

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาคูสมบัติของผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตชำระผสมกับดินลูกรัง  
เพื่อทำเป็นชั้นโครงสร้างทางใหม่

A STUDY OF PROPERTY OF CRACKING ASPHALT CONCRETE MIXED WITH  
GRANULAR SOIL FOR PAVMENT STRUCTURE



โดย

นายธีรศักดิ์

คำน่วย

นายศราวุธ

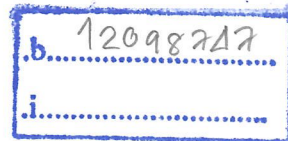
ชุ้นฉิม

นายอุดม

ทาคำสุข

รพ.  
ฉ651ก  
2551

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....103142  
วัน,เดือน,ปี..... 28 ส.ค. 2552



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

**A STUDY OF PROPERTY OF CRACKING ASPHALT CONCRETE MIXED WITH  
GRANULAR SOIL FOR PAVMENT STRUCTURE**

**BY**

<b>MR. TEERASAK</b>	<b>DUMNUI</b>
<b>MR. SARAWUT</b>	<b>SUNSIM</b>
<b>MR. UDOM</b>	<b>TACUMSUK</b>

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การศึกษาคุณสมบัติของผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตชำระผสมกับดินลูกรัง  
เพื่อทำเป็นชั้นโครงสร้างทางใหม่

A STUDY OF PROPERTY OF CRACKING ASPHALT CONCRETE  
MIXED WITH GRANULAR SOIL FOR PAVMENT STRUCTURE

นักศึกษา	นายธีรศักดิ์ คำนุ้ย	รหัสนประจำตัว	49015564
	นายศราวุธ ชุ่มชื่น	รหัสนประจำตัว	49015583
	นายอุดม ทาคำสุข	รหัสนประจำตัว	49015599
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์		

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
รศ.อำนาจ	พานิชกุลพงศ์	..... ..... .....
อ.ถนอม	ศรีวิธษา	..... .....
อ.นัฐพร	นวกิจรังสรรค์	..... .....

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว

.....  
.....

( ผศ. สุพจน์ ศรีนิล )

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ ..... เดือน..... พ.ศ. ....

หัวข้อ โครงการงานพิเศษ การศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง เพื่อทำเป็นชั้น โครงสร้างทาง

A STUDY OF PROPERTY OF CRACKING ASPHALT CONCRETE MIXED WITH GRANULAR SOIL FOR PAVMENT STRUCTURE

นักศึกษา	นายธีรศักดิ์	คำนุ้ย
	นายศราวุธ	สุนัฒม์
	นายอุดม	ทาคำสุข
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.อำนาจ	พานิชกุลพงศ์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา	
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา	
ปีการศึกษา	2551	

#### บทคัดย่อ

ในการปรับปรุงซ่อมแซมถนนโดยเฉพาะถนนลาดยาง ส่วนใหญ่มักจะนำผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตเก่าที่มีการชำรุดทิ้งไปโดยสูญเปล่า หรือมักจะใช้วิธีการก่อสร้างถนนชั้นใหม่ ซึ่งทำให้มีราคาสูงไม่เหมาะสมกับสถานะเศรษฐกิจของประเทศ และยังเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างสิ้นเปลืองไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาเพื่อนำเอาผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตเก่าจากผิวทางที่ชำรุด มาใช้เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างถนน ทั้งนี้เพื่อจะช่วยประหยัดการใช้วัสดุ และลดมลภาวะระหว่างการก่อสร้างลงได้ ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตเก่าที่ใช้รองรับการจราจรมานานหรือการจราจรที่หนาแน่นจะเกิดการชำรุดแตกร้าวและเสีรูปร่างทำให้เกิดความไม่สะดวกสบายในการใช้รถยนต์สามารถนำมาทำให้แตกร่วนและผสมกับดินลูกรังเข้าไปในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นชั้นโครงสร้างทางได้

Title                                   A STUDY OF PROPERTY OF CRACING ASPHALT CONCRETE MIXED  
  WITH GRANULAR SOIL FOR PAVMENT STRUCTURE

Name                                   MR. TEERASAK   DUMNUI  
  MR. SARAWUT   SUNSIM  
  MR. UDOM       TACUMSUK

Advisor                               ASST. AMNOUY   PANITKULPONG

Faculty                               ENGINEERING

Department                         CIVIL ENGINEERING

Field                                 TRANSPORTATION

#### **ABSTRACT**

In the road maintenance especially flexible pavement majority usually take out asphalt concrete surface which be wasteful .Or make a new construction that not suitable for economy at present and extravagant natural resources using. So we have to study the property of resurfacing asphalt concrete for reuse in the pavement. For saving material and decreasing of pollution between construction period.

Existing asphalt concrete surface that used for long period or heavy duty will be damage, crack and change its shape that make uncomfortable to the road user which can bring to make to broken into small pieces then mixing with the granular soil with appropriate ratio for use as the pavement structure.

## กิตติกรรมประกาศ

ในการทำโครงการพิเศษนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณ รศ.อำนาจ พานิชกุลพงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษนี้ ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษาอันดี ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนทำการตรวจสอบและแก้ไขโครงการพิเศษจนแล้วเสร็จด้วยดี

ขอขอบคุณหน่วยงานต้นสังกัดของข้าพเจ้า ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆ สำหรับการทำงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและผู้มีพระคุณที่มีสามารถกล่าวนามได้หมดที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจแก่ผู้เขียนมาโดยตลอดจนทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ผู้จัดทำโครงการพิเศษ

นาย ชีรศักดิ์	คำนุ้ย
นาย ศราวุธ	ชุ่มชื่น
นาย อุดม	ทาคำสุข

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
กิตติกรรมประกาศ	ช
สารบัญ	ซ
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต	4
2.2 คินลูกรัง	6
2.3 คุณสมบัติของแอสฟัลท์	13
2.4 ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต	17
บทที่ 3 วิธีการทดสอบ	19
3.1 การเตรียมวัสดุ	19
3.2 แผนการทดสอบ	20
3.3 การทดสอบหาคูสมบัติเบื้องต้นของคินลูกรัง	21
3.4 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน	21
3.5 การทดสอบหาค่าบดอัดที่ CBR	21
3.6 วิธีทำการทดสอบ	22
3.6.1 การทดสอบอัดตะเบีร์ก	22

3.6.2 การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการคูดซึมน้ำ	25
3.6.3 การทดสอบหาขนาด โทศุคของเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรง	28
3.6.4 การทดสอบการบดอัดดิน	31
3.6.5 การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบร์ริง เรโซ	35
<b>บทที่ 4 ผลการทดสอบ</b>	<b>39</b>
4.1 คุณสมบัติทั่วไปของวัสดุ	39
4.1.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของดินลูกรัง	39
4.1.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของแอสฟัลท์คอนกรีตขำรูด	39
4.2 ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน	39
4.3 ผลการทดสอบ CBR ของแอสฟัลท์คอนกรีตขำรูด,ดินลูกรังและ แอสฟัลท์คอนกรีตขำรูดผสมดินลูกรังที่อายุการแช่น้ำ 4 วัน	40
<b>บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ</b>	<b>44</b>
5.1 สรุปผล	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	44
<b>บรรณานุกรม</b>	<b>45</b>
ภาคผนวก ก ข้อกำหนดมาตรฐานดินลูกรังในงานทางหลวง	46
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรัง	49
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลท์คอนกรีตขำรูด	56
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบแอสฟัลท์คอนกรีตขำรูดผสมกับดินลูกรังในร้อยละต่างๆ	61

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 แสดงปริมาณซึลิก้าและเซสควิวออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทย	11
2-2 แสดงคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย(MORRISON,1965)	12
2-3 แสดงขนาดผลของวัสดุสำหรับพื้นทางและรองพื้นทางตามมาตรฐาน AASHTO	12
3-1 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ทำการทดสอบ Compaction Test โดย Modified Proctor	20
3-2 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ทำการทดสอบ Soaked CBR ที่อายุการแช่น้ำ 4 วัน	21
4-1 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรัง	39
4-2 ผลการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานของแอสฟัลท์คอนกรีตชำระุด,ดินลูกรังและ แอสฟัลท์คอนกรีตชำระุดผสมกับดินลูกรัง	40
4-3 แสดงผลการทดสอบค่า CBR	41
4-4 อัตราการเพิ่ม CBR ของตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตชำระุดผสมกับดินลูกรัง ที่อายุการแช่น้ำ 4 วัน เทียบกับ CBR ของดินลูกรัง	42
4-5 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง กับข้อมูลชั้นพื้นฐานของกรมทางหลวง	43
4-6 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง กับข้อมูลชั้นรองพื้นฐานของกรมทางหลวง	43
ข-1 ผลการทดสอบหาขนาดส่วนผลของดินลูกรัง	49
ข-2 ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของดินลูกรัง	50
ข-3 ผลการทดสอบ Atterberg's Limit	51
ข-4 ผลการทดสอบ Compaction test ของดินลูกรัง	52
ข-5 ผลการทดสอบ CBR ของดินลูกรัง	53
ค-1 ผลการทดสอบหาขนาดส่วนผลของผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตชำระุด	56
ค-2 ผลการทดสอบ Compaction test ของแอสฟัลท์	57
ค-3 ผลการทดสอบ CBR ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำระุด	58

## สารบัญตาราง(ต่อ)

ง-1 ผลการทดสอบ Compaction test ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง 15%	61
ง-2 ผลการทดสอบ Compaction test ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง 30%	62
ง-3 ผลการทดสอบ Compaction test ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง 45%	63
ง-4 ผลการทดสอบ Compaction test ของ แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง 60%	64
ง-5 ผลการทดสอบ Compaction test ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง 75%	65
ง-6 ผลการทดสอบ Compaction test ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง 90%	66
ง-7 ผลการทดสอบ CBR ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง 15%	67
ง-8 ผลการทดสอบ CBR ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง 30%	70
ง-9 ผลการทดสอบ CBR ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง 45%	73
ง-10 ผลการทดสอบ CBR ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง 60%	76
ง-11 ผลการทดสอบ CBR ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง 75%	79
ง-12 ผลการทดสอบ CBR ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง 90%	82

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3-1 แสดงแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุด	19
3-2 แสดงดินลูกรัง	19
3-3 แสดงชุดการทดสอบ Atterberg Limit	23
3-4 แสดงตัวอย่างการทดสอบ Plastic Limit	23
3-5 แสดงภาพคู่อบ	26
3-6 แสดงชุดทำการทดสอบ Sieve Analysis	29
3-7 แสดงการค้ำ บนตะแกรง	29
3-8 แสดงชุดเครื่องมือการทดสอบ Compaction Test	32
3-9 แสดงตัวอย่างการทดสอบ Compaction Test	33
3-10 แสดงชุดการทดสอบ CBR	37
4-1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่า CBR ต่อปริมาณดินลูกรัง	41
4-2 แสดงอัตราการเพิ่มค่า CBR ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง เทียบกับ CBR ของดินลูกรัง ที่ปริมาณต่าง ๆ	42

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนี้การก่อสร้างถนนได้เพิ่มปริมาณมากขึ้นเพื่อรองรับความเจริญของเศรษฐกิจ อีกทั้งเทคโนโลยีสมัยใหม่ซึ่งได้มีส่วนช่วยส่งเสริมให้รถยนต์ต่างๆมีมากขึ้นมีความเร็วมากขึ้น สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากขึ้นและยังได้มีการพัฒนาเครื่องมือเครื่องจักรในการก่อสร้างถนนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นควบคู่ไปกับการวิจัยพัฒนาวัสดุในการก่อสร้างถนน เพื่อประโยชน์ในด้านการคมนาคมขนส่ง เศรษฐกิจและความมั่นคงของประเทศ ผิวจราจรแบบยืดหยุ่น (Flexible Pavement) เป็นที่นิยมใช้ในการก่อสร้างถนนในปัจจุบันอย่างกว้างขวาง วัสดุสำคัญที่ใช้ในผิวจราจรนี้ คือ แอสฟัลท์คอนกรีต ซึ่งเป็นส่วนผสมของวัสดุมวลรวมจำพวก หิน ทราย กับแอสฟัลท์

ถนนที่ก่อสร้างเมื่อมีการใช้งานมาระยะหนึ่งย่อมเกิดการเสียหายขึ้นตามอายุการใช้งาน เช่นการเกิดรอยร่องล้อ หลุดร่อน เย็นตัว รอยแตกหนังจระเข้ รอยแตกขวาง และรอยแตกตามยาวเป็นต้น จึงมีความจำเป็นต้องซ่อมแซม หรือรีดผิวทางเดิมออก เพื่อทำผิวจราจรใหม่ให้มีสภาพการใช้งานที่ดีอยู่เสมอ

งานบำรุงทางในลักษณะงานซ่อมผิวทางแอสฟัลท์และงานบูรณะทางผิวแอสฟัลท์ที่ผ่านมาจะ ใช้ในกรณีที่มีความเสียหายเกิดขึ้นในผิวทางจนถึงชั้นพื้นทางมักจะดำเนินการด้วยวิธีการขุดหรือชั้นผิวทางออกทิ้งไปและขุดหรือชั้นพื้นทางเดิมขึ้นมาบดอัดแล้วเสริมหินคลุกใหม่ลงไป ด้วยวิธีการและเครื่องจักรแบบเดิม (Conventional Method) นี้ จะใช้รถเกรดทำการขุดหรือการทำงานประกอบด้วยชั้นตอนมากมาย จึงต้องใช้เวลาการดำเนินงานค่อนข้างนานในแต่ละครั้งต้องเปิดผิวทางทิ้งไว้ และปิดการจราจรเป็นเวลานาน

วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างทางที่มีคุณภาพสูงนั้นนับวันจะมีปริมาณลดลงและหายากยิ่งขึ้นอีก ทั้งวัสดุเหล่านี้ก็ไม่ได้กระจายอยู่ทั่วไปทุกหนแห่งที่เราต้องการใช้งานได้อย่างสะดวก ดังนั้นการพัฒนาวัสดุเก่ามาใช้งานใหม่ที่เรียกว่า Recycling นั้น จึงเป็นแนวความคิดที่น่าสนใจ และควรพิจารณานำมาใช้ในงานทางหลวงเพื่อลดต้นทุนการก่อสร้าง การขนส่งวัสดุ และลดปัญหาการขุดเอา วัสดุเก่าที่มีอยู่เดิม เช่น ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตที่ได้จากการขุดผิวทางเพื่อไปใหม่ออกทิ้งไป

โครงการวิจัยเพื่อปรับปรุงคุณภาพของผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตเก่าโดยใช้ลูกรังมาแทนวัสดุใหม่ เช่น หินคลุกในการทำชั้นพื้นทางใหม่ในลักษณะของ Soil Cement จึงคาดว่าจะ

เป็นประโยชน์ในงานก่อสร้างทางซึ่งแนวคิดดังกล่าวจะนำเอาวัสดุเก่าบางส่วน หรือทั้งหมดมาใช้ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพและคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของประเทศแทนที่จะขุดทิ้งไป เช่นที่เคยปฏิบัติมา

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นทางวิศวกรรมของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุด
- 1.2.2 ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นทางวิศวกรรมของดินลูกรัง
- 1.2.3 ศึกษาความหนาแน่นและความชื้นที่เหมาะสมของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดและดินลูกรัง
- 1.2.4 ศึกษาค่า Soaked CBR ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุด ดินลูกรังและแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับ ดินลูกรังร้อยละ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 ผสมโดยน้ำหนัก ผลที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลทางวิชาการ เพื่อพิจารณาความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานชั้นโครงสร้างทาง (PAVMENT STRUCTURE)

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ขอบเขตของการศึกษาวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ในการวิจัยได้แก่ การเก็บตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง การทดสอบ การวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินการดังนี้

- 1.3.1 การเก็บตัวอย่าง เก็บตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดจาก ถนน แคราย-บางบัวทอง จ.นนทบุรี
- 1.3.2 ทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น ทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดและดินลูกรัง
- 1.3.3 ทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ตามมาตรฐานการทดลองของ AASHTO T 180 ค่า Maximum Dry Density (MDD) และ Optimum Moisture Content (OMC) ที่ได้จากการทดลองนี้ จะใช้เป็นมาตรฐานในการเตรียมตัวอย่างเพื่อทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) ต่อไป
- 1.3.4 ใช้ดินลูกรังจากจังหวัดสระบุรี โดยขนาดละเอียดของวัสดุสำหรับชั้นโครงสร้างทางนั้น ตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย
- 1.3.5 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ CBR บดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน แบบที่ใช้มีขนาด 152.4 มม. (6 นิ้ว) และน้ำหนักของค้อน 10 lb ความชื้นที่ใช้ในการบดอัดเตรียมที่ OMC จากการทดลองในข้อ 1.3.3
  - 1.3.5.1 สำหรับตัวอย่างแอสฟัลท์ชำรุด ภายหลังการบดอัดเสร็จเรียบร้อยแล้วนำไปทดสอบ CBR โดยการทดสอบแบบ Soaked CBR

1.3.5.2 สำหรับตัวอย่างดินลูกรัง ก็นำไปทดสอบ CBR โดยการทดสอบแบบ Soaked CBR

1.3.5.3 สำหรับตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดของถนน

สายแคราย - บางบัวทอง จ.นนทบุรี ผสมลูกรังร้อยละ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90

ให้ทำการทดสอบ Soaked CBR โดยแช่น้ำที่ 4 วันแล้วจึงนำมาทดสอบ

1.3.6 การทดสอบ CBR ทำการทดสอบตามมาตรฐาน AASHTO T 193 นำผลที่ได้มาเขียนกราฟหาค่า CBR

1.3.7 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

1.3.7.1 คุณสมบัติของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุด

1.3.7.2 ผลการทดสอบการบดอัดของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุด, ดินลูกรัง และแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง

1.3.7.3 วิเคราะห์การทดสอบค่า CBR ของตัวอย่างบดอัด

1.3.7.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบเมื่อนำลูกรังร้อยละ 15,30,45,60,75 และ 90 ผสมโดยน้ำหนัก มาผสมกับแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดถนนสายแคราย - บางบัวทอง จ.นนทบุรี

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุด

1.4.2 ทราบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรัง

1.4.3 ทราบข้อมูลความเหมาะสมในการนำดินลูกรังมาผสมร่วมกับแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดเพื่อนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดในชั้นโครงสร้างทาง(PAVMENT STRUCTURE)

1.4.4 ทราบค่า Compressive Strength และ ค่า Soaked CBR ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรัง ในอัตราส่วนดินลูกรังที่แตกต่างกัน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต

ในปี 1967 Moh, Chin และ Ng ได้รายงานว่าดินลูกรังในประเทศไทยที่มีค่า PI ประมาณ 11 ถึง 19 เมื่อนำมาผสมกับซีเมนต์ร้อยละ 4 ถึง 7 จะให้ค่ากำลังอัดจะมีค่ามากกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งเป็นข้อกำหนดของ Africa (Road Reserch Laboratory, 1958) (14) และยังเน้นให้เห็นถึงความสำคัญของการบดอัดว่าถ้าค่าร้อยละของการบดอัดลดลงเล็กน้อย จะมีผลต่อการลดลงของกำลังรับแรงอัดอย่างเด่นชัด

ในปี 1965 The Siam Cement, Ltd. ได้ทดลองนำดินผสมซีเมนต์มาใช้เป็นพื้นทางของถนนในประเทศไทยเป็นครั้งแรกในทางสาย วารินชำราบ-เดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี โดยสร้างถนนทดลองมีระยะทางยาว 5 กม. ดินที่ใช้เป็นดินลูกรัง โดยกำหนดว่า California Bearing Ratio ของดินซีเมนต์ ไม่น้อยกว่า 120 สำหรับถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำ และใช้เป็นชั้นผิวทางของถนนประเภทต่ำกว่ามาตรฐานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ซึ่งกำหนดค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามข้อเสนอแนะของ British Road Reserch Laboratory (1958)

ในปี 1982 Ruenkraitergsa รายงานว่ากรมทางหลวงได้ใช้มาตรฐานของ British Road Reserch Laboratory ในการกำหนดค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้วแต่ได้ตัดแปลงโดยการบดตัวอย่าง 7 วัน แล้วนำมาแช่น้ำ 1 วัน ก่อนนำไปทดสอบกำลังรับแรงอัดการเตรียมตัวอย่างและการทดสอบกำลังแรงอัดตัดแปลงมาจากวิธีของ Portland Cement Association (1971) มาจากประสบการณ์ในการก่อสร้างถนนโดยใช้ดินลูกรังผสมซีเมนต์ของกรมทางหลวงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยในช่วงเวลาประมาณ 30 ปีที่ผ่านมาซึ่งมีระยะทางยาวประมาณ 1,400 กม. โดยพบว่าสำหรับค่ากำลังแรงอัด 250 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว จะใช้ปริมาณซีเมนต์ประมาณร้อยละ 3 ถึง 5 ของน้ำหนักดินก็เพียงพอ สำหรับดินลูกรังที่มี PI สูงกว่านี้สามารถแก้ไขได้โดยผสมปูนขาวร้อยละ 2 ลงไปเพื่อลดค่า Plasticity Index ก่อนที่จะผสมซีเมนต์ ค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้จากข้อมูลงานก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ในระยะสั้น จะมีค่า 250-400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ทรงพล บุญมาดี ได้ทดลองนำดินลูกรังผสมซีเมนต์ ไปทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง UCS กับ California Bearing Ratio และค่า EI กับ California Bearing Ratio โดยใช้ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 1 3 5 และ 7 ส่วนเวลาการบ่มใช้เวลา 1 3 7 14 และ 28 วัน ซึ่งสรุปผลได้ว่าปริมาณซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 3 ขึ้นไป จะมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัด และเมื่ออายุการบ่มมากขึ้นปฏิกิริยาเคมีกับอนุภาคดินจะมีผลต่อกำลังรับแรงอัดสูงด้วย

Felt ได้นำดิน 3 ชนิดคือ Loamy Sand, Medium Clay และ Silty Clay Loamy มาทดลองผสมซีเมนต์ โดยแปรเปลี่ยนซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 6 ถึง 30 ตามปริมาตรแล้วทดสอบหาค่ากำลังแรงอัดที่มีอายุการบ่ม 5 แบบ ตั้งแต่ 2 วันจนถึง 1 ปี และทดสอบความคงทนด้วยวิธี Wet-Dry และ Freeze-Thaw ตั้งแต่ 12 รอบจนถึง 96 รอบ ผลการทดลองสรุปว่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ ดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่จะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าดินที่มีขนาดเม็ดเล็กดินที่มีปริมาณดินเหนียวผสมอยู่สูงจะรับกำลังน้อยกว่าดินที่มีปริมาณดินเหนียวต่ำกว่าและความคงทนของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่ใช้

HOH และ MAZHAR (1969) ได้แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของวิธีการเตรียมตัวอย่างดินลูกรังก่อนการทดลองว่า การเตรียมตัวอย่างก่อนการทดลองจะมีผลทำให้การลดขนาดเม็ดและค่าขีดพิคค์ของอิตตะเบิร์กแตกต่างกัน การทำให้ดินตัวอย่างแห้งโดยการอบแห้งก่อนการทดลองจะทำให้ผลการทดลองแตกต่าง ๆ ไปจากการฝั่งตัวอย่างให้แห้งตามธรรมชาติ หรือทดสอบตัวอย่างที่ความชื้นตามธรรมชาติ ผลการทดลองจะแตกต่างกันมากในกรณีที่ดินลูกรังมีแรมอนต์มอริลโลไนท์เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นในการทดลองเพื่อให้ได้ผลทดลองใกล้เคียงกัน และสามารถจะเปรียบเทียบกันได้ จึงควรทำการทดลองในสภาพที่ตัวอย่างมีการเตรียมเหมือนกัน

BRAND และ HONGNOI (1969) ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่แตกต่างกันในการเตรียมตัวอย่างดินลูกรังเพื่อใช้ในการทดลองจะมีผลทำให้คุณลักษณะของการบดอัด และกำลังของตัวอย่างแตกต่างกันไป การทำให้ตัวอย่างอบแห้งก่อนนำไปบดอัดจะทำให้ค่าความแน่นแห้งสูงสุดเพิ่มขึ้นและค่าความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุดลดลง นอกจากนี้ยังพบว่าค่ากำลังเฉือน และกำลังแบกทานของดินจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่ไม่มีแนวโน้มที่เด่นชัด

MUKTABHANT และ ONGSKUL, (1969) ได้ศึกษาคุณลักษณะการบดอัดและค่า CBR ของดินลูกรังผสมทรายตามปริมาณทรายต่าง ๆ กัน พบว่าขีดพิคค์อิตตะเบิร์ก จะลดลงและมีความสัมพันธ์เป็นแนวเส้นตรงกับปริมาณร้อยละของทรายที่ใช้ผสม นอกจากนี้ยังพบว่าค่า optimum sand content ที่จะให้ค่าความแน่นสูงสุดของวัสดุผสมจะประมาณร้อยละ 40 ของน้ำหนักดินลูกรัง ค่า unsoaked CBR สูงสุดจะต่ำกว่า optimum sand content ที่ได้ค่าความแน่นสูงสุดเล็กน้อย

SHUHTER (1969) ได้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบความทนทานของเม็ดลูกรังในประเทศไทย โดยใช้การทดลอง Los Angeles Rattler Test (ASTMC131-64T) และ California Durability Test (State of California Test Method 229-C) เป็นการตัดสินผลการทดลองปรากฏว่า California Durability Test เป็นวิธีการทดลองที่เหมาะสมให้ค่าความทนทานของเม็ดลูกรังใกล้เคียงกับพฤติกรรมที่เป็นจริงในสนามมากกว่าการทำ Los Angeles Rattler Test

## 2.2 ลูกรัง

### 2.2.1 ลักษณะทั่วไป ของลูกรัง

ลูกรังเป็นดินที่เกิดในแถบที่มีอากาศร้อนชื้น เช่น หมู่เกาะอินเดียนตะวันตกตอนกลางของแอฟริกา ตอนใต้ของอินเดีย และทางตอนเหนือของอเมริกาใต้ นิยมนำมาใช้ในงานก่อสร้างอย่างกว้างขวาง เนื่องจากภูมิอากาศแถบที่มีอากาศร้อนและกึ่งร้อน มีอุณหภูมิและความชื้นสูง จึงมีผลทำให้เกิดกระบวนการ Laterization อันเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดลูกรัง สภาพอากาศเช่นนี้ทำให้เกิดการสลายตัวทางเคมีเพิ่มขึ้น อันเป็นผลทำให้หินแตกตัว ซึ่ง BAWA (1987) ได้ให้ความเห็นว่ากระบวนการกัดเซาะทางเคมีนี้จะชะล้างและพัดพาเอาซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) ออกไปจากดินเดิมและในขณะเดียวกันก็มีการสะสมเซสควิวออกไซด์ (Sesquioxide,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ในดินเดิมทำให้เกิดเป็นก้อนแข็ง ผลของกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดดินที่มีประมาณเหล็กออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์สูงกว่าปกติ ซึ่งดินประเภทนี้เรียกว่า “ลูกรัง” และกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมดเรียกว่า “กระบวนการ Laterization” ลูกรังส่วนใหญ่จะมีสีแดง มีหลายลักษณะตั้งแต่เป็นดินร่วนซุยจนกระทั่งเป็นหินแข็ง ลักษณะเฉพาะของดินประเภทนี้ คือ มีเหล็กออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์สะสมอยู่เป็นปริมาณมาก จากการวิเคราะห์และวิจัยในหลาย ๆ พื้นที่พบว่า แร่ดินเดียวที่อยู่ในลูกรังส่วนใหญ่เป็นคาโอลิไนท์ในสภาพทางธรรมชาติจะไม่มีแรงยึดเกาะ (Cohesion) และความเหนียวแน่น (Plasticity) แต่จะมีค่าความพรุน (Porosity) และค่าการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) สูง

### 2.2.2 คำจำกัดความของลูกรัง (Laterite) และดินลูกรัง (Laterite Soil)

SOIL AND PAVEMENT CONSULTANT (1968) ได้ให้คำจำกัด

ความตามคุณสมบัติด้านวิศวกรรมดังนี้ คือ

2.2.2.1 Laterite เป็น End-product ที่แข็งที่สุด เกิดจากดินที่มีแร่ธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ แข็งตัวในสภาพที่มีอากาศและน้ำมากพอ โดย Laterite ก้อนหนึ่ง อาจจะมีออกไซด์เป็นองค์ประกอบถึง 70-90% โดยมีส่วนที่เป็นดินน้อยมาก ลักษณะของ Laterite อาจจะมีทั้งเป็นเม็ดเล็ก ๆ หรือเป็นก้อนกลม ๆ ซึ่งก้อนกลมพวกนี้จะประกอบด้วยเฮมาไทท์ (Haematite) ที่แข็งตัวหุ้มอยู่รอบ ๆ

2.2.2.2 Laterite Soils เป็นดินสีแดงที่ประกอบด้วยเฮมาไทท์ (Haematite) แต่ไม่ประกอบด้วย Laterite ที่แข็ง

SRIBOONLUE AND ANURAJ (1972) ให้คำจำกัดความดังนี้

2.2.2.3 Laterite เป็นวัสดุแข็งที่เกาะกันเป็นก้อน ประกอบด้วยเหล็กออกไซด์และอลูมิเนียมออกไซด์เป็นหลัก และยังประกอบด้วยซิลิกาและแมงกานีสในปริมาณที่แตกต่างกัน รวมทั้งมีออกไซด์

ตัวอื่น ๆ ด้วย แต่ละก้อนมีความแข็งที่แตกต่างกัน และเมื่อแตกแล้วจะมีสีแตกต่างกันไป

2.2.2.4 Laterite Soils เป็นดินที่เกิดรวมกับ Laterite ในชั้นดินเดียวกัน ดินนี้จะไม่ได้ประกอบไปด้วย Laterite ที่แข็งเกาะกันเป็นก้อน และเป็นดินที่มีอัตราส่วนของซิลิกาต่อเซสควิออกไซด์น้อยกว่า

2.00

### 2.2.3 ชั้นของดินลูกรัง

BAWA (1957), MAIGNIEN (1966) แบ่งชั้นดินลูกรังตามลักษณะของภูมิประเทศ (Morphological Characteristics) ออกเป็น

- A : Top Soil (โดยทั่วไปจะมีสีค้ำของซากพืชซากสัตว์)
- B<sub>2</sub> : ชั้นดินลูกรังที่มีเหล็กและอลูมิเนียมเป็นแผ่นแข็ง
- B<sub>1</sub> : ชั้นดินซึ่งปรากฏเซสควิออกไซด์ (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) อย่างชัดเจน (Zone of Motting)
- C : Leached Zone or Pallid Zone
- D : Sound Parent Rock

KRINTZSKY และคณะ (1976) แบ่งดินลูกรังตามกระบวนการเกิดของชั้นดินออกเป็น

- A : เป็นชั้นที่บางที่สุด ประกอบด้วยชั้นของ Silty or Sandy มีซากพืชซากสัตว์น้อยหรืออาจจะไม่มี
- B : เป็นชั้นดินลูกรัง ที่มีความหนาตั้งแต่ 0.30-0.60 ม. ประกอบด้วยชั้นของ Sandy or Gravelly ซึ่งในชั้นนี้ที่มีการสะสมของเซสควิออกไซด์มาก และอาจจะมีไมกา (Mica) ปรากฏอยู่บ้าง
- C : หรือชั้น Mottled Zone ชั้นนี้มีความหมายมากกว่าชั้น B หลายเท่า มีการชะล้างเหล็กและซิลิกาออกไปบางส่วน โดยปกติจะมีเหล็ก ในชั้นนี้อาจจะมีโอลิไนท์และควอตซ์อยู่ได้ชั้น
- C : ลงไปอาจจะมีดินเหนียวสีขาว เรียกว่า "Pallid Zone" ซึ่งเป็นชั้นที่เหล็กถูกชะล้างออกไปหมดแล้ว แต่ยังคงมีซิลิกาอยู่เนื่องจากถูกชะล้างออกไปเพียงบางส่วนเท่านั้นดินชั้นนี้อาจจะปรากฏหรือไม่ปรากฏก็ได้
- D : เป็นชั้นต้นกำเนิดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ในประเทศไทยนั้น พบดินลูกรังที่ความลึกประมาณ 0.30-1.80 ม. แต่โดยทั่วไปจะพบที่ความลึกไม่เกิน 3.00 ม.

#### 2.2.4 สีของดินลูกรัง

ดินลูกรังส่วนใหญ่จะมีสีแดง แต่จะมีสีแดงอ่อนขึ้นกับปริมาณน้ำที่เป็นส่วนประกอบหลักของเหล็ก อลูมิเนียม ไททาเนียม และแมกนีเซียม โดยทั่วไปสีของดินเกิดจากสารอินทรีย์ ดินจะมีสีดำ สีน้ำตาล สีเทา

แร่ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบ

- 1) แร่เหล็ก ดินจะมีสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีน้ำตาล สีน้ำเงิน และสีเขียว
- 2) แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และ โพแทสเซียม ดินจะมีสีขาว
- 3) อลูมิเนียม ดินจะมีสีขาว
- 4) แมงกานีส ดินจะมีสีดำ และสีน้ำตาล

#### 2.2.5 Secondary Minerals ในดินลูกรัง

Secondary Minerals ที่เป็นส่วนประกอบในดินลูกรัง มีความสำคัญต่องานทางด้านวิศวกรรมอย่างมาก เช่นในกรณีที่ดินลูกรังมีแร่มอนท์โมริลโลไนท์ (Montmorillonite) และ ฮิลไลท์ (Hillite) มักจะมีกำลังต่ำ มี Pressure สูง และบวมตัวได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับดินลูกรังที่มีคาโอลิไนท์ (Kaolinite) และคลอไรต์ (Chlorite) เป็นส่วนประกอบ

วิธีการหา Secondary Minerals ในดินลูกรังที่นิยม ได้แก่

- 1) X-RAY Diffraction (XRD)
- 2) Differential Thermal Analysis (DTA)
- 3) Scanning Electron Microscope (SEM)

#### 2.2.6 การจำแนกดินลูกรัง

ดินลูกรังเป็นดินที่เกิดจากการแตกสลายตัวของหินต้นกำเนิด เนื่องจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศซึ่งต่างออกไปจากดินเดิม เหลือออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมเอาไว้ กระบวนการ Laterization ทำให้ดินลูกรังเกิดขึ้นมีลักษณะและคุณสมบัติแตกต่างกัน จึงมีวิธีการจำแนกที่ใช้กันในปัจจุบัน คือระบบ ASSHTO หรือ Highway Research Board จำแนกออกเป็นกลุ่มใหญ่ 7 กลุ่ม คือ กลุ่ม A-1 ถึง A-7 และ ในกลุ่มใหญ่ยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อย ๆ อีก เช่น A-1-a, A-1-b เป็นต้น ซึ่งการจำแนกดินในระบบนี้ส่วนใหญ่นำไปใช้ในงานถนน ระบบ Unified Soil Classification จำแนกดินออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเม็ดหยาบ คือ กรวดและทราย และกลุ่มเม็ดละเอียด คือ ดินตะกอนและดินเหนียว และยังแบ่งย่อยเป็นขนาดละเอียด และขนาดละเอียดหรือขนาดละเอียดไม่ได้ เป็นต้น ซึ่งการจำแนกดินในระบบนี้ส่วนใหญ่นำไปใช้ในงานสนามบิน ระบบ Federal Aviation Administration จำแนกดินออกเป็น 13 กลุ่ม คือ กลุ่ม E-1 ถึง E-13 ซึ่งการจำแนกดินในระบบนี้ส่วนใหญ่นำไปใช้ในงานสนามบิน เช่นเดียวกับระบบ Unified Soil Classification นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกดินลูกรังตามลักษณะและคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น

- 1) Partical-Size Scale
- 2) Texture Soil-Classification System
- 3) Texture and Plastic Soil Classification

## 2.2.7 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางเคมีของดินลูกรัง

- 2.2.7.1 ความเป็นกรดและเป็นด่าง (pH) จากการศึกษาพบว่าค่า pH ของดินแปรเปลี่ยนไปตามความลึก แต่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 4-8 แสดงให้เห็นว่าดินลูกรังจะเกิดในสภาวะที่เป็นกรด
- 2.2.7.2 สารอินทรีย์ NEWILLE (1959) (20) ลูกรังที่มีเม็ดละเอียดมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าลูกรังที่มีเม็ดหยาบ และโดยทั่วไปแล้วลูกรังจะมีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำ (มีค่าประมาณ 2 % ที่ผิวดิน)
- 2.2.7.3 ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ในดินลูกรังจะมีปริมาณแตกต่างกันไปจะมากหรือน้อยขึ้นกับสภาพภูมิอากาศและพันธ์พืช จากการศึกษาพบว่าเมื่อเกิดการชะล้างและเกิดกระบวนการ Laterization มากขึ้น ปริมาณคาร์บอเนตในดินจะน้อยลง
- 2.2.7.4 การกระจายขนาดเม็ด ซึ่งดินลูกรังทั่วไปมีการกระจายขนาดเม็ดดีจัดเป็นดินที่มีขนาดละเอียด
- 2.2.7.5 ความถ่วงจำเพาะ ดินลูกรังมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.67-3.46 ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะนี้ จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณเหล็กออกไซด์ในดินลูกรัง กล่าวคือ ดินลูกรังที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์มากก็จะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูงด้วย
- 2.2.7.6 กรรมวิธีในการเตรียมตัวอย่าง มีผลต่อคุณสมบัติของดินลูกรังดังนี้
  - 1) ซีดพิกต์อัตรตะเปิร์ก (Atterberg Limits)
  - 2) การกระจายขนาดของเม็ดดิน
  - 3) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำกับความแน่นแห้ง

## 2.2.8 ดินลูกรังในประเทศไทย

ประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยมีฤดูฝนสลับกันไป เป็นระยะเวลาที่ค่อนข้างจะยาวนาน สภาพอากาศเช่นนี้เหมาะกับการเกิดดินลูกรังอย่างยิ่ง และจะพบดินลูกรังได้มากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีหินต้นกำเนิดส่วนใหญ่เป็น หินทราย หินบะซอลท์ และหินดินดาน HONGSNOI (1969) ได้กล่าวว่า ประเทศไทยจะพบดินลูกรังมากกว่าลูกรังซึ่งดินลูกรังนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะการเกิด คือ

2.2.8.1 Primary Laterite Soils คือ ดินลูกรังที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบมาก และเกิดอยู่กับที่เหนือหินต้นกำเนิด เหล็กที่เป็นองค์ประกอบได้มาจาก ธาตุพวกเฟอร์โรแมกนีเซียม (Ferro Magnesium) ที่มีอยู่ในหินชั้นล่าง ๆ ลงไป เหล็กออกไซด์จะเคลื่อนขึ้นมาสะสมมากในชั้นดินตาม การเคลื่อนที่ขึ้น ๆ ลง ๆ ของน้ำใต้ดิน ในแต่ละฤดูกาลออกซิเจนและกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ละลายปนมากับน้ำจะออกซิไดซ์ (Oxidize) ธาตุพวกเฟอร์โรแมกนีเซียมในดินให้กลายเป็นเหล็กออกไซด์สีแดง การเกิดดินลูกรังประเภทนี้ในประเทศไทยมักเกิดขึ้นเป็นชั้น ๆ จากผิวดินจนถึงหินชั้นต้นกำเนิด ดังต่อไปนี้

- 1) ชั้นผิวดิน
- 2) ชั้นของดินลูกรังที่เป็นเม็ดกลมแห้งและแข็ง เกิดการเกาะกันของเฮมาไทต์เม็ดเล็ก ๆ และมีดินเหนียวปนบ้างเล็กน้อย
- 3) ชั้นดินเหนียวที่มีขนาดเม็ดเล็กและแข็งจำนวนมาก และมีดินลูกรังเม็ดกลมที่เริ่มแข็งตัวของลิโมนีท์ (เหล็กไฮดรอกไซด์)
- 4) ชั้นดินเหนียวอ่อน ร่วนซุยและมีเหล็กออกไซด์ขนาดเม็ดต่าง ๆ ปนกันอยู่
- 5) ชั้นดินเหนียวสีเทา ที่มีลิโมนีท์ปนอยู่ หรือแทรกอยู่ตามรอยแตก
- 6) ชั้นหินต้นกำเนิดที่ผุพัง (พวกกรวด ทราย ดินเหนียว)
- 7) หินต้นกำเนิด

โดยทั่วไปขีดพิภคัฒตะเบีร้กจะต่ำสุดที่ชั้นดินลูกรัง และจะเพิ่มขึ้นตาม ความลึกจนถึงชั้นหินต้นกำเนิดที่ผุพัง ปกติส่วนในสุดของเม็ดดินลูกรังจะเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ที่อ่อน และผิวนอกจะเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ที่แข็งกว่า ความหมายของเหล็กไฮดรอกไซด์นี้จะมากหรือน้อย ขึ้นกับสภาพแวดล้อมของดินลูกรังว่าเป็นกรดหรือเป็น Oxidizing Agents

2.2.8.2 Secondary Laterite Soils เป็นดินลูกรังที่เกิดขึ้นโดยการเคลื่อนย้าย หินต้นกำเนิดมาจากแหล่งต้นกำเนิดอื่น ๆ น้ำใต้ดินที่ไหลผ่านจะทำให้ เหล็กออกไซด์ที่อยู่ในดินพวกนี้แข็งตัวขึ้น และยังออกซิไดซ์แร่เหล็กที่อยู่บริเวณนั้นด้วย โดยทั่วไปดินลูกรังประเภทนี้จะไม่แบ่งเป็นหลาย ๆ ชั้นเหล็กออกไซด์ที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณต่าง ๆ กันซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะที่ แตกต่างกัน และความสามารถให้น้ำซึมผ่านของชั้นดินที่ถัฒกัฒกันนั้น เหล็กออกไซด์ของดินประเภทนี้ จะอยู่กระจุกกระจายมากกว่าดินลูกรัง

ประเภทแรก และมักจะเกิดล้อมรอบกรวดหรือชิ้นส่วนของหินที่แตกหักจึงทำให้ดินลูกรังประเภทหลังนี้ มีขนาดเม็ดที่ใหญ่กว่า มีความแข็งที่แตกต่างกันมากกว่า และเห็นชั้นหินของเฮมาไทท์ ลิโมนைท์ และดินเหนียวเด่นชัดกว่าดินลูกรังประเภทแรก นอกจากนี้จะปรากฏเห็นชั้นระหว่างดินลูกรังและหินต้นกำเนิดค่อนข้างชัดเจนและค่าซึบพิกัดอัตราตะเบริกของดินลูกรังประเภทหลังจะต่ำกว่าประเภทแรก

VALLERGA AND RANANAND (1969) สรุปการศึกษาดินลูกรังในประเทศไทยไว้ว่า “ดินลูกรังในประเทศไทยส่วนใหญ่ประกอบด้วย กรวด (Gravel) ดินตะกอน (Silty) และดินเหนียว (Clays) ที่มีแร่เหล็กในปริมาณมาก” สภาพที่เหมาะสมกับการเกิดดินลูกรังในประเทศไทยเป็นดังนี้ คือ

- 1) ดินหรือหินต้นกำเนิดมีแร่เหล็กหรืออลูมิเนียมอยู่อย่างน้อย 2%
- 2) ดินมีค่าการซึมผ่านที่ดีและมีการไหลเวียนของน้ำ ทั้งแนวราบและแนวตั้ง
- 3) มีปริมาณออกซิเจนในน้ำที่ไหลซึมผ่านมากพอ
- 4) มีสถานะของดินและน้ำมีฤทธิ์เป็นกรด (มีค่า pH ต่ำ)

PENDLETON AND SHARASUVANA (1946) ได้แสดงค่าความแตกต่างของคุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรังในประเทศไทยไว้ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ตารางที่ 2-1 ปริมาณของซิลิกาและเซสควิวออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทย

(PENDLETON AND SHARASUVANA, 1946)

เขตพื้นที่	% of SiO <sub>2</sub>	% of Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% of Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	อัตราส่วน SiO <sub>2</sub> / R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1.Sandy Soils	47.0	30.1	12.7	3.2
2.Basaltic Country Rock	23.6	39.9	21.8	0.9
3.Parent Material of Mix Original	31.3	40.4	17.7	1.4
4.Unknown Parent Material	37.9	40.0	11.9	2.1

MORRISON (1965) ได้รวบรวมคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทยไว้  
 ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 คุณสมบัติด้าน วิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย (MORRISON, 1965)

คุณสมบัติ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
1.% ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 Liquid Limit	0	66.0
2.% Plastic Limit	18.0	97.0
3.% Plastic Index	NP	51.0
4.การจำแนกประเภทตามระบบ AASHTO	A - 1 - a	A - 7 - 6
5.Group Index	0	10
6.ความถ่วงจำเพาะ	2.59	3.20
7.ความแน่นแห้งสูงสุด	114.5	118.0
8.% ปริมาณน้ำที่ความแน่นแห้งสูงสุด	7.0	13.4
9.% California Bearing Ratio	7.0	60.0
10.% การบวมตัว (Swell)	0.1	55.0
11.% Los Angeles Rattler Test	20.0	60.0

ตารางที่ 2-3 ขนาดของวัสดุสำหรับพื้นทางและรองพื้นทาง AASHTO ได้กำหนดไว้โดย  
 แบ่งออกเป็น 6 เกรด ดังนี้

ขนาดช่องตะแกรง	ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก (ร้อยละ)					
	เกรด A	เกรด B	เกรด C	เกรด D	เกรด E	เกรด F
2" (50.0 mm.)	100	-	-	-	-	-
1" (25.0 mm.)	-	75-95	100	100	100	100
3/8" (9.50 mm.)	30-65	40-75	50-85	6-100	-	-
No.4 (4075 mm.)	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
No.10 (2.00 mm.)	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
No.40 (0.425 mm.)	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
No.200 (0.075 mm.)	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

## 2.3 คุณสมบัติของแอสฟัลท์

Bituminous materials เป็นสารประกอบของ Bitumen เป็นวัสดุไฮโดรคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วยอินทรีย์สาร สารอินทรีย์พวกนี้อาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือเกิดขึ้นระหว่างขบวนการกลั่นน้ำมัน และสาร Bitumen นี้สามารถละลายได้ใน C2S (คาร์บอนไดออกไซด์) อาจจะอยู่ในสภาพของเหลว กึ่งของแข็ง และของแข็ง มีสีดำ-น้ำตาลแก่

แอสฟัลท์ (Asphalt) จึงจัดได้ว่าเป็นวัสดุจำพวกบิทูมินัส เพราะว่าประกอบด้วยบิทูเมน และมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 300 ถึง 5,000 แอสฟัลท์ประกอบด้วย

Carbon	70 - 85%
Hydrogen	7 - 12%
Sulphur	1 - 7 %
Nitrogen	0 - 6 %
Oxygen	0 - 5 %

โครงสร้างของแอสฟัลท์ แบ่งออกเป็น

- 1) colloidal ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
- 2) Solution เป็นเนื้อเดียวกัน คือ เป็นเรซินที่ละลายอยู่ในน้ำมัน

ในทางกายภาพ สามารถแยกส่วนประกอบของแอสฟัลท์ออกได้เป็น 3 ส่วน คือ

- 1) Alkhaltenes จะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนมากกว่า 0.8 มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลจนถึงดำ เมื่อถูกความร้อนจะไม่หลอมเหลว แต่จะติดไฟเลย หากได้รับความร้อนสูงมาก
- 2) Asphaltic resins จะมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไฮโดรเจนระหว่าง 0.6 ถึง 0.8 มีลักษณะแข็งและเปราะ สีน้ำตาลแก่สามารถบดให้เป็นผลละเอียดได้ และจะหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ 200 ฟ.
- 3) Oily constituents จะมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไฮโดรเจนน้อยกว่า 0.6 มีสีน้ำตาลปนแดง เป็นของเหลวข้นเหมือนน้ำมันหล่อลื่น

2.3.1 คุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางเชิงกลของแอสฟัลท์

- 1) มีสีน้ำตาลแก่ถึงสีดำ
- 2) ความถ่วงจำเพาะประมาณ 0.95 – 1.05
- 3) สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามบาศก์  $6 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$
- 4) ความตึงผิวประมาณ 25-30 pascals

- 5) การเปลี่ยนแปลงแอสฟัลท์นอกจากจะเปลี่ยนแปลง (Deformation) เนื่องจากแรงกระทำภายนอกแล้ว ยังมีการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลาและอุณหภูมิอีกด้วย

### 2.3.2 คุณสมบัติทั่วไปของแอสฟัลท์

- 1) เป็นวัสดุที่เกาะตัว (Adhesion) กับวัสดุอื่น
- 2) สภาพและสถานะสามารถแบ่งออกเป็นเกรดต่าง ๆ ได้จากการทดลอง Penetration, Viscosity test
- 3) Du, ability ความคงทนจะเปลี่ยนไปตามระยะเวลาของการใช้งานคือใช้งานไปนาน ๆ จะแข็งตัวขึ้นเรื่อย ๆ และ Ductility จะน้อยลง และ Stiffness จะมากขึ้น ถ้าแข็งมากจะมี Durability น้อยลงจน
- 4) Safety แอสฟัลท์จะมีส่วนของสารที่ติดไฟได้ ถ้าให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิหนึ่งจะติดไฟ (ทดสอบหาจุด Flash point เพื่อป้องกันอันตรายขณะทำงาน)
- 5) Rate of curing or setting หลังจากการผสมกับมวลรวมแล้ว จะต้องทิ้งไว้เพื่อให้ น้ำมันระเหย หรือมีการบ่มจึงจะรับน้ำหนักได้

### 2.3.3 ความคงทนของแอสฟัลท์ขึ้นอยู่กับ

- 2.3.3.1 Oxidation คือการที่ออกซิเจน ( $O_2$ ) คืบเข้าขยงมะตอยส่วนที่เป็นเม็ดให้เป็นก้อนแข็ง Asphaltene และนานเข้าจะใหญ่ขึ้นและมากขึ้น
- 2.3.3.2 Polymerization คือ การรวมตัวของเม็ดเล็ก ๆ ที่มีอยู่ในแอสฟัลท์ให้เป็นก้อนแข็งที่ใหญ่ขึ้น ถ้ารวมตัวกันได้มากจะเป็นแอสฟัลท์ที่แข็งมากขึ้น
- 2.3.3.3 Separation คือ การแยกตัวของส่วนที่เป็นน้ำมัน Resin หรือ Asphaltene อย่างใดอย่างหนึ่งออกจากแอสฟัลท์ขณะที่นำไปผสมกับหินแล้ว หินจะไปดึงน้ำมันไปรวม ทำให้ได้ส่วนผสมที่แข็งขึ้น
- 2.3.3.4 Thixotropy คือ คุณสมบัติของยางมะตอย เมื่อทิ้งไว้นานจะแข็งตัวไปเอง โดยไม่ได้ใช้งาน
- 2.3.3.5 Syneresis คือ การไหลซึมของน้ำมันออกจากแอสฟัลท์ ส่วนใหญ่เกิดขึ้นใน Air blown asphalt เป็นก้อนใหญ่ และจะทำให้แอสฟัลท์ที่เป็นก้อนใหญ่นี้ รวมตัวกับน้ำมันได้ไม่ดี ทำให้น้ำมันไหลซึมออกมา จะเห็นได้จากสีของแอสฟัลท์เปลี่ยนไป เช่น เป็นรอยดำ

### 2.3.4 แหล่งกำเนิดแอสฟัลท์

แอสฟัลท์ที่นำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายสามารถแบ่งออกตามแหล่ง

กำเนิดได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.3.4.1 แอสฟัลท์ตามธรรมชาติ (Native asphalt) ซึ่งเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติในลักษณะเป็นบั้ง เนื่องจากน้ำมันดิบตามธรรมชาติใต้ผิวโลกขึ้นมายังโลก และถูกกระทำภายใต้สภาวะแวดล้อมตามธรรมชาติ เช่น ความร้อนจากแสงอาทิตย์และลม เป็นผลให้ส่วนประกอบที่เป็นก๊าซหรือน้ำมันที่ระเหยง่าย แยกตัวออกไปเหลือเป็นแอสฟัลท์ซึ่งเป็นวัสดุที่หนักกว่าไว้บนพื้นดิน แหล่งธรรมชาติที่พบแอสฟัลท์ เช่น

- 1) ทะเลสาบแอสฟัลท์ แหล่งที่พบเบอร์มูเดส ซึ่งอยู่ชายฝั่งด้านเหนือของประเทศเวเนซุเอลา และทรินิแดด อยู่ชายฝั่งด้านเหนือของทวีปอเมริกาใต้
- 2) หินแอสฟัลท์ ได้แก่พวกหินปูนที่มีแอสฟัลท์ซึมอยู่ติดตัว
- 3) แอสฟัลท์ธรรมชาติอื่น ๆ ที่พบอยู่ทั่วไป เป็นบั้งเล็ก ๆ หรือแทรกอยู่เป็นชั้น ๆ ระหว่างชั้นหิน มีคุณสมบัติแข็งเปราะ หรือที่เรียกกันว่า แอสฟัลท์ไคท์ ซึ่งหมายถึงแอสฟัลท์ที่มีจุดหลอมเหลวสูง

2.3.4.2 แอสฟัลท์ที่ได้จากการผลิต เป็นแอสฟัลท์ที่ได้จากส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันดิบ (Crude oil) หลังจากการกลั่นเอาน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น น้ำมันดิบตามธรรมชาติที่ได้มาจากแหล่งต่าง ๆ ทั่วโลก จะมีลักษณะและส่วนประกอบแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแยกตามส่วนประกอบหลักของน้ำมันดิบออกเป็น 3 ประเภท คือ

- 1) น้ำมันดิบประเภทส่วนประกอบหลักเป็นพาราฟิน น้ำมันดิบประเภทนี้หลังจากการแยกเอาน้ำมันประเภทต่าง ๆ เช่น น้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันหล่อลื่น หรือน้ำมันเตาออกแล้ว ส่วนที่เหลือจากการกลั่นจะเป็นพาราฟิน
- 2) น้ำมันประเภทส่วนประกอบเป็นแอสฟัลท์ คือน้ำมันดิบซึ่งมีส่วนที่เหลือส่วนใหญ่จากการกลั่นเอาน้ำมันประเภทต่าง ๆ ออกแล้วจะเป็นแอสฟัลท์
- 3) น้ำมันดิบแบบผสม ได้แก่ น้ำมันดิบ ซึ่งภายหลังจากการแยกเอาพวกน้ำมันต่าง ๆ ออกแล้ว ส่วนที่เหลือจะมีทั้งพาราฟินและแอสฟัลท์

ขบวนการผลิตแอสฟัลท์ในอุตสาหกรรมปัจจุบันมีอยู่ 3 วิธี คือ

- 1) Vacuum reduction
- 2) Oxidation
- 3) Propane Precipitation

2.3.4.3 ขบวนการ Vacuum reduction ขบวนการนี้แยกน้ำมันต่าง ๆ ที่

ยังเหลือโดยนำ Topped crude มากลั่นต่อไป ซึ่งใช้อุณหภูมิถึงประมาณ 700 °F และลดความดันในหอกลั่นด้วย น้ำมันต่าง ๆ ที่ยังหลงเหลืออยู่ก็จะระเหยออกไป ยังผลให้ได้แอสฟัลท์ซีเมนต์ที่มีความข้นเหลวต่าง ๆ ตามความต้องการได้

#### 2.3.4.4 ขบวนการ Oxidation ในกรณีที่ต้องการแอสฟัลท์ชนิดที่มีความ

แข็งมากขึ้นจะใช้วิธีการที่เรียกว่า Oxidation ซึ่งทำได้โดยนำเอา Topped crude หรือ แอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ยังไม่แข็งพอ มาบรรจุในถังรูปทรงกระบอกซึ่งอยู่ในแนวตั้ง และให้ความร้อนประมาณ 500 °F ในขณะเดียวกันก็พ่นอากาศเข้าไปทางด้านล่าง ออกซิเจนในอากาศจะทำปฏิกิริยากับพวกน้ำมันที่เหลืออยู่ให้เปลี่ยนมาเป็น Asphaltic resins และทำปฏิกิริยากับ Asphaltic resins ให้เปลี่ยนมาเป็น Asphaltenes ซึ่งจะทำให้แอสฟัลท์แข็งขึ้น เนื่องจากส่วนที่เป็นของเหลวได้แก่ น้ำมันต่าง ๆ จะลดลงไปในขณะส่วนที่เป็นของแข็งได้แก่ Asphaltic resins และ Asphaltenes เพิ่มขึ้น ในขบวนการนี้สามารถใช้ผลิตแอสฟัลท์ที่แข็งแรงมากเรียก Blown asphalt ได้และอาจผลิตแอสฟัลท์ที่แข็งมากจนเปราะสามารถให้เป็นผงได้ ซึ่งนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรม

#### 2.3.4.5 ขบวนการ Propane Precipitation วิธีการนี้ใช้โพรเพนเหลว

(Liquid Propane) ผสมกับ Topped crude ซึ่งจะทำให้ส่วนที่เป็นแอสฟัลท์ซึ่งได้แก่ ยางส่วนของ Asphaltic resins รวมทั้งส่วนที่เป็นของเหลวได้แก่ น้ำมันต่าง ๆ ซึ่งมีน้อยมากจะตกตะกอนแยกตัวออกมา

แอสฟัลท์ซีเมนต์ที่สกัดได้โดยวิธีนี้ส่วนใหญ่จะแข็งเกินไปที่จะนำมาใช้ในงานก่อสร้างถนนได้โดยตรง ซึ่งจำเป็นต้องนำไปผสมกับแอสฟัลท์ที่เหลวกว่า เพื่อทำเป็นแอสฟัลท์ซีเมนต์เกรดต่าง ๆ ตามต้องการ

#### 2.3.5 ประเภทของแอสฟัลท์ที่ได้จากการผลิตแยกได้ดังนี้

##### 2.3.5.1 แอสฟัลท์ซีเมนต์ หรือเขียนด้วยสัญลักษณ์ย่อว่า A.C คือ ส่วน

ที่เหลือจากขบวนการกลั่นน้ำมันดิบ มีสีน้ำตาลปนดำ มีลักษณะครึ่งอ่อนครึ่งแข็งที่อุณหภูมิธรรมดา และจะหลอมเหลวหรืออ่อนตัวลงเมื่อได้รับความร้อนในการนำไปใช้งานทำผิวทางจะต้องให้ความร้อนจนถึงอุณหภูมิประมาณ 200 °F ถึง 300 °F เพื่อให้อยู่ในสภาพของเหลวแอสฟัลท์ซีเมนต์แบ่งเป็นเกรดต่าง ๆ ตามความอ่อนแข็งที่อุณหภูมิมาตรฐาน โดยกำหนดจากค่า Penetration ได้ดังนี้

A.C 40 – 50

A.C 60 – 70

A.C 85 - 100

A.C 120 – 105

A.C 200 – 300

การที่ผลิตแอสฟัลท์ซีเมนต์ให้มีเกรดหลายอย่างนั้น ก็เพื่อให้สามารถใช้ได้กับประเภทของงานให้เหมาะสมและสภาพดินฟ้าอากาศ เช่น ในบริเวณที่มีอากาศร้อนก็ใช้แอสฟัลท์ที่มีเกรด Pen ต่ำ เช่น ประเทศไทยโดยทั่วไปจะใช้เกรด 80 – 100 ในขณะที่ประเทศหนาวอาจใช้เกรด 120 – 150 หรือสูงกว่า เป็นต้น

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.3.5.2 แอสฟัลท์เหลว เมื่อนำส่วนที่เหลือจากการกลั่นน้ำมันดิบผ่านขบวนการโดยผสมกับสารละลาย (Solvent) ชนิดต่าง ๆ หรือน้ำมันที่มีปริมาณเหมาะสมก็จะได้แอสฟัลท์ที่มีคุณสมบัติที่สภาวะอุณหภูมิปกติเรียกว่า แอสฟัลท์เหลว ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้ทันที หรืออาจให้ความร้อนอีกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ภายหลังจากใช้งานสารละลายหรือน้ำมันจะแยกตัวระเหยออกไปคงเหลือแต่แอสฟัลท์ซีเมนต์ แอสฟัลท์เหลวแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ คัทแบ็คแอสฟัลท์ (Cutback asphalts) และ อิมัลซิไฟด์แอสฟัลท์ (Emulsified asphalts)

2.3.5.3 คัทแบ็คแอสฟัลท์ แอสฟัลท์ชนิดนี้ทำได้โดยการผสมแอสฟัลท์ซีเมนต์กับสารละลายต่าง ๆ เช่น แนพธา (Naphtha) เกลโรซีน หรือน้ำมันดีเซล ซึ่งจะมีลักษณะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ และเมื่อนำไปใช้งานเช่น ใช้ทำผิวจราจร น้ำมันที่ใช้ผสมจะระเหยตัวไปคงเหลือแต่แอสฟัลท์ซีเมนต์

ความชื้นเหลวของแอสฟัลท์ชนิดนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ Penetration grade ของแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่นำมาใช้ ชนิดของสารละลายและอัตราส่วนระหว่างสารละลายกับแอสฟัลท์ซีเมนต์ คัทแบ็คแอสฟัลท์ประเภทที่เหลวมากอาจนำไปใช้งานได้โดยตรง โดยไม่ต้องให้ความร้อนหรือให้เพียงเล็กน้อยก็พอเพียงต่อการทำงาน

### 2.4 แอสฟัลท์คอนกรีต (Asphalts Concrete)

#### 2.4.1 คุณสมบัติของแอสฟัลท์คอนกรีต

วัสดุปูผิวทางแอสฟัลท์ที่สำคัญในปัจจุบัน คือ แอสฟัลท์คอนกรีต (Asphalts Concrete) ผิวทางที่ได้มีคุณภาพสูง ประกอบด้วยแอสฟัลท์ซีเมนต์และวัสดุผสมรวม ซึ่งผสมโดยใช้เครื่องผสมแอสฟัลท์ และนำไปปูผิวทางมีชื่อเรียกว่า “แบล็ค – ท็อป” (Black - Top) หรือ “ฮอตมิกซ์” (Hotmix) โดยใช้กับถนนส่วนใหญ่ ยกเว้นถนนในชนบทและถนนชั้นรอง และใช้ในการทำผิวที่จอดรถ

#### 2.4.2 การผลิตและการควบคุมคุณภาพ

หลังจากได้ทำการออกแบบส่วนผสมจนเป็นที่ยอมรับแล้ว จะต้องทำการผลิตส่วนผสมและเก็บไว้ในที่ยอมรับด้วย และจะต้องมีการตรวจสอบคุณภาพและทดสอบ

โรงผสมแอสฟัลท์ (Asphalts Plant) ที่นิยมใช้มีส่วนประกอบ 5 ส่วน ดังแสดงในรูป

- 1) ถังเก็บมวลรวมเย็น (Cold Aggregate Storage Bins)
- 2) ที่อบแห้ง (Dryer) ที่มีที่เก็บกักฝุ่น
- 3) หน่วยคละขนาด (Gradation Unite) ของมวลรวม หรือตะแกรงร่อน (Screens) วัสดุผสมรวม
- 4) ถังเก็บร้อน (Hot Storage Bins)
- 5) เครื่องผสม (Pug Mill) สำหรับคลุกเคล้ามวลรวมกับแอสฟัลท์

ถังที่เก็บแอสฟัลท์ที่ผสมกับมวลรวมแล้ว มักจะรวมเป็นส่วนหนึ่งของโรงผสม(Plant) เพื่อเก็บวัสดุไว้จนกว่า จะมีการปล่อยส่วนผสมลงสู่ รถบรรทุก ไชโล ที่เก็บมักจะใช้ในการเก็บรักษาไว้ได้หลายวัน โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของส่วนผสม จะต้องมีการให้ความร้อนเพื่อรักษาอุณหภูมิของแอสฟัลท์ซีเมนต์ และจะต้องมีการกำจัดออกซิเจนออกจากไชโล และแทนที่ด้วยก๊าซเฉื่อย เพื่อป้องกันการเกิดออกซิเดชันของแอสฟัลท์ซีเมนต์

## บทที่ 3

### วิธีการทดสอบ

งานศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิจัยแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดที่ได้จากการขูดผิวทางถนน สายแคราย-บางบัวทอง จ.นนทบุรี เครื่องมือที่ใช้ขูดผิวทางใช้เครื่องจักร Milling Machine เพื่อทดสอบหาค่า CBR แบบ Soaked ที่อายุการแช่น้ำ 4 วัน ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุด, ดินลูกรัง และแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรังร้อยละ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 ผสมโดยน้ำหนัก ผลที่ได้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรังเพื่อพิจารณาความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในงานชั้นโครงสร้างทาง ซึ่งจะมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

#### 3.1 การเตรียมวัสดุ

##### 3.1.1 แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดจากถนนสายแคราย-บางบัวทอง จ.นนทบุรี



รูปที่3-1 แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุด

##### 3.1.2 ดินลูกรัง จ.สระบุรี



รูปที่3-2 ดินลูกรัง

### 3.2 แผนการทดสอบ

- 3.2.1 ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific Gravity)
- 3.2.2 ทดสอบหาขนาดส่วนกละของเม็ดดิน (Sieve Analysis)
- 3.2.3 ทดสอบ Atterberg's Limit
- 3.2.4 ทดสอบการบดอัด (Compaction Test) โดยวิธีการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor) เพื่อหาค่า Optimum Moisture Content (OMC) และ Maximum Dry Density (MDD)
  - 3.2.4.1 ตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตซำรูด
  - 3.2.4.2 ตัวอย่างดินลูกรัง
  - 3.2.4.3 ตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตซำรูดผสมดินลูกรังร้อยละ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 ผสมโดยน้ำหนัก
- 3.2.5 ทดสอบ The California Bearing Ratio (CBR) โดยใช้ค่า Optimum Moisture Content (OMC) จากการทดสอบการบดอัดแบบ Modified Proctor ที่ได้จากการทดสอบในข้อ 3.2.4
  - 3.2.5.1 ตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตซำรูด
  - 3.2.5.2 ตัวอย่างดินลูกรัง
  - 3.2.5.3 ตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตซำรูดผสมดินลูกรังร้อยละ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 ผสมโดยน้ำหนัก

ตารางที่ 3-1 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ทำการทดสอบ Compaction Test โดยวิธี Modified Proctor

เปอร์เซ็นต์น้ำ	แอสฟัลท์คอนกรีตซำรูด	ตัวอย่างการทดสอบ						
		ดินลูกรัง	แอสฟัลท์คอนกรีตซำรูดผสมดินลูกรังร้อยละ					
			15	30	45	60	75	90
2%	1	1	1	1	1	1	1	1
4%	1	1	1	1	1	1	1	1
6%	1	1	1	1	1	1	1	1
8%	1	1	1	1	1	1	1	1
10%	1	1	1	1	1	1	1	1
12%	1	1	1	1	1	1	1	1
14%	1	1	1	1	1	1	1	1
รวม	7	7	7	7	7	7	7	7

ตารางที่ 3-2 แสดงจำนวนตัวอย่างที่ทำการทดสอบ Soaked CBR ที่อายุการแช่น้ำ 4 วัน

แอสฟัลท์ คอนกรีตขำรูด	ดินลูกรัง	แอสฟัลท์คอนกรีตขำรูดผสมดินลูกรังร้อยละ					
		15	30	45	60	75	90
3	3	3	3	3	3	3	3

### 3.3 การทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของดินลูกรัง

ทดสอบคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์ดังต่อไปนี้

3.3.1 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของตัวอย่าง ทดสอบหาที่ชนิกเม็ดละเอียด (ขนาดเม็ดเล็กกว่า 4.75 มม.) ทดลองตามมาตรฐานของ AASHTO T 85 – 70 ตัวอย่างที่ใช้มีสภาพความชื้นตามธรรมชาติ

3.3.2 การทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม้ล้าง ทดสอบตามมาตรฐานของ AASHTO T 27 - 70

3.3.3 การทดสอบหาค่า Liquid Limit (LL) ตามมาตรฐาน AASHTO T 89 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มม.)

3.3.4 การทดสอบหาค่า Plastic Limit (PL) ตามมาตรฐาน AASHTO T 90 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มม.)

### 3.4 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test)

ตามมาตรฐาน AASHTO T 180 – 74

ทดสอบการบดอัดแอสฟัลท์คอนกรีตขำรูด, ดินลูกรัง และแอสฟัลท์คอนกรีตผสมดินลูกรังแบบสูงกว่ามาตรฐานเพื่อหาค่า Maximum Dry Density (MDD) และ Optimum Moisture Content (OMC) แบบ (Mold) ที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 152.4 มม. (6 นิ้ว) สูง 116.8 มม. (4.584 นิ้ว) ตูม (Hammer) ทำด้วยโลหะทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50.8 มม. (2") น้ำหนักรวมทั้งค้ำมี 4.539 กก. (10 ปอนด์) มีปลอกบังคับให้ยกได้สูง 457.2 มม. (18")

### 3.5 การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) แบบ Soaked

ตามมาตรฐาน ASSHTO T 193 - 72

3.5.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ เพื่อทดสอบ CBR เตรียมตัวอย่างตามมาตรฐาน ASSHTO T 193 – 72 แบบที่ใช้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 152.4 มม. (6 นิ้ว) สูง 116.8 มม. (4.584 นิ้ว) โดยใช้ปริมาณน้ำที่ Optimum Moisture Content (OMC) และเตรียมตัวอย่างโดยวิธีบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานใช้บดอัดด้วยน้ำหนัก 10 ปอนด์ บดอัดชั้นละ 56 ครั้งทั้งตัวอย่างผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต

เก่า, ดินลูกรัง และแอสฟัลท์คอนกรีตขำรูดผสมดินลูกรัง เมื่อบดอัดเสร็จแล้วนำตัวอย่างไปแช่น้ำ 4 วัน จึงนำไปทดสอบ Soaked CBR

3.5.2 การทดสอบ CBR จะดำเนินการตามมาตรฐาน ASSHTO T 193 – 72 ระหว่างการทดสอบให้บันทึกขนาดของน้ำหนักกดและความสูงที่เปลี่ยนแปลง เพื่อที่จะนำผลมาเขียนกราฟหาค่า CBR ค่าที่รายงานจะเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ 3 ตัวอย่าง ภายในสภาวะการบดอัดเดียวกัน

### 3.6 วิธีทำการทดสอบ

#### 3.6.1 การทดสอบอัตรตะเปิร์ก

(Atterberg's Limits)

ASTM D 4318 ASTM D 427

#### ขอบข่าย

-เพื่อหาค่าพิกัด (Liquid Limit) พิกัดพลาสติก (Plastic Limit)

-เพื่อหาคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับค่าพิกัดเหลว (Liquid Limit) และพิกัดพลาสติก

(Plastic Limit)

#### นิยาม

เมื่อเติมน้ำลงไปนดินแห้ง มวลของมวลดินจะถูกปกคลุมด้วย water film ถ้าทำการเติมน้ำลงในมวลดินอีกจะทำให้ water film หนาขึ้น การที่ water film ในเม็ดดินหนาขึ้นจะทำให้การ slide ตัวระหว่างเม็ดดินง่ายขึ้น เพราะฉะนั้นพฤติกรรมของดินจึงขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำในมวลดิน ดินที่มีเม็ดละเอียดจะมีพื้นที่เฉพาะ ซึมซับน้ำได้มากกว่า

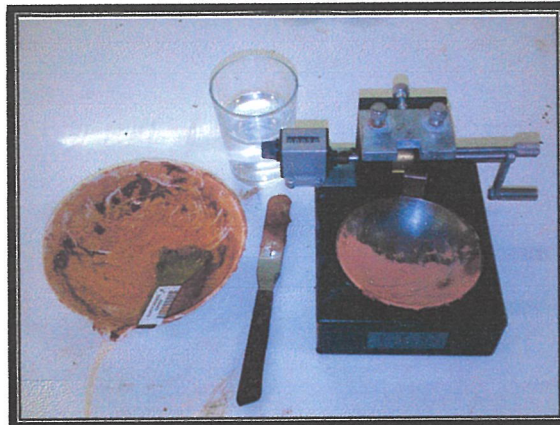
#### เครื่องมือทดสอบ

1. ตะแกรงช่องผ่านขนาด เบอร์ 4
2. เครื่องมือทดสอบ Liquid Limit
3. เครื่องมือปาดร่องดิน (Grooving Tool)
4. ถ้วยกระเบื้องเคลือบ
5. มีดปาดดิน
6. กระบอกตวงน้ำและขวดบีบน้ำ
7. แผ่นกระจก

8. กระป๋องอบดิน

9. เครื่องชั่งแบบ Balance อ่านได้ละเอียด 0.01 กรัม

10. เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ตลอดระยะเวลาการอบ



รูปที่ 3-3 ชุดการทดสอบ Atterberg Limit



รูปที่ 3-4 แสดงตัวอย่างการทดสอบ Plastic limit

### วิธีทำการทดลอง

#### วิธีการหา Liquid Limit ของดิน

1. นำตัวอย่างดินที่แห้งมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ประมาณ 200 กรัม แต่ถ้าเป็นดินเปียกที่มั่นใจว่าขนาดเม็ดเล็กกว่าเบอร์ 40 ก็นำมาทดสอบได้เลย

2. นำตัวอย่างดินผสมให้เข้ากันในถ้วยกระเบื้อง โดยเติมน้ำจากกระบอกฉีดน้ำเพียงเล็กน้อย คลุกดินให้เข้ากันแล้วใช้มีดปาด (Spatula) ตักปาดดินบนกระทะทองเหลือง ให้มีความหนาของดินตรงกลางประมาณ 1 ซม. แล้วบากด้วย Grooving Tool ตรงกลาง แล้วเริ่มทำการเคาะ ไม่ควรทิ้งไว้จะทำให้ปริมาณความชื้นเปลี่ยนแปลง

3. ทำการเคาะด้วยทองเหลืองด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 2 ครั้ง/วินาที จนดินเริ่มเคลื่อนเข้าบรรจุกันได้ระยะ 1.3 ซม. แล้วจดบันทึกจำนวนครั้งในการเคาะไว้

4. ปาดแต่งดินเดิมแล้วทำการบากด้วย Grooving Tool อีกครั้ง เพื่อทำการเคาะซ้ำแล้วใช้ค่าเฉลี่ยจากการเคาะทั้ง 2 ครั้งเป็นจำนวนครั้งในการเคาะ (N) จึงนำดินบริเวณรอยบากที่บรรจุกันประมาณ 15 กรัม ไปหาปริมาณความชื้น (Water Content)

5. เติมน้ำในตัวอย่างดินเล็กน้อย แล้วทำตามข้อ 2-4 โดยจำนวนการเคาะที่ได้ ควรน้อยลงประมาณ 10 ครั้ง ทำเช่นนี้จนได้จำนวนการเคาะอย่างน้อย 5 ค่า

6. นำข้อมูลการเคาะ (N) และปริมาณความชื้น (% w) ไปเขียนกราฟ โดยให้จำนวนครั้งการเคาะ (N) อยู่ในแกน x ส่วนปริมาณความชื้น (% w) อยู่ในแกน y แล้วลากเส้นตรงผ่านจุดเหล่านั้น

7. จากจำนวนการเคาะ 25 ครั้ง ให้ลากเส้นตรงในแนวตั้งตัดกราฟที่ได้ แล้วลากเส้นขนานแนวราบไปตัดแกน y ค่าปริมาณความชื้นที่ได้นี้คือค่า Liquid Limit

### วิธีหาค่า Plastic Limit

1. ทำการปั้นตัวอย่างดินที่จะทดสอบบนแผ่นกระจกด้วยฝ่ามือ โดยปั้นเป็นก้อนกลมให้มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ซม. ถ้าดินเปียกให้แผ่ดินบางบนแผ่นกระจกจะได้แห้งเร็วขึ้น

2. ค่อยๆ กลิ้งบนฝ่ามือไปมาประมาณ 80-90 ครั้ง/นาที

3. คลึงดินให้เป็นเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3.2 มม. ภายในระยะเวลาไม่เกิน 2 นาที ถ้ายังสามารถคลึงเส้นดินให้เล็กลงไปกว่า 3.2 มม. โดยที่ดินยังไม่มีรอยแตก แสดงว่าดินยังมีความชื้นสูงกว่าพิกัด Plastic Limit

4. ปั้นดินเดิมให้เป็นก้อนอีกครั้ง แล้วคลึงจนกระทั่งเมื่อเส้นดินมีขนาดใกล้เคียง 3.2 มม. ดินเริ่มมีรอยแยกหรือไม่ สามารถปั้นให้เล็กลงไปกว่า 3.2 มม. ได้ ที่สถานะความชื้นของดินนี้จะเรียกว่าพิกัด Plastic Limit

5. นำเศษดินที่ปั้นไว้ใส่กระป๋องเก็บตัวอย่างดินเพื่อหาความชื้น

6. แยกดินออกจากกองที่เตรียมไว้ ทำการทดลองข้อ 2-5 ซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย

### 3.6.2 การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของดินลูกรัง

(Test for Specific Gravity and Absorption of Laterite Soil)

(AASHTO T 88-70)

#### ขอบข่าย

เพื่อทำการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของดินลูกรังซึ่งมีขนาดเม็ดโตกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

#### นิยาม

“ การกระจายของขนาดวัสดุรวม (Particle Size Distribution)” หมายถึง การที่มวลรวมประกอบด้วยเม็ดวัสดุหลายขนาดต่างๆ กัน ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดวัสดุ โดยการกระจายของขนาดเม็ดวัสดุรวมจะแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะแกรงมาตรฐานในสเกลลอการิทึม (Logarithm Scale) เป็นแกนนอนกับร้อยละ โดยมวลของมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเป็นแกนตั้ง ซึ่งเรียกว่า กราฟการกระจายของขนาดวัสดุรวม

“ มวลรวม(Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตร ขึ้นไป

“ มวลรวมละเอียด(Fine Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตร ถึง 4.75 มิลลิเมตร

“ มวลรวมหยาบ(Coarse Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตร ขึ้นไป

#### เครื่องมือทดสอบ

1. เครื่องชั่งแบบ Balance สามารถชั่งได้อย่างน้อย 5,000 กรัม และอ่านละเอียดได้ 0.5 กรัม
2. ตะกร้าลวดตาข่าย (Wire Mesh Basket) เป็นตะแกรงขนาด 2.00 - 3.00 มิลลิเมตร มีขนาดใหญ่พอที่จะบรรจุวัสดุ 5,000 กรัม
3. ถัง (Container) เป็นถังใส่น้ำที่มีขนาดใหญ่พอที่จะเอาตะกร้าลวดตาข่ายใส่เพื่อทำการชั่งน้ำหนักในน้ำได้
4. ถังขนาดเล็กที่มีความจุพอที่จะแช่วัสดุอย่างน้อย 5,000 กรัมได้ โดยให้วัสดุจมในน้ำหมดทุกก้อน
5. ตู้อบ (Oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ตลอดระยะเวลาที่ทำการอบ



รูปที่ 3-5 ตู้อบ

### ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมวัสดุที่จะนำมาทำการทดสอบ ด้วยการล้างให้ทั่วถึงเพื่อให้ฝุ่นผงหรือเศษวัสดุอื่นๆที่ติดอยู่กับผิวหลุดออกจนหมด และนำไปทำให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ  $110 \pm 5^{\circ} \text{C}$  และตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 – 3 ชม.

2. จากนั้นให้แช่วัสดุในน้ำสะอาดเป็นเวลาประมาณ 24 ชั่วโมง

3. นำวัสดุขึ้นจากน้ำเมื่อครบเวลา เทลงผ้าผืนใหญ่ๆที่สามารถซับน้ำได้

4. วัสดุที่จบขั้นตอนที่ 3 นี้จะเรียกว่าอยู่ในสถานะอิมตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ให้ตัวอย่างวัสดุนี้ชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกไว้ แล้วรีบใส่ลงในตะกร้าลวดและทำการชั่งวัสดุนี้ในน้ำทันทีและบันทึกค่าไว้เช่นกัน (อุณหภูมิของน้ำควรรออยู่ระหว่าง  $23 \pm 1.7^{\circ} \text{C}$ )

5. หลังจากนั้นนำวัสดุเข้าเตาอบด้วยอุณหภูมิระหว่าง  $110 \pm 5^{\circ} \text{C}$  ประมาณ 1 ชม. แล้วจึงนำมาใส่โถแก้วกันความชื้น เพื่อทิ้งให้วัสดุตัวอย่างเย็นตัวลงตามปกติอีกประมาณ 1 – 3 ชม. หรือเย็นพอที่จะสัมผัสได้ จึงชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง

6. จากนั้นให้นำค่าต่าง ๆ มาคำนวณหาตามวัตถุประสงค์ ดังต่อไปนี้

$$\begin{array}{l} \text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม} \\ \text{(ขณะวัสดุมีความชื้นอากาศ)} \end{array} = \frac{A}{B - C}$$

$$\begin{array}{l} \text{ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม} \\ \text{(เมื่อวัสดุแห้งสนิท)} \end{array} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{อัตราการดูดซึม, \%} = \frac{B - A}{A}$$

โดยที่

- A  $\equiv$  น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศหลังจากผ่านการอบแห้งสนิทแล้ว  
B  $=$  น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในอากาศภายใต้สถานะอิ่มตัวผิวแห้ง  
C  $=$  น้ำหนักมวลรวมที่ชั่งในน้ำ

### 3.6.3 การทดสอบหาขนาดของเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรง

(Test for Gradation of Aggregate By Dry Sieve Analysis)

(AASHTO T 27-70)

#### ขอบข่าย

เพื่อทำการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่ ถึงขนาดเล็กมีขนาดตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร)

#### นิยาม

“ การกระจายของขนาดวัสดุมวลรวม (Particle Size Distribution)” หมายถึง การที่มวลรวมประกอบด้วยเม็ดวัสดุหลายขนาดต่างๆ กัน ซึ่งคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดวัสดุ โดยการกระจายของขนาดเม็ดวัสดุมวลรวมจะแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะแกรงมาตรฐานในสเกลลอการิทึม (Logarithm Scale) เป็นแกนนอนกับร้อยละ โดยมวลของมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเป็นแกนตั้ง ซึ่งเรียกว่า กราฟการกระจายของขนาดวัสดุมวลรวม

“ มวลรวม (Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตร ขึ้นไป

“ มวลรวมละเอียด (Fine Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 0.075 มิลลิเมตร ถึง 4.75 มิลลิเมตร

“ มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate)” หมายถึง วัสดุที่ใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตที่มีขนาดเม็ดตั้งแต่ 4.75 มิลลิเมตร ขึ้นไป

#### เครื่องมือทดสอบ

1. ตะแกรงช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดช่องผ่าน 1 นิ้ว, ¾ นิ้ว, ½ นิ้ว, 3/8 นิ้ว, เบอร์ 4, เบอร์ 10, เบอร์ 40 และเบอร์ 200
2. เครื่องชั่งแบบ Balance อ่านละเอียด 0.1 กรัม
3. แปรงลวดและแปรงขนอ่อน สำหรับทำความสะอาดตะแกรง
4. เตาอบสามารถควบคุมอุณหภูมิคงที่ตลอดระยะเวลาการอบ



รูปที่ 3-6 ชุดทำการทดสอบการทดสอบ Sieve Analysis



รูปที่ 3-7 แสดงการค้ำ บนตะแกรง

#### ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำการจัดเรียงลำดับตะแกรงจากขนาดใหญ่ไปหาขนาดเล็กพร้อมถาด
2. ใช้แปลงทำความสะอาดตะแกรง ตะแกรงขนาดหยาบควรใช้แปรงลวดทองเหลือง ส่วนตะแกรงขนาดละเอียดควรใช้แปรงขนอ่อน
3. ทำการชั่งมวลตะแกรงทุกขนาดแล้วทำการจดบันทึกค่าไว้
4. ประกอบชุดทดสอบและเรียงลำดับของตะแกรงขนาดละเอียดไปหาขนาดหยาบแล้วประกอบเข้ากับชุดเขย่า
5. เทตัวอย่างลงในตะแกรงบนสุด แล้วทำการเปิดเครื่องเขย่าเป็นเวลาประมาณ 15 นาที

6. เมื่อทำการเขย่าได้เวลาตามที่กำหนดก็ทำการปิดเครื่องแล้วนำตะแกรงและมวลรวมที่ค้างอยู่บนตะแกรงไปชั่งน้ำหนักแล้วจดบันทึกข้อมูล

7. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงจากนั้นทำการ Plot Graph Log ระหว่างเปอร์เซ็นต์ที่ผ่านตะแกรงกับขนาดตะแกรง

### 3.6.4 การทดสอบการบดอัดดิน ( Compaction )

#### ขอบข่าย

- เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและความหนาแน่น ( Moisture – Density Relations ) ของดิน เมื่อถูกบดอัด
- เพื่อหาความหนาแน่นสูงสุด ( Maximum Dry Density )
- เพื่อหาความชื้นที่เหมาะสม ( Optimum Moisture Content )

#### นิยาม

การบดอัดดินคือ การปรับปรุงคุณภาพดิน โดยการประยุกต์ใช้พลังงานเชิงกล ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพดินปริมาณความชื้นที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับดินที่ไม่มีความเชื่อมแน่น ( Cohesion less Soil ) จะปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการบดอัด โดยอาศัยการสั่นสะเทือนและสำหรับดินเม็ดละเอียด ( Cohesive Soil ) สามารถทดสอบการบดอัดดินได้ในห้องปฏิบัติการ โดยวิธีของ Proctor แต่ถ้าเป็นในสนามสามารถเลือกใช้เครื่องจักรบดอัดชนิดต่างๆกัน โดยพิจารณาความเหมาะสมตามชนิดของดิน

จุดประสงค์ของการบดอัดดินก็เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของมวลดิน ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์หลายข้อดังนี้

1. ลดการทรุดตัวของดิน
2. เพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินและปรับปรุงเสถียรภาพความลาดชัน ( Slope Stability )
3. ปรับปรุงกำลังต้านทานน้ำหนัก ( Bearing Capacity ) ของพื้นทาง
4. ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตร เช่น สาเหตุจากการบวมตัว ( Swelling ) และการหดตัว ( Shrinkage ) ของดิน
5. ลดการซึมผ่านของน้ำในดิน

พื้นฐานการบดอัดดินที่มีความเชื่อมแน่น ได้ถูกสร้างความสัมพันธ์ขึ้น โดย R.R. Proctor ในปี 1930 โดยเริ่มต้นเมื่อมีการสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บน้ำใน Los Angeles และเขาได้พัฒนาหลักการบดอัดดิน โดยตีพิมพ์ในหนังสือ Engineering New-Record ( Proctor, 1933 ) แล้วนำวิธีการทดสอบนี้ไปใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยเรียกวิธีการดังกล่าวว่า Proctor Test ( Compaction Test ) ซึ่งมีวิธีการทดสอบ 2 แบบคือ การบดอัดแบบมาตรฐาน ( Standard Proctor Test ) และการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ( Modified Proctor Test )

## เครื่องมือทดสอบ

1. แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว สูง 7 นิ้ว และมีเหล็กโลหะรอง (Spacer Disc) รองด้านล่าง เพื่อให้ได้ตัวอย่างสูง 4.584 นิ้ว มีปลอกสามารถถอดได้ขนาดเดียวกันสูง 2 นิ้ว และสามารถยึดกับแบบได้อย่างมั่นคง
2. ค้อนบดอัด (Hammer) ทำด้วยโลหะทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง กลาง 2 นิ้ว น้ำหนัก 10 ปอนด์
3. เครื่องดันตัวอย่างออกจากแบบ
4. เครื่องชั่งแบบ Balance สามารถชั่งน้ำหนักได้อย่างน้อย 16 กิโลกรัม อ่านละเอียดได้ 0.5 กรัม 1 เครื่อง และสามารถชั่งได้ อย่างน้อย 1,000 กรัม อ่านละเอียดได้ 0.01 กรัม 1 เครื่อง
5. ตู้อบ (Oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ตลอดระยะเวลาที่ทำการอบ
6. เหล็กปาดดิน (Straight Edge) ทำด้วยเหล็ก
7. เครื่องมือผสมดิน ได้แก่ ถาดใส่ดิน ช้อนตักดิน กระบอกตวงน้ำ พลั่ว ขวดบีบน้ำ
8. ค้อนยาง
9. กระจับป้อดิน



รูปที่ 3-8 ชุดเครื่องมือการทดสอบ Compaction Test



รูปที่ 3-9 แสดงตัวอย่างการทดสอบ Compaction Test

#### วิธีทำการทดสอบ

1. วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง, ความสูงของ Mold เพื่อหาปริมาตรของดินใน Mold จากนั้นประกอบ Mold และ Base plate พร้อมชั่งน้ำหนัก (ไม่ต้องชั่ง Collar)
2. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้อย่างน้อย 3 กิโลกรัมสำหรับทดสอบแบบมาตรฐานและ 5 กิโลกรัมสำหรับการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยเริ่มผสมน้ำให้มีความชื้น ตามค่าที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากัน
3. ตักดินใส่ Mold ที่ประกอบไว้แล้ว โดยกะให้ความสูงในแต่ละชั้นเท่าๆ กัน โดยมีจำนวน 3 ชั้น กันสำหรับ Standard และ 5 ชั้นสำหรับ Modified เมื่อบดอัดครบจำนวนชั้นแล้ว ให้ดินพื้นขอบ Mold ขึ้นไปประมาณ 1 - 2 ซม.
4. ใช้ค้อนหนัก 5.5 ปอนด์สำหรับบดอัดแบบมาตรฐานและ 10 ปอนด์สำหรับบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน บดอัดดินใน Mold แต่ละชั้นให้ทั่วทั้ง Mold บดอัดชั้นละ 25 ครั้ง สำหรับ Mold ขนาด 105 มม. และ 56 ครั้งสำหรับ Mold ขนาด 152.4 มม. โดยให้ Mold วางอยู่บนพื้นคอนกรีตเรียบ
5. ถอดปลอก (Collar) ออก แล้วใช้เหล็กปาดดิน (Straight Edge) ปาดดินที่เกินขอบ Mold ออก และแต่งผิวดินให้เรียบ ใช้แปรงขนอ่อนปัดเศษดินที่ค้างอยู่รอบให้หมดแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก
6. ดันแท่งตัวอย่างดินออกจาก Mold แล้วผ่ากลางตามแนวตั้ง เพื่อเก็บตัวอย่างตามแนวผ่า ประมาณ 100 กรัม ไปอบเพื่อ หาค่าปริมาณความชื้น (Water Content)

7. ใช้ก้อนยางทูปก้อนดินที่เหลือให้แตกออกจนร่วน แล้วผสมน้ำเพิ่มอีก 2 - 3 %  
 คลุกเคล้าให้เข้ากันทั่ว แล้วทดสอบซ้ำตามข้อ 4 - 6 จนกระทั่งน้ำหนักดินเริ่มลดลง แล้ว  
 ทดลอง เพิ่มอีกครั้ง เพื่อให้ได้กราฟทาง ด้านเปียก จำนวนครั้งในการทดสอบไม่ควรเกิน 5 - 6

ครั้ง

#### การคำนวณผล

$$\text{ความหนาแน่นเปียกของดิน (Wet density)} = \frac{\text{น้ำหนักดินเปียก}}{\text{ปริมาตร Mold}}$$

$$\text{ความหนาแน่นแห้งของดิน (Dry density)} = \frac{W}{V(1+w)}$$

เมื่อ  $W$  = น้ำหนักดินเปียก

$V$  = ปริมาตรของ Mold

$w$  = ความชื้นของดิน

### 3.6.5 การทดสอบ แคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ ( California Bearing Ratio : CBR )

#### ขอบข่าย

- เพื่อหาค่ากำลังดินบดอัดในค่าของ CBR

#### นิยาม

การทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริงเรโซ (California Bearing Ratio) หรือใช้คำย่อว่า CBR เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความสามารถการรับน้ำหนัก ของตัวอย่างดินบดอัด พัฒนา ในปีค.ศ.1930 โดย California Division of Highway และต่อมา U.S.Corps of Engineers ใช้เป็นวิธีมาตรฐาน สำหรับการออกแบบ งานก่อสร้างสนามบิน และถนน

#### เครื่องมือทดสอบ

1. แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะมีลักษณะทรงกระบอกกลวง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 นิ้ว สูง 4.584 นิ้ว พร้อมทั้งมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 2 นิ้ว และมีมาตรฐานแบบ (Base Plate) เจาะรูพูนสำหรับยึดแบบกับปลอกเข้าด้วยกัน
2. แท่งรองโลหะ (Spacer Disc) เป็นโลหะรูปทรงกระบอกสูง 2.416 นิ้ว
3. แผ่นวัดการขยายตัว (Swell Plate) ทำด้วยโลหะมีก้านที่สามารถจะปรับให้สูงหรือต่ำได้
4. สามขา (Tripod) สำหรับวัดการขยายตัวมีลักษณะเป็นสามขา ติดด้วยเพื่อวัดการขยายตัว
5. แผ่นถ่วงน้ำหนัก (Surcharge Weight)
6. ท่อนักัด (Penetration Piston)
7. เครื่องดันตัวอย่างออกจากแบบ
8. ค้อนบดอัด (Hammer) ทำด้วยโลหะทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว น้ำหนัก 10 ปอนด์
9. เครื่องชั่งแบบ Balance สามารถชั่งน้ำหนักได้อย่างน้อย 20 กิโลกรัม
10. เครื่องชั่งแบบสากล (Scale) สามารถชั่งน้ำหนักได้อย่างน้อย 1,000 กรัม
11. ตู้อบ (Oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ตลอดระยะเวลาที่ทำการอบ
12. เหล็กปาดดิน (Straight Edge) ทำด้วยเหล็ก

13. เครื่องผสมตัวอย่าง เช่น ถาด ช้อน ถ้วยตวงวัดปริมาณน้ำ
14. ภาชนะปิด (Container)

### วิธีการทดสอบ แบบ unsoaked

1. นำดินตัวอย่าง ไปตากแห้งในห้องทดลอง แบ่งดินตัวอย่างด้วยวิธีแบ่งสี่ (quartering) แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว ส่วนที่ค้างบนตะแกรงให้ทิ้งไป และให้ใช้ดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 นิ้ว แทนดินที่ทิ้งไปด้วยน้ำหนักที่เท่ากัน
2. หาจุด optimum moisture content จากการทดลองบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน
3. ชั่งดินที่เตรียมไว้ประมาณ 6 กก. และให้แบ่งดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัมเพื่อนำไปหาความชื้น
4. เตรียมแบบหล่อดิน 2 ชุด ชั่งน้ำหนักแบบหล่อดิน ไม่รวมแผ่นเหล็กฐาน(base plate)
5. ประกอบ แบบหล่อดินเข้ากับ แผ่นเหล็กฐาน และแผ่นเหล็กกรอง (.spacer disc) ใส่ลงในแบบหล่อ และวางกระดาษกรอง ขนาด  $\varnothing$  6 นิ้ว ลงบนแผ่นเหล็กกรอง
6. บดอัดดิน แบบสูงกว่ามาตรฐาน ที่ความชื้น optimum moisture content  $\pm 2\%$
7. หลังจากบดอัดดิน แบบสูงกว่ามาตรฐาน ครบตามจำนวนชั้น และจำนวนครั้งแล้ว ถอนวงเหล็กเสริมออก ใช้เหล็กปาดสันตรงปาดดินให้เรียบเสมอกปากแบบหล่อดิน
8. นำแผ่นเหล็กฐาน และแผ่นเหล็กกรองออก ต่อมานำแบบหล่อดิน ไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาความหนาแน่นเปียก
9. เอากระดาษกรองวางบน แผ่นเหล็กฐาน และพลิกแบบหล่อดิน กลับด้านบนเป็น ด้านล่าง แล้ววางลงบนแผ่นเหล็กฐาน ยึดให้แน่น
10. วางแผ่นน้ำหนัก อย่างน้อย 10 ปอนด์ลงบนตัวอย่างดิน ในแบบหล่อดิน
11. จัดวางแบบหล่อดิน พร้อมตัวอย่างดิน เข้าเครื่องกดทดสอบ ซึ่งมีเหล็กแท่งกดติดอยู่ ให้ผิวหน้าของตัวอย่างดิน ในแบบหล่อดิน แตะสัมผัสกับเหล็กแท่งกด จากนั้นจัดมาตรหน้าปัดที่จะวัดค่าการยุบตัวให้อยู่ที่ศูนย์
12. ให้น้ำหนัก ในอัตรา 0.05 นิ้ว/นาที พร้อมกับอ่านค่าน้ำหนักกด สอดคล้องกับระยะยุบตัวของตัวอย่างดินบดอัด ที่ 0.0, 0.025, 0.05, 0.075, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 นิ้ว
13. ถอดแบบหล่อดิน ออกจากเครื่องกดทดสอบ และเก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้ง ประมาณ 100 กรัม สำหรับดินเม็ดละเอียด และประมาณ 500 กรัม สำหรับดินเม็ดหยาบ นำไปหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น



รูปที่ 3- 10 ชุดการทดสอบ California Bearing Ratio (CBR)

#### วิธีการทดสอบ แบบ soaked

1. นำดินตัวอย่าง ไปตากแห้งในห้องทดลอง แบ่งดินตัวอย่างด้วยวิธีแบ่งสี่ (quartering) แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว ส่วนที่ค้างบนตะแกรงให้ทิ้งไป และให้ใช้ดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 นิ้ว แทนดินที่ทิ้งไปด้วยน้ำหนักที่เท่ากัน
2. หาจุด optimum moisture content จากการทดลองบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน
3. ชั่งดินที่เตรียมไว้ประมาณ 6 กก. และให้แบ่งดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัมเพื่อนำไปหาความชื้น
4. เตรียมแบบหล่อดิน 2 ชุด ชั่งน้ำหนักแบบหล่อดิน ไม่รวมแผ่นเหล็กฐาน (base plate)
5. ประกอบ แบบหล่อดินเข้ากับ แผ่นเหล็กฐาน และแผ่นเหล็กกรอง (.spacer disc) ใส่ลงในแบบหล่อ และวางกระดาษกรอง ขนาด  $\varnothing$  6 นิ้ว ลงบนแผ่นเหล็กกรอง
6. บดอัดดิน แบบสูงกว่ามาตรฐาน ที่ความชื้น optimum moisture content  $\pm 2\%$
7. หลังจากบดอัดดิน แบบสูงกว่ามาตรฐาน ครบตามจำนวนชั้น และจำนวนครั้งแล้ว ถอนวงเหล็กเสริมออก ใช้เหล็กปาดสันตรงปาดดินให้เรียบเสมopakแบบหล่อดิน
8. นำแผ่นเหล็กฐาน และแผ่นเหล็กกรองออก ต่อมานำแบบหล่อดิน ไปชั่งน้ำหนัก เพื่อหาความหนาแน่นเปียก
9. เอากระดาษกรองวางบน แผ่นเหล็กฐาน และพลิกแบบหล่อดิน กลับด้านบนเป็น ด้านล่าง แล้ววางลงบนแผ่นเหล็กฐาน ยัดให้แน่น

10. วางแผ่นน้ำหนัก ประมาณ 10 ปอนด์ลงบนตัวอย่างดิน แล้วใส่แผ่นวัดการบวมตัว (swelling plate) สำหรับวัดอัตราการบวมตัวของดิน โดยเอากระดาษกรองวางใต้แผ่นน้ำหนักก่อน

11. แช่แบบหล่อดิน ลงในถังแช่ตัวอย่าง ที่เตรียมไว้ โดยให้น้ำท่วมเหนือแผ่นน้ำหนัก ประมาณ 1 นิ้ว นำมาตรหน้าปัดยึดติดกับสามขา แล้ววางกรอบบนแบบหล่อดิน จัดปลายเข็มของมาตรหน้าปัด ตะลิ่มยึดกับก้านของแผ่นวัดการบวมตัว เพื่อวัดอัตราการบวมตัวของดินต่อไป

12. แช่ตัวอย่างดิน ประมาณ 4 วัน จดค่าการบวมตัว จากมาตรหน้าปัดทุกวันจนครบ (ถ้าค่าการบวมตัวคงที่ อาจจะหยุดอ่านได้ หลังจากแช่น้ำแล้ว 48 ชั่วโมง)

13. หลังจากแช่ครบ 4 วันแล้ว ยกแบบหล่อดิน ออกจาก ถังแช่ตัวอย่าง และวางตะแกรงเพื่อรินน้ำทิ้ง แล้วปล่อยทิ้งไว้ประมาณ 15 นาที ให้น้ำไหลออกจากแบบหล่อดิน จนหมด

14. นำแบบหล่อดิน ไปชั่งหาน้ำหนัก

15. จัดวางแบบหล่อดิน พร้อมตัวอย่างดิน เข้าเครื่องกดทดสอบ ซึ่งมีเหล็กแท่งกดติดอยู่ ให้ผิวหน้าของตัวอย่างดิน ในแบบหล่อดิน ตะลิ่มยึดกับเหล็กแท่งกด จากนั้นจัดมาตรหน้าปัดที่จะวัดค่าการยุบตัวให้อยู่ที่ศูนย์

16. ให้น้ำหนัก ในอัตรา 0.05 นิ้ว/นาที พร้อมกับอ่านค่าน้ำหนักกด สอดคล้องกับระยะยุบตัวของตัวอย่างดินบดอัด ที่ 0.0, 0.025, 0.05, 0.075, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 นิ้ว

17. เก็บตัวอย่างที่มีการแช่น้ำไปหาปริมาณความชื้น

#### การคำนวณผล

1. คำนวณหน่วยแรงกด จากสมการ

$$\text{Test unit load} = \frac{\text{Penetration load}}{\text{Piston area}} \quad (\text{psi})$$

Piston area

2. เขียนกราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง Test unit load และอ่านค่าการยุบตัว (penetration) พร้อมทั้งปรับแก้ หาจุด initial correction ที่ จุด corrected 0.1 นิ้ว และจุด corrected 0.2 นิ้ว

3. อ่านค่า Test unit load จากกราฟ ที่การยุบตัว 0.1 นิ้ว และ 0.2 นิ้ว และคำนวณ

$$\% \text{ CBR} = \frac{\text{Test unit load}}{\text{Standard unit load}} \times 100 \%$$

4. คำนวณ หาเปอร์เซ็นต์ความชื้น และความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างดินทั้งสอง จาก

$$\gamma_d = \gamma_t / (1 + w)$$

## บทที่ 4

### ผลการทดสอบ

#### 4.1 คุณสมบัติทั่วไปของวัสดุ

##### 4.1.1 คุณสมบัติทั่วไปของดินลูกรัง

ดินลูกรังที่ใช้ในการทดสอบได้มาจากจังหวัด สระบุรี ขนาดความละเอียดของดินลูกรังได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข-1

ตารางที่ 4-1 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติของดินลูกรัง

การทดสอบ	ผลการทดสอบ
Specific Gravity	3.30
Liquid Limit (LL)	20
Plastic Limit (PL)	8.45

##### 4.1.2 คุณสมบัติทั่วไปของแอสฟัลท์คอนกรีตขำรูด

ผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตเก่าที่ใช้ในการทดสอบ เก็บตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตขำรูดจากถนน แคราย-บางบัวทอง จ.นนทบุรี มีลักษณะสีดำปนเทา ขนาดความละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก ค.ตารางที่ ค-1 ค่า Medium Size (D50) = 8.20 มม. ค่า Maximum Particle Size = 19.10 มม. ตัวอย่างของแอสฟัลท์คอนกรีตขำรูดมีคุณสมบัติเป็น Non Plastic

#### 4.2 ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test)

ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานได้เขียน Compaction Curve ไว้ในภาคผนวก ข, ค และ ง เป็นการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐานใช้จำนวนการบดอัดที่ 56 ครั้งต่อชั้น ผลการบดอัดค่า Maximum Dry Density (MDD) และ Optimum Moisture Content (OMC) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4-2 เมื่อพิจารณาการบดอัด จะเห็นว่าดินลูกรังมีความหนาแน่นแห้งสูงสุดคือ  $2.275 \text{ t/m}^3$  และแอสฟัลท์คอนกรีตขำรูดได้ความหนาแน่นแห้ง  $1.915 \text{ t/m}^3$  เมื่อพิจารณากับขนาดละเอียดของแต่ละตัวอย่างจะพบว่าดินลูกรังเป็นวัสดุที่มีขนาดละเอียดถึงได้ความหนาแน่นแห้งสูงส่วนแอสฟัลท์คอนกรีตขำรูดจะมีดินเม็ดละเอียดน้อยเข้าไปแทรกช่องว่างระหว่างดินเม็ดใหญ่ นอกจากนี้ยังมียางมะตอยเคลือบผิวของมวลรวมอยู่จึงทำให้ได้ความหนาแน่นแห้งต่ำกว่าและต้องการปริมาณน้ำน้อยกว่า

**ตารางที่ 4-2 ผลการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุด,ดินลูกรังและแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมลูกรัง โดยวิธี Modified Proctor Test**

ตัวอย่าง	ค่า Modified Compaction Test	
	MDD ( t/m <sup>3</sup> )	OMC ( % )
แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุด	1.915	5.15
ดินลูกรัง	2.203	6.8
แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรังร้อยละ 15	2.079	7.5
แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรังร้อยละ 30	2.17	7.2
แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรังร้อยละ 45	2.23	4.8
แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรังร้อยละ 60	2.26	5.5
แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรังร้อยละ 75	2.24	6.25
แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรังร้อยละ 90	2.275	6

**4.3 ผลการทดสอบ CBR (California Bearing Ratio ) ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุด,ดินลูกรัง และแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรังที่อายุการแช่น้ำ 4 วัน**

ผลการทดสอบ CBR ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุด, ลูกรังและแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรังรายละเอียดผลการทดสอบCBR แสดงไว้ในภาคผนวก ข,ค และง และผลการทดสอบดังตารางที่ 4-3

**4.3.1 อิทธิพลของปริมาณแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดที่มีต่อค่า Soaked CBR จากตารางที่4-3**

แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดได้ค่า Soaked CBR เท่ากับร้อยละ 14.32 ดินลูกรังได้ค่า Soaked CBR เท่ากับร้อยละ 20 และเมื่อผสมแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดกับดินลูกรังในอัตรา ร้อยละ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 โดยน้ำหนักได้ค่า Soaked CBR เท่ากับร้อยละ 20, 25, 42, 44, 35 และ 33แสดงไว้ในตารางที่ 4-3 แสดงให้เห็นว่าปริมาณดินลูกรังจะมีอิทธิพลต่อการเพิ่มค่า CBR ให้สูงขึ้น

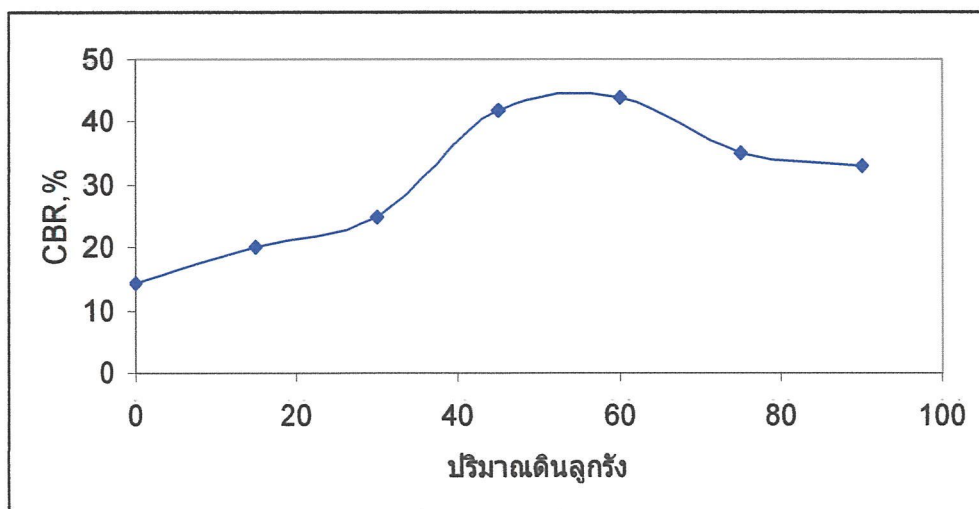
อัตราการเพิ่มค่าของ Soaked CBR ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมกับดินลูกรัง ที่ อัตราร้อยละ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 โดยอัตราการเพิ่มค่าจะเปรียบเทียบกับค่า CBR ของดินลูกรัง ที่อายุการแช่น้ำ 4 วันจะมีค่าเท่ากับ ร้อยละ-28 , 0 , 25 , 110 , 120 , 75 , และ 65 แสดงไว้

ในตารางที่ 4-4 จึงสรุปได้ว่าการเพิ่มปริมาณดินลูกรังจะทำให้ค่า Soaked CBR สูงขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง แล้วจึงตกลงมา

4.3.2 อิทธิพลของแอสฟัลท์คอนกรีตขำรูด, ดินลูกรังและแอสฟัลท์คอนกรีตขำรูดผสมดิน ลูกรังที่ร้อยละ 15, 30, 45, 60, 75 และ 90 โดยน้ำหนัก ที่อายุการแช่น้ำ 4 วัน จะมีผลต่อค่า Soaked CBR ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4-1 จะเห็นได้ค่าแอสฟัลท์คอนกรีตขำรูดที่ผสมดินลูกรังที่อัตรา ร้อยละต่างๆกัน ค่า Soaked CBR จะมีค่ามากขึ้น และจะตกลง เมื่อปริมาณดินลูกรังมากขึ้น

ตารางที่ 4-3 .แสดงผลการทดสอบ California Bearing Ratio

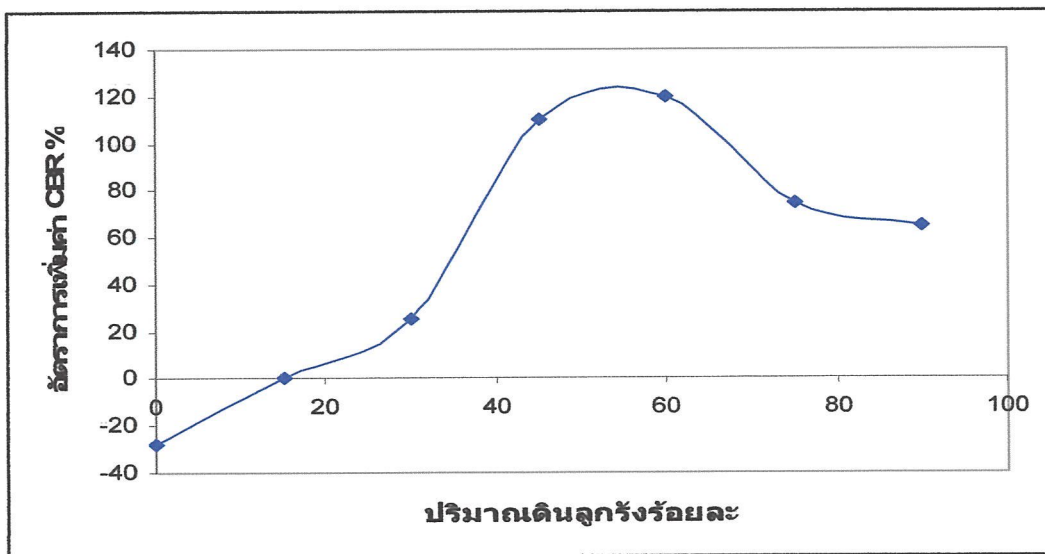
ปริมาณดินลูกรัง ร้อยละ	ค่า California Bearing Ratio ที่อายุการแช่น้ำ 4 วัน (%)
0	14.32
15	20
30	25
45	42
60	44
75	35
90	33



รูปที่ 4-1 การเปลี่ยนแปลงค่า CBR ต่อปริมาณดินลูกรัง

ตารางที่ 4-4 อัตราการเพิ่ม CBR ของตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตชำระผสมกับดินลูกรังที่อายุการแช่น้ำ 4 วันเทียบกับ CBR ของดินลูกรัง

ปริมาณดินลูกรัง (%)	อัตราการเพิ่ม CBR ของตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตผสมกับดินลูกรังที่อายุการแช่น้ำ 4 วัน เทียบกับ CBR ของดินลูกรัง
0	-28
15	0
30	25
45	110
60	120
75	75
90	65



ภาพที่ 4-2 อัตราการเพิ่มค่า CBR ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำระผสมดินลูกรังเทียบกับ CBR ของดินลูกรังที่ปริมาณต่าง ๆ

ตารางที่ 4-5 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง กับข้อมูลชั้นพื้นทางของกรมทางหลวง

คุณสมบัติ	ข้อกำหนดของกรมทางหลวง	ค่าที่ได้จากการทดลอง	สรุป
Liquid Limit	ไม่มากกว่า 25	20	ผ่านเกณฑ์
Plasticity Index	ไม่มากกว่า 6	10.55	ไม่ผ่านเกณฑ์
Soaked CBR	ไม่น้อยกว่า 80	44	ไม่ผ่านเกณฑ์

ตารางที่ 4-6 การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง กับข้อมูลชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวง

คุณสมบัติ	ข้อกำหนดของกรมทางหลวง	ค่าที่ได้จากการทดลอง	สรุป
Liquid Limit	ไม่มากกว่า 35	20	ผ่านเกณฑ์
Plasticity Index	ไม่มากกว่า 11	10.55	ผ่านเกณฑ์
Soaked CBR	ไม่น้อยกว่า 30	44	ผ่านเกณฑ์

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

5.1.1 แอสฟัลท์คอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ มีลักษณะสีดำปนเทา มีขนาดคละกัณฑ์มีขนาดโตสุด(Maximum size) = 19.10 มม. ขนาดD50= 8.20 มม.

5.1.2 ดินลูกรังที่ใช้ในการทดสอบมีขนาดคละกัณฑ์ จากใหญ่ไปหาเล็ก D50=3.3 มม. ค่า Liquid Limit(LL) = 20 ค่า Plastic Limit(PL) = 9.45 ค่า Plastic Index(PI) = 10.55

5.1.3 จากการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน(Modified Compaction Test)แอสฟัลท์คอนกรีตชำระได้ค่าความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 1.915 ตัน/ลบ.ม และค่าความชื้นเท่ากับ 5.15 % ส่วนดินลูกรังได้ค่าความหนาแน่นแห้งเท่ากับ 2.2 ตัน/ลบ.ม ค่าความชื้นเท่ากับ 6.8 %

5.1.4 จากการทดสอบ(California Bearing Ratio)ทำการทดสอบแบบแช่น้ำ 4 วัน ในอัตราส่วนผสมดินลูกรังกับแอสฟัลท์คอนกรีตชำระร้อยละ 15,30,45,60,75และ90 และปริมาณดินลูกรังร้อยละ 60 ได้ค่า CBR เท่ากับ 44% ซึ่งน้อยกว่ามาตรฐานชั้นพื้นทางของกรมทางหลวง ซึ่งกำหนดค่า CBR เท่ากับ 80%แต่ผ่านมาตรฐานของชั้นรองพื้นทางซึ่งกำหนดค่า CBR ไม่น้อยกว่า 30 %

5.1.5 จากการทดสอบแอสฟัลท์คอนกรีตชำระผสมดินลูกรังได้ค่าCBRมาเปรียบเทียบกับค่าCBRของมาตรฐานชั้นทางซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบน้อยกว่ามาตรฐานของชั้นพื้นทางแต่ผ่านมาตรฐานของชั้นรองพื้นทางเพราะ ฉะนั้นจากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเทียบกับมาตรฐานของกรมทางหลวงสรุปได้ว่าแอสฟัลท์คอนกรีตชำระนำมาผสมกับดินลูกรังในอัตราส่วนร้อยละ 60 สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุในชั้นรองพื้นทางได้โดยเป็นการประหยัดงบประมาณในการก่อสร้างทาง ได้ในส่วนหนึ่ง

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวัสดุที่มีขนาดที่สามารถอุดช่องว่างของแอสฟัลท์คอนกรีตชำระกับดินลูกรังเพื่อที่จะได้ค่าความหนาแน่นที่มากขึ้น

5.2.2 ควรศึกษาเกี่ยวกับแอสฟัลท์คอนกรีตชำระจากหลายๆแหล่ง เนื่องจากขนาดของเม็ดหินภายในที่มีขนาดต่างกันทำให้ค่าที่ได้ต่างกันออกไปสามารถนำค่ามาเปรียบเทียบได้ว่าผลของขนาดเม็ดหินมีผลเป็นไปในแนวทางใด

5.2.3 ควรศึกษาเพิ่มเติม โดยใช้หินคลุกเข้ามาแทนดินลูกรัง ในการทดสอบเพื่อ และเปรียบเทียบกับมาตรฐานของชั้นพื้นทางต่อไป

## บรรณานุกรม

- กวี หวังวิเวศกุล. การออกแบบผิวทาง, กรุงเทพฯ:ซีเอ็ดเคชั่น.2548
- สุพจน์ ศรีนิล, แผลมทอง เหล่าคงถาวร, ชลธิ เร่บ้านเกาะ. คู่มือปฏิบัติการทดลองปฐพี กลศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, พิมพ์ครั้งที่ 2 ตุลาคม 2549
- วัชรินทร์ วิทยกุล. แอสฟัลท์คอนกรีต สำหรับงานถนน, พิมพ์ครั้งที่1 พฤษภาคม 2551, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- โกศล กาญจนภาส. ความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength กับ Soaked CBRของหินกรวดเหลี่ยมผสมซีเมนต์และหินกรวดเหลี่ยมผสมแอสฟัลท์. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2540.
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : เดอะพรีนซ์ อินเตอร์เนชั่นแนล, 2536
- ธีรชาติ รื่นไกรฤกษ์, มีฤกษ์ พัชรระ. การศึกษากำลังของผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตเก่าปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์. รายงานวิจัยฉบับที่ วพ. 177 ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง. มกราคม, 2543
- วัชรินทร์ วิทยกุล. คู่มือปฏิบัติการวัสดุแอสฟัลท์และแอสฟัลท์คอนกรีต. กรุงเทพฯ : ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การพิมพ์ , 2539.
- อนเนก เปี้ยลัดดา. เสถียรภาพของแอสฟัลท์คอนกรีตโดยใช้ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ 60/70 และ 80/100.ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2530.

## ภาคผนวก ก

### ข้อกำหนดมาตรฐานดินลูกรังในงานทางหลวง

เนื่องจากดินลูกรังมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์แตกต่างกันมาก การนำดินลูกรังมาใช้ในงานก่อสร้างทางนครหลวงโดยปราศจากความเข้าใจถึงคุณสมบัติ ขอบเขต และขีดจำกัดของดินลูกรังในการใช้งานอย่างแท้จริงอาจจะนำความเสียหายให้เกิดแก่ตัวโครงสร้างถนนได้

เพื่อให้เป็นทางให้แก่วิศวกรการทางในการพิจารณานำเอาดินลูกรังมาใช้ในงานทางโดยพยายามหลีกเลี่ยงความเสียหายที่อาจเกิด และไม่มีความเสี่ยงมากเกินไป จึงเห็นว่าน่าจะมีประโยชน์ที่จะนำเอามาตรฐานข้อกำหนด ขอบเขต และขีดจำกัด ของดินลูกรังที่ใช้ในการก่อสร้างชั้นทางของสถาบันการทางในประเทศต่าง ๆ มาพิจารณาเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

ข้อกำหนด AASHTO

พื้นทางและรองพื้นทาง ตามข้อกำหนด AASHTO คุณสมบัติของวัสดุสำหรับพื้นทางและรองพื้นทาง ได้กำหนดไว้ดังต่อไปนี้

LAA น้อยกว่า ร้อยละ 50

ร้อยละมวลที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 > 2/3 ของร้อยละ ของมวลที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40

LL น้อยกว่าหรือเท่ากับ 25

PI น้อยกว่าหรือเท่ากับ 6

ข้อกำหนดของ CORPS OF ENGINEERS หรือ UNIFIED SOIL CLASSIFICATION

พื้นทาง U.S. ARMY , CORPS OF ENGINEERS และระบบการจำแนกดินแบบ UNIFIED SOIL CLASSIFICATION ได้กำหนดคุณสมบัติของวัสดุที่จะใช้เป็นพื้นทางไว้ดังนี้

ร้อยละของมวลที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 > 15

LL > 25

PI > 5

ขนาดคละของวัสดุที่ใช้สำหรับทำพื้นทางให้เป็นไปตามกำหนด

## ข้อกำหนดของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย

### มาตรฐานวัสดุรองพื้นทาง (Subbase)

#### 1. ขอบข่าย

วัสดุรองพื้นทาง หมายถึง วัสดุลูกรังหรือมวลรวมดิน (Soil Aggregate) ซึ่งนำมาเสริมบนชั้นคันทาง หรือใช้เป็นชั้นพื้นทางของถนนชนิดที่มีผิวจราจรเป็นลูกรัง

#### 2. คุณสมบัติ

2.1 เป็นวัสดุประกอบด้วยเม็ดแข็ง ทนทานและมีวัสดุเชื่อมประสานที่ค้ำผสมอยู่

2.2 ปราศจากก้อนดินเหนียว (Clay Lump) Shale รากไม้หรือวัชพืชอื่น ๆ

2.3 ขนาดวัสดุใหญ่สุด ไม่โตกว่า 5 เซนติเมตร

2.4 ค่าขีดเหลว (Liquid Limit) ไม่มากกว่า 35

2.5 ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index) ไม่มากกว่า 11

2.6 ค่าจำนวนส่วนร้อยละของความสึกหรอ (Percentage of wear) ไม่มากกว่า 60

2.7 มีมวลกละผ่านตะแกรง ดังตารางข้างล่างนี้

ขนาดและ ตะแกรง มาตรฐาน	น้ำหนักที่ผ่านตะแกรงเป็นร้อยละ				
	ชนิด ก.	ชนิด ข.	ชนิด ค.	ชนิด ง.	ชนิด จ.
2"	100	100	-	-	-
1"	-	75-95	100	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-
เบอร์ 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100
เบอร์ 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100
เบอร์ 40	8-20	15-30	15-30	25-45	0-50
เบอร์ 200	2-8	5-20	5-15	10-25	6-20

**มาตรฐานวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก**  
(Crushed Rock Soil Aggregate Type Base)

**1. ขอบข่าย**

วัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก หมายถึง วัสดุซึ่งมีขนาดคละกันสม่ำเสมอจากใหญ่ไปหาเล็ก นำมาเสริมบนชั้นรองพื้นทาง หรือชั้นคันทาง

**2. คุณสมบัติ**

- 2.1 ปราศจากก้อนดินเหนียว (Clay Lump) วัสดุจำพวกเชล (Shale) รากไม้ หรือวัชพืชอื่น ๆ
- 2.2 มีอัตราส่วนคละสม่ำเสมอประกอบด้วยส่วนหยาบและส่วนละเอียด
- 2.3 ส่วนหยาบต้องเป็นหินไม่
- 2.4 ส่วนละเอียดเป็นวัสดุชนิดเดียวกับส่วนหยาบ หากมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุส่วนละเอียดชนิดอื่นเจือปน เพื่อปรับปรุงคุณภาพ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงชนบทก่อน
- 2.5 ค่าขีดเหลว (Liquid Limit) ไม่มากกว่า 25
- 2.6 ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index) ไม่มากกว่า 6
- 2.7 ค่าจำนวนส่วนร้อยละของความสึกหรอ (Percentage of Wear) ไม่มากกว่า 40
- 2.8 ค่า ซี.บี.อาร์ จากห้องทดลอง (Lab C.B.R.) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ที่ร้อยละ 95 ของค่าความแน่นแห้งสูงสุดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor Density) ตาม มทข.(ท) 501.3 : วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า ซี.บี.อาร์ (C.B.R.) หรือไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง
- 2.9 มีมวลคละผ่านตะแกรง ดังตารางข้างล่างนี้

ขนาดของตะแกรง มาตรฐาน	น้ำหนักที่ผ่านตะแกรงเป็นร้อยละ		
	ชนิด ก.	ชนิด ข.	ชนิด ค.
2 นิ้ว	100	100	-
1 นิ้ว	-	75-95	100
3/8 นิ้ว	30-65	40-75	50-85
เบอร์ 4	25-55	30-60	35-65
เบอร์ 10	15-40	20-45	25-50
เบอร์ 40	8-20	15-30	15-30
เบอร์ 200	2-8	5-20	5-15

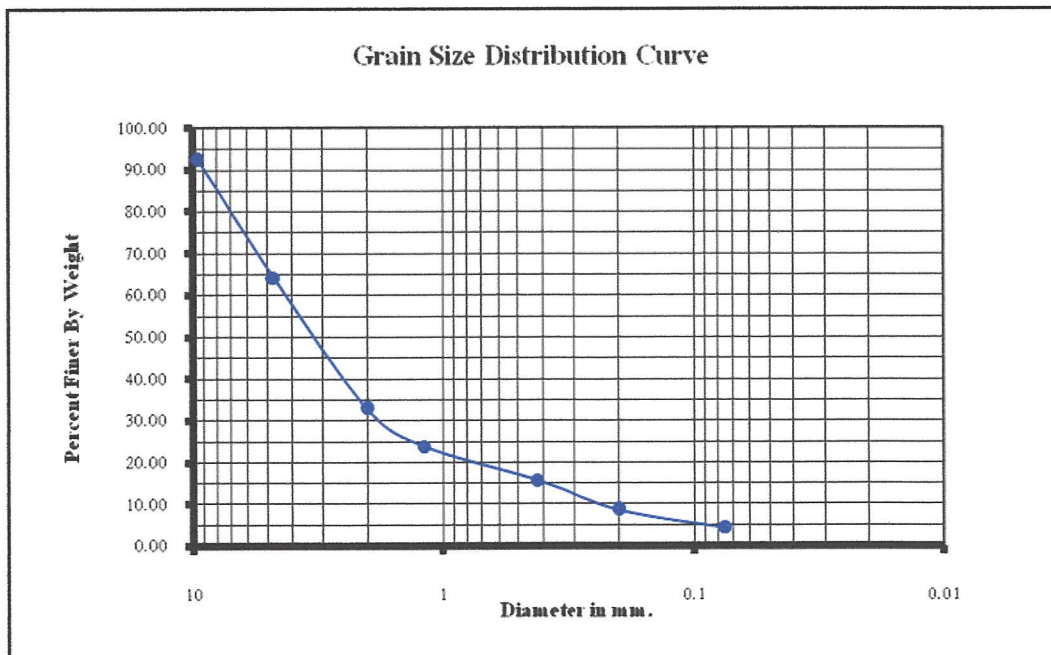
ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบ คุณสมบัติของดินลูกรัง

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบการหาขนาดส่วนละเอียดของดินลูกรัง

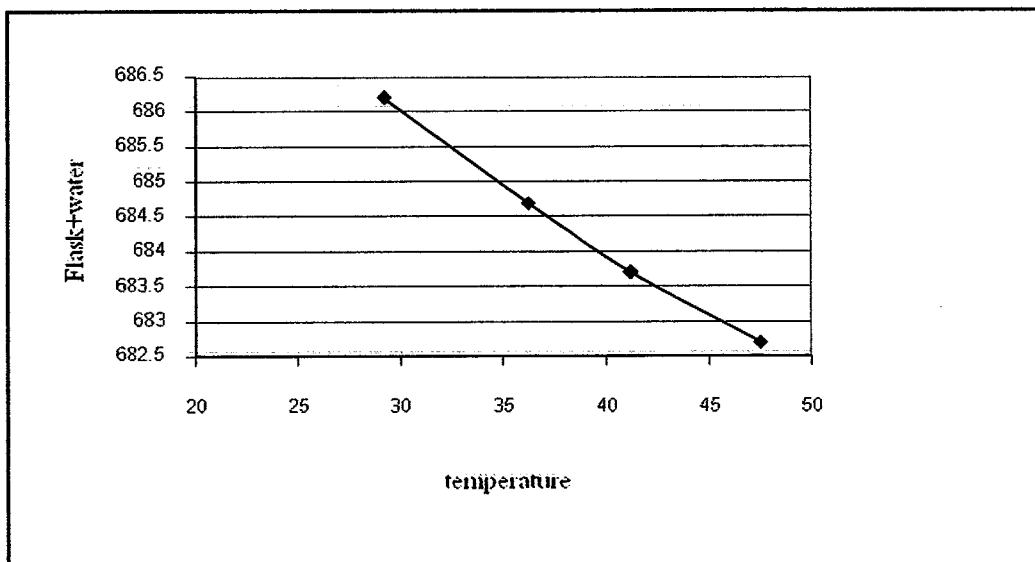
น้ำหนักดินตัวอย่าง 500 gm

Sieve No.	Sieve Opening mm.	Retained , gm.			% Retained	Σ Retained	% Passing
		Wt. Sand + Sieve (gm)	Wt. Sieve (gm)	Wt. Sand (gm)			
3/8"	9.525	527.7	566.7	39.0	7.74	7.74	92.26
4	4.75	497.4	638.8	141.4	28.07	35.81	64.19
10	2	423.9	581.7	157.8	31.32	67.13	32.87
16	1.19	450.7	496.0	45.3	8.99	76.12	23.88
40	0.425	337.0	378.1	41.1	8.16	84.28	15.72
100	0.2	314.6	350.2	35.6	7.07	91.35	8.65
200	0.075	303.8	325.3	21.5	4.26	95.56	4.44
PAN		277.4	299.5	22.1	4.39	99.94	0.06
Total		3132.5	3636.3	503.8	100.00		



ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของดินลูกรัง

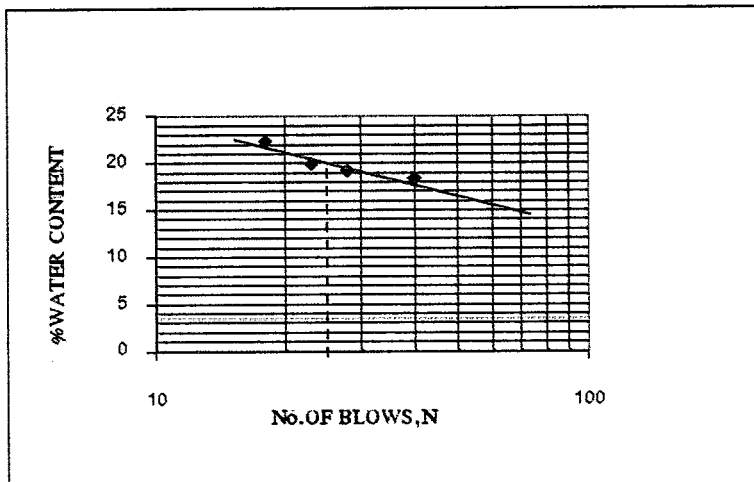
specific Gravity Determination			Flash Calibration			
Trial No.	1	2	1	2	3	4
1. Temperature	38	34	29.2	36.2	41.2	47.5
2. Flash+water	684.2	685	686.2	684.7	683.7	682.7
3. Flash+water+soil	719.3	717.04				
4. Container No.	1	2				
5. Dry soil +container	331.3	332.3				
6. Wt. of container	284.5	284.5				
7. Dry soil	48.6	47.8				
8. Sp.Gr. of water	0.9924	0.9944				
9. Sp.Gr. Of soil	3.57	3.02				
Average Sp.Gr. of soil	3.30					



ตารางที่ ข-3 ผลการทดสอบ Atterberg's Limit

LIQUID LIMIT

CAN No.	A29	A32	A11	A12
Wt. OF WET SOIL+ CAN	33.8	34	45	51.4
Wt. OF DRY SOIL+ CAN	30.7	31	41.3	46.9
Wt. OF CAN	14.6	14.7	24.7	24.3
Wt. OF DRY SOIL	16.1	16.3	16.6	22.6
Wt. OF MOISTURE	3.1	3	3.7	4.5
WATER CONTENT	19.25	18.4	22.3	19.9
No. OF BLOWS, N	28	40	18	23



LIQUID LIMIT = 20  
 PLASTIC LIMIT = 9.45  
 P.I. = 10.55  
 FLOW INDEX = 12.6

PLASTIC LIMIT

CAN No.	A33	A11
Wt. OF WET SOIL+ CAN	18.3	27.2
Wt. OF DRY SOIL+ CAN	18	26.1
Wt. OF CAN	14.3	14.6
Wt. OF DRY SOIL	3.7	12.5
Wt. OF MOISTURE	0.3	1.1
WATER CONTENT	9.1	9.8

**ตารางที่ ข-4 ผลการทดสอบ COMPACTION TEST**

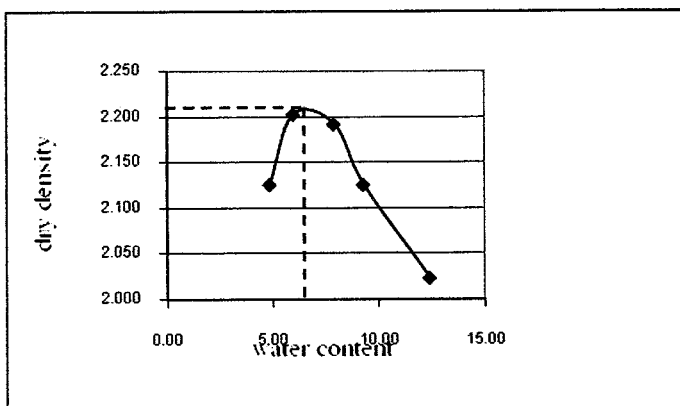
**Sample Used 5500 gm. Number of Layer 5 Number of Blows 56**

**No. of Mold 3A Height of Mold 11.44 cm Dai. Of Mold 15.16 cm.Wt. of Mold 7187 gm.**

TEST NO.		1	2	3	4	5
WATER CONTENT OF AIR DRY SOIL %		4	6	8	10	12
AMOUNT OF WATER ADDED	cm <sup>3</sup>	220	330	440	550	660
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm.	11795.0	12013.0	12077.0	11990.0	11889.0
WEIGHT OF MOULD	gm.	7187.0	7187.0	7187.0	7187.0	7187.0
VOLUMN OF SAMPLE	cm <sup>3</sup>	2067.00	2067.00	2067.00	2067.00	2067.00
WEIGHT OF WET SOIL	gm.	4608.0	4826.0	4890.0	4803.0	4702.0
WET DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	2.229	2.335	2.366	2.324	2.275

**WATER CONTENT**

CONTAINER NUMBER		A8	A10	A12	A14	A15
WT. OF WET SOIL + CONTAINER	gm.	113.6	120.0	115.0	103.3	148.0
WT. OF DRY SOIL + CONTAINER	gm.	109.0	114.5	108.3	96.5	133.2
WT. OF CONTAINER	gm.	14.5	22.6	23.6	23.4	14.0
WEIGHT OF WATER	gm.	4.6	5.5	6.7	6.8	14.8
WEIGHT OF DRY SOIL	gm.	94.5	91.9	84.7	73.1	119.2
WATER CONTENT	%	4.87	5.98	7.91	9.30	12.42
DRY DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	2.126	2.203	2.192	2.126	2.024



Optimum Moisture Content ,W(%)= 6.8%

Maximum Dry Density = 2.203 T/ m<sup>3</sup>

**ตารางที่ ข-5 ผลการทดสอบ CBR**

**Optimum Water Content 6.80%**

**Compaction Method Modified**

COMPACTION TEST NO		1	2	3
NO. OF BLOWS PER LAYER		12	25	56
WEIGHT OF LATERITIC USED	gm	5500	5500	5500
AMOUNT OF WATER ADDED	cm <sup>3</sup>	319.0	319.0	319.0
MOLD NO.		1	2	3
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm	11863	12147	12001
WEIGHT OF MOULD	gm	7399	7480	7082
WEIGHT OF WET SOIL , W	gm	4464	4667	4919
VOLUME OF MOULD , V	cm <sup>3</sup>	2325	2325	2325
WET DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.920	2.007	2.116
DRY DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.786	1.864	1.970

**WATER CONTENT BEFORE SOAKING SOAKIN GAFTER**

TEST NO.		1	2	3	1	2	3
CONTAINER NO.		J1	J3	J5	J1	J2	J3
WEIGHT OF WETSOIL+CONTAINER	gm	147.9	140.8	158.7	118.9	132.7	109.4
WEIGHT OF DRY SOIL+CONTAINER	gm	138.6	131.8	149.5	107.9	120.9	100.0
WEIGHT OF WATER	gm	9.3	9.0	9.2	11.0	11.8	9.4
WEIGHT OF CONTAINER	gm	14.7	14.6	25	14.7	14.5	14.6
WEIGHT OF DRY SOIL	gm	123.9	117.2	124.5	93.2	106.4	85.4
WATER CONTENT	%	7.51	7.68	7.39	11.80	11.09	11.01
WEIGHT OF SOAKED SOIL + MOULD	gm				12055	12350	12193
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm				11863	12147	12001
WATER ABSORBED , Wa	gm				192	203	192
PERCENT WATER ABSORBED , Wa (100 + w)/W	%				4.81	4.83	4.33
NO SWELLING							

ผลการทดสอบ CBR (ต่อ)

**Optimum Water Content**      6.80%

**Compaction Method**            Modified

Penetration (in)	Mold No. 1	12 Layer	Mold No. 2	25 Layer	Mold No. 3	56 Layer
	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	5	21.06	5	21.06	4	16.85
0.050	12	50.55	13	54.76	9	37.91
0.075	17	71.61	20	84.25	14	58.97
0.100	21	88.46	28	117.95	22	92.67
0.125	24	101.10	34	143.22	30	126.37
0.150	27	113.73	39	164.28	38	160.07
0.175	29	122.16	44	185.34	46	193.77
0.200	32	134.79	47	197.98	55	231.68
0.225	34	143.22	52	219.04	63	265.38
0.250	37	155.86	57	240.10	69	290.65
0.275	39	164.28	60	252.74	74	311.71
0.300	41	172.71	64	269.59	82	345.41
0.325	44	185.34	65	273.80	88	370.69
0.350	45	189.56	69	290.65	94	395.96
0.375	48	202.19	73	307.50	100	421.23
0.400	50	210.62	76	320.14	106	446.51
0.425	52	219.04	79	332.77	113	475.99
0.450	52	219.04	82	345.41	117	492.84
0.475	55	231.68	86	362.26	122	513.905
0.500	57	240.10	88	370.69	125	526.542

## ผลการทดสอบ CBR (ต่อ)

### Soaked Test Results

MOULD NO.	1	2	3
NO. OF BLOWS PER LAYER	12	25	56
CBR AT 0.1 IN PENETRATION	8.84	11.8	9.26
CBR AT 0.2 IN PENETRATION	8.98	13.2	15.45
DRY DENSITY	1.786	1.864	1.97
WATER CONTENT	7.51	7.68	7.39
PERCENT SWELL	0	0	0

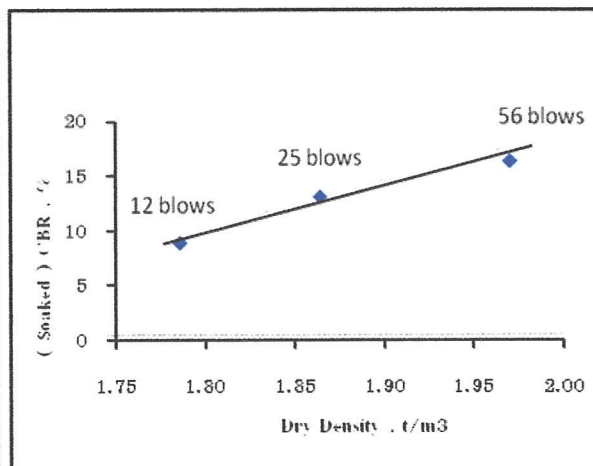
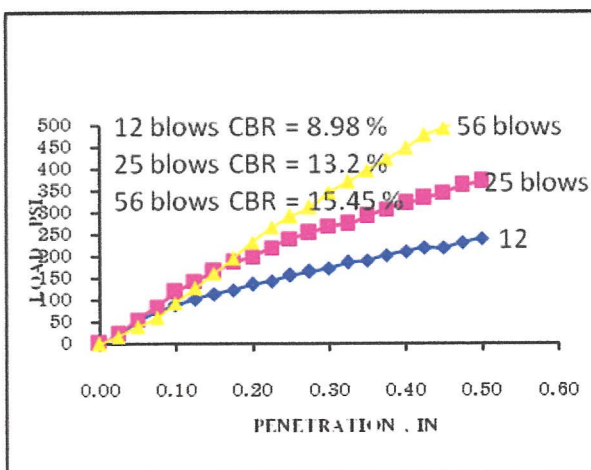
Compaction Modified Compaction

Hammer Wight 10 lb Hight of Drop 18 in

NO. of Layer 5

$$\text{CBR} = \frac{\text{Corrected Load Value} * 100}{\text{Standard Load}}$$

CBR Value at 95 % Max. Density ( $2.203 \text{ t/m}^3$ ) = 20 %

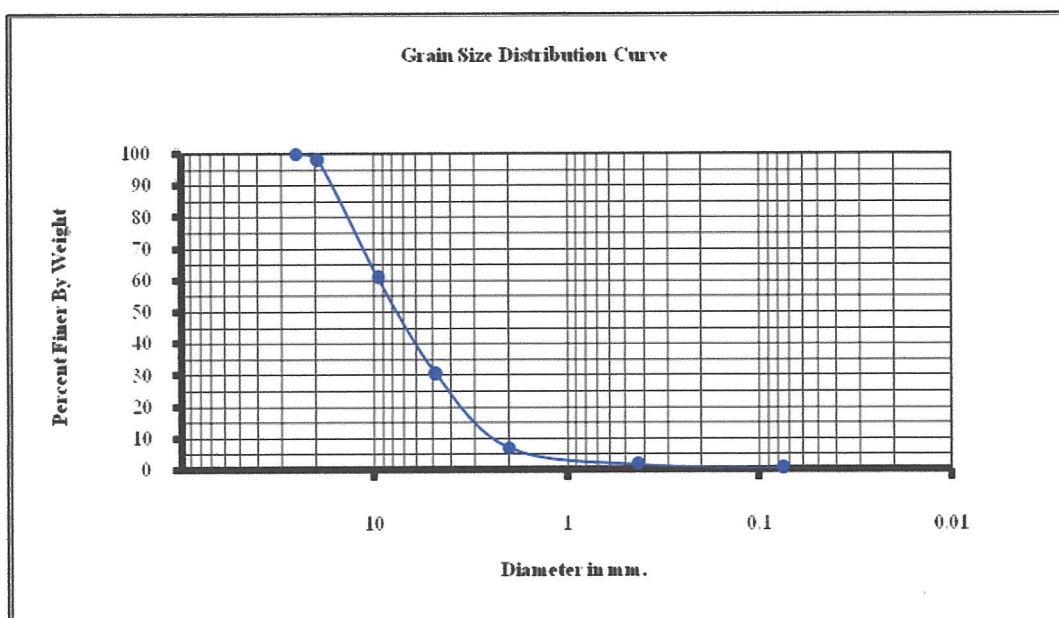


ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบคุณสมบัติ ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุด

ตารางที่ ค-1 ผลการทดสอบหาขนาดส่วนคละของแอสฟัลท์ชำรุด

Sieve		Retained , gm.			%	Σ	%
No.	Opening mm.	Wt. Asphalt +Sieve(gm)	Wt. Sieve (gm)	Wt. Asphalt (gm)	Retained	Retained	Passing
1"	25.4	0	3342	0	0	0	100
3/4"	19.5	3886	3785	101	2.02	2.02	97.98
3/8"	9.525	5158	3302	1856	37.12	39.14	60.86
4	4.75	4902	3380	1522	30.44	69.58	30.42
10	2	4143	2977	1166	23.32	92.90	7.10
40	0.425	3650	3377	273	5.46	98.36	1.64
200	0.075	3243	3190	53	1.06	99.42	0.58
PAN		4215	4190	25	0.50	100	0.08
Total		29197	27543	4996	99.92	%Error	0.08



**ตารางที่ ค-2 ผลการทดสอบ COMPACTION TEST**

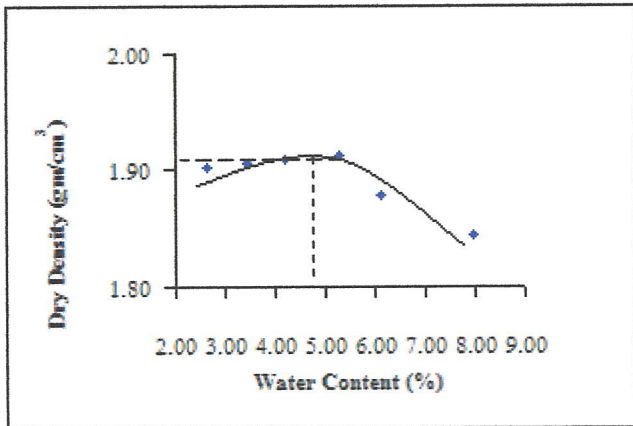
<b>Number of Layer</b>	<b>5</b>	<b>Dia of Mold</b>	<b>15.16cm</b>
<b>Number of Blows</b>	<b>56</b>	<b>Hight of Mold</b>	<b>11.45cm</b>
<b>Volumn of Mold</b>	<b>2066.78</b>	<b>cm<sup>3</sup></b>	

**DENSITY**

Sample No.	1	2	3	4	5	6	Remark
Trial (Water added) %	2	4	6	8	10	12	
Weight of Mold+Soil ( gm.)	19810	19849	19885	19935	19891	19890	
Weight of Mold ( gm.)	15773	15773	15773	15773	15773	15773	
Weight of Wet Soil ( gm.)	4037	4076	4112	4162	4118	4117	
Wet. Density (gm./cm <sup>3</sup> )	1.953	1.972	1.990	2.014	1.992	1.992	
Dry Density (gm./cm <sup>3</sup> )	1.903	1.906	1.909	1.913	1.878	1.845	

**WATER CONTENT**

Container Number	1A	2A	3A	4A	5A	6A	
Wt.of Wet Soil+Container ( gm.)	140	144.5	156.7	136.1	147.8	136.5	
Wt.of Dry Soil+Container ( gm.)	137	140	150.7	130	140.1	128.1	
Wt. of Container ( gm.)	24	24.5	24.1	14.4	14.2	22.5	
Wt. of Water ( gm.)	3	4.5	6	6.1	7.7	8.4	
Wt. of Dry Soil ( gm.)	113	115.5	126.6	115.6	125.9	105.6	
Water Content (%)	2.65	3.45	4.20	5.28	6.12	7.95	



Optimum moisture Content ,W(%)= 4.75  
%

Maximum Dry Density = 1.915 T/ m<sup>3</sup>

ตารางที่ ค-3 ผลการทดสอบ CBR

Optimum Water Content 4.75%      Compaction Method Modified

COMPACTION TEST NO		1	2	3
NO. OF BLOWS PER LAYER		12	25	56
WEIGHT OF OLD ASPHAL USED	gm	5500	5500	5500
AMOUNT OF WATER ADDED	cm <sup>3</sup>	321.8	321.8	321.8
MOLD NO.		10	11	12
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm	11756	12116	12394
WEIGHT OF MOULD	gm	8003	8018	8164
WEIGHT OF WET SOIL , W	gm	3753	4098	4230
VOLUME OF MOULD , V	cm <sup>3</sup>	2332	2324	2323
WET DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.609	1.763	1.821
DRY DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.533	1.704	1.732

WATER CONTENT

BEFORE SOAKING

AFTER SOAKING

TEST NO.		1	2	3	1	2	3
CONTAINER NO.		A10	A11	A12	A7	A8	A9
WEIGHT OF WET SOIL+CONTAINER	gm	841.6	348	375	981.6	990.4	994.8
WEIGHT OF DRY SOIL+CONTAINER	gm	808.5	337.1	357.6	943.4	947.3	953.0
WEIGHT OF WATER	gm	33.1	10.9	17.1	38.2	43.1	41.8
WEIGHT OF CONTAINER	gm	140.8	23	22.6	159.7	148.1	184.3
WEIGHT OF DRY SOIL	gm	667.7	314.1	335.0	783.7	799.2	768.7
WATER CONTENT	%	4.96	3.47	5.10	4.87	5.39	5.44
WEIGHT OF SOAKED SOIL + MOULD	gm				11791	12181	12460
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm				11756	12116	12394
WATER ABSORBED , Wa	gm				35	65	66
PERCENT WATER ABSORBED , Wa (100 + w)/W	%				0.98	1.67	1.65
NO SWELLING							

**ผลการทดสอบ CBR (ต่อ)**

Penetration (in)	Mold No. 10	12 Layer	Mold No. 11	25 Layer	Mold No. 12	56 Layer
	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	2	8.42	2	8.42	6	25.27
0.050	5	21.06	5	21.06	17	71.61
0.075	7	29.49	9	37.91	25	105.31
0.100	9	37.91	11	46.34	32	134.79
0.125	10	42.12	14	58.97	36	151.64
0.150	12	50.55	16	67.40	42	176.92
0.175	13	54.76	19	80.03	49	206.40
0.200	14	58.97	21	88.46	51	214.83
0.225	15	63.19	23	96.88	55	231.68
0.250	17	71.61	24	101.10	58	244.32
0.275	18	75.82	25	105.31	63	265.38
0.300	19	80.03	28	117.95	66	278.01
0.325	21	88.46	30	126.37	71	299.08
0.350	22	92.67	31	130.58	74	311.71
0.375	25	105.31	32	134.79	78	328.56
0.400	25	105.31	35	147.43	82	345.41
0.425	25	105.31	37	155.86	89	374.90
0.450	26	109.52	37	155.86	89	374.90
0.475	28	117.95	40	168.49	92	387.535
0.500	31	130.58	41	172.71	99	417.021

ตารางที่ ผลการทดสอบ CBR (ต่อ)

Soaked Test Results

MOULD NO.	10	11	12
NO. OF BLOWS PER LAYER	12	25	56
CBR AT 0.1 IN PENETRATION	3.80	4.63	13.50
CBR AT 0.2 IN PENETRATION	3.93	5.90	14.32
DRY DENSITY	1.533	1.704	1.732
WATER CONTENT	4.96	3.47	5.1
PERCENT SWELL	0	0	0

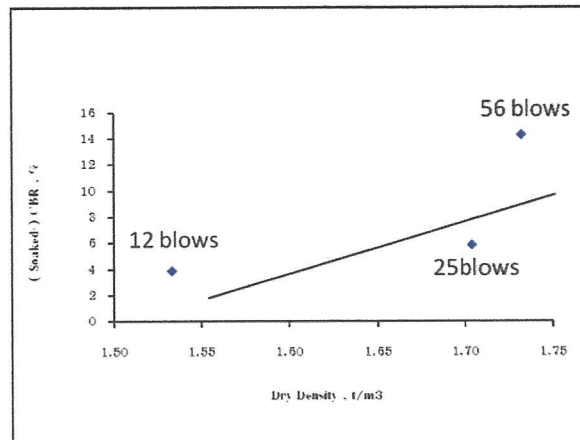
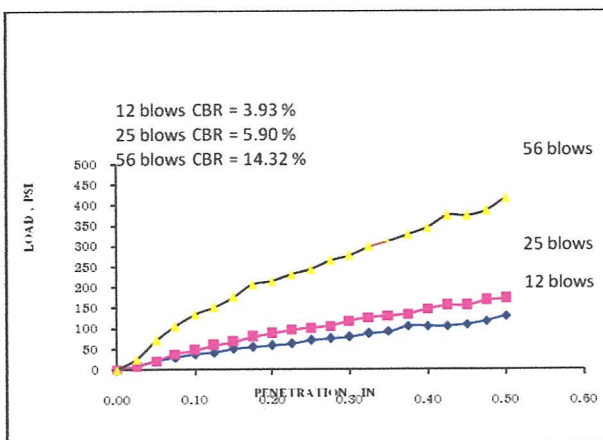
Compaction Modified Compaction

Hammer Wight 10 lb Hight of Drop 18 in

NO. of Layer 5

$$CBR = \frac{\text{Corrected Load Value} * 100}{\text{Standard Load}}$$

CBR Value at 95 % Max. Density (2.404 t/m<sup>3</sup>) = 14.32 %



ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบคุณสมบัติ ของแอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรัง

ตารางที่ ง-1 ผลการทดสอบ COMPACTION TEST

Type of Sample ดินลูกรัง 15%

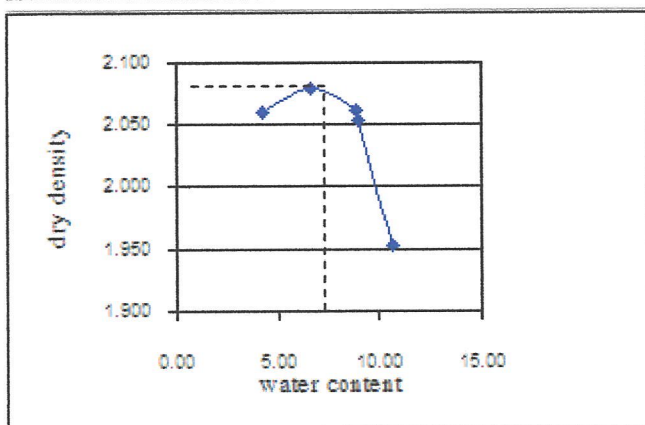
Sample Used 2400 gm. Number of Layer 5 Number of Blows 56

No. of Mold 3A Height of Mold 11.66 cm Dai. Of Mold 11 cm. Wt. of Mold 4053 gm.

TEST NO.	1	2	3	4	5	REMARK
WATER CONTENT OF AIR DRY SOIL %	6	8	10	12	14	
AMOUNT OF WATER ADDED cm <sup>3</sup>	144	192	240	288	336	
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD gm.	6435.0	6510.0	6540.0	6535.0	6449.0	
WEIGHT OF MOULD gm.	4053.0	4053.0	4053.0	4053.0	4053.0	
VOLUME OF SAMPLE cm <sup>3</sup>	1108.50	1108.5	1108.50	1108.50	1108.50	
WEIGHT OF WET SOIL gm.	2382.0	2457.0	2487.0	2482.0	2396.0	
WET DENSITY gm/cm <sup>3</sup>	2.149	2.217	2.244	2.239	2.161	

WATER CONTENT

CONTAINER NUMBER	A8	A10	A12	A14	A15	
WT. OF WET SOIL + CONTAINER gm.	141.0	143.5	144.7	145.5	155.2	
WT. OF DRY SOIL + CONTAINER gm.	135.8	135.5	134.1	134.7	141.6	
WT. OF CONTAINER gm.	14.6	14.9	14.4	14.6	14.5	
WEIGHT OF WATER gm.	5.2	8.0	10.6	10.8	13.6	
WEIGHT OF DRY SOIL gm.	121.2	120.6	119.7	120.1	127.1	
WATER CONTENT %	4.29	6.63	8.86	8.99	10.70	
DRY DENSITY gm/cm <sup>3</sup>	2.060	2.079	2.061	2.054	1.953	



Optimum Moisture Content , W (%) = 7.5 %

Maximum Dry Density = 2.079 T/m<sup>3</sup>

ตารางที่ ง-2 ผลการทดสอบ COMPACTION TEST

Type of Sample ดินลูกรัง 30%

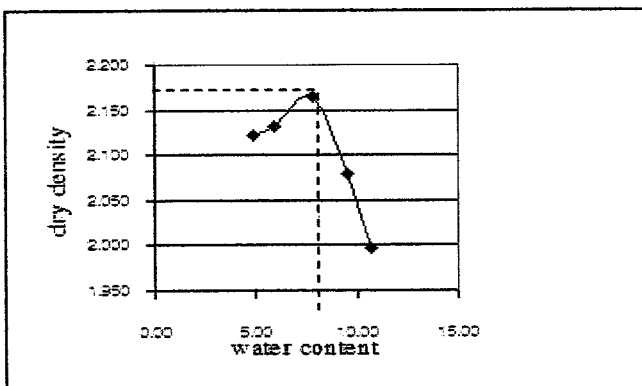
Sample Used 2400 gm. Number of Layer 5 Number of Blows 56

No. of Mold 3A Height of Mold 11.66 cm Dai. Of Mold 11 cm.Wt. of Mold 4053 gm.

TEST NO.	1	2	3	4	5	REMARK
WATER CONTENT OF AIR DRY SOIL %	6	8	10	12	14	
AMOUNT OF WATER ADDED cm <sup>3</sup>	144	192	240	288	336	
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD gm.	6520.0	6555.0	6640.0	6577.0	6505.0	
WEIGHT OF MOULD gm.	4053.0	4053.0	4053.0	4053.0	4053.0	
VOLUMN OF SAMPLE cm <sup>3</sup>	1108.50	1108.50	1108.50	1108.50	1108.50	
WEIGHT OF WET SOIL gm.	2467.0	2502.0	2587.0	2524.0	2452.0	
WET DENSITY gm/cm <sup>3</sup>	2.226	2.257	2.334	2.277	2.212	

WATER CONTENT

CONTAINER NUMBER	A8	A10	A12	A14	A15	
WT. OF WET SOIL + CONTAINER gm.	134.5	134.4	130.0	146.5	126.8	
WT. OF DRY SOIL +CONTAINER gm.	128.9	127.7	121.6	135.8	115.9	
WEIGHT OF CONTAINER gm.	14.1	14.4	14.6	23.8	14.3	
WEIGHT OF WATER gm.	5.6	6.7	8.4	10.7	10.9	
WEIGHT OF DRY SOIL gm.	114.8	113.3	107.0	112.0	101.6	
WATER CONTENT %	4.88	5.91	7.85	9.55	10.73	
DRY DENSITY gm/cm <sup>3</sup>	2.122	2.131	2.164	2.078	1.998	



Optimum Moisture Content , W (%) = 7.2 %

Maximum Dry Density = 2.17 T/m<sup>3</sup>

ตารางที่ 3-3 ผลการทดสอบ COMPACTION TEST

Type of Sample ดินลูกรัง 45%

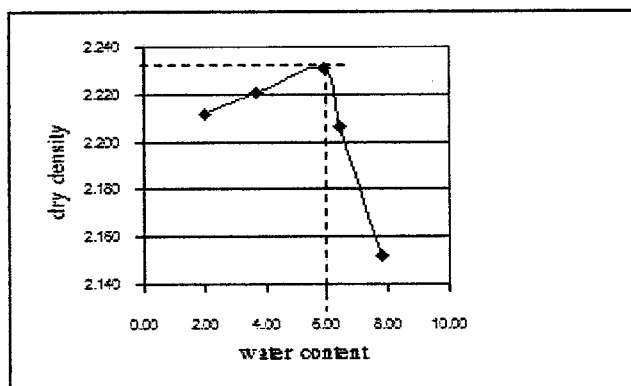
Sample Used 2800 gm. Number of Layer 5 Number of Blows 25

No. of Mold 3A Height of Mold 11.66 cm Dai. Of Mold 11 cm. Wt. of Mold 4053 gm.

TEST NO.	1	2	3	4	5	REMARK
WATER CONTENT OF AIR DRY SOIL%	2	4	6	8	10	
AMOUNT OF WATER ADDED cm <sup>3</sup>	56	112	168	224	280	
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD gm.	6553.0	6605.0	6673.0	6655.0	6624.0	
WEIGHT OF MOULD gm.	4053.0	4053.0	4053.0	4053.0	4053.0	
VOLUMN OF SAMPLE cm <sup>3</sup>	1108.50	1108.50	1108.50	1108.50	1108.50	
WEIGHT OF WET SOIL gm.	2500.0	2552.0	2620.0	2602.0	2571.0	
WET DENSITY gm/cm <sup>3</sup>	2.255	2.302	2.364	2.347	2.319	

WATER CONTENT

CONTAINER NUMBER	A8	A10	A12	A14	A15	
WT. OF WET SOIL + CONTAINER gm.	132.4	127.5	142.0	134.3	141.6	
WT. OF DRY SOIL + CONTAINER gm.	130.1	123.5	134.9	127.1	133.1	
WEIGHT OF CONTAINER gm.	14.1	14.6	15.3	14.6	24.0	
WEIGHT OF WATER gm.	2.3	4.0	7.1	7.2	8.5	
WEIGHT OF DRY SOIL gm.	116.0	108.9	119.6	112.5	109.1	
WATER CONTENT %	1.98	3.67	5.94	6.40	7.79	
DRY DENSITY gm/cm <sup>3</sup>	2.211	2.221	2.231	2.206	2.152	



Optimum Moisture Content ,W(%) = 4.8%

Maximum Dry Density = 2.23 T/ m<sup>3</sup>

ตารางที่ 4-4 ผลการทดสอบ COMPACTION TEST

Type of Sample ดินลูกรัง 60%

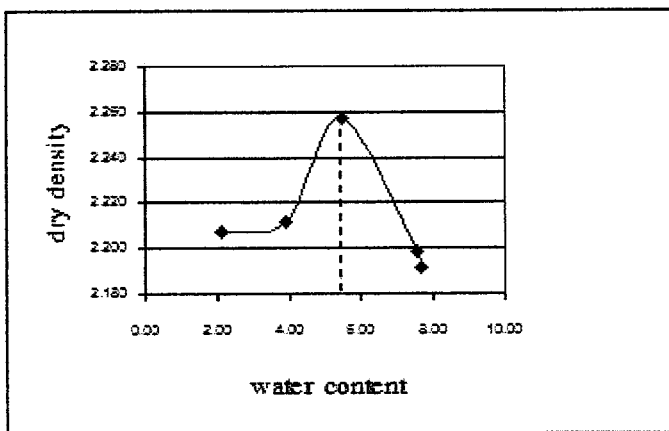
Sample Used 2800 gm. Number of Layer 5 Number of Blows 25

No. of Mold 3A Height of Mold 11.66 cm Dai.Of Mold 11 cm. Wt. of Mold 4053 gm.

TEST NO.	1	2	3	4	5	REMARK
WATER CONTENT OF AIR DRY SOIL %	2	4	6	8	10	
AMOUNT OF WATER ADDED cm <sup>3</sup>	56	112	168	224	280	
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD gm.	6552.0	6600.0	6693.0	6674.0	6668.0	
WEIGHT OF MOULD gm.	4053.0	4053.0	4053.0	4053.0	4053.0	
VOLUMN OF SAMPLE cm <sup>3</sup>	1108.50	1108.50	1108.50	1108.50	1108.50	
WEIGHT OF WET SOIL gm.	2499.0	2547.0	2640.0	2621.0	2615.0	
WET DENSITY gm/cm <sup>3</sup>	2.254	2.298	2.382	2.364	2.359	

WATER CONTENT

CONTAINER NUMBER	A8	A10	A12	A14	A15	
WT. OF WET SOIL + CONTAINER gm.	128.3	128.8	137.4	148.7	144.0	
WT. OF DRY SOIL + CONTAINER gm.	125.9	124.5	131.0	140.0	134.8	
WEIGHT OF CONTAINER gm.	14.1	14.4	14.6	24.6	14.5	
WEIGHT OF WATER gm.	2.4	4.3	6.4	8.7	9.2	
WEIGHT OF DRY SOIL gm.	111.8	110.1	116.4	115.4	120.3	
WATER CONTENT %	2.15	3.91	5.50	7.54	7.65	
DRY DENSITY gm/cm <sup>3</sup>	2.207	2.211	2.257	2.199	2.191	



Optimum Moisture Content ,W (%) = 5.5 %

Maximum Dry Density = 2.26 T/ m<sup>3</sup>

ตารางที่ ง-5 ผลการทดสอบ COMPACTION TEST

Type of Sample ดินลูกรัง 75%

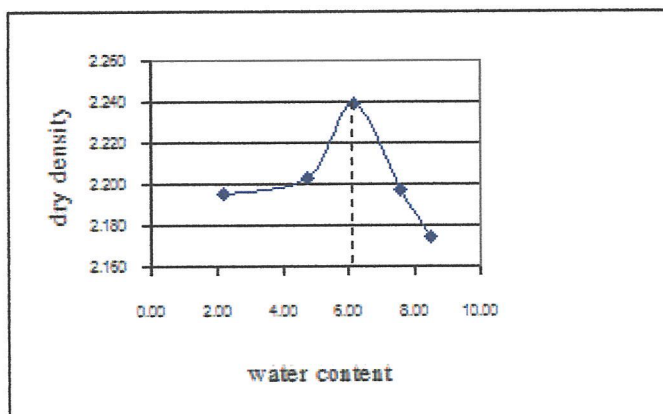
Sample Used 3000 gm. Number of Layer 5 Number of Blows 25

No. of Mold 3A Height of Mold 11.66 cm Dai. Of Mold 11 cm. Wt. of Mold 4053 gm.

TEST NO.	1	2	3	4	5	REMARK
WATER CONTENT OF AIR DRY SOIL %	2	4	6	8	10	
AMOUNT OF WATER ADDED cm <sup>3</sup>	60	120	180	240	300	
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD gm.	6540.0	6610.0	6688.0	6672.0	6668.0	
WEIGHT OF MOULD gm.	4053.0	4053.0	4053.0	4053.0	4053.0	
VOLUME OF SAMPLE cm <sup>3</sup>	1108.50	1108.50	1108.50	1108.50	1108.50	
WEIGHT OF WET SOIL gm.	2487.0	2557.0	2635.0	2619.0	2615.0	
WET DENSITY gm/cm <sup>3</sup>	2.244	2.307	2.377	2.363	2.359	

WATER CONTENT

CONTAINER NUMBER	A8	A10	A12	A14	A15	
WT. OF WET SOIL + CONTAINER gm.	145.3	136.2	149.0	148.7	164.0	
WT. OF DRY SOIL + CONTAINER gm.	142.5	130.7	141.8	139.3	152.3	
WEIGHT OF CONTAINER gm.	14.3	14.6	25.0	14.6	14.7	
WEIGHT OF WATER gm.	2.8	5.5	7.2	9.4	11.7	
WEIGHT OF DRY SOIL gm.	128.2	116.1	116.8	124.7	137.6	
WATER CONTENT %	2.18	4.74	6.16	7.54	8.50	
DRY DENSITY gm/cm <sup>3</sup>	2.196	2.202	2.239	2.197	2.174	



Optimum Moisture Content , W (%) = 6.25 %

Maximum Dry Density = 2.24 T/ m<sup>3</sup>

ตารางที่ ๖-6 ผลการทดสอบ COMPACTION TEST

Type of Sample ดินลูกรัง 90%

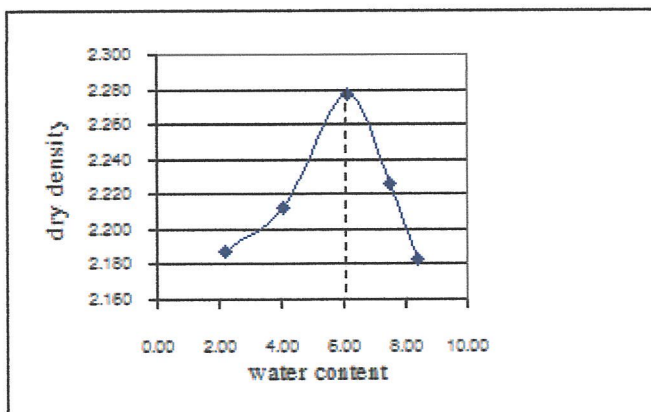
Sample Used 3000 gm. Number of Layer 5 Number of Blows 25

No.of Mold 3A Height of Mold 11.66 cm Dai.Of Mold 11 cm. Wt. of Mold 4053 gm.

TEST NO.	1	2	3	4	5	REMARK
WATER CONTENT OF AIR DRY SOIL %	2	4	6	8	10	
AMOUNT OF WATER ADDED cm <sup>3</sup>	60	120	180	240	300	
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD gm.	6530.0	6605.0	6733.0	6705.0	6675.0	
WEIGHT OF MOULD gm.	4053.0	4053.0	4053.0	4053.0	4053.0	
VOLUMN OF SAMPLE cm <sup>3</sup>	1108.50	1108.50	1108.50	1108.50	1108.50	
WEIGHT OF WET SOIL gm.	2477.0	2552.0	2680.0	2652.0	2622.0	
WET DENSITY gm/cm <sup>3</sup>	2.235	2.302	2.418	2.392	2.365	

WATER CONTENT

CONTAINER NUMBER	A8	A10	A12	A14	A15	
WT. OF WET SOIL + CONTAINER gm.	132.0	145.5	141.9	131.0	153.3	
WT. OF DRY SOIL + CONTAINER gm.	129.5	140.4	135.1	123.6	143.4	
WEIGHT OF CONTAINER gm.	14.4	14.4	24.6	24.6	25.0	
WEIGHT OF WATER gm.	2.5	5.1	6.8	7.4	9.9	
WEIGHT OF DRY SOIL gm.	115.1	126.0	110.5	99.0	118.4	
WATER CONTENT %	2.17	4.05	6.15	7.47	8.36	
DRY DENSITY gm/cm <sup>3</sup>	2.187	2.213	2.278	2.226	2.183	



Optimum Moisture Content , W (%) = 6 %

Maximum Dry Density = 2.275 T/ m<sup>3</sup>

ตารางที่ ง-7 ผลการทดสอบ CBR

Soil Description

แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรัง 15%

Optimum Water Content

7.50%

COMPACTION TEST NO		1	2	3
NO. OF BLOWS PER LAYER		12	25	56
WEIGHT OF AGGREGATE USED	gm	5500	5500	5500
AMOUNT OF WATER ADDED	cm <sup>3</sup>	357.5	357.5	357.5
MOLD NO.		4	5	6
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm	11212	11390	12005
WEIGHT OF MOULD	gm	7315	7220	7464
WEIGHT OF WET SOIL , W	gm	3897	4170	4541
VOLUME OF MOULD , V	cm <sup>3</sup>	2325	2325	2325
WET DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.676	1.794	1.953
DRY DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.594	1.708	1.899

WATER CONTENT

BEFORE SOAKING

AFTER SOAKING

TEST NO.		1	2	3	1	2	3
CONTAINER NO.		J8	J9	J11	J28	J29	J30
WEIGHT OF WET SOIL+CONTAINER	gm	143.3	135.8	121.1	142.2	163.8	170
WEIGHT OF DRY SOIL+CONTAINER	gm	137.0	130.0	118.4	131.8	153.9	161.3
WEIGHT OF WATER	gm	6.3	5.8	2.7	10.4	9.9	8.7
WEIGHT OF CONTAINER	gm	14.6	14.6	24	14.7	15.6	14.7
WEIGHT OF DRY SOIL	gm	122.4	115.4	94.4	117.1	138.3	146.6
WATER CONTENT	%	5.15	5.03	2.86	8.88	7.16	5.93
WEIGHT OF SOAKED SOIL + MOULD	gm				11302	11490	12080
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm				11212	11390	12005
WATER ABSORBED , Wa	gm				90	100	75
PERCENT WATER ABSORBED , Wa (100 + w)/W	%				2.51	2.57	1.75
NO SWELLING							

**ผลการทดสอบ CBR (ต่อ)**

**Soil Description**

แอสฟัลท์ก่อนกรีตซำรุดผสมดินลูกรัง 15%

**Optimum Water Content**

7.50%

Penetration (in)	Mold No. 4	12 Layer	Mold No. 5	25 Layer	Mold No. 6	56 Layer
	Pistion load Dial reading (0.001) in (12.637lb/div)	Stress Psi	Pistion load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Pistion load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	1	4.21	9	37.91	9	37.91
0.050	2	8.42	14	58.97	19	80.03
0.075	3	12.64	17	71.61	27	113.73
0.100	5	21.06	20	84.25	39	164.28
0.125	6	25.27	22	92.67	45	189.56
0.150	7	29.49	25	105.31	50	210.62
0.175	8.5	35.80	27	113.73	56	235.89
0.200	11	46.34	28	117.95	59	248.53
0.225	12	50.55	32	134.79	66	278.01
0.250	13	54.76	34	143.22	71	299.08
0.275	14	58.97	35	147.43	76	320.14
0.300	15	63.19	35	147.43	82	345.41
0.325	17	71.61	35	147.43	91	383.32
0.350	18	75.82	39	164.28	92	387.53
0.375	20	84.25	41	172.71	96	404.38
0.400	21	88.46	42	176.92	102	429.66
0.425	22	92.67	44	185.34	104	438.08
0.450	24	101.10	47	197.98	106	446.51
0.475	25	105.31	48	202.19	112	471.78
0.500	26	109.52	50	210.62	120	505.48



ตารางที่ ๓-8 ผลการทดสอบ CBR

Soil Description

แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรัง30%

Optimum Water Content

7.20%

COMPACTION TEST NO		1	2	3
NO. OF BLOWS PER LAYER		12	25	56
WEIGHT OF AGGREGATE USED	gm	5500	5500	5500
AMOUNT OF WATER ADDED	cm <sup>3</sup>	341.0	341.0	341.0
MOLD NO.		1	2	3
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm	11535	11820	11805
WEIGHT OF MOULD	gm	7399	7480	7082
WEIGHT OF WET SOIL , W	gm	4136	4340	4723
VOLUME OF MOULD , V	cm <sup>3</sup>	2325	2325	2325
WET DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.779	1.867	2.031
DRY DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.657	1.747	1.929

WATER CONTENT

BEFORE SOAKING

AFTER SOAKING

TEST NO.		1	2	3	1	2	3
CONTAINER NO.		J1	J4	J5	J13	J14	J15
WEIGHT OF WET SOIL+CONTAINER	gm	147.6	136	164.1	132.7	125.3	141.8
WEIGHT OF DRY SOIL+CONTAINER	gm	138.5	128.2	157.1	124.6	116.8	134.8
WEIGHT OF WATER	gm	9.1	7.8	7.0	8.1	8.5	7.0
WEIGHT OF CONTAINER	gm	14.7	14.6	25	24.4	14.4	15.4
WEIGHT OF DRY SOIL	gm	123.8	113.6	132.1	100.2	102.4	119.4
WATER CONTENT	%	7.35	6.87	5.30	8.08	8.30	5.86
WEIGHT OF SOAKED SOIL + MOULD	gm				11640	11900	11855
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm				11535	11820	11805
WATER ABSORBED , Wa	gm				105	80	50
PERCENT WATER ABSORBED , Wa (100 + w)/W	%				2.74	2.00	1.12

**ผลการทดสอบ CBR (ต่อ)**

**Soil Description**

แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรัง 30%

**Optimum Water Content**

7.20%

Penetration (in)	Mold No. 1	12 Layer	Mold No. 2	25 Layer	Mold No. 3	56 Layer
	Pistion load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Pistion load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Pistion load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	3	12.64	1	4.21	7	29.49
0.050	4	16.85	4	16.85	20	84.25
0.075	7	29.49	7	29.49	32	134.79
0.100	9	37.91	10	42.12	45	189.56
0.125	12	50.55	13	54.76	53	223.25
0.150	14	58.97	16	67.40	62	261.16
0.175	16	67.40	17	71.61	68	286.44
0.200	18	75.82	18	75.82	77	324.35
0.225	19	80.03	24	101.10	89	374.90
0.250	22	92.67	26	109.52	94	395.96
0.275	23	96.88	28	117.95	98	412.81
0.300	25	105.31	31	130.58	108	454.93
0.325	27	113.73	34	143.22	115	484.42
0.350	29	122.16	37	155.86	121	509.69
0.375	30	126.37	40	168.49	126	530.75
0.400	31	130.58	41	172.71	136	572.88
0.425	32	134.79	45	189.56	142	598.15
0.450	33	139.01	49	206.40	144	606.58
0.475	34	143.22	50	210.62	148	623.43
0.500	35	147.43	53	223.25	158	665.55

## ผลการทดสอบ CBR (ต่อ)

### Soaked Test Results

MOULD NO.	1	2	3
NO. OF BLOWS PER LAYER	12	25	56
CBR AT 0.1 IN PENETRATION	3.79	4.21	18.96
CBR AT 0.2 IN PENETRATION	5.05	5.05	21.62
DRY DENSITY	1.657	1.747	1.929
WATER CONTENT	7.35	6.87	5.3
PERCENT SWELL	0	0	0

### Compaction

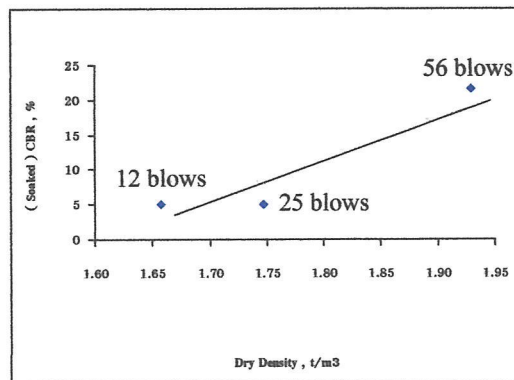
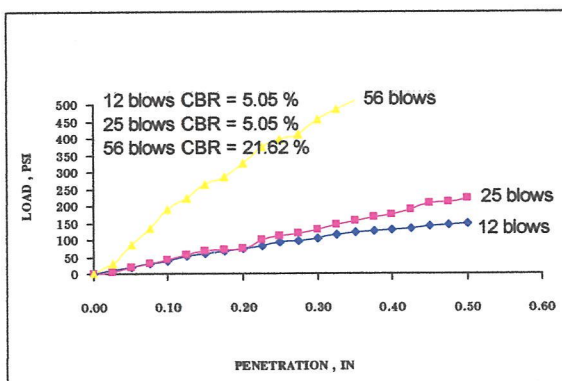
Method Modified Compaction

Hammer Weight 10 lb Hight of Drop 18 in

NO. of Layer 5

$$\text{CBR} = \frac{\text{Corrected Load Value} * 100}{\text{Standard Load}}$$

CBR Value at 95 % Max. Density ( $2.17 \text{ t/m}^3$ ) = 26 %



**ตารางที่ ๙-๑ ผลการทดสอบ CBR**

**Soil Description**

แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรัง 45%

**Optimum Water Content**

4.80%

COMPACTION TEST NO		1	2	3
NO. OF BLOWS PER LAYER		12	25	56
WEIGHT OF AGGREGATE USED	gm	5500	5500	5500
AMOUNT OF WATER ADDED	cm <sup>3</sup>	209.0	209.0	209.0
MOLD NO.		4	5	6
WEIGHT OF WET SOIL+ MOULD	gm	11353	11637	12190
WEIGHT OF MOULD	gm	7315	7220	7464
WEIGHT OF WET SOIL , W	gm	4038	4417	4726
VOLUME OF MOULD , V	cm <sup>3</sup>	2325	2325	2325
WET DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.737	1.900	2.033
DRY DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.674	1.825	1.965

**WATER CONTENT**

**BEFORE SOAKING**

**AFTER SOAKING**

TEST NO.		1	2	3	1	2	3
CONTAINER NO.		J8	J10	J12	J16	J17	J18
WEIGHT OF WET SOIL+CONTAINER	gm	111.3	122.2	135.1	141.8	131.7	136.2
WEIGHT OF DRY SOIL+CONTAINER	gm	107.8	118.0	131.1	132.8	124.5	130.3
WEIGHT OF WATER	gm	3.5	4.2	4.0	9.0	7.2	5.9
WEIGHT OF CONTAINER	gm	14.6	14.9	14.7	14.6	14.6	24.6
WEIGHT OF DRY SOIL	gm	93.2	103.1	116.4	118.2	109.9	105.7
WATER CONTENT	%	3.76	4.07	3.44	7.61	6.55	5.58
WEIGHT OF SOAKED SOIL + MOULD	gm				11575	11810	12320
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm				11353	11637	12190
WATER ABSORBED , Wa	gm				222	173	130
PERCENT WATER ABSORBED , Wa (100 + w)/W	%				5.92	4.17	2.90

**ผลการทดสอบ CBR (ต่อ)**

**Soil Description**

**แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรัง45%**

**Optimum Water Content**

**4.80%**

Penetration (in)	Mold No. 4	12 Layer	Mold No. 5	25 Layer	Mold No. 6	56 Layer
	Pistion load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Pistion load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Pistion load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	3	12.64	4	16.85	6	25.27
0.050	6	25.27	12	50.55	20	84.25
0.075	10	42.12	21	88.46	39	164.28
0.100	13	54.76	30	126.37	59	248.53
0.125	14	58.97	35	147.43	78	328.56
0.150	16	67.40	38	160.07	90	379.11
0.175	17	71.61	43	181.13	102	429.66
0.200	20	84.25	48	202.19	120	505.48
0.225	20	84.25	54	227.47	127	534.97
0.250	21	88.46	58	244.32	139	585.51
0.275	22	92.67	65	273.80	148	623.43
0.300	24	101.10	68	286.44	163	686.61
0.325	24	101.10	78	328.56	178	749.80
0.350	25	105.31	80	336.99	181	762.43
0.375	26	109.52	85	358.05	199	838.25
0.400	28	117.95	88	370.69	201	846.68
0.425	28	117.95	93	391.75	205	863.53
0.450	30	126.37	94	395.96	207	871.95
0.475	31	130.58	99	417.02	218	918.289
0.500	32	134.79	102	429.66	225	947.775



ตารางที่ ง-10 ผลการทดสอบ CBR

Soil Description

แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรัง 60%

Optimum Water Content

5.50%

COMPACTION TEST NO		1	2	3
NO. OF BLOWS PER LAYER		12	25	56
WEIGHT OF AGGREGATE USED	gm	5500	5500	5500
AMOUNT OF WATER ADDED	cm <sup>3</sup>	247.5	247.5	247.5
MOLD NO.		1	2	3
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm	11540	11965	12003
WEIGHT OF MOULD	gm	7399	7480	7082
WEIGHT OF WET SOIL , W	gm	4141	4485	4921
VOLUME OF MOULD , V	cm <sup>3</sup>	2325	2325	2325
WET DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.781	1.929	2.117
DRY DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.698	1.829	2.019

WATER CONTENT

BEFORE SOAKING

AFTER SOAKING

TEST NO.		1	2	3	1	2	3
CONTAINER NO.		J2	J4	J5	J1	J2	J3
WEIGHT OF WET SOIL+CONTAINER	gm	144.7	122.8	146.5	117.1	138.4	126.8
WEIGHT OF DRY SOIL+CONTAINER	gm	138.6	117.2	140.9	109.1	129.8	120.0
WEIGHT OF WATER	gm	6.1	5.6	5.6	8.0	8.6	6.8
WEIGHT OF CONTAINER	gm	14.5	14.6	25	14.7	14.5	14.6
WEIGHT OF DRY SOIL	gm	124.1	102.6	115.9	94.4	115.3	105.4
WATER CONTENT	%	4.92	5.46	4.83	8.47	7.46	6.45
WEIGHT OF SOAKED SOIL + MOULD	gm				11763	12157	12110
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm				11540	11965	12003
WATER ABSORBED , Wa	gm				223	192	107
PERCENT WATER ABSORBED , Wa (100 + w)/W	%				5.84	4.60	2.31

**ผลการทดสอบ CBR (ต่อ)**

**Soil Description**

**แอสฟัลท์ก่อนกรีดชำระคุณสมบัติดินลูกรัง 60%**

**Optimum Water Content**

**5.50%**

Penetration (in)	Mold No. 1	12 Layer	Mold No. 2	25 Layer	Mold No. 3	56 Layer
	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	5	21.06	1	4.21	9	37.91
0.050	8	33.70	4	16.85	22	92.67
0.075	10	42.12	7	29.49	40	168.49
0.100	11	46.34	10	42.12	55	231.68
0.125	12	50.55	13	54.76	74	311.71
0.150	13	54.76	16	67.40	89	374.90
0.175	15	63.19	17	71.61	106	446.51
0.200	16	67.40	18	75.82	123	518.12
0.225	17	71.61	24	101.10	137	577.09
0.250	19	80.03	26	109.52	150	631.85
0.275	19	80.03	28	117.95	165	695.04
0.300	20	84.25	31	130.58	180	758.22
0.325	20	84.25	34	143.22	190	800.34
0.350	20	84.25	37	155.86	201	846.68
0.375	22	92.67	40	168.49	214	901.44
0.400	23	96.88	41	172.71	223	939.35
0.425	24	101.10	45	189.56	230	968.84
0.450	25	105.31	49	206.40	240	1010.96
0.475	26	109.52	50	210.62	251	1057.3
0.500	27	113.73	53	223.25	262	1103.63



ตารางที่ ง-11 ผลการทดสอบ CBR

Soil Description

แอสฟัลท์คอนกรีตชำรุดผสมดินลูกรัง75%

Optimum Water Content

6.25%

COMPACTION TEST NO		1	2	3
NO. OF BLOWS PER LAYER		12	25	56
WEIGHT OF AGGREGATE USED	gm	5500	5500	5500
AMOUNT OF WATER ADDED	cm <sup>3</sup>	288.8	247.5	247.5
MOLD NO.		4	5	6
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm	11775	11935	12435
WEIGHT OF MOULD	gm	7315	7220	7464
WEIGHT OF WET SOIL , W	gm	4460	4715	4971
VOLUME OF MOULD , V	cm <sup>3</sup>	2325	2325	2325
WET DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.918	2.028	2.138
DRY DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.816	1.911	2.031

WATER CONTENT

BEFORE SOAKING

AFTER SOAKING

TEST NO.		1	2	3	1	2	3
CONTAINER NO.		J7	J9	J11	J4	J5	J6
WEIGHT OF WET SOIL+CONTAINER	gm	127.3	132.2	144	144.1	148.3	135.3
WEIGHT OF DRY SOIL+CONTAINER	gm	121.3	125.4	138.0	132.3	138.4	124.3
WEIGHT OF WATER	gm	6.0	6.8	6.0	11.8	9.9	11.0
WEIGHT OF CONTAINER	gm	14.6	14.6	24	14.6	25	15.3
WEIGHT OF DRY SOIL	gm	106.7	110.8	114.0	117.7	113.4	109.0
WATER CONTENT	%	5.62	6.14	5.26	10.03	8.73	10.09
WEIGHT OF SOAKED SOIL + MOULD	gm				11962	12091	12529
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm				11775	11935	12435
WATER ABSORBED , Wa	gm				187	156	94
PERCENT WATER ABSORBED , Wa (100 + w)/W	%				4.61	3.60	2.08

**ผลการทดสอบ CBR (ต่อ)**

**Soil Description**

**แอสฟัลท์คอนกรีตชำระผสมดินลูกรัง 75%**

**Optimum Water Content**

**6.25%**

Penetration (in)	Mold No. 4	12 Layer	Mold No. 5	25 Layer	Mold No. 6	56 Layer
	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	6	25.27	5	21.06	8	33.70
0.050	10	42.12	12	50.55	19	80.03
0.075	15	63.19	23	96.88	36	151.64
0.100	20	84.25	34	143.22	51	214.83
0.125	22	92.67	42	176.92	64	269.59
0.150	25	105.31	48	202.19	76	320.14
0.175	29	122.16	55	231.68	91	383.32
0.200	31	130.58	63	265.38	105	442.30
0.225	34	143.22	67	282.23	113	475.99
0.250	36	151.64	75	315.93	123	518.12
0.275	38	160.07	82	345.41	136	572.88
0.300	42	176.92	88	370.69	146	615.00
0.325	43	181.13	91	383.32	157	661.34
0.350	45	189.56	98	412.81	164	690.82
0.375	48	202.19	110	463.36	173	728.73
0.400	50	210.62	110	463.36	183	770.86
0.425	52	219.04	111	467.57	191	804.56
0.450	54	227.47	116	488.63	197	829.83
0.475	57	240.10	120	505.48	204	859.316
0.500	59	248.53	124	522.33	216	909.864



ตารางที่ ง-12 ผลการทดสอบ CBR

Soil Description

แอสฟัลท์คอนกรีตขำรุดผสมดินลูกรัง90%

Optimum Water Content

6.00%

COMPACTION TEST NO		1	2	3
NO. OF BLOWS PER LAYER		12	25	56
WEIGHT OF AGGREGATE USED	gm	5500	5500	5500
AMOUNT OF WATER ADDED	cm <sup>3</sup>	275.0	275.0	275.0
MOLD NO.		6	5	4
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm	11810	11880	12291
WEIGHT OF MOULD	gm	7464	7220	7315
WEIGHT OF WET SOIL , W	gm	4346	4660	4976
VOLUME OF MOULD , V	cm <sup>3</sup>	2325	2325	2325
WET DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.869	2.004	2.140
DRY DENSITY	gm/cm <sup>3</sup>	1.753	1.895	2.006

WATER CONTENT

BEFORE SOAKING

AFTER SOAKING

TEST NO.		1	2	3	1	2	3
CONTAINER NO.		J2	J4	J6	J14	J26	J16
WEIGHT OF WET SOIL+CONTAINER	gm	134.6	133.8	147.2	136.8	141.4	118.6
WEIGHT OF DRY SOIL+CONTAINER	gm	127.1	127.3	138.9	124.9	127.8	109.7
WEIGHT OF WATER	gm	7.5	6.5	8.3	11.9	13.6	8.9
WEIGHT OF CONTAINER	gm	14.5	14.6	15.3	14.4	14.1	14.6
WEIGHT OF DRY SOIL	gm	112.6	112.7	123.6	110.5	113.7	95.1
WATER CONTENT	%	6.66	5.77	6.72	10.77	11.96	9.36
WEIGHT OF SOAKED SOIL + MOULD	gm				12078	12078	12464
WEIGHT OF WET SOIL + MOULD	gm				2.006	11880	12291
WATER ABSORBEED , Wa	gm				12076	198	173
PERCENT WATER ABSORBEED , Wa (100 + w)/W	%				307.79	4.76	3.80

**ผลการทดสอบ CBR (ต่อ)**

**Soil Description**

**แอสฟัลท์คอนกรีตชำระผสมดินลูกรัง 90%**

**Optimum Water Content**

**6.00%**

Penetration (in)	Mold No. 6	12 Layer	Mold No. 5	25 Layer	Mold No. 4	56 Layer
	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi	Piston load Dial reading (0.001) in (12.637 lb/div)	Stress Psi
0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.025	1	4.21	12	50.55	23	96.88
0.050	3	12.64	20	84.25	32	134.79
0.075	4	16.85	30	126.37	45	189.56
0.100	4	16.85	35	147.43	56	235.89
0.125	5	21.06	42	176.92	62	261.16
0.150	5	21.06	48	202.19	70	294.86
0.175	5	21.06	53	223.25	81	341.20
0.200	5	21.06	58	244.32	95	400.17
0.225	5	21.06	61	256.95	108	454.93
0.250	6	25.27	68	286.44	123	518.12
0.275	6	25.27	73	307.50	136	572.88
0.300	7	29.49	78	328.56	145	610.79
0.325	9	37.91	82	345.41	162	682.40
0.350	9	37.91	88	370.69	172	724.52
0.375	10	42.12	93	391.75	186	783.49
0.400	11	46.34	98	412.81	193	812.98
0.425	12	50.55	101	425.45	210	884.59
0.450	13	54.76	105	442.30	225	947.78
0.475	14	58.97	108	454.93	239	1006.75
0.500	15	63.19	113	475.99	251	1057.3

