บทที่ 4

วัสดุและวิธีการทดลอง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 วัสดุ

4.1.1 กรวดดินเผา

กรวดดินเผาที่ใช้เป็นมวลรวมหยาบในงานวิจัยนี้ผลิตขึ้นจากดินเหนียวอ่อนที่ได้จากแหล่งดินหนองงูเห่า อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ อยู่ลึกจากผิวดินลงไปประมาณ 2.00 - 2.50 เมตร ซึ่งตำแหน่งที่ขุดนี้อยู่ห่างจากเส้นทางหลวงหมายเลข 34 สายบางนา - บางปะกง ประมาณ 200 เมตร ไปทางทิศเหนือตรงช่วงหลักกิโลเมตรที่ 25 - 26 ตามรูปที่ 4.1 จากตัวอย่างดินเหนียวจากแหล่งดังกล่าวได้ทำการผลิตเม็ดดินรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางใกล้เคียงกับความยาว ขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว $\frac{1}{2}$ นิ้ว และ $\frac{3}{8}$ นิ้ว และทำการเผาในเตาเผาแบบกระบอกหมุนแกนเดียวให้ได้อุณหภูมิการเผาสุดท้าย 1,000 °ซ โดยมีระยะเวลาในการเผาทั้งสิ้นประมาณ 30 นาที รูปที่ 4.2 แสดงภาพถ่ายกรวดดินเผาที่ได้ซึ่งอาจจะมีบางส่วนที่แตกเนื่องจากการเผาซึ่งจะต้องทำการคัดออกโดยการใช้ตะแกรงร่อนเพื่อให้ได้เฉพาะกรวดดินเผาที่มีขนาดเดียว (Single Size) เพื่อนำไปใช้ผสมในแอสฟัลต์ติคคอนกรีตสำหรับในการศึกษานี้ต่อไป โดยกรวดดินเผาที่ได้มีค่าความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ยเท่ากับ 1.622

4.1.2 หินฝุ่น

หินฝุ่นที่ใช้เป็นมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดในการศึกษานี้ได้จากแหล่งโม่หิน จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นหินคละขนาด และตามที่โรงงานผลิตแอสฟัลต์ (หนองแขม) กองก่อสร้างและบูรณะ สำนักการโยธา กรุงเทพมหานคร ใช้ในการผลิตแอสฟัลต์ติคคอนกรีตซึ่งมีละเอียดมีดังนี้คือ หินเกล็ดผสมหินเม็ดใหญ่ ขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว – เบอร์ 8 หินฝุ่นหยาบขนาดเบอร์ 3 - เบอร์ 4 และหินฝุ่นละเอียดขนาดเบอร์ 4 - เบอร์ 200

การผลิตแอสฟัลต์ติกคอนกรีตในห้องปฏิบัติการนั้น จะทำการแยกขนาดหินโดยตะแกรงร่อนมาตรฐาน (U.S. Standard) ให้ได้หินที่ค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ เพื่อแยกผสมตามสัดส่วนต่อไป ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ยของหินเกล็ดผสมหินเม็ดใหญ่ หินฝุ่นหยาบและหินฝุ่นละเอียดมีค่าเท่ากับ 2.729

4.1.3 ทราย

ทรายที่ใช้เป็นมวลรวมละเอียดเป็นทรายแม่น้ำจากแหล่งทำทรายจังหวัดลพบุรี และจะถูกแยกขนาดเม็ดทรายโดยตะแกรงร่อนมาตรฐาน (U.S. Standard) ขนาดต่าง ๆ เพื่อแยกผสมตามสัดส่วนเช่นกัน โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ย 2.571

4.1.4 ยางแอสฟัลต์

เป็นยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ยี่ห้อ 80/100 Penetration ตามข้อกำหนดมาตรฐานการใช้งานของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.02

4.2 วิธีการทดลองหาคุณสมบัติเบื้องต้นของมวลรวม

4.2.1 การทดลองหาการกระจายขนาดของมวลรวม

ก) เครื่องมือ

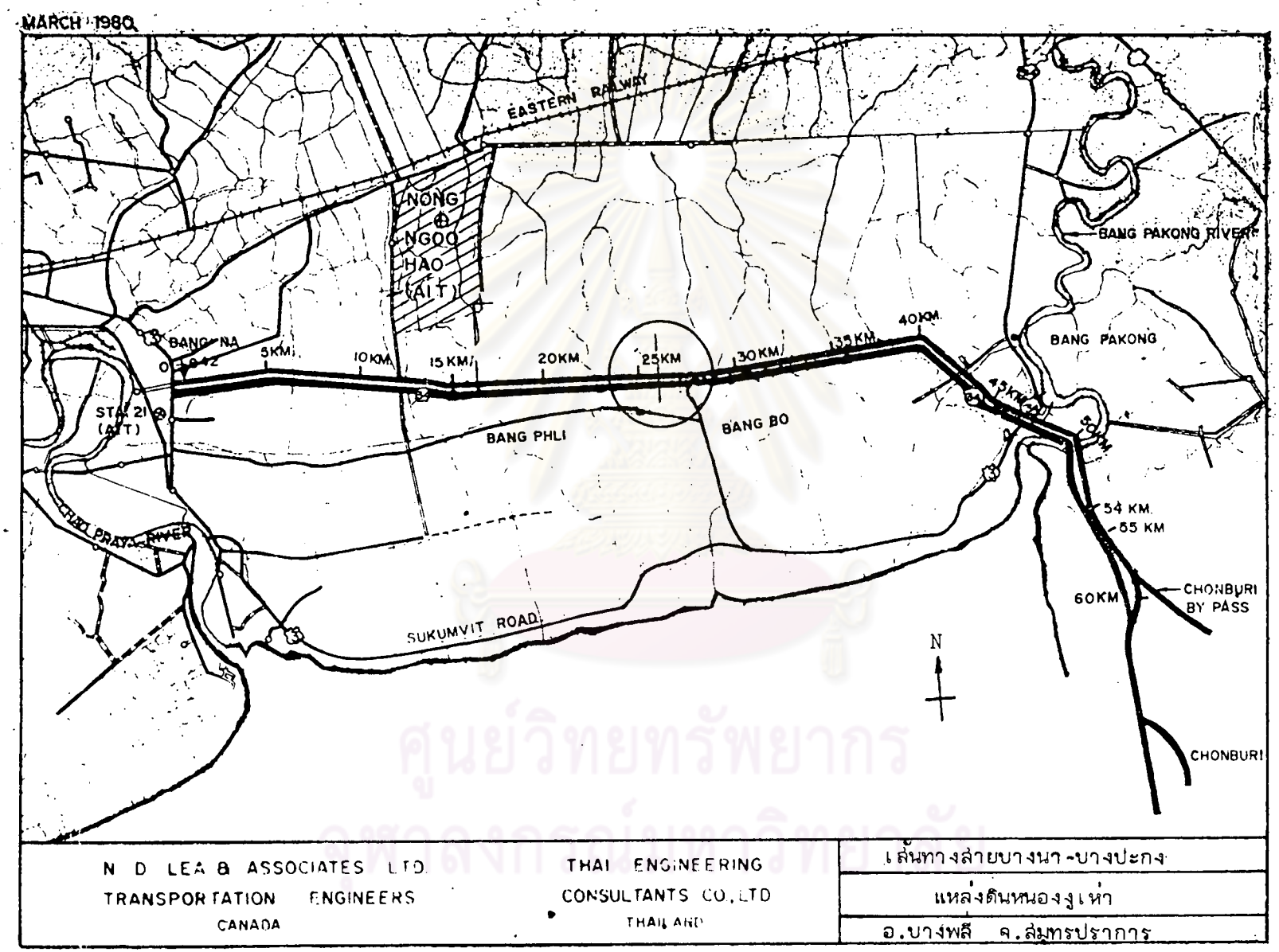
1) เครื่องชั่ง ที่มีความละเอียดถึงร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักตัวอย่าง

2) ตะแกรง ตะแกรงร่อนต้องติดอยู่ในกรอบที่แข็งแรงและสามารถป้องกันการหกของเม็ดวัสดุได้โดยขนาดของตะแกรงเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานของ ASTM E-11

3) เตาอบ สามารถให้อุณหภูมิถึง 110 ± 5°C

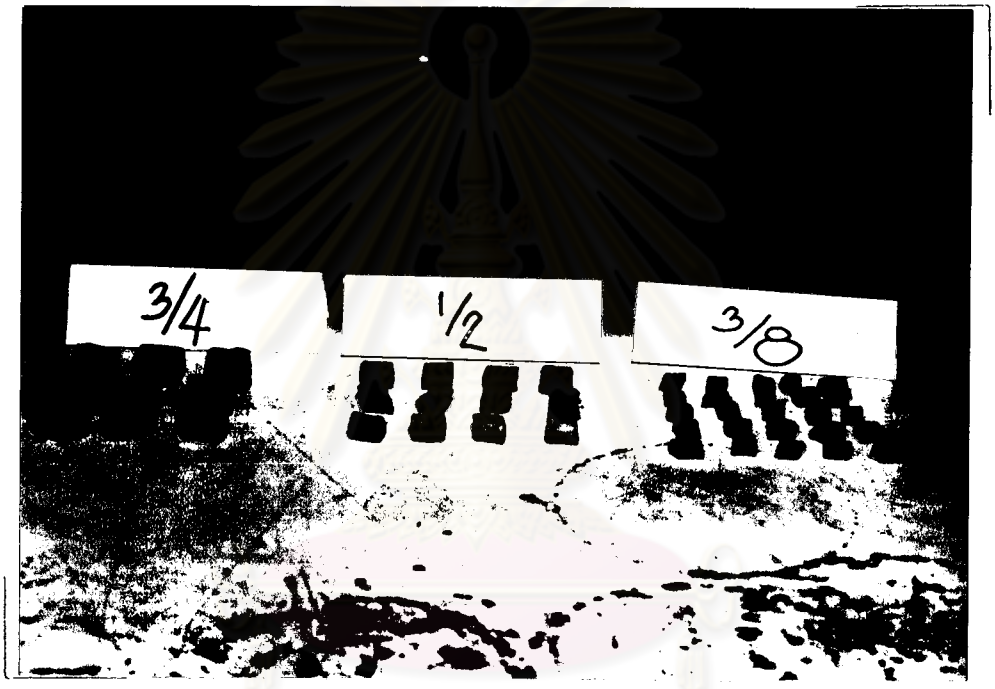
ข) ตัวอย่าง

1) ผสมตัวอย่างเข้าด้วยกันแล้วทำการแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่างเพื่อให้ได้ปริมาณที่พอเหมาะ สำหรับมวลรวมละเอียดต้องทำให้ชื้นก่อนทำการแบ่งเพื่อป้องกันการแยกตัวของเม็ดวัสดุและการสูญเสียฝุ่นละเอียด



รูปที่ 4.1 แผนที่แสดงตำแหน่งแหล่งดินหนองงูเห่า

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 แสดงกรวดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,000 °ซ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) มวลรวมละเอียดต้องอบให้แห้งก่อนนำไปชั่งหาน้ำหนัก เพื่อทำการร่อนต่อไปโดยมวลรวมละเอียดต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

(ก) มวลรวมละเอียด 100 กรัม จะต้องผ่านตะแกรงเบอร์ 8 (2.36 มม.) อย่างน้อยสุดร้อยละ 35

(ข) มวลรวมละเอียด 500 กรัม จะต้องผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.) อย่างน้อยสุดร้อยละ 65 หรือจะต้องค้างตะแกรงเบอร์ 8 มากกว่าร้อยละ 5

3) หากตัวอย่างมีมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดรวมอยู่ด้วยกันต้องทำการแยกออกจากกันโดยใช้ตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.)

ค) <u>วิธีการ</u>

1) <u>การร่อนมวลรวมหยาบแบบไม่ล้าง</u>

1.1) นำตัวอย่างอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5°ซ หนัก 3,000 - 4,000 กรัม ไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนชุดใหญ่

1.2) เรียงขนาดตะแกรงตามขนาดที่กำหนดถึง $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$", $\frac{3}{8}$", # 4 และกะบะ

1.3) การเขย่าต้องมีการเคลื่อนที่ทั้งแนวดิ่งและแนวราบอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง เขย่านานพอที่จะให้ตัวอย่างร้อยละ 1 ของน้ำหนักตัวอย่างในตะแกรงผ่านตะแกรงไปได้ภายใน 1 นาที หรือใช้เวลาในการเขย่าตะแกรงทั้งหมด 15 นาที

1.4) ชั่งน้ำหนักที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด

2) <u>การร่อนมวลรวมละเอียดแบบล้างน้ำ</u>

2.1) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังจากอบแห้งแล้ว 700-800 กรัม

2.2) นำไปล้างน้ำจนสะอาดและให้ผ่านตะแกรง #200 จากนั้นนำส่วนที่ค้างบนตะแกรงไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °ซ

2.3) ทำการร่อนตัวอย่างผ่านตะแกรงชุดเล็กเรียงตามขนาดดังนี้ #4, #8, #30, #50, #100, # 200 และ กะบะ ตามวิธีการข้อ 1.3)

2.4) การหาน้ำหนักร้อยละที่ผ่านตะแกรงจะต้องคิดน้ำหนักตัวอย่างก่อนล้างเป็นร้อยละ 100 เสมอ

ง) การคำนวณ

$$\text{ปริมาณร้อยละน้ำหนักผ่านตะแกรง} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดนั้น ๆ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด}} \times 100$$

4.2.2 การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวม

4.2.2.1 การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหินปูน

1. มวลรวมหยาบหินปูน ที่มีขนาดโตกว่า 4.75 มม. สามารถหาค่าความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Specific Gravity)และค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) พร้อมทั้งการหาปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึมเข้าไปในเนื้อหิน ตามบททดสอบมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล. - ท. 207/2517 ซึ่งเทียบเท่ากับ AASHO T-85 และ Calif. 206 - C

ก) เครื่องมือ

1) เครื่องชั่ง - สามารถชั่งได้มากกว่า 5,000 กรัม และมีความละเอียดถึง 0.5 กรัม หรือน้อยกว่า

2) ตะกร้าลวดตาข่าย - รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว สูง 8 นิ้ว มีขนาดช่องตะแกรง 2.00 - 3.00 มม.

3) ถังน้ำ - สำหรับใส่น้ำเพื่อการชั่งในน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว สูง 20นิ้ว พร้อมกับมีรูอยู่ตอนบนเพื่อรักษาระดับน้ำให้คงที่อยู่เสมอ

ข) ตัวอย่าง

นำตัวอย่างหินขนาดผ่านตะแกรง $\frac{3}{4}$" - $\frac{1}{2}$", $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{8}$" และ $\frac{3}{8}$" ค้างเบอร์ 4 มาอย่างละ 5,000 กรัม

ค) วิธีการ

1) นำตัวอย่างไปล้างด้วยน้ำให้สะอาด แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5 °ซ จากนั้นนำไปแช่น้ำเป็นเวลานาน 15 $\pm$ 4 ชั่วโมง

2) นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำแล้วเช็ดผิวให้แห้งด้วยผ้าฝ้ายใหญ่ จนกระทั่งไม่มีฟิล์มบาง ๆ ของน้ำเคลือบผิวมวลรวมอยู่ ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างโดยเร็ว เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ โดยน้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้งในอากาศ (B) กรัม

3) ชั่งน้ำหนักที่อิ่มตัวผิวแห้งนี้ในน้ำทันทีหลังจากชั่งในอากาศแห้ง โดยน้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักที่ชั่งในน้ำของตัวอย่าง (C) กรัม

4) นำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5 °ซ จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการชั่งน้ำหนักแห้งในอากาศทันที (A) กรัม

ง) การคำนวณ

ค่าความถ่วงจำเพาะรวม $= \frac{A}{B - C}$

ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ $= \frac{A}{A - C}$

ร้อยละการดูดซึมน้ำ $= \frac{B - A}{A} \times 100$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. มวลรวมละเอียดหินปูน สามารถทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะรวมของมวลรวมละเอียดที่มีขนาดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 - 200 และปริมาณน้ำที่ถูกดูดซึม ตามบทกำหนดมาตรฐานของ ASTM C 128 - 79 และ AASHO T 84

ก) เครื่องมือ

1) เครื่องชั่ง เป็นแบบ Balance หรือ Scale ที่สามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม และละเอียดถึง 0.1 กรัม

2) Pycnometer เป็นขวดแก้วที่มีลักษณะเป็นกระเปาะมีสำคอขวดยาวที่สำคอขวดจะมีเส้นขีดบอกระดับน้ำ ขวดที่ใช้มีความจุ 500 มิลลิลิตร

3) แบบ (Mold) เป็นแบบโลหะรูปกรวย มีเส้นผ่าศูนย์กลางตอนบน 38 มม. ($1\frac{1}{2}$") เส้นผ่าศูนย์กลางตอนล่าง 89 มม. ($3\frac{1}{2}$") และมีความสูง 74 มม. ($2\frac{29}{32}$") ความหนาของแบบโลหะต้องหนาอย่างน้อยประมาณ 0.9 มม.

4) โลหะกระทุ้ง เป็นโลหะหนัก 340 $\pm$ 15 กรัม (12 $\pm$ $\frac{1}{2}$ ออนซ์) ผิวหน้าด้านที่กระทุ้งเป็นผิวราบรูปวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 $\pm$ 3 มม. (1 $\pm$ $\frac{1}{8}$")

ข) ตัวอย่าง

1) นำตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และทำการแบ่งด้วยที่แบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) ประมาณ 100 กรัม ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5 °ซ แล้วปล่อยให้เย็น

2) นำตัวอย่างไปแช่ในน้ำเป็นเวลาประมาณ 15 $\pm$ 4 ช.ม.

3) นำตัวอย่างที่แช่น้ำแล้วมาแผ่กระจายบนภาชนะผิวราบเรียบแล้วค่อย ๆ เกลี่ยไปมาเพื่อให้ตัวอย่างค่อย ๆ แห้ง

(4) ทำตามข้อ (3) ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งตัวอย่างเกือบจะอยู่ในสภาพที่เคลื่อนไหวได้ง่าย (Free Flowing Condition)

(5) นำตัวอย่างใส่ลงในแบบหลวม ๆ จนเต็ม ซึ่งแบบตั้งอยู่บนผิวที่ไม่มีการดูดซึม โดยเอาด้านที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าอยู่ด้านล่าง

(6) ทำการกระทุ้งตัวอย่างเบา ๆ 25 ครั้ง ด้วยโลหะกระทุ้งแล้วค่อย ๆ ยกแบบขึ้นตรง ๆ สังเกตดูว่าเมื่อวัสดุเริ่มทลาย แสดงว่าตัวอย่างวัสดุขณะนี้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry)

ค) <u>วิธีการ</u>

(1) ชั่งน้ำหนักขวด Pycnometer เปล่าในอากาศ

(2) นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ประมาณ 500 กรัม ใส่ในขวดชั่งหาน้ำหนักจริงของตัวอย่างที่อยู่ในขวด Pycnometer แล้วเติมน้ำสะอาดจนได้ปริมาตรประมาณ 450 มิลลิลิตร

(3) นำไปไล่ฟองอากาศออกโดยการแช่ในหม้อต้มน้ำเดือด ขณะต้มให้เขย่าและหมุนขวดเป็นพัก ๆ จนฟองอากาศถูกไล่ออกหมด

(4) เติมน้ำลงในขวด Pycnometer จนระดับน้ำในขวดถึงเส้นยึดระดับน้ำเยิดให้แห้งสนิท แล้วทำการชั่งน้ำหนัก พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิของน้ำ

(5) เทตัวอย่างลงในถ้วยอ่างนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5^{0} ซ. แล้วปล่อยให้เย็นลงตามปกติ ชั่งหาน้ำหนักตัวอย่างขณะแห้ง

(6) ทำการหาน้ำหนักขวด Pycnometer ที่มีน้ำจนถึงเส้นยึดระดับน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ แล้วสร้างเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับน้ำหนักของขวดและน้ำที่ถึงเส้นยึดระดับ

ง) การคำนวณ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะรวม } (G_b) = \frac{W_o}{W_{ss} + W_w - W_s}$$

$$\text{ความถ่วงจำเพาะปรากฏ } (Gapp) = \frac{W_o}{W_o + W_w - W_s}$$

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{W_{ss} - W_o}{W_o} \times 100$$

W_o = น้ำหนักของตัวอย่างที่อบแห้งในอากาศ, กรัม

W_{ss} = น้ำหนักตัวอย่างในอากาศสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง

W_w = น้ำหนักขวด Pycnometer + น้ำหนักน้ำถึงเส้นยิดระดับน้ำที่อุณหภูมิ T°ซ, กรัม

W_s = น้ำหนักตัวอย่าง + น้ำหนักขวด Pycnometer + น้ำหนักน้ำถึงเส้นยิดระดับน้ำที่อุณหภูมิ T°ซ , กรัม

4.2.2.2 การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมกรวดดินเผา

1. การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะรวมของกรวดดินเผา (Bulk Specific Gravity of Calcined Clay Aggregates)

เนื่องจากกรวดดินเผามีความพรุนมาก การหาค่าความถ่วงจำเพาะรวมตามข้อ 4.2.2.1 จึงไม่สามารถใช้ทดสอบได้ ดังนั้น จึงนำเทคนิคการใช้พาราฟิน (Paraffin) เคลือบผิวกรวดมวลรวมก่อนขั้นตอนการหาน้ำหนักที่ชั่งในน้ำมาใช้ดังนี้

ก) เครื่องมือ

1) เครื่องชั่ง - ละเอียด 0.01 กรัม และสามารถชั่งวัสดุในน้ำได้

2) ลวดตาข่าย - มีขนาดของช่องตาข่ายที่กรวดดินเผาผ่านไม่ได้

3) เตาอบ - ที่สามารถให้อุณหภูมิถึง 200 °ซ และควบคุมอุณหภูมิ ได้

4) เตาแบบ Hot-Plate - สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 60 - 65 °ซ

5) เทอร์โมมิเตอร์ - ขนาด 100 °ซ

ข) ตัวอย่าง

1) นำตัวอย่างกรวดดินเผา ขนาด $\frac{3}{4}$" , $\frac{1}{2}$" และ $\frac{3}{8}$" มาอบให้แห้งที่ 160 $\pm$ 5 °ซ ประมาณ 3 ช.ม.

2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างให้ได้ตัวอย่างละประมาณ 50 - 60 กรัม แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

ค) วิธีการ

1) ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างแห้งในอากาศ - W_1 (กรัม)

2) หลอมพาราฟินที่รู้ค่าความถ่วงจำเพาะแล้ว - S

3) นำกรวดดินเผาใส่ลงในตาข่ายแล้วชุบใน Paraffin ให้เคลือบผิวจนทั่วทั้งตัวอย่างให้เย็นประมาณ 30 นาที ดูรูปที่ 4.3 แล้วนำไปชั่งหาน้ำหนัก - W_2 (กรัม)

4) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เคลือบพาราฟินแล้วในน้ำ - W_3 (กรัม)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.3 แสดงกรวดดินเผาเคลือบพาราฟิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง) การคำนวณ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะรวม } (G_b) = \frac{SW_1}{S(W_2 - W_3) - (W_2 - W_1)}$$

2. การทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของกรวดดินเผา (Apparent Specific Gravity of Calcined Clay Aggregates)

ก) เครื่องมือ

1) เครื่องชั่ง เป็นแบบ Balance หรือ Scale ที่สามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัม และละเอียดถึง 0.1 กรัม

2) Pycnometer เป็นขวดแก้วที่มีลักษณะเป็นกระเปาะมีลำคอขวดยาวที่ลำคอขวดจะมีเส้นยึดบอกระดับน้ำ ขวดที่ใช้มีความจุ 500 มิลลิลิตร

ข) ตัวอย่าง

นำตัวอย่างกรวดดินเผาขนาด $\frac{1}{2}$" และ $\frac{3}{8}$" มาประมาณ 300 กรัม ล้างและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5 °ซ แล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิปกติ

ค) วิธีการ

1) นำตัวอย่างกรวดดินเผาใส่ลงในขวด Pycnometer ใส่น้ำกลั่นลงไปจนท่วมตัวอย่าง ประมาณ 450 มิลลิลิตร

2) นำไปไล่ฟองอากาศออกโดยการแช่ในหม้อต้มเดือด ขณะต้มให้เขย่าและหมุนขวดเป็นพัก ๆ จนฟองอากาศถูกไล่ออกหมด

3) เติมน้ำลงในขวด Pycnometer จนระดับน้ำในขวดถึงเส้นยึดระดับน้ำเย็นให้แห้งสนิท แล้วทำการชั่งน้ำหนัก พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิของน้ำ

4) เทตัวอย่างลงในขวดอ่าง นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 °ซ แล้วปล่อยให้เย็นลงตามปกติ ชั่งหาน้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง

5) ทำการหาน้ำหนักขวด Pycnometer ที่มีน้ำจนถึงเส้นยึดระดับน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ แล้วสร้างเป็นกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับน้ำหนักของขวดและน้ำที่ถึงเส้นยึดระดับ

ง) การคำนวณ

$$\text{ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Gapp)} = \frac{W_o}{W_o + W_w - W_s}$$

W_o = น้ำหนักตัวอย่างอบแห้งในอากาศ, กรัม

W_w = น้ำหนักขวด Pycnometer + น้ำหนักน้ำถึงเส้นยึดระดับน้ำที่อุณหภูมิ T °ซ, กรัม

W_s = น้ำหนักตัวอย่าง + น้ำหนักขวด Pycnometer + น้ำหนักน้ำถึงเส้นยึดระดับน้ำที่อุณหภูมิ T °ซ, กรัม

3. การทดลองการดูดซึมน้ำของกรวดดินเผา (Water Absorption of Calcined Clay Aggregates)

ก) เครื่องมือ

1) เครื่องชั่ง - สามารถชั่งได้มากกว่า 5,000 กรัม และมีความละเอียดถึง 0.5 กรัม หรือน้อยกว่า

2) ตะกร้าลวดตาข่าย - รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว สูง 8 นิ้ว มีขนาดช่องตะแกรง 2.00 - 3.00 มม.

3) ถังน้ำ - สำหรับใส่น้ำเพื่อการชั่งในน้ำขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 นิ้ว สูง 20นิ้ว พร้อมกับมีรูอยู่ตอนบนเพื่อรักษาระดับน้ำให้คงที่อยู่เสมอ

ข) ตัวอย่าง

นำตัวอย่างกรวดดินเผา ขนาด $\frac{3}{4}$" , $\frac{1}{2}$" และ $\frac{3}{8}$" มาอย่างละ 3,000 กรัม

ค) วิธีการ

1) นำตัวอย่างไปล้างด้วยน้ำให้สะอาดแล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5 °ซ จากนั้นนำไปแช่น้ำเป็นเวลานาน 15 $\pm$ 4 ชั่วโมง

2) นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำแล้วเช็ดผิวให้แห้งด้วยผ้าฝ้ายใหญ่ จนกระทั่งไม่มีชั้นบาง ๆ ของน้ำเคลือบผิวมวลรวมอยู่ ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างโดยเร็ว เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ โดยน้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้งในอากาศ B (กรัม)

3) นำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5 °ซ จากนั้นปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ทำการชั่งน้ำหนักแห้งในอากาศทันที A (กรัม)

ง) การคำนวณ

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

4.2.3 การทดลองหาค่าการสึกหรอของมวลรวมหยาบ (Abrasion Test of Coarse Aggregates)

ก) เครื่องมือ

1) Los Angeles Abrasion Machine ตัวเครื่องประกอบไปด้วยล้อเหล็กรูปทรงกระบอกกลวง เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 71.1 $\pm$ 0.5 ซม. ความยาวภายใน 50.8 $\pm$ 0.5 ซม. ล้อเหล็กทรงกระบอกกลวงนี้ติดอยู่กับเพลา และหมุนรอบแกนได้ในแนวนอน โดยใช้แรงหมุนจากมอเตอร์ มีช่องใส่วัสดุพร้อมฝาปิด มีเหล็กยาวสูง 8.9 $\pm$ 0.2 ซม. ยาว 50.8 $\pm$ 0.5 ซม. ติดด้านใน วางตั้งในแนวรัศมีของล้อเหล็กทรงกระบอก ความยาวของเส้นรอบวงภายนอกวัดในทิศทางที่ล้อเหล็กทรงกระบอกหมุนจากเหล็กยาวถึงช่องใส่วัสดุยาว 127 ซม. ดูรูปที่ 4.4

2) ลูกเหล็ก(Abrasive Charge) ใส่ในล้อเหล็กเพื่อบดตัวอย่าง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 4.7 ซม. แต่ละลูกหนักระหว่าง 390 - 445 กรัม จำนวนลูกเหล็กขึ้นอยู่กับเกรดของตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4.1

ข) ตัวอย่าง

นำตัวอย่างกรวดดินเผาขนาดค้างบนตะแกรงมาตรฐาน (U.S. Standard) $\frac{1}{2}$ นิ้ว และ $\frac{3}{8}$ นิ้ว ล้างด้วยน้ำสะอาด แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5°ซ ทิ้งไว้ให้เย็นในอากาศ จากนั้นนำมารวมเข้าด้วยกัน ขนาดละ 2,500 กรัม ตามเกรด B ของตาราง 4.1

ค) วิธีการ

นำตัวอย่างที่เตรียมไว้เทลงในล้อเหล็กของเครื่องมือ พร้อมลูกเหล็ก 11 ลูก ตั้งเครื่องให้หมุน500 รอบ เมื่อเครื่องเดินครบ เทตัวอย่างไปร่อนลงบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 12 นำตัวอย่างที่ค้างไปล้างบนน้ำสะอาดอย่างระมัดระวัง นำส่วนที่เหลือไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5°ซ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่อบแห้ง

ง) การคำนวณ

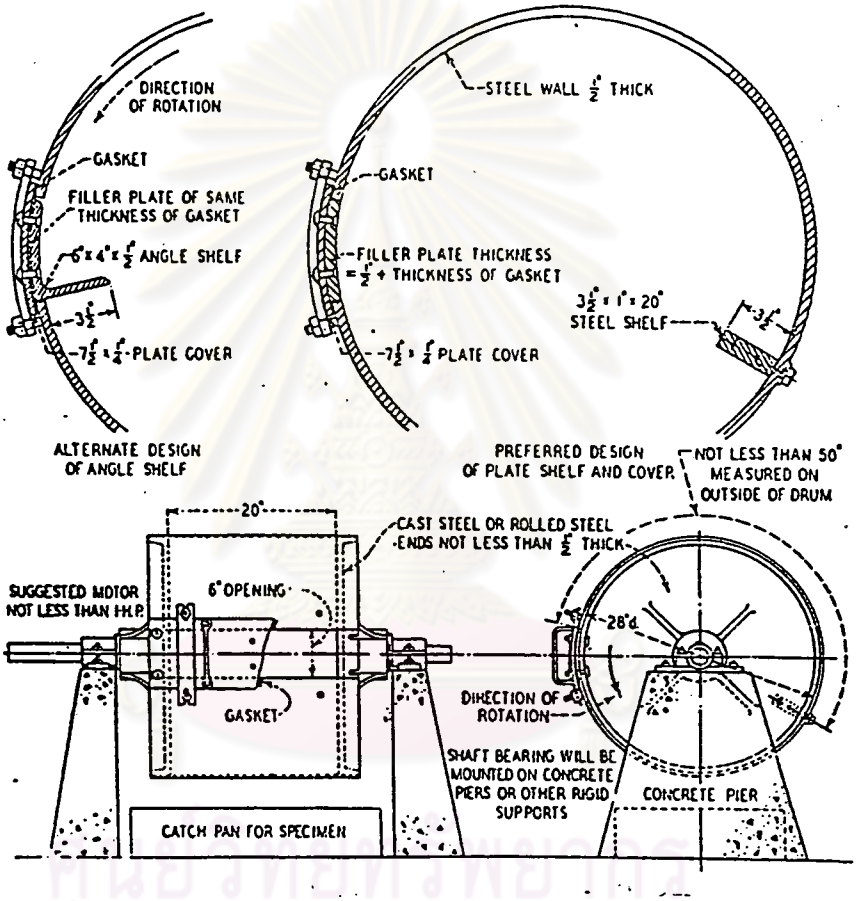
$$\text{ร้อยละความสึกหรอ} = \frac{(\text{น้ำหนักเดิม} - \text{น้ำหนักส่วนที่เหลือ})}{\text{น้ำหนักเดิม}} \times 100$$

4.2.4 การทดลองหาค่าการดูดซึมยางแอสฟัลต์ของมวลรวม

ทำการหาค่าความถ่วงจำเพาะทฤษฎีก่อน แล้วจึงนำไปคำนวณหาค่าการดูดซึมยางแอสฟัลต์ภายหลังโดยบทกำหนดมาตรฐาน AASHO T209-74 (1978) หรือ ASTM D 2041-71 (1976)

ก) เครื่องมือ

1) ขวด Flask ชนิดปากกรวยมีฝาจุกยาง ที่คอขวดมีท่อสำหรับดูดอากาศออกได้ ขนาดความจุ 500 มิลลิลิตร



รูปที่ 4.4 เครื่องมือทดสอบการสึกหรอของวัสดุ

ตารางที่ 4.1

ขนาดและน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละเกรดที่ใช้วัดความล้าหรอ

ขนาดตะแกรง		น้ำหนัก (กรัม) และเกรดของตัวอย่าง						
ผ่าน	ค้าง	A	B	C	D	E	F	G
3"	$2\frac{1}{2}$"					2500±50		
$2\frac{1}{2}$"	2"					2500±50		
2"	$1\frac{1}{2}$"					5000±50	5000±50	
$1\frac{1}{2}$"	1"	1250±25					5000±50	5000±50
1"	$\frac{3}{4}$"	1250±25						5000±50
$\frac{3}{4}$"	$\frac{1}{2}$"	1250±10	2500±10					
$\frac{1}{2}$"	$\frac{3}{8}$"	1250±10	2500±10					
$\frac{3}{8}$"	3			2500±10				
3	4			2500±10				
4	8				5000±10			
น้ำหนักตัวอย่างรวม		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50
จำนวนรอบ		500				1000		

จำนวนลูกเหล็กที่ใช้กับตัวอย่างแต่ละเกรด

	เกรดตัวอย่าง						
	A	B	C	D	E	F	G
จำนวนลูกเหล็ก	12	11	8	6	12	12	12
น้ำหนักรวม (กรัม)	5000±25	4584±25	53330±20	2500±25	5000±25	5000±25	5000±25

หมายเหตุ ในการทดลองตัวอย่างใช้ เกรด B

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) เครื่องชั่ง ให้ความละเอียด 0.01 กรัม ชั่งได้หนัก ไม่น้อยกว่า 500 กรัม และชั่งตัวอย่างในน้ำได้

3) เครื่องปั๊มดูดอากาศ ให้ความดันได้ต่ำกว่าความสูง 30 มม. ของปรอท

ข) ตัวอย่าง

นำส่วนผสมมวลรวมคละตามอัตราส่วนที่ใช้ทดลองหาค่าเสถียรภาพโดยวิธีมาร์แชล ประมาณ 500 กรัม อบให้ร้อนที่อุณหภูมิ 180 $\pm$ 5 °ซ ประมาณ 2 ช.ม.

ค) วิธีการ

1) นำตัวอย่างจากเตาอบ มาผสมกับแอสฟัลต์ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ 6.0 $\pm$ 0.2 % โดยน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง อุณหภูมิการผสม 145 $\pm$ 5 °ซ ผสมให้แอสฟัลต์เคลือบผิวจนทั่วจากนั้นทิ้งตัวอย่างให้เย็นลงตามอุณหภูมิปกติ

2) ทำการแยกแอสฟัลต์ติดคอนกรีต ที่ติดกันเป็นก้อนออกจากกัน จนเหลือขนาดไม่เกิน $\frac{1}{4}$ นิ้ว (6.4 มม.) นำตัวอย่างใส่ลงในขวด Flask ที่รู้น้ำหนักแล้ว นำไปชั่งหาน้ำหนักตัวอย่างสุทธิในอากาศ

3) เติมน้ำลงในขวด Flask จนท่วมตัวอย่าง แล้วทำการดูดอากาศออกด้วยปั๊มเป็นเวลา 15 $\pm$ 2 นาที ในระหว่างทำการดูดอากาศให้เขย่าขวดเป็นระยะ ๆ ประมาณช่วงละ 2 นาทีต่อครั้ง

4) นำตัวอย่างที่ไล่ฟองอากาศออกแล้วไปชั่งหาน้ำหนักตัวอย่างพร้อมขวด Flask ในน้ำ โดยปล่อยทิ้งไว้ในน้ำเป็นเวลา 10 $\pm$ 1 นาที ก่อนที่จะอ่านค่าน้ำหนัก

5) ทำการหาน้ำหนักขวด Flask เปล่าในน้ำ โดยปล่อยทิ้งไว้ในน้ำเป็นเวลา 10 $\pm$ 1 นาที ก่อนที่จะอ่านค่าน้ำหนัก

6) เนื่องจากกรวดดินเผาเป็นวัสดุพรุน ดังนั้น ถ้าแอสฟัลต์เคลือบผิวตัวอย่างไม่ทั่วแล้ว จะเกิดการดูดซึมน้ำได้ อีกประการหนึ่ง ขณะทำการดูดอากาศด้วยปั๊มนั้นแรงดูดอากาศอาจดูดเอาแอสฟัลต์ที่เคลือบผิวตัวอย่างบาง ๆ หลุดร่อนได้ ทำให้

ตัวอย่างเกิดการดูดน้ำเข้าไป ค่าที่ได้จึงมีโอกาสผิดพลาดมาก จึงต้องหาน้ำหนักของตัวอย่างในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ตามคำแนะนำของ AASHO T 209-74 (1978) ดังนี้

7) นำตัวอย่างหลังจากชั่งน้ำหนักในน้ำแล้วมาแผ่และเกลี่ยตัวอย่างเป็นระยะ ๆ เพื่อให้ความชื้นที่ผิวตัวอย่างระเหยไป หรืออาจใช้พัดลมช่วยเป่าไล่ความชื้นที่ผิวก็ได้ ให้ชั่งน้ำหนักตัวอย่างนี้ทุก ๆ 15 นาที เมื่อน้ำหนักตัวอย่างหายไปน้อยกว่า 0.5 กรัม ในช่วง 15 นาที แสดงว่า ตัวอย่างอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ในการทำนี้จะต้องระมัดระวังการสูญหายของตัวอย่าง

จ) การคำนวณ

ค่าความถ่วงจำเพาะทฤษฎี (G_m) (Theoretical Specific Gravity) $= \frac{A}{B + D - E}$

ค่าความถ่วงจำเพาะจริง (G_v) (Virtual Specific Gravity) $= \frac{100 - Aac}{\frac{100}{G_m} - \frac{Aac}{Gac}}$

ร้อยละการดูดซึมยางแอสฟัลต์ X $= 100 \times \frac{G_v - G_{ag}}{G_v - G_{ag}} \times G_{ac}$

A = น้ำหนักตัวอย่างในอากาศ (กรัม)

B = น้ำหนักตัวอย่างในอากาศในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (กรัม)

D = น้ำหนักขวดแก้วในน้ำ (กรัม)

E = น้ำหนักขวดแก้ว + น้ำหนักตัวอย่างในน้ำ (กรัม)

A_{ac} = % แอสฟัลต์ต่อน้ำหนักทั้งหมด

G_{ag} = ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมผสม

G_{ac} = ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์ = 1.02

4.2.5 การทดลองหาค่า Sand Equivalent

เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณสัดส่วนของฝุ่นหรือวัสดุประเภทเหมือนดินเหนียวในมวลรวมเรียงขนาด

ก) เครื่องมือ

1) กระบอกตวงพลาสติก ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 31.75 มม. ($1\frac{1}{4}$ นิ้ว) สูง 431.80 มม. (17 นิ้ว) และมีขีดวัดแบ่ง 15 ส่วน ส่วนละ 1 นิ้ว แต่ละส่วนแบ่งเป็น 10 ช่อง

2) Irrigator Tube (รูปที่ 4.5)

3) Weighted Foot Assembly ซึ่งประกอบด้วย Sand Reading Indicator ติดอยู่กับแกนห่างจากตัว Foot 254 มม. (10 นิ้ว) (รูปที่ 4.5)

4) Siphon Assembly ประกอบด้วยขวดแก้วความจุ 1 แกลลอน บรรจุด้วยสารละลาย Calcium Chloride ขวดแก้วให้ติดตั้งอยู่สูงจากโต๊ะที่ทำการทดลอง Sand Equivalent = 36 $\pm$ 1 นิ้ว

5) กระป๋องตวงตัวอย่าง ขนาด 85 $\pm$ 5 มิลลิลิตร (3 ออนซ์)

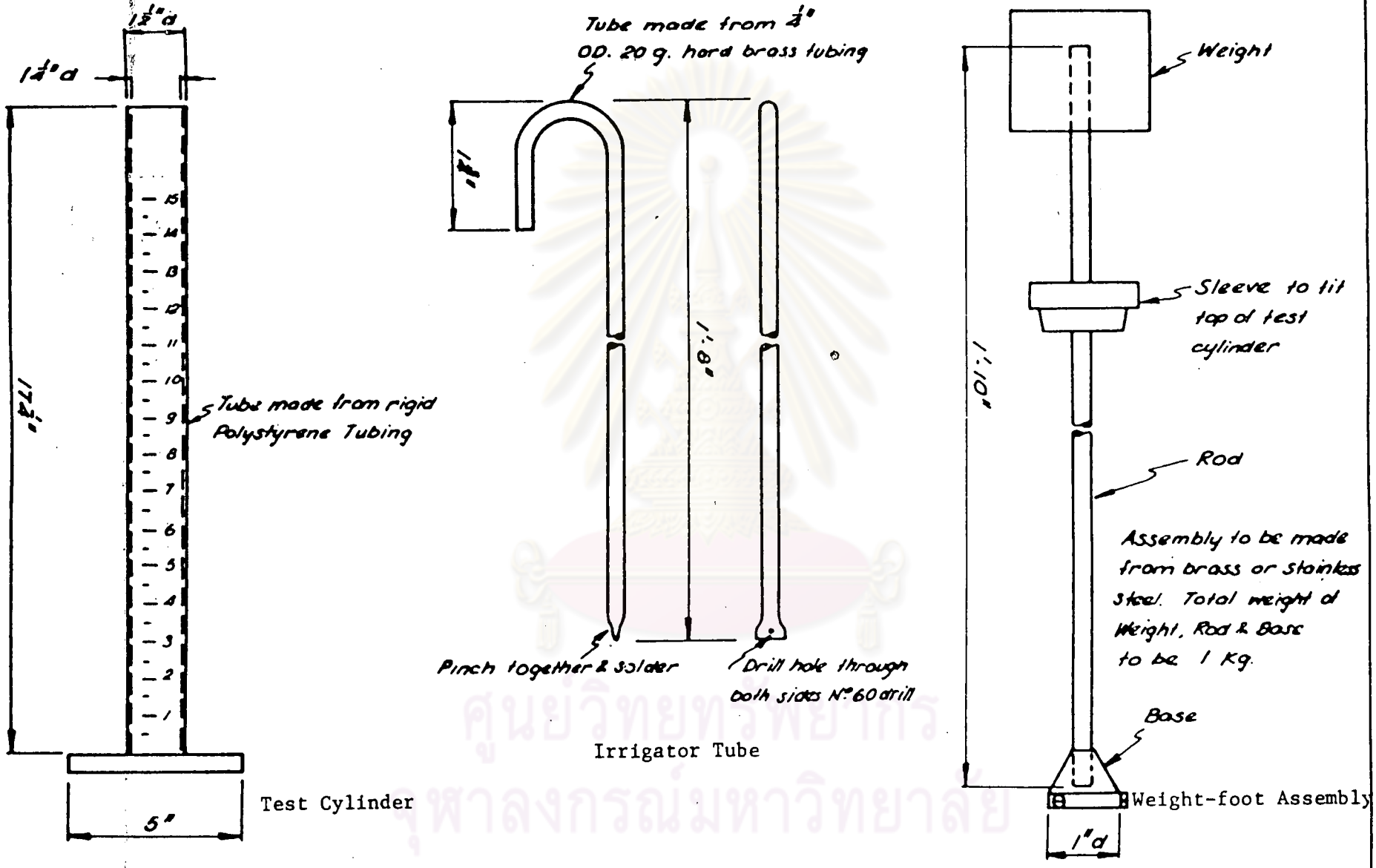
6) Mechanical Shaker มีประสิทธิภาพเขย่าได้ 175 $\pm$ 2 รอบต่อนาที และระยะทางเขย่าเท่ากับ 203 $\pm$ 1 มม. (8 $\pm$ 0.004 นิ้ว)

ข) ตัวอย่าง

คลุกตัวอย่างที่ตากแห้งให้เข้ากันดี ใช้กระป๋องตวงตวงตัวอย่างมา 1 กระป๋อง ควรเคาะกระป๋องกับพื้นแข็ง ๆ เพื่อให้ได้ตัวอย่างบรรจุในกระป๋องมากที่สุด แล้วทำการปาดดินให้เสมอระดับปากกระป๋อง

ค) วิธีการ

1) เติมสารละลาย Calcium Chloride ลงในกระบอกตวงให้สูง 4 $\pm$ 0.1 นิ้ว โดยผ่าน Irrigator Tube เทตัวอย่างลงในกระบอกตวงแล้วไล่ฟองอากาศโดยกระแทกกันตวงด้วยฝามือจนตัวอย่างเปียกโดยทั่วถึงกัน



รูปที่ 4.5 ชุดเครื่องมือทดลองสมดุลย์ทราย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2) ปล่อยให้ตัวอย่างแช่ทิ้งไว้โดยไม่ถูกรบกวนนาน 10 $\frac{1}{2}$ นาที แล้วอุดปากกระบอกตวงด้วยจุกยาง พลิกกระบอกตวงคว่ำไปมา พร้อมทั้งเขย่าเพื่อป้องกันมิให้วัสดุตกค้างอยู่ที่ก้นกระบอกตวง

3) นำกระบอกตวงซึ่งอุดด้วยจุกยางไปเข้าเครื่อง Mechanical Shaker ตั้งเวลาให้เครื่องเขย่านาน 45 $\frac{1}{2}$ 1 วินาที

4) ตั้งกระบอกตวงที่เขย่าแล้วบนโต๊ะ เปิดจุกยางออกหย่อนปลาย Irrigator Tube ลงไปในกระบอกตวง เปิดให้สารละลายจากขวดแก้วไหลลงไปล้างตัวอย่างที่ติดอยู่ตามผิวในของกระบอกตวงส่วนบนให้ลงไปรวมอยู่ข้างล่าง ค่อย ๆ หมุนดัน Irrigator Tube ผ่านชั้นตัวอย่างลงไปถึงก้นกระบอก โดยสารละลายยังคงไหลอยู่เรื่อย ๆ ส่วนละเอียดของตัวอย่างจะถูกไล่ให้ลอยตัวขึ้นมาเป็นของผสมอยู่เหนือพวกเม็ดหยาบค่อย ๆ ไล่และยก Irrigator Tube ขึ้นมาเรื่อย ๆ จนเมื่อยก Irrigator Tube ออกจากกระบอกตวง ระดับของผสมอยู่ที่ขีด 15 นิ้ว

5) ปล่อยกระบอกตวงทิ้งไว้โดยไม่ถูกรบกวนอีก 20 นาที จะเห็นชั้นของส่วนฝุ่นอยู่เหนือชั้นส่วนหยาบอย่างชัดเจน อ่านค่าระดับผิวบนของชั้นฝุ่นบนกระบอกตวงเป็นค่า "Clay Reading"

6) นำ Weight Foot Assembly ค่อย ๆ หย่อนลงไปในกระบอกตวง ไปวางบนชั้นส่วนหยาบ อ่านค่าบนกระบอกตวงตรงระดับบนสุดของ Indicator แล้วลบด้วย 10 จะได้ค่า "Sand Reading"

ง) <u>การคำนวณ</u>

$$\text{ค่า Sand Equivalent} = \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100$$

4.2.6 การทดลองหาค่าการหลุดลอกของยางแอสฟัลต์แบบแช่ในน้ำนิ่ง

เป็นการทดสอบการหลุดลอกของแอสฟัลต์โดยการแช่ตัวอย่างในน้ำนิ่ง ตามบทกำหนดมาตรฐาน ASTM D 1664-69

ก) เครื่องมือ

1) ภาชนะโลหะ สำหรับผสมแอสฟัลต์กับมวลรวมขนาด 500 มิลลิลิตร

2) เครื่องชั่ง ที่มีความละเอียด ± 0.1 กรัม

3) พายโลหะ (Spatula) ขนาดกว้าง 1 นิ้ว ยาว 4 นิ้ว

4) เตาอบ สามารถให้อุณหภูมิได้ถึง 180° ซ พร้อมกับควบคุมอุณหภูมิได้

5) ตะแกรงร่อนมาตรฐาน ขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้ว และ $\frac{1}{4}$ นิ้ว ตามมาตรฐาน ASTM E-11

ข) ตัวอย่าง

1) มวลรวมที่ใช้ทดสอบเป็นขนาดผ่านตะแกรง $\frac{3}{8}$ นิ้ว และค้างตะแกรงขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ทำการล้างมวลรวมให้สะอาด แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 135 - 149° ซ จนน้ำหนักคงที่ โดยในการทดลองนี้จะใช้มวลรวมกรวดเผากับหินปูนเพื่อทำการเปรียบเทียบกัน

2) น้ำกลั่น ต้องเป็นน้ำกลั่นที่บริสุทธิ และมีค่า pH อยู่ระหว่าง 6.0 - 7.0

ค) วิธีการ

1) การเคลือบ นำตัวอย่างมวลรวมที่อบแห้งแล้วมาประมาณ 100 กรัม อบที่อุณหภูมิ 160° ซ นาน 1 ชม. ผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ร้อนถึง

อุณหภูมิ 145 ซ (A.C. 80-100) หนัก 5.5 ± 0.2 กรัม ใช้พายโลหะผสมให้เข้ากันนาน 2 - 3 นาที หรือจนกระทั่งมวลรวมถูกเคลือบด้วยยางแอสฟัลต์จนสมบูรณ์ ทิ้งตัวอย่างให้เย็นลงตามอุณหภูมิปกติ

2) การแช่น้ำ นำตัวอย่างที่เย็นแล้วใส่ถ้วยแก้วขนาด 600 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นลงไป 400 มิลลิลิตรให้ท่วมผิวตัวอย่าง แช่ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 16 ถึง 18 ซม. จึงทำการประเมินการหลุดลอกด้วยสายตา จากนั้นนำถ้วยแก้วใส่ตัวอย่างไปแช่ในอ่างต้มน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ 60 ซ นาน 24 ชม. แล้วทำการประเมินผลการหลุดลอกอีกครั้งหนึ่ง

3) การพิจารณาการหลุดลอกของแอสฟัลต์ จากตัวอย่างในถ้วยแก้วโดยมองผ่านน้ำลงไปจากด้านบนประเมินผลเป็นร้อยละการหลุดลอกจากพื้นที่ผิวของตัวอย่างที่ไม่มีแอสฟัลต์เคลือบอยู่ต่อพื้นที่ผิวทั้งหมด ในการพิจารณานั้นควรใช้แสงจากโคมไฟช่วยในการมอง และพื้นที่ผิวตัวอย่างที่ยังมีแผ่นบาง ๆ สีน้ำตาลโปร่งใสติดอยู่ให้ถือว่ายังไม่เกิดการหลุดลอก ตามบทกำหนดมาตรฐานของ ASTM นั้น ได้กำหนดว่าการหลุดลอกไว้ไม่เกินร้อยละ 5

ง) การคำนวณ

$$\text{ร้อยละการหลุดลอกของแอสฟัลต์} = \frac{\text{พื้นที่ผิวที่ไม่มียางแอสฟัลต์เคลือบ}}{\text{พื้นที่ผิวทั้งหมดของตัวอย่าง}} \times 100$$

4.3 ปฏิภาคส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต (Mix Proportion of Asphaltic Concrete)

แอสฟัลต์ติคคอนกรีตที่ใช้ลาดถนน โดยทั่วไปมักประกอบด้วยมวลรวมประมาณร้อยละ 90 - 95 โดยน้ำหนัก หรือร้อยละ 75 - 85 โดยปริมาตร และมวลรวมจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อสมรรถนะของโครงสร้างถนนลาดยางแบบแอสฟัลต์ติคคอนกรีตต่อความสามารถรับน้ำหนักบรรทุก ดังนั้น ในการออกแบบส่วนผสมจึงต้องทำการควบคุมขนาด

และการจัดเรียงขนาดของมวลรวม (Size and Grading of Aggregate) ให้อยู่ในขีดจำกัดตามข้อกำหนดมาตรฐาน ASTM D 3515 ซึ่งแสดงไว้ในรูปของโค้งการจัดขนาดคละ (Gradation Curve) ตามรูปที่ 4.6 จึงได้ทำการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์ติคคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ให้มีขนาดส่วนคละเป็นแบบแน่น (Dense Gradation) และแบ่งส่วนผสมแอสฟัลต์ติคคอนกรีตเป็น 4 แบบ ตามชนิดของวัสดุมวลรวมที่ใช้ผสมตามตารางที่ 4.2 พร้อมกับแสดงการจัดขนาดผสม และโค้งการจัดขนาดส่วนคละของมวลรวมในส่วนผสมทั้ง 4 แบบตามตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.7 ตามลำดับ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการควบคุมส่วนขนาดคละของแอสฟัลต์ติคคอนกรีตที่ใช้ให้เป็นแบบเดียวกันทั้งหมด ดังนั้น การจัดขนาดคละของแอสฟัลต์ติคคอนกรีตที่ใช้กรวดดินเผาเป็นมวลรวมหยาบ จึงต้องควบคุมให้เป็นแบบเดียวกับของแอสฟัลต์ติคคอนกรีตที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวมหยาบ ในขณะเดียวกันการจัดขนาดคละของแอสฟัลต์ติคคอนกรีตที่มวลรวมมีค่าความถ่วงจำเพาะต่างกันเกินกว่า 0.20 ตามคำแนะนำของ Asphalt Institute ให้ทำการปรับส่วนขนาดคละโดยวิธีการปรับการจัดขนาดคละโดยปริมาตร เพื่อให้ส่วนผสมมีปริมาตรเหมือนกัน ดังนั้น กรวดดินเผาซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าทรายและหินฝุ่นซึ่งเป็นมวลรวมละเอียดมากกว่า 0.20 จึงได้ทำการปรับการจัดขนาดคละโดยปริมาตรก่อนการผสม

4.4 การจัดขนาดคละของมวลรวมโดยปริมาตร

การจัดขนาดคละและการรวมขนาดคละของมวลรวม ในทางปฏิบัติมวลรวมจะถูกกำหนดสัดส่วนที่ใช้โดยการชั่งน้ำหนักซึ่งมวลรวมจะต้องมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากันหรือใกล้เคียง แต่ในกรณีที่มวลรวมที่ใช้มีค่าความถ่วงจำเพาะต่างกันมากเกินกว่า 0.20 ทำให้สัดส่วนโดยน้ำหนักของมวลรวมไม่สมดุลย์กับสัดส่วนโดยปริมาตรของมวลรวมและการกระจายขนาดของมวลรวมจะไม่เป็นไปตามจริง ยิ่งกว่านี้ยังทำให้มวลรวมในส่วนผสมแอสฟัลต์ติคคอนกรีตแตกละเอียดเกินกว่าที่จะเป็น ดังนั้น จึงต้องทำการปรับสัดส่วนและส่วนขนาดคละให้สมดุลย์กับสัดส่วนโดยปริมาตร ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้

$$V = \frac{W}{G} \quad \text{หรือ} \quad V \times G = W \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยโดยน้ำหนัก (Gag) $= \dfrac{100}{\frac{Pw1}{G1} + \frac{Pw2}{G2} + \frac{Pw3}{G3} \ldots \frac{Pwn}{Gn}} \quad \ldots (2)$

ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยโดยปริมาตร (Gag) $=$

$$(Gag) = \frac{Pv1\ G1 + Pv2\ G2 + Pv3\ G3 \ldots Pvn\ Gn}{100} \quad \ldots (3)$$

W = น้ำหนักของมวลรวม

V = ปริมาตรของมวลรวม

G = ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวม

Gag = ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของมวลรวม

Pw = ร้อยละของมวลรวมโดยน้ำหนัก

Pv = ร้อยละของมวลรวมโดยปริมาตร

ตารางที่ 4.2 แอล์พัลต์ติคคอนกรีตแบบต่าง ๆ

แบบส่วนผสม	ชนิดมวลรวม			ปริมาณร้อยละยางแอล์พัลต์ (A.C.80/100)	จำนวนการบดอัด (ครั้ง)	แบบส่วนขนาดคละ
	หยาบ	คละเอียด	ฝุ่น			
ก.	กรวดหินเผา	ทรายและหินฝุ่น	หินฝุ่น	3.0 - 6.0	75	แน่น
ข.	กรวดหินเผา	หินฝุ่น	หินฝุ่น	3.0 - 6.0	75	แน่น
ค.	หินฝุ่น	ทรายและหินฝุ่น	หินฝุ่น	3.0 - 6.0	75	แน่น
ง.	หินฝุ่น	หินฝุ่น	หินฝุ่น	3.0 - 6.0	75	แน่น

ตารางที่ 4.3 (ก) การจัดขนาดผสม แบบส่วนผสม ก.

ขนาดตะแกรง	$\frac{3}{4}$"	$\frac{1}{2}$"	$\frac{3}{8}$"	#4	#8	#30	#50	#100	#200	กะบะ
กรวดดินเผา $\frac{3}{4}$" ค้างตะแกรงร้อยละ	-	4.5	-	-	-	-	-	-	-	-
กรวดดินเผา $\frac{1}{2}$" ค้างตะแกรงร้อยละ			9.9	-	-	-	-	-	-	-
กรวดดินเผา $\frac{3}{8}$" ค้างตะแกรงร้อยละ				30.4	-	-	-	-	-	-
ทราย ค้างตะแกรงร้อยละ					3.5	12.0	4.5	0.6	-	-
หินฝุ่นละเอียดค้างตะแกรงร้อยละ					12.8	8.7	1.8	3.7	2.6	5.0
ร้อยละค้างตะแกรงโดยปริมาตร	-	4.5	9.9	30.4	16.3	20.7	6.3	4.3	2.6	5.0
ร้อยละค้างตะแกรงโดยน้ำหนัก	-	3.7	7.3	21.0	20.2	25.2	7.6	5.4	3.3	6.3
การจัดขนาดผสมโดยน้ำหนัก	100	96.3	89.0	68.0	47.8	22.7	15.1	9.6	6.3	-

ปฏิภาคส่วนผสมกรวดดินเผา $\frac{3}{4}$" : $\frac{1}{2}$" : $\frac{3}{8}$" : ทราย : หินฝุ่น = 3.7 : 7.3 : 21.0 : 24.4 : 43.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 (ข) การจัดขนาดผสม แบบส่วนผสม ข.

ขนาดตะแกรง	$\frac{3}{4}$"	$\frac{1}{2}$"	$\frac{3}{8}$"	#4	#8	#30	#50	#100	#200	กะบะ
กรวดดินเผา $\frac{3}{4}$" ค้างตะแกรงร้อยละ	-	4.5	-	-	-	-	-	-	-	-
กรวดดินเผา $\frac{1}{2}$" ค้างตะแกรงร้อยละ			9.9	-	-	-	-	-	-	-
กรวดดินเผา $\frac{3}{8}$" ค้างตะแกรงร้อยละ				30.4	-	-	-	-	-	-
หินฝุ่นละเอียดค้างตะแกรงร้อยละ					16.3	20.7	6.3	4.3	2.6	5.0
ร้อยละค้างตะแกรงโดยปริมาตร	-	4.5	9.9	30.4	16.3	20.7	6.3	4.3	2.6	5.0
ร้อยละค้างตะแกรงโดยน้ำหนัก	-	3.6	7.2	20.6	20.2	25.6	10.6	5.3	3.2	6.5
การจัดขนาดผสมโดยน้ำหนัก	100	96.4	89.2	68.6	48.4	22.8	15.0	9.7	6.5	-

ปฏิภาคส่วนผสมกรวดดินเผา $\frac{3}{4}$" : $\frac{1}{2}$" : $\frac{3}{8}$" : หินฝุ่น = 3.6 : 7.2 : 20.6 : 68.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 (ค) การจัดขนาดผสม แบบส่วนผสม ค.

ขนาดตะแกรง	$\frac{3}{4}$"	$\frac{1}{2}$"	$\frac{3}{8}$"	#4	#8	#30	#50	#100	#200	กะบะ
หินเกล็ดผสมหินใหญ่	-	4.5	9.9	30.4	-	-	-	-	-	-
ทราย					3.5	12.0	4.5	0.6	-	-
หินฝุ่นสะเอียด					12.8	8.7	1.8	3.7	2.6	5.2
ร้อยละค้างตะแกรงโดยปริมาตร	-	4.5	9.9	30.4	16.3	20.7	6.3	4.3	2.6	5.2
การจัดขนาดผสมโดยน้ำหนัก	100	95.5	85.6	55.4	39.1	18.4	12.1	7.8	5.2	-

ปฏิภาคส่วนผสม หินปูน $\frac{3}{4}$" : $\frac{1}{2}$" : $\frac{3}{8}$" : ทราย : หินฝุ่น = 4.5 : 9.9 : 30.4 : 20.6 : 34.6

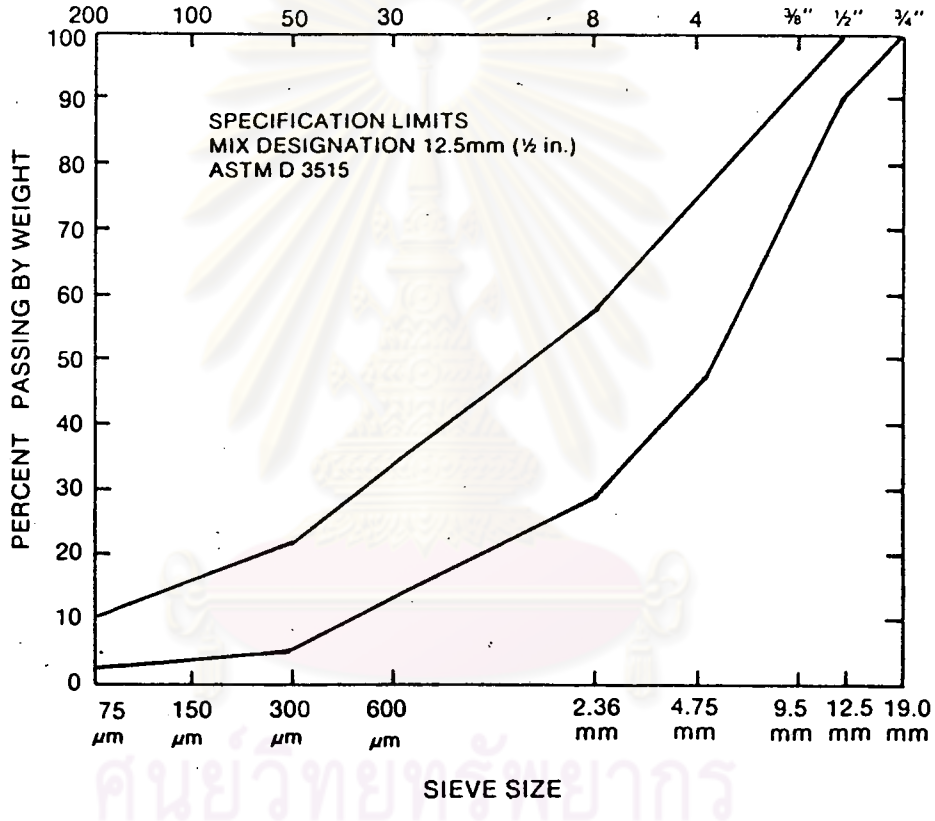
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 (ง) การจัดขนาดผสม แบบส่วนผสม ง.

ขนาดตะแกรง	$\frac{3}{4}$"	$\frac{1}{2}$"	$\frac{3}{8}$"	#4	#8	#30	#50	#100	#200	กะบะ
หินเกล็ดผสมหินใหญ่	-	4.5	9.9	30.4	-	-	-	-	-	-
หินฝุ่นละเอียด					16.3	20.7	6.3	4.3	2.6	5.2
ร้อยละค้างตะแกรงโดยปริมาตร	-	4.5	9.9	30.4	16.3	20.7	6.3	4.3	2.6	5.2
การจัดขนาดผสมโดยน้ำหนัก	100	95.5	85.6	55.4	39.1	18.4	12.1	7.8	5.2	-
การจัดขนาดผสมกำหนด	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10	-

ปฏิภาคส่วนผสม หินปูน $\frac{3}{4}$" : $\frac{1}{2}$" : $\frac{3}{8}$" : หินฝุ่นละเอียด = 4.5 : 9.9 : 30.4 : 55.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 ขีดจำกัดมาตรฐานของโค้งการคัดขนาดคละสำหรับส่วนผสมที่มีมวลรวมแบบแน่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การผลิตแอสฟัลต์ติคคอนกรีตจากโรงงานผลิต

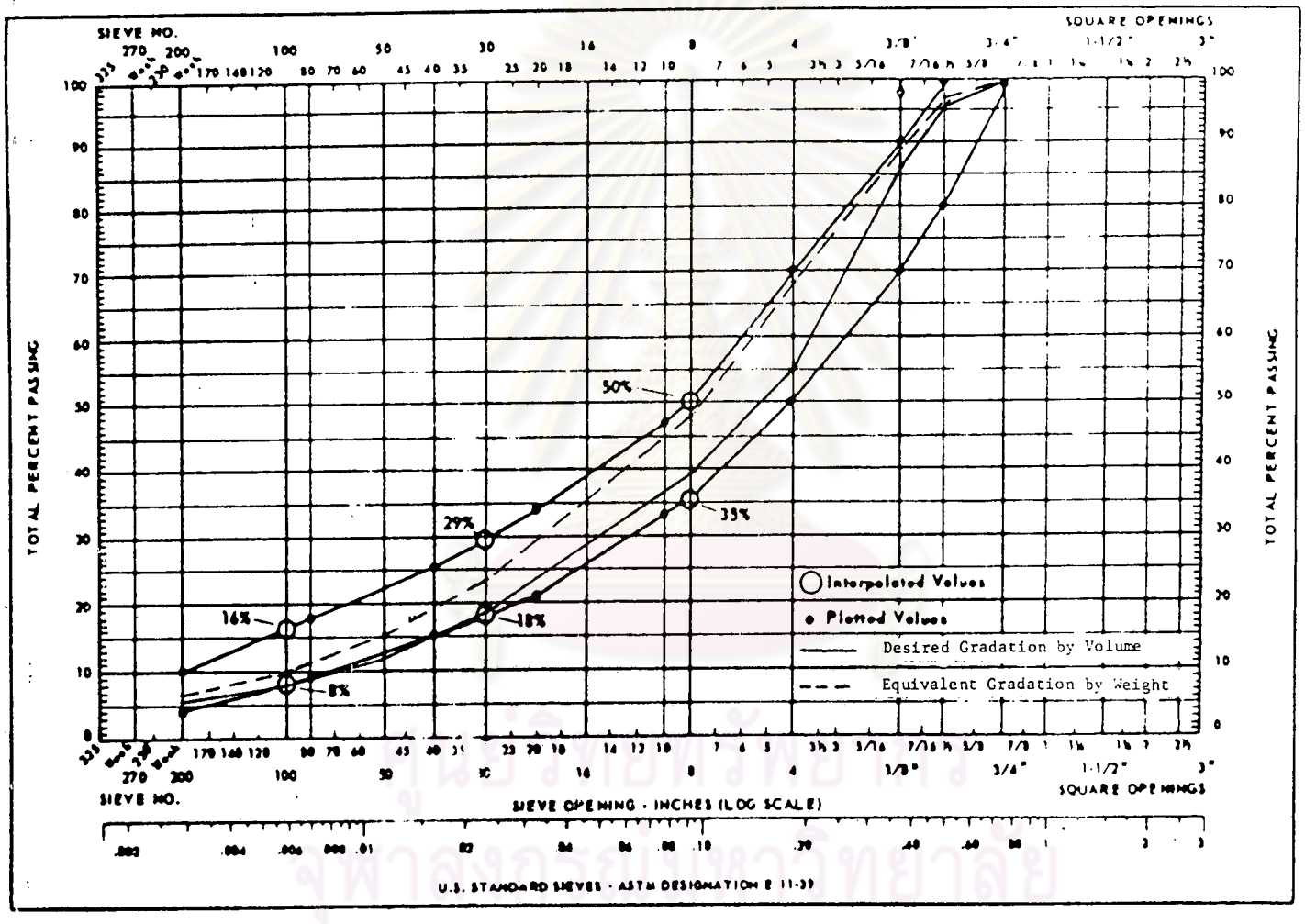
แอสฟัลต์ติคคอนกรีตที่ใช้ปูผิวทางทดลองนี้จะทำการผลิตจากโรงงานผลิตแอสฟัลต์ติคหนองแขม ซึ่งเป็นแบบ Batch - type ดังแสดงในรูปที่ 4.8 โดยมวลรวมจะถูกส่งเข้าถังเย็น (Cold Bin) แต่ละถังซึ่งแยกเก็บมวลรวมคละขนาดต่าง ๆ แล้วจึงลำเลียงเข้าสู่เตาเผาที่ทำการเผาให้ร้อนอยู่ก่อนแล้ว โดยให้อุณหภูมิขณะเผา 160 °ซ ก่อนที่จะผ่านตะแกรงร่อนแยกลงสู่ถังร้อนทั้ง 4 ถัง ในขณะเดียวกันก็จะทำการต้มยางแอสฟัลต์จากขดความร้อนใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ซึ่งติดตั้งอยู่ในถังเก็บยางแอสฟัลต์ให้ได้อุณหภูมิ 170 °ซ ก่อนนำไปผสมกับมวลรวมต่อไป โรงงานผลิตแอสฟัลต์ติคคอนกรีตแบบนี้มีข้อดีคือ สามารถที่จะชั่งมวลรวมในแต่ละถังและยางแอสฟัลต์ให้ได้ปริมาณตามที่ต้องการก่อนที่จะปล่อยลงสู่ถังผสม (Pugmill) ทำการคลุกเคล้ามวลรวมให้เข้ากันให้ดีก่อนประมาณ 15 วินาที จึงฉีดยางแอสฟัลต์ที่ร้อนเข้าไปผสมตามสัดส่วนที่กำหนด ปล่อยให้ส่วนผสมคลุกเคล้ากันนาน 30 วินาที จึงปล่อยแอสฟัลต์ติคคอนกรีตที่ได้ไปใช้งานต่อไป

มวลรวมหินปูนที่ใช้ในการผลิตต้องมีส่วนขนาดคละตามที่ได้ออกแบบไว้ตามตารางที่ 4.4 เพราะในขณะที่มวลรวมถูกส่งเข้าถังร้อนจะถูกแยกขนาดอย่างคร่าว ๆ ด้วยตะแกรงร่อนที่มีขนาดช่อง ตะแกรงคือ $\frac{7}{8}$ ", $\frac{5}{8}$", $\frac{5}{16}$" และ $\frac{5}{32}$" ก่อนลงสู่ถังร้อนดังแสดงในรูปที่ 4.9 และขนาดช่อง ตะแกรงนี้สามารถเทียบได้กับขนาดตะแกรงมาตรฐาน (U. S. Standard) ได้ดังตารางที่ 4.5 โดยตะแกรงร่อนขนาด 3.35 มม. (เบอร์ 6) จะเป็นขนาดเล็กที่สุดของชุดตะแกรงร่อนที่ใช้ในการร่อนให้วัสดุที่ผ่านลงสู่ถังร้อนหมายเลข 1 ส่วนวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดตะแกรงเบอร์ 6 ก็จะถูกจัดสัดส่วนใส่ลงในสามถังที่เหลือ เพื่อให้ได้ปริมาณวัสดุลงสู่ถังร้อนต่าง ๆ อย่างพอเหมาะ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งถ้าหากส่วนขนาดคละของมวลรวมแต่ละชนิดไม่ได้ตามที่กำหนดแล้ว จะทำให้ขนาดส่วนคละของ

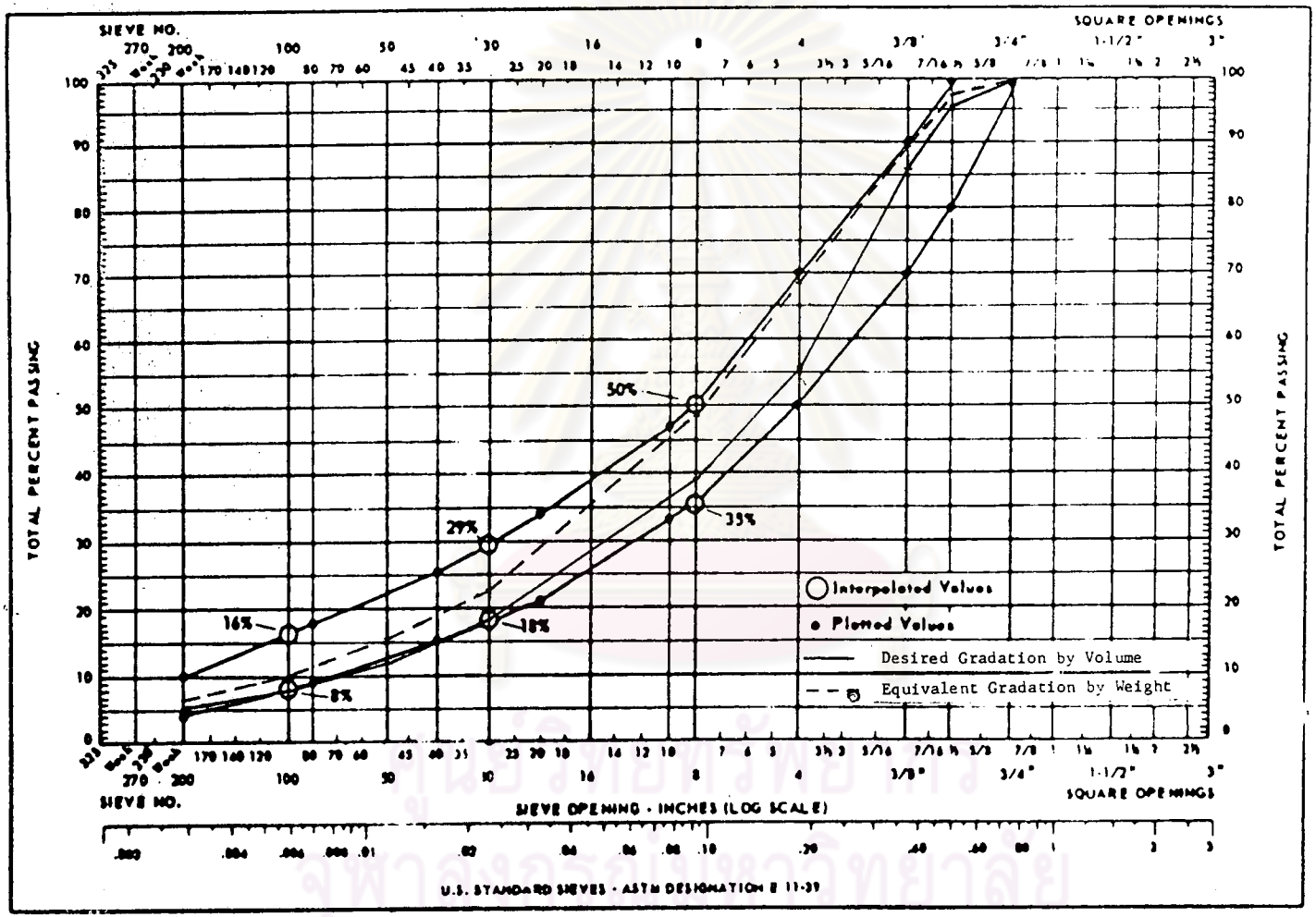
ส่วนผสมแอสฟัลต์ติคคอนกรีตที่ได้จากการผลิตไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ และตารางที่ 4.6 แสดงปฏิภาคส่วนผสมของแอสฟัลต์ติคคอนกรีตหินปูนที่ผลิตจากโรงงานผลิตแอสฟัลต์ติคหนองแขม

การผลิตส่วนผสมแอสฟัลต์ติคคอนกรีตกรวดดินเผานั้น เนื่องจากมีปริมาณน้อยจึงต้องทำการผลิตแอสฟัลต์ติคคอนกรีตหินปูนให้เสร็จสิ้นก่อนจึงปิดถังเย็นปล่อยให้เครื่องทำงานจนกระทั่งมวลรวมที่อยู่ในสายพานและเตาเผาผ่านลงสู่ถังร้อนจนหมดแล้วจึงหยุดเครื่อง ทำการล้างตะแกรงร่อนและถังร้อนเพื่อไม่ให้มีมวลรวมติดค้างอยู่ในถังร้อน ในขณะเดียวกันก็เพิ่มอุณหภูมิของกระบอกเตาเผาให้ได้ประมาณ 200° ซ เพราะว่ามวลรวมกรวดดินเผามีคุณสมบัติในการคลายความร้อนได้เร็ว การเผาที่อุณหภูมิสูงจึงไม่ทำให้อุณหภูมิของส่วนผสมแอสฟัลต์ติคคอนกรีตขณะทำการบดอัดต่ำกว่ากำหนด มวลรวมกรวดดินเผาที่ได้ทำการเตรียมและคัดขนาดเอาไว้แล้ว พร้อมกับมวลรวมละเอียดจะถูกนำเข้าสู่เตาเผาโดยสายพานลำเลียงซึ่งจะไม่ให้ผ่านถังเย็นหลังจากที่มวลรวมทั้งหมดผ่านลงไปอยู่ในถังร้อนหมดแล้ว ชั่งน้ำหนักมวลรวมทั้งหมดเพื่อตรวจสอบน้ำหนักของมวลรวม และกำหนดปริมาณยางแอสฟัลต์ที่จะใช้ผสม จากนั้นก็เป็นไปตามขั้นตอนการผสมที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

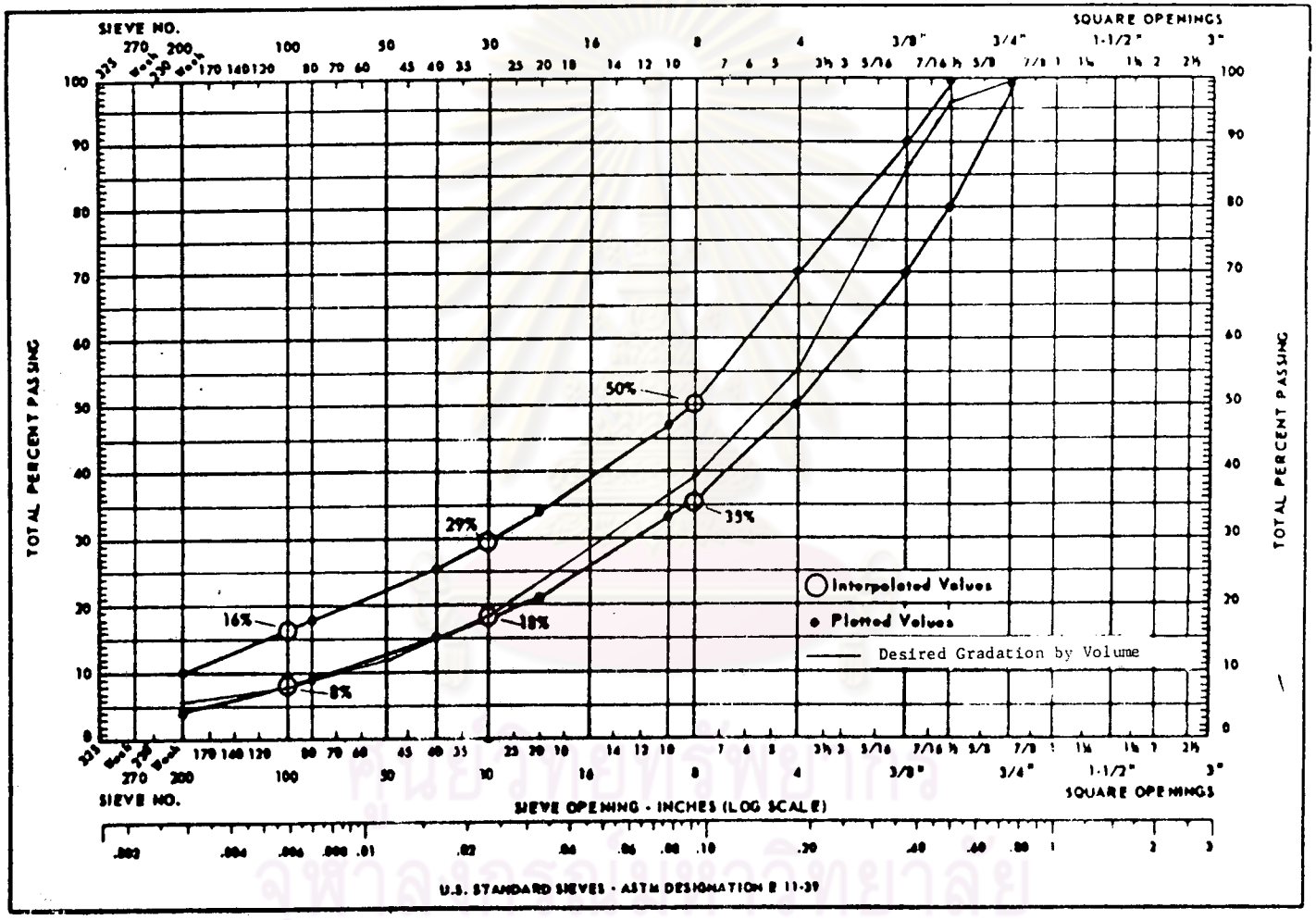
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 (ก) โค้งการจัดขนาดคละมวลรวมของแบบส่วนผสม ก.



รูปที่ 4.7. (ข) โค้งการคัดขนาดคละมวลรวมของแบบส่วนผสม ข.



รูปที่ 4.7 (ค) โค้งการจัดขนาดคละมวลรวมของแบบส่วนผสม ค. และ ง.

ตารางที่ 4.4 การกระจายขนาดของมวลรวมหินฝุ่นและการจัดขนาดผสม

ขนาดตะแกรง / ร้อยละผ่านตะแกรง	$\frac{3}{4}$"	$\frac{1}{2}$"	$\frac{3}{8}$"	#4	#8	#30	#50	#100	#200	กะบะ
หินเกล็ดผสมหินเม็ดใหญ่ $\frac{1}{2}$" - #4	100	76.0	23.6	0.8	-	-	-	-	-	-
หินฝุ่นหยาบ #3 - #4			100	29.5	7.6	-	-	-	-	-
หินฝุ่นละเอียด #4 - #200			100	98.61	80.70	39.40	26.09	16.56	11.16	-
การจัดขนาดผสม	100	95.5	85.6	55.4	39.1	18.40	12.1	7.8	5.2	-
การจัดขนาดผสมกำหนด	100	80-100	70-90	50-70	35-50	18-29	13-23	8-16	4-10	-

ปฏิภาคส่วนผสม หินเกล็ดผสมหินใหญ่ : หินฝุ่นหยาบ : หินฝุ่นละเอียด = 18:37:45

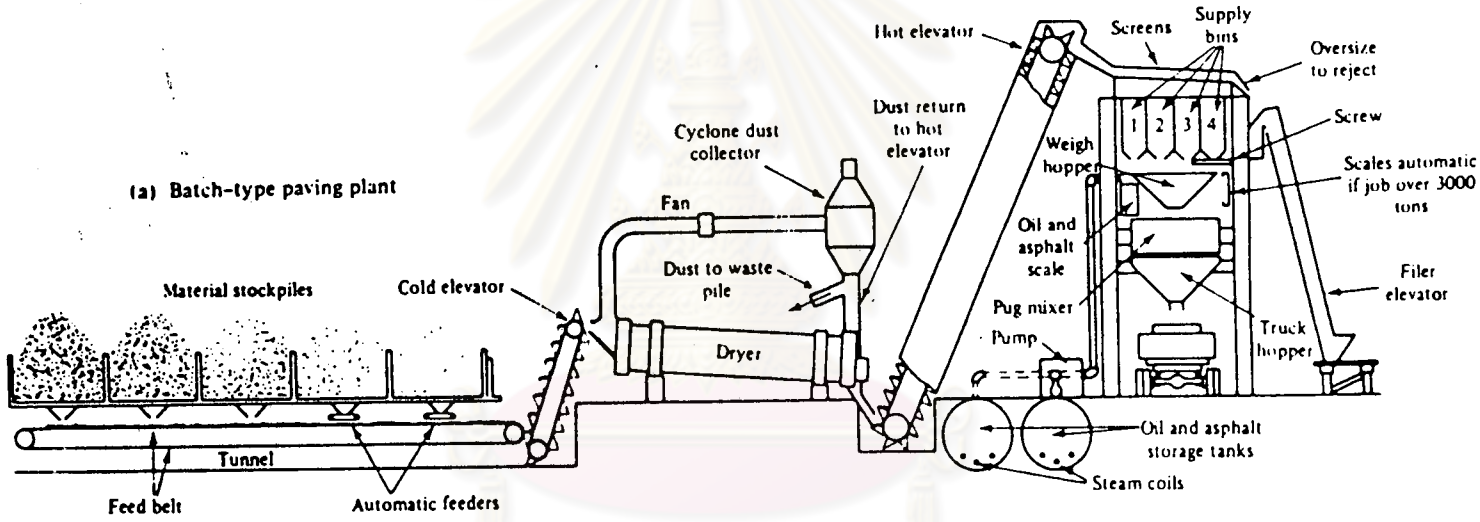
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ขนาดช่องตะแกรงเทียบเท่ากับตะแกรงมาตรฐาน U.S. Standard

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน U.S. Standard	ขนาดช่องรูตะแกรง
3.35 mm (No.6)	3.96 MM (5/32 in.)
4.00 MM (No.5)	4.76 MM (3/16 in.)
4.75 MM (No.4)	6.3 MM (1/4 in.)
6.3 MM (1/4 in.)	8.0 MM (5/16 in.)
8.0 MM (5/6 in.)	9.5 MM (3/8 in.)
9.5 MM (3/8 in.)	11.2 MM (7/16 in.)
11.2 MM (7/16 in.)	12.5 MM (1/2 in.)
12.5 MM (1/2 in.)	14.3 MM (9/16 in.)

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน U.S. Standard	ขนาดช่องรูตะแกรง
16.0 MM (5/8 in.)	19.0 MM (3/4 in.)
19.0 MM (3/4 in.)	22.4 MM (7/8 in.)
22.4 MM (7/8 in.)	25.0 MM (1 in.)
25.0 MM (1 in.)	28.6 MM (1- $\frac{1}{8}$ in.)
31.5 MM (1- $\frac{1}{4}$ in.)	34.9 MM (1- $\frac{3}{8}$ in.)
38.1 MM (1- $\frac{1}{2}$ in.)	41.3 MM (1- $\frac{5}{8}$ in.)
45 MM (1- $\frac{3}{4}$ in.)	50 MM (2 in.)
50 MM (2 in.)	57 MM (2- $\frac{1}{4}$ in.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



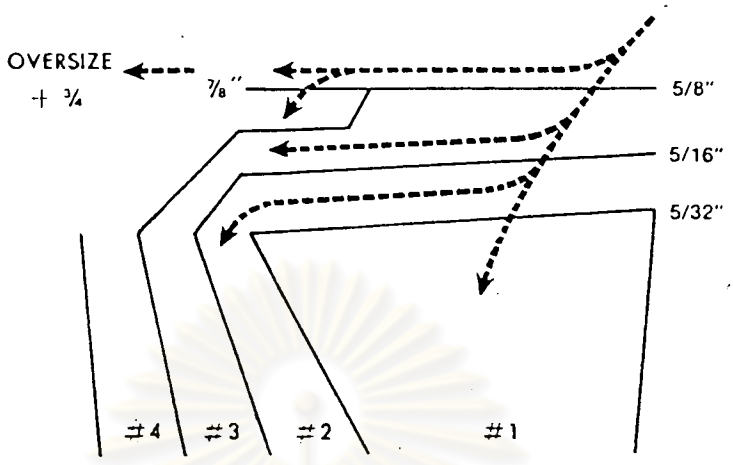
รูปที่ 4.8 โรงงานผสมแอสฟัลต์ติคคอนกรีตชนิด BATCH TYPE

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

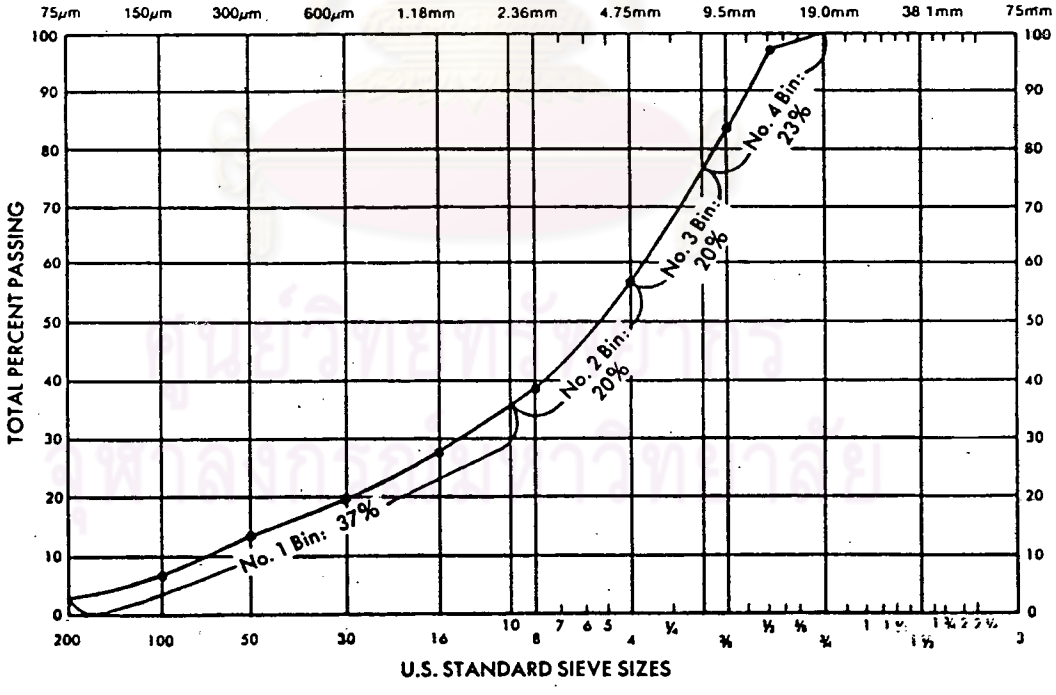
ตารางที่ 4.6 ปฏิภาคส่วนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยเฉลี่ย (โรงงานผลิตแอสฟัลต์ติกหนองแขม)

	ปริมาณ (ก.ก.)	ปฏิภาคส่วนผสม
1. ถังหมายเลข 1 (ผ่าน $\frac{5}{32}$")	430	0.43
2. ถังหมายเลข 2 ($\frac{5}{32}$" - $\frac{5}{16}$")	350	0.35
3. ถังหมายเลข 3 ($\frac{5}{16}$" - $\frac{5}{8}$")	170	0.17
4. ถังหมายเลข 4 ($\frac{5}{8}$" - $\frac{7}{8}$")	-	-
5. ยางแอสฟัลต์ A.C. 80/100	50	0.05
รวม	1,000	1.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 การคัดขนาดมวลรวมแยกลัดส่วนลงสู่ถังร้อนทั้ง 4 ถัง



รูปที่ 4.10 การแบ่งลัดส่วนขนาดคัดเลือกที่ลงสู่ถังร้อนทั้ง 4 ถัง

4.6 การทดลองหาการเปลี่ยนแปลงค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีตภายหลังจากแช่ในน้ำนิ่งที่อุณหภูมิ 60° ซ ตามวิธีการทดลองแบบมาร์แชล

เนื่องจากกรวดดินเผาและหินฝุ่นที่ใช้เป็นมวลรวมหยาบในส่วนผสมแอสฟัลต์ติคคอนกรีตนั้น ถูกคัดเลือกให้เป็นแบบขนาดเดียว (Single Size) จึงต้องใช้ทรายและหรือหินฝุ่นเป็นมวลรวมละเอียด เพื่อให้ขนาดส่วนคละของมวลรวมเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ดังนั้น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีตในห้องปฏิบัติการนี้ จึงได้สร้างส่วนผสมแอสฟัลต์ติคคอนกรีตที่ใช้และไม่ใช้ทรายเป็นมวลรวมละเอียดผสมอยู่ ตามตารางที่ 4.2 ทั้ง 4 แบบขึ้นมา เพื่อศึกษาผลกระทบของทรายที่มีต่อเสถียรภาพของแอสฟัลต์ติคคอนกรีตเปรียบเทียบกัน โดยส่วนผสมทั้ง 4 แบบที่ใช้ทดลองจะถูกกำหนดให้มีปริมาณยางแอสฟัลต์ที่ใช้ผสมอยู่ในช่วงร้อยละ 3.0 - 6.0 และสามารถเตรียมได้ตามวิธีการเตรียมดังหัวข้อต่อไปนี้

4.6.1 การเตรียมตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีต

ก) เครื่องมือ

1) เตาอบ ที่สามารถให้อุณหภูมิสูงถึง 250° ซ สำหรับอบมวลรวมคละ

2) เตาแบบ Hot-Plate ที่สามารถให้อุณหภูมิได้สูงถึง 200° ซ สำหรับให้ความร้อนแอสฟัลต์และเครื่องมือที่ใช้บดอัดตัวอย่าง

3) อ่างต้มน้ำ (Boiling Water Bath) มีตะแกรงลวดสำหรับวางแอสฟัลต์ติคคอนกรีตที่บดอัดแล้ว สามารถควบคุมอุณหภูมิตามต้องการได้

4) แท่นรอง (Compaction Pedestral) ประกอบด้วยฐานไม้ขนาดประมาณ 20 x 20 x 45 ซม. (8 x 8 x 18 นิ้ว) มีแผ่นโลหะขนาดประมาณ 30 x 30 x 2.5 ซม. (12 x 12 x 1 นิ้ว) ติดอยู่ที่ขอบบนของฐานไม้ ฐานไม้ควรเป็นไม้ที่มีความแน่นแข็ง

5) แบบสำหรับบดอัด (Compaction Mold) ประกอบด้วย แผ่นฐาน (Base Plate) แบบ (Mold) และปลอก (Collar Extension Mold) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 10.16 ซม. (4 นิ้ว) สูง 7.62 ซม. (3 นิ้ว)

6) ฆ้อน (Compaction Hammer) ประกอบด้วยแผ่นเหล็กกลมหนา 1.27 ซม. (0.5 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.842 ซม. (3.875 นิ้ว) ติดกับด้ามเหล็กซึ่งมีแท่นเหล็กหนัก 4.45 กก. (10 ปอนด์) สำหรับทิ้งน้ำหนักบนแผ่นเหล็กกลม ในขณะทำการบดอัดให้มีระยะตกของแท่งเหล็กเท่ากับ 45.72 ซม. (18 นิ้ว)

7) เครื่องทดลองมาร์แชล (Marshall Testing Machine) ใช้สำหรับทดสอบหาค่าเสถียรภาพเป็นเครื่องกดที่สามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่า 2,730 กก. (6,000 ปอนด์) เป็นแบบขุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า อัตราเร็วของมอเตอร์ที่หมุนขุดต้องทำให้ฐานหรือท่อนกดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 ซม. ต่อนาที (ประมาณ 2 นิ้วต่อนาที) เครื่องกดนี้จะต้องมี Proving Ring อ่านค่าแรงกด ดูรูปที่ 4.11

8) เครื่องวัดการไหล (Flow Meter) สำหรับทดลองหาค่าการไหลของตัวอย่างระหว่างกดอ่านค่าได้เป็น $\frac{1}{100}$ นิ้ว

ข) ตัวอย่าง

1) นำวัสดุมวลรวมทั้งหมดมาผสมให้ได้มวลรวมคละตามอัตราส่วนผสมที่ได้ออกแบบไว้โดยส่วนผสมของกรวดดินเผาหนัก 900 กรัม (ส่วนผสมของหินปูนใช้ปริมาณ 1200 กรัม) ใส่ในภาชนะโลหะ ไปอบในเตาอบให้ได้อุณหภูมิถึง 180 $\pm$ 5°ซ

2) นำแบบสำหรับบดอัดและฆ้อนไปวางบน Hot Plate ที่มีอุณหภูมิระหว่าง 90 - 150° ซ

3) นำวัสดุแอสฟัลต์ที่จะใช้ผสมไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิที่ทำให้แอสฟัลต์มีค่าความหนืด (Viscosity) เท่ากับ 85 $\pm$ 10 Second Saybolt Furol ในที่นี้ใช้แอสฟัลต์ A.C. 80 - 100 ซึ่งต้องให้ความร้อนถึง 145 $\pm$5° ซ

ค) วิธีการ

1) การตำตัวอย่างแอล่ฟัลต์ติคคอนกรีต นำตัวอย่างออกจากเตาอบเทลงในภาชนะโลหะสำหรับผสมวัสดุมวลรวมคละกับยางแอล่ฟัลต์ ใช้เกรียงเกลี่ยตรงกลางวัสดุให้เป็นแอ่ง แล้วเทแอล่ฟัลต์ลงในแอ่งตามปริมาณที่ต้องการ จากนั้นกวนผสมวัสดุมวลรวมคละกับแอล่ฟัลต์เข้าด้วยกันโดยเร็วที่สุด โดยปกติประมาณ 1 นาที พยายามให้แอล่ฟัลต์เคลือบผิววัสดุทุกเม็ด ในขณะที่ทำการกวนผสมต้องให้ความร้อนภาชนะโลหะโดยตั้งบน Hot Plate เทส่วนผสมลงในแบบใช้เกรียงแซะรอบ ๆ ตัวอย่างด้านในแบบประมาณ 15 ครั้ง แล้วแซะเข้าในตัวอย่างอีก 10 ครั้ง ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของตัวอย่างลดลงถึงอุณหภูมิที่แอล่ฟัลต์มีความหนืด (Viscosity) เท่ากับ 140 ± 15 Second Saybolt Fural ซึ่งในที่นี้เท่ากับอุณหภูมิ 140 ± 5°ซ ติดตั้งม้อนลงบนตัวอย่างในแบบแล้วทำการบดอัด โดยให้น้ำหนักม้อนตกลงบนแผ่นเหล็กจำนวน 75 ครั้ง ซึ่งสามารถเทียบเท่ากับความกดของน้ำหนักล้อรถ 200 ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว เมื่อครบจำนวนบดอัดแล้วทำการกลับตัวอย่างแล้วทำการบดอัดเช่นเดิมอีก 75 ครั้ง ทิ้งตัวอย่างที่บดอัดแล้วไว้ในแบบจนอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 60°ซ จึงนำตัวอย่างออกจากแบบได้ ทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศไม่น้อยกว่า 16 ซ.ม. จึงนำไปทดลองขั้นต่อไป

4.6.2 การหาค่าความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างแอล่ฟัลต์ติคคอนกรีต

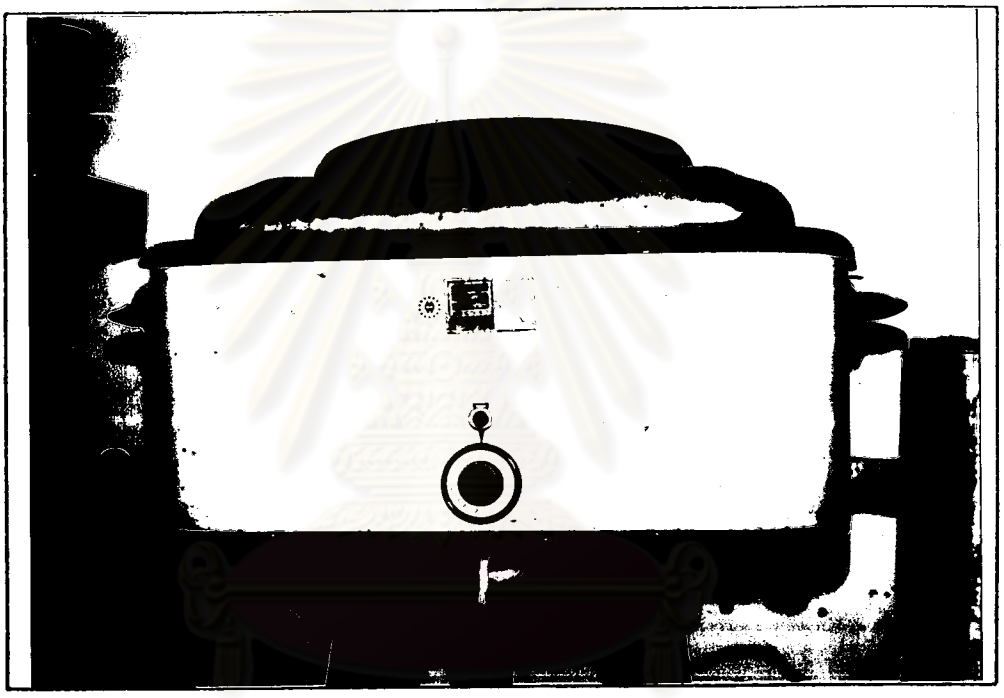
หลังจากปล่อยตัวอย่างแอล่ฟัลต์ติคคอนกรีตทิ้งไว้ให้เย็นในอากาศ 1 วัน นำตัวอย่างไปชั่งหาน้ำหนักแห้งในอากาศ จากนั้นนำไปแช่น้ำ 5 นาที เช็ดตัวอย่างให้ผิวแห้ง แล้วชั่งหาน้ำหนักตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำผิวแห้ง ก่อนนำไปชั่งหาน้ำหนักตัวอย่างในน้ำ และหลังจากแช่ตัวอย่างในน้ำอุณหภูมิ 60°ซ นานตามเวลาที่กำหนด ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำผิวแห้งในอากาศ และน้ำหนักตัวอย่างในน้ำก่อนนำไปกดหาค่าเสถียรภาพต่อไป

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) เครื่องชั่ง

รูปที่ 4.11 ชุดเครื่องมือตามวิธีมาร์แชล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ข) หม้อต้มน้ำ

รูปที่ 4.11 ชุดเครื่องมือตามวิธีมาร์แฮล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ค) เครื่องผสมตัวอย่าง

รูปที่ 4.11 ชุดเครื่องมือตามวิธีมาร์แชล

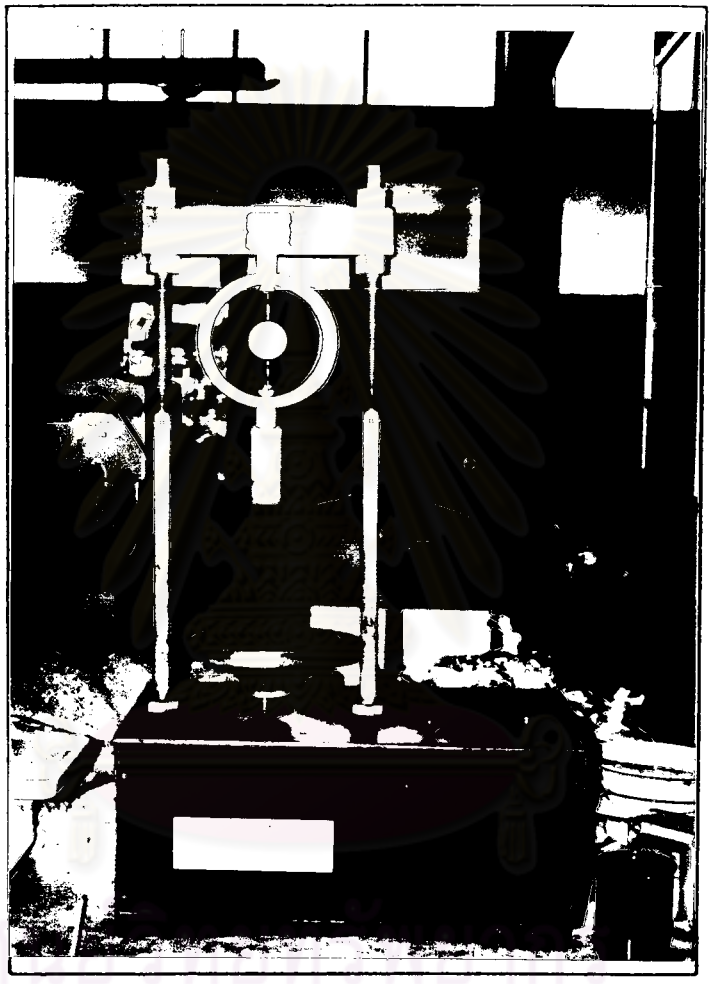
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ง) ฆ้อนตำตัวอย่างและเตาแบบ Hot Plate

รูปที่ 4.11 ชุดเครื่องมือตามวิธีมาร์แชล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ฉ) เครื่องกดหาค่าเสถียรภาพ

รูปที่ 4.11 ชุดเครื่องมือตามวิธีมาร์แชล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6.3 การแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 60° ซ

ตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีต จะถูกนำไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 60°ซ ในหม้อต้มน้ำที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ในรูปที่ 4.11 (ข) ไ. ัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีตในแต่ละแบบจะถูกแบ่งเป็น 2 ชุด นำไปแช่ในหม้อต้มน้ำ 30 นาที (ตามขั้นตอนปกติวิธีการทดลองแบบมาร์แฮล) และนาน 4 วัน ถึงแม้ว่าเวลาที่แช่อยู่ในน้ำอาจไม่ทำให้ปริมาณการดูดซึมน้ำของก้อนตัวอย่างได้ถึงระดับปริมาณการดูดซึมน้ำของผิวทางแอสฟัลต์ติคในสนาม แต่หากใช้เวลาแช่นานกว่านี้ก็จะทำให้การทดลองต้องใช้เวลานานไม่เป็นการสะดวกในการทดลอง อีกทั้งความดันน้ำ (Hydrostatic Pressure) ที่อยู่ในช่องว่างภายในก้อนตัวอย่างอาจทำให้ก้อนตัวอย่างบวมมากเกินไปและแตกได้ในที่สุด ซึ่งจากการทดลองก้อนตัวอย่างที่มีปริมาณยางแอสฟัลต์ต่ำกว่าร้อยละ 4.0 จะสามารถแช่น้ำอยู่ได้ไม่เกิน 4 วัน ในทำนองเดียวกัน บทกำหนดการทดลองมาตรฐาน AASHO T 105-55 และ ASTM D 1075-54 "Effect of Water on Cohesion of Compacted Bituminous Mixtures" ข้อ 5 (b) ได้แนะนำระยะเวลาการแช่ไว้ 4 วัน เช่นกัน

และเนื่องจากยางแอสฟัลต์มีความไวต่ออุณหภูมิมาก กล่าวคือความหนืดยางแอสฟัลต์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้น การแช่ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีตในน้ำที่มีอุณหภูมิสูง จึงน่าจะมีอิทธิพลต่อการดูดซึมน้ำของก้อนตัวอย่างได้ดีกว่าแช่ในน้ำที่อุณหภูมิปกติ อีกทั้งในการกดหาค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีตในวิธีการทดลองของมาร์แฮล ก็ได้กำหนดให้การทำ ขณะที่ก้อนตัวอย่างมีอุณหภูมิ 60°ซ ด้วยเช่นกัน

4.6.4 การดูดซึมน้ำและการบวมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีต

ปริมาณน้ำที่ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีตดูดซึมเข้าไปจะได้จากความแตกต่างของน้ำหนักก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีตก่อน และหลังการแช่ในน้ำ ซึ่งสามารถแสดงได้เป็นปริมาณร้อยละน้ำหนักของน้ำดูดซึมต่อน้ำหนักเดิมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีตก่อนแช่น้ำ และปริมาณร้อยละของปริมาตรน้ำดูดซึมต่อปริมาตรใหม่ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีต หลังแช่น้ำโดยปริมาณน้ำดูดซึมจะมีผลอย่างมากต่อการ

เปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีต ซึ่งก็คือทำให้เกิดการบวมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตตลอดทั้งก้อนนั่นเอง และสำคัญว่าการบวมของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตนั้นเกิดเนื่องมาจากปริมาตรของน้ำที่เข้าไปแทนที่อากาศภายในช่องอากาศภายในก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตในรูพรุนเปิดที่ผิวของมวลรวมเท่านั้น โดยปริมาตรปรากฏของมวลรวมยังคงเช่นเดิม

4.6.5 การหาค่าเสถียรภาพและการไหลของก้อนตัวอย่าง

การหาค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีตจะกระทำภายหลังจากเสร็จสิ้นการแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 60 °ซ แล้ว เพื่อหาค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีตที่ผ่านการแช่ในน้ำมาแล้ว 4 วันว่า ยังคงเหลืออยู่เป็นร้อยละเท่าไร เมื่อเทียบกับค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีตที่แช่ในน้ำ 30 นาที

ก) วิธีการ นำก้อนตัวที่ต้องการกดหาค่าเสถียรภาพและค่าการไหลไปวางบนเครื่องทดลองมาร์แช่ลให้แบบทดลองอยู่ใต้ท่อน Piston ซึ่งติดอยู่กับ Proving Ring จากนั้นเดินเครื่องให้แบบทดลองเคลื่อนไปสัมผัสกับท่อนกด จนกระทั่งเข็มของ Dial Gauge ที่ติดกับ Proving Ring ขยับตัวจึงหยุดเครื่องตั้งเข็มไว้ที่เลขศูนย์ แล้วนำเครื่องวัดการไหลไปวางบนแกนที่สำหรับทดลองหาค่า ซึ่งติดอยู่กับแบบทดลองเสถียรภาพ โดยตั้งเข็มสำหรับวัดค่าการไหลที่เลขศูนย์ จากนั้น เดินเครื่องให้ท่อนกดกดตัวอย่าง คอยอ่านค่าน้ำหนักกดสูงสุด และค่าการไหลที่ตรงกับค่าน้ำหนักกดสูงสุดนั้น ค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่ได้นี้จะต้องนำมาปรับแก้ (Adjust) ให้เทียบเท่ากับตัวอย่างมาตรฐานที่มีความหนา 6.35 ซม. หรือ 2.5 นิ้ว ตามตารางที่ 4.7

ข) การคำนวณ

$$\text{Effective A.C. by Weight of Mix } (b_1) = B - \frac{X(100-b)}{100}$$

$$\text{Bulk Specific Gravity of Specimen } (g) = \frac{d}{d_1 - e}$$

$$\% \text{ Total Volume of Effective A.C } (i) = \frac{b_1 x g}{Gac}$$

$$\% \text{ Total Volume of Aggregate } (j) = \frac{100-b}{Gag} \times g$$

$$\% \text{ Air Voids} = 100 - i - j$$

$$\% \text{ V.M.A.} = 100 - j$$

$$\text{Void Filled with Bitumen (V.M.A.F.)} = \frac{i}{\text{V.M.A.}} \times 100$$

b = % A.C. by Weight of Mix

d = Wt. of Specimen in Air (gm)

d_1 = Saturated Surface Dry Weight of Specimen (gm)

e = Wt. of Specimen Immersed in Water (gm)

x = Asphalt Lost by Absorption (1 kg of A.C./100 kg of Agg.)

Gac = Specific Gravity of A.C.

Gag = Bulk Specific Gravity of Blend Agg.

ทำการเปรียบเทียบกันระหว่างส่วนผสมแอสฟัลติคคอนกรีตแบบต่าง ๆ โดยปริมาณร้อยละของค่าเสถียรภาพคงเหลือ (Percent Retained Stability)จะเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงคุณสมบัติความต้านทานการหลุดลอกของยางแอสฟัลต์ในตัวอย่างแอสฟัลติคคอนกรีตได้

ปริมาณร้อยละของค่าเสถียรภาพคงเหลือ

(Percent Retained Stability)

$$= \frac{\text{ค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำอุณหภูมิ } 60^{\circ} \text{ ซ นาน 4 วัน}}{\text{ค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างที่ผ่านการแช่น้ำอุณหภูมิ } 60^{\circ} \text{ ซ นาน 30 นาที}} \times 100$$

ตารางที่ 4.7 อัตราส่วนสหสัมพันธ์เสถียรภาพ

(Stability Correlation Ratios)

ปริมาตรของก้อนตัวอย่าง มล.	ความหนาโดยประมาณของก้อนตัวอย่าง		อัตราส่วนสหสัมพันธ์
	มม.	นิ้ว	
200 ถึง 213	25.4	1	5.56
214 ถึง 225	27.0	1 1/16	5.00
226 ถึง 237	28.6	1 1/8	4.55
238 ถึง 250	30.2	1 3/16	4.17
251 ถึง 264	31.8	1 1/4	3.85
265 ถึง 276	33.3	1 5/16	3.57
277 ถึง 289	34.9	1 3/8	3.33
290 ถึง 301	36.5	1 7/16	3.03
302 ถึง 316	38.1	1 1/2	2.78
317 ถึง 328	39.7	1 9/16	2.50
329 ถึง 340	41.3	1 5/8	2.27
341 ถึง 353	42.9	1 11/16	2.08
354 ถึง 367	44.4	1 3/4	1.92
368 ถึง 379	46.0	1 13/16	1.79
380 ถึง 392	47.6	1 7/8	1.67
393 ถึง 405	49.2	1 15/16	1.56
406 ถึง 420	50.8	2	1.47
421 ถึง 431	52.4	2 1/16	1.39
432 ถึง 443	54.0	2 1/8	1.32
444 ถึง 456	55.6	2 3/16	1.25
457 ถึง 470	57.2	2 1/4	1.19
471 ถึง 482	58.7	2 5/16	1.14
483 ถึง 495	60.3	2 3/8	1.09
496 ถึง 508	61.9	2 7/16	1.04
509 ถึง 522	63.5	2 1/2	1.00
523 ถึง 535	64.0	2 9/16	0.96
536 ถึง 546	65.1	2 5/8	0.93
547 ถึง 559	66.7	2 11/16	0.89
560 ถึง 573	68.3	2 3/4	0.86
574 ถึง 585	71.4	2 13/16	0.83
586 ถึง 598	73.0	2 7/8	0.81
599 ถึง 610	74.6	2 15/16	0.78
611 ถึง 625	76.2	3	0.76

หมายเหตุ :

1. เสถียรภาพจากการวัด (measured stability) ของก้อนตัวอย่างคูณด้วยอัตราส่วนสหสัมพันธ์สำหรับความหนาของก้อนตัวอย่างจะเท่ากับเสถียรภาพที่ถูกต้อง (corrected stability) สำหรับก้อนตัวอย่างขนาด 63.5 มม. ($2\frac{1}{2}$ นิ้ว)

2. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับความหนาคิดเทียบจากก้อนตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 101.6 มม. (4 นิ้ว)

4.6.6 ค่าความหนาแน่นทฤษฎีและช่องอากาศ (Theoretical Density and Air Voids)

เป็นการคิดความหนาแน่นทางทฤษฎีที่ไม่รวมรูพรุนเปิดที่ผิวมวลรวมและช่องอากาศภายในก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติคคอนกรีต สามารถคำนวณได้จากค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของวัสดุและสัดส่วนที่ใช้ผสมในส่วนผสมแอสฟัลต์ติคคอนกรีต ดังต่อไปนี้

$$(G_T) = \frac{100}{\frac{W_1}{G_1} + \frac{W_2}{G_2} + \frac{W_3}{G_3} \ldots\ldots + \frac{W_n}{G_n}} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

(Theoretical Density)

W_1 = ปริมาณร้อยละน้ำหนักของยางแอสฟัลต์ AC 80/100

G_1 = ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏของยางแอสฟัลต์ A.C. 80/100 ในที่นี้ใช้ 1.02

$W_2, W_3 \ldots W_n$ = ปริมาณร้อยละน้ำหนักของมวลรวมชนิดต่าง ๆ

$G_2, G_3 \ldots G_n$ = ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมชนิดต่าง ๆ ตามลำดับ

ค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่าง (g) $= \frac{Wo}{W_{ss} - W_w}$ ..... (2)

(Bulk Density)

Wo = น้ำหนักตัวอย่างแห้งในอากาศ

W_{ss} = น้ำหนักตัวอย่างอิ่มตัวผิวแห้ง

W_n = น้ำหนักตัวอย่างในน้ำ

W_w

ปริมาณร้อยละของช่องอากาศเดิม $(V_o) = \frac{G_T - g}{G_T} \times 100$ .... (3)

(Percentage of Original Void)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.6.7 การคำนวณหาปริมาณร้อยละการบวม ปริมาณร้อยละการอิ่มตัว และดัชนีการบวม

ก) ก่อนการแช่ในน้ำที่ 60° ซ

น้ำหนักตัวอย่างแห้งในอากาศ	W_o
น้ำหนักตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำผิวแห้ง	W_{ss}
น้ำหนักตัวอย่างในน้ำ	W_w
ปริมาตรของตัวอย่าง	$W_{ss}-W_w$
ค่าทฤษฎีความหนาแน่นของตัวอย่าง	G_T
ค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่าง	g
ปริมาณร้อยละของช่องอากาศเดิม	$\frac{G_T-g}{G_T} \times 100 = V_o$

ข) หลังการแช่ในน้ำที่ 60° ซ

น้ำหนักตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำผิวแห้ง	W_{sst}
น้ำหนักตัวอย่างในน้ำ	W_{wt}
ปริมาตรของตัวอย่าง	$W_{sst}-W_{wt}$
ค่าความหนาแน่นรวมของตัวอย่าง	$\frac{W_o}{W_{sst}-W_{wt}} = g_t$
ปริมาณน้ำดูดซึม (Absorbed Water)	$W_{sst}-W_o$
ปริมาณร้อยละน้ำหนักของน้ำดูดซึม (Percent. by Weight of Absorbed Water)	$\frac{W_{sst}-W_o}{W_o} \times 100 = w$
ปริมาณร้อยละปริมาตรของน้ำดูดซึม (Percent by Volume of Absorbed Water)	$\frac{W_{sst}-W_o}{W_{sst}-W_{wt}} \times 100 = V_w$
ค่าทฤษฎีความหนาแน่นซึ่งรวมน้ำดูดซึม (Theoretical Density including Absorbed Water)	$\frac{100+w}{\frac{100}{G_T}+w} = G_T'$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปริมาณร้อยละปริมาตรของช่องอากาศที่เหลือ (Percentage of Retained Voids)

$$\frac{G'_T - g_t}{G'_T} \times 100 = Va$$

ปริมาณร้อยละการบวม (Percent Swell)

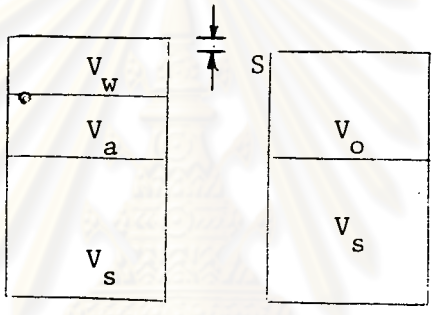
$$V_a + V_w - V_o = S$$

ปริมาณร้อยละการอิ่มตัว (Percent Saturation)

$$\frac{V_w}{V_a + V_w} \times 100$$

ดัชนีการบวม (Swell Index)

$$\frac{V_a + V_w - V_o}{V_w}$$



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_o, V_a และ V_w

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย