

วรรณคดีวิจารณ์

2.1 คอนกรีตแอสฟัลท์

การทำคอนกรีตแอสฟัลท์ ที่นิยมใช้กันในปัจจุบันคือแบบผสมมาจากโรงงาน (Plant Mix) โดยการให้ความร้อนหินและยางแอสฟัลท์จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการแล้วผสมกันในเครื่องผสม ในอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ หลังจากนั้นจึงขนคอนกรีตแอสฟัลท์ที่ร้อนนี้ด้วยรถบรรทุกไปเทลาดยังสถานที่ก่อสร้าง โดยเทเป็นชั้นบาง ๆ ด้วยเครื่องปูลาด (Spreader Machine) แล้วบดอัดด้วยรถบดอัดให้แน่น การนำคอนกรีตแอสฟัลท์มาทำเป็นผิวถนนจะต้องมีการออกแบบส่วนผสม และทดสอบในห้องทดลองให้ได้มาตรฐานตามที่ต้องการเสียก่อน

2.1.1 คุณสมบัติของคอนกรีตแอสฟัลท์

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์ให้เหมาะสมกับโครงสร้างถนนจะต้องพิจารณาคุณสมบัติของส่วนผสมดังต่อไปนี้คือ ค่าเสถียรภาพ (Stability) ความคงทน (Durability) ความหยุ่นตัว (Flexibility) ความต้านทานการล้า (Fatigue Resistance) ความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance) ความพิน้ำ (Impermeability) และความสะดวกในการใช้งาน (Workability)

เสถียรภาพคือความสามารถในการต้านทานการเสียรูปร่าง (Deformation) จากน้ำหนักบรรทุกที่ไม่กระทำ ถนนที่ไม่ได้เสถียรภาพจะปรากฏช่องหรือร่องล้อ (Channeling or Ruts) และรอยย่นแบบลูกฟูก (Corrugations) เสถียรภาพขึ้นอยู่กับความเสียดทานภายในและการยึดเกาะภายใน (Cohesion)

ความคงทนคือคุณสมบัติที่สามารถต้านทานการเสียหายจากปฏิกิริยาของดินฟ้าอากาศ และการจราจร ปฏิกิริยาต่อดินฟ้าอากาศจะเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะของแอสฟัลท์ เช่น การทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (Oxidation) และการระเหยกลายเป็นไอ (Volatilization) นอกจากนี้ปฏิกิริยาจากดินฟ้าอากาศจะเปลี่ยนแปลงโครงสร้างถนนและมวลรวม เช่น จากการกระทำของน้ำ รวมทั้งการแข็งตัวของน้ำและการละลายของน้ำที่แข็งตัว (Freezing and Thawing)

ความคงทนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณยางแอสฟัลท์ ความหนาแน่นของขนาดผละของมวลรวม และการบดอัดที่ดี การเพิ่มปริมาณยางแอสฟัลท์จะมีผลทำให้ชั้นบาง ๆ ของแอสฟัลท์ที่เคลือบผิวของอนุภาคมวลรวมมีความหนาแน่นมากขึ้น และจะลดขนาดรู (Pore) ของโพรงอากาศเป็นการอุด (Seal) ส่วนผสมทำให้อากาศและน้ำซึมเข้าภายในได้ยากขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณยางแอสฟัลท์มากเกินไปจะทำให้ค่าเสถียรภาพมีค่าลดลง เพราะค่าเสถียรภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณยางแอสฟัลท์ที่เคลือบอนุภาคของมวลรวม มีปริมาณที่พอเหมาะ หรือมีปริมาณถึงค่าวิกฤต (Critical Value) ปริมาณยางแอสฟัลท์ที่เพิ่มเติมนั้นจะเป็นเพียงตัวหลอกล่อมากกว่าที่จะช่วยการยึดเหนี่ยว และจะลดค่าเสถียรภาพลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ปริมาณยางแอสฟัลท์ให้น้อยเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อเพิ่มความคงทน และยังคงรักษาเสถียรภาพไว้อย่างเพียงพอ

ความหยุ่นตัว คือ ความสามารถที่จะปรับตัวตาม (Conform) การทรุดตัวอย่างช้า ๆ และการเคลื่อนตัวของชั้นพื้นทางและชั้นดินเดิม โดยปราศจากการรื้อราวด โดยทั่วไปแล้วความหยุ่นของส่วนผสมจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณยางแอสฟัลท์บรรจุสูง และใช้มวลรวมที่มีเกรดไปร่ง (Open-Graded Aggregate)

ความต้านทานการล้า คือ ความสามารถที่ต้านทานต่อการโค้งงอซ้ำ (Repeated Flexing) ซึ่งเกิดจากการกระทำของน้ำหนักบรรทุกที่แล่นผ่านไปมา จากการทดสอบพบว่าปริมาณยางแอสฟัลท์มีความสำคัญอย่างมากต่อความต้านทานการล้า ถ้าปริมาณยางแอสฟัลท์มีมาก ความต้านทานการล้าจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้มวลรวมที่มีเกรดแน่น (Dense-Graded Aggregate) จะให้ความต้านทานต่อความล้ามากกว่าการใช้มวลรวมที่มีเกรดไปร่ง

ความต้านทานการลื่นไถล คือ ความสามารถของผิวถนนในการต้านทานการลื่นไถล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อถนนเปียก ตัวประกอบที่ช่วยให้มีความต้านทานการลื่นไถลได้ดีนั้น มีเช่นเดียวกับตัวประกอบที่ช่วยให้มีเสถียรภาพสูง นอกจากนั้นการใช้มวลรวมที่ประกอบด้วยแร่ธาตุ ซึ่งไม่ค่อยสึกหรอจากการขัดสีจะช่วยให้เนื้อของโครงสร้างถนนลาดยางคงความใหม่อยู่เสมอและช่วยให้ผิวถนนมีความต้านทานต่อการลื่นไถล คอนกรีตแอสฟัลท์ที่มีปริมาณยางแอสฟัลท์มากเพื่อเติมให้เต็มโพรงอากาศจะทำให้ยางแอสฟัลท์ปรีล้นขึ้นมาบนผิวถนนเมื่อมีการอัดแน่นซึ่งเรียกว่าการเต็ม และแอสฟัลท์ที่ขึ้นมาบนผิวถนนนี้เองที่ทำให้เกิดภาวะลื่นไถลเมื่อถนนเปียก

ความทนน้ำ คือ ความสามารถในการต้านทานการซึมผ่านของอากาศและน้ำเข้าไปในหรือผ่านโครงสร้างถนน ปริมาณโพรงอากาศเป็นเครื่องชี้ถึงความง่ายในการที่จะให้อากาศหรือน้ำซึมผ่านได้ สิ่งสำคัญของโพรงอากาศคือ ที่บริเวณผิวหน้าและการต่อเนื่องกันของโพรง

อากาศ ความชื้นผ่านไม่ได้ของอากาศและน้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งในแง่ของความทนทาน สำหรับคอนกรีตแอสฟัลท์ในโครงสร้างถนนลาดยาง

ความสะดวกในการใช้งาน คือ ความง่ายในการเท และบดอัดคอนกรีตแอสฟัลท์ จากการออกแบบที่เหมาะสม โดยคำนึงไปถึงเครื่องจักรในการปูลาดผิวทางมวลรวมซึ่งมีคุณสมบัติช่วยส่งเสริมให้ส่วนผสมมีค่าเสถียรภาพดี จะทำให้เทและบดอัดคอนกรีตแอสฟัลท์ง่ายขึ้น เพื่อให้การปฏิบัติก้าวหน้าอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

2.1.2 คุณสมบัติที่ดีของคอนกรีตแอสฟัลท์

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์ที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง คือ การเลือกใช้วัสดุ และการจัดสัดส่วนวัสดุให้ดีพอ สำหรับคุณภาพและคุณสมบัติที่ต้องการ ภายหลังจากเสร็จสิ้นการก่อสร้าง จะเห็นว่าจากที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดก็เพื่อต้องการให้ส่วนผสมและการจัดสัดส่วนขนาดผละของมวลรวมอย่างประหยัดยู่ภายในขีดจำกัดของข้อกำหนด มีปริมาณแอสฟัลท์ที่เหมาะสม เพื่อให้ส่วนผสม

1. เสถียรภาพดีพอ เป็นที่พอใจตามข้อกำหนดและความต้องการของการใช้บริการ จากการจราจร โดยปราศจากการบิดเบี้ยว หรือการเคลื่อนตัว (Displacement)
2. โปร่งอากาศเพียงพอในส่วนผสมบดอัดแน่นเพื่อหลีกเลี่ยงการเย็น และสูญเสียเสถียรภาพ
3. แอสฟัลท์พอเพียงเพื่อแน่ใจว่า ถนนมีความทนทานจากการเคลือบอนุภาคมวลรวมอย่างทั่วถึง ป้องกันน้ำซึมผ่าน และมีการยึดเกาะอย่างดีภายใต้การบดอัดแน่นที่เหมาะสม
4. ความสามารถทำงานได้ดีพอ เพื่อให้การปฏิบัติงานก่อสร้างปูลาดถนนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 การทดสอบเพื่อการออกแบบ

คอนกรีตแอสฟัลท์ที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้าง จะต้องได้รับการออกแบบและทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อให้ได้ส่วนผสมมีคุณสมบัติตามข้อกำหนดและข้อกำหนด (Specification and Requirement) เช่นทดสอบเพื่อหาสัดส่วนที่พอเหมาะของยางแอสฟัลท์ สัดส่วนขนาดผละของมวลรวม และปริมาณที่พอเหมาะของพื้นที่เคลือบผิว เป็นต้น วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์ที่นิยมแพร่หลายได้แก่ วิธีมาร์แชลล์ (Marshall method) และวิธีฮวีม (Hveem method) ทั้งสองวิธีมีการพัฒนาให้มีความเกี่ยวพันกันระหว่างผลของการทดสอบส่วนผสมบดอัดแน่นในห้องปฏิบัติการกับสมรรถนะของส่วนผสมถนนลาดยางภายใต้การใช้งานจริง

2.3 การออกแบบส่วนผสมโดยวิธีมาร์แชลล์

การทดสอบและการออกแบบส่วนคอนกรีตแอสฟัลท์โดยวิธีมาร์แชลล์ แนวคิดพื้นฐานจาก บรูซมาร์แชลล์ (Bruce Marshall) วิศวกรประจำกรมทางหลวง มลรัฐมิสซิสซิปปี (The Mississippi State Highway Department) ต่อมา The U.S. Army Corps of Engineers ได้ศึกษาค้นคว้าวิจัยเพิ่มเติมแล้วปรับปรุงวิธีการ และพัฒนาหลักเกณฑ์การออกแบบส่วนผสมจนกระทั่งการทดสอบได้มาตรฐานและกำหนดเป็นมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 1559

วิธีมาร์แชลล์นี้ใช้กับวัสดุผสมถนนลาดยางแบบผสมร้อน (Hot-Mix Asphalt Paving Mixture) ซึ่งประกอบด้วยยางแอสฟัลท์และมวลรวมที่มีการจัดขนาดละเอียดหรือละเอียด (Dense or Fine Grade Aggregates) ที่มีขนาดโตสุด 25 มม. (1 นิ้ว) หรือน้อยกว่า วิธีนี้ใช้ได้ทั้งการออกแบบในห้องปฏิบัติการทดลอง และการควบคุมในสนาม ลักษณะสำคัญของวิธีการทดสอบนี้คือ การวิเคราะห์ความหนาแน่นกับโพรง (Density-Voids Analysis) และการทดสอบเสถียรภาพกับการยุบตัว (Stability-Flow Test) ของก้อนตัวอย่าง

2.3.1 การออกแบบส่วนผสม

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์จะต้องเลือกสัดส่วนขนาดละเอียดของมวลรวม ชนิด และปริมาณของวัสดุเคลือบผิว ชนิดและปริมาณยางแอสฟัลท์ (การทดสอบด้วยวิธีมาร์แชลล์จะแบ่งค่าปริมาณยางแอสฟัลท์ครั้งละ 0.5 เปอร์เซ็นต์ตามข้อกำหนด) ชนิดของผิวจราจรที่ใช้ จากนั้นจึงเตรียมก้อนตัวอย่างและทำการทดสอบ นำผลที่ได้ไปเขียนกราฟกับปริมาณของยางแอสฟัลท์กับผลการทดสอบ เช่น ปริมาณยางแอสฟัลท์กับเสถียรภาพ การยุบตัว เปอร์เซ็นต์โพรงอากาศ หน่วยน้ำหนักของส่วนผสม เป็นต้น

2.3.2 การเตรียมก้อนตัวอย่างและการทดสอบ

ก้อนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบโดยวิธีมาร์แชลล์ ทำได้โดยการกระทุ้งแน่นส่วนผสมในแบบที่เตรียมไว้ใช้วิธีมาร์แชลล์หนัก 10 ปอนด์ ระยะตก 18 นิ้ว จำนวนครั้งของการกระทุ้งแน่นขึ้นอยู่กับทางเลือกชนิดของการจราจร (2x75 ครั้ง สำหรับการจราจรหนาแน่น 2x50 ครั้ง สำหรับการจราจรปานกลางและ 2x35 ครั้ง สำหรับการจราจรเบาบาง) ใช้ก้อนตัวอย่างที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว หนา 1-3 นิ้ว (ความหนามาตรฐาน 2 นิ้วครึ่ง ถ้าความหนาไม่ได้ตามมาตรฐาน จะต้องมีการปรับแก้) จากนั้นใส่ก้อนตัวอย่างที่มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ทำการทดสอบโดยให้น้ำหนักบรรทุกทุกแก่งก้อนตัวอย่างโดยเพิ่มน้ำหนักบรรทุกทุกในอัตรา 2 นิ้วต่อนาที

จนตัวอย่างวิบัติ อ่านค่าเสถียรภาพ และค่าการยุบตัวจากหน้าปัทม์(Dial Gauge)

ค่าเสถียรภาพของก้อนตัวอย่าง คือ ความต้านทานน้ำหนักรวมสูงสุด ในหน่วยปอนด์ ซึ่งกระทำที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ค่าการยุบตัว คือ การเคลื่อนไหวทั้งหมด (Movement) หรือการเสียรูป (Deformation) ในหน่วยของ 0.01 นิ้ว ที่เกิดขึ้นระหว่าง ไม่มีน้ำหนักบรรทุกกับเมื่อน้ำหนักบรรทุกสูงสุดจะทดสอบ

2.4 การปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตแอสฟัลท์โดยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2.4.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในงานคอนกรีตแอสฟัลท์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ถูกนำมาใช้เป็นเวลานานแล้ว เพื่อช่วยในการยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมและยางแอสฟัลท์(Asphalt Aggregate System) ในระยะแรกถูกใช้เป็นวัสดุอัดแทรก (Filler) ในส่วนผสมลาดยางแบบร้อน (Warm-Mixed Asphalt Mixes) เพื่อป้องกันการหลุดลอกของยางแอสฟัลท์ซึ่งมีผิวแห้ง และช่วยเคลือบผิวของมวลรวมกับยางแอสฟัลท์ (U.K.Transport and Road Research Lab., 1969)

Terrel และ Wang (1971) พบว่าการเพิ่มปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตั้งแต่ 0-3 เปอร์เซ็นต์จะทำให้การก่อตัวระยะแรก (Early Curing) ของการผสมแบบ emulsion treated mix เพิ่มขึ้นโดยปูนซีเมนต์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเร่งการก่อตัวระยะแรกให้รวดเร็วขึ้นและยังพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของโมดูลัสของความทนทาน(Modulus of Resilience) มีค่าเพิ่มขึ้นสูงถึง 200 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมแบบ emulsion-treated mix ที่ปราศจากปูนซีเมนต์ผสม

Schmidt, Santucci และ Coyne (1973) ก็ค้นพบในทางตรงกันว่าการเพิ่มปูนซีเมนต์ 1.3 และ 3 เปอร์เซ็นต์ลงในการผสมแบบ emulsion-treated mix มีผลทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังของส่วนผสมเร็วขึ้นโดยเฉพาะโมดูลัสของความทนทาน และความสามารถต้านทานการทาลายของน้ำ มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถต้านทานความล้าจากการคด (Flexural Fatigue Resistance) จะมีค่าน้อยกว่าส่วนผสมที่ปราศจากการผสมของปูนซีเมนต์

Head (1974) ได้รายงานผลการวิจัยว่า ปูนซีเมนต์มีอิทธิพลอย่างมากต่อการผสมแบบเย็น (Cold Mixes) โดยมีผลกระทบโดยตรงต่อค่าเสถียรภาพคือ การเพิ่มปูนซีเมนต์เพียง 1 เปอร์เซ็นต์ ลงในส่วนผสมจะทำให้ค่าเสถียรภาพเพิ่มสูงขึ้น 250 ถึง 300 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างปราศจากปูนซีเมนต์ เมื่อนำก้อนตัวอย่างทดสอบที่ปราศจาก

ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมนี้ นำมาแช่น้ำภายหลังจากการทดสอบเสถียรภาพแล้ว พบว่า เกิดการแตกสลายภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมง ในขณะที่ก้อนตัวอย่างชนิดเดียวกันที่มีปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบกลับไม่มีความเสียหาย นอกจากนี้ยังพบอีกว่า การเพิ่มปูนซีเมนต์ 1 เปอร์เซ็นต์ในส่วนผสม จะทำให้ค่าการยุบตัว (Flow) เพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า แต่ถ้าเพิ่มปูนซีเมนต์ 2 เปอร์เซ็นต์กลับทำให้ค่าการยุบตัวลดลงเพราะก้อนตัวอย่างจะมีความแข็ง (Rigid) เพิ่มขึ้น

Schmidt และ Graf (1972) พบว่า ในการผสมวัสดุคานแบบผสมร้อนนี้ ถ้าเพิ่มปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และหินปูนลงผสมกับมวลรวมก่อนผสมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะทำให้ความสามารถต้านทานการทำลายของน้ำและค่า โมดูลัสของความทนทาน มีค่าเพิ่มสูงขึ้น

2.4.2 การใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เคลือบผิวของมวลรวมในงานคอนกรีตแอสฟัลท์

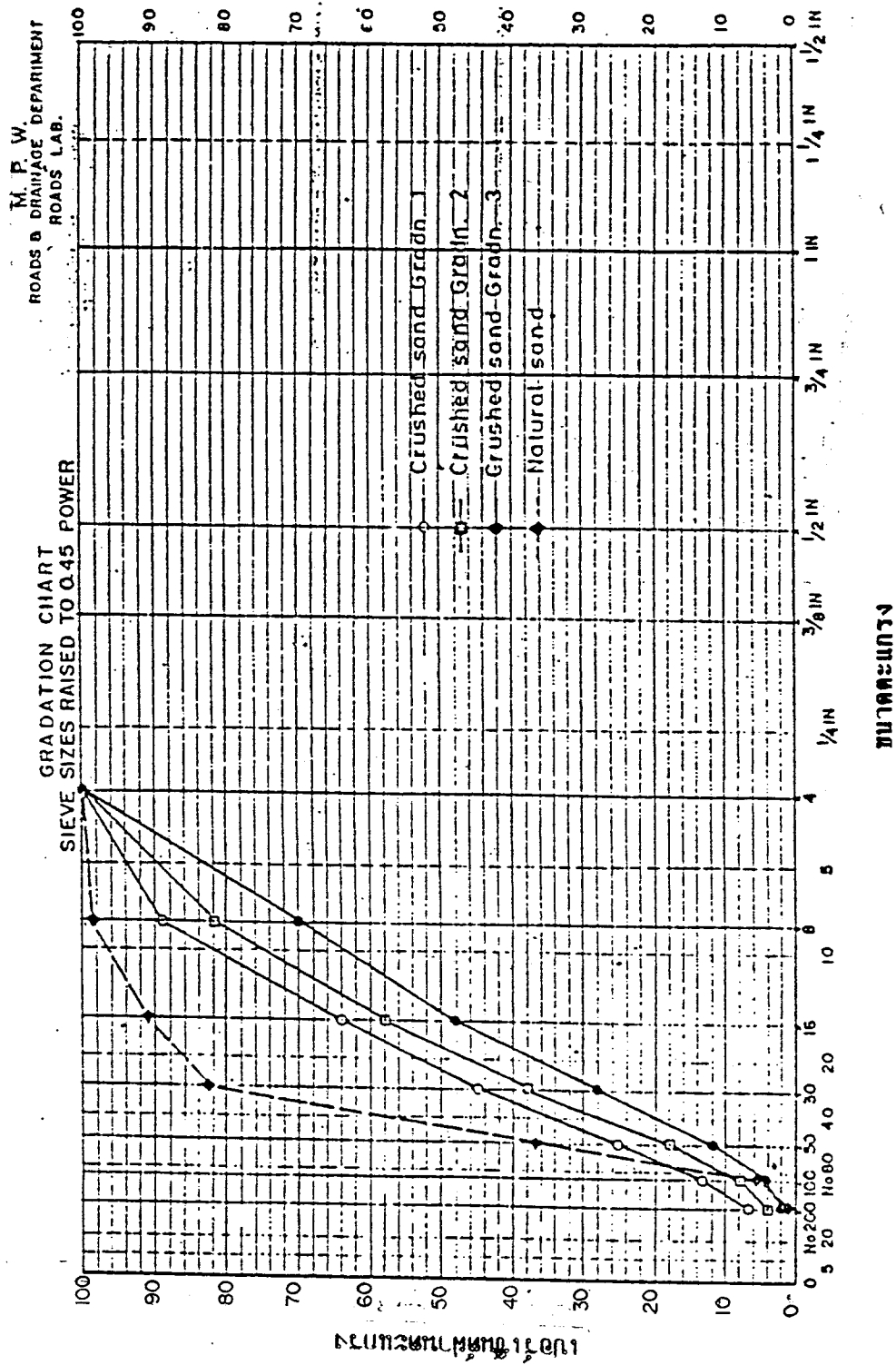
ในปี ค.ศ.1975 ประเทศคูเวตได้มีการก่อสร้างถนนผิวจราจรแบบคอนกรีตแอสฟัลท์ แต่ยังขาดข้อมูลของผลกระทบต่าง ๆ ในขณะก่อสร้างอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายของผิวจราจรที่จะตามมา เนื่องจากสภาพภูมิอากาศร้อนและความแห้งแล้งของประเทศ ความเสียหายของผิวจราจรที่สำคัญ ได้แก่ การเกิดเป็นลอนคลื่น และการแตกร้าวของยางแอสฟัลท์เมื่อเวลาอากาศร้อนมาก ๆ ทำให้ค่าเสถียรภาพและความแข็งแรงลดลง

ต่อมาในปี ค.ศ.1977 ได้มีการศึกษาปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตแอสฟัลท์ให้มีคุณภาพดีขึ้น โดยการทดลองนำเอาปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มาเคลือบผิวของมวลรวมละเอียดขนาดของมวลรวมละเอียดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และล้างตะแกรงเบอร์ 200 นำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียดในส่วนผสม โดยใช้ปริมาณน้ำพอเพียงต่อการดูดซึมของมวลรวม และการโยกเทปูนซีเมนต์ เป็นเป็นระยะเวลาประมาณ 2 วัน แล้วนำมาผสมลงในงานคอนกรีตแอสฟัลท์ และได้ทดลองก่อสร้างผิวจราจรเป็นระยะทางประมาณ 500 เมตร ซึ่งผลที่ได้เป็นสิ่งที่น่าพอใจมาก ทำให้ค่าเสถียรภาพมีค่าสูงมากขึ้น และการยึดเหนี่ยวของมวลรวมกับยางแอสฟัลท์ดีขึ้น การแตกร้าวของยางแอสฟัลท์มีค่าต่ำลง เมื่อเวลาอากาศร้อน จึงได้มีการบรรจุวิธีการเคลือบผิวของมวลรวมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ลงในข้อกำหนดการก่อสร้างผิวจราจรแบบคอนกรีตแอสฟัลท์ ของประเทศคูเวตในปี ค.ศ. 1980 เป็นต้นมา (Department of Road and Drainage, State of Kuwait, 1980)

Daoud (1981) ได้เสนอผลงานวิจัย เรื่องอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมในการเคลือบผิวของมวลรวมละเอียด (ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างตะแกรงเบอร์ 200) จำนวน 4 สัดส่วนคละ เป็นทรายประคิษฐ์ย่อย (Crushed Sand) จำนวน 3 สัดส่วนคละ และทรายธรรมชาติ (Natural Sand) โดยใช้ทราย Marwa จำนวน 1 สัดส่วนคละ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทรายประคิษฐ์ย่อยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 6, 8, 10, 12 และ 14 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักส่วนผสม ในอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.35 และ 0.45 การทดลองใช้ทรายตัวอย่างหนัก 2000 กรัม ผสมแห้งกับปูนซีเมนต์ 30 วินาที และผสมน้ำตามที่กำหนด 90 วินาที ปั่นเป็นเวลา 2 วัน แล้วจึงนำมาทำการวิเคราะห์ที่เปรียบเทียบกับมวลรวมปราศจากการเคลือบผิวได้ 4 ขั้นตอนคือ การสังเกตโดยใช้สายตา (Visual Observation) การวิเคราะห์โดยใช้ตะแกรง (Sieve Analysis) พื้นผิวจำเพาะ (Specific Surface Area) การวิเคราะห์ทางเคมี (Chemical Analysis) ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. ที่ปริมาณน้ำและปูนซีเมนต์ต่ำการเคลือบผิวไม่ดี ทำให้เหลือปูนซีเมนต์เป็นผงละเอียด
2. การใช้ปูนซีเมนต์เคลือบผิวของทรายธรรมชาติจะให้การเคลือบผิวดีกว่าทรายประคิษฐ์ย่อย
3. ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมต่อการเคลือบผิวของทรายธรรมชาติ จะอยู่ระหว่าง 6-10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักส่วนผสม
4. ที่ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะคงที่ค่าหนึ่งของทราย ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมต่อการเคลือบผิวของทรายจะมีค่าลดลง เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น

Guirguis, Daoud และ Hamdani (1982) ได้เสนอผลการวิจัยของการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตแอสฟัลท์ โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เคลือบผิวมวลรวมละเอียด (ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างตะแกรงเบอร์ 200) ลงใน Transportation Research Board National Academy of Science, USA. โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 4.9, 6.3 และ 8.1 เปอร์เซ็นต์ เคลือบผิวมวลรวมโดยเปรียบเทียบกับส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์แบบปกติ (Untreated Mix) และการเคลือบผิวแบบ hydrated lime treated mix เพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านเสถียรภาพ การบดอัด การต้านทานการละลายของน้ำ ผลที่ได้รับเป็นที่น่าพอใจคือ ส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์ที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เคลือบผิวของมวลรวมในปริมาณ 4.9, 6.3 และ 8.1 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลทำให้ค่าเสถียรภาพเพิ่มสูงขึ้น 4,9 และ 28 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 2.1 สัดส่วขนาดตะแกรงของทรายประติษฐานและทรายธรรมชาติ

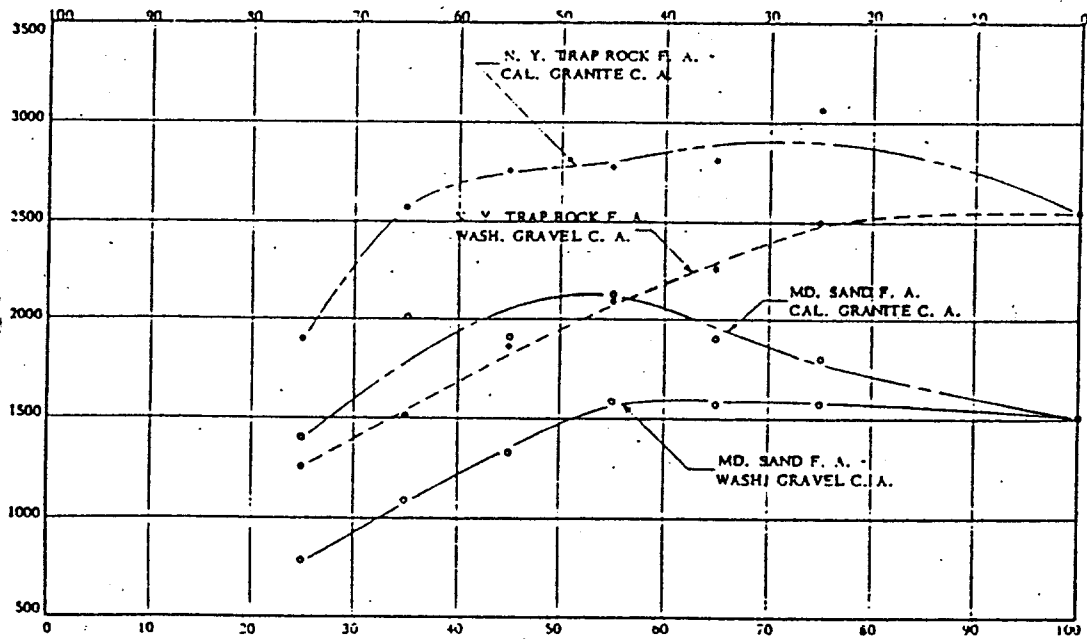
เช่นเดียวกับและเมื่อใช้ส่วนผสมอันเดิมบดอัดจนมีปริมาณโพรงอากาศเท่ากันทั้งหมด จะพบว่าส่วนผสมที่ใช้ในซีเมนต์เคลือบผิวของมวลรวมที่ 6.3 และ 8.1 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้ค่าเสถียรภาพเพิ่มสูงขึ้น 11 และ 24 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์แบบปกติ

2.5 การใช้มวลรวมละเอียดในงานคอนกรีตแอสฟัลท์

Griffith และ Kallas (1958) ได้เสนอผลงานวิจัยเรื่องอิทธิพลของมวลรวมละเอียดในงานคอนกรีตแอสฟัลท์ โดยศึกษาผลงานต่อจาก Asphalt Institute เรื่องชนิดของมวลรวมละเอียดที่มีผลกระทบต่อคอนกรีตแอสฟัลท์ ซึ่งในการวิจัยของ Griffith และ Kallas ได้นำมวลรวมละเอียด ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 และค้างตะแกรงเบอร์ 200 มี 2 ชนิด คือ New York trap rock (ผ่านการบดอัด) และ Maryland sand (ไม่ผ่านการบดอัด) ซึ่งมีพื้นผิวและเหลี่ยมมุมต่างกัน และนำมวลรวมหยาบ ผ่านตะแกรง 3/4 นิ้ว และค้างตะแกรงเบอร์ 8 มี 2 ชนิดคือ California granite (ผ่านการบดอัด) และ Washington grave (ไม่ผ่านการบดอัด) ซึ่งมีพื้นผิวและเหลี่ยมมุมต่างกัน โดยนำทั้งมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบมาผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ ตามสัดส่วนขนาดคณะ 7 แบบดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยมีหินปูน (Limestone) ซึ่งผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เป็นวัสดุอัดแทรก (Filler) และใช้ยางแอสฟัลท์เกรด 80/100 มาทำการทดสอบด้วยวิธีของมาร์แชลล์ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลของการทดสอบทางด้านเสถียรภาพจะได้ผลดังแสดงรูปที่ 2.3 ซึ่งจะพบว่าในส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์ที่มีมวลรวมละเอียดมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์นั้น ชนิดของมวลรวมละเอียดมีอิทธิพลต่อค่าเสถียรภาพมากกว่า อัตราส่วนผสมของมวลรวมหยาบต่อมวลรวมละเอียด และชนิดของมวลรวมหยาบ นอกจากนี้ชนิดของมวลรวมละเอียดยังมีอิทธิพลต่อค่าโพรงอากาศต่ำสุด (Minimum Aggregate Voids) ในส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ซึ่งสามารถสรุปผลงานวิจัยของ Griffith และ Kallas ได้ดังนี้คือ

1. การเพิ่มความหยาบ และเหลี่ยมมุมของผิวของมวลรวมละเอียดจะทำให้ค่าเสถียรภาพมีค่าสูงขึ้น
2. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของมวลรวมหยาบต่อมวลรวมละเอียด ในส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์ที่ต้องการเพิ่มค่าเสถียรภาพ ขึ้นกับความหยาบและเหลี่ยมมุมของผิวของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

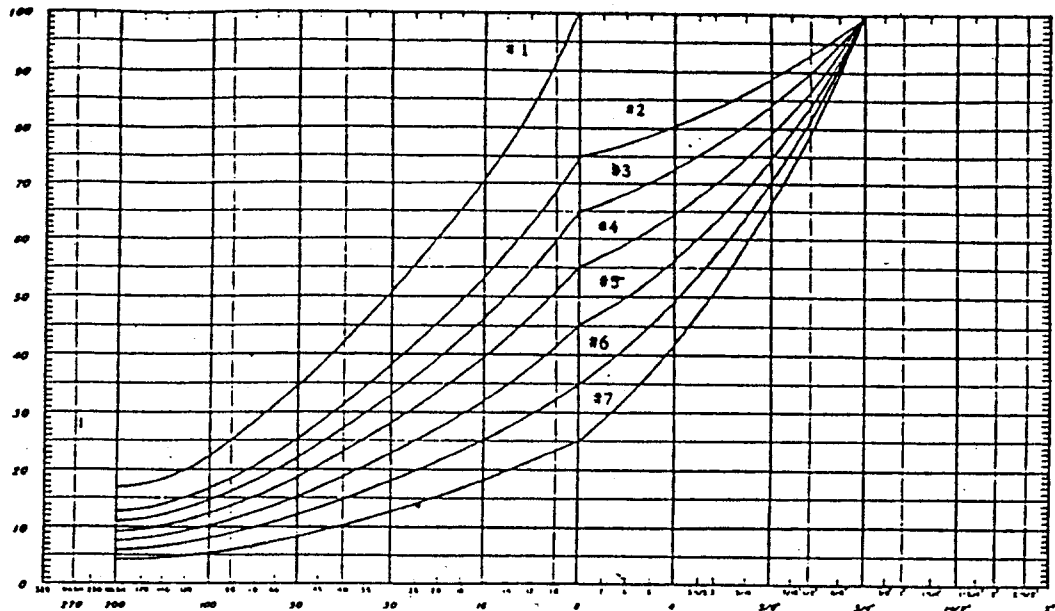
เปอร์เซ็นต์มวลรวมทราย



เปอร์เซ็นต์มวลรวมละเอียด และฝุ่นหิน

รูปที่ 2.3 ค่าเสถียรภาพเมื่อทดสอบด้วยวิธีมาร์แชลล์

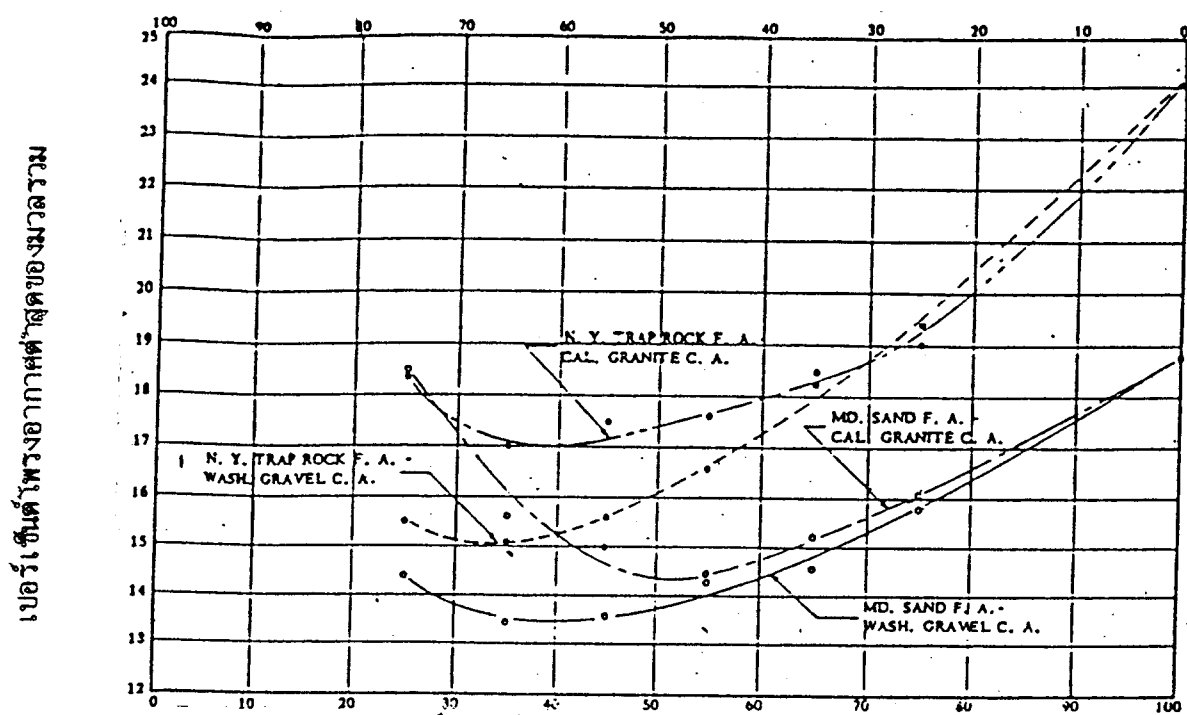
เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง



ขนาดตะแกรง

รูปที่ 2.2 สัดส่วนขนาดผละของมวลรวม

เปอร์เซ็นต์มวลรวมหยาบ



เปอร์เซ็นต์มวลรวมละเอียดและฝุ่นหิน

รูปที่ 2.4 ค่าโพรงอากาศต่ำสุดของมวลรวมเมื่อทดสอบด้วยวิธีมาร์แชลล์

3. การเพิ่มความหยาบและเหลี่ยมมุมของผิวของมวลรวมละเอียดจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศต่ำสุด มีค่าเพิ่มสูงมากขึ้น

4. ค่าเสถียรภาพ ค่าโพรงอากาศต่ำสุด และปริมาณยางแอสฟัลท์ที่ใช้เคลือบผิวมวลรวมที่เหมาะสมจะมีแนวโน้มเหมือนกัน เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดในส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์

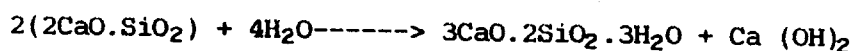
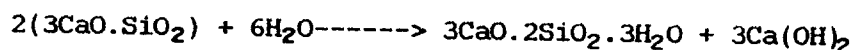
2.6 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์เถ้าลอย

2.6.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา

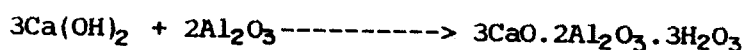
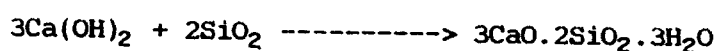
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอชโซลานา (Portland Pozzolana Cement) เป็นปูนซีเมนต์ ที่ได้จากการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับสสารปอชโซลานา ทำให้ได้ปูนซีเมนต์ ที่มีราคาถูกลง สำหรับประเทศไทยสสารปอชโซลานาที่มีอยู่ในปริมาณค่อนข้างมากได้แก่ ซีเถ้าลอย และ ซีเถ้าแกลบ ซึ่งซีเถ้าลอยมีขนาดเล็กและมีส่วนผสมทางเคมีคล้ายกับ ซีเถ้าภูเขาไฟ (Volcanic Ash) ซึ่งคุณสมบัติเป็นปูนซีเมนต์ธรรมชาติ และเนื่องจาก ในปัจจุบันการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมากและต้นทุนการผลิตสูง ดังนั้นการนำปูนซีเมนต์ระหว่างปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์กับซีเถ้าลอยจะทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีราคาถูกลง และทำให้คุณสมบัติในการใช้งานบางอย่างดีขึ้น (ปริญญ และ อินทวิชย, 2528)

2.6.2 ปฏิกิริยาปอชโซลานาของซีเถ้าลอย

วัสดุที่สามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide) และก่อตัวเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติซีเมนต์เรียกว่า วัสดุปอชโซลานา (Pozzolana) Kokubu (1968) ได้รวบรวมส่วนประกอบทางเคมีของซีเถ้าลอยที่พบในต่างประเทศ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 พบว่ามี SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 และ CaO อยู่ในช่วง 41- 48, 21-27, 4-17 และ 3-6 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสสารประกอบหลักก็คือ SiO_2 และ Al_2O_3 ซึ่งเมื่อผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั้ง SiO_2 และ Al_2O_3 จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากการปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration) ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Mindess and young, 1981) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประกอบไปด้วย CaO 60-67% SiO_2 17-25%, Al_2O_3 3-8% ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.1 (Neville, 1981) เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ จะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และมีแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระซึ่ง Mindess และ Young (1981) ได้อธิบายไว้ในสมการดังต่อไปนี้



ซิลิเกตไฮดรอกไซด์อิสระสามารถทำปฏิกิริยากับ ซิลิกา (SiO_2) และอลูมินา (Al_2O_3) แล้วก่อตัวเป็นซิลิเกตไฮดรต (Calcium Silicate Hydrate) และ อัลูมิเนตไฮดรต (Calcium Aluminate Hydrate) ดังสมการนี้



Kovacs (1975) ได้ศึกษาพฤติกรรมและผลผลิตจากการไฮดรชั่นของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์ลอย โดยวิธีเอ็กซ์เรย์ (X-ray) และวิธีเทอร์มอลอะนาลิซิส (Thermal Analysis) และพบว่ารูปแบบการไฮดรชั่นของปฏิกิริยาปอซโซลานาคลายกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาช้ากว่า โดยทั่วไปปฏิกิริยาปอซโซลานาของซีเมนต์ลอยจะสิ้นสุดลง เมื่ออายุประมาณ 3 เดือนและอาจล่าช้าไปถึง 1 ปี ซึ่งปฏิกิริยาขึ้นกับชนิดของปูนซีเมนต์และซีเมนต์ลอย

2.6.3 การศึกษาผลของซีเมนต์ลอยที่มีคุณสมบัติต่าง ๆ ของมอร์ตาร์และคอนกรีต

Lane และ Best (1982) พบว่า ซีเมนต์ลอยทำให้คอนกรีตมีความสามารถเทได้เพิ่มขึ้นความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตสดขึ้นอยู่กับปริมาณของซีเมนต์เฟสค์ สัดส่วนของผสมอัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ ขนาดผลรูปร่าง และความพรุนของมวลรวม ซีเมนต์ลอยในคอนกรีตสดจะทำให้เฟสค์มีปริมาตรเพิ่มขึ้นและจะแทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่างของมวลรวม ซีเมนต์ลอยมีรูปร่างทรงกลมจะช่วยลดความเสียดทานระหว่างมวลรวมกับเฟสค์ การศึกษาของ Swamy และคณะ (1983) และ Haque และ คณะ (1984) ก็ได้ผลเช่นเดียวกัน Monk (1984) พบว่าที่ค่ายุบตัวเท่ากัน ปูนซีเมนต์บดรวมซีเมนต์ลอย มีความต้องการน้ำเท่ากันหรือน้อยกว่าการผสมปูนซีเมนต์กับซีเมนต์ลอยโดยตรง

เฉลิมพล (2527) พบว่า ระยะเวลาก่อตัวระยะต้นของปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์ลอยร้อยละ 0-40 เพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ลอย การศึกษาของประจิต (2526) ก็ได้ผลเช่นเดียวกันแต่ถ้าซีเมนต์ลอยเกินร้อยละ 40 ระยะเวลาก่อตัวระยะต้นจะลดลงเล็กน้อยซีเมนต์ลอยทำให้ระยะ

เวลาก่อตัว ระยะปลายของปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น เจลิมพล (2527) Lane และ Best (1982) ได้อธิบายว่า โดยทั่วไปเวลาก่อตัวจะขึ้นอยู่กับปริมาณความละเอียดและสารประกอบทางเคมีของซีเมนต์ Monk (1983) พบว่าการก่อตัวระยะต้น และระยะปลายของปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์เถ้าลอย และปูนซีเมนต์บดรวมซีเมนต์เถ้าลอยจะไม่แตกต่างกันมาก แต่มีค่ามากกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

Davis (อ้างถึงใน Kokubu, 1968) ได้ใช้ซีเมนต์เถ้าลอยผสมเข้าไปในปูนซีเมนต์ จำนวน 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทำคอนกรีตแล้วทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านของน้ำ พบว่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านของน้ำลดลงเป็น $1/5$ และ $1/12$ ของคอนกรีตที่ไม่มีซีเมนต์เถ้าลอยผสมตามลำดับ เช่นเดียวกัน Higginson (อ้างถึงใน Kokubu, 1968) พบว่าซีเมนต์เถ้าลอยทำให้คอนกรีตมีความทนน้ำมากขึ้น

2.6.4 การศึกษาการใช้ซีเมนต์เถ้าลอยในประเทศไทย

การศึกษาการใช้ประโยชน์จากซีเมนต์เถ้าลอยจากถ่านลิกไนต์ในประเทศไทย เพิ่งจะเริ่มขึ้นเมื่อไม่กี่ปีที่ผ่านมา ประจิด (2526) รายงานว่าปริมาณของ CaO ในซีเมนต์เถ้าลอยจากถ่านลิกไนต์ที่เหมาะสมจากโรงไฟฟ้าบางกรวยมีค่าสูงถึง 46 % และจากการทดสอบของ กฟผ. ที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัด ลำปาง โดยการผสมซีเมนต์เถ้าลอยกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณ 0 ถึง 40 % โดยน้ำหนักและได้ศึกษาผลของซีเมนต์เถ้าลอยต่อค่าความชื้นเหลว เวลาในการก่อตัว และการขยายตัวในท่อไฮดรอน มีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่ากำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงที่อายุเริ่มแรกลดลง เมื่อจำนวนซีเมนต์เถ้าลอยที่ใช้ผสมมีค่าเพิ่มขึ้น แต่กำลังที่ 28 วัน ของส่วนผสมที่มีซีเมนต์เถ้าลอยผสมอยู่ 10 % มีค่าสูงกว่าส่วนผสมที่ไม่มีซีเมนต์เถ้าลอย

ประจิด (2526) ได้ใช้ซีเมนต์เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะผสมเข้าไปในคอนกรีต โดยมีอัตราส่วนของซีเมนต์เถ้าลอยต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในปริมาณ 0 ถึง 50 % ปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็น 200, 300 และ 400 กิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์เป็น 0.5, 0.75, 1.00 และ 1.25 ทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดเมื่ออายุ 3, 7, 28 วัน 2, 4, 6 และ 8 เดือน พบว่าสามารถเติมซีเมนต์เถ้าลอยเข้าไปในคอนกรีตเพื่อทดแทนซีเมนต์ได้ถึง 25 และ 29 % ในคอนกรีตอายุ 28 วันและ 2 เดือนตามลำดับโดยยังให้คอนกรีตกำลังเท่าเดิมและได้สร้างกราฟเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตใช้ซีเมนต์เถ้าลอย

ปริญญและอินทราชัย (2528) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์เถ้าลอยแม่เมาะ โดยการทดสอบได้ใช้ซีเมนต์เถ้าลอยจากไซโลของโรงไฟฟ้าหน่วยที่ 1 และ 2

ที่โรงผลิตไฟฟ้าแม่เมาะจังหวัดลำปาง จากการศึกษาพบว่าซีเมนต์แม่เมาะทั้ง 2 ตัวอย่างมีผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ค่าเท่ากับ 35.2 และ 41.2 % ปริมาณ CaO สูงเท่ากับ 39.5 % และ 33.0 % ปริมาณ SO_3 สูงเท่ากับ 11.5 และ 14.0 % การสูญเสียเนื่องจากการเผาปานกลางเท่ากับ 6.3 และ 3.4 % ความละเอียดปานกลางเท่ากับ 2550 และ 3580 $\text{cm}^2/\text{กรัม}$ ความถ่วงจำเพาะสูงเท่ากับ 2.90 และ 3.00 และมีความสมบัติเป็นปอซโซลานาเท่ากับ 75.9 และ 83.7 % เมื่อเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

การแทนที่ซีเมนต์ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไม่ค่อยมีผลต่อการก่อตัวระยะแรก แต่เวลาสำหรับการก่อตัวระยะปลายจะเพิ่มมากขึ้น การใช้ซีเมนต์ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะทำให้ได้ปูนซีเมนต์ที่มีการคายน้ำน้อยลง กำลังรับแรงอัดระยะแรกของปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์มีค่าลดลงตามปริมาณซีเมนต์ เพราะปฏิกิริยาปอซโซลานายังไม่เกิดขึ้น เมื่อเวลานานขึ้นกำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์จะดีขึ้น การผสมซีเมนต์พอเหมาะในช่วง 0-40 % ทำให้ปฏิกิริยาปอซโซลานาที่เกิดขึ้นสามารถชดเชยปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ถูกแทนที่ และวิธีการบดรวมสามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์นอกจากนี้การผสมซีเมนต์ยังทำให้ความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดซัลฟิวริกดีขึ้น แต่ทำให้การขยายตัวเมื่อแช่ในน้ำและหดตัวเมื่อตากแห้งสูงขึ้น

ชุมพล (2528) ได้ศึกษาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์กลบและซีเมนต์ลอย โดยทำการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ ซีเมนต์กลบ และซีเมนต์ลอย ได้แก่ ความละเอียดและความถ่วงจำเพาะ และทดสอบกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ที่ปูนซีเมนต์ถูกซีเมนต์กลบและซีเมนต์ลอยแทนที่อัตราส่วนต่าง ๆ และทำการทดสอบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์กลบและซีเมนต์ลอย ทดสอบจากส่วนผสมที่ทำให้กำลังรับแรงอัดสูง ได้แก่ส่วนผสมที่มีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ซีเมนต์กลบและซีเมนต์ลอยเท่ากับ 0:20:80, 0:40:60, 20:20:60, 20:40:40, 40:20:20, 60:20:20 และ 100:0 โดยการทดสอบความชื้นเหลือปกติ ระยะเวลาก่อตัว การคายน้ำ กำลังรับแรงดึง การต้านทานสารเคมีการขยายตัวและหดตัว จากผลการทดสอบพบว่าปูนซีเมนต์ ซีเมนต์กลบและซีเมนต์ลอยมีความถ่วงจำเพาะ 3.15, 2.12 และ 2.95 ตามลำดับ และมีความละเอียดเท่ากับ 3,000, 3,500 และ 14,300 $\text{cm}^2/\text{กรัม}$ ตามลำดับ ส่วนการศึกษาคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ผสมซีเมนต์กลบ และซีเมนต์ลอยทางด้านกำลังรับแรงอัดพบว่า จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของส่วนผสม โดยส่วนผสมที่มีซีเมนต์กลบมากจะทำให้กำลังรับแรงอัดสูงในช่วงแรกเพราะซีเมนต์กลบมีความไวต่อการทำปฏิกิริยา แต่จะทำให้ส่วนผสมมีความต้องการ

น้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีความละเอียดสูง ส่วนผสมที่มีซีเมนต์มากเกินไปจะทำให้กำลังรับแรงอัดสูงในระยะปลายเพราะซีเมนต์ยวบยาบปฏิบัติได้ช้าและมีความต้องการน้ำโดยประมาณเท่าเดิมเนื่องจากซีเมนต์มีความละเอียดสูงกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดาเพียงเล็กน้อย แต่อนุภาคที่มีลักษณะกลมทำให้มีความสามารถทำงานได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่า การผสมซีเมนต์กลับ และซีเมนต์ยวบยาบปูนซีเมนต์จะทำให้หน้าที่ใช้สำหรับความชื้นเหลวปกติ ระยะเวลาก่อตัวการขยายตัวและการหดตัวเมื่อแห้งเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้การคายน้ำลดลง และเพิ่มความสามารถในการต้านทานสิ่งแวดล้อมที่เป็นกรด

ชัยชาญ (2530) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของการนำเอาซีเมนต์ยวบยาบมาใช้เป็นวัสดุอัดแทรกในคอนกรีตแอสฟัลท์โดยซีเมนต์ยวบยาบที่ใช้ในการศึกษา เป็นซีเมนต์ยวบยาบหินลิกไนต์จากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ยางแอสฟัลท์ใช้ยางเกรด AC 80/100 การทดสอบใช้วิธีของมาร์แชลล์ โดยใช้ปริมาณยางแอสฟัลท์ 4.5-7.5% ใช้วัสดุอัดแทรก 2 ชนิดคือ ซีเมนต์ยวบยาบ 0-8% และปูนซีเมนต์ 0-8% เป็นตัวเปรียบเทียบ ซึ่งจากการทดสอบพบว่า การใช้ซีเมนต์ยวบยาบเป็นวัสดุอัดแทรกในส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์ ทำให้ส่วนผสมมีค่าเสถียรภาพดีขึ้น ค่าเสถียรภาพดีที่สุด เมื่อปริมาณซีเมนต์ยวบยาบเท่ากับ 4% และมีค่าใกล้เคียงกับการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุอัดแทรก และเมื่อปริมาณซีเมนต์ยวบยาบเพิ่มขึ้นมากกว่านี้ส่วนผสมจะร่วนขึ้นและค่าเสถียรภาพจะลดลง นอกจากนี้การใส่ซีเมนต์ยวบยาบในส่วนผสมจะทำให้ค่าการยุบตัวและค่าหน่วยน้ำหนักเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศ และเปอร์เซ็นต์ว่างระหว่างมวลรวมลดลง และเปอร์เซ็นต์ช่องว่างที่มียางแอสฟัลท์เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังได้สรุปผลการทดสอบว่า การใช้ซีเมนต์ยวบยาบเป็นวัสดุอัดแทรกในคอนกรีตแอสฟัลท์ควรใช้ปริมาณซีเมนต์ยวบยาบไม่เกิน 4% และถ้าเลือกใช้ปริมาณยางแอสฟัลท์ที่เหมาะสมจะสามารถใช้กับถนนที่มีการจราจรหนาแน่นได้

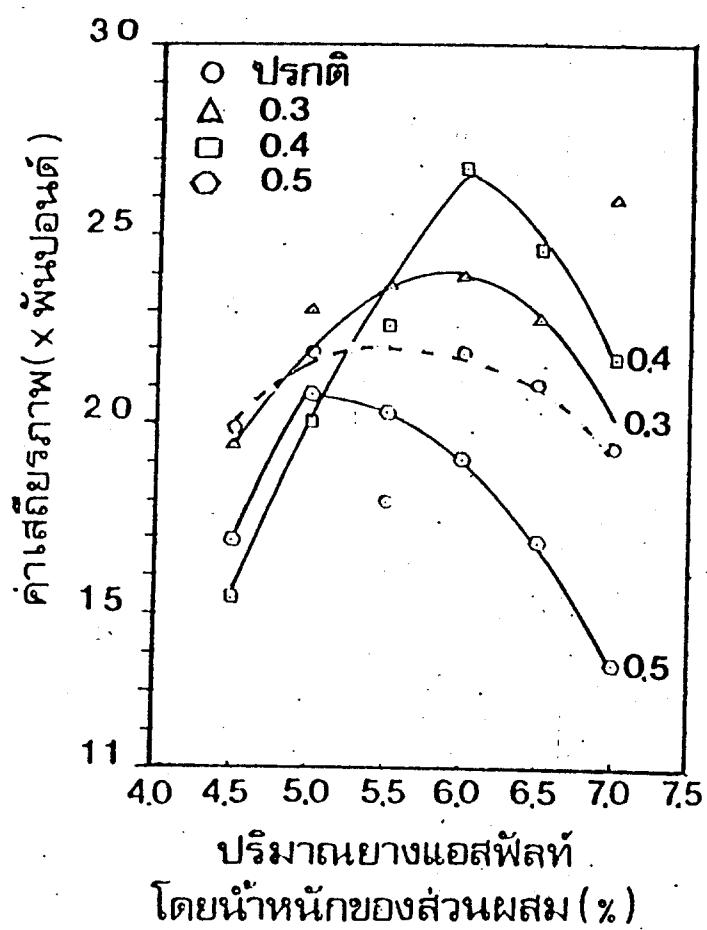
สมพร (2532) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตแอสฟัลท์ที่ทำจากมวลรวมละเอียด (Graded Aggregate) เคลือบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์ยวบยาบ ในขั้นแรกได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมละเอียดที่เคลือบผิวแล้วพบว่า การเคลือบผิวของมวลรวมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเมนต์ยวบยาบจะทำให้ผิวมวลรวมขรุขระมากขึ้น และสัดส่วนละเอียดเปลี่ยนไปจากเดิมเนื่องจากมวลรวมละเอียดเกาะรวมตัวกันเป็นก้อน หรือเกาะบนผิวของมวลรวมที่มีขนาดใหญ่กว่า ภายหลังจากการเคลือบ โดยที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ (0.3 และ 0.4) และที่อายุการบ่มต่ำ (1, 3 และ 7 วัน) ขนาดละเอียดของมวลรวมจะไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากการหลุดลอกและสลายตัวของมวลรวมที่ถูกเคลือบกลับเป็นมวลรวมละเอียดดั้งเดิม เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูน

ซีเมนต์เพิ่มขึ้นเป็น 0.5 ที่อายุการบ่มสูง คือ 28 วัน พบว่า มวลรวมละเอียดที่เกาะบนผิวของมวลรวมหยาบ และที่เกาะตัวกันเองมีความแข็งแรงมากขึ้น และปฏิกิริยาของสารซีเมนต์มากขึ้น ทำให้เกิดการขาดหายของมวลรวมละเอียดในส่วนผสม นอกจากนี้ มวลรวมละเอียดถูกเคลือบผิวด้วยสารซีเมนต์ มีค่าความถ่วงจำเพาะรวมต่ำกว่ามวลรวมที่ปราศจากการเคลือบผิว เพราะสารซีเมนต์ เมื่อทำปฏิกิริยาเกิดเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมนอกจากนี้ยังได้ศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตแอสฟัลท์ทดสอบตามวิธีมาร์แชลล์ โดยการเคลือบผิวของมวลรวมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 8 % โดยน้ำหนักของส่วนผสม ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.3, 0.4 และ 0.5 โดยใช้การบ่มเป็นเวลา 3 วัน เพื่อหาอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมจากการทดสอบพบว่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.4 ให้คอนกรีตแอสฟัลท์มีค่าเสถียรภาพสูงสุด (รูปที่ 2.5)

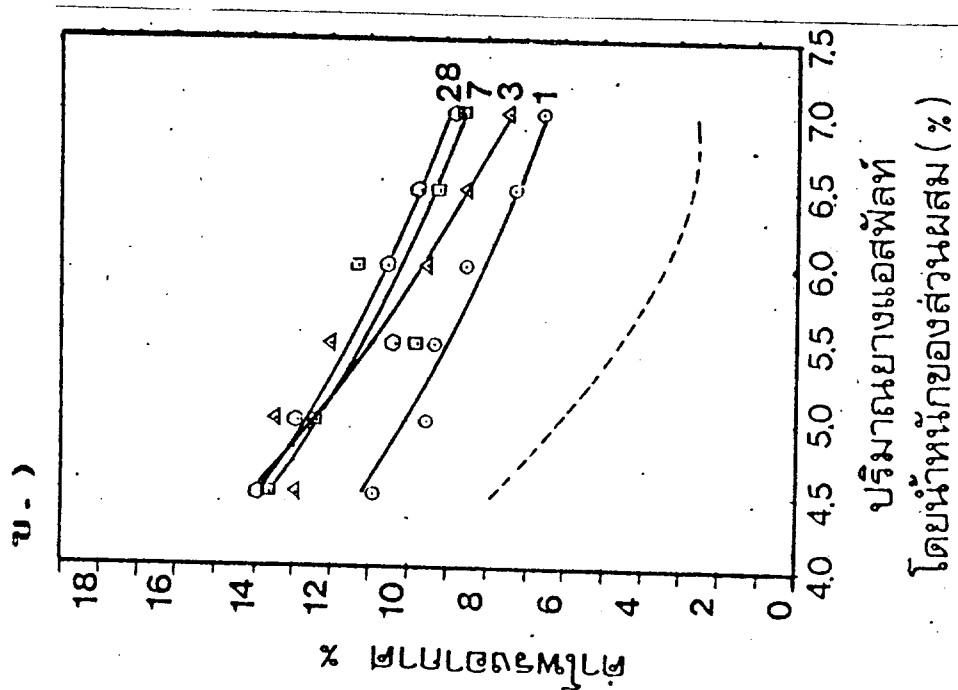
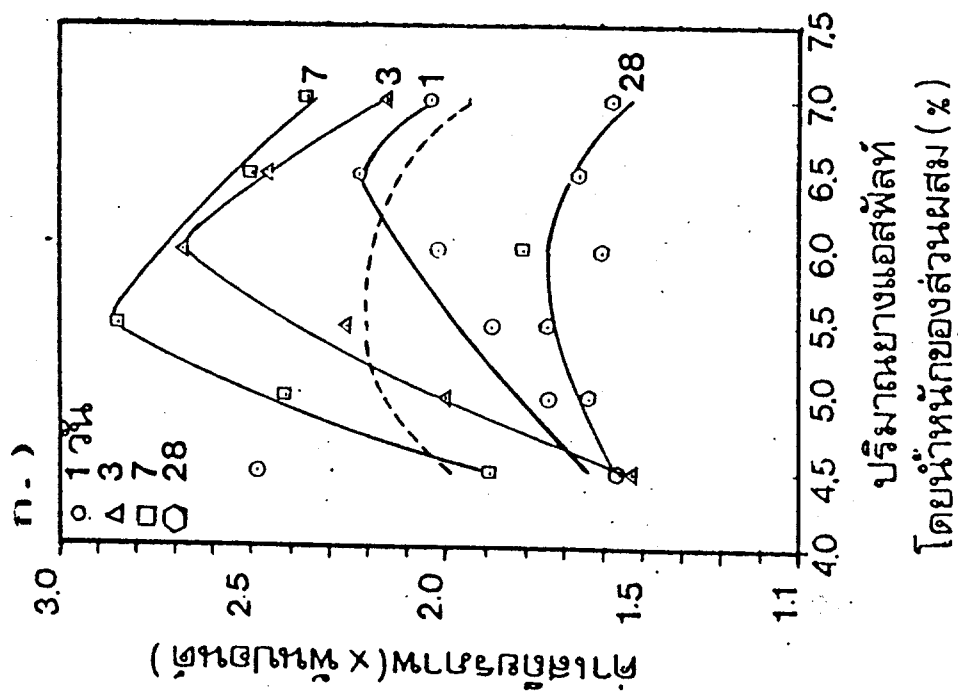
ส่วนผลการทดสอบมาร์แชลล์ของการเคลือบผิวของมวลรวมที่อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ต่อซีเมนต์ 100:0, 80:20 และ 60:40 อัตราส่วนน้ำต่อสารซีเมนต์ 0.4 และการผ่านการบ่มเป็นเวลา 1, 3, 7 และ 28 วัน พบว่าที่อายุการบ่มต่ำ (1 วัน) การเคลือบผิวมวลรวมด้วยสารซีเมนต์ไม่สมบูรณ์ ผิวขรุขระ ยังไม่แข็งแรงและเกิดการหลุดออก (Stripping) อนุภาคเล็กเกาะรวมตัวกัน (Lumping) ยังไม่แข็งแรงและสลายเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ทัศนภาพเป็นวัสดุอัดแท่งทำให้ค่าเสถียรภาพมีค่าสูงขึ้น (รูปที่ 2.6 ก, 2.7 ก และ 2.8 ก.) และเมื่ออายุการบ่มเพิ่มสูงขึ้นเป็นเวลา 3 หรือ 7 วัน ปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น ทำให้ผิวขรุขระมีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น มวลรวมละเอียดจะลดลงและมวลรวมละเอียดยังคงมีมากอยู่เป็นผลให้ค่าเสถียรภาพสูงขึ้น แต่เมื่ออายุการบ่ม 28 วัน การทำปฏิกิริยาของสารซีเมนต์สมบูรณ์มากที่สุด ทำให้การหลุดออกและการสลายตัวของอนุภาคที่เกาะกันเกิดได้ยากขึ้นเป็นผลให้ขาดมวลรวมละเอียด และมวลรวมหยาบมีมากขึ้น การยุบตัวจึงต่ำลงจากการเสียดผ่านกันลำบากของมวลรวม ส่วนค่าโพรงอากาศ (รูปที่ 2.6 ข. และ 2.8 ข.) จะมีค่าสูงกว่าปกติ โดยที่อายุการบ่มต่ำ ๆ ส่วนผสมที่มีมวลรวมละเอียดมากสมควรทำให้ค่าโพรงอากาศต่ำ และเมื่ออายุการบ่มสูงขึ้นมวลรวมละเอียดลดลงทำให้ค่าโพรงอากาศและค่าช่องว่างระหว่างมวลรวมมีค่าสูงขึ้น ส่วนค่าช่องว่างที่มียางแอสฟัลท์บรรจุอยู่จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อค่าโพรงอากาศและค่าช่องว่างระหว่างมวลรวมต่ำลงแสดงค่าเสถียรภาพสูงสุดที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อซีเมนต์ 100:0, 80:20 และ 60:40 ที่อายุการบ่ม 1, 3, 7 และ 28 วัน รูปที่ 2.9 จะเห็นว่าค่าเสถียรภาพสูงสุดอยู่ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อซีเมนต์ 100:0 ที่อายุการบ่ม 7 วัน และที่อายุการบ่ม 3 วัน อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อซีเมนต์ 80:20 จะให้ค่าเสถียรภาพสูงสุด แสดงให้

เห็นว่า การเคลือบผิวมวลรวมด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้า 80:20 ที่อายุการบ่ม 3 วัน ให้ค่าเหมาะสมในการเคลือบผิว

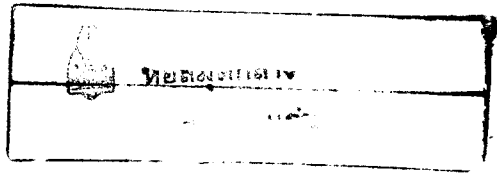
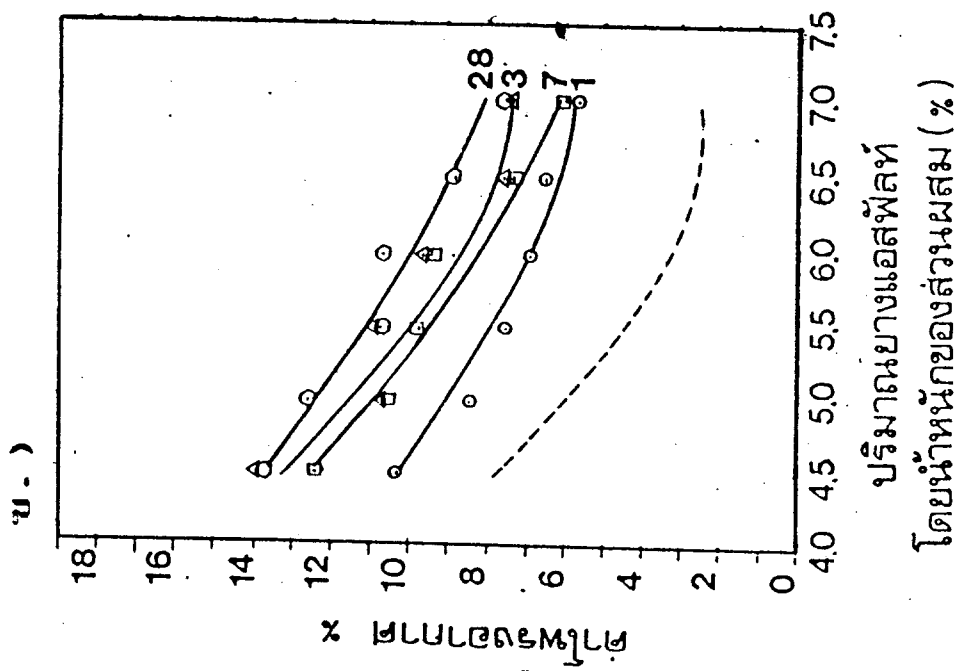
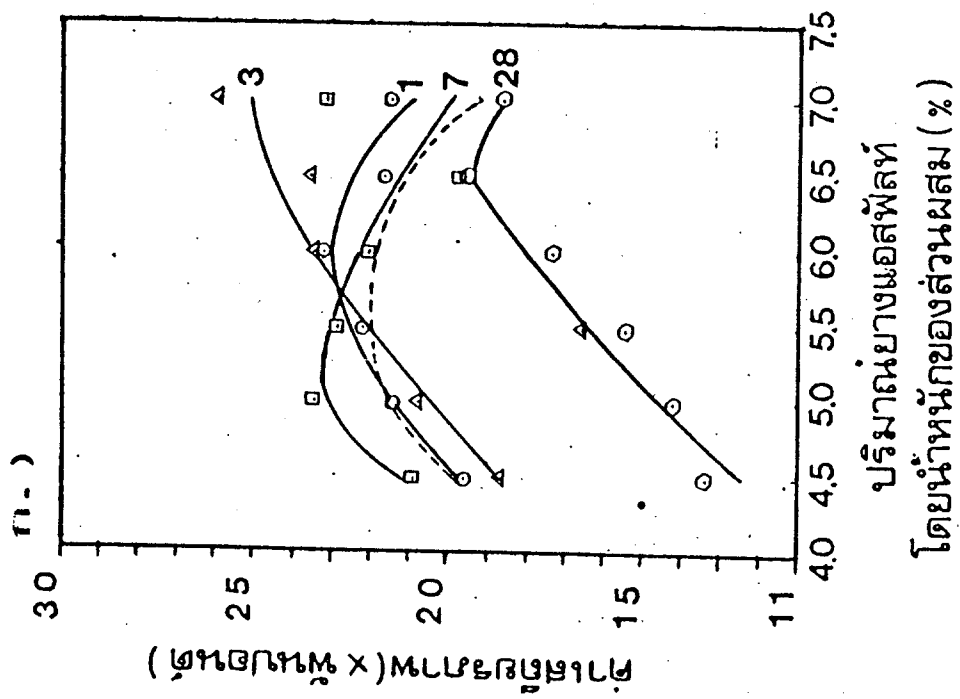
เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบคอนกรีตแอสฟัลท์ที่ทำจากมวลรวมเคลือบด้วยปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าลอยกับข้อกำหนดของมาร์แชลล์พบว่า ค่าเสถียรภาพ ค่าการยุบตัว และค่าช่องว่างระหว่างมวลรวมต่ำสุดตรงตามข้อกำหนด แต่ค่าโพรงอากาศและค่าช่องว่างระหว่างที่มียางแอสฟัลท์บรรจุอยู่ไม่ตรงตามข้อกำหนด ซึ่งแสดงว่าวิธีการเคลือบผิวของมวลรวมด้วยปูนซีเมนต์ผสมซีเถ้าลอย โดยการเคลือบผิวมวลรวมละเอียด (Graded Aggregate) ไม่เหมาะสมเพราะทำให้สัดส่วนผสมมีสัดส่วนละเอียดเปลี่ยนไปจากเดิมโดยขาดแคลนมวลรวมละเอียดในส่วนผสมดังนั้นวิธีการเคลือบจึงต้องมีการปรับปรุง ผู้ทดลองได้ให้ข้อเสนอแนะวิธีการปรับปรุงและแก้ไขการเคลือบผิวของมวลรวมด้วยสารซีเมนต์ไว้ดังนี้คือ วิธีแรก ควรมีการเพิ่มมวลรวมละเอียดลงไปเพื่อให้มวลรวมมีขนาดละเอียดที่เหมาะสมของการออกแบบคอนกรีตแอสฟัลท์ เปรียบเทียบกับมวลรวมที่ปราศจากการเคลือบผิว ซึ่งมีขนาดละเอียดเหมือนกัน วิธีที่สอง ควรมีการควบคุมสัดส่วนขนาดละเอียดให้คงที่พร้อมกับกำหนด การเคลือบผิวของสารซีเมนต์บนผิวของมวลรวมให้คงที่ เช่น คำนวณหาปริมาณสารซีเมนต์ต่อพื้นที่ผิวของมวลรวมบนแต่ละขนาดของแรงสั่นมาจัดขนาดละเอียดตามการออกแบบคอนกรีตแอสฟัลท์ทดสอบตามวิธีมาร์แชลล์ เปรียบเทียบกับมวลรวมที่ปราศจากการเคลือบผิวที่มีสัดส่วนละเอียดเหมือนกัน จะทำให้สามารถศึกษาเปรียบเทียบได้ว่าการเคลือบผิวมวลรวมด้วยสารซีเมนต์เหมาะสมเพียงใดต่อการปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตแอสฟัลท์

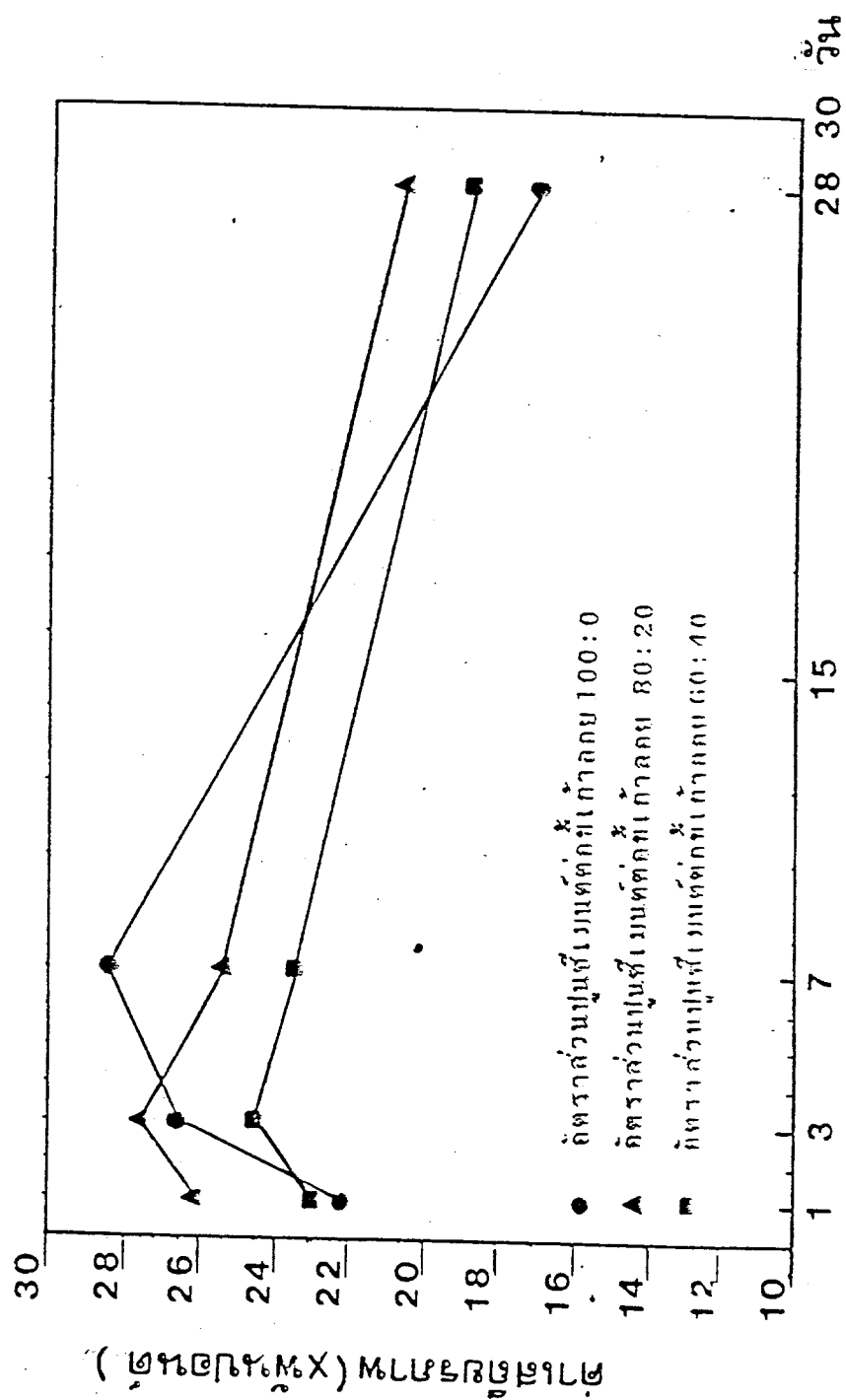


รูปที่ 2.5 ผลทดสอบมาร์แชลล์ของมวลรวมเคลือบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ขาวรวมดา



รูปที่ 2.6 ผลทดสอบบ่มยางแอสฟัลท์ที่ใช้อัตราส่วนบ่มเป็นซีเมนต์ต่อซีไกล้อย 100:0





รูปที่ 2.9 ค่าเสถียรภาพสูงสุด ที่อัตราส่วนน้ำซีเมนต์ต่อซีเมนต์ 100:0, 80:20, 60:40 ที่การบ่ม 1,3,7,28 วัน