

บทที่ 2

วรรณคดีวิจารณ์

2.1 คอนกรีตแอสฟัลท์

การออกแบบแอสฟัลท์คอนกรีต (Asphalt concrete design) ที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน คือ การออกแบบผิวลาดยางผสมร้อน (Hot-mix asphalt paving) ประกอบด้วยการรวมของมวลรวมอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งผสมและเคลือบด้วยแอสฟัลท์ซีเมนต์ทั้งมวลรวม และแอสฟัลท์ต้องได้รับความร้อนก่อนการผสมเพื่อให้มวลรวมแห้งและแอสฟัลท์ซีเมนต์เหลวเพียงพอสำหรับการผสมและการทำงานได้อย่างเหมาะสม

การรวมมวลและแอสฟัลท์กระทำในโรงผสม (Mixing plant) ซึ่งองค์ประกอบของวัสดุ จะได้รับการให้ความร้อน, การจัดสัดส่วน, และการผสมเพื่อผลิตวัสดุผสมของผิวถนนลาดยางที่ต้องการ หลังจากเสร็จสิ้นการผสมก็จะขนส่งวัสดุผสมร้อนไปยังที่ตั้ง (site) ก่อสร้าง และทำการปูลาดจนได้ชั้นผิวที่บดอัดอย่างคร่าว ๆ เสมอต้นเสมอปลายด้วยเครื่องจักรบดอัดผิวถนน (Paving machine) จากนั้นบดอัดต่อไปอีกด้วยรถคล้อย่างน้ำหนักมาก (Heavy motor-driven rollers) ในขณะที่วัสดุผสมยังจะร้อนอยู่ เพื่อให้ได้ชั้นผิวถนนที่เรียบและแข็งแรงมั่นคง

การนำคอนกรีตแอสฟัลท์มาทำเป็นผิวถนนจะต้องมีการออกแบบส่วนผสม และทดสอบในห้องทดลองให้ได้มาตรฐานที่ต้องการเสียก่อน ซึ่งการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์มีหลายวิธีแต่ที่นิยมใช้กันแพร่หลาย ได้แก่ วิธีมาร์แชลล์ (Marshall method) และวิธีฮวีม (Hveem method) และไม่ว่าจะออกแบบส่วนผสมโดยวิธีใดก็ตาม จะต้องให้มีคุณสมบัติคุณภาพเหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นเฉพาะงานไป การออกแบบใช้วิธีกำหนด

สูตรส่วนผสมเฉพาะกิจ (Job mix formula) คุณสมบัติคอนกรีตแอสฟัลท์ที่พึงประสงค์ มีดังนี้

2.1.1 เสถียรภาพ (Stability) หมายถึง ความสามารถในการต้านทาน การแอ่นตัวเสียรูปร่าง (Deformation) จากน้ำหนักบรรทุกที่มากกระทำ ถนนที่ไม่ได้ เสถียรภาพจะปรากฏช่องหรือร่องล้อ (Channeling or Ruts) และรอยย่นแบบลูกพูก (Corrugations) เสถียรภาพขึ้นอยู่กับความเสียดทานภายใน (Internal friction) ของมวลกละและแรงยึดเหนี่ยวของแอสฟัลท์ (Cohesion) แรงเสียดทานภายในเป็นการรวมกันของความต้านทานจากแรงฝืดระหว่างผิว กับการประสานกันแน่น (Frictional and interlocking resistance) ของมวลรวมในส่วนผสม ความต้านทานจากแรงฝืดระหว่างผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อผิวของอนุภาคของมวลรวมมีความขรุขระ - (Roughness) และเพิ่มขึ้นตามพื้นที่สัมผัส ความต้านทานจากการประสานกันแน่น ซึ่ง ขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่างอนุภาคของมวลรวม

แรงยึดเหนี่ยว ซึ่งเป็นคุณสมบัติในวัสดุผสมของโครงสร้างผิวทางลาดยางแอสฟัลท์ ช่วยให้อนุภาคของมวลรวมสัมผัสกันอย่างอัดแน่น แรงยึดเหนี่ยวแปรโดยตรงกับอัตราการใช้รับน้ำหนักบรรทุก และความหนืดของแอสฟัลท์จะแปรผกผันกับอุณหภูมิ แรงยึดเหนี่ยวจะ เพิ่มขึ้นตามปริมาณแอสฟัลท์จนถึงค่าสูงสุดจุดหนึ่งจากนั้นจะลดลง

เสถียรภาพจะมีค่าที่ดีได้มวลรวมกละต้องมีแฉะเล็กน้อย ผิวขรุขระ การเรียงตัวของขนาดกละจะต้องแน่น (โดยการกระจายของเม็ดวัสดุจะต้องใกล้เคียงกับ Fuller's curve) สำหรับแอสฟัลท์ ซึ่งเป็นตัวประสานระหว่างอนุภาคของมวลรวมกละจะต้องมีความ แฉะอ่อนที่เหมาะสม และมีปริมาณแอสฟัลท์มากพอที่จะเคลือบหิน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการ เกาะยึดระหว่างแอสฟัลท์กับมวลรวมกละ

2.1.2 ความคงทน (Durability) หมายถึง ส่วนผสมของแอสฟัลท์คอนกรีต สามารถต้านทานต่อการเสื่อมคุณภาพของแอสฟัลท์ อันเป็นสาเหตุของการแตกร้าวหรือ

หลุดลอกของผิวทางภายใต้เท้าหนักจากการจราจร และการทำลายโดยปฏิกิริยาของสภาพดินฟ้าอากาศ สาเหตุสำคัญที่ทำให้ความคงทนเสียไป คือ แอสฟัลท์ที่เป็นส่วนผสมระเหยออกไป (Volatilization) ทำให้แอสฟัลท์แข็งตัวเปราะและแตกร้าว การทำปฏิกิริยาออกซิเจน (Oxidation) กับน้ำ โดยน้ำจะเข้าไปทำลายการยึดเกาะของแอสฟัลท์กับมวลรวม ทำให้เกิดการหลุดลอก รัอยทั่ว ๆ ไป ความคงทนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณแอสฟัลท์ ความหนาแน่นของขนาดผละของมวลรวมและการบดอัดที่ดี การเพิ่มปริมาณยางแอสฟัลท์จะมีผลทำให้ชั้นบาง ๆ ของแอสฟัลท์ที่เคลือบผิวของอนุภาคมวลรวมมีความหนามากขึ้นและจะลดขนาดรู (Pore) ของโพรงอากาศเป็นการอุด (Seal) ส่วนผสมทำให้อากาศและน้ำซึมเข้าภายในได้ยากขึ้น แต่การเพิ่มปริมาณยางแอสฟัลท์มากจะทำให้ค่าเสถียรภาพลดลง เพราะค่าเสถียรภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณยางแอสฟัลท์ที่เคลือบอนุภาคของมวลรวมมีปริมาณที่พอเหมาะหรือมีปริมาณถึงค่าวิกฤต ปริมาณยางแอสฟัลท์ที่เพิ่มเติมจะเป็นตัวหล่อลื่นมากกว่าที่จะช่วยการยึดเหนี่ยว และจะลดค่าเสถียรภาพลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ปริมาณยางแอสฟัลท์ให้น้อยเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อเพิ่มความคงทนและยังคงรักษาเสถียรภาพได้อย่างเพียงพอ

การเสื่อมคุณภาพของคอนกรีตแอสฟัลท์มีสาเหตุหลายประการ เช่น

- (1) การแข็งตัวของแอสฟัลท์ อ็อกซิเจนในอากาศและแสงอุลตราไวโอเลต จะเกิดการสั่นคัปต่อแอสฟัลท์ ทำให้ผิวจราจรแข็งตัวแต่จะมีผลน้อยสำหรับแอสฟัลท์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูง
- (2) น้ำ ถ้าช่องว่างในชั้นโครงสร้างคอนกรีตแอสฟัลท์ของถนนมีปริมาณมากจะทำให้ น้ำสามารถแทรกอยู่ระหว่างชั้นของแอสฟัลท์ที่เคลือบเม็ดวัสดุมวลรวม ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการหลุดลอกของแอสฟัลท์เมื่อมีน้ำหนักมากระทำจึงทำให้เกิดการบิตตัว รอยแตกร้าว จนทำให้เสถียรภาพของคอนกรีตแอสฟัลท์ลดลง
- (3) การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ทำให้เกิดการขยายตัวและหดตัวในโครงสร้าง

ต่าง ๆ ของถนน ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดแรงดันขึ้น

(4) ปฏิกริยาเคมี อันเนื่องมาจากหยดน้ำมันของรถยนต์ที่หยดลงบนผิวถนน ซึ่งสามารถทำให้แอสฟัลท์คอนกรีตอ่อนตัวลงได้ แต่จะมีผลน้อยมากเมื่อแอสฟัลท์คอนกรีตมีความหนาแน่นสูง

(5) การจราจร เมื่อรถเคลื่อนที่ไปบนถนน น้ำหนักที่เกิดจากการกดทับของล้อรถบนพื้นผิวจะทำให้เกิดการงอและเกิดแรงดันดึงในส่วนล่างของชั้น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญทำให้เกิดรอยแตกขึ้นได้

2.1.3 ความยืดหยุ่นตัว (Flexibility) หมายถึง ความสามารถที่จะปรับตัวตามการทรุดตัวอย่างช้า ๆ และการแอ่นตัวของโครงสร้างถนนชั้นผิวทาง โดยปราศจากรอยร้าวและเสียรูปร่างอย่างถาวร โดยทั่วไปแล้วความยืดหยุ่นของส่วนผสมจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ปริมาณยางแอสฟัลท์บรรจุสูง และใช้มวลรวมที่มีเกรดโปร่ง (Open - graded Aggregate) หรือมวลรวมคละที่มีหินหยาบ

2.1.4 ความต้านทานการล้า (Fatigue Resistance) หมายถึง ความสามารถของโครงสร้างถนนลาดยางที่ต้านทานต่อการงอกลับไปกลับมา จากผลจากการกระทำของน้ำหนักบรรทุกที่แล่นผ่านไปมา ส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์หรือมวลรวมใดที่มีเกรดแน่น จะให้ความต้านทานต่อการล้าได้มากกว่าวัสดุคอนกรีตแอสฟัลท์หรือมวลรวมเกรดหลวม จากการทดสอบพบว่าปริมาณยางแอสฟัลท์มีความสำคัญอย่างมากต่อความต้านทานการล้า ถ้าปริมาณยางแอสฟัลท์มีมากความต้านทานความล้าจะเพิ่มขึ้น

2.1.5 ความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance) หมายถึง ความสามารถของผิวทางในการต้านทานการลื่นไถล โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผิวทางเปียก ความต้านทานต่อการลื่นไถลของผิวทาง ขึ้นอยู่กับลักษณะของผิวทางซึ่งมีความสามารถระบายน้ำออกไปได้อย่างรวดเร็วเพียงพอที่จะทำให้ยางล้อสามารถสัมผัสกับผิวเมื่อดำเนินการ

รวมบนผิวทาง ความต้านทานต่อการสึกกร่อนจะหายไปเมื่อแอสฟัลท์ทะลักขึ้นมาบนผิวทางและเมื่อวัสดุมวลรวมที่มีลักษณะผิวเรียบ มวลรวมจะต้องผิวขรุขระและมีความต้านทานต่อการขีดสี เพราะจะช่วยให้เนื้อของโครงสร้างถนนลาดยางคงความใหม่อยู่เสมอ และช่วยให้ผิวถนนมีความต้านทานการสึกกร่อน วัสดุผสมที่มีปริมาณแอสฟัลท์มากเพื่อเติมให้เต็มโพรงอากาศ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แอสฟัลท์บรีจขึ้นมากบนผิวถนนเมื่อมีการอัดแน่นซึ่งเรียกว่า การเบ้ม (bleeding) และแอสฟัลท์ที่ล้นขึ้นมากบนผิวหน้าถนนนี้เองทำให้เกิดการสึกกร่อนเมื่อถนนเปียก

2.1.6 การซึมผ่านไม่ได้ (Impermeability) หมายถึง ความสามารถของโครงสร้างถนนลาดยางในการต้านทานการซึมผ่านของอากาศและน้ำเข้าไปใน หรือผ่านโครงสร้างถนน ปริมาณโพรงอากาศเป็นเครื่องชี้ถึงความไว (Susceptibility) ของวัสดุผสมที่ให้อากาศหรือน้ำซึมผ่านได้ สิ่งสำคัญคือโพรงอากาศที่บริเวณหน้า และการเชื่อมต่อเนื่องระหว่างกันของโพรงอากาศ ความซึมผ่านไม่ได้ของอากาศและน้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งในแง่ความทนทาน (Durability) สำหรับวัสดุผสมโครงสร้างถนนลาดยาง

2.1.7 ความสามารถทำงานได้ (Workability) หมายถึง ความง่ายในการเทและบดอัดวัสดุที่อัดผสม จากการออกแบบที่เหมาะสมและใช้เครื่องจักรที่สมควรในการปูลาด ก็จะไม่มีปัญหาเกี่ยวกับความสามารถทำงานได้ มวลรวมซึ่งมีคุณสมบัติช่วยส่งเสริมให้วัสดุผสมมีเสถียรภาพดีจะทำให้เทและบดอัดวัสดุผสมยากขึ้น ส่วนผสมที่ทำงานได้ยาก (ส่วนผสมที่มีปริมาณมวลรวมหยาบมาก) มีแนวโน้มที่จะเกิดแยกตัวของเม็ดวัสดุมวลรวมในระหว่างการขนส่ง และการบดอัดได้ยากรวมถึงความไม่สะดวกในการทดลองผสมในห้องทดลอง ถ้าการเตรียมตัวอย่างไม่ดีพอจะทำให้ได้ตัวอย่างที่มีคุณสมบัติไม่แน่นอน

ปริมาณฝุ่นละอองที่มีสูงมากเกินไปก็อาจมีผลกระทบต่อ workability ปริมาณฝุ่นละอองที่มีสูงมากเกินไปอาจทำให้ส่วนผสมมีลักษณะเป็นกาวยากทำให้บดอัดได้ยาก ส่วนผสมที่ขาดฝุ่นละอองแต่มีทรายขนาดกลางที่มีลักษณะกลม และมีผิวเรียบในอัตราส่วนที่

สูงมากแม้ว่าจะสามารถทำการปูได้ง่าย แต่การบดอัดจะมีความแน่นหนาและบดอัดให้ได้ความแน่นยาก

ชนิดของแอสฟัลท์อาจมีปัญหาเกี่ยวกับ workability เนื่องจากอุณหภูมิและความหนืด ในขณะที่ผสม การผสมที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้แอสฟัลท์คอนกรีตมี workability ไม่ดี ชนิดและปริมาณของแอสฟัลท์จึงมีอิทธิพลต่อ workability

2.2 การออกแบบส่วนผสมโดยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Mix Design Method) แนวความคิดมูลฐานของวิธีมาร์แชลล์ในการออกแบบวัสดุผสมสำหรับผิวทางลาดยางกำหนดโดย BURCH MARSHALL วิศวกรแอสฟัลท์ของ Mississippi State Highway Department ต่อมา U.S. Corps of Engineers ได้ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม แล้วปรับปรุงวิธีการ และพัฒนาหลักการออกแบบส่วนผสมจนกระทั่งการทดสอบได้มาตรฐาน และกำหนดเป็นมาตรฐานทดสอบ ASTM D-1559 ดังตารางที่ 2.1

วิธีมาร์แชลล์นี้ใช้ได้กับวัสดุผสมถนนลาดยางแบบผสมร้อน ประกอบด้วยแอสฟัลท์ซีเมนต์ และมวลรวมที่มีการจัดขนาดละเอียด หรือละเอียดที่มีขนาดโคสดู 25 มิลลิเมตร (1 นิ้ว) หรือน้อยกว่า วิธีการนี้ใช้ได้ทั้งการออกแบบในห้องปฏิบัติการ และการทดสอบควบคุมในสนาม ลักษณะสำคัญของการทดสอบวิธีนี้ คือ การวิเคราะห์ความหนาแน่นกับช่องว่างอากาศ (Density - Voids Analysis) และการทดสอบเสถียรภาพกับการเคลื่อนตัว (Stability - Flow Test) ของก้อนตัวอย่างวัสดุผสมผิวทางลาดยางอัดแน่น

2.2.1 ขนาดและการจัดขนาดละเอียด (Size and Grading) ในผิวทางที่มีปริมาณการจราจรมาก จะใช้มวลรวมละเอียดที่สามารถบดอัดให้ได้ปริมาณช่องว่างระหว่างมวลรวมต่ำกว่า 14-15 เปอร์เซ็นต์ ถ้าปริมาณช่องว่างต่ำเกินไปจะเกิดจากมวลรวมละเอียดที่มีการเรียงขนาดเข้าใกล้เส้นโค้ง ที่หาได้จากสมการของฟูลเลอร์ (Fuller Curve) คือการเรียงขนาดที่ทำให้ความแน่นสูงเป็นสาเหตุที่ทำให้ส่วนผสมมีความคงทนต่ำ ดังนั้นการเรียงขนาดที่ใช้ควรจะมีขนาดค่อนข้างหยาบ และช่องว่างระหว่างเม็ดหินก็จะบรรจุส่วนละเอียด

เช่น ผุ่นของหินปูน เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 แสดงขนาดของวัสดุของมวลรวม และปริมาณของแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ผสม

ขนาดตะแกรง	เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก	
	เกรด A เกรดแน่น	เกรด B เกรดหยาบ
(ตะแกรงมาตรฐาน U.S.)		
3/4 นิ้ว	100	100
1/2 นิ้ว	80 - 100	75 - 100
3/8 นิ้ว	70 - 90	60 - 85
No. 4	50 - 70	35 - 55
No. 8	35 - 50	20 - 35
No. 30	18 - 25	10 - 22
No. 50	13 - 23	6 - 16
No. 100	8 - 16	4 - 12
No. 200	4 - 10	2 - 8
ปริมาณแอสฟัลท์ซีเมนต์	3.5 - 7.0	3.0 - 6.5
เปอร์เซ็นต์		
โดยน้ำหนักของส่วนผสม		

การจัดรวมขนาดของมวลรวมคละ ควรจัดให้มีการเรียงขนาดใกล้เคียงกับขีดจำกัด ตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นขนาดไล่เรียงของหินที่ใช้ในการทำส่วนผสมแอสฟัลท์คอนกรีต และปริมาณแอสฟัลท์ที่ใช้สำหรับงานกรมทางหลวงในปัจจุบัน

ส่วนผสมที่มีการเรียงขนาดแน่น (Dense Grade Mix) ใช้ในงานผิวทางส่วนผสมแบบหยาบ (Coarse Grade Mix) ใช้งานในงานพื้นทางโดยมีมวลรวมคละที่เป็นแบบหยาบ ใช้ฝุ่นน้อยกว่ามวลรวมคละที่เป็นแบบแน่น ทำให้ใช้แอสฟัลท์น้อยกว่าด้วยเนื่องจากวัสดุมวลรวมที่นำมาใช้มีตั้งแต่ 2 ชนิดหรือมากกว่าขึ้นไป จึงต้องนำวัสดุมวลรวมต่าง ๆ มารวมกัน (Combined Gradation) เพื่อให้มีการจัดเรียงขนาดที่เหมาะสมตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง

2.2.2 ความถ่วงจำเพาะของมวลรวมผสมผสาน (Specific Gravity of Blended Aggregate) การออกแบบบดแอสฟัลท์คอนกรีตวัสดุมวลรวมที่ใช้ประกอบด้วยวัสดุต่างชนิดกัน คือ วัสดุมวลรวมหยาบและฝุ่นซึ่งผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ กัน การคำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะของการผสมผสานแบบบิลด์ (Bulk Specific Gravity of the Blend) คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$G_{mb} = \frac{100}{P_1/G_1 + P_2/G_2 + \dots + P_n/G_n}$$

ในเมื่อ

G_{mb} = ความถ่วงจำเพาะรวมของการผสมผสาน

$P_1, P_2, \dots, P_n$ = ปริมาณร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนักของมวล 1, 2
อื่น ๆ ตามลำดับและ $P_1 + P_2 + \dots + P_n = 100$

$G_1, G_2, \dots, G_n$ = ความถ่วงจำเพาะของมวลรวม 1, 2, ... อื่น ๆ ตามลำดับ

ตารางที่ 2.2 ขนาดละเอียดของมวลรวมและปริมาณของแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ใช้
(กรมทางหลวง, 2532)

ขนาดที่เรียกใช้ มิลลิเมตร (นิ้ว)	9.5 (3/8)	12.5 (1/2)	29.0 (3/4)	25.0 (1)
สำหรับชั้นทาง	wearing course	wearing course	binder course	base course
ความหนา มิลลิเมตร ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร (นิ้ว)	25 -35	40 -70	40 - 80	70 -100
	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวลรวม			
37.5 1 1/2				100
25.0 1			100	90-100
19.0 3/4		100	90-100	-
12.5 1/2	100	80-100	-	50- 80
9.5 3/8	90-100	-	56- 80	-
4.75 เบอร์ 4	55- 85	44- 74	35- 65	29- 59
2.36 เบอร์ 8	32- 67	28- 58	23- 49	19- 45
1.18 เบอร์ 16	-	-	-	-
0.600 เบอร์ 30	-	-	-	-
0.300 เบอร์ 50	7- 23	5- 21	5- 19	5- 17
0.150 เบอร์ 100	-	-	-	-
0.075 เบอร์ 200	2- 10	2- 10	2- 8	1- 7

ตารางที่ 2.2 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณของแอสฟัลท์ซีเมนต์ที่ใช้
(กรมทางหลวง, 2532) (ต่อ)

ขนาดที่เรียกใช้ มิลลิเมตร (นิ้ว)	9.5 (3/8)	12.5 (1/2)	29.0 (3/4)	25.0 (1)
สำหรับชั้นทาง	wearing course	wearing course	binder course	base course
ความหนา มิลลิเมตร ขนาดตะแกรง มิลลิเมตร (นิ้ว)	25 - 35	40 - 70	40 - 80	70 - 100
ปริมาณแอสฟัลท์ ร้อยละโดยของ มวลรวม	4.0-8.0	3.0-7.0	3.0-6.5	3.0-6.0

2.2.3 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบโดยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Design Criteria) การกำหนดค่าเกณฑ์ในการออกแบบ พิจารณาตามเกณฑ์ของ The Asphalt Institute ของประเทศสหรัฐอเมริกา ดังแสดงไว้ตามตารางที่ 2.3 และ 2.4 ในการกำหนดเกณฑ์ประการแรก ต้องพิจารณาปริมาณการจราจรของทางที่จะทำการก่อสร้าง ก่อนว่ามีปริมาณการจราจรเบาบาง (Light Traffic) ปริมาณการจราจรปานกลาง (Medium Traffic) หรือปริมาณการจราจรหนาแน่น (Heavy Traffic) ต่อไปกำหนดค่าเกณฑ์ต่าง ๆ ตามปริมาณการจราจรต่อไปนี้

(1) จำนวนครั้งการบดอัดตัวอย่างตามตารางที่ 2.3 กำหนดไว้ว่า เมื่อปริมาณการจราจรสูงต้องกำหนดจำนวนครั้งการบดอัดสูงกว่าปริมาณการจราจรต่ำ เพื่อให้สอดคล้อง

คล้อยกับสภาพการใช้งานของคอนกรีตแอสฟัลท์ในสนาม

ตารางที่ 2.3 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบมาร์แชลล์ (Marshall Design Criteria)

เกณฑ์ส่วนผสม	การจราจร					
	เบาบาง		ปานกลาง		หนาแน่น	
	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด	ต่ำสุด	สูงสุด
จำนวนครั้งบดทับแต่ละด้าน						
ก้อนตัวอย่างเสถียรภาพ,		35		50		75
นิวตัน	2224	—	3336	—	6672	—
(ปอนด์)	(500)	—	(750)	—	(1500)	—
การเคลื่อนตัว,						
0.25 มม.(0.01 นิ้ว)	8	20	8	18	8	16
เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศ	3	5	3	5	3	5
ระหว่างมวลรวม VMA			(ดูตารางที่ 2.4)			

(2) ค่าการเคลื่อนตัวชั้นคอนกรีตแอสฟัลท์ของทางที่มีปริมาณการจราจรสูง ต้องมีความแข็งแรงเมื่อมีค่าเสถียรภาพสูง ฉะนั้นค่าการเคลื่อนตัวจึงกำหนดไว้ต่ำกว่าทางที่มีการจราจรต่ำ

ตารางที่ 2.4 ค่าต่ำสุดของเปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างมวลรวม (VMA)

Minimum Percent Voids in Mineral Aggregate

ขนาดตะแกรง(1) มาตรฐาน U.S.A.	ขนาดระบุสูงสุดของอนุภาค (2)		ค่าต่ำสุดของช่องว่างระหว่าง มวลรวม (เปอร์เซ็นต์)
	มม.(1)	นิ้ว(1)	
1.18 มม.	1.18	0.0469	23.5
12.5 มม.	12.5	0.500	15
19.0 มม.	19.0	0.750	14
25.0 มม.	25.0	1.0	13
37.5 มม.	37.5	1.5	12
50.0 มม.	50.0	2.0	11.5
63.0 มม.	63.0	2.5	11

(3) ค่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศปกติกำหนดค่าต่างกันตามชั้นของการก่อสร้าง เช่น ชั้นผิวทาง (Wearing Course) ชั้นรองผิวทาง (Binder Course) หรือ ชั้นพื้นทางที่ใช้กำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศต่ำสุด คือ 3 เปอร์เซ็นต์ เพื่อป้องกัน แอสฟัลท์คอนกรีตเกิดการยุบ การที่กำหนดไว้ 3 เปอร์เซ็นต์นั้น ยังมีช่องว่างอากาศ ติดต่อกันถึงกันได้ แต่เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลาอันยาวนานแอสฟัลท์คอนกรีตจะถูกบดอัดโดยยานต่าง ๆ ที่วิ่งผ่าน ทำให้มีความแน่นเพิ่มขึ้นช่องว่างอากาศลดลง เมื่อใดก็ตามที่ช่องว่างอากาศลดลงมากจนกระทั่งช่องว่างอากาศเหล่านั้นไม่ติดต่อกันได้ ก็จะทำให้เกิดการยุบ

ของแอสฟัลท์ชั้นบนผิวแอสฟัลท์คอนกรีตได้ ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศสูงสุดกำหนดแตกต่างกันออกไปตามชั้นแอสฟัลท์คอนกรีต โดยชั้นผิวทางกำหนดค่าไว้ต่ำกว่าชั้นอื่น ๆ ทั้งนี้เพราะชั้นผิวทางต้องการออกแบบให้ป้องกันน้ำซึมลงสู่ชั้นล่าง ส่วนชั้นอื่น ๆ เนื่องจากอยู่ภายใต้ชั้นผิวทางและส่วนผสมเป็นหินที่มีขนาดใหญ่กว่าชั้นผิวทาง จึงกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศสูงสุดไว้สูงกว่าชั้นผิวทาง เพื่อเป็นการประหยัคโดยที่ยังปลอดภัยจากการที่น้ำจะซึมลงมาทำลาย เพราะมีชั้นผิวทางปิดกั้นน้ำอยู่แล้ว

(4) ค่าช่องว่างอากาศในมวลรวมคละ เมื่อยังไม่ได้ผสมแอสฟัลท์ (Percent Voids in Mineral Aggregate , VMA) โดยธรรมชาติของมวลรวมคละ เมื่อหินประกอบเป็นมวลรวมคละมีขนาดเล็กลง ทำให้ช่องว่างมีเปอร์เซ็นต์สูงขึ้น (ดูตารางที่ 2.4) ฉะนั้นจึงเกี่ยวข้องกับปริมาณการใช้แอสฟัลท์ในส่วนผสมด้วย คือ เมื่อช่องว่างในมวลรวมคละสูง และหินมีขนาดเล็กลง จะต้องใช้แอสฟัลท์ผสมเป็นปริมาณมากขึ้น

2.2.4 อุณหภูมิในการผสมและการบดอัด เป็นไปตามข้อกำหนด โดยอุณหภูมิของแอสฟัลท์ที่ให้ค่าความหนืด (Viscosity) ประมาณ 170 เซนติสโตรค มีค่าระหว่าง 142 ± 10 องศาเซลเซียสอุณหภูมิขณะผสมเท่ากับ 150 องศาเซลเซียส วัสดุมวลรวมมีอุณหภูมิระหว่าง 160 ± 10 องศาเซลเซียส ซึ่งความหนืดของแอสฟัลท์จะมีค่าประมาณ 130 เซนติสโตรค

2.2.5 การทดสอบหาคูสมบัติ การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบ ต้องดำเนินการตามวิธีมาตรฐานที่กำหนดใน ASTM D 1559 หรือ AASHTO T245 หรือ ทส.ล.604 /2517 การดำเนินการทดสอบหลังการบดอัดแล้ว แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะแบบบัสค์ของส่วนผสม การทดสอบและการวัดค่าเสถียรภาพ และค่าการเคลื่อนตัว การทดสอบเพื่อคำนวณหาค่าความแน่นและปริมาณช่องว่างอากาศในก้อนตัวอย่าง

2.2.6 การหาปริมาณแอสฟัลท์เหมาะสมสูงสุดในส่วนผสม (Optimum asphalt Content) The Asphalt Institute แนะนำการหาปริมาณแอสฟัลท์เหมาะสมสูงสุด

ในส่วนผสม โดยพิจารณาจากกราฟแสดงผล 3 กราฟ ดังนี้

1. กราฟแสดงค่าเสถียรภาพ
2. กราฟแสดงค่าความหนาแน่น
3. กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศ

จากกราฟเปอร์เซ็นต์แอสฟัลท์ที่ให้ค่าเสถียรภาพและค่าความหนาแน่นสูงสุด สำหรับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศกับเปอร์เซ็นต์แอสฟัลท์ การหาเปอร์เซ็นต์แอสฟัลท์จากค่าเฉลี่ยช่องว่างอากาศ เมื่อได้ค่าเปอร์เซ็นต์แอสฟัลท์จากกราฟ 3 กราฟดังกล่าวแล้วนำมาเฉลี่ยได้เปอร์เซ็นต์แอสฟัลท์ที่เหมาะสมสูงสุด ในส่วนผสมแอสฟัลท์คอนกรีต

ในการออกแบบส่วนผสมของกรมทางหลวง ที่กำหนดแสดงไว้ในตารางที่ 2.5 วิธีหาเปอร์เซ็นต์แอสฟัลท์ที่เหมาะสมสูงสุดได้จากเปอร์เซ็นต์แอสฟัลท์ จากค่าเฉลี่ยช่องว่างอากาศที่กำหนดไว้เป็นสำคัญ เช่น ผิวทางเฉลี่ยเท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น ส่วนการปรับค่าเปอร์เซ็นต์แอสฟัลท์ที่หาได้ ที่สามารถทำได้โดยคำนึงถึงค่าเกณฑ์อื่น ๆ ด้วย

2.3 โมดูลัสความแกร่งของคอนกรีตแอสฟัลท์ (Stiffness Modulus of Asphaltic Concrete) คุณสมบัติทางกลอย่างหนึ่งของวัสดุผสมแอสฟัลท์ คือ ความหนืดยืดหยุ่น (Viscoelastic) โดยพฤติกรรมทางกลนี้ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาและอุณหภูมิที่นำหน้ากระทำ

การวิเคราะห์หาค่าความแกร่งเป็นค่าที่เกิดขึ้นเมื่อวัสดุเสียวิบัติ (Failure) หมายถึง การเกิดขึ้นของแรงเค้นดึง (Tensile Stress) ที่จุดที่มีค่าสูงสุดในช่วงของวัสดุไม่คืนตัว (Plasticity) เป็นจุดของการเสียรูปร่างพร้อมกับการปรากฏรอยแตก เนื่องจากแรงดึงในกรณีของวัสดุที่เปราะจะเกิดการแตกหัก (Rupture) ทันทีทันใด

McLEOD (1971) ได้วิเคราะห์วิธีการประเมินค่าความแรงของส่วนผสมแอสฟัลท์คอนกรีต โดยสมมุติให้พื้นที่หน้าตัดของก้อนตัวอย่างวัสดุที่ผสมอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดและมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเครียดในแนวดิ่ง สามารถคำนวณได้จากผลการทดสอบของวิธีมาร์แชลล์ดังนี้

$$\begin{aligned}
 S_m(t, T) &= \frac{\text{แรงดัน}}{\text{ความเครียด}} \\
 &= \frac{\text{เสถียรภาพ}}{\text{พื้นที่หน้าตัดมากที่สุด}} \div \frac{\text{การเคลื่อนตัว}}{\text{เส้นผ่าศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง}} \\
 &= \frac{P}{2.5 * 4} \div \frac{F}{100 * 4} \\
 &= \frac{40P}{F}
 \end{aligned}$$

ในเมื่อ $S_m(t, T)$ = ค่าโมดูลัสความแรงของวัสดุผสม ที่ระยะเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ, บอนด์ต่อตารางนิ้ว

t = 4 วินาที

P = ค่าเสถียรภาพตามวิธีมาร์แชลล์, บอนด์

F = ค่าการเคลื่อนตัว, 0.01 นิ้ว

2.4 กำลังดึงและโมดูลัสความยืดหยุ่นของคอนกรีตแอสฟัลท์ (Tensile Strength and Elasticity Modulus of Asphalt Concrete) การวิเคราะห์ค่ากำลังดึงและโมดูลัสความยืดหยุ่นสามารถทดสอบได้หลายวิธีดังนี้

ตารางที่ 2.5 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต (กรมทางหลวง , 2532)

รายการ	ชั้นทาง				
	WEARING	WEARING	BINDER	BASE	SHOULDER
	COURSE	COURSE	COURSE	COURSE	
	(9 ม.ม.)	(12.5 ม.ม.)			
BLOWS	75	75	75	75	50
STABILITY N	8006	8006	8006	7117	7116
(1b)	(1800)	(1800)	(1800)	(1600)	(1600)
FLOW 0.25 mm.	8-16	8-16	8-16	8-16	8-16
PERCENT AIR VOIDS	3-5	3-5	3-6	3-6	3-6
PERCENT VOIDS IN MINERAL AGGREGATE (VMA) (Min.)	15	14	13	12	14
STABILITY/FLOW (MIN) N/o. MM.	712	712	712	645	645
(LB/0.01 in.)	(160)	(160)	(160)	(145)	(145)
PERCENT STRENGTH INDEX	75	75	75	75	75

2.4.1 การทดสอบแรงดึงทางตรง (Direct Tensile Test) เป็นการทดสอบที่ทดสอบด้วยแรงดึงทางตรงตามแนวทางของก้อนตัวอย่าง และวัดค่าความเค้น - ความเครียดของวัสดุที่เกิดขึ้น เป็นทฤษฎีเบื้องต้นอย่างง่าย แต่ยากที่จะนำมาปฏิบัติใช้ในการทดสอบเนื่องจากการเยื้องศูนย์ได้และค่าแรงคด (Bending Stress) สูงกว่าที่ควร

2.4.2 การทดสอบแรงคด (Bending Test) เป็นการทดสอบโดยวิธีการออกแรงกดคานตัวอย่าง การทดสอบและเตรียมตัวอย่างกระทำได้ง่ายกว่าการทดสอบแรงดึงทางตรง เป็นที่นิยมใช้ในการทดสอบของวิศวกร เพราะแรงที่กระทำใกล้เคียงกับแรงที่เกิดขึ้นในสนามการทดสอบกำหนดสภาพของน้ำหนักระบบ 2 ชนิด คือ ทดสอบการโค้งงอของน้ำหนักระบบที่คานรองรับและทดสอบ Cohesimeter ของแรงโมเมนต์คดของตัวอย่างที่ผ่านคานยื่น วัสดุผสมร้อนขึ้นพื้นทาง (Base) ที่ไม่ได้ตามเกณฑ์เมื่อทดสอบที่ 60 องศาเซลเซียส (140°ฟ) อาจใช้ได้เมื่อได้ตามเกณฑ์ของการทดสอบที่ 38 องศาเซลเซียส (100°ฟ) และวางไว้ต่ำกว่าชั้นผิวทาง (Surface) 10 เซนติเมตร (4 นิ้ว) หรือมากกว่านั้น

การจำแนกการจราจร (Traffic Classifications)

เบาบาง (light) = สภาพการจราจรที่ใช้ในการออกแบบมี EAL < 104

ปานกลาง (medium) = สภาพการจราจรที่ใช้ในการออกแบบมี EAL อยู่ระหว่าง 104-106

หนาแน่น (heavy) = สภาพการจราจรที่ใช้ในการออกแบบมี EAL > 106

EAL (Equivalent Axle Load) คือ ค่าเปรียบเทียบกับน้ำหนักเพลามาตรฐาน

18,000 ปอนด์

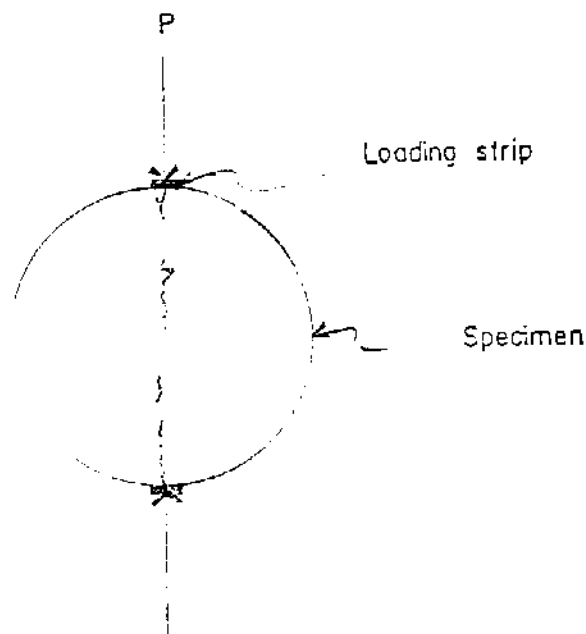
ผลการทดสอบของการโค้งงอโดยทั่วไป แสดงค่าโมดูลัสการแตกหัก (Modulus of Rupture) ที่สัมพันธ์กับค่ากำลังดึง (โมดูลัสการแตกหักหมายถึงแรงที่เกิดขึ้นโดยตรง

บริเวณผิวนอกของคานเมื่อรับแรงกระทำจนกระทั่งถึงจุดแตกหัก) ค่าโมดูลัสการแตกหัก มักจะมีค่ามากกว่าแรงที่เกิดขึ้นจริง ๆ เมื่อวัสดุเสียหาย สำหรับวัสดุประเภทคอนกรีต มีค่าโมดูลัสการแตกหักเท่ากับหรือมากกว่า 2 เท่าของค่ากำลังดึง

การทดสอบ Chosiometer ที่ปลายด้านหนึ่งของตัวอย่างจะถูกยึดไว้กับที่ด้วย คีมหนีบตัวอย่างและอีกด้านหนึ่งมีแรงกดผ่านคานยื่นจนกระทั่งถึงจุดแตกหัก ค่าแรงดึงจาก Chosiometer คำนวณได้จากแรงกดที่ใช้ทดสอบ

การทดสอบโดยวิธีโค้งงอและวิธี Cohesimeter จะได้แรงดึงสูงสุดซึ่งเกิดขึ้น บริเวณ ผิวนอกของคาน มีค่าต่ำกว่าไม่ตรงกับความเป็นจริงเท่าใดนัก

2.4.3 การทดสอบแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Test) เป็น การทดสอบโดยวิธีการออกแรงกดแท่งตัวอย่างทรงกระบอกทางด้านแนวนอน ดังรูปที่ 2.1 แรงที่เกิดอาจกระทำครั้งเดียวหรือซ้ำกันหลายครั้ง



รูปที่ 2.1 การทดสอบแรงดึงทางอ้อม

การทดสอบแรงดึงทางอ้อมเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าแรงดึงของแท่งคอนกรีต หรือ แท่งปูนทราย (Mortar) THOMSON (1965) พบว่า ในการทดสอบเพื่อประเมินผล ลักษณะแรงดึงของส่วนผสม lime - soil ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ขณะที่ MESSINA (1966) และ STEPHENS (1966) ได้ใช้วิธีการทดสอบนี้ศึกษาแรงดึงของแอสฟัลท์คอนกรีต

การทดสอบแรงดึงทางอ้อมมีข้อเสียด้วยกัน 2 ประการ คือ สภาวะน้ำหนักทดสอบ ต่างกันในสนาม และทฤษฎีแรงดึงมีข้อยุ่งยากซับซ้อนมากกว่าทฤษฎีของการทดสอบแรงดึง ทางตรง และการทดสอบแรงดัด ส่วนข้อดีนั้นเมื่ออยู่ด้วยกันหลายประการ คือ

1. การทดสอบกระทำได้ง่าย
2. ชนิดของก้อนตัวอย่าง ใช้ขนาดเดียวกันกับการทดสอบแรงกด
3. การเสียหายของตัวอย่าง จะมีผลไม่รุนแรง
4. การเสียหายของตัวอย่าง เป็นการ เริ่มต้นในขอบเขตของความสัมพันธ์ ของแรงดึงสม่ำเสมอ
5. สัมประสิทธิ์ของตัวแปรของการทดสอบ ภายใต้น้ำหนักกดคงที่ หรือการ กระทำซ้ำ ๆ กัน

ผลการทดสอบแรงดึงทางอ้อม สามารถกำหนดคุณสมบัติบางประการของวัสดุแอส ฟัลท์คอนกรีต คือ

ก. กำลังดึง โมดูลัสความยืดหยุ่น และอัตราส่วนพัวส์ซง (Poisson ratio) สำหรับน้ำหนักคงที่ หรือกระทำซ้ำ ๆ กัน

ข. ลักษณะความล้า (Fatigue)



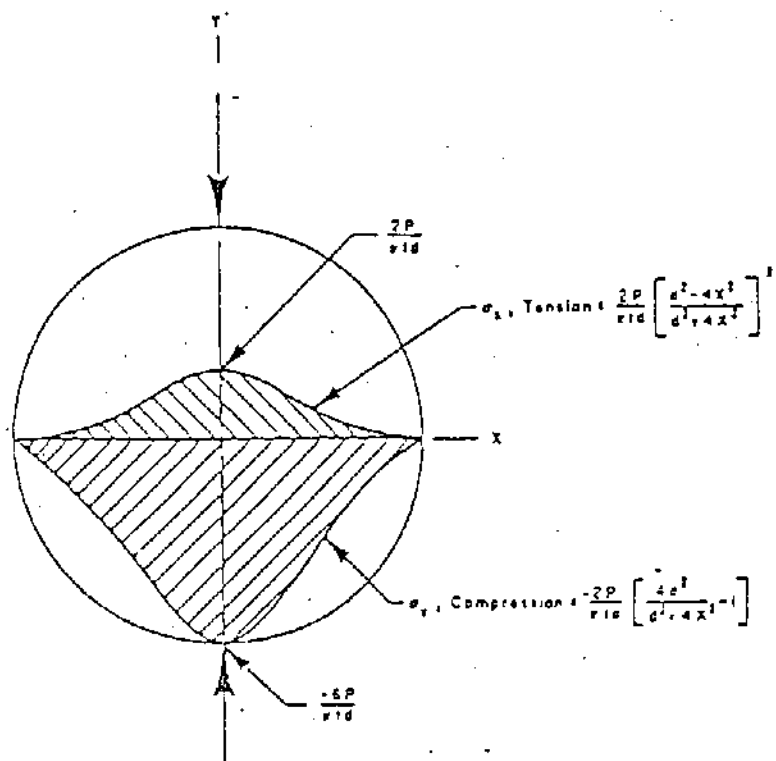
หอสมุดกลาง
มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ค. ลักษณะการเสียรูปถาวรของวัสดุผิวทาง

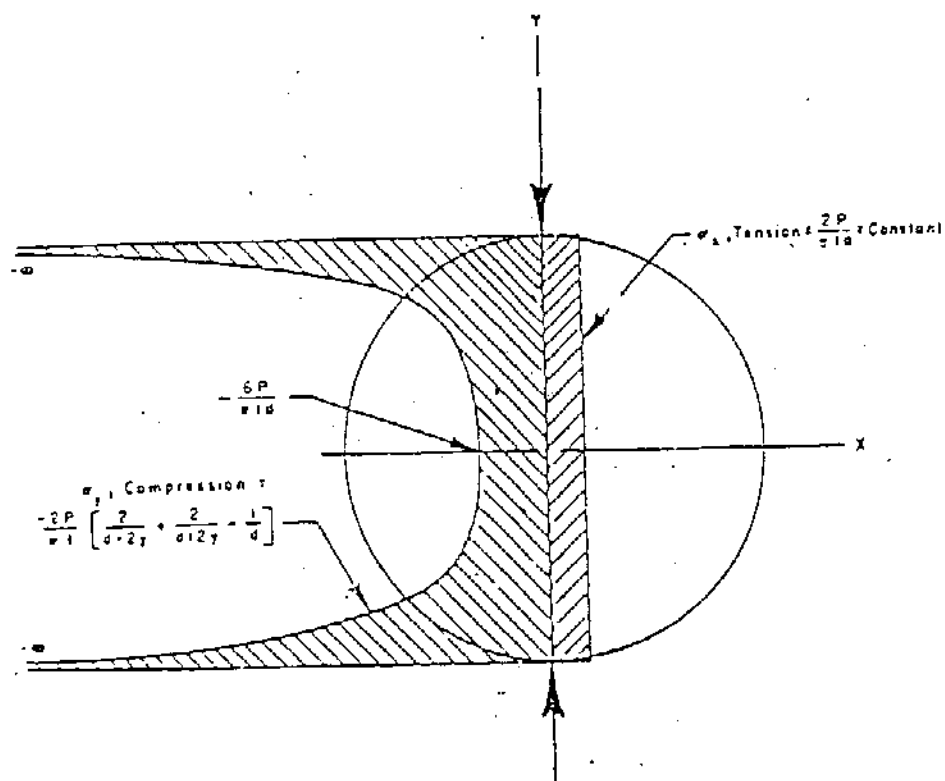
ทฤษฎีการทดสอบแรงดึงทางอ้อมได้พัฒนามาจากสมการของ Frocht สำหรับแรงกระทำเป็นจุดการกระจายแรงคำนวณจากสมการแรงดึงในภาพที่ 2.2 และรูปที่ 2.3 แรงในแนวดิ่ง ความเค้นผ่านศูนย์กลางแนวระดับเป็นแรงกดขนาดแปรเปลี่ยน จากค่าสูงสุดของ $6P/\pi t d$ และลดลงเป็นศูนย์ที่ขอบเส้นรอบวง แรงในแนวระดับ ความเค้นผ่านศูนย์กลางคงที่ในแนวดิ่งเป็นค่าแรงดึงคงที่ $2P/\pi t d$ และแรงในแนวดิ่ง เป็นแรงกดขนาดจะแปรเปลี่ยนจากค่าต่ำสุดของ $6P/\pi t d$ จนมีค่าสูงสุดนับไม่ถ้วน ที่ขอบเส้นรอบวงภายใต้น้ำหนักกระทำ

ภายใต้สภาพของแนวเส้นกระจายน้ำหนัก (line load) ก้อนตัวอย่างจะเสียหายใกล้น้ำหนักกระทำเป็นจุด เนื่องจากแรงกดที่จุดศูนย์กลางของก้อนตัวอย่างของแรงกดความแนวดิ่งมีค่าประมาณ 3 เท่าของแรงดึงแนวระดับ น้ำหนักกดก้อนตัวอย่างจะกดผ่านกระจายน้ำหนัก (Loading Strip) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมและมีความกว้างเท่ากับก้อนตัวอย่าง สาเหตุที่ใช้แผ่นกระจายน้ำหนัก เพราะสามารถกระจายแรงได้สม่ำเสมอไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และการคำนวณค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น และอัตราส่วนพิสัยของทางได้ง่าย

การทดสอบแรงดึงทางอ้อม เป็นการทดสอบด้วยน้ำหนักกระทำต่อก้อนตัวอย่างทรงกระบอกด้วยอัตราความเร็ว 50 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) ต่อนาที สำหรับวัสดุผสมแอสฟัลท์ สำหรับวัสดุที่มีความเปราะมาก ๆ เช่น คอนกรีต หรือ อลูมินั่มทดสอบค่า ๆ ก็ใช้อัตราความเร็วช้าได้ เช่น 13 มิลลิเมตร (0.5 นิ้ว) ต่อนาที อลูมินั่มที่ใช้ในการทดสอบทั่ว ๆ ไป จะทดสอบที่ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าวัดทดสอบหาความไวต่ออุณหภูมิต่าง ๆ (Temperature Susceptible) ควรใช้อุณหภูมิทดสอบอย่างน้อย 3 อุณหภูมิ เช่น 5, 25 และ 40 องศาเซลเซียส เป็นต้น



รูปที่ 2.2 การกระจายแรงเค้นบนแกน x



รูปที่ 2.3 การกระจายแรงเค้นบนแกน y

2.5 ความต้านทานการหลุดลอกของคอนกรีตแอสฟัลท์ (Stripping Resistance of Asphaltic Concrete) การหลุดลอกของแอสฟัลท์คอนกรีต คือ การสูญเสียการยึดเกาะ ระหว่างผิวของมวลรวมและแอสฟัลท์ซีเมนต์เมื่อเกิดการสูญเสียแรงยึดเกาะมีผลทำให้ผิวทางมีอายุการใช้งานสั้นลงและเกิดการเสียหายหลายรูปแบบ เช่น รอยแตก เป็นต้น สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดการหลุดลอก เนื่องจากน้ำเข้าไปในโครงสร้างของผิวทางทั้งจากบนผิวทางและใต้ดิน

การวิเคราะห์ความต้านทานการหลุดลอก สามารถหาได้จากการทดสอบกำลังดึงทางอ้อมของตัวอย่างสภาพแห้งและสภาพเปียกชื้นของความต้านทานการหลุดลอก แสดงออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราส่วนกำลังดึง (Tensile strength ratio) ของตัวอย่างสภาพเปียกชื้นต่อสภาพแห้ง สูตรการคำนวณดังนี้

$$St = 2P/\pi tD$$

$$TRS = (Stm * 100)/Std$$

กำหนดให้ St = กำลังดึง (ปอนด์/นิ้ว)

P = แรงกดสูง (ปอนด์)

t = ความหนาของตัวอย่างก่อนการทดสอบ (นิ้ว)

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง (นิ้ว)

d = ระยะรัศมีของก้อนตัวอย่าง (นิ้ว)

TSR = อัตราส่วนกำลังดึง (เปอร์เซนต์)

Stm = ค่าเฉลี่ยกำลังดึงของกลุ่มตัวอย่างสภาพแห้ง
(ปอนด์/ตารางนิ้ว)

เกณฑ์อัตราส่วนกำลังดึงที่ยอมรับได้ต้องไม่ต่ำกว่า 70 เปอร์เซนต์ กำหนดโดย

Transportation Research Board (TRB)

การทดสอบ Ontario Vacuum Mersion Marshall Test เป็น การทดสอบวิธีหนึ่งที่เริ่มใช้ในประเทศแคนาดา เพื่อศึกษาความต้านทานการหลุดลอก ของแอสฟัลท์ โดยใช้ค่าดัชนีความแข็งซึ่งได้จากค่าเฉลี่ยของเสถียรภาพมาร์แชลล์ของ ก้อนตัวอย่างที่แช่น้ำเกลือเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยของเสถียรภาพ มาร์แชลล์ของก้อนตัวอย่าง ที่ไม่ได้แช่น้ำเกลือจะ เทียบออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าดัชนี ความแข็ง (Strength index) ของแอสฟัลท์คอนกรีต ถ้ามีค่าแสดงว่าผิวทางนั้น จะหลุดออกได้ง่ายขึ้น สำหรับกรมทางหลวงได้กำหนดเกณฑ์ดัชนีความแข็งแรงไว้ไม่ต่ำกว่า 75 เปอร์เซ็นต์

ก้อนตัวอย่างที่นำมาทดสอบได้จากเตรียมตัวอย่างตามวิธีมาร์แชลล์ ต่างกัน ตรงที่ใช้วิธีบีบอัดตัวอย่างโดย Static pressure ซึ่งมีช่องว่างอากาศสูง (ประมาณ 6-8 เปอร์เซ็นต์) ทำให้น้ำเกลือสามารถแทรกซึมเข้าไปในก้อนตัวอย่างได้ดีขึ้น ขณะที่ ความดันเป็นสูญญากาศ เพื่อเร่งให้เกิดการหลุดลอกเร็วขึ้น

2.6 ผลการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาเกี่ยวกับวัสดุแอสฟัลท์ เพื่อใช้ทางงานได้มีการศึกษากันอย่างกว้าง ขวางกับความเหมาะสมในการออกแบบและใช้งานต่าง ๆ ซึ่งจะได้มาเสนอขอเป็นสังเขป ดังต่อไปนี้

2.6.1 อิทธิพลของแอสฟัลท์กับเสถียรภาพ TONS และ CHRITZ (1975) ได้ เน้นถึงค่าความหนืดที่ 60 องศาเซลเซียส และ 25 องศาเซลเซียส (77 องศาฟา เรนาइट) ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในชั้นผิวทางและได้กล่าวว่าการใช้แอสฟัลท์ AC 60/70 จะทำให้ผิวทางมีเสถียรภาพสูงและมีความคงทนมากขึ้น แต่อาจจะเกิดความแตกร้าวในผิว ทางได้ภายใต้สภาพอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส การใช้แอสฟัลท์ AC 85/100 สามารถช่วยลดการแตกร้าวลงในส่วนแอสฟัลท์ที่มีความอ่อนมาก เช่น ชนิด AC 120/150 เมื่อมาใช้งานปรากฏว่าส่วนผสมจะมีลักษณะอ่อนเหลวและติดถนน จะมี แนวโน้มที่แอสฟัลท์จะลึกลงด้านบนหลังการรับน้ำหนักจากการจราจรหรือในสภาพอากาศร้อน

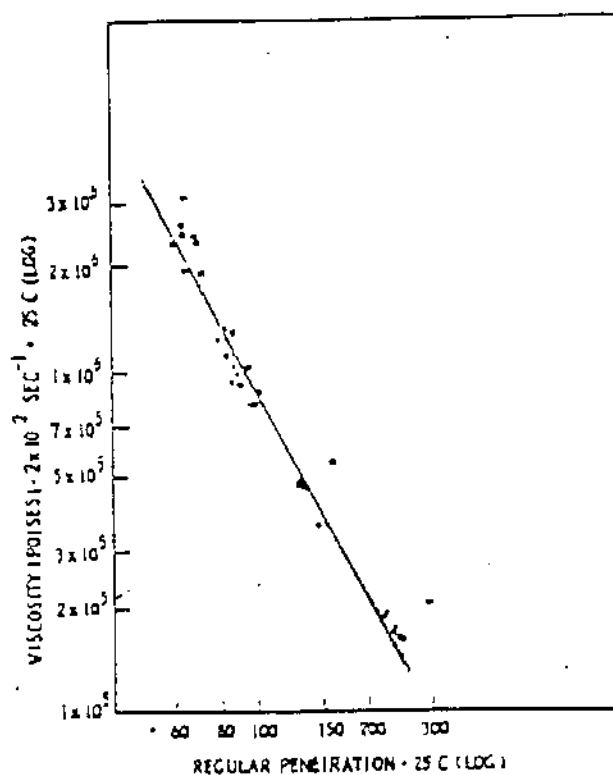
TONS และ CHRITZ (1975) ได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า Penetration กับ Viscosity ที่ 25 องศาเซลเซียส ดังสมการ

$$Y = \frac{6.322 \times 10^9}{X^{1.926}}$$

ในเมื่อ Y = ค่าความหนืด (Viscosity, Poise)

X = ค่าเพนิตเรชั่น (Penetration)

ซึ่งสมการดังกล่าวนี้สามารถแปลงมาในรูปของกราฟ ดังแสดงในรูป 2.4 และ ตารางที่ 2.6



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนืด กับเพนิตเรชั่น ที่ 25 องศาเซลเซียส แบบมาตรฐาน (TONS AND CHRITZ, 1975)

ตารางที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เพนเนตรชัน กับ ค่าตามหน่วย (TON & CHRITZ, 1975)

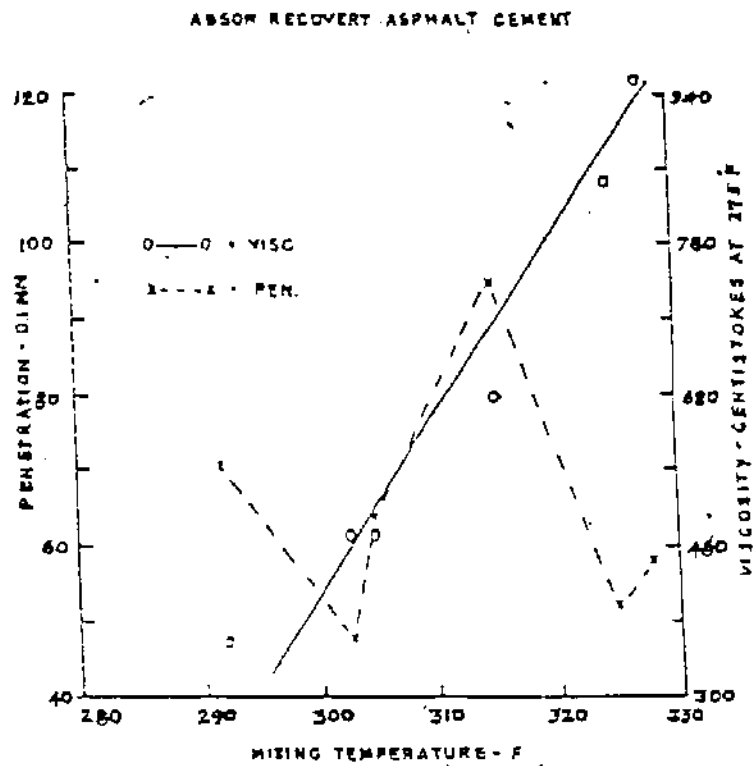
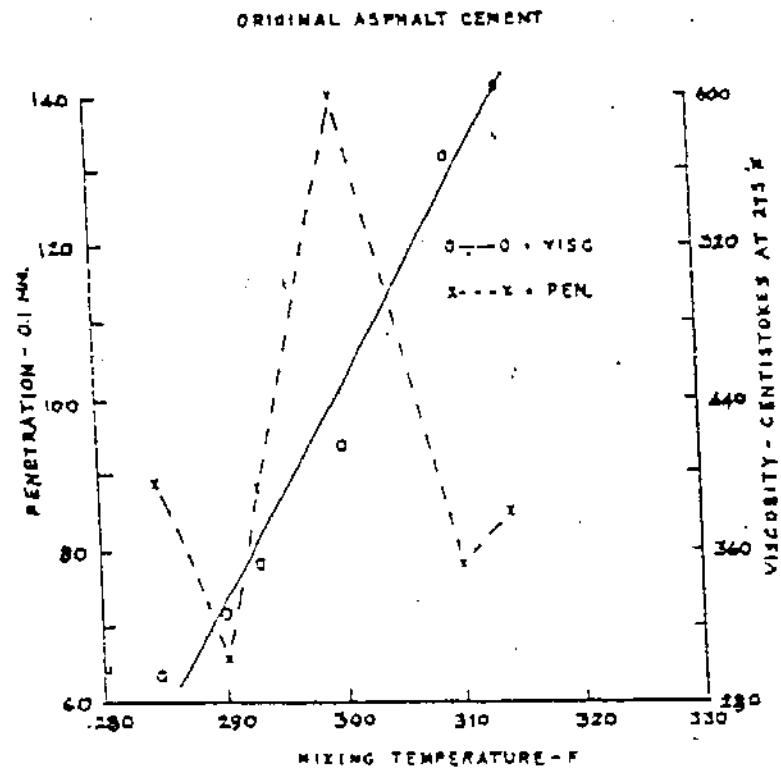
X vs Y	Samples	Correlation Coefficient	Equation	% of Estimate within Range of Tested Value					
				0-5%	0-10%	0-20%	0-30%	0-40%	0-50%
Regular Penetration Vs. Viscosity	43	0.98198		27.9	51.2	83.8	93.1	97.8	100.0
	40	0.99213		37.5	60.0	92.5	100.0	100.0	100.0
Submerged Penetration Vs. Viscosity	43	0.99195		46.5	72.1	95.4	97.7	100.0	100.0
	40	0.99579		55.0	80.0	97.5	100.0	100.0	100.0
Stub Penetration Vs. Viscosity	43	0.98888		53.5	67.5	83.8	95.4	100.0	100.0
	40	0.99275		47.5	70.0	90.0	97.5	100.0	100.0
Regular Penetration Vs. Submerged Penetration	48	0.99278		60.4	75.0	95.8	100.0	100.0	100.0
Regular Penetration Vs. Stub Penetration	48	0.99549		72.9	91.7	97.9	100.0	100.0	100.0

KOFALT และ SANDVIC (1968) ได้ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดของแอสฟัลต์ต่อค่าเสถียรภาพของแอสฟัลต์ติกคอนกรีต และได้รายงานว่แอสฟัลต์ที่มีค่าเพนนิเตอร์ชันสูง ต้องการอุณหภูมิในการผสมต่ำกว่าแอสฟัลต์ ที่มีค่าเพนนิเตอร์ชันต่ำ ซึ่งต้องการอุณหภูมิจะผสมสูงด้วย

ดังนั้นอุณหภูมิในการผสม ควรจะพิจารณาบนพื้นฐานของค่าเพนนิเตอร์ชัน แต่ไม่ควรนำค่าเพนนิเตอร์ชันของแอสฟัลต์เพียงอย่างเดียวมากำหนดอุณหภูมิในการผสม ควรพิจารณา ค่าความหนืดของแอสฟัลต์ควบคู่ไปด้วย

อุณหภูมิในการผสมและการบดอัดควรขึ้นอยู่กับความหนืดของแอสฟัลต์ (Viscosity) เพราะความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ กับความหนืดพบว่าเป็นเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 2.5 KOFALT และ SANDVIC (1968) ได้แนะนำว่าความหนืดที่เหมาะสมในการผสมและการบดอัดควรมีค่าอยู่ระหว่าง 150-300 เซนติสตรัค จากการศึกษาเปรียบเทียบ ระหว่างค่าความหนืดกับค่าเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่า เสถียรภาพและค่าความหนืดของแอสฟัลต์มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในขณะนั้นด้วย และ พบว่าค่าเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต จะขึ้นอยู่กับค่าเพนนิเตอร์ชันของแอสฟัลต์โดยตรง คือเมื่อเพนนิเตอร์ชันของแอสฟัลต์ลดลง จะมีผลทำให้ค่าเสถียรภาพของส่วนผสมเพิ่มขึ้น

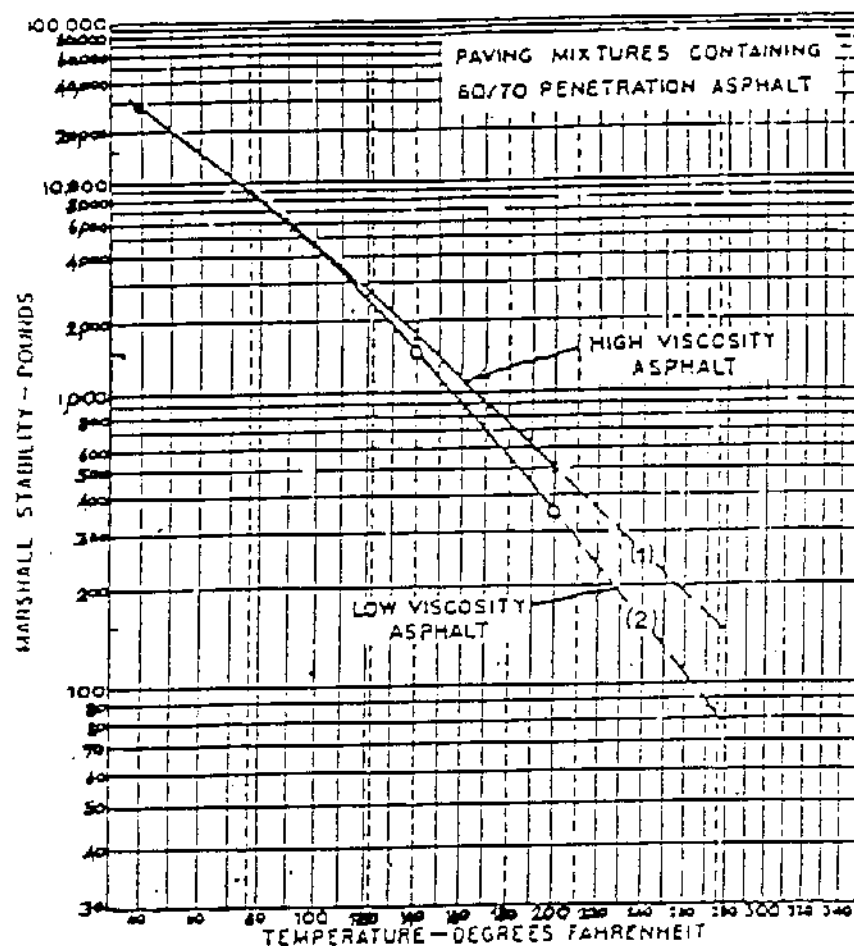
LEWIS และ WELBORN (1948) ได้รายงานเกี่ยวกับผลกระทบของคุณลักษณะของแอสฟัลต์ ที่มีต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งตามรายงานดังกล่าวได้เน้นถึงผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ ของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยเฉพาะและผลการทดลองอื่น ๆ ซึ่งเขาได้สรุปไว้ว่า เสถียรของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตขึ้นอยู่กับความแข็ง ความหนืดของแอสฟัลต์ และอุณหภูมิของแอสฟัลต์และจากข้อมูลการทดลองแสดงว่าคุณลักษณะของแอสฟัลต์ติกคอนกรีต มีความแข็งแรงคงทน จะเปลี่ยนแปลงไปตามความแข็งของแอสฟัลต์ (Penetration grade)



รูปที่ 2.5 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและเพนนิเตอร์ชันกับอุณหภูมิผสม

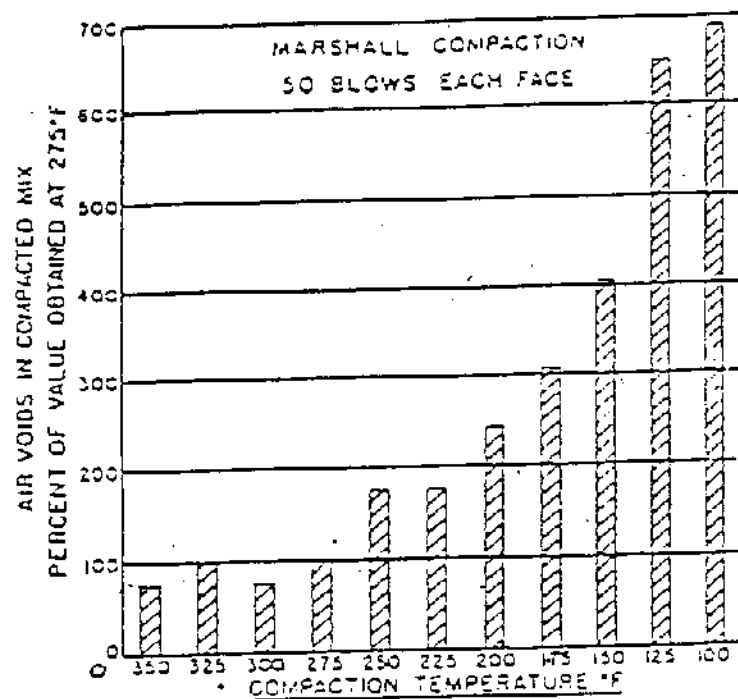
(SANDVIC B KOFALT, 1968)

2.6.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อความหนืด และคุณสมบัติของคอนกรีตแอสฟัลท์ KIEFER (1960) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ในการบดอัดผิวทางคอนกรีตแอสฟัลท์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่น ปริมาณช่องว่างและค่าเสถียรภาพของส่วนผสม อุณหภูมิที่ใช้ในการบดอัดและการทดลองของคอนกรีตแอสฟัลท์ จะต้องมีการควบคุมอย่างระมัดระวัง เพื่อให้ได้แอสฟัลท์ที่มีคุณภาพดี KIEFER ได้ทำการทดลองกับแอสฟัลท์ที่มีค่าเพนนิเตรชันเท่ากับ 92 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะให้ค่าความหนืดเท่ากับ 230 SSF ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และแอสฟัลท์ที่มีค่าเพนนิเตรชันเท่ากับ 94 (ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) จะมีค่าความหนืดเท่ากับ 125 SSF ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเช่นกัน ผลการทดลองได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.6

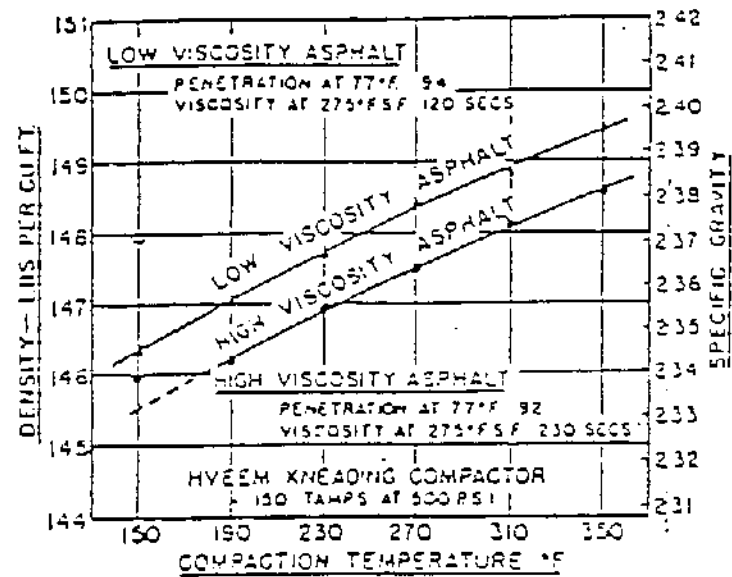


รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบค่าความหนืดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ของแอสฟัลท์ที่มีความหนืดสูง และความหนืดต่ำ (KIEFER, 1960)

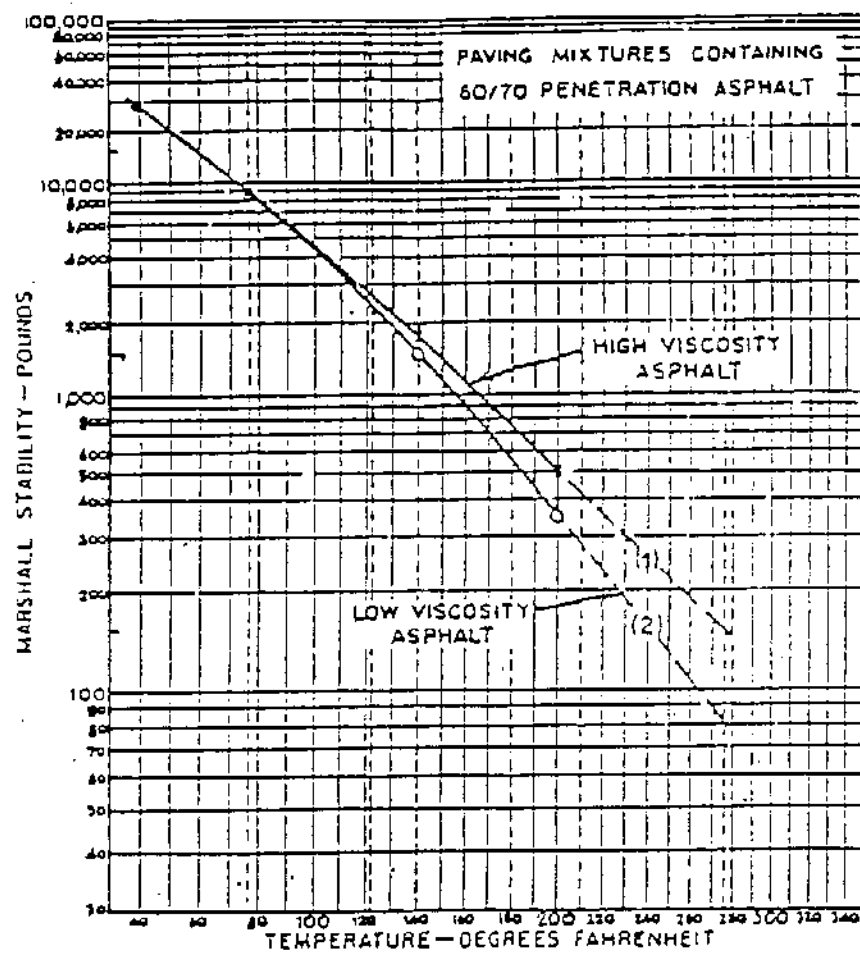
จากการทดลองแอสฟัลต์คิกคอนกรีต ที่ใช้แอสฟัลต์ทั้งสองชนิด ที่มีค่าเพนนิเตรชันแตกต่างกัน จะทำให้คุณสมบัติของคอนกรีตแอสฟัลต์แตกต่างกัน ในค่าปริมาณช่องว่างอากาศ ความหนาแน่น และเสถียรภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.7, 2.8, 2.9 ตามลำดับ



รูปที่ 2.7 แสดงอิทธิพลของอุณหภูมิที่บดอัดต่อปริมาณช่องว่างอากาศในคอนกรีตแอสฟัลต์ (KIEFER, 1960)



รูปที่ 2.8 อิทธิพลของความหนืดที่มีต่อการบดอัด และความหนาแน่นของคอนกรีตแอสฟัลท์ (KIEFER, 1960)



รูปที่ 2.9 แสดงอิทธิพลของความหนืดแอสฟัลท์ที่มีต่อเสถียรภาพของคอนกรีตแอสฟัลท์ (KIEFER, 1960)

FINK และ LETTIER (1951) ได้รายงานถึงผลการศึกษา ที่สนับสนุนอิทธิพลของความหนืด ของแอสฟัลต์ที่มีต่อเสถียรภาพแบบมาร์แชลล์ โดยได้ทำการทดลองโดยใช้แอสฟัลต์ที่มีความแข็ง (Penetration) ต่าง ๆ กัน ที่ได้จากแหล่งและวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน ผลที่ได้จากการทดลองสามารถจะสรุปได้ว่า อุณหภูมิมีผลต่อความหนืดของแอสฟัลต์ แต่เพนนิเตอร์ชันมีผลต่อค่าเสถียรภาพของแอสฟัลต์ดิกคอนกรีต ส่วนค่าความหนืดจะมีผลต่อเสถียรภาพเพียงเล็กน้อย

ADAM (1962) ได้ทำการศึกษาวิจัย ถึงอิทธิพลของค่าความหนืดของแอสฟัลต์ที่มีต่อเสถียรภาพแบบมาร์แชลล์ของคอนกรีตแอสฟัลต์ โดยใช้แอสฟัลต์ที่มีความแข็งแตกต่างกัน 4 ชนิด คือ แอสฟัลต์ที่มีค่าเพนนิเตอร์ชันเท่ากับ 60, 70, 120 และ 150 (ที่อุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส) จากการทดลองที่ได้ อาจกล่าวได้ว่าความหนืดของแอสฟัลต์เป็นคุณสมบัติพื้นฐาน ที่ควรพิจารณา ในการกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อให้แอสฟัลต์สามารถเคลือบผิวของเม็ดวัสดุได้ดีทุกเม็ด ซึ่งจะช่วยให้การผสมและการบดอัดของคอนกรีตแอสฟัลต์สามารถจะกระทำได้อย่างง่ายและทำให้คอนกรีตแอสฟัลต์มีคุณภาพสูง

2.6.3 อิทธิพลของวัสดุมวลรวมต่อเสถียรภาพของคอนกรีตแอสฟัลต์ McLEOD (1970) ได้กล่าวว่า รูปร่างลักษณะผิวของวัสดุมีอิทธิพลต่อค่าเสถียรภาพและความง่ายในการบดอัดคอนกรีตแอสฟัลต์ เม็ดวัสดุที่เป็นเหลี่ยมแฉกมุมดี และมีผิวหน้าที่หยาบเพียงพอที่จะช่วยให้ส่วนผสม ที่มีมุมเสียดทานภายในสูง ส่วนวัสดุที่เป็นกรวดหรือหินที่มีผิวมันมีแนวโน้มจะให้แรงยึดเหนี่ยวไม่ดี วัสดุมวลรวมที่ใช้งานคอนกรีตแอสฟัลต์ที่มีลักษณะแบนและยาวไม่ควรนำเข้ามาใช้เพราะจะทำให้อุปสรรคต่อการบดอัด อีกทั้งน้ำหนักจากการบดอัดจะทำให้หินแตกหักได้ และทำให้คอนกรีตแอสฟัลต์มีค่าเสถียรภาพและความคงทนต่ำลง

MAUPIN (1968) พบว่ารูปร่างของวัสดุมวลรวมจะมีผลกระทบต่อความเสียหายของส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลต์ ถ้าเกิดความเครียดนาน ๆ แต่ลักษณะผิวของวัสดุมวลรวมจะไม่มีผลต่อความเสียหายของคอนกรีตแอสฟัลต์ในระหว่างการใช้งานอย่างเด่นชัด

MORELAND และ GOETZ (1954) ได้ศึกษาถึงผลของรูปร่างวัสดุมวลรวมที่ใช้ผสมกับแอสฟัลท์ที่บดอัดแล้วนำมาทดสอบ ด้วยวิธีที่มีแรงกระทำสามทิศทาง (Triaxial test) พบว่าส่วนผสมที่มีการละเอียดมี ส่วนละเอียดตามธรรมชาติร้อยละ 50 เมื่อผสมกับกรวดย่อยและไม่ย่อยแล้ว ความแข็งแรงของแอสฟัลท์ติกคอนกรีตจะต่างกันเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเปลี่ยนชนิดของมวลรวมละเอียด ที่ได้ตามธรรมชาติไปเป็นชนิดที่ได้จากการย่อย แล้วจะทำให้เสถียรภาพของคอนกรีตแอสฟัลท์เพิ่มขึ้น ทั้งนี้โดยไม่ต้องคำนึงถึงส่วนขยายว่าจะได้จากการย่อยหรือเป็นวัสดุตามธรรมชาติ

2.6.4 อิทธิพลของฝุ่นละเอียดต่อค่าเสถียรภาพของคอนกรีตแอสฟัลท์ CSANYI (1962) ได้แสดงให้เห็นว่าฝุ่น (Filler) ในส่วนผสมคอนกรีตแอสฟัลท์จะทำหน้าที่ช่วยอุดแทรกช่องว่างระหว่างมวลรวม ช่วยทำให้ส่วนผสมมีความแน่นและเสถียรภาพสูง

CSANYI ยังได้กล่าวอีกด้วยว่า โดยทั่วไปฝุ่นอาจเป็นสิ่งที่แขวนลอยอยู่ในเนื้อแอสฟัลท์ซึ่งเม็ดฝุ่นที่ละเอียดมากกว่าจะยังคงแขวนลอยอยู่นานกว่าเม็ดหยาบ การแขวนลอยของฝุ่นในแอสฟัลท์ อาจเทียบได้กับคุณสมบัติของคอลลอยด์ (Colloid) เมื่อฝุ่นละเอียดแขวนลอยในแอสฟัลท์ มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเพิ่มขึ้นกว่าเนื้อแอสฟัลท์ล้วน ๆ (โดยวิธีการทดสอบการหักเหแสงเพนิเตรชัน) ฝุ่นโดยทั่วไป จะประกอบด้วยเม็ดละเอียดที่มีพื้นที่ผิวสูงมาก ถ้ามีปริมาณมากอาจทำให้มีผลเสียต่อคุณภาพของแอสฟัลท์ เช่น ทำให้ความหนืดมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ส่วนผสมมีความเปราะ ฝุ่นละเอียดเป็นวัสดุที่ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกับแอสฟัลท์ ดังนั้นฝุ่นละเอียดจึงอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางปริมาตร เมื่อคอนกรีตแอสฟัลท์อยู่ในสภาพเปียกชื้นหรือแห้งต่าง ๆ กันได้ ดังนั้น ฝุ่นที่มีดินปนจึงไม่ควรนำมาใช้กับงาน เพราะอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้คอนกรีตแอสฟัลท์แตกได้

2.6.5 อิทธิพลของการบดอัดต่อเสถียรภาพ จุดประสงค์ของการบดอัดคอนกรีตแอสฟัลท์ก็เพื่อลดช่องว่างอากาศภายใน (Air void) และเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีตแอสฟัลท์ในการป้องกันน้ำซึมเข้าปทอื้นทรายแก่ชั้นโครงสร้างถนนภายในได้

ความแน่นของตัวอย่างที่บดอัดจะขึ้นอยู่กับความต้านทานของการบดอัดของส่วนผสมวิธีบดอัดและจำนวนครั้งในการบดอัด ความต้านทานในการบดอัดของคอนกรีตแอสฟัลท์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของส่วนผสมและคุณสมบัติของวัสดุ ฉะนั้นไม่ควรนำเอาวัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่ายมาใช้งาน

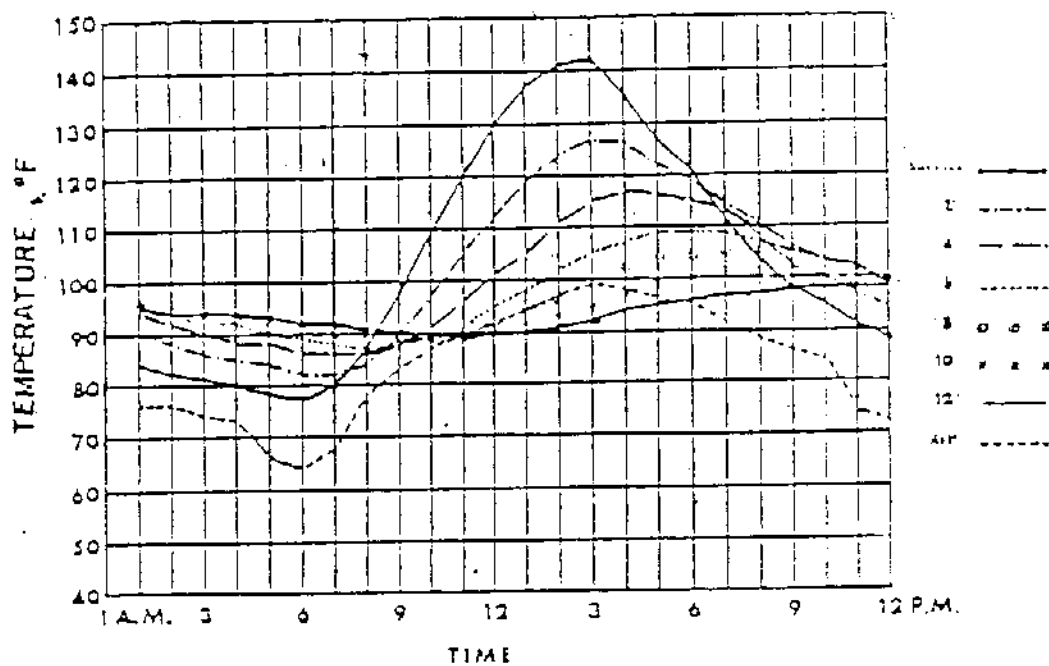
PARKER (1960) ได้ใช้วิธีการแบบมาร์แชลล์ เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของอุณหภูมิระหว่างการบดอัด ที่มีต่อช่องว่าง (Air void) ของคอนกรีตแอสฟัลท์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของการบดอัดมีอิทธิพลที่สำคัญต่อปริมาณช่องว่าง ของคอนกรีตแอสฟัลท์ ตัวอย่างที่บดอัดที่อุณหภูมิ 150 องศาฟาเรนไฮท์ จะให้ปริมาณช่องว่างมากกว่าตัวอย่างบดอัดที่อุณหภูมิ 275 องศาฟาเรนไฮท์ จากผลการทดลองจึงอาจกล่าวได้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างการบดอัดทำให้ความหนาแน่นของแอสฟัลท์ แตกต่างกันอันเป็นสาเหตุของการต้านทานต่อการบดอัด

MCRAE (1957) ได้แสดงให้เห็นว่าเสถียรภาพของคอนกรีตแอสฟัลท์ จะเพิ่มขึ้นกับการเพิ่มความแน่น สำหรับการบดอัดแต่ละแบบจากผลที่ได้ แสดงให้เห็นว่าตัวอย่างที่ทำการบดอัดแบบกระแทก (Impact) และแบบนวด (Kneading) จะให้เสถียรภาพแตกต่างกันที่ความหนาแน่นเท่ากัน MCRAE ได้แสดงให้เห็นต่อไปอีกด้วยว่าความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพ กับความแน่นที่ได้จากการบดอัดแบบการนวด จะมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับการบดอัดในสนาม อันเนื่องจากการจราจร

2.6.6 อิทธิพลของอุณหภูมิในผิวทางคอนกรีตแอสฟัลท์ อุณหภูมิภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงต่อคุณสมบัติคอนกรีตแอสฟัลท์ ที่อยู่ในสภาพของผิวทางจะมีความแตกต่างกันตามสภาพของอากาศและมีผลต่อค่าเสถียรภาพ ของคอนกรีตแอสฟัลท์

KALLAS (1966) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิภายในผิวทาง โดยทดลองติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลเพื่อวัดอุณหภูมิที่ระดับต่าง ๆ ในผิวทางที่ลึก 2, 4, 6, 8, 10 และ 12 นิ้ว ตามลำดับ จากผลการวัดในช่วงเวลาต่าง ๆ กันพอสรุปได้ว่าอุณหภูมิต่ำในผิวทาง

ในช่วงที่สูงสุดจะมีค่าถึง 60 องศาเซลเซียส (140 องศาฟาเรนไฮต์) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงอุณหภูมิของโครงสร้างของถนน ในชั้นลึกต่าง ๆ

(KALLAS, 1966)

2.6.7 อิทธิพลของการเรียงขนาดวัสดุรวมต่อเสถียรภาพ

การเรียงขนาดของมวลรวมมีอิทธิพลต่อช่องว่างของตัวอย่างที่บดอัด (Void in Mineral Aggregate, VMA) ช่องว่างอากาศ (VIM) ความเสถียรภาพ และความแน่น (CDM.) ของคอนกรีตแอสฟัลท์ รวมถึงมีผลกระทบต่อความง่ายในการบดอัด ทำให้ได้ความแน่นที่กำหนด การจัดเรียงขนาดจะมีอิทธิพลต่อตัวพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังกล่าว เนื่องจากรูปร่างและลักษณะผิวหน้าของเม็ดหิน การเรียงขนาดของมวลรวมขนาดละเอียดเหมือนกันแต่ลักษณะเม็ดวัสดุมีรูปร่างต่างกัน จะใช้ช่องว่างที่ต่างกัน การเลือกขนาดละเอียดของมวลรวมควรเลือกโดยให้มวลรวมมีช่องว่างในระหว่างเม็ดหิน (VMA) ที่สามารถจะยอมให้แอสฟัลท์แทรกตัวอยู่ได้ ปริมาณที่เหมาะสมสามารถผสมได้ง่าย และให้

ค่าเสถียรภาพ ที่สูงพอรวมทั้งให้อายุการใช้งานที่นานเพียงพอ

MOAVENZADEN และ GOETZ (1963) ได้กล่าวว่า การจัดเรียงขนาดของมวลรวมในส่วนผสมเป็นสิ่งสำคัญมากต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคอนกรีตแอสฟัลท์ มวลรวมที่มีการกระจายที่แน่นอน จะใช้งานได้ดีกว่ามวลรวม ที่มีการเปลี่ยนแปลงการเรียงขนาดไว้ (Degradation) ในส่วนผสมแบบแน่น

GOODE และ LUFSEY (1962) ได้สรุปว่า การเรียงขนาดของมวลรวมที่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงและสติฟเนส (Stiffness) ของส่วนผสม นอกจากนี้ การเรียงขนาดของมวลรวม และขนาดของหินยังมีอิทธิพลต่อความสามารถในการแทรกตัว ของแอสฟัลท์ความประหยัดความยากง่ายในการทำงานและความต้านทานความผิ่ที่ดีของผิวทาง

กรมทางหลวงที่ 5 อ่างอิง บริษัท กรุงเทพคอนกรีต (1989) จำกัด ได้เคยทำการก่อสร้างผิวแอสฟัลท์ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในทางหลวงหมายเลข 202 โดยได้ใช้คอนกรีตแอสฟัลท์ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วนที่เหมาะสมเท่ากับ 0.8-1.00 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมวลรวม (นายธีระ ธนศรีวิชัย กรรมการผู้จัดการ) ได้สรุปไว้