
Total Opex	6,049,498	6,196,434	6,364,849	6,557,886	6,779,142

ตารางที่ ค-9 รายละเอียด cash flow ของวิธี wet process (Bucket wheel classifiers)

ปีที่		1	2	3	4
Capital expense (bath)	52,550,000				
working capital (Bath)	1,751,868				
Total Investment	54,301,868				
CGF product price	220				
product (ton/year)	255,000	255,000	255,000	255,000	255,000
ยอดรวมทรายก่อสร้าง(บาท)(Groos revenue)	56,100,000	56,100,000	56,100,000	56,100,000	56,100,000
ค่าภาคหลวงแร่ (baht/ton)	14				
เงินค่าภาคหลวงบาท/ปี (Royalty expense)	3,570,000	3,570,000	3,570,000	3,570,000	3,570,000
รายได้ต่อปี (Revenue)	52,530,000	52,530,000	52,530,000	52,530,000	52,530,000
รวม OPEX		21,098,891	5,627,089	5,711,846	5,809,462
ค่าเสื่อม (Depreciation)		5,255,000	5,255,000	5,255,000	5,255,000
รายได้ก่อนหักภาษี (Incom before tax)		26,176,109	41,647,911	41,563,154	41,465,538
ภาษี 30% (Tax 30%)		7,852,833	12,494,373	12,468,946	12,439,661
รายได้หลังหักภาษี (Income after tax)		18,323,276	29,153,537	29,094,208	29,025,877
กระแสเงินสด (Cash flow)	(54,301,868)	39,128,276	34,408,537	34,349,208	34,280,877
	54,301,868	39,128,276	73,536,814	107,886,021	142,166,898

ปีที่	5	6	7	8	9	10
Capital expense (bath)						
working capital (Bath)						
Total Investment						
CGF product price						
product (ton/year)	255,000	255,000	255,000	255,000	255,000	255,000
ยอดรวมทรายก่อสร้าง(บาท)(Groos revenue)	56,100,000	56,100,000	56,100,000	56,100,000	56,100,000	57,851,868
ค่าภาคหลวงแร่ (baht/ton)						
เงินค่าภาคหลวงบาท/ปี (Royalty expense)	3,570,000	3,570,000	3,570,000	3,570,000	3,570,000	3,570,000
รายได้ต่อปี (Revenue)	52,530,000	52,530,000	52,530,000	52,530,000	52,530,000	54,281,868
รวม OPEX	5,921,303	6,049,498	6,196,434	6,364,849	6,557,886	6,779,142
ค่าเสื่อม (Depreciation)	5,255,000	5,255,000	5,255,000	5,255,000	5,255,000	5,255,000
รายได้ก่อนหักภาษี (Incom before tax)	41,353,697	41,225,502	41,078,566	40,910,151	40,717,114	42,247,726
ภาษี 30% (Tax 30%)	12,406,109	12,367,651	12,323,570	12,273,045	12,215,134	12,674,318
รายได้หลังหักภาษี (Income after tax)	28,947,588	28,857,851	28,754,996	28,637,105	28,501,980	29,573,408
กระแสเงินสด (Cash flow)	34,202,588	34,112,851	34,009,996	33,892,105	33,756,980	34,828,408
	176,369,486	210,482,337	244,492,334	278,384,439	312,141,419	346,969,828

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวโสมธิดา สินธุกูฏ เกิดเมื่อวันที่ 14 พฤษภาคม พ.ศ.2531 ณ กรุงเทพมหานคร เป็นบุตรสาวเพียงคนเดียว ของ นางเบ็ญจวรรณ สิทธิธรรม และนายสุวรรณ สินธุกูฏ จบการศึกษาระดับประถมศึกษา – มัธยมศึกษา จากโรงเรียนเซนต์เมรี่ จังหวัด อุดรธานี จากนั้นจึงได้เข้าศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาธรณีศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ในปีการศึกษา 2552

จากนั้นได้เข้าทำงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่แผนที่ภาพถ่าย ศูนย์สารสนเทศ กรมส่งเสริมการเกษตร เป็นเวลา 3 ปี ก่อนจะเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมทรัพยากรธรณี ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และปิโตรเลียม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University