การปรับปรุงคุณภาพวัสดุหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมด้วยปูนซีเมนต์

นายธงชัย รุ่งเรือง

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

การปรับปรุงคุณภาพวัสดุหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมด้วยปูนซีเมนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

_____

(ผศ. ดร.พรศิริ จงกล)
ประธานกรรมการ

_____

(รศ. ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

_____

(ผศ. ดร.ปรียาพร โกษา)
กรรมการ

_____

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ธงชัย รุ่งเรือง : การปรับปรุงคุณภาพวัสดุหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมด้วยปูนซีเมนต์ (PAVEMENT REMEDIATON USING SOIL – CEMENT BASE ADMIXED WITH RECYCLED ASPHALT CONCRETE STABILIZATION)
อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณภาพวัสดุหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์ คอนกรีตเดิมด้วยปูนซีเมนต์ เพื่อให้ได้กำลังอัดแกนเดียวตามต้องการ โดยหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำการศึกษามีอัตราส่วนผสม 3 อัตราส่วน ได้แก่ อัตราส่วนผสม 3 ต่อ 1 อัตราส่วนผสม 1 ต่อ 1 และอัตราส่วนผสม 1 ต่อ 3 โดยเปลี่ยนปริมาณปูนซีเมนต์ ในช่วงร้อยละ 2 ถึง 6 ผลการศึกษาพบว่า การใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ และการใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักน้ำกับปูนซีเมนต์ ให้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่กำลังรับแรงอัดแกนเดียวเท่ากันทุกประการ อย่างไรก็ตามพบว่าการใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักน้ำกับปูนซีเมนต์ มีความเหมะสมกว่าในแง่ของปริมาณตัวอย่างที่จะต้องนำมาทดสอบ และเมื่อพิจารณาการพัฒนากำลังรับแรงอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ปรับปรุงแล้วพบว่าหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่อัตราส่วน 1 ต่อ 3 ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมเนื่องจากการพัฒนากำลังตามระยะบ่มมีค่าน้อยมาก

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2556 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

THONGCHAI RUNGRUENG : PAVEMENT REMEDIATON USING SOIL – CEMENT BASE ADMIXED WITH RECYCLED ASPHALT CONCRETE STABILIZATION. ADVISOR : ASSOC. PROF. AVIRUT CHINKULKIJNIWAT, Ph.D.

This project aims to study pavement remediation using cement base (RUCB) admixed with asphalt concrete (RUAC). The amount of cement to be added to the RUCB and RUAC admixture to achieve a desired unconfined compressive strength of the cement admixed RUCB-RUAC is concerned. The mix proportions between RUCB and RUAC were 3:1, 1:1 and 1:3 by weight. The cement contents were varied between 2 to 6 percent. It is found from the study either cement content or water cement ratio (w/c) as a controlled factor yields the same amount of cement to achieve a desired unconfined compressive strength controlling. However, using w/c as a controlled factor will reduce number of specimens to be tested. Regarding to the strength development, it is found that the mix proportion between RUCB and RUAC of 1:3 is not recommended because the strength development of this aggregate is too low comparing with the other mix proportions.

School of Civil Engineering Student's Signature_____

Academic Year 2013 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ผู้วิจัยต้องขอกราบขอบคุณ กลุ่มบุคคลต่าง ๆ ที่กรุณาแนะนำ ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการ และพลังของจิตใจ

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์ อย่างมากสุดที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้ทั้งความรู้ คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางตามทฤษฎีตลอดจนข้อมูลที่ใช้ค้นคว้าวิจัยกระทั่งสำเร็จเป็นผลงานนี้ได้

ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันติ์ หอพิบูลสุข ผู้ดูแลหลักสูตร และเป็นอาจารย์ผู้สอน ตลอดคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา อาจารย์ผู้สอนทั้งในส่วนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และบุคลากรผู้มีความรู้จากภายนอก

นายวีระพันธ์ ดีสวัสดิ์ หัวหน้าหน่วยตรวจสอบและแนะนำวัสดุก่อสร้างทาง สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนา กรมทางหลวง ที่อนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่โครงการฯ เครื่องมืออุปกรณ์และแนะนำเสนอข้อมูลที่มีคุณค่าสาหรับใช้เป็นข้อมูลในงานวิจัยครั้งอย่างมาก

เพื่อน ๆ ร่วมชั้นเรียนทุกท่าน ที่สามารถรวมกลุ่มเรียนกันอย่างเหนียวแน่นเป็นห่วงเป็นใยติดตามถามเรื่องเรียนของเพื่อนๆจนทำให้ฝันความเป็นจริง

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่ออบ คุณแม่ละเมียด รุ่งเรือง ผู้เป็นบิดามารดา ที่ท่านกรุณาให้ ความรัก ความเอาใจใส่และอบรมสั่งสอน สนับสนุนให้การศึกษาจนได้มาถึงวันนี้ อีกทั้งขอบคุณภรรยาและลูกทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจให้ต่อสู้ สุดท้ายขอขอบคุณบุคคลที่อยู่ในครอบครัวรุ่งเรือง ทุกท่านที่ให้ความรักและความอบอุ่นเรื่อยมา

ธงชัย รุ่งเรือง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูปภาพ ..... ช

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ประเภทของดินผสมซีเมนต์ 4

2.2 กลไกของการปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยซีเมนต์ 5

2.3 โครงสร้างของดินซีเมนต์ 7

2.4 การประยุกต์ใช้ดินซีเมนต์ (Soil Cement) ในงานวิศวกรรมโยธา 13

2.5 ขนาดและการกระจายของเม็ดวัสดุ 14

2.6 การวิเคราะห์ขนาดของเม็ดหินคลุก 14

2.6.1 วัสดุพื้นทางหินคลุก (Crushed Rock Soil Aggregate Type) 14

2.7 การวิเคราะห์โดยใช้ตะแกรงร่อน 18

2.7.1 การวิเคราะห์โดยการร่อนแบบแห้ง (Dry sieve) 19

2.7.2 การวิเคราะห์โดยการร่อนแบบเปียก (Wet sieve) 19

2.8 ขนาดและลักษณะของตะแกรง 19

2.9 การบดอัด 20

2.10 กำลังอัดแกนเดียว 21

2.11 วัสดุหินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base) 22

2.12 ข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมหินคลุกซีเมนต์ 23
2.13 สมการทำนายกำลังของการนำวัสดุเก่ามาใช้ใหม่ (Recycling) 23
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27
3 วิธีการดำเนินงาน 29
3.1 วิธีการดำเนินงาน 29
3.2 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐาน 29
3.3 การบดอัดหินคลุกซีเมนต์ 29
3.4 กำลังอัดแกนเดียว 30
4 ผลการวิจัย 32
4.1 คุณสมบัติของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมที่ศึกษา 32
4.2 ผลทดสอบการบดอัด 33
4.3 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength , UCS) 36
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 49
5.1 สรุปผลการวิจัย 49
5.2 อภิปรายผลการวิจัย 49
5.3 ข้อเสนอแนะของงานวิจัย 50
เอกสารอ้างอิง 51
ภาคผนวก ก รูปภาพแสดงการทดสอบงานวิจัย 53
ภาคผนวก ข มาตรฐานวิธีการทดลอง (STANDARD TEST METHODS)
กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม 57
ประวัติผู้เขียน 84

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 คุณสมบัติของดินที่เหมาะสมในการนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ 10

2.2 คุณสมบัติของสารประกอบที่มีอยู่ 11

2.3 สารประกอบที่สำคัญของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ 12

2.4 ขนาดคละของวัสดุพื้นทางหินคลุก 15

2.5 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ 16

2.6 ขนาดคละของวัสดุผสมแทรก 18

4.1 การผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ ของเม็ดหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม 32

4.2 ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและความแน่นแห้งสูงสุดของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม 34

4.3 ผลการออกแบบหาค่าปริมาณปูนซีเมนต์ของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันกับค่ากำลังอัดแกนเดียวที่ 24.5 Ksc. 37

4.4 เปรียบเทียบปริมาณชีเมนต์ที่ได้จากการใช้ ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณชีเมนต์กับกำลังอัดและการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น(w/c) กับกำลังอัด 44

4.5 ผลการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมผสมปูนซีเมนต์ ที่อายุ 7,14 และ 28 วัน 46

5.1 ความแน่นแห้งสูงสุดและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนซีเมนต์กับกำลังรับแรงอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 50

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างของดินซีเมนต์หลังบดอัดเสร็จ	7
2.2	โครงสร้างของดินซีเมนต์ หลังระยะบ่มสั้น ๆ	8
2.3	โครงสร้างของดินหลังระยะบ่มนาน ๆ	9
2.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นในดินต่อปริมาณซีเมนต์(w c / c) กับกำลังอัดของดินซีเมนต์(Horpibulsuk et al., 2006)	24
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับอายุบ่มของ Lateritic soil (Horpibulsuk et al., 2006)	25
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับอายุบ่มของ Crushed rock (Horpibulsuk et al., 2006)	26
3.1	แผนภาพขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง	31
4.1	การผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ ของเม็ดหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม	33
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งและปริมาณน้ำของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 3:1	34
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งและปริมาณน้ำของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 1:1	35
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งและปริมาณน้ำของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 1:3	35
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักความแน่นแห้งกับปริมาณความชื้น(w/c)ของมวลรวมทั้ง 3 อัตราส่วนผสม	36
4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับอายุบ่มของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม อัตราส่วนต่างๆ	37
4.7	ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียวจากการ Trial Mix หาปริมาณปูนซีเมนต์กับกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ 115 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังอัดแกนเดียว(เท่ากับ 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) อัตราส่วนผสม 3:1	38

4.8 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียวจากการ Trial Mix หาปริมาณปูนซีเมนต์กับกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ 115 ของเปอร์เซ็นต์ ของกำลังอัดแกนเดียว (เท่ากับ 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) อัตราส่วนผสม 3:1 39

4.9 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียวจากการ Trial Mix หาปริมาณปูนซีเมนต์กับกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ 115 ของเปอร์เซ็นต์ ของกำลังอัดแกนเดียว (เท่ากับ 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) อัตราส่วนผสม 1:3 40

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นในของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (w_c / c) กับกำลังอัดแกนเดียวในอัตราส่วน 3:1 41

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นในของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (w_c / c) กับกำลังอัดแกนเดียวในอัตราส่วน 1:1 42

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นในของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (w_c / c) กับกำลังอัดแกนเดียวในอัตราส่วน 1:3 43

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณความชื้น (w/c) ต่อปริมาณซีเมนต์กับกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทาง เดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม 44

4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณซีเมนต์กับกำลังอัด ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 45

4.15 ดัชนีวัดการพัฒนากำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน 47

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาพการจราจรบนท้องถนนในปัจจุบันมีความหนาเป็นอย่างมาก ปริมาณการจราจรที่มากนี้ทำให้โครงสร้างถนนเกิดการชำรุดเสียหายได้ในระยะเวลาอันสั้นเนื่องจากการรับน้ำหนักของยวดยานที่สัญจรบนผิวทางที่มากเกินไปหรือการเสื่อมสภาพของวัสดุผิวทาง ความเสียหายที่มักพบได้แก่ การทรุดตัวของถนนและการเสียหายจากการหลุดร่อนของวัสดุผิวทางจนเกิดเป็นร่องล้อตลอดความยาว เป็นต้น การปรับปรุงให้สามารถกลับมาใช้งานได้เช่นเดิมจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้วัสดุที่มีความเหมาะสมตามมาตรฐานข้อกำหนดของกรมทางหลวง การแก้ปัญหาแบบดั้งเดิมโดยการรื้อผิวทางเดิมและแทนที่ด้วยวัสดุที่ได้มาตรฐาน เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองค่าขนส่ง หากพื้นที่ก่อสร้างห่างไกลจากแหล่งวัสดุ กรมทางหลวงได้เสนอแนวทางการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการปรับปรุงคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของวัสดุชั้นโครงสร้างพื้นทางเดิมด้วยวัสดุเชื่อมประสาน เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้มีความสามารถในการรับแรงกระทำได้ตามต้องการ ซึ่งเป็นที่ยอมรับในด้านวิศวกรรมงานทางอย่างเป็นสากลแล้ว การปรับปรุงวัสดุเดิมด้วยปูนซีเมนต์ในงานถนนมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนและความต้านทานการเปลี่ยนแปลงปริมาตร และลดการซึมผ่านของน้ำ

กรมทางหลวงได้ประยุกต์ใช้ปูนซีเมนต์ในการซ่อมแซมถนนที่ชำรุด โดยทำการขุดรื้อผิวทางเดิมที่ชำรุดขึ้นมาผสมกับปูนซีเมนต์และบดอัดด้วยรถบดจนได้ความหนาแน่นตามมาตรฐาน วิธีการนี้เรียกว่า “การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement Recycling)” รายละเอียดเพิ่มเติมสามารถอ้างอิงได้จากมาตรฐานทางหลวงที่ ทล.-ม 213/2543 ข้อดีของวิธีการนี้คือประหยัดและรวดเร็วเมื่อเทียบกับการปรับปรุงและซ่อมแซมถนนโดยวิธีอื่น นอกจากนี้ปูนซีเมนต์ยังเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในประเทศ ซึ่งเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์ หากมีการนำวัสดุจากโครงสร้างชั้นทางเดิมกลับมาใช้งานใหม่ จะช่วยให้ปริมาณงานและค่างานปรับปรุงถนนเดิมลดลง ประหยัดงบประมาณ อีกทั้งประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัสดุใหม่มาใช้งานลดการทำลายถนนในเส้นทางขนส่งจากแหล่งวัสดุใหม่มายังหน้างาน ทำให้ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การปรับปรุงวัสดุพื้นทางเดิมโดยการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่ สามารถแบ่งได้เป็นสองแบบคือ 1) ผิวทางพื้นทางเดิมจะถูกกัดขึ้นมา แล้วแยกเป็นกองไว้ เป็นกองหินคลุกซีเมนต์และกองผิวทางแอสฟัลต์เพื่อนำไปผสมและกับน้ำ และซีเมนต์ ก่อนจะนำไปบดอัด และ 2) ผิวทางพื้นทางเดิมจะถูกกัดโดยเครื่องจักรพร้อมๆกับผสมน้ำและปูนซีเมนต์พร้อมกับการบดอัด แบบที่

หนึ่งนิยมใช้เมื่อผิวทางมีความหนาพอสมควร ในขณะที่แบบที่สองจะนิยมใช้เมื่อผิวทางมีความหนาไม่มากนัก การหาอัตราส่วนผสมสำหรับการปรับปรุงแบบที่ 2 นั้นจะเป็นการหาอัตราส่วนผสมเฉพาะปริมาณน้ำและซีเมนต์ที่จะผสมเท่านั้น ขณะที่การหาอัตราส่วนผสมสำหรับการปรับปรุงแบบที่ 1 จะต้องหาอัตราส่วนผสมระหว่าง ปริมาณหินคลุกที่กัดขึ้นมา ปริมาณผิวทางแอสฟัลส์ที่กัดขึ้นมา และปริมาณน้ำและซีเมนต์ เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้ได้กำลังของชั้นพื้นทางตามต้องการ ด้วยปริมาณซีเมนต์ที่น้อยที่สุด

ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่พยายามพัฒนาสมการสำหรับช่วยในการกำหนดปริมาณ น้ำ และซีเมนต์ ที่ต้องเติมลงในหินคลุกเพื่อให้ได้กำลังของชั้นพื้นทางตามที่ต้องการ (Horpibulsul et al., 2006; Chinkulkijniwat and horpibulsuk, 2012) ซึ่งเป็นการออกแบบส่วนผสมสำหรับการปรับปรุงแบบที่ 1 แต่ยังไม่มีงานวิจัยที่พยายามพัฒนาสมการช่วยออกแบบส่วนผสมสำหรับการปรับปรุงแบบที่ 2 โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการพัฒนาสมการสำหรับช่วยออกแบบส่วนผสมสำหรับการปรับปรุงวัสดุพื้นทางเดิมโดยการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่ แบบที่ 2

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อหาอัตราส่วนของวัสดุหินคลุกซีเมนต์ ชั้นพื้นทางเดิมผสมกับผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่เหมาะกับการปรับปรุงชั้นพื้นทาง

1.2.2 เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการหาปริมาณซีเมนต์ที่ให้กำลังรับแรงอัดแกนเดียวตามต้องการสำหรับวัสดุหินคลุกซีเมนต์ ชั้นพื้นทางเดิมผสมกับผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 การทดสอบจะใช้วัสดุจากทางหลวงหมายเลข 226 ตอน ศรีสะเกษ – อ.กันทรารมย์ ระหว่าง กิโลเมตรที่ 17+300 ถึง 30+000

1.3.2 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

1.3.3 อัตราส่วนที่ศึกษาคือหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม อัตราส่วน 3 ต่อ 1, 1 ต่อ 1 และ1 ต่อ 3 โดยแปรผันปริมาณปูนซีเมนต์ระหว่างร้อยละ 2 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบใช้ อัตราส่วนละ 6 ตัวอย่าง เมื่อได้ปริมาณปูนซีเมนต์นำปริมาณปูนซีเมนต์ที่ได้ผสมทำตัวอย่างตามอัตราส่วนละ 9 ตัวอย่างรวม 117 ตัวอย่าง

1.3.4 การทดสอบกำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, UCS) ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

1.3.5 การทดสอบใช้วิธีตามมาตรฐานกรมทางหลวง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำเอาหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์แล้ว กลับมาใช้งานได้ใหม่เป็นการหมุนเวียนนำเอาวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ซึ่งเป็นการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์

1.4.2 ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมของหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมกับผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม โดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมในปริมาณน้อยที่สุด กำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างได้ตามมาตรฐาน

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์พบว่ามนุษย์เริ่มมีการใช้เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินมากกว่า 3,000 ปีแล้ว เช่นการก่อสร้างโบสถ์ของบาบิโลเนียน การใช้ปูนขาวในการก่อสร้างของชาวกรีก โรมัน หรือการใช้ฟางหญ้าผสมดินเพื่อก่อสร้างกำแพงในประเทศจีน เทคโนโลยียุคเหล่านั้นเป็นต้นแบบของเทคโนโลยีสมัยใหม่ซึ่งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ การปรับปรุงคุณภาพดินดังกล่าวซึ่งประกอบไปด้วยแนวความคิดพื้นฐานหลักที่สำคัญคือ

1. การทำให้แน่น (Densification) เช่น Surface compaction
2. การเชื่อมประสาน (Cementation) เช่น Soil cement
3. การเสริมแรง (Reinforcement) เช่น Earth reinforcement
4. การระบาย (Drainage and Consolidation) เช่น Dewatering, Preloading

การศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพของดิน จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับชั้นดินทั้งที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือการสร้างของมนุษย์ โครงสร้างของดิน และปัญหาทางด้านธรณีวิศวกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตลอดจนเทคนิคต่าง ๆ ในการแก้ไขปัญหาเหล่านั้น ขอบเขตของเทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพของดินบางส่วนจึงเป็นส่วนหนึ่งของวิศวกรรมโยธา

2.1 ประเภทของดินผสมซีเมนต์

Highway Research Board Committee on Soil – Cement Stabilization ได้ให้คำจำกัดความของ Cement – Treated Soil ว่า เป็นการนำเอาดินและซีเมนต์ในปริมาณที่ต้องการมาผสมกับน้ำให้เข้ากันแล้วบดอัดให้ได้ความหนาแน่นสูงสุดและป้องกันความชื้นไม่ให้สูญเสียไปในระหว่างการบ่ม ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ ได้รวบรวมเอกสารและจัดแบ่งดินผสมซีเมนต์ออกเป็น 5 ประเภท ตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่ผสมและลักษณะการใช้งานดังต่อไปนี้

Cement Modified Silt Clay Soil ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้สำหรับปรับปรุงคุณภาพของดินในลักษณะนี้จะน้อยมากประมาณร้อยละ 1 – 3 โดยมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินผิวหน้าถนนเดิมซึ่งเป็นดินเหนียวที่มีลักษณะเปียกแฉะและมีความอ่อนตัวมาก ให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นพอที่ยวดยานพาหนะจะผ่านไปมาได้โดยไม่ลื่นไถล

Cement Modified Granular Soil ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ประมาณร้อยละ 1 – 3 เพื่อลดคุณสมบัติทางด้าน Plastic และการดูดซึมของน้ำบนดิน Cement Modified Crushed Rock ซึ่งมักจะใช้เป็นพื้นทางของ Flexible Pavement และ Rigid Pavement ในหลายประเทศ เช่น

สหรัฐอเมริกา ออสเตรเลีย เป็นต้น ก็จัดอยู่ในประเภท Cement Modified Granular Soil โดยเหตุที่ Cement Modified Soil ไม่ว่าจะเป็น Clay Soil หรือ Granular Soil จะใช้ปริมาณซีเมนต์ค่อนข้างต่ำปริมาณซีเมนต์ที่ใส่เข้าไปนี้แม้ว่าจะมีผลทำให้ดินเดิมมีคุณสมบัติโดยทั่วไปเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้นอย่างเด่นชัดก็ตามแต่ กำลังรับแรงอัดของดินอาจจะเพิ่มขึ้นไม่มากนัก ดังนั้น Cement Modified Granular Soil ซึ่งมักจะไม่กำหนดการรับแรงอัดของส่วนผสมไว้เป็นที่แน่นอน แต่จะพิจารณาจากคุณสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนไปอันเป็นผลมาจากการผสมซีเมนต์ในปริมาณต่ำเป็นเกณฑ์ อย่างไรก็ตามโดยทั่ว ๆ ไป Cement Modified Granular Soil ก็จะให้กำลังแบกทาน (CBR) ของดินเพิ่มขึ้นสูงมากอีกทั้งทำให้พื้นทางมี Stiffness เพิ่มมากขึ้นอันจะทำให้การแอ่นตัวของชั้นทางภายใต้น้ำหนักบรรทุกลดลงต่ำกว่า Granular soil ที่ไม่ได้ Modified ด้วยซีเมนต์มาก

Soil Cement เป็นดินผสมซีเมนต์ที่ออกแบบส่วนผสมให้มีกำลังรับแรงอัดหรือความแข็งแรงทนทานตามมาตรฐาน Portland Cement Association (PCA) หรือ AASHTO ASTM ปริมาณซีเมนต์ที่ผสมกับดินจะต้องสูงพอจนทำให้กำลังรับแรงอัดหรือกำลังแบกทานตามที่กำหนด ปริมาณซีเมนต์จะสูงร้อยละ 5 – 7 เปอร์เซ็นต์ สำหรับดินที่มีขนาดคละกันดีและจะสูงกว่านั้นถ้าดินมี ขนาดคละกันไม่ดี หรือมี Plasticity Index (P.I.) สูงและในกรณีที่ดินเดิมมี P.I. สูงการทำ Soil Cement อาจจะต้องผสมปูนขาวลงไปก่อนเพื่อลด P.I. ของดินเดิมลงบ้าง

Plastic soil Cement เป็นดินผสมซีเมนต์ที่จะต้องมีน้ำมากพอที่จะทำให้ส่วนผสมมีสภาพเหลวพอที่จะนำเอาไปใช้งานดาดปูนลงพื้นที่ที่มีความลาดเอียง เช่น การดาดท้องคลองชลประทาน การดาดผิวหน้าของลาดคันทาง Plastic Soil Cement จะต้องมี Workability สูงพอที่จะนำมาใช้ในงานต่าง ๆ ดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Cement Treated Soil Slurry เป็นซีเมนต์ที่ผสมกับวัสดุประเภททรายและน้ำ โดยมีปริมาณของน้ำที่สูงมากอาจจะมีส่วนผสมเพิ่มอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของส่วนผสมให้มี Workability วัสดุประเภทนี้โดยปรกติจะใช้เป็น Grouting Material เนื่องจากมีการใช้ Soil Cement ในการก่อสร้างทางหลวงในประเทศไทยมามากกว่า 30 ปี ดังนั้นงานศึกษาครั้งนี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะ Soil Cement เพียงอย่างเดียว

2.2 กลไกของการปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยซีเมนต์

Lambe et al. (1959) ได้ศึกพบว่าเมื่อน้ำผสมกับซีเมนต์จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Cement Hydration ได้สารประกอบ Calcium Silicate Hydrate (CSH), Calcium Aluminates Hydrate (CAH) และ Released Hydrate Lime กระบวนการดังกล่าวทำให้เกิดการแข็งตัวของ CSH และ

CAH ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัสดุเชื่อมยึด นอกจากนี้ Released Hydrate Lime ที่เกิดขึ้นในกระบวนการดังกล่าวจะทำให้ค่าความเป็นด่าง (pH) ของ Pore Water เพิ่มขึ้น อันเป็นผลทำให้ Colloid Gel หรือ Cement Gel เกิดการรวมตัวเข้าด้วยกัน (Flocculate) แล้วยึดเกาะกันเป็นมวลที่มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นตามอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้น กระบวนการ Cement Hydration ของมวลดินที่ประกอบด้วยดินเม็ดหยาบ การยึดเกาะที่เกิดขึ้นจะคล้าย ๆ กับกระบวนการเกิด Cement Hydration ในคอนกรีต แต่แตกต่างกันตรงที่ดินผสมซีเมนต์ Cement Paste จะไม่เต็มตามช่องว่างระหว่างอนุภาคดิน แรงเชื่อมยึดหลักของดินผสมซีเมนต์ที่ประกอบด้วยดินเม็ดหยาบเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวทางด้าน Mechanical ของ CSH และ CAH ที่ผิวของอนุภาคดิน ส่วนดินเม็ดละเอียดเมื่อปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์แรงเชื่อมยึดจะประกอบด้วยแรงยึดเหนี่ยวทางด้าน Mechanical และแรงยึดเหนี่ยวทางด้าน Chemical ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กัน Silica และ Alumina ที่ผิวอนุภาคของดิน ทำให้ได้สารประกอบ CSH และ CAH ซึ่งเป็นวัสดุเชื่อมยึด

Moh (1965) พบว่าการพัฒนากำลังอัดแรง Soil Cement เกิดจากปฏิกิริยา Cement Hydration เป็นหลัก กล่าวคือเมื่ออนุภาคซีเมนต์สัมผัสกับน้ำ ซีเมนต์จะทำปฏิกิริยากับน้ำเรียกว่า Cement Hydration ผลของปฏิกิริยาดังกล่าวจะก่อให้เกิดสาร CSH, CAH และ Calcium Hydroxide [$Ca(OH_2)$] สาร CSH และ CAH จะมีคุณสมบัติเป็นตัวเกาะยึด โดยสามารถเกาะยึดปฏิกิริยาที่เกิดจากซีเมนต์โดยตรง ปฏิกิริยา Cement Hydration สามารถที่จะเขียนในรูปของสมการได้ดังนี้

$$\text{Cement} + H_2O \longrightarrow \text{CSH} + \text{CAH} + Ca(OH) \qquad (2.1)$$

$$Ca(OH)_2 \longrightarrow Ca^{++} + 2(OH)^- \qquad (2.2)$$

$$Ca^{++} + 2(OH)^- + \text{Soil Silica } (SiO_2) \longrightarrow \text{CSH} \qquad (2.3)$$

$$Ca^{++} + 2(OH)^- + \text{Soil Alumina } (Al_2O_3) \longrightarrow \text{CAH} \qquad (2.4)$$

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าผลของปฏิกิริยา Cement Hydration ในดินจะก่อให้เกิดสาร CSH และ CAH ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นตัวเกาะยึด ดังแสดงในสมการที่ 2.1 ถึงสมการที่ 2.4 ตามลำดับ

สมการที่ 2.1 เป็นสมการที่แสดงว่า CSH และ CAH ที่เกิดจากCement Hydration โดยตรง ดังนั้น CSH และ CAH ที่เกิดจาก Cement Hydration โดยตรงนี้จะเรียกว่า Primary Reaction

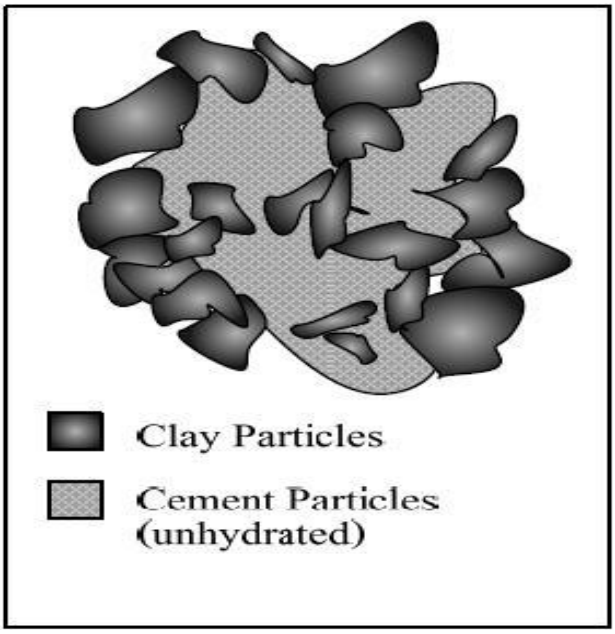
สมการที่ 2.2 และ 2.3 เป็นสมการที่แสดงว่า CSH และ CAH เกิดจากปฏิกิริยาต่อเนื่องระหว่าง $Ca(OH)_2$ กับ Silica และ Alumina ในดิน ดังนั้นจึงเรียกปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ว่า Secondary Reaction

2.3 โครงสร้างของดินซีเมนต์

Czernin (1962) กล่าวว่าหลังจากที่ผสมซีเมนต์กับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาซีเมนต์ ไฮเดรชันทำให้เกิดสารประกอบ CSH ในรูปของเจลขึ้น ในส่วนผสมของซีเมนต์และน้ำดังนั้นจึงสามารถที่จะเข้าใจได้ว่าภายใต้การบดอัด อนุภาคของปูนซีเมนต์มิได้ผสมกับดินเพียงอย่างเดียวแต่จะเกิดปฏิกิริยาซี เมนต์ไฮเดรชันด้วย

Mitchell and El Jack (1966) ได้อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบและโครงสร้าง ของดินซีเมนต์ โดยแบ่งเป็น 3 ระยะดังนี้

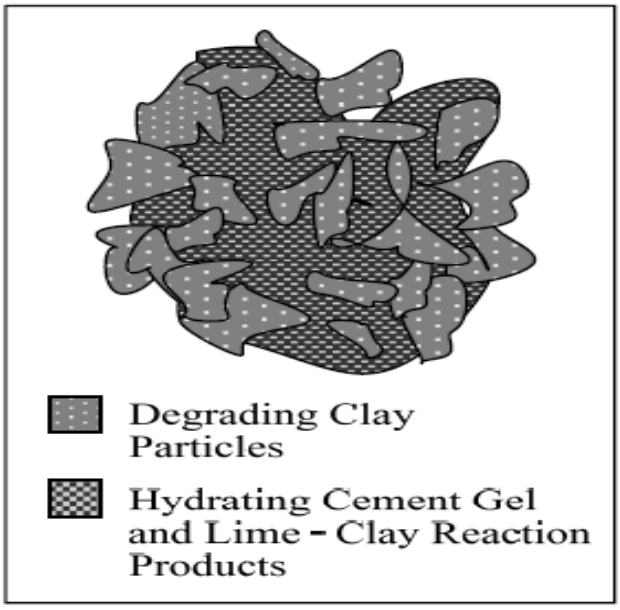
ภายใต้การบดอัด ช่วงนี้เป็นช่วงที่อนุภาคของปูนซีเมนต์ยังไม่เกิดปฏิกิริยา ซีเมนต์ไฮเดรชัน แต่อนุภาคของปูนซีเมนต์จะเข้าผสมกับอนุภาคของดิน ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของดินซีเมนต์หลังบดอัดเสร็จ

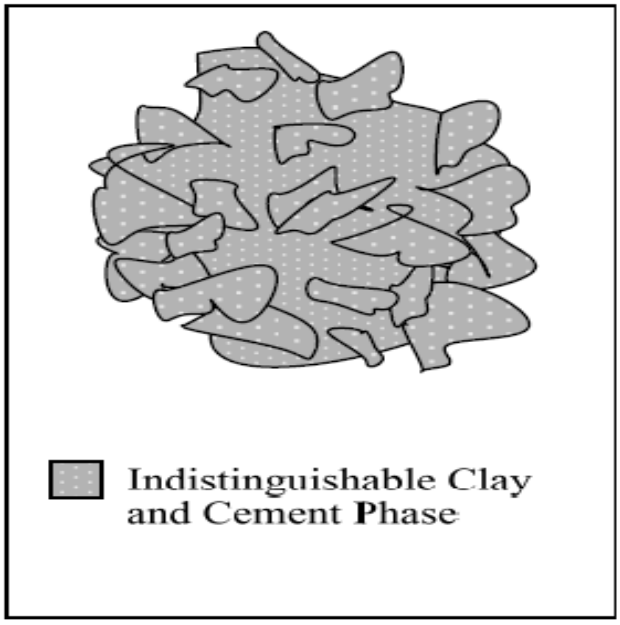
ภายใต้การบ่มในระยะเวลาสั้น อนุภาคของปูนซีเมนต์จะเริ่มเกิดปฏิกิริยาซีเมนต์ไฮเดรชันทำให้เกิดซีเมนต์เจล แทรกไปตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน และปล่อย Lime ออกมาทาปฏิกิริยา

Soil Silica และSoil Alumina ที่มีอยู่ในดินทำให้เกิดการแยกตัวของสารทั้งสอง จากนั้นซีเมนต์เจลและสารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยาจะแทรกซึมไปตามอนุภาคของดิน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของดินซีเมนต์ หลังระยะบ่มสั้น ๆ

ภายใต้การบ่มในระยะเวลายาว จะเกิดปฏิกิริยา ซีเมนต์ไฮเดรชันอย่างสมบูรณ์ อันมีผลทำให้ซีเมนต์เจลและขอบเขตของการแทรกซึมกระจายไปทั่วก้อนดินซีเมนต์ ส่งผลให้กำลังอัดของดินซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาในการบ่ม ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของดินหลังระยะบ่มนาน ๆ

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินส่วนใหญ่แล้วจะใช้ Portland Cement (ASTM C 150) Type 1 และ Type 3 แต่ก็สามารถใช้ Portland Cement Type 1 บดรวมกับวัสดุเฉื่อย เช่น ทรายหรือหินปูนประมาณร้อละ 25 (มอก. 80 – 2525) บริษัทชลประ ทานซีเมนต์ จำกัด ได้อธิบายเกี่ยวกับสารประกอบที่สำคัญของ Portland Cement ดังนี้

1. ไตรคัลเซียมซิลิเกต (Tri calcium Silicate) มีสูตรทางเคมีคือ $3CaO.Sio_2$ เรียกสั้น ๆ ว่า C_3S เป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดกำลังสูงในระยะแรกๆ Portland Cement Type 1 , 3 จะมีสารประกอบนี้สูง
2. ไดคัลเซียมซิลิเกต (Di calcium Silicate) มีสูตรทางเคมีคือ $2CaO.Sio_2$ เรียกสั้น ๆ ว่า C_3S เป็นสารประกอบที่ทำให้เกิดกำลังอัดในระยะหลัง เช่น Portland Cement Type 4 และ 5
3. ไตรคัลเซียมอลูมิเนต (Tri calcium Aluminates) มีสูตรทางเคมีคือ $3CaO.Al_2O_3$ เรียกสั้นๆ ว่า C_3A เป็นสารประกอบที่ไม่ต้านทานต่อการกัดกร่อนของพวกสารจำพวกซัลเฟต ให้ความร้อนสูงทำให้ซีเมนต์ก่อตัวเร็ว (Setting) ให้แรงอัดในระยะแรกไม่สูงนักและทำให้ซีเมนต์เหนียวตัว (Plasticity) ดังนั้น Portland Cement Type 4 และ 5 จะมีสารประกอบ C_3A ต่ำกว่าปกติ

4. เทตระคัลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรด์ (Tetra calcium Aluminoferrite) มีสูตรทางเคมีคือ $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ เรียกสั้น ๆ ว่า C_4AF เป็นสารประกอบที่ให้กำลังอัดระยะหลัง และทำให้ซีเมนต์มีสีดำสำหรับปูนซีเมนต์ขาวจะไม่มีสารประกอบนี้หรือถ้ามีก็น้อย

จะเห็นได้ว่าสารประกอบหลักที่ให้กำลังอัดของปูนซีเมนต์คือ ไตรคัลเซียมซิลิเกต (C_3S) และ ไดคัลเซียมซิลิเกต (C_2S) ซึ่งสารประกอบสองตัวนี้จะเป็นตัวหลักในการให้กำลังอัด โดยจะมีปริมาณส่วนผสมที่แตกต่างในแต่ละประเภทของซีเมนต์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 และ 2.3 สำหรับปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพของดินจะขึ้นอยู่กับชนิดของดินที่นำมาใช้ โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะอยู่ในช่วงร้อละ 4 หรือต่ำกว่าถึงร้อละ 16 ของน้ำหนักดินแห้ง Portland Cement Association ได้จำแนกความต้องการปริมาณซีเมนต์ของดินกลุ่มต่าง ๆ ตามระบบ AASHTO และ ASTM

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของดินที่เหมาะสมในการนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์

คุณสมบัติ	**ขีดจำกัด**
Particle Size	
Maximum Size	3 นิ้ว
Passing (3/16) in BS Sieve	มากกว่า 50 %
Passing No. 36 BS Sieve	มากกว่า 15 %
Passing No. 200 BS Sieve	น้อยกว่า 50 %
Finer than 0.002 mm.	น้อยกว่า 30 %
Plasticity	
Liquid Limit	น้อยกว่า 40 %
Plasticity Index	น้อยกว่า 18 %

ที่มา : สุรเชษฐ์ เอี่ยมเชย. 2531. ความคงทนของดินซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

น้ำเป็นสิ่งสำคัญในการทำ Soil Cement น้ำจะช่วยในการบดอัดและทำให้เกิดปฏิกิริยา Cement Association น้ำที่นำมาใช้จะต้องเป็นน้ำที่สะอาดปราศจากสารจำพวก Alkaline กรดต่าง ๆ หรือ Organic Material โดยทั่ว ๆ ไปแล้วจะใช้น้ำที่สามารถดื่มกินได้ เช่นน้ำประปา เป็นต้น นอกจากนี้แล้วน้ำทะเลก็สามารถนำมาใช้ทำ Soil Cement ได้เช่นกัน เพราะน้ำทะเลจะมีสารจำพวก Chloride ผสมอยู่ ซึ่งจะทำให้กำลังของ Soil Cement ในระยะแรกสูงกว่าปกติได้ National Association of Australian State Road Authorities พบว่าไม่ควรที่จะนำทะเลมาใช้ในงานก่อสร้างถนนไม่ว่าจะใช้ผสมหรือบ่อ เพราะเกลือที่ผสมอยู่ในน้ำทะเลจับเกาะตัวอยู่ที่ผิวหน้าของ Soil Cement ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะกับวัสดุที่นำมาปูทับผิวหน้าของถนนเช่น Bituminous ได้น้อยลง

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของสารประกอบที่มีอยู่

คุณสมบัติ	**Tri calcium Silicate C_3S**	**Di calcium Silicate C_2S**	**Tri calcium Aluminates C_3A**	**Tetra calcium Aluminates C_4AF**
ค่าความเป็นซีเมนต์ (Cementing Value)	ดี	ดี	ไม่ดี	ไม่ดี
อัตราของปฏิกิริยา (Rate of reaction)	ปานกลาง	ช้า	เร็ว	ช้า
ปริมาณความร้อนที่ให้ออกมา (Amount of Heat Liberated)	ปานกลาง	น้อย	มาก	น้อย

ที่มา : สุรเชษฐ์ เอี่ยมเชย. 2531. ความคงทนของดินซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ตารางที่ 2.3 สารประกอบที่สำคัญของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

Cement		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaSO_4$ (% ต่อน้ำหนัก)	Free CAO	MgO	Ignition Loss	Number of Samples
Type 1	Max.	67	31	14	12	3.4	1.5	3.8	2.3	21
	Min.	42	8	5	6	2.6	0	0.7	0.6	
	Mean	49	25	12	8	2.9	0.8	2.4	1.2	
Type 2	Max.	55	39	8	16	3.4	1.8	4.4	2	28
	Min.	37	19	4	6	2.1	0.1	1.5	0.5	
	Mean.	46	29	6	12	2.8	0.6	3	1	
Type 3	Max.	70	38	17	10	4.6	2.4	4.8	2.7	5
	Min.	34	0	7	6	2.2	0.1	1	1.1	
	Mean.	56	15	12	8	3.9	1.3	2.6	1.9	
Type 4	Max.	44	57	7	18	3.5	0.9	4.1	1.9	16
	Min.	21	34	3	6	2.6	0	1	0.6	
	Mean.	30	46	5	13	2.9	0.3	2.7	1	
Type 5	Max.	54	49	5	15	3.9	0.6	2.3	1.2	22
	Min.	35	24	1	6	2.4	0.1	0.7	0.8	
	Mean.	43	36	4	12	2.7	0.4	1.6	1	

ที่มา : สุรเชษฐ์ เอี่ยมเชย. 2531. ความคงทนของดินซีเมนต์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2.4 การประยุกต์ใช้ดินซีเมนต์ (Soil Cement) ในงานวิศวกรรมโยธา

ในยุคแรก Soil Cement ส่วนใหญ่ใช้ทำพื้นทางสำหรบงานก่อสร้างถนน ต่อมาเมื่อ Soil Cement มีการพัฒนามากขึ้นจนสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ได้มากยิ่งขึ้น เช่น Slope Protection, เขื่อนหรือคันดินถม, Liner พื้นคลองหรืออ่างเก็บน้ำและงานฐานรากเป็นต้น

Pavement soil Cement ได้ถูกนำมาใช้ในงานถนนครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1951 ใน Sarasota มลรัฐ Florida สหรัฐอเมริกา ส่วนผสมที่ใช้ในการก่อสร้างคือ Shall , Sand และ Portland Cement ผสมเข้ากับ Plow แล้วทำการบดคัด (Davidson) หลังจากนั้นเป็นต้นมาการใช้ Soil Cement เพื่อก่อสร้างทางมาแล้วมากกว่า 100,000 ไมล์ โดยปกติแล้ว Soil Cement จะนำมาใช้ทำพื้นทางของ Flexible Pavement โดยใช้ Hot-Mix Bituminous ปูทับหน้าอีกทีหนึ่ง สำหรับ Concrete Pavement Soil-Cement จะใช้เพื่อป้องกันและลดแรงกระแทกของ Fine-Grained Sub grade Soil ภายใต้สภาวะที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกสูง ๆ (Portland Cement Association)

ถนน Soil Cement โดยทั่ว ๆ ไปจะแสดงพฤติกรรมที่ดีในด้านความแข็งแรงทนทาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปิดใช้งานไปนาน ๆ ปี (เกิน 10 ปี) ก็จะยังไม่เกิดรอยร่องล้อ (Rut Depth) หรือหลุมบ่อ (Pot hold) บนผิวหน้าของถนน ตรงกันข้ามกับถนนที่มีพื้นทางเป็นหินคลุกซึ่งจะปรากฏรอยร่องล้อและรอยหลุมบ่ออย่างชัดเจนเมื่อเปิดใช้งานไปนาน ๆ ดังนั้นถนน Soil Cement เก่า ๆ เมื่อต้องการจะเสริมผิวจะกระทำได้ง่ายกว่าพื้นทางดินคลุก เพราะระดับและ Crown Slope ของถนน Soil Cement จะยังคงมีสภาพดีอยู่มาก การที่ถนน Soil Cement ไม่แสดงรอยร่องล้อเป็นเพราะความสามารถในการรับน้ำหนักของถนน Soil Cement สูงกว่าพื้นทางหินคลุกมาซึ่งเปรียบเทียบความสามารถในการรับน้ำหนักของ Soil Cement และหินคลุกเมื่อความหนาต่าง ๆ กันนอกจาก Soil Cement จะรับน้ำหนักบรรทุกได้ดีกว่าแล้ว การกระจายน้ำหนักจะสม่ำเสมอ (Uniform) และการ Transfer Load ระหว่าง Pavement Joint ก็ยังดีกว่าหินคลุกอีกด้วย (Portland Cement Association)

ความหมายของ Soil Cement Base จะขึ้นอยู่กับเหตุผลหลายประการเช่น ความแข็งแรงของ Sub grade Soil, Pavement Design Period, ปริมาณการจราจรและน้ำหนักรถบรรทุก, การเพิ่มขึ้นของปริมาณการจราจร, การกระจายน้ำหนักของล้อและความหนาของพื้นผิว Concrete หรือ Bituminous เป็นต้น Portland Cement Association, American Association of State Highway and Transportation Official และ U.S. Army Corps of Engineers ได้ให้ค่าความหนาโดยประมาณของ Soil Cement Base ที่เหมาะสมกับการใช้งานต่าง ๆ ไว้ดังนี้ Secondary Road, Residential Street, Light-Traffic Air Field ความหนาของ Soil Cement Base จะประมาณ 6 นิ้ว Soil Cement Base ที่มีความหนาน้อย (ประมาณ 4 ถึง 5 นิ้ว) จะใช้กับถนนที่มีการจราจรต่ำและมี

Sub grade ที่ค่อนข้างแข็งแรงส่วนถนนที่มีการจราจรสูง ๆ หรือรับน้ำหนักบรรทุกมาก ๆ จะใช้ความหนาอยู่ในช่วง 7 – 8 นิ้ว และงานสนามบินหรือ Industrial Pavement ที่ต้องรับน้ำหนักบรรทุกสูงมากๆ ความหนาที่ใช้จะหนามากกว่า 32 นิ้ว ขึ้นไป

2.5 ขนาดและการกระจายของเม็ดวัสดุ

หินคลุกที่ใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง หรือหินคลุกเดิมที่ใช้รองรับฐานรากจะมีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่นชนิดของหินคลุกว่าเป็นหินคลุกเม็ดหยาบหรือหินคลุกเม็ดละเอียด สำหรับหินคลุกเม็ดหยาบ คุณสมบัติทางวิศวกรรมถูกควบคุมโดยขนาด รูปร่าง และขนาดคละ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทราบการกระจายขนาดของเม็ดหินคลุก สำหรับหินคลุกเม็ดละเอียดปัจจัยที่ควบคุมคุณสมบัติทางวิศวกรรมคือ แร่ดินเหนียว (Clay mineral) และของเหลวในช่องว่างระหว่างเม็ดหินคลุกหินคลุก (Pore Fluid) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดแรงดูดและแรงผลักระหว่างเม็ดหินคลุก ดังนั้นพิกัดอัตเทอร์เบิร์ก จึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาของหินคลุกประเภทนี้

2.6 การวิเคราะห์ขนาดของเม็ดหินคลุก

เพื่อความเข้าใจคุณสมบัติทางวิศวกรรมของหินคลุก และการวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ในงานวิศวกรรม วิศวกรจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบขนาดคละของเม็ดหินคลุก และชนิดของหินคลุกเพื่อจะได้ทราบว่ามวลหินคลุกประกอบด้วยขนาดคละ ส่วนละเอียดและส่วนหยาบ ในปริมาณเท่าใด ชนิดของหินคลุกแบ่งตามขนาดของเม็ดหินคลุก พอจะประมาณคุณสมบัติตามมาตรฐานกรมทางหลวงได้ ดังนี้

2.6.1 วัสดุพื้นทางหินคลุก (Crushed Rock Soil Aggregate Type) ต้องเป็นหินโม่รวมที่มีเนื้อแข็ง เหนียว สะอาด ไม่ผุ และปราศจากวัสดุอื่นเจือปน จากแหล่งที่ได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้ว วัสดุจำพวก Shale ห้ามนำมาใช้ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติไว้เป็นอย่างอื่น วัสดุที่ใช้ทำชั้นพื้นทางหินคลุกจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- มีค่าความสึกหรอ เมื่อทดลองตาม ทล.-ท. 202/2515 “วิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion” ไม่เกินร้อยละ 40
- มีค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เมื่อทดลองตาม ทล.-ท. 213/2531 “วิธีการทดลองหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม” โดยใช้โซเดียมซัลเฟต

จำนวน 5 รอบ แล้วไม่เกินร้อยละ 9 หินคลุกจากแหล่งเดิมที่มีหลักฐานแสดงผลการทดลองหาความคงทนว่าใช้ได้ อาจจะยกเว้นไม่ต้องทดลองอีกก็ได้ ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของกรมทางหลวง ที่จะใช้ผลการทดลองเดิมที่มีอยู่ส่วนละเอียด (Fine Aggregate) ต้องเป็นวัสดุชนิดและคุณสมบัติเช่นเดียวกันกับส่วนหยาบ (Coarse Aggregate) หากมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุส่วนละเอียดชนิดอื่นเจือปนเพื่อปรับปรุงคุณภาพจะต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวงก่อน

- มีขนาดคละที่ดี เมื่อทดลองตาม ทล.-ท. 205/2517 “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง” ต้องมีขนาดหนึ่งขนาดใดตามตารางที่ 2.1
- ส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร ต้องไม่มากกว่าสองในสาม (2/3) ของส่วนละเอียดที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.425 มิลลิเมตร

ตารางที่ 2.4 ขนาดคละของวัสดุพื้นทางหินคลุก

ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร (นิ้ว)	**ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล**		
	A	**B**	**C**
50 (2)	100	100	-
25.0 (1)	-	75 – 95	100
9.5 (3/8)	30 – 65	40 – 75	50 - 85
4.75 (เบอร์ 4)	25 – 55	30 – 60	35 - 65
2.00 (เบอร์ 10)	15 – 40	20 – 45	25 - 50
0.425 (เบอร์ 40)	8 – 20	15 – 30	15 - 30
0.075 (เบอร์ 200)	2 – 8	5 – 20	5 - 15

มีค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตาม ทล. – ท. 102/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (L.L.) ของดิน” ไม่เกินร้อยละ 25 มีค่า Plasticity Index เพื่อทดลองตาม ทล. – ท. 103/2515 “วิธีการทดลองหาค่าPlastic Limit และ Plasticity Index” ไม่เกินร้อยละ 6 มีค่า CBR เพื่อทดลองตาม ทล. – ท. 109/2517 “วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR” ไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 สำหรับผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีต และไม่น้อยกว่าร้อยละ 90 สำหรับผิวทางแบบเซอร์เฟสทรีตเมนต์ ที่ความแน่นแห้งของการบดอัดร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตาม ทล. – ท. 108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน”แอสฟัลต์

คอนกรีต (Asphalt Concrete) ในกรณีที่ไม่ได้ระบุชนิดของแอสฟัลต์ไว้เป็นอย่างอื่น ให้ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60 – 70 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับงานทางมาตรฐานเลขที่ มอก. 851 และต้องผ่านการวิเคราะห์คุณภาพให้ใช้ได้แล้วการใช้แอสฟัลต์อื่น ๆ หรือแอสฟัลต์ที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยสารใด ๆ นอกเหนือจากนี้ต้องมีคุณภาพเท่าหรือดีกว่าทั้งนี้ต้องผ่านการทดสอบคุณภาพและพิจารณาความเหมาะสมรวมทั้งต้องได้รับอนุญาตให้ใช้ได้จากกรมทางหลวงเป็นกรณีไป ปริมาณการใช้แอสฟัลต์โดยประมาณ ให้เป็นไปตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.5 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้

ขนาดที่ใช้เรียก	**มิลลิเมตร (นิ้ว)**	**9.5 (3/8)**	**12.5 (1/2)**	**19.0 (3/4)**	**25.0 (1)**
สำหรับชั้นทาง		Wearing Course	Wearing Course	Binder Course	Binder Course
ความหนา	มิลลิเมตร	25 – 35	40 – 70	40 – 80	70 - 100
ขนาดตะแกรง	มิลลิเมตร (นิ้ว)	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล			
37.5 (1 ½)					100
25.0 (1)				100	90 - 100
19.0 (3/4)			100	90 - 100	-
12.5 (1/2)		100	80 -100	-	56 – 80
9.5 (3/8)		90 - 100	-	56 – 80	-
4.75 (เบอร์ 4)		55 - 85	44 -74	35 – 65	29 – 59
2.36 (เบอร์ 8)		32 - 67	28 -58	23 – 49	19 - 45 -
1.18 (เบอร์ 16)		-	-	-	-
0.600 (เบอร์ 30)		-	-	-	-
0.300 (เบอร์ 50)		7 - 23	5 -21	5 – 19	5 - 17
0.150 (เบอร์ 100)		-	-	-	-
0.075 (เบอร์ 200)		2 – 10	2 – 10	2 – 8	1 – 7
ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ ร้อยละโดยมวลของมวลรวม		4.0 - 8.0	3.0 -7.0	3.0 – 6.5	3.0 – 6.0

หมายเหตุ อาจพิจารณาเปลี่ยนแปลงขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้ แตกต่างจากตารางที่ 2.2 ก็ได้ ทั้งนี้แอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้ต้องมีคุณสมบัติและความแข็งแรงมวลหยาบจากแหล่งเดิมที่มีหลักฐานแสดงผลทดลองหาความคงทนว่าใช้ได้ อาจจะยกเว้นไม่ต้องทดลองอีกก็ได้

- มวลรวม ประกอบด้วยมวลหยาบ (Coarse Aggregate) และมวลละเอียด (Fine Aggregate) กรณีที่มวลละเอียดมีส่วนละเอียดไม่พอหรือต้องการปรับปรุงคุณภาพและความแข็งแรงของแอสฟัลต์คอนกรีต อาจเพิ่มวัสดุผสมแทรก (Mineral Filler) ด้วยก็ได้ ขนาดคละของมวลรวม ให้เป็นไปตามตาราง ขนาดคละของมวลรวม
- มวลหยาบ หมายถึง ส่วนที่ค้างตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เป็นหินย่อย (Crushed Rock) หรือวัสดุอื่นใดที่ใช้ได้ ต้องเป็นวัสดุที่แข็งและคงทน (Hard and Durable) สะอาด ปราศจากวัสดุไม่พึงประสงค์ใด ๆ ปะปนอยู่ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติไว้เป็นอย่างอื่น มวลหยาบต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้
  - มีค่าความสึกหรอ เมื่อทดลองตาม ทล. – ท. 202/2515 “วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion” ไม่เกินร้อยละ 40
  - มีค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เมื่อทดลองตาม ทล. – ท. 213/2531 “วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม” โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ ไม่เกินร้อยละ 9
  - ผิวของมวลหยาบต้องมีแอสฟัลต์เคลือบเมื่อทดลองตาม AASHTO T182 : Coating and Stripping of Bitumen–Aggregate Mixtures ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95
- มวลละเอียด หมายถึง ส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) เป็นหินฝุ่นหรือทรายที่สะอาด ปราศจากสิ่งสกปรกหรือวัสดุอันไม่พึงประสงค์ใด ๆ ปะปนอยู่ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติไว้เป็นอย่างอื่น มวลละเอียดต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้
  - มีค่า Sand Equivalent เมื่อทดลองตาม ทล. – ท. 203/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Sand Equivalent” ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50
  - มีค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Loss) เมื่อทดลองตาม ทล. – ท. 213/2531 “วิธีการทดลองหาความคงทน (Soundness) ของมวลรวม” โดยใช้โซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบไม่เกินร้อยละ 9 มวลละเอียดจากแหล่งเดิมที่มีหลักฐานแสดงผลทดลองหาความคงทนว่าใช้ได้ อาจจะยกเว้นไม่ต้องทดลองอีกก็ได้ ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจ

ของกรมทางหลวง ที่จะใช้ผลการทดลองเดิมที่มีอยู่ วัสดุผสมแทรก ใช้ผสมเพิ่มให้กรณีเมื่อผสมมวลหยาบกับมวลละเอียดเป็นมวลรวมแล้วส่วนละเอียดในมวลรวมยังมีไม่พอหรือใช้ผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตวัสดุผสมแทรกอาจเป็น Stone Dust, Portland Cement, Silica Cement, Hydrated Lime หรือวัสดุอื่นใดที่ใช้ได้ วัสดุผสมแทรกต้องแห้งไม่จับกันเป็นก้อน เมื่อทดลองตาม ทล. – ท. 205/2517 "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง" ต้องมีขนาดคละตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.6 ขนาดคละของวัสดุผสมแทรก

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	**ปริมาณผ่านตะแกรง (ร้อยละโดยมวล)**
0.600 (เบอร์ 30)	100
0.300 (เบอร์ 50)	75 - 100
0.075(เบอร์ 200)	55 - 100

หมายเหตุ ในกรณีที่เห็นว่าวัสดุที่มีขนาดคละแตกต่างไปจากตารางที่ 2.3 แต่เมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุผสมแทรกแล้ว จะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณภาพดีขึ้น ก็อาจใช้วัสดุนั้นเป็นวัสดุผสมแทรกได้

2.7 การวิเคราะห์โดยใช้ตะแกรงร่อน

วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมกับหินคลุกเม็ดหยาบที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 มิลลิเมตร การวิเคราะห์โดยใช้ตะแกรงร่อนอาศัยหลักการที่ว่า จำนวนอนุภาคหินคลุกที่ลอดผ่านตะแกรง dy ในเวลา dt เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอนุภาคหินคลุกที่ค้างบนตะแกรง y ที่เวลา t ซึ่งสามารถแสดงโดยสมการ ดังนี้

$$\frac{dy}{dt} = -ky \qquad (2.5)$$

$$y = y_0 e^{-kt} \qquad (2.6)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ จากความสัมพันธ์ที่แสดงนี้ จะพบว่าในทางทฤษฎีการวิเคราะห์โดยวิธีนี้จะไม่สิ้นสุด ถึงแม้จะใช้เวลาในการทดสอบนานมากๆ (t = α) แต่อย่างไรก็ตาม เราสามารถที่จะประมาณได้ว่าการเขย่าโดยใช้เวลาประมาณ 15 ถึง 30 นาที เป็นเวลาที่มีความเหมาะสม การวิเคราะห์ขนาดของเม็ดหินคลุกโดยวิธีตะแกรงร่อนนี้ ยังแบ่งออกเป็นสองแบบด้วยกันตามสถานะของหินคลุกหินคลุกดังนี้

2.7.1 การวิเคราะห์โดยการร่อนแบบแห้ง (Dry sieve) ตัวอย่างหินคลุกที่ทดสอบจะต้องนำไปอบแห้ง หรือผึ่งให้แห้งก่อน การทดสอบแบบนี้มักทำกับหินคลุกเม็ดหยาบ (Coarse grained soil) ซึ่งถ้าหากนำหินคลุกในสภาพเปียกมาทำการร่อนผ่านตะแกรง น้ำจะอุ้มเม็ดหินคลุกไว้และทำให้เม็ดหินคลุกติดกันส่งผลให้ผลทดสอบที่ได้มีความคลาดเคลื่อน

2.7.2 การวิเคราะห์โดยการร่อนแบบเปียก (Wet sieve) การทดสอบแบบนี้มักทำกับมวลหินคลุกที่มีหินคลุกเม็ดละเอียด (Fine grained soil) รวมตัวเป็นก้อนอยู่ในปริมาณที่มาก ตัวอย่างหินคลุกจะถูกนำไปแช่น้ำอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ให้เม็ดหินคลุกแยกออกจากกัน แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดรูเปิด 0.075 มิลลิเมตร โดยการฉีดล้างโดยน้ำ จากนั้นนำส่วนที่ค้างบนตะแกรงไปอบแห้ง และทำการวิเคราะห์โดยการร่อนแบบแห้ง ส่วนหินคลุกตัวอย่างที่ลอดผ่านตะแกรงให้นำไปทำการวิเคราะห์โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

2.8 ขนาดและลักษณะของตะแกรง

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของตะแกรงที่ใช้ทดสอบมีขนาด 3 นิ้ว 8 นิ้ว และ 12 นิ้ว โดยปกติจะใช้ขนาด 8 นิ้ว เป็นขนาดมาตรฐานการทดสอบ ส่วนขนาด 3 นิ้ว จะใช้เมื่อหินคลุกตัวอย่างมีปริมาณน้อยและขนาด 12 นิ้ว จะใช้ในกรณีที่หินคลุกมีปริมาณมาก ส่วนช่องรูเปิดของตะแกรงมี 3 ลักษณะ ได้แก่ 1) ช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส แบบตะแกรงสาน 2) ช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส แบบเจาะช่อง และ 3) ช่องรูกลมแบบเจาะช่อง หน่วยที่ใช้มรการกำหนดขนาดช่องของตะแกรงแต่เดิมเป็นระบบอังกฤษและต่อมาได้เริ่มเปลี่ยนมาเป็นระบบเมตริก สำหรับตะแกรงที่มีขนาดรู ¼ นิ้ว (6.3 มิลลิเมตร) จะเรียกเป็นเบอร์ ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง เบอร์ 200 โดยที่หมายเลขเบอร์ตะแกรง หมายถึงจำนวนช่องของตะแกรงต่อระยะ1 นิ้ว โดยประมาณ แต่ในการรายงานขนาดของตะแกรงจะต้องใช้ขนาดของช่องรูเปิดจริง ๆ ขนาดของช่องรูเปิดที่นิยมใช้ตามมาตรฐาน ASTM E-11

2.9 การบดอัด

การบดอัดหินคลุกคือ การเพิ่มความหนาแน่นของหินคลุกโดยการไล่อากาศออก ระดับการบดอัดสามารถวัดได้จากหน่วยน้ำหนักแห้งของหินคลุก เมื่อเติมน้ำลงไปในหินคลุก น้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางทำให้หินคลุกอ่อนนุ่มขึ้น เม็ดหินคลุกสามารถเลื่อนไถลข้ามกันและเคลื่อนตัวไปแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดหินคลุกได้ง่ายขึ้น ในช่วงแรกหน่วยน้ำหนักแห้งของหินคลุกจะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นแต่อย่างไรก็ตาม เมื่อปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นเกินกว่าค่า ๆ หนึ่งแล้ว การเพิ่มขึ้นของน้ำจะทำให้หน่วยน้ำหนักมีค่าลดลง การลดลงของหน่วยน้ำหนักแห้งเกิดเนื่องจากปริมาณน้ำที่เข้าไปแทรกในช่องว่างระหว่างเม็ดหินคลุกมีมากเกินไป จนทำให้เม็ดหินคลุกไม่สามารถแทรกเข้าไปอยู่ได้ ปริมาณน้ำที่ทำให้หน่วยน้ำหนักแห้งมีค่าสูงสุด (Maximum dry unit weight, $\rho_{d,max}$) เรียกว่า ปริมาณน้ำเหมาะสม (Optimum moisture content, *OMC*) ส่วนปริมาณน้ำที่ต่ำกว่าและสูงกว่าปริมาณน้ำเหมาะสม เรียกว่า ปริมาณน้ำทางด้านแห้งและด้านเปียกของปริมาณน้ำเหมาะสม (Dry and wet sides of optimum moisture – content) ตามลำดับ

ปัจจุบันการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำเหมาะสมนิยมกระทำในห้องปฏิบัติการ และนำผลทดสอบไปใช้สำหรับควบคุมคุณภาพการบดอัดเมื่อตอนนำไปบดอัดในสนาม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เป็นการทดสอบแบบพลศาสตร์ (Dynamic compaction) เพื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งกับปริมาณน้ำ ซึ่งกระทำโดยการนำหินคลุกที่ต้องการบดอัดในสนามมาบดอัดในแบบหล่อมาตรฐาน และพลังงานที่ใช้สำหรับบดอัดจะถูกกำหนดตามมาตรฐานการออกแบบและการควบคุมการก่อสร้างการสร้างกราฟการบดอัดจะทำการบดอัดที่ปริมาณน้ำ 5 ถึง 7 จุด และในแต่ละจุดของการบดอัดจำเป็นต้องเปลี่ยนตัวอย่างหินคลุกใหม่ ทั้งนี้ เพื่อขจัดผลที่หินคลุกจะเกิดการแตกหักและเล็กลงเมื่อถูกบดอัดซ้ำ โดยเฉพาะหินคลุกที่มีเม็ดขนาดใหญ่หรือหินคลุกเม็ดหยาบ ตัวอย่างเช่น หินคลุกลูกรังหรือหินคลุกที่เกิดจากการผุกร่อนของหิน (Residual Soil) และหินคลุกซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์เหลือใช้จากการย่อยหิน ดินเหล่านี้จะแตกหักง่ายเมื่อทำการบดอัดซึ่งจะส่งผลให้หน่วยน้ำหนักที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง (Yoder, 1959) ส่วนหินคลุกเม็ดละเอียด เช่นหินคลุกเหนียวและดินตะกอน จะมีค่าปริมาณน้ำเหมาะสมสูงกว่าหินคลุกเม็ดหยาบ (Daniel and Benson, 1990) เมื่อถูกบดอัดจะจับตัวกันเป็นแท่งแน่นยากต่อการแยกหินคลุกออกกลับมาใช้มาใหม่ ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการบดอัดจึงควรเปลี่ยนหินคลุกตัวอย่างใหม่ทุกครั้ง ในการกำหนดรูปแบบและพลังงานบดอัดในปัจจุบันมีสองรูปแบบได้แก่ การบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Proctor) ทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM D 698 และการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified proctor) ทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM D 1557 ใช้ในการทดสอบสำหรับงานที่ต้องการค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด เช่น งานก่อสร้างสนามบิน ทางหลวง เป็นต้น

โดยทั้งสองรูปแบบ จะใช้แบบหล่อที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 4.6 นิ้ว หรือเลือกใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 5 นิ้ว ก็ได้ ขึ้นอยู่กับขนาดของวัสดุที่นำมาทดสอบ รูปแบบและพลังงานบดอัดดังแสดงในตาราง โดยที่พลังงานการบดอัดต่อหน่วยปริมาตร (E) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$E = \frac{N_B \times N_L \times W_H \times L_H}{V_M} \qquad (2.7)$$

เมื่อ N_B คือ จำนวนครั้งในการตกกระทบหินคลุกของค้อนใน 1 ชั้น N_L คือ จำนวนชั้นของการบดอัด W_H คือ น้ำหนักของค้อน L_H คือ ระยะที่ค้อนตกกระทบหินคลุก และ V_M คือ ปริมาตรของแบบหล่อ และในการเลือกขนาดของแบบหล่อตามมาตรฐาน ASTM จะพิจารณาจากขนาดของเม็ดหินคลุกที่นำมาบดอัด โดยมีเงื่อนไขดังนี้

- ถ้าหินคลุกตัวอย่างค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ ให้ใช้แบบหล่อขนาด 4 นิ้ว
- ถ้าหินคลุกตัวอย่างค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ค้างบนตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว ไม่เกินกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ ให้ใช้แบบหล่อขนาด 4 นิ้ว
- ถ้าหินคลุกตัวอย่างค้างบนตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว มากกว่า 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ค้างบนตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว ไม่เกินกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ ให้ใช้แบบหล่อขนาด 6 นิ้ว

2.10 กำลังอัดแกนเดียว

การทดสอบแท่งตัวอย่างหินคลุกชนิด Cohesive Soil โดยปราศจากแรงดันด้านข้างที่กระทำต่อแท่งตัวอย่างหินคลุก โดยใช้เครื่องกดทดสอบแบบธรรมดา (Compression Machine) ได้ถูกมาทดสอบมานานแล้วและต่อมาก็เป็นที่ยอมรับกันว่า การที่นำแท่งตัวอย่างหินคลุกมาทดสอบแบบนี้สามารถที่จะหาความต้านทานต่อแรงเฉือนของหินคลุกได้

การทดสอบแรงเฉือนของหินคลุกแบบไม่มีแรงดันด้านข้าง (Unconfined Compression Test) เป็นการหากำลังต้านทานต่อแรงกดสูงสุดของเนื้อหินคลุก ที่สามารถทดสอบได้รวดเร็วและค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก ซึ่งในการทดสอบจะกระทำโดยให้แรงกดกับแท่งตัวอย่างหินคลุก จนกระทั่งแท่งตัวอย่างหินคลุกวิบัติ แล้วนำค่าความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ไปเขียนกราฟเพื่อหาค่าความเค้นสูงสุด ซึ่งความเค้นที่ได้นี้จะเรียกว่า Unconfined Compression Strength (qu) ซึ่งตัวอย่างหินคลุกที่ใช้ทดสอบ จะต้องเป็นตัวอย่างหินคลุกที่มีความเชื่อมแน่นที่สามารถปั้นเป็นรูปได้

การรับแรงของหินคลุกแบบมีความเชื่อมแน่น จะเป็นไปในลักษณะใช้แรงยึดเหนียวระหว่างเม็ดหินคลุก (Cohesion) ในการรับแรงเป็นส่วนใหญ่ ถ้าหินคลุกมีความเชื่อมแน่นน้อยถึงปานกลาง เช่น พวก Sandy Silt , Sandy Clay หรือ Silt เป็นต้น การรับแรงจะเป็นในลักษณะใช้ทั้งแรงยึดเหนียวและแรงเสียดทาน (Friction) ระหว่างเม็ดช่วยกันรับแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น และถ้าหินคลุกมีความเชื่อมแน่นมาก เช่น Clay ก็จะใช้แรงยึดเหนียวในการรับแรงไว้ทั้งหมดซึ่งแรงต่าง ๆ ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้จะเรียกรวมกันว่า กำลังรับแรงเฉือนของหินคลุก (Shear Strength) และตัวอย่างหินคลุกที่ใช้ทดสอบนี้ จะไม่มีการระบายน้ำออกจากตัวอย่างหินคลุกทดสอบเสร็จก่อนที่ตัวอย่างหินคลุกจะระบายน้ำออกได้ทันจึงเป็นการทดสอบหินคลุกแบบ Undrained และค่ากำลังรับแรงเฉือนของหินคลุกที่ได้เป็นแบบแรงรวม (Total Stress)

2.11 วัสดุหินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base)

Standards For Highway Construction วัสดุหินคลุกผสมซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base) หมายถึงการก่อสร้างพื้นทางที่ใช้หินคลุกผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และน้ำโดยจะก่อสร้างเป็นชั้นเดียวหรือหลายชั้นไปบนชั้นรองพื้นทาง

วัสดุชั้นพื้นทางเดิม หมายถึง วัสดุที่ได้จากการขุดรื้อ ขูดไสจากชั้นที่อยู่รองจากผิวทาง แล้วทำให้ร่วน ในกรณีที่วัสดุชั้นทางเดิมหลังจากขุดรื้อ ขูดไสจากชั้นทางเดิมแล้วทำให้ร่วนแล้วมีขนาดคละ หรือคุณสมบัติอื่น ๆ ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด ให้แก้ไขปรับปรุงหรือนำวัสดุผสมเพิ่มมาผสมเพื่อให้คุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด

การปรับปรุงคุณภาพวัสดุหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิม หมายถึงการนำเอาวัสดุหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมมาปรับปรุงคุณภาพ แล้วนำกลับมาใช้งานใหม่ โดยให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนด ในการนี้จะเพิ่มเติมวัสดุปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อให้วัสดุหินคลุกหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมมีคุณภาพสูงขึ้น โดยใช้เครื่องจักรที่เหมาะสมขุดตัดชั้นพื้นทางเดิม ทำให้ร่วนซุย พร้อมกับคลุกเคล้าให้เข้ากับวัสดุปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ผสมเพิ่มแล้วบดอัดให้แน่น และมีค่ากำลังอัดแกนเดียวตามที่กำหนด โดยจะต้องก่อสร้างให้ถูกต้องตามแนว ระดับ ความลาด ตลอดจนรูปตัดตามแบบหรือข้อกำหนด

2.12 ข้อกำหนดที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมหินคลุกซีเมนต์

Standards For Highway Construction ในการออกแบบส่วนผสมของหินคลุกซีเมนต์เพื่อหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่ผสมกับหินคลุกและน้ำให้ถือเอาค่า Unconfined Compressive Strength ของแท่งตัวอย่างหินคลุกซีเมนต์ที่ได้จากการทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.105/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน” โดยอนุโลม ซึ่งแท่งตัวอย่างหินคลุกซีเมนต์ทดสอบจะถูกบดอัดในแบบวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติก เพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วัน แล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (350 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบ

ปริมาณน้ำในดินที่ใช้ในการเตรียมแท่งตัวอย่างหินคลุกซีเมนต์ เพื่อการทดสอบหากำลังอัดแกนเดียวตามวิธีการทดลองให้ใช้ปริมาณน้ำในหินคลุกที่ Optimum Moisture Content ซึ่งได้จากการทดลองการบดอัดหินคลุกตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” ปริมาณน้ำในหินคลุกปริมาณนี้ใช้เป็นแนวทางในการควบคุมการบดอัดในสนามขณะทำการก่อสร้างพื้นทางหินคลุกซีเมนต์

อนึ่ง หากต้องการหาปริมาณน้ำในหินคลุกที่ Optimum Moisture Content ที่แท้จริงของส่วนผสมหินคลุกซีเมนต์แล้ว ให้หาจากการทดลองบดอัดหินคลุกผสมซีเมนต์ที่อัตราของปูนซีเมนต์จากส่วนผสมที่ให้กำลังอัดแกนเดียวไม่น้อยกว่า 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบ แล้วดำเนินการตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” อย่างไรก็ดี ปริมาณน้ำในหินคลุกที่ Optimum Moisture Content ซึ่งได้จากการบดอัดหินคลุกซีเมนต์ จะให้ค่าที่ไม่แตกต่างไปจากปริมาณน้ำในหินคลุกที่ Optimum Moisture Content ซึ่งได้จากการบดอัดหินคลุกโดยวิธีการทดลองแบบเดียวกันมากนัก

2.13 สมการทำนายกำลังของการนำวัสดุเก่ามาใช้ใหม่ (Recycling)

Horpibulsuk และคณะ (2006) ได้ทำการทดสอบ และวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของกำลังอัดของดินซีเมนต์โดยการนำ วัสดุเก่ามาใช้ใหม่ โดยอาศัยสมมติฐานว่า กำลังของดินแต่ละชนิดที่ผสมกับซีเมนต์ขึ้นอยู่กับตัวแปรเพียงตัวเดียว คือ Clay – Water/ Cement Ratio ตามสมการ

$$q_u = \frac{A}{(w/c)^B} \qquad (2.8)$$

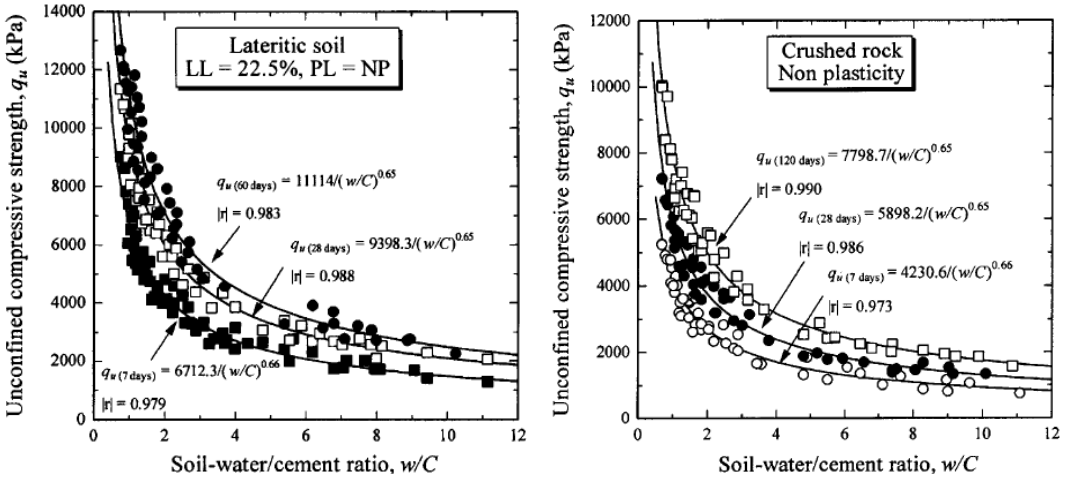
เมื่อ q_u คือ กำลังต้านแรงอัดแกนเดียวที่ระยะบ่มค่าหนึ่ง

A คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน

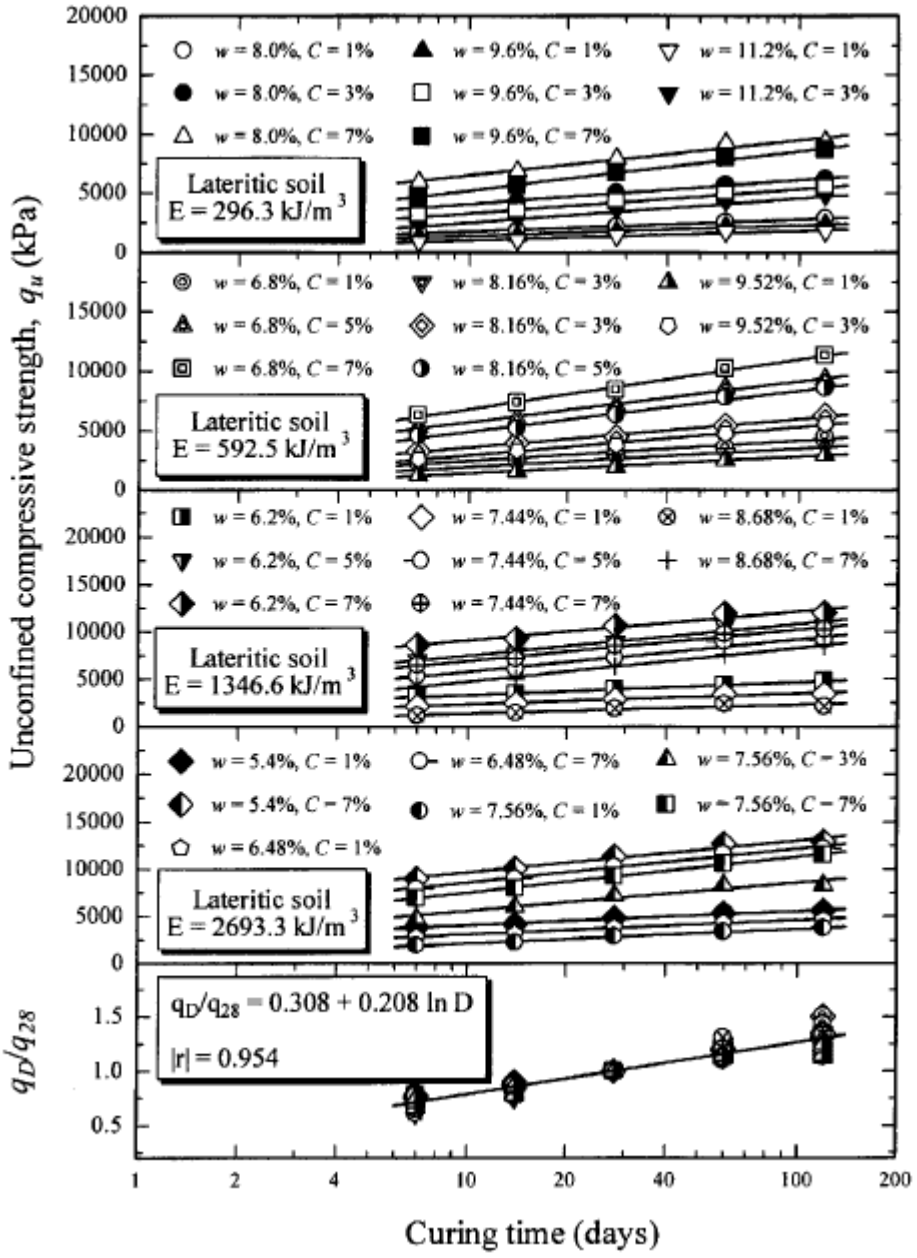
B คือ ค่าคงที่ที่ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน

w_c / c คือ Clay- water/Cement ratio และมีนิยามว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นในดินต่อปริมาณซีเมนต์

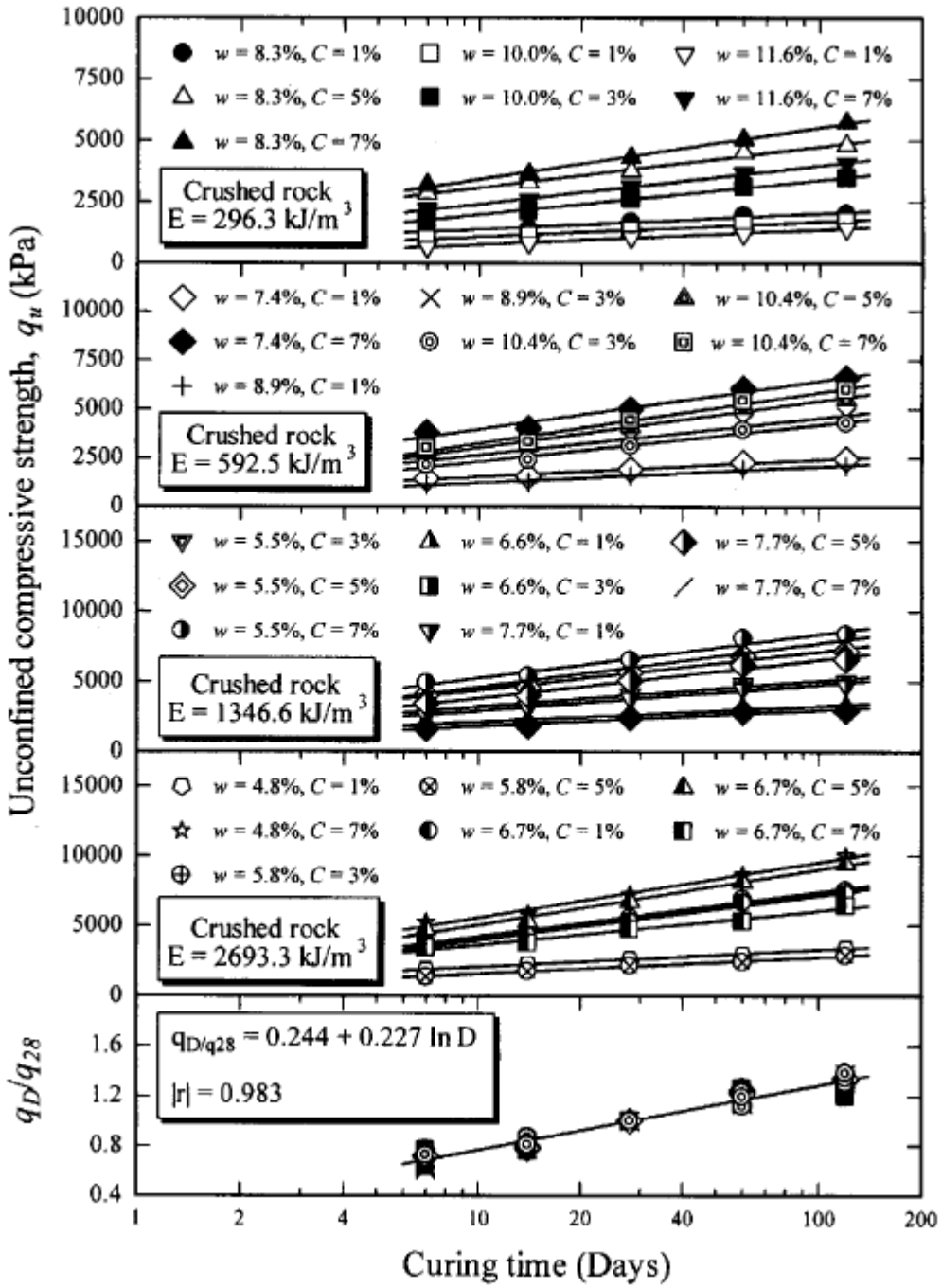
โดยได้ทำการทดสอบกำลังอัดของดินซีเมนต์ชนิดดินลูกรัง (Lateritic soil) ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน และ 90 วัน และหินคลุก (Crushed Rock) ที่ระยะเวลาบ่ม 7 วัน 28วัน และ 120 วัน นำ มาเขียนความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นในดินต่อปริมาณซีเมนต์ (w_c / c) กับกำลังอัดของดินซีเมนต์ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นในดินต่อปริมาณซีเมนต์(w_c / c) กับกำลังอัดของดินซีเมนต์ (Horpibulsuk et al., 2006)



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับอายุบ่มของ Lateritic soil (Horpibulsuk et al., 2006)



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับอายุบ่มของ Crushed rock (Horpibulsuk et al., 2006)

ซึ่งอัตราการเพิ่มของกำลังของดินซีเมนต์เป็นฟังก์ชั่นของล็อกกาลิทึมของอายุบ่ม ดังแสดงในสมการที่ 2.9 และ รูปที่ 2.13 และรูปที่ 2.14

$$\frac{q_D}{q_{28}} = 0.244 + 0.227 \ln D \qquad (2.9)$$

เมื่อแทนค่า B =0.65 ในสมการที่ 2.7 แล้วนำค่ากำลังอัดตามสมการที่ 2.8 ที่มีการบ่มที่ D วัน หารด้วยกำลังอัดที่มีการบ่มที่ 28 วันจะได้สมการ

Horpibulsuk และคณะ (2006) ยังพบอีกว่ากำลังของดินซีเมนต์ในสนาม จะมีค่าต่ำ กว่ากำลังบดอัดในห้องปฏิบัติการ เป็นผลมาจากสามเหตุปัจจัยหลัก ได้แก่ การผสม การบดอัด และการบ่มสรุปว่ากำลังของดินซีเมนต์ที่ผสมและบดอัดในสนาม (q_{fr}) เปรียบเทียบกับกำลังของดินซีเมนต์บดอัดในห้องปฏิบัติการ (q_{ul}) ที่ปริมาณความชื้น ปริมาณซีเมนต์ อายุบ่ม และภายใต้พลังงานการบดอัดที่เท่ากันมีค่าระหว่าง 0.50 ถึง 1.00 เท่า

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พนมและคณะ (2547) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพชั้นพื้นทางที่เป็นหินคลุก หินคลุกผสมวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า และวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าด้วยปูนซีเมนต์ ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ได้ดำเนินการวิจัย 3 กรณีศึกษาคือ 1) นำเอาหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปริมาณระหว่างร้อยละ 1 ถึง 5 2) วัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าผสมหินคลุก ในอัตราส่วน 1:1 ผสมปูนซีเมนต์ปริมาณระหว่างร้อยละ 1 ถึง 5 3) ใช้วัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าผสมปูนซีเมนต์ปริมาณระหว่างร้อยละ 4 ถึง 12 เมื่อได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมแล้ว คณะผู้ดำเนินการวิจัยได้นำไปใช้ในการซ่อมถนนจริง ในทางหลวงหมายเลข 2175 ที่กม. 11+875 และ กม.20+610 จำนวน 3 แปลง แต่ละแปลงมี 3 แปลงเล็กตามชนิดของพื้นทาง ตรวจสอบการยุบตัวของผิวทางทุก 7 วันเป็นเวลา 9 สัปดาห์ มีผลการยุบตัวของทั้งสามกรณีศึกษาของพื้นทางเป็นที่ยอมรับได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบราคาต่อหน่วยแล้ว ปรากฏว่าพื้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าผสมปูนซีเมนต์เป็นวัสดุผสมที่มีราคาต่ำที่สุดจึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุผสมทำพื้นทางในการซ่อมบำรุงทาง

ณัฐวุฒิและคณะ (2552) ได้ทำการศึกษา การปรับปรุงผิวแอสฟัลต์ที่ถูกขุดรื้อจากชั้นทางเดิมกลับมาใช้งานใหม่ ในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ได้ดำเนินการวิจัย 5 กรณีศึกษาคือ 1) นำเอาหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ปริมาณระหว่างร้อยละ 1 ถึง 5 2) วัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าผสมหินคลุก ในอัตราส่วน 1:3 ผสมปูนซีเมนต์ปริมาณระหว่างร้อยละ 1 ถึง 5 3) วัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าผสมหินคลุก ในอัตราส่วน 1:1 ผสมปูนซีเมนต์ปริมาณระหว่างร้อยละ 1 ถึง 5 4) วัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าผสมหินคลุก ในอัตราส่วน 3:1 ผสมปูนซีเมนต์ปริมาณระหว่าง 1 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ 5) วัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่า ผสมปูนซีเมนต์ปริมาณระหว่างร้อยละ 4 ถึง 12 การวิจัยนี้เป็นการทดสอบหากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength) ที่อายุบ่ม 7 วัน ไม่น้อยกว่า 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามมาตรฐานการก่อสร้างชั้นพื้นทางของกรมทาง

หลวง ผลการวิจัยปรากฏว่าหินคลุกเก่าผสมกับผิวแอสฟัลต์เก่าในอัตราส่วน 3:1 ใช้ปูนซีเมนต์ผสมในปริมาณ 2.7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นปริมาณที่น้อยกว่าในทุกอัตราส่วน

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง โดยจะเริ่มจากการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิม วิธีการบดอัดหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิม และวิธีทดลองกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมผสมปูนซีเมนต์

3.1 วิธีการดำเนินงาน

3.1.1 เก็บตัวอย่างจากสถานที่จริงเพื่อนำมาทดลองในห้องปฏิบัติการ

3.1.2 ทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง ตามมาตรฐานการทดลองวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 205/2517

3.1.3 ทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Proctor) ตามมาตรฐานการทดลองวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.108/2517

3.1.4 ทดลองหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, UCS) ตามมาตรฐานการทดลองวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.105/2515 ของดิน ซึ่งแท่งตัวอย่างหินคลุกซีเมนต์ทดสอบจะถูกบดอัดในแบบวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วันแล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง จะต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว ไม่น้อยกว่า 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

3.1.5 เลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับชั้นพื้นทาง

3.2 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐาน

คุณสมบัติพื้นฐานทางด้านวิศวกรรม ดำเนินการตามมาตรฐานการทดสอบดังนี้ หาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง ตามมาตรฐานการทดลองวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.205/2517

3.3 การบดอัดหินคลุกซีเมนต์

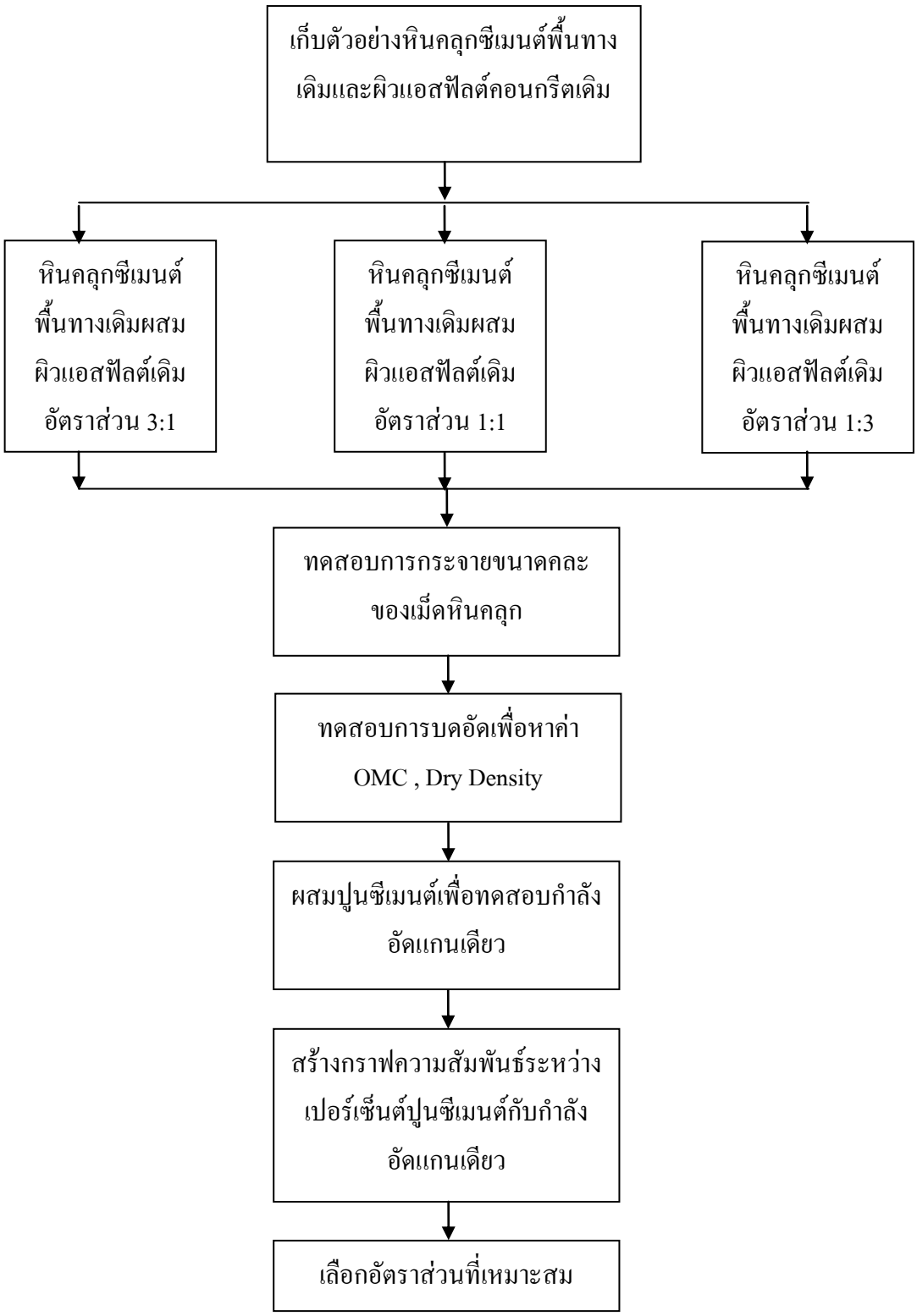
การบดอัดหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมดำเนินการตามมาตรฐานการทดสอบดังนี้

การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ตามมาตรฐานการทดลองวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517

3.4 กำลังอัดแกนเดียว

กำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมผสมปูนซีเมนต์ ดำเนินการตามมาตรฐานการทดสอบดังนี้

กำลังอัดแกนเดียว ตามมาตรฐานการทดลองวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.105/2515 ของดิน ซึ่งแท่งตัวอย่างทดสอบจะถูกบดอัดในแบบวิธีการทดลองที่ ทล.- ท.108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” ภายหลังการบ่มในถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วัน นำแท่งตัวอย่างทดสอบออกจากถุงพลาสติก แช่น้ำไว้นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นนำแท่งตัวอย่างไปทดสอบกำลังอัดแกนเดียว



รูปที่ 3.1 แผนภาพขั้นตอนและวิธีดำเนินการทดลอง

บทที่ 4
ผลการวิจัย

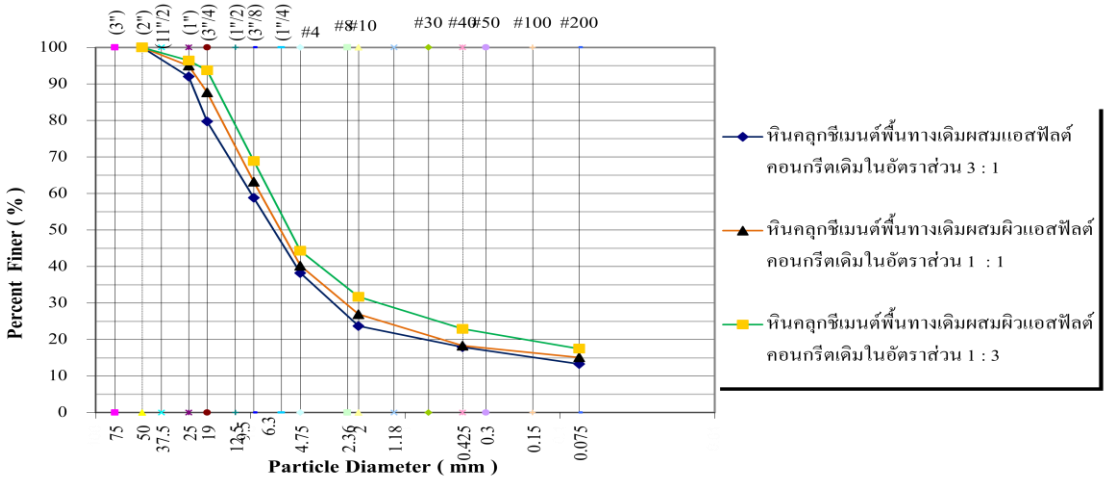
4.1 คุณสมบัติของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมที่ศึกษา

หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมที่ใช้ศึกษา ประกอบด้วยหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมในอัตราส่วน 3 ต่อ 1, 1 ต่อ 1 และ1 ต่อ 3 จากทางหลวงหมายเลข 226 ตอนศรีสะเกษ – อ.กันทรารมย์ ระหว่างกิโลเมตรที่ 17+300 ถึง 30+000 หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิมมีการกระจายขนาดคละของเม็ดดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จะพบว่าหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่อัตราส่วน 3 ต่อ 1 จะมีปริมาณมวลรวมเม็ดหยาบมากที่สุดเมื่อเทียบกับหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่อัตราส่วนผสมอื่นๆ

รูปที่ 4.1 การกระจายขนาดคละของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม จากกราฟ ในอัตราส่วนผสม 3:1 และ 1:1 มีปริมาณขนาดคละที่พอดี ในขณะที่อัตราส่วนผสม 1:3 จะมีปริมาณขนาดคละค่อนข้างละเอียด เนื่องจากปริมาณของผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมมีขนาดคละที่เท่ากันในอัตราส่วนที่มากกว่า

ตารางที่ 4.1 การผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ ของเม็ดหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม

อัตราส่วน	% ของเม็ดหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม							
	ขนาด 2"	ขนาด 1"	ขนาด 3/4"	ขนาด 3/8"	ขนาด #4	ขนาด #10	ขนาด #40	ขนาด #200
3 : 1	100	92.0	79.7	58.8	38.2	23.7	17.9	13.3
1 : 1	100	95.0	87.7	63.2	40.2	26.9	18.3	15.1
1 : 3	100	96.4	93.7	68.9	44.3	31.7	22.9	17.5



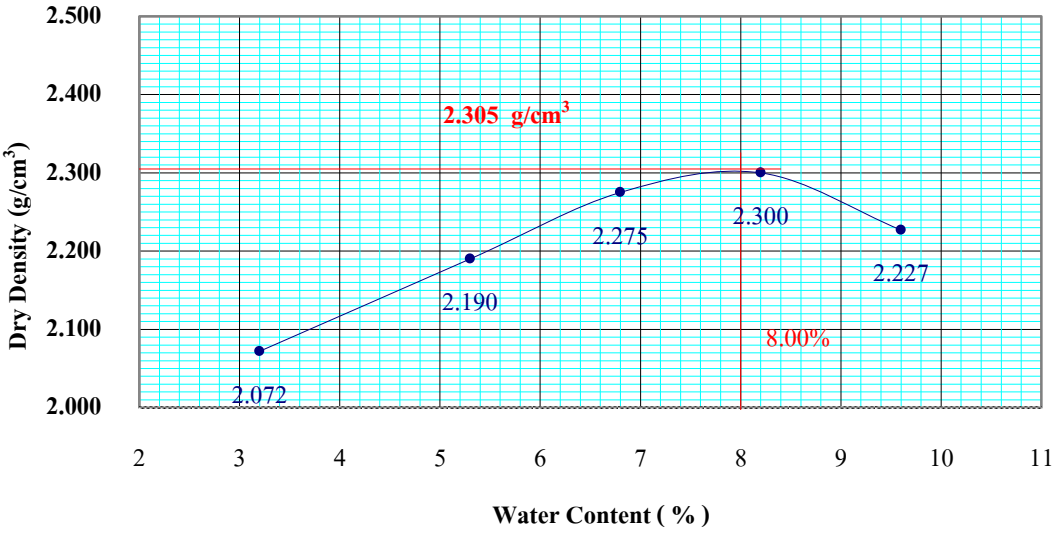
รูปที่ 4.1 การกระจายขนาดคละของเม็ดหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม

4.2 ผลทดสอบการบดอัด

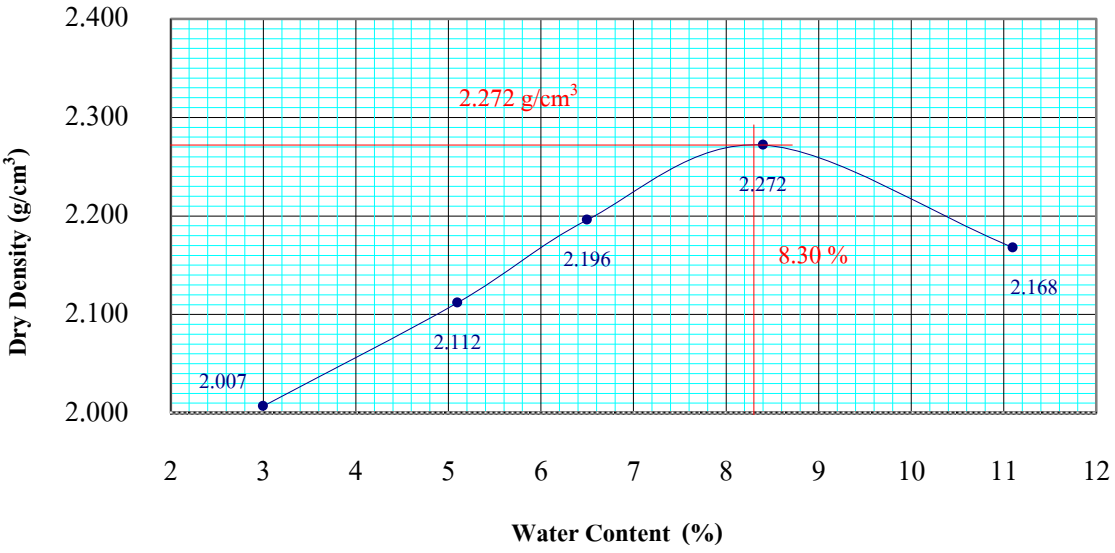
ค่าความชื้นที่เหมาะสม (OMC) และความแน่นแห้งสูงสุด ($\rho_{d\,(max)}$) ของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 ถึงรูปที่ 4.4 แสดงเส้นโค้งการบดอัดของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิมในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน จากผลการทดสอบข้างต้นจะพบว่าแนวโน้มของความหนาแน่นแห้งจะสูงขึ้น เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนผสมหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมจาก 1 ต่อ 3 เป็น 1 ต่อ 1 และ 3 ต่อ 1 ตามลำดับ รวมทั้งความชื้นที่เหมาะสม ก็มีการลดลงตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนผสมหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมเช่นกัน ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่ามวลรวมที่อัตราส่วนผสม 3 : 1 จะมีคุณสมบัติด้านการบดอัดที่ดีที่สุด ขณะที่มวลรวมที่อัตราส่วนผสม 1 : 3 จะมีคุณสมบัติด้อยที่สุด

ตารางที่ 4.2 ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและความแน่นแห้งสูงสุดของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม

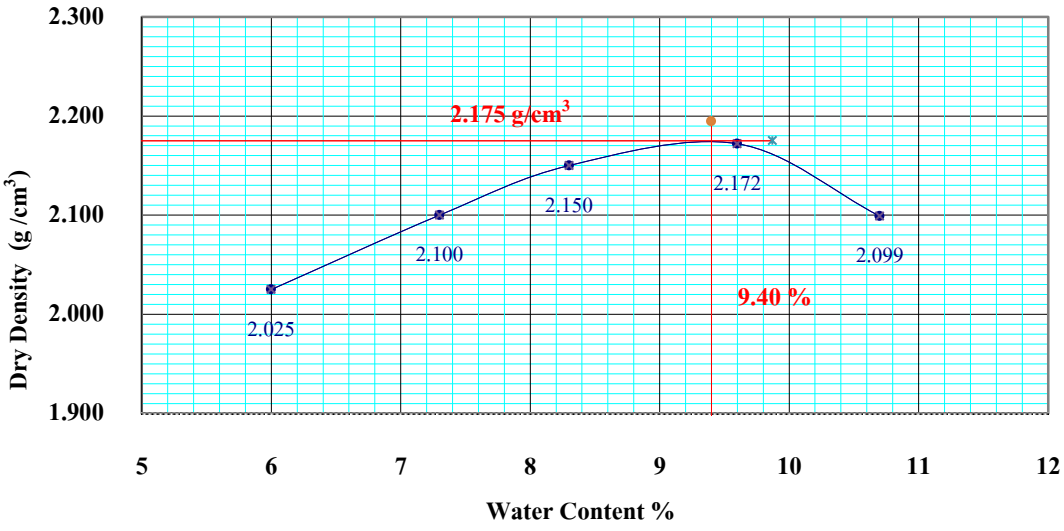
หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 3:1		**หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 1:1**		**หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 1:3**	
OMC (%)	$\rho_{d\ (max)}$ (g/cm^3)	OMC (%)	$\rho_{d\ (max)}$ (g/cm^3)	OMC (%)	$\rho_{d\ (max)}$ (g/cm^3)
8.00	2.305	8.30	2.272	9.40	2.175



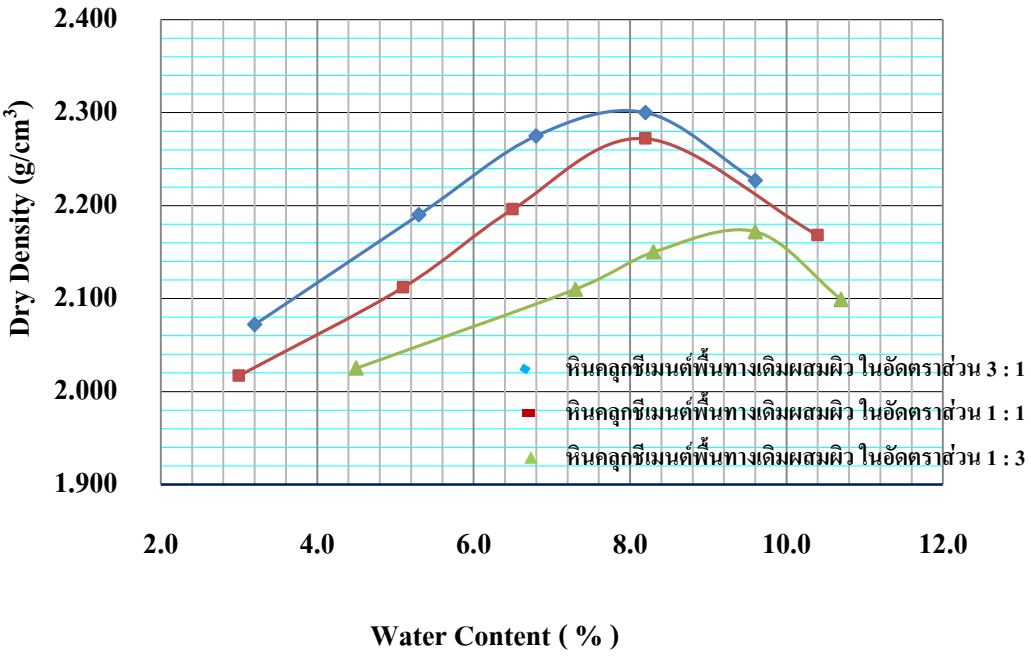
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งและปริมาณน้ำของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 3:1



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งและปริมาณน้ำของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 1:1



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นแห้งและปริมาณน้ำของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 1:3



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักความแน่นแห้งกับปริมาณความชื้น(w/c)ของมวลรวมทั้ง 3 อัตราส่วนผสม

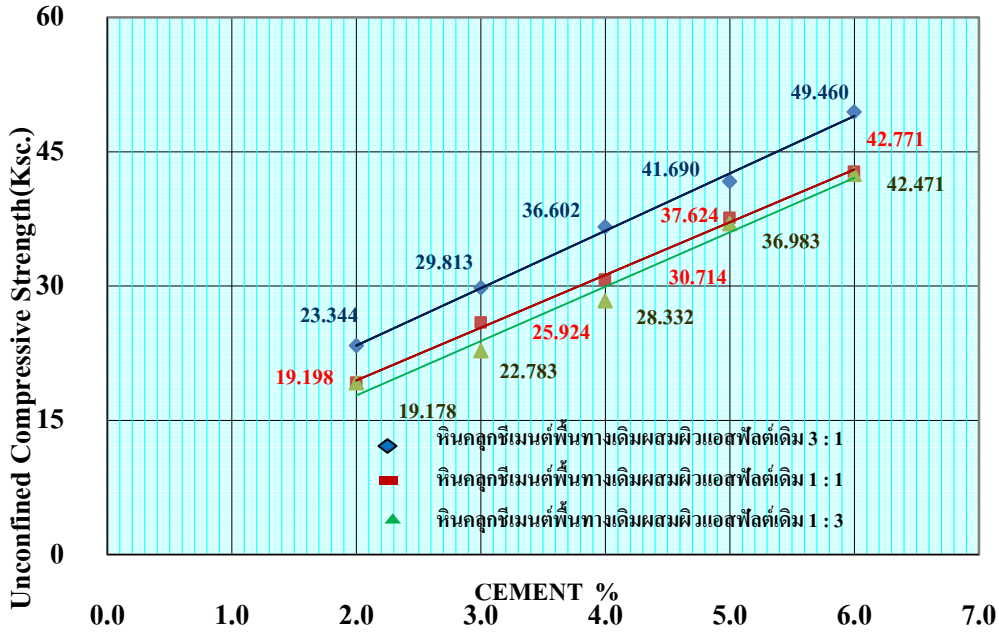
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักแห้งกับปริมาณความชื้นของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม ของมวลรวมทั้ง 3 อัตราส่วนผสม เมื่อพิจารณาเส้นโค้งการบดอัดทั้ง 3 อัตราส่วนผสมร่วมกันจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า มวลรวมที่อัตราส่วนผสม 1 : 3 จะมีคุณสมบัติการบดอัดด้วยกว่ามวลรวมที่อีก 2 อัตราส่วนผสม อย่างชัดเจน ขณะที่มวลรวมที่อัตราส่วนผสม 3 : 1 และ 1 : 1 จะมีคุณสมบัติด้านการบดอัดไม่ต่างกันมากนัก

4.3 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength , UCS)

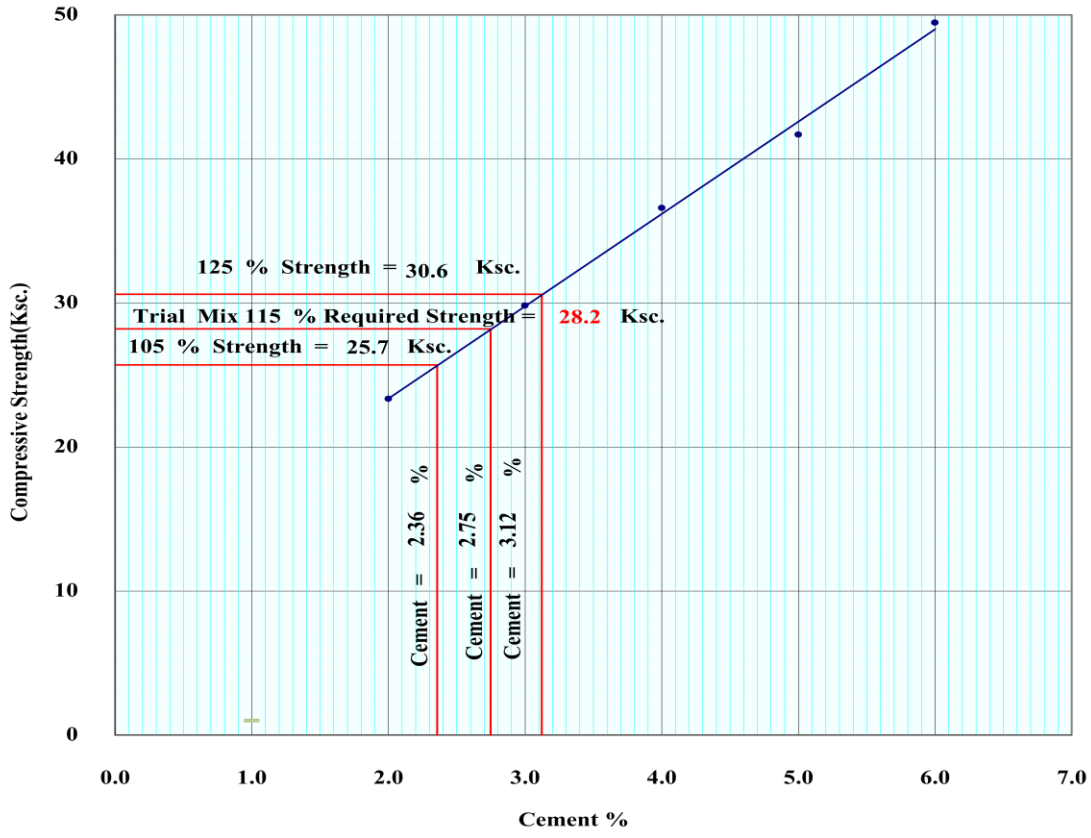
ตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท.105/2515 “วิธีการทดลองหา Unconfined Compressive Strength ของดิน” ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวจะต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบ (กำลังอัดที่ 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร) ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ปริมาณซีเมนต์ต่างๆ ของมวลรวมทั้ง 3 อัตราส่วนผสม การเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดแกนเดียว ตามปริมาณซีเมนต์ของมวลรวมทั้ง 3 อัตราส่วนผสม แสดงดังรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.3 ผลการออกแบบหาค่าปริมาณปูนซีเมนต์ของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม ในอัตราส่วนที่แตกต่างกันกับค่ากำลังอัดแกนเดียวที่ 24.5 Ksc.

ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสม (%)	หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 3:1		หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 1:1		หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 1:3	
	W/C (%)	UCS (ksc.)	W/C (%)	UCS (ksc.)	W/C (%)	UCS (ksc.)
2	4.00	23.344	4.20	19.198	4.70	19.178
3	2.70	29.813	2.80	25.924	3.10	22.783
4	2.00	36.602	2.10	30.714	2.30	28.331
5	1.60	41.690	1.70	37.624	1.90	36.983
6	1.30	49.460	1.40	42.771	1.60	42.471



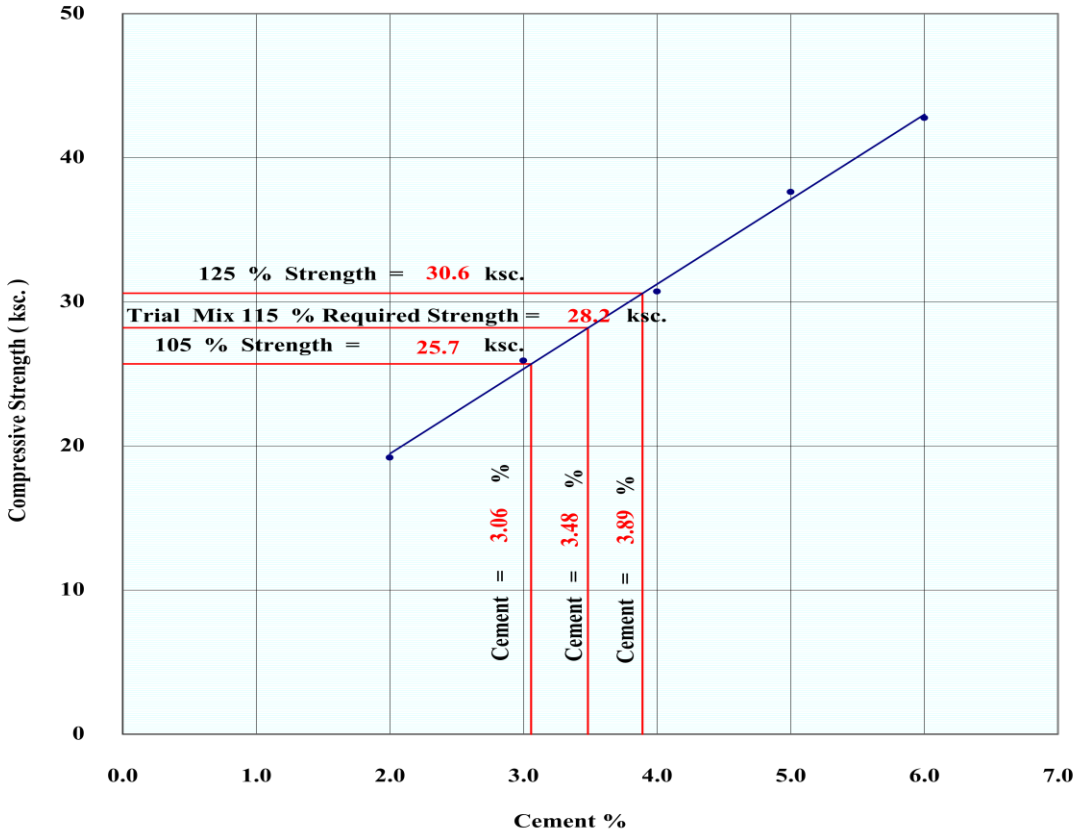
รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับอายุบ่มของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม อัตราส่วนต่างๆ



รูปที่ 4.7 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียวจากการ Trial Mix หาปริมาณปูนซีเมนต์กับกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ 115 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังอัดแกนเดียว (เท่ากับ 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) อัตราส่วนผสม 3:1

จากกราฟ รูปที่ 4.7 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างซีเมนต์กับกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิม 3 ส่วน ผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม 1 ส่วน ผสมซีเมนต์ระหว่างปริมาณร้อยละ 2 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำที่เหมาะสมทำการบดอัดตัวอย่างตามมาตรฐาน วิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” ด้วยการทดลองหาค่าแรงอัดตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 105/2515 “วิธีการทดลองหาค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, UCS) ของวัสดุ” ที่อายุการบ่ม 7 วัน นำค่ากำลังที่ได้จากการทดสอบ จากตารางที่ 4.3 เขียนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีเมนต์กับกำลังรับแรงอัดแกนเดียวจะเห็นค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวมีการพัฒนาที่สูงขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่กำหนดไว้ (กำลังอัดที่ 24.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) โดยที่กำลังอัด 115 เปอร์เซ็นต์ จาก

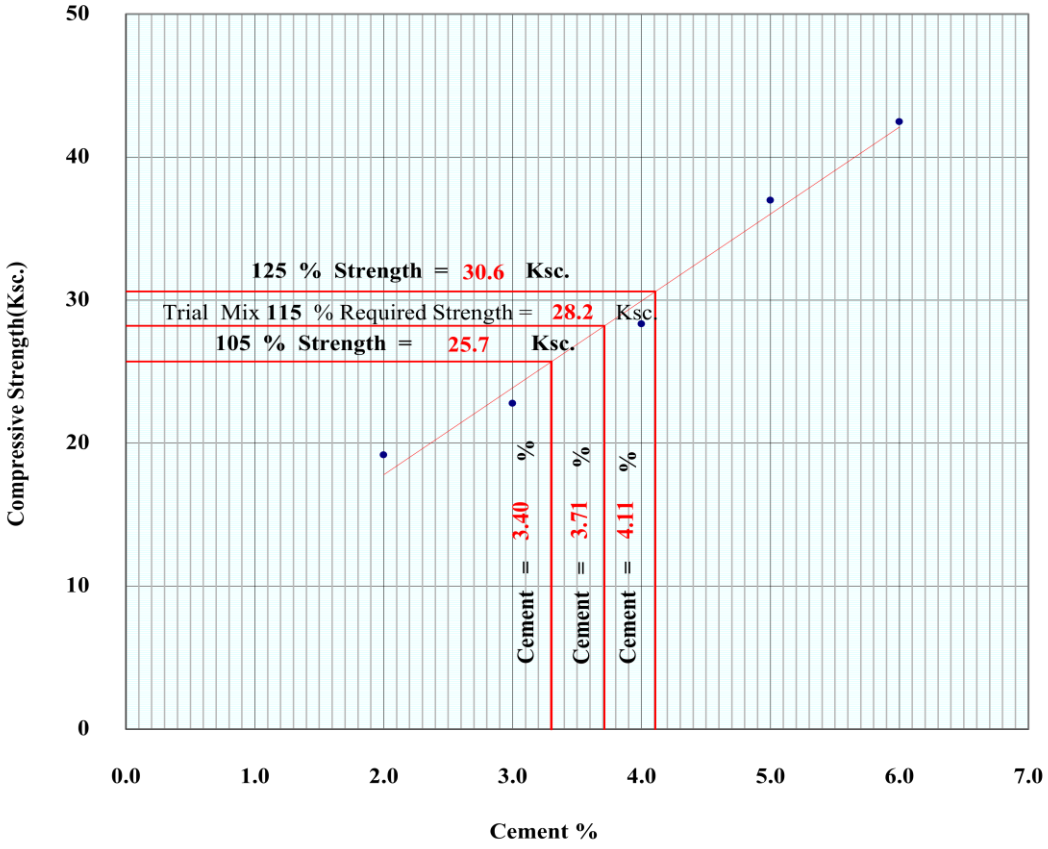
การกำหนดค่ากำลังอัดแกนเดียว (เท่ากับ 28.20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) อ่านค่าความสัมพันธ์ของปริมาณซีเมนต์จะได้ เท่ากับ 2.75 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.8 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียวจากการ Trial Mix หาปริมาณปูนซีเมนต์กับกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ 115 ของเปอร์เซ็นต์ ของกำลังอัดแกนเดียว (เท่ากับ 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) อัตราส่วนผสม1:1

จากกราฟ รูปที่ 4.8 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างซีเมนต์กับกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิม 3 ส่วน ผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม 1 ส่วน ผสมซีเมนต์ระหว่างปริมาณร้อยละ 2 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำที่เหมาะสมทำการบดอัดตัวอย่างตามมาตรฐาน วิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 “ วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” ด้วยการทดลองหาค่าแรงอัดตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 105/2515 “วิธีการทดลองหาค่ากำลังอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength, UCS) ของวัสดุ” ที่อายุการบ่ม 7 วัน นำค่ากำลังที่ได้จากการทดสอบ จากตารางที่ 4.3 เขียนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีเมนต์กับกำลังแรงอัดแกน

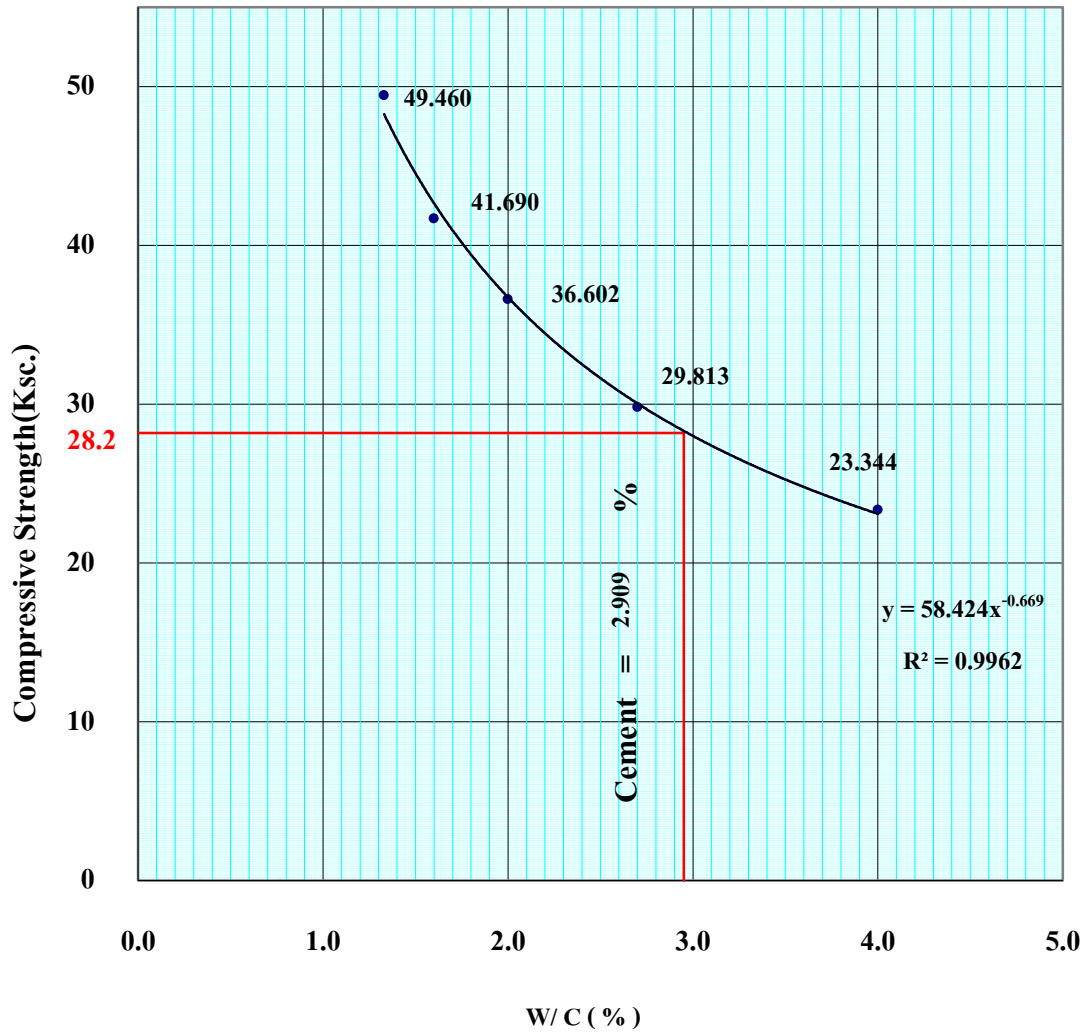
เดียวจะเห็นค่ากำลังแรงอัดแกนเดียวมีการพัฒนาที่สูงขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่กำหนดไว้ (กำลังอัดที่ 24.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) โดยที่กำลังอัด 115 เปอร์เซ็นต์ จากการกำหนดค่ากำลังอัดแกนเดียว (เท่ากับ 28.20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) อ่านค่าความสัมพันธ์ของปริมาณซีเมนต์จะได้ เท่ากับ 3.48 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.9 ผลทดสอบกำลังอัดแกนเดียวจากการ Trial Mix หาปริมาณปูนซีเมนต์กับกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมที่ 115 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังอัดแกนเดียว(เท่ากับ 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) อัตราส่วนผสม 1:3

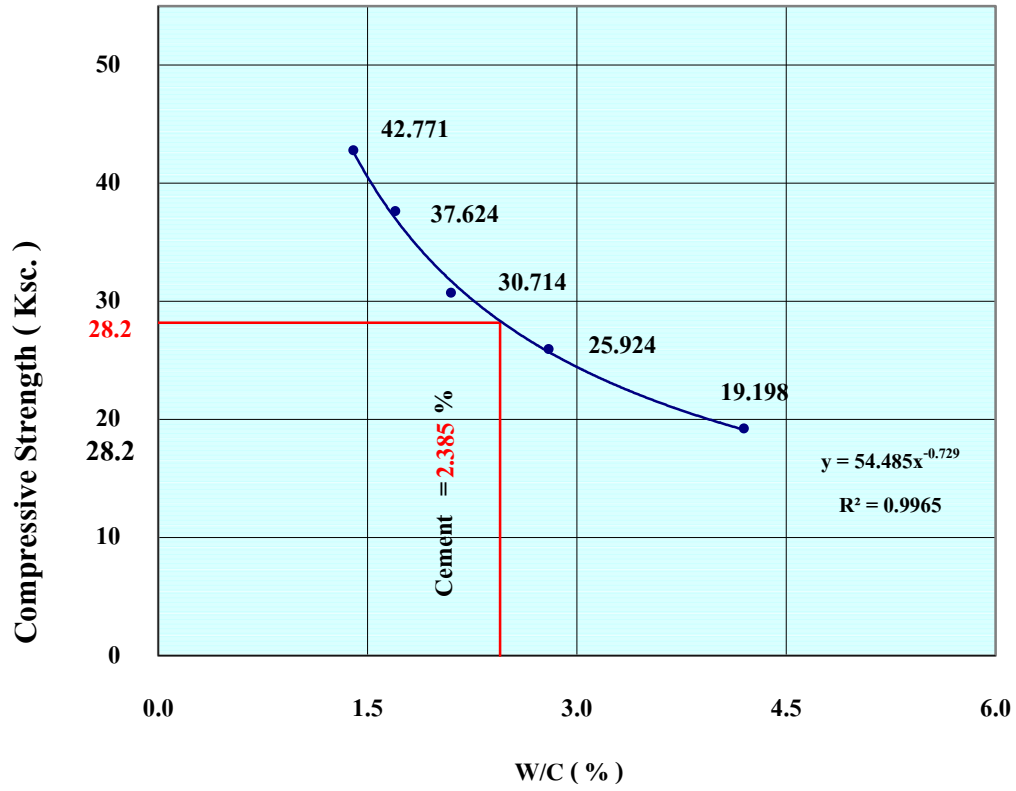
จากกราฟ รูปที่ 4.9 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างซีเมนต์กับกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิม 3 ส่วน ผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม 1 ส่วน ผสมซีเมนต์ระหว่างปริมาณร้อยละ 2 ถึง 6 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณน้ำที่เหมาะสมทำการบดอัดตัวอย่างตามมาตรฐาน วิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” ด้วยการทดลองหาค่าแรงอัดตามมาตรฐานวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 105/2515 “วิธีการทดลองหาค่ากำลังอัดแกนเดียว

(Unconfined Compressive Strength, UCS) ของวัสดุ” ที่อายุการบ่ม 7 วัน นำค่ากำลังที่ได้จากการทดสอบ จากตารางที่ 4.3 เขียนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีเมนต์กับกำลังแรงอัดแกนเดียวจะเห็นค่ากำลังแรงอัดแกนเดียวมีการพัฒนาที่สูงขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่กำหนดไว้ (กำลังอัดที่ 24.50 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) โดยที่กำลังอัด 115 เปอร์เซ็นต์ จากการกำหนดค่ากำลังอัดแกนเดียว (เท่ากับ 28.20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) อ่านค่าความสัมพันธ์ของปริมาณซีเมนต์จะได้ เท่ากับ 3.71 เปอร์เซ็นต์



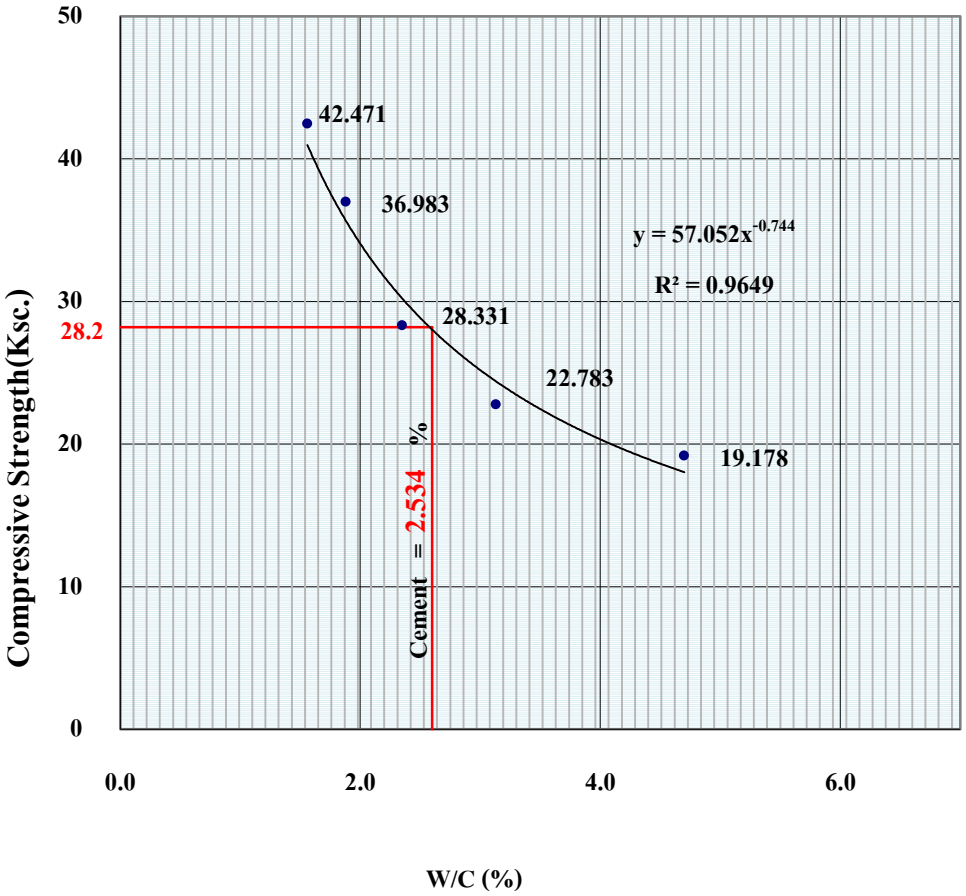
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นในของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (*w/c*)กับกำลังอัดแกนเดียวในอัตราส่วน 3:1

จากกราฟ รูปที่ 4.10 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นมวลรวมต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (*w/c*) ซึ่งสามารถอ่านค่า (*w/c*) ที่กำลังรับแรงอัดแกนเดียว 28.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้เท่ากับ 2.909 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อหามวลรวมของ อัตราส่วน 3: 1 มีปริมาณความชื้นเหมาะสมเท่ากับ 8.00 เปอร์เซ็นต์ดังนั้นจึงสามารถคำนวณปริมาณซีเมนต์ได้เท่ากับ 8.00 / 2.909 เท่ากับ 2.75 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นในของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (*w /c*)กับกำลังอัดแกนเดียวในอัตราส่วน 1:1

จากกราฟ รูปที่ 4.11 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นมวลรวมต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (*w/c*) ซึ่งสามารถอ่านค่า (*w/c*) ที่กำลังรับแรงอัดแกนเดียว 28.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้เท่ากับ 2.385 เปอร์เซ็นต์และเมื่อหามวลรวมของ อัตราส่วน 1 : 1 มีปริมาณความชื้นเหมาะสมเท่ากับ 8.30 เปอร์เซ็นต์ดังนั้นจึงสามารถคำนวณปริมาณซีเมนต์ได้เท่ากับ 8.30 / 2.385 เท่ากับ 3.48 เปอร์เซ็นต์



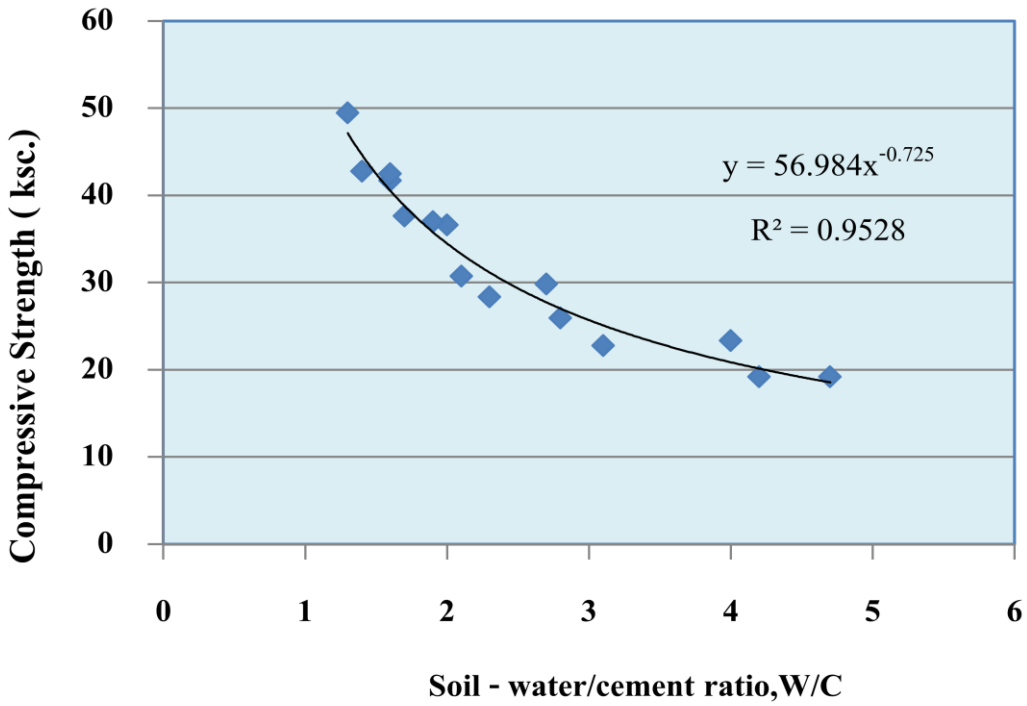
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นในของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (w/c)กับกำลังอัดแกนเดียวในอัตราส่วน 1:3

จากกราฟ รูปที่ 4.12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นมวลรวมต่อปริมาณปูนซีเมนต์ (*w/c*) ซึ่งสามารถอ่านค่า (*w/c*) ที่กำลังรับแรงอัดแกนเดียว 28.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้เท่ากับ 2.534 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อหามวลรวมของ อัตราส่วน 1 : 3 มีปริมาณความชื้นเหมาะสมเท่ากับ 9.40 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณปริมาณซีเมนต์ได้เท่ากับ 9.40 / 2.534 เท่ากับ 3.71 เปอร์เซ็นต์

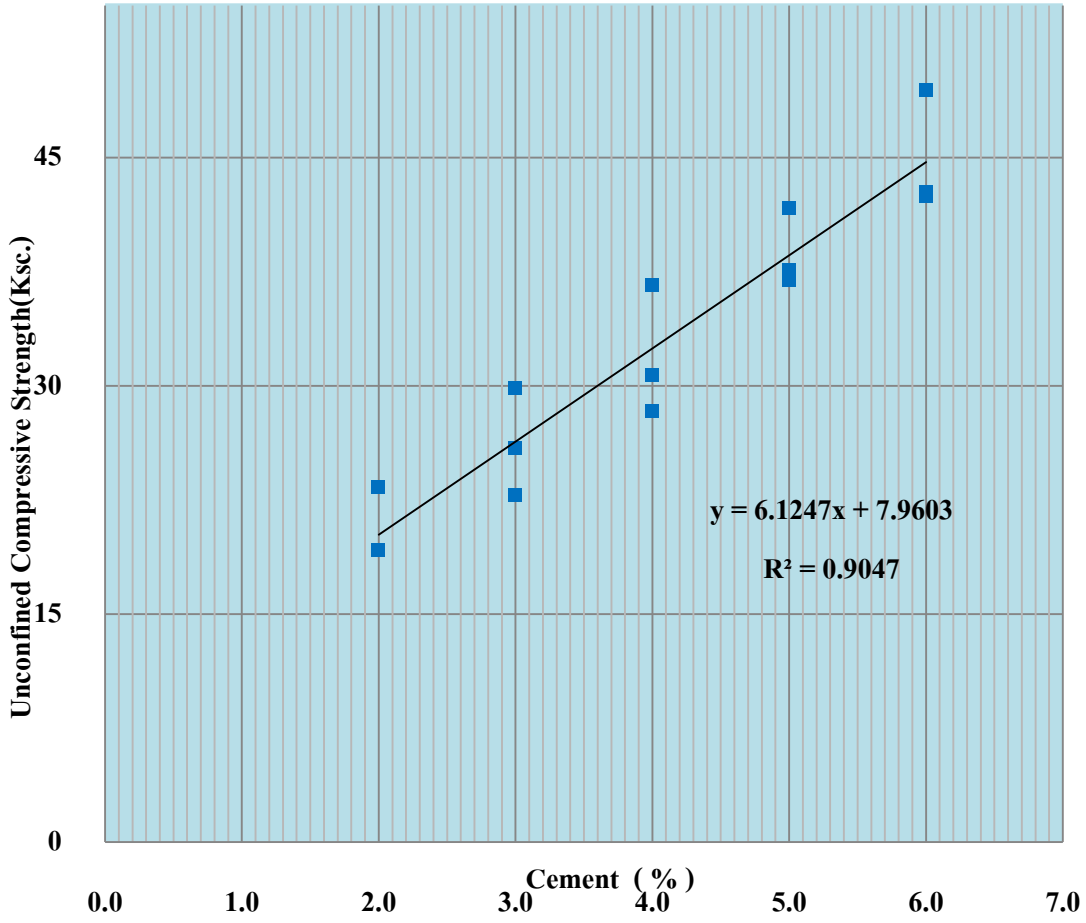
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบปริมาณซีเมนต์ที่ได้จากการใช้ ความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณซีเมนต์กับกำลังอัดและการใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น(*w/c*) กับกำลังอัด

Mixture	ปริมาณซีเมนต์	
	ซีเมนต์กับกำลังอัด(%)	(*w/c*) กับกำลังอัด(%)
หินคลุกผสมซีเมนต์เดิม 3 ส่วน:ผิวทางเดิม 1 ส่วน	2.75	2.75
หินคลุกผสมซีเมนต์เดิม 1 ส่วน:ผิวทางเดิม 1 ส่วน	3.48	3.48
หินคลุกผสมซีเมนต์เดิม 1 ส่วน:ผิวทางเดิม 3 ส่วน	3.71	3.71

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบปริมาณซีเมนต์ที่ให้กำลังอัดแกนเดียว เท่ากับ 28.20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การใช้ปริมาณซีเมนต์หรือการใช้ (*w/c*) เป็นปัจจัยการควบคุมในการหาปริมาณซีเมนต์ให้ปริมาณซีเมนต์ที่เท่ากันทุกประการ



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณความชื้น (*w/c*) ต่อปริมาณซีเมนต์กับกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทาง เดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม



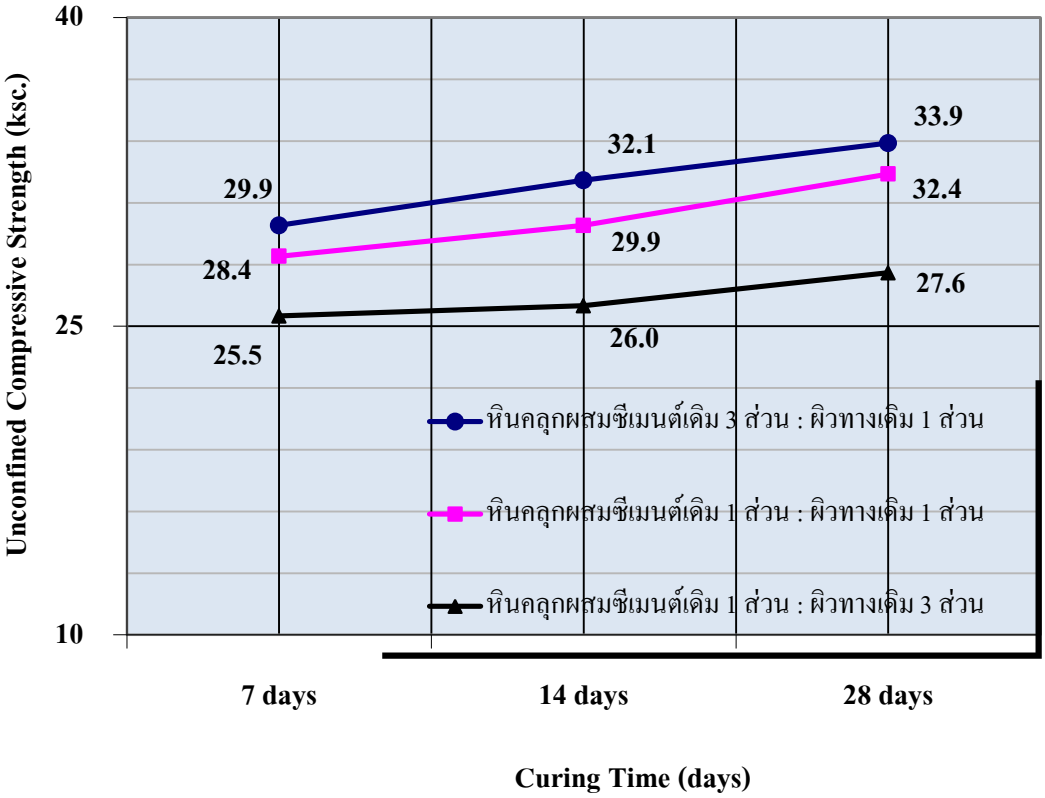
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณซีเมนต์กับกำลังอัด ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

อย่างไรก็ตามหาก เปรียบเทียบการหาปริมาณซีเมนต์ระหว่างการใช้ปริมาณซีเมนต์กับการใช้ *w/c* ดังรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนระหว่าง *w/c* กับกำลังอัดแกนเดียวสำหรับมวลรวมทุกอัตราส่วนผสม จากกราฟข้างต้นเมื่อนำความสัมพันธ์ของของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมทั้ง 3 อัตราส่วนเข้าด้วยกันจะพบว่าข้อมูลจากกราฟรูปที่ 4.13 ค่าความสัมพันธ์จะเกาะกลุ่มกันไม่กระจายตัวกันและทำให้ค่า R^2 สูง(R^2 = 0.952) เมื่อเทียบความสัมพันธ์จากกราฟรูปที่ 4.14 กับค่าความสัมพันธ์ของของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมทั้ง 3 อัตราส่วน มีการกระจายตัวกันอยู่ทำให้ค่า R^2 ต่ำ (R^2= 0.904) ฉะนั้นถ้าดูจากความสัมพันธ์ ระหว่าง *w/c* กับกำลังอัดแกนเดียว เปรียบเทียบจากกราฟความสัมพันธ์ทั้ง 2 วิธี ได้ปริมาณซีเมนต์เท่ากันกับการใช้ปริมาณซีเมนต์ *w/c* แต่ถ้าหากจะใช้วิธีหาซีเมนต์กับกำลังอัดแบบวิธีเดิม จะต้องทำตัวอย่างทดสอบ อัตราส่วนผสมต่างๆ ถึง 3 อัตราส่วน แต่

ละอัตราส่วนมี 6 แท่งตัวอย่างก็ต้องใช้ตัวอย่างของแต่ละอัตราส่วนรวมกันถึง 18 ตัวอย่าง ทำให้ต้องเสียเวลาที่มาก แต่ถ้าใช้วิธีการใหม่ วิธีหาความสัมพันธ์ระหว่าง *w/c* กับกำลังอัดไม่ว่าจะใช้อัตราส่วน 3 ต่อ 1 ,1 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 3 ก็ยังใช้ความสัมพันธ์เดียวระหว่าง *w/c* กับกำลังอัดฉะนั้น ใช้วิธีการใหม่ สามารถใช้อัตราส่วนเดียวก็สามารถคาดการณ์ปริมาณซีเมนต์ได้ตามความต้องการเป็นการทุ่นเวลาทำงานและประหยัดซีเมนต์อีกด้วย

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมผสมปูนซีเมนต์ ที่อายุ 7,14 และ 28 วัน

Mixture	**Cement (%)**	**Average Compressive Strength (Ksc.)**		
		7 days	**14 days**	**28 days**
หินคลุกผสมซีเมนต์เดิม 3 ส่วน:ผิวทางเดิม 1 ส่วน	2.75	29.9	32.1	33.9
หินคลุกผสมซีเมนต์เดิม 1 ส่วน:ผิวทางเดิม 1 ส่วน	3.48	28.4	29.9	32.4
หินคลุกผสมซีเมนต์เดิม 1 ส่วน:ผิวทางเดิม 3 ส่วน	3.71	25.5	26.0	27.6



รูปที่ 4.15 ดัชนีวัดการพัฒนากำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

รูปที่ 4.15 แสดงการพัฒนากำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน เปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดแกนเดียวของมวลรวมทั้ง 3 อัตราส่วน โดยหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมในอัตราส่วน 3 ต่อ 1 (หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิม 3 ส่วนผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม 1 ส่วน) มีการพัฒนากำลังที่อายุการบ่ม 7, 14 และ28 วันสามารถรับกำลังอัดแกนเดียวเท่ากับ 29.90, 32.10 และ 33.90 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ กับอัตราส่วน 1 ต่อ 1 (หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิม 1 ส่วนผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม 1 ส่วน) มีการพัฒนาด้านกำลังอัดแกนเดียว ที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน สามารถรับกำลังอัดแกนเดียวเท่ากับ 28.40, 29.90 และ 32.40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวกับอายุการบ่ม สรุปได้ว่าอัตราส่วนผสม 3 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 1 ทั้งสองอัตราส่วนมีการพัฒนาที่สูงขึ้นใกล้เคียงกันมากถึงแม้ว่าอัตราส่วนผสม 3 ต่อ 1 จะมีการพัฒนาที่มากกว่าเล็กน้อย ก็ถือได้ว่าอัตราส่วนผสม 3 ต่อ 1 และ 1 ต่อ 1 สามารถนำไปใช้ได้ทั้ง 2 อัตราส่วน ขณะที่อัตราส่วนผสมที่ใช้ปริมาณของหินคลุกซีเมนต์พื้น

ทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมในอัตราส่วนผสม 1 ต่อ 3 (หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิม 1 ส่วนผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม 3 ส่วน) มีการพัฒนากำลัง ที่อายุการบ่ม 7 ,14 และ 28 วัน สามารถรับกำลังแรงอัดเท่ากับ 25.50 ,26.00 และ 27.60 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการพัฒนากำลังของอัตราส่วนผสม 3 ต่อ 1 มีการพัฒนากำลังที่ต่ำมากจึงไม่ควรนำมาใช้ในการก่อสร้างเพราะว่าอัตราส่วนดังกล่าวนอกจากใช้ซีเมนต์ที่ปริมาณมากกว่าทุกอัตราส่วนแล้ว อาจจะทำให้เกิดการเสียหายและชำรุดได้ง่ายเนื่องจากมีการพัฒนากำลังตามเวลาต่ำกว่าอัตราส่วนผสมอื่น

บทที่ 5
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ภาคนิพนธ์นี้ศึกษาพฤติกรรมกำลังอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมผสมปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมในอัตราส่วน 3:1 มีความแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 2.305 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรกับปริมาณความชื้นที่ 8.00 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่อัตราส่วนผสมที่มีผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมเท่ากับหรือมากกว่าหินคลุกผสมซีเมนต์พื้นทางเดิม จะมีค่าความแน่นแห้งสูงสุดน้อยลงในปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น จากปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในอัตราส่วนผสม จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนผสมที่ 3:1 จะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยกว่าอัตราส่วนผสม 1:1 และ 1:3 โดยน้ำหนัก
2. ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวต่ออัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิมในอัตราส่วนผสม 3:1 ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 2.75 เปอร์เซ็นต์ รับกำลังอัดแกนเดียว 29.90 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่อายุบ่ม 7 วันและพัฒนากำลังอัดแกนเดียวเพิ่มขึ้นตามอายุที่บ่ม แต่ในอัตราส่วนผสม 1:1 และ 1:3 ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากกว่าแต่รับกำลังได้น้อยกว่า
3. อัตราส่วนผสมระหว่างปริมาณหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมในอัตราส่วนที่เหมาะสม ปริมาณความชื้นและซีเมนต์ในจำนวนที่เหมาะนั้น วัสดุหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมจะต้องมีปริมาณมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์หรือเท่ากับ จะได้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมและได้กำลังอัดแกนเดียวตามต้องการ

5.2 อภิปรายผลงานวิจัย

จากผลการศึกษา สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาเลือกวิธีซ่อมบำรุงถนนลาดยางที่ชำรุดโดยวิธีการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ (Pavement Recycling) ในกรณีถนนลาดยางมีความหนาผิวแอสฟัลต์คอนกรีตที่ต่างกัน และมีชั้นพื้นทางเป็นหินคลุกซีเมนต์ (Cement Modified Crushed Rock Base) ก็สามารถเลือกปรับอัตราส่วนผสมของหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมกับผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมได้อย่างเหมาะสม สามารถกำหนดและเปรียบเทียบราคาในการก่อสร้างได้ เช่น การไสผิวทางแอสฟัลต์เดิมออกเพื่อให้อัตราส่วนผสมระหว่างหินคลุกซีเมนต์ผสม

ผิวแอสฟัลต์เดิมมีอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อลดการใช้ปูนซีเมนต์ ทำให้ประหยัดปูนซีเมนต์และวัสดุชั้นพื้นทาง ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม ลดสภาวะโลกร้อนอีกด้วย

ตารางที่ 5.1 ความแน่นแห้งสูงสุดและความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนซีเมนต์กับกำลังรับแรงอัดแกนเดียวของหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมผสมปูนซีเมนต์ ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน

ชนิดของหินคลุกซีเมนต์ตัวอย่าง	**ความแน่นแห้งสูงสุด (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)**	**ปริมาณปูนซีเมนต์ (เปอร์เซ็นต์)**
หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 3 :1	2.305	2.75
หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 1 : 1	2.272	3.48
หินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์เดิม อัตราส่วน 1 : 3	2.175	3.71

5.3 ข้อเสนอแนะของงานวิจัย

จากผลการศึกษาเป็นการทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ที่อายุบ่ม 7 วัน ค่ากำลังอัดแกนเดียวที่ได้เป็นค่าจากห้องปฏิบัติการ ดังนั้นหากจะนำไปใช้ในงานจริง ในการผสมหินคลุกซีเมนต์ชั้นพื้นทางเดิมกับปูนซีเมนต์จะอาศัยเครื่องจักรผสม ซึ่งจะผสมได้ไม่ดีเท่ากับการผสมในห้องปฏิบัติการ ฉะนั้นจึงต้องเผื่อประสิทธิภาพของการผสม และจำเป็นต้องควบคุมการบดอัดในสนาม เพื่อให้กำลังอัดแกนเดียว ที่อายุบ่ม 7,14 และ 28 วันได้ตามข้อกำหนด เนื่องจากการศึกษานี้ทดสอบกำลังอัดแกนเดียว ที่อายุบ่ม 7, 14 และ 28 วัน ดังนั้นน่าจะทำการศึกษากำลังอัดแกนเดียว ที่อายุบ่ม 60 วันและ 120 วัน เพื่อดูกำลังอัดแกนเดียว เมื่ออายุบ่มมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. (2539). **มาตรฐานงานทาง. กรุงเทพฯ :** สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง.

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. (2543). **มาตรฐานวิธีการทดลอง.** กรุงเทพฯ : สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง.

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. (2550). **บทความทางวิชาการ.** กรุงเทพฯ : สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง.

ทรงพล บุญมาดี (2529). **ความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength กับ Unsoaked CBR ของดินลูกรังผสมซีเมนต์.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา สถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. **การปรับปรุงคุณภาพของดินโดยใช้ดินทรายผสมปูนซีเมนต์.** ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง.

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และทรงพล บุญมาดี. (2534). **"ความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength กับ Unsoaked CBR. ของลูกรังผสมซีเมนต์."** รายงานฉบับที่ วว.125.

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์. และสมบัติกระแส จรัสกร. (2544). **กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน**. ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง.

วรากร ไม้เรียงและคณะ. **ปฐพีกลศาสตร์.(ทฤษฎีและปฏิบัติการ) (Soil Mechanic Theory and Experiments)**.ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สุรฉัตร สัมพันธารักษ์. (2540). **วิศวกรรมปฐพี.** วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์.

สุรเชษฐ์ เอี่ยมเชย. (2531). **ความคงทนของดินซีเมนต์.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เหม โง้วศิริ. (2541). **การปรับปรุงชั้นทางเดิม Deep Recycling / Pavement Recycling.** สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง.

Czernin, W. (1962). **"Cement Chemistry and Physics for Civil Engineers."** New York Chemical Publishing. 36-50.

Davidson, D.T. and Bruns, B.W. (1960). **Comparison of Type I and Type III Portland Cement for Soil Stabilization**. Highway Research Board. Bulletin 267. 28-45.62

Davidson, D.T. (1961). **Soil Stabilization with Portland cement.** Highway Research Board. Bulletin 292. 45-151

Horpibulsuk, S. and Miura, N. (2001). **A new approach for studying behavior of cement stabilized clays**. Proceeding of 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Turkey. 3: 1759-1762.

Horpibulsuk, S., Miura, N. and Nagaraj, T.S. (2003). Assessment of strength development in cement admixed clays. **Geotechnique**. 53(4): 439-444.

Horpibulsuk, S., Miura, N., Nagaraj, T.S. and Koga, H. (2002). **Improvement of soft marine clays by deep mixing technique.** Proceeding of 12th International Conference Offshore and Polar Engineering. Kitakyushu. Japan. 584-591.

Horpibulsuk, S. and Miura, N. (2006). **Strength development in cement stabilized low plasticity and coarse grained soils: laboratory and field study.** Soil and foundations. Vol.46, No.3, Japanese Geotechnical Society. 351-366.

Lambe, T.W., Michaels, A.S. and Moh, Z.C. (1959). **Improvement of Soil Cement with Alkali Metal Compounds.** Highway Research Board. Bulletin 241. 67-103.

Mills, W.H., Jr. (1935). **Road Base Stabilization with Portland cement.** Engineering News-Record, 115(22): 751-753.

Mills, W.H., Jr. (1936). **Stabilizing soils with Portland cement**, Experiments by South Carolina Highway Department. Highway Research Board Proceedings. 16: 322-347. 64 Mitchell,

J.K. and El Jack, S.A. (1966**). The fabric of soil-cement and its formation**. Proceedings of 14th National Conference Clay and Clay Minerals. 26: 297-305.

Miura., N., Horpibulsuk, S. and Nagaraj, T.S. (2001). **Engineering behavior of cement stabilized clay at high water content.** Soils and Foundations**.** 41(5): 33-45.

Moh, Z.C. (1965). **Reaction of Soil Minerals with Cement and Chemicals**. Highway Research Record. 86: 39-61.

Moh, Z.C., Chin, Y.P., and Ng, S.C. (1967). **Cement stabilization of lateritic soil**. Proceeding 3rd Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. 42- 46.

The Siam Cement Company Ltd. (1965). **Demonstration Road Using Local Soil with Cement Stabilization**. Bangkok. Thailand. Siam Cement. 25-26.

ภาคผนวก ก
รูปภาพแสดงการทดสอบงานวิจัย

รูปที่ 1 ตัวอย่างหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิม

รูปที่ 2 ตัวอย่างผิวแอสฟัลต์คอนกรีตผิวทางเดิม

รูปที่ 3 บดอัดตัวอย่างหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม

รูปที่ 4 ดันก้อนตัวอย่างหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม

รูปที่ 5 บ่มตัวอย่างหินคลุกซีเมนต์พื้นทางเดิมผสมผิวแอสฟัลต์คอนกรีตเดิม

รูปที่ 6 การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว

ภาคผนวก ข

มาตรฐานวิธีการทดลอง (STANDARD TEST METHODS)

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม

กรมทางหลวง
สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง
การทดลองที่ ทล. – ท. 108/2517
วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน
(เทียบเท่า AASHO T 180)

1. ขอบข่าย

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

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

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

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

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

หมายเหตุ ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้วิธี “ก”

วิธีการทดลองที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ อาศัยวิธีการและปรับปรุงจากการทดลองของ AASHO T 180 และ ASTM D 1557 T

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวงมี 2 ขนาดคือ

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

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

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

2.1.3 ค้อน (Hammer) ทำด้วยโลหะมีลักษณะดังนี้เป็นค้อนรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีมวลรวมทั้งด้ามถือ 4.537 กิโลกรัม (10 ปอนด์) ต้องมีเปลือกที่ทำไว้อย่างเหมาะสม เป็นตัวบังคับให้ระยะตกเท่ากับ 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับจะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายของปลอกทั้ง 2 ข้าง ประมาณ 19 มิลลิเมตร

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

2.1.5 ตาชั่งแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 16 กิโลกรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดลอง

2.1.6 ตาชั่งแบบ Scale หรือแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ 1,000 กรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

2.1.7 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 100 ±5 องศาเซลเซียส สำหรับอบดินตัวอย่าง

2.1.8 เหล็กปาด (Straight Edge) เป็นเหล็กคล้ายไม้บรรทัด หนา และแข็งเพียงพอในการตัดแต่งตัวอย่างที่ส่วนบนของแบบ มีความยาวไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร แต่ไม่ยาวเกินไปจนเกะกะและหนาประมาณ 3.0 มิลลิเมตร

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

1. ขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)
2. ขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

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

2.1.11 กระป๋องอบดิน สำหรับใส่ตัวอย่างดินเพื่ออบหาปริมาณน้ำในดิน

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

น้ำสะอาด

2.3 แบบฟอร์ม

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

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่าง ได้แก่ ดินหรือหินคลุก หรือ Soil – Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลองให้ดำเนินการดังนี้

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

1. นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง เมื่อแห้งพอเหมาะแล้ว (มีน้ำประมาณ 2 – 3 %) นำมาร่อนผ่านตะแกรง เป็น 3 ขนาด คือ
   - ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)
   - ขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)
   - ขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)
2. ทำการชั่งหามวลของวัสดุแต่ละขนาดที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 (1) ก็จะทราบว่ามวลของตัวอย่างแต่ละขนาดมีอยู่ขนาดละเท่าใด
3. ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้ทิ้งไป
4. แทนที่ของตัวอย่างในข้อ 2.4.1 (3) ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ด้วยมวลที่เท่ากับตัวอย่าง เช่น มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร อยู่ 2,650 กรัม ก็ให้ใช้ตัวอย่างขนาดระหว่าง 19.0

มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เพิ่มเข้าไปอีก 2,650 กรัม ที่เหลือจะเป็นขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร ตามที่มีจริง ดังนี้

ตัวอย่างทั้งหมดมีมวล 9,000 กรัม

มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร 2,650 กรัม

มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร 4,850 กรัม

มีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร1,500 กรัม

จากวิธีการเตรียมตัวอย่างตามที่กล่าวมาแล้ว จะได้มวลของตัวอย่างที่เตรียมไว้คือมีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร เป็นจำนวน 2,650 + 4,850 กรัม และมีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร เท่ากับ 1,500 กรัม

5. คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ 2.4.1 (4) ให้เข้ากัน

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

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

2.4.4 ชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 2.4.1 หรือ 2.4.2 หรือ 2.4.3 แล้วแต่กรณีให้ได้มวลประมาณ ดังนี้

1. ถ้าใช้แบบขนาดเล็กตามข้อ 2.1.1 (1) ให้ใช้มวล 3,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง
2. ถ้าใช้แบบขนาดใหญ่ตามข้อ 2.1.1 (2) ให้ใช้มวล 6,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง

2.4.5 ปริมาณตัวอย่างตามข้อ 2.4.4 ให้เตรียมตัวอย่างเพื่อทดลองได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง

2.5 การทดลอง

การทดลอง Compaction Test จะใช้แบบ (Mold) ขนาดใดก็ได้แล้วแต่ความต้องการ ตามวิธีต่างๆดังกล่าวในขอบข่าย และให้ดำเนินการทดลองดังนี้

2.5.1 นำตัวอย่างที่ได้เตรียมไว้แล้วมาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี

2.5.2 เติมน้ำปริมาณหนึ่ง โดยปกติมักเริ่มต้นที่ประมาณ 4% ต่ำกว่าปริมาณน้ำที่ให้ความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content)

2.5.3 คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้ว หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

2.5.4 แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยประมาณให้ดินแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1 ใน 4 ของ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว)

2.5.5 ทำการบดทับโดยค้อน ดังนี้

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

2.5.6 ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้น ๆ จำนวน 4 ชั้น มีความสูงประมาณ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) (สูงกว่าแบบประมาณ 10 มิลลิเมตร)

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

2.5.8 ในขณะเดียวกันกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋องอบดิน เพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของดินที่นำไปหาปริมาณน้ำในดินให้ใช้ดังนี้

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

2.5.9 คำนวณหาค่าความแน่นเปียก ρ_t (Wet Density) และความแน่นแห้ง ρ_d (Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน w (Moisture Content)

2.5.10 ดำเนินการตามข้อ 2.5.1 ถึง 2.5.9 โดยเพิ่มน้ำขึ้นอีกครั้งละ 2% จนกว่าจะได้ความแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง หรืออาจลดน้ำที่ผสม ในกรณีที่เมื่อเพิ่มน้ำแล้วได้ความแน่นลดลง เพื่อให้เขียน Curve ได้

2.5.11 เขียน Curve ระหว่างความแน่นแห้ง ρ_d และปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ w ก็จะทราบค่าความแน่นแห้งสูงสุด Max. ρ_d (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด OMC (Optimum Moisture Content)

3. การคำนวณ

3.1 คำนวณหาปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ

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

เมื่อ w = ปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M_1 = มวลของดินเปียก มีหน่วยเป็นกรัม

M_2= มวลของดินอบแห้ง มีหน่วยเป็นกรัม

3.2 คำนวณหาค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

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

เมื่อ ρ_t = ความแน่นเปียก มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิเมตร

A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ มีหน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของแบบ หรือปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบมีหน่วยเป็นมิลลิเมตร

3.3 คำนวณหาค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho_d = \frac{\rho t}{1+\frac{\omega}{100}}$$

เมื่อ ρ_d = ความแน่นแห้ง มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิเมตร

ρ_t = ความแน่นเปียกมีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิเมตร

W = ปริมาณน้ำในดินคิดเป็นร้อยละ

4. การรายงาน

ในการทำ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐานให้รายงาน ดังนี้

4.1 ค่าความแน่นแห้งสูงสุด มีหน่วยเป็นกรัมต่อมิลลิเมตร (แบบสูงกว่ามาตรฐาน)

4.2 ค่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด เป็นร้อยละ

ตัวอย่าง ความแน่นแห้ง (แบบสูงกว่ามาตรฐาน) = 2.231 กรัม ต่อมิลลิลิตร (ใช้ทศนิยมสามตำแหน่ง)

ปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด = 9.8% (ใช้ทศนิยม 1 ตำแหน่ง)

5. ข้อควรระวัง

5.1 การประมาณปริมาณน้ำในดินเมื่อใช้ผสมสำหรับดินจำพวก Cohesive Soil ควรใช้ระยะต่ำกว่า และสูงกว่าปริมาณน้ำในดิน ที่ให้ความแน่นสูงที่ประมาณไว้

สำหรับดินจำพวก Cohesionless Soil ควรใช้ปริมาณน้ำในดินจากกสภาพดินตากแห้งจนกระทั่งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

5.2 ในการใช้ค้อนทำการบดทับ ให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น คอนกรีตไม่ให้แบบกระดอนขึ้นขณะทำการตอก

5.3 ให้ใช้จำนวนตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดลองทางด้านแห้งกว่าปริมาณน้ำในดิน ที่ให้ความแห้งสูงสุดไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีจุดทดลองทางด้านเปียกกว่าปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นสูงสุด 1 ตัวอย่าง

5.4 สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้วให้ทุบด้วยค้อนยางหรือนำเข้าเครื่องบด จนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

5.5 ปริมาตรของแบบ (V) ให้ทำการวัดและคำนวณเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบห้ามใช้ปริมาตรที่แสดงไว้โดยประมาณในรูป

กรมทางหลวง

สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง

การทดลองที่ ทล. – ท. 205/2517

วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง

(เทียบเท่า AASHO 27-70)

1. ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ สำหรับหาขนาดเม็ด (Particle Size Distribution) ของ Aggregate ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและเม็ดหยาบ โดยให้ผ่านจากตะแกรงขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กมีขนาดช่องผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่างๆ กับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHO T 27-70

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.1.1 ตะแกรงช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดช่องผ่านต่าง ๆ ตามต้องการพร้อมเครื่องเขย่าตะแกรง

2.1.2 เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.2% ของตัวอย่างทั้งหมด

2.1.3 เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 $\pm$ 5 องศาเซลเซียส

2.1.4 เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) ขนาดต่างๆ

2.1.5 แปรงทำความสะอาดตะแกรงชนิดลวดทองเหลือง แปรงพลาสติก และแปรงขน

2.1.6 ภาชนะสำหรับใช้แช่และล้างตัวอย่างด้วยมือ หรือ

2.1.7 ภาชนะล้างตัวอย่างชนิดใช้เครื่องเขย่า (ความจุประมาณ 8,000 มิลลิลิตร)

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

น้ำยาสำหรับใช้ล้างส่วนละเอียด เตรียมได้จากการล้างผลึก Sodium Hexametaphosphate Buffered With Sodium Carbonate $(NaPO_3)_6$ 45.7 กรัม ในน้ำ 1,000 มิลลิลิตร คนผสมกันให้เข้ากันทั่วจนไม่มีเม็ดผลึกเหลืออยู่ ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมงก่อนนำไปใช้ ใช้น้ำยานี้ 125 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำ 875 มิลลิลิตร เป็นน้ำยาสำหรับล้างส่วนละเอียดประมาณ 1,000 มิลลิลิตร อาจจะผสมไว้ทีละมากๆ หรือทดลองครั้งหนึ่งก็ผสมครั้งหนึ่ง ครั้งละ 1,000 มิลลิลิตร ต่อวัสดุทดลองหนึ่งตัวอย่าง

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว.2-10 สำหรับวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

ว.2-01 ก.สำหรับวัสดุที่มีขนาดใหญ่และเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

ว.2-12 สำหรับรายงาน

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่าอาจจะเป็นดิน หินคลุก หรือ Soil Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลอง

นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากันและแยกวิธี Quartering หรือเครื่องแบ่งตัวอย่างในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้นเพื่อลดการแยกตัว ปริมาณตัวอย่างให้ใช้ตามตารางที่ 1 หรือตารางที่ 2

2.5 การทดลอง

2.5.1 ทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุสำหรับวัสดุเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

1. ถ้าตัวอย่างมีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อนต้องทำให้ส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อน แยกจากกันให้หมด แล้วนำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $110\pm5^{\circ}$ ซ. มวลตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่างเพื่อคำนวณหามวลตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่างเทน้ำหรือน้ำยาลงในภาชนะจนท่วมดินตัวอย่าง แช่ทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง แล้วนำไปเขย่าประมาณ 10นาที ขณะเขย่าระวังอย่าให้น้ำกระฉอกออกจากภาชนะ ถ้าไม่ใช้เครื่องเขย่าควรแช่น้ำไว้ในภาชนะสำหรับล้างตัวอย่างด้วยมือนานประมาณ 3-4 ชั่วโมง เทตัวอย่างลงบนตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) ถ้าหากมีตัวอย่างขนาดใหญ่ปนอยู่มาก ควรใช้ตะแกรงเบอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) ซ้อนไว้ข้างบน เพื่อลดปริมาณตัวอย่างบนตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) ใช้น้ำล้างจนกว่าไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) อีกต่อไป เทตัวอย่างลงภาชนะแล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $110\pm4^{\circ}$ ซ.
2. นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่างๆ ตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและแนวดิ่งรวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่านานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละชนิดใน 1 นาที ไม่เกิน 1% ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้เวลาเขย่านานทั้งหมดประมาณ 15 นาที เมื่อเขย่าเสร็จแล้ว ถ้ามีตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ต้องไม่มีก้อนตัวอย่างซ้อนกันในตะแกรง และตัวอย่างที่มี

เม็ดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ต้องมีตัวอย่างค้างตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัมต่อ 1,000 ตารางมิลลิเมตร หรือไม่เกิน 200 กรัม สำหรับตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) นำตัวอย่างแต่ละขนาดไปชั่ง

2.5.2 การทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุสำหรับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ และเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) อาจทำได้ 2 วิธี

วิธีที่ 1

1. ถ้าตัวอย่างมีส่วนละเอียดจับก้อนใหญ่ หรือมีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อนต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่ และส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อนหลลุดออกจากกันให้หมดโดยใช้ค้อนยางทุบ แล้วนำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) เพื่อแยกส่วนที่ค้างและผ่านตะแกรง ถ้าตัวอย่างมีมากให้แบ่งทำหลายๆ ครั้ง
2. นำส่วนที่ค้างตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5° ซ. ชั่งหามวลของตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่างเพื่อคำนวณหามวลของตัวอย่างแห้งก็ได้ แล้วนำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่างๆ ตามต้องการ
3. นำส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5° ซ. ชั่งหามวลของตัวอย่างแห้ง หรือจะหาความชื้นของตัวอย่างเพื่อคำนวณหามวลของตัวอย่างแห้งก็ได้ แล้วนำตัวอย่างทั้งหมดหรือแยกตัวอย่างเพียงบางส่วนดำเนินการทดลองตามข้อ 2.5.1

วิธีที่ 2

นำตัวอย่างทั้งหมดที่ได้จากข้อ 2.4 ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5° ซ. ชั่งหามวลของตัวอย่างแห้งหรือจะหาความชื้นของตัวอย่าง เพื่อคำนวณหามวลของตัวอย่างแห้งก็ได้แล้วนำตัวอย่างไปดำเนินการทดลองตามข้อ 2.5.1 ถ้ามีขนาดก้อนใหญ่มากควรจัดตะแกรงที่จะล้างให้มีขนาดต่างๆ ลดหลั่นกัน

3. การคำนวณ

3.1 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

3.1.1 หามวลที่ค้าง (Mass Retained) บนตะแกรงแต่ละขนาด โดยชั่งหามวลของตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรง มวลที่หายไป (เมื่อเอามวลของตัวอย่างที่ค้างใน

ทุกตะแกรงรวมกันแล้วหักออกจากมวลของตัวอย่างอบแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง) คือ มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) รวมกับน้ำหนักที่ค้างบน Pan

3.1.2 หามวลที่ผ่าน (Mass Passing) ตะแกรงแต่ละขนาด โดยคิดจากบรรทัดล่างของช่องมวลที่ค้าง (Mass Passing) ขึ้นไปเอามวลของช่อง Mass Retained บน Pan เป็นช่อง Mass Passing ของตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) รวมของมวล Mass Retained กับมวลช่อง Mass Passing ของตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) เป็นมวลของช่อง Mass Passing ในบรรทัดบนสุดจะเท่ากับมวลของตัวอย่างแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดสอบ

3.1.3 คำนวณเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม (Percent Passing) ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{\text{มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (กรัม)}}{\text{มวลของตัวอย่างแห้วทั้งหมดที่ใช้ทดลอง (กรัม)}} \times 100$$

3.2 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีทั้งขนาดใหญ่และเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

3.2.1 เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

1. หามวลที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด โดยชั่งหามวลของตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรง มวลที่หายไป (เมื่อเอามวลของตัวอย่างที่ค้างในทุกตะแกรงรวมกัน แล้วหักออกจากมวลของตัวอย่างที่อบแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง) คือ มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ที่ค้างบน Pan
2. หามวลที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด เช่นเดียวกับข้อ 3.1.2
3. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม โดยใช้สูตรเช่นเดียวกับข้อ 3.1.3

3.2.2 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง ต่อมวลรวมของวัสดุ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) เช่นเดียวกับข้อ 3.1

3.2.3 คำนวณหาเปอร์เซ็นต์รวมผ่านตะแกรงต่อมวลรวม (Total Percent Passing) ของวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า เบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์รวมผ่านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{X \times Y}{100}$$

เมื่อ X = เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

Y = เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

4. การรายงาน

ให้รายงานค่าเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ ต่อมวลรวม ด้วยทศนิยม 1 ตำแหน่ง ในแบบฟอร์มที่ ว.2-12

5. ข้อควรระวัง

5.1 การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง ต้องให้เครื่องที่มีขนาดช่องกว้างประมาณ 1 ½ เท่า ของก้อนโตที่สุด

5.2 ห้ามใส่ตัวอย่างลงในตะแกรงขณะที่ยังร้อนอยู่

5.3 ควรตรวจสอบตะแกรงอยู่เสมอ โดยเฉพาะเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร)

กรมทางหลวง

สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง

การทดลองที่ ทล. – ท. 105/2515

วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน

(เทียบเท่า AASHTO T 208)

1. ขอบข่าย

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

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

2. วิธีทำ

2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

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

2.1.2 เครื่องดันตัวอย่างดิน ใช้ดันแท่งตัวอย่างดินออกจากท่อบาง

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

2.1.4 Vernier Caliper ใช้วัดขนาดของแท่งตัวอย่าง โดยวัดได้ละเอียดถึง 0.1มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว

2.1.5 นาฬิกาจับเวลา

2.1.6 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

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

2.1.8 เครื่องมือเบ็ดเตล็ด เครื่องมืออื่นๆ ที่ต้องใช้ คือ เครื่องมือตัดและตกแต่งตัวอย่าง เครื่องทำตัวอย่าง Remolded และกระป๋องอบดิน

2.2 วัสดุที่ใช้ประกอบการทดลอง

ปูนปลาสเตอร์ หรือ Hydrostone หรือวัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน

2.3 แบบฟอร์ม

ใช้แบบฟอร์มที่ ว. 2-19

2.4 การเตรียมตัวอย่าง

2.4.1 ขนาดแท่งตัวอย่าง แท่งตัวอย่างควรจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 33 มิลลิเมตร (1.3 นิ้ว) ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของเม็ดวัสดุในตัวอย่างต้องไม่เกิน 1 ใน 10 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง และสำหรับแท่งตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับหรือมากกว่า 71 มิลลิเมตร (2.8 นิ้ว) ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของเม็ดวัสดุ ต้องไม่เกิน 1ใน 6 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง ถ้าหากหลังจากเสร็จการทดลองแล้วพบว่า มีเม็ดวัสดุที่ใหญ่กว่าที่กำหนดไว้ก็ให้หมายเหตุไว้ในแบบฟอร์มอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างจะมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง3 วัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างให้ได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว โดยใช้ Vernier Caliper หรือ เครื่องมือชนิดอื่นที่เหมาะสม

2.4.2 ตัวอย่าง Undisturbed เตรียมตัวอย่าง Undisturbed จากแท่งตัวอย่าง Undisturbed ขนาดใหญ่หรือจากดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างโดยใช้ท่อบาง แท่งตัวอย่างที่ได้จากท่อบางอาจจะทดลองได้เลยโดยไม่ต้องตกแต่ง แต่ต้องตัดปลายทั้งสองข้าง

ของตัวอย่างให้เรียบและมีสัดส่วนดังที่ได้ระบุมาแล้ว ในการเตรียมตัวอย่างจะต้องระมัดระวังอย่าให้มีการเปลี่ยนรูปร่างและขนาดหน้าตัดเกิดขึ้น ในระหว่างการตัดตัวอย่างดินออกจากท่อบาง ถ้าหากเห็นว่าจะเกิดการอัดตัวอย่างดินหรือจะทำให้ตัวอย่างดินถูกรบกวนก็ให้ตัดแบ่งท่อบางตามความยาวออกเป็นส่วนๆ การเตรียมตัวอย่างทดลองถ้าหากเป็นไปได้ก็ควรเตรียมในห้องที่ควบคุมความชื้น เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น แท่งตัวอย่างทดลองจะต้องมีหน้าตัดตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่าง ในการตัดและแต่งปลายทั้งสองข้างของแท่งตัวอย่าง ถ้าหากมีเม็ดวัสดุที่ทำให้ผิดหน้าไม่เรียบ ก็ให้ปิดผิว หน้าด้วยปูนปลาสเตอร์ โดยให้มีความหนาน้อยที่สุดหรือใช้ Hydrostone หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติคลายกัน ให้ชั่งหามวลของแท่งตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองหาปริมาณน้ำในดินของแท่งตัวอย่าง โดยใช้ตัวอย่างทั้งแท่ง หรือส่วนที่เป็นตัวแทนของแท่งตัวอย่าง

2.4.3 ตัวอย่าง Remolded นำตัวอย่างดิน Undisturbed เดิม มาทำดังนี้

นำตัวอย่างดินมาห่อด้วยแผ่นยางบางๆ แล้วใช้นิ้วขยำขยี้ เพื่อให้ดินถูก Remoid อย่างทั่วถึง ในการทำต้องระวังอย่าให้มีฟองอากาศเข้าไปในดิน หลังจากนั้นก็อัดดินลงใน Mold ที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และมีขนาดตามที่ระบุไว้ในข้อ 2.4.1 เมื่อได้อัดดินใน Mold จนเต็มแล้วให้แต่ปลายแท่งตัวอย่างจนเรียบได้หน้าตัดตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่าง แล้วดันแท่งตัวอย่างออกจาก Mold และชั่งหามวลของแท่งตัวอย่าง ตัวอย่าง Remolded ที่ได้ จะต้องได้ดินเป็นเนื้อเดียวกันมี Void Ratio และปริมาณน้ำในดินใกล้เคียงกับตัวอย่าง Undisturbed เดิม

2.5 การทดลอง

2.5.1 โดยวิธีควบคุมความเครียด (Strain)

วางแท่งตัวอย่างไว้ตรงกลางแผ่นกลมอันล่างของเครื่องกดแล้ว เลื่อนจนแผ่นกลมอันบนของเครื่องกด แตะกับผิวบนของแท่งตัวอย่าง ด้วยอัตราเร็วคิดเป็นความเครียดในแนวดิ่ง 0.5 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ต่อนาที จนแรงกดและระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่างทุกๆ 30 วินาที ในการใช้อัตราเร็วของความเครียดค่าใดจะต้องประมาณว่าระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้แรงกดจนถึงแรงกดสูงสุด จะต้องไม่เกิน 10 นาที (*1) เพิ่มแรงกดไปเรื่อยๆ จนกระทั่งแรงกดลดลงในขณะที่ความเครียดเพิ่มขึ้น หรือจนกระทั่งความเครียดเพิ่มขึ้น หรือจนกระทั่งความเครียดมีค่า 20 % หาปริมาณน้ำในดินโดยนำแท่งตัวอย่างเข้าเตาอบ นอกจากกรณีที่ต้องเตรียมแท่งตัวอย่าง Remolded ก็ให้ใช้ส่วนของดินที่เป็นตัวแทนของแท่งตัวอย่างได้

เขียนรูปสภาพแท่งตัวอย่างที่ทดลองเสร็จแล้ว ถ้าตัวอย่างมีรอยแตกร้าววัดมุมของรอยแตกร้าวเทียบกับแกนนอน

2.5.2 โดยวิธีควบคุมความเค้น (Stress)

ก่อนการทดลองให้ประมาณค่าแรงกดสูงของแท่งตัวอย่าง (*2) วางแท่งตัวอย่างไว้ตรงกลางแผ่นกลมแผ่นล่างของเครื่องกดเลื่อนจนแผ่นกลมอันบนแตะกับผิวบนของแท่งตัวอย่าง แล้วตั้งศูนย์บนหน้าปัดที่ใช้อ่านระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่าง ใช้แรงกดเริ่มแรกบนแท่งตัวอย่างเท่ากับ 1/15 ถึง 1/10 ของแรงกดสูงสุดที่ได้ประมาณไว้แล้วทิ้งไว้ครึ่งนาที แล้วอ่านระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่างเพิ่มแรงกดต่อไป เท่ากับแรงกดแรก แล้วทิ้งไว้ครึ่งนาทีเหมือนครั้งแรก ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ แรงกดสูงสุด หรือจรกระทั่งความเครียดมีค่าเท่ากับ 20% ในระหว่างการเพิ่มแรงกดถ้าสังเกตว่าจะต้องใส่แรงกดมากกว่า 15 ครั้งหรือน้อยกว่า 10 ครั้งเพื่อให้ได้แรงกดสูงสุดแล้วจะต้องรีบเปลี่ยน แรงกดแต่ละครั้งให้มากขึ้น หรือน้อยลงทันที ในการหาปริมาณน้ำในดินอาจหาจากดินทั้งแท่งที่ทดลองเสร็จแล้ว หรือส่วนของดินที่เป็นตัวแทนแท่งตัวอย่างก็ได้

เขียนรูปสภาพแท่งตัวอย่างที่ทดลองเสร็จแล้ว ถ้าตัวอย่างมีรอยแตกร้าวให้วัดมุมของรอยแตกร้าวเทียบกับแกนนอน

(*1) ดินที่อ่อนมากจะมีความเครียดไปจนถึงแรงกดสูงสุดมาก ดินชนิดนี้จึงตองทดลองโดยใช้อัตราเร็วของความเครียดสูง ในทางตรงกันข้าม ดินที่แข็งหรือแตกง่ายซึ่งมีความเครียดไปจนถึงแรงกดสูงสุดน้อย ดินชนิดนี้จึงต้องทดลองด้วยอัตราเร็วของความเครียดที่ต่ำกว่า

(*2) การประมาณค่าที่จะต้องมีประสบการณ์พอเพียง มิฉะนั้นจะต้องใช้เครื่องกดอย่างเล็ก (Penetrometer) กดลงบนส่วนของตัวอย่างที่ไม่ได้ใช้ดูเพื่อหาค่านี้โดยประมาณ

กรมทางหลวง

สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง

มาตรฐานทางหลวงที่ ทล. –ม. 213/2543

มาตรฐานการปรับปรุงชั้นทางเดิมในที่ (Pavement In-place Recycling)

การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ หมายถึง การนำวัสดุจากชั้นทางเดิมมาปรับปรุงคุณภาพแล้วนำไปใช้งานใหม่ โดยให้มีคุณภาพตามรูปแบบและข้อกำหนด ในการนี้อาจจะเพิ่มเติมวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงขนาดคละและเพิ่มปริมาณ เช่น หิน ทราย Soil-Aggregate ฯลฯ และวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพ (Stabilsing Aggregate) เช่น ปูนซีเมนต์ ปูนขาว แอสฟัลต์ และสารผสมเพิ่ม (Admixture)

วัสดุนำมาผสมเพิ่มจะต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสม เข้ากันได้ดีกับวัสดุชั้นทางเดิมหรือวัสดุผสมเพิ่มชนิดอื่นที่นำมาใช้ เพื่อทำให้คุณสมบัติทางวัสดุกรรมของส่วนผสมมีความแข็งแรงเป็นไปตามข้อกำหนดในรูปแบบที่ผู้ออกแบบระบุไว้วัสดุผสมเพิ่ม เพื่อปรับปรุงขนาดคละและเพิ่มปริมาณ หมายถึง วัสดุจากที่อื่นที่นำมาผสมเพิ่มกับวัสดุชั้นทางเดิมเพื่อปรับปรุงขนาดคละและเพิ่มปริมาณตามที่ตกลงที่กำหนดไว้ในรูปแบบและข้อกำหนด เช่น หิน ทราย Soil Aggregate

วัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับคุณภาพ หมายถึง วัสดุจากที่อื่นที่นำมาผสมเพิ่มกับวัสดุชั้นทางเดิน เพื่อปรับปรุงคุณภาพต้องเป็นชนิดที่กรมทางหลวงกำหนดต่อไปนี้หากเป็นชนิดนอกเหนือจากที่กำหนดไว้ จะต้องได้รับความเห็นชอบจากสำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง ก่อนนำไปใช้งานเป็นแต่กรณี

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องเป็นซีเมนต์ปอร์แลนด์ประเภท 1 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มอก.15 ปูนซีเมนต์ที่ใช้ต้องเป็นปูนใหม่ บรรจุในไซโลหรือเป็นแบบบรรจุถุงก็ได้ ผู้รับจ้างจะต้องจัดทำสถานที่เก็บให้เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนต์ชื้นหรือเสื่อมคุณภาพ ผู้รับจ้างต้องระบุตราปูนซีเมนต์ที่ใช้ ซึ่งควรเป็นตราเดียวกันตลอดงาน หากในระหว่างการก่อสร้างผู้รับจ้างต้องการเปลี่ยนไปใช้ปูนซีเมนต์ตราอื่นนอกเหนือจากที่แจ้งไว้เดิม ให้ผู้รับจ้างเสนอรายละเอียดการออกแบบส่วนผสมใหม่ต่อนายช่างผู้ควบคุมงานเพื่อพิจารณาในกรณีที่ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานนั้นเก็บไว้นานเป็นระยะเวลาไม่เกิน 3 เดือน หรือในกรณีนายช่างควบคุมงานพิจารณาแล้วเห็นว่า วิธีการเก็บรักษาไว้ไม่เหมาะสมอาจทำให้ปูนซีเมนต์เสื่อมคุณภาพได้ ให้นายช่างผู้ควบคุมงานระงับการใช้งานทั้งหมดหรือบางส่วนไว้ หากประสงค์จะนำมาใช้งาน ให้นำปูนซีเมนต์นั้นไปตรวจสอบคุณภาพใหม่หรือให้ออกแบบส่วนผสมใหม่ก็ได้ค่าจ่ายต่างๆ ในการนี้เป็นความรับผิดชอบของผู้รับจ้าง

น้ำที่จะนำมาใช้งานจะต้องสะอาดปราศจากสารที่ไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ เช่น เกลือ น้ำตาล น้ำมัน กรด ด่าง และอินทรีย์ หรือสารเคมีที่อาจจะกระทบต่อคุณภาพของวัสดุที่ผสม โดยต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมการงานก่อสร้างก่อนนำมาใช้งาน

การออกแบบทั่วไปหมายถึงข้อแนะนำต่าง ๆ ที่ให้ไว้แก่ผู้ออกแบบเพื่อใช้ประกอบการพิจารณาออกแบบโดยมีหัวข้อแนะนำต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ในงานใดๆ อาจออกแบบให้ปรับปรุงชั้นทางเดิมโดยวิธีการปรับปรุงในที่หรือปรับปรุงในโรงงาน หรือทั้งสองวิธีก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสม
2. การปรับปรุงชั้นทางเดิมเป็นชั้นทางใหม่ อาจนำมาวัสดุชั้นทางเดิมใด ๆ ที่เหมาะสมมารวมกันเพื่อปรับปรุงให้เป็นชั้นทางก็ได้
3. ชั้นผิวทางเดิมที่เป็นแอสฟัลต์คอนกรีต ที่มี ค่าเพนนิเตรชั่นของแอสฟัลต์ 30 ขึ้นไป ควรพิจารณานำมาหมุนเวียนใช้ในงานผิวทางหรืองานซ่อมบำรุงผิวทาง ทั้งนี้ ไม่ควรนำมารวมกับวัสดุชั้น พื้นทาง หรือ ชั้นรองพื้นทาง
4. ชั้นผิวทางเดิมที่เป็นผิวแอสฟัลต์อื่น และไม่ใช่ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตตาม ข้อ3. อาจนำมาปรับปรุงรวมกับชั้นทางอื่นก็ได้แล้วแต่ความเหมาะสม
5. สำหรับการปรับปรุงชั้นทางเดิม ในที่ถ้าชั้นแอสฟัลต์เดิมมีความหนามากเกินกว่าขีดความสามารถของเครื่องจักรขุดผสมที่จะดำเนินการได้ผลดี ให้ขูดผิวทางเดิมส่วนที่มีความหนาเกินนั้นออก หากไม่สามารถขูดผิวทางออกบางส่วนได้ ให้ขูดรื้อผิวทางแอสฟัลต์นั้นออก แล้วทดแทนด้วยวัสดุใหม่ที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นทางที่จะปรับปรุงนั้น

การออกแบบส่วนผสมในรูปแบบจะต้องแสดงรูปตัดโครงสร้างชั้นทางเดิม รูปตัดสร้างชั้นทางใหม่ รายละเอียดวิธีการปรับปรุง และการใช้วัสดุต่าง ๆ พร้อมทั้งข้อกำหนดคุณสมบัติของวัสดุและส่วนผสม ถ้าผู้ออกแบบมิได้กำหนดคุณสมบัติของวัสดุและส่วนผสมเป็นอย่างอื่น ให้คุณสมบัติของวัสดุและส่วนผสม เป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวงสำหรับชั้นทางนั้น

ก่อนการออกแบบส่วนผสม ให้ผู้รับจ้างสำรวจตรวจสอบ หาข้อมูลชั้นทางที่จะปรับปรุงโดยละเอียด เพื่อประโยชน์ในการออกแบบส่วนผสม ได้อย่างถูกต้องเหมาะสมกับสภาพความจริงในสนาม และก่อนเริ่มงานเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 30 วัน ให้ผู้รับจ้างเสนอผลการออกแบบส่วนผสมพร้อมด้วยตัวอย่างวัสดุที่ใช้ พร้อมข้อมูลต่าง ๆ ต่อกรมทางหลวงหรือข้อมูลเพิ่มเติมอื่นตามที่กรมทางหลวงต้องการ เพื่อประกอบการพิจารณาให้ความเห็นชอบการออกแบบส่วนผสมนั้น ผู้รับจ้างอาจร้องขอให้กรมทางหลวงเป็นผู้ออกแบบส่วนผสมให้ก็ได้ ค่าใช้จ่ายในการนี้ผู้รับจ้างต้องเป็นผู้รับผิดชอบทั้งสิ้น กรณีผลการทดสอบส่วนผสมในสนามหรือ ในห้องปฏิบัติการ หรือจาก

แปลงทดสอบในสนาม หรือจากแปลงก่อสร้างใด ๆ ในสนาม ในแต่ละกรณี หรือ หลายกรณีที่ไม่เป็นไปตามแบบ หรือข้อกำหนด หรือแบบส่วนผสมตามที่ได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวง นายช่างผู้ควบคุมงานต้องพิจารณาให้แก้ไขปรับปรุงให้ถูกต้องตามแบบหรือข้อกำหนด หรือให้ออกแบบส่วนผสมใหม่ก็ได้ ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน ค่าใช้จ่ายในการสำรวจ ตรวจสอบ การออกแบบส่วนผสม การแก้ไขปรับปรุงแบบส่วนผสม ค่าธรรมเนียมการตรวจสอบ รวมถึงผลความเสียหายใด ๆ ผู้รับจ้างต้องเป็นผู้รับผิดชอบทั้งสิ้น

เครื่องจักรเครื่องมือใช้ในการก่อสร้างข้อกำหนดทั่วไปชุดเครื่องจักรเครื่องมือที่มาใช้ในการก่อสร้างนั้น ผู้รับจ้างจะต้องจัดให้เหมาะสมกับลักษณะงาน วิธีการก่อสร้างทั้ง ชนิด ขนาด จำนวนและมีขีดความสามารถเพียงพอที่จะดำเนินการก่อสร้างให้งานแล้วเสร็จในแต่ละวันโดยถูกต้องตามแบบและข้อกำหนด

ผู้รับจ้างจะต้องเตรียมชุดเครื่องจักรเครื่องมือไว้ให้พร้อมที่สถานที่ก่อสร้าง และต้องได้รับการตรวจสอบรับรองจากนายช่าง ผู้ควบคุมงานเครื่องจักรเครื่องมือชิ้นใดที่ไม่ผ่านการตรวจสอบผู้รับจ้างจะต้องแก้ไขหรือจัดหาเครื่องจักรเครื่องมือที่มีสภาพดีมาเปลี่ยนหรือเพิ่มทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน

ข้อกำหนดสำหรับโรงงานผสมประจำที่ โรงงานผสมประจำที่อาจเป็นแบบติดตั้งกับที่ (Stationary) หรือแบบเคลื่อนย้าย (Portable) ก็ได้โดยให้มีขีดความสามารถในการผสมวัสดุให้ได้ปริมาณพอเพียงและสม่ำเสมอ สำหรับการก่อสร้างในแต่ละวัน โดยได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวง

โรงงานผสมอาจเป็นแบบชุด (Batch Type) หรือแบบต่อเนื่อง (Continuous Type) จะต้องประกอบด้วย ยุ้ง หรือ ถังบรรจุวัสดุที่นำมาใช้งาน วัสดุที่นำมาใช้งานทุกชนิดจะต้องแยกยุ้ง หรือ ถังบรรจุ และต้องประกอบด้วยอุปกรณ์ชั่งวัสดุ หรือ อุปกรณ์ควบคุมปริมาณ การป้อนวัสดุได้ถูกต้องตามที่กำหนดรวมทั้งมีระบบควบคุมสัดส่วนการผสมวัสดุอัตโนมัติที่สามารถผสมวัสดุได้อย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ ทั้งนี้ให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน

ข้อกำหนดสำหรับชุดเครื่องจักรผสมวัสดุในที่ เครื่องจักรหลักที่ใช้ในการก่อสร้าง อาจจะเป็นเครื่องจักรแบบทำงานเที่ยวเดียว หรือทำงานหลายเที่ยวก็ได้ตามที่กำหนดในแบบ หรือตามความเหมาะสม โดยได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวง เครื่องจักรอาจเป็นชนิดที่แยกทำงานเฉพาะอย่าง เช่น เครื่องจักรขุดตัดผสม (Reclaimer / Stablizer) เครื่องจักรขูดไส (Milling Machine) หรือ เป็นชนิดสำเร็จรูปทำงานเสร็จในตัวเช่นเครื่องจักรขุดตัดผสมพร้อมปูวัสดุผสมในตัว (Cold Recycler) หรือเครื่องจักรอื่นๆใดที่มีลักษณะการทำงานพิเศษเหมาะสมกับงานที่ได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวง

เครื่องจักรที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง จะต้องสามารถขุดตัด ขุดตัดผสม หรือ ขูดไสผสมกับชั้นทางเดิมได้ความลึกตามที่กำหนด หรือผสมวัสดุชั้นทางเดิมพร้อมวัสดุใหม่ได้ โดยสม่ำเสมอและถูกต้องตามแบบและข้อกำหนด ชุดอุปกรณ์ขุดตัดชั้นทางเดิมจะต้องมีขนาดเหมาะสม สามารถทำงานขุดตัดผสมวัสดุจนได้เต็มความกว้างช่องจราจรมาตรฐาน โดยใช้การทำงานไม่เกิน 2 เที่ยว ทั้งนี้เพื่อลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นบริเวณรอยต่อตามยาว สำหรับการขุดตัดผสมในช่องทางที่มีความกว้างน้อยกว่าความกว้างช่องจราจรมาตรฐาน เช่น ไหล่ทาง อนุญาตให้ใช้เครื่องจักรที่มีขนาดเหมาะสมกับงานได้ เครื่องจักรดังกล่าวจะต้องมีระบบหรือประกอบด้วยระบบที่ทำให้การควบคุมเป็นแบบอัตโนมัติ เพื่อให้ได้ความลึกของระดับการขุดตัด ขูดไส และอื่น ๆ ตามรูปแบบและข้อกำหนด หรือ มีระบบหรือคุณลักษณะการทำงานพิเศษอื่น ๆ เพิ่มเติมตามความจำเป็น ตามลักษณะงานที่กรมทางหลวงกำหนด

ข้อกำหนดสำหรับชุดเครื่องจักรประกอบการก่อสร้างที่นำมาใช้ในงาน จะต้องเป็นตามข้อกำหนดดังนี้

1. เครื่องจักรอุปกรณ์เกี่ยวกับวัสดุผสมเพิ่ม และน้ำประกอบด้วยรถบรรทุกติดตั้งถัง หรือยุ้งบรรจุวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพแต่ละชนิด หรือ น้ำ หรืออาจเป็นรถบรรทุกที่ติดตั้งถังหรือยุ้ง บรรจุแยกวัสดุผสมเพิ่มปรับปรุงคุณภาพแต่ละชนิดและน้ำรวมในรถบรรทุกคันเดียวกันก็ได้ โดยรถบรรทุกดังกล่าวจะต้องมีถังหรือยุ้งขนาดบรรจุเหมาะสมกับงาน มีอุปกรณ์วัดคุมปริมาณการจ่ายวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพแต่ละชนิด และ หรือ น้ำที่เที่ยงตรง สม่ำเสมอ ตามที่กำหนด
2. ถังบรรจุแอสฟัลต์แบบเคลื่อนที่ ต้องเป็นถังบรรจุชนิดที่ติดตั้งบนรถบรรทุก มีขนาดความจุมากพอที่จะป้อนแอสฟัลต์ ได้อย่างต่อเนื่องขณะก่อสร้าง ถังบรรจุต้องมีสภาพดี ไม่รั่วซึม และต้องมีอุปกรณ์ที่จำเป็นดังต่อไปนี้
   - มีฉนวนกันความร้อน เพื่อรักษาอุณหภูมิของแอสฟัลต์
   - มีช่องสำหรับถ่ายแอสฟัลต์เข้า – ออก จากถังบรรจุและมีวาล์วควบคุม
   - มีไม้วัดหรือเข็มวัดปริมาณแอสฟัลต์ในถังบรรจุ ที่สามารถวัดปริมาณได้ละเอียดเหมาะสมกับงาน
   - มีระบบให้ความร้อนแอสฟัลต์ในถังบรรจุที่มีประสิทธิภาพดีสามารถเพิ่มอุณหภูมิแอสฟัลต์ได้ในอัตราที่เหมาะสมได้อย่างทั่วถึง หรือตามที่กำหนด
   - มีอุปกรณ์วัดและแสดงอุณหภูมิแอสฟัลต์ติดตั้งในตำแหน่งที่เหมาะสม หรือที่ระยะความสูง 1 ใน 3 จากก้นถังบรรจุ

เครื่องจักรเกลี่ยปรับระดับจะต้องเป็นชนิดขับเคลื่อนได้ด้วยตนเอง มีขนาดและกำลังมากพอที่จะเกลี่ยวัสดุ และปรับระดับได้ถูกต้องตามรูปแบบ

รถบรรทุกวัสดุ ที่นำมาใช้จะต้องเป็นชนิดที่เหมาะสมกับงาน มีจำนวนเพียงพอกับกำลังผลิตของโรงงานผสมวัสดุประจำที่ และ หรือในที่ เพื่ออำนวยให้การก่อสร้างดำเนินการไปได้โดยไม่ติดขัด หรือหยุดชะงัก

เครื่องจักรปูวัสดุ จะต้องเป็นแบบขับเคลื่อนได้ด้วยตนเอง มีกำลังมากพอ และสามารถควบคุมความเร็วในการเคลื่อนที่ได้อย่างสม่ำเสมอ เครื่องจักรปู จะต้องสามารถปรับความเร็วการปูได้ และปูวัสดุได้ระดับความลาดเอียงได้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดมีลักษณะผิวเรียบสม่ำเสมอ โดยจะต้องมีระบบหรือประกอบอุปกรณ์ควบคุมระดับและความลาดเอียงการปูโดยอัตโนมัติ

เครื่องจักรบดทับเครื่องจักรบดทับทุกชนิดจะต้องเป็นแบบขับเคลื่อนได้ด้วยตนเอง โดยมีขนาด ชนิด น้ำหนัก และจำนวนเหมาะสมกับการก่อสร้าง ชั้นทาง ชนิดวัสดุ ฯลฯ และสามารถอำนวยให้การก่อสร้างดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยไม่ติดขัดหรือหยุดชะงัก การกำหนดรายละเอียดเรื่องเครื่องจักรบดทับ ให้พิจารณาจากการก่อสร้างแปลงทดสอบในสนามเป็นหลัก โดยจะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงาน

เครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์อื่นใด นอกเหนือจากที่ได้กำหนดไว้แล้วข้างต้น ก่อนจะนำมาใช้งานต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวง

เครื่องมือ อุปกรณ์การทดสอบ และห้องปฏิบัติการทดสอบ และห้องปฏิบัติการทดสอบผู้รับจ้างต้องจัดหาเครื่องมือ อุปกรณ์การทดสอบที่ได้มาตรฐาน และมีสภาพดีเพื่อใช้ในการทดสอบตรวจสอบคุณภาพวัสดุ ในระหว่างการก่อสร้าง จนกว่างานจะแล้วเสร็จ ผู้รับจ้างต้องจัดหา หรือจัดสร้างห้องปฏิบัติการทดสอบ ให้อยู่ในพื้นที่ซึ่งสะดวกแก่การควบคุมงาน หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่นห้องปฏิบัติการทดสอบต้องมีขนาดพื้นที่ไม่น้อยกว่า 40 ตารางเมตร หรือตามแบบที่กรมทางหลวงเห็นชอบ พร้อมติดตั้งอุปกรณ์อำนวยความสะดวกที่จำเป็น ตามที่กำหนด เพื่อให้ผู้ควบคุมงานใช้เป็นสถานที่ปฏิบัติงาน ในระหว่างการก่อสร้าง จนกว่างานจะแล้วเสร็จ

การตรวจสอบเครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ก่อนการก่อสร้าง ก่อนการก่อสร้าง ให้ผู้รับจ้างเสนอแผน วิธีการก่อสร้าง พร้อมทั้งรายการและรายละเอียดเครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการก่อสร้างต่อกรมทางหลวง เพื่อตรวจสอบรับรองเครื่องจักร เครื่องมือ และอุปกรณ์ทุกชนิดที่นำมาใช้ในการก่อสร้าง จะต้องมีสภาพใช้งานได้ดี และมีประสิทธิภาพ ในการทำงานอย่างเพียงพอ โดยจะต้องผ่านการตรวจสอบ และ หรือ ตรวจปรับ ตามรายการและวิธีการที่กรมทางหลวง กำหนดและ หรือ เห็นชอบ นอกจากนั้น จะต้องมีความพร้อมใช้งาน

ตลอดเวลา และอำนวยให้การก่อสร้างดำเนินไปได้โดยต่อเนื่องไม่ติดขัดหรือหยุดชะงักในระหว่างการก่อสร้างผู้รับจ้างจะต้องบำรุงรักษาให้อยู่ในภาพดีอยู่เสมอ

2.4.1 การเตรียมพื้นที่ก่อสร้าง

การเตรียมสถานที่ตั้งโรงงานผสมวัสดุ พื้นที่กองวัสดุ สถานที่ตั้งโรงงานผสมวัสดุ และพื้นที่กองวัสดุ ทั้งที่โรงงานและในระหว่างสายทาง จะต้องเหมาะสม มีพื้นที่กว้างพอที่จะปฏิบัติงานได้โดยสะดวก นอกจากนั้นจะต้องจัดให้มีการระบายน้ำที่ดีเพื่อป้องกันมิให้มีน้ำท่วมกองวัสดุ พื้นที่กองวัสดุจะต้องสะอาดปราศจากวัสดุไม่พึงประสงค์ เช่น วัชพืช สิ่งสกปรกอื่น ๆ ควรรองพื้นด้วยวัสดุชนิดเดียวกันกับวัสดุที่ใช้งานนั้น ๆ หรือ ปูด้วยวัสดุ หรือ แผ่นวัสดุที่เหมาะสม การกองวัสดุแต่ละชนิดจะต้องกองแยกกันไว้อย่างชัดเจน ไม่ให้ปะปนกัน รวมทั้งต้องมีมาตรการป้องกัน กองวัสดุเปียกน้ำ หรือ น้ำฝน ซึ่งจะทำให้วัสดุมีความชื้นไม่แน่นอน การกองวัสดุต้องดำเนินการให้ถูกต้อง เพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุเกิดการแยกตัว

2.4.2 การเตรียมพื้นที่ก่อสร้างในสายทาง

เตรียมการในขั้นต้นโดยการกำจัดวัชพืช วัสดุไม่พึงประสงค์ต่าง ๆ ให้เต็มความกว้างของพื้นที่ๆ จะก่อสร้าง รวมทั้งช่องทางจราจรข้างเคียง และไหล่ทาง ตลอดจนกำจัดน้ำที่ท่วมขัง และจัดการระบายน้ำบนผิวทาง และสองข้างทางด้วย ในกรณีที่มีความเสียหายหรือจุดอ่อนตัวของชั้นดินเดิม หรือชั้นทางใดภายใต้ชั้นทางที่จะปรับปรุง ให้ขุดรื้อชั้นทางทุกชั้นจนถึงชั้นทางที่เป็นปัญหาออก แล้วนำไปกองแยกไว้ชั่วคราว โดยกองแยกวัสดุแต่ละชั้นทางไม่ให้ปะปนกัน จากนั้นให้ขุดรื้อวัสดุในชั้นทางที่เป็นปัญหาออกแล้วแทนที่ด้วยวัสดุที่มีคุณภาพไม่ต่ำกว่าชั้นทางที่จะแก้ไข พร้อมบดทับให้แน่นตามข้อกำหนด แล้วจึงนำวัสดุชั้นทางต่าง ๆ ที่นำไปกองแยกไว้กลับมาปูลง ไว้ตามเดิมพร้อมบดทับให้แน่นได้ตามข้อกำหนดทีละชั้น ความหนาของชั้นวัสดุที่แก้ไขแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความหนาไม่มากกว่า 200 มิลลิเมตร ก่อนเริ่มการก่อสร้าง จะต้องเตรียมปรับระดับผิวถนนให้เรียบสม่ำเสมอ โดยการขูด ปาดหรือขูดใสจุดหรือบริเวณที่นูนสูงซึ่งเป็นปัญหาต่อการก่อสร้างออกเสียก่อน และกำหนดแนวขุดตัดตามยาวล่วงหน้าบนชั้นทางเดิมที่จะก่อสร้างด้วย

2.4.3 การก่อสร้าง

ข้อกำหนดทั่วไป การก่อสร้างจะต้องมีการวางแผนและการจัดการที่ดี ต้อง คำนึงถึงสภาพลมฟ้าอากาศที่เหมาะสม เช่นไม่มีฝนตก อุณหภูมิของอากาศ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการผสมวัสดุ การบดทับ การบ่ม เป็นต้น ต้องเอื้ออำนวยกับสภาพความเร็วของลมซึ่งจะมีผลกระทบต่อการโรยวัสดุ ผสมเพิ่มต่าง ๆ เช่น ลม แรง จะทำให้วัสดุผสมเพิ่มต่าง ๆ โดยเฉพาะที่เป็นชนิดผงปลิวสูญหาย และทำให้เกิดมลภาวะทางอากาศผู้รับจ้างจะต้องมีความพร้อมที่จะดำเนินการก่อสร้างครบ

วงจรได้ในแต่ละวัน โดยไม่ติดขัดหรือหยุดชะงัก ในระหว่างก่อสร้าง ผู้รับจ้างจะต้องจัดการให้การจราจรผ่านได้ตลอดเวลาด้วยความปลอดภัย

การก่อสร้างแปลงทดลองทดสอบในสนาม เมื่อกรมทางหลวงตรวจสอบรับรองเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้างและวิธีการก่อสร้างแล้ว ให้ผู้รับจ้างจัดชุดเครื่องจักร เครื่องมือ และดำเนินการก่อสร้างแปลงทดสอบในสนามต่อไปในกรณีที่ผู้รับจ้างเปลี่ยนแปลงวิธีการกระบวนการก่อสร้าง หรือชนิดวัสดุ เครื่องมือที่ใช้เปลี่ยนแปลงไป หรือผู้รับจ้างไม่สามารถดำเนินการก่อสร้างให้ถูกต้องตามรูปแบบและข้อกำหนดได้โดยสม่ำเสมอด้วยเหตุใด ๆ ก็ตาม ให้ผู้รับจ้างดำเนินการก่อสร้างแปลงทดสอบใหม่ แปลงทดสอบในสนามจะต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 100 เมตร และมีความกว้างไม่น้อยกว่า 1 ช่องจราจร

การตรวจสอบความชื้นของวัสดุชั้นทางเดิม ก่อนเริ่มการก่อสร้างไม่เกิน 1 สัปดาห์ ให้ดำเนินการเจาะเก็บตัวอย่างตรวจสอบหาค่าความชื้นชั้นทางเดิมในสนาม การกำหนดจำนวนตัวอย่างและระยะห่างการเจาะเก็บตัวอย่างให้ดำเนินการตามความเหมาะสมกับสภาพวัสดุชั้นทางเดิม โดยให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงานหากระหว่างการตรวจสอบหาค่าความชื้นครั้งล่าสุดกับเวลาเมื่อจะเริ่มก่อสร้างความชื้นของวัสดุชั้นทางเดิมเปลี่ยนแปลงไป ด้วยเหตุ เช่น มีฝนตก น้ำท่วม ฯลฯ ให้ผู้รับจ้างเจาะเก็บตัวอย่างหาค่าความชื้นใหม่

ในกรณีที่พบว่าวัสดุจากชั้นทางเดิมมีความชื้นสูงเกินไป ผู้รับจ้างจะต้องดำเนินการแก้ไขให้ความชื้นวัสดุอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด วิธีการแก้ไขต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงาน

2.4.4 ระยะเวลาดำเนินการก่อสร้าง

ระยะเวลาดำเนินการผสมวัสดุเพิ่มปรับปรุงคุณภาพกับวัสดุชั้นทางเดิมจนถึงการบดทับเสร็จสิ้นขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุผสมเพิ่มปรับปรุงคุณภาพที่นำมาใช้ผสมในกรณีที่ใช้วัสดุผสมเพิ่มปรับปรุงคุณภาพรวมตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ระยะเวลาดำเนินการให้กำหนดโดยระยะเวลาดำเนินการของวัสดุผสมเพิ่มปรับปรุงคุณภาพที่สุดเป็นเกณฑ์

เกณฑ์ระยะเวลาดำเนินการของวัสดุผสมเพิ่มปรับปรุงคุณภาพชนิดต่างๆ มีดังนี้

ก. ปูนซีเมนต์ ไม่เกิน 2 ชั่วโมง

ข. ปูนขาว , เถ้าลอย ไม่เกิน 24 ชั่วโมง

ค. แอสฟัลต์ อิมัลชั่น ก่อนแอสฟัลต์อิมัลชั่นแตกตัว

ง. โฟมแอสฟัลต์ (*Foamed Asphalt*) ไม่เกิน 7 วัน

จ. สารผสมเพิ่มอื่นๆตามข้อแนะนำของผู้ผลิต

ในกรณีจำเป็นในสนามต้องเพิ่มระยะเวลาดำเนินการก่อสร้างมากกว่าที่กำหนดไว้ข้างต้น ให้นายช่างผู้ควบคุมงานพิจารณาอนุญาตได้เป็นแต่ละกรณี โดยได้รับความเห็นชอบจากกกรมทางหลวง แต่ทั้งนี้คุณภาพของวัสดุที่ปรับปรุงแล้วจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนด

2.4.5 การก่อสร้างโดยใช้โรงงานผสมประจำที่

ดำเนินการผสมวัสดุโดยโรงงานผสมประจำที่ ซึ่งได้ผ่านการตรวจสอบรับรองจากนายช่างผู้ควบคุมงานและตรวจสอบปรับเพื่อใช้งานเรียบร้อยแล้ววัสดุที่ปรับปรุงแล้วจะต้องมีสัดส่วนวัสดุสม่ำเสมอและมีคุณภาพถูกต้องตามข้อกำหนดมีความชื้นใกล้เคียงกับความชื้นพอเหมาะ ตามที่กำหนดการขนส่งวัสดุจากโรงงานผสมประจำที่จะต้องเป็นไปโดยต่อเนื่อง และจะต้องมีการควบคุมความชื้นไว้จนถึงสถานที่ก่อสร้าง เช่น การใช้ผ้าใบคลุม การปูวัสดุชั้นพื้นฐานทางให้ใช้เครื่องจักรปูวัสดุตามวิธีการทำงาน หรือเครื่องจักรปูวัสดุที่ออกแบบเฉพาะสำหรับงานปูวัสดุที่ได้รับความเห็นชอบจากกรมทางหลวง

2.4.6 การก่อสร้างวัสดุหมุนเวียนในที่

การก่อสร้างวัสดุหมุนเวียนในที่ให้ใช้เครื่องจักรผสมวัสดุในที่และชุดเครื่องจักรประกอบการก่อสร้าง ซึ่งได้ผ่านการตรวจสอบรับรองและตรวจปรับจากนายช่างผู้ควบคุมงานแล้ว ขั้นตอนการก่อสร้างจะต้องสอดคล้องกับลักษณะวิธีการก่อสร้าง เช่น การทำงานแบบเที่ยวเดียวหรือหลายเที่ยว โดยมีรายละเอียดดังนี้

การเติมวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงขนาดคละและเพิ่มปริมาณ การเติมวัสดุใหม่ลงบนถนนเดิมเพื่อใช้ปรับปรุงรูปแบบถนน หรือ เพื่อปรับปรุงขนาดคละวัสดุนั้น สามารถทำได้โดยการปูเกลี่ยวัสดุใหม่ลงบนถนนเดิมก่อนการขุดผสม หรือในระหว่างขั้นตอนการผสมหรือไม่ ทั้งนี้เมื่อก่อสร้างเสร็จชั้นวัสดุที่ปรับปรุงแล้วต้องมีความหนาและคุณภาพสม่ำเสมอ ตรงตามรูปแบบของถนนและได้ขนาดคละของวัสดุตามที่ต้องการ เครื่องจักรที่ใช้ในการเติมวัสดุใหม่จะต้องเติมวัสดุใหม่จะต้องมีระบบควบคุมการจ่ายวัสดุได้เที่ยงตรง ถูกต้องตามที่กำหนด

การเติมวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพ วิธีการเติมวัสดุผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพตลอดจนเครื่องจักร เครื่องมือที่ใช้ต้องสัมพันธ์กับชนิดของวัสดุผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพ และเหมาะสมตามลักษณะงาน ชนิดของวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพและอัตราการใช้ต้องเป็นไปตามที่กำหนด ไม่ปูเกลี่ยวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพชนิดผงในสภาพแห้ง เช่น ปูนซีเมนต์ ปูนขาว ในขณะที่มีลมแรงทำให้วัสดุปลิวสูญหายซึ่งจะกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนด้วย

2.4.7 การบดทับ

การบดทับให้ดำเนินการโดยทันทีเมื่อเครื่องจักรปูเกลี่ยชั้นทางที่ปรับปรุงแล้ว ชุดเครื่องจักรบดทับ วิธีการ และรายละเอียดขั้นตอนการบดทับให้ดำเนินตามที่กำหนดโดยการ

ก่อสร้างแปลงทดสอบเป็นหลัก การบดทับให้ดำเนินการให้เสร็จเรียบร้อยภายในเวลาที่กำหนด และควรให้ได้ตามแน่นตามที่กำหนดในคราวเดียว ทั้งนี้เพราะชั้นทางที่ปรับปรุงด้วยวัสดุผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณภาพบางชนิด เช่น ปูนซีเมนต์ การบดทับเพิ่มภายหลังจะทำให้ชั้นทางเสียหาย

2.4.8 การบ่ม

ในกรณีผู้รับจ้างยังไม่ลาดแอสฟัลต์ชั้นไพร์มโค้ทหลังก่อสร้างเสร็จให้บ่มชั้นทางที่ปรับปรุงแล้วเพื่อควบคุมความชื้นที่โดยการพ่นน้ำให้ทั่วถึงเป็นระยะ ๆ สม่ำเสมอ เพื่อผิวชั้นทางจะคงความเปียกชื้นไว้ได้ติดต่ออย่างน้อยที่สุด 3 วัน นับ จากวันที่บดทับเสร็จ

2.4.9 การตรวจสอบความเรียบร้อยชั้นทางที่ปรับปรุงแล้ว

ชั้นทางที่ปรับปรุงแล้วจะต้องมีความกว้าง ความหนา ระดับและความลาดเอียง เป็นไปตามรูปแบบ และที่ข้อกำหนดในกรณีเป็นชั้นพื้นทางชั้นสุดท้าย เมื่อใช้ไม้บรรทัดความเรียบยาว 3 เมตร วางทาบบนชั้นผิวทางที่ปรับปรุงแล้วตามแนวขนานเส้นแนวศูนย์กลางถนนระดับผิวชั้นทางที่ปรับปรุงแล้วภายใต้ไม้บรรทัดความเรียบจะแตกแต่งจากระดับของไม้บรรทัดวัดความเรียบได้ไม่เกิน 10 มิลลิเมตร

2.4.10 การตรวจสอบรับรองชั้นทางที่ปรับปรุงแล้ว

ความหนาแน่นชั้นทางที่ปรับปรุงแล้วขึ้นอยู่กับความหนา ชั้นทางที่มีความหนาไม่มากกว่า 250 มิลลิเมตรจะต้องมีค่าความแน่นตามข้อกำหนดความแน่นแห้งสูงสุดทดสอบตามวิธีการทดสอบที่ ทล.-ท. 108/2517 “วิธีการทดสอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” สำหรับชั้นทางที่มีความหนามากกว่า 250 มิลลิเมตร ความหนาแน่นของชั้นทางส่วนล่างของชั้น ที่ระยะ 1 ใน 3 ของความหนาชั้นทาง จะต้องมีความหนาไม่ต่ำกว่าร้อยละ 98 ของความหนาแน่นเฉลี่ยของชั้นทางที่จุดนั้น ๆ

การทดสอบความแน่นบดทับ ให้ดำเนินการภายในเวลาที่เหมาะสม หลังจากการบดทับเสร็จสิ้น เช่นเหมาะสมกับชนิดวัสดุผสมเพื่อเพิ่มปรับปรุงคุณภาพที่ใช้ โดยให้อยู่ในดุลยพินิจของนายช่างผู้ควบคุมงาน การทดสอบความแน่น หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่น ให้ดำเนินการวิธีการทดลอง ที่ ทล.-ท. 603/2517 “วิธีการทดลองหาค่าความแน่นวัสดุในสนามโดยใช้ทราย” ทุกระยะประมาณ 100 เมตร ต่อความกว้าง 1 ช่องจราจร หรือประมาณพื้นที่ 500 ตารางเมตร ต่อ 1 หลุมตัวอย่าง ข้อกำหนดสำหรับค่าความแน่นของชั้นทางที่ปรับปรุง หากมิได้กำหนดไว้เป็นอย่างอื่นให้เป็นดังนี้

กรณีปรับปรุงคุณภาพปูนซีเมนต์ ปูนขาว เถ้าลอย กำหนดให้ค่าความแน่นไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบความแน่นแห้งสูงสุดเมื่อทดสอบตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน”

การทดสอบกำลังแรงอัด ให้ใช้ตัวอย่างการทดสอบตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน” และดำเนินการทดสอบกำลังรับแรงอัดตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 105/2515 “วิธีการทดลองหา Unconfined Compressive Strength ของดิน” โดยอนุโลม ค่ากำลังแรงอัดจะต้องไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบ

ประวัติผู้เขียน

นายธงชัย รุ่งเรื่อง เกิดเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน 2504 ภูมิลำเนาเดิมเกิดที่ ต.พระงาม อ.พรหมบุรี จ.สิงห์บุรี ปัจจุบันอยู่บ้านเลขที่ 84/1 ซอยสืบศิริ 3 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียน นาคประดิษฐ์วิทยา ต.พรหมบุรี จ.สิงห์บุรี พ.ศ. 2520 ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพถึงวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา ปี พ.ศ. 2528 และได้บรรจุเข้ารับราชการ ปี พ.ศ. 2534 ดำรงตำแหน่งนายช่างโยธา 2 ระหว่างรับราชการ ได้ศึกษาต่อและสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ปี พ.ศ. 2547 ได้เข้าศึกษาต่อและสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต มหาวิทยาลัยรามคำแห่ง ปี พ.ศ. 2554

ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง นายช่างโยธาอาวุโส ปฏิบัติหน้าที่ ตำแหน่ง นายช่างโครงการ (Project Engineer) ปฏิบัติหน้าที่ควบคุมงานก่อสร้างในความรับผิดชอบของสำนักก่อสร้างทางที่ 2 กรมทางหลวง ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับงานด้านวิศวกรรมงานทาง ทำให้เกิดแรงจูงใจที่จะศึกษาต่อในระดับปริญญาโท ด้านวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อพัฒนาความรู้และความสามารถให้กับตนเอง จึงได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปี พ.ศ. 2554