สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล)

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554

ชื่อโครงการวิจัย

การใช้ตะกรันเหล็กโม่แทนหินธรรมชาติเพื่อเป็นวัสดุพื้นทาง

เลขที่ 6/2554

ตะ04ก1ก69
28 มี.ค. 2555
301343

โดย
สยาม ยิ้มศิริ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

เริ่มบริการ
28 พ.ค. 2555

สิงหาคม 2554

อภินันทนาการ

# บทคัดย่อ

โครงสร้างของพื้นทางส่วนใหญ่มักใช้หินคลุกซึ่งเป็นวัสดุหินโม่มวลรวมตามธรรมชาติแต่เนื่องจากปริมาณหินมีอยู่อย่างจำกัดจึงมีการนำตะกรันเหล็กซึ่งเป็นวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กหรือถลุงเหล็กมาใช้ให้เกิดประโยชน์ การศึกษานี้จะเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุพื้นทางระหว่างหินคลุกและตะกรันเหล็กโม่ทั้งในกรณีไม่ผสมและผสมซีเมนต์โดยทำการผสมซีเมนต์ที่ปริมาณ 1%, 2%, 3%, 4%, 5% ก่อนทำการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานและทำการทดสอบหาคุณสมบัติด้านกำลังโดยการทดสอบการรับแรงอัดและการทดสอบซี บี อาร์ ที่เวลาบ่ม 7 และ 28 วัน

# ABSTRACT

Pavement is normally constructed by use of natural stone which is decreasing in quantity. Therefore, this research studies the use of steel slag, which is a by-product from steel furnace industries, to replace crushed stone as pavement materials. The characteristics of crushed slag are compared with crushed stone for the cases of with and without modification by cement. Cement quantities of 1%, 2%, 3%, 4%, 5% are added to the mixtures before performing modified compaction test. The resulting strength characteristics at 7 and 28 days are observed from unconfined compression and CBR tests.

# บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

ในระยะ 3 ทศวรรษที่ผ่านมาภาคตะวันออกของประเทศไทยมีความเติบโตทางด้านอุตสาหกรรมและมีการก่อสร้างโครงสร้างพื้นฐานอย่างมาก เช่น ถนนและท่าเรือ การพัฒนาของเทคโนโลยีทำให้รถบรรทุกมีขนาดและน้ำหนักมากขึ้นและมีปริมาณการจราจรเพิ่มขึ้นซึ่งทำให้ถนนเสื่อมสภาพลง โดยรถบรรทุกอาจจะมีน้ำหนักรวมถึง 115 ตัน และ มีแรงกดจากล้อ 1034 kPa สภาพเช่นนี้ทำให้ถนนเสื่อมสภาพ เช่น การเป็นหลุมบ่อ, การเกิดร่องล้อ, และการวิบัติจากน้ำหนักกระทำซ้ำ สิ่งเหล่านี้ทำให้ต้องมีการปรับปรุงมาตรฐานการออกแบบของชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตและชั้นพื้นทางเพื่อพัฒนา performance นอกจากนี้ประเทศไทยยังต้องการระบบ logistic และขนส่งเพิ่มขึ้น โดยมีแผนการที่จะขยายระบบทางหลวงพิเศษระหว่างเมือง (motorway) จาก 225 km เป็น 4,150 km ในอนาคต ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้มีความต้องการใช้วัสดุหินธรรมชาติคุณภาพดีจำนวนมากและตะกรันเหล็กโม่ซึ่งแต่เดิมเคยถูกพิจารณาว่าเป็นของเสียสามารถใช้เป็นวัสดุทดแทนได้

ในปี 2550 ประเทศไทยผลิตเหล็กเหล็กและเหล็กกล้าประมาณ 7,957,600 ตัน (ไม่รวมผลิตภัณฑ์เหล็กกึ่งสำเร็จรูป เหล็กแผ่นรีดเย็น เหล็กแผ่นเคลือบและท่อเหล็กเพื่อไม่ให้เกิดการนับซ้ำ) ซึ่งจากกระบวนการผลิตนี้ทำให้เกิดตะกรันเหล็กโม่ประมาณ 1.2 ล้านตัน (Lucio, 1981) รายงานว่าจะเกิดตะกรันประมาณ 155 kg จากการผลิตเหล็ก 1 ตัน) ซึ่งพิจารณาว่าเป็นกากของเสียจากอุตสาหกรรม การนำตะกรันเหล็กโม่มาใช้ในการก่อสร้างถนนจะเป็นการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่และการลดปัญหาของจากการใช้วัสดุในภูมิภาคที่มีปริมาณจำกัดและอาจจะมีคุณภาพไม่ดีพอ เนื่องจากการเริ่มขาดแคลนหินที่มีคุณภาพดี, การเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายในการทำเหมืองหินและย่อยหิน, ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง, และข้อจำกัดทางด้านสิ่งแวดล้อม นอกจากข้อดีทางด้านเศรษฐกิจการใช้ตะกรันเหล็กในการทำถนนยังช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น การทิ้งตะกรันเหล็กเป็นของเสีย และ ลดการใช้หินธรรมชาติ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงกระตุ้นให้มีการใช้วัสดุในพื้นที่ที่มีราคาถูกกว่าและมีคุณภาพเหมาะสมและตะกรันเหล็กเป็นหนึ่งในวัสดุนี้เนื่องจากมีถิ่นกำเนิดในภาคตะวันออกในปริมาณมาก

# คำนำ

โครงการนี้จะเป็นการศึกษาลักษณะของตะกรันเหล็กโม่ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการก่อสร้างชั้นพื้นทาง ทั้งในสภาพใช้เป็นมวลรวมอย่างเดียวหรือใช้ผสมกับซีเมนต์ การใช้ประโยชน์จากตะกรันเหล็กโม่เป็นการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการทิ้งตะกรันเหล็กโม่ นอกจากนี้ก็จะลดความต้องการใช้หินธรรมชาติลดการทำเหมืองหิน (ระเบิดหิน) ซึ่งจะลดฝุ่นและเสียง และลดการทำลายสภาพแวดล้อม การใช้ตะกรันเหล็กลดการใช้วัตถุดิบจึงทำให้ใช้ทัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า นอกจากนี้ตะกรันเหล็กมีลักษณะของมวลรวมที่ดีกว่า limestone และ dolomite เพราะตะกรันเหล็กมีค่า crushing strength สูงและการดูดซึมน้ำต่ำ ซึ่งลดการวิบัติของชั้นทางภายใต้น้ำหนักล้อที่มากและความชื้นสูงและยังทำให้ใช้ชั้นทางที่บางลงและถูกลง

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการวิจัยงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 (เลขที่ 6/2554) จากมหาวิทยาลัยบูรพา

# สารบัญ


| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อ | i |
| บทสรุปสำหรับผู้บริหาร | ii |
| คำนำ | iii |
| สารบัญ | iv |
| **บทที่ 1 บทนำ** | |
| 1.1 ความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย | 1-1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย | 1-1 |
| 1.3 ขอบเขตของการทำโครงการวิจัย | 1-2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 1-2 |
| **บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง** | |
| 2.1 ตะกรันเหล็กโม่ | 2-1 |
| 2.2 การใช้ประโยชน์จากตะกรันเหล็กโม่ | 2-3 |
| 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ตะกรันเหล็กโม่เป็นวัสดุพื้นทาง | 2-4 |
| 2.3.1 วัสดุน้ำหนักเบา เพื่อใช้ทดแทนหินในงานผสมคอนกรีต (ปฐม อินทร และ อุทุมพร วสุอนันต์ผล, 2546) | 2-4 |
| 2.3.2 การศึกษาการใช้ตะกรัน เตาหลอมเหล็กเป็นมวลรวมหยาบ (ศกสรรค์ ชูทับทิม และ มนัส เสงี่ยมสุข, 2546) | 2-5 |
| 2.3.3 อิทธิพลของตะกรัน เหล็กผลิตในประเทศต่อค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ (อานนท์ ชัยพานิช และ ทนงศักดิ์ โนไชยา, 2545) | 2-5 |
| 2.3.4 การใช้ตะกรัน เหล็กเป็นวัสดุมวลรวมสำหรับปูพื้นถนน | 2-6 |
| 2.3.5 การใช้ตะกรัน เหล็กมาเป็นวัสดุชั้นพื้นทางของถนน | 2-6 |
| 2.4 ทฤษฎีการออกแบบผิวทาง | 2-7 |
| 2.5 ความสำคัญของค่าความชื้นในดิน Water (moisture) Content | 2-9 |
| 2.6 องค์ประกอบของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Slag Base) | 2-10 |
| 2.6.1 ตะกรันเ หล็ก (Slag) | 2-10 |
| 2.6.2 ปูนซีเมนต์ (Cement) | 2-10 |
| 2.6.3 น้ำ (Water) | 2-11 |

**บทที่ 3 อุปกรณ์วิธีการทดลองและแผนการดำเนินงาน**


3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง 3-1

3.1.1 ตะกรันเ หล็ก (Slag) 3-1

3.1.2 หินคลุก (Crushed Rock) 3-2

3.1.3 ปูนซีเมนต์ป อร์ตแลนด์ (Portland Cement) 3-3

3.1.4 น้ำ (Water) 3-7

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 3-7

3.2.1 การทดลองหาข นาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง 3-7

3.2.2 การทดลองหาค่า C B R (California Bearing Ratio) 3-7

3.2.3 การทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน 3-8

3.2.4 การทดสอบกำลังรับการ ต้านทานแรงเฉือน (Unconfined Compression Test) 3-8

3.3 วิธีการทดลองหาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ 3-9

3.3.1 การทดลองหาค่าค วามสึกหรอของ Coarse Aggregate 3-9

3.3.2 การทดลองหาค่าค วามคงทน (Soundness) ของมวลรวม 3-9

3.3.3 การทดลองหาข นาดเม็ดวัสดุ 3-9

3.3.4 การทดลองหาค่า Liquid Limit (LL) ของหินคลุกและตะกรันเหล็ก (Slag) (เทียบเท่า AASHTO T 89) 3-9

3.3.5 การหาค่า Plasticity Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) ของดิน (เทียบเท่า AASTO T 90) 3-9

3.3.6 การทดลองหาค่า Sand Equivalent (เทียบเท่า AASHO T 176) 3-10

3.3.7 การทดลองหาค่า California Bearing Ratio (CBR) (เทียบเท่า AASHTO T 193) 3-10

3.3.8 การทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (เทียบเท่า AASHTO T 180) 3-10

3.3.9 การทดสอบกำลังรับการ ต้านทานแรงเฉือน Unconfined Compression Test 3-10

3.4 แนวทางการดำเนินโครงงาน 3-10


**บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง**


4.1 คุณสมบัติของมวลรวม 4-1

4.1.1 ผลการทดสอบ Sieve Analysis 4-1

4.1.2 ผลการทดสอบ Compaction test 4-2

4.1.3 ผลการทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) 4-3

4.2 คุณสมบัติของมวลรวมผสมซีเมนต์ 4-5

4.2.1 ผลการทดสอบ Compaction test 4-5

4.2.2 ผลการทดสอบ California bearing ratio (CBR) 4-12

4.2.3 ผลการทดสอบ Unconfined Compressive Strength 4-19
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง 4-22
4.3.1 การทดลองการบ ดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน 4-22
4.3.2 กา รทดลอง CBR แบบแช่น้ำ 4-23
4.3.3 การทดลองกำลังรับแ รงอัดแบบ Unconfined Compressive Strength (UCS) 4-24
4.4 การบวมตัวของตะกรันเหล็ก 4-27

**บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง** 5-1

เอกสารอ้างอิง R-1
ภาคผนวก ก ก-1
ภาคผนวก ข ข-1
ภาคผนวก ค ค-1
ภาคผนวก ง ง-1

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1 ความสำคัญของปัญหาที่ทำการวิจัย

ปัจจุบันนี้ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพด้านการลงทุนสูง มีการขยายตัวและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การคมนาคมจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างยิ่ง ถนนเป็นทางเลือกหลักในการขนส่งสินค้า ความต้องการก่อสร้างถนนเพื่อรองรับปริมาณการจราจรที่เพิ่มมากขึ้น รวมทั้งการบรรทุกที่เพิ่มจำนวนเที่ยวของการขนส่งมากขึ้น ทำให้ถนนมีความต้องการความแข็งแรงทนทานมากขึ้นตามไปด้วย ถนนแต่ละสายจึงมีผิวทางแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและปริมาณการจราจร อาทิเช่น ผิวทางที่ต้องใช้รับปริมาณจราจรมากจะเป็นผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือแอสฟัลต์คอนกรีต โครงสร้างของพื้นทางส่วนใหญ่มักใช้หินคลุก วัสดุจำพวกหินปูน (Lime stone) หินบะซอลท์ (Basalt) หินแกรนิต (Granite) ซึ่งเป็นวัสดุหินโม่มวลรวมตามธรรมชาติ แต่เนื่องจากหินปูนมีปริมาณการใช้ที่มาก และมีอยู่อย่างจำกัด

การพัฒนาเทคโนโลยีการก่อสร้าง และค้นคว้าวัสดุที่มีความแข็งแกร่ง รวมไปถึงการหาแหล่งวัสดุใหม่ที่จะทดแทนวัสดุแหล่งเดิมที่กำลังจะหมดไป ซึ่งจะเป็นปัญหาการทำลายธรรมชาติเพิ่มขึ้น ดังนั้นวิธีหนึ่งที่จะช่วยชะลอปัญหาเหล่านั้นก็คือ การนำวัสดุที่เป็นวัสดุเหลือใช้หรือวัสดุที่ได้จากการผลิตวัสดุอื่น ในอุตสาหกรรมการผลิตนั้นๆมาใช้ให้เกิดประโยชน์

ตะกรันเถ้าหลอม หรือตะกรันเหล็ก (Slag) ซึ่งเป็นวัสดุที่เป็นผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตเหล็ก หรือถลุงเหล็ก มีความเข็งแรงและเหนียวทนทานมากกว่าหินคลุก ที่ใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง จึงควรจะนำมาผสมกับซีเมนต์ทำเป็นชั้นพื้นทางแทนหินคลุก ตามมาตรฐานพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base) ได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างพื้นทางตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ ที่ใช้ตะกรันเหล็ก (Slag) เป็นวัสดุมวลรวม กับพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ ที่ใช้หินปูนในการก่อสร้างถนนอยู่ในปัจจุบันเป็นวัสดุมวลรวมโดยวัตถุประสงค์ของการนำตะกรันเหล็ก (Slag) มาใช้เป็นวัสดุมวลรวมเพื่อที่จะเพิ่มความแข็งแรงของชั้นพื้นทาง นอกจากนี้การนำตะกรันเหล็ก (Slag) มาใช้เป็นวัสดุมวลรวมยังช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของถนนได้ และเป็นการลดปัญหาเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการระเบิดภูเขา เพื่อนำหินมาเป็นวัสดุชั้นพื้นทางในงานก่อสร้างทาง โดยจะมีการศึกษาดังต่อไปนี้

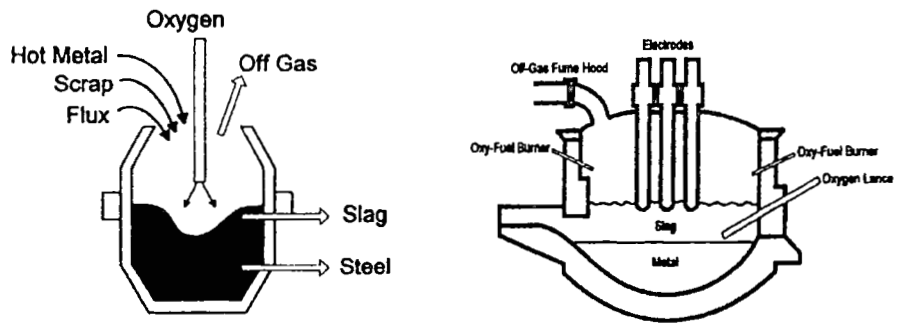
1.2.1 ศึกษาคุณสมบัติของตะกรันเหล็ก (Slag)จากนิคมอุตสาหกรรมบ่อวิน อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยเปรียบเทียบกับหินคลุก จากโรงโม่หิน อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติของพื้นทางตะกรันเหล็ก (Slag) ผสมซีเมนต์ เป็นวัสดุมวลรวม กับพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ ที่ใช้หินปูนเป็นวัสดุมวลรวม

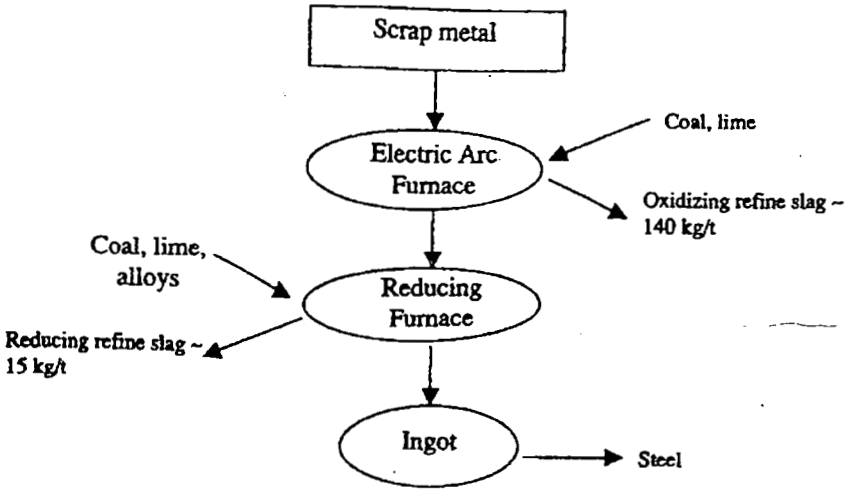
# บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ตะกรันเหล็กโม่

ตะกรันเหล็กโม่เป็นของเสียที่มากที่สุดที่ได้มาจากกระบวนการถลุงเหล็กแบบ basic oxygen furnace (BOF) หรือการหลอมเศษเหล็กในกระบวนการ electric arc furnace (EAF) ในกระบวนการ BOF โลหะเหลวจาก blast furnace, เศษเหล็ก, และ fluxes ซึ่งมีส่วนประกบของ lime (CaO) และ dolomitic lime จะถูกส่งเข้าไปในเตาหลอมและมีการพ่นออกซิเจนความดันสูง ออกซิเจนนี้จะรวมกับสารปนเปื้อนซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน (แบบคาร์บอนมอนอกไซด์), ซิลิกอน, แมงกานีส, ฟอสฟอรัส, และเหล็กบางส่วนในรูปของ liquid oxides ซึ่งทั้งหมดนี้จะรวมกับ lime และ dolomitic lime เกิดเป็นตะกรันเหล็กโม่ (รูปที่ 2-1a) ส่วนกระบวนการ EAF ใช้เศษเหล็กเป็นวัตถุดิบ เตาหลอมแบบ EAF มีลักษณะเหมือนหม้อต้มน้ำในรูปที่ 2-1b มี graphite electrode ผ่านตรงฝา electrode นี้ใช้ในการให้ความร้อนแก่เศษเหล็กโดยให้กระแสไฟฟ้าผ่าน electrode เพื่อให้เกิด arc และความร้อนจาก arc นี้ละลายเศษเหล็ก ระหว่างการละลายจะมีการพ่น oxygen ลงใน EAF เพื่อทำให้เหล็กบริสุทธิ์ขึ้นโดยการ oxidization นี้ก็ทำให้เกิดตะกรันเหล็กโม่ กระบวนการ EAF เป็นกระบวนการที่ใช้ในประเทศไทยเพราะการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม รูปที่ 2-2 แสดงการเกิดตะกรันเหล็กโม่ในกระบวนการ EAF




**รูปที่ 2-1** basic oxygen furnace และ electric arc furnace (Shi, 2004)




**รูปที่ 2-2** กระบวนการเกิดตะกรันเหล็กโม่ (Rohde et al., 2003)

ตะกรันเหล็กโม่ส่วนมากจะประกอบด้วย CaO, MgO, SiO2,และ FeO ตารางที่ 2-1 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของตะกรันเหล็กโม่ชนิดต่างๆ ตะกรันเหล็กโม่จากกระบวนการ BOF และ EAF จะมีลักษณะคล้ายกันมาก อย่างไรก็ตามตะกรันจากโลหะผสมหรือเหล็กไร้สนิมจะค่อนข้างแตกต่างโดยมี FeO น้อยและ Cr มากซึ่งส่วนผสมแบบนี้จะพิจารณาเป็นของเสียอันตราย ส่วนประกอบของ ladle slag นั้นมีความแตกต่างจากตะกรันเหล็กโม่มากโดยมี FeO น้อย และ $Al_2O_3$ มาก

**ตารางที่ 2-1** ส่วนประกอบทางเคมีของตะกรันเหล็กโม่ (Shi, 2004)

| Components | Basic oxygen furnace | Electric arc furnace (carbon steel) | Electric arc furnace (alloy/stainless) | Ladle |
|---|---|---|---|---|
| $SiO_2$ | 8–20 | 9–20 | 24–32 | 2–35 |
| $Al_2O_3$ | 1–6 | 2–9 | 3.0–7.5 | 5–35 |
| FeO | 10–35 | 15–30 | 1–6 | 0.1–15 |
| CaO | 30–55 | 35–60 | 39–45 | 30–60 |
| MgO | 5–15 | 5–15 | 8–15 | 1–10 |
| MnO | 2–8 | 3–8 | 0.4–2 | 0–5 |
| $TiO_2$ | 0.4–2 | N/A[a] | N/A[a] | N/A[a] |
| S | 0.05–0.15 | 0.08–0.2 | 0.1–0.3 | 0.1–1 |
| P | 0.2–2 | 0.01–0.25 | 0.01–0.07 | 0.1–0.4 |
| Cr | 0.1–0.5 | 0.1–1 | 0.1–20 | 0–0.5 |

[a]Not available.

การที่ตะกรันเหล็กโม่มี CaO มาก (30-55%) และอัตราส่วน $CaO/SiO_2$ ที่มาก (ประมาณ 2.0) ชี้ว่าวัสดุอาจจะไม่เสถียรเมื่อมีน้ำเพราะปฏิกริยา hydration ของ free CaO และ MgO และปฏิกริยา oxidation และ corrosion ของ metallic oxide ที่ยังเหลืออยู่ ซึ่งจะทำให้เกิดการบวมตัวมาถึง 14% ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกของวัสดุมวลรวม (Mathur et al, 1999) การทดสอบ x-ray diffraction โดย Mancio (2001) ยังแสดงว่ามีส่วนที่ไม่เสถียรของ β-Ca2SiO4 (larnite) ซึ่งทำให้เกิดการบวมตัวด้วย

ตะกรันเหล็กโม่ถูกพิจารณาว่าเป็นของเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมและต้องมีการทิ้งอย่างถูกต้องเพื่อจะไม่ให้เกิดผลกระทบต่อสภาวะแวดล้อม อย่างไรก็ตามวัสดุนี้สามารถใช้ในกระบวนการ recycle, ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่, และใช้เป็นวัสดุสำหรับการก่อสร้าง โครงการวิจัยนี้ศึกษาการใช้ตะกรันเหล็กโม่ซึ่งเป็นของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมผลิตเหล็กในการก่อสร้างถนน การศึกษาอย่างละเอียดได้ทำกับลักษณะของตะกรันเหล็กโม่และศักยภาพในการใช้เป็นวัสดุก่อสร้างถนน มีการทดสอบว่าตะกรันเหล็กโม่เป็นวัสดุที่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อมหรือไม่และมีการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่เหมาะสมในการที่จะใช้เป็นวัสดุทำชั้นพื้นทาง

## 2.2 การใช้ประโยชน์จากตะกรันเหล็กโม่

การใช้ตะกรันเหล็กโม่ในการสร้างถนนได้ค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ Bayomy & Al-Abdul Wahab (1985) ได้แสดงว่าตะกรันเหล็กสามารถใช้ในการก่อสร้างถนนและทำให้ลดความหนาของชั้นทาง ได้มีการใช้ตะกรันเหล็กโม่เป็นวัสดุมวลรวมในชั้นผิวทาง, พื้นทาง, และรองพื้นทางในประเทศเบลเยี่ยม, สวีเดน, ฟินแลนด์, อังกฤษ, เนเธอร์แลนด์, ออสเตรเลีย, อเมริกา, แคนาดา, และ อินเดีย และได้มีข้อกำหนดสำหรับการใช้ตะกรันเหล็กโม่เป็นมวลรวมสำหรับการก่อสร้างถนนในเยอรมันและญี่ปุ่น (Chesner et al, 2000) ในอินเดียได้มีการทดลองเพื่อพัฒนาข้อกำหนดสำหรับการใช้ตะกรันเหล็กโม่เพื่อการก่อสร้างถนน โดย test section ได้แสดงว่าตะกรันเหล็กโม่มีความเหมาะสมในการใช้การก่อสร้างถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ (Mathur et al, 1999) ตะกรันเหล็กโม่ได้ใช้ในการก่อสร้างถนนในบราซิลมามากกว่า 20 ปีมาแล้ว โดยใช้แทนที่ทรายหรือหินคลุก ในปัจจุบันเพียง 35% ของตะกรันเหล็กโม่ถูกใช้ประโยชน์โดยเฉพาะในการก่อสร้างถนน โดยที่เหลือต้องกำจัดโดยการฝังกลบแบบเปิด

อย่างไรก็ตามมีข้อพิจารณาเกี่ยวกับปริมาณของ free lime (CaO) และ free magnesium (MgO) ในตะกรันเหล็กโม่ซึ่งจะทำให้เกิดการบวมตัวภายใต้ปฏิกริยา hydration การบวมตัวของตะกรันเหล็กโม่เนื่องจากปฏิกริยา hydration ของ MgO, CaO, หรือทั้งสองได้รายงานโดย Ahmed & Lovell (1992), Emery (1982), Sherwood (1995), และ Heaton (1995) Aiban (2000) ได้รายงานการบวมตัวของถนนในซาอุดิอาระเบีย การบวมตัวนี้จำกัดการใช้ตะกรันเหล็กโม่ในสภาพที่ต้องไม่มีเหตุที่ส่งเสริมให้เกิดการบวมตัว เช่น ในสภาพที่มีค่า void ratio สูงที่จะ accommodate การบวมตัว การวิบัติบางอย่าง เช่น radial crack และ cone-shaped deformation เนื่องจากการ hydration ของ free calcium oxide (CaO) และ magnesium

oxide (MgO) ได้รายงานและแสดงให้เห็นว่ามีความจะเป็นสำหรับ aging และ expansion control เพื่อให้มีพฤติกรรมของถนนที่ดี

แนวโน้มในการบวมตัวขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของตะกรันเหล็กโม่, ขนาดคละ, และอายุ ระดับของการบวมตัวที่ยอมรับได้ขึ้นอยู่กับชนิดของการใช้งาน การวิจัยก่อนๆแสดงว่าตะกรันเหล็กโม่สามารถใช้ในการสร้างถนนอย่างปลอดภัยถ้าได้ถูกความชื้นเพียงพอซึ่งการกระทำโดยทั่วไปก็คือการเก็บตะกรันเหล็กโม่ไว้ในอากาศเปิดเป็นระยะเวลาต่างๆเพื่อให้สารที่มีแนวโน้มที่จะบวมตัวมีความเสถียรขึ้น (free oxide และ metallic iron) ระยะเวลาที่ต้องการขึ้นอยู่กับว่ามีส่วนประกอบที่มีแนวโน้มในการบวมตัวมากเพียงใดและสภาพอากาศ (เช่นอุณหภูมิ ปริมาณฝน ความชื้น) และโดยทั่วไปมีระยะเวลา 3-12 เดือน (Machado, 2000)

Kandhal & Hoffman (1997) ใช้วิธี PTM 130 ในการหาค่าการบวมตัวของตะกรันเหล็กโม่ที่บ่มที่ระยะเวลาต่างๆ ตะกรันเหล็กโม่ที่ถูกบดอัดจะแช่ในน้ำ 7 วันในน้ำอุ่น (71±3 °C) และย้ายจากน้ำอุ่นมารักษาความอิ่มตัวด้วยน้ำอีก 7 วัน ระหว่างระยะเวลา 2 สัปดาห์นี้มีการวัดการเปลี่ยนแปลงของความสูงของตัวอย่าง และพบว่าตะกรันเหล็กโม่ที่ทิ้งไว้มากกว่า 6 เดือนบวมตัวเพียง 0.3% แต่ที่ไม่ได้ทิ้งไว้จะบวมตัว 2.8% ซึ่งแสดงถึงความสำคัญของระยะเวลาการเก็บเพื่อให้มีการบวมตัวอยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับงานถนน (<0.5%)

## 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ตะกรันเหล็กโม่เป็นวัสดุพื้นทาง

ปัจจุบันมีการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับตะกรันเหล็ก (Slag) ซึ่งมีการนำไปเป็นส่วนผสมของวัสดุพื้นทางบางประเภท ดังนี้

### 2.3.1 วัสดุน้ำหนักเบาเพื่อใช้ทดแทนหินในงานผสมคอนกรีต (ปฐม อินทร และ อุทุมพร วสุอนันต์ผล, 2546)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวัสดุน้ำหนักเบาเพื่อใช้ทดแทนหินในงานผสมคอนกรีต ซึ่งปัจจุบันนี้คอนกรีตมีความสำคัญมากในการก่อสร้าง เนื่องจากคุณสมบัติที่แข็งแรงทนทานและย่อยสลายได้ยากจึงทำให้เป็นที่นิยมมากในงานก่อสร้างแต่คอนกรีตก็มีข้อเสียคือมีน้ำหนักมากจึงทำให้รากฐานในการรองรับน้ำหนักอาคารมีขนาดใหญ่และหนัก ซึ่งในส่วนประกอบของคอนกรีตจะประกอบไปด้วยหิน ปูน ทราย และน้ำผสมเข้าด้วยกัน และหินนั้นเองที่ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักมาก ดังนั้นจึงมีการค้นหาวัสดุมวลเบาที่จะมาใช้ทดแทนขึ้น โดยในที่นี้เราจะใช้ขี้ตะกรันเหล็ก (Slag) ซึ่งขี้ตะกรันเหล็กนี้เป็นวัสดุที่ทางโรงงานได้ทิ้งแล้ว เราได้นำของที่ทิ้งแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ทั้งนี้ขี้ตะกรันเหล็กยังมีน้ำหนักที่เบากว่าหินด้วยซึ่งจากการทดลองจะพบว่าขี้ตะกรันเหล็กขนาด3/4 นิ้วจะมีกำแรงอัดเท่ากับ 9.03 Mpa และมีกำลังดึงแยกเท่ากับ 7.34 Mpa ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับหินขนาด 3/4 นิ้ว ส่วนขี้ตะกรันเหล็กขนาด 1/2 นิ้ว จะมีกำแรงอัดและมีกำลังดึงแยกมากที่สุดนั่นคือมีกำลังแรงอัดเท่ากับ 13.76 Mpa และมีกำลังดึงแยกเท่ากับ 10.99 Mpa ขี้ตะกรันเหล็กเมื่อนำมาผสมในคอนกรีตแล้วยังทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบาลงด้วย เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงจะ

ได้ดังนี้ คอนกรีตที่ทำจากขี้ตะกรันเหล็กขนาด 1 นิ้วมีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตที่ทำจากหินที่มีขนาดเท่ากัน เป็น 1.35%ส่วนขนาด 3/4 นิ้ว มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงไปเป็น 2.13% และขนาด 3/2 นิ้ว มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่ลดลงไปเป็น 3.98% ซึ่งสรุปให้เห็นได้ว่าคอนกรีตที่ทำจากขี้ตะกรันเหล็กมีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตที่ทำจากหิน

### 2.3.2 การศึกษาการใช้ตะกรันเตาหลอมเหล็กเป็นมวลรวมหยาบ (ศกสรรค์ ชูทับทิม และ มนัส เสงี่ยมสุข, 2546)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการศึกษาการใช้ตะกรันเตาหลอมเหล็กเป็นมวลรวมหยาบ ซึ่งงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำตะกรันเตาหลอมเหล็กมาใช้เป็นมวลรวมหยาบทดแทนหินย่อยในงานคอนกรีต โดยทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7, 28, 63, 91 และ 126 วัน กำลังดึงแบบผ่าซีก และกำลังดัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน รวมถึงทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตสด เมื่อกำหนดอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5, 0.6, 0.7 และ 0.8 และมีค่าการยุบตัว 7.5 $\pm$ 2.5 เซนติเมตร นอกจากนี้ยังศึกษาผลกระทบของเถ้าถ่านหินเมื่อนำมาใช้ผสมคอนกรีตด้วยการแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ผลของการศึกษาพบว่า การใช้ตะกรันเตาหลอมเหล็กและหินย่อยเป็นมวลรวมหยาบ ทำให้การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตใกล้เคียงกัน ระยะเวลาการก่อตัวทั้งระยะต้นและระยะปลายของคอนกรีตที่ใช้ตะกรันเตาหลอมเหล็กเป็นมวลรวมหยาบมีแนวโน้มนานกว่าคอนกรีตที่ใช้หินย่อยเป็นมวลรวมหยาบเล็กน้อย การใช้เถ้าถ่านหินในส่วนผสมคอนกรีตช่วยเพิ่มค่าการยุบตัวให้แก่คอนกรีตสด และทำให้คอนกรีตมีระยะเวลาการก่อตัวที่นานขึ้น การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วที่ใช้เถ้าถ่านหินในส่วนผสมเป็นไปอย่างต่อเนื่อง โดยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นแม้มีอายุเกิน 126 วัน อย่างไรก็ตามการใช้ตะกรันเตาหลอมเหล็กเป็นมวลรวมหยาบทำให้คอนกรีตมีหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการใช้หินย่อยผสมคอนกรีต

### 2.3.3 อิทธิพลของตะกรันเหล็กผลิตในประเทศต่อค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ (อานนท์ ชัยพานิช และ ทนงศักดิ์ โนไชยา, 2545)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของตะกรันเหล็กต่อค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์ ซึ่งเป็นการศึกษาเบื้องต้นในการนำตะกรันเหล็กผลิตในประเทศมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง โดยได้ใช้ส่วนผสม 0, 10, 20, 30 และ 50% โดยน้ำหนัก ในการบ่มที่ 1, 7, 14 และ 28 วัน ทั้งนี้ได้ทำการเตรียมตะกรันเหล็กก่อนนำมาทดสอบ โดยบดให้มีความละเอียดใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และใช้ระยะเวลาในการบด 24 ชั่วโมง พบว่าตะกรันเหล็กนั้นมีลักษณะสัณฐาน และมีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา ($SiO_2$) อลูมิน่า ($Al_2O_3$) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) โดยมีซิลิกามากที่สุด คือ 55.04% จากผลการทดลองพบว่าค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์นั้นลดลงเพียงเล็กน้อยเมื่อ ใช้ตะกรันเหล็กที่ส่วนผสม 10% หลังจากนั้นค่ากำลังอัดจะลดลงมากอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเทียบกับผลของซีเมนต์เพสต์ที่ไม่ได้ผสมตะกรันเหล็ก

### 2.3.4 การใช้ตะกรันเหล็กเป็นวัสดุมวลรวมสำหรับปูพื้นถนน

Steel Slag – Its Production, Processing, Characteristics, and Cementitious Properties โดย Caijun Shi กล่าวว่า ตะกรันเหล็กเป็นสิ่งที่ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดมาจากในระหว่างที่ทำการหลอมเหล็กกล้า ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการหลอมตะกรันเหล็ก ได้มีการทดสอบเกี่ยวกับผลกระทบที่จะตามมาของตะกรันเหล็ก ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า คุณสมบัติของวัสดุมวลรวม คือ มีการหาค่ากระจายตัวของเกรนขนาดเล็ก, มีการทดสอบความแข็งแรง, มีการทดสอบค่าการสึกกร่อนโดยวิธีลอสแองเจลิส, กระบวนการการอัดตัว, การหาค่า CBR, ค่าความสามารถในการฟื้นตัวกลับสู่สภาพเดิม, และค่าการขยายตัว ซึ่งจะใช้ตะกรันเหล็กที่มีลักษณะเป็นเม็ดเล็กเป็นชั้นพื้นทาง, ลักษณะการกระจายตัวของตะกรันเหล็กมีลักษณะที่เป็นไปตามมาตรฐาน ขั้นตอนที่เพิ่มขึ้นของลักษณะทางกายภาพ คือ ความจุและลักษณะที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติของวัสดุ การประเมินค่าของการกระจายตัวแสดงให้เห็นว่าตะกรันเหล็กมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเก็บรักษาไว้ในชั้นบรรยากาศอย่างน้อยที่สุด 4 เดือน ก่อนที่จะสามารถนำตะกรันเหล็กไปใช้ในการก่อสร้างงานถนน เพื่อเป็นวัสดุสำหรับปูพื้นถนน หลังจากได้มีการแก้ไขของกระบวนการ การเปลี่ยนแปลงของตะกรันเหล็กกล่าวว่า มีความสามารถที่จะกลับคืนสู่สภาพเดิมดีกว่าวัสดุมวลรวมดั้งเดิม ซึ่งตะกรันเหล็กมีผลในการทำให้วัสดุสำหรับปูพื้นถนนมีค่าต่ำลง ผลของการศึกษาทำให้ได้บทสรุปว่า การที่เรานำตะกรันเหล็กมาเป็นวัสดุสำหรับปูพื้นถนนนั้นอาจเป็นไปได้และคุณภาพของวิทยาการที่ดีสามารถส่งผลให้ได้ตะกรันเหล็กที่มีคุณสมบัติที่ตรงตามที่ต้องการและมีข้อได้เปรียบทางการเงิน

### 2.3.5 การใช้ตะกรันเหล็กมาเป็นวัสดุชั้นพื้นทางของถนน

Utilization of Steel Slag Aggregate for Road Bases โดย Saad Ali Aiban ได้แสดงให้เห็นว่าการนำตะกรันเหล็กมารวมตัวกัน ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยการทดลองทำในสภาวะสิ่งแวดล้อมและสภาวะการรับน้ำหนักต่างๆที่พบได้ทั่วไป โดยได้มีการนำวัสดุที่มีความเหมาะสมมาใช้ในการทดลอง ผลสำเร็จที่เกิดขึ้นคือถนนมีความแข็งแรงมากขึ้น, การบีบอัดของเม็ดดินต่ำลง, มีความคงทนมากขึ้น และยังมีข้อดีที่มีการใช้วัสดุที่หาได้จากในท้องถิ่น นอกจากนี้ความคงทนของวัสดุยังแสดงให้เห็นว่าวัสดุเหล่านี้ไม่ไวต่อการสัมผัสกับน้ำหรือความชื้นในปริมาณที่นำมาทดสอบ และยังพบอีกว่าการเพิ่มขึ้นของความชื้นยังไม่ไปลดความสามารถในการแบกรับน้ำหนักของถนน ซึ่งข้อได้เปรียบหลักในการใช้ตะกรันเหล็กบริสุทธิ์ คือชั้นของถนนจะมีโครงสร้างที่ดีเยี่ยม โดยมีความจำเป็นที่จะต้องหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้ตะกรันเหล็ก เพื่อที่จะทำให้สามารถใช้ตะกรันเหล็กได้อย่างเดียวโดยไม่ต้องผสมดินร่วน การใช้ตะกรันเหล็ก 100% มีข้อดีตรงที่ไม่ต้องสร้างถนนที่มีส่วนประกอบของชั้นที่จะช่วยในการระบายน้ำออกและยังช่วยหลีกเลี่ยงการทำชั้นของถนนที่มีระบบระบายน้ำ ซึ่งมีความซับซ้อน นอกจากนี้ชั้นดังกล่าวยังช่วยป้องกันการรั่วไหลจากชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตอีกด้วย ผลของการวิจัยได้พิสูจน์ว่าการใช้ตะกรันเหล็ก ในการสร้างถนนจะช่วยลดความจำเป็นในการปูพื้นถนนที่มีความหนามากๆ นอกจากนี้มีความกังวลที่เพิ่มขึ้นทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับการจัดการ

ผลพลอยได้ที่ได้จากการผลิตเหล็กกล้า ซึ่งผลพลอยได้ที่ได้ควรจะมีการนำมาใช้ประโยชน์ได้ไม่อย่างใดก็อย่างหนึ่ง

## 2.4 ทฤษฎีการออกแบบผิวทาง

การออกแบบผิวทางจะพิจารณาออกแบบจากส่วนสำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ

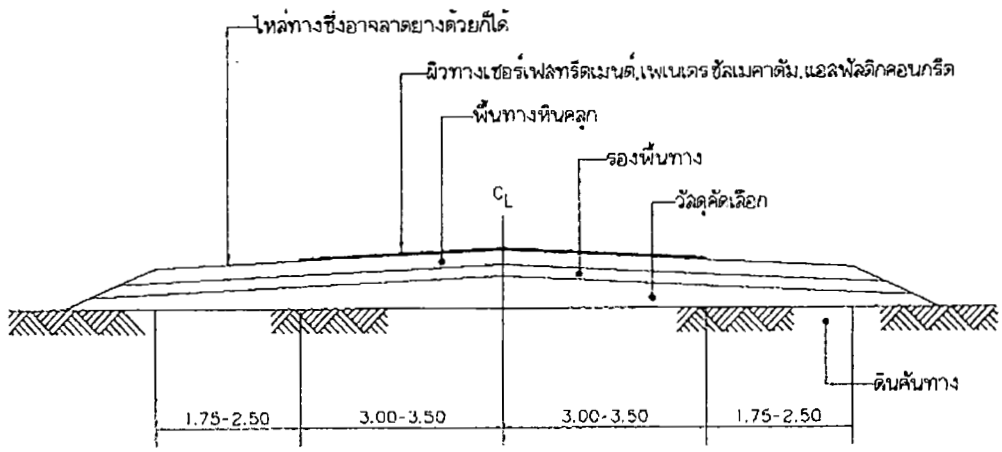
1. การออกแบบส่วนประกอบของผิวการจราจร
2. การออกแบบความหนาของชั้นโครงสร้างถนน

การออกแบบโครงสร้างอาคารสามารถใช้หลักทฤษฎีและคุณสมบัติของวัสดุต่าง ๆ ที่คงที่ ซึ่งแตกต่างจากการออกแบบผิวทาง ยังคงต้องใช้ข้อมูลจากประสบการณ์ ข้อมูลจากห้องปฏิบัติการ และข้อกำหนดมาตรฐานทางท้องถิ่น นำมาผสมกับหลักทฤษฎีเพื่อให้ได้ความเหมาะสมที่สุด มีความแข็งแรงและราคาถูกที่สุด ซึ่งการออกแบบโดยทั่วไปจะมีลักษณะ ดังรูปที่ 2-3

น้ำหนักล้อยานพาหนะเป็นปัจจัยกำหนดความหนาของชั้นโครงสร้างทาง ส่วนแรงดันลมในล้อยาง (Tire pressure) จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของวัสดุที่ใช้ผสมในผิวทาง

การกระจายน้ำหนักจากล้อสู่ผิวทางขึ้นอยู่กับแรงดันลมในล้อยาง ถ้าแรงดันลมในล้อมีสูง จะทำให้ขอบล้อเกิดแรงดึง ซึ่งจะทำให้ผิวสัมผัสระหว่างล้อกับผิวทาง (Contact pressure) ต่ำกว่าแรงดันของลมในล้อที่ต่ำกว่า ซึ่งจะสัมผัสพื้นผิวทางมากกว่า

อายุการออกแบบของถนนลาดยาง โดยปกติแล้วถ้าปริมาณการจราจรต่ำ จะออกแบบอายุการใช้งานที่ 7 – 10 ปี และสำหรับปริมาณจราจรปานกลางถึงสูง จะออกแบบที่อายุ 15 ปี แต่ถ้าเป็นคอนกรีตจะออกแบบอายุการใช้งานที่ 20 ปี แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นอาจต้องพิจารณาควบคู่ไปกับงบประมาณให้เหมาะสมกับประเทศที่กำลังพัฒนา และการออกแบบที่อายุใช้งานที่ไม่ยาวนานมากเกินไป ก็จะก่อให้เกิดการซ่อมแซมซ่อมบำรุง หรือก่อสร้างใหม่ ซึ่งก็เป็นข้อดีที่ทำให้เกิดการจ้างงานเกิดการหมุนเวียนของเศรษฐกิจ




**รูปที่ 2-3** รูปตัดโดยทั่วไปของถนน

**Wearing Surface** (ชั้นพื้นผิว)

- ผิวบนสุดของถนน รับน้ำหนักโดยตรงจากล้อ
- วัสดุที่ใช้เป็นแอสฟัลต์คอนกรีต
- มี 2 ชั้น หรือชั้นเดียว (Binder, Surface Course)
- ถ้า Wearing Surface < 6 cm ไม่ต้องมีชั้น Binder

**Base Course** (ชั้นพื้นทาง)

- ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากผิวทาง ลงสู่ชั้นรองพื้นทาง
- ลดหน่วยแรง
- วัสดุส่วนใหญ่เป็น หินคลุก หรือ Granular Stabilized Soil
- CBR > 80% Modified Proctor
- หนาไม่เกิน 15 - 20 ซม.

**Subbase Course** (ชั้นรองพื้นทาง)

- ทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักจากพื้นทางลงสู่ชั้นถัดไป
- วัตถุประสงค์รองเพื่อลดความหนาของชั้นพื้นทาง
- วัสดุส่วนใหญ่เป็นลูกรัง (ราคาถูก) หรือทราย
- ป้องกัน Capillary Rise

**Selected Materials** (ชั้นวัสดุคัดเลือก)

- ทำหน้าที่ยกระดับของถนนให้สูงขึ้นเพื่อให้พ้นระดับน้ำท่วม
- ลดหน่วยแรงที่จะเกิดในดินคันทาง
- ใช้วัสดุที่หาง่าย ราคาถูก
- คุณสมบัติดีกว่าดินคันทาง

**Subgrade** (ชั้นดินคันทาง)

- ดินคันทาง
- เป็นดินเดิมเลือกไม่ได้
- ก่อนก่อสร้างต้องไถเปิดหน้าดินลึกประมาณ 15 – 20 ซม.
- ขุดถอนตอไม้
- เปิดช่องทางระบายน้ำ
- บดอัด 95% Standard Proctor

โดยสรุปแล้ว ผิวทางจึงมีหน้าที่ดังนี้

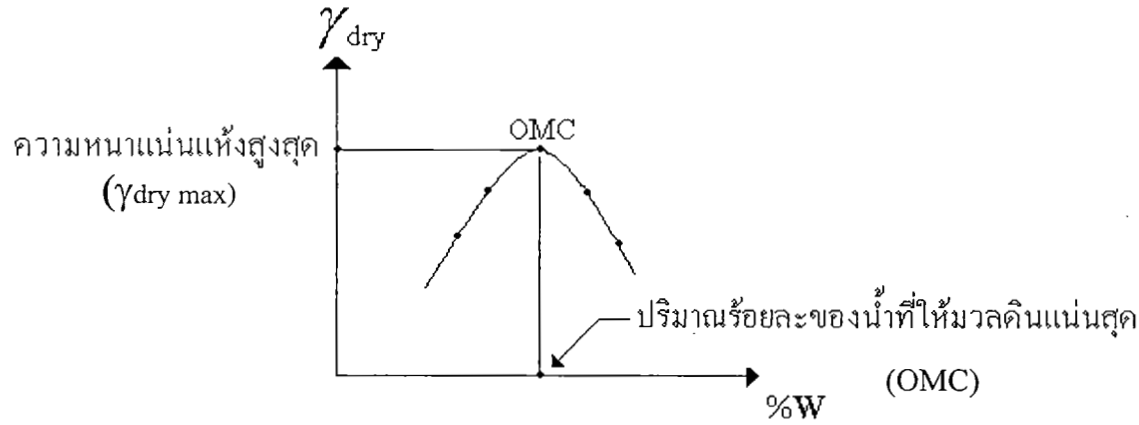
1. รองรับน้ำหนักบรรทุกจากล้อรถต่าง ๆ แล้วทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักลงสู่พื้นทาง (base) รองพื้นทาง (Sub base) และดินคันทาง (sub grade) ตามลำดับ

2. ป้องกันความชื้นและการซึมผ่านของน้ำที่จะลงไปทำลายชั้นโครงสร้างทางได้
3. ป้องกันการสึกกร่อน (Abrasion) ของชั้นผิวทาง
4. ป้องกันการชำรุด (Shear failure) ของชั้นพื้นทางเนื่องจากน้ำหนักกดโดยตรงถ้าไม่มีผิวทางรองรับ

## 2.5 ความสำคัญของค่าความชื้นในดิน Water (moisture) Content

ในงานก่อสร้างประเภทดินถมจะต้องทำการบดอัดดิน ให้มีความหนาแน่นตามมาตรฐานที่กำหนด มาตรฐานของดินบดอัดแน่นในสนาม กระทำได้บนพื้นฐานของการทดลองบดอัดดินตัวอย่างในห้องทดลอง เพื่อหาปริมาณความชื้นในมวลดินที่ทำให้ดินมีความหนาแน่นสูงสุด ( $\gamma_{dry\,\max}$ )

การทดลองทำด้วยวิธี Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐานโดยการการบดอัดดินตัวอย่างเป็นชั้นๆในแบบทรงกระบอก (Mold) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร ด้วยค้อนหนัก 4.537 กิโลกรัม ระยะปล่อยค้อนตก 457.2 ม.ม. ผลการทดลองจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้บดอัด นำค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) และปริมาณความชื้นของตัวอย่างดินมาเขียนกราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นของดิน ดังรูปที่ 2-4




**รูปที่ 2-4** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นของดิน

จะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้นของ Water Content ที่ทำการบดอัดมีอิทธิพลต่อความหนาแน่นของมวลดินความหนาแน่นจะสูงขึ้นตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุดๆหนึ่งดินจะมีความหนาแน่นสูงสุด ปริมาณความชื้นของมวลดินที่มีความหนาแน่นสูงสุดนั้นเรียกว่า Optimum Moisture Content (OMC) ภายหลังจากนั้นค่าความหนาแน่นในมวลดินจะลดลงตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นของโครงสร้างที่เกิดจากพลังงานที่ได้รับจากการบดอัดความถดถอยของปริมาณความชื้นของมวลดินต่ำกว่าปริมาณ

ความชื้น Optimum จะเป็นมวลดินด้านแห้ง (Dry Side) ภายหลังจากนั้นการเพิ่มปริมาณน้ำในมวลดินทำการบดอัดทำให้ดินที่มีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นค่าความหนาแน่นของมวลดินจะลดลงตามปริมาณ

ความชื้นที่เพิ่ม ทั้งนี้เพราะว่าปริมาณน้ำที่เข้าไปแทนที่ปริมาณความชื้นสูงกว่าปริมาณความชื้น Optimum จะเป็นมวลดินด้านเปียก (Wet side)

## 2.6 องค์ประกอบของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Slag Base)

ตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์เป็นวัสดุผสม (Composite material) โดยสามารถแยกวัสดุออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

- ตะกรันเหล็ก (Slag)
- ปูนซีเมนต์ (Cement)
- น้ำ (Water)

ความแข็งแรงของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญเพราะหน้าที่ตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ คือการรับน้ำหนักหรือแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นบนถนน นอกจากนั้นความแข็งแรงของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ยังเป็นตัวชี้วัดคุณสมบัติอื่น ๆ อีกด้วย เช่น ขนาดของมวลรวมคละ การซึมผ่านของน้ำ ความแข็งแรงของพื้นทาง เป็นต้น

ดังนั้นในการออกแบบและควบคุมการก่อสร้างซึ่งกำหนดค่ารับแรงอัดของแท่งตัวอย่างตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์เป็นเกณฑ์ ที่ได้จากการทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ม.109/2515 "วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน" โดยอนุโลม ซึ่งแท่งตัวอย่างทดสอบจะถูกบดอัดในแบบตามวิธีการทดลองที่ ทล.- ม. 108/2517 " วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน" ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วัน แล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง ซึ่งจะต้องมีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 2,413 กิโลปาสคาล ( 350 ปอนด์ ต่อ ตารางนิ้ว) หรือ 17.5 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตร

### 2.6.1 ตะกรันเหล็ก (Slag)

วัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก มี Oxides ของCalcium Silica, Iron, Aluminium, และ Magnesium เป็นส่วนประกอบหลัก และต้องเป็นวัสดุที่มีเนื้อแข็งเหนียวสะอาด ไม่ผุและปราศจากวัสดุอื่นเจือปน

### 2.6.2 ปูนซีเมนต์ (Cement)

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 "ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์" ปูนซีเมนต์ที่ใช้อาจบรรจุอยู่ในไซโล หรือเป็นแบบบรรจุถุงก็ได้ ถ้าเป็นแบบบรรจุถุงจะต้องจัดทำโรงเก็บปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนต์ชื้น ห้ามนำปูนซีเมนต์ที่จับตัวเป็นก้อนปนอยู่มาใช้งาน เว้นแต่จะได้มีการออกแบบส่วนผสมใหม่

### 2.6.3 น้ำ (Water)

น้ำที่จะนำมาใช้ผสมหรือบ่มชั้นพื้นทางตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ จะต้องสะอาดปราศจากสารต่าง ๆ เช่น เกลือ น้ำมัน กรด ด่าง และอินทรียวัตถุ หรือสารอื่นใด ที่จะเป็นอันตรายแก่ชั้นพื้นทางตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ ห้ามใช้น้ำทะเลในการผสม หรือบ่ม ชั้นพื้นทางตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์

# บทที่ 3 อุปกรณ์วิธีการทดลองและแผนการดำเนินงาน

## 3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

### 3.1.1 ตะกรันเหล็ก (Slag)

วัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก มี Oxides ของCalcium Silica, lron, Aluminium, และ Magnesium เป็นส่วนประกอบหลัก และต้องเป็นวัสดุที่มีเนื้อแข็งเหนียวสะอาด ไม่ผุ และปราศจากวัสดุอื่นเจือปน ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมี ดังตารางที่ 3-1

**ตารางที่ 3-1** คุณสมบัติทางเคมีของตะกรันเหล็ก (Slag)

| | | % โดยน้ำหนัก |
|---|---|---|
| Calcium Oxide | CaO | 25-30 |
| Iron Oxide | FeO3 | 20-25 |
| Silicon Dioxide | SiO2 | 10-20 |
| Magnesium Oxide | MgO | 5-10 |
| Manganese Sesqui-oxide | Mn3O4 | 5-10 |
| Aluminum Oxide | Al2O3 | 5-6 |

คุณสมบัติของวัสดุพื้นทางตะกรันเหล็ก จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ค่าการสึกหรอ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.- ม.202 วิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ไม่เกินร้อยละ 40

(2) ค่าของส่วนที่ไม่คงทน(Loss) เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.- ม.213 วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม โดยใช้โซเดียมซัลเฟตจำนวน 5 รอบแล้วไม่เกินร้อยละ 9

(3) ส่วนละเอียด (Fine Aggregate) ต้องเป็นชนิดวัสดุและคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับส่วนหยาบ (Coarse Aggregate) การใช้วัสดุส่วนละเอียดชนิดอื่นเจือปนเพื่อปรับปรุงคุณภาพ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงก่อน

(4) ขนาดคละ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.- ม.205 วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง ต้องมีขนาดใดขนาดหนึ่ง ดังตารางที่ 3-2

**ตารางที่ 3-2** ขนาดคละของวัสดุพื้นทางตะกรันเหล็ก (Slag)

| ขนาดตะแกรง | ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล | |
|---|---|---|
| | A | B |
| 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) | 100 | 100 |
| 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) | - | 75-95 |
| 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) | 30-65 | 40-75 |
| 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) | 25-55 | 30-60 |
| 2.00 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) | 15-40 | 20-45 |
| 0.425 มิลลิเมตร (เบอร์ 40) | 8-20 | 15-30 |
| 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์200) | 2-8 | 5-20 |

(5) ส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (ตะแกรงเบอร์200) ต้องไม่มากกว่าสองในสาม (2/3) ของส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร (ตะแกรงเบอร์40)

(6) ค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. - ม.102 วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (LL) ของดินไม่เกินร้อยละ 25

(7) ค่า Plasticity lndex เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. - ม.103 วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit (PL) และPlasticity lndex (PI) ไม่เกินร้อยละ 4

(8) ค่า Sand Equivalent เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. - ม.203 วิธีการทดลองหาค่า Sand Equivalent ไม่น้อยกว่าร้อยละ 35

(9) ค่า CBR เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.109 วิธีการทดลองหาค่า CBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 สำหรับผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีต และไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 สำหรับผิวทางแบบเซอร์เฟสทรีตเมนต์ หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบที่ความแน่นแห้งของการบดอัด ร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตาม วิธีการทดลองที่ ทล.-ท.108 วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

(10) มีปริมาณการขยายตัว เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ม.217 วิธีการทดลองหาปริมาณการขยายตัวของวัสดุมวลรวมที่เกิดจากปฏิกิริยา Hydration ไม่เกินร้อยละ 0.502525

### 3.1.2 หินคลุก (Crushed Rock)

คุณสมบัติของวัสดุหินคลุก จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ค่าการสึกหรอ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.- ท.202 วิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ไม่เกินร้อยละ 40

(2) ค่าของส่วนที่ไม่คงทน(Loss) เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.- ม.213 วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม โดยใช้โซเดียมซัลเฟตจำนวน 5 รอบแล้วไม่เกินร้อยละ 9 ให้มีการทดลองทุกครั้งที่นำมาใช้

(3) ส่วนละเอียด (Fine Aggregate) ต้องเป็นชนิดวัสดุและคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับส่วนหยาบ (Coarse Aggregate) การใช้วัสดุส่วนละเอียดชนิดอื่นเจือปนเพื่อปรับปรุงคุณภาพ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงก่อน

(4) ขนาดคละที่ดี เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.- ม.205 วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง ต้องมีขนาดใดขนาดหนึ่ง ดังตารางที่ 3-3

**ตารางที่ 3-3** ขนาดคละของวัสดุพื้นทางหินคลุก

| ขนาดตะแกรง | ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล | |
|---|---|---|
| | A | B |
| 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) | 100 | 100 |
| 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) | - | 75-95 |
| 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) | 30-65 | 40-75 |
| 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) | 25-55 | 30-60 |
| 2.00 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) | 15-40 | 20-45 |
| 0.425 มิลลิเมตร (เบอร์ 40) | 8-20 | 15-30 |
| 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์200) | 2-8 | 5-20 |

(5) ส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (ตะแกรงเบอร์200) ต้องไม่มากกว่าสองในสาม (2/3) ของส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร (ตะแกรงเบอร์40)

(6) ค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. - ม.102 วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (LL) ของดินไม่เกินร้อยละ 25

(7) ค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. - ม.103 วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit (PL) และPlasticity Index (PI) ไม่เกินร้อยละ 6

(8) ค่า CBR เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ม.109 วิธีการทดลองหาค่า CBR ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 สำหรับผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีต และไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 สำหรับผิวทางแบบเซอร์เฟสทรีตเมนต์ หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบที่ความแน่นแห้งของการบดอัด ร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตาม วิธีการทดลองที่ ทล.-ม.108 วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

### 3.1.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cemant)

ปูนซีเมนต์ ประเภทหนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา(Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไปที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศที่รุนแรง หรือในที่มีอันตรายจากซัลเฟตเป็นพิเศษ หรือความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตรายที่คอนกรีตจะแตกร้าวเสียหาย ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้างหรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราเพชร คุณสมบัติของปูนซีเมนต์จะต้องมีคุณสมบัติ และองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ดังตารางที่ 3-4 – ตารางที่ 3-10

**ตารางที่ 3-4** องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์

| องค์ประกอบทางเคมี (% by weight) | ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 |
|---|---|
| $SiO_2$ | 18.46 |
| $Al_2O_3$ | 4.64 |
| $Al_2O_3$ | 3.29 |
| CaO | 66.45 |
| MgO | 3.29 |
| $SO_3$ | 3.29 |
| $SO_3$ | 2.90 |
| MgO | 2.90 |
| $Al_2O_3$ | 2.90 |
| $SiO_2$ | 2.90 |
| MgO | 2.90 |

**ตารางที่ 3-5** สารประกอบที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

| ชื่อของสารประกอบ | ส่วนประกอบทางเคมี | ชื่อย่อ |
|---|---|---|
| ไตรแคลเซียมซิลิเกต | $3CaO.SiO_2$ | $C_3S$ |
| ไดแคลเซียมซิลิเกต | $2CaO.SiO_2$ | $C_2S$ |
| ไตรแคลเซียมอลูมิเนต | $3Cao.Al_2O_3$ | $C_3A$ |
| เทตราแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ | $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ | $C_4AF$ |

**ตาราง 3-6** คุณสมบัติของสารประกอบที่สำคัญ

| คุณสมบัติด้านต่างๆ | พฤติกรรมของสารประกอบแต่ละตัว | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $C_2S$ | $C_2S$ | $C_3A$ | $C_4AF$ |
| อัตราการทำปฏิกิริยา | ปานกลาง | ช้า | รวดเร็ว | ช้า |
| ความร้อนของปฏิกิริยา | ปานกลาง | น้อย | มาก | น้อย |
| การพัฒนากำลังรับแรง | | | | |
| ระยะแรก(Early) | เร็ว | ช้า | เร็ว | ช้า |
| ระยะหลัง(Ultimate) | สูง | สูง | ต่ำ | ต่ำ |
| ความทนทานต่อการกัดกร่อน | ปานกลาง | สูง | น้อย | - |

**ตารางที่ 3-7** คุณลักษณะทางเคมี

| รายการที่ | คุณลักษณะ | เกณฑ์ที่กำหนด |
|---|---|---|
| | | ประเภท 1 |
| 1 | แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ร้อยละ ไม่มากกว่า | 6.0 |
| 2 | ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ [1] ($SO_3$) ร้อยละ ไม่มากกว่า | |
| | 2.1 เมื่อมีไตรแคลเซียมอลูมิเนต [2] ($3CaO.Al_2O_3$) ร้อยละ 8 หรือน้อยกว่า | 3.0 |
| | 2.2 เมื่อมีไตรแคลเซียมอลูมิเนต [2] ($3CaO.Al_2O_3$) มากกว่าร้อยละ 8 | 3.5 |
| 3 | น้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการเผา ร้อยละ ไม่มากกว่า | 3.0 |
| 4 | กากที่ไม่ละลายในกรด และด่าง ร้อยละ ไม่มากกว่า | 0.75 |

**ตารางที่ 3-8** คุณลักษณะทางเคมีที่อาจเพิ่มเติมได้

| รายการที่ | คุณลักษณะ | เกณฑ์ที่กำหนด | หมายเหตุ |
|---|---|---|---|
| | | ประเภท 1 | |
| 1 | ด่าง ($Na_2O+0.658K_2O$) ร้อยละ ไม่มากกว่า | 0.6 | ปูนซีเมนต์มีด่างต่ำ |

**ตารางที่ 3-9** คุณลักษณะทางฟิสิกส์

| รายการที่ | คุณลักษณะ | เกณฑ์ที่กำหนด | วิธีทดสอบตาม |
|---|---|---|---|
| | | ประเภท 1 | |
| 1 | ปริมาณอากาศในมอร์ต้าร์ [1] ร้อยละโดยปริมาตรไม่มากกว่า | 12 | มอก. 15 เล่ม 13 |
| 2 | ความละเอียด [2] พื้นผิวจำเพาะ (specific surface) ตารางเมตรต่อกิโลกรัม | | |
| | - ทดสอบด้วยมาตรความขุ่นวากเนอร์ (Wagner turbidimeter) ไม่น้อยกว่า | 160 | มอก. 15 เล่ม 5 |
| | - ทดสอบด้วยสภาพความซึมผ่านอากาศได้ของเบลน (Blaine air permeability) ไม่น้อยกว่า | 280 | มอก. 15 เล่ม 6 |
| 3 | การขยายตัวโดยวิธีออโตเคลฟ (autoclave expansion) ร้อยละ ไม่มากกว่า | 0.8 | มอก. 15 เล่ม 11 |
| 4 | ความต้านแรงอัด [3] เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า | | มอก. 15 เล่ม 12 |
| | อายุ 3 วัน | 12.0 | |
| | อายุ 7 วัน | 19.0 | |
| 5 | ระยะเวลาการก่อตัว | | |
| | - ทดสอบแบบกิลโมร์ (Gillmore test) | | มอก. 15 เล่ม 10 |
| | การก่อตัวระยะต้น นาที ไม่น้อยกว่า | 60 | |
| | การก่อตัวระยะปลาย ชั่วโมง ไม่มากกว่า | 10 | |
| | หรือ | | |
| | - ทดสอบแบบไวแคต (Vicat test) | | มอก. 15 เล่ม 9 |
| | การก่อตัวระยะต้น นาที ไม่น้อยกว่า | 45 | |
| | การก่อตัวระยะปลาย นาทีไม่มากกว่า | 375 | |

**ตารางที่ 3-10** คุณลักษณะทางฟิสิกส์ที่อาจเพิ่มเติมได้

| รายการที่ | คุณลักษณะ | เกณฑ์ที่กำหนด | วิธีทดสอบตาม |
|---|---|---|---|
| | | ประเภท 1 | |
| 1 | การก่อตัวผิดปกติ ระยะจมปลาย ร้อยละ ไม่น้อยกว่า | 50 | มอก. 15 เล่ม15 |
| 2 | ความต้านแรงอัด เมกะพาสคัล ไม่น้อยกว่า | | มอก. 15 เล่ม12 |
| | อายุ 28 วัน | 28.0 | |

### 3.1.4 น้ำ (Water)

น้ำประปาที่ใช้อุปโภค ภายในห้องปฏิบัติการคอนกรีตและโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

## 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

### 3.2.1 การทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(1) ถาดใส่ตัวอย่าง (Mixing Pan)

(2) ตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 ซม.

(3) เครื่องเขย่าตะแกรง (Sieve Shaker)

(4) เครื่องชั่ง ขนาด 2 กก.อ่านละเอียด 0.1 กรัม

(5) แปรงทำความสะอาดตะแกรง

(6) ช้อนตักดิน (Soil Scoop)

### 3.2.2 การทดลองหาค่า C B R (California Bearing Ratio)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(1) แบบ (Mold) สำหรับเตรียมตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 7 นิ้ว พร้อม Collar สูง 2.5 นิ้ว และ base plate สำหรับยึด Mold และ Collar

(2) Spacer Disc สูง 2.5 นิ้ว

(3) Hammer หนัก 10 lb.

(4) Swelling Plate พร้อมขายึด มีเกลียวปรับความสูงต่ำได้

(5) สามขา (Tripod) สำหรับยึด Dial indicator เพื่อวัดอัตราการบวมของดินเมื่อแช่น้ำ

(6) Dial indicator วัดได้ 1 นิ้ว อ่านได้ละเอียด 0.001 นิ้ว

(7) น้ำหนักถ่วงทับ (Surcharge Weight) หนักแผ่นละ 5 ปอนด์

(8) Penetration piston เนื้อที่หน้าตัด 3 ตร.นิ้ว

(9) Loading device แบบ Hydraulic jack หรือ Screw jack มีอุปกรณ์วัดแรงได้ 10,000 ปอนด์

(10) ถังน้ำแช่ดินพร้อม mold

(11) ตะแกรงร่อนดินเบอร์ 4 และ 3/4 นิ้ว

(2) เครื่องชั่ง, ถาดคลุกดิน, เหล็กปาดสันตรง (Straight edge), กระบอกตวงน้ำ

### 3.2.3 การทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(1) mold Ø 4" x 4.6" with collar 2.5 in high (Standard Proctor)

mold Ø 6" x 5.0" with collar 2.5 in high (Modified Proctor)

(2) hammer Ø 2" weight 5.5 lb. (Standard Proctor)

hammer Ø 2" weight 10.0 lb. (Modified Proctor)

(3) ตะแกรงร่อนเบอร์4(StandardProctor)

ตะแกรงร่อน เบอร์ 3/4 นิ้ว (Modified Proctor)

(4) ช้อนตักดิน

(5) บรรทัดเหล็กปาดดิน

(6) ถาดผสมดิน

(7) ตาชั่ง ชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม

(8) เตาอบดินอุณหภูมิสูงถึง 100°c

(9) กระบอกตวงน้ำ มีขีดแบ่งปริมาตร

### 3.2.4 การทดสอบกำลังรับการต้านทานแรงเฉือน (Unconfined Compression Test)

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

(1) เครื่องกดตัวอย่าง (Compression Machine) มีขนาดกำลังพอเพียงที่จะกดตัวอย่างและมีอัตราการกดพอเหมาะ

(2) วงแหวนวัดแรง (Proving Ring) ที่มีขนาดพอเหมาะที่จะกดทดสอบตัวอย่างดินมีความไวที่เหมาะสมไม่แข็งเกินไป

(3) มาตรหน้าปัด (Dial Gauge) อ่านละเอียด 0.01 มม. ความยาวช่วง 25 มม.

(4) ตาชั่ง ชั่งได้ละเอียด 0.1 กรัม

(5) เตาอบดินอุณหภูมิสูงถึง 100°c

## 3.3 วิธีการทดลองหาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุ

### 3.3.1 การทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate

โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion (เทียบเท่า ASTM C 131 และ C 535) เพื่อหาความสึกหรอของหินคลุก และตะกรันเหล็ก (Slag) ซึ่งการทดลองดังกล่าวได้ อ้างอิงผลการทดลองจากสำนักงานทางหลวงชนบทที่ 3 (ชลบุรี)

### 3.3.2 การทดลองหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม

โดยการใช้โซเดียมซัลเฟต หรือ แมกนีเนียมซัลเฟต (เทียบเท่า AASHTO T 104 หรือ ASTM C 88) เพื่อหาค่าความต้านทานต่อการแตกแยกของหินคลุก และตะกรันเหล็ก (Slag) ในสารละลายอิ่มตัวโซเดียมซัลเฟต หรือ แมกนีเนียมซัลเฟต ซึ่งการทดลองดังกล่าวได้ อ้างอิงผลการทดลองจากสำนักงานทางหลวงชนบทที่ 3 (ชลบุรี)

### 3.3.3 การทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ

โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง (เทียบเท่า AASHTO T 27-70) เพื่อหาขนาดเม็ด (Particle Size Distribution) ของ Aggregate ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กมีขนาดช่องผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่างๆกับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง

### 3.3.4 การทดลองหาค่า Liquid Limit (LL) ของหินคลุกและตะกรันเหล็ก (Slag) (เทียบเท่า AASHTO T 89)

คือปริมาณของน้ำที่มีอยู่พอดีในของหินคลุก และตะกรันเหล็ก (Slag) ซึ่งทำให้ ของหินคลุก และตะกรันเหล็ก (Slag) เปลี่ยนจากภาวะ Plastic มาเป็นภาวะ Liquid คิดเทียบเป็นร้อยละของมวลหินคลุก และตะกรันเหล็ก (Slag) อบแห้ง หาได้โดยนำหินคลุก และตะกรันเหล็ก (Slag) ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) มาผสมกับน้ำ ค่า Liquid Limit คือปริมาณของน้ำคิดเป็นร้อยละที่ทำให้ ในเครื่องมือทดลอง (Liquid Limit Device) ไหลมาชนกันยาว 12.7 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) เมื่อเคาะหินคลุก และตะกรันเหล็ก (Slag) เครื่องมือทดลองซึ่งมีจุดตกกระทบสูง 10 มิลลิเมตร จำนวน 25 ครั้ง ซึ่งการทดลองดังกล่าวได้ อ้างอิงผลการทดลองจากสำนักงานทางหลวงชนบทที่ 3 (ชลบุรี)

### 3.3.5 การหาค่า Plasticity Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) ของดิน (เทียบเท่า AASTO T 90)

เพื่อหาค่าจำนวนน้ำต่ำสุดในหินคลุก และตะกรันเหล็ก (Slag) เมื่อหินคลุก และตะกรันเหล็ก (Slag) นั้นยังคงอยู่ในสภาพ Plastic โดยการนำหินคลุก และตะกรันเหล็ก (Slag) มาคลึงเป็นเส้นให้แตกตัวที่ขนาด

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131


เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) ซึ่งการทดลองดังกล่าวได้ อ้างอิงผลการทดลองจากสำนักงานทางหลวงชนบทที่ 3 (ชลบุรี)

### 3.3.6 การทดลองหาค่า Sand Equivalent (เทียบเท่า AASHO T 176)

เพื่อหาค่าสัดส่วนระหว่างฝุ่น หรือวัสดุประเภทเหมือนดินเหนียว กับวัสดุเม็ดหยาบพวกหินคลุก และตะกรันเหล็ก (Slag) ซึ่งการทดลองดังกล่าวได้ อ้างอิงผลการทดลองจากสำนักงานทางหลวงชนบทที่ 3 (ชลบุรี)

### 3.3.7 การทดลองหาค่า California Bearing Ratio (CBR) (เทียบเท่า AASHTO T 193)

เพื่อหาข้อเปรียบเทียบ Bearing Value ของหินคลุก และตะกรันเหล็ก (Slag) กับวัสดุหินมาตรฐาน เมื่อทำการบดทับหินคลุก และตะกรันเหล็ก (Slag) นั้น โดยใช้ค้อนบดทับในแบบ (Mold) ที่ Optimum Moisture Content เพื่อนำมาออกแบบโครงสร้างของถนนและควบคุมงาน ในการบดทับให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ

### 3.3.8 การทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (เทียบเท่า AASHTO T 180)

เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดทับ เมื่อทำการบดทับดินในแบบ (Mold) ตามขนาดข้างล่างนี้ ด้วยค้อนหนัก 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว)

### 3.3.9 การทดสอบกำลังรับการต้านทานแรงเฉือน Unconfined Compression Test

เปรียบเทียบการทดลองกับมาตรฐานที่ ทล.- ม.203/2532 มาตรฐานพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base) โดยใช้การทดสอบกำลังรับการต้านทานแรงเฉือน (Unconfined Compression Test) ซึ่ง Unconfined Compression Strength (Compressive Load) สูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งแท่งตัวอย่างหินคลุก และตะกรันเหล็ก (Slag) รูปทรงกระบอก หรือรูป Prismatic จะรับได้ ถ้าในกรณีที่ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ยังไม่ถึงค่าสูงสุดเมื่อความเครียด (Strain) ในแนวดิ่งเกิน 20% ให้ใช้ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ ที่ความเครียด 20% นั้นเป็นค่า Unconfined Compression Strength

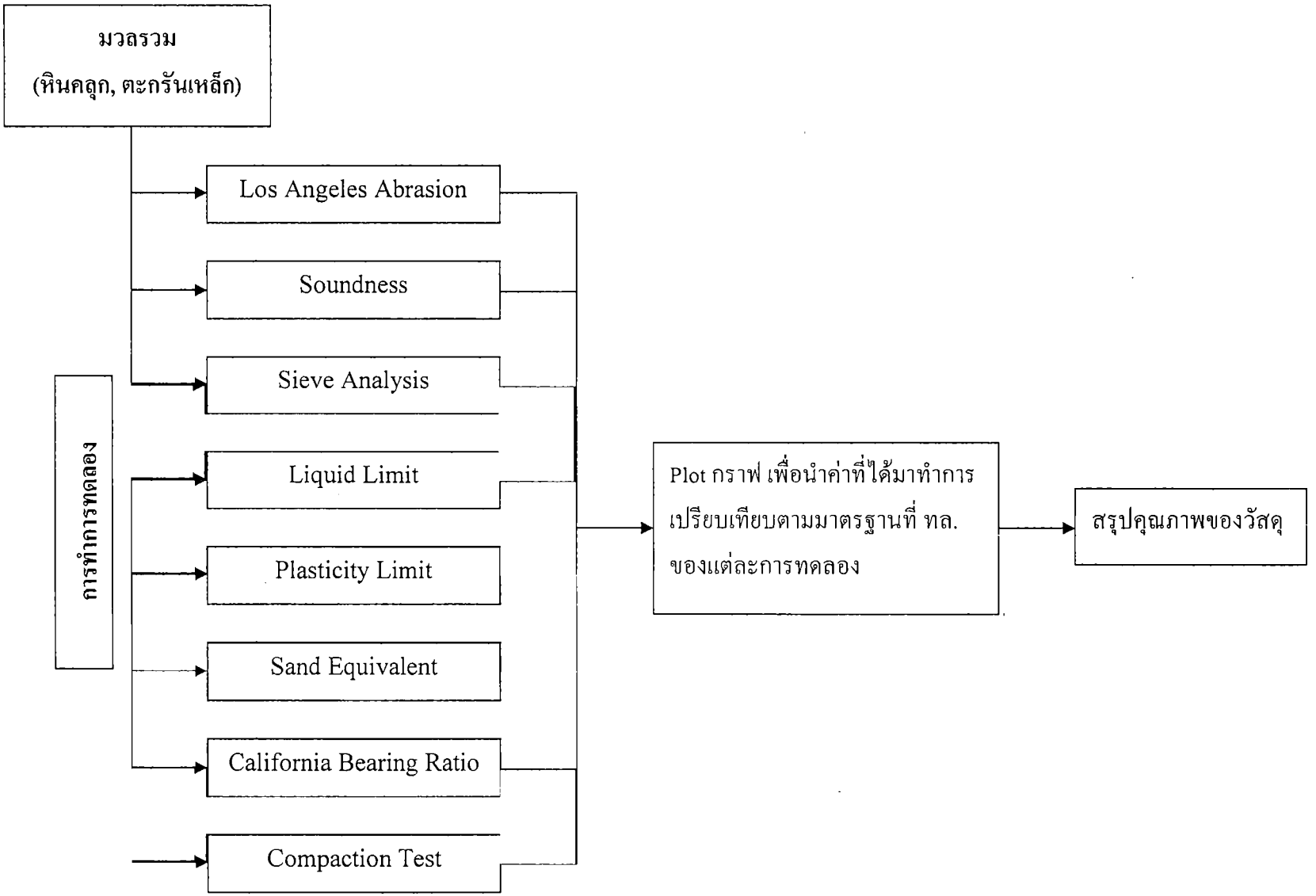
## 3.4 แนวทางการดำเนินโครงงาน

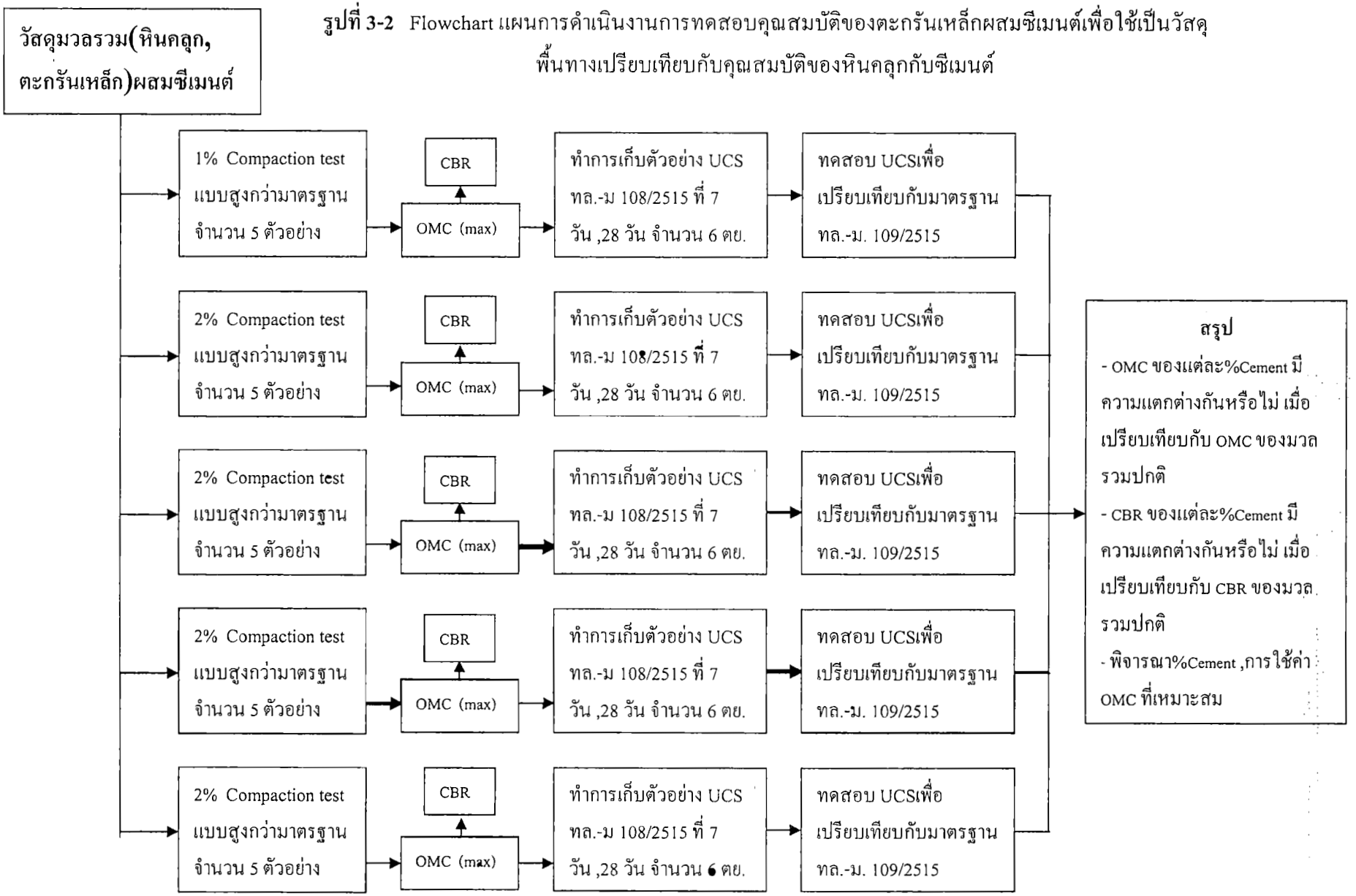
ในการทดลอง จะทำการทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุเบื้องต้น ตามวิธีการทดลองข้อ 3.3.1 - ข้อ 3.3.6 ดังแสดงในรูปที่ 3-1 หลังจากนั้นทำการทดสอบ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยการทดสอบที่อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ 1, 2, 3, 4 และ 5% โดยน้ำหนักของมวลรวม เพื่อหาค่า Optimum Moisture

626.7
ส319ก
2564
ฉ-3
301343

Content (OMC) แล้วนำค่าที่ได้ไปทำการทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) และ ทดสอบกำลังรับการต้านทานแรงเฉือน Unconfined Compression Test ดังแสดงในรูปที่ 3-2

**รูปที่ 3-1** Flowchart แผนการดำเนินงานการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุเบื้องต้น






**รูปที่ 3-2** Flowchart แผนการดำเนินงานการทดสอบคุณสมบัติของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์เพื่อใช้เป็นวัสดุพื้นทางเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของหินคลุกกับซีเมนต์

# บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

## 4.1 คุณสมบัติของมวลรวม

ในการวิจัยนี้หินคลุกได้มาจากโรงโม่หินทัศนา อ.เมือง จ.ชลบุรี ตะกรันได้มาจาก บ.สยามสติลมิลล์เซอร์วิส จำกัด นิคมอุตสาหกรรมบ่อวิน อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี โดยมีคุณสมบัติทางกายภาพดังตารางที่ 4-1

**ตารางที่ 4-1** คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

| คุณสมบัติ | วัสดุที่ใช้ | | มาตรฐาน | |
|---|---|---|---|---|
| | หินคลุก | ตะกรันเหล็กโม่ | หินคลุก[1] | ตะกรันเหล็กโม่[2] |
| USCS | GW | GW | — | — |
| ขนาดคละ[3] | B | B | A หรือ B | A หรือ B |
| Sand equivalent[4] | NA | 62% | NA | < 35% |
| Soundness[5] | NA | 0.6% | < 9% | < 9% |
| ค่าการสึกหรอ[6] | 32.2% | 20.9% | < 40% | < 40% |
| LL[7] | 16.0 | NP | < 25% | < 25% |
| PI[8] | 2.8 | NP | < 6% | < 4% |

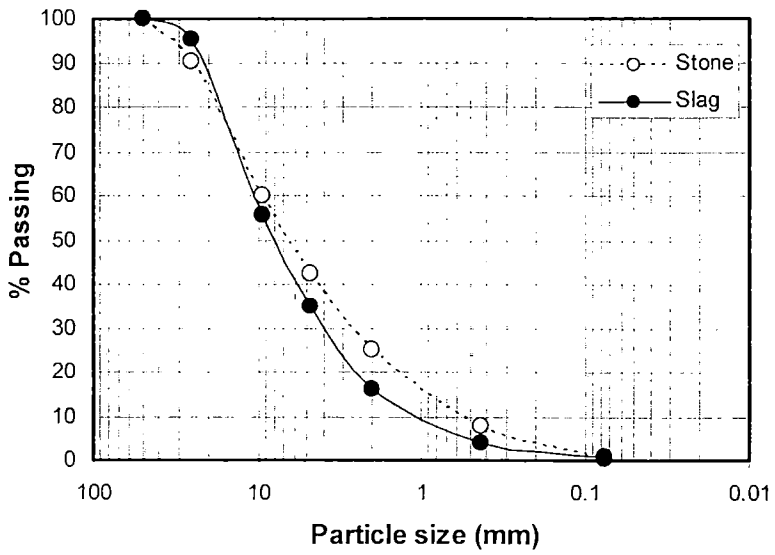
[1] ทล-ม 201/2544 [2] ทล-ม 210/2547 [3] ทล-ท 205

[4] ทล-ท 203 [5] ทล-ท 213 [6] ทล-ท 202

[7] ทล-ท 102 [8] ทล-ท 103

### 4.1.1 ผลการทดสอบ Sieve Analysis

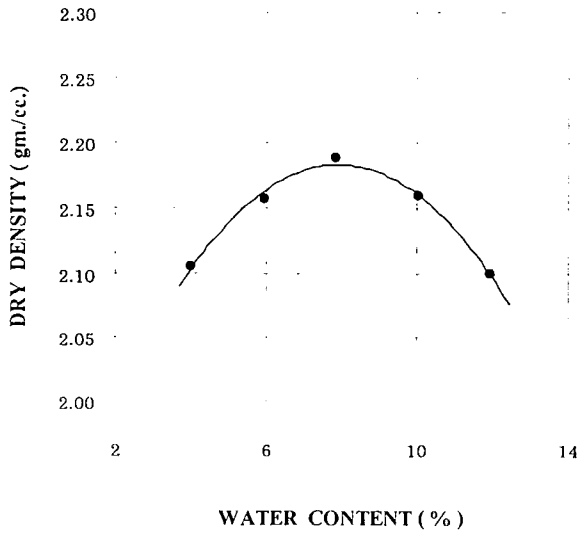
ขนาดคละของหินคลุกและตะกรันแสดงในรูปที่ 4-1 ซึ่งแสดงว่าหินคลุกมีขนาดคละตรงตามมาตรฐานที่ ทล.- ท.205 ซึ่งอยู่ในเกรด B และ ตะกรันเหล็ก มีขนาดคละตรงตามมาตรฐานที่ ทล.- ท.205 ซึ่งอยู่ในเกรด B



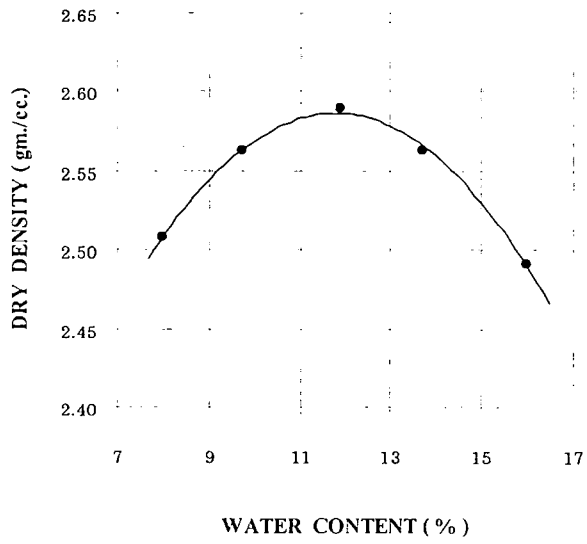

**รูปที่ 4-1** ขนาดคละของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง

### 4.1.2 ผลการทดสอบ Compaction test

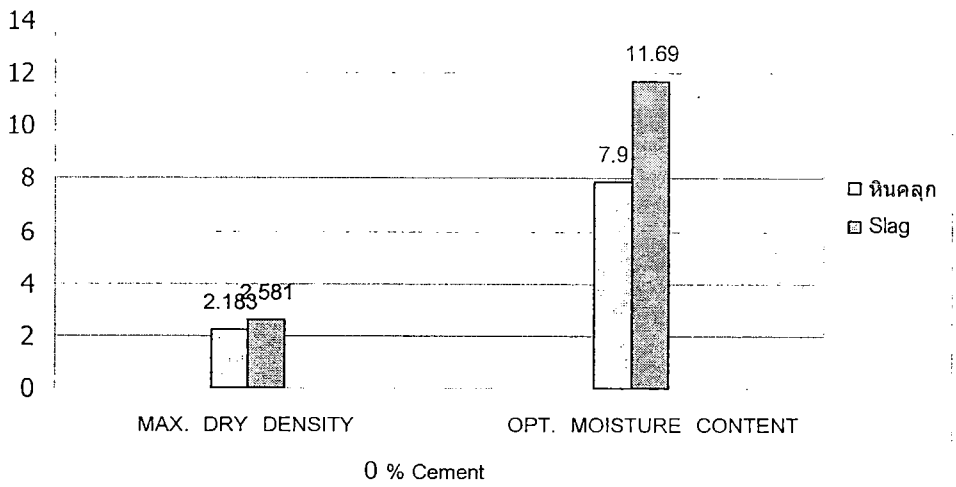
ผลการทดสอบการบดอัดของดินคลุกได้แสดงในรูปที่ 4-2 ซึ่งแสดงว่าหินคลุกมีค่า MAX. DRY DENSITY = 2.183 gm./cc. และ OPTIMUM MOISTURE CONTENT = 7.9 % สำหรับผลการทดสอบการบดอัดของตะกรันเหล็กได้แสดงในรูปที่ 4-3 ซึ่งแสดงว่าตะกรันเหล็กมีค่า MAX. DRY DENSITY = 2.581 gm./cc. และ OPTIMUM MOISTURE CONTENT = 11.69 % กราฟเปรียบเทียบ Compaction test ระหว่างหินคลุกและตะกรันเหล็กได้แสดงในรูปที่ 4-4




**รูปที่ 4-2** กราฟ Compaction test ของหินคลุก



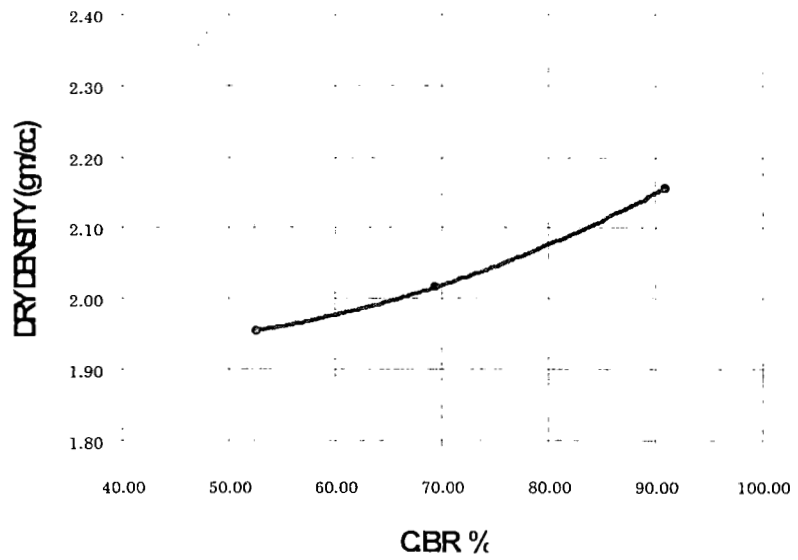

**รูปที่ 4-3** กราฟ Compaction test ของตะกรันเหล็ก



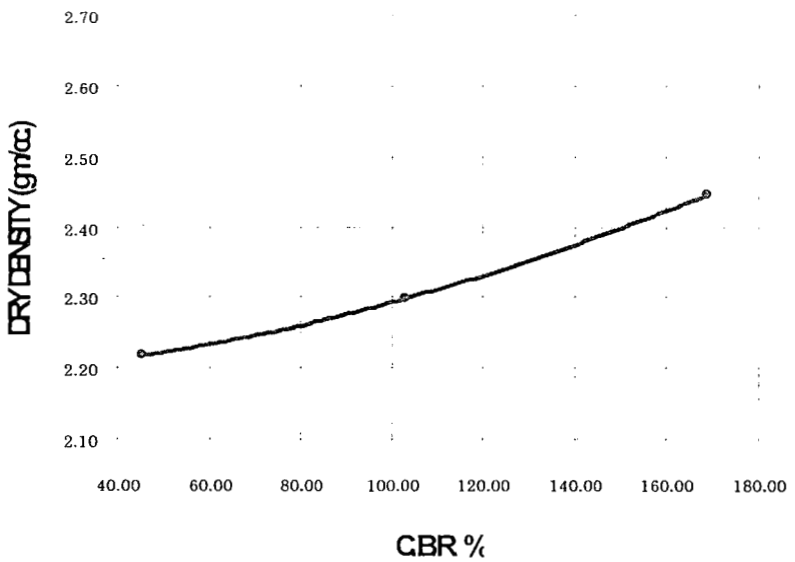

**รูปที่ 4-4** กราฟเปรียบเทียบ Compaction test ระหว่างหินคลุก และ ตะกรันเหล็ก

### 4.1.3 ผลการทดสอบ California Bearing Ratio (CBR)

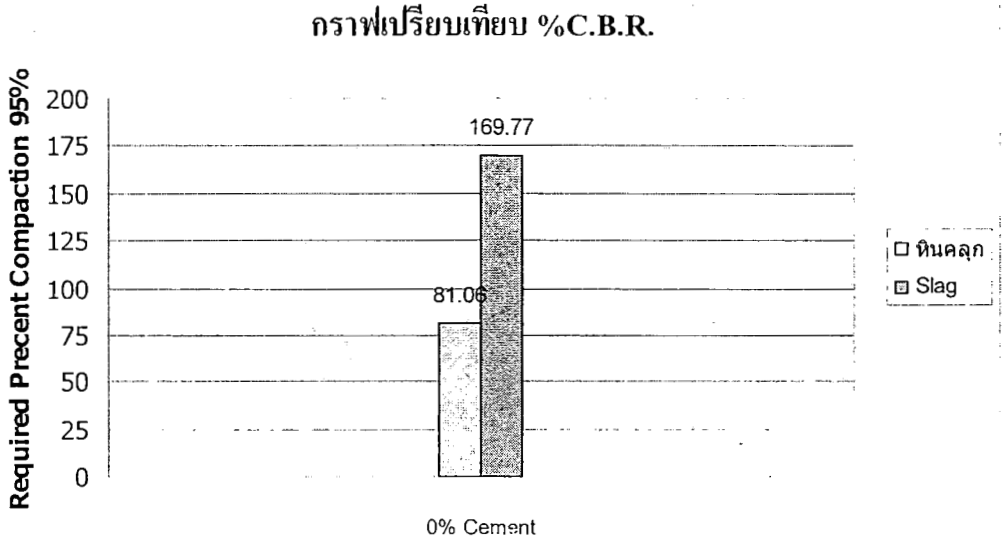
ผลการทดสอบ CBR ของดินคลุกได้แสดงในรูปที่ 4-5 ซึ่งแสดงว่าหินคลุก มีค่า CBR ที่ความแน่นแห้ง 95 % = 81.06 % และค่าการพองตัว = 0.00 % สำหรับผลการทดสอบ CBR ของตะกรันเหล็กได้แสดงในรูปที่ 4-6 ซึ่งแสดงว่าตะกรันเหล็ก มีค่า CBR ที่ความแน่นแห้ง 95 % = 169.77 % และค่าการพองตัว = 0.00 % กราฟเปรียบเทียบ California Bearing Ratio (CBR) ระหว่างหินคลุกและตะกรันเหล็กได้แสดงในรูปที่ 4-7




**รูปที่ 4-5** กราฟ California Bearing Ratio (CBR) ของหินคลุก




**รูปที่ 4-6** กราฟ California Bearing Ratio (CBR) ของตะกรันเหล็ก

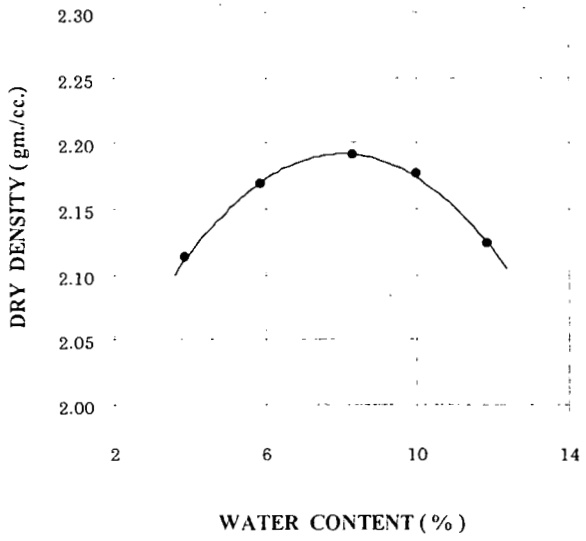



**รูปที่ 4-7** กราฟเปรียบเทียบ California Bearing Ratio (CBR) ระหว่างหินคลุกและตะกรันเหล็ก

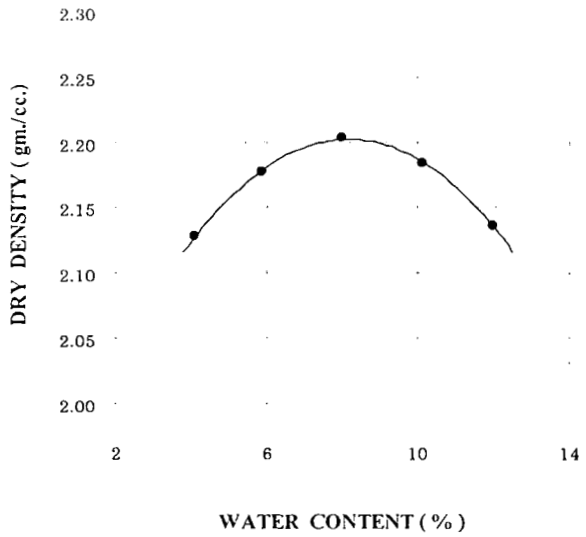
## 4.2 คุณสมบัติของมวลรวมผสมซีเมนต์

### 4.2.1 ผลการทดสอบ Compaction test

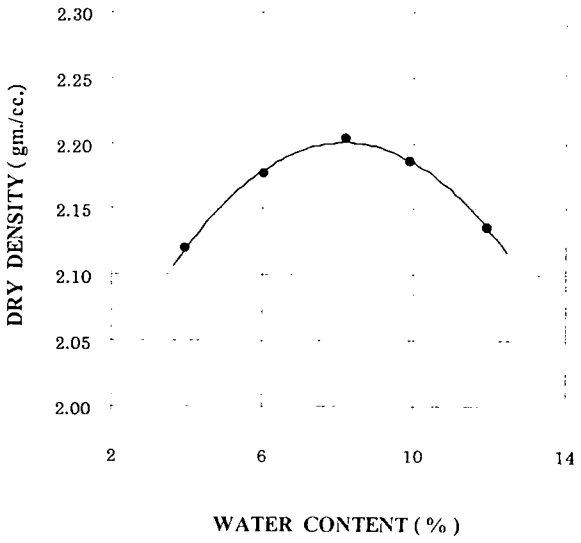
ผลการทดสอบการบดอัดของมวลรวมผสมซีเมนต์ 1% ถึง 5% แสดงในรูปที่ 4-8 ถึง 4-12 ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดลองคือหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1% มีค่า MAX. DRY DENSITY = 2.195 gm./cc. และ OPTIMUM MOISTURE CONTENT = 8.11 %, หินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 2% มีค่า MAX. DRY DENSITY = 2.203 gm./cc. และ OPTIMUM MOISTURE CONTENT = 8.19 %, หินคลุก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 3% มีค่า MAX. DRY DENSITY = 2.203 gm./cc. และ OPTIMUM MOISTURE CONTENT = 8.24 %, หินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 4% มีค่า MAX. DRY DENSITY = 2.204 gm./cc. และ OPTIMUM MOISTURE CONTENT = 8.73 %, และหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5% มีค่า MAX. DRY DENSITY = 2.206 gm./cc. และ OPTIMUM MOISTURE CONTENT = 8.89 %



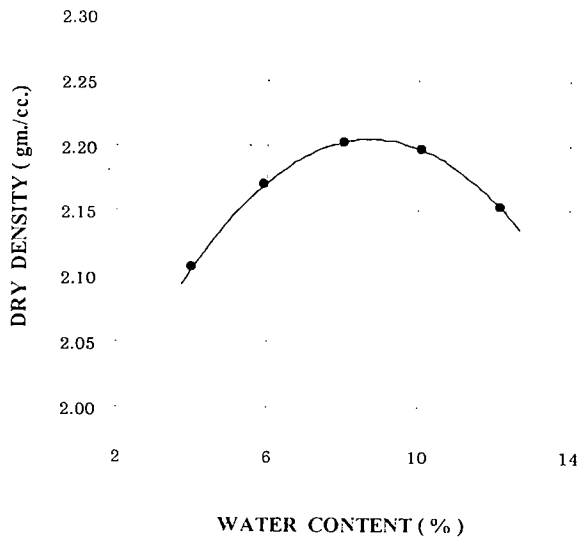

**รูปที่ 4-8** กราฟ Compaction test ของหินคลุก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1%



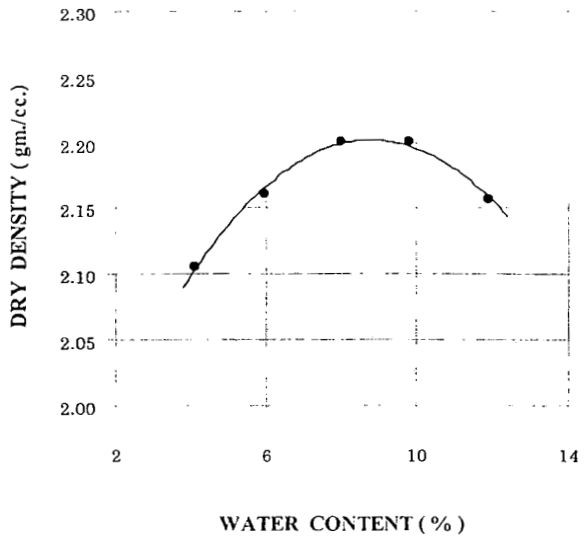

**รูปที่ 4-9** กราฟ Compaction test ของหินคลุก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 2%




**รูปที่ 4-10** กราฟ Compaction test ของหินคลุก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 3%

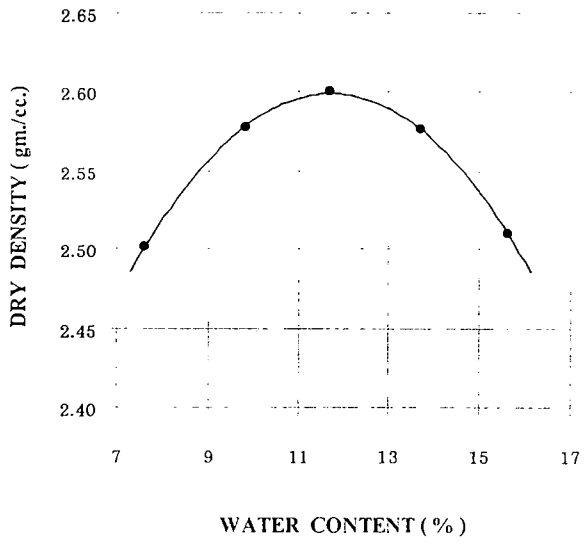



**รูปที่ 4-11** กราฟ Compaction test ของหินคลุก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 4%

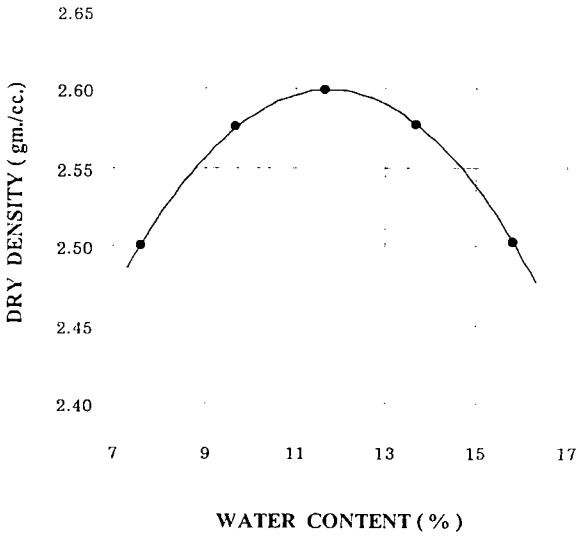



**รูปที่ 4-12** กราฟ Compaction test ของหินคลุก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5%

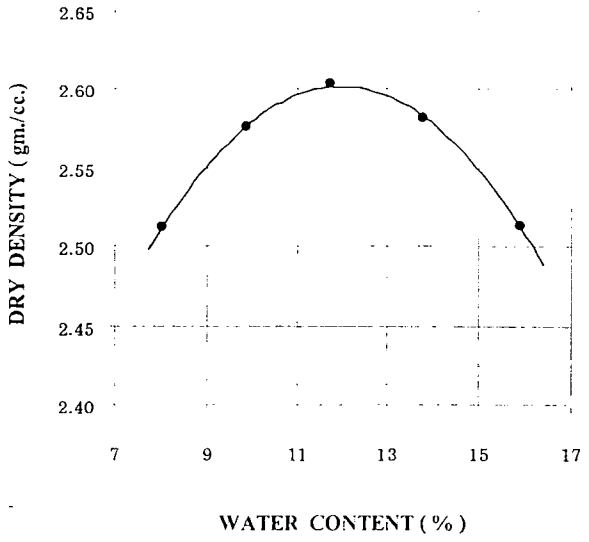
ผลการทดสอบการบดอัดของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ 1% ถึง 5% แสดงในรูปที่ 4-13 ถึง 4-17 ตามลำดับซึ่งได้ผลการทดลองคือ ตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1% มีค่า MAX. DRY DENSITY = 2.597 gm./cc. และ OPTIMUM MOISTURE CONTENT = 11.69 %, ตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 2% มีค่า MAX. DRY DENSITY = 2.599 gm./cc. และ OPTIMUM MOISTURE CONTENT = 11.72 %, ตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 3% มีค่า MAX. DRY DENSITY = 2.599 gm./cc. และ OPTIMUM MOISTURE CONTENT = 11.93 %, ตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 4% มีค่า MAX. DRY DENSITY = 2.602 gm./cc. และ OPTIMUM MOISTURE CONTENT = 11.93 %, และตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5% มีค่า MAX. DRY DENSITY = 2.607 gm./cc. และ OPTIMUM MOISTURE CONTENT = 12.00 %



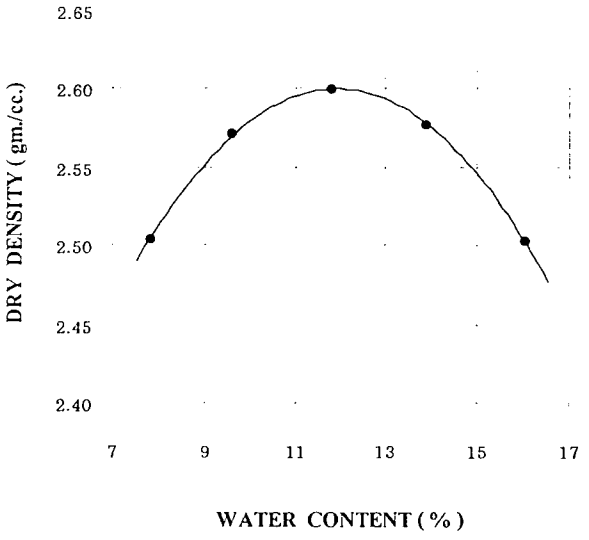

**รูปที่ 4-13** กราฟ Compaction test ของตะกรันเหล็ก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1%



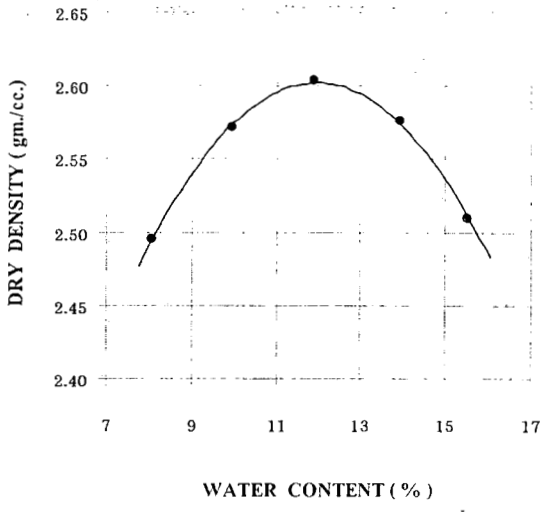

**รูปที่ 4-14** กราฟ Compaction test ของตะกรันเหล็ก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 2%




**รูปที่ 4-15** กราฟ Compaction test ของตะกรันเหล็ก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 3%

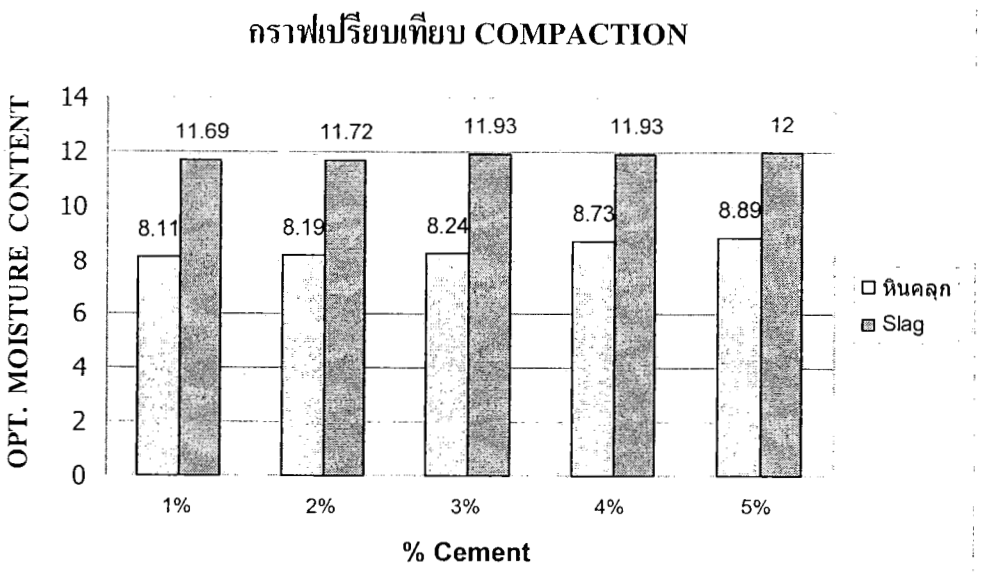



**รูปที่ 4-16** กราฟ Compaction test ของตะกรันเหล็ก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 4%

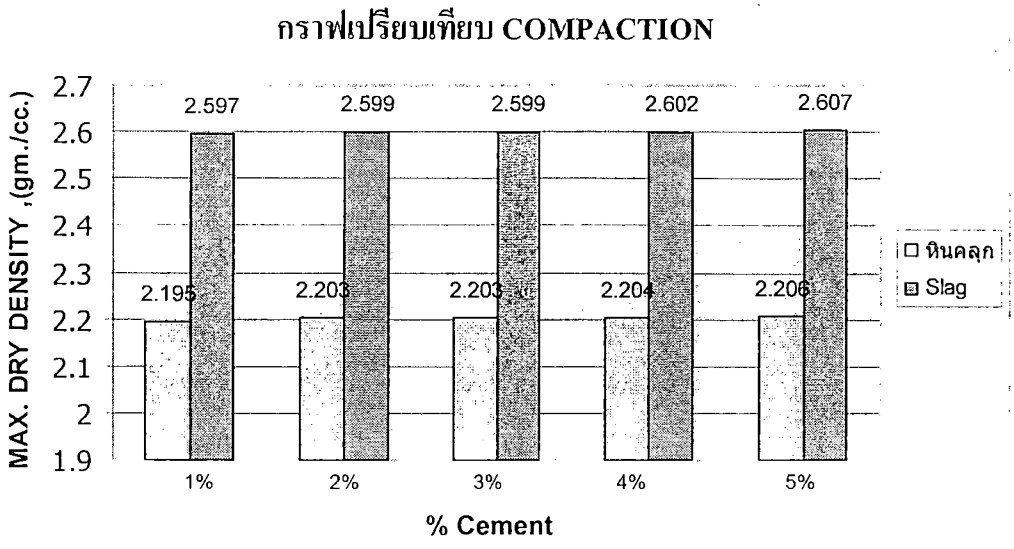



**รูปที่ 4-17** กราฟ Compaction test ของตะกรันเหล็ก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5%

การเปรียบเทียบ Optimum Moisture Content (OMC) ระหว่างหินคลุกผสมซีเมนต์ และ ตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ซีเมนต์แสดงในรูปที่ 4-18 การเปรียบเทียบ MAX. DRY DENSITY ระหว่างหินคลุกผสมซีเมนต์ และ ตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์แสดงในรูปที่ 4-19



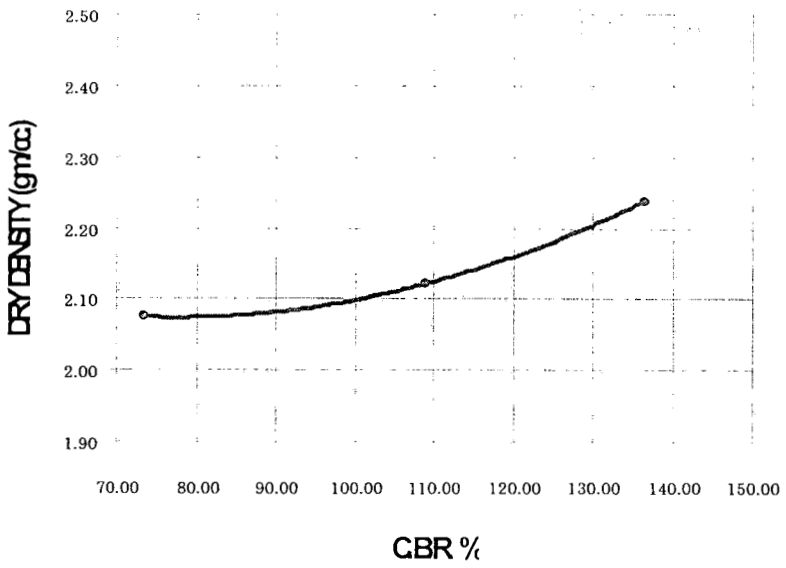

**รูปที่ 4-18** กราฟเปรียบเทียบ Optimum Moisture Content (OMC) ระหว่างหินคลุกผสมซีเมนต์ และตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์



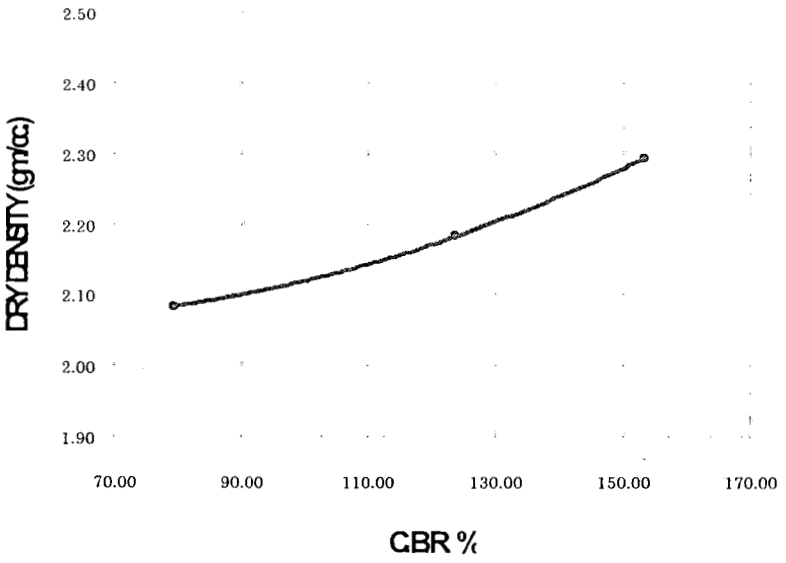

**รูปที่ 4-19** กราฟเปรียบเทียบ MAX. DRY DENSITY ระหว่างหินคลุกผสมซีเมนต์ และ ตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์

### 4.2.2 ผลการทดสอบ California bearing ratio (CBR)

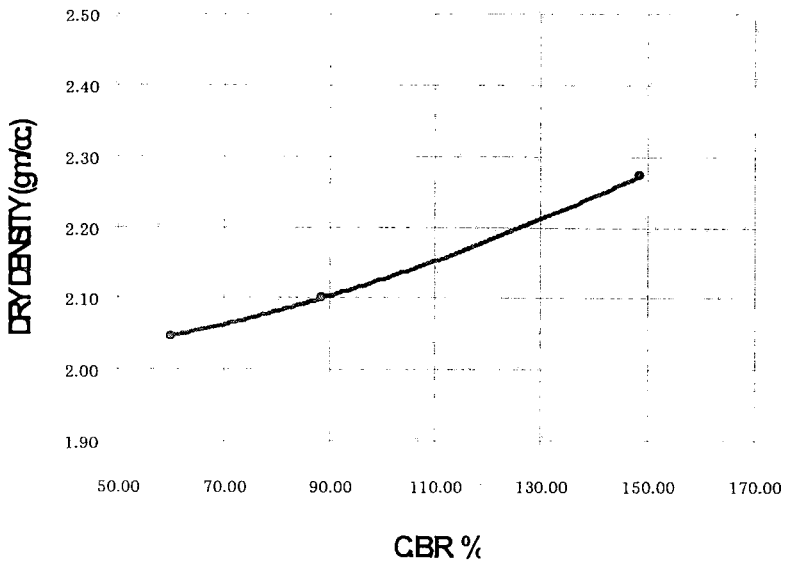
ผลการทดสอบ CBR ของหินคลุกผสมซีเมนต์ 1% ถึง 5% แสดงในรูปที่ 4-20 ถึง 4-24 ตามลำดับซึ่งได้ผลการทดลองคือ หินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1% มีค่า CBR ที่ความแน่นแห้ง 95 % = 82.13 % และค่าการพองตัว = 0.00 %, หินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 2% มีค่า CBR ที่ความแน่นแห้ง 95 % = 84.37 % และค่าการพองตัว = 0.00 %, หินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 3% มีค่า CBR ที่ความแน่นแห้ง 95 % = 84.96 % และค่าการพองตัว = 0.00 %, หินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 4% มีค่า CBR ที่ความแน่นแห้ง 95 % = 85.73 % และค่าการพองตัว = 0.00 %, และหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5% มีค่า CBR ที่ความแน่นแห้ง 95 % = 98.31 % และค่าการพองตัว = 0.00 %



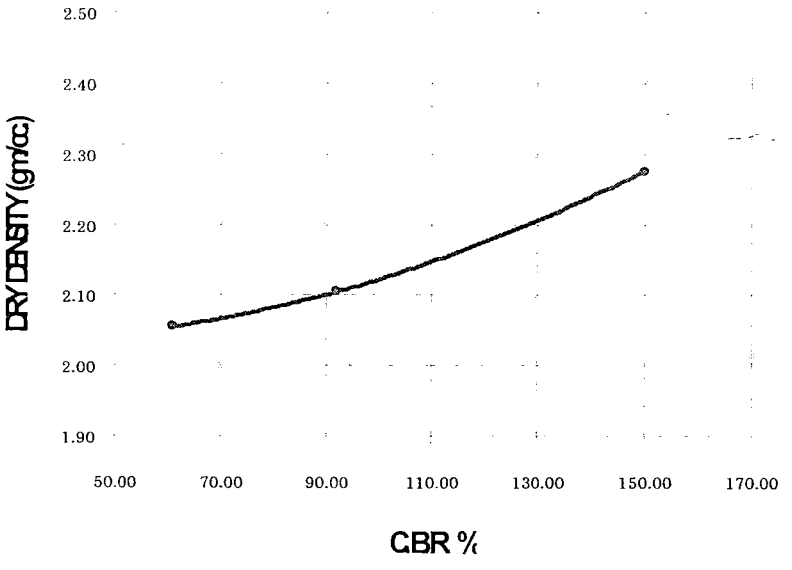

**รูปที่ 4-20** กราฟ CBR ของหินคลุก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1%



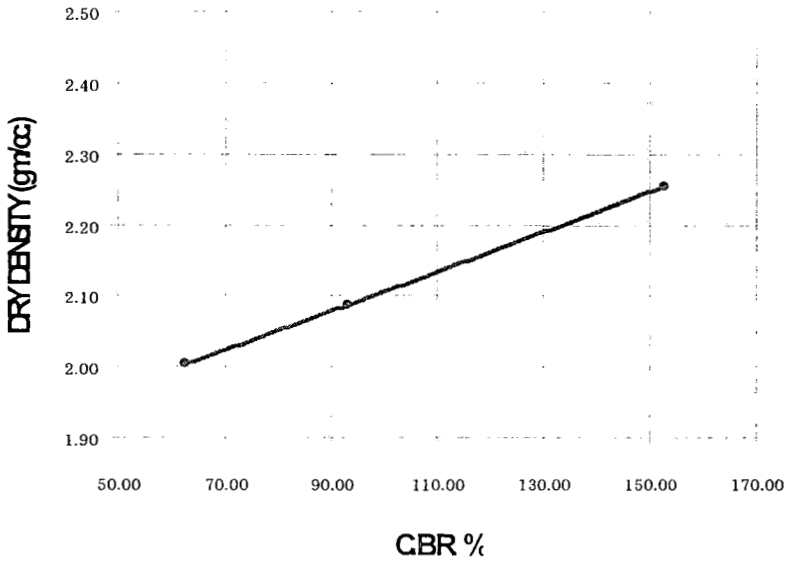

**รูปที่ 4-21** กราฟ CBR ของหินคลุก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 2%




**รูปที่ 4-22** กราฟ CBR ของหินคลุก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 3%

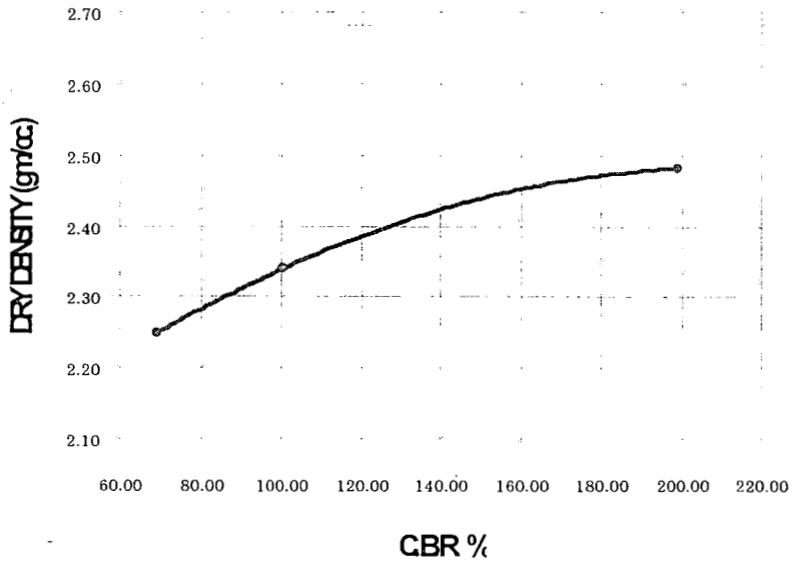



**รูปที่ 4-23** กราฟ CBR ของหินคลุก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 4%

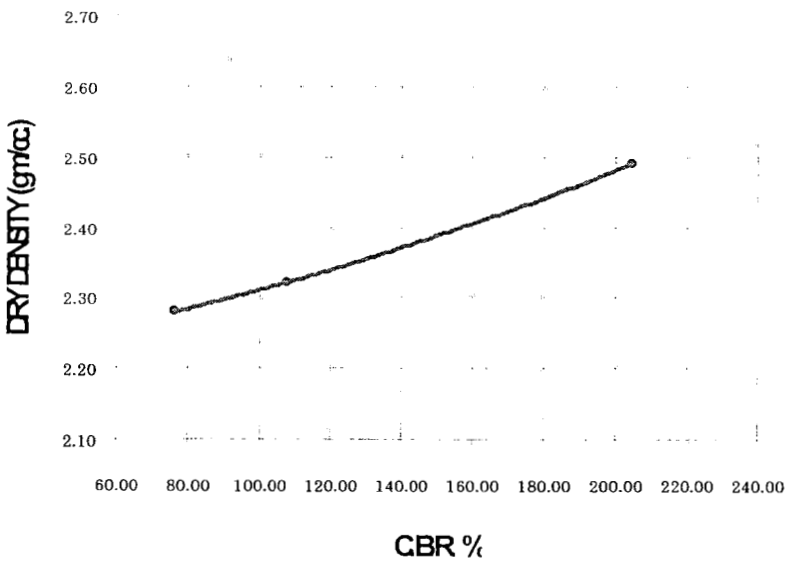



**รูปที่ 4-24** กราฟ CBR ของหินคลุก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5%

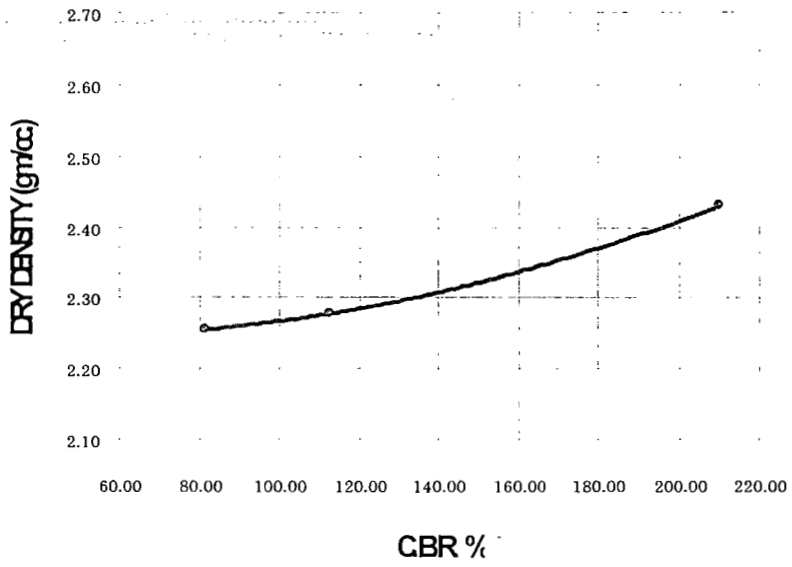
ผลการทดสอบ CBR ของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ 1% ถึง 5% แสดงในรูปที่ 4-25 ถึง 4-29 ตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดลองคือ หินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1% มีค่า CBR ที่ความแน่นแห้ง 95 % = 186.16 % และค่าการพองตัว = 0.00 %, หินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 2% มีค่า CBR ที่ความแน่นแห้ง 95 % = 194.93 % และค่าการพองตัว = 0.00 %, หินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 3% มีค่า CBR ที่ความแน่นแห้ง 95 % = 202.81 % และค่าการพองตัว = 0.00 %, หินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 4% มีค่า CBR ที่ความแน่นแห้ง 95 % = 214.01 % และค่าการพองตัว = 0.00 %, และหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5% มีค่า CBR ที่ความแน่นแห้ง 95 % = 220.94 % และค่าการพองตัว = 0.00 %



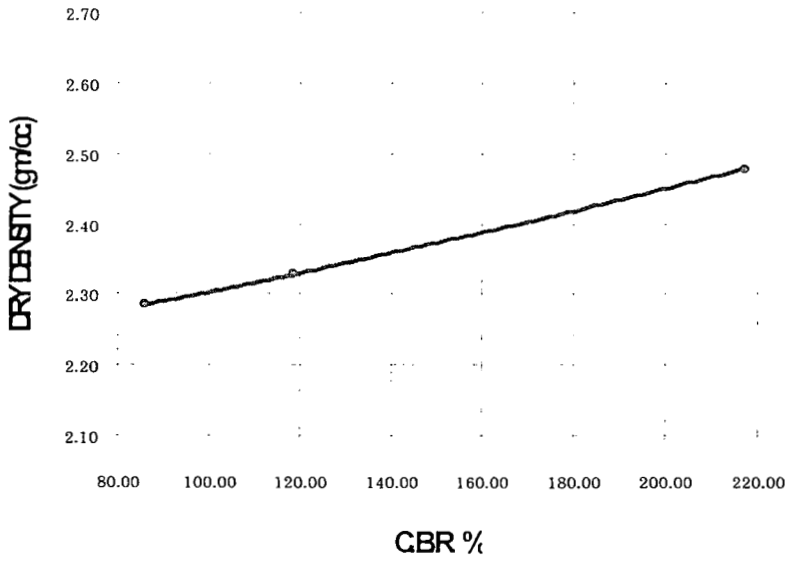

**รูปที่ 4-25** กราฟ CBR ของตะกรันเหล็ก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1%



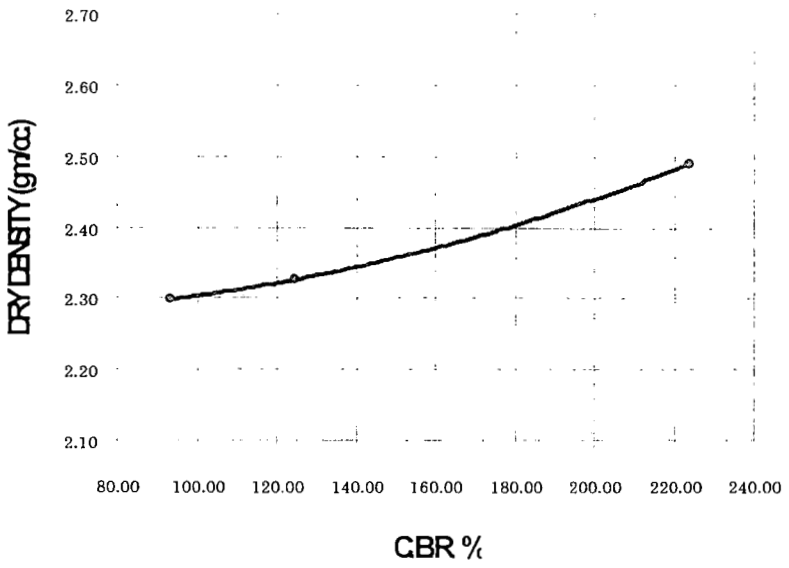

**รูปที่ 4-26** กราฟ CBR ของตะกรันเหล็ก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 2%




**รูปที่ 4-27** กราฟ CBR ของตะกรันเหล็ก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 3%

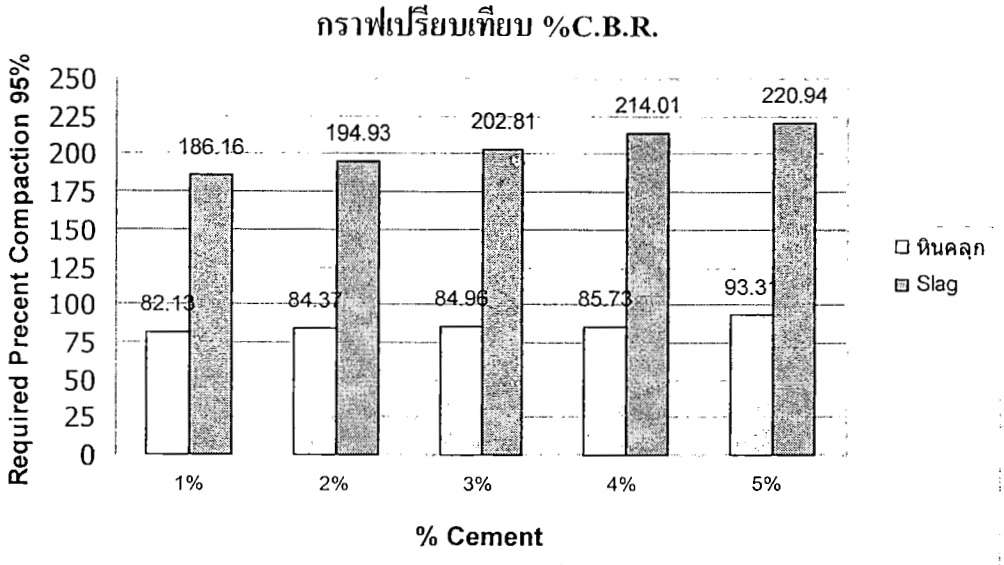



**รูปที่ 4-28** กราฟ CBR ของตะกรันเหล็ก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 4%




**รูปที่ 4-29** กราฟ CBR ของตะกรันเหล็ก ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5%

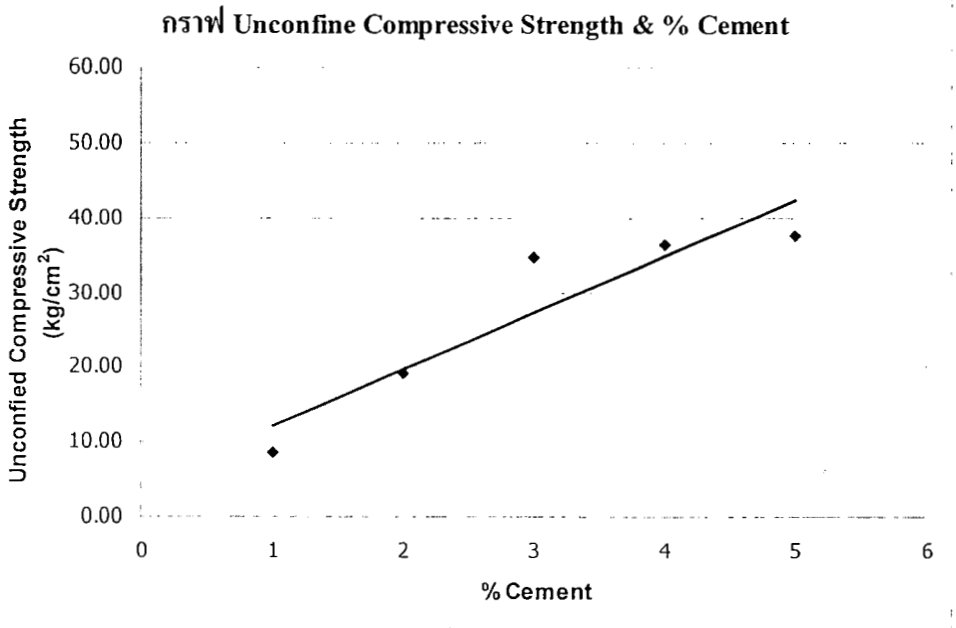
การเปรียบเทียบ California Bearing Ratio (CBR) ระหว่างหินคลุกผสมซีเมนต์ และ ตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์แสดงในรูปที่ 4-30



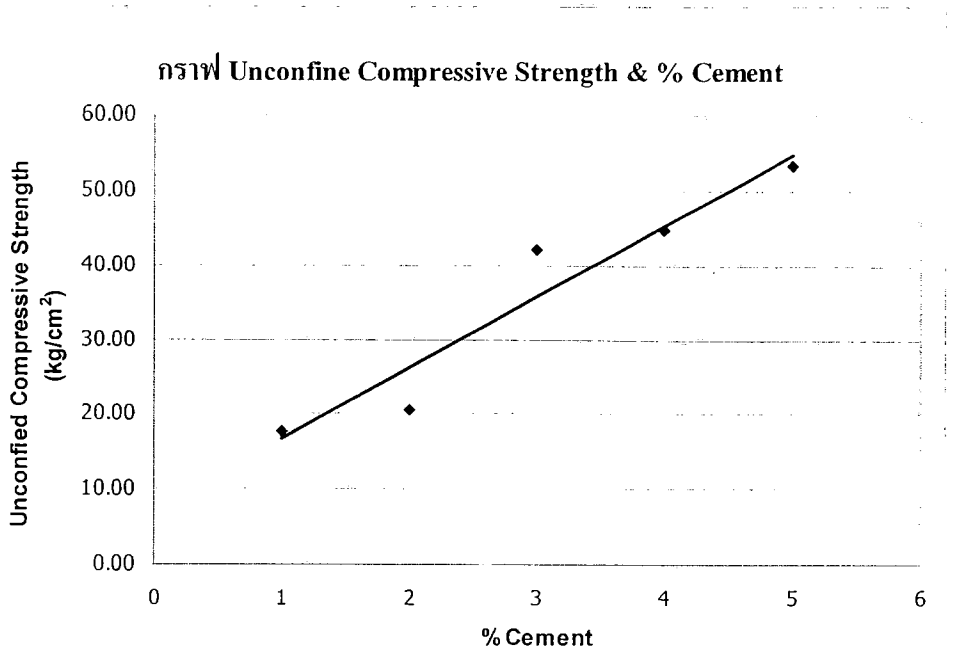

**รูปที่ 4-30** กราฟเปรียบเทียบ California Bearing Ratio (CBR) ระหว่างหินคลุกผสมซีเมนต์ และ ตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์

### 4.2.3 ผลการทดสอบ Unconfined Compressive Strength

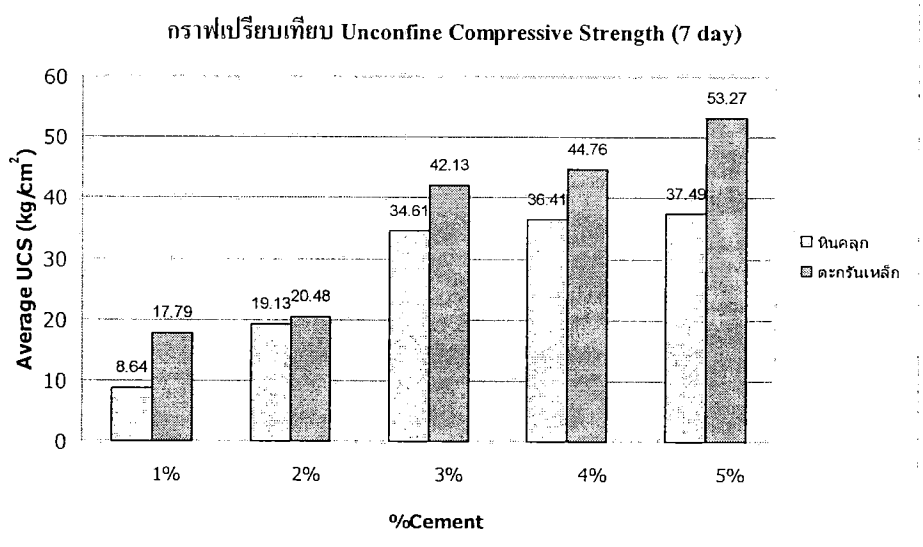
ผลการทดสอบ Unconfined Compressive Strength ของหินคลุกผสมซีเมนต์ (ที่ 7 วัน) แสดงในรูปที่ 4-31 และของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ (ที่ 7 วัน) แสดงในรูปที่ 4-32 โดยแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองในรูปที่ 4-33




**รูปที่ 4-31** กราฟ Unconfined Compressive Strength ของหินคลุกผสมซีเมนต์ ที่ 7 วัน

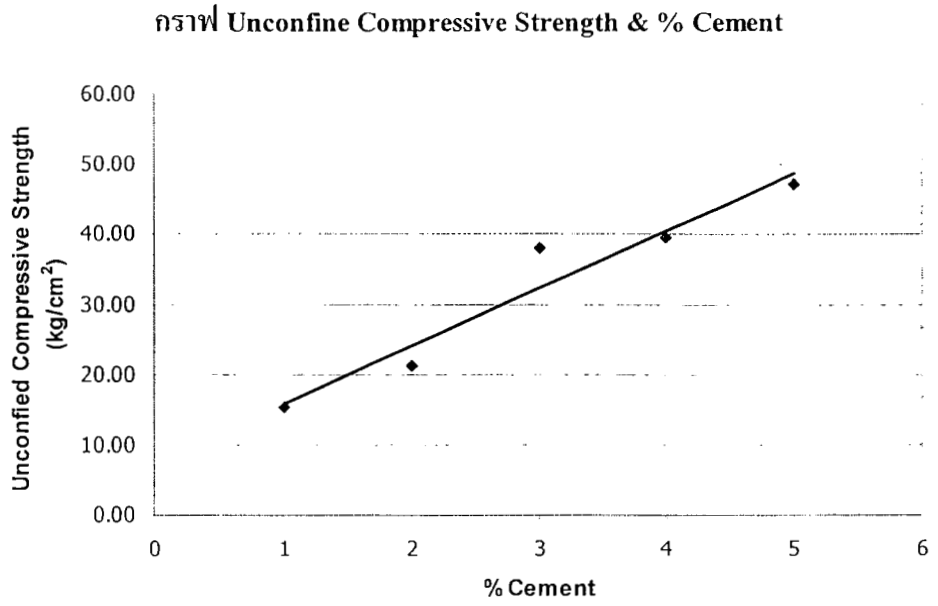



**รูปที่ 4-32** กราฟ Unconfined Compressive Strength ของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ ที่ 7 วัน

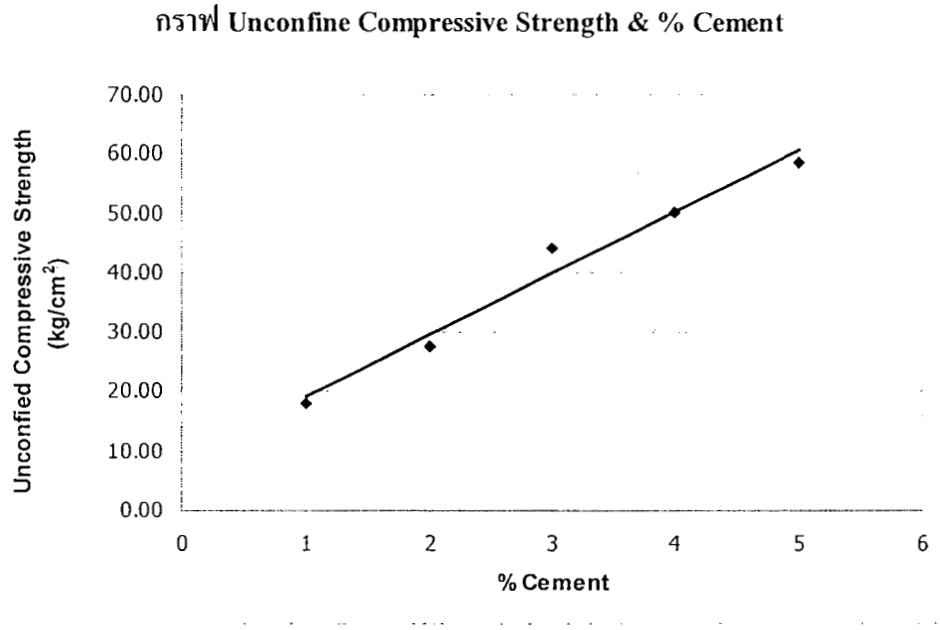



**รูปที่ 4-33** กราฟเปรียบเทียบ Unconfined Compressive Strength ระหว่างหินคลุกผสมซีเมนต์ และ ตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ (ที่ 7 วัน)

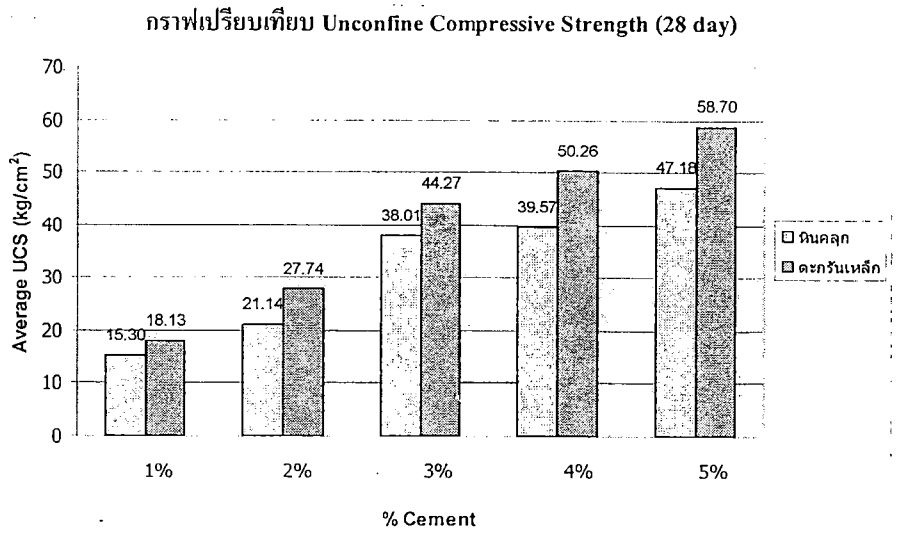
ผลการทดสอบ Unconfined Compressive Strength ของหินคลุกผสมซีเมนต์ (ที่ 28 วัน) แสดงในรูปที่ 4-34 และของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ (ที่ 28 วัน) แสดงในรูปที่ 4-35 โดยแสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองในรูปที่ 4-36




**รูปที่ 4-34** กราฟ Unconfined Compressive Strength ของหินคลุกผสมซีเมนต์ (ที่ 28 วัน)




**รูปที่ 4-35** กราฟ Unconfined Compressive Strength ของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ (ที่ 28 วัน)

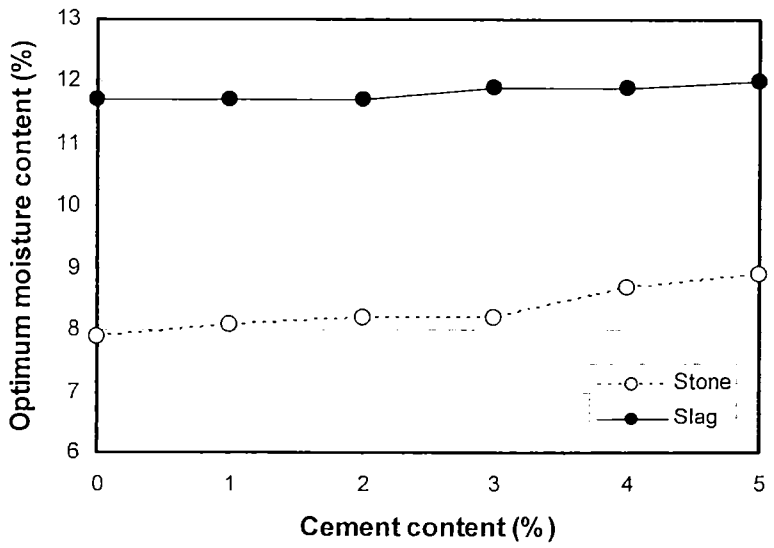



**รูปที่ 4-36** กราฟเปรียบเทียบ Unconfined Compressive Strength ระหว่างหินคลุกผสมซีเมนต์ และ ตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ (ที่ 28 วัน)

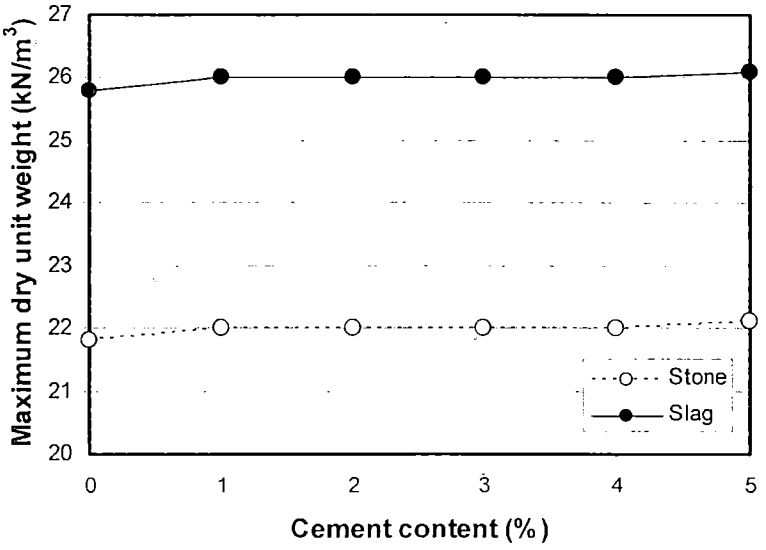
## 4.3 วิเคราะห์ผลการทดลอง

### 4.3.1 การทดลองการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

รูปที่ 4-37 และ 4-38 แสดงผลของปริมาณซีเมนต์ต่อพฤติกรรมการบดอัด ซึ่งจะเห็นว่าเมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้นค่าความชื้นที่เหมาะสม (optimum moisture content) และค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด (maximum dry unit weight) จะค่อนข้างคงที่




**รูปที่ 4-37** ผลของปริมาณซีเมนต์ต่อค่าความชื้นที่เหมาะสม




**รูปที่ 4-38** ผลของปริมาณซีเมนต์ต่อค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด

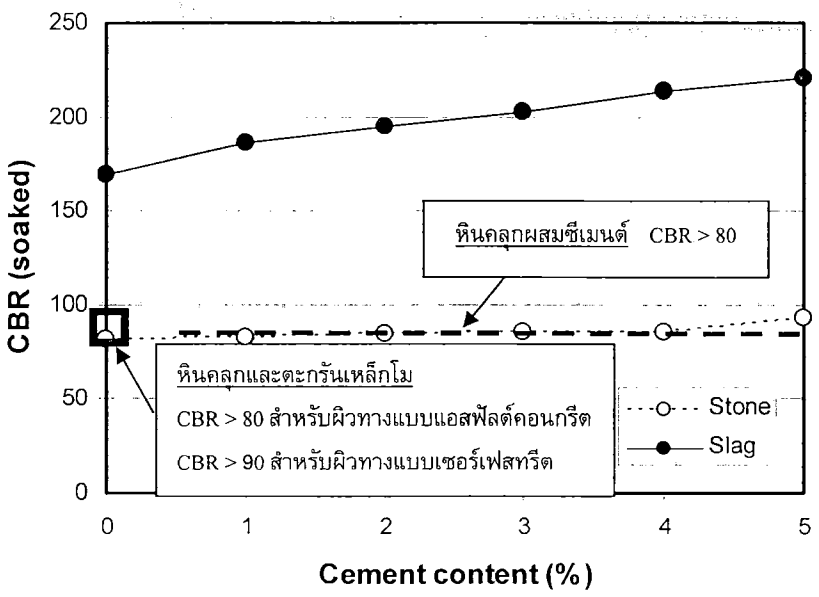
### 4.3.2 การทดลอง CBR แบบแช่น้ำ

ผลการทดลอง CBR แบบแช่น้ำได้สรุปในตาราง 4-2 รูปที่ 4-39 แสดงผลของปริมาณซีเมนต์ต่อค่า CBR (soaked) ผลการทดลองจากหินคลุกพบว่ามีค่า CBR เท่ากับ 81 ซึ่งเหมาะสำหรับผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีต (ต้องการ CBR > 80) แต่ไม่เหมาะสำหรับผิวทางแบบเซอร์เฟสทรีตเมนต์ (ต้องการ CBR > 90) ส่วนผลการทดลองจากตะกรันเหล็กโม่มีค่า CBR เท่ากับ 170 ซึ่งมากกว่าของหินคลุก 2 เท่า

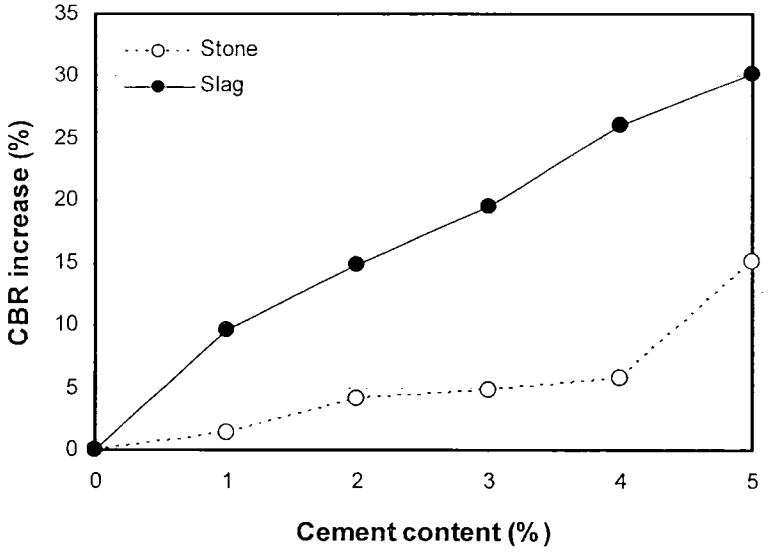
เมื่อผสมซีเมนต์กับหินคลุกและตะกรันเหล็กโม่จะพบว่าค่า CBR ของวัสดุทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามรูปที่ 4-40 แสดงว่าตะกรันเหล็กมีการเพิ่มของค่า CBR ในอัตราส่วนที่มากกว่าหินคลุกมาก การทดลอง CBR แบบแช่น้ำแสดงว่าการบวมตัวของทุกตัวอย่างมีค่าน้อยมาก

**ตารางที่ 4-2** ผลการทดสอบ CBR

| ปริมาณซีเมนต์ | หินคลุก | ตะกรันเหล็กโม่ |
|---|---|---|
| 0% | 81 | 170 |
| 1% | 82 | 186 |
| 2% | 81 | 195 |
| 3% | 81 | 203 |
| 4% | 86 | 214 |
| 5% | 93 | 221 |




**รูปที่ 4-39** ผลของปริมาณซีเมนต์ต่อค่า CBR (soaked)




**รูปที่ 4-40** การเพิ่มขึ้นของค่า CBR เนื่องจากปริมาณซีเมนต์

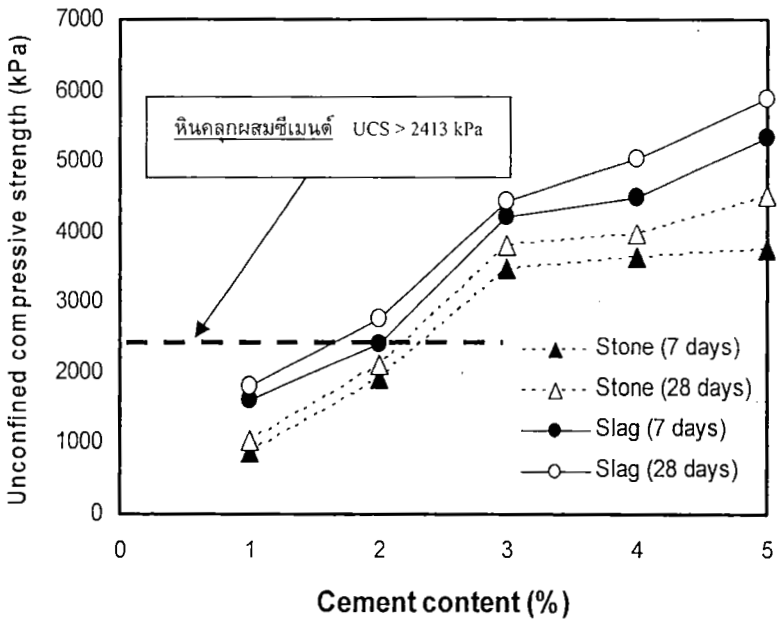
### 4.3.3 การทดลองกำลังรับแรงอัดแบบ Unconfined Compressive Strength (UCS)

ตารางที่ 4-3 และ รูปที่ 4-41 แสดงผลของปริมาณซีเมนต์ต่อค่า UCS ของหินคลุกและตะกรันเหล็กโม่ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน พิจารณาผลกระทบของปริมาณซีเมนต์จะพบว่ายิ่งปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้นค่า UCS ก็จะยิ่งมากขึ้น โดยที่ปริมาณซีเมนต์เท่ากันตะกรันเหล็กโม่จะมีค่า UCS มากกว่าหินคลุก ตามมาตรฐาน ทล-

ม 203/2532 นั้นหินคลุกต้องการปริมาณปูนซีเมนต์ 2.5% ในขณะที่ตะกรันเหล็กโม่ต้องการปริมาณปูนซีเมนต์ 2%

**ตารางที่ 4-3** ผลการทดสอบ UCS (หน่วยเป็น kPa)

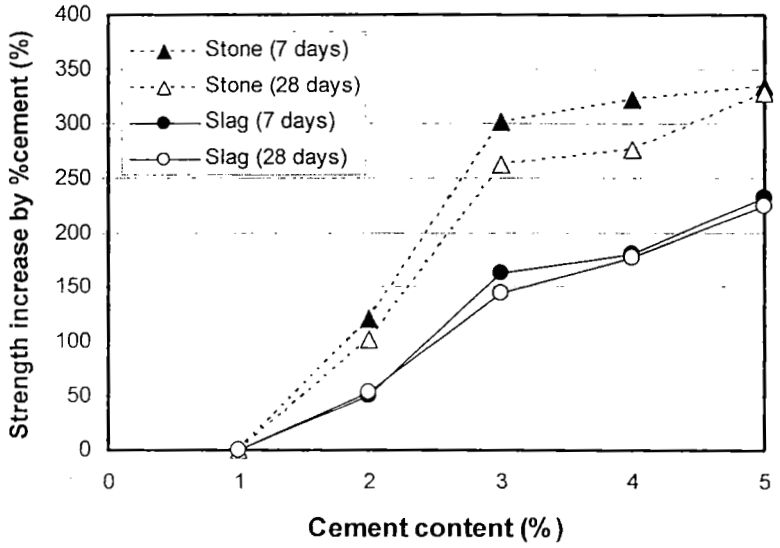
| ปริมาณซีเมนต์ | บ่ม 7 วัน | | บ่ม 28 วัน | |
|---|---|---|---|---|
| | หินคลุก | ตะกรันเหล็กโม่ | หินคลุก | ตะกรันเหล็กโม่ |
| 1% | 864 | 1600 | 1050 | 1813 |
| 2% | 1913 | 2400 | 2114 | 2774 |
| 1% | 3461 | 4213 | 3801 | 4427 |
| 4% | 3641 | 4476 | 3957 | 5026 |
| 5% | 3749 | 5327 | 4500 | 5820 |



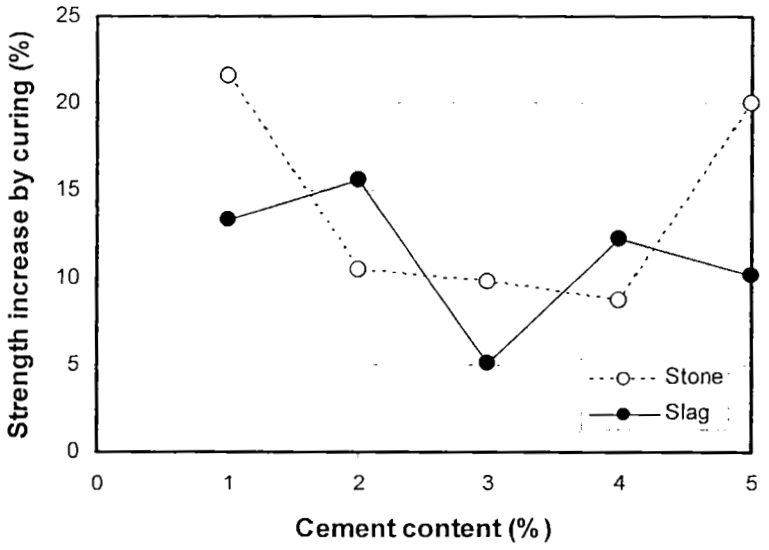

**รูปที่ 4-41** ผลของปริมาณซีเมนต์ต่อค่า UCS

รูปที่ 4-42 แสดงการเพิ่มขึ้นของค่า UCS กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณซีเมนต์ซึ่งแสดงว่าเมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้นค่า UCS ของหินคลุกเพิ่มขึ้นในอัตราประมาณ 2 เท่าของตะกรันเหล็กโม่ โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า UCS จะมีมากเมื่อปริมาณซีเมนต์ไม่เกิน 3% เมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์มากกว่านี้อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า UCS จะลดลง

รูปที่ 4-43 แสดงการเพิ่มขึ้นของค่า UCS จากระยะเวลาการบ่มซึ่งจะพบว่าค่า UCS จะเพิ่มขึ้นประมาณ 10% เมื่อเพิ่มระยะเวลาการบ่มจาก 7 วันเป็น 28 วัน โดยอัตราการเพิ่มขึ้นนี้มีค่าคงที่ที่ทุกปริมาณซีเมนต์ที่น้อยกว่า 5%




**รูปที่ 4-42** การเพิ่มขึ้นของค่า UCS กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณซีเมนต์




**รูปที่ 4-43** การเพิ่มขึ้นของค่า UCS จากระยะเวลาการบ่ม

### 4.3.4 การบวมตัวของตะกรันเหล็ก

การที่ตะกรันเหล็กโม่มี CaO มาก (30-55%) และอัตราส่วน $CaO/SiO_2$ ที่มาก (ประมาณ 2.0) ชี้ว่าวัสดุอาจจะไม่เสถียรเมื่อมีน้ำเพราะปฏิกริยา hydration ของ free CaO และ MgO และปฏิกริยา oxidation และ corrosion ของ metallic oxide ที่ยังเหลืออยู่ ซึ่งจะทำให้เกิดการบวมตัวมาถึง 14% ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกของวัสดุมวลรวม (Mathur et al, 1999) การทดสอบ x-ray diffraction โดย Mancio (2001) ยังแสดงว่ามีส่วนที่ไม่เสถียรของ $\beta$-$Ca_2SiO_4$ (larnite) ซึ่งทำให้เกิดการบวมตัวด้วย Aiban (2000) ได้รายงานการบวมตัวของถนนในซาอุดิอาระเบีย การบวมตัวนี้จำกัดการใช้ตะกรันเหล็กโม่ในสภาพที่ต้องไม่มีเหตุที่ส่งเสริมให้เกิดการบวมตัว เช่น ในสภาพที่มีค่า void ratio สูง

แนวโน้มในการบวมตัวขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของตะกรันเหล็กโม่, ขนาดคละ, และอายุ ระดับของการบวมตัวที่ยอมรับได้ขึ้นอยู่กับชนิดของการใช้งาน Kandhal & Hoffman (1997) ใช้วิธี PTM 130 ในการหาค่าการบวมตัวของตะกรันเหล็กโม่ที่บ่มที่ระยะเวลาต่างๆ ตะกรันเหล็กโม่ที่ถูกบดอัดจะแช่ในน้ำ 7 วันในน้ำอุ่น ($71\pm3$ °C) และย้ายจากน้ำอุ่นมารักษาความอิ่มตัวด้วยน้ำอีก 7 วัน ระหว่างระยะเวลา 2 สัปดาห์นี้มีการวัดการเปลี่ยนแปลงของความสูงของตัวอย่าง และพบว่าตะกรันเหล็กโม่ที่ทิ้งไว้มากกว่า 6 เดือนบวมตัวเพียง 0.3% แต่ที่ไม่ได้ทิ้งไว้จะบวมตัว 2.8% ซึ่งแสดงถึงความสำคัญของระยะเวลาการเก็บเพื่อให้มีการบวมตัวอยู่ในระดับที่ยอมรับได้สำหรับงานถนน (<0.5%)

ดังนั้นตะกรันเหล็กโม่สามารถใช้ในการสร้างถนนอย่างปลอดภัยถ้าได้ถูกความชื้นเพียงพอซึ่งการกระทำโดยทั่วไปก็คือการเก็บตะกรันเหล็กโม่ไว้ในอากาศเปิดเป็นระยะเวลาต่างๆเพื่อให้สารที่มีแนวโน้มที่จะบวมตัวมีความเสถียรขึ้น (free oxide และ metallic iron) ระยะเวลาที่ต้องการขึ้นอยู่กับว่ามีส่วนประกอบที่มีแนวโน้มในการบวมตัวมากเพียงใดและสภาพอากาศ (เช่นอุณหภูมิ ปริมาณฝน ความชื้น) และโดยทั่วไปมีระยะเวลา 3-12 เดือน (Machado, 2000)

# บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง

โครงการวิจัยนี้ศึกษาการใช้ตะกรันเหล็กโม่ซึ่งเป็นของเสียที่ได้จากอุตสาหกรรมผลิตเหล็กในการก่อสร้างถนน โดยผลการศึกษาพบว่าที่ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากันตะกรันเหล็กโม่ผสมซีเมนต์มีคุณสมบัติทางกำลังดีกว่าหินคลุกผสมซีเมนต์ นอกจากนี้ตะกรันเหล็กมีลักษณะของมวลรวมที่ดีกว่า limestone และ dolomite เพราะตะกรันเหล็กมีค่า crushing strength สูงและการดูดซึมน้ำต่ำ ซึ่งลดการวิบัติของชั้นทางภายใต้น้ำหนักล้อที่มากและความชื้นสูงและยังทำให้ใช้ชั้นทางที่บางลงและถูกลง นอกจากนี้ผลการศึกษาจะช่วยในการพัฒนามาตรฐานพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ผสมซีเมนต์ซึ่งยังไม่มีมาตรฐานการใช้งานสำหรับกรมทางหลวง อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องการบวมตัวและการทดสอบว่าตะกรันเหล็กโม่เป็นวัสดุที่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อมหรือไม่และมีการทดสอบคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ที่เหมาะสมในการที่จะใช้เป็นวัสดุทำชั้นพื้นทาง โดยผลการทดลองสามารถสรุปเป็นข้อๆได้ดังนี้

1. สำหรับผลการทดสอบ Compaction test แบบสูงกว่ามาตรฐานของหินคลุกและตะกรันเหล็กในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5% โดยน้ำหนักของมวลรวม จะพบว่า ค่า OPTIMUM MOISTURE CONTENT (OMC) และ ค่า MAX. DRY DENSITY ของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์มีค่าที่สูงกว่าหินคลุกผสมซีเมนต์ และจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของปูนซีเมนต์
2. สำหรับผลการทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) ของหินคลุกผสมซีเมนต์ และตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5% โดยน้ำหนักของมวลรวมจะพบว่า % CBR ของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์มีค่ามากกว่า % CBR ของหินคลุกผสมซีเมนต์ และจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของปูนซีเมนต์ ซึ่งแสดงว่าความสามารถในการรับกำลังอัดของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ดีกว่าหินคลุกผสมซีเมนต์
3. สำหรับผลการทดสอบ Unconfined Compressive Strength ของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์และหินคลุกผสมซีเมนต์ในอัตราส่วนปูนซีเมนต์ 0, 1, 2, 3, 4 และ 5% โดยน้ำหนักของมวลรวม จะพบว่าตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์มีค่า Unconfined Compressive Strength ที่มากกว่าหินคลุกผสมซีเมนต์ และจะมีค่า Unconfined Compressive Strength เพิ่มมากขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ของปูนซีเมนต์ และระยะเวลาในการบ่มตัวอย่างมีผลในการพัฒนากำลังอัดของแท่งตัวอย่าง
4. เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์จะพบว่าเมื่อเราพิจารณาทางด้านวิศวกรรมเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุถ้าเราใช้ตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์เป็นวัสดุชั้นพื้นทางแทนหินคลุกจะทำให้สามารถลดปริมาณวัสดุลงได้จึงทำให้ต้นทุนในการก่อสร้างลดลงตามไปด้วย ซึ่งจะแสดงตัวอย่างในการประมาณราคาดังตัวอย่างการก่อสร้างในภาคผนวก ค

# เอกสารอ้างอิง

ปฐม อินทร และอุทุมพร วสุอนันต์ผล. "วัสดุน้ำหนักเบาเพื่อใช้ทดแทนหินในงานผสมคอนกรีต." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2546.

เศกสรรค์ ชูทับทิม และมนัส เสงี่ยมสุข. "การศึกษาการใช้ตะกรันเตาหลอมเหล็กเป็นมวลรวมหยาบ." สำนักวิจัยและพัฒนา กรมชลประทาน.

อานนท์ ชัยพานิช และทนงศักดิ์ โนไชยา. "อิทธิพลของตะกรันเหล็กผลิตในประเทศต่อค่ากำลังอัดของซีเมนต์เพสต์." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545.

มาตรฐานพื้นทางหินคลุก (Crushed Rock) มาตรฐานที่ ทล.-ม. 201/2544

มาตรฐานพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ (Crushed Slag) มาตรฐานที่ ทล.-ม. 210/2547

วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (เทียบเท่า AASHTO T 180) การทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517

วิธีการทดลองหาค่า California Bearing Ratio (CBR) (เทียบเท่า AASHTO T 193) การทดลองที่ ทล.-ท. 109/2517

วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน (เทียบเท่า AASHTO T 208) การทดลองที่ ทล.-ท. 105/2515

มาตรฐานพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base) มาตรฐานที่ ทล.-ม.203/2532

Ahmed, I. and Lowell, C. W. (1992), "Use of Waste Materials n Hughway Construction: State of the Practice and Evaluation of the Selected Waste Products", *Transportation Research Record*, No. 1345, pp. 1-9

Aiban, S. A. (2000), "Utilization of Steel Slag Aggregate for Road Bases and Associated Problems", *Int. Conf. Geoenviroment 2000*, Muscat, Oman, pp. 204-214

Bayomy, F. and Al-Abdul Wahhab, . I. (1997), "Utilization of Hadeed Slag n Pavement Construction in Saudi Arabia", *Proc. of the 3rd Gulf Conference*, pp. 5.97-5.111

Chesner, W. H., Stein, C. W., Collns, R. J., and van Helden, L. (2000), "Waste and Reveled Materials in the Transportation Industry", in *NCHRP 4-21 Information Database*, version 1.0.8, TRB, National Research Council, Washington, D. C.

Emery, J. I. (1982), "Slag Utilization in Pavement Construction", in *Extending Aggregate Resources*, ASTM STP 774, pp. 95-118

Heaton, B. S. (1995), "Developments in the Use of Slags from Iron and Steel Plants in Road Pavements", *Research Report No. 113.08*, University of Newcastle

Kandhal, P. S. and Hoffman, G. L. (1997), "Evaluation of Steel Slag Fine Aggregate in it-Mix Asphalt mixtures", *Transportation Research Record*, No. 1583, pp. 28-36

Lucio, A. (1981), *Physico-Chemical Metallurgy*, Vol. 2, Belo Horizonta

Machado, A. T. A. (2000), "A Comparative Study of Test Methods for Evaluating Steel Slag Expansion", *M.Sc. Thesis*, University of Sao Paulo, Brazil

Mancio, M. (2001), Contribution to the Study of Volumetric Instabilty of Electric Arc Furnace of Steel Slag", *M.Sc. Thesis*, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil

Mathur, S., Soni, S. K., and Murty, A. (1999), "Utilization of Industrial Wastes in Low-Volume Roads", *Transportation Research Record*, No. 1652, pp. 245-256

Rohde,L. Nunez, W. P., and Ceratti, J. A. P. (2003), "Electric arc furnace steel slag. Base material for low-volume roads", *Transportation Research Record*, No. 1819, Vol. 2, pp. 201-207

Sherwood, P. T. (1995), "The Use of Waste and Recycled Materials in Roads", *Transport*, Proc. of Institute of Civil Engineers, May 1995, pp. 116-124

Shi, C. (2004), "Steel Slag – Its Production, Processing, Characteristics, and Cementitious Properties", *Journal of Material in Civil Engineering*, ASCE, Vol. 16, No. 3, pp. 230-236

# ภาคผนวก ก

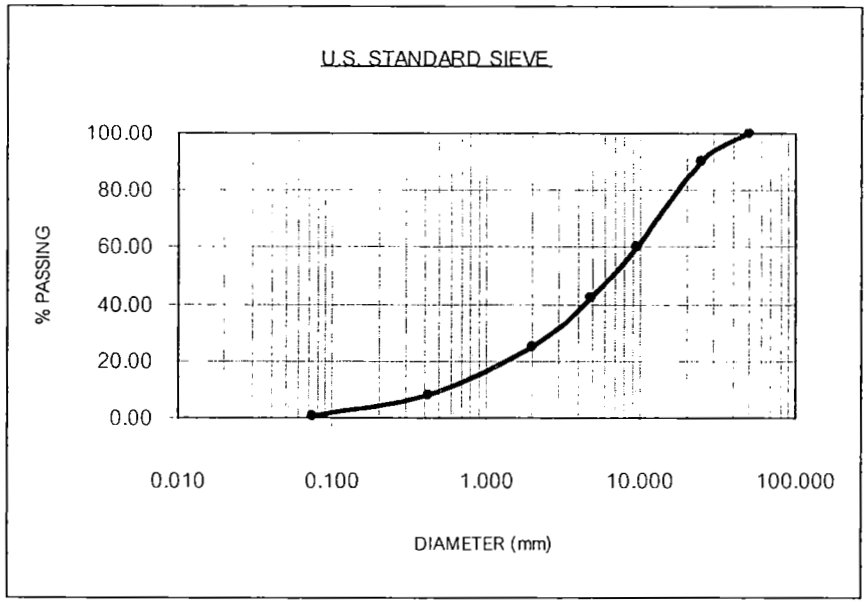
# คุณสมบัติของมวลรวม

# SIEVE ANALYSIS

**Description of Sample :** หินคลุก

**Weight of Dry Sample :** 4000

| Sieve No. | Sieve Opening | Sieve wt. | Sieve + sand wt | Mass Retained (g) | Cumulative Retained (g) | % Retained | % Passing |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2" | 50.000 | 463.3 | 463.3 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.000 | 534.9 | 920.6 | 385.7 | 385.7 | 9.64 | 90.36 |
| 3/8" | 9.500 | 493.3 | 1705.4 | 1212.1 | 1597.8 | 39.95 | 60.06 |
| #4 | 4.750 | 459.8 | 1171.8 | 712.0 | 2309.8 | 57.75 | 42.26 |
| #10 | 2.000 | 419.9 | 1108.6 | 688.7 | 2998.5 | 74.96 | 25.04 |
| #40 | 0.425 | 331.9 | 1013.0 | 681.1 | 3679.6 | 91.99 | 8.01 |
| #200 | 0.075 | 299.7 | 602.0 | 302.3 | 3981.9 | 99.55 | 0.45 |
| PAN | PAN | 358.6 | 376.7 | 18.1 | 4000.0 | 100.00 | 0.00 |
| | | | | | | Grade | B |



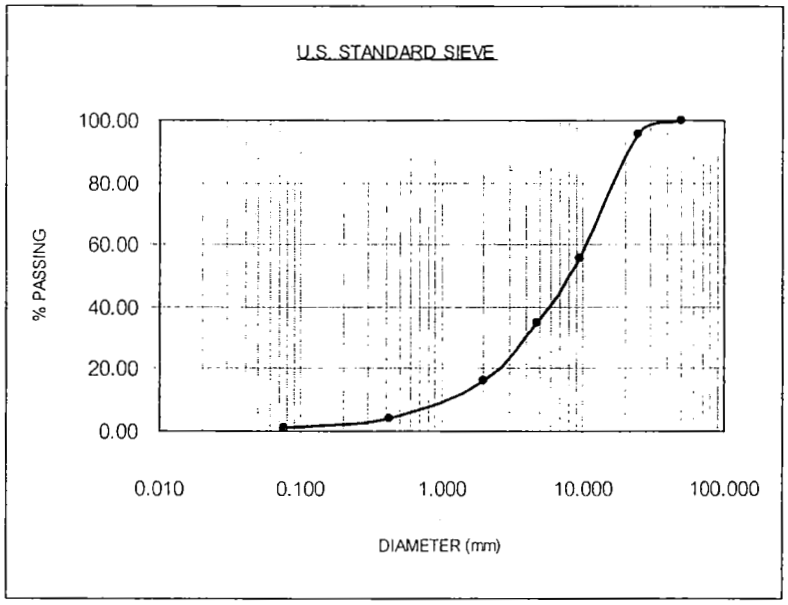

**รูปที่ ก-1** กราฟ Sieve Analysis ของหินคลุก

# SIEVE ANALYSIS

**Description of Sample :** **Slag**

**Weight of Dry Sample :** **4000**

| Sieve No. | Sieve Opening | Sieve wt. | Sieve + sand wt | Mass Retained (g) | Cumulative Retained (g) | % Retained | % Passing |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2" | 50.000 | 473.4 | 473.4 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 100.00 |
| 1" | 25.000 | 550.1 | 731.2 | 181.1 | 181.1 | 4.53 | 95.47 |
| 3/8" | 9.500 | 501.9 | 2087.3 | 1585.4 | 1766.5 | 44.16 | 55.84 |
| #4 | 4.750 | 468.8 | 1308.8 | 840.0 | 2606.5 | 65.16 | 34.84 |
| #10 | 2.000 | 431.0 | 1175 | 744.0 | 3350.5 | 83.76 | 16.24 |
| #40 | 0.425 | 332.6 | 833 | 500.4 | 3850.9 | 96.27 | 3.73 |
| #200 | 0.075 | 306.9 | 417 | 110.1 | 3961.0 | 99.03 | 0.98 |
| PAN | PAN | 364.6 | 403.6 | 39.0 | 4000.0 | 100.00 | 0.00 |
| | | | | | | Grade | B |




**รูปที่ ก-2** กราฟ Sieve Analysis ของตะกรันเหล็ก

# COMPACTION TEST

## MOD. PROCTOR

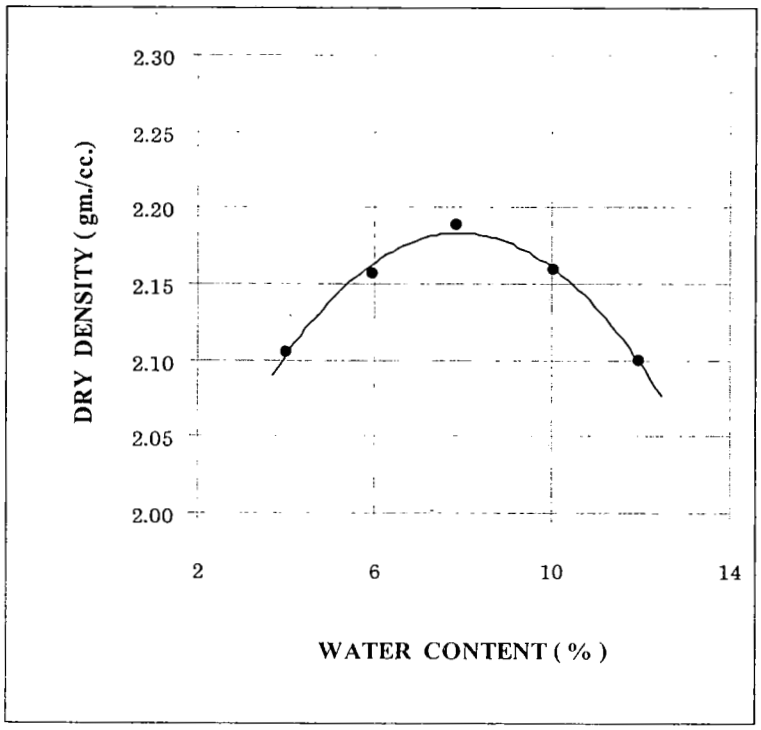
ชนิดตัวอย่าง : หินคลุก VOLUME OF MOLD = 2086 cc.

แหล่งวัสดุ : โรงโม่หิน อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี WT. OF MOLD = 6530.9 gm.

| DENSITY | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **DETERMINATION No.** | | **1** | **2** | **1** | **2** | **1** |
| WT. MOLD + COMPACTED SOIL | gm. | 11098 | 11298.3 | 11455.9 | 11487.3 | 11432.4 |
| WT. MOLD | gm. | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 |
| WT. SOIL | gm. | 4567.1 | 4767.4 | 4925 | 4956.4 | 4901.5 |
| WET DENSITY | gm./cc. | 2.189 | 2.285 | 2.361 | 2.376 | 2.350 |
| **DRY DENSITY** | gm./cc. | 2.105 | 2.157 | 2.189 | 2.159 | 2.099 |
| **DENSITY** | | | | | | |
| CONTAINER No. | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| WT. CONTAINER + WET SOIL | gm. | 113.50 | 112.40 | 108.40 | 110.00 | 115.60 |
| WT. CONTAINER + DRY SOIL | gm. | 109.70 | 106.90 | 101.60 | 101.30 | 104.80 |
| WT. WATER | gm. | 3.80 | 5.50 | 6.80 | 8.70 | 10.80 |
| WT. CONTAINER | gm. | 14.40 | 14.40 | 15.20 | 14.60 | 14.40 |
| WT. DRY SOIL | gm. | 95.30 | 92.50 | 86.40 | 86.70 | 90.40 |
| **WATER CONTENT** | % | 3.99 | 5.95 | 7.87 | 10.03 | 11.95 |

**MAX. DRY DENSITY = 2.183 gm./cc.**

**OPT. MOISTURE CONTENT = 7.90 %**




**รูปที่ ก-3** กราฟ Compaction Test (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) ของหินคลุก

# COMPACTION TEST

## MOD. PROCTOR

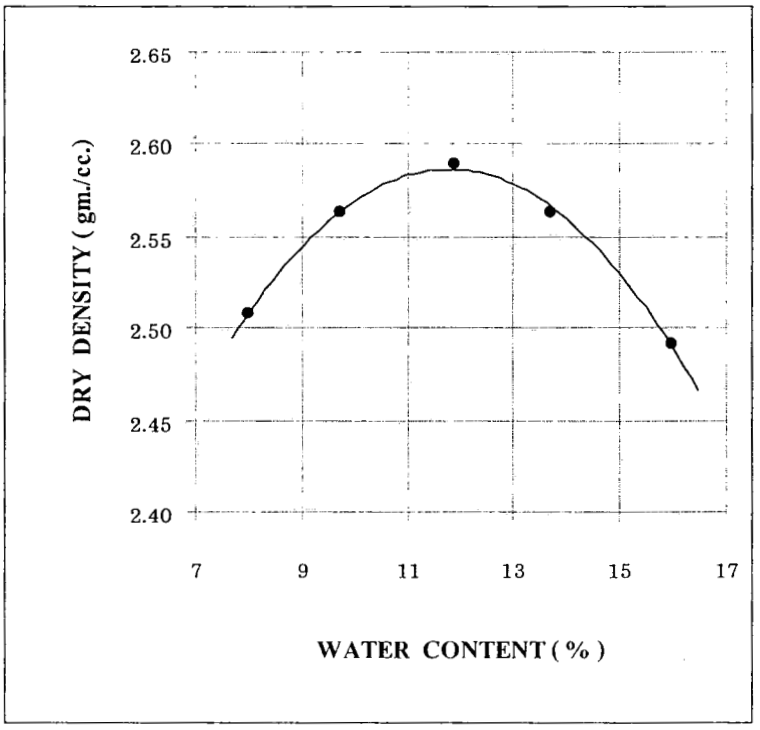
ชนิดตัวอย่าง : Slag VOLUME OF MOLD = 2086 cc.

แหล่งวัสดุ : นิคมอุตสาหกรรมบ่อวิน WT. OF MOLD = 6510 gm.

| DENSITY | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **DETERMINATION No.** | | **1** | **2** | **3** | **1** | **1** |
| WT. MOLD + COMPACTED SOIL | gm. | 12159 | 12376.2 | 12553.3 | 12589.5 | 12537.5 |
| WT. MOLD | gm. | 6510 | 6510 | 6510 | 6510 | 6510 |
| WT. SOIL | gm. | 5649 | 5866.2 | 6043.3 | 6079.5 | 6027.5 |
| WET DENSITY | gm./cc. | 2.708 | 2.812 | 2.897 | 2.914 | 2.890 |
| **DRY DENSITY** | gm./cc. | 2.508 | 2.563 | 2.589 | 2.563 | 2.492 |
| **WATER CONTENT** | | | | | | |
| CONTAINER No. | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| WT. CONTAINER + WET SOIL | gm. | 125.30 | 128.40 | 131.30 | 145.20 | 116.80 |
| WT. CONTAINER + DRY SOIL | gm. | 117.10 | 118.30 | 118.90 | 129.50 | 102.80 |
| WT. WATER | gm. | 8.20 | 10.10 | 12.40 | 15.70 | 14.00 |
| WT. CONTAINER | gm. | 14.40 | 14.40 | 14.60 | 15.00 | 15.10 |
| WT. DRY SOIL | gm. | 102.70 | 103.90 | 104.30 | 114.50 | 87.70 |
| **WATER CONTENT** | % | 7.98 | 9.72 | 11.89 | 13.71 | 15.96 |

**MAX. DRY DENSITY = 2.581 gm./cc.**

**OPT. MOISTURE CONTENT = 11.69 %**




**รูปที่ ก-4** กราฟ Compaction Test (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) ของตะกรันเหล็ก

# California Bearing Ratio Test (CBR)

**ชนิดตัวอย่าง : หินคลุก**

| DENSITY | | 12 BLOW/LAYER | | 25 BLOW/LAYER | | 56 BLOW/LAYER | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Before soak | After soak | Before soak | After soak | Before soak | After soak |
| Mold No. | | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Volume Mold | ml. | 2143.00 | 2143.00 | 2134.00 | 2134.00 | 2135.00 | 2135.00 |
| Mass Mold + soil | gm. | 11821.20 | 11874.80 | 12033.40 | 12101.60 | 12249.70 | 12252.60 |
| Mass Mold | gm. | 7282.30 | 7282.30 | 7379.90 | 7379.90 | 7274.30 | 7274.30 |
| Mass Wet soil | gm. | 4538.90 | 4592.50 | 4653.50 | 4721.70 | 4975.40 | 4978.30 |
| Wet density | gm./ml. | 2.12 | 2.14 | 2.18 | 2.21 | 2.33 | 2.33 |
| Dry Density | gm./ml. | 1.96 | 1.98 | 2.02 | 2.05 | 2.16 | 2.16 |

WATER CONTENT

| Can No. | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mass can + Wet soil | gm. | 123.00 | 129.10 | 117.70 | 120.20 | 116.30 | 112.80 | 115.20 | 114.60 | 114.40 |
| Mass can + Dry soil | gm. | 114.70 | 120.40 | 109.80 | 112.20 | 108.60 | 105.40 | 107.70 | 107.10 | 107.00 |
| Mass can | gm. | 14.40 | 14.80 | 14.60 | 14.00 | 14.20 | 14.40 | 14.60 | 14.50 | 14.60 |
| Mass Water | gm. | 8.30 | 8.70 | 7.90 | 8.00 | 7.70 | 7.40 | 7.50 | 7.50 | 7.40 |
| Mass Dry soil | gm. | 100.30 | 105.60 | 95.20 | 98.20 | 94.40 | 91.00 | 93.10 | 92.60 | 92.40 |
| Water content | % | 8.28 | 8.24 | 8.30 | 8.15 | 8.16 | 8.15 | 8.06 | 8.10 | 8.01 |
| Avr. Water content | % | 8.27 | | | 8.15 | | | 8.27 | | |

SWELLING

| No. of Layer | | 5 | | 5 | | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | | 12 | | 25 | | 56 | |
| Time and Date | Elapsed Time hr. | Swelling 0.0001inch | % Swelling | Swelling 0.0001inch | % Swelling | Swelling 0.0001inch | % Swelling |
| 17-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

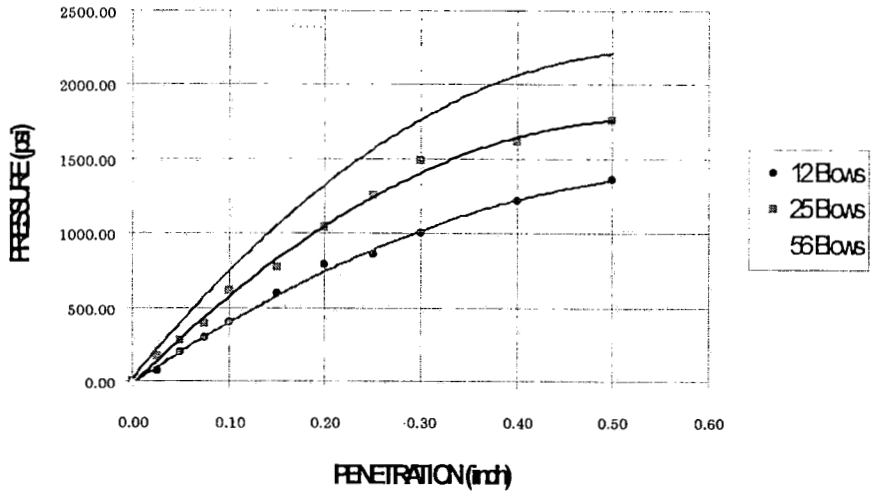
Load Scale, K = 4.880 kgf

Piston Area = 3 $in^2$

Penetration Rate = 0.05 in/min

PENETRATION

| Mold NO. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | 12 | | 25 | | 12 | |
| Surcharge lb. | | | | | | |
| Penetration in. | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ |
| 0.000 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| 0.025 | 20 | 71.7 | 45 | 161.4 | 70 | 251.0 |
| 0.050 | 55 | 197.2 | 75 | 268.9 | 105 | 376.5 |
| 0.025 | 81 | 290.5 | 109 | 390.9 | 160 | 573.7 |
| 0.100 | 110 | 394.4 | 170 | 609.6 | 220 | 788.9 |
| 0.100 | 166 | 595.3 | 213 | 763.8 | 280 | 1004.0 |
| 0.200 | 220 | 788.9 | 290 | 1039.9 | 380 | 1362.6 |
| 0.050 | 240 | 860.6 | 350 | 1255.1 | 430 | 1541.9 |
| 0.300 | 280 | 1004.0 | 415 | 1488.1 | 500 | 1792.9 |
| 0.000 | 340 | 1219.2 | 450 | 1613.6 | 570 | 2043.9 |
| 0.100 | 380 | 1362.6 | 490 | 1757.1 | 620 | 2223.2 |
| PENETRATION | | | | | | |
| 0.200 | 39.44 | | 60.96 | | 78.89 | |
| 0.100 | 52.59 | | 69.33 | | 90.84 | |
| CBR = | 52.59 | | 69.33 | | 90.84 | |




**รูปที่ ก-5** กราฟแสดงค่าการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง ของหินคลุก

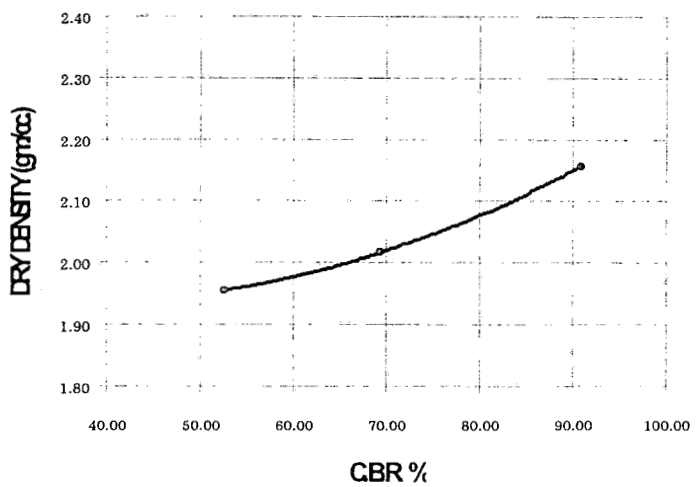
| BLOWS | C.B.R. | DENSITY | SWELL |
|---|---|---|---|
| 12 | 52.59 | 1.96 | 0.00 |
| 25 | 69.33 | 2.02 | 0.00 |
| 56 | 90.84 | 2.16 | 0.00 |

100% Mod. Proctor = 2.183 gm./cc.

95% Mod. Proctor = 2.074 gm./cc.

Optimum Moisture Content 7.90% Water Content C.B.R. 8.16 %

Required Percent Compaction 95% C.B.R. = 81.06 %




**รูปที่ ก-6** กราฟแสดง% CBR ของหินคลุก

# California Bearing Ratio Test (CBR)

**ชนิดตัวอย่าง : ตะกรันเหล็ก**

| DENSITY | | 12 BLOW/LAYER | | 25 BLOW/LAYER | | 56 BLOW/LAYER | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Before soak | After soak | Before soak | After soak | Before soak | After soak |
| Mold No. | | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| Volume Mold | ml. | 2143.00 | 2143.00 | 2134.00 | 2134.00 | 2135.00 | 2135.00 |
| Mass Mold + soil | gm. | 11508.00 | 11553.50 | 11648.20 | 11706.60 | 9908.80 | 9983.50 |
| Mass Mold | gm. | 6363.60 | 6363.60 | 6345.80 | 6345.80 | 4266.20 | 4266.20 |
| Mass Wet soil | gm. | 5144.40 | 5189.90 | 5302.40 | 5360.80 | 5642.60 | 5717.30 |
| Wet density | gm./ml. | 2.40 | 2.42 | 2.48 | 2.51 | 2.64 | 2.68 |
| Dry Density | gm./ml. | 2.22 | 2.24 | 2.30 | 2.22 | 2.45 | 2.48 |

WATER CONTENT

| Can No. | | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mass can + Wet soil | gm. | 116.20 | 124.30 | 115.20 | 124.10 | 113.60 | 124.50 | 137.00 | 161.20 | 163.50 |
| Mass can + Dry soil | gm. | 108.50 | 115.90 | 107.50 | 115.90 | 106.20 | 116.20 | 127.90 | 150.30 | 152.40 |
| Mass can | gm. | 14.60 | 14.60 | 14.40 | 15.00 | 14.80 | 14.60 | 14.40 | 14.70 | 15.00 |
| Mass Water | gm. | 7.70 | 8.40 | 7.70 | 8.20 | 7.40 | 8.30 | 9.10 | 10.90 | 11.10 |
| Mass Dry soil | gm. | 93.90 | 101.30 | 93.10 | 100.90 | 91.40 | 101.60 | 113.50 | 135.60 | 137.40 |
| Water content | % | 8.20 | 8.20 | 8.27 | 8.13 | 8.20 | 8.17 | 8.02 | 8.04 | 8.08 |
| Avr. Water content | % | 8.25 | | | 8.13 | | | 8.04 | | |

SWELLING

| No. of Layer | | 5 | | 5 | | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | | 12 | | 12 | | 56 | |
| Time and Date | Elapsed Time hr. | Swelling 0.0001inch | % Swelling | Swelling 0.0001inch | % Swelling | Swelling 0.0001inch | % Swelling |
| 17-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

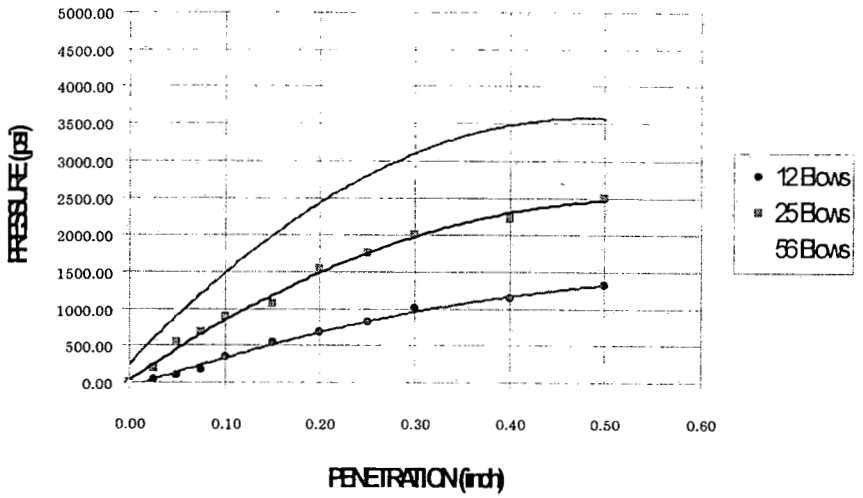
Load Scale, K = 4.880 kgf

Piston Area = 3 $in^2$

Penetration Rate = 0.05 in/min

PENETRATION

| Mold NO. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | 12 | | 12 | | 12 | |
| Surcharge lb. | | | | | | |
| Penetration in. | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ |
| 0.000 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| 0.025 | 10 | 35.9 | 55 | 197.2 | 175 | 627.5 |
| 0.050 | 27 | 96.8 | 150 | 537.9 | 275 | 986.1 |
| 0.025 | 50 | 179.3 | 190 | 681.3 | 370 | 1326.8 |
| 0.100 | 100 | 358.6 | 250 | 896.5 | 470 | 1685.4 |
| 0.100 | 150 | 537.9 | 300 | 1075.8 | 370 | 2043.9 |
| 0.000 | 190 | 681.3 | 430 | 1541.9 | 660 | 2366.7 |
| 0.250 | 230 | 824.8 | 490 | 1757.1 | 750 | 2689.4 |
| 0.300 | 280 | 1004.0 | 560 | 2008.1 | 840 | 3012.1 |
| 0.100 | 320 | 1147.5 | 620 | 2223.2 | 970 | 3478.3 |
| 0.500 | 370 | 1326.8 | 695 | 2492.2 | 1010 | 3621.7 |
| PENETRATION | | | | | | |
| 0.300 | 35.86 | | 89.65 | | 168.54 | |
| 0.100 | 45.42 | | 102.79 | | 157.78 | |
| CBR = | 45.42 | | 102.79 | | 168.54 | |




**รูปที่ ก-7** กราฟแสดงค่าการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง ของตะกรันเหล็ก

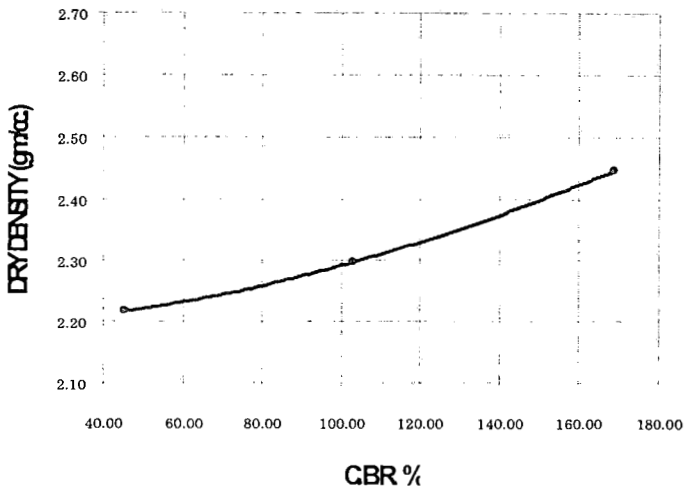
| BLOWS | C.B.R. | DENSITY | SWELL |
|---|---|---|---|
| 12 | 45.42 | 2.22 | 0.00 |
| 25 | 102.79 | 2.30 | 0.00 |
| 56 | 168.54 | 2.3● | 0.00 |

100% Mod. Proctor = 2.581 gm./cc.

95% Mod. Proctor = 2.452 gm./cc.

Optimum Moisture Content 11.69% Water Content C.B.R. 8.14 %

Required Percent Compaction 95% C.B.R. = 169.77 %




**รูปที่ ก-8** กราฟแสดง% CBR ของตะกรันเหล็ก

# ภาคผนวก ข

## คุณสมบัติของมวลรวมผสมซีเมนต์

# COMPACTION TEST

## MOD. PROCTOR

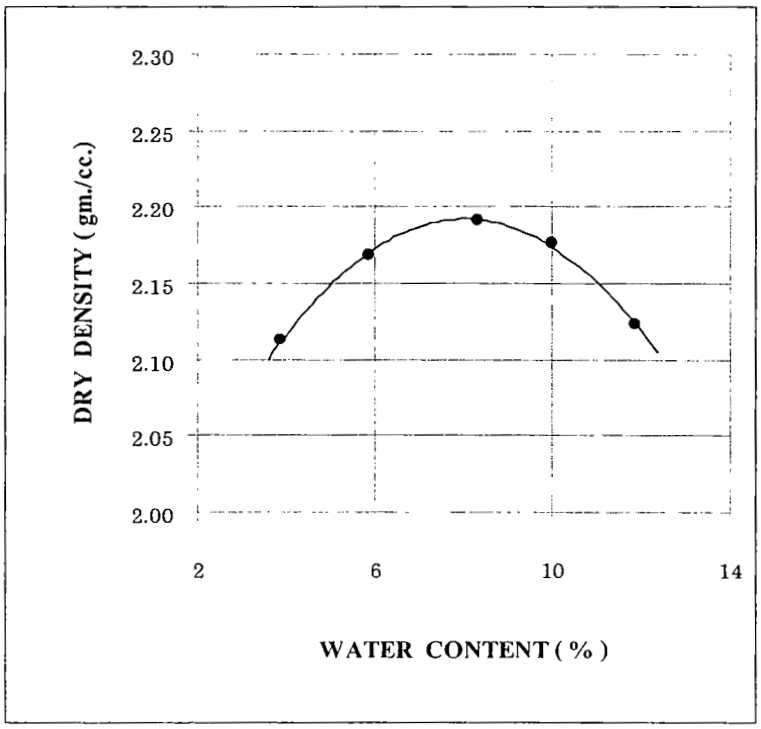
ชนิดตัวอย่าง : หินคลุก + 1 % cement VOLUME OF MOLD = 2086 cc.

แหล่งวัสดุ : โรงโม่หิน อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี WT. OF MOLD = 6530.9 gm.

| DENSITY | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **DETERMINATION No.** | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| WT. MOLD + COMPACTED SOIL | gm. | 11109 | 11320 | 11481.4 | 11525.1 | 11484.8 |
| WT. MOLD | gm. | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 |
| WT. SOIL | gm. | 4578.1 | 4789.1 | 4950.5 | 4994.2 | 4953.9 |
| WET DENSITY | gm./cc. | 2.195 | 2.296 | 2.373 | 2.394 | 2.375 |
| **DRY DENSITY** | gm./cc. | 2.113 | 2.169 | 2.191 | 2.177 | 2.123 |
| **WATER CONTENT** | | | | | | |
| CONTAINER No. | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| WT. CONTAINER + WET SOIL | gm. | 108.30 | 102.40 | 103.00 | 120.70 | 140.10 |
| WT. CONTAINER + DRY SOIL | gm. | 104.80 | 97.50 | 96.20 | 111.10 | 126.90 |
| WT. WATER | gm. | 3.50 | 4.90 | 6.80 | 9.60 | 13.20 |
| WT. CONTAINER | gm. | 14.60 | 13.80 | 14.60 | 14.90 | 15.50 |
| WT. DRY SOIL | gm. | 90.20 | 83.70 | 81.60 | 96.20 | 111.40 |
| **WATER CONTENT** | % | 3.88 | 5.85 | 8.33 | 9.98 | 11.85 |

**MAX. DRY DENSITY = 2.195 gm./cc.**

**OPT. MOISTURE CONTENT = 8.11 %**




**รูปที่ ข-1** กราฟ Compaction Test (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) ของหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1%

# COMPACTION TEST

## MOD. PROCTOR

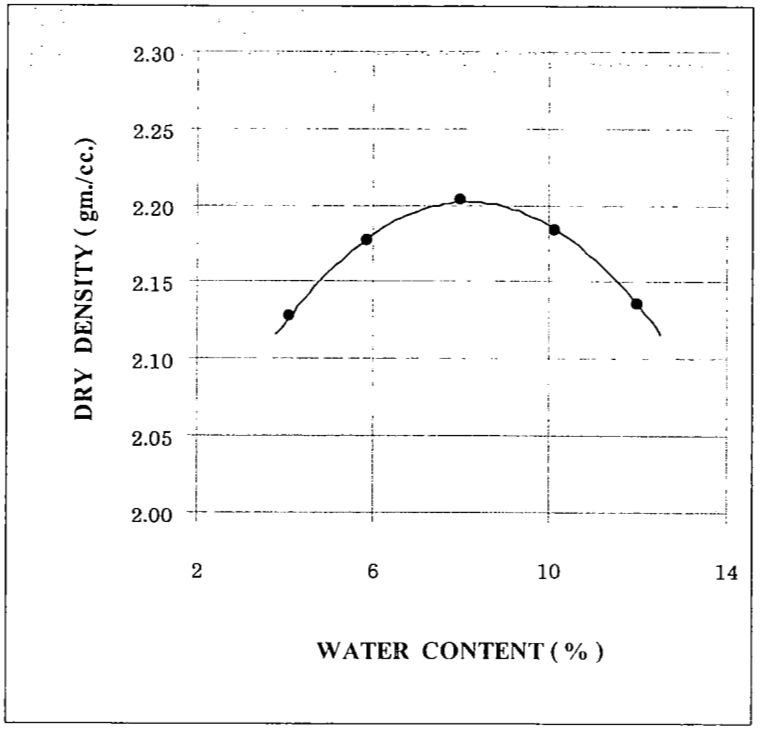
ชนิดตัวอย่าง : หินคลุก + 2 % cement VOLUME OF MOLD = 2086 cc.

แหล่งวัสดุ : โรงโม่หิน อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี WT. OF MOLD = 6529.7 gm.

| DENSITY | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **DETERMINATION No.** | | **1** | **1** | **3** | **4** | **5** |
| WT. MOLD + COMPACTED SOIL | gm. | 11150.3 | 11335.6 | 11495.6 | 11546.2 | 11520.3 |
| WT. MOLD | gm. | 6529.7 | 6529.7 | 6529.7 | 6529.7 | 6529.7 |
| WT. SOIL | gm. | 4620.6 | 4805.9 | 4965.9 | 5016.5 | 4990.6 |
| WET DENSITY | gm./cc. | 2.215 | 2.304 | 2.381 | 2.405 | 2.392 |
| **DRY DENSITY** | gm./cc. | 2.128 | 2.177 | 2.204 | 2.184 | 2.136 |
| **WATER CONTENT** | | | | | | |
| CONTAINER No. | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| WT. CONTAINER + WET SOIL | gm. | 103.10 | 110.30 | 110.90 | 119.50 | 124.80 |
| WT. CONTAINER + DRY SOIL | gm. | 99.60 | 105.00 | 103.80 | 109.80 | 113.00 |
| WT. WATER | gm. | 3.50 | 5.30 | 7.10 | 9.70 | 11.80 |
| WT. CONTAINER | gm. | 14.10 | 14.40 | 15.10 | 14.10 | 14.80 |
| WT. DRY SOIL | gm. | 85.50 | 90.60 | 88.70 | 95.70 | 98.20 |
| **WATER CONTENT** | % | 4.09 | 5.85 | 8.00 | 10.14 | 12.02 |

**MAX. DRY DENSITY = 2.203 gm./cc.**

**OPT. MOISTURE CONTENT = 8.19 %**




**รูปที่ ข-2** กราฟ Compaction Test (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) ของหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 2%

# COMPACTION TEST

## MOD. PROCTOR

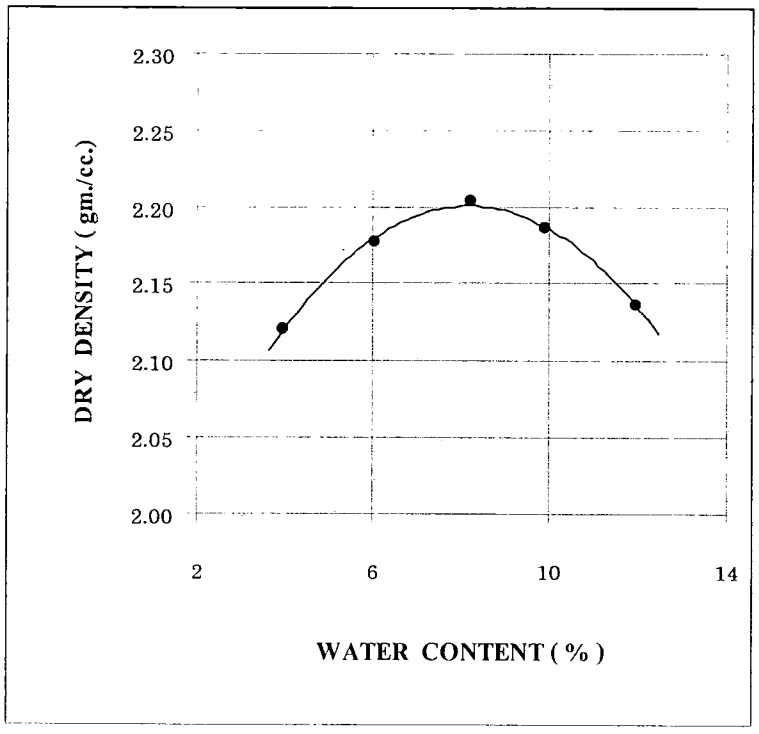
ชนิดตัวอย่าง : หินคลุก + 3 % cement VOLUME OF MOLD = 2086 cc.

แหล่งวัสดุ : โรงโม่หิน อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี WT. OF MOLD = 6530.2 gm.

| DENSITY | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **DETERMINATION No.** | | **1** | **1** | **3** | **4** | **3** |
| WT. MOLD + COMPACTED SOIL | gm. | 11127.2 | 11345.4 | 11504.7 | 11541.3 | 11518.2 |
| WT. MOLD | gm. | 6530.2 | 6530.2 | 6530.2 | 6530.2 | 6530.2 |
| WT. SOIL | gm. | 4597 | 4815.2 | 4974.5 | 5011.1 | 4988 |
| WET DENSITY | gm./cc. | 2.204 | 2.308 | 2.385 | 2.402 | 2.391 |
| **DRY DENSITY** | gm./cc. | 2.120 | 2.177 | 2.204 | 2.186 | 2.136 |
| **DENSITY** | | | | | | |
| CONTAINER No. | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| WT. CONTAINER + WET SOIL | gm. | 107.00 | 122.80 | 119.80 | 125.60 | 131.30 |
| WT. CONTAINER + DRY SOIL | gm. | 103.50 | 116.70 | 111.80 | 115.60 | 118.90 |
| WT. WATER | gm. | 3.50 | 6.10 | 8.00 | 10.00 | 12.40 |
| WT. CONTAINER | gm. | 14.80 | 15.50 | 14.50 | 14.60 | 15.30 |
| WT. DRY SOIL | gm. | 88.70 | 101.20 | 97.30 | 101.00 | 103.60 |
| **WATER CONTENT** | % | 3.95 | 6.03 | 8.22 | 9.90 | 11.97 |

**MAX. DRY DENSITY = 2.203 gm./cc.**

**OPT. MOISTURE CONTENT = 8.24 %**




**รูปที่ ข-3** กราฟ Compaction Test (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) ของหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 3%

# COMPACTION TEST

## MOD. PROCTOR

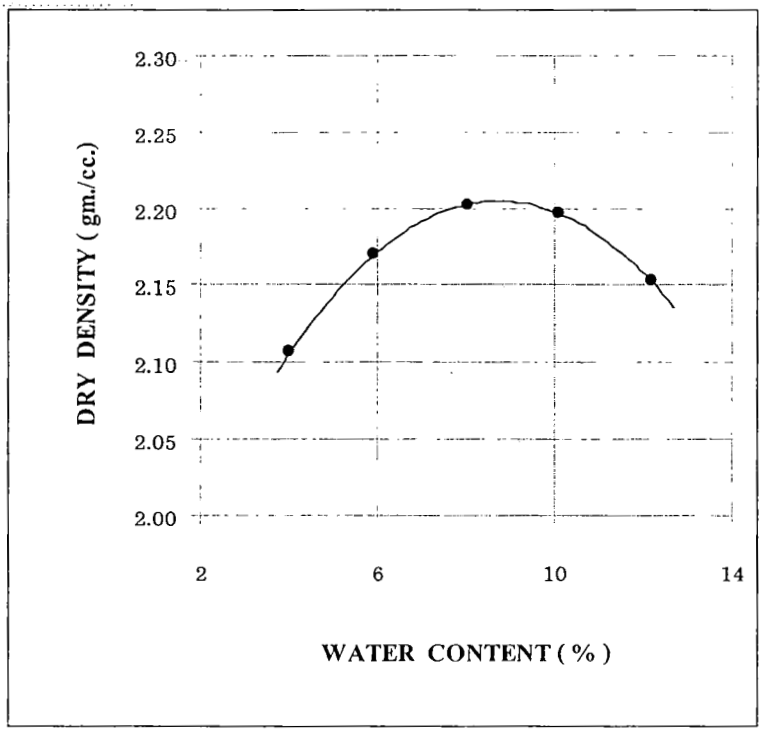
ชนิดตัวอย่าง : หินคลุก + 4 % cement VOLUME OF MOLD = 2086 cc.

แหล่งวัสดุ : โรงโม่หิน อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี WT. OF MOLD = 6529.7 gm.

| DENSITY | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **DETERMINATION No.** | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| WT. MOLD + COMPACTED SOIL | gm. | 11100.2 | 11325.3 | 11492.8 | 11573.6 | 11568.2 |
| WT. MOLD | gm. | 6529.7 | 6529.7 | 6529.7 | 6529.7 | 6529.7 |
| WT. SOIL | gm. | 4570.5 | 4795.6 | 4963.1 | 5043.9 | 5038.5 |
| WET DENSITY | gm./cc. | 2.191 | 2.299 | 2.379 | 2.418 | 2.415 |
| **DRY DENSITY** | gm./cc. | 2.106 | 2.170 | 2.202 | 2.197 | 2.153 |
| **WATER CONTENT** | | | | | | |
| CONTAINER No. | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| WT. CONTAINER + WET SOIL | gm. | 107.30 | 121.70 | 106.60 | 111.30 | 125.30 |
| WT. CONTAINER + DRY SOIL | gm. | 103.70 | 115.70 | 99.80 | 102.40 | 113.30 |
| WT. WATER | gm. | 3.60 | 6.00 | 6.80 | 8.90 | 12.00 |
| WT. CONTAINER | gm. | 14.10 | 14.40 | 15.10 | 14.10 | 14.80 |
| WT. DRY SOIL | gm. | 89.60 | 101.30 | 84.70 | 88.30 | 98.50 |
| **WATER CONTENT** | % | 4.02 | 5.92 | 8.03 | 10.08 | 12.18 |

**MAX. DRY DENSITY = 2.204 gm./cc.**

**OPT. MOISTURE CONTENT = 8.73 %**




**รูปที่ ข-4** กราฟ Compaction Test (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) ของหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 4%

# COMPACTION TEST

## MOD. PROCTOR

ชนิดตัวอย่าง : หินคลุก + 5 % cement VOLUME OF MOLD = 2086 cc.

แหล่งวัสดุ : โรงโม่หิน อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี WT. OF MOLD = 6529.7 gm.

| DENSITY | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **DETERMINATION No.** | | **1** | **2** | **3** | **1** | **5** |
| WT. MOLD + COMPACTED SOIL | gm. | 11101.3 | 11307.3 | 11486.8 | 11572.3 | 11565.6 |
| WT. MOLD | gm. | 6529.7 | 6529.7 | 6529.7 | 6529.7 | 6529.7 |
| WT. SOIL | gm. | 4571.6 | 4777.6 | 4957.1 | 5042.6 | 5035.9 |
| WET DENSITY | gm./cc. | 2.192 | 2.290 | 2.376 | 2.417 | 2.414 |
| **DRY DENSITY** | gm./cc. | 2.106 | 2.161 | 2.201 | 2.201 | 2.157 |
| **WATER CONTENT** | | | | | | |
| CONTAINER No. | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| WT. CONTAINER + WET SOIL | gm. | 111.20 | 115.50 | 113.90 | 131.40 | 139.80 |
| WT. CONTAINER + DRY SOIL | gm. | 107.40 | 109.80 | 106.60 | 120.90 | 126.50 |
| WT. WATER | gm. | 3.80 | 5.70 | 7.30 | 10.50 | 13.30 |
| WT. CONTAINER | gm. | 14.10 | 14.40 | 15.10 | 14.10 | 14.80 |
| WT. DRY SOIL | gm. | 93.30 | 95.40 | 91.50 | 106.80 | 111.70 |
| **WATER CONTENT** | % | 4.07 | 5.97 | 7.98 | 9.83 | 11.91 |

**MAX. DRY DENSITY = 2.206 gm./cc.**

**OPT. MOISTURE CONTENT = 8.89 %**

# COMPACTION TEST

## MOD. PROCTOR

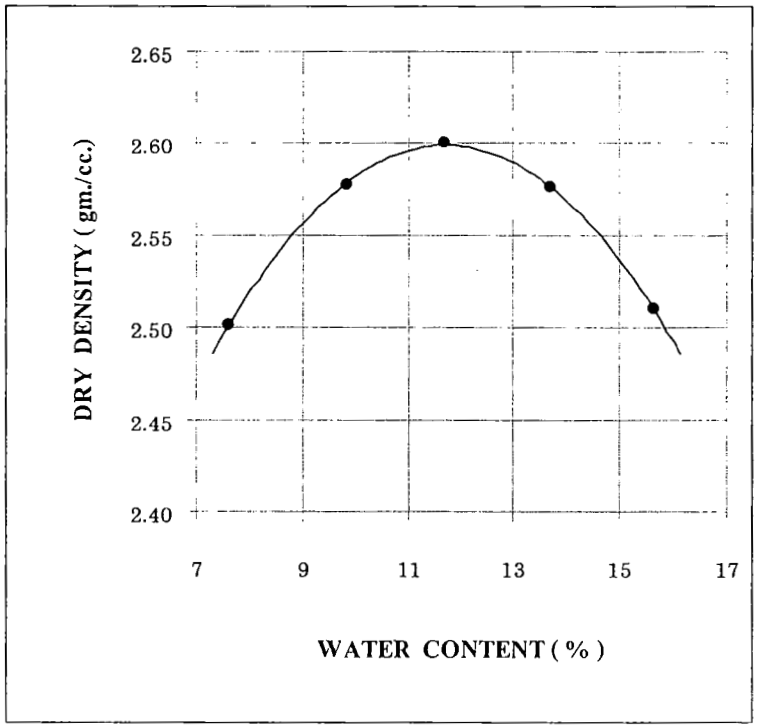
ชนิดตัวอย่าง : Slag + 1 % cement VOLUME OF MOLD = 2086 cc.

แหล่งวัสดุ : นิคมอุตสาหกรรมบ่อวิน WT. OF MOLD = 6530.9 gm.

| DENSITY | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **DETERMINATION No.** | | **1** | **2** | **2** | **2** | **5** |
| WT. MOLD + COMPACTED SOIL | gm. | 12143.7 | 12436.4 | 12590.1 | 12639.6 | 12586.1 |
| WT. MOLD | gm. | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 |
| WT. SOIL | gm. | 5612.8 | 5905.5 | 6059.2 | 6108.7 | 6055.2 |
| WET DENSITY | gm./cc. | 2.691 | 2.831 | 2.905 | 2.928 | 2.903 |
| **DRY DENSITY** | gm./cc. | 2.501 | 2.578 | 2.600 | 2.576 | 2.510 |
| **WATER CONTENT** | | | | | | |
| CONTAINER No. | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| WT. CONTAINER + WET SOIL | gm. | 138.30 | 149.90 | 153.10 | 166.40 | 177.80 |
| WT. CONTAINER + DRY SOIL | gm. | 129.60 | 137.80 | 138.60 | 148.10 | 155.70 |
| WT. WATER | gm. | 8.70 | 12.10 | 14.50 | 18.30 | 22.10 |
| WT. CONTAINER | gm. | 15.00 | 14.70 | 14.80 | 14.40 | 14.30 |
| WT. DRY SOIL | gm. | 114.60 | 123.10 | 123.80 | 133.70 | 141.40 |
| **WATER CONTENT** | % | 7.59 | 9.83 | 11.71 | 13.69 | 15.63 |

**MAX. DRY DENSITY = 2.597 gm./cc.**

**OPT. MOISTURE CONTENT = 11.69 %**




**รูปที่ ข-6** กราฟ Compaction Test (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) ของตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1%

# COMPACTION TEST

## MOD. PROCTOR

ชนิดตัวอย่าง : Slag + 2 % cement VOLUME OF MOLD = 2086 cc.

แหล่งวัสดุ : นิคมอุตสาหกรรมบ่อวิน WT. OF MOLD = 6530.9 gm.

| DENSITY | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **DETERMINATION No.** | | **1** | **1** | **3** | **4** | **1** |
| WT. MOLD + COMPACTED SOIL | gm. | 12144 | 12427.2 | 12585 | 12643.3 | 12577.5 |
| WT. MOLD | gm. | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 |
| WT. SOIL | gm. | 5613.1 | 5896.3 | 6054.1 | 6112.4 | 6046.6 |
| WET DENSITY | gm./cc. | 2.691 | 2.827 | 2.902 | 2.930 | 2.899 |
| **DRY DENSITY** | gm./cc. | 2.501 | 2.576 | 2.599 | 2.578 | 2.503 |
| **WATER CONTENT** | | | | | | |
| CONTAINER No. | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| WT. CONTAINER + WET SOIL | gm. | 142.40 | 174.80 | 176.00 | 175.00 | 180.90 |
| WT. CONTAINER + DRY SOIL | gm. | 134.10 | 161.50 | 161.10 | 158.00 | 160.60 |
| WT. WATER | gm. | 8.30 | 13.30 | 14.90 | 17.00 | 20.30 |
| WT. CONTAINER | gm. | 24.90 | 24.50 | 33.20 | 33.70 | 32.30 |
| WT. DRY SOIL | gm. | 109.20 | 137.00 | 127.90 | 124.30 | 128.30 |
| **WATER CONTENT** | % | 7.60 | 9.71 | 11.65 | 13.68 | 15.82 |

**MAX. DRY DENSITY = 2.599 gm./cc.**

**OPT. MOISTURE CONTENT = 11.72 %**

# COMPACTION TEST

## MOD. PROCTOR

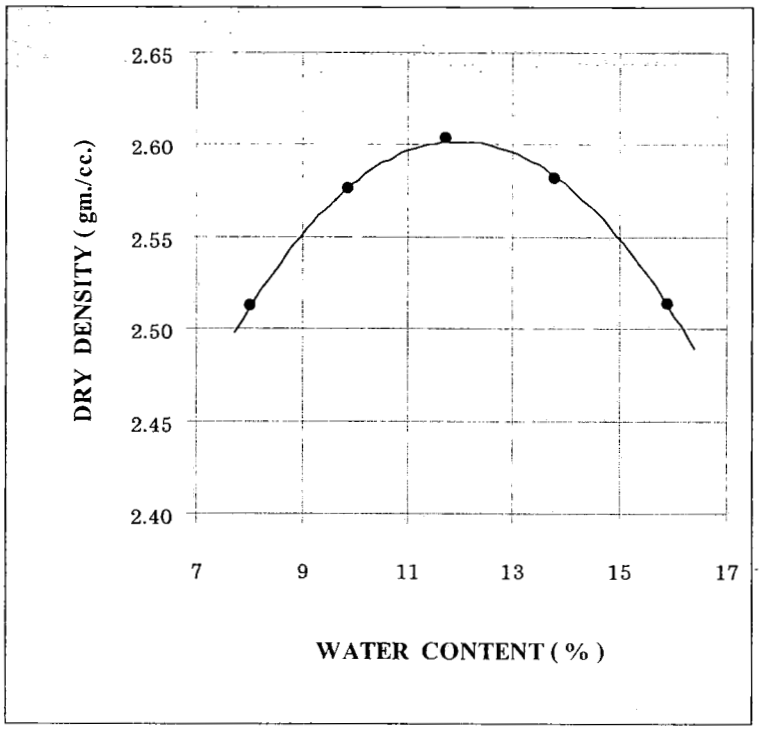
ชนิดตัวอย่าง : Slag + 3 % cement VOLUME OF MOLD = 2086 cc.

แหล่งวัสดุ : นิคมอุตสาหกรรมบ่อวิน WT. OF MOLD = 6530.9 gm.

| DENSITY | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **DETERMINATION No.** | | **1** | **2** | **3** | **3** | **5** |
| WT. MOLD + COMPACTED SOIL | gm. | 12193.7 | 12435.6 | 12599.8 | 12658.4 | 12606.8 |
| WT. MOLD | gm. | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 |
| WT. SOIL | gm. | 5662.8 | 5904.7 | 6068.9 | 6127.5 | 6075.9 |
| WET DENSITY | gm./cc. | 2.715 | 2.831 | 2.909 | 2.937 | 2.913 |
| **DRY DENSITY** | gm./cc. | 2.513 | 2.576 | 2.604 | 2.582 | 2.513 |
| **DENSITY** | | | | | | |
| CONTAINER No. | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| WT. CONTAINER + WET SOIL | gm. | 148.30 | 160.10 | 155.30 | 184.90 | 175.30 |
| WT. CONTAINER + DRY SOIL | gm. | 138.40 | 147.00 | 140.50 | 164.30 | 153.30 |
| WT. WATER | gm. | 9.90 | 13.10 | 14.80 | 20.60 | 22.00 |
| WT. CONTAINER | gm. | 15.20 | 14.50 | 14.50 | 14.70 | 14.90 |
| WT. DRY SOIL | gm. | 123.20 | 132.50 | 126.00 | 149.60 | 138.40 |
| **WATER CONTENT** | % | 8.04 | 9.89 | 11.75 | 13.77 | 15.90 |

**MAX. DRY DENSITY = 2.599 gm./cc.**

**OPT. MOISTURE CONTENT = 11.93 %**




**รูปที่ ข-8** กราฟ Compaction Test (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) ของตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 3%

# COMPACTION TEST

## MOD. PROCTOR

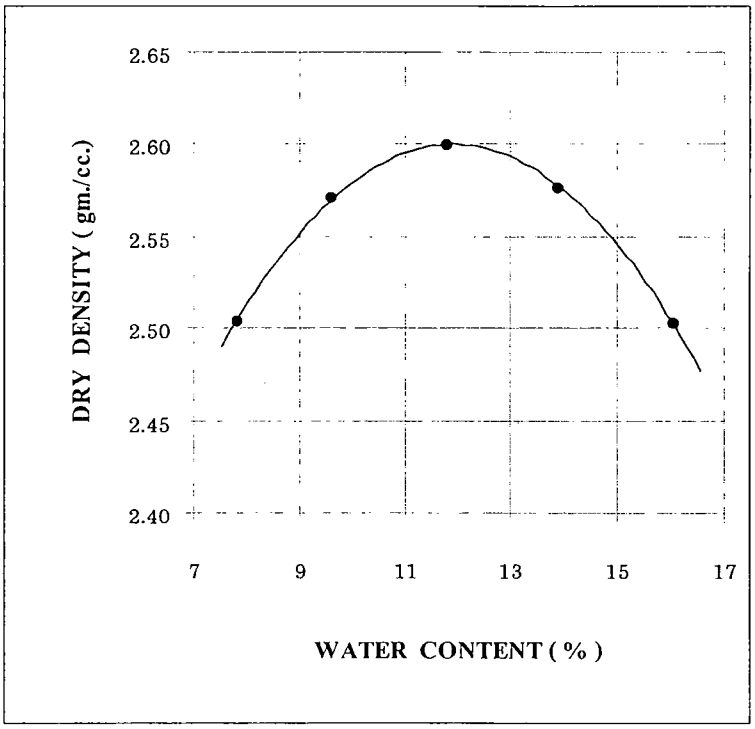
ชนิดตัวอย่าง : Slag + 4 % cement VOLUME OF MOLD = 2086 cc.

แหล่งวัสดุ : นิคมอุตสาหกรรมบ่อวิน WT. OF MOLD = 6530.9 gm.

| DENSITY | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **DETERMINATION No.** | | **1** | **2** | **2** | **2** | **1** |
| WT. MOLD + COMPACTED SOIL | gm. | 12162.9 | 12408.5 | 12594.6 | 12652.6 | 12589 |
| WT. MOLD | gm. | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 |
| WT. SOIL | gm. | 5632 | 5877.6 | 6063.7 | 6121.7 | 6058.1 |
| WET DENSITY | gm./cc. | 2.700 | 2.818 | 2.907 | 2.935 | 2.904 |
| **DRY DENSITY** | gm./cc. | 2.504 | 2.571 | 2.600 | 2.577 | 2.502 |
| **WATER CONTENT** | | | | | | |
| CONTAINER No. | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| WT. CONTAINER + WET SOIL | gm. | 154.40 | 158.30 | 182.00 | 180.40 | 188.00 |
| WT. CONTAINER + DRY SOIL | gm. | 144.20 | 145.70 | 164.40 | 160.10 | 164.00 |
| WT. WATER | gm. | 10.20 | 12.60 | 17.60 | 20.30 | 24.00 |
| WT. CONTAINER | gm. | 13.80 | 14.40 | 15.40 | 14.00 | 14.50 |
| WT. DRY SOIL | gm. | 130.40 | 131.30 | 149.00 | 146.10 | 149.50 |
| **WATER CONTENT** | % | 7.82 | 9.60 | 11.81 | 13.89 | 16.05 |

**MAX. DRY DENSITY = 2.602 gm./cc.**

**OPT. MOISTURE CONTENT = 11.93 %**




**รูปที่ ข-9** กราฟ Compaction Test (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) ของตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 4%

# COMPACTION TEST

## MOD. PROCTOR

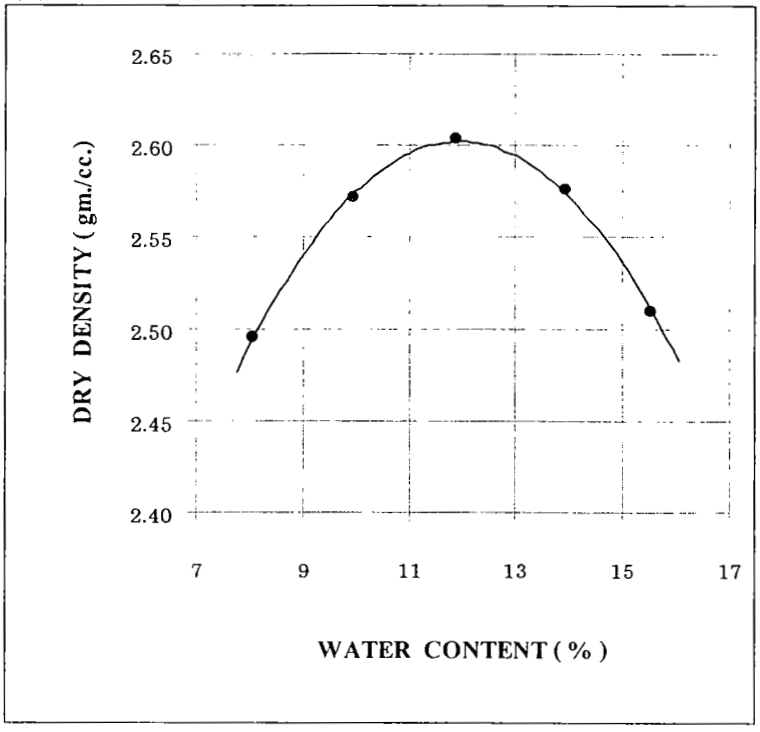
ชนิดตัวอย่าง : Slag + 5 % cement VOLUME OF MOLD = 2086 cc.

แหล่งวัสดุ : นิคมอุตสาหกรรมบ่อวิน WT. OF MOLD = 6530.9 gm.

| DENSITY | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **DETERMINATION No.** | | **1** | **1** | **3** | **4** | **5** |
| WT. MOLD + COMPACTED SOIL | gm. | 12154.8 | 12429.1 | 12605.6 | 12651.5 | 12579.1 |
| WT. MOLD | gm. | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 | 6530.9 |
| WT. SOIL | gm. | 5623.9 | 5898.2 | 6074.7 | 6120.6 | 6048.2 |
| WET DENSITY | gm./cc. | 2.696 | 2.828 | 2.912 | 2.934 | 2.899 |
| **DRY DENSITY** | gm./cc. | 2.495 | 2.571 | 2.603 | 2.576 | 2.509 |
| **WATER CONTENT** | | | | | | |
| CONTAINER No. | | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| WT. CONTAINER + WET SOIL | gm. | 153.70 | 150.40 | 154.80 | 163.00 | 153.50 |
| WT. CONTAINER + DRY SOIL | gm. | 144.10 | 139.00 | 141.90 | 147.20 | 137.20 |
| WT. WATER | gm. | 9.60 | 11.40 | 12.90 | 15.80 | 16.30 |
| WT. CONTAINER | gm. | 24.90 | 24.50 | 33.20 | 33.70 | 32.30 |
| WT. DRY SOIL | gm. | 119.20 | 114.50 | 108.70 | 113.50 | 104.90 |
| **WATER CONTENT** | % | 8.05 | 9.96 | 11.87 | 13.92 | 15.54 |

**MAX. DRY DENSITY = 2.607 gm./cc.**

**OPT. MOISTURE CONTENT = 12.00 %**




**รูปที่ ข-10** กราฟ Compaction Test (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) ของตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5%

# California Bearing Ratio Test (CBR)

**ชนิดตัวอย่าง : หินคลุก + 1 % cement**

| DENSITY | | 12 BLOW/LAYER | | 25 BLOW/LAYER | | 56 BLOW/LAYER | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Before soak | After soak | Before soak | After soak | Before soak | After soak |
| Mold No. | | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 |
| Volume Mold | ml. | 2143.00 | 2143.00 | 2134.00 | 2134.00 | 2135.00 | 2135.00 |
| Mass Mold + soil | gm. | 12063.80 | 12094.20 | 12271.90 | 12333.10 | 12445.50 | 12503.40 |
| Mass Mold | gm. | 7251.20 | 7251.20 | 7376.20 | 7376.20 | 7282.30 | 7282.30 |
| Mass Wet soil | gm. | 4812.60 | 4843.00 | 4895.70 | 4956.90 | 5163.20 | 5221.10 |
| Wet density | gm./ml. | 2.25 | 2.26 | 2.29 | 2.32 | 2.42 | 2.45 |
| Dry Density | gm./ml. | 2.08 | 2.09 | 2.12 | 2.15 | 2.24 | 2.26 |

WATER CONTENT

| Can No. | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mass can + Wet soil | gm. | 114.40 | 109.50 | 115.10 | 125.30 | 123.80 | 126.60 | 118.20 | 112.30 | 120.70 |
| Mass can + Dry soil | gm. | 106.80 | 102.30 | 107.50 | 116.90 | 115.60 | 118.20 | 110.50 | 105.00 | 112.80 |
| Mass can | gm. | 14.60 | 14.60 | 15.10 | 14.40 | 14.50 | 14.90 | 14.60 | 14.70 | 14.50 |
| Mass Water | gm. | 7.60 | 7.20 | 7.60 | 8.40 | 8.20 | 8.40 | 7.70 | 7.30 | 7.90 |
| Mass Dry soil | gm. | 92.20 | 87.70 | 92.40 | 102.50 | 101.10 | 103.30 | 95.90 | 90.30 | 98.30 |
| Water content | % | 8.24 | 8.21 | 8.23 | 8.20 | 8.11 | 8.13 | 8.03 | 8.08 | 8.04 |
| Avr. Water content | % | 8.23 | | | 8.15 | | | 8.05 | | |

SWELLING

| No. of Layer | | 5 | | 5 | | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | | 5 | | 25 | | 56 | |
| Time | Elapsed | Swelling | % | Swelling | % | Swelling | % |
| and | Time | 0.0001inch | Swelling | 0.0001inch | Swelling | 0.0001inch | Swelling |
| Date | hr. | | 1 | | 1 | | |
| 17 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

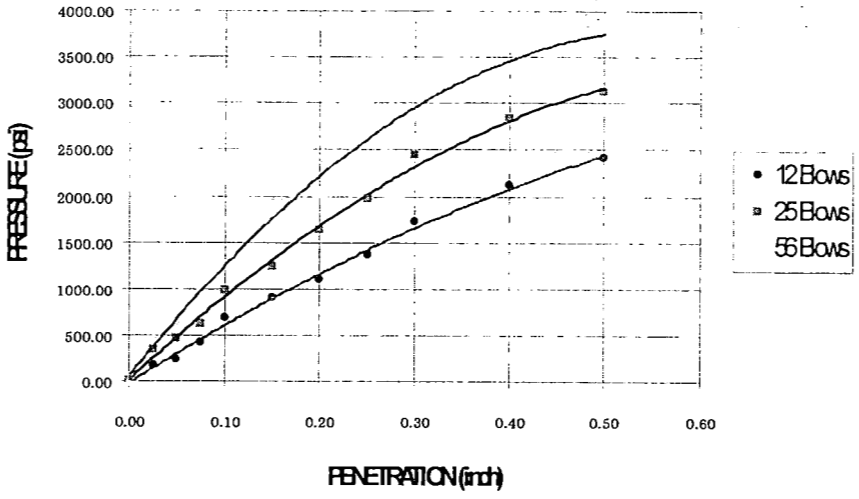
Load Scale, K = 4.880 kgf

Piston Area = 3 $in^2$

Penetration Rate = 0.05 in/min

PENETRATION

| Mold NO. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | 12 | | 12 | | 56 | |
| Surcharge lb. | | | | | | |
| Penetration in. | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ |
| 0.000 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| 0.025 | 2.2 | 164.9 | 4.5 | 337.2 | 6.3 | 472.1 |
| 0.050 | 3.1 | 232.3 | 6.2 | 464.6 | 8.7 | 651.9 |
| 0.025 | 3.1 | 427.1 | 8.3 | 622.0 | 13.7 | 1026.6 |
| 0.100 | 9.1 | 681.9 | 13.1 | 981.7 | 16.9 | 1266.4 |
| 0.100 | 12.1 | 906.7 | 16.7 | 1251.4 | 22 | 1648.6 |
| 0.200 | 14.7 | 1101.6 | 21.8 | 1633.6 | 27.3 | 2045.8 |
| 0.050 | 18.3 | 1371.3 | 26.4 | 1978.3 | 37.1 | 2780.1 |
| 0.200 | 23 | 1723.5 | 32.6 | 2442.9 | 40.9 | 3064.9 |
| 0.100 | 28.2 | 2113.2 | 37.7 | 2825.1 | 45.1 | 3379.6 |
| 0.100 | 32.1 | 2405.5 | 41.8 | 3132.3 | 50.1 | 3754.3 |
| PENETRATION | | | | | | |
| 0.100 | 68.19 | | 98.17 | | 126.64 | |
| 0.200 | 73.44 | | 108.91 | | 136.38 | |
| CBR = | 73.44 | | 108.91 | | 136.38 | |




**รูปที่ ข-11** กราฟแสดงค่าการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง ของหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1%

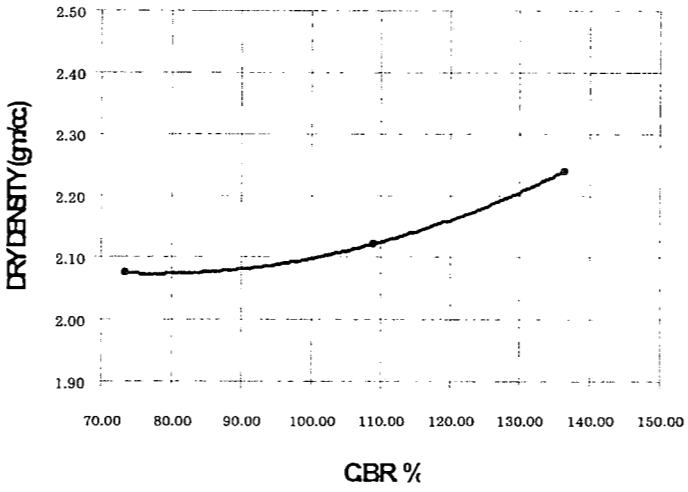
| BLOWS | C.B.R. | DENSITY | SWELL |
|---|---|---|---|
| 12 | 73.44 | 2.08 | 0.00 |
| 25 | 108.91 | 2.12 | 0.00 |
| 56 | 136.38 | 2.24 | 0.00 |

100% Mod. Proctor = 2.195 gm./cc.

95% Mod. Proctor = 2.085 gm./cc.

Optimum Moisture Content 8.11% Water Content C.B.R. 8.14 %

Required Percent Compaction 95% C.B.R. = 82.13 %




**รูปที่ ข-12** กราฟแสดง% CBR ของหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1%

# California Bearing Ratio Test (CBR)

**ชนิดตัวอย่าง : หินคลุก + 2 % cement**

| DENSITY | | 12 BLOW/LAYER | | 25 BLOW/LAYER | | 56 BLOW/LAYER | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Before soak | After soak | Before soak | After soak | Before soak | After soak |
| Mold No. | | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Volume Mold | ml. | 2143.00 | 2143.00 | 2134.00 | 2134.00 | 2135.00 | 2135.00 |
| Mass Mold + soil | gm. | 12212.90 | 12284.20 | 12452.90 | 12485.10 | 12395.80 | 12476.30 |
| Mass Mold | gm. | 7378.70 | 7378.70 | 7416.80 | 7416.80 | 7106.10 | 7106.10 |
| Mass Wet soil | gm. | 4834.20 | 4905.50 | 5036.10 | 5068.30 | 5289.70 | 5370.20 |
| Wet density | gm./ml. | 2.26 | 2.29 | 2.36 | 2.38 | 2.48 | 2.52 |
| Dry Density | gm./ml. | 2.08 | 2.11 | 2.18 | 2.20 | 2.29 | 2.33 |

WATER CONTENT

| Can No. | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mass can + Wet soil | gm. | 122.30 | 115.40 | 108.40 | 116.50 | 112.10 | 118.00 | 112.00 | 108.60 | 113.10 |
| Mass can + Dry soil | gm. | 114.10 | 107.70 | 101.20 | 108.90 | 104.80 | 110.20 | 104.70 | 101.60 | 105.80 |
| Mass can | gm. | 14.60 | 14.60 | 14.40 | 15.00 | 14.80 | 14.60 | 14.10 | 14.60 | 14.60 |
| Mass Water | gm. | 8.20 | 7.70 | 7.20 | 7.60 | 7.30 | 7.80 | 7.30 | 7.00 | 7.30 |
| Mass Dry soil | gm. | 99.50 | 93.10 | 86.80 | 93.90 | 90.00 | 95.60 | 90.60 | 87.00 | 91.20 |
| Water content | % | 8.24 | 8.27 | 8.29 | 8.09 | 8.11 | 8.16 | 8.06 | 8.09 | 8.00 |
| Avr. Water content | % | 8.27 | | | 8.12 | | | 8.04 | | |

SWELLING

| No. of Layer | | 5 | | 5 | | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | | 12 | | 25 | | 56 | |
| Time | Elapsed | Swelling | % | Swelling | % | Swelling | % |
| and | Time | 0.0001inch | Swelling | 0.0001inch | Swelling | 0.0001inch | Swelling |
| Date | hr. | | | | | | 1 |
| 17 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

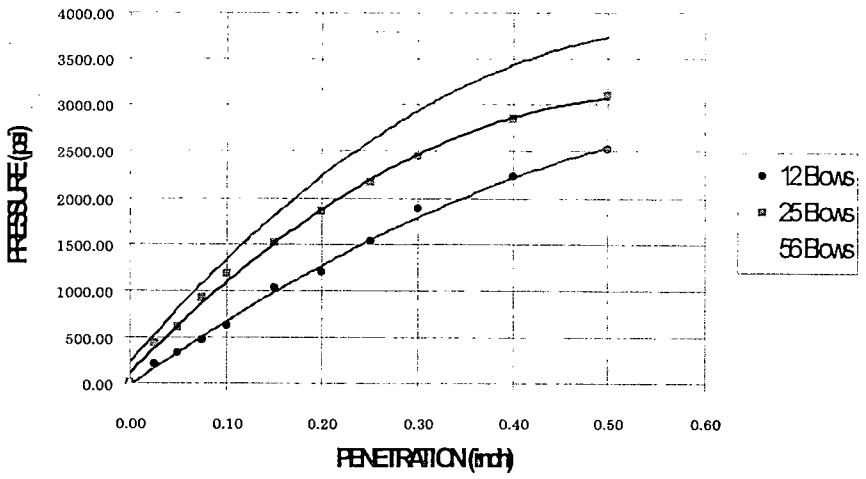
Load Scale, K = 4.880 kgf

Piston Area = 3 $in^2$

Penetration Rate = 0.05 in/min

PENETRATION

| Mold NO. | | | 12 | | 12 | | 56 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | | | | | | | | |
| Surcharge lb. | | | | | | | | |
| Penetration in. | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | | |
| 0.000 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | | |
| 0.025 | 2.8 | 209.8 | 5.8 | 434.6 | 7.8 | 584.5 | | |
| 0.050 | 4.3 | 322.2 | 8.1 | 607.0 | 11.6 | 869.3 | | |
| 0.075 | 6.2 | 464.6 | 12.3 | 921.7 | 15.9 | 1191.5 | | |
| 0.100 | 8.3 | 622.0 | 15.7 | 1176.5 | 19.5 | 1461.3 | | |
| 0.150 | 13.7 | 1026.6 | 20.1 | 1506.2 | 24.2 | 1813.5 | | |
| 0.200 | 15.9 | 1191.5 | 24.8 | 1858.4 | 30.7 | 2300.5 | | |
| 0.150 | 20.4 | 1528.7 | 28.8 | 2158.2 | 33.4 | 2502.9 | | |
| 0.300 | 25.2 | 1888.4 | 32.7 | 2450.4 | 37.5 | 2810.1 | | |
| 0.400 | 29.6 | 2218.1 | 38 | 2847.6 | 45.9 | 3439.6 | | |
| 0.500 | 33.6 | 2517.9 | 41.3 | 3094.9 | 50.5 | 3784.3 | | |
| PENETRATION | | | | | | | | |
| 0.100 | 62.20 | | 117.65 | | 146.13 | | | |
| 0.200 | 79.43 | | 123.89 | | 153.37 | | | |
| CBR = | 79.43 | | 123.89 | | 153.37 | | | |




**รูปที่ ข-13** กราฟแสดงค่าการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง ของหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 2%

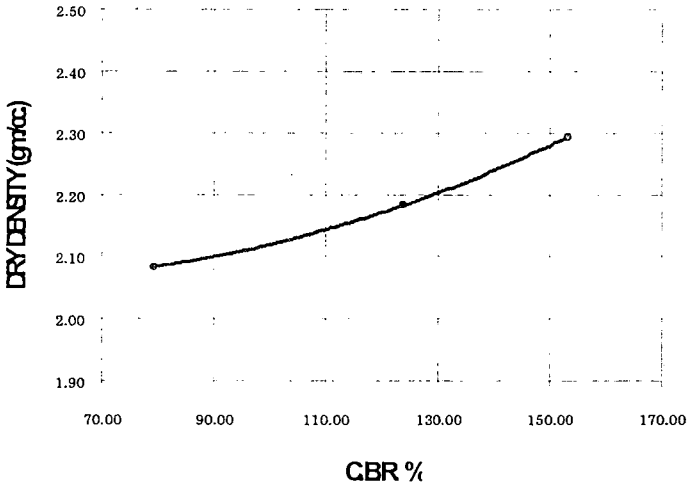
| BLOWS | C.B.R. | DENSITY | SWELL |
|---|---|---|---|
| 12 | 79.43 | 2.08 | 2.00 |
| 25 | 123.89 | 2.18 | 0.00 |
| 56 | 153.37 | 2.29 | 0.00 |

100% Mod. Proctor = 2.203 gm./cc.

95% Mod. Proctor = 2.093 gm./cc.

Optimum Moisture Content 8.19% Water Content C.B.R. 8.14 %

Required Percent Compaction 95% C.B.R. = 84.37 %




**รูปที่ ข-14** กราฟแสดง% CBR ของหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 2%

# California Bearing Ratio Test (CBR)

**ชนิดตัวอย่าง : หินคลุก + 3 % cement**

| DENSITY | | 12 BLOW/LAYER | | 25 BLOW/LAYER | | 56 BLOW/LAYER | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Before soak | After soak | Before soak | After soak | Before soak | After soak |
| Mold No. | | 1 | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 |
| Volume Mold | ml. | 2143.00 | 2143.00 | 2134.00 | 2134.00 | 2135.00 | 2135.00 |
| Mass Mold + soil | gm. | 12128.40 | 12177.90 | 12263.30 | 12309.50 | 12354.00 | 12413.50 |
| Mass Mold | gm. | 7378.70 | 7378.70 | 7416.80 | 7416.80 | 7106.10 | 7106.10 |
| Mass Wet soil | gm. | 4749.70 | 4799.20 | 4846.50 | 4892.70 | 5247.90 | 5307.40 |
| Wet density | gm./ml. | 2.22 | 2.24 | 2.27 | 2.29 | 2.46 | 2.49 |
| Dry Density | gm./ml. | 2.05 | 2.07 | 2.10 | 2.12 | 2.27 | 2.30 |

WATER CONTENT

| Can No. | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mass can + Wet soil | gm. | 115.20 | 112.80 | 110.60 | 112.60 | 115.20 | 109.50 | 110.90 | 110.60 | 110.20 |
| Mass can + Dry soil | gm. | 107.50 | 105.30 | 103.30 | 105.20 | 107.70 | 102.30 | 103.70 | 103.40 | 103.00 |
| Mass can | gm. | 14.60 | 14.60 | 15.00 | 14.40 | 14.50 | 14.00 | 14.80 | 14.70 | 14.60 |
| Mass Water | gm. | 7.70 | 7.50 | 7.30 | 7.40 | 7.60 | 7.20 | 7.20 | 7.20 | 7.20 |
| Mass Dry soil | gm. | 92.90 | 90.70 | 88.30 | 90.80 | 93.20 | 88.30 | 88.90 | 88.70 | 88.40 |
| Water content | % | 8.29 | 8.27 | 8.27 | 8.15 | 8.15 | 8.15 | 8.10 | 8.12 | 8.14 |
| Avr. Water content | % | 8.27 | | | 8.15 | | | 8.12 | | |

SWELLING

| No. of Layer | | 5 | | 5 | | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | | 5 | | 25 | | 56 | |
| Time and Date | Elapsed Time hr. | Swelling 0.0001inch | % Swelling | Swelling 0.0001inch | % Swelling | Swelling 0.0001inch | % Swelling |
| 17 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

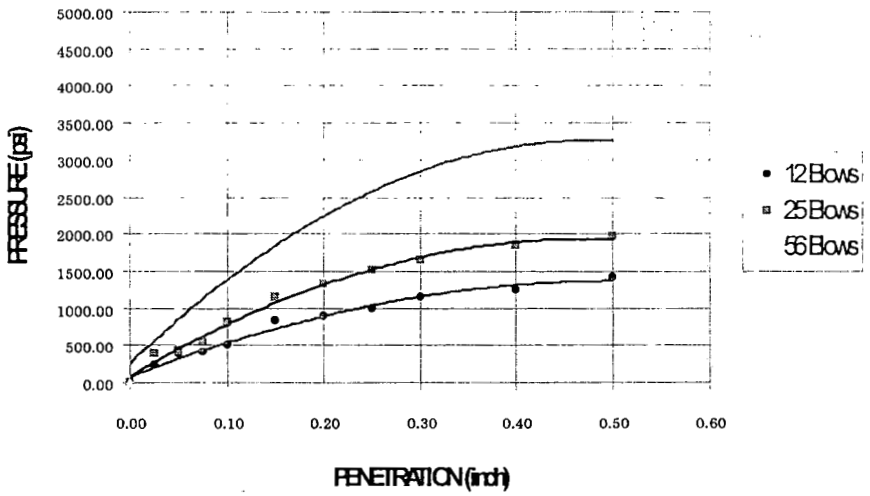
Load Scale, K = 4.880 kgf

Piston Area = 3 $in^2$

Penetration Rate = 0.05 in/min

PENETRATION

| Mold NO. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | 12 | | 25 | | 56 | |
| Surcharge lb. | | | | | | |
| Penetration in. | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ |
| 0.000 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| 0.025 | 3.1 | 232.3 | 5.2 | 389.7 | 8.3 | 622.0 |
| 0.050 | 5.2 | 389.7 | 5.8 | 434.6 | 13.7 | 1026.6 |
| 0.075 | 5.5 | 412.1 | 7.3 | 547.0 | 13.7 | 1326.4 |
| 0.100 | 6.8 | 509.6 | 10.9 | 816.8 | 18.3 | 1371.3 |
| 0.100 | 11.1 | 831.8 | 15.3 | 1146.5 | 23.2 | 1738.5 |
| 0.200 | 12 | 899.2 | 17.7 | 1326.4 | 29.7 | 2225.6 |
| 0.250 | 13.2 | 989.2 | 20.3 | 1521.2 | 33.8 | 2532.8 |
| 0.100 | 15.4 | 1154.0 | 22.1 | 1656.1 | 38.6 | 2892.5 |
| 0.000 | 16.7 | 1251.4 | 24.7 | 1850.9 | 41.3 | 3094.9 |
| 0.500 | 18.9 | 1416.3 | 26.1 | 1955.8 | 44.4 | 3327.2 |
| PENETRATION | | | | | | |
| 0.000 | 50.96 | | 81.68 | | 137.13 | |
| 0.250 | 50.96 | | 88.42 | | 148.37 | |
| CBR = | 59.95 | | 88.42 | | 148.37 | |




**รูปที่ ข-15** กราฟแสดงค่าการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง ของหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 3%

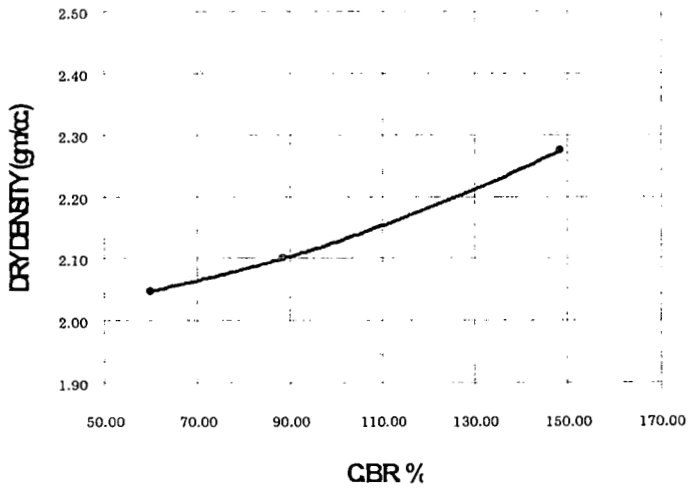
| BLOWS | C.B.R. | DENSITY | SWELL |
|---|---|---|---|
| 12 | 59.95 | 2.05 | 0.00 |
| 25 | 88.42 | 2.10 | 0.00 |
| 56 | 148.37 | 2.27 | 0.00 |

100% Mod. Proctor = 2.203 gm./cc.

95% Mod. Proctor = 2.093 gm./cc.

Optimum Moisture Content 8.24% Water Content C.B.R. 8.18 %

Required Percent Compaction 95% C.B.R. = 84.96 %




**รูปที่ ข-16** กราฟแสดง% CBR ของหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 3%

# California Bearing Ratio Test (CBR)

**ชนิดตัวอย่าง : หินคลุก + 4 % cement**

| DENSITY | | 12 BLOW/LAYER | | 25 BLOW/LAYER | | 56 BLOW/LAYER | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Before soak | After soak | Before soak | After soak | Before soak | After soak |
| Mold No. | | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Volume Mold | ml. | 2143.00 | 2143.00 | 2134.00 | 2134.00 | 2135.00 | 2135.00 |
| Mass Mold + soil | gm. | 12172.40 | 12233.70 | 12232.00 | 12285.60 | 12360.20 | 12428.70 |
| Mass Mold | gm. | 7416.80 | 7416.80 | 7378.70 | 7378.70 | 7106.10 | 7106.10 |
| Mass Wet soil | gm. | 4755.60 | 4816.90 | 4853.30 | 4906.90 | 5254.10 | 5322.60 |
| Wet density | gm./ml. | 2.22 | 2.25 | 2.27 | 2.30 | 2.46 | 2.49 |
| Dry Density | gm./ml. | 2.05 | 2.08 | 2.10 | 2.13 | 2.27 | 2.30 |

WATER CONTENT

| Can No. | | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mass can + Wet soil | gm. | 116.20 | 108.50 | 122.30 | 103.30 | 116.70 | 132.70 | 114.30 | 119.00 | 117.70 |
| Mass can + Dry soil | gm. | 108.60 | 101.50 | 114.30 | 96.70 | 109.10 | 123.90 | 106.70 | 111.10 | 109.90 |
| Mass can | gm. | 14.00 | 14.40 | 14.40 | 15.00 | 14.60 | 14.70 | 14.40 | 14.60 | 14.60 |
| Mass Water | gm. | 7.60 | 7.00 | 8.00 | 6.60 | 7.60 | 8.80 | 7.60 | 7.90 | 7.80 |
| Mass Dry soil | gm. | 94.60 | 87.10 | 99.90 | 81.70 | 94.50 | 109.20 | 92.30 | 96.50 | 95.30 |
| Water content | % | 8.03 | 8.04 | 8.01 | 8.08 | 8.04 | 8.06 | 8.23 | 8.19 | 8.18 |
| Avr. Water content | % | 8.03 | | | 8.06 | | | 8.20 | | |

SWELLING

| No. of Layer | | 5 | | 5 | | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | | 5 | | 25 | | 56 | |
| Time and Date | Elapsed Time hr. | Swelling 0.0001inch | % Swelling | Swelling 0.0001inch | % Swelling | Swelling 0.0001inch 3 | % Swelling |
| 17 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

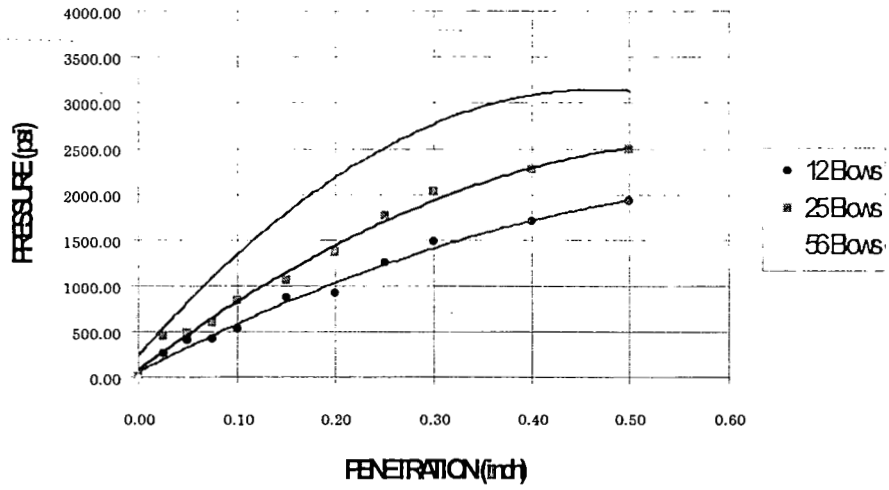
Load Scale, K = 4.880 kgf

Piston Area = 3 $in^2$

Penetration Rate = 0.05 in/min

PENETRATION

| Mold NO. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | 12 | | 12 | | 56 | |
| Surcharge lb. | | | | | | |
| Penetration in. | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ |
| 0.000 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| 0.025 | 3.5 | 262.3 | 6 | 449.6 | 8.9 | 666.9 |
| 0.050 | 5.4 | 404.7 | 6.4 | 479.6 | 12.9 | 966.7 |
| 0.075 | 5.7 | 427.1 | 7.9 | 592.0 | 14.8 | 1109.1 |
| 0.100 | 7 | 524.6 | 11.2 | 839.3 | 18.9 | 1416.3 |
| 0.150 | 11.6 | 869.3 | 14.1 | 1056.6 | 22.7 | 1701.1 |
| 0.200 | 12.2 | 914.2 | 18.4 | 1378.8 | 30 | 2248.1 |
| 0.250 | 16.8 | 1258.9 | 23.6 | 1768.5 | 33.1 | 2480.4 |
| 0.300 | 19.9 | 1491.2 | 27.2 | 2038.3 | 36.7 | 2750.2 |
| 0.300 | 22.9 | 1716.0 | 30.3 | 2270.6 | 40.4 | 3027.4 |
| 0.500 | 25.8 | 1933.4 | 33.4 | 2502.9 | 42.5 | 3184.8 |
| PENETRATION | | | | | | |
| 0.100 | 52.46 | | 83.93 | | 141.63 | |
| 0.100 | 60.95 | | 83.93 | | 149.87 | |
| CBR = | 60.95 | | 91.92 | | 149.87 | |




**รูปที่ ข-17** กราฟแสดงค่าการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง ของหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 4%

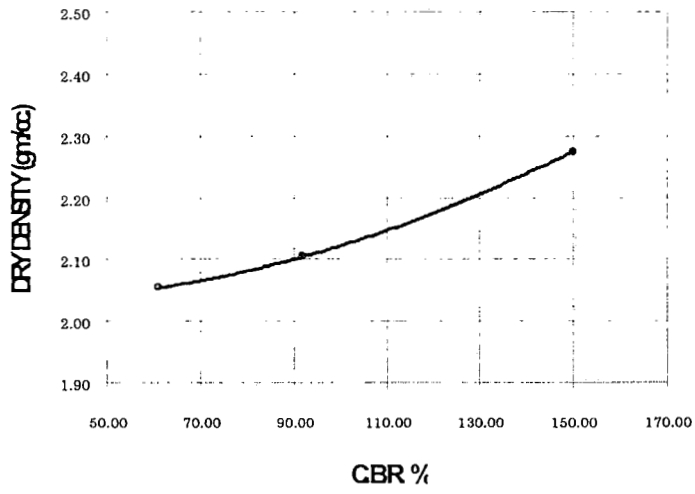
| BLOWS | C.B.R. | DENSITY | SWELL |
|---|---|---|---|
| 12 | 60.95 | 2.05 | 0.00 |
| 25 | 91.92 | 2.10 | 0.00 |
| 56 | 149.87 | 2.27 | 0.00 |

100% Mod. Proctor = 2.204 gm./cc.

95% Mod. Proctor = 2.094 gm./cc.

Optimum Moisture Content 8.73% Water Content C.B.R. 8.10 %

Required Percent Compaction 95% C.B.R. = 85.73 %




**รูปที่ ข-18** กราฟแสดง% CBR ของหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 4%

# California Bearing Ratio Test (CBR)

**ชนิดตัวอย่าง : หินคลุก + 5 % cement**

| DENSITY | | 12 BLOW/LAYER | | 25 BLOW/LAYER | | 56 BLOW/LAYER | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Before soak | After soak | Before soak | After soak | Before soak | After soak |
| Mold No. | | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| Volume Mold | ml. | 2143.00 | 2143.00 | 2134.00 | 2134.00 | 2135.00 | 2135.00 |
| Mass Mold + soil | gm. | 12073.70 | 12155.80 | 12203.40 | 12242.30 | 12314.70 | 12357.20 |
| Mass Mold | gm. | 7416.80 | 7416.80 | 7378.70 | 7378.70 | 7106.10 | 7106.10 |
| Mass Wet soil | gm. | 4656.90 | 4739.00 | 4824.70 | 4863.60 | 5208.60 | 5251.10 |
| Wet density | gm./ml. | 2.17 | 2.21 | 2.26 | 2.28 | 2.44 | 2.46 |
| Dry Density | gm./ml. | 2.00 | 2.04 | 2.09 | 2.10 | 2.25 | 2.27 |

WATER CONTENT

| Can No. | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mass can + Wet soil | gm. | 112.40 | 109.70 | 116.20 | 106.50 | 117.50 | 112.30 | 117.00 | 113.50 | 121.60 |
| Mass can + Dry soil | gm. | 104.80 | 102.30 | 108.30 | 99.40 | 109.60 | 104.80 | 109.20 | 106.00 | 113.50 |
| Mass can | gm. | 14.40 | 14.60 | 14.80 | 14.50 | 15.10 | 14.70 | 14.40 | 14.60 | 14.80 |
| Mass Water | gm. | 7.60 | 7.40 | 7.90 | 7.10 | 7.90 | 7.50 | 7.80 | 7.50 | 8.10 |
| Mass Dry soil | gm. | 90.40 | 87.70 | 93.50 | 84.90 | 94.50 | 90.10 | 94.80 | 91.40 | 98.70 |
| Water content | % | 8.41 | 8.44 | 8.45 | 8.36 | 8.36 | 8.32 | 8.23 | 8.21 | 8.21 |
| Avr. Water content | % | 8.43 | | | 8.35 | | | 8.21 | | |

SWELLING

| No. of Layer | | 5 | | 5 | | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | | 12 | | 25 | | 56 | |
| Time | Elapsed | Swelling | % | Swelling | % | Swelling | % |
| and | Time | 0.0001inch | Swelling | 0.0001inch | Swelling | 0.0001inch | Swelling |
| Date | hr. | | | | 2 | | |
| 17 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

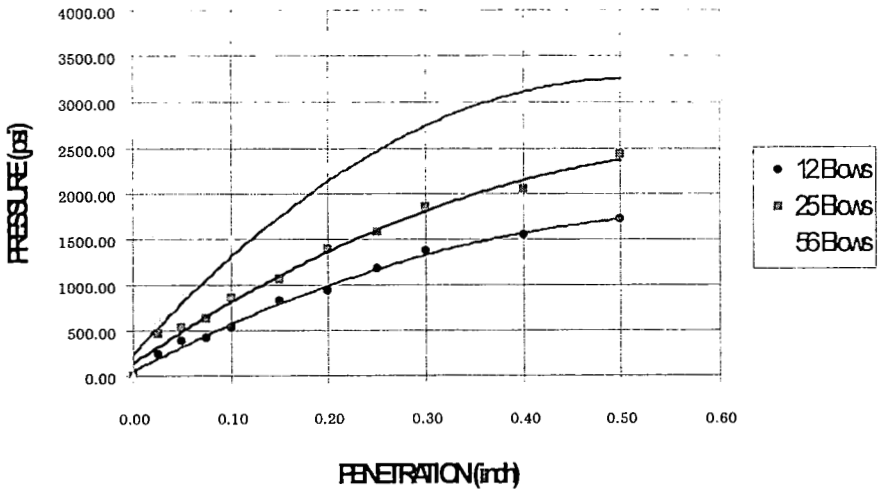
Load Scale, K = 4.880 kgf

Piston Area = 3 $in^2$

Penetration Rate = 0.05 in/min

PENETRATION

| Mold NO. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | 12 | | 25 | | 12 | |
| Surcharge lb. | | | | | | |
| Penetration in. | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ |
| 0.000 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| 0.025 | 3.3 | 247.3 | 6.2 | 464.6 | 8.3 | 622.0 |
| 0.050 | 5.1 | 382.2 | 7 | 524.6 | 12.5 | 936.7 |
| 0.075 | 5.1 | 427.1 | 8.3 | 622.0 | 14.2 | 1064.1 |
| 0.100 | 7.2 | 539.5 | 11.5 | 861.8 | 19.8 | 1483.7 |
| 0.150 | 10.9 | 816.8 | 14.1 | 1056.6 | 21.2 | 1588.6 |
| 0.200 | 12.5 | 936.7 | 18.6 | 1393.8 | 30.6 | 2293.1 |
| 0.250 | 15.7 | 1176.5 | 21.2 | 1588.6 | 32.8 | 2457.9 |
| 0.300 | 18.3 | 1371.3 | 24.7 | 1850.9 | 34.9 | 2615.3 |
| 0.300 | 20.7 | 1551.2 | 27.4 | 2053.3 | 40.7 | 3049.9 |
| 0.300 | 23.1 | 1731.0 | 32.4 | 2427.9 | 44.5 | 3334.7 |
| PENETRATION | | | | | | |
| 0.300 | 53.95 | | 86.18 | | 148.37 | |
| 0.300 | 62.45 | | 92.92 | | 152.87 | |
| CBR = | 62.45 | | 92.92 | | 152.87 | |




**รูปที่ ข-19** กราฟแสดงค่าการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง ของหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5%

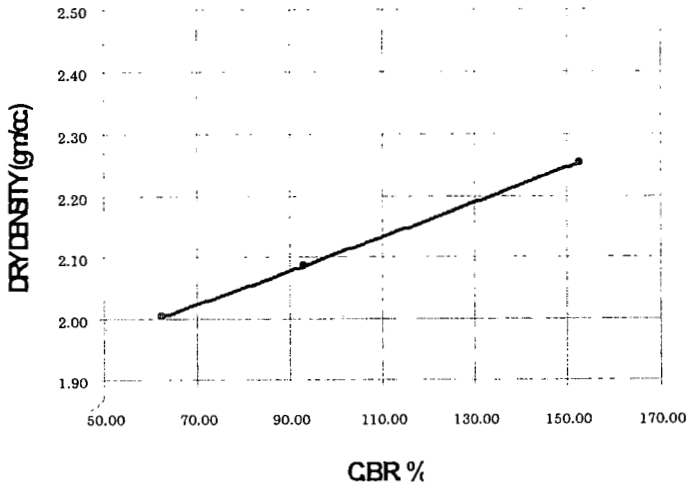
| BLOWS | C.B.R. | DENSITY | SWELL |
|---|---|---|---|
| 12 | 62.45 | 2.00 | 0.00 |
| 25 | 92.92 | 2.00 | 0.00 |
| 56 | 152.87 | 2.25 | 0.00 |

100% Mod. Proctor = 2.206 gm./cc.

95% Mod. Proctor = 2.096 gm./cc.

Optimum Moisture Content 8.89% Water Content C.B.R. 8.33 %

Required Percent Compaction 95% C.B.R. = 98.31 %




**รูปที่ ข-20** กราฟแสดง% CBR ของหินคลุกที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5%

# California Bearing Ratio Test (CBR)

**ชนิดตัวอย่าง : ตะกรันเหล็ก + 1% cement**

| DENSITY | | 12 BLOW/LAYER | | 25 BLOW/LAYER | | 56 BLOW/LAYER | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Before soak | After soak | Before soak | After soak | Before soak | After soak |
| Mold No. | | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Volume Mold | ml. | 2143.00 | 2143.00 | 2134.00 | 2134.00 | 2135.00 | 2135.00 |
| Mass Mold + soil | gm. | 12238.10 | 12276.30 | 12557.00 | 12594.10 | 12777.30 | 12813.50 |
| Mass Mold | gm. | 7015.80 | 7015.80 | 7158.60 | 7158.60 | 7053.50 | 7053.50 |
| Mass Wet soil | gm. | 5222.30 | 5260.50 | 5398.40 | 5435.50 | 5723.80 | 5760.00 |
| Wet density | gm./ml. | 2.44 | 2.45 | 2.53 | 2.55 | 2.68 | 2.70 |
| Dry Density | gm./ml. | 2.25 | 2.27 | 2.34 | 2.36 | 2.48 | 2.50 |

WATER CONTENT

| Can No. | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mass can + Wet soil | gm. | 117.20 | 115.30 | 112.90 | 117.80 | 115.60 | 123.40 | 153.90 | 154.20 | 159.00 |
| Mass can + Dry soil | gm. | 109.30 | 107.60 | 105.30 | 110.00 | 108.00 | 115.20 | 143.50 | 143.80 | 148.30 |
| Mass can | gm. | 15.00 | 15.10 | 14.80 | 14.60 | 14.60 | 14.00 | 14.50 | 14.40 | 14.70 |
| Mass Water | gm. | 7.90 | 7.70 | 7.60 | 7.80 | 7.60 | 8.20 | 10.40 | 10.40 | 10.70 |
| Mass Dry soil | gm. | 94.30 | 92.50 | 90.50 | 95.40 | 93.40 | 101.20 | 129.00 | 129.40 | 133.60 |
| Water content | % | 8.38 | 8.32 | 8.40 | 8.18 | 8.14 | 8.10 | 8.06 | 8.04 | 8.01 |
| Avr. Water content | % | 8.37 | | | 8.14 | | | 8.04 | | |

SWELLING

| No. of Layer | | 5 | | 5 | | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | | 12 | | 5 | | 56 | |
| Time and Date | Elapsed Time hr. | Swelling 0.0001inch | % Swelling | Swelling 0.0001inch | % Swelling | Swelling 0.0001inch | % Swelling |
| 17 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21 พ.ค. 51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

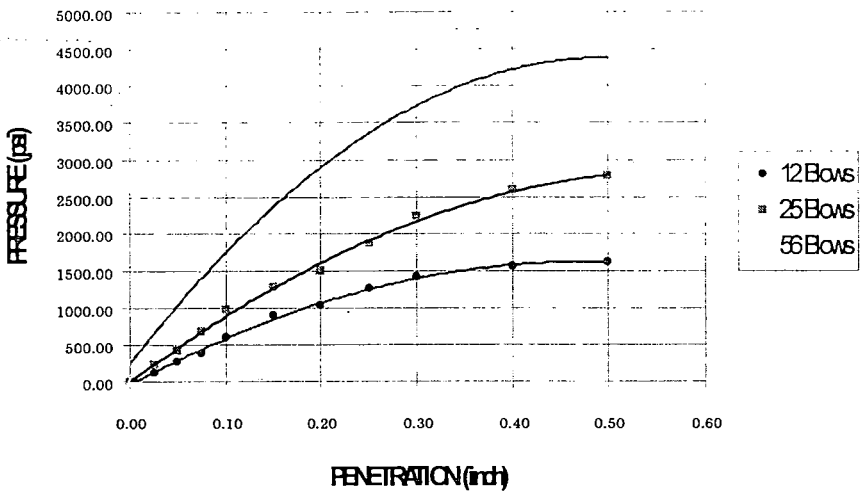
Load Scale, K = 4.880 kgf

Piston Area = 3 $in^2$

Penetration Rate = 0.05 in/min

PENETRATION

| Mold NO. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | 56 | | 25 | | 56 | |
| Surcharge lb. | | | | | | |
| Penetration in. | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ |
| 0.000 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| 0.025 | 35 | 125.5 | 65 | 233.1 | 180 | 645.5 |
| 0.050 | 75 | 268.9 | 120 | 430.3 | 310 | 1111.6 |
| 0.075 | 110 | 394.4 | 190 | 681.3 | 429 | 1538.3 |
| 0.100 | 170 | 609.6 | 270 | 968.2 | 555 | 1990.2 |
| 0.100 | 250 | 896.5 | 360 | 1290.9 | 670 | 2402.5 |
| 0.100 | 290 | 1039.9 | 420 | 1506.1 | 800 | 2868.7 |
| 0.250 | 350 | 1255.1 | 519 | 1861.1 | 905 | 3245.2 |
| 0.100 | 395 | 1416.4 | 625 | 2241.2 | 1030 | 3693.4 |
| 0.100 | 435 | 1559.9 | 720 | 2581.8 | 1141 | 4091.5 |
| 0.100 | 250 | 1613.6 | 775 | 2779.1 | 1252 | 4489.5 |
| PENETRATION | | | | | | |
| 0.100 | 60.96 | | 96.82 | | 199.02 | |
| 0.200 | 69.33 | | 100.40 | | 191.25 | |
| CBR = | 69.33 | | 100.40 | | 199.02 | |




**รูปที่ ข-21** กราฟแสดงค่าการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง ของตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1%

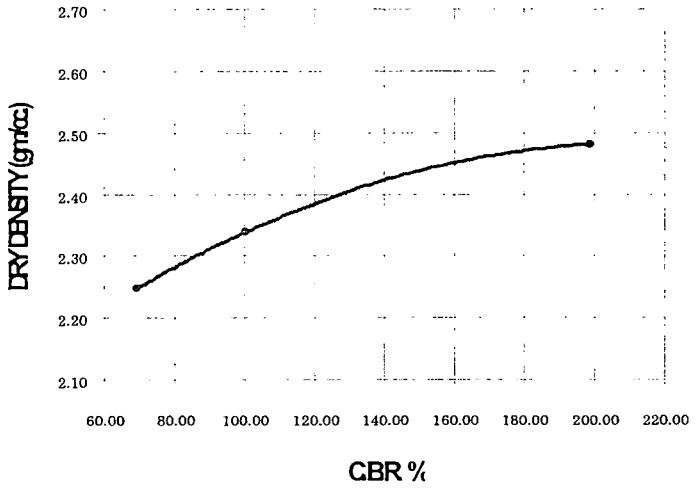
| BLOWS | C.B.R. | DENSITY | SWELL |
|---|---|---|---|
| 12 | 69.33 | 2.25 | 0.00 |
| 25 | 100.40 | 2.25 | 0.00 |
| 56 | 199.02 | 2.48 | 0.00 |

100% Mod. Proctor = 2.597 gm./cc.

95% Mod. Proctor = 2.467 gm./cc.

Optimum Moisture Content 11.69% Water Content C.B.R. 8.18 %

Required Percent Compaction 95% C.B.R. = 186.16 %




**รูปที่ ข-22** กราฟแสดง% CBR ของตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 1%

# California Bearing Ratio Test (CBR)

**ชนิดตัวอย่าง : ตะกรันเหล็ก + 2% cement**

| DENSITY | | 12 BLOW/LAYER | | 25 BLOW/LAYER | | 56 BLOW/LAYER | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Before soak | After soak | Before soak | After soak | Before soak | After soak |
| Mold No. | | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| Volume Mold | ml. | 2143.00 | 2143.00 | 2134.00 | 2134.00 | 2135.00 | 2135.00 |
| Mass Mold + soil | gm. | 12570.20 | 12643.10 | 12739.10 | 12795.60 | 13020.00 | 13084.60 |
| Mass Mold | gm. | 7281.80 | 7281.80 | 7379.90 | 7379.90 | 7274.30 | 7274.30 |
| Mass Wet soil | gm. | 5288.40 | 5361.30 | 5359.20 | 5415.70 | 5745.70 | 5810.30 |
| Wet density | gm./ml. | 2.47 | 2.50 | 2.51 | 2.54 | 2.69 | 2.72 |
| Dry Density | gm./ml. | 2.28 | 2.31 | 2.32 | 2.32 | 2.49 | 2.52 |

WATER CONTENT

| Can No. | | 1 | 2 | 3 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mass can + Wet soil | gm. | 116.50 | 114.30 | 113.20 | 121.50 | 110.80 | 121.80 | 153.50 | 155.20 | 155.90 |
| Mass can + Dry soil | gm. | 108.70 | 106.70 | 105.70 | 113.40 | 103.50 | 113.70 | 143.10 | 144.70 | 145.30 |
| Mass can | gm. | 14.60 | 14.80 | 14.60 | 14.40 | 14.50 | 15.00 | 14.60 | 14.80 | 14.60 |
| Mass Water | gm. | 7.80 | 7.60 | 7.50 | 8.10 | 7.30 | 8.10 | 10.40 | 10.50 | 10.60 |
| Mass Dry soil | gm. | 94.10 | 91.90 | 91.10 | 99.00 | 99.00 | 98.70 | 128.50 | 129.90 | 130.70 |
| Water content | % | 8.29 | 8.27 | 8.23 | 8.18 | 8.20 | 8.21 | 8.09 | 8.08 | 8.11 |
| Avr. Water content | % | 8.26 | | | 8.20 | | | 8.10 | | |

SWELLING

| No. of Layer | | 5 | | 5 | | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | | 5 | | 5 | | 5 | |
| Time | Elapsed | Swelling | % | Swelling | % | Swelling | % |
| and | Time | 0.0001inch | Swelling | 0.0001inch | Swelling | 0.0001inch | Swelling |
| Date | hr. | | 1 | 2 | | 2 | |
| 17-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

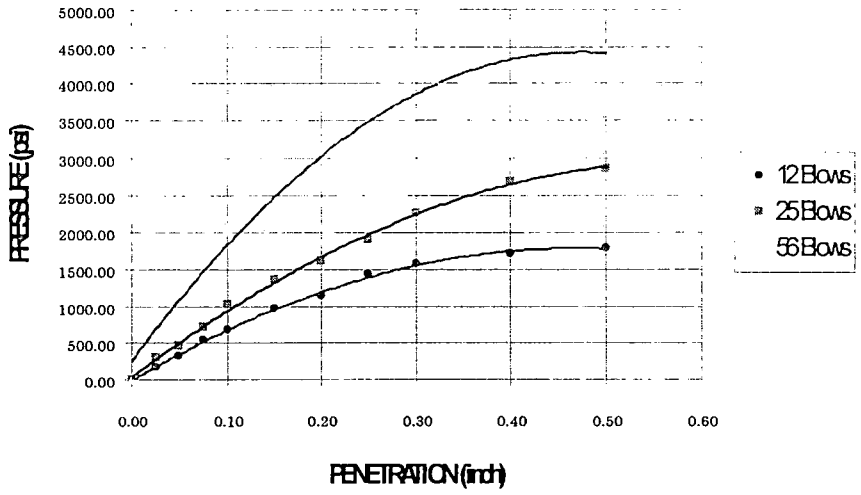
Load Scale, K = 4.880 kgf

Piston Area = 3 $in^2$

Penetration Rate = 0.05 in/min

PENETRATION

| Mold NO. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | 25 | | 25 | | 56 | |
| Surcharge lb. | | | | | | |
| Penetration in. | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ |
| 0.000 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| 0.025 | 50 | 179.3 | 85 | 304.8 | 192 | 688.5 |
| 0.050 | 50 | 322.7 | 130 | 466.2 | 330 | 1183.3 |
| 0.075 | 150 | 537.9 | 200 | 717.2 | 450 | 1613.6 |
| 0.100 | 190 | 681.3 | 290 | 1039.9 | 570 | 2043.9 |
| 0.150 | 270 | 968.2 | 380 | 1362.6 | 685 | 2456.3 |
| 0.200 | 320 | 1147.5 | 450 | 1613.6 | 845 | 3030.1 |
| 0.250 | 400 | 1434.3 | 130 | 1900.5 | 920 | 3299.0 |
| 0.300 | 440 | 1577.8 | 630 | 2259.1 | 1070 | 3836.9 |
| 0.400 | 475 | 1703.3 | 750 | 2689.4 | 1195 | 4285.1 |
| 0.200 | 500 | 1792.9 | 800 | 2868.7 | 1250 | 4482.3 |
| PENETRATION | | | | | | |
| 0.100 | 68.13 | | 103.99 | | 204.39 | |
| 0.200 | 76.50 | | 107.58 | | 202.00 | |
| CBR = | 76.50 | | 107.58 | | 204.39 | |




**รูปที่ ข-23** กราฟแสดงค่าการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง ของตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 2%

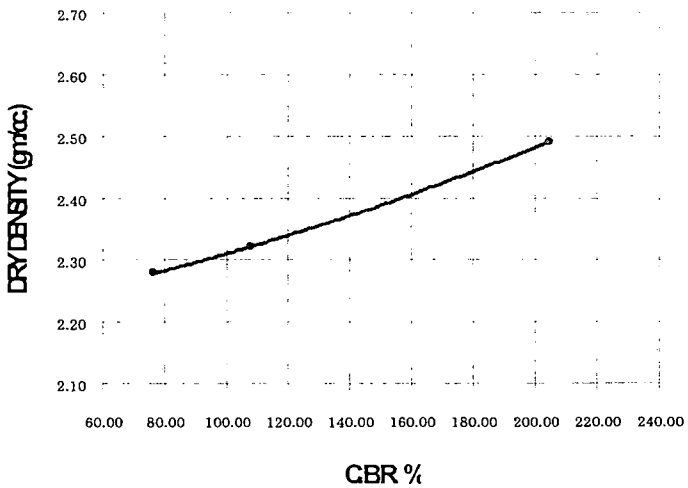
| BLOWS | C.B.R. | DENSITY | SWELL |
|---|---|---|---|
| 12 | 76.50 | 2.28 | 0.00 |
| 25 | 107.58 | 2.32 | 0.00 |
| 56 | 204.39 | 2.49 | 0.00 |

100% Mod. Proctor = 2.599 gm./cc.

95% Mod. Proctor = 2.469 gm./cc.

Optimum Moisture Content 11.72% Water Content C.B.R. 8.19 %

Required Percent Compaction 95% C.B.R. = 194.93 %




**รูปที่ ข-24** กราฟแสดง% CBR ของตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 2%

# California Bearing Ratio Test (CBR)

**ชนิดตัวอย่าง : ตะกรันเหล็ก + 3% cement**

| DENSITY | | 12 BLOW/LAYER | | 25 BLOW/LAYER | | 56 BLOW/LAYER | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Before soak | After soak | Before soak | After soak | Before soak | After soak |
| Mold No. | | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Volume Mold | ml. | 2143.00 | 2143.00 | 2134.00 | 2134.00 | 2135.00 | 2135.00 |
| Mass Mold + soil | gm. | 12339.30 | 12394.10 | 12634.60 | 12688.60 | 12857.90 | 12913.50 |
| Mass Mold | gm. | 7106.10 | 7106.10 | 7380.00 | 7380.00 | 7251.20 | 7251.20 |
| Mass Wet soil | gm. | 5233.20 | 5288.00 | 5254.60 | 5308.60 | 5606.70 | 5662.30 |
| Wet density | gm./ml. | 2.44 | 2.47 | 2.46 | 2.49 | 2.63 | 2.65 |
| Dry Density | gm./ml. | 2.25 | 2.28 | 2.28 | 2.20 | 2.43 | 2.45 |

WATER CONTENT

| Can No. | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mass can + Wet soil | gm. | 109.80 | 112.20 | 108.50 | 113.40 | 115.60 | 113.50 | 139.00 | 140.50 | 137.20 |
| Mass can + Dry soil | gm. | 102.50 | 104.70 | 101.30 | 106.00 | 108.00 | 106.10 | 129.70 | 131.10 | 128.00 |
| Mass can | gm. | 14.60 | 14.60 | 15.10 | 15.00 | 15.20 | 14.80 | 14.60 | 14.60 | 14.40 |
| Mass Water | gm. | 7.30 | 7.50 | 7.20 | 7.40 | 7.60 | 7.40 | 9.30 | 9.40 | 9.20 |
| Mass Dry soil | gm. | 87.90 | 90.10 | 86.20 | 91.00 | 92.80 | 91.30 | 115.10 | 116.50 | 113.60 |
| Water content | % | 8.30 | 8.32 | 8.35 | 8.13 | 8.19 | 8.11 | 8.08 | 8.07 | 8.10 |
| Avr. Water content | % | 8.33 | | | 8.14 | | | 8.08 | | |

SWELLING

| No. of Layer | | 5 | | 5 | | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | | 12 | | 25 | | 56 | |
| Time | Elapsed | Swelling | % | Swelling | % | Swelling | % |
| and | Time | 0.0001inch | Swelling | 0.0001inch | Swelling | 0.0001inch | Swelling |
| Date | hr. | | | | | 1 | |
| 17-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

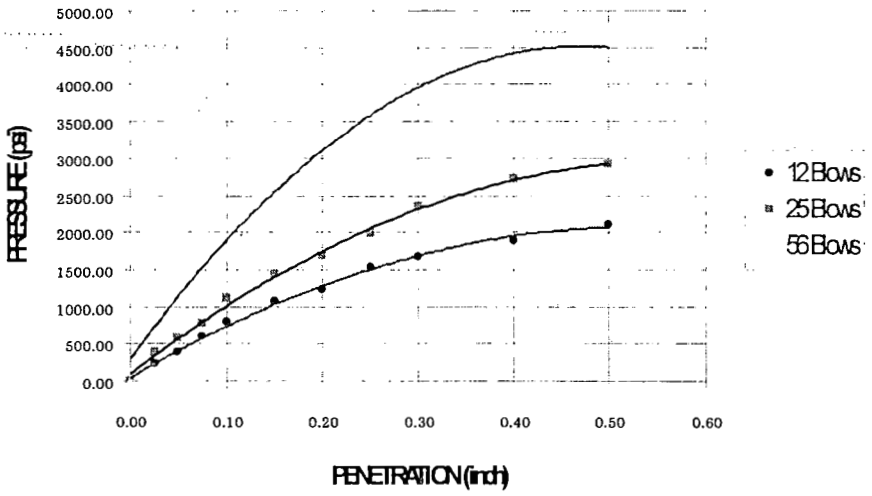
Load Scale, K = 4.880 kgf

Piston Area = 3 $in^2$

Penetration Rate = 0.05 in/min

PENETRATION

| Mold NO. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | 12 | | 12 | | 56 | |
| Surcharge lb. | | | | | | |
| Penetration in. | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ |
| 0.000 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| 0.025 | 3.1 | 232.3 | 5.2 | 389.7 | 10.2 | 764.4 |
| 0.050 | 5.3 | 397.2 | 7.9 | 592.0 | 16.5 | 1236.4 |
| 0.075 | 8 | 599.5 | 10.4 | 779.3 | 22.3 | 1671.1 |
| 0.100 | 10.7 | 801.8 | 14.7 | 1101.6 | 28 | 2098.2 |
| 0.150 | 14.2 | 1064.1 | 19.1 | 1431.3 | 34.1 | 2555.3 |
| 0.200 | 16.3 | 1221.5 | 22.5 | 1686.1 | 41.9 | 3139.8 |
| 0.200 | 20.5 | 1536.2 | 26.4 | 1978.3 | 45.2 | 3387.1 |
| 0.200 | 22.4 | 1678.6 | 31.3 | 2345.5 | 52.3 | 3919.2 |
| 0.200 | 25.2 | 1888.4 | 36.3 | 2720.2 | 58.4 | 4376.3 |
| 0.100 | 28.1 | 2105.7 | 39 | 2922.5 | 61.1 | 4578.6 |
| PENETRATION | | | | | | |
| 0.200 | 80.18 | | 110.16 | | 209.82 | |
| 0.200 | 81.43 | | 112.40 | | 209.82 | |
| CBR = | 81.43 | | 112.40 | | 209.82 | |




**รูปที่ ข-25** กราฟแสดงค่าการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง ของตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 3%

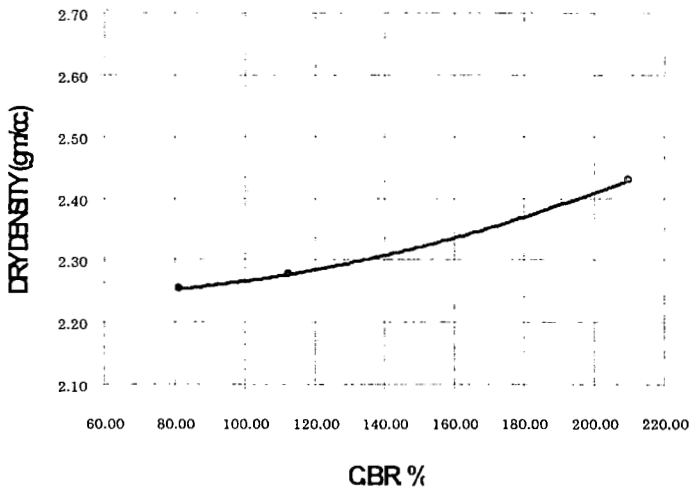
| BLOWS | C.B.R. | DENSITY | SWELL |
|---|---|---|---|
| 12 | 81.43 | 2.25 | 0.00 |
| 25 | 112.40 | 2.28 | 0.00 |
| 56 | 209.82 | 2.25 | 0.00 |

100% Mod. Proctor = 2.599 gm./cc.

95% Mod. Proctor = 2.469 gm./cc.

Optimum Moisture Content 11.93% Water Content C.B.R. 8.18 %

Required Percent Compaction 95% C.B.R. = 202.81 %




**รูปที่ ข-26** กราฟแสดง% CBR ของตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 3%

# California Bearing Ratio Test (CBR)

**ชนิดตัวอย่าง : ตะกรันเหล็ก + 4% cement**

| DENSITY | | 12 BLOW/LAYER | | 25 BLOW/LAYER | | 56 BLOW/LAYER | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Before soak | After soak | Before soak | After soak | Before soak | After soak |
| Mold No. | | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| Volume Mold | ml. | 2143.00 | 2143.00 | 2134.00 | 2134.00 | 2135.00 | 2135.00 |
| Mass Mold + soil | gm. | 12408.60 | 12475.30 | 12752.10 | 12809.40 | 12966.50 | 12981.40 |
| Mass Mold | gm. | 7106.10 | 7106.10 | 7380.00 | 7380.00 | 7251.20 | 7251.20 |
| Mass Wet soil | gm. | 5302.50 | 5369.20 | 5372.10 | 5429.40 | 5715.30 | 5730.20 |
| Wet density | gm./ml. | 2.47 | 2.51 | 2.52 | 2.54 | 2.68 | 2.68 |
| Dry Density | gm./ml. | 2.28 | 2.51 | 2.33 | 2.33 | 2.48 | 2.48 |

WATER CONTENT

| Can No. | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mass can + Wet soil | gm. | 143.50 | 140.10 | 142.30 | 151.20 | 153.40 | 155.30 | 155.40 | 158.50 | 157.20 |
| Mass can + Dry soil | gm. | 133.60 | 130.40 | 132.50 | 140.90 | 143.00 | 144.70 | 144.90 | 147.80 | 146.60 |
| Mass can | gm. | 14.60 | 14.60 | 14.50 | 14.80 | 15.20 | 15.10 | 14.60 | 14.80 | 15.00 |
| Mass Water | gm. | 9.90 | 9.70 | 9.80 | 10.30 | 10.40 | 10.60 | 10.50 | 10.70 | 10.60 |
| Mass Dry soil | gm. | 119.00 | 115.80 | 118.00 | 126.10 | 127.80 | 129.60 | 130.30 | 133.00 | 131.60 |
| Water content | % | 8.32 | 8.38 | 8.31 | 8.17 | 8.14 | 8.18 | 8.06 | 8.05 | 8.05 |
| Avr. Water content | % | 8.33 | | | 8.16 | | | 8.05 | | |

SWELLING

| No. of Layer | | 5 | | 5 | | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | | 5 | | 5 | | 56 | |
| Time | Elapsed | Swelling | % | Swelling | % | Swelling | % |
| and | Time | 0.0001inch | Swelling | 0.0001inch | Swelling | 0.0001inch | Swelling |
| Date | hr. | | 1 | | | 2 | |
| 17-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

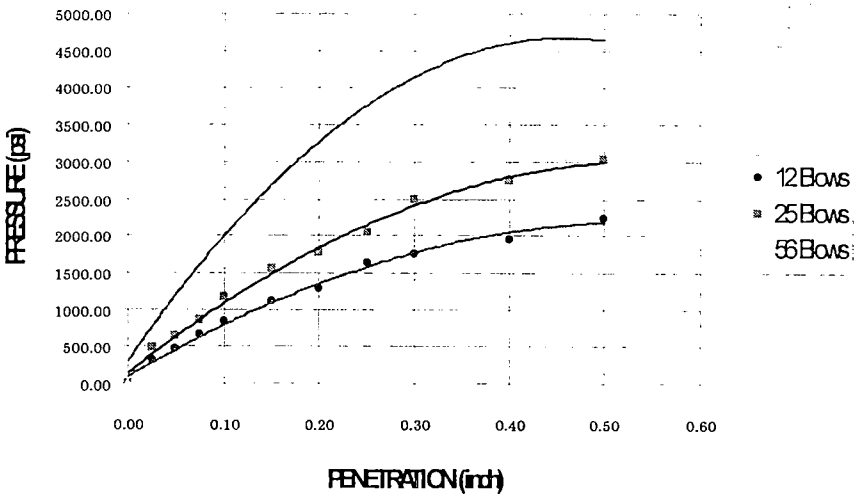
Load Scale, K = 4.880 kgf

Piston Area = 3 $in^2$

Penetration Rate = 0.05 in/min

PENETRATION

| Mold NO. | | | 12 | | 56 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | | | 12 | | 56 | |
| Surcharge lb. | | | | | | |
| Penetration in. | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ |
| 0.000 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| 0.025 | 4.2 | 314.7 | 6.4 | 479.6 | 11.3 | 846.8 |
| 0.050 | 6.2 | 464.6 | 8.6 | 644.5 | 17.3 | 1296.4 |
| 0.075 | 8.7 | 651.9 | 11.4 | 854.3 | 22.8 | 1708.5 |
| 0.100 | 11.2 | 839.3 | 15.6 | 1169.0 | 28.9 | 2165.7 |
| 0.150 | 14.9 | 1116.6 | 20.7 | 1551.2 | 36.2 | 2712.7 |
| 0.100 | 17.2 | 1288.9 | 23.7 | 1776.0 | 43.5 | 3259.7 |
| 0.250 | 21.9 | 1641.1 | 27.2 | 2038.3 | 49.2 | 3686.9 |
| 0.300 | 23.4 | 1753.5 | 33.3 | 2495.4 | 54.3 | 4069.0 |
| 0.300 | 26 | 1948.3 | 36.5 | 2735.2 | 60.2 | 4511.2 |
| 0.500 | 29.9 | 2240.6 | 40.4 | 3027.4 | 63.2 | 4736.0 |
| PENETRATION | | | | | | |
| 0.100 | 83.93 | | 116.90 | | 216.57 | |
| 0.300 | 83.93 | | 118.40 | | 217.32 | |
| CBR = | 85.93 | | 118.40 | | 217.32 | |




**รูปที่ ข-27** กราฟแสดงค่าการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง ของตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 4%

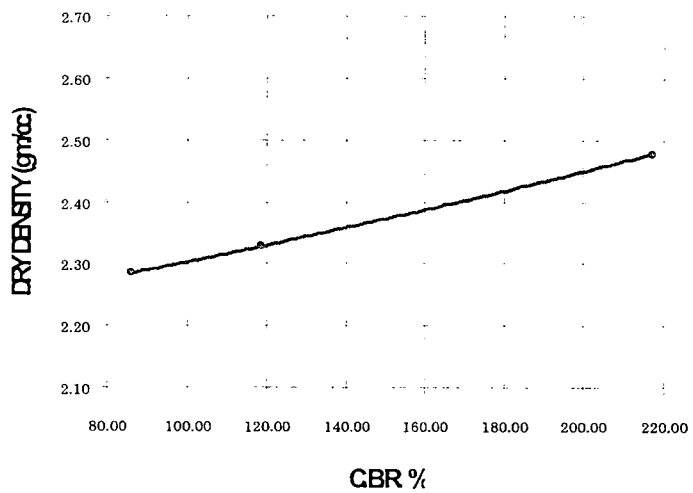
| BLOWS | C.B.R. | DENSITY | SWELL |
|---|---|---|---|
| 12 | 85.93 | 2.28 | 0.00 |
| 25 | 118.40 | 2.33 | 0.00 |
| 56 | 217.32 | 2.28 | 0.00 |

100% Mod. Proctor = 2.602 gm./cc.

95% Mod. Proctor = 2.472 gm./cc.

Optimum Moisture Content 11.93% Water Content C.B.R. 8.18 %

Required Percent Compaction 95% C.B.R. = 214.01 %




**รูปที่ ข-28** กราฟแสดง% CBR ของตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 4%

# California Bearing Ratio Test (CBR)

**ชนิดตัวอย่าง : ตะกรันเหล็ก + 5% cement**

| DENSITY | | 12 BLOW/LAYER | | 25 BLOW/LAYER | | 56 BLOW/LAYER | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Before soak | After soak | Before soak | After soak | Before soak | After soak |
| Mold No. | | 1 | 1 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| Volume Mold | ml. | 2143.00 | 2143.00 | 2135.00 | 2135.00 | 2135.00 | 2135.00 |
| Mass Mold + soil | gm. | 12443.50 | 12494.60 | 12747.60 | 12805.10 | 12974.00 | 13023.10 |
| Mass Mold | gm. | 7106.10 | 7106.10 | 7380.00 | 7380.00 | 7251.20 | 7251.20 |
| Mass Wet soil | gm. | 5337.40 | 5388.50 | 5367.60 | 5425.10 | 5722.80 | 5771.90 |
| Wet density | gm./ml. | 2.49 | 2.51 | 2.52 | 2.54 | 2.68 | 2.70 |
| Dry Density | gm./ml. | 2.30 | 2.32 | 2.33 | 2.35 | 2.49 | 2.51 |

WATER CONTENT

| Can No. | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mass can + Wet soil | gm. | 143.20 | 145.20 | 138.60 | 125.90 | 123.40 | 119.80 | 159.60 | 153.80 | 156.50 |
| Mass can + Dry soil | gm. | 133.30 | 135.10 | 129.00 | 117.50 | 115.20 | 111.90 | 149.50 | 145.20 | 145.00 |
| Mass can | gm. | 14.40 | 14.10 | 14.40 | 14.50 | 15.10 | 14.70 | 14.50 | 14.00 | 14.80 |
| Mass Water | gm. | 9.90 | 10.10 | 9.60 | 8.40 | 8.20 | 7.90 | 10.10 | 8.60 | 11.50 |
| Mass Dry soil | gm. | 118.90 | 121.00 | 114.60 | 103.00 | 100.10 | 97.20 | 135.10 | 131.20 | 130.20 |
| Water content | % | 8.33 | 8.35 | 8.38 | 8.16 | 8.19 | 8.13 | 7.48 | 6.55 | 8.83 |
| Avr. Water content | % | 8.35 | | | 8.16 | | | 7.62 | | |

SWELLING

| No. of Layer | | 5 | | 5 | | 5 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | | 12 | | 25 | | 56 | |
| Time | Elapsed | Swelling | % | Swelling | % | Swelling | % |
| and | Time | 0.0001inch | Swelling | 0.0001inch | Swelling | 0.0001inch | Swelling |
| Date | hr. | | 1 | 3 | 2 | 3 | |
| 17-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 18-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 19-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 20-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 21-พ.ค.-51 | 10:00:00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

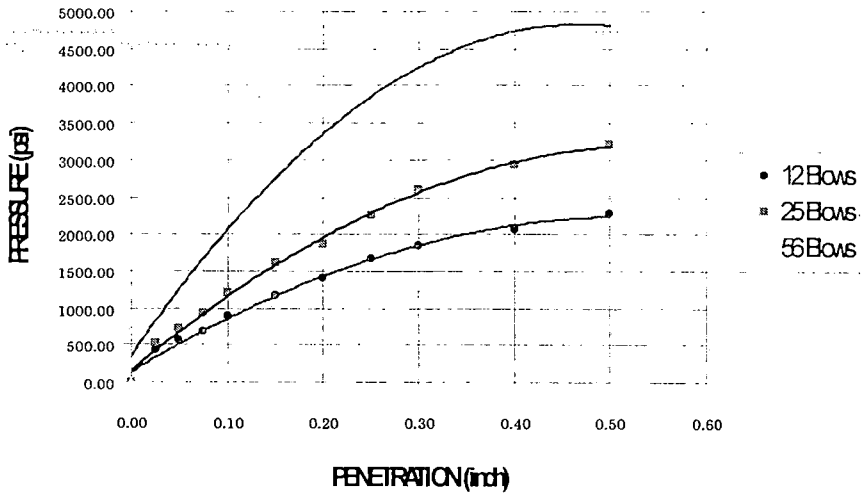
Load Scale, K = 4.880 kgf

Piston Area = 3 $in^2$

Penetration Rate = 0.05 in/min

PENETRATION

| Mold NO. | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Blows per Layer | 12 | | 12 | | 56 | |
| Surcharge lb. | | | | | | |
| Penetration in. | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ | Force Gauge Reading | Force Pressure $lb/in^2$ |
| 0.000 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 | 0 | 0.0 |
| 0.025 | 5.6 | 419.6 | 7.1 | 532.0 | 12.6 | 944.2 |
| 0.050 | 7.5 | 562.0 | 9.7 | 726.9 | 18.5 | 1386.3 |
| 0.025 | 9.2 | 689.4 | 12.4 | 929.2 | 23.7 | 1776.0 |
| 0.100 | 11.9 | 891.7 | 16.2 | 1214.0 | 29.5 | 2210.6 |
| 0.150 | 15.6 | 1169.0 | 21.6 | 1618.6 | 37.4 | 2802.6 |
| 0.150 | 18.7 | 1401.3 | 24.9 | 1865.9 | 44.8 | 3357.1 |
| 0.250 | 22.4 | 1678.6 | 30.2 | 2263.1 | 50.5 | 3784.3 |
| 0.300 | 24.7 | 1850.9 | 34.8 | 2607.8 | 55.6 | 4166.5 |
| 0.400 | 27.5 | 2060.7 | 39.1 | 2930.0 | 61.3 | 4593.6 |
| 0.400 | 30.4 | 2278.1 | 42.8 | 3207.3 | 65.8 | 4930.8 |
| PENETRATION | | | | | | |
| 0.000 | 89.17 | | 121.40 | | 221.06 | |
| 0.000 | 93.42 | | 124.39 | | 223.81 | |
| CBR = | 93.42 | | 124.39 | | 223.81 | |




**รูปที่ ข-29** กราฟแสดงค่าการบดอัดที่ 12, 25 และ 56 ครั้ง ของตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5%

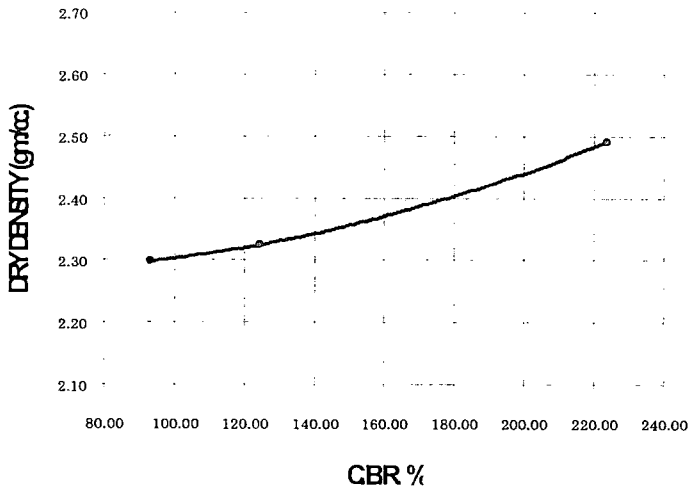
| BLOWS | C.B.R. | DENSITY | SWELL |
|---|---|---|---|
| 12 | 93.42 | 2.30 | 0.00 |
| 25 | 124.39 | 2.30 | 0.00 |
| 56 | 223.81 | 2.49 | 0.00 |

100% Mod. Proctor = 2.607 gm./cc.

95% Mod. Proctor = 2.477 gm./cc.

Optimum Moisture Content 12.00% Water Content C.B.R. 8.04 %

Required Percent Compaction 95% C.B.R. = 220.94 %




**รูปที่ ข-30** กราฟแสดง% CBR ของตะกรันเหล็กที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5%

# Unconfined Compressive Strength

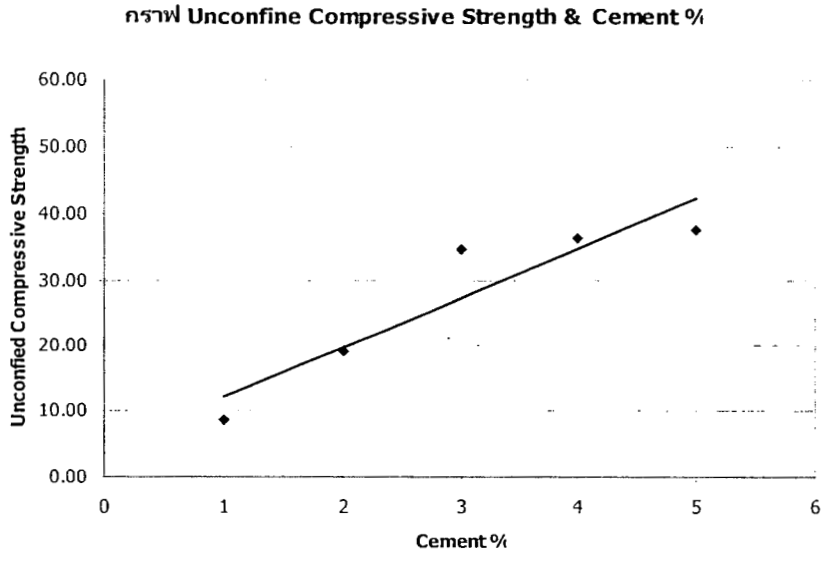
**Type of material : หินคลุก** **7 วัน**

| Cement % | Wt. Soil (gm.) | Water Content in soil % | Wt. Of Dry Soil (gm.) | Wt. Of Cement (gm.) | Wt. Of Cement & Dry Soil (gm.) | Optimum Water Content % | Water Add. (ml.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2254.5 | 0.00 | 2254.5 | 22.5 | 2277.0 | 8.0 | 182.2 |
| | 2271.3 | 0.00 | 2271.3 | 22.7 | 2294.0 | 8.0 | 183.5 |
| | 2227.8 | 0.00 | 2227.8 | 22.3 | 2250.1 | 8.0 | 180.0 |
| 1 | 2280.1 | 0.00 | 2280.1 | 45.6 | 2325.7 | 8.0 | 186.1 |
| | 2236.7 | 0.00 | 2236.7 | 44.7 | 2281.4 | 8.0 | 183.5 |
| | 2275.0 | 0.00 | 2275.0 | 45.5 | 2320.5 | 8.0 | 185.6 |
| 3 | 2293.3 | 0.00 | 2293.3 | 68.8 | 2362.1 | 8.0 | 189.0 |
| | 2279.0 | 0.00 | 2279.0 | 68.4 | 2347.4 | 8.0 | 187.8 |
| | 2257.6 | 0.00 | 2257.6 | 67.7 | 2325.3 | 8.0 | 186.0 |
| 4 | 2292.7 | 0.00 | 2292.7 | 91.7 | 2384.4 | 8.0 | 214.6 |
| | 2272.4 | 0.00 | 2272.4 | 90.9 | 2363.3 | 8.0 | 212.7 |
| | 2238.8 | 0.00 | 2238.8 | 89.6 | 2328.4 | 8.0 | 209.6 |
| 5 | 2275.8 | 0.00 | 2275.8 | 113.8 | 2389.6 | 9.0 | 215.1 |
| | 2277.0 | 0.00 | 2277.0 | 113.9 | 2390.9 | 9.0 | 215.2 |
| | 2230.6 | 0.00 | 2230.6 | 111.5 | 2342.1 | 9.0 | 210.8 |

**Cure Specimen 7 days And Soak in Water 2 Hrs.**

**Load = (Dial Reading x 4.879577)**

| sample no. | Ultimate Load dial reading (kg.) | Area of Specimen ($cm^2$.) | Ultimate Compressive Strength ($kg/cm^2$) | Average UCS ($kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 1% | No.1 = 683.14 | 81.55 | 8.38 | 8.64 |
| | No.2 = 673.38 | 81.55 | 8.38 | |
| | No.3 = 756.33 | 81.71 | 8.38 | |
| 1% | No.1 = 1634.66 | 80.75 | 20.24 | 19.13 |
| | No.2 = 1439.48 | 80.91 | 17.79 | |
| | No.3 = 1566.34 | 80.91 | 20.24 | |
| 3% | No.1 = 2786.24 | 80.75 | 20.24 | 19.13 |
| | No.2 = 2478.83 | 80.91 | 20.24 | |
| | No.3 = 3142.45 | 81.71 | 20.24 | |
| 1% | No.1 = 2966.78 | 81.71 | 8.38 | 19.13 |
| | No.2 = 2898.47 | 81.55 | 17.79 | |
| | No.3 = 3025.34 | 81.55 | 17.79 | |
| 3% | No.1 = 3171.73 | 81.55 | 20.24 | 37.49 |
| | No.2 = 2966.78 | 81.39 | 20.24 | |
| | No.3 = 3044.86 | 82.03 | 37.12 | |




**รูปที่ ข-31** กราฟแสดงค่า Unconfined Compressive Strength ของหินคลุกผสมซีเมนต์ ที่ 7 วัน

# Unconfined Compressive Strength

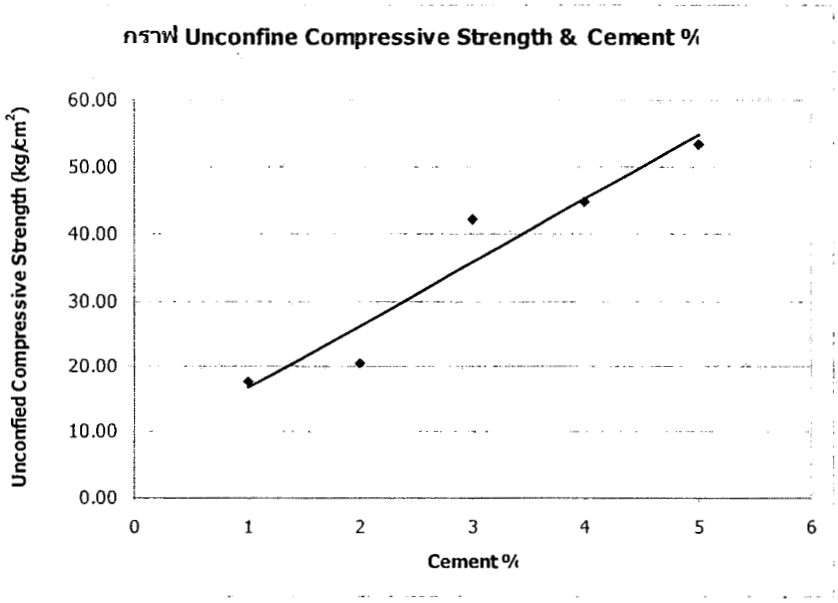
**Type of material : Slag** **7 วัน**

| Cement % | Wt. Soil (gm.) | Water Content in soil % | Wt. Of Dry Soil (gm.) | Wt. Of Cement (gm.) | Wt. Of Cement & Dry Soil (gm.) | Optimum Water Content % | Water Add. (ml.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2555.7 | 0.00 | 2555.7 | 25.6 | 2581.3 | 9.00 | 232.3 |
| | 2540.4 | 0.00 | 2540.4 | 25.4 | 2565.8 | 9.00 | 230.9 |
| | 2495.2 | 0.00 | 2495.2 | 25.0 | 2520.2 | 9.00 | 226.8 |
| 1 | 2547.2 | 0.00 | 2547.2 | 50.9 | 2598.1 | 9.00 | 233.8 |
| | 2505.3 | 0.00 | 2505.3 | 50.1 | 2555.4 | 9.00 | 230.0 |
| | 2453.4 | 0.00 | 2453.4 | 50.1 | 2502.5 | 9.00 | 225.2 |
| 3 | 2575.2 | 0.00 | 2575.2 | 77.3 | 2652.5 | 9.00 | 238.7 |
| | 2539.1 | 0.00 | 2539.1 | 76.2 | 2615.3 | 9.00 | 235.4 |
| | 2487.0 | 0.00 | 2487.0 | 74.6 | 2561.6 | 9.00 | 230.5 |
| 4 | 2514.2 | 0.00 | 2514.2 | 100.6 | 2614.8 | 10.00 | 261.5 |
| | 2580.3 | 0.00 | 2580.3 | 103.2 | 2683.5 | 10.00 | 268.4 |
| | 2523.2 | 0.00 | 2523.2 | 100.9 | 2624.1 | 10.00 | 262.4 |
| 5 | 2641.8 | 0.00 | 2641.8 | 132.1 | 2773.9 | 10.00 | 277.4 |
| | 2650.6 | 0.00 | 2650.6 | 132.1 | 2783.1 | 10.00 | 278.3 |
| | 2531.2 | 0.00 | 2531.2 | 126.6 | 2657.8 | 10.00 | 265.8 |

**Cure Specimen 7 days And Soak in Water 2 Hrs.**

**Load = (Dial Reading x 4.879577)**

| sample no. | Ultimate Load dial reading (kg.) | Area of Specimen ($cm^2$.) | Ultimate Compressive Strength ($kg/cm^2$) | Average UCS ($kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 1% | No.1 = 1434.60 | 81.71 | 17.56 | 17.79 |
| | No.2 = 1424.84 | 80.83 | 17.56 | |
| | No.3 = 1473.63 | 81.07 | 17.56 | |
| 1% | No.1 = 1668.82 | 81.07 | 20.46 | 17.79 |
| | No.2 = 1698.09 | 82.19 | 20.46 | |
| | No.3 = 1654.18 | 82.19 | 20.46 | |
| 1% | No.1 = 3415.70 | 81.07 | 17.56 | 17.79 |
| | No.2 = 3415.70 | 81.07 | 17.56 | |
| | No.3 = 3415.70 | 81.71 | 17.56 | |
| 4% | No.1 = 3660.00 | 81.07 | 20.46 | 17.79 |
| | No.2 = 3620.00 | 81.71 | 17.56 | |
| | No.3 = 3640.00 | 81.71 | 20.46 | |
| 1% | No.1 = 4259.87 | 81.07 | 17.56 | 17.79 |
| | No.2 = 4464.81 | 81.07 | 54.53 | |
| | No.3 = 4376.98 | 82.19 | 20.46 | |




**รูปที่ ข-32** กราฟแสดงค่า Unconfined Compressive Strength ของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ ที่ 7 วัน

# Unconfined Compressive Strength

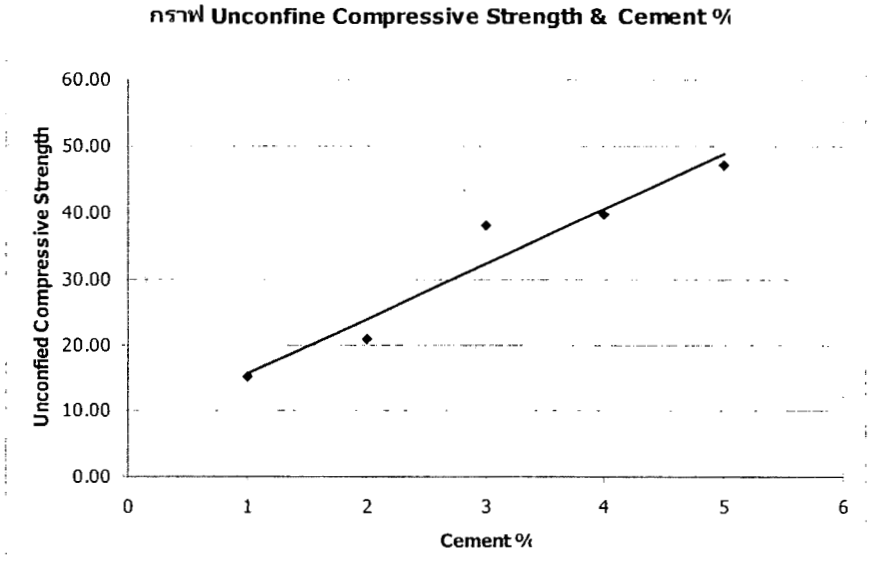
**Type of material : หินคลุก** **28 วัน**

| Cement % | Wt. Soil (gm.) | Water Content in soil % | Wt. Of Dry Soil (gm.) | Wt. Of Cement (gm.) | Wt. Of Cement & Dry Soil (gm.) | Optimum Water Content % | Water Add. (ml.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2275.2 | 0.00 | 2275.2 | 22.8 | 2298.0 | 8.0 | 183.8 |
| | 2309.5 | 0.00 | 2309.5 | 23.1 | 2332.6 | 8.0 | 186.6 |
| | 2324.7 | 0.00 | 2324.7 | 23.1 | 2347.9 | 8.0 | 187.8 |
| . 2 | 2274.2 | 0.00 | 2274.2 | 45.5 | 2319.7 | 8.0 | 185.6 |
| | 2313.5 | 0.00 | 2313.5 | 46.3 | 2359.8 | 8.0 | 188.8 |
| | 2305.6 | 0.00 | 2305.6 | 46.1 | 2351.7 | 8.0 | 188.1 |
| 3 | 2354.3 | 0.00 | 2354.3 | 70.6 | 2424.9 | 8.0 | 194.0 |
| | 2332.8 | 0.00 | 2332.8 | 70.0 | 2402.8 | 8.0 | 192.2 |
| | 2294.1 | 0.00 | 2294.1 | 68.8 | 2362.9 | 8.0 | 189.0 |
| . 2 | 2297.2 | 0.00 | 2297.2 | 91.9 | 2389.1 | 8.0 | 215.0 |
| | 2324.6 | 0.00 | 2324.6 | 93.0 | 2417.6 | 8.0 | 217.6 |
| | 2281.3 | 0.00 | 2281.3 | 91.3 | 2372.6 | 8.0 | 213.5 |
| . 2 | 2312.1 | 0.00 | 2312.1 | 115.6 | 2427.7 | 8.0 | 213.5 |
| | 2326.1 | 0.00 | 2326.1 | 116.3 | 2442.4 | 8.0 | 219.8 |
| | 2267.7 | 0.00 | 2267.7 | 113.4 | 2381.1 | 8.0 | 214.3 |

**Cure Specimen 28 days And Soak in Water 2 Hrs.**

**Load = (Dial Reading x 101.9716)**

| sample no. | Ultimate Load dial reading (kg.) | Area of Specimen ($cm^2$.) | Ultimate Compressive Strength ($kg/cm^2$) | Average UCS ($kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 1% | No.1 = 1203.26 | 80.91 | 14.87 | 15.30 |
| | No.2 = 1254.25 | 81.55 | 14.87 | |
| | No.3 = 1274.65 | 81.55 | 14.87 | |
| 1% | No.1 = 1621.35 | 80.91 | 19.90 | 21.14 |
| | No.2 = 1692.73 | 81.55 | 14.87 | |
| | No.3 = 1855.88 | 81.55 | 14.87 | |
| 3% | No.1 = 3069.35 | 81.87 | 14.87 | 38.01 |
| | No.2 = 3191.71 | 81.55 | 14.87 | |
| | No.3 = 3038.75 | 81.23 | 14.87 | |
| 1% | No.1 = 3120.33 | 80.91 | 38.37 | 38.01 |
| | No.2 = 3252.89 | 81.55 | 39.97 | |
| | No.3 = 3273.29 | 81.87 | 14.87 | |
| 5% | No.1 = 3834.13 | 81.87 | 47.06 | 38.01 |
| | No.2 = 4140.05 | 81.55 | 14.87 | |
| | No.3 = 3579.20 | 81.87 | 47.06 | |




**รูปที่ ข-33** กราฟแสดงค่า Unconfined Compressive Strength ของหินคลุกผสมซีเมนต์ ที่ 28 วัน

# Unconfined Compressive Strength

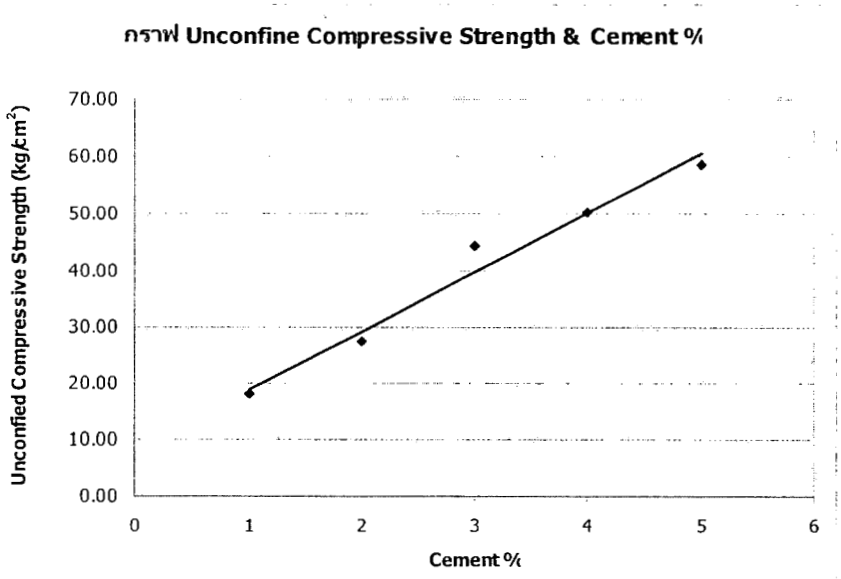
**Type of material : Slag** **28 วัน**

| Cement % | Wt. Soil (gm.) | Water Content in soil % | Wt. Of Dry Soil (gm.) | Wt. Of Cement (gm.) | Wt. Of Cement & Dry Soil (gm.) | Optimum Water Content % | Water Add. (ml.) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2531.0 | 0.00 | 2531.0 | 25.3 | 2556.3 | 9.00 | 230.1 |
| | 2475.1 | 0.00 | 2475.1 | 24.8 | 2499.9 | 9.00 | 225.0 |
| | 2444.3 | 0.00 | 2444.3 | 24.4 | 2468.7 | 9.00 | 222.2 |
| 2 | 2571.6 | 0.00 | 2571.6 | 51.4 | 2623.0 | 9.00 | 236.1 |
| | 2489.8 | 0.00 | 2489.8 | 49.8 | 2539.6 | 9.00 | 228.6 |
| | 2419.1 | 0.00 | 2419.1 | 48.4 | 2467.5 | 9.00 | 222.1 |
| 3 | 2617.2 | 0.00 | 2617.2 | 78.5 | 2695.7 | 9.00 | 242.6 |
| | 2579.8 | 0.00 | 2579.8 | 77.4 | 2657.2 | 9.00 | 239.1 |
| | 2488.8 | 0.00 | 2488.8 | 74.7 | 2563.5 | 9.00 | 230.7 |
| 4 | 2602.3 | 0.00 | 2602.3 | 104.1 | 2706.4 | 10.00 | 270.6 |
| | 2571.7 | 0.00 | 2571.7 | 102.9 | 2674.6 | 10.00 | 267.5 |
| | 2467.0 | 0.00 | 2467.0 | 98.7 | 2565.7 | 10.00 | 256.6 |
| 5 | 2484.3 | 0.00 | 2484.3 | 124.2 | 2608.5 | 10.00 | 260.9 |
| | 2613.2 | 0.00 | 2613.2 | 130.7 | 2743.9 | 10.00 | 274.4 |
| | 2533.4 | 0.00 | 2533.4 | 126.7 | 2660.1 | 10.00 | 266.0 |

**Cure Specimen 28 days And Soak in Water 2 Hrs.**

**Load = (Dial Reading x 101.9716)**

| sample no. | Ultimate Load dial reading (kg.) | Area of Specimen ($cm^2$.) | Ultimate Compressive Strength ($kg/cm^2$) | Average UCS ($kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|
| 1% | No.1 = 1488.79 | 81.39 | 18.29 | 18.13 |
| | No.2 = 1509.18 | 81.39 | 18.29 | |
| | No.3 = 1448.00 | 82.03 | 18.29 | |
| 2% | No.1 = 2182.19 | 81.31 | 18.29 | 18.13 |
| | No.2 = 2345.35 | 81.31 | 18.29 | |
| | No.3 = 2253.57 | 81.39 | 27.63 | |
| 3% | No.1 = 3477.23 | 81.39 | 42.72 | 18.13 |
| | No.2 = 3650.58 | 81.31 | 18.29 | |
| | No.3 = 3660.78 | 81.07 | 18.29 | |
| 4% | No.1 = 4048.27 | 81.39 | 49.64 | 18.13 |
| | No.2 = 4252.22 | 81.55 | 18.29 | |
| | No.3 = 3987.09 | 81.39 | 18.29 | |
| 5% | No.1 = 4660.10 | 81.31 | 18.29 | 58.70 |
| | No.2 = 4935.43 | 81.31 | 27.63 | |
| | No.3 = 4802.86 | 82.03 | 18.29 | |




รูปที่ **ข-34** กราฟแสดงค่า Unconfined Compressive Strength ของตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์ ที่ 28 วัน

# ภาคผนวก ค

# ตัวอย่างการคำนวณราคาค่าก่อสร้าง

ตัวอย่าง การคำนวณราคาโครงการก่อสร้างถนนสายบ้านสุรศักดิ์ ตำบลเขาคันทรง อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี

**1. งานพื้นทาง(หินคลุก)** ชลบุรี

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| - ค่าวัสดุ | | | = | 163.00 | บาท/ลบ.ม.(หลวม) |
| - ค่าขนส่ง | ระยะทาง 35 กม. | | = | 75.71 | บาท/ลบ.ม.(หลวม) |
| รวมค่าวัสดุ | | | = | 238.71 | บาท/ลบ.ม.(หลวม) |
| | อัตราการยุบตัว | 1.5 | = | 358.07 | บาท/ลบ.ม.(แน่น) |
| - ค่าผสม | | | = | 18.73 | บาท/ลบ.ม.(แน่น) |
| - ค่าเสื่อมราคาบดทับ | | | = | 75.90 | บาท/ลบ.ม.(แน่น) |
| รวมค่าวัสดุและค่าแรงเป็นเงิน | | | = | 452.70 | บาท/ลบ.ม.(แน่น) |

ข้อมูลประกอบการคิดค่างาน

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Operating Cost | = | 44.47 | บาท/ตร.ม. | |
| ความลึกในการขุดกัด | = | 0.20 | ม. | |
| ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ (โดยน้ำหนัก) | = | 2.00 | % | |
| หน่วยน้ำหนักของวัสดุพื้นทางที่ขุดกัด | = | 2,200 | กก./ลบ.ม. | |
| - ค่าปูนซีเมนต์ + ค่าขนส่ง | = | 2,773.22 | บาท/ตัน | |
| - ปริมาณปูนซีเมนต์ต่อตารางเมตร | = | 0.009 | ตัน/ตร.ม. | |
| ค่างาน Pavement In-Place Recycling | = | 68.87 | บาท/ตร.ม. | |
| - ค่าเสื่อมราคาบดทับหินคลุกปรับระดับ | = | 25.279 | บาท/ตร.ม. | |
| รวมค่างาน Pavement In-Place Recycling | = | 94.15 | บาท/ตร.ม. | |

สรุปราคาวัสดุ ชั้นพื้นทาง(หินคลุกผสมซีเมนต์)

ราคาต้นทุน = 90.54 + 94.15 = 184.69 บาท/ตร.ม

**2. งานพื้นทาง(ตะกรันเหล็ก** บ่อวิน

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| - ค่าวัสดุ | | | | | = | 205.00 | บาท/ลบ.ม.(หลวม) |
| - ค่าขนส่ง | ระยะทาง | 10 กม. | | | = | 22.71 | บาท/ลบ.ม.(หลวม) |
| รวมค่าวัสดุ | | | | | = | 227.71 | บาท/ลบ.ม.(หลวม) |
| | | | อัตราการยุบตัว | 1.5 | = | 341.57 | บาท/ลบ.ม.(แน่น) |
| - ค่าผสม | | | | | = | 18.73 | บาท/ลบ.ม.(แน่น) |
| - ค่าเสื่อมราคาบดทับ | | | | | = | 75.90 | บาท/ลบ.ม.(แน่น) |
| รวมค่าวัสดุและค่าแรงเป็นเงิน | | | | | = | 436.20 | บาท/ลบ.ม.(แน่น) |

10.2 ข้อมูลประกอบการคิดค่างาน

| | | | |
|---|---|---|---|
| Operating Cost | = | 44.47 | บาท/ตร.ม. |
| ความลึกในการขุดกัด | = | 0.20 | ม. |
| ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ (โดยน้ำหนัก) | = | 1.50 | % |
| หน่วยน้ำหนักของวัสดุพื้นทางที่ขุดกัด | = | 2,200 | กก./ลบ.ม. |
| - ค่าปูนซีเมนต์ + ค่าขนส่ง | = | 2,773.22 | บาท/ตัน |
| - ปริมาณปูนซีเมนต์ต่อตารางเมตร | = | 0.007 | ตัน/ตร.ม. |
| ค่างาน Pavement In-Place Recycling | = | 62.77 | บาท/ตร.ม. |
| - ค่าเสื่อมราคาบดทับหินคลุกปรับระดับ | = | 25.279 | บาท/ตร.ม. |
| รวมค่างาน Pavement In-Place Recycling | = | 88.05 | บาท/ตร.ม. |

สรุปราคาวัสดุ ชั้นพื้นทาง(ตะกรันเหล็กผสมซีเมนต์)

ราคาต้นทุน = 87.24 + 80.05 = 167.29 บาท/ตร.ม

# ภาคผนวก ง

# มาตรฐานกรมทางหลวง

# กรมทางหลวง
# มาตรฐานพื้นทางหินคลุก

* * * * *

งานนี้ประกอบด้วย หินโม่มวลรวม ซึ่งมีขนาดคละกันอย่างสม่ำเสมอ จากใหญ่ไปหาเล็ก โดยจะก่อสร้างเป็นชั้นเดียว หรือหลายชั้น ไปบนชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้ และได้รับการตรวจสอบว่าถูกต้องแล้ว โดยการเกลี่ยแต่งและบดทับให้ถูกต้องตามแนวระดับ ความลาด ขนาด ตลอดจนรูปตัดตามที่ได้แสดงไว้ในแบบ

## 1. วัสดุ

วัสดุหินโม่มวลรวม (Crushed Rock Soil Aggregate Type) ต้องเป็นวัสดุที่มีเนื้อแข็งเหนียว สะอาด ไม่ผุและปราศจากวัสดุอื่นเจือปน จากแหล่งที่ได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงแล้ว วัสดุจำพวก Shale ห้ามนำมาใช้

ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติของวัสดุพื้นทางหินคลุกไว้เป็นอย่างอื่น วัสดุที่ใช้ทำพื้นทางหินคลุกจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1.1 มีค่าการสึกหรอ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 202 "วิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion" ไม่เกินร้อยละ 40

1.2 มีค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.- ท. 213 "วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม" โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ แล้วไม่เกินร้อยละ 9 ให้มีการทดลองทุกครั้งที่นำมาใช้

1.3 ส่วนละเอียด (Fine Aggregate) ต้องเป็นวัสดุชนิดและคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับส่วนหยาบ (Coarse Aggregate)

การใช้วัสดุส่วนละเอียดชนิดอื่นเจือปน เพื่อปรับปรุงคุณภาพจะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงก่อน

1.4 มีขนาดคละที่ดี และเมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 205 "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง" ต้องมีขนาดใดขนาดหนึ่งตามตารางที่ 1

1.5 ส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ต้องไม่มากกว่าสองในสาม (2/3) ของส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร (เบอร์ 40)

1.6 มีค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 102 "วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit ( L.L.) ของดิน" ไม่เกินร้อยละ 25

1.7 มีค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.103 "วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit และ Plasticity Index" ไม่เกินร้อยละ 6

ตารางที่ 1 ขนาดคละของวัสดุพื้นทางหินคลุก

| ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร | ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล | |
|---|---|---|
| | A | B |
| 50 (2 นิ้ว) | 100 | 100 |
| 25.0 (1 นิ้ว) | - | 75-95 |
| 9.5 (3/8 นิ้ว) | 30-65 | 40-75 |
| 4.75 (เบอร์ 4) | 25-55 | 30-60 |
| 2.00 (เบอร์ 10) | 15-40 | 20-45 |
| 0.425 (เบอร์ 40) | 8-20 | 15-30 |
| 0.075 (เบอร์ 200) | 2-8 | 5-20 |

1.8 มีค่า CBR เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 109 "วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR" ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 สำหรับผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีต และไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 สำหรับผิวทางแบบเซอร์เฟสทรีตเมนต์ที่ความแน่นแห้งของการบดอัด ร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108 "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน"

## 2. การกองวัสดุ

บริเวณที่เตรียมไว้กองวัสดุพื้นทางหินคลุก จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน ต้นไม้ พุ่มไม้ ตอไม้ ไม้ผุ ขยะ วัชพืช หรือสิ่งไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ จะต้องกำจัดออกไปให้พ้นบริเวณ และได้รับการปรับระดับจนแน่ใจว่าน้ำไม่ท่วมขังบริเวณกองวัสดุและมีการระบายน้ำดีพอ ให้บดทับจนทั่วประมาณ 2-3 เที่ยว จนได้ความเรียบและความแน่นพอสมควร

หินคลุกจากแหล่งผลิต เมื่อได้ผ่านการทดสอบคุณภาพว่าใช้ได้แล้ว และเตรียมที่จะนำมาใช้งานพื้นทาง หากมิได้นำมาลงบนชั้นรองพื้นทางหรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้โดยตรงให้กอง (Stockpile) ไว้เป็นกอง ๆ ในปริมาณที่พอสมควร และความสูงแต่ละกองไม่ควรเกิน 5 เมตร

สำหรับหินคลุกที่ได้จากแหล่งผลิตหลาย ๆ แห่ง ซึ่งผ่านการทดสอบคุณภาพว่าใช้ได้แล้ว ถ้าจะนำมาลงบนชั้นรองพื้นทางหรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้แล้วโดยตรง ให้แยกลงแต่ละแหล่งผลิตเป็นแต่ละช่วงไป ช่วงละประมาณ 500 เมตร หรือตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานกำหนด ถ้าประสงค์จะนำมากองเพื่อเตรียมไว้ใช้งานพื้นทาง ก็ให้แยกกองวัสดุแต่ละแหล่งผลิตออกจากกันในปริมาณและความสูงของกองวัสดุ เช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้ว หากไม่สะดวกในการควบคุมคุณภาพจากแหล่งผลิต ก็ให้กองวัสดุเป็นกอง ๆ แยกกันไปแต่ละแหล่งผลิต แล้วดำเนินการ

เก็บตัวอย่างทดสอบคุณภาพ ตามวิธีการของกรมทางหลวง ห้ามนำหินคลุกจากแหล่งผลิตที่ยังไม่ผ่านการทดสอบคุณภาพ มาลงบนชั้นรองพื้นทางหรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้โดยตรง

ให้ระวังการเกิดการแยกตัว (Segregation) ของส่วนหยาบและส่วนละเอียดในการกองวัสดุ หากพิจารณาพบเห็น นายช่างผู้ควบคุมงานอาจจะเก็บตัวอย่างทดสอบคุณภาพใหม่ได้

กองวัสดุหินคลุกที่เตรียมไว้ใช้งานพื้นทาง จะต้องกองไว้ในระยะที่ไม่ห่างจากบริเวณก่อสร้างเกินไป จนอาจเกิดการแยกตัวของส่วนหยาบและส่วนละเอียด เนื่องจากการขนส่งได้

ถ้าการทดสอบคุณภาพของตัวอย่างหินคลุกจากกองวัสดุไม่ได้ตามข้อกำหนด ไม่ว่าในกรณีใดก็ตาม ผู้รับจ้างจะต้องเปลี่ยนหรือแก้ไขปรับปรุงตามดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงานจนหินคลุกมีคุณภาพถูกต้อง โดยที่ค่าใช้จ่ายต่างๆ เป็นภาระของผู้รับจ้างทั้งสิ้น

## 3. เครื่องจักรและเครื่องมือ

ก่อนเริ่มงานผู้รับจ้างจะต้องเตรียมเครื่องจักรและเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นจะต้องใช้ในการดำเนินงานทางด้านวัสดุและการก่อสร้างไว้ให้พร้อมที่หน้างาน ทั้งนี้ต้องเป็นแบบ ขนาดและอยู่ในสภาพที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร

ถ้าเครื่องจักรและเครื่องมือชิ้นใดทำงานได้ไม่เต็มที่หรือทำงานไม่ได้ผลตามวัตถุประสงค์ ผู้รับจ้างจะต้องทำการแก้ไขหรือจัดหาเครื่องจักร และเครื่องมืออื่นใดมาใช้แทนหรือเพิ่มเติม ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน

## 4. วิธีการก่อสร้าง

### 4.1 การเตรียมการก่อนการก่อสร้าง

ชั้นรองพื้นทางหรือชั้นอื่นใดที่จะรองรับชั้นพื้นทางหินคลุก จะต้องเกลี่ยแต่งและบดทับให้ได้แนวระดับ ความลาด ขนาด รูปร่าง และความแน่นตามที่ได้แสดงไว้ในแบบ

ก่อนลงหินคลุก ผู้รับจ้างจะต้องเตรียมพร้อมในด้านต่าง ๆ เช่น เครื่องจักรและเครื่องมือในการทำงานและการบดทับ เครื่องหมายควบคุมการจราจรที่เกี่ยวกับการก่อสร้าง ทั้งนี้จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้ว

ก่อนขนส่งหินคลุกไปใช้ทำชั้นพื้นทางในสนาม ควรพ่นน้ำเข้าไปที่กองวัสดุหินคลุกและคลุกเคล้าให้เข้ากัน โดยให้มีปริมาณน้ำใกล้เคียง Optimum Moisture Content การตักหินคลุกออกจากกองและการขนส่งหินคลุกจะต้องกระทำด้วยความระมัดระวังไม่ให้เกิดการแยกตัวของส่วนหยาบและส่วนละเอียดได้ และต้องระมัดระวังไม่ให้ความชุ่มชื้นที่มีอยู่ในวัสดุผสมนี้ระเหยไปมาก ในกรณีที่หินคลุกซึ่งขนส่งไปเกิดการแยกตัว ให้ทำการผสมใหม่ในสนาม (Road – Mix)

### 4.2 การก่อสร้าง

ภายหลังที่ได้ดำเนินการตามข้อ 4.1 แล้ว ให้ราดน้ำรองพื้นทาง หรือชั้นอื่นใดที่รองรับชั้นพื้นทาง

หินคลุกให้เปียกชื้นสม่ำเสมอ โดยทั่วตลอด ใช้เครื่องจักรที่เหมาะสม เช่น รถบรรทุกกระบะยกขนหินคลุกจากกองวัสดุไปปูลงบนชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้ แล้วตีแผ่ เกลี่ยหินคลุก คลุกเคล้า และผสมน้ำเพิ่มให้มีปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content $\pm$ 2 % โดยประมาณ

หลังจากเกลี่ยแต่งหินคลุกจนได้ที่แล้วให้ทำการบดทับทันทีด้วยรถบดล้อยางหรือเครื่องมือบดทับอื่นใดที่เหมาะสม บดทับทั่วผิวหน้าอย่างสม่ำเสมอจนได้ความแน่นตามข้อกำหนด เกลี่ยแต่งหินคลุกให้ได้แนวระดับความลาด ขนาด และรูปตัด ตามที่ได้แสดงไว้ในแบบ ไม่มีหลุมบ่อหรือวัสดุที่หลุดหลวมไม่แน่นอยู่บนผิว การบดทับขั้นสุดท้าย ถ้าทำการบดแต่งด้วยรถบดล้อเหล็กห้ามบดทับจนเม็ดหินแตก

การบดทับให้กระทำในทิศทางเดียวกับแนวศูนย์กลางคันทางโดยเริ่มจากขอบทางเข้าแนวศูนย์กลางทาง

บริเวณใดที่วัสดุส่วนหยาบและส่วนละเอียดแยกตัวออกจากกัน ผู้รับจ้างจะต้องทำการแก้ไข โดยการขุดคุ้ย (Scarify) ตลอดความหนาของแต่ละชั้น แล้วทำการก่อสร้างใหม่ตามวิธีการก่อสร้างข้างต้น

นายช่างผู้ควบคุมงานอาจจะตรวจสอบคุณภาพหลังการผสมคลุกเคล้าแล้ว หากพบว่าคุณภาพไม่ถูกต้องตามข้อกำหนด ผู้รับจ้างจะต้องขนวัสดุเหล่านั้นออกไปและนำวัสดุที่มีคุณภาพถูกต้องตามข้อกำหนดมาใส่แทน

ห้ามนำวัสดุที่คุณภาพไม่ถูกต้องตามข้อกำหนดมาใส่ทำพื้นทาง หรือนำวัสดุ 2 ชนิดมาผสมกันบนชั้นรองพื้นทางหรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้ เพื่อให้ได้วัสดุที่ถูกต้องตามข้อกำหนดเป็นอันขาด ยกเว้นจะได้มีกำหนดเป็นอย่างอื่นไว้ในแบบ

กรณีชั้นพื้นทางและชั้นไหล่ทางใช้วัสดุต่างชนิดกัน ห้ามทำงานไหล่ทางก่อนงานพื้นทางในช่วงฤดูฝน

หากได้มีการใส่ไหล่ทางไว้ก่อนทำพื้นทาง แล้วเกิดฝนตกระหว่างการทำงานหรือมีน้ำขังในพื้นทาง ให้ผู้รับจ้างรื้อพื้นทางและไหล่ทางออก ตรวจสอบชั้นรองพื้นทาง ถ้าพบว่าไม่ถูกต้องให้รื้อแก้ไขใหม่ตามวิธีการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางและได้คุณภาพถูกต้องตามข้อกำหนด ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน

หากมีความจำเป็นจะต้องก่อสร้างชั้นพื้นทางในช่วงฤดูฝนแล้ว จะต้องรีบทำการก่อสร้างให้แล้วเสร็จแล้วรีบดำเนินการทำชั้น Prime Coat ปิดโดยทันที

4.3 **การควบคุมคุณภาพขณะก่อสร้าง**

การก่อสร้างพื้นทางหินคลุกให้ก่อสร้างเป็นชั้น ๆ โดยให้มีความหนาเท่า ๆ กัน และแต่ละชั้นไม่เกิน 150 มิลลิเมตร

เมื่อได้ก่อสร้างพื้นทางหินคลุก ซึ่งแบบกำหนดไว้หนาไม่เกิน 150 มิลลิเมตร จนได้ความยาวพอเหมาะในแต่ละวันแล้ว ให้ดำเนินการตรวจสอบค่าระดับและทดสอบความแน่นของการบดทับ หากผลที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดก็ให้ดำเนินการก่อสร้างชั้นทางในชั้นถัดไปได้

ในกรณีที่แบบพื้นทางหินคลุกกำหนดไว้หนา 200 มิลลิเมตร ให้ผู้รับจ้างก่อสร้างพื้นทางเป็น 2 ชั้น หนาชั้นละประมาณ 100 มิลลิเมตร โดยที่เมื่อได้ก่อสร้างพื้นทางชั้นแรกจนได้ความยาวพอเหมาะที่จะก่อสร้าง

พื้นทางในชั้นถัดไปแล้ว ให้ดำเนินการทดสอบความแน่นของการบดทับ หากผลทดลองเป็นไปตามข้อกำหนด ก็ให้ดำเนินการก่อสร้างพื้นทางหินคลุกชั้นถัดไปได้ตามข้อกำหนด

ก่อนการปูพื้นทางหินคลุกชั้นถัดไป ให้ทำการพ่นน้ำให้ผิวหน้าของพื้นทางหินคลุกที่ได้ก่อสร้างไว้แล้วชุ่มชื้น ถ้าผิวหน้าของพื้นทางหินคลุกเรียบเป็นมัน ให้ผู้รับจ้างทำการครูดผิวหน้าของชั้นพื้นทางหินคลุกที่ได้ก่อสร้างไว้แล้วให้เป็นริ้วรอยก่อน แล้วค่อยพ่นน้ำให้ชุ่มชื้น

ผิวหน้าของพื้นทางหินคลุกที่ได้ก่อสร้างไปแล้วควรมีความชุ่มชื้นพอควร ในขณะที่ทำการปูพื้นทางหินคลุกในชั้นถัดไป เพื่อช่วยให้ชั้นหินคลุกแต่ละชั้นยึดกันดี ผิวหน้าที่หยาบของพื้นทางหินคลุกที่ได้ก่อสร้างไปแล้วที่มีความชื้นพอเหมาะจะช่วยให้เกิดการเกาะยึดที่ดีกับชั้นพื้นทางหินคลุกที่กำลังจะก่อสร้างทับลงไป

4.4 **การทดสอบความแน่นของการบดทับ**

งานพื้นทางหินคลุกจะต้องทำการบดทับให้ได้ความแน่นแห้งสม่ำเสมอตลอดไม่ต่ำกว่า ร้อยละ95 หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตัวอย่างหินคลุกเก็บจากหน้างานในสนามหลังจากคลุกเคล้าผสมและปูลงบนถนนแล้ว ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108 "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน"

การทดสอบความแน่นของการบดทับ ให้ดำเนินการทดสอบตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 603 "วิธีการทดลองหาค่าความแน่นของวัสดุในสนามโดยใช้ทราย" ทุกระยะประมาณ 100 เมตร ต่อ 1 ช่องจราจร หรือประมาณพื้นที่ 500 ตารางเมตร ต่อ 1 หลุมตัวอย่างหรือตามที่กำหนดไว้ในแบบเป็นอย่างอื่น

4.5 **การบำรุงรักษาและการเปิดจราจร**

หลังจากการก่อสร้างเสร็จและคุณภาพผ่านข้อกำหนดทุกอย่างแล้ว ในกรณีที่ผู้รับจ้างยังไม่ลาดแอสฟัลต์ชั้น Prime Coat ถ้าต้องการเปิดให้การจราจรผ่าน ให้ทำการบำรุงรักษาผิวหน้าของพื้นทางหินคลุกด้วยการพ่นน้ำบาง ๆ ลงไปบนผิวหน้าของพื้นทางหินคลุกที่ก่อสร้างเสร็จแล้วให้ผิวหน้าชุ่มชื้นตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นฟุ้งกระจายเป็นมลภาวะต่อประชาชนสองข้างทางขณะเปิดการจราจร

4.6 **การลาดแอสฟัลต์ชั้น** Prime Coat

ให้ผู้รับจ้างทำการลาดแอสฟัลต์ชั้น Prime Coat ภายหลังจากที่ได้ทำการก่อสร้างพื้นทางหินคลุกเสร็จในเวลาอันสมควร

การลาดแอสฟัลต์ชั้น Prime Coat ให้ผู้รับจ้างดำเนินการตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 402 "การลาดแอสฟัลต์ Prime Coat" ส่วนปริมาณแอสฟัสต์ที่ใช้ลาดนายช่างผู้ควบคุมงานจะเป็นผู้กำหนดให้เป็นแต่ละช่วงไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแน่นแห้งเฉลี่ยที่ทดสอบได้จากสนามในแต่ละช่วงที่จะดำเนินการลาดแอสฟัสต์ Prime Coat

* * * * *

Standard No. DH-S 203/2532 มาตรฐานที่ ทล.-ม. 203/2532

กรมทางหลวง

กองวิเคราะห์และวิจัย

มาตรฐานพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base)

* * * * *

งานนี้ประกอบด้วยการก่อสร้างพื้นทางที่ใช้หินคลุกผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำ โดยจะก่อสร้างเป็นชั้นเดียวหรือหลายชั้นไปบนชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้และได้รับการตรวจสอบว่าถูกต้องแล้ว โดยการปูเกลี่ยแต่งแล้วบดทับให้ถูกต้องตาม แนว ระดับ ความลาด ขนาด ตลอดจนรูปตัด ตามที่ได้แสดงไว้ในแบบ

1. วัสดุ

1.1 หินคลุก ต้องเป็นวัสดุหินโม่มวลรวม (Crushed Rock Soil Aggregate Type) ที่มีเนื้อแข็ง เหนียว สะอาด ไม่ผุ และปราศจากวัสดุอื่นเจือปน จากแหล่งที่ได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงแล้ว วัสดุจำพวก Shale ห้ามนำมาใช้

ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติของหินคลุกไว้เป็นอย่างอื่น วัสดุที่ใช้ทำหินคลุกผสมปูนซีเมนต์จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1.1.1 มีค่าความสึกหรอเมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 202/2515 "วิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion" ไม่เกินร้อยละ 40

1.1.2 มีค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) ของมวลรวมหยาบ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 213/2531 "วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม" โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบแล้ว ไม่เกินร้อยละ 9

หินคลุกจากแหล่งเดิมที่มีหลักฐานแสดงผลการทดลองหาความคงทนว่าใช้ได้ อาจจะยกเว้นไม่ต้องทดลองอีกก็ได้ ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของกรมทางหลวง ที่จะใช้ผลการทดลองเดิมที่มีอยู่

1.1.3 ส่วนละเอียด (Fine Aggregate) ต้องเป็นวัสดุชนิดและคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับส่วนหยาบ (Coarse Aggregate)

การใช้วัสดุส่วนละเอียดชนิดอื่นเจือปนเพื่อปรับปรุงคุณภาพ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงก่อน

1.1.4 มีขนาดคละที่ดี และเมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 205/2517 "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง" ต้องมีขนาดใดขนาดหนึ่งตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดคละของวัสดุหินคลุกที่ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์

| ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร | | ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล | | |
|---|---|---|---|---|
| | | B | C | D |
| 50.0 | (2") | 100 | - | - |
| 25.0 | (1") | 75-95 | 100 | 100 |
| 9.50 | (3/8") | 40-75 | 50-85 | 60-100 |
| 4.75 | (เบอร์ 4) | 30-60 | 35-65 | 50-85 |
| 2.00 | (เบอร์ 10) | 20-45 | 25-50 | 40-70 |
| 0.425 | (เบอร์ 40) | 15-30 | 15-30 | 25-45 |
| 0.075 | (เบอร์ 200) | 5-20 | 5-15 | 5-20 |

1.1.5 ส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ต้องไม่มากกว่าสองในสาม (2/3) ของส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร (เบอร์ 40)

1.1.6 มีค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.102/2515 "วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (L.L.) ของดิน" ไม่เกินร้อยละ 25

1.1.7 มีค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ทล.-ท.103/2515 "วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit และ Plasticity Index" ไม่เกินร้อยละ 6

1.1.8 มีค่า CBR เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 109/2517 "วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR" ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ที่ความแน่นแห้งของการบดอัดร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.108/2517 "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

1.2 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 "ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์" ปูนซีเมนต์ที่ใช้อาจบรรจุอยู่ในไซโล หรือเป็นแบบบรรจุถุงก็ได้ ถ้าเป็นแบบบรรจุถุงผู้รับจ้างจะต้องจัดทำโรงเก็บปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนต์ชื้น

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ตลอดงานตามสัญญาต้องเป็นตราและประเภทเดียวกัน เว้นแต่จะได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานเป็นอย่างอื่น

ห้ามนำปูนซีเมนต์ที่จับตัวเป็นก้อนปนอยู่มาใช้งาน เว้นแต่จะได้มีการออกแบบส่วนผสมใหม่ และได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้ว

1.3 น้ำ

น้ำที่จะนำมาใช้ผสมหรือบ่มชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ จะต้องสะอาดบราศจากสารต่าง ๆ เช่น เกลือ น้ำมัน กรด ด่าง และอินทรีย์วัตถุ หรือสารอื่นใด ที่จะเป็นอันตรายแก่ชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ ทั้งนี้จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้งาน

ห้ามใช้น้ำทะเลในการผสม หรือบ่ม ชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์

2. เครื่องจักรและเครื่องมือ

ก่อนเริ่มงานผู้รับจ้างจะต้องเตรียมเครื่องจักรและเครื่องมือต่างๆ ที่จำเป็นจะต้องใช้ในการดำเนินงานทางด้านวัสดุ และการก่อสร้างไว้ให้พร้อมที่หน้างาน ทั้งนี้ต้องเป็นแบบ ขนาด และอยู่ในสภาพที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร

ถ้าเครื่องจักรและเครื่องมือชิ้นใดทำงานได้ไม่เต็มที่ หรือทำงานไม่ได้ผลตามวัตถุประสงค์ ผู้รับจ้างจะต้องทำการแก้ไข หรือจัดหาเครื่องจักรและเครื่องมืออื่นใดมาใช้แทน หรือเพิ่มเติม ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน

2.1 โรงผสมหินคลุกผสมซีเมนต์

2.1.1 ลักษณะทั่วไป วัสดุต่างๆ ของส่วนผสมหินคลุกผสมซีเมนต์ ให้จัดอัตราส่วนเป็นน้ำหนักทั้งหมด โดย หินคลุก ปูนซีเมนต์ และน้ำ จะผสมรวมกันในโรงผสมเท่านั้น การชั่งวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการผสมหินคลุกผสมซีเมนต์ จะต้องดำเนินการตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร

ปริมาณของวัสดุที่ใส่เข้าไปในเครื่องผสมจะต้องไม่มากเกินไปจนทำให้หินคลุกผสมซีเมนต์ผสมไม่เข้ากัน และถ้าหากพบว่าหินคลุกและปูนซีเมนต์ผสมไม่เข้ากัน ผู้รับจ้างจะต้องลดอัตราการใส่วัสดุเข้าไปในเครื่องผสมลงตามสัดส่วนของวัสดุแต่ละอย่าง

ผู้รับจ้างอาจจะเลือกใช้โรงผสมแบบชุด (Batch Mixer) หรือแบบผสมต่อเนื่อง (Continuous Mixer) ก็ได้ โดยเครื่องจักรที่จะใช้งานจะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน

โรงผสมแบบชุดหรือแบบผสมต่อเนื่องต้องมีเครื่องป้อนวัสดุ และมาตรวัดปริมาณวัสดุที่ผ่านเข้าไปในเครื่องผสมตามปริมาณที่ได้กำหนดไว้จากการออกแบบ

โรงผสมหินคลุกผสมซีเมนต์อาจจะดัดแปลงมาจากโรงผสมซีเมนต์คอนกรีต หรือโรงผสมแอสฟัลท์คอนกรีตก็ได้ แต่จะต้องอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้อย่างเหมาะสม โดยได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้งาน

2.1.2 โรงผสมหินคลุกผสมซีเมนต์แบบชุด โรงผสมแบบชุดจะประกอบด้วยเครื่องผสมที่มีตัวผสมที่เหมาะสมทำหน้าที่คลุกเคล้าหินคลุกผสมซีเมนต์ให้เข้ากันดี

โรงผสมแบบชุดจะต้องมีเครื่องจับเวลาของการผสมติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่ผู้ควบคุมสามารถจะมองเห็นได้อย่างชัดเจน เครื่องจับเวลาจะต้องสามารถอ่านเวลาละเอียดถึง 2 วินาที นอกจากนี้โรงผสมจะต้องติดตั้งเครื่องนับจำนวนชุดที่ผสมแล้วเสร็จติดอยู่กับโม่ด้วย

เวลาของการผสมให้เริ่มนับเมื่อวัสดุทุกอย่างถูกใส่ลงในห้องผสม จนถึงเวลาเมื่อหินคลุกผสมซีเมนต์ถูกปล่อยออกจากห้องผสม การผสมจะต้องดำเนินต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งหินคลุกผสมซีเมนต์มีลักษณะคลุกเคล้าเข้ากันอย่างดี โดยสังเกตจากสีและลักษณะของส่วนผสมที่ควรจะกลมกลืนกันดี โดยปกติเวลาของการผสมไม่ควรจะน้อยกว่า 30 วินาที

เครื่องชั่งที่ใช้ชั่งปูนซีเมนต์ในแต่ละชุดจะต้องอ่านได้ละเอียดกว่าเครื่องชั่งที่ใช้ชั่งหินคลุก

2.1.3 โรงผสมหินคลุกผสมซีเมนต์แบบผสมต่อเนื่อง โรงผสมแบบนี้จะจัดสัดส่วนของหินคลุกและปูนซีเมนต์ โดยส่งจากยุ้งผ่านสายพานหรือเครื่องป้อนอื่นใด ผ่านเข้าไปยังโรงผสมอย่างต่อเนื่อง ปริมาณของหินคลุก ปูนซีเมนต์ และน้ำ จะถูกควบคุมโดยเครื่องควบคุมอัตโนมัติ

ระบบการป้อนหินคลุกเข้าสู่โรงผสมอาจจะเป็นระบบทางกลหรือทางไฟฟ้าก็ได้ แต่ควรเป็นระบบเดียวกันกับระบบการป้อนปูนซีเมนต์

ในการผสมหินคลุกผสมซีเมนต์แบบผสมต่อเนื่อง ผู้รับจ้างจะต้องเตรียมเครื่องชั่งสำหรับชั่งหามวลของหินคลุก ปูนซีเมนต์ และน้ำ เพื่อตรวจสอบส่วนผสมให้ถูกต้อง

2.2 <u>เครื่องชั่ง</u>

เครื่องชั่งที่ใช้ในการชั่งหามวลของหินคลุก ปูนซีเมนต์ และน้ำ จะต้องเป็นแบบคาน มีความละเอียดผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักที่ชั่ง

กรณีควบคุมปริมาณน้ำโดยใช้ปริมาตร เครื่องมือควบคุมปริมาณน้ำจะต้องมีความละเอียดผิดพลาดไม่เกินร้อยละ 0.5 ของปริมาตรที่ตวง

ผู้รับจ้างจะต้องจัดหาตุ้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 25 กิโลกรัม อย่างน้อย 10 ตุ้ม ไว้ที่หน้างาน เพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องชั่ง

ห้ามใช้เครื่องชั่งซึ่งเป็นแบบที่ใช้สปริง

การคิดน้ำหนักปูนซีเมนต์อาจจะใช้วิธีชั่งโดยตรง หรือจากการนับจำนวนถุงบรรจุมาตรฐานก็ได้ โดยทั่วไปปูนซีเมนต์บรรจุในถุงมาตรฐานจะหนัก 50 กิโลกรัม ถ้าใช้วิธีชั่งก็จะมีเครื่องชั่งและถังสำหรับชั่งปูนซีเมนต์ต่างหาก พร้อมทั้งรางและเครื่องมืออื่นๆ เพื่อใช้สำหรับปล่อย

ให้ปูนซีเมนต์ออกจากถังชั่งไปสู่ห้องผสม การดำเนินงานในเรื่องนี้จะต้องใช้วิธีการที่เหมาะสม และได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงาน

3. ข้อกำหนดของส่วนผสมหินคลุกผสมซีเมนต์

3.1 อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ และน้ำ ที่ใช้ผสมกับหินคลุกนั้น นายช่างผู้ควบคุมงานจะเป็นผู้กำหนดให้ที่หน้างาน และอาจจะสั่งเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับการทดลองหากำลังรับแรงอัดแห่งตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์ ทั้งในห้องทดลองและจากการทำพื้นทางทดลองในสนาม

3.2 ในการออกแบบหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะผสมกับหินคลุก และน้ำ ให้ถือเอาค่ากำลังรับแรงอัดของแห่งตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์ที่ได้จากการทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 105/2515 "วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน" โดยอนุโลม ซึ่งแห่งตัวอย่างทดสอบจะถูกบดอัดในแบบตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน" ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วัน แล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 2 413 กิโลปาสกาล (350 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบ

3.3 ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเตรียมแห่งตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์ เพื่อการทดสอบหากำลังรับแรงอัดตามวิธีการทดลองในข้อ 3.2 ให้ใช้ปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content ซึ่งได้จากการทดลองการบดอัดหินคลุก ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน" ปริมาณน้ำปริมาณนี้ใช้เป็นแนวทางในการควบคุมการบดทับในสนามขณะทำการก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์

หมายเหตุ หากต้องการหาปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content ที่แท้จริงของส่วนผสมแล้ว ให้หาจากการทดลองบดอัดหินคลุกผสมซีเมนต์ที่อัตราส่วนของปูนซีเมนต์จากส่วนผสมตามข้อ 3.2 แล้วดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน" อย่างไรก็ดี ปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content

ซึ่งได้จากการบดอัดหินคลุกผสมซีเมนต์ จะให้ค่าที่ไม่แตกต่างไปจากปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content ซึ่งได้จากการบดอัดหินคลุกตามข้อ 3.3 โดยวิธีการทดลองแบบเดียวกันมากนัก

3.4 วัสดุต่างๆ ของส่วนผสมหินคลุกผสมซีเมนต์ ได้แก่ หินคลุก ปูนซีเมนต์ และน้ำ ให้จัดอัตราส่วนเป็นน้ำหนักทั้งหมด ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 และไม่เกินกว่าร้อยละ 2 โดยมวลของหินคลุก หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบเป็นอย่างอื่น

3.5 หินคลุกผสมซีเมนต์ ที่ได้จากการผสมทดลองของโรงผสมและการทำพื้นทางทดลองในสนามจะต้องมีคุณสมบัติสอดคล้องตามข้อกำหนดต่างๆ ดังต่อไปนี้

(1) การผสมทดลองทั้งในห้องทดลองและการทำพื้นทางทดลองในสนามจะต้องดำเนินการให้แล้วเสร็จก่อนเริ่มงานก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ไม่น้อยกว่า 30 วัน

(2) ส่วนผสมหินคลุกผสมซีเมนต์จะต้องมีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 2 413 กิโลปาสกาล (350 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว) หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบ

(3) การทดสอบกำลังรับแรงอัดให้ดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.105/2517 "วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน" โดยอนุโลม ซึ่งแท่งตัวอย่างทดสอบ จะถูกบดอัดในแบบตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน" ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วัน แล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง

(4) จำนวนแท่งตัวอย่างทดสอบ จากการผสมทดลองในห้องทดลอง และจากการทำพื้นทางทดลองในสนามแต่ละอย่างจะต้องไม่น้อยกว่า 27 ตัวอย่าง

## 4. วิธีการก่อสร้าง

### 4.1 การเตรียมการก่อนการก่อสร้าง

สถานที่ตั้งโรงผสมและกองวัสดุจะต้องเหมาะสม มีบริเวณกว้างพอที่จะดำเนินการได้โดยสะดวก และจะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน ต้นไม้ พุ่มไม้ ไม้ผุ ขยะ วัชพืช หรือสิ่งไม่พึงประสงค์ต่างๆ จะต้องกำจัดออกไปให้พ้นบริเวณ และได้รับการปรับระดับจนแน่ใจว่าน้ำ

ไม่ทำมชังบริเวณโรงผสมและกองวัสดุ จะต้องจัดให้มีการระบายน้ำที่ดี ให้บดทับจนทั่วประมาณ 2-3 เที่ยว จนได้ความเรียบและความแน่นพอสมควร

หินคลุกที่จะใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ เมื่อได้ผ่านการทดสอบคุณภาพว่าใช้ได้แล้วให้กอง (Stockpile) ไว้เป็นกองๆ ภายในบริเวณสถานที่ดังกล่าวข้างต้น ในปริมาณที่พอสมควร และความสูงแต่ละกองไม่ควรเกิน 5 เมตร

สำหรับหินคลุกที่ได้จากแหล่งผลิตหลายๆ แห่ง เมื่อได้ผ่านการทดสอบคุณภาพว่าใช้ได้แล้ว ให้แยกกองวัสดุแต่ละแหล่งผลิตออกจากกัน หากไม่สะดวกในการควบคุมคุณภาพจากแหล่งผลิต ก็ให้กองวัสดุเป็นกองๆ แยกกันไปแต่ละแหล่งผลิต แล้วดำเนินการเก็บตัวอย่างทดสอบคุณภาพ ตามวิธีการของกรมทางหลวง เมื่อได้ผ่านการทดสอบคุณภาพว่าใช้ได้แล้ว จึงจะนำไปใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ที่โรงผสมได้

ให้ระวังการเกิดการแยกตัว (Segregation) ของส่วนหยาบและส่วนละเอียดในกองวัสดุ ระหว่างการตักหินคลุกออกจากกอง หรือระหว่างการขนส่งหินคลุกผสมซีเมนต์ไปยังหน้างานสนาม หากพิจารณาพบเห็น นายช่างผู้ควบคุมงานอาจจะเก็บตัวอย่างทดสอบคุณภาพใหม่ได้

เครื่องจักรเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่จำเป็นจะต้องใช้ในการก่อสร้างพื้นทาง หินคลุกผสมซีเมนต์ทุกชนิด ต้องมีสภาพใช้งานได้ดี โดยจะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้ว เครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ทุกชนิดต้องมีจำนวนพอเพียงที่จะอำนวยให้การก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ ดำเนินไปโดยต่อเนื่องไม่ติดขัดหรือหยุดชะงัก และในระหว่างการก่อสร้างจะต้องบำรุงรักษาให้อยู่ในสภาพดีอยู่เสมอ

ชั้นรองพื้นทางหรือชั้นอื่นใดที่จะรองรับชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์จะต้องเกลี่ยแต่งและบดทับให้ได้แนว ระดับ ความลาด ขนาด รูปร่าง และความแน่นตามที่แสดงไว้ในแบบ

4.2 <u>การทำพื้นทางทดลองในสนาม</u>

อัตราส่วนของปูนซีเมนต์และน้ำ ที่จะใช้ผสมกับหินคลุกเป็นส่วนผสมหินคลุกผสมซีเมนต์ระหว่างการทดลองก่อสร้างพื้นทางทดลองในสนามแปลงแรก ให้ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ได้จากการออกแบบตามข้อ 3.2 และใช้ปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content ตามข้อ 3.3 เป็นส่วนผสมที่จะก่อสร้างแปลงทดลองแปลงแรก ซึ่งควรจะมีความยาวประมาณ 200-500 เมตร ให้ดำเนิน

การเตรียมแท่งตัวอย่างทดสอบหากำลังรับแรงอัดตามข้อ 3.5 ทันทีที่เริ่มงาน การเตรียมแท่งตัวอย่างให้เตรียมในสนามโดยเก็บตัวอย่างตัวแทนขณะทำการปูส่วนผสมพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ เพื่อที่จะได้แท่งตัวอย่างทดสอบที่มีคุณภาพคล้ายส่วนผสมหินคลุกผสมซีเมนต์ในสนามมากที่สุด ห้ามทำการผสมคลุกเคล้าตัวอย่างใหม่ทั้งก่อนและขณะทำการบดอัดตัวอย่าง

4.3 การก่อสร้าง

เมื่อผลการตรวจสอบคุณภาพของพื้นทางทดลองแปลงแรกเป็นไปตามข้อกำหนดตามข้อ 4.4 แล้ว สำหรับแปลงก่อสร้างต่อๆ ไป ให้ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ตามที่ได้ออกแบบไว้ ส่วนปริมาณน้ำที่ใช้ในระหว่างการผสมในโรงผสมให้ใช้ที่ Optimum Moisture Content โดยประมาณ

หลังจากผสมหินคลุกผสมซีเมนต์เข้ากันดีแล้ว ให้ใช้เครื่องจักรที่เหมาะสม เช่น รถบรรทุกกระบะยกขนหินคลุกผสมซีเมนต์จากโรงผสมไปปูลงบนชั้นรองพื้นทางหรือชั้นทางอื่นใดที่ได้เตรียมไว้แล้ว โดยปูลงไปในที่ที่ได้จัดเตรียมไว้ ทำการบดทับให้แน่นโดยใช้เครื่องมือบดทับที่เหมาะสม ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมจนกระทั่งเสร็จการบดทับ ไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมง

ภายหลังการบดทับให้ทำการแต่งระดับขั้นสุดท้าย (Fine Grading) ทันที

ควรทำการพ่นน้ำเลี้ยงผิวหน้าของพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ติดต่อกันในช่วง 3 วันแรก ภายหลังการบดทับเพื่อให้กำลังรับแรงอัดของหินคลุกผสมซีเมนต์เพิ่มขึ้น และยังช่วยลดรอยแตกผิวอันเนื่องมาจากการสูญเสียความชื้นหลังการบดทับด้วย

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะเป็นแหล่งวัสดุ เครื่องจักร เครื่องมือ หรือสิ่งอื่นใดที่มีผลทำให้คุณภาพของหินคลุกผสมซีเมนต์เปลี่ยนไป จะต้องทำการตรวจสอบหาอัตราส่วนผสมใหม่ทุกครั้ง เพื่อปรับส่วนผสมให้คุณภาพถูกต้องอยู่เสมอ

การบดทับและปริมาณน้ำที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างการก่อสร้าง ก็มีผลอันอาจทำให้ต้องมีการปรับปริมาณปูนซีเมนต์เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงด้วย

4.4 การควบคุมคุณภาพขณะก่อสร้าง

การก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ ให้ก่อสร้างเป็นชั้นๆ โดยให้ความหนาหลังการบดทับแต่ละชั้นไม่เกิน 150 มิลลิเมตร

เมื่อได้ก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ซึ่งแบบกำหนดไว้หนาไม่เกิน 150 มิลลิเมตร จนได้ความยาวพอเหมาะในแต่ละวันแล้ว ให้ดำเนินการทดสอบความแน่นของการบดทับ ตามข้อ 4.4.1 และทดสอบกำลังรับแรงอัด ตามข้อ 4.4.2 หากผลการทดลองเป็นไปตามข้อกำหนดก็ให้ดำเนินการก่อสร้างชั้นทางในชั้นต่อไปได้

ในกรณีที่แบบพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์กำหนดไว้หนา 200 มิลลิเมตร ให้ผู้รับจ้างก่อสร้างพื้นทางเป็น 2 ชั้น หนาชั้นละประมาณ 100 มิลลิเมตร โดยที่เมื่อได้ก่อสร้างพื้นทางชั้นแรก จนได้ความยาวพอเหมาะที่จะก่อสร้างพื้นทางในชั้นถัดไปแล้ว ให้ดำเนินการทดสอบความแน่นของการบดทับตามข้อ 4.4.1 และทดสอบกำลังรับแรงอัดตามข้อ 4.4.2 หากผลทดลองเป็นไปตามข้อกำหนด ก็ให้ดำเนินการก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ชั้นถัดไปให้ได้ตามข้อกำหนด

ก่อนการปูพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ชั้นถัดไป ให้ทำการพ่นน้ำให้ผิวหน้าของชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ที่ได้ก่อสร้างไว้แล้วชุ่มชื้น ถ้าผิวหน้าของชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์เรียบเป็นมัน ให้ผู้รับจ้างทำการครูดผิวหน้าของชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ที่ได้ก่อสร้างไว้แล้วให้เป็นร่องรอยก่อน แล้วค่อยพ่นน้ำให้ชุ่มชื้น

ผิวหน้าของพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ที่ได้ก่อสร้างไปแล้วควรมีความชุ่มชื้นพอควร ในขณะที่ทำการปูพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ในชั้นถัดไปเพื่อช่วยให้ชั้นหินคลุกผสมซีเมนต์เกาะยึดกันดี ผิวหน้าที่หยาบของพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ที่ได้ก่อสร้างไปแล้วที่มีความชื้นพอเหมาะจะช่วยให้เกิดการเกาะยึดที่ดีกับชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ที่กำลังจะก่อสร้างทับลงไป

ผู้รับจ้างอาจก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ให้มีความหนาแต่ละชั้นเกินกว่า 150 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 200 มิลลิเมตรก็ได้ ทั้งนี้ต้องแสดงรายการเครื่องจักรและเครื่องมือที่เหมาะสม แสดงวิธีการปฏิบัติงาน และต้องก่อสร้างแปลงทดลองยาวประมาณ 200-500 เมตร ให้ตรวจสอบคุณภาพก่อน เพื่อขอรับการพิจารณาอนุญาตจากกรมทางหลวง หากพบว่าระหว่างการก่อสร้างมีปัญหาเกี่ยวกับความแน่น หรือกำลังรับแรงอัดของพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ส่วนบนและ

ส่วนล่างไม่ได้ตามข้อกำหนด นายช่างผู้ควบคุมงานอาจพิจารณาระงับการก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ ชั้นละมากกว่า 150 มิลลิเมตร

4.4.1 การทดสอบความแน่นของการบดทับ งานพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์จะต้องทำการบดทับให้ได้ความแน่นแห้งสม่ำเสมอตลอดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบ ของความแน่นแห้งสูงสุด ที่ได้จากการทดลองตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์ในห้องทดลอง ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน"

การทดสอบความแน่นของการบดทับ ควรดำเนินการทดสอบในวันที่ทำการบดทับเสร็จ ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 603/2517 "วิธีการทดลองหาค่าความแน่นของวัสดุในสนามโดยใช้ทราย" ทุกระยะประมาณ 100 เมตร ต่อความกว้าง 1 ช่องจราจร หรือประมาณพื้นที่ 500 ตารางเมตร ต่อ 1 หลุมตัวอย่าง หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบเป็นอย่างอื่น

4.4.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัด ให้เตรียมแท่งตัวอย่างทดสอบ โดยการเก็บตัวอย่างตัวแทน 3 ตัวอย่าง ในช่วงงานก่อสร้างแต่ละช่วง ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ของหินคลุกผสมซีเมนต์หนาไม่เกิน 150 มิลลิเมตร พื้นที่ไม่เกิน 1500 ตารางเมตร และให้ถือว่าตัวอย่างตัวแทน 3 ตัวอย่างนี้ เป็น 1 ชุดทดสอบ

ภายหลังการบดอัดตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.108/2517 "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน" ให้ดันตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์ออกจากแบบ และบ่มไว้ในถุงพลาสติก เพื่อป้องกันมิให้ตัวอย่างสูญเสียความชื้นเป็นระยะเวลานาน 7 วัน เมื่อครบ 7 วัน ให้นำตัวอย่างทดสอบแต่ละชุด (3 ตัวอย่าง) ออกจากถุงพลาสติก แช่น้ำไว้นาน 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงนำตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์ไปทดสอบกำลังรับแรงอัด ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 105/2515 "วิธีการทดลองหา Unconfined Compressive Strength ของดิน" โดยอนุโลม

ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของหินคลุกผสมซีเมนต์ในช่วงงานก่อสร้างแต่ละช่วงจะต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบ ทั้งนี้อนุญาตให้มีแท่งตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าที่กำหนดไว้ในแบบได้ไม่เกิน 1 ก้อน แต่ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของค่าที่กำหนด

4.4.3 การทดสอบซ้ำ ในกรณีที่ค่าความแน่นของการบดทับ ตามข้อ 4.4.1 หรือค่ากำลังรับแรงอัด ตามข้อ 4.4.2 ต่ำกว่าที่กำหนด ผู้รับจ้างอาจขอให้เจาะเก็บตัวอย่างหินคลุก

ผสมซีเมนต์ช่วงที่เป็นปัญหา เพื่อนำตัวอย่างมาทดสอบกำลังรับแรงอัดใหม่ โดยดำเนินการในลักษณะเดียวกับข้อ 4.4.2

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดโดยเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบที่เจาะจากสนามจำนวน 3 ก้อน ที่อายุไม่เกิน 28 วัน จะต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ของกำลังรับแรงอัดที่กำหนดไว้ในแบบ จึงจะถือว่าหินคลุกผสมซีเมนต์ในช่วงนั้นใช้ได้ ทั้งนี้อนุญาตให้มีแท่งตัวอย่างที่มีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าร้อยละ 85 ของกำลังรับแรงอัดที่กำหนดได้ไม่เกิน 1 ก้อน แต่ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 ของค่าที่กำหนด

ถ้าผลการทดสอบไม่ได้ตามที่กำหนดนี้ ถือว่าหินคลุกผสมซีเมนต์ใช้ไม่ได้ ผู้รับจ้างจะต้องรื้อเอาหินคลุกผสมซีเมนต์ในช่วงนี้ออกทิ้งไป และให้ทำการก่อสร้างหินคลุกผสมซีเมนต์ให้ได้มาตรฐานตามข้อกำหนด

ผู้รับจ้างจะต้องเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายในการทดสอบซ้ำ และค่าใช้จ่ายในการรื้อเอาหินคลุกผสมซีเมนต์ที่ใช้ไม่ได้ตามข้อกำหนดนี้ออกทิ้งไปทั้งสิ้น

4.5 การบ่มและการเปิดการจราจร

ในกรณีที่ผู้รับจ้างยังไม่ลาดแอสฟัลท์ชั้น Prime Coat หลังก่อสร้างเสร็จ ให้บ่มหินคลุกผสมซีเมนต์ทุกชั้น โดยพ่นน้ำลงไปบนผิวหน้าของหินคลุกผสมซีเมนต์ที่ก่อสร้างเสร็จแล้วให้ผิวหน้าชุ่มชื้นตลอดเวลาติดต่อกันนานอย่างน้อยที่สุด 3 วันนับจากวันที่บดทับเสร็จ ในช่วงเวลาของการบ่มอนุญาตให้เปิดการจราจรได้ตามปกติ

4.6 การลาดแอสฟัลท์ Prime Coat

4.6.1 ให้ผู้รับจ้างทำการลาดแอสฟัลท์ Prime Coat ภายหลังจากที่ได้ทำการก่อสร้างพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์เสร็จในเวลาอันสมควร

4.6.2 เนื่องจากพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ เป็นพื้นทางที่มีผิวหน้าแน่นมากในการลาดแอสฟัลท์ชั้น Prime Coat โดยใช้ Cut-back Asphalt ชนิด MC-70 หากพบว่าแอสฟัลท์ Prime Coat ไม่ซึมลงไปในชั้นพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ดีเท่าที่ควร ให้ผู้รับจ้างพิจารณาใช้แอสฟัลท์ MC-30 ลาดแทนแอสฟัลท์ MC-70 แต่ถ้าผู้รับจ้างไม่สามารถจะหาซื้อแอสฟัลท์ MC-30 ได้ ผู้รับจ้าง

อาจพิจารณาใช้แอสฟัลท์ MC-70 ผสมกับน้ำมันก๊าดในปริมาณที่เหมาะสม ลาดลงไปบนพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์เป็นชั้น Prime Coat ตามวิธีการในมาตรฐานที่ ทล.-ม. 402/2531 "การลาดแอสฟัลท์ Prime Coat" ในอัตราการลาด 0.6 -1.0 ลิตรต่อตารางเมตร

4.7 เครื่องมือเจาะเก็บตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์

ผู้รับจ้างจะต้องจัดเตรียมเครื่องมือเจาะเก็บตัวอย่างหินคลุกผสมซีเมนต์ประจำไว้ที่หน้างาน โดยเครื่องมือดังกล่าวจะต้องมีสภาพที่สามารถจะใช้งานได้ตลอดเวลา

* * * * *

**กรมทางหลวง**

# มาตรฐานพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ (Crushed Slag)

* * * * *

งานนี้ประกอบด้วย มวลรวมตะกรันเหล็กโม่ ซึ่งมีขนาดคละกันอย่างสม่ำเสมอ จากใหญ่ไปหาเล็ก โดยจะก่อสร้างเป็นชั้นเดียว หรือหลายชั้น ไปบนชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้ และได้รับการตรวจสอบว่าถูกต้องแล้ว โดยการเกลี่ยแต่งและบดทับให้ถูกต้องตามแนวระดับ ความลาด ขนาด ตลอดจนรูปตัดตามที่ได้แสดงไว้ในแบบ

## 1. วัสดุ

วัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่เป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตเหล็ก มี Oxides ของ Calcium, Silica, Iron, Aluminium, และ Magnesium เป็นส่วนประกอบหลัก และต้องเป็นวัสดุที่มีเนื้อแข็งเหนียว สะอาด ไม่ผุและปราศจากวัสดุอื่นเจือปน จากแหล่งที่ได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงแล้ว

ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติของวัสดุพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ไว้เป็นอย่างอื่น วัสดุที่ใช้ทำพื้นทางตะกรันเหล็กโม่จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1.1 ค่าการสึกหรอ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 202 "วิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion" ไม่เกินร้อยละ 40

1.2 ค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.- ท. 213 "วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม" โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ แล้วไม่เกินร้อยละ 9

1.3 ส่วนละเอียด (Fine Aggregate) ต้องเป็นชนิดวัสดุและคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับส่วนหยาบ (Coarse Aggregate) การใช้วัสดุส่วนละเอียดชนิดอื่นเจือปนเพื่อปรับปรุงคุณภาพ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงก่อน

1.4 ขนาดคละ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 205 "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง" ต้องมีขนาดใดขนาดหนึ่งตามตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ขนาดคละของวัสดุพื้นทางตะกรันเหล็กโม่

| ขนาดตะแกรง | ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล | |
|---|---|---|
| | A | B |
| 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) | 100 | 100 |
| 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) | - | 75-95 |
| 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) | 30-65 | 40-75 |
| 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) | 25-55 | 30-60 |
| 2.00 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) | 15-40 | 20-45 |
| 0.425 มิลลิเมตร (เบอร์ 40) | 8-20 | 15-30 |
| 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) | 2-8 | 5-20 |

1.5 ส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (ตะแกรงเบอร์ 200) ต้องไม่มากกว่าสองในสาม (2/3) ของส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร (ตะแกรงเบอร์ 40)

1.6 ค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 102 "วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (LL) ของดิน" ไม่เกินร้อยละ 25

1.7 ค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 103 "วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI)" ไม่เกินร้อยละ 4

1.8 ค่า Sand Equivalent เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 203 "วิธีการทดลองหาค่า Sand Equivalent" ไม่น้อยกว่าร้อยละ 35

1.9 ค่า CBR เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 109 "วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR" ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 สำหรับผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีต และไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 สำหรับผิวทางแบบเซอร์เฟสทรีตเมนต์ หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบที่ความแน่นแห้งของการบดอัด ร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตาม วิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108 "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน"

1.10มีปริมาณการขยายตัว เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 217 "วิธีการทดลองหาปริมาณการขยายตัวของวัสดุมวลรวมที่เกิดจากปฏิกิริยา Hydration" ไม่เกินร้อยละ 0.5

## 2. การกองวัสดุ

บริเวณที่เตรียมไว้กองวัสดุพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อน ต้นไม้ พุ่มไม้ ตอไม้ ไม้ผุ ขยะ วัชพืช หรือสิ่งไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ จะต้องกำจัดออกไปให้พ้นบริเวณ และได้รับการปรับระดับจนแน่ใจว่าน้ำไม่ท่วมขังบริเวณกองวัสดุและมีการระบายน้ำดีพอ ให้บดทับจนทั่วประมาณ 2-3 เที่ยว จนได้ความเรียบและความแน่นพอสมควร

วัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่จากแหล่งผลิต เมื่อได้ผ่านการทดสอบคุณภาพว่าใช้ได้ และเตรียมที่จะนำมาใช้งานพื้นทาง หากมิได้นำมาลงบนชั้นรองพื้นทางหรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้โดยตรง ให้กอง (Stockpile) ไว้เป็นกอง ๆ ในปริมาณที่พอสมควร และความสูงแต่ละกองไม่ควรเกิน 5 เมตร

สำหรับวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่ที่ได้จากแหล่งผลิตหลาย ๆ แห่ง ซึ่งผ่านการทดสอบคุณภาพว่าใช้ได้ ถ้าจะนำมาลงบนชั้นรองพื้นทางหรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้แล้วโดยตรง ให้แยกลงแต่ละแหล่งผลิตเป็นแต่ละช่วงไป ช่วงละประมาณ 500 เมตร หรือตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานกำหนด ถ้าประสงค์จะนำมากองเพื่อเตรียมไว้ใช้งานพื้นทาง ก็ให้แยกกองวัสดุแต่ละแหล่งผลิตออกจากกัน ในปริมาณและความสูงของกองวัสดุเช่นเดียวกับที่ได้กล่าวมาแล้ว หากไม่สะดวกในการควบคุมคุณภาพจากแหล่งผลิต ก็ให้กองวัสดุเป็นกอง ๆ แยกกันไปแต่ละแหล่งผลิต แล้วดำเนินการเก็บตัวอย่างทดสอบคุณภาพตามวิธีการของกรมทางหลวง ห้ามนำวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่จากแหล่งผลิตที่ยังไม่ผ่านการทดสอบคุณภาพมาลงบนชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้โดยตรง

ให้ระวังการเกิดการแยกตัว (Segregation) ของส่วนหยาบและส่วนละเอียดในการกองวัสดุ หากพิจารณาพบเห็น นายช่างผู้ควบคุมงานอาจจะเก็บตัวอย่างทดสอบคุณภาพใหม่ได้

กองวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่ที่เตรียมไว้ใช้งานพื้นทาง จะต้องกองไว้ในระยะที่ไม่ห่างจากบริเวณก่อสร้างเกินไปจนอาจเกิดการแยกตัวของส่วนหยาบและส่วนละเอียดเนื่องจากการขนส่งได้

ถ้าการทดสอบคุณภาพของตัวอย่างวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่จากกองวัสดุ ไม่ได้ตามข้อกำหนด ไม่ว่าในกรณีใดก็ตาม ผู้รับจ้างจะต้องเปลี่ยนหรือแก้ไขปรับปรุงตามดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงานจนวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่ มีคุณภาพถูกต้อง โดยที่ค่าใช้จ่ายต่างๆ เป็นภาระของผู้รับจ้างทั้งสิ้น

## 3. เครื่องจักรและเครื่องมือ

ก่อนเริ่มงาน ผู้รับจ้างจะต้องเตรียมเครื่องจักรและเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นจะต้องใช้ในการดำเนินงานทางด้านวัสดุและการก่อสร้างไว้ให้พร้อมที่หน้างาน ทั้งนี้ต้องเป็นแบบ ขนาด และอยู่ในสภาพที่ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพตามที่นายช่างผู้ควบคุมงานเห็นสมควร

ถ้าเครื่องจักรและเครื่องมือชิ้นใดทำงานได้ไม่เต็มที่หรือทำงานไม่ได้ผลตามวัตถุประสงค์ ผู้รับจ้างจะต้องทำการแก้ไขหรือจัดหาเครื่องจักรและเครื่องมืออื่นใดมาใช้แทนหรือเพิ่มเติม ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน

## 4. วิธีการก่อสร้าง

### 4.1 การเตรียมการก่อนการก่อสร้าง

ชั้นรองพื้นทางหรือชั้นอื่นใดที่จะรองรับชั้นพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ จะต้องเกลี่ยแต่งและบดทับให้ได้แนว ระดับ ความลาด ขนาด รูปร่าง และความแน่นตามที่ได้แสดงไว้ในแบบ

ก่อนขนวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่ ผู้รับจ้างจะต้องเตรียมพร้อมในด้านต่าง ๆ เช่น เครื่องจักรและเครื่องมือในการทำงานและการบดทับ เครื่องหมายควบคุมการจราจรที่เกี่ยวกับการก่อสร้าง ทั้งนี้จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงาน

ก่อนขนส่งวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่ไปใช้ทำชั้นพื้นทางในสนาม ควรพ่นน้ำเข้าไปที่กองวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่และคลุกเคล้าให้เข้ากัน โดยให้มีปริมาณน้ำใกล้เคียง Optimum Moisture Content การตักวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่ออกจากกอง และการขนส่งวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่จะต้องกระทำด้วยความระมัดระวังไม่ให้เกิดการแยกตัวของส่วนหยาบและส่วนละเอียดได้ และต้องระมัดระวังไม่ให้ความชุ่มชื้นที่มีอยู่ในวัสดุผสมนี้ระเหยไปมาก

### 4.2 การก่อสร้าง

ภายหลังที่ได้ดำเนินการตามข้อ 4.1 ต้องทำการพ่นน้ำลงบนชั้นรองพื้นทางหรือชั้นอื่นใดที่รองรับชั้นพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ให้ชุ่มชื้นสม่ำเสมอโดยทั่วตลอด ใช้เครื่องจักรที่เหมาะสม เช่น รถบรรทุกระบะยกขนวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่จากกองวัสดุไปปูลงบนชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้ให้ทำการผสมใหม่ในสนาม (Road Mix) แล้วตีแผ่ เกลี่ยวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่ คลุกเคล้า และผสมน้ำเพิ่มให้มีปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content $\pm$ 2 % โดยประมาณ

หลังจากเกลี่ยแต่งวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่ ให้ทำการบดทับทันทีด้วยรถบดล้อยางหรือเครื่องมือบดทับอื่นใดที่เหมาะสม บดทับทั่วผิวหน้าอย่างสม่ำเสมอจนได้ความแน่นตามข้อกำหนด เกลี่ยแต่งวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่ให้ได้แนว ระดับ ความลาด ขนาด และรูปตัด ตามที่ได้แสดงไว้ในแบบไม่มีหลุมบ่อหรือวัสดุที่หลุดหลวมไม่แน่นอยู่บนผิว การบดทับขั้นสุดท้าย ถ้าทำการบดแต่งด้วยรถบดล้อเหล็กห้ามบดทับจนเม็ดวัสดุแตก

การบดทับให้กระทำในทิศทางเดียวกับแนวศูนย์กลางคันทาง โดยเริ่มจากขอบทางเข้าแนวศูนย์กลางทาง บริเวณใดที่วัสดุส่วนหยาบและส่วนละเอียดแยกตัวออกจากกัน ผู้รับจ้างจะต้องทำการแก้ไขโดยการขุดคุ้ย (Scarify) ตลอดความหนาของแต่ละชั้น แล้วทำการก่อสร้างใหม่ตามวิธีการก่อสร้าง

ข้างต้น

นายช่างผู้ควบคุมงานอาจจะตรวจสอบคุณภาพหลังการผสมคลุกเคล้า หากพบว่าคุณภาพไม่ถูกต้องตามข้อกำหนด ผู้รับจ้างจะต้องขนวัสดุเหล่านั้นออกไปและนำวัสดุที่มีคุณภาพถูกต้องตามข้อกำหนดมาใช้แทน ห้ามนำวัสดุที่คุณภาพไม่ถูกต้องตามข้อกำหนดมาใช้ทำพื้นทางหรือนำวัสดุ 2 ชนิดมาผสมกันบนชั้นรองพื้นทางหรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้ ยกเว้นจะได้กำหนดเป็นอย่างอื่นไว้ในแบบ

กรณีชั้นพื้นทางและชั้นไหล่ทางใช้วัสดุต่างชนิดกัน ห้ามทำงานไหล่ทางก่อนงานพื้นทางในช่วงฤดูฝน หากได้มีการก่อสร้างไหล่ทางไว้ก่อนทำพื้นทางแล้วเกิดฝนตกระหว่างการทำงานหรือมีน้ำขังในพื้นทาง ให้ผู้รับจ้างรื้อพื้นทางและไหล่ทางออก ตรวจสอบชั้นรองพื้นทาง ถ้าพบว่าไม่ถูกต้องให้รื้อแก้ไขใหม่ตามวิธีการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางและได้คุณภาพถูกต้องตามข้อกำหนด ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน

หากมีความจำเป็นจะต้องก่อสร้างชั้นพื้นทางในช่วงฤดูฝน จะต้องรีบทำการก่อสร้างให้แล้วเสร็จและดำเนินการทำชั้น Prime Coat ปิดโดยทันที

**4.3 การควบคุมคุณภาพขณะก่อสร้าง**

การก่อสร้างพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ให้ก่อสร้างเป็นชั้น ๆ โดยให้มีความหนาเท่า ๆ กัน และแต่ละชั้น ไม่เกิน 150 มิลลิเมตร

เมื่อได้ก่อสร้างพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ ซึ่งแบบกำหนดไว้หนาไม่เกิน 150 มิลลิเมตร จนได้ความยาวพอเหมาะในแต่ละวัน ให้ดำเนินการตรวจสอบค่าระดับและทดสอบความแน่นของการบดทับ หากผลที่ได้เป็นไปตามข้อกำหนดก็ให้ดำเนินการก่อสร้างชั้นทางในชั้นถัดไปได้

ในกรณีที่แบบพื้นทางตะกรันเหล็กโม่กำหนดไว้หนา 200 มิลลิเมตร ให้ผู้รับจ้างก่อสร้างพื้นทางเป็น 2 ชั้น หนาชั้นละประมาณ 100 มิลลิเมตร โดยที่เมื่อได้ก่อสร้างพื้นทางชั้นแรกจนได้ความยาวพอเหมาะที่จะก่อสร้างพื้นทางในชั้นถัดไป ให้ดำเนินการทดสอบความแน่นของการบดทับ หากผลทดลองเป็นไปตามข้อกำหนดก็ให้ดำเนินการก่อสร้างพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ชั้นถัดไปได้ตามข้อกำหนด

ก่อนการปูพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ชั้นถัดไป ต้องทำการพ่นน้ำลงบนพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ให้ชุ่มชื้นสม่ำเสมอโดยทั่วตลอด ถ้าผิวหน้าของพื้นทางตะกรันเหล็กโม่เรียบเป็นมัน ให้ผู้รับจ้างทำการครูดผิวหน้าของชั้นพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ให้เป็นริ้วรอยก่อน แล้วค่อยพ่นน้ำให้ชุ่มชื้น

ผิวหน้าของพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ที่ได้ก่อสร้างไปแล้วควรมีความชุ่มชื้นพอควร ในขณะที่ทำการปูพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ในชั้นถัดไป เพื่อช่วยให้ชั้น พื้นทางตะกรันเหล็กโม่ แต่ละชั้นยึดกันดี ผิวหน้าที่หยาบของพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ ที่ได้ก่อสร้างไปแล้วที่มีความชื้นพอเหมาะจะช่วยให้เกิดการเกาะยึดที่ดีกับชั้นพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ที่กำลังจะก่อสร้างทับลงไป

ผู้รับจ้างอาจก่อสร้างพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ให้มีความหนาแต่ละชั้นเกินกว่า 150 มิลลิเมตร แต่ไม่เกิน 200 มิลลิเมตร ก็ได้ ทั้งนี้ต้องแสดงรายการเครื่องจักรและเครื่องมือที่เหมาะสม แสดงวิธีการปฏิบัติงาน และต้องก่อสร้างแปลงทดลองยาวประมาณ 200-500 เมตร ให้ตรวจสอบคุณภาพก่อน เพื่อขอรับการพิจารณาอนุญาตจากกรมทางหลวง หากพบว่าระหว่างการก่อสร้างผิวหน้าของพื้นทางตะกรันเหล็กโม่แตกละเอียดมากเกินไป หรือมีปัญหาเกี่ยวกับความแน่นของพื้นทางส่วนบนและส่วนล่างไม่ได้ตามข้อกำหนด นายช่างผู้ควบคุมงานอาจพิจารณาระงับการก่อสร้างพื้นทางชั้นละมากกว่า 150 มิลลิเมตร ได้

**4.4 การทดสอบความแน่นของการบดทับ**

งานพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ จะต้องทำการบดทับให้ได้ความแน่นแห้งสม่ำเสมอตลอดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตัวอย่างวัสดุมวลรวมตะกรันเหล็กโม่เก็บจากหน้างานในสนามหลังจากคลุกเคล้าผสมและปูลงบนถนน ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108 "วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน"

การทดสอบความแน่นของการบดทับ ให้ดำเนินการทดสอบตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 603 "วิธีการทดลองหาค่าความแน่นของวัสดุในสนามโดยใช้ทราย" ทุกระยะประมาณ 100 เมตร ต่อ 1 ช่องจราจร หรือประมาณพื้นที่ 500 ตารางเมตร ต่อ 1 หลุมตัวอย่างหรือตามที่กำหนดไว้ในแบบเป็นอย่างอื่น

**4.5 การบำรุงรักษาและการเปิดจราจร**

หลังจากการก่อสร้างเสร็จและคุณภาพผ่านข้อกำหนดทุกอย่าง ในกรณีที่ผู้รับจ้างยังไม่ลาดแอสฟัลต์ชั้น Prime Coat ถ้าต้องการเปิดให้การจราจรผ่าน ให้ทำการบำรุงรักษาผิวหน้าของพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ ด้วยการพ่นน้ำบาง ๆ ลงบนพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ให้ผิวหน้าชุ่มชื้นตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นฟุ้งกระจายเป็นมลภาวะต่อประชาชนสองข้างทางขณะเปิดการจราจร

**4.6 การลาดแอสฟัลต์ชั้น Prime Coat**

ให้ผู้รับจ้างทำการลาดแอสฟัลต์ชั้น Prime Coat ภายหลังจากที่ได้ทำการก่อสร้างพื้นทางตะกรันเหล็กโม่ เสร็จในเวลาอันสมควร

การลาดแอสฟัลต์ชั้น Prime Coat ให้ผู้รับจ้างดำเนินการตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 402 "การลาดแอสฟัลต์ Prime Coat" ส่วนปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้ลาดนายช่างผู้ควบคุมงานจะเป็นผู้กำหนดให้เป็นแต่ละช่วงไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแน่นแห้งเฉลี่ยที่ทดสอบได้จากสนามในแต่ละช่วงที่จะดำเนินการลาดแอสฟัลต์ Prime Coat

## 5. หนังสืออ้างอิง

- American Society for Testing and Materials. Standard Specification for Graded Aggregate Material For Bases or Subbases for Highways or Airports: ASTM Designation: D 2940-98

* * * * *

# กรมทางหลวง
# สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง
# วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน
# (เทียบเท่า AASHTO T 208)

* * * * *

## 1. ขอบข่าย

Unconfined Compressive Strength คือ ค่าแรงอัด (Compressive Load) สูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งแท่งตัวอย่างดินรูปทรงกระบอกหรือรูป Prismatic จะรับได้ ถ้าในกรณีที่ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ยังไม่ถึงค่าสูงสุดเมื่อความเครียด (Strain) ในแนวดิ่งเกิน 20% ให้ใช้ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ที่ความเครียด 20% นั้นเป็นค่า Unconfined Compressive Strength

การทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO T 208-70 อธิบายถึงการหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดินในสภาพ Undisturbed และ Remolded อัตราการเพิ่มแรงอัดในระหว่างการทดลอง จะควบคุมโดยความเครียด (Strain) หรือควบคุมโดยความเค้น (Stress) ก็ได้

## 2. วิธีทำ

### 2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 เครื่องกด เป็นเครื่องใช้กดแท่งตัวอย่าง มีหลายแบบ เช่น ใช้ Deadweight หรือ Hydraulic เป็นแรงกด หรืออาจใช้เครื่องมือกดชนิดอื่นๆ ที่สามารถควบคุมอัตราเร็วของแรงกด และมีกำลังกดเพียงพอ สำหรับดินที่มีค่า Unconfined Compressive Strength น้อยกว่า 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.1 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) ต้องใช้เครื่องกดที่สามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.001 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) และสำหรับดินที่มีค่า Unconfined Compressive Strength มากกว่า 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.1 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) เครื่องกดจะต้องอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.05 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.005 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

2.1.2 เครื่องดันตัวอย่างดิน ใช้ดันแท่งตัวอย่างดินออกจากท่อบาง (Thin Wall Tube)

2.1.3 Dial Gauge ใช้วัดได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร หรือ 0.001 นิ้ว สามารถอ่านระยะทางเคลื่อนที่ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของความยาวแท่งตัวอย่าง ที่จะใช้ทดลอง

2.1.4 Vernier Caliper ใช้วัดขนาดของแท่งตัวอย่าง โดยวัดได้ละเอียด ถึง 0.1 มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว

2.1.5 นาฬิกาจับเวลา

2.1.6 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียส

2.1.7 เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม ใช้สำหรับตัวอย่างดินที่มีมวลน้อยกว่า 100 กรัม สำหรับตัวอย่างดินที่มีมวลมากกว่า 100 กรัม ให้ใช้เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

2.1.8 เครื่องมือเบ็ดเตล็ด เครื่องมืออื่นๆ ที่ต้องใช้ คือ เครื่องมือตัดและตกแต่งตัวอย่าง เครื่องทำตัวอย่าง Remolded และกระป๋องอบดิน

## 2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

ปูนปลาสเตอร์ หรือ Hydrostone หรือวัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน

## 2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 2-19

## 2.4 การเตรียมตัวอย่าง

2.4.1 ขนาดแท่งตัวอย่าง แท่งตัวอย่างควรจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 33 มิลลิเมตร (1.3 นิ้ว) ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของเม็ดวัสดุในตัวอย่างต้องไม่เกิน 1 ใน 10 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง และสำหรับแท่งตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 71 มิลลิเมตร (2.8 นิ้ว) ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของเม็ดวัสดุต้องไม่เกิน 1 ใน 6 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง ถ้าหากหลังจากเสร็จการทดลองแล้วพบว่า มีเม็ดวัสดุที่ใหญ่กว่าที่กำหนดไว้ก็ให้หมายเหตุไว้ในแบบฟอร์ม อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างจะมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 3 วัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างให้ได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว โดยใช้ Vernier Caliper หรือเครื่องมือชนิดอื่นที่เหมาะสม

2.4.2 ตัวอย่าง Undisturbed เตรียมตัวอย่าง Undisturbed จากแท่งตัวอย่าง Undisturbed ขนาดใหญ่หรือจากดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างโดยใช้ท่อบาง แท่งตัวอย่างที่ได้จากท่อบางอาจจะทดลองได้เลยโดยไม่ต้องตกแต่ง แต่ต้องตัดปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างให้เรียบและมีสัดส่วนดังที่ได้ระบุมาแล้ว ในการเตรียมตัวอย่างจะต้องระมัดระวังอย่าให้มีการเปลี่ยนรูปร่างและขนาดหน้าตัดเกิดขึ้นในระหว่างการดันตัวอย่างดินออกจากท่อบาง ถ้าหากเห็นว่าจะเกิดการอัดตัวอย่างดินหรือจะทำให้ตัวอย่างดินถูกรบกวนก็ให้ตัดแบ่งท่อบางตามความยาวออกเป็นส่วนๆ การเตรียมตัวอย่างทดลองถ้าหากเป็นไปได้ก็ควรเตรียมในห้องที่ควบคุมความชื้น เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น แท่งตัวอย่างทดลองจะต้องมีหน้าตัดตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่าง ในการตัดและแต่งปลายทั้งสองข้างของแท่งตัวอย่าง

ถ้าหากมีเม็ดวัสดุที่ทำให้ผิวหน้าไม่เรียบ ก็ให้ปิดผิวหน้าด้วยปูนปลาสเตอร์ โดยให้มีความหนาน้อยที่สุด หรือใช้ Hydrostone หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน ให้ชั่งหามวลของแท่งตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองหาปริมาณน้ำในดินของแท่งตัวอย่าง โดยใช้ตัวอย่างทั้งแท่งหรือส่วนที่เป็นตัวแทนของแท่งตัวอย่าง

2.4.3 ตัวอย่าง Remolded นำตัวอย่างดิน Undisturbed เดิม มาทำดังนี้

นำตัวอย่างดินมาห่อด้วยแผ่นยางบางๆ แล้วใช้นิ้วขยำขยี้ เพื่อให้ดินถูก Remold อย่างทั่วถึง ในการทำต้องระวังอย่าให้มีฟองอากาศเข้าไปปนในดิน หลังจากนั้นก็อัดดินลงใน Mold ที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และมีขนาดตามที่ได้ระบุไว้ในข้อ 2.4.1 เมื่อได้อัดดินใน Mold จนเต็มแล้วให้แต่งปลายแท่งตัวอย่างจนเรียบได้หน้าตัดตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่าง แล้วดันแท่งตัวอย่างออกจาก Mold และชั่งหามวลของแท่งตัวอย่าง ตัวอย่าง Remolded ที่ได้ จะต้องได้ดินเป็นเนื้อเดียวกัน มี Void Ratio และปริมาณน้ำในดินใกล้เคียงกับตัวอย่าง Undisturbed เดิม

## 2.5 การทดลอง

2.5.1 โดยวิธีควบคุมความเครียด (Strain)

วางแท่งตัวอย่างไว้ตรงกลางแผ่นกลมอันล่างของเครื่องกด แล้วเลื่อนจนแผ่นกลมอันบนของเครื่องกดแตะกับผิวบนของแท่งตัวอย่าง หมุนหน้าปัดของ Dial Gauge ที่ใช้อ่านระยะทางของการกดให้เข็มชี้ที่ศูนย์ กดแท่งตัวอย่างด้วยอัตราเร็วคิดเป็นความเครียดในแนวดิ่ง 0.5 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที จดแรงกด และระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่างทุกๆ 30 วินาที ในการใช้อัตราเร็วของความเครียดค่าใดจะต้องประมาณว่าระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้แรงกดจนถึงแรงกดสูงสุด จะต้องไม่เกิน 10 นาที (*1) เพิ่มแรงกดต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งแรงกดลดลงในขณะที่ความเครียดเพิ่มขึ้น หรือจนกระทั่งความเครียดมีค่า 20 เปอร์เซ็นต์ หาปริมาณน้ำในดินโดยนำแท่งตัวอย่างเข้าเตาอบ นอกจากกรณีที่ต้องเตรียมแท่งตัวอย่าง Remolded ก็ให้ใช้ส่วนของดินที่เป็นตัวแทนของแท่งตัวอย่างได้

เขียนรูปสภาพแท่งตัวอย่างที่ทดลองเสร็จแล้ว ถ้าตัวอย่างมีรอยแตกร้าววัดมุมของรอยแตกร้าวเทียบกับแกนนอน

2.5.2 โดยวิธีควบคุมความเค้น (Stress)

ก่อนการทดลองให้ประมาณ ค่าแรงกดสูงสุดของแท่งตัวอย่าง (*2) วางแท่งตัวอย่างไว้ตรงกลางแผ่นกลมแผ่นล่างของเครื่องกดเลื่อนจนแผ่นกลมอันบนแตะกับผิวบนของแท่งตัวอย่าง แล้วตั้งศูนย์บนหน้าปัดที่ใช้อ่านระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่าง ใช้แรงกดเริ่มแรกบนแท่งตัวอย่างเท่ากับ 1/15 ถึง 1/10 ของแรงกดสูงสุดที่ได้ประมาณไว้แล้วทิ้งไว้ครึ่งนาที แล้วอ่านระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่าง

เพิ่มแรงกดต่อไป เท่ากับแรงกดแรก แล้วทิ้งไว้ครึ่งนาทีเหมือนครั้งแรก ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้แรงกดสูงสุด หรือจนกระทั่งความเครียดมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างการเพิ่มแรงกด ถ้าสังเกตว่าจะต้องใส่แรงกดมากกว่า 15 ครั้ง หรือน้อยกว่า 10 ครั้ง เพื่อให้ได้แรงกดสูงสุดแล้ว จะต้องรีบเปลี่ยนแรงกดแต่ละครั้งให้มากขึ้น หรือน้อยลงทันที ในการหาปริมาณน้ำในดินอาจหาจากดินทั้งแท่งที่ทดลองเสร็จแล้ว หรือส่วนของดินที่เป็นตัวแทนแท่งตัวอย่างก็ได้

เขียนรูปสภาพแท่งตัวอย่างที่ทดลองเสร็จแล้ว ถ้าตัวอย่างมีรอยแตกร้าวให้วัดมุมของรอยแตกร้าวเทียบกับแกนนอน

(*1) ดินที่อ่อนมากจะมีความเครียดไปจนถึงแรงกดสูงสุดมาก ดินชนิดนี้จึงต้องทดลองโดยใช้อัตราเร็วของความเครียดสูง ในทางตรงกันข้าม ดินที่แข็งหรือแตกง่ายซึ่งมีความเครียดไปจนถึงแรงกดสูงสุดน้อย ดินชนิดนี้จึงต้องทดลองด้วยอัตราเร็วของความเครียดที่ต่ำกว่า

(*2) การประมาณค่านี้จะต้องมีประสบการณ์พอเพียง มิฉะนั้นจะต้องใช้เครื่องกดอย่างเล็ก (Penetrometer) กดลงบนส่วนของตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้ดู เพื่อหาค่านี้โดยประมาณ

## 3. การคำนวณ

3.1 คำนวณหาความเครียดในแนวดิ่ง สำหรับแรงกดใดๆ ($\epsilon$) ได้โดยใช้สูตร

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o}$$

เมื่อ $\Delta L$ = ระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่างที่แรงกดใดๆ โดยอ่านค่าจาก Dial Gauge

$L_o$ = ความยาวเดิมของแท่งตัวอย่าง

3.2 คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยสำหรับแรงกดใดๆ (A) ได้โดยใช้สูตร

$$A = \frac{A_o}{1-\epsilon}$$

เมื่อ $A_o$ = พื้นที่หน้าตัดเดิมของแท่งตัวอย่าง

$\epsilon$ = ความเครียดตามแนวดิ่งที่แรงกดนั้นๆ

3.3 คำนวณหาความเค้นสำหรับแรงกดใดๆ ($\sigma_C$) ได้โดยใช้สูตร

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

เมื่อ P = แรงกด

A = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยที่แรงกดนั้นๆ

3.4 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\sigma_C$ และ $\epsilon$ โดยใช้ $\sigma_C$ เป็นแกนตั้งและ $\epsilon$ เป็นแกนนอน จากกราฟสามารถหาค่าสูงสุดของ $\sigma_C$ หรือค่า $\sigma_C$ ที่ $\epsilon$ = 20% ได้

ในกรณีที่ต้องการจะใช้กราฟอธิบายคุณสมบัติของดิน ก็ให้แนบแผ่นกราฟนี้รวมไว้ในรายงานผลการทดลองด้วย ตามข้อ 4.8

**4. การรายงาน**

ให้รายงานผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ค่า Unconfined Compressive Strength

4.2 ชนิดและรูปร่างของแท่งตัวอย่าง เช่น

- Undisturbed
- Compacted
- Remolded
- Cylindrical
- Prismatic

4.3 อัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง

4.4 ลักษณะดินโดยทั่วไป เช่น ชื่อของดิน, สัญลักษณ์ เป็นต้น

4.5 Initial Density ปริมาณน้ำในดินและ Degree of Saturation (ถ้าตัวอย่างถูกทำให้อิ่มตัวในห้องปฏิบัติการให้หมายเหตุ Degree of Saturation อีกค่าหนึ่งไว้ด้วย)

4.6 ค่าความเครียดที่ความเค้นสูงสุดเป็นร้อยละ (อ่านจากกราฟ)

4.7 ค่าอัตราเร็วเฉลี่ยของความเครียดเป็นร้อยละต่อนาที โดยคิดตั้งแต่เริ่มกดจนถึงแรงกดสูงสุด

4.8 ให้เขียนหมายเหตุในกรณีที่เกิดมีลักษณะผิดปกติในการทดลอง หรือ แนบรายละเอียดอื่นๆ ที่คิดว่ามีความจำเป็นต้องใช้อธิบายผลการทดลอง

## 5. ข้อควรระวัง

5.1 ในการดันตัวอย่างดินออกจากท่อบางเพื่อใช้ทดลอง จะต้องดันไปตามทิศทางเดียวกันกับที่ตัวอย่างเคลื่อนที่เข้าไปในกระบอกในระหว่างเก็บตัวอย่าง เพื่อลดการรบกวนตัวอย่างดิน

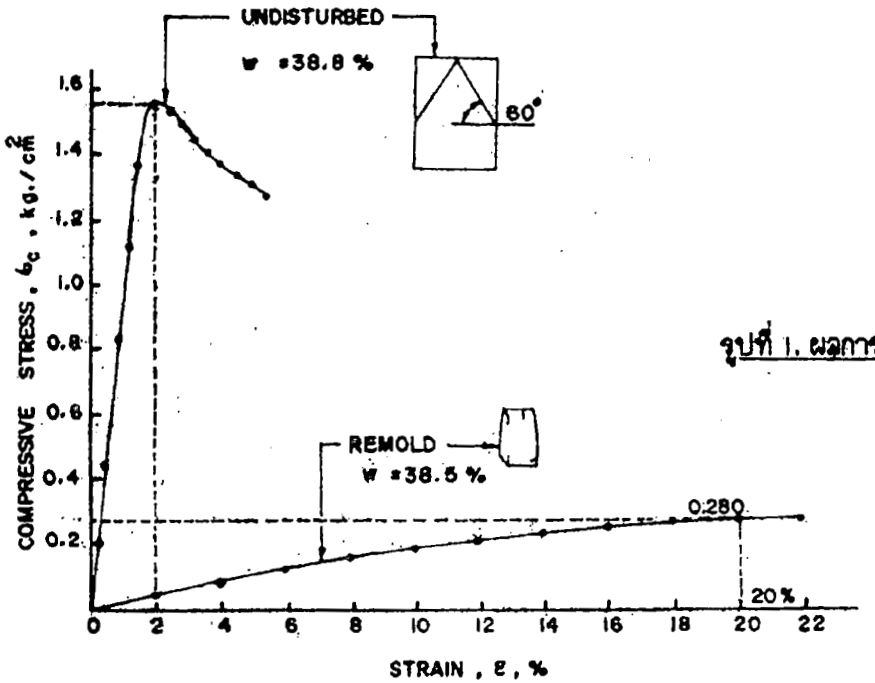
5.2 ในการทำตัวอย่าง Remolded ถ้าแท่งตัวอย่างหลังจากทำ Remolded แล้วได้ความแน่นแตกต่างจากก่อนทำ Remolded ให้นำมาดำเนินการใหม่

## 6. หนังสืออ้างอิง

The American Association of State Highway Officials. Standard Specifications for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing, AASHTO Designations : T 207 and T 208

* * * * * *

ทางสาย จุนบริเวณ Area A.
สถานที่เก็บตัวอย่าง อยู่ระหว่าง กม. 29+170
หลุมเจาะที่ B-2 ความลึก 4.00 ม.
ตัวอย่าง UNDISTURBED ให้ค่า UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH, $q_u$ = 1.560 Kg/cm$^2$
ตัวอย่าง REMOLD ให้ค่า UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH, $q'_u$ = 0.280 kg/cm$^2$
SENSITIVITY = $q_u$ / $q'_u$ = 5.56




รูปที่ 1. ผลการทดลอง UNCONFINED COMPRESSIVE STRENGTH

เรียบ สมศักดิ์ ยืนยัง 20 ส.ค. 29.
ตรวจ 4 ก.ย. 29

# สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง

กรมทางหลวง

การทดลอง UNCONFINED COMPRESSION แผ่นที่ 1/2

ทางสาย ในบริเวณ Area A หมายเลขทางหลวง -

สถานที่เก็บตัวอย่าง คอสะพาน กม. 23 + 150 การทดลองที่ U-17

หลุมเจาะที่ B-2 วันที่ทดลอง 6 ต.ค. 15

ตัวอย่างที่ GA-3-26 เจ้าหน้าที่ทดลอง WCS

ลักษณะตัวอย่าง Silty Clay, Very Soft เจ้าหน้าที่ตรวจ SPO

ความถ่วงจำเพาะ, $G_s$ 2.75 ความลึกตัวอย่าง 9.00 ม.

WATER CONTENT หมายเลข Proving Ring 92

Calibration Factor 1 ช่อง (0.0001) = 0.227 kg

| SPECIMEN LOCATION | Full sample | Top. | Mid. | Bot. |
|---|---|---|---|---|
| CONTAINER.NO. | - | E-11 | E-15 | E-8 |
| M.CONT.WET SOIL.gm. | - | 17.306 | 17.504 | 17.279 |
| M.CONT.DRY SOIL.gm. | - | 14.666 | 14.704 | 14.561 |
| M.WATER.gm. | - | 2.640 | 2.800 | 2.718 |
| M.CONT., gm. | - | 7.835 | 7.503 | 7.553 |
| M.DRY SOIL.gm. | - | 4.831 | 7.201 | 7.008 |
| WATER CONTENT.% | - | 38.6 | 38.9 | 38.8 |

SPECIMEN MEASUREMENT

CIRCUMERENCE 11.48 cm.

INITIAL DINERTER 3.65 cm.

INITIAL AREA 10.50 $cm^2$

INITIAL HEIGHT 8.89 cm. (3.50")

HEIGHT/DIAMETER 2.44

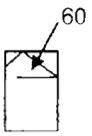
INITIAL WEIGHT 160.9 gm.

FIMAL WEIGHT 160.2 gm.

FAILURE CONDITIONS

รอยแยกเห็นได้ชัด

2 รอยตามรูป




ชนิดของตัวอย่าง Undisturbed อัตราความเร็วของ Strain 0.717% ต่อนาที

| ELAPSED TIME MIN | STRAIN DIAL (0.001 in.) | STRAIN (%) | CORRECTED AREA, A ($cm^2$) | PROVING RING DIAL (0.001 inch) | AXIAL LOAD, P (kg.) | AXIAL STRESS,P/A ($kg/cm^2$) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 10.50 | 0 | 0 | 0 |
| | 10 | 0.3 | 10.53 | 9.0 | 2.08 | 0.194 |
| | 20 | 0.6 | 10.56 | 21.0 | 4.77 | 0.452 |
| | 30 | 0.9 | 10.60 | 38.0 | 8.63 | 0.814 |
| | 40 | | 10.62 | 53.2 | 12.08 | 1.137 |
| | 50 | 1.4 | 10.65 | 64.5 | 14.64 | 1.375 |
| | 60 | 1.4 | 10.68 | 71.2 | 16.16 | 1.513 |
| | 70 | 2.0 | 10.71 | 73.3 | 16.64 | 1.554 |
| | 80 | 2.3 | 10.75 | 73.5 | 16.68 | 1.552 |
| | 90 | 2.6 | 10.78 | 71.6 | 16.25 | 1.507 |
| | 100 | 2.9 | 10.81 | 70.1 | 15.91 | 1.472 |
| | 110 | 3.1 | 10.84 | 62.0 | 15.66 | 1.445 |
| | 120 | 3.4 | 10.87 | 67.9 | 15.41 | 1.418 |
| | 130 | 3.7 | 10.90 | 66.9 | 15.19 | 1.394 |
| | 140 | 4.0 | 10.94 | 65.8 | 14.94 | 1.366 |
| 6.0 | 150 | 4.3 | 10.97 | 65.0 | 14.76 | 1.345 |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

หมายเหตุ ค่าธรรมเนียมการทดลองเป็นเงิน.....บาท

ผลการทดลองนี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่กองวิเคราะห์และวิจัยได้รับเท่านั้น

# กรมทางหลวง
# สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง
# วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน
# (เทียบเท่า AASHTO T 180)

* * * * *

## 1. ขอบข่าย

การทดลอง Compaction วิธีนี้เป็นการทดลองโดยวิธี Dynamic Compaction เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดทับ เมื่อทำการบดทับในแบบ (Mold) ตามขนาดข้างล่างนี้ด้วยค้อนหนัก 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว)

วิธี ก. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

วิธี ข. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

วิธี ค. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

วิธี ง. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

**หมายเหตุ** ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้วิธี "ก"

วิธีการทดลองที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ อาศัยวิธีการและปรับปรุงจากการทดลองของ AASHO T180 และ ASTM D 1557 T

## 2. วิธีทำ

### 2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวงมี 2 ขนาด คือ

(1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) สูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) และจะต้องมีปลอก (Collar) ขนาดเดียวกัน สูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานทึบตามรูปที่ 1

(2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) สูง 177.8 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) และจะต้องมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานทึบหรือเจาะรูพรุน ในการทดลองต้องใช้เหล็กโลหะรอง (Spacer Disc) ตามข้อ 2.1.2 รองด้านล่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) หรืออาจใช้แบบขนาดสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) ตามรูปที่ 2 โดยไม่ต้องใช้แท่งโลหะรองแต่ต้องมีฐานทึบ หรือแบบขนาดสูงอื่นใด ซึ่งเมื่อใช้แท่งโลหะรองแล้วได้ความสูงของตัวอย่างในแบบเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว)

2.1.2 แท่งโลหะรอง เป็นโลหะรูปทรงกระบอก เพื่อใช้กับแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150.8 มิลลิเมตร (5 15/16 นิ้ว) และสูงขนาดต่างๆ ซึ่งเมื่อใช้กับแบบตามข้อ 2.1.1 (2) แล้วจะเหลือเป็นตัวอย่างสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว)

2.1.3 ค้อน (Rammer) ทำด้วยโลหะมีลักษณะดังนี้

เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีมวลรวมทั้งด้ามถือ 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ต้องมีปลอกที่ทำไว้อย่างเหมาะสม เป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับจะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้ง 2 ข้าง ประมาณ 19 มิลลิเมตร

2.1.4 เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลังเมื่อทดลองเสร็จแล้ว จะมีหรือไม่มีก็ได้ ประกอบด้วยตัว Jack ทำหน้าที่เป็นตัวดัน และโครงเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่มีใช้ ให้ใช้สิ่วหรือเครื่องมืออย่างอื่นแคะตัวอย่างออกจากแบบ

2.1.5 ตาชั่งแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.001 กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดลอง

2.1.6 ตาชั่งแบบ Scale หรือแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ 1,000 กรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

2.1.7 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 100±5 องศาเซลเซียส สำหรับอบดินตัวอย่าง

2.1.8 เหล็กปาด (Straight Edge) เป็นเหล็กคล้ายไม้บรรทัด หนา และแข็ง เพียงพอในการตัดแต่งตัวอย่างที่ส่วนบนของแบบ มีความยาวไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร แต่ไม่ยาวเกินไปจนเกะกะ และหนาประมาณ 3.0 มิลลิเมตร

2.1.9 ตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 203 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) สูงประมาณ 51 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีขนาดดังนี้

(1) ขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

(2) ขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

2.1.10 เครื่องผสม เป็นเครื่องมือจำเป็นต่างๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำ ได้แก่ ถาด, ช้อน, พลั่ว, เกรียง, ค้อนยาง, ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanical Mixer ก็ได้

2.1.11 กระป๋องอบดิน สำหรับใส่ตัวอย่างดินเพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน

## 2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

น้ำสะอาด

## 2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 2-05 สำหรับทำ Compaction Test และที่ ว. 2-15 สำหรับ Plot Curve ผลการทำ Compaction Test

## 2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่าง ได้แก่ ดินหรือหินคลุก หรือ Soil-Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลอง ให้ดำเนินการดังนี้

2.4.1 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุด (Maximum Size) มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้เตรียมตัวอย่างดังต่อไปนี้

(1) นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง เมื่อแห้งพอเหมาะแล้ว (มีน้ำประมาณ 2-3%) นำมาร่อนผ่านตะแกรงเป็น 3 ขนาด คือ

- ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)
- ขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)
- ขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

(2) ทำการชั่งหามวลของวัสดุแต่ละขนาดที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 (1) ก็จะทราบว่ามวลของตัวอย่างแต่ละขนาดมีอยู่ขนาดละเท่าใด

(3) ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้ทิ้งไป

(4) แทนที่ของตัวอย่างในข้อ 2.4.1 (3) ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ด้วยมวลที่เท่ากับตัวอย่าง เช่น มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร อยู่ 2,650 กรัม ก็ให้ใช้ตัวอย่างขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตรถึง ขนาด 4.75 มิลลิเมตร เพิ่มเข้าไปอีก 2,650 กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร ตามที่มีจริง ดังนี้

ตัวอย่างทั้งหมดมีมวล 9,000 กรัม

มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร 2,650 กรัม

มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร 4,850 กรัม

มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร 1,500 กรัม

จากวิธีการเตรียมตัวอย่างตามที่กล่าวมาแล้ว จะได้มวลของตัวอย่างที่เตรียมไว้ คือ

มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เป็นจำนวน 2,650+4,850 = 7,500 กรัม และมีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 1,500 กรัม

(5) คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.4.1 (4) ให้เข้ากัน

2.4.2 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง (มีน้ำประมาณ 2-3%) และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่างแล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.4.3 ถ้าต้องการทดลองตามวิธี ค. หรือ ง. ดังกล่าวในขอบข่าย ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง แล้วใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดจากกัน และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) แล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.4.4 ชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 หรือ 2.4.2 หรือ 2.4.3 แล้วแต่กรณีให้ได้มวลประมาณ ดังนี้

(1) ถ้าใช้แบบขนาดเล็กตามข้อ 2.1.1 (1) ให้ใช้มวล 3,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง

(2) ถ้าใช้แบบขนาดใหญ่ตามข้อ 2.1.1 (2) ให้ใช้มวล 6,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง

2.4.5 ปริมาณตัวอย่างตามข้อ 2.4.4 ให้เตรียมตัวอย่างเพื่อทดลองได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง

### 2.5 การทดลอง

การทดลอง Compaction Test จะใช้แบบ (Mold) ขนาดใดก็ได้แล้วแต่ความต้องการตามวิธีต่างๆ ดังกล่าวในขอบข่าย และให้ดำเนินการทดลอง ดังนี้

2.5.1 นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้แล้วมาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี

2.5.2 เติมน้ำปริมาณหนึ่ง โดยปกติมักเริ่มต้นที่ประมาณ 4% ต่ำกว่าปริมาณน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content)

2.5.3 คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้ว หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

2.5.4 แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยประมาณให้ดินแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1 ใน 5 ของ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว)

2.5.5 ทำการบดทับโดยค้อน ดังนี้

- ตามวิธี ก. และ ค. จำนวน 25 ครั้ง
- ตามวิธี ข. และ ง. จำนวน 56 ครั้ง

2.5.6 ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้นๆ จำนวน 5 ชั้น มีความสูงประมาณ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) (สูงกว่าแบบประมาณ 10 มิลลิเมตร)

2.5.7 ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับของตอนบนของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร) กรณีมีหลุมบนหน้า ให้เติมดินตัวอย่างแล้วใช้ค้อนยางทุบให้แน่นพอควร นำไปชั่งจะได้มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของดินตัวอย่างเปียก (A)

2.5.8 ในขณะเดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋องอบดินเพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของดินที่นำไปหาปริมาณน้ำในดินให้ใช้ดังนี้

- ขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 มิลลิเมตร ใช้ประมาณ 300 กรัม
- ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มิลลิเมตร ใช้ประมาณ 100 กรัม

2.5.9 คำนวณหาค่าความแน่นเปียก $\rho t$ (Wet Density) และความแน่นแห้ง $\rho d$ (Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน w (Moisture Content)

2.5.10 ดำเนินการตามข้อ 2.5.1 ถึงข้อ 2.5.9 โดยเพิ่มน้ำขึ้นอีกครั้งละ 2% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง หรืออาจลดน้ำที่ผสม ในกรณีที่เมื่อเพิ่มน้ำแล้วได้ความแน่นลดลงเพื่อให้เขียน Curve ได้

2.5.11 เขียน Curve ระหว่างความแน่นแห้ง $\rho d$ และปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ w ก็จะทราบค่าความแน่นแห้งสูงสุด Max. $\rho d$ (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด OMC (Optimum Moisture Content)

## 3. การคำนวณ

3.1 คำนวณหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

$$w = \frac{(M_1 - M_2) \times 100}{M_2}$$

เมื่อ $w$ = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

$M_1$ = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

$M_2$ = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

3.2 คำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

$$\rho_t = \frac{A}{V}$$

เมื่อ $\rho_t$ = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

$A$ = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นกรัม

$V$ = ปริมาตรของแบบ หรือปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

3.3 คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{\frac{1 + \omega}{100}}$$

เมื่อ $\rho_d$ = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

$\rho_t$ = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

$w$ = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

## 4. การรายงาน

ในการทำ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐานให้รายงาน ดังนี้

4.1 ค่าความแน่นแห้งสูงสุด มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร (แบบสูงกว่ามาตรฐาน)

4.2 ค่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด เป็นร้อยละ

**ตัวอย่าง** ความแน่นแห้งสูงสุด (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) = 2.231 กรัม ต่อมิลลิลิตร (ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง)

ปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด = 9.8 % (ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง)

## 5. ข้อควรระวัง

5.1 การประมาณปริมาณน้ำในดินเมื่อใช้ผสมสำหรับดินจำพวก Cohesive Soil ควรใช้ระยะต่ำกว่า และสูงกว่าปริมาณน้ำในดิน ที่ให้ความแน่นสูงที่ประมาณไว้

สำหรับดินจำพวก Cohesionless Soil ควรใช้ปริมาณน้ำในดินจากสภาพดินตากแห้งจนกระทั่งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

5.2 ในการใช้ค้อนทำการบดทับ ให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น คอนกรีต ไม่ให้แบบกระดอนขึ้นขณะทำการตอก

5.3 ให้ใช้จำนวนตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดลองทางด้านแห้งกว่าปริมาณน้ำในดิน ที่ให้ความแน่นสูงสุดไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีจุดทดลองทางด้านเปียกกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นสูงสุด 1 ตัวอย่าง

5.4 สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้ว ให้ทุบด้วยค้อนยาง หรือนำเข้าเครื่องบด จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

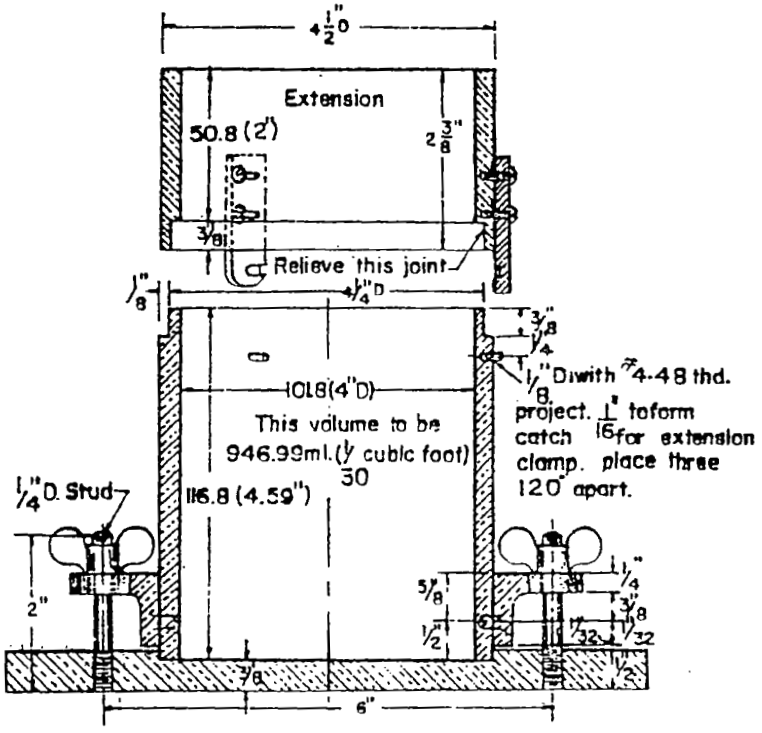
5.5 ปริมาตรของแบบ (V) ให้ทำการวัดและคำนวณเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ ห้ามใช้ปริมาตรที่แสดงไว้โดยประมาณในรูป

## 6. หนังสืออ้างอิง

6.1 The American Associate of State Highway officials. Specifications for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing, AASHTO Designation : T180

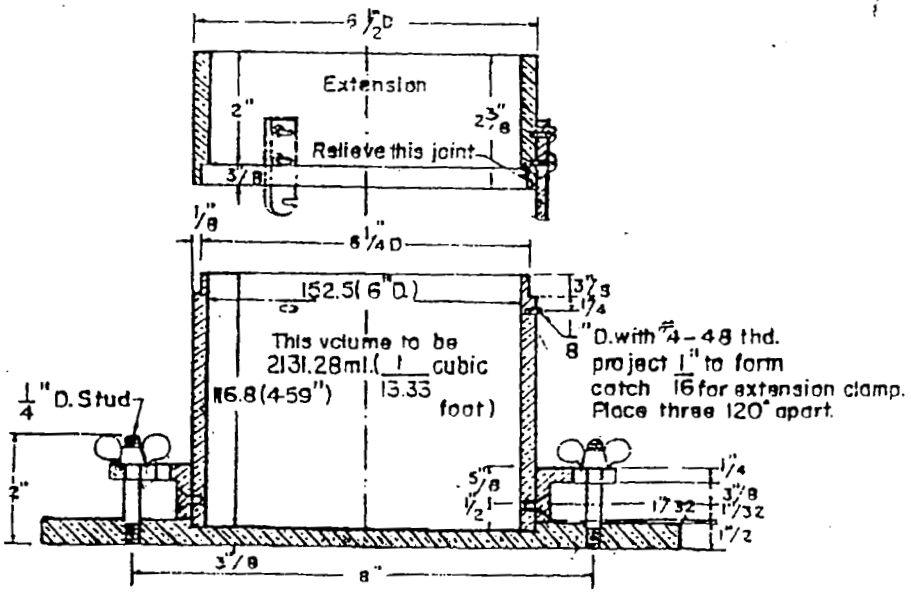
6.2 The American Sociaty of Testing Materials ASTM Standards, Designation : D 1558T.

* * * * * *




รูปที่ 1 Cylindrical Mold, 101.6 mm. (4.0 in) for Soil Tests.

Unit = mm.




รูปที่ 2 Cylindrical Mold 152.5 mm (6.0 in.) for Soil Tests

# สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง

อันดับทดลองที่ C-443

เจ้าของตัวอย่าง.....

หนังสือที่.....วันที่รับหนังสือ.....

ทางสาย พระประแดง-บางขุนเทียน ตอน 3

เจ้าหน้าที่ทดลอง ชัยฤทธิ์ วันที่รับตัวอย่าง..... วันที่ทดลอง 27/4/43

## COMPACTION TEST

Soil Sample : Subbase Layer km. 43+150-43+295 Frontage Rd. Rt.

Location : ..... Boring No. : .....Depth : .....

Type Test : Mod. Proctor Mold Wt. : 3.528 Kgs. Volume : 936.6 ml. .....

DENSITY

| Trial (Water added) % | | 3 | 5 | 7 | 9 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Wt. Mold+Soil | (Kg.) | 5.413 | 5.482 | 5.537 | 5.540 | | | |
| Wt. Mold | (Kg.) | 3.528 | 3.528 | 3.528 | 3.528 | | | |
| Wt. Soil | (Kg.) | 1.885 | 1.954 | 2.009 | 2.012 | | | |
| Wet. Density | (gm./ml.) | 2.013 | 2.087 | 2.145 | 2.148 | | | |
| Dry Density | (gm./ml.) | 1.943 | 1.974 | 1.995 | 1.956 | | | |
| Void Ratio | e | | | | | | | |
| Porosity | n | | | | | | | |

WATER CONTENT

| Can No. | | 43 | 27 | 38 | 44 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Wt. Can+Wet. Soil | (gm.) | 292.3 | 305.8 | 307.6 | 312.9 | | | |
| Wt. Can+dry Soil | (gm.) | 283.6 | 291.5 | 289.1 | 288.7 | | | |
| Wt. Water | (gm.) | 8.7 | 14.3 | 18.5 | 24.2 | | | |
| Wt. Can | (gm.) | 42.1 | 41.5 | 42.0 | 42.2 | | | |
| Wt. Dry Soil | (gm) | 241.5 | 250.0 | 247.1 | 246.5 | | | |
| Water Content | (%) | 3.6 | 5.7 | 7.5 | 9.8 | | | |

Remarks Avg. = 0.7%

# สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง

## กรมทางหลวง

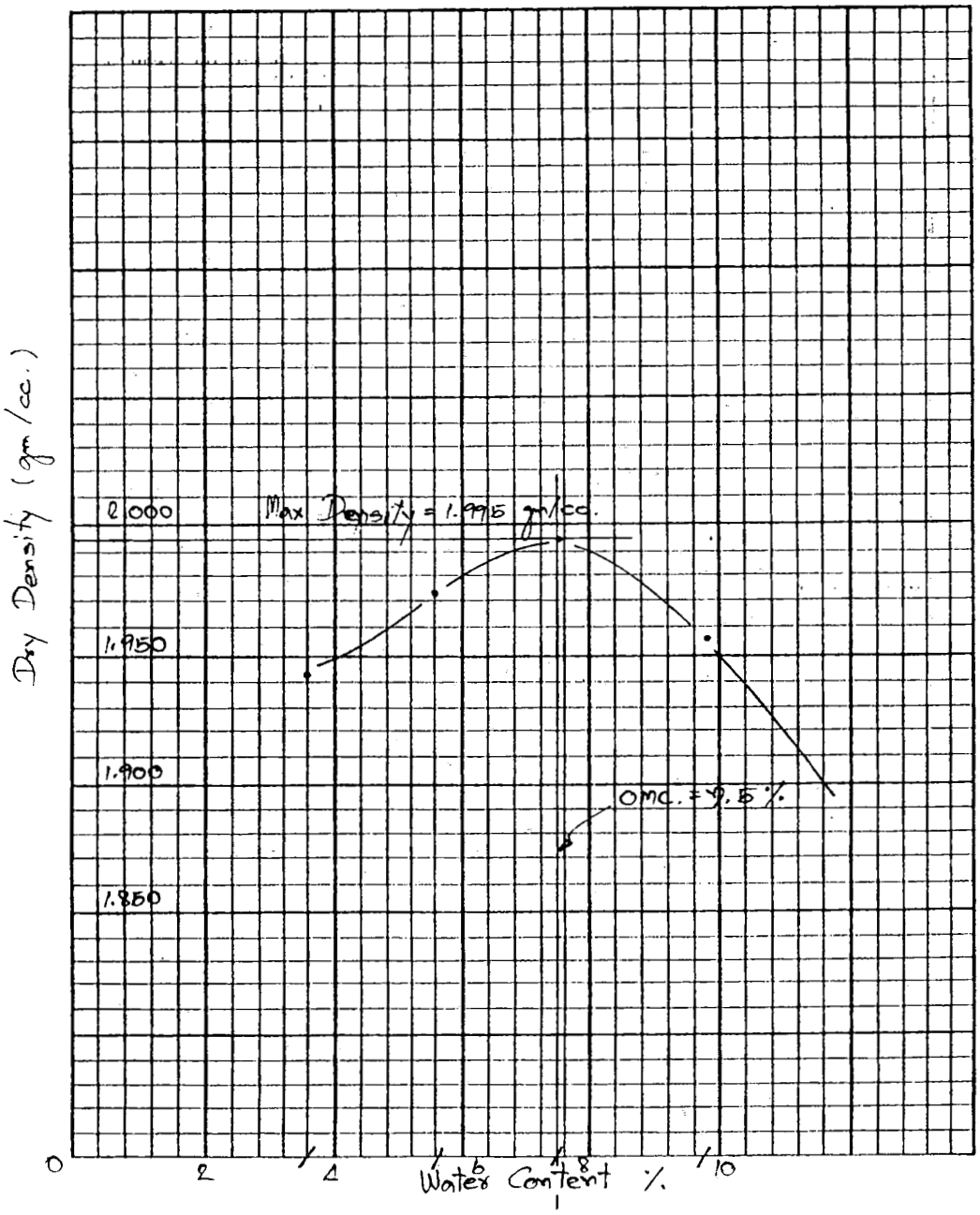
Test No. C-443

Type of test Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน วิธี ก.

Date 28/4/43

Source Subbase Layer km. 43+150-43+295 Frontage Rd. RT.

Plotted by ชัยฤทธิ์



# กรมทางหลวง
# สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง
# วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR
# (เทียบเท่า AASHTO T 193)

* * * * * *

## 1. ขอบข่าย

วิธีการทดลอง CBR วิธีนี้ เป็นวิธีการทดลองที่กำหนดขึ้น เพื่อหาค่าเปรียบเทียบ Bearing Value ของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุหินมาตรฐาน เมื่อทำการบดทับตัวอย่างนั้น โดยใช้ค้อนบดทับในแบบ (Mold) ที่ Optimum Moisture Content หรือปริมาณน้ำในดินใดๆ เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนนและใช้ควบคุมงาน ในการบดทับให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ

การทดลอง CBR อาจทำได้ 2 วิธี คือ

วิธี ก. การทดลองแบบแช่น้ำ (Soaked)

วิธี ข. การทดลองแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked)

ถ้าไม่ระบุวิธีใด ให้ใช้ "วิธี ก."

## 2. วิธีทำ

### 2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 เครื่องกด (Loading Machine) เป็นเครื่องมือทดลองเพื่อหาค่า CBR ต้องมีขีดความสามารถรับแรงกดไม่น้อยกว่า 5,000 กิโลกรัม (ประมาณ 10,000 ปอนด์, 50 กิโลนิวตัน) เครื่องกดนี้อาจจะเป็นเครื่องแบบใช้มือหมุน (กรณีใช้เฟือง) หรือใช้ปั๊ม (กรณีใช้ Hydraulic) หรือแบบฉุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าก็ได้ ในกรณีฉุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า อัตราเร็วของมอเตอร์ที่หมุนฉุดต้องทำให้ฐานหรือท่อนกด (Piston) เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 1.27 มิลลิเมตร (0.05 นิ้ว) ต่อนาที เครื่องกดนี้ประกอบด้วย Jack ซึ่งดันหรือหมุนให้ฐานเลื่อนขึ้นหรือเลื่อนลง โดยมีเครื่องวัดการเลื่อนขึ้นหรือลงด้วย Dial Gauge มีอัตราเร็ว 1.27 มิลลิเมตร (0.05 นิ้ว) ต่อนาที เพื่อใช้ดันให้ท่อนกดจมลงในตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วในแบบ เครื่องกดนี้จะต้องมี Proving Ring อ่านแรงกด (กรณีใช้เฟืองเป็นตัวดันขึ้นหรือดันลง) หรือหน้าปัดอ่านแรงกด (กรณีใช้ Hydraulic เป็นตัวดันขึ้นหรือดันลง) ได้ละเอียดถึง 2 กิโลกรัม (20 นิวตัน) หรือน้อยกว่านั้น (ดังรูป)

2.1.2 แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) สูง 177.8 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) และจะต้องมีปลอก (Collar) ขนาดเดียวกันสูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานเจาะรูพรุน ในการทดลองต้องใช้แท่งโลหะรอง (Spacer Disc) ตามข้อ 2.1.3 รองด้านล่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) หรืออาจใช้แบบขนาดสูงเท่าใดก็ได้ เมื่อใช้แท่งโลหะรองแล้ว ได้ความสูงของตัวอย่างในแบบเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) ดังรูป

2.1.3 แท่งโลหะรอง (Spacer Disc) เป็นโลหะรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 150.8 มิลลิเมตร (5 15/16 นิ้ว) มีความสูงขนาดต่างๆ ซึ่งเมื่อใช้กับแบบตามข้อ 2.1.2 แล้วจะเหลือตัวอย่างสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) ดังรูป

2.1.4 ค้อน (Rammer) ทำด้วยโลหะมี 2 แบบ ดังนี้

(1) เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มวลรวมทั้งด้ามถือ 4,537 กรัม (10 ปอนด์) ต้องมีปลอกทำไว้อย่างเหมาะสมเป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับจะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้งสองข้างประมาณ 19.0 มิลลิเมตร ใช้สำหรับการหาค่า CBR ที่ความแน่น "สูงกว่ามาตรฐาน" ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517

(2) เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีมวลรวมทั้งด้ามถือ 2,495 กรัม (5.5 ปอนด์) ต้องมีปลอกทำไว้อย่างเหมาะสม เป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 304.8 มิลลิเมตร (12 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับ จะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้งสองข้างประมาณ 19.0 มิลลิเมตร ใช้สำหรับการหาค่า CBR ที่ความแน่น "มาตรฐาน" ตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 107/2517

2.1.5 เครื่องวัดการขยายตัว (Expansion Measuring Apparatus) ประกอบด้วย

(1) แผ่นวัดการขยายตัว (Swell Plate) ทำด้วยโลหะมีก้านที่สามารถจะจัดให้สูงหรือต่ำได้ และมีรูพรุน (ดังรูป)

(2) สามขา (Tripod) สำหรับวัดการขยายตัว มีลักษณะเป็นรูปสามขา ติดด้วย Dial Gauge วัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร วัดได้ 25 มิลลิเมตร (หรือจะใช้ Dial Gauge วัดได้ละเอียด 0.001 นิ้ว วัดได้ 1 นิ้ว แทนก็ได้) เพื่อวัดการขยายตัว (ดังรูป)

2.1.6 แผ่นถ่วงน้ำหนัก (Surcharge Weight) เป็นเหล็กทรงกระบอกแบน เส้นผ่านศูนย์กลาง 149.2 มิลลิเมตร (5 7/8 นิ้ว) มีรูกลวงเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 54.0 มิลลิเมตร (2 1/8 นิ้ว) เพื่อให้ท่อนกดสอดผ่านไปได้ โดยมีมวลเท่ากับ 2 ,268 กรัม (5 ปอนด์) ดังรูป

แผ่นถ่วงน้ำหนักนี้อาจเป็นแบบผ่าครึ่งเป็นสองซีก หรือผ่าเป็นร่องก็ได้

2.1.7 ท่อนกด (Penetration Piston) ทำด้วยโลหะทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 49.5 มิลลิเมตร (1.95 นิ้ว) มีพื้นที่หน้าตัด 1,935.5 ตารางมิลลิเมตร (3 ตารางนิ้ว) ยาวไม่น้อยกว่า 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ดังรูป

2.1.8 เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลังเมื่อทดลองเสร็จแล้ว จะมีหรือไม่มีก็ได้ ประกอบด้วยตัว Jack ทำหน้าที่เป็นตัวดันและโครงเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่มีใช้ ให้ใช้สิ่วหรือเครื่องมืออย่างอื่นแคะตัวอย่างออกจากแบบ

2.1.9 ตาชั่งแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.001 กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดลอง

2.1.10 ตาชั่งแบบ Scale หรือแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ 1,000 กรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

2.1.11 เตาอบ ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110± 5 ° ซ. สำหรับอบดินตัวอย่าง

2.1.12 เหล็กปาด (Straight Edge) เป็นเหล็กคล้ายไม้บรรทัด หนาและแข็งเพียงพอในการตัดแต่งตัวอย่างที่ส่วนบนของแบบ มีความยาวไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร แต่ไม่ยาวเกินไปจนเกะกะ และหนาประมาณ 3.0 มิลลิเมตร

2.1.13 เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter)

2.1.14 ตะแกรงร่อนดินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203.2 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) สูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีขนาดดังนี้

(1) ขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

(2) ขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

2.1.15 เครื่องผสม เป็นอุปกรณ์จำเป็นต่างๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำได้แก่ ถาด, ช้อน, พลั่ว, เกรียง, ค้อนยาง, ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanical Mixer ก็ได้

2.1.16 กระป๋องอบดินสำหรับใส่ตัวอย่างดิน เพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน

2.1.17 นาฬิกาจับเวลา

## 2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

2.2.1 กระดาษกรองอย่างหยาบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว)

2.2.2 น้ำสะอาด

**2.2 แบบฟอร์ม**

ใช้แบบฟอร์ม ที่ ว. 2-11 สำหรับการทดลองหาค่า CBR

ที่ ว.2-15 สำหรับ Plot Curve CBR

ที่ ว.2-15 ก. สำหรับการ Plot Curve หาค่า CBR

**2.4 การเตรียมตัวอย่าง**

ตัวอย่างได้แก่ ดิน หินคลุก หรือ Soil Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลอง ให้ดำเนินการดังนี้

2.4.1 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้เตรียมตัวอย่างดังต่อไปนี้

(1) นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง และทำ Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง เมื่อแห้งพอเหมาะแล้ว (มีปริมาณน้ำในดินประมาณ 2-3%) นำมาร่อนผ่านตะแกรงแบ่งเป็น 3 ขนาด คือ

- ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)
- ขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)
- ขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

(2) ทำการชั่งหามวลของแต่ละขนาด ที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 (1) ก็จะทราบว่ามวลของตัวอย่างแต่ละขนาดมีอยู่ขนาดละเท่าใด

(3) ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร ให้ทิ้งไป

(4) แทนที่ตัวอย่างในข้อ 2.4.1 (3) ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร ด้วยมวลที่เท่ากัน ตัวอย่าง เช่น มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร อยู่ 2,650 กรัม ก็ให้ใช้ตัวอย่างขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เพิ่มเข้าไปอีก 2,650 กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดที่เล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร ตามที่มีจริงดังนี้

สมมุติ ตัวอย่างทั้งหมดมีมวล 9,000 กรัม

มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร เท่ากับ 2,650 กรัม

มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 4,850 กรัม

มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 1,500 กรัม

จากวิธีการเตรียมตัวอย่างตามที่กล่าวมาแล้ว จะได้มวลของตัวอย่างที่เตรียมไว้ คือ

มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 2,650+4,850 = 7,500 กรัม

มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 1,500 กรัม

(5) คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.4.1 (4) ให้เข้ากัน

2.4.2 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง (มีปริมาณน้ำในดินประมาณ 2-3%) และทำ Quartering หรือใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างแล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

2.4.3 ถ้าต้องการทดลอง โดยใช้ตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้งแล้วใช้ค้อนยางทุบให้ก้อนหลุดจากกันและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) คลุกตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงให้เข้ากัน

2.4.4 ชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 หรือ 2.4.2 หรือ2.4.3 แล้วแต่กรณีให้มีมวลประมาณ 6,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ตัวอย่าง

2.4.5 ปริมาณตัวอย่างตามข้อ 2.4.4 ให้เตรียมไว้ 3 ตัวอย่าง ในการทดลองแต่ละครั้ง

**2.5 การทดลอง**

2.5.1 การเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดลอง

(1) นำตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วจากข้อ 2.4 มาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี

(2) โดยวิธีการทดลอง Compaction Test ตามการทดลองที่ ทล.-ท. 107/2517 หรือ ทล.-ท. 108/2517 จะทราบปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content) ให้ใช้ปริมาณน้ำในดินดังนี้

- ดูแบบฟอร์มที่ ว. 2-05 ในการทดลองที่ ทล.-ท. 107/2517 หรือ ทล.-ท. 108/2517 เปรียบเทียบปริมาณน้ำในดินของตัวอย่างกับปริมาณน้ำในดินที่คำนวณได้จากการอบตัวอย่าง จะทราบปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้ ให้ใช้ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองดังกล่าว เป็นค่าปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่าง เพิ่มน้ำเข้าไปในตัวอย่างที่เตรียมไว้ จนได้ปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด

- กรณีที่คาดว่าปริมาณน้ำในดินของตัวอย่างที่เตรียมไว้เพื่อทำการทดลอง CBR อาจจะไม่เท่ากับที่ทำ Compaction Test ให้หาปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่จริง โดยการอบหรือคั่วให้แห้งก็จะทราบปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่าง ให้เพิ่มน้ำจนได้ปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด

(3) เติมน้ำตามที่คำนวณได้จากข้อ 2.5.1 (2)

(4) คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้ว หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

(5) นำแท่งโลหะรองใส่ลงในแบบ ซึ่งสวมปลอกเรียบร้อยแล้วและใส่กระดาษกรองลงบนแท่งโลหะรอง

(6) แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบ โดยประมาณให้ตัวอย่างแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1 ใน 5 ของ 127.0 มิลลิเมตร (5 นิ้ว)

(7) ทำการบดทับโดยใช้ค้อน ตามข้อ 2.1.4 (1) หรือ 2.1.4 (2) แล้วแต่กรณี จำนวน 12 ครั้ง โดยเฉลี่ยการบดทับให้สม่ำเสมอเต็มหน้าที่บดทับ

(8) ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้นๆ จำนวน 5 ชั้น มีความสูงประมาณ 127.0 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) หรือสูงกว่าแบบประมาณ 10.0 มิลลิเมตร

(9) ถอดปลอก (Collar) ออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับดอนบนของแบบ (เหลือความสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร) กรณีมีหลุมบนหน้าให้เติมตัวอย่างใช้เหล็กปาดวางทับแล้วใช้ค้อนยางทุบจนกระทั่งเหล็กปาดยุบลงถึงขอบแบบ

(10) คลายสกรูที่ยึดระหว่างแผ่นฐาน (Base Plate) และแบบ ยกแบบพร้อมตัวอย่างที่บดทับแล้วออก นำแท่งโลหะรองออกจากแผ่นฐาน วางกระดาษกรองแผ่นใหม่ลงบนแผ่นฐาน พลิกแบบโดยให้ด้านล่างของแบบอยู่ด้านบน นำเข้าประกอบกับแผ่นฐานขันสกรูและใส่ปลอกเข้าที่ ก็จะได้ตัวอย่างที่เตรียมไว้ สำหรับทำการทดลองเพื่อหาค่า CBR ต่อไป (กรณีต้องการทดลองตาม "วิธี ข." ดังกล่าวในขอบข่าย ไม่ต้องใส่กระดาษกรองรองใต้แบบ)

(11) ทำการเตรียมตัวอย่างอีก 2 ตัวอย่าง โดยทำการบดทับแต่ละชั้นด้วยค้อนจำนวน 25 ครั้งและ 56 ครั้ง ตามวิธีการข้างต้นในข้อ 2.5.1 ก็จะได้ตัวอย่างทั้งสิ้น 3 ตัวอย่าง โดยมีค่าการบดทับเท่ากับ 12 ครั้ง, 25 ครั้ง และ 56 ครั้ง ต่อชั้น

2.5.2 การหาความแน่นในการบดทับและปริมาณน้ำในดิน

(1) นำตัวอย่างพร้อมแบบที่เตรียมไว้จากข้อ 2.5.1 (11) ไปชั่งจะได้มวลของตัวอย่างและมวลของแบบ หักมวลของแบบออกก็จะได้มวลของตัวอย่างเปียก (A)

(2) ในขณะเดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ตามข้อ 2.5.1 ให้นำตัวอย่างใส่กระป๋องอบตัวอย่าง เพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของตัวอย่างที่นำไปหาปริมาณน้ำในดินใช้ดังนี้

- ขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 มิลลิเมตร ใช้ประมาณ 300 กรัม
- ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มิลลิเมตร ใช้ประมาณ 100 กรัม

(3) คำนวณหาค่าความแน่นเปียก $\rho t$ (Wet Density) และค่าความแน่นแห้ง $\rho d$ (Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน, w (Moisture Content) โดยใช้สูตรตามข้อ 3.1, 3.2 และ 3.3

2.5.3 การหาค่าการขยายตัว (Swell)

(1) นำแผ่นวัดการขยายตัว (Swell Plate) พร้อมแผ่นถ่วงน้ำหนักจำนวน 2 อัน สำหรับวัสดุพื้นทาง (Base) วัสดุรองพื้นทาง (Subbase) และวัสดุคัดเลือก (Selected Materials) และ 3 อัน สำหรับวัสดุ Subgrade วางลงบนตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วตามข้อ 2.5.1 (10) ให้แนบสนิทกับตัวอย่าง โดยขยับไปมา แล้วนำลงแช่ในน้ำให้ท่วมตัวอย่างให้หมด วางก้านสามขา (Tripod) ลงบนปลอกของแบบ จัดให้ก้านของ Dial Gauge อยู่กึ่งกลางบนก้านของแผ่นวัดการขยายตัว จด Initial Reading ที่อ่านได้จาก Dial Gauge แช่น้ำทิ้งไว้ บันทึกวันและเวลาที่อ่าน Reading บน Dial Gauge และอ่าน Reading บน Dial Gauge ทุก ๆ วัน เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การขยายตัว (Swell) ในการอ่าน Reading บน Dial Gauge แต่ละครั้ง ถ้าจำเป็นต้องตั้งสามขาใหม่ ให้พยายามตั้งให้ขาของสามขาและแกนของ Dial Gauge อยู่ที่เดิมเช่นเดียวกับการอ่าน Initial Reading โดยทำเครื่องหมายไว้บนปลอก

(2) เมื่อครบกำหนด 4 วัน ถึงแม้ว่าการขยายตัวยังเพิ่มอยู่เรื่อยๆ เช่น ดินเหนียว หรืออาจจะเร็วกว่า 4 วัน เมื่อปรากฏว่าไม่มีการขยายตัว เช่น ทราย (เมื่ออ่านค่าการขยายตัวแต่ละวันแล้ว) ให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ยกแผ่นวัดการขยายตัวพร้อมแผ่นถ่วงน้ำหนักออกตะแคงแบบให้น้ำไหลออกประมาณ 15 นาที ระวังอย่าให้ผิวหน้าของตัวอย่างเสียหาย โดยเฉพาะวัสดุจำพวก Granular Material เสร็จแล้วทำการชั่งหามวล เมื่อหักมวลของแบบออกก็จะทราบมวลของตัวอย่างภายหลังแช่น้ำแล้ว นำตัวอย่างเตรียมไว้เพื่อทดลอง Penetration Test ต่อไปโดยทันที

2.5.4 การทดลอง Penetration Test เพื่อหาค่า CBR

(1) ถ้าต้องการทดลองโดย "วิธี ข." วิธีไม่แช่น้ำ (Unsoaked) ไม่ต้องดำเนินการหาค่าการขยายตัว (Swell) ตามข้อ 2.5.3 ให้นำตัวอย่างภายหลังจากการชั่งหามวลตามข้อ 2.5.2 มาทดลอง Penetration Test ได้ทันที

(2) นำตัวอย่างตามข้อ 2.5.3 (2) หรือ 2.5.4 (1) แล้วแต่กรณีมาใส่แผ่นถ่วงน้ำหนักจำนวน 2 อัน สำหรับวัสดุพื้นทาง (Base) วัสดุรองพื้นทาง (Subbase) และวัสดุคัดเลือก (Selected Material) และ 3 อัน สำหรับวัสดุ Subgrade ลงบนตัวอย่าง

(3) นำตัวอย่างขึ้นตั้งบนที่ตั้งของเครื่องกด ตั้งให้ท่อนกดอยู่ตรงพอดีกับกึ่งกลางรูของแผ่นถ่วงน้ำหนัก

(4) หมุนเครื่องหรือเดินเครื่องหรือปั๊ม แล้วแต่ลักษณะของเครื่องกดให้แผ่นฐานเคลื่อนขึ้นหรือท่อนกดเคลื่อนลง จนท่อนกดสัมผัสกับผิวหน้าของตัวอย่าง มีแรงกดประมาณ 4 กิโลกรัม (40 นิวตัน) ตั้งหน้าปัดของ Proving Ring หรือหน้าปัดของเครื่องวัดแรงให้เป็นศูนย์ พร้อมทั้งตั้งหน้าปัดของ Dial Gauge ที่วัด Penetration ให้เป็นศูนย์ด้วย การที่ให้มีแรงกดประมาณ 4 กิโลกรัม (40 นิวตัน) เพื่อให้แน่ใจว่าท่อนกดได้สัมผัสผิวของตัวอย่าง และไม่นำมาคิดในการหา Stress vs. Penetration

(5) เพิ่มแรงลงบนท่อนกด ตามวิธีการของเครื่องกดนั้นๆ ด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอเท่ากับ 1.27 มิลลิเมตร (0.05 นิ้ว) ต่อนาที โดยการอ่าน Penetration Dial Gauge เทียบกับนาฬิกาจับเวลา

(6) ทำการบันทึกแรงกด เมื่อ Penetration อ่านได้ที่

- 0.63 มิลลิเมตร (0.025 นิ้ว)
- 1.27 มิลลิเมตร (0.050 นิ้ว)
- 1.90 มิลลิเมตร (0.075 นิ้ว)
- 2.54 มิลลิเมตร (0.100 นิ้ว)
- 3.17 มิลลิเมตร (0.125 นิ้ว)
- 3.81 มิลลิเมตร (0.150 นิ้ว)
- 4.44 มิลลิเมตร (0.175 นิ้ว)
- 5.08 มิลลิเมตร (0.200 นิ้ว)
- 6.35 มิลลิเมตร (0.250 นิ้ว)
- 7.62 มิลลิเมตร (0.300 นิ้ว)
- 8.89 มิลลิเมตร (0.350 นิ้ว)
- 10.16 มิลลิเมตร (0.400 นิ้ว)
- 11.43 มิลลิเมตร (0.450 นิ้ว)
- 12.70 มิลลิเมตร (0.500 นิ้ว)

เสร็จแล้วคลายแรงที่กดออก นำตัวอย่างพร้อมแบบออกจากแท่นของเครื่องกด ยกแผ่นถ่วงน้ำหนักออก

(7) นำตัวอย่างบริเวณที่ถูกท่อนกด ๆ ลงไปเป็นรูไปหาปริมาณน้ำในดินปริมาณตัวอย่างให้ใช้ตามข้อ 2.5.2 (2)

(8) ดำเนินการทดลอง Penetration Test ของตัวอย่างที่เตรียมไว้อีก 2 ตัวอย่าง โดยวิธีเดียวกับที่กล่าวมาแล้ว

(9) เขียน Curve ระหว่างแรงกด และระยะที่ท่อนกดจมลงในตัวอย่าง (Stress vs. Penetration) เพื่อหาค่า CBR ต่อไป

(10) เมื่อได้ค่า CBR ของแต่ละตัวอย่างแล้ว เขียน Curve ระหว่างค่า CBR กับค่าความแน่นแห้ง (Dry Density) เพื่อหาค่า CBR ที่เปอร์เซ็นต์ของการบดทับที่ต้องการต่อไป

**หมายเหตุ**

ในการเขียน Curve ของ Stress vs. Penetration เพื่อหาค่า CBR จำเป็นจะต้องทำการแก้ Curve โดยเลื่อนจุดศูนย์ของ Penetration ในกรณีที่ Curve หงายเพื่อให้ได้ค่า CBR ที่แท้จริง

## 3. การคำนวณ

### 3.1 คำนวณหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

$$w = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$$

เมื่อ $w$ = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

$M_1$ = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

$M_2$ = มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

### 3.2 คำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

$$\rho t = \frac{A}{V}$$

เมื่อ $\rho t$ = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

$A$ = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นกรัม

$V$ = ปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ หรือปริมาตรของแบบ มีหน่วยเป็นมิลลิลิตร

### 3.3 คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho d = \frac{\rho t}{\frac{1 + w}{100}}$$

เมื่อ $\rho d$ = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

$\rho t$ = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิลิตร

$w$ = ปริมาณน้ำในดิน มีหน่วยเป็นร้อยละ

### 3.4 คำนวณหาค่าการขยายตัว (Swell)

$$\text{Swell} = \frac{S}{H} \times 100$$

เมื่อ $S$ = ผลต่างระหว่างการอ่าน Reading ครั้งแรกและครั้งสุดท้ายของ Dial Gauge ที่วัด Swell มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

$H$ = ความสูงเริ่มต้น (Initial Height) ของตัวอย่างก่อนแช่น้ำ มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

### 3.5 คำนวณหาค่า CBR

ในการคำนวณหาค่า CBR ให้ถือแรงมาตรฐาน (Standard Load) ดังนี้

| Penetration (mm.) | Standard Load (kg.) | Standard Unit Load (Y) ($kg./cm^2$) |
|---|---|---|
| 2.54 (0.1″) | 1 360.8 (3 000 lb) | 70.3 (1 000 $lb/in^2$) |
| 5.08 (0.2″) | 2 041.2 (4 500 lb) | 105.46 (1 500 $lb/in^2$) |
| 7.62 (0.3″) | 2 585.5 (5 700 lb) | 133.59 (1 900 $lb/in^2$) |
| 10.16 (0.4″) | 3 129.8 (6 900 lb) | 161.71 (2 300 $lb/in^2$) |
| 12.70 (0.5″) | 3 538.0 (7 800 lb) | 182.81 (2 600 $lb/in^2$) |

**หมายเหตุ** 1. ถ้าต้องการแปลงหน่วยเป็นระบบ SI ให้ดูภาคผนวก

2. พื้นที่หน้าตัดของท่อนกด = 1,935.5 ตารางมิลลิเมตร (3 ตารางนิ้ว) คำนวณค่า CBR เป็นร้อยละจากสูตร

$$CBR = \frac{X}{Y} \times 100$$

เมื่อ X = ค่าแรงกดที่อ่านได้ต่อหน่วยพื้นที่ของท่อนกด (สำหรับ Penetration ที่ 2.54 มิลลิเมตร หรือ 0.1 นิ้ว และที่เพิ่มขึ้นอีกทุกๆ 2.54 มิลลิเมตร)

Y = ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Load) กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (จากตารางข้างบนนี้)

## 4. การรายงาน

ในการทำการทดลอง CBR ให้รายงานดังนี้

4.1 ค่า CBR ที่ความแน่น X% ของความแน่นแห้งสูงสุด (แบบสูงกว่ามาตรฐานหรือแบบมาตรฐาน) ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

4.2 ค่าความแน่นแห้งที่ให้ค่า CBR ตามข้อ 4.1 ใช้ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

4.3 ค่าการขยายตัว (Swell) ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง

4.4 และค่าอื่นๆ ตามแบบฟอร์มที่ ว.2-15 ก.

## 5. ข้อควรระวัง

5.1 สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้ว ให้ทุบด้วยค้อนยางหรือนำเข้าเครื่องบด จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ให้มากที่สุดเท่าที่มากได้

5.2 ในการใช้ค้อนทำการบดทับให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่นพื้นคอนกรีต เพื่อไม่ให้แบบกระดกหรือกระดอนขึ้น ขณะทำการบดทับ

5.3 ปริมาตรของแบบ (V) หลังจากหักปริมาตรของโลหะรองออกแล้ว ให้ทำการวัดและคำนวณเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบไป ห้ามใช้ปริมาตรโดยประมาณ หรือจากที่แสดงไว้ในข้อ 2.1.2

5.4 ปริมาณของน้ำที่ใช้ผสม เพื่อเตรียมตัวอย่างทำ CBR ถ้าต้องการใช้ค่าต่างๆ นอกเหนือจากที่ระบุไว้ในวิธีการทดลอง วิธีนี้ย่อมทำได้สำหรับงานวิจัยหรืองานอื่นใด แต่ถ้าไม่แสดงไว้ว่าต้องการใช้ปริมาณน้ำเท่าใดแล้ว ให้ใช้ปริมาณน้ำตามข้อ 2.5.1 (2) เสมอไป

5.5 ในการทดลอง Penetration Test โดยใช้ Proving Ring เป็นตัวอ่านแรงและใช้ Penetration Dial Gauge ติดที่ Frame ของเครื่องกดต้องทำการแก้ค่า Penetration เนื่องจากการหดตัวของ Proving Ring โดยหักค่าการหดตัวของ Proving Ring ออกจากค่า Penetration ตามตัวอย่างที่แสดงไว้ในแบบฟอร์มที่ ว.2-11 กรณีที่ติด Penetration Dial Gauge ที่ท่อนกด ไม่ต้องปฏิบัติตามความในข้อนี้

5.6 เมื่อทำการทดลอง Penetration เสร็จเรียบร้อยแล้ว ในการ Plot Curve ระหว่าง Unit Load และค่า Penetration จำเป็นจะต้องแก้จุดศูนย์สำหรับ Curve ที่หงายขึ้น เนื่องจากความไม่ราบเรียบ หรือเกิดจากการอ่อนยุ่ยที่ผิวหน้าของตัวอย่าง เนื่องจากการแช่น้ำ ให้ทำการแก้โดยลากเส้นตรงให้สัมผัสกับเส้นที่ชันที่สุดของ Curve ไปตัดกับแกนตามแนวราบ คือ เส้นที่ลากผ่าน Unit Load เท่ากับศูนย์ ต่อจากนั้นให้เลื่อนค่าศูนย์ของ Penetration ไปที่จุดตัด แล้วจึงดำเนินการหาค่า CBR ต่อไปเรียกว่า Corrected CBR Value

5.7 ค่า CBR ที่ได้จาก Corrected Load Value หรือจาก True Load Value (Curve ถูกต้องไม่ต้องแก้ Curve) คำนวณจาก Penetration 2.54 มิลลิเมตร (0.1 นิ้ว) และที่ Penetration 5.08 มิลลิเมตร (0.2 นิ้ว) เป็นค่า CBR ที่ใช้รายงาน

โดยปกติค่า CBR ที่ Penetration 2.54 มิลลิเมตร จะต้องมีค่าสูงกว่าค่า CBR ที่ Penetration 5.08 มิลลิเมตร ถ้าหากไม่เป็นดังนั้นคือค่า CBR ที่ 5.08 มิลลิเมตร สูงกว่าที่ 2.54 มิลลิเมตร ให้ทำการเตรียมตัวอย่างทดลองใหม่ทั้งหมด แต่ถ้ายังสูงกว่าอยู่อีกให้ใช้ค่า CBR ที่ 5.08 มิลลิเมตร

5.8 ในการทำตัวอย่างเพื่อทดลอง ในกรณีที่ต้องการบดทับมากกว่าหรือน้อยกว่า ที่ต้องการตามวิธีทดลองนี้ อาจจะเพิ่มการบดทับเป็นชั้นละ 75 ครั้ง หรือลดการบดทับเป็นชั้นละ 8 ครั้ง เพื่อให้ได้ตัวอย่างมากขึ้นในการนำมาเขียน Curve ตามข้อ 2.5.4 (10) ก็ได้ (ในแบบฟอร์มที่ ว.2-15 ก. ก็ได้เตรียมช่องเพื่อลงรายการไว้ด้วยแล้ว)

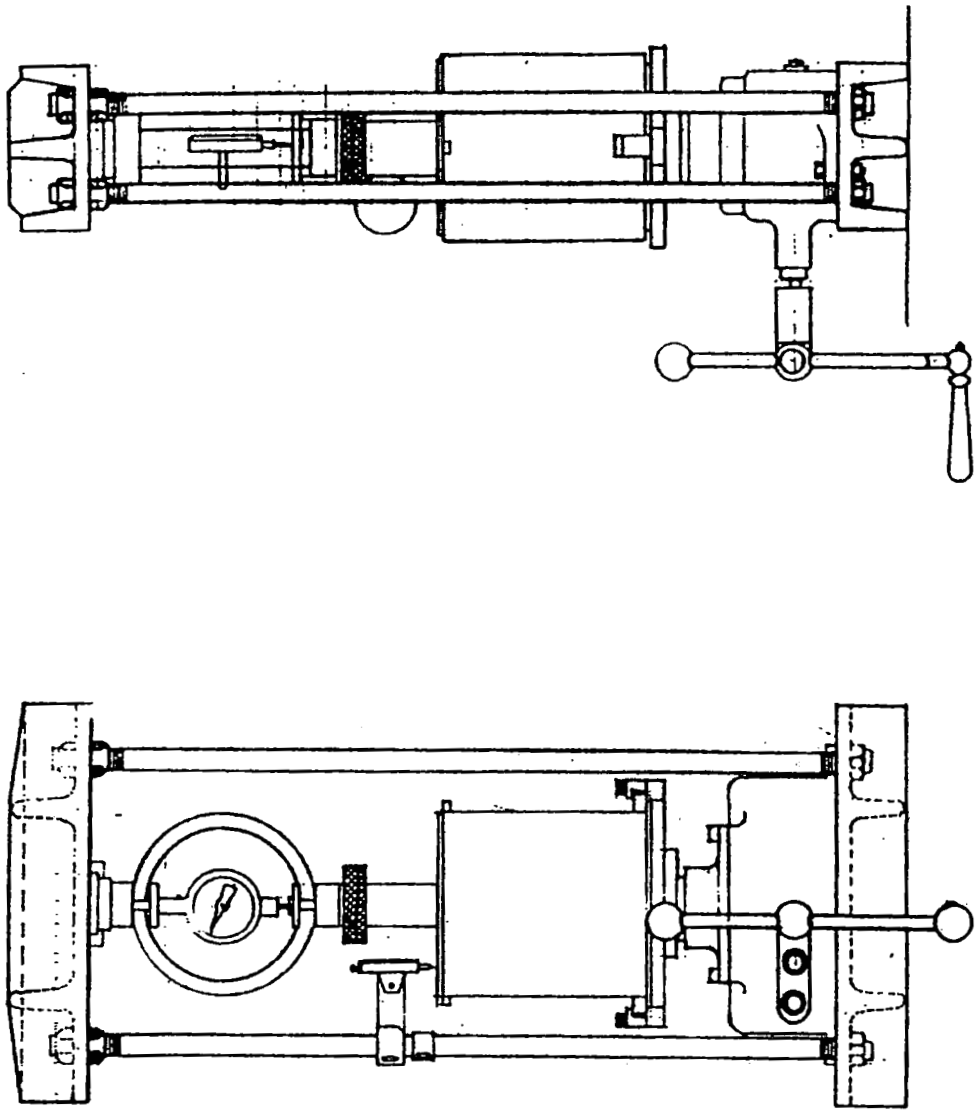
5.9* ค้อนที่ใช้ทำการบดทับเพื่อเตรียมตัวอย่างเพื่อหาค่า CBR มี 2 ขนาด คือ ตามข้อ 2.1.4 (1) และข้อ 2.1.4 (2) ในการเตรียมตัวอย่าง CBR ตามวิธีการทดลอง Compaction Test ที่ ทล.-ท. 107/2517 ให้ใช้ค้อนขนาดเล็ก (ข้อ 2.1.4 (1)) ส่วนการเตรียมตัวอย่าง CBR ตามวิธีการทดลอง Compaction Test ที่ ทล.-ท. 108/2517 ให้ใช้ค้อนขนาดใหญ่ (ข้อ 2.1.4 (2))

## 6. หนังสืออ้างอิง

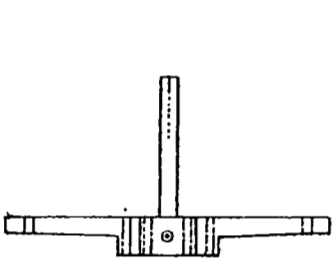
6.1 The American Association of State Highway Officials. Specifications for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing. AASHTO Designation : T 193

6.2 The Asphalt Institute. Soils Manual for Design of Asphalt Pavement Structures, Manual Series No. 10, (MS-10)

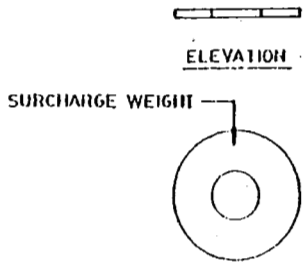
* ข้อ 5.9 ได้เพิ่มเติมในการพิมพ์ครั้งที่ 2 เพราะหน่วยงานต่าง ๆ มักจะปฏิบัติผิดโดยใช้ค้อนขนาดใหญ่ทั้ง 2 วิธีการ



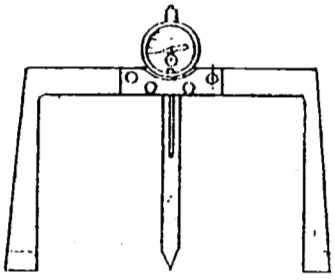
LABORATORY LOADING MACHINE



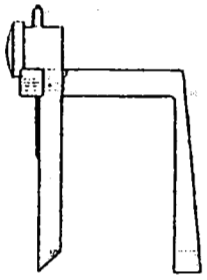
PLAN




PLAN

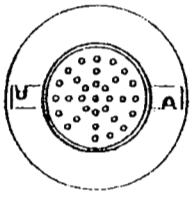


ELEVATION

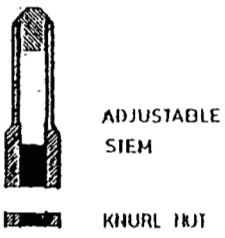


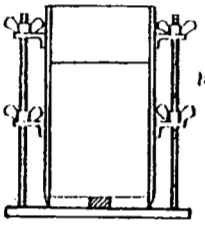
SIDE VIEW

EXPANSION MEASURING APPARATUS ( TRIPOD )

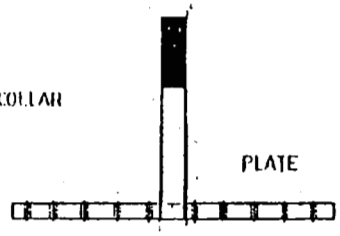


PLAN



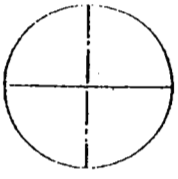




ELEVATION

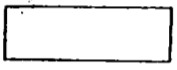



EXPANSION MEASURING APPARATUS

PENETRATION PISTON



PLAN




ELEVATION

## สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง

อันดับทดลองที่ C-443

เจ้าของตัวอย่าง.....

หนังสือที่.....วันที่รับหนังสือ.....

ทางสาย พระประแดง-บางขุนเทียน ตอน 3

เจ้าหน้าที่ทดลอง ชัยฤทธิ์ วันที่รับตัวอย่าง..... วันที่ทดลอง 28/4/43

## CALIFORNIA BEARING RATIO TEST

Sample Subbase Layer km. 43+150-43+295 Frontage Rd. Rt.

Mold No. 4 Weight 9.200 Kg. Volume 2127 cc. Factor 8.3195 lb/Div-23 lb

**DENSITY**

No. blows 12

No. Layers 5

Wt. Hammer 4.537 Kg.

Drop 45.72 cm.

| | | before Soaking | After Soaking |
|---|---|---|---|
| Wt. Mold+Soil | Kg. | 13.258 | 13.415 |
| Wt. Mold | Kg. | 9.200 | 9.200 |
| Wt. Soil | Kg. | 4.058 | 4.215 |
| Wet. Density | gm./cc. | 1.908 | 1.982 |
| Dry Density | gm./cc. | 1.780 | 1.797 |

**WATER CONTENT**

| Can No. | | 25 | 46 | 33 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|
| Wt. Can+Wet Soil | gm. | 300.5 | 312.0 | 312.0 | 315.0 |
| Wt. Can+Dry Soil | gm. | 282.7 | 294.3 | 293.7 | 289.5 |
| Wt. Water | gm. | 17.8 | 17.7 | 18.3 | 25.5 |
| Wt. Can | gm. | 41.6 | 42.1 | 42.0 | 41.7 |
| Wt. Dry Soil | gm. | 241.1 | 252.2 | 251.7 | 247.8 |
| Water content | % | 7.4 | 7.0 | 7.4 | 10.3 |
| Average Water content | % | - | 7.2 | - | - |

PENETRATION TEST : Surcharge 2 pcs. = 4.536 Kg. Proving Ring No. 200382

Piston area = 19.355 cm.$^2$ (3 in.$^2$) at 1.27 mm./min (0.05 in/min)

| Date | Time | Reading mm. | Swell mm. | Swell % | Days | Pene (mm.) (1) | Dial Reading (mm.) (2) | Cor. Pme. (mm.) (3)=(1)-(2) | load (Kg.) rdg. from (2) | Bearing Value Kg./cm.$^2$ | Bearing Ratio (From Curve) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 28/4/43 | 10.30 | 1.00 | - | - | 0 | 0.63 (0.025") | 7 | | | 7 | |
| 29 | " | 1.17 | 0.17 | 0.14 | 1 | 1.27 (0.050") | 16 | | | | |
| 30 | " | 1.19 | 0.19 | 0.16 | 2 | 1.90 (0.075") | 25 | | | | |
| 1/5/43 | " | 1.20 | 0.20 | 0.17 | 3 | 2.54 (0.100") | 36 | | | | |
| 2 | " | 1.20 | 0.20 | 0.17 | 4 | 3.17 (0.125") | 45 | | | | |
| (1) Optimum Moist. | | | | 7.5 | % | 3.81 (0.150") | 55 | | | | |
| (2) Original Moist. | | | | 0.7 | % | 4.44 (0.175") | 62 | | | Dial คิดกับ Pistion | |
| (3) Water to be added (1)-(2) | | | | 6.9 | % | 5.08 (0.200") | 70 | | | | |
| (4) Use soil passing # 4 | | | | 2460 | gm. | 9.25 (0.250") | | | | | |
| (5) Use soil retained # 4 | | | | 3540 | gm. | 7.62 (0.300") | | | | | |
| (6) Total dry soil (4)+(5) | | | | 6000 | gm. | 8.89 (0.350") | | | | | |
| (7) Total dry soil (6)$\div \frac{100+(2)}{100}$ | | | | 5961 | gm. | 10.16 (0.400") | | | | | |
| (8) Total water to be added $\frac{408}{(7)X(3)}$ | | | | | gm. | 11.43 (0.450") | | | | | |
| | | | | | | 12.70 (0.500") | | | | | |

# สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง

## กรมทางหลวง

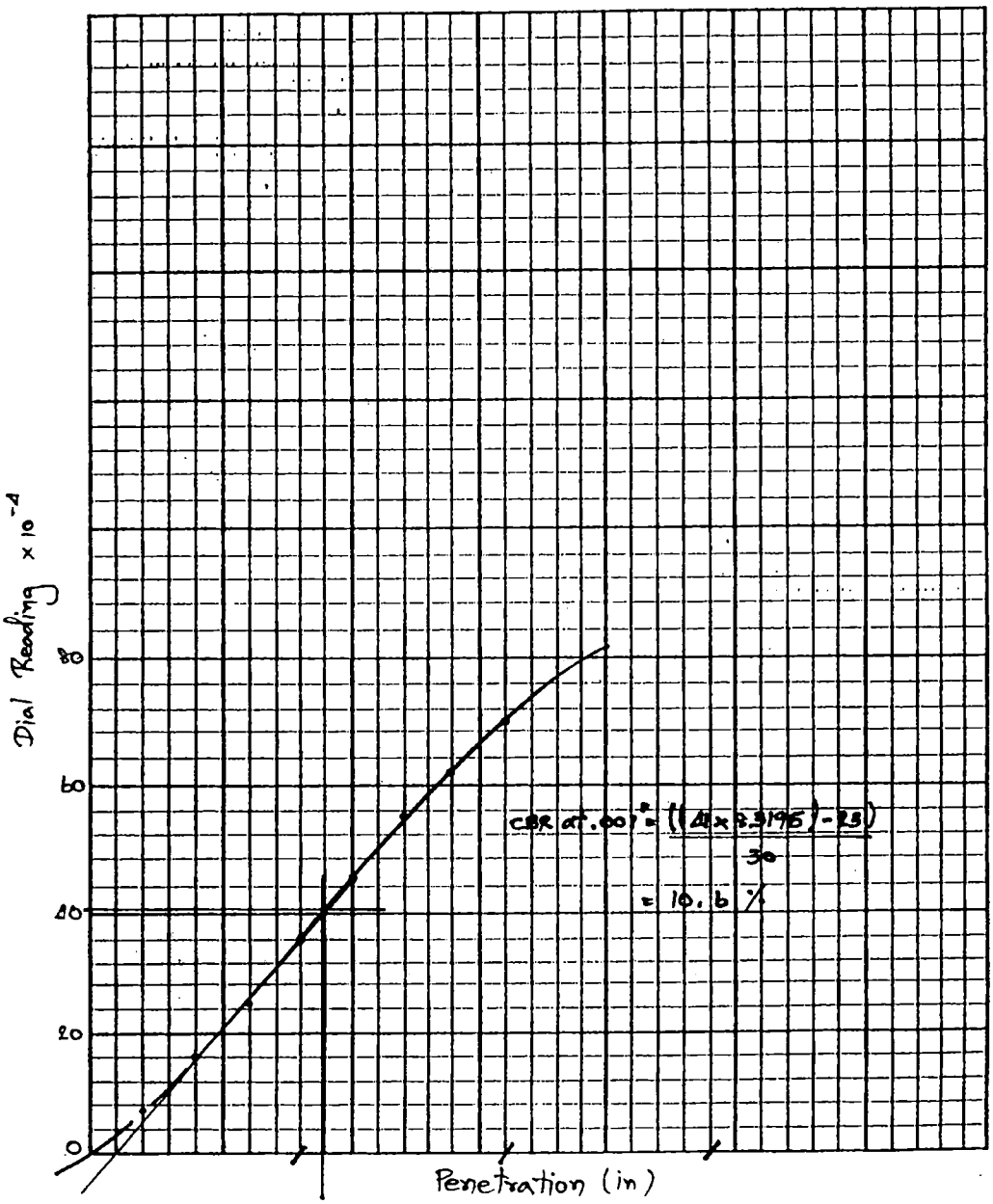
Test No. C-443

Type of test CBR. at 12 Blows

Date 2/5/43

Source Subbase Layer km. 43+150-43+295 Frontage Rd. RT.

Plotted by ชัยฤทธิ์



301343

ว. 2-15 ก.

## SUMMARY OF RESULTS

Type and No. of test C-443 (G-22)
Type of material Weathering Rock To be used for Subbase Layer
Source บ่อสุรวิทย์ อ.พุแค จ.สระบุรี Stock pile No.
Location of sampling km. 43+150-43+295 Frontage Rd., RT.
Tested by อวยพร, ชัยฤทธิ์ Dated 3/5/43

| Materials | | Passing | | | | | | | L.L. | P.L. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 50.0 | 25.0 | 19.0 | 9.5 | # 10 | # 40 | # 200 | | |
| A | A-2-4 | 100.0 | 91.5 | 86.7 | 60.9 | 30.0 | 20.8 | 16.9 | 28.8 | 8.3 |
| B | Grade "B" | | | #4 = | 41.0 | | | | | |
| Mixed A : B = | | | | | | | | | | |

| Blow | Density gm/cc. | CBR% | Swell% |
|---|---|---|---|
| 8 | - | - | - |
| 12 | 1.780 | 10.6 | 0.17 |
| 25 | 1.874 | 37.5 | 0.14 |
| 56 | 1.979 | 53.6 | 0.10 |
| 75 | - | - | - |

100% Mod Comp. (ทล.-ท. 108/2517) = 1.995 gm./cc.
95% Mod Comp. (ทล.-ท. 108/2547) = 1.895 gm./cc.
O.M.C. = 7.5 % water content of (molding) CBR = 7.2 %
Required CBR ≥25.0 % Raise percent compaction - %