เอกสารอ้างอิง

1. The Asphalt Institute: A Basic Asphalt Emulsion Manual, MS-19; March 1979.
2. Arnold J. Hoiberg; Bituminous Materials, Asphalt, Tars and Pitches; Volume II, Asphalt Part one.
3. Highway Research Board; Cationic Asphalt Emulsions: How they Differ from Conventional Emulsions in Theory and Practice; Volume 38, Washington D.C.; January 5-9, 1959.
4. Bituminous Material, นายสว่าง ศรีวรกุล, กองวิเคราะห์และวิจัย, กรมทางหลวง.
5. Kenneth B. Woods; Donald S. Berry; William H. Geotz; Highway Engineering Handbook; 1960.
6. Harold N. Atkins; Highway Materials, Soils & Concrete; 1980.
7. Thomas D. Larson; Portland Cement and Asphalt Concrete; 1963.
8. Clarkson H. Oglesby; Highway Engineering; Third Edition.
9. Robert D. Krebs; Richard D. Walker; Highway Materials, 1971.
10. Road Research Laboratory; Bituminous Materials in Road Construction; August 1962.
11. The Asphalt Institute; Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other hot-Mix types, MS-2; March 1979.
12. A.S.T.M., Road, Paving Bituminous Materials; Traveled Surface Characteristics; Part 16; Philadelphia, Pa.:American Society For Testing and Materials; 1980.
13. AASHTo , Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing Part II, Methods of sampling and Testing, Washington, D.C., July 1978.

14. AASHTO, Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing Part I Specification; Washington, D.C., July 1978.

15. Asphalt Paving Technology, Factors Affecting the Response of Emulsified Asphalt Mixtures; February, 1976.

16. วิธีการทดลองวัสดุก่อสร้าง เล่ม 1: กองวิเคราะห์และวิจัย, กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม: กันยายน 2520.

17. วิธีการทดลองวัสดุก่อสร้าง เล่ม 2: กองวิเคราะห์และวิจัย, กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม: สิงหาคม 2519.

18. วิธีการทดลองวัสดุก่อสร้าง เล่ม 3: กองวิเคราะห์และวิจัย, กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม: สิงหาคม 2524.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีการผสมมวลรวมคละ (Aggragate Blending Procedures)(7)

การนำหินแต่ละแหล่งหรือขนาดมารวมกัน เพื่อให้เข้าตามข้อกำหนดของหินที่มีการเรียงขนาดดี (dense grade) เป็นสิ่งจำเป็น เนื่องจากการที่จะหาหินในแหล่งเดียวกันที่มีการเรียงขนาดดีหาได้ยากและเพื่อผลในด้านเศรษฐกิจโดยที่หินที่นำมารวมกันได้ตามข้อกำหนดต้องเสียค่าใช้จ่ายต่ำสุด

วิธีที่ใช้ในการรวมหินแต่ละขนาดเข้าด้วยกันที่นิยมใช้มี

1. วิธีทดลองทำ (Trial-and-error blending)

เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการรวมหินเพื่อให้เข้าตามข้อกำหนด วิธีการขั้นแรก คือ จดข้อมูล การเรียงขนาดของหินและข้อกำหนดที่จะใช้ ทำการคาดคะเนเปอร์เซนต์ของหินแต่ละแหล่งหรือขนาดและเมื่อรวมทุกแหล่งหรือขนาดแล้วจะต้องอยู่ในข้อกำหนด (Specification)

วิธีการทดลองทำ (Trial-and-error method) จะต้องอาศัยประสพการณ์ของผู้ทำเพื่อให้การผสมหินแต่ละแหล่งหรือขนาดให้เข้าตามข้อกำหนดง่ายยิ่งขึ้น โดยปกติวิธีนี้จะทำการทดลองผสม 2-3 ครั้ง เพื่อหาสัดส่วนการผสมที่ดีที่สุด

Table 14 Trial-and-error Blending of Aggregate

Pass Sieve No.	Aggregate A Total %	75^a	Aggregate B Total %	22^a	Aggregate C Total %	3^a	Combined Aggregates job formula	Specification mid point	Job Specification
1"	100	75	100	22	100	3	100	95	90-100
3/4"	82	62	100	22	100	3	87	75	60-90
½"	56	42	100	22	100	3	67	62.5	50-75
# 4	30	23	100	22	100	3	48	50	40-60
# 8	22	17	87	19	100	3	39	37.5	25-50
# 40	12	9	52	11	100	3	23	25	15-35
# 200	3	2	18	4	88	3	9	7.5	0-15

a = Trial percentage

ในตารางที่ 14 แสดงถึงหินสามขนาด คือ Aggregate A, Aggregate B และ Aggregate C วิธีการผสมขั้นแรกดูในช่อง A ที่ตะแกรงเบอร์ 4 มีหินค้างอยู่ 70 เปอร์เซนต์ ส่วนช่อง B และ C ไม่มีค้าง และในตะแกรงเบอร์ 4 มีข้อกำหนดเมื่อผสมแล้วที่จุดกึ่งกลาง (Mid Point) จะต้องมีเบอร์เซนต์ผ่าน 50 เปอร์เซนต์ (หรือค้าง 50 เปอร์เซนต์)

ดังนั้นในช่อง A ใช้ผสม $= \frac{50}{70} \times 100 = 70$ เปอร์เซนต์

มาดูที่ตะแกรงเบอร์ 200 ช่อง A ใช้ 70 เปอร์เซนต์และให้ช่อง C ใช้ 2 % เมื่อรวมกันระหว่างช่อง A กับ C ที่เหลือเป็นช่อง B โดยให้ช่อง B เท่ากับ 20 เปอร์เซนต์ เมื่อรวมช่อง A, B, C ที่ตะแกรงเบอร์ 200 จะได้จุดกึ่งกลาง (Mid Point) ตามที่ต้องการ แต่เมื่อรวมเบอร์เซนต์ของทุกช่องที่นำมารวมกันแล้วต้องได้ 100 เปอร์เซนต์พอดี

ดังนั้น ในตัวอย่างนี้ ใช้ช่อง A = 75 เปอร์เซนต์, ช่อง B = 22 เปอร์เซนต์ ช่อง C = 3 เปอร์เซนต์จะได้เปอร์เซนต์การผสมเพื่อให้เข้าตามข้อกำหนดที่ต้องการ

2. วิธีทางคณิตศาสตร์

การหาสัดส่วนการผสมโดยวิธีคณิตศาสตร์ คำที่คำนวณได้จะใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก

การรวมหินสามขนาดหรือมากกว่าโดยวิธีทางคณิตศาสตร์จะต้องมีการตั้งปัญหาอย่างถูกต้อง

<u>หัวข้อที่ต้องพิจารณามีดังนี้</u>

1. จำนวนของขนาดตะแกรงหรือขนาดของกลุ่มจะต้องไม่เกินจำนวนแหล่งของวัสดุที่ผสม

2. ผลรวมของเปอร์เซนต์ที่ผ่านตะแกรง x และค้างบนตะแกรง y จะต้องเท่ากับ 100% ทั้งของวัสดุที่ผสมและจุดกึ่งกลาง (mid point) ที่ได้กำหนด (Specification)

3. ถ้าหินที่จะนำมาผสมกันไม่เข้าตามข้อ 1. จะต้องมาแบ่งใหม่รวมทั้งจุดกึ่งกลางที่ได้ระบุไว้ด้วย (Specification mid point) ดังที่แสดงในตัวอย่างข้างล่าง

จากตารางที่ 13 มาทำให้เป็นเปอร์เซนต์ที่ค้างบนแต่ละตะแกรง ซึ่งจำนวนของตะแกรงจะเกินจำนวนแหล่งของหิน ในตัวอย่างนี้จะแบ่งใหม่เป็นส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 8 (วัสดุหยาบ) ส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 (วัสดุละเอียด) และฝุ่นผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ดังที่แสดงในตารางที่ 14

Table 15 Aggregate Gradation after Grouping

Sieve Size	Aggregate A	Aggregate B	Aggregate C	Specification mid point
CA (R#8)	78.0	13.0	0	62.5
FA (P#8-R#200)	19.0	69.0	12.0	30.0
MF (P#200)	3.0	18.0	88.0	7.5
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

P = Passing , R = Retained

ให้ A, B และ C แทนเปอร์เซนต์ที่ต้องการจะใช้ผสมของหินช่อง A, B และ C ตามลำดับ นำค่าในตารางที่ 4 มาเขียนสมการได้ดังนี้

$$0.78\ A + 0.13\ B + 0 = 62.5$$

$$0.19\ A + 0.69\ B + 0.12\ C = 30.0$$

$$0.03\ A + 0.18\ B + 0.88\ C = 7.5$$

เมื่อแก้สมการทั้งสามแล้วจะได้ A = 76 %, B = 22 % และ C = 2 % ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่ได้จะใกล้เคียงกับความจริงมาก

3. วิธีกราฟ (Graphical Method)

ใช้ในกรณีที่หินสามขนาดมีการเหลื่อมกัน (overlap) การผสมโดยวิธีนี้จะสะดวกมาก

ในตัวอย่างนี้จะแสดงการรวมตัวอย่างหินหยาบ ขนาดกลางและละเอียด พร้อมทั้งได้ระบุข้อกำหนดมาด้วย

ตารางที่ 16 เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรง

Sieve Size	3/4"	½"	3/8"	# 4	# 8	# 30	# 100	# 200
Spec. Limits	100	80-100	70-90	55-73	40-55	20-30	10-18	4-10
Coarse Bin	100	74.0	12.0	3.0	2.5	2.0	1.8	1.5
Inter. Bin	100	100	90	52.0	18.0	4.0	3.2	2.0
Fine Bin	100	100	100	100	98.0	55.0	30.0	15.0

ในตารางจะมีหินสามถัง (Bin) คือ ถังหยาบ (Coarse Bin) ถังขนาดกลาง (Intermediate Bin) และถังละเอียด (Fine Bin) ทำการรวมหินทั้งสามถังเพื่อให้อยู่ในข้อกำหนด วิธีการทำดังแสดงในรูปที่ 42 ซึ่งมีแกนอยู่สองคู่เป็นแกนแสดงเปอร์เซนต์ผ่านของหิน โดยมีวิธีการสร้างและใช้แผนภูมิ (Chart) ดังนี้

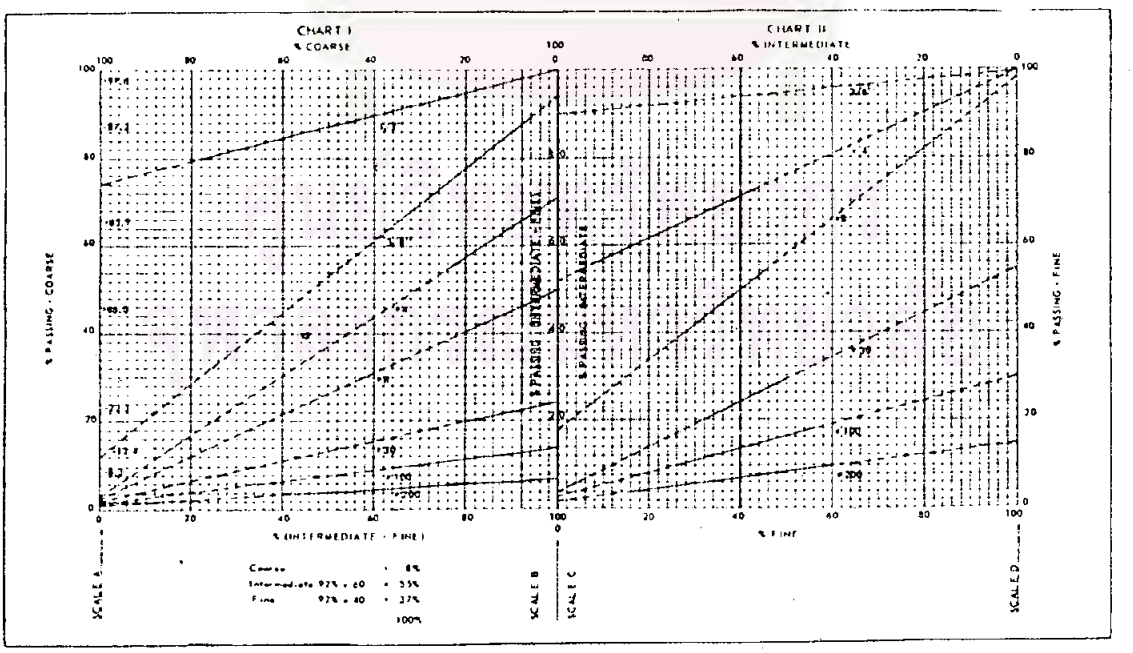

Figure 42 Graphical method of determining aggregate blends

ขั้น 1. ในแผนภูมิที่ 2 (Chart II) ในแกน D ทำการจุด (plot) เปอร์เซนต์ผ่านในถังละเอียด และในแกน C ทำการจุด (plot) เปอร์เซนต์ผ่านในถังที่มีหินขนาดกลาง

ขั้น 2. ลากเส้นตรงเชื่อมเปอร์เซนต์ผ่านของตะแกรงแต่ละขนาด ใน Chart II เมื่อลากเส้นตึง โดยเส้นตึงจะเป็นสัดส่วนการผสมของหินส่วนละเอียดและส่วนที่มีขนาดกลาง สัดส่วนนี้ให้ดูจากแกนนอนทั้งบนและล่าง

ขั้น 3. ลากเส้นจากแกนนอนขึ้นมาตัดเส้นเต็มของแต่ละตะแกรง (เส้นเต็มนี้จะแสดงถึงข้อกำหนดของแต่ละตะแกรง)

ขั้น 4. เลือกเส้นตึงที่ดีที่สุดเมื่อลากผ่านตะแกรงใดก็อยู่ในข้อกำหนดของตะแกรงนั้น ในตัวอย่างนี้ใช้ส่วนละเอียด 40 เปอร์เซนต์และหินขนาดกลาง 60 เปอร์เซนต์)

ขั้น 5. บนแกน B จะถ่ายจากจุดตัดของตะแกรงแต่ละขนาดมาไว้ (แผนภูมิ 1)

ขั้น 6. จุด (plot) เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงแต่ละขนาดของหินหยาบบนแกน A (ในแผนภูมิ 1) ทำซ้ำจากขั้น 2 ถึงขั้น 4 เพื่อหาสัดส่วนการผสมของหินหยาบกับหินขนาดกลางรวมกับละเอียด ในตัวอย่างนี้จะได้สัดส่วนการผสมคือ 8 เปอร์เซนต์หินชนิดหยาบและ 92 เปอร์เซนต์ของหินขนาดกลางรวมกับขนาดละเอียด หรือ

หินหยาบ	8 %
หินขนาดกลาง = 0.92X60 %	55 %
หินขนาดละเอียด = 0.92X40 %	37 %
รวม	100 %

ขั้น 7. บนแกน A เมื่อถ่ายจากจุดตัดของเส้นตึงที่เลือกไว้ (หยาบ 8 % , ขนาดกลาง 92 % +ละเอียด) จะแสดงถึงค่าที่ได้จากการผสมของ หินหยาบ 8 % , หินขนาดกลาง 55 % หินละเอียด = 37 %)

ภาคผนวก ข

1. ลำดับขั้นในการออกแบบส่วนผสมระหว่างวัสดุมวลรวมกับยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นโดยวิธีมาร์แชล

1.1 ประมาณปริมาณเนื้อยางล้วน ๆ (Trial Residual Asphalt Content) ที่จะนำมาใช้หาเปอร์เซนต์น้ำที่เหมาะสมที่สุด

สูตร ที่ใช้ประมาณปริมาณเนื้อยางล้วน ๆ

$$R = 0.00138\ AB + 6.358 \log_{10} C - 4.655$$

โดยที่ R = ปริมาณเนื้อยางล้วน (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของหินแห้ง)

A = เปอร์เซนต์ของหินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มม.)

B = เปอร์เซนต์ของหินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 200

C = เปอร์เซนต์ของหินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มม.)

<u>เช่น</u> - หินค้างบนตะแกรงเบอร์ 4 (A) = 35 %

- ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างเบอร์ 200 (B) = 57 %

- ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (C) = 8 %

$$R = 0.00138(35)(57) + 6.358 \log_{10}(8.0) - 4.655$$

$$= 3.84 \simeq 4$$ เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของหินแห้ง

จากการทดสอบยางมะตอยน้ำ CSS มีเนื้อยาง = 65 %

ดังนั้นจะใช้ยางมะตอยน้ำในการทดลองหาเปอร์เซนต์น้ำ $= \frac{4}{0.65}$

= 6.15 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของหินแห้ง

นำค่าที่คำนวณได้นี้ไปทดลองหาเปอร์เซนต์น้ำที่ให้หาเสถียรภาพสูงสุด โดยวิธีมาร์แชล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 การเคลือบหิน

1.2.1 ทั่วไป

การทดสอบดูความสามารถของอีมัลชั่นในการเคลือบผิวหิน เป็นส่วนหนึ่งในการเลือกชนิดของยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นและการเรียงขนาดของวัสดุมวลรวม แฟคเตอร์ที่มีผลต่อการเลือกคือ

1. ชนิดของวัสดุมวลรวม
2. การเรียงขนาดของวัสดุมวลรวมและลักษณะของส่วนละเอียด
3. ปริมาณน้ำในวัสดุมวลรวม
4. น้ำสะอาดที่หาได้ในบริเวณก่อสร้าง

โดยปกติจะมีอีมัลชั่นมากกว่าหนึ่งชนิดสามารถใช้กับวัสดุมวลรวมที่เลือกใช้ การเลือกชนิดของอีมัลชั่นจะทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของส่วนผสมที่หาได้และแฟคเตอร์ที่ต้องคำนึงถึงเพิ่มเติมคือ

1. คาดการณ์สภาพอากาศในเวลาที่จะทำการก่อสร้าง
2. วิธีการผสม
3. อุปกรณ์ก่อสร้างที่เลือกใช้และวิธีการปฏิบัติงานในสนาม

1.2.2 การทดสอบ

ปริมาณยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นใช้ตามปริมาณที่คำนวณได้จากข้อ 1.1 ผสมรวมกับวัสดุมวลรวมที่จะนำมาใช้งาน ดูเปอร์เซนต์ของพื้นที่ยางอีมัลชั่นเคลือบผิววัสดุมวลรวมด้วยสายตา อีมัลชั่นจะสามารถเคลือบผิววัสดุมวลรวมเปลี่ยนไปตามปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้าไปผสมกับวัสดุมวลรวมโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับวัสดุมวลรวมที่มีเบอร์เซนต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 สูงถ้าปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้าไปผสมกับวัสดุมวลรวมไม่พอเพียงจะมีผลให้อีมัลชั่นไปเคลือบส่วนละเอียดสูงกว่าที่ควรจะเป็นมีผลให้เหลืออีมัลชั่นไม่พอเคลือบส่วนหยาบ การทดสอบทำโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในวัสดุมวลรวม อีมัลชั่นชนิดใดไม่ผ่านการทดสอบการเคลือบก็จะไม่นำมาใช้งาน

รายละเอียดการทดลองมีดังนี้

1.2.2.1 อุปกรณ์

1. ตาชั่ง สามารถชั่งได้ถึง 5000 กรัม คลาดเคลื่อน ±0.5 กรัม
2. เครื่องผสม ใช้สำหรับผสมวัสดุมวลรวม น้ำ และแอสฟัลท์อีมัลชั่น ถ้าใช้มือผสมจะต้องสามารถคลุกเคล้าให้น้ำและอีมัลชั่นกระจายไปทั่ววัสดุมวลรวม
3. แผ่นความร้อน (Hot plate)
4. กะละมังใช้ผสม มีความจุ 4.7 ลิตร
5. เกรียง ขนาดประมาณ 10 นิ้ว
6. กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร

1.2.2.2 วิธีการ

1. เตรียมยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นที่จะพิจารณานำมาใช้งาน
2. เตรียมวัสดุมวลรวมโดยผึ่งให้แห้ง ระวังอย่าให้มวลรวมจับตัวเป็นก้อน
3. หาความชื้นในวัสดุมวลรวม
4. นำวัสดุที่ผึ่งแห้ง (เมื่อเทียบเป็นน้ำหนักอบแห้งหนักประมาณ 2000 กรัม) มาร่อนผ่านตะแกรง 1", 3/4", ½", 3/8" และ 4 # ชั่งน้ำหนักที่ค้างบนแต่ละตะแกรงและผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ตามสัดส่วนที่แท้จริงแล้วนำมาผสมกัน
5. นำวัสดุมวลรวมเข้าเครื่องผสม ในกรณีที่ต้องการให้มีน้ำในวัสดุมวลรวมเกินความชื้นในหินต้องเพิ่มน้ำที่ปริมาณต่าง ๆ เข้าไปในวัสดุมวลรวมค่อย ๆ ใส่ทีละน้อย ๆ พร้อมกับเดินเครื่องผสมจนกระทั่งน้ำกระจายไปทั่ววัสดุมวลรวม เลือกปริมาณน้ำตามกฎเกณฑ์ คือ

5.1 อีมัลชั่นที่มีประจุลบ การทดลองครั้งแรกไม่ต้องเพิ่มน้ำเข้าไปในส่วนผสม

5.2 อีมัลชั่นที่มีประจุบวก เริ่มแรกจะทดลองเพิ่มน้ำเข้าไปในวัสดุมวลรวม 3 % แล้วเพิ่มจุดละ 1 เปอร์เซนต์

6. ใส่แอสฟัลท์อีมัลชั่นตามที่คำนวณได้จากข้อ 1 โดยค่อย ๆ ใส่ลงไปพร้อมกับเดินเครื่องผสมเป็นเวลา 5 นาที ถ้าใช้มือผสมต้องคลุกเคล้าให้แอสฟัลท์กระจายไปทั่ววัสดุมวลรวม

7. คำนวณปริมาณน้ำในวัสดุมวลรวมทั้งหมด โดยรวมความชื้นในวัสดุมวลรวมที่มีอยู่เดิมกับที่เพิ่มเข้าไป

8. เพิ่มน้ำเข้าไปอีก 1 เปอร์เซนต์ แล้วดำเนินการตามข้อ 5, 6 และ 7

9. ที่แต่ละเปอร์เซนต์น้ำประมาณเปอร์เซนต์ของพื้นที่ผิววัสดุมวลรวมที่ถูกเคลือบโดยแอสฟัลท์ด้วยตา โดยจะสนใจเฉพาะปริมาณน้ำที่ทำให้แอสฟัลท์เคลือบผิววัสดุมวลรวมเกิน 50 เปอร์เซนต์เท่านั้น

10. สำหรับอีมัลชั่นประจุลบ จะทำการบันทึกดังนี้

10.1 ปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ยางแอสฟัลท์เคลือบเกิน 50 เปอร์เซนต์

10.2 ปริมาณน้ำที่ยางแอสฟัลท์เคลือบผิววัสดุมวลรวมมากที่สุด

10.3 ปริมาณน้ำที่สูงที่สุดที่ยางแอสฟัลท์เคลือบเกิน 50 เปอร์เซนต์

11. แอสฟัลท์อีมัลชั่นประจุบวกโดยปกติ เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำเข้าไปเปอร์เซนต์การเคลือบก็จะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำเข้าไปเปอร์เซนต์การเคลือบก็จะไม่เพิ่มสูงขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ปริมาณน้ำเหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการบดอัด (Optimum Water Content at Compaction)

ปริมาณน้ำที่ใส่เข้าไปเพื่อให้หินดูดน้ำไว้เมื่อเวลาผสมกับยางมะตอยน้ำจะได้ไม่มาดูดน้ำจากยางมะตอยน้ำ ทำให้การแตกตัวของยางมะตอยน้ำช้าลง เกิดเสถียรภาพในการผสมมากขึ้นมีเวลาผสมนานพอที่ตัวอย่างจะเคลือบผิวหินได้ทั่วและเป็นตัวหล่อลื่นให้การบดอัดได้ความแน่น (density) ตามต้องการ ถ้าใส่น้ำเข้าไปน้อยหินยังไม่อิ่มตัว เมื่อเวลาผสมกับยางมะตอยน้ำหินจะดูดน้ำจากยางมะตอยน้ำทำให้เกิดการแตกตัวก่อนเวลาอันสมควร แต่ถ้าใส่น้ำมากเกินไปเมื่อผสมระหว่างหินกับยางมะตอยน้ำเข้ากันดีแล้ว จะต้องใช้เวลานานในการแตกตัวและน้ำระเหยออกไปจากส่วนผสม ทำให้เสียเวลาในการเปิดการจราจร

การทดลองจะใช้น้ำ (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของหินแห้ง) ที่ปริมาณต่าง ๆ (ตามที่ได้จากการทดลองในข้อ 1.2) ผสมให้เข้ากับหินให้ทั่ว ใส่ยางมะตอยน้ำตามที่คำนวณได้จากข้อ 1.1 ผสมคลุกเคล้ากันให้แอสฟัลท์เคลือบผิวหินให้ทั่วจึงนำไปใส่แบบ (mold) ทำการบดอัดจำนวน 75 ครั้งต่อด้าน ทิ้งไว้ในแบบ (mold) เป็นเวลา 3 วัน และนำมาทดลองหาเสถียรภาพ (stability) ที่สูงที่สุด นำน้ำ (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของหินแห้ง) ที่ให้ค่าเสถียรภาพสูงที่สุดมาใช้ทดลองขั้นต่อไป

<u>หมายเหตุ</u> ทำการบดอัด 3 ก้อนที่แต่ละเปอร์เซนต์น้ำโดยน้ำหนักของหินแห้ง

1.4 หาเสถียรภาพที่เหมาะสมที่สุดจากเปอร์เซนต์แอสฟัลท์ต่าง ๆ

นำน้ำ (เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของหินแห้ง) ที่ให้ค่าเสถียรภาพสูงสุดจากการทดลองในข้อ 1.3 มาผสมกับหินแล้วคลุกเคล้าให้เปียกหินทุกเม็ด ใส่ยางมะตอยน้ำที่มีปริมาณเนื้อยางต่าง ๆ (โดยใช้ปริมาณเนื้อยางที่คำนวณได้จากข้อ 3 เป็นหลัก แล้วเพิ่มและลดข้างละสองค่าแต่ละค่าห่างกัน 0.5 เปอร์เซนต์) ผสมให้ยางเคลือบผิวหินให้หมด นำไปใส่แบบ (mold) แล้วทำการบดอัดจำนวน 75 ครั้งต่อด้าน ทิ้งไว้ในแบบ (mold) เพื่อให้แอสฟัลท์แตกตัวจากน้ำและน้ำระเหยออกไปจากส่วนผสมเป็นเวลา 3 วัน จึงนำมาทดลองหาความหนาแน่น (density) กดหาเสถียรภาพและการยุบตัว (flow)

การทดลองในขั้นนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ชุด ชุดที่หนึ่งเมื่อหาความแน่น (density) แล้วนำไปแช่น้ำเป็นเวลา 4 วัน (กลับด้านเมื่อแช่ไว้ 2 วัน) จึงนำมากดหาเสถียรภาพ แล้วเข้าตู้อบหาปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในส่วนผสม ส่วนอีกชุดหนึ่งหลังจากหาความแน่น (density) แล้วนำไปกดหาเสถียรภาพทันที แล้วนำตัวอย่างที่ทดลองเสถียรภาพเสร็จแล้วนำไปเข้าตู้อบหาปริมาณน้ำที่เหลือในส่วนผสมเช่นเดียวกัน

1.5 วิธีการทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตโดยใช้ยางแอสฟัลท์อิมัลชั่นโดยวิธีมาร์แชล

1.5.1 ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้เพื่อหาคุณภาพของวัสดุแอสฟัลท์ติกคอนกรีต ที่ใช้เป็นผิวทางหรือพื้นทางแบบแอสฟัลท์ติกคอนกรีต

1.5.2 วิธีทำ

1.5.2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือที่ทำการทดลองประกอบด้วย

1.5.2.1.1 กะละมังเคลือบหรือภาชนะโลหะที่มีขอบสูงประมาณ 7 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางระหว่างขอบประมาณ 25 ซม. สำหรับใส่วัสดุมวลรวมคละ (aggregate)

1.5.2.1.2 ภาชนะโลหะมีขอบสูงประมาณ 15 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางของขอบประมาณ 30 ซม. สำหรับใช้ผสมวัสดุมวลรวมคละกับยางมะตอยน้ำ

1.5.2.1.3 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ $110\pm5^{o}C$ สำหรับหาปริมาณน้ำที่เหลือในส่วนผสมในขณะหาเสถียรภาพ (stability)

1.5.2.1.4 เกรียงใช้ผสมวัสดุมวลรวมคละกับน้ำและยางมะตอยน้ำ

1.5.2.1.5 เครื่องชั่งสามารถชั่งน้ำหนักได้ถึง 5 กก. มีความละเอียดถึง 1 กรัม สำหรับชั่งวัสดุมวลรวมคละและยางมะตอยน้ำ

1.5.2.1.6 เครื่องชั่ง สามารถชั่งน้ำหนักได้ถึง 2 กก. มีความละเอียดถึง 0.1 กรัม ใช้สำหรับชั่งวัสดุแอสฟัลท์ติกคอนกรีตที่บดทับแล้ว

1.5.2.1.7 แท่นรอง (Compaction Pedestal) ประดับด้วยฐานไม้ขนาดประมาณ 20x20x45 ซม. (8x8x18 นิ้ว) มีแผ่นโลหะขนาดประมาณ 30x30x25 ซม. (12x12x1 นิ้ว) ติดอยู่ที่ขอบของฐานไม้ ฐานไม้ควรเป็นไม้ที่มีความแน่นแห้ง 0.65-0.80 กรัม/ลบ.ซม. (ประมาณ 42-48 ปอนด์/ลบ.ฟุต) แผ่นเหล็กจะต้องยึดแน่นกับฐานไม้ (ดังรูปที่ 43)

1.5.2.1.8 แบบสำหรับบดทับ (Compaction mold) ประกอบด้วยแผ่นฐาน (Base plate) แบบ (Mold) และปลอก (Collar extension mold) มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10.16 ซม. (4 นิ้ว) สูง 7.62 ซม. (3 นิ้ว) ดังรูปที่ 43

1.5.2.1.9 ค้อน (Compaction hammer) ประกอบด้วยแผ่นเหล็กกลมหนา 1.27 ซม. (0.5 นิ้ว) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.842 ซม. (3.875 นิ้ว) ติดกับก้านเหล็กซึ่งมีแท่งเหล็กหนัก 4.45 กก. (10 ปอนด์) สำหรับทิ้งน้ำหนักลงบนแผ่นเหล็กกลม ในขณะทำการบดทับให้มีระยะตกของแท่งเหล็กเท่ากับ 45.72 ซม. (18 นิ้ว) ดังรูปที่ 43

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5.2.1.10 ที่จับแบบ (Mold holder) ใช้บังคับให้แบบสำหรับบดทับอยู่กับที่ในขณะทำการบดทับ ดังรูปที่ 43

1.5.2.1.11 เครื่องดันตัวอย่าง (Sample extruder)

1.5.2.1.12 อุปกรณ์ใช้สำหรับแช่ตัวอย่าง เพื่อทดสอบแบบวิธีแช่น้ำ (Soak test) ดังรูปที่ 45

1.5.2.1.13 เครื่องทดลอง Marshall (Marshall Testing Machine) ใช้สำหรับทดสอบหาค่า stability เป็นเครื่องกดที่สามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่า 3,000 กก. (6,000 ปอนด์) เป็นแบบฉุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า อัตราเร็วของมอเตอร์ที่หมุนฉุดต้องทำให้ฐานหรือหัวกดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 ซม. ต่อนาที (ประมาณ 2 นิ้วต่อนาที) เครื่องกดนี้จะต้องมี Proving ring อ่านค่าแรงกดหรือเครื่องกดอื่นใดที่มีคุณสมบัติเทียบเท่า ดังรูปที่ 44

1.5.2.1.14 แบบทดสอบเสถียรภาพ (stability mold) สำหรับใส่ตัวอย่างทดลองหาค่าเสถียรภาพ ดังรูปที่ 44

1.5.2.1.15 เครื่องวัด Flow (Flow meter) สำหรับทดลองหาค่า Flow ของตัวอย่างระหว่างกดอ่านค่าได้เป็น 1/10 มม. ดังรูปที่ 44

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

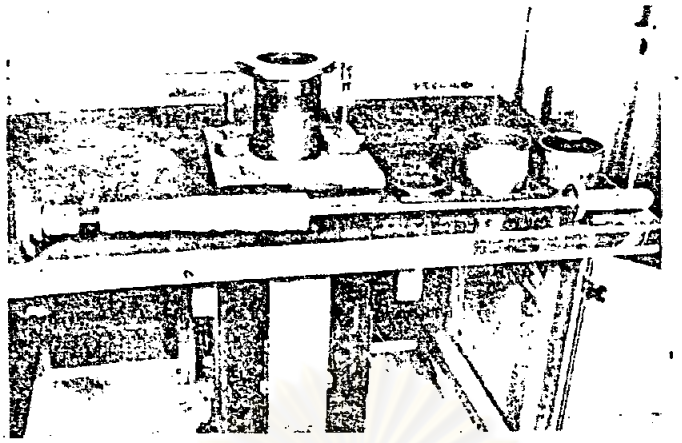

Figure 43 —Pedestal, hammer and mold used in preparing Marshall Test specimens

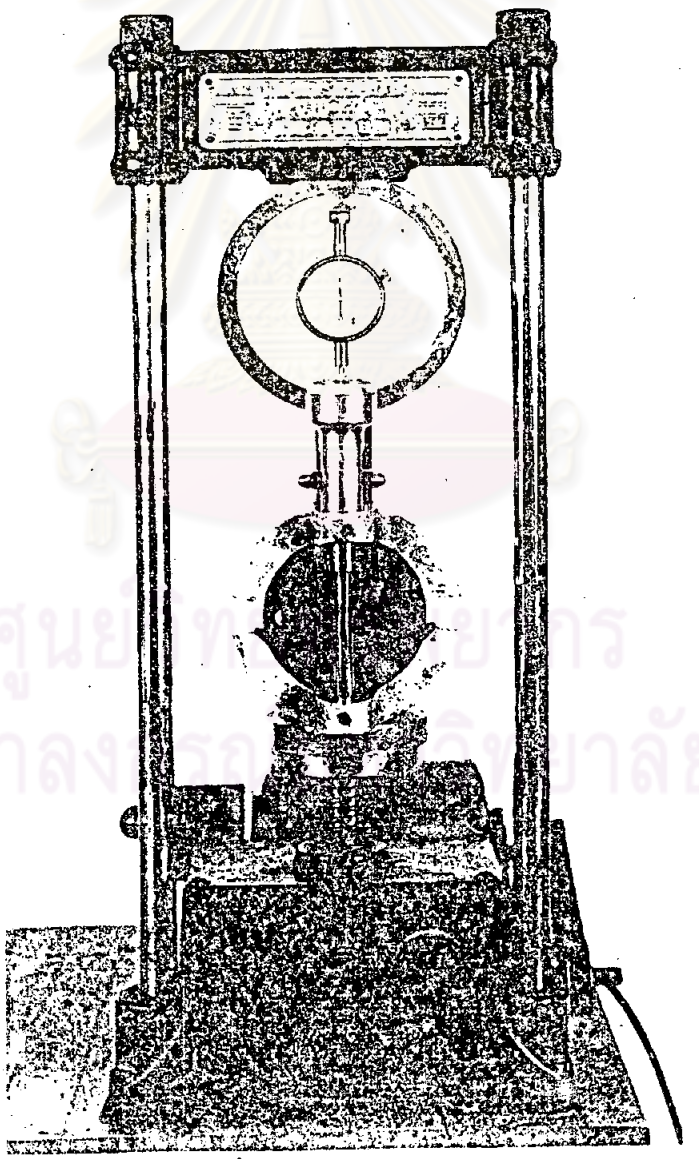

Figure 44 Marshall stability and flow test

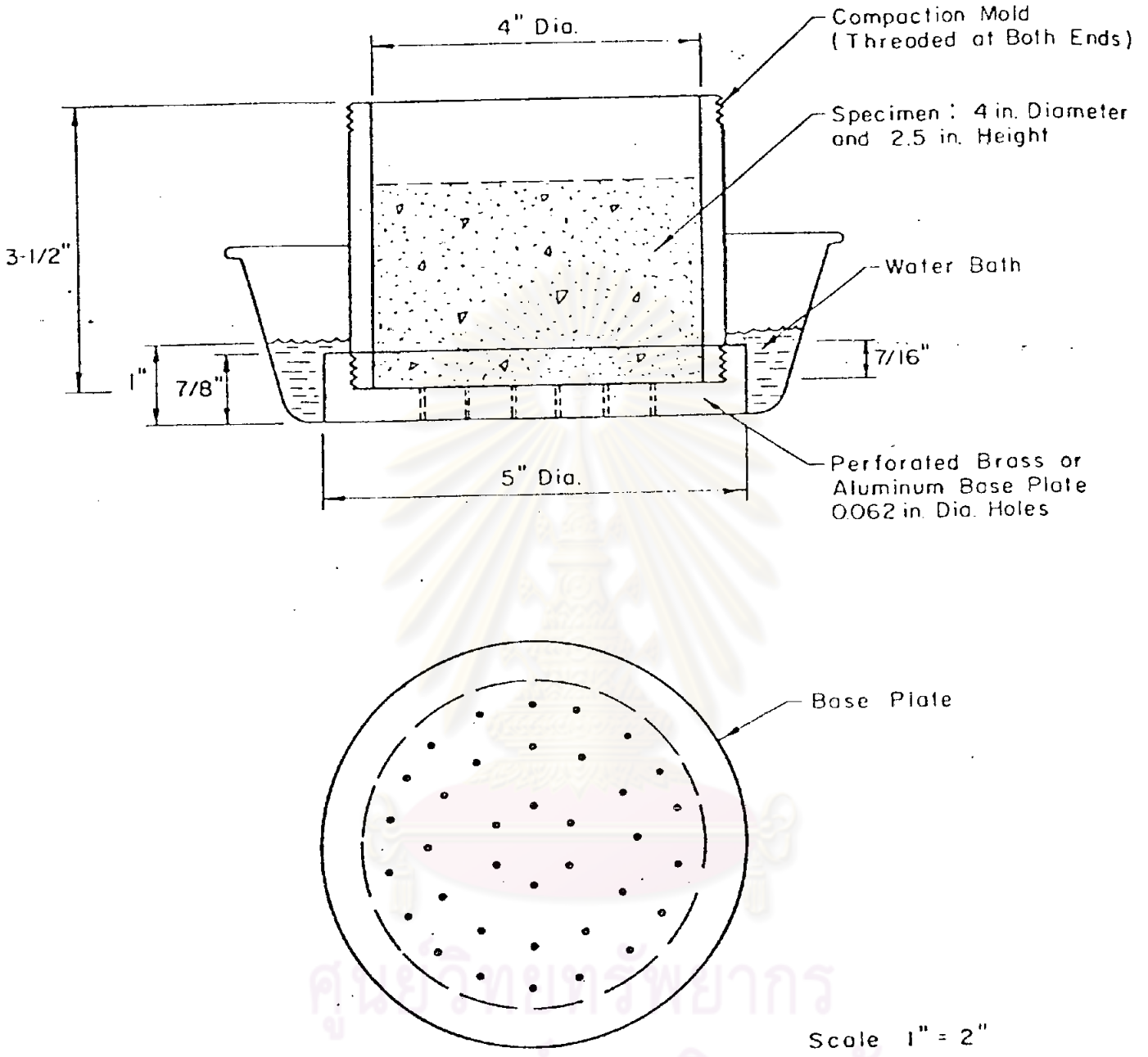

Figure 45 Emulsified asphalt-aggregate soak test equipment.

1.5.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำวัสดุมวลรวมคละมาดำเนินการดังนี้

1.5.2.2.1 ทดลองหาขนาดวัสดุชนิดเม็ดหยาบโดย "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง" ตามการทดลองที่ ทล.-ท 204/2516

1.5.2.2.2 ทดลองหาขนาดวัสดุชนิดเม็ดละเอียดโดย "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง" ตามการทดลองที่ ทล.-ท 205/2517

1.5.2.2.3 ทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดหยาบโดย "วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ" ตามการทดลองที่ ทล.-ท 207/2517

1.5.2.2.4 ทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดละเอียดโดย "วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดละเอียด" ตามการทดลองที่ ทล.-ท 208/2518

1.5.2.2.5 หาอัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมคละ เมื่อรวมกันแล้วได้ขนาดตามที่ต้องการ (Blending)

1.5.2.2.6 นำวัสดุมวลรวมคละ ตามอัตราส่วนที่หาได้จากข้อ 1.5.2.2.5 หนัก 1200 กรัม (เมื่อบดทับแล้วตัวอย่างจะหนาประมาณ 6.35 ซม. หรือ 2.5 นิ้ว) ใส่ในกะละมังเคลือบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5.2.3 การทดลอง

1.5.2.3.1 นำกะละมังใส่ตัวอย่างวัสดุมวลรวมคละจากข้อ 1.5.2.2.6 แล้วเทวัสดุลงในภาชนะโลหะสำหรับผสมวัสดุมวลรวมคละกับยางมะตอยน้ำ ใช้เกรียงผสมให้วัสดุมวลรวมคละ แต่ละขนาดคละกันให้ทั่ว ใส่น้ำลงไปตามเปอร์เซนต์ที่กำหนดผสมหินและน้ำให้เข้ากันให้ทั่ว ใช้เกรียงเกลี่ยตรงกลางวัสดุให้เป็นแอ่ง แล้วเทยางมะตอยน้ำตามปริมาณที่ต้องการลงในแอ่งตัวอย่างดังกล่าว ใช้เกรียงผสมวัสดุมวลรวมคละและยางมะตอยน้ำให้เข้ากันโดยเร็วที่สุด พยายามให้แอสฟัลท์เคลือบวัสดุทุกเม็ด

1.5.2.3.2 นำแบบสำหรับบดทับมาประกอบเข้าที่ ใช้กระดาษรองไว้ในแบบ (mold)

1.5.2.3.3 เทตัวอย่างวัสดุผสมลงในแบบที่ประกอบแล้ว ใช้เกรียงแซะรอบ ๆ ตัวอย่างข้างในแบบแบบประมาณ 15 ครั้งและแซะเข้าในตัวอย่างอีก 10 ครั้ง

1.5.2.3.4 วางค้อนลงบนตัวอย่างในแบบ ทำการบดทับตัวอย่างโดยการยกน้ำหนักและปล่อยให้น้ำหนักตกลงบนแผ่นเหล็ก จำนวนครั้งขึ้นอยู่กับการออกแบบซึ่งแบ่งออกเป็น

ก. แอสฟัลท์ติกคอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรชั้น light traffic และMedium traffic จำนวนครั้งใช้ 50 ครั้งต่อด้าน

ข. แอสฟัลท์ติกคอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรชั้น Heavy traffic และ Very heavy traffic จำนวนครั้งใช้ 75 ครั้งต่อด้าน

1.5.2.3.5 เมื่อครบจำนวนการบดทับแล้ว ทำการกลับตัวอย่างโดยการกลับแบบเอาด้านล่างขึ้นด้านบน แล้วทำการบดทับเช่นเดียวกับข้อ 1.5.2.3.4

1.5.2.3.6 ทิ้งตัวอย่างที่บดทับแล้วไว้ในแบบ (mold) เป็นเวลา 72 ชม. จึงนำตัวอย่างออกจากแบบโดยการใช้เครื่องดันตัวอย่าง นำไปทดลองขั้นต่อไป

1.5.2.3.7 ในปริมาณการผสมเมื่อใช้แอสฟัลท์เปอร์เซนต์ใดเปอร์เซนต์หนึ่ง ให้เตรียมตัวอย่างอย่างน้อย 6 ตัวอย่าง โดย 3 ตัวอย่างทดสอบแบบไม่แช่น้ำและอีก 3 ตัวอย่างทดสอบแบบแช่น้ำ (soak) สำหรับการออกแบบให้ใช้ตัวอย่างแต่ละเปอร์เซนต์ของแอสฟัลท์อย่างน้อย 5 ค่าและแต่ละค่าต่างกัน 0.5 %

1.5.2.3.8 ทำการทดลองหาความแน่นของตัวอย่างโดย

ก. นำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนักในอากาศ (d)

ข. นำตัวอย่างไปแช่ในน้ำธรรมดาประมาณ 5 นาที แล้วนำตัวอย่างขึ้นเช็ดผิวให้แห้งชั่งหาน้ำหนักในอากาศ (d_1)

ค. นำตัวอย่างจากข้อ ข. ไปชั่งหาน้ำหนักในน้ำ (e)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5.2.3.9 สำหรับการทดสอบแบบไม่แช่น้ำ (unsoak) ทำการทดลองหาค่าเสถียรภาพ (stability) และการยุบตัว (flow)

ก. นำตัวอย่างที่เสร็จจากการทดลองตามข้อ 1.5.2.3.8 นำไปใส่ในแบบทดลองเสถียรภาพ (stability) เพื่อไปกดหาค่าเสถียรภาพ (stability) และค่าการยุบตัว (flow)

ข. นำแบบทดสอบเสถียรภาพที่ได้จากข้อ ก. ไปวางบนเครื่องทดลองมาร์แชล ในแบบทดลองเสถียรภาพอยู่ใต้ท่อนกด (Piston) ซึ่งติดกับ Proving ring สำหรับอ่านน้ำหนักกด

ค. เดินเครื่องให้แบบทดลองเสถียรภาพเคลื่อนไปสัมผัสกับท่อนกดจนกระทั่งเข็มของ dial gauge เริ่มเคลื่อนที่ ปรับเข็ม dial gauge อยู่ที่เลขศูนย์

ง. นำเครื่องวัดการยุบตัว (flow) ไปวางบนแกนที่สำหรับทดลองหาค่าการยุบตัว ซึ่งติดกับแบบทดลองเสถียรภาพ ตั้งเข็ม dial gauge ของเครื่องวัดค่ายุบตัวให้อยู่ที่เลขศูนย์ ใช้มือจับเครื่องวัดค่ายุบตัวให้นิ่งอยู่กับที่

จ. เดินเครื่องให้ท่อนกดกดลงแบบสำหรับหาค่าเสถียรภาพ โดยอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดที่กดจาก Proving ring เป็นค่าที่อ่านได้ (measured) ซึ่งต้องแก้ไข (adjust) สำหรับตัวอย่างมาตรฐานที่หนา 6.35 ซม. (2.5 นิ้ว) ตามตารางที่ 17

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฉ. ขณะที่ทำการทดลองหาค่า เสถียรภาพ เข็ม Dial gauge ของ เครื่องวัดค่า การยุบตัว (flow) จะเคลื่อนที่ อ่าน ค่าการยุบตัว (flow) จาก dial gauge ที่น้ำหนักกดสูงสุด

1.5.2.3.10 หาเปอร์เซนต์น้ำที่มีอยู่ในก้อนตัวอย่างในขณะทดสอบ เสถียรภาพ (stability) และค่า การยุบตัว (flow) นำตัวอย่างหลังจากทดสอบ เสถียรภาพและค่าการยุบตัวแล้วนำตัวอย่างไป เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 110^{o}C จนกระทั่งน้ำใน ตัวอย่างระเหยออกหมด

1.5.2.3.11 นำตัวอย่าง 3 ก้อนหลังจากผ่านขั้น 1.5.2.3.8 แล้วมาทดสอบแบบแช่น้ำ (soak) นำตัวอย่าง มาใส่ในแบบ เพื่อแช่น้ำ (ดังรูป 45) เป็น เวลา 4 วันที่อุณหภูมิ 72^{o}ฟ โดยแช่ด้านละ 2 วัน เมื่อครบ 4 วันแล้ว เช็ดผิวให้แห้งชั่งน้ำหนัก ตัวอย่างหลังจากแช่น้ำแล้วทดสอบตามข้อ 1.5.2.3.9 และ 1.5.2.3.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MIX DESIGN CALCULATIONS FOR USE WITH TABLE 2

$$G = \frac{D}{F - E}$$

$$\text{Dry BSG} = \frac{G}{1 + K/100}$$

$$\text{Moisture content (K)} = \frac{(H - I) - (F - D)}{I - J} \times \frac{I}{1 + A/100}$$

$$\text{Moisture absorbed} = \frac{K1 + K2 + K3}{3} - \frac{K4 + K5 + K6}{3}$$

$$\text{Maximum total voids} = \frac{\frac{A/100 + 1 + K/100}{G} - \frac{1}{C} - \frac{A/100}{B}}{\frac{A/100 + 1 + K/100}{G}} \times 100$$

$$\text{Percent stability loss} = \frac{\frac{L1 + L2 + L3}{3} - \frac{L4 + L5 + L6}{3}}{\frac{L1 + L2 + L3}{3}}$$

Note: Letters A through L refer to identical letters in parentheses in Table 2.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ASPHALT		AGGREGATE	
Type & Grade	SS – K	Source Id.	โรงโม่เขาพระ
Asphalt in Emulsion	60 %	Type	Limestone
Asphalt Spec. Gra. (B)	1.02	Bulk Spec. Gra. (C)	2.667
Residual Asphalt in Mixture (A)	4.21 %		
MIXING AND COMPACTION		TESTING	
Total Mix Water	5.30 %	Dry Spec. Test Date	28/11/25
Added Mix Water	30 g	Rotate Soak Spec. Date	30/11/25
Water at Comp.	5.30 %	Soak Spec. Test Date	2/12/25
Compaction Date	25/11/25		

COMPACTED SPECIMEN DATA	Dry			Soaked		
	1	2	3	4	5	6
Bulk Density						
Weight in Air (D)	1240.3	1246.7	1245.8			
Weight in Water (E)	693.8	698.2	697.2			
Weight SSD (F)	1250.8	1257.3	1254.8			
BSG - compacted mix (G)	2.226	2.230	2.234			
Dry BSG - compacted mix	2.219	2.219	2.222			
Thickness	6.83	6.83	6.83	6.83	6.83	6.83
Stability						
Dial	178	183	205	115	120	117
Load	1846	1898	2126	1192	1246	1213
Adjusted Stability (L)	1643	1689	1892	1061	1108	1080
Flow	14	14	14	12	12	10
Moisture Content						
Weight of failed specimen (H)	1240.3	1246.7	1245.8	1270.2	1262.6	1279.7
Weight of oven-dry specimen (I)	1225.6	1229.8	1230.1	1224.7	1217.7	1233.6
Tare (J)						
Moisture content (K)	0.33	0.49	0.52	2.80	2.75	2.81
Moisture absorbed				2.34		
Maximum Total Voids - %	11.37	11.35	11.21			

Figure 46 Emulsified asphalt-aggregate mixture data sheet.
(Use for specimens containing a single residual asphalt content)

2. วิธีการทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมร้อน (Hot Mix) โดยวิธีมาร์แชล (เทียบเท่า ASTM. D-1559)

2.1 ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ เพื่อหาคุณภาพของวัสดุแอสฟัลท์ติกคอนกรีตที่ใช้เป็นผิวทางหรือพื้นทางแบบแอสฟัลท์ติกคอนกรีต

2.2 วิธีทำ

2.2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือที่ทำการทดลองประกอบด้วย

2.2.1.1 กะละมังเคลือบหรือภาชนะโลหะที่มีของสูงประมาณ 7 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางระหว่างขอบประมาณ 25 ซม. สำหรับใส่วัสดุ Aggregate

2.2.1.2 ภาชนะโลหะมีขอบสูงประมาณ 15 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางของขอบประมาณ 30 ซม. สำหรับใช้ผสมวัสดุ Aggregate กับแอสฟัลท์

2.2.1.3 เตาอบที่สามารถให้อุณหภูมิสูงถึง 250^{o}ซ. สำหรับอบ Aggregate

2.2.1.4 เตาแบบ Hot plate ที่สามารถให้อุณหภูมิได้สูงถึง 200^{o}ซ. สำหรับให้ความร้อนแอสฟัลท์และเครื่องมือที่ใช้ในการบดทับ

2.2.1.5 หม้อโลหะสำหรับใส่แอสฟัลท์เพื่อให้ความร้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 20 ซม.

2.2.1.6 เกรียงใช้ผสมวัสดุ Aggregate กับยางแอสฟัลท์

2.2.1.7 เทอร์โมมิเตอร์ชนิดมีก้านเป็นโลหะ สามารถวัดอุณหภูมิได้ถึง 250^{o}ซ.

2.2.1.8 เครื่องชั่งสามารถชั่งน้ำหนักได้ถึง 5 กิโลกรัม มีความละเอียดถึง 1 กรัม สำหรับชั่งวัสดุ Aggregate และยางแอสฟัลท์

2.2.1.9 เครื่องชั่ง สามารถชั่งน้ำหนักได้ถึง 2 กิโลกรัม มีความละเอียดถึง 0.1 กรัม ใช้สำหรับชั่งวัสดุแอสฟัลท์ติกคอนกรีตที่บดทับแล้ว

2.2.1.10 อ่างต้มน้ำ (Boiling water bath) มีตะแกรงลวดสำหรับวางวัสดุแอสฟัลท์ติกคอนกรีตที่บดทับแล้ว สามารถควบคุมอุณหภูมิตามต้องการได้

2.2.1.11 แท่นรอง (Compaction Pedestal) ประกอบด้วยฐานไม้ขนาดประมาณ 20x20x45 ซม. (8x8x18 นิ้ว) มีแผ่นโลหะขนาดประมาณ 30x30x2.5 ซม. (12x12x1 นิ้ว) ติดอยู่ที่ขอบบนของฐานไม้ ฐานไม้ควรเป็นไม้ที่มีความแน่นแห้ง 0.65-0.80 กรัม/ลบ.ซม. (ประมาณ 42-48 ปอนด์/ลบ.ฟุต) แผ่นเหล็กจะต้องยึดแน่นกับฐานไม้ ดังรูปที่ 43

2.2.1.12 แบบสำหรับบดทับ (Compaction mold) ประกอบด้วยแผ่นฐาน (Base plate) แบบ (Mold) และปลอก (collar extension mold) มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10.16 ซม. (4 นิ้ว) สูง 7.62 ซม. (3 นิ้ว) ดังรูปที่ 43

2.2.1.13 ค้อน (Compaction hammer) ประกอบด้วยแผ่นเหล็กกลมหนา 1.27 ซม. (0.5 นิ้ว) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.842 ซม. (3.875 นิ้ว) ติดกับก้านเหล็กซึ่งมีแท่งเหล็กหนัก 4.45 กก. (10 ปอนด์) สำหรับทิ้งน้ำหนักลงบนแผ่นเหล็กกรม ในขณะทำการบดทับให้มีระยะตกของแท่งเหล็กเท่ากับ 45.72 ซม. (18 นิ้ว) ดังรูปที่ 43

2.2.1.14 ที่จับแบบ (Mold holder) ใช้บังคับให้แบบสำหรับบดทับอยู่กับที่ในขณะทำการบดทับ ดังรูปที่ 43

2.2.1.15 เครื่องดันตัวอย่าง (Sample extruder)

2.2.1.16 ถุงมือกันความร้อนชนิดใยหิน (asbestos)

2.2.1.17 ถุงมือกันความร้อนชนิดหนังหรือยาง สำหรับหยิบตัวอย่างที่แช่ในน้ำ

2.2.1.18 เครื่องทดลอง Marshall (Marshall Testing Machine) ใช้สำหรับทดสอบหาค่า Stability เป็นเครื่องกดที่สามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่า 3,000 กก. (6,000 ปอนด์) เป็นแบบฉุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า อัตราเร็วของมอเตอร์ที่หมุนฉุดต้องทำให้ฐานหรือท่อนกดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 ซม. ต่อนาที (ประมาณ 2 นิ้วต่อนาที) เครื่องกดนี้จะต้องมี proving ring อ่านค่าแรงกดหรือเครื่องกดอื่นใดที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าดังรูปที่ 44

2.2.1.19 แบบทดลอง Stability (Stability mold) สำหรับใส่ตัวอย่างทดลองหาค่า Stability ดังรูปที่ 44

2.2.1.20 เครื่องวัด Flow (Flow meter) สำหรับทดลองหาค่า Flow ของตัวอย่างระหว่างกดอ่านค่าได้เป็น 1/10 มม. ดังรูปที่ 44

2.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำวัสดุ Aggregate มาดำเนินการดังนี้

2.2.2.1 ทดลองหาขนาดวัสดุชนิดเม็ดหยาบโดย "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง" ตามการทดลองที่ ทล.-ท 204/2516

2.2.2.2 ทดลองหาขนาดวัสดุชนิดเม็ดละเอียดโดย "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง" ตามการทดลองที่ ทล.-ท 205/2517

2.2.2.3 ทดลองหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดหยาบโดย "วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดหยาบ" ตามการทดลองที่ ทล.-ท 207/2517

2.2.2.4 ทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดละเอียดโดย "วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดละเอียด" ตามการทดลองที่ ทล.-ท 208/2518

2.2.2.5 หาอัตราส่วนผสมของวัสดุ Aggregate เมื่อรวมกันแล้วได้ขนาดตามที่ต้องการ (Blending)

2.2.2.6 นำวัสดุ Aggregate ตามอัตราส่วนที่หาได้จากข้อ 2.2.2.5 หนัก 1200 กรัม (เมื่อบดทับแล้วตัวอย่างจะหนาประมาณ 6.35 ซม หรือ 2.5 นิ้ว) ใส่ในกะละมัง เคลือบไปอบใน เตาอบให้ได้อุณหภูมิสูงถึง 160±5^{O}ซ.

2.2.2.7 นำแบบสำหรับบดทับและค้อนไปวางบน Hot plate ที่มีอุณหภูมิ ระหว่าง 90-150^{O}ซ.

2.2.2.8 นำวัสดุแอสฟัลท์ที่จะใช้ผสมไปให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิที่ทำให้แอสฟัลท์ มีค่า Viscosity เท่ากับ 85±10 second Saybolt Furol (สำหรับแอสฟัลท์ AC. 80-100 ต้องให้ความร้อนถึง 145±5^{O}.)

2.2.3 การทดลอง

2.2.3.1 นำกะละมังใส่ตัวอย่างวัสดุ Aggregate จากข้อ 2.2.2.6 ออกจาก เตาอบแล้ว เทวัสดุลงในภาชนะโลหะสำหรับผสมวัสดุ Aggregate กับแอสฟัลท์ ใช้เกรียงผสมให้ วัสดุ Aggregate แต่ละขนาดคละกันให้ทั่วทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของ Aggregate ลดลงถึง 145 5^{O}ซ. (เมื่อใช้แอสฟัลท์ AC. 80-100) ใช้เกรียงเกลี่ยตรงกลางวัสดุให้เป็นแอ่ง แล้วเทแอสฟัลท์ที่เตรียม ไว้ในข้อ2.2.2.8ตามปริมาณที่ต้องการลงในแอ่งตัวอย่างดังกล่าว

2.2.3.2 นำภาชนะโลหะที่ได้จากข้อ 2.2.3.1ขึ้นตั้งบน Hot plate ใช้เกรียง ผสมวัสดุ Aggregate และแอสฟัลท์ให้เข้ากันโดยเร็วที่สุด โดยปกติประมาณ 1 นาที พยายามให้ แอสฟัลท์เคลือบวัสดุทุกเม็ด

2.2.3.3 นำแบบสำหรับบดทับจากข้อ2.2.2.7มาประกอบเข้าที่

2.2.3.4 เทตัวอย่างวัสดุผสมลงในแบบที่ประกอบแล้ว ใช้เกรียงแซะรอบ ๆ ตัวอย่างข้างในแบบประมาณ 15 ครั้ง และแซะเข้าในตัวอย่างอีก 10 ครั้ง ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิของ ตัวอย่างลดลงที่อุณหภูมิ เมื่อแอสฟัลท์มี Viscosity เท่ากับ 140±15 Second Saybolt Furol (สำหรับแอสฟัลท์ AC. 80-100 ให้ทิ้งตัวอย่างไว้จนอุณหภูมิลดลงถึง 140±5^{O}ซ.)

2.2.3.5 วางค้อนลงบนตัวอย่างในแบบ ทำการบดทับตัวอย่างโดยการยกน้ำหนักและปล่อยให้น้ำหนักตกลงบนแผ่นเหล็ก จำนวนครั้งขึ้นอยู่กับการออกแบบซึ่งแบ่งออกเป็น

ก. แอสฟัลท์ติกคอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรชั้น light traffic และ Medium traffic จำนวนครั้งใช้ 50 ครั้ง

ข. แอสฟัลท์ติกคอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรชั้น Heavy traffic และ Very heavy traffic จำนวนครั้งใช้ 75 ครั้ง

2.2.3.6 เมื่อครบจำนวนการบดทับแล้ว ทำการกลับตัวอย่างโดยการกลับแบบ เอาค้านล่างขึ้นด้านบน แล้วทำการบดทับเช่นเดียวกับข้อ 2.2.3.5

2.2.3.7 ทิ้งตัวอย่างที่บดทับเรียบร้อยแล้วไว้ในแบบ จนกระทั่งอุณหภูมิของตัวอย่างลดลงต่ำกว่า 60^{0}ซ. จึงนำตัวอย่างออกจากแบบ โดยการใช้เครื่องดันตัวอย่างทิ้งตัวอย่างไว้ในอากาศธรรมดาไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง จึงนำไปทำการทดลองขั้นต่อไป

2.2.3.8 ในปริมาณของการผสมโดยใช้แอสฟัลท์เปอร์เซนต์อันหนึ่งอันใด ให้เตรียมตัวอย่างอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง สำหรับการออกแบบให้ใช้ตัวอย่างแต่ละเปอร์เซนต์ของแอสฟัลท์อย่างน้อย 5 ค่า และแต่ละค่าต่างกัน 0.5 %

2.2.3.9 ทำการทดลองหาค่าความแน่นของตัวอย่างโดย

ก. นำตัวอย่างไปชั่งหาน้ำหนักในอากาศ (d)

ข. นำตัวอย่างไปแช่ในน้ำธรรมดาประมาณ 5 นาที แล้วนำตัวอย่างขึ้นเช็คตัวอย่างให้ผิวแห้ง ชั่งหาน้ำหนักในอากาศ (d_1)

ค. นำตัวอย่างจากข้อ ข ไปชั่งหาน้ำหนักในน้ำ (e)

2.2.3.10 ทำการทดลองหาค่า Stability และ Flow

ก. นำตัวอย่างที่เสร็จจากการทดลองตามข้อ 2.2.3.9 แล้วไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 60±1^{0}ซ. เป็นเวลา 30 นาที ในอ่างต้มน้ำ

ข. เมื่อครบกำหนดนำตัวอย่างขึ้นจากอ่างต้มน้ำ เช็ดให้ผิวตัวอย่างแห้งแล้วนำไปใส่ในแบบทดลอง Stability เพื่อไปกดหาค่า Stability และค่า Flow

ค. นำแบบทดลอง Stability ที่ได้จากข้อ ข ไปวางบนเครื่องทดลอง Marshall ให้แบบทดลอง Stability อยู่ใต้ท่อนกด (piston) ซึ่งติดกับ priving ring สำหรับอ่านน้ำหนักกด

ง. เดินเครื่องให้แบบทดลอง Stability เคลื่อนไปสัมผัสกับท่อนกดจนกระทั่งเข็มของ dial gauge ที่ติดกับ proring ring ขยับตัว หยุดเครื่องทำการตั้งเข็มของ dial gauge ที่เลข 0

จ. นำเครื่องวัด Flow ไปวางบนแกนที่สำหรับทดลองหาค่า Flow ซึ่งติดกับแบบทดลอง Stability ตั้งเข็ม dial gauge ของเครื่องวัด Flow ให้อยู่ที่เลข 0 ใช้มือจับเครื่องวัด Flow ให้นิ่งอยู่กับที่

ฉ. เดินเครื่องให้กดเพื่อทดลองหาค่า Stability โดยอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดที่กดจาก proving ring เป็นค่าที่อ่านได้ (measured) ซึ่งต้องแก้ไข (adjust) สำหรับตัวอย่างมาตรฐานที่หนา 6.35ซซม. (2.5 นิ้ว) ตามตารางที่ 17

ช. ขณะที่ทำการทดลองหาค่า Stability เข็ม Dial gauge ของเครื่องวัด Flow จะเคลื่อนที่ อ่านค่า Flow จาก Dial gauge ที่น้ำหนักกดสูงสุด

2.3 <u>การคำนวณ</u>

คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวผิวแห้งของส่วนผสม (Bulk Specific gravity) ช่องอากาศในมวลรวมคละ (Voids in mineral aggregate, V.M.A.) ช่องอากาศในส่วนผสม (Air Void) และช่องอากาศที่ถูกแอสฟัลท์แทนที่ (Voids filled with bitumen, V.F.B.) ดังนี้

2.3.1 คำนวณหาเนื้อแอสฟัลท์สุทธิโดยน้ำหนักของส่วนผสม (Effective asphalt cement by weight of mix), b_1

สูตร $b_1 = b - \frac{x(100-b)}{100}$

b = เปอร์เซนต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของส่วนผสม

x = แอสฟัลท์ที่สูญเสียไปจากการดูดซึมของหิน (asphalt lost by absorption)v, 1 กก. ของแอสฟัลท์/100 กก. ของหิน

2.3.2 คำนวณหาความถ่วงจำเพาะอิ่มตัวผิวแห้งของส่วนผสม (Buld Specific Gravity of Specimen), g

สูตร $g = \frac{d}{d_1 - e}$

d = ซึ่งน้ำหนักของตัวอย่างในอากาศ (กรัม)

d_1 = ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างอิ่มตัวผิวแห้งในอากาศ (กรัม)

e = ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างอิ่มตัวในน้ำ (กรัม)

2.3.3 คำนวณหาปริมาตรสุทธิของแอสฟัลท์, หน่วยเป็นเปอร์เซนต์ (Percent Total volume of effective asphalt cement)

สูตร $i = \frac{b_1 g}{G_{ac}}$

เมื่อ G_{ac} = ความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลท์

2.3.4 คำนวณหาปริมาตรทั้งหมดของมวลรวมผสม, หน่วยเป็นเปอร์เซนต์ (Percent total volume of aggregate) ในตัวอย่างที่บดทับแล้ว (j)

สูตร $j = \frac{(100-b)}{G_{ag}} g$

G_{ag} = ความถ่วงจำเพาะที่อิ่มตัวผิวแห้งของมวลรวมผสม (Bulk Specific Gravity of Blended Aggregate)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.5 คำนวณหาช่องอากาศ, หน่วยเป็นเปอร์เซนต์ (Percent air voids) ในตัวอย่างที่บดทับแล้ว

สูตร ช่องอากาศ = 100-i-j

2.3.6 คำนวณหา V.M.A. (Voids in mineral aggregate), (L)

สูตร V.M.A. = 100-j

2.3.7 คำนวณหา V.F.B. (Voids filled with bitumen)

สูตร V.F.B. = $100 \frac{i}{L}$

2.3.8 นำค่าต่าง ๆ ที่คำนวณได้ไปเขียนโค้ง (curves) แสดงความสัมพันธ์ดังนี้

2.3.8.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพกับเปอร์เซนต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของมวลรวมคละ

2.3.8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการยุบตัว (Flow) กับเปอร์เซนต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของมวลรวมคละ

2.3.8.3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักของส่วนผสม (Unit weight of total mix) กับเปอร์เซนต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของมวลรวมคละ

2.3.8.4 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซนต์ของช่องอากาศ (% Aii Voids) กับเปอร์เซนต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของมวลรวมคละ

2.3.8.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง % V.M.A. กับเปอร์เซนต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของมวลรวมคละ

2.3.8.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง % V.F.B. กับเปอร์เซนต์ของแอสฟัลท์โดยน้ำหนักของมวลรวมคละ

ตารางที่ 17

Stability Correlation Ratios

ปริมาตรของตัวอย่าง (cc.)	ความหนาของตัวอย่าง (ประมาณ) (cm.)	Correlation Ratios
200-213	2.54	5.56
214-225	2.70	5.00
226-237	2.85	4.55
238-250	3.01	4.17
251-264	3.18	3.85
265-276	3.33	3.57
277-289	3.49	3.33
290-301	3.65	3.03
202-316	3.81	2.78
317-328	3.97	2.50
329-340	4.13	2.27
341-353	4.29	2.08
354-367	4.45	1.92
368-379	4.60	1.79
380-392	4.76	1.67
393-405	4.92	1.56
406-420	5.08	1.47
421-431	5.24	1.39
432-443	5.40	1.32
444-456	5.56	1.25
457-470	5.71	1.19
471-482	5.87	1.14
483-495	6.03	1.09
496-508	6.19	1.04
509-522	6.35	1.00*
523-535	6.51	0.96
536-546	6.67	0.93
547-559	6.83	0.89
560-573	6.98	0.86
574-585	7.14	0.83
586-598	7.30	0.81
599-610	7.46	0.78
611-625	7.62	0.76

หมายเหตุ

1. ค่า Stability ที่อ่านได้ตามข้อ 2.2.3.10ฉ.คูณด้วย Correlation ratio สำหรับความหนาหรือปริมาตรของตัวอย่าง คือค่าที่ได้แก้ไขสำหรับตัวอย่างมาตรฐานหนา 6.35ซม. (2 1/2 นิ้ว) (Adjust Stability)

2. ความเกี่ยวข้องระหว่างความหนาและปริมาตรตามตารางข้างบนนี้ ใช้สำหรับตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.16 ซม. (4 นิ้ว)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายสุทธิศักดิ์ วิบูลย์ศิริกุล เกิดวันที่ 24 กันยายน พ.ศ. 2499 ที่จังหวัดปทุมธานี สำเร็จการศึกษาขั้นปริญญาบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เมื่อปีการศึกษา 2522 ปัจจุบันรับราชการ ตำแหน่งวิศวกรโยธา 3 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวงแผ่นดิน กระทรวงคมนาคม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย