รายงานการวิจัย

การศึกษาเบื้องต้นในการเตรียมวัสดุเพื่อผสมทำคอนกรีต ที่มีน้ำหนักเบา จากดินที่มีอยู่ในท้องถิ่น

(The Preliminary Study of Preparation of Lightweight Concrete Aggregates produced from Local Clay)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ศิริรัตน์ รัตนจันทร์

สาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

รศ.ดร. จรัสศรี ลอประยูร

ดร. วีระยุทธ์ ลอประยูร

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2543

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

สิงหาคม 2543

กิตติกรรมประกาศ

งานโครงการวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนงบประมาณเป็นทุนอุดหนุนการวิจัย ทั้งหมดจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ประจำปีงบประมาณ 2543 ในความสำเร็จของโครงการวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้รับความร่วมมือและสนับสนุนจาก

1. อ.ดร. วีระยุทธ์ ลอประยูร และ รศ.ดร.จรัสศรี ลอประยูร ท่านเป็นผู้ผลักดันให้เกิดงานวิจัยนี้ ทั้งยังให้คำแนะนำ ปรึกษาทางวิชาการ และเป็นกำลังใจให้งานครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี
2. รศ. น.อ. ดร. วรพจน์ ขำพิศ ผู้อำนวยการศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และ คุณศุภราภรณ์ สกุลภักดี , เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิเคราะห์ และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการเซรามิกทุกท่าน ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย
3. อาจารย์ ธารา เล็กอุทัย อาจารย์ ดร.ทวีศักดิ์ ศิลากุล และ อาจารย์ อัฒพรรค์ วรรณโกมล สาขาวิชาเทคโนโลยีธรณี ที่ให้คำแนะนำปรึกษาที่มีประโยชน์และออกพื้นที่สำรวจดินเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์อย่างมาก
4. ผศ. ดร. มงคล จิรวัชรเดช และ อ.ธีรวัฒน์ สินศิริ และเจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี สาขาวิศวกรรมโยธา ที่กรุณาให้ข้อมูลการทดสอบคอนกรีตที่เป็นประโยชน์อย่างมาก
5. นักศึกษาผู้ช่วยวิจัย จำนวน 2 คน ที่ทำงานด้วยความขยันขันแข็งมาตลอดระยะเวลาโครงการวิจัย ได้แก่ นายอุกฤษ์ อายุรวงศ์ นาย อุดมศักดิ์ แก้วปักษา
6. คุณปราณี สิทธิคุณ ที่ให้ความสะดวก และช่วยในการตรวจสอบเอกสารทางการเงิน และรายงานการวิจัย และ เจ้าหน้าที่ส่วนพิมพ์ดีดกลางทุกท่านที่ช่วยพิมพ์รายงานการวิจัย ทำให้รายงานการวิจัยเสร็จสมบูรณ์ ทันกำหนดเวลา
7. บิดา มารดา และคุณวิชิต ประกายพรรณ ที่ให้คำปรึกษาด้านส่วนผสมคอนกรีต และเป็นกำลังใจในการทำงานมาโดยตลอด

ผู้วิจัยจึงใคร่ขอแสดงความขอบคุณต่อสถาบันและบุคคลต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นทุกท่านที่มีส่วนสนับสนุนให้โครงการวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศิริรัตน์ รัตนจันทร์

หัวหน้าโครงการวิจัย

สิงหาคม 2543

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อการหาความเป็นไปได้ในการเตรียมมวลรวมเบาจากดินที่มีในท้องถิ่น ดินจะถูกนำไปเผาที่อุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้ขยายตัวและให้รูพรุนขนาดเล็กในโครงสร้างเพื่อให้มีน้ำหนักเบา ดินที่นำมาศึกษาคือ ดินในเขตมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี 2 ชนิดได้แก่ ดินสีแดง มทส.และดินสีขาว มทส. โครงการวิจัยนี้ได้ศึกษาส่วนผสมและอุณหภูมิเผาที่เหมาะสม การศึกษาสมบัติเฉพาะของเม็ดดินเผา และการทดลองเบื้องต้นในการเตรียมคอนกรีตเบา ผลคือมวลรวมเบาเตรียมได้จากส่วนผสมดินแดง 70-90% และเผาที่อุณหภูมิ 1250 องศาเซลเซียส จากการศึกษาสมบัติของดินเผาพบว่ามีค่าการดูดซึมน้ำ ระหว่าง 1.83-13.17% ค่าความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวผิวแห้ง ระหว่าง 1.31-1.99 และ หน่วยน้ำหนักระหว่าง 796-1066.73 kg/cm^3 ความต้านทานต่อแรงกดอัดของคอนกรีตเบาที่เตรียมจากดิน มทส. หลังบ่ม 7 วันมีค่าเท่ากับ 333.6-547.6 kg/cm^2

Abstract

This study aims at investigating the possibility of preparation lightweight aggregates from local clays. The clays are fired at the appropriate temperature to expand and have small pores in the structure for lightweight bodies. Two types of clay in Suranaree University of Technology was studied; Red SUT and White SUT. This study determines compositions and firing temperatures, characterization of fired granule clays and the preliminary experiment of lightweight aggregate preparation. The results were lightweight aggregates can be produced with 70-90% of Red SUT fired at 1250°C. From the study of all the prepared lightweight aggregate properties, it was found that they have 1.83-13.17 % of water absorption. Their Specific gravity of saturated surface dry was between 1.31 and 1.99. Their Unit Weight was between 796 and 1066.73 kg/cm^3. The compressive strength of lightweight concretes at 7 days was 333.6 – 547.6 kg/cm^2.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
หน่วยงานที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์	4
ขอบเขตการวิจัย	5
ระเบียบวิธีการวิจัย	5
บทที่ 2 คอนกรีตเบา	5
คอนกรีตเบา	8
คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา(Lightweight concrete)	10
โฟมคอนกรีต	14
บทที่ 3 การผลิตมวลรวมเบาและคอนกรีตเบา	17
ประวัติและวิวัฒนาการในการผลิตมวลรวมเบา	18
เทคนิคการผลิต	18
การผลิตมวลรวมเบา	19
การออกแบบส่วนผสม	22
ปัจจัยที่ใช้พิจารณาหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต	24
บทที่ 4 การทดลองผลิตมวลรวมเบาจากดินเผา	33
วิธีการทดลอง	33
ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลละเอียด	36
ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ	39

หน่วยน้ำหนักและช่องว่างของมวลรวม..... 41
การทดสอบความสามารถเทได้โดยการทดสอบ Flow ability..... 45
การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตโดยการหล่อ..... 46
บทที่ 5 รายงานผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 49
การศึกษาลักษณะเฉพาะของดินสีขาวและดินสีแดงในมหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีสุรนารี..... 49
การกระจายขนาดอนุภาคดิน มทส. โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis) 57
การศึกษาสมบัติทางกายภาพของดิน มทส. หลังจากผ่านการเผา..... 58
การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของมวลรวม..... 60
การทดสอบสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตเบา..... 64
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง 69
บรรณานุกรม..... 70
ประวัติคณะผู้วิจัย..... 72

สารบัญตาราง

หน้า

1.1 Usable properties of lightweight coarse aggregates..... 3

1.2 แสดงถึงขั้นตอนต่างๆที่ใช้ในการทดลอง..... 6

1.3 แสดงถึงวิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูล..... 7

2.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของคอนกรีตเบา..... 9

2.2 จำแนกคอนกรีตเบาตามการใช้งาน..... 10

2.3 Structural lightweight concrete..... 10

2.4 Lightweight aggregates in the UK (1993)..... 11

2.5 กำลังอัดของคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงตามหน่วยน้ำหนัก..... 14

3.1 สมบัติทางกายภาพของหินธรรมชาติเปรียบเทียบกับมวลรวมเบา..... 21

3.2 ปริมาณอากาศสำหรับคอนกรีตผสมและไม่ผสมสารเพิ่มฟองอากาศ
ตาม ACI 211.2-81..... 23

3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ย และปริมาณซีเมนต์สำหรับ
คอนกรีตเบาและกึ่งเบาโดยไม่รวมวัสดุชนิดอื่นๆ..... 25

3.4 สัดส่วนขนาดคละที่ต้องการสำหรับคอนกรีตเบา..... 27

3.5 ตัวอย่างการหาขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมที่ใช้..... 28

4.1 แสดงหน่วยน้ำหนักของมวลรวมตามธรรมชาติโดยทั่วไปๆ..... 43

5.1 แสดงผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดิน มทส. (XRF)..... 49

5.2 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคของดิน มทส. 57

5.3 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของดิน มทส. หลังจากผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1250°C..... 58

5.4 แสดงสมบัติต่างๆหลังเผาของส่วนผสมดินแดงต่อดินขาว
ที่ผ่านการล้างด้วยอัตราส่วนต่างๆ..... 59

5.5 แสดงขนาดคละของมวลรวมที่นำมาทดสอบ..... 61

5.6 ข้อมูลการทดลองหาความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ..... 61

5.7 แสดงขนาดสัดส่วนคละของทราย..... 62

5.8 แสดงสมบัติต่างๆทางกายภาพของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด..... 62

5.9 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมคอนกรีตเบา..... 63

5.10 แสดงส่วนคละของมวลรวมที่ใช้ผสมเตรียมคอนกรีตเบา..... 63

5.11 แสดงสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตเบา..... 64

สารบัญรูปภาพ

หน้า

1.1 Approximate unit weight and uses classification of light aggregate concretes..... 2
1.2 แสดงถึงขั้นตอนต่างๆที่ใช้ในการทดลอง..... 6
1.3 แสดงถึงวิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูล..... 7
2.1 แผนภาพแสดงประเภทของคอนกรีตเบา..... 9
2.2 Leca และ Fibo..... 12
2.3 Liapor..... 12
2.4 Lytag..... 13
2.5 Pellite..... 13
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวคูณความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity factors) กับความชื้นของมวลรวม..... 23
3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ 25
3.3 สภาพความชื้นของมวลรวม..... 29
3.4 ภาพตัดภายในมวลรวมแสดงช่องว่างชนิดน้ำซึมผ่านได้ (Capillary pores) และ ชนิดที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ (Impermeable pores) 30
4.1 แหล่งดินสีขาวและสีแดงบริเวณอาคารขนส่งมทส. 33
4.2 การนำเม็ดดินที่เตรียมได้ไปอบ..... 35
4.3 การเรียงเม็ดดินก่อนนำเข้าเผา..... 35
4.4 เม็ดดินที่เตรียมได้..... 35
4.5 เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวม..... 39
4.6 ชุดเครื่องมือในการตรวจสอบสมบัติของมวลรวมและคอนกรีตเบา..... 42
4.7 เครื่องกดอัดแท่งทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยีมทส. 47
4.8 ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมได้และทำการบ่มในน้ำ..... 48
5.1 XRD pattern ของดินขาวในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ. นครราชสีมา (จุด C4/1)..... 50
5.2 XRD pattern ของดินแดงในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ. นครราชสีมา (จุด C4/2)..... 51
5.3 XRD pattern ของดินผสมใน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ. นครราชสีมา..... 52
5.4 ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วย DTA ของดินสีขาว มทส..... 53

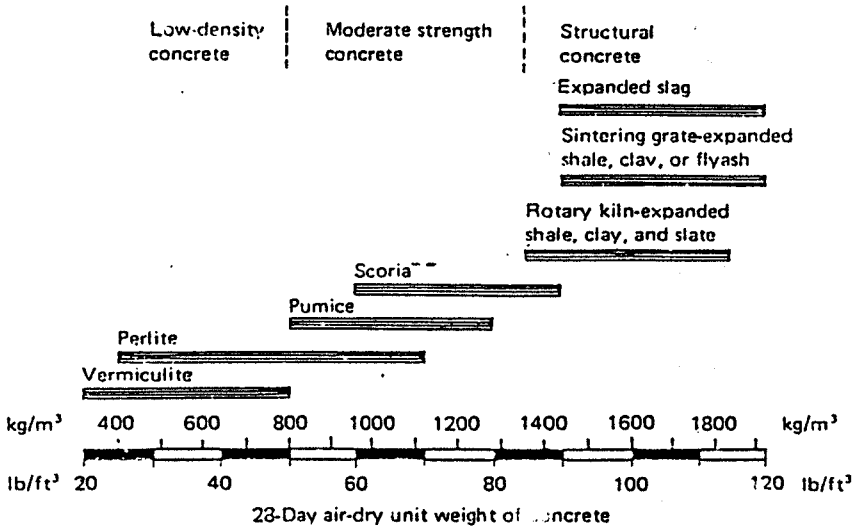
5.5 ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วย DTA ของดินสีแดง มทส 54
5.6 ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วย TGA ของดินสีขาว มทส..... 55
5.7 ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วย TGA ของดินสีแดง มทส..... .. 56
5.8 มวลรวมที่เตรียมได้นำมาแยกขนาด..... 60

บทที่ 1
บทนำ

ลักษณะของงานวิจัย	:	**การวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศ** **(Research for national development)**
แผนงานวิจัย	:	**แผนการวิจัยเพื่อพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี** **(Primary research plan for science and technology development)**
แผนงานย่อย	:	**แผนงานย่อยวิจัยเพื่อส่งเสริมการใช้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภาคการผลิตที่สำคัญ** **(Promotion of science and technology usage in major manufacturing sectors)**

ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัยและการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง
(Background and literature survey)

เนื่องจากวัสดุที่ใช้ผสมกับซีเมนต์เพื่อทำเป็นคอนกรีต (Concrete aggregate) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผสมซีเมนต์และคอนกรีตในการก่อสร้าง เมื่อใช้วัสดุเหล่านี้ผสมกับซีเมนต์ จะทำให้เกิดความแข็งแรงขึ้น โดยซีเมนต์จะไหลแทรกเข้าไปในช่องว่างระหว่างอนุภาคของวัสดุ(aggregates) ชนิดนี้เมื่อแข็งตัวจะสามารถเชื่อมวัสดุชนิดนี้เข้าด้วยกัน โดยทั่วไปจะเติม Aggregates ลงไปเป็นปริมาณ 2 ใน 3 โดยปริมาตร เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับคอนกรีตและลดปริมาณการใช้ซีเมนต์ลงได้มาก ทั้งยังช่วยลดความคืบ (Creep) และการหดตัวของคอนกรีต และมีราคาถูก ตัวอย่างของพวกวัสดุที่ใช้ผสมกับซีเมนต์เหล่านี้ได้แก่ หิน ทราย กรวด และพวกเศษถ่านหินหรือขี้แร่ที่นำมาบด (Crushed slag) แต่ข้อเสียคือ ขนาดและรูปร่างของวัสดุเหล่านี้ไม่แน่นอน และไม่ได้มาตรฐาน ทำให้การควบคุมคุณสมบัติต่างๆของคอนกรีตทำได้ยาก รูปที่ 1.1 แสดงการจัดจำพวกของ Lightweight aggregates ตามน้ำหนักต่อหน่วยและการนำไปใช้



รูปที่1.1 Approximate unit weight and classification of lightweight aggregates concretes. From ACI Committee 213, *ACI Journal*, American Concrete Institute [ACI 1984].

อย่างไรก็ตาม ในงานก่อสร้างบางอย่างที่ต้องการน้ำหนักเบาและเป็นฉนวนกั้นความร้อน เช่นบริเวณหลังคา พื้นหรือผนัง ต้องการคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรง ดังนั้น จึงมีการนำวัสดุที่มีน้ำหนักเบาแต่ให้ความแข็งแรงสูงมาผสมกับซีเมนต์ที่เรียกว่า Lightweight concrete คอนกรีตน้ำหนักเบาเหล่านี้ก็มีวิธีการเตรียมเหมือนกับคอนกรีตทั่วไป ต่างกันที่วัสดุที่ใช้ผสมจะมีน้ำหนักเบาหรือ มีความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของวัสดุพวกนี้ต่ำ ซึ่งสมบัติของ มวลรวมเบาเหล่านี้คือ มีน้ำหนักต่อหน่วยน้อยและมีการนำความร้อนต่ำ ในการลดความถ่วงจำเพาะของวัสดุเหล่านี้คือ การทำให้มวลรวม(Aggregates) มีรูพรุนหรือช่องว่างและมีอากาศอยู่ภายใน มวลรวมที่มีน้ำหนักเบาเหล่านี้ก็สามารถเกิดขึ้นได้ในธรรมชาติ เช่น Pumice etc.หรือเกิดโดยการสังเคราะห์ขึ้นมา เช่น Foamed blast-furnace slag ขี้เถ้าจากโรงไฟฟ้า (Sintered fly ash) เป็นต้น ตารางที่ 1.1 แสดงถึงสมบัติต่างๆของ มวลรวมเบา

ตารางที่ 1.1 Usual properties of lightweight coarse aggregates

Aggregate	Bulk specific gravity, SSD	Unit weight, lb/ft³ (kg/m³)	Water absorption, % by weight
Pumice	1.25–1.65	30–55 (480–880)	20–30
Foamed blast-furnace slag	1.15–2.20	25–75 (400–1200)	8–15
Expanded perlite	0.90–1.05	~ 10 (~ 160)	10–30
Expanded vermiculite	0.85–1.05	~ 10 (~ 160)	10–30
Expanded clay, shale, and slate	1.1–2.1	35–60 (560–960)	2–15
Sintered fly ash	~ 1.7	37–48 (590–770)	14–24
Saw dust	0.35–0.6	8–20 (128–320)	10–35
Polystyrene foam	0.05	0.6–1.2 (10–20)	~ 50

Note: Fine particles of lightweight aggregates usually have higher bulk specific gravity and unit weight than coarse particles of the same kind of material.

ปัญหาที่สำคัญในการใช้ มวลรวมเบานี้คือ วัตถุดิบที่หายากและไม่มีในประเทศ และบางอย่างยังมีคุณภาพไม่ดีและการนำมาใช้งานยาก เนื่องจากมันจะเกิดการแยกตัว(Segregation) ของวัสดุเหล่านี้ นอกจากนี้ยังมีความไม่แน่นอนในอัตราส่วนที่เหมาะสมของน้ำต่อซีเมนต์ และการลดความแข็งแรงของคอนกรีตลง โดยทั่วไปคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาเป็นคอนกรีตที่สามารถต้านทานต่อแรงกด (Compressive strength) ที่ 28 วัน มากกว่า 2500 psi (17.25 MPa) และหลังจาก 28 วัน จะมีน้ำหนักต่อหน่วย 115 lb/ft^3 (1850 kg/m^3) [ACI 1984] ส่วนคอนกรีตที่ใช้เป็นฉนวน (Insulating concrete) มีน้ำหนักต่อหน่วยต่ำกว่าคือ ประมาณ 50 lb/ft^3 (800 kg/m^3) และมีความแข็งแรง 100-1000 psi (0.69 และ 6.9 MPa)

สำหรับในโครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาการทำมวลรวมเบา จากดินที่หาได้ในประเทศไทย โดยให้ความร้อนในสภาวะกึ่งเหนียว ดินจะมีการขยายตัวอย่างมาก เนื่องจากการเกิดแก๊สขึ้นระหว่างช่วงอุณหภูมิที่มีการหลอม (Fusion temperature) และเกิดเป็นโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้นภายใน โดยปรกติจะเลือกใช้วัตถุดิบที่มีแร่ธาตุที่สามารถให้แก๊สออกมาได้เมื่อถึงอุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งผิวของ Aggregates ควรมีความเรียบ และปิดรูพรุนภายในหมด ซึ่งทำให้มีการดูดซึมน้ำต่ำ สำหรับคอนกรีตเบาที่ใช้ดินที่ผ่านการเผาและมีการขยายตัว (Expanded clay aggregates) สามารถจะใช้กับคอนกรีตที่เป็นโครงสร้างและมีความแข็งแรงที่ดี ควรจะมีค่า Compressive strength หลังจากการแข็งตัวที่ 28 วัน เท่ากับ 8365 psi (57.7 MPa) อย่างไรก็ตามยังมีตัวแปรอื่นอีกมากมายในการให้ได้คอนกรีตที่มีความแข็งแรงดีและมีน้ำหนัก

เบาตามต้องการ โดยจะต้องควบคุมขนาด รูปร่าง ผิวและการดูดซึมน้ำของมวลรวมที่ต่างกัน ซึ่งจะมีผลต่อปริมาณน้ำในส่วนผสม ในการควบคุมอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์

วัตถุประสงค์ของโครงการ

Objectives of research project

เพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมในท้องถิ่นให้เกิดขึ้น โดยนำวัตถุดิบที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาพัฒนา และศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านการก่อสร้าง โดยการทำงานวิจัยในหัวข้อต่อไปนี้

1. ศึกษาวัตถุดิบและการควบคุมวัตถุดิบ
2. เตรียมมวลรวม โดยศึกษาวิธีทำดินให้เป็นเม็ดและเผา
3. ตรวจสอบลักษณะเฉพาะของมวลรวมที่เตรียมได้
4. .ทดลองนำมวลรวมที่เตรียมได้ มาผสมกับซีเมนต์เพื่อทำคอนกรีต
5. ทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่ได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

(Expected benefits from research project)

1. ทำให้ทราบลักษณะและพฤติกรรมของดินในท้องถิ่น
2. ทำให้ทราบเทคโนโลยีการทำมวลรวมโดยการทำเป็นเม็ดและเผา
3. สามารถผลิตและควบคุมการผลิตคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาได้
4. สามารถนำวัตถุดิบที่มีอยู่แล้ว มาศึกษาเพื่อประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม เป็นการทดแทนวัตถุดิบที่นำเข้าจากต่างประเทศด้วยวัตถุดิบในประเทศ

หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

(End users from the results of research project)

อุตสาหกรรมในท้องถิ่นและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตวัสดุก่อสร้างทั้งภาครัฐบาลและภาคเอกชน เพื่อศึกษาประกอบและนำวัสดุที่เตรียมได้ไปทดลองใช้งาน

ขอบเขตของการวิจัย

(Scope of research)

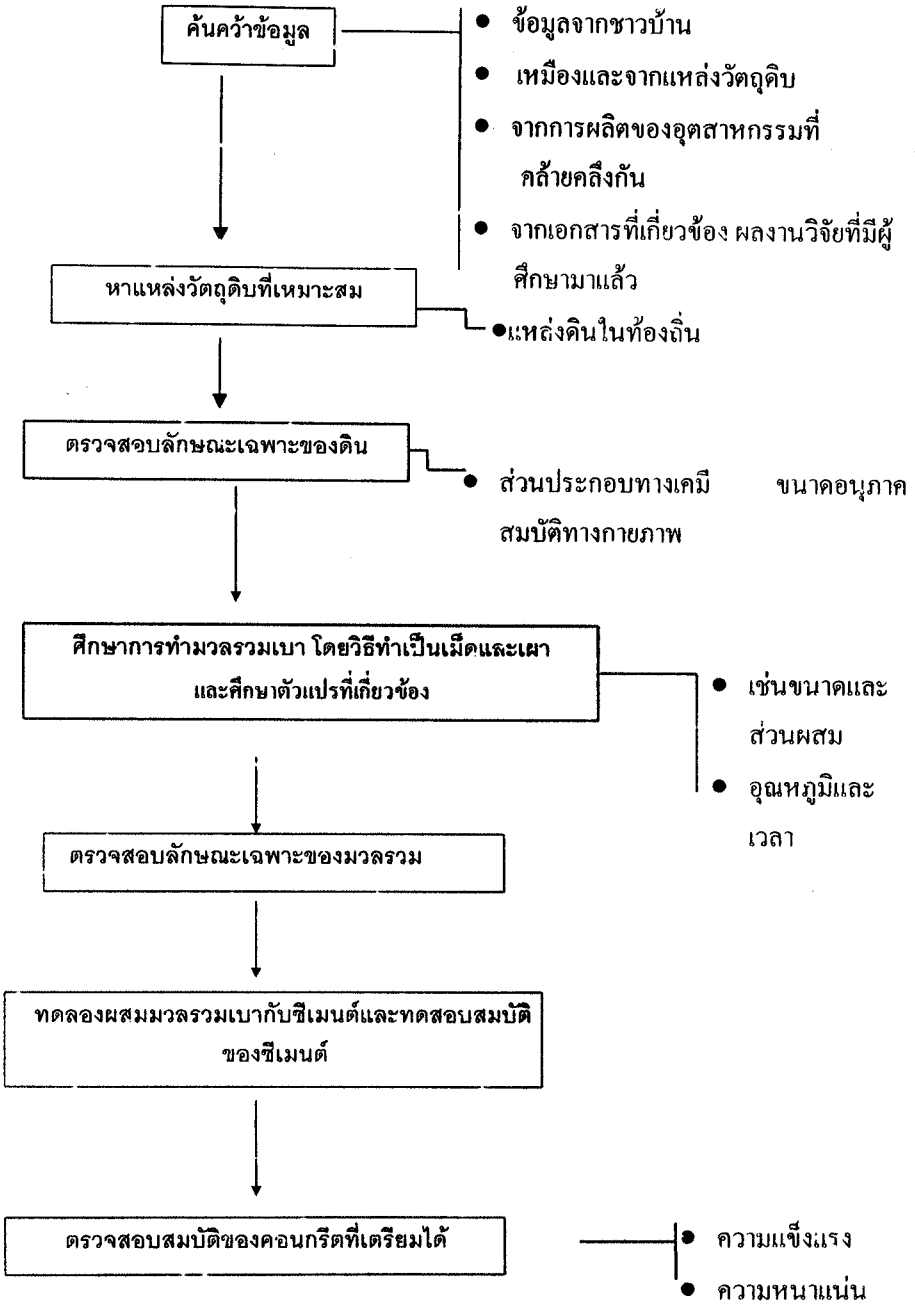
เป็นการนำดินตัวอย่างที่มีในท้องถิ่น มาศึกษาสมบัติเฉพาะ เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำมาเตรียมมวลรวมเพื่อทำคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบา (Lightweight concrete) แล้วทดลองนำมาผสมกับซีเมนต์ เพื่อตรวจสอบสมบัติของคอนกรีตที่ได้ ซึ่งการทดลองนี้จะศึกษาถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ต่อสมบัติของมวลรวมที่เตรียมได้ และทดสอบโดยนำมาผสมกับซีเมนต์เพื่อทดสอบความแข็งแรงและความหนาแน่นของคอนกรีตโดยเบื้องต้นเท่านั้น ไม่ได้ศึกษาตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องในการผสมซีเมนต์ เช่น อัตราส่วนของซีเมนต์กับน้ำ อัตราส่วนของซีเมนต์ต่อ มวลรวมหรืออัตราการบ่ม ซึ่งจะมีผลต่อสมบัติของคอนกรีตด้วย จึงอาจจะเป็นโครงการต่อเนื่องต่อไปในอนาคต

ระเบียบวิธีวิจัยประกอบด้วย

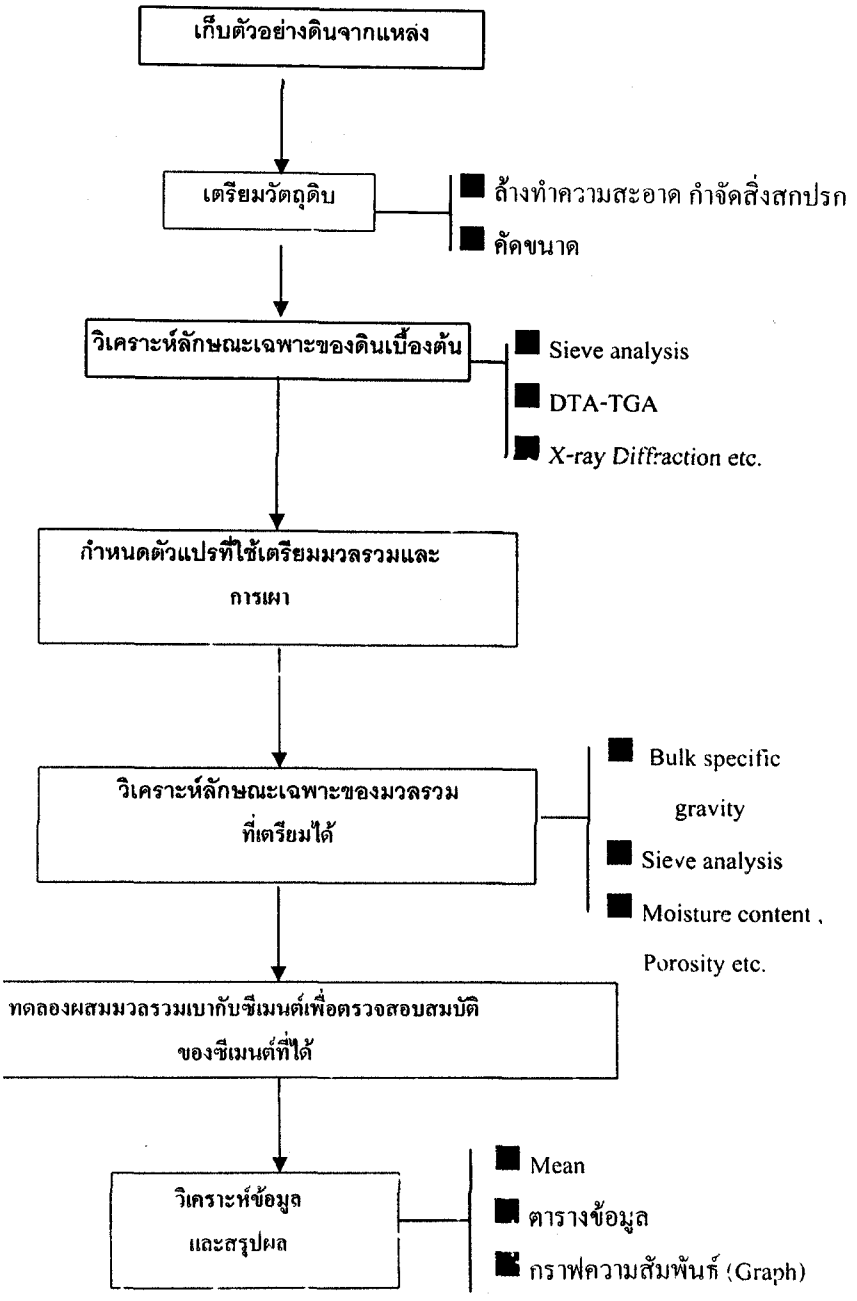
(Research methodology)

1. แบบการวิจัย (Research design)
   1.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของสมบัติที่ต้องการของมวลรวมเพื่อทำคอนกรีตเบา (Lightweight concrete)
   1.2 ศึกษาลักษณะเฉพาะและตรวจสอบสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของดินตัวอย่างในท้องถิ่น
   1.3 ศึกษาและควบคุมการนำดินมาเตรียมเป็นมวลรวม เพื่อผสมทำเป็นคอนกรีตน้ำหนักเบา
   1.4 ทดลองนำวัตถุที่เตรียมได้มาผสมกับซีเมนต์ เพื่อทำคอนกรีตน้ำหนักเบา
   1.5 ตรวจสอบลักษณะเฉพาะและสมบัติต่างๆของคอนกรีตที่เตรียมได้

2. ขั้นตอนและวิธีการในการเก็บข้อมูล (Steps and methods used in data collection) แผนภาพของขั้นตอนที่ใช้ในการทดลองและวิธีการเก็บข้อมูลได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.2 และ 1.3 ตามลำดับ



รูปที่ 1.2 แสดงถึงขั้นตอนต่างๆที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 1.3 แสดงถึงวิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูล

บทที่ 2
คอนกรีตเบา

คอนกรีตเบา คือ คอนกรีตที่มีหน่วยน้ำหนัก (Air-dried) ไม่เกิน 1850 kg/m^3 ซึ่งมีหลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของมวลรวม คอนกรีตที่ผสมทั้งมวลรวมเบาที่มีขนาดเล็ก (Fine aggregate) และขนาดใหญ่ (Coarse aggregate) เรียกว่าคอนกรีตเบา (Lightweight concrete) และเมื่อผสมทรายเข้ากับมวลรวมเบาขนาดใหญ่ จะเรียกว่า คอนกรีตกึ่งเบาหรือทราย-คอนกรีตเบา (Sand-light weight concrete) ตามมาตรฐาน ASTM C330 มวลรวมเบาขนาดเล็กและขนาดใหญ่จะมีหน่วยน้ำหนักแห้ง (Dry-rodded weight) น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1120 และ 880 kg/m^3 ตามลำดับ

คอนกรีตที่มีความสามารถทำงานได้ดีคือ คอนกรีตที่สามารถเทเข้าแบบอัดตัว (Consolidate) หรือทำให้แน่นได้ (Compactability) โดยไม่เกิดการแยกตัวและสามารถตกแต่งผิวได้ดีได้ถูกนำมาพิจารณาในการออกแบบการผสมคอนกรีตเบา เนื่องจากมวลรวมเบามีรูพรุนมาก จึงมีความสามารถในการดูดซึมน้ำสูง ดังนั้นจึงต้องให้มีการดูดซับน้ำในมวลรวมเบาให้อิ่มตัวก่อน

มวลรวมเบานี้จะทำให้เกิดการแยกตัวและลอยสู่ผิวหน้าของส่วนผสมได้ง่าย เพื่อให้สามารถทำงานได้ดีและป้องกันการแยกตัว (Segregation) จึงต้องพิจารณาค่าการยุบตัว และจำกัดปริมาณน้ำในการผสม ดังนั้นคอนกรีตเบาจึงทำได้ยากกว่าคอนกรีตที่ผสมหินแข็งเพราะมวลรวมเบามีรูพรุนจะดูดซับน้ำมากและมีผิวด้านนอกขรุขระกว่า

ความต้านทานแรงกด (Compressive strength) ของคอนกรีตเบาจะต่ำกว่าคอนกรีตปกติด้วยสัดส่วนผสมที่เท่ากัน ด้วยการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์มากกว่าและใช้มวลรวมเบาที่มีขนาดเล็กสามารถให้ความแข็งแรงได้ถึง 3000-5000 psi (20.7 ถึง 34.5 MPa) อย่างไรก็ตามค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น(Modulus of elasticity)ของคอนกรีตเบาก็จะต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่มีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดาจึงนำไปใช้เป็นฉนวนความร้อนได้ดี

คอนกรีตเบามีค่าการหดตัวเมื่อแห้งและความคืบ (Creep) สูงกว่าคอนกรีตธรรมดา แต่ความต้านทานต่อการแข็งตัวของน้ำ (Freeze-thaw resistance) ของคอนกรีตเบามีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตธรรมดา

การเปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียระหว่างคอนกรีตเบาและคอนกรีตปกติจะแสดงในตารางที่2.1

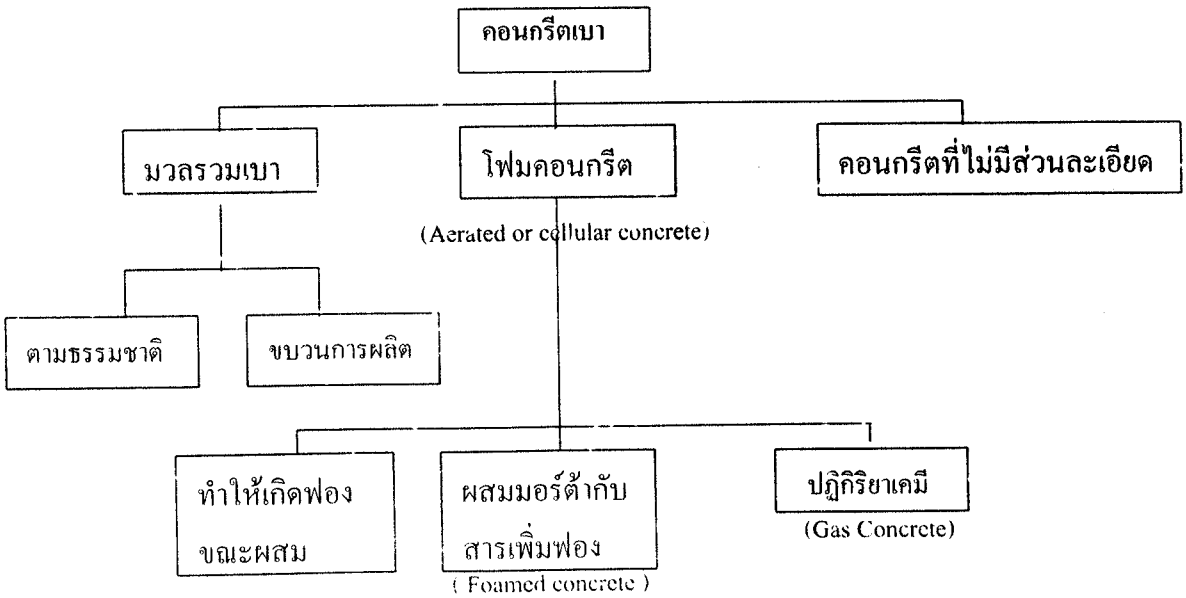
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของคอนกรีตเบา

ข้อดี	ข้อเสีย
1. เป็นฉนวนความร้อนที่ดี 2. ลดน้ำหนักของชิ้นส่วนโครงสร้าง 3. ลดขนาดของฐานราก เนื่องจากน้ำหนักรวมของสิ่งก่อสร้าง 4. แรงดันที่เกิดขึ้นกับแม่แบบลดลง 5. น้ำหนักของคอนกรีตลดลงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง	1. ราคาสูงกว่าคอนกรีตทั่วไป 2. ต้องใช้ความชำนาญในการผสม การลำเลียงการเทลงแบบ 3. จะมีการดูดซึมน้ำมาก และก่อให้เกิดการหดตัวสูง

คอนกรีตเบา (Lightweight concrete) เป็นคอนกรีตที่มีความหนาแน่นหรือหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตทั่วไป โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิด ตามวัสดุที่ใช้คือ

1. คอนกรีตที่ใช้มวลเบา (Lightweight concrete)
2. โฟมคอนกรีต (Aerated or Foam concrete) ได้จากการผสมฟองอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1-1 มิลลิเมตร
3. คอนกรีตไม่มีส่วนละเอียด (Non-fines concrete)

เราสามารถแบ่งประเภทของคอนกรีตเบาได้ดังนี้



รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงประเภทของคอนกรีตเบา

แต่ถ้าจำแนกตามการนำไปใช้งาน สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 จำแนกคอนกรีตเบาตามการใช้งาน

ประเภท	กำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์ 28 วัน (MPa)	หน่วยน้ำหนัก (แห้ง) (kg/m^3)
คอนกรีตเบาสำหรับงานโครงสร้าง (Structural lightweight concrete) ASTMC330-82a	<17	<1840 1400-1800
คอนกรีตสำหรับงานก่อ (Masonry concrete) ASTM C331-81	7-14	500-800
คอนกรีตสำหรับงานฉนวนความร้อน (Insulating concrete) ASTM C332-83	0.7-7	<800

ในที่นี้จะอธิบายจำแนกคอนกรีตเบาตามวัสดุที่ใช้ดังนี้

2.1 คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา (Lightweight concrete) คอนกรีตน้ำหนักเบา โดยทั่วไปมีความหนาแน่นประมาณ 300-1850 kg/m^3 ซึ่งสอดคล้องกับความแข็งแรงประมาณ 1 ถึง 60 N/mm^2 และมีค่าการนำความร้อน 0.2 ถึง 1.0 W/m.K ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับคอนกรีตธรรมดาที่มีความหนาแน่น 2100-2500 kg/m^3 ความแข็งแรง 15-100 N/mm^2 และการนำความร้อน 1.6 – 1.9 W/m.K.

นอกจากนี้คอนกรีตเบายังนำไปใช้เป็นฉนวนความร้อน ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่ง Structural lightweight concrete จัดเป็น class I

ตารางที่ 2.3 Structural lightweight concrete.

Property	Class and type		
	I Structural	II Structural/ insulating	III Insulating
Compressive strength (N/mm^2)	>15.0	>3.5	>0.5
Coefficient of thermal condition (W/m K)	N/A	<0.75	<0.30
Approx. density range (kg/m^3)	1600–2000	<1600	≪1450

คอนกรีตเบาประเภทนี้จะผสมด้วยมวลรวมเบาทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ซึ่งมวลรวมนี้จะมีความหนาแน่นต่ำภายในประกอบด้วยรูพรุนที่มีอากาศอยู่

มวลรวมเบา (Lightweight aggregate) มีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 60-100 kg/m^3 เทียบกับมวลรวมปกติซึ่งมีหน่วยน้ำหนัก 1100-11750 kg/m^3 ซึ่งสมบัติของมวลรวมแต่ละชนิดได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 Lightweight aggregates in the UK (1993).

Aggregate proprietary name	Type	Manufacturing process	Shape/texture	Dry loose bulk density (kg/m^3) (typical)	Concrete strength (N/mm^2) (typical)
Foamed slag	Foamed slag	Foaming bed	Angular/ vesicular	750	<40
Leca/Fibo	Expanded clay	Rotary kiln	Rounded/ smooth	425	<30
Lytag	Sintered PFA	Sinter strand	Rounded/fine	825	>40
Pellite	Blastfurnace slag	Pelletisation	Irregular/ smooth	900	>40
Granulex	Expanded slate	Rotary kiln	Irregular/ rough	700	>40
Liapor	Expanded shale	Rotary kiln	Rounded/ smooth: fine	650	>40

เราสามารถจำแนกมวลรวมเบาออกได้ 4 ชนิดคือ

2.1.1 มวลรวมเบาที่ได้จากธรรมชาติ

ได้แก่ หินแร่ในธรรมชาติ เช่น Vermiculite, Perlite, Pumice, Volcamic Cinders, Diatomite และ Scoria ซึ่งเกิดจากลาวาที่พองตัวโดยธรรมชาติ เกิดขึ้นเวลาภูเขาไฟระเบิด ดังนั้นมวลรวมชนิดนี้จะมีอยู่อย่างจำกัด จึงไม่แพร่หลายการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมมากนัก มวลรวมชนิดนี้ใช้ผสมทั้งคอนกรีตที่ไม่ต้องการกำลังสูงมากนัก และมวลรวมจะดูดซึมน้ำมาก

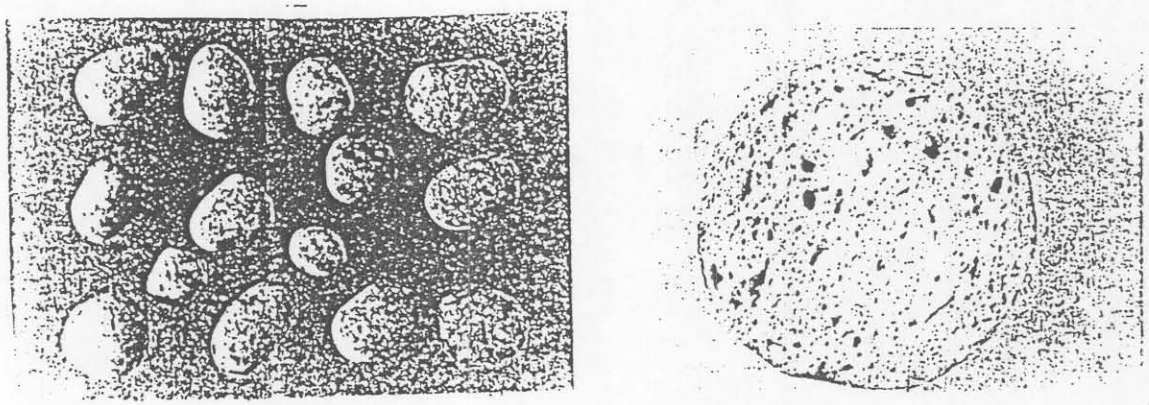
2.1.2 มวลรวมเบาที่ได้จากขบวนการผลิต

เป็นมวลรวมเบาที่ใช้ในอุตสาหกรรมมากที่สุด อย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงแหล่งของวัตถุดิบด้วย สามารถจำแนกได้เป็น 3 ประเภทคือ

1. Expanded clay aggregate

มวลเบานี้ได้จากขบวนการผลิตโดยนำดินที่มีองค์ประกอบทางเคมีพิเศษขุดจากแหล่ง และอาจนำมาผสมกับสารที่ก่อให้เกิดฟอง แล้วเตรียมให้เป็นเม็ด ๆ จากนั้นป้อนเข้าสู่เตา (Rotary kiln) ประมาณ $1200 \pm 50^{\circ}C$ Rotary kiln จะเป็นเตายาว ทรงกระบอก วางตัวในแนวนอนเอียงประมาณ

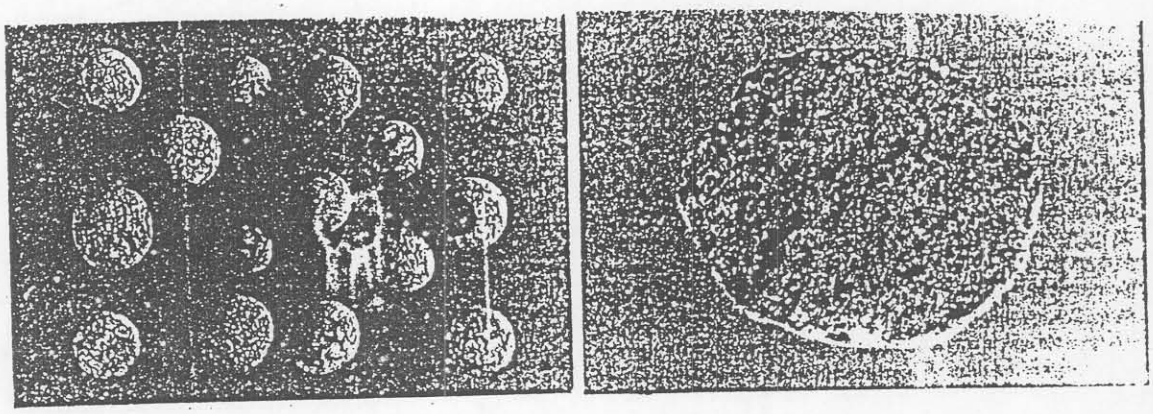
5° เตานี้ส่วนปลายจะให้ความร้อนเรียกว่า "Firing zone" ขณะเผาเตานี้จะหมุนและให้ความร้อนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ และย่างเม็ดดินที่ป้อนเข้ามา ให้มีการขยายตัวพองออกที่อุณหภูมิที่ต้องการ เมื่อเม็ดดินขยายตัวจะออกจาก Firing zone และทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว เพื่อให้ได้เม็ดดินที่พองและมีรูพรุนอยู่ภายใน โดยการเย็นตัวอาจกระทำใน Rotary cooler หรือ Fluidized bed heat – exchanger ผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จจะถูกนำมาคัดขนาด < 16 mm โดยความหนาแน่นของมวลเบาที่ได้จะขึ้นกับอุณหภูมิขณะขยายตัว โดยอยู่ในช่วง 400-800 kg/m^3 มวลรวมนี้มักจะนำไปผสมทำให้เป็นฉนวนความร้อนมากกว่า แต่ก็เหมาะสำหรับคอนกรีตเบาสำหรับงานก่อสร้างที่มีความหนาแน่น 1300-1600 kg/m^3 ด้วย มวลเบาชนิดนี้จะมีผิวนอกเรียบและปิด ภายในเป็นรูคล้ายรังผึ้ง รูไม่เชื่อมต่อภายใน เช่น Leca ผลิตในอังกฤษและ Fibo ผลิตใน Scandinevia ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูป 2.2 Leca และ Fibo

2. Expanded shale aggregate

ได้จากการนำดินดาน (Shale) มาผสมกับถ่านที่บดละเอียดแล้วหรือเคลือบผิวนอกด้วย Limestone ไปเผาที่อุณหภูมิประมาณ 1200°C ใน Rotary kiln วัตถุดิบจะถูกนำมาเตรียมเป็นเม็ดขนาดที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับขนาดที่ต้องการเมื่อขยายตัว และถูกนำมาหลอมรวมกัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะผิวเรียบมีฟองอากาศถูกกักไว้ภายใน จะมีความแข็งมาก เช่น Liapor ที่ผลิตได้ในประเทศเยอรมัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3

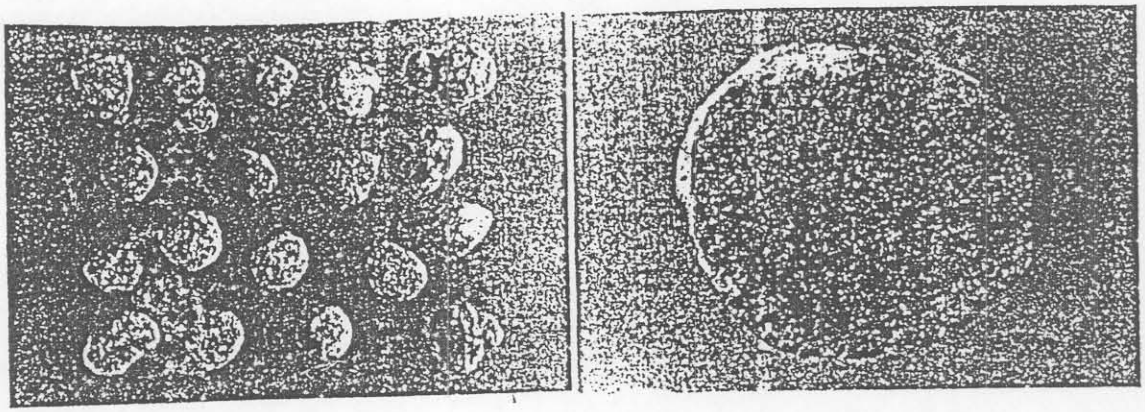


รูปที่ 2.3 Liapor

3. Sintered fly ash

ได้จากการนำ Pulverized fly ash หรือ PFA ที่ได้จากการเผาไหม้ของถ่านหิน PFA ที่เหมาะสมควรจะมี Loss of ignition < 8% ซึ่งเป็นคาร์บอนที่ไม่ได้เผาไหม้เหลืออยู่ในรูปของ Coke ส่วนผสมถูกทำให้เป็นเม็ดก่อน แล้วจึงป้อนเข้าสู่สายพานลำเลียงเพื่อเผาบนตะแกรงที่มีลมร้อนเป่าให้เกิดการเผาไหม้ อุณหภูมินี้ อนุภาคของ Ash จะหลอมรวมกัน

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นทรงกลม ผิวมีความแข็งสูง เช่น Lytag ที่ผลิตในประเทศอังกฤษ ดังแสดงในรูปที่ 2.4



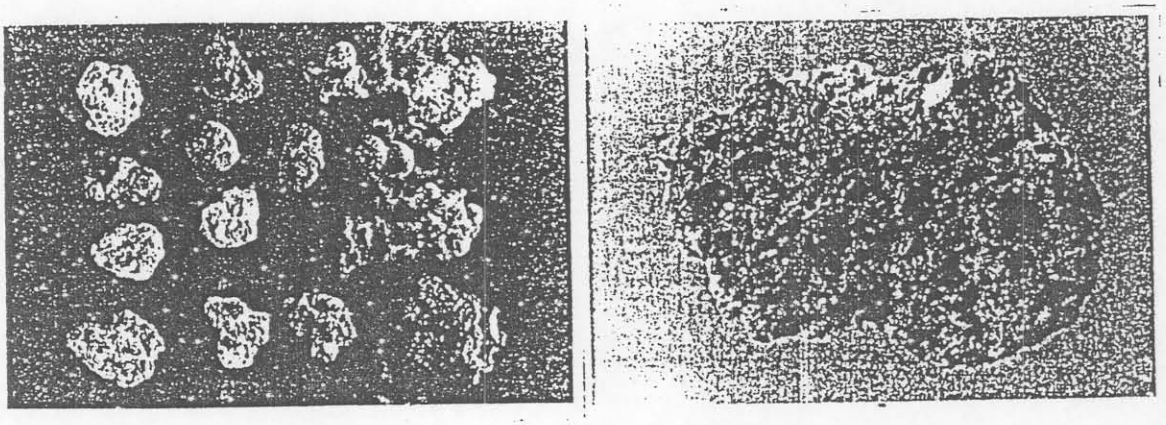
รูปที่ 2.4 Lytag

4. มวลรวมเบาที่ได้จากสารอินทรีย์

ได้แก่การใช้ไม้หรือพลาสติกบางชนิด รวมทั้งพวกขี้เถ้าต่าง ๆ ผสมเข้าไปในคอนกรีตเพื่อใช้แทนมวลรวมเบา

2.1.3 มวลรวมที่ได้จากของเหลวของขบวนการผลิตหรือของเสียจากการผลิต

ได้แก่ เถ้าที่หนัก (Furnace bottom ash) ที่ได้จากโรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิง หรือ Blast furnace slag เช่นในประเทศอังกฤษผลิต Pellite โดยใช้ Blast furnace Slag ที่หลอมเหลวอุณหภูมิสูงกว่า 1350°C เทลงบนพื้นที่มีน้ำฉีดพ่นอยู่ น้ำจะเป็นไอน้ำสัมผัสกับ Slag ที่หลอมเหลว และซึมเข้าไปในเนื้อของ Slag ทำให้เกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว Slag จึงมีลักษณะเป็นโฟม และนำไปคัดขนาดต่อไป ผลิตภัณฑ์มวลรวมโดยขบวนการนี้มีรูเปิดเป็นถุงเล็กอยู่ภายใน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Pellite.

2.2 โฟมคอนกรีต

คอนกรีตประเภทที่ได้จากการผสมฟองอากาศ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.1-1 mm. ลงในคอนกรีต การผสมมี 2 วิธีคือ

1. ผสมสารทำให้เกิดโฟม (Foaming agent) ลงในส่วนผสม
2. ทำให้เกิดโฟมก่อน แล้วผสมกับมอร์ตา และยังสามารถทำให้เกิด ฟองอากาศเล็ก ๆ จำนวนมากในเนื้อคอนกรีต (Aerated concrete) โดยใส่สารเคมี ได้แก่ ผงอลูมิเนียม ในปริมาณ 0.2% โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ ก่อให้เกิดฟองของแก๊สไฮโดรเจน มีการนำ Cellular concrete ไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น Wall blocks, Wall panels, Floor roof screeds

นอกจากนี้ยังใช้ทำในงานป้องกันความร้อนได้โดยผสม ซีเมนต์ น้ำ และสารทำให้เกิดฟอง ซึ่งสามารถให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตนี้ประมาณ 400-700 kg/m^3 มีความแข็งแรงประมาณ 3-4 MPa และการนำความร้อนประมาณ 0.1 J/m^2.s°C/m

สมบัติที่สำคัญของโฟมคอนกรีต

1) กำลังอัดและความสามารถนำความร้อนจะผันแปรโดยตรงต่อหน่วยน้ำหนัก
2) กำลังจะเพิ่มขึ้น ถ้าทำการบ่มโดยใช้ไอน้ำที่มีความดันสูง (Autoclaving)
3) มีความสามารถทนไฟได้ดีกว่าคอนกรีตปกติ
4) สามารถเทหล่อได้ รูปร่างที่ต้องการ
5) การดูดซึมน้ำสูง
6) สามารถเลื่อย หรือตอกตะปูเพื่อยึดแผ่นโฟมคอนกรีตกับโครงสร้าง

2.3. คอนกรีตที่ไม่มีส่วนละเอียด

คอนกรีตบ่ระเภทนี้ได้จากการผสมมวลรวมปกติขนาดหยาบจะไม่มีส่วนผสมที่เป็นทราย ทำให้คอนกรีตนี้มีช่องว่างหรือโพรงอยู่มาก ส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตประเภทนี้ค่อนข้างต่ำ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับขนาดคละของหินเป็นหลัก หินที่มีขนาดเดียวจะมีหน่วยน้ำหนักน้อยกว่าหินที่มีส่วนคละประมาณ 10% โดยทั่วไปหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตประเภทนี้อยู่ระหว่าง 1600-2000 kg/m^3 แต่ถ้าใช้มวลรวมเบาแทนจะทำให้หน่วยน้ำหนักลดลงเหลือ 640 kg/m^3

คอนกรีตชนิดนี้ไม่มีการแยกตัว จึงทำให้สามารถเทได้ทุกความสูงของแบบกำลังอัดของคอนกรีตอยู่ระหว่าง 1.4-14 MPa ขึ้นกับหน่วยน้ำหนักซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณซีเมนต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 กำลังอัดของคอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงตามหน่วยน้ำหนัก

Aggregate/cement ratio by volume	Water/cement ratio by mass	Density		28-day compressive strength	
		kg/m^3	lb/ft^3	MPa	psi
6	0.38	2020	126	14	2100
7	0.40	1970	123	12	1700
8	0.41	1940	121	10	1450
10	0.45	1870	117	7	1000

โดยทั่วไปจะจำกัดปริมาณ ซีเมนต์ต่อคอนกรีต ประมาณ 1 : 10 และ 1 : 20

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม ควรอยู่ระหว่าง 0.38-0.52 ขึ้นอยู่กับปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการให้มวลรวมเกาะกัน

ข้อดีของคอนกรีตประเภทนี้คือ มีการนำความร้อนต่ำ ประมาณ 0.22 $J/m^2.s^oC/m$ เพื่อผสมด้วยมวลรวมเบา และ 0.80 $J/m^2s^oC/m$ เมื่อผสมด้วยมวลรวมปกติเนื่องจากคอนกรีตนี้ไม่มีรูพรุนขนาดเล็ก จึงต้านทานต่อ Frost ได้ดี อย่างไรก็ตามการที่มีการดูดซึมน้ำสูงทำให้คอนกรีตประเภทนี้ไม่เหมาะสมสำหรับทำพื้น โดยทั่วไปแล้วคอนกรีตนี้จะไม่ใช้ในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่ถ้าต้องใช้จะต้องเคลือบเหล็กด้วยน้ำปูนเพื่อเพิ่มแรงยึดเกาะและป้องกันการกัดกร่อน ส่วนผสมของคอนกรีตนี้ไม่มีทรายและใช้ซีเมนต์น้อยมาก ประมาณ 70-130 kg / m^3 ทำให้ราคาของคอนกรีตนี้จะราคาถูกลง

บทที่ 3

การผลิตมวลรวมเบาและคอนกรีตเบา

ในการทำโครงการวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาการผลิตมวลรวมเบาจากดินที่มีอยู่ในท้องถิ่น จัดเป็นประเภท Expanded clay aggregates

การใช้มวลรวมเบา (Lightweight aggregate) มาจากความต้องการคอนกรีตที่มีน้ำหนักเบาเพื่อใช้ในงานก่อสร้างตึกหรืออาคารสูง เพื่อรากฐานจะได้ไม่ต้องรับน้ำหนักมากเกินไปและเพื่อใช้เป็นฉนวนความร้อนได้อีกทางหนึ่งด้วย การใช้คอนกรีตน้ำหนักเบาได้ถูกนำมาใช้ในโครงสร้างหลายประเภท เช่น สนามกีฬา สะพานและอาคารสูง การพัฒนาพื้นหรือเพดานน้ำหนักเบาโดยมีโครงโลหะ ช่วยค้ำโครงสร้างภายใน ได้ทำให้มวลรวมเบาเป็นที่ต้องการมากขึ้น

โดยปรกติมวลรวมเบาจะใช้ผสมกับซีเมนต์และน้ำเพื่อทำเป็นคอนกรีตโดยมีอัตราส่วนประมาณ 70-80% ของน้ำหนักวัสดุทั้งหมด ดังนั้นจึงมีผลอย่างมากต่อคุณสมบัติของคอนกรีตที่ได้ มวลรวมที่มีในธรรมชาติเป็นหินที่ถูกกัดกร่อนและแตกออก จึงมีความหนาแน่นแตกต่างกันออกไป ความต้องการคอนกรีตที่มีความแข็งแรงจะต้องการสมบัติหลายอย่าง เช่นต้องการมีความแข็งแรงต่อการกดสูง (Compressive strength) ความทนต่อแรงดึงสูง (Tensile strength) และทนต่อแรงเฉือน (Shear strength) และความสามารถที่จะเชื่อมประสานกับวัสดุอื่นได้ดี ดังนั้นส่วนผสมจะต้องเข้ากันและเป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่สม่ำเสมอ และสามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลานาน

มวลรวมเบานี้จะมีน้ำหนักเบาเนื่องมาจาก มีช่องหรือโพรงอากาศอยู่ภายใน ดังนั้นโดยมากจะเป็นตัวดูดซับที่ดี (Absorbent) ยกเว้นแต่ว่าถ้ามีผิวปิดสนิท แต่มีรูพรุนอยู่ภายใน จะไม่มีการดูดซึมน้ำ หรือดูดซึมได้น้อยลง ซึ่งคุณสมบัติทางด้านการดูดซึมน้ำนี้ เป็นปัจจัยที่สำคัญมากในการเตรียมคอนกรีตขณะเปียก ดังนั้นมวลรวมจะต้องมีการควบคุมการผลิตให้มีความสม่ำเสมอ ซึ่งจะทำให้การผสม การแน่นตัวของคอนกรีตดีขึ้น มวลรวมน้ำหนักเบาเปราะกว่าคอนกรีตทั่วไป ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดในด้านความแข็งแรงของคอนกรีต แต่อย่างไรก็ตามไม่ใช่สิ่งสำคัญเพราะถ้ามวลรวมผสมใน Matrix ที่ดีก็สามารถเพิ่มคุณสมบัติด้านความแข็งแรงได้ มวลรวมน้ำหนักเบาโดยทั่วไปจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาได้ง่าย มวลรวมเบาที่เตรียมจากของเสียที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมอื่นดังนั้นจึงเป็นที่ต้องการมากในทางเศรษฐศาสตร์ คอนกรีตน้ำหนักเบาจะมีอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนักสูง มวลรวมจะเฉื่อยต่อปฏิกิริยาและไม่ทำปฏิกิริยาต่อ Alkali

silica และสามารถส่งป้อนโดยการปั๊มได้ง่าย เป็นคุณสมบัติที่ดีของคอนกรีตเบา ผู้ออกแบบจะทำการตัดสินใจโดยความสมดุลของราคาและประโยชน์ เช่นน้ำหนักเบากว่าและป้องกันความร้อนได้

ประวัติและวิวัฒนาการในการผลิตมวลรวมเบา

มวลรวมเบาได้นำมาใช้ครั้งแรกเมื่อ 200 ปีผ่านมาแล้ว เมื่อชาวโรมันใช้ Pumice จากธรรมชาติผสมในคอนกรีต ที่รู้จักกันในชื่อ Pantheon ในสหรัฐอเมริกาใช้มวลรวมเบาครั้งแรกก่อนปลายสงครามโลกครั้งที่ 1 และถูกใช้ในญี่ปุ่นเมื่อ 30 ปีมาแล้ว ในงานก่อสร้าง ส่วนในอังกฤษมีการใช้กันอย่างกว้างขวางโดยใช้การผลิตจากของเสีย เช่น Blast furnace slag ราวต้นศตวรรษที่ 19 ต่อมาเนื่องจากวัตถุดิบในธรรมชาติหายากจึงได้เริ่มที่จะผลิตมวลรวมใช้เอง ในยุโรปประมาณต้นศตวรรษที่ 20 ได้มีการพัฒนาเช่น *Foaming blast furnace slags* ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศ ในปี 1917 ได้มีการนำดินและดินดานมาทำมวลรวมเบาเนื่องจาก พบว่าสามารถขยายตัวได้เมื่อนำไปเผา โดยเผาในเตาหมุน (Rotary kiln) และจดลิขสิทธิ์ในชื่อว่า Haydite และใน USA ได้มีการค้นพบในชื่อของ Gravelite, Terlite, Rocklite ฯลฯ และได้แพร่หลายเข้าไปในเยอรมัน, ฮอลแลนด์ และสหราชอาณาจักร โดยมีการใช้แพร่หลายในปี 1950 ในชื่อ Aglite, Brag, Russlite และ Solite อย่างไรก็ตามพบว่าธุรกิจต้องล่มลงด้วยเหตุผลหลายประการเช่น การไม่เข้าถึงตลาด, ความไม่สม่ำเสมอของวัตถุดิบ และ ต้นทุนการผลิตสูง

ในปี 1950 The Building Research Establishment (BRE) ได้พัฒนาเทคนิคในการผลิตมวลรวมเบาคุณภาพสูงจาก Pulverised-fly ash (PFA) ซึ่งเป็นขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้ในเตาถ่านหิน Bituminous หรือถ่านหินแข็ง PFA คือสิ่งตกค้างของสิ่งปนเปื้อนในถ่านหินแข็ง เป็นผลเนื่องจากการผุกร่อนของแร่ในธรรมชาติแล้ว ตกตะกอนสะสมในถ่านหิน ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิ 1250°C PFA จะบวมพองจนมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีน้ำหนักเบา

บริษัท John Laing Co. Ltd. ในอังกฤษได้มีการผลิตโดยใช้ Sinter stand และผลิตในชื่อ "Lytag" ส่วนในเยอรมัน ประมาณปี 1970 ก็ได้มีการผลิตมวลเบาที่มีความหนาแน่นระหว่าง 800 และ 1700 kg/m^3 ได้ ทำให้สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง

ต่อมาก็ได้มีการพัฒนาการผลิตมากขึ้น เช่น การผลิต Hybrids ใช้ PFA และผสมกับวัตถุดิบอื่น ๆ ที่เหมาะสมเช่น ดิน, Shales, Slate เพื่อให้ได้มวลรวมเบาที่มีน้ำหนักเบามากและคุณภาพดีมากยิ่งขึ้น

เทคนิคการผลิต

เทคนิคการผลิตขึ้นอยู่กับส่วนประกอบทางเคมี วัตถุดิบ และอุณหภูมิที่เผาเพื่อให้วัตถุดิบเกิดการบวม (Bloating) โดยเริ่มต้นเกิดการเกาะกัน (Agglomeration) ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1100°C โดยการหลอมรวมกัน และเมื่อเกิดแก๊สขึ้นก็จะเริ่มเกิดการขยายตัว ซึ่งจะเป็นจุดที่เกิดสภาวะเหนียวหนืด (Pyroplasticity) และเกิดแก๊สขึ้นในขณะเดียวกัน แก๊สที่เกิดขึ้นจะเกิดขึ้นด้วยปฏิกิริยาที่ต่าง ๆ กัน โดยอาจเกิดอย่างใดอย่างหนึ่งหรือเกิดพร้อม ๆ กัน ดังนี้

1. ที่ประมาณ 400°C เกิดการระเหยของซัลไฟด์ (Sulphides)
2. ที่ประมาณ 600°C เกิดการสลายตัวของน้ำในโครงสร้างผลึกของแร่ดิน
3. ที่ประมาณ 700°C เกิดการเผาไหม้ของสารประกอบคาร์บอน
4. ที่ประมาณ 850°C เกิดการสลายของคาร์บอเนต
5. ที่ประมาณ 1100°C เกิดปฏิกิริยาของเหล็ก (Fe_2O_3) ปลดปล่อยแก๊สออกซิเจนออกมา

ซึ่งวัตถุดิบดิบส่วนมากที่นำมาผลิตจะกลายเป็นสภาวะเหนียวหนืดที่อุณหภูมิประมาณ 1100 ถึง 1300°C ทั้งนี้ขึ้นกับแหล่งกำเนิด และส่วนประกอบทางเคมี อุณหภูมิที่วัตถุดิบเกิดการบวม จะอยู่ในช่วงสั้น คือ ± 25°C ที่อุณหภูมินี้ วัตถุที่บวมจะถูกนำออกจากโซนเผาและทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว เพื่อหยุดยั้งการขยายตัวออก เพราะถ้าปล่อยให้วัตถุดิบขยายตัวต่อไป จะทำให้ผนังรูพรุนภายในบางลง ซึ่งจะทำให้ความแข็งแรงต่อการแตกหักลดลง

ดังนั้นในอุตสาหกรรมของการผลิตมวลรวมเบา สิ่งที่สำคัญคือความสม่ำเสมอของวัตถุดิบ

การผลิตมวลรวมเบา

มวลรวมเบาที่ผลิตขึ้นมา วัตถุดิบส่วนใหญ่คือดิน หรือหินชนวนที่ตกตะกอนสะสมกัน ขบวนการผลิตได้แก่

ขบวนการผลิตในเตาหมุน (Rotary kiln process)

วัตถุที่ไม่ผ่านการแยก (Unscreened material)

วัตถุดิบที่มีขนาดตามธรรมชาติจะป้อนเข้าสู่เตาหมุนรูปร่างทรงกลมที่หมุนด้วยอัตราการหมุนต่ำ ที่ปลายด้านล่างของเตานี้มีหัวพ่นไฟให้ความร้อน วัตถุดิบจะเคลื่อนที่ลงมาช้า ๆ และถึงปลายของเตาที่มีอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 1100°C ซึ่งจะทำให้วัตถุดิบเกิดการขยายตัวโดยการเกิดแก๊ส และเกิดสภาวะเหนียวหนืด (Pyroplastic) ที่ผิวมีความหนืดสูงพอที่จะสามารถเก็บแก๊สที่อยู่ภายในได้ ทำให้ภายในเป็นช่องว่างเล็ก ๆ ที่เชื่อมต่อกัน (Internal cellular structure) และกลายเป็นของแข็งเมื่อเย็นตัวลง จากนั้นมวลรวมเหล่านี้จะถูกนำมาบดและร่อนคัดขนาด

วัตถุที่ผ่านการคัดขนาด (Presized material)

วัตถุดิบจะนำมาบดและคัดขนาดก่อนที่จะนำเข้า Rotary kiln

2. ขบวนการซินเตอริ่ง (Sintering process)

วัตถุดิบจะถูกนำมาผสมกับสารคาร์บอเนต (Carbonaceous fuei source) ซึ่งจะเป็นเสมือนเชื้อเพลิง บางครั้งก็จะผสมพวกถ่านหินบดละเอียดลงไป

วัตถุที่ผ่านการบด (Crushed material)

ขบวนการผลิตเริ่มจากการนำส่วนผสมของ Carbonaceous และถ่านหิน (Coal) ผ่านตะแกรงที่ภายในตะแกรงมีความร้อนจากหัวพ่นไฟ เพื่อทำให้วัตถุดิบแห้งและเกิดการเผาไหม้ ซึ่งจะทำให้เกิดแก๊สและเกิดสภาวะเหนียวหนืด เช่นเดียวกับในการผลิตในเตาหมุน เพื่อทำให้เกิดโครงสร้างที่มีรูพรุนอยู่ภายใน แล้วเม็ดวัตถุที่ขยายตัวนี้จะถูกนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงเพื่อคัดขนาดหลังจากมวลจากนี้เย็นตัวแล้ว

วัตถุที่ผ่านการทำเป็นเม็ดกลมเล็ก ๆ (Palletized material)

ดิน และ ดินตะกอนที่ผ่านการทำเป็นเม็ดกลมเล็ก ๆ โดยการผสมกับความชื้นและผงถ่านหินละเอียด และนำมารีด (Extruded) ก่อนเผา ซึ่งผลผลิตที่ได้จะเป็นเม็ดกลม โดยเม็ดกลมนี้อาจจะนำไปผ่านขั้นตอนการเคลือบผิว ก่อนนำไปเผาเพื่อให้ผิวด้านนอกปิด ซึ่งจะทำให้การดูดซึมน้ำลดลง

3. Fluidization process (Shaft kiln)

ขบวนการผลิตมวลรวมเบา โดยใช้ Shaft kiln เป็นอีกขบวนการหนึ่งที่ใช้เนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตต่ำกว่าเมื่อเทียบกับ Rotary kiln เพราะปริมาณการใช้เชื้อเพลิงต่ำ และเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตค่อนข้างถูกและไม่ยุ่งยาก และยังทำให้ได้ผลผลิตสูงอีกด้วย

ขบวนการนี้เริ่มจากการนำวัตถุดิบที่ใช้ได้แก่ Perlite โดยนำหิน Perlite มาบดย่อยให้ได้ขนาดตามต้องการ และนำไปเผาใน Shaft kiln โดย Burning chamber จะอยู่ในแนวดิ่ง เมื่อวัตถุดิบได้รับความร้อนจนถึงจุดหลอมละลาย น้ำที่อยู่ในผลึกจะระเหยกลายเป็นไอ และขยายตัวออกอย่างรวดเร็วทำให้เกิดช่องว่างมากมาย เกิดลักษณะการพองตัวคล้ายกับข้าวโพดคั่ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนักเบา แต่มีการเปราะแตกหักง่าย จึงนำไปใช้ในงานฉนวนความร้อนหรือใช้เป็นมวลรวมละเอียด

คุณสมบัติของมวลรวม (Aggregate properties)

1. รูปร่างและลักษณะผิว (Particle shape and surface texture)

รูปร่างของมวลรวม มีหลายรูปร่าง เช่น กลม, บิดเบี้ยว มีเหลี่ยมมีมุม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งของวัตถุดิบและขบวนการผลิต พื้นผิวด้านนอกซึ่งมีทั้งผิวเรียบและผิวที่รูพรุนเปิดเหล่านี้จะมีผลต่อการดูดซึมน้ำในการผสมกับซีเมนต์ ดังนั้นจึงมีผลต่อการออกแบบส่วนผสมและความสามารถทำงานได้ของคอนกรีต

2. ความหนาแน่นรวม (Bulk density)

ความถ่วงจำเพาะรวมหรือ ความหนาแน่นรวมของมวลรวมเบาจะต่ำกว่ามวลรวมปกติ โดยจะขึ้นกับขนาดมวลรวมด้วย ซึ่งมวลรวมเบาละเอียดจะมีความหนาแน่นสูงที่สุด ส่วนมวลรวมเบาหยาบจะมีความหนาแน่นต่ำที่สุด ดังนั้นจึงยากที่จะหาความหนาแน่นรวมได้ ความหนาแน่นรวมของมวลรวมเบาคือ 45-50 lb/ft^3 (720-800 kg/m^3)

3. หน่วยน้ำหนักและขนาดใหญ่ที่สุด (Unit weight and maximum size)

เนื่องจากมวลรวมเบามีโครงสร้างภายในที่มีรูพรุน และมีปริมาตรช่องว่างมาก ทำให้หน่วยน้ำหนักของมวลรวมเบาต่ำกว่ามวลรวมปรกติ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดส่วนคละและการกระจายขนาดของมวลรวมด้วย ขนาดใหญ่ที่สุดได้แก่ $\frac{3}{4}$ นิ้ว (19 mm), $\frac{1}{2}$ in (13 mm) และ $\frac{3}{8}$ in (10 mm) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติทาง กายภาพของหินธรรมชาติเปรียบเทียบกับมวลรวมเบา

	Lightweight aggregate			Natural aggregate		
Physical properties of aggregate	Solite coarse 20–5 mm ($\frac{3}{4}$ in. to No. 4)	Solite medium 10–2 mm ($\frac{3}{8}$ in. to No. 8)	Solite fine 5–0 mm (No. 4 to 0)	Natural sand 5–0 mm (No. 4 to 0)	Natural stone 15–5 mm ($\frac{1}{2}$ in. to No. 4)	Natural stone 15–5 mm ($\frac{1}{2}$ in. to No. 4)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Gradation (percent passing by weight)						
25 mm (1 in.)	100					100
20 mm ($\frac{3}{4}$ in).	95				100	98
15 mm ($\frac{1}{2}$ in.)	50	100			95	70
10 mm ($\frac{3}{8}$ in.)	25	95			55	40
5 mm (No. 4)	5	40	100	100	10	8
2.4 mm (No. 8)		5	85	95	2	4
1.2 mm (No. 16)			55	75		
0.6 mm (No. 30)			40	50		
0.3 mm (No. 50)			25	10		
0.15 mm (No. 100)			12	2		
Bulk dry loose density, lb/ft^3 (kg/m^3)	45 (720)	50 (800)	55 (880)	90 (1440)	95 (1520)	95 (1520)
Dry particle density, lb/ft^3 (kg/m^3)	90 (1420)	94 (1500)	103 (1650)	164 (2620)	165 (2650)	174 (2790)
Moisture content (wt%) for 1 day soak	9	10	12	2	1	1

ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราส่วนของช่องว่าง (Void ratio) ของมวลรวมเบาหยาบ

ความหนาแน่นรวม (Bulk density), y_{blk} = 45 lb/ft^3 (720 kg/m^3)

Specific density, y_{sp} = 150 lb/ft^3 (2400 kg/m^3)

Particle density, y_p = 90 lb/ft^3 (1440 kg/m^3)

หาปริมาณรูพรุน $= \frac{(2400-1440)}{2400} \times 100\% = 40\%$

และปริมาณรูพรุนรวม $= \frac{(1440-720)}{1410} \times 100\% = 50\%$

การออกแบบส่วนผสม

ในการออกแบบส่วนผสมในคอนกรีตทั่วไป จะพิจารณาจากอัตราส่วนของน้ำ ต่อปริมาณวัสดุอื่น คือ W /(C +P) , เมื่อ W คือ ปริมาณน้ำ

C คือ ปริมาณซีเมนต์

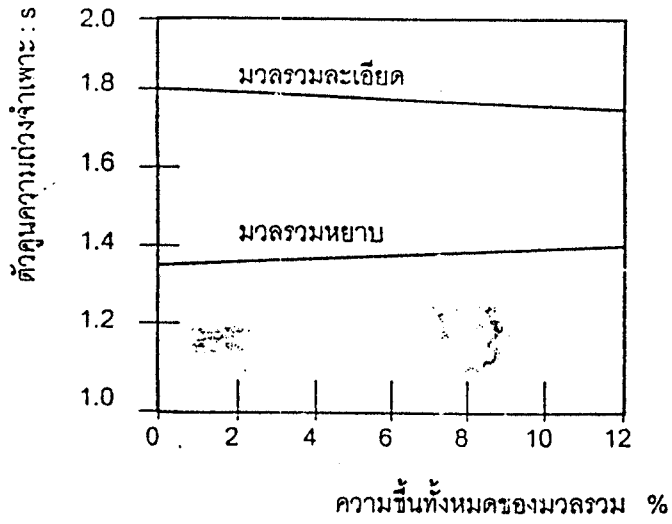
P คือ ปริมาณวัสดุอื่น เช่น Fly ash , Blast furnace slag หรือ Silica fume

คอนกรีตเบาจะออกแบบโดยยึดปริมาณของพวก C+P โดยวัสดุอื่นๆ นี้จะเข้าไปอยู่ในช่องว่าง และทำให้คอนกรีตสดมีค่ายุบตัวอยู่ในช่วง 3-4 นิ้ว วิธีการออกแบบส่วนผสมทำได้โดยการทดลองผสมและปรับแก้ โดยการเติมน้ำหรือสารเคมีเพื่อที่จะทำให้มีค่ายุบตัวที่เหมาะสมให้มีสมบัติของคอนกรีตที่ต้องการ ในการปรับแก้ส่วนผสมจำเป็นต้องทราบถึงสมบัติของมวลรวมเบา และความเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ของส่วนผสมทั้งหมดด้วย

คอนกรีตเบาและกึ่งเบา มีข้อกำหนดการออกแบบส่วนผสมตาม ACI 211.2-81 (ตารางที่ 3.2) มีค่าความต้านทานต่อแรงอัดตั้งแต่ 17 MPa ขึ้นไป ค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ไม่มากกว่า 1840 kg/m^3

ตารางที่3.2 ปริมาณอากาศสำหรับคอนกรีตผสมและไม่ผสมสารเพิ่มฟองอากาศ
ตาม ACI 211.2-81

ระดับการเกิดฟองอากาศ	ปริมาณอากาศ : % ตามขนาดโตสุดมวลรวม : มม.		
	10	12.5	20
	(ก)ผสมสารเพิ่มฟองอากาศ		
เล็กน้อย	4.5	4.0	4.0
ปานกลาง	6.0	5.5	5.0
มากพิเศษ	7.5	7.0	6.0
	(ข)ไม่ผสมสารเพิ่มฟองอากาศ		
ปริมาณอากาศโดยประมาณ	3	2.5	2.0



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวคูณความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity factors) กับความชื้นของมวลรวม (A.M. Naville,J.J. Brooks " Concrete Technology")

ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมจะแปรผันตามขนาดของมวลรวม ดังนั้นการกำหนดส่วนผสม จะกำหนดเป็นค่าโดยปริมาตรเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอาจทำให้ปริมาณมวลรวมละเอียดมากกว่าที่คำนวณไว้ ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถทำงานได้ ปริมาณซีเมนต์และปริมาณคอนกรีตที่ได้ในที่สุดไม่ตรงตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงต้องจัดสัดส่วนคละให้ดีที่สุด เพื่อลดปริมาณช่องว่าง (Void) ในส่วนผสม

การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต หรือการหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต (Mix design) จะเป็นการหาส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างปริมาณของวัสดุต่างๆ เช่น มวลรวมหยาบและละเอียด ปูนซีเมนต์และน้ำ สำหรับงานหนึ่งๆ เพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีสมบัติเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งจะต้องพิจารณาดังนี้

1. ความข้นเหลวพอเหมาะ และสะดวกในการเทแบบและทำงาน (Workability)
2. กำลังและความทนทานตามต้องการ (Strength and Durability)
3. ราคาที่เหมาะสม (Economy)

ปัจจัยที่ใช้พิจารณาหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีต

1. กำลังต้านทาน (Strength) และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

เนื่องจากคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว จะมีสมบัติที่สำคัญที่สุดคือ ค่ากำลังต้านทานแรงอัด ส่วนค่ากำลังต้านทานแรงอื่นๆ ของคอนกรีต เช่น กำลังรับแรงดึง กำลังรับแรงดัด กำลังรับแรงเฉือน กำลังยึดเหนี่ยว ล้วนแต่เป็นสัดส่วนกับกำลังต้านทานแรงอัด ซึ่งโดยทั่วไปจะพิจารณากำลังแรงอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลา 28 วัน คอนกรีตน้ำหนักเบาควรมีความแข็งแรงประมาณ 41.4-62.1 MPa โดยการควบคุมอัตราส่วนของน้ำต่อปูน การเลือกมวลรวมเบาที่เหมาะสม แต่กำลังของคอนกรีตขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง ซึ่งทำให้ได้กำลังต่ำกว่าที่กำหนด ดังนั้นในการหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตจึงต้องพิจารณาเผื่อกำลังของคอนกรีตส่วนนี้ด้วย สถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (ACI 214) กำหนดให้พิจารณาหาค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เพื่อนำไปออกแบบหาส่วนผสมของคอนกรีต ตามสมการ

$$f_{cr} = \frac{f_c'}{1 - tv}$$

หรือ $f_{cr} = f_c' + t\sigma$

เมื่อ f_{cr} = ค่ากำลังต้านทานโดยเฉลี่ยของคอนกรีตที่ต้องการ

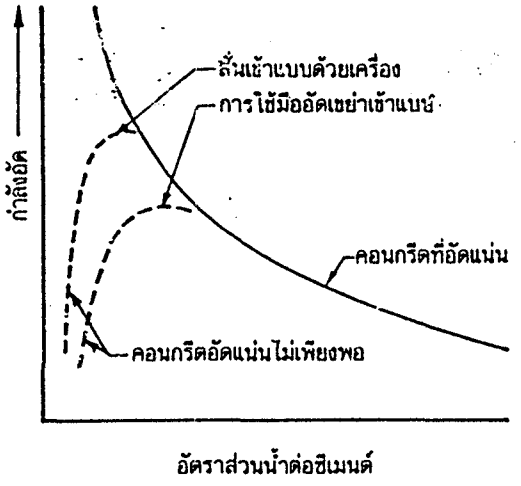
f_c' = ค่ากำลังต้านทานของคอนกรีตที่กำหนดใช้ในการออกแบบ

t ค่ามาตราฐานที่ใช้ควบคุมที่แท่งคอนกรีตจะมีกำลังต่ำกว่ากำลังที่กำหนด

v = สัมประสิทธิ์ของการแปรปรวน (%)

σ = ค่าเบี่ยงเบนมาตราฐาน

อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ (Water to cement ratio) เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกำลังต้านทานแรงอัด และความทนทานของคอนกรีตมาก ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์มีค่ามาก กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตจะต่ำ ถ้าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์น้อยลง กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตจะสูงขึ้น ดังนั้นจึงต้องรักษาอัตราส่วนนี้ไว้ให้คงที่



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์

ตารางที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าต้านทานแรงอัดเฉลี่ย และปริมาณซีเมนต์ สำหรับคอนกรีตเบาและกึ่งเบาโดยไม่รวมวัสดุชนิดอื่นๆ

	Cement content, lb/yd^3 (kg/m^3)	
Compressive strength, psi (MPa)	All-lightweight	Sand lightweight
2500 (17.2)	400–510 (237–303)	400–510 (237–303)
3000 (20.7)	440–560 (261–332)	420–560 (249–332)
4000 (27.6)	530–660 (314–392)	490–660 (291–392)
5000 (34.5)	630–750 (374–445)	600–750 (356–445)
6000 (41.4)	740–840 (439–498)	700–840 (415–498)

2. ความทนทาน (Durability)

คอนกรีตที่อาจต้องอยู่ในสภาวะที่รุนแรงต่างๆ เช่นในน้ำทะเล ต้องมีความทนทานเป็นพิเศษต่อซัลเฟต ซึ่งในสภาวะนี้คอนกรีตจะมีความทนทานลดลง แต่เนื่องจากกำลังต้านทานของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ นั่นแสดงว่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ มีผลกระทบต่อความทานของคอนกรีตด้วย

3. ความสามารถในการใช้งาน (Workability)

คอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆ เรียกว่าคอนกรีตสด ควรมีความหนืดพอเหมาะ ในการทำงาน กล่าวคือ สามารถเทเข้าแบบได้สะดวก และทำให้แน่นตัวโดยการใช้พลังงานน้อยที่สุด ซึ่งก็คือคอนกรีตนั้นมีความสามารถในการเทได้ โดยความสามารถเทได้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อปริมาณของน้ำในส่วนผสม ความสามารถเทได้จะเพิ่มขึ้น เมื่อใช้ปริมาณน้ำมากขึ้น แต่ถ้าเหลวมากเกินไปมีผลทำให้เกิดการแยกตัว และกำลังของคอนกรีตต่ำลงด้วย ความหนืดที่พอเหมาะเพื่อให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้ ทำได้โดยการวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีต

4. สมบัติมวลรวมกับปริมาณน้ำ

เนื่องจากสมบัติของมวลรวมที่มีผลต่อปริมาณน้ำ และความสามารถเทได้ของคอนกรีตมีดังนี้

3.1 รูปร่างและลักษณะผิว

3.2 ขนาดใหญ่ที่สุดและส่วนคละ คอนกรีตจะต้องผสมด้วยมวลรวมขนาดต่างๆกัน ตั้งแต่ 10 mm. จนถึง 50 mm. ขนาดของมวลรวมจะคละกันไปหลายขนาดๆ เรียกว่าสัดส่วนขนาดคละ (Aggregate grading) ส่วนคละของมวลรวมจึงมีผลต่อความสามารถเทได้และปริมาณส่วนผสมของปูนซีเมนต์ในคอนกรีต ในการผลิตคอนกรีตคุณภาพดีจะต้องมีมวลรวม 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ มวลรวมหยาบ และมวลรวมละเอียด ซึ่งแบ่งโดยใช้ตะแกรงเบอร์ 4 (ช่องเปิด 4.75 mm.) โดยส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 เรียกว่ามวลรวมหยาบ และส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เรียกว่ามวลรวมละเอียด สำหรับมวลรวมละเอียดจะต้องมีขนาดเล็กที่สุดไม่เล็กไปกว่า 0.07 mm. หากมีขนาดเล็กกว่า 0.06 –0.02 mm. จะเรียกว่าดินตะกอน (Silt) และหากเล็กว่า 0.02 mm. ลงไปเรียกว่าดินเหนียว การทำคอนกรีตที่ดีนั้น มวลรวมจะต้องถูกห่อหุ้มด้วยซีเมนต์ มวลรวมเหยาบและละเอียดต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสม โดยมวลรวมขนาดเล็กจะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างมวลรวมขนาดใหญ่ ทำให้ประหยัดซีเมนต์ที่ใช้สำหรับยึดมวลรวมเข้าไว้ด้วยกัน และอุดช่องว่างระหว่างมวลรวมด้วย

ส่วนขนาดคละของหินและทรายมีผลต่อสัดส่วนการผสม เช่นส่วนผสมที่มีทรายละเอียดอยู่มาก จะทำให้ไม่ประหยัดปูนซีเมนต์ แต่ถ้าส่วนผสมมีทรายหยาบอยู่มาก จะทำให้ทำงานยาก

ดังนั้นการกระจายขนาดควรอยู่ภายใต้ข้อกำหนดมาตรฐาน เพื่อจะได้คอนกรีตที่เหลวสามารถเทได้ โดยใช้ปริมาณน้ำผสมน้อยลง และได้กำลังต้านทานและความทนทานตามต้องการ

ตารางที่ 3.4 สัดส่วนขนาดคละที่ต้องการสำหรับคอนกรีตเบา

สัดส่วนขนาดคละที่ต้องการสำหรับคอนกรีตเบา กำหนดโดย BS 3797 : Part 2 :1976

ขนาดตะแกรง มม.	จำนวนร้อยละโดยน้ำหนักที่ผ่านตะแกรง						
	ขนาดมวลรวมมีสัดส่วนขนาดคละดี มม.			ขนาดมวลรวมที่มีขนาดเดียวเป็นส่วนใหญ่ มม.			
	20 - 5	14 - 5	10 - 2.36	20	14	10	6
37.5	100	-	-	100	-	-	-
20.0	95 - 100	100	-	85 - 100	100	-	-
14.0	-	95 - 100	100	-	90 - 100	100	-
10.0	30 - 60	30 - 90	85 - 100	5 - 25	20 - 45	85 - 100	100
6.3	-	-	-	-	-	-	70 - 100
5.0	0 - 10	0 - 15	15 - 50	0 - 5	0 - 10	15 - 35	0 - 35
2.36	-	-	0 - 15	-	-	0 - 5	0 - 10

สัดส่วนขนาดคละ สำหรับคอนกรีตเบาที่ใช้เป็นโครงสร้าง กำหนดโดย ASTM C 330-82a

ขนาดตะแกรง ASTM มม.	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงASTM โดยน้ำหนัก						
	ขนาดมวลรวมหยาบ : มม.สัดส่วนขนาดคละ				มวลรวมละเอียด:มม - 4.75 ลงไป	ขนาดของมวลรวมที่ผสมมวลรวมหยาบกับมวลรวมละเอียด มม.	
	25 - 4.75	19 - 4.75	12.5 - 4.75	9.5 - 2.36		12.5	9.5
25.0	95 - 100	100	-	-	-	-	-
19.0	-	90 - 100	100	-	-	100	-
12.5	25 - 60	-	90 - 100	100	-	95 - 100	100
9.5	-	10 - 50	40 - 80	80 - 100	100	-	90 - 100
4.75	0 - 10	0 - 15	0 - 20	5 - 40	85 - 10	50 - 60	65 - 90
2.36	-	-	0 - 10	0 - 20	-	-	35 - 65
1.18	-	-	-	0 - 10	40 - 80	-	-
300 µm	-	-	-	-	10 - 35	5 - 20	10 - 25
150 µm	-	-	-	-	5 - 25	2 - 15	5 - 15

ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวม พิจารณาจากการหาส่วนคละของมวลรวม แล้วดูผลจากเปอร์เซ็นต์ที่ค้างว่าตะแกรงร่อนขนาดใหญ่ที่สุดอันใดที่มีเปอร์เซ็นต์ของมวลรวม ที่ค้างมากกว่าหรือเท่ากับ 15% ให้นับขนาดของตะแกรงเบอร์ที่ใหญ่กว่านี้ขึ้นไปอีก 1 ชั้น เป็นขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมนั้น

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างการหาขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมที่ใช้

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักค้าง (กรัม)	% ค้าง
1"	12	–
¾"	1,384	7
½"	8,031	41
⅜"	8,676	43
เบอร์ 4	573	3
เบอร์ 8	609	3
ถาดรอง	513	3
รวมน้ำหนัก	19,800	100

ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมที่ใช้มีผลโดยตรงกับปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้ และขนาดคละของวัสดุผสม คือมวลรวมขนาดใหญ่จะต้องการปริมาณน้ำและซีเมนต์น้อยกว่า หรือสามารถทำให้คอนกรีตมีกำลังเพิ่มขึ้น เมื่อใช้มวลรวมขนาดใหญ่ขึ้น

ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวม มีข้อพิจารณาในการเลือกคือ

1. ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวม ต้องมีขนาดไม่เกิน 1/5 ของส่วนที่แคบที่สุดของแบบหล่อ หรือ
2. ขนาดไม่เกิน 3/4 ของระยะที่แคบที่สุด ระหว่างเหล็กเสริม หรือระหว่างเหล็กเสริมกับแบบหล่อ หรือ
3. ขนาดไม่เกิน 1/5 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อคอนกรีตปั๊ม

5. อัตราส่วนของมวลรวมละเอียดต่อมวลรวมหยาบ

ขนาดของหินและทรายที่ใช้ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตขึ้นอยู่กับขนาดใหญ่ที่สุดของหิน และค่าโมดูลัสความละเอียดของทราย

6. ปริมาณความชื้น

ได้แก่ การดูดซึมน้ำและความชื้นทั้งหมด เนื่องจากมวลรวมเบามีรูพรุนจำนวนมากที่ติดต่อกับผิวด้านนอก ดั้งนั้นมวลรวมจึงสามารถดูดความชื้นได้มากกว่ามวลรวมทั่วๆไป นอกจากนี้น้ำบางส่วนยังสามารถเกาะบริเวณผิวของมวลรวม ดั้งนั้นมวลรวมจึงมีความชื้นต่างๆกันไป สภาพความชื้นนี้มีผลต่ออัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีต คือ หากมวลรวมอยู่ในสภาพที่แห้งก็จะดูดน้ำเข้าไปมาก ทำให้อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์จริง

ลดลง หากเปียกชื้นก็จะทำให้อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์จริงสูงกว่าที่ควรจะเป็น สภาพความชื้นแบ่งออกเป็น 4 ลักษณะคือ

6.1 สภาพอบแห้ง (Oven-dried, OD) คือสภาพที่แห้ง โดยความชื้นในมวลรวมทั้งหมดถูกขับออกด้วยความร้อนจากเตาอบที่อุณหภูมิ 105 °C จนมวลรวมมีน้ำหนักคงที่

6.2 สภาพแห้งในอากาศ (Air-dry, AD) คือสภาพที่มวลรวมผิวแห้งแต่มีน้ำในช่องว่างที่น้ำซึมผ่านได้บางส่วน (Capillary pores)

6.3 สภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry, SSD) คือสภาพที่มวลรวมมีรูพรุนเต็มไปด้วยน้ำแต่ผิวแห้ง

6.4 สภาพเปียก (Wet, W) คือสภาพที่มวลรวมผิวเปียกและมีน้ำอยู่เต็มรูพรุน

ดังนั้นในการออกแบบส่วนผสมทุกครั้ง หรือการผสมคอนกรีตโดยเฉพาะผสมกับมวลรวมเบา จะต้องให้มวลรวมอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง แล้วจึงปรับปริมาณน้ำตามลักษณะของวัสดุที่เป็นจริง ส่วนค่าความชื้นทั้งหมดคือปริมาณน้ำทั้งหมดในมวลรวมทั้งที่อยู่ในช่องว่าง (Capillary pores) และน้ำที่ผิวของมวลรวม (Free water) โดยคำนวณจากมวลรวมระหว่างค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวม (Absorption) และค่าความชื้นที่ผิวของมวลรวม (Surface moisture) โดยแสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำทั้งหมดต่อน้ำหนักของมวลรวมที่สภาพอบแห้ง

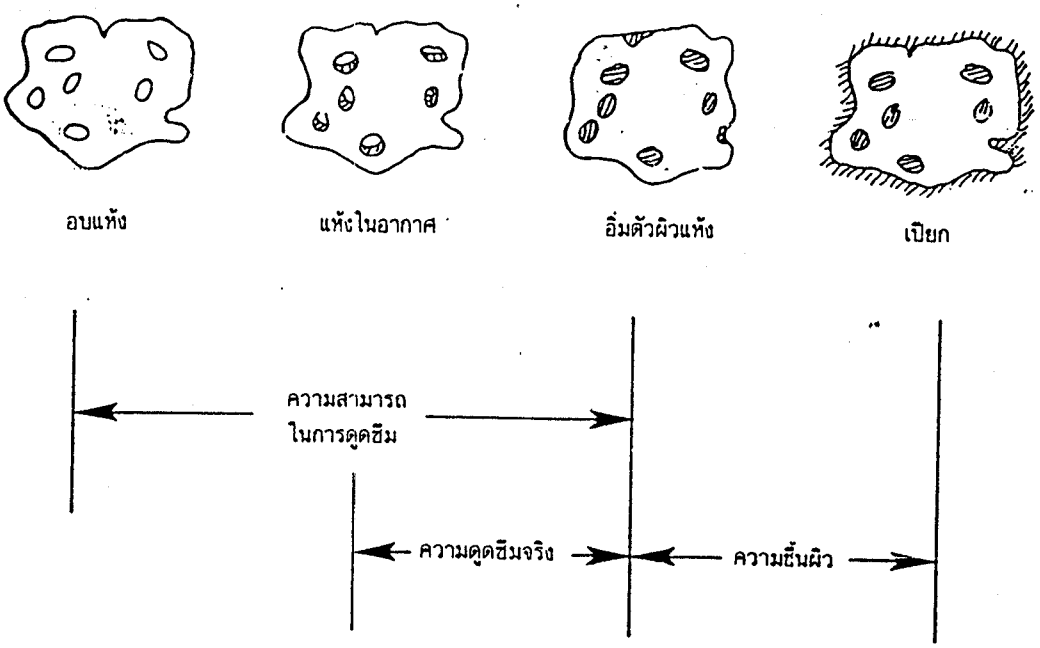
ค่าการดูดซึมน้ำ (Absorption) คือปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปจนเต็มรูพรุนที่น้ำซึมผ่านได้ของมวลรวม แต่ไม่รวมน้ำที่เกาะอยู่ที่ผิวนอกของมวลรวม (Free water) แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่อยู่ในช่องว่างต่อน้ำหนักของมวลรวมที่สภาพอบแห้ง

$$\text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (\%Absorption)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่อยู่ในช่องว่างของทราย}}{\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}} \times 100$$

$$= \frac{\text{น้ำหนักทราย SSD} - \text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}} \times 100$$

ค่าความชื้นที่ผิว (Surface moisture) = ค่าความชื้นทั้งหมด - ค่าการดูดซึม

= เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำที่ผิวของมวลรวม (Free water) ต่อน้ำหนักของมวลรวมที่สภาพอิ่มตัว



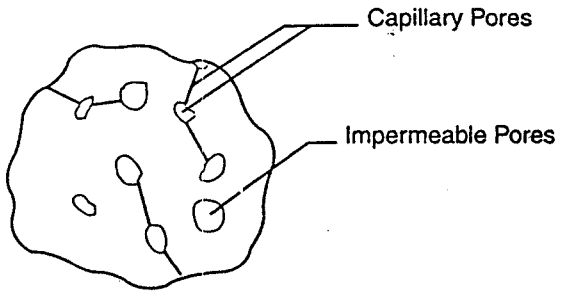
รูปที่ 3.3 สภาพความชื้นของมวลรวม

7. การเพิ่มขึ้นของปริมาตรของทราย

ในการกองเก็บ มวลรวมละเอียดมักจะเปียกและมีความชื้นบนผิว โดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 3-5 % เหตุที่มวลรวมละเอียดมีปริมาณเพิ่มขึ้น เพราะปริมาณน้ำที่เคลือบอยู่บนผิวอนุภาค นอกจากนี้แรงตึงผิวของน้ำยังทำให้ความหนาของชั้นน้ำเคลือบสูงขึ้น และผลักดันให้อนุภาคของมวลรวมละเอียดห่างออกจากกัน ทำให้การหาส่วนผสมของคอนกรีตโดยการตวงผิดพลาด จึงนิยมใช้วิธีชั่งน้ำหนักแทน

8. ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

คืออัตราส่วนของความหนาแน่นของมวลรวมต่อความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งขึ้นอยู่กับความถ่วงจำเพาะของแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบ ในการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะในการแปลงปริมาตรเป็นน้ำหนักหรือกลับกัน



รูปที่ 3.4 ภาพตัดภายในมวลรวมแสดงช่องว่างชนิดน้ำซึมผ่านได้ (Capillary pores) และชนิดที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ (Impermeable pores)

ความถ่วงจำเพาะแบ่งออกเป็นหลายประเภทดังนี้

8.1 ความถ่วงจำเพาะสมบูรณ์ (Absolute specific gravity) คืออัตราส่วนระหว่างน้ำหนักมวลรวมแห้งที่ชั่งในอากาศ เทียบกับน้ำหนักของน้ำที่ชั่งในอากาศที่มีปริมาตรเท่ากับ มวลรวม โดยไม่รวมช่องว่างในมวลรวมที่อุณหภูมิเดียวกัน

8.2 ความถ่วงจำเพาะแท้จริง (Apparent specific gravity) คืออัตราส่วนระหว่างมวลรวมอบแห้งที่ชั่งในอากาศ เทียบกับน้ำหนักของน้ำที่ชั่งในอากาศที่มีปริมาตรเท่ากับมวลรวมโดยไม่รวมช่องว่างในมวลรวมที่น้ำสามารถซึมผ่านได้ (Capillary pores) ที่อุณหภูมิเดียวกัน

8.3 ความถ่วงจำเพาะสภาพแห้ง (Bulk Specific gravity, Oven-dried)
= น้ำหนักมวลรวมอบแห้ง / น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ เนื้อมวลรวม + ช่องว่างมวลรวม วัด ณ.อุณหภูมิเดียวกัน

8.4 ความถ่วงจำเพาะสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk specific gravity, Saturated surface dry)

= น้ำหนักมวลรวมอบแห้ง + น้ำหนักน้ำในช่องว่าง / น้ำหนักน้ำที่ปริมาตร
เท่ากับ เนื้อมวลรวม + ช่องว่างในมวลรวม

การคำนวณค่าต่างๆในงานคอนกรีตโดยปรกตินั้น จะถือว่ามวลรวมอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry) เพราะว่าน้ำที่ถูกเก็บกักในช่องว่างนั้นไม่ได้ทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์เหมือนน้ำที่อยู่ที่ผิว

9. หน่วยน้ำหนักและช่องว่างซึ่งสัมพันธ์กับขนาดคละของมวลรวม

หน่วยน้ำหนักเป็นค่าที่บอกว่าในหนึ่งหน่วยปริมาตรของมวลรวมจะมีน้ำหนักเท่าไร หรือน้ำหนักของมวลรวมในขนาดคละที่ต้องการต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร หน่วยน้ำหนักจะบอกถึงปริมาตรและช่องว่างระหว่างมวลรวม ที่มวลรวมน้ำหนักหนึ่งจะบรรจุลงได้ จะใช้หน่วยน้ำหนักในการคำนวณหาปริมาตรเมื่อใช้วิธีตวงในการวัดส่วนผสมของคอนกรีต ดังนั้นหน่วยน้ำหนักย่อมขึ้นกับความสามารถในการอัดแน่น และปริมาณความชื้น หน่วยน้ำหนักแบ่งเป็น

9.1 หน่วยน้ำหนักสมบูรณ์ (Absolute unit weight)

= ค่าน้ำหนักของมวลรวมทั้งหมดในหนึ่งหน่วยปริมาตร ไม่รวมช่องว่างระหว่างมวลรวม หรือ Specific gravity (SSD) X Unit Weight ของน้ำ

9.2 หน่วยน้ำหนัก (Bulk unit weight) เป็นค่าน้ำหนักของมวลรวมทั้งหมดในหนึ่งหน่วยปริมาตร โดยรวมช่องว่างระหว่างมวลรวม

ค่าหน่วยน้ำหนักที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมโดยปริมาตรนั้นเป็นค่าหน่วยน้ำหนักแบบ Bulk unit weight เนื่องจากในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้มวลรวมอัดแน่นในเนื้อคอนกรีตจนไม่มีช่องว่างระหว่างมวลรวมได้

10. ต้นทุนและประสิทธิภาพการใช้งาน

ในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตเพื่อให้ได้คอนกรีตที่มีคุณสมบัติเหมาะสมตามข้อกำหนดและการใช้งาน โดยได้ราคาที่ถูกที่สุด

ข้อกำหนดของงานคอนกรีตสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม

10.1 การกำหนดคุณสมบัติทั่วไป

- ค่ายุบตัวมาตรฐาน
- ค่ากำลังอัดทั่วไป
- ความทนทานทั่วไป

10.2 การกำหนดคุณสมบัติพิเศษ

- มีความสามารถเทได้สูงมากๆ
- เกิดความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นไม่สูงมาก
- กำลังอัดสูง และสูงภายในเวลาอันรวดเร็ว
- ความทนทานพิเศษต่างๆ เช่น ทนต่อซัลเฟต เป็นต้น

บทที่ 4

การทดลองผลิตมวลรวมเบาจากดินเผา

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 : การศึกษาอุณหภูมิและส่วนผสมของดินที่จะนำมาเตรียมมวลรวมเบา

ตอนที่ 2 : การทดลองเตรียมมวลรวมเบาจากดินเผาและตรวจสอบสมบัติเฉพาะของมวลรวมเบา

ตอนที่ 3 : การทดลองนำมวลรวมเบาที่เตรียมได้มาผสมเพื่อทำคอนกรีต

ขั้นตอนการเตรียม ขั้นตอนการเก็บตัวอย่าง ดินสีขาวและสีแดง ที่บริเวณ อาคารขนส่ง มทส.

รูปที่ 4.1 แหล่งดินสีขาวและสีแดง บริเวณอาคารขนส่ง มทส.

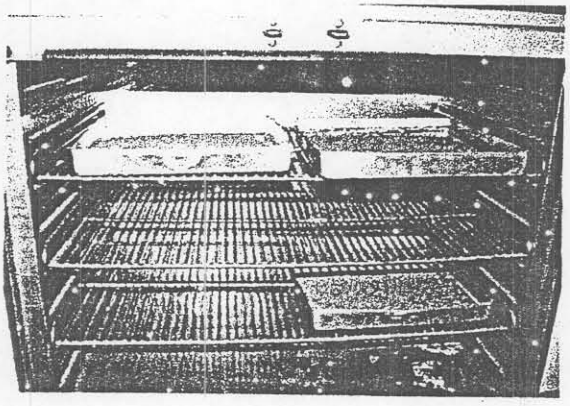
ตอนที่ 1 การศึกษาอุณหภูมิและส่วนผสมของดินที่จะนำมาเตรียมมวลรวมเบา

1. การศึกษาสมบัติ หลังเผาของดินขาว มทส. ที่อุณหภูมิ 1100, 1200, 1250 °C
2. ศึกษาส่วนผสมของดิน ที่เผาที่ 1100, 1200, 1250 °C
   - ส่วนผสมที่ 1 ดินขาว 30% ดินแดง 70%
   - ส่วนผสมที่ 2 ดินขาว 10% ดินแดง 90%
   - ส่วนผสมที่ 3 ดินที่ผสมกันมา โดยการขุดขึ้นมาด้วยรถตักดิน (ไม่ได้แยกชั้นของดิน) (จากบริเวณที่มีการขุด อ่างเก็บน้ำใน มทส.)

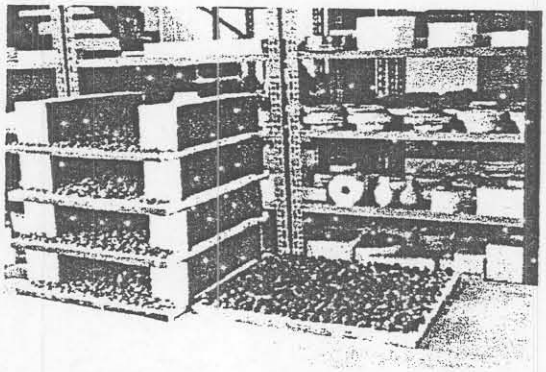
ตอนที่ 2 การทดลองเตรียมมวลรวมเบาจากดินเผาและตรวจสอบสมบัติของมวลรวมเบา

1. การทดลองเตรียมมวลรวมเบา โดยวิธีการเตรียมเป็นเม็ดกลม (Granule) โดยการพ่นน้ำเป็นฝอย ๆ ลงบนดินแห้งที่ถูกเขย่า ทำให้ดินเกาะกันเป็นเม็ดกลมๆ นำไปเผาในเตาโดยวางบนแผ่นรองเผา ที่โรย ด้วยผงอะลูมิน่า เพื่อป้องกันการติด ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3 เมื่อดินหลอม นำมาคัดแยกขนาดด้วย ตะแกรงขนาด 4 mesh
2. แยกขนาดเม็ดดินเผาที่เตรียมได้ โดยร่อนผ่านตะแกรง 4 mesh ส่วนที่ผ่านตะแกรง 4 mesh เป็นมวลรวมละเอียด ส่วนที่ค้างตะแกรง 4 mesh นำมาแยกอีกครั้งด้วยตะแกรง ขนาด 3/4 inch , 1/4 inch, 4 mesh
3. นำมวลรวมเบา หยาบ และ มวลรวมละเอียด มาผสมให้ได้ส่วนคละดังตารางที่ 3.4 ตามมาตรฐาน ASTM C 330-829
4. ตรวจสอบสมบัติเฉพาะของ เม็ดดินเผาที่เตรียมได้
   - 4.1. การหาค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของมวลรวมตาม ASTM C128/C127
   - 4.2. การหาหน่วยน้ำหนัก (Unit weight) ของมวลรวม ASTM C29
   - 4.3. การทดสอบความสามารถในการเท ทดสอบค่ายุบตัว (Slump test) ภาคผนวก ASTM C143
   - 4.4. การทดสอบ ค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีต

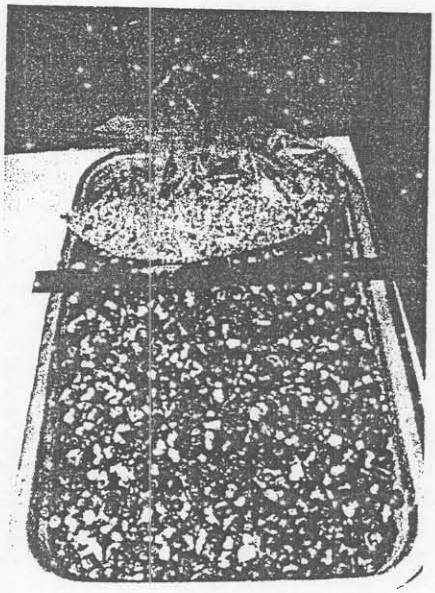
จากข้อมูลสมบัติเฉพาะของมวลรวมที่เตรียมจากดินเผา นำไปออกแบบการผสมให้ส่วนผสมมีความสามารถในการเทแบบ และ นำไปหล่อแบบเป็นชิ้นงานขนาด 2 x 2 x 2 นิ้ว จำนวน 3 ก้อน เพื่อทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตเบา (บ่มชิ้นงาน 7 วัน)



รูปที่ 4.2 การนำเม็ดดินที่เตรียมได้ไปอบ



รูปที่ 4.3 การเรียงเม็ดดินก่อนนำเข้าเผา



รูปที่ 4.4 เม็ดดินที่เตรียมได้

4.1 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลละเอียด

(Specific gravity and absorption of fine aggregate)

จุดประสงค์ของการทดสอบ

เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะในสภาพต่าง ๆ โดยเฉพาะในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry) และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของทราย (Absorption) เพื่อนำค่าไปออกแบบส่วนผสมคอนกรีตได้

เครื่องมือทดสอบ

1) ขวดหา ถ.พ. ซึ่งใช้ Volumetric flask ขนาด 500 ml
2) เครื่องชั่ง (Balance) วัดได้ละเอียดถึง 0.1 เปอร์เซ็นต์ (หรือ 0.1 g)
3) แบบหล่อโลหะรูปกรวยหัวตัด (Sand absorption cone) เส้นผ่าศูนย์กลางปลายบน 38 mm. เส้นผ่าศูนย์กลางปลายล่าง 89 mm. สูง 74 mm. พร้อมเหล็กกระทุ้ง (Tamper) น้ำหนัก 340 $\pm$ 15 g ลักษณะเหล็กกระทุ้งนี้ที่ปลายเหล็กกระทุ้งเป็นรูปวงกลมแบน เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 mm.
4) ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) พร้อมท่อสูบและมาตรวัดความดัน
5) ชามใส่ทราย (Bowl), ที่ตัก (Scoop), เตาไฟฟ้า (Hot plate), เตาอบ (Oven) รักษาอุณหภูมิในช่วง 100-115°C ได้และเครื่องเป่าลมร้อน (Dryer)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมเป็นอัตราส่วนของน้ำหนักมวลรวม ต่อน้ำหนักของน้ำที่มีปริมาตรเท่ามวลรวม ซึ่งในการทดสอบจะหาค่าได้จากความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ การหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมนี้ ค่าที่ได้จะมีมากกว่าหนึ่งค่า เนื่องจากในมวลรวมมีปริมาณของความชื้นต่างถ่วงจำเพาะของมวลรวม (ทั้งมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 2.40 – 2.90 ค่าความถ่วงจำเพาะที่จะนำไปใช้ในการออกแบบส่วนผสมจะคิดให้มวลรวมนั้นอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งเสมอ เพราะเป็นสภาพที่ไม่ดูดน้ำและไม่คายน้ำให้กับส่วนผสมกอนกรีต ค่าอีกค่าหนึ่งที่มีผลต่อสัดส่วนผสมคอนกรีต ก็คือค่าการดูดซึมน้ำ ซึ่งเป็นสมบัติของวัสดุที่จะสามารถดูดซึมน้ำไว้ ถ้ามวลรวมนั้นมีการดูดซึมมากอยู่แล้ว เมื่อนำมาผสมคอนกรีตก็จะเป็นการเพิ่มน้ำให้กับส่วนผสมทำให้ส่วนผสมเหลวไป หรือถ้ามวลรวมนั้นมีการดูดซึมน้ำน้อย ทำให้ดูดน้ำจากส่วนผสมคอนกรีต ทำให้ส่วนผสมคอนกรีตแห้งไปไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน ดังนั้นจึงต้องหาค่าการดูดซึมน้ำ เพื่อควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสมคอนกรีต

ให้มีความหนืดที่พอเหมาะกับการใช้งานนั้นๆ ค่าการดูดซึมน้ำจะคิดจากผลต่างของความชื้นในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งกับสภาพที่แห้ง

การเตรียมตัวอย่าง

แบ่งตัวอย่างทราย (ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4 mesh) ออกจากกองมา 1200 ถึง 1500 g โดยวิธีแบ่งสี่ (Quartering) ให้ได้ตัวอย่างที่เป็นตัวแทนของทรายในกองนำไปอบให้น้ำที่สะสมไว้แห้ง ทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1-3 ชั่วโมง จากนั้นเทตัวอย่างทรายลงในถาด แล้วเติมน้ำจนท่วมทราย ปล่อยทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ระบายน้ำทิ้งแล้วตั้งถาดทราย ต้องไม่ให้ทรายแห้งจนเกินไป เมื่อความชื้นลดลงพอประมาณแล้ว ให้เอาผ้าซับความชื้นออกอีก ในช่วงนี้อาจใช้พัดลม หรือเครื่องเป่าลมร้อนเป่าเหนือบริเวณที่ทรายแผ่กระจายอยู่ก็ได้จะช่วยให้ทรายแห้งเร็วขึ้น ควรกวนตัวอย่างทรายตลอดเวลาเพื่อให้ทรายแห้งได้ทั่ว จนกระทั่งทรายทั้งกองตัวอย่างอยู่ในสภาพ Saturated surface dry (SSD) วิธีนี้ใช้เวลาแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แต่ก็อาจหาค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำได้โดยใช้เวลาแช่น้ำเพียง 30 นาที จุดที่ทรายอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งนั้นมีวิธีพิจารณาดังต่อไปนี้

วิธีใช้แบบรูปกรวย วิธีนี้เป็นที่นิยมทดสอบกันมากที่สุด มีวิธีการทดสอบโดยกรอกตัวอย่างทรายลงในแบบโลหะรูปกรวยหัวตัดจนเต็มกรวย กระทุ้งเบา ๆ ด้วยเหล็กกระทุ้ง (Tamper) โดยถือเหล็กกระทุ้งให้สูงจากตัวอย่างดินประมาณ 5 mm. ปล่อยลงด้วยน้ำหนักของเหล็กกระทุ้งเองจำนวน 25 ครั้ง เมื่อกระทุ้งครบ 25 ครั้งแล้ว ให้ยกเอาแบบโลหะออกในแนวดิ่ง ถ้ายังมีความชื้นอิสระอยู่ ทรายจะรักษารูปกรวยไว้ ให้ใช้เครื่องเป่าลมร้อน (Dryer) เป่าต่อไปให้ทั่วกองทราย ซึ่งจะต้องนำทรายที่ทดสอบในกรวยนำมารวมกันในกองทั้งหมดก่อนแล้วจึงเป่าลมร้อนลงไป แล้วจึงทำการทดสอบแบบกรวยต่อไป โดยทดสอบเป็นระยะ ๆ จนเมื่อยกแบบออกแล้ว ทรายจะไหลแผ่ออกเป็นบริเวณรอบ ๆ กองกรวยทราย ซึ่งเป็นลักษณะที่ทรายจะทลายเฉพาะรอบ ๆ ผิวนอก แล้วไหลมากองที่ฐานไม่ใช่ทลายมาแบนราบทั้งกอง ที่จุดนี้คือจุดที่ทรายอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

วิธีทดสอบ

1) นำตัวอย่างทรายที่มีอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งแล้ว จำนวน 500 g (ค่า B) เทใส่ลงใน Volumetric flask 500 ml. โดยใช้กรวยตวง (Funnel) ตวงทรายใส่จนหมด ระวังอย่าให้หกออกมาเพราะจะทำให้ค่าที่ชั่งไว้ผิดพลาดไป แล้วนำน้ำสะอาดมาเทใส่จนท่วมทราย แต่ต้องระวังอย่าให้เกินขีดบอกขนาด 500 ml.

2) ทำการไล่ฟองอากาศออกจากตัวอย่างทรายให้มากที่สุด ทำโดยเอนขวดพอประมาณ แล้วหมุนขวดไป-มา หรือจะแกว่งทรายในขวดแล้วนำไปสูบเอาอากาศออก โดยใช้ Vacuum pump หรือจะเอาไปแกว่งในน้ำร้อน ซึ่งวิธีนี้ก็ต้องมีการ Calibrate น้ำกับขวด Volumetric flask เพราะมีอุณหภูมิมาเกี่ยวข้องมากขึ้น

3) เติมน้ำเข้าไปอีกจนพอดีขีดบอกขนาด 500 ml. นำไปชั่งน้ำหนัก (ซึ่งจะได้เป็นค่า C)

4) เทตัวอย่างทรายพร้อมน้ำออกจาก Volumetric flask ใส่ลงในชาม (Bowl) ที่มีขนาดใหญ่พอ โดยเมื่อเทออกจนหมด (ซึ่งจะมีการล้างขวดด้วยเพื่อให้ทรายออกให้หมด) แล้วน้ำไม่ล้นหกออกมา นำไปอบที่อุณหภูมิ 100-115°C ทิ้งไว้จนมีน้ำหนักลงที่ (ประมาณ 24 ชั่วโมง) แล้วนำมาชั่ง (ค่า A)

5) ทำการชั่ง Volumetric flask ที่มีเฉพาะน้ำใส่อยู่ในระดับพอดีกับขีดบอกขนาด 500 ml. (ค่า D)

การคำนวณ

1) ค่าความถ่วงจำเพาะ คำนวณหาได้จากค่าความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk specific gravity) โดยใช้สูตรต่อไปนี้

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมแห้ง (Oven dry) = A/(D+B-C)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry) = B/(D+B-C)

ความถ่วงจำเพาะที่ปรากฏ (Apparent) = A/(D+A-C)

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง, g

B = น้ำหนักตัวอย่างที่จุดอิ่มตัวผิวแห้ง, g

C = น้ำหนักขวดหา ถ.พ. รวมทั้งน้ำและทรายในขวด, g

D = น้ำหนักขวดหา ถ.พ. (Volumetric flask) รวมทั้งน้ำในขวดที่มีอุณหภูมิเดียวกับของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ, g

2.) การดูดซึมน้ำ (จากสภาพแห้ง) ของทรายอาจจะหาได้โดยใช้สูตร

การดูดซึมน้ำ (% Absorption) = (B-A) x 100/A

4.2 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ(โดยการชั่งน้ำหนัก)

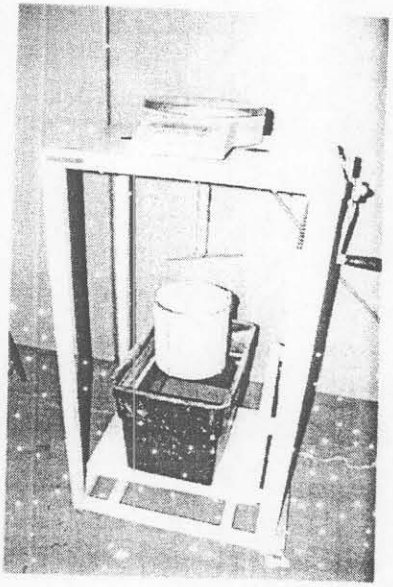
(Specific gravity and absorption of coarse aggregate)

จุดประสงค์ของการทดสอบ

หาค่าความถ่วงจำเพาะในสภาพต่าง ๆ และเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของหิน เพื่อนำค่าไปออกแบบส่วนผสมคอนกรีตได้

เครื่องมือทดสอบ

1) เครื่องชั่ง (Balance) วัดได้ละเอียดถึง 0.1 เปอร์เซ็นต์ ของช่วงน้ำหนักที่ต้องการชั่ง
2) ตะกร้าลวดตาข่าย (Wire mesh basket) เส้นผ่าศูนย์กลางตะกร้าประมาณ 200 mm. สูงประมาณ 65 mm.
3) ถังน้ำขนาดใหญ่ (Container) พอที่จะหย่อนตะกร้าให้จมลงในน้ำ พร้อมระบบแขวนตะกร้าจากจุดชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่ง
4) ตู้อบ (Oven) ขนาดพอเหมาะกับงาน สามารถรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 100-110°C ได้
5) ชาม (Bowl) ถาด (Pan) และผ้าสำหรับซับน้ำ



รูปที่ 4.2 เครื่องวัดความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวม

การทดสอบนี้จะกล่าวถึงวิธีการหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของหิน (เก็บน้ำไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง) ของมวลรวมหยาบ (ค้างตะแกรงขนาด 4 mesh) ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ได้กล่าวไว้ในเรื่องความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียดแล้ว เพราะมีลักษณะทั่วไปเหมือนกัน

วิธีทดสอบ

1) ล้างตัวอย่างในน้ำโดยเขย่าและกวนแรง ๆ ให้ฝุ่นหรือดินโคลนที่เกาะตามผิวมวลรวมหลุดออก นำไปอบที่อุณหภูมิ 100-110°C จนมีน้ำหนักคงที่ ทิ้งไว้ให้เย็นในอากาศ แล้วนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง เมื่อถึงเวลาให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ใช้ผ้าซับน้ำที่ผิวของมวลรวม ถ้ามวลรวมเป็นก้อนใหญ่ให้เช็ดทีละก้อน แต่ถ้ามวลรวมเล็กอาจเช็ดพร้อมกันทั้งกองเลย ควรระวังอย่าให้น้ำระเหยจากมวลรวมที่เช็ดแล้วจนแห้งเกินไป นำมวลรวมที่แห้งแล้วไปชั่ง ค่าที่ได้เป็นค่าน้ำหนักของมวลรวมหยาบในสภาพแห้ง (ค่า B)
2) เมื่อชั่งแล้วให้ใส่มวลรวมในตะกร้า แล้วนำไปชั่งในน้ำระวังอย่าให้ติดช่องลวดตาข่ายและระวังอย่าให้มีฟองอากาศ (ค่า C)
3) นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 100-110°C จนได้น้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง (ทิ้งไว้ประมาณ 1-3 ชั่วโมง) แล้วจึงชั่งน้ำหนัก (ค่า A)

หมายเหตุ วิธีนี้ใช้เวลาในการแช่น้ำ 24 ชั่วโมง แต่อาจหา ค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำโดยใช้เวลาในการแช่น้ำ 30 นาทีก็ได้ ซึ่งวิธีการอื่น ๆ นอกจากเวลาในการแช่น้ำเหมือนเดิมหมด ซึ่งเวลาแช่น้ำ 30 นาที นี้ใช้มากในงานผสมคอนกรีตทั่วๆ ไป

การคำนวณ

1) ค่าความถ่วงจำเพาะ คำนวณหาได้จากค่าความถ่วงจำเพาะรวม(Bulk specific gravity) ได้โดยใช้สูตรต่อไปนี้

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมแห้ง (Oven dry) = A/(D+B-C)

ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry) = B/(D+B-C)

ความถ่วงจำเพาะที่ปรากฏ (Apparent) = A/(D+A-C)

เมื่อ A = น้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง ชั่งในอากาศ, g

B = น้ำหนักตัวอย่างที่จุดอิ่มน้ำผิวแห้ง ชั่งในอากาศ, g

C = น้ำหนักของตัวอย่าง ชั่งในน้ำ, g

D = น้ำหนักขวดหา ถ.พ. (Volumetric flask) รวมทั้งน้ำในขวดที่มีอุณหภูมิเดียวกับของน้ำที่ใช้ในการทดสอบ, g

2) การดูดซึมน้ำ (จากสภาพแห้ง) หาได้โดยใช้สูตร

การดูดซึมน้ำ (% Absorption) = (B-A) x 100/A

4.3 หน่วยน้ำหนักและช่องว่างของมวลรวม

(Unit weight and voids of aggregate)

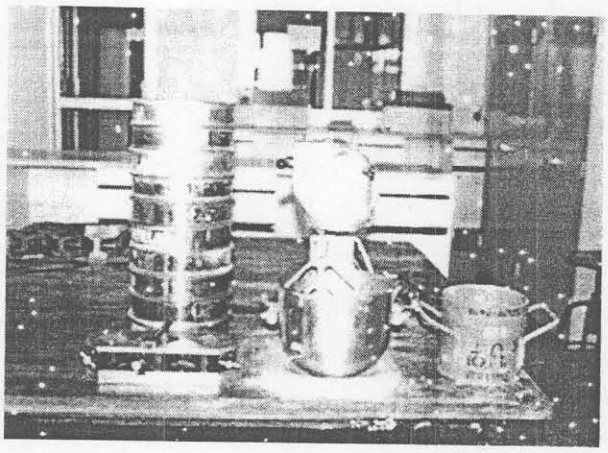
เครื่องมือทดสอบ

1) ภาชนะสำหรับตวงวัสดุผสม (Aggregate container) มีลักษณะเป็นถังโลหะรูปทรงกระบอก ผิวเรียบสม่ำเสมอ ด้านบนเปิด ด้านล่างเป็นพื้นโลหะ เพื่อสามารถใส่น้ำได้โดยไม่ไหลซึมออกและแข็งแรงทนทาน มีหูใช้หิ้วได้ (ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า กระบอกตวง) มีขนาดและการใช้วัสดุผสมในการทดสอบดังนี้

ขนาดภาชนะ (ft^3)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (in)	ความสูงภายใน (in)	ความหนาต่ำสุดของโลหะที่ใช้ภาชนะตวง (in)		ขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวม (in)
			ผนัง	พื้น	
1	14.0 ± 0.1	11.2 ± 0.1	0.12	0.20	3
1/2	10.0 ± 0.1	11.0 ± 0.1	0.12	0.20	1.5
1/3	8.0 ± 0.1	11.5 ± 0.1	0.10	0.20	1
1/10	6.0 ± 0.1	6.1 ± 0.1	0.10	0.20	0.5

2) เหล็กกระทุ้ง (Tamping rod) เป็นเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 mm. ยาว 600 mm. ปลายเหล็กกระทุ้งเป็นรูปครึ่งวงกลม

3) เครื่องชั่ง (Balance) ชั่งได้ละเอียด 0.3 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักในช่วงที่ต้องการชั่ง



รูปที่ 4.3 ชุดเครื่องมือในการตรวจสอบสมบัติของมวลรวม และคอนกรีตเบา

หน่วยน้ำหนัก (Unit weight) เป็นค่า ๆ หนึ่งที่แสดงให้ทราบว่า น้ำหนักเป็นเท่าใดใน หนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งในวัสดุผสม ทั้งวัสดุผสมหยาบ และวัสดุผสมละเอียด จะมีค่าที่ทำขึ้นไว้ เพื่อหาสัดส่วนผสมคอนกรีตที่เหมาะสมต่อไป ส่วนมากจะมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3) หรือปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุต (lb/ft^3) ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมนี้มีอยู่ในสภาวะต่าง ๆ เช่น สภาวะแห้ง ชื้น เปียก เป็นต้น

ช่องว่าง (Voids) เป็นส่วนที่แสดงให้เห็นถึงการเรียงตัวของเม็ดวัสดุผสมว่ามีอากาศปนแทรกอยู่ระหว่างเม็ดวัสดุผสมนี้เป็นปริมาณเท่าใดในวัสดุผสมสภาพที่แห้ง ซึ่งทำให้ทราบว่าวัสดุผสมนั้นจะแน่นเพียงใด ถ้าเป็นวัสดุผสมที่ชื้นก็จะมีส่วนของน้ำปนอยู่ด้วย แทนที่จะมีอากาศเพียงอย่างเดียวซึ่งส่วนที่ปนแทรกระหว่างเม็ดวัสดุผสมนี้เราจะเรียกว่า "ช่องว่าง" จะหาค่าออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของวัสดุผสมทั้งหมด ถ้ามีช่องว่างมากแสดงว่าวัสดุผสมนั้นไม่แน่น ทำให้มีน้ำหนักเบา และมีผลให้ค่าหน่วยน้ำหนักมีค่าน้อยด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้ต้องมีส่วนของน้ำกับซีเมนต์มีอยู่เป็นปริมาณมากด้วยในส่วนผสมคอนกรีต ช่องว่างของมวลรวมสามารถหาได้จากความถ่วงจำเพาะและค่าของหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมนั้น

ฉะนั้นในการผสมคอนกรีตจึงต้องคิดถึงสภาพของหน่วยน้ำหนัก และช่องว่างด้วยว่าอยู่ในเกณฑ์ที่จะใช้ได้หรือไม่ ส่วนมากค่าหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมจะมีค่าอยู่ระหว่าง 1400-1950 kg/m^3

ตารางที่ 4.1 แสดงหน่วยน้ำหนักของมวลรวมตามธรรมชาติโดยทั่ว ๆ ไป

ชนิดของมวลรวม	สภาวะความชื้น	หน่วยน้ำหนัก (kg/ลบ.ม^3)	
		หลวม	อัดแน่น
1. ทราย	แห้ง	1440-1600	1520-1840
	ชื้น	1360-1520	-
2. กรวด, ตะแกรงเบอร์ 4-.75 นิ้ว	แห้งหรือชื้น	1470-1570	1580-1710
3. กรวด, ตะแกรงเบอร์ 4-1.5 นิ้ว	แห้งหรือชื้น	1520-1650	1660-1790
4. ส่วนผสมของทรายและกรวด	แห้ง	-	1760-2000
ขนาดใหญ่สุด 1-1.5 นิ้ว		1600-1840	-
5. หินโม่, ตะแกรงเบอร์ 4-.75 นิ้ว	แห้งหรือชื้น	1410-1500	1520-1650
6. หินโม่, ตะแกรงเบอร์ 44-1.5 นิ้ว	แห้งหรือชื้น	1450-1580	1600-1700

วิธีทดสอบ

1) นำวัสดุมวลรวมจำนวนหนึ่ง โดยจากการสุ่มตัวอย่าง มาอบแห้งจนมีน้ำหนักคงที่แล้วทิ้งไว้ให้เย็นประมาณ 1-3 ชั่วโมง
2) ทำการหาขนาดความจุของกระบอกตวง (Volume, V) โดยชั่งน้ำหนักภาชนะเปล่าไว้แล้วใส่น้ำจนเต็มพอดีโดยใช้แผ่นกระจกรีดให้สม่ำเสมอขอบภาชนะ และพยายามอย่าให้มีฟองอากาศนำไปชั่งเพื่อหาน้ำหนักน้ำในภาชนะ
3) หาความจุของกระบอกตวง โดยเอาน้ำหนักหารด้วยหน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิขณะนั้น
4) เช็ดน้ำในกระบอกตวงให้แห้งแล้วใส่มวลรวมลงไปเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นหนาประมาณหนึ่งในสามของความสูง เมื่อใส่ขั้นแรกเสร็จเกลี่ยให้ราบ แล้วกระทุ้งด้วยเหล็กกระทุ้ง 25 ครั้ง ให้ทั่วบริเวณ แล้วจึงเติมชั้นที่สอง เกลี่ยและกระทุ้งอีก เติมชั้นที่สามให้ล้นกระทุ้ง แล้วใช้เหล็กกระทุ้งปาดส่วนเกินออก ในการกระทุ้งชั้นแรกไม่ควรปล่อยให้

เหล็กกระทุ้งกระแทกพื้นกับกระบอกตวง สำหรับชั้นต่อไปให้กระทุ้งจนปลายเหล็กกระทุ้งทะลุผิวบนของชั้นก่อนหน้านั้นเพียงเล็กน้อยสำหรับมวลรวมขนาดใหญ่กว่า 2 นิ้ว ให้อัดแน่นด้วยการยกด้านข้างกระบอกตวง ข้างหนึ่งขึ้นประมาณ 2 นิ้ว ปล่อยให้กระแทกกับพื้นแข็ง ๆ เช่น พื้นคอนกรีต แล้วยกอีกข้างหนึ่งขึ้น แล้วปล่อยให้กระแทกพื้นเช่นนี้สลับกันข้างละ 25 ครั้ง รวมเป็น 50 ครั้ง ต่อหนึ่งชั้น และให้ทำเช่นนี้ทั้งสามชั้น มวลรวมขนาดเล็กกว่า 50 mm. (2 นิ้ว) ก็อาจใช้วิธีอัดแน่น วิธีนี้แทนการกระทุ้งก็ได้ แต่วิธีนี้จะให้ค่าหน่วยน้ำหนักสูงกว่าวิธีกระทุ้งมาก จึงควรนำวิธีการอัดแน่นไปพิจารณาประกอบผลที่ได้รับด้วย แล้วทำการชั่งน้ำหนักไว้

5) หาหน่วยน้ำหนักของมวลรวมในกระบอกตวง

6) ควรทำอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง แล้วนำค่ามาเฉลี่ยกัน

การคำนวณ

1) หาปริมาตรความจุของกระบอกตวง (Volume)

จากสมการ $V = W_w / \gamma_w$

เมื่อ W_w = น้ำหนักเฉพาะน้ำในกระบอกตวง, kg

γ_w = หน่วยน้ำหนักของน้ำที่อุณหภูมิขณะนั้น, kg/m^3

V = ปริมาตรของกระบอกตวง, m^3

2) หาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม (Unit weight of aggregate)

จากสมการ $\gamma_t = W / V$

เมื่อ γ_t = หน่วยน้ำหนักของมวลรวม, kg/m^3

W = น้ำหนักของมวลรวม, kg

V = ปริมาตรของมวลรวม, m^3

ถ้าจากการทดสอบ 3 ครั้ง น้ำหนักที่ได้ต่างกันเกิน 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเฉลี่ย ควรทำการทดสอบเพิ่มขึ้นอีกเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยที่ถูกต้องยิ่งขึ้น

3) หาปริมาณช่องว่าง (%)

จากสมการ $((Gd \times \gamma_w) - \gamma_t) \times 100 / Gd \times \gamma_w$

เมื่อ Gd = ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมในสภาพแห้ง (Oven dry)

4.4 การทดสอบความสามารถเทได้ โดยการทดสอบ Flowability

จุดประสงค์การทดสอบ

เพื่อหาความข้นเหลวของคอนกรีต และความสามารถในการเทได้ ตาม DIN 1164

เครื่องมือทดสอบ

1) แบบหล่อตัวอย่างคอนกรีต (Slump mold) เนื่องจากในการทดลองนี้ มีตัวอย่างจำนวนน้อย จึงเลือกใช้แบบขนาดเล็ก คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 cm และ สูง 4 cm
2) เหล็กกระทุ้ง (Tamping rod)
3) ไม้บรรทัด
4) ถาดหรือแผ่นโลหะที่ไม่ดูดซึมน้ำ
5) ที่ตักใช้ตักคอนกรีตลงในแบบ

การยุบตัวของคอนกรีตจะแสดงให้เห็นถึงความข้นเหลวของคอนกรีตที่ผสมขึ้นให้เหมาะ สมกับสภาพของงาน ค่าการยุบตัวจะมีค่ามากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสม โดยคอนกรีตที่เหลวจะทำให้มีผลต่อความแข็งแรงของคอนกรีต ส่วนคอนกรีตที่ข้น จะเทลงแบบได้ยากและอาจเป็นโพรง ซึ่งจะบอกความสามารถใจการเทและควบคุมสภาพของคอนกรีตในการผสมแต่ละครั้งได้

วิธีการทดสอบ

1) พรมน้ำให้ผิวในแบบชื้น ตั้งแบบบนผิวที่เรียบ และไม่ดูดน้ำ ซึ่งต้องพรมน้ำเสียก่อน
2) เทคอนกรีตที่ผสมเสร็จใหม่ๆ ลงในแบบ การเทให้เทเป็นชั้นๆ 3 ชั้น แต่ละชั้นมีปริมาณประมาณ 1 ใน 3 ของปริมาณทั้งหมด และควรเทให้คอนกรีตกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอแล้วใช้เหล็กกระทุ้ง กระทุ้งคอนกรีตในแบบชั้นละ 25 ครั้ง โดยเปลี่ยนตำแหน่งกระทุ้งให้กระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณ สำหรับชั้นแรกให้กระทุ้งเข้าไปจนสุดความลึกของชั้น
3) เมื่อกระทุ้งครั้งสุดท้ายแล้วให้ปาดคอนกรีต ส่วนที่เกินออก จนได้ผิวด้านบนที่เรียบ กวาดคอนกรีตที่อยู่รอบฐานแบบออกให้หมด แล้วยกตัวแบบขึ้นในแนวดิ่งช้าๆ แล้ววัดค่าการยุบตัว โดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตที่แผ่กระจายออกไป

4.5 การทดสอบความต้านทานแรงอัดของคอนกรีตโดยการหล่อ (Compressive strength of concrete)

จุดประสงค์ของการทดสอบ

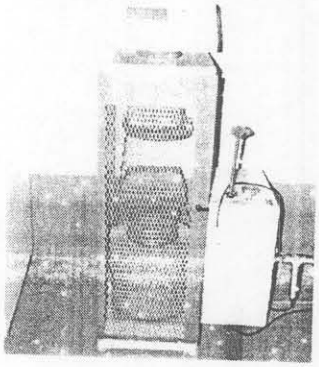
เพื่อหากำลังแรงอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีต

ความสามารถในการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตจะทำให้ทราบว่าคอนกรีตที่ใช้ในงานนั้นมีความสามารถและเหมาะสมเพียงใด อาจใช้เปรียบเทียบกับกำลังอัดที่ได้คำนวณก็ได้ และข้อมูลที่ได้จากการทดสอบกำลังอัดนี้จะไม่เท่ากับคอนกรีตที่ใช้เป็นโครงสร้างจริง เพราะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่าง เช่น ลักษณะการรับแรง ขนาดชิ้นงาน อุณหภูมิ

ก่อนที่จะทดสอบคอนกรีตจะต้องทำตัวอย่างคอนกรีตให้มีความถูกต้อง โดยการหล่อคอนกรีต (Making concrete) ในการทดสอบครั้งนี้จะใช้ตามมาตรฐานอังกฤษ (B.S.) จะหล่อคอนกรีตเป็นรูปลูกบาศก์ เนื่องจากในการทดสอบนี้มีตัวอย่างจำนวนน้อย จะใช้แบบขนาด 2x2x2 นิ้ว

เครื่องมือทดสอบ

1) แบบหล่อรูปลูกบาศก์ ขนาด 2x2x2 นิ้ว แผ่นฐานแบบหล่อยึดติดกับตัวแบบด้วยสลักเกลียว รอยต่อในแบบจะต้องสนิทพอไม่ให้น้ำในส่วนผสมรั่วออกได้
2) เหล็กกระทุ้ง
3) เครื่องกดแท่งทดสอบ (Compressive testing machine)



รูปที่ 4.7 เครื่องกดอัดแท่งทดสอบ (ห้องปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี มทส.)

วิธีการทดสอบ

1) ประกอบแบบหล่อให้เรียบร้อย ทาผิวในบางๆด้วย จาระบีกราไฟต์ (เบอร์2) หรือน้ำมันที่ไม่ทำให้คอนกรีตหรือแบบหล่อเสียหาย
2) เติมคอนกรีตลงในแบบหล่อ เป็นจำนวน 3 ชั้น เท่าๆกัน ใช้เหล็กกระทุ้งแต่ละชั้นๆละ 25 ครั้ง โดยให้กระจายให้ทั่วพื้นที่ผิวอย่างสม่ำเสมอ และให้ปลายเหล็กกระทุ้งทะลุผ่านลงไปที่ชั้นต่อไปเล็กน้อย เสร็จแล้วให้ย้ายตัวอย่างเข้าไปในห้องบ่ม แล้วใช้เหล็กปาดคอนกรีตส่วนเกินออก
3) ถอดแบบหลังจากหล่อ 24 ชั่วโมง ทำเครื่องหมายและนำไปชั่งน้ำหนักบันทึกค่าไว้
4) ทำการบ่มด้วยน้ำ โดยการแช่ชิ้นงานลงในน้ำจนมิดและรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง $23 \pm 2\ ^{\circ}C$ เป็นเวลา 7 วัน
5) ทำความสะอาดพื้นผิวของแท่นกดเครื่องทดสอบ
6) วางชิ้นงานให้ตรงแนวศูนย์กลางของแท่นกด
7) เดินเครื่องทดสอบโดยเพิ่มแรงกดอย่างสม่ำเสมอ บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่ชิ้นงานสามารถรับได้

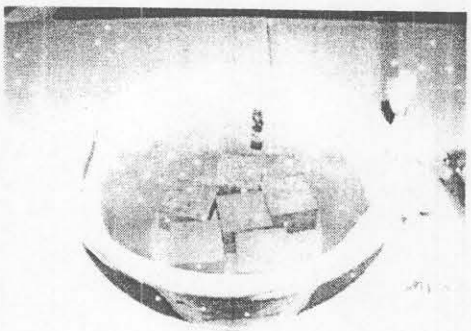
การคำนวณผล

หาค่าความต้านทานแรงอัดของคอนกรีต

จากสมการ Compressive strength = P/A

เมื่อ P = แรงกดสูงสุดที่ชิ้นงานสามารถรับได้, kg

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน, cm^2



รูปที่ 4.8 ชิ้นตัวอย่างที่เตรียมได้ และทำการบ่มในน้ำ

บทที่ 5

รายงานผลการทดลองและ วิจารณ์ผลการทดลอง

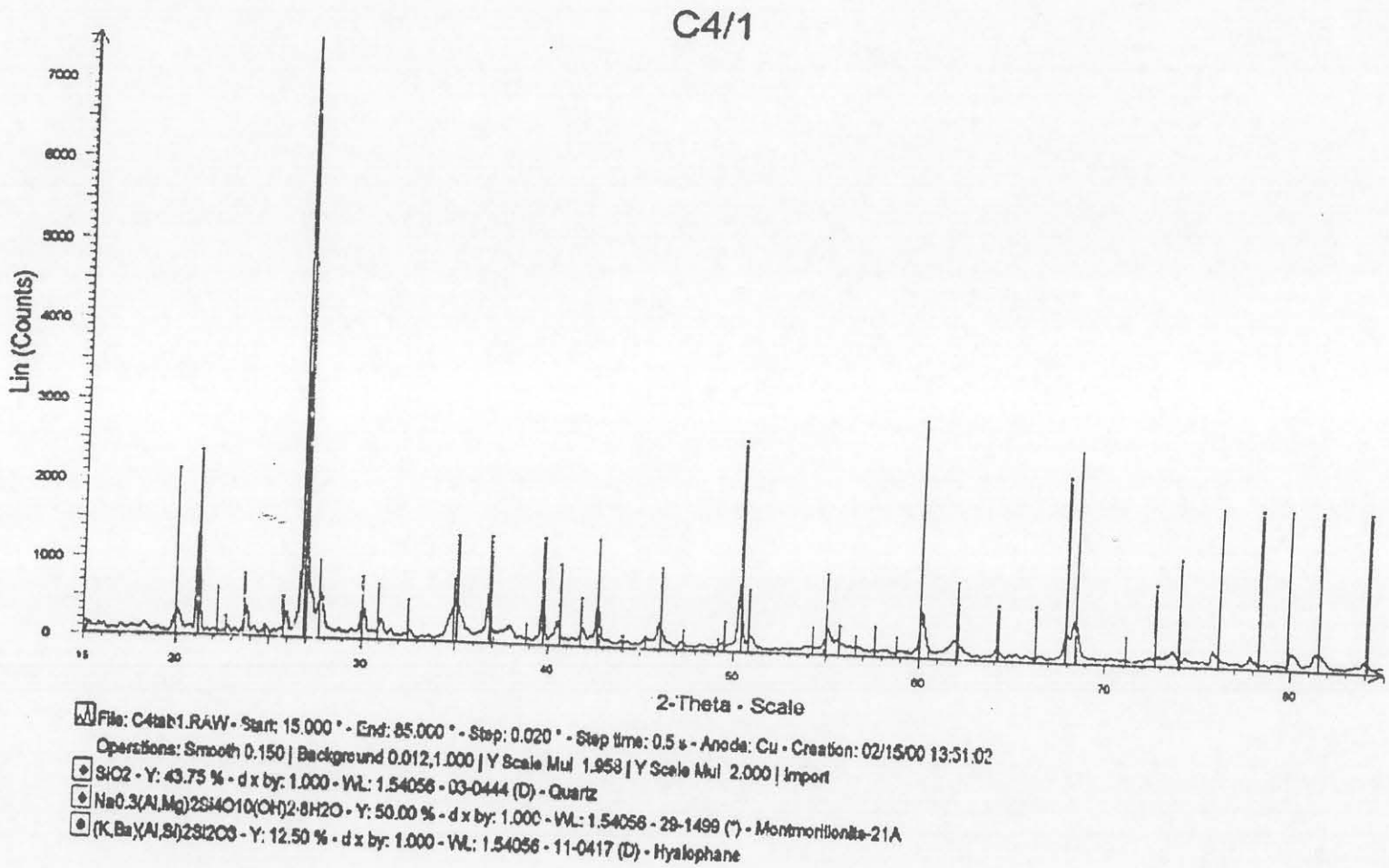
ตอนที่ 1 การศึกษาอุณหภูมิและส่วนผสมของดินที่นำมาใช้เตรียมมวลรวมเบา

5.1 การศึกษาลักษณะเฉพาะของดินสีขาวและดินสีแดง ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

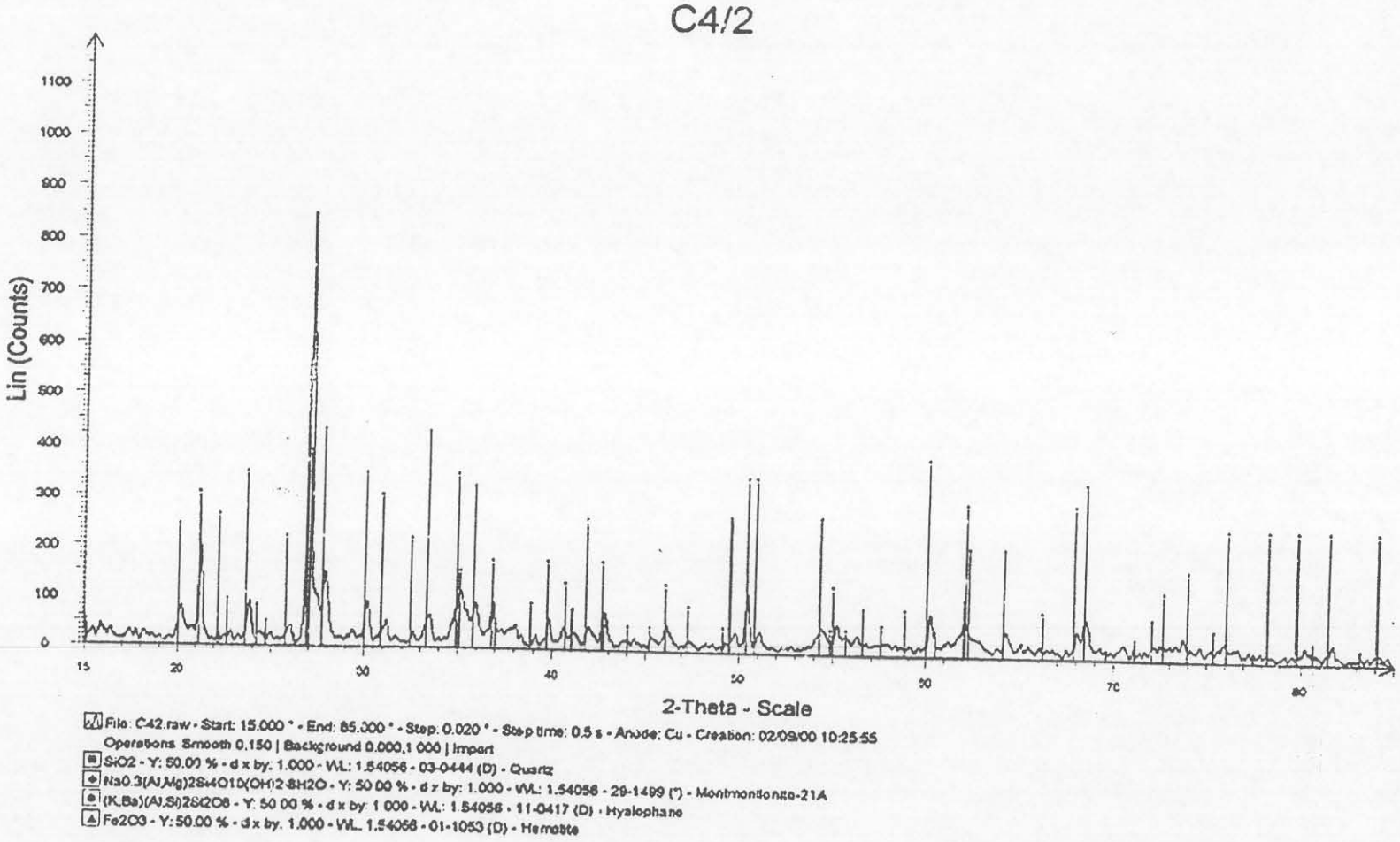
การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินที่ใช้ในการทดลองจะทำโดยวิธี X-ray Fluorescence (XRF) ซึ่งข้อมูลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.1 การวิเคราะห์ Phase โดยวิธี X-ray Diffraction (XRD) แสดงไว้ในรูปที่ 5.1-5.2 สำหรับการวิเคราะห์ปฏิกิริยาที่อุณหภูมิสูงโดยวิธี Differential Thermal Analysis (DTA) และ Thermal Gravitation Analysis (TGA) ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.3-5.4 และ 5.5-5.6 ตามลำดับ

ตาราง 5.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดิน มทส.

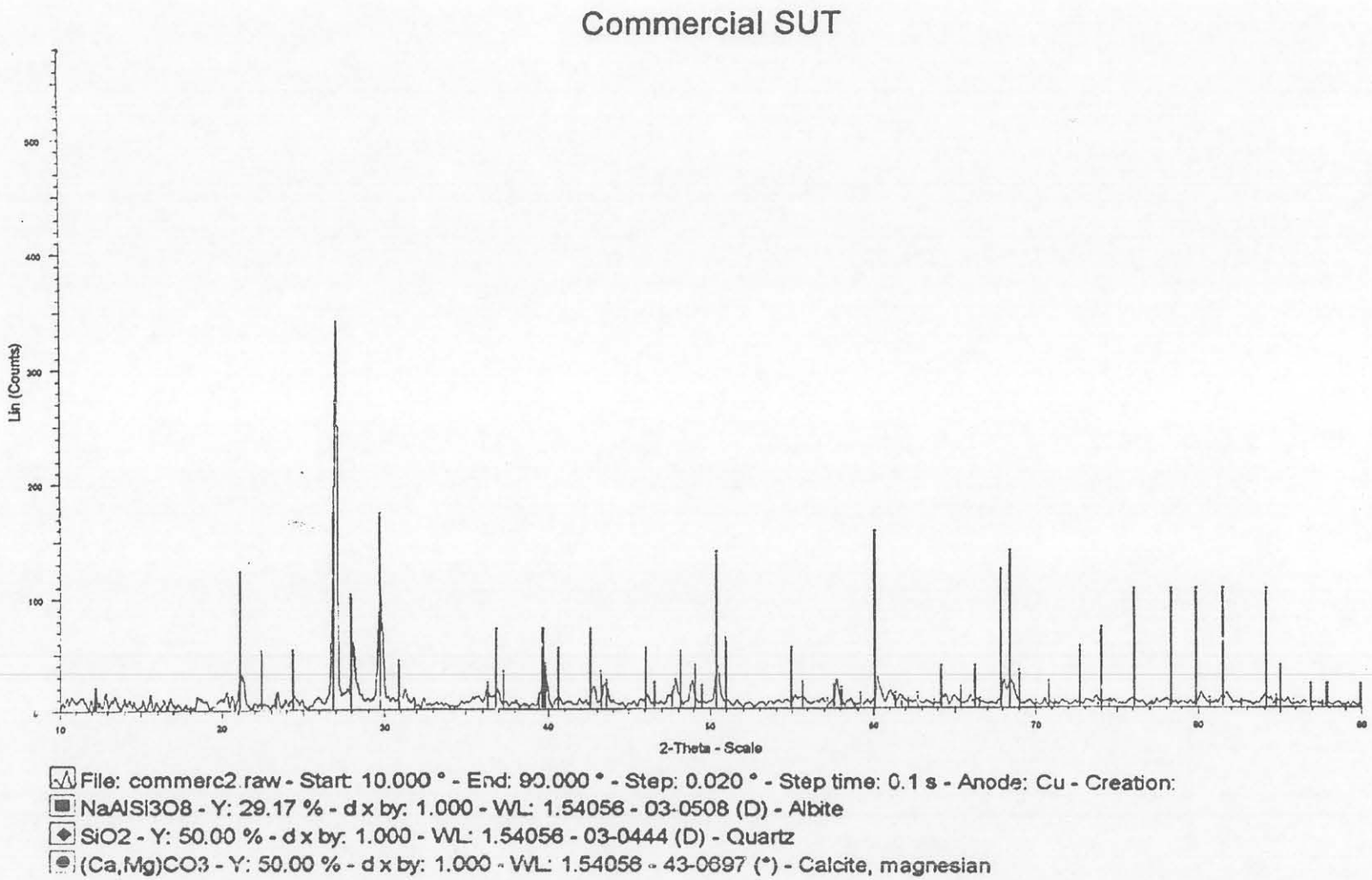
ชนิดดิน / องค์ประกอบ	ดินขาว มทส.	ดินแดง มทส.
SiO_2	71.6	61.2
Al_2O_3	11.6	14.4
Fe_2O_3	2.64	7.48
MgO	1.63	1.90
CaO	0.13	0.21
Na_2O	0.13	0.11
K_2O	4.87	5.60
TiO_2	0.46	0.60
P_2O_5	0.06	0.03
MnO	<0.01	<0.01
Cr_2O_3	<0.01	<0.01
LOI	6.38	9.04



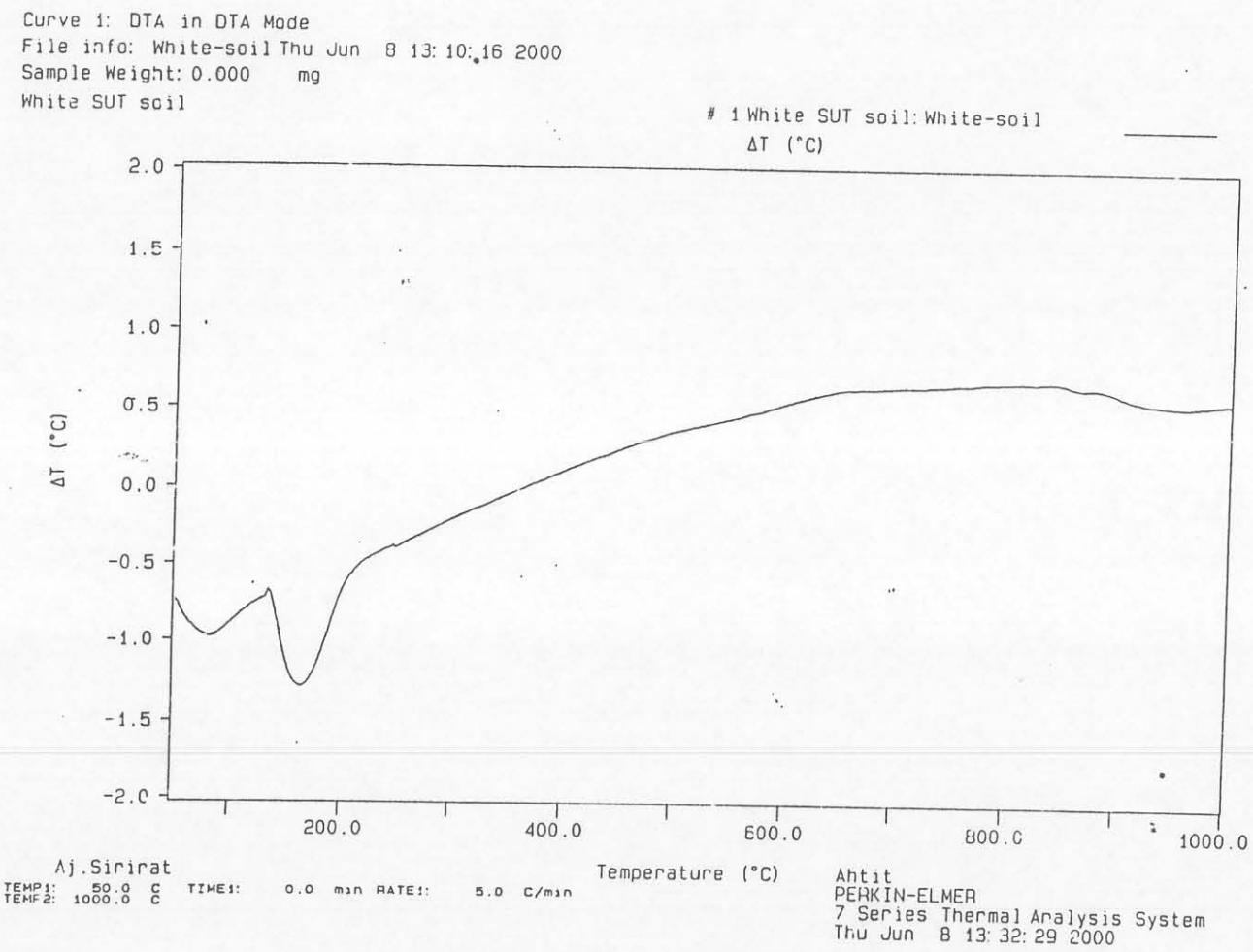
รูปที่ 5.1 XRD pattern ของดินขาวในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา (จุด C4/1)



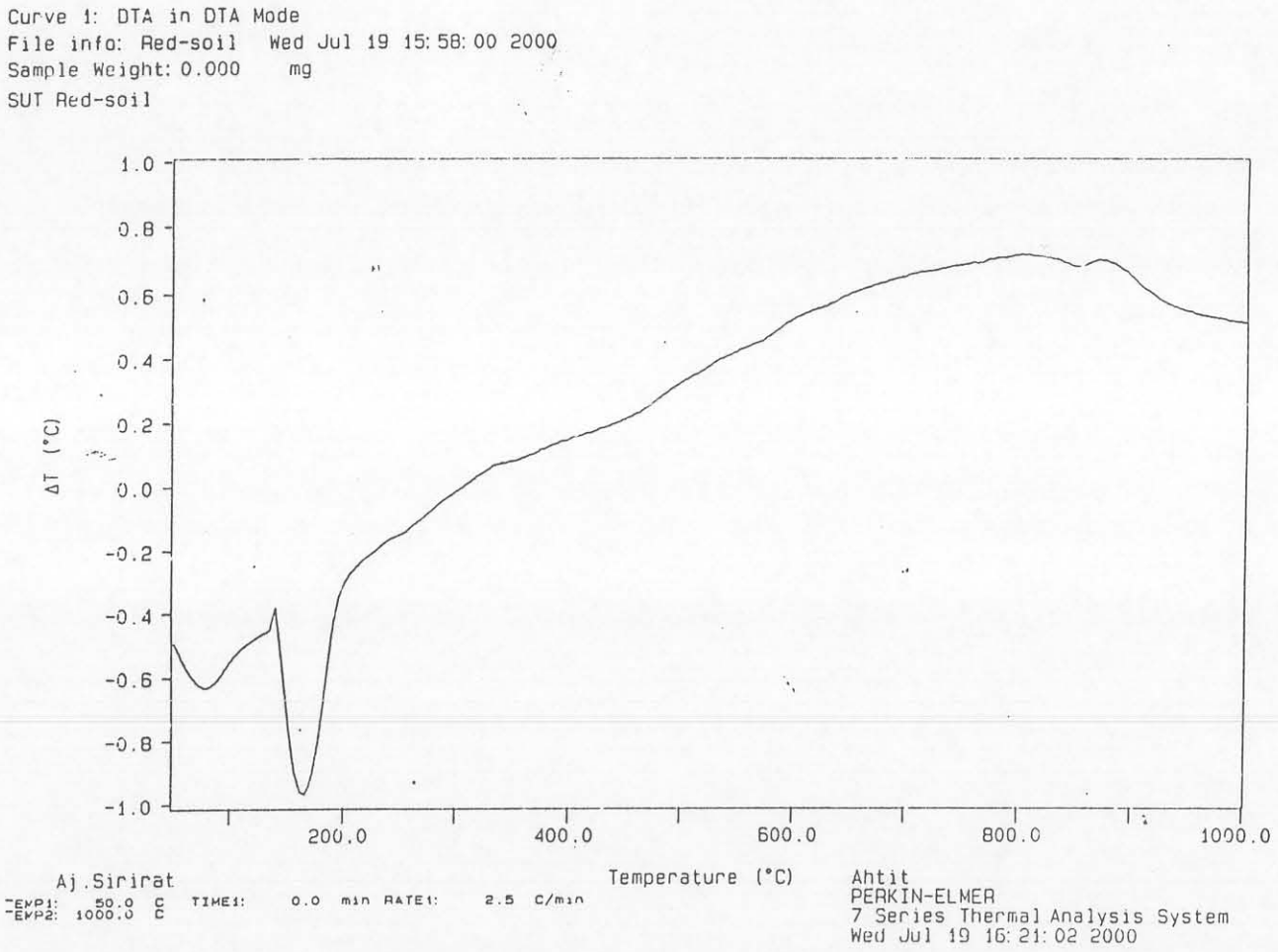
รูปที่ 5.2 XRD pattern ของดินแดงในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา (จุด C4/2)



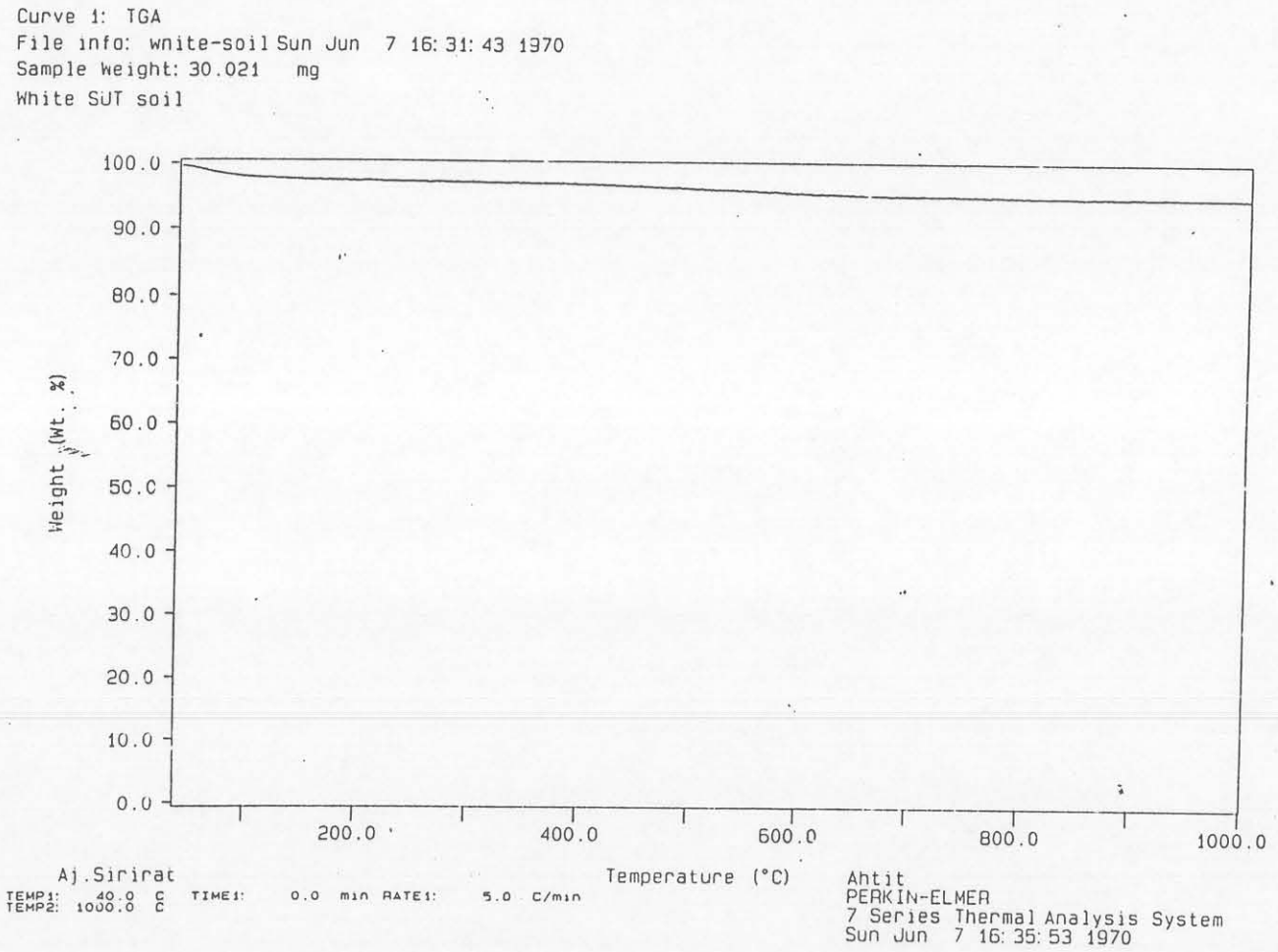
รูปที่ 5.3 XRD pattern ของดินผสมในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา



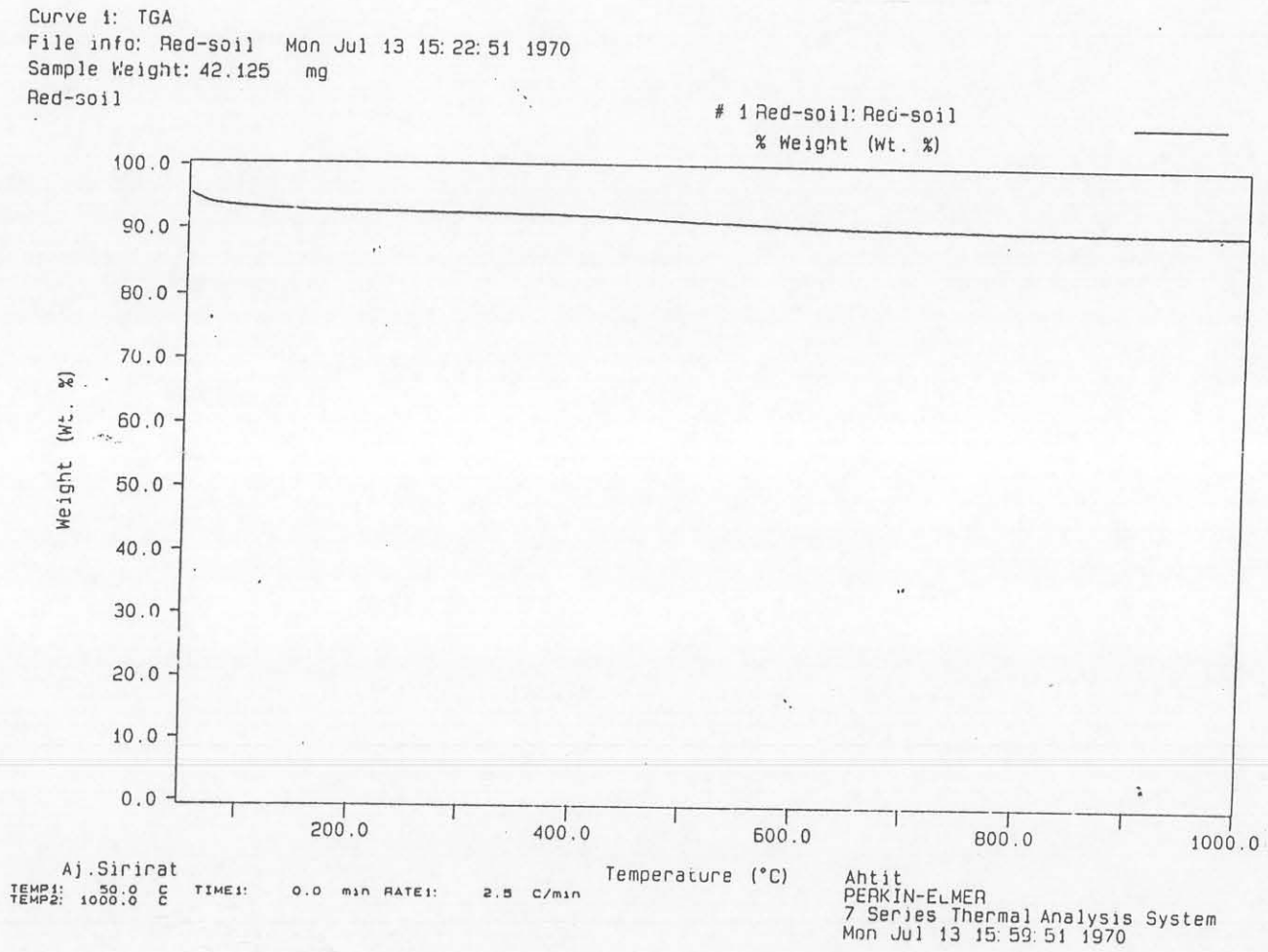
รูปที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วย DTA ดินขาว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา



รูปที่ 5.5 ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วย DTA ดินแดง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา



รูปที่ ง.6 ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วย TGA ดินขาว มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา



รูปที่ 5.7 ผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วย TGA ดินแดง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา

จากผลการวิเคราะห์ Phase ด้วย XRD (รูปที่ 5.1-5.2) พบว่า ดินขาวและดินแดงมทส. จะประกอบด้วย Phase ของ Quartz (SiO_2) , Montmorillonite ($NaO.3(Al,Mg).2Si_4O_{10}(OH)_2.8H_2O$) และ Hyalophane ($(K,Ba)(Al,Si).2Si_2O_6$) เหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันที่ ในดินแดงจะมีองค์ประกอบของแร่ค่อนข้างจะแตกต่างๆ จากดินขาวและดินแดงที่นำมาใช้ในการทดลอง โดยในดินผสมจะประกอบด้วยแร่ในจำพวก Feldspar คือ Albite ($NaAlSi_3O_8$) รวมทั้งแร่ Quartz (SiO_2) และ Dolomite $(Ca,Mg)CO_3$

จากผลการวิเคราะห์ปฏิกิริยาทางความร้อน โดย DTA (รูปที่ 5.4-5.5) และ TGA (รูปที่ 5.6-5.7) ของทั้งดินขาวและดินแดง มทส. พบว่าจะให้ผลที่ใกล้เคียงกัน คือที่อุณหภูมิ 100 ^{o}C จะเกิดการระเหยของน้ำที่อยู่ที่ผิว (Absorb water) ที่อุณหภูมิ 180 ^{o}C จะเกิดการระเหยของน้ำที่อยู่ตามรูพรุนต่างๆ ในเนื้อดิน (Pore water) และ ที่อุณหภูมิ 870 ^{o}C จะเกิดการสลายตัวของพวกสารประกอบคาร์บอเนต

5.2 การกระจายขนาดอนุภาคดินมทส. โดยวิธีร่อนผ่านตะแกรง (Sieve analysis)

จากผลของการกระจายขนาดอนุภาคของดินมทส. ดังแสดงในตารางที่ 5.2 พบว่า ดินแดง มทส.จะมีความละเอียดมากกว่าดินขาว โดยดินแดงจะมีอนุภาคเกือบทั้งหมด <45 μm ในขณะที่ดินขาวจะมีขนาดอนุภาคที่<45 μm อยู่ที่ 63.27%

ตารางที่ 5.2 แสดงการกระจายขนาดอนุภาคของดิน มทส.

ขนาดตะแกรง (mesh)	ขนาดรูเปิดของตะแกรง (μm)	%ที่ค้างบนตะแกรง		Cumulative % finer than		Cumulative % Larger than	
		ดินขาว	ดินแดง	ดินขาว	ดินแดง	ดินขาว	ดินแดง
>50	>297	-	-	100	100	0	0
50	297	12.93	0.47	87.07	99.53	12.93	0.47
100	150	13.93	0.14	73.14	99.39	26.86	0.61
140	106	3.36	0.04	69.78	99.35	30.22	0.65
200	75	3.28	0.07	66.50	99.28	33.50	0.72
325	45	3.23	0.12	63.27	99.16	36.73	0.84
Pan	<45	63.27	99.17	0	0	100	100

5.3 การศึกษาสมบัติทางกายภาพของดิน มทส. หลังจากผ่านการเผา

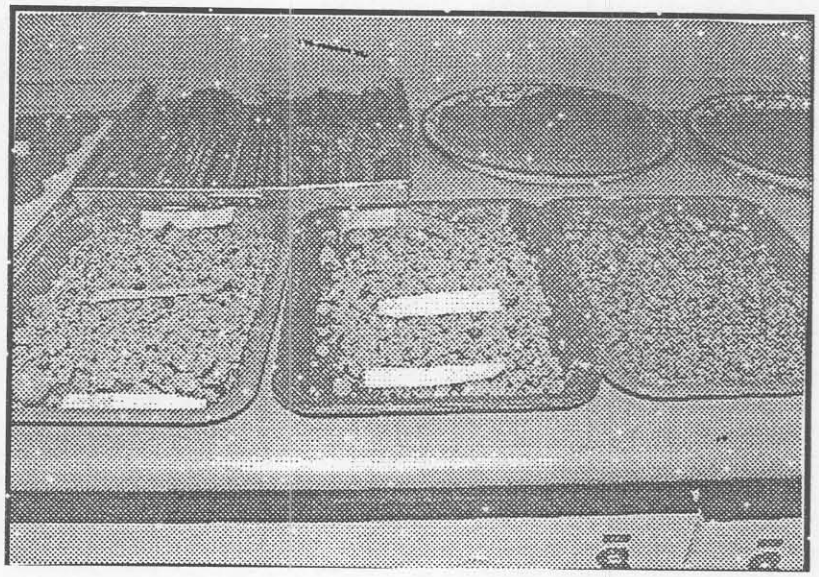
ตารางที่ 5.3 แสดงค่าการดูดซึมน้ำของดิน มทส. หลังจากผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C

ชนิดของดิน	Water absorption (%)	Porosity (%)	Firing expansion (%)	Weight loss (%)
ดินขาว(ล้าง)	-	-	21.05±13.66	3.82±9.72
ดินแดง(ล้าง)	2.82±1.78	3.16±1.98	5.70±3.62	5.15±2.94
ดินแดง(ไม่ล้าง)	3.49±1.6	4.33±1.90	62.1±9.6	-
ขาว(ไม่ล้าง)	0.05±0.12	0.06±0.16	37.88±3.51	-

จากการเผาดินขาวและดินแดง มทส. ที่อุณหภูมิ 1250 °C พบว่า ดินแดงที่ไม่ล้าง เผาที่อุณหภูมิ 1250 °C จะมีการขยายตัวมากกว่าดินขาวและดินแดงที่ผ่านการล้าง ดินแดงที่ผ่านการล้างจะมีการขยายตัวน้อยมาก จากการศึกษา การกระจายขนาดของดินแดงพบว่า ถ้านำดินแดงไปล้างโดยร่อนผ่านตะแกรง 140 mesh จะมีกากค้างตะแกรงเพียง 0.65% เท่านั้น ถ้าดินที่ผ่านการล้างได้แยกทราย (SiO_2) ออกไป ทำให้ปริมาณ SiO_2 น้อยลงจากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของดินแดงพบว่า ประกอบด้วยสารช่วยหลอมมากกว่าดินขาว ด้วยการที่ดินแดงมี Fe_2O_3 มากกว่าดินขาว ซึ่งจะทำให้เกิดแก๊สมากกว่า ในขณะหลอมทำให้เกิดการขยายตัวพองออก และผิวด้านนอกก็จะเย็นตัวลงทำให้แก๊สบางส่วนออกไปไม่ได้ จึงดันตัวพองออกทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุนแบบต่อเนื่อง

จากผลการทดลองพบว่า ดินขาวมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและความพรุนตัวต่ำกว่าดินแดง โดยดินขาวที่ผ่านการเผาก็มีการขยายตัวออก แต่ดินขาวมี SiO2 มากกว่า ทำให้ผิวด้านนอกหลอมกลายเป็นแก้วแล้วเย็นตัวลง ในขณะที่แก๊สยังออกไปไม่หมดทำให้เกิดโครงสร้างเป็นรูพรุนอยู่ภายใน แต่ผิวด้านนอกปิดจึงทำให้ไม่ดูดซึมน้ำและไม่สามารถหาค่าความพรุนตัวได้

สูงขึ้น ทำให้ทราบว่ายังคงเกิดแก๊สขึ้นอยู่ แต่เนื่องจากปฏิกิริยาของสารประกอบที่เกิดขึ้นทำให้เกิดสภาวะเหนียวหนืดที่ผิวและหลอมกลายเป็นเนื้อแก้ว เมื่อเย็นลงผิวภายนอกจะถูกปิด (Close pore) ดังนั้นการดูดซึมน้ำจึงลดลงไม่สามารถหา % ความพรุนตัวได้โดยวิธีการแทนที่น้ำในรูพรุนได้เนื่องจากรูพรุนเป็นแบบ Close pore น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ ดังนั้นวัตถุดิบนี้จึงเหมาะสมในการนำมาเผาเพื่อเตรียมมวลรวมเบาเนื่องจากมี % การดูดซึมน้ำต่ำ โดยส่วนผสมที่นำมาใช้ควรมีดินแดงอยู่ในช่วง 70-90 % และผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1250 $^{\circ}$C อัตราการเผาจากอุณหภูมิห้องถึง 600 $^{\circ}$C ด้วยอัตรา 150 $^{\circ}$C/min และ 600 $^{\circ}$C ถึงอุณหภูมิสูงสุด ด้วยอัตรา 300 $^{\circ}$C/min



รูปที่ 5.8 มวลรวมที่เตรียมได้ นำมาแยกขนาด

ตอนที่ 2 ผลการทดลองเตรียมมวลรวมเบาจากดินเผาและหาสมบัติเฉพาะของมวลรวมเบา

5.4 การตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของมวลรวม

5.4.1 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ

ขนาดของมวลรวมที่ใช้

- อัตราส่วน 90 : 10 ใช้ 2500 กรัม
- อัตราส่วน 70: 30 ใช้ 2500 กรัม
- ดินผสม ใช้ 2500 กรัม

โดยอัตราส่วนทั้งหมดใช้ขนาดคละดังแสดงในตารางที่ 5.5

ตาราง 5.5 แสดงขนาดคละของมวลรวมที่นำมาทดสอบ

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน เบอร์	% ผ่านตะแกรง	น้ำหนักค้างตะแกรง (กรัม)
3/4 นิ้ว	100	0
1/2 นิ้ว	90	250
3/8 นิ้ว	60	750
1/4 นิ้ว	10	1250
4 mesh	0	250
	น้ำหนักรวม(กรัม)	2500

ตารางที่ 5.6 ข้อมูลการทดลองหาความถ่วงจะเพาะของมวลรวมหยาบ

ข้อมูล	ชนิดของดิน		
	ดินแดง : ดินขาว (70 : 30)	ดินแดง : ดินขาว (90 : 10)	ดินผสม
1) น้ำหนักของตัวอย่างอบแห้ง (A)	2468.00	2486.50	2494.50
2) น้ำหนักของตัวอย่างที่จุดอิ่มตัวด้วยผิวแห้ง (B)	2520.00	2532.00	2823.00
3) น้ำหนักของตัวอย่างชั่งในน้ำ (C)	601.00	728.00	1420.50

อัตราส่วน 90 : 10

5.4.2 การหาค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวม

ภาชนะที่ใช้ขนาด 1/3 ลูกบาศก์ฟุต

ขนาดของมวลรวมที่ใช้

- อัตราส่วน 90:10 ใช้ 2500 กรัม
- อัตราส่วน 70:30 ใช้ 2500 กรัม
- ดินผสมใช้ 3000 กรัม

ตารางที่ 5.7 ขนาดสัดส่วนคละของทราย

ขนาดตระแกรงมาตรฐานเบอร์	น้ำหนักที่ค้างบนตระแกรง (กรัม)	ร้อยละที่ค้างบนตระแกรง	ร้อยละสะสมค้างบนตระแกรง
8	93.14	6.21	6.21
12	54.82	3.65	9.86
16	61.53	4.10	13.97
30	233.23	15.55	29.52
50	721.48	48.10	77.61
100	224.32	14.95	92.57
Pan	111.48	7.43	100.00
น้ำหนักรวม	1500	100.00	

จาก **F.M.** = 1/100(ผลบวกของร้อยละสะสมของอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน)

F.M. = 1/100 (6.21+9.86+13.97+29.52+77.61+92.57)

= 2.2974

ตารางที่ 5.8 แสดงสมบัติต่างๆ ทางกายภาพของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

สมบัติ	ชนิดของดิน			ทราย
	ดินแดง : ดินขาว (70:30)	ดินแดง : ดินขาว (90:10)	ดินผสม	
ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมแห้ง	1.29	1.38	1.76	2.60
ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมอิ่มตัวผิวแห้ง	1.31	1.40	1.99	2.61
ความถ่วงจำเพาะที่ปรากฏ	1.32	1.41	2.28	2.63
การดูดซึมน้ำ	2.11	1.83	13.17	0.45
หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)	796.39	879.98	1066.73	-
โมดูลัสความละเอียด	-	-	-	2.29

จากการตรวจสอบสมบัติของ Commercial expanded clay และ Commercial expanded shale พบว่าจะมีค่าหน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วง 720-800 kg/m^3 โดยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าของหน่วยน้ำหนักของมวลรวมเบาที่เตรียมได้ (ตารางที่ 5.8) พบว่ามวลรวมเบาที่เตรียมได้จากส่วนผสมของดินแดงและดินขาวในอัตราส่วน 70:30 จะมีค่าเท่ากับ 796.39 kg/m^3 ซึ่งจะมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จาก Commercial lightweight

ตอนที่ 3 การทดลองนำมวลรวมเบาที่เตรียมได้มาผสมเพื่อเตรียมคอนกรีตเบา (Lightweight concrete)

ส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมคอนกรีตเบาจะแสดงในตารางที่ 5.9 และส่วนคละของมวลรวมที่ใช้ผสมทำคอนกรีตเบาจะแสดงในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.9 แสดงส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมคอนกรีตเบา

วัตถุดิบ	ปริมาณ (%wt)
มวลรวมหยาบ	25
มวลรวมละเอียด	46
ซีเมนต์	22
น้ำ	10-12
Microsilica	7
SMF 10	1

ตารางที่ 5.10 แสดงส่วนคละของมวลรวมที่ใช้ผสมเตรียมคอนกรีตเบา

ขนาดตะแกรง	ขนาดของรูเปิด(mm.)	%ที่ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก	
		มวลรวมหยาบ	มวลรวมละเอียด
0.5 นิ้ว	12.50	100	-
0.38นิ้ว	9.50	90	100
4 mesh	4.75	30	85
8 mesh	2.36	10	-
16 mesh	1.18	-	55
50 mesh	0.30	-	10
100 mesh	0.15	-	5

5.5 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตเบา

ตารางที่ 5.11 แสดงสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตเบา

มวลรวมเบา	Flow diameter (cm)	Flowability (%)	Compresive strength (kg/cm^2)
ดินขาว : ดินแดง (70:30)	14.5	107.14	547.60±69.30
ดินขาว : ดินแดง (90:10)	10.5	50	482.13±79.10
ดินผสม	16.0	128.57	333.60±45.81

จากตารางที่ 5.11 แสดงให้เห็นว่าค่า Compressive strength ของชิ้นงานคอนกรีตเบาหลังจากบ่มเป็นเวลา 7 วัน มีค่าสูงขึ้น เมื่อมีการใช้ปริมาณดินแดงในส่วนผสมเพิ่มขึ้นซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากในดินแดงจะมีแร่ Hematite (Fe_2O_3) เป็นองค์ประกอบโดย Fe_2O_3 นี้จะไปรวมตัวกับ Quatrz (SiO_2) เป็น Complex compound ทำให้มีจุดหลอมตัวลดลงเกิด Glassy Phase ได้มากกว่าเมื่อเย็นตัวลง จึงทำให้มีความแข็งแรงมากกว่า ในขณะที่คอนกรีตเบาที่เตรียมได้จากดินผสมจะมีค่า Compressive strength ต่ำสุดซึ่งสามารถอธิบายได้จากการที่แร่ที่เป็นองค์ประกอบในดินผสมส่วนใหญ่จะเป็นพวก Non-plastic material คือ Feldspar, Dolomite และ Quatrz (SiO_2) ดังนั้นจึงทำให้ในขั้นตอนการเตรียมมวลรวมเบาซึ่งใช้วิธีการทำเป็นเม็ดๆ (Granule) อาจจะทำได้อย่างไม่สมบูรณ์เนื่องจากดินผสมที่ใช้มี Plasticity ต่ำซึ่งเมื่อเทียบกับมวลรวมเบาที่เตรียมจากส่วนผสมของดินขาวกับดินแดง จะสามารถเตรียมมวลรวมเบาที่มีความสมบูรณ์มากกว่าเนื่องจาก Plasticity สูงกว่า

ตอนที่ 3 การทดลองนำมวลรวมเบาที่เตรียมได้มาผสมเพื่อทำคอนกรีต

ตาราง 5.12 ส่วนคละของมวลรวมที่ใช้ผสมทำคอนกรีต

ขนาดตะแกรง ASTM มม.	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก ขนาดของมวลรวมหยาบ (9.5 - 2.36)
12.5 (1/2 mesh)	100
9.5 (3/8 mesh)	90
4.75 (4 mesh)	30
2.36 (8 mesh)	10
1.18 (16 mesh)	0
9.5 (3/8 mesh)	100
4.75 (4 mesh)	85
1.18 (16 mesh)	55
300 micron (50 mesh)	10
150 micron (100 mesh)	5

ส่วนผสมที่ใช้ผสมทำคอนกรีตเบา (%wt)

1. มวลรวมหยาบ 25%
2. มวลรวมละเอียด 46%
3. ซีเมนต์ 22%
4. น้ำ 10-12%
5. Filler (Microsilica) 7%
6. Super plasticizer (SMF 10) 1%

5.5 ผลการทดสอบ Flow ability โดยใช้ flow mold

วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของคอนกรีตสดที่แผ่ออกมา

ตาราง 5.13 ผลการทดสอบ Flow ability

สูตร	เส้นผ่านศูนย์กลางที่แผ่ออก (cm)	%Flow ability
90:10	10.5	50
70:10	14.5	107.14
ดิยผสม	16.0	128.57

5.6 ผลการทดสอบ Compressive strength test

ตาราง 5.14 ผลการทดสอบ Compressive strength test

สูตร	Compressive strength teat (kg/cm^3)
90:10	547.6±69.3
70:30	482.13±79.10
Commercial	333.6±45.81

สรุปผลการวิจัย

จากการเผาดินขาวและดินแดง ม.ท.ส. อุณหภูมิ 1250°C พบว่า ดินแดงที่ไม่ล้างเมื่อเผาที่ 1250°C จะมีการขยายตัวมากกว่าดินขาวและดินแดงที่ผ่านการล้าง ดินแดงที่ผ่านการล้างจะมีการขยายตัวน้อยมาก จากการศึกษาการกระจายขนาดของดินแดงพบว่า ถ้านำดินแดงไปล้างโดยร่อนผ่านตะแกรง 140 เมช จะมีกากค้างตะแกรงเพียง 0.65 % เท่านั้น ถ้าดินที่ผ่านการล้างได้แยกทราย (SiO_2) ออกไป ทำให้ปริมาณ SiO_2 น้อยลง จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของดินแดงพบว่าประกอบด้วยสารช่วยหลอมมากกว่าดินขาว ด้วยการที่ดินแดงมี CaO มากกว่าดินขวาจะทำให้เกิดก๊าซมาก ในขณะหลอมทำให้เกิดการขยายตัวพองออก และผิวด้านนอกก็จะเย็นตัวลงทำให้ก๊าซบางส่วนออกไปไม่ได้จึงดันตัวพองออกทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นรูพรุนแบบต่อเนื่อง

น่าสังเกตว่าดินขาวมี % การดูดซึมน้ำ, % ความพรุนตัวต่ำกว่าดินแดง จากการสังเกตพบว่าดินขาวที่ผ่านการเผาก็มีการขยายตัวออก แต่ดินขาวมี SiO_2 มากกว่า ทำให้ผิวด้านนอกหลอมกลายเป็นแก้วแล้วเย็นตัวลง ขณะที่ก๊าซยังออกไม่หมดทำให้เกิดโครงสร้างเป็นรูพรุนอยู่ภายใน แต่ผิวด้านนอกปิดจึงทำให้ไม่ดูดซึมน้ำ และไม่สามารถหาค่าความพรุนตัวได้

จากการศึกษาอุณหภูมิและส่วนผสมของดินในการนำมาเตรียม เช่น มวลรวมเบา ด้วยอัตราส่วน 70 : 30, 80 : 20, 90 : 10 พบว่า เมื่อปริมาณดินแดงมากขึ้นการขยายตัวจะมากขึ้น แต่ % การดูดซึมน้ำและ % ความพรุนตัวลดลง เมื่อนำส่วนผสมของดินเผาที่ 1000 - 1250°C พบว่าที่อุณหภูมิ 1000 – 1100 °C ดินมีการหดตัวประมาณ 11 – 30 % และ % การดูดซึมน้ำ, % ความพรุนตัวลดลงด้วย นั้นคือดินเริ่มมีเนื้อแน่นขึ้น (ความหนาแน่นเพิ่มขึ้น) แต่เมื่อเผาที่อุณหภูมิสูงขึ้น 1100 – 1250 °C พบว่าการขยายตัวเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิประมาณ 1100 – 1250 °C วัตถุดิบเมื่อเผาจะเกิดก๊าซซึ่งสังเกตได้จากการที่ดินมีการขยายตัวและดูดซึมน้ำสูง นั้นคือช่วงอุณหภูมินี้จะมีการปลดปล่อยก๊าซที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาต่าง ๆ และเมื่ออุณหภูมิสูงถึง 1250 °C จะพบว่า % การดูดซึมน้ำและ % ความพรุนตัวลดลงทั้ง ๆ ที่พบว่ามีการขยายตัวสูงขึ้น ทำให้ทราบว่ายังคงเกิดก๊าซขึ้นอยู่ แต่เนื่องจากปฏิกิริยาของสารประกอบที่เกิดขึ้นทำให้เกิดสภาวะเหนียวหนืดที่ผิวและหลอมกลายเป็นเนื้อแก้ว เมื่อเย็นลงผิวภายนอกจะถูกปิด ขณะที่ก๊าซบางส่วนถูกเก็บกักไว้ภายในทำให้มีการขยายตัวและกลายเป็นรูพรุนแบบปิด (close pore) ดังนั้นการดูดซึมน้ำจึงลดลงไม่สามารถหา % ความพรุนตัวได้โดยวิธีการแทนที่น้ำในรูพรุนได้ เนื่องจากรูพรุนเป็นแบบ close pore น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ ดังนั้นวัตถุดิบนี้จึงเหมาะสมในการนำมาเผาเพื่อเตรียมมวลรวมเบาเนื่องจากมี % การดูดซึมน้ำต่ำโดยส่วนผสมที่นำมาใช้ควรมี

ดินแดงอยู่ในช่วง 70 – 90 % และผ่านการเผาที่ 1250 °C อัตราการเผา อุณหภูมิห้อง – 600 °C ด้วย อัตรา 150 °C / min และ 600°C - อุณหภูมิสูงสุด ด้วยอัตรา 300 °C / min

เมื่อพิจารณาจากผลของปฏิกิริยาทางความร้อนจาก DTA และ TGA ที่อุณหภูมิช่วงอุณหภูมิห้อง ถึง 1000 °C พบว่ามีปฏิกิริยาการระเหยน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 100°C และที่ 180°C และเกิดที่ประมาณ 870°C อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งเกิดจากการสลายของคาร์บอเนต ดังนั้นในการเผาดินควรทำการเผาไล่น้ำออกก่อนในช่วงแรกและสามารถให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วได้เพื่อเร่งให้ก๊าซที่เกิดปฏิกิริยาออกมา ดินจะขยายตัวที่ 1250°C และต่อจากนั้นก็ให้ตัวอย่างเย็นตัวอย่างรวดเร็ว

จากการตรวจสอบคุณสมบัติเฉพาะของดินเผาที่เตรียมได้ คือ ความถ่วงจำเพาะ และหน่วยน้ำหนัก ซึ่งตามทั่วไปควรมี

% การดูดซึมน้ำ (สำหรับ Expanded clay) = 12 – 14 %

% การดูดซึมน้ำ (สำหรับ Expanded shale) = 10 – 15 %

สำหรับมวลรวมเบาที่เตรียมได้มีค่าการดูดซึมน้ำ 2.11, 1.83, 13.17 % ซึ่งน้อยกว่าค่าทั่วไป และดินผสมก็มี % การดูดซึมน้ำสูงที่สุด สำหรับหน่วยน้ำหนักมีค่าทั่วไปคือ 720 – 800 kg/m^3 (Ref.8)พบว่ามวลรวมเบาดินเผาที่เตรียมได้มีค่า 796.39, 879.98 และ 1066.73 kg/m^3 ส่วนความถ่วงจำเพาะมีค่าทั่วไปคือ 0.2 – 1.0 และพบว่ามวลมวลเบาดินเผาที่เตรียมได้มีค่าความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวผิวแห้ง 1.31, 1.40 และ 1.99 ตามลำดับ

จากการทดลองนำเอาดินที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C อัตราส่วนดินแดงต่อดินขาว 70:30 , 90:10 และดินที่ไม่ทราบปริมาณส่วนผสม (ใช้ชื่อว่า Commercial SUT) นำมาทดลองผสมเพื่อเตรียมคอนกรีตเบา โดยการคัดแยกขนาดดังตารางที่ 5.12 ผลการทดลองพบว่าคอนกรีตเบาที่เตรียมได้มีค่าความหนาแน่น 2 kg/cm^3 และค่าความต้านทานต่อการกดอัดที่ 7 วัน เท่ากับ 482.13 kg/cm^2 (6641.4 psi), 547.6 kg/cm^2 (7543.19 psi)และ 333.6 kg/cm^2 (4595.34 psi) สำหรับสูตรที่เตรียม 70:30, 90:10 และ Commercial SUT ตามลำดับ พบว่ายิ่งมีดินแดงเป็นส่วนผสมในมวลรวมเบามากขึ้นจะทำให้ความแข็งแรงของคอนกรีตเบาสูงขึ้น แต่ผลของการใช้ Commercial SUT ที่ไม่ทราบปริมาณของดินในส่วนผสม เป็นดินที่คละกันมาจะมีความแข็งแรงน้อยกว่า

ดังนั้นในการทดลองเบื้องต้นในการเตรียมมวลรวมเบาสำหรับคอนกรีตเบาจากดินในเขตมทส. พบว่าได้ผลการทดสอบความแข็งแรงกดอัดได้ใกล้เคียงกับมาตรฐาน คือ กำลังการกดอัดที่ 28 วันเท่ากับ 8365 psi ซึ่งคาดว่าจะต้องมีการปรับปรุงหาส่วนผสมของคอนกรีตที่เหมาะสมและสมบัติของคอนกรีตเบา เพื่อให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับงานแต่ละประเภทต่อไป

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาหาแนวทางในการนำดินในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีมาใช้ประโยชน์โดยนำใช้เป็นส่วนผสมในการเตรียม Lightweight aggregate เพื่อใช้ในงาน Concrete ซึ่งจากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. วัตถุดิบ

   ดินขาวและดินแดงจะมีแร่ที่เป็นอวค์ประกอบหลัก คือ Quartz, Montmorillomite และ Hyalophane เหมือนกันแต่ในดินแดงจะมีแร่ Hematite ซึ่งเป็นแร่ที่ส่งผลให้เกิดสีแดงในดินและจากผลของการกระจายขนาดอนุภาคของดินพบว่าดินแดงจะมีความละเอียดมากกว่าดินขาว คือ มีขนาดอนุภาคเกือบทั้งหมด (99.17%) <45 μm.

   ดินผสม มทส. ที่นำมาใช้เปรียบเทียบผลกับดินขาวและดินแดงจะมีแร่ที่เป็นองค์ประกอบหลักเป็นพวก Non-plastic material คือ Albite, Quartz และ Dolomite

2. การเตรียม Lightweight aggregate

   สามารถเตรียม Lightweight aggregate ได้จากส่วนผสมของดินขาวและดินแดงและผ่านการเผาที่ 1260°C จะทำให้ Lightweight aggregate ที่เตรียมได้จะมีค่าหน่วยน้ำหนัก (796.39 kg/m^3) ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จาก Comercial (720-800 kg/m^3)

3. สมบัติทางกายภาพของ Lightweight comcrete

   ชิ้นงาน Lightweight comcrete ที่เตรียมโดยใช้ Lightweight aggregate ที่ได้จากส่วนผสมของดินแดงต่อดินขาว 70:30 จะมีความแข็งแรงสูงสุด ในขณะที่ Lightweight comcrete ที่เตรียมโดยใช้ Lightweight aggregate ที่เตรียมจากดินผสมจะมีค่าต่ำสุด ซึ่งมีสาเหตุจากดินผสมมี Plasticity ต่ำทำให้ในขั้นรตอนการเตรียม Lightweight aggregate โดยการขึ้นรูปเป็นเม็ดกลมๆ ทำได้อย่างไม่สมบูรณ์มีรอยแตกร้าวเล็กๆ รอบๆ ผิวนอก หลังจากการเผา และผสมใน Concrete จึงส่งผลให้ Concrete ที่เตรียมได้มีความต้านทานต่อแรงอัดต่ำ

บรรณานุกรม

จุฑารัตน์ สุคนธสวัสดิ์ .2541. ดินมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีและการใช้งานทางเซรามิก. โครงการวิจัยปริญญาตรี. สาขาวิศวกรรมเซรามิก สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. จ.นครราชสีมา

ชัชวาล เศรษฐบุตร (2537), คอนกรีตเทคโนโลยี, คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค

นิพนธ์ สุวรรณสุขโรจน์ (2540), คอนกรีตวิทยา, โรงพิมพ์คลังนานาวิทยา:ขอนแก่น

ประเสริฐ ดำรงชัย (2542), วัสดุก่อสร้าง, หน่วยสารบรรณ , งาบริหารและธุรการ , คณะวิศวกรรมศาสตร์ , ม. ขอนแก่น: จ.ขอนแก่น

ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง, บริษัทจำกัด, (2541), คู่มือการทดสอบหิน ทราย และคอนกรีต, กรุงเทพมหานคร

มงคล จิรวัชรเดช (2541), คู่มือปฏิบัติการ 410313 เทคโนโลยีคอนกรีต .สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา

อุดมวิทย์ กาญจนวรงค์ (2537), ปฏิบัติงานทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี, สกายบุ๊กส์:กรุงเทพฯ.

BUILDEX:Haydite Expanded Shale Lightweight Aggregate (2000), Production, General Physical Properties & shipping, Available URL:http://www.buildex.com/product.html.

Goodman , B. A. (1994), Molecular Spectroscopy : introduction and general principles, edited by M.J. Wilson, Clay Mineralogy : Spectroscopic and Chemical Determinative Methods, Chapman & Hall : London.

LAZARUS ,D. (1993), Lightweight concrete in buildings, edited by J.L. Clarke, Structural Lightweight Aggregate Concrete, pp. 106-149., Blackie Academic & Professional : London.

NAWY,G. E. (1996), Fundamental of High Strength High Performance Concrete, Longman Group limited

NEWMAN, J.B. (1997), Properties of structural Lightweight aggregate concrete. Edited by J.L., Structural Lightweight Aggregate Concrete . pp 19-44, Blackie Academic & Professional : London.

Neville, A.M. and Brooks, J.J. (1993), Concrete Technology, ELBS with Longman, Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd.: Singapore.

Noordin , N. Md. (2000), Lightweight Aggregate concrete. Available URL:http://www.hbp.usm.my/norizal/waste%20Materials/Waste1.html

OWENS ,P. L. (1993), Lightweight aggregate for structure concrete, .edited by J.L. Clarke, Structural lightweight aggregate concrete , pp. 1-17 ,Blackie Academic & professional : London.

PANKHURDT, R.N.W. (1993), Construction, edited by J.L. Clarke, Structural Lightweight Aggregate Concrete , pp. 75-105, . Blackie Academic & Professional : London.

Park; Yong Deuk (1997), US 5762864: Lightweight artificial aggregate manufactuing method using paper and dye sludge.

Praxis Engineers, Inc., Milpitas, CA. (2000), Producing Lightweight Aggregate from coal Gasification slag. A available URL:http://www.fetc.doe.gov/publications/factsheets/power_sys/environment/gas-slag.html

Poporices , S. (1992), Concrete Materials : Properties, specifications and Testing, 2nd edition, Noyes Publications : Park Ridge, New Jersey, U.S.A.

Somayaji, S. (1995). Civil Engineering Materials, Prentice Hall:New Jersey.

Walls-Muycelo; Jose (1978), US 4162166: Porous, Lightweight, Particulate aggregates and process of manufacture.

Waste Treatment Technology in Japan, Artificial Lightweight Aggregate Manufacturing Process from coal Fly ash. Available URL:http://210.167.220.45/CTT_DATA/WASTE/WASTE_6/html/Waste-165.html

ประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติหัวหน้าโครงการ

หัวหน้าโครงการ นางสาวศิริรัตน์ รัตนจันทร์

ตำแหน่ง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การศึกษา

ปี 2538 ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วทบ. เคมีอุตสาหกรรม (สาขาเซรามิก)) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ประเทศไทย

ปี 2540 ปริญญาโท วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต วัสดุศาสตร์ (วทบ.เทคโนโลยีเซรามิก) คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรมหาวิทยาลัย ประเทศไทย

ความชำนาญพิเศษ

สาขาวิชาวัสดุแพทย์ (Biomaterials)

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ซิลิเกต (Silicate science)

ประสบการณ์งานวิจัย

- **งานวิจัยที่ได้ทำเสร็จแล้ว**

1. การศึกษาวัสดุเคลือบลงบนโลหะทองแดง, 2538 ผู้วิจัยในโครงการวิจัยระดับปริญญาตรี
2. การเตรียมสารเตตระแคลเซียม ฟอสเฟต จากกระดูกวัวหรือควาย, 2540 ผู้วิจัยในวิทยานิพนธ์ปริญญาโท

- **งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ**

ไม่มี

ประวัติที่ปรึกษาโครงการวิจัย

ผู้วิจัยร่วม รศ.ดร.จรัสศรี ลอประยูร

ตำแหน่ง - รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

- รองคณบดีฝ่ายบริหารสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การศึกษา

ปี 2508 ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (วทบ. เคมีเทคโนโลยี(เทคโนโลยีเซรามิก)) คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประเทศไทย

ปี 2520 ปริญญาโท M.S. Ceramic Science, Pennsylvania State Univ., USA.

ปี 2524 ปริญญาเอก Ph.D. Ceramics, New York State at Alfred Univ., USA.

ความชำนาญพิเศษ

การทำเซรามิกทั่วไป สังเคราะห์และทำกระดูกเทียมจาก Hydroxyapatite ทั้งชนิดเนื้อแน่นและพรุน และสารในเครือ , ทำแม่เหล็กเซรามิก

ประสบการณ์งานวิจัย

- ***งานวิจัยที่ได้ทำเสร็จแล้ว***

หน่วยงาน / องค์กร	ระหว่างปี	ชื่อผลงานวิจัย
รัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2526-2527	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างกระดูกสัตว์ที่อุณหภูมิสูง
รัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2529-2530	การทำกระดูกเทียมชนิดที่มีความหนาแน่นสูงจากกระดูกสัตว์
Science and Technology Development Board (STDB) กระทรวงวิทยาศาสตร์ฯ	2530-2534	Development of Ferrite Products for Radio and Television Appliances
ทุนวิจัยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) กระทรวงวิทยาศาสตร์ ฯ	2531-2533	วัสดุทางการแพทย์และทันตแพทย์ : ไฮดรอกซีแอปาไทต์
รัชดาภิเษกสมโภช จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	2534-2535	ศึกษากระบวนการขึ้นรูปแกนแม่เหล็กชนิดดีเฟลคชันโยค และคุณลักษณะ

หน่วยงาน / องค์กร	ระหว่างปี	ชื่อผลงานวิจัย
ทุนวิจัยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) กระทรวงวิทยาศาสตร์ ฯ	2536-2538	การปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของไฮดรอกซีแอปาไทต์จาก กระดูกวัวและผลกระทบจากการฝังวัสดุนั้นในสัตว์ทดลอง
ทุนวิจัยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) กระทรวงวิทยาศาสตร์ ฯ	2541-2543	การพัฒนากระบวนการผลิตไฮดรอกซีแอปาไทต์จากกระดูกวัว / ควาย ระยะที่ 1

- **งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ**

หน่วยงาน / องค์กร	ระหว่างปี	ชื่อผลงานวิจัย
ทุนวิจัยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) กระทรวงวิทยาศาสตร์ ฯ	2541-2543	การพัฒนากระบวนการผลิตไฮดรอกซีแอปาไทต์จากกระดูกวัว / ควาย ระยะที่ 1

ที่ปรึกษาโครงการ

1. ชื่อ – นามสกุล : ดร. วีระยุทธ์ ลอประยูร

2. ตำแหน่ง หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเซรามิก สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. ประวัติการศึกษา

ปีที่จบ	ปริญญา	อักษรย่อ-ชื่อเต็ม	สาขาวิชา	วิชาเอก	ชื่อสถาบัน ประเทศ
2516	ตรี	วทบ-วิทยาศาสตร์บัณฑิต	เคมีเทคนิค	เซรามิก	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2518	โท	MS-Master of Science	Ceramic	Ceramics	New York State Collage of Engineering, Ceramic at Alfred, USA
2522	เอก	Ph.D	Ceramic	Ceramics	New York State Collage of Science, Ceramic at Alfred, USA

4. สาขาวิชาที่มีความชำนาญพิเศษ

- Refractories and Ceramic Materials for High Temperature Application
- Activated Clays
- Phase Analysis of Cements Minerals
- Ceramic Construction Materials
- Wear Resistant and High Strength ceramics

5. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ

- Postdoctoral Fellowships at Michigan Technological University, Michigan, USA.
  - ◊ Laser Raman Study of Coal-Diesel Particulate
  - ◊ DSC Study of Calcium Doped Nickel Oxides
  - ◊ Raman and Infrared Spectra, and X-ray Crystal Structure of Trans-di-ter-Butyl Hyponitrite
  - ◊ TGA and DTA Study of Coals
  - ◊ Electrical Conductivity of Nickel Oxide
- R &D Manager, บริษัทสยามอุตสาหกรรมวัสดุทนไฟ-เครือซีเมนต์ไทย Z2524-2532)
  - ◊ Research and Production Development, and Technology Transfer in Refractory Materials and Production
- Head of Ceramics Research Group, Central R &D, บริษัทปูนซีเมนต์ไทยจำกัด (2532-2539)

◊ Development of Ceramic Construction Materials

◊ Development of New Ceramic Products

◊ Development of Raw Materials and Processes for Ceramic Industries

** งานวิจัยที่กำลังดำเนินการ : ไม่มี