หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี และผลงานในอดีต

ในการออกแบบชั้นพื้นทาง หรือชั้นผิวทาง วัสดุที่นำมาใช้ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นส่วนผสมของวัสดุมวลรวม (Aggregate) กับยางมะตอย (Asphalt) เมื่อทำเอาส่วนผสมที่ได้นี้ไปทำการบดอัด ถ้าหากว่าอัตราส่วนผสมของทั้งวัสดุมวลรวมและยางมะตอยดีแล้ว จะทำให้ยางมะตอยแทรกเข้าไปในช่องว่างของวัสดุมวลรวมเป็นแบบ Partially filled คือมียางมะตอยบางส่วน และมีส่วนที่เป็นอากาศ (Air space) รวมอยู่ด้วย ซึ่ง Air space นี้เป็นส่วนสำคัญ เนื่องจากว่า เมื่อยางมะตอยได้รับความร้อนจะมีการขยายตัวแทรกไปตามช่องว่างที่มีอยู่ ถ้าเตรียม Air space ไว้ไม่พอ จะทำให้เกิดการเยิ้มตัว (Bleeding) ของยางมะตอยขึ้นมาบนผิวหน้า จะทำให้ลื่นในเวลาฝนตก และอีกกรณีหนึ่งก็คือ ปริมาณของยางมะตอยมากเกินไป จะทำให้วัสดุมวลรวมลอยอยู่ในยาง เมื่อรับน้ำหนักเนื่องจากการจราจรก็จะทำให้เกิดการยุบตัวลง เกิด Bleeding ขึ้นมาเช่นเดียวกัน

สำหรับส่วนผสมแอสฟัลท์ (Asphalt Mix) ที่ดีนั้นจะต้องมีค่าเสถียรภาพ (Stability) เพียงพอสามารถทนต่อแรงกดของน้ำหนักล้อที่มากระทำโดยไม่เสียรูปทรง มีความสามารถทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศต่าง ๆ และทนต่อการลื่นไถล (Skidding Resistance) ได้ดี ซึ่งจะต้องใช้วัสดุมวลรวมที่มีเหลี่ยมหรือแง่มุมดี รวมทั้งอัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมซึ่งมีการเรียงขนาดต่าง ๆ กัน กับยางมะตอยที่ใช้อย่างเหมาะสม

2.1 วัสดุมวลรวม (Aggregate)

วัสดุมวลรวมที่นำมาใช้ในในส่วนผสมแอสฟัลท์ จะมีอยู่ประมาณ 80 เปอร์เซนต์ ของปริมาตรส่วนผสมทั้งหมด ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

ก. วัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) หมายถึง ส่วนที่ค้างตะแกรงเบอร์ 8 (2.38 มม.) เสถียรภาพของส่วนผสมแอสฟัลท์ ได้จากการยัดกัน (Inter lock) ของมวลรวมหยาบ และแรงเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุในการเคลื่อนตัว

ข. วัสดุมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) หมายถึง ส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 200 มวลรวมละเอียดเป็นส่วนที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับส่วนผสมแอสฟัลท์ โดยการขัดกันของเม็ดวัสดุ ในขณะเดียวกันมวลรวมละเอียดจะทำหน้าที่ลดช่องว่าง (Void) ในมวลรวมหยาบด้วย

ค. ฝุ่น (Filler) หมายถึง ส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ฝุ่นจะทำหน้าที่อุดช่องว่างในส่วนผสม และเป็นตัวเพิ่มความแข็งแรงให้กับยางที่เคลือบวัสดุมวลรวมด้วย

ในมวลรวมคละที่ผสมกันอยู่จะต้องมีขนาด (size), การเรียงขนาด (Gradation) ที่ดี, มีความเหนียวและแข็งแรง (Tough and Strong), ลักษณะรูปร่างของหิน (Particle Shape) ดี, ความพรุนต่ำ (Low Porosity) มีผิวที่สะอาด และขรุขระ (Rough), ลักษณะเนื้อผิว (Surface Texture) และการเคลือบที่ดี

สำหรับขนาดและการจัดเรียงขนาด (Size and Gradation) จะถูกกำหนดโดยขนาดของตะแกรงที่วัสดุมวลรวมลอดผ่านหมด ในการกำหนดขนาดและการเรียงขนาดจะกำหนดให้แต่ละลักษณะงานที่จะทำ การเรียงขนาดแบบแน่น (Dense Grade) จะใช้กับงานผิวทาง (Surface Course) ส่วนงานพื้นทาง (Base Course) จะใช้วัสดุมวลรวมที่มีขนาดใหญ่ปนอยู่ ในลักษณะของ Open Grade ซึ่งช่องว่างของการเรียงแบบนี้จะมีมาก จึงต้องใช้หินฝุ่น (Filler) เข้าไปช่วย เพื่อลดช่องว่างและปริมาณยางมะตอยที่ใช้

ความเหนียวและความแข็งแรง (Toughness and Strength) ในระหว่างการผสม การขนถ่าย และการบดอัด ส่วนผสมแอสฟัลท์นั้น วัสดุมวลรวมจะได้รับการย่อยและการขัดถูอยู่ตลอดเวลา ทำให้มีการลึกกร่อนเพิ่มขึ้น เมื่อหลังจากนำไปทำขั้นผิวทางหรือพื้นทางแล้ว วัสดุมวลรวมก็จะมีการลึกกร่อนต่อไปอีก เนื่องจากน้ำหนักของ บรรทุกของการจราจร (traffic loads) ดังนั้นวัสดุมวลรวมที่นำมาใช้จะต้องมีความสามารถต้านทานการบดย่อย (Crushing) และการแตกสลาย (Disintegration) ได้ ยิ่งวัสดุมวลรวมที่ใช้ทำผิวทางก็จำเป็นต้องมีความแข็งแรงมากกว่าวัสดุมวลรวมที่อยู่ชั้นล่างซึ่งจะต้องรับน้ำหนักบรรทุกโดยตรง ในการตรวจสอบความเหนียวและความแข็งแรงที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้แก่ วิธีการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการลึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบ โดยใช้ Los Angeles Machine การทดสอบนี้จะเกิดทั้งการกระแทก (Impact) และการขัดสี (Abrasion) คุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะใช้ทำชั้นผิวทาง

จะต้องมีค่าไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ และยั้นพื้นทางไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์

ลักษณะรูปร่างของหิน (Particle Shape) จะมีส่วนในความสามารถในการเทได้ของส่วนผสมลาดยาง และความสามารถในการบดอัดให้ได้ความหนาแน่นตามที่กำหนด วัสดุมวลรวมที่ดีจะต้องมีแง่มุมหรือเป็นเหลี่ยมดี จะมีการยัดกัน (Inter lock) เมื่อมีการบดอัด ซึ่งจะให้กำลังในส่วนผสมได้ดี ถ้านำเอาวัสดุมวลรวมที่มีก้อนกลมมาใช้จะต้องมีหน้าแตกไม่น้อยกว่า 40 เปอร์เซ็นต์ อย่างน้อยหนึ่งด้านของวัสดุมวลรวมที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4

ความพรุน (Porosity) ของวัสดุมวลรวมจะสามารถบอกได้ด้วยปริมาณน้ำที่มวลรวมนี้สามารถดูดซึมน้ำได้ ถ้ามีความพรุนมากเมื่อใช้ในส่วนผสมก็จะดูดซึมยางมะตอยเข้าไปมาก ทำให้ส่วนผสมแห้ง มีความเชื่อมแน่น (Cohesion) ลดลง ดังนั้นจึงมีการเพิ่มปริมาณยางมะตอยเป็นพิเศษ เพื่อที่จะชดเชยปริมาณยางมะตอยที่วัสดุมวลรวมดูดเข้าไป สำหรับวัสดุมวลรวมที่มีความพรุนต่ำจะมีการดูดซึมเฉพาะน้ำมันที่ประกอบอยู่ในยางมะตอย ทำให้เหลือแต่เนื้อยางบนผิวของวัสดุมวลรวม จะเกิดปัญหาการหลุดร่อน (Stripping) ของวัสดุมวลรวมออกจากยางมะตอย

ลักษณะเนื้อผิว (Surface Texture) ผิวของวัสดุมวลรวมที่ขรุขระ จะทำให้การรับแรงของวัสดุมวลรวมดี และมีการยึดเกาะกันกับยางมะตอยดีกว่าผิวของวัสดุมวลรวมที่เรียบ ซึ่งยางมะตอยสามารถเคลือบได้เป็นชั้นบาง ๆ (Film) กับวัสดุมวลรวมที่มีผิวขรุขระได้ดีกว่า ทำให้มีเสถียรภาพและความคงทน (Durability) สูง

การยึดเกาะของวัสดุมวลรวมกับยางมะตอยจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเคมีที่ผิววัสดุมวลรวม การหลุดร่อนจะเกิดขึ้นเมื่อมีการแยกตัวของยางมะตอยออกจากผิววัสดุมวลรวม เนื่องจากมีน้ำแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างยางมะตอยกับผิววัสดุมวลรวม มีการแบ่งวัสดุมวลรวมออกตามคุณสมบัติการยึดเกาะ ดังนี้

ก. Hydrophobic หมายถึง วัสดุมวลรวมที่เกาะกับยางมะตอยได้ดีกว่าน้ำ เช่น พวกหินปูน (Limestone), โคโลไมท์ (Dolomite) เป็นต้น เหตุที่มีการเกาะยึดกับยางมะตอยได้ดี เนื่องจากวัสดุมวลรวมชนิดนี้มีประจุที่ผิวเป็นบวก (Electro-Positive) ซึ่งจะผลักกับน้ำที่มีประจุบวกเช่นเดียวกัน

ข. Hydrophilic หมายถึง วัสดุมวลรวมที่เปียกน้ำง่ายกว่าการยึดเกาะกับยางมะตอย เนื่องจากว่าวัสดุมวลรวมชนิดนี้มีประจุที่ผิวเป็นลบ (Electro-Negative) วัสดุมวล-

รวมประเภทนี้อยู่ในจำพวกซิลิก้า เช่น ควอตไซท์ (Quartzite), มวลรวมของแกรไนท์ (Granites) เป็นต้น การใช้หินประเภทนี้ต้องระวังถึงเรื่องการหลุดร่อน

แต่ถ้าจำเป็นต้องใช้วัสดุมวลรวมที่ไม่เหมาะสมมาใช้งานแล้ว จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อพิจารณาแล้วว่า ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับโพรงอากาศ (Density-Void Relation-Ship) สัมพันธ์กันดีแล้ว การใช้ก็จะต้องปรับขนาดคละ (Gradation) โดยการรวม (Blending) เข้ากับวัสดุมวลรวมอื่น และเลือกปริมาณยางมะตอยให้พอเหมาะเพื่อลดปริมาณโพรง เมื่อบดอัดแน่นจะช่วยลดการซึมผ่านของน้ำกับความเสียหายได้

สำหรับวัสดุที่เคลือบผิว (Surface Coating) สิ่งที่เคลือบอยู่ที่ผิวของวัสดุมวลรวม เช่น ดินเหนียว (Clay), ซิลท์ (Silt), หินปูน (Calcium Carbonate) เป็นต้น มีความแข็งและหนาต่างกัน จำเป็นที่จะต้องตรวจสอบดูว่ามีเกินปริมาณที่กำหนดหรือไม่ วิธีที่ทดสอบจะใช้วิธี Sand Equivalent ถ้าหากว่ามีปริมาณเกินกำหนดจะมีผลทำให้เกิดการหลุดร่อน (Stripping) ของยางมะตอยออกจากวัสดุมวลรวมได้

2.2 ยางมะตอย (Asphalt)

ยางมะตอยที่ใช้ในงานก่อสร้างผิวทางทั่วไปมีอยู่หลายชนิด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน และสภาพดินฟ้าอากาศ จึงได้มีการแบ่งยางมะตอยออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ อยู่ 2 ประเภท ดังนี้

2.2.1 แอสฟัลท์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) มีลักษณะครึ่งอ่อนครึ่งแข็งที่อุณหภูมิปกติ มีสีดำ หรือสีน้ำตาลปนดำ จะหลอมเหลวเมื่อถูกความร้อน การนำไปใช้จะต้องต้มให้เหลวที่อุณหภูมิประมาณ 200 - 300° ฟ การแบ่งเกรดจะใช้การทดสอบด้วย Penetration Test ซึ่งมีเกรดมาตรฐานอยู่ 5 เกรด คือ 40-50, 60-70, 85-100, 120-150 และ 200-300 ตัวเลขของเกรดจะแสดงความอ่อนแข็งของแอสฟัลท์ เกรดอ่อนที่สุดคือ 200-300 จะแข็งพอประมาณที่อุณหภูมิปกติ เอามือกดเพียงเบา ๆ จะเป็นรอยบุ๋ม ส่วนเกรดแข็งที่สุดคือ 40-50 ถ้าเอานิ้วมือกดหนัก ๆ จะปรากฏแค่รอยนิ้วมือเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่อุณหภูมิปกติ การที่ผลิตออกมาหลายเกรดก็เนื่องจากว่า จะสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงาน และสภาพดินฟ้าอากาศ สำหรับส่วนผสมแอสฟัลท์ติก แอสฟัลท์ซีเมนต์ จะทำหน้าที่เป็นตัวประสานในขณะทำการบดอัด โดยที่แอสฟัลท์ซีเมนต์จะถูกทำให้เหลว มีความเหนียวเพียงพอ และหลังจากนั้นปล่อยให้เย็นตัวลง

แอสฟัลท์ซีเมนต์จะเคลือบวัสดุมวลรวม และจับตัวเข้าด้วยกันทำให้เกิดความแข็งแรง และทนทานขึ้น

2.2.2 แอสฟัลท์เหลว (Liquid Asphalt)

ในงานทำผิวทางเวลาจะใช้แอสฟัลท์จะต้องปั๊มแอสฟัลท์ผ่านท่อผสมกับวัสดุมวลรวม หรือพ่นผ่านปลายกระบอกฉีด (Nozzles) ดังนั้นจึงต้องทำให้แอสฟัลท์อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวเสียก่อน สำหรับแอสฟัลท์ซีเมนต์จะต้องให้ความร้อน แต่อย่างไรก็ตามยังมีวิธีที่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นของเหลวได้อีก ก็คือ นำเอาแอสฟัลท์ไปละลายในตัวทำละลาย (Solvent) แอสฟัลท์ที่ได้จะเรียกว่า Cutback Asphalts และอีกวิธีหนึ่งนำเอาแอสฟัลท์ผสมกับน้ำ แบบ Emulsion แอสฟัลท์ที่ได้เรียกว่า Emulsified Asphalts

2.2.2.1 Cutback Asphalts จะมีลักษณะเหลวในอุณหภูมิปกติ ทำได้โดยผสมแอสฟัลท์กับตัวทำละลาย (Solvents) ที่มีจุดเดือดต่ำ และจุดเดือดปานกลาง เช่น Naptha (Gasoline), Kerosene และ Diesel Oil เป็นต้น การใช้งานเมื่อทำการบดอัดแล้ว ตัวทำละลายจะระเหยเหลือแต่แอสฟัลท์ซีเมนต์ ทำหน้าที่ยึดเกาะวัสดุมวลรวมเข้าด้วยกัน ความข้นเหลวของ Cut back Asphalt จะขึ้นอยู่กับเกรดของแอสฟัลท์ซีเมนต์ ที่นำมาใช้กับชนิดของตัวทำละลาย เกรดของยางจะมีตั้งแต่ 0 ถึง 5 เกรด 0 จะแสดงว่ามีความเหลวมาก เพราะมีตัวทำละลายมากเกรด 5 จะมีความข้น เนื่องจากมีตัวทำละลายน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังมีการแบ่งตามอัตราการระเหยของตัวทำละลาย มี 3 ชนิด ดังนี้

ก) ชนิดแข็งตัวเร็ว (Rapid Curing, RC) ประกอบด้วยแอสฟัลท์ซีเมนต์กับตัวทำละลายที่ระเหยเร็ว ได้แก่ Neptha (Gasoline) แอสฟัลท์ชนิดนี้จะแข็งตัวเร็วเมื่อนำไปใช้งาน ส่วนมากใช้กับงาน Surface treatment

ข) ชนิดแข็งตัวเร็วปานกลาง (Medium Curing, MC) ประกอบด้วย แอสฟัลท์กับตัวทำละลายที่ระเหยเร็วปานกลาง ได้แก่ Kerosene จะมีการแข็งตัวช้ากว่าชนิด RC การใช้งานต้องใช้เวลาในการบ่มตัว (Curing) เช่นในการทำ Prime Coat, Tack Coat เพื่อที่จะให้มีโอกาสซึมลงไปได้

ค) ชนิดแข็งตัวช้า (Slow-Curing, SC) ประกอบด้วยแอสฟัลท์ซีเมนต์กับน้ำมันที่ระเหยช้า หรืออาจจะได้จากการกลั่นโดยตรง เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า

Road oils การใช้งานส่วนมากจะทำพวก Road Mix หรือใช้ในการซ่อม (Patching)

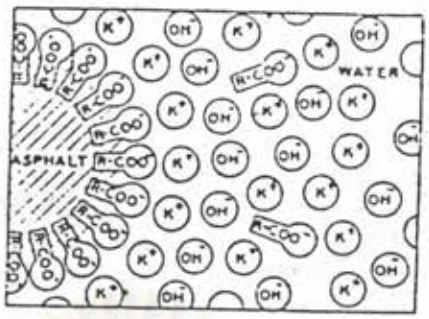
2.2.2.2 Emulsified Asphalt เกิดขึ้นจากการทำให้แอสฟัลท์ซีเมนต์ถูกตีให้แตกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ (Colloidal Particles) ซึ่งจะกระจายอยู่ในน้ำที่มี Emulsifier ผสมอยู่เล็กน้อยประมาณ 0.25 - 2.0 % โดยน้ำหนักและมีแอสฟัลท์ซีเมนต์ประมาณ 55 - 70 % นอกนั้นเป็นน้ำ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าส่วนประกอบหลักของ Emulsified Asphalt มีอยู่ 3 อย่าง คือ

ก) แอสฟัลท์ เป็นส่วนประกอบหลัก จะมีความข้นเหลวอยู่ระหว่าง 100 - 250 แอสฟัลท์นี้จะถูกนำเข้าไปในเครื่อง Colloid mill ซึ่งจะทำให้แอสฟัลท์ถูกตีให้แตกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ลอยตัวอยู่ในส่วนผสม

ข) น้ำ เป็นส่วนที่มีความสำคัญรองลงมา ดังนั้นน้ำที่ใช้จะต้องปราศจากสิ่งเจือปน โดยเฉพาะสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปสารละลายหรือแขวนลอยจะมีผลทำให้คุณสมบัติของยาง Emulsion เปลี่ยนแปลงไป

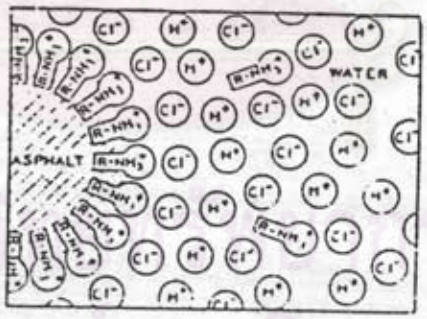
ค) Emulsifying Agent เป็นส่วนประกอบที่กำหนดคุณสมบัติของแอสฟัลท์อิมัลชั่น ซึ่งจะแบ่งเป็นชนิดที่มีประจุไฟฟ้าลบ (Anionic) ชนิดที่มีประจุไฟฟ้าบวก (Cationic) และชนิดที่เป็นกลาง (Nonionic) แต่ในงานก่อสร้างแล้วจะนิยมใช้ชนิดที่มีประจุบวกและประจุลบ สำหรับคุณสมบัติของตัว Emulsifying Agent คือจะช่วยให้อนุภาคแอสฟัลท์ ลอยอยู่ในน้ำได้โดยไม่รวมตัวกัน จะแตกตัวตามเวลาที่ต้องการ

สำหรับ Emulsifying Agent ที่ให้ประจุลบนั้นส่วนใหญ่จะเป็นพวก Fatty Acid เช่น ลิกนิน (Lignins), tall oil และ Resin เมื่อทำปฏิกริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) จะกลายเป็นสบู่ (Soap) บางส่วนจะทำปฏิกริยากับกรดในแอสฟัลท์เกิดเป็นกลางขึ้น ถ้านำไปผสมน้ำและแอสฟัลท์ Emulsifying Agent นี้จะไปเกาะรอบ ๆ อนุภาคแอสฟัลท์ จะแสดงประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นประจุลบ และดึงเอาประจุบวกของโซเดียม และโปแตสเซียมไว้รอบ ๆ จะเหลือแต่โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เรียกแอสฟัลท์ชนิดนี้ตามประจุที่แสดงออกเป็น Anionic ซึ่งถ้าทดสอบคุณสมบัติความเป็นกรด-ด่างจะพบว่า มีความเป็นด่าง ดังรูป



รูปที่ 2.1 แสดงประจุของ Emulsified Asphalt-Anionic Emulsion

ส่วน Emulsifying Agent ที่ให้ประจุบวกก็จะเป็นพวก Fatty Amines (diamines, Imidazolines, Amidoamines) เมื่อทำปฏิกริยากับกรด ก็จะกลายเป็นสบู่เช่นเดียวกันเมื่อนำไปละลายน้ำจะแสดงประจุไฟฟ้าบวก โดยจะเกาะอยู่ที่ผิวของอนุภาคแอสฟัลท์ และดึงอนุภาคที่มีประจุลบไว้รอบ ๆ จะมีไฮโดรเจนไอออนเหลืออยู่ เรียกแอสฟัลท์ชนิดนี้ตามประจุที่แสดงออกเป็น Cationic ซึ่งถ้าทดสอบคุณสมบัติความเป็นกรด-ด่างจะพบว่า มีความเป็นกรดดังรูป



รูปที่ 2.2 แสดงประจุของ Emulsified Asphalt-Cationic Emulsion

สำหรับยางมะตอยน้ำ ถ้าจะแบ่งตามการแตกตัว (Breaking) และการบ่มตัว (Curing) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอัตราการระเหยของน้ำออกจากอีมัลชั่น มีการแบ่งดังนี้

ก) ชนิดแตกตัวเร็ว (Rapid-Setting, RS) จะมีความไวเมื่อสัมผัสกับวัสดุมวลรวม และเปลี่ยนสภาพเป็นแอสฟัลท์ยีเมนต์ได้เร็ว จะทำการเคลือบทันทีหลังจากที่น้ำ

ที่ผสมอยู่ระเหยไป ซึ่งเกิดจากการดูดซึมและการบดอัด ยางมะตอยน้ำยาชนิดนี้จะมีทั้งประจุบวกและประจุลบ ส่วนใหญ่จะใช้ในงาน Surface treatment ที่ใช้กันอยู่มี RS-2 และ CRS-2 ซึ่งจะมีความหนืดสูงสามารถป้องกันการไหลของยางออกจากผิวทางได้

ข) ชนิดแตกตัวเร็วปานกลาง (Medium-Setting, MS) จะไม่แตกตัวทันทีที่สัมผัสกับผิวหิน จะใช้เวลาประมาณ 2-3 นาที การที่แอสฟัลท์จะเคลือบหินได้ดีนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราการระเหยและการดูดซึมของวัสดุมวลรวม นอกจากนี้วัสดุมวลรวมที่ใช้จะต้องมีความชื้นเพียงพอ เพื่อที่จะช่วยในการผสมและการเคลือบแอสฟัลท์ของวัสดุมวลรวมได้ดีขึ้น ที่ใช้กันอยู่มี CMS, MS แต่ปัจจุบันมีการเพิ่มชนิดของยางเข้าไปอีก เรียกว่า High Float ซึ่งจะมีประจุลบอย่างเดียว มี HFMS-1, HFMS-2, HFMS-2h

ค) ชนิดแตกตัวช้า (Slow-Setting, SS) จะใช้เวลาแตกตัวนานเมื่อสัมผัสกับผิววัสดุมวลรวม สามารถใช้กับมวลรวมคละที่มีการเรียงขนาดดี เมื่อเติมน้ำจะทำให้ความหนืดลดลง สามารถนำไปทำ tack coat หรือพ่นกำจัดฝุ่น แต่ถ้าจะเร่งอัตราการแตกตัวก็เติมปูนซีเมนต์หรือปูนขาวลงไป

ชนิดและเกรดของยางมะตอยน้ำ กำหนดตาม AASHTO และ ASTM มีดังนี้

ชนิดที่มีประจุลบ	ชนิดที่มีประจุบวก
RS - 1	CRS - 1
RS - 2	CRS - 2
MS - 1	
MS - 2	CMS - 2
MS - 2h	CMS - 2h
HFMS - 1	
HFMS - 2	
HFMS - 2h	
SS - 1	CSS - 1
SS - 1h	CSS - 1h

หมายเหตุ HF (high-Float) มีเฉพาะเกรดแตกตัวเร็วปานกลาง สามารถวัดได้ โดยวิธี Float Test

h หมายถึงใช้แอสฟัลท์เกรดที่แข็งกว่าธรรมดามาใช้ผลิตอีมัลชั่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 วัสดุที่ทดลอง

วัสดุที่จะนำมาใช้ทำพื้นทางหรือผิวทาง ส่วนใหญ่จะใช้วัสดุมวลรวมผสมกับยางมะตอย ซึ่งมีการผสมอยู่ 2 แบบคือ การผสมแบบร้อน (Hot Mix) ซึ่งจะใช้ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์เป็นส่วนใหญ่ และการผสมแบบเย็น (Cold Mix) ใช้ยางแอสฟัลท์เหลวในการผสม สำหรับการใช้งานที่ผ่านมา มักจะใช้ส่วนผสมที่ใช้ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์เป็นส่วนใหญ่ และใช้ในงานทุกภูมิภาคของประเทศ เมื่อส่วนผสมเหล่านี้ถูกใช้ทำผิวทางซึ่งได้รับการกระทำจากน้ำหนักของล้อยวดยานอยู่ตลอดเวลา และสภาพของอากาศมีร้อนบ้าง เย็นบ้าง หรือฝนตกชุก ส่วนผสมเหล่านี้จะเกิดปัญหาอายุในการใช้งาน เนื่องจากว่าคุณสมบัติบางอย่างผิดไปจากสภาพเดิม ทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนัก และความทนทานลดน้อยลง แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาคุณสมบัติต่าง ๆ ของยางมะตอยให้มีความสามารถในการใช้งานได้ดีกว่าที่เป็นอยู่ ซึ่งในการปรับปรุงนี้จะดูถึงสภาพการใช้งานจริงในทางปฏิบัติเป็นหลัก โดยเฉพาะความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature Susceptibility) ซึ่งจะเป็นตัวบอกถึงความแตกต่างของยางมะตอยที่ใช้อยู่สำหรับในการก่อสร้างแล้ว ต้องการยางมะตอยที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Susceptibility) คือยางมะตอยจะต้องไม่แข็งตัวมากในอุณหภูมิต่ำ และจะต้องอ่อนตัวน้อยในขณะอุณหภูมิสูง ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิ (Thermal Crack) ก็จะลดน้อยลง สำหรับยางมะตอยที่ใช้กันอยู่ปัจจุบันจะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูง จึงได้มีการปรับปรุงส่วนผสมต่าง ๆ ให้มีความสามารถในการใช้งานได้ดีขึ้น โดยเฉพาะยางมะตอยน้ำ (Emulsified Asphalt) ซึ่งจะใช้การผสมแบบผสมเย็น (Cold Mix) มีข้อได้เปรียบกว่ายางชนิดอื่น ดังนี้

ก. สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากยางมะตอยน้ำมีความเหลวพอดี ที่จะใช้กับงานก่อสร้างได้ทันที โดยไม่ต้องให้ความร้อน ทำให้ประหยัดเวลาในการทำงานและประหยัดเชื้อเพลิง นอกจากนี้ยังสามารถผสมแบบ Hot Mix ได้อีกด้วย

ข. ยางมะตอยน้ำ สามารถราดลงบนหิน, กรวด, ทราย หรือพื้นที่เปียกชื้นได้ โดยมิต้องรอให้แห้ง อย่างเช่น คัทแบคแอสฟัลท์ (Cutback Asphalt) หรือแอสฟัลท์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) แอสฟัลท์ในยางมะตอยน้ำจะติดแน่นกับวัสดุมวลรวมได้ดี ดังนั้นจึงสามารถใช้งานได้ในที่มีสภาพฝนตกได้

ค. ไม่มีการเกิดอุบัติเหตุ เนื่องจากการลุกไหม้เครื่องจักร เมื่อให้ความร้อนเกินกำหนด (จุดวาบไฟ) ซึ่งยางมะตอยน้ำมีน้ำเป็นส่วนประกอบจึงไม่ติดไฟ

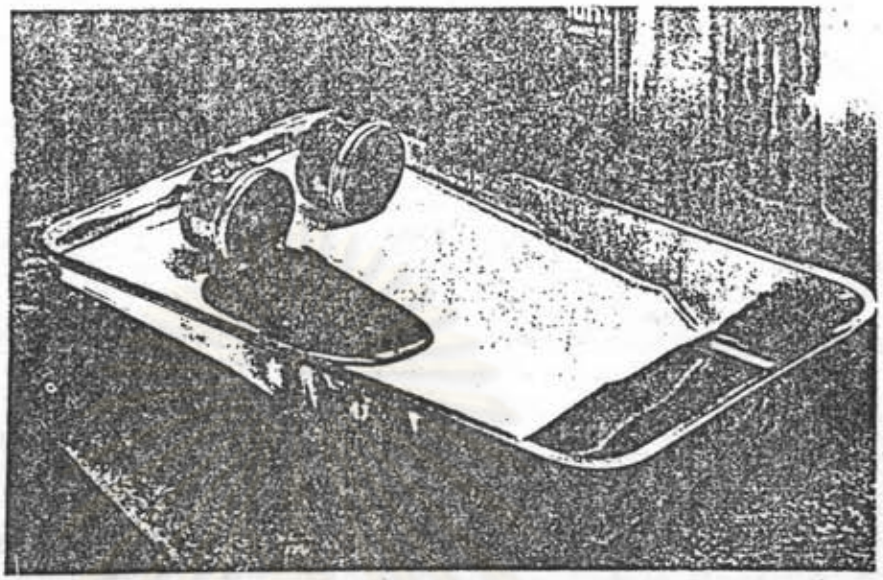
011968

ง. เป็นการประหยัดน้ำมันที่ใช้เป็นตัวทำละลาย เพราะยางมะตอยน้ำส่วนใหญ่แล้วจะมีน้ำมันผสมอยู่ไม่เกิน 8 % ไม่เหมือนกับพวกคัทแบคแอสฟัลท์ ที่ใช้น้ำมันเป็นตัวทำละลาย

จ. ไม่ทำให้อากาศเป็นพิษ เพราะยางมะตอยน้ำมีแต่การระเหยของน้ำออกจากส่วนผสมเท่านั้น

จากข้อได้เปรียบเหล่านี้ ยางมะตอยน้ำจึงมีความสะดวกในการใช้งาน นอกจากนี้ยังได้มีการผลิตยางมะตอยน้ำชนิดใหม่ ๆ ขึ้นมา ยางมะตอยน้ำประเภทไฮโฟลต (High Float Emulsified Asphalt, HFMS) ก็เป็นชนิดหนึ่งที่ได้ผลิตขึ้น และมีการปรับปรุงส่วนผสมต่าง ๆ ยางชนิดนี้จัดอยู่ในประเภท แอนไอออนิค (Anionic Asphalt Emulsion) ที่ผลิตมาจากยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ เช่นเดียวกับยางมะตอยน้ำชนิดอื่น ๆ ได้รับการปรับปรุงคุณสมบัติของเนื้อยาง (Residue) ให้มีคุณสมบัติดีขึ้นกว่ายางมะตอยน้ำชนิดอื่น และยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ พอที่จะสรุปได้ดังนี้

ก. การไหลต่ำ (High Resistance to Flow) เนื้อยางของยางมะตอยน้ำประเภทไฮโฟลต จะมีการไหลต่ำกว่ายางแอสฟัลท์ซีเมนต์ ในขณะที่ตัวเนื้อยางมีค่าเพนนีเตรชั่น (Penetration) สูง แต่ก็สามารถต้านทานการไหล (Flow) ได้ดี หรืออาจจะกล่าวได้ว่ายางชนิดนี้มีการไหลเป็นแบบ Non-Newtonian คือจะไม่ไหลตามแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจะต่างจากกับยางมะตอยชนิดอื่น ๆ ที่มีการไหลแบบ Newtonian หรือตามแรงโน้มถ่วงของโลก มีการทดลองแบบง่าย ๆ โดยนำเอาเนื้อยางมะตอยน้ำชนิดไฮโฟลต (HFMS) และยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ (AC) มาใส่ในกระป๋อง แล้ววางตะแคงบนพื้นเอียง (ตามรูปที่ 2.3) เมื่อเวลาผ่านไป 12 ชม. ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ ซึ่งมีการไหลแบบ Newtonian จะไหลออกมา ส่วนยางมะตอยน้ำชนิดไฮโฟลตก็จะยังค้างอยู่ในกระป๋อง ที่เป็นเช่นนี้ก็เนื่องจากว่าค่า Yield Stress ที่อยู่ในยาง HFMS มีค่าสูงกว่าค่าแรงโน้มถ่วงของโลก หรือว่ามีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านความอ่อนแข็งน้อยมากเมื่อเทียบกับยางมะตอยชนิดอื่น



(5)
. Flow of Bituminous Materials.
An Asphalt Cement with Newtonian Flow Behavior (L.H. Container)
Can Be Changed Into a Non-Newtonian Bitumen (R.H. Container)
by the Proper Emulsification Process.

รูปที่ 2.3 แสดงการไหลของยางมะตอยแบบ Newtonian และ Non-Newtonian (กระป๋องซ้ายเป็นยาง A.C, กระป๋องขวาเป็นยาง HFMS)

ข. ยางมะตอยน้ำประเภทไฮโฟลต จะมีการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิต่ำ กล่าวคือ มีความไวต่ออุณหภูมิต่ำ จะไม่แข็งตัวมากในขณะที่มีอุณหภูมิต่ำ และจะอ่อนตัวน้อยในขณะที่อุณหภูมิสูง จากคุณสมบัติที่มีต่ออุณหภูมินี้ จะเห็นได้ว่าจะเหมาะกับการนำไปใช้งานในสนาม และจะมีสภาพทนทานได้ดีกว่ายางมะตอยชนิดอื่น โดยเมื่อนำไปทำผิวทางหรือผิวทาง ค่าความแข็งแรงก็สูงเพียงพอ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงจะมีการอ่อนตัวไม่มาก และจะทำให้ไม่มีการไหลเยิ้ม (Bleeding) หรือความเสียหายอย่างอื่น นอกจากนี้ยังสามารถเคลือบผิวของวัสดุมวลรวมได้เป็นฟิล์มที่หนา ป้องกันการหลุดร่อนได้ดี

ค. ยาง HFMS นี้ มีอายุในการใช้งานได้ยาวนานกว่า (long term durability) ซึ่งสืบเนื่องมาจากความสามารถในการทนทานต่ออุณหภูมิสูง ๆ หรือต่ำ ๆ ได้ โดยมีการเปลี่ยนแปลงสภาพน้อยมาก ดังนั้นอายุของยางมะตอยน้ำประเภทไฮโฟลตจึงยาวนานกว่ายางชนิดอื่น

๔. สามารถทำงานได้สะดวก ทำได้ทั้งแบบผสมร้อน และแบบผสมเย็น ใช้งานได้ทันทีหรือทำเป็น Stockpile เก็บไว้ได้นานหลายเดือน

สำหรับในประเทศไทยแล้ว ยางมะตอยน้ำประเภทไฮโฟลต เป็นยางชนิดใหม่ที่มีการใช้งานกันยังไม่กว้างขวางนัก มีการผลิตขึ้นภายในประเทศ โดยยึดถือคุณสมบัติตาม ASTM D977 จากคุณสมบัติที่กล่าวมาแล้ว เมื่อนำไปใช้งานในสนามจริง ๆ พฤติกรรมที่เกิดขึ้นในระหว่างการใช้งาน ความแข็งแรง และการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิ เราไม่สามารถทำนายได้ เนื่องจากยังไม่มีการทดลองเกี่ยวกับคุณสมบัตินี้ของยาง HFMS ในการใช้งานจริง ๆ จะได้รับน้ำหนักจากปริมาณการจราจรอยู่ตลอดเวลา ถ้าวัสดุมีความแข็งแรงไม่เพียงพอก็จะเกิดความเสียหายได้ง่าย ดังนั้นจึงทำการทดสอบหาคุณสมบัติทางไดนามิก (Dynamic) ของยางชนิดนี้ โดยใช้น้ำหนักกระทำซ้ำ เปรียบเทียบกับยางมะตอยน้ำประเภทมีเดียมเซ็ตติง (Medium Setting Emulsified Asphalt) ซึ่งเป็นยางมะตอยน้ำประเภทแตกตัวเร็วปานกลางเหมือนกัน แต่ยางมะตอยน้ำประเภทมีเดียมเซ็ตติง (MS) เป็นยางที่ใช้กันมานานแล้ว มีความสามารถในการเคลือบกับวัสดุมวลรวมได้ดีทั้งชื้นและแห้ง แต่ถ้าเปียกมาก ๆ จะเกิดการหลุดร่อน ค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ Resilient Modulus (Mr) ซึ่งจะเป็นตัวบอกถึงความแข็งแรงของวัสดุประเภทนี้โดยตรง การเปรียบเทียบจะดูถึงความแข็งแรง (Mr) ของยางแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน เพื่อตรวจสอบว่ายาง HFMS จะมีคุณสมบัติตรงตามข้อกำหนด และจะสามารถนำไปใช้งานได้ดีเพียงใด

สำหรับวัสดุมวลรวมที่ใช้ จะต้องเลือกให้เหมาะสมกับยามมะตอยน้ำที่ใช้ เนื่องจากว่ายางมะตอยน้ำจะมีทั้งประจุบวกและประจุลบ ซึ่งในขณะเดียวกันวัสดุมวลรวมก็มีประจุบวกหรือลบอยู่ที่ผิวเช่นกัน ในการทดสอบต่อไปนี้ ยางที่ใช้เป็นยางมะตอยน้ำประเภทไฮโฟลต (HFMS) และมีเดียมเซ็ตติง (MS) ซึ่งเป็นประเภทแอนไอออนิค มีประจุลบ จึงต้องเลือกวัสดุมวลรวมประเภท Hydrophobic ซึ่งแสดงประจุบวกที่ผิววัสดุมวลรวม เมื่อผสมกันแล้วจะเกิดการดูดกันของประจุบวกและประจุลบ ทำให้ยางสามารถเคลือบได้ดีกับวัสดุมวลรวม

วิธีการที่ใช้ในการผสมจะใช้แบบวิธีผสมเย็น (Cold Mix) ซึ่งจะเหมาะสำหรับยางมะตอยน้ำ สำหรับการบดอัดจะใช้ตามวิธีมาร์แฮล (Marshall Method) โดยบดอัด

75 ครั้งต่อด้าน ของตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 2.5 นิ้ว

2.4 Resilient Modulus (Stiffness Modulus)

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า ค่า Modulus of elasticity เป็นค่าคงที่สำหรับวัสดุที่ค่อนข้างจะแข็งเกร็ง (Rigid) เช่น เหล็ก หรือคอนกรีต เป็นต้น ซึ่งสามารถหาได้ทั้งแรงอัดและแรงดึง จะพบว่า

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\text{stress}}{\text{strain}} = \frac{\text{force/area of cross section}}{\text{elongation/initial length}}$$

ในปี ค.ศ. 1954 Van der Poel[13] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของส่วนผสมบิทูมินัส พบว่าค่าคงที่ที่เกิดขึ้นสำหรับส่วนผสมบิทูมินัสนี้ จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และเวลาในการ loading (หรือความถี่) เรียกค่าคงที่นี้ว่า Stiffness Modulus หรือ Resilient Modulus ซึ่งสามารถหาได้จากการทดลอง Repeated-load Triaxial Compression Tests เป็นอัตราส่วนของน้ำหนักที่กด ต่อการยืดหดตัวตามแนวแกนที่อุณหภูมิและความถี่หนึ่ง ๆ ดังนั้น

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_R}$$

เมื่อ M_R = resilient modulus, psi

σ_d = deviator stress, psi

ε_R = resilient axial strain, in/in

$\sigma_d = \sigma_1 - \sigma_3$

σ_1 = total axial stress, psi

σ_3 = Confining pressure, psi

เครื่องมือที่ใช้ในการหาค่า Mr จะใช้แบบ triaxial ซึ่งสามารถปรับความดันด้านข้าง (σ_3) ได้ และน้ำหนักที่ใช้ในการ loading เป็นน้ำหนักกระทำซ้ำ (Repeated load) ลักษณะของน้ำหนักที่ใช้จะอยู่ในรูป sinu soidal haversine wave โดยเมื่อคิดเป็นเวลาในการ loading แล้วจะมีค่าเท่ากับ 0.1 วินาที และเวลาที่ปล่อยน้ำหนักจะอยู่

ระหว่าง 0 - 3.0 วินาที ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองได้มีการกำหนดอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลางจะต้องอยู่ในช่วง 1.75 - 2.00 ซึ่งตามมาตรฐานจะใช้ขนาดของตัวอย่างมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว (10.16 ซม.) และความสูง 8 นิ้ว (20.32 ซม.) จำนวนรอบในการกระทำซ้ำจะใช้ 200 รอบ[3]

สำหรับส่วนผสมที่ใช้ในการทำพื้นทาง หรือมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับความดันรอบข้าง (Confining Pressure) ได้มีการศึกษาและให้ความสัมพันธ์ของค่า Mr กับความดันรอบข้าง ซึ่งอยู่ในรูป bulk stress (ผลบวกของ principle stress) ดังนี้

$$Mr = k\theta^n$$

เมื่อ θ = bulk stress (ผลบวกของ Principle stress, $\sigma_1 + 2\sigma_3$), psi

k, n = ค่าคงที่ได้จากการทดลอง

ความสัมพันธ์นี้ หาได้จากการทดลอง โดยใช้วิธีหาแบบ Linear Regression จากรูปของสมการนี้จะนำมา plot บน log-log สเกล สำหรับค่า Mr ที่ได้จะอยู่ในเงื่อนไขในการทดลองหลายอย่าง เริ่มตั้งแต่ชนิดของวัสดุมวลรวม, การจัดเรียงขนาด, การบดอัดตัวอย่างอายุในการ Curing และอุณหภูมิในการทดลอง

สำหรับการทดลองที่เกี่ยวกับอุณหภูมิ เราสามารถดูถึงความไวของยางมะตอยที่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิได้อย่างชัดเจน กล่าวคือ ในที่อุณหภูมิต่ำ ค่า Mr ที่ได้จะมีค่าสูง เนื่องจากยางยังจะมีแรงยึดเกาะกับวัสดุมวลรวมได้ดี แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นความหนืด (Viscosity) ของยางมะตอยจะมีน้อยลงทำให้แรงยึดเหนี่ยวกับวัสดุมวลรวมมีค่าลดน้อยลงด้วย ทำให้ค่า Mr ต่ำ

2.6 ผลงานวิจัยในอดีต

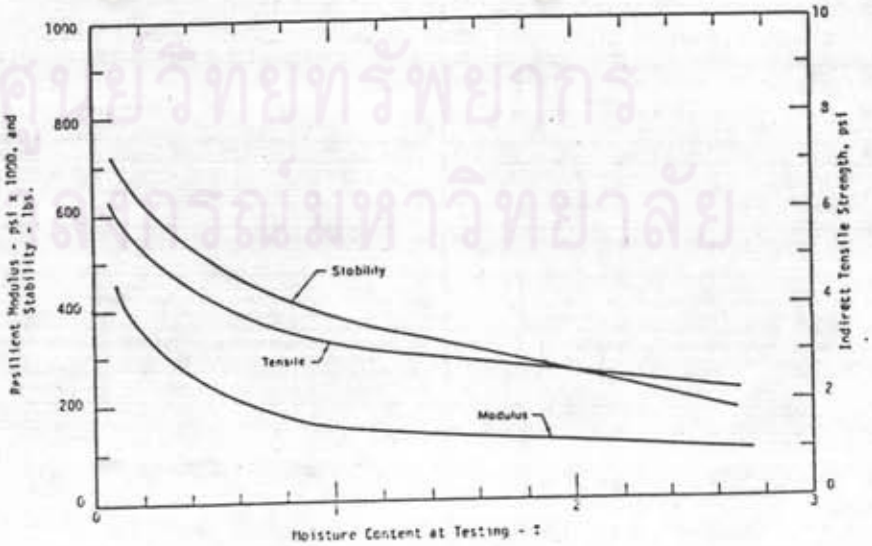
สำหรับยางมะตอยน้ำที่ใช้วิธีการผสมแบบผสมเย็น (Cold Mix) ได้มีการศึกษากันมานานแล้ว การผสมก็ไม่ยุ่งยากเท่ากับวิธีผสมร้อน แต่จะมีผลกระทบทางด้านกำลังและอายุการใช้งานได้หลายอย่าง อาจจะเป็นปริมาณน้ำที่ใช้บดอัด, ปริมาณยางที่ใช้ หรืออายุในการบ่ม (Curing) เป็นต้น สิ่งเหล่านี้จะทำให้คุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลท์นี้เปลี่ยนแปลงได้ และเมื่อนำไปใช้ทำชั้นพื้นทางหรือผิวทาง ซึ่งจะได้รับน้ำหนักกระทำจากล้อของยวดยานอยู่ตลอดเวลา ก็

ควรที่จะต้องใช้วัสดุที่มีความแข็งแรงเพียงพอ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า โครงสร้างของส่วนต่าง ๆ ของถนน จะใช้คุณสมบัติของส่วนผสมแอสฟัลท์ในช่วงที่เป็น elastic ซึ่งคุณสมบัตินี้หาได้ทั้งใช้น้ำหนักคงที่ (Static load) และน้ำหนักกระทำซ้ำ (Dynamic load) แต่ถ้าดูถึงสภาพความเป็นจริงแล้ว คุณสมบัติที่ได้จากน้ำหนักกระทำซ้ำ จะมีความเหมาะสมกว่า เนื่องจากน้ำหนักที่กระทำเนื่องจากล้อของยวดยานจะมีลักษณะคล้ายกับน้ำหนักกระทำซ้ำที่ทำในห้องทดลอง ดังนั้นในการทดลองแต่ละครั้งจึงต้องมีการกำหนดค่าน้ำหนักที่ใช้กด ความถี่ จำนวนรอบในการกระทำซ้ำ และอุณหภูมิ เป็นต้น

2.6.1 ผลกระทบที่มีต่อส่วนผสมแอสฟัลท์แบบผสมเย็น

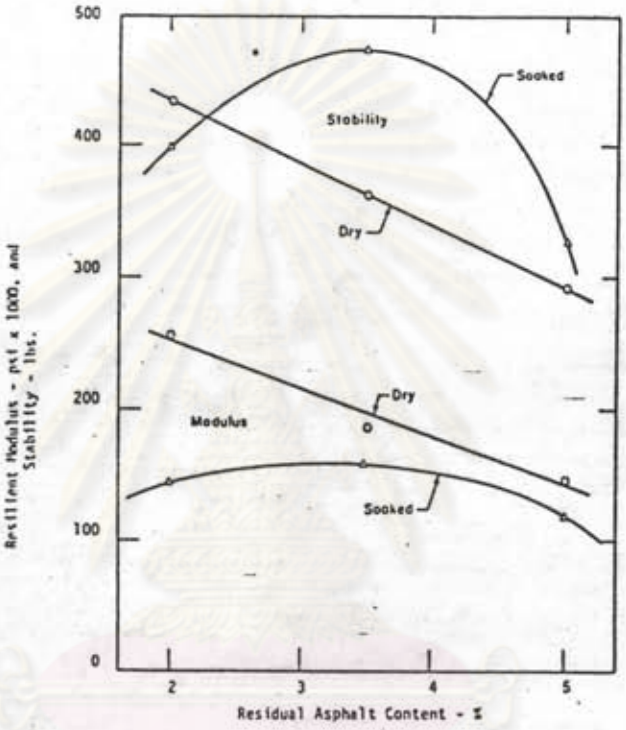
จากการศึกษาของ Michael I. Darter, Mark A. Truebe Erral S. Abdulla[11] ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบต่าง ๆ ที่มีต่อส่วนผสมที่ทำจากยางมะตอยน้ำ ซึ่งตามปกติส่วนผสมแบบนี้จะใช้กับการจราจรที่ต่ำ หรือปานกลาง การทดลองได้หาผลกระทบเนื่องมาจาก ปริมาณเนื้อยาง เวลาในการบ่ม (Curing) การบดอัด และปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัด ซึ่งพอที่จะสรุปได้ดังนี้

ก. ปริมาณน้ำในการบดอัด จะมีผลต่อโครงสร้างของส่วนผสม ยิ่งปริมาณน้ำสูงขึ้นค่าเสถียรภาพ (Stability) จะมีค่าลดน้อยลง รวมทั้งค่า Resilient Modulus Indirect Tensile Strength, ช่องว่างภายใน และการดูดความชื้น



รูปที่ 2.4 Relationship between Moisture Content at Testing and Resilient Modulus, Stability, and Indirect Tensile Strength for Dry Emulsified Asphalt Mixture (EAM) Specimens.
1 lb = 4.448 N
1 psi = 6.895 kPa

ข. ปริมาณเนื้อยางที่ใช้จะมีผลทั้งเสถียรภาพที่ Dry และ Soaked ในสภาพ Dry ค่าเสถียรภาพจะลดลง ในขณะที่ Soaked เส้นกราฟจะอยู่ในลักษณะโค้งเป็น parabolic จะให้จุด optimum ของปริมาณเนื้อยาง ยิ่งเมื่อมีการบ่ม (Curing) เพิ่มขึ้นค่าต่าง ๆ ก็จะสูงขึ้นในลักษณะเดิม

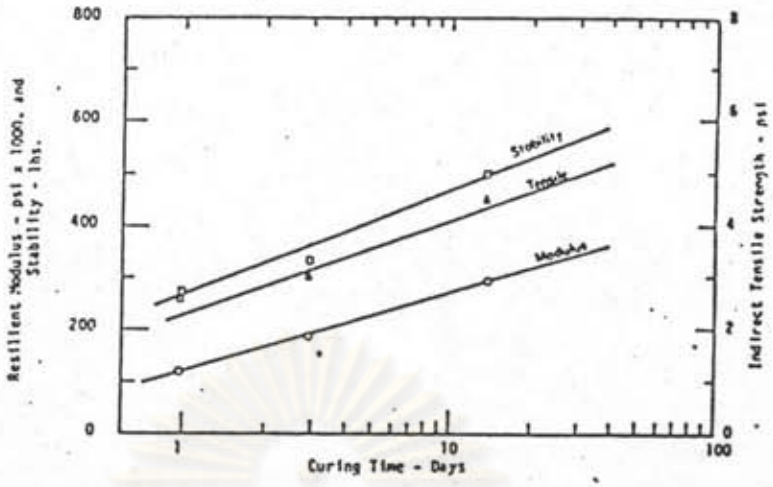


รูปที่ 2.5 Relationship between Resilient Modulus and Stability and Residual Asphalt Content for Both Dry and Soaked EAM Specimens,

1 lb = 4.448 N

1 psi = 6.895 kPa

ค. การบ่ม (Curing) จะมีผลโดยตรงกับค่าเสถียรภาพ และค่า Resilient Modulus แต่พบว่าหลังจาก 14 วันไปแล้ว ค่าเสถียรภาพก็จะเพิ่มขึ้นอีกไม่มากกว่าเดิมเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วน้อยมาก ซึ่งอาจจะกล่าวได้ว่า ปริมาณน้ำที่มีอยู่ระเหยไปเกือบหมดแล้ว



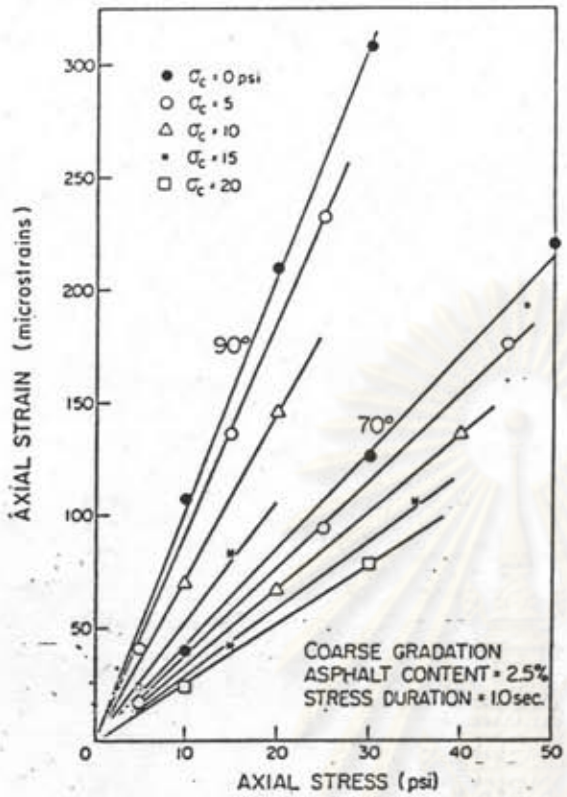
รูปที่ 2.6 Increase in Resilient Modulus, Stability, and Indirect Tensile Strength with Laboratory Curing of Dry EAM Specimens (Data Averaged Over All 54 Cells of Factorial).

1 lb = 4.448 N

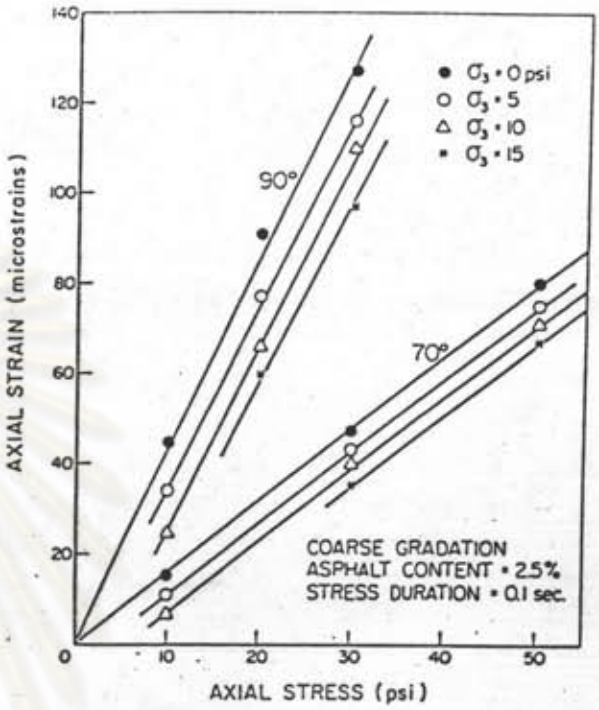
1 psi = 6.895 kPa

2.6.2 ความสัมพันธ์ของ Stress-Strain Curve

จากการศึกษาของ P.S. Pell และ J.M. Hanson[13] ได้ทำการศึกษาถึงส่วนผสมแอสฟัลท์ที่ใช้ทำพื้นทาง โดยใช้ตัวอย่างขนาด ϕ 4" × 8" ทดลองแบบ Triaxial Test ภายใต้น้ำหนักกระทำซ้ำ ซึ่งจะมีการแปรค่าความดันด้านข้าง (σ_c) และอุณหภูมิ ใช้ Stress Duration 0.1, 1.0 วินาที จะพบว่าที่อุณหภูมิต่ำเมื่อเพิ่ม Stress ให้แก่ตัวอย่างแล้ว Strain ที่เกิดขึ้น จะมีค่าน้อยกว่าเมื่อเพิ่ม Stress บนตัวอย่างที่อุณหภูมิสูง ไม่ว่าจะใช้ Stress Duration 0.1, 1.0 วินาที พฤติกรรมที่เกิดขึ้นจะอยู่ในลักษณะเดียวกัน (ตามรูปที่ 2.7, 2.8)

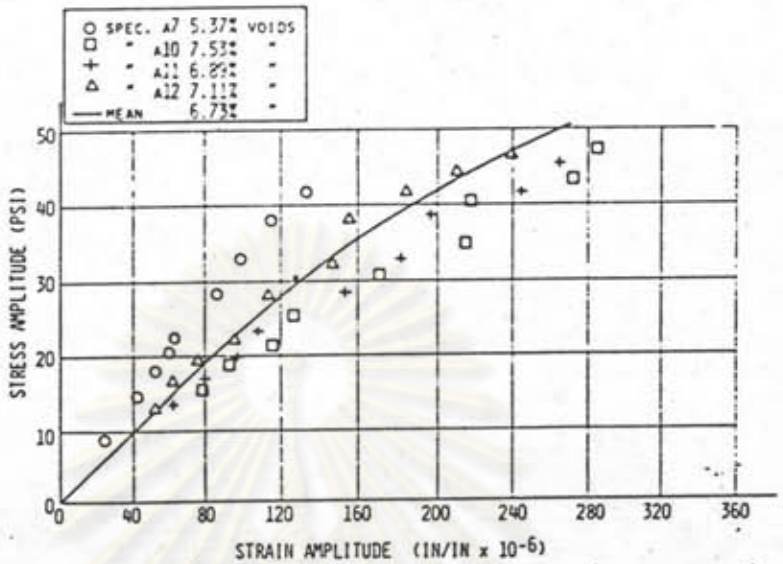


รูปที่ 2.7 Stress-Strain States Under Sustained Confining Pressures.

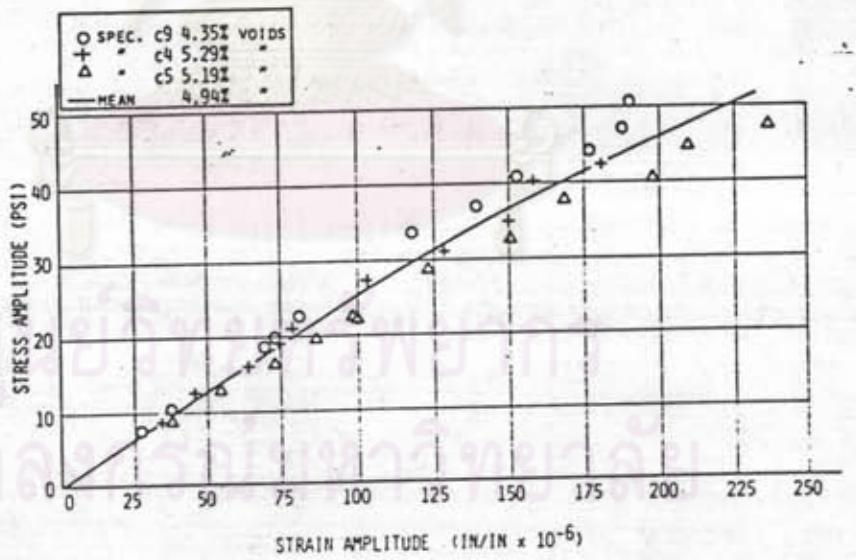


รูปที่ 2.8 Stress-Strain States Under Cyclic Axial and Radial Stresses.

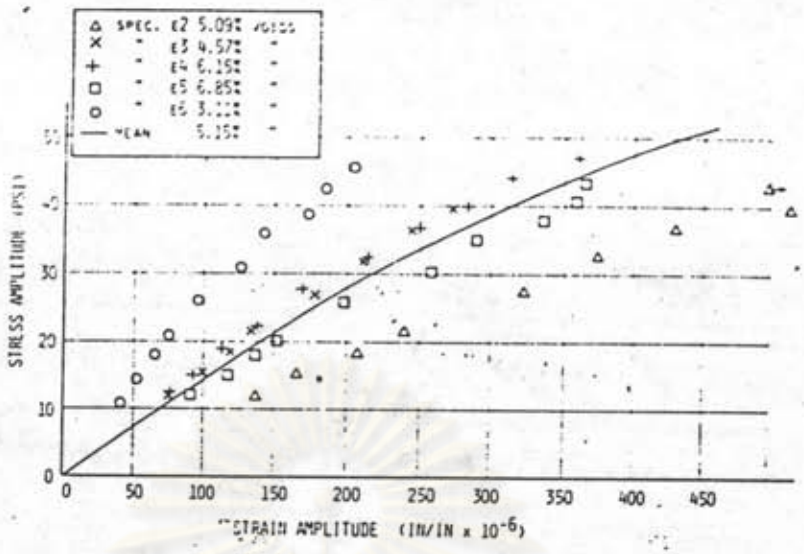
นอกจากนี้แล้วยังได้ทำการเปรียบเทียบส่วนผสมของแอสฟัลท์ที่ใช้แอสฟัลท์ที่มี Penetration 40/50 Mix A, 40/50 Mix C และ 90/100 Mix E โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 20°C (68°F) และ 30°C (86°F) ใช้ความถี่ 10 รอบต่อวินาที เมื่อทดลองด้วยน้ำหนักกระทำซ้ำแล้ว นำมา plot ระหว่าง Stress-Strain ตามรูปที่ 2.9 - 2.11 จะเห็นได้ว่า ความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นเส้นตรงในช่วงแรก และต่อจากนั้นจะเริ่มโค้งลงเมื่อ Stress สูงขึ้น ในช่วงนี้จะเป็นพฤติกรรมแบบ Non-linear



รูปที่ 2.9 Stress-Strain Curve-Mix A 30 C.



รูปที่ 2.10 Stress-Strain Curve-Mix C 30 C.



รูปที่ 2.11 Stress-Strain Curve-Mix E 30 C.

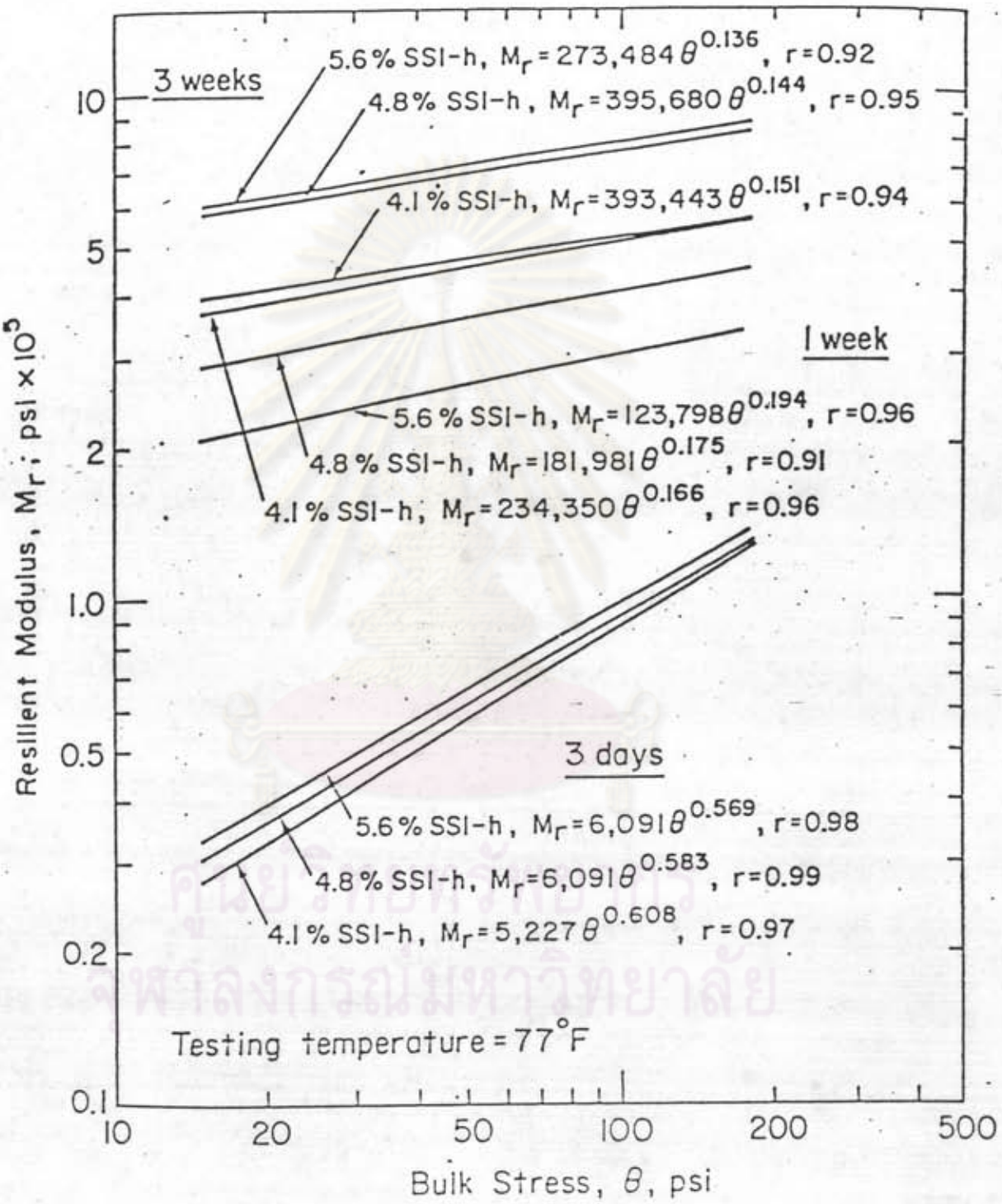
2.6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Resilient Modulus กับความดันรอบข้าง

จากการศึกษาของ Asphalt-Institute โดย Bernard F. Kallas[2] ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมทาง Elastic และ Fatique ของส่วนผสมยาง-มะตอยน้ำประเภทแตกตัวช้า (CSS-1h) โดยทำการหาค่า Resilient Modulus (Mr) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ค่า deviator stress (σ_d), ความดันด้านข้าง (σ_3) ระยะเวลาในการบ่ม และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ วัสดุมวลรวมที่ใช้เป็นแบบ Dense Grade ขนาดของตัวอย่างมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 8 นิ้ว โดยใช้เวลาในการ loading 0.01 วินาที และเวลาที่ปล่อยน้ำหนัก 0.09 วินาที (คิดเป็นความถี่เท่ากับ 1 รอบต่อวินาที) โดยกดลงบนตัวอย่างจำนวน 200 ครั้ง ผลการทดลองที่ได้มีดังนี้

ก. เวลาในการบ่มตัวมาก จะทำให้ค่า Mr มากขึ้นตามไปด้วย จนถึงเวลาหนึ่ง การระเหยของน้ำจากตัวอย่างได้หมด ค่า Mr จะมีค่าค่อนข้างคงที่

ข. เมื่อความดันรอบข้างของตัวอย่างเพิ่มขึ้นจะมีผลต่อค่า Mr มาก ก็ต่อเมื่อระยะเวลาการบ่มสั้น เช่น 3 วัน เป็นต้น แต่ถ้าเวลาการบ่มมากขึ้นเป็น 1, 12, 15 สัปดาห์ ผลของความดันรองข้างจะมีน้อยต่อค่า Mr ดูตามรูป

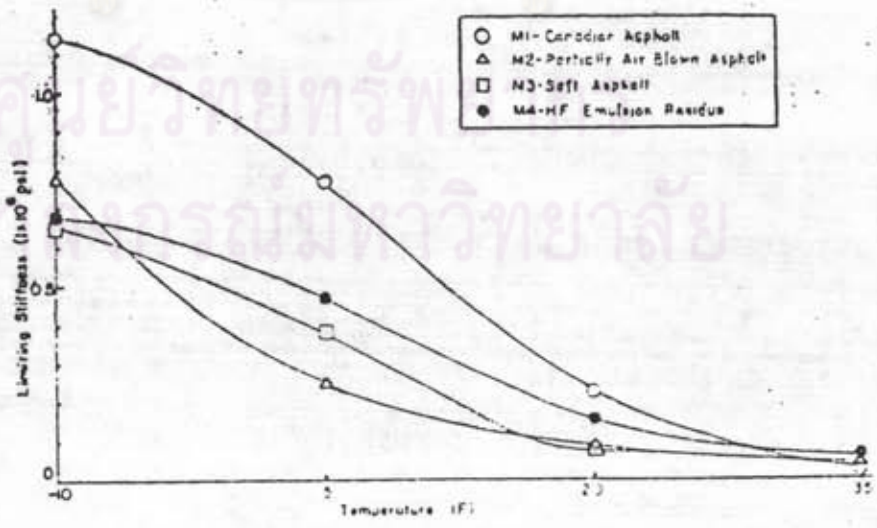
ค. เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวอย่างทดลองไปที่ 5°C, 25°C และ 40°C ปรากฏว่า ยิ่งอุณหภูมิสูงขึ้นค่า Mr จะมีค่าลดลง แสดงว่า ยาง CSS-1h มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก



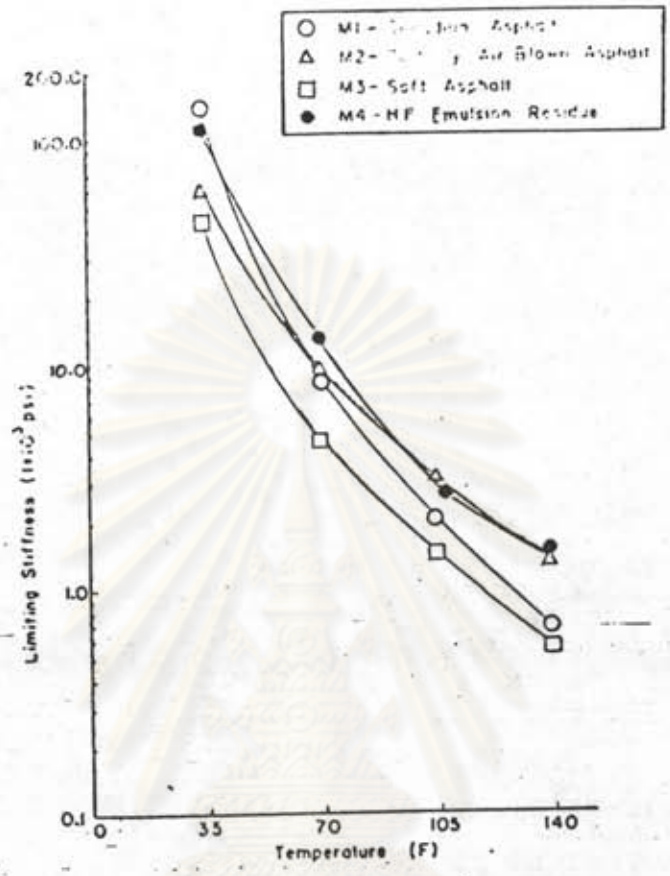
รูปที่ 2.12 แสดงความสัมพันธ์ของค่า Resilient Modulus กับ Bulk stress ของยางมะตอยน้ำซึมชนิด ss-1h 4.1 %, 4.8 % และ 5.6 % อายุการบ่ม 3 วัน, 1 สัปดาห์และ 3 สัปดาห์ ทดลองโดย Asphalt Institute

2.6.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Mr กับอุณหภูมิ

ได้มีผู้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์นี้หลายคน N.P. Khosla และ W.H. Goetz[17] ก็ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความไวต่ออุณหภูมิของส่วนผสมแอสฟัลท์ โดยทำการเปรียบเทียบยางมะตอยหลายชนิด มีทั้งพวก Air Blown Asphalt, Soft Asphalt และ High Float Emulsion การทดลองแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรก ทดลองที่อุณหภูมิ -23.3°C, -15°C, -6.7°C และ 1.7°C ส่วนช่วง 2 ทดลองที่อุณหภูมิ 1.7°C, 21.1°C, 40.6°C และ 60°C มีผลตามรูปที่ 2.13 - 2.14 จากรูป จะเห็นได้ว่าสำหรับ Soft Asphalt แล้ว ที่อุณหภูมิต่ำจะมี strain สูง ทำให้ค่า Mr มีค่าต่ำ ในขณะที่ยางชนิดอื่นจะมีค่า Mr สูงกว่า ถ้าพิจารณาให้ดีแล้ว จะพบว่า Camdian Asphalt จะมี strain ต่ำที่สุด ทำให้ค่า Mr สูงกว่ายางทุกชนิดที่ทดลอง แต่ที่อุณหภูมิสูง ปรากฏว่าค่า Mr จะมีค่าต่ำที่สุด และถ้าพิจารณาเทียบกับยางมะตอยน้ำชนิด High Float แล้ว ผลที่ได้จะกลับกันที่อุณหภูมิต่ำ ค่า Mr ก็สูง และที่อุณหภูมิสูงค่า Mr ก็สูงกว่ายางชนิดอื่น ซึ่งจะมีพฤติกรรมคล้ายกับพวก Air blown Apphalt จากการทดลองที่ได้นี้พอจะสรุปได้ว่า อุณหภูมิเป็นแฟคเตอร์หนึ่งที่สำคัญมาก ที่จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติในการนำไปใช้งาน นอกจากนี้แล้วยังจะขึ้นอยู่กับชนิดของยางที่จะนำมาใช้ การจัดเรียงขนาด วิธีการผสม และระยะเวลาในการบ่ม เป็นต้น



รูปที่ 2.13 Limiting Stiffness vs. Temperature for Mixtures M1, Mr, M3, M4

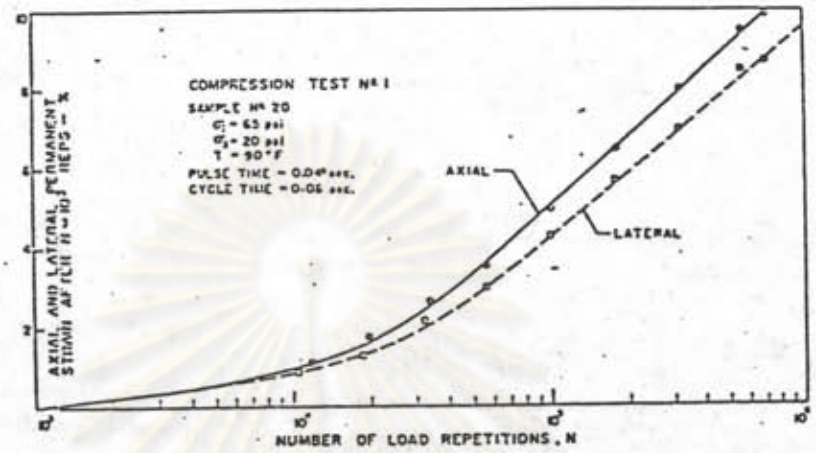


รูปที่ 2.14 Limiting Stiffness vs. Temperature for Mixtures M1. M2, M3, M4

2.6.5 ความสัมพันธ์ของค่าความเครียดกับจำนวนรอบ

ความสัมพันธ์นี้ถ้วนใหญ่แล้ว จะทดสอบกับตัวอย่างที่เป็นคาน (Beams) ขนาด 10 × 10 × 38 ซม. สำหรับตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 8 นิ้ว ก็ได้มีผู้ทำการทดลองเช่นกัน โดยที่ Ralph Haas และ Frank Meyer ได้ทำการทดลองหาพฤติกรรมของถ้วนผสมอิมัลชันภายใต้น้ำหนักกระทำซ้ำ ผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 2.15 การทดลองใช้ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ ทดลองที่อุณหภูมิ 90°C ความถี่ 10 รอบ/วินาที หาการยืดหดตัวทั้งแนวราบและแนวดิ่ง จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกหลัง 1,000 รอบไปแล้ว ค่าความเครียดจะเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งแล้วตัวอย่างเริ่มเกิดความเสียหายค่าความเครียดจะเพิ่มขึ้นมากอย่างรวดเร็ว ในขณะจำนวนรอบเพิ่มขึ้นอีกไม่มาก

Typical permanent strain, compression series.



รูปที่ 2.15 แสดงพฤติกรรมของความเครียดกับจำนวนรอบ จากการทดสอบ Repeated Triaxial Test

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย