หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วิวัฒนาการของวิธีการทดสอบการหลุดลอก

การเกิดการหลุดลอกของยางแอสฟัลต์ที่เคลือบผิวมวลรวมนั้น เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากแรงยึดเกาะระหว่าง ยางแอสฟัลต์กับมวลรวมถูกทำลาย จากสภาวะแวดล้อมภายนอกในขณะที่มีน้ำเกิดขึ้น ซึ่งมีความซับซ้อนมาก และวิธีการทดสอบที่คิดค้นกันขึ้นมาก็ไม่สามารถแสดงปรากฏการณ์ที่เกิดได้ทั้งหมด นอกจากปรากฏการณ์ของยบวนการเท่านั้น กล่าวคือทดสอบเพื่อมุ่งศึกษาองค์ประกอบที่มีผลต่อความต้านทานน้ำของส่วนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีตเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งพอจะประมวลจุดมุ่งหมายของการทดสอบจากหลาย ๆ วิธีได้ดังนี้

- การทดสอบที่มุ่งประเมินค่าของการยึดเกาะและความสามารถในการแผ่กระจายของของเหลวบนผิวหน้าของของแข็ง (Adhesion and Wettability)

- การทดสอบที่มุ่งศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเหนียว (Adhesive Material)

- การทดสอบที่ต้องการประเมินสมรรถนะ (Performance) และความทนทาน (Durability) ของระบบ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบทางด้านวิศวกรรม

วิธีการทดสอบการหลุดลอกที่มีผู้เคยกระทำมาทั้งหมดนั้น สามารถจำแนกเป็นวิธีการใหญ่ ๆ ได้ 3 พวกคือ การทดสอบโดยการสร้างสภาวะให้คล้ายคลึงกับสภาวะที่เกิดจากการจราจร การทดสอบจากก้อนตัวอย่างบดอัด และ การทดสอบจากมวลรวมเคลือบยางแอสฟัลต์

2.1 การทดสอบโดยการสร้างสภาวะให้คล้ายคลึงกับสภาวะที่เกิดจากการจราจร (Simulated Traffic Test)

2.1.1 การทดสอบการขัดสี ในน้ำเย็น (Cold Water Abrasion Test)

เป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ที่ใช้ตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว สูง 2.0 นิ้ว หลังจากแช่ในน้ำเย็น 4 ชั่วโมง แล้วย้ายไปแช่ในน้ำที่มีอุณหภูมิ 35^0 ฟ อีก 1 ชั่วโมง จึงติดตั้งในเครื่องทดสอบแบบ Deval Abrasion Test (9) ให้มีน้ำท่วม

ตัวอย่างประมาณ 1 นิ้ว และมีอุณหภูมิ 35^0 ฟ ทำการอัดตัวอย่างด้วยเครื่องอัดแบบต่อเนื่องให้ได้ 1,000 รอบ ภายในเวลา 33 นาที จากนั้น หาร้อยละของน้ำหนักที่หายไป (Weight Loss) และกำลังที่สูญเสียไป (Loss of Strength) ของก้อนตัวอย่าง หลังจากการแช่ในน้ำเพื่อแสดงให้เห็นผลของการเกิดการหลุดลอกในตัวอย่าง ดังรูปที่ 2.1

2.1.2 <u>การทดสอบการขัดสี ขณะน้ำยังที่ผิวตัวอย่าง</u> (Surface Water Abrasion Test)

การเกิดการแยกตัวของวัสดุผิวทาง (Raveling) ซึ่งเป็นไปได้ว่าเกิดเนื่องมาจากการหลุดลอกในส่วนผสมได้ถูกใช้เป็นตัววัดผลในการทดสอบภายในห้องปฏิบัติการ (39) จากตัวอย่างก้อนแอสฟัลต์ติกคอนกรีตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว จะถูกนำไปติดตั้งในแบบเขย่า (Shaking Mold) ซึ่งมีอุณหภูมิ 100^0 ฟ ยังอยู่ที่ผิวและจะถูกขัดสีโดยมีล้อยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว จำนวน 4 ล้อ ซึ่งติดอยู่ภายในแบบ (Mold) ตัวอย่างจะถูกเขย่านาน 15 นาที ด้วยความถี่ 1,200 รอบ ต่อนาที จากนั้นหาความสัมพันธ์ระหว่าง ร้อยละของน้ำหนักที่สึกกร่อน (Percent Abraded Material) กับ ร้อยละของการหลุดลอก (Percent Stripping) ดังแสดงในรูปที่ 2.2

2.1.3 <u>การทดสอบทางเดินแบบอังกฤษ</u> (English Trafficking Test)

Road Research Laboratory ในประเทศอังกฤษ เป็นผู้ประดิษฐ์เครื่องมือทดสอบขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยเครื่องจักรจะมีล้อเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 นิ้ว หนา 2 นิ้ว จำนวน 3 ล้อ วิ่งทับไปมาบนผิวทดลองทั้งสาม เครื่องรุ่นแรกที่ประดิษฐ์ขึ้นมานั้นใช้ลูกสูบที่มีความถี่ 20 รอบต่อนาที มีช่วงชัก (Stroke) ประมาณ 10-12 นิ้ว เป็นตัวขับเคลื่อนล้อ (42) หลังจากนั้นได้พัฒนาให้มีความถี่เพิ่มขึ้นเป็น 25 รอบต่อนาที โดยมีน้ำหนักถ่ายลงล้อ ๆ ละ 10 ปอนด์

ผิวทดลองจะถูก ปูบนถาดเหล็กที่มีรูเจาะไว้ให้น้ำผ่านได้ และมีขนาดหนา 4 นิ้ว ยาว 12 นิ้ว หนา $1\frac{1}{4}$ นิ้ว วางในอ่างให้มีน้ำปริ่มผิว โดยควบคุมอุณหภูมิน้ำให้อยู่ที่ 40^0 ซ

ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มทดลองจนเกิดการวิบัติ (Failure Time) ของผิวตัวอย่างทดลองจะเป็นตัววัดการเกิดการหลุดลอก และสามารถนำไปสร้างความสัมพันธ์กับผิวจราจรจริงได้

นอกจากนั้นสำหรับผิวจราจรที่มีส่วนผสมแตกต่างกันคือ ชนิดของวัสดุฝุ่น (Filler) และชนิดของยางแอสฟัลต์ ยังสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาทดลองจนเกิดการวิบัติกับการแสดงออกของผิวจราจรจริงได้อีกด้วย

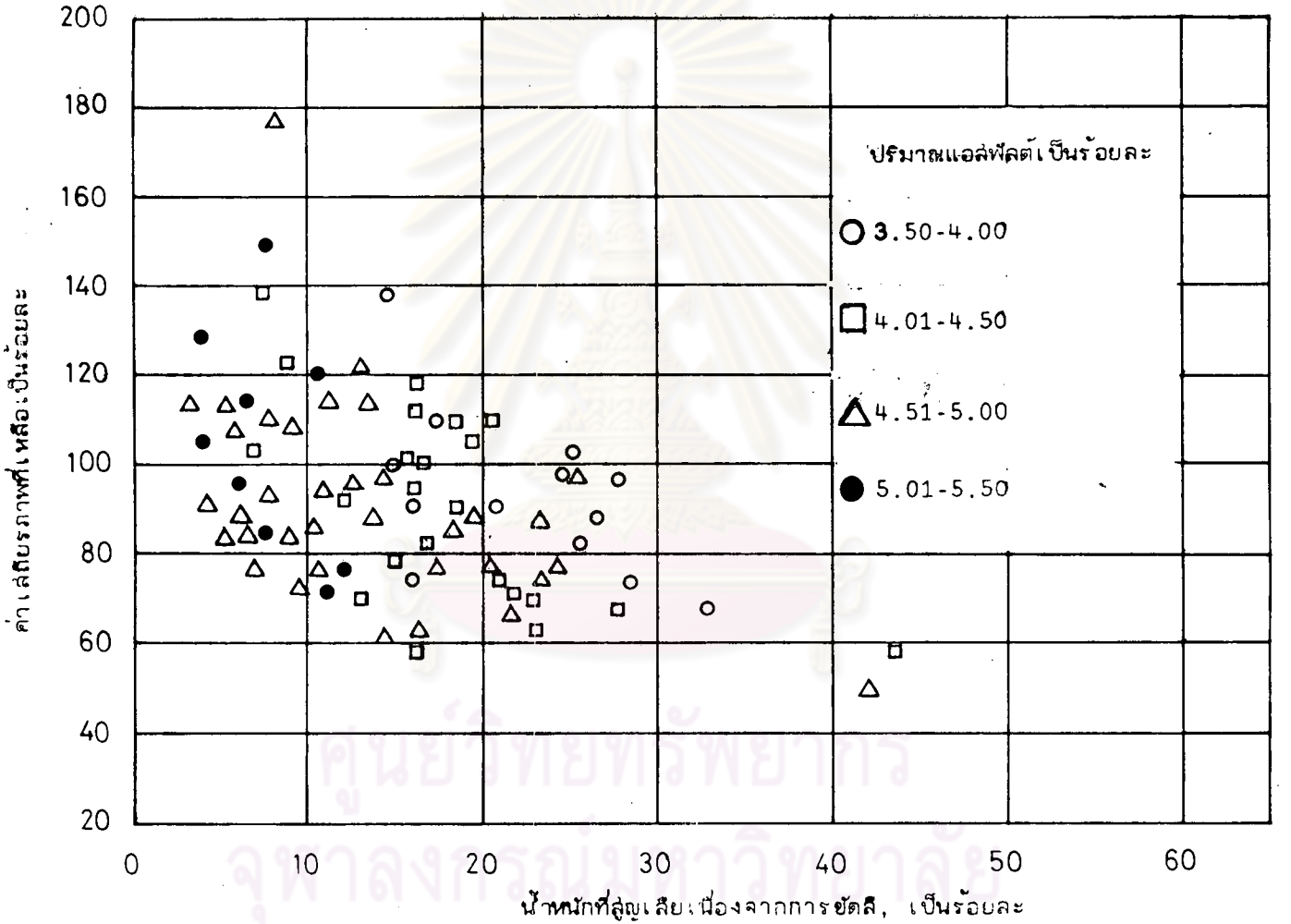
Hopkins (1954) ได้รายงานผลการทดลองของเขา โดยให้ผิวจราจรตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักล้อที่มีขนาดไม่เท่ากัน ตลอดการทดลอง จากนั้นใช้จำนวนรอบ (Revolution) และเวลาทดลองจนเกิดการวิบัติ เป็นตัววัดค่าความสามารถในการยึดเกาะ (Adhesivity) และการแสดงออกของส่วนผสม

Blott et al (1954) สร้างผิวทางทดลองแบบเซอร์เฟสทรีตเมนต์ ในสนามโดยใช้หินขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว และใช้ยางแอสฟัลต์ $5\frac{1}{2}$ แกลลอนต่อตารางหลา แล้วประเมินผลโดยการหาร้อยละของเศษหินที่หายไป (Chipping Lost) ในแนวร่องล้อกว้าง 1 ฟุต อันเกิดจากรถบรรทุกหนักที่สัญจรไปมานอกจากนี้ยังสามารถทดสอบเพื่อ ประเมินผลการแสดงออกของส่วนผสมที่ใช้ สารผสมเพิ่ม (Additive) ชนิดต่าง ๆ กันด้วย

2.1.4 <u>การทดสอบร่องล้อ</u> (Test Tracks)

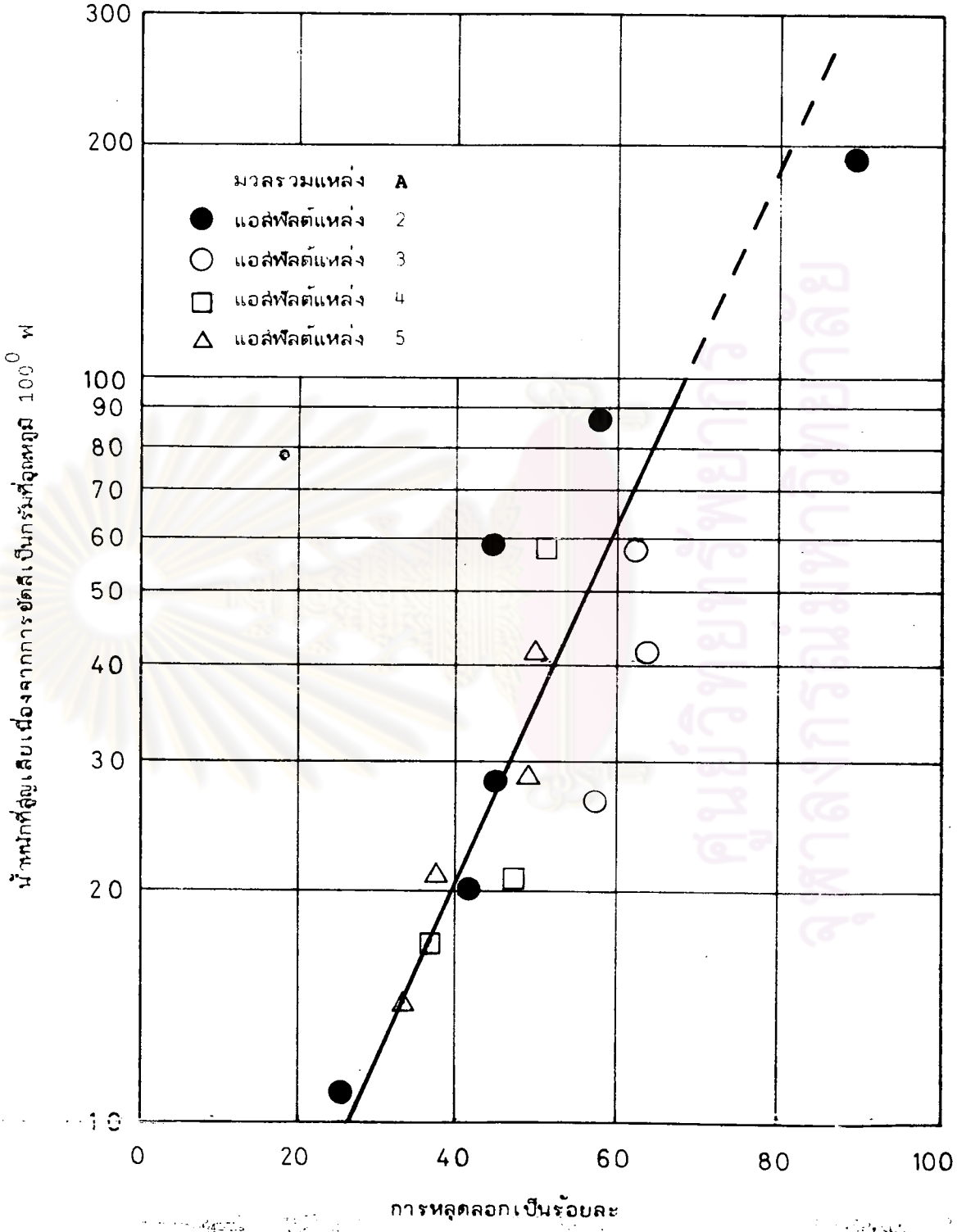
เป็นการศึกษาผลกระทบรวม ที่เกิดขึ้นจากน้ำและน้ำหนักล้อ Mack (1941) ได้สร้างล้อยางที่มีน้ำหนักบรรทุกขึ้นมาให้วิ่งไปบนร่องล้อทดลองที่ปูเป็นวงกลมของส่วนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีต พร้อมกับให้มีน้ำท่วมปรับผิวทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และบันทึกช่วงเวลาหรือจำนวนรอบที่วิ่งผ่าน จนส่วนผสมเกิดการวิบัติ เพื่อเป็นค่าแสดงความสัมพันธ์ถึงค่าความสามารถในการยึดเกาะของยางแอสฟัลต์กับมวลรวม โดยให้ถือเอาการแยกตัวของวัสดุที่ผิวทดลองเป็นตัวแสดงว่าถึงจุดวิบัติแล้ว

Holmes และ Klinger et al (1938) ได้ศึกษาการยึดเกาะของยางแอสฟัลต์กับมวลรวม โดยได้สร้างร่องล้อทดลองจากส่วนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีตในรางคอนกรีตยาวเป็นวงกลมมีขนาดกว้าง 2 ฟุต และเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของราง 16 ฟุต โดยให้มีน้ำอุณหภูมิ 90 $\pm$ 1° ฟ ท่วมผิวทดลองตลอดเวลา ส่วนตัวเครื่องมือประกอบด้วยล้อรถบรรทุกจำนวน 2 ล้อ ติดอยู่ที่ปลายคานข้างละอัน ซึ่งคานจะหมุนรอบเดือยที่ติดอยู่ตรงกึ่งกลางคาน พร้อมกับมีน้ำหนักถ่ายบนล้อข้างละ 1,000 ปอนด์ โดยจะขับเคลื่อนด้วยความเร็ว 4.54 ไมล์ต่อชั่วโมง แล้วประเมินผลจากจำนวนรอบที่ทำให้น้ำหนักหายไป 300 ปอนด์ หรือร้อยละ 10 ของน้ำหนักส่วนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีตทั้งหมด เป็นจำนวนรอบที่ทำให้เกิดการวิบัติ



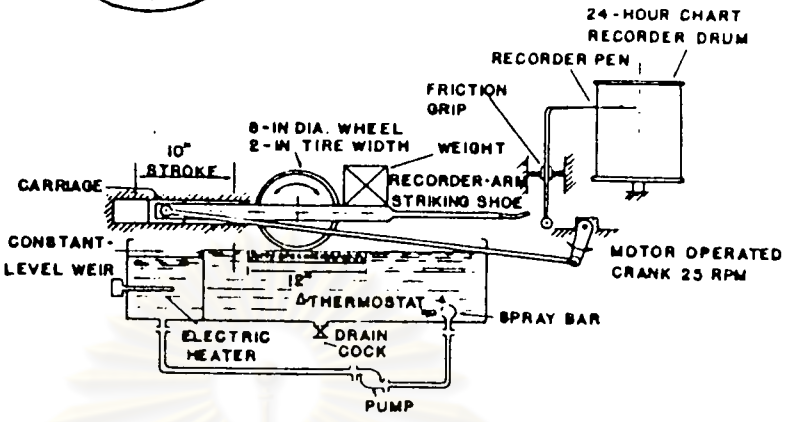
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพที่เหลือกับน้ำหนักที่สูญเสียเนื่องจากการยัดลี

ที่มา : ASTM Swanberg and Hunderman (1949)

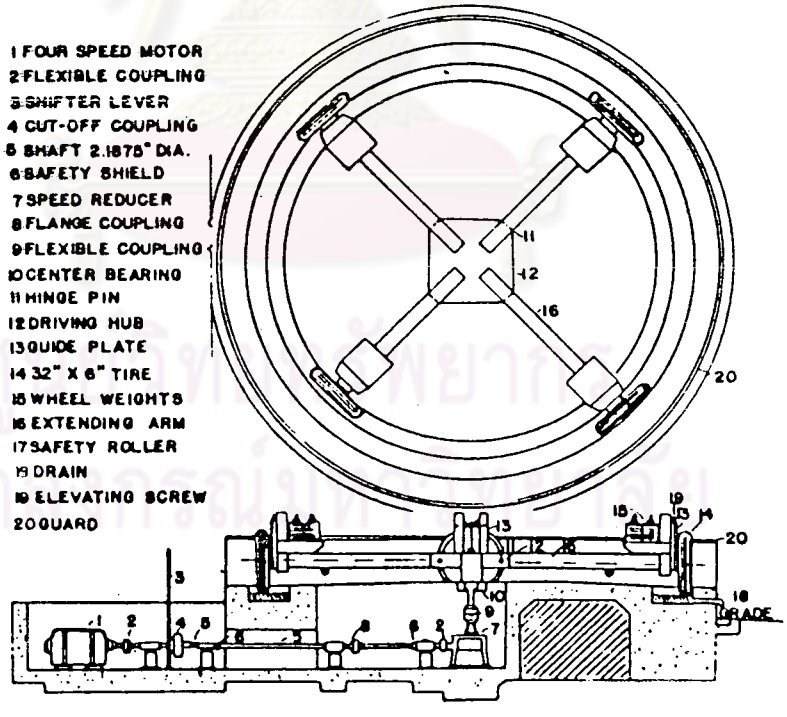


รูปที่ 2.2 ค่าการหลุดลอกเทียบกับน้ำหนักที่สูญเสียไปเนื่องจากการขัดสี

ที่มา : Skog and Zube (1963)



รูปที่ 2.3 แบบเครื่องมือทดสอบทางเดินแบบอังกฤษ (English Trafficking Tester)



รูปที่ 2.4 เครื่องมือทดสอบแบบร่องล้อ (Test Track)

การทดสอบโดยวิธีนี้ยังสามารถใช้ศึกษา การแสดงออกของสารผสมเพิ่มต้านการหลุดลอก (Antistripping Additive) ได้เป็นอย่างดี และผลการทดสอบที่ได้ยังสอดคล้องกับผลการทดสอบที่ได้จากวิธีการทดสอบแบบ การทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างหลังจากแช่น้ำ (Immersion Compression Test) ดังจะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

ถึงแม้ว่าการทดสอบโดยการสร้างร่องล้อทดลอง และการสร้างถนนขนาดเล็ก (Small Scale Road Test) จะสามารถลอกเลียนสภาวะที่คล้ายคลึงกับของจริงได้ดีกว่าวิธีการทดสอบ การยึดเกาะและการหลุดลอกแบบอื่น ๆ แต่ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและการดำเนินงานทดสอบสูงมาก อีกทั้งยุ่งยากซับซ้อนและเสียเวลามาก จึงไม่เป็นที่นิยม

2.2 <u>การทดสอบจากก้อนตัวอย่างบดอัด</u>

การทดสอบโดยวิธีนี้จะทำการสร้างสภาวะของน้ำหนักภายนอกที่มากระทำให้คล้ายคลึงกับที่เกิดจากการจราจร โดยใช้ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่เตรียมได้จากการบดอัดตามมาตราฐาน การทดสอบจะพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกลและทางกายภาพ (Mechanical and Physical Properties) ของก้อนตัวอย่างภายหลังการแช่น้ำ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับระดับการหลุดลอกของยางแอสฟัลต์

2.2.1 <u>การทดสอบ การแช่น้ำของแท่งตัวอย่าง</u> (Briquet Soaking Test)

เป็นวิธีที่นับได้ว่าเริ่มใช้ก่อนวิธีอื่น ๆ ทั้งหมด ในการประเมินค่าการหลุดลอกของยางแอสฟัลต์ (22) โดยนำส่วนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีตมาอัดเป็นแท่งคล้ายอิฐ หนาหนึ่งนิ้ว แล้วแช่ทิ้งไว้ในน้ำ จนกระทั่งแท่งตัวอย่างเกิดการแตกหลุดออกเป็นชิ้น ๆ ก็ถือว่าจำนวนวันที่แช่จนเกิดการวิบัติ เป็นตัววัดความต้านทานการหลุดลอกของส่วนผสมต่อน้ำ

2.2.2 <u>การทดสอบการบวม</u> (Swell Test)

ในปี พ.ศ. 2481 Arizona State Road Department ได้เริ่มใช้วิธีนี้ ต่อมา Staton และ Hveem (7) ได้ทำการปรับปรุงอีกครั้งหนึ่งโดยจะทำการวัดค่าการบวมในแนวดิ่งของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่อยู่ในแบบเหล็กทรงกระบอกกลางในลักษณะแช่อยู่ในน้ำ แล้วนำไปเทียบความสัมพันธ์กับค่าการหลุดลอกที่เกิดขึ้น ซึ่งต่อมาวิธีนี้ก็ได้กลายเป็นแบบการทดสอบมาตราฐานของ AASHO D.T. 101-42 (4)

2.2.3 <u>การทดสอบความต้านทานแรงอัดของตัวอย่างหลังจากแช่น้ำ</u> (Immersion-Compresion Test)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบทางอ้อม (Indirect Test) โดยคำนึงว่าเสถียรภาพ (Stability) ของก้อนแอสฟัลต์ติกคอนกรีตนั้น มีผลมาจากหน่วยแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion) ของยางแอสฟัลต์ และแรงยึดเกาะ (Adhesion) ที่หน้าสัมผัสร่วมของยางแอสฟัลต์กับมวลรวม ดังนั้นในส่วนผสมที่มีการยึดเกาะที่ไม่สมบูรณ์ หรือ มีการหลุดลอก ก็สามารถสังเกตุได้จากการลดลงของ กำลังต้านทานแรงอัด (Compression Strength) ในก้อนตัวอย่างหลังจากแช่น้ำ (7)

การทดสอบโดยวิธีนี้ได้กำหนดก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ติกคอนกรีตขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 4 นิ้ว จำนวน 6 ตัวอย่าง ซึ่งการเตรียมตัวอย่างส่วนผสม จะเป็นไปตามมาตราฐาน ASTM D 1075-54 "The Effect of Water on the Cohesion of Compacted Bituminous Mixtures." หลังจากบ่มตัวอย่างแล้ว ตัวอย่าง 3 ก้อนแรกจะถูกทดสอบหากำลังความต้านทานแรงอัดที่อุณหภูมิ 77^0 ฟ ด้วยอัตราการกด 0.2 นิ้วต่อนาที ส่วนตัวอย่างอีก 3 ก้อน จะถูกแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 120^0 ฟ เป็นเวลา 4 วัน แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ 77^0 ฟ อีก 2 ชั่วโมง จึงนำไปกดหากำลังต้านทานแรงอัด ซึ่งระดับการหลุดลอกของยางแอสฟัลต์จะวัดออกมาในรูปของดัชนีกำลังต้านทานแรงอัดที่เหลือ (Index of Retained Strength) ได้ดังนี้

$$\text{ดัชนีกำลังต้านทานแรงอัดที่เหลือ} = \frac{S_2}{S_1} \times 100$$

โดยที่ S_1 = กำลังต้านทานแรงอัดของก้อนตัวอย่าง

S_2 = กำลังต้านทานแรงอัดของก้อนตัวอย่างหลังแช่ในน้ำ

ข้อที่น่าตระหนักของวิธีนี้ก็คือ ความยากในการเตรียมตัวอย่างให้มีความสม่ำเสมอเหมือนกันทุกตัวอย่างเพราะ Krchma และ Loomis (1943) ได้แสดงให้เห็นว่าปริมาณยางแอสฟัลต์ ขนาดส่วนคละของมวลรวมและวิธีการเตรียมตัวอย่าง ล้วนมีอิทธิพลต่อกำลังอัดของก้อนตัวอย่าง ดังนั้นการเตรียมตัวอย่างจึงต้องใช้ความระมัดระวังมาก

2.2.4 <u>การทดสอบคุณสมบัติที่ไวต่อน้ำของตัวอย่าง</u> (Water-Susceptibility Test)

The California Highway Department (39) ได้ประดิษฐ์เครื่องมือ

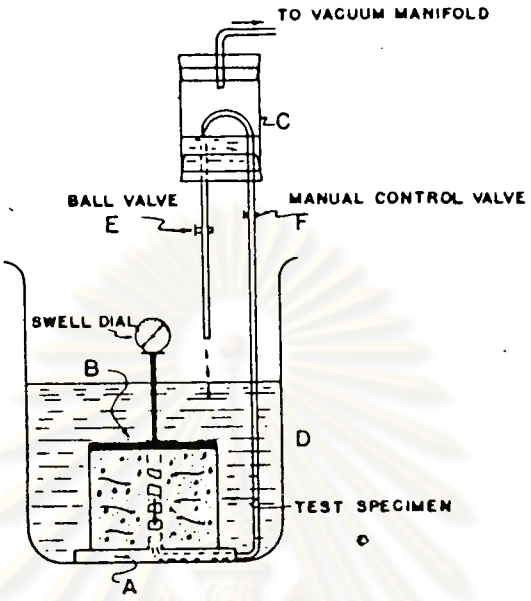
ทดสอบนี้ขึ้น เพื่อศึกษาผลกระทบของน้ำต่อคุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลต์ติกคอนกรีต ซึ่งลักษณะของก้อนตัวอย่างเป็นทรงกระบอกมาตรฐานตรงกลางมีรูกลวงขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว ติด Testing Plate ที่หัวและท้ายก้อนตัวอย่างด้วยขี้ผึ้ง (Wax) ที่มีจุดหลอมเหลวสูงตามรูปที่ 2.5 แล้วแช่ในอ่างน้ำ D ทำให้เกิดสูญญากาศภายในกระบอก C มากพอที่จะดึงน้ำให้ผ่านก้อนตัวอย่างและผ่านเข้าไปในกระบอกได้ 50 มิลลิลิตร ภายในเวลา 15 วินาที โดยลิ้นควบคุมแบบยุด (Solinoid Valve) จะทำหน้าที่ควบคุมปริมาณสูญญากาศ จากนั้นทำการหาค่าเสถียรภาพและหน่วยแรงยึดเหนี่ยวของส่วนผสม แอสฟัลต์ติกคอนกรีตทั้งก่อนและหลัง แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 100^0 ฟ

รูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นความเปลี่ยนแปลงในค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยว และการบวมของมวลรวมกับช่วงเวลาที่แช่ในน้ำ โดยค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวและค่าเสถียรภาพนี้ได้จากการทดสอบก้อนตัวอย่างด้วยวิธีของ Hveem Stabilometer และ Cohesiometer

2.2.5 <u>การทดสอบการถอดถอน</u> (Detachment Test)

Blott et al ได้แนะนำวิธีทดสอบแบบ Plaque Test (41) โดยใช้แผ่นทองแดงเคลือบด้วยยางแอสฟัลต์หนา 1 มิลลิเมตร ปูมวลรวมขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว ลงบนหน้ายางแอสฟัลต์แล้วนำไปแช่น้ำนาน 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นจึงทำการดึงมวลรวมที่ไม่ติดกับยางแอสฟัลต์ออก แล้วคำนวณหาค่าร้อยละของมวลรวมที่ยังติดอยู่กับยางแอสฟัลต์ (Percentage of Attachment of Aggregate) ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 2.1

Karius (1964) ได้เสนอวิธีการที่คล้าย ๆ กันคือ ใช้กะบะโลหะเล็ก ๆ ใส่ยางแอสฟัลต์หนา 0.9 มิลลิเมตร จากนั้นให้ความร้อนแก่ยางแอสฟัลต์ก่อนที่จะกดก้อนมวลรวมลงไปตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 20^0 ซ นาน 16 ชั่วโมง แล้วนำกะบะไปแช่น้ำที่อุณหภูมิเช่นเดียวกันทำการตรวจสอบตัวอย่างทุกวัน โดยการใช้นิ้วดันก้อนมวลรวมในแนวขนานกับถาด แต่ละวันจะคำนวณน้ำหนักของก้อนมวลรวมที่หลุดออกมาเป็นร้อยละของการถอดถอน (Percentage of Detachment) รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของการถอดถอน เป็นร้อยละของก้อนมวลรวมที่ใช้ยางแอสฟัลต์ชนิดต่าง ๆ และแหล่งที่มาต่าง ๆ กัน รูปที่ 2.8 แสดงถึงผลกระทบของมวลรวมชนิดต่าง ๆ ต่อร้อยละของการถอดถอน

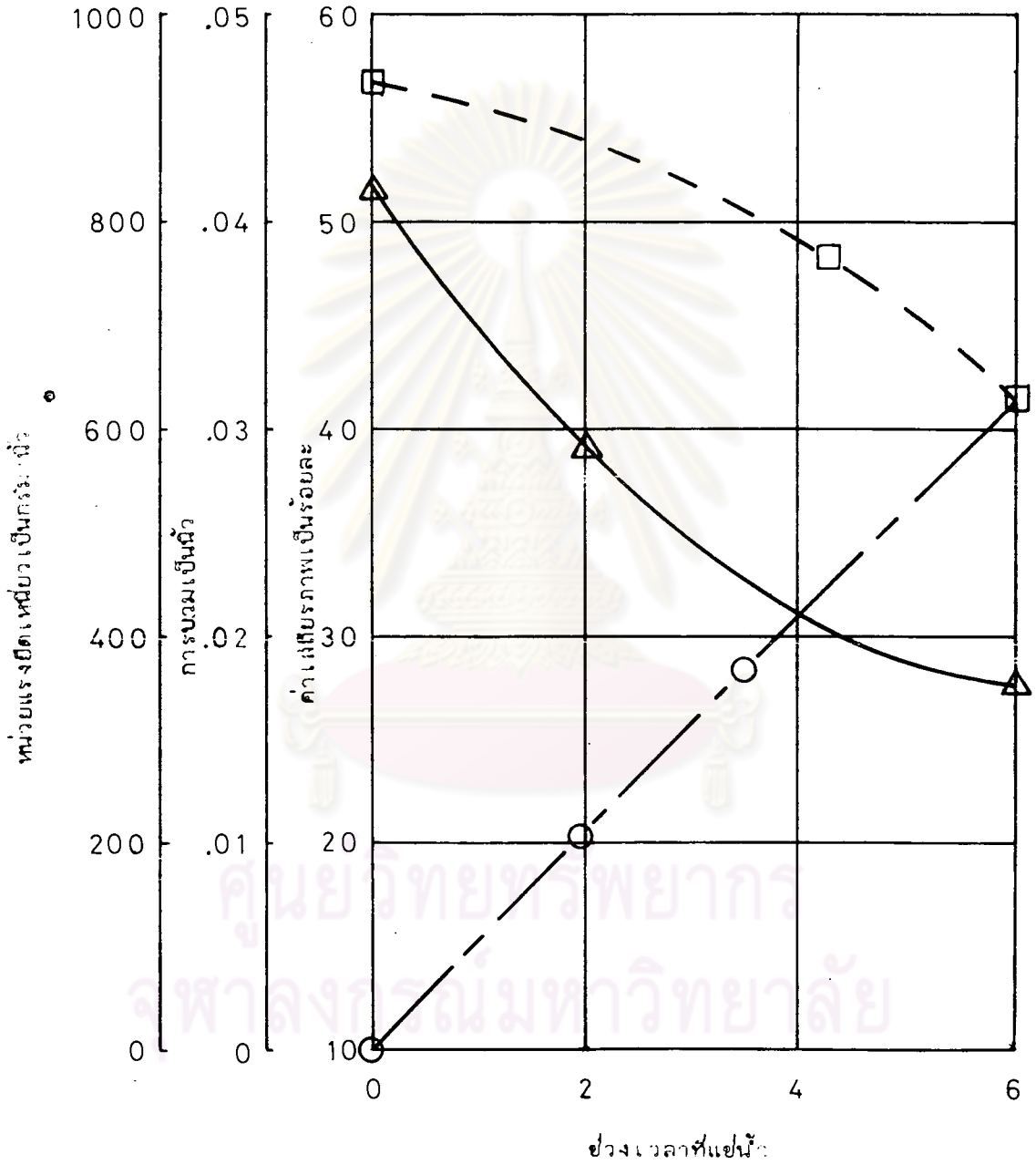


รูปที่ 2.5 การทดสอบคุณสมบัติที่ไวต่อน้ำของก้อนตัวอย่าง

ตารางที่ 2.1 ร้อยละของมวลรวมที่ยังติดอยู่กับแอสฟัลต์

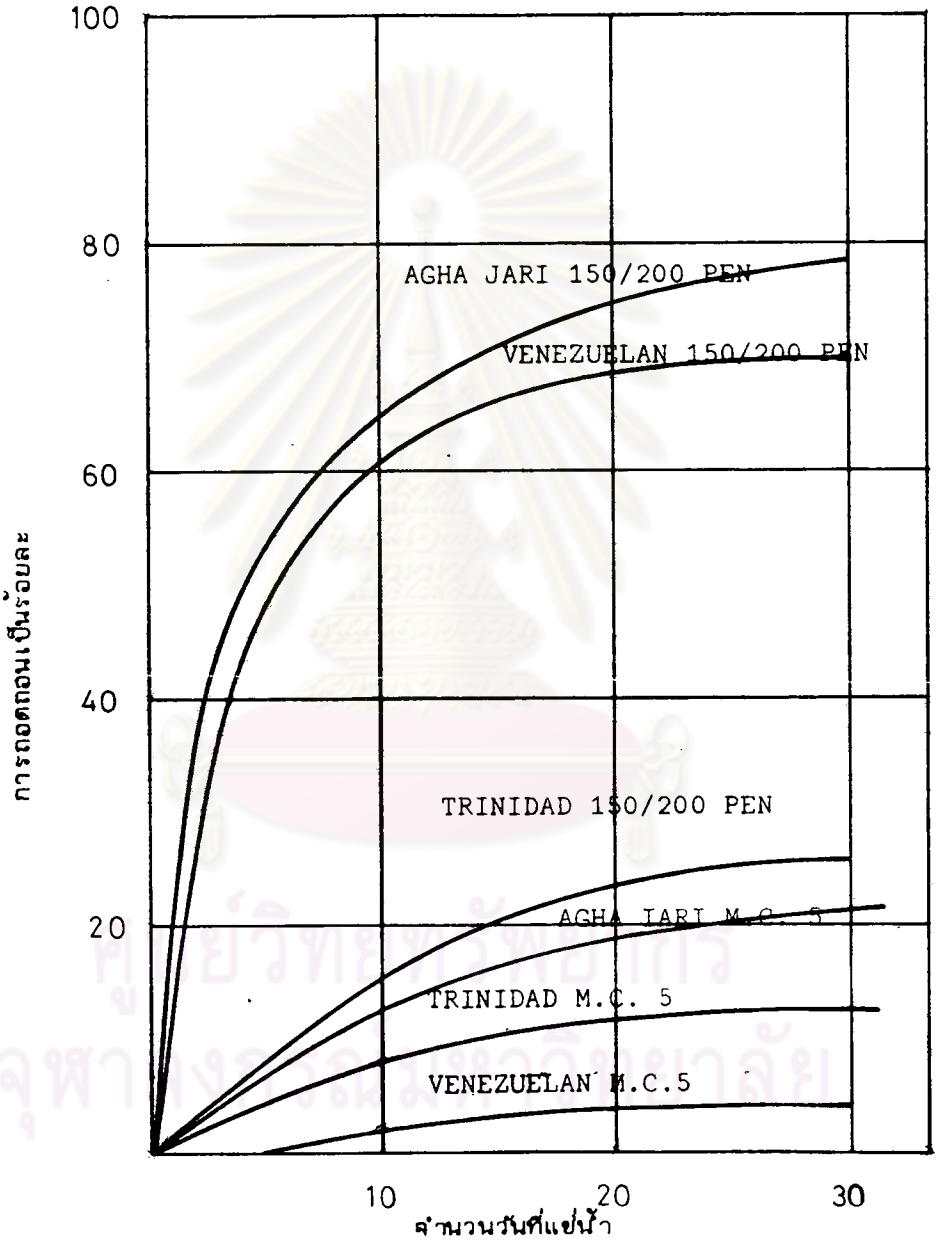
PLAQUE TESTS WITH DUSTY QUARTZITE AGGREGATE

Condition of Stone	Curing Period, Hours	Percentage Chippings Adhering	
		Cutback Kerosene	Cutback Kerosene plus 5% by Weight of Additive A1
Air dry	12	5	95
Air dry	72	50	100
Damp	1	5	30
Damp	24	25	40
Damp	48	25	60
Damp	72	40	90
Damp	192	70	95



รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพของส่วนผสม

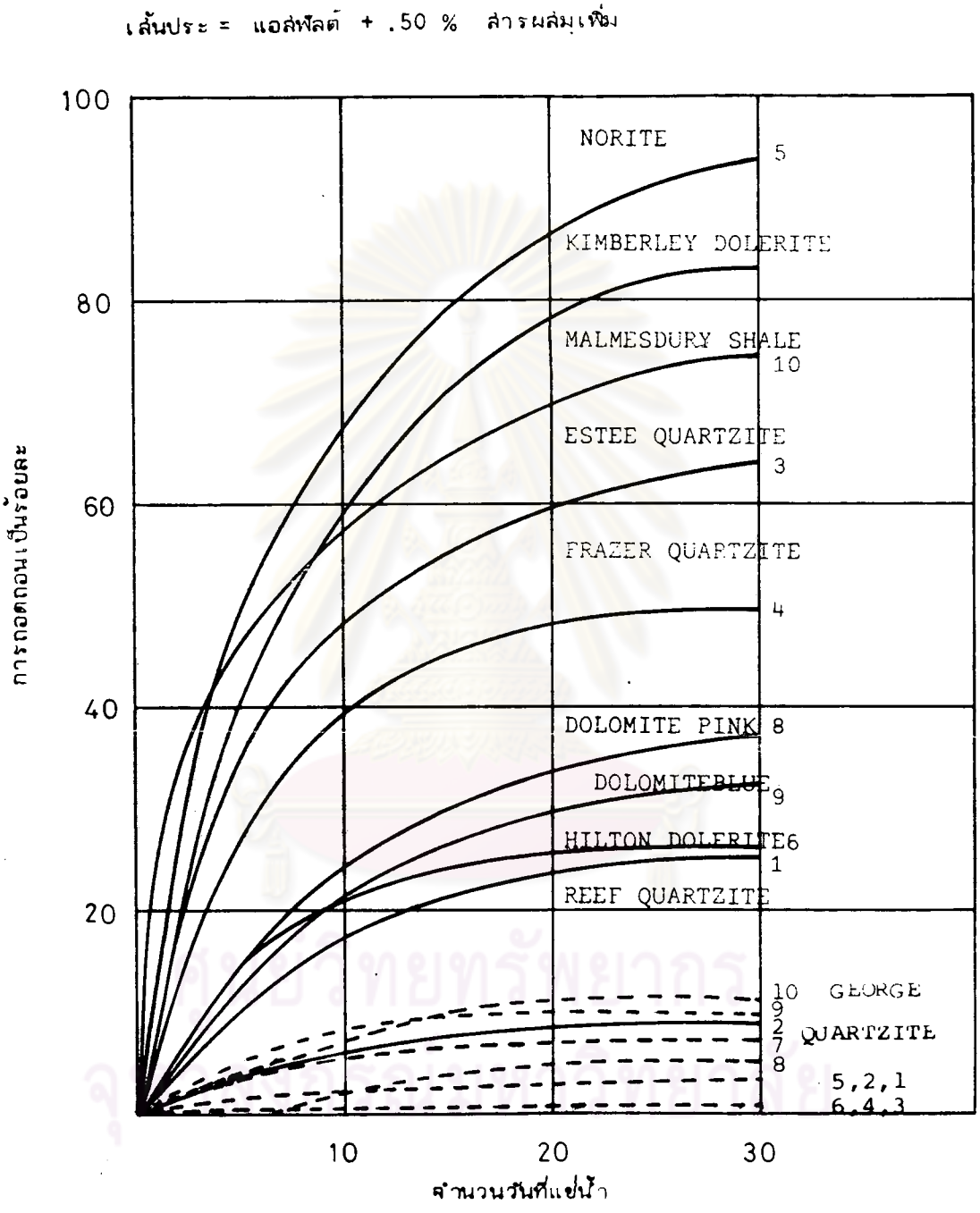
ที่มา : Skog and Zube (1963)



รูปที่ 2.7 การถอดถอนของฟิล์มควอร์ตไซต์ จากแอสฟัลต์ต่างชนิดกัน

ที่มา : Karius and Dalton (1964)

013458



รูปที่ 2.8 การถอดถอนของมวลรวมต่างชนิดกันตามจำนวนวันที่แช่น้ำ

ที่มา : Karius and Dalton (1964)

2.2.6 เทคนิคการทดสอบโดยใช้เสียง (Sonic Testing Techniques)

Andersland และ Goety (1956) ได้ใช้เทคนิคการทดสอบโดยใช้เสียงวัดค่า Sonic Modulus of Elasticity ที่สูญเสียไปที่เวลาต่าง ๆ กัน ภายหลังการแช่ในน้ำของคานตัวอย่าง (Beam Specimens) ที่มีส่วนผสมที่ใช้วัสดุ ขนาดส่วนคละ และระดับการบดอัดที่เป็นอย่างเดียวกัน กับส่วนผสมที่นำไปสร้างถนนในสนาม ซึ่งพบว่าผลที่ได้รับจากการทดสอบโดยวิธีนี้เป็นที่น่าพอใจอย่างยิ่ง นอกจากนั้นยังเป็นวิธีการทดสอบที่ไม่ทำลายชิ้นงานอีกด้วย (Non-destructive Testing) รูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นผลการทดลองจากวิธี Sonic Testing กับ Immersion Compression Test ซึ่งพบว่าให้ผลออกมาคล้ายกัน

2.3 การทดสอบจากมวลรวมเคลือบยางแอสฟัลต์ (Test of Coated Aggregates)

จุดประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อดูการยึดเกาะของยางแอสฟัลต์บนผิวมวลรวม เมื่อแช่ในน้ำแล้วประเมินผลการหลุดลอกด้วยสายตา วิธีการทดสอบในกรณีนี้มีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น ดังนี้

- การทดสอบแบบแช่น้ำและมีแรงสั่นสะเทือน
- การทดสอบแบบแช่ในสารเคมี
- การทดสอบแบบแช่ในน้ำนิ่ง
- การประเมินผลการเคลือบเชิงปริมาณ

2.3.1 การทดสอบแบบแช่น้ำและมีแรงสั่นสะเทือน (Dynamic Immersion Test)

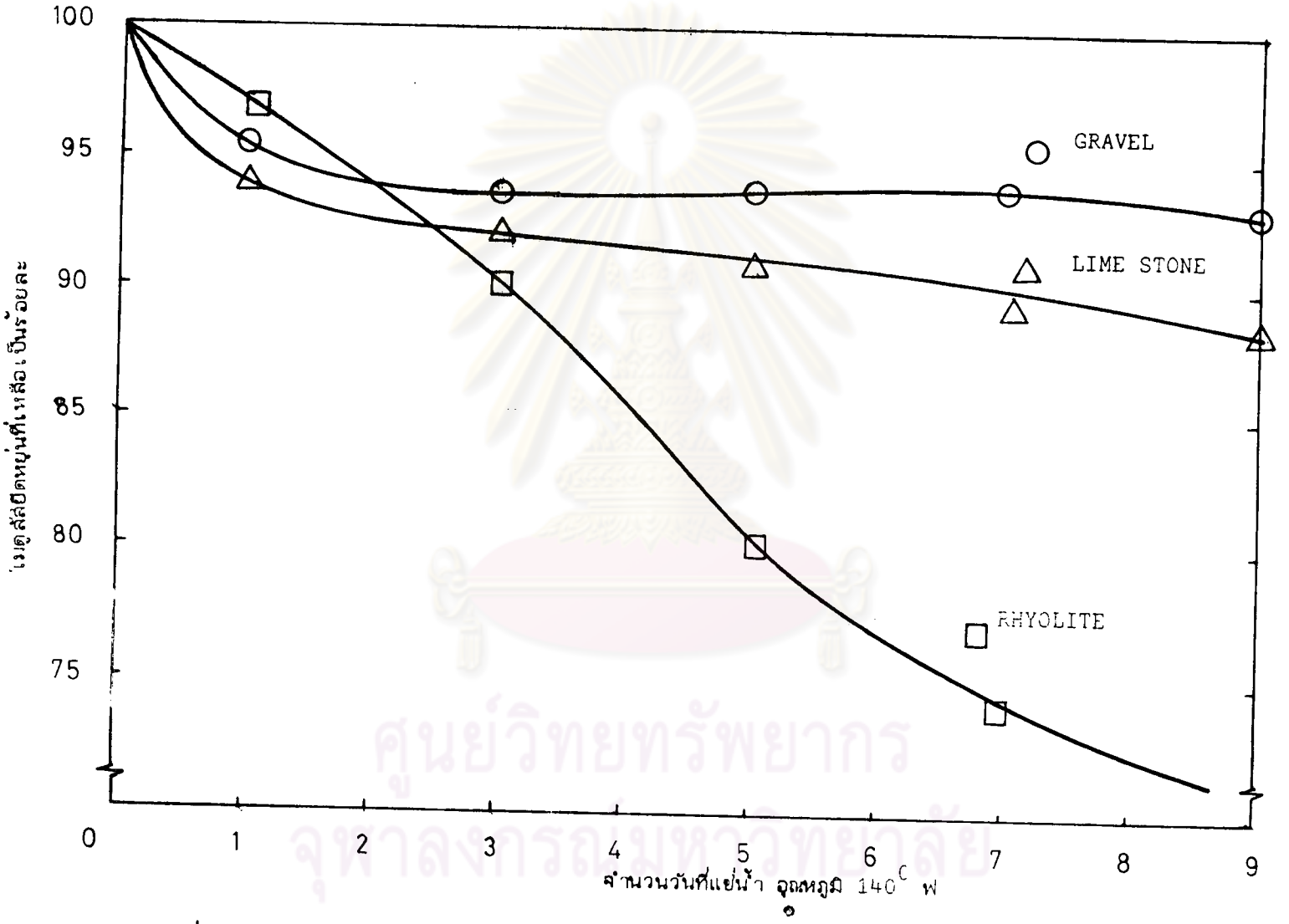
การทดสอบโดยวิธีนี้ จะคำนึงถึงอิทธิพลของน้ำกับแรงกระทำที่เกิดจากยวดยานเป็นหลัก ซึ่งมีหลายวิธีดังนี้

2.3.1.1 การทดสอบแบบนิโคลสัน (Nicholson Test) (1932) วิธีทดสอบโดยอาศัยการสังเกตุระดับของการหลุดลอก (Degree of Stripping) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ก. แช่ส่วนผสมในน้ำ

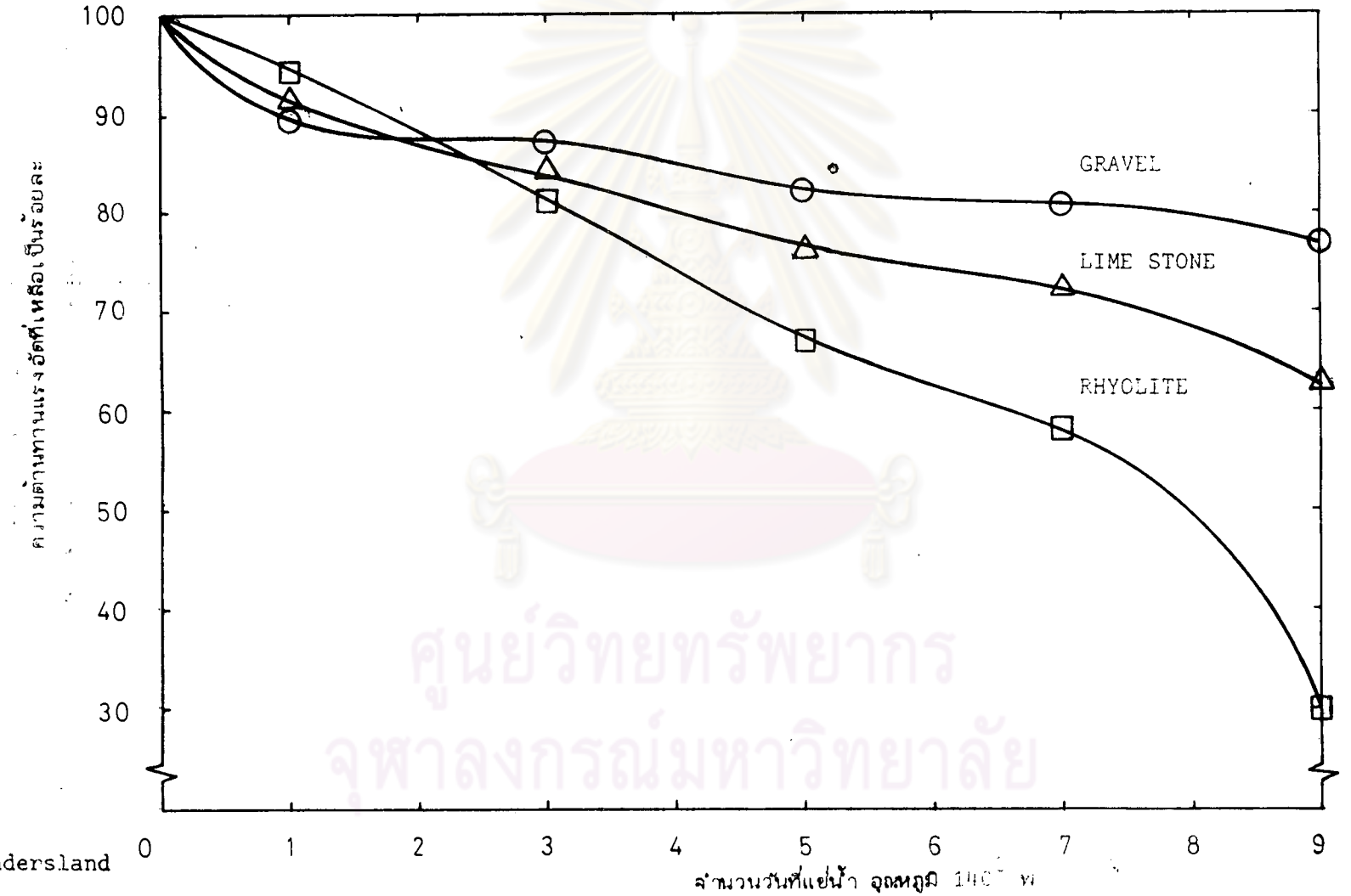
ข. ส่วนผสมจะถูกเขย่าด้วยเครื่อง

ค. ประเมินการหลุดลอกด้วยสายตา



รูปที่ 2.9 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นที่เหลือกับจำนวนวันที่แช่น้ำ

ที่มา Andersland and Goetz (1956)



ที่มา: Andersland and Goety (1956)

รูปที่ 2.4 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงอัดที่เหลือกับจำนวนวันที่แช่น้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มวลรวมประมาณ 50 กรัม จะถูกนำไปผสมกับยางแอสฟัลต์ปริมาณร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด หลังจากบ่มทิ้งไว้ในระยะเวลาหนึ่งแล้ว จึงนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 140^0 ฟ นาน 1 ชั่วโมง จากนั้นจะถูกนำเข้าเครื่องหมุนด้วยอัตราความเร็ว 39 รอบต่อนาที นาน 15 นาที ภายหลังได้มีการดัดแปลงวิธีการทดสอบนี้ โดยให้หมุน 3 ครั้งด้วยอัตราความเร็ว 44 รอบต่อนาที นาน 15 นาที ที่อุณหภูมิต่าง ๆ กันคือ 75^0 ฟ, 100^0 ฟ และ 120^0 ฟ ตามลำดับ จากนั้นจึงประเมินค่าการหลุดลอกเป็นร้อยละ

2.3.1.2 <u>การทดสอบแบบการล้างน้ำ</u> (Wash Test) วิธีนี้ใช้กันแพร่หลายมากในช่วงทศวรรษที่ 1930 - 1940 ซึ่งรู้จักกันในนามของ Dow or Tylor Wash Test (45) โดยใช้มวลรวมประมาณ 500 กรัม ผสมกับยางแอสฟัลต์ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด หลังจากที่บ่มแล้ว จะนำไปแช่ในน้ำกลั่น พร้อมกับเข้าเครื่องเขย่าแบบ Ro-Tap Sieve Shaker นาน 30 นาที จากนั้นประเมินค่าการหลุดลอกโดยล้างตาเป็นร้อยละ

Winterkorn และคณะ (1937) ได้สรุปว่าวิธี Wash Test นี้ ให้ผลเป็นที่น่าพอใจกว่าวิธีของ Nicholson หรือวิธีอื่น ๆ เช่น วิธี Riedel and Weber Test (ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป) อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ยังมีข้อบกพร่อง คือ ไม่มีการบดอัดส่วนผสมเหมือนกับสภาพถนนที่ต้องมีการบดอัด และการเขย่ามีความแตกต่างจากสภาพความเป็นจริงจากการสั่นสะเทือนเนื่องจากยวดยาน

2.3.2 <u>การทดสอบแบบแช่ในสารเคมี</u> (Chemical Immersion Test)

วิธีการทดสอบนี้ จะใช้ความเข้มข้นของสารเคมีเป็นตัววัดค่าการยึดเกาะของยางแอสฟัลต์กับมวลรวม โดยการใช้การทดสอบแบบไรเดลและวีเบอร์ (Riedel and Weber Test) (7) ตัวอย่างจะถูกนำไปแช่ในน้ำเดือดประมาณ 1 นาที เพื่อดูค่าการหลุดลอกของยางแอสฟัลต์ ต่อมาได้มีการปรับปรุงวิธีการทดสอบโดยเพิ่มขั้นตอนต่อไปอีกคือ จะนำตัวอย่างที่ไม่เกิดการหลุดลอกหลังจากแช่ในน้ำเดือดแล้ว มาแช่ในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน เพื่อให้ทราบว่าความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตขนาดใดที่ทำให้ตัวอย่างเกิดการหลุดลอกเป็นอันดับแรก จากนั้นจะใช้ความเข้มข้นของโซเดียมคาร์บอเนตที่ได้นี้เป็นตัววัดความสามารถในการยึดเกาะของยางแอสฟัลต์กับมวลรวม ตารางที่ 2.2 แสดงความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่ Riedel และ Weber ใช้ในการทดสอบ

อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังมิได้เป็นวิธีที่ดี และถูกต้องในหลักการนัก อีกทั้งยังไม่มีความสัมพันธ์กับสภาพที่เกิดขึ้นจริงในสนาม และขนาดของมวลรวมกับความหนาของแผ่นฟิล์มยางแอสฟัลต์ที่เคลือบมวลรวมก็อาจมีอิทธิพลต่อผลการทดสอบได้เช่นกัน

ตารางที่ 2.2 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต

Solution Number	Concentration (Molar)	Sodium Carbonate (grams/liter)
0	pure water	0
1	1/256	0.414
2	1/128	0.828
3	1/64	1.657
4	1/32	3.313
5	1/16	6.625

2.3.3 <u>การทดสอบแบบแช่ในน้ำนิ่ง</u> (Static Immersion Test)

เป็นวิธีที่ใช้วัดความต้านทานการหลุดลอกของตัวอย่างในน้ำ โดยการแช่ในน้ำนิ่ง ซึ่งมีวิธีการทดสอบต่าง ๆ ดังนี้

2.3.3.1 <u>การทดสอบแบบลี</u> (Lee Test) (1936) ได้เสนอการทดสอบแบบแช่ในน้ำนิ่ง 2 วิธีคือ

ก. Zince Plate Test วิธีนี้จะนำมวลรวมกดลงบนยางแอสฟัลต์ที่เคลือบอยู่บนสังกะสีเพื่อจำลองสภาพผิวถนนแบบเซอร์เฟสทรีตเมนต์ หลังจากแช่ในน้ำนาน 24 ชั่วโมง แล้วทำการประเมินผลการยึดเกาะของมวลรวมกับยางแอสฟัลต์ด้วยสายตา

ข. Jar Test วิธีนี้จะนำมวลรวมที่เคลือบยางแอสฟัลต์มาแช่ในน้ำ ในโหลแก้ว หลังจากนั้นก็ประเมินผลการหลุดลอกด้วยสายตา เช่นกัน

2.3.3.2 การทดสอบการแทนที่ของน้ำแบบโฮล์ม (Holmes Water Displacement Test) (1938) วิธีนี้คล้ายกับวิธี Riedel and Weber Test มาก โดยจะนำมวลรวมที่ผ่านตะแกรงขนาดเบอร์ 4 ค้าง เบอร์ 10 มาเคลือบด้วยยางแอสฟัลต์ จากนั้นบ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 140^0 ฟ จึงนำไปแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิเดียวกันนาน 18-24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง แล้วนำตัวอย่างมาผึ่งลมให้แห้ง ต่อจากนั้นจึงหาพื้นที่ที่ยางแอสฟัลต์เคลือบอยู่เทียบเป็นร้อยละของพื้นที่ทั้งหมดจากการประเมินด้วยสายตา

2.3.3.3 การทดสอบแบบโอเบอร์บาช์ (Oberbach Test)[15] เป็นการทดสอบการหลุดลอกที่ใช้ทั้งตัวอย่างที่ผ่านการบ่มและไม่ได้บ่ม เพื่อเป็นการเปรียบเทียบ ซึ่งจะใช้มวลรวมที่ผ่านตะแกรงขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้วค้างเบอร์ 4 ผสมกับยางแอสฟัลต์ 4.0 - 7.0 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของมวลรวมในขั้นแรก จะใช้ตัวอย่างส่วนผสมที่ไม่ได้บ่มประมาณ 25 กรัม แช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 70^0 ฟ ทันทีหลังจากผสมเสร็จ นาน 24 ชั่วโมง แล้วจึงประเมินค่าการหลุดลอกที่เกิดขึ้นโดยสายตา ส่วนขั้นที่สองนั้น ใช้ตัวอย่างส่วนผสมประมาณ 35 กรัม ที่บ่มทิ้งไว้นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70^0 ฟ แล้วแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 100^0 ฟ นาน 24 ชั่วโมง จึงประเมินค่าการหลุดลอกที่เกิดขึ้น

วิธีการนี้ยังสามารถใช้ตรวจสอบ ผลที่ได้จากการใส่สารผสมเพิ่มชนิดต่าง ๆ เพื่อต้านการหลุดลอกยางในแอสฟัลต์ และตรวจสอบความแห้งของมวลรวมที่ระดับต่าง ๆ อันมีผลต่อการหลุดลอกได้อีกด้วย

2.3.3.4 การทดสอบการหลุดลอกตามมาตรฐาน ASTM (D 1664-64 T)

การทดสอบโดยวิธีนี้จะใช้มวลรวมที่ผ่านตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว ค้างเบอร์ 4 ผสมกับยางแอสฟัลต์ แล้วนำไปแช่ในน้ำกลั่น ที่มีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 6 ถึง 7 ที่อุณหภูมิ 77^0 ฟ นาน 16 - 18 ชั่วโมง จากนั้นประเมินพื้นที่ที่ยางแอสฟัลต์เคลือบอยู่เป็นร้อยละด้วยสายตา

2.3.3.5 การทดสอบแบบเยอรมัน ยู 37 (German U. 37 Test) (18)

วิธีนี้ใช้มวลรวมที่ผ่านการให้ความร้อนหนัก 300 กรัม ผสมกับยางแอสฟัลต์ 15 กรัม แล้วใส่ในหลอดแก้วปากกว้าง ปิดด้วยจุกยางตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิ 20^0 ซ นาน 30 นาที

จากนั้นเติมน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 20^{0} ซ แช่ไว้นาน 24 ชั่วโมง แล้วประเมินค่าการหลุดลอกที่เกิดขึ้นเป็นร้อยละ ด้วยสายตา

ต่อมาได้มีการปรับปรุงวิธีการโดย ขั้นตอนการผสมมวลรวมกับยางแอสฟัลต์ต้องควบคุมอุณหภูมิการผสมให้อยู่ในช่วง $100\text{-}212^{0}$ ฟ แล้วเติมน้ำกลั่นที่มีอุณหภูมิ 100^{0} ฟ แช่ไว้นาน 3 ชั่วโมง ส่วนการประเมินค่าการหลุดลอกยังคงใช้การประเมินด้วยสายตาเช่นเดิม

2.3.4 <u>การประเมินผลการเคลือบเชิงปริมาณ</u> (Quantitative Coating Evaluation)

เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการประเมินด้วยสายตา จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการประเมินค่าการหลุดลอกเชิงปริมาณขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

2.3.4.1 <u>การทดสอบแบบการดูดซับสารย้อม</u> (Dye Adsorption Test)

Skog และ Zube(1963) ได้นำแนวความคิดของ Hveem เกี่ยวกับการนำหลักการย้อมมาใช้ในการทดสอบเพื่อหาค่าการหลุดลอก โดยใช้สารละลาย Safranine ที่มีความเข้มข้นระหว่าง 0.2 - 0.7 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ย้อมมวลรวมที่มีน้ำหนัก 250 กรัม จากนั้นใช้ Photometer ตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย เพื่อหาปริมาณสารที่ถูกดูดซับไปโดยมวลรวม ซึ่งการวัดความเข้มข้นของสารละลายด้วย Photometer นี้จะเริ่มหลังจากแช่มวลรวมในสารละลายทุก ๆ 15 นาที จนกระทั่งได้ค่าความเข้มข้นสุดท้ายที่เวลาหลังจากแช่ $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง (Final Reading) จากนั้นนำมวลรวมเหล่านี้ไปผสมกับยางแอสฟัลต์ก่อนที่จะนำไปทดสอบการหลุดลอกโดยวิธี Dynamic Stripping Test เมื่อเสร็จการทดสอบให้เอาตัวอย่างแช่ในสารละลายเพื่อย้อมอีกทันที พร้อมกับวัดค่าความเข้มข้นของสารละลายตามขบวนการเดิม เพื่อหาค่าการดูดซับของผิวมวลรวมส่วนที่เกิดการหลุดลอก แล้วคำนวณหาการหลุดลอกที่เกิดขึ้นจากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ค่าการหลุดลอกเป็นร้อยละ} = \frac{\text{ปริมาณสารย้อมที่ถูกดูดโดยผิวมวลรวมที่เกิดการหลุดลอก (มก./ก.)}}{\text{ปริมาณสารย้อมที่ถูกดูดโดยมวลรวมก่อนเคลือบยางแอสฟัลต์ (มก./ก.)}} \times 100$$

$$\text{ปริมาณสารย้อมที่ถูกดูด} = \frac{\text{ปริมาณสารที่ใช้เป็นมิลลิกรัม - ปริมาณสารที่เหลือในสารละลาย}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างเป็นกรัม}}$$

รูปที่ 2.10 แสดงถึงหน่วยวงจรการย้อม (Dye Circulation Unit) ซึ่งมีบีกเกอร์ (Beaker) ขนาด 1,500 มิลลิลิตร ภายในมีมวลรวมเคลือบยางแอสฟัลต์ขนาดต่าง ๆ ค้างบนตะแกรงที่ซ้อนกันอยู่เป็นชั้น ๆ และแช่อยู่ในสารละลายเพื่อย้อม พร้อมกับมีกระบอกกรวย (Funnel) สูญญากาศ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ซึ่งจะดูดเอาสารละลายในถ้วยแก้วให้หมดได้ ภายในเวลา 8 วินาที จากนั้นลิ้นควบคุม (Control Valve) จะเริ่มทำงาน สารละลายเพื่อย้อมก็จะไหลกลับลงถ้วยแก้วอีก เป็นวงจรสลับไปมาเช่นนี้นาน $1\frac{1}{2}$ ชั่วโมง

วิธีนี้สามารถใช้ในการหาพื้นที่ที่เกิดการหลุดลอกได้ดี และมีความผิดพลาดน้อยกว่าวิธีประเมินด้วยสายตา

2.3.4.2 <u>วิธีการตรวจนับด้วยเครื่องมือกล</u> (Mechanical Integration Method)

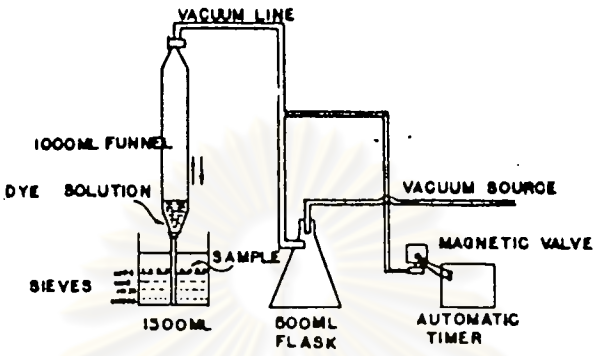
วิธีการนี้เป็นการวัดพื้นที่ที่เกิดการหลุดลอกของมวลรวม โดยใช้เครื่องมืออัตตโนมัติ (30) ดังแสดงตามรูปที่ 2.11 ซึ่งประกอบด้วยมอเตอร์ ที่ทำหน้าที่หมุนตัวอย่างให้สามารถมองเห็นได้ทุกด้าน โดยการมองผ่านกล้องขยายกำลังต่ำ (Low-powered Microscope) และใช้วงจรไฟฟ้าในการนับเมื่อพบพื้นที่ที่มีหรือไม่มียางแอสฟัลต์เคลือบอย่างใดอย่างหนึ่ง โดยใช้วิธีกดปุ่มรวมจำนวนครั้งที่พบ แล้วคำนวณหาการหลุดลอกคิดเป็นร้อยละ

2.3.4.3 <u>การใช้เทคนิคจากเครื่องตรวจจับกัมมันตภาพรังสี</u> (Radioactive Isotope Tracer Technique)

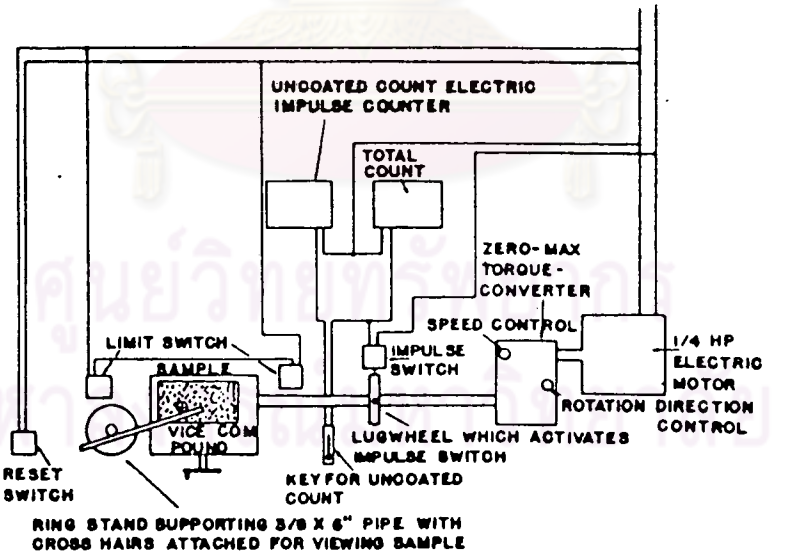
การหลุดลอกของยางแอสฟัลต์ สามารถหาได้จากการใช้เครื่องตรวจจับกัมมันตภาพรังสี (Radioactive Tracer) (7) โดยมวลรวมจะถูกเคลือบด้วยสารแคลเซียมคลอไรด์ที่สามารถส่งกัมมันตรังสีได้ แล้วจึงเคลือบด้วยยางแอสฟัลต์อีกครั้งหนึ่ง จึงนำไปแช่น้ำเพื่อทดสอบการหลุดลอกเมื่อมีการหลุดลอกเกิดขึ้น สารแคลเซียมคลอไรด์จะถูกชะออกมา ซึ่งสามารถใช้เครื่องตรวจจับกัมมันตภาพรังสี จับหาปริมาณสารกัมมันตรังสีในน้ำได้ แต่วิธีการนี้ไม่นิยมใช้กัน เพราะแคลเซียมคลอไรด์อาจมีผลทำให้ผิวของมวลรวมเกิดการเปลี่ยนแปลง อีกทั้งยังเป็นอันตรายต่อร่างกายด้วย

2.3.4.4 <u>วิธีการตรวจสอบจากปริมาณเกลือ</u> (Tracer-Salt Method)(7)

การทดสอบนี้ดัดแปลงมาจากเทคนิคเครื่องตรวจจับกัมมันตรังสี กล่าวคือวิธีนี้จะนำมวลรวมมาย้อมด้วยสารละลายของเกลือลิเธียมคลอไรด์ ที่มีความเข้มข้นของลิเธียม



รูปที่ 2.10 วงจรการย้อม



รูปที่ 2.11 ฝังการตรวจนับด้วยเครื่องมือกล

250 ppm แล้วอบตัวอย่างให้แห้ง จากนั้นวางผึ่งไว้เหนือน้ำ แล้วจึงแบ่งมวลรวมที่ชุบสารละลายโซเดียมคลอไรด์นั้นมาจำนวน 90 กรัม นำมาเคลือบด้วยยางแอล่ฟัลต์ แล้วบ่มทิ้งไว้ก่อนนำไปแช่ในน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ที่มีอุณหภูมิ 77^0 ฟ นาน 20 ชั่วโมง เพื่อคำนวณหาปริมาณของเกลือโซเดียมคลอไรด์ ที่ถูกน้ำชะออกมา เนื่องจากเกิดการหลุดลอกของยางแอล่ฟัลต์ โดยวิธีการเทียบแสงจากเปลวไฟ (Flame Photometer) ซึ่งผลที่ได้นี้สามารถนำไปคำนวณหาค่าการหลุดลอกของยางแอล่ฟัลต์เป็นร้อยละได้

สำหรับเครื่องเทียบแสงเปลวไฟนั้น เป็นเครื่องมือที่อาศัยหลักของการทำให้สารละลายฟุ้งกระจายเป็นไอร้อน เมื่อถูกเปลวไฟของอเซ็ททีลีน และออกซิเจน (Atomizing an Unknown Solution in an Acetylene Oxygen Flame) แล้วเปล่งแสงที่มีคลื่นแสงเฉพาะตัวออกมา ความเข้มข้นของแสงที่เปล่งออกมานี้จะถูกวัดโดยการเปรียบเทียบกับแสงที่ได้จากสารละลายมาตรฐาน

Brown et al (1958) พบว่าค่าของการหลุดลอกที่ได้จากการทดลองนี้จะมากกว่าค่าที่ได้จากการทดลองอื่น ๆ ที่ประเมินค่าด้วยสายตา ทั้งนี้เขาได้สันนิษฐานว่า โซเดียมที่อยู่ในน้ำนี้ไม่เพียงแต่จะถูกน้ำชะออกมาจากบริเวณที่เกิดการหลุดลอกของยางแอล่ฟัลต์แล้วเท่านั้น แต่อาจมีโซเดียมบางส่วนที่ซึมออกมาจากบริเวณที่ไม่เกิดการหลุดลอกของแอล่ฟัลต์รวมอยู่ด้วย แต่อย่างไรก็ตามข้อสันนิษฐานนี้ยังไม่มีการพิสูจน์ว่าเป็นจริง และนอกจากนี้เกลือที่เคลือบอยู่ที่ผิวมวลรวมอาจเป็นสาเหตุที่ช่วยให้เกิดการหลุดลอกได้มากขึ้น

2.3.4.5 <u>วิธีการสะท้อนแสง</u> (Light-Reflection Method) วิธีนี้ใช้ปริมาณของแสงที่สะท้อนจากผิวมวลรวม เป็นตัววัดค่าการหลุดลอกของยางแอล่ฟัลต์(7) โดยแสงที่สะท้อนจะไปตกบนโฟโตอิเล็คติคเซล (Photoelectric Cell) มากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับสภาพผิว สี และความหยาบละเอียดของผิวมวลรวม (Texture) เป็นสำคัญ