เอกสารอ้างอิง

1. วินิจ ชัยชนะศิริวิทยา, การนำเม็ดดินเผามาใช้ประโยชน์ในงานผิวทางแอสฟัลท์ติก, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.

2. ประยูร เตชะจินดา, การใช้เม็ดดินเผาเป็นวัสดุมวลรวมในงานผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.

3. เจน บุญซื่อ, การศึกษาการใช้เม็ดดินเผาสำหรับผิวทางแอสฟัลท์ติก, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523.

4. ปรีชา ไกรสิริเดช, การศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของเม็ดดินผสมทรายเผา หินปูนเผา แก้ว ตะกรันเตาถลุงและตะกรันเตาหลอม เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุผิวทาง, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521.

5. วิชัย สังวรปทานสกุล, การผลิตและหาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของเม็ดดินเผาซึ่งทำจากดินเหนียวกรุงเทพฯ, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2523.

6. สุทธิศักดิ์ วิบูลย์ศิริกุล, การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแอสฟัลท์ติกคอนกรีตในการนำไปใช้งาน โดยใช้ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์กับยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นโดยวิธีมาร์แชล, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.

7. ทางหลวง กรม, กองวิเคราะห์และวิจัย, วิธีการทดลองวัสดุก่อสร้าง เล่ม 1, กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, กันยายน 2520.

8. ____, กองวิเคราะห์และวิจัย, วิธีการทดลองวัสดุก่อสร้าง เล่ม 2, กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, สิงหาคม 2519.

9. ____, กองวิเคราะห์และวิจัย, วิธีการทดลองวัสดุก่อสร้าง เล่ม 3 กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, สิงหาคม 2524.

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10. ยอดพล ธนาบริบูรณ์, ไพรัช รุ้งรุจิเมฆ, การทำลองวัสดุแอสฟัลท์และการทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตธนบุรี, กันยายน 2523.

11. วัชรินทร์ วิทยกุล, แอสฟัลท์เทคโนโลยีและการปฏิบัติงานก่อสร้าง เล่ม 1, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, เมษายน 2528.

12. _____, แอสฟัลท์เทคโนโลยีและการปฏิบัติงานก่อสร้าง เล่ม 2, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, ตุลาคม 2528.

13. นิพนธ์ รณะนันทน์, ชวลิต สุขะวรรณ, Skidding Resistance ของผิวทางบางชนิดบนทางหลวงสายประธาน หมายเลข 1 ตอนรังสิต-สระบุรี, รายงานฉบับที่ วว.3 กรุงเทพฯ, กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง, กุมภาพันธ์ 2515.

14. พิภัณท์ ดูหิรัญ, "เรื่องของผิวทาง", วารสารทางหลวง กรมทางหลวง ปีที่ 21 ฉบับที่ 5-9, พฤษภาคม-กันยายน 2527.

15. _____, "เรื่องของผิวทาง", วารสารทางหลวง กรมทางหลวง ปีที่ 21 ฉบับที่ 10-12, ตุลาคม-ธันวาคม 2527.

16. ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์, "การวิเคราะห์พฤติกรรมและการยึดระหว่างยางแอสฟัลท์กับหินโดยอาศัยทฤษฎี Colloid Chemistry และ Surface Chemistry", วารสารทางหลวง กรมทางหลวง ปีที่ 20 ฉบับที่ 6-9, มิถุนายน-กันยายน 2526.

17. ธรณี วิทยะ, นิวยอร์คใช้ Emulsion Mix, วารสารทางหลวง กรมทางหลวง ปีที่ 20 ฉบับที่ 1, หน้า 21-22, มกราคม 2526.

18. ทางหลวง กรม, กองวิเคราะห์และวิจัย, คำแนะนำ Pre-mix ฉบับแก้ไขใหม่, เอกสารวิชาการ กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง, พฤศจิกายน 2511.

19. ณรงค์ กุหลาบ, การออกแบบผิวจราจร, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, มิถุนายน 2521.

20. ชวลิต สุขะวรรณ, สุรพงษ์ สุธรรมเกษม, Polished Stone Value, เอกสารวิชาการ, ฉบับที่ วว. 5/2528, กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง, ตุลาคม 2528.

21. The Asphalt Institute, A Basic Asphalt Emulsion Manual, Series No. 19 (MS-19), U.S.A., March 1979.

22. Transportation Research Board, Bituminous Emulsions For Highway Pavements, National Research Council, Washington, DC., 1975.

23. The Asphalt Institute, Asphalt Cold-Mix Manual, Manual Series No. 14 (MS-14), U.S.A., February 1977.

24. Charoenchai A., Asphalt Introduction, เอกสารวิชาการที่แจกแก่ผู้เข้ารับการอบรมเกี่ยวกับการใช้ยางมะตอย, October 1980.

25. Charles W. Beagle, Deflection and Performance of Deep Lift Asphalt Emulsion Base, Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists, Volume 45, February 1976.

26. ชวลิต สุขะวรรณ, สันต์ ไชยไชดิช่วง, Polished Stone Value และคุณสมบัติอื่นบางประการของเม็ดดินเผา ตะกรันเตาถลุงและเตาหลอมเหล็ก เม็ดแก้ว เครื่องปั้นดินเผาและหินปูน, รายงานฉบับที่ วว. 65 กรุงเทพฯ กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง, กรกฎาคม 2524.

27. ทางหลวง กรม กองวิเคราะห์และวิจัย, ข้อกำหนดแอสฟัลท์, เอกสารบันทึกข้อความที่ คค. 0611/3056 กองวิเคราะห์และวิจัย, กรมทางหลวง, เมษายน 2528.

28. The Asphalt Institute, Asphalt Technology and Construction Practices, Instructor's Guide, Educational Series No. 1 (ES-1), Second Edition, Asphalt Institute Building, College Park, Maryland, 1983.

29. ____, Mix Design Methods For Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types, Manual Series No. 2 (MS-2), U.S.A., Third Edition, October 1969.

30. Michael I. Darter, Mark A. Truebe, and Errol S. Abdulla, Factors Affecting the Response of Emulsified Asphalt Mixtures, Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 45, Page 353-381, February 1976.

31. R.W. Head, An Informal Report of Cold Mix Research Using Emulsified Asphalt as a Binder, Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 43, page 110-131, February 1974.

32. John M. Griffith, Liquid Asphalts New Specifications and Recommended Use, The Asphalt Institute, Information Series No. 124 (IS-124), January 1963.

33. นิตย์ จิตตสาตรา, การศึกษาสภาพถนนสำหรับงานบำรุง, รายงานฉบับที่ วว. 37, กองวิเคราะห์และวิจัย, กรมทางหลวง, กันยายน 2521.

34. _____, การศึกษาความเร่งด่วนในการปรับปรุงทางหลวงหมายเลข 1, รายงานฉบับที่ วว. 38, กองวิเคราะห์และวิจัย, กรมทางหลวง, ตุลาคม 2521.

35. สุทธิ ธรรมอำนวยสุข, Asphaltic Concrete, เอกสารวิชาการฉบับที่ วว.6/2520 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง, มีนาคม 2520.

36. The American Association of State Highway Officials, Standard Specification for Highway Materials and Methods of Sampling and Testing Part II, AASHO T 182-70, 1970.

37. L.D. Coyne, R.M. Ripple, Emulsified Asphalt Mix Design and Construction, Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 44, page 281-322, February 1975.

38. Transportation Research Board, Emulsion Mix Design, Stabilization, and Compaction, National Academy of Science, Washington, D.C., 1980.

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

39. Transportation Research Board, Design of Emulsified Asphalt Paving Mixtures, National Research Council, Washington, D.C., Program Report 259, September 1983.

40. พงษ์ศักดิ์ อโณทัยไพบูลย์, การเปรียบเทียบการหลุดลอกของยางแอสฟัสท์ที่เคลือบบนผิวของกรวดดินเผาและหินปูน, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529

41. Hosking, J.R., Synthetic Aggregate of High Resistance to Polishing: Part 1 - Gritty Aggregate, RRl Report LR 350, Crownthorne, Road Research Laboratory, 1970.

42. P.M. Jarrett, A.N.S. Beaty, and A.S. Wojcik, Cold-Mix Asphalt Technology at Temperature Below 10°C, Proceedings Association of Asphalt Paving Technologist, Vol.53,April 1984.

43. พิพัฒน์ สอนวงษ์, การศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติไดนามิกของยางมะตอยผสมที่ใช้ยางมะตอยน้ำประเภทไฮโฟลตกับยางมะตอยน้ำประเภทมีเดี่ยมเซตติ่ง, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.

44. ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์, เสรี สูงาม, Stability of Beach Sand Mixed with Emulsified Asphalt and Other Additives, รายงานฉบับที่ วว. 62 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง, กรกฎาคม 2524.

45. บัญชา เอกธรรมสุทธิ์, Evaluation of Special Liquid Asphalt as a Soil Stabilizing Agent, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2519.

46. M. Livneh and J. Greenstein, Influence of Aggregate Shape on Engineering Properties of Asphaltic Paving Mixtures, Highway Research Board, National Research Council, Number 404, 1972.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

การผลิตเม็ดดินเผา

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การผลิตเม็ดดินเผา[1,2,3,5]

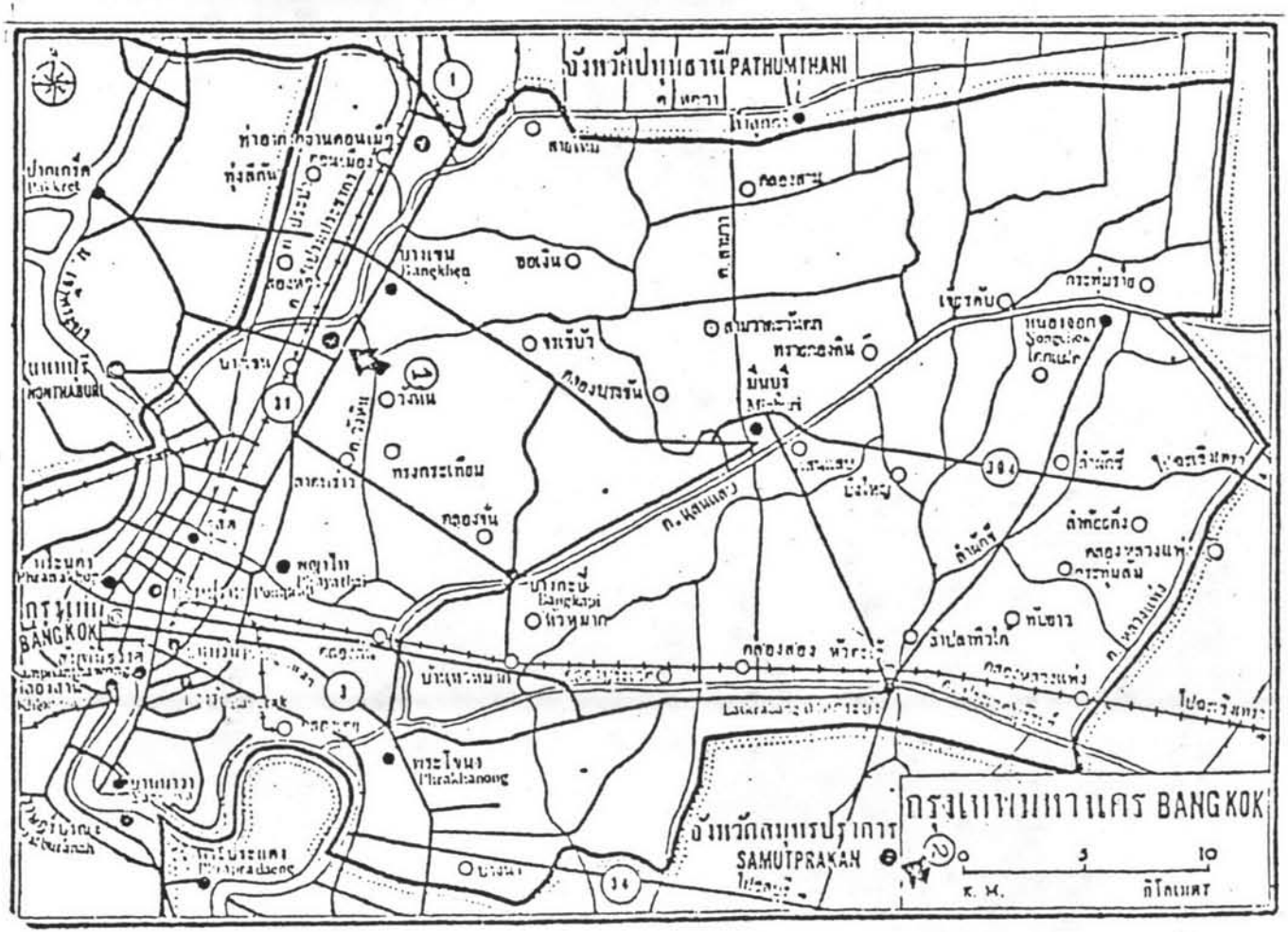
ก.1 แหล่งวัสดุที่นำมาทำการวิจัย

ดินตัวอย่างที่ได้นำมาใช้ในการทดลองนี้ เป็นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) ซึ่งนำมาจากใกล้ ๆ สถานที่กำลังก่อสร้างอาคารเรียนรวมอาคารจักรพันธ์ เพ็ญศิริจักรพันธุ์ ภายในบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร ตามรายละเอียดแผนผังแสดงตำแหน่งของแหล่งดินในรูปที่ ก.1 และรูปที่ ก.2 การเก็บตัวอย่างดินได้เก็บที่ระดับความลึกประมาณ 2.50 เมตร ถึง 4.00 เมตร จากระดับดินเดิม ลักษณะของดินเป็นดินเหนียวอ่อนสีเทาดำ (Dark Gray) มีเปลือกหอยและทรายปน (Silty Sand) ปนอยู่บ้างเล็กน้อย ส่วนคุณสมบัติและดัชนีของดินขั้นพื้นฐานได้แสดงในตารางที่ ก.1

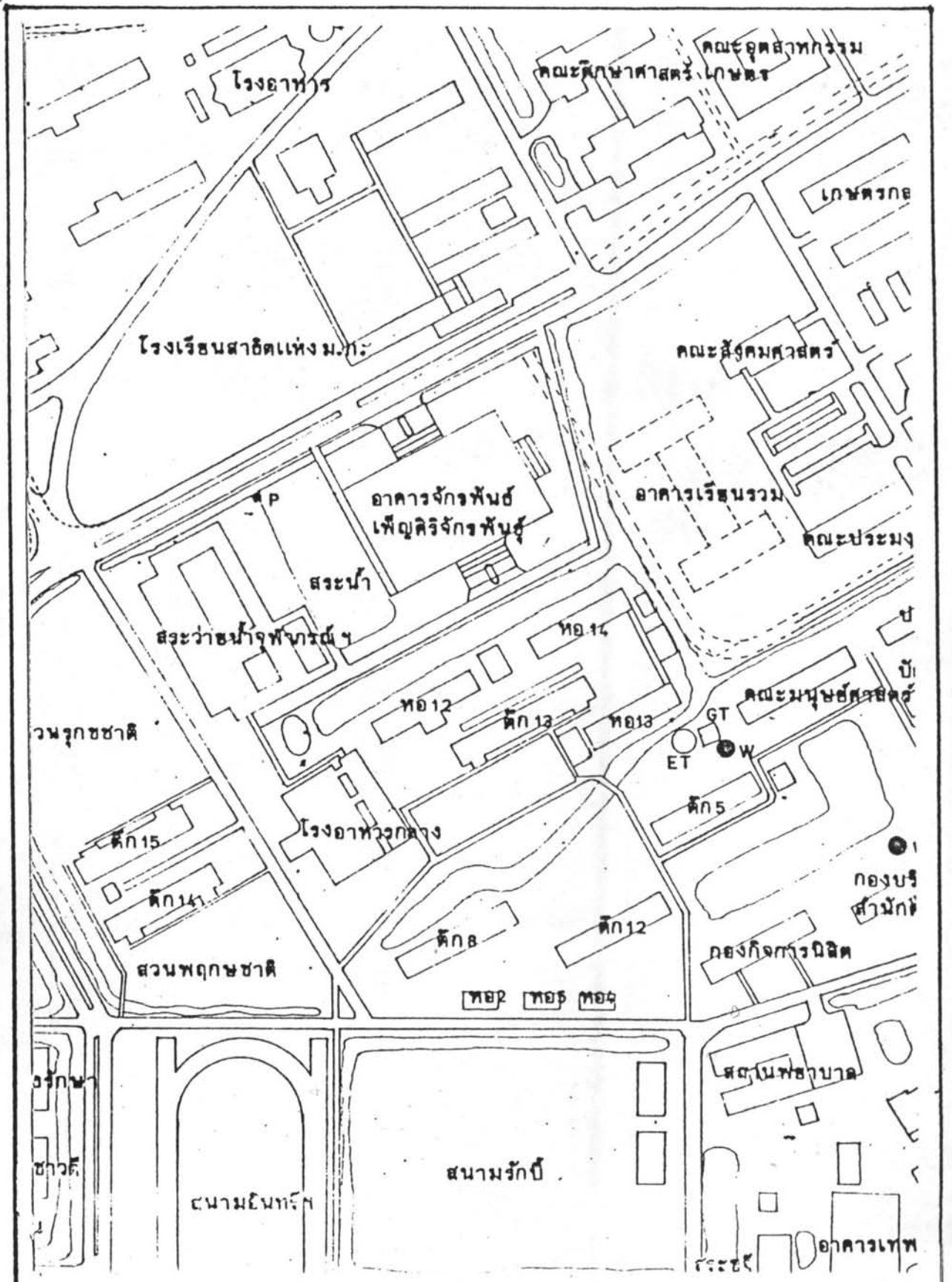
ก.2 เครื่องมือที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างเม็ดดินเผา

ก.2.1 เครื่องอัดดิน ประกอบด้วยห้องอัดดิน มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอกกลวงอยู่ในลักษณะแนวนอน มีเส้นผ่าศูนย์กลางโดยเฉลี่ย 11 เซนติเมตร ยาวประมาณ 30 เซนติเมตร ภายในมีแท่งกลียวคล้ายสว่าน หมุนรอบตัวเองได้โดยใช้กำลังจากมอร์เตอร์ไฟฟ้า ด้านบนมีช่องสำหรับใส่ดิน มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร ด้านหน้าของห้องอัดดินนี้จะมีใบมีดเหล็กมีลักษณะเป็นใบ 3 ใบคล้ายใบพัด ทำหน้าที่ตัดดินให้เป็นเนื้อเดียวกัน และมีแผ่นเหล็กเจาะรูเล็ก ๆ หลายรูคล้ายรังผึ้งตามขนาดที่ต้องการ สำหรับให้ดินที่ถูกอัดไหลผ่านออกมาลงในภาชนะที่รองรับอีกทีหนึ่ง ดูรูปที่ ก.3

ก.2.2 เครื่องเผาดิน เตาเผาที่ใช้ในการผลิตเม็ดดินเผานี้ เป็นเตาไฟฟ้าแบบหมุนรอบแกนชนิดกระบอกเดี่ยว (Monotube Rotary Kiln) ประกอบด้วยกระบอกเตาเผารูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 6 เซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร ยาว 100 เซนติเมตร ทำด้วยวัสดุทนความร้อนสูง สามารถหมุนรอบตัวเองได้โดยใช้กำลังจากมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งสามารถปรับอัตราการหมุนให้เร็วหรือช้าได้ตามความต้องการ และตัวกระบอกเตาเผาสามารถปรับความลาดเอียงได้ในช่วงตั้งแต่ 0-10 องศาจากแนวระดับของฐานเตาเผา เตาเผาไฟฟ้านี้ให้ความร้อนด้วยพลังงานไฟฟ้า โดยสามารถเผาได้ถึงอุณหภูมิสูงสุด 1,600^{0}ซ แต่อัตราการเพิ่ม

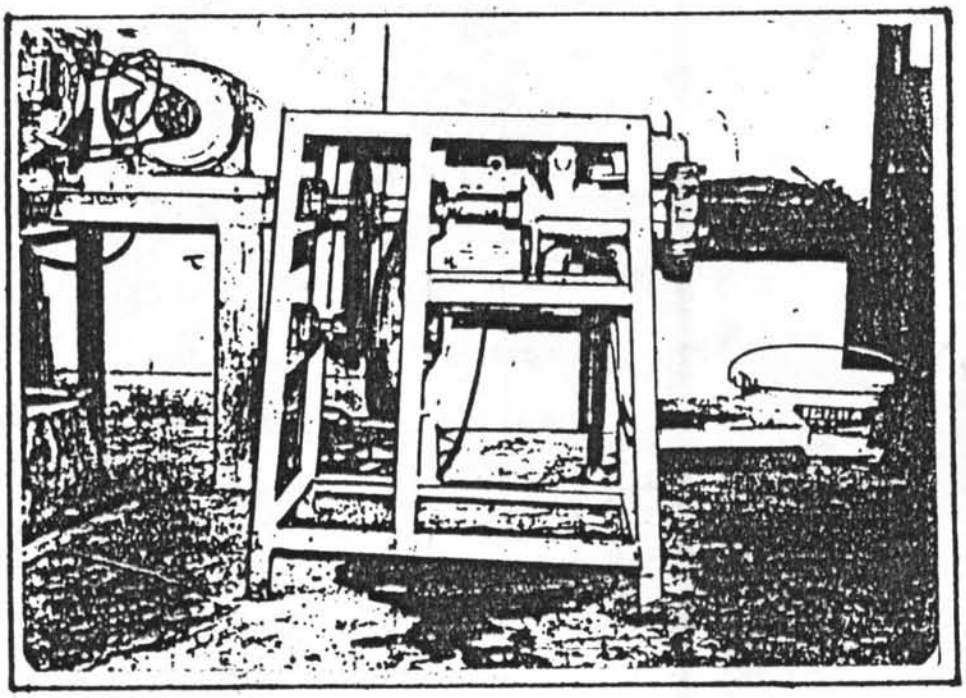


รูปที่ ก.1 แผนที่แสดงแหล่งดินเหนียวอ่อนบางเขน กรุงเทพมหานคร (3)

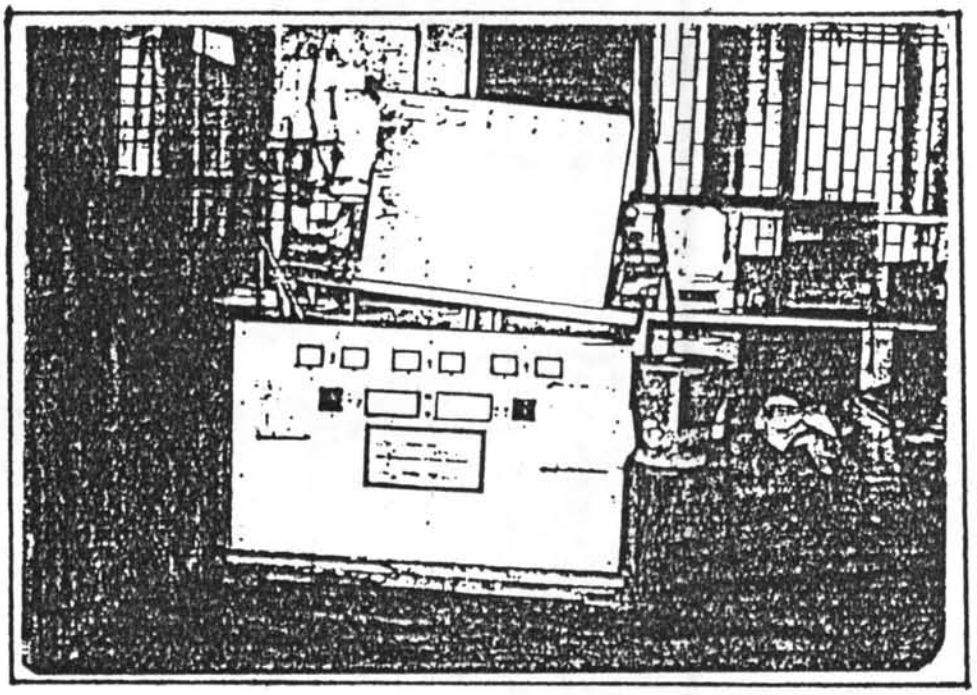


รูปที่ ก.2 แผนผังแสดงสถานที่เก็บดินเหนียวอ่อนตัวอย่างภายในบริเวณมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.3 เครื่องบีบอัดดิน

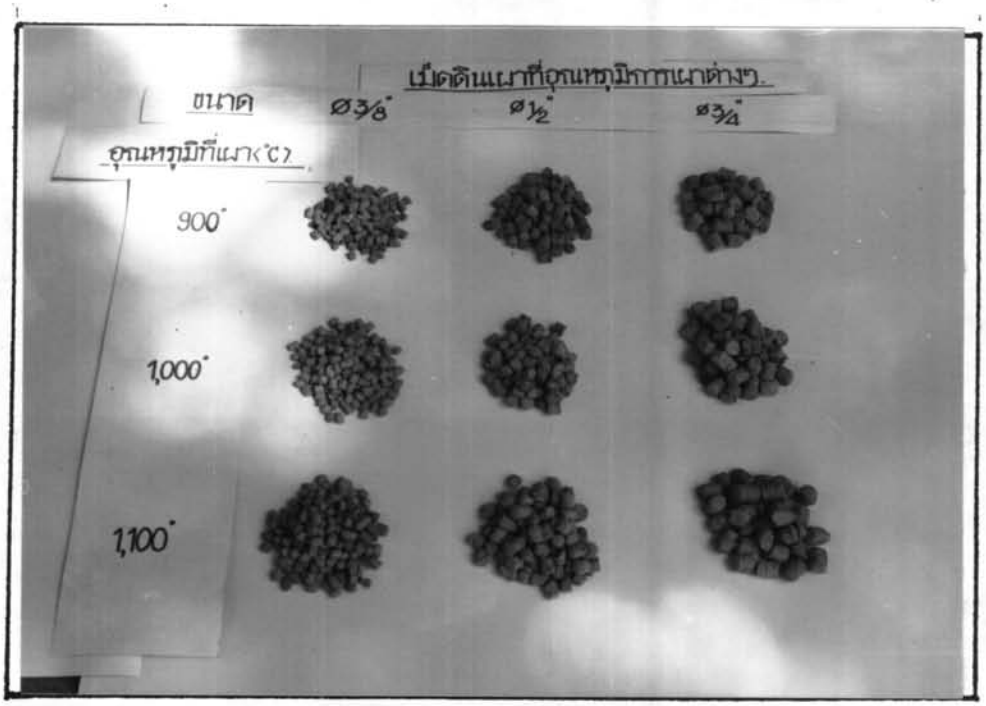


รูปที่ ก.4 เครื่องเตาเผาไฟฟ้าแบบ Monotube Rotary Kiln

ตารางที่ ก.1 ส่วนประกอบทางเคมี คุณสมบัติและดัชนีขั้นพื้นฐานของแหล่งดินเหนียวบางเขน กรุงเทพมหานคร

ส่วนประกอบทางเคมี		คุณสมบัติและดัชนีของดินขั้นพื้นฐาน	
ชนิดของส่วนประกอบ	% ส่วนประกอบ*	คุณสมบัติ	ดินบางเขน
SiO_2	63.18	สี	น้ำตาลปนเทาดำ
A_2O_3	21.50	Liquid Limit (LL)	86
Fe_2O_3	2.60	Plastic Limit (PL)	32.26
CaO	0.31	Plastic Index (PI)	53.74
MgO	0.14	Unified Soil Classification	CH
K_2O	2.08	-	-
Na_2O	0.52	-	-

หมายเหตุ * ที่มา กรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม



รูปที่ ก.5 ตัวอย่างเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้ายต่าง ๆ

ความร้อนของเตาเผานี้จะช้าในตอนแรก ๆ และจะเร็วขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูง ๆ ขึ้นไป เตาเผาชนิดนี้มีลักษณะเหมือนกับเตาเผาที่ใช้ในโรงงานปูนซีเมนต์ทั่ว ๆ ไป สำหรับในการใช้งานจะแบ่งหลอดเตาเผาออกเป็น 3 ช่วงด้วยกัน คือ ช่วงแรกทำหน้าที่อบเม็ดดินดิบให้แห้งสนิทเสียก่อน ช่วงที่สองทำหน้าที่ให้ความร้อน (โดยในช่วงนี้เม็ดดินยังไม่เกิดการขยายตัว) เพื่อไล่ก๊าซบางส่วนที่ไม่ต้องการก่อน แล้วผ่านเข้าสู่ช่วงสุดท้ายซึ่งช่วงนี้เป็นช่วงที่ให้ความร้อนสูงสุดเพื่อทำให้เม็ดดินเกิดการขยายตัวได้เต็มที่ ดังแสดงในรูปที่ ก.4 และรูปที่ ก.6

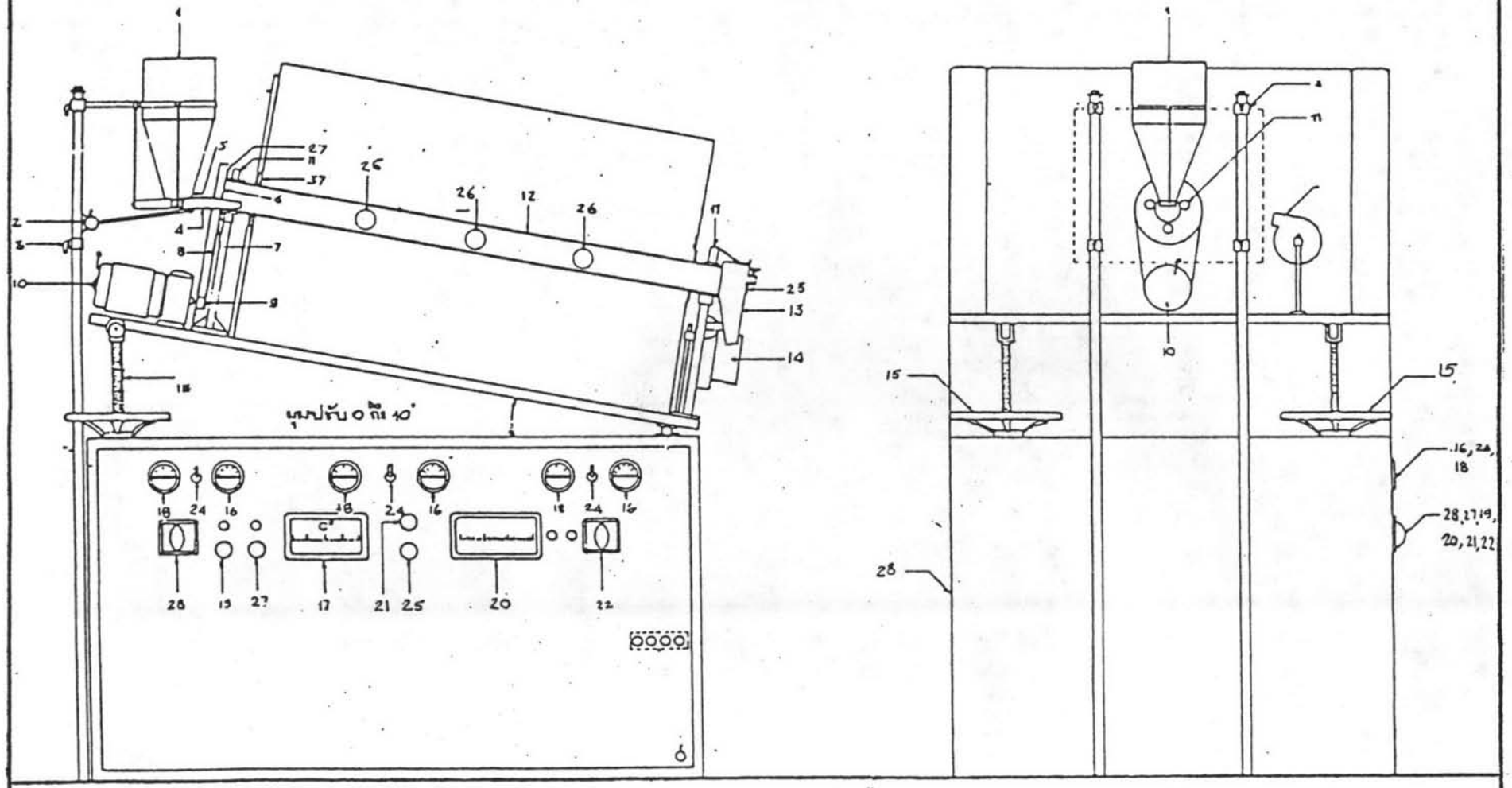
ข้อดีของเตาเผาชนิดนี้ คือ ใช้งานได้ง่าย สามารถปรับและควบคุมความร้อนได้ดี การสูญเสียพลังงานน้อย การเพิ่มอุณหภูมิเป็นไปอย่างช้า ๆ ทำให้ผิวห่อหุ้มของเม็ดดินเผาไม่หนาเกินไป และยังสามารถใช้งานที่ต่อเนื่องได้นาน ๆ ด้วย

ส่วนข้อเสีย คือ อุปกรณ์และชิ้นส่วนภายในบอบบาง ทำให้เกิดการเสียหายได้ง่าย เมื่อใช้งานและหยุดพักเครื่องบ่อย ๆ จะทำให้เตาเผาชำรุดเสียหายได้ง่าย

ก.2.3 ตะแกรงร่อน ใช้ตะแกรงร่อนตามมาตรฐาน ASTM (U.S. Standard) เพื่อร่อนตัวอย่างเม็ดดินที่เผาเรียบร้อยแล้ว โดยงานวิจัยนี้ใช้ขนาด 3/4", 1/2", 3/8", เบอร์ 4, เบอร์ 8 และเบอร์ 50 ดังแสดงในรูปที่ จ.1

ก.3 <u>การเตรียมเม็ดดินเหนียว</u>

ขั้นตอนในการเตรียมเม็ดดินเหนียวมีดังนี้คือ นำดินเหนียวอ่อนที่นำมาจากแหล่งดินบางเขนมานวดคลุกเคล้าให้เป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุด และให้ปริมาณน้ำในดินมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณน้ำที่ Plastic Limit ของดินนั้น นำเข้าเครื่องอัดดิน ให้อัดดินออกมาเป็นเส้นโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตามที่ต้องการ คือขนาด 3/4 นิ้ว, 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว แล้วตัดเส้นดินนั้นด้วยเส้นลวด ให้เป็นรูปทรงกระบอกโดยมีขนาดความยาวใกล้เคียงกับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (ข้อควรระวังสำหรับขั้นตอนนี้คือ ขนาดรูของแผ่นเหล็กเจาะที่อยู่ด้านหน้าของเครื่องอัดดิน ควรจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่าขนาดของเม็ดดินเหนียวที่ต้องการจริงเล็กน้อย เพราะว่าหลังจากการตัดเม็ดดินออกเป็นท่อน ๆ แล้ว ผึ่งเม็ดดินให้แห้งในอากาศ เม็ดดินจะเกิดการหดตัวลงเล็กน้อย) ผึ่งเม็ดดินที่ตัดแล้วให้แห้งในอากาศที่อุณหภูมิห้องตามธรรมชาติ หลังจากนั้นนำเข้าตู้อบ อบด้วยอุณหภูมิ 110 ± 5^{0} ซ ไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง จนเม็ดดินเหนียวแห้ง ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เนื้อดินติดกับกระบอกเตาเผาและเม็ดดินเผาเกิดการระเบิดแตกเมื่อถูกเผาด้วยอุณหภูมิสูงตามต้องการ เมื่อเม็ดดินเผาผ่านการเผาหมดแล้ว ปล่อยให้เม็ดดิน



รูปที่ ก.6 เครื่องเตาเผาไฟฟ้าแบบ Monotube Rotary Kiln และอุปกรณ์[3]

ติดกับกระบอกเตาเผาและเม็ดดินเผาเกิดการระเบิดแตกเมื่อถูกเผาด้วยอุณหภูมิสูง

ก.4 <u>การเผาเม็ดดินเหนียว</u>

ในการเผาเม็ดดินเหนียว ความลาดเอียง (Slope) และความเร็วในการหมุนของกระบอกเตาเผา จะต้องเหมาะสมเพื่อที่จะให้เม็ดดินเผาได้รับความร้อนอย่างทั่วถึงตลอดทั้งเม็ด มุมยกและความเร็วในการหมุนของกระบอกเตาเผา ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของเม็ดดิน อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาจะต้องค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็นช่วง ๆ โดยในแต่ละช่วงควรมีอุณหภูมิต่างกันไม่เกิน 200^{0}ซ ทั้งนี้เพราะว่าถ้าเผาเม็ดดินด้วยอุณหภูมิสูงโดยทันที จะทำให้เม็ดดินเกิดการแตกเสียหายได้ และเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการแตกระเบิดของเม็ดดิน ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในขณะที่ทำการเผา จึงมีขั้นตอนในการเผาเม็ดดินดังต่อไปนี้คือ

ก.4.1 ติดเครื่องเตาเผา โดยค่อย ๆ เพิ่มความร้อนให้แก่เตาเผา จนกระทั่งอุณหภูมิภายในกระบอกเตาถึงประมาณ 450^{0}ซ ถึง 500^{0}ซ แล้ว จึงนำเม็ดดินเหนียวที่ผ่านการอบแห้งมาป้อนเข้ากระบอกเตาเผาอย่างช้า ๆ และต่อเนื่องอย่างสม่ำเสมอ โดยให้ปริมาณของเม็ดดินที่อยู่ภายในกระบอกเตาเผาขณะเผาประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาตรกระบอกเตาเผา และต้องควบคุมเม็ดดินเผาแต่ละเม็ดให้ถูกเผาอยู่ในกระบอกเตาเผานานประมาณ 10-15 นาที เพื่อให้เม็ดดินแต่ละเม็ดได้รับความร้อนอย่างทั่วถึง เม็ดดินที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมินี้จะมีสีค่อนข้างดำ (ในการผลิตเม็ดดินเผาครั้งนี้ ความลาดเอียงของกระบอกเตาเผาประมาณ 5 องศา และความเร็วในการหมุนของกระบอกเตาเผามีความเร็วปานกลาง)

ก.4.2 เมื่อเผาเม็ดดินถึงอุณหภูมิ 500^{0}ซ แล้ว จึงเพิ่มความร้อนให้แก่กระบอกเตาเผาขึ้นอีก จนกระทั่งอุณหภูมิภายในกระบอกเตาสูงประมาณ 700^{0}ซ จึงนำเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผา 450^{0}ซ ถึง 500^{0}ซ มาป้อนเข้ากระบอกเตาเผาอีกครั้ง ทำการเผาจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 750^{0}ซ โดยให้ลักษณะการป้อนและการควบคุมเวลาที่เม็ดดินเผาอยู่ในกระบอกเตาเผาเช่นเดียวกับข้อ ก.4.1

ก.4.3 เป็นการเผาในขั้นสุดท้าย โดยทำการเพิ่มอุณหภูมิให้แก่กระบอกเตาเผาขึ้นอีกจนกระทั่งถึงอุณหภูมิประมาณ 900^{0}ซ ถึง 950^{0}ซ, 1000^{0}ซ ถึง 1050^{0}ซ และ 1100^{0}ซ ถึง 1150^{0}ซ จากนั้นจึงนำเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผา 700^{0}ซ ถึง 750^{0}ซ มาป้อนเข้ากระบอกเตาเผาอีกครั้ง ซึ่งการเผาในขั้นสุดท้ายนี้เป็นการเผาให้เม็ดดินเผาขยายตัวเต็มที่ตามต้องการ เมื่อเม็ดดินเผาผ่านการเผาหมดแล้ว ปล่อยให้เม็ดดิน

เผา เหล่านั้น เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องปกติ เม็ดดิน เผาที่ผ่านการ เผาที่อุณหภูมินี้จะมีสีส้มอ่อน คล้ายสีของอิฐมอญแต่อ่อนกว่า และ เนื้อเม็ดดินภายในจะมีสี เทาถึงสี เทาดำ การดำ เนินการ เผาตั้งแต่ขั้นแรกจนถึงขั้นสุดท้าย ควรจะกระทำให้ เสร็จสิ้นภายในวันนั้น

ข้อควรระวังในการ เผา เม็ดดิน เผา เมื่อ เพิ่มอุณหภูมิสูงประมาณ 1,100^{0}ซ ขึ้นไป การ เผาในช่วงนี้ต้องระวังไม่ให้ เม็ดดิน เผาอยู่ในกระบอก เผา เผานาน เกินไป เพราะจะทำให้ เม็ดดิน เผาขยายตัวมากจนหลอม เหลวติดกัน เอง และทำให้ติดกระบอก เผา เผา สำหรับตัวอย่าง เม็ดดิน เผาที่ได้ผ่านการ เผาที่อุณหภูมิการ เผาสุดท้ายต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ ก.5

อุปกรณ์และ เครื่องมือต่าง ๆ ของ เตา เผาไฟฟ้าแบบ Monotube Rotary Kiln

1. กรวยสำหรับใส่วัสดุตัวอย่าง
2. มอ เตอร์สำหรับ เขย่าจานส่งวัสดุตัวอย่าง
3. สกรูสำหรับรับความสูงของกรวย (1)
4. จานส่งวัสดุตัวอย่างสู่กระบอก เผา เผา
5. ช่องผ่านวัสดุตัวอย่างจากกรวย
6. ปากกระบอก เผา เผา
7. จาน เฟืองหมุนกระบอก เผา เผา
8. สายพานหมุนจาน เฟือง
9. มอ เตอร์ขับสายพาน
10. คันโยก เร่งความ เร็วมอ เตอร์
11. แกนยึดกระบอก เผา เผา
12. กระบอก เผา เผา
13. กรวยส่งวัสดุตัวอย่างหลังจากการ เผา
14. มอ เตอร์พัดลมไฟฟ้าช่วยระบายความร้อนที่ปากกระบอก เผา เผา
15. แกนปรับระดับกระบอก เผา เผา
16. หน้าปัทม์วัดกระแสไฟฟ้า แต่ละช่วง
17. หน้าปัทม์แสดงอุณหภูมิในกระบอก เผา เผา

18. หน้าปัทม์วัดแรงดันไฟฟ้าแต่ละช่วง

19. สวิทเปิดบอเตอร์ไฟฟ้าขับจานส่งวัสดุตัวอย่าง

20. หน้าปัทม์สำรองแสดงอุณหภูมิในเตา

21. หลอดไฟแสดงกระแสไฟฟ้าเข้าสู่เตาเผา

22. ที่ปรับไฟฟ้าเพื่อเพิ่มอุณหภูมิเผา

23. ช่องกระจกดูภายในกระบอกเตาเผา

24. สวิทเปิดกระแสไฟฟ้าเข้าสู่เตาเผาแต่ละช่วง

25. สวิทตัดกระแสไฟฟ้าอัตโนมัติ

26. ปรอทวัดอุณหภูมิในกระบอกเตาเผาแต่ละช่วง

27. สวิทขับสายพานกระบอกเตาเผา

28. สวิทปรับกำลังไฟฟ้าให้สัมพันธ์กับ (22)

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ขนาดคละของวัสดุมวลรวม

ภาคผนวก ข.

การวิเคราะห์ขนาดคละของวัสดุมวลรวม
(Gradation Analysis of Aggregates)[6,11,29]

จุดประสงค์ในการผสมวัสดุมวลรวม (Aggregate) ตั้งแต่สองชนิดหรือมากกว่าขึ้นไป ที่มีการเรียงขนาดที่แตกต่างกัน ก็เพื่อต้องการผสมวัสดุมวลรวม (Aggregate blend) ให้มีการเรียงขนาดได้ตามข้อกำหนด (Specification) สำหรับส่วนผสมลาดยางเพื่อนำไปใช้ในการก่อสร้าง เนื่องจากว่าการที่จะหาแหล่งวัสดุเดียวกันที่มีการเรียงขนาดดี (Well Grade) หาได้ยาก และเพื่อให้เกิดผลทางด้านเศรษฐกิจ จึงนำวัสดุมวลรวมจากแหล่งที่ต่างกันมาผสมรวมกันให้ได้ตามข้อกำหนดและเสียค่าใช้จ่ายต่ำสุดด้วย การผสมขนาดคละของวัสดุมวลรวมมีอยู่ 4 วิธีคือ

ข.1 <u>การผสมวัสดุมวลรวมโดยน้ำหนัก</u> (Blending Aggregates by Weight)

การผสมวัสดุมวลรวมโดยน้ำหนัก จะผสมได้เมื่อค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมแต่ละชนิดมีค่าเหมือนกันหรือแตกต่างกันไม่เกิน 0.20 วิธีที่ใช้ในการผสมวัสดุมวลรวมแต่ละขนาดเข้าด้วยกันและนิยมใช้กันมี

ข.1.1 วิธีทดลองทำ (Trial and Error) เป็นวิธีที่ง่ายแต่ต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ทำ เพื่อให้การผสมวัสดุมวลรวมแต่ละขนาดหรือแหล่งให้ได้ตามข้อกำหนดง่ายยิ่งขึ้น โดยปกติวิธีนี้จะทำการทดลองผสม 2-3 ครั้ง เพื่อหาสัดส่วนการผสมที่ดีที่สุด

ตารางที่ ข.1 การผสมวัสดุมวลรวมโดยวิธีทดลองทำ (Trial and Error)

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	9-15

a = Trial percentage

จากตารางที่ ข.1 แสดงถึงวัสดุมวลรวม 3 ขนาดคือ วัสดุมวลรวม A, วัสดุมวลรวม B, และวัสดุมวลรวม C วิธีการผสมมีดังนี้

ก. ดูในช่องวัสดุมวลรวม A ที่ตะแกรงเบอร์ 4 มีวัสดุมวลรวมค้างอยู่เท่ากับ 70 เปอร์เซนต์ ส่วนช่องวัสดุมวลรวม B และวัสดุมวลรวม C ไม่มีค้างเลย และในตะแกรงเบอร์ 4 มีข้อกำหนดเมื่อผสมแล้วที่จุดกึ่งกลาง (Mid Point) จะต้องมีเปอร์เซนต์ผ่าน 50 เปอร์เซนต์

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

ข. มาดูที่ตะแกรงเบอร์ 200 ในช่องวัสดุมวลรวม A ใช้ 70 เปอร์เซนต์ และให้ช่องวัสดุมวลรวม C ใช้ 2 เปอร์เซนต์ เมื่อรวมกันระหว่างช่องวัสดุมวลรวม A กับวัสดุมวลรวม C ที่เหลือเป็นช่องวัสดุมวลรวม B โดยให้ช่อง B เท่ากับ 20 เปอร์เซนต์ เมื่อรวมช่องวัสดุมวลรวม A, B และ C ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จะได้จุดกึ่งกลาง (Mid Point) ตามที่ต้องการ และเปอร์เซนต์ของทุกช่องรวมกันแล้วต้องได้ 100 เปอร์เซนต์พอดี

ดังนั้น ใช้ช่องวัสดุมวลรวม A = 75 เปอร์เซนต์
ช่องวัสดุมวลรวม B = 22 เปอร์เซนต์
และช่องวัสดุมวลรวม C = 3 เปอร์เซนต์

เมื่อนำเอาค่าเปอร์เซนต์ที่ได้แต่ละช่องไปคูณกับค่าเปอร์เซนต์ทั้งหมด (% Total) ในแต่ละช่องนั้น ๆ แล้วรวมช่องวัสดุมวลรวม A, B และ C จะได้เปอร์เซนต์การผสมเข้าตามข้อกำหนดที่ต้องการ

ข.1.2 วิธีทางคณิตศาสตร์ การหาสัดส่วนการผสมโดยวิธีคณิตศาสตร์ ค่าที่คำนวณได้จะใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก

สูตรที่ใช้ในการรวมวัสดุมวลรวมชนิดต่าง ๆ มีดังนี้

$$P = Aa + Bb + Cc \quad \text{---(ข.1)}$$

P = % ของวัสดุที่ผ่านตะแกรงกำหนด (Given Sieve) สำหรับการรวมวัสดุมวลรวมชนิด A, B, C

A, B, C = % ของวัสดุที่ผ่านตะแกรงกำหนดสำหรับวัสดุมวลรวมชนิด A, B, C

a, b, c = สัดส่วนของวัสดุมวลรวมชนิด A, B, C และผลรวมทั้งหมดเท่ากับ 100

ข.1.2.1 สำหรับการรวมวัสดุมวลรวม 2 ชนิด (Combining Two Aggregates) จากสมการที่ (ข.1) สำหรับการรวมวัสดุมวลรวม 2 ชนิด คือ

$$P = Aa + Bb \text{ ---------- (ข.2)}$$

เนื่องจาก a + b = 1 ดังนั้น a = 1-b แทนค่าในสมการที่ (ข.2) แล้วแก้สมการ

$$\text{จะได้ } b = \frac{P-A}{B-A} \text{ ---------- (ข.3)}$$

$$\text{และ } a = \frac{P-B}{A-B} \text{ ---------- (ข.4)}$$

สมมุติว่าต้องการผสมวัสดุมวลรวมจากกองสะสม (Aggregate Stock pile) ด้วยทรายละเอียด (Fine Sand) เพื่อให้มีขนาดคละตามข้อกำหนด ดังแสดงในตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 ข้อกำหนดการจัดขนาดคละและการแยกด้วยตะแกรงของวัสดุมวลรวม

PERCENT PASSING

Sieve Size	3/4"	½"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 30	No. 100	No. 200
Spec. Limits	100	100/80	90/70	70/50	50/35	29/18	16/8	10/4
Aggre-gate	100	87	75	58	35	17	8	2
Fine Sand	100	100	100	100	100	80	53	40

วิธีการหามีดังนี้

1. พิจารณาขนาดคละของวัสดุมวลรวมทั้ง 2 ชนิด เพื่อนำมาผสมกันให้ได้ขนาดตามข้อกำหนด

2. ใช้เปอร์เซนต์สำหรับตะแกรงเบอร์ 200 เพื่อต้องการหาเปอร์เซนต์เพิ่มของทรายละเอียด (Find Sand) ที่จุดกึ่งกลางของข้อกำหนด (Mediam of Specification Limits) ซึ่งเท่ากับ 7 เปอร์เซนต์

จะได้ b = สัดส่วนของทรายละเอียด

P = % ของวัสดุมวลรวมที่ผสมทั้งหมดที่ผ่านตะแกรงที่กำหนด = 7 %

A = % ของวัสดุจากกองสะสมที่ผ่านตะแกรงกำหนด = 2 %

B = % ของทรายละเอียดที่ผ่านตะแกรงกำหนด =40 %

แทนค่าในสมการที่ (ข.3) $b = \frac{7-2}{40-2}$

$= 0.132 = 13.2\ \%$

$a = 1-b$

$= 86.8\ \%$

3. นำค่า a และ b ไปคูณกับเปอร์เซนต์ของวัสดุมวลรวมที่ผ่านแต่ละตะแกรง ดังแสดงในตารางที่ ข.3

ตารางที่ ข.3 การเรียงขนาดคละของวัสดุมวลรวมหลังจากการผสมวัสดุมวลรวม 2 ชนิด

PERCENT PASSING

Sieve Size	3/4"	½"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 30	No. 100	No. 200
Main Aggregate 86.8 %	86.8	75.5	65.1	50.3	30.4	14.8	6.9	1.7
Fine Sand 13.2 %	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	10.6	7.0	5.3
Total	100.0	88.7	78.3	63.5	43.6	25.4	13.9	7.0
Desired Gradation	100.0	90.0	80.0	60.0	42.0	23.0	12.0	7.0

ข.1.2.2 สำหรับการรวมวัสดุมวลรวม 3 ชนิด (Combining Three Aggregates) เมื่อต้องการผสมหินฝุ่นหรือวัสดุแทรก (Mineral Filler) เข้ากับวัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse) และวัสดุมวลรวมละเอียด (Fine) เพื่อให้มีขนาดคละเป็นไปตามข้อกำหนด ดังแสดงในตารางที่ ข.4

วิธีการหามีดังนี้

1. จากการตรวจสอบดูการจัดขนาดคละ จะเห็นได้ว่าวัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse) ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ควรตกแต่งด้วยวัสดุมวลรวมละเอียด (Fine) ดังนั้นต้องหาสัดส่วนที่ผสมแล้วของวัสดุมวลรวมหยาบและวัสดุมวลรวมละเอียดให้มีเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 เท่ากับ 42 เปอร์เซนต์ (ที่จุดกึ่งกลางของข้อกำหนด)

จะได้ a = สัดส่วนของวัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse)

P = % ของวัสดุมวลรวมทั้งหมดที่ผ่านตะแกรงที่กำหนด = 42 %

A = % ของวัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse) ที่ผ่านตะแกรงที่กำหนด = 2.4 %

B = % ของวัสดุมวลรวมละเอียด (Fine) ที่ผ่านตะแกรงที่กำหนด = 95 %

แทนค่าในสมการที่ (ข.4) $a = \frac{42-95}{2.4-95}$

$= 0.57 = 57\ \%$

สำหรับ % ของวัสดุมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200

จากสมการที่ (ข.1) $P = Aa + Bb + Cc$

$7 = 0.10 \times 0.57 + 8.8b + 74c$

$8.8b + 74c = 6.943 \text{----------(1)}$

แต่ $a+b+c = 1$, $b + c = 1-a = 1-0.57 = 0.43$

$\therefore\ b = 0.43-c$ ———— (2)

แทนค่าสมการที่ (2) ในสมการที่ (1)

$$8.8(0.43-c) + 74c = 6.943$$

$$c = 0.04, = 4\ \%$$

$$b = 0.39 = 39\ \%$$

2. นำค่า a, b และ c ไปคูณกับเปอร์เซนต์ของวัสดุมวลรวมที่ผ่านตะแกรงแต่ละตะแกรง ดังแสดงในตารางที่ ข.5

ตารางที่ ข.4 ข้อกำหนดการจัดขนาดคละและการแยกด้วยตะแกรงของวัสดุมวลรวม

PERCENT PASSING

Sieve Size	3/4"	½"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 30	No. 100	No. 200
Spec. Limits	100	100/80	90/70	75/50	50/35	29/18	16/8	10/4
Coarse	100	85	58	29	2.4	0.5	0.3	0.1
Fine	100	100	100	100	95	47	23	8.8
Filler	100	100	100	100	100	100	95	74

ตารางที่ ข.5 การเรียงขนาดคละของวัสดุมวลรวมหลังจากการผสมวัสดุมวลรวมทั้ง 3 ชนิด

PERCENT PASSING

Sieve Size	3/4"	½"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 30	No. 100	No. 200
Coarse 57 %	57.0	48.4	33.1	16.5	1.4	0.3	0.2	0.1
Fine 39 %	39.0	39.0	39.0	39.0	37.1	18.3	9.0	3.4
Filler 4 %	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	3.8	3.0
Total	100.0	91.4	76.1	59.5	42.5	22.6	13.0	6.5
Desired	100	90	80	60	42	23	12	7

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการรวบวัสดุมวลรวม 3 ชนิด สามารถทำได้อีกวิธีหนึ่งและมีข้อที่ต้องพิจารณาดังนี้คือ

1. จำนวนของขนาดตะแกรงหรือขนาดของกลุ่มจะต้องไม่เกินจำนวนชนิดของวัสดุมวลรวมที่นำมาเพื่อใช้ผสม

2. ผลรวมของเปอร์เซนต์ที่ผ่านตะแกรง และค้างบนตะแกรง จะต้องเท่ากับ 100 เปอร์เซนต์ ทั้งของวัสดุมวลรวมที่ผสมและที่จุดกึ่งกลางของข้อกำหนด (Median of Specification Limits)

3. ถ้าวัสดุมวลรวมที่จะนำมาผสมกันไม่เข้าตามข้อ 1 จะต้องมาแบ่งใหม่รวมทั้งจุดกึ่งกลางที่ได้ระบุไว้ด้วย

จากตารางที่ ข.1 นำมาทำให้เป็นเปอร์เซนต์ที่ค้างบนแต่ละตะแกรง ซึ่งจำนวนของตะแกรง (มี 7 อัน) จะเกินจำนวนชนิดของวัสดุมวลรวม (มี 3 ชนิด) ในตัวอย่างนี้จะแบ่งใหม่เป็นส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 8 (วัสดุมวลรวมหยาบ) และส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 แต่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 (วัสดุมวลรวมละเอียด) และวัสดุแทรกหรือฝุ่นที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ดังแสดงในตารางที่ ข.6

ตารางที่ ข.6 การเรียงขนาดคละของวัสดุมวลรวมหลังการแยกตะแกรงใหม่

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 แทนเปอร์เซนต์ที่ต้องการจะใช้ผสมของวัสดุมวลรวมช่อง A, B และ C ตามตาราง นำค่าในตารางที่ ข.6 ไปแทนค่าในสมการที่ (ข.1)

จะได้ $0.78A + 0.13B + 0 = 62.5$

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

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

เมื่อแก้สมการทั้งสามแล้วจะได้ A = 76 %, B = 22 % และ C = 2 % ซึ่งจะเห็นได้ว่าได้ค่าตรงตามตารางที่ ข.1 แล้วนำค่า A, B และ C ไปคูณเปอร์เซนต์การผ่านตะแกรงในแต่ละช่องนั้น ๆ เมื่อรวมในแต่ละช่องเข้าด้วยกัน จะได้เปอร์เซนต์การผสมตามข้อกำหนดที่ต้องการ

ข.1.3 วิธีกราฟ (Graphical Method) การจะรวมวัสดุมวลรวมตั้งแต่ 2 ชนิด หรือ 3 ชนิดเข้าด้วยกันอาจใช้วิธีกราฟ ดังนี้

ข.1.3.1 สำหรับการรวมวัสดุมวลรวม 2 ชนิด ในตัวอย่างนี้จะแสดงการผสมตัวอย่างวัสดุมวลรวม A และ B เพื่อให้มีการเรียงขนาดคละเป็นไปตามข้อกำหนด ตามตารางที่ ข.7 และวิธีการทำดังแสดงในรูปที่ ข.1

ตารางที่ ข.7 ข้อกำหนดการจัดขนาดคละและการแยกด้วยตะแกรงร่อนของวัสดุมวลรวม

Sieve	เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง (PERCENT PASSING)								
	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	600 µm	300 µm	150 µm	75 µm
	$\frac{3}{4}$"	$\frac{1}{2}$"	$\frac{3}{8}$"	No. 4	8	30	50	100	200
Spec.	100	80–100	70–90	50–70	35–50	18–29	13–23	8–16	4–10
Aggr. A	100	90	59	16	3.2	1.1	0	0	0
Aggr. B	100	100	100	96	82	51	36	21	9.2

ขั้นตอนการทำมีดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดค่าเปอร์เซนต์ที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาดสำหรับวัสดุมวลรวม A ลงบนแกนตั้งด้านขวามือ และวัสดุมวลรวม B ลงบนแกนตั้งด้านซ้ายมือ

ขั้นที่ 2 ลากเส้นตรงเชื่อมจุดที่มีขนาดตะแกรงเดียวกัน แล้วเขียนชื่อทำเครื่องหมายบ่งขนาดตะแกรงบอกไว้

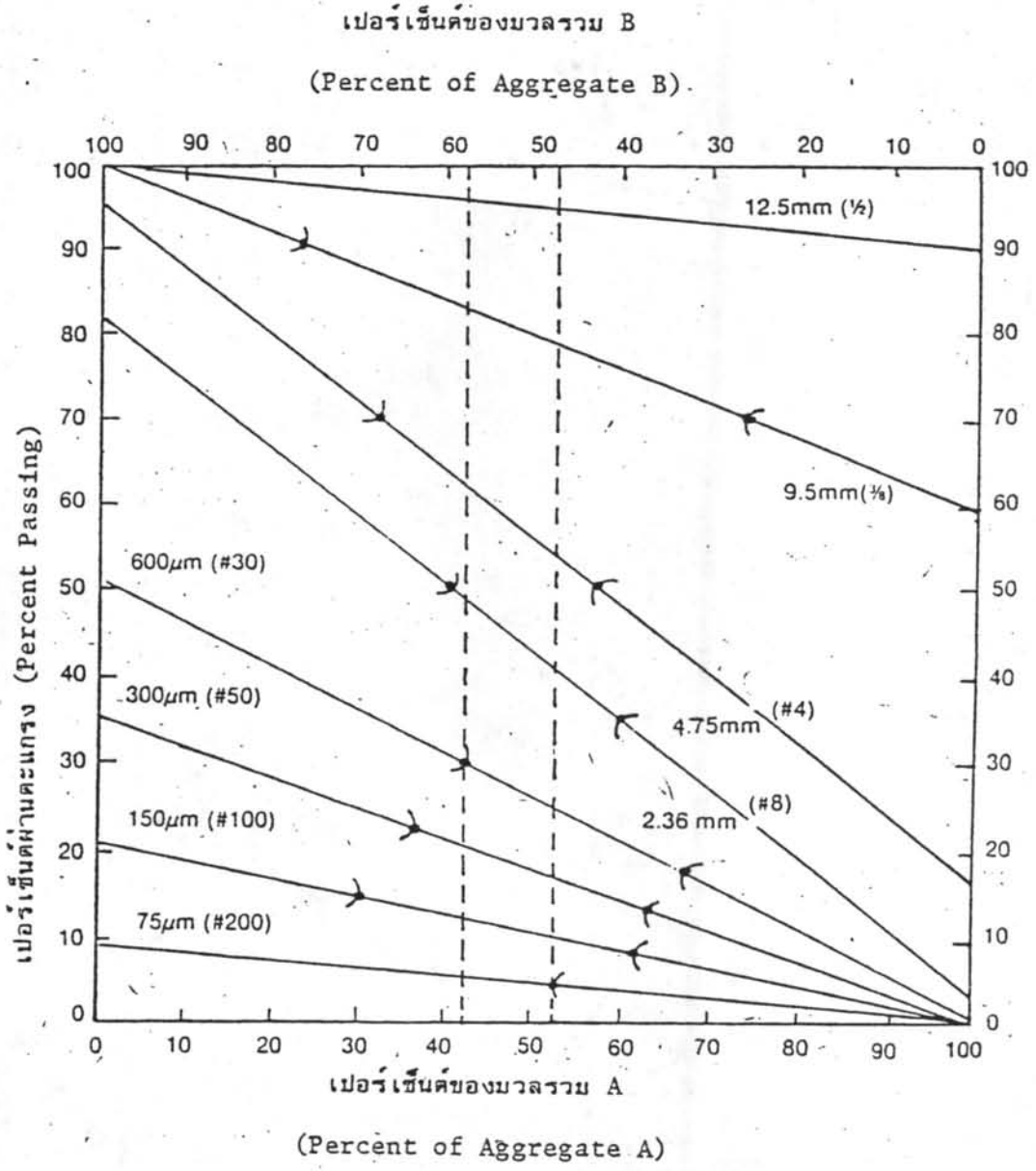
ขั้นที่ 3 กำหนดจุดซึ่งวัดตามแกนตั้ง แสดงตำแหน่งที่เส้นตรงของแต่ละขนาด ลากผ่านขีดจำกัดของข้อกำหนดสำหรับตะแกรงแต่ละขนาด เช่น ตะแกรงเบอร์ 3/8 นิ้ว กำหนดจุดสองจุดบนเส้นตรงที่ตำแหน่ง 70 และ 90 เปอร์เซนต์ตามแนวแกนตั้ง

ขั้นที่ 4 ส่วนของเส้นตรงที่อยู่ระหว่างจุดสองจุดนั้น เมื่อวัดตามแกนนอนจะหมายถึงสัดส่วนของวัสดุมวลรวม A และ B ซึ่งมีค่าไม่เกินจากขีดจำกัดของข้อกำหนดสำหรับขนาดตะแกรงนั้น

ขั้นที่ 5 ส่วนของแกนนอนจะกำหนดด้วยเส้นตรงตามแนวดิ่งที่ลากตรงตำแหน่งขีดจำกัดของข้อกำหนดสำหรับตะแกรงแต่ละขนาด ช่วงแกนนอนที่อยู่ในขีดจำกัดของข้อกำหนดสำหรับตะแกรงทุกขนาดจะหมายถึง ขีดจำกัดของสัดส่วนที่เป็นไปได้สำหรับการผสมที่ต้องการ ในกรณีนี้จะได้ค่าขีดจำกัดของวัสดุมวลรวม A เท่ากับ 43 ถึง 54 เปอร์เซนต์ และขีดจำกัดของวัสดุมวลรวม B เท่ากับ 46 ถึง 57 เปอร์เซนต์ จึงจะทำให้ได้การจัดขนาดคละของการผสมเป็นไปตามข้อกำหนดและเป็นที่สังเกตว่าเปอร์เซนต์ของการผสมวัสดุมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 30 และเบอร์ 200 จะเป็นค่าวิกฤตหรือค่าที่ควบคุมการผสมให้อยู่ในขีดจำกัดของข้อกำหนด (Specification Limits)

ขั้นที่ 6 โดยปกติแล้วจะใช้จุดแบ่งครึ่งสเกลตามแกนนอนเป็นค่าที่เลือกใช้สำหรับการผสม และในกรณีนี้จะใช้ค่า 48 เปอร์เซนต์สำหรับวัสดุมวลรวม A และค่า 52 เปอร์เซนต์สำหรับวัสดุมวลรวม B

ข.1.3.2 สำหรับการรวมวัสดุมวลรวม 3 ชนิด ตัวอย่างนี้จะแสดงการผสมวัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) วัสดุมวลรวมขนาดกลาง (Intermediate Aggregate) และวัสดุมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) พร้อมทั้งได้ระบุขีดจำกัดของข้อกำหนดมาด้วย ดังแสดงในตารางที่ ข.8

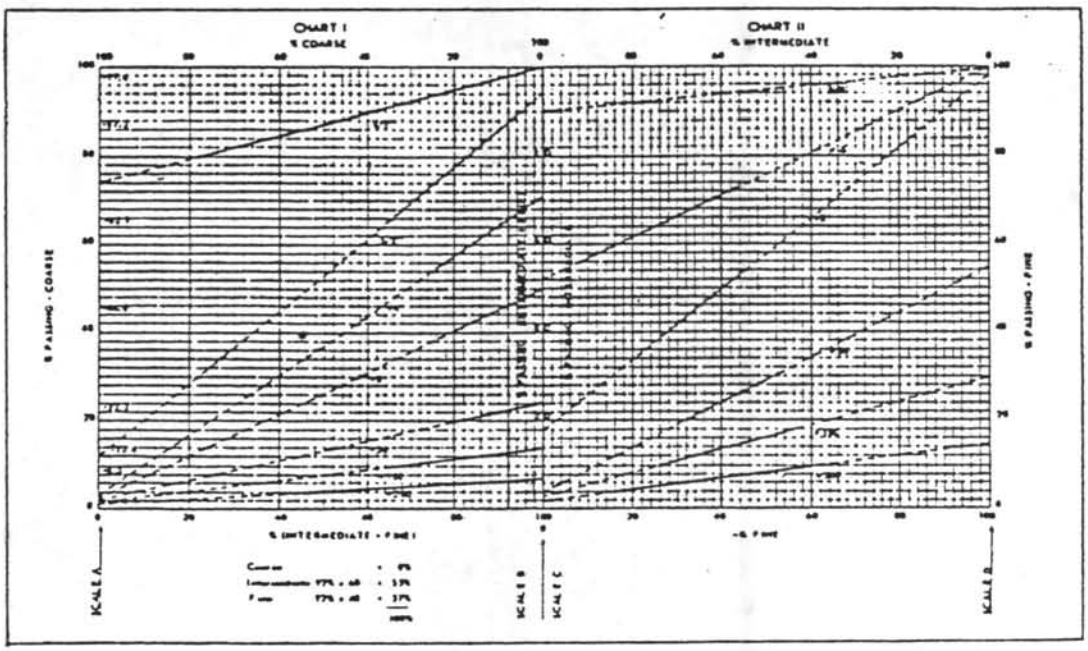


รูปที่ ข.1 การหาสัดส่วนผสมของวัสดุมวลรวม 2 ชนิด

ตารางที่ ข.8 ข้อกำหนดการจัดขนาดคละและการแยกด้วยตะแกรงร่อนของวัสดุมวลรวม

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

ในตารางจะมีวัสดุมวลรวมอยู่ 3 ถัง (Bin) คือถังหยาบ (Coarse Bin) ถังขนาดกลาง (Intermediate Bin) และถังละเอียด (Fine Bin) ทำการผสมรวมวัสดุมวลรวมทั้ง 3 ถัง เพื่อให้มีการเรียงขนาดคละเป็นไปตามข้อกำหนด สำหรับวิธีการทำได้แสดงในรูปที่ ข.2



Graphical method of determining aggregate blends

รูปที่ ข.2 การหาสัดส่วนผสมของวัสดุมวลรวม 3 ชนิด

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการทำโดยใช้วิธีการสร้างและใช้แผนภูมิ (Chart) ดังนี้

ขั้นที่ 1 ใช้แผนภูมิที่ 2 (Chart II) กำหนดค่าเปอร์เซนต์ที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาดสำหรับวัสดุมวลรวมในถังละเอียดลงบนแกนตั้ง D และวัสดุมวลรวมในถังขนาดกลางลงบนแกน C

ขั้นที่ 2 ลากเส้นตรงเชื่อมจุดที่มีขนาดตะแกรงเดียวกันของแต่ละขนาด ในแผนภูมิที่ 2 แล้วเขียนชื่อทำเครื่องหมายบ่งขนาดตะแกรงบอกไว้

ขั้นที่ 3 กำหนดจุดซึ่งวัดตามแกนตั้ง แสดงตำแหน่งที่เส้นตรงของแต่ละขนาดลากผ่านขีดจำกัดของข้อกำหนดสำหรับตะแกรงแต่ละขนาด

ขั้นที่ 4 ส่วนของเส้นตรงที่อยู่ระหว่างจุดสองจุดนั้น เมื่อวัดตามแกนนอนจะหมายถึงสัดส่วนของวัสดุมวลรวมละเอียดและมวลรวมขนาดกลาง ส่วนของแกนนอนจะกำหนดด้วยเส้นตรงตามแนวดิ่งที่ลากตรงตำแหน่งขีดจำกัดของข้อกำหนดสำหรับตะแกรงแต่ละขนาด และเส้นดิ่งนี้จะเป็นสัดส่วนของการผสมวัสดุมวลรวมละเอียดและมวลรวมขนาดกลาง โดยปกติการเลือกเส้นดิ่งที่ดีจะใช้จุดแบ่งครึ่งสเกลตามแกนนอนเป็นค่าที่เลือกใช้สำหรับการผสม ในตัวอย่างนี้ใช้วัสดุมวลรวมละเอียด 40 เปอร์เซนต์ และวัสดุมวลรวมขนาดกลาง 60 เปอร์เซนต์

ขั้นที่ 5 บนแกนตั้ง B จะถ่ายจุดตัดของตะแกรงแต่ละขนาดมาไว้ ในแผนภูมิที่ 1

ขั้นที่ 6 กำหนดค่าเปอร์เซนต์ที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาดสำหรับวัสดุมวลรวมหยาบลงบนแกนตั้ง A ในแผนภูมิที่ 1 ให้ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นที่ 2 ถึงขั้นที่ 4 เพื่อหาสัดส่วนของการผสมของวัสดุมวลรวมหยาบ และวัสดุมวลรวมขนาดกลางรวมกับมวลรวมละเอียด ในตัวอย่างนี้จะได้สัดส่วนการผสม คือ 8 เปอร์เซนต์สำหรับวัสดุมวลรวมหยาบ และ 92 เปอร์เซนต์สำหรับวัสดุมวลรวมขนาดกลางรวมกับขนาดละเอียด หรือ

วัสดุมวลรวมหยาบ		=	8 %
วัสดุมวลรวมขนาดกลาง	= 0.92x60 %	=	55 %
วัสดุมวลรวมละเอียด	= 0.92x40 %	=	37 %
	รวม	=	100 %

ขั้นที่ 7 บนแกนตั้ง A เมื่อถ่ายจากจุดตัดของเส้นตรงในแนวดิ่งที่เลือกไว้ (ขนาดหยาบ 8 %, ขนาดกลางรวมกับขนาดละเอียด 92 %) จะแสดงถึงค่าที่ใช้สำหรับการผสมของวัสดุมวลรวมหยาบ 8 %, วัสดุมวลรวมขนาดกลาง 55 % และวัสดุมวลรวมละเอียด 37 %

ข.2 <u>การปรับแก้ขนาดคละโดยการร่อนทิ้ง</u> (Adjusting Gradation by Waste)

เมื่อบ่อข้างถนนประจำท้องถิ่น (Local Roadside Pit) เป็นแหล่งสำคัญของวัสดุมวลรวมที่จะนำมาใช้งาน จะพบว่าเป็นพวกหินคลุก (Crusher-Run Aggregates) ซึ่งมักจะมีขนาดหยาบกว่าหรือละเอียดกว่าที่ต้องการ สำหรับหินคลุกที่มีการเรียงขนาดคละหยาบกว่าที่ต้องการสามารถทำการปรับแก้ได้โดยการผสมกับวัสดุมวลรวมที่ละเอียดกว่า แต่การจัดขนาดคละซึ่งมีความละเอียดมากเกินไป วิธีการปรับแก้ที่ประหยัดโดยทั่วไปมักจะใช้วิธีการร่อนวัสดุมวลรวมส่วนที่ละเอียดออก ในโรงงานย่อยหิน (Crushing Plants) ส่วนใหญ่จะใช้การร่อนแบบแยกตะแกรงโดยร่อนขนาดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 หรือเบอร์ 8 เมื่อวัสดุมวลรวมมีส่วนละเอียดมากเกินไปการปรับแก้จะกระทำได้โดยการร่อนแยกส่วนที่ละเอียดกว่าตะแกรงเบอร์ 4 ออก ส่วนที่ร่อนทิ้งแสดงเป็นเปอร์เซนต์โดยใช้หินคลุกรวม (Total Crusher-Run Material) เป็น 100 เปอร์เซนต์

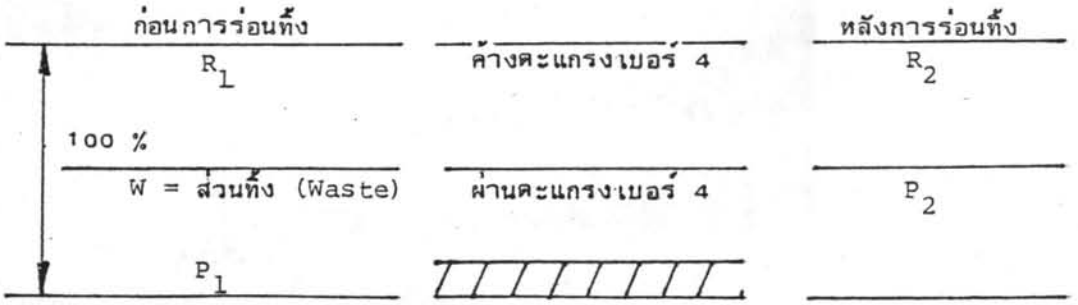
สูตรสำหรับการวิเคราะห์ขนาดคละก่อน และหลังการร่อนทิ้ง มีดังนี้

ขนาดค้างบนตะแกรงร่อนทิ้ง (Sizes Above Waste Screen)

$$R_b = \frac{R_2 R_a}{R_1} \text{ ---------- (ข.5)}$$

ขนาดค้างตะแกรงร่อนทิ้ง (Sizes Below Waste Screen)

$$P_b = \frac{P_2 P_a}{P_1} \text{ ---------- (ข.6)}$$



รูปที่ ข.3 แผนรูปการวิเคราะห์ขนาดคละก่อนและหลังการร่อนทิ้ง

เปอร์เซนต์ของส่วนทิ้ง (Percent Waste)

$$W = \frac{(P_1-P_2)}{(100-P_2)} \times 100 \text{----------(ข.7)}$$

เมื่อ

X_c , X_f = เปอร์เซนต์ผ่านปรับแก้, ค้างปรับแก้, ของขนาดกำหนดหลังการร่อนทิ้ง

P_a , R_a = เปอร์เซนต์ผ่าน, ค้าง, ของขนาดกำหนดก่อนการร่อนทิ้ง

P_1 , R_1 = เปอร์เซนต์ผ่าน, ค้าง, ของขนาดทิ้งก่อนการร่อนทิ้ง

P_2 , R_2 = เปอร์เซนต์ผ่าน, ค้าง, ของขนาดทิ้งหลังการร่อนทิ้ง

ตัวอย่างเช่น สมมุติว่ากองสะสมวัสดุมวลรวมเดี่ยว (Single Aggregate Stockpile) ซึ่งนำมาจากบ่อข้างถนนประจำท้องถิ่น ที่มีการเรียงขนาดคละของหินคลุกดังแสดงในตารางที่ ข.9 ตามตารางดังกล่าวเป็นที่น่าสังเกตว่าตะแกรงเบอร์ 4 มีค่าเปอร์เซนต์ของหินคลุกผ่านตะแกรงเกินขีดจำกัดของข้อกำหนด และค่าเปอร์เซนต์อื่น ๆ มีค่าเข้าใกล้ขีดจำกัดด้านสูงของข้อกำหนด ดังนั้นต้องมีการร่อนส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ทิ้งเพื่อลดเปอร์เซนต์ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 จาก 75 เปอร์เซนต์เป็น 70 เปอร์เซนต์

แทนค่าลงในสมการที่ ข.5 $R_b = \frac{R_2 R_a}{R_1}$

$$= \frac{30}{25} R_a = 1.25 R_a$$

แทนค่าลงในสมการที่ ข.6 $P_b = \frac{P_2 P_a}{P_1}$

$$= \frac{70}{75} P_a = 0.93 P_a$$

$$= 100 \frac{(75-70)}{(100-70)} = 16.7 \%$$

และนำค่า P_b และ R_b ที่คำนวณได้ไปคูณกับค่าเปอร์เซนต์วัสดุมวลรวมในแต่ละตะแกรง ดังแสดงในตารางที่ ข.9

ตารางที่ ข.9 การปรับแก้การจัดหาขนาดคละโดยการร่อนทิ้ง สำหรับเปอร์เซนต์ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4

Sieve	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	600 µm	150 µm	75 µm
	$\frac{3}{4}$"	$\frac{1}{2}$"	$\frac{3}{8}$"	No. 4	8	30	100	200
Spec.	100	80–100	70–90	55–73	40–55	20–30	10–18	4–10
% Pass, Pa	100	98	87	75	54	28	17	9
% Ret, Ra	2	0	13	25				
Adj % Ret, Rb	0	2	16	30				
Adj % Pass, Pb	100	98	84	70	50	26	16	8.4

ในกรณีที่ส่วนของวัสดุมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 มีเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงเกินขีดจำกัดของข้อกำหนด ดังนั้นจึงต้องร่อนทิ้งส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เพื่อลดปริมาณของตะแกรงเบอร์ 30 ลงจาก 31 เปอร์เซนต์เป็น 28 เปอร์เซนต์ ดังแสดงในตารางที่ ข.10

จากสมการที่ ข.5 $R_b = \frac{37}{30} R_a = 1.23 R_a$

จากสมการที่ ข.6 $P_b = \frac{28}{31} P_a = 0.90 P_a$

จากสมการที่ ข.7 $W = \frac{100(70-63)}{(100-63)} = 18.9\ \%$

ตารางที่ ข.10 การปรับแก้การจัดขนาดคละโดยการร่อนทิ้ง สำหรับเปอร์เซนต์ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 30

Sieve	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	600 µm	150 µm	75 µm
	$\frac{3}{4}$"	$\frac{1}{2}$"	$\frac{3}{8}$"	No. 4	8	30	100	200
Spec.	100	80-100	70-90	55-73	40-55	20-30	10-18	4-10
% Pass, Pa	100	95	85	70	53	31	16	9
% Ret, Ra	0	5	15	30				
Adj % Ret, Rb	0	6	18	37				
Adj % Pass, Pb	100	94	82	63	48	28	14	8.1

ข.3 การผสมวัสดุมวลรวมโดยปริมาตร (Blending Aggregate by Volume)

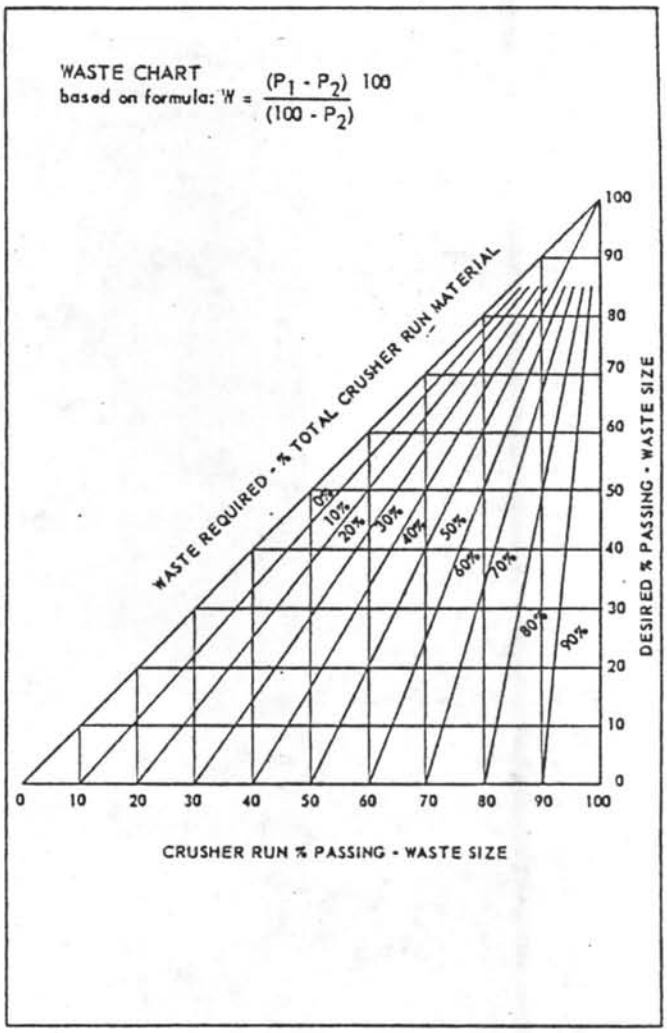
การพิจารณากำหนดขนาดคละของวัสดุมวลรวม จะแสดงในรูปของเปอร์เซนต์ของน้ำหนักรวม แต่อย่างไรก็ตามข้อกำหนดของการจัดขนาดคละต้องให้ได้ตามความต้องการของปริมาตรในส่วนผสมสำหรับถนนลาดยางด้วย ถ้าหากว่าค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมที่ใช้มีค่าเหมือนกัน สัดส่วนโดยน้ำหนักอาจใช้แปลความหมายเป็นสัดส่วนโดยปริมาตรได้ แต่ถ้าค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมแต่ละชนิดแตกต่างกันมากกว่า 0.20 จะต้องมีการปรับแก้สัดส่วนของวัสดุมวลรวมโดยปริมาตร การปรับแก้จะใช้สูตรพื้นฐานจากหลักความจริง ดังนี้

ปริมาตร x ความถ่วงจำเพาะ = น้ำหนัก ---------- (ข.8)

Volume x Specific Gravity = Weight

จากตารางที่ ข.11 เป็นตัวอย่างของวัสดุมวลรวมสามชนิดที่มีค่าความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันเกิน 0.20 จึงให้มีสัดส่วนของวัสดุมวลรวมโดยปริมาตร

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.4 แผนภูมิสำหรับหาเปอร์เซนต์ของส่วนร่อนทิ้ง เพื่อการปรับแก้การเรียงขนาดคละของวัสดุมวลรวม

ตารางที่ ข.11 ค่าความถ่วงจำเพาะและสัดส่วนของการผสมโดยปริมาตรของวัสดุมวลรวม 3 ชนิด

วัสดุมวลรวม	ความถ่วงจำเพาะ	สัดส่วนโดยปริมาตร
A	1.0	0.52
B	2.0	0.45
C	3.0	0.03

การคำนวณสำหรับการปรับแก้เปอร์เซนต์โดยปริมาตรเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ ข.12 ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. น้ำหนัก = ปริมาตร x ความถ่วงจำเพาะ

2. % น้ำหนัก = $\frac{\text{น้ำหนักแต่ละชนิด x 100}}{\text{น้ำหนักรวม}} = \frac{W}{151} \times 100$

ตารางที่ ข.12 การปรับแก้เปอร์เซนต์โดยปริมาตรเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

วัสดุมวลรวม	% ปริมาตร	ความถ่วงจำเพาะ	น้ำหนัก	% น้ำหนัก
A	52.0	1.00	52.00	34.40
B	45.0	2.00	90.00	59.60
C	3.0	3.00	9.00	6.00
รวม	100.0	-	151.00	100.00

การผสมวัสดุมวลรวมโดยปริมาตร สามารถจะคำนวณได้โดยใช้สูตร ดังนี้คือ

ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยโดยปริมาตร $G_a = \frac{P_{v1} \cdot G_1 + P_{v2} \cdot G_2 + P_{v3} \cdot G_3 + \ldots P_{vn} \cdot G_n}{100}$ ---(ข.9)

$$P_{w1} = \frac{P_{v1} \cdot G_1}{G_a} \; ; \; P_{w2} = \frac{P_{v2} \cdot G_2}{G_a} \; ; \; P_{wn} = \frac{P_{vn} \cdot G_n}{G_a} \text{ ----------(ข.10)}$$

เมื่อ G_a = ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของวัสดุมวลรวมโดยปริมาตร

P_{w1}, P_{w2}, P_{wn} = เปอร์เซนต์ของวัสดุมวลรวมแต่ละชนิดโดยน้ำหนัก

P_{v1}, P_{v2}, P_{vn} = เปอร์เซนต์ของวัสดุมวลรวมแต่ละชนิดโดยปริมาตร

สมมุติว่าต้องการผสมวัสดุมวลรวม 3 ชนิด ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะดังนี้

วัสดุมวลรวมหยาบ	ถ.พ.	=	2.87
วัสดุมวลรวมละเอียด	ถ.พ.	=	2.42
ฝุ่น (Filler)	ถ.พ.	=	2.54

และมีสัดส่วนการผสมโดยปริมาตร, วัสดุมวลรวมหยาบ:วัสดุมวลรวมละเอียด:ฝุ่น 57:39:4 ให้ทำการผสมวัสดุมวลรวมเป็นสัดส่วนโดยน้ำหนัก เพื่อให้มีขนาดคละเป็นไปตามข้อกำหนด แสดงในตารางที่ ข.13

ตารางที่ ข.13 ข้อกำหนดของวัสดุมวลรวมและเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงร่อนของวัสดุมวลรวมแต่ละชนิด

PERCENT PASSING

Sieve Size	¼"	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 30	No. 100	No. 200
Spec. Limits	100	100/80	90/70	70/50	50/35	29/18	16/8	10/4
Coarse	100	85	58	29	2.4	0.5	0.3	0.1
Fine	100	100	100	100	95	47	23	8.8
Filler	100	100	100	100	100	100	95	74

แทนค่าลงในสมการที่ ข.9 $G_a = \frac{P_{v1} \cdot G_1 + P_{v2} \cdot G_2 + P_{v3} \cdot G_3}{100}$

$= \frac{(57 \times 2.87) + (39 \times 2.42) + (4 \times 2.54)}{100} = 2.68$

แทนค่าลงในสมการที่ ข.10

วัสดุมวลรวมหยาบ $P_{w1} = \frac{P_{v1} \cdot G_1}{G_a} = \frac{57 \times 2.87}{2.68} = 61.0\ \%$

วัสดุมวลรวมละเอียด $P_{w2} = \frac{P_{v2} \cdot G_2}{G_a} = \frac{39 \times 2.42}{2.68} = 35.2\ \%$

ฝุ่น $P_{w3} = \frac{P_{v3} \cdot G_3}{G_a} = \frac{4 \times 2.54}{2.68} = 3.8\ \%$

รวมวัสดุมวลรวมทั้ง 3 ชนิด $= 100\ \%$

แล้วนำค่า P_{w1} , P_{w2} และ P_{w3} ไปคูณกับเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงของวัสดุมวลรวมแต่ละชนิดในช่องนั้น ๆ เมื่อรวมช่องวัสดุมวลรวมหยาบ, วัสดุมวลรวมละเอียดและฝุ่นจะได้เปอร์เซนต์การผสมเข้าตามข้อกำหนดที่ต้องการ ดังแสดงในตารางที่ ข.14

ตารางที่ ข.14 การเรียงขนาดคละของวัสดุมวลรวม 3 ชนิดหลังจากการผสมโดยปริมาตร

	PERCENT PASSING							
Sieve Size	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 30	No. 100	No. 200
Spec. Limits	100	100/80	90/70	70/50	50/35	29/18	16/8	10/4
Coarse 61.0%	61.0	51.8	35.4	17.7	1.5	0.3	0.2	0.1
Fine 35.2%	35.2	35.2	35.2	35.2	33.4	16.5	8.1	3.1
Filler 3.8%	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.6	2.8
Total	100.00	90.8	74.4	56.7	38.7	20.6	11.9	6.0

ข.4 <u>การคำนวณน้ำหนักในแต่ละกะบะผสมในห้องทดลอง</u> (Computing Laboratory Batch Weights)

ในการวิเคราะห์ส่วนผสมของวัสดุมวลรวมสำหรับออกแบบส่วนผสมที่กำหนด ซึ่งในขั้นสุดท้ายจะเป็นการคำนวณน้ำหนักของวัสดุมวลรวมในกะบะผสม ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่กระทำได้ง่ายในห้องทดลอง โดยการชั่งน้ำหนักของวัสดุมวลรวมที่เหมือน ๆ กันลงในแต่ละกะบะ แล้วทดลองผสม (Trial Mix) วัสดุมวลรวม และทำการเพิ่มปริมาณยางแอสฟัลท์ให้มีเนื้อยางเปลี่ยนแปลงไปหลาย ๆ ค่า

ตัวอย่างเช่น สมมุติว่าต้องการหาน้ำหนักผสมในแต่ละกะบะผสม สำหรับวัสดุมวลรวมที่มีการเรียงขนาดตามตารางที่ ข.4 และให้สัดส่วนโดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมหยาบ : วัสดุมวลรวมละเอียด : ฝุ่น = 57 : 39 : 4 ให้ทำการผสมวัสดุมวลรวมโดยการคำนวณแบบชั่งน้ำหนักในแต่ละกะบะผสมในห้องทดลอง เพื่อให้วัสดุมวลรวมมีการเรียงขนาดคละเป็นไปตามข้อกำหนด

วิธีการผสมมีดังนี้

1. นำวัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) จำนวน 57 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักและวัสดุมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) จำนวน 39 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักมาผสมในกะบะ (Batch) ให้เข้ากัน

2. นำตัวอย่างที่ผสมแล้วมาแบ่งใหม่โดยร่อนผ่านตะแกรงแบบแห้ง (Dry Sieve) และจัดชุดตะแกรงร่อนดังนี้ ขนาด 3/4" - 3/8" , 3/8"- No. 4, No. 4 - No. 8 และผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ดังแสดงในตารางที่ ข.15

3. ทดลองผสมเพื่อหาสัดส่วนการผสมที่ดีที่สุด ดูหัวข้อ ข.1.1 ประกอบสำหรับตัวอย่างนี้ได้สัดส่วนดังนี้

ขนาดตะแกรง 3/4"-3/8" : 3/8"-No.4 : No.4-No.8 : -No.8 : ฝุ่น = 20 : 20 : 18 : 38 : 4 แล้วนำค่าสัดส่วนดังกล่าวไปคูณกับเปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงของวัสดุมวลรวมแต่ละช่องขนาดตะแกรงในช่องนั้น ๆ เมื่อรวมช่องวัสดุทั้งหมดจะได้เปอร์เซนต์การผสมเข้าตามข้อกำหนดที่ต้องการ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.15 การเรียงขนาดคละของวัสดุมวลรวมหลังจากการผสมโดยวิธีชั่งน้ำหนักในแต่ละกะบะ

GRADATION OF AGGREGATE FRACTIONS

Aggregate Fractions	Percent Used	SIEVE SIZE—PERCENT PASSING								
		1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 30	No. 100	No. 200
¾-⅜	100		100	65.4	1.8	0.4	—	—	—	—
⅜-4	100		100	100	100	1.9	0.9	0.3	—	—
4-8	100		100	100	100	100	1.8	0.8	0.6	0.2
-8	100		100	100	100	100	100	48.6	22.1	10.0
MF	100		100	100	100	100	100	100	95	74

COMBINED GRADATION FOR BLEND—TRIAL NO. 1

Aggregate Fractions	Percent Used	SIEVE SIZE—PERCENT PASSING								
		1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 30	No. 100	No. 200
¾-⅜	20		20	13.1	0.4	—	—	—	—	—
⅜-4	20		20	20	20	0.4	—	—	—	—
4-8	18		18	18	18	18	0.3	0.1	0.1	—
-8	38		38	38	38	38	38	18.5	8.4	3.8
MF	4		4	4	4	4	4	4	3.8	3.0
Blend Grading			100	93.1	80.4	60.4	42.3	22.6	12.3	6.8
Desired Grading			100	90.0	80.0	60.0	42.0	23.0	12.0	7.0

COMBINED GRADATION FOR BLEND—TRIAL NO. —

Aggregate Fractions	Percent Used	SIEVE SIZE—PERCENT PASSING								
		1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 30	No. 100	No. 200
Blend Grading										
Desired Grading										

Jones

Inspector

Figure . —Work sheet for analysis of aggregate blends

ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างการคำนวณแอสพัลท์คิกคอนกรีตแบบผสมเย็น

ภาคผนวก ค.

ตัวอย่างการคำนวณแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น

เนื่องจากการวิจัยนี้ ได้ศึกษาเปรียบเทียบแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น โดยใช้เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิการเผาสุดท้าย 900°ซ, 1000°ซ และ 1,100°ซ เป็นวัสดุมวลรวมหยาบ และยางแอสฟัลท์ชนิดเหลว (Liquid Asphalts) รวม 2 ชนิด เป็นยางประสานคือ

1. ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด CM-K และเกรด SS-K

2. ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250

การออกแบบส่วนผสม (Mix Design) ของวัสดุมวลรวมคละใช้สัดส่วนการผสมโดยปริมาตรแล้วปรับแก้เป็นสัดส่วนการผสมโดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และการทดลองนี้ได้ทดลองตามวิธีมาร์แชล (Marshall) โดยถือข้อกำหนดมาตรฐานของอิลลินอยส์ (ILLINOIS) ดังรายละเอียดตัวอย่างการคำนวณและผลการทดลองดังนี้

ค.1 <u>ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด CM-K เป็นยางประสาน</u>

ได้ทำการทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น โดยใช้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด CM-K เป็นยางประสาน เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิการเผาสุดท้ายที่ 900°ซ , 1000°ซ และ 1,100°ซ ทรายและหินฝุ่นเป็นวัสดุมวลรวมคละ ซึ่งตัวอย่างการคำนวณได้แสดงในตารางที่ ค.1, ตารางที่ ค.2, ตารางที่ ค.3 ส่วนผลของการทดลองได้แสดงในรูปที่ ค.1, รูปที่ ค.2 และรูปที่ ค.3

ค.2 <u>ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน</u>

ได้ทำการทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น โดยใช้ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน ส่วนวัสดุมวลรวมคละใช้เม็ดดินเผาที่อุณหภูมิการเผาสุดท้าย 900°ซ 1000°ซ และ 1,100°ซ เป็นวัสดุมวลรวมหยาบ ทรายและหินฝุ่นเป็นวัสดุมวลรวมละเอียด ดังตัวอย่างการคำนวณในตารางที่ ค.4, ตารางที่ ค.5 และตารางที่ ค.6 ส่วนผลการทดลองแสดงในรูปที่ ค.4 รูปที่ ค.5 และ รูปที่ ค.6

ค.3 <u>ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด SS-K เป็นยางประสาน</u>

ได้ทำการทดลองแอสฟัลท์คิ้กคอนกรีตแบบผสมเย็น โดยใช้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด SS-K เป็นยางประสาน เม็ดดินเผาใช้เฉพาะอุณหภูมิการเผาสุดท้าย 1000^{0}ซ เท่านั้น ทรายและหินฝุ่นเป็นวัสดุบวลรวมคละ ดังตัวอย่างการคำนวณในตารางที่ ค.7 และผลการทดลองในรูปที่ 4.3

ตารางที่ ค.1 การคำนวณแบบผสมเย็น ที่ใช้บวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย

900°ซ โดยมียางแอสฟัลท์อีมัลชั่นเกรด CM-K เป็นยางประสาน

ตารางที่ ค.1 EMULSIFIED ASPHALT MIXTURE DATA SHEET
(Use for specimens containing a single residual asphalt content)

ASPHALT		AGGREGATE	
Type & Grade	CM—K	Source Id.	แหล่งดินบางเขน
Asphalt in Emulsion	67.50 %	Type	เม็ดดินเผาที่ 900°ซ.
Asphalt Spec. Gra. (B)	1.010	Bulk Spec. Gra. (C)	2.1745
Residual Asphalt in Mixture (A)	4.5%0.675=3.037%		
MIXING AND COMPACTION		TESTING	
Total Mix Water	9.50 %	Dry Spec. Test Date	8 พฤศจิกายน2528
Added Mix Water	76.5 6=459 g	Rotate Soak Spec. Date	10พฤศจิกายน2528
Water at Comp.	9.50 %	Soak Spec. Test Date	12 พฤศจิกายน2528
Compaction Date	5พฤศจิกายน2528		

COMPACTED SPECIMEN DATA	Dry			Soaked		
	1	2	3	4	5	6
Bulk Density						
Weight in Air (D)	950.00	968.00	954.20			
Weight in Water (E)	498.80	503.00	491.80			
Weight SSD (F)	976.84	987.70	974.60			
BSG - compacted mix (G)	1.9873	1.9971	1.9764			
Dry BSG - compacted mix	1.8692	1.8639	1.8536			
Thickness	6.08	6.15	6.095	6.225	6.23	6.135
Stability						
Dial	165	164	171	162	160	152
Load	1,650	1,640	1,710	1,620	1,600	1,520
Adjusted Stability (L)	1,716	1,706	1,864	1,684	1,664	1,657
Flow	15	12	18	17	12	15
Moisture Content						
Weight of failed specimen (H)	1095.20	1163.40	1090.30	1136.30	1126.80	1120.40
Weight of oven-dry specimen (I)	1009.80	1078.30	1010.00	1039.10	1032.50	1025.30
Tare (J)	109.70	163.20	105.50	105.60	108.60	123.90
Moisture content (K)	6.3142	6.9360	6.4272	10.1052	9.9165	10.2392
Moisture absorbed				—3.5278		
Maximum Total Voids - %	10.9593	10.0261	11.5390			

ตารางที่ ค.2 การคำนวณแบบผสมเย็น ที่ใช้มวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1000°ซ[133]
โดยมียางแอสฟัลท์อีมัลชั่นเกรด CM-K เป็นยางประสาน

ตารางที่ค.2 EMULSIFIED ASPHALT MIXTURE DATA SHEET
(Use for specimens containing a single residual asphalt content)

ASPHALT		AGGREGATE	
Type & Grade	CM-K	Source Id.	แหล่งดินบางเขน
Asphalt in Emulsion	67.50 %	Type	เม็ดดินเผาที่ 1000°ซ.
Asphalt Spec. Gra. (B)	1.010	Bulk Spec. Gra. (C)	1.9885
Residual Asphalt in Mixture (A)	5.0x0.675=3.375 %		
MIXING AND COMPACTION		TESTING	
Total Mix Water	10.0 %	Dry Spec. Test Date	13 มีนาคม 2529
Added Mix Water $\frac{8.5}{100} \times 866 \times 6$	= 442 g	Rotate Soak Spec. Date	15 มีนาคม 2529
Water at Comp.	10.0 %	Soak Spec. Test Date	17 มีนาคม 2529
Compaction Date	10 มีนาคม 2529		

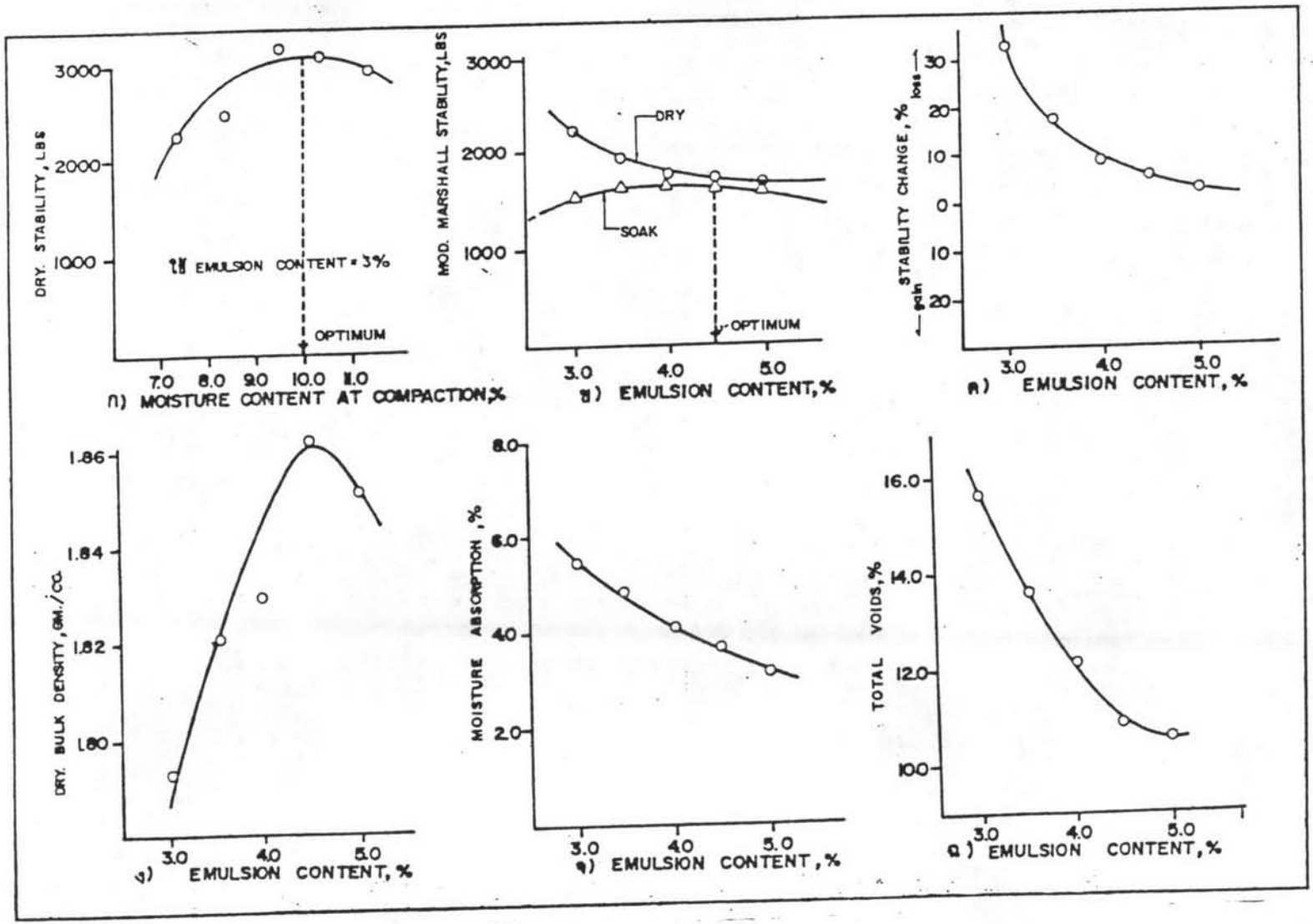
COMPACTED SPECIMEN DATA	Dry			Soaked		
	1	2	3	4	5	6
Bulk Density						
Weight in Air (D)	916.90	919.60	921.60			
Weight in Water (E)	445.50	447.60	449.10			
Weight SSD (F)	930.80	933.60	935.90			
BSG - compacted mix (G)	1.8893	1.8922	1.8931			
Dry BSG - compacted mix	1.8288	1.8293	1.8327			
Thickness	6.500	6.440	6.465	6.465	6.365	6.050
Stability						
Dial	171	205	235	195	200	160
Load	1,710	2,050	2,350	1,950	2,000	1,600
Adjusted Stability (L)	1,710	2,050	2,350	1,950	2,000	1,744
Flow	12	13	12	15	16	17
Moisture Content						
Weight of failed specimen (H)	1,061.70	1,101.50	1,049.80	1,108.50	1,116.00	1,144.10
Weight of oven-dry specimen (I)	1,017.80	1,056.30	1,005.50	1,045.50	1,051.50	1,081.40
Tare (J)	141.30	178.70	124.50	122.30	124.20	154.00
Moisture content (K)	3.3109	3.4391	3.2940	6.6013	6.7286	6.5401
Moisture absorbed				—3.2758		
Maximum Total Voids - %	5.0245	4.9937	4.8190			

ตารางที่ ค.3 การคำนวณแบบผสมเย็น ที่ใช้ยวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,100°ซ โดยมียางแอสฟัลท์อิมัลชั่นเกรด CM-K เป็นยางประสาน

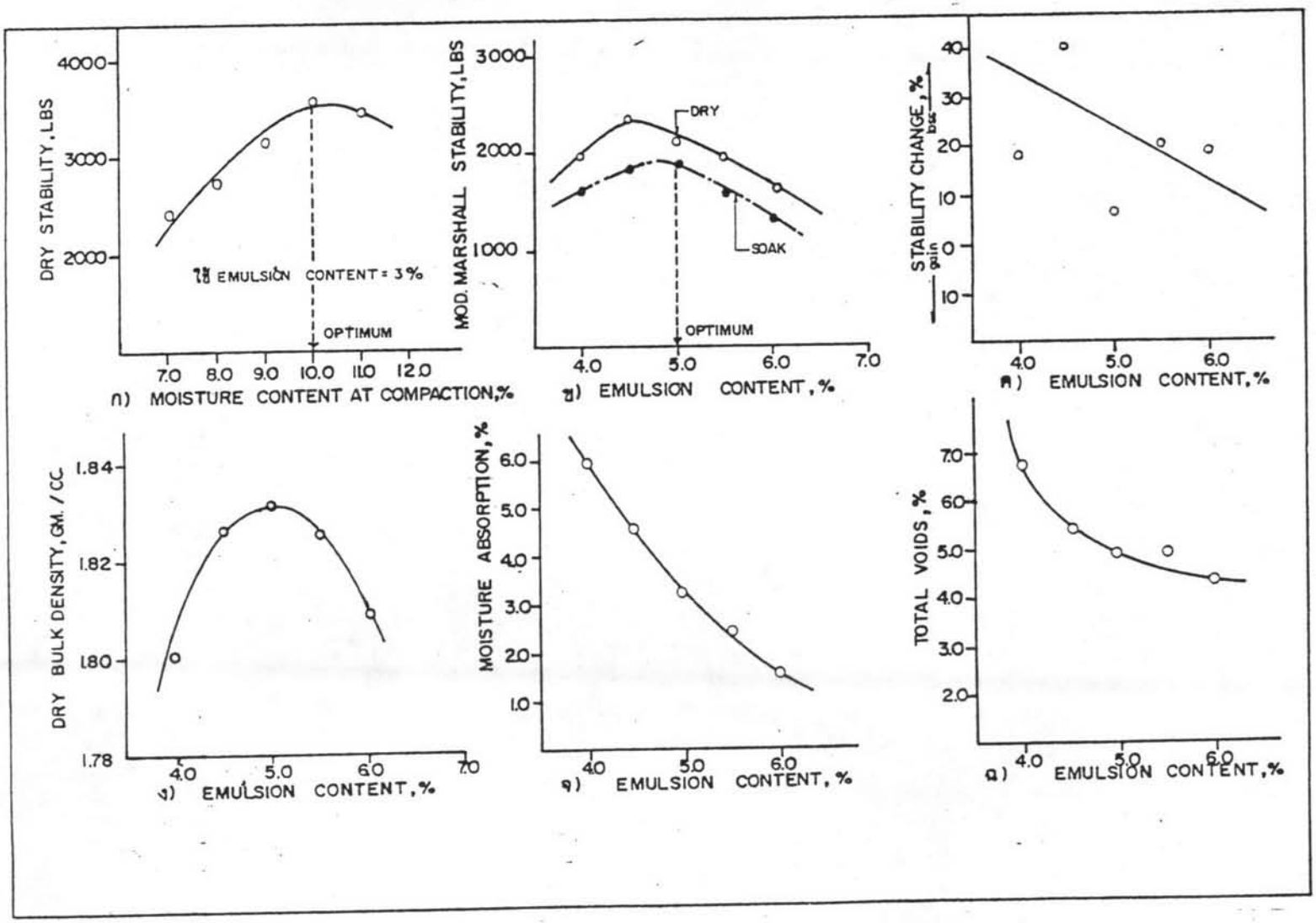
ตารางที่ ค.3 EMULSIFIED ASPHALT MIXTURE DATA SHEET
(Use for specimens containing a single residual asphalt content)

ASPHALT		AGGREGATE	
Type & Grade	CM – K	Source Id.	แหล่งดินมาบเขน
Asphalt in Emulsion	67.50 %	Type	เม็ดดินเผาที่ 1,100°ซ.
Asphalt Spec. Gra. (B)	1.010	Bulk Spec. Gra. (C)	1.7978
Residual Asphalt in Mixture (A)	5.5 x 0.675=3.7125%		
MIXING AND COMPACTION		TESTING	
Total Mix Water	10.0 %	Dry Spec. Test Date	21 พ.ค. 2528
Added Mix Water	6x64= 384 g	Rotate Soak Spec. Date	23 พ.ค. 2528
Water at Comp.	10.0 %	Soak Spec. Test Date	25 พ.ค. 2528
Compaction Date	18 พ.ค. 2528		

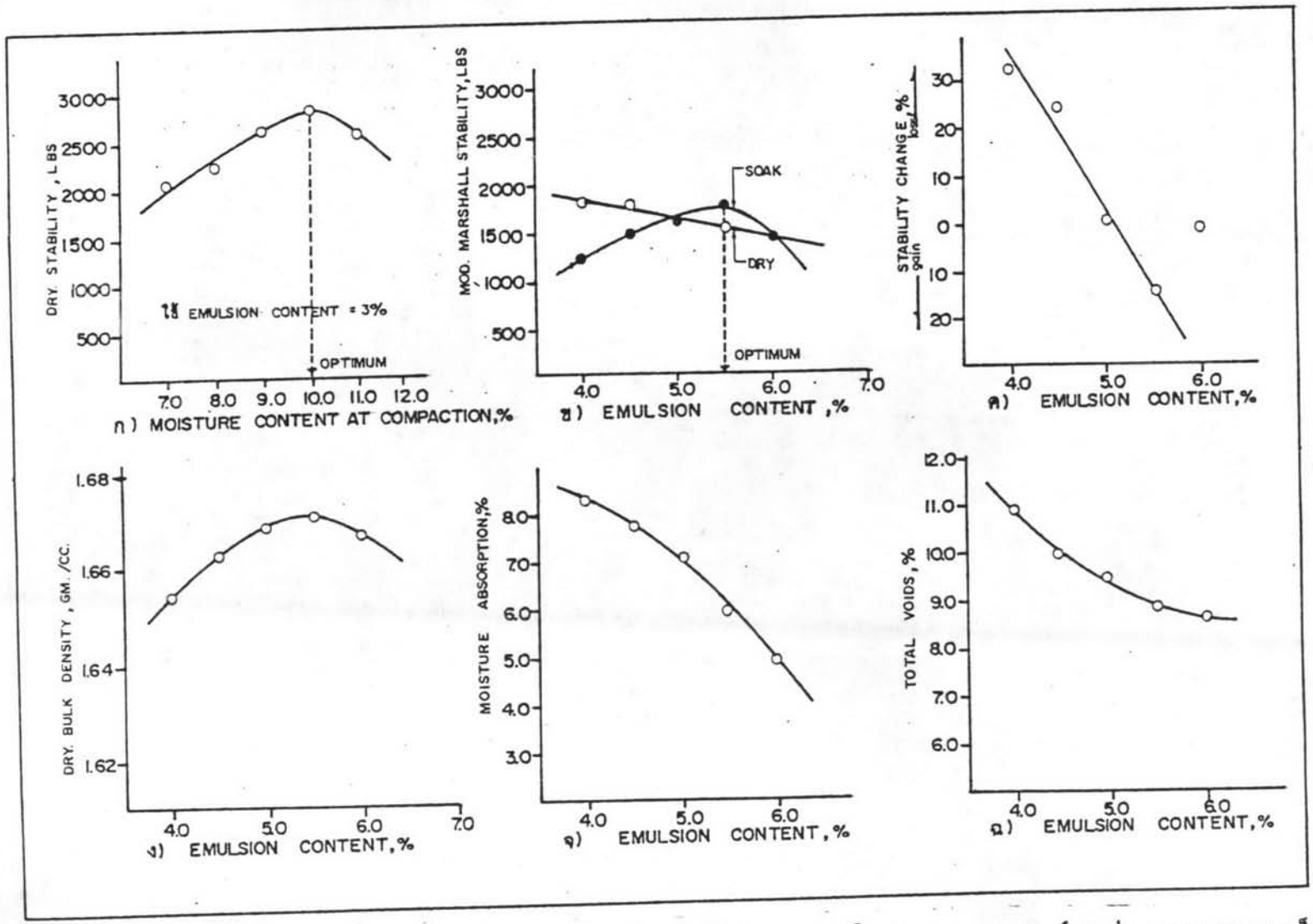
COMPACTED SPECIMEN DATA	Dry			Soaked		
	1	2	3	4	5	6
Bulk Density						
Weight in Air (D)	788.0	789.80	790.60			
Weight in Water (E)	342.80	344.80	347.10			
Weight SSD (F)	796.80	798.10	802.50			
BSG - compacted mix (G)	1.7357	1.7423	1.7360			
Dry BSG - compacted mix	1.6645	1.6699	1.6655			
Thickness	5.640	5.715	5.747	5.850	5.740	5.875
Stability						
Dial	125	121	131	105	162	172
Load	1,250	1,210	1,310	1,050	1,620	1,720
Adjusted Stability (L)	1563	1,440	1,559	1,249	1,928	2,047
Flow	13	13	15	17	14	15
Moisture Content						
Weight of failed specimen (H)	928.30	920.90	952.90	976.20	1032.10	1034.70
Weight of oven-dry specimen (I)	882.10	878.60	907.80	886.60	957.20	950.30
Tare (J)	126.80	121.60	150.80	101.20	179.20	180.00
Moisture content (K)	4.2634	4.3306	4.2287	10.9725	9.2826	10.5646
Moisture absorbed				— 5.9992		
Maximum Tptal Voids - %	8.9357	8.6461	8.8904			



รูปที่ ค.1 ผลการทดลองแบบผสมเย็นของมวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 900°ซ โดยมียางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด CM-K เป็นยางประสาน



รูปที่ ค.2 ผลการทดลองแบบผสมเย็นของมวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,000°ซ โดยมียางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด CM-K เป็นยางประสาน



รูปที่ ค.3 ผลการทดลองแบบผสมเย็นของมวลรวมเบ็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,100°ซ โดยมียางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด CM-K เป็นยางประสาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.4 การคำนวณแบบผสมเย็น ที่ใช้มวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 900°ซ โดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์เกรด MC-250 เป็นยางประสาน

ตารางที่ค.4 CUTBACK ASPHALT MIXTURE DATA SHEET
(Use for specimens containing a single residual asphalt content)

ASPHALT		AGGREGATE	
Type & Grade	MC-250	Source Id.	แหล่งดินบางเขน
Asphalt in CUTBACK	77 %	Type	เม็ดดินเผาที่ 900°ซ.
Asphalt Spec. Gra. (B)	0.96	Bulk Spec. Gra. (C)	2.1745
Residual Asphalt in Mixture (A)	5.5x0.77=4.235 %		
MIXING AND COMPACTION		TESTING	
Total Mix Water	— %	Dry Spec. Test Date	31 มี.ค. 2529
Added Mix Water	— g	Rotate Soak Spec. Date	2 เม.ย. 2529
Water at Comp.	— %	Soak Spec. Test Date	4 เม.ย. 2529
Compaction Date	28 มี.ค. 2529		

COMPACTED SPECIMEN DATA	Dry			Soaked		
	1	2	3	4	5	6
Bulk Density						
Weight in Air (D)	941.0	958.70	945.20			
Weight in Water (E)	471.40	485.90	472.60			
Weight SSD (F)	950.50	968.70	954.50			
BSG - compacted mix (G)	1.9640	1.9857	1.9614			
Dry BSG - compacted mjx	1.8898	1.9076	1.8847			
Thickness	6.180	6.195	6.235	6.275	6.295	6.250
Stability						
Dial	261	237	248	209	237	200
Load	2,610	2,370	2,480	2,090	2,370	2,000
Adjusted Stability (L)	2,714	2,465	2,579	2,174	2,465	2,080
Flow	14	17	15	13	20	13
Moisture Content						
Weight of failed specimen (H)	1,078.00	1,094.20	1,073.30	1,162.20	1,139.90	1,137.30
Weight of oven-dry specimen (I)	1,031.30	1,044.20	1,025.80	1104.30	1,080.80	1,078.70
Tare (J)	121.30	126.70	124.60	132.20	122.10	124.20
Moisture content (K)	3.9218	4.0957	4.0665	5.7142	5.9141	5.8899
Moisture absorbed				− 1.8114		
Maximum Total Voids - %	8.4833	7.6206	8.7265			

ตารางที่ ค.5 การคำนวณแบบผสมเย็น ที่ใช้มวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1000°ซ โดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์เกรด MC-250 เป็นยางประสาน

ตารางที่ค.5 CUTBACK ASPHALT MIXTURE DATA SHEET
(Use for specimens containing a single residual asphalt content)

ASPHALT		AGGREGATE	
Type & Grade	MC - 250	Source Id.	แหล่งดินนางแมน
Asphalt in CUTBACK	77 %	Type	เม็ดดินเผาที่ 1000°ซ.
Asphalt Spec. Gra. (B)	0.96	Bulk Spec. Gra. (C)	1.9885
Residual Asphalt in Mixture (A)	5.5x0.77=4.235 %		
MIXING AND COMPACTION		TESTING	
Total Mix Water	— %	Dry Spec. Test Date	27 ม.ค. 2529
Added Mix Water	— g	Rotate Soak Spec. Date	29 ม.ค. 2529
Water at Comp.	— %	Soak Spec. Test Date	31 ม.ค. 2529
Compaction Date	24 ม.ค. 2529		

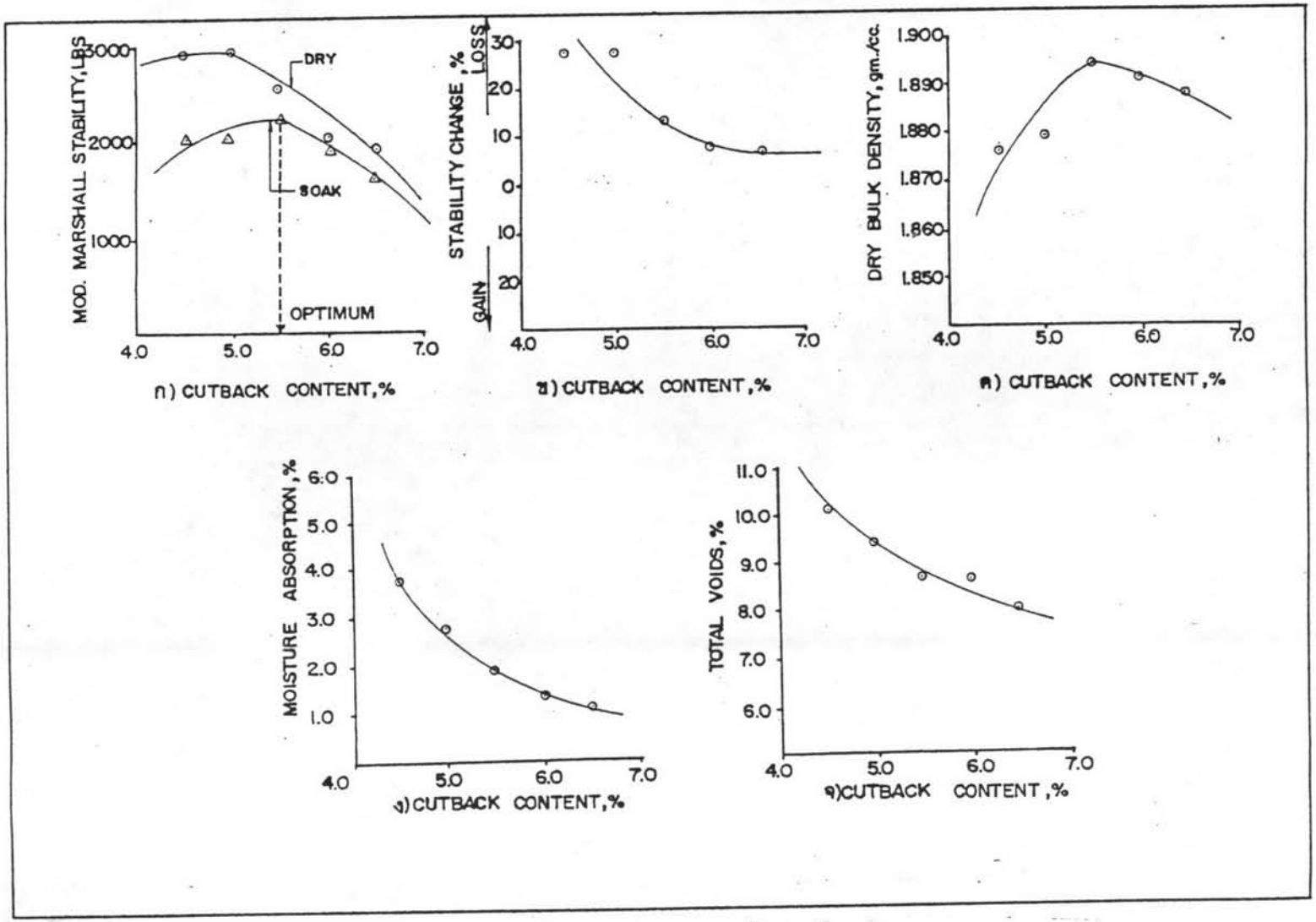
COMPACTED SPECIMEN DATA	Dry			Soaked		
	1	2	3	4	5	6
Bulk Density						
Weight in Air (D)	914.20	923.80	912.20			
Weight in Water (E)	440.50	453.20	443.60			
Weight SSD (F)	923.70	430.90	920.10			
BSG - compacted mix (G)	1.8920	1.9338	1.9144			
Dry BSG - compacted mix	1.86.92	1.9098	1.8840			
Thickness	5.980	5.850	6.110	6.045	6.440	6.060
Stability						
Dial	173	168	176	203	219	230
Load	1,730	1,680	1,760	2,030	2,190	2,300
Adjusted Stability (L)	1,886	1,915	1,918	2,111	2,102	2,507
Flow	12	13	14	13	17	13
Moisture Content						
Weight of failed specimen (H)	1,094.80	1,126.60	1,114.80	1,098.20	1,141.20	1,155.50
Weight of oven-dry specimen (I)	1,073.60	1,107.50	1,091.60	1,048.50	1,090.00	1,109.90
Tare (J)	153.50	187.90	183.50	124.60	154.60	168.00
Moisture content (K)	1.2199	1.2519	1.6163	5.1608	5.2512	4.6445
Moisture absorbed				— 3.6561		
Maximum Total Voids - %	1.8601	1.4502	1.0700			

ตารางที่ ค.6 การคำนวณแบบผสมเย็น ที่ใช้มวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,100°ซ โดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์เกรด MC-250 เป็นยางประสาน

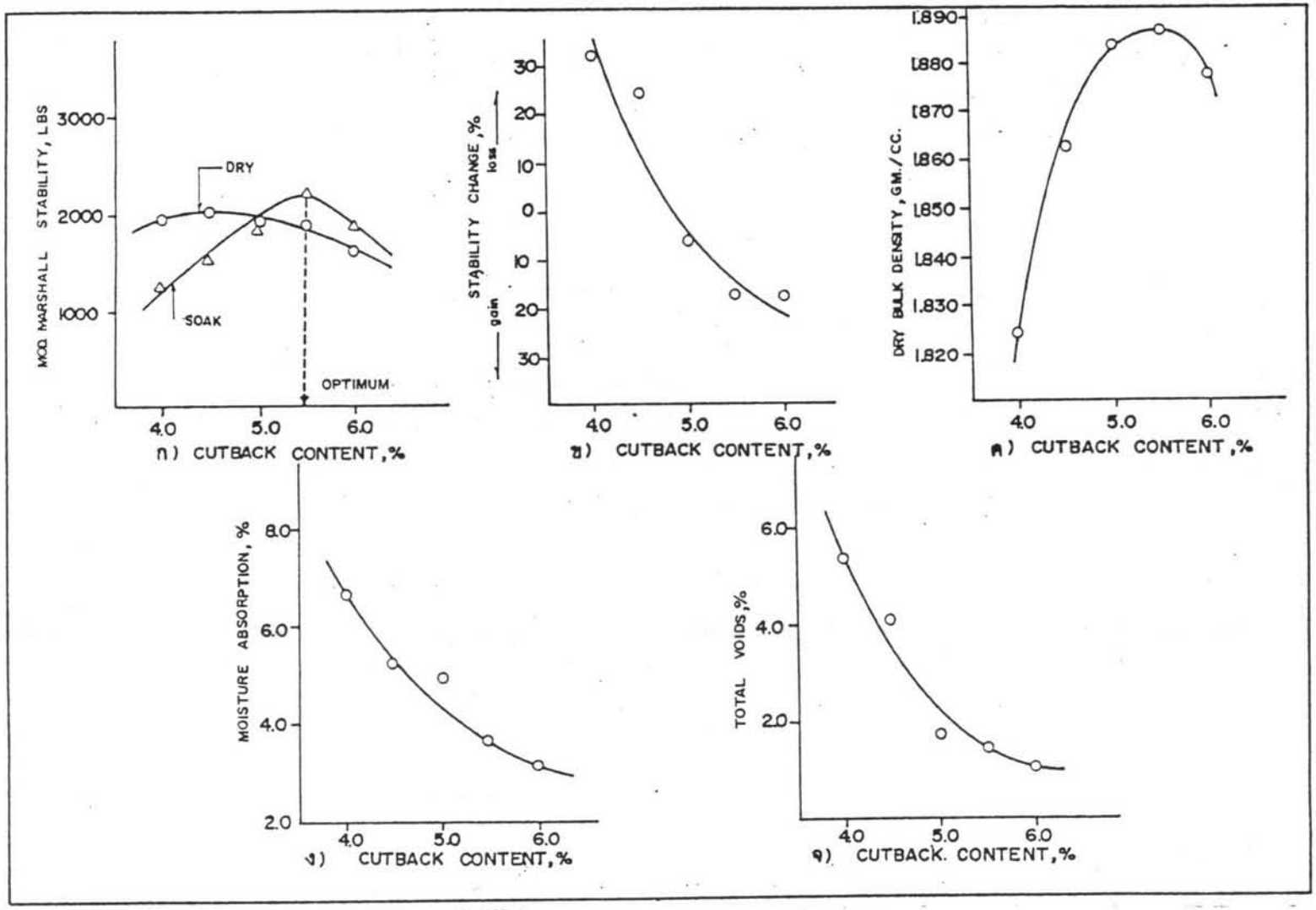
ตารางที่ ค.6 CUTBACK ASPHALT MIXTURE DATA SHEET
(Use for specimens containing a single residual asphalt content)

ASPHALT		AGGREGATE	
Type & Grade	MC-250	Source Id.	แหล่งดินบางเพน
Asphalt in CUTBACK	77 %	Type	เม็ดดินเผาที่ 1,100° ซ.
Asphalt Spec. Gra. (B)	0.96	Bulk Spec. Gra. (C)	1.7978
Residual Asphalt in Mixture (A)	5.5x0.77=4.235%		
MIXING AND COMPACTION		TESTING	
Total Mix Water	— %	Dry Spec. Test Date	14 ก.พ. 2529
Added Mix Water	— g	Rotate Soak Spec. Date	13 ก.พ. 2529
Water at Comp.	— %	Soak Spec. Test Date	15 ก.พ. 2529
Compaction Date	11 ก.พ. 2529		

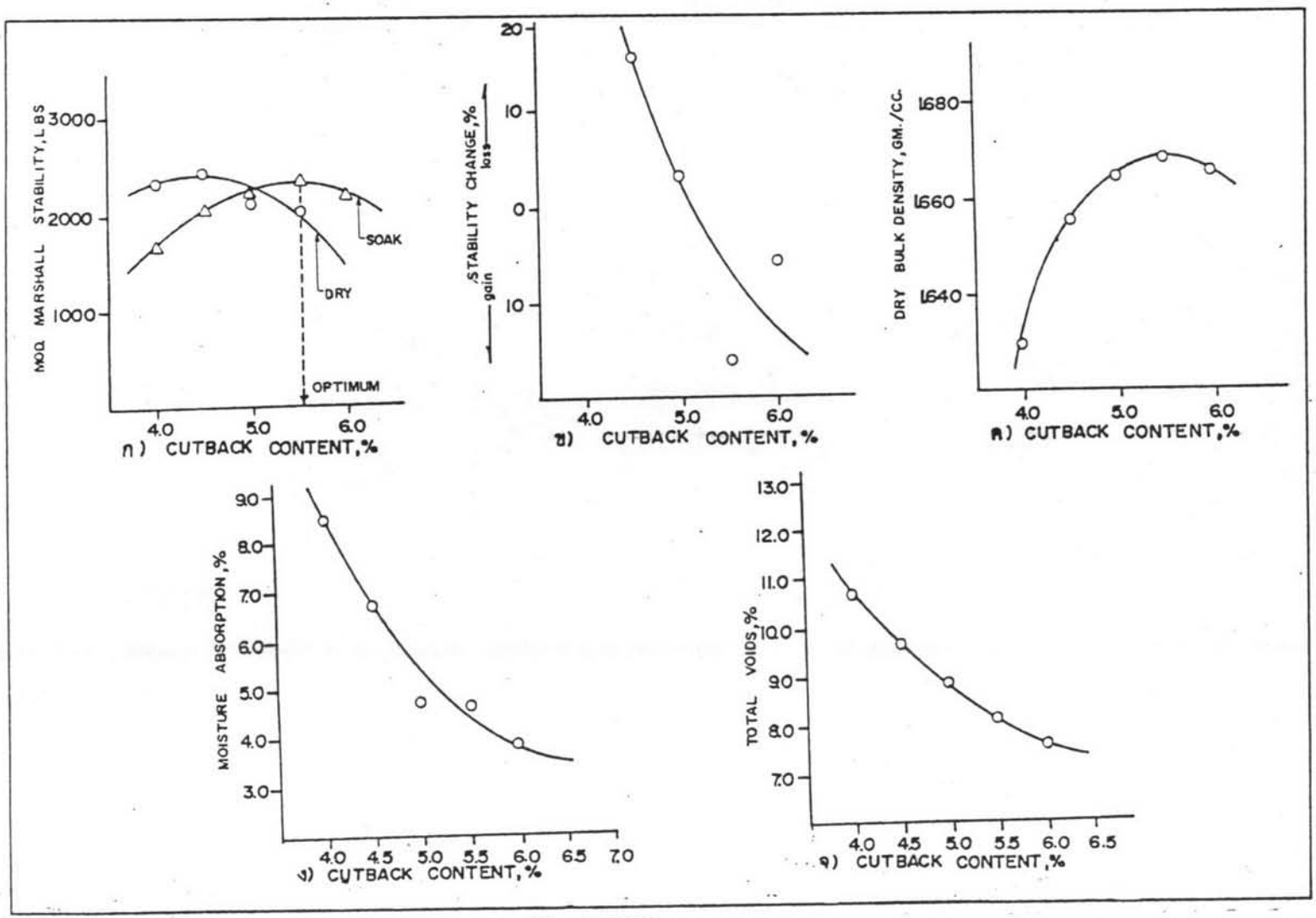
COMPACTED SPECIMEN DATA	Dry			Soaked		
	1	2	3	4	5	6
Bulk Density						
Weight in Air (D)	783.40	799.90	793.10			
Weight in Water (E)	328.60	337.60	341.20			
Weight SSD (F)	794.60	810.60	810.80			
BSG - compacted mix (G)	1.6811	1.6911	1.6890			
Dry BSG - compacted mix	1.6684	1.6625	1.6743			
Thickness	6.009	6.003	5.895	5.980	6.075	6.000
Stability						
Dial	173	175	180	215	220	210
Load	1,730	1,750	1,800	2,150	2,200	2,100
Adjusted Stability (L)	1,972	1,995	2,142	2,343	2,398	2,289
Flow	10	10	9	8	12	14
Moisture Content						
Weight of failed specimen (H)	979.70	999.60	950.40	1,003.60	1,035.10	1,029.80
Weight of oven-dry specimen (I)	962.30	974.80	925.50	955.10	987.50	982.10
Tare (J)	183.70	188.10	141.30	163.10	187.60	183.20
Moisture content (K)	0.7640	1.7195	0.8808	5.8877	5.7090	5.7281
Moisture absorbed				— 4.6535		
Maximum Total Voids - %	8.10	8.41	8.00			



รูปที่ ค.4 ผลการทดลองแบบผสมเย็นของมวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 900°ซ โดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน



รูปที่ ค.5 ผลการทดลองแบบผสมเย็นของบวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,000°ซ โดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน



รูปที่ ค.6 ผลการทดลองแบบผสมเย็นของมวลรวมเม็ดคละเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1,100°ซ โดยมียางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 เป็นยางประสาน

ตารางที่ ค.7 การคำนวณแบบผสมเย็น ที่ใช้มวลรวมเม็ดดินเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1000°ซ โดยมียางแอสฟัลท์อีมัลชั่นเกรด SS-K เป็นยางประสาน

ตารางที่ ค. 7 EMULSIFIED ASPHALT MIXTURE DATA SHEET (Use for specimens containing a single residual asphalt content)

ASPHALT		AGGREGATE	
Type & Grade	SS-K	Source Id.	แหล่งดินบางบน
Asphalt in Emulsion	62.10 %	Type	เม็ดดินเผาที่ 1000° ซ.
Asphalt Spec. Gra. (B)	1.010	Bulk Spec. Gra. (C)	1.9885
Residual Asphalt in Mixture (A)	5.5x0.621=3.4155 %		
MIXING AND COMPACTION		TESTING	
Total Mix Water	12.0 %	Dry Spec. Test Date	21 มีนาคม 2529
Added Mix Water 8.66x10x6= 520	g	Rotate Soak Spec. Date	23 มีนาคม 2529
Water at Comp.	12.0 %	Soak Spec. Test Date	25 มีนาคม 2529
Compaction Date	18 มีนาคม 2529		

COMPACTED SPECIMEN DATA	Dry			Soaked		
	1	2	3	4	5	6
Bulk Density						
Weight in Air (D)	926.40	909.60	929.70			
Weight in Water (E)	416.40	410.20	421.20			
Weight SSD (F)	934.10	917.10	938.60			
BSG - compacted mix (G)	1.7895	1.7944	1.7962			
Dry BSG - compacted mix	1.7300	1.7319	1.7312			
Thickness	6.730	6.620	6.620	6.445	6.505	6.540
Stability						
Dial	299	255	273	231	181	185
Load	2,990	2,550	2,730	2,310	1,810	1,850
Adjusted Stability (L)	2,781	2,448	2,620	2,310	1,737	1,776
Flow	15	17	18	12	15	12
Moisture Content						
Weight of failed specimen (H)	1,124.80	1,055.50	1,062.00	1,152.10	1,116.20	1,119.10
Weight of oven-dry specimen (I)	1085.20	1015.10	1018.30	1056.40	1027.70	1029.40
Tare (J)	188.40	132.20	122.20	188.40	131.80	122.80
Moisture content (K)	3.4396	3.6033	3.7230	10.6620	9.5521	9.5610
Moisture absorbed				— 6.3266		
Maximum Total Voids - %	10.1174	10.0095	10.0445			

ภาคผนวก ง.

วิธีการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลท์คิกคอนกรีตแบบผสมเย็นโดยวิธีมาร์แชล

ภาคผนวก ง

วิธีการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นโดยวิธีมาร์แชล[6,21]

วิธีการทดลองนี้เป็นวิธีการทดลองการออกแบบส่วนผสมเย็นระหว่างวัสดุมวลรวมกับยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นซึ่งได้รับการพัฒนาปรับปรุงโดยมหาวิทยาลัยอิลลินอยส์ ภายใต้การสนับสนุนของกรมการขนส่งและการบริหารทางหลวงกลางของรัฐอิลลินอยส์ (Illinois Department of Transportation and the Federal Highway Admistration) ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการออกแบบดังนี้

ง.1. การประมาณปริมาณเนื้อยางล้วน ๆ (Trial Residual Asphalt Content)

เป็นลำดับขั้นตอนแรกที่จะประมาณปริมาณเนื้อยางล้วน ๆ ที่จะนำมาใช้หาเปอร์เซนต์น้ำที่เหมาะสมที่สุด

ปริมาณเนื้อยางล้วน (% โดยน้ำหนักวัสดุมวลรวมแห้ง, R) สามารถหาได้ดังนี้

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

(Trial Residual Asphalt Content by Weight of Dry Aggregate, %)

A = % ของวัสดุมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 4

B = % ของวัสดุมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 200

C = % ของวัสดุมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200

$$\text{ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นที่ใช้ในการหา\% น้ำ (Trial Emulsion Content)} = \frac{R}{\text{สมมุติยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นที่ใช้มีเนื้อยาง x\%}}$$

นำค่ายางแอสฟัลท์อีมัลชั่นที่ใช้ในการหา% น้ำ ที่คำนวณได้ไปทดลองหาเปอร์เซนต์น้ำที่ให้ค่าเสถียรภาพสูงสุดโดยวิธีมาร์แชล

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.2. การเคลือบผิวของวัสดุมวลรวม (Coating)

ง.2.1 ความมุ่งหมาย

เมื่อเลือกเกรดและชนิดของยางอีมัลชั่นที่จะใช้ในการทดลอง แล้วทดสอบดูความสามารถของยางอีมัลชั่นในการเคลือบผิวของวัสดุมวลรวมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งในการเลือกชนิดของยาง

แอสฟัลท์อีมัลชั่นและการเรียงขนาดของวัสดุมวลรวม แฟคเตอร์ที่มีผลต่อการเลือก คือ

ก) ชนิดของวัสดุมวลรวม

ข) การเรียงขนาดของวัสดุมวลรวมและลักษณะของส่วนละเอียด

ค) การคาดการณ์ปริมาณน้ำในวัสดุมวลรวม

ง) น้ำสะอาดที่หาได้ง่ายในบริเวณก่อสร้าง

โดยปกติจะมียางอีมัลชั่นมากกว่าหนึ่งชนิดซึ่งสามารถใช้กับวัสดุมวลรวมที่เลือกใช้ การเลือกชนิดของยางอีมัลชั่นจะทำโดยการเปรียบเทียบคุณสมบัติของส่วนผสมที่หาได้ และแฟคเตอร์ที่ต้องคำนึงถึงเพิ่มเติมคือ

1. การคาดการณ์สภาพภูมิอากาศในเวลาที่จะทำการก่อสร้าง

2. วิธีการผสม

3. การเลือกใช้เครื่องมือก่อสร้างและวิธีการปฏิบัติงานในสนาม

ง.2.2 การทดลองการเคลือบผิววัสดุมวลรวม (Coating Test)

การทดลองการเคลือบผิววัสดุมวลรวมโดยใช้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นจะใช้ปริมาณยางที่คำนวณได้ตาม ข้อ ง.1 ผสมกับวัสดุมวลรวมที่จะนำมาใช้งาน ดูเปอร์เซนต์ของพื้นที่ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นเคลือบผิววัสดุมวลรวมด้วยสายตา ยางอีมัลชั่นจะสามารถเคลือบผิววัสดุมวลรวมโดยเปลี่ยนไปตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นเข้าไปผสมกับวัสดุมวลรวม โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับวัสดุมวลรวมที่มีเปอร์เซนต์ลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 สูง ถ้าปริมาณน้ำที่เติมเพิ่มเข้าไปผสมกับวัสดุมวลรวมไม่เพียงพอจะมีผลทำให้ยางอีมัลชั่นไปเคลือบส่วนละเอียดสูงทำให้เกิดลูกกลม ๆ ของยางที่หุ้มด้วยส่วนละเอียดได้ และทำให้ยางอีมัลชั่นเหลือไม่เพียงพอที่จะเคลือบส่วนหยาบได้ การทดลองทำโดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในวัสดุมวลรวม ถ้ายางอีมัลชั่นชนิดใดไม่ผ่านการทดสอบการเคลือบผิววัสดุมวลรวมก็จะไม่นำมาพิจารณาในการใช้งาน สำหรับรายละเอียดการทดลองการเคลือบผิวมีดังนี้

ง.2.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องชั่ง เป็นแบบ Balance ที่สามารถชั่งน้ำหนักได้ไม่น้อยกว่า 5 กิโลกรัม และมีความคลาดเคลื่อน $\pm$ 0.5 กรัม

2. เครื่องผสม ใช้สำหรับผสมวัสดุมวลรวม น้ำและยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ถ้าใช้มือผสมจะต้องสามารถคลุกเคล้าให้น้ำและยางอีมัลชั่นกระจายไปทั่ววัสดุมวลรวม

3. แผ่นความร้อน (Hot plate) หรือเตาอบที่ให้อุณภูมิถึง $110 \pm 5^{\circ}$ซ

4. กะละมัง ใช้สำหรับผสมวัสดุมวลรวม น้ำและยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น มีความจุ 4.7 ลิตร

5. เกรียงโลหะ ขนาดประมาณ 10 นิ้ว

6. กระบอกตวง ขนาดความจุ 1,000 มิลลิลิตร

ง.2.2.2 การทดลอง

1. เตรียมยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นที่พิจารณานำมาใช้งาน

2. เตรียมวัสดุมวลรวมโดยผึ่งให้แห้งในอากาศ ระวังอย่าให้มวลรวมจับตัวเป็นก้อน

3. หาความชื้นของตัวอย่างวัสดุมวลรวมที่ผึ่งแห้งในอากาศ

4. นำวัสดุเม็ดดิน เผา ทราย และหินฝุ่น ซึ่งได้ผ่านการร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามข้อ จ.1 มาชั่งน้ำหนักที่ค้างบนแต่ละตะแกรงตามสัดส่วนผสมที่ออกแบบแล้ว นำมาผสมกันให้ได้น้ำหนักผสมประมาณ 900 กรัมและอบให้แห้ง

5. นำวัสดุมวลรวมเข้าเครื่องผสม ในกรณีที่ต้องการให้มีน้ำในวัสดุมวลรวมเกินความชื้นในวัสดุมวลรวมที่ผึ่งแห้งต้อง เพิ่มน้ำที่ปริมาณต่าง ๆ เข้าไปในวัสดุมวลรวม โดยค่อย ๆ เพิ่มน้ำทีละน้อย ๆ พร้อมกับเดินเครื่องผสมจนกระทั่งน้ำกระจายไปทั่ววัสดุมวลรวม เลือกปริมาณน้ำตามกฎเกณฑ์ดังนี้ คือ

5.1 อีมัลชั่นที่มีประจุลบ (Anionic Emulsion) การทดลองครั้งแรกไม่ต้อง เพิ่มน้ำเข้าในส่วนผสม

5.2 อีมัลชั่นที่มีประจุบวก (Cationic Emulsion) โดยปกติต้องการปริมาณน้ำที่สูงกว่าเพื่อให้มีความเพียงพอกับส่วนผสม การทดลองครั้งแรกจะเพิ่มน้ำเข้าในส่วนผสมประมาณ 3%

6. ใส่ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นตามที่คำนวณได้ในข้อ ง.1 โดยค่อย ๆ เติมยางทีละน้อย ๆ (เพื่อไม่ให้ยางเคลือบส่วนละเอียดสูงทำให้เกิดลูกกลม ๆ ของยางที่หุ้มด้วยส่วนละเอียด) พร้อมกับเดินเครื่องผสมเป็นเวลาไม่เกิน 5 นาที ถ้าใช้มือผสมต้องคลุกเคล้าให้ยางกระจายไปทั่ววัสดุมวลรวม

7. คำนวณหาปริมาณน้ำในวัสดุมวลรวมทั้งหมด โดยรวมกับความชื้นในวัสดุมวลรวมที่มีอยู่เดิม (ตามข้อ ง.2.2.2 ในข้อย่อย 3) กับปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้าไป (ตามข้อ ง.2.2.2 ในข้อย่อย 5)

8. ปล่อยให้ส่วนผสมแห้งในอากาศ หรืออบแห้งที่อุณหภูมิ $110 \pm 5^{\circ}$ซ พร้อมเตรียมตัวอย่างใหม่ โดยเพิ่มน้ำเข้าไปอีก 1% แล้วดำเนินการตามข้อ ง.2.2.2 ในข้อย่อย 5,6 และ 7

9. ที่แต่ละเปอร์เซนต์ที่เพิ่มเข้าไปประมาณเปอร์เซนต์ของพื้นที่ผิวของวัสดุมวลรวมที่ถูกเคลือบด้วยยางแอสฟัลท์ด้วยตา โดยจะสนใจเฉพาะปริมาณน้ำที่ทำให้ยางแอสฟัลท์เคลือบผิวของวัสดุมวลรวมเกิน 50% เท่านั้น

10. สำหรับยางอีมัลชั่นที่มีประจุลบ การบันทึกปริมาณน้ำที่เพิ่มเข้าไปให้ทำดังนี้

10.1 ปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ทำให้ยางแอสฟัลท์เคลือบผิววัสดุมวลรวมเกิน 50%

10.2 ปริมาณน้ำที่ทำให้ยางแอสฟัลท์เคลือบผิววัสดุมวลรวมมากที่สุด

10.3 ปริมาณน้ำที่มากที่สุดที่ทำให้ยางแอสฟัลท์เคลือบผิววัสดุมวลรวมเกิน 50%

11. สำหรับยางอีมัลชั่นที่มีประจุบวก โดยปกติเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำเข้าไปเปอร์เซนต์การเคลือบผิววัสดุมวลรวมก็เพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุด ๆ หนึ่ง เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำเข้าไป

อีกเปอร์เซนต์ของการเคลือบผิวก็จะไม่เพิ่มสูงขึ้นตาม

ง.3 การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการบดอัด (Optimum Water Content at Compaction)

ง.3.1 ความมุ่งหมาย เพื่อให้อัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมได้มีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นของตัวอย่างที่บดอัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการบดอัดตามอัตราส่วนผสมที่ต้องการ เพราะว่าปริมาณน้ำที่ใส่เข้าไปเพื่อให้วัสดุมวลรวมดูดน้ำไว้เมื่อเวลาผสมกับยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นจะได้ไม่มาดูดน้ำจากยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ทำให้การแตกตัวของยางอีมัลชั่นช้าลง เกิดเสถียรภาพในการผสมขึ้นมีเวลานานพอที่ยางอีมัลชั่นจะเคลือบผิวของวัสดุมวลรวมได้ทั่วและเป็นตัวหล่อลื่นให้การบดอัดได้ความแน่นตามต้องการ ถ้าใส่น้ำเข้าไปน้อยวัสดุมวลรวมยังไม่อิ่มตัว เมื่อเวลาผสมกับยางอีมัลชั่น วัสดุมวลรวมจะดูดน้ำจากยางอีมัลชั่นทำให้การแตกตัวก่อนเวลาอันสมควร แต่ถ้าใส่น้ำมากเกินไป เมื่อผสมระหว่างวัสดุมวลรวมกับยางอีมัลชั่นเข้ากันดีแล้ว จะต้องใช้เวลานานในการแตกตัวและน้ำระเหยออกไปจากส่วนผสม ทำให้เสียเวลาเปิดการจราจร

ง.3.2 การทดลอง

ง.3.2.1 เตรียมจำนวนตัวอย่างที่จะทำการบดอัด 3 ก้อนในแต่ละ% น้ำโดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมแห้ง

ง.3.2.2 ผสมน้ำกับวัสดุมวลรวมให้ทั่วแล้วใส่ยางอีมัลชั่น ตามที่คำนวณได้จากข้อ ง.1

ง.3.2.3 ผสมคลุกเคล้ากันให้ยางแอสฟัลท์เคลือบผิววัสดุมวลรวมให้ทั่ว

ง.3.2.4 นำตัวอย่างใส่ในแบบ (Mold) ทำการบดอัดจำนวน 75 ครั้งต่อด้าน

ง.3.2.5 ทิ้งตัวอย่างไว้ในแบบ (Mold) เป็นเวลา 3 วัน

ง.3.2.6 นำตัวอย่างมาทดลองหาค่าเสถียรภาพ (Stability) ที่สูงที่สุดแล้วนำน้ำ (% โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมแห้ง) ที่ให้ค่าเสถียรภาพสูงที่สุดมาใช้ทดลองในขั้นต่อไป

ง.4 การหาเสถียรภาพที่เหมาะสมที่สุดจากเปอร์เซนต์ยางแอสฟัลท์ต่าง ๆ (Variation of Residual Asphalt Content)

ง.4.1 ความมุ่งหมาย เพื่อเป็นการหาปริมาณยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นที่เหมาะสมที่จะใช้สำหรับผสมกับวัสดุมวลรวม โดยการนำน้ำ (% โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมแห้ง) ที่ให้ค่าเสถียรภาพสูงสุดจากการทดลองหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการบดอัด มาผสมคลุกเคล้ากับวัสดุมวลรวมแห้งโดยให้วัสดุทุกเม็ดเปียก ใส่ยางอีมัลชั่นที่มีปริมาณเนื้อยางต่าง ๆ

ง.4.2 การเตรียมตัวอย่าง

ง.4.2.1 เตรียมจำนวนตัวอย่างที่จะทำการบดอัด 6 ก้อนที่แต่ละ% ยางอีมัลชั่นที่ใส่โดยใช้ปริมาณเนื้อยางที่คำนวณได้จากข้อ ง.1 เป็นหลัก

ง.4.2.2 เตรียมแบบสำหรับบดอัด

ง.4.2.3 เตรียมวัสดุมวลรวม เช่น เม็ดหิน เผา ทราย และหินฝุ่น หนักทั้งหมดประมาณ 5,400 กรัม ถ้าเป็นหินปูน (Lime stone) ทราย และหินฝุ่นใช้ประมาณ 7,200 กรัม

ง.4.2.4 เติมน้ำ (% โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมแห้ง) ที่ให้ค่าเสถียรภาพสูงสุดจากการทดลองหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้ในการบดอัด (ตามข้อ ง.3) มาผสมคลุกเคล้ากับวัสดุมวลรวมให้เปียกให้ทั่ว, ใส่ยางอีมัลชั่นที่มีปริมาณเนื้อยางต่าง ๆ (โดยใช้ปริมาณเนื้อยางที่คำนวณได้จากข้อ ง.1 เป็นหลัก) แล้วเพิ่มและลดข้างละสองค่า ผสมให้ยางเคลือบผิววัสดุมวลรวมให้หมด

ง.4.2.5 นำวัสดุตัวอย่างที่ผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ไปใส่แบบ (Mold) แล้วทำการบดอัดจำนวน 75 ครั้งต่อด้าน

ง.4.2.6 ทิ้งไว้ในแบบ (Mold) เพื่อให้ยางแอสฟัลท์แตกตัวจากน้ำและน้ำระเหยออกไปจากส่วนผสมเป็นเวลา 3 วัน

ง.4.3 การทดลอง

นำตัวอย่างที่ทิ้งไว้ในแบบ (Mold) เป็นเวลา 3 วัน มาทำการทดลอง โดยแบ่งออกเป็น 2 ชุด ดังนี้

ง.4.3.1 ชุดที่หนึ่ง หลังจากนำไปหาความหนาแน่น (Density) ของก้อนตัวอย่างแล้วนำไปกดหาค่าเสถียรภาพ (Stability) และการยุบตัว (Flow) ทันที แล้วนำก้อนตัวอย่าง เข้าตู้อบ เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหลือในส่วนผสม

ง.4.3.2 ชุดที่สอง เมื่อหาความหนาแน่น (Density) ของก้อนตัวอย่างแล้ว นำไปแช่น้ำเป็นเวลา 4 วัน (กลับด้านเมื่อแช่ไว้ 2 วัน) จึงนำมากดหาค่าเสถียรภาพและการยุบตัวทันที แล้วนำก้อนตัวอย่างเข้าตู้อบ เพื่อหาปริมาณน้ำที่เหลือในส่วนผสม

ง.5 <u>การเตรียมตัวอย่างและการทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นโดยใช้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นและการบดอัดโดยวิธีมาร์แชล</u>

ง.5.1 บทนำ

ในการทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตจะต้องมีการเตรียมตัวอย่าง (Specimens) ในห้องทดลอง ตัวอย่างที่จะใช้จะได้จากการนำเอาวัสดุมวลรวมคละ (Aggregate) มาผสมกับยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นเป็นวัสดุผสม (Mixture) ที่เรียกกันว่า "แอสฟัลท์ติกคอนกรีต" วัสดุมวลรวมและปริมาณยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นที่ใช้ในการผสมจะต้องมีอัตราส่วน (โดยน้ำหนัก) ที่เหมาะสม ซึ่งโดยทั่วไปจะระบุไว้ในข้อกำหนด (Specification)

ในการเตรียมตัวอย่างและการบดอัดโดยวิธีมาร์แชล จะใช้วัสดุมวลรวมสำหรับเม็ดดินเผา ทรายและหินฝุ่นใช้ประมาณ 900 กรัม ถ้าเป็นหินปูน ทราย และหินฝุ่นใช้ประมาณ 1,200 กรัม ซึ่งเมื่อผสมกับยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นและบดอัดเรียบร้อยแล้ว จะได้ก้อนตัวอย่าง มีขนาดความสูง $2\frac{1}{2}$ นิ้ว และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว โดยทั่วไปการทดลองแต่ละครั้งควรจะเตรียมตัวอย่างทดลอง 6 ก้อนต่อแต่ละปริมาณ (%) ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นที่ใช้ เพื่อจะได้ข้อมูลที่ถูกต้องสมบูรณ์ในการเลือกใช้ปริมาณแอสฟัลท์อีมัลชั่นที่เหมาะสมต่อไป

ง.5.2 ความมุ่งหมาย การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาคุณภาพของแอสฟัลท์ติกคอนกรีตที่ใช้เป็นผิวทางหรือพื้นทางแบบแอสฟัลท์ติกคอนกรีต หรืองานปะซ่อมบำรุงทาง

ง.5.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ ง.1 หรือรูปที่ ง.2 และ ง.3

ง.5.3.1 กะละมังเคลือบ หรือภาชนะโลหะที่มีขอบสูงประมาณ 7 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางระหว่างขอบประมาณ 25 ซม. สำหรับใส่วัสดุมวลรวมผสม

ง.5.3.2 ภาชนะโลหะ มีขอบสูงประมาณ 15 ซม. เส้นผ่าศูนย์กลางของขอบประมาณ 30 ซม. สำหรับใส่วัสดุมวลรวมผสมกับยางแอสฟัลท์อิมัลชั่น

ง.5.3.3 เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้

ง.5.3.4 ช้อนใหญ่ เกรียง และ Spatula ใช้ผสมวัสดุมวลรวมผสมกับยางแอสฟัลท์อิมัลชั่น

ง.5.3.5 เครื่องชั่ง สามารถชั่งน้ำหนักได้ถึง 5 กิโลกรัม มีความละเอียดถึง 0.1 กรัม

ง.5.3.6 แท่นรอง (Compaction Pedestal) ประกอบด้วยฐานไม้ขนาดประมาณ 20x20x45 ซม. (8x8x18 นิ้ว) มีแผ่นเหล็กขนาดประมาณ 30x30x2.5 ซม. (12x12x1 นิ้ว) ติดอยู่ที่ขอบบนของฐานไม้ ฐานไม้ควรเป็นไม้ที่มีความแน่นแห้ง 0.65-0.80 กรัม/ลบ.ซม. (ประมาณ 42-48 ปอนด์/ลบ.ฟุต) แผ่นเหล็กจะต้องยึดแน่นกับฐานไม้

ง.5.3.7 แบบสำหรับบดอัด (Compaction Mold) ซึ่งมีลักษณะทรงกระบอกกลวงประกอบด้วยแผ่นฐาน (Base Plate) แบบ (Mold) และปลอก (Collar Extension) มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10.16 ซม. (4 นิ้ว) สูง 7.32 ซม. (3 นิ้ว)

ง.5.3.8 ฆ้อน (Hammer) ประกอบด้วยแผ่นเหล็กกลมหนา 1.27 ซม. (0.5 นิ้ว) มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.842 ซม (3.875 นิ้ว) ติดกับก้านเหล็กซึ่งมีแท่งเหล็กหนัก 4.45 กิโลกรัม (10 ปอนด์) สำหรับทิ้งน้ำหนักลงบนแผ่นเหล็กกลม ในขณะทำการบดทับให้มีระยะตกของแท่งเหล็กเท่ากับ 45.72 ซม. (18 นิ้ว)

ง.5.3.9 ที่ยึดแบบ (Mold Holder) ใช้สำหรับบังคับให้แบบที่บดทับอยู่กับที่ในขณะทำการบดทับ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.5.3.10 เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder)

ง.5.3.11 กระดาษ ซึ่งตัดเป็นรูปวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว

ง.5.3.12 เครื่องทดลอง มาร์แชล (Marshall Testing Machine) ใช้สำหรับทดสอบหาค่าเสถียรภาพ (Stability) เป็นเครื่องกดที่สามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่า 3,000 กิโลกรัม (6,000 ปอนด์) เป็นแบบขุดด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า อัตราของมอเตอร์ที่หมุนขุดต้องทำให้ฐานหรือแท่นกดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 ซม.ต่อนาที (ประมาณ 2 นิ้วต่อนาที) เครื่องกดนี้จะต้องมี Proving Ring อ่านค่าแรงกดหรือเครื่องกดอื่นใดที่มีคุณสมบัติเทียบเท่า ดังรูปที่ ง.3

ง.5.3.13 แบบทดลองเสถียรภาพ (Stability Mold) สำหรับใส่ตัวอย่างทดลองหาค่าเสถียรภาพ

ง.5.3.14 เครื่องวัดค่ายุบตัว (Flow Meter) สำหรับทดลองหาค่ายุบตัว (Flow) ของตัวอย่างระหว่างกด อ่านได้ค่าเป็น $\frac{1}{10}$ มม.

ง.5.4 การเตรียมตัวอย่าง ให้นำวัสดุมวลรวมคละมาดำเนินการดังนี้

ง.5.4.1 ทดลองหาขนาดวัสดุชนิดเม็ดหยาบโดย "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง" ตามมาตรฐานการทดลองของกรมทางหลวง ที่ ทล-ท 204/2516

ง.5.4.2 ทดลองหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดหยาบ (เม็ดดินเผา) โดยใช้พาราฟิน (Parafin) เคลือบผิววัสดุเม็ดหยาบ

ง.5.4.3 ทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดละเอียดโดย "วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดละเอียด" ตามมาตรฐานการทดลองของกรมทางหลวง ที่ ทล-ท 209/2518

ง.5.4.4 หาอัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมคละ (Aggregate) เมื่อรวมกันแล้วได้ขนาดตามที่ต้องการ (Blending)

ง.5.4.5 นำวัสดุมวลรวมคละตามอัตราส่วนที่หาได้ จากข้อ ง.5.4.4 หนัก 900 กรัม (สำหรับวัสดุเม็ดดินเผา ทราย หินฝุ่น) ถ้าให้หินปูนหนัก 1,200 กรัม (เมื่อบดทับแล้วตัวอย่างจะหนาประมาณ 6.35 ซม.หรือ 2.5 นิ้ว) ใส่ในกะละมังเคลือบ

ง.5.5 การทดลอง

ง.5.5.1 นำกะละมังใส่ตัวอย่างวัสดุมวลรวมคละจากข้อ ง.5.4.5 โดยบางแยกออกเป็น 2 กะละมัง คือ แยกใส่เม็ดดินเผาทั้ง 3 ขนาด 1 กะละมัง ทราย และหินฝุ่นอีก 1 กะละมัง ใส่น้ำทั้งหมดตามเปอร์เซนต์ที่คำนวณได้ลงในกะละมังเม็ดดินเผา ใช้เกรียงรีบผสมโดยเร็ว เพื่อให้เม็ดดินเผาเข้ากับน้ำได้ทั่ว เมื่อเห็นว่าผสมดีแล้วใช้เกรียงเกลี่ยตรงกลางของเม็ดดินเผาให้เป็นแอ่ง เทยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นตามปริมาณที่คำนวณได้ลงในแอ่งตัวอย่างดังกล่าว ใช้เกรียงผสมเม็ดดินเผากับยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นให้เข้ากันโดยเร็วที่สุด พยายามให้ยางเคลือบเม็ดดินเผาทุกเม็ด เทวัสดุมวลรวมในกะละมังทรายและหินฝุ่นลงในกะละมังเม็ดดินเผาแล้วใช้เกรียงรีบผสมให้เข้ากันโดยเร็วที่สุด จึงนำวัสดุมวลรวมผสมทั้งหมดเข้าเครื่องผสมอีกครั้ง ระยะเวลาผสมทั้งหมดไม่ควรเกิน 5 นาที

ง.5.5.2 นำแบบ (Mold) สำหรับบดทับมาประกอบเข้าที่ แล้วใส่แผ่นกระดาษรองไว้ในแบบ

ง.5.5.3 เทตัวอย่างวัสดุผสมลงในแบบที่ประกอบแล้ว ใช้เกรียงแซะรอบ ๆ ตัวอย่างข้างในแบบประมาณ 15 ครั้ง และแซะเข้าในตัวอย่างอีก 10 ครั้ง

ง.5.5.4 วางข้อนลงบนตัวอย่างในแบบ ทำการบดทับตัวอย่างโดยการยกน้ำหนักและปล่อยให้น้ำหนักลงบนแผ่นเหล็ก จำนวนครั้งขึ้นอยู่กับการออกแบบซึ่งแบ่งออกเป็น

ก. แอสฟัลท์ติกคอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรชั้น Light Traffic และ Medium Traffic จำนวนครั้งใช้ 50 ครั้งต่อด้าน

ข. แอสฟัลท์ติกคอนกรีต สำหรับถนนที่มีการจราจรชั้น Heavy Traffic และ Very Heavy Traffic จำนวนครั้งใช้ 75 ครั้ง สำหรับในการทดลองนี้ใช้จำนวนครั้งในการบดทับ 75 ครั้งต่อด้าน

ง.5.5.5 เมื่อครบจำนวนการบดทับแล้ว ทำการกลับตัวอย่าง โดยการกลับแบบ เอาด้านล่างขึ้นด้านบน แล้วทำการบดทับเช่นเดียวกับข้อ ง.5.5.4

ง.5.5.6 ทิ้งตัวอย่างที่บดทับแล้วไว้ในแบบ (Mold) เป็นเวลา 72 ชั่วโมงหรือ 3 วัน (โดยแกะกระดาษรองทั้งด้านบนและด้านล่างออกแล้ววางแบบในแนวนอน เพื่อให้ตัวอย่างผึ่งในอากาศทั้งสองด้าน) จึงนำตัวอย่างออกจากแบบโดยการใช้เครื่องดันตัวอย่าง แล้วผึ่งตัวอย่างอีก 2 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ ง.4 นำไปทดลองขั้นต่อไป

ง.5.5.7 ในปริมาณของการผสมโดยใช้ยางอีมัลชั่นเปอร์เซนต์ใดเปอร์เซนต์หนึ่ง ให้เตรียมตัวอย่างอย่างน้อย 6 ตัวอย่าง โดย 3 ตัวอย่างแรกทดสอบไม่แช่น้ำ และอีก 3 ตัวอย่างหลังทดสอบในกรณีแช่น้ำ (Soak) เป็นเวลา 4 วัน สำหรับการออกแบบให้ใช้ตัวอย่างแต่ละเปอร์เซนต์ของยางอีมัลชั่นอย่างน้อย 5 ค่าและแต่ละค่าต่างกัน 0.5%

ง.5.5.8 ทำการทดลองหาค่าความหนาแน่นรวม (Bulk Density) ของตัวอย่างโดย

ก) นำตัวอย่างไปชั่งหาน้ำหนักในอากาศ (D)

ข) นำตัวอย่างไปแช่ในน้ำธรรมดาประมาณ 5 นาที แล้วนำตัวอย่างขึ้นเช็ดตัวอย่างให้ผิวแห้ง ชั่งหาน้ำหนักในอากาศ (F)

ค) นำตัวอย่างจากข้อ (ข) ไปชั่งหาน้ำหนักในน้ำ (E)

ง.5.5.9 ทำการทดลองหาค่าเสถียรภาพ (Stability) และการยุบตัว (Flow)

1. สำหรับการทดลองในกรณีไม่แช่น้ำ (Unsoak)

ก. นำตัวอย่างที่ทดลองตามข้อ ง.5.5.8 มาวัดขนาดบันทึกความสูงหรือความหนาของตัวอย่างแต่ละก้อน แล้วนำไปใส่ในแบบทดลองเสถียรภาพ (Stability) เพื่อไปกดหาค่าเสถียรภาพและค่าการยุบตัว

ข. นำแบบทดลองเสถียรภาพมาวางบนเครื่องทดลองมาร์แชลให้แบบทดลองเสถียรภาพอยู่ใต้ท่อนกด (Piston) ซึ่งติดกับ Proving Ring สำหรับอ่านน้ำหนักกด

ค. เดินเครื่องทดลองมาร์แชลให้แบบทดลองค่อย ๆ เลื่อนขึ้นมาสัมผัสกับท่อนกด จนกระทั่งเข็มของ Gial Gauge เริ่มเคลื่อนที่ ปรับเข็มของ Dial Gauge อยู่ที่เลขศูนย์

ง. นำเครื่องวัดการยุบตัว (Flow) ไปวางบนแกนที่สำหรับทดลองหาค่าการยุบตัว ซึ่งติดกับแบบทดลองเสถียรภาพ ตั้งเข็ม Dial Gauge ของเครื่องวัดค่า

การยุบตัวให้อยู่ที่เลขศูนย์ ใช้มือจับเครื่องวัดค่าการยุบตัวให้นิ่งอยู่กับที่

จ. เดินเครื่องทดลองมาร์แชลให้น้ำหนักกดกระทำต่อตัวอย่างด้วยอัตราการเคลื่อนที่ 2 นิ้วต่อนาที ให้น้ำหนักกดกระทำต่อตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างที่ทดลองเริ่มแตก ที่จุดนี้จะเป็นน้ำหนักกดที่สูงสุดที่ตัวอย่างสามารถต้านทานได้ และการทดลองค่าเสถียรภาพและค่าการยุบตัวจะต้องทำให้เสร็จภายในระยะเวลา 30 วินาที

ฉ. ขณะที่ทำการทดลองหาค่าเสถียรภาพ เข็ม Dial Gauge ของเครื่องวัดการยุบตัว (Flow) จะเคลื่อนที่ อ่านค่าการยุบตัว จาก Dial Gauge ที่น้ำหนักกดสูงสุด

ช. ค่าเสถียรภาพซึ่งวัดจาก Dial Gauge ของ Proving Ring จะต้องนำไป Calibrated ให้มีหน่วยเป็น ปอนด์

ซ. เนื่องจากค่าเสถียรภาพจะเปลี่ยนไปตามความหนา (ความสูง) ของตัวอย่าง ดังนั้นในการทดลอง ถ้าหากว่าตัวอย่างทดลองมีความหนามากหรือน้อยกว่า 6.35 ซม. (2.5 นิ้ว) จำเป็นต้องมีการแก้ไข (Adjusted) ให้ถูกต้อง การปรับสามารถกระทำได้โดยใช้ Correlation Ratios ดังตารางที่ ง.1 คูณกับค่าเสถียรภาพที่อ่านได้ (Measured)

ฌ. หาเปอร์เซนต์ของน้ำที่มีอยู่ในก้อนตัวอย่างในขณะทดลองหาค่าเสถียรภาพ และการยุบตัว โดยนำตัวอย่างหลังจากการทดลองหาค่าเสถียรภาพและการยุบตัวเข้าอ้อบที่อุณหภูมิ 110°ซ จนกระทั่งน้ำในก้อนตัวอย่างระเหยออกหมด

2. สำหรับการทดลองในกรณีแช่น้ำ (Soak)

ก. นำตัวอย่าง 3 ก้อนหลังจากผ่านขั้นตอนข้อ ง.5.5.7 มาทำการทดลองในกรณีแช่น้ำ ดังรูปที่ ง. 5 โดยแช่น้ำในเวลา 4 วันที่อุณหภูมิ 72 $\pm$ 3°ฟ (22.2°ซ $\pm$ 1.7°ซ) และแช่น้ำต่อนะ 2 วัน

ข. เมื่อน้ำครบ 4 วันแล้ว เช็ดผิวก้อนตัวอย่างให้แห้ง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างหลังจากแช่น้ำและทำการทดลองตามข้อ ง.5.5.9 ตั้งแต่ข้อ ก-ฌ

ง.5.6 การคำนวณ

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

ความถ่วงจำเพาะรวมแห้ง (Dry BSG) $= \dfrac{G}{1+\frac{K}{100}}$

ปริมาณน้ำในตัวอย่าง (Moisture Content) $K = \dfrac{(H-I)-(F-D)}{I-J} \times \dfrac{1}{1+\frac{A}{100}}$

การดูดซึมน้ำ (Moisture Absorption) $= \dfrac{K_1+K_2+K_3}{3} - \dfrac{K_4+K_5+K_6}{3}$

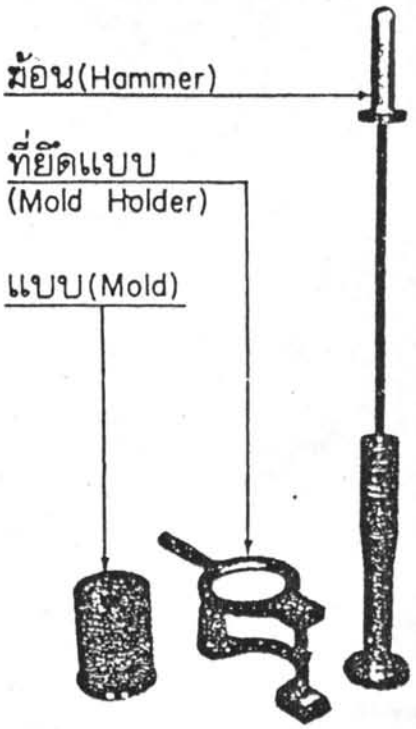
ช่องว่างอากาศทั้งหมดที่มากที่สุด (Maximum Total Voids)

$$= \frac{\frac{\frac{A}{100}+1+\frac{K}{100}}{G} - \frac{1}{C} - \frac{A}{100}}{\frac{\frac{A}{100}+1+\frac{K}{100}}{G}} \times 100$$

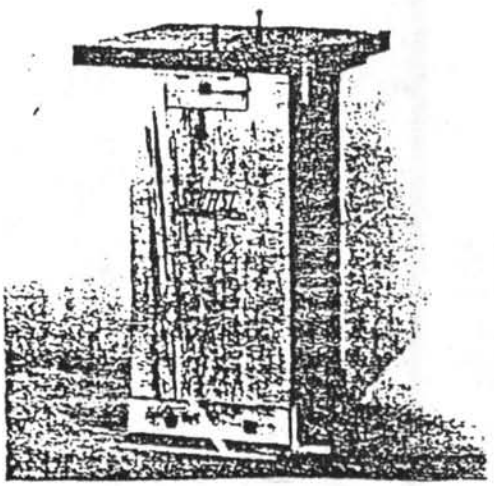
เปอร์เซนต์การสูญเสียค่าเสถียรภาพ (Percent Stability Loss)

$$= \frac{\frac{L_1+L_2+L_3}{3} - \frac{L_4+L_5+L_6}{3}}{\frac{L_1+L_2+L_3}{100}} \times 100$$

โดยที่ค่า A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L ได้แสดงในตารางที่ ง.2

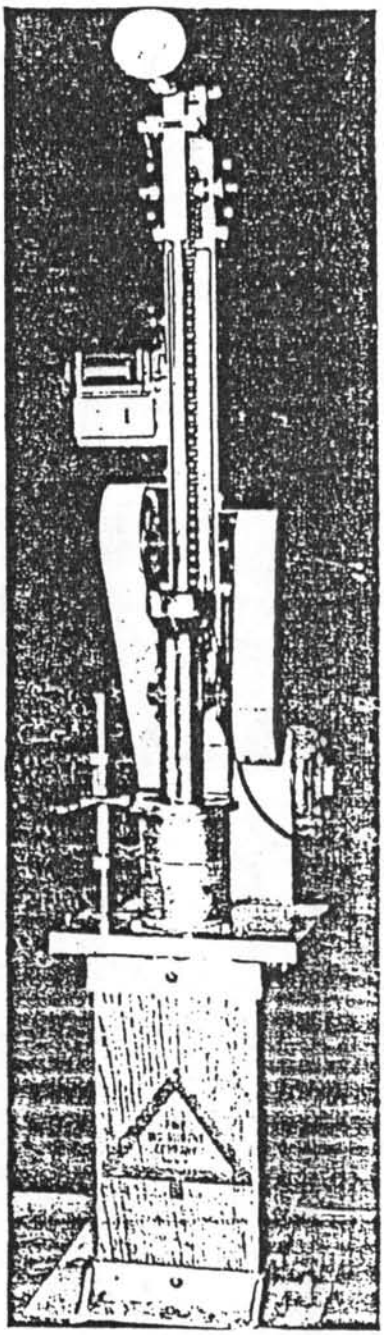


ก. แบบ (Mold) ที่ยึดแบบ (Mold Holder) และฆ้อน (Hammer)

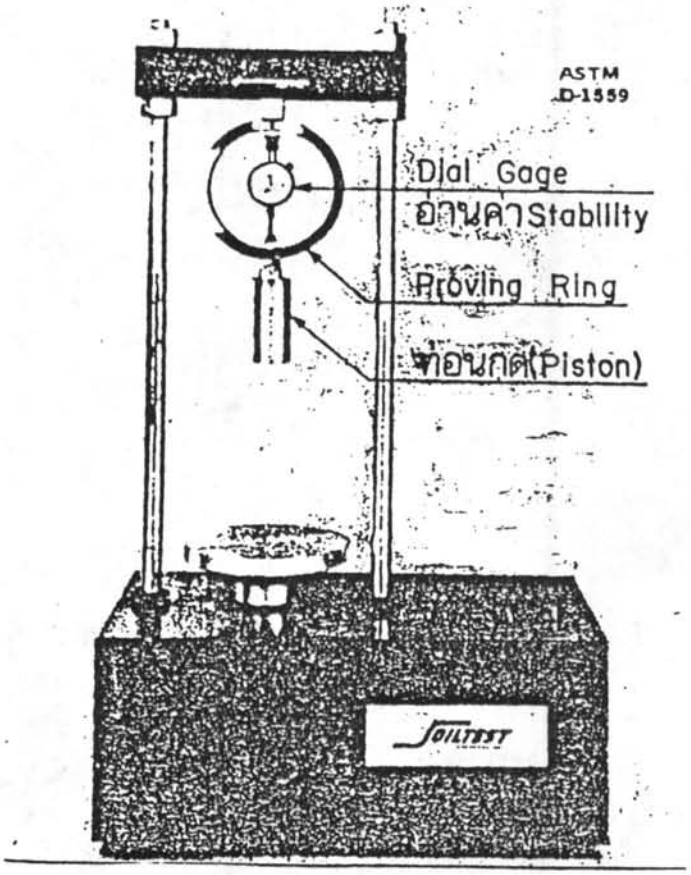


ข. แท่นรอง (Compaction Pedestall)

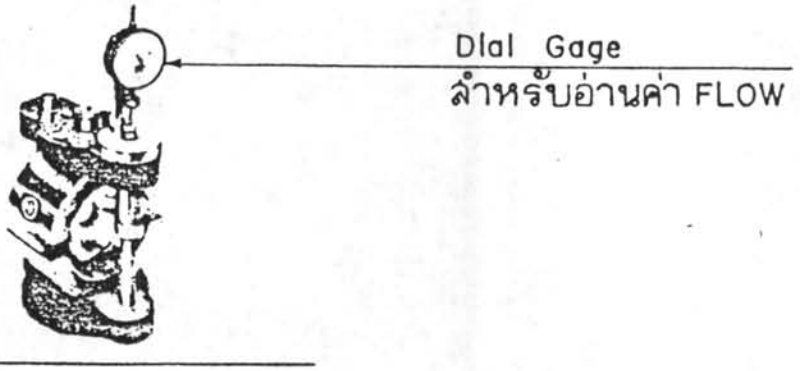
รูปที่ ง.1 เครื่องมือสำหรับบดอัดตัวอย่าง โดยวิธีมาร์แชล



รูปที่ ง.2 เครื่องมือบดอัดตัวอย่างแบบใช้ไฟฟ้า



ก. เครื่องทดสอบ MARSHALL



ข. แบบทดลอง Stability พร้อม Dial Gage สำหรับอ่านค่า FLOW

รูปที่ ง.3 เครื่องมือทดลองมาร์แชล

ก.) การผึ่งตัวอย่างในอากาศในขณะอยู่ในแบบ (Mold)

ข.) การผึ่งตัวอย่างในอากาศ 2 ชั่วโมง ก่อนทดลองมาร์แชล

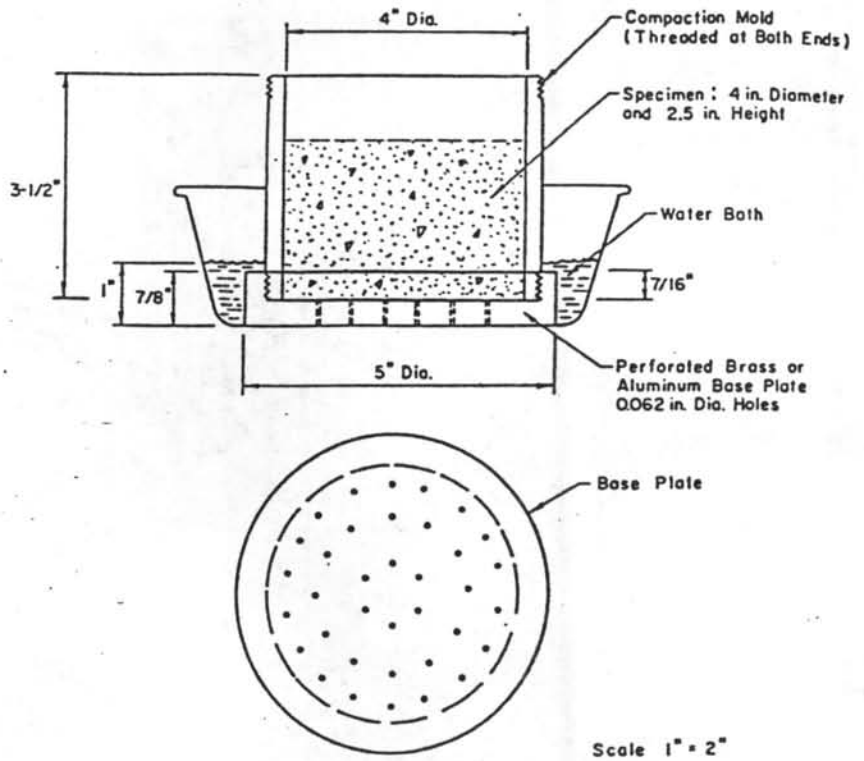
รูปที่ ง.4 การผึ่งตัวอย่างในอากาศ ที่อุณหภูมิห้อง

ตารางที่ ง.1 อัตราส่วนสหสัมพันธ์เสถียรภาพ (Stability Correlation Ratio)

ปริมาตรของก้อนตัวอย่าง ลบ.ซม.	ความหนาโดยประมาณของก้อนตัวอย่าง นิ้ว	Correlation Ratio
200 - 213	1	5.56
214 - 225	1-1/16	5.00
226 - 237	1-1/8	4.55
238 - 250	1-3/16	4.17
251 - 264	1-1/4	3.85
265 - 276	1-5/16	3.57
277 - 289	1-3/8	3.33
290 - 301	1-7/16	3.03
302 - 316	1-1/2	2.78
317 - 328	1-9/16	2.50
329 - 340	1-5/8	2.27
341 - 353	1-11/16	2.08
354 - 367	1-3/4	1.92
368 - 379	1-13/16	1.79
380 - 392	1-7/8	1.67
393 - 405	1-15/16	1.56
406 - 420	2	1.47
421 - 431	2-1/16	1.39
432 - 443	2-1/8	1.32
444 - 456	2-3/16	1.25
457 - 470	2-1/4	1.19
471 - 482	2-5/16	1.14
483 - 495	2-3/8	1.09
496 - 508	2-7/16	1.04
509 - 522	2-1/2	1.00
523 - 535	2-9/16	0.96
536 - 546	2-5/8	0.93
547 - 559	2-11/16	0.89
560 - 573	2-3/4	0.86
574 - 585	2-13/16	0.83
586 - 598	2-7/8	0.81
599 - 610	2-15/16	0.78
611 - 625	3	0.76

หมายเหตุ 1. ค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างจากการทดลองคูณด้วยค่า Correlation Ratio ตามขนาดความหนาของตัวอย่าง เพื่อปรับให้เป็นค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่าง 2.5 นิ้ว

2. ความหนาของก้อนตัวอย่างเมื่อเทียบจากปริมาตร ให้คิดจากก้อนตัวอย่างที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว



รูปที่ ง.5 การแช่ตัวอย่างในน้ำภายหลังจากทิ้งผึ่งให้แห้งในอากาศ 3 วัน

ตารางที่ ง.2 ตัวอย่างตารางคำนวณส่วนผสมยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น

TABLE EMULSIFIED ASPHALT MIXTURE DATA SHEET
(Use for specimens containing a single residual asphalt content)

ASPHALT			AGGREGATE	
Type & Grade			Source Id.	
Asphalt in Emulsion		%	Type	
Asphalt Spec. Gra. (B)			Bulk Spec. Gra. (C)	
Residual Asphalt in Mixture (A)		%		
MIXING AND COMPACTION			TESTING	
Total Mix Water		%	Dry Spec. Test Date	
Added Mix Water		g	Rotate Soak Spec. Date	
Water at Comp.		%	Soak Spec. Test Date	
Compaction Date				

COMPACTED SPECIMEN DATA	Dry			Soaked		
	1	2	3	4	5	6
Bulk Density						
Weight in Air (D)						
Weight in Water (E)						
Weight SSD (F)						
BSG - compacted mix (G)						
Dry BSG - compacted mix						
Thickness						
Stability						
Dial						
Load						
Adjusted Stability (L)						
Flow						
Moisture Content						
Weight of failed specimen (H)						
Weight of oven-dry specimen (I)						
Tare (J)						
Moisture content (K)						
Moisture absorbed						
Maximum Total Voids - %						

ง.6.4.2 เหมือนกับข้อ ง.5.5 ตั้งแต่ข้อย่อย ง.5.5.2 ถึงข้อย่อย ง.5.5.9

ง.6.5 การคำนวณ เหมือนกับข้อ ง.5.6

ภาคผนวก จ.

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม

ภาคผนวก จ.

การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม

จ.1 <u>การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาการกระจายขนาดของวัสดุมวลรวม</u> (Gradation Analysis of Aggregate)[1,7]

จ.1.1 ความมุ่งหมาย การทดลองนี้เป็นการทดลองหาขนาดเม็ดของมวลรวมคละทั้งชนิดเม็ดละเอียดและเม็ดหยาบโดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่จนถึงขนาดเล็กแล้วเปรียบเทียบน้ำหนักที่ผ่านหรือค้างบนตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับน้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง วิธีการนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHO, T27-70, T37-70 หรือตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล-ท 204/2516

จ.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จ.1.2.1 ตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการพร้อยเครื่องมือเขย่าตะแกรง

จ.1.2.2 เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้ละเอียดถึง 0.20 % ของตัวอย่างทั้งหมด

จ.1.2.3 เครื่องมือแบ่งตัวอย่างขนาดต่าง ๆ (Sample Splitter) ขนาดต่าง ๆ

จ.1.2.4 แปรง เพื่อทำความสะอาดตะแกรงชนิดลวดทองเหลือง แปลงขน และแปลงพลาสติก

จ.1.2.5 เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 110 ± 5^{o}ซ

จ.1.3 การเตรียมตัวอย่าง

จ.1.3.1 เม็ดดินเผา ซึ่งเป็นมวลรวมหยาบและมีขนาดใหญ่แต่ละขนาดให้ทำดังนี้ นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากันและแยกด้วยวิธี Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง แบ่งตัวอย่างให้ได้ขนาด 3,000-4,000 กรัม นำไปร่วนผ่านตะแกรงด้วยตะแกรงร่อนชุดใหญ่

(รูปที่ จ.1) ประกอบด้วยตะแกรงมาตรฐาน (U.S. Standard) ขนาด 3/4 นิ้ว, 1/2 นิ้ว, 3/8 นิ้ว และเบอร์ 4, 8, 50 และกะบะ

จ.1.3.2 ทรายและหินฝุ่น ซึ่งเป็นมวลรวมละเอียด แต่ละชนิดให้ทำดังนี้ นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากันแล้วแยกด้วยวิธี Quartering แบ่งให้ตัวอย่างขนาด 500-600 กรัม ถ้าหากส่วนละเอียดจับก้อนใหญ่หรือมีส่วนละเอียดจับกันเองเป็นก้อน ต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่หรือส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อนแตกให้หมด แล้วจึงนำตัวอย่างไปตากหรือเข้าเตาอบให้ผิวแห้งที่อุณหภูมิ $110\pm5^{\circ}$ ซ นำไปร่อนผ่านตะแกรงด้วยตะแกรงร่อนชุดเล็ก (รูปที่ จ.2) ประกอบด้วยตะแกรงมาตรฐานขนาดเบอร์ 4, 8, 50, 200 และกะบะ

จ.1.4 การทดลอง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้วนำไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและแนวดิ่งรวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่านานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละขนาดใน 1 นาทีไม่เกิน 1 % ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้เวลาเขย่านานทั้งหมดประมาณ 15 นาที นำตัวอย่างที่ค้างตะแกรงแต่ละขนาดไปชั่งน้ำหนัก

จ.1.5 การคำนวณ การคำนวณหาขนาดเม็ดวัสดุ

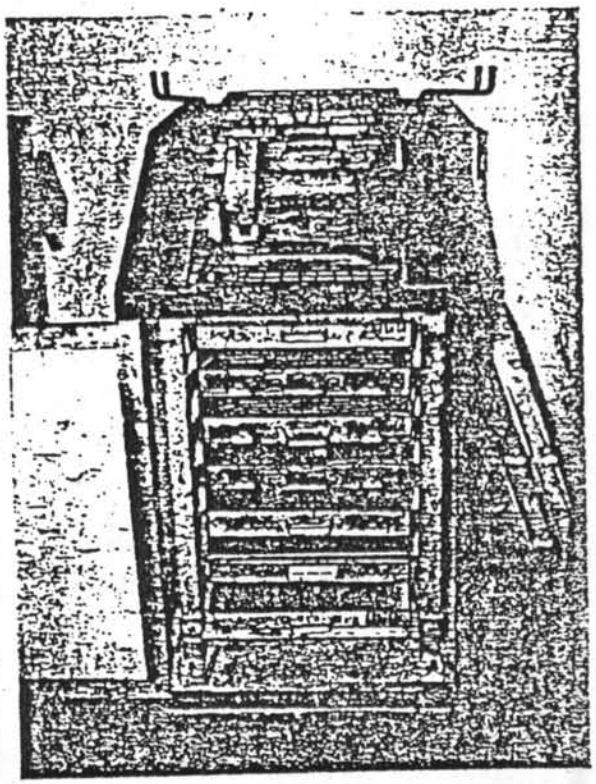
เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก (% Passing by Weight) $= \frac{P}{T} \times 100$

เมื่อ P = น้ำหนักตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาดนั้น, กรัม

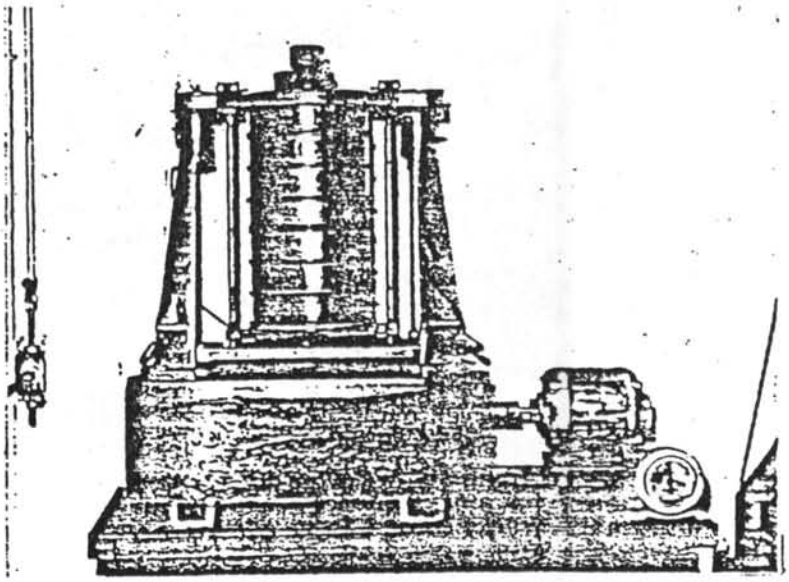
T = น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมด, กรัม

จ.2 <u>การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินเผา</u> [3]

จ.2.1 ความมุ่งหมาย วิธีการทดลองนี้เป็นการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดินเผาซึ่งเป็นวัสดุมวลรวมชนิดที่มีความพรุน จึงทำให้ประสบปัญหาเนื่องจากคุณสมบัติในการดูดน้ำ การศึกษานี้จึงใช้วิธีเคลือบเม็ดดินเผาด้วยพาราฟิน (Parafin) เพื่อแก้ไขความคลาดเคลื่อนเกี่ยวกับการชั่งน้ำหนักของเม็ดดินเผาในสภาพ Saturated Surface Dry เพราะน้ำไม่สามารถซึมผ่านเข้าไปภายในเม็ดดินเผาได้หลังจากการเคลือบแล้ว



รูปที่ จ.1 คะแกรงร่อนชุดใหญ่



รูปที่ จ.2 คะแกรงร่อนชุดเล็ก

จ.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จ.2.2.1 เครื่องชั่ง ให้ความละเอียดถึง 0.01 กรัม และสามารถชั่งวัสดุในน้ำได้

จ.2.2.2 ลวดตาข่าย มีขนาดของช่องที่เม็ดดินเผาผ่านไม่ได้

จ.2.3.3 เตาแบบ Hot-Plate สามารถให้อุณหภูมิสูงถึง 200°ซ และควบคุมอุณหภูมิได้ ใช้สำหรับหลอมพาราฟิน

จ.2.2.4 เทอร์โมมิเตอร์ ใช้วัดอุณหภูมิของพาราฟิน

จ.2.3 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างเม็ดดินเผา ขนาด 3/4 นิ้ว, 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว แต่ละขนาดหนักประมาณขนาดละ 50-60 กรัม ไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 160±5°ซ ประมาณ 3 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นตามอุณหภูมิปกติ

จ.2.4 การทดลอง

จ.2.4.1, ทำการชั่งน้ำหนักตัวอย่างแห้งในอากาศ

จ.2.4.2 ทำการหลอมพาราฟิน ที่รู้ค่าความถ่วงจำเพาะแล้ว บนเตาแบบ Hot-Plate จนหลอมละลายแล้วควบคุมอุณหภูมิของพาราฟินไว้ที่ 60-65°ซ

จ.2.4.3 นำเม็ดดินเผาใส่ลงในลวดตาข่าย แล้วนำไปชุบในพาราฟินที่หลอมละลายเพื่อให้พาราฟินเคลือบผิวจนทั่ว ทิ้งตัวอย่างที่เคลือบแล้วให้เย็นในอากาศประมาณ 30 นาที ชั่งตัวอย่างนี้ในอากาศ

จ.2.4.4 ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างที่เคลือบพาราฟินแล้วในน้ำ

จ.2.5 การคำนวณ

ความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Specific Gravity)

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

เมื่อ

S = ความถ่วงจำเพาะของพาราฟิน = 0.9707

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างแห้งในอากาศ, กรัม

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างเคลือบด้วยพาราฟินในอากาศ, กรัม

W_3 = น้ำหนักตัวอย่างเคลือบด้วยพาราฟินในน้ำ, กรัม

จ.3 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของทรายและหินฝุ่น (Specific Gravity Test)[8]

จ.3.1 ความมุ่งหมาย วิธีการทดลองนี้เป็นวิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมชนิดเม็ดละเอียดขนาดเล็กกว่า 4.76 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) โดยใช้ขวดแก้ว Pycnometer การทดลองนี้ปรับปรุงมาจาก AASHO T-84 หรือตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล-ท 209/2518

จ.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จ.3.2.1 เครื่องชั่ง เป็นแบบ Balance หรือ Scale ก็ได้ที่สามารถชั่งได้ไม่น้อยกว่า 1 กิโลกรัมและให้ความละเอียดถึง 0.1o กรัม

จ.3.2.2 Pycnometer เป็นขวดที่มีลักษณะแบนกะเปาะและมีลำคอขวดยาว ที่ลำคอขวดจะมีเส้นขีดระดับน้ำ ขวดที่ใช้มีความจุ 500 มิลลิลิตร

จ.3.2.3 แบบ (Mold) เป็นแบบโลหะกรวยที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางตอนบน 38 มม. (1.5 นิ้ว) เส้นผ่าศูนย์กลางด้านล่าง 89 มม. (3.5 นิ้ว) และมีความสูง 74 มม. (2.9 นิ้ว) ความหนาของแบบโลหะต้องหนาอย่างน้อยประมาณ 0.9 มม.

จ.3.2.4 ไลหะกระทุ้ง เป็นไลหะหนัก 340±15 กรัม (12±0.5 ออนซ์) ผิวหน้าด้านที่ใช้กระทุ้งราบเป็นรูปวงกลม มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 25±3 มม. (1+1/8 นิ้ว)

จ.3.2.5 เทอร์โมมิเตอร์ ชนิด 0°ซ-100°ซ

จ.3.2.6 เตาอบ ให้ความร้อนได้ไม่ต่ำกว่า 100°ซ

จ.3.2.7 เตาและภาชนะต้มน้ำ

จ.3.3 การเตรียมตัวอย่าง

จ.3.3.1 ทำการแบ่งตัวอย่างทั้งหมดโดยแบ่งสี่หรือใช้ที่แบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) นำตัวอย่างที่แบ่งแล้วประมาณ 1,000 กรัมไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5°ซ แล้วปล่อยให้เย็นพอเอามือจับได้

จ.3.3.2 นำตัวอย่างไปแช่น้ำเป็นเวลาประมาณ 15±4 ชั่วโมง

จ.3.3.3 นำตัวอย่างจากน้ำมาแผ่กระจายบนภาชนะผิวราบเรียบ แล้วค่อย ๆ เกลี่ยไปมาเพื่อให้ตัวอย่างค่อย ๆ แห้ง

จ.3.3.4 ทำตามข้อ จ.3.3.3 ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งตัวอย่างวัสดุเกือบจะอยู่ในสภาพที่เคลื่อนไหวได้ง่าย (Free Flowing Condition)

จ.3.3.5 นำตัวอย่างใส่ลงไปในแบบ (Mold) อย่างหลวม ๆ จนเต็ม ซึ่งแบบ (Mold) นี้ ตั้งอยู่บนผิวที่ไม่มีการดูดซึม โดยเอาด้านที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าอยู่ด้านล่าง

จ.3.3.6 ทำการกระทุ้งตัวอย่างเบา ๆ 25 ครั้ง ด้วยไลหะกระทุ้ง แล้วค่อย ๆ ยกแบบขึ้นตรง ๆ

ถ้าตัวอย่างยังคงมีรูปลักษณะตามแบบ แสดงว่ายังคงมีน้ำที่ผิววัสดุอยู่ ให้ทำการตามข้อ จ.3.3.3 ถึง จ.3.3.6 ซ้ำใหม่ จนกระทั่งเมื่อยกแบบออก (ตามข้อ จ.3.3.6) ตัวอย่างวัสดุเริ่มทะลาย แสดงว่าตัวอย่างวัสดุที่กำลังเตรียมอยู่นี้อยู่ในสภาวะ Saturated Surface Dry

ถ้าปรากฏว่า ตัวอย่างเริ่มทะลาย เมื่อทำการยกแบบออกเป็นครั้งแรก แสดงว่าตัวอย่างนี้แห้งเกินกว่าสภาพ Saturated Surface Dry ให้ทำการพรมน้ำลงไปอีกเล็กน้อยคลุกให้ทั่วและทิ้งไว้ในภาชนะที่มีฝาปิดเป็นเวลาประมาณ 30 นาที จึงค่อยเริ่มทำการตามข้อ จ.3.3.3 ถึงข้อ จ.3.3.6 ต่อไปใหม่

จ.3.4 การทดลอง

จ.3.4.1 ชั่งน้ำหนักขวด Pycnometer เปล่าในอากาศ

จ.3.4.2 นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ประมาณ 500 กรัม ใส่ในขวดชั่งหาน้ำหนักจริงของตัวอย่างที่อยู่ในขวด Pycnometer แล้วเติมน้ำสะอาดจนได้ปริมาตรประมาณ 450 มิลลิลิตร

จ.3.4.3 นำไปไล่ฟองอากาศ โดยการแช่ในหม้อต้มน้ำเดือด ขณะต้มให้เขย่าและหมุนขวดเป็นพัก ๆ จนฟองอากาศถูกไล่ออกหมด

จ.3.4.4 เติมน้ำลงในขวด Pycnometer จนระดับน้ำในขวดถึงเส้นขีดระดับน้ำ เช็ดบริเวณรอบ ๆ ขวดส่วนที่ไม่สัมผัสกับน้ำทั้งภายนอกและภายในขวดให้แห้งสนิท แล้วทำการชั่งน้ำหนัก พร้อมทั้งวัดอุณหภูมิของน้ำด้วย ต้องทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอกันก่อนวัดอุณหภูมิ เอาขวด Pycnometer มาปล่อยให้อุณหภูมิของผสมลดต่ำลง ซึ่งปริมาตรจะลดลงตาม เอาน้ำเติมให้ส่วนโค้งคอนล่างสุดของระดับน้ำอยู่ที่เส้นขีดระดับน้ำและปฏิบัติตามข้างต้นได้น้ำหนักใหม่ที่อุณหภูมิใหม่ ทำเช่นนี้ 4 ครั้ง

จ.3.4.5 เทตัวอย่างลงในภาชนะที่ทราบน้ำหนักแล้วด้วยความระมัดระวังอย่าให้ส่วนของตัวอย่างหายไป นำไปเข้าเตาอบ อบให้แห้งที่อุณหภูมิ $110\pm5^{\circ}$ ซ ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิปกติเป็นเวลา 1/2 - 1 1/2 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอบแห้ง

จ.3.4.6 ทำการหาน้ำหนักขวด Pycnometer ที่มีน้ำจนถึงเส้นขีดระดับน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน แล้วสร้างเป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับน้ำหนักของขวดที่มีน้ำถึงเส้นขีดระดับน้ำ กราฟนี้ใช้ประโยชน์ในการหาค่าน้ำหนักขวดที่บรรจุน้ำจนถึงขีดเส้นระดับน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ได้

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ.3.5 การคำนวณ

$$W_W = W_B + V_B(T+\Delta T.\varepsilon)(\gamma_t - \gamma_a)$$

ความถ่วงจำเพาะที่ปรากฏ $G_a = \dfrac{G_t.W_O}{W_O - W_S + W_W}$
(Apparent Specific Gravity)

ความถ่วงจำเพาะรวม $G_b = \dfrac{W_o}{W_{SS} - W_S + W_W}$
(Bulk Specific Gravity)

เมื่อ W_W = น้ำหนักขวด Pycnometer + น้ำหนักน้ำถึงเส้นขีดระดับน้ำที่อุณหภูมิ T^{o}ซ, กรัม

W_B = น้ำหนักขวด Pycnometer เปล่าในอากาศ, กรัม

V_B = ปริมาตรของขวด (500 มิลลิลิตร)

$\Delta T = T - T_c$

T = อุณหภูมิของน้ำในขวด Pycnometer ขณะที่หาน้ำหนัก, ^{o}ซ

T_c = อุณหภูมิที่ใช้ Calibrate ขวดที่ปริมาตร V_B (โดยปกติใช้ที่ 20^{o}ซ)

ε = สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวโดยปริมาตรของแก้ว

γ_t = น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของน้ำที่อุณหภูมิ T^{o}ซ ดูตารางที่ จ.1

γ_a = น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของอากาศ (0.0012 กรัม/มล)

G_t = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิ T^{o}ซ ดูตารางที่ จ.1

W_o = น้ำหนักของตัวอย่างที่อบแห้งในอากาศ, กรัม

W_{SS} = น้ำหนักตัวอย่างในอากาศสภาพ Saturated Surface Dry, กรัม

W_W = น้ำหนักขวด Pycnometer + น้ำหนักน้ำถึงเส้นขีดระดับน้ำที่อุณหภูมิ T^{o}ซ, กรัม

W_S = น้ำหนักตัวอย่าง + น้ำหนักขวด Pycnometer + น้ำหนักน้ำถึงเส้นขีดระดับน้ำที่อุณหภูมิ T^{o}ซ, กรัม

ตารางที่ จ.1 ความถ่วงจำเพาะของน้ำ (G_t) (Specific Gravity of Water)

°ซ.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.9999	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9999	0.9999	0.9999
10	0.9997	0.9996	0.9995	0.9994	0.9993	0.9991	0.9990	0.9988	0.9986	0.9984
20	0.9982	0.9980	0.9978	0.9976	0.9973	0.9971	0.9968	0.9965	0.9963	0.9960
30	0.9957	0.9954	0.9951	0.9947	0.9944	0.9941	0.9937	0.9934	0.9930	0.9926
40	0.9922	0.9919	0.9915	0.9911	0.9907	0.9902	0.9898	0.9894	0.9890	0.9885
50	0.9881	0.9876	0.9872	0.9867	0.9862	0.9857	0.9852	0.9848	0.9842	0.9838
60	0.9832	0.9827	0.9822	0.9817	0.9811	0.9806	0.9800	0.9795	0.9789	0.9784
70	0.9778	0.9772	0.9767	0.9761	0.9755	0.9749	0.9743	0.9737	0.9731	0.9724
80	0.9718	0.9712	0.9706	0.9699	0.9693	0.9686	0.9680	0.9673	0.9667	0.9660
90	0.9653	0.9647	0.9640	0.9633	0.9626	0.0619	0.9612	0.9605	0.9598	0.9591

จ.3.6 การคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมผสม (Specific Gravity of Combined Aggregates)

$$\text{ความถ่วงจำเพาะเฉลี่ย, } G_{ag} = \frac{100}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \frac{P_3}{G_3} \cdots \frac{P_n}{G_n}}$$

เมื่อ $P_1, P_2, P_3 \cdots P_n$ = ปริมาณสัดส่วนผสมคิดเป็น % โดยน้ำหนัก และ

$P_1+P_2+P_3 \cdots P_n = 100$

$G_1, G_2, G_3 \cdots G_n$ = ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมแต่ละชนิดที่นำมาผสมกัน

จ.3.7 การพิจารณากำหนดค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity Determinations)

สำหรับวิธีการหาค่าความถ่วงจำเพาะของยางแอสฟัลท์และมวลรวม โดยทั่วไปความถ่วงจำเพาะที่ใช้มีดังนี้

ก. ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ใช้ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity)

ข. วัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) ใช้ค่าความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Specific Gravity)

ค. วัสดุมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ใช้ค่าความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Spedific Gravity)

ง. วัสดุอัดแทรก (Mineral Filler) ใช้ค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity)

จ.4 <u>การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบ</u> (Abrasion Test)[7]

จ.4.1 ความมุ่งหมาย การทดลองนี้เพื่อหาค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบ เช่น เม็ดกินเผา หินย่อย กรวดย่อย และอื่น ๆ โดยให้ผ่านเครื่องที่ทำให้เกิดการสึกหรอแบบลอสแอนเจลีส การทดลองนี้ดัดแปลงมาจาก ASTM Designation: C 131-69, C 535-69 หรือตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล-ท 202/2515

จ.4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จ.4.2.1 เครื่อง Los Angeles Abrasion ดังรูปที่ จ.3 เครื่องประกอบด้วยเหล็กรูปทรงกระบอกกลวง เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 71.1±0.5 ซม. (28±0.20 นิ้ว) ความยาวภายใน 50.8±0.5 ซม. (20±0.2 นิ้ว) ล้อเหล็กทรงกระบอกกลวงนี้ ติดอยู่กับเพลาและหมุน

รอบแกนได้ในแนวนอน โดยใช้แรงหมุนจากมอเตอร์ มีช่องสำหรับใส่วัสดุพร้อมฝาปิด เมื่อปิดแล้วต้องมีลักษณะด้านในเหมือนกับผิวทรงกระบอกและเสมอกัน ไม่ทำให้ลูกเหล็กทรงกลมซึ่งเป็น Abrasive Charge สูญเสียเวลาผ่านรอยต่อ มีเหล็กขวางสูง 8.9±0.2 ซม. (3.5±0.1 นิ้ว) ยาว 50.8±0.5 ซม. (20±0.20 นิ้ว) ติดแน่นด้านในเหล็กทรงกระบอก ความสูงของเหล็กขวางอยู่ในแนวรัศมีทรงกระบอก ความยาวตามเส้นรอบวงกลมภายนอกวัดในทิศทางที่เหล็กทรงกระบอกหมุนจากเหล็กขวางถึงช่องสำหรับใส่วัสดุไม่น้อยกว่า 127 ซม. (50 นิ้ว)

จ.4.2.2 ตะแกรง สำหรับหาขนาดของมวลรวมหยาบ ใช้ตะแกรงมีช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 3", 2 $\frac{1}{2}$", 2", 1 $\frac{1}{2}$", 1", 3/8", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4, No. 8, No. 12

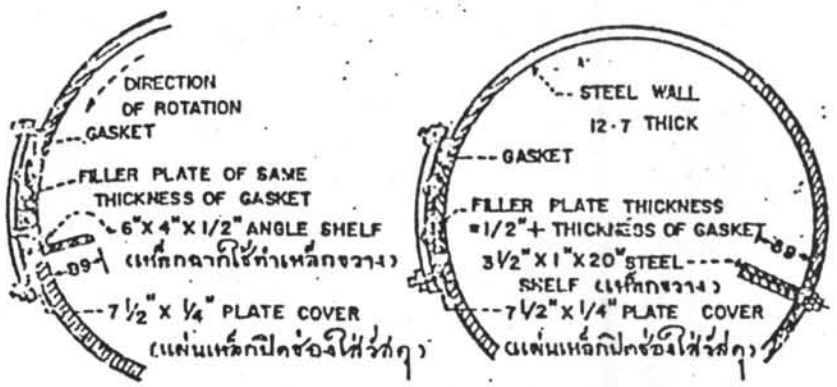
จ.4.2.3 Abrasive Charge เป็นลูกเหล็กกลมทำด้วย Cast-Iron หรือเหล็ก (Steel) ใส่ในล้อเหล็กเพื่อบดตัวอย่าง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2.67 ซม. (1 $\frac{1}{8}$ นิ้ว) แต่ที่ใช้กันมากเป็น Steel Spheres ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.68 ซม. (1 $\frac{27}{32}$ นิ้ว) แต่ละลูกหนักระหว่าง 390-445 กรัม จำนวนของลูกเหล็กขึ้นอยู่กับเกรดของตัวอย่างดังแสดงไว้ในตารางที่ จ.2

จ.4.2.4 เครื่องชั่ง ชั่งสามารถชั่งได้ 15 กิโลกรัม ความละเอียดอ่านได้ถึง 1 กรัม

จ.4.3 การเตรียมตัวอย่าง

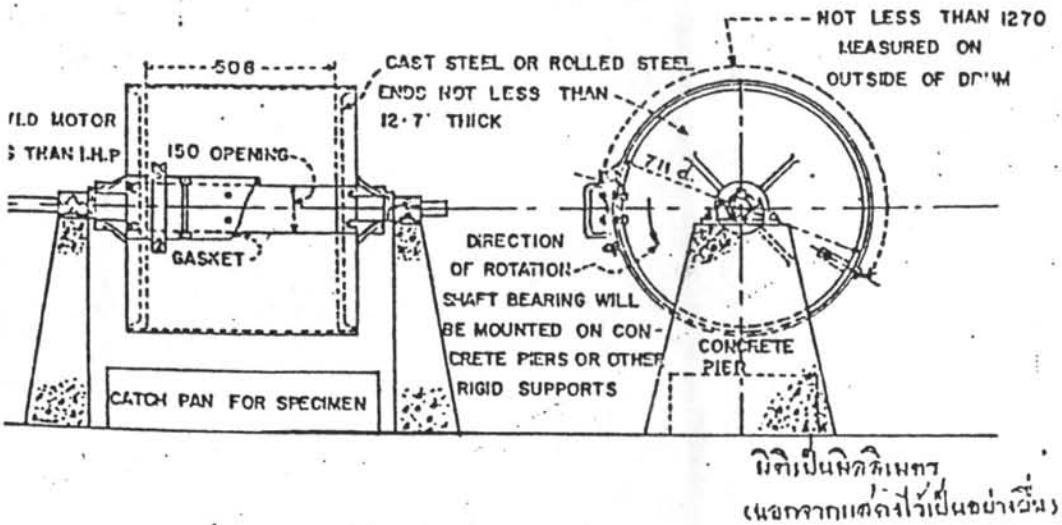
จ.4.3.1 ถ้าตัวอย่างไม่มีดินเหนียวปน ให้ตากตัวอย่างจนแห้งหรืออบในเตาอบอุณหภูมิ 105-110^{0} ซ

จ.4.3.2 ถ้าตัวอย่างมีดินเหนียวปนอยู่หรือมีส่วนละเอียดคิดก้อนใหญ่แน่น ให้นำตัวอย่างไปล้างน้ำแล้วร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน (U.S. Standard)



ALTERNATE DESIGN
OF ANGLE SHELF

PREFERRED DESIGN
OF PLATE SHELF AND COVER



รูปที่ จ.3 เครื่องมือ Los Angeles

ตารางที่ จ.2 ขนาดและน้ำหนักของตัวอย่างแต่ละเกรดที่ใช้วัดความล้ากรอ

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

จ.4.3.3 นำตัวอย่างเม็ดดินเผาขนาดค้างบนตะแกรงมาตรฐาน 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว ล้างด้วยน้ำที่สะอาด แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105±5°ซ ทิ้งไว้ให้เย็นในอากาศ จากนั้นนำมารวมเข้าด้วยกันขนาดละ 2,500 กรัม ตามเกรด B ของตารางที่ จ.2

จ.4.4 การทดลอง

นำตัวอย่างเม็ดดินเผาที่เตรียมไว้มาเทใส่ลงในเครื่องทดลองหาความสึกหรอแบบลอสแอนเจลีส พร้อมจำนวนลูกเหล็กกลม 11 ลูก ตั้งเครื่องให้หมุน 500 รอบ โดยเครื่องหมุนด้วยความเร็ว 30-33 รอบต่อนาที เมื่อเครื่องหมุนได้ครบตามกำหนดแล้ว เทตัวอย่างออกจากเครื่องมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 12 นำส่วนที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 12 ไปล้างด้วยน้ำสะอาดอย่างระมัดระวังเพื่อให้ส่วนละเอียดที่ติดอยู่บนก้อนใหญ่หลุดไป แล้วนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 105±5°ซ ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่อบแห้ง

จ.4.5 การคำนวณ

$$\% \text{ ความสึกหรอ (Percentage of Wear)} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

เมื่อ W_1 = น้ำหนักตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ทดลอง, กรัม

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 12 หลังการทดลองแล้ว, กรัม

จ.5 <u>การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่า Sand Equivalent</u>[7]

จ.5.1 ความมุ่งหมาย วิธีการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาค่าสัดส่วนระหว่างฝุ่นหรือวัสดุประเภทเหมือนดินเหนียวกับวัสดุเม็ดหยาบพวกกรวดหรือทราย การทดลองนี้ดัดแปลงมาจาก AASHO T-176 หรือมาตรฐานกรมทางหลวง ที่ ทล-ท 203/2515

จ.5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จ.5.2.1 กระบอกตวงพลาสติก ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 31.75 มม. (1.25 นิ้ว) สูง 431.80 มม. (17 นิ้ว) และมีขีดวัด 318 มม. (15 นิ้ว) แบ่งเป็น 15 ส่วน ส่วนละ 25.4 มม. (1 นิ้ว) แต่ละส่วนแบ่งออกเป็น 10 ช่อง

จ.5.2.2 Irrigator Tube ดูรูปที่ จ.4

จ.5.2.3 Weight Foot Assembly ประกอบด้วย Sand Reading Indicator ติดอยู่กับแกนห่างจากตัว Foot 254 มม. (10 นิ้ว) ดูรูปที่ จ.4

จ.5.2.4 Siphon Assembly ประกอบด้วยขวดกลวงซึ่งบรรจุสารละลายแคลเซี่ยมคลอไรด์ จำนวน 3.8 ลิตร (1 แกลลอน) ให้ขวดกลวงวางสูงจากโต๊ะที่ทำการทดลอง Sand Equivalent 914±25 มม. (3 ฟุต ±1 นิ้ว)

จ.5.2.5 กระป๋องตวง ขนาด 85±5 มิลลิลิตร (3 ออนซ์)

จ.5.2.6 กรวยปากกลม มีเส้นผ่าศูนย์กลางตรงปากกรวยขนาดประมาณ 100 มม.

จ.5.2.7 นาฬิกาจับเวลา

จ.5.2.8 Mechanical Shaker มีประสิทธิภาพเขย่าได้ 175±2 รอบต่อนาที และระยะทางเขย่าเท่ากับ 203±1 มม. (8±0.004 นิ้ว) หรืออาจใช้มือเขย่า (Manual Shaker) ก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ จ.5

จ.5.3 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างทรายหรือหินฝุ่นที่ตากแห้งแล้วมาคลุกเคล้าให้เข้ากันดี ใช้กระป๋องตวงตัวอย่างมา 1 กระป๋อง ควรเคาะกระป๋องกับพื้นแข็ง ๆ เพื่อให้ได้ตัวอย่างบรรจุในกระป๋องมากที่สุด แล้วทำการปาดวัสดุตัวอย่างที่ขอบบนของกระป๋อง

จ.5.4 การทดลอง

จ.5.4.1 เติมสารละลายแคลเซี่ยมคลอไรด์ ลงในกระป๋องตวงพลาสติกให้สูง 4±0.1 นิ้ว โดยผ่าน Irrigator Tube วางกรวยปากกลมบนปากกระบอกตวง แล้วเทตัวอย่างจากกระป๋องตวงลงในกระป๋องตวง ไล่ฟองอากาศโดยกระเทาะก้นกระป๋องกับฝ่ามือจนตัวเปียกโดยทั่วถึง

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ.5.4.2 ปล่อยให้วัสดุตัวอย่างแช่น้ำทิ้งไว้โดยไม่ถูกรบกวน นาน 10±1 นาที แล้วอุดกระบอกตวงด้วยจุกยาง พลิกกระบอกตวงคว่ำไปมา พร้อมทั้งเขย่าเพื่อป้องกันมิให้วัสดุตกค้างอยู่ที่ก้นกระบอกตวง

จ.5.4.3 การเขย่ากระบอกตวงสามารถทำได้ 3 วิธีคือ ใช้วิธี Mechanical Sand Equivalent Shaker, วิธี Manual Shaker และวิธีใช้มือเขย่า แต่ใช้การทดลองนี้ ใช้วิธี Mechanical Shaker

จ.5.4.4 นำกระบอกตวงที่อุดด้วยจุกยางไปเข้าเครื่อง Mechanical Shaker ตั้งเวลาให้เครื่องเขย่านาน 45±1 วินาที

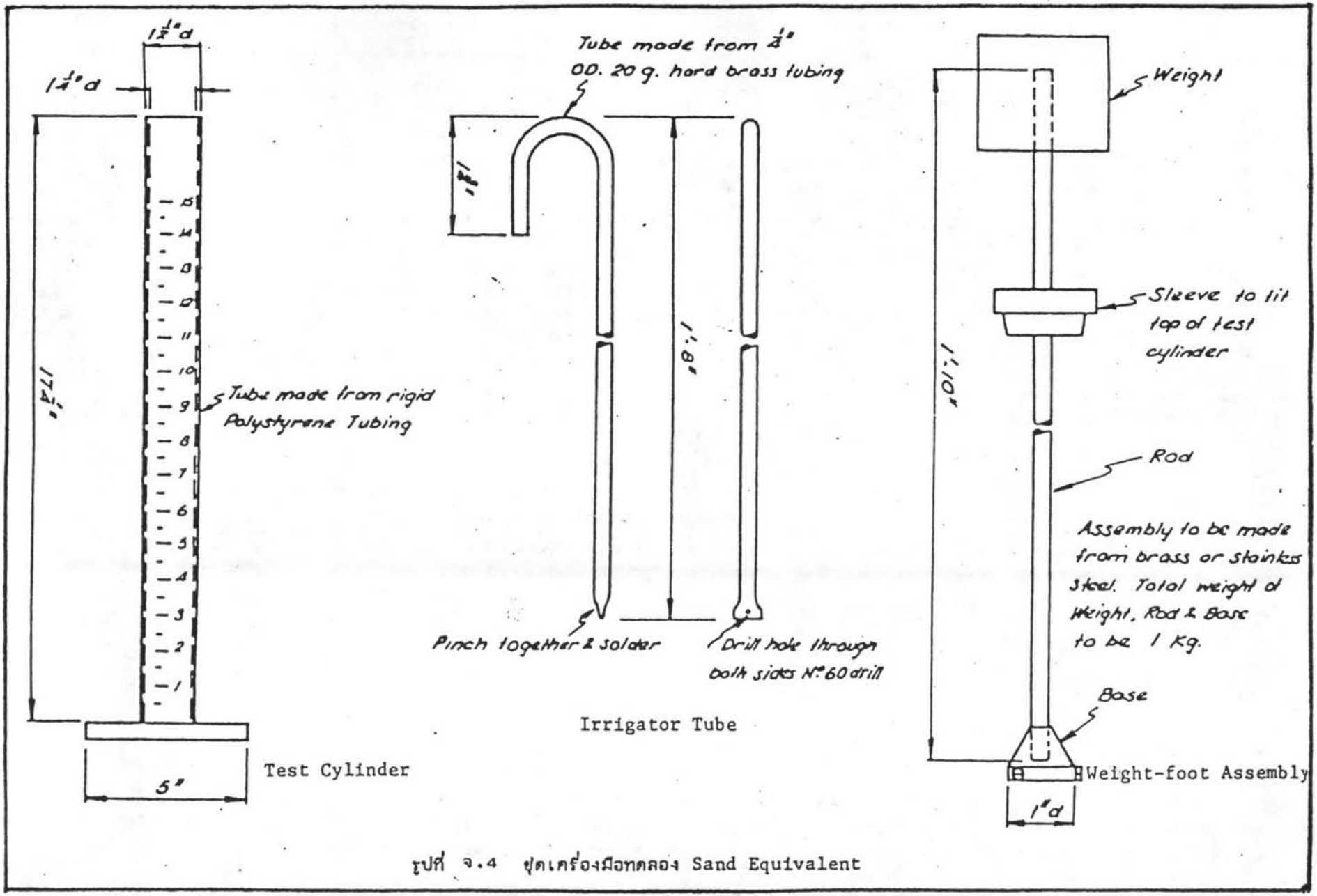
จ.5.4.5 ตั้งกระบอกตวงที่เขย่าแล้วบนโต๊ะ เปิดจุกยางหย่อนปลาย Irrigator Tube ลงไปในกระบอกตวง เปิดให้สารละลายจากขวดแก้วไหลลงไป ล้างวัสดุตัวอย่างที่ติดอยู่ข้าง ๆ กระบอกตวง จากขอบบนลงไปรวมอยู่ข้างล่าง ค่อย ๆ ดัน Irrigator Tube ผ่านชั้นตัวอย่างลงไปถึงก้นกระบอก โดยสารละลายยังคงไหลอยู่เรื่อย ๆ เม็ดวัสดุส่วนละเอียดของตัวอย่างจะถูกไล่ให้ลอยตัวขึ้นมาเป็นของผสมอยู่เหนือพวกเม็ดหยาบ ค่อย ๆ ไล่และยก Irrigator Tube ขึ้น แต่ยังคงปล่อยให้สารละลายไหลออกเรื่อย ๆ จนเมื่อยก Irrigator Tube ออกจากกระบอกตวงระดับของผสมในกระบอกตวงต้องอยู่ที่ระดับขีด 15 นิ้ว

จ.5.4.6 ปล่อยกระบอกตวงทิ้งไว้โดยไม่ถูกรบกวนอีก 20 นาที จะเห็นชั้นของส่วนฝุ่นอยู่เหนือชั้นส่วนหยาบอย่างชัดเจน อ่านค่าระดับชั้นบนสุดของชั้นฝุ่นบนกระบอกตวง เป็นค่า "Clay Reading"

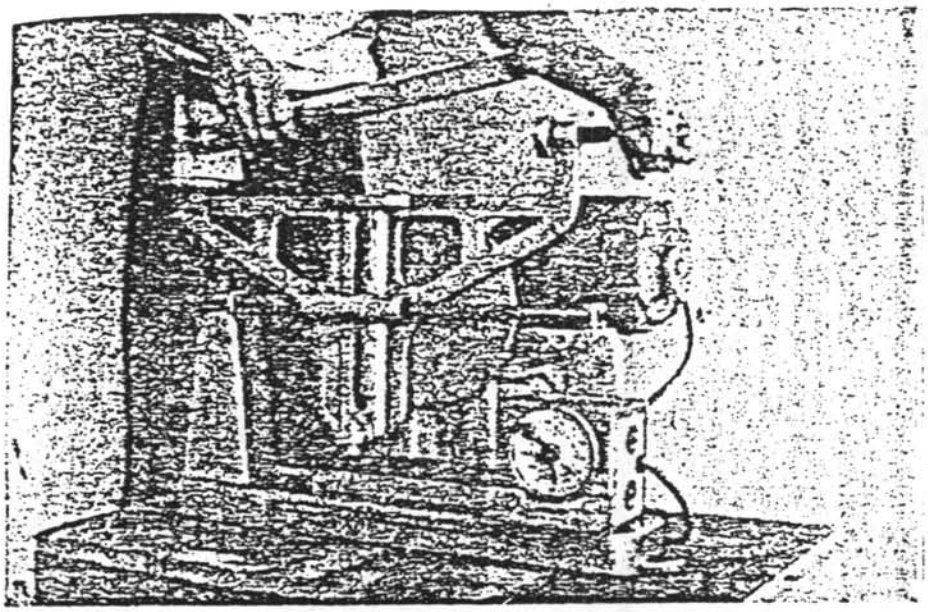
จ.5.4.7 นำเอา Weight Foot Assembly ค่อย ๆ หย่อนลงไปในกระบอกตวง ไปวางบนชั้นวัสดุหยาบ อ่านค่าบนกระบอกตวงตรงระดับบนสุดของ Indicator แล้วลบด้วย 10 จะได้ค่า "Sand Reading"

จ.5.5 การคำนวณ

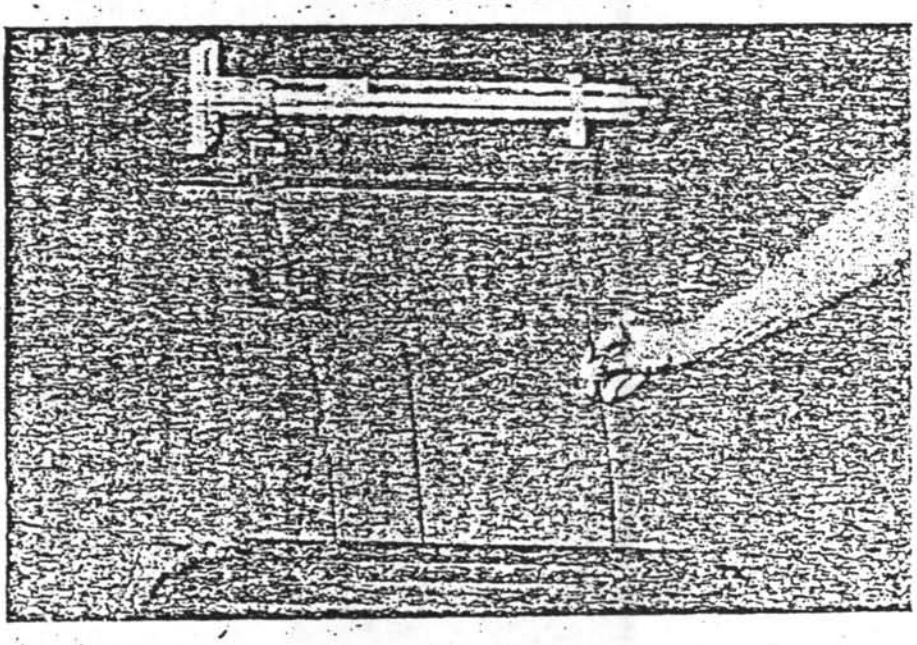
$$\text{ค่า Sand Equivalent, S.E.} = \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100\ \%$$



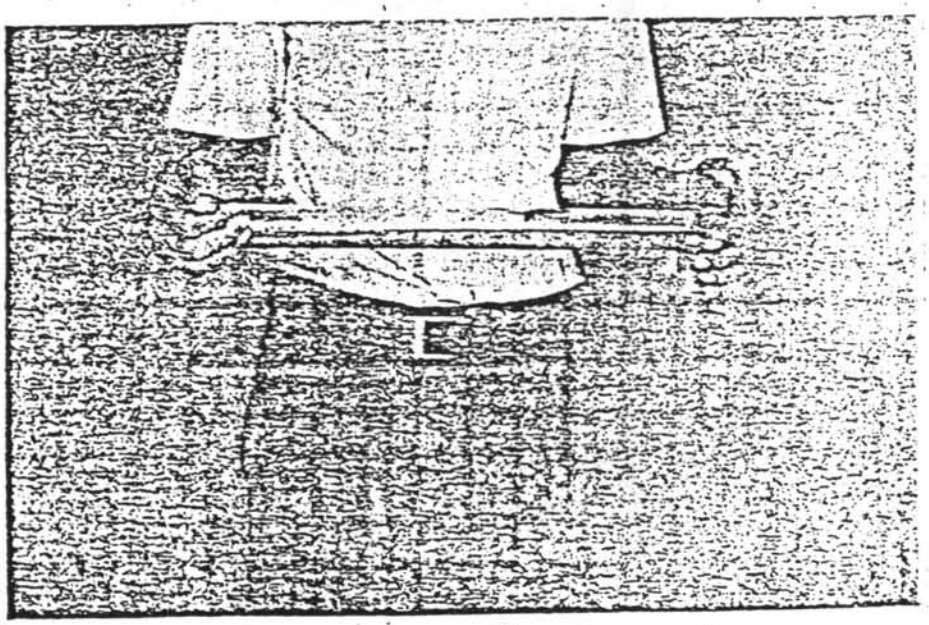
รูปที่ จ.4 ชุดเครื่องมือทดลอง Sand Equivalent



Mechanical Shaker



Manual Shaker



ใช้มือเขย่า

รูปที่ จ.5 วิธีการเขย่าตัวอย่างทดลอง Sand Equivalent

จ.6 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวม (Water Absorption) (4,7)

จ.6.1 ความมุ่งหมาย วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงมาจาก AASHO T-85 และ Calif. 206-C หรือตามมาตรฐานกรมทางหลวง ที่ ทล-ท 207/2517 เป็นการทดลองหาค่าความซึมได้ของน้ำที่เข้าไปภายในเนื้อวัสดุมวลรวม ในที่นี้คือ เม็ดดินเผาโดยกระทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวม

จ.6.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จ.6.2.1 เครื่องชั่ง เป็นเครื่องชั่งแบบ Balance สามารถชั่งได้อย่างน้อย 5,000 กรัม และต้องอ่านได้ละเอียดถึง 0.5 กรัม

จ.6.2.2 ชามอ่าง เป็นภาชนะใหญ่พอที่จะแช่วัสดุประมาณ 5,000 กรัมได้ โดยให้วัสดุจมในน้ำหมดทุกก้อน

จ.6.2.3 ผ้าซับน้ำ มีขนาดใหญ่พอกับปริมาณของตัวอย่างที่ใช้

จ.6.2.4 เตาอบ สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่ 110±5°ซ

จ.6.3 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างวัสดุเม็ดดินเผาทั้งหมดมาทำการแบ่งโดยใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (Sample Splitter) นำตัวอย่างที่แบ่งแล้วมาร่อนตะแกรงเบอร์ 4 แล้วนำส่วนที่ค้างตะแกรงประมาณ 5,000 กรัม มาทดลอง

จ.6.4 การทดลอง

จ.6.4.1 นำวัสดุเม็ดดินเผาที่เตรียมไว้ มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5°ซ ปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิปกติ แล้วจึงนำไปแช่ลงในน้ำ เป็นเวลาประมาณ 15±4 ชั่วโมง

จ.6.4.2 เอาวัสดุเม็ดดินเผาขึ้นจากน้ำ วางบนผ้าซับน้ำแล้วคลึง เช็ดวัสดุเม็ดดินเผาด้วยผ้าซับน้ำ สำหรับวัสดุที่มีขนาดใหญ่ จะใช้ผ้าเช็ดทีละก้อนก็ได้ จนกระทั่งชั้นบาง ๆ ของน้ำ (Visible Film) ที่เคลือบผิววัสดุออกหมดแล้วรีบทำการชั่งวัสดุทันที ถึงแม้จะ

เห็นว่าที่ผิววัสดุยังชื้น (Damp) อยู่ก็ตาม การชั่ง ชั่งให้ละเอียดถึง 0.5 กรัม น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนัก Saturated Surface Dry ในอากาศ (B)

จ.6.4.3 นำวัสดุไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110±5°ซ แล้วปล่อยทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิปกติประมาณ 1-3 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ได้เป็นน้ำหนักวัสดุอบแห้งในอากาศ (A)

จ.6.5 การคำนวณ

ปริมาณน้ำที่ซึมเข้าไปภายในเนื้อวัสดุเม็ดดินเผา $= \frac{B-A}{A} \times 100\ \%$

(Water Absorption)

เมื่อ A = น้ำหนักวัสดุเม็ดดินเผาอบแห้งในอากาศ, กรัม

B = น้ำหนักวัสดุเม็ดดินเผาที่ Saturated Surface Dry, กรัม

จ.7 <u>การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบการเคลือบผิวและการหลุดลอกของยางแอสฟัลท์</u>

(Coating and Stripping of Bitumen-Aggregate Mixtures) (1,36)

จ.7.1 ความมุ่งหมาย การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อต้องการทราบคุณสมบัติของวัสดุบิทูมินัสในการเคลือบผิววัสดุมวลรวมอย่างทั่วถึง และทนทานต่อปฏิกริยาของน้ำ เมื่อทำหน้าที่เป็นฟิลม์เคลือบผิววัสดุมวลรวม สำหรับวัสดุบิทูมินัสที่ใช้ในการเคลือบผิววัสดุมวลรวม เช่น ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เป็นต้น การทดลองนี้ไม่ควรจะนำไปใช้วัดค่าการเคลือบผิวในสนาม เนื่องจากว่าค่าที่ได้จะไม่สัมพันธ์กัน วิธีการทดลองนี้ทดลองตามมาตรฐาน ASTM D 1664-69 หรือ AASHO T 182-70

จ.7.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จ.7.2.1 แก้วบีกเกอร์ (Beaker) ขนาดความจุ 500 มิลลิลิตร

จ.7.2.2 เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้อย่างน้อย 200 กรัมและต้องอ่านได้ละเอียดถึง 0.1กรัม

จ.7.2.3 มีดปาด (Spatula) เป็นมีดปาดเหล็กกว้าง 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) และยาว 4 นิ้ว (100 มิลลิเมตร)

จ.7.2.3 เตาอบ ซึ่งสามารถปรับอุณหภูมิได้ระหว่าง 60°ซ ถึง 149°ซ (140°ฟ ถึง 300°ฟ) และควบคุมอุณหภูมิได้

จ.7.2.4 โคมไฟ ขนาด 75 วัตต์ สำหรับส่องดูตัวอย่าง

จ.7.3 การเตรียมตัวอย่าง

จ.7.3.1 เตรียมตัวอย่างเม็ดดินเผาขนาด 3/8 นิ้ว ประมาณ 100 กรัม มาเตรียมตัวอย่างดังนี้

ก. การเคลือบผิววัสดุมวลรวมแบบแห้ง (Dry-Aggregate Coating) ล้างตัวอย่างด้วยน้ำกลั่นเพื่อให้วัสดุส่วนละเอียดหลุดออกไป นำตัวอย่างเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 135°ซ ถึง 149°ซ จนแห้ง เก็บตัวอย่างไว้ในภาชนะพร้อมปิดฝาให้แน่นจนกว่าจะนำไปใช้ทดลอง

ข. การเคลือบผิววัสดุมวลรวมแบบเปียก (Wet-Aggregate Coating) แช่ตัวอย่างในน้ำกลั่นเป็นเวลา 15±4 ชั่วโมง นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำกลั่น แล้วไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 135°ซ ถึง 149°ซ จนแห้ง ปล่อยตัวอย่างให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

จ.7.3.2 น้ำกลั่น ควรจะนำไปต้มอีกครั้ง เพื่อให้ค่า pH อยู่ระหว่าง 6.0-7.0

จ.7.4 การทดลอง

จ.7.4.1 สำหรับยางศัทแบ็คแอสฟัลท์

ก. การเคลือบผิววัสดุมวลรวมแบบแห้ง นำตัวอย่างที่เย็นลงตามอุณหภูมิห้อง มาใส่ในภาชนะสำหรับผสม เติมยางศัทแบ็คแอสฟัลท์ซึ่งอุ่นที่อุณหภูมิ 35±2°ซ (ดูตารางที่ จ.3) จำนวน 5.5±0.2 กรัม ใช้มีดปาด (Spatula) รีบผสมเพื่อให้ยางศัทแบ็ค

แอสฟัลท์เคลือบผิวตัวอย่างจนทั่วภายในเวลา 2 นาที แล้วนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 60°ซ (140°ฟ) เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง โดยเตาอบควรจะเปิดรูระบายอากาศไว้ด้วย เอาตัวอย่างออกจากเตาอบแล้วผสมตัวอย่างอีกครั้งด้วยมีดปาดจนตัวอย่างเย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง เทตัวอย่างลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงบนตัวอย่างให้ระดับน้ำท่วมผิวบนของตัวอย่าง ปรับอุณหภูมิของน้ำให้คงที่ 25°ซ เป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง โดยไม่ให้มีการถูกรบกวน เอาฟิลม์ยางซึ่งลอยอยู่ที่ผิวน้ำออก ส่องแสงสว่างด้วยโคมไฟ ขนาด 75 วัตต์ ผ่านลงในน้ำไปที่ตัวอย่าง สังเกตดูตัวอย่างว่าพื้นที่ผิวของตัวอย่างถูกปกคลุมด้วยยางแอสฟัลท์มากกว่าหรือน้อยกว่า 95 เปอร์เซนต์ ดูรูปที่ จ.6

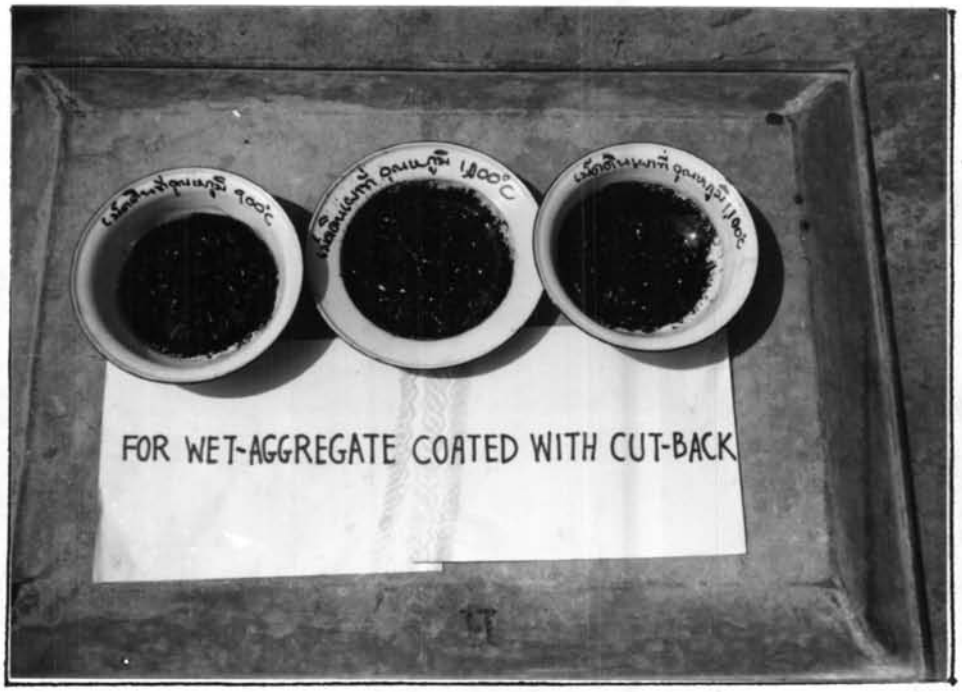
ตารางที่ จ.3 แนะนำการให้ความร้อนแก่วัสดุบิทูมินัสสำหรับทดลองการเคลือบผิว

Material	Temperature
Cutback asphalt, Grades 30 and 70	room temperature
Cutback asphalt, Grade 250	35±2C (95±5F)
Cutback asphalt, Grade 800	52±2C (125±5F)
Cutback asphalt, Grade 3000	68±2C (155±5F)
Tar, Grades RT-1 and RT-3	60±2C (140±5F)
Tar, Grades RT-4, RT-5 and RT-6	71±2C (160±5F)
Tar, Grades RT-7, RT-8 and RT-9	93±2C (200±5F)

ข. การเคลือบผิววัสดุมวลรวมแบบเปียก นำตัวอย่างมาใส่ในภาชนะสำหรับผสม เติมน้ำกลั่นจำนวน 2 มิลลิลิตร รีบผสมด้วยมีดปาดเพื่อให้ตัวอย่างเปียกจนทั่ว เติมยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ซึ่งอุ่นที่อุณหภูมิ 35±2°ซ ลงบนตัวอย่างประมาณ 5.5±0.2 กรัม แล้วใช้มีดปาด รีบผสมอย่างเร็วจนกระทั่งยางแอสฟัลท์เคลือบผิวตัวอย่างจนทั่ว โดยใช้เวลาในการผสมไม่เกิน 5 นาที จากนั้นให้พิจารณาการเคลือบผิวของยางแอสฟัลท์ว่าเคลือบผิวมากกว่าหรือน้อยกว่า 95 เปอร์เซนต์ ตามรูปที่ จ.7

รูปที่ จ.6 การเคลือบวัสดุเม็ดดินเผาแบบแห้ง ที่อุณหภูมิการเผาสุดท้าย ต่าง ๆ ด้วยยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250

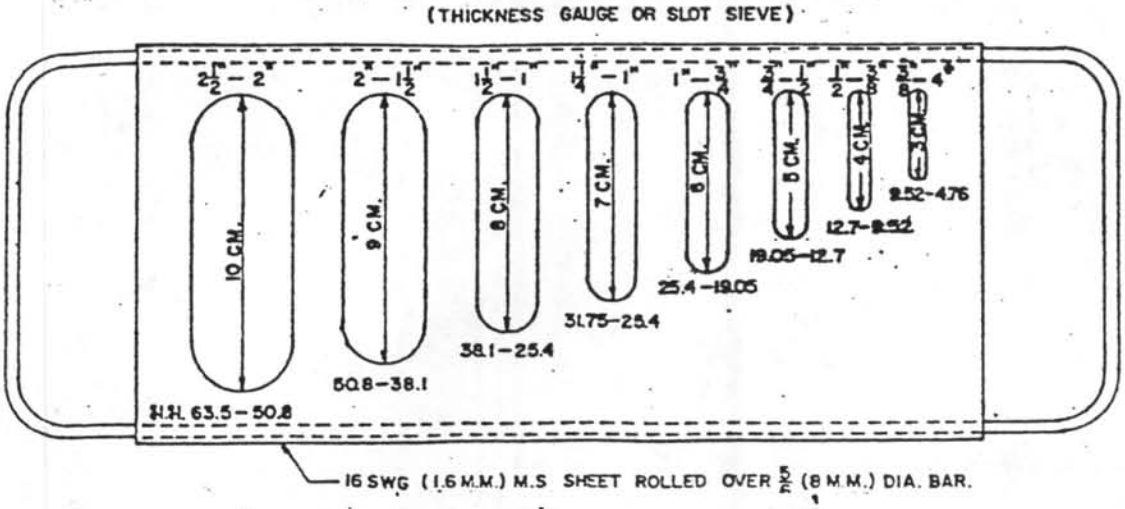
ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ จ.7 การเคลือบผิววัสดุเม็ดดินเผาแบบเปียก ที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย ต่าง ๆ ด้วยยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250

รูปที่ จ.8 การเคลือบผิววัสดุเม็ดดินเผาแบบแห้ง ที่อุณหภูมิการเผาสุดท้ายต่าง ๆ ด้วยยางแอสฟัลท์อิมัลชั่น เกรด CM-K

รูปที่ จ.9 การเคลือบผิววัสดุเม็ดหินเผาแบบแห้งที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1000°ซ ด้วยยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด SS-K



หมายเหตุ ขนาดของช่องดูตามตารางที่ จ.4

รูปที่ จ.10 เครื่องมือวัดความหนา

จ.7.4.2 สำหรับยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น

ก. การเคลือบผิววัสดุมวลรวมแบบแห้ง นำตัวอย่างที่เย็นลงตามอุณหภูมิห้องมาใส่ในภาชนะสำหรับผสม เติมยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นจำนวน 8±0.2 กรัม แล้วนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 135°ซ (275°ซ) เป็นเวลา 5 นาที นำตัวอย่างออกจากเตาอบรีบใช้มีดปาดผสมจนกระทั่งยางแอสฟัลท์เคลือบผิวตัวอย่างจนทั่ว แล้วนำตัวอย่างเข้าเตาอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 135°ซ (275°ฟ) เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมง โดยเตาอบควรเปิดรูระบายอากาศไว้ด้วย จากนั้นผสมตัวอย่างให้ทั่วด้วยมีดปาด แล้วพิจารณาการเคลือบผิวของยางแอสฟัลท์ว่า มีการเคลือบผิวมากกว่าหรือน้อยกว่า 95 เปอร์เซนต์ ตามรูปที่ จ.8 และรูปที่ จ.9

จ.7.5 การคำนวณ รายงานพื้นที่ผิวของวัสดุมวลรวมถูกปกคลุมด้วยยางแอสฟัลท์มากกว่า 95 เปอร์เซนต์หรือน้อยกว่า 95 เปอร์เซนต์

จ.8 <u>การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าดัชนีความแบน</u> (Flankiness Index)[8]

จ.8.1 ความมุ่งหมาย การทดลองนี้เป็นวิธีการหาค่าดัชนีความแบนของวัสดุเม็ดหยาบ (Coarse Aggregate) เช่น เม็ดกรวดเผา โดยหาน้ำหนักของเม็ดกรวดเผาที่มีความหนาของด้านแบนน้อยกว่า 3/5 เท่าของขนาดเฉลี่ยของเม็ดกรวดเผานั้น คิดเป็นเปอร์เซนต์เมื่อเทียบกับน้ำหนักเม็ดกรวดเผาที่นำมาทดลอง วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงมาจาก BS. 812 หรือตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล 210/2518

จ.8.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดูรูปที่ จ.10 และตารางที่ จ.4

จ.8.2.1 ช่องวัดความหนา (Thickness Gauge or Slot Sieve) ประกอบด้วยช่องขนาดต่าง ๆ หลายขนาด

จ.8.2.2 ภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่าง

จ.8.2.3 เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ.8.2.4 เครื่องชั่ง ชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.10 กรัม

จ.8.3 การเตรียมตัวอย่าง

จ.8.3.1 นำตัวอย่างเม็ดดินเผา แต่ละขนาดมาทำการชั่ง แล้วแยกเก็บไว้เพื่อทำการทดลอง

จ.8.4 การทดลอง

จ.8.4.1 นำตัวอย่างเม็ดดินเผา แต่ละขนาดมาทดลองผ่านช่องวัดความหนา โดยใช้ส่วนที่แบนที่สุดลอดผ่าน ตรงช่องที่มีเลขเท่ากับตะแกรงที่ค้างนั้นทีละก้อน ให้ทำทุก ๆ ขนาดของเม็ดดินเผา

จ.8.4.2 นำส่วนที่ค้างและส่วนที่ผ่านช่องวัดความหนาของเม็ดดินเผาแต่ละขนาดไปชั่งแล้วบันทึกไว้

จ.8.5 การคำนวณ

$$\% \text{ ดัชนีความแบน (Flankiness Index)} = \frac{x}{x+y} \times 100$$

เมื่อ x = น้ำหนักรวมของเม็ดดินเผาที่ลอดผ่านช่องวัดความหนาทุกช่อง, กรัม

y = น้ำหนักรวมของเม็ดดินเผาที่ค้างช่องวัดความหนาทุกช่อง, กรัม

ตารางที่ จ.4 ขนาดของตัวอย่างที่ใช้ลอดผ่านเครื่องมือวัดความหนา

ขนาดของวัสดุ				ขนาดช่องของเครื่องมือวัดความหนา*	
ผ่าน		ค้าง		มม.	นิ้ว
มม.	นิ้ว	มม.	นิ้ว	-	-
63.50	(2½")	50.80	(2")	34.29	1.350
50.80	(2")	38.10	(1½")	26.67	1.050
38.10	(1½")	25.40	(1")	19.05	0.750
31.75	(1¼")	25.40	(1")	17.15	0.675
25.40	(1")	19.05	(3/4")	13.34	0.525
19.05	(3/4")	12.70	(½")	9.53	0.375
12.70	(½")	9.52	(3/8")	6.68	0.263
9.52	(3/8")	4.76	(4")	4.29	0.169

จ.9 การเตรียมตัวอย่างและการทดลอง Polished-Stone Valve (PSV) [3,20]

จ.9.1 ความมุ่งหมาย วิธีการทดลองนี้เป็นการทดลองหาคุณสมบัติความฝืดหรือความต้านทานการลื่นไถลของวัสดุมวลรวมหยาบ เม็ดดินเผา เมื่ออยู่ในสภาพผิวเปียก และเมื่อได้รับการขัดสีจากยางรถยนต์บ่อย ๆ ครั้ง การทดลองนี้เป็นการทดลองตามมาตรฐานอังกฤษ BS. 812

จ.9.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

จ.9.2.1 เครื่องขัด (Accelerate Polishing Machine) ดังรูปที่ จ.11

จ.9.2.2 เครื่องมือวัดความต้านทานการลื่นไถล (British Portable Tester) ดังรูปที่ จ.12

จ.9.3 การเตรียมตัวอย่าง

จ.9.3.1 นำตัวอย่างเม็ดดินเผาขนาด 3/8 นิ้ว ประมาณ 1 กิโลกรัม มาล้างให้สะอาดและผึ่งให้แห้ง

จ.9.3.2 เรียงตัวอย่างเม็ดดินเผาลงในแบบ (Mold) มาตรฐาน จำนวนตัวอย่างละ 4 แบบ (Mold) โดยมีจำนวนเม็ดดินเผาในแต่ละแบบ (Mold) อยู่ในช่วงที่กำหนดคือ ตามข้อกำหนดของ BS. 812 ปี 1967 กำหนดไว้ว่าจะต้องใช้ประมาณ 40-60 เม็ดต่อแบบ

จ.9.3.3 หล่อแผ่นตัวอย่างเม็ดดินเผาในแบบ (Mold) โดยโรยทรายลงระหว่างช่องของตัวอย่างเม็ดดินเผา เพื่อป้องกันมิให้ซีเมนต์เคลือบหน้าด้านล่างของเม็ดดินเผา วางลวดเป็นรูปตะแกรง เทซีเมนต์ที่ผสมน้ำเรียบร้อยแล้วลงในแบบ (Mold)

จ.9.3.4 บ่มตัวอย่างเม็ดดินเผาที่หล่อไว้ในแบบ (Mold) แล้ว เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยคลุมไว้ด้วยผ้าเปียก

จ.9.3.5 ถอดแผ่นตัวอย่างเม็ดดินเผาออกจากแบบ (Mold) ด้วยความระมัดระวัง ใช้แปรงขัดเศษทรายออกจากผิวของเม็ดดินเผาให้หมด

จ.9.3.6 นำแผ่นตัวอย่างทั้ง 4 แผ่นไปแช่น้ำประมาณ 14 วัน โดยคว่ำหน้าด้านเม็ดดินเผาลง

จ.9.4 การขัดแผ่นตัวอย่างด้วยเครื่องขัด (Accelerate Polishing Machine)

จ.9.4.1 นำแผ่นตัวอย่างเม็ดดินเผา มาจัดเรียงในวงล้อของเครื่องขัดตามมาตรฐาน

จ.9.4.2 เดินเครื่องดำเนินการขัดแผ่นตัวอย่าง โดยในช่วง 3 ชั่วโมงแรก ขัดด้วยผงหยาบ (Corn Emery) ด้วยอัตราการไหล 20-35 กรัมต่อนาที และปล่อยน้ำจากเครื่องมือ ด้วยอัตราการไหลเดียวกัน

จ.9.4.3 หยุดเครื่อง เมื่อเดินครบกำหนดเวลา 3 ชั่วโมงแล้ว ฉีดน้ำทำความสะอาดแผ่นตัวอย่าง และทำความสะอาดเครื่องมือให้เรียบร้อย

จ.9.4.4 เดินเครื่องดำเนินการขัดแผ่นตัวอย่าง ในช่วงที่สองต่ออีก 3 ชั่วโมง โดยใช้ผงละเอียด (Air-Floated Emery Flour) ด้วยอัตราการไหล 2-4 กรัมต่อนาที และปล่อยน้ำจากเครื่องมือด้วยอัตราการไหลเป็น 2 เท่า

จ.9.4.5 หยุดเครื่อง เมื่อเดินครบกำหนดเวลา ถอดแผ่นตัวอย่างออก และทำความสะอาดเครื่องให้เรียบร้อย

จ.9.5 การทดลอง

จ.9.5.1 แช่แผ่นตัวอย่าง โดยคว่ำหน้าด้านเม็ดดินเผาลงในน้ำที่มีอุณหภูมิ 18-22 ^{o}C นานประมาณ 1/2 - 2 ชั่วโมง

จ.9.5.2 นำแผ่นตัวอย่างขึ้นจากน้ำ แล้วทดลองหาค่า PSV เฉลี่ย โดยใช้เครื่องมือ British Portable Tester ตามมาตรฐาน BS 812

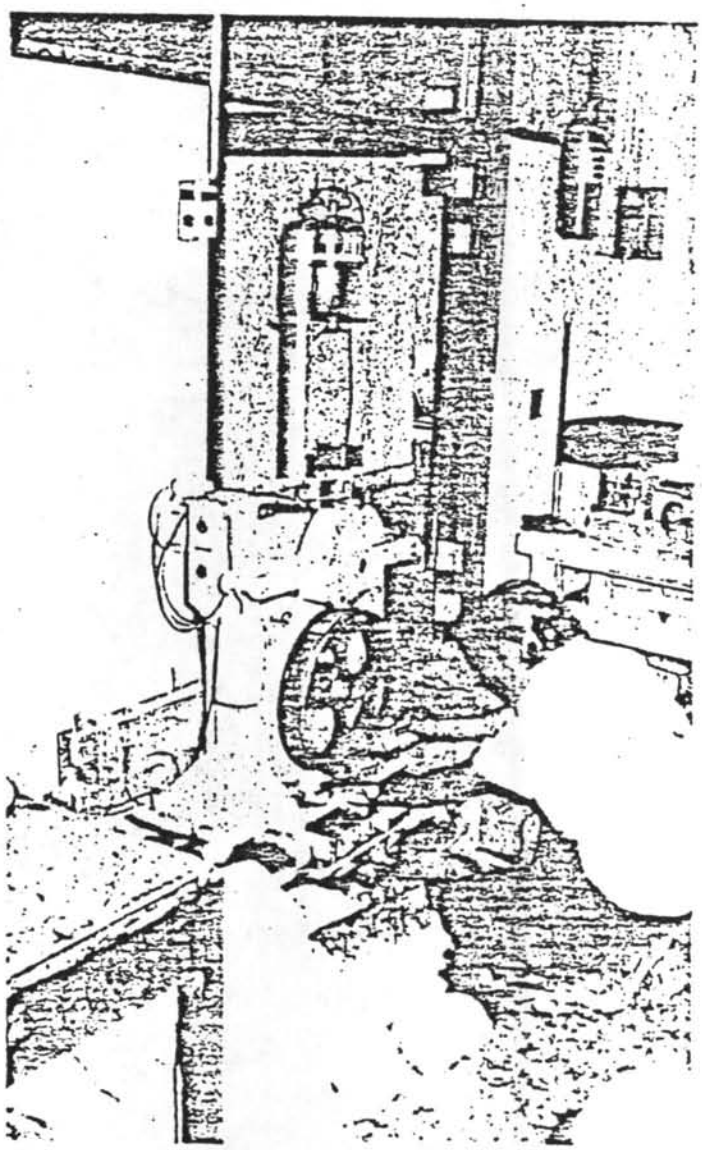
จ.9.5.3 ในแต่ละแผ่นตัวอย่าง ให้ทำการทดลอง 5 ครั้ง บันทึกค่าที่อ่านได้ไว้ ค่า PSV เฉลี่ยของแผ่นตัวอย่างเบ็ดดินเผาแต่ละแผ่นสามารถคำนวณได้จากค่าที่อ่านได้ 3 ครั้งหลัง และค่า PSV เฉลี่ยทั้งหมดจะได้จากการเครื่องจากตัวอย่างทั้ง 4 แผ่นอีกครั้ง ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ จ.13 ค่า PSV ที่อ่านได้ที่อุณหภูมิ t°ซ ให้แปลงเป็นค่า PSV ที่อุณหภูมิ 20°ซ ตามสูตรของ Maclean และ Shergold ดังนี้

$$C_{20} = \frac{100+t}{120} \times C_t$$

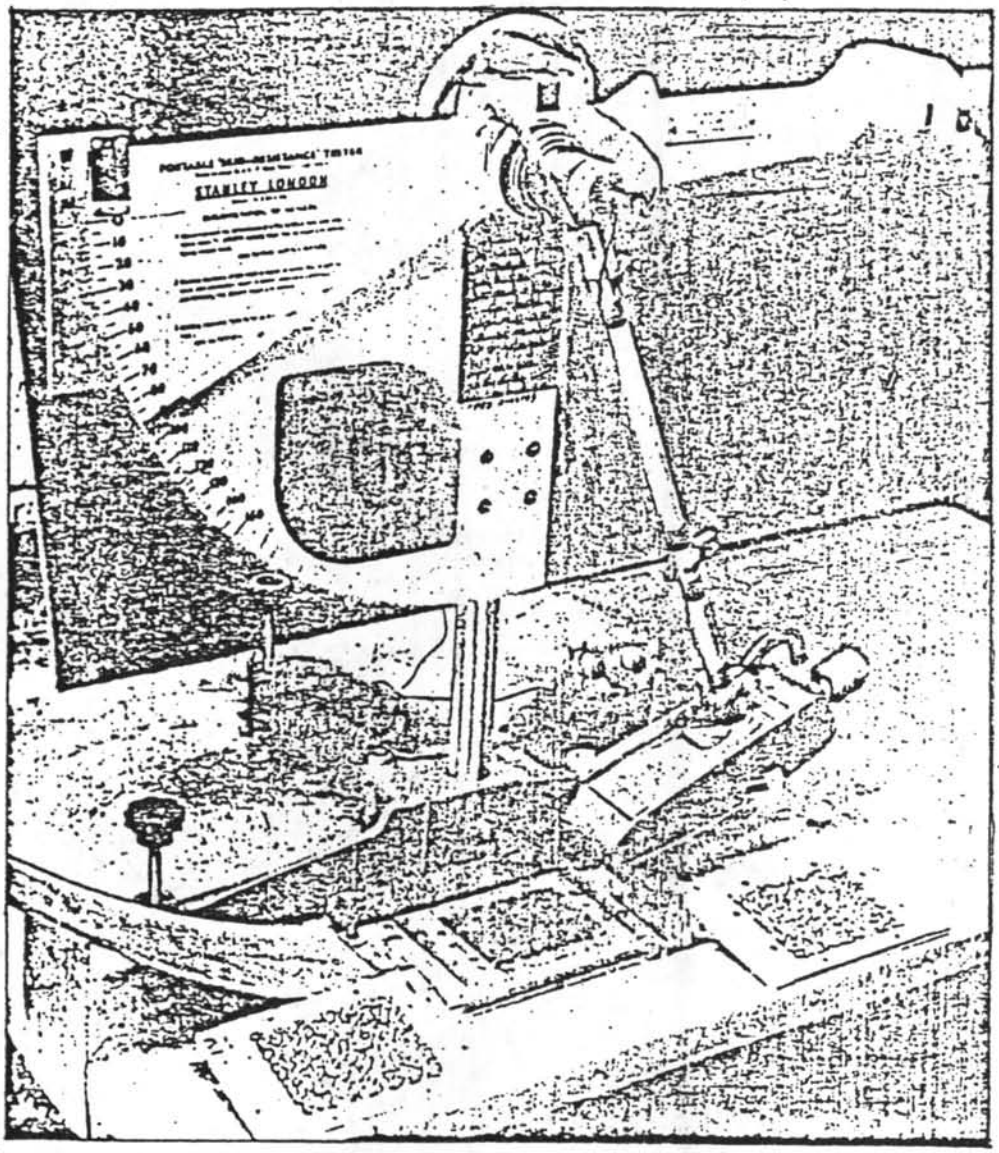
เมื่อ C_{20} = ค่า PSV ที่อุณหภูมิ 20°ซ

C_t = ค่า PSV ที่อุณหภูมิ t°ซ

t = อุณหภูมิในขณะที่ทดลอง $^{\circ}$ซ



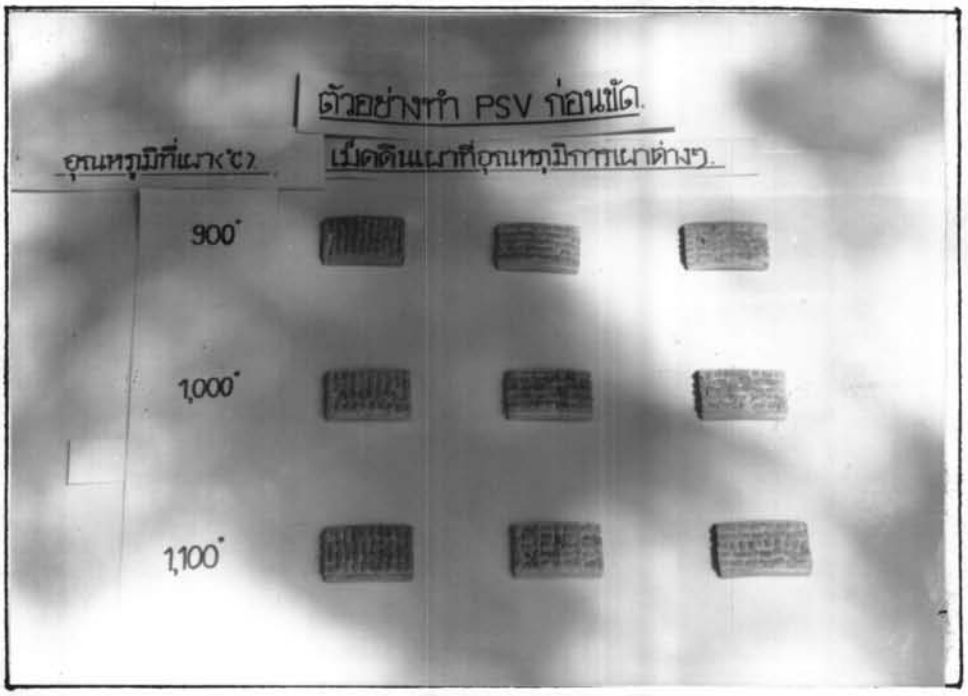
รูปที่ จ.11 เครื่องซัก



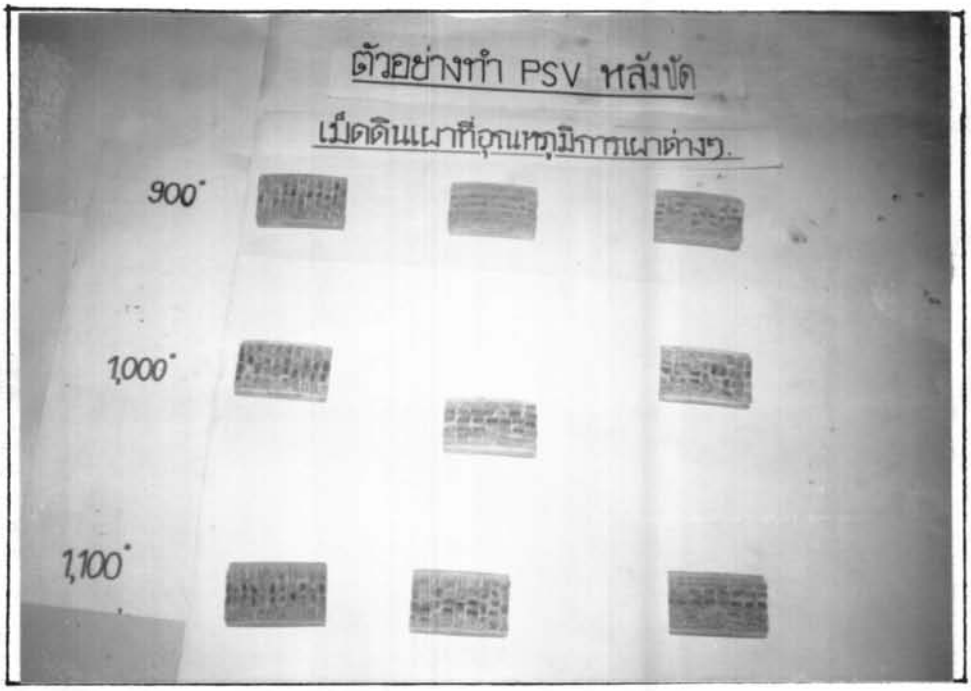
British Road Research Laboratory's pendulum friction tester (British Portable Tester).

รูปที่ จ.12 เครื่องวัดความต้านทานการลื่นไถล

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก. ตัวอย่างก่อนขัด



ข. ตัวอย่างหลังขัด

รูปที่ จ.13 ตัวอย่างเม็ดดินเผาที่ทดลองทำ PSV ที่อุณหภูมิการเผาสุดท้ายต่าง ๆ

ภาคผนวก ฉ.

การทดสอบคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์ชนิดเหลว

ภาคผนวก ฉ.

การทดสอบคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์ชนิดเหลว

ฉ.1 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าความหนืดโดยวิธี Saybolt Furol (9,10)

ฉ.1.1 ความมุ่งหมาย วิธีการทดลองนี้เป็นการวัดค่าความหนืดของผลิตภัณฑ์ปิโตรเลี่ยม โดยวิธี Saybolt ที่อุณหภูมิที่กำหนด ระหว่าง 21°ซ - 98°ซ

ค่าความหนืดแบบ Saybolt Universal (SU) คือเวลาเป็นวินาที ที่ตัวอย่าง 60 มิลลิลิตร ไหลผ่านรูกลม (Orifice) ตามขนาดของ Universal ซึ่งได้ตรวจเทียบ (Calibrated) ไว้แล้ว ภายใต้สภาวะที่กำหนด วิธีนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHO T-72 หรือตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล-ท 407/2520

ฉ.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ ฉ.1

ฉ.1.2.1 หลอดมาตรฐาน (Standard Tube) พร้อม Furol Tip และส่วนประกอบที่จำเป็น

ฉ.1.2.2 ที่จับเทอร์โมมิเตอร์

ฉ.1.2.3 กรวยกรองตัวอย่าง

ฉ.1.2.4 ขวดแฟลชค์ (Viscosity Flask)

ฉ.1.2.5 นาฬิกาจับเวลา

ฉ.1.2.6 เทอร์โมมิเตอร์

ฉ.1.2.7 กระป๋องหรือบีกเกอร์

ฉ.1.3 การเตรียมตัวอย่าง

ฉ.1.3.1 ตั้งเครื่องมือในที่โม่มีลมพัด และไม่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว

ฉ.1.3.2 บรรจุของเหลวที่ใช้เป็นตัวกลางลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิ โดยให้ระดับของเหลวนั้นอยู่สูงกว่าขอบบนชั้นในของเครื่องมือหาความหนืด อย่างน้อย 6.5 มิลลิเมตร ตัวกลางที่ใช้ ใช้น้ำมันที่มีค่าแบบหนืดแบบ Saybolt ที่ 100°ฟ เท่ากับ 120-150 วินาที

ฉ.1.3.3 ใช้คาร์บอนเตตราคลอไรด์ล้างเครื่องมือหาความหนืด แล้วปล่อยให้แห้ง

ฉ.1.3.4 ใส่จุกไม้คอร์ก ที่ช่องตรงส่วนล่างสุดของเครื่องมือ จุกไม้คอร์กนี้ต้องแน่นพอดี ไม่ให้ตัวอย่างไหลซึมออกมา

ฉ.1.3.5 เปิดสวิท ให้เครื่องให้ความร้อนและเครื่องกวนทำงาน เพื่อปรับอุณหภูมิในอ่างควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามที่กำหนด เช่น ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด CM-K ทดลองที่อุณหภูมิ 50°ซ และยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ทดลองที่อุณหภูมิ 60°ซ ส่วนยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด SS-K ทดลองที่อุณหภูมิ 25°ซ จึงไม่ต้องเปิดสวิทเครื่องเพื่อให้ความร้อน

ฉ.1.4 การทดลอง

ฉ.1.4.1 เทตัวอย่างยางแอสฟัลท์ที่เตรียมไว้ผ่านกรวยลงสู่เครื่องมือหาค่าความหนืด จนเต็มขอบบนชั้นใน ซึ่งเป็นขีดกำหนดในการบรรจุตัวอย่าง สำหรับยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ไม่ต้องกรองตัวอย่างก็ได้

ฉ.1.4.2 ใช้เทอร์โมมิเตอร์ซึ่งเสียบอยู่ในที่จับ กวนตัวอย่างด้วยความเร็ว 30-50 รอบต่อนาที จนตัวอย่างมีอุณหภูมิคงที่ตามที่กำหนด การกวนตัวอย่างต้องกวนติดต่อกันอย่างน้อย 1 นาที ห้ามปรับอุณหภูมิของตัวอย่างในเครื่องมือหาค่าความหนืด โดยการจุ่มวัสดุที่เย็นหรือร้อนลงไป

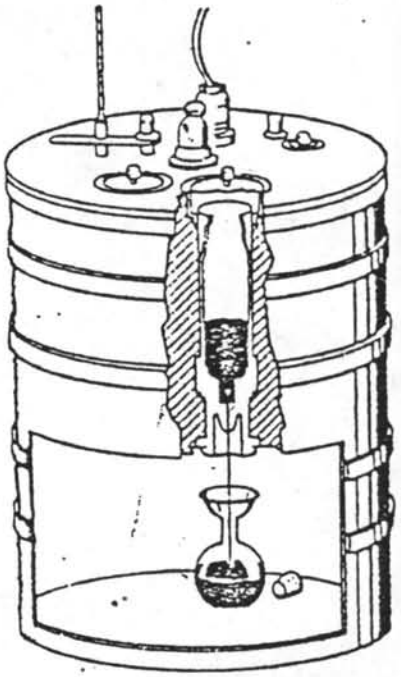
ฉ.1.4.3 เอาเทอร์โมมิเตอร์ออกจากตัวอย่าง แล้วรีบใช้หลอดดูดตัวอย่างที่ค้นออกมาอยู่ที่ชั้นนอกของเครื่องมือ จนมีระดับต่ำกว่าขอบบนชั้นใน ในการดูดตัวอย่างอย่าให้ปลายของหลอดดูดตัวอย่างสัมผัสกับขอบบนชั้นใน เพราะจะทำให้ระดับของตัวอย่างในเครื่องมือคลาดเคลื่อน

ฉ.1.4.4 วางขวดแฟลชค์ที่ใช้รองรับตัวอย่างมาวางใต้หลอดมาตรฐานให้ตรงกับช่องเปิด (Orifice) เพื่อให้ตัวอย่างที่ไหลลงถูกคอขวด โดยให้ขีดบนขวดอยู่ต่ำกว่าปลายของท่อมาตรฐานระหว่าง 100-130 มิลลิเมตร

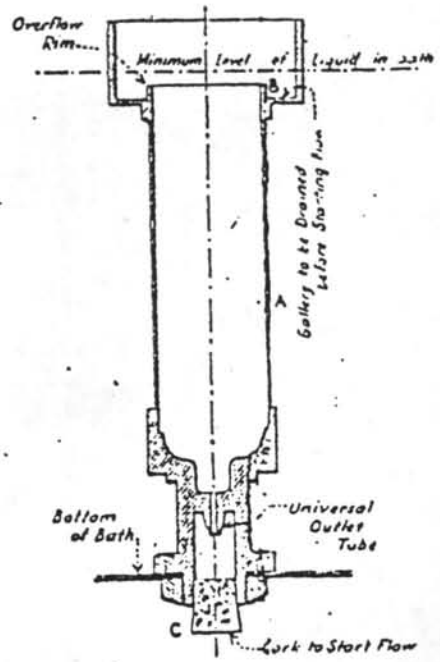
ฉ.1.4.5 ดึงจุกไม้คอร์กออก พร้อมกับเริ่มจับเวลา พอระดับตัวอย่างขึ้นถึงขีดที่กำหนดไว้ รีบบันทึกเวลาการไหลของตัวอย่างเป็นวินาที

ฉ.1.5 การคำนวณ

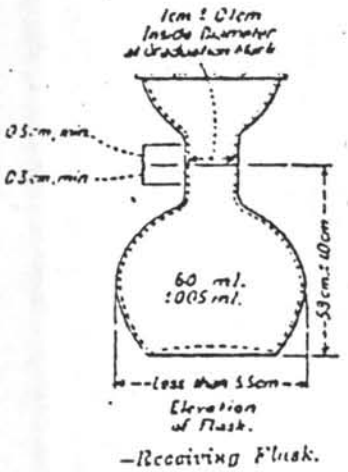
ค่าความหนืด แบบ Saybolt Furol เป็นวินาที



Viscosity Test.



.—Sectional View of Standard Oil Tube.



—Receiving Flask.

รูปที่ ฉ.1 เครื่องมือทดลองหาค่าความหนืดแบบ Saybolt Furol

ฉ.2 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่าความหนืด Kinematic ของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์[10]

ฉ.2.1 ความมุ่งหมาย วิธีการทดลองนี้เป็นการทดลองหาค่าความหนืด Kinematic ของยางแอสฟัลท์ชนิดเหลว ประเภทบ่ม-ช้า (SC), Road Oil, สารเหลือที่อุณหภูมิ 140°ฟ (60°ซ) สำหรับแอสฟัลท์ซีเมนต์ทดลองที่อุณหภูมิ 275°ฟ (135°ซ) ในช่วงความหนืด 30-100,000 Centi-Stokes การทดลองนี้ตามมาตรฐาน ASTM D2170

ฉ.2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ ฉ.2

ฉ.2.2.1 เครื่องวัดความหนืด (Viscometer), Capillary-Type ซึ่งประกอบด้วย

ก) Cannon-Fenske Viscometer สำหรับใส่สารเหลว

ข) Lantz-Zeitfuchs Viscometer

ค) BS U-Tube Modified Reverse Flow Viscometers

ฉ.2.2.2 เครื่องวัดความหนืดที่ปรับแล้ว (Calibrated Viscometers) ซึ่งหาได้จากตัวแทนจำหน่าย

ฉ.2.2.3 เทอร์โมมิเตอร์

ฉ.2.2.4 อ่างน้ำ (Bath) สำหรับแช่ Viscometer ในของเหลว อุณหภูมิจะต้องเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน $\pm$ 0.02°ฟ ($\pm$ 0.01°ซ) ตลอดความยาวของ Viscometer ที่อุณหภูมิ 140°ฟ (60°ซ)

ฉ.2.2.5 น้ำกลั่นเหมาะสำหรับการทดลองที่อุณหภูมิ 140°ฟ (60°ซ)

ฉ.2.2.6 นาฬิกาจับเวลา ที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 วินาที

ฉ.2.3 การเตรียมตัวอย่าง สำหรับยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ และ Road Oil

ฉ.2.3.1 ปล่อยตัวอย่างให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้องทดลอง

ฉ.2.3.2 เปิดฝาตัวอย่างออก แล้วผสมให้เข้ากันโดยการกวนเป็นเวลา 30 วินาที ระวังอย่าให้อากาศเข้าผสมในขณะกวน ถ้าตัวอย่างข้นเกินไปที่จะกวนได้ ให้นำเอาตัวอย่างแอสฟัลท์ไปแช่ในอ่างน้ำหรือเตาอบที่รักษาอุณหภูมิให้คงที่ ๆ 145 $\pm$ 5°ฟ (63 $\pm$ 3°ซ) จนกว่าจะเหลวพอที่จะกวนได้

ฉ.2.3.3 รีบเทตัวอย่างประมาณ 20 มิลลิลิตร ลงในกล่องซึ่งอาจมากกว่าหนึ่งกล่อง กล่องดังกล่าวจะต้องมีความจุ 30 มิลลิลิตร แล้วรีบปิดฝากันอากาศเข้า

ฉ.2.3.4 สำหรับตัวอย่างที่มีความหนืดที่อุณหภูมิ 140°ฟ (60°ซ) เกินกว่า 800 Centi-Stokes ให้นำเอาตัวอย่างที่บรรจุในภาชนะกันอากาศเข้ามาอบหรือแช่ในอ่างน้ำที่รักษาอุณหภูมิที่ 145 ± 5°ฟ (63 ± 3°ซ) จนกระทั่งมีความเหลวพอที่จะใส่ลงใน Viscometer การอบไม่ควรเกิน 30 นาที

ฉ.2.4 การทดลอง

ฉ.2.4.1 รักษาอุณหภูมิของอ่างน้ำให้อยู่ระหว่าง ± 0.02°ฟ (0.01°ซ) สำหรับอุณหภูมิที่ใช้ทดลอง 140°ฟ (60°ซ) พร้อมปรับแก้ค่าผิดพลาดที่เกิดจากการอ่านเทอร์โมมิเตอร์

ฉ.2.4.2 เลือกเครื่องวัดความหนืด (Viscometer) แบบหนึ่ง ซึ่งสะอาดและแห้ง และใช้เวลาในการไหลมากกว่า 60 วินาที แล้วปรับให้ถึงที่อุณหภูมิที่ต้องการทดลอง

ฉ.2.4.3 เตรียมเครื่องวัดความหนืด ให้ได้ระดับที่ต้องการ

ฉ.2.4.4 ปล่อยให้เครื่องวัดความหนืดมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเท่ากับอุณหภูมิของอ่างน้ำที่ใช้สำหรับทดลอง

ฉ.2.4.5 เริ่มปล่อยให้ยางแอสฟัลท์ไหลในเครื่องวัดความหนืด

ฉ.2.4.6 วัดระยะเวลาที่ยางแอสฟัลท์วิ่งผ่านขีดที่กำหนด ถ้าเวลาที่ได้น้อยกว่า 60 วินาที เลือกเครื่องวัดความหนืดซึ่งมีขนาดเล็กกว่ามาใช้

ฉ.2.4.7 เมื่อทดลองเสร็จให้ทำความสะอาดเครื่องวัดความหนืด โดยการให้สารละลายผ่านหลาย ๆ ครั้ง ตามด้วยสารละลายที่ระเหยได้อย่างสมบูรณ์ แล้วทำให้แห้งโดยเป่าอากาศผ่านเป็นเวลา 2 นาที จนเห็นว่าปราศจากสารละลาย

ฉ.2.5 การคำนวณ

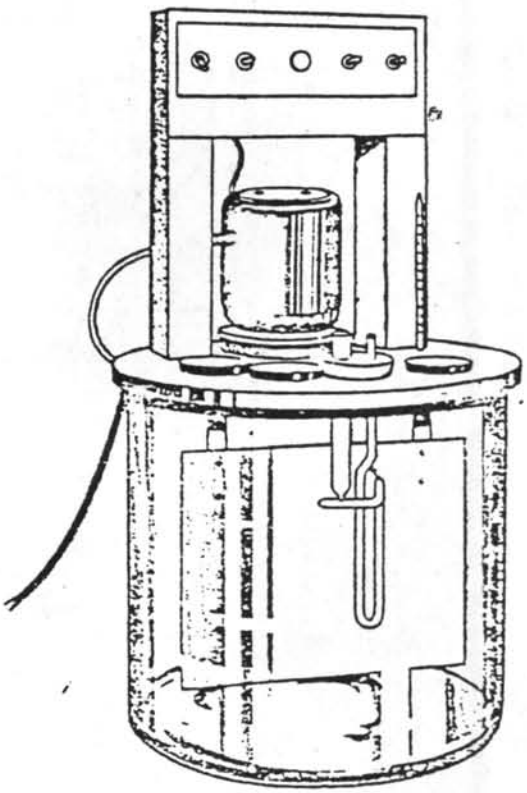
คำนวณหาค่าความหนืด Kinematic ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

ความหนืด Kinematic, เซนติ-สโตก = C X T

เมื่อ

C = ค่าคงที่ (Calibration Constant) ของเครื่องวัดความหนืด,
เซนติ-สโตก ต่อวินาที

T = เวลาที่ใช้ในการไหลของ ๆ เหลว, วินาที



รูปที่ ฉ.2 เครื่องมือทดลองหาค่าความหนืดแบบ Kinematic

รูปที่ ฉ.3 เครื่องมือทดลองตรวจสอบประจุไฟฟ้า

ฉ.3 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองการแยกชั้นหลังจาก 7 วัน[11,15,21]

ฉ.3.1 ความมุ่งหมาย การทดลองนี้เป็นการทดลองหาอัตราการตกตะกอนเมื่อเก็บยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นไว้นาน เพราะว่ายางแอสฟัลท์อีมัลชั่นเมื่อเก็บเอาไว้นาน ๆ ยางแอสฟัลท์จะแยกตัวออกจากน้ำและตกตะกอน เพื่อที่จะให้ผู้ใช้ได้ทราบถึงระยะเวลาในการเก็บที่เหมาะสม จึงต้องทำการทดลองการแยกชั้น วิธีการทดลองนี้เป็นการทดลองตามมาตรฐาน ASTM D244

ฉ.3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ฉ.3.2.1 กระบอกตวง (Graduate Cylinders) ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 50 ± 5 มิลลิเมตร ขนาดความจุ 500 มิลลิเมตร จำนวน 2 อัน พร้อมฝาจุกคอร์ก

ฉ.3.2.2 ปิเปตแก้ว (Glass Pipet) ขนาดความจุ 60 มิลลิเมตร สำหรับดูดตัวอย่าง

ฉ.3.2.3 เครื่องชั่ง ให้ความละเอียดถึง ± 0.01 กรัม และสามารถชั่งได้อย่างน้อย 500 กรัม

ฉ.3.3 การทดลอง

ฉ.3.3.1 ใส่ตัวอย่างจำนวน 500 มิลลิลิตร ลงในกระบอกตวงทั้ง 2 อัน ปิดฝาจุกให้เรียบร้อย ตั้งทิ้งไว้ไม่ให้มีการรบกวนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นดูดตัวอย่างที่ส่วนบนของแต่ละกระบอกตวง จำนวน 55 มิลลิลิตรด้วยปิเปตแก้ว ผสมแต่ละตัวอย่างให้ทั่วแล้วนำตัวอย่างแต่ละอันจำนวน 50 กรัมใส่ลงในบีกเกอร์ ชั่งน้ำหนักไว้ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ $163 \pm 2.8^{\circ}$ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ฉ.3.3.2 ดูดตัวอย่างส่วนที่เหลือจากตอนล่างของแต่ละกระบอกตวง จำนวน 55 มิลลิลิตร ด้วยปิเปตแก้ว ผสมแต่ละตัวอย่างให้ทั่ว แล้วนำตัวอย่างแต่ละอัน จำนวน 50 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ ชั่งน้ำหนักไว้ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ $163 \pm 2.8^{\circ}$ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ฉ.3.3.3 ชั่งน้ำหนักส่วนที่เหลือ (Residue) หลังจากการอบ

ฉ.3.4 การคำนวณ

เปอร์เซนต์การแยกชั้น (Percent Settlement) = B-A

เมื่อ

A = เปอร์เซนต์เฉลี่ยของปริมาณเนื้อยาง (Residue) จากตัวอย่างส่วนบน

B = เปอร์เซนต์เฉลี่ยของปริมาณเนื้อยาง (Residue) จากตัวอย่างส่วนล่าง

ฉ.4 <u>การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาปริมาณยางแอสฟัลท์ที่ค้างบนตะแกรง</u> [11,15,21]

ฉ.4.1 ความมุ่งหมาย การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาปริมาณเป็นร้อยละของยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ ซึ่งอาจจับตัวกันเป็นก้อนเล็ก หรือเป็นอนุภาคค่อนข้างใหญ่ที่ปนอยู่ในยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ซึ่งถ้าหากมีมากไป ก็จะทำให้คุณสมบัติบางประการของยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นเสียไป วิธีการทดลองนี้ตามมาตรฐาน ASTM D.244

ฉ.4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ฉ.4.2.1 ตะแกรง เบอร์ 20 (850 µm)

ฉ.4.2.2 ภาชนะรองตะแกรง (Pan) ที่มีขนาดปิดด้านล่างของตะแกรงพอดี

ฉ.4.2.3 สารละลายโซเดียมโอลีเอต (Sodium Oleate Solution) ที่มีความข้น 2 เปอร์เซนต์ คือมีปริมาณโซเดียมโอลีเอตบริสุทธิ์ จำนวน 2 กรัมในสารละลาย 100 มิลลิลิตร

ฉ.4.2.4 เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้อย่างน้อย 2,000 กรัมและมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm$ 1 กรัม กับเครื่องชั่งสามารถชั่งได้ 500 กรัมและมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm$ 0.1 กรัม

ฉ.4.2.5 น้ำกลั่น

ฉ.4.3 การทดลอง

ฉ.4.3.1 ชั่งน้ำหนักตะแกรงเปล่า ภาชนะรองรับตะแกรง และตะแกรงเปล่าที่เปียกสารละลายโซเดียมโอลีเอต หรือ น้ำกลั่น

ฉ.4.3.2 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างยางแอสฟัลท์อิมัลชั่น จำนวน 1,000 กรัม ใส่ลงในภาชนะที่เหมาะสม นำตัวอย่างมากรองผ่านตะแกรงเบอร์ 20 จากนั้นนำตะแกรงและยางแอสฟัลท์ที่ค้างมาล้างดังนี้ สำหรับชนิดที่มีประจุลบ (Anionic) ใช้ล้างด้วยโซเดียมโอลีเอต ส่วนชนิดที่มีประจุบวก (Cationic) ใช้ล้างด้วยน้ำกลั่น

ฉ.4.3.3 หลังจากล้างแล้ว นำตะแกรงและยางแอสฟัลท์ที่ติดอยู่ (โดยมีภาชนะรองตะแกรงรองอยู่ใต้) เข้าอบที่อุณหภูมิ 105°ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

ฉ.4.3.4 ชั่งน้ำหนักตะแกรง ภาชนะรองตะแกรง และเนื้อยางที่เหลือ (Residue)

ฉ.4.4 การคำนวณ

$$\text{เปอร์เซนต์ตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรง (Percent Sample Retained)} = \frac{B-A}{10}$$

เมื่อ

A = น้ำหนักตะแกรง +ภาชนะรองตะแกรง, กรัม

B = น้ำหนักตะแกรง +ภาชนะรองตะแกรง +เนื้อยางที่เหลือ, กรัม

ฉ.5 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองการผสมกับซีเมนต์[11,15,21]

ฉ.5.1 ความมุ่งหมาย การทดลองนี้เป็นการทดลอง การผสมซีเมนต์กับยางแอสฟัลท์อิมัลชั่น ชนิดแคทตัวช้า เนื่องจากว่ายางแอสฟัลท์อิมัลชั่นชนิดนี้ใช้เวลานานที่จะรวมตัวกัน ฉะนั้นจึงใช้วิธีการทดลองการผสมกับซีเมนต์แทนการทดลองหาอัตราการรวมตัวของอนุภาคยางแอสฟัลท์ (Demulsibility Test) การทดลองนี้ระบุให้ใช้ได้ทั้งชนิดที่มีประจุลบ (Anionic) และประจุบวก (Cationic) เพื่อตรวจสอบให้แน่ใจว่าอนุภาคยางแอสฟัลท์จะไม่รวมตัวกันอย่างรวดเร็ว เมื่อสัมผัสกับดินเม็ดละเอียดหรือหินฝุ่น วิธีการทดลองนี้เป็นการทดลองตามมาตรฐาน ASTM D.244

ฉ.5.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ฉ.5.2.1 ตะแกรง ขนาดเบอร์ 14 และขนาดเบอร์ 80

ฉ.5.2.2 กะละมังเคลือบ หรือภาชนะโลหะที่มีก้นกลม ขนาดความจุ 500 มิลลิลิตร

ฉ.5.2.3 แท่งกวน (Stirring Rod) เป็นแท่งเหล็กกลมซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ปลายแท่งประมาณ 0.5 นิ้ว (13 มิลลิเมตร)

ฉ.5.2.4 กระบอกตวง (Graduate Cylinder) ขนาดความจุ 100 มิลลิลิตร

ฉ.5.2.5 เครื่องชั่ง เป็นเครื่องชั่งแบบ Balance สามารถชั่งได้อย่างน้อย 500 กรัม และต้องอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

ฉ.5.2.6 ซีเมนต์ เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดให้กำลังสูงเร็ว

ฉ.5.3 การทดลอง

ฉ.5.3.1 นำตัวอย่างยางแอสฟัลท์อิมัลชั่นมาผสมกับน้ำให้เจือจางมีเนื้อยางแอสฟัลท์เหลือ 55 เปอร์เซนต์

ฉ.5.3.2 นำปูนซีเมนต์มาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 80 แล้วนำส่วนที่ผ่านตะแกรงมา 50 $\pm$ 0.1 กรัม เทใส่ลงในกะละมังเคลือบ

ฉ.5.3.3 นำตัวอย่างยางแอสฟัลท์อิมัลชั่นที่ผสมแล้วจำนวน 100 มิลลิลิตร มาเติมลงบนปูนซีเมนต์แล้วกวนด้วยแท่งกวนด้วยอัตราความเร็ว 60 รอบต่อนาที ก่อนเสร็จ 1 นาทีให้เติมน้ำลงในส่วนผสมอีก 150 มิลลิลิตรพร้อมกวนต่อไปอีก 3 นาที

ฉ.5.3.4 นำส่วนผสม (ตามข้อ ฉ.5.3.3) ไปกรองผ่านตะแกรงเบอร์ 14 แล้วล้างวัสดุผสมด้วยน้ำกลั่น โดยยกระดับน้ำกลั่นที่ใช้ล้างสูงจากตะแกรงประมาณ 6 นิ้ว (152.4 มิลลิเมตร) นำตะแกรงซึ่งมีวัสดุผสม เข้าอบที่อุณหภูมิ 163°ซ

ฉ.5.3.5 ชั่งน้ำหนักตะแกรงซึ่งมีวัสดุผสม หลังจากการอบ นำวัสดุผสมส่วนที่ค้างบนตะแกรงนี้ไปคำนวณหาน้ำหนัก คิดเป็นร้อยละ

ฉ.6 <u>การเตรียมตัวอย่างและการทดลองตรวจสอบประจุไฟฟ้าของยางแอสฟัลท์อิมัลชั่น</u>(9)

ฉ.6.1 ความมุ่งหมาย การทดลองนี้ใช้ตรวจสอบประจุไฟฟ้าบวกของยางแอสฟัลท์อิมัลชั่น ชนิดที่มีประจุไฟฟ้าบวก (Cationic) เพราะว่าประจุไฟฟ้าบวกเป็นการชี้บอกในการแยกชนิดของยางแอสฟัลท์อิมัลชั่น ชนิดประจุไฟฟ้าบวก วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงมาจาก AASHTO T-59 หรือตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล-ท 411/2522

ฉ.6.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ ฉ.3

ฉ.6.2,1 แหล่งไฟฟ้า ใช้เครื่องที่ให้กระแสไฟฟ้าตรง เป็นมิลลิแอมมิเตอร์ ขนาด 12 โวลท์ และสามารถปรับประแสไฟฟ้าได้

ฉ.6.2.2 ขั้วไฟฟ้า เป็นแผ่นเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) ขนาด 25.4 x101.6 มิลลิเมตร มีฉนวนคั้งวางขนานห่างกัน 12.7 มิลลิเมตร

ฉ.6.2.3 บีกเกอร์ ขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร

ฉ.6.2.4 นาฬิกาจับเวลา

ฉ.6.3 การเตรียมตัวอย่าง

ฉ.6.3.1 เทยางแอสฟัลท์อิมัลชั่น ลงในบีกเกอร์ ให้มีปริมาณมากพอที่จะจุ่มแผ่นขั้วลงไปได้ลึก 25.4 มิลลิเมตร

ฉ.6.3.2 ทำความสะอาดขั้วไฟฟ้า แล้วเช็ดให้แห้ง ต่อสายเข้ากับแหล่งไฟฟ้า

ฉ.6.4 การทดลอง

ฉ.6.4.1 จุ่มขั้วไฟฟ้าลงในตัวอย่างที่ใช้ทดลองให้ลึก 25.4 มิลลิเมตร แล้วปรับกระแสไฟฟ้าให้ได้อย่างน้อย 8 มิลลิแอมป์ และเริ่มจับเวลาเป็นวินาที

ฉ.6.4.2 เมื่อกระแสไฟฟ้าตกลงถึง 2 มิลลิแอมป์ หรือเมื่อเวลาครบ 30 นาที แล้วแต่อย่างไหนจะถึงก่อน ให้ตัดกระแสไฟฟ้าออก นำขั้วไฟฟ้าไปล้างโดยวิธีให้น้ำไหลผ่านเบา ๆ

ฉ.6.4.3 สังเกตุดูยางแอสฟัลท์ที่เกาะขั้วไฟฟ้า ถ้ายางแอสฟัลท์จับที่ขั้วไฟฟ้าลบ ในขณะที่ขั้วไฟฟ้าบวกสะอาดไม่มียางแอสฟัลท์เกาะอยู่ จะเป็นยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ชนิดที่มีประจุไฟฟ้าบวก (Cationic)

ฉ.6.5 การคำนวณ ——

ฉ.7 <u>การเตรียมตัวอย่างและการทดลองความเป็นกรด-ด่าง</u>[24,40]

ฉ.7.1 ความมุ่งหมาย วิธีการทดลองนี้เป็นการทดลองความเป็นกรดเป็นด่างของยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ชนิดแตกตัวช้า (Slow Setting) เกรด SS-K โดยใช้ pH-meter หรือกระดาษลิสมัส แต่วิธีการทดลองนี้จะใช้เครื่อง pH-meter ซึ่งทดลองตามมาตรฐาน ASTM E70-68 หรือ AASHO T200-70

ฉ.7.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ฉ.7.2.1 เครื่อง pH-meter เป็นเครื่องมือวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของตัวอย่าง

ฉ.7.2.2 สารละลายมาตรฐาน เป็นสารละลายพวก Buffer Salt ชนิดต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ ฉ.1

ฉ.7.2.3 แก้วบีกเกอร์ (Beaker) ขนาดความจุ 500 มิลลิลิตร

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฉ.7.3 การเตรียมตัวอย่าง

นำ Buffer Salt ชนิดต่าง ๆ ที่จะนำมาทดลอง มาทำให้มีความบริสุทธิ์ที่สุดเช่นเดียวกับมาตรฐานของ pH ตามตารางที่ ฉ.1 ดังนี้

ก. โปแตสเซียมไฮโดรเจนธาเลต (Potassium Hydrogen Phthalate) โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต(Potassium Dihydrogen Phosphate) และไดโซเดียมฟอสเฟต (Disodium Phosphate) นำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำไปใช้งาน

ข. บอแร็ค (Borax) และโซเดียมไบคาร์บอนเนต ไม่ต้องให้ความร้อน ให้ใช้ทดลองที่อุณหภูมิของห้อง

ค. โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนซิเตรต(Potassium Dihydrogencitrate) นำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 80°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

ง. โซเดียมคาร์บอนเนต (Sodium Carbonate) นำไปเผาไฟที่อุณหภูมิ 270°ซ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำไปใช้งาน

นำ Buffer Salt แต่ละชนิดไปละลายในน้ำกลั่น เพื่อให้เป็นสารละลายมาตรฐานตามที่ต้องการ

ฉ.7.4 การทดลอง

ฉ.7.4.1 นำตัวอย่างยางแอสฟัลท์อิมัลชั่น เกรด SS-K มาคนให้เข้ากัน เทใส่ลงบีกเกอร์ ประมาณ 250 มิลลิลิตร

ฉ.7.4.2 ทำการ Calibrate เครื่อง pH-meter โดยใช้สารละลาย Buffer pH4 และสารละลาย Buffer pH9

ฉ.7.4.3 ปรับให้เครื่อง pH-meter อ่านค่าได้ตรงกับค่าของสารละลาย Buffer ตามตารางที่ ฉ.2

ฉ.7.4.4 วัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของตัวอย่างยางแอสฟัลท์อิมัลชั่น แล้วทำการบันทึกค่า

ตารางที่ ฉ.1 เกลือ Buffer ชนิดต่าง ๆ ที่นำไปทำเป็นสารละลาย

Buffer Salt	SRM No.
Potassium dihydrogen citrate	150
Potassium hydrogen phthalate	185
Potassium dihydrogen phosphate	186I
Disodium hydrogen phosphate	186II
Borax	187
Sodium bicarbonate	191
Sodium carbonate	192

The pH(S) values may vary slightly from one lot to another; consequently, the values given on the SRM certificate should be used in preference to those given in Table 2, if slight differences exist.

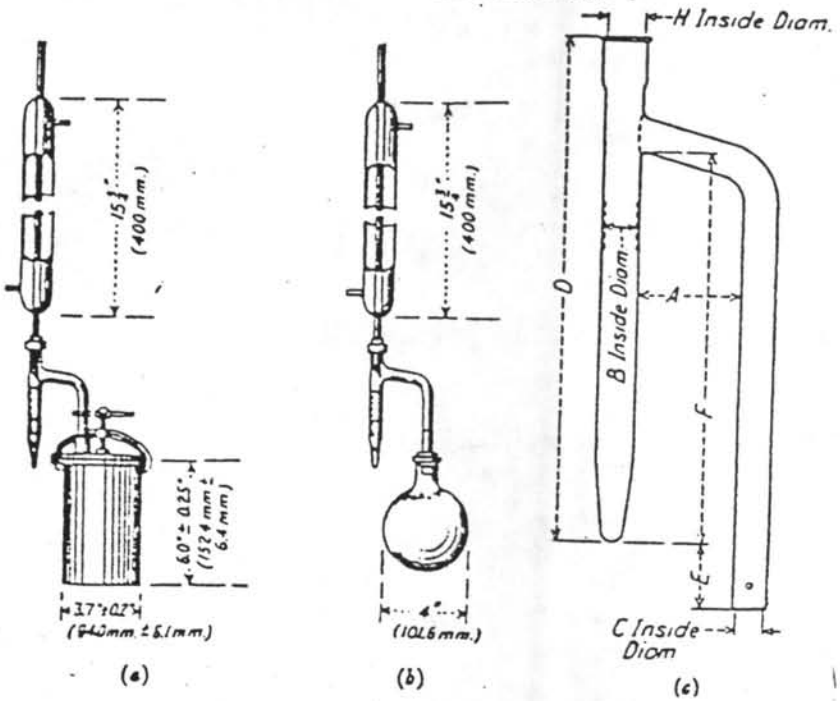
ตารางที่ ฉ.2 สารละลายมาตรฐานซึ่งมีค่า pH ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

pH(S) of Standard Solutions[a,b]

Temperature, deg C	A	B	C	D	E	F
0	3.863	4.003	6.984	7.543	9.464	10.315
10	3.820	3.998	6.923	7.472	9.332	10.178
20	3.788	4.002	6.881	7.429	9.225	10.063
25	3.776	4.008	6.865	7.413	9.180	10.013
30	3.766	4.015	6.853	7.400	9.139	9.967
35	3.759	4.024	6.844	7.389	9.102	9.927
40	3.754	4.035	6.838	7.384	9.068	9.890
50	3.749	4.060	6.833	7.367	9.011	9.830
60	---	4.091	6.836	---	8.962	---
70	---	4.126	6.845	---	8.921	---
80	---	4.164	6.859	---	8.885	---
90	---	4.205	6.877	---	8.850	---

[a] The compositions of the standard solutions are:
A—KH_3 citrate, m = 0.05 mol kg^{-1}
B—KH phthalate, m = 0.05 mol kg^{-1}
C—KH_2PO_4, m = 0.025 mol kg^{-1}; Na_2HPO_4, m = 0.025 mol kg^{-1}
D—KH_2PO_4, m = 0.008695 mol kg^{-1}; Na_2HPO_4, m = 0.03043 mol kg^{-1}
E—$Na_2B_4O_7$, m = 0.01 mol kg^{-1}
F—$NaHCO_3$, m = 0.025 mol kg^{-1}; Na_2CO_3, m = 0.025 mol kg^{-1}
where m denotes molality.

[b] For a discussion of the manner in which these pH(S) values were assigned, see Chapter 4 of the book by Bates, R. G., *Determination of pH, Theory and Practice*, John Wiley & Sons, New York, 1964.



A = 45 to 55 mm
B = 14 to 16 mm
C = 12 to 16 mm
D = 235 to 255 mm
E = 25 to 38 mm
F = 186 to 194 mm
H = 18 to 19 mm

Apparatus for Determining Water.

รูปที่ ฉ.4 เครื่องมือทดลองหาค่าเปอร์เซนต์น้ำ

ฉ.8 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองการกลั่นยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น [21,35]

ฉ.8.1 ความมุ่งหมาย การทดลองนี้เป็นการตรวจสอบยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นโดยการกลั่น เพื่อหาเปอร์เซนต์ของน้ำที่ผสมรวมอยู่เป็นองค์ประกอบในยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น และหาปริมาณเนื้อยางหรือกาก (Residue) รวมถึงสารที่ประกอบเป็นแอสฟัลท์อีมัลชั่น เช่น พวก Semisolid หรือ Liquid Asphaltic Base น้ำและพวกอีมัลซิไฟค์อิงเอเจนต์ (Emulsifying Agent) วิธีการทดลองนี้เป็นการทดลองตามมาตรฐาน ASTM D.244

ฉ.8.2 การหาเปอร์เซนต์น้ำในยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น

ฉ.8.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง ดังแสดงในรูป ฉ.4

ก) Metal Still เป็นหม้อกลั่นโลหะสำหรับใส่ตัวอย่างรูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 3.7 นิ้ว (9.39 เซนติเมตร) สูง 6 นิ้ว (15.24 เซนติเมตร) ตอนบนเป็นแผ่นฝาโลหะมีรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว (2.54 เซนติเมตร) สำหรับใส่หลอดแก้วที่ติดอยู่กับที่กักน้ำ (Trap) และมีที่ยึด (Clamp) สำหรับปิดแน่นสนิทกับตัวภาชนะ

ข) Heat Source ทำเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางด้านใน 4 นิ้ว (10 เซนติเมตร) มีรูเจาะด้านใน เพื่อให้เปลวไฟออกได้โดยรอบขณะดำเนินการทดลอง

ค) เครื่องควบแน่น (Condenser) ประกอบด้วย Jacket ยาว $15\frac{3}{4}$ นิ้ว (40 เซนติเมตร) หลอดแก้วชั้นใน มีเส้นผ่าศูนย์กลางด้านใน $\frac{3}{8}$ นิ้ว (0.95 เซนติเมตร) และเส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอก $\frac{1}{2}$ นิ้ว (1.27 เซนติเมตร)

ง) ที่กักน้ำ (Trap) ทำด้วยแก้ว (Anneals Glass) มีขีดแบ่งออกอ่านได้ละเอียดถึง 0.05 มิลลิลิตร จาก 0 ถึง 2 มิลลิลิตร และอ่านได้ละเอียดถึง 0.10 มิลลิลิตร จาก 2 ถึง 25 มิลลิลิตร

จ. ตัวทำละลาย (Solvent) เป็นตัวทำละลายประเภท Xylol หรืออื่น ๆ เช่น จากการกลั่นของปิโตรเลี่ยมที่ 98 เปอร์เซนต์ ระหว่างอุณหภูมิ 120°ซ ถึง 250°ซ

ฉ.8.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

ก) ถ้าคาดว่าตัวอย่างทดลองมีองค์ประกอบของน้ำน้อยกว่า 25 เปอร์เซนต์ ใช้ตัวอย่างประมาณ 100 $\pm$ 0.10 กรัม ถ้าคาดว่ามีน้ำมากกว่า 25 เปอร์เซนต์ ใช้ตัวอย่างประมาณ 50 $\pm$ 0.1 กรัม โดยทำการผสมรวมกับตัวทำละลาย (Solvent) ประเภท Xylol ในปริมาณเท่ากัน โดยเขย่าหมุน ๆ จนเข้ากัน

ข) ประกอบหม้อกลั่นโลหะ (Metal Still), ที่กักน้ำ และเครื่องควบแน่นเข้าด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ ฉ.4 ปิดจุดคอร์ก (Cork) ให้แน่นทุกตำแหน่งของข้อต่อ ปรับปลายเครื่องควบแน่นในที่กักน้ำให้อยู่ในตำแหน่งซึ่งคาดว่า ปลายจะจมลงในผิวของน้ำในที่กักน้ำ ภายหลังจากการกลั่นได้เสร็จสิ้นลงแล้วไม่เกิน 1 มิลลิลิเมตร ($\frac{1}{4}$ นิ้ว) สอดกระดาษแก๊สเก็ท (Gasket) ที่ชุบตัวทำละลาย ให้คั่นระหว่างหม้อกลั่นโลหะกับฝาปิด

ค) สวม Ring Runner เข้ากับหม้อกลั่นโลหะ ให้อยู่สูงกว่าระดับขอบล่างของหม้อกลั่นโลหะเป็นระยะประมาณ 3 นิ้ว เมื่อเริ่มกลั่นจึงค่อยเลื่อนต่ำลงมา ปรับความร้อนให้เกิดความควบแน่น จนสังเกตเห็นว่าปลายเครื่องควบแน่นในที่กักน้ำ มีหยดน้ำลงมาประมาณ 2 ถึง 5 หยดต่อวินาที ทำการกลั่นต่อไปจนกระทั่งไม่มีน้ำหยดจากเครื่องควบแน่นมาอีก และสังเกตเห็นปริมาณของน้ำในที่กักน้ำคงที่ เร่งไฟต่อไปอีก 2-3 นาที จึงหยุดกลั่น

ฉ.8.2.3 การคำนวณ

$$\% \text{ ปริมาณน้ำ} = \frac{B}{A} \times 100$$

เมื่อ

A = น้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง, กรัม

B = ปริมาณน้ำในที่กักน้ำ, มิลลิลิตร

ฉ.8.3 การหาเปอร์เซนต์ปริมาณเนื้อยางหรือกาก (Residue)

ฉ.8.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง ดังแสดงในรูป ฉ.5

ก. หม้อโลหะผสมอลูมิเนียม (Alluminum-Alloy Still) เป็นหม้อกลั่นสำหรับใส่ตัวอย่างรูปทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน $3\frac{3}{4}$ นิ้ว (9.53 เซนติเมตร) สูง $9\frac{1}{2}$ นิ้ว (24.13 เซนติเมตร) มีฝาปิดเจาะรู 3 รู สำหรับเสียบ

เทอร์โมมิเตอร์ และท่อต่อ (Connecting Tube)

ข) เครื่องมือสำหรับการกลั่น (Connecting Apparatus) ประกอบด้วยท่อต่อ, แผ่นกันความร้อนดีบุก (Tinshield) แจ็คเก็ทโลหะ (Metal-Jacket) บรรจุน้ำผ่านเป็นเครื่องควบแน่น

ค) กระบอกรองรับของเหลว ที่ได้จากการกลั่น ใช้กระบอกควงซึ่งมีความสูงไม่น้อยกว่า 24.8 เซนติเมตร และไม่น้อยกว่า 26 เซนติเมตร

ง) ภาชนะใส่วัสดุที่เหลือจากการกลั่น ใช้กระป๋องดีบุกขนาด 8 ออนซ์ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 76 $\pm$ 4 มิลลิเมตร และสูงประมาณ 54 $\pm$ 4 มิลลิเมตร

จ) เทอร์โมมิเตอร์ อ่านได้ระหว่าง - 2°ซ ถึง $\pm$ 300°ซ

ฉ) เครื่องชั่ง ให้ความละเอียดถึง 0.01 กรัม และสามารถชั่งได้อย่างน้อย 2,500 กรัม

ช) ตะเกียงวงแหวน (Ring Burners)

ฉ.8.3.2 การทดลอง

ก) ชั่งหม้อกลั่นพร้อมฝาปิดและที่ยึด (Camp) แล้วนำยางแอสฟัลท์ตัวอย่างที่จะทำการกลั่นมาจำนวน 200 $\pm$ 0.1 กรัม เทลงในหม้อกลั่น นำไปชั่งพร้อมฝาปิดและที่ยึด (Clamp) อีกครั้ง จดบันทึกไว้

ข) ใช้แก๊สเก็ทคั่นระหว่างหม้อกลั่นกับฝาปิด เพื่อให้แน่นสนิท

ค) เสียบเทอร์โมมิเตอร์ผ่านจุกคอร์กทางรูเล็กของแผ่นฝาปิดที่เจาะรูไว้ 2 รู โดยอันหนึ่งเสียบจนกระเปาะปรอทสูงจากก้นหม้อกลั่น $\frac{1}{4}$ นิ้ว (6.4 มิลลิเมตร) อีกอันหนึ่งกระเปาะอยู่สูงจากก้นหม้อกลั่นประมาณ $6\frac{1}{2}$ นิ้ว (16.51 เซนติเมตร)

ง) เอาตะเกียงวงแหวน สวมรอบหม้อกลั่น ให้อยู่ ณ ตำแหน่งสูงจากก้นประมาณ 6 นิ้ว (15.24 เซนติเมตร) ปรับเปลวไฟให้มีความร้อนต่ำ ๆ และให้ความร้อนอย่างเพียงพอแก่หลอดต่อ (Connecting Tube) เพื่อกันไม่ให้เกิดการควบแน่นที่จุดนี้ด้วย

จ) เมื่อดำเนินการกลั่นจนถึงอุณหภูมิราว 215°ซ (420°ฟ) จึงลดระดับของตะเกียงวงแหวน ลงมาอยู่ในระดับเดียวกันกับขอบด้านล่างของหม้อกัน กลั่นต่อไป

โดยเพิ่มอุณหภูมิจนถึง 260°ซ (500°ฟ) และรักษาอุณหภูมิให้คงที่ไว้ประมาณ 15 นาที การกลั่นต้องดำเนินให้เสร็จภายในเวลา 60 ± 15 นาที นับแต่แรกเริ่ม

ฉ. เมื่อกลั่นเสร็จสิ้นลง ชั่งน้ำหนักของหม้อกลั่นพร้อมส่วนประกอบทั้งหมดเหมือนที่ชั่งไว้ในคราวแรก นำไปคำนวณหาค่าปริมาณเนื้อยางหรือกาก (Residue) เป็นเปอร์เซนต์ของตัวอย่างทั้งหมด อ่านค่าปริมาตรของน้ำมันซึ่งลอยอยู่ส่วนบนของน้ำในกระบอกตวง ซึ่งถูกกลั่นออกมาด้วยให้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิลิตร แล้วคำนวณหาเปอร์เซนต์ของน้ำมันทั้งหมด

ช. เปิดฝาหม้อกลั่นออก เทตัวอย่างผ่านตะแกรงเบอร์ 50 ลงในกระป๋องตีมุกขนาด 8 ออนซ์ ทิ้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิของห้อง แล้วจึงนำไปทดลองอย่างอื่นต่อไป

ฉ.8.3.3 การคำนวณ

$$\% \text{ ปริมาณเนื้อยางหรือกากยาง (Percent Residue)} = \frac{E}{C} \times 100$$

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

$$\% \text{ น้ำมันที่ได้จากการกลั่น (Percent of Oil Distillate)} = \frac{F}{C} \times 100$$

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

เมื่อ

A = น้ำหนักหม้อกลั่นพร้อมฝาปิดและที่ยึด, กรัม

B = น้ำหนักหม้อกลั่นพร้อมฝาปิดและที่ยึด + ตัวอย่างยางแอสฟัลท์อิมัลชั่นก่อนกลั่น, กรัม

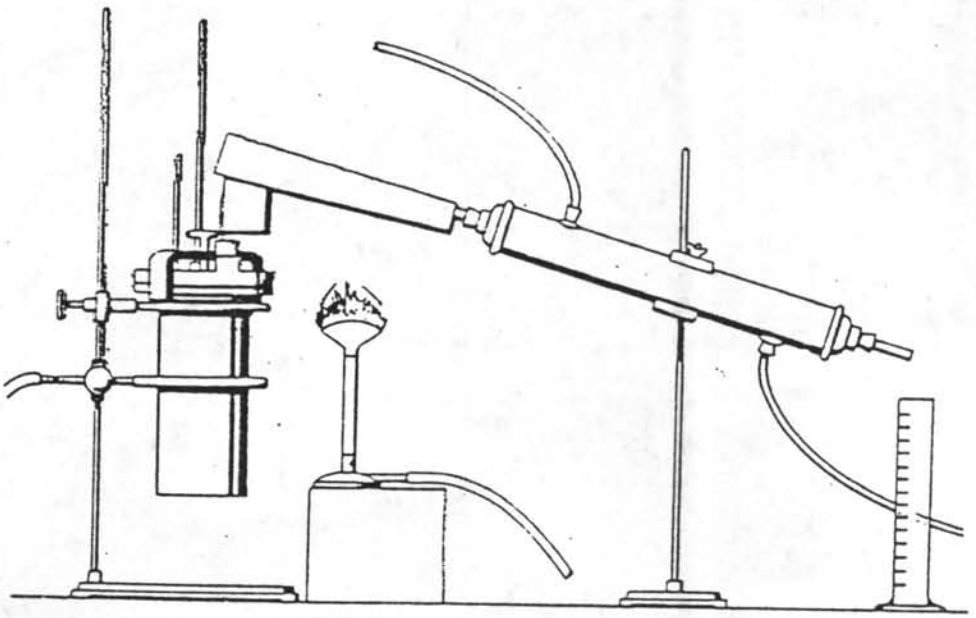
C = น้ำหนักของตัวอย่างยางแอสฟัลท์อิมัลชั่นก่อนกลั่น, กรัม

D = น้ำหนักหม้อกลั่นพร้อมฝาปิดและที่ยึด + ตัวอย่างยางแอสฟัลท์อิมัลชั่นหลังกลั่น, กรัม

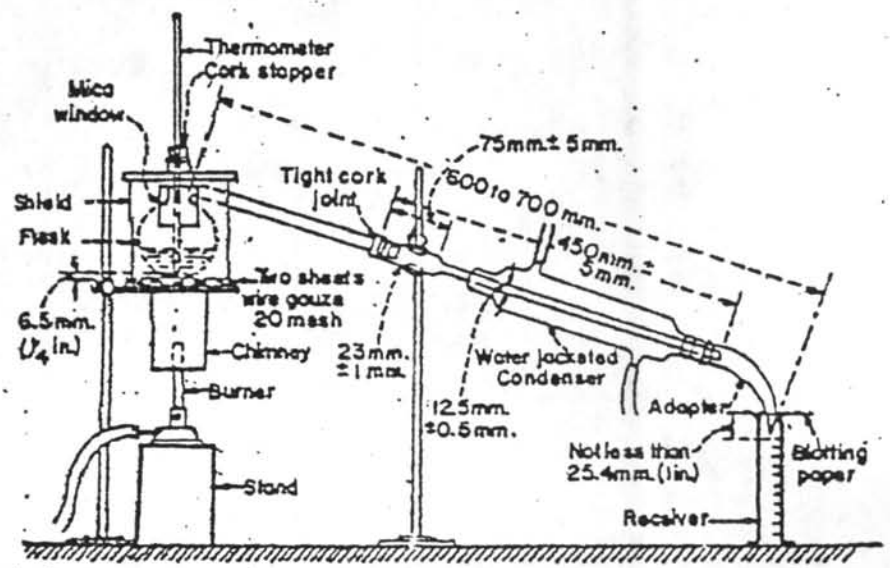
E = น้ำหนักเนื้อยางหรือกากยาง, กรัม

F = ปริมาตรของน้ำมันที่ได้จากการกลั่น, มิลลิลิตร

(สมมุติให้ความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน = 1)



รูปที่ ฉ.5 การกลั่นสำหรับยางแอสฟัลท์อิมัลชั่น



รูปที่ ฉ.6 การกลั่นสำหรับยางคัทแบ็คแอสฟัลท์

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฉ.9 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองการกลั่นยางคัทแบ็คแอสฟัลท์[9,10]

ฉ.9.1 ความมุ่งหมาย การทดลองนี้เป็นการตรวจสอบยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ (Cutback Asphalts) โดยการกลั่น เพื่อหาอัตราส่วนของแอสฟัลท์ซีเมนต์ต่อสารละลายซึ่งผสมอยู่ วิธีการนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHO. T-78 หรือตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล-ท 408/2520

ฉ.9.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังแสดงในรูป ฉ.6

ฉ.9.2.1 ขวดแฟลชค์สำหรับกลั่น (Ditillation Flask) ขนาด 500 มิลลิลิตร ซึ่งประกอบด้วยหลอดแยกด้านข้าง

ฉ.9.2.2 เครื่องควบแน่น (Condenser) ยาว 250 มิลลิเมตร เป็นเครื่องควบแน่นมาตรฐาน ซึ่งใช้แก้วหุ้มรอบ

ฉ.9.2.3 หลอดต่อ (Adapter) ทำด้วยแก้วหนา 1 มิลลิเมตร

ฉ.9.2.4 กล่องฉนวนความร้อน (Shield) ใช้ครอบขวดแฟลชค์เพื่อป้องกันลมและการแผ่รังสีความร้อน ทำด้วยเหล็กชุบสังกะสี ภายในบุด้วยแผ่นใยหินหนา 3.2 มิลลิเมตร

ฉ.9.2.5 กระบอกรองรับของเหลวที่ได้จากการกลั่น (Reciever) ใช้กระบอกควงซึ่งมีความสูงไม่น้อยกว่า 24.8 เซนติเมตร และไม่มากกว่า 26 เซ็นติเมตร

ฉ.9.2.6 ภาชนะใส่วัสดุที่เหลือจากการกลั่น ใช้กระป๋องดีบุกขนาด 8 ออนซ์ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 76 $\pm$ 4 มิลลิเมตร และสูงประมาณ 54 $\pm$ 4 มิลลิเมตร

ฉ.9.2.7 เทอร์โมมิเตอร์ ที่ใช้สำหรับกลั่น โดยวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -2°ซ ถึง $+400^{\circ}$ซ มีความละเอียดอ่านได้ถึง 1°ซ ความยาวประมาณ 380 มิลลิเมตร

ฉ.9.3 การเตรียมตัวอย่าง

ฉ.9.3.1 กวนและเขย่าตัวอย่างให้ทั่ว ถ้าตัวอย่างเหนียวมากก็ให้ความร้อนเล็กน้อย เพื่อให้ตัวอย่างเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำเอาส่วนหนึ่งไปใช้สำหรับทดลอง

ฉ.9.3.2 ถ้าตัวอย่างมีน้ำมากกว่า 2 เปอร์เซนต์ จะต้องทำการกำจัดน้ำออกเสียก่อนตามมาตรฐาน AASHO T-83

ฉ.9.3.3 คำนวนน้ำหนักของตัวอย่างซึ่งมีปริมาตร 200 มิลลิลิตร จากความถ่วงจำเพาะของยางคัทแบ็คแอสพัลท์นั้น แล้วนำไปใส่ขวดแฟลชค์สำหรับกลั่น

ฉ.9.3.4 ประกอบเครื่องมือกลั่นให้เรียบร้อย และวางกระบอกรองรับของเหลวที่ได้จากการกลั่นที่ปลายหลอดต่อ

ฉ.9.4 การทดลอง

ฉ.9.4.1 จุดตะเกียงให้ความร้อนกับตัวอย่าง จนกระทั่งสังเกตเห็นของเหลวที่กลั่นได้ภายในระยะเวลา 5 ถึง 15 นาที ให้รายงานด้วยว่าของเหลวหยดแรกนี้เป็นน้ำหรือน้ำมัน แล้วบันทึกอุณหภูมิที่เทอร์โมมิเตอร์ จุดนี้เป็นจุดเดือดเริ่มแรก (Initial Boiling Point)

ฉ.9.4.2 เมื่ออุณหภูมิถึง 150°ฟ (66°ซ.) อาจจะเกิดอันตรายจากการเป็นฟอง จะต้องระมัดระวังการให้ความร้อน ถ้าวัสดุมีท่าทีว่าจะเป็นฟอง ควรเผาขวดแฟลชค์สำหรับกลั่นที่ขอบจะช่วยไม่ให้เกิดฟองมาก

ฉ.9.4.3 ดำเนินการกลั่นต่อไป โดยปรับเปลวไฟเพื่อทำให้มีของเหลวที่กลั่นได้ในอัตราการหยดดังนี้

50-70 หยดต่อนาที จนถึงอุณหภูมิ 500°ฟ (260°ซ)

20-70 หยดต่อนาที จากอุณหภูมิ 500°ฟ (260°ซ) ถึง 600°ฟ (316°ซ)

แล้วเร่งไฟให้อุณหภูมิเพิ่มจาก 600°ฟ (316°ซ) ถึง 680°ฟ (360°ซ) ภายในเวลาไม่เกิน 10 นาที

ฉ.9.4.4 ในขณะที่ทำการกลั่นอยู่ ให้บันทึกปริมาตรของของเหลวในกระบอกรองรับของเหลวที่อุณหภูมิ 320°ฟ (225°ซ), 500°ฟ (260°ซ), 600°ฟ (316°ซ) และ 680°ฟ (360°ซ) เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณที่อยู่ในกระบอกรองรับ

ฉ.9.4.5 ถ้าตัวอย่างเริ่มเป็นฟองให้ลดไฟลง แต่ต้องกลับมาใช้ไฟแรงแรงเพื่อให้อัตราการกลั่นเท่าเดิมโดยเร็วที่สุด ถ้ายังคงมีฟองขึ้นเรื่อย ๆ ให้ใช้ไฟเผารอบขวดกลั่นแทนที่จะตั้งไว้ตรงกลาง

ฉ.9.4.6 เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 360°ซ แล้ว รีบดับไฟทันที เปิดฝาที่ครอบขวดกลั่นออกแล้วยกขวดกลั่นออกมา เทสารที่เหลือลงในกระป๋องดีบุกขนาด 8 ออนซ์ ระยะเวลาทั้งหมดตั้งแต่ดับไฟจนถึงเริ่มต้นเทสารที่เหลือออกจากขวดกลั่นจะต้องไม่เกิน 10 วินาที หลังจากที่ควันหายไปจากสารที่เหลือจากการกลั่น (Residue) กวนให้เข้ากัน จากนั้นเทลงในแบบหรือภาชนะเพื่อใช้สำหรับการทดลองอื่น ๆ ต่อไป

ฉ.9.5 การคำนวณ

% ของของเหลว (Residue) ที่กลั่นได้ที่อุณหภูมิ 225°ซ = $\frac{Ax100}{D}$

% ของของเหลว (Residue) ที่กลั่นได้ที่อุณหภูมิ 260°ซ = $\frac{Bx100}{D}$

% ของของเหลว (Residue) ที่กลั่นได้ที่อุณหภูมิ 316°ซ = $\frac{Cx100}{D}$

% ของสิ่งที่เหลือ (Residue) จากการกลั่นที่อุณหภูมิ 360°ซ = $\frac{F-D}{F}$ x100

เมื่อ

A = ปริมาตรของของเหลวที่กลั่นได้ที่อุณหภูมิ 225°ซ, มิลลิลิตร

B = ปริมาตรของของเหลวที่กลั่นได้ที่อุณหภูมิ 260°ซ, มิลลิลิตร

C = ปริมาตรของของเหลวที่กลั่นได้ที่อุณหภูมิ 316°ซ, มิลลิลิตร

D = ปริมาตรของของเหลวที่กลั่นได้ที่อุณหภูมิ 360°ซ, มิลลิลิตร

F = ปริมาตรของตัวอย่างที่ใช้จำนวน 200 มิลลิลิตร

ฉ.10 <u>การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาความเหนียวข้นของวัสดุบิทูมินัส</u>[10]

ฉ.10.1 ความมุ่งหมาย การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาความหนืด (Consistency) ของบิทูมินัส ชนิดแข็ง (solid) และชนิดกึ่งแข็ง (Semi-Solid) ค่าความเหนียวข้นของบิทูมินัส สามารถหาได้โดยการวัดระยะ (เป็นมิลลิเมตร) ซึ่งเป็นมาตรฐานสามารถหลวงในแผ่นดิ่งจมลงในวัสดุที่จะทำการทดลอง โดยกำหนด น้ำหนักเข็ม ระยะเวลา และอุณหภูมิที่จะทำการทดลอง

วัสดุที่จะทำการทดลองจะถูกหลอมเหลวก่อนเทลงในกระป๋องทดลองซึ่งมีขนาดมาตรฐานตามที่กำหนด จากนั้นจะปล่อยให้เย็นลงภายใต้การควบคุมอุณหภูมิที่กำหนด เพเนเตรชั่นจะหาได้โดยการใช้เครื่อง Penetrometer ดังแสดงในรูปที่ ฉ.7 วิธีการนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHO. T49 หรือ ตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล- ท 403/2518

ฉ.10.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ฉ.10.2.1 เครื่อง Penetrometer

ฉ.10.2.2 กระป๋องทดลอง ควรเป็นโลหะทรงกระบอก ซึ่งมีก้นกระป๋องแบน เรียบ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกระป๋อง 55 มิลลิเมตร และความลึกของกระป๋อง 35 มิลลิเมตร

ฉ.10.2.3 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิได้ (Water Bath) ควรมีความจุอย่างน้อย 10 ลิตร และมีความลึกซึ่งเมื่อวางวัสดุตัวอย่างลงไปแล้ว น้ำจะต้องท่วมวัสดุตัวอย่างไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร

ฉ.10.2.4 ภาชนะย้ายตัวอย่าง (Transfer Dish) ควรมีความจุไม่น้อยกว่า 350 มิลลิลิตร มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 90 มิลลิเมตร และลึกไม่น้อยกว่า 55 มิลลิเมตร ลักษณะโดยทั่วไปเป็นรูปทรงกระบอก มีขารองรับกระป๋องทดลอง 3 ขา ภาชนะย้ายตัวอย่างอาจทำด้วยแก้ว พลาสติค หรือโลหะ ซึ่งสามารถใช้รองรับและป้องกันการเคลื่อนที่ของกระป๋องทดลองขณะทำการทดลอง

ฉ.10.2.5 นาฬิกาจับเวลา

ฉ.10.2.6 เทอร์โมมิเตอร์

ฉ.10.3 การเตรียมตัวอย่าง

ฉ.10.3.1 นำตัวอย่างยางคัทแบ็คแอสฟัลท์และยางอีมัลซิไฟด์แอสฟัลท์หรือแอสฟัลท์อีมัลชั่นที่ผ่านการกลั่นเรียบร้อยแล้ว มาทำให้เหลวโดยนำไปอบที่อุณหภูมิ 80-90°ซ เทตัวอย่างลงในกระป๋องทดลอง แล้วคนไล่ฟองอากาศออกให้หมดจึงปล่อยให้เย็นในเวลาระหว่าง 1 ชั่วโมงถึง $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง

ฉ.10.4 การทดลอง

ฉ.10.4.1 แช่กระป๋องทดลองซึ่งบรรจุยางแอสฟัลท์ตัวอย่างไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 25°ซ นานประมาณ 1 ชั่วโมง ถึง $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง จึงนำใส่ภาชนะย้ายตัวอย่าง ซึ่งมีน้ำจากอ่างควบคุมอุณหภูมิบรรจุอยู่เต็ม จากนั้นนำภาชนะย้ายตัวอย่างมาวางบนแท่นที่ตั้งของเครื่องมือ Penetrometer

ฉ.10.4.2 ตรวจน้ำหนักของเข็มที่จะใช้ทดลองให้ได้เท่ากับ 100 กรัม ค่อย ๆ เลื่อนเข็มลงมา จนกระทั่งอยู่ห่างจากผิวยางแอสฟัลท์ประมาณ $\frac{1}{4}$ นิ้ว และอย่างน้อย $\frac{3}{8}$ นิ้ว จากขอบกระป๋องทดลอง ใช้โคมไฟส่องจากด้านหลังของเครื่องเพื่อให้เงาของเข็มสะท้อนกับผิวของยางแอสฟัลท์ ค่อย ๆ เลื่อนเข็มลงมาจนแน่ใจว่าปลายเข็มสัมผัสกับผิวของยางแอสฟัลท์พอดี ซึ่งจะสังเกตได้เมื่อปลายเข็มจริงสัมผัสกับปลายเข็มในเงาสะท้อน

ฉ.10.4.3 ตรวจและปรับเข็มบน Dial Gage ให้อยู่ที่เลขศูนย์ จากนั้นจึงปล่อยเข็มให้กดทลวงลงในยางแอสฟัลท์ตัวอย่างนานประมาณ 5 วินาที บันทึกค่าเพเนเตรชั่นโดยอ่านจากค่าบน Dial Gage

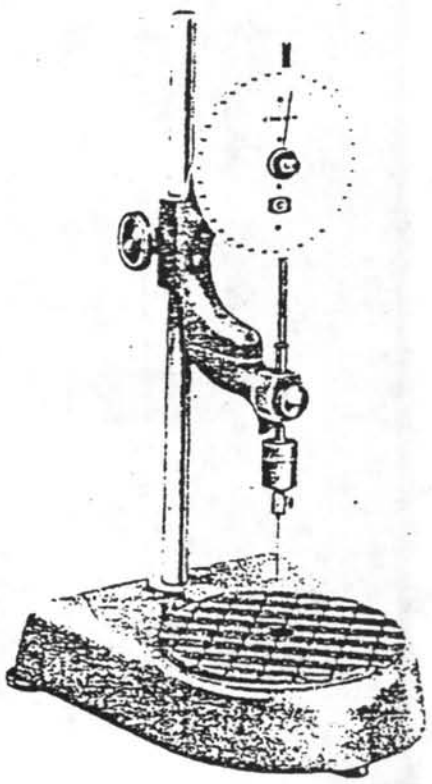
ฉ.10.4.4 ค่อย ๆ เลื่อนเข็มขึ้นทีละนิด ควรให้นิ้วชี้และนิ้วกลางกดริมกระป๋องตัวอย่าง เพื่อป้องกันมิให้กระป๋องลอยตัวขึ้นตามเข็ม พยายามไม่ให้กระป๋องเคลื่อนที่จากตำแหน่งเดิม ค่อย ๆ เลื่อนจนกระทั่งเข็มพ้นจากภาชนะย้ายตัวอย่าง จากนั้นจึงใช้ผ้าชุบสารพวก Solventเช่น คาร์บอนเตตราคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride) เช็ดและทำความสะอาดปลายเข็มส่วนที่ติดยางแอสฟัลท์ ใช้ผ้าสะอาดเช็ดให้แห้ง จากนั้นจึงทำการทดลองเช่นเดียวกันต่อไป

ฉ.10.4.5 ทำการทดลอง จนกระทั่งผลของการทดลอง 3 ครั้ง มีค่าเพเนเตรชั่นที่แตกต่างกันไม่เกิน 4 ระหว่างค่าสูงสุด (Maximum) และค่าต่ำสุด (Minimum)

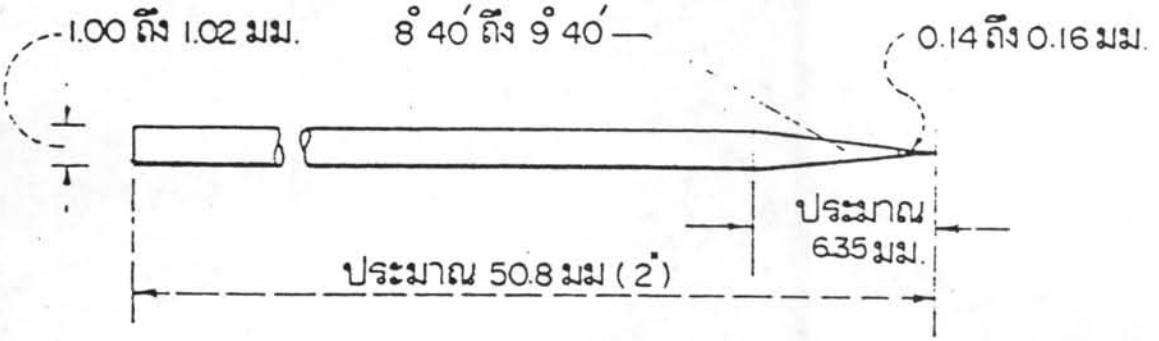
ฉ.10.4.6 ในการทดลองแต่ละครั้ง ตำแหน่งที่เข็มจะกดทลวงเพื่อหาค่าเพเนเตรชั่น จะต้องมีระยะห่างจากจุดทดลองเดิมอย่างน้อย $\frac{3}{8}$ นิ้ว

ฉ.10.4.7 ถ้าหากผลจากการทดลอง ตามข้อที่ ฉ.10.4.6 ได้ค่าแตกต่างกันเกิน 4 ควรเตรียมยางแอสฟัลท์ตัวอย่างใหม่

ฉ.10.5 การคำนวน



ก. เครื่อง Penetrometer



ข. เข็มสำหรับการทดลอง Penetration

รูปที่ ฉ.7 เครื่องมือทดลองหาค่าเพเนเตรชั่น

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ฉ.11 การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาค่า Ductility ของวัสดุแอสฟัลท์[8,10]

ฉ.11.1 ความมุ่งหมาย Ductility ของวัสดุแอสฟัลท์ โดยการเทยางแอสฟัลท์ตัวอย่างลงในแบบพิมพ์มาตรฐาน จากนั้นใช้เครื่องดึง โดยดึงให้ยางแอสฟัลท์ยืดออกจากกันที่อุณหภูมิ 77°ฟ (25°ซ) วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงมาจาก AASHO. T-50 หรือตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล-ท 405/2519

ฉ.11.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ฉ.11.2.1 แบบพิมพ์ (Mold) มีขนาดและลักษณะดังรูปที่ ฉ.8 ทำด้วยทองเหลือง ส่วนปลาย B และ B^1 เรียกว่า ตัวยึด (Clips) A และ A^1 เรียกว่าส่วนข้างของแบบพิมพ์

ฉ.11.2.2 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ จะต้องมีความจุไม่น้อยกว่า 10 ลิตร มีชั้นไปร่งสูง 5 เซนติเมตรสำหรับวางตัวอย่างทดลอง และต้องให้น้ำท่วมตัวอย่างได้ไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร น้ำที่ใช้ต้องไม่มีน้ำมันและสิ่งสกปรกปะปน ในกรณีที่ต้องการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ ๆ อาจใช้น้ำเกลือแทนน้ำได้

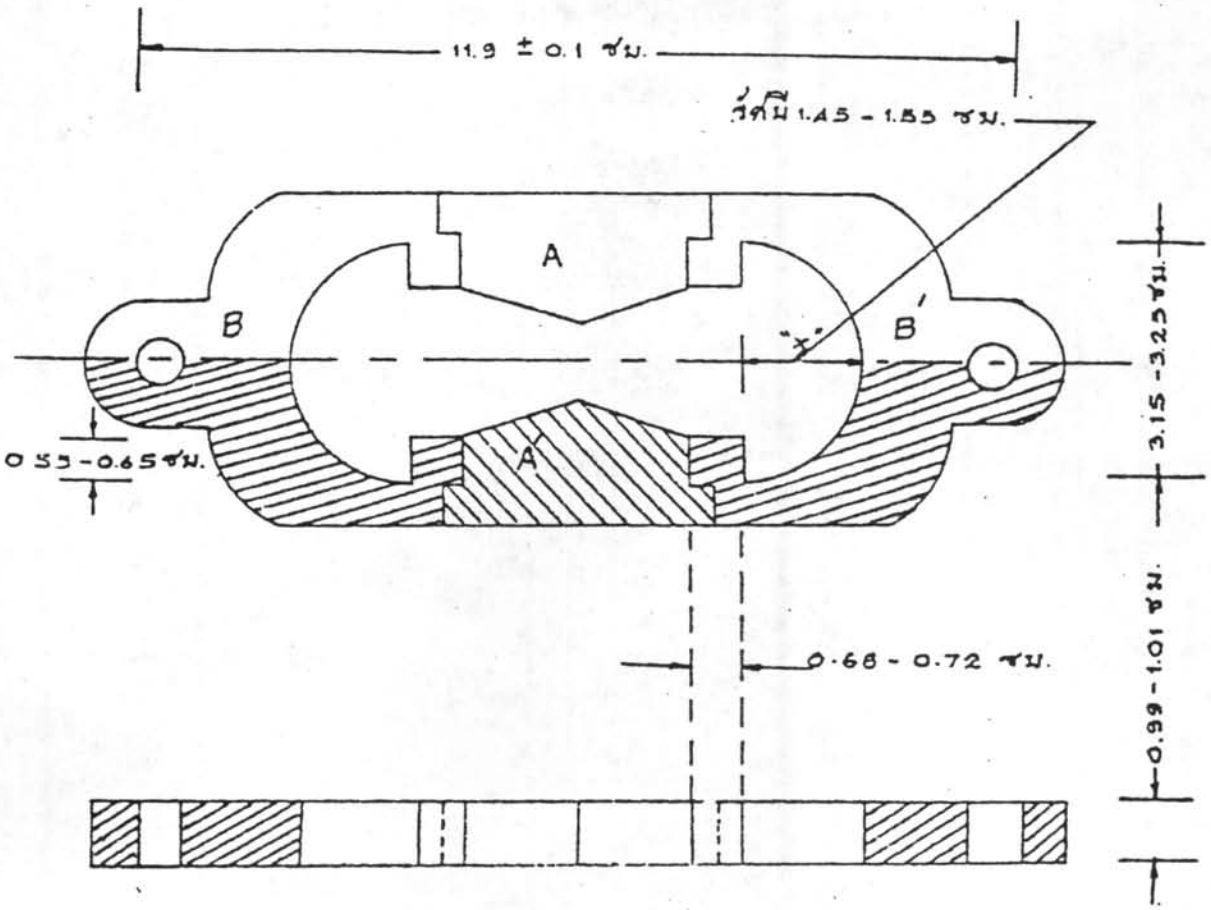
ฉ.11.2.3 เครื่องดึง สำหรับดึงตัวอย่างที่หล่อแล้ว อาจจะใช้เครื่องมือใดก็ได้ที่สามารถดึงให้ตัวอย่างยางแอสฟัลท์ให้ยืดออกจากกัน ด้วยอัตราความเร็วสม่ำเสมอตามที่กำหนด โดยไม่มีการสั่นสะเทือนและในขณะทำการทดลอง ตัวอย่างจะต้องแช่อยู่ในน้ำซึ่งมีอุณหภูมิตามที่กำหนดตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ ฉ.9

ฉ.11.2.4 แผ่นทองเหลือง ซึ่งใช้สำหรับวางแบบพิมพ์ตัวอย่าง จะต้องมีลักษณะแบนและราบเรียบ เมื่อวางแบบพิมพ์ลงบนแผ่นทองเหลืองแล้ว ด้านล่างของแบบพิมพ์จะสัมผัสกับแผ่นทองเหลืองได้แนบสนิท

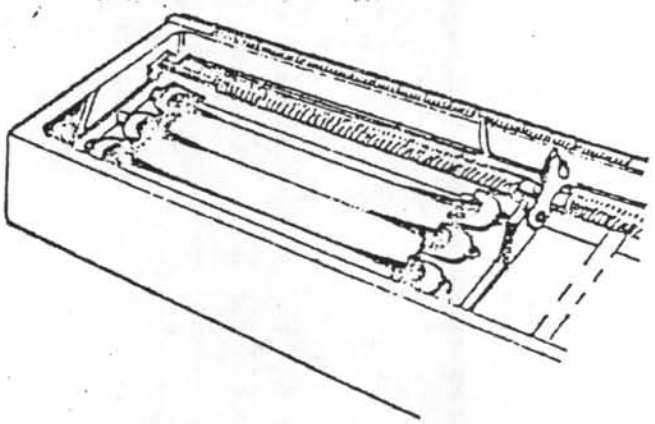
ฉ.11.3 การเตรียมตัวอย่าง

ฉ.11.3.1 ฉาบปรอท หรือทาสบู่บนแผ่นทองเหลือง และส่วนข้างทางด้านในของแบบพิมพ์เพื่อป้องกันมิให้ยางแอสฟัลท์ตัวอย่างติดแบบพิมพ์

ฉ.11.3.2 นำแบบพิมพ์มาวางบนแผ่นทองเหลือง ให้ด้านล่างของแบบพิมพ์สัมผัสแผ่นทองเหลืองได้สนิท แล้วนำตัวอย่างยางแอสฟัลท์ซึ่งถูกทำให้เหลวด้วยความร้อนที่อุณหภูมิต่ำที่สุด มาเทลงในแบบพิมพ์ ทิ้งไว้ให้เย็นลง ที่อุณหภูมิห้องทดลอง นานประมาณ 30-40 นาที



รูปที่ ฉ.8 แบบสำหรับหล่อตัวอย่าง



รูปที่ ฉ.9 เครื่องมือทดลองหาค่า Ductility

จากนั้นจึงนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ แช่ทิ้งไว้ในน้ำประมาณ 30 นาที นำขึ้นมาและใช้ผ้าเช็ดผิวหน้าของยางแอสฟัลท์ตัวอย่างให้แห้ง ใช้มีด (Spatula) เผาไฟให้ร้อนพอประมาณตัดขาดและแต่งผิวหน้าของยางแอสฟัลท์ให้เรียบเต็มแบบพิมพ์

ฉ.11.3.3 นำตัวอย่างที่เตรียมไว้กลับลงไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิอีกทิ้งไว้ประมาณ 90 $\pm$ 5 นาที นำขึ้นมาจากน้ำ เอาแผ่นทองเหลืองและส่วนข้างของแบบออกแล้วนำไปทดลองทันที ตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำให้ได้เท่ากับ 25 $\pm$ 0.5°ซ

ฉ.11.4 การทดลอง

ฉ.11.4.1 เอาห่วงที่ปลายของตัวยึดใส่ลงในขอเกี่ยวของเครื่องดึงทั้งสองข้าง เสร็จแล้วเดินเครื่องดึง ให้ดึงได้ในอัตราความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อนาที

ฉ.11.4.2 ทดลองจนกระทั่งเส้นของยางแอสฟัลท์ตัวอย่างยืดออกและขาดจากกัน อ่านระยะทางที่ยืดออกทันทีที่ตัวอย่างขาดเป็นเซนติเมตร คือค่า Ductility

ฉ.11.4.3 ให้ทำการทดลอง 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยของผลการทดลองทั้ง 3 ครั้ง เป็นค่า Ductility

ฉ.11.5 การคำนวณ ——

ฉ.12 <u>การเตรียมตัวอย่างและการทดลองหาการละลายของวัสดุบิทูมินัส</u>[10]

ฉ.12.1 ความมุ่งหมาย เพื่อหาเปอร์เซนต์การละลายในสารละลายอินทรีย์ของวัสดุบิทูมินัส ได้แก่ พวก Road Tars และพวกปิโตรเลี่ยมแอสฟัลท์ ซึ่งมีสิ่งเจือปนผสมอยู่เพียงเล็กน้อย วิธีการนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHO T-44 หรือตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ทล- ท 409/2520

ฉ.12.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดูรูปที่ ฉ.10 ประกอบ ในการประกอบเครื่องกรองจะมีส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ฉ.12.2.1 Gooch Crucile เป็นถ้วยเคลือบทนไฟขนาดปากกว้าง 4.5 เซนติเมตร ก้นกว้าง 3.6 เซนติเมตร มีรูพรุนสูงประมาณ 2.5 เซนติเมตร

ฉ.12.2.2 ใยหิน (Asbestos) ใช้เป็นเครื่องกรองพิเศษ เพราะไม่ละลายในน้ำยาคาร์บอนเตตราคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride) มีลักษณะเป็นเส้น ๆ

ยาวไม่เกิน 1 เซนติเมตร

ฉ.12.2.3 ขวดกรอง (Filter Flask) หรือ Suction Flask มีความจุประมาณ 250-500 มิลลิลิตร มีท่อเจาะทางข้างสำหรับต่อกับสายยางไปเข้าเครื่องดูด (Suction Pump)

ฉ.12.2.4 เครื่องดูด (Suction Pump)

ฉ.12.2.5 Conical Flask เป็นขวดแก้วที่มีความจุ 125 มิลลิลิตร ใช้ละลายตัวอย่าง

ฉ.12.2.6 เครื่องชั่งอย่างละเอียด

ฉ.12.2.7 ตะเกียงบุนเสน (Bunsen Burner)

ฉ.12.2.8 เตาอบ (Drying Oven)

ฉ.12.2.9 ท่อกรอง (Filter Tube)

ฉ.12.3 การเตรียมตัวอย่าง

ฉ.12.3.1 ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด CM-K และเกรด SS-K ต้องนำไปทำให้แห้งโดยการกลั่นด้วยหม้อกลั่นโลหะ แล้วนำเอาส่วนที่เหลือเป็นเนื้อยางล้วน (Residue) ไปใช้

ฉ.12.3.2 ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด MC-250 ต้องนำไปทำให้แห้งโดยการกลั่นด้วยหม้อกลั่นแก้ว แล้วนำเอาส่วนที่เหลือเป็นเนื้อยางล้วน (Residue) ไปใช้

ฉ.12.4 การเตรียมเครื่องกรอง

ฉ.12.4.1 ใส่ท่อกรอง (Filter Tube) ติดกับจุดคอร์ก (Cork) บนขวดกรอง (Filter Flask)

ฉ.12.4.2 นำใยหิน มาละลายในน้ำกลั่น แล้วเทลงใน Gooch Crucible บาง ๆ พอปิดรูพอดี

ฉ.12.4.3 นำ Gooch Grucible ที่บรรจุเยื่อของใยหิน ไปวางบนท่อกรอง แล้วเปิดเครื่องดูด (Suction Pump) อ่อน ๆ เพื่อดูดน้ำออกจนแห้ง โดยมีน้ำหนักของใยหิน ประมาณ 0.4 $\pm$ 0.1 กรัม ถ้าน้อยไปก็เติมอีกเล็กน้อย หรือจะใช้วิธีส่องดูกับแสง

ให้พอไปรั่งแสงบ้าง ไม่ใช่ทึบแสงเลยทีเดียว

ฉ.12.4.4 ทำให้แห้งในเตาอบหรือเผาด้วยตะเกียงบุนเสน แล้วปล่อยทิ้งให้เย็น

ฉ.12.5 การทดลอง

ฉ.12.5.1 ชั่งตัวอย่างเนื้อยางล้วน ๆ (Residue) ที่ได้จากการกลั่นประมาณ 2.0 กรัม ใส่ในขวด Conical Flask เทสารละลายคาร์บอนเตตราคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride) ลงไปประมาณ 100 มิลลิลิตร เขย่าขวดจนเม็ดตัวอย่างที่ลอยอยู่หายไปหรือไม่มีติดอยู่ที่ก้นขวด ซึ่งแสดงว่าละลายหมด

ฉ.12.5.2 นำ Gooch Crucible ที่บรรจุเครื่องกรองพิเศษ ซึ่งเตรียมไว้มาใช้ โดยขั้นแรกต้องทำให้เยื่อใยหินเปียกก่อน โดยใช้สารละลายคาร์บอนเตตราคลอไรด์แล้วนำมาคั้งบนท่อกรอง

ฉ.12.5.3 เทตัวอย่างที่ละลายในคาร์บอนเตตราคลอไรด์ลงใน Gooch Crucible เปิดเครื่องดูดโดยปรับให้มีลมดูดเพียงเบา ๆ

ฉ.12.5.4 เมื่อตัวอย่างผ่านเครื่องกรองหมด ล้างส่วนที่เหลือบนเยื่อใยหินอีกด้วยสารละลายเดิม ดูดลมจนกระทั่งแห้ง เมื่อสังเกตเห็นว่าสีของเยื่อใยหินจางลงก็ใช้ได้

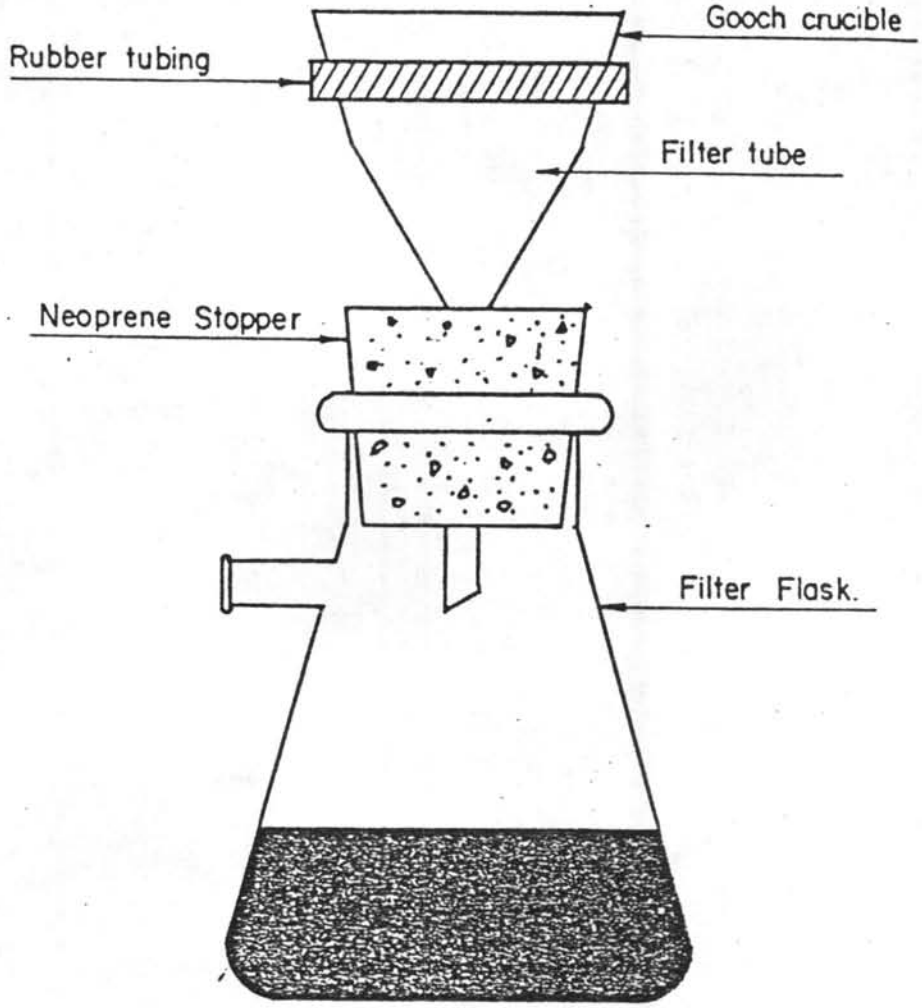
ฉ.12.5.5 นำ Gooch Crucible มาเช็ดส่วนล่างที่ติดคราบตัวอย่างอยู่ออกให้หมด แล้วนำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 100-125 $^{\circ}$ซ นาน 20 นาที แล้วนำมาทำให้เย็นใน Desicator ชั่งน้ำหนักทำซ้ำ ๆ จนได้น้ำหนักคงที่ จะเห็นว่าน้ำหนักของ Gooch Crucible รวมเยื่อใยหินจะเพิ่มขึ้น เป็นน้ำหนักของสารที่ไม่ละลายนั่นเอง

ฉ.12.6 การคำนวณ

$$\% \text{ บิทูเมนที่ละลายในคาร์บอนเตตราคลอไรด์} = \frac{\text{น้ำหนักของบิทูเมน} - \text{น้ำหนักของสารที่ไม่ละลาย}}{\text{น้ำหนักของบิทูเมน}} \times 100$$

หมายเหตุ

สารละลายอื่น ๆ ที่สามารถนำมาใช้กับการทดลองนี้ก็คือ คาร์บอนไดซัลไฟด์ (Carbon Disulfide) เบนซิน (Benzene) หรือ ไตรคลอโรเอทีลีน (Trichloroethylene) แต่ที่เลือกใช้คาร์บอนเตตราคลอไรด์เพราะว่าไม่ไวไฟเหมาะกับยางแอสฟัลท์



Filtering Apparatus Assembly

รูปที่ ฉ.10 เครื่องมือทดลองหาค่าการละลาย

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช.

การพิจารณาความเสียหายของผิวทาง เพื่อซ่อมบำรุง

ภาคผนวก ช.

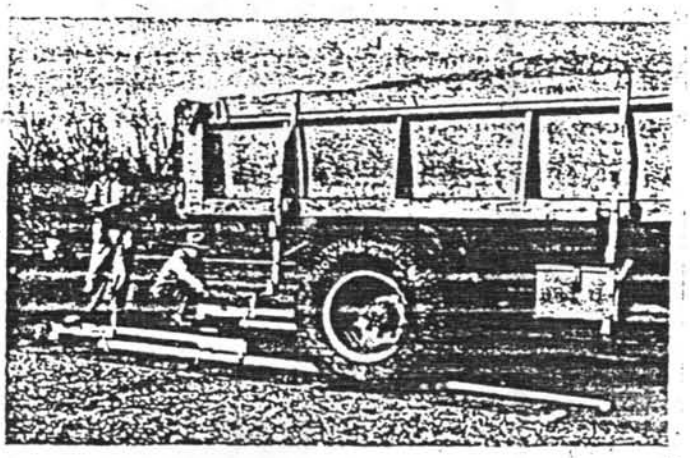
การพิจารณาความเสียหายของผิวทางเพื่อซ่อมบำรุง

ช.1 การพิจารณาความเสียหายของผิวทางเพื่อซ่อมบำรุง[1,12,33,34]

ความเสียหายหรือความเปลี่ยนแปลงที่ปรากฏให้เห็นบนผิวทางนั้น บางชนิดเกิดจากความแข็งแรงของทางไม่เพียงพอ ทำให้น้ำหนักรถทำลายโครงสร้างของทางได้ ความเสียหายบางชนิดไม่ได้มีส่วนเกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของทาง ผิวทางที่ดีจะต้องให้ความปลอดภัย ความสะดวกสบายในการขับขี่ และความสามารถในการขนส่งต่าง ๆ ผิวทางเมื่อเกิดความเสื่อมสภาพหรือความเสียหายขึ้น จำเป็นจะต้องมีการซ่อมบำรุง เสริมความแข็งแรง บูรณะปรับปรุง บูรณะลาดยาง หรือก่อสร้างใหม่ เพื่อรักษาหรือปรับปรุงให้ทรงคงสภาพเดิมและสามารถใช้งานได้ดีตลอดไป หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาความเสียหายของผิวทางเพื่อซ่อมบำรุงทาง มีดังนี้ คือ

ช.1.1 ความสามารถในการรับน้ำหนักของทางหรือการแอ่นตัว (Deflection)

การแอ่นตัว (Deflection) หมายถึงขนาดของการยุบตัวของทางเมื่อได้รับน้ำหนักและส่วนที่ยุบตัวของทางจะกลับคืนสู่สภาพเดิมเมื่อน้ำหนักที่มากระทำผ่านพ้นไป ค่า Deflection สูง หมายถึงความแข็งแรงของถนนต่ำ และในทางกลับกันถ้าค่า Defection ต่ำ ก็แสดงถึงความแข็งแรงของถนนนั้นสูง ในปัจจุบันกรมทางหลวง กระทรวงคมนาคมได้วัดค่า Deflection ของทางโดยใช้เครื่องมือ Benkelman Beam ดูรูปที่ ช.1



รูปที่ ช.1 คานเบนเคลแมน (Benkelman Beam)

การตรวจสอบความแข็งแรงของทางว่ามีเพียงพอหรือไม่ ในสภาวะปัจจุบัน พิจารณาได้จากชนิดและขนาดของความเสียหายที่ปรากฏให้เห็นบนผิวทาง เช่น รอยแรงเฉือนที่ร่องล้อ รอยแตกตามยาวหรือรอยแตกแบบหนังจรเข้ และอื่น ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับความแข็งแรงที่ไม่เพียงพอของทางนี้ จะปรากฏให้เห็นภายหลังจากที่ถนนเกิดความเสียหายแล้ว การตรวจสอบความแข็งแรงของทางอาจทำได้อีกวิธี คือ วิธี Pavement Layer Analysis ซึ่งเป็นวิธีที่หาค่าความแข็งแรง (Strength) ของแต่ละชั้นของวัสดุสร้างทางตามพฤติกรรมที่เป็นจริง แต่วิธีที่นิยมใช้กันโดยทั่วไปเป็นวิธี Monolithic Pavement Analysis วิธีนี้ใช้วัดค่า Deflection บนถนน เพื่อหาค่าความสามารถในการรับน้ำหนัก

ในกรณีที่วัดค่า Deflection ของทาง พบว่ามีค่าสูงเกินเกณฑ์ที่กำหนด แสดงว่าความแข็งแรงของถนนมีไม่เพียงพอ จะต้องลดค่า Deflection ให้ต่ำกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์ที่กำหนด โดยการเพิ่มความหนาหรือความแข็งแรงขึ้นอีก การแก้ไขความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแข็งแรงไม่เพียงพอ ไม่สามารถทำได้โดยการปะซ่อมเฉพาะจุด หรือซีลโค้ท แต่ต้องแก้ไขโดยการเสริมความแข็งแรงขึ้นอีกเท่านั้น

ในกรณีที่วัดค่า Deflection น้อยกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์ที่กำหนด แสดงว่าความแข็งแรงเพียงพอ ให้พิจารณาการซ่อมบำรุงปกติ หรือบำรุงพิเศษ เช่น ซ่อมเฉพาะจุด หรือซีลโค้ท ป้องกันน้ำซึมตามรอยแตก หรือเพิ่มความฝืดของถนน

ช.1.2 สภาพผิว (Surface Condition)

ความเสียหายที่ปรากฏบนผิวทาง จะเป็นผลต่อความสะดวกสบายในการขับขี่ ความปลอดภัย และความแข็งแรงของทาง โดยอาจเป็นผลโดยตรงหรือโดยทางอ้อมก็ได้ เพื่อให้การซ่อมบำรุงทางเป็นไปอย่างถูกต้อง จึงควรพิจารณา ชนิด และสาเหตุที่เกิดความเสียหาย ดังนี้คือ

ช.1.2.1 รอยแตกร้าวที่ผิวทาง (Cracking) เป็นรอยแตกร้าวที่เกิดจากสาเหตุต่างกัน เช่น

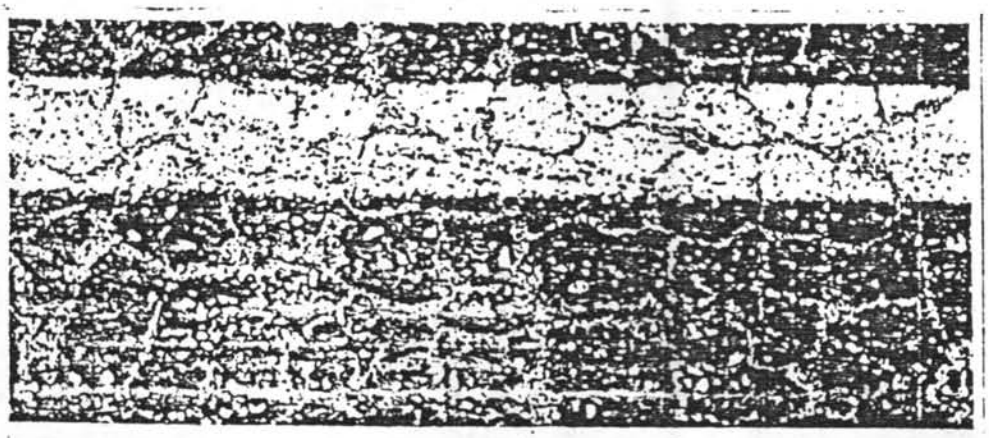
- รอยแตกร้าวแบบหนังจรเข้ (Alligator Cracks) คือ แตกเป็นคารางเล็ก ๆ เหมือนลวดตาข่าย สาเหตุเกิดจากผิวทางทนต่อการทรุดตัวต่อไปไม่ได้ หรือเปอร์เซนต์ของน้ำในดินสูง ความไม่มั่นคงของคันทาง หรือจากการที่ปริมาณการจราจรที่วิ่งซ้ำไปมามาก ๆ เกินความสามารถที่ผิวทางจะรับได้ ดูรูปที่ ช.2 ประกอบ

- รอยแตกร้าวจากการหดตัว (Shrinkage Cracks) คือ แตกร้าวที่ต่อเชื่อมโยงกันเป็นช่องตารางใหญ่ ๆ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณของวัสดุ และน้ำในวัสดุมวลรวมลดลง ดูรูปที่ ช.3 ประกอบ

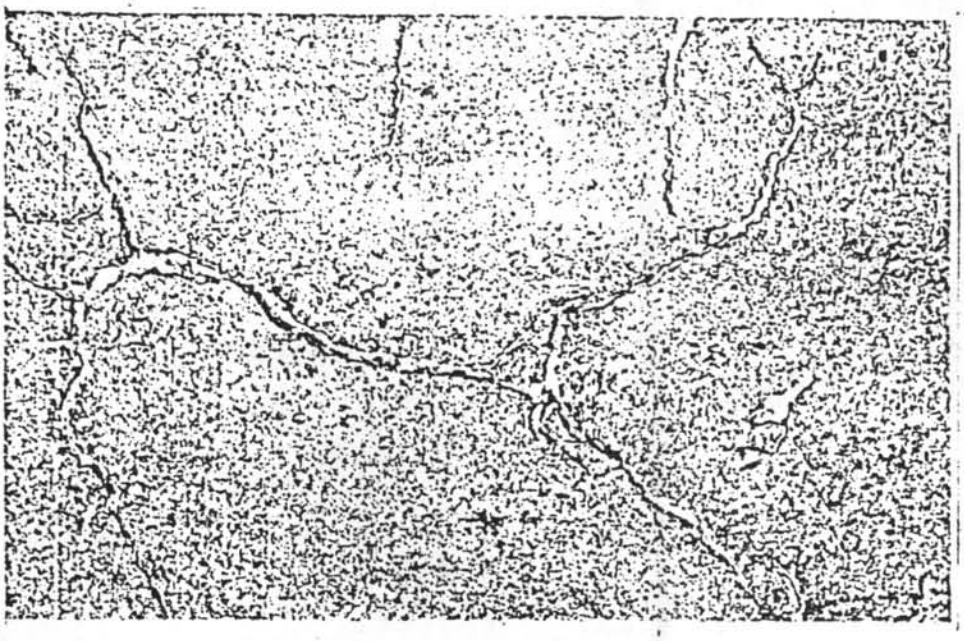
- รอยแตกร้าวตามแนวขอบผิวทาง (Edge Cracks) จะแตกห่างจากขอบถนนประมาณ 30 ซม. เป็นรอยแตกที่เกิดจากไหล่ทางไม่แข็งแรงพอ น้ำใต้ไหล่ทางทำให้ดินลดกำลังลง วัชพืชเต็บขอบทาง การทรุดตัวของไหล่ทาง เนื่องจากรถหนักวิ่งคร่อมระหว่างไหล่ทางและผิวทาง ดูรูปที่ ช.4

- รอยแตกร้าวตามรอยเดิมของผิวทางเดิม (Reflection Cracks) เป็นรอยแตกที่เกิดจากการเลื่อนตัวของผิวทางเดิมที่แตก หรือเคลื่อนตัวของผิวเดิมที่แตก หรือการเคลื่อนตัวของวัสดุที่อยู่ใต้ผิวทาง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และเปอร์เซนต์น้ำใต้ดินต้นทางที่มีดินเหนียว (Clay) ผสมอยู่มาก ดูรูปที่ ช.5 ประกอบ

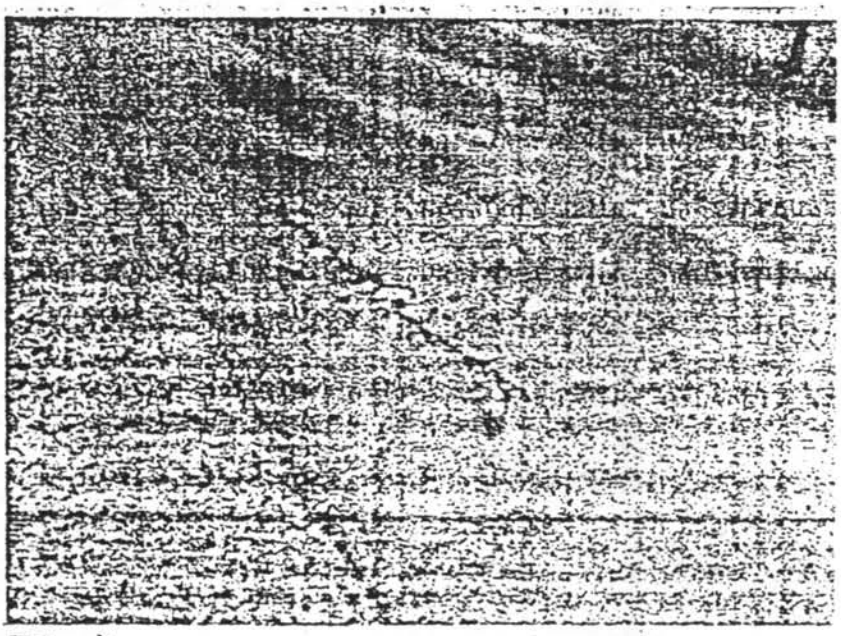
- รอยแตกร้าวจากการถดไถ (Slippage Cracks) เป็นลักษณะของผิวทางที่ไม่สามารถทนต่อการผลักดันของล้อรถได้ เนื่องจากแรงยึดเกาะระหว่างชั้นผิวหน้า และชั้นล่างไม่ดีพอ หรือส่วนผสมของผิวทางมีทรายมาก การบดทับไม่ถูกต้อง รอยแตกจะเป็นรูปโค้งเป็นวงตามแนวแรงดันไถของล้อรถบนพื้นทาง ดูรูปที่ ช.6 ประกอบ



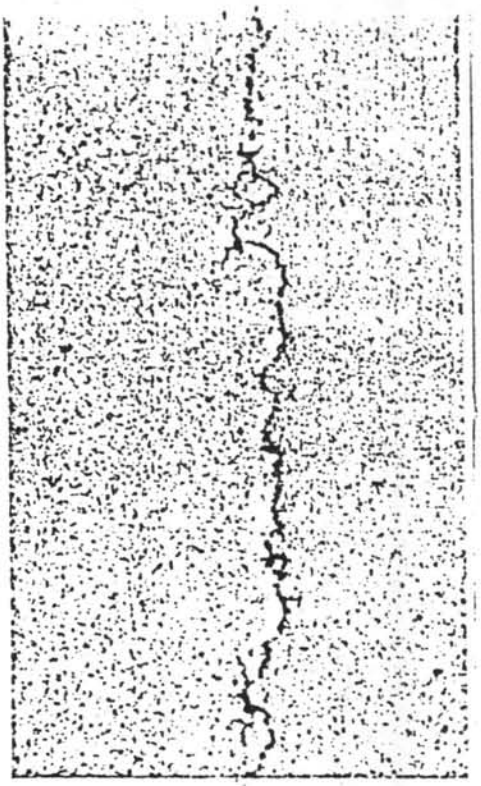
รูปที่ ช.2 รอยแตกร้าวแบบหนังจระเข้ (Alligator Cracks)



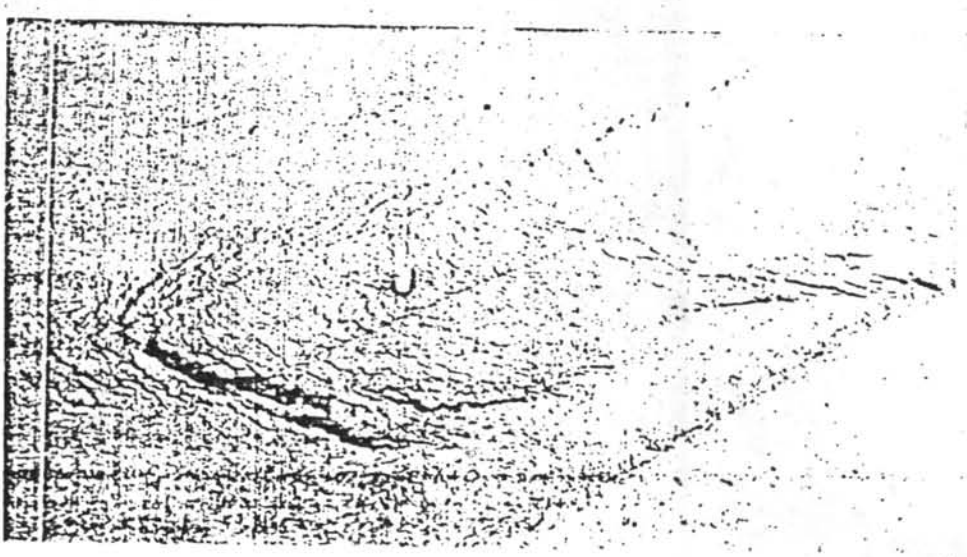
รูปที่ ช.3 รอยแตกร้าวจากการหดตัว (Shrinkage Cracks)



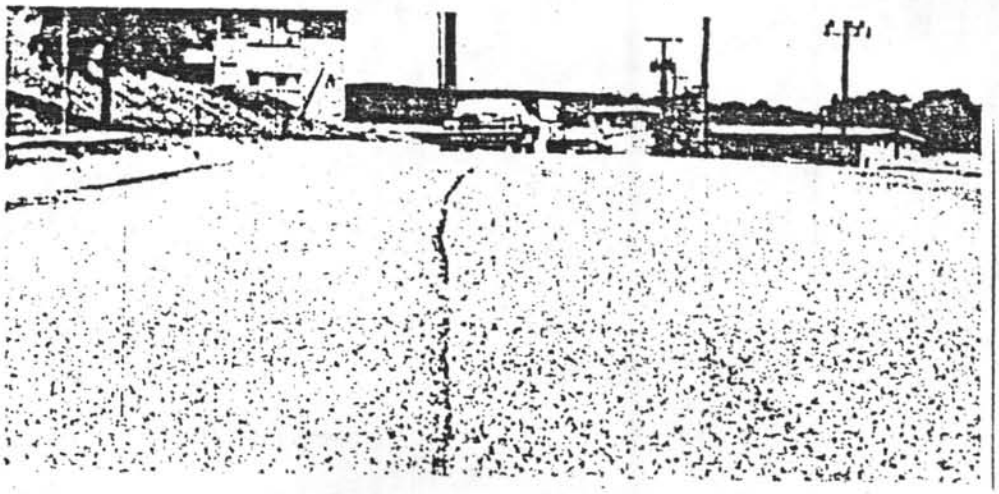
รูปที่ ช.4 รอยแตกร้าวตามแนวขอบผิวทาง (Edge Cracks)



รูปที่ ช.5 รอยแตกร้าวตามรอยเดิมของผิวทางเดิม (Reflection Cracks)



รูป ช.6 รอยแตกร้าวจากการถดไถ (Slippage Cracks)



รูปที่ ช.7 รอยแตกร้าวตามแนวรอยต่อช่องจราจร (Lane Joint Cracks)

- รอยแตกร้าวตามแนวรอยต่อช่องจราจร (Lane Joint Cracks) เป็นรอยแตกที่เกิดตามยาวของตัวถนน เนื่องจากรอยต่อไม่แข็งแรงพอ รอยแตกนี้มักจะเกิดจากการก่อสร้างที่ทำรอยต่อไว้ไม่ดี ดูรูปที่ ช.7 ประกอบ

- รอยแตกร้าวจากการขยายผิวทาง (Widening Cracks) เป็นรอยแตกที่เกิดตามแนวยาวในการขยายพื้นทาง โดยแตกไปตามความยาวของถนน ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างพื้นทางเก่ากับพื้นทางใหม่ เกิดการทรุดตัวไม่เท่ากัน ดูรูปที่ ช.8 ประกอบ

- รอยแตกแบบเส้นผม (Hair Line Cracks) ลักษณะเป็นรอยแตกขนาดเล็กมาก เป็นจุดเริ่มต้นของการแตกรูปใดรูปหนึ่งในอนาคต เกิดจากการหยุ่นตัว (Flexibility) ของผิวทางไม่ดีพอ หรือน้ำหนักบรรทุกมาก

- รอยแตกตามแนวยาวของถนน (Longitudinal Cracks) เป็นรอยแตกที่เกิดจากไหล่ทางไม่แข็งแรงพอ หรือน้ำหนักบรรทุกมาก หรือความแข็งแรงของถนน (Pavement) ไม่เพียงพอ

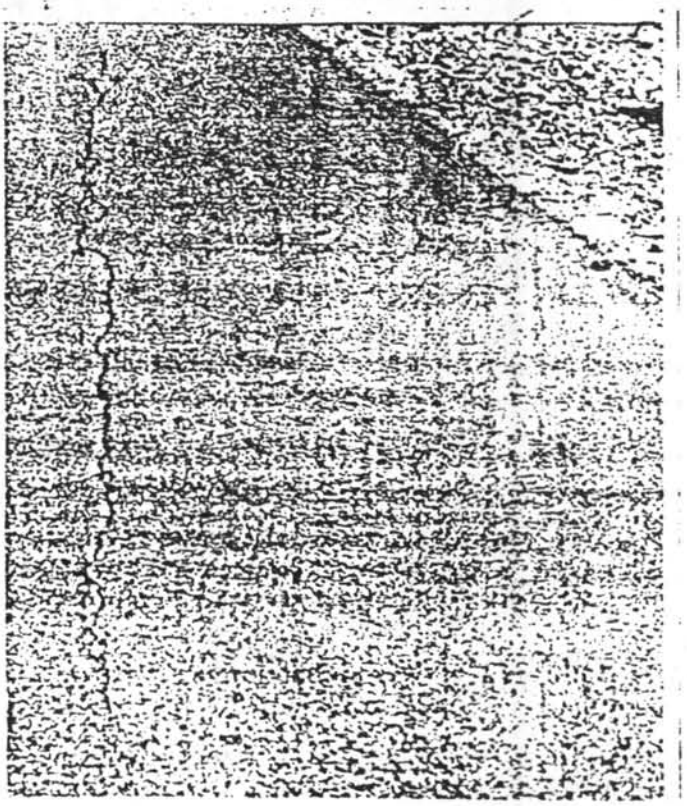
- รอยแตกตามแนวขวางของถนน (Transverse Cracks) เป็นรอยแตกที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัสดุ ความแข็งแรงของคันทาง รถบรรทุกหนัก หรือ เกิดจากสภาพแวดล้อม

ช.1.2.2 การบิดตัวหรือการเปลี่ยนลักษณะจากรูปเดิม (Distortion or Deformation)

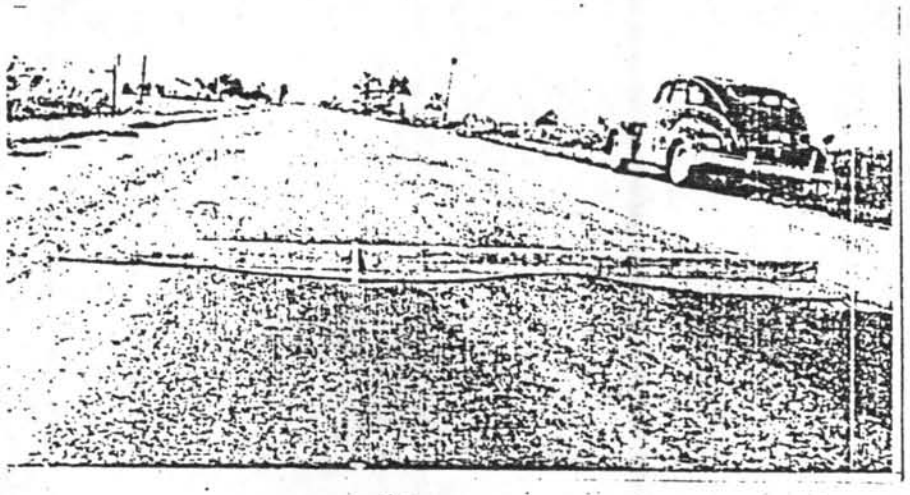
การบิดตัวของโครงสร้างถนน คือ การเปลี่ยนลักษณะของผิวทางไปจากลักษณะเดิม สาเหตุทั่วไปเกิดจากการบดอัดน้อยไม่ดีเท่าที่ควร มีวัสดุละเอียดในวัสดุผสมชั้นผิวทางมากเกินไป มียางแอสฟัลท์มากเกินไป หรือเกิดจากการบวมตัว หรือทรุดตัวของพื้นทางชั้นล่าง ๆ การเปลี่ยนลักษณะจากรูปเดิม มีหลายแบบด้วยกัน เช่น

- ร่องทางล้อ (Channels or Ruts) มีลักษณะเป็นร่องล้อบนผิวทางไปตลอดตามความยาวของช่องทางล้อ เกิดจากการยุบตัวเนื่องจากการอัดตัวแน่น (Consolidation) หรือเกิดการเคลื่อนตัวออกทางข้าง (Lateral Movement) ของวัสดุในชั้นล่าง ๆ ใต้ผิวทางภายใต้การจราจร ดูรูปที่ ช.9 ประกอบ

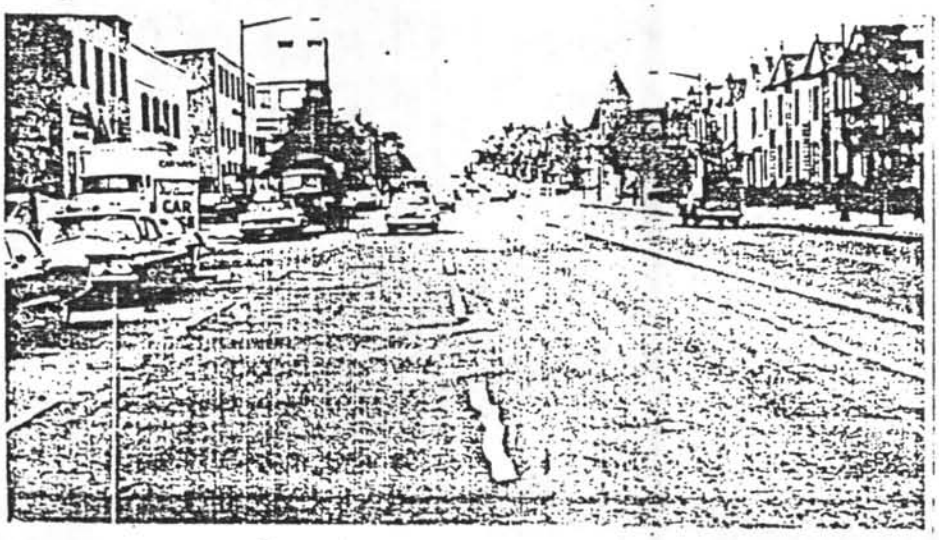
- การเกิดคลื่นลูกระนาดและการยุบตัวเป็นหลุม (Corrugations and Shoving) โดยปกติมักจะเกิดขึ้น เพราะชั้นผิวทางเสียความเสถียรภาพ (Lack of Stability) เนื่องจากมีน้ำผ่านใต้คันทาง หรือวัสดุผสมมียางแอสฟัลท์มากเกินไป มีมวลรวมละเอียดในสัดส่วนผสมมากเกินไป ดูรูปที่ ช.10 และรูปที่ ช.11 ประกอบ



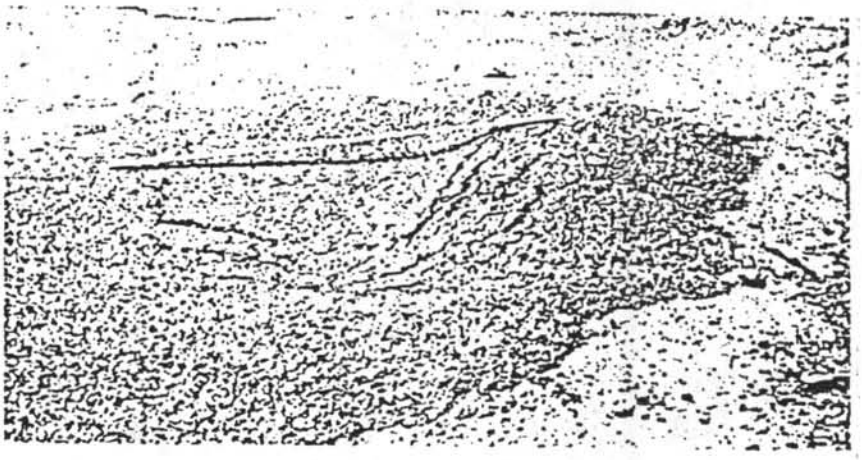
รูปที่ ช.8 รอยแตกร้าวจากการขยายผิวทาง (Widening Cracks)



รูปที่ ช.9 รอยร่องทางล้อ (Channels or Ruts)



รูปที่ ช.10 ถนนเป็นคลื่นลูกระนาด (Corrugation)



รูปที่ ช.11 ถนนยุบตัว เป็นหลุม (Shoving)

- การบวมแตก (Upheaval) คือการเคลื่อนตัวของพื้นถนนบวมปูด เฉพาะแห่งขึ้นมา เกิดจากการขยายตัวของน้ำที่แข็งตัวในโครงสร้างชั้นล่างของถนน หรือชั้นดินเดิมที่เป็นคันทาง นอกจากนี้อาจจะเกิดขึ้นได้จากการบวมของดินที่มีการขยายตัว เมื่อได้รับความชื้น ดูรูป ช.12 ประกอบ

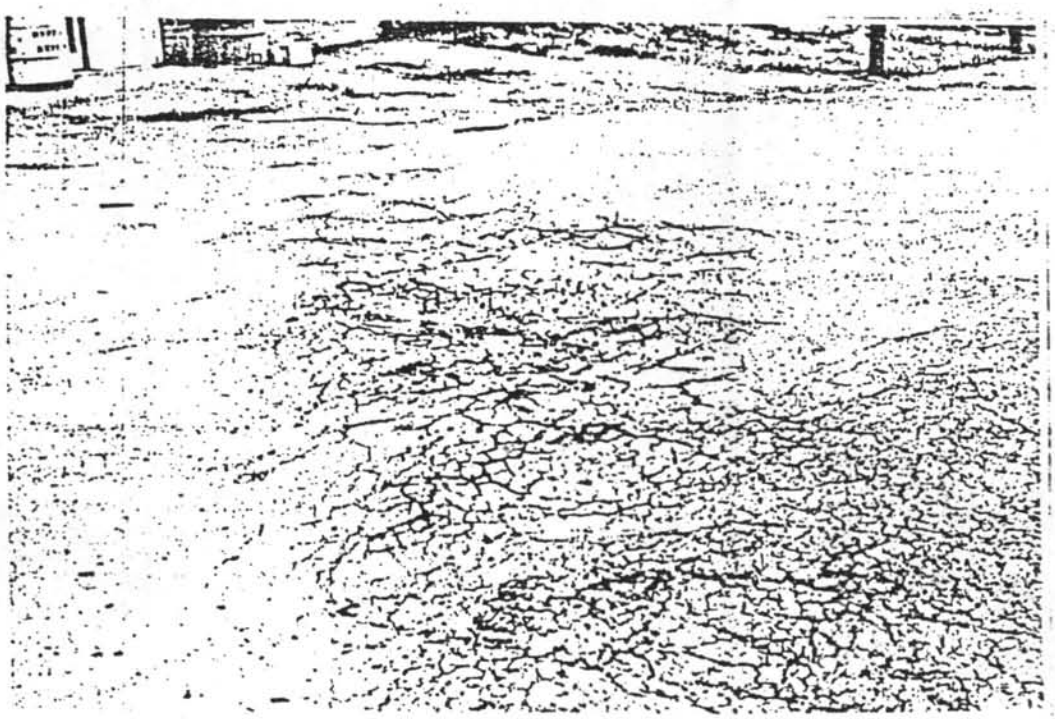
- การทรุดตัวของระดับผิวทาง (Grade Depressions) คือการทรุดตัวของผิวทางต่ำกว่าระดับปกติ เกิดขึ้นเฉพาะแห่งในบริเวณเนื้อที่จำกัด อาจมีรอยแตกร้าวปรากฏหรือไม่ก็ได้ ซึ่งผิวทางอาจจมลงประมาณ 1 นิ้ว หรือมากกว่า ทำให้เกิดเป็นแอ่งน้ำได้ แอ่งน้ำขังนี้นอกจากจะเป็นสาเหตุให้พื้นทางชำรุดได้ และยังก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ขับขี่ยวดยานอีกด้วย สาเหตุของการทรุดของระดับผิวทาง อาจเกิดจากรถที่วิ่งผ่านไปมามีน้ำหนักบรรทุกมากเกินที่กำหนด หรือเกิดจากการทรุดตัวของโครงสร้างถนนชั้นล่าง หรือการก่อสร้างที่ไม่ดีพอ ดูรูปที่ ช.13 ประกอบ

- การทรุดตามแนวขุดฝังท่อต่าง ๆ (Utility Cut Depression) เป็นการทรุดตัวของชั้นผิวทางและชั้นพื้นทาง เนื่องจากมีการขุดเพื่อติดตั้งหรือปะซ่อมแซมถนน สาเหตุของการทรุดตัวแบบนี้ เกิดจากการบดทับวัสดุถมหลุมที่ขุดไม่ดีพอ

ช.1.2.3 การหลุดร่อน (Disintegration) คือ การแตกออกเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ ไม่ประสิทธิ์ประต่อกันของชั้นผิวทางและพื้นทาง ซึ่งหมายรวมถึงการไม่จับตัวกันของอนุภาควัสดุมวลรวม ถ้าหากไม่ซ่อมแซมการชำรุดเสียแต่เนิ่น ๆ อาจเสียหายมากต่อไปจนต้องก่อสร้างผิวทาง และพื้นทางใหม่ การหลุดร่อนในช่วงเริ่มแรกโดยทั่วไปมี 2 แบบ คือ

- การเกิดหลุมบ่อ (Pot Holes) มีลักษณะรูปร่างเป็นหลุมคล้ายชามอ่างลึกลงไปในถนนมีหลายขนาด มีสาเหตุจากชั้นผิวทางและชั้นพื้นทางไม่แข็งแรง เนื่องจากปริมาณยางแอสฟัลท์น้อยเกินไป หรือมีวัสดุมวลรวมละเอียดมากเกินไปหรือน้อยเกินไป หรือระบบการระบายน้ำไม่ดี ดูรูปที่ ช.14 ประกอบ

- การแตกแยก (Raveling) เป็นลักษณะการแยกตัวของอนุภาควัสดุมวลรวมออกจากกันจากผิวทาง โดยเริ่มจากขอบผิวทางไปสู่ส่วนกลาง ตามปกติวัสดุมวลรวมละเอียดจะหลุดออกมาก่อน และจะเหลือลักษณะหน้าข้าวดังบนผิวทาง เมื่อการหลุดร่อนมีต่อไปเรื่อย ๆ อนุภาควัสดุมวลรวมขนาดใหญ่จะหลุดออกมากขึ้นในไม่ช้า ถนนก็จะปรากฏสภาพผิวหน้าหยาบขรุขระมากแสดงให้เห็นถึงการชำรุดของผิวทาง สาเหตุของการแตกแยกแบบนี้เกิดจากการบดทับในระหว่างการก่อสร้างไม่แน่นดีพอ ดูรูปที่ ช.15 ประกอบ



รูปที่ ช.12 ถนนที่เกิดการบวมแตก (Upheaval)

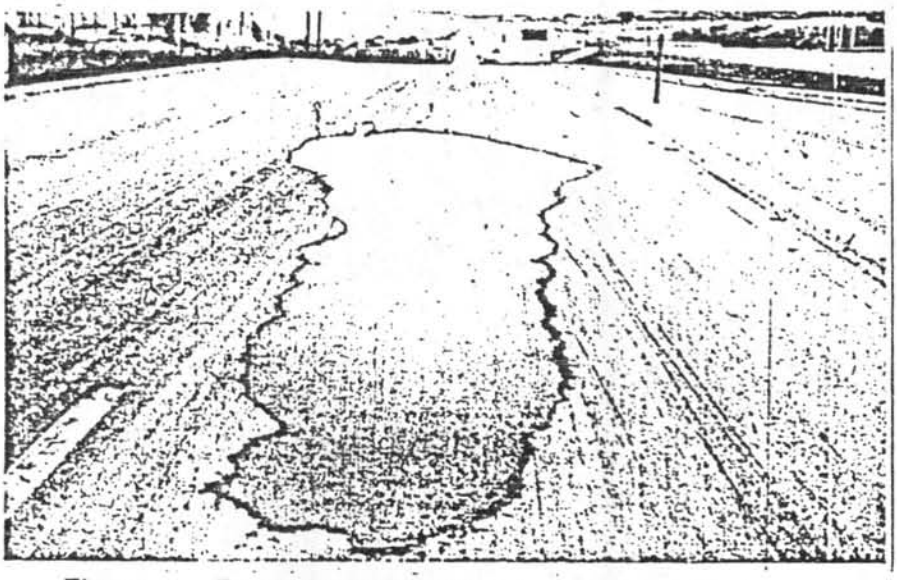


Figure Depression. The depressed area is denoted by water lying on the pavement

รูปที่ ช.13 การทรุดตัวของระดับผิวทาง (Grade Depressions)

รูปที่ ช.14 การเกิดหลุมบ่อบนถนน (Pot Holes)

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ ช.15 การแคกแยก (Reveling)

ช.1.2.4 การลื่นไถล (Skid Hazard) ส่วนใหญ่แล้วผิวทางที่แห้งจะไม่ก่อให้เกิดการลื่นไถล แต่สำหรับผิวทางที่เปียกเนื่องจากมีน้ำขังบาง ๆ คั่นระหว่างยางล้อและผิวทาง จะก่อให้เกิดการลื่นไถล อีกสาเหตุหนึ่งคือน้ำที่ขังอยู่บนผิวทางเป็นชั้นหนา จะทำให้รถที่วิ่งด้วยอัตราความเร็วสูงจะลอยตัวจากผิวทางและแล่นแฉลบบนชั้นผิวน้ำ ผิวทางที่มีหน้าเรียบเป็นผลมาจากมีชั้นบาง ๆ ของยางแอสฟัลท์เคลือบบนผิวหน้า หรือวัสดุมวลรวมในชั้นผิวทางถูกขัดสีจนเรียบลื่น หรือการลื่นไถลอาจมีสาเหตุมาจากรอยเปรอะเปื้อนบนผิวทาง เช่น คราบน้ำมันที่หก โคลนดินเหนียว การลื่นไถลมีสาเหตุต่างกัน เช่น

- การเยิ้มของยางแอสฟัลท์ (Bleeding or Flushing Asphalt) คือการที่ยางแอสฟัลท์เคลื่อนตัวเอ่อขึ้นมาอยู่บนผิวหน้าของผิวทางแอสฟัลท์ ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณยางแอสฟัลท์ในส่วนผสมมากเกินไป หรือจากการทำซีลโค้ทที่ไม่เหมาะสมถูกต้องหรือจากการทำไพร์มโค้ท หรือแทคโค้ทที่หนาเกินไป หรือในผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนท์ การหลุดของ

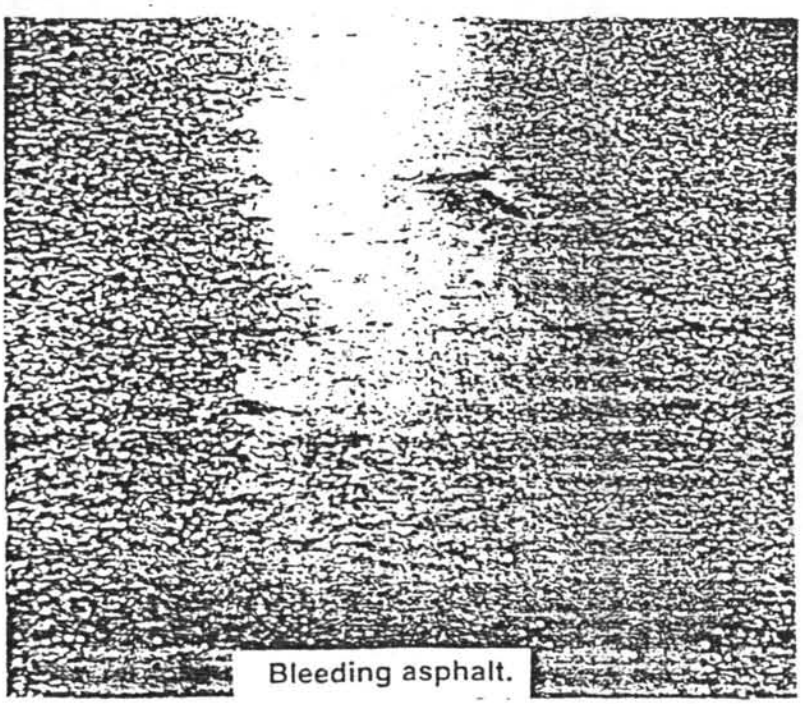
หินออกจากยางแอสฟัลท์จน เหลือแต่ยางแอสฟัลท์ น้ำหนักบรรทุกการจราจรที่หนัก เกินกำหนดก็ เป็น ฮา เหลยางแอสฟัลท์เยิ้มได้ เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกที่กดลงจะออกแรงดันให้ยางแอสฟัลท์เยิ้มขึ้นมา ดูรูปที่ ช.16 ประกอบ

- วัสดุมวลรวมผิวเรียบ (Polished Aggregate) คือลักษณะของวัสดุมวลรวมที่ใช้ทำผิวทางถูกขัดสีจน เรียบ เป็นมันจากการจราจร ทำให้ผิวทางลื่น เมื่อ เปียก อาจ เกิดจากหินที่ใช้มีคุณสมบัติในการขัดสีให้ เรียบได้ง่าย โดยมีค่า PSV ต่ำ หรือวัสดุมวลรวม จำพวกกรวดซึ่ง เป็นมันอยู่แล้วนำมาใช้ทำผิวทางโดยไม่ผ่านการไบ ดูรูปที่ ช.17 ประกอบ

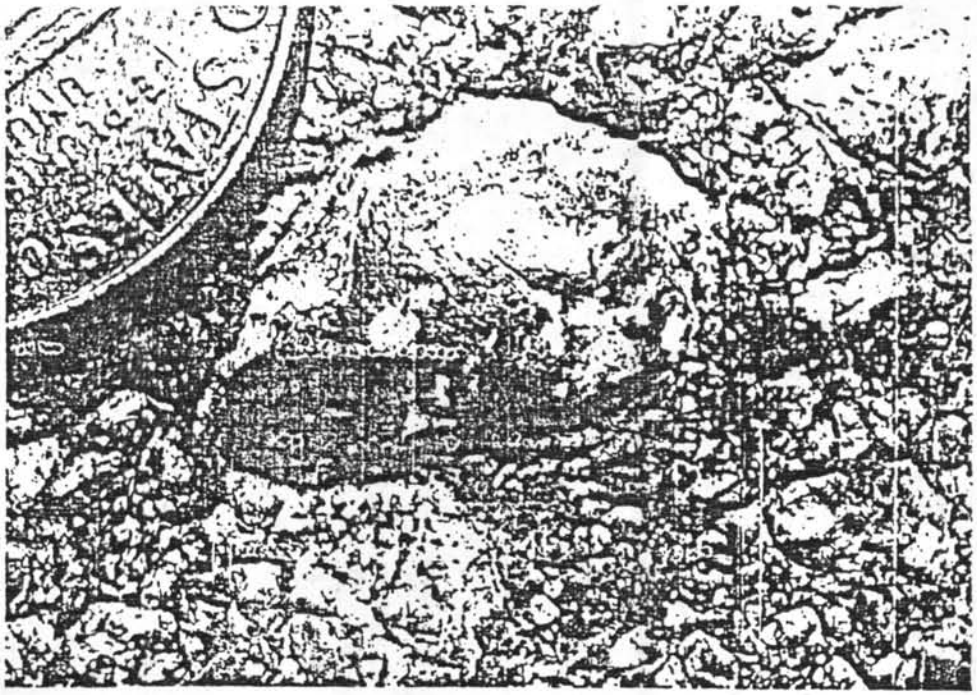
ช.1.3 ปริมาณการจราจร (Traffic Volume)

ปริมาณการจราจร เป็นส่วนสำคัญที่มีผลต่อโครงสร้างของทาง จำนวนและความกว้างของช่องการจราจรรวมทั้งไหล่ทาง รถบรรทุกหนักจะ เป็นผลโดยตรงต่อการทำลายโครงสร้างของถนน ทำให้ เกิดความเสียหายได้มากกว่ายานพาหนะขนาดเบา ปริมาณการจราจร ชนิดของยานพาหนะบนเส้นทางต่าง ๆ ย่อมแตกต่างกันออกไป ถนนที่รับปริมาณการจราจร เฉลี่ยต่อวันสูง จะ เป็นเครื่องหมายที่แสดงให้ เห็นถึงความต้องการที่จะซ่อมบำรุงทาง เพิ่มขึ้น

การประ เมินค่า เพื่อจัดลำดับ และปรับความเร่งด่วนในงานบำรุงทางนี้ ได้พิจารณาจากอัตราส่วนของปริมาณการจราจรปัจจุบัน (Volume) ต่อความสามารถในการรับปริมาณการจราจรได้สูงสุด (Capacity) ของทางแต่ละเส้นทาง



รูปที่ ช.16 การเยิ้มของยางแอสฟัลท์ (Bleeding Aspnalts)



รูปที่ ช.17 วัสดุมวลรวมผิวเรียบในชั้นผิวทางของถนน (Polished Aggregate in Pavement Surface)

ช.1.4 ความฝืดของผิวทาง (Skidding Resistance)

ความฝืดของผิวทางเป็นส่วนสำคัญที่เกี่ยวกับความปลอดภัยในการจราจรบนถนน เส้นทางที่มีความฉื่นมากอาจจะเกิดอันตรายได้ง่าย ควรมีการปรับปรุงผิวทางให้ดีขึ้นหรือจัดลำดับความสำคัญในงานซ่อมบำรุงทางโดยเร่งด่วน สำหรับทางที่ต้องการเสริมความแข็งแรง เพิ่มขึ้นหรือปรับระดับให้เรียบขึ้น โดยการเพิ่มความหนาของผิวทางใหม่ ก็จะเป็นผลทำให้ความฉื่นของถนนลดลงด้วย

เครื่องมือที่ใช้วัดความฝืดของผิวทาง ใช้เครื่องมือ British Portable Tester และ Mu-meter โดยวัดค่าในรูปของความต้านทานต่อการฉื่นไถลของผิวทาง สำหรับการฉื่นไถลของผิวทางที่เปียก ได้กำหนดค่าไว้อย่างต่ำต้องไม่น้อยกว่า 45 BPN (British Portable Number) สภาพผิวทางที่มีค่าความต้านทานต่ำกว่านี้นับว่าไม่ปลอดภัยสำหรับการจราจรที่มีความเร็ว 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และจะต้องรีบทำการปรับปรุงผิวทางทันทีโดยการทำซีลโค้ท

ช.2 วิธีการบำรุงทาง (Maintenance Procedures) [12]

การบำรุงทาง หมายถึง งานที่ทำเป็นกิจวัตร เพื่อรักษาทางภายใต้ภาวะปกติของการจราจร และธรรมชาติให้มีสภาพใกล้เคียงกับสภาพเมื่อแรกก่อสร้างทางสายนั้น หรือใกล้เคียงกับสภาพที่มีการปรับปรุงในภายหลังให้มากที่สุด โดยสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและขัดขวางการจราจรน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

เมื่อได้พิจารณาถึงความเสียหายของผิวทางแอสฟัลท์คิคคอนกรีต และทราบความเสียหายเป็นแบบใดแล้ว จำเป็นต้องหาวิธีการบำรุงทาง เพื่อแก้ไขผิวทางลาดยางที่เสียหายนั้น สำหรับวิธีการบำรุงทางมีดังนี้ คือ

ช.2.1 การปะซ่อม (Patching) มีทั้งการปะซ่อมแบบถาวร และการปะซ่อมแบบชั่วคราว

ช.2.2 การอุดรอยแตกและผิวหน้า (Crack and Surface Sealing) การอุดรอยแตกโดยใช้แอสฟัลท์อีมัลชั่น หรือคัทแบ็คแอสฟัลท์ อีมัลชั่นสเลอร์รี่ (Emulsion Slurries) แอสฟัลท์ที่ประกอบอย่างพิเศษ (Special Asphalt Compounds)

ช.2.3 การทำผิวใหม่ (Resurfacing) จะเป็นการทำซีลโค้ท เซอร์เฟสทรีตเมนต์ การปูผิวทางลาดยางใหม่ทับชั้นผิวทางเดิม (Asphalt Overlay)

ประวัติผู้เขียน

นายศิริชัย กิจจารึก สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาปีที่5 จากโรงเรียนสันติราษฎร์บำรุง ปีการศึกษา 2511 สำเร็จปริญญาครีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี ปีการศึกษา 2516 สำเร็จการศึกษาปริญญาครีบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานก่อสร้าง จากมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ปีการศึกษา 2526 และเข้าศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2526 ปัจจุบันรับราชการอยู่ที่ทำการโยธาธิการจังหวัดสมุทรสงคราม และมาช่วยราชการอยู่ฝ่ายประสานราชการส่วนภูมิภาค กรมโยธาธิการ เป็นการชั่วคราว