บทที่ 4

วิธีดำเนินการทดลอง

ในการวิจัยต้องการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารผสมช่วยการเกาะยึดต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์ และความต้านทานในการหลุดลอกในส่วนผสมแอสฟัลต์มวลรวม ได้เลือกเก็บตัวอย่างมวลรวม 2 แหล่งที่มีประวัติการหลุดลอกต่างกัน ใช้แอสฟัลต์ AC 80 - 100 จากโรงกลั่นชลบุรี และสารผสมช่วยการเกาะยึดจากผู้ผลิต 3 บริษัท รวม 4 ชนิด นำมาทดลองคุณสมบัติแอสฟัลต์มวลรวมตามมาตราฐานกรมทางหลวง (58, 59, 60) ASTM (30,61), AASHTO (62) และ BS Standard (63)

4.1 มวลรวม

เนื่องจากการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์ในประเทศส่วนใหญ่ใช้หินปูน ฉนั้นจึงได้เลือกเก็บตัวอย่างมวลรวมหินปูน 2 แหล่งจากโรงโม่หินจังหวัดชลบุรี โดยแหล่งหนึ่งมีประวัติการหลุดลอกสูง มีลักษณะสีผิวออกน้ำตาลอ่อนปนขาว ผิวค่อนข้างเรียบมัน เป็นแหล่งที่เจาะระเบิดในระดับตื้น ใช้ชื่อย่อว่าแหล่ง ชบ-1 อีกแหล่งมีประวัติการหลุดลอกปานกลาง มีลักษณะสีผิว น้ำเงินเทาอ่อน ผิวหยาบเล็กน้อย เป็นแหล่งที่เจาะระเบิดในระดับลึกกว่าแหล่งแรก ใช้ชื่อย่อว่าแหล่ง ชบ-2 การเก็บตัวอย่างมวลรวมแต่ละแหล่งมี 4 ขนาด คือ 3/4 นิ้ว 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว และฝุ่น แต่ละขนาดคลุกเคล้าให้เข้ากัน แล้วใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างเตรียมไว้ทดลองคุณสมบัติดังนี้

4.1.1 <u>ทดลองร่อนตะแกรงหาขนาดคละ (Sieve Analysis)</u> หามวลรวมแต่ละขนาดโดยมวลรวมหยาบขนาด 3/4 นิ้ว 1/2 นิ้ว 3/8 นิ้ว ใช้มาตราฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 204/2516 "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง" โดยนำมวลรวมหยาบแต่ละขนาดที่คลุกเคล้าเข้ากัน และใช้เครื่องแบ่งตัวอย่างนำมาอบแห้งที่ 110 $\pm$5 °C มวลรวม 3/4 นิ้ว ใช้ประมาณ 4,000 - 5,000 กรัม ร่อนผ่านชุดตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว, 1/2 นิ้ว, 3/8 นิ้ว, เบอร์ 4 และถาดรองมวลรวม 1/2 นิ้ว ใช้ประมาณ 3,000-4,000 กรัม

ร่อนผ่านชุดตะแกรงขนาด 1/2 นิ้ว, 3/8 นิ้ว, เบอร์ 4, เบอร์ 8, และถาดรอง มวลรวมขนาด 3/8 นิ้ว ใช้ประมาณ 1,000-2,000 กรัม ร่อนผ่านชุดตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว เบอร์ 4, เบอร์ 8, เบอร์ 30 และถาดรอง ใช้เวลาในการร่อนเขย่าตะแกรง 15 นาที แล้วนำมาชั่งน้ำหนักที่ค้างแต่ละตะแกรง คำนวณน้ำหนักและเปอร์เซนต์ ที่ผ่านแต่ละตะแกรง

ส่วนมวลรวมละเอียด คือ หินฝุ่น ใช้มาตราฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 205/2517 "วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง" โดยนำหินฝุ่นมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน และใช้เครื่องแบ่งตัวอย่าง นำไปอบแห้งที่ 110 $\pm$ 5 °C ประมาณ 1,000กรัม แช่สารละลายที่เตรียมจาก Sodium Hexametaphosphate Buffered with Sodium Carbonate ประมาณ 1 ชั่วโมง และแช่ในน้ำต่ออีก 3 - 4 ชั่วโมง แล้วล้างเอาส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ออกจนหมด จึงนำตัวอย่างไปอบแห้งที่ 110 $\pm$ 5 °C หลังจากทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว มาร่อนเขย่าผ่านชุดตะแกรงเบอร์ 4, 8, 30, 50, 100, 200 และถาดรอง ชั่งน้ำหนักที่ค้างแต่ละตะแกรง คำนวณน้ำหนักและเปอร์เซนต์ที่ผ่านแต่ละตะแกรง

4.1.2 <u>ทดลองหาค่าดรรชนีความแบน (Flakiness Index)</u> ของมวลรวมหยาบที่มีความหนาของส่วนแบนน้อยกว่า 3/5 เท่าของขนาดเฉลี่ย ตามมาตราฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 210/2518 "วิธีการทดลองหาค่าดรรชนีความแบน" ใช้มวลรวมขนาด 3/4 นิ้ว, 1/2 นิ้ว, 3/8 นิ้ว ที่ผ่านการร่อนตะแกรงหาขนาดคละ โดยเอาส่วนที่ค้างแต่ละตะแกรง มาลอดผ่านช่องวัดความหนา (Slot Sieve) ให้ใช้ส่วนแบนที่สุด ลอดผ่านตรงช่องที่มีตัวเลขเท่ากับตะแกรงนั้นทีละก้อน นำส่วนที่ค้างและผ่านช่องวัดความหนาของวัสดุแต่ละตะแกรงไปชั่ง แล้วคำนวณดรรชนีความแบน จากน้ำหนักที่ผ่านช่องวัดความหนาเทียบกับน้ำหนักวัสดุทั้งหมดที่ทดลอง คิดเป็นเปอร์เซนต์ ซึ่งมาตราฐานการใช้งานเซอร์เฟสทรีตเมนต์ไม่เกิน 35 เปอร์เซนต์ และงานแอสฟัลต์คอนกรีตไม่เกิน 30 เปอร์เซนต์

4.1.3 <u>ทดลองหาค่าดรรชนีความยาว (Elongation Index)</u> ของมวลรวมหยาบที่มีความยาวของส่วนยาวมากกว่า 1.8 เท่าของขนาดเฉลี่ย ตามมาตราฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 211/2518 "วิธีการทดลองหาค่าดรรชนีความยาว" ใช้มวลรวมขนาด 3/4 นิ้ว, 1/2 นิ้ว, 3/8 นิ้ว ที่ผ่านการร่อนตะแกรงหาขนาดคละ โดยเอาส่วนที่ค้างแต่ละตะแกรงมาลอดผ่านช่องวัด

ความยาว (Length Gauge) ให้ใช้ส่วนยาวที่สุดลอดผ่านตรงช่อง ที่มีตัวเลขเท่ากับตะแกรงนั้นทีละก้อน นำส่วนที่ค้างและผ่านช่องวัดความยาว ของวัสดุแต่ละตะแกรงไปชั่ง แล้วคำนวณดรรชนีความยาว จากน้ำหนักรวมที่ค้างช่องวัดความยาว เทียบกับน้ำหนักวัสดุทั้งหมดที่ทดลอง คิดเป็นเปอร์เซนต์ ซึ่งมาตราฐานการใช้งานไม่ควรเกิน 30 เปอร์เซนต์

4.1.4 <u>ทดลองหาความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึม (Specific Gravity and Absorption)</u> มวลรวมหยาบ 3/4 นิ้ว, 1/2 นิ้ว, 3/8 นิ้ว ใช้มาตราฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 207/2517 "วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุเม็ดหยาบ" โดยใช้ตัวอย่างแต่ละขนาดประมาณ 5,000 กรัม อบแห้งที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5 °C หลังจากทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว นำไปแช่น้ำประมาณ 15 $\pm$ 4 ชั่วโมง จึงนำตัวอย่างขึ้นมาเช็ดผิวให้แห้งด้วยผ้าผืนใหญ่ และชั่งน้ำหนักอิ่มตัวผิวแห้งและในน้ำ นำไปอบแห้ง ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Specific Gravity) ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) และเปอร์เซนต์ การดูดซึมน้ำ (Absorption)

ส่วนมวลรวมละเอียด คือหินฝุ่น ใช้มาตราฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 209/2518 "วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมชนิดเม็ดละเอียด" โดยใช้ตัวอย่างที่ค้างและผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อย่างละประมาณ 500 กรัม ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 $\pm$ 5 °C หลังจากทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว นำไปแช่ในน้ำประมาณ 15 $\pm$ 4 ชั่วโมง แล้วนำส่วนที่ค้างตะแกรง เบอร์ 200 มาแผ่กระจายบนภาชนะผิวเรียบ เกลี่ยให้ผิวแห้งในสภาพที่เคลื่อนไหวได้ง่าย (Free Flowing Condition) ตรวจสอบได้โดยใส่ตัวอย่างในแบบกรวยโลหะและกระทุ้ง 25 ครั้งด้วยโลหะกระทุ้ง เมื่อยกกรวยขึ้นตัวอย่างเริ่มทะลาย แสดงว่าวัสดุอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง จึงใส่วัสดุในขวด Pycnometer ที่รู้น้ำหนักจนได้ระดับ 450 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนัก แล้วเติมน้ำลงไปจนถึงขีดระดับ นำขวดบรรจุตัวอย่างต้มในอ่างน้ำไล่ฟองอากาศจนหมด จึงนำมาชั่งน้ำหนักที่อุณหภูมิ ต่างกัน 5 ครั้ง นำตัวอย่างในขวดออกมาอบให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะแบบรวม (Bulk Specific Gravity) ที่ 30 °C และเปอร์เซนต์การดูดซึมน้ำ (Absorption) สำหรับส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 หลังจาก แช่ในน้ำนำมาใส่ขวด Pycnometer ทดลองหาความถ่วงจำเพาะแบบปรากฏ (Apparent Specific Gravity) ที่ 30 °C

4.1.5 ทดลองหาค่าการสึกหรอของมวลรวมหยาบ (Los Angeles Abrasion Test) ใช้มาตราฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 202/2515 "วิธีการทดลองหาค่าการสึกหรอของมวลรวมหยาบ" โดยใช้ตัวอย่างแต่ละขนาด อบแห้งประมาณ 5,000 กรัม นำเข้าใส่ในเครื่อง Los Angeles ที่มีลูกกลมเหล็ก (Abrasion Charge) จำนวน 12, 11, 8 และ 6 ลูก สำหรับมวลรวม 3/4 นิ้ว, 1/2 นิ้ว, 3/8 นิ้ว และหินฝุ่นที่ค้างตะแกรงเบอร์ 4 ตามลำดับ เครื่องจะหมุนด้วยความเร็ว 30 - 33 รอบต่อนาที จำนวน 500 รอบ แล้วนำตัวอย่างมาล้างผ่านตะแกรงเบอร์ 12 นำส่วนที่ค้างอบที่ 110 $\pm$ 5 °C หลังจากทิ้งไว้ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนัก คำนวณหาค่าเปอร์เซนต์ความสึกหรอ มาตราฐานการใช้งานเซอร์เฟสทรีตเมนต์ไม่เกิน 35 เปอร์เซนต์ และงานแอสฟัลต์คอนกรีตไม่เกิน 40 เปอร์เซนต์

4.1.6 ทดลองหาค่า Soundness ของมวลรวมทุกขนาด ใช้มาตราฐาน ASTM C 88 - 83 "Soundness of Aggregates by use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate" โดยใช้ตัวอย่างที่อบแห้ง 110 $\pm$ 5 °C มวลรวมหยาบร่อนผ่านตะแกรง ใช้ส่วนที่ผ่านตะแกรง 3/4 นิ้ว ค้างตะแกรง 1/2 นิ้ว ประมาณ 670 กรัม ส่วนที่ผ่านตะแกรง 1/2 นิ้ว ค้างตะแกรง 3/8 นิ้ว ประมาณ 330 กรัม และส่วนที่ผ่านตะแกรง 3/8 นิ้ว ค้างตะแกรงเบอร์ 4 ประมาณ 300 กรัม ส่วนมวลรวมละเอียดเมื่อร่อนผ่านตะแกรงแล้ว ใช้ส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ค้างตะแกรงเบอร์ 8 และส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 ค้างตะแกรงเบอร์ 16 และส่วนที่ผ่านตะแกรง เบอร์ 30 ค้างตะแกรงเบอร์ 50 อย่างละ 100 $\pm$ 0.1 กรัม แต่ละขนาดนำไปแช่สารละลายโซเดียมซัลเฟตเป็นเวลา 16-18 ชั่วโมง แล้วเทสารละลายออก นำไปอบแห้งที่ 110 $\pm$ 5 °C หลังจากทิ้งไว้ให้เย็นตัวแล้ว นำไปแช่สารละลายอีกจนครบ 5 รอบ จึงนำมาล้างด้วยสารละลายแบเรี่ยมคลอไรด์ ($BaCl_2$) และไปอบแห้งที่ 110 $\pm$ 5 °C และร่อนผ่านตะแกรงชุดเดิม ชั่งน้ำหนักคำนวณน้ำหนักที่หายไปต้องไม่เกิน 9 เปอร์เซนต์

4.1.7 ทดลองหาค่า Sand Equivalent เฉพาะมวลรวมละเอียดหรือหินฝุ่น ตามมาตราฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 203/2515 "วิธีการทดลองหาค่า Sand Equivalent" โดยใช้ตัวอย่างใส่ภาชนะกระป๋องตวง ขนาด 85 $\pm$ 5 มิลลิลิตร เคาะกระป๋องให้ได้ตัวอย่างบรรจุในกระป๋องมากที่สุด และปาดหน้าเสมอระดับปากกระป๋อง เทใส่ในกระบอกพลาสติกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกว้าง 1 1/4 นิ้ว สูง 17 นิ้ว ที่ได้ใส่สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ไว้แล้ว

4 $\pm$ 0.1 นิ้ว กระแทกก้นกระบอกจนตัวอย่างเปียกโดยทั่ว แช่ตัวอย่างทิ้งไว้ 10 นาที แล้วอุดปากกระบอกตัวอย่างด้วยจุกยาง เขย่าไปมาไม่ให้มีตัวอย่างติดอยู่ก้นกระบอก จึงนำไปเข้าเครื่อง Mechanical Shaker เขย่านาน 45 $\pm$ 1 วินาที เอากระบอกตัวอย่างมาตั้งบนโต๊ะ ใช้ Irrigator Tube ที่ต่อกับ Siphon Assembly บรรจุสารละลายแคลเซียมคลอไรด์วางสูงจากโต๊ะ 36 $\pm$ 1 นิ้ว หมุนดันผ่านชั้นตัวอย่างลงไปถึงก้นกระบอก โดยสารละลายยังคงไหลอยู่ เพื่อไล่ส่วนละเอียดให้ลอยตัว ค่อย ๆ ไล่ยก Irrigator Tube ขึ้นมาเรื่อย ๆ จนระดับสารละลายอยู่ที่ขีด 15 นิ้ว ปล่อยกระบอกบรรจุตัวอย่างและสารละลาย ไม่ให้ถูกรบกวน 20 นาที จะเห็นส่วนหยาบและละเอียดแยกตัวชัดเจน อ่านค่าระดับฝุ่นชั้นบนสุดเป็นค่า Clay Reading นำ Weight Foot Assembly ค่อย ๆ หย่อนลงไปในกระบอกตัวอย่างจนวางอยู่บนชั้นส่วนหยาบ อ่านค่าระดับด้านบนสุดของ Indicator แล้วลบด้วย 10 จะได้ค่า Sand Reading คำนวณ ค่า Sand Equivalent เป็นเปอร์เซนต์ ตามข้อกำหนดต้องมากกว่า 50 เปอร์เซนต์

4.2 <u>สารผสมช่วยการเกาะยึดหรือต้านการหลุดลอก</u>

จากการทบทวนข้อเขียนพบว่า สารเคมีประเภท Fatty Amine มีประสิทธิภาพมากที่สุด จึงได้ติดต่อบริษัทผู้ขาย 2 บริษัทได้ตัวอย่างที่ใช้ชื่อการค้า Wetfix C และ Nostrip และอีกบริษัทเสนอสารเคมี 2 ชนิด ที่ใช้เป็นสารผสม ในวัสดุเหลว Rasin ต่าง ๆ สำหรับงานเคลือบ เกาะติด ประสานวัสดุของแข็งได้ดี เป็นสารประกอบของโลหะ Zircoaluminate ที่ใช้ชื่อทางการค้าว่า CAVCO MOD CPG และ CAVCO MOD FPG มาทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้เป็นสารผสมช่วยการเกาะยึด ผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ การศึกษาจะเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของพฤติกรรมการใช้งานผิวทางแอสฟัลต์เท่านั้น โดยการทดลองตามมาตราฐาน ASTM, AASHTO, BS.Standard และกรมทางหลวง ในการทดลองจึงไม่ได้มีการศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของสารผสมต่าง ๆ แต่จะทดลองผลที่เกิดกับคุณสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์ว่าเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อไม่ใส่สารผสม และเมื่อใส่สารผสม แต่ละชนิดโดยเลือกเปอร์เซนต์การผสมของสารผสม 0.5%, 1.0% และ 1.5% โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ เปอร์เซนต์ที่เลือกใช้ทดลองจะสูงกว่าที่ทางบริษัทแต่ละแห่งแนะนำ เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนขึ้น

การผสม Wetfix C และ Nostrip ได้โดยตรงกับแอสฟัลต์ในกระบวนการให้ความร้อนแอสฟัลต์ ก่อนนำไปใช้งานแต่ละครั้ง วันต่อวันเท่านั้น หากแอสฟัลต์ที่ใส่สารผสมเหลือจากการทดลองแต่ละวันต้องทิ้ง เพื่อตัดปัญหาในการสูญเสียประสิทธิภาพของสารผสม ที่จะมีผลต่อการศึกษาเปรียบเทียบ เมื่อแอสฟัลต์ใส่สารผสมที่ให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิใช้งาน จะคนด้วยแท่งแก้วให้เข้ากันประมาณ 2 - 3 นาที ก่อนนำไปทดลองคุณสมบัติต่าง ๆ ต่อไป การผสม CAVCO MOD CPG และ FPG ผู้ผลิตแนะนำให้ผสมกับ Propylene Glycol ให้ได้สารละลาย 35 เปอร์เซนต์ โดยการใช้เครื่องปั่นผสมสารละลายไม่น้อยกว่า 15 นาทีก่อนนำไปผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์ในกระบวนการให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิตามต้องการ แล้วใช้แท่งแก้วคนแอสฟัลต์กับสารผสม 2 - 3 นาที ให้เข้ากันก่อนนำไปใช้งาน

4.3 แอสฟัลต์

ใช้ AC 80 - 100 จากโรงกลั่นชลบุรี เพื่อเป็นพื้นฐานในการเปรียบเทียบคุณสมบัติเมื่อใส่สารผสมช่วยการเกาะยึดผสมในแอสฟัลต์ ศึกษาผลที่มีต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์ และในส่วนผสมแอสฟัลต์มวลรวม โดยใช้วิธีการทดลองมาตราฐานกรมทางหลวง, ASTM, AASHTO, และ BS. Standard ทดลองคุณสมบัติเบื้องต้นของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ไม่ใส่สารผสมและที่ใส่สารผสมแต่ละชนิด 4 ชนิด ใช้เปอร์เซนต์การผสม 3 แบบ 0.5, 1.0, 1.5 เปอร์เซนต์ ฉนั้นการทดลองคุณสมบัติแต่ละรายการ ต้องทดลองกับตัวอย่าง 13 ตัวอย่าง คือ AC 80-100, AC 80-100 + Wetfix C 0.5 %, 1.0 %, 1.5 %, AC 80 - 100 + Nostrip 0.5 %, 1.0 %,1.5 %, AC 80 - 100 + CPG 0.5 %, 1.0 %, 1.5 % และ AC 80 - 100 + FPG 0.5%, 1.0%, 1.5% เพื่อวิเคราะห์ผลของสารผสมแต่ละชนิดเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ในด้านใดที่สัมพันธ์กับพฤติกรรมการเกาะยึดในส่วนผสมแอสฟัลต์มวลรวม

4.3.1 ทดลองหาค่าการจมตัวของเข็มมาตราฐาน (Penetration)

เพื่อหาความข้นเหลวของแอสฟัลต์ที่ใส่สารผสม และไม่ใส่สารผสม ใช้มาตราฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 403/2518 "วิธีการทดลองหาค่าการจมตัวของเข็มมาตราฐาน" โดยให้ความร้อนแอสฟัลต์พอเหลว เทได้ประมาณ 60 °C และต้องใช้แท่งแก้วคนให้ตัวอย่างร้อนสม่ำเสมอ ไม่มีฟองอากาศ เทตัวอย่างในภาชนะขนาด 3 ออนซ์ สูงประมาณ 3 เซนติเมตร แล้วทิ้งไว้ให้

แอสฟัลต์เย็นตัวประมาณ 1 - 1 1/2 ชั่วโมง หลังจากนั้นไปควบคุมอุณหภูมิที่ 25 °C เป็นเวลา 1 - 1 1/2 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดให้นำไปวางบนแท่นเครื่องมือหา Penetration ทำความสะอาดเข็มกดด้วยผ้าชุบคาร์บอนเตตระคลอไรด์ ปรับให้ปลายเข็มสัมผัสผิวหน้าตัวอย่างโดยสังเกตจากเงาของเข็ม ที่เกิดจากการสะท้อนของแสงบนผิวหน้าตัวอย่าง ปรับหน้าปัทม์ให้อ่านค่าศูนย์ ปล่อยเข็มให้จมลงบนตัวอย่าง จับเวลา 5 วินาที แล้วปรับเข็มอ่านค่าระยะการจมตัวทำการทดลองตัวอย่างจนได้ค่าแตกต่างของระยะการจมไม่เกิน 4 จำนวน 5 ค่า นำมาเฉลี่ยเป็นค่าการจมตัว (Penetration) ของตัวอย่างนั้น ซึ่งจะต้องมีค่า Penetration อยู่ระหว่าง 80 - 100 ก่อนทดลอง Thin Film Oven Test และมีค่า Penetration ที่เหลือหลังการทดลองข้อ 4.3.5 Thin Film Oven Test มากกว่า 47 เปอร์เซนต์จากค่า Penetration เดิม

4.3.2 <u>ทดลองหาค่าการดึงยืดเป็นเส้น (Ductility)</u> เพื่อหาระยะการยืดตัวสูงสุดของแอสฟัลต์ ที่ใส่และไม่ใส่สารผสม ใช้มาตราฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 405/2519 "วิธีการทดลองหาค่าการดึงยืดเป็นเส้น" ให้ความร้อนแก่แอสฟัลต์พอเหลวเทได้ ประมาณ 60 °C ใช้แท่งแก้วคนให้ตัวอย่างเข้ากันสม่ำเสมอ และไม่เกิดฟองอากาศ ทาสบู่ที่แผ่นรองและแบบมาตราฐานทองเหลือง 3 ชุด เทแอสฟัลต์เหลวลงในแบบให้เป็นเส้นเล็ก ๆ ไปมาจากหัวท้ายแบบจนล้นแบบเล็กน้อย เมื่อเย็นตัวตัดส่วนที่เกินจากแบบออก โดยใช้ Spatula นำแบบทองเหลืองและตัวอย่างไปแช่น้ำ 25 °C เป็นเวลา 1 1/2 ชั่วโมง ถอดแบบออกแล้วไปเข้าเครื่องดึง ด้วยอัตรา 5 เซนติเมตรต่อนาที โดยตัวอย่างแช่น้ำที่อุณหภูมิ 25 °C ตลอดเวลาการทดลอง เมื่อตัวอย่างขาดจากกัน อ่านระยะการยืดตัวสูงสุดเป็นเซนติเมตร เฉลี่ยค่าทั้ง 3 ชุดเป็นค่าการดึงยืด (Ductility) แต่ละตัวอย่างค่าที่ได้ต้องมากกว่า 100 เซนติเมตร ก่อนการทดลอง Thin Film Oven Test และต้องมากกว่า 75 เซนติเมตร หลังการทดลอง Thin Film Oven Test

4.3.3 <u>ทดลองหาจุดอ่อนตัวของแอสฟัลต์ (Softening Point)</u> เพื่อหาอุณหภูมิที่แอสฟัลต์ที่ใส่และไม่ใส่สารผสม เริ่มอ่อนตัว ใช้มาตราฐาน ASTM D 36 - 84 " Standard Test Method for Softening Point of Bitumen Ring and Ball Apparatus" โดยให้ความร้อนแอสฟัลต์พอเหลวเทได้ ประมาณ 60 ° C และใช้แท่งแก้วคน

ให้ตัวอย่างร้อนสม่ำเสมอ ไม่มีฟองอากาศ ระหว่างนี้ให้ความร้อนวงแหวนและแผ่นรอง 60 °C นำออกมาทาด้วยสบู่ภายในวงแหวนและแผ่นรอง ป้องกันแอสฟัลต์ติดวงแหวน เทแอสฟัลต์ลงในวงแหวนจนล้นเล็กน้อย ปล่อยไว้ให้เย็นตัวปาดส่วนเกินจากวงแหวนออก โดยใช้ Spatula แล้วทิ้งไว้ให้เย็น นำไปประกอบชุดเครื่องมือทดลองที่มี วงแหวนบรรจุตัวอย่าง 2 วง แช่ในน้ำกลั่นในบีเกอร์ลึก 105 มิลลิเมตร และแช่ลูกกลมเหล็กในน้ำควบคุมอุณหภูมิน้ำและตัวอย่าง 5 °C เป็นเวลา 15 นาที จึงนำลูกกลมเหล็กวางบนตัวอย่างทั้ง 2 วง เริ่มให้ความร้อนตัวอย่างอัตรา 5 ± 0.5 °C ต่อนาที บันทึกอุณหภูมิที่ลูกกลมเหล็กตกกระทบแผ่นล่างของชุดทดลอง โดยอุณหภูมิลูกกลมเหล็กที่ตกทั้ง 2 ต้องแตกต่างกันไม่เกิน 1.2 °C

4.3.4 <u>ทดลองหาความหนืดแอสฟัลต์แบบคิเนมาติก (Kinematic Viscosity)</u> เพื่อหาความหนืดของแอสฟัลต์ ที่ใส่และไม่ใส่สารผสม ใช้มาตราฐาน ASTM D 2170 - 85 "Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Asphalts" โดยให้ความร้อนแก่แอสฟัลต์ 135 ± 5.5 °C และระหว่างนี้ปรับอุณหภูมิในอ่างเครื่องมือทดลองหาความหนืด พร้อมหลอดแก้วที่ใช้ทดลองชนิด Zeitfuches Cross Arm Viscometer เบอร์ 6 เป็นเวลา 30 นาที เทแอสฟัลต์ลงในหลอดแก้วจนได้ระดับที่กำหนด ทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิอีก 30 นาที จึงเริ่มต้นให้แอสฟัลต์ไหล โดยใช้ลูกยางอัดลมปลายหลอด ให้เกิดแรงดันแอสฟัลต์ให้ไหลตามแรงโน้มถ่วง เริ่มจับเวลาที่ส่วนปลายโค้งสุดของแอสฟัลต์ ผ่านขีดจับเวลาทั้ง 2 ขีด เนื่องจากหลอดแก้วเบอร์ 6 ตัวคูณ (Factor) ของหลอดแก้ว = 1 ฉนั้นเวลาที่จับได้จะเป็นค่าความหนืด Kinematic Viscosity มีหน่วยเป็นเซนติสะโต๊ก Cst ทำการทดลองซ้ำค่าที่ได้ต้องแตกต่างไม่เกิน 1.8 เปอร์เซนต์

4.3.5 <u>ทดลองหาผลของความร้อนและอากาศต่อวัสดุแอสฟัลต์โดย Thin Film Oven Test (TFOT)</u> ของแอสฟัลต์ที่ใส่และไม่ใส่สารผสม ใช้มาตราฐาน ASTM D 1754-83 "Effect of Heat and Air on Asphaltic Materials (Thin Film Oven Test)" โดยให้ความร้อนแอสฟัลต์พอเหลวเทได้ ประมาณ 60 °C และใช้แท่งแก้วคนให้ตัวอย่างร้อนสม่ำเสมอ ไม่มีฟองอากาศ เทแอสฟัลต์หนัก 50 ± 0.5 กรัม ใส่ถาดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.5 นิ้ว ลึก 3/8 นิ้ว ทิ้งไว้ให้แอสฟัลต์เย็นตัว นำไปชั่งน้ำหนัก แล้วเข้าเตาอบแบบมีชั้นหมุนโดยรอบอัตราการหมุน 5 - 6 รอบต่อนาที อุณหภูมิการอบ 163 ± 1 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จากนั้น

นำมาทิ้งไว้ให้เย็น ชั่งน้ำหนัก คำนวณน้ำหนักที่หายไป ซึ่งจะต้องไม่เกิน 1.0 เปอร์เซนต์ แล้วนำแอสฟัลต์ที่เหลือไปทดลองหาค่า Penetration จะต้องมากกว่า 47 เปอร์เซนต์ จากค่าเดิมก่อนการทดลอง Thin Film Oven และทดลองหาค่า Ductility ต้องได้มากกว่า 75 เซนติเมตร และทดลองหาค่า Kinematic Viscosity และ Softening Point เปรียบเทียบกับค่าเดิมก่อนการทดลอง Thin Film Oven

4.3.6 <u>ทดลองหาจุดวาบไฟ (Flash Point)</u> เพื่อหาอุณหภูมิวิกฤตในการใช้งานของแอสฟัลต์ ที่ใส่และไม่ใส่สารผสมใช้มาตราฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 406/2519 "วิธีการทดลองหาจุดวาบไฟและจุดติดไฟโดยใช้ Cleveland Open Cup" โดยให้ความร้อนแก่แอสฟัลต์พอเหลวเทได้ประมาณ 60 °C และใช้แท่งแก้วคนให้ตัวอย่างร้อนสม่ำเสมอ ไม่ให้มีฟองอากาศ เทแอสฟัลต์ลงในถ้วยทดลอง (Cleveland Open Cup) จนถึงขีดกำหนดลึกประมาณ 23.4 - 24.2 มิลลิเมตร ต้องใช้เปลวไฟไล่ฟองอากาศที่ผิวหน้าของตัวอย่าง ให้ความร้อนกับถ้วยตัวอย่างด้วยตะเกียงบุนเสน ในอัตราการเพิ่ม 14 - 15 °C ต่อนาที และเมื่อถึงอุณหภูมิประมาณ 200 °C ลดความร้อนลงให้มีอัตราการเพิ่ม 5 - 6 °C ต่อนาที จนกระทั่งถึงอุณหภูมิประมาณ 230 °C ให้ผ่านเปลวไฟที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.2 - 4.8 มิลลิเมตร ผ่านหน้าตัวอย่างในแนวราบระดับสูงกว่าขอบถ้วย 2 มิลลิเมตร ใช้เวลาผ่านเปลวไฟไปมา 1 วินาที ให้ผ่านเปลวไฟทุกครั้งที่อุณหภูมิเพิ่ม 2 °C บันทึกอุณหภูมิที่ผิวหน้าตัวอย่างเกิดไฟวาบขึ้น ขณะผ่านเปลวไฟไปมา มาตราฐานให้ค่าไว้ไม่ต่ำกว่า 232 °C

4.3.7 <u>ทดลองการละลายของแอสฟัลต์ในไตรคลอโรเอททีลีน (Solubility of Asphalt in Trichloroethylene)</u> เพื่อหาเปอร์เซนต์การละลายของแอสฟัลต์ที่ใส่สารผสมและไม่ใส่สารผสม ใช้มาตราฐาน ASTM D 2042 - 81(85) "Solubility of Asphalt Materials in Trichloroethylene" ให้ความร้อนแอสฟัลต์พอเหลวเทได้ ประมาณ 60 °C และใช้แท่งแก้วคนให้ตัวอย่างร้อนสม่ำเสมอ ไม่ให้มีฟองอากาศ เทแอสฟัลต์ 2 กรัมลงในถ้วยแก้ว (Erlenmeyer Flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร ใส่สารละลาย Trichloroethylene 100 กรัม ลงไปละลายแอสฟัลต์ทีละน้อยจนกระทั่งละลายหมด นำไปเทผ่านถ้วยกรอง (Gooch Crucible) ที่มี Asbestos อยู่ก้นถ้วย และรู้น้ำหนักแล้ว ให้สารละลายไหลลงไปในขวดแก้ว (Erlenmeyer Flask) ใช้เครื่องดูดอากาศช่วยดูดเบา ๆ นำเอาถ้วยกรองไปอบที่ 110 $\pm$ 5 °C

เป็นเวลา 20 นาที แล้วนำมาทิ้งไว้ให้เย็น และชั่งน้ำหนักจะรู้น้ำหนักส่วนที่ค้างบนถ้วย หรือเป็นน้ำหนักส่วนที่ไม่ละลายในไตรคลอโรเอททีลีน มาตราฐานกำหนดให้เปอร์เซนต์การละลายมากกว่า 99 เปอร์เซนต์

4.3.8 ทดลองหาความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์ (Specific Gravity) ที่ไม่ใส่สารผสมและใส่สารผสม โดยใช้มาตราฐาน ASTM D 70 - 82 "Specific Gravity and Density of Semi Solid Bitminous Materials" ให้ความร้อนแอสฟัลต์พอเหลวเทได้ประมาณ 60° C ใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างให้เข้ากันสม่ำเสมอไม่ให้มีฟองอากาศ เทแอสฟัลต์เป็นสายเล็ก ๆ ลงใน Pycnometer ปิดฝาแก้ว นำไปชั่งน้ำหนัก และเติมน้ำกลั่นลงใน Pycnometer จนเต็มฝาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 30 นาที นำขวดบรรจุตัวอย่างขึ้นจากน้ำเช็ดผิวภายนอกให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก จะต้องหาน้ำหนักขวดเปล่า และน้ำหนักขวดที่มีน้ำเต็มที่แช่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 30 นาที ก็สามารถคำนวณความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์ได้

4.4 การทดลองส่วนผสมแอสฟัลต์ และมวลรวมโดยการประเมินด้วยตา

จากการทบทวนข้อเขียนพบว่า วิธีการทดลองที่เป็นมาตราฐานจะแบ่งเป็น 2 แบบ แบบแรก คือ ส่วนผสมแอสฟัลต์และมวลรวม ที่มีการเคลือบไม่สมบูรณ์ ที่เป็นลักษณะงานลาดแอสฟัลต์ (Spray Work) เช่น ผิวเซอร์เฟสทรีตเมนต์ จะหาคุณสมบัติการเกาะยึดด้าน Active และ Passive Adhesion ของแอสฟัลต์ที่ไม่ใส่สารผสมและใส่สารผสมปริมาณต่าง ๆ กับมวลรวมทั้ง 2 แหล่ง ส่วนการประเมินด้วยตาแบบที่สอง คือ ส่วนผสมแอสฟัลต์ และมวลรวม ที่มีการเคลือบสมบูรณ์ ที่เป็นลักษณะงานส่วนผสมร้อน (Hot Mixes) เช่น ผิวแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่บดอัด จะหาคุณสมบัติด้านการเคลือบ และต้านการหลุดลอก ของแอสฟัลต์ที่ไม่ใส่สารผสม และใส่สารผสมที่ปริมาณต่าง ๆ กับมวลรวมทั้ง 2 แหล่ง

4.4.1 ทดลองการหลุดลอกโดย Plate Test เพื่อหาคุณสมบัติด้าน Passive Adhesion ของแอสฟัลต์ที่ไม่ใส่สารผสม และใส่สารผสม ที่สามารถเกาะยึดมวลรวมแห้งต้านการหลุดลอกได้เมื่อแช่ในน้ำ ในสภาวะที่ควบคุมเป็นการจำลองสภาพการใช้งาน ของผิวเซอร์เฟสทรีตเมนต์ โดยใช้มาตราฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 605/2518 "วิธีการทดลอง

การหลุดลอก (Stripping) โดยวิธี Plate Test" ใช้มวลรวมขนาด 1" - 1/2" ที่ไม่ได้ร่อน คัดมาใช้ 50 ก้อนต่อแอสฟัลต์ 1 ตัวอย่าง ทำการเคลือบผิวมวลรวม (Precoat) ด้วยน้ำมันก๊าดพ่นบาง ๆ บนผิวมวลรวม ให้ความร้อนแอสฟัลต์ที่อุณหภูมิ 140 - 175 °C เทแอสฟัลต์ใส่ถาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร หนา 1 - 2 มิลลิเมตร หนัก 25 กรัม ทิ้งไว้ให้เย็นตัว นำมวลรวมด้านเรียบมากดบนแอสฟัลต์เบา ๆ ถาดละ 25 ก้อน แล้วนำเข้าเตาอบที่ 60 °C เป็นเวลา 24 ชม. จึงนำมาแช่ในอ่างน้ำ 50 °C เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นนำมาแช่น้ำที่อุณหภูมิ 25 - 30 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาดึง มวลรวมออกทีละก้อน ให้คะแนนตามพื้นที่การหลุดลอก ของแอสฟัลต์จากผิวหน้ามวลรวมที่กด 0, 25, 50, 75, 100 % เป็นคะแนน 0, 1/4, 1/2, 3/4 และ 1 ตามลำดับ คำนวณเปอร์เซนต์การหลุดลอก เฉลี่ยจากผลรวมของคะแนนต่อจำนวนก้อน เกณฑ์ที่ยอมรับต้องหลุดลอกไม่เกิน 20 เปอร์เซนต์ เพื่อหาผลของระยะเวลาการบ่มตัว จึงเพิ่มระยะเวลาการอบที่ 60 °C เป็นเวลา 7, 14 และ 30 วัน ก่อนการแช่น้ำ

4.4.2 <u>ทดลองการหลุดลอกโดย Tray Test</u> เพื่อหาคุณสมบัติด้าน Active Adhesion หรือ Rapid Adhesion ของแอสฟัลต์ที่ใส่สารผสมและไม่ใส่สารผสม ที่สามารถเคลือบเกาะยึดมวลรวมเปียกชื้น ในสภาวะที่ควบคุม ได้เป็นการจำลองสภาพการใช้งานในสภาพที่ลาดยาง และโรยหินปิดทับ แล้วเกิดฝนตกระยะสั้นก่อนการบดอัด โดยใช้การทดลอง TRRL Road Note 14 (63) "Stripping by Tray Test" ใช้มวลรวมขนาด 1" - 1/2" ที่ล้างสะอาด อบแห้งคัดมา 50 ก้อน ต่อแอสฟัลต์ 1 ตัวอย่าง ทำการเคลือบผิวมวลรวม (Precoat) ด้วยน้ำมันก๊าดพ่นบาง ๆ กดมวลรวม ลงบนถาดแอสฟัลต์ที่แช่ในน้ำ สูง 1 นิ้วที่เตรียมไว้เหมือนวิธี Plate Test ถาดละ 25 ก้อน ประมาณ 10 นาที นำถาดออกมาจากน้ำดึงมวลรวมให้คะแนนการหลุดลอก และคำนวณ เปอร์เซนต์การหลุดลอก เหมือนวิธี Plate Test

4.4.3 <u>ทดลองการเคลือบและการหลุดลอกของส่วนผสมแอสฟัลต์มวลรวม (Coating and Stripping)</u> เพื่อหาคุณสมบัติของส่วนผสมที่มีการเคลือบของแอสฟัลต์ บนผิวมวลรวมสมบูรณ์ที่ไม่บดอัด ด้านการหลุดลอกจากการแช่ในน้ำนิ่งที่สภาวะควบคุม โดยใช้มาตราฐาน ASTM D 1664 - 80(85) "Coating and Stripping of Bitumen-Aggregate Mixtures" ใช้มวลรวมขนาด 3/8" - 1/4" ล้างในน้ำสะอาดแล้วอบแห้งที่ 135 - 149 °C ใช้มวลรวม 100 กรัม ผสมกับแอสฟัลต์ 5.5 $\pm$ 0.2 กรัม ที่ให้ความร้อน 140 $\pm$ 5 °C ผสมนาน 2 นาที

หลังจากทิ้งไว้ให้เย็น เติมน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตร ลงไปให้ท่วมตัวอย่าง วางทิ้งไว้ 16 - 18 ชั่วโมง แล้วประเมินพื้นที่การเคลือบผ่านน้ำเป็นเปอร์เซนต์ เกณฑ์การยอมรับต้องมีพื้นที่การเคลือบมากกว่า 95 % แต่จากการทดลองพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน จึงเพิ่มระยะเวลาแช่ในน้ำ และประเมินการเคลือบเป็น 7 วัน, 14 วัน และ 30 วัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของสารผสมช่วยการเกาะยึดในระยะยาว

4.4.4 ทดลองผลของน้ำต่อส่วนผสมแอสฟัลต์มวลรวม โดยใช้การต้มในน้ำเดือด (Boiling Test) เพื่อหาคุณสมบัติของส่วนผสมที่มีการเคลือบของแอสฟัลต์ บนผิวมวลรวมสมบูรณ์ที่ไม่บดอัด ต้านการหลุดลอกจากการต้มในน้ำเดือดในสภาวะที่ควบคุม ที่ใช้ระยะเวลาสั้นเหมาะกับการทดสอบประสิทธิภาพการเคลือบในสนาม ทราบผลทันที โดยใช้มาตราฐาน ASTM D 3625 - 83 "Effect of Water on Bitumen - Coated Aggregate - Quick Field Test" การทดลองสามารถใช้มวลรวมขนาดต่าง ๆ ได้ แต่เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแช่ในน้ำนิ่ง ASTM D 1664 จึงได้ใช้ตัวอย่างชนิดเดียวกับ ASTM D 1664 มวลรวม 3/8" - 1/4" ผสมแอสฟัลต์ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิเหลือ 100 °C ใส่ในน้ำเดือด 950 มิลลิลิตร ที่กำลังต้มอยู่ ต้มน้ำกับส่วนผสม 1 นาที แล้วนำมารินน้ำร้อนออก โดยไม่ให้กระทบกระเทือนตัวอย่าง จากนั้นรินน้ำเย็นใส่แทน ประเมินพื้นที่การเคลือบเป็นเปอร์เซนต์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารผสมช่วยการเกาะยึดในระยะยาว จึงเพิ่มระยะเวลาเป็น 7, 14 และ 30 วัน ในการแช่น้ำนิ่งต่อและประเมินพื้นที่การเคลือบ

4.5 ทดลองส่วนผสมแอสฟัลต์มวลรวมโดยการประเมินความแข็งแรงทางกล

จะเป็นลักษณะงานส่วนผสมร้อน หรือแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีการเคลือบสมบูรณ์และบดอัดแน่น ความแข็งแรงของส่วนผสมจึงประกอบด้วยแรงยึดเหนี่ยว (Cohesion) และการขัดกัน (Interlock) หรือแรงเสียดทาน(Internal Friction) การขัดกันหรือแรงเสียดทานเป็นผลมาจากคุณสมบัติทางเรขาคณิตของมวลรวม ส่วนแรงยึดเหนี่ยวเป็นผลมาจากคุณสมบัติของเนื้อแอสฟัลต์และการเกาะยึดระหว่างผิวแอสฟัลต์และมวลรวม การทดลองที่เป็นมาตราฐานส่วนใหญ่จะให้คุณสมบัติทั้งสองได้แก่ เสถียรภาพของมาร์แชล (Marshall Stability) แต่ในการศึกษาต้องการหาประสิทธิภาพของสารผสมที่ใช้ในส่วนผสมที่เกี่ยวข้องกับการเกาะยึดระหว่างผิวแอสฟัลต์

และมวลรวม ฉนั้นวิธีการทดลองต้องขจัดผลของการขัดกันและแรงเสียดทานของมวลรวมออก จากการทบทวนข้อเขียนพบว่าวิธีการทดลองหาแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength) ใช้หาแรงดึงของแอสฟัลต์ที่แสดงคุณสมบัติแรงยึดเหนี่ยวเหมาะในการศึกษาเปรียบเทียบ หาคุณสมบัติของแอสฟัลต์และสารผสมช่วยการเกาะยึดที่ผสม โดยไม่มีผลของมวลรวมมาเกี่ยวข้อง และมีการเตรียมตัวอย่าง ขนาดตัวอย่าง เครื่องมือทดลองแบบมาร์แชล จึงสะดวกในการทดลอง และสามารถประยุกต์ใช้ในห้องทดลองแอสฟัลต์ทั่วไปได้โดยไม่ต้องใช้เครื่องมือพิเศษ วิธีการนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิธีการมาตราฐาน ASTM D 4123 "Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures" ที่ใช้น้ำหนักกระทำแบบซ้ำ ๆ (Repeated Load) แต่วิธีการมาร์แชลใช้น้ำหนักการกระทำแบบนิ่ง (Static Load) อัตรา 2 นิ้วต่อนาที เพื่อหาความสัมพันธ์ของวิธีการทั้งสอง จึงได้ใช้การทดลอง Indirect Tension Test โดยใช้น้ำหนักกระทำแบบนิ่ง เหมือนมาร์แชล อัตรา 2 นิ้ว ต่อนาที ซึ่ง Kennedy (28) ได้ศึกษาและแนะนำว่า สูตรการคำนวณหาค่าแรงดึงยังคงเดิม ไม่ว่าจะใช้น้ำหนักกระทำซ้ำ ๆ หรือแบบนิ่ง เพราะใช้น้ำหนักกระทำสูงสุด และขนาดตัวอย่างในการคำนวณ

$$\text{Tensile Strength, } TS = \frac{2P}{\pi t D} \qquad \text{..... (4.1)}$$

P	=	น้ำหนักกดสูงสุดที่ตัวอย่างชำรุด	ปอนด์
t	=	ความหนาตัวอย่าง	นิ้ว
D	=	เส้นผ่าศูนย์กลางตัวอย่าง	นิ้ว
TS	=	ค่าแรงดึงแอสฟัลต์ติกคอนกรีต	ปอนด์ ต่อตารางนิ้ว

ความกว้างของ Loading Strip ที่ใช้ถ่ายน้ำหนักกดสู่ตัวอย่าง ทำด้วยแท่งโลหะมีส่วนโค้งสัมผัสตัวอย่าง กว้าง 0.5 นิ้ว สำหรับตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว และกว้าง 0.75 นิ้ว สำหรับตัวอย่างเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว

ในการศึกษาต้องหาผลการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงทางกลของตัวอย่างในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำกับตัวอย่างในสภาพแห้ง เป็นค่าความแข็งแรงที่ลดลงเป็นเปอร์เซนต์ สำหรับการทดลองหาค่าเสถียรภาพโดยมาร์แชล เรียกว่า ดัชนีความแข็งแรง (Strength Index; SI.)

หรือเสถียรภาพที่เหลือ (Retained Stability) สำหรับการทดลองหาค่าแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tension Test) เรียกว่า อัตราส่วนแรงดึง (Tensile Strength Ratio;TSR.)

4.5.1 <u>ออกแบบส่วนผสมร้อนหรือแอสฟัลต์คอนกรีต</u> เพื่อขจัดตัวแปรในส่วนผสมแอสฟัลต์มวลรวมที่มีผลต่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารผสมช่วยการเกาะยึดต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต จึงต้องออกแบบปริมาณแอสฟัลต์ และสัดส่วนผสมมวลรวมแต่ละชนิดที่ใช้ให้คงที่ปริมาณหนึ่งที่ได้คุณสมบัติตามข้อกำหนดของส่วนผสมร้อนโดยวิธีมาร์แชล (Marshall Method) ก่อนที่จะใส่สารผสมช่วยการเกาะยึดที่เปอร์เซนต์ต่าง ๆ เปรียบเทียบคุณสมบัติด้านอื่น ๆ ต่อไป

4.5.1.1 <u>คำนวณอัตราส่วนผสมมวลรวม</u> เนื่องจากมวลรวมที่ใช้มี 4 ขนาด จำเป็นต้องหาอัตราส่วนผสม มวลรวมแต่ละขนาด โดยใช้วิธีการแบบลองผิดลองถูก (Trial and Error) เมื่อผสมกันแล้วได้ตามมาตราฐานขนาดคละของมวลรวมแบบแน่น (Dense Graded) ดูตาราง 4.1 ในการพิจารณาเริ่มจากตะแกรงเบอร์ 200 ขึ้นไป ที่จะมีเฉพาะหินฝุ่น ทำให้ทราบช่วงเปอร์เซนต์สัดส่วนผสมของหินฝุ่นที่อยู่ในเกณฑ์ คำนวณเรื่อยไปจนครบทุกตะแกรงจะได้อัตราส่วนผสมมวลรวมหลายแบบ ซึ่งควรจะเป็นขนาดคละที่อยู่ใกล้ค่ากลางขนาดคละที่กำหนดมากที่สุด นำไปพล็อตกราฟ Semi - Log เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรง และขนาดตะแกรง ทั้งขนาดคละที่ต้องการและที่คำนวณไว้ คำนวณค่าความถ่วงจำเพาะรวมของมวลรวมที่ผสม

$$G_{ag} = \frac{100}{P_1/G_1+P_2/G_2+P_3/G_3+P_4/G_4} \quad \text{.....} \quad (4.2)$$

P_1, P_2, P_3, P_4 = เปอร์เซนต์สัดส่วนผสมของมวลรวมฝุ่น, 3/8, 1/2 และ 3/4 นิ้ว ตามลำดับ ผลรวม $P_1+P_2+P_3+P_4 = 100$

G_2, G_3, G_4 = ความถ่วงจำเพาะแบบรวม (Bulk Sp. Gr.) ของมวลรวม 3/8, 1/2 และ 3/4 นิ้ว

$$G_1 = \frac{100}{P_a/G_a + P_b/G_b}$$ = ความถ่วงจำเพาะมวลรวมละเอียด (หินฝุ่น)

P_a, P_b = เปอร์เซนต์ที่ผ่านและค้างตะแกรงเบอร์ 200 ของมวลรวมละเอียด(หินฝุ่น)

G_a = ความถ่วงจำเพาะแบบปรากฏ (Apparent Sp. Gr.) ของมวลรวมละเอียด(หินฝุ่น) ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200

G_b = ความถ่วงจำเพาะแบบรวม (Bulk Sp. Gr.) ของมวลละเอียด (หินฝุ่น) ที่ค้างตะแกรงเบอร์ 200

4.5.1.2 <u>เลือกอัตราส่วนผสมมวลรวม</u> จากการคำนวณอัตราส่วนผสมมวลรวมจะได้หลายแบบ การทดลองครั้งแรกต้องเลือกอัตราส่วนผสมที่มีขนาดคละที่ใกล้เคียงค่ากลางที่ต้องการตามตารางที่ 4.1 ให้ส่วนผสมแอสฟัลต์ มวลรวม ตามเกณฑ์การออกแบบส่วนผสมร้อนแบบ Heavy Traffic ดูตารางที่ 4.2

ก) ทดลองผสมส่วนผสมร้อน โดยใช้อัตราส่วนผสมมวลรวมที่เลือกครั้งแรก ผสมกับแอสฟัลต์ AC 80 - 100 ที่ 5% ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงเปอร์เซนต์การใช้งาน วิธีการผสมตามมาตราฐานการทดลองกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 604/2517 "วิธีการทดลองแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยวิธีมาร์แชล (Marshall Method)" โดยให้ความร้อนมวลรวมที่ 160 $\pm$ 5 °C และแอสฟัลต์ที่ 145 $\pm$ 5 °C ใช้เครื่องผสมที่ให้ความร้อนหม้อผสมไว้แล้วผสมประมาณ 1 นาที เทส่วนผสมร้อนลงในแบบ (Mold) เส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 3 นิ้ว พร้อมปลอกบน (Collar Extension Mold) โดยมีกระดาษรองก้นแบบ ใช้ Spatula แซะตัวอย่างข้างแบบ 15 ครั้ง และตรงกลางอีก 10 ครั้ง ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิส่วนผสมร้อนลดลง 140 $\pm$ 5 °C ใช้กระดาษกรองปิดทับตัวอย่าง ยกแบบขึ้นแท่นบดทับ ทำการบดทับด้วยค้อนมาร์แชลด้านละ 75 ครั้ง เตรียมตัวอย่างชุดละ 3 ก้อน เพื่อหาค่าเฉลี่ย ทิ้งตัวอย่างไว้ในแบบให้เย็นตัว จึงดันตัวอย่างออกจากแบบ หลังจาก 16 ชั่วโมง นำมาชั่งน้ำหนักในอากาศ ในน้ำและสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง คำนวณความหนาแน่นตัวอย่างได้ค่าแตกต่างแต่ละตัวอย่างไม่ควรเกิน 0.011 กรัมต่อลบ.ซม. คำนวณความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวอย่างทั้งสามก้อน

มาตราฐานกรมทาง

ตารางที่ 4.1 ข้อกำหนดขนาดคละแบบแน่น (Dense Graded)

ขนาดตะแกรง	% ผ่านตะแกรง
$\frac{3}{4}$	100
$\frac{1}{2}$	80-100
$\frac{3}{8}$	70-90
#4	50-70
#8	35-50
#30	18-29
#50	13-23
#100	8-16
#200	4-7

ตารางที่ 4.2 เกณฑ์การออกแบบส่วนผสมร้อนโดยวิธีมาร์แชล

คุณสมบัติ	การจราจรหนัก
Stability (lbs)	1500 min.
Flow (0.01 in)	8-16
Air Voids (%)	3-5
Voids Fill with Bitumen , VFB (%)	65-80
Voids in Mineral Aggregate, VMA (%)	14 min.

ข) คำนวณเปอร์เซนต์ช่องว่างในมวลรวม(%VMA.) ต้องไม่น้อยกว่า 14 เปอร์เซนต์ ตามเกณฑ์ในรูปที่ 4.1

$$\% \text{ VMA.} = 100 - \frac{(100 - b)i}{G_{ag}} \quad \text{.....(4.3)}$$

$b = \frac{100a}{100+a}$ = เปอร์เซนต์แอสฟัลต์โดยน้ำหนักส่วนผสม (% AC.by Weight of Mix.)

a = เปอร์เซนต์แอสฟัลต์โดยน้ำหนักมวลรวม (% AC. by Weight of Agg.)

$i = e/(f-g)$ = ความหนาแน่นส่วนผสม

e = น้ำหนักส่วนผสมแห้งในอากาศ

f = น้ำหนักส่วนผสมอิ่มตัวผิวแห้ง โดยการแช่ในน้ำ 5 นาที แล้วมาเช็ดผิวให้แห้งชั่งน้ำหนัก

g = น้ำหนักส่วนผสมอิ่มตัวในน้ำ

G_{ag} = ความถ่วงจำเพาะรวมของมวลรวมผสมจากการคำนวณตามอัตราส่วนผสมมวลรวมกับความถ่วงจำเพาะของมวลรวมแต่ละชนิดที่ผสม ที่คำนวณได้จากข้อ 4.5.1.1

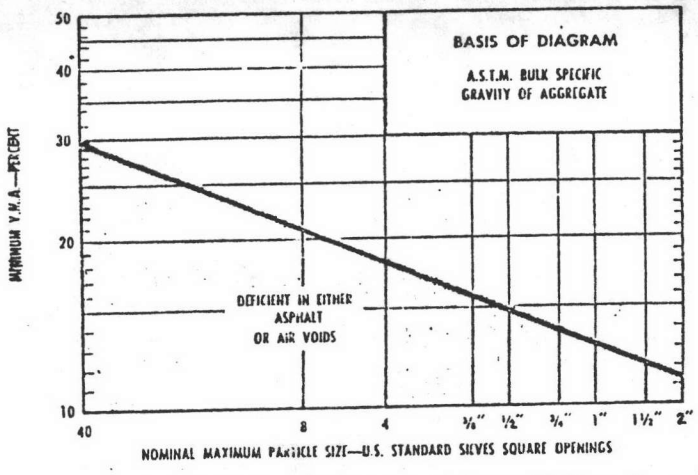
ค) คำนวณเปอร์เซนต์ช่องว่างในอากาศ Air Voids ต้องอยู่ระหว่าง 3 - 5 เปอร์เซนต์ตามเกณฑ์ในตารางที่ 4.2

$$\% \text{ Air Voids} = 100 - (ci/Gac) - (100-b)i/Gag \quad \text{.....(4.4)}$$

$c = b - x(100 - b)/100$ = เปอร์เซนต์แอสฟัลต์ประสิทธิผลโดยน้ำหนักส่วนผสม

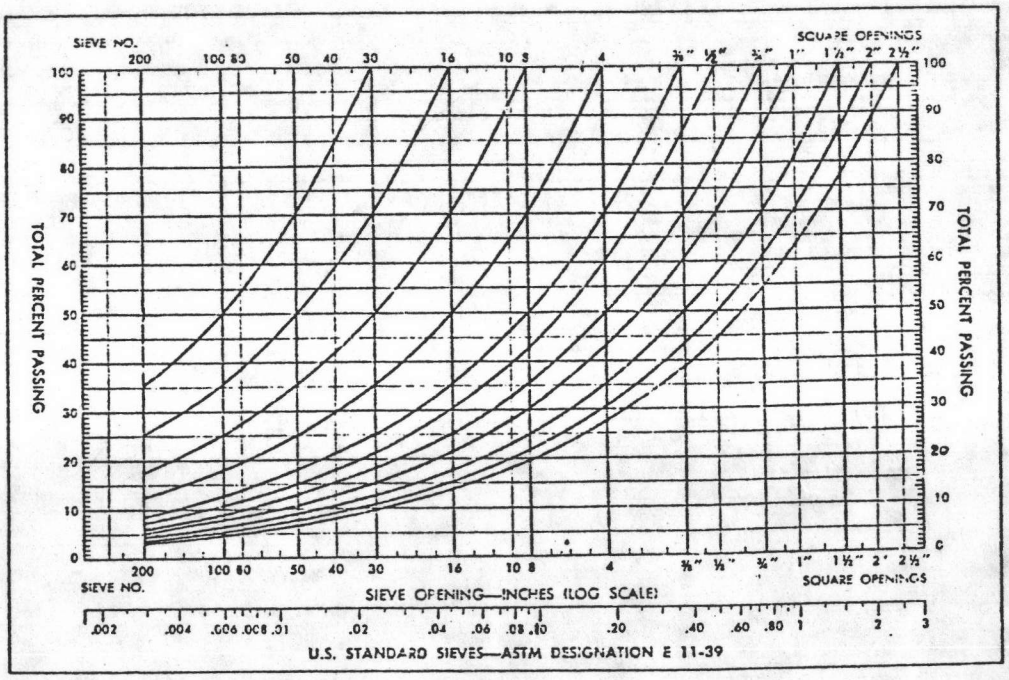
x = เปอร์เซนต์การดูดซึมแอสฟัลต์ของมวลรวม ประมาณ 0.2 - 0.3% ในขั้นตอนการเลือกอัตราส่วนผสมมวลรวมนี้ ควรใช้ x ประมาณ 0.2% เมื่อได้ส่วนผสมที่แน่นอนจึงค่อยหา x ที่แท้จริง ตามวิธีการ ASTM D 4469

G_{ac} = ความถ่วงจำเพาะแอสฟัลต์ = 1.02



Relationship between minimum VMA and nominal maximum particle size of the aggregate for compacted dense-graded paving mixtures

รูปที่ 4.1 ค่าเปอร์เซนต์ VMA.



รูปที่ 4.2 กราฟ Fuller Maximum Density

ง) คำนวณเปอร์เซนต์ช่องว่างระหว่างมวลรวมที่มีแอสฟัลต์ (%Void Filled with Bitumen; VFB) ต้องอยู่ระหว่าง 65 - 80 %

$$\% \text{ VFB} = 100j/l \qquad \text{..... (4.5)}$$

$j = ci/G_{ac}$ = เปอร์เซนต์ปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสม (% Volume of Asphalts)

$l = 100 - (100 - b)i/G_{ag}$ = เปอร์เซนต์ช่องว่างระหว่างมวลรวม (% VMA)

จ) ทดลองหาค่าเสถียรภาพ (Stability) และการไหลตัว (Flow) โดยนำตัวอย่างไปแช่น้ำที่ 60 $\pm$ 1 °C เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำมาเช็ดผิวให้แห้ง ใส่แบบทดลอง เสถียรภาพวางบนเครื่องมือทดลองมาร์แชลติดตั้งเครื่องวัดการไหลตัว (Flow) บนแบบทดลองเสถียรภาพ เดินเครื่องใช้อัตราการกด 2 นิ้วต่อนาที อ่านค่าเสถียรภาพสูงสุด และค่าการไหลตัวขณะตัวอย่างเริ่มชำรุด ค่าเสถียรภาพสูงสุดต้องไปปรับแก้ ตามปริมาตรของตัวอย่าง ดูตารางที่ 4.3

ฉ) เกณฑ์พิจารณาเบื้องต้น ค่าความหนาแน่นควรใกล้เคียง 2.400 กรัมต่อลบ.ซม. เปอร์เซนต์ VMA มากกว่า 14 และค่าเปอร์เซนต์ Air Voids ควรอยู่ใกล้เคียง 4 % มากที่สุด ค่าเสถียรภาพมากกว่า 1,500 ปอนด์ (ดูตารางที่ 4.2) เพราะเปอร์เซนต์แอสฟัลต์ที่เลือกใช้ 5% เป็นค่าที่ใกล้เคียงการออกแบบมากที่สุด ฉนั้นถ้าเปอร์เซนต์ VMA น้อยกว่า 14 และค่าเปอร์เซนต์ Air Voids ใกล้ 3 % หรือใกล้ 5 % ควรจะเลือกอัตราส่วนใหม่ วิธีการพิจารณา The Asphalt Institute (64) แนะนำว่าถ้าปริมาณช่องว่างอากาศสูงเกินไป ควรจะเพิ่มเปอร์เซนต์มวลรวมละเอียด และถ้าปริมาณช่องว่าอากาศต่ำไป ควรจะเพิ่มเปอร์เซนต์มวลรวมหยาบ หรือลดมวลรวมละเอียด โดยใช้กราฟขนาดคละช่วยพิจารณาปรับแก้ขนาดคละที่ให้ความหนาแน่นสูงสุด หาจากสมการ Fuller ที่มีลักษณะโค้งเว้าที่จะให้การทำงานง่ายในการบดอัด แต่ปริมาณช่องว่างอาจต่ำเกินไป ดูรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 ตัวประกอบปรับแก้ค่าเสถียรภาพ

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

NOTES:

1. The measured stability of a specimen multiplied by the ratio for the thickness of the specimen equals the corrected stability for a 2½-in. specimen.
2. Volume-thickness relationship is based on a specimen diameter of 4 in.

(Courtesy: U.S. Corps of Engineers)

Fuller Maximum Density Equation (p) = $(d/D)^{0.50}$ .....(4.6)

p = เปอร์เซนต์ผ่านตะแกรงขนาด d

d = ขนาดตะแกรงที่พิจารณา

D = ขนาดตัวอย่างที่พิจารณา

หรือขนาดที่ให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดของ Bureau of Public Roads Gradation chart ที่หาจากสมการที่ยกกำลัง 0.45 แทน 0.50 จะเป็นลักษณะเส้นตรง ที่ลากจากจุดซ้ายสุดไปยังขนาดมวลรวม Nominal Maximum Particle Size ด้านขวาบนสุด การปรับแก้จะต้องให้ได้ขนาดคละห่างจากเส้นกราฟดังกล่าว เพื่อลดความหนาแน่น และเพิ่มปริมาณช่องว่าง โดยการเพิ่มเปอร์เซนต์มวลรวมหยาบ หรือลดมวลรวมละเอียด

4.5.1.3 ทดลองหาเปอร์เซนต์การดูดซึมแอสฟัลต์ของมวลรวม

เมื่อได้อัตราส่วนผสมมวลรวม ที่ได้ขนาดคละตามต้องการ และทดลองผสมกับแอสฟัลต์ บดอัดให้ได้ความหนาแน่น ปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวม (% VMA) และปริมาณช่องว่างอากาศ (% Air Voids) ของส่วนผสมตามเกณฑ์กำหนดแล้ว ในขั้นตอนนี้จะหาเปอร์เซนต์การดูดซึมแอสฟัลต์ของมวลรวมที่แน่นอนตามวิธี ASTM D-4469 โดยจำเป็นต้องหาค่าความถ่วงจำเพาะสูงสุดตามทฤษฎีของส่วนผสม ตามวิธี ASTM D-2041 ประกอบการคำนวณ เตรียมมวลรวมผสมที่เลือกหนัก 1,500 กรัม ตามอัตราส่วนของมวลรวมแต่ละชนิดกับแอสฟัลต์ 6 % เพื่อให้การเคลือบผิวมวลรวมสมบูรณ์ ให้ความร้อนและผสม ตามวิธีการทดลองกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 604/2517 "วิธีการทดลองแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยวิธีมาร์แชล" เมื่อได้ส่วนผสมร้อนที่มีการเคลือบของแอสฟัลต์ บนผิวมวลรวมทุกก้อนแล้วแยกตัวอย่างที่ผสมไม่ให้เกาะเป็นก้อน เกลี่ยบนถาดทิ้งไว้ให้เย็นตัว นำภาชนะผสมไปชั่งน้ำหนัก หาส่วนผสมที่ติดภาชนะ ล้างภาชนะด้วยไตรคลอโรเอททีลีนไม่ให้มีส่วนผสมติดภาชนะ สารละลายที่ล้างส่วนผสมออกจากภาชนะผสม ให้เทใส่ภาชนะแสตนเลสที่เหมาะสม นำไปเผาที่ความร้อน 500 - 600 °C จนแอสฟัลต์และสารละลาย ถูกเผาไหม้เหลือเถ้าฝุ่น (Ash) ชั่งน้ำหนัก นำไปคำนวณหาน้ำหนักแอสฟัลต์ที่ถูกเผา น้ำหนักแอสฟัลต์ และมวลรวมที่ติดภาชนะผสม จะนำไปหักจากน้ำหนักมวลรวม 1,500 กรัม และแอสฟัลต์ 6 % เดิมที่ใช้เพื่อรู้น้ำหนักมวลรวม และแอสฟัลต์ที่ใช้จริงในการหาความถ่วงจำเพาะสูงสุด ตามทฤษฎีของส่วนผสม

นำส่วนผสมที่เกลี่ยทิ้งไว้ให้เย็นตัว ใส่ในขวดแก้ว (Volumatric Flask) ที่มีความจุ 2,000 มิลลิลิตร ชั่งน้ำหนัก และเติมน้ำจนได้ระดับ 1,500 มิลลิลิตร นำไปดูดอากาศที่ 30 นิ้ว ปรอท 5 -15 นาที จนไม่มีฟองอากาศในส่วนผสม โดยเขย่าขวดช่วยทุก 2 นาที จากนั้นนำไปแช่น้ำ 10 $\pm$ 1 นาที แล้วชั่งน้ำหนักในน้ำคำนวณความถ่วงจำเพาะสูงสุดตามทฤษฎีของส่วนผสม (Gm) และเปอร์เซนต์ การดูดซึมแอสฟัลต์ของมวลรวม (x) ได้

$$G_m = A/(A - C) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4.7)$$

A = (น้ำหนักขวด + ตัวอย่าง)ในอากาศ - น้ำหนักขวดในอากาศ = น้ำหนักตัวอย่างในอากาศ

C = (น้ำหนักขวด + ตัวอย่าง)ในน้ำ - น้ำหนักขวดในน้ำ = น้ำหนักตัวอย่างในน้ำ

$$x = A_{ac} = 100\left[\frac{X}{100-X} + \frac{G_{ac}}{G_{ag}} - \frac{100G_{ac}}{(100-X)G_m}\right] \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4.8)$$

X = เปอร์เซนต์แอสฟัลต์ที่ใช้จริง (หักส่วนที่ติดภาชนะออกแล้ว) โดยน้ำหนักส่วนผสม

4.5.1.4 <u>ทดลองหาเปอร์เซนต์แอสฟัลต์ที่เหมาะสม</u> โดยใช้เปอร์เซนต์แอสฟัลต์ 5 ค่า 4.0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 % โดยน้ำหนักมวลรวมใช้มวลรวมหนัก 1,200 กรัม แต่ละเปอร์เซนต์แอสฟัลต์ที่ใช้ ผสมมวลรวมเตรียม 3 ตัวอย่าง รวม 15 ตัวอย่าง ผสมและบดอัดตามมาตราฐานการทดลองกรมทางหลวง "วิธีการทดลองแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยวิธีมาร์แชล (Marshall Method)" ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเหมือนในหัวข้อ 4.5.1.2 ในการเตรียมตัวอย่างผสมบดอัด และการหาความหนาแน่นตัวอย่าง จากนั้นจะนำตัวอย่างทั้ง 15 ก้อน ไปทดลองหาค่าเสถียรภาพ (Stability) และการไหลตัว (Flow) คำนวณค่าและสร้างกราฟ Density, เปอร์เซนต์ VMA, เปอร์เซนต์ Air Voids, เปอร์เซนต์ VFB, Stability, Flow เฉลี่ยจากตัวอย่าง 3 ก้อน กับเปอร์เซนต์แอสฟัลต์ การเลือกปริมาณแอสฟัลต์จะพิจารณาจาก เปอร์เซนต์ Air Voids ใกล้เคียง 4 % มากที่สุด และให้เกณฑ์อื่น ๆ ตามกำหนดของการออกแบบส่วนผสมร้อน สำหรับปริมาณการจราจรหนัก ในตารางที่ 4.2

4.5.2 <u>เตรียมตัวอย่างทดลองหาค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) และอัตราส่วนแรงดึง (Tensile Strength Ratio)</u> เมื่อได้ออกแบบอัตราส่วนผสมมวลรวมทั้ง 2 แหล่ง และเปอร์เซนต์แอสฟัลต์แต่ละแหล่งแล้ว ก็ต้องพิจารณาเตรียมตัวอย่าง ในการทดลองความแข็งแรงทางกล เพื่อหาความอ่อนไหวต่อน้ำ (Moisture Susceptibility) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารผสมช่วยการเกาะยึด ที่ใช้ทั้ง 4 ชนิด Wetfix C, Nostrip, CAVCO MOD CPG, CAVCO MOD FPG โดยแปรเปลี่ยนเปอร์เซนต์การผสมในแอสฟัลต์ชนิดละ 0.5, 1.0 และ 1.5 % โดยน้ำหนักแอสฟัลต์ จากการทบทวนข้อเขียนพบว่า ปูนซีเมนต์ และ ปูนขาว สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรง ด้านแรงยึดเกาะต้านการหลุดลอกได้ ประกอบกับเป็นวัสดุที่หาง่าย จึงได้ทดลองนำมาใช้ผสม โดยใช้ปูนซีเมนต์ที่ 1.5 % และปูนขาวที่ 3 % โดยน้ำหนักมวลรวม เพื่อให้เห็นผลในด้านแรงยึดเกาะ หรือความต้านทานต่อการหลุดลอกที่มีผลในการลดความแข็งแรงทางกลที่รวดเร็ว จึงใช้วิธีการให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ และแช่น้ำ ให้เกิดการทำลายการเกาะยึดซึ่งน้ำจะเข้าไปแทนที่ช่องว่างอากาศในส่วนผสม ช่องว่างมากย่อมทำให้น้ำเข้าไปแทนที่มากรวมทั้งสภาพระยะเวลาต่างกัน ทำให้มีผลต่อการแทนที่ของน้ำต่างกัน ทำให้ความแข็งแรงต่างกันในส่วนผสมชนิดเดียวกัน ฉนั้นเพื่อขจัดปัญหาในการเปรียบเทียบส่วนผสมต่าง ๆ กัน จึงต้องหาวิธีการควบคุมปริมาณช่องว่างอากาศ ระยะเวลา สภาพการให้น้ำเข้าไปแทนที่และการทดลองเหมือนกัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพสารผสมช่วยการเกาะยึดแต่ละชนิด แต่ละปริมาณได้

4.5.2.1 <u>ควบคุมปริมาณช่องว่างอากาศ</u> จากการทบทวนข้อเขียน และงานวิจัยต่าง ๆ พบว่าที่ปริมาณช่องว่างอากาศ (% Air Voids) ประมาณ 6 - 8 เปอร์เซนต์เหมาะในการหาความอ่อนไหวต่อน้ำ ให้ผลการทำลายของน้ำได้ชัดเจนและมีปริมาณใกล้เคียงการบดอัดในสนามใหม่ ๆ ในการเตรียมตัวอย่างมีวิธีการบดอัดได้หลายวิธี แต่เพื่อสะดวกและสามารถใช้ในห้องทดลองทั่วไปได้ จึงใช้วิธีการบดอัดโดยวิธีมาร์แชล ซึ่งต้องปรับแก้จำนวนครั้งในการบดอัด โดยทดลองลดจำนวนครั้งในการบดอัดด้านละ 75 ครั้ง ลงมาเป็นด้านละ 30, 35, 40, 50, 60 ครั้ง เพื่อให้เปอร์เซนต์ช่องว่างอากาศเพิ่มขึ้นจาก 4 % เป็น 7 % แต่ละจุดที่ทดลองใช้ตัวอย่าง 3 ก้อน หาค่าเปอร์เซนต์ช่องว่างอากาศเฉลี่ย ตามวิธีการมาตราฐานการทดลองกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 604/2517 "วิธีการทดลองแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล" และสร้างเป็นกราฟระหว่างจำนวนครั้งในการบดอัด กับเปอร์เซนต์ช่องว่างอากาศที่ได้ เพื่อหาค่า

จำนวนครั้งในการบดอัด ที่ให้เปอร์เซนต์ช่องว่างอากาศ 7 % ตามต้องการ

4.5.2.2 ควบคุมการอิ่มตัวด้วยน้ำของตัวอย่าง ใช้วิธีการของ Tunnicliff and Root (31) โดยการดูดอากาศในน้ำให้ได้การอิ่มตัว 55-80% ที่ความดันในการดูดอากาศ 20 นิ้ว ปรอท และตามด้วยการแช่น้ำนึงที่ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้ได้การอิ่มตัวของน้ำ 100 % การดูดอากาศในน้ำให้อิ่มตัว 55 - 80 % จำเป็นต้องหาระยะเวลาที่เหมาะสม โดยการทดลองใช้เวลา 2, 3, 4, 5, 6 นาที ดูดอากาศตัวอย่างที่เตรียมโดยวิธีมาร์แชล จำนวนครั้งในการบดอัดที่หาได้จากหัวข้อ 4.5.2.1 แต่ละจุดใช้ตัวอย่าง 3 ก้อน หาค่าเปอร์เซนต์การอิ่มตัวเฉลี่ย

$$\text{เปอร์เซนต์การอิ่มตัวหลังดูดอากาศ} = (W_2 - W_1) * 100/V_a \quad \ldots\ (4.9)$$

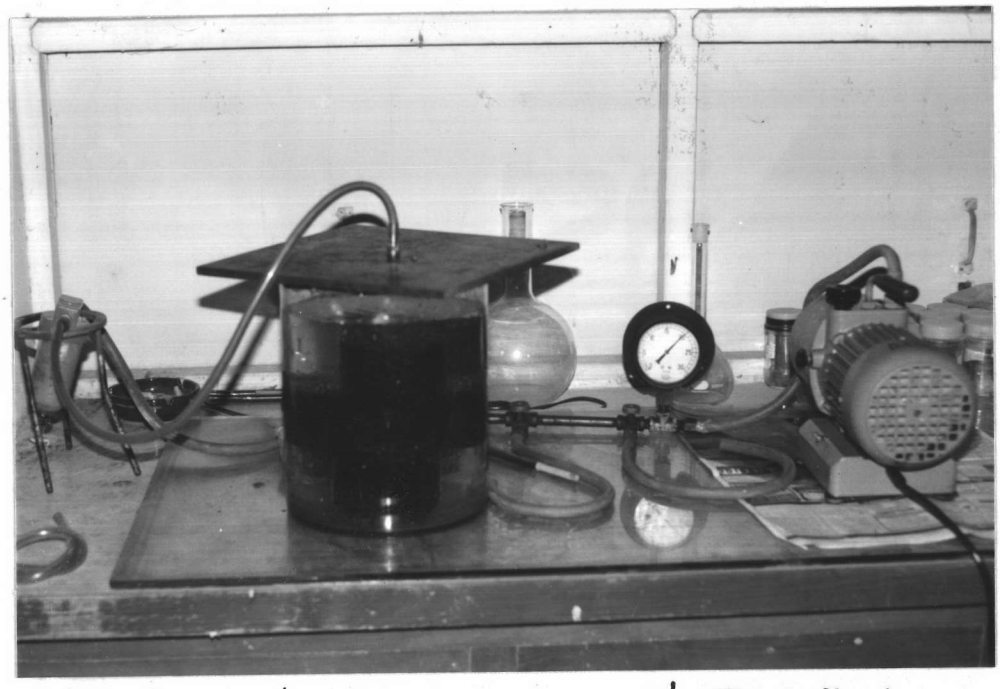
W_1 = น้ำหนักตัวอย่างแห้งก่อนการดูดอากาศ กรัม

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างอิ่มตัวผิวแห้งหลังการดูดอากาศ กรัม

V_a = ปริมารตรช่องว่างอากาศในตัวอย่าง ลบ.ซม.

นำค่าระยะเวลาการดูดอากาศ และเปอร์เซนต์การอิ่มตัวสร้างกราฟ หาระยะเวลาที่มีการอิ่มตัวเฉลี่ย 67.5 %

4.5.3 ทดลองหาค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) และอัตราส่วนแรงดึง (Tensile Strength Ratio) ผสมมวลรวมแต่ละแหล่งและแอสฟัลต์ ที่ใส่สารผสมที่ปริมาณต่าง ๆ ตามวิธีมาตราฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ท 604/2517 แต่ลดจำนวนครั้งในการบดอัดที่หาได้จากหัวข้อ 4.5.2.1 ที่ให้ปริมาณช่องว่างอากาศ 7 $\pm$ 1 % ชุดละ 12 ก้อน แต่ละชุดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 6 ก้อน ที่มีปริมาณช่องว่างอากาศ หรือความหนาแน่นใกล้เคียงกันมากที่สุด เขียนหมายเลขแยกกลุ่มไว้ที่ตัวอย่าง เพื่อใช้ทดลองหาค่าเสถียรภาพ (Stability) 6 ก้อน โดยวิธีมาร์แชล (Marshall Method) และหาค่าแรงดึง (Tensile Strength) 6 ก้อน โดยวิธีการทดลองหาค่าแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tension Test) แต่ละกลุ่มยังแยกเป็น 2 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 3 ก้อน ที่มีปริมาณช่องว่างอากาศ หรือความหนาแน่นใกล้



รูปที่ 4.3 การดูดอากาศควบคุมการอิ่มตัวของตัวอย่าง

รูปที่ 4.4 การทดลองหาค่าแรงดึงทางอ้อม

เคียงกันมากที่สุด เขียนหมายเลขแยกกลุ่มย่อยไว้ที่ตัวอย่าง กลุ่มย่อยแรกของแต่ละกลุ่มรวม 6 ก้อน ทิ้งไว้ในอากาศสภาพแห้ง· กลุ่มย่อยหลังของแต่ละกลุ่มรวม 6 ก้อน ควบคุมการอิ่มตัวโดยการดูดอากาศในน้ำ ที่ความดัน 20 นิ้ว ปรอท เป็นระยะเวลาที่หาได้จากหัวข้อ 4.5.2.2 แล้วตรวจสอบเปอร์เซนต์การอิ่มตัว ให้อยู่ระหว่าง 55 - 80 % ถ้าไม่ได้ต้องแยกตัวอย่างไว้ต่างหาก และเตรียมตัวอย่างใหม่หลังจากนั้นนำตัวอย่างที่ผ่านการดูดอากาศไปแช่น้ำที่ 60 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จึงนำขึ้นมาตรวจสอบเปอร์เซนต์การอิ่มตัว เช่นเดียวกับภายหลังการดูดอากาศเปอร์เซนต์การอิ่มตัวควรมากกว่า 100% ถ้าต่ำกว่าควรเตรียมตัวอย่างใหม่อีก เมื่อเสร็จสิ้นการควบคุมสภาพการการอิ่มตัวแล้ว ให้นำตัวอย่างทั้งหมดมาแช่น้ำที่ 25 $\pm$ 1 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิตัวอย่างในการทดลอง ก่อนนำไปทดลองหาค่าเสถียรภาพ (Stability) โดยวิธีมาร์แชล และหาค่าแรงดึง (Tensile Strength) โดยวิธีการหาแรงดึงทางอ้อม ตามตัวอย่างที่ให้หมายเลขแยกกลุ่มทดลองตอนแรกแล้ว ทำการคำนวณเสถียรภาพความแข็งแรงที่เหลือ (Retained Stability) หรือดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) และอัตราส่วนแรงดึง (Tensile Strength Ratio) ของตัวอย่างสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ เปรียบเทียบกับตัวอย่างสภาพแห้ง

$$\text{Strength Index; SI.} = (S_1/S_o) * 100\ \% \quad \text{.....(4.10)}$$

S_1 = เสถียรภาพของตัวอย่างสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ

S_o = เสถียรภาพของตัวอย่างสภาพแห้ง

เกณฑ์ในการยอมรับค่า Strength Index ใช้ค่ามากกว่า 75 %

$$\text{Tensile Strength Ratio; TSR} = TS_1/TS_o \quad \text{..... (4.11)}$$

TS_1 = ค่าแรงดึงของตัวอย่างสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ

TS_o = ค่าแรงดึงของตัวอย่างสภาพแห้ง

เกณฑ์ในการยอมรับค่า TSR ใช้ค่ามากกว่า 0.70 ถ้าผลการทดลองต่ำกว่าเกณฑ์แสดงว่าเกิดการชำรุดในแรงยึดเหนี่ยวของแอสฟัลต์ และการเกาะยึดของแอสฟัลต์กับมวลรวม และถ้า

ผลการทดลองมากกว่าเกณฑ์ แสดงว่าส่วนผสมมีความต้านทานในแรงยึดเหนี่ยว และการเกาะยึดดีตัวอย่างที่ทดลองหาค่าแรงดึง ทั้งในสภาพแห้งและในสภาพอิ่มตัว ให้กดตัวอย่างจนชำรุดแยกออกเป็น 2 ส่วน ประเมินพื้นที่การเคลือบ และการหลุดลอกในระนาบ ที่ตัวอย่างชำรุดทั้ง 2 หน้า คิดเป็นเปอร์เซนต์ เพื่อดูผลว่าสารผสมแต่ละชนิด ช่วยให้มีการเปลี่ยนแปลงการเกาะยึดหรือแรงยึดเหนี่ยวอย่างไร ตามวิธีการคำนวณในหัวข้อ 3.4.4.1

4.5.4 <u>ทดลองหาผลของระยะเวลาการบ่มตัว โดยใช้การทดลองหาค่าแรงดึงทางอ้อม</u> ผสมมวลรวมแต่ละแหล่งกับแอสฟัลต์ และแอสฟัลต์ที่ใส่สารผสมแต่ละชนิด ที่ปริมาณสูงสุด 1.5 % โดยน้ำหนักแอสฟัลต์ และที่ใส่ปูนซีเมนต์ 1.5 % และปูนขาว 3 % โดยน้ำหนักมวลรวม รวม 7 ชุด สำหรับมวลรวมแต่ละแหล่งผสมตามวิธีมาร์แชล แต่ลดจำนวนครั้งในการบดอัด ตามที่หาได้จากหัวข้อ 4.5.2.1 ที่ให้ปริมาณช่องว่างอากาศ 7 $\pm$ 1 %ชุดละ 12 ก้อน แยกเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 6 ก้อน ที่มีปริมาณช่องว่างอากาศหรือความหนาแน่นใกล้เคียงกัน บ่มที่ 60 °C ไว้ทดลองที่ 14 และ 30 วัน โดยแต่ละกลุ่มยังแยกเป็น 2 กลุ่มย่อย กลุ่มละ 3 ก้อน ที่มีปริมาณช่องว่างอากาศ หรือความหนาแน่นใกล้เคียงกัน ทดลองหาค่าแรงดึงทางอ้อมในสภาพแห้ง และสภาพอิ่มตัว ที่ควบคุมตามวิธีการในหัวข้อ 4.5.3 คำนวณหาค่าอัตราส่วนแรงดึง

4.5.5 <u>ทดลองหาผลของความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิ (Temperature Susceptibility) โดยใช้การทดลองหาค่าแรงดึงทางอ้อม</u> ผสมมวลรวมแต่ละแหล่งกับแอสฟัลต์ และแอสฟัลต์ที่ใส่สารผสมแต่ละชนิด ที่ปริมาณสูงสุด 1.5 % โดยน้ำหนักแอสฟัลต์ รวมเป็น 5 ชุด สำหรับมวลรวมแต่ละแหล่ง ผสมตามวิธีมาร์แชล บดอัดตามมาตราฐานด้านละ 75 ครั้ง ชุดละ 12 ก้อน แยกเป็น 4 กลุ่ม ๆ ละ 3 ก้อน ที่มีปริมาณช่องว่างอากาศ หรือความหนาแน่นใกล้เคียงกัน ควบคุมอุณหภูมิการทดลองโดยการแช่น้ำที่ 15, 25, 40, 60 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนนำมาทดลองหาค่าแรงดึงทางอ้อม