บทที่ 2

ทฤษฎีและผลการศึกษาในอดีต

2.1 แอสฟัลท์ติกคอนกรีต (18,35)

ในความหมายโดยทั่วไปแล้ว "แอสฟัลท์ติกคอนกรีต" มักจะหมายถึงการผสมร้อน (Hot-Mix) แต่ในความหมายที่แท้จริงแล้ว "แอสฟัลท์ติกคอนกรีต" อาจจะเป็นแบบผสมร้อน (Hot-Mix) หรือแบบผสมเย็น (Cold-Mix) ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพของวัสดุโดยเฉพาะยางแอสฟัลท์และวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นแบบผสมร้อนหรือแบบผสมเย็น จะต้องมีอุณหภูมิที่เพียงพอทำให้ยางแอสฟัลท์มีความหนืด (Viscosity) พอที่จะทำการผสมกับวัสดุมวลรวมให้ได้วัสดุผสมที่ยางแอสฟัลท์เคลือบวัสดุมวลรวมทุกเม็ดอย่างสม่ำเสมอ มีความสามารถเทได้ดี สามารถบดทับให้ได้ชั้นที่มีความแน่นตามต้องการได้

2.1.1 ชนิดของแอสฟัลท์ติกคอนกรีต แบ่งได้ตามอุณหภูมิเป็น 2 ชนิดคือ

2.1.1.1 แบบผสมร้อน (Hot-Mix) โดยนำเอาส่วนผสมระหว่างยางแอสฟัลท์ซีเมนต์และวัสดุมวลรวมคละที่มีขนาดไล่เรียงเม็ดดีและคุณภาพสูงในสภาพร้อน การผสมจะทำการผสมจนกระทั่งวัสดุมวลรวมคละถูกเคลือบด้วยยางแอสฟัลท์ซีเมนต์จนทั่วทุกเม็ดอย่างสม่ำเสมอ ลักษณะการผสมเป็นการผสมร้อน ก่อนการผสมวัสดุมวลรวมคละจะถูกทำให้ร้อนเพื่อให้แห้งและยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ก็ถูกทำให้ร้อนเช่นกันเพื่อให้ความหนืด (Viscosity) พอเหมาะต่อการผสมและให้การบดทับได้ดี การใช้ปูถนนและบดทับให้ได้รูปร่างจะกระทำทั้ง ๆ ที่ยังร้อนอยู่ แอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมร้อนเป็นวิธีที่ดีที่สุด เหมาะสำหรับถนนที่มีการจราจรตั้งแต่การจราจรขนาดเบา (Light Traffic) การจราจรขนาดกลาง (Medium Traffic) จนถึงการจราจรขนาดหนัก (Heavy Traffic)

2.1.1.2 แบบผสมเย็น (Cold-Mix) โดยการนำเอาส่วนผสมระหว่างวัสดุมวลรวมคละที่อยู่ในอุณหภูมิตามธรรมชาติในขณะนั้นและยางแอสฟัลท์ที่มีอุณหภูมิตามที่ต้องการแล้วแต่ชนิดของยางแอสฟัลท์เช่น ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นจะถูกผสมที่อุณหภูมิตามธรรมชาติในขณะนั้น ส่วนยางคัทแบ็คแอสฟัลท์จะต้องอุ่นให้ถึงอุณหภูมิอันหนึ่งเพื่อให้ความหนืด (Viscosity) และการ

ใช้งาน (Workability) ดีเหมาะต่อการผสมและให้การบดทับได้ดี ดูตารางที่ 2.10 ประกอบ การผสมจะทำการผสมจนกระทั่งวัสดุมวลรวมคละถูกเคลือบด้วยยางแอสฟัลท์จนทั่วทุกเม็ดอย่างสม่ำเสมอ การใช้ปูถนนและบดทับให้ได้รูปร่างจะกระทำในสภาพเย็น คือในอุณหภูมิตามธรรมชาติขณะนั้น แอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่าย เหมาะสำหรับถนนที่มีการจราจรขนาดเบา (Light Traffic) และถนนที่มีการจราจรขนาดปานกลาง (Medium Traffic) จนถึงงานซ่อมบำรุงทาง

สำหรับในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะศึกษาเฉพาะแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นเท่านั้น โดยใช้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นและยางคัทแบ็คแอสฟัลท์เป็นตัวประสาน

2.1.2 คุณสมบัติของแอสฟัลท์ติกคอนกรีต (19)

แอสฟัลท์ติกคอนกรีตจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

2.1.2.1 ความทนทาน (Durability) คือคุณสมบัติของความคงทนต่อการสึกหรอจากสภาพแวดล้อม เช่น อากาศ น้ำ หรือสารเคมีต่าง ๆ ข้อเสียของยางแอสฟัลท์ คือ เมื่อเก็บไว้นานเกินไปจะแข็งตัวเนื่องจากอ๊อกซิเดชั่น (Oxidation) ทำให้ยางแอสฟัลท์แข็ง เปราะ ไม่มีความยืดหยุ่น ดังนั้นจึงเห็นได้ทั่ว ๆ ไปว่า ผิวทางแบบแอสฟัลท์ติกคอนกรีตจะเกิดการแตกร้าวภายในเวลา 5 ปี ถึง 10 ปี เพื่อที่จะลดข้อเสียอันนี้ จึงต้องออกแบบปฏิภาคส่วนผสม (Mix Proportion) ของแอสฟัลท์ติคคอนกรีตให้มีปริมาณโพรงอากาศ (Air Void) ไม่เกิน 5 เปอร์เซนต์

2.1.2.2 เสถียรภาพ (Stability) คือ ความต้านทานต่อการเสียความแข็งแรงหรือเสียรูปร่างแอสฟัลท์ติกคอนกรีต เมื่อถูกกระทำโดยน้ำหนักของรถยนต์จะเสียรูปร่างโดยแรงเฉือน (Shear) ซึ่งแรงเฉือนนี้จะถูกต้านทานโดย

ก. แรงยึดเกาะ (Cohesion) คือวัสดุมวลรวมคละแต่ละเม็ดในแอสฟัลท์ติคคอนกรีตยึดเกาะกันแน่นทำให้เกิดความต้านทานขึ้น ถ้าจะให้แรงยึดเกาะนี้มีมาก ๆ จะต้องใช้ยางแอสฟัลท์ที่แข็งมาก (คือมีค่าเพเนเตรชั่น (Penetration) ต่ำ) และวัสดุมวลรวมละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อย่างน้อย 3 เปอร์เซนต์ ถึง 5 เปอร์เซนต์ แต่อย่างไรก็ตาม การใช้ยางแอสฟัลท์ที่มีเพเนเตรชันต่ำ ๆ ทำให้ความทนทานต่ำลงไปด้วย ฉนั้นจึงต้องออกแบบเพื่อ

ให้เกิดความพอดีระหว่างเสถียรภาพและความทนทาน

ข. แรงเสียดทาน (Friction) เป็นแรงเสียดทานระหว่างวัสดุมวลรวมคละที่จะต้านทานต่อการเสียความแข็งแรง ถ้าผสมวัสดุมวลรวมคละมีการเรียงขนาดแน่น (Dense-Grade) มาก ๆ แล้วจะให้ค่าแรงเสียดทานสูง แต่เนื่องจากมีช่องว่างเหลือน้อย จึงทำให้เกิดการเยิ้มของยางแอสฟัลท์ (Bleeding) ได้ ดังนั้นเพื่อป้องกันข้อเสียนี้จึงต้องออกแบบปฏิภาคส่วนผสมวัสดุมวลรวมคละให้มีปริมาณโพรงอากาศ (Air Void) อย่างต่ำที่สุด 3 เปอร์เซนต์

2.1.2.3 ความสะดวกในการปฏิบัติงาน (Workability) แอสฟัลท์ติคคอนกรีตที่ดีต้องมีปฏิภาคส่วนผสมของวัสดุมวลรวมคละและยางแอสฟัลท์ที่เหมาะสม อุณหภูมิของการผสมต้องพอเหมาะ เพื่อสะดวกในการผสม การขนย้าย และการบดทับ

2.1.2.4 ความต้านทานการลื่นไถล (Skidding Resistance) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญ โดยเฉพาะทางด้านถนนไม่เกี่ยวกับคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์ที่ใช้ลาดเลย การที่จะให้ผิวทางมีค่าความต้านทานการลื่นไถลที่ดีจะต้องใช้วัสดุมวลรวมที่มีความแข็งและแง่มุมมาก ๆ เพื่อจะได้มีผิวหน้าที่ขรุขระทำให้ทนต่อการขัดสีได้ดี การที่ผิวทางมีความขรุขระหรือมีความหยาบและมีความลึกของผิวทางจะก่อให้เกิดความฝืดและช่วยระบายน้ำออกไปจากผิวทาง ทำให้ยวดยานที่แล่นผ่านไปมาขณะที่ผิวทางเปียกไม่เกิดการลื่นไถล การออกแบบส่วนผสมของวัสดุมวลรวมคละจะต้องให้มีเปอร์เซนต์ปริมาณโพรงอากาศที่เหมาะสม เพราะเมื่ออากาศร้อนยางแอสฟัลท์จะเกิดการขยายตัวมาบรรจุลงในโพรงอากาศ ถ้าปริมาณโพรงอากาศไม่พอ ก็จะทำให้ยางแอสฟัลท์เกิดการเยิ้ม (Bleeding) ขึ้นมาที่ผิวทาง และยิ่งมีฝนตกลงมาด้วยจะทำให้ผิวทางลื่นมาก ซึ่งจะก่อให้เกิดอันตรายทั้งชีวิตและทรัพย์สินได้

2.1.2.5 ความสามารถในการหยุ่นตัวได้ดี (Flexibility) ผิวทางจะต้องมีความหยุ่นตัวเพียงพอ เมื่อถูกกดทับด้วยน้ำหนักจากล้อรถยนต์แล้วไม่ก่อให้เกิดการแตกร้าว (Cracking) บนผิว การที่จะให้ผิวทางมีความยืดหยุ่นดี จะต้องมีปริมาณยางแอสฟัลท์ในส่วนผสมวัสดุมวลรวมคละที่ค่อนข้างสูงและมีการเรียงขนาดคละ (Gradation) ที่ค่อนไปทางการเรียงขนาดหยาบหรือโปร่ง (Open-Graded)

2.2 วัสดุมวลรวม (Aggregate)[11]

ในการคัดเลือกวัสดุมวลรวมเพื่อใช้ในงานโครงสร้างถนนแบบลาดยางขึ้นอยู่กับการจัดหาวัสดุได้ง่าย (Availability) ราคา (Cost) และคุณภาพของวัสดุ รวมถึงขนาดของการก่อสร้างด้วย สำหรับวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุมวลรวมคละจะประกอบด้วยวัสดุที่มีขนาดต่าง ๆ กันดังนี้

ก. วัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) หมายถึงส่วนที่ค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 8 ในงานแอสฟัลท์ติกคอนกรีตนั้น เสถียรภาพของส่วนผสม ได้จากการขัดกัน (Interlock) ของวัสดุมวลรวมหยาบและจากแรงเสียดทานระหว่างเม็ดวัสดุต้อการเคลื่อนตัว

ข. วัสดุมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) หมายถึงส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 และค้างอยู่บนตะแกรงเบอร์ 200 วัสดุมวลรวมละเอียดเป็นส่วนที่เพิ่มความแข็งแรงให้กับแอสฟัลท์ติกคอนกรีตโดยการขัดกันของเม็ดวัสดุ และในเวลาเดียวกันวัสดุมวลรวมละเอียดยังทำหน้าที่ลดช่องว่าง (Void) ในวัสดุมวลรวมหยาบ

ค. ฝุ่น (Filler) หมายถึงส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ฝุ่นจะทำหน้าที่อุดช่องว่างในส่วนผสมและในขณะเดียวกันก็เป็นตัวเพิ่มความแข็งแรงให้ยางที่เคลือบวัสดุด้วย

ในส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตจะมีวัสดุมวลรวมคละอยู่ประมาณ 90-95 เปอร์เซนต์และยางแอสฟัลท์ประมาณ 5-10 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด หรือมีวัสดุมวลรวมคละอยู่ประมาณ 80 เปอร์เซนต์ โดยปริมาตรของส่วนผสมทั้งหมด คุณสมบัติและวิธีการนำมาใช้งานของวัสดุมวลรวมคละจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อส่วนผสมนั้น ในงานก่อสร้างถนนลาดยางวัสดุมวลรวมคละที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งานจะต้องมีขนาดและการเรียงขนาด (Size and Grading) ดี มีความแข็งแรงและเหนียว (Strong and Tough) ลักษณะรูปร่างของวัสดุ (Particle Shape) เนื้อผิว (Surface Texture) การดูดซึม (Absorption) และสัมพรรคภาพสำหรับยางแอสฟัลท์ (Affinity for Asphalt) ดี มีผิวที่สะอาด (Cleanliness)

ขนาดและการเรียงขนาด ความแข็งแรง เหนียวและรูปร่างของวัสดุมวลรวมคละมีความสำคัญเป็นอันดับแรกต่อเสถียรภาพ (Stability) ความพรุนและลักษณะของผิววัสดุมวลรวมมีความสำคัญต่อการกระทำระหว่างยางแอสฟัลท์กับวัสดุมวลรวมคละ

ยางแอสฟัลท์จะต้องเคลือบผิววัสดุมวลรวม (Coating) และเกาะยึดผิวได้อย่างพอเพียง หินที่มีความพรุนมากจะต้องใช้ยางแอสฟัลท์ในการผสมมากกว่าหินที่มีความพรุนต่ำ หินที่มีผิวเรียบจะทำให้ยางแอสฟัลท์ยึดเกาะกับหินไม่ดี ถ้าหากว่าวัสดุมวลรวมคละเป็นชนิดที่เปียกน้ำได้ง่ายน้ำจะจับยึดผิวหินได้ง่ายกว่ายางแอสฟัลท์ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการหลุดร่อน (Stripping)

2.2.1 ขนาดและการเรียงขนาด (Size and Grading) การกำหนดวัสดุขนาดใหญ่ที่สุดจะกำหนดโดยการเทียบกับขนาดของตะแกรงที่เล็กสุด และวัสดุสามารถลอดผ่านได้ร้อยเปอร์เซนต์ ขนาดระบุของวัสดุที่ใหญ่ (Nominal Maximum Size) ก็คือขนาดของวัสดุมวลรวมคละที่ยังค้างอยู่บนตะแกรงขนาดกว้างสุด วัสดุมวลรวมคละสำหรับชั้นผิวทางแบบแอสฟัลท์ติคคอนกรีตในบางครั้งการกำหนดวัสดุมวลรวมคละจะยึดถือการจัดเรียงขนาด เช่น

ก. การเรียงขนาดแน่น (Dense-Graded)

ข. การเรียงขนาดหยาบหรือโปร่ง (Open Graded)

ค. การเรียงขนาดเดียว (One Sized)

ง. การเรียงขนาดหยาบ (Coarse Graded)

จ. การเรียงขนาดที่มีช่องว่าง (Gap Graded) เป็นต้น

สำหรับผิวทางที่มีปริมาณการจราจรสูงจะใช้วัสดุมวลรวมคละที่มีการเรียงขนาดแน่น (Dense-Grade Aggregate) เส้นโค้งที่หาได้จากสูตรของฟูลเลอร์เคิร์ฟ (Fuller Curve) จะเป็นเส้นโค้งที่ให้ความแน่นสูงสุด โดยทั่ว ๆ ไปจะไม่ใช้ เพราะเนื่องจากว่าไม่มีช่องว่างพอสำหรับยางแอสฟัลท์จะเข้าไปแทรกตัว ดังนั้นการเรียงขนาดของวัสดุมวลรวมคละที่ใช้ควรจะเป็นการเรียงขนาดค่อนข้างหยาบหรือโปร่ง (Open) และระหว่างช่องว่างของหินก็จะใช้ฝุ่นใส่เข้าไปแทน เช่น ฝุ่นของหินฝุ่น ปูนซีเมนต์ เป็นต้น

ส่วนผสมของวัสดุมวลรวมคละแบบการเรียงขนาดแน่น (Dense-Grade Mix) จะใช้กับงานผิวทาง ส่วนการเรียงขนาดแบบหยาบหรือโปร่ง (Open Graded) จะใช้กับงานพื้นทาง และการเรียงขนาดแน่นจะใช้วัสดุที่เป็นฝุ่นมากกว่าการเรียงขนาดหยาบหรือโปร่ง ดังนั้นจึงทำให้การเรียงขนาดแน่นใช้ยางแอสฟัลท์มากกว่าด้วย

2.2.2 ความแข็งแรงและเหนียวของวัสดุ (Strong and Tough) วัสดุที่ใช้ในงานผิวทางหรืองานพื้นทางจะต้องมีความแข็งแรงและเหนียว เพื่อป้องกันมิให้เกิดการแตกตัวภายใต้น้ำหนักบรรทุกของการจราจร (Traffic Loads) ซึ่งมีผลทำให้ค่าเสถียรภาพลดลง ดังนั้นวัสดุมวลรวมคละที่นำมาใช้งานจะต้องมีความสามารถต้านทานการบดย่อย (Crushing) การเสื่อมทราม (Degradation) และการแตกสลาย (Disintegration) วัสดุมวลรวมคละที่ชั้นผิวทางหรือชั้นที่อยู่ใกล้ชั้นผิวทางยิ่งจำเป็นต้องมีความแข็งแรงและเหนียวมากกว่าวัสดุมวลรวมคละที่อยู่ชั้นล่าง ๆ ลงไป ชั้นล่าง ๆ นี้เป็นชั้นที่รับน้ำหนักบรรทุกแบบกระจายไม่เหมือนกับชั้นผิวทางซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกโดยตรง

การเรียงขนาดของวัสดุมวลรวมคละแบบหยาบหรือโปร่ง (Open Graded) เมื่อนำมาผสมกับยางแอสฟัลท์ แล้วนำไปใช้งานและเมื่อมีน้ำหนักบรรทุกของการจราจรกระทำจะทำให้เกิดการแตกของวัสดุมวลรวมคละได้ง่ายกว่าวัสดุมวลรวมคละที่มีการเรียงขนาดแบบแน่น (Dense Graded) ดังนั้นการเรียงขนาดหยาบหรือโปร่งจึงนำมาใช้ทำชั้นพื้นทาง

การทดสอบความแข็งแรงและความเหนียวของวัสดุมวลรวมคละที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ การทดสอบหาค่าความสึกหรอของมวลรวมหยาบ เช่น หินย่อย กรวดย่อยและอื่น ๆ โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion Machine การทดสอบนี้จะเกิดทั้งการกระแทก (Impact) และการขัดสี (Abrasion) ค่าความสึกหรอของมวลรวมหยาบสำหรับชั้นพื้นทางต้องไม่เกิน 50 เปอร์เซนต์ และชั้นผิวทางต้องไม่เกิน 40 เปอร์เซนต์ การทดสอบนี้เป็นการทดสอบตาม ASTM Designation: C131-69, C535-69 หรือตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล-ท 202/2515

2.2.3 ลักษณะรูปร่างของวัสดุ (Particle Shape) จะเปลี่ยนแปลงไปตามความสามารถในการทำงานของการผสมลาดยางและความสามารถในการบดอัดเพื่อให้ได้ความหนาแน่นตามที่ต้องการ วัสดุมวลรวมที่มีรูปร่างเป็นก้อนเบี้ยวหรือเป็นเหลี่ยมเป็นมุม เช่น หินย่อย กรวดย่อย กรวดธรรมชาติหรือทรายธรรมชาติจะขัดกัน (Interlock) ได้ดีเมื่อมีการบดอัดและมีความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ ทำให้ค่าเสถียรภาพเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะวัสดุมวลรวมที่มีการเรียงขนาดหยาบหรือโปร่ง (Open Graded) วัสดุมวลรวมที่มีรูปร่างก้อนเหลี่ยมลูกบาศก์ที่มีมุม แหลมคม จะขัดกัน (Interlock) ได้ดีที่สุด ส่วนวัสดุมวลรวมที่มีรูปร่างกลมจะยึดเกาะหรือขัดกันไม่ดี แต่ถ้าต้องการ

วัสดุมวลรวมที่มีรูปร่างกลมมาใช้ในงานแอสฟัลท์คิคคอนกรีตให้มีเสถียรภาพสูงวัสดุมวลรวมจะต้องมีหน้าแตกไม่น้อยกว่า 40 เปอร์เซนต์อย่างน้อยหนึ่งด้าน

โดยทั่ว ๆ ไปวัสดุมวลรวมหยาบจะเป็นตัวรับกำลัง ส่วนวัสดุมวลรวมละเอียดซึ่งมีรูปร่างกลมจะช่วยให้ส่วนผสมมีความสามารถในการทำงานได้ดีและบดอัดง่าย Herrin and Goetz ได้แสดงให้เห็นว่าการที่จะควบคุมวัสดุมวลรวมคละให้มีการเรียงขนาดดี (Well Graded) จะเป็นสิ่งสำคัญที่สุดที่จะเพิ่มเสถียรภาพในแอสฟัลท์คิคคอนกรีต

วัสดุมวลรวมคละที่แบนและยาวจะมีปัญหาในด้านการทำงาน เพราะจะทำให้เกิดการแยกขนาด (Segregate) ในส่วนผสม ซึ่งมีผลทำให้กำลังของส่วนผสมลดลง ดังนั้นในการใช้งานวัสดุมวลรวมหยาบจะต้องมีชิ้นส่วนที่แบน (ความกว้างหรือความหนาน้อยกว่า 5 เท่าของความยาว) ไม่เกิน 15 เปอร์เซนต์ของวัสดุมวลรวมหยาบทั้งหมด

2.2.4 เนื้อผิวของวัสดุ (Surface Texture) มีอิทธิพลต่อการทำงานและกำลังของวัสดุที่ใช้สำหรับผสมกับงานลาดยาง โดยทั่วไปแล้วผิวของวัสดุมวลรวมคละที่ขรุขระจะมีกำลังรับแรงของส่วนผสมได้ดีกว่าวัสดุมวลรวมคละที่มีผิวเรียบเกลี้ยง แต่ว่ามีโพรง (Void) มากกว่าจึงทำให้ต้องใช้ปริมาณยางแอสฟัลท์ในการยึดเกาะมากกว่าด้วย

ลักษณะของเนื้อผิวของวัสดุมวลรวมคละมีความสำคัญต่อการยึดเกาะระหว่างวัสดุมวลรวมคละกับยางแอสฟัลท์ เนื้อผิวที่เรียบเกลี้ยงยางแอสฟัลท์จะเคลือบผิววัสดุมวลรวมคละได้ง่ายกว่าเนื้อผิวที่ขรุขระ แต่การยึดเกาะ (Cohesion) ต่ำ และเนื้อผิวที่ขรุขระมากกว่าจะให้ค่าเสถียรภาพและความคงทนของส่วนผสมสูงกว่าเนื้อผิวที่เรียบเกลี้ยง

2.2.5 การดูดซึม (Absorption) ความพรุน (Porosity) ของวัสดุมวลรวมคละจะเป็นตัวบ่งบอกว่าปริมาณน้ำที่มวลรวมคละดูดซึมได้มากน้อยเพียงใดเมื่อแช่น้ำ ถ้าวัสดุมวลรวมคละมีความพรุนมากก็สามารถดูดน้ำได้มากหรือมีความสามารถในการดูดซึมยางแอสฟัลท์ได้มากและมีแนวโน้มทำให้วัสดุผสมลาดยาง (Asphalt Mixture) แห้งหรือลดความเชื่อมแน่น (Cohesion) ลงได้

วัสดุมวลรวมคละที่มีความพรุนมากมีผลทำให้เกิดความสิ้นเปลืองยางแอสฟัลท์ในส่วนผสม สำหรับความพรุนที่เหมาะสม ประมาณ 0.5 เปอร์เซนต์ จะช่วยในการยึดเกาะ (Adhesion) ระหว่างวัสดุมวลรวมคละกับยางแอสฟัลท์ดีขึ้น ความพรุนถ้าสูงมากเกินไปจะไม่ช่วยให้เพิ่มคุณภาพแก่วัสดุผสมลาดยาง แต่จะทำให้เกิดการดูดซึมยางแอสฟัลท์มากขึ้นทำให้เกิดการสิ้นเปลืองยางแอสฟัลท์มากขึ้นด้วย ส่วนวัสดุมวลรวมคละที่มีความพรุนต่ำหรือน้อยจะดูดซึมเฉพาะน้ำมันที่ประกอบอยู่ในยางแอสฟัลท์ ทำให้เหลือแต่เนื้อยางเคลือบอยู่บนผิวมวลรวมคละ จึงทำให้เกิดปัญหาเรื่องการหลุดร่อนของวัสดุมวลรวม

ในการใช้งานจริงจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณยางแอสฟัลท์มากขึ้นในส่วนผสมลาดยาง เพื่อเป็นการชดเชยปริมาณยางแอสฟัลท์ที่วัสดุมวลรวมคละดูดซึมเข้าไปในอนุภาค วัสดุมวลรวมคละที่มีความพรุนมาก ยิ่งต้องเพิ่มปริมาณยางแอสฟัลท์มากขึ้นตามอัตราส่วนของการดูดซึม โดยปกติทั่วไปจะไม่ใช้วัสดุมวลรวมคละที่มีความพรุนมาก นอกจากว่าวัสดุมวลรวมคละนั้นมีคุณภาพดีและมีคุณสมบัติอย่างอื่น ๆ ที่เหมาะสมจะนำมาใช้งานได้ ถึงแม้ว่าวัสดุมวลรวมคละนั้นจะมีอัตราการดูดซึมสูง เช่น ตะกรันเตาถลุง (Blast Furnance Slag) และวัสดุมวลรวมสังเคราะห์ (Synthetic Aggregates) วัสดุเหล่านี้เป็นมวลรวมคละที่มีความพรุนสูง แต่มีคุณสมบัติที่ดี คือมีน้ำหนักเบา (Lightweight Material) และความต้านทานต่อการสึกหรอสูง ซึ่งได้มีส่วนช่วยในการพิจารณานำมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมคละในงานก่อสร้างถนนลาดยาง

2.2.6 สัมพรรคภาพสำหรับยางแอสฟัลท์ (Affinity for Asphalt) การหลุดลอก (Stripping) เกิดจากการแยกตัวเป็นชั้นบาง ๆ ของยางแอสฟัลท์ (Asphalt Film) ออกจากวัสดุมวลรวมคละอันเกิดจากการกระทำของน้ำ ทำให้เกิดความไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในส่วนผสมของงานถนนลาดยาง

วัสดุมวลรวมคละ เช่น หิน ที่จะนำมาใช้งานจะต้องมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการยึดเกาะคือ

2.2.6.1 พวกไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) หมายถึงวัสดุมวลรวมคละที่เปียกน้ำได้ง่ายกว่ายางแอสฟัลท์ วัสดุชนิดนี้จะมีประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นลบ วัสดุชนิดนี้ได้แก่จำพวกซิลิก้า เช่น ควอตไซท์ (Quartzite) และแกรไนท์ (Granite)

2.2.6.2 พวกไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) หมายถึงวัสดุมวลรวมคละที่ยึดเกาะกับยางแอสฟัลท์ได้ดีกว่าน้ำ และมีความต้านทานต่อการหลุดลอกของยางแอสฟัลท์ในน้ำได้ดี วัสดุชนิดนี้จะมีประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นบวก ซึ่งประจุไฟฟ้าพวกนี้จะผลักกับน้ำ วัสดุชนิดนี้ได้แก่จำพวกหินปูน (Limestone) โดโลไมท์ (Dolomite) และแทรปร็อค (Traprock)

ยางแอสฟัลท์ที่ใช้กันในปัจจุบัน จะมีทั้งชนิดที่มีประจุไฟฟ้าบวก (Cationic) และชนิดที่มีประจุไฟฟ้าลบ (Anionic) ดังนั้นในการเลือกใช้ยางแอสฟัลท์จะต้องใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของวัสดุมวลรวมคละที่ใช้ โดยใช้ยางแอสฟัลท์ชนิดที่มีประจุไฟฟ้าบวกกับวัสดุมวลรวมคละที่มีประจุไฟฟ้าลบที่ผิว และใช้ยางแอสฟัลท์ชนิดที่มีประจุไฟฟ้าลบกับวัสดุมวลรวมคละที่มีประจุไฟฟ้าบวกที่ผิว

เมื่อมีความจำเป็นต้องใช้วัสดุมวลรวมคละที่ไม่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้งาน วัสดุเหล่านั้นพอจะนำมาใช้งานได้ แต่ต้องพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับโพรง (Density Voids Relationship) ว่าต้องมีความน่าพอใจโดยการปรับขนาดคละ (Gradation) และยางแอสฟัลท์ในมวลรวมผสมลาดยาง (Asphalt Content) การจัดขนาดคละของวัสดุมวลรวมคละที่มีปัญหาสามารถจะปรับปรุงแก้ไขได้โดยการรวม (Blending) เข้ากับวัสดุมวลรวมอย่างอื่น จากนั้นจึงเลือกปริมาณยางแอสฟัลท์ในมวลรวมผสมลาดยาง (Asphalt Content) ที่เหมาะสมเพื่อลดปริมาณโพรง

2.2.7 ความสะอาด (Cleanliness) วัสดุมวลรวมคละที่นำมาใช้งานจะต้องไม่มีสารที่แปลกปลอมหรือสารที่ทำให้เกิดความเสียหาย ทำให้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในวัสดุผสมของถนนลาดยาง วัสดุหรือสารดังกล่าว ได้แก่ ดินเหนียว เศษดินเหนียวที่ติดอยู่กับอนุภาคของวัสดุมวลรวมหยาบ ซิลท์ (Silt) หินปูน (Calcium Carbonate) เหล็กอ๊อกไซด์ (Iron Oxides) ยิบซั่ม (Gypsum) และอื่น ๆ สิ่งที่เคลือบผิววัสดุมวลรวมหยาบเหล่านี้มีความแข็งและความหนาที่ต่างกัน ถ้าหากไม่ล้างออกจะมีผลทำให้เกิดการเกิดหลุดร่อนได้

การดูความสะอาดของวัสดุมวลรวมคละ อาจจะตรวจดูได้ด้วยสายตา แต่ควรจะพิสูจน์ด้วยการวิเคราะห์โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง (Washed Sieve Analysis) หรือการทดสอบ Sand Equivalent

2.2.8 ความทนทาน (Soundness) หมายถึงความสามารถที่จะต้านทานความเสียหายของวัสดุมวลรวมคละจากการกระทำของสภาพดินฟ้าอากาศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อข้อมูลของวัสดุมวลรวมคละที่หามาได้นั้นไม่เพียงพอที่จะบอกให้ทราบว่าสภาพของวัสดุที่ผันแปรไปตามดินฟ้าอากาศที่แท้จริง ทำให้ต้องหาวิธีทดลองเพื่อให้ได้ผลที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง สำหรับสิ่งที่จะใช้ทดสอบสภาพคงทนถาวร (Soundness) ของวัสดุมวลรวมคละโดยการใช้สารละลายอิ่มตัวโซเดี่ยมซัลเฟตหรือแมกนีเซี่ยมซัลเฟต

ในการทดสอบทำโดยการนำวัสดุมวลรวมคละที่แห้งมาแช่ลงในสารละลายอิ่มตัวโซเดียมซัลเฟตหรือแมกนีเซี่ยมซัลเฟตแล้วนำตัวอย่างเข้าตู้อบ สารละลายจะซึมเข้าไปในช่องว่างของวัสดุมวลรวมคละทำให้เกิดแรงดันขึ้นจนทำให้ผิวของวัสดุแตกออก

เมื่อทำการทดสอบครบ 5 รอบแล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงเพื่อหาเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของตัวอย่างวัสดุมวลรวมคละที่หายไปจากเดิม ตามข้อกำหนดของ AASHO Specification M29-70 ได้กำหนดให้ สำหรับวัสดุมวลรวมคละชนิดละเอียดที่ใช้ผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตน้ำหนักของวัสดุมวลรวมคละที่หายไปต้องไม่เกิน 15 เปอร์เซนต์จากการใช้สารละลาย และตามข้อกำหนดของ AASHO Specification M79-64 ได้กำหนดให้สำหรับวัสดุมวลรวมหยาบโดยให้น้ำหนักของวัสดุมวลรวมคละที่หายไปต้องไม่เกิน 12 เปอร์เซนต์จากการใช้สารละลาย

สำหรับบริเวณที่มีสภาพภูมิอากาศที่ไม่รุนแรง วัสดุมวลรวมคละ เช่น หินคลุก กรวดโม่ ที่นำมาใช้ผสมเป็นวัสดุลาดยางแอสฟัลท์คิกคอนกรีตที่มีการเรียงขนาดดี (Well Graded) ไม่ต้องทำการทดสอบสภาพความคงทนถาวรก็ได้ การทดสอบนี้เป็นการทดสอบตาม AASHO T104-77, ASTM 88-76

2.3 ยางแอสฟัลท์ (Asphalts)

ยางแอสฟัลท์เป็นผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมชนิดหนึ่ง ส่วนมากเป็นพวกปิโตรเลียมที่ยังไม่ได้กลั่น ซึ่งมีแอสฟัลท์บรรจุอยู่และบางครั้งน้ำมันดิบ (Crude Oil) อาจจะมีแอสฟัลท์เกือบทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามน้ำมันดิบบางชนิดอาจไม่มีแอสฟัลท์บรรจุอยู่เลย แอสฟัลท์เป็นส่วนประกอบหลักของน้ำมันดิบที่ไม่ระเหยเมื่อมีการกลั่น จึงเป็นผลิตภัณฑ์ส่วนที่เหลือจากการกลั่น (Residual Product) ซึ่งมีค่าและมีความสำคัญอย่างมากต่องานทางด้านวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม ในทางปฏิบัติยางแอสฟัลท์ที่ใช้ส่วนใหญ่มาจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งเรียกว่า ปิโตรเลียมแอสฟัลท์ (Petroleum Asphalt)

ยางแอสฟัลท์จัดเป็นวัสดุจำพวกบิทูมินัส (Bituminous Material) เพราะประกอบด้วยบิทูเมน (Bitumen) ซึ่งเป็นวัสดุพวกไฮโดรคาร์บอนและสารประกอบของไฮโดรคาร์บอน มีลักษณะเป็นของเหลวที่มีความหนืดสูงหรือเป็นของแข็งที่ละลายได้ในคาร์บอนไดซัลไฟด์(Carbondisulfied, CS_2) บิทูเมนประกอบด้วยสารที่ไม่ระเหยตัวเป็นส่วนใหญ่และจะค่อย ๆ อ่อนตัวเมื่อได้รับความร้อน มีสีเป็นสีน้ำตาลเข้มถึงดำและมีคุณสมบัติที่ไม่ซึมน้ำและยึดเกาะได้ ซึ่งบิทูเมนนี้อาจจะได้จากแอสฟัลท์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม สำหรับทาร์ (Tar) ได้จากการกลั่นถ่านหิน (Coal) ก็ประกอบด้วยบิทูเมนด้วยเช่นกัน ดังนั้นทั้งแอสฟัลท์และทาร์จึงจัดเป็นวัสดุจำพวกบิทูมินัส อย่างไรก็ตามต้องไม่สับสนระหว่างยางแอสฟัลท์กับทาร์ เพราะว่าวัสดุทั้งสองมีคุณสมบัติแตกต่างกัน คือยางแอสฟัลท์ที่ได้มาจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมมีปริมาณบิทูเมนประกอบอยู่มาก ส่วนทาร์ที่ได้มาจากการกลั่นถ่านหินมีปริมาณบิทูเมนประกอบอยู่ค่อนข้างน้อย เมื่อเทียบกันแล้ว

ในปัจจุบันยางแอสฟัลท์ที่ใช้ส่วนใหญ่ได้มาจากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม ส่วนยางแอสฟัลท์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติก็มีการใช้บ้างเป็นเพียงส่วนน้อย ยางแอสฟัลท์ที่ได้จากการกลั่นจะมีความทนทานได้ดีเท่ากับยางแอสฟัลท์ตามธรรมชาติ (Native Asphalt) และยังมีข้อดีอีกคือ ในการกลั่น

จะให้คุณภาพอย่างสม่ำเสมอโดยไม่มีสารอินทรีย์หรือสารประกอบอื่น ๆ เจือปนอยู่ ในขณะที่ยางแอสฟัลท์ตามธรรมชาติอาจมีคุณภาพไม่สม่ำเสมอและมีวัสดุที่ไม่ต้องการเจือปนอยู่ด้วย

ยางแอสฟัลท์หรือเราเรียกว่ายางมะตอยนั้น เป็นวัสดุที่นำมาใช้ในงานก่อสร้าง ซึ่งมนุษย์เรารู้จักและนำมาใช้เพื่อให้เป็นประโยชน์ตั้งแต่สมัยโบราณและได้มีการใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากมีคุณสมบัติที่สำคัญ ๆ อยู่ 3 ประการคือ

ก. คุณสมบัติในการยึดเกาะและประสาน (Cementing)

ข. คุณสมบัติในการป้องกันน้ำซึม (Water Proofing) และไม่มีผลกระทบกระเทือนจากกรดและด่าง

ค. คุณสมบัติที่เปลี่ยนเป็นของเหลวหรืออ่อนตัวได้เมื่อถูกความร้อนและแข็งตัวเมื่อเย็นลง จึงเรียกว่าเป็นวัสดุเทอร์โมพลาสติค (Thermoplastic Material)

เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับชนิดของงานและสภาพดินฟ้าอากาศในแต่ละแห่งจึงได้แบ่งประเภทของยางแอสฟัลท์ออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

2.3.1 ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ (Asphalt Cements) ที่ใช้สำหรับงานสร้างผิวจราจรนั้น จะมีลักษณะครึ่งอ่อนครึ่งแข็งที่อุณหภูมิธรรมดา และมีเกรดต่าง ๆ กัน ตั้งแต่แข็งมากถึงอ่อนมาก ในการนำไปใช้งานจะต้องต้มให้ร้อนให้ได้อุณหภูมิ 200^{0}ฟ-300^{0}ฟ ดูตารางที่ 2.2 ประกอบ

หน้าที่ของยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ในงานแอสฟัลท์ติกคอนกรีตก็คือ เป็นตัวหล่อลื่นในขณะทำการบดอัด ทำให้สามารถทำการบดอัดให้ได้ความหนาแน่นตามที่กำหนดในขณะที่ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ยังมีความหนืดพอเพียงในขณะที่ยังร้อนอยู่และหลังจากยางเย็นตัวลงแล้วจะทำหน้าที่ยึดเม็ดวัสดุมวลรวมคละให้เข้าด้วยกันทำให้เกิดความแข็งแรง การใช้ปริมาณยางแอสฟัลท์ที่พอเหมาะจะทำให้แอสฟัลท์ติกคอนกรีตมีความทนทาน เนื่องจากยางแอสฟัลท์ที่เคลือบวัสดุมวลรวมคละจะป้องกันน้ำ อากาศไม่ให้เข้าไปในส่วนผสม ซึ่งถ้าหากน้ำเข้าสู่ส่วนผสมแล้วจะมีผลทำให้อายุการใช้งานสั้นลง

ในการที่ผลิตยางแอสฟัลท์ให้มีเกรดต่าง ๆ นั้นก็เพื่อให้สามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับชนิดของงานและสภาพของดินฟ้าอากาศของแต่ละส่วนของโลก เช่น ในภูมิภาคที่มีอากาศร้อนก็ใช้ยางแอสฟัลท์ที่มี เพเนเตรชั่น (Penetration) ต่ำ เช่น ประเทศไทย โดยทั่ว ๆ ไปใช้

เกรด 80-100 เพเนเตรชั่น ในประเทศหนาวอาจใช้เกรด 120-150 เพเนเตรชั่นหรือสูงกว่า สำหรับยางแอสฟัลท์ซีเมนต์เกรดต่าง ๆ ต้องมีคุณสมบัติตามข้อกำหนดของยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

2.3.2 ยางแอสฟัลท์ชนิดเหลว (Liquid Asphalts) แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

2.3.2.1 ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ (Cutback Asphalt)[24] ทำได้โดยการผสมยางแอสฟัลท์ซีเมนต์กับสารละลาย (Solvents) ซึ่งได้แก่น้ำมันต่าง ๆ เช่น น้ำมันแนพธา (Naptha) หรือน้ำมันเบนซิน (Gasoline) น้ำมันก๊าด (Kerosene) และน้ำมันดีเซล (Diesel Oil) ดูรูปที่ 2.1 ประกอบ น้ำมันต่าง ๆ ที่ใช้เป็นสารละลายนี้รวม ๆ เรียกว่า ไดลูเอนต์ (Diluent) หรือคัทเตอร์สต๊อก (Cutter Stock) ยางแอสฟัลท์ชนิดนี้มักนิยมเรียกว่า คัทแบ็คแอสฟัลท์ (Cutback Asphalts) ซึ่งจะมีลักษณะเหลวในอุณหภูมิธรรมดา โดยเมื่อนำไปใช้งาน เช่น ทำผิวจราจร เมื่อนำไปใช้ลาดแล้วน้ำมันที่ใช้ผสมจะระเหยตัวไปคงเหลือแต่ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์

ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์นี้ในอุณหภูมิปกติจะมีลักษณะข้นจนถึงเหลว จะข้นเหลวมากน้อยนั้นขึ้นอยู่กับ เพเนเตรชั่นเกรด (Penetration Grade) ของยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่นำไปใช้เป็นส่วนผสมและชนิดของสารละลาย (Cutter Stock) ตลอดจนอัตราส่วนระหว่างสารละลายกับยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ ยางแอสฟัลท์ชนิดนี้ประเภทที่เหลวมากอาจนำไปใช้งานได้โดยตรงโดยไม่ต้องให้ความร้อนหรือให้เพียงเล็กน้อยก็พอ สำหรับประเภทที่เหลวปานกลางโดยปกติให้ความร้อน 50^{0}ซ-80^{0}ซ ก็เพียงพอในการทำงาน สำหรับประเภทที่ข้นมากอาจต้องให้ความร้อนระหว่าง 80^{0}ซ-115^{0}ซ ดังคำแนะนำการให้ความร้อนแก่ยางแอสฟัลท์ในตารางที่ 2.10

ตามตารางที่ 2.3, ตารางที่ 2.4 และตารางที่ 2.5 เป็นข้อกำหนดของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งแต่ละชนิดจะแบ่งออกเป็นสี่หรือห้าเกรดดังนี้

ชนิดแข็งตัวเร็ว (Rapid Curing) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า RC	70	250	800	3000
ชนิดแข็งตัวเร็วปานกลาง (Medium Curing) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า MC	30	70	250	800	3000
ชนิดแข็งตัวช้า (Slow Curing) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า SC	70	250	800	3000

ตารางที่ 2.1 กำหนดคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์ซีเมนต์[24]

SPECIFICATIONS FOR ASPHALT CEMENTS

CHARACTERISTICS	AASHO Test Method	ASTM Test Method	GRADES				
Penetration, 77 F, 100 g, 5 sec	T 49	D5	40-50[1]	60-70	85-100	120-150	200-300
Viscosity at 275 F Kinematic, Centistokes Saybolt Furol, SSF	T 201	D2170 E102	240+ 120+	200+ 100+	170+ 85+	140+ 70+	100+ 50+
Flash Point (Cleveland Open Cup), F	T 48	D92	450+	450+	450+	425+	350+
Thin Film Oven Test Penetration After Test, 77 F, 100 g, 5 sec, percent of Original	T 179 T 49	D1754 D5	..... 55+	..... 52+	..... 47+	..... 42+	..... 37+
Ductility At 77 F, cm At 60 F, cm	T 51	D113	100+	100+	100+	60+	..... 60+
Solubility in Trichloroethylene, percent	T 44	D2042	99.0+	99.0+	99.0+	99.0+	99.0+

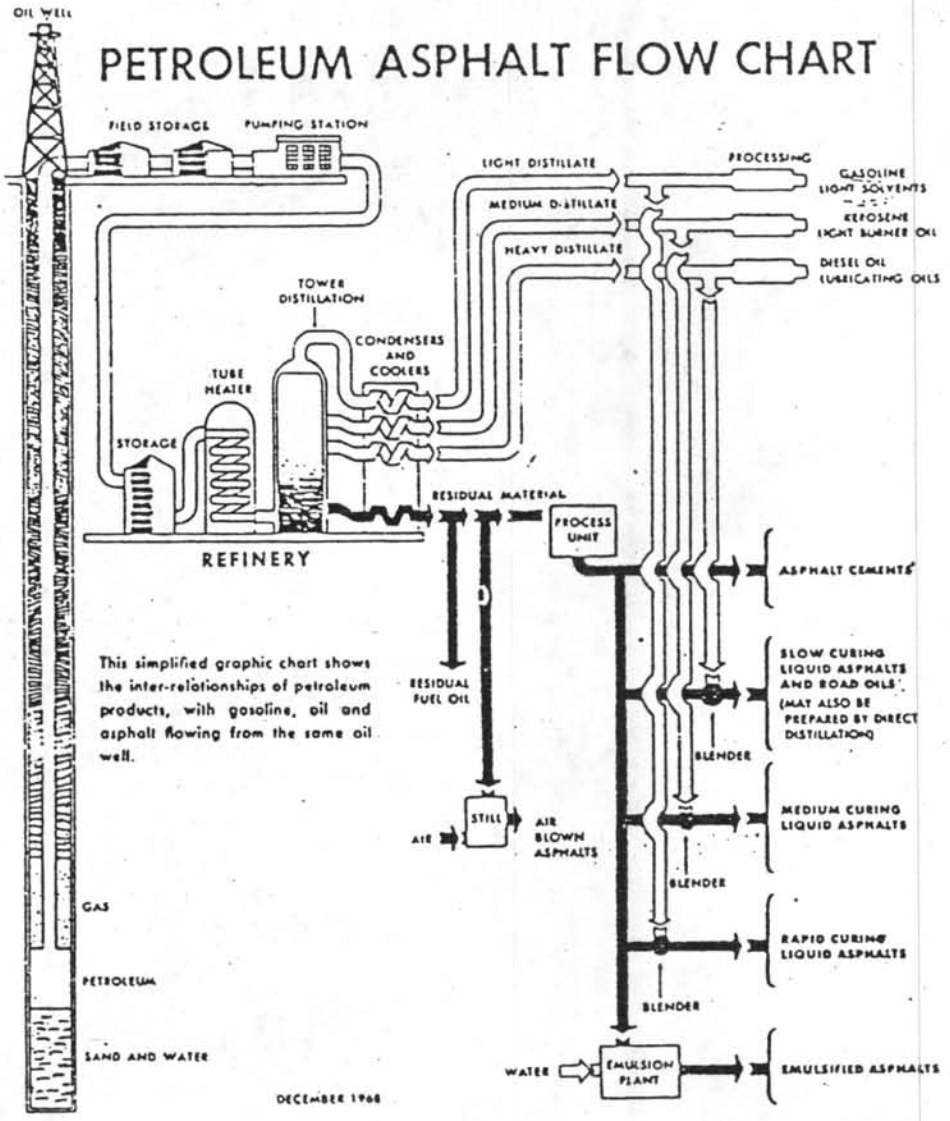
General Requirement—The asphalt shall be prepared by the refining of petroleum. It shall be uniform in character and shall not foam when heated to 350 F.

[1] Also special and industrial uses.

For latest specifications, see *Specifications for Asphalt Cements and Liquid Asphalts* (SS-2), The Asphalt Institute. Available through any Institute office.

รูปที่ 2.2 แนะนำการให้ความร้อนยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ เกรดต่าง ๆ สำหรับงานก่อสร้าง อุณหภูมิเป็น ^{o}ฟ[24]

Type and Grade of Asphalt	Pugmill mixing temperature		Spraying temperature	
	Dense-graded aggregate	Open-graded aggregate	Blade mixing	Surface Treatments
Asphalt Cements				
40-50	275-350	225-310	* *	300-410
60-70	265-330	225-305	* *	295-405
85-100	255-325	225-300	* *	290-400
120-150	245-325	225-300	* *	285-395
200-300	225-300	225-300	* *	275-385



รูปที่ 2.1 แผนภูมิการผลิตยางแอสฟัลท์จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม (15)

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดคุณสมบัติของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ ชนิดแข็งตัวเร็ว [24]

SPECIFICATIONS FOR RAPID-CURING (RC) LIQUID ASPHALTS

CHARACTERISTICS	AASHO Test Method	ASTM Test Method	GRADES			
			RC-70	RC-250	RC-800	RC-3000
Kinematic Viscosity at 140 F, cSt	T 201	D2170	70-140	250-500	800-1600	3000-6000
Flash Point (Tag Open Cup), F	T 79	D1310	.....	80+	80+	80+
Distillation						
Distillate (percent by Volume of Total Distillate to 680 F)						
To 374 F	T 78	D402	10+	.....	.....	.....
To 437 F			50+	35+	15+	.....
To 500 F			70+	60+	45+	25+
To 600 F			85+	80+	75+	70+
Residue from Distillation to 680 F, percent Volume by Difference			55+	65+	75+	80+
Tests on Residue from Distillation						
Penetration, 77 F, 100 g, 5 sec	T 49	D5	80-120	80-120	80-120	80-120
Ductility, 77 F, cm	T 51	D113	100+	100+	100+	100+
Solubility in Trichloroethylene, percent	T 44	D2042	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+
Water, percent	T 55	D95	0.2−	0.2−	0.2−	0.2−

General Requirement—The material shall not foam when heated to application temperature recommended by The Asphalt Institute.

Note: When the Heptane-Xylene Equivalent Test is specified by the consumer, a negative spot test with 35 percent xylene after 1 hour will be required, AASHO Method T 102.

ตารางที่ 2.4 ข้อกำหนดคุณสมบัติของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ ชนิดแข็งตัวเร็วปานกลาง [24]

SPECIFICATIONS FOR MEDIUM-CURING (MC) LIQUID ASPHALTS

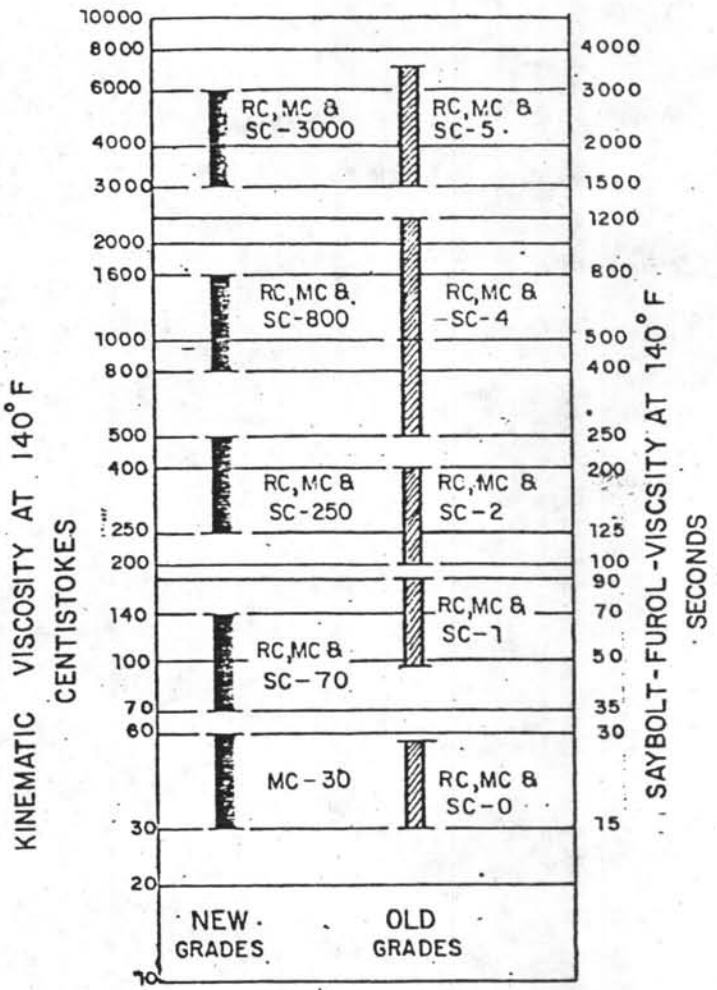
CHARACTERISTICS	AASHO Test Method	ASTM Test Method	GRADES				
			MC-30	MC-70	MC-250	MC-800	MC-3000
Kinematic Viscosity at 140 F, cSt	T 201	D2170	30-60	70-140	250-500	800-1600	3000-6000
Flash Point (Tag Open Cup), F [1]	T 79	D1310	100+	100+	150+	150+	150+
Distillation							
Distillate (percent by Volume of Total Distillate to 680 F)							
To 437 F	T 78	D402	25−	20−	0-10	.....	.....
To 500 F			40-70	20-60	15-55	35−	15−
To 600 F			75-93	65-90	60-87	45-80	15-75
Residue from Distillation to 680 F, percent Volume by Difference			50+	55+	67+	75+	80+
Tests on Residue from Distillation							
Penetration, 77 F, 100 g, 5 sec	T 49	D5	120-250	120-250	120-250	120-250	120-250
Ductility, 77 F, cm [2]	T 51	D113	100+	100+	100+	100+	100+
Solubility in Trichloroethylene, percent	T 44	D2042	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+
Water, percent	T 55	D95	0.2−	0.2−	0.2−	0.2−	0.2−

General Requirement—The material shall not foam when heated to application temperature recommended by The Asphalt Institute.

Note: When the Heptane-Xylene Equivalent Test is specified by the consumer, a negative spot test with 35 percent xylene after 1 hour will be required, AASHO Method T 102.

[1] Flash Point by Cleveland Open Cup may be used for products having a flash point greater than 175 F.
[2] If penetration of residue is more than 200 and its ductility at 77 F is less than 100, the material will be acceptable if its ductility at 60 F is 100+.

For latest specifications, see *Specifications for Asphalt Cements and Liquid Asphalts* (SS-2), The Asphalt Institute. Available through any Institute office.



COMPARISON OF NEW AND OLD LIQUID ASPHALT GRADES AT 140°F (60°C)

รูปที่ 2.2 เปรียบเทียบค่าความหนืดของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ตามข้อกำหนดใหม่และเก่าที่อุณหภูมิ 60°ซ(15)

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 ข้อกำหนดคุณสมบัติของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ ชนิดแข็งตัวช้า [24]

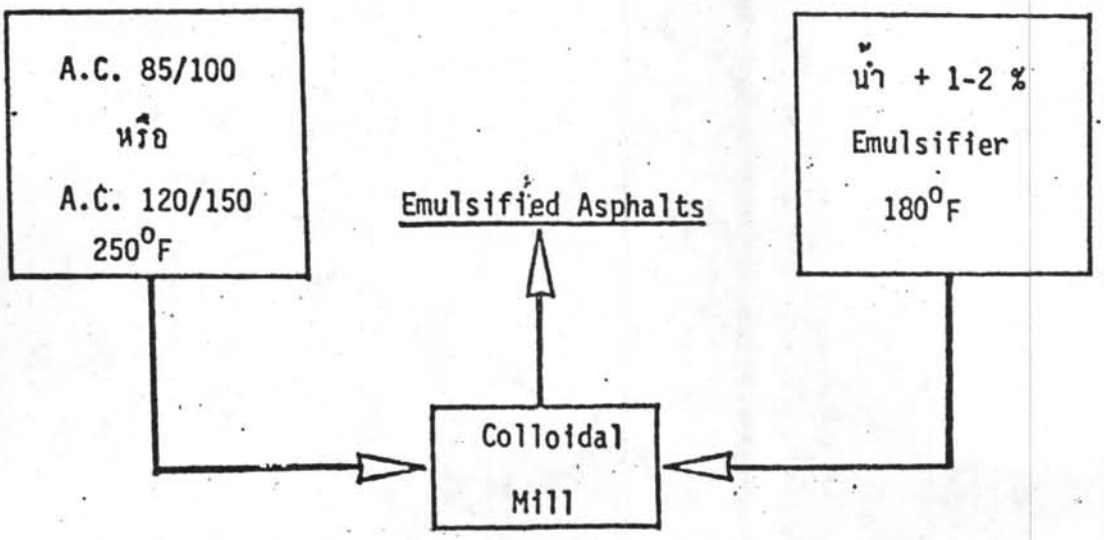
SPECIFICATIONS FOR SLOW-CURING (SC) LIQUID ASPHALTS AND ROAD OILS

CHARACTERISTICS	AASHO Test Method	ASTM Test Method	GRADES			
			SC-70	SC-250	SC-800	SC-3000
Kinematic Viscosity at 140 F, cSt	T 201	D2170	70-140	250-500	800-1600	3000-6000
Flash Point (Cleveland Open Cup), F	T 48	D92	150+	175+	200+	225+
Distillation						
Total Distillate to 680 F, percent by Volume	T 78	D402	10-30	4-20	2-12	5-
Kinematic Viscosity of Residue, 140 F, Stokes	T 201	D2170	4-70	8-100	20-160	40-350
Asphalt Residue of 100 Penetration, percent	T 56	D243	50+	60+	70+	80+
Ductility of 100 Penetration Residue at 77 F, cm	T 51	D113	100+	100+	100+	100+
Solubility in Trichloroethylene, percent	T 44	D2042	99.5+	99.5+	99.5+	99.5+
Water, percent	T 55	D95	0.5-	0.5-	0.5-	0.5-

General Requirement—The material shall not foam when heated to application temperature recommended by The Asphalt Institute.

Note: When the Heptane-Xylene Equivalent Test is specified by the consumer, a negative spot test with 35 percent xylene after 1 hour will be required, AASHO Method T 102.

For latest specifications, see *Specifications for Asphalt Cements and Liquid Asphalts* (SS-2), The Asphalt Institute. Available through any Institute office.



รูปที่ 2.3 แผนภูมิการผลิตยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น [24]

จำนวนเลขที่ต่อท้ายของ RC MC และ SC เช่น 30 70 250 3000 นั้น เป็นตัวเลขที่บอกถึงความหนืดที่ต่ำที่สุดของแอสฟัลท์แต่ละเกรด เมื่ออุณหภูมิ 60°ซ โดยความหนืดนี้มีหน่วยเป็น Centistokes สำหรับค่าความหนืดที่สูงที่สุดของแต่ละเกรดนั้นจะมีค่าเป็น 2 เท่าของค่าความหนืดที่ต่ำที่สุดของเกรดนั้น ๆ

ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์นั้น แต่เดิมได้แบ่งเกรดเป็นตัวเลข 0, 1, 2, 3 4 และ 5 เช่น RC-2 หรือ MC-1 เป็นต้น แต่ในปัจจุบันได้เปลี่ยนมาใช้เกรดดังกล่าวข้างต้นแทนการเทียบเกรด ทำได้โดยอาศัยดูจากรูปที่ 2.2

ก. ชนิดแข็งตัวเร็ว (Rapid Curing, RC) เป็นประเภทที่แข็งตัวเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันที่ใช้ผสมเป็นน้ำมันแนพธา (Naptha) หรือน้ำมันเบนซิน (Gasoline) ซึ่งเป็นน้ำมันที่ระเหยง่าย โดยทั่วไปใช้ผสมกับยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ เกรด 85-100 หรือ 60-70 ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ชนิด RC นี้ โดยทั่ว ๆ ไปใช้ในงานก่อสร้างผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์ (Surface Treatment) เพเนเตรชั่นแมคคาดัม (Penetration Macadam) แทคโค้ท (Tack Coat) และ Open-Graded Paving Mixtures

ข. ชนิดแข็งตัวเร็วปานกลาง (Medium Curing, MC) โดยทั่วไปยางแอสฟัลท์ชนิดนี้ผลิตได้โดยผสมยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ เกรด 120-150 กับน้ำมันก๊าด (Kerosene) ฉะนั้นยางแอสฟัลท์ชนิดนี้จึงใช้เวลาในการแข็งตัวนานกว่าชนิด RC เนื่องจากน้ำมันก๊าดระเหยตัวได้ช้ากว่าน้ำมันแนพธา

ยางแอสฟัลท์ชนิดนี้ใช้ในงานที่ต้องการระยะเวลาในการบ่มตัว (Curing) นานขึ้น เช่น ในการทำไพร์มโค้ท (Prime Coat) เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้ MC มีโอกาสซึมลงไปให้ผิวชั้นพื้นทาง (Base Course) ได้นานทำให้ซึมได้มาก หรือใช้ในการทำ Dense-Grade Paving Mixtures

ค. ชนิดแข็งตัวช้า (Slow Curing, SC) โดยทั่วไปผลิตได้โดยการผสมยางแอสฟัลท์ซีเมนต์เกรด 150-200 กับพวกน้ำมันหนักซึ่งระเหยตัวได้ช้า เช่น น้ำมันดีเซล (Diesel Fuel Oil) หรืออาจผลิตได้โดยการกลั่นโดยตรง ดังได้กล่าวมาแล้ว SC นี้บางทีเรียกว่า "Road Oils" ซึ่งเป็นชนิดที่ไม่เป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทย การแข็งตัวของ SC ก็โดยการ Oxidation

หรือโดยขบวนการ Photo Oxidation มากกว่าการระเหยตัวของน้ำมันที่ผสม การใช้งานส่วนมากจะทำพวก Road Mix หรือใช้ในการปะซ่อม (Patching)

2.3.2.2 ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น (Asphalt Emulsions)[14] เกิดขึ้นจากการทำให้ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ถูกบดให้แตกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ โดยกระจายอยู่ในน้ำที่มีอีมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ผสมอยู่เล็กน้อย ซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ประมาณ 55-70 เปอร์เซนต์ นอกนั้นเป็นน้ำและอีมัลซิไฟเออร์

ขนาดของอนุภาคยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ซึ่งมีผลต่อความมั่นคง (Stability) ของอีมัลชั่นคือ

ขนาดเล็กกว่า 0.001 มม. (1 ไมครอน)	28 %
ขนาด 0.001-0.005 มม. (1-5 ไมครอน)	57 %
ขนาด 0.005-0.010 มม. (5-10 ไมครอน)	15 %

(1 ไมครอน = 0.001 มม.)

ตามรูปที่ 2.3 เป็นแผนภูมิการผลิตยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ซึ่งผลิตได้โดยใช้ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่อุณหภูมิประมาณ 250^{0}ฟ ผสมกับน้ำที่อุณหภูมิประมาณ 180^{0}ฟ โดยมีสารเคมีซึ่งเรียกว่า อีมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ประมาณ 1-2 เปอร์เซนต์ผสมอยู่เพื่อช่วยให้อนุภาคของยางแอสฟัลท์กระจายตัว น้ำและยางแอสฟัลท์จะถูกบดด้วยเครื่องบดซึ่งเรียกว่า "Colloid Mill" ซึ่งจะกระทำให้ยางแอสฟัลท์แตกตัวเป็นอนุภาคเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำและจะคงตัวอยู่ในสภาพนี้ได้เพราะคุณสมบัติของอีมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าส่วนประกอบหลักของยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นจะประกอบด้วยส่วนผสม 3 ชนิดคือ

ก. ยางแอสฟัลท์ ที่ใช้เป็นส่วนประกอบหลักของยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นนี้มีปริมาณ 55-70 เปอร์เซนต์ของทั้งหมด ในการผลิตสามารถใช้ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์เกรดต่าง ๆ ได้หลายเกรด แต่ส่วนใหญ่แล้วจะอยู่ระหว่างเกรด 100-250 เพเนเตรชั่น แต่ในบางครั้งภาวะสิ่งแวดล้อมในท้องที่ทำให้ต้องใช้ยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่แข็งกว่าหรืออ่อนกว่าที่กล่าวไว้ก็ได้ เพื่อความเหมาะสม

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. น้ำ น้ำที่ใช้นี้มีความสำคัญเป็นลำดับรองลงมา น้ำที่ใช้นี้ปกติจะมีแร่ธาตุอื่น ซึ่งจะมีผลกระทบต่อความคงตัวของยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นได้ น้ำอาจมีสิ่งสกปรกเจือปนในรูปของสารละลายหรือคอลลอย (Colloidal Suspension) แต่ที่แน่นอนก็คือมี แคลเซี่ยม หรือแมกนีเซี่ยมไอออน ซึ่งทำให้คุณสมบัติของอีมัลชั่นเปลี่ยนแปรไป สิ่งเหล่านี้จะมีผลต่อพฤติกรรมของมันได้ หรือทำให้การแตกตัวเปลี่ยนแปลงก็ได้ จึงไม่เหมาะที่จะใช้ สรุปแล้วน้ำที่จะใช้ต้องปราศจากสิ่งสกปรกเจือปน

ค. อีมัลซิไฟอิงเอเจนต์ (Emulsifying Agent) คุณสมบัติของยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและชนิดของอีมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) เป็นส่วนสำคัญ อีมัลซิไฟเออร์มีหลายชนิด การที่จะทำอีมัลชั่นมีประจุไฟฟ้าลบ (Anionic) หรือชนิดมีประจุไฟฟ้าบวก (Cationic) จะต้องเลือกใช้อีมัลซิไฟเออร์ให้ถูกต้อง นอกจากนั้นอีมัลซิไฟเออร์จะเป็นตัวช่วยให้อนุภาคของยางแอสฟัลท์ลอยกระจัดกระจายอยู่ในน้ำได้ดี มีความคงตัวสูง (Stable) และเมื่อใช้งานจะแตกตัวตามเวลาที่ต้องการได้ อนึ่ง การเลือกใช้อีมัลซิไฟเออร์ต้องให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์ซีเมนต์ ที่ใช้ทำอีมัลชั่นด้วย

สำหรับยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นมีอยู่หลายชนิดและหลายเกรดด้วยกัน เมื่อแบ่งตามอีมัลซิไฟอิงเอเจนต์ ซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. ประจุลบ (Anionic) คืออนุภาคของยางแอสฟัลท์ซึ่งกระจายอยู่ในน้ำมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ซึ่งต้องมีคุณสมบัติตามข้อกำหนดในตารางที่ 2.6

2. ประจุบวก (Cationic) คืออนุภาคของยางแอสฟัลท์ซึ่งกระจายอยู่ในน้ำ มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ซึ่งต้องมีคุณสมบัติตามข้อกำหนดในตารางที่ 2.7

การใช้อีมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) ชนิดต่าง ๆ กัน และใช้น้ำที่มีความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ต่าง ๆ กัน ก็จะทำให้ได้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นชนิดและเกรดต่าง ๆ กัน สำหรับชนิดประจุลบ (Anionic) น้ำที่ใช้จะต้องมีความเป็นด่าง (pH มากกว่า 7) ส่วนชนิดประจุบวก (Cationic) น้ำที่ใช้จะต้องมีความเป็นกรด (pH น้อยกว่า 7)

ตารางที่ 2.6 ข้อกำหนดคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ชนิดที่มีประจุไฟฟ้าลบ (6)

CHARACTERISTICS	AASHO Test Method	ASTM Test Method	GRADES				
			Rapid Setting		Medium Setting	Slow Setting	
			RS-1	RS-2	MS-2	SS-1	SS-1h
TESTS ON EMULSION							
Furol Viscosity at 77°F., sec.			20-100	.....	100+	20-100	20-100
Furol Viscosity at 122°F., sec.			.....	75-400	.....	.....	.....
Residue from Distillation, % by weight			57+	62+	62+	57−	57−
Settlement, 5 days, % difference	T59	D244	3−	3−	3−	3−	3−
Demulsibility:							
35 ml. of 0.02 N $CaCl_2$, %			60+	50+	.....	.....	.....
50 ml. of 0.10 N $CaCl_2$, %			.....	.....	30−	.....	.....
Sieve Test (Retained on No. 20), %			0.10−	0.10−	0.10−	0.10−	0.10−
Cement Mixing Test, %			.....	.....	.....	2.0−	2.0−
TESTS ON RESIDUE							
Penetration, 77°F., 100 g., 5 sec.	T49	D5	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90
Solubility in Carbon Tetrachloride, %	T44[1]	D4[1]	97.5+	97.5+	97.5+	97.5+	97.5+
Ductility, 77°F., cms.	T51	D113	40+	40+	40+	40+	40+

[1] Except that carbon tetrachloride is used instead of carbon disulphide as solvent. Method No. 1 in AASHO Method T44 or Procedure No. 1 in ASTM Method D4.

ตารางที่ 2.7 ข้อกำหนดคุณสมบัติของยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ชนิดที่มีประจุไฟฟ้าบวก (6)

CHARACTERISTICS	AASHO Test Method	ASTM Test Method	GRADES					
			Rapid Setting		Medium Setting		Slow Setting	
			RS-2K	RS-3K	SM-K	CM-K	SS-K	SS-Kh
TESTS ON EMULSION								
Furol Viscosity at 77°F., sec.	T59	D244	.....	.....	.....	.....	20-100	20-100
Furol Viscosity at 122°F., sec.	T59	D244	20-100	100-400	50-500	50-500	.....	.....
Residue from Distillation:								
Residue, % by weight	T59	D244	60+	65+	60+	65+	57+	57+
Oil Distillate, % by Volume of Emulsion	T59	D244	5−	5−	20−	12−	.....	.....
Settlement, 7 days, % difference	T59	D244	3−	3−	3−	3−	3−	3−
Sieve Test (Retained on No. 20), %	T59[1]	D244[1]	0.10−	0.10−	0.10−	0.10−	0.10−	0.10−
Aggregate Coating—Water Resistance Test	.....	D244						
Dry Aggregate (Job), % Coated			.....	.....	80+	80+	.....	.....
Wet Aggregate (Job), % Coated			.....	.....	60+	60+	.....	.....
Cement Mixing Test, %	T59	D244	.....	.....	.....	.....	2−	2−
Particle Charge Test	T59A	D244	Positive	Positive	Positive	Positive	.....	.....
pH	T200	E70	.....	.....	.....	.....	6.7−	6.7−
TESTS ON RESIDUE								
Penetration, 77°F., 100 g., 5 sec.	T49	D5	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
Solubility in Carbon Tetrachloride, %	T44[2]	D4[2]	97.0+	97.0+	97.0+	97.0+	97.0+	97.0+
Ductility, 77°F., cm.	T51	D113	40+	40+	40+	40+	40+	40+

[1] Except that distilled water is used instead of sodium oleate solution.
[2] Except that carbon tetrachloride is used instead of carbon disulphide as solvent, Method No. 1 in AASHO Method T44 or Procedure No. 1 in ASTM Method D 4.
Note: a) "K" in grade designations signifies cationic type
b) In Medium Setting Grades—
"SM" indicates sand mixing grade
"CM" indicates coarse aggregate mixing grade

นอกจากนี้ ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นถ้าจะแบ่งตามการแตกตัว (Breaking) และการบ่มตัว (Curing) ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการระเหยของน้ำจากอีมัลชั่น มีการแบ่งได้ดังนี้

ก. ชนิดแตกตัวเร็ว (Rapid Setting) ยางอีมัลชั่นเกรดนี้มีความคงตัว (Stability) ต่ำ เพราะว่ามีอีมัลซิไฟอิงเอเจนต์ (Emulsifying Agent) ผสมอยู่น้อย การทำให้กระทบกระเทือนหรือการที่มันสัมผัสกับผิววัสดุมวลรวมขณะใช้งาน จะทำให้ยางอีมัลชั่นเกรดนี้แตกตัวทันที ฉะนั้นการใช้งานจะใช้ในลักษณะพ่น เช่น การทำซีลโค้ท (Seal Coat) แทคโค้ท (Tack Coat) และการทำผิวเซอร์เฟสทรีดเมนท์ (Surface Treatment) เท่านั้น

ข. ชนิดแตกตัวเร็วปานกลาง (Medium Setting) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า MS อีมัลชั่นเกรดนี้มีความคงตัวสูงกว่าประเภท RS เนื่องจากมีอีมัลซิไฟอิงเอเจนต์ผสมอยู่มากกว่า ฉะนั้นจึงใช้งานในลักษณะผสมกับวัสดุมวลรวมที่มีขนาดโต (Open Graded Aggregate) ได้ ซึ่งมันจะแตกตัวหลังจากการผสมและบดทับแล้ว

ค. ชนิดแตกตัวช้า (Slow Setting) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า SS ยางอีมัลชั่นเกรดนี้มีความคงตัวสูงมากสามารถใช้งานในลักษณะพ่น เช่น การทำไพร์มโค้ท (Prime Coat) ได้ดี และก็ใช้ได้ในงานผสมกับวัสดุบนถนน เช่น การทำเพื่อการปรับปรุงคุณภาพของดิน (Soil Stabilization) และสเลอรี่ซีล (Slurry Seal) ทั้งนี้ภายใต้ข้อจำกัดหนึ่ง ๆ แล้วแต่ชนิดของการใช้งาน ซึ่งในลักษณะนี้ ถ้าให้ RS หรือ MS แล้วจะแตกตัวก่อนที่งานจะแล้วเสร็จ

ตามข้อกำหนดของ AASHTO และ ASTM ได้มีการกำหนดเกรดและชนิดของยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นไว้ดังนี้

เกรด	ประจุลบ (Anionic)	ประจุบวก (Cationic)
ก. ชนิดแตกตัวเร็ว (Rapid Setting)	RS-1	CRS-1
	RS-2	CRS-2
ข. ชนิดแตกตัวเร็วปานกลาง (Medium Setting)	MS-1	-
	MS-2	CMS-2
	MS-2h	CMS-2h
	HFMS-1	-
	HFMS-2	-
	HFMS-2h	-
	HFMS-2s	-
ค. ชนิดแตกตัวชนิด (Slow Setting)	SS-1	CSS-1
	SS-1h	CSS-h

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอักษร "h" ที่ตามหลังเกรดหมายถึง ใช้ยางแอสฟัลท์ที่แข็งกว่า (harder) ในการผลิตยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ตัวอักษร "HF" ที่นำหน้าเกรดแตกตัวเร็วปานกลาง (Medium Setting) หมายถึง High-Float และจะมีเฉพาะเกรดแตกตัวเร็วปานกลาง การทดสอบ High-Float นี้วัดได้โดยวิธี Float Test ตามวิธีการของ AASHTO T50 หรือ ASTM D139 ยางอีมัลชั่นชนิดไฮ-ไฟลท (High-Float) จะมีคุณสมบัติพิเศษคือ สามารถที่จะเคลือบผิวของวัสดุมวลรวม เป็นฟิล์มที่หนากว่ายางชนิดธรรมดาโดยที่ยางมีโอกาสจะหลุดร่อนน้อยมาก และทำให้น้ำสามารถระบาย (Drainage) ได้น้อย

2.4 <u>การเลือกใช้ยางแอสฟัลท์ชนิดเหลวให้เหมาะสมกับงาน</u>

สิ่งแรกที่จะพิจารณาเลือกชนิดของยางแอสฟัลท์ จะต้องรู้ถึงจุดมุ่งหมายต่าง ๆ ในงานทางที่จะทำการก่อสร้างเสียก่อน เช่น ทำซีลโค้ท ไพร์มโค้ท แทคโค้ท เซอร์เฟสทรีตเมนต์ และอื่น ๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเลือกใช้ชนิดของยางแอสฟัลท์ให้เหมาะสมกับจุดมุ่งหมายในการใช้งานนั้น ๆ สิ่งที่จะต้องพิจารณาประกอบคือ

- สภาพของภูมิอากาศที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในขณะก่อสร้าง เช่นอากาศร้อนหรืออากาศหนาว
- ชนิดของวัสดุมวลรวมที่จะนำมาใช้งาน
- เครื่องมือและอุปกรณ์การก่อสร้างที่จะนำมาใช้งาน
- สถานที่ก่อสร้างมีสภาพทางภูมิศาสตร์อย่างไร
- ปัญหาการจราจรที่ผ่านในบริเวณก่อสร้าง
- พิจารณาถึงสภาพแวดล้อม

คุณลักษณะและข้อดีประการหนึ่งที่เห็นเด่นชัดของยางแอสฟัลท์ในแง่ของการนำไปใช้งานก่อสร้างและบำรุงทาง คือใช้ประโยชน์ได้มากมายหลายอย่าง เพราะว่ายางแอสฟัลท์มีอยู่หลายชนิดและหลายเกรด สามารถจัดหาเลือกใช้กับวัสดุมวลรวมชนิดต่าง ๆ ที่มีอยู่ในท้องถิ่นได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการก่อสร้างและบำรุงรักษาถนนด้วย ดังคำแนะนำการเลือกใช้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นและยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ใน

ตารางที่ 2.8 และตารางที่ 2.9 การนำยางแอสฟัลท์ชนิดเหลวไปใช้เป็นยางประสานในงานแอสฟัลท์ติดคอนกรีตแบบผสมเย็น ซึ่งเป็นการผสมระหว่างวัสดุมวลรวมคละที่อยู่ในอุณหภูมิตามธรรมชาติขณะนั้นกับยางแอสฟัลท์ที่มีอุณหภูมิตามที่ต้องการ แล้วแต่ชนิดของยางแอสฟัลท์ที่นำมาใช้งาน เช่น ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น จะถูกนำไปใช้ผสมที่อุณหภูมิขณะนั้น ส่วนยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ต้องให้ความร้อนโดยอุ่นให้ถึงอุณหภูมิหนึ่งตามที่กำหนด เพื่อให้มีความหนืด (Viscosity) และความสามารถในการเท (Workability) เหมาะต่อการผสมและการบดทับได้ดี สำหรับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการให้ความร้อนแก่ยางแอสฟัลท์ ได้แสดงในตารางที่ 2.10

2.4.1 ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ การใช้ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ผสมกับวัสดุมวลรวม เพื่อให้เกิดการเคลือบผิวที่ดี[16] ควรใช้วัสดุมวลรวมที่แห้งและสะอาด ถ้าวัสดุมวลรวมสกปรกมีฝุ่นมาก ควรจะล้างฝุ่นออกก่อน ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ที่ใช้กับวัสดุมวลรวมที่เปียกอันเกิดจากการล้างหรือวัสดุมวลรวมที่มีความชื้นตามธรรมชาติสูง จะทำให้การเคลือบผิวไม่ดี จึงควรจะเติมสารผสมแอสฟัลท์ (Additive Agent) ลงในยางแอสฟัลท์ เพื่อให้ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์จับผิววัสดุมวลรวมได้ดีขึ้น ถ้าหากว่าไม่ต้องการเติมสารผสมแอสฟัลท์ลงในยางแอสฟัลท์ วัสดุมวลรวมที่ใช้ควรจะแห้งและสะอาด สำหรับกรณีที่วัสดุมวลรวมชื้น ความชื้นในวัสดุมวลรวมควรจะต่ำกว่าการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ของวัสดุมวลรวมนั้นอย่างน้อยที่สุด 50 เปอร์เซนต์ จึงจะไม่ทำให้เกิดการหลุดลอกของยางแอสฟัลท์มากเกินไป ยกตัวอย่างเช่น ถ้าการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมเท่ากับ 2 เปอร์เซนต์ ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเนื้อของวัสดุมวลรวมจึงไม่ควรเกิน 1 เปอร์เซนต์

2.4.2 ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น โครงสร้างและแร่ธาตุของวัสดุมวลรวมชนิดต่าง ๆ เป็นองค์ประกอบสำคัญเกี่ยวกับการยึดเกาะระหว่างยางแอสฟัลท์และวัสดุมวลรวม และยิ่งมีความสำคัญเป็นพิเศษ ถ้าใช้กับยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น โดยทั่วไปในงานทางแบ่งวัสดุมวลรวมออกเป็น 2 ชนิดคือ

ก. พวกไฮโดรฟิลิก (Hydrophilic) คือพวกวัสดุมวลรวมที่เปียกน้ำได้ง่ายกว่ายางแอสฟัลท์ เช่น พวกซิลิก้า (Silica) ควอทซ์ (Quartz) และกรวด ซึ่งเป็นพวกที่มีประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นลบ

ข. พวกไฮโดรโฟบิก (Hydrophobic) คือพวกวัสดุมวลรวมที่เปียกน้ำได้ยากแต่จับยึดเกาะยางแอสฟัลท์ได้ดี เช่น หินปูน ซึ่งเป็นพวกที่มีประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นบวก ดัง

ตารางที่ 2.8 แนะนำการเลือกใช้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นที่เหมาะสมกับงานลักษณะต่าง ๆ (22)

USE	EMULSIFIED ASPHALT													
	ANIONIC (AASHTO M 140 or ASTM D 977)							CATIONIC (AASHTO M 208 or ASTM D 2399)						
	Rapid Setting		Medium Setting			Slow Setting		Rapid Setting		Medium Setting		Slow Setting		
	RS-1	RS-2	MS-1	MS-2	MS-2h	SS-1	SS-1h	CRS-1	CRS-2	CMS-2	CMS-2h	CSS-1	CSS-1h	
Plant Mix: Cold-Mixed, Cold-Laid														
Open-graded aggregate				x[1]	x[1]					x[1]	x[1]			
Dense-graded aggregate			x[1]	x[1]	x[1]	x[1]	x[1]			x[1]	x[1]	x[1]	x[1]	
Clean sand				x[1]	x[1]					x[1]	x[1]			
Sandy soil			x[1]			x[1]	x[1]					x[1]	x[1]	
Plant Mix: Hot-Mix, Hot-Laid				x[1]	x[1]					x[1]	x[1]			
Mix-in-Place or Travel Plant														
Open-graded aggregate			x[1]	x[1]	x[1]					x[1]	x[1]			
Dense-graded aggregate			x[1]	x[1]	x[1]	x[1]	x[1]			x[1]	x[1]	x[1]	x[1]	
Clean sand				x[1]	x[1]					x[1]	x[1]			
Sandy soil			x[1]			x[1]	x[1]					x[1]	x[1]	
Patching Mix														
Immediate use				x[1]	x[1]					x[1]	x[1]			
Stock pile				x[1]						x[1]				
Slurry Seal						x	x					x	x	
Surface Treatment or Seal Coat														
Chip, single and multiple	x	x		x	x			x	x	x	x			
With sand cover	x		x	x				x		x				
Fog Seal						x[2]	x[2]					x[2]	x[2]	
Tack Coat			x[2]	x[2]	x[2]	x[2]	x[2]			x[2]	x[2]	x[2]	x[2]	
Prime Coat:														
Open surface				x[2]	x[2]	x[2]						x[2]		
Dense Surface (3)														
Penetration Macadam														
High voids		x			x				x		x			
Low voids	x		x		x			x			x			
Crack Filler			x	x	x					x	x			

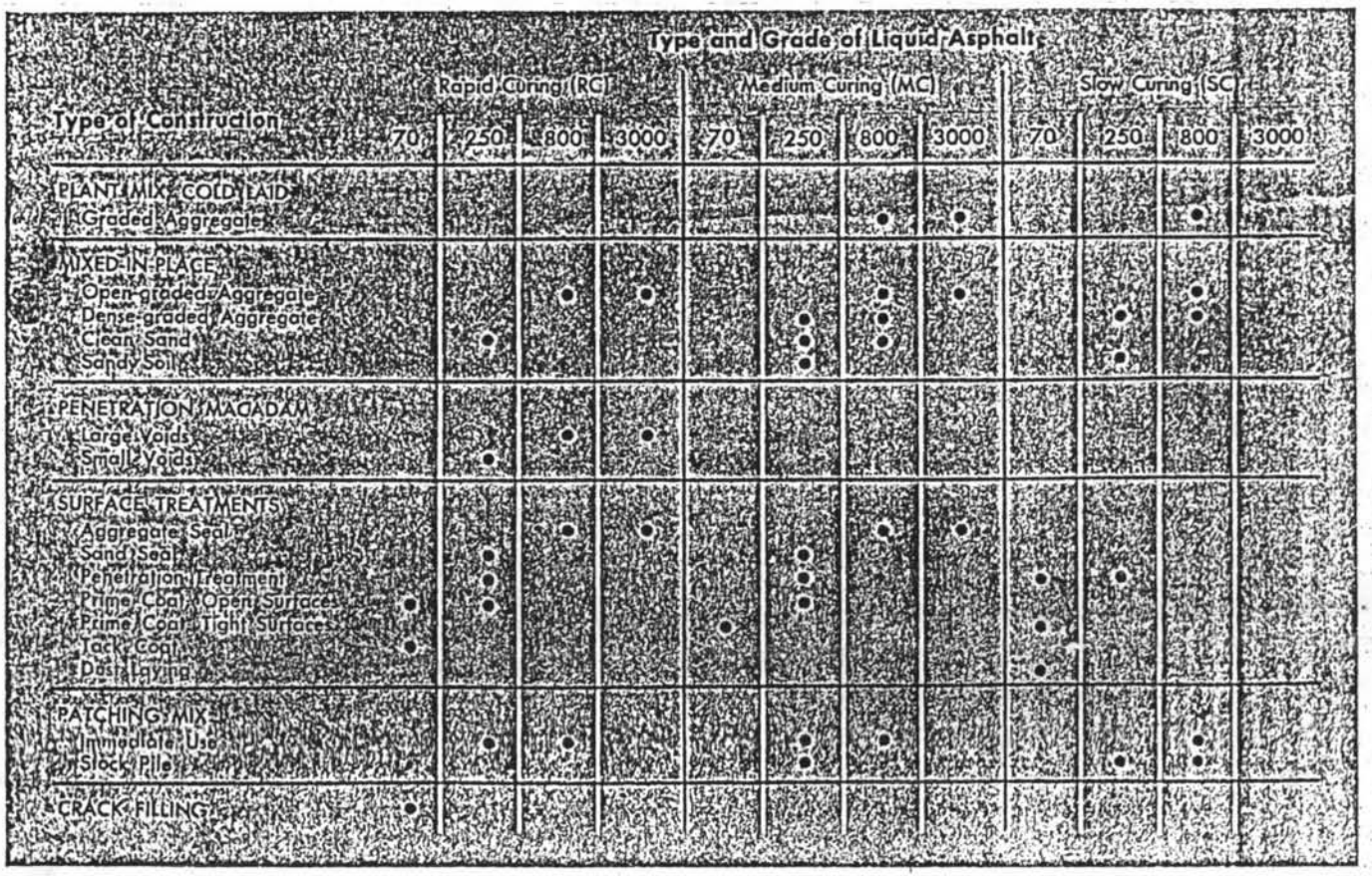
1. Evaluation of emulsion - aggregate required.
2. Dilute with water if necessary.
3. Standard emulsion grades are not suitable for priming dense surfaces.

หมายเหตุ แอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด CMS-2 เป็นเกรดเดียวกับเกรด CM-K

เกรด CSS-1 เป็นเกรดเดียวกับเกรด SS-K

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.9 แนะนำการเลือกใช้ชนิดและเกรดของยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ที่เหมาะสมกับงานลักษณะต่าง ๆ (32)



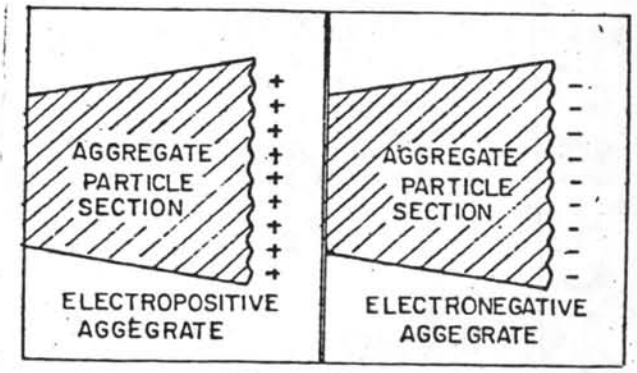
. Selection of type and grade of liquid asphalts. The SC-3000 grade is used occasionally in hot mix pavements.

ตารางที่ 2.10 แนะนำการใช้ความร้อนแก่ยางแอสฟัลท์ชนิดเหลวสำหรับงานก่อสร้างแบบผสมเย็น[28]

TYPICAL ASPHALT TEMPERATURES FOR COLD-MIXED CONSTRUCTION[1]

Type and Grade	Asphalt Temperature When the Asphalt is Metered through a Mixing Plant	Asphalt Temperature When the Asphalt is Applied to a Windrow Prior to Mixing
Emulsified Asphalts		
Anionic		
MS-1, MS-2, MS-2h		
HFMS-1, HFMS-2, HFMS-2h, HFMS-2s		
SS-1, SS-1h	10-70° C (50-160° F)	20-70° C (70-160° F)
Cationic		
CMS-2, CMS-2h		
CSS-1, CSS-1h	10-70° C (50-160° F)	20-70° C (70-160° F)
Cutback Asphalts		
RC, MC, SC Asphalts		
250	55-80° C (135-175° F)	40° C + (105° F+)
800	75-100° C (165-210° F)	55° C + (135° F+)
3000	80-115° C (180-240° F)	———

[1] Temperatures are included in this table as a guide only.
[2] The maximum temperature of cutback asphalt shall be below that at which fogging occurs.



A schematic diagram of the surface charncteristics of to diverse types of aggregates

รูปที่ 2.4 ชนิดของประจุที่ผิววัสดุมวลรวม[15]

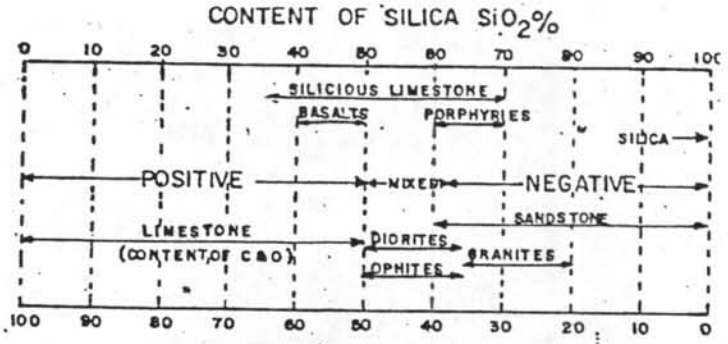
แสดงในรูปที่ 2.4 คุณสมบัติทางเคมีไฟฟ้า (Electrochemical) จะเป็นสิ่งบอกความสามารถในการยึดเกาะกับยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น

สิ่งที่สำคัญก็คือ คุณสมบัติตามธรรมชาติของประจุไฟฟ้าที่ผิวของวัสดุมวลรวมที่แสดงออก เมื่อวัสดุมวลรวมถูกน้ำ โดยปกติเมื่อวัสดุมวลรวมแห้งประจุไฟฟ้าที่ผิวของวัสดุมวลรวมจะไม่แสดงออกมา ทั้งนี้เพราะ Absorbed Ions จะทำให้ประจุไฟฟ้าที่ผิววัสดุมวลรวมเป็นกลาง แต่เมื่อใดก็ตาม เมื่อสัมผัสกับน้ำ พวกไอออน (Ions) เหล่านี้จะไปอยู่ในน้ำ ดังนั้นวัสดุมวลรวมจึงแสดงประจุไฟฟ้าออกมาที่ผิว

แต่เนื่องจากวัสดุมวลรวมส่วนมากจะมีประจุไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด คือมีทั้งประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นลบ และประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นบวก ซึ่งวัสดุมวลรวมนี้จะประกอบด้วย ซิลิคอน (Silicon) ซึ่งมีประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นลบ ในขณะเดียวกันก็มีแคลเซี่ยม แม็กนีเซี่ยม อลูมิเนี่ยม หรือเหล็ก ซึ่งมีประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นบวก วัสดุมวลรวมดังกล่าวนี้ เช่น พวก แทรปร็อค (Trap Rock) บาซอลท์ (Basalts) Porphyrites และ Silicon Lime Stone พวกโดโลไบท์ (Dolomite) และควอทซ์ (Quartz) คือวัสดุมวลรวมที่มีประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นบวกและประจุไฟฟ้าที่ผิวเป็นลบสูงมากตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

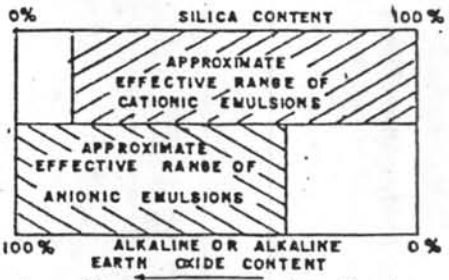
ถ้าวัสดุมวลรวมที่นำมาใช้งานมีทั้งประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบใกล้เคียงกัน สามารถเลือกใช้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นชนิดที่มีประจุไฟฟ้าบวกหรือประจุไฟฟ้าลบก็ได้ แต่ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นชนิดประจุไฟฟ้าบวกเหมาะที่จะเลือกนำมาใช้งานมากกว่า เพราะว่าสามารถใช้กับวัสดุมวลรวมได้กว้างกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ประจุไฟฟ้าที่ผิวของวัสดุมวลรวมจะเป็นสิ่งบอกถึงการยึดเกาะ (Adhesion) ระหว่างวัสดุมวลรวมกับยางแอสฟัลท์จะดีหรือไม่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8 ประจุไฟฟ้าที่ผิววัสดุมวลรวมจะเกิดขึ้นเมื่อวัสดุมวลรวมสัมผัสกับน้ำ ถ้าวัสดุมวลรวมแห้งประจุไฟฟ้าที่ผิวจะไม่เกิดขึ้น เนื่องจากผิววัสดุมวลรวมจะดูดซึมประจุไฟฟ้าทำให้วัสดุมวลรวมมีสภาพเป็นกลาง

การใช้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นผสมกับวัสดุมวลรวม เพื่อให้เกิดการเคลือบผิวที่ดี[37,38,39] จะต้องคำนึงถึง เปอร์เซนต์ของน้ำ เปอร์เซนต์ของของเหลว (Fluid) ทั้งหมดซึ่งประกอบด้วยยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นกับน้ำ และเวลาที่ใช้ในการผสม ซึ่งเป็นตัวองค์ประกอบที่มีผลต่อการเคลือบผิว



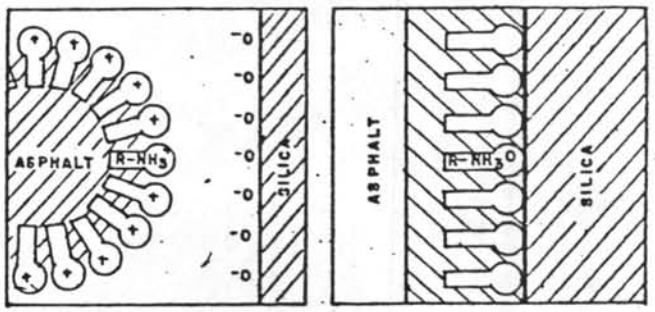
Classification of aggregates

รูปที่ 2.5 การจำแนกวัสดุมวลรวม (15)



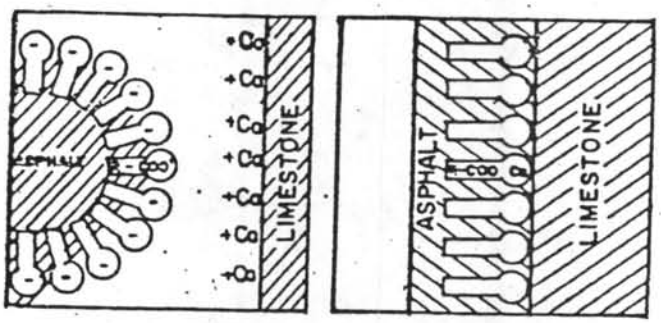
Approximate effective range of cationic and axionic emulsions on various types of aggregates:

รูปที่ 2.6 ช่วงประสิทธิผล โดยประมาณของยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เมื่อใช้กับวัสดุมวลรวมชนิดต่าง ๆ (15)



Action of cationic asphalt emulsions upon silica aggregates

รูปที่ 2.7 ปฏิกริยาระหว่างยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นชนิดประจุบวกกับวัสดุมวลรวมพวกซิลิก้า (15)



Action of anionic asphalt emulsion upon calcareous (limestone) aggregates

รูปที่ 2.8 ปฏิกริยาระหว่างยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นชนิดประจุลบกับวัสดุมวลรวมพวกหินปูน (15)

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัสดุบวลรวมและการบดอัด การผสมวัสดุบวลรวมกับยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นเพื่อให้การเคลือบผิวที่ดี มี 2 วิธี คือ

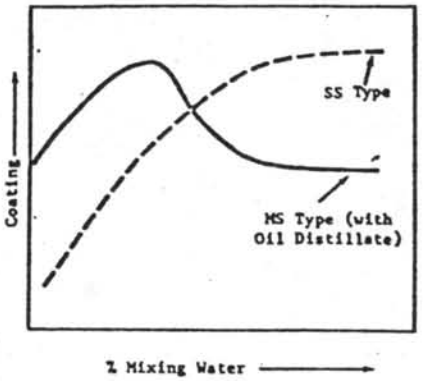
ก. การกำหนดเวลาที่ใช้ในการผสมกับน้ำให้คงที่ โดยทำการผสมน้ำกับวัสดุบวลรวมจนน้ำเคลือบผิววัสดุเปียกทั่วในระยะเวลาที่กำหนด เติมยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นที่ต้องการ จึงทำการผสมอีกครั้งตามระยะเวลาที่กำหนด และในการทดลองตัวอย่างทุกตัวอย่างต้องให้เวลาในการผสมเท่ากันหมด

ข. โดยการผสมวัสดุบวลรวม น้ำและยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นไปพร้อมกัน จนกระทั่งส่วนผสมมีสีกลมกลืนสม่ำเสมอ เวลาที่ใช้ในการผสมขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุบวลรวม น้ำและยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น

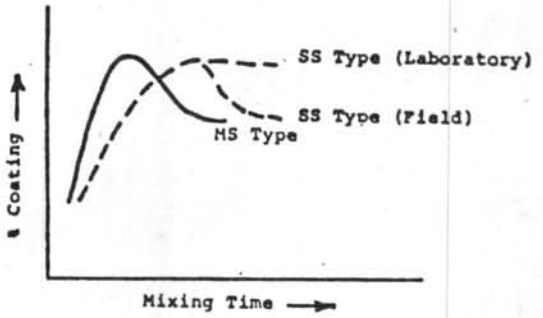
การใช้ระยะเวลาในการผสมนานเกินไป อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นเกิดการหลุดลอกจากผิววัสดุบวลรวมได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เป็นยางชนิดที่มีประจุลบ (Anionic) ระยะเวลาที่ใช้ในการผสมที่ดีควรจะประมาณ 2 นาที แต่อาจจะอยู่ในช่วงเวลาตั้งแต่ 1 นาทีถึง 6 นาทีก็ได้ การพ่นยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นเป็นฝอยบาง ๆ (Thin Stream) อย่างต่อเนื่องลงในวัสดุบวลรวมขณะที่เครื่องผสมกำลังผสมอยู่ จะทำให้การเคลือบผิวดียิ่งขึ้น

ตามปกติแล้วยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นชนิดแตกตัวช้า (Slow Setting Type) จะมีเสถียรภาพและความเจือจางในการผสมมากกว่าชนิดแตกตัวเร็วปานกลาง (Medium Setting Type) และยังสามารถใช้กับวัสดุบวลรวมที่มีความชื้น (Damp) และเปียกได้ดี โดยไม่เกิดการหลุดลอกของยางแอสฟัลท์อีกด้วย ส่วนยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นชนิดแตกตัวเร็วปานกลางจะให้การเคลือบผิวที่ดีเมื่อวัสดุบวลรวมแห้งหรือมีความชื้น แต่ถ้าหากว่าวัสดุบวลรวมเปียกน้ำแล้ว อาจจะทำให้เกิดการหลุดลอกของยางแอสฟัลท์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.9

กำลังที่เพิ่มขึ้นของส่วนผสมที่ใช้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นชนิดแตกตัวช้าจะขึ้นอยู่กับคายน้ำ (Dyhydration) และการดูดน้ำของวัสดุบวลรวม การที่ยางแตกตัวและน้ำระเหยออกไปจากส่วนผสมนั้นจะเป็นผลทำให้ส่วนผสมมีความแข็งขึ้น เช่นเดียวกับแอสฟัลท์ติกคอนกรีต ในการออกแบบ ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นชนิดแตกตัวเร็วปานกลางจะถูกออกแบบให้ยางแตกตัวในระยะเวลาสั้น ๆ หลังจากถูกผสม

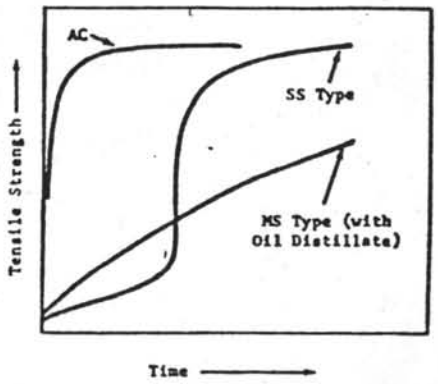


a Emulsion Type Affects Coating.

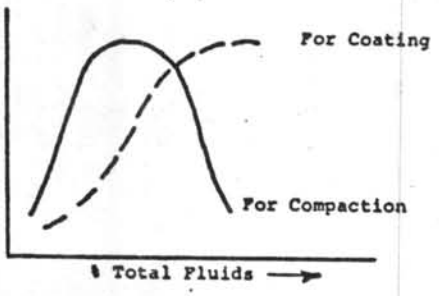


b

รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ผสม ระยะเวลาในการผสมกับการเคลือบผิวของแอสฟัลท์อีมัลชั่นเกรดต่าง ๆ



a Emulsion Type Affects Development of Tensile Strength.



b

รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของของเหลวที่ใช้ผสม ระยะเวลาในการผสมกับกำลังของวัสดุมวลรวม เมื่อใช้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นเกรดต่าง ๆ

ดังนั้นส่วนผสมจะเกิดการรับกำลังได้เร็ว เพื่อที่จะต้านทานต่อฝน ในการบ่มส่วนผสมจะควบคุมการระเหยของน้ำและการสูญเสียน้ำมันในยาง ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นที่มีน้ำมันประกอบอยู่ก็เพื่อให้มีระยะเวลานานพอที่จะทำให้ส่วนผสมรับกำลังได้สูงสุดมากกว่าส่วนผสมที่ไม่มีน้ำมันในยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ดังแสดงในรูปที่ 2.10

2.5 <u>การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของดินเหนียวเมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิสูง</u> (3)

จากการทดลองวิเคราะห์ส่วนประกอบของดินเหนียวโดยวิธี Thermal Analysis โดยอาศัยหลักความร้อนหลักการที่ว่า เมื่อสารประกอบ เช่น ดินถูกเผาที่อุณหภูมิสูงจะเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิหนึ่งขณะเกิดการสลายตัวจะเกิดปฏิกริยาขึ้นยังผลให้เกิดปฏิกริยาดูด หรือพลังคายความร้อนและการสูญเสียน้ำหนัก การวิเคราะห์ถึงลักษณะและปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น เช่น การดูดเข้าหรือคายออกตลอดจนการสูญเสียน้ำหนักของสารประกอบระหว่างการเกิดปฏิกริยา สามารถทำได้โดยใช้เครื่อง Thermoanalyzer

สำหรับชนิดของปฏิกริยาที่เกิดขึ้น เมื่อเผาดินเหนียวตัวอย่างบริสุทธิ์ มีดังนี้

2.5.1 การสูญเสียน้ำในมวลดิน (Dyhydration) เป็นปฏิกริยาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสูญเสียน้ำ ซึ่งแยกออกเป็นปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นเนื่องจากความชื้นในอากาศ โดยน้ำจะถูกขับไล่ออกไปที่อุณหภูมิเผาประมาณ 100^{0} ซ ถึง 300^{0} ซ และอาจจะ Reversible หรือไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน

การที่น้ำในมวลดินสูญเสียไปที่อุณหภูมิระหว่างนี้จะทำให้กำลังลดลง เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคลดลง และเมื่อเผาอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 500^{0} ซ ถึง 800^{0} ซ น้ำอีกส่วนหนึ่งที่ประกอบอยู่ในโครงสร้างของดินจะถูกขับออกมาอีก ทำให้กำลังของเม็ดดินเผาลดลงอีก เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นในโครงสร้างของดิน โดยทั่วไปจะเรียกขบวนการส่วนนี้ว่า Dehydroxylation ซึ่งจะทำให้โครงสร้างของแร่ดินนั้นพังสลายตัวออกเป็นสารประกอบต่าง ๆ ปฏิกริยาการสูญเสียน้ำในมวลดินเป็นปฏิกริยาดูดความร้อน (Endothermic Reaction)

2.5.2 การรวมตัวเป็นผลึกใหม่ (Crytallalization) ของสารที่ไม่มีผลึกหรือสารประกอบอ๊อกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของโครงสร้างผลึกเดิมที่อุณหภูมิต่ำ ปฏิกริยาการรวมตัวกัน

เป็นผลึกใหม่จะมีการสูญเสียพลังงานความร้อน จึงเป็นปฏิกริยาคายความร้อน (Exothermic Reaction)

2.5.3 Phase Change คือการเปลี่ยนแปลงรูปแบบโครงสร้างผลึกของแร่บางชนิด เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิหนึ่ง เช่น ผลึกของแร่ควอทซ์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบจาก $\alpha \rightleftarrows \beta$ ที่อุณหภูมิ 573^{o} ซ

2.5.4 การสันดาป (Oxidation) ปฏิกริยานี้เป็นปฏิกริยาคายความร้อน เช่น การเผาไหม้ของอินทรีย์สาร หรือการสันดาป F_e^{+2} ไปเป็น F_e^{+3} เป็นต้น อินทรีย์สารจะเกิดปฏิกริยาการสันดาปที่อุณหภูมิระหว่าง 250^{o} ซ ถึง 450^{o} ซ

ตามตารางที่ 2.11 เป็นตารางแสดงปฏิกริยาที่เกิดขึ้น เมื่อเผาดินเหนียวตัวอย่างที่อุณหภูมิการเผาต่าง ๆ โดยเฉพาะดินเหนียวในกรุงเทพมหานคร

ตารางที่ 2.11 ปฏิกริยาของดินเหนียวที่เกิดขึ้น เมื่อถูกเผาที่อุณหภูมิเผาต่าง ๆ

ปฏิกริยา	อุณหภูมิ ^{o}ซ	ลักษณะปฏิกริยา
ดูดความร้อน	100-300	Adsorbed Water ถูกขับออกจากมวลดิน
คายความร้อน	200-300	เกิดการสันดาป (Oxidation) พวกอินทรีย์สาร
คายความร้อน	400-500	เกิดการสันดาป (Oxidation) พวกไพไรท์ (Pyrite, FeS_2)
ดูดความร้อน	573	ควอทซ์เปลี่ยนรูปแบบผลึกจาก $\alpha \rightarrow \beta$
ดูดความร้อน	500-900	น้ำในโครงสร้างผลึกถูกขับออกจากแร่ดินเหนียว
ดูดความร้อน	800-900	การสลายตัวของแคลเซี่ยมคาร์บอเนต ($CaCo_3$)

การพิจารณาเม็ดดินเผา เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 100^{o} ซ ถึง 300^{o} ซ น้ำในดินจะสูญเสียไป ทำให้กำลังเม็ดดินเผาลดลงเล็กน้อย เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคลดลง น้ำอีกส่วนหนึ่งที่ประกอบอยู่ในโครงสร้างของดินจะถูกขับออกมาจากเม็ดดินอีก เมื่อได้รับความร้อนเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิระหว่าง 500^{o} ซ ถึง 800^{o} ซ ทำให้กำลังของเม็ดดินเผาลดลงอีก เนื่องจากเกิด

การเปลี่ยนแปลงขึ้นภายในโครงสร้าง แต่เมื่อเผาถึงอุณหภูมิ 900^{o}ซ ถึง 1000^{o}ซ เม็ดดินเผากลับมีกำลังเพิ่มขึ้นอีก เนื่องจากส่วนประกอบอ๊อกไซด์ (Oxide) ของธาตุต่าง ๆ ซึ่งประกอบในโครงสร้างดินเหนียวได้แก่ SiO_2, Al_2O_3 เป็นต้น อ๊อกไซด์เหล่านี้จะรวมตัวกันเป็นโครงสร้างผลึกใหม่ จนกระทั่งเผาถึงอุณหภูมิหนึ่ง โครงสร้างผลึกใหม่นี้จะเริ่มหลอมละลายไปใน Glassy Phase ซึ่งจะทำให้กำลังของเม็ดดินเผาลดลง

2.6 ผลการศึกษาในอดีต

2.6.1 วัสดุมวลรวม จากการศึกษาในอดีตพบว่า การนำดินเหนียวอ่อนมาอัดให้เป็นเม็ดแล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิสูง ๆ จะทำให้มีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นมวลรวมประดิษฐ์ได้ โดยมีผู้ได้ทำการศึกษามาแล้ว ดังนี้

Hosking[4] ได้ศึกษาการใช้ดินเหนียว Accrington Shale White Ball Clay Etruria Mart Silt และ Colliary Shale มาเป็นวัสดุมวลรวมประดิษฐ์ในรูปของเม็ดดินเผา โดยได้ทำการอัดดินเหนียวให้เป็นแผ่นกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 มิลลิเมตร หนา 45 มิลลิเมตร ด้วยความดัน 5 ตันต่อตารางนิ้ว แล้วนำไปเผาที่อุณหภูมิระหว่าง 1000^{o}ซ ถึง 1200^{o}ซ ใช้แคลไซนด์ (Calcined) ขนาด 150 ไมครอนถึง 400 ไมครอน ในอัตราส่วน 20 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก เมื่อเผาแล้วจึงทำการทดลองจะได้ค่า PSV (Polished Stone Value) และค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวม (หรือ AAV = Aggregate Abrasion Value) ซึ่งได้ทดลองตามมาตรฐาน B.S. 812 และผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

Accrington Shale	PSV = 70	AAV = 5.7 %
Ball Clay	PSV = 57	AAV = 7.9 %
Silt	PSV = 72	AAV = 13 %

ตามมาตรฐานของ B.S. 812 ได้กำหนดว่า ค่า AAV ต้องไม่เกิน 10 เปอร์เซนต์ นอกจากนั้น Hosking ยังได้พบอีกว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาขึ้นอีก ความต้านทานต่อการสึกหรอก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ความต้านทานการลื่นไถลจะลดลง การเพิ่มแคลไซนด์ บอกไซท์ (Calcined Bauxite) มากขึ้นก็จะเพิ่มความต้านทานการลื่นไถล แต่ความต้านทานการสึกหรอน้อยลงและความดันที่ใช้ในการอัดดินไม่ทำให้ค่า PSV เปลี่ยนแปลง

ปรีชา ไกรสิริเดช[4] ได้ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของเม็ดดินผสมทรายเผา เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุผิวทาง โดยนำดินเหนียวอ่อนจากแหล่งซึ่งใช้ทำเครื่องปั้นดินเผาของจังหวัดปทุมธานีและจังหวัดราชบุรี มาผสมทราย 20 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักแล้วอัดให้เป็นเม็ดรูปทรงกระบอกโดยแบ่งออกเป็น 3 ขนาดคือ

ขนาด ø 8.5 มิลลิเมตร ยาว 14 มิลลิเมตร

ø 11 มิลลิเมตร ยาว 17 มิลลิเมตร

และ ø 16 มิลลิเมตร ยาว 25 มิลลิเมตร

นำดินที่อัดแล้วไปเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 600°ซ 800°ซ 1000°ซ และ 1200°ซ เมื่อเผาเสร็จแล้วจึงนำไปทดลองหาค่า PSV และ AAV พบว่า เม็ดดินผสมทรายเผาของแหล่งดินจังหวัดปทุมธานีให้ค่า PSV และ AAV อยู่ในเกณฑ์เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุผิวทางได้ ส่วนเม็ดดินเผาผสมทรายของแหล่งดินจังหวัดราชบุรี ให้ค่า PSV อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แต่มีค่าความสึกหรอ (AAV) สูงเกินกว่าที่จะนำมาใช้งาน

เจน บุญซื่อ[3] ได้ศึกษาในห้องทดลองถึงคุณสมบัติของเม็ดดินเผา เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบสำหรับผิวทางแอสฟัลท์ติกคอนกรีต โดยนำดินเหนียวอ่อนบริเวณกรุงเทพฯ รอบนอกรวม 3 แหล่งคือ บางเขน บางบัวและหนองงูเห่า มาอัดให้เป็นเม็ดรูปทรงกระบอกแล้วนำไปเผาด้วยเครื่องเผา Monotube Rotary Kiln ที่อุณหภูมิการเผาสุดท้ายต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 800, 900, 1000, 1100 และ 1200°ซ นำเม็ดดินที่เผาแล้วมาเป็นมวลรวมหยาบประดิษฐ์ในส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมร้อน (Hot-Mix Type) ตามข้อกำหนดของวิธีมาร์แชล (Marshall Method) จากผลการทดลองเขาพบว่า เม็ดดินเผาที่เหมาะสมจะนำมาใช้งานเป็นผิวทางแอสฟัลท์ติกคอนกรีตคือ เม็ดดินเผาบางเขน ที่อุณหภูมิการเผาสุดท้าย 1000°ซ เนื่องจากมีคุณสมบัติอยู่ในขอบเขตมาตรฐานกำหนด และมีค่า Max. Marshall Stability สูงสุด ในการทดลองตัวอย่างจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงมากนัก เพราะมีค่าความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกันทุกอุณหภูมิ

วิชัย สังวรปทานสกุล[5] ได้ศึกษาในห้องทดลองถึงการผลิตเม็ดดินเผา โดยนำมาจากแหล่งดินเหนียวกรุงเทพฯ พบว่าในการเตรียมเม็ดดินที่มีรูปร่างเป็นรูปทรงกระบอกมีความ

ยาวเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางจะได้ผลผลิตที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับเม็ดดินที่มีรูปร่างอื่น ๆ คือ รูปทรงกลมและรูปร่างที่มีรูปทรงไม่แน่นอน (เป็นรูปเหลี่ยมค่อนข้างแบน) ข้อดีก็คือ สามารถควบคุมรูปร่างและขนาดเม็ดดินได้ เม็ดดินที่ได้จะมีเหลี่ยมมุมพอสมควร ทำให้มีแรงเสียดทานและแรงยึดเกาะอยู่ในเกณฑ์สูง สามารถควบคุมส่วนผสมและน้ำหนักของเม็ดดินได้และขณะทำการเผาจะเกิดฝุ่นน้อยกว่ารูปร่างแบบอื่น ซึ่งผลสรุปนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Jacob, F.A. และ Hosking, J.R.

ชวลิต สุขะวรรณ และ สันต์ ไชยโชติช่วง[26] ได้ศึกษาคุณสมบัติการขัดสีและคุณสมบัติอื่นบางประการของวัสดุมวลรวมหลายชนิด พบว่าค่า PSV ของเม็ดดินเผาจากตัวอย่างดินเหนียว 5 แหล่งคือ ปทุมธานี ราชบุรี หนองงูเห่า บางบดและบางเขน โดยเผาเม็ดดินที่อุณหภูมิเผาสุดท้ายตั้งแต่ 600^{0} ซ ถึง 1200^{0} ซ และทำการทดลองรวม 26 ตัวอย่าง จากผลการทดลองปรากฏว่ามีค่า PSV มากกว่า 45 ทุกตัวอย่าง โดยมีค่าหลังขัดระหว่าง 47-65 ซึ่งจัดว่าให้ผลอยู่ในเกณฑ์ดี ส่วนการทดลองความสึกหรอของเม็ดดินเผาโดยวิธี Los Angeles Abrasion พบว่าเมื่อเผาอุณหภูมิสูงขึ้นค่าความสึกหรอจะลดต่ำลงและอยู่ในเกณฑ์ใช้งานได้ ยกเว้นแหล่งดินราชบุรี ซึ่งเป็นดินเหนียวผสมทราย 20 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักจะให้ค่าความสึกหรอเกิน 40 เปอร์เซนต์ทุกตัวอย่าง

วินิจ ชัยชนะศิริวิทยา[1] ได้ศึกษาทดลองโดยนำดินเหนียวอ่อนจากแหล่งดินหนองงูเห่า มาอัดเป็นเม็ดรูปทรงกระบอกขนาด ϕ 3/4 นิ้ว, ϕ 1/2 นิ้ว และ ϕ 3/8 นิ้ว แล้วเผาด้วยเครื่องเผา Monotube Rotary Kiln ที่อุณหภูมิการเผาสุดท้าย 1000^{0} ซ นำเม็ดดินที่เผาแล้วมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ โดยออกแบบส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมร้อน (Hot-Mix) ตามวิธีของมาร์แชล (Marshall) ได้ทดลองคุณสมบัติต่าง ๆ ทางด้านวิศวกรรมในห้องทดลองก่อน แล้วจึงนำผลทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมร้อนในห้องทดลองไปใช้เป็นผิวทางแอสฟัลท์ติก โดยสร้างผิวทดลองจริงขนาดความยาว 2.30 เมตร กว้าง 3.25 เมตร หนา 5.8 เซนติเมตร ซึ่งสร้างต่อเนื่องกับผิวทางแอสฟัลท์ติกที่ใช้หินปูนเป็นวัสดุมวลรวมหยาบ หลังจากเปิดให้รถวิ่งแล้วได้วัดค่าความลึกผิวของผิวทางโดยวิธี Sand Patch Method และค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางทั้งสภาพผิวทางแห้งและผิวทางเปียกด้วยเครื่องมือ British Portable Tester ที่อายุการใช้งานต่าง ๆ จากการศึกษาพบว่า เม็ดดินเผา

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สามารถนำมาเป็นวัสดุมวลรวมหยาบสำหรับผิวทางแอสฟัลท์คิกคอนกรีตแบบผสมร้อนได้ และยังพบอีกว่าภายใต้สภาวะแวดล้อมและเงื่อนไขเดียวกันกับผิวทางแอสฟัลท์คิกดินเผาจะให้ผิวที่มีความลึกผิวสูงกว่าและแนวโน้มให้ความต้านทานการลื่นไถลที่ผิวทั้งในสภาพผิวทางแห้งและเปียกสูงกว่าผิวทางหินปูนปกติทั่วไป

ประยูร เศชะจินดา[2] ได้ศึกษาทดลองโดยนำดินเหนียวบางจากแหล่งบริเวณหนองงูเห่า มาทำการผลิตเม็ดดินเหนียวรูปทรงกระบอกเป็นท่อนยาวใกล้เคียงกับเส้นผ่าศูนย์กลาง คือขนาด ϕ 1/2 นิ้ว แล้วนำเผาที่อุณหภูมิเผาสุดท้าย 1000±40^{0}ซ ด้วยเครื่องเผา Monotube Rotary Kiln นำเม็ดดินที่เผาแล้วไปทดลองหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมในห้องทดลอง ทำการออกแบบหาปริมาณวัสดุเม็ดดินเผาและยางแอสฟัลท์ชนิด AC 80-100 เพเนเตรชั่น และRS-3K นำผลทดลองไปใช้ในผิวทางจริง โดยสร้างผิวทดลองจริงแบบเซอร์เฟสทรีตเมนต์ชนิดชั้นเดียว (Single Surface Treatment) จำนวน 2 แปลงทดลองขนาดกว้าง 3.00 เมตร ยาว 3.00 เมตร คือ แปลงแรกใช้ยางแอสฟัลท์ชนิด AC 80-100 เพเนเตรชั่น เป็นวัสดุยางประสาน และแปลงที่สองใช้ยางแอสฟัลท์ชนิด RS-3K เป็นวัสดุยางประสาน แปลงทดลองนี้สร้างคิดกับผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์ที่ใช้หินปูนธรรมชาติเป็นวัสดุมวลรวม หลังจากเปิดการจราจรแล้วได้ทำการวัดค่าความต้านทานการลื่นไถลของผิวทางทั้งในสภาพแห้งและเปียกด้วยเครื่อง British Portable Tester และความลึกของผิวทางโดยวิธี Sand Patch Method ตามอายุการใช้งานต่าง ๆ จากการศึกษาเขาพบว่า แปลงทดลองที่ใช้เม็ดดินเผาเป็นวัสดุมวลรวมทั้ง 2 แปลง สามารถใช้งานได้เหมือนผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์หินปูนทั่วไป และสภาพการใช้งานเดียวกันตลอดระยะเวลาที่ศึกษายังพบว่า ค่าความต้านทานการลื่นไถลทั้งในสภาพผิวทางแห้งและเปียกของแปลงทดลองวัสดุเม็ดดินเผาทั้งสองแปลงมีแนวโน้มที่ให้ค่าเฉลี่ยสูงกว่าและมีความลึกของผิวทางลึกกว่าผิวทางเซอร์เฟสทรีตเมนต์หินปูนข้างเคียง

พงศักดิ์ อไฌทัยไพบูลย์[40] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบการหลุดลอกของยางแอสฟัลท์ที่เคลือบบนผิวของกรวดดินเผาและหินปูน โดยสร้างผิวทดลองจริงที่ใช้กรวดดินเผาเป็นมวลรวมหยาบขนาด 1.85 เมตร x 3.50 เมตร เปรียบเทียบกับผิวทางทดลองซึ่งใช้หินปูนเป็นมวลรวมหยาบขนาด 3.33 เมตร x 3.50 เมตร แล้วคิดคำนวณสังเกตผลซึ่งเกิดจากการกระทำของน้ำ พร้อมทั้งเจาะผิวทางทดลองขึ้นมาตรวจสอบและหาการเปลี่ยนแปลงค่าเสถียรภาพ

ในผิวทางทั้งสองเป็นระยะ ๆ และยังได้ทำการเปลี่ยนแปลงเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างแอสฟัลท์ติกคอนกรีตทั้งสองชนิดโดยวิธีมาร์แชล ซึ่งกระทำโดยการแช่น้ำนึ่งที่อุณหภูมิ 60^{0}ซ ภายในห้องปฏิบัติการอีกด้วย จากผลการศึกษาพบว่า ภายใต้สภาวะและเงื่อนไขเดียวกัน ผิวทางทดลองแอสฟัลท์ติกกรวดดินเผาเกิดการหลุดร่อนที่ผิวภายหลังเปิดใช้งานได้ไม่นาน และการเปลี่ยนแปลงค่าเสถียรภาพในก้อนตัวอย่างแอสฟัลท์ติกคอนกรีตกรวดดินเผาที่เจาะได้มีค่ามากกว่าในตัวอย่างแอสฟัลท์ติกคอนกรีตหินปูนที่เจาะได้ ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่างที่ทำขึ้นในห้องทดลอง

เมื่อได้มีการศึกษาคุณสมบัติของเม็ดดินเผาที่นำมาใช้เป็นวัสดุมวลรวมหยาบแล้ว ยังได้มีการศึกษาถึงรูปร่างของวัสดุมวลรวมอีกด้วย เพราะว่ารูปทรงของวัสดุมวลรวมที่ต่างกัน จะยังผลให้การทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตต่างกันด้วย ซึ่งได้มีการศึกษากันมาแล้วดังนี้

M. Livneh และ J. Greenstein[46] ได้ทำการศึกษาถึงรูปร่างของวัสดุมวลรวมในทางวิศวกรรม ว่ามีอิทธิพลต่อส่วนผสมลาดยางเพียงใด โดยนำเอาวัสดุมวลรวมหินบดย่อยที่มีรูปเป็นแผ่นเกล็ด (Flaky) และรูปลูกบาศก์ (Cubical) มาทำการเปรียบเทียบกัน โดย

ก. ทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมที่เป็นแผ่นเกล็ด (Flaky) และรูปลูกบาศก์ (Cubical) ในห้องทดลอง โดยให้สภาพการทดลองเหมือนกับสภาพการจราจรจริง จากการทดลองพบว่า วัสดุมวลรวมที่เป็นแผ่นเกล็ด (Flaky) จะมีคุณสมบัติต่างจากวัสดุมวลรวมที่มีรูปลูกบาศก์คือ

1. มีแนวโน้มเอียงที่จะแบ่งแยกตัวออกเป็นชั้น ๆ ซึ่งเป็นผลให้ระดับของพลังงานต่ำที่สุดด้วย

2. มีการยุบตัวต่ำกว่ารูปลูกบาศก์

3. มีพื้นที่ผิวจำเพาะมากกว่าวัสดุรูปลูกบาศก์ที่มีขนาดเดียวกัน

4. มีค่าการแตกของมวลรวมที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากมีโมเมนต์ของความเฉื่อยต่ำกว่า

ข. นำวัสดุมวลรวมที่เป็นแผ่นเกล็ด (Flaky) และรูปลูกบาศก์ (Cubical) มาออกแบบเป็นส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตที่มีการเรียงขนาดแน่น (Dense-Graded) และการเรียงขนาดหยาบหรือโปร่ง (Open-Graded) แล้วนำไปทดสอบเปรียบเทียบคุณสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

1. การทดสอบเสถียรภาพมาร์แชล (Marshall Stability) พบว่าการเรียงขนาดแน่น (Dense-Graded) จะให้ค่าเสถียรภาพของวัสดุมวลรวมชนิดลูกบาศก์ (Cubical) สูงกว่าวัสดุมวลรวมที่เป็นแผ่นเกล็ด (Flaky) ประมาณ 15 เปอร์เซนต์

การเรียงขนาดหยาบหรือโปร่ง (Open-Graded) จะให้ค่าเสถียรภาพของวัสดุมวลรวมชนิดลูกบาศก์สูงกว่าชนิดรูปแผ่นเกล็ดประมาณ 55 เปอร์เซนต์ เหตุที่ค่าเสถียรภาพของวัสดุมวลรวมชนิดลูกบาศก์สูงกว่าชนิดแผ่นเกล็ด เพราะว่าวัสดุมวลรวมชนิดลูกบาศก์ให้ค่าการแตกของวัสดุมวลรวมต่ำกว่า

2. การทดสอบค่าการแตกของวัสดุมวลรวม (Breakage Value Test) เมื่อนำวัสดุมวลรวมชนิดลูกบาศก์และรูปแผ่นเกล็ดมาออกแบบให้มีการเรียงขนาดแน่น (Dense-Graded) และการเรียงขนาดหยาบหรือโปร่ง (Open-Graded) แล้วนำไปใส่ในแบบตัวอย่าง (Mold) ทำการบดอัดจำนวน 60 ครั้งต่อด้าน พบว่าวัสดุมวลรวมชนิดลูกบาศก์จะให้ค่าการแตกตัวของวัสดุมวลรวมน้อยกว่าชนิดแผ่นเกล็ดคือ

การเรียงขนาดแน่น วัสดุมวลรวมชนิดแผ่นเกล็ดจะแตกประมาณ 60 เปอร์เซนต์ แต่ชนิดลูกบาศก์จะไม่แตกเลย

การเรียงขนาดหยาบหรือโปร่ง วัสดุมวลรวมชนิดแผ่นเกล็ดจะแตกประมาณ 80 เปอร์เซนต์ แต่ชนิดลูกบาศก์จะแตกประมาณ 30 เปอร์เซนต์

ดังนั้นการแตกของวัสดุมวลรวมที่มีการเรียงขนาดหยาบหรือโปร่งจะมีค่ามากกว่าวัสดุมวลรวมที่มีการเรียงขนาดแน่น ซึ่งเป็นผลให้ช่องว่างอากาศในส่วนผสมเปลี่ยนแปลงไปด้วย และทำให้ยางบิทูเมน (Bitumen) เกิดการจับเคลือบวัสดุมวลรวมได้ไม่ดี เป็นผลให้ค่าเสถียรภาพลดลงด้วย

3. การทดลอง Splitting Test พบว่าวัสดุมวลรวมชนิดลูกบาศก์จะให้ค่าความหนาแน่นของส่วนผสมแอสฟัลท์ติกคอนกรีตสูงกว่าวัสดุมวลรวมที่เป็นแผ่น เกล็ดทั้งชนิดที่มีการเรียงขนาดแน่นและชนิดที่มีการเรียงขนาดหยาบหรือโปร่ง

2.6.2 ยางแอสฟัลท์ ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะยางแอสฟัลท์ชนิดเหลวเท่านั้น ซึ่งยางแอสฟัลท์ชนิดเหลวแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์และยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น ในอดีตได้เคยมีการศึกษาถึงการนำเอายางแอสฟัลท์ทั้งสองชนิดมาเป็นวัสดุยางประสานสำหรับทำผิวทางหรือพื้นทาง โดยได้มีผู้ทำการศึกษาดังนี้

ธรณี วิทยะ[17] ได้กล่าวในบทความซึ่งแปลจาก Asphaltic News ของ Asphalt Institute ฉบับประจำเดือนพฤศจิกายน 2525 สรุปใจความได้ว่า ได้มีการนำเอายางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด HFMS-2 h ซึ่งเป็นชนิดแตกตัวเร็วปานกลาง (Medium Setting) มาใช้เป็นวัสดุผสม เพื่อทำผิวทางในเมคเกลนเบิร์ก ทางตอนใต้ของพื้นที่ฟิงเกอร์-เลคในมลรัฐนิวยอร์ค สหรัฐอเมริกา งานก่อสร้างนี้เป็นงานบูรณะและได้ดำเนินการแล้วเสร็จในเดือนสิงหาคม 2525 โดยทำการปูผิวทางหนา 8.2 เซนติเมตร ยาว2.4 กิโลเมตรบนผิวทางแอสฟัลท์ติกคอนกรีตเก่า ซึ่งเป็นทางหลวงแบบ 2 ช่องจราจร การก่อสร้างนี้เป็นแบบผสมเย็น (Cold-Mix) คือได้ทำการผสมเย็นระหว่างยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นกับหินด้วยเครื่องผสมและหลังจากการผสมเสร็จจะมีอุณหภูมิ 32^{0} ซ ถึง 38^{0} ซ ส่วนในการปูผิวทางเนื่องจากมีการจราจรสูงมาก จึงต้องรีบปูผิวทางพร้อมรีบบดอัดตามเพื่อเปิดการจราจรโดยเร็ว หลังจากที่ปูผิวทางเสร็จเรียบร้อยและเปิดให้การจราจรผ่านแล้ว ปรากฏว่าผลเสียหายมีน้อยมากทั้ง ๆ ที่การจราจรมีความเร็วสูง

โครงการก่อสร้างนี้ได้ถูกนำมารวมไว้ในโครงการวิจัยของ National Cooperative Highway Research Program ซึ่งได้ทำการวิจัยผลการก่อสร้างจริงในสนามเพื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบจากห้องทดลอง

สุทธิศักดิ์ วิบูลย์ศิริกุล[6] ได้ศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลท์ติกคอนกรีต วิธีผสมเย็น (Cold-Mix) โดยใช้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น เกรด SS-K เป็นวัสดุยางประสาน ส่วนวัสดุมวลรวมได้ใช้หินปูนธรรมชาติจำนวน 6 แหล่งคือ โรงโม่ศิลาจำเรียง จ. ตาก, จ. ราชบุรี

โรงโม่ ส. พรศิลาภัณฑ์, โรงโม่เขาพระ, โรงโม่ศิลาปราณ จ. ประจวบคีรีขันธ์ และโรงโม่พระลาน จ. สระบุรี การออกแบบการเรียงขนาด (Gradation) เป็นแบบการเรียงขนาดแน่น (Dense Grade) แล้วทำการทดลองโดยวิธีมาร์แชล (Marshall) ตามข้อกำหนดของอิลลินอยส์ (ILLINOIS) จากการทดลองพบว่า แอสฟัลท์ติกคอนกรีตชนิดวิธีผสมเย็นจะให้คุณสมบัติต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์กำหนดใช้งานได้ทุกแหล่งหิน ยกเว้นช่องว่างอากาศ (Air Void) สูงเกินขีดกำหนดทุกแหล่งหินเช่นกัน และได้แนะนำการแก้ไขเพื่อลดช่องว่างอากาศ โดยการเปลี่ยนการเรียงขนาด (Gradation) ของวัสดุมวลรวมให้เข้าใกล้ Fuller Curve ก็จะสามารถลดช่องว่างได้บ้าง เพราะว่าทำให้ความหนาแน่น (Density) สูงขึ้นมีผลให้ช่องว่างอากาศลดลง แอสฟัลท์ติกคอนกรีตชนิดผสมเย็นสามารถนำไปใช้ก่อสร้างชั้นพื้นทางและชั้นผิวทางที่มีปริมาณการจราจรต่ำ ๆ ได้

Michael I. Darter, Mark A. Truebe และ Errol S. Abdulla[30] ได้ทำการศึกษาในห้องทดลองถึงผลกระทบของแฟคเตอร์ที่มีต่อส่วนผสมแอสฟัลท์อีมัลชั่น ในการทดลองได้ออกแบบเป็นแอสฟัลท์คอนกรีตแบบผสมเย็นตามมาตรฐานอิลลินอยส์ (ILLINOIS) มีการเรียงขนาดของวัสดุมวลรวมคละแบบการเรียงขนาดแน่น (Dense-Graded) และมียางไฮ-โฟลตอีมัลชั่น (High-Float Emulsion) เกรด HFE-300 เป็นวัสดุยางประสาน แฟคเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้มี 4 แฟคเตอร์คือ ปริมาณเนื้อยางแอสฟัลท์ (Residual Asphalt Content) ระยะเวลาการบ่มตัวอย่างในอากาศ (Curing Time) ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัด (Compaction Moisture Content) และจำนวนครั้งในการบดอัดต่อด้าน (Compactive Effort) และได้กำหนดดังนี้

ลำดับ	แฟคเตอร์	จำนวน
1	ปริมาณเนื้อยางแอสฟัลท์	2, 3.5 และ 5 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมแห้ง
2	ระยะเวลาการบ่มตัวอย่างในอากาศ	1, 3 และ 14 วัน ที่อุณหภูมิห้อง
3	ปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัด	1.33, 2.45 และ 3.3 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมแห้ง
4	จำนวนครั้งในการบดอัดต่อด้าน	50 และ 75 ครั้งด้วยฆ้อนบดอัดมาร์แชล

และการแช่ตัวอย่างทดลองในน้ำ จะแช่น้ำ (Soak) 5 วันโดยแช่น้ำด้านละ 2 วันครึ่งหรือ 60 ชั่วโมง จากการศึกษาพบว่า แฟคเตอร์ทั้ง 4 แฟคเตอร์จะมีผลกระทบถึงค่าต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. ถ้าปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัดในตัวอย่างทดลองเพิ่มมากขึ้นจะมีผลทำให้ค่าเสถียรภาพ (Stability), Resilient Modulus และ Indirect Tensile Strength ลดลง และปริมาณช่องว่างอากาศ(Void) จะแปรตามการดูดซึมน้ำ (Moisture Absorption)

2. การสูญเสียน้ำ (Moisture Loss) จากการบดอัดตัวอย่างทดลอง จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะเวลาการบ่มตัวอย่างในอากาศและปริมาณช่องว่างอากาศ

3. การเพิ่มจำนวนครั้งในการบดอัดต่อด้าน จาก 50 ครั้ง เป็น 75 ครั้งจะมีผลทำให้เพิ่มความหนาแน่นรวม (Bulk Density) เสถียรภาพ (Stability) Resilient Modulus และ Indirect Tensile Strength ที่ทุก ๆ เปอร์เซนต์เนื้อยางแอสฟัลท์ที่เพิ่ม

4. สำหรับตัวอย่างทดลองแบบไม่แช่น้ำ (Dry Test) การใช้ปริมาณเนื้อยางแอสฟัลท์ลดลงจาก 5 เปอร์เซนต์เหลือ 2 เปอร์เซนต์ มีผลทำให้ค่าเสถียรภาพ (Stability) Resilient Modulus และ Indirect Tensile Strength เพิ่มขึ้น

ดร. ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์[16] ได้กล่าวในตอนที่ 6.7 ว่า กรมทางหลวงได้เคยใช้ยางอีมัลชั่น เกรด SS-K ผสมดินทราย โดยมีซีเมนต์เป็นสารผสมร่วมในการก่อสร้างพื้นทางของถนนทดลองสายเดชอุดม-บุณฑริก ความยาวประมาณ 2.5 กิโลเมตร และยังได้ใช้ยางอีมัลชั่น เกรด SS-K ผสมดินลูกรังโดยมีซีเมนต์เป็นสารผสมร่วมในการก่อสร้างทางหลวงสาย หนองสองห้อง-ท่อบ่อ-ศรีเชียงใหม่บางช่วง ระยะทางประมาณ 25 กิโลเมตร ผลการทดลองพบว่า ส่วนผสมที่ใช้ให้ความคงตัวสูงมาก พอที่จะใช้เป็นพื้นทางได้และส่วนผสมมีดังนี้

ดินทราย + ซีเมนต์ 3 เปอร์เซนต์ + ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น 3 เปอร์เซนต์

ดินลูกรัง + ซีเมนต์ 4 เปอร์เซนต์ + ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น 2 เปอร์เซนต์

ดินลูกรัง + ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น

และหลังจากถนนทั้งสองเปิดใช้งานนาน 7 ปีถึง 9 ปี พบว่ามีพฤติกรรมที่ดีไม่ปรากฏความเสียหายของพื้นทางอย่างชัดแจ้งเลย

R.W. Head[31] ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการใช้ยางแอสฟัลท์อีมัลชั่น 2 เกรดคือ เกรด CSS-1 และเกรด CSS-1h มาผสมกับหินคละขนาดซึ่งมีขนาดเม็ดโตสุด 19 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) และทำการทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นโดยทดลองตามวิธีของมาร์แชล จากการทดลองพบว่า ค่าเสถียรภาพ (Stability) สูงพอที่จะนำไปใช้เป็นผิวทางของถนนได้ แต่ค่าการยุบตัว (Flow) ค่อนข้างสูง และอุณหภูมิที่ใช้ในการบ่มจะมีผลต่อเสถียรภาพของส่วนผสมมาก ถ้าอุณหภูมิสูงเสถียรภาพจะเพิ่มเร็วในสภาพการบ่มตามอุณหภูมิอากาศปกติเสถียรภาพจะเพิ่มขึ้นค่อนข้างช้า อาจจะต้องปิดการจราจรนานกว่าปกติ

นอกจากนี้ Head[31] ยังได้ทำการทดลองผสมหินกับยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นและซีเมนต์เพียงร้อยละ 2 เปอร์เซนต์ ก็จะทำให้เสถียรภาพเพิ่มขึ้นจากตัวอย่างที่ไม่ได้ใส่ซีเมนต์ 1-3 เท่าตัว แต่ค่าการยุบตัว (Flow) ก็ยังคงมีค่าสูงเหมือนเดิม แต่อย่างไรก็ตาม Head ได้สรุปว่าส่วนผสมแบบผสมเย็น (Cold Mix) ที่ประกอบด้วยหินและยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นและซีเมนต์สามารถจะใช้เป็นผิวทางของถนนที่มีการจราจรน้อยได้

Fromm[31] ได้ให้เหตุผลว่า เขาไม่ค่อยชอบแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น เพราะว่ามักจะเกิดการหลุดร่อนหรือการแตกเนื่องมาจากการขาด Mechanical Interlock ระหว่างยางแอสฟัลท์อีมัลชั่นกับหินและ Fromm ได้เน้นหลักถึงการหลุดร่อนในแบบผสมเย็นอันจะทำให้อายุการใช้งานของแบบผสมเย็นน้อยลง

P.M. Jarrett, A.N.S. Beaty และ A.S. Wojcik[42] ได้ทำการศึกษาทดลองแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นตามวิธีของมาร์แชล โดยใช้ยางคัทแบ็ค

แอสฟัลท์ เกรด RC-30 และยาง Gulf Primer มาเป็นยางประสานและสภาพการทดลองต่าง ๆ กระทำที่อุณหภูมิ 4^{o}ซ ผลจากการศึกษาทดลองพบว่า แอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็นสามารถกระทำได้ที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 0^{o}ซ ถึง 10^{o}ซ แต่การทิ้งตัวอย่างให้แห้งในอากาศที่ช่วงอุณหภูมินี้ไม่ดี เพราะว่าจะทำให้เกิดช่องว่างอากาศทั้งหมดในคอนสุดท้าย (Final Air Voids) มากกว่า 6 เปอร์เซนต์ ดังนั้นจึงควรกระทำที่อุณหภูมิสูงกว่า 10^{o}ซ และยังพบอีกว่า ยางคัทแบ็คแอสฟัลท์ เกรด RC-30 จะให้ค่าเสถียรภาพสูงกว่าใช้ยาง Gulf Primer เป็นยางประสาน

Michael I. Darter, Richard G. Wasill และ Steven R. Ahlfield[38] ได้ทำการศึกษาแอสฟัลท์ติกคอนกรีตแบบผสมเย็น ตามวิธีของมาร์แชล โดยใช้วัสดุมวลรวม Bond County Pit-Run Gravel ที่มีการเรียงขนาดแบบแน่น (Dense-Grade) เป็นวัสดุมวลรวมคละ และยางแอสฟัลท์อิมัลชั่นชนิดไฮโฟลค เกรด HFE-300 เป็นยางประสาน ผลจากการทดลองพบว่า ค่าเสถียรภาพแบบแช่น้ำ ช่องว่างอากาศทั้งหมด การสูญเสียค่าเสถียรภาพ การดูดซึมน้ำ อยู่ในขอบเขตมาตรฐานกำหนด สามารถนำเอาไปใช้เป็นพื้นทางได้

ดร. ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์, เสรี สูงาม[44] ได้ทำการศึกษาทดลองเพื่อหาค่าความคงตัวของทรายชายฝั่ง เมื่อผสมด้วยยางแอสฟัลท์อิมัลชั่น เกรด SS-K และวัสดุผสมอื่น เช่น ซีเมนต์และปูนขาว เพื่อศึกษาว่าส่วนผสมใดจะมีค่าความคงตัวสูงพอที่จะใช้เป็นพื้นทางของถนนได้ โดยวิธีการทดลองตามมาตรฐานของ Chevron Asphalt Company ผลจากการทดลองพบว่า ทรายชายฝั่งผสมกับยางแอสฟัลท์อิมัลชั่น เกรด SS-K จำนวน 4 เปอร์เซนต์ หรือผสมกับ SS-K จำนวน 2 เปอร์เซนต์และปูนขาว 3 เปอร์เซนต์ หรือผสมกับ SS-K จำนวน 2 เปอร์เซนต์ และซีเมนต์ 4 เปอร์เซนต์ ล้วนแต่ให้ค่าต่าง ๆ สูงพอที่จะใช้เป็นพื้นทางของถนนได้

บัญชา เอกธรรมสุทธิ์[45] ได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติในการรับน้ำหนักของ Sitty Sand และดินลูกรัง เมื่อนำมาผสมกับยางมะตอยน้ำ (Asphalt Emulsion) เกรด SS-K ว่าสามารถใช้เป็นชั้นรองพื้นทางหรือผิวทางของถนนได้หรือไม่

โดยใช้การทดลองของ Hveem Stabilometer และ Hveem Cohesionmeter Test ผลจากการศึกษาทดลองพบว่า Silty Sand และลูกรังเมื่อนำมาผสมกับยางมะตอยน้ำ เกรด SS-K แล้ว สามารถนำไปใช้เป็นชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทางของถนนได้

ร.ท. พิพัฒน์ สอนวงษ์[43] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติไดนามิกของยางมะตอยผสมที่ใช้ยางมะตอยน้ำประเภทไฮโฟลค เกรด HFMS-2 กับยางมะตอยน้ำประเภท มีเดียม เซตติง เกรด MS-2 การออกแบบส่วนผสมเป็นแบบผสมเย็นตามวิธีมาร์แชล (Marshall Test) แล้วนำส่วนผสมที่ได้ไปเตรียมตัวอย่างขนาด ϕ 4"x8" ด้วยวิธี Double Plunger ทิ้งตัวอย่างในอากาศเป็นเวลา 14 วัน จึงนำไปทดลอง Repeated Load Triaxial Compression Test โดยนำไปเข้าเครื่อง Servopulser ทำการเปลี่ยนค่าความเค้น ความดันด้านข้างและจำนวนรอบในการกระทำซ้ำ โดยใช้ความถี่คงที่ 1 รอบต่อวินาทีที่อุณหภูมิ 20^{o}ซ. 40^{o}ซ และ 60^{o}ซ ผลการทดลองปรากฏว่า ยางมะตอยน้ำ เกรด MS-2 และเกรด HFMS-2 สามารถนำไปใช้ทำผิวทางหรือพื้นทางที่มีปริมาณการจราจรต่ำถึงปานกลางได้ และยางมะตอยน้ำ เกรด MS-2 จะให้ความแข็งแรงมากกว่ายาง เกรด HFMS-2 ด้วย เช่น ยางเกรด MS-2 ให้ค่าเสถียรภาพหลังจากแช่น้ำ 4 วันสูงกว่ายางเกรด HFMS-2 ประมาณ 21.30 เปอร์เซนต์ เป็นต้น

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย