คำรับรองตนเอง (Self-Declaration) ของสถาบันการศึกษา

สำหรับการขอรับปริญญา ประกาศนียบัตร หรือวุฒิบัตรในการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม สาขาวิศวกรรมโยธา
สำหรับผู้เข้าศึกษาปีการศึกษา 2567-2571

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

202 ถนนช้างเผือก ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

1 มิถุนายน 2566

สารบัญ

		หน้า
ส่วนที่ 1	หลักสูตร	1
	1. ชื่อหลักสูตร	1
	2. ชื่อปริญญาและสาขาวิชา	1
	3. วิชาเอก/แขนงวิชา	1
	4. ปรัชญาและวัตถุประสงค์ของหลักสูตร	1
	5. ระบบการจัดการศึกษา	2
	6. แผนการศึกษา	2
	7. โครงสร้างหลักสูตร จำนวนหน่วยกิตรวม การเทียบโอน/ยกเว้นรายวิชา	8
	8. สถานภาพของหลักสูตรและการพิจารณาอนุมัติ/เห็นชอบหลักสูตร	8
	9. ชื่อผู้รับรอง/อนุมัติข้อมูล	9
	10. ชื่อผู้รับผิดชอบ/ผู้ประสานงานหลักสูตร	9
ส่วนที่ 2	นิสิต/นักศึกษา	10
	1. คุณสมบัติของผู้เข้าศึกษา	10
	2. แผนการรับนักศึกษาในระยะ 5 ปี	10
	3. คุณลักษณะของบัณฑิตที่พึงประสงค์	11
	4. มาตรฐานผลการเรียนรู้	37
ส่วนที่ 3	คณาจารย์	38
	1. ประธานหลักสูตร	38
	2. อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร	38
	3. อาจารย์ประจำหลักสูตร/อาจารย์ประจำสาขาวิชา	39
	4. บุคลากรช่วยสอน/ผู้ช่วยสอนวิชาปฏิบัติการ	41
	5. อัตราส่วนระหว่างอาจารย์ประจำต่อนักศึกษา	41
	6. แผนพัฒนาหลักสูตรและบุคลากรในระยะ 5 ปี	42
ส่วนที่ 4	รายละเอียดและสาระของวิชาตามองค์ความรู้	46
	1. ตารางแจกแจงวิชาเทียบกับองค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด (Curriculum Mapping)	46
	2. ตารางแสดงผู้สอนในแต่ละองค์ความรู้	53
ส่วนที่ 5	สิ่งสนับสนุนการเรียนรู้และการประกันคุณภาพการศึกษา	62
	1. ห้องปฏิบัติการ	62
	1.1 ห้องปฏิบัติการทดสอบวัสดุและวิศวกรรมโครงสร้าง	62
	1.2 ห้องปฏิบัติการทดสอบคอนกรีต	69
	1.3 ห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์	79
	1.4 ห้องปฏิบัติการชลศาสตร์	87
	1.5 ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสำรวจ	90
	1.6 ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมการทาง	100

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า

ส่วนที่ 5	สิ่งสนับสนุนการเรียนรู้และการประกันคุณภาพการศึกษา (ต่อ)	
	1.7 โปรแกรมสำเร็จรูป/ซอฟต์แวร์ (Software)	110
	2. แหล่งบริการข้อมูลทางวิชาการ	110
	2.1 ห้องสมุดและระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ	110
	2.2 สิ่งอำนวยความสะดวก	110
	3. การประกันคุณภาพการศึกษา	119
ส่วนที่ 6	ภาคผนวก	125
	ภาคผนวก 1 เอกสาร/หนังสือที่สภาสถาบันการศึกษาอนุมัติหลักสูตร	126
	ภาคผนวก 2 รายละเอียดของหลักสูตร (มคอ.2) ฉบับสมบูรณ์ที่ผ่านการอนุมัติจากสภาสถาบันการศึกษา	129
	ภาคผนวก 3 แผนการสอน (มคอ.3) (เฉพาะวิชาที่ขอเทียบองค์ความรู้)	324
	ภาคผนวก 4 คู่มือปฏิบัติการที่ใช้ในการเรียนการสอน	328
	ภาคผนวก 5 แบบการตรวจ (CHECKLIST)	
	ภาคผนวก 6 อื่นๆ	

คำรับรองตนเอง (Self-Declaration)
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ชื่อสถาบันการศึกษา	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
วิทยาเขต/คณะ/ภาควิชา	คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
สาขาวิศวกรรมที่รับรองปริญญา	วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษาที่รับรองปริญญา	พ.ศ. 2567 - 2571

ส่วนที่ 1 หลักสูตร

1. ชื่อหลักสูตร

ชื่อภาษาไทย : หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ชื่อภาษาอังกฤษ : Bachelor of Engineering Program in Civil Engineering

2. ชื่อปริญญาและสาขาวิชา

ชื่อเต็มภาษาไทย : วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)

ชื่อย่อภาษาไทย : วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา)

ชื่อเต็มภาษาอังกฤษ : Bachelor of Engineering (Civil Engineering)

ชื่อย่อภาษาอังกฤษ : B.Eng. (Civil Engineering)

3. วิชาเอก/แขนงวิชา

วิชาเอก/แขนงวิชาภาษาไทย : ไม่มี

วิชาเอก/แขนงวิชาภาษาอังกฤษ : ไม่มี

4. ปรัชญาและวัตถุประสงค์ของหลักสูตร

4.1 ปรัชญาของหลักสูตร

การมีความรู้ความสามารถในศาสตร์ด้านวิศวกรรมโยธา มีทักษะคิดวิเคราะห์ สังเคราะห์อย่างเป็นระบบ รู้จักทำงานแบบมีส่วนร่วม มีคุณธรรม และเข้าใจบทบาทของวิศวกรสังคมกับการพัฒนาความเข้าใจในชีวิต ย่อมส่งผลต่อความสำเร็จในการประกอบอาชีพเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืนทั้งสำหรับตนเอง ชุมชนท้องถิ่นและประเทศชาติ

4.2 วัตถุประสงค์ของหลักสูตร

เพื่อพัฒนาบัณฑิตที่มีคุณลักษณะที่พึงประสงค์ดังนี้

1) มีความรู้ในศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ สามารถประยุกต์ใช้ศาสตร์ดังกล่าวอย่างเหมาะสมเพื่อการประกอบวิชาชีพของตน และการศึกษาต่อในระดับสูงขึ้นไปได้

2) มีความใฝ่รู้ในองค์ความรู้และเทคโนโลยีที่มีการเปลี่ยนแปลงพัฒนาอย่างต่อเนื่อง สามารถพัฒนาองค์ความรู้ที่ตนมีอยู่ให้สูงขึ้นไป เพื่อพัฒนาตนเอง พัฒนางาน พัฒนาสังคมและประเทศชาติ บนพื้นฐานของการพัฒนาอย่างยั่งยืน
3) มีคุณธรรม จริยธรรม มีสัมมาคารวะ รู้จักกาลเทศะ และทำหน้าที่เป็นพลเมืองดี รับผิดชอบต่อตนเอง วิชาชีพ และต่อสังคม และปฏิบัติตนภายใต้จรรยาบรรณวิชาชีพด้วยความซื่อสัตย์สุจริต และเสียสละ
4) คิดเป็น ทำเป็น มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ และสามารถเลือกวิธีแก้ไขปัญหาได้อย่างเหมาะสม
5) มีมนุษยสัมพันธ์และมีความสามารถในการทำงานร่วมกับผู้อื่น มีทักษะในด้านการทำงานเป็นหมู่คณะ สามารถบริหารจัดการทำงานได้อย่างเหมาะสม และเป็นผู้มีทัศนคติที่ดีในการทำงาน
6) มีความสามารถในการติดต่อสื่อสาร และใช้ภาษาไทย ภาษาต่างประเทศ และศัพท์เทคนิคในการติดต่อสื่อสาร รวมถึงการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศได้เป็นอย่างดี

5. ระบบการจัดการศึกษา

5.1 ระบบ

การจัดการศึกษาเป็นระบบทวิภาค โดย 1 ปีการศึกษา แบ่งออกเป็น 2 ภาคการศึกษาปกติ 1 ภาคการศึกษาปกติมีระยะเวลาศึกษา ไม่น้อยกว่า 15 สัปดาห์

5.2 การจัดการศึกษาภาคฤดูร้อน

หากมีความจำเป็นสามารถมีการจัดการเรียนการสอนภาคฤดูร้อน ระยะเวลา 9 สัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการพิจารณาของคณะกรรมการบริหารหลักสูตร

5.3 การเทียบเคียงหน่วยกิตในระบบทวิภาค

ไม่มี

6. แผนการศึกษา

แผนการศึกษาที่ 1 : แผนการศึกษาฝึกงาน (ผู้สำเร็จการศึกษาระดับ ม.6)

ปีการศึกษาที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 1

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต
GEN 1101	ภาษาไทยเพื่อการสื่อสาร	3(3-0-6)
GEN 1401	การคิดการตัดสินใจ	3(3-0-6)
PHYS 1122	ฟิสิกส์สำหรับวิศวกรโยธา	3(3-0-6)
PHYS 1123	ปฏิบัติการฟิสิกส์สำหรับวิศวกรโยธา	1(0-3-2)
MATH 1406	คณิตศาสตร์สำหรับวิศวกรโยธา 1	3(3-0-6)
CIVL 1101	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวิชาชีพวิศวกรรมโยธา	1(1-0-2)
CIVL 1102	การเขียนแบบวิศวกรรมโยธา	3(2-3-6)
	รวม	**17(15-6-34)**

ปีการศึกษาที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 2

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต
GEN 1102	ภาษาอังกฤษเพื่อการสื่อสารในชีวิตประจำวัน	3(3-0-6)
GEN 1201	ศิลปะการใช้ชีวิตอย่างเป็นสุข	3(3-0-6)
CHEM 1119	เคมีสำหรับวิศวกรโยธา	3(3-0-6)
CHEM 1120	ปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกรโยธา	1(0-3-2)
MATH 1407	คณิตศาสตร์สำหรับวิศวกรโยธา 2	3(3-0-6)
CIVL 1103	สถิตยศาสตร์วิศวกรรม	3(3-0-6)
	รวม	**16(15-3-32)**

ปีการศึกษาที่ 2 ภาคการศึกษาที่ 1

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต
GEN 1103	ภาษาอังกฤษเพื่อการเรียนรู้	3(3-0-6)
GEN 1402	การรู้ดิจิทัล	3(3-0-6)
CIVL 2102	การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์	3(2-3-6)
CIVL 2104	วัสดุวิศวกรรม	3(3-0-6)
CIVL 2201	กำลังวัสดุ	3(3-0-6)
CIVL 2401	การสำรวจ	3(3-0-6)
CIVL 2402	ปฏิบัติการสำรวจ	1(0-3-2)
	รวม	**19(17-6-38)**

ปีการศึกษาที่ 2 ภาคการศึกษาที่ 2

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต
GEN 1403	การดูแลสุขภาพแบบองค์รวม	3(3-0-6)
CIVL 2101	สถิติวิศวกรรม	3(3-0-6)
CIVL 2103	ธรณีวิทยาวิศวกรรม	3(3-0-6)
CIVL 2202	ทฤษฎีโครงสร้าง	3(3-0-6)
CIVL 2203	เทคโนโลยีคอนกรีตและการทดสอบวัสดุ	4(3-3-8)
CIVL 2601	ชลศาสตร์	3(3-0-6)
	รวม	**19(18-3-38)**

ปีการศึกษาที่ 3 ภาคการศึกษาที่ 1

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต
GEN 1302	วิธีวิทยาการถ่ายทอดความรู้	3(3-0-6)
GEN 1305	โลกแห่งธุรกิจ	3(3-0-6)
CIVL 2403	การฝึกสำรวจภาคสนาม	1(90)
CIVL 2602	ปฏิบัติการชลศาสตร์	1(0-3-2)
CIVL 3101	ภาษาอังกฤษสำหรับวิศวกรโยธา 1	3(3-0-6)
CIVL 3201	การวิเคราะห์โครงสร้าง	3(3-0-6)
CIVL 3501	ปฐพีกลศาสตร์	3(3-0-6)
CIVL 3601	อุทกวิทยา	3(3-0-6)
	รวม	**20(18-9-38)**

การศึกษาที่ 3 ภาคการศึกษาที่ 2

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต
GEN 1306	ความเป็นพลเมืองกับการพัฒนาท้องถิ่น	3(3-0-6)
CIVL 3102	ภาษาอังกฤษสำหรับวิศวกรโยธา 2	3(3-0-6)
CIVL 3202	การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	3(2-3-6)
CIVL 3502	ปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์	1(0-3-2)
CIVL 3503	วิศวกรรมฐานราก	3(3-0-6)
CIVL 3701	วิศวกรรมการทาง	3(3-0-6)
CIVL 3901	สัมมนาทางวิศวกรรมโยธาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน	1(0-3-2)
CIVL 3902	การสร้างจิตอาสาสำหรับวิศวกรโยธา	1(0-3-2)
	รวม	**18(14-12-36)**

ปีการศึกษาที่ 3 ภาคการศึกษา ภาคฤดูร้อน

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต
CIVL 3801	การฝึกประสบการณ์วิชาชีพวิศวกรรมโยธา	3(315)
	รวม	**3(0-35-0)**

ปีการศึกษาที่ 4 ภาคการศึกษาที่ 1

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต
CIVL 3702	ปฏิบัติการวิศวกรรมการทาง	1(0-3-2)
CIVL 4201	การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	3(2-3-6)
CIVL 4301	การประมาณราคางานก่อสร้าง	3(3-0-6)
CIVL 4601	วิศวกรรมชลศาสตร์	3(3-0-6)
CIVL 4701	วิศวกรรมขนส่ง	3(3-0-6)
CIVL XXXX	........................(กลุ่มวิชาชีพเลือก)	3(3-0-6)
XXXX XXXX	........................(หมวดวิชาเลือกเสรี)	3(3-0-6)
	รวม	**19(17-6-38)**

การศึกษาที่ 4 ภาคการศึกษาที่ 2

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต
CIVL 4302	วิศวกรรมการก่อสร้างและการจัดการ	3(3-0-6)
CIVL 4602	วิศวกรรมการประปาและสุขาภิบาล	3(3-0-6)
CIVL 4901	โครงงานวิศวกรรมโยธา	1(90)
CIVL XXXX	........................(กลุ่มวิชาชีพเลือก)	3(3-0-6)
XXXX XXXX	........................(หมวดวิชาเลือกเสรี)	3(3-0-6)
	รวม	**13(12-6-24)**

แผนการศึกษาที่ 2 : แผนการศึกษาฝึกงาน (ผู้สำเร็จการศึกษาระดับ ปวส.)

ปีการศึกษาที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 1

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต
GEN 1102	ภาษาอังกฤษเพื่อการสื่อสารในชีวิตประจำวัน	3(3-0-6)
GEN 1402	การรู้ดิจิทัล	3(3-0-6)
PHYS 1122	ฟิสิกส์สำหรับวิศวกรโยธา	3(3-0-6)
PHYS 1123	ปฏิบัติการฟิสิกส์สำหรับวิศวกรโยธา	1(0-3-2)
MATH 1406	คณิตศาสตร์สำหรับวิศวกรโยธา 1	3(3-0-6)
CIVL 1101	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับวิชาชีพวิศวกรรมโยธา	1(1-0-2)
CIVL 1102	การเขียนแบบวิศวกรรมโยธา	3(2-3-6)
CIVL 2101	สถิติวิศวกรรม	3(3-0-6)
	รวม	**20(18-6-40)**

ปีการศึกษาที่ 1 ภาคการศึกษาที่ 2

รหัสวิชา	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**
GEN 1201	ศิลปะการใช้ชีวิตอย่างเป็นสุข	3(3-0-6)
CHEM 1119	เคมีสำหรับวิศวกรโยธา	3(3-0-6)
CHEM 1120	ปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกรโยธา	1(0-3-2)
MATH 1407	คณิตศาสตร์สำหรับวิศวกรโยธา 2	3(3-0-6)
CIVL 1103	สถิติยศาสตร์วิศวกรรม	3(3-0-6)
CIVL 2102	การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์	3(2-3-6)
CIVL 2401	การสำรวจ	3(3-0-6)
CIVL 2402	ปฏิบัติการสำรวจ	1(0-3-2)
CIVL 3902	การสร้างจิตอาสาสำหรับวิศวกรโยธา	1(0-3-2)
	รวม	**21(17-12-42)**

ปีการศึกษาที่ 2 ภาคการศึกษาที่ 1

รหัสวิชา	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**
GEN 1305	โลกแห่งธุรกิจ	3(3-0-6)
CIVL 2103	ธรณีวิทยาวิศวกรรม	3(3-0-6)
CIVL 2104	วัสดุวิศวกรรม	3(3-0-6)
CIVL 2201	กำลังวัสดุ	3(3-0-6)
CIVL 2403	การฝึกสำรวจภาคสนาม	1(90)
CIVL 2601	ชลศาสตร์	3(3-0-6)
CIVL 3101	ภาษาอังกฤษสำหรับวิศวกรโยธา 1	3(3-0-6)
	รวม	**19(18-6-36)**

ปีการศึกษาที่ 2 ภาคการศึกษาที่ 2

รหัสวิชา	**ชื่อวิชา**	**หน่วยกิต**
CIVL 2202	ทฤษฎีโครงสร้าง	3(3-0-6)
CIVL 2203	เทคโนโลยีคอนกรีตและการทดสอบวัสดุ	4(3-3-8)
CIVL 2602	ปฏิบัติการชลศาสตร์	1(0-3-2)
CIVL 3102	ภาษาอังกฤษสำหรับวิศวกรโยธา 2	3(3-0-6)
CIVL 3501	ปฐพีกลศาสตร์	3(3-0-6)
CIVL 3601	อุทกวิทยา	3(3-0-6)
CIVL 3901	สัมมนาทางวิศวกรรมโยธาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน	1(0-3-2)
CIVL 3902	การสร้างจิตอาสาสำหรับวิศวกรโยธา	1(0-3-2)
	รวม	**19(15-12-38)**

ปีการศึกษาที่ 3 ภาคการศึกษาที่ 1

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต
CIVL 3201	การวิเคราะห์โครงสร้าง	3(3-0-6)
CIVL 3502	ปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์	1(0-3-2)
CIVL 3503	วิศวกรรมฐานราก	3(3-0-6)
CIVL 3701	วิศวกรรมการทาง	3(3-0-6)
CIVL 4302	วิศวกรรมการก่อสร้างและการจัดการ	3(3-0-6)
CIVL 4602	วิศวกรรมการประปาและสุขาภิบาล	3(3-0-6)
CIVL XXXX	........................(กลุ่มวิชาชีพเลือก)	3(3-0-6)
	รวม	**19(18-3-38)**

การศึกษาที่ 3 ภาคการศึกษาที่ 2

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต
CIVL 3202	การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก	3(2-3-6)
CIVL 3702	ปฏิบัติการวิศวกรรมการทาง	1(0-3-2)
CIVL 4201	การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก	3(2-3-6)
CIVL 4301	การประมาณราคางานก่อสร้าง	3(3-0-6)
CIVL 4601	วิศวกรรมชลศาสตร์	3(3-0-6)
CIVL 4701	วิศวกรรมขนส่ง	3(3-0-6)
CIVL 4901	โครงงานวิศวกรรมโยธา	1(90)
CIVL XXXX	........................(กลุ่มวิชาชีพเลือก)	3(3-0-6)
	รวม	**20(16-15-38)**

ปีการศึกษาที่ 3 ภาคการศึกษา ภาคฤดูร้อน

รหัสวิชา	ชื่อวิชา	หน่วยกิต
CIVL 3801	การฝึกประสบการณ์วิชาชีพวิศวกรรมโยธา	3(315)
	รวม	**3(0-35-0)**

7. โครงสร้างหลักสูตร จำนวนหน่วยกิตรวม การเทียบโอน/ยกเว้นรายวิชา

1. หมวดวิชาศึกษาทั่วไป	30	หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 18	หน่วยกิต
- กลุ่มวิชาภาษาและการสื่อสาร	9	หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 6	หน่วยกิต
- กลุ่มวิชามนุษยศาสตร์	3	หน่วยกิต	ขอเทียบโอน -	หน่วยกิต
- กลุ่มวิชาสังคมศาสตร์	9	หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 6	หน่วยกิต
- กลุ่มวิชาวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์	9	หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 6	หน่วยกิต
2. หมวดวิชาเฉพาะ	108	หน่วยกิต	ไม่อนุญาตให้เทียบโอน	
- กลุ่มวิชาพื้นฐานวิชาชีพ	30	หน่วยกิต	ไม่อนุญาตให้เทียบโอน	
- พื้นฐานทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์	17	หน่วยกิต	ไม่อนุญาตให้เทียบโอน	
- พื้นฐานทางวิศวกรรม	13	หน่วยกิต	ไม่อนุญาตให้เทียบโอน	
- กลุ่มวิชาชีพ (วิชาเฉพาะทางวิศวกรรม)	78	หน่วยกิต	ไม่อนุญาตให้เทียบโอน	
- บังคับ	69	หน่วยกิต	ไม่อนุญาตให้เทียบโอน	
- เลือก	6	หน่วยกิต	ไม่อนุญาตให้เทียบโอน	
3. หมวดวิชาเลือกเสรี	6	หน่วยกิต	ขอเทียบโอน 6	หน่วยกิต

รวมหน่วยกิตที่ขอเทียบโอน	24	หน่วยกิต
จำนวนหน่วยกิตตลอดหลักสูตร	144	หน่วยกิต
รวมจำนวนหน่วยกิตวิชาพื้นฐานทางวิศวกรรมและวิชาเฉพาะทางวิศวกรรม	91	หน่วยกิต
จำนวนหน่วยกิตคงเหลือ	120	หน่วยกิต

8. สถานภาพของหลักสูตรและการพิจารณาอนุมัติ/เห็นชอบหลักสูตร

- สถานภาพของหลักสูตร

  หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา (หลักสูตรใหม่ พ.ศ. 2566)

- การเปิดการเรียนการสอน

  โดยเริ่มใช้ตั้งแต่ ภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2567

- การได้รับอนุมัติ/เห็นชอบหลักสูตรจากสภาสถาบันการศึกษา

  สภาวิชาการเห็นชอบในการนำเสนอหลักสูตรต่อสภามหาวิทยาลัย

  ในการประชุม ครั้งที่ 23/2565 วันที่ 11 พฤศจิกายน 2565

  สภามหาวิทยาลัยเห็นชอบหลักสูตร

  ในการประชุม ครั้งที่ 13/2565 วันที่ 23 พฤศจิกายน 2565

9. ชื่อผู้รับรอง/อนุมัติข้อมูล

ตารางแสดงรายชื่อผู้รับรอง/อนุมัติ

ชื่อ-สกุล	ตำแหน่งบริหาร	วาระการดำรงตำแหน่ง	ลายมือชื่อ ผู้รับรองข้อมูล
รศ.ดร.ชาตรี มณีโกศล	รักษาราชการแทน อธิการบดี	2563 – ปัจจุบัน	

10. ชื่อผู้รับผิดชอบ/ผู้ประสานงานหลักสูตร

ตารางแสดงรายชื่อผู้รับผิดชอบ/ผู้ประสานงาน

ลำดับ	ชื่อ-สกุล	ตำแหน่ง	โทรศัพท์	E-mail
1	อ.ดร.ศิริกันยา เลาสุวรรณ์	ประธานหลักสูตร		
2	อ.ดร.นันทนัช จินตพิทักษ์	อาจารย์ประจำหลักสูตร		
3	ผศ.ดร.เสริมศักดิ์ พงษ์เมษา	อาจารย์ประจำหลักสูตร		

ส่วนที่ 2 ข้อมูลคณาจารย์และลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์

1. ชื่อและคุณวุฒิการศึกษาของประธานหลักสูตรและอาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร

ตารางที่ 1: อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร วิชาเอก วิศวกรรมโยธา

ลำดับ	ตำแหน่งวิชาการ ชื่อ-สกุล	คุณวุฒิ/สาขาวิชา/สถาบันการศึกษา (เรียงลำดับจากคุณวุฒิ ระดับ ป.ตรี ถึง คุณวุฒิสูงสุด)	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ประสบการณ์การสอน
*1	รศ.ดร.ปนัสย์ชัย เชษฐ์โชติศักดิ์	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ไทย) ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย)	2539 2542 2557	19 ปี
2	ผศ.ดร.หริส ประสารฉ่ำ	ค.อ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยสารคาม, ไทย)	2539 2550 2553	มากกว่า 25 ปี
3	ผศ.ดร.อัศนัย ทาเภา	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ไทย) ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ไทย)	2553 2555 2560	5 ปี

หมายเหตุ * ประธานหลักสูตร

ตารางที่ 2: อาจารย์ผู้รับผิดชอบหลักสูตร วิชาเอก วิศวกรรมโยธาระบบราง

ลำดับ	ตำแหน่งวิชาการ ชื่อ-สกุล	คุณวุฒิ/สาขาวิชา/สถาบันการศึกษา (เรียงลำดับจากคุณวุฒิ ระดับ ป.ตรี ถึง คุณวุฒิสูงสุด)	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ประสบการณ์การสอน
1	ผศ.ดร.ปฏิภาณ แก้ววิเชียร	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย)	2542 2549 2562	14 ปี
2	ผศ.ดร.วุฒิไกร ไชยปัญหา	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย)	2549 2553 2561	3 ปี
3	ผศ.ดร.วรรธนะ ประภาภรณ์	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม เกล้าธนบุรี, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการ ก่อสร้าง (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอม เกล้าธนบุรี, ไทย) D.Eng. Civil Engineering (Saga University, Japan)	2551 2554 2565	7 ปี

2. ชื่อและคุณวุฒิการศึกษาของอาจารย์ประจำหลักสูตร/สาขาวิชา

ลำดับ	ตำแหน่งวิชาการ ชื่อ-สกุล	คุณวุฒิ/สาขาวิชา/สถาบันการศึกษา (เรียงลำดับจากคุณวุฒิ ระดับ ป.ตรี ถึง คุณวุฒิสูงสุด)	ปีที่สำเร็จการศึกษา	ประสบการณ์การสอน
1	รศ.ดร.พัชรพล โพธิ์ศรี	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย)	2549 2553 2557	10 ปี
2	ผศ.ดร.พงศกร พวงชมภู	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) M.Eng. Civil Engineering (Saga University, Japan) D.Eng. Civil Engineering (Saga University, Japan)	2549 2553 2557	12 ปี

3	ผศ.ดร.เจริญชัย ฤทธิรุทธ	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย)	2545 2550 2555	14 ปี
4	ผศ.มานิตย์ จรูญธรรม	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) B.Sc.Eng (Adamson University, Philippines)	2529 2542	มากกว่า 25 ปี
5	ดร.ไพโรจน์ ยอดสง่า	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตเทเวศน์, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย)	2537 2542 2555	มากกว่า 25 ปี
6	อ.ล้วน เสือพาดกลอน	คอ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, ไทย) วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย)	2540 2544 2549	มากกว่า 25 ปี
7	อ.สรศักดิ์ เชียวศิริกุล	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย)	2539 2545	24 ปี
8	ดร.ทรงพล ทรงแสงฤทธิ์	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ไทย)	2547 2556 2565	14 ปี

9	ดร.ทับทิม ชาติสุวรรณ์	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ไทย) ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ไทย)	2555 2558 2565	1 ปี
10	ดร.ธนพล พรหมรักษา	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย)	2555 2558 2565	1 ปี
11	ดร.จิตรกร ประสมศรี	วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ไทย) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ไทย) M.Eng. Civil Engineering (Tokyo Institute of Technology, Japan) Ph.D. Civil Engineering (Tokyo Institute of Technology, Japan)	2553 2557 2562 2564	1 ปี

บุคลากรช่วยสอน/ผู้ช่วยสอนวิชาปฏิบัติการ

นายธานินทร์ อินทรนารมย์ คุณวุฒิ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

บุคลากรช่วยสอน/ผู้ช่วยสอนวิชาปฏิบัติการ นายธานินทร์ อินทรนารมย์คุณวุฒิ ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

3. ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์สำหรับการประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม (Graduate Attributes and Professional Competencies)

3.1 ตารางความเชื่อมโยงระหว่างรายวิชาในหลักสูตรกับลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
1	**ความรู้ด้านวิศวกรรม (Engineering Knowledge)** - สามารถประยุกต์ใช้ความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ พื้นฐานทางวิศวกรรม และความรู้ เฉพาะทางวิศวกรรม เพื่อการแก้ไขและหาคำตอบ ของปัญหาทางวิศวกรรมที่ซับซ้อน	31-407-010-101 สถิตยศาสตร์ Statics 31-407-000-101 คณิตศาสตร์ขั้นสูงสำหรับวิศวกรรม Advanced Mathematics for Engineering 31-407-010-202 ความแข็งแรงของวัสดุ Strength of Materials 31-407-010-241 ชลศาสตร์ Hydraulics 31-407-010-271 การสำรวจ Surveying 31-407-050-102 การเขียนแบบวิศวกรรม Engineering Drawing 31-407-100-101 การโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Computer Programming 31-407-120-101 วัสดุวิศวกรรม Engineering Materials 31-407-011-211 ทฤษฎีโครงสร้าง Theory of Structures 31-407-011-221 เทคโนโลยีคอนกรีต Concrete Technology 31-407-011-222 วัสดุวิศวกรรมโยธาและการทดสอบ

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
		Civil Engineering Materials and Testing 31-407-011-343 อุทกวิทยา Hydrology 31-407-011-312 การวิเคราะห์โครงสร้าง Structural Analysis 31-407-011-313 การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก Reinforced Concrete Design 31-407-011-315 การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก Timber and Steel Design 31-407-011-331 ปฐพีกลศาสตร์ Soil Mechanics 31-407-011-332 ปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ Soil Mechanics Laboratory 31-407-011-344 วิศวกรรมชลศาสตร์ Hydraulic Engineering 31-407-011-361 วิศวกรรมขนส่ง Transportation Engineering 31-407-011-451 วิศวกรรมการก่อสร้างและการจัดการ Construction Engineering and Management 31-407-011-494 สัมมนาโครงงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Project Seminar 31-407-011-495 โครงงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Project 31-407-012-204 การเขียนแบบวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Drawing 31-407-012-333 วิศวกรรมฐานราก Foundation Engineering 31-407-012-352 เทคนิคการก่อสร้างอาคาร Building Construction Techniques 31-407-012-362 วิศวกรรมการทาง Highway Engineering 31-407-012-363 การทดสอบวัสดุการทาง Highway Materials Testing

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
		31-407-012-374 การสำรวจเส้นทาง Route Surveying 31-407-012-103 การปฏิบัติงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Workshop 31-407-012-417 การออกแบบคอนกรีตอัดแรง Prestressed Concrete Design 31-407-012-418 เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับวิศวกรรมโยธา Optimization Techniques for Civil Engineering 31-407-012-423 การผลิตผลิตภัณฑ์คอนกรีตในภาคอุตสาหกรรม Production of Concrete Products for the Industry 31-407-012-275 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Geographic Information System 31-407-012-334 การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในงานวิศวกรรมโยธา Computer Applications in Civil Engineering 31-407-012-435 การออกแบบผิวทาง Pavement Design 31-407-012-445 วิศวกรรมระบบอาคารและสิ่งแวดล้อม Building and Environmental Systems Engineering 31-407-012-253 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร Building Information Modeling 31-407-012-454 การประมาณราคาเพื่อการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ Cost Estimation for Real Estate Development 31-407-012-455 การจัดการทางวิศวกรรม Engineering Management 31-407-012-456 เทคโนโลยีการก่อสร้างและโครงสร้างพื้นฐาน Construction and Infrastructure Technology 31-407-012-457 นวัตกรรมอาคาร และ เทคโนโลยีอาคาร Building Innovation and Technology 31-407-012-476 การรังวัดด้วยภาพถ่ายดิจิทัล Digital Photogrammetry 31-407-013-204 การเขียนแบบวิศวกรรมโยธาระบบราง Railway Civil Engineering Drawing

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
		31-407-013-333 วิศวกรรมฐานรากในงานระบบราง Foundation Engineering in Railway System 31-407-013-352 เทคนิคการก่อสร้างโครงการรถไฟ Construction Techniques of Railway Project 31-407-013-363 การทดสอบวัสดุทางราง Railway Materials Testing 31-407-013-364 วิศวกรรมรถไฟ Railway Engineering 31-407-013-374 การออกแบบเส้นทางราง Track Alignment Design 31-407-013-103 การปฏิบัติงานวิศวกรรมโยธาระบบราง Railway Civil Engineering Workshop 31-407-013-417 เทคโนโลยีสะพานรถไฟ Railway Bridge Technology 31-407-013-418 การวิเคราะห์โครงสร้างทางรถไฟ Railway Track Analysis 31-407-013-419 โครงงานออกแบบบูรณาการ Capstone Design Project 31-407-013-434 ธรณีเทคนิคสำหรับงานรถไฟ Railway Geotechnology 31-407-013-435 เทคโนโลยีอุโมงค์รถไฟ Railway Tunnel Technology 31-407-013-445 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับ โครงการรถไฟ Environmental Impact Assessment for Railway Project 31-407-013-454 การประมาณราคางานก่อสร้างสำหรับโครงการรถไฟ Construction Cost Estimation for Railway Project 31-407-013-455 การบำรุงรักษาและความปลอดภัยของทางรถไฟ Railway Track Maintenance and Safety 31-407-013-465 การวางแผนระบบขนส่งมวลชนทางราง Planning of Rail Transit System 31-407-013-466 การจัดการโลจิสติกส์และการขนส่งสินค้าทางราง Logistics and Railway Freight Management

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
2	**การวิเคราะห์ปัญหา (Problem Analysis)** - สามารถระบุ ตั้งสมการ วิจัย สืบค้น และวิเคราะห์ ปัญหาทางวิศวกรรมที่ซับซ้อน เพื่อให้ได้ข้อสรุป ของปัญหาที่มีนัยสำคัญ โดยใช้หลักการทาง คณิตศาสตร์ วิทยาศาสตร์ธรรมชาติ และ วิทยาการทางวิศวกรรมศาสตร์	31-407-011-492 สหกิจศึกษา 1 Cooperative Education 1 31-407-011-493 การฝึกงาน 1 Practicum 1 31-407-011-495 โครงงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Project 31-407-011-494 สัมมนาโครงงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Project Seminar 31-407-012-334 การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในงานวิศวกรรมโยธา Computer Applications in Civil Engineering 31-407-011-313 การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก Reinforced Concrete Design 31-407-011-315 การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก Timber and Steel Design 31-407-012-417 การออกแบบคอนกรีตอัดแรง Prestressed Concrete Design 31-407-012-456 เทคโนโลยีการก่อสร้างและโครงสร้างพื้นฐาน Construction and Infrastructure Technology 31-407-012-457 นวัตกรรมอาคาร และ เทคโนโลยีอาคาร Building Innovation and Technology 31-407-012-455 การจัดการทางวิศวกรรม Engineering Management 31-407-011-451 วิศวกรรมการก่อสร้างและการจัดการ Construction Engineering and Management 31-407-012-362 วิศวกรรมการทาง

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
		Highway Engineering 31-407-012-253 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร Building Information Modeling 31-407-012-363 การทดสอบวัสดุการทาง Highway Materials Testing 31-407-012-435 การออกแบบผิวทาง Pavement Design 31-407-012-333 วิศวกรรมฐานราก Foundation Engineering 31-407-011-344 วิศวกรรมชลศาสตร์ Hydraulic Engineering 31-407-011-343 อุทกวิทยา Hydrology 31-407-013-333 วิศวกรรมฐานรากในงานระบบราง Foundation Engineering in Railway System 31-407-013-364 วิศวกรรมรถไฟ Railway Engineering 31-407-013-417 เทคโนโลยีสะพานรถไฟ Railway Bridge Technology 31-407-013-434 ธรณีเทคนิคสำหรับงานรถไฟ Railway Geotechnology 31-407-013-435 เทคโนโลยีอุโมงค์รถไฟ Railway Tunnel Technology 31-407-013-465 การวางแผนระบบขนส่งมวลชนทางราง Planning of Rail Transit System 31-407-011-211 ทฤษฎีโครงสร้าง Theory of Structures

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
		31-407-011-312 การวิเคราะห์โครงสร้าง Structural Analysis 31-407-011-221 เทคโนโลยีคอนกรีต Concrete Technology 31-407-010-202 ความแข็งแรงของวัสดุ Strength of Materials 31-407-011-331 ปฐพีกลศาสตร์ Soil Mechanics 31-407-010-271 การสำรวจ Surveying 31-407-013-374 การออกแบบเส้นทางราง Track Alignment Design 31-407-012-481 หัวข้อเฉพาะทางวิศวกรรมโยธา 1 Advanced Topics in Civil Engineering 1 31-407-012-482 หัวข้อเฉพาะทางวิศวกรรมโยธา 2 Advanced Topics in Civil Engineering 2
3	**การออกแบบ/พัฒนาหาคำตอบของปัญหา** **(Design/Development of Solutions)** **-** สามารถพัฒนาหาคำตอบของปัญหาทาง วิศวกรรมที่ซับซ้อน และออกแบบระบบ ชิ้นงาน หรือกระบวนการ ตามความจำเป็นและเหมาะสม กับข้อพิจารณาทางด้านสาธารณสุข ความปลอดภัย วัฒนธรรม สังคม และสิ่งแวดล้อม	31-407-012-445 วิศวกรรมระบบอาคารและสิ่งแวดล้อม Building and Environmental Systems Engineering 31-407-012-333 วิศวกรรมฐานราก Foundation Engineering 31-407-011-344 วิศวกรรมชลศาสตร์ Hydraulic Engineering 31-407-013-333 วิศวกรรมฐานรากในงานระบบราง Foundation Engineering in Railway System 31-407-013-364 วิศวกรรมรถไฟ Railway Engineering 31-407-013-417 เทคโนโลยีสะพานรถไฟ Railway Bridge Technology

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
		31-407-013-419 โครงงานออกแบบบูรณาการ Capstone Design Project 31-407-013-434 ธรณีเทคนิคสำหรับงานรถไฟ Railway Geotechnology 31-407-013-435 เทคโนโลยีอุโมงค์รถไฟ Railway Tunnel Technology 31-407-013-465 การวางแผนระบบขนส่งมวลชนทางราง Planning of Rail Transit System 31-407-013-466 การจัดการโลจิสติกส์และการขนส่งสินค้าทางราง Logistics and Railway Freight Management 31-407-011-451 วิศวกรรมการก่อสร้างและการจัดการ Construction Engineering and Management 31-407-012-362 วิศวกรรมการทาง Highway Engineering 31-407-012-253 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร Building Information Modeling 31-407-012-363 การทดสอบวัสดุการทาง Highway Materials Testing 31-407-012-435 การออกแบบผิวทาง Pavement Design 31-407-012-423 การผลิตผลิตภัณฑ์คอนกรีตในภาคอุตสาหกรรม Production of Concrete Products for the Industry 31-407-012-445 วิศวกรรมระบบอาคารและสิ่งแวดล้อม Building and Environmental Systems Engineering

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
		31-407-012-333 วิศวกรรมฐานราก Foundation Engineering 31-407-011-344 วิศวกรรมชลศาสตร์ Hydraulic Engineering 31-407-013-333 วิศวกรรมฐานรากในงานระบบราง Foundation Engineering in Railway System 31-407-013-364 วิศวกรรมรถไฟ Railway Engineering
4	**การสืบค้น (Investigation)** - สามารถดำเนินการสืบค้นเพื่อหาคำตอบของ ปัญหาทางวิศวกรรมที่ซับซ้อน โดยใช้ความรู้จากงานวิจัยและวิธีการวิจัย รวมถึง การออกแบบการทดลอง การวิเคราะห์ และการแปลความหมายของข้อมูล การสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้ผลสรุปที่เชื่อถือได้	31-407-011-492 สหกิจศึกษา 1 Cooperative Education 1 31-407-011-493 การฝึกงาน 1 Practicum 1 31-407-011-494 สัมมนาโครงงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Project Seminar 31-407-011-495 โครงงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Project 31-407-011-222 วัสดุวิศวกรรมโยธาและการทดสอบ Civil Engineering Materials and Testing 31-407-011-332 ปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ Soil Mechanics Laboratory 31-407-010-242 ปฏิบัติการชลศาสตร์ Hydraulic Laboratory 31-407-012-333 วิศวกรรมฐานราก Foundation Engineering
5	**การใช้เครื่องมือทันสมัย (Modern Tool Usage)**	31-407-012-352 เทคนิคการก่อสร้างอาคาร

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
	- สามารถสร้าง เลือกใช้ เทคนิควิธี ทรัพยากร และ ใช้เครื่องมือทันสมัย ทางวิศวกรรมและเทคโนโลยี สารสนเทศ รวมถึงการพยากรณ์ การทำแบบจำลองของงานทางวิศวกรรมที่ซับซ้อนที่เข้าใจถึงข้อจำกัดของเครื่องมือต่าง ๆ	Building Construction Techniques 31-407-012-456 เทคโนโลยีการก่อสร้างและโครงสร้างพื้นฐาน Construction and Infrastructure Technology 31-407-012-423 การผลิตผลิตภัณฑ์คอนกรีตในภาคอุตสาหกรรม Production of Concrete Products for the Industry 31-407-012-417 การออกแบบคอนกรีตอัดแรง Prestressed Concrete Design 31-407-011-221 เทคโนโลยีคอนกรีต Concrete Technology 31-407-010-271 การสำรวจ Surveying 31-407-010-272 ปฏิบัติการสำรวจ Surveying Practice 31-407-010-273 การสำรวจภาคสนาม Field Survey 31-407-010-242 ปฏิบัติการชลศาสตร์ Hydraulic Laboratory 31-407-011-332 ปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ Soil Mechanics Laboratory 31-407-012-476 การรังวัดด้วยภาพถ่ายดิจิทัล Digital Photogrammetry 31-407-013-103 การปฏิบัติงานวิศวกรรมโยธาระบบราง Railway Civil Engineering Workshop 31-407-012-103 การปฏิบัติงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Workshop

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
		31-407-011-222 วัสดุวิศวกรรมโยธาและการทดสอบ Civil Engineering Materials and Testing
6	**วิศวกรและสังคม (The Engineer and Society)** - สามารถใช้เหตุและผลจากหลักการและความรู้ที่ ได้รับมาประเมินประเด็นและผลกระทบต่าง ๆ ทางสังคม ชีวอนามัย ความปลอดภัย กฎหมาย และวัฒนธรรม ที่เกี่ยวพันกับการปฏิบัติวิชาชีพวิศวกรรม	31-407-011-492 สหกิจศึกษา 1 Cooperative Education 1 31-407-011-493 การฝึกงาน 1 Practicum 1 31-407-011-491 การเตรียมความพร้อมการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ Preparation for Professional Experience 31-407-012-352 เทคนิคการก่อสร้างอาคาร Building Construction Techniques 31-407-012-456 เทคโนโลยีการก่อสร้างและโครงสร้างพื้นฐาน Construction and Infrastructure Technology
7	**สิ่งแวดล้อมและความยั่งยืน (Environment and Sustainability)** - สามารถเข้าใจผลกระทบของคำตอบของปัญหางานทางวิศวกรรมในบริบทของสังคมและสิ่งแวดล้อม และสามารถแสดงความรู้และความจำเป็นของการพัฒนาที่ยั่งยืน	31-407-011-221 เทคโนโลยีคอนกรีต Concrete Technology 31-407-012-445 วิศวกรรมระบบอาคารและสิ่งแวดล้อม Building and Environmental Systems Engineering 31-407-013-445 การประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับโครงการรถไฟ Environmental Impact Assessment for Railway Project 31-407-013-455 การบำรุงรักษาและความปลอดภัยของทางรถไฟ Railway Track Maintenance and Safety 31-407-013-465 การวางแผนระบบขนส่งมวลชนทางราง Planning of Rail Transit System 31-407-012-456 เทคโนโลยีการก่อสร้างและโครงสร้างพื้นฐาน

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
		Construction and Infrastructure Technology
8	**จรรยาบรรณวิชาชีพ (Ethics)** - สามารถใช้หลักการทางจรรยาบรรณและมีสำนึกรับผิดชอบต่อมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพวิศวกรรม	31-407-011-492 สหกิจศึกษา 1 Cooperative Education 1 31-407-011-493 การฝึกงาน 1 Practicum 1 31-407-011-313 การออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก Reinforced Concrete Design 31-407-011-315 การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก Timber and Steel Design 31-407-012-417 การออกแบบคอนกรีตอัดแรง Prestressed Concrete Design 31-407-012-333 วิศวกรรมฐานราก Foundation Engineering 31-407-011-361 วิศวกรรมขนส่ง Transportation Engineering 31-407-012-456 เทคโนโลยีการก่อสร้างและโครงสร้างพื้นฐาน Construction and Infrastructure Technology 31-407-012-457 นวัตกรรมอาคาร และ เทคโนโลยีอาคาร Building Innovation and Technology 31-407-013-333 วิศวกรรมฐานรากในงานระบบราง Foundation Engineering in Railway System
9	**การทำงานเดี่ยวและทำงานเป็นทีม (Individual and Team work)** - ทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านการทำงานเดี่ยว และการทำงานในฐานะ ผู้ร่วมทีมหรือ ผู้นำทีมที่มีความหลากหลายของสาขาวิชาชีพ	31-407-011-492 สหกิจศึกษา 1 Cooperative Education 1 31-407-011-493 การฝึกงาน 1 Practicum 1 31-407-011-494

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
		สัมมนาโครงงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Project Seminar 31-407-011-495 โครงงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Project 31-407-011-491 การเตรียมความพร้อมการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ Preparation for Professional Experience 31-407-010-242 ปฏิบัติการชลศาสตร์ Hydraulic Laboratory 31-407-010-271 การสำรวจ Surveying 31-407-010-272 ปฏิบัติการสำรวจ Surveying Practice 31-407-010-273 การสำรวจภาคสนาม Field Survey 31-407-011-332 ปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ Soil Mechanics Laboratory 31-407-012-103 การปฏิบัติงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Workshop 31-407-012-275 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Geographic Information System 31-407-012-455 การจัดการทางวิศวกรรม Engineering Management 31-407-012-476 การรังวัดด้วยภาพถ่ายดิจิทัล Digital Photogrammetry 31-407-013-419 โครงงานออกแบบบูรณาการ Capstone Design Project

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
		31-407-013-103 การปฏิบัติงานวิศวกรรมโยธาระบบราง Railway Civil Engineering Workshop 31-407-012-481 หัวข้อเฉพาะทางวิศวกรรมโยธา 1 Advanced Topics in Civil Engineering 1 31-407-012-482 หัวข้อเฉพาะทางวิศวกรรมโยธา 2 Advanced Topics in Civil Engineering 2 31-407-012-483 หัวข้อเฉพาะทางวิศวกรรมโยธา 3 Advanced Topics in Civil Engineering 3
10	**การสื่อสาร (Communication)** - สามารถสื่อสารงานวิศวกรรมที่ซับซ้อนกับกลุ่มผู้ปฏิบัติวิชาชีพวิศวกรรมและสังคมโดยรวมได้อย่างมีประสิทธิผล อาทิ สามารถอ่านและเขียนรายงาน ทางวิศวกรรมและเตรียมเอกสารการออกแบบงานวิศวกรรมได้อย่างมีประสิทธิผล สามารถนำเสนอ สามารถให้และรับคำแนะนำงานได้อย่างชัดเจน	31-407-011-492 สหกิจศึกษา 1 Cooperative Education 1 31-407-011-493 การฝึกงาน 1 Practicum 1 31-407-011-494 สัมมนาโครงงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Project Seminar 31-407-011-495 โครงงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Project 31-407-011-491 การเตรียมความพร้อมการฝึกประสบการณ์วิชาชีพ Preparation for Professional Experience 31-407-010-242 ปฏิบัติการชลศาสตร์ Hydraulic Laboratory 31-407-010-271 การสำรวจ Surveying 31-407-010-272 ปฏิบัติการสำรวจ Surveying Practice 31-407-010-273

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
		การสำรวจภาคสนาม Field Survey 31-407-011-332 ปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ Soil Mechanics Laboratory 31-407-012-103 การปฏิบัติงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Workshop 31-407-012-275 ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Geographic Information System 31-407-012-455 การจัดการทางวิศวกรรม Engineering Management 31-407-012-476 การรังวัดด้วยภาพถ่ายดิจิทัล Digital Photogrammetry 31-407-013-419 โครงงานออกแบบบูรณาการ Capstone Design Project 31-407-013-103 การปฏิบัติงานวิศวกรรมโยธาระบบราง Railway Civil Engineering Workshop
11	**การบริหารโครงการและการลงทุน (Project Management and Finance)** - สามารถแสดงว่ามีความรู้และความเข้าใจ หลักการทางวิศวกรรมและการบริหารงาน และสามารถประยุกต์ใช้หลักการบริหารในงานของตนในฐานะผู้ร่วมทีมและผู้นำทีมเพื่อบริหารจัดการ โครงการวิศวกรรมที่มีสภาพแวดล้อมการทำงาน ความหลากหลายสาขาวิชาชีพ	31-407-011-451 วิศวกรรมการก่อสร้างและการจัดการ Construction Engineering and Management 31-407-012-253 แบบจำลองสารสนเทศอาคาร Building Information Modeling 31-407-012-454 การประมาณราคาเพื่อการพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ Cost Estimation for Real Estate Development 31-407-012-455 การจัดการทางวิศวกรรม Engineering Management 31-407-013-454 การประมาณราคางานก่อสร้าง สำหรับโครงการรถไฟ

ลำดับ	ลักษณะบัณฑิตที่พึงประสงค์ (Graduate Attributes) ตามข้อตกลง Washington Accord	รายวิชา ในหลักสูตร
		Construction Cost Estimation for Railway Project 31-407-013-465 การวางแผนระบบขนส่งมวลชนทางราง Planning of Rail Transit System 31-407-013-466 การจัดการโลจิสติกส์และการขนส่งสินค้าทางราง Logistics and Railway Freight Management
12	**การเรียนรู้ตลอดชีพ (Lifelong Learning)** - ตระหนักและเห็นความจำเป็นในการเตรียมตัว เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้ โดยลำพังและสามารถการเรียนรู้ตลอดชีพเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรม	31-407-011-492 สหกิจศึกษา 1 Cooperative Education 1 31-407-011-493 การฝึกงาน 1 Practicum 1 31-407-011-494 สัมมนาโครงงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Project Seminar 31-407-011-495 โครงงานวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Project

ส่วนที่ 4 รายละเอียดและสาระของวิชาตามองค์ความรู้

1. ตารางแจกแจงรายวิชาเทียบกับองค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด (Curriculum Mapping)

ตารางการเทียบองค์ความรู้ สาขาวิศวกรรมโยธา
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
สำหรับผู้เข้าศึกษาปีการศึกษา 2567-2571

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
1. องค์ความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์			
1.1 ฟิสิกส์	กลศาสตร์ กลศาสตร์ของไหล สมบัติของสสาร ความร้อน และคลื่น สมรรถนะสำคัญ : วิเคราะห์ และอธิบายเหตุการณ์หรือปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันโดยใช้ความรอบรู้จากรายวิชาฟิสิกส์สำหรับวิศวกรโยธาได้	PHYS 1122 ฟิสิกส์สำหรับวิศวกรโยธา Physics for Civil Engineers	3(3-0-6)
	หลักการของการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ การวิเคราะห์ข้อมูล เทคนิคการเขียนกราฟ และการเขียนรายงาน ปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหา กลศาสตร์ กลศาสตร์ของไหล สมบัติของสสาร ความร้อน และคลื่น สมรรถนะสำคัญ : ใช้กระบวนการทางฟิสิกส์ในการปฏิบัติการทดลอง มีความสามารถวิเคราะห์ การแปลความหมายข้อมูล และนำเสนอได้อย่างถูกต้อง	PHYS 1123 ปฏิบัติการฟิสิกส์สำหรับวิศวกรโยธา Physics Laboratory for Civil Engineers	1(0-3-2)
1.2 เคมี	สสารและการวัด อะตอมและโครงสร้างอะตอม ตารางธาตุ พันธะเคมี ปริมาณสัมพันธ์ แก๊ส ของแข็ง ของเหลว สารละลาย แผนผังวัฏภาค จลนพลศาสตร์เคมี เทอร์โมไดนามิกส์ สมดุลเคมี กรด-เบส เคมีไฟฟ้า เคมีอินทรีย์ เคมีสิ่งแวดล้อม สมรรถนะสำคัญ : อธิบายทฤษฎีทางเคมีและเชื่อมโยงความรู้ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันได้ ประยุกต์ใช้ในศาสตร์ทางเคมีที่เกี่ยวข้องได้	CHEM 1119 เคมีสำหรับวิศวกรโยธา Chemistry for Civil Engineers	3(3-0-6)
	ปฏิกิริยาเคมีและปริมาณสัมพันธ์ สมบัติคอลลิเกทีฟ เทอร์โมไดนามิกส์ สมดุลเคมี การไทเทรตและอินดิเคเตอร์ ความว่องไวของโลหะ เคมีไฟฟ้า สารประกอบไฮโดรคาร์บอน การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สมรรถนะสำคัญ : มีทักษะการปฏิบัติการทางเคมี ความรับผิดชอบและมีจิตวิทยาศาสตร์ ทักษะทางการสื่อสาร สามารถทำงานกลุ่มร่วมกับผู้อื่นได้	CHEM 1120 ปฏิบัติการเคมีสำหรับวิศวกรโยธา Chemistry Laboratory for Civil Engineers	1(0-3-2)

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
1.3 คณิตศาสตร์เชิงวิศวกรรม	ลิมิตและความต่อเนื่อง อนุพันธ์ของฟังก์ชันและการประยุกต์ อินทิกรัล เทคนิคการอินทิเกรตและการประยุกต์ อินทิกรัลไม่ตรงแบบ ฟังก์ชันหลายตัวแปรและอนุพันธ์ย่อย อินทิกรัลสองชั้นและการประยุกต์ ลำดับและอนุกรมอนันต์ สมรรถนะสำคัญ : แสดงการหาลิมิตของฟังก์ชัน ตรวจสอบความต่อเนื่องของฟังก์ชัน หาค่าอินทิกรัลได้อย่างถูกต้อง และนำความรู้ไปแก้โจทย์ปัญหาเชิงประยุกต์ได้	MATH 1406 คณิตศาสตร์สำหรับวิศวกรโยธา 1 Mathematics for Civil Engineers I	3(3-0-6)
	สมการเชิงอนุพันธ์อันดับหนึ่งและอันดับสอง ผลการแปลงลาปลาส ปริภูมิสามมิติ อินทิกรัลสองชั้น อินทิกรัลสามชั้น อนุกรมฟูเรียร์ เวคเตอร์แคลคูลัส สนามเวกเตอร์ เกรเดียนต์ ไดเวอร์เจนซ์และเคิร์ล อินทิกรัลตามเส้นและทฤษฎีบทของกรีน อินทิกรัลตามผิว ทฤษฎีบทไดเวอร์เจนซ์ ทฤษฎีบทของสโตกส์ สมรรถนะสำคัญ : แสดงการแก้สมการเชิงอนุพันธ์ได้อย่างถูกต้อง และนำความรู้ไปแก้โจทย์ปัญหาเชิงประยุกต์ได้	MATH 1407 คณิตศาสตร์สำหรับวิศวกรโยธา 2 Mathematics for Civil Engineers II	3(3-0-6)
1.4 สถิติและความน่าจะเป็น	ทฤษฎีความน่าจะเป็น ตัวแปรสุ่ม การพิสูจน์เชิงสถิติ การวิเคราะห์ความแปรปรวน การถดถอยและสหสัมพันธ์ การใช้วิธีการทางสถิติเพื่อเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูลและในการวิจัย สมรรถนะสำคัญ : ประยุกต์ใช้สถิติในการวิเคราะห์และการวิจัยได้อย่างถูกต้องเหมาะสม	CIVL 2101 สถิติวิศวกรรม Engineering Statistics	3(3-0-6)
2. องค์ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม			
2.1 ความเข้าใจในแบบวิศวกรรม	การเขียนตัวหนังสือและตัวเลขในแบบวิศวกรรม ออโตกราฟฟิคโปรเจคชั่น การเขียนภาพออโตกราฟฟิคและการเขียนภาพพิคตอเรียล การกำหนดขนาดและความคลาดเคลื่อน ภาพตัด วิวช่วย และแผ่นคลี่ การสเก็ตภาพด้วยมือ การให้รายละเอียดและการเขียนภาพแอสเซมบรี พื้นฐานการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยเขียนแบบ สมรรถนะสำคัญ : อ่านและเขียนแบบวิศวกรรมโยธาด้วยมือและคอมพิวเตอร์ได้	CIVL 1102 การเขียนแบบวิศวกรรมโยธา Civil Engineering Drawing	3(2-3-6)
2.2 วัสดุวิศวกรรม	ความสัมพันธ์ระหว่าง โครงสร้าง สมบัติ กระบวนการผลิต และการประยุกต์ใช้งานของกลุ่มวัสดุวิศวกรรมหลัก อาทิ โลหะ พอลิเมอร์ เซรามิก และวัสดุรวม แผนภูมิสมดุลของเฟสและการแปลความสมบัติทางกล และ การเสื่อมสภาพของวัสดุ สมรรถนะสำคัญ : ประยุกต์ใช้ความรู้ทางวัสดุวิศวกรรมกับงานทางวิศวกรรมโยธา	CIVL 2104 วัสดุวิศวกรรม Engineering Materials	3(3-0-6)
2.3 คอมพิวเตอร์โปรแกรม	หลักการทำงานของคอมพิวเตอร์ ส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ การทำงานระหว่างซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ภาษาคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ฝึกฝนการเขียนโปรแกรม สมรรถนะสำคัญ : เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรมได้	CIVL 2102 การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Computer Programming	3(2-3-6)

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
2.4 กลศาสตร์วิศวกรรม	เวกเตอร์และระบบแรง ผลรวมของแรง สมดุล จุดศูนย์ถ่วงของวัตถุ แรงเสียดทาน โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่ โครงถัก โครงข้อแข็ง หลักการของงานเสมือน พลศาสตร์เบื้องต้น สมรรถนะสำคัญ : วิเคราะห์ระบบแรงของวัตถุแข็งเกร็ง โครงถัก โครงข้อแข็ง ในสภาวะสมดุลสถิต โดยใช้สมการสมดุลสถิต และหลักการของงานเสมือนได้	CIVL 1103 สถิตยศาสตร์วิศวกรรม Engineering Statics	3(3-0-6)
2.5 วิศวกรรมสำรวจ	ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับงานสำรวจ คำจำกัดความและชนิดของงานสำรวจ การวัดระยะและความคลาดเคลื่อน ทฤษฎีงานระดับและการทำงานระดับ มุมและทิศทาง การหาและคำนวณอาซิมุธในการทำวงรอบและปรับแก้ การทำเส้นชั้นความสูง และแผนที่ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในงานสำรวจทั่วไป สมรรถนะสำคัญ : คำนวณงานระดับและมุมในวงรอบพร้อมการปรับแก้ และทำเส้นชั้นความสูงและแผนที่ให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในงานสำรวจทั่วไป	CIVL 2401 การสำรวจ Surveying	3(3-0-6)
	การสำรวจ การนับก้าว การทำงานระดับด้วยกล้องระดับให้เข้าเกณฑ์ข้อกำหนดชั้นงานระดับ การทำงานระดับเป็นชุดต่อเนื่อง ทดสอบความถูกต้องของกล้องระดับ การทำระดับแบบสอบกลับ ศึกษาส่วนประกอบ และการใช้กล้องธีโอโดไลท์ การวัดมุมราบ และมุมดิ่ง การทำวงรอบและปรับแก้ การสำรวจภูมิประเทศ การเขียนแผนที่และทำรายละเอียดในแผนที่ สมรรถนะสำคัญ : ใช้งานกล้องระดับและกล้องธีโอโดไลท์ในการทำงานสำรวจได้อย่างมีประสิทธิภาพ เลือกใช้เครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ที่จำเป็นในงานทำระดับ งานวัดมุม การทำวงรอบ และการเขียนแผนที่ได้อย่างเชี่ยวชาญ	CIVL 2402 ปฏิบัติการสำรวจ Surveying Laboratory	1(0-3-2)
	การฝึกสำรวจภาคสนาม งานรังวัด สำรวจพื้นที่ การสร้างหมุดควบคุมทางราบและทางดิ่ง การจัดทำขอบเขตพื้นที่สำรวจ การเก็บรายละเอียดบนพื้นที่ การจัดทำแผนที่ภูมิประเทศ การคำนวณหาปริมาณงานเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางวิศวกรรม การจัดทำรายงานและเอกสารการสำรวจ สมรรถนะสำคัญ : ดำเนินงานสำรวจภาคสนาม จัดทำรายงานและเอกสารการสำรวจได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ	CIVL 2403 การฝึกสำรวจภาคสนาม Practical Training in Surveying	1(90)

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
3. องค์ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรม			
3.1 กลุ่มที่ 1 วิศวกรรมโครงสร้าง (Structural Engineering): มีความรู้ด้านวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้าง สามารถวิเคราะห์โครงสร้าง ออกแบบโครงสร้างภายใต้แรงกระทำในรูปแบบต่างๆ อาทิ แรงโน้มถ่วงของโลก แรงลม แรงแผ่นดินไหว และอื่นๆ	แรงและความเค้น ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ความเค้นในคาน แผนภาพแรงเฉือนและแผนภาพโมเมนต์ดัด การแอ่นตัวของคาน การบิด การโก่งเดาะของเสา วงกลมมอร์และความเค้นผสม เกณฑ์และทฤษฎีของการวิบัติ สมรรถนะสำคัญ : วิเคราะห์ความเค้น และการเสียรูปในองค์อาคารภายใต้แรงดึง แรงอัด แรงดัด แรงเฉือน และแรงบิดได้	CIVL 2201 กำลังวัสดุ Strength of Materials	3(3-0-6)
	หลักการเบื้องต้นของทฤษฎีโครงสร้าง แรงปฏิกริยา แรงเฉือน และโมเมนต์ดัดในโครงสร้างดีเทอร์มิเนท วิธีสถิตยศาสตร์รูปภาพ เส้นอิทธิพลสำหรับโครงสร้างดีเทอร์มิเนท วิเคราะห์การเสียรูปของโครงสร้างดีเทอร์มิเนทโดยวิธีต่าง ๆ เช่น วิธีโมเมนต์-แอเรีย วิธีคอนจูเกทบีม วิธีงานเสมือน ทฤษฎีพลังงาน สมรรถนะสำคัญ : วิเคราะห์แรงปฏิกิริยา แรงภายใน และการเสียรูปของโครงสร้างดีเทอร์มิเนทได้	CIVL 2202 ทฤษฎีโครงสร้าง Structural Theory	3(3-0-6)
	ชนิดและคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ ส่วนประกอบของคอนกรีตและการผสม การเท การลำเลียง การทำคอนกรีตให้แน่น การบ่มคอนกรีต การควบคุมคุณภาพคอนกรีต การออกแบบส่วนผสมคอนกรีต การทดสอบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด การทดสอบคอนกรีตสดโดยการหาค่าการยุบตัวและค่าการไหล การทดสอบคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วโดยการหาค่ากำลังอัด กำลังดึงแยก และกำลังดัดของคานคอนกรีต การทดสอบเหล็กและไม้โดยการหาค่ากำลังดึง กำลังดัดและกำลังเฉือน การทดสอบอิฐโดยการหาค่ากำลังอัดและการดูดกลืนน้ำ สมรรถนะสำคัญ : ออกแบบส่วนผสมคอนกรีต ควบคุมคุณภาพคอนกรีต ทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของวัสดุก่อสร้าง เช่น ไม้ เหล็ก คอนกรีต อิฐ ได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	CIVL 2203 เทคโนโลยีคอนกรีตและการทดสอบวัสดุ Concrete Technology and Material Testing	4(3-3-8)
	การวิเคราะห์โครงสร้างอินดีเทอร์มิเนทโดยวิธีเสียรูปที่สอดคล้อง วิธีมุมและการแอ่นตัว วิธีการกระจายโมเมนต์ เส้นอิทธิพลสำหรับโครงสร้างอินดีเทอร์มิเนท การวิเคราะห์โดยวิธีประมาณ การวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีเมทริกซ์เบื้องต้น การวิเคราะห์โครงสร้างแบบพลาสติกเบื้องต้น สมรรถนะสำคัญ : วิเคราะห์ค่าแรงปฏิกิริยา แรงภายใน และการเสียรูปของโครงสร้างอินดีเทอร์มิเนทได้	CIVL 3201 การวิเคราะห์โครงสร้าง Structural Analysis	3(3-0-6)

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
3.1 กลุ่มที่ 1 (ต่อ)	คอนกรีตและเหล็กเสริม พฤติกรรมและการออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อรองรับแรงอัด แรงดัด แรงบิด แรงเฉือน แรงยึดเหนี่ยว และปฏิสัมพันธ์ระหว่างแรงเหล่านี้ โดยวิธีหน่วยแรงใช้งานหรือวิธีกำลัง พื้นฐานการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเพื่อรองรับแรงลมและแรงแผ่นดินไหว ปฏิบัติการการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และการเขียนแบบแสดงรายละเอียด สมรรถนะสำคัญ : วิเคราะห์และออกแบบ องค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน หรือวิธีกำลังได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	CIVL 3202 การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก Design of Reinforced Concrete Structures	3(2-3-6)
	การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก องค์อาคารรับแรงดึง แรงอัด แรงดัด และแรงดัด-อัด ชิ้นส่วนหน้าตัดประกอบ คานเหล็กประกอบ การออกแบบจุดต่อยึด การออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้หรือวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก ปฏิบัติการการออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก และการเขียนแบบแสดงรายละเอียด สมรรถนะสำคัญ : วิเคราะห์และออกแบบองค์อาคารไม้และเหล็ก บนพื้นฐานของวิธีหน่วยแรงใช้งาน หรือวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกได้อย่างถูกต้องตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	CIVL 4201 การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก Design of Wood and Steel Structures	3(2-3-6)
3.2 กลุ่มที่ 2 วิศวกรรมการก่อสร้างและการจัดการ (Construction Engineering and Management):	หลักการและวิธีประมาณราคา การคำนวณปริมาณงานและการวิเคราะห์ราคา การจัดทำรายงานการคำนวณราคางานก่อสร้าง และการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการประมาณราคาเบื้องต้น จรรยาบรรณวิชาชีพและความรับผิดชอบตามกฎหมาย สมรรถนะสำคัญ : จัดทำรายงานการคำนวณราคางานก่อสร้าง และเลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการประมาณราคาเบื้องต้นได้อย่างเหมาะสม	CIVL 4301 การประมาณราคางานก่อสร้าง Construction Cost Estimating	3(3-0-6)
มีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอุตสาหกรรมก่อสร้าง แนวคิดและหลักการของเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม การบริหารโครงการ เทคโนโลยีเพื่อการก่อสร้างและการจัดการ และกฎหมายที่เกี่ยวข้อง	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับอุตสาหกรรมก่อสร้าง เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ระบบการจัดทำโครงการ การจัดองค์กรในงานก่อสร้าง การวางผังสถานที่ก่อสร้าง การวางแผนโครงการ วิธีการวางแผนแบบวิกฤต การจัดการทรัพยากร การวัดความก้าวหน้าของงาน ความปลอดภัยในงานก่อสร้าง ระบบควบคุมคุณภาพ การใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการบริหารงานก่อสร้าง กระบวนการจัดการงานก่อสร้างอย่างยั่งยืน กฎหมายที่เกี่ยวข้องในงานวิศวกรรมการก่อสร้างและการจัดการ และจรรยาบรรณแห่งวิชาชีพ สมรรถนะสำคัญ : ประยุกต์ใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมการก่อสร้างและการจัดการ ในการดำเนินการและบริหารโครงการก่อสร้างได้อย่างเหมาะสม	CIVL 4302 วิศวกรรมการก่อสร้างและการจัดการ Construction Engineering and Management	3(3-0-6)

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
3.3 กลุ่มที่ 3 วิศวกรรมขนส่ง (Transportation Engineering): มีความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการขนส่งคนและสินค้า ความรู้เบื้องต้นในการออกแบบทางกายภาพของระบบขนส่ง การออกแบบสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับคนเดินเท้าและจักรยาน ระบบขนส่งสาธารณะ การเชื่อมต่อระหว่างการขนส่งหลายรูปแบบ และวิศวกรรมการทาง	ประวัติพัฒนาการของทาง หลักการวางแผนทางและวิเคราะห์การจราจร เศรษฐศาสตร์วิศวกรรมงานทาง การออกแบบเรขาคณิต วัสดุงานทาง การออกแบบโครงสร้างทางและผิวทาง การก่อสร้างและบำรุงรักษาทาง ถนนในหมู่บ้านและทางในชนบท สมรรถนะสำคัญ : ออกแบบและควบคุมงานก่อสร้างทาง และแก้ไขปัญหาทางชำรุดได้อย่างมีหลักการและมีประสิทธิภาพ	CIVL 3701 วิศวกรรมการทาง Highway Engineering	3(3-0-6)
	การวิเคราะห์มวลรวมโดยการคละขนาดของมวลรวม การสูญเสียมวลรวมจากการขัดสีโดยวิธีลอสแองเจลลิส การบดอัดดิน ความหนาแน่นของดินในสนาม ซีบีอาร์ การทดสอบแรงแบกทานของดิน การทดสอบสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์โดยความต้านทานการเจาะทะลุ ความเหนียว การทดสอบมาร์แชลล์ การหลุดลอกของมวลรวม การทรุดตัวของผิวทางโดยเบนเคิลแมนบีม สมรรถนะสำคัญ : คำนวณค่าดัชนีต่าง ๆ ที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงของทางปฏิบัติการควบคุมคุณภาพวัสดุงานทางได้	CIVL 3702 ปฏิบัติการวิศวกรรมการทาง Highway Engineering Laboratory	1(0-3-2)
	ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการขนส่งคนและสินค้า การวางแผนพัฒนาและบริการระบบขนส่ง แบบจำลองการขนส่ง วิศวกรรมจราจร ความรู้เบื้องต้นในการออกแบบทางกายภาพของระบบขนส่ง ระบบขนส่งสาธารณะ การขนส่งทางราง การขนส่งทางถนน สิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับคนเดินเท้าและจักรยาน การขนส่งทางน้ำ การขนส่งทางท่อ การขนส่งทางอากาศ การเชื่อมต่อการขนส่งหลายรูปแบบ สมรรถนะสำคัญ : วางแผนและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานระบบขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ	CIVL 4701 วิศวกรรมขนส่ง Transportation Engineering	3(3-0-6)
3.4 กลุ่มที่ 4 วิศวกรรมแหล่งน้ำ (Water Resources Engineering): มีความสามารถในการวิเคราะห์กลศาสตร์ของไหล มีความรู้ด้านอุทกวิทยา ออกแบบงานด้านวิศวกรรมชลศาสตร์และแหล่งน้ำ	คุณสมบัติของของไหล สถิตยศาสตร์ของของไหล สมการโมเมนตัม สมการพลังงาน สมการการไหลต่อเนื่อง การไหลในท่อ การไหลในทางน้ำเปิด การวัดอัตราการไหล การวิเคราะห์มิติเชิงหน่วยและความคล้ายคลึงทางชลศาสตร์ และการไหลไม่คงที่ สมรรถนะสำคัญ : แก้ปัญหาทางวิศวกรรมโยธาโดยใช้ทฤษฎีทางชลศาสตร์ได้	CIVL 2601 ชลศาสตร์ Hydraulics	3(3-0-6)
	ปฏิบัติการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและสถิตยศาสตร์ของของไหล การไหลในท่อ การไหลในทางน้ำเปิด เครื่องจักรกลชลศาสตร์ สมรรถนะสำคัญ : ทดสอบทางชลศาสตร์ คำนวณ วิเคราะห์ และนำเสนอได้อย่างถูกต้อง	CIVL 2602 ปฏิบัติการชลศาสตร์ Hydraulics Laboratory	1(0-3-2)
	ระบบและกระบวนการทางอุทกวิทยา วัฏจักรของน้ำ การเกิดและการวิเคราะห์น้ำฝน การระเหยและการคายน้ำ การดูดซึมของดินและอัตราการสูญเสีย การวัดน้ำท่า ไฮโดรกราฟของน้ำท่า การเคลื่อนที่ของน้ำหลาก การวิเคราะห์ความถี่ของน้ำหลาก และอุทกวิทยาน้ำใต้ดิน สมรรถนะสำคัญ : ประเมินปัญหาด้านอุทกวิทยาวิศวกรรมได้อย่างถูกต้อง	CIVL 3601 อุทกวิทยา Hydrology	3(3-0-6)

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	เนื้อหาวิชาที่เทียบกับองค์ความรู้	ชื่อวิชา	ภาระ (หน่วยกิต/ชั่วโมง)
3.4 กลุ่มที่ 4 (ต่อ)	การวางแผนพัฒนาแหล่งน้ำ บทบาทของอุทกวิทยาในงานวิศวกรรมชลศาสตร์ อ่างเก็บน้ำ เขื่อนชนิดต่าง ๆ และโครงสร้างที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์และออกแบบระบบท่อส่งน้ำ การออกแบบการไหลในทางน้ำเปิด เครื่องจักรกลทางชลศาสตร์ โครงสร้างทางชลศาสตร์ แบบจำลองชลศาสตร์ และการระบายน้ำ สมรรถนะสำคัญ : วิเคราะห์และออกแบบระบบและโครงสร้างทางวิศวกรรมชลศาสตร์ได้อย่างเหมาะสม	CIVL 4601 วิศวกรรมชลศาสตร์ Hydraulics Engineering	3(3-0-6)
3.5 กลุ่มที่ 5 วิศวกรรมเทคนิคธรณี (Geotechnical Engineering): มีความรู้พื้นฐานในการวิเคราะห์สมบัติของดินด้านวิศวกรรม วิเคราะห์การวิบัติของดินและแนวทางการแก้ไข สามารถเลือกใช้วิธีการออกแบบฐานรากและระบบป้องกันดิน	กำเนิดของดิน ดัชนีคุณสมบัติของดินและการจำแนกดิน การบดอัดดิน การซึมผ่านและปัญหาจากการไหลของน้ำใต้ดิน ทฤษฎีความเค้นประสิทธิผลในดิน การกระจายความเค้นในดิน ทฤษฎีการอัดตัวของดิน ทฤษฎีการอัดตัวคายน้ำของดิน กำลังรับแรงเฉือนของดิน ทฤษฎีแรงดันดิน เสถียรภาพของหน้าลาด ทฤษฎีกำลังรับแรงแบกทานของดิน สมรรถนะสำคัญ : คำนวนคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของดินและวิเคราะห์ปัญหาต่าง ๆ ทางด้านปฐพีได้อย่างถูกต้อง	CIVL 3501 ปฐพีกลศาสตร์ Soil Mechanics	3(3-0-6)
	การเก็บและเตรียมตัวอย่างดิน หลักการเจาะสำรวจและการทดสอบการเจาะหยั่งแบบมาตรฐาน การหาความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน การวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินโดยตะแกรง การวิเคราะห์ขนาดเม็ดดินโดยไฮโดรมิเตอร์ การหาพิกัดความข้นเหลวและพิกัดพลาสติก การทดลองหาความซึมผ่านได้แบบความดันคงที่ การทดลองหาความซึมผ่านได้แบบความดันแปรเปลี่ยน การหาพิกัดการหดตัว การทดสอบการบดอัดดิน การทดลองการอัดตัวคายน้ำในทิศทางเดียว การทดลองหากำลังเฉือนโดยตรง การทดสอบการอัดทางเดียว การกดอัดสามทาง สมรรถนะสำคัญ : ลงมือปฏิบัติตามมาตรฐานที่กำหนด และวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบในงานวิศวกรรมธรณีได้อย่างถูกต้อง	CIVL 3502 ปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ Soil Mechanics Laboratory	1(0-3-2)
	การสำรวจใต้ผิวดิน กำลังแบกทานของฐานราก การออกแบบฐานรากแผ่และฐานรากวางบนเสาเข็ม การวิเคราะห์การทรุดตัว ปัญหาจากแรงดันดิน โครงสร้างกันดินและเข็มพืด การปรับปรุงดิน พื้นฐานการวิเคราะห์การวิบัติของดินและแนวทางการแก้ไข พื้นฐานการขุดดินและค้ำยันป้องกันโดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พื้นฐานด้านการออกแบบโดยการประยุกต์ใช้หลักการพัฒนาที่ยั่งยืน สมรรถนะสำคัญ : วิเคราะห์ ออกแบบและแก้ปัญหางานโครงสร้างใต้ดิน รวมถึงประยุกต์และต่อยอดองค์ความรู้เพื่อใช้กับงานทางด้านวิศวกรรมฐานรากได้อย่างถูกต้อง	CIVL 3503 วิศวกรรมฐานราก Foundation Engineering	3(3-0-6)

2. ตารางแสดงผู้สอนในแต่ละองค์ความรู้

ตารางการเทียบองค์ความรู้ สาขาวิศวกรรมโยธา
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
สำหรับผู้เข้าศึกษาปีการศึกษา 2567-2571

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	ภาระหน่วยกิต	รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน
1. องค์ความรู้พื้นฐานทางวิทยาศาสตร์				
1.1 ฟิสิกส์	PHYS 1122	Physics for Civil Engineers	3(3-0-6)	ผศ.ดร.ฉัตรชัย เครืออินทร์ วท.บ. ฟิสิกส์ (มช.) ป.บัณฑิต วิชาชีพครู (มช.) วท.ม. ฟิสิกส์ (มช.) ปร.ด. ฟิสิกส์ประยุกต์ (มช.) ประสบการณ์สอน 17 ปี ผศ.ดร.จิราภรณ์ ปุณยวัจน์พรกุล ค.บ. ฟิสิกส์ (มร.ชม.) วท.ม. ฟิสิกส์ประยุกต์ (มช.) ปร.ด. ฟิสิกส์ประยุกต์ (มช.) ประสบการณ์สอน 15 ปี
	PHYS 1123	Physics Laboratory for Civil Engineers	1(0-3-2)	ผศ.ดร.ฉัตรชัย เครืออินทร์ วท.บ. ฟิสิกส์ (มช.) ป.บัณฑิต วิชาชีพครู (มช.) วท.ม. ฟิสิกส์ (มช.) ปร.ด. ฟิสิกส์ประยุกต์ (มช.) ประสบการณ์สอน 17 ปี ผศ.ดร.จิราภรณ์ ปุณยวัจน์พรกุล ค.บ. ฟิสิกส์ (มร.ชม.) วท.ม. ฟิสิกส์ประยุกต์ (มช.) ปร.ด. ฟิสิกส์ประยุกต์ (มช.) ประสบการณ์สอน 15 ปี
1.2 เคมี	CHEM 1119	Chemistry for Civil Engineers	3(3-0-6)	อ.ดร.นภารัตน์ จิวาลักษณ์ วศ.บ. วิศวกรรมเคมี (มทส.) วศ.ม. วิศวกรรมเคมี (มทส.) วท.ด. เคมี (มทส.) ประสบการณ์สอน 19 ปี

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	ภาระหน่วยกิต	รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน
1.2 (ต่อ)	CHEM 1120	Chemistry Laboratory for Civil Engineers	1(0-3-2)	อ.ดร.นภารัตน์ จิวาลักษณ์ วศ.บ. วิศวกรรมเคมี (มทส.) วศ.ม. วิศวกรรมเคมี (มทส.) วท.ด. เคมี (มทส.) ประสบการณ์สอน 19 ปี
1.3 คณิตศาสตร์เชิงวิศวกรรม	MATH 1406	Mathematics for Civil Engineers I	3(3-0-6)	ผศ.ดร.เอกพงษ์ ดวงดาย วท.บ. คณิตศาสตร์ (มช.) วท.ม. คณิตศาสตร์ (มช.) ปร.ด. คณิตศาสตร์ (มช.) ประสบการณ์สอน 6 ปี ผศ.ดร.สุภาลิน เตี้ยมมี วท.บ. คณิตศาสตร์ (มช.) ปร.ด. คณิตศาสตร์ (มช.) ประสบการณ์สอน 5 ปี
	MATH 1407	Mathematics for Civil Engineers II	3(3-0-6)	ผศ.ดร.เอกพงษ์ ดวงดาย วท.บ. คณิตศาสตร์ (มช.) วท.ม. คณิตศาสตร์ (มช.) ปร.ด. คณิตศาสตร์ (มช.) ประสบการณ์สอน 6 ปี ผศ.ดร.สุภาลิน เตี้ยมมี วท.บ. คณิตศาสตร์ (มช.) ปร.ด. คณิตศาสตร์ (มช.) ประสบการณ์สอน 5 ปี
1.4 สถิติและความน่าจะเป็น	CIVL 2101	Engineering Statistics	3(3-0-6)	อ.ดร.ปิยะชาติ เวียงนาค วท.บ. สถิติ (มช.) วท.ม. สถิติประยุกต์ (มช.) Ph.D. Mathematics (UTA, U.S.A.) ประสบการณ์สอน 19 ปี
2. องค์ความรู้พื้นฐานทางวิศวกรรม				
2.1 ความเข้าใจในแบบวิศวกรรม	CIVL 1102	Civil Engineering Drawing	3(2-3-6)	ผศ.ดร.เวชสวรรค์ หล้ากาศ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (รม.ภาคพายัพ) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มจธ.) ปร.ด. การพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชน (มร.ชม.) ประสบการณ์สอน 25 ปี

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	ภาระหน่วยกิต	รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน
2.2 วัสดุวิศวกรรม	CIVL 2104	Engineering Materials	3(3-0-6)	ผศ.ดร.เวชสวรรค์ หล้ากาศ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (รม.ภาคพายัพ) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มจธ.) ปร.ด. การพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชน (มร.ชม.) ประสบการณ์สอน 25 ปี
2.3 คอมพิวเตอร์โปรแกรม	CIVL 2102	Computer Programming	3(2-3-6)	อ.ดร.พิรุฬห์ แก้วฟุ้งรังษี วศ.บ. อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ (สจล.) วศ.ม. วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (มข.) ปร.ด. วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (มข.) ประสบการณ์สอน 15 ปี
2.4 กลศาสตร์วิศวกรรม	CIVL 1103	Engineering Statics	3(3-0-6)	ผศ.ดร.ไกรสร ลักษณ์ศิริ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มข.) M.S. Civil Engineering (OSU, USA) Ph.D. Wood Science and Civil Engineering (OSU, USA) ประสบการณ์สอน 26 ปี อ.ณัฐชนก เอื้อตรงจิตต์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มข.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มข.) ประสบการณ์สอน 7 ปี อ.ศีลวัตร สาธร วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มข.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มข.) ประสบการณ์สอน 4 ปี
2.5 วิศวกรรมสำรวจ	CIVL 2401	Surveying	3(3-0-6)	อ.ดร.นันทนัช จินตพิทักษ์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มข.) ร.บ. ความสัมพันธ์ระหว่างประเทศและการเมืองการปกครองเปรียบเทียบ (มสธ.) น.บ. (มสธ.) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มข.) วศ.ด. วิศวกรรมโยธา (มข.) ประสบการณ์สอน 4 ปี อ.ศีลวัตร สาธร วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มข.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มข.) ประสบการณ์สอน 4 ปี

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	ภาระหน่วยกิต	รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน
2.5 (ต่อ)	CIVL 2402	Surveying Laboratory	1(0-3-2)	อ.ดร.นันทนัช จินตพิทักษ์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) ร.บ. ความสัมพันธ์ระหว่างประเทศและการเมืองการปกครองเปรียบเทียบ (มสธ.) น.บ. (มสธ.) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มช.) วศ.ด. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 4 ปี อ.ศีลวัตร สาธร วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 4 ปี
	CIVL 2403	Practical Training in Surveying	1(90)	อ.ดร.นันทนัช จินตพิทักษ์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) ร.บ. ความสัมพันธ์ระหว่างประเทศและการเมืองการปกครองเปรียบเทียบ (มสธ.) น.บ. (มสธ.) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มช.) วศ.ด. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 4 ปี อ.ศีลวัตร สาธร วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 4 ปี
3. องค์ความรู้เฉพาะทางวิศวกรรม				
3.1 กลุ่มที่ 1 วิศวกรรมโครงสร้าง (Structural Engineering)	CIVL 2201	Strength of Materials	3(3-0-6)	ผศ.ดร.ไกรสร ลักษณ์ศิริ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) M.S. Civil Engineering (OSU, USA) Ph.D. Wood Science and Civil Engineering (OSU, USA) ประสบการณ์สอน 26 ปี อ.ณัฐชนก เอื้อตรงจิตต์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 7 ปี อ.ศีลวัตร สาธร วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 4 ปี

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	ภาระหน่วยกิต	รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน
3.1 (ต่อ)	CIVL 2202	Structural Theory	3(3-0-6)	ผศ.ดร.ไกรสร ลักษณ์ศิริ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) M.S. Civil Engineering (OSU, USA) Ph.D. Wood Science and Civil Engineering (OSU, USA) ประสบการณ์สอน 26 ปี อ.ณัฐชนก เอื้อตรงจิตต์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 7 ปี อ.ศีลวัตร สาธร วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 4 ปี
	CIVL 2203	Concrete Technology and Material Testing	4(3-3-8)	ผศ.ดร.ไกรสร ลักษณ์ศิริ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) M.S. Civil Engineering (OSU, USA) Ph.D. Wood Science and Civil Engineering (OSU, USA) ประสบการณ์สอน 26 ปี อ.ณัฐชนก เอื้อตรงจิตต์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 7 ปี อ.ศีลวัตร สาธร วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 4 ปี
	CIVL 3201	Structural Analysis	3(3-0-6)	ผศ.ดร.ไกรสร ลักษณ์ศิริ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) M.S. Civil Engineering (OSU, USA) Ph.D. Wood Science and Civil Engineering (OSU, USA) ประสบการณ์สอน 26 ปี อ.ณัฐชนก เอื้อตรงจิตต์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 7 ปี

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	ภาระหน่วยกิต	รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน
3.1 (ต่อ)				อ.ศีลวัตร สาธร วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 4 ปี
	CIVL 3202	Design of Reinforced Concrete Structures	3(2-3-6)	ผศ.ดร.ไกรสร ลักษณ์ศิริ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) M.S. Civil Engineering (OSU, USA) Ph.D. Wood Science and Civil Engineering (OSU, USA) ประสบการณ์สอน 26 ปี อ.ณัฐชนก เอื้อตรงจิตต์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 7 ปี อ.ศีลวัตร สาธร วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 4 ปี
	CIVL 4201	Design of Wood and Steel Structures	3(2-3-6)	ผศ.ดร.ไกรสร ลักษณ์ศิริ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) M.S. Civil Engineering (OSU, USA) Ph.D. Wood Science and Civil Engineering (OSU, USA) ประสบการณ์สอน 26 ปี อ.ณัฐชนก เอื้อตรงจิตต์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 7 ปี อ.ศีลวัตร สาธร วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 4 ปี
3.2 กลุ่มที่ 2 วิศวกรรมการก่อสร้างและการจัดการ (Construction Engineering and Management)	CIVL 4301	Construction Cost Estimating	3(3-0-6)	ผศ.ดร.เวชสวรรค์ หล้ากาศ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (รม.ภาคพายัพ) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มจธ.) ปร.ด. การพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชน (มร.ชม.) ประสบการณ์สอน 25 ปี

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	ภาระหน่วยกิต	รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน
3.2 (ต่อ)				ผศ.ดร.พราวพรรณ อาสาสรรพกิจ วศ.บ. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (มช.) น.บ. (มสธ.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มช.) วศ.ด. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 19 ปี อ.ดร.นันทนัช จินตพิทักษ์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) ร.บ. ความสัมพันธ์ระหว่างประเทศและการเมืองการปกครองเปรียบเทียบ (มสธ.) น.บ. (มสธ.) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มช.) วศ.ด. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 4 ปี
	CIVL 4302	Construction Engineering and Management	3(3-0-6)	ผศ.ดร.เวชสวรรค์ หล้ากาศ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (รม.ภาคพายัพ) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มจธ.) ปร.ด. การพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชน (มร.ชม.) ประสบการณ์สอน 25 ปี ผศ.ดร.พราวพรรณ อาสาสรรพกิจ วศ.บ. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (มช.) น.บ. (มสธ.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มช.) วศ.ด. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 19 ปี อ.ดร.นันทนัช จินตพิทักษ์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) ร.บ. ความสัมพันธ์ระหว่างประเทศและการเมืองการปกครองเปรียบเทียบ (มสธ.) น.บ. (มสธ.) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มช.) วศ.ด. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 4 ปี

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	ภาระหน่วยกิต	รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน
3.3 กลุ่มที่ 3 วิศวกรรมขนส่ง (Transportation Engineering)	CIVL 3701	Highway Engineering	3(3-0-6)	ผศ.ดร.เสริมศักดิ์ พงษ์เมษา วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มทม.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (ม.อบ.) ประสบการณ์สอน 19 ปี
	CIVL 3702	Highway Engineering Laboratory	1(0-3-2)	ผศ.ดร.เสริมศักดิ์ พงษ์เมษา วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มทม.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (ม.อบ.) ประสบการณ์สอน 19 ปี
	CIVL 4701	Transportation Engineering	3(3-0-6)	ผศ.ดร.เสริมศักดิ์ พงษ์เมษา วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มทม.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (ม.อบ.) ประสบการณ์สอน 19 ปี
3.4 กลุ่มที่ 4 วิศวกรรมแหล่งน้ำ (Water Resources Engineering)	CIVL 2601	Hydraulics	3(3-0-6)	ผศ.ดร.พราวพรรณ อาสาสรรพกิจ วศ.บ. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (มช.) น.บ. (มสธ.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มช.) วศ.ด. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 19 ปี
	CIVL 2602	Hydraulics Laboratory	1(0-3-2)	ผศ.ดร.พราวพรรณ อาสาสรรพกิจ วศ.บ. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (มช.) น.บ. (มสธ.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มช.) วศ.ด. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 19 ปี
	CIVL 3601	Hydrology	3(3-0-6)	ผศ.ดร.พราวพรรณ อาสาสรรพกิจ วศ.บ. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (มช.) น.บ. (มสธ.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มช.) วศ.ด. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 19 ปี

องค์ความรู้ที่สภาวิศวกรกำหนด	รหัสวิชา	ชื่อวิชา	ภาระหน่วยกิต	รายชื่อและคุณวุฒิการศึกษาผู้สอน
3.4 (ต่อ)	CIVL 4601	Hydraulics Engineering	3(3-0-6)	ผศ.ดร.พราวพรรณ อาสาสรรพกิจ วศ.บ. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม (มช.) น.บ. (มสธ.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมและการบริหารการก่อสร้าง (มช.) วศ.ด. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 19 ปี
3.5 กลุ่มที่ 5 วิศวกรรมเทคนิคธรณี (Geotechnical Engineering)	CIVL 3501	Soil Mechanics	3(3-0-6)	อ.ดร.ศิริกันยา เลาสุวรรณ์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ด. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 7 ปี
	CIVL 3502	Soil Mechanics Laboratory	1(0-3-2)	อ.ดร.ศิริกันยา เลาสุวรรณ์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ด. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 7 ปี
	CIVL 3503	Foundation Engineering	3(3-0-6)	อ.ดร.ศิริกันยา เลาสุวรรณ์ วศ.บ. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ม. วิศวกรรมโยธา (มช.) วศ.ด. วิศวกรรมโยธา (มช.) ประสบการณ์สอน 7 ปี

หมายเหตุ: ชื่อย่อของสถาบันการศึกษา ดังนี้

มข.	หมายถึง	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
มช.	หมายถึง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มจธ.	หมายถึง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มทม.	หมายถึง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
มทส.	หมายถึง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
มร.ชม.	หมายถึง	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
มสธ.	หมายถึง	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
ม.อบ.	หมายถึง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
สจล.	หมายถึง	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รม.ภาคพายัพ	หมายถึง	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ
มร.ชม.	หมายถึง	สถาบันราชภัฏเชียงใหม่
OSU, U.S.A.	หมายถึง	Oregon State University, U.S.A.
UTA, U.S.A.	หมายถึง	University of Texas at Arlington, U.S.A.

CIVL3702

ปฏิบัติการงานทาง

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

2566

คำนำ

คู่มือปฏิบัติการ รายวิชา CIVL3702 ปฏิบัติการงานทาง ฉบับนี้ จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนในระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ มีเนื้อหาที่มุ่งเน้นให้ผู้เรียนมีความรู้ที่เกี่ยวข้องกับ คุณสมบัติของแอสฟัลต์และการใช้งานร่วมกับมวลรวม นอกจากนี้ยังสามารถอธิบายถึงหลักการ เหตุผลของการปฏิบัติการงานทาง และวัตถุประสงค์ในการทดสอบ สามารถลงมือปฏิบัติตามมาตรฐานที่กำหนดอย่างถูกต้อง

เนื้อหาในตำราเล่มนี้ประกอบด้วย การวิเคราะห์มวลรวมโดยการคละขนาดของมวลรวม การทดสอบเพื่อประเมินค่าพิกัดสถานะความคงตัวของมวลดิน การสูญเสียมวลรวมจากการขัดสีโดยวิธีลอสแองเจลลิส การบดอัดดิน ความหนาแน่นของดินในสนาม ซีบีอาร์ การทดสอบแรงแบกทานของดิน การทดสอบสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์โดยความต้านทานการเจาะทะลุ ความเหนียว การทดสอบมาร์แชลล์ การหลุดลอกของมวลรวม การทรุดตัวของผิวทางโดยเบนเคิลแมนบีม

ผู้เรียบเรียงหวังว่าคู่มือปฏิบัติการเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนในรายวิชา CIVL3702 ปฏิบัติการงานทาง ในการเรียบเรียงคู่มือปฏิบัติการฉบับนี้ ผู้เรียบเรียงได้นำเนื้อหาและภาพประกอบบางส่วนมาจากหลายแหล่งข้อมูล (ภาพประกอบใดที่ไม่ได้ระบุแหล่งที่มา เป็นภาพที่ผู้เรียบเรียงได้จัดทำขึ้นด้วยตนเอง) ซึ่งหากมีข้อผิดพลาดใดๆ ผู้เรียบเรียงยินดีน้อมรับ และหากมีข้อเสนอแนะใดๆ ผู้เรียบเรียงยินดีรับฟังและจะนำไปปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้นในโอกาสต่อไป

หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
เมษายน 2566

สารบัญ

หน้า

คำนำ

สารบัญ ก

ปฏิบัติการที่ 1 การวิเคราะห์มวลรวมโดยการคละขนาดของมวลรวม **1**

1. บทนำ 1
2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ 3
3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 3
4. วิธีการทดสอบ 4
5. บทวิเคราะห์วิจารณ์ 5

ปฏิบัติการที่ 2 การทดสอบเพื่อประเมินค่าพิกัดสถานะความคงตัวของมวลดิน (การประเมินค่าพิกัดอัตตาเบอร์ก) **7**

1. บทนำ 7
2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ 13
3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 13
4. วิธีการทดสอบ 15
5. บทวิเคราะห์วิจารณ์ 18

ปฏิบัติการที่ 3 การทดสอบการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ **20**

1. บทนำ 20
2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ 23
3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 24
4. วิธีการทดสอบ 24
5. บทวิเคราะห์วิจารณ์ 25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ปฏิบัติการที่ 4 การสูญเสียมวลรวมจากการขัดสีโดยวิธีลอสแองเจลลิส	**27**
1. บทนำ	27
2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ	28
3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	28
4. วิธีการทดสอบ	29
5. บทวิเคราะห์วิจารณ์	31
ปฏิบัติการที่ 5 การทดสอบประเมินความหนาแน่นของมวลดินภาคสนาม โดยวิธีแทนที่ด้วยทราย	**33**
1. บทนำ	33
2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ	36
3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	36
4. วิธีการทดสอบ	37
5. บทวิเคราะห์วิจารณ์	39
ปฏิบัติการที่ 6 ซี.บี.อาร์.	**42**
1. บทนำ	42
2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ	43
3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	44
4. วิธีการทดสอบ	45
5. บทวิเคราะห์วิจารณ์	47
ปฏิบัติการที่ 7 การทดสอบแรงแบกทานของดิน	**52**
1. บทนำ	52
2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ	53
3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	53
4. วิธีการทดสอบ	54
5. บทวิเคราะห์วิจารณ์	56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ปฏิบัติการที่ 8 การทดสอบสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์โดยทดสอบความเหนียวของบิทูเมน 58

1. บทนำ 60
2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ 60
3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 60
4. วิธีการทดสอบ 60
5. บทวิเคราะห์วิจารณ์ 62

ปฏิบัติการที่ 9 การทดสอบสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์โดยความต้านทานการเจาะทะลุ 63

1. บทนำ 63
2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ 65
3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 65
4. วิธีการทดสอบ 66
5. บทวิเคราะห์วิจารณ์ 67

ปฏิบัติการที่ 10 ทดสอบการหลุดลอกของมวลรวม 68

1. บทนำ 68
2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ 69
3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 69
4. วิธีการทดสอบ 70
5. บทวิเคราะห์วิจารณ์ 71

ปฏิบัติการที่ 11 การทดสอบสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์โดยวิธีมาร์แชลล์ 72

1. บทนำ 72
2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ 76
3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ 77
4. วิธีการทดสอบ 78
5. บทวิเคราะห์วิจารณ์ 81

สารบัญ (ต่อ)

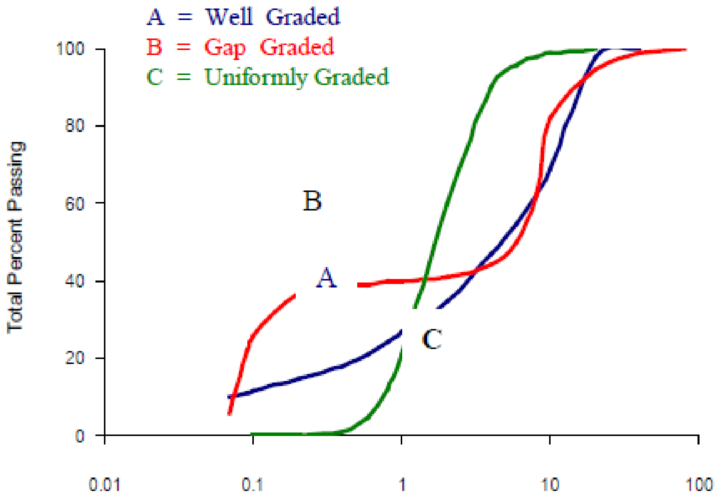
	หน้า
ปฏิบัติการที่ 12 ทดสอบการการทรุดตัวของผิวทางโดยเบนเคิลแมนบีม	**84**
1. บทนำ	84
2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ	85
3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	85
4. วิธีการทดสอบ	86
5. บทวิเคราะห์วิจารณ์	89
บรรณานุกรม	**91**

ปฏิบัติการที่ 1
การวิเคราะห์มวลรวมโดยการคละขนาดของมวลรวม
(SIEVE ANALYSIS)

1. บทนำ

มวลดินอาจประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาด เช่น 5 ซม. ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 มม. ซึ่งไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดิน มวลดินที่มีเม็ดใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนมากจะไม่มีความเหนียวหรือแรงยึดเกาะระหว่างเม็ด เช่น ดินทราย (Cohesion less Soil) ส่วนดินที่มีส่วนประกอบเป็นเม็ดเล็กมาก เช่น ดินเหนียว (Cohesive Soil) นอกจากนั้นขนาดเม็ดดินยังมีอิทธิพลกับ การซึมน้ำ, การรับแรง, อัตราการทรุดตัว และอื่น ๆ อีกมาก การหาขนาดเม็ดดิน อาจทำได้ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่นิยมปฏิบัติกันแพร่หลายคือ วิธีร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องขนาดต่าง ๆ มักใช้กับดินที่มีขนาด 0.075 มม. ขึ้นไป

การกระจายขนาดเม็ดดิน มักแสดงด้วยกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดในสเกลลอการิทึม (Logarithmic Scale) และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่าที่ระบุ (Percent Finer) ซึ่งเรียกว่า กราฟการกระจายขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve) ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กราฟการกระจายขนาดของเม็ดดิน

Well Graded	คือ การกระจายของเม็ดดิน ที่มีการคละกันสม่ำเสมอทุกขนาดของเม็ดดินในสัดส่วนที่พอเหมาะ
Gab Graded	คือ ลักษณะการกระจายของเม็ดดิน ซึ่งมีขนาดของเม็ดดินบางขนาดขาดไปจากส่วนคละของมวลดิน
Uniformly Graded	คือ ลักษณะการกระจายของเม็ดดิน ซึ่งมีการคละกันสม่ำเสมอในช่วงของขนาดเม็ดดินที่ไม่กว้างมาก

การกำหนดการกระจายขนาดของเม็ดดินที่ใช้ในงานก่อสร้างนั้น จะกำหนดการกระจายขนาดของเม็ดดินที่บดอัดแล้ว ทำให้ได้ค่าความแน่นได้ดีที่สุด ซึ่งอาจจะมีหลายกลุ่มการกระจายที่สามารถใช้ได้ ดังเช่น การกระจายขนาดเม็ดดินของวัสดุรองพื้นทาง (มทช.202-2557) เป็นตามตารางที่ 1.1 และ วัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก (มทช.203-2557) เป็นตามตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.1 ขนาดคละของวัสดุรองพื้นทาง

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

ตารางที่ 1.2 ขนาดคละของวัสดุพื้นทางชนิดหินคลุก

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

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

2.1. เพื่อหาค่าการกระจายขนาดของเม็ดดิน โดยการร่อนด้วยตะแกรงมาตรฐาน

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.1. ตะแกรงร่อนกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8” มีช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งจะประกอบด้วยขนาดต่างๆ ตั้งแต่ 2” ถึง เบอร์ 200 ตามชนิดของวัสดุ

3.2. เครื่องเขย่าตะแกรง

3.3. เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้ 5,000 กรัม ละเอียด 0.01 กรัม

3.4. ตู้อบวัสดุ

3.5. เครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample splitter)

3.6. แปรงปัด สำหรับทำความสะอาดตะแกรง

รูปที่ 1.2 ชุดตะแกรงมาตรฐานสหรัฐอเมริกา(US Standard Sieve Series)

รูปที่ 1.3 เครื่องเขย่า

รูปที่ 1.4 เครื่องแบ่งตัวอย่าง

รูปที่ 1.5 เครื่องชั่งวัสดุ

รูปที่ 1.6 ตู้อบวัสดุ

4. วิธีการทดสอบ

4.1 นำตัวอย่างวัสดุมาคลุกให้เข้ากัน ทำให้ส่วนที่จับเป็นก้อนแตกออกจากกัน โดยใช้ค้อนยางทุบ และเตรียมตัวอย่างที่จะเป็นตัวแทนของวัสดุ โดยใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง จากนั้นนำไปอบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ ที่อุณหภูมิ 60° C

4.2 ชั่งตัวอย่างที่อบแห้งแล้ว โดยให้ได้น้ำหนักของตัวอย่างที่เมื่ออบแห้งแล้วไม่น้อยกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน(แนะนำให้ใช้น้ำหนักวัสดุ 1,000 กรัม)

4.3 เลือกตะแกรงร่อนขนาดช่องผ่านต่างๆ ตามมาตรฐาน สำหรับการทดสอบวัสดุตัวอย่างนั้นๆ

4.4 ตรวจสอบว่าตะแกรงร่อน มีส่วนชำรุดหรือไม่ จากนั้นประกอบตะแกรงทั้งชุดและใส่ตัวอย่างวัสดุที่ชั่งน้ำหนักแล้ว

4.5 เขย่าด้วยเครื่องเขย่า จนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละขนาดใน 1 นาที ไม่เกินร้อยละ 1 หรือ เขย่านานทั้งหมด 15 นาที

4.6 ชั่งน้ำหนัก ที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด หา น้ำหนัก ที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด จากนั้นนำไปคำนวณหาค่าร้อยละของวัสดุที่ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก

5. บทวิเคราะห์วิจารณ์

5.1. การเก็บตัวอย่างวัสดุไม่ถูกต้องทำให้ได้วัสดุที่นำมาทดสอบไม่ใช่ตัวแทนของวัสดุทั้งหมด ซึ่งการเก็บวัสดุที่จะนำมาทำการทดสอบต้องเก็บให้ได้ตามมาตรฐานและสามารถเป็นตัวแทนของวัสดุทั้งหมดได้

5.2. การเตรียมตัวอย่างวัสดุที่จะทำการทดสอบไม่ถูกต้อง ไม่ได้ทำการแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) หรือ ด้วยวิธีแบ่งสี่ (Quartering) ซึ่งทำให้ผลการทดสอบไม่ถูกต้อง การเตรียมตัวอย่างต้องทำการแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) หรือด้วยวิธีแบ่งสี่ (Quartering) วิธีใดวิธีหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ตัวอย่างวัสดุที่นำมาทำการทดสอบมีการคลุกเคล้าที่ดี ทำให้ผลการทดสอบมีความถูกต้อง

5.3. การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง ต้องใช้เครื่องที่มีขนาดช่องกว้างประมาณ 1½ เท่าของก้อนโตที่สุด

5.4. ตะแกรงร่อนชำรุดเสียหาย สกปรก ก่อนทำการทดสอบควรตรวจดูตะแกรงร่อนวัสดุว่ามีความชำรุดเสียหายหรือไม่ ถ้าชำรุดต้องซ่อมก่อนใช้ โดยเฉพาะเบอร์ 200 (0.075 มม.) และทำความสะอาดตะแกรงร่อนก่อนนำมาทำการทดสอบ ไม่ควรใส่วัสดุลงในตะแกรงขณะที่ยังมีความร้อนอยู่

5.5. วัสดุเกาะติดกันเป็นก้อน ก่อนทำการทดสอบวัสดุที่เกาะกันเป็นก้อนจะต้องทำการทุบด้วยค้อนยาง เพื่อให้วัสดุแยกออกจากกัน และระวังเวลาทำการทุบต้องไม่แรงมากจนทำให้เม็ดวัสดุแตก

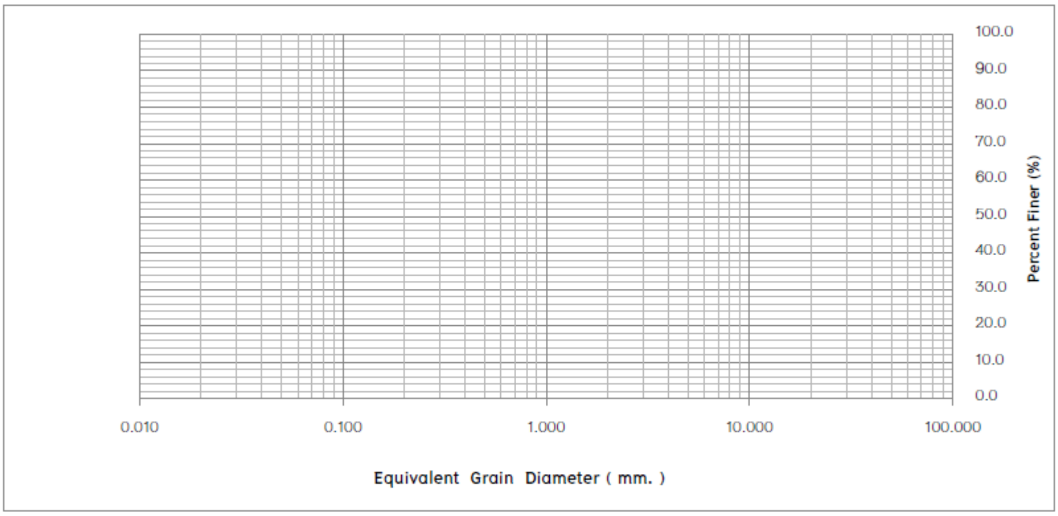
CIVL3702 ENGINEERING HIGHWAY TEST

SIEVE ANALYSIS TEST

ข้อมูลตัวอย่างดิน	เมื่อเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบร่อนผ่านตะแกรง
เครื่องหมายถาดใส่ตัวอย่างดิน	
น้ำหนักถาด + ดินแห้ง (กรัม)	
น้ำหนักถาดใส่ตัวอย่างดิน (กรัม)	
น้ำหนักดินแห้งที่ใช้ในการทดสอบ (กรัม)	

ตะแกรง ASTM No.	ขนาดช่องเปิดแผ่นตะแกรง(D) (มม.)	น้ำหนักตะแกรง + ดินแห้ง (กรัม)	น้ำหนักตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักดินแห้งค้างบนตะแกรง (กรัม)	Percent Retained (%)	Cumulative Percent Retained (%)	Percent Finer (%)
3/4"	19.000						
1/2"	12.500						
3/8"	9.500						
4	4.750						
10	2.000						
20	0.850						
40	0.425						
100	0.150						
200	0.075						
pan	-						
Total							

น้ำหนักดินแห้งที่หายไปจากการทดสอบ .... กรัม **Percent Error** .... %



ปฏิบัติการที่ 2

การทดสอบเพื่อประเมินค่าพิกัดสถานะความคงตัวของมวลดิน (การประเมินค่าพิกัดอัตตาเบอร์ก)

TESTS FOR THE CONSISTENCY LIMITS OF SOILS (ATTERBERG LIMITS DETERMINATION)

1. บทนำ

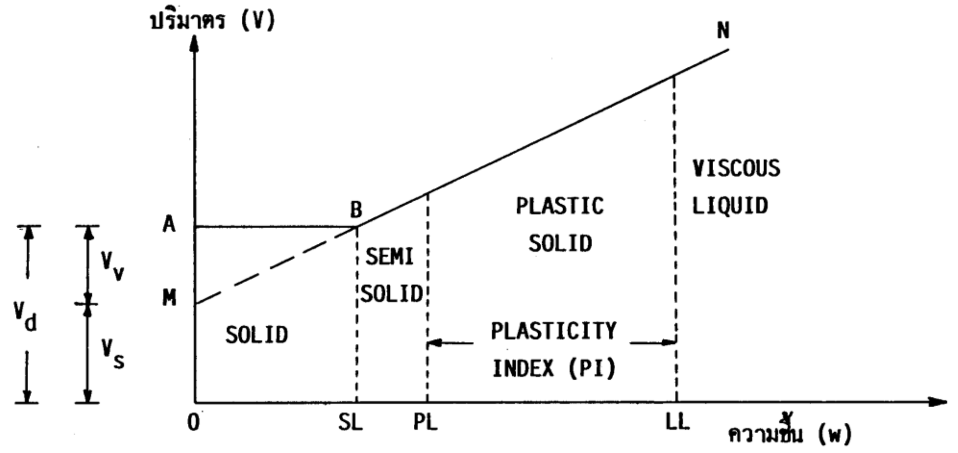
ค่าพิกัดสถานะความคงตัว หรือ consistency limits ของมวลดิน เป็นคุณสมบัติเฉพาะของมวลดินเม็ดละเอียดประเภท cohesive soil หรือ มวลดินเม็ดละเอียดที่มี clay particles เป็นองค์ประกอบอยู่เป็นปริมาณมากมวลดิน cohesive soil นี้ สามารถคงตัวอยู่ในสถานะต่างๆตามธรรมชาติในลักษณะที่บ่งบอกได้ด้วยความรู้สึกเมื่อจับต้อง ได้แก่ very soft (เหลวเละ), soft (อ่อน หรือ เหลว), firm (เหนียว หรือ หนืด), stiff (ค่อนข้างแข็ง หรือ เหนียวแน่น) หรือ hard (เป็นดินแห้งแข็ง) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของมวลดินนั้นๆ

สถานะความคงตัว หรือ consistency ของมวลดินเม็ดละเอียดสามารถเปลี่ยนแปลงไปได้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของมวลดิน อธิบายได้ดังนี้คือ มวลดินที่มีความชื้นสูงมากจนมีสภาพเป็นโคลนเหลวสามารถไหลไปมา หรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างลักษณะได้ภายใต้น้ำหนักของมวลดินนั้นเอง จะมีสถานะความคงตัวจัดอยู่ในประเภทของเหลวหนืด หรือ viscous liquid หากความชื้นของมวลดินดังกล่าวลดลง มวลดินจะมีความแข็งแรงมากขึ้น สามารถปั้นก้อนดินให้เป็นรูปร่างต่างๆได้โดยไม่แตกร้าวหรือสลายตัว มวลดินนั้นจะมีสถานะความคงตัวจัดอยู่ในประเภทของแข็งเหนียว หรือ plastic solid หากความชื้นของมวลดินนั้นลดลงต่อไป มวลดินจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น จนมีสถานะความคงตัวเป็นวัสดุประเภทกึ่งของแข็ง หรือ semi-solid ซึ่งเมื่อนำไปคลึงหรือปั้นเป็นรูปร่างต่างๆ จะเกิดรอยแยกหรือแตกร้าวบนก้อนมวลดินนั้น และเมื่อความชื้นลดลงต่อไปมวลดินก็จะเปลี่ยนสถานะความคงตัวเป็นก้อนดินแข็ง หรือ solid จนกระทั่งความชื้นหมดไปจากมวลดินนั้น ค่าความชื้นของมวลดิน ณ จุดที่มวลดินนั้นเกิดการเปลี่ยนสถานะความคงตัวจากสถานะหนึ่งไปสู่อีกสถานะหนึ่งเรียกว่า ค่าพิกัดสถานะความคงตัว หรือ consistency limits ซึ่งในที่นี้มีจุดเปลี่ยนสถานะที่สำคัญอยู่ 3 จุด มีชื่อเรียกแตกต่างกันตามการเปลี่ยนแปลงสถานะดังต่อไปนี้ คือ

ก. **LIQUID LIMIT (LL)** เป็นค่าความชื้นของมวลดิน ณ จุดที่มวลดินนั้นเปลี่ยนสถานะความคงตัว ระหว่างการเป็นของเหลวหนืดหรือ viscous liquid กับการเป็นของแข็งเหนียวปั้นได้หรือ plastic solid

ข. **PLASTIC LIMIT (PL)** เป็นค่าความชื้นของมวลดิน ณ จุดที่มวลดินนั้นเปลี่ยนสถานะความคงตัวระหว่างการเป็นของแข็งเหนียวปั้นได้หรือ plastic solid กับการเป็นมวลกึ่งของแข็งหรือ semi-solid

ค. **SHRINKAGE LIMIT (SL)** เป็นค่าความชื้นของมวลดิน ณ จุดที่มวลดินนั้น เปลี่ยนสถานะความคงตัวระหว่างการเป็นมวลกึ่งของแข็งหรือ semi-solid กับการเป็นมวลดินแข็งหรือ solid



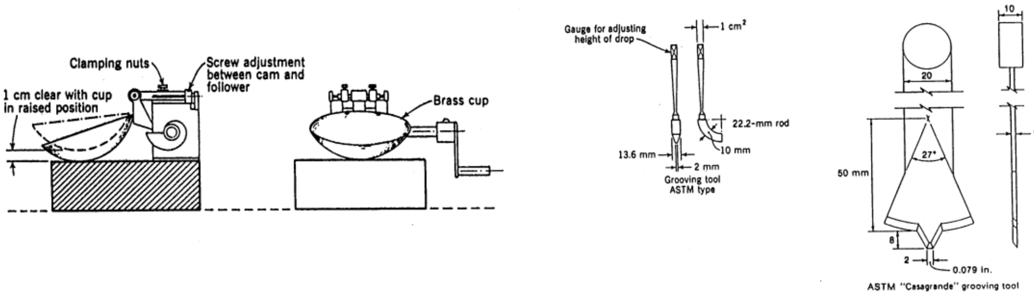
รูปที่ 2.1 PHASE DIAGRAM แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงความชื้นกับการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของมวลดินเม็ดละเอียด

วิธีการทดสอบของ ATTERBERG ได้ผ่านการปรับปรุงแก้ไขโดย CASAGRANDE เพื่อให้การทดสอบเป็นไปโดยวิธีการที่มีมาตรฐานแน่นอนและเป็นที่ยอมรับได้โดยทั่วไป ใช้ทำการทดสอบกับมวลดินเม็ดละเอียดที่มีขนาดเม็ดดินเล็กกว่า 0.42 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นเม็ดดินที่ร่อนผ่านช่องเปิดตะแกรง ASTM No.40 ดังนั้นดินเม็ดละเอียดในที่นี้จึงครอบคลุมไปถึงมวลดินที่ประกอบไปด้วย fine sand , silt และ clay แนวทางและหลักเกณฑ์การทดสอบเพื่อประเมินค่า Atterberg Limits โดยวิธีการที่ CASAGRANDE ได้ปรับปรุงแก้ไขจากวิธีของ ATTERBERG สามารถอธิบายโดยสรุปได้ดังนี้

<u>การทดสอบเพื่อประเมินค่า LIQUID LIMIT ของมวลดิน (LL)</u>

เป็นการทดสอบเพื่อประเมินค่าความชื้นของมวลดินขณะที่มวลดินเปลี่ยนสถานะความคงตัวระหว่างการเป็นของเหลวไหลได้ภายใต้น้ำหนักของมวลดินนั้นเอง กับการเป็นของแข็งอ่อนตัว เครื่องมือที่ใช้ทำการทดสอบ เรียกว่า Casagrande Liquid Limit Device มีลักษณะ

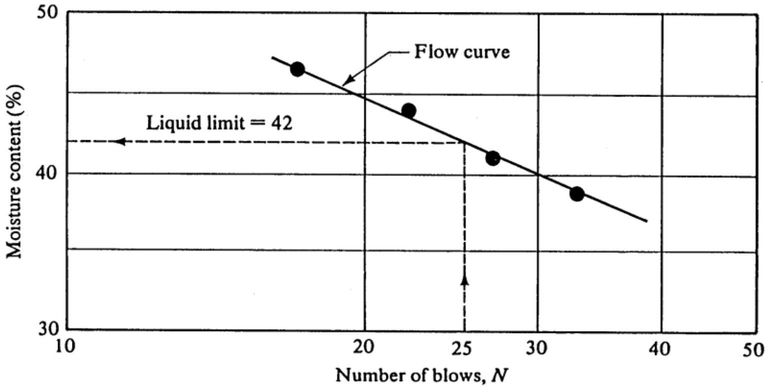
เป็นถ้วยทองเหลือง สามารถกระดกขึ้นลงได้บนแผ่นยางแข็ง ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 โดยใช้จำนวนการเคาะของอุปกรณ์ CASAGRANDE LIQUID LIMIT DEVICE เป็นตัวกำหนดดังนี้ จำนวนเคาะน้อยกว่า 25 ครั้ง แสดงว่าความชื้นของตัวอย่างดินที่ใช้ทำการทดสอบสูงกว่าค่า Liquid Limit ของมวลดินนั้น และจำนวนการเคาะมากกว่า 25 ครั้ง แสดงว่าความชื้นของตัวอย่างดินต่ำกว่าค่า Liquid Limit



ก. CASAGRANDE LIQUID LIMIT DEVICE ข.GROOVING TOOLS

รูปที่ 2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหาค่า LIQUID LIMIT ของตัวอย่างดิน

จากนั้นนำข้อมูลมา plot กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า water content (w) ของตัวอย่างดินกับจำนวนครั้งที่ทำการเคาะบนกระดาษกราฟ semi-logarithmic ดังในรูปที่ 2.3 แล้วลากเส้นตรง (line of best fit) ในแนวของจุดต่างๆที่ plot ไว้ค่า Liquid Limit ของตัวอย่างดินจะเป็นค่าความชื้น ณ จุดที่เส้นกราฟลากผ่านจำนวนครั้งการเคาะ 25 ครั้ง ดังในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การ PLOT และประเมินค่า LIQUID LIMIT ของตัวอย่างดินจากผลการทดสอบ

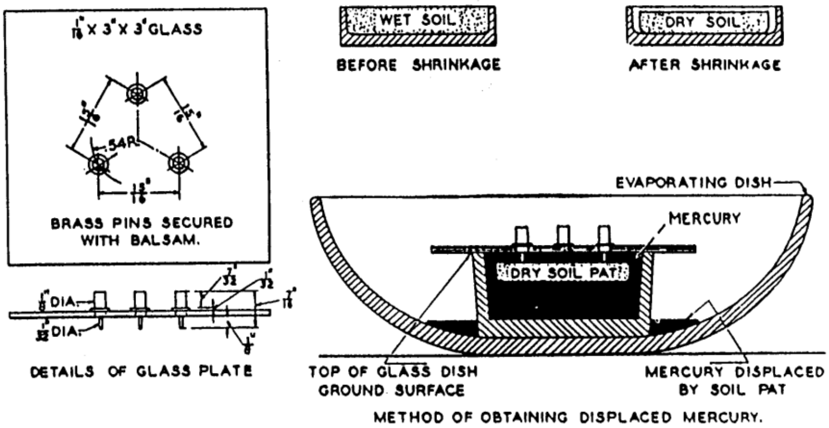
การทดสอบเพื่อประเมินค่า PLASTIC LIMIT ของมวลดิน (PL)

เป็นการทดสอบเพื่อประเมินค่าความชื้นของมวลดินขณะที่มวลดินเปลี่ยนสถานะความคงตัวระหว่างการเป็นของแข็งเหนียวปั้นได้กับการเป็นมวลดินกึ่งของแข็ง ทำการทดสอบโดยผสมน้ำให้ตัวอย่างดินมีความชื้นพอสมควร แล้วปั้นเป็นก้อนกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร คลึงก้อนดินให้เป็นเส้นยาวด้วยนิ้วและอุ้งมือบนแผ่นกระจก เส้นดินที่อยู่ในสภาวะของแข็งปั้นได้ (คือ มีความชื้นสูงกว่า Plastic Limit) จะมีผิวเรียบเนียนเป็นเนื้อเดียวกันตลอดเส้นคลึงเส้นดินจนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กลงเหลือประมาณ 3 มิลลิเมตร การคลึงเส้นดินนี้มีผลให้ความชื้นของเส้นดินลดลง เมื่อคลึงเส้นดินได้ขนาดดังกล่าวแล้วเนื้อดินเริ่มมีรอยแยกตัว (crumble) หรือมีรอยร้าวรอยแยกปรากฏขึ้นบนผิวของเส้นดิน แสดงว่าเส้นดินนั้นกำลังเปลี่ยนสถานะจาก plastic ไปเป็น semi-solid ความชื้นของตัวอย่างดินในขณะนั้นจะเป็นความชื้นที่ค่า Plastic Limit การทดสอบตามหลักเกณฑ์ที่ระบุไว้นี้จะต้องใช้ความระมัดระวัง ความชำนาญและประสบการณ์ในการทดสอบพอสมควรซึ่งอาจต้องทำการทดสอบซ้ำหลายครั้งแล้วนำผลการทดสอบที่มีค่าใกล้เคียงกัน มาคำนวณหาค่าเฉลี่ยเป็นค่า Plastic Limit ของตัวอย่างดินเพียงค่าเดียว

การทดสอบเพื่อประเมินค่า SHRINKAGE LIMIT ของมวลดิน (SL)

เป็นการทดสอบเพื่อประเมินค่าความชื้นของมวลดิน ขณะที่มวลดินนั้นเปลี่ยนสถานะความคงตัวระหว่างการเป็นมวลกึ่งของแข็งกับการเป็นมวลดินแข็ง ซึ่งในกรณีที่ความชื้นของมวลดินลดลงจะพบว่าเมื่อความชื้นลดลงต่ำ กว่าค่า Shrinkage Limit ของมวลดิน ปริมาตรของมวลดินดังกล่าวจะไม่ลดลงอีกต่อไป ดังนั้นค่า Shrinkage Limit ของมวลดินจึงกล่าวได้ว่าเป็นค่าความชื้นที่น้อยที่สุดที่มวลดินยุติการหดตัวอันเนื่องมาจากการสูญเสียความชื้นและปริมาตรของมวลดินที่มีความชื้นเท่ากับค่า Shrinkage Limit จะเป็นปริมาตรที่น้อยที่สุดที่มวลดินดังกล่าวจะคงตัวอยู่ได้ตามสภาพธรรมชาติการทดสอบประเมินค่า Shrinkage Limit ของตัวอย่างดินทำได้โดยนำดินเปียกความชื้น w_i (เมื่อ $w_i > LL$) ใส่ถ้วยโลหะปริมาตรคงที่ (V_t) นำไปอบจนแห้งก้อนดินแห้งในถ้วยโลหะจะมีขนาดเล็กลง นำก้อนดินแห้งไปหาปริมาตร (V_d) โดยการแทนที่ปรอท ดังในรูปที่ 2.5 ค่าปริมาตร V_d ดังกล่าวจะเท่ากับปริมาตรเมื่อก้อนดินนั้นมีความชื้นเท่ากับค่า Shrinkage Limit ซึ่งเป็นขณะสุดท้ายที่ก้อนดินนั้นอยู่ในสภาพ saturated ในการทดสอบนี้ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า ขณะที่ความชื้นของตัวอย่างดินลดลงจาก w_i จนตัวอย่างดินมีความชื้นเท่ากับค่า Shrinkage Limit (SL) ปริมาตรของก้อนดินลดลงจาก V_t ลงมาเหลือเป็นปริมาตร V_d ปริมาตรที่หายไปในช่วงเวลาดังกล่าวคือ ($V_t - V_d$) จะเป็นปริมาตรของน้ำ (ΔV_w) ที่หายไปจากตัวอย่างดินขณะที่ความชื้นลดลงจาก w_i ลงมาเป็น

w_{SL} ดังนั้นเมื่อค่า Shrinkage Limit ของมวลดินเป็นค่าความชื้นเมื่อมวลดินมีปริมาตร V_d และยังอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำจึงเขียนเป็นสมการได้คือ



รูปที่ 2.4 อุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบประเมินค่า SHRINKAGE LIMIT ของตัวอย่างดิน

$$SL = W_i - \left[100\left(\frac{(V_t - V_d)\rho_w}{W_s}\right)\right] \qquad (2.1)$$

เมื่อ SL เป็นค่า Shrinkage Limit ของตัวอย่างดินในหน่วยร้อยละ

W_i เป็นความชื้นของตัวอย่างดินเปียกที่ใช้ทดสอบ (มีหน่วยเป็น ร้อยละ)

W_s เป็นมวลหรือน้ำหนักดินแห้งในก้อนตัวอย่างดินที่ใช้ทำการทดสอบ

V_t เป็นปริมาตรของตัวอย่างดินในถ้วยโลหะขณะที่มีความชื้น W_i

V_d เป็นปริมาตรของก้อนตัวอย่างดินแห้ง ซึ่งเป็นปริมาตรเดียวกันกับขณะที่ตัวอย่างดินนั้นมีความชื้นเท่ากับค่า Shrinkage Limit

ρ_w เป็นความหนาแน่นของน้า มีค่า = 1 g/cc ในระบบ เมตริก, 1000 kg/m^3

ผลจากการประเมินค่า Consistency Limits ของมวลดินเม็ดละเอียดตามที่กล่าวมาแล้วนี้จะนำไปสู่การคำนวณหาปริมาณที่ใช้บ่งบอกคุณสมบัติทางกายภาพพื้นฐานอื่นๆของมวลดินดังนี้ คือ

ก. **PLASTICITY INDEX (PI)** เป็นช่วงค่าความชื้น ที่มวลดินดังกล่าวคงตัวอยู่ในสถานะ plastic solid ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 ประเมินได้จากความสัมพันธ์

$$PI = LL - PL \tag{2.2}$$

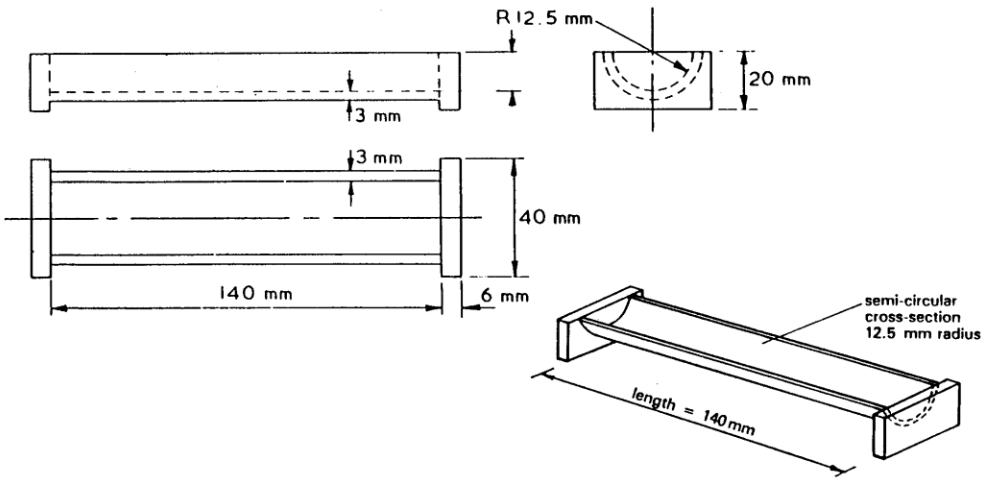
ข. **LINEAR SHRINKAGE (LS)** เป็นปริมาณการหดตัวของมวลดินในทิศทางเดียว เมื่อความชื้นของมวลดินลดลงจากค่า W_i ใดๆลงมา จนมวลดินมีความชื้นเท่ากับค่า Shrinkage Limit ระบุเป็นค่าขนาดการหดตัวของมวลดิน คิดเป็นร้อยละของขนาดของมวลดินในทิศทางเดียวกันนั้น เมื่อมวลดินนั้นมีความชื้น W_i หรือ

$$LS = 100\left(\frac{\Delta L}{L_i}\right) \tag{2.3}$$

โดยที่ ΔL เป็นความยาวของตัวอย่างดินที่ลดลง เมื่อความชื้นลดจาก W_i ลงมาเป็นความชื้น ที่มีค่าเท่ากับ Shrinkage Limit ของมวลดินนั้น และ L_i เป็นความยาวของตัวอย่างดินเมื่อตัวอย่างดินมีความชื้น W_i ค่า Linear Shrinkage ของตัวอย่างดินสามารถทดสอบประเมินค่าได้ โดยใช้ตัวอย่างดินที่มีความชื้นสูงกว่าค่า Liquid Limit ใส่ลงในรางทองเหลืองรูปครึ่งทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน ดังในรูปที่ 2.5 แล้วนำไปอบจนแห้ง วัดความยาวของแท่งดินแห้งในราง จะสามารถคำนวณค่า LS ได้จากสมการที่ 2.3 การทดสอบเพื่อประเมินค่า Linear Shrinkage วิธีนี้ นิยมใช้กับตัวอย่างดินประเภท non-plastic silt หรือมวลดินที่มีทรายละเอียดปนอยู่มาก ซึ่งยากที่จะทดสอบประเมินค่า Plastic Limit โดยวิธีการปกติ เพราะค่า Linear Shrinkage ของตัวอย่างดิน สามารถนำไปใช้ประมาณค่า Plasticity Index ของตัวอย่างดินนั้นได้จากความสัมพันธ์แบบ empirical คือ

$$PI = 2.13\,(LS) \tag{2.4}$$

เมื่อ LS เป็นค่า Linear Shrinkage ของมวลดิน มีหน่วยเป็น ร้อยละ



รูปที่ 2.5 ลักษณะและขนาดของรางมาตรฐาน (SHRINKAGE TROUGH) ที่ใช้ทดสอบประเมินค่า LINEAR SHRINKAGE ของตัวอย่างดิน

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

2.1. การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะให้นักศึกษาได้เรียนรู้ถึงทฤษฎีและหลักการ ที่เกี่ยวข้องกับวิธีการทดสอบพร้อมทั้งฝึกฝนการใช้อุปกรณ์ทดสอบ เพื่อประเมินค่า consistency limits หรือ Atterberg Limits ของมวลดินเม็ดละเอียดซึ่งได้แก่ การทดสอบประเมินค่า Liquid Limit , Plastic Limit และ Shrinkage Limit และรวมไปถึงการทดสอบประเมินค่า Linear Shrinkage ของตัวอย่างดิน เพื่อให้ได้ผลการทดสอบไปใช้ประเมินคุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางวิศวกรรมของมวลดินนั้นต่อไป

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบในเรื่องนี้ เป็นทำการทดสอบเพื่อประเมินค่า consistency limits ทั้ง 3 ค่า ของตัวอย่างดิน คือ Liquid Limit , Plastic Limit และ Shrinkage Limit รวมไปถึงการทดสอบเพื่อประเมินค่า Linear Shrinkage ของตัวอย่างดินเดียวกันนี้ โดยวิธีการมาตรฐาน จึงต้องใช้อุปกรณ์การทดสอบแยกตามประเภทการทดสอบดังต่อไปนี้

3.1. LIQUID LIMIT TEST

1) Liquid Limit Device 1 เครื่อง พร้อม grooving tool ขนาดมาตรฐาน 1 อัน
2) กระป๋องหาความชื้น ขนาดเล็ก 6 ใบ

3.2. PLASTIC LIMIT TEST

1) แผ่นกระจกเรียบสำหรับคลึงเส้นตัวอย่างดินชื้น 1 แผ่น
2) กระป๋องหาความชื้น ขนาดเล็ก 3 ใบ

3.3. SHRINKAGE LIMIT TEST

1) ถ้วยโลหะกลมก้นเรียบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1.75 นิ้ว (44.4 มิลลิเมตร) และลึกประมาณ 0.5 นิ้ว (12.7 มิลลิเมตร) ใช้เป็น shrinkage dish 1 ใบ
2) แผ่นแก้วติดปุ่มโลหะ 3 ปุ่ม ดังในรูปที่ 5.5 จำนวน 1 แผ่น
3) จานแก้วหรือถ้วยกระเบื้องขอบต่ำ เพื่อใช้รองรับปรอทที่ล้นจากการวัดปริมาตรก้อนดินแห้งจำนวน 1 ใบ
4) ปรอท ปริมาณเพียงพอที่จะใช้ทำการทดสอบ
5) กระบอกตวงขนาดเล็กความจุ 25-50 ml มีขีดแบ่งปริมาตรข้างกระบอกตวงให้อ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.2 ml เพื่อใช้วัดปริมาตรปรอท 1 กระบอก

3.4. LINEAR SHRINKAGE

1) รางทองเหลือง ขนาดมาตรฐาน รูปครึ่งทรงกระบอก (shrinkage trough) ดังในรูปที่ 4.6 จำนวน 2 ราง
2) กระป๋องหาความชื้น ขนาดกลาง 1 กระป๋อง
3) เวอร์เนียขนาดวัดความยาวได้ไม่ต่ำกว่า 150 เมตร

3.5. วัสดุอุปกรณ์ใช้ร่วมกันทั้ง 4 การทดสอบ

1) ตัวอย่างดินแห้ง เป็นเม็ดละเอียด ร่อนผ่านตะแกรง ASTM No.40 มาแล้ว หนักประมาณ 500-600 กรัม
2) น้ำกลั่นปริมาณเพียงพอที่จะใช้ผสมดินทำการทดสอบ
3) ถ้วยกระเบื้องผสมดิน พร้อมมีดปาดสำหรับคลุกผสม และตักดินเปียกบรรจุภาชนะต่างๆ ที่ใช้ทำการทดสอบจำนวน 2 ชุด
4) กระบอกตวงขนาดความจุ 100 cc หรือขวดฉีดน้ำ 1 ใบ

5) เครื่องชั่งไฟฟ้าชั่งได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม
6) เตาอบควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้
7) ถาดอลูมิเนียมขนาดใหญ่สำหรับใส่กระป๋องหาความชื้นทั้งหมดที่ใช้ในการทดสอบเพื่อนำเข้าเตาอบ จำนวน 1 ใบ

4. วิธีการทดสอบ

4.1. <u>การทดสอบเพื่อประเมินค่า LIQUID LIMIT ของตัวอย่างดิน</u>

1) นำตัวอย่างดินเม็ดละเอียดที่เตรียมไว้ หนักประมาณ 200 กรัม ใส่ลงในถ้วยกระเบื้อง แล้วผสมน้ำทีละน้อย ใช้มีดปาดคลุกเคล้าให้น้ำและดินผสมกันโดยทั่วถึงแล้วเพิ่มน้ำทำการคลุกเคล้าต่อไปอีกจนมวลดินมีลักษณะเหนียวหนืดและอ่อนตัวพอสมควร ความชื้นของตัวอย่างดินในขณะนี้จะยังต่ำกว่าค่า Liquid Limit ของตัวอย่างดินนั้นพอประมาณ
2) ใช้มีดปาดดิน ตักดินเปียกจากถ้วยผสมดิน ใส่ลงในถ้วยทองเหลืองของ Liquid Limit Device ใช้มีดปาดอัดเนื้อดินลงในถ้วยทองเหลืองให้แน่นจนไม่มีฟองหรือช่องว่างอากาศหลงเหลืออยู่ภายในตกแต่งผิวหน้าดินให้ราบเรียบ
3) ใช้ grooving tool กรีดร่องผ่ากลางตัวอย่างดินในถ้วยทองเหลือง ให้รอยร่องมีความลึกจนถึงผิวทองเหลืองก้นถ้วย
4) หมุนมือหมุนกระดกถ้วยทองเหลืองขึ้น แล้วปล่อยให้ตกลงกระทบพื้นยางแข็ง ด้วยความเร็วประมาณ 120 ครั้งต่อนาที สังเกตดูการเคลื่อนที่ของมวลดินที่ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนในถ้วยทองเหลือง เมื่อมวลดิน 2 ส่วนเคลื่อนตัวเข้าหากัน จนร่องที่กรีดผ่าไว้ปิดสนิทเป็นระยะทางยาวประมาณ 1/2 นิ้ว ให้หยุดทำการเคาะ แล้วบันทึกจานวนครั้งที่ทำการเคาะ (no. of blows) ตัวอย่างดินนี้
5) ใช้มีดปาดตักตัวอย่างดินเปียกจากถ้วยทองเหลืองบริเวณที่มวลดิน 2 ส่วนเคลื่อนเข้ามาชิดติดกัน ให้ได้น้ำหนักประมาณ 20-30 กรัม ใส่กระป๋องหาความชื้นที่จดหมายเลขและบันทึกน้ำหนักไว้แล้วนำไปชั่ง น้ำหนักแล้วนำไปเข้าเตาอบเพื่อประเมินค่าความชื้นของตัวอย่างดิน
6) ใช้มีดปาด ตักดินที่เหลืออยู่ในถ้วยทองเหลืองทั้งหมดกลับคืนลงไปในถ้วยผสมดินแล้วเติมน้ำให้ตัวอย่างดินมีความชื้นสูงขึ้นอีกตามความเหมาะสมใช้มีดปาดคลุกผสมให้ทั่วถึง
7) ทำการทดสอบตามขั้นตอนที่ 2) ถึงขั้นตอนที่ 6) อย่างน้อย 5 ครั้งให้ได้ข้อมูลความชื้นของตัวอย่างดินและจำนวนครั้งที่ทำการเคาะอย่างน้อย 5 ชุดจำนวนครั้งการ

เคาะ (no. of blows) ที่ได้จากการทดสอบควรจะมีค่าระหว่าง 45-10 ครั้งและควรจะมีค่าจำนวนครั้งการเคาะที่สูงกว่าหรือต่ำกว่า 25 ครั้งอย่างน้อย อย่างละ 2 ค่า

8) ถ้าการเคาะทดสอบครั้งแรกๆ ปรากฏว่าตัวอย่างดินแห้งหรือเปียกแฉะเกินไปให้เริ่มทำการทดสอบใหม่ โดยไม่ต้องบันทึกผลการทดสอบที่ใช้ไม่ได้นั้น

4.2. <u>การทดสอบเพื่อประเมินค่า PLASTIC LIMIT ของตัวอย่างดิน</u>

1) นำตัวอย่างดินเม็ดละเอียดที่เตรียมไว้หนักประมาณ 50 กรัมใส่ลงในถ้วยกระเบื้องแล้วผสมน้ำทีละน้อยใช้มีดปาดคลุกให้น้ำและดินผสมกันโดยทั่วถึงจนกระทั่งตัวอย่างดินมีลักษณะเหนียวหนืด ความชื้นของตัวอย่างดินในขณะนี้ควรจะสูงกว่าค่า Plastic Limit เล็กน้อย
2) ใช้มือหยิบดินชื้นจากถ้วยกระเบื้องมาปั้นเป็นก้อนกลมเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 เซนติเมตร จำนวน 2 - 3 ก้อน วางก้อนดินลงบนแผ่นกระจก
3) ใช้อุ้งมือส่วนที่เป็นนิ้วคลึงก้อนดินทีละก้อนด้วยน้ำหนักกดพอประมาณ ใช้ความเร็วในการคลึงประมาณ 80-90 ครั้งต่อนาทีจนก้อนดินยืดตัวออกเป็นเส้น คลึงก้อนดินต่อไปจนเส้นดินมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 มิลลิเมตร
4) ถ้าดินยังเกาะตัวเป็นเส้นโดยไม่มีรอยแยกบนผิวเส้นดิน ให้ยุบรวมเส้นดินแล้วปั้นเป็นก้อนกลม แล้วเริ่ม ทำการคลึงตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอน 3) ต่อไปอีก
5) คลึงก้อนดินจนเป็นเส้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร แล้วกลับปั้นก้อนซ้ำไปมาระหว่างขั้นตอนทดสอบที่ 3) และ 4) จนกระทั่งเส้นดินเริ่มแยกแตกตัว หรือมีการลอกของผิวดิน (crumble) ในขณะที่กำลังคลึงดังในรูปที่ 5.3 ให้หยุดคลึงเส้นดินนำเส้นดินที่ crumble แล้วนั้นใส่กระป๋องหาความชื้นที่จดหมายเลขและบันทึกน้ำหนักแล้วนำไปชั่งน้ำหนักและเข้าเตาอบเพื่อประเมินค่าความชื้นของตัวอย่างเส้นดินนั้น
6) ทำการทดสอบ 2 – 3 ครั้งตามจำนวนก้อนดินที่เตรียมไว้ในขั้นตอน 2) จะได้ข้อมูลเป็นค่า ความชื้นของตัวอย่างดินที่ Plastic Limit จากการทดสอบ 2 – 3 ค่า

4.3. <u>การทดสอบเพื่อประเมินค่า SHRINKAGE LIMIT ของตัวอย่างดิน</u>

1) ทดสอบหาปริมาตรของถ้วยโลหะหรือ shrinkage dish ที่จะใช้ใส่ตัวอย่างดินเปียกในการทดสอบนี้ โดยเทปรอทใส่ในถ้วยโลหะจนล้นเล็กน้อย ใช้แผ่นแก้วติดปุ่มด้านผิวเรียบวางกดลงไปบนผิวปรอท เพื่อไล่ปรอทส่วนเกินออกจากถ้วยทดสอบ จนแผ่นแก้ววางอยู่บนขอบถ้วย แล้วยกแผ่นแก้วออกช้าๆ เทปรอทจากถ้วยทดสอบลงในกระบอก

ตวงความจุ 25 ml เพื่อวัดปริมาตรของถ้วยโลหะซึ่งจะเป็นปริมาตรของตัวอย่างดินเปียกที่ใช้ทดสอบ (V_t)

2) นำตัวอย่างดินเม็ดละเอียดที่เตรียมไว้ หนักประมาณ 50 – 100 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้อง ผสมน้ำทีละน้อย ใช้มีดปาดคลุกให้น้ำและดินผสมกันโดยทั่วถึงแล้วเพิ่มน้ำทำการคลุกดินเปียกต่อไปจนความชื้นของตัวอย่างดินสูงกว่าค่า Liquid Limit เล็กน้อย

3) นำถ้วยโลหะที่ทดสอบประเมินปริมาตรไว้แล้วมาทาวาสลินบางๆ เคลือบผิวโลหะภายในถ้วย เพื่อไม่ให้เนื้อดินที่ใช้ทำการทดสอบเกาะติดกับผิวโลหะแล้วนำถ้วยไปชั่งน้ำหนัก (W_3)

4) ใช้มีดปาดตักตัวอย่างดินเปียกที่เตรียมไว้ใส่ลงไปในถ้วยโดยใส่ครั้งแรกให้ได้ปริมาตรประมาณ 1 ใน 3 ของถ้วย แล้วเคาะถ้วยลงบนพื้นโต๊ะเพื่อไล่ฟองอากาศออกจากตัวอย่างดินหลังจากนั้นเติมดินเปียกลงไปอีกในปริมาณพอๆ กันเป็นครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 จนตัวอย่างดินเต็มถ้วยหลังจากเติมดินแต่ละครั้งให้เคาะถ้วยไล่ฟองอากาศออกจากตัวอย่างดินในถ้วยให้หมดเมื่อได้ตัวอย่างดินเปียกเต็มถ้วยแล้ว ใช้มีดปาดแต่งผิวหน้าตัวอย่างดินให้เรียบเสมอขอบถ้วยโลหะแล้วนำถ้วยตัวอย่างดินนี้ไปชั่งน้ำหนัก (W_1)

5) เก็บถ้วยโลหะใส่ตัวอย่างดินเปียกไว้ในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ตัวอย่างดินแห้งลงตามธรรมชาติเป็นเวลาประมาณ 24 – 48 ชั่วโมง แล้วจึงนำถ้วยตัวอย่างดินไปเข้าเตาอบเพื่ออบให้ดินแห้งสนิท

6) นำถ้วยโลหะพร้อมก้อนดินแห้งไปชั่งน้ำหนัก (W_2) แล้วนำดินแห้งออกจากถ้วยก้อนดินแห้งนี้ ควรจะคงสภาพเป็นชิ้นเดียวหากก้อนแห้งแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ หลายชิ้นให้ทำการทดสอบใหม่

7) เทปรอทใส่ลงในถ้วยโลหะใบเดิมให้เต็ม โดยวิธีการตามขั้นตอนที่ 1) แล้วค่อยๆ ยกถ้วยโลหะบรรจุปรอทเต็มไปวางลงในจานแก้วขอบต่ำ

8) นำก้อนดินแห้งใส่ลงไปในปรอทในถ้วยโลหะแล้วใช้แผ่นแก้วติดปุ่มกดก้อนดินแห้งให้จมลงในปรอททั้งก้อนปรอทจะล้นออกจากถ้วยโลหะไหลลงไปในจานแก้วที่รองรับ ดังในรูปที่ 5.5 ยกถ้วยโลหะออกจากจานแก้วแล้วเทปรอทที่อยู่ในจานแก้วใส่กระบอกตวงเพื่อวัดปริมาตรปรอทส่วนที่ล้นจากถ้วยโลหะเป็นปริมาตรของก้อนดินแห้ง (V_d)

4.4. การทดสอบเพื่อประเมินค่า LINEAR SHRINKAGE ของตัวอย่างดิน

1) นำรางโลหะ (shrinkage trough) ทั้ง 2 รางที่จะใช้ทำการทดสอบมาวัดความยาวภายในตามแกนราบโดยใช้เวอร์เนียซึ่งความยาวที่วัดได้นี้ จะเป็นความยาวของตัวอย่างดินเปียกที่ใช้ทดสอบ (L_1 หรือ L_i) แล้วใช้วาสลินทาเคลือบผิวโลหะภายในรางบางๆ เพื่อป้องกันมิให้ดินเกาะติดกับผิวโลหะ
2) นำตัวอย่างดินเม็ดละเอียดที่เตรียมไว้หนักประมาณ 200 กรัมใส่ลงในถ้วยกระเบื้องแล้วผสมน้ำทีละน้อยใช้มีดปาดคลุกให้น้ำและดินผสมกันโดยทั่วถึงแล้วเพิ่มน้ำพร้อมทั้งคลุกดินเปียกต่อไปจนความชื้นของตัวอย่างดินสูงกว่าค่า Liquid Limit เล็กน้อย
3) ใช้มีดปาดตักตัวอย่างดินเปียกใส่ลงไปในรางทีละน้อย และอัดดินใส่รางให้แน่น พร้อมกับเคาะรางใส่ดินลงบนพื้นเพื่อไล่ฟองอากาศ เมื่อได้ดินเปียกไร้ฟองหรือช่องว่างอากาศเต็มรางแล้วใช้มีดปาดแต่งผิวหน้าดินให้เรียบเสมอขอบราง
4) เก็บตัวอย่างดินเปียกที่เหลือใส่กระป๋องหาความชื้นชั่งน้ำหนักแล้วนำไปอบให้แห้งเพื่อตรวจสอบว่า ตัวอย่างดินที่ใช้ทำการทดสอบนี้มีความชื้นเท่าใด
5) เก็บรางโลหะใส่ตัวอย่างดินเปียกไว้ในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ตัวอย่างดินแห้งลงตามธรรมชาติ เป็นเวลาประมาณ 24 – 48 ชั่วโมง แล้วจึงนำรางตัวอย่างดินไปเข้าเตาอบเพื่ออบให้ดินแห้งสนิท
6) เมื่อนำรางตัวอย่างดินออกจากเตาอบแล้วก้อนตัวอย่างดินแห้งในรางจะต้องคงสภาพเป็นชิ้นเดียวหากก้อนดินแห้งแตกออกเป็นหลายชิ้นให้ทำการทดสอบใหม่
7) ใช้เวอร์เนียวัดความยาวตามแนวนอนของก้อนดินแห้งในราง (L_2)

5. บทวิเคราะห์วิจารณ์

5.1. ให้สรุปผลการทดสอบและผลการคำนวณทั้งหมดพร้อมทั้งวิจารณ์ผลการทดสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติของตัวอย่างดินที่ใช้ในทดสอบครั้งนี้

5.2. วิเคราะห์วิจารณ์แสดงความคิดเห็นอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิธีการทดลองในเรื่องนี้

CIVL 3702 ENGINEERING HIGHWAY TEST

CONSISTENCY (ATTERBERG) LIMITS TEST

Liquid Limit (L.L.) Test

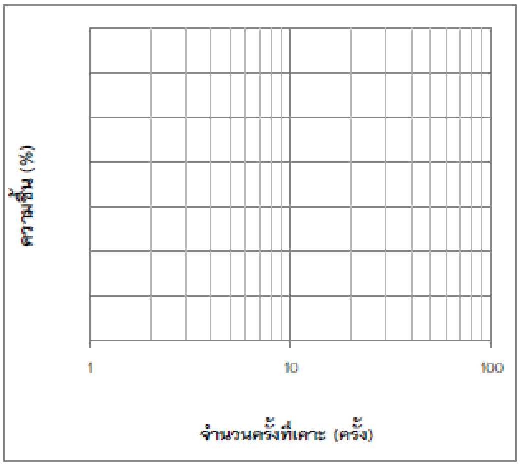
การทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5
เครื่องหมายกระป๋องความชื้น					
น้ำหนักดินเปียก + กระป๋อง (g)					
น้ำหนักดินแห้ง + กระป๋อง (g)					
น้ำหนักกระป๋อง (g)					
น้ำหนักน้ำ (g)					
น้ำหนักดินแห้ง (g)					
ความชื้น (%)					
จำนวนครั้งการเคาะ (ครั้ง)					

Plastic Limit (P.L.) Test

1	2	3
เฉลี่ยความชื้นที่ PL (%)		

Shrinkage Limit (S.L.) Test

หมายเลขถ้วย Shrinkage		
น้ำหนักดินเปียก + กระป๋อง (W_1) (g)		
น้ำหนักดินแห้ง + กระป๋อง (W_2) (g)		
น้ำหนักถ้วย Shrinkage (W_3) (g)		
น้ำหนักน้ำในตัวอย่างดิน (W_w) (g)		
น้ำหนักดินแห้ง (W_s) (g)		
น้ำหนักดินแห้ง (g)		
ความชื้นในตัวอย่างดิน (%)		
ปริมาตรดินเปียกในถ้วย Shrinkage (V_1) (cm^3)		
ปริมาตรก้อนดินแห้ง (V_2) (cm^3)		
ค่า Shrinkage Limit (SL) (%)		
ค่าเฉลี่ย Shrinkage Limit (SL) (%)		



Linear Shrinkage (L.S.) Test

หมายเลขราง Linear Shrinkage		
ความยาวดินเปียกในราง (L_1) (mm)		
ความยาวดินแห้งในราง (L_2) (mm)		
ระยะการหดตัว (L_3) (mm)		
ค่า Linear Shrinkage (L.S.) (%)		
ค่าเฉลี่ย Linear Shrinkage (L.S.) (%)		

Summary Of Results

Liquid Limit (LL)	(%)	
Plastic Limit (PL)	(%)	
Plasticity Index (PI=LL-PL)	(%)	
Shrinkage Limit (SL)	(%)	
Linear Shrinkage (LS)	(%)	
Plasticity Index (PI=2.13xLS)	(%)	

ปฏิบัติการที่ 3
การทดสอบการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ
LABORATORY SOIL COMPACTION TEST

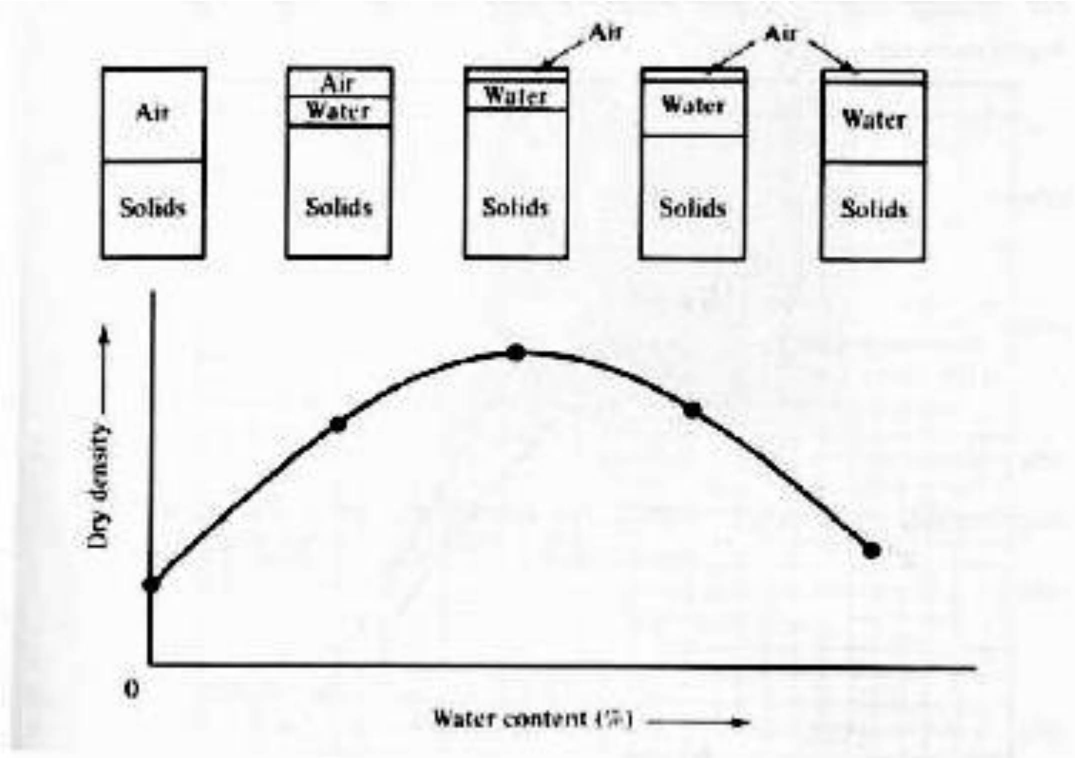
1. บทนำ

การนำดินมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ส่วนใหญ่จะนำมวลดินมาใช้เป็นวัสดุถม เช่น การถมพื้นที่ที่มีระดับต่ำ การถมดินก่อสร้างถนน เขื่อนดิน หรือ คันดิน เป็นต้น การนำดินมาใช้งานในลักษณะนี้ มวลดินที่นำมาใช้งานจะอยู่ในสภาพที่จัดตัวกันอย่างหลวมๆ ทำให้จำเป็นต้องบดอัดมวลดินนั้น เพื่อให้เม็ดดินจัดตัวใกล้ชิดกันมากขึ้น การบดอัดดิน หรือ Soil Compaction เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของมวลดินโดยวิธีกลมีจุดประสงค์ที่จะเพิ่มความหนาแน่นของมวลดิน โดยการใช้พลังงานกลไล่อากาศออกจากช่องว่างระหว่างเม็ดดินเป็นผลให้ปริมาณช่องว่างระหว่างเม็ดดินลดลง การวัดประสิทธิภาพของการบดอัดดิน จะใช้การเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นแห้ง หรือ Dry Density ของมวลดินที่บดอัดแล้ว โดยการบดอัดดิน จะมีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้มวลดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะมวลดินที่มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงจะมีช่องว่างระหว่างเม็ดดินน้อย มวลดินที่มีค่า Dry Density สูง จะมีความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ดี เพราะเม็ดดินมีพื้นที่สัมผัสซึ่งกันและกันมาก และมีการทรุดตัวในระหว่างการใช้งานน้อย

การบดอัดดินให้มีความหนาแน่นสูง มวลดินที่ใช้ทำการบดอัดจะต้องมีความชื้นที่เหมาะสม คือ มีน้ำผสมอยู่ในมวลดินบ้าง น้ำที่มีอยู่ในมวลดินจะเกาะอยู่ที่ผิวของเม็ดดินทำหน้าที่หล่อลื่นเม็ดดินเมื่อให้พลังงานหรือแรงกระทำแก่มวลดิน เม็ดดินจะเคลื่อนที่สัมพัทธ์ซึ่งกันและกันได้ง่าย เม็ดดินก็จะสามารถจัดตัวใกล้ชิดกันได้มากขึ้นทำให้มวลดินมีความหนาแน่นมากขึ้น ถ้ามีน้ำผสมอยู่ในมวลดินน้อย แรงเสียดทานระหว่างเม็ดดินจะมีค่าสูง แรงเสียดทานจะทำหน้าที่ต่อต้านการเคลื่อนที่ของเม็ดดินทำให้บดอัดดินให้แน่นได้ยาก แต่ถ้ามีน้ำมากเกินไปสภาวะของมวลดินนั้นจะมีปริมาตรของน้ำมากขึ้นและมีปริมาตรของเม็ดดินลดลงเป็นผลให้มวลดินที่บดอัดแล้วมีช่องว่างมาก ซึ่งช่องว่างเหล่านี้จะมีน้ำอยู่เต็ม ทำให้มวลดินที่บดอัดแล้วก็จะมีความหนาแน่นแห้งไม่สูงนัก ดังนั้น การที่จะบดอัดดินให้ได้ความหนาแน่นสูงสุดโดยใช้พลังงานที่กำหนดให้เป็นค่าคงที่ ค่าหนึ่งมวลดินที่ใช้ในการบดอัด จะต้องมีความชื้นที่พอเหมาะ ไม่มากเกินไป หรือ ไม่น้อยเกินไป ค่าความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการบดอัดดินแต่ละตัวอย่างให้ได้ความหนาแน่นสูงสุด เมื่อใช้พลังงานบดอัดเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง เรียกว่า Optimum Moisture Content (OMC) หรือ Optimum Water Content (OWC)

รูปที่ 3.1 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของมวลดินที่ใช้ในการบดอัดกับความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) ของมวลดินที่บดอัดแล้วเมื่อบดอัดดินนั้นด้วยพลังงานคงที่ค่าหนึ่ง

เส้นกราฟความสัมพันธ์นี้ เรียกว่า Compaction curve และ compaction curve ของมวลดินคละจะเป็นรูประฆังคว่ำ



รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่างความชื้นและความหนาแน่นแห้งของมวลดินที่บดอัด

การทดสอบการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ มีมาตรฐานกำหนดการทดสอบอยู่ 2 มาตรฐานซึ่งแตกต่างกันที่พลังงานคงที่ที่ใช้ทำการบดอัดดิน คือ การทดสอบแบบ Standard Proctor หรือ Standard AASHTO เป็นการบดอัดดินโดยใช้พลังงานบดอัดแบบมาตรฐานประมาณ 12,400 ft-lb/ft3 และการทดสอบแบบ Modified Proctor หรือ Modified AASHTO เป็นการบดอัดดินโดยใช้พลังงานบดอัดมาตรฐานประมาณ 56,000 ft-lb/ft^3 การบดอัดดินตามมาตรฐานทั้งสองในห้องปฏิบัติการ จะต้องทำการบดอัดโดยวิธีการที่กำหนดไว้ และใช้อุปกรณ์การบดอัดที่กำหนดขนาดและน้ำหนักไว้เป็นมาตรฐาน ได้แก่ แบบอัดดิน (Mold) และค้อนอัดดิน (Compaction Hammer) ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะสมกับพลังงานที่ต้องการสำหรับการบดอัดและขนาดของเม็ดดินในมวลดินคละที่นำมาทดสอบ แบบอัดดินที่ใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบมี 2 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว ขนาดของส่วนต่างๆของแบบอัดดินมาตรฐานแสดงไว้ในรูปที่ 6.2 ส่วนค้อนอัดดินมี 2 ขนาด คือ standard hammer มีน้ำหนัก 5.5 ปอนด์ ระยะตกกระทบ 12 นิ้ว และ modified hammer หรือ heavy hammer มีน้ำหนัก 10 ปอนด์ ระยะตกกระทบ 18 นิ้ว

วิธีการบดอัดดินให้ใส่ตัวอย่างดินที่เตรียมไว้ลงในแบบอัดเป็นชั้นๆ แต่ละชั้นใช้ค้อนอัดดินทำการบดอัดดินเป็นจำนวนครั้งตามที่ระบุไว้ในตารางที่ 3.1 พลังงานที่ใช้บดอัดดินในห้องปฏิบัติการโดยใช้อุปกรณ์ตามมาตรฐานดังกล่าวนี้ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1

$$E_c = \frac{(W_h)\times(Drop)\times(Layers)\times(Blows)}{(Vol.)} \tag{3.1}$$

เมื่อ E_c เป็นค่าพลังงานที่ใช้บดอัดดินในหน่วย ft-lb/ft^3

W_h เป็นน้ำหนักค้อนอัดดินในหน่วย ปอนด์ (lb)

$Drop$ เป็นระยะตกกระทบของค้อนอัดดินในหน่วย ฟุต (ft)

$Layers$ เป็นจำนวนชั้นที่บดอัดในแบบอัดดิน

$Blows$ เป็นจำนวนครั้งที่บดอัดดินด้วยค้อนในแต่ละชั้น

$Vol.$ เป็นปริมาตรของแบบอัดดิน หรือปริมาตรของดินที่บดอัดในหน่วย ลูกบาศก์ฟุต (ft^3)

รูปที่ 3.2 แบบอัดดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 , 6 นิ้ว และค้อนบดอัดดินแบบ STANDARD HAMMER

ตารางที่ 3.1 ข้อกำหนดอุปกรณ์และวิธีการสำหรับการบดอัดดินในห้องปฏิบัติการ

ก. Standard Proctor Test ตามมาตรฐาน ASTM D 698 และ AASHTO T 99

ขนาดแบบอัดดิน			ขนาดเม็ดดินใหญ่ที่สุดที่ใช้บดอัด	น้ำหนักค้อนอัดดิน (W_h)	ระยะตกกระทบ (Drop)	จำนวนชั้นบดอัด (Layers)	จำนวนครั้งบดอัดแต่ละชั้น (Blows)
เส้นผ่าศูนย์กลาง	ความลึก	ปริมาตร					
4 ± 0.016 นิ้ว 101.6 มม.	4.584 นิ้ว 116.43 มม.	1/30 ลบ.ฟุต 944 ± 11 ลบ.ซม.	3/8 นิ้ว 9.5 มม.	5.5 lb 2.49 kg	12 in 305 mm.	3 ชั้น	25 ครั้ง
6 ± 0.026 นิ้ว 152.4 มม.	4.584 นิ้ว 116.43 มม.	0.075 ลบ.ฟุต 2124 ± 25ลบ.ซม.	3/4 นิ้ว 19.0 มม.	5.5 lb 2.49 kg	12 in 305 mm.	3 ชั้น	56 ครั้ง

ข. Modified Proctor Test ตามมาตรฐาน ASTM D 1557 และ AASHTO T 180

ขนาดแบบอัดดิน			ขนาดเม็ดดินใหญ่ที่สุดที่ใช้บดอัด	น้ำหนักค้อนอัดดิน (W_h)	ระยะตกกระทบ (Drop)	จำนวนชั้นบดอัด (Layers)	จำนวนครั้งบดอัดแต่ละชั้น (Blows)
เส้นผ่าศูนย์กลาง	ความลึก	ปริมาตร					
4 ± 0.016 นิ้ว 101.6 มม.	4.584 นิ้ว 116.43 มม.	1/30 ลบ.ฟุต 944 ± 11 ลบ.ซม.	3/8 นิ้ว 9.5 มม.	10.0 lb 4.54 kg	18 in 457 mm.	5 ชั้น	25 ครั้ง
6 ± 0.026 นิ้ว 152.4 มม.	4.584 นิ้ว 116.43 มม.	0.075 ลบ.ฟุต 2124 ± 25ลบ.ซม.	3/4 นิ้ว 19.0 มม.	10.0 lb 4.54 kg	18 in 457 mm.	5 ชั้น	56 ครั้ง

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

2.1. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของมวลดินในขณะที่ทำการบดอัด กับ ความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) ของมวลดินที่ได้รับหลังจากการบดอัดแล้ว และฝึกปฏิบัติการบดอัดดินเพื่อประเมินค่าความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, หรือ Optimum Water Content) ของมวลดินที่จะสามารถบดอัดมวลดินนั้นให้ได้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density)

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.1. ตัวอย่างดินแห้ง ประมาณ 8-10 กิโลกรัม
3.2. แบบอัดดิน (mold) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 และ 6 นิ้ว พร้อมด้วย collar และ base plate
3.3. Compaction Hammer ขนาด 10 lbs drop 18 นิ้ว หรือ 5.5 lbs drop 12 นิ้ว ตามที่ผู้สอนกำหนด
3.4. ตะแกรงร่อนดินขนาดช่องเปิด 3/4 นิ้ว (19.0 มม.) และ 3/8 นิ้ว (9.5 มม.)
3.5. ค้อนยางสำหรับทุบดินให้เม็ดดินแยกตัวออกจากกันก่อนผสมน้ำ
3.6. ถาดผสมดิน ,ที่ตักดิน ,ขวดตวงน้ำหรือกระบอกตวง
3.7. เหล็กปาด (straight edge) สำหรับปาดแต่งผิวดินที่บดอัดแล้วให้เรียบเสมอขอบแบบอัดดิน
3.8. กระป๋องหาความชื้น
3.9. เครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด (0.01 กรัม) และเครื่องชั่งหยาบ อ่านค่าละเอียดถึง 1 กรัม และชั่งได้สูงสุดไม่น้อยกว่า 20 กิโลกรัม
3.10. เตาอบไฟฟ้า สามารถควบคุมอุณหภูมิคงที่

4. วิธีการทดสอบ

4.1. วัดขนาดความสูง , เส้นผ่านศูนย์กลาง และชั่งน้ำหนักแบบอัดดินที่ประกอบไว้กับ base plate
4.2. บันทึกหมายเลขกระป๋องหาความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักกระป๋องเปล่า
4.3. ใช้ตัวอย่างดินอบแห้งที่เตรียมไว้ให้ ใช้ค้อนยางทุบให้เม็ดดินแยกออกจากกันให้มากที่สุด อย่าให้ดินจับกันเป็นก้อน แล้วร่อนดินผ่านตะแกรง ¾ นิ้ว ส่วนที่ค้างบนตะแกรงให้แยกทิ้งไป ดินที่ร่อนผ่านตะแกรงนำใส่ถาดไปชั่งให้ได้ดินแห้งประมาณ 8-10 กิโลกรัม
4.4. ตวงน้ำใส่ขวดหรือกระบอกตวงให้ได้ปริมาตรตามความต้องการ เทน้ำผสมกับดินแห้งที่เตรียมไว้ คลุกเคล้าให้ดินมีความชื้นสม่ำเสมอกัน
4.5. ประกอบ collar เข้ากับขอบแบบอัดดิน แล้วตักดินใส่แบบอัดดินเพื่อบดอัดชั้นแรก โดยใช้ค้อนอัดดินบดอัดให้ทั่วถึงตลอดผิวหน้าดินในแบบอัดดินจนครบจำนวนครั้งที่กำหนด
4.6. ตักดินใส่แบบอัดดินเพิ่ม แล้วบดอัดชั้นต่อไป จนครบจำนวนชั้นที่กำหนดและให้มวลดินที่บดอัดชั้นบนสุดสูงกว่าขอบแบบอัดดินเล็กน้อย
4.7. ถอด collar ออกจากขอบแบบอัดดิน ใช้เหล็กปาดแต่งผิวหน้าดินที่บดอัดแล้วให้เรียบร้อยเสมอแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

4.8. ถอดแบบอัดดินออกจาก base plate แล้วดันดินออกจากแบบอัดดิน นำตัวอย่างดินส่วนหนึ่งใส่กระป๋องหาความชื้น นำไปชั่ง และเอาเข้าเตาอบเพื่อหาความชื้นของตัวอย่างดิน

4.9. นำดินที่บดอัดแล้วมารวมกับดินที่เหลืออยู่ ใช้ค้อนยางทุบให้เม็ดดินแยกออกจากกันไม่จับตัวกันเป็นก้อน แล้วผสมน้ำเพิ่มลงไปในปริมาณที่คำนวณไว้ล่วงหน้า เพื่อให้มวลดินมีความชื้นสูงขึ้น แล้วคลุกเคล้าให้มวลดินมีความชื้นสม่ำเสมอกันโดยตลอด

4.10. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 5.5 ถึง 5.9 จนพบว่าน้ำหนักของดินที่ชั่งได้ในขั้นตอนที่ 5.7 ลดลงต่อเนื่องกันเป็นจำนวน 2 ค่า หรือได้รับผลการทดสอบมากพอที่จะนำไป plot เป็น compaction curve เพื่อประเมินค่า maximum dry density และ optimum moisture content ได้ ก็เป็นอันสิ้นสุดการทดสอบ ซึ่งโดยปกติแล้ว จะต้องบดอัดดินที่ความชื้นต่างๆ อย่างน้อย 5 ครั้ง

5. บทวิเคราะห์วิจารณ์

ให้สรุปผลการทดสอบ และวิจารณ์ผลการทดสอบว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ อธิบายและแสดงให้เห็นถึงส่วนที่เป็นไปตามทฤษฎีและผิดไปจากทฤษฎี

CIVL 3702 ENGINEERING HIGHWAY TEST

COMPACTION TEST

ข้อมูลอุปกรณ์และวิธีการทดสอบ

แบบอัดดิน No.	วิธีทดสอบ	จำนวนชั้นบดอัด .... ชั้น
เส้นผ่าศูนย์กลาง .... ซม.	น้ำหนักค้อนอัดดิน .... ปอนด์	บดอัดชั้นละ .... ครั้ง
ความลึก .... ซม.	ระยะตกกระทบ .... นิ้ว	พลังงานบดอัด .... ft . Lb/cu.ft.

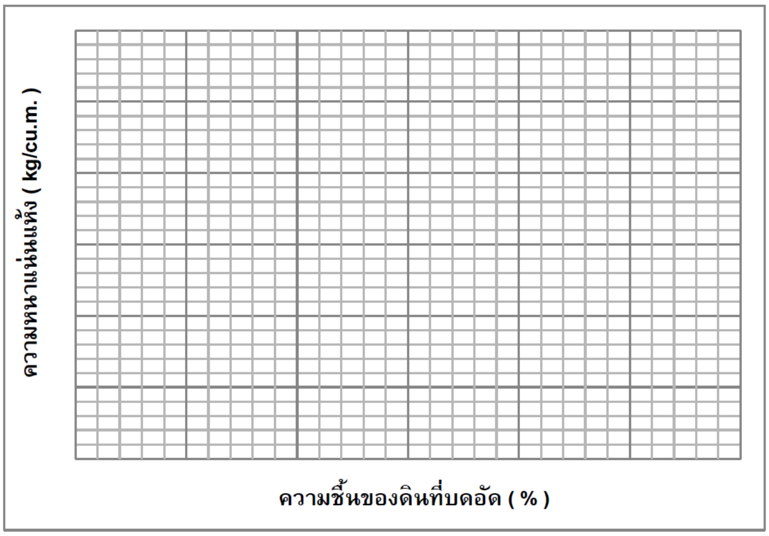
ข้อมูลการทดสอบบดอัดดิน

ทดสอบครั้งที่	1	2	3	4	5
น้ำหนักดินที่บดอัดแล้ว + แบบอัดดิน (กรัม)					
น้ำหนักแบบอัดดิน (กรัม)					
น้ำหนักดินที่บดอัดแล้วในแบบอัดดิน (กรัม)					
ปริมาตรแบบอัดดิน (ลบ.ซม.)					
ความหนาแน่นรวมของดินที่บดอัด (kg/cu.m.)					
ความชื้นของดินที่บดอัด (%)					
ความหนาแน่นแห้งของดินที่บดอัด (kg/cu.m.)					

การทดสอบเพื่อหาความชื้นของดินที่ใช้ทำการบดอัด

หมายเลขกระป๋องความชื้น					
น้ำหนักดินชื้น + กระป๋อง (กรัม)					
น้ำหนักดินแห้ง + กระป๋อง (กรัม)					
น้ำหนักกระป๋อง (กรัม)					
น้ำหนักน้ำในตัวอย่างดิน (กรัม)					
น้ำหนักดินแห้งในตัวอย่างดิน (กรัม)					
ความชื้นของดินที่ใช้บดอัด (%)					

COMPACTION CURVE



สรุปผลการทดสอบ

Maximum Dry Density

.... **kg/cu.m.**

Optimum Water Content

.... **%**

Remark

....

....

....

....

ปฏิบัติการที่ 4
การสูญเสียมวลรวมจากการขัดสีโดยวิธีลอสแองเจลลิส
(LOS ANGELES ABRASION TEST)

1. บทนำ

คอนกรีตสำหรับผิวหน้าถนน หรือใช้กับเขื่อน (ส่วนคลองระบายน้ำ) ต้องมีความแข็งแกร่งต่อการสึกกร่อน ดังนั้นมวลรวมหยาบจึงต้องมีความแข็งแกร่งต่อการสึกกร่อน โดยทั่วไปยิ่งการลดน้ำหนักจากการสึกกร่อนของมวลรวมหยาบมีน้อยเท่าไร การลดน้ำหนักเนื่องจากสึกกร่อนของคอนกรีตยิ่งมีน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงควรทดสอบหาการลดน้ำหนักเนื่องจากการสึกกร่อนของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องมือทดสอบความสึกหรอลอสแองเจลิส (Los Angeles Abrasion) และเป็นตัวชี้ว่าจะใช้วัสดุนั้นกับคอนกรีตสำหรับผิวหน้าถนน หรือ เขื่อน ได้หรือไม่

ความต้านทานต่อการสึกกร่อน หรือความแข็ง (Hardness) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอันหนึ่ง มวลรวมของผิวทางจะต้องมีลักษณะที่ไม่กลม และไม่มันเงาเนื่องจากการขัดสีของการจราจร เพื่อทำให้มีความต้านทานต่อการลื่นได้ดี พื้นของโรงงานที่มีปริมาณการจราจรมาก จะต้องมีความต้านทานต่อการสึกกร่อน สำหรับมวลรวมในชั้นพื้นทางจะรับน้ำหนักมาก จึงไม่ควรให้มีการสึกกร่อน เนื่องจากการเคลื่อนที่ระหว่างอนุภาค

การทดสอบหาค่าการสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบ ด้วยวิธีการทดสอบการขัดสีลอสแองเจลีส (Los Angeles Abrasion Test) ซึ่งใช้เครื่องมือทดสอบความสึกหรอลอสแองเจลิส (Los Angeles Abrasion Machine) วิธีนี้เป็นที่ยอมรับกันในการทดสอบความแข็งของมวลรวม การทดสอบทำโดยการเตรียมมวลรวมและนำไปใส่ในภาชนะทรงกระบอก (drum) ที่บรรจุลูกเหล็กทรงกลม แล้วหมุนภาชนะทรงกระบอกนี้ ก็จะสามารถหาค่าการสูญเสียของมวลรวมหรือปริมาณที่ถูกบดย่อยได้ ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นการเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุที่ใช้ทดสอบทั้งหมดกับน้ำหนักของวัสดุที่สูญเสียไป เนื่องจากการถูกขัดสีระหว่างวัสดุและลูกเหล็ก การถูกบดทับด้วยลูกเหล็กทรงกลมตามจำนวนที่กำหนด การถูกกระแทกทำลายด้วยการตกจากด้านหนึ่งลงมากระแทกอีกด้านหนึ่งของเครื่องทดสอบทรงกระบอกเหล็กที่หมุนด้วยความเร็ว 30-33 รอบต่อนาที ตามจำนวนรอบที่กำหนด

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

2.1. เพื่อหาค่าความสึกหรอของหินย่อย กรวดย่อย กรวด วัสดุลูกรัง วัสดุมวลรวมดิน (soil aggregates) และวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (coarse aggregates) โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion

2.2. เพื่อหาค่าน้ำหนักของวัสดุที่สูญเสียไป เนื่องจากการถูกขัดสี การถูกบดทับ การถูกกระแทกด้วยลูกเหล็กตามจำนวนที่กำหนด

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.1. เครื่อง Los Angeles Abrasion เป็นเครื่องมือที่ทำการทดสอบหาค่าความสึกหรอของวัสดุมวลหยาบ (COARSE AGGREGATE) อาทิเช่น หิน กรวด และลูกรัง

3.2. ลูกเหล็กทรงกลม (ABRASIVE CHARGE) Ø 46.8 ม.ม. แต่ละลูกหนักประมาณ 390-445 กรัม จำนวนลูกเหล็กขึ้นอยู่กับ grading ของตัวอย่าง ดังกำหนดไว้ในตารางที่ 4.1

3.3. ตะแกรง สำหรับหาขนาดคละของวัสดุมวลหยาบขนาดต่าง ๆ

3.4. เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้ 15 กิโลกรัม ความละเอียดอ่านได้ถึง 1 กรัม

3.5. เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 110±5° C สำหรับอบดินตัวอย่าง

รูปที่ 4.1 เครื่อง Los Angeles Abrasion

รูปที่ 4.2 ลูกเหล็กทรงกลมและตะแกรง

ตารางที่ 4.1 จำนวน ABRASIVE CHARGE ที่ใช้ในการทดลองแต่ละ Grading

Grading	จำนวน Abrasive Charge (ลูก)	มวลรวม (กรัม)
A	12	5,000 ± 25
B	11	4,584 ± 25
C	8	3,300 ± 20
D	6	2,500 ± 15
E	12	5,000 ± 25
F	12	5,000 ± 25
G	12	5,000 ± 25

ตารางที่ 4.2 Gradation และ จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดลอง (กรัม)

ขนาดตะแกรง (มม.)		A	B	C	D	E	F	G
ผ่าน	ค้าง	-	-	-	-	2,500 ± 50	-	
75.0	63.0	-	-	-	-	2,500 ± 50	-	
63.0	50.0	-	-	-	-	5,000 ± 50	5,000 ± 50	
50.0	37.5	-	-	-	-	-	5,000 ± 25	5,000 ± 25
37.5	25.0	1,250 ± 25	-	-	-	-	-	-
25.0	19.0	1,250 ± 25	-	-	-	-	-	-
19.0	12.5	1,250 ± 10	2,500 ± 50	-	-	-	-	-
12.5	9.5	1,250 ± 10	2,500 ± 50	-	-	-	-	-
9.5	6.3	-	-	2,500 ± 50	-	-	-	-
6.3	#4 (4.75มม.)	-	-	2,500 ± 50	-	-	-	-
#4 (4.75มม.)	#8 (2.36มม.)	-	-	-	5,000 ± 10	-	-	-
มวลตัวอย่างรวม (กรัม)		5,000 ± 10	5,000 ± 10	5,000 ± 10	5,000 ± 10	10,000 ± 100	-	-
จำนวนรอบ		500				1000		

4. วิธีการทดสอบ

4.1. ถ้าตัวอย่างไม่มีดินเหนียวปน เช่น กรวด ทราย หินโม่ ให้อบจนแห้งที่อุณหภูมิ 105 – 110 ℃ แล้วนำไปร่อนแยกขนาดคละ (grading) ตามตารางที่ 4.2 ถ้าเข้าได้หลาย grading ให้เลือกใช้ตัวที่ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการใช้งานมากที่สุด

4.2. ถ้าตัวอย่างมีดินเหนียวปนหรือมีส่วนละเอียดเป็นก้อนใหญ่แน่น ให้นำตัวอย่าง ไปล้างน้ำ เอาส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ทิ้ง แล้วนำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 8 มาอบจนแห้งที่อุณหภูมิ

105 – 110 °C แล้วนำไปร่อนแยกขนาดคละ (grading) ตามตารางที่ 4.2 ถ้าเข้าได้หลาย Grading ให้เลือกใช้ตัวที่ใกล้เคียงกับขนาดที่ต้องการใช้งานมากที่สุด

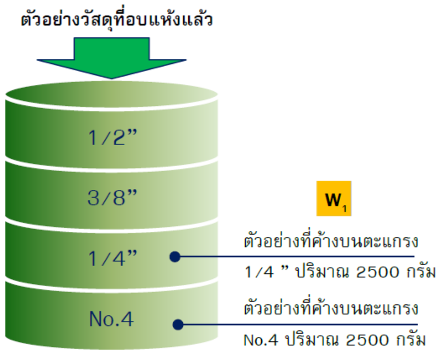
4.3. ชั่งน้ำหนักวัสดุตัวอย่างเป็น W_1 (กรัม) และเตรียมลูกเหล็กตามจำนวนที่กำหนดไว้ในตารางที่ 4.1 ตามรูปที่ 4.3

4.4. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ โดยปริมาณของตัวอย่างให้ใช้ตามตารางที่ 4.2 และจำนวนลูกเหล็กให้ใช้ตามตารางที่ 4.1 ใส่เข้าไปในเครื่อง Los Angeles

4.5. ปิดฝาถังกลมแล้วหมุนด้วยเครื่องด้วยความเร็ว 30-33 รอบต่อนาที ให้ได้จำนวนรอบตามตารางที่ 4.1

4.6. เมื่อหมุนได้ครบตามจำนวนรอบที่กำหนดแล้ว ให้เอาตัวอย่างออกจากเครื่องและร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 12 นำส่วนที่ค้างตะแกรงไปล้างให้สะอาด

4.7. นำส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 12 ที่ล้างเรียบร้อยแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 °C ให้แห้งและชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่เหลือเป็นค่า W_2 (กรัม)



รูปที่ 4.3 การหาค่า W_1

รูปที่ 4.4 การหาค่า W_2 โดยการอบวัสดุมวลรวมส่วนที่เหลือ

4.8. การคำนวณ

น.น. ที่สูญหายจากความสึกหรอ = น.น.ตัวอย่างวัสดุก่อนการทดสอบ – น.น. ที่ค้างบนตะแกรงเบอร์12

$= W_1 - W_2$

ความสึกหรอมีค่าเป็นร้อยละ (Percentage of wear) = $\dfrac{\text{น.น.ที่สูญหายไปเนื่องจากความสึกหรอ}}{\text{น.น.ของตัวอย่างวัสดุก่อนการทดสอบ}} \times 100$

$$= \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

5. บทวิเคราะห์วิจารณ์

5.1. วัสดุที่นำมาทำการทดสอบน้อยเกินไปทำให้มีวัสดุไม่พอที่จะทำการทดสอบ เพราะการทดสอบหาความสึกหรอต้องแยกขนาดของวัสดุให้ได้ตามข้อกำหนดของวิธีการทดสอบ จึงต้องนำวัสดุมาให้เพียงพอที่จะใช้ในการทดสอบ

5.2. การเตรียมตัวอย่างวัสดุไม่ถูกต้อง ไม่ได้ล้างเอาก้อนดินเหนียว หรือส่วนละเอียดที่ติดแน่นกับก้อนตัวอย่างออกก่อนที่จะนำตัวอย่างมาทำการทดสอบ ต้องทำการล้างเอาก้อนดินเหนียวหรือส่วนละเอียดที่ติดกับก้อนตัวอย่างออกโดยเอาส่วนที่ล้างผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ออกทิ้ง แล้วนำส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 8 มาทำการทดสอบ

5.3. ลูกเหล็กทรงกลมใช้งานมานานทำให้เกิดการสึกหรอ ทำให้น้ำหนักของลูกเหล็กทรงกลมไม่ถูกต้องตามมาตรฐาน ต้องทำการชั่งน้ำหนักของลูกเหล็กทรงกลมแต่ละลูกก่อนนำมาทำการทดสอบ

CIVL3702 ENGINEERING HIGHWAY TEST

LOS ANGELES ABRASION TEST

ชื่อ - สกุล	....	รหัส ....

Grading	....	No.of Abrasive Charges	....
		Wt.of Charge (g.)	....
		No.of REVOLUTION	....

SIEVE SIZE		Wt.OF SAMPLE (g.)		
PASSING	RETAINED ON	No.1	No.2	
1 1/2"	1"	1,250	1,250	
1"	3/4"	1,250	1,250	
3/4"	1/2"	1,250	1,250	
1/2"	3/8"	1,250	1,250	
3/8"	1/4"			
1/4"	#4			
#4	#8			
Original Weight of Sample	(W1) g	5,000	5,000	
Final Weight of Sample	(W2) g	3,655	3,610	
Loss	(W1-W2) g			
Percentage of Wear	(W1 - W2)*100/W1 (%)			
AVERAGE	(%)			

REMARKS Percentage of Wear ≤ %

ปฏิบัติการที่ 5
การทดสอบประเมินความหนาแน่นของมวลดินภาคสนามโดยวิธีแทนที่ด้วยทราย
FIELD DENSITY TEST : SAND REPLACEMENT METHOD

1. บทนำ

ในงานที่ใช้ดินเป็นวัสดุก่อสร้าง โดยมีการบดอัดดินให้มวลดินมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จะต้องมีวิธีการทดสอบประเมินว่า มวลดินที่บดอัดเสร็จสิ้นลงแล้วนั้น มีค่าความหนาแน่นแห้ง (dry density) เท่าใดเพื่อที่จะนำผลการทดสอบความหนาแน่นแห้งภาคสนามดังกล่าว ไปเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด(maximum dry density) ของมวลดินนั้นเมื่อบดอัดทดสอบโดยวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ เป็นข้อมูลสำหรับการประเมินประสิทธิภาพของการบดอัดในงานนั้นๆ เพื่อตัดสินว่าการบดอัดดินในงานก่อสร้างเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้หรือไม่ การทดสอบเพื่อนประเมินค่าความหนาแน่นแห้งของมวลดินภาคสนามหลังการบดอัดดินเสร็จสิ้นลงมีหลายวิธี วิธีที่จะนำมากล่าวถึงในที่นี้ คือ sand-cone หรือ sand replacement method ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายโดยทั่วไป

การทดสอบเพื่อประเมินความหนาแน่นของมวลดินที่บดอัดแล้วนี้ เป็นการทดสอบเพื่อหาข้อมูลนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นของมวลดินที่บดอัดแล้ว ตามสมการ

$$\rho_t = \frac{W_t}{V_t} \tag{5.1}$$

และคำนวณหาค่าความหนาแน่นแห้ง หรือ dry density ของมวลดินที่บดอัดแล้วนั้น จากสมการ

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{(1+w)} \tag{5.2}$$

เมื่อ ρ_t เป็นค่าความหนาแน่นรวม (bulk density หรือ total density) ของมวลดิน

ρ_d เป็นค่าความหนาแน่นแห้ง (dry density) ของมวลดิน

W_t เป็นน้ำหนักของมวลดิน

V_t เป็นปริมาตรของมวลดิน

w เป็นความชื้นของมวลดิน

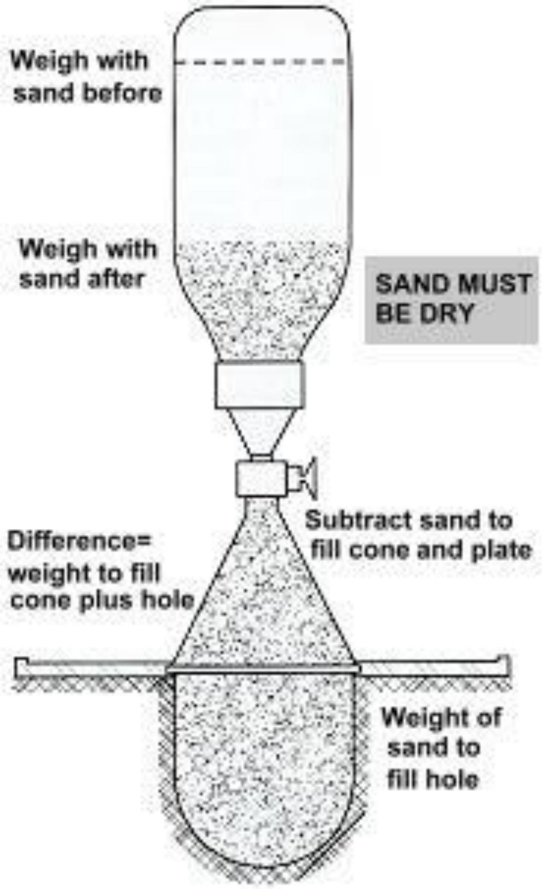
ดังนั้น เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับนำมาคำนวณประเมินค่า Dry Density ของมวลดินบดอัดในสนามตามที่กล่าวมาแล้ว จึงการทำการทดสอบโดยขุดหลุมลงไปในมวลดินที่บดอัดแล้ว เก็บมวลดินที่ขุดได้ทั้งหมดนำไปชั่งน้ำหนัก (W_t) แล้ววัดปริมาตรของหลุมที่ขุด (V_t) นำไปคำนวณหาความหนาแน่นรวมของมวลดินที่บดอัดแล้ว (ρ_t) นำมวลดินที่เก็บมาจากหลุมไปเข้าเตาอบเพื่อหาความชื้น (w) แล้วนำข้อมูลไปคำนวณ ตามสมการที่ 5.1 และ สมการที่ 5.2 หลังจากนั้น หากทราบค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ($\rho_{d(max)}$) ของมวลดินดังกล่าวที่บดอัดได้ในห้องปฏิบัติการ ก็จะสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบดอัดดินนั้นได้ โดยประเมินว่าสามารถบดอัดดินภาคสนามได้ความหนาแน่นแห้งเป็นร้อยละเท่าใดของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการบดอัดมวลดินนั้นตามวิธีมาตรฐานในห้องปฏิบัติการ (การทดสอบที่ 3 Compaction test) โดยทำการประเมินประสิทธิภาพการบดอัดเปรียบเทียบเป็นค่า Percent Compaction โดยที่

$$Percent\ Compaction = \frac{\rho_{d(field)}}{\rho_{d(max)}} \times 100\% \tag{5.3}$$

เมื่อ $\rho_{d(field)}$ เป็นค่า dry density ของมวลดินบดอัดแล้วที่ประเมินได้จากการทดสอบ field density

$\rho_{d(max)}$ เป็นค่า maximum dry density ของมวลดินนั้น ที่ประเมินได้จากการทดสอบ Compaction ในห้องปฏิบัติการ

จากขั้นตอนการทดสอบตามที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่า มีปัญหาอยู่ที่การวัดปริมาตรของหลุมที่ขุดลงไปในมวลดินที่บดอัดแล้ว เพราะหลุมที่ถูกขุดขึ้นนั้น ไม่สามารถควบคุมให้เป็นรูปเหลี่ยมหรือทรงกระบอกที่มีขนาดแน่นอน ทำให้ไม่สามารถวัดขนาดมาทำการคำนวณปริมาตรของหลุมโดยวิธีทางเรขาคณิตได้วิธีการวัดปริมาตรของหลุมที่ขุดลงไปในมวลดินที่บดอัดแล้วในที่นี้ จึงใช้การแทนที่ด้วยทราย โดยนำทรายที่ทราบค่าความหนาแน่น เทใส่ลงไปในหลุมจนเต็ม เมื่อทราบน้ำหนักทรายที่ใส่ลงไปจนเต็มหลุม ก็จะสามารถคำนวณหาปริมาตรของทรายในหลุม หรืออีกนัยหนึ่ง ก็คือ ปริมาตรของหลุมนั้นได้ วิธีการดังกล่าวนี้ก็ยังมีข้อจำกัดตามมาอีกคือ การทำให้ทรายที่ใช้ในการทดสอบมีความหนาแน่นคงที่ จึงจำเป็นต้องกำหนดลักษณะอุปกรณ์และวิธีเททรายลงหลุมให้เป็นอุปกรณ์และวิธีมาตรฐาน โดยใช้อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเรียกว่า sand-cone ดังแสดงไว้ในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 อุปกรณ์ SAND-CONE APPARATUS ตามมาตรฐาน ASTM

ปล่อยทรายจากที่เก็บลงไปในหลุมจากระยะสูงคงที่ โดยผ่านช่องเปิด (valve) ที่มีขนาดคงที่ เพื่อเปิดโอกาสให้เม็ดทรายที่ถูกปล่อยผ่านอุปกรณ์นี้ลงไปในหลุม สามารถจัดตัวได้ความหนาแน่นใกล้เคียงกันทุกครั้งที่ทำการทดสอบ นอกจากนั้น ลักษณะการจัดตัวของเม็ดทรายยังมีผลกระทบต่อความหนาแน่นของมวลทรายในหลุมดังนั้น เพื่อให้เม็ดทรายสามารถจัดตัวได้ในลักษณะที่ใกล้เคียงกันทุกครั้งที่ทำการทดสอบ จึงต้องเลือกใช้ทรายที่มีคุณลักษณะพิเศษ คือ เม็ดทรายที่จะต้องเป็นทรายเม็ดเล็ก มีลักษณะสัณฐานเป็นเม็ดกลม และแต่ละเม็ดมีขนาดใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพื่อให้เม็ดทรายสามารถสอดแทรกเข้าไปในช่องหลีบในหลุมได้อย่างทั่วถึงทุกจุด และสามารถจัดตัวได้ในลักษณะเดียวกันทุกครั้งที่ปล่อยทรายให้ไหลโดยอิสระจากอุปกรณ์ sand-cone ลงไปในหลุมที่ขุดทดสอบ ทรายที่ใช้ในการทดสอบ เป็นทรายมาตรฐาน เรียกว่า standard Ottawa silica sand หรือ จะใช้ทรายประเภทอื่นก็ได้ แต่ต้องมีคุณสมบัติตามที่ กำหนดไว้โดยมาตรฐาน ASTM คือ

- เม็ดทรายที่ใหญ่ที่สุดต้องมีขนาดไม่เกิน 2.0 มม. (ร่อนผ่านตะแกรง No.10)
- มีเม็ดทรายขนาดเล็กกว่า 0.25 มม. (ร่อนผ่านตะแกรง No.60) ไม่เกินร้อยละ 3.0 โดยน้ำหนัก
- มวลทรายจะต้องมีค่า Coefficient of Uniformity ($C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$) ไม่เกิน 2.0

แต่โดยทั่วไป จะนิยมใช้ทรายเม็ดกลมที่มีขนาดระหว่าง 0.85-0.425 มม. หรือ ร่อนผ่านตะแกรง No.20 และค้างบนตะแกรง No.40

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

2.1. เพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้และฝึกปฏิบัติการทดสอบเพื่อประเมินค่าความหนาแน่นแห้งของมวลดิน ที่บดอัดแล้วในงานก่อสร้างใดๆ โดยวิธี sand-cone method หรือ sand replacement method เพื่อให้ได้ข้อมูลนำไปใช้ประเมินประสิทธิภาพของการบดอัดดินนั้นๆ

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.1. sand-cone มี valve เปิด-ปิด ควบคุมการไหลของทราบผ่านกรวย พร้อมขวด หรือ container ใส่ทราย ติดตั้งร่วมกับ sand-cone ดังในรูปที่ 5.1

3.2. guide plate หรือ base plate เป็นแผ่นโลหะเจาะเป็นช่องกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของปากกรวย sand-cone (เส้นผ่านศูนย์กลางประมาน 6 นิ้ว) ใช้สำหรับเป็นฐานรับปากกรวย sand-cone ขณะปล่อยทรายลงหลุม และเป็นการกำหนดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหลุมที่จะขุดทดสอบ

3.3. แบบโลหะรูปทรงกระบอกมีปริมาตรมาตรฐาน มีเส้นผ่าศูนย์กลางทรงกระบอกเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของปากกรวย sand-cone เพื่อใช้ calibrate หาค่าความหนาแน่นของทรายที่ใช้ในการทดสอบ เมื่อปล่อยทรายลงหลุมผ่าน sand-cone แต่ละชุด

3.4. ทรายที่จะใช้ในการทดสอบ พร้อม scoop สำหรับตักทรายใส่ขวด

3.5. เครื่องชั่ง 20 กิโลกรัม อ่านได้ละเอียดถึง 1 กรัม และเครื่องชั่งไฟฟ้าชนิดละเอียด อ่านค่าได้ถึง 0.01 กรัม

3.6. แผ่นกระจกเรียบ ขนาดใหญ่กว่า 6 นิ้ว x 6 นิ้ว

3.7. ตะปูยึด guide plate เพื่อให้มีตำแหน่งคงที่บนผิวดิน อุปกรณ์ขุดหลุม อุปกรณ์ตักเก็บดิน และถุงพลาสติกใส่ดินที่ขุดจากหลุม หรือในที่นี้ จะใช้ถาดใส่ดินก็ได้

3.8. กระป๋องหาความชื้น (หรือจะใช้ถาดใส่ดินแทนถ้าใช้ดินทั้งหมดที่ขุดมาได้ ในการหาความชื้น)

3.9. เตาอบไฟฟ้า สามารถควบคุมอุณหภูมิคงที่ ประมาณ 100±5 °C สำหรับอบหาความชื้นของดิน

4. วิธีการทดสอบ

การทดสอบเรื่องนี้ แยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก ในข้อ 5.1 จะเป็นการทดสอบเพื่อประเมินค่า dry density ของทรายที่ใช้ทดสอบเมื่อปล่อยผ่าน Sand – Cone ชุดที่จะใช้ทดสอบลงไปในหลุม เรียกว่าการทดสอบ Sand – Cone Calibration หลังจากนั้นจึงเป็นการทดสอบส่วนที่ 2 ในข้อ 5.2 คือการขุดเจาะมวลดินที่บดอัดไว้แล้วในสนามเพื่อประเมินค่า Dry density ($\rho_{d(field)}$) ของมวลดินที่บดอัดไว้แล้วนั้น โดยใช้ทรายและชุดอุปกรณ์ guide plate และ sand-cone ที่ได้ calibrate ไว้แล้วในข้อ 5.1

4.1. <u>SAND-CONE CALIBRATION เป็นการทดสอบเพื่อประเมินค่าความหนาแน่นของทราย ที่ใช้ในการทดสอบเมื่อปล่อยผ่าน sand-cone และ guide plate แต่ละชุด</u>

1) วัดขนาดภายในแบบโลหะรูปทรงกระบอก เพื่อคำนวณปริมาตร

2) ตักทรายใส่ขวดที่ติดตั้งอยู่กับ Sand – Cone จนเต็ม นำไปชั่งน้ำหนัก

3) วาง guide plate บนแบบโลหะในข้อ 4.3 คว่ำ Sand – Cone ลงบน guide plate แล้วเปิด valve ให้ทรายไหลลงไปในแบบโลหะโดยอิสระ จนทรายหยุดไหลปิด valve แล้วนำขวดทรายพร้อม Sand – Cone ไปชั่งน้ำหนัก น้ำหนักทรายที่หายไปจากขวดจะเป็นน้ำหนักทรายที่ลงไปอยู่ในแบบโลหะและในส่วนที่เป็น Cone ของอุปกรณ์ Sand – Cone

4) ตักทรายใส่ขวดให้เต็มอีกครั้ง แล้วนำขวดทรายพร้อม sand-cone ไปชั่งน้ำหนัก

5) วาง guide plate ลงบนแผ่นไม้หรือแผ่นกระจกเรียบ แล้วคว่ำ sand-cone ลงบน guide plate แล้วเปิด valve ให้ทรายไหลลงไปบนพื้นเรียบโดยอิสระ จนทรายหยุดไหล ปิด valve แล้วนำขวดทรายพร้อม sand-cone ไปชั่งน้ำหนัก น้ำหนักทรายที่หายไปจากขวดในครั้งนี้ จะเป็นน้ำหนักทรายที่ลงไปอยู่ในส่วนที่เป็น cone ของอุปกรณ์ sand-cone

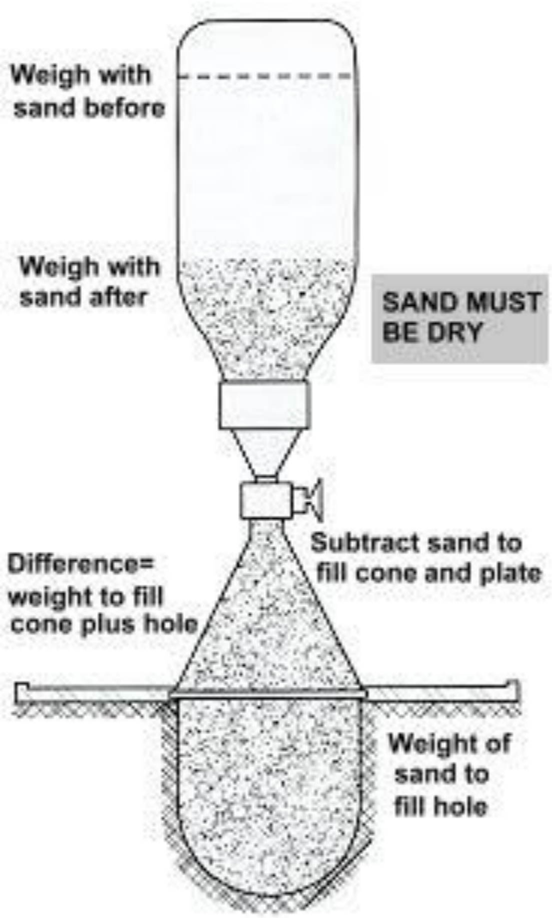
6) เมื่อนำน้ำหนักทรายที่หายไปจากขวดในข้อ 5) ไปลบออกจากน้ำหนักทรายที่หายไปจากขวดในข้อ 3) จะได้น้ำหนักทรายที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของแบบโลหะนั้น

7) ทดสอบค่าตามขั้นตอน 2) ถึง 5) ซ้ำ 3 ครั้ง จะคำนวณได้ค่าความหนาแน่นของทราย 3 ค่า ให้หาค่าเฉลี่ย ใช้เป็นค่าความหนาแน่นของทรายสำหรับใช้คำนวณผลการทดสอบ field density ต่อไป

4.2. <u>FIELD DENSITY TEST เป็นการทดสอบเพื่อหาข้อมูลนำมาคำนวณหาค่าความหนาแน่นของมวลดินที่บดอัดแล้วในงานบดอัดดินภาคสนาม</u>

1) ตักทรายใส่ขวดที่ติดตั้งอยู่กับ sand-cone จนเต็ม นำไปชั่งน้ำหนัก
2) เลือกตำแหน่งบนผิวดินที่จะทำการทดสอบ ใช้แปรงปัดเม็ดดินที่หลุดร่อนอยู่บนผิวดินออกให้หมด แล้ววาง Guide Plate ลงบนผิวดิน ตอกตะปูกำหนดตำแหน่งของ Guide Plate บนผิวดิน
3) คว่ำ Sand – Cone ลงบน Guide Plate แล้วเปิด valve ให้ทรายไหลลงไปบนผิวดินโดยอิสระจนทรายหยุดไหล ปิด valve แล้วนำขวดทรายพร้อม sand-cone ไปชั่งน้ำหนัก น้ำหนักทรายที่หายไปจากขวดในที่นี้ จะเป็นน้ำหนักทรายที่ลงไปอยู่ในส่วนที่เป็น cone ของอุปกรณ์ sand-cone เหนือผิวดินที่บดอัดไว้ทำการทดสอบ
4) เติมทรายลงใส่ขวดจนเต็มแล้วชั่งน้ำหนักขวดทรายพร้อม sand-cone อีกครั้งหนึ่ง
5) ยก Guide Plate ออกจากผิวดินตักและปัดทรายออกจากผิวดินให้หมดแล้วติดตั้ง Guide Plate กลับลงไปที่เดิมตามที่ตอกตะปูไว้เป็นเครื่องหมาย
6) เริ่มขุดหลุมทดสอบในมวลดินที่บดอัดแล้ว ขุดหลุมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับขนาดของช่องว่างบน Guide Plate ขุดให้ลึกลงประมาณ 4 – 5 นิ้ว (ลึกประมาณ 10-12 ซม.) แต่ต้องไม่ลึกกว่าความหนาของชั้นดินที่บดอัดไว้ทดสอบในครั้งนี้
7) เก็บดินที่ขุดได้ทั้งหมดใส่ถุง (หรือ ถาด) หากพบกรวดเม็ดใหญ่ให้แยกไว้ต่างหาก เมื่อขุดหลุมได้ขนาดที่ต้องการแล้วเก็บดินจากหลุมให้หมด อย่าให้มีกรวดเม็ดใหญ่เหลืออยู่ในหลุม แล้วนำกรวดเม็ดใหญ่ที่แยกไว้ใส่กลับลงไปในหลุม
8) คว่ำ Sand – Cone ลงบน Guide Plate แล้วเปิด valve ให้ทรายไหลลงไปในหลุมโดยอิสระจนทรายเต็มหลุม ดังในรูปที่ 5.2 เมื่อทรายหยุดไหลแล้ว ปิด valve แล้วนำขวดทรายพร้อม Sand – Cone ไปชั่งน้ำหนัก น้ำหนักทรายที่หายไปจากขวดในที่นี้ จะเป็นน้ำหนักทรายที่ลงไปอยู่ในหลุมที่ขุดเจาะไว้และในส่วนที่เป็น cone ของอุปกรณ์ Sand – Cone
9) เมื่อนำน้ำหนักทรายที่หายไปจากขวดในข้อ 3) ไปลบออกจากน้ำหนักทรายที่หายไปจากขวดในข้อ 5.2.8 จะได้น้ำหนักทรายที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของหลุมที่ขุดเจาะไว้นั้น
10) ตักทรายที่ยังมีสภาพดีจากหลุม นำกลับไปใช้ได้อีก

11) นำมวลดินที่ขุดได้ทั้งหมดไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปเข้าเตาอบเพื่อหาความชื้น



รูปที่ 5.2 ปล่อยทรายออกจาก SAND-CONE APPARATUS ลงไปในหลุมที่ขุดทดสอบจนเต็มหลุด

5. บทวิเคราะห์วิจารณ์

5.1. ให้สรุปผมการทดสอบ และวิจารณ์ลักษณะและคุณสมบัติของทรายที่ใช้ในการทดสอบนี้

5.2. ในการทดสอบครั้งนี้ มีสาเหตุใดบ้างที่อาจทำให้ผลการทดสอบผิดพลาดไปจากความเป็นจริง

5.3. เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะดินและความยากง่ายในการขุดหลุมทดสอบ ท่านคิดว่าค่า Dry Density ที่ประเมินได้ เหมาะสมแล้วหรือไม่ เพราะเหตุใด

CIVL3702 ENGINEERING HIGHWAY TEST

SAND - CONE CALIBRATION

ขนาดและปริมาตรของแบบทรงกระบอก

ทดสอบครั้งที่		1	2	3	4	ค่าเฉลี่ย
เส้นผ่าศูนย์กลาง	(cm.)					
ความลึก	(cm.)					
ปริมตรแบบทรงกระบอก	(cu. cm.)					

ทดสอบปล่อยทรายลงบนกระจกเรียบ

ทดสอบครั้งที่		1	2	3	4
น้ำหนักขวด + ทราย (ก่อนเททดสอบ)	(g)				
น้ำหนักขวด + ทราย (หลังเททดสอบแล้ว)	(g)				
น้ำหนักทรายใน Sand - Cone	(g)				

ทดสอบปล่อยทรายลงแบบทรงกระบอก

ทดสอบครั้งที่		1	2	3	4
น้ำหนักขวด + ทราย (ก่อนเททดสอบ)	(g)				
น้ำหนักขวด + ทราย (หลังเททดสอบแล้ว)	(g)				
น้ำหนักทรายใน Sand - Cone	(g)				

คำนวณความหนาแน่นของทราย

น้ำหนักทรายในแบบโลหะ	(g)				
ปริมาตรแบบโลหะ	(cu. cm.)				
ความหนาแน่นของทราย	(g/cu.cm.)				

ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของทราย	....	(g / cu.cm.)

CIVL3702 ENGINEERING HIGHWAY TEST

FIELD DENSITY TEST

SAND REPLACEMENT METHOD

การทดสอบความหนาแน่นในสนาม

การทดสอบหลุมที่					
		ก่อนขุดหลุม	หลังขุดหลุม	ก่อนขุดหลุม	หลังขุดหลุม
น้ำหนักขวด + ทรายเต็มขวด ก่อนทดสอบ	(g)				
น้ำหนักขวด + ทราย หลังเททรายทดสอบแล้ว	(g)				
น้ำหนักทรายในขวดที่หายไปจากการเททดสอบ	(g)				
น้ำหนักทรายเต็มหลุมที่ขุดทดสอบ	(g)				
ความหนาแน่นของทราย	(g / cu.cm.)				
ปริมาตรหลุมที่ขุดทดสอบ	(cu.cm.)				
น้ำหนักถาดใส่ดิน + ดินที่ขุดได้	(g)				
น้ำหนักถาดใส่ดินเปล่า	(g)				
น้ำหนักดินที่ขุดได้จากหลุมทดสอบ	(g)				
ความหนาแน่นรวมของดินในหลุมทดสอบ	(kg / cu.m.)				
ความชื้นของดินที่ขุดได้จากหลุมทดสอบ	(%)				
ความหนาแน่นแห้งของดินในหลุมทดสอบ	(kg / cu.m.)				
Maximum Lab. Dry Density	(kg / cu.m.)				
PERCENT COMPACTION	(%)				

การทดสอบหาความชื้น

หมายเลขกระป๋องความชื้น			
หมายเลขกระป๋อง + ดินชื้น	(g)		
หมายเลขกระป๋อง + ดินแห้ง	(g)		
หมายเลขกระป๋อง	(g)		
น้ำหนักน้ำในตัวอย่างดิน	(g)		
น้ำหนักดินแห้ง	(g)		
ความชื้นตัวอย่างดิน	(%)		

ปฏิบัติการที่ 6
ซี.บี.อาร์.
(CALIFORNIA BEARING RATIO)

1. บทนำ

คอนกรีตสำหรับผิวหน้าถนน หรือใช้กับเขื่อน (ส่วนคลองระบายน้ำ) ต้องมีความแข็งแกร่งต่อการสึกกร่อน ดังนั้นมวลรวมหยาบจึงต้องมีความแข็งแกร่งต่อการสึกกร่อน โดยทั่วไปยิ่งการลดน้ำหนักจากการสึกกร่อนของมวลรวมหยาบมีน้อยเท่าไร การลดน้ำหนักเนื่องจากสึกกร่อนของคอนกรีตยิ่งมีน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงควรทดสอบหาการลดน้ำหนักเนื่องจากการสึกกร่อนของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องมือทดสอบความสึกหรอลอสแองเจลิส (Los Angeles Abrasion) และเป็นตัวชี้ว่าจะใช้วัสดุนั้นกับคอนกรีตสำหรับผิวหน้าถนน หรือ เขื่อน ได้หรือไม่

การกำหนดวิธีทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการเลือกวัสดุที่เหมาะสมในการก่อสร้างถนน ซึ่งมีการรับน้ำหนักบรรทุกเพิ่มขึ้นมากนั้น ได้นำวิธีการทดสอบคุณสมบัติแบบ C.B.R. (California Bearing Ratio) เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและก่อสร้างถนน และวิธีการดังกล่าวก็เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้กันทั่วไป

C.B.R. Test เป็นวิธีการทดสอบวัดค่าแรงเฉือน (Shearing Resistance) ของวัสดุที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว (ส่วนมากจะทดสอบที่ Optimum Moisture Content) โดยการใช้ท่อนเหล็กตัน (Piston) ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนดินตัวอย่างที่เตรียมไว้ด้วยอัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที แล้วนำไปหาอัตราส่วนเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักมาตรฐาน ที่ได้จากการทดลองกดบนหินมาตรฐานบดอัดแน่นที่ความลึกของการจมตัวเท่ากัน ค่าที่ได้นี้เรียกว่า “เปอร์เซ็นต์ C.B.R.” โดยน้ำหนักมาตรฐาน(Standard Load) มีค่าดังนี้

ตารางที่ 6.1. ตารางเปรียบเทียบค่ามาตรฐาน

ค่าการจมตัว (Penetration) มิลลิเมตร	**น้ำหนักมาตรฐาน (Standard Load) กิโลกรัม**	**ค่าน้ำหนักมาตรฐาน (Standard Unit Load) กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร**
2.54 (0.1”)	1,360.8 (3,000 lb)	70.3 (1,000 lb/in^2)
5.08 (0.2”)	2,041.2 (4,500 lb)	105.46 (1,500 lb/in^2)
7.62 (0.3”)	2,585.5 (5,700 lb)	133.59 (1,900 lb/in^2)
10.16 (0.4”)	3,129.8 (6,900 lb)	161.71 (2,300 lb/in^2)
12.70 (0.5”)	3,538.0 (7,800 lb)	182.81 (2,600 lb/in^2)

หมายเหตุ พื้นที่หน้าตัดของท่อนกด = 1,935.5 ตารางมิลลิเมตร (3 ตารางนิ้ว)

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

2.1. เพื่อทดสอบความแข็งแรงของตัวอย่างดิน ที่บดอัดในห้องปฏิบัติการ โดยคำนวณหาค่า C.B.R.(ค่า C.B.R. เป็นค่าเปรียบเทียบ (ร้อยละ)ระหว่างกำลังรับแรงแบกทาน Bearing Capacity ของดินภายใต้น้ำหนักกด เปรียบเทียบกับกำลังมาตรฐาน ณ ค่าระยะยุบตัว (Penetration) ที่เท่ากัน

2.2. เพื่อวัดค่าแรงเฉือน (Shearing Resistance) ของดินที่บดอัดจนแน่นแล้ว

2.3. เพื่อวัดหาค่าการบวมตัว(swell)ของดินตัวอย่าง ภายใต้สภาวะที่ถูกแช่ในน้ำ (Soaking) ซึ่งเป็นการจำลองสภาวะของดินที่บดอัดในสนาม เช่น โครงสร้างทางชั้นต่างๆ ซึ่งอาจถูกน้ำไหลบ่าหรือท่วมขัง เป็นเวลานานพอที่ทำให้ดินบวมตัว เสียรูป หรือเสียเสถียรภาพในที่สุด

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.1. แบบ (Mold) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว และปลอก (collar)

3.2. ค้อน (Hammer) มี 2 ขนาด ดังนี้

1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีตัวบังคับให้ระยะตก 18 นิ้ว น้ำหนัก 10 ปอนด์

2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีตัวบังคับให้ระยะตก 12 นิ้ว น้ำหนัก 5.5 ปอนด์

3.3. เหล็กถ่วงน้ำหนัก (Surcharge Weight)

3.4. แผ่นวัดการขยายตัว (Swell plate)

3.5. สามขา (Tripod)

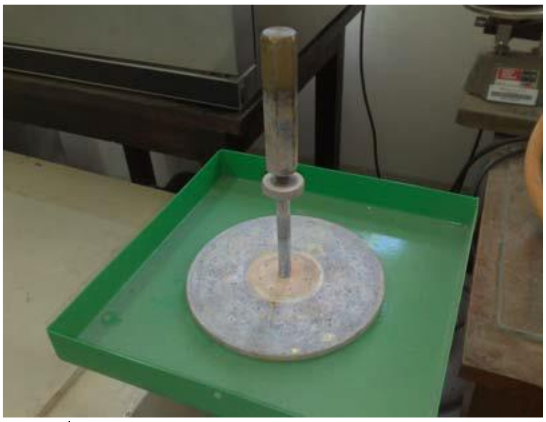
3.6. Dial gauge

3.7. เครื่องอ่านน้ำหนัก (Proving Ring)

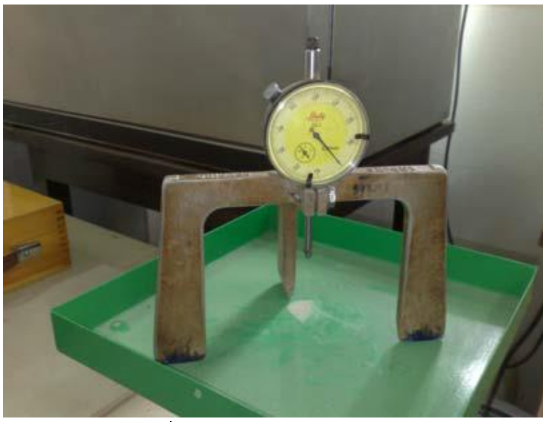
3.8. เครื่องกด (Loading Machine)

รูปที่ 6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการบดอัด

รูปที่ 6.2 แผ่นถ่วงน้ำหนัก (Surcharge Weight)



รูปที่ 6.3 แผ่นวัดการขยายตัว (Swell Plate)



รูปที่ 6.4 สามขา (Tripod)

รูปที่ 6.5 ท่อนกด (Penetration Piston)

รูปที่ 6.6 เครื่องกด (Loading Machine)

4. วิธีการทดสอบ

4.1. นำตัวอย่างดินประมาณ 6 กก. ไปผึ่งแห้ง หรืออบให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60°C แล้วใช้ค้อนยางทุบดินที่เกาะกันเป็นก้อนจนแยกออกจากกัน ดินที่เหมาะกับการทดสอบหาค่า CBR คือดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด ¾ " กรณีที่เม็ดดินค้างบนตะแกรง ¾ " ให้คัดเม็ดดินที่ค้างนั้นทิ้ง แล้วชดเชยด้วยดินที่ผ่านตะแกรงขนาด ¾ " แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 ด้วยน้ำหนักที่เท่ากัน

4.2. นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้แล้วจากข้อ 1 มาคลุกเคล้าจนเข้ากันดี ให้หาปริมาณน้ำที่มีอยู่จริง โดยการอบให้แห้งก็จะทราบปริมาณน้ำในดินที่มีอยู่ในตัวอย่าง จากนั้นให้เพิ่มน้ำจนได้ปริมาณน้ำในดินที่ความแน่นสูงสุด (Optimum moisture content : OMC. ซึ่งหาได้จากการทดสอบ Compaction) คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้วจนเข้ากันดี จากนั้นนำดินตัวอย่างประมาณ 100 กรัม ไปหาค่าความชื้น

4.3. แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบ กระทุ้งดินอัดแน่นในแบบ ตามวิธีการทดสอบหาค่าความแน่นที่ปริมาณความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุด (ก็คือตามวิธีทดสอบ Compaction)

4.4. หลังจากบดอัดจนครบตามจำนวนที่กำหนดในมาตรฐานแล้ว(มทช.(ท)501.1-2545 หรือ มทช.(ท)501.2-2545) ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบ พร้อมกับซ่อมแต่งผิวบนของดินให้เรียบร้อยเสมอกับปากแบบ

4.5. นำแบบและดินตัวอย่างในแบบไปชั่งน้ำหนัก เพื่อนำไปคำนวณหาความแน่นชื้น

4.6. วางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักบนดินตัวอย่าง ใส่แผ่นวัดการขยายตัว แล้วนำแบบลงแช่ในน้ำ ให้น้ำท่วมตัวอย่างให้มิด วางก้านสามขาลงบนปลอกของแบบ จัดให้ก้านของ Dial Gauge อยู่กึ่งกลางบนก้านของแผ่นวัดการขยายตัว จด Initial Reading ที่อ่านได้จาก Dial Gauge จากนั้นแช่น้ำทิ้งไว้ 96 ชั่วโมง (4 วัน) บันทึกวันและเวลาอ่าน ให้ทำการอ่านค่า Reading บน Dial Gauge ทุกๆวัน เพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การขยายตัว (swell)

4.7. เมื่อครบกำหนด 4 วัน ให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ตะแคงแบบให้น้ำไหลออกประมาณ 15 นาที ระวังอย่าให้ผิวหน้าของตัวอย่างเสียหาย จากนั้นยกแผ่นวัดการขยายตัวและแผ่นถ่วงน้ำหนักออก

4.8. ทำการชั่งหามวล เมื่อหักมวลของแบบออกก็จะทราบมวลของตัวอย่างภายหลังการแช่น้ำ แล้วจากนั้นนำไปทดสอบ Penetration Test ต่อไปโดยทันที

4.9. นำตัวอย่างตามข้อ 8 มาใส่แผ่นถ่วงน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่าง(แบบพร้อมดิน)ขึ้นตั้งบนที่ตั้งของเครื่องกด ตั้งให้ท่อนกดอยู่ตรงพอดีกับกึ่งกลางรูของแผ่นถ่วงน้ำหนัก

4.10. เดินเครื่อง กดให้แผ่นฐานเคลื่อนขึ้นหรือท่อนกดเคลื่อนลง จนท่อนกดสัมผัสผิวหน้าของตัวอย่าง มีแรงกดประมาณ 4 kg.(40 นิวตัน) ตั้งหน้าปัดของ Proving ring ให้เป็นศูนย์ พร้อมทั้งตั้งหน้าปัดของ Dial Gauge ที่วัด Penetration ให้เป็นศูนย์ด้วย

4.11. เพิ่มแรงลงบนท่อนกด ด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอเท่ากับ 1.27 มม. (0.05 นิ้ว) ต่อนาที โดยการอ่าน Penetration Dial Gauge เทียบกับนาฬิกาจับเวลา

4.12. ทำการบันทึกแรงกด เมื่อ Penetration อ่านได้ที่

(1) 0.63 มม. (0.025 นิ้ว)	(8) 5.08 มม. (0.200 นิ้ว)
(2) 1.27 มม. (0.050 นิ้ว)	(9) 6.35 มม. (0.250 นิ้ว)
(3) 1.90 มม. (0.075 นิ้ว)	(10) 7.62 มม. (0.300 นิ้ว)
(4) 2.54 มม. (0.100 นิ้ว)	(11) 8.89 มม. (0.350 นิ้ว)
(5) 3.17 มม. (0.125 นิ้ว)	(12) 10.16 มม. (0.400 นิ้ว)
(6) 3.81 มม. (0.150 นิ้ว)	(13) 11.43 มม. (0.450 นิ้ว)
(7) 4.44 มม. (0.175 นิ้ว)	(14) 12.70 มม. (0.500 นิ้ว)

เสร็จแล้วคลายแรงที่กดออก นำตัวอย่างพร้อมแบบออกจากแท่นของเครื่องกด ยกแผ่นถ่วงน้ำหนักออก จากนั้นนำตัวอย่างบริเวณที่ถูกท่อนกดๆลงไปเห็นรู ไปหาปริมาณน้ำในดิน(โดยขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 มม. ใช้ประมาณ 300 กรัม ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มม. ใช้ประมาณ 100 กรัม) นำปริมาณตัวอย่างดังกล่าวใส่ลงในกระป๋องอบดิน ชั่งหามวล แล้วนำไปอบจนแห้ง เพื่อหาปริมาณน้ำในดิน

4.13. ดำเนินการทดลอง Penetration Test ของตัวอย่างที่เตรียมไว้อีก 2 ตัวอย่าง โดยวิธีเดียวกัน

4.14. การคำนวณ

$$\text{ค่า } C.B.R\ (\text{ร้อยละ}) = \frac{x}{y} \times 100\% \qquad (6.1)$$

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

Y ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Load) หน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

5. บทวิเคราะห์และวิจารณ์

5.1. การติดตั้งมาตรวัดค่าการจมตัว (Penetration) จะมีความยุ่งยาก เนื่องจากท่อนกดของแต่ละรุ่นไม่เหมือนกันบางรุ่นสามารถติดมาตรวัดค่าการจมตัวที่ท่อนกดได้เลย บางรุ่นไม่สามารถติดมาตรวัดค่าการจมตัวที่ท่อนกดได้ต้องติดมาตรวัดกับโครง (Frame) ของเครื่องกด จึงควรระวังการอ่านค่าการจมตัว ถ้ามาตรวัดการจมตัวติดกับโครง (Frame) ต้องทำการแก้ค่าการจมตัว เนื่องจากการหดตัวของวงแหวน (Proving Ring) โดยหักค่าการหดตัวของวงแหวนออกจากค่าการจมตัว กรณีที่ติดมาตรวัดการจมตัวที่ท่อนกดไม่ต้องหักค่าการหดตัวของวงแหวน

5.2. เส้นกราฟมีลักษณะเป็นเส้นโค้งหงายขึ้น เนื่องจากความไม่ราบเรียบหรือเกิดจากการอ่อนยุ่ยที่ผิวหน้าของตัวอย่างเนื่องจากการแช่น้ำ จึงจำเป็นจะต้องแก้จุดศูนย์โดยการลากเส้นตรงให้สัมผัสกับเส้นที่ชันที่สุดของส่วนโค้งของเส้นกราฟไปตัดกับแกนตามแนวราบ คือเส้นที่ลากผ่านค่าน้ำหนักมาตรฐาน ให้ถือว่ามีค่าเท่ากับศูนย์ ต่อจากนั้นให้เลื่อนค่าศูนย์ของค่าการจมตัวไปที่จุดที่ตัดแล้วจึงหาค่า CBR. ที่ปรับค่า (Corrected CBR. Value) ต่อไป

5.3. ปกติค่า CBR. ที่มีการจมตัว 2.54 มม. (0.1 นิ้ว) จะต้องสูงกว่าค่า CBR. ที่มีการจมตัว 5.08 มม. (0.2 นิ้ว) ถ้าหากค่า CBR.ที่มีการจมตัว 5.08 มม. (0.2 นิ้ว) สูงกว่า ค่า CBR.ที่มีการจมตัว 2.54 มม. (0.1 นิ้ว) จะต้องทำการทดสอบใหม่ทั้งหมด แต่ถ้าค่า C.B.R. ที่มีการจมตัว 5.08 มม. (0.2 นิ้ว) ยังคงสูงกว่าอีก ก็ให้ใช้ค่า CBR. ที่มีการจมตัว 5.08 มม. (0.2 นิ้ว)

5.4. สำหรับดินจำพวกดินเหนียวมาก (Heavy Clay) หลังจากตากแห้งแล้วให้ทุบด้วยค้อนยางจนได้ตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้

5.5. ในการใช้ตุ้มทำการบดอัด ให้วางแบบบนพื้นที่มั่นคง แข็งแรง ราบเรียบ เช่น พื้นคอนกรีต ไม่ให้กระดก หรือกระดอนขึ้นขณะทำการบดอัด

CIVL3702 ENGINEERING HIGHWAY TEST

C.B.R. TEST

ชื่อ - สกุล	....	รหัส ....

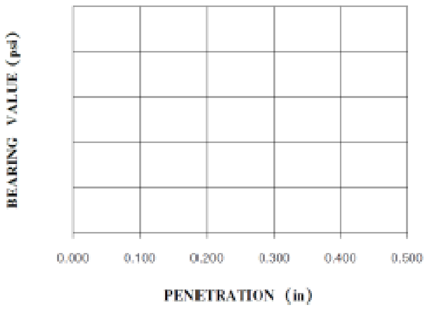
Remark	12 Blows

PENETRATION TEST	SURCHARGE 3 pcs.	=	15	lb	PROVING RING No.	
	PISTON AREA	=	3	in	FACTOR y =	

DENSITY	SOAKING	
	BEFORE	AFTER
MOLD No.		
WT. OF MOLD + SOIL g		
WT. OF MOLD g		
WT. OF SOIL g		
WET DENSITY g/cm^3		
DRY DENSITY g/cm		

WATER CONTENT	TOP	MIDDLE	BOTTOM	
CAN No.				
WT. OF CAN + WET SOIL g				
WT. OF CAN + DRY SOIL g				
WT. OF WATER g				
WT. OF CAN g				
WT. OF DRY SOIL g				
WATER CONTENT %				
AVERAGE WATER CONTENT %				**VOLUME OF MOLD =**

DATE	**RDG.** (mm)	**SWELL** (mm)	**SWELL** (%)	**DAYS**



PENETRATION (in)	DIAL RDG. (in)	LOAD RDG. (lb)	BEARING VALUE (psi)	C.B.R. (%)

CIVL3702 ENGINEERING HIGHWAY TEST

C.B.R. TEST

ชื่อ - สกุล	....	รหัส ....

Remark	25 Blows

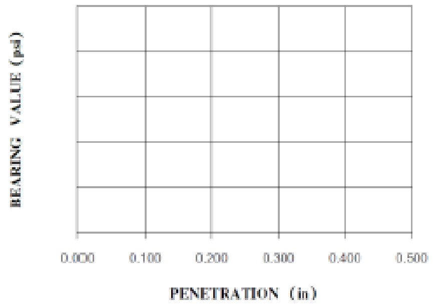
PENETRATION TEST	SURCHARGE 3 pcs.	=	15	lb	PROVING RING No.	
	PISTON AREA	=	3	in	FACTOR y =	

DENSITY		SOAKING	
		BEFORE	AFTER
MOLD No.			
WT. OF MOLD + SOIL	g		
WT. OF MOLD	g		
WT. OF SOIL	g		
WET DENSITY	g/cm³		
DRY DENSITY	g/cm³		

WATER CONTENT		TOP	MIDDLE	BOTTOM	
CAN No.					
WT. OF CAN + WET SOIL	g				
WT. OF CAN + DRY SOIL	g				
WT. OF WATER	g				
WT. OF CAN	g				
WT. OF DRY SOIL	g				
WATER CONTENT	%				
AVERAGE WATER CONTENT	%				**VOLUME OF MOLD =**

DATE	**RDG.** (mm)	**SWELL** (mm)	**SWELL** (%)	**DAYS**

PENETRATION (in)	DIAL RDG. (in)	LOAD RDG. (lb)	BEARING VALUE (psi)	C.B.R. (%)



CIVL3702 ENGINEERING HIGHWAY TEST

C.B.R. TEST

ชื่อ - สกุล	....	รหัส ....

Remark	56 Blows

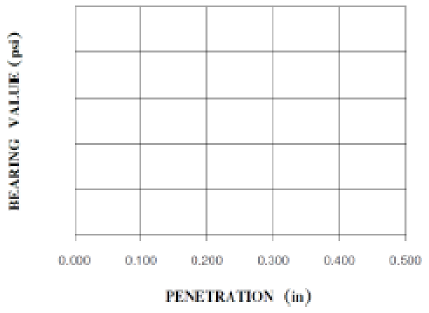
PENETRATION TEST	SURCHARGE 3 pcs.	=	15	lb	PROVING RING No.	
	PISTON AREA	=	3	in	FACTOR y =	

DENSITY		SOAKING	
		BEFORE	AFTER
MOLD No.			
WT. OF MOLD + SOIL	g		
WT. OF MOLD	g		
WT. OF SOIL	g		
WET DENSITY	g/cm		
DRY DENSITY	g/cm		

WATER CONTENT		TOP	MIDDLE	BOTTOM	
CAN No.					
WT. OF CAN + WET SOIL	g				
WT. OF CAN + DRY SOIL	g				
WT. OF WATER	g				
WT. OF CAN	g				
WT. OF DRY SOIL	g				
WATER CONTENT	%				
AVERAGE WATER CONTENT	%				**VOLUME OF MOLD =**

DATE	RDG. (mm)	SWELL (mm)	SWELL (%)	DAYS

PENETRATION (in)	DIAL RDG. (in)	LOAD RDG. (lb)	BEARING VALUE (psi)	C.B.R. (%)



CIVL3702 ENGINEERING HIGHWAY TEST		
C.B.R. TEST		
ชื่อ - สกุล	....	รหัส ....

BLOW	C.B.R.	DENSITY	SWELL	REMARKS
12				
25				
56				

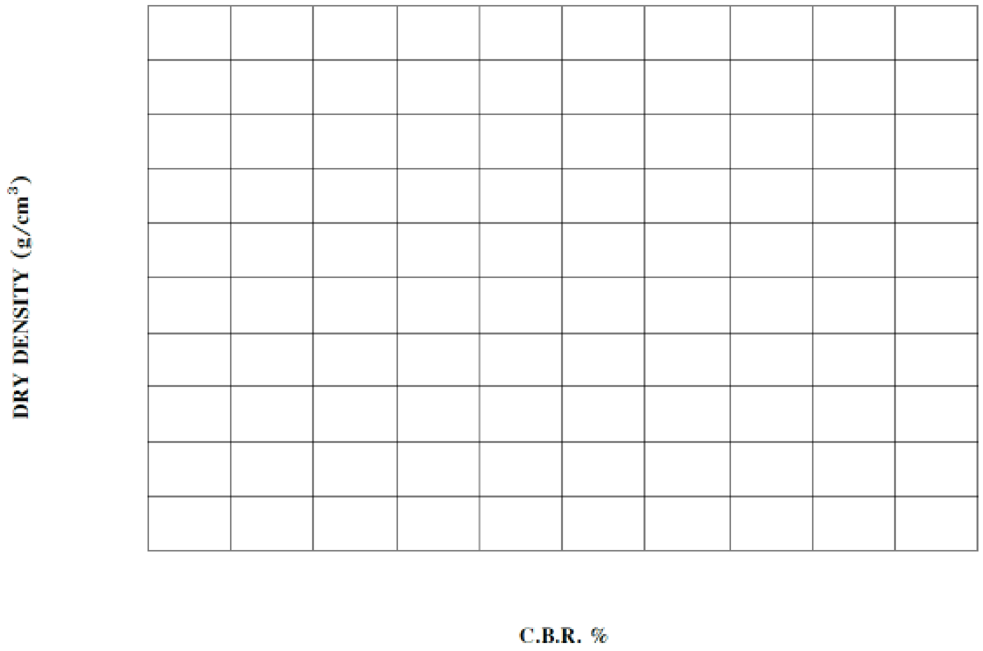
100%	STANDARD PROCTOR	=	g/cm^3
95%	STANDARD PROCTOR	=	g/cm^3

Optimum Moisture Content = %

Required Percent Compactio = %

Water Content of (molding) C.B.R. = (avg) %

C.B.R. = %



ปฏิบัติการที่ 7

การทดสอบแรงแบกทานของดิน

UNCONFINED COMPRESSION TEST

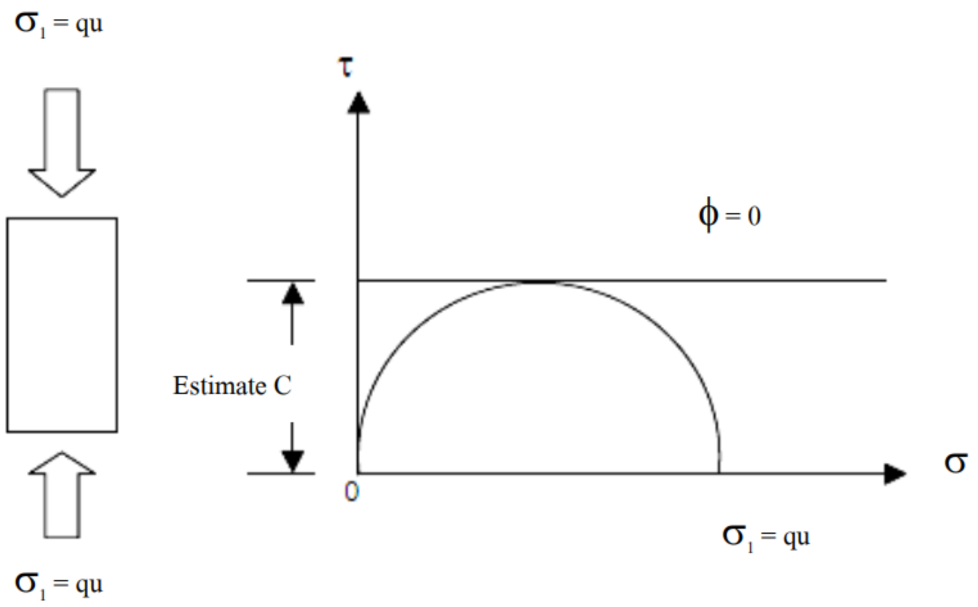
1. บทนำ

การทดสอบแรงอัดดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง เพื่อหากำลังด้านทายแรงเฉือนของดิน (U_c) โดยไม่มีแรงดันด้านข้างมากระทำต่อผิวตัวอย่างดิน ชนิดดินเหนียว ในดินเหนียวอ่อนและดินเหนียวอ่อนปานกลาง กำลังของดินส่วนใหญ่ มักเกิดจากความเหนียว การทดสอบแรงอัดแกนเดียวเป็นวิธีการหาค่าประมาณของความเหนียวของดิน โดยวิธีง่ายซึ่งทำได้ สะดวกและรวดเร็ว การทดลองแบบนี้ไม่สามารถหาค่ามุมเสียดทานภายในได้ เนื่องจากการทดสอบนี้จะทำแบบเร็วและน้ำยังไม่มีโอกาสระบายไปได้ โดยปกติจะเป็นดินอิ่มตัว และค่ามุมเสียดทานมีค่าเป็นศูนย์ และค่าความด้านทานแรงเฉือนของดินเท่ากับครึ่งหนึ่งของความด้านทานต่อแรงอัดสูงสุดของดินแบบไม่ถูกจำกัดโดยใช้มาตรฐานที่ในการทดสอบคือ ASTM D 2166-00 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil

การทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test) นี้เป็นการทดสอบแบบไม่มีการอัดตัวคายน้ำ และไม่มีการระบายน้ำ นิยมใช้กับการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินเหนียวอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยความดันรอบข้างมีค่าเป็นศูนย์ แรงในแนวดิ่งกระทำต่อดินตัวอย่างอย่างรวดเร็ว การทดสอบนี้เป็นวิชี ที่ง่ายที่จะหากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่คายน้ำ (Undrained shear strength) โดยถือว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในมวลดินในระหว่างการทดสอบโดยวิธีการทพลองแบบนี้ไม่สามารถหาค่ามุมเสียคทานภายใน (มุม ∅) ได้ เนื่องจากการทคตองนี้จะทำแบบเร็วและน้ำยังไม่มีโอกาสระบายออกไปได้ ค่ากำลังด้านทานต่อแรงเฉือนจะเท่ากับครึ่งหนึ่งน่วยแรงกดสูงสุดคือ $\frac{S_u}{2}$ เมื่อ S_u คือกำลังด้านทานแรงกดแบบ แรงอัดแกนเดียว และในบางครั้งจะใช้สัญลักษณ์เป็นตัว (c) ก็จะมีค่าเท่ากับ

$$c = \frac{q_u}{2} \qquad (7.1)$$

เมื่อ q_u ความด้านทานต่อแรงอัดสูงสุดของดินแบบไม่ถูกจำกัด



รูปที่ 7.1 แสดง สถานะStress โดย Mohr’s Circle

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

2.1. เพื่อให้นักศึกษาได้เรียนรู้และฝึกปฏิบัติการทดสอบคำนวณและวิเคราะห์ผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียว รวมถึงอธิบายพฤติกรรมของตัวอย่างดินที่ถูกกดได้

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.1. อุปกรณ์อัดดินตัวอย่าง

3.2. เครื่องดันตัวอย่างดินออกจากกระบอก

3.3. มาตรวัด วัดละเอียดถึง 0.01 มม. หรือ0.001 นิ้ว

3.4. แผ่นน้ำหนัก

3.5. อุปกรณ์แต่งตัวอย่าง+ เลื่อยเส้นลวด

3.6. เครื่องชั่งความละเอียด 0.1 กรัม

3.7. เวอร์เนียร์

3.8. กระป๋องอบดิน

3.9. เตาอบ

4. วิธีการทดสอบ

4.1. ตัวอย่างดินจะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางอย่างน้อย 3 ซม. อัตราส่วนระหว่างความสูงของดินตัวอย่างต่อเส้นผ่าศูนย์กลางควรมีค่าระหว่าง 2 ถึง 2.5

4.2. ถ้าเป็นตัวอย่างดินเป็นคงสภาพ ซึ่งเป็นดินที่ได้จากการเก็บดินจากกระบอกบาง หลังจากเอาตัวอย่างดินออกจากกระบอกบางแล้ว ตัดแต่งตัวอย่างดินให้ได้ขนาดตามต้องการ หุ้มด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันปริมาณน้ำเปลี่ยนแปลง ก่อนการทดลอง พร้อมทั้งเก็บไว้ในห้องควบคุมความชื้น

4.3. ถ้าเตรียมตัวอย่างดินแบบไม่คงสภาพ ชั้นดินตัวอย่างให้ได้ขนาดตามที่กำหนดไว้ และปริมาณความชื้เท่ากับดินตัวอย่างคงสภาพ หลังจากนั้นให้ชั่งน้ำหนัก วัดความสูงและวัดเส้นผ่าศูนย์กลางของดินตัวอย่าง

4.4. วางดินตัวอย่างให้อยู่กึ่งกลางของแผ่นฐานของอุปกรณ์

4.5. ติดตั้งมาตรวัดการหดตัว และมาตรวัดที่อยู่ในวงแหวนวัดแรง

4.6. เริ่มการกดตัวอย่างโดยอัตราการกดคงที่ (การเคลื่อนที่แนวดิ่งของเครื่องให้อยู่ในช่วง 0.02 ถึง 0.1 นิ้วต่อนาที ปกติใช้ 0.05 นิ้วต่อนาที) ตามความเหมาะสมในช่วงอ่านต่างๆกัน เมื่อแรงกดถึงจุดสูงสุดนั้นคือถึงจุดวิบัติหรือจุดสูงสุดของกำลังดิน

4.7. บันทึกข้อมูลจากวงแหวนวัดแรงทุกๆการหดตัว 0.005 นิ้ว ของตัวอย่าง (อาจจะใช้ 0.002 นิ้ว ในกรณีตัวอย่างเป็นดินเปราะ)

4.8. เมื่อแรงในวงแหวนวัดแรงเพิ่มขึ้นไปสูงสุดแล้วเริ่มจะลดลง ซึ่งแสดงว่าถึงจุดสูงสุดของกำลังของดิน ให้ยังคงอ่านผลต่อไปจนเห็นแนวเฉือนบนตัวอย่างได้ชัดเจน ในบางกรณีที่ไม่มีรอยเฉือนปรากฏชัด เช่น ตัวอย่างดินเปลี่ยนสภาพ ให้ทดสอบจนการหดตัวถึงประมาณ 20% ของความสูงของตัวอย่าง (20% Strain)

4.9. บันทึกความชื้นของดินตัวอย่างก่อนทดลองและหลังทดสอบ

4.10. วาครูปหรือถ่ายรูปในส่วนของตัวอย่างดินที่วิบัติ พร้อมแสดงมุมของระนาบการวิบัติ

4.11. การคำนวณผลการทดสอบ

1) การคำนวณหาพื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดินที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความสูงของตัวอย่างดินแต่ปริมาตรดินคงที่ระหว่างทดสอบ

$$A_s = \frac{A_0}{(1-\varepsilon)} \qquad (7.2)$$

เมื่อ ε ค่าความเครียด (Strain) ของตัวอย่างดิน ($\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$)

A_s พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินในขณะที่มีการหดตัว

ΔL ระยะหดตัว

L_0 ความสูงของตัวอย่างดินเริ่มต้น

2) คำนวณหาค่าความเค้นอัดบนตัวอย่างดิน

$$\sigma_v = \frac{F_v}{A_s} \qquad (7.3)$$

เมื่อ σ_v ค่าความเค้นอัดบนตัวอย่างดิน

F_v แรงอัดที่เกิดขึ้น ได้จกค่าที่อ่านจาก Proving Ring คูณ ค่าคงที่ของ Proving Ring

A_s พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่างดินในขณะที่มีการหดตัว

3) คำนวณหาค่ากำลังรับแรงอัดของดินตัวอย่าง พร้อมทั้งเขียนกราฟแสดงค่ากำลังรับแรงอัดกับการหดตัวที่เกิดขึ้น พร้อมทั้งหาค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด (Maximum stress) จะมีค่าที่เรียกว่า Unconfined Compressive Strength, (U.C.S.)

$$C = \frac{U.C.S.}{2} = \frac{S_u}{2} \qquad (7.4)$$

5. บทวิเคราะห์วิจารณ์

5.1. ให้สรุปผลการทดสอบ และวิจารณ์ลักษณะและคุณสมบัติของทรายที่ใช้ในการทดสอบนี้

5.2. ในการทดสอบครั้งนี้ มีสาเหตุใดบ้างที่อาจทำให้ผลการทดสอบผิดพลาดไปจากความเป็นจริง

5.3. เมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะดินและความยากง่ายในการขุดหลุมทดสอบ ท่านคิดว่าค่า Dry Density ที่ประเมินได้ เหมาะสมแล้วหรือไม่ เพราะเหตุใด

CIVLS 3702 ENGINEERING HIGHWAY
UNCONFINED COMPRESSION TEST

Project Name : ……………………………… Sample No. : ……………………………… Date of Test : ………………………………

Location : …………………………………… Boring No. : ……………………………… Tested by : …………………………………

Soil Sample : ……………………………… Depth (m) : ……………………………… Checked by : ………………………………

ข้อมูล COMPRESSION MACHINE

Proving Ringn No. Capacity	
Proving Ringn Dial Gauge Reading 1 div =	kg.
Deformation Dial Gauge Reading 1 div =	mm.
Rate of compression	mm./min

Height (Lo)	(m.)	
Width	(m.)	
Length	(m.)	
Area(Ao)	(sq.m.)	
Volumn(Vo)	(cu.m.)	
Weight	(g)	
Bulk Density	(Kg/cu.m)	

Dial Deformation		Axial Strain (dL/Lo)	% Axial Strain	Cerrected Area (sq.m.)	Proving Ring Reading (div.)	Axial Load (Ton)	Compressive stress (T/sq.m.)
(div.)	(mm)						

ปฏิบัติการที่ 8
การทดสอบสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์โดยทดสอบความเหนียวของบิทูเมน
(DUCTILITY TEST)

1. บทนำ

ผิวทางราดยาง (Bituminous Pavements) ประกอบด้วย หินแร่ (มวลรวม) กับ Bituminous ซึ่งเป็นตัวเชื่อมประสาน ผิวทางราดยางแบ่งย่อยเป็นหลายประเภท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสม วิธีผสม ราดเทบดอัด หรือลำดับขั้นตอนก่อสร้าง ผิวทางราดยางมีคุณสมบัติดีหลายข้อ อาทิ ยืดหยุ่น ทนทานต่อการแตกระแหง หรือหลุดร่อน (Freedom from cracking or raveling) พอสมควร ทนทานต่อสภาพอากาศและอุณหภูมิ ทั้งร้อน และเย็น หรือไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำ (Resistance to weather, including effects from surface water, heat, cold and oxidation) ทนทานต่อกรด ด่าง และปฏิกิริยาเคมีพอสมควรทนทานต่อความชื้น และแรงดันน้ำใต้ดิน (Resistance to internal moisture, particularly to water vapor) แน่น และทึบน้ำ สามารถปรับผิวได้ราบเรียบ (Smooth riding) แต่ขณะเดียวกันก็ความฝืด หรือ แรงเสียดทาน หรือขรุขระพอที่จะไม่ลื่น (Non-skid)

ASTM วิเคราะห์ศัพท์ แอสฟัลต์ ว่าเป็นวัสดุประสานสีน้ำตาลแก่ถึงสีดำ มีบิทูเมน (Bitumen) เป็นส่วนประกอบหลักเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือได้จากการกลั่นปิโตรเลียมดิบ เรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่าปิโตรเลียมแอสฟัลต์ (Petroleum asphalt) ปิโตรเลียมแอสฟัลต์ที่นำมาใช้ในงานทาง เรียกว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt cement) ซึ่งแยกประเภทจากแอสฟัลต์ที่ใช้ในงานอื่นที่ไม่ใช่งานทาง โดยแอสฟัลต์ซีเมนต์เมื่อรวมกับวัสดุมวลรวมในสัดส่วนที่เหมาะสม สามารถใช้เป็นผิวทางดังเช่นในปัจจุบัน

แอสฟัลต์ที่ใช้ในงานทางเป็นผลิตภัณฑ์พื้นฐานที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ โดยแบ่งเป็นเกรดหรือพวกกึ่งของแข็งที่ทดสอบความแข็งโดยความต้านทานการเจาะทะลุ (Penetration) และพวกที่มีความหนืด (Viscosity type) Cutback หรือแอสฟัลต์เหลว เป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับตัวทำละลายเพื่อลดความหนืด ซึ่งจะทำให้การใช้งานง่ายขึ้นที่อุณหภูมิปกติ ในการพ่นบนวัสดุมวลรวมอาจจะมีการให้ความร้อนเมื่อต้องการ เมื่อตัวทำละลายระเหยไปจะบ่มตัวทำให้แข็ง และยึดกันแน่นกับอนุภาคของมวลรวม ชนิด หรือ เกรดของ Cutback จึงขึ้นกับชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งทำให้หนืด และระเหยตัวแตกต่างกัน ส่วน Emulsion หรือ Emulsified Asphalt เป็นส่วนผสมของแอสฟัลต์ซีเมนต์กับน้ำ แต่เนื่องจากองค์ประกอบทั้งสองไม่สามารถรวมกันได้โดยตรง จึงต้องเติม Emulsifier ลงในส่วนผสม เพื่อ Emulsifier จะทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์แตกตัว และกระจายออกในรูปของหยดที่มีขนาดเล็กมากในน้ำเมื่อใช้งาน Emulsion จะก่อตัวพร้อม ๆ กับน้ำระเหยไป โดยทั่วไป Emulsion ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ และ Emulsifier ร้อยละสาม เป็นอย่างมาก แล้วเติมน้ำให้ครบส่วน โดยทั่วไป Emulsify asphalt มีสองประเภท ขึ้นกับชนิดของ Emulsifier คือ Cationic emulsion

อนุภาคของแอสฟัลต์จะมีประจุบวก และ Anionic Emulsionอนุภาคของแอสฟัลต์จะมีประจุลบ Anionic emulsion เกาะติดกับอนุภาคของมวลรวมที่มีประจุบวกได้ดีเช่น ซิลิก้า (ทราย) ส่วน Cationic emulsion จะใช้งานได้ดีกับมวลรวมที่เปียก และในสภาพอากาศหนาวเย็นกว่า

ณ อุณหภูมิปกติแอสฟัลต์ซีเมนต์มีคุณสมบัติกึ่งแข็ง (Semi-solid) มีความหนืดสูง ประกอบด้วยโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนที่ซับซ้อน และอะตอมอื่น ๆ อาทิ ออกซิเจนร้อยละ 0 - 5 คาร์บอนร้อยละ 70 - 85 ไฮโดรเจนร้อยละ 7 - 12 ไนโตรเจนร้อยละ 0 - 6 ซัลเฟอร์ร้อยละ 1 - 7 เนื่องจากคุณสมบัติที่ข้นเหนียว หรือมีความหนืด จึงยึดเกาะกับอนุภาคของมวลรวมได้ดี ใช้เป็นตัวประสาน (Binder) รวมเรียกส่วนผสมว่า แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphaltic concrete) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทึบน้ำ (Water proof)คงทนต่อกรด ด่าง และเกลือ เนื่องจากเปลี่ยนแปลงสถานะได้ตามอุณหภูมิ โดยจะค่อย ๆ อ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น กลับกัน จะแข็งตัวเมื่อเย็นลง บางครั้งจึงอาจเรียกวัสดุเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic material) ตารางที่ 8.1 แสดงการแบ่งเกรดแอสฟัลต์ซีเมนต์

ตารางที่ 8.1 การแบ่งเกรดแอสฟัลต์ซีเมนต์

Penetration Grade	AC 40 – 50
	AC 60 – 70
	AC 85 – 100
	AC 120 – 150
	AC 200 – 300
Viscosity Grade	AC – 2.5
	AC – 5
	AC – 10
	AC – 20
	AC – 40

ความเหนียวเป็นคุณสมบัติหนึ่งของแอสฟัลต์ หรือวัสดุจำพวกบิทูมินัส ที่กึ่งแข็ง ความเหนียวเช่นว่านี้ เป็นความสามารถยืดหยุ่นได้ภายใต้แรงดึง และด้วยคุณสมบัติข้อนี้ จึงทำให้ผิวทางที่ใช้บิทูมินัสเป็นตัวเชื่อมประสาน ยืดหยุ่นได้ และดูดซับแรงกระแทกได้ดี

ความเหนียว (Ductility) ภายใต้แรงดึงตามมาตรฐานทดสอบนี้ หมายถึงระยะทาง หรือระยะยืดตัว (Elongation) ในหน่วยเซนติเมตร ของตัวอย่างวัสดุจำพวกบิทูมินัสซึ่งถูกดึงทดสอบด้วยอัตราความเร็วในการดึงคงที่ตามที่มาตรฐานกำหนด ภายใต้อุณหภูมิควบคุม (ตารางที่ 8.2)

ตารางที่ 8.2 อุณหภูมิ และอัตราเร็วในการทดสอบความยืดหยุ่นของบิทูมินัสตาม ASTM D 113-99

อุณหภูมิทดสอบ (°C)	อัตราเร็วของการดึง (เซนติเมตรต่อนาที)	อัตราทดสอบคลาดเคลื่อนได้ (%)
25 ± 0.5	5	± 5
4	1	-

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

2.1. เพื่อทดสอบความเหนียวของวัสดุจำพวกบิทูมินัส (Bituminous material) โดยวิธีตามมาตรฐานระบุ

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.1. แบบหล่อ (Mold) ตัวอย่างบิทูมินัส

3.2. อ่างน้ำ ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้

3.3. เครื่องดึง หรือยืดชิ้นตัวอย่าง (Ductility machine)

3.4. ใบมีด (Spatula) สำหรับปรับแต่งผิวชิ้นตัวอย่าง

3.5. เทอร์โมมิเตอร์

4. วิธีการทดสอบ

4.1. การเตรียมตัวอย่าง

1) เตรียมตัวอย่างโดยใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ ให้ความร้อน (Pre-heat) โดยใช้อุณหภูมิที่แนะนำ (ตารางที่ 8.3)แล้วเทแอสฟัลต์ขณะร้อนลงในแบบหล่อ (ให้ระมัดระวังอุณหภูมิที่ใช้ต้ม หากสูงเกินไปอาจลุกไหม้ มีอันตรายได้)
2) ทิ้งตัวอย่างในแบบหล่อไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30 นาที
3) แช่แบบหล่อพร้อมตัวอย่างในอ่างควบคุมอุณหภูมิอีกประมาณ 30 นาที
4) ใช้ใบมีดที่เผาไฟร้อนปาดแต่งชิ้นตัวอย่างให้เต็มแบบหล่อและเรียบ
5) ประกอบแบบหล่อ (สามแบบหล่อ หรือสามตัวอย่าง) เข้ากับเครื่องดึง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิควบคุม

ตารางที่ 8.3 อุณหภูมิใช้งานโดยประมาณของแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิดกึ่งแข็งแต่ละประเภท

ชนิด และเกรด	อุณหภูมิใช้งาน (°C)
200 – 300 pen	130+
120 – 150 pen	132+
85 – 100 pen	138+
60 – 70 pen	146+
40 – 50 pen	149+

หมายเหตุ (pen) คือ Penetration grade ที่ปกติทดสอบความแข็งโดยการกดเจาะทะลุ

4.2. ลำดับขั้นตอนและวิธีทดสอบ

1) จัดลูกล้อและสายลวดที่ใช้ดึงชิ้นตัวอย่าง เลื่อนตำแหน่งลูกล้อให้เข็มชี้ที่ศูนย์
2) ปรับความเร็วในการดึงชิ้นตัวอย่าง
3) ปรับชิ้นตัวอย่างให้อยู่ในตำแหน่งพร้อมทดสอบ
4) เดินเครื่องทดสอบ (ดึงตัวอย่าง)
5) บันทึกระยะยืดขณะที่ชิ้นตัวอย่างขาดจากกัน ในหน่วยเซนติเมตร (หากระยะยืดมากเกินไป เครื่องดึงจะหยุดทำงานอัตโนมัติ)

รูปที่ 8.1 เครื่องมือ และการทดสอบความเหนียวของบิทูมินัสภายใต้แรงดึง และแบบหล่อ

5. บทวิเคราะห์วิจารณ์

5.1. จะต้องถอดแบบข้าง (ด้านข้างของแบบหล่อออกก่อนเริ่มทดสอบ และระดับน้ำใน Ductility machine จะต้องท่วมตัวอย่าง โดยมีความสูงของน้ำทั้งใต้ และเหนือชิ้นตัวอย่างไม่น้อยกว่า 25 มิลลิเมตร

5.2. ขณะทดสอบ หากส่วนยืดของตัวอย่างลอยขึ้นเหนือผิวน้ำ หรือจมลงแตะพื้นอ่างให้ปรับความถ่วงจำเพาะของน้ำ เช่นเติม Methyl alcohol เพื่อให้ตัวอย่างจมลง หรือเติมเกลือ (NaCl) เพื่อให้ตัวอย่างลอย แล้วแต่กรณี

ปฏิบัติการที่ 9
การทดสอบสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์โดยความต้านทานการเจาะทะลุ
(PENETRATION TEST)

1. บทนำ

ASTM วิเคราะห์ศัพท์ แอสฟัลต์ ว่าเป็นวัสดุประสานสีน้ำตาลแก่ถึงสีดำ มีบิทูเมน (Bitumen) เป็นส่วนประกอบหลักเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ หรือได้จากการกลั่นปิโตรเลียมดิบ เรียกผลิตภัณฑ์ที่ได้ว่าปิโตรเลียมแอสฟัลต์ (Petroleum asphalt) ปิโตรเลียมแอสฟัลต์ที่นำมาใช้ในงานทาง เรียกว่า แอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt cement) ซึ่งแยกประเภทจากแอสฟัลต์ที่ใช้ในงานอื่นที่ไม่ใช่งานทาง โดยแอสฟัลต์ซีเมนต์เมื่อรวมกับวัสดุมวลรวมในสัดส่วนที่เหมาะสม สามารถใช้เป็นผิวทางดังเช่นในปัจจุบัน

แอสฟัลต์ที่ใช้ในงานทางเป็นผลิตภัณฑ์พื้นฐานที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ โดยแบ่งเป็นเกรดหรือพวกกึ่งของแข็งที่ทดสอบความแข็งโดยความต้านทานการเจาะทะลุ (Penetration) และพวกที่มีความหนืด(Viscosity type) Cutback หรือแอสฟัลต์เหลว เป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับตัวทำละลายเพื่อลดความหนืด ซึ่งจะทำให้การใช้งานง่ายขึ้นที่อุณหภูมิปกติ ในการพ่นบนวัสดุมวลรวมอาจจะมีการให้ความร้อนเมื่อต้องการ เมื่อตัวทำละลายระเหยไปจะบ่มตัวทำให้แข็ง และยึดกันแน่นกับอนุภาคของมวลรวม ชนิด หรือเกรดของ Cutback จึงขึ้นกับชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งทำให้หนืด และระเหยตัวแตกต่างกัน ส่วนEmulsion หรือ Emulsified Asphalt เป็นส่วนผสมของแอสฟัลต์ซีเมนต์กับน้ำ แต่เนื่องจากองค์ประกอบทั้งสองไม่สามารถรวมกันได้โดยตรง จึงต้องเติม Emulsifier ลงในส่วนผสม เพื่อ Emulsifier จะทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์แตกตัว และกระจายออกในรูปของหยดที่มีขนาดเล็กมากในน้ำ เมื่อใช้งาน Emulsion จะก่อตัวพร้อม ๆ กับน้ำระเหยไป โดยทั่วไป Emulsion ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ และ Emulsifier ร้อยละสาม เป็นอย่างมาก แล้วเติมน้ำให้ครบส่วน โดยทั่วไป Emulsify asphalt มีสองประเภท ขึ้นกับชนิดของ Emulsifier คือ Cationic emulsion อนุภาคของแอสฟัลต์จะมีประจุบวก และ Anionic Emulsionอนุภาคของแอสฟัลต์จะมีประจุลบ Anionic emulsion เกาะติดกับอนุภาคของมวลรวมที่มีประจุบวกได้ดีอาทิ ซิลิก้า (ทราย) ส่วน Cationic emulsion จะใช้งานได้ดีกับมวลรวมที่เปียก และในสภาพอากาศหนาวเย็นกว่า

ณ อุณหภูมิปกติแอสฟัลต์ซีเมนต์มีคุณสมบัติกึ่งแข็ง (Semi-solid) มีความหนืดสูง ประกอบด้วยโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนที่ซับซ้อน และอะตอมอื่น ๆ อาทิ ออกซิเจนร้อยละ 0 - 5 คาร์บอนร้อยละ 70 - 85 ไฮโดรเจนร้อยละ 7 - 12 ไนโตรเจนร้อยละ 0 - 6 ซัลเฟอร์ร้อยละ 1 - 7 เนื่องจากคุณสมบัติที่ข้นเหนียว หรือมีความหนืด จึงยึดเกาะกับอนุภาคของมวลรวมได้ดี ใช้เป็นตัวประสาน (Binder) รวมเรียกส่วนผสมว่า แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphaltic concrete) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทึบน้ำ (Water proof)คงทนต่อกรด ด่าง และเกลือ เนื่องจากเปลี่ยนแปลงสถานะได้ตามอุณหภูมิ โดยจะค่อย ๆ อ่อน

ตัวเมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น กลับกัน จะแข็งตัวเมื่อเย็นลง บางครั้งจึงอาจเรียกวัสดุเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic material) ตารางที่ 9.1 แสดงการแบ่งเกรดแอสฟัลต์ซีเมนต์

ตารางที่ 9.1 การแบ่งเกรดแอสฟัลต์ซีเมนต์

Penetration Grade	AC 40 – 50
	AC 60 – 70
	AC 85 – 100
	AC 120 – 150
	AC 200 – 300
Viscosity Grade	AC – 2.5
	AC – 5
	AC – 10
	AC – 20
	AC – 40

การแบ่งเกรดแอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภทกึ่งแข็ง อาจทำโดยทดสอบกำลังต้านทานการกดเจาะทะลุทะลวง (Penetration) โดยค่าการกดเจาะทะลุทะลวงนี้ นิยามจากระยะจมของเข็มกดเจาะมาตรฐานที่กดเจาะตัวอย่างบิทูเมนในแนวดิ่งด้วยน้ำหนักมาตรฐาน (100 กรัม) ณ อุณหภูมิควบคุม (25oC) โดยหน่วยเป็น 0.1 มิลลิเมตร (ตัวอย่าง หากระยะจม หนึ่งมิลลิเมตรหมายถึงค่าการเจาะทะลุเท่ากับ 10) ค่าจากผลทดสอบกำลังต้านทานการกดเจาะทะลุทะลวงนี้ บ่งบอกความแข็ง (Hardness) ของวัสดุบิทูเมนชนิดกึ่งแข็ง (ส่วนวัสดุบิทูเมนชนิดเหลว จำแนกโดยค่าความหนืด – Viscosity)

แอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภทกึ่งแข็งปกติต้องให้ความร้อน (Pre-heating) ก่อนใช้งาน เช่นก่อนผสมกับมวลรวม เพื่อราด หรือเท ทำผิวทาง ตารางที่ 9.2 แสดงอุณหภูมิใช้งานโดยประมาณของแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิดกึ่งแข็งแต่ละประเภท

ตารางที่ 9.2 อุณหภูมิใช้งานโดยประมาณของแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิดกึ่งแข็งแต่ละประเภท

ชนิดและเกรด	อุณหภูมิที่ใช้งาน (°C)
200 – 300 pen	130+
120 – 150 pen	132+
85 – 100 pen	138+
60 – 70 pen	146+
40 – 50 pen	149+

หมายเหตุ (pen) คือ Penetration grade ที่ปกติทดสอบความแข็งโดยการกดเจาะทะลุ

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

2.1. เพื่อทดสอบความแข็งของวัสดุจำพวกบิทูมินัส (Bituminous material) ชนิดกึ่งแข็ง โดยทดสอบกำลัง หรือความต้านทานการกดเจาะทะลุ ตามมาตรฐานระบุ

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

4.1. กระป๋องทรงกระบอกชนิดตื้น (ใช้เป็นแบบหล่อตัวอย่างบิทูเมน)

4.2. จานวางกระป๋องใส่ตัวอย่าง (Transfer dish) ที่สามารถเติมน้ำให้ท่วมตัวอย่างได้ (ใช้ย้าย และวางตัวอย่างขณะทดสอบ)

4.3. เตา (Hot plate)

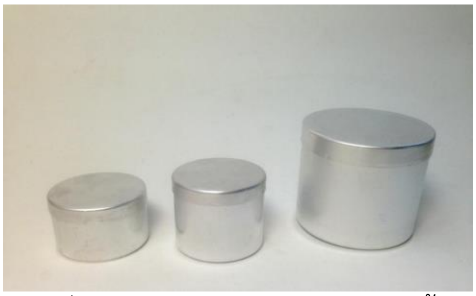
4.4. อ่างน้ำ ซึ่งควบคุมอุณหภูมิได้ และเทอร์โมมิเตอร์

4.5. เครื่องกดเจาะตัวอย่างบิทูเมน (Penetrometer) พร้อมเข็มกดเจาะ

4.6. นาฬิกาจับเวลา

4.7. โคมไฟ

รูปที่ 9.1 เครื่องกดเจาะตัวอย่างบิทูเมน (Penetrometer)



รูปที่ 9.2 กระป๋องทรงกระบอกชนิดตื้น

รูปที่ 9.3 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

รูปที่ 9.4 นาฬิกาจับเวลา

4. วิธีการทดสอบ

4.1. <u>การเตียมตัวอย่างการทดสอบ</u>

1) เตรียมตัวอย่างโดยใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ ให้ความร้อนโดยใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิใช้งาน (ประมาณ 80 - 90 °C) แล้วเทแอสฟัลต์ขณะร้อนลงในแบบหล่อ
2) ทิ้งตัวอย่างในแบบหล่อไว้ที่อุณหภูมิห้อง และปราศจากฝุ่นประมาณ 60 นาที
3) แช่แบบหล่อพร้อมตัวอย่างในอ่างควบคุมอุณหภูมิ (25 °C) อีกประมาณ 60 นาที

4.2. <u>ลำดับขั้นตอนและวิธีทดสอบ</u>

1) ตรวจสอบให้ได้น้ำหนักก้าน (Rod) และเข็มรวม 100 กรัม
2) ย้ายตัวอย่างไว้ในจานใส่กระป๋องตัวอย่าง (โดยมีน้ำขังท่วมตัวอย่าง) ไปวางบนแท่นเครื่องมือทดสอบ
3) ปรับปลายเข็มให้ห่างจากผิวตัวอย่าง 1/4 นิ้ว (6.75 มิลลิเมตร) และห่างจากขอบ หรือด้านข้างกระป๋องตัวอย่าง 3/8 นิ้ว (9.38 มิลลิเมตร)

4) ค่อย ๆ เลื่อนปลายเข็มให้สัมผัสผิวหน้าตัวอย่าง (เนื่องจากจะสังเกตปลายเข็มลำบาก ดังนั้น ควรใช้โคมไฟช่วยส่องจากด้านหลังของเครื่องมือทดสอบเพื่อเห็นเงาสะท้อนกับผิวแอสฟัลต์)
5) ปรับเข็มบนมาตรวัดให้ตรงศูนย์
6) ปล่อยให้เข็มจมลง (กดเจาะผิวตัวอย่าง) ห้าวินาที อ่านและบันทึกค่าระยะที่เข็มกด หรือเจาะทะลุ(ระยะที่จมลง) ตัวอย่างจากมาตรวัด
7) ดึงเข็มออกจากตัวอย่างอย่างช้า ๆ โดยมิให้กระป๋องตัวอย่างเคลื่อน ทำความสะอาดปลายเข็ม อาทิโดยใช้ผ้าชุบสารตัวทำละลาย (เช่น น้ำมันสน น้ำมันก๊าด) เช็ด แล้วซับด้วยผ้าแห้ง
8) ทดลองซ้ำตามขั้นตอนข้างต้นโดยตำแหน่งที่กดเจาะ จะต้องห่างกันไม่น้อยกว่า 3/8 นิ้ว (9.38 มิลลิเมตร)

ตารางที่ 9.3 ระยะจม หรือการเจาะทะลุกับความเบี่ยงเบนของผลทดสอบที่ยอมให้ตาม ASTM D 5-97

ค่าระยะจม หรือการเจาะทะลุ	ความแตกต่างระหว่างค่าสูงสุดและต่ำสุดที่ยอมให้
น้อยกว่า 50	2
50 – 149	4
150 – 249	6
250 หรือมากกว่า	8

5. บทวิเคราะห์วิจารณ์

5.1. ในการทดสอบการกำหนดค่าอุณหภูมิที่แน่นอนในการแช่ตัวอย่างมีความสำคัญและระยะเวลาในการแช่ตัวอย่าง เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างแอสฟัลต์เกิดการแข็งตัวเร็วเกินไป

ปฏิบัติการที่ 10
ทดสอบการหลุดลอกของมวลรวม
(STRIPPING TEST)

1. บทนำ

ผิวทาง Surface Treatment เป็นผิวทางที่ทำโดยราดแอสฟัลต์บนพื้นผิวที่ได้เตรียมไว้ แล้วเกลี่ยมวลรวม เช่น หินย่อย หรือกรวดย่อยปิดทับ โดยจะสร้างเป็นชั้นเดียว ผิวทางประเภทนี้อาจทำเพียงชั้นเดียว (Single Bituminous Surface Treatment, SBST) สองชั้น (Double Bituminous Surface Treatment, DBST) หรือหลายชั้น (Multi Bituminous Surface Treatment, MBST) ก็ได้ (กรมทางหลวง, 2533) อนึ่ง อาจมี Prime coat ก่อนทำผิว Surface Treatment โดย Prime Coat คือการราดหรือพ่นแอสฟัลต์ชนิดเหลวที่มีความหนืดค่อนข้างต่ำ (มักใช้จำพวกบ่มตัวปานกลาง) ลงบนพื้นผิวที่เตรียมไว้หรือได้ตกแต่งปรับปรุงถูกต้องตามแบบแล้ว เพื่อให้แอสฟัลต์ซึมลงไปในช่องว่างของพื้นทาง ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ความชื้นผ่าน และเป็นตัวยึดเหนี่ยวให้พื้นทางเชื่อมติดกับผิวทางที่จะสร้างไว้ข้างบน (กรมทางหลวง, 2533)

แอสฟัลต์ที่ใช้ในงานทางเป็นผลิตภัณฑ์พื้นฐานที่ได้จากการกลั่นน้ำมันดิบ โดยแบ่งเป็นเกรดหรือพวกกึ่งของแข็งที่ทดสอบความแข็งโดยความต้านทานการเจาะทะลุ (Penetration) และพวกที่มีความหนืด(Viscosity type) Cutback หรือแอสฟัลต์เหลว เป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมกับตัวทำละลายเพื่อลดความหนืด ซึ่งจะทำให้การใช้งานง่ายขึ้นที่อุณหภูมิปกติ ในการพ่นบนวัสดุมวลรวมอาจจะมีการให้ความร้อนเมื่อต้องการ เมื่อตัวทำละลายระเหยไปจะบ่มตัวทำให้แข็ง และยึดกันแน่นกับอนุภาคของมวลรวม ชนิด หรือเกรดของ Cutback จึงขึ้นกับชนิดของตัวทำละลาย ซึ่งทำให้หนืด และระเหยตัวแตกต่างกัน ชนิดแข็งตัวเร็ว(Rapid Curing, RC) ใช้น้ำมันเบนซิน (Benzene) เป็นตัวทำละลาย ชนิดแข็งตัวปานกลาง (Medium Curing, MC) ใช้น้ำมันก๊าด (Kerosene) เป็นตัวทำละลาย และชนิดแข็งตัวช้า (Slow Curing, SC) ใช้น้ำมันดีเซล (Diesel) เป็นตัวทำละลาย

Emulsion หรือ Emulsified Asphalt เป็นส่วนผสมของแอสฟัลต์ซีเมนต์กับน้ำ แต่เนื่องจากองค์ประกอบทั้งสองไม่สามารถรวมกันได้โดยตรง จึงต้องเติม Emulsifier ลงในส่วนผสม เพื่อ Emulsifierจะทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์แตกตัว และกระจายออกในรูปของหยดที่มีขนาดเล็กมากในน้ำ เมื่อใช้งานEmulsion จะก่อตัวพร้อม ๆ กับน้ำระเหยไป โดยทั่วไป Emulsion ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ และEmulsifier ร้อยละสาม เป็นอย่างมาก แล้วเติมน้ำให้ครบส่วน โดยทั่วไป Emulsify asphalt มีสองประเภท ขึ้นกับชนิดของ Emulsifier คือ Cationic emulsion อนุภาคของแอสฟัลต์จะมีประจุบวก และAnionic Emulsion อนุภาคของแอสฟัลต์จะมีประจุลบ Anionic emulsion เกาะติด

กับอนุภาคของมวลรวมที่มีประจุบวกได้ดีเช่น ซิลิก้า (ทราย) ส่วน Cationic emulsion จะใช้งานได้ดีกับมวลรวมที่เปียกและในสภาพอากาศหนาวเย็นกว่า

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

2.1. เพื่อหาร้อยละของมวลรวมหยาบ ที่หลุดลอกจากยาง หรือแอสฟัลต์ โดยใช้อุปกรณ์ และวิธีตามมาตรฐานระบุ

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.1. มวลรวมหยาบ
3.2. แอสฟัลต์
3.3. ถาดสังกะสี หรืออลูมิเนียม ลักษณะสี่เหลี่ยม ขอบถาดสูง 20 มิลลิเมตร โดยประมาณ
3.4. เตาอบ
3.5. อ่างน้ำสำหรับควบคุมอุณหภูมิได้ และเทอร์โมมิเตอร์
3.6. คีมคีบปากแหลม

รูปที่ 10.1 มวลรวมหยาบ

รูปที่ 10.2 อ่างน้ำสำหรับควบคุมอุณหภูมิได้

รูปที่ 10.3 คีมคีบปากแหลม

รูปที่ 10.4 เตาอบ

รูปที่ 10.5 แอสฟัลต์

รูปที่ 10.6 ถาดสังกะสี

4. วิธีการทดสอบ

4.1. มวลรวมหยาบที่ใช้ทดสอบมีที่เหมาะสมสำหรับงานผิวทางแบบ Surface Treatment อาทิ 3/8นิ้ว(9.5 มิลลิเมตร) จนกระทั่ง 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) และควรมีผิวด้านหนึ่งเรียบ (Flaky shape) จำนวน 20 ก้อน ล้างให้ปราศจากฝุ่น

4.2. เตรียมแอสฟัลต์ (Pre-heat) แล้วเทแอสฟัลต์ขณะร้อนลงในแต่ละถาดถาด ให้หนาประมาณ 1 - 2 มิลลิเมตร หรือน้ำหนักประมาณ 25 กรัม

4.3. ใช้มวลรวมหยาบที่เตรียมไว้กดด้านเรียบให้จมลงในเนื้อยางถึงก้นถาด จำนวนถาดละเท่ากัน คือ 25 ก้อน แล้วอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C ประมาณ 24 ชั่วโมง (สำหรับกรณี Asphalt cement) แต่หากเป็นCutback หรือ Emulsified asphalt ให้ใช้เวลาเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า (48 ชั่วโมง)

4.4. เมื่ออบแล้วนำถาดไปแช่ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 50 °C ต่ออีกสี่วัน และแช่ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 25 - 30 °C อีกหนึ่งชั่วโมงแล้วนำขึ้นมาพึ่งไว้

4.5. ใช้คีมปากแหลมคีบดึงมวลรวมหยาบให้หลุดจากถาดทีละก้อนโดยออกแรงดึงในแนวดิ่งด้วยแรงพอ ๆกัน และประเมินให้คะแนนมวลรวมแต่ละก้อนโดยพิจารณาจากปริมาณยางซึ่งเคลือบผิวด้านเรียบซึ่งถูกกดลงบนเนื้อยาง และให้คะแนนตามตารางที่ 10.1 (ดูตัวอย่างในรูปที่ 10.7)

4.6. ร้อยละการหลุดลอก คำนวณดังนี้

ร้อยละการหลุดลอก = [คะแนนรวมทั้งหมด* x 100] ÷ จำนวนมวลรวมทั้งหมด*

(*) คือจำนวน 25 ก้อน

รูปที่ 10.7 เครื่องมือ อุปกรณ์ทดสอบการหลุดลอกของมวลรวม

ตารางที่ 10.1 เกณฑ์คะแนนมวลรวม

ปริมาณยาง	คะแนน
ไม่มีเลย	1
น้อยกว่าครึ่งหน้า	3/4
ครึ่งหน้า	1/2
มากกว่าครึ่งหน้า	1/4
เต็มผิวหน้า	0

5. บทวิเคราะห์วิจารณ์

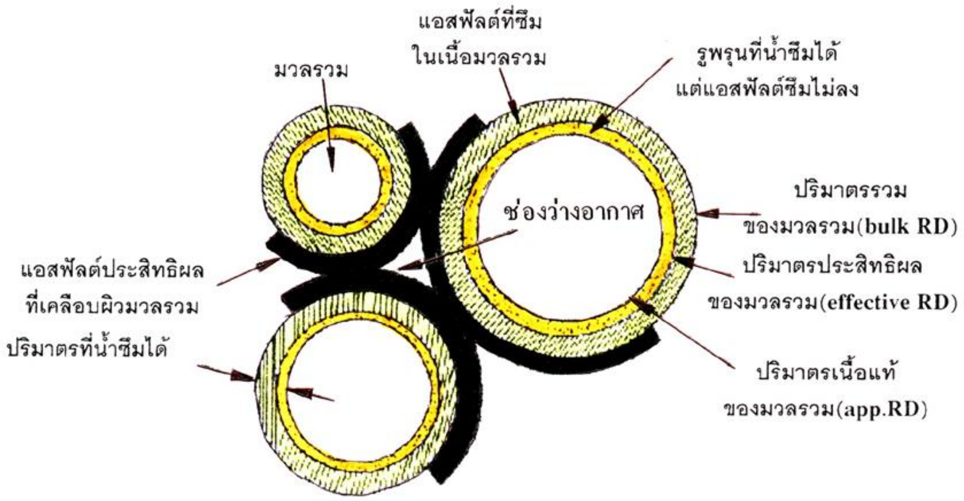
การทดสอบการหลุดออกเป็นการทดสอบหาคุณสมบัติการเชื่อมประสานของบิทูมินัส เนื่องจากใช้การยึดเกาะของบิทูมินัสกับหินมาเป็นตัวกลาง ซึ่งข้อควรระวังในการทดสอบคือการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 50 องศา เนื่องจากบิทูมินัสจะเริ่มยึดเกาะได้ดีก็ต่อเมื่อมีอุณหภูมิที่สูงดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิขณะเตรียมตัวอย่างเป็นสิ่งที่สำคัญ มิฉะนั้นจะก่อให้เกิดการแตกของบิทูมินัส และการทดสอบอาจจะมีความคลาดเคลื่อน

ปฏิบัติการที่ 11
การทดสอบสมบัติของแอสฟัลท์ซีเมนต์โดยวิธีมาร์แชลล์
(MARSHALL METHOD FOR ASPHALTIC CONCRETE TEST)

1. บทนำ

วัสดุปูผิวทางแอสฟัลต์ที่นิยมใช้กันมากคือแอสฟัลต์ติกคอนกรีต ผิวทางที่ได้จะมีคุณภาพสูง ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และวัสดุมวลรวม ซึ่งผสมโดยใช้ความร้อนในเครื่องผสมแอสฟัลต์ แล้วนำไปปูเป็นผิวทาง มีชื่อเรียกว่า แบล็ค-ท๊อป หรือ ฮอตมิกซ์ (Hot mix)

แอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ วัสดุมวลรวม และช่องว่าง อย่างไรก็ตามจะมีบ้างที่แอสฟัลต์ซึมลงไปในช่องว่างของอนุภาควัสดุมวลรวม ทำให้ไม่สามารถที่จะเคลือบและยึดเกาะมวลรวมไว้ด้วยกัน เป็นผลให้เกิดช่องว่างในส่วนผสมมากกว่าที่คาดไว้จากการคำนวณปริมาตรของแอสฟัลต์และวัสดุมวลรวมที่ต้องใช้ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 11.1 แสดงส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ที่แสดงค่าสุทธิหรือค่าประสิทธิผลของแอสฟัลต์แอสฟัลต์ที่มวลรวมดูดซึม และช่องว่างในส่วนผสม

ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตจะต้องเรียบ แต่ต้องมีความต้านทานการลื่นไถลด้วย และมีความแข็งแรงพอที่จะรองรับน้ำหนักบรรทุกได้โดยไม่เกิดเป็นร่อง ดังนั้นแอสฟัลต์ติกคอนกรีต จะต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

1) **ความแข็งแรง (Strength)**

จะต้องเพียงพอที่จะรองรับน้ำหนักได้โดยไม่เกิดแรงเฉือนระหว่างอนุภาค คือโครงสร้างจะต้องไม่บุบสลาย ตัวที่ให้ความแข็งแรงก็คือแรงเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุ ส่วนผสมเกรดแน่น(dense-graded mixture)จะดีที่สุดสำหรับค่าแรงเสียดทานที่สูง และมี

ปริมาณวัสดุประสาน (binder) ต่ำ ถ้าแอสฟัลต์ที่เคลือบรอบๆ อนุภาคหนาเกินไป จะทำให้ค่าแรงเสียดทานระหว่างอนุภาคลดลง

2) **ความสามารถในการยืดหยุ่น (Flexibility)**

มีความสำคัญมากสำหรับผิวทางประเภทยืดหยุ่น แอสฟัลต์คอนกรีตจะแอ่นตัวเล็กน้อยภายใต้แต่ละน้ำหนักโดยไม่เกิดการแตก สำหรับคุณสมบัตินี้ส่วนผสมที่ใช้วัสดุผสมมวลรวมแบบเกรดเปิด (open-graded mixture) จะดีกว่าเนื่องจากปริมาณแอสฟัลต์จะสูงกว่าทำให้เกิดการเคลื่อนตัวมากกว่า

3) **ความคงทน (Durability)**

เป็นการวัดความต้านทานของผิวทางต่อการสึกกร่อนและการแข็งตัวตามอายุ วัสดุมวลรวมจะต้องแข็งและมีลักษณะเป็นลูกบาศก์เพื่อให้มีการแตกน้อยที่สุดในระหว่างการผลิต และวัสดุมวลรวมจะต้องไม่มีความไวต่อการแยกตัว เนื่องจากวัฏจักรของการแข็งตัวและการละลายของน้ำที่อยู่ในวัสดุมวลรวมบางชนิดซึ่งดูดซับน้ำได้มากกว่าการดูดซับแอสฟัลต์ซีเมนต์ ในกรณีนี้น้ำอาจจะแทนที่ฟิล์มของแอสฟัลต์บนอนุภาคมวลรวม ซึ่งเป็นการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาค

4) **การแตก (Cracking)**

นำไปสู่ความเสียหายที่รวดเร็วของผิวทาง เนื่องจากสูญเสียคุณสมบัติในการกระจายน้ำหนักไปทำให้น้ำเข้าไปในผิวทางและพื้นทางได้ ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการรองรับน้ำหนักลดลง

5) **ความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance)**

ถ้ามีการสูญเสียความต้านทานการลื่นไถลของผิวแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งอาจจะเกิดจากการขัดสีของวัสดุมวลรวม หรือจากการเยิ้ม (bleeding) ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ชั้นผิวจราจร มักมีการใช้ขนาดอนุภาคที่ใหญ่ที่สุดให้น้อยลงเพื่อที่จะเพิ่มจำนวนของอนุภาคขนาดเล็ก และเป็นการเพิ่มจำนวนพื้นผิวสำหรับการต้านทานการลื่นไถลให้มากขึ้น วัสดุมวลรวมควรจะแข็งและสามารถต้านทานการสึกกร่อนและการขัดสีได้ จะพบว่าวัสดุมวลรวมประเภทหินปูนมีแนวโน้มที่จะถูกขัดสีได้ง่ายในหลายกรณี การเยิ้มจะเกิดในวันที่มีอากาศร้อน เมื่อแอสฟัลต์ซีเมนต์ซึมสู่ผิวในส่วนผสมที่ช่องว่างเล็กน้อย โดยทั่วไปการกำหนดมาตรฐานจะกำหนดให้มีปริมาณช่องว่างน้อยที่สุด เพื่อให้แอสฟัลต์ซีเมนต์มีปริมาณเหมาะสมกับช่องว่างอากาศ ในขณะที่ผิวทางเริ่มจะแน่นขึ้นเมื่อมีน้ำหนักมากระทำ

สำหรับองค์ประกอบองค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตมีดังต่อไปนี้

1) ความหนาแน่น (Density)

ปริมาณมวลของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความแน่นมากพอ จะทำให้มีอายุการใช้งานยืดยาวและมีคุณภาพ ดีอย่างไรก็ตามการบดทับโดยรถบดในสนาม จะได้ความแน่นน้อยกว่าความแน่นที่ออกแบบไว้ซึ่งบดทับด้วยเครื่องมือในห้องทดสอบ ดังนั้น การกำหนดความแน่นต่ำสุดที่บดทับได้ในสนาม จำต้องกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความแน่นที่ทดสอบได้ในห้องทดสอบ สำหรับกรมทางหลวงกำหนดไว้ว่าต้องบดทับให้ได้ความแน่นไม่น้อยกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ ของความแน่นที่ทดสอบได้ในห้องทดสอบ

2) ช่องว่างอากาศ (Air Voids)

ผิวทางแอสฟัลต์ที่บดทับแล้วจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีปริมาตรช่องว่างอากาศที่เพียงพอ แต่ไม่มากเกินไป ปริมาตรช่องว่างอากาศมีผลต่อความคงทน (Durability)และการใช้งานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต กล่าวคือ ปริมาตรช่องว่างอากาศยิ่งน้อยเท่าใด น้ำและอากาศจะซึมผ่านเข้าไปทำลายแอสฟัลต์และการยึดเกาะระหว่างวัสดุมวลรวมกับแอสฟัลต์ได้ยากเท่านั้นทำให้ผิวทางมีอายุยืดยาว แต่อย่างไรก็ตามหากปริมาตรช่องว่างอากาศน้อยเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์ทะลักขึ้นมาบนผิวเกิดการเยิ้ม (Bleeding) นอกจากนี้ช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับแอสฟัลต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนด้วย สำหรับผิวทางชั้นบนสุดจะออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศ 3-5 เปอร์เซ็นต์ ขึ้นอยู่กับปริมาณและน้ำหนักของรถที่แล่นบนผิวทาง ส่วนผิวทางชั้นล่างอาจออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างได้มากกว่า เช่น 4-7 เปอร์เซ็นต์

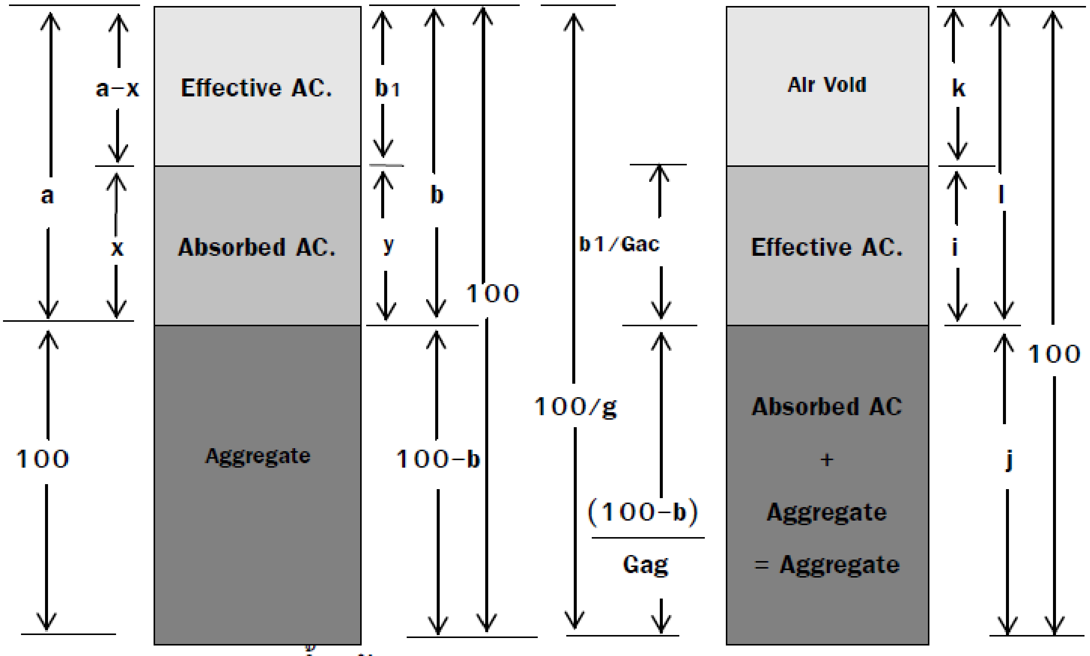
3) ช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate, VMA)

ปริมาตรช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดทับแล้ว ซึ่งช่องว่างอากาศส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (Voids Filled with Bitumen, VFB) ด้วยโดยที่ช่องว่างระหว่างมวลรวม (VMA) คือ ปริมาตรช่องว่างสำหรับปริมาตรของแอสฟัลต์ประสิทธิผล ซึ่งหมายถึง ปริมาตรแอสฟัลต์ทั้งหมดที่ใส่ลงไปผสมหักปริมาตรแอสฟัลต์ส่วนที่ดูดซึมเข้าไปในเม็ดวัสดุมวลรวม สำหรับปริมาตรช่องว่างที่เหลือจากการแทนที่ของแอสฟัลต์ประสิทธิผลคือ ปริมาตรช่องว่างอากาศดังกล่าวมาแล้ว ดังนั้น หากออกแบบส่วนผสมให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีปริมาตรช่องว่างเท่ากันแล้ว แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า VMA สูงกว่าจะมีความคงทนต่อการใช้งานนานกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่าVMA ต่ำกว่า อธิบายได้โดยอาศัยหลักความจริงที่ว่า การที่วัสดุมวลรวมมีค่า VMA สูง ย่อมหมายถึง มีปริมาตรช่องว่างสำหรับแอสฟัลต์มากทำให้ฟิลม์แอสฟัลต์ที่ห่อผิววัสดุมวลรวมหนาซึ่งทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความคงทนต่ออายุการใช้งานยืนยาว การออกแบบส่วนผสมที่มีค่า VMA น้อยกว่า

ข้อกำหนด ทำให้ใช้แอสฟัลต์ผสมน้อยซึ่งประหยัดแต่ไม่ควรกระทำเพราะจะทำให้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความคงทนลดลง

4) **ปริมาณแอสฟัลต์ (Asphalt Content)**

ปริมาณแอสฟัลต์ที่ใส่ลงไปผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นอย่างมาก ดังนั้น ปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้จะต้องถูกต้องและแน่นอน ไม่ว่าจะเป็นการผสมในห้องทดสอบหรือที่โรงผสม (Mixing Plant) ในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเงื่อนไขที่ใช้ในการออกแบบ (Design Criteria) ซึ่งได้แก่ ข้อกำหนดต่างๆเกี่ยวกับคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ต้องการ จะเป็นตัวกำหนดถึงปริมาณแอสฟัลต์ที่ต้องใช้ผสม



รูป (ก) แสดงน้ำหนัก รูป (ข) แสดงปริมาตร

รูป 11.1 (ก) : มิติด้านซ้ายมือของรูปเป็นน้ำหนักของส่วนต่างๆ คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักมวลรวมมิติด้านขวามือของรูป เป็นน้ำหนักของส่วนต่างๆ คิดเป็นร้อยละของน้ำหนักทั้งหมด

รูป 11.1 (ข): มิติด้านซ้ายมือของรูปเป็นปริมาตรของส่วนต่างๆซึ่งคำนวณจากมิติด้านขวามือของรูป (ก) มิติด้านขวามือของรูป เป็นปริมาตรของส่วนต่างๆ คิดเป็นร้อยละของปริมาตรทั้งหมด

a	=	ปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้ผสม หน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม
x	=	ปริมาณแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมโดยวัสดุมวลรวม หน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวม
g	=	ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีต หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
Gac	=	ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์ซีเมนต์
Gag	=	ความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวม

รูป (ก) เทียบอัตราส่วนด้านซ้ายมือกับด้านขวามือของรูป จะได้

$$b/100 = a/(100+a) \qquad : b = 100\,a/(100+a)$$

$$x/100 = y/(100-b) \qquad : y = x\,(100-b)/100$$

$$b1 = b-y \qquad : b1 = b-x\,(100-b)/100$$

รูป (ข) เทียบอัตราส่วนด้านซ้ายมือกับด้านขวามือของรูป จะได้

$$i/100 = (b1/G_{ac})/(100/g) \qquad : i = b1 * g/G_{ac}$$

$$j/100 = [(100-b)/G_{ag}]/(100/I) \qquad : j = (100-b) * g/G_{ag}$$

โดยคำนิยาม $I = VMA = 100-j$

$k = \text{Air Voids} = I - i$

$VFB = 100 * i/I$

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

2.1. เพื่อหาค่าความแน่น ค่าช่องว่างอากาศ ค่า V.M.A. ค่า V.F.B. ของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่ได้จากการบดอัดส่วนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยใช้เครื่องทดสอบมาร์แชลล์

2.2. เพื่อหาค่าเสถียรภาพ และค่าการไหล โดยการวัดค่าความต้านทานการไหลของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกที่ได้จากการบดอัดส่วนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยใช้เครื่องทดสอบมาร์แชลล์

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.1. แบบหล่อตัวอย่าง พร้อมแผ่นฐานและปลอกต่อ

3.2. แท่นรองการบดอัด พร้อมค้อนบดอัด

3.3. เครื่องดันตัวอย่าง

3.4. ตู้อบ และแผ่นร้อน (Hot Plates)

3.5. อ่างน้ำ (Water Bath) สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 60° C

3.6. เครื่องทดสอบมาร์แชลล์ ชุดวงแหวนวัดแรง

3.7. แบบทดสอบเสถียรภาพ พร้อมเครื่องวัดการไหล

3.8. เครื่องชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 11.2 แบบหล่อตัวอย่าง

รูปที่ 11.3 แท่นรองการบดอัด พร้อมค้อนบดอัด

รูปที่ 11.4 เครื่องดันตัวอย่าง

รูปที่ 11.5 อ่างน้ำ

รูปที่ 11.6 เครื่องทดสอบมาร์แชลล์

4. วิธีการทดสอบ

4.1. ทดสอบคุณสมบัติวัสดุ

1) หาขนาดเม็ดวัสดุของหิน 3/4" หิน 1/2" หิน 3/8" ตามวิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง และหินฝุ่น ตามวิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง
2) หาค่าความสึกหรอของหินทั้ง 4 ขนาด ตามวิธีการทดสอบหาความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ
3) หาค่าความถ่วงจำเพาะของหินทั้ง 4 ขนาด ในสภาพอบแห้ง อิ่มตัวผิวแห้ง และแอพแพเรนท์ ตามวิธีการทดสอบความถ่วงจำเพาะของมวลรวม
4) หาค่าดัชนีความแบนของหิน 3/4" , หิน 1/2" , หิน 3/8" ตามวิธีการทดสอบหาค่าดัชนีความแบน

4.2. กำหนดอัตราส่วนผสม

ตารางที่ 11.1 ตารางแสดงตัวอย่างการกำหนดสัดส่วนในการผสมหิน

ขนาดตะแกรง	หินฝุ่น	หิน 3/8"	หิน 1/2"	หิน 3/4"	เกณฑ์กำหนด	ส่วนผสม
3/4"	100	100	100	100	100-100	100
1/2"	100	100	58.0	44.2	80-100	88.0
3/8"	100	99.7	19.6	12.5	70-90	79.1
No. 4	97.2	31.5	0.90	0.5	50-70	56.7
No. 8	85.8	2.3	0.34	0.2	35-50	43.6
No. 30	42.9	0.0	0.0	0.0	18-29	21.5
No. 50	29.5	0.0	0.0	0.0	13-23	14.8
No. 100	19.6	0.0	0.0	0.0	8-16	9.8
No. 200	14.7	0.0	0.0	0.0	4-10	7.4

ตารางที่ 11.2 ตารางแสดงตัวอย่างการกำหนดปริมาณยางแอสฟัลต์ที่จะใช้ในการผสม

น้ำหนักมวลผสมรวมประมาณ 1200 กรัม (1 ก้อนตัวอย่าง)

% ยาง	4 %	4.5 %	5 %	5.5 %	6 %
นน.ยาง	48	54	60	66	72
หินฝุ่น	576	573	570	567	564
หิน3/8"	288	286.5	285	283.5	282
หิน1/2"	161.2	160.4	159.6	158.7	157.9
หิน3/4"	126.7	126.0	125.4	124.7	124.0
นน.ก้อน	1200	1200	1200	1200	1200
นน. หิน	1152	1146	1140	1134	1128

1) กำหนดสัดส่วนในการผสมหินทั้ง 4 ขนาด โดยเมื่อผสมกันแล้ว ต้องมีมวลคละผ่านตะแกรงมาตรฐานตามตารางที่1 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้
2) กำหนดปริมาณยางแอสฟัลต์ที่จะใช้ในการผสมเป็นร้อยละของน้ำหนักวัสดุมวลรวม สำหรับการออกแบบให้ใช้ตัวอย่างที่มีปริมาณยางแตกต่างกันอย่างน้อย 5 ค่า และแต่ละค่าต่างกันร้อยละ 0.5

4.3. <u>การเตรียมตัวอย่าง</u>

1) วัสดุชนิดเม็ด ตามสัดส่วนที่หาได้จากตารางที่ 1 หนักประมาณ 1200 กรัม ใส่ลงในถาดนำไปอบที่อุณหภูมิ 160±5 °C จนกระทั่งวัสดุแห้งสนิท นำวัสดุยางแอสฟัลต์ที่จะใช้ผสมไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิถึง 145±5 °C
2) นำถาดใส่ตัวอย่างวัสดุชนิดเม็ดจากข้อ 1 ออกจากตู้อบ แล้วเทลงในภาชนะโลหะสำหรับผสมวัสดุชนิดเม็ดกับยางแอสฟัลต์ ใช้เกรียงผสมให้วัสดุชนิดเม็ดแต่ละขนาดคละกันให้ทั่ว
3) ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงถึง 145±5 °C ใช้เกรียงเกลี่ยตรงกลางวัสดุให้เป็นแอ่ง แล้วเทแอสฟัลต์ที่เตรียมไว้ตามปริมาณที่ต้องการลงในแอ่งตัวอย่างดังกล่าว
4) ใช้เกรียงผสมวัสดุชนิดเม็ดและยางแอสฟัลต์ให้เข้ากันโดยเร็วที่สุด ประมาณ 1 นาที พยายามให้ยางแอสฟัลต์เคลือบวัสดุทุกเม็ด และเตรียมตัวอย่างไว้สำหรับทดสอบความถ่วงจำเพาะสูงสุดทางทฤษฎีด้วย
5) นำแบบและค้อนสำหรับบดอัด ไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 90 ถึง 150 °C แล้วนำแบบสำหรับบดอัดไปประกอบเข้าที่
6) เทตัวอย่างวัสดุผสมลงในแบบที่ประกอบแล้ว ใช้เกรียงแซะรอบๆ ตัวอย่างด้านในแบบประมาณ 15 ครั้ง และแซะเข้าไปในตัวอย่างอีก 10 ครั้ง
7) ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของวัสดุผสมลดลงจนถึง 140±5 °C วางค้อนลงบนวัสดุผสมในแบบ ทำการบดทับตามจำนวนครั้งที่กำหนดในมาตรฐาน แล้วกลับแบบเอาด้านล่างขึ้นด้านบน จากนั้นบดทับตามจำนวนครั้งเช่นเดียวกับครั้งแรก
8) ทิ้งตัวอย่างที่บดทับเรียบร้อยแล้วไว้ในแบบ จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างลดลงต่ำกว่า 60 °C จึงนำตัวอย่างออกจากแบบ โดยใช้เครื่องดันตัวอย่าง จากนั้นทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง จึงนำไปทำการทดสอบ

4.4. <u>ทดสอบคุณสมบัติของก้อนตัวอย่าง</u>

1) นำก้อนตัวอย่างแต่ละก้อน ไปวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนา แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักในอากาศ บันทึกค่าที่ได้ไว้
2) นำก้อนตัวอย่างไปแช่น้ำธรรมดาประมาณ 5 นาที แล้วนำขึ้นมาเช็ดผิวให้แห้ง ชั่งหาน้ำหนักในอากาศ จากนั้นนำไปชั่งหาน้ำหนักในน้ำ บันทึกค่าที่ได้ไว้
3) นำก้อนตัวอย่างที่ดำเนินการตามข้อ 2 แล้วไปแช่ในอ่างต้มน้ำ ซึ่งมีน้ำที่อุณหภูมิ 60 ±1 °C เป็นเวลา 30 นาที
4) เมื่อแช่ตัวอย่างครบ 30 นาทีแล้วนำก้อนตัวอย่างนี้ขึ้น เช็ดให้แห้ง จากนั้นนำ ไปใส่ในแบบทดสอบเสถียรภาพเพื่อนำ ไปกดหาค่าเสถียรภาพและค่าการไหล

4.5. <u>การคำนวณ</u>

1) คำนวณหาค่าปริมาณแอสฟัลต์ประสิทธิผล ค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง ค่าร้อยละปริมาตรของแอสฟัลต์ประสิทธิผล ค่าร้อยละของมวลผสมในก้อนตัวอย่าง ค่าร้อยละช่องว่างอากาศในก้อนตัวอย่าง ตามแบบฟอร์มข้างต้น

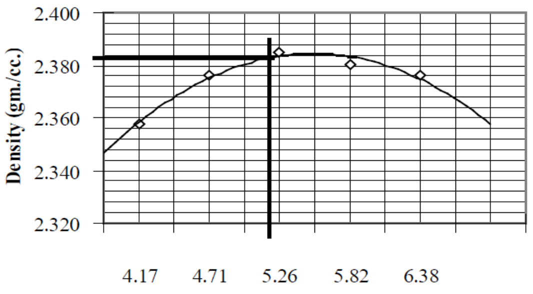
	% AC	% AC		Spec	Weight - gram			Bulk	Density		Volume - % Total		
Design	Spec. No.	Spec. No.		Hgt . Cm .	in Air	Sat . Dry	in Water	Vol cc.	Bulk	Max. Theo.	AC.	Agg.	Void
	A	b	b 1	c	d	d 1	e	f	g	h	i	j	k
% AC	% AC by Wgt. of Agg.	% AC. by Wgt. of mixed	%Eff.AC. by Wgt. of Mixed					d1 - e	d / f		b1 g / Gac	(100-b)*g / Gac	100-i-j
				6.33	1201.1	1203.2	693.83	509.39	2.358				
4.0	4.17	4.00	3.77	6.32	1199.0	1201	694.47	506.57	2.367				
				6.30	1196.2	1198.7	689.16	509.56	2.348				
									2.357		8.707	84.91	6.38
				6.22	1195.0	1196.8	693.71	503.11	2.375				
4.50	4.71	4.50	4.27	6.26	1201.7	1203.2	697.22	505.98	2.375				
				6.25	1198.7	1200.0	695.91	504.1	2.378				
									2.376		9.944	85.14	4.92
				6.22	1201.9	1203.1	698.77	504.29	2.383				
5.0	5.26	5.00	4.77	6.15	1196.4	1197.5	696.65	500.9	2.389				
				6.17	1193.6	1194.7	693.87	500.79	2.383				
									2.385		11.15	85.02	3.83
				6.18	1194.4	1195.1	693.91	501.17	2.383				
5.5	5.82	5.50	5.27	6.18	1193.7	1194.5	693.19	501.3	2.381				
				6.21	1191.1	1191.9	690.67	501.27	2.376				
									2.380		12.3	84.39	3.31
				6.16	1192.9	1192.6	690.54	502.1	2.376				
6.0	6.38	6.00	5.77	6.18	1192.9	1192.3	692.04	500.2	2.385				
				6.18	1194.1	1194.4	690.02	504.4	2.368				
									2.376	2.440	13.45	83.80	2.7

2) คำนวณหาค่า V.M.A. (Void in Mineral Aggregate) ค่า V.F.B. (Voids Filled with Bitumen) ค่าเสถียรภาพที่ปรับแก้ตามความหนาหรือปริมาตรของตัวอย่างแล้ว ค่าการไหล ตามแบบฟอร์มข้างต้น

Design	% AC Spec. No.	% AC Spec. No.		Void - % Agg VMA	Filled VFB	Total	Unit Wgt. gm./cc	Stability - kg. Meas.		Adjust	Flow	
	A	b	b 1	l	m	n	o	p		q	r	
% AC	% AC by Wgt. of Agg.	% AC. by Wgt. of Mixed	%Eff.AC. by Wgt. of Mixed	100-j	(i/l) x100	100 − 100g/h	g	Prov. Read.	force kg.		Dial	Flow 0.01"
4.0	4.17	4.00	3.77					785	961.63	966.2	210	8.3
								792	970.20	991.9	286	11.3
								776	950.60	990.9	305	12.0
				15.09	57.72	3.38	2.357			983.0		10.5
4.50	4.71	4.50	4.27					854	1046.15	1157.5	295	11.6
								877	1074.33	1149.1	247	9.7
								873	1069.43	1158.4	258	10.2
				14.86	66.92	2.62	2.376			1155.0		10.5
5.0	5.26	5.00	4.77					975	1194.38	1322.4	316	12.4
								928	1136.80	1195.1	293	11.5
								914	1119.65	1170.9	289	11.4
				14.98	74.43	2.25	2.385			1229.4		11.8
5.5	5.82	5.50	5.27					1001	1226.23	1278.0	330	13.0
								996	1220.1	1271.3	331	13.0
				15.61	78.81	2.45	2.380	923	1130.68	1256.4	268	10.6
										1268.6		12.2
6.0	6.38	6.00	5.77					933	1142.93	1197.8	418	16.5
								926	1134.35	1183.4	436	17.2
				16.20	83.00	2.62	2.376	929	1138.03	1186.4	368	14.5
										1189.2		16.0

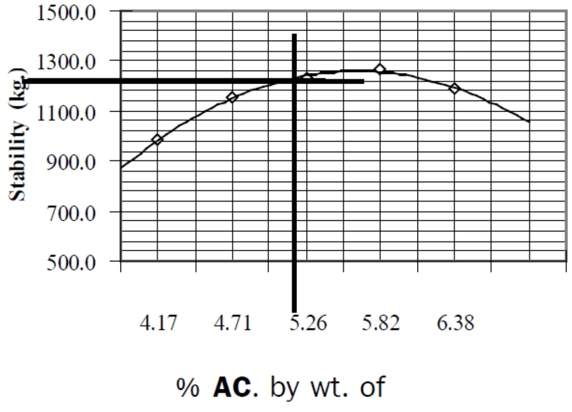
5. บทวิเคราะห์วิจารณ์

5.1. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง กับ ร้อยละแอสฟัลต์โดยน้ำหนักของมวลรวม แล้วหาค่าร้อยละแอสฟัลต์ที่ได้ค่าความหนาแน่นสูงสุด

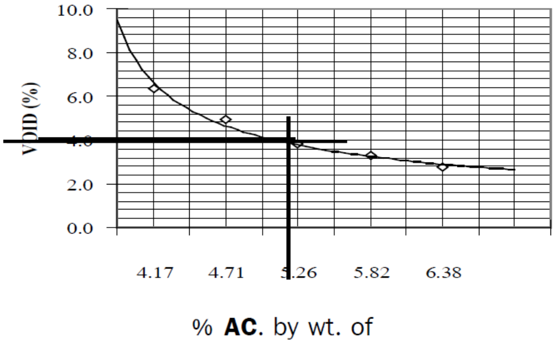


% **AC**. by wt. of

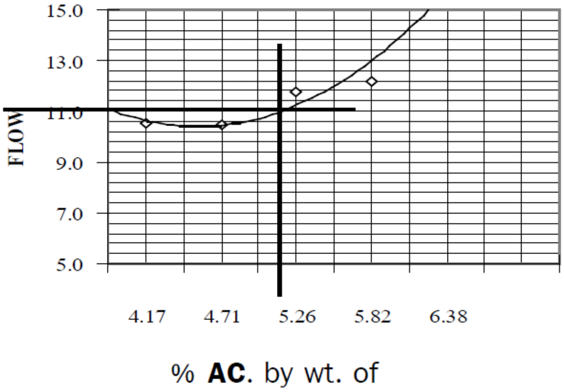
5.2. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพกับ ร้อยละแอสฟัลต์โดยน้ำหนักของมวลรวม แล้วหาค่าร้อยละแอสฟัลต์ที่ได้ค่าเสถียรภาพสูงสุด



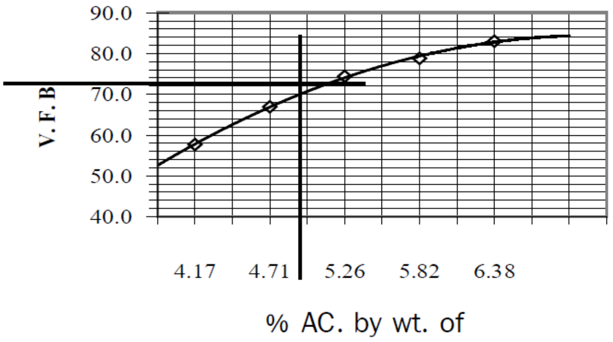
5.3.3) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละช่องว่างอากาศ กับ ร้อยละแอสฟัลต์โดยน้ำหนักของมวลรวม แล้วหาค่าร้อยละแอสฟัลต์ที่ได้ค่าร้อยละช่องว่างอากาศ เท่ากับ 4



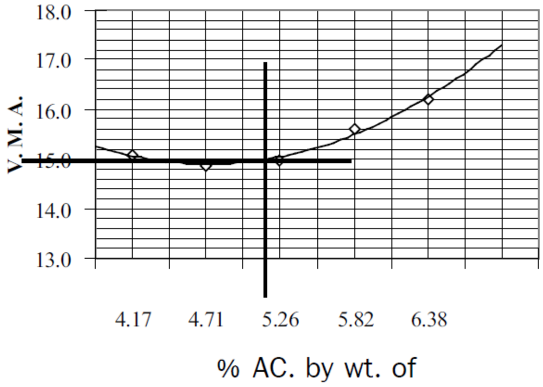
5.4.4) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหล กับร้อยละแอสฟัลต์โดยน้ำหนักของมวลรวม แล้วหาค่าร้อยละแอสฟัลต์ที่ได้ค่าการไหล เท่ากับ 12



5.5.5) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ V.F.B. กับร้อยละแอสฟัลต์โดยน้ำหนักของมวลรวม แล้วหาค่าร้อยละแอสฟัลต์ที่ได้ค่าร้อยละ V.F.B. เท่ากับ 75



5.6. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละ V.M.A. กับ ร้อยละแอสฟัลต์โดยน้ำหนักของมวลรวม แล้วตรวจดูว่าค่าต่ำสุดของร้อยละ V.M.A. จะต้องไม่น้อยกว่า 14



ปฏิบัติการที่ 12
ทดสอบการการทรุดตัวของผิวทางโดยเบนเคิลแมนบีม
(BENKELMAN BEAM METHOD)

1. บทนำ

การแอ่น หรือทรุดตัวของถนนชนิดผิวจราจรแบบยืดหยุ่น ก็คือ Elastic deformation ของถนน เป็นการยุบตัวของถนนแบบชั่วคราว เมื่อมีน้ำหนักล้อรถมากระทำ และเมื่อน้ำหนักล้อรถนั้นผ่านไปถนนก็จะคืนสู่สภาพเดิม การทรุดตัวซ้ำ ๆ ณ จุดใด ๆ จะทำให้ถนนล้า (Fatique) เป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายอื่น ๆ ตามมา เมื่อถนนก่อสร้างแล้วเสร็จ จะมีการทรุดตัวระดับหนึ่ง เมื่อเปิดการจราจร ค่าการทรุดตัวจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามปริมาณจราจร จนกระทั่งถนนไม่สามารถรองรับการจราจรต่อไปได้อีก และเริ่มชำรุดเสียหาย

ค่าการแอ่น หรือทรุดตัวจะสัมพันธ์โดยตรงกับการจราจรที่วิ่งผ่านบนถนนหรือผิวทางนั้น ดังนั้นจึงสามารถทำนายอายุของถนนว่าจะมีความแข็งแรงต่อไปอีกเท่าใดในรูปจำนวนเที่ยวของการจราจรที่วิ่งผ่าน นอกจากนี้ ยังมีปัจจัยอื่น ที่มีนัยสำคัญ หรือสัมพันธ์กับค่าการแอ่น หรือทรุดตัว อาทิเช่น อุณหภูมิและค่าความชื้นของวัสดุคันทาง

อุณหภูมิมีนัยสำคัญต่อการแอ่นหรือทรุดตัวของถนนชนิดผิวจราจรแบบยืดหยุ่น หากอุณหภูมิสูง ผิวทางแอสฟัลต์จะอ่อนตัว เมื่อมีน้ำหนักล้อกดจะยุบตัวได้ง่าย ค่าการแอ่น หรือทรุดตัวจะสูง ดังนั้น จึงต้องกำหนดค่าอุณหภูมิมาตรฐานเพื่อเป็นเกณฑ์ โดยค่าการทรุดตัวที่วัดได้ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ จะถูกแปลงเป็นค่าที่อุณหภูมิมาตรฐาน เดิมกรมทางหลวงได้กำหนดอุณหภูมิมาตรฐานตามประเทศเขตอบอุ่นคือที่ 70°F (21°C) ซึ่งค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อน ต่อมาจึงได้มีการศึกษา และกำหนดมาตรฐานอุณหภูมิเป็น 90°F (32.2°C) และล่าสุด ปรับเปลี่ยนเป็น 95°F (35°C)

ปริมาณความชื้น (Moisture content) มีนัยสำคัญต่อการแอ่นหรือทรุดตัวมากเช่นกัน หากดินคันทางมีปริมาณความชื้นสูง ก็จะไม่แข็งแรง ทำให้ค่าการแอน หรือทรุดตัวสูงด้วย สังเกตจากการวัดการทรุดตัวในฤดูแล้ง และฤดูฝนของถนนสายเดียวกัน ค่าที่ตรวจวัดได้ในฤดูฝนจะสูงกว่าฤดูแล้ง เพราะดินคันทางในฤดูฝนมีปริมาณความชื้นสูง ดังนั้น จึงควรวัดการแอ่นหรือทรุดตัวในฤดูฝน ซึ่งผิวทางมีความแข็งแรงน้อยที่สุด

ค่าการแอ่นหรือทรุดตัว ใช้ประโยชน์ในงานทางได้หลายด้าน อาทิ 1) ใช้คาดคะเน หรือทำนายได้ว่า ทางสายนั้นจะใช้งานต่อไปได้อีกนานเท่าใดโดยไม่ชำรุดเสียหาย 2) ใช้ตรวจสอบเพื่อวางแผนซ่อมแซมถนนที่เริ่มชำรุดเสียหาย โดยควรจะซ่อมแซมในส่วนใดก่อนนั้น จะพิจารณาจากค่าการทรุดตัว 3) ใช้พิจารณาในการคำนวณออกแบบเพิ่มความแข็งแรงของสายทางเดิมที่หมดอายุ ให้ใช้งานได้อีกต่อไป ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ผิวทางเดิมเป็นส่วนหนึ่งของผิวทางใหม่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าการทรุดตัวที่

เพิ่มสูงขึ้น ให้อยู่ในระดับต่ำกว่าค่าการทรุดตัวที่ยอมให้ (Allowable deflection) และใช้ประโยชน์จากผิวทางเดิมซึ่งคงความแข็งแรงอยู่บ้าง ทำให้สามารถรับน้ำหนักการจราจรต่อไปได้ ประหยัดค่าวัสดุสำหรับทำผิวจราจรใหม่

ในประเทศไทย กรมทางหลวงได้ใช้ชุดอุปกรณ์ Benkelman Beam เพื่อทดสอบหาค่าการแอ่นหรือทรุดตัวของทางหลวงทั่วประเทศมานานกว่า 3 ทศวรรษแล้ว เพื่อทราบความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง และคำนวณออกแบบเสริมความแข็งแรงของถนน (หรือยืดอายุใช้งาน) ทำให้ถนนมีความคงทน ผิวทางเรียบสม่ำเสมอขึ้น ขับขี่ยวดยานพาหนะได้อย่างสะดวกสบาย ประหยัดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ทาง ประหยัดงบประมาณก่อสร้างและบำรุงรักษา เป็นประโยชน์ต่อการออกแบบโครงสร้างชั้นทาง และมาตรฐานงานก่อสร้าง

2. วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

2.1. เพื่อหาค่าการแอ่น หรือทรุดตัว (Deflection) ของผิวถนนแบบยืดหยุ่น (Flexible pavement)ในช่วงใด ๆ โดยใช้อุปกรณ์ Benkelman Rebound Test

3. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

3.1. รถบรรทุกหกล้อ ประกอบด้วยเพลาหน้าสองล้อ และเพลาหลังเป็นล้อคู่ รวมสี่ล้อ น้ำหนักเพลาหลังขณะทดสอบ 8,200 กิโลกรัม (18,000 ปอนด์) ขนาดของยาง 10 x 20 แรงดันลมในล้อ 85 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว มีช่องว่างระหว่างแก้มยางของคู่ล้อ 25 - 40 มิลลิเมตร และช่องว่างระหว่างพื้นผิวสัมผัสของคู่ล้อ 100 - 150 มิลลิเมตร

3.2. ชุดอุปกรณ์ Benkelman Beam ประกอบด้วยคานสองช่วง คานช่วงหลังตั้งอยู่บนสองขาซึ่งปรับระดับได้ (ขาหน้าเป็นขาคู่ ขาหลังเป็นขาเดี่ยว) คานช่วงหลังจะหิ้วคานช่วงหน้าไว้สองจุด ปลายคานตัวหน้ามีเดือยหยั่ง (Probe) สำหรับวาง ณ ตำแหน่งทดสอบ เพื่อวัดค่าการแอ่น หรือทรุดตัวของผิวทาง คานช่วงหน้ายาวเรียวสามารถสอดเข้าระหว่างล้อคู่หลัง ที่ปลายคานช่วงหน้าอีกด้านหนึ่งมี Dial Gauge วัดค่าการทรุดตัว (ระยะที่เดือยหยั่งกระดกขึ้นลง) บนคานหลังมีขดลวดแม่เหล็กสั่นสะเทือน (Buzzer) เพื่อลดความฝืดของจุดสัมผัสต่าง ๆ ในขณะทดลอง

3.3. เทอร์โมมิเตอร์

3.4. ฆ้อน และเหล็กนำ (Mandrel) สำหรับเจาะรูเพื่อวัดอุณหภูมิของถนน

3.5. อุปกรณ์วัดแรงดันลมยาง

3.6. เทปวัดระยะทาง

3.7. นาฬิกาจับเวลา

3.8. อุปกรณ์ประกอบอื่น ๆ อาทิ แผงสำหรับกั้นยวดยาน ป้ายจราจร

4. วิธีการทดสอบ

4.1. จุดทดสอบแต่ละจุดห่างกัน 50 เมตรตามแนวถนน และอยู่ในแนวที่ล้อรถผ่านด้านใกล้ขอบถนน(Outer wheel path) โดยให้จุดทดลองห่างจากขอบถนน (ตารางที่ 12.1)

ตารางที่ 12.1 ความกว้างช่องจราจร และระยะห่างจากขอบทาง

ความกว้างช่องจราจร (เมตร)	ระยะจากขอบถนน (เซนติเมตร)
2.50 หรือน้อยกว่า	35
2.75	45
3.00	60
3.25	70
3.50	85
3.75 หรือมากกว่า	95

หมายเหตุ ถนนสองช่องจราจรไปกลับ ให้ทดสอบบนช่องจราจรซ้าย ขวา (หรือ ไปกลับ) สลับกันทุก ๆ กิโลเมตร(โดยกิโลเมตรที่เป็นเลขคู่ จะทดสอบบนช่องจราจรซ้าย หรือกลับกัน) แต่หากเป็นถนนสี่ช่องจราจร ให้ทดสอบในช่องจราจรด้านนอกสุดทั้งสองทิศทาง (ไปและกลับ) ตลอดเส้นทาง

4.2. เคลื่อนรถบรรทุกที่จะใช้เป็นน้ำหนักทดสอบเข้าจอดตามแนวของถนน ให้ช่องล้อคู่นอกอยู่ในแนวของจุดทดสอบขนานกับถนน ศูนย์กลางของล้ออยู่หลังจุดทดสอบ 0.20 เมตร

4.3. สอดปลายคานจากด้านหลังรถเข้าไปในช่องว่างระหว่างล้อคู่ จนกระทั่งปลายเดือยหยั่งอยู่บนจุดทดสอบ ปรับแนวคานให้อยู่ในแนวของล้อรถบรรทุก (เมื่อรถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแล้วแก้มยางด้านหนึ่งด้านใดต้องไม่สัมผัสกับตัวคาน) จัดขาตั้งหน้า และหลังให้มั่นคง คลายหมุดบังคับที่อยู่ด้านหน้า ปลายเดือยหยั่งจะสัมผัสจุดทดสอบ และคลายหมุดบังคับที่อยู่ด้านหลังให้ปลาย

คานอีกด้านหนึ่งสัมผัสกับเดือยของ Dial Gauge โดยให้ Dial Gauge หมุนอย่างน้อย 3 - 4 รอบ เปิดสวิทช์ให้ Buzzer ทำงาน ปรับ Dial Gauge ตั้งค่าศูนย์ หรือ Initial Reading

4.4. วัดอุณหภูมิของอากาศและผิวถนนก่อนทดสอบ การวัดอุณหภูมิผิวถนนทำได้โดยใช้ฆ้อนตอกเหล็กนำลงบนผิวถนนลึกประมาณ 3 - 4 เซนติเมตร เติมน้ำให้เต็ม ทิ้งไว้สักครู่ แล้วสอดเทอร์โมมิเตอร์ลงไป รอจนปรอทหยุดนิ่งไม่น้อยกว่าหนึ่งนาที จึงจะอ่านอุณหภูมิ

4.5. ให้สัญญาณรถบรรทุกเคลื่อนที่ไปข้างหน้าอย่างช้า ๆ (Creep speed) ไม่เกินสี่กิโลเมตรต่อชั่วโมงผ่านจุดทดสอบ อ่านค่า Reverse Reading (R_v) เมื่อเข็มไดอัลเกจชี้ตำแหน่งสูงสุดก่อนที่จะเริ่มหมุนกลับให้รถบรรทุกเคลื่อนที่ต่อไปเรื่อย ๆ จนพ้นจากจุดทดสอบไม่น้อยกว่าห้าเมตร อ่านค่า Rebound Reading (R_b) เมื่อเข็มหยุดนิ่งหรือหมุนไม่เกิน 0.025 มิลลิเมตรต่อนาที

4.6. หมุนปิดหมุดบังคับ (Beam Lock) ก่อนที่จะเคลื่อนย้ายตัว Beam เพื่อป้องกันความเสียหายของเครื่องมือเนื่องจากแขนของ Beam ที่สัมผัสกับเดือยของ Dial Gauge จะไปกระทบเดือยของ Dial Gauge อาจเสียหายได้

รูปที่ 12.1 Benkleman Beam และลำดับดับขั้นตอนทดสอบการทรุดตัวของผิวทาง

4.7. การคำนวณ

1) คำนวณหาค่า Individual Deflection (Ri) ของทุกจุดที่ทำการทดลองดังนี้

$$R_i = R_v + R_b \tag{12.1}$$

2) คำนวณค่าเฉลี่ยของการแอ่น หรือทรุดตัว (Mean of Deflection, R) และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation of Deflection, SD) ดังนี้

$$R = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n}{n}$$

$$R = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} R_j \tag{12.2}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n}\left(R_j - R\right)^2}{n-1}} \tag{12.3}$$

3) ปกติค่าการแอ่น หรือทรุดตัวที่วัดได้ในถนนสายหนึ่ง ๆ จะผันแปร (สูงบ้าง ต่ำบ้าง) แสดงว่าการชำรุดเสียหายของถนนสายนั้นไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นในการคำนวณเพื่อออกแบบเสริมความแข็งแรงของถนน (Overlay Design) จะไม่ใช้ค่าการแอ่น หรือทรุดตัวที่มากที่สุดในการออกแบบ เพราะจะสิ้นเปลืองเกินไปเดิมจะกำหนดเปอร์เซนต์ไตล์ (Percentile) ของค่าการแอ่น หรือทรุดตัวที่ใช้คำนวณออกแบบ ปัจจุบันกำหนดค่าการแอ่นหรือทรุดตัวที่ใช้คำนวณออกแบบ (d) ดังนี้

$$d = R + 1.5SD \tag{12.4}$$

4) คำนวณค่าปรับแก้การแอ่นหรือทรุดตัวเนื่องจากอุณหภูมิ (Temperature Correction, TC) มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิผิวทางขณะทดสอบอาจจะแตกต่างจากอุณหภูมิมาตรฐาน(35°C) ดังนี้

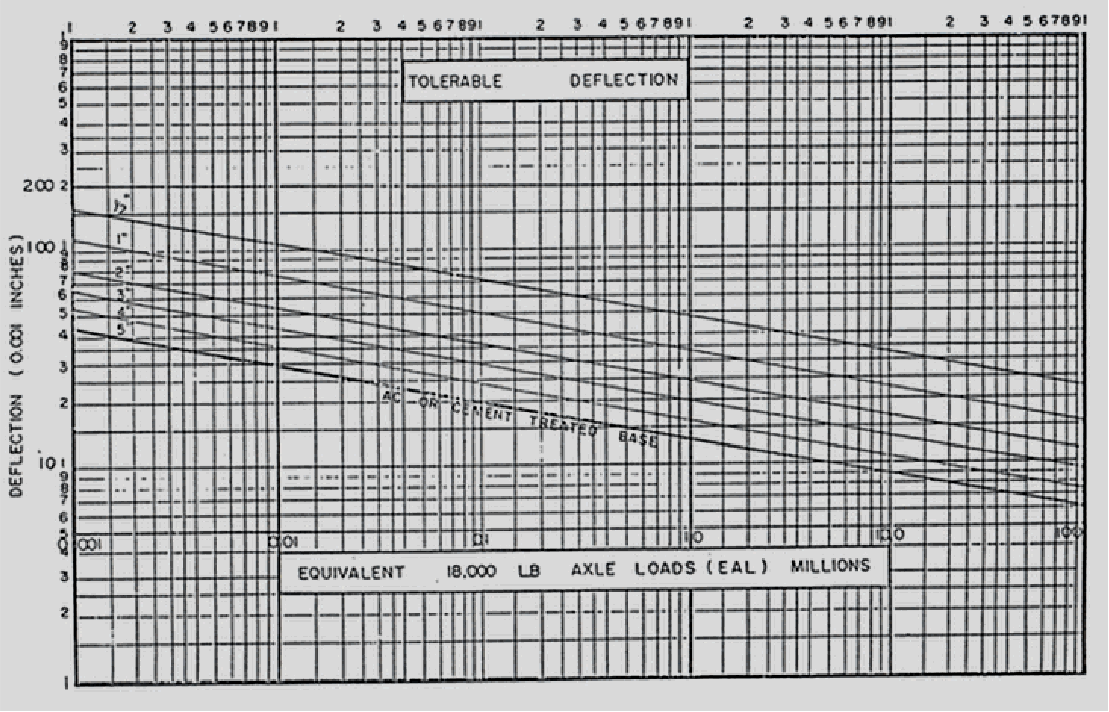
$$TC = 0.0046(35 - C) \tag{12.5}$$

5) ปรับแก้ค่าการแอ่น หรือทรุดตัวที่ใช้คำนวณออกแบบ ให้เป็นค่าการแอ่นหรือทรุดตัวที่อุณหภูมิมาตรฐาน (35°C) จะได้ค่าการแอ่นหรือทรุดตัวที่ใช้คำนวณออกแบบ (Overlay Design Deflection, DEF) ดังนี้

$$DEF = d + TC \tag{12.6}$$

5. บทวิเคราะห์วิจารณ์

วิธีการคำนวณออกแบบนี้ ปรับปรุงจาก California Method เป็นการคำนวณเสริมความแข็งแรงให้เพียงพอเพื่อลดทรุดตัว ให้สามารถรับน้ำหนัก และปริมาณการจราจรได้ตลอดอายุใช้งาน โดยมีหลักการคือ ลดค่าการแอ่นหรือทรุดตัวที่ได้จากการทดสอบให้ต่ำกว่าการแอ่นหรือทรุดตัวที่ยอมให้ (Allowable Deflection) โดยเสริมความหนาของผิวจราจรเดิม (รูปที่ 2) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอ่นหรือทรุดตัวที่ยอมให้กับจำนวน Repetition ของน้ำหนักเพลามาตรฐาน (Standard Axle Load, SA) 8,200กิโลกรัม (หรือ 18,000ปอนด์) และ Traffic Index ณ ความหนาต่าง ๆ ของแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งค่า SA Repetition คำนวณได้จากปริมาณจราจรของรถบรรทุก โดยเป็นผลคูณระหว่าง ปริมาณจราจรของรถบรรทุกซึ่งคาดคะเนในปีปัจจุบันจนกระทั่งถึงกำหนดอายุการใช้งาน กับค่าคงตัวของรถบรรทุกรายปี (Annual Truck Constant) ที่เหมาะสมกับชนิด และการจราจรบนสายทางนั้น



รูปที่ 12.2 ช่วงผันแปรของการแอ่น หรือทรุดตัว กรณีทดสอบบนผิวจราจรแอสฟัลต์ (AC Fatigue Tests)

บรรณานุกรม

1. มาตรฐานงานช่าง กรมโยธาธิการ (มยธ.)
2. ปฐพีกลศาสตร์ ของ ดร.วรากร ไม้เรียง อ.จิรพัฒน์ โชติกไกร และอ.ประทีป ดวงเดือน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ.2525
3. คู่มือโยธาปฏิบัติ ของ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
4. คอนกรีตเทคโนโลยี ของ ดร.วินิต ช่อวิเชียร
5. วัสดุการทาง ของ รศ.วัชรินทร์ วิทยกุล ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ.2536
6. คู่มือปฏิบัติงานควบคุมคุณภาพวัสดุ (ฉบับปรับปรุง) สถาบันพัฒนาช่างโยธามหาดไทย กรมโยธาธิการ กระทรวงมหาดไทย พ.ศ.2543