บทที่ 4

วิธีการดำเนินการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้สามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนแรกเป็นการทดลองเปรียบเทียบคุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ไม่ผสมสารอีวีเอ กับ แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอ และส่วนที่สองเป็นการศึกษาความเหมาะสมในการนำวัสดุดิน Silty Clay และดิน Silty Sand มาปรับปรุงด้วยวัสดุหินคลุกและแอสฟัลต์ซีเมนต์ เพื่อหาเปอร์เซนต์ที่เหมาะสมของวัสดุดังกล่าวในการนำมาทำเป็นชั้นพื้นทางของถนน พร้อมทั้งทดลองออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตของวัสดุหินคลุกเพื่อใช้เป็นข้อมูลเปรียบเทียบ โดยวิธีของฮวีม (Hveem Method)

4.1 การทดลองคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์

วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้เป็นประเภท AC 85-100 ซึ่งนำมาใช้ศึกษาคุณสมบัติเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารประเภทอีวีเอ กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา การผสมสารอีวีเอในการทดลองนี้ จะทำการผสมที่ 2-5% โดยน้ำหนักแอสฟัลต์ซีเมนต์ ทั้งนี้จะทำการศึกษาคุณสมบัติความยืดหยุ่น ความคงทน การไหล และความแข็งแรง เป็นหลัก ดังนั้นการทดลองคุณสมบัติแอสฟัลต์ซีเมนต์จึงประกอบด้วย การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าเพนนิเตรชั่น ค่าการยืดตัว จุดอ่อนตัว จุดวาบไฟ ค่าการสูญเสียสารประกอบแอสฟัลต์เมื่อได้รับความร้อน ผลของความร้อนและอากาศต่อแอสฟัลต์ซีเมนต์ ค่าความหนืดแบบคิเนมาติค ความคงทน ความเหนียว และค่าการบิดตัวกลับ นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ (Relative Statility) ค่าการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value) และค่าการบวมตัว (Swell) โดยจะเปรียบเทียบผลจากการใช้วัสดุยึดเกาะแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา และแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอ ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้เป็นประเภท AC 85 - 100 ซึ่งจะนำมาใช้ศึกษาคุณสมบัติเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอโพลีเมอร์ (E.V.A. - Ethylene Vinyl Acetate) กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ธรรมดา ซึ่งคุณสมบัติที่จะทำการทดสอบมีดังต่อไปนี้

4.1.1 <u>การทดลองหาความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Standard Test Method for Specific gravity)</u>

การทดลองทำตามมาตรฐาน ASTM D 70 - 82 มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะและความหนาแน่นของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่อยู่ในสภาพกึ่งแข็ง โดยใช้ขวด Pycnometer วิธีการทดลองเริ่มด้วยการชั่งหามวลของขวดแก้วพร้อมจุกปิด ทำการเทน้ำจนถึงขีดที่กำหนดแล้วปิดจุกควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาเช็ดภายนอกให้แห้งและชั่งหามวลของขวดแก้วที่มีจุดปิดกับน้ำ เตรียมตัวอย่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ให้ร้อนจนเทได้ เทตัวอย่างลงในขวดแก้วโดยระวังไม่ให้เกิดฟองอากาศทิ้งให้เย็นจากนั้นนำไปชั่งหามวลของขวดแก้วและตัวอย่าง เติมน้ำกลั่นจนเต็มแล้วปิดจุกนำไปควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 30 นาที แล้วจึงนำไปเช็ดภายนอกให้แห้งแล้วชั่งหามวลของขวดแก้วรวมกับตัวอย่างและน้ำ

$$\text{ค่าความถ่วงจำเพาะ} = \frac{(C - A)}{[(B-A) - (D-C)]}$$

A - น้ำหนักขวดแก้ว Pycnometer พร้อมจุก

B - น้ำหนักขวดแก้ว Pycnometer ที่บรรจุน้ำเต็ม

C - น้ำหนักขวดแก้ว Pycnometer ที่บรรจุตัวอย่าง

D - น้ำหนักขวดแก้ว Pycnometer ที่บรรจุตัวอย่างและน้ำ

ค่าความหนาแน่น = ค่าความถ่วงจำเพาะ x ความหนาแน่นของน้ำที่ 25° ซ

4.1.2. <u>การทดลองหาค่าการจมของเข็มมาตรฐาน Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials</u>

การทดลองทำตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล. - ท. 403/2518 เทียบเท่ามาตรฐาน ASTM D 5 - 83 มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดความสามารถของการจมของเข็มมาตรฐานลงในยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ เพื่อวัดสภาพความแข็งของเนื้อวัสดุ หน่วยที่ใช้วัดการจมลึกเท่ากับ 0.1 มิลลิเมตร โดยน้ำหนักที่กดลงเข็มจะเท่ากับ 100 กรัม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบครั้งนี้จะกระทำทั้งวัสดุ Asphalt cement, Asphalt cement ที่ผสมด้วยสาร EVA โดยวัสดุที่นำมาทดสอบจะมีทั้งที่ผ่านการทดลอง Thin Film Oven Test มาแล้ว และที่ยังไม่ผ่านประกอบกันไป วิธีการทดลองเริ่มด้วยการเตรียมตัวอย่าง โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจนหลอมเทได้ เทตัวอย่างในภาชนะที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 55 มิลลิเมตร ความลึกภายใน 55 มิลลิเมตร ขนาดบรรจุ 3 ออนซ์ เติมจนเกือบเต็มโดยจะยังไม่ให้เกิดฟองอากาศทำการควบคุมในถังน้ำ 25 องศาเซียลเซียส เป็นเวลา $1^{1}/_{2}$ - 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวางในตำแหน่งที่จะปล่อยเข็มให้จม ทำความสะอาดเข็มด้วยสารละลายคาร์บอนเตดตะคลอไรด์ ปรับให้ปลายเข็มสัมผัสผิวหน้าพอดี ปรับหน้าปัทม์ให้ตรงกับศูนย์ ทำการปล่อยเข็มตกพร้อมจับเวลา 5 วินาที แล้วอ่านค่า Penetration การทดลองทำตัวอย่างละ 3 ครั้ง โดยแต่ละจุดที่ปล่อยเข็มต้องมีระยะห่างจากขอบไม่ต่ำกว่า 10 มิลลิเมตร จากนั้นนำค่ามาเฉลี่ยหาค่าที่ถูกต้อง

4.1.3 <u>การทดลองหาค่าการยืดตัวของแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Standard Test Method for Ductility)</u>

การทดลองทำตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล. - ท. 405/2519 เทียบเท่า ASTM D 113-85 การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดความสามารถยืดตัวออกจากกันก่อนขาดซึ่งอยู่ในลภาพ Plastic deformation อีกทั้งทำให้ทราบถึงความยากง่ายในการทำงานด้วย นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงความไวต่ออุณหภูมิ คือมีโอกาสเปลี่ยนแปลงความข้นเหลวได้ง่ายเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ การทดลองนี้จะกระทำกับตัวอย่างต่าง ๆ ดังนี้คือ Asphalt cement, Asphalt Cement ที่ผสมกับ EVA มีทั้งตัวอย่างที่ผ่านการทดลอง Thin Film Oven Test และที่ยังไม่ผ่านประกอบกัน

วิธีการทดลอง เริ่มด้วยการเตรียมตัวอย่างลงในแบบทองเหลืองให้ได้ตัวอย่างละ 3 ชุด จากนั้นนำไปทำการควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 25 $\pm$ 0.5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา $1^{1}/_{2}$ - 2 ชั่วโมง จากนั้นทำการประกอบแบบลงในเครื่องมือในตำแหน่งที่กำหนด จากนั้นทำการเดินเครื่องดึงด้วยความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อนาที จนกระทั่งตัวอย่างยืดจนขาดจากกัน อ่านค่าระยะที่ได้ในหน่วยเซนติเมตร ขณะทำการทดลองระวังการตกท้องช้างขณะยืด ทำการเฉลี่ยค่าที่ได้ของตัวอย่างก็จะได้ค่าการยืดตัว (Ductility) ตามต้องการ

4.1.4 <u>การทดลองหาจุดอ่อนตัว (Standard Test Method for Softening Point (Ring and Ball Apparatus))</u>

การทดลองทำตามมาตรฐาน SATM D 36-84, มีวัตถุประสงค์เพื่อจำแนกวัสดุแอสพัลต์ซีเมนต์ บ่งบอกถึงความสม่ำเสมอของเนื้อวัสดุที่ขนส่งจากแหล่งผลิต และเป็นการประเมินความแข็งและความหนืดอย่างคร่าว ๆ

การทดลองเริ่มด้วยการเตรียมตัวอย่างลงในวงแหวนแบบทองเหลือง จากนั้นทำการทิ้งไว้ให้เย็น ทำการเตรียมเครื่องมือทดลองเทน้ำกลั่นลงในกระบอกแก้ว 3 ใน 4 ส่วน ทำการวางแบบที่เตรียมตัวอย่างไว้ในกระบอกแก้ว และการวางลูกกลมมาตราฐานบนแบบ จากนั้นเริ่มให้อุณหภูมิแก่น้ำสูงขึ้นในอัตรา 5 ซ./นาที อ่านค่าอุณหภูมิเมื่อลูกกลมตกกระทบก้นถ้วย ค่านี้ก็คือจุดอ่อนของแอสพัลต์ซีเมนต์

4.1.5 <u>การทดลองหาจุดวาบไฟ (Standard Test Method for Flash Point)</u>

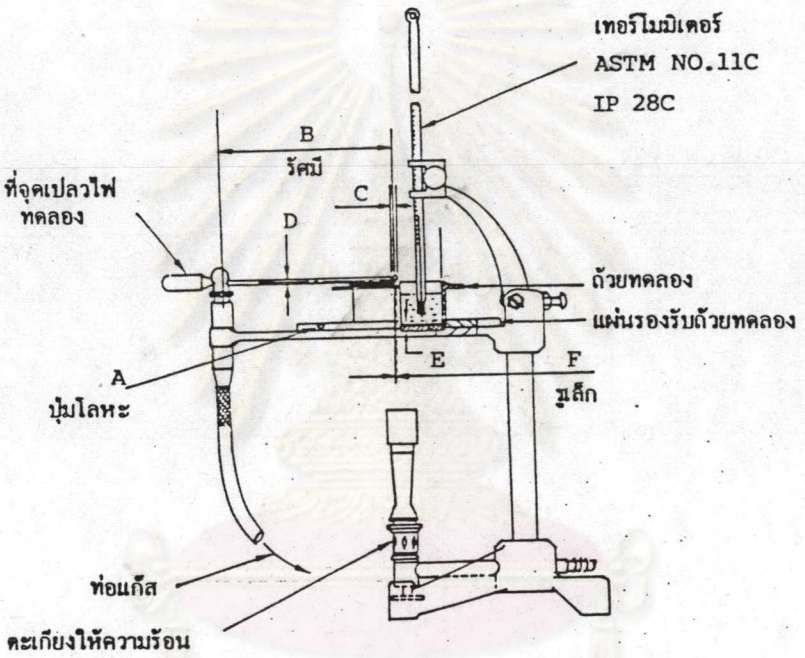
การทดลองทำตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล. - ท 406/2510 เทียบเท่ามาตรฐาน ASTM D 92-78 การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ในการหาค่าอุณหภูมิที่จะเกิดอันตรายจากความร้อนที่ให้กับยางแอสพัลต์ซีเมนต์ ซึ่งอาจทำให้เกิดการลุกไหม้ได้ การทดลองจะใช้ตัวอย่าง Asphalt Cement และ Asphalt Cement ที่ผสมกับสาร EVA

วิธีการทดลองเริ่มด้วยการหลอมตัวอย่างแล้วเทลงในถ้วยทดลอง Cleveland Open Cup โดยไม่ให้มีฟองอากาศเกิดขึ้น ใช้ตัวอย่างประมาณ 23-25 มิลลิเมตร จากนั้นเริ่มให้ความร้อนกับตัวอย่างในถ้วยที่ลดลง ช่วงแรกสามารถให้อุณหภูมิเพิ่มอย่างรวดเร็วได้เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 120 องศาเซลเซียส จะควบคุมอุณหภูมิให้เพิ่มอย่างช้า ๆ ใช้เปลวไฟขนาดเล็กผ่านไปมาบนผิวหน้าถ้วน ขณะเดียวกันจะมีไอระเหยจากวัสดุตัวอย่างขึ้นมา จนกระทั่งถึงอุณหภูมิหนึ่งที่ไอระเหยมากพอ และความร้อนสูงพอที่จะทำให้มีแสงไฟวาบขึ้นได้ อุณภูมิที่เกิดแสงวาบขึ้นนี้เองเราเรียกว่าจุดวาบไฟทำการคำนวณจุดวาบไฟที่ถูกต้อง ภาพที่ 4.1 แสดงรูปแบบของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

$$\text{จุดวาบไฟ} = C_1 + 0.03(760-P)$$

C_1 จุดวาบไฟที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ (องศาเซลเซียส)

P ความดันบารอมิเตอร์ (มิลลิเมตรปรอท)



ภาพที่ 4.1 แสดงเครื่องมือทดลองจุดวาบไฟ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.6 <u>การทดลองหาค่าสูญเสียสารประกอบแอสฟัลต์เมื่อได้รับความร้อน (Standard Test Method for Loss on Heating of Asphaltic Compounds)</u>

การทดลองทำตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล. - ท. 404/2518 เทียบเท่ามาตรฐาน ASTM D 6 - 80 การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความร้อนที่มีต่อแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยการวัดจากน้ำหนักที่หายไปภายหลังจากถูกกระทำด้วยความร้อนวัสดุตัวอย่างที่นำมาทำการทดลองมีทั้งที่เป็น Asphalt cement และ Asphalt cement ที่ผสมด้วยสาร EVA

วิธีการทดลองเริ่มด้วยการเตรียมตัวอย่างโดยให้ความร้อนกับตัวอย่างจนสามารเทได้ ทำการเทลงในภาชนะของรับรูปทรงกระบอกก้นแบนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 55 มิลลิเมตร (2.17 นิ้ว) ลึก 35 มิลลิเมตร (1.38 นิ้ว) ด้วยยางแอสฟัลต์ที่นำมาทดลองต้องไม่มีน้ำผสมอยู่ภายใน ใช้ตัวอย่างประมาณ 50 $\pm$ 0.5 กรัม ทิ้งตัวอย่างให้เย็นลง จากนั้นทำการปรับอุณหภูมิของเตาอบให้ได้ว่า 163 องศาเซลเซียส (325 องศาพาเรนไฮต์) ซึ่งภายในมีที่รองภาชนะที่หมุนได้ เพื่อให้ความร้อนสัมผัสตัวอย่างทั่วถึง หมุนด้วยอัตรา 5 ถึง 6 รอบต่อนาที นำภาชนะที่มีตัวอย่างวางในเตาอบที่เตรียมก่อนนำเข้าเตาอบต้องชั่งมวลให้แนนอนก่อน จับเวลาการอบ 5 $\pm$ 1 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาทิ้งให้เย็น แล้วทำการชั่งมวลและคำนวณหาน้ำหนักที่หายไป

ค่าร้อยละของการสูญเสีย = $\frac{\text{(น้ำหนักตัวอย่างก่อนเข้าเตาอบ-น้ำหนักตัวอย่างภายหลังอบ)}\times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$ ของวัสดุแอสฟัลต์

4.1.7 <u>การทดลองหาผลของความร้อนและอากาศที่มีผลต่อวัสดุแอสฟัลต์ Standard Test method for Effect of Heat and Air on Ashpaltic Material (Thin Film Oven Test)</u>

การทดลองทำตามมาตรฐาน ASTM D 1754 - 83 การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถทนต่อความร้อนและสภาพแวดล้อมของวัสดุตัวอย่าง โดยให้ความร้อนเป็นหลักในการทำลายวัสดุตัวอย่างมีทั้งแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารและไม่ผสมสาร EVA Copolymer

วิธีการทดลองเริ่มด้วยการหลอมตัวอย่าง แล้วเทตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุ มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 140 มิลลิเมตร ($5^1/_2$ นิ้ว) ลึก 9.5 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) ใช้ตัวอย่างประมาณ 50 $\pm$ 0.5 กรัม ระวังไม่ให้มีฟองอากาศ จากนั้นทิ้งให้เย็นแล้วนำไปอบในเตาอบที่มีถาดรองรับภาชนะหมุนได้ด้วยอัตราเร็ว 5.5 $\pm$ 1.0 รอบต่อนาที และได้ทำการควบคุมอุณหภูมิ 163 $\pm$ 1 องศาเซียลเซียส ทำการอบเป็นเวลานานถึง 5 - 5 $^1/_4$ ชั่วโมง จากนั้นนำออกมาทิ้งให้เย็นแล้วชั่งหามวลที่หายไปซึ่งจะต้องไม่เกิน 1 เปอร์เซนต์ แล้วจากนั้นส่วนที่เหลือจะถูกนำมาทำการทดลองหาค่า Penetration, ค่า Ductictility และค่า Kinematic Viscosity เปรียบเทียบกับวัสดุตัวอย่างเดียวกันที่ไม่ต้องผ่านการทดลอง Thin Film Oven Test ซึ่งค่า Penetration ที่ได้จะต้องมากกว่า 47 หน่วย, ค่า Ductility จะต้องได้มากกว่า 75 เซนติเมตร และค่า KinematicViscosity จะต้องไม่ต่างจากตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทำ Thin Film Oven เกิน 5.7 เปอร์เซนต์

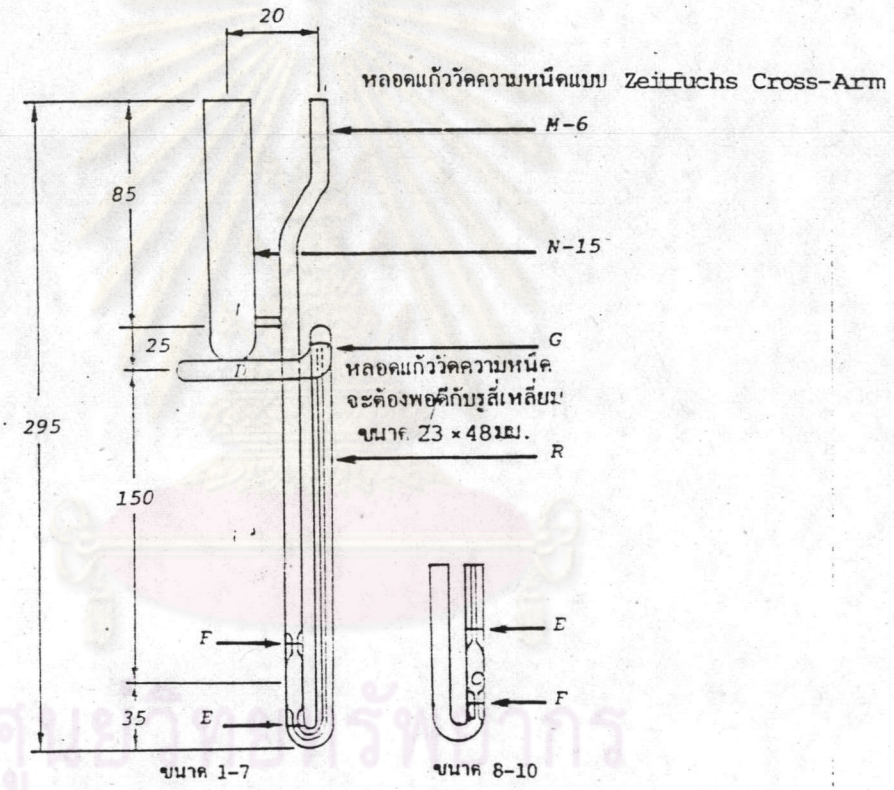
4.1.8 <u>การทดลองหาค่าความหนืดแบบคิเนมาติกของแอสฟัลต์ Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalt</u>

การทดลองทำตามมาตรฐาน ASTM D 2170-83 ความหนืดแบบคิเนมาติค (Kinematic Viscosity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างความหนืดต่อความหนาแน่นของของเหลว เป็นการวัดความต้านทานการไหลของของเหลวภายใต้แรงโน้มถ่วง ส่วนความหนืดหมายถึง อัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงเฉือน (applied shear stress) กับอัตราของแรงเฉือน (rate of shear) เรียกค่านี้ว่า สัมประสิทธ์ความหนืด (Coefficient of Viscosity) การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความหนืดแบบคิเนมาติคของวัสดุตัวอย่างประเภท Asphalt cement และ Asphalt Cement ผสมสาร EVA Copolymer ทั้งก่อนและหลัง Thin Film Oven test

ในการทดลองได้เลือกใช้หลอดแก้ววัดความหนืดแบบ Zeitfuchs Cross-Arm เบอร์ 6 (ค่าคงที่เท่ากับ 1 : เส้นผ่าศูนย์กลางภายในหลอดเท่ากับ 1.15 มิลลิเมตร ความยาวของหลอดเท่ากับ 210 มิลลิเมตร ปริมาตรกระเปาะล่างเท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางหลอดแนวราบเท่ากับ 4.3 มิลลิเมตร) ภาพที่ 4.2 แสดงเครื่องมือพร้อมขนาดของเครื่องมือ การทดลองเริ่มด้วยการเติมตัวอย่างลงในหลอดแก้วแล้วปิดจุกไว้ไม่ให้ตัวอย่างไหลอีกทั้งไม่ให้มีแรงดันกระทำ ทำการควบคุมอุณหภูมิของอ่างที่บรรจุ USP. White Oil

ให้ได้เท่ากับ 135 องศาเซลเซียส จุ่มหลอดแก้วลงในอ่างควบคุม ทำการจับเวลาเมื่อของเหลวไหลผ่านขีดกำหนดขีดแรกจนถึงขีดกำหนดขีดที่สอง นำค่าเวลาที่ได้มาคำนวณ

ค่าความหนืดแบบคิเนมาติค = ค่าคงที่ของการปรับเทียบ x เวลาที่ใช้ในการไหล (วินาที)
(มีหน่วยเป็น cSt + หรือตารางมิลลิเมตรต่อวินาที)



หมายเลขขนาด	ค่าคงที่โดยประมาณ, cSt/s	ช่วงความหนืดแบบคิเนมาติก, cSt	เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของหลอด R, มม. (±2%)	ความยาวของหลอด R, มม.	ปริมาตรกระเปาะล่าง, มล. (±5%)	เส้นผ่าศูนย์กลางหลอด แนวราบ,มม. (±5%)
4	0.10	6 ถึง 100	0.64	210	0.3	3.9
5	0.3	18 ถึง 300	0.64	210	0.3	3.9
6	1.0	60 ถึง 1,000	1.15	210	0.3	4.3
7	3.0	180 ถึง 2,000	1.42	210	0.3	4.3
8	10.0	600 ถึง 10,000	1.93	165	0.25	4.3
9	30.0	1,800 ถึง 30,000	2.52	165	0.25	4.3
10	100.0	6,000 ถึง 100,000	3.06	165	0.25	4.3

ภาพที่ 4.2 แสดงเครื่องมือทดลองหาความหนืดแบบคิเนมาติค

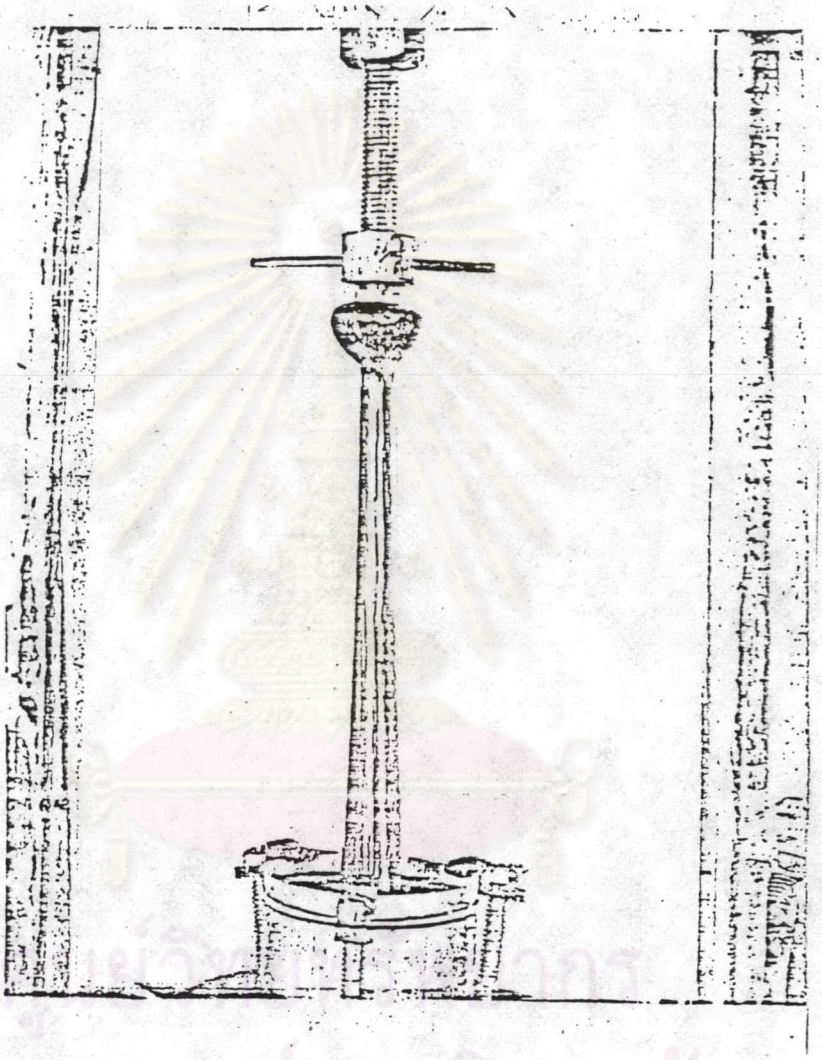
4.1.9 การทดลองความคงทนและความเหนียว (Toughness-Tenacity Test)

การทดลองนี้กระทำตามการทดลอง Jewell R. Benson ที่บันทึกไว้ในวารสาร Road and Streets, April, 1955 วัตถุประสงค์ของการทดลองเพื่ออธิบายความสามารถในการยืดตัว และความต้านทานต่อแรงดึง การทดลองนี้จะเป็นการหาข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอโคโพลีเมอร์ (EVA Ethylene Vinyl Acetate) ที่ปริมาณ 2-5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์ กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ การทดสอบจะทำโดยการจุ่มหมุดครึ่งทรงกลม (Hemisphere) มีขนาดตามข้อกำหนดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7/16 นิ้ว จมอยู่ในเนื้อวัสดุที่บรรจุในถ้วยขนาด 3 ออนซ์ ขณะที่ร้อนทิ้งไว้ให้เย็นแล้วทำการควบคุมที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 12 ชั่วโมง จากนั้นจะนำไปทำการดึงหมุดให้หลุดออกจากการยึดเกาะของวัสดุด้วยความเร็ว 20 นิ้วต่อนาที ทำการบันทึกแรงดึง และระยะการยืดตัวเมื่อมีแรงกระทำจนกว่าแรงที่ดึงจะเท่ากับศูนย์ ภาพที่ 4.3 แสดงถึงการทดลองแบบคร่าว ๆ

คำนวณหาค่าความคงทน (Toughness) ซึ่งเป็นค่าของพื้นที่ใต้กราฟในช่วงที่มีแรงดึงเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด และมีเส้นขอบเขตพื้นที่เป็นเส้นความชันของเส้น Projection จากจุดสูงสุดตัดกับเส้นแกนนอน สรุปก็คือค่างานในช่วงที่แรงดึงเพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้จะต้องมีหน่วยเป็นนิ้ว-ปอนด์

นอกจากนี้จะต้องคำนวณหาค่าความเหนียว (Tenacity) ซึ่งเป็นค่าพื้นที่ใต้กราฟที่มีแรงดึงลดลงจากจุดสูงสุด หรือค่าพื้นที่ใต้กราฟที่เหลือจากค่าความทนทาน (Toughness ของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับค่าการยืดตัว มีหน่วยเป็นนิ้วปอนด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.3 แสดงเครื่องมือทดลองหาค่าความคงทนและความเหนียว

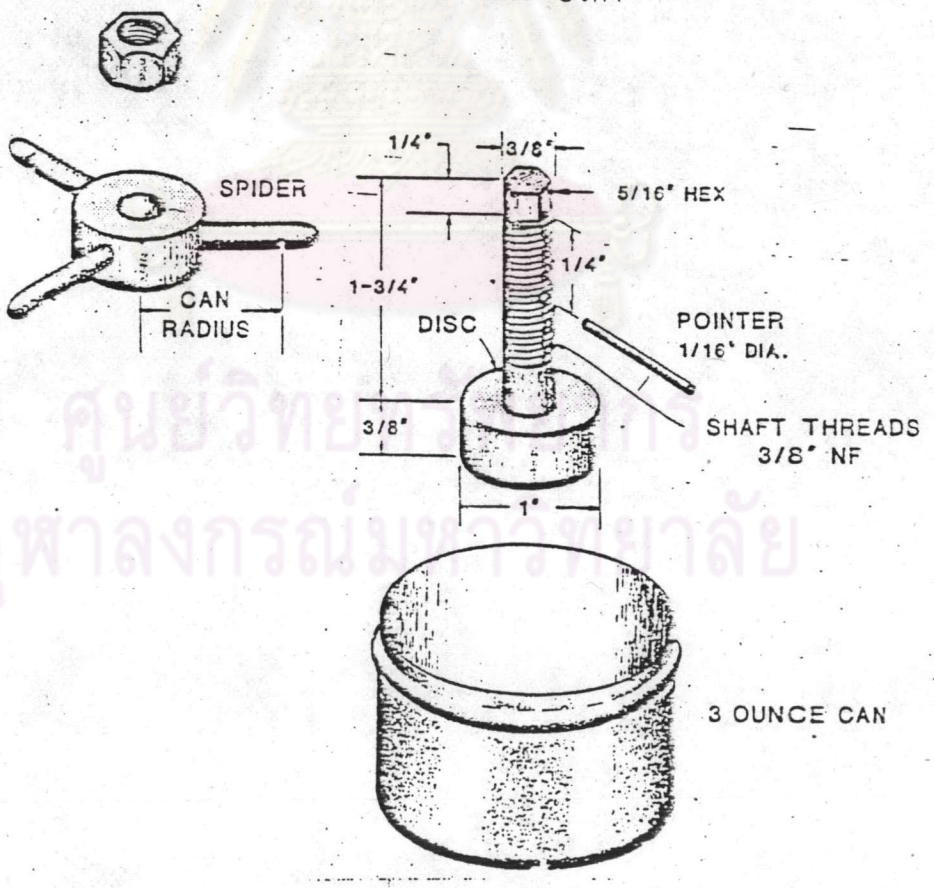
(Toughness & Tenacity)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.10 การทดลองการบิดตัวกลับ (Torsional Recovery)

การทดลองกระทำตามมาตรฐาน California หรือ Test : 332 มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบ Elasticity ของแอสฟัลต์ที่ผสมสารผสมเพิ่ม กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ การทดลองเริ่มด้วยการจุ่มหมุดที่มีหัวเป็นจานที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.125 นิ้ว และหนา 0.375 นิ้ว จมอยู่ในตัวอย่างที่ร้อน โดยตัวอย่างที่ทดสอบจะบรรจุในถ้วยขนาด 3 ออนซ์ ทิ้งไว้ให้เย็นจากนั้นนำไปควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส (77 องศาฟาเรนไฮต์) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นจะทำการหมุนหมุดไป 180 องศา ทำการจับเวลาที่ 30 วินาที และ 30 นาที พร้อมบันทึกการคืนตัวของหมุดที่เวลาทั้งสอง ทำการคำนวณหาค่าการคืนตัว ภาพที่ 4.4 แสดงขนาดของเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

$$\text{ค่าการคืนตัว} = \frac{(\text{องศาที่คืนตัวที่ 30 นาที} - \text{องศาที่คืนตัวที่ 30 วินาที})}{180 \text{ องศา}} \times 100$$



ภาพที่ 4.4 แสดงเครื่องมือทดลองการบิดตัวกลับ (Torsional Recovery)

4.2 การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต

การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตจะประกอบด้วย 3 ชุดหลัก คือ แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีวัสดุหลักเป็นหินคลุก (Crushed Rock) แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีวัสดุหลักเป็นดิน Silty clay ปรับปรุงด้วยวัสดุหินคลุก และแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีวัสดุหลักเป็นดิน Silty Sand ปรับปรุงด้วยวัสดุหินคลุก การทดสอบจะกระทำตามวิธีของฮวีม (Hveem Method) ซึ่งจะมีลักษณะการบดอัดใกล้เคียงกับทางภาคสนามมาก

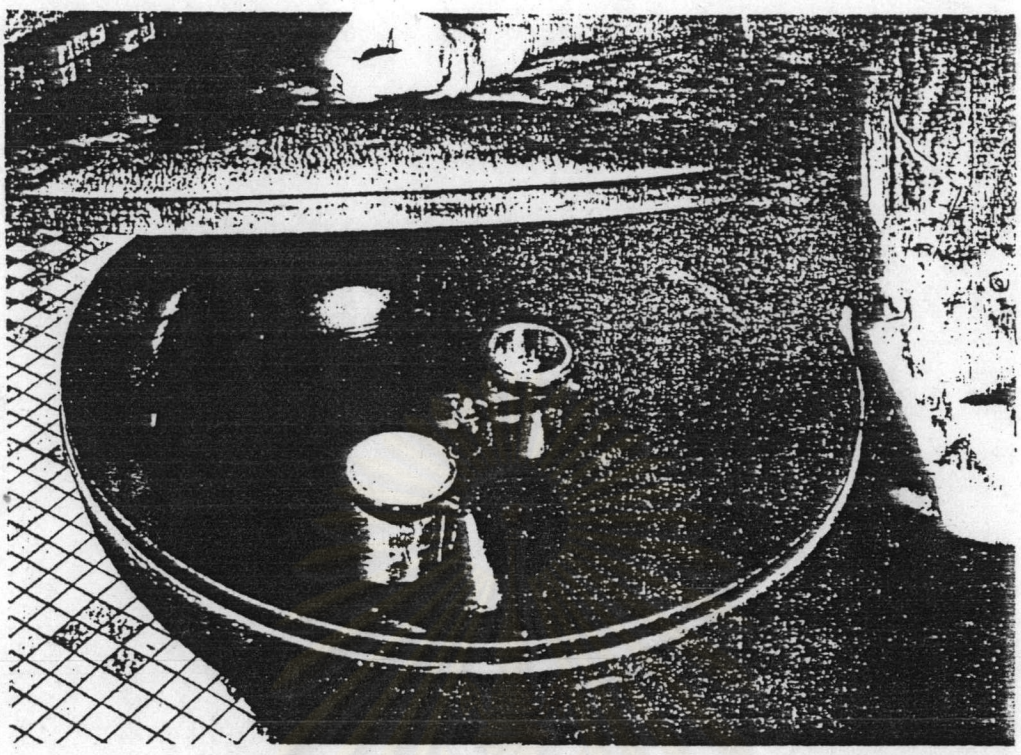
การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตวิธีนี้คิดค้นโดย Francis N. Hveem ซึ่งร่วมมือกับ California Division of Highway ซึ่งต่อมาก็ได้บัญญัติเป็นมาตราฐาน AASHTO T 246 และ T 247 เทียบเท่ามาตรฐาน ASTM D 1560 และ D 1561 การออกแบบนี้ประกอบด้วยการทดสอบค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- การทดสอบหาค่า Centrifuge Kerosene Equivalent (C.K.E.)
- การทดสอบหาค่าเสถียรภาพสัมพันธ์ (Relative Stability)
- การทดสอบค่าการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value)
- การทดสอบหาค่าการบวมตัว (Swell)

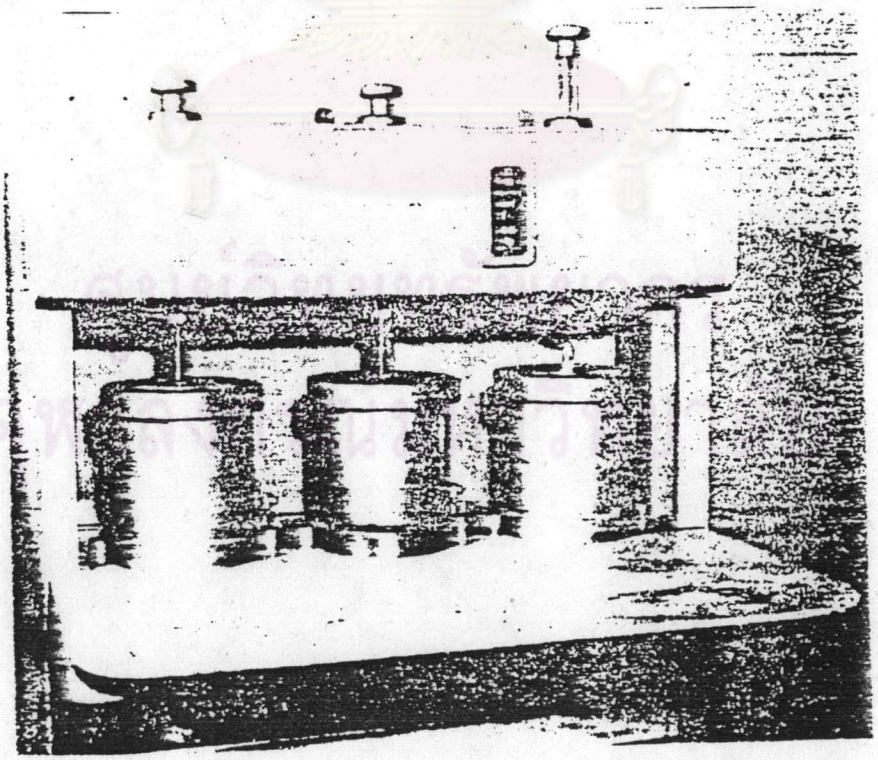
4.2.1 การทดสอบหาค่า C.K.E.

การทดลองมีวัตถุประสงค์ที่จะประเมินค่าของแอสฟัลต์บรรจุสูงสุด โดยประมาณซึ่งจะทำการประเมินจากพื้นที่ผิวของมวลรวม การทดลองนี้จะอาศัยดัชนีค่า K เป็นตัวแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหยาบและความพรุนของผิววัสดุ ภาพที่ 4.5 แสดงเครื่องเหวี่ยงของการทดลอง CKE

การทดลอง เริ่มด้วยการนำวัสดุมวลรวมที่ร่อนผ่านตะแกรงมาตราฐานอเมริกันหมายเลข 4 ปริมาณ 100 กรัมสองชุดทำการบรรจุในถ้วยเหวี่ยงที่ปิดด้วยเครื่องกรองและกระดาษกรอง ทำการแช่ในน้ำมันก๊าด (kerosene) ทำการชั่งน้ำหนักก่อนและหลังทำการเหวี่ยงด้วยเครื่องเหวี่ยงที่ความเร็ว 400 เท่ากราวิทิต และคิดเปอร์เซนต์ค่าที่ได้หลังการเหวี่ยงเรียกว่าค่า C.K.E. ของน้ำมันก๊าดที่ติดผิวอยู่ ในทำนองเดียวกันทำการแช่วัสดุมวลรวมที่ร่อนผ่านตะแกรง 3/8 นิ้ว แต่ค้างบนตะแกรงหมายเลข 4 จำนวน 100 กรัม สองชุดนำไปแช่น้ำมัน SAE NO 10 Lubricating Oil โดยบรรจุในกรวยแก้วเป็นเวลา 5 นาที หาปริมาณและคิดเปอร์เซนต์ของน้ำมันที่ค้างอยู่โดยคิดเทียบกับน้ำหนักมวลรวมแห้งทำการหาค่าคงที่ Kf



ภาพที่ 4.5 แสดงเครื่องมือทดลอง CKE



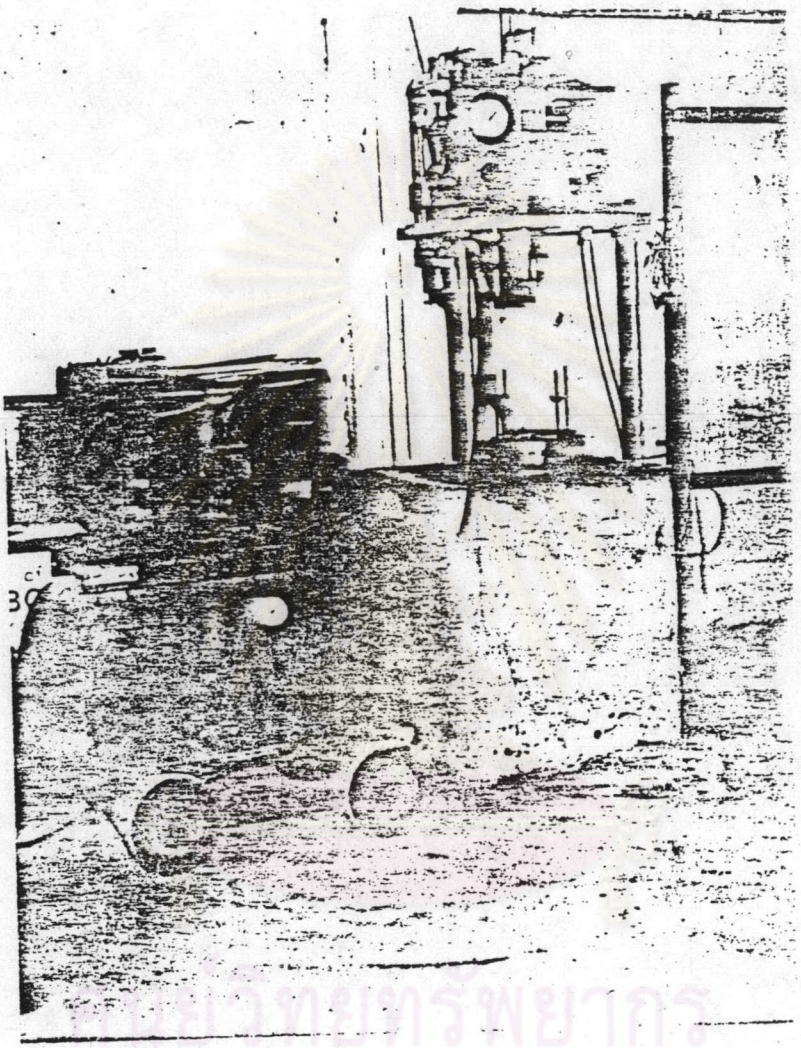
ภาพที่ 4.6 แสดงเครื่องผสมส่วนผสมร้อน (Hot Mixed)

และค่าคงที่ Kc ทั้งนี้จะต้องทราบค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด ด้วยจากนั้นทำการหาค่าคงที่ Km โดยต้องทราบค่าพื้นที่ผิวของมวลรวมจากการประเมิน และค่าเปอร์เซนต์มวลรวมหยาบเพิ่ม แล้วหาค่าประมาณของแอสฟัลต์เหลว และประเมินหาค่าปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม โดยประมาณการตามประเภทของแอสฟัลต์ได้

4.2.2 การทดสอบหาค่าเสถียรภาพสัมพันธ์ (Relative Stability)

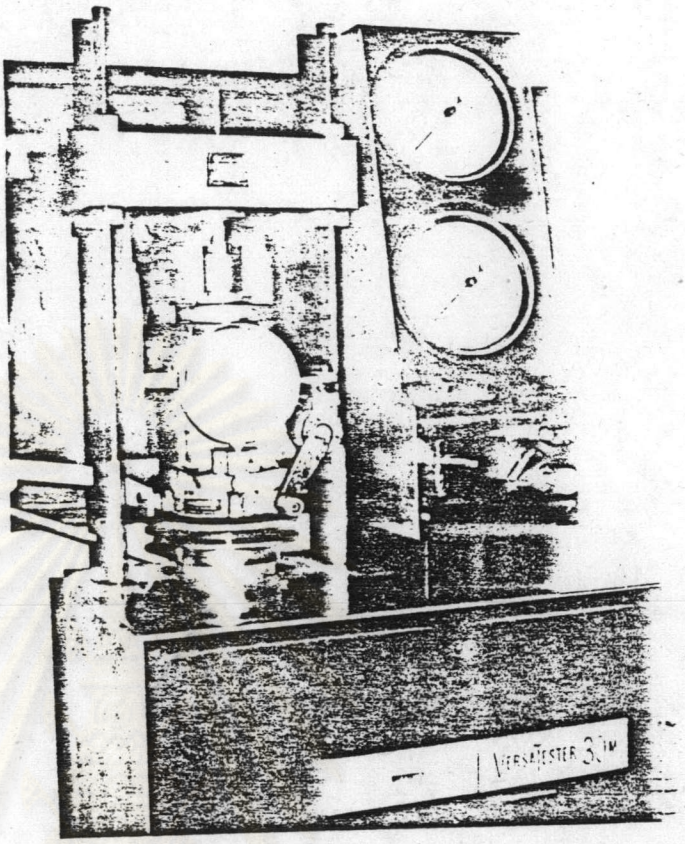
การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตซึ่งเป็นความสามารถในการต้านทานการเสียรูปร่างจากน้ำหนักที่กดลงด้วยก่อนที่จะทำการทดสอบจำเป็นต้องมีการเตรียมวัสดุ ซึ่งเริ่มด้วยการนำวัสดุผสมที่คลุกเคล้าเรียบร้อยระหว่างหินคลุกกับวัสดุแอสฟัลต์ประมาณ 1200 กรัม ที่อุณหภูมิประมาณ 145-155 ซ ภาพที่ 4.6 แสดงเครื่องมือผสมร้อน เมื่อบรรจุส่วนผสมร้อนลงในแบบที่ติดตั้งบนเครื่องบดอัดเรียบร้อย ทำการกระทุ้งตรงกลาง 20 ครั้ง และรอบ ๆ อีก 20 ครั้ง แล้วทำการบดอัดด้วยเครื่องบดอัดที่ 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นจำนวน 20 ครั้ง จากนั้นทำการบดอัดต่อที่ความดัน 500 ปอนด์ต่อตารานิ้ว เป็นจำนวน 150 ครั้ง แล้วขั้นสุดท้ายจะต้องทำการบดอัดต่อให้ได้น้ำหนักสถิตย์ 1000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (อัตราความเร็วหัวกด 0.1 มม.ต่อวินาที) เป็นการเสร็จสิ้นการเตรียมตัวอย่าง ภาพที่ 4.7 แสดงเครื่องมือบดอัดตัวอย่างของฮวีม (Hveem)

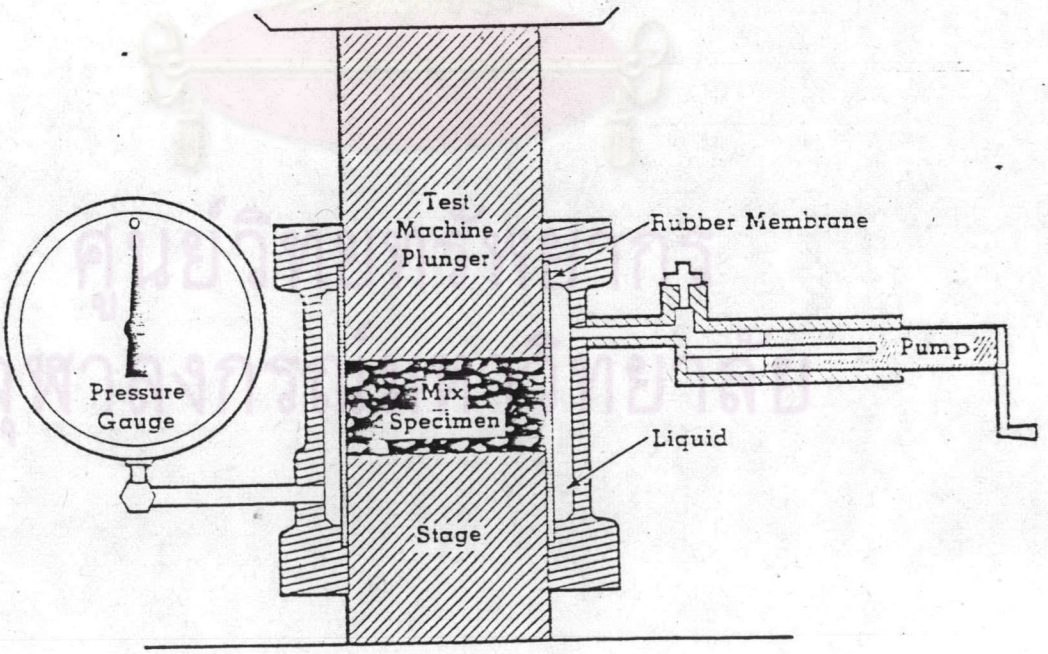
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.7 แสดงเครื่องมือขดอัดตัวอย่างแบบฮิวม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาพที่ 4.8 เครื่องมือ Stabilometer สำหรับหาค่าเสถียรภาพลัมพัทธ์

การทดลอบหาค่าเสถียรสัมพัทธ์ (Relative Stability) โดยใช้เครื่องสเตบิโลมิเตอร์ แสดงไว้ดังภาพที่ 4.8 การทดลองเริ่มโดยการนำตัวอย่างที่บดอัดได้อบในอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง ทำการบรรจุตัวอย่างลงในเครื่องสเตบิโลมิเตอร์ จากนั้นทำการอัดโดยเครื่องอัดโดยความเร็วของหัวอัดเคลื่อนลงด้วยความเร็ว 0.02 มิลลิเมตรต่อวินาที ทำการตั้งความดันเริ่มต้นของเครื่องสเตบิโลมิเตอร์ที่ 5 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ปรับ Dial Gauge เท่ากับศูนย์ จากนั้นทำการเดินเครื่องกดแล้วเพิ่มแรงอัด ทำการบันทึกความดันของเครื่องสเตบิโลมิเตอร์เมื่อเครื่องอัดให้น้ำหนักกดที่ 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 5000, และ 6000 ปอนด์ จากนั้นลดแรงกดเหลือ 1000 ปอนด์ ทำการตรวจสอบระยะการเคลื่อนตัวด้านข้างของตัวอย่าง (Displacement) โดยอ่านจาก Dial Gauge เมื่อเพิ่มความดันด้านข้างมาก 5 ถึง 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้วทำการคำนวณหาค่าเสถียรภาพสัมพันธ์ (S)

$$S = \frac{22.2}{\frac{P_H D_2}{P_v - P_H} + 0.222}$$

S - เสถียรภาพสัมพันธ์

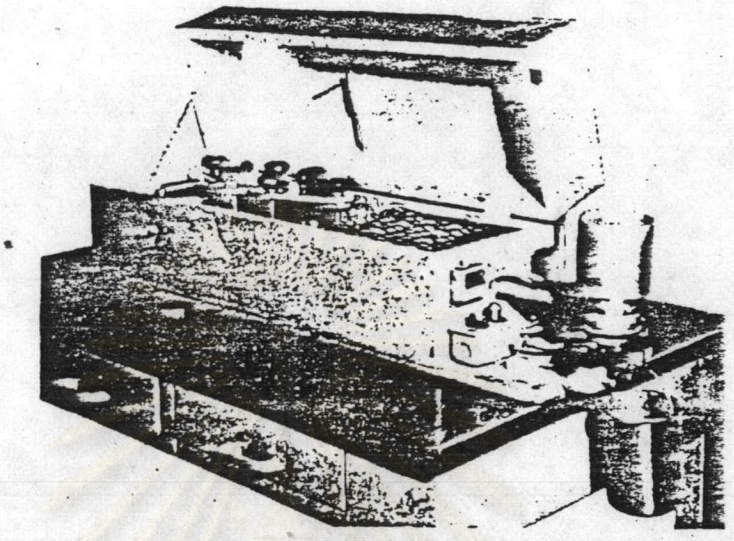
D_2 - การเคลื่อนตัวของการตัวอย่าง (รอบ)

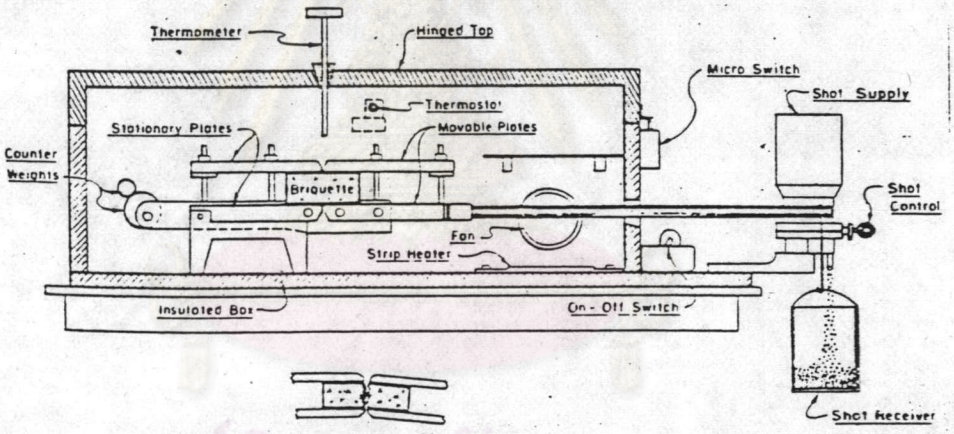
P_v - ความดันที่กดเท่ากับ 2.76 เมกกะปาสคาล (400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) หรือที่แรงกด 5000 ปอนด์

P_H - ความดันที่อ่านได้ เมื่อ P_v เท่ากับ 2.76 เมกกะปาสคาล

4.2.3 <u>การทดลอบหาค่าการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value)</u>

การทดสอบนี้ทำตามมาตรฐานของ The Asphalt Institute หรือมาตรฐาน California test : 306 มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าการยึดเหนี่ยวของวัสดุ ซึ่งเป็นการหาค่าของความต้านทานแรงดึง (Pensile Strength) ด้วย ภาพที่ 4.9 แสดงเครื่องมือ





ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพที่ 4.9 แสดงเครื่องมือทดลองค่าการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value)

การทดลองนี้จะกระทำกับตัวอย่างที่ผ่านการอบตัวอย่างที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ควบคุมอุณหภูมิของเครื่อง Cohesiometer ที่อุณหภูมิเดียวกัน จากนั้นนำตัวอย่างบรรจุในตำแหน่งที่จะทดสอบทำการติดตั้งตัวอย่างให้แน่นแล้วเริ่มให้น้ำหนักกดที่ปลายคานของเครื่องเพื่อให้ล่งแรงดัดหักตัวอย่างที่ติดตั้ง อัตราการให้น้ำหนักกดที่ปลายคานของเครื่องเพื่อให้ล่งแรงดัดหักตัวอย่างที่ติดตั้ง อัตราการให้น้ำหนักกดเท่ากับ 1800 $\pm$ 20 กรัมต่อนาที คานของเครื่องมีความยาวถึง 30 นิ้ว ระยะที่คานจะตกลงเมื่อมีน้ำหนักกระทำมากสุดในการทดสอบเท่ากับ 1/2 นิ้ว ทำการคำนวณหาค่า Cohesiometer Value

$$C = \frac{L}{0.80\,H + 0.176\,H^2}$$

L - น้ำหนักที่คัดหักตัวอย่าง หน่วยเป็นกรัม

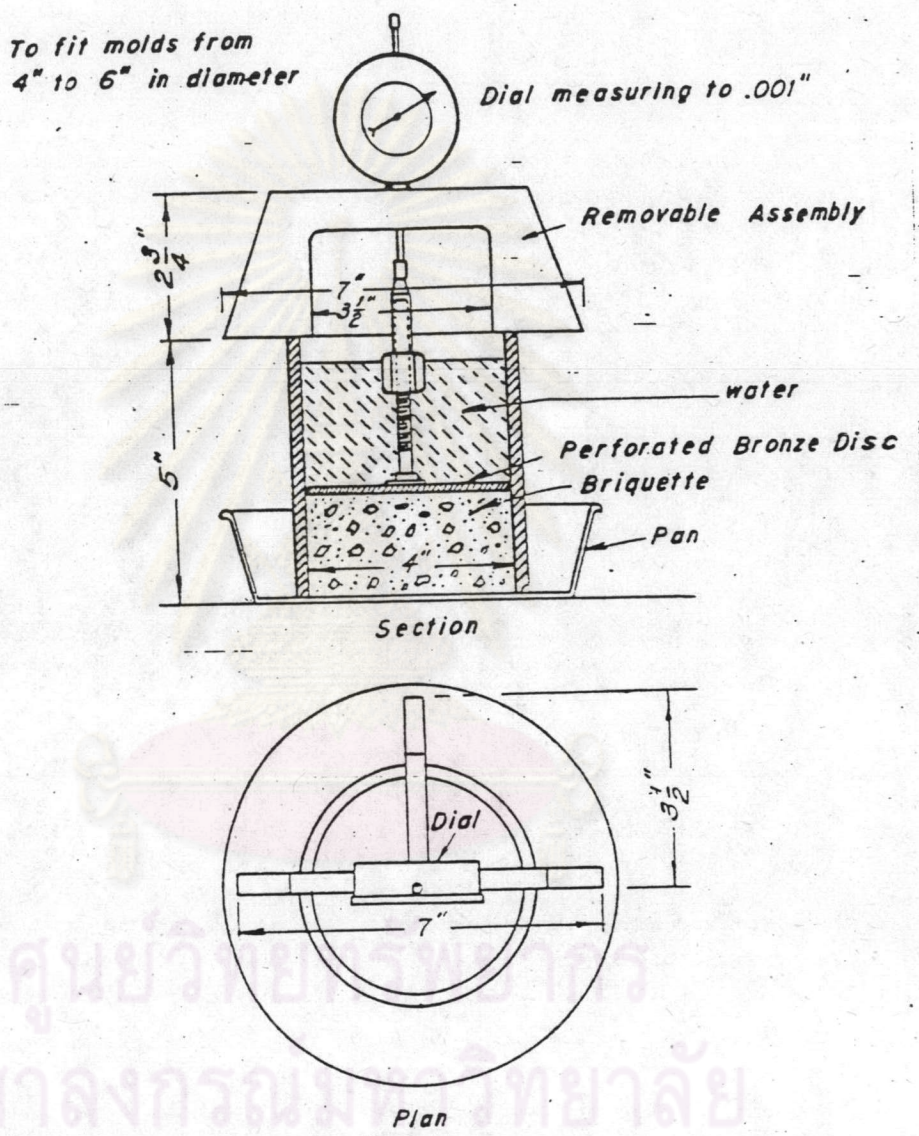
H - ความสูงของตัวอย่าง

C - Cohesiometer Value

4.2.4 <u>การทดสอบหาค่าการพองตัว (Swell test)</u>

การทดสอบนี้กระทำตามมาตราฐานของ The Asphalt Institute หรือมาตรฐาน California test 304 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพความทนทานของแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อถูกกระทำด้วยน้ำ หากมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากกว่ากำหนดแสดงว่าไม่เหมาะแก่การนำมาใช้สร้างถนน

การเตรียมตัวอย่างกระทำเช่นเดียวกับการเตรียมตัวอย่าง เพื่อหาค่าเสถียรภาพแต่มีข้อเพิ่มเติมอีกคือ ต้องมีการบุภายในแบบก่อนที่จะเทตัวอย่างที่จะบดอัด การทดสอบกระทำโดยการนำตัวอย่างที่เย็นแล้วมาประกอบลงแบบที่เตรียมไว้ในถาด ดังภาพ 4.10 ทำการวางแผ่นบรอนซ์กลมเจาะรูบนตัวอย่าง ติดตั้งสามขาและมาตรวัด (Dial Gauge) เพื่อดูการขยายตัวของตัวอย่างบรรจุน้ำ 500 มิลลิเมตรบนก้อนตัวอย่าง ทำการวัดระยะที่เปลี่ยนแปลงของมาตรวัด(Dial gauge) หลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.10 แสดงชุดเครื่องมือทดสอบการบวมตัว (Swell)

4.2.5 ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์คอนกรีต

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์คอนกรีตแบบ Bulk Specific Gravity ขณะที่แห้ง (Oven Dry) โดยชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส ทิ้งให้เย็นชั่งในอากาศจากนั้นนำไปชั่งในน้ำ ทำการคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะต่อไป

$$\text{ความถ่วงจำเพาะแบบ Bulk Sp.Gr. (Oven Dry)} = \frac{\text{น้ำหนักชั่งในอากาศ}}{\text{ผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งในอากาศและน้ำ}}$$

4.2.6 <u>การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดและค่าช่องว่างอากาศ</u>

การทดลองทำตามมาตรฐาน ASTM D-2041 วัสดุที่จะนำมาทำการทดสอบจะทำการเตรียมตามวิธีของฮวีม (Hveem Method) ก่อนทำการบดอัด โดยใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ หรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมสารอีวีเคโคโพลีเมอร์ตามที่ออกแบบ ทำการเกลี่ยส่วนผสมร้อนไม่ให้เกาะกันบนถาด ทิ้งไว้ให้เย็นจากนั้นนำไปชั่งหาน้ำหนัก หากมีส่วนที่ติดอยู่กับถาดรองให้ทำการล้างด้วยไตรคลอโรเอททีลีน พร้อมทั้งนำส่วนที่ล้างได้นี้ไปเผาที่ 500-600 องศาเซลเซียสจนกระทั่งเหลือเพียงเถ้าผุ่นหรือหิน จากนั้นจะนำไปชั่งจะได้น้ำหนักวัสดุมวลรวมและคำนวณหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์หรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอ จากนั้นนำไปหักออกน้ำหนักวัสดุผสมผสมครั้งแรก นำวัสดุผสมใส่ในขวดซึ่งทราบน้ำหนักที่ชั่งในอากาศแล้ว (Volumatric Flask) โดยทำการชั่งขวดทั้งในอากาศและในน้ำเรียบร้อย ทำการชั่งขวดพร้อมตัวอย่างในอากาศเติมน้ำจนได้ระดับ 1500 มิลลิเมตร นำไปดูดอากาศความดัน 30 นิ้วปรอท เป็นเวลา 10-15 นาทีจนไม่มีฟองอากาศ (เขย่าทุก 2 นาที) จากนั้นนำไปแช่น้ำประมาณ 10 นาที ทำการชั่งน้ำหนักขวดที่บรรจุตัวอย่างในน้ำ คำนวณหาความถ่วงจำเพาะสูงสุด พร้อมหาค่าช่องว่างอากาศในแอสฟัลต์คอนกรีต

$$\text{ความถ่วงจำเพาะสูงสุด} = \frac{A}{(A-C)}$$

A - น้ำหนักขวด + ตัวอย่าง ในอากาศ - น้ำหนักขวดในอากาศ

C - น้ำหนักขวด + ตัวอย่าง ในน้ำ - น้ำหนักขวดในน้ำ

(ภายหลังการดูดอากาศ)

ช่องว่างอากาศ = (ความถ่วงจำเพาะสูงสุด - ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์คอนกรีต) X 100

ความถ่วงจำเพาะสูงสุด

4.2.7 การหาค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม

การทดลองจะใช้ค่าจากการประเมินหาค่าแอสฟัลต์สูงสุดโดยวิธี CKE เป็นหลักการออกแบบจะใช้ค่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ในส่วนผสมที่น้อยกว่าค่าที่ประเมินได้หนึ่งค่า และสูงกว่าค่าที่ประเมินได้อีกสองค่า โดยใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ต่างกันประมาณครั้งละ 0.5 เปอร์เซนต์ จากนั้นทำการเลือกตัวอย่างที่ไม่มีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เยิ้มเลอะมือ และจะต้องได้ค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดของตารางที่ 2.21 และ 2.23 ที่สำคัญคือต้องมีค่าเปอร์เซนต์ของโพรงอากาศใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดมากที่สุด จากค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ครั้งนี้จะนำมาพล็อตเป็นกราฟหาความสัมพันธ์ร่วมกับค่าเสถียรภาพ, ค่าความหนาแน่น, และค่าเปอร์เซนต์โพรงอากาศ เพื่อความง่ายในการพิจารณาต่อไปและเมื่อได้ค่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม จะนำค่านี้ไปออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเค โคโพลีเมอร์ กับแอสฟัลต์ซีเมนต์ต่อไป

การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุหินคลุกที่ทำการจัดขนาดคละแบบแน่นจะทำการทดลองครบทุกกระบวนการ ตามการออกแบบของอีวีม โดยเฉพาะการประเมินหาค่าแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม โดยวิธี CKE. เนื่องจากมีค่าแฟคเตอร์ในการประเมินหาค่าพื้นที่ผิวของหินอยู่

การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต จากวัสดุดิน Silty Clay วัสดุดิน Sily Clay จะถูกปรับปรุงด้วยวัสดุหินคลุก (Crushed Rock) ขนาด 2" ไม่เกิน 30% โดยน้ำหนักมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ลดปริมาณการใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ อีกทั้งเป็นการหาวัสดุทดแทน และที่สำคัญคือ การนำวัสดุท้องถิ่นมาใช้งาน การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตจะทำตามวิธีของอีวีม ประกอบด้วยการทดสอบหาค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์, ค่าการยืดเหนี่ยว และค่าการพองตัว ยกเว้นการประเมินหาค่าแอสฟัลต์โดยวิธี CKE.

การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตจากวัสดุดิน Silty Sand วัสดุดิน Silty Sand จะถูกปรับปรุงด้วยวัสดุหินคลุกขนาด 2" ไม่เกิน 30% เช่นเดียวกับดิน Silty Clay และการทดสอบการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต จะทำตามการออกแบบของดิน Silty Clay ทั้งนี้เพื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับวัสดุดิน Silty Slay และวัสดุหินคลุกต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย