บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย

3.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทดสอบหาคุณสมบัติด้านตัวยางและหาค่าโมดุลัสสมมูลย์(E_v) และค่าอัตราส่วนปัวซองสมมูลย์(v_{vh}) ของแอสฟัลต์คอนกรีต 60-70 ผสมเศษยางรถยนต์และแอสฟัลต์คอนกรีต 60-70 ผสมยางพาราแล้วนำค่าจากการทดสอบมาเปรียบเทียบทางด้านเศรษฐศาสตร์

3.2 วัสดุ

3.2.1 แอสฟัลต์ AC 60-70

เป็นวัสดุที่สกัดจากน้ำมันดิบมีสีดำมีลักษณะเหนียวและความหนืดต่ำนิยมนำมาใช้ในงานก่อสร้างถนนโดยใช้เป็นวัสดุผิวหน้าทำหน้าที่ประสานระหว่างวัสดุเติมเช่นหินและทรายให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันเรียกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตคุณสมบัติแอสฟัลต์ซีเมนต์ 60-70 แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติแอสฟัลต์ซีเมนต์ 60-70

(ที่มา: ณพรัตน์ วิชิตชลชัย และจรัสศรี พันธ์ไม้, 2544)

คุณสมบัติ	วิธีการทดลอง	ค่าที่วัดได้
เพนิเทรชัน ที่อุณหภูมิ 25°C น้ำหนักกด 100 กรัม เวลา 5 วินาที	ASTM D 5	60-70 มม.
จุดอ่อนตัว	ASTM D 36	45-55 ˚C
ความยืดดึงที่อุณหภูมิ 25°C, อัตราเร็วของเครื่องดึง 5 ซม./นาที (ไม่น้อยกว่า)	ASTM D 113	100 ซม.
จุดวาบไฟ (ไม่น้อยกว่า)	ASTM D 92	232 ˚C
การละลายในไตรคลอโรเอทิลีน (ไม่น้อยกว่า)	ASTM D 2042	99 % โดยน้ำหนัก

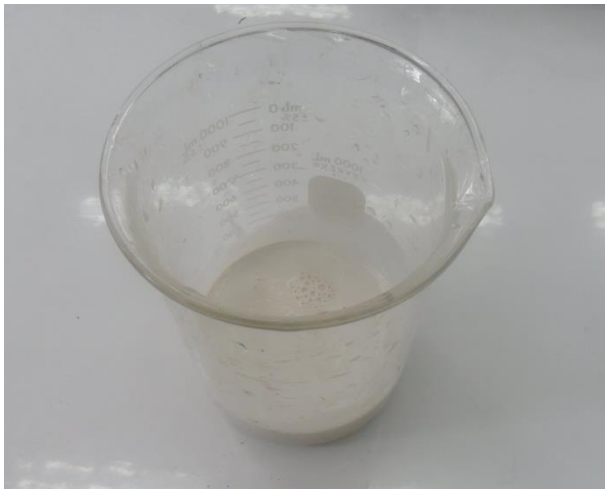
3.2.2 เศษยางรถยนต์

เศษยางรถยนต์ผลิตโดยใช้ยางรถยนต์ประเภทต่างๆหรอผลิตภัณฑ์ยางที่ชำรุดหรอไม่ได้ใช้แล้วนำมารีไซเคิลโดยการบดให้เป็นผงเล็กๆขนาด 20 ถึง 40 Meshes ดังรูป 3.1

รูปที่ 3.1 เศษผงยางรถยนต์

จากนั้นนำเศษยางรถยนต์เก่ามาผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ 60-70 โดยใช้อัตราส่วนเศษยางรถยนต์เก่า 5 %, 7 % และ 9 % โดยที่อัตราส่วนผสมเหล่านี้มาจากงานวิจัยที่ศึกษาในอดีตของ (วัชรินทร์ วิทยกุล และชาญรงค์ คูณทวีเทพ, 2539)

3.2.3 น้ำยางพาราความเข้มข้น 60 %



รูปที่ 3.2 น้ำยางพาราความเข้มข้น 60%

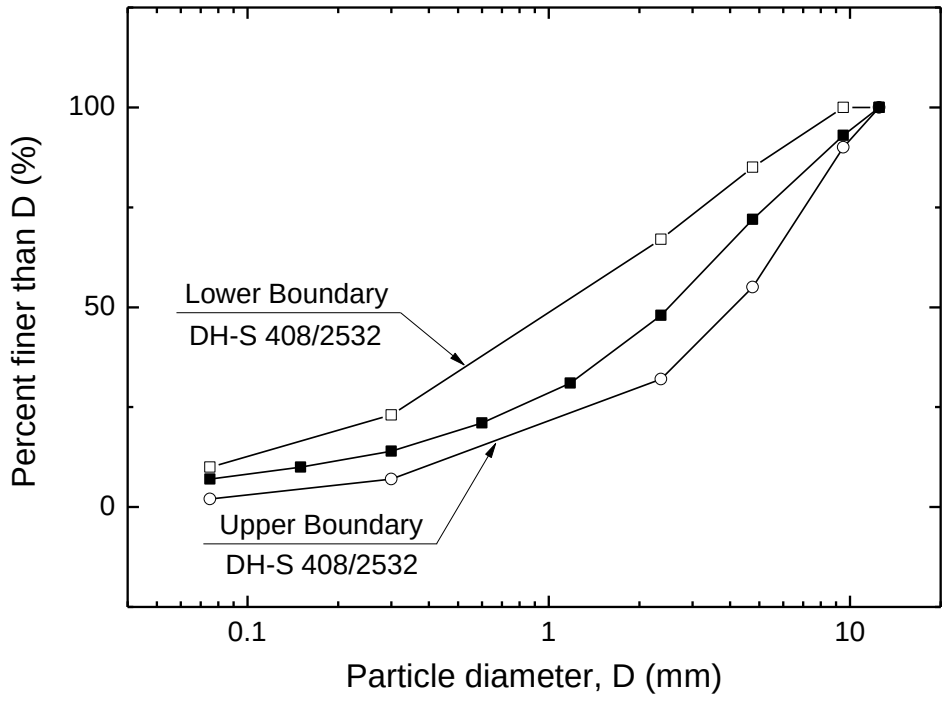
นำน้ำยางพาราความเข้มข้น 60 % มาผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ 60-70 โดยใช้อัตราส่วนน้ำยางพารา 3 %, 5 % และ 7 % โดยที่อัตราส่วนผสมเหล่านี้มาจากงานวิจัยที่ศึกษาในอดีตของ (ณพรัตน์ วิชิตชลชัย, 2554)

3.2.4 มวลรวม

มวลรวมใช้ตามมาตรฐานกรมทางหลวง DOH-T 408/2532 และถูกทำความสะอาดโดยการล้างแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 ขนาดคละมวลรวมที่ทำการศึกษา

Sieve size (mm)	Percent passing
12.5 (1/2”)	100
9.5 (3/8”)	93
4.75 (No.4)	72
2.36 (No.8)	48
1.18 (No.16)	31
0.600 (No.30)	21
0.300 (No.50)	14
0.150 (No.100)	10
0.075 (No.200)	7



รูปที่ 3.3 แสดงการกระจายขนาดมวลรวม

เมื่อเทียบกับมวลรวมที่ใช้ตามข้อกำหนดของซุปเปอร์เพฟ (Superpave)
การหาขนาดมวลรวมขนาดใหญ่ที่สุด ขนาดใหญ่ที่สุดที่ระบุ
ทดลองตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ท. 204/2516
ได้มวลรวมขนาดใหญ่สุด ขนาดตะแกรง 25 มิลลิเมตร
ได้มวลรวมขนาดใหญ่สุดที่ระบุ ขนาดตะแกรง 19.0 มิลลิเมตร

ตารางที่ 3.3 แสดงขนาดข้อกำหนดซุปเปอร์เพฟสำหรับขนาดตะแกรง 19.0 มิลลิเมตรที่ระบุ

(ที่มา:วัชรินทร์ วิทยกุล, 2547)

19 mm.Nominal Size				
Sieve, mm.	Control Points		Restricted Zone Boundary	
			Minimum	Maximum
19		100.0		
12.5	90.0	100.0		
9.5				
4.75				
2.36	23.0	49.0	34.6	34.6
1.18			22.3	28.3
0.600			16.7	20.7
0.300			13.7	13.7
0.150				
0.075	2.0	8.0		

เมื่อเปรียบเทียบมวลรวมที่ทำการศึกษากับมวลรวมตามมาตรฐานซุปเปอร์เพฟจะพบว่ามวลรวมที่ทำการศึกษานั้นผ่านตามข้อกำหนดซุปเปอร์เพฟทุกขนาด

การทดสอบหาค่าดรรชนีความยาว (Elongation Index)

ทดลองตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ท. 211/2518

ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบดรรชนีความยาว (Elongation Index)

Sieve Size U.S. Standard Square Opening (mm.)	Gauge length (mm.)	Mass Passing (gm.)	Mass Retained (gm.)	Total Mass X+Y (gm.)	Elongation Index %
63.5-50.8	102.87	-	-	-	-
50.8-38.1	80.01	-	-	-	-
38.1-25.4	57.15	22.5	0	22.5	0
25.4-19.05	40.01	84.6	0	84.6	0
19.05-12.7	28.58	66.2	20.2	80.4	25.12
12.7-9.52	20.02	18.6	7.5	26.1	28.74
9.52-4.76	12.85	130.4	20.2	150.6	13.41
Total		322.3	47.9	364.2	13.15

$$\text{ดรรชนีความยาว (EI)} = \frac{\text{มวลรวมของตัวอย่างทุกขนาดที่ค้างช่องวัดความยาว}}{\text{มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ผ่านและส่วนที่ค้างทั้งหมด}} * 100 \quad (3.1)$$

$$= \frac{Y}{X+Y} * 100$$

เมื่อ X = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ลอดช่องวัดความยาวทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

Y = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ค้างช่องวัดความยาวทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

การทดสอบหาค่าดรรชนีความแบน (Flakiness Index)

ทดลองตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ท. 210/2518

ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบดรรชนีความแบน (Flakiness Index)

Sieve Size U.S. Standard Square Opening (mm.)	Gauge length (mm.)	Mass Retained (gm.)	Mass Passing (gm.)	Total Mass X+Y (gm.)	Flakiness Index %
63.5-50.8	102.87	-	-	-	-
50.8-38.1	80.01	-	-	-	-
38.1-25.4	57.15	17.6	0	17.6	0
25.4-19.05	40.01	65.2	30.5	95.7	31.87
19.05-12.7	28.58	57.9	20	77.9	25.67
12.7-9.52	20.02	25.8	3.2	29	11.03
9.52-4.76	12.85	91.1	61.61	152.7	40.35
Total		240	132.91	372.9	35.64

$$\text{ดรรชนีความแบน (FI)} = \frac{\text{มวลรวมของตัวอย่างทุกขนาดที่ลอดผ่านช่องวัดความหนา}}{\text{มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ผ่านและส่วนที่ค้างทั้งหมด}} * 100 \quad (3.2)$$

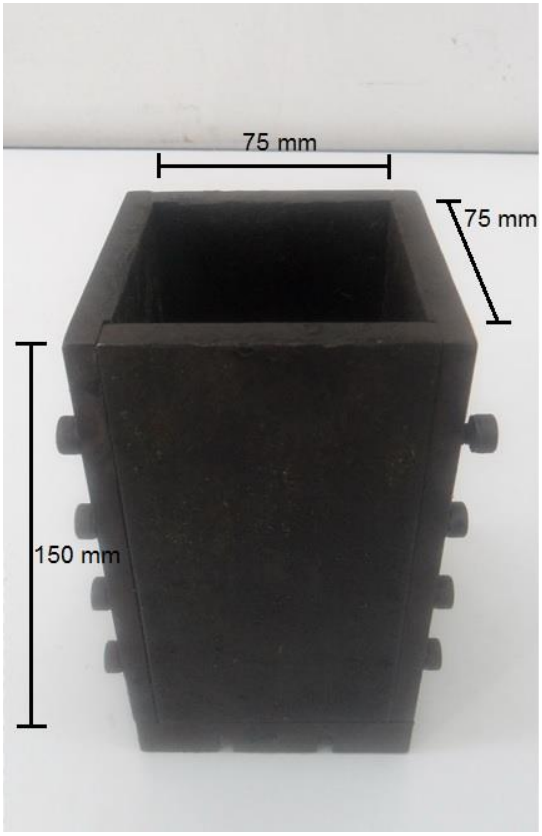
$$= \frac{Y}{X+Y} * 100$$

เมื่อ X = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ลอดช่องวัดความยาวทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

Y = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ค้างช่องวัดความยาวทุกช่อง มีหน่วยเป็นกรัม

3.3 โมล

โมลมีลักษณะเป็นสี่เหลียมผืนผ้ามีขนาด 75*75*150 มม.และทำจากเหล็ก ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ลักษณะโมล

3.4 การผสมระหว่างสารใส่ผสมเพิ่มและแอสฟัลต์ซีเมนต์ 60/70

3.4.1 การผสมแอสฟัลต์ AC 60/70 กับยางพารา

การผสมระหว่างผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์ 60/70 กับยางพาราขั้นตอนแรกคือ ใส่แอสฟัลต์ซีเมนต์ 60/70 ลงในภาชนะผสมต้มจนถึงอุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียสจากนั้นเทน้ำยางพาราใส่ลงไปตามเปอร์เซ็นต์การผสมดังรูปที่ 3.5 (ข้อระมัดระวังการใส่น้ำยางพาราลงไปในแอสฟัลต์น้ำภายในยางพาราจะเดือดและกระเด็นควรใส่ชุดป้องกันในการผสม) หลังจากเทน้ำยางพาราลงไปเพิ่มอุณหภูมิไปที่ประมาณ 150 องศาเซลเซียสก็คนให้เข้ากันประมาณ 5 นาทีระยะเวลาในการผสมยิ่งเปอร์เซ็นต์ใส่สารผสมเพิ่มเยอะขึ้นระยะเวลาในการผสมก็จะมากขึ้นตามจากนั้นปิดไฟแล้วคนต่อไปจนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

(ก) (ข)

รูปที่ 3.5 (ก),(ข) การผสมแอสฟัลต์ AC 60/70 กับยางพารา

3.4.2 การผสมแอสฟัลต์ AC 60/70 กับเศษยางรถยนต์

การผสมระหว่างผสมแอสฟัลต์ AC 60/70 กับเศษยางรถยนต์ขั้นตอนแรกคือ ใส่แอสฟัลต์ AC 60/70 ลงในภาชนะผสมต้มจนถึงอุณหภูมิประมาณ 140 องศาเซลเซียสจากนั้นเทเศษยางรถยนต์ลงไปตามเปอร์เซ็นต์การผสมดังรูปที่ 3.6 หลังจากเทเศษยางรถยนต์ลงไปเพิ่มอุณหภูมิไปที่ประมาณ 180 องศาเซลเซียสจากนั้นคนให้เข้ากันประมาณ 5 นาทีระยะเวลาในการผสมยิ่งเปอร์เซ็นต์ใส่สารผสมเพิ่มเยอะขึ้นระยะเวลาในการผสมก็จะมากขึ้นตามจากนั้นปิดไฟแล้วคนต่อไปจนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

(ก) **(ข)**

รูปที่ 3.6 (ก),(ข) การผสมแอสฟัลต์ AC 60/70 กับเศษยางรถยนต์

สรุปการเปรียบเทียบอุณหภูมิในการผสม Binder แต่ละประเภทดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การเปรียบเทียบอุณหภูมิในการผสม Binder

ชนิดแอสฟัลต์	AC 60/70	AC 60/70 ผสมเศษยางรถยนต์			AC 60/70 ผสมยางพารา		
		5 %	7 %	9 %	3 %	5 %	7 %
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	140	180	180	180	150	150	150

3.5 วิธีทดสอบคุณสมบัติด้านตัวยาง

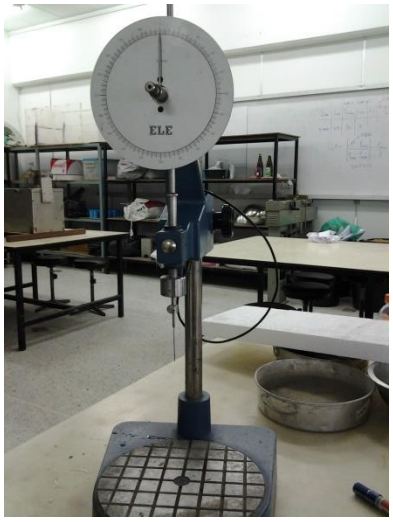
3.5.1 การทดสอบเพนิเทรชันของวัสดุบิทูเมน (Test for penetration of bituminous materials)

เป็นการทดสอบเพนิเทรชันเป็นวิธีการวัดความข้นเหลวของวัสดุบิทูเมน ค่าเพนิเทรชันที่สูงกว่าบ่งชี้ถึงความข้นเหลวที่อ่อนกว่า

มาตรฐานอ้างอิง AASHTO T 49-06 และ มอก. 1201-2536

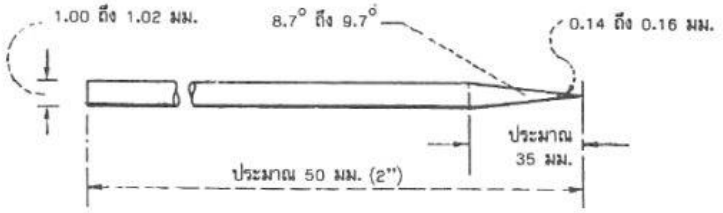
อุปกรณ์การทดสอบ

1. เครื่องทดสอบเพนิเทรชัน



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบเพรนิเทชั่น (Penetration Apparatus)

2. เข็มมาตรฐาน (Penetration Needle) ทำด้วยเหล็กกล้าไร้สนิมชนิดชุบแข็ง (Stainless Steel)



รูปที่ 3.8 เข็มมาตรฐาน (Penetration Needle)

การเตรียมตัวอย่าง

ทำให้ตัวอย่างเหลวด้วยความร้อนคนตัวอย่างให้สม่ำเสมอเพื่อไม่ให้จุดใดจุดหนึ่งร้อนมากเกินไปจนตัวอย่างมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอ่อนตัว สำหรับตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์ไม่ควรให้อุณหภูมิสูงกว่า 90 ^{o}C เทตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุตัวอย่างระวังอย่าให้มีฟองอากาศปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นเมื่อตัวอย่างเย็นแล้วปิดภาชนะบรรจุตัวอย่างเพื่อป้องกันฝุ่นนำภาชะบรรจุตัวอย่างไปไปแช่ลงในอ่างน้ำควบคุมที่ 25 ^{o}C อุณหภูมิประมาณ 1.5 ชั่วโมง

วิธีการทดสอบ

ทำโดยวิธีเครื่องเพนิเทรชันอยู่ภายนอกอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ทำได้โดยตั้งเครื่องทดสอบเพนิเทรชันไว้นอกอ่างควบคุมอุณหภูมินำภาชนะบรรจุตัวอย่างใส่ลงในภาชนะย้ายตัวอย่างซึ่งบรรจุน้ำจากอ่างควบคุมอุณหภูมิอยู่เต็มวางภาชะย้ายตัวอย่างบนที่ตั้งเครื่องมือและเริ่มทดสอบทันที โดยปรับให้เข็มมาตรฐานที่มีน้ำหนักกดตามที่ระบุสัมผัสผิวของตัวอย่างทันทีตั้งหน้าปัดให้เป็นศูนย์จากนั้นกดเพื่อปล่อยเข็มระยะเวลานาน 5 วินาทีแล้วอ่านที่หน้าปัดระยะที่ที่วัดได้เป็นค่าเพนิเทรชันซึ่งวัดในหน่วย 0.1 มิลลิเมตรและทำการทดสอบอย่างน้อย 3 ครั้ง โดยตำเหน่งที่เข็มทิ่มลงบนผิวหน้าจะต้องอยู่ห่างจากขอบของภาชนะบรรจุตัวอย่างไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตรและแต่ละจุดอยู่ห่างกันไม่น้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

3.5.2 การทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุบิทูเมนโดยใช้เครื่องวงแหวนกับลูกปืน (Test for softening point of bitumen ring-and-ball apparatus)

การทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุบิทูนัสโดยใช้เครื่องมือ Ring and ball จุ่มในน้ำกลั่นแล้วนำลูกเหล็กมาวางไว้บนตัวอย่างจากนั้นเริ่มให้ความร้อนจนลูกเหล็กเลื่อนลงมาที่ระยะทาง 25 มม. จุดอ่อนตัวหมายถึง อุณหภูมิที่วัสดุบิทูเมนอ่อนตัวถึงระดับที่กำหนดภายใต้ภาวะทดสอบมาตรฐาน

มาตรฐานอ้างอิง ASTM D 36/D36M และมอก. 1216-2537

อุปกรณ์การทดสอบ

1. วงแหวน (Rings) เป็นวงแหวนทองเหลือง
2. ลูกปืน (Balls) เป็นเหล็กกล้าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.5 มิลลิเมตร
3. ตัวนำศูนย์ (Ball-Centering Guides) ทำด้วยทองเหลืองใช้สำหรับบังคับลูกปืนให้วางอยู่ตรงกลางวงแหวน
4. ชุดวางวงแหวน (Ring Holder and Assembly) ทำด้วยทองเหลืองใช้รองรับแหวนให้อยู่ในแนวราบผิวล่างของวงแหวนสูงจากผิวบนของแผ่นรองรับ 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว)

การเตรียมตัวอย่าง

ให้ความร้อนกับแอสฟัลต์และวงแหวนทองเหลืองทั้งสองวงแต่ไม่ให้ความร้อนกับแผ่นรองแล้วนำวงแหวนทองเหลืองไปวางบนแผ่นรองที่เคลือบสารกันติดไว้แล้วเทตัวอย่างลงในวงแหวนทั้งสองจนปริ่มจวนล้นปล่อยตัวอย่างทดสอบไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที

วิธีการทดสอบ

จัดวงแหวนที่เตรียมตัวอย่างไว้แล้วทั้งสองวงนำตัวนำศูนย์เข้าตำแหน่งของชุดวางวงแหวนนำไปแช่ในกระบอกแก้วในอ่างควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 15 นาทียกเครื่องทดสอบออกจากอ่างควบคุมอุณหภูมิใช้ปากคีมลูกปืนวางลงในช่องตัวนำศูนย์ดังรูปที่ 3. เพิ่มอุณหภูมิของเหลวในกระบอกแก้วให้สูงขึ้นด้วยอัตรา 5 °C ต่อนาทีจากนั้นลูกปืนแต่ละวงจะย้อยลงมาอ่านอุณหภูมิทันทีที่ตัวอย่างทดสอบพร้อมลูกปืนแต่ละวงย้อยมาสัมผัสกับแผ่นรองรับถ้าอุณหภูมิที่อ่านได้สำหรับ 2 ตัวอย่างทดสอบต่างกันเกิน 1 °C ให้ทำการทดสอบใหม่

รูปที่ 3.9 การทดสอบจุดอ่อนตัว

3.5.3 การทดสอบความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของวัสดุบิทูเมนสภาวะกึ่งแข็ง

(Test for specific gravity and density of semi-solid bituminous)

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของแอสฟัลต์ซีเมนต์คืออัตราส่วนของมวลของวัสดุที่มีปริมาตรตามกำหนดที่อุณหภูมิ 25°C ต่อมวลของน้ำที่มีปริมาตรเท่ากันที่อุณหภูมิเดียวกัน

มาตรฐานอ้างอิง ASTM D 70-82 (Reapproved 1990) และ AASHTO T 85

อุปกรณ์การทดสอบ

1. ขวดแก้ววัดความถ่วงจำเพาะ (Pycnometer Glass) มีลักษณะรูปทรงกระบอกหรอรูปกรวยที่ปากขวดมีจุกแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 ถึง 26 มิลลิเมตร สำหรับปิดปากขวดสนิทพอดีจุกแก้วจะมีรูอยู่ตรงกลางตามแนวดิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 มิลลิเมตร

การเตรียมตัวอย่าง

ทำความสะอาดขวดแก้ววัดความถ่วงจำเพาะเช็ดให้แห้งแล้วชั่งมวลให้ละเอียดถึง 1 มิลลิกรัม กำหนดให้เป็นมวล A เติมน้ำกลั่นที่ควบคุม 25 ลงในขวดแก้ววัดความถ่วงจำเพาะอุดจุกแก้วลงในขวดแก้ววัดความถ่วงจำเพาะแล้วนำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิไม่น้อยกว่า 30 นาทียกขวดแก้วออกแล้วเช็ดขวดแก้วให้แห้งทันทีจากนั้นนำไปชั่งกำหนดให้เป็นมวล B

วิธีการทดสอบ

ให้ความร้อนแก่แอสฟัลต์เทแอสฟัลต์ลงในขวดแก้วที่สะอาดและแห้งปริมาณ 3/4 ของความจุขวดแก้วระวังไม่ให้วัสดุติดด้านข้างและระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องไม่น้อยกว่า 40 นาทีจากนั้นนำไปชั่งพร้อมจุกแก้วกำหนดให้เป็นมวล C นำน้ำกลั่นที่ควบคุมอุณหภูมิเทใส่ขวดแก้วให้เต็มแล้วปิดฝาให้แน่นแล้วนำไปแช่ที่อ่างควบคุมอุณหภูมิประมาณ 30 นาทีเมื่อครบเวลานำขวดแก้วออกแล้วเช็ดให้แห้งสนิทนำไปชั่งแล้วกำหนดเป็นมวล D

รูปที่ 3.10 การทดสอบความถ่วงจำเพาะ

การคำนวณ

1. คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะให้ละเอียดถึง 0.001 ดังนี้

ความถ่วงจำเพาะ = $\frac{(C-A)}{((B-A)-(D-C))}$

เมื่อ A = มวลของขวดแก้ว (รวมจุกแก้ว), กรัม

B = มวลของขวดแก้ว (เติมน้ำเต็มรวมจุกแก้ว), กรัม

C = มวลของขวดแก้ว (บรรจุแอสฟัลต์บางส่วนไม่เต็มขวดรวมจุกแก้ว), กรัม

D = มวลของขวดแก้ว (บรรจุแอสฟัลต์และน้ำรวมจุกแก้ว), กรัม

2. คำนวณหาค่าความหนาแน่นให้ละเอียดถึง 0.001 ดังนี้

ความหนาแน่น = ความถ่วงจำเพาะ $*W_T$

เมื่อ W_T = ความหนาแน่นของน้ำที่อุณหภูมิของการทดสอบกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

3.5.4 การทดสอบความยืดดึงของวัสดุบิทูเมน (Test for ductility of bituminous materials)

การยืดตัวถือเป็นคุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของแอสฟัลต์คือวัสดุจำพวกบิทูมินัส ที่กึ่งแข็งความเหนียวเช่นว่านี้เป็นความสามารถยืดหยุ่นได้ภายใต้แรงดึงและด้วยคุณสมบัติข้อนี้จึงทำให้ผิวทางที่ใช้บิทูมินัสเป็นตัวเชื่อมประสานยืดหยุ่นได้และดูดซับแรงกระแทกได้ดี

มาตรฐานอ้างอิง ASTM D 113-99 และ มอก. 1202-2536

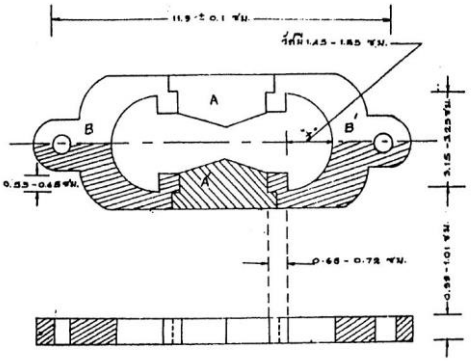
อุปกรณ์การทดสอบ

1. เครื่องดึงชิ้นทดสอบ (Testing Machine) สามารถดึงชิ้นทดสอบด้วยความเร็วสม่ำเสมอ 5 เซนติเมตรต่อนาทีคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 5

รูปที่ 3.11 เครื่องดึงชิ้นทดสอบ

2. แบบหล่อทดสอบ (Mold) ทำด้วยทองเหลือง

(ก)



(ข)

รูปที่ 3.12 (ก) (ข) แบบหล่อทดสอบ

การเตรียมตัวอย่าง

เคลือบสารกันติดลงบนแผ่นทองเหลืองส่วน A และ A' เทแอสฟัลต์ลงในแบบหล่อโดยเทลักษณะเป็นสายเล็กๆปล่อยตัวอย่างให้เย็นในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาทีแล้วน้ำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 25 °C อีก 30 นาที แล้วปาดส่วนเกินออกจากแบบหล่อแล้วแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิอีก 85 ถึง 95 นาทีแล้วนำไปทดสอบทันที

วิธีการทดสอบ

สวมปลายหัวจับชิ้นทดสอบทั้งสองข้างเข้ากับขอหรอสลักของเครื่องดึงตัวอย่างแล้วเดินเครื่องด้วยอัตราเร็ว 5 เซนติเมตรต่อนาทีในขณะที่ชิ้นตัวอย่างอยู่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 25 ^{o}C จนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดออกจากกันอ่านระยะยืดทันทีที่ขาดออกจากกันเป็นเซนติเมตร

3.6 การเตรียมตัวอย่าง

3.6.1 อุณหภูมิ

นำโมลและภาชนะในการผสมพร้อมทั้งมวลรวมหลังจากทำความสะอาดแล้วแล้วนำไปอบให้ร้อนที่อุณหภูมิ 140$\pm$5 ^{o}C

3.6.2 การผสม

หลังจากการที่อบได้อุณหภูมิแล้ว นำมวลรวมผสมกับแอสฟัลต์ที่เตรียมไว้ต้องรีบทำการผสมเพื่อป้องกันอุณหภูมิลดลง

3.6.3 การบดอัด

การศึกษาครั้งนี้มีวิธีการบดอัดในแนวตั้งความหนาแน่นคือ 2.37 g/cm^{3} สำหรับพารามิเตอร์การบดอัดตามตารางที่ 3.7 โดยบดอัดแบ่งเป็น 5 ชั้นในแบบปริซึมสี่เหลี่ยม (75x75x150 mm) โดยจะบดอัดชั้นละ 30 มม. ในขั้นตอนการอดอัดจะต้องเสร็จสิ้นในเวลา 45 นาที เพราะถ้าใช้เวลามากเกินไปในกระบวนการนี้จะส่งผลให้รอยต่อระหว่างชั้นไม่เชื่อมต่อกัน และปล่อยตัวอย่างให้เย็นลงอย่างน้อย 16 ชั่วโมงก่อนที่จะเริ่มการทดสอบ ขั้นตอนการบดอัดแสดงดังต่อไปนี้

(ก)

(ข)

(ค)

(ง)

รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการบดอัด (ก)การผสมระหว่างแอสฟัลต์กับมวลรวม (ข) การเทใส่ mold (ค) การบดอัด (ง) การบดอัดเสร็จสิ้น

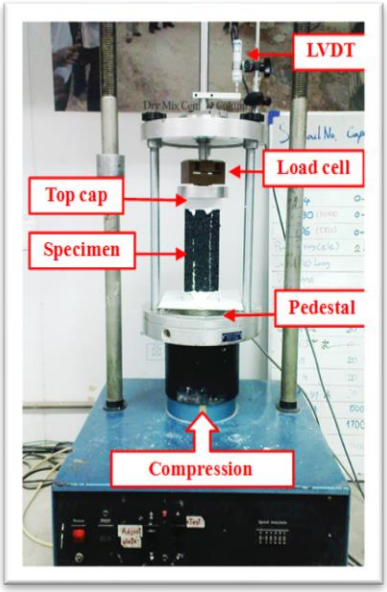
ตาราง 3.7 ค่าพารามิเตอร์ในการบดอัด

(ที่มา: Kongkitkul et al., 2014)

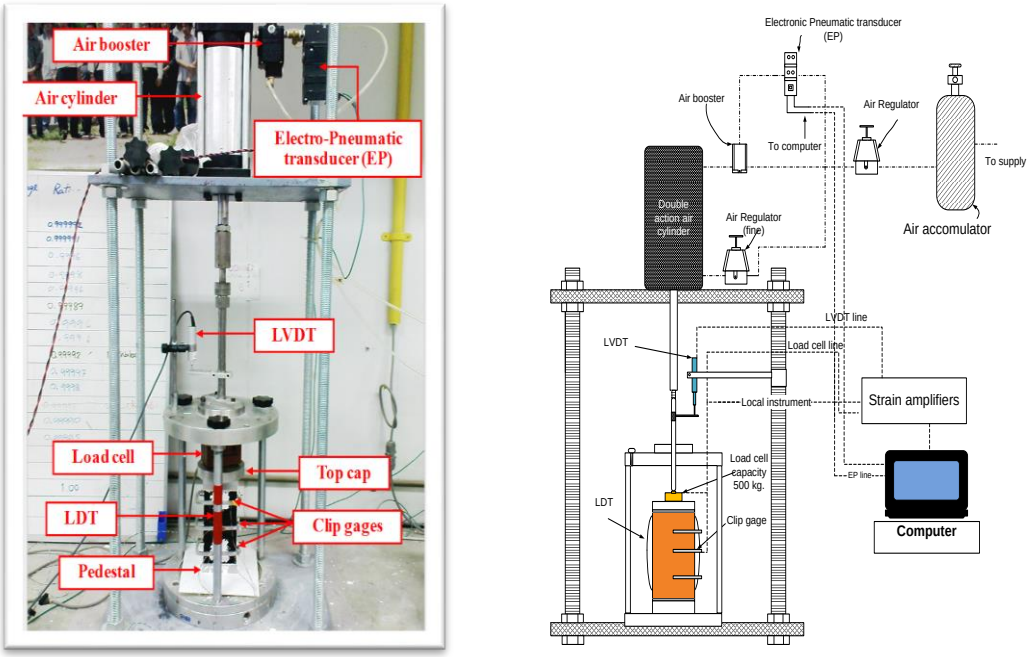
Details	Values
Density of layer (g/cm^3)	2.37
Mold size	
Width (cm)	7.5
Length (cm)	7.5
Height (cm)	15
Volume (cm^3)	843.75
AC content (%)	5
Number of layers	5
Thickness of layers (mm)	30
Weight of mix per layer (g)	399.94

3.7 เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบมี 2 ชนิด แบบ 1. เครื่องมือแบบ Displacement-controlled compression loading โดยให้แรงกดขนาด 50 KN (5 ton) 2. เครื่องมือแบบ Load-controlled compression and extension loading



รูปที่ 3.14 เครื่องมือที่ใช้ทดสอบแบบ Displacement-controlled compression loading (ที่มา: Tongnuaped et al., 2011)



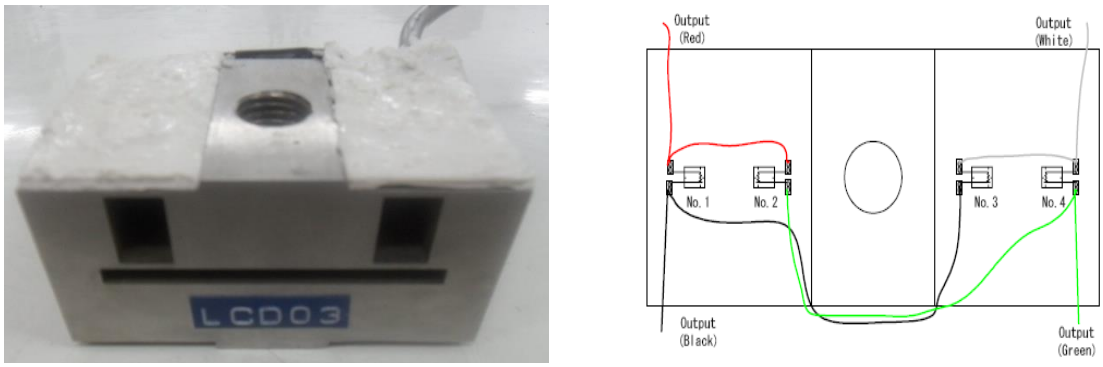
(ก) (ข)

รูปที่ 3.15 (ก),(ข) รูปแบบเครื่องมือกดแบบ Cyclic (ที่มา: Tongnuaped et al., 2011)

3.8 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

3.8.1 Load cell

Load cell นำมาใช้ในการวัดค่าการกดในแนวตั้ง ผลิตโดยใช้ Phosphor Bronze (C5212P) ดังรูป 3.16 และนำ Strain gages ชนิด (KFG-02-120-C1-16) ที่ผลิตโดยบริษัท Kyowa ผลิตในประเทศญี่ปุ่นมาแปะด้านบนดังรูป (ข) และปิดด้วยซิลิโคนชนิด (CC-33A) (Hirakawa, 2003)



(ก) (ข)

รูปที่ 3.16 (ก),(ข) Load cell (ที่มา: Tongnuapad et al., 2011)

3.8.2 Displacement transducers

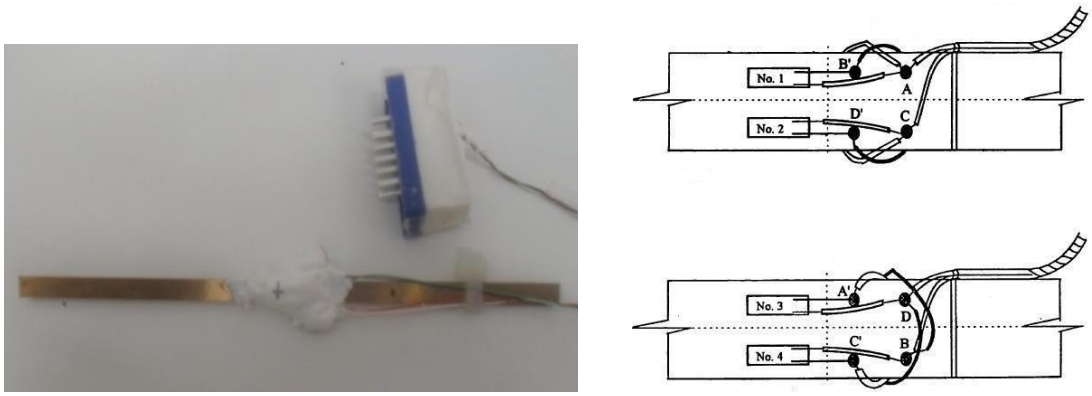
Displacement transducers ที่นำมาใช้ในการทดสอบของทั้งในแนวตั้งและแนวนอน 1) LVDT 2) LDT (Local deformation transducers) 3) CG (Clip gage transducers) โดยทั้ง 3 อย่างจะใช้วัดในการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน

3.8.2.1 Linear Variable Differential Transducer (LVDT)

LVDT ใช้สำหรับการวัดของความเครียดภายนอกในแนวตั้ง โดยความเครียดที่วัดได้มาจากการยุบตัวของก้านลูกสูบ ดังรูปที่ 3.11

รูปที่ 3.17 LVDT ขนาดความยาวลูกสูบ10 มม.

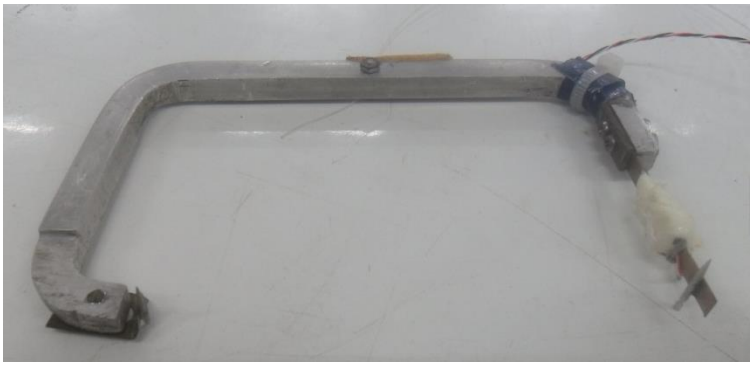
3.8.2.2 Local Deformation Transducers (LDT)



(ก) (ข)

รูปที่ 3.18 (ก) รูปร่าง LDT (ข) ลักษณะการเชื่อมต่อภายใน LDT

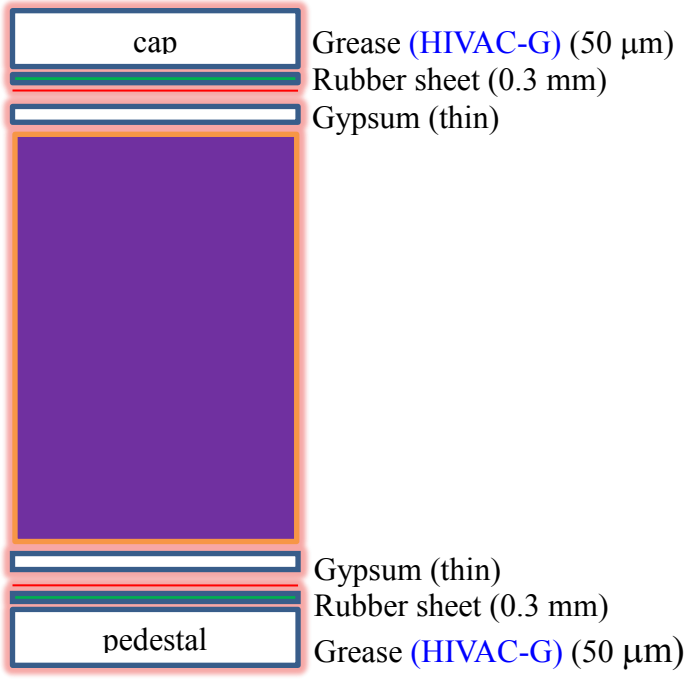
3.8.2.3 Clip Gage



รูปที่ 3.19 Clip gage

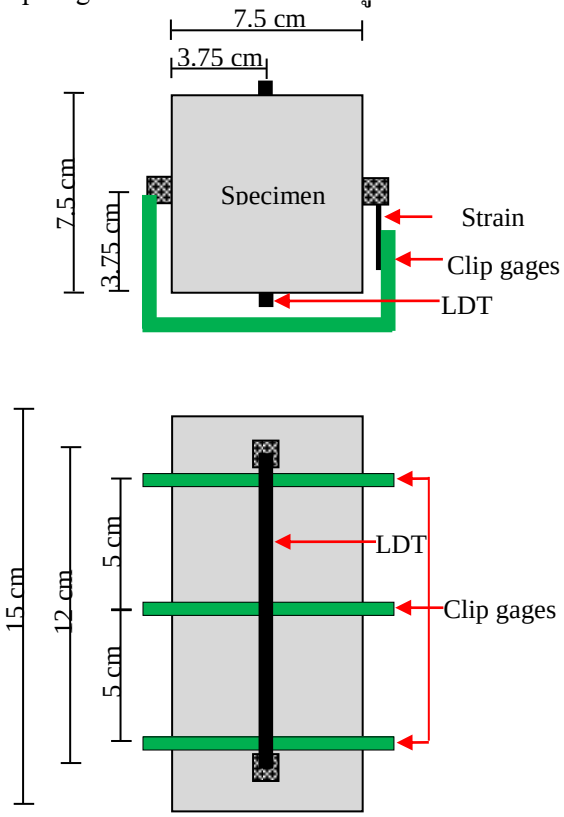
3.9 การเตรียมการทดสอบ

หลังจากที่นำตัวอย่างออกจากแบบ นำตัวอย่างไปติดตัวอย่างดังรูปที่ 3.20

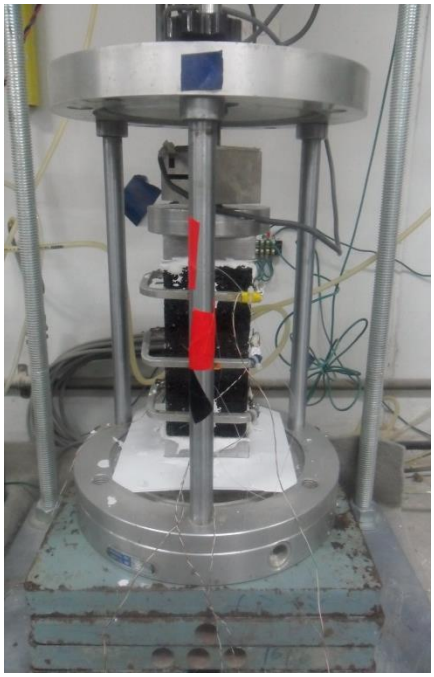


รูปที่ 3.20 การติดตั้งตัวอย่าง (ที่มา: Kongkitkul, 2014)

จากนั้นนำเอา LDT และ Clip Gage มาติดตั้งกับตัวอย่างดังรูปที่ 3.21



(ก)

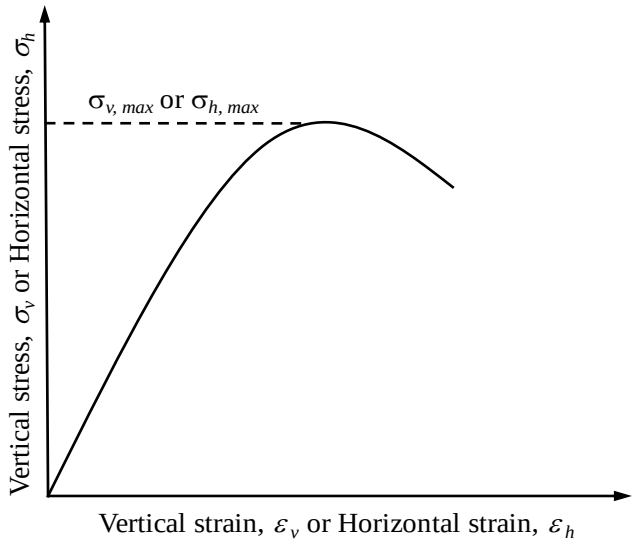


(ข)

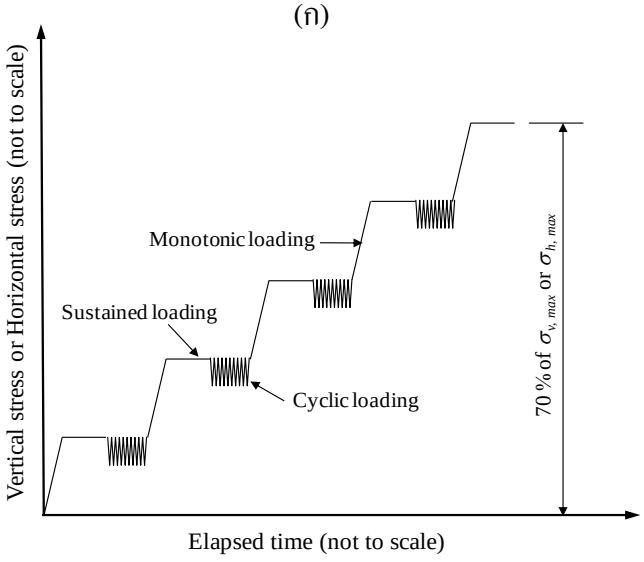
รูปที่ 3.21 (ก),(ข) ก้อนตัวอย่างที่ติด LDT และ Clip gages (CG)

3.10 โปรแกรมการทดสอบ

โปรแกรมการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท 1.การกดแบบ Monotonic โดยการกดจะใช้การเพิ่มขึ้นของอัตราความเครียด 0.03 %/นาที เพื่อที่จะหาค่า $\sigma_{v,\,max}$ 2. การกดแบบ Cyclic โดยจะใช้อัตราความเครียดคงที่ 3.556 kPa/min. (Constant stress rate of 3.556 kPa/min มาจากความชันของโหลดกับเวลาจากการกดแบบ Monotonic) โดยจะใช้แบบเดียวกับการศึกษาที่ผ่านมาของ (Kongkitkul et al., 2014) เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้จะนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับงานวิจัยเก่าทั้ง PMA และ HMA โดยการทดสอบนี้จะกดโดยอัตราความเครียดคงที่ 3.556 kPa/min. จนถึงค่าๆหนึ่งจากนั้น Creep ไว้เป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วทำการ Cyclic จำนวน10 รอบแล้วนำผลรอบที่ 5-10 มาใช้คำนวณเป็นผลการทดสอบ



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.22 (ก) โหลดการกดแบบ Monotonic (ข) โหลดการกดแบบ Cyclic

(ที่มา: Kongkitkul et al., 2014)

3.10.1 โปรแกรมการทดสอบสำหรับการศึกษาครั้งนี้

โปรแกรมการทดสอบตัวอย่างของงานวิจัยครั้งนี้ตามตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 โปรแกรมการทดสอบ

Density (Series name) **(g/cm^3)**	**Direction of compaction**	**Loading condition**	**Test name**
2.37 (g/cm^3) ยางพารา 3 %	Vertically	Monotonic	1 2 3
		Cyclic	1 2
2.37 (g/cm^3) ยางพารา 5 %	Vertically	Monotonic	1 2 3
		Cyclic	1 2
2.37 (g/cm^3) ยางพารา 7 %	Vertically	Monotonic	1 2 3
		Cyclic	1 2
2.37 (g/cm^3) เศษผงยางรถยนต์ 3 %	Vertically	Monotonic	1 2 3
		Cyclic	1 2
2.37 (g/cm^3) เศษผงยางรถยนต์ 5 %	Vertically	Monotonic	1 2 3
		Cyclic	1 2
2.37 (g/cm^3) เศษผงยางรถยนต์ 7 %	Vertically	Monotonic	1 2 3
		Cyclic	1 2

3.11 การคำนวณหาค่าอีลาสติกสมมูลย์และค่าอัตราส่วนปัวซองสมมูลย์

จากผลการทดสอบสามารถคำนวณหาความเค้นและความเครียดได้ดังสมการที่ 3.3 -3.4

$$\sigma = \frac{F}{A_o} \tag{3.3}$$

เมื่อ: σ = ความเค้น (kPa)

F = แรงกระทำที่วัดได้ด้วย load cell (kN)

A_o = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (m^2)

$$\varepsilon = \frac{-\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (\%) \tag{3.4}$$

เมื่อ: ε = ความเครียด (%)

ΔL = ระยะการทรุดตัวของตัวอย่างที่วัดได้จาก LVDT (mm)

L_0 =ความยาวของตัวอย่างก่อนการทดสอบ (mm)

หมายเหตุ: สำหรับตัวอย่างที่มีการบอดอัดในทิศทางแนวตั้ง $\sigma=\sigma_v$ และ $\varepsilon=\varepsilon_v$

การคำนวณค่าความเครียดในการวิจัยครั้งนี้ สามารถทำได้ดังสมการที่ 3.5 - 3.7

$$\varepsilon_v = -\frac{\Delta H}{H_o} \times 100 \quad (\%) \tag{3.5}$$

$$\varepsilon_h = -\frac{\Delta W}{W_0} \times 100 \quad (\%) \tag{3.6}$$

$$\varepsilon_{vol} = \varepsilon_v + 2\varepsilon_h \tag{3.7}$$

เมื่อ: $\Delta H, \Delta W$ = การเปลี่ยนแปลงความสูงและความกว้างของตัวอย่าง (mm)

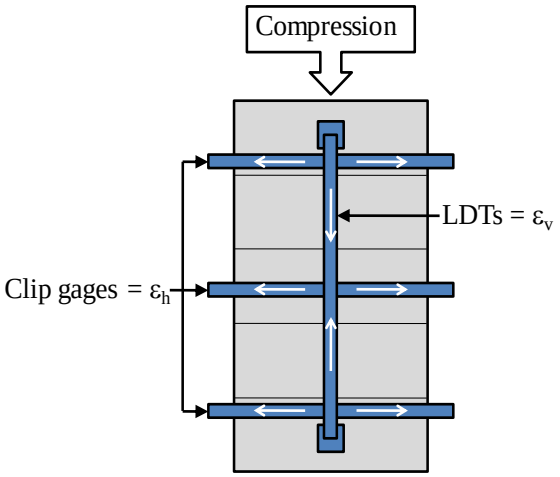
H_0, W_0 = ความสูงและความกว้างของตัวอย่างก่อนการทดสอบ (mm)

ε_v = ความเครียดในแนวแกนที่วัดโดย LDT (%)

ε_h = ความเครียดด้านข้างที่วัดโดย Clip gage (%)

ε_{vol} = ความเครียดเชิงปริมาตร (%)

หมายเหตุ: สำหรับการวิจัยครั้งนี้คือความเครียดแนวตั้งที่คำนวณได้โดยค่าที่วัดได้จาก LVDT และ LDT สำหรับความเครียดในแนวนอน จะสามารถคำนวณได้โดยค่าที่วัดได้จาก Clip gage



รูปที่ 3.23 การทดสอบจาก LDT และ Clip gages (ที่มา: Kongkitkul et al., 2014)

สำหรับการศึกษาพฤติกรรมแอนนิโซโทรปิกในงานวิจัยนี้ จะได้ค่าพารามิเตอร์จำนวน 2 ตัว จากตัวอย่างที่มีการบดอัดในแนวตั้งคือ ค่าโมดูลัสสมมูลย์ (Elastic Young's moduli หรือ E_v สำหรับแนวตั้งและค่าอัตราส่วนปัวซองสมมูลย์ (Poisson's ratio หรือ ν_{vh} สำหรับแนวตั้ง) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.8-3.9

$$E_v = \left[\frac{\Delta\sigma_v}{\Delta\varepsilon_v}\right]_{(\sigma_h=\text{constant})} \tag{3.8}$$

$$\nu_{vh} = -\left[\frac{\Delta\varepsilon_h}{\Delta\varepsilon_v}\right]_{(\sigma_h=\text{constant})} \tag{3.9}$$

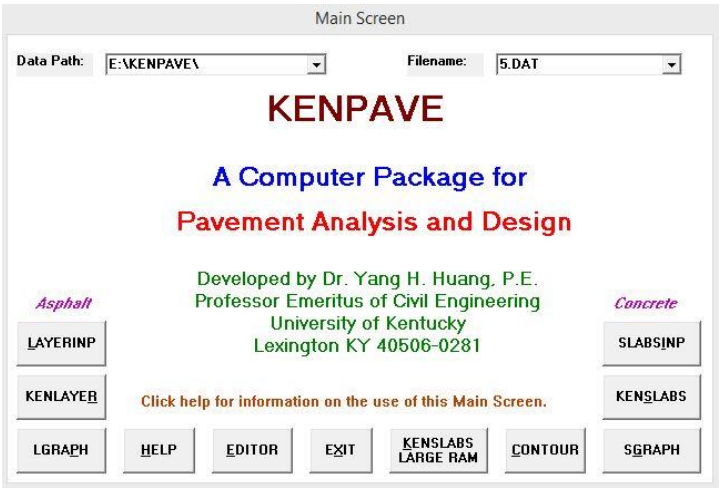
เมื่อ: $\Delta\sigma_v$ = ความเค้นแนวตั้งที่เพิ่มขึ้น

$\Delta\varepsilon_v$ = ความเครียดแนวตั้งที่เพิ่มขึ้นโดยวัดได้จาก LDT และ LVDT

$\Delta\varepsilon_h$ = ความเครียดแนวนอนที่เพิ่มขึ้นโดยวัดได้จาก Clip gage

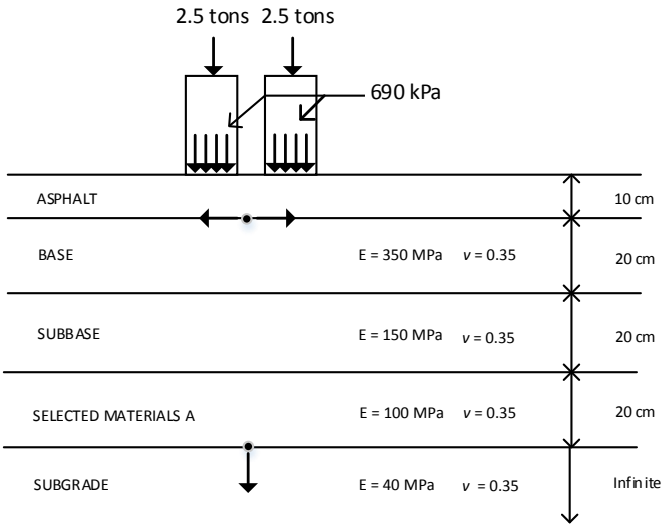
3.12 การใช้โปรแกรม KENPAVE

โปรแกรม KENPAVE เป็นโปรแกรมที่ไว้คำนวณหาค่า Strain บริเวณรอยต่อของชั้นทางดังรูปที่ 3.24 โดยขั้นตอนการใช้โปรแกรมดังนี้ ใช้รูปแบบของชั้นทางและพารามิเตอร์ต่างๆดังรูปที่ 3.25 และความหนาชั้นแอสฟัลต์คือ 10, 15 และ 20



รูปที่ 3.24 ขั้นตอนการใช้โปรแกรม KENPAVE

ในการศึกษานี้จะใช้โครงสร้างชั้นทางตามมาตรฐาน (กรมทางหลวงชนบท, 2556) และพารามิเตอร์ต่างๆ ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 โครงสร้างชั้นทางที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้

3.13 การคำนวณทางด้านเศรษฐศาสตร์

หลังจากได้ผลการทดสอบจากโปรแกรม KENPAVE นำค่า Strain ที่ได้มาใส่ในสมการเพื่อทำนายอายุของถนนโดยสมการที่ใช้ในการศึกษาครั้งคือ 1. Asphalt Institute (9^{th} edition) 2. กรมทางหลวง

สมการของ Asphalt Institute (9^{th} edition) ของใต้ชั้นแอสฟัลต์คือ

$$N_f = 18.4 * C * 4.325 * 10^{-3} * (\varepsilon_t)^{-3.291} * (E)^{-0.854}$$
$$C = 10^M \tag{3.10}$$
$$M = 4.84 * (\frac{V_b}{V_v + V_b} - 0.69)$$

where, V_b = percent by volume of bitumen in the asphalt mix

V_v = percent by volume of air void in the asphalt mix

$\mu\varepsilon$ = maximum tensile strain in microstrain

สมการของ Asphalt Institute (9^{th} edition) ของใต้ชั้นดินเดิมคือ

$$N_f = k_4(\varepsilon_c)^{-k_5} \tag{3.11}$$

Where, ε_c = maximum compressive strain at the top subgrade

$K_4 = 1.365 * 10^{-9}$, $K_5 = 4.477$

สมการของกรมทางหลวงของใต้ชั้นแอสฟัลต์คือ

$$N_f = (\frac{180}{\mu\varepsilon_t} x (\frac{E}{10000})^{-0.4})^5 x 10^6 \tag{3.12}$$

สมการของกรมทางหลวงของใต้ชั้นดินเดิมคือ

$$N_f = (\frac{885}{\mu\varepsilon_c})^4 x 10^6 \tag{3.13}$$