บทที่ 2
หลักการศึกษาและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการ

สำหรับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ในการก่อสร้างผิวทางถือว่าเป็นปัจจัยที่มีส่วนสำคัญในการออกแบบโครงสร้างถนน รวมถึงการวิจัยเพื่อที่จะพัฒนาให้การก่อสร้างถนนนั้นมีโครงสร้างที่มีคุณภาพ มีความแข็งแรงทนทาน และมีอายุการใช้งานได้ยาวนาน

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงวัสดุที่ชื่อว่าแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ผ่านขั้นตอนการเตรียม (age) และไม่ผ่านขั้นตอนการเตรียม (non age) ซึ่งเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อวัสดุที่จะนำมาใช้งานในด้านวิศวกรรมและเป็นสาเหตุการเกิดปัญหาต่างๆที่จะต้องคำนึงถึงและเพื่อศึกษาพฤติกรรมของวัสดุ นำไปสู่การป้องกันและแก้ไขปัญหาต่างๆที่จะเกิดขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับงานด้านกรรมการทาง

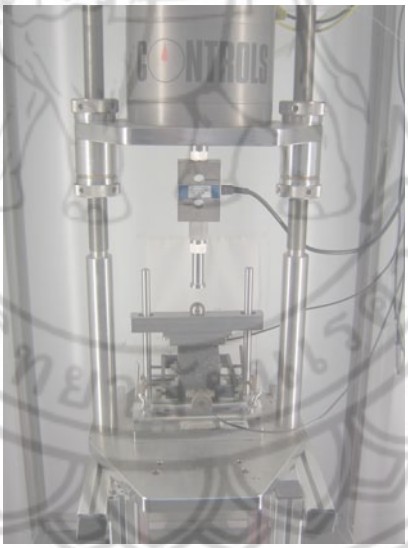
การศึกษานี้จึงหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะสามารถแสดงค่าคุณสมบัติด้านแข็งแกร่งของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ใช้ในการก่อสร้างผิวทางซึ่งมีความสำคัญต่อการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตและสามารถเข้าใจถึงคุณภาพของวัสดุและการออกแบบรวมถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของวัสดุต่อไปในอนาคต

2.2 การศึกษาและสิ่งที่ได้รับจากการศึกษาในอดีต

2.2.1 การศึกษาในอดีต

S F Brown (1994) ได้อธิบายถึงการปฏิบัติการทดสอบสำหรับคุณสมบัติของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบของวัสดุผสมแอสฟัลต์ รวมถึงคุณสมบัติด้านต่างๆ ของวัสดุผสมแอสฟัลต์ นั่นคือ The Nottingham Asphalt Tester (NAT) โดย NAT เป็นเครื่องมือทดสอบที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยน็อตติงแฮม ประเทศอังกฤษ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ตอบสนองความต้องการให้ประสิทธิภาสูงมีความรวดเร็วและเป็นวิธีการทดสอบที่ประหยัด สำหรับการวัดค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุผสมแอสฟัลต์ ภายใต้สภาวะที่มีน้ำหนักกระทำซ้ำ ซึ่งตัวอย่างที่ใช้ทดสอบถูกออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 100 มิลลิเมตรหรือ 150 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นตัวอย่างที่ได้จากแม่พิมพ์ (Mould) ของการบดอัดหรือโดยวิธีการเจาะ (Coring) เก็บจากผิวทางจริงในสนาม

NAT ใช้ระบบ Pneumatic Loading ซึ่งใช้ความดันอากาศ 7 บาร์ สามารถประกอบตัวอย่างขึ้นโครงได้ตามรูปที่ 2.1 ที่ทำมาจาก Stainless Steel และความสูงของ Crosshead สามารถปรับเข้าหากันกับตัวอย่างได้ตามระยะความยาวของเส้นผ่าศูนย์กลาง



รูปที่ 2.1 เครื่องมือ NAT NU-10

Stiffness Modulus สามารถวัดได้โดยการทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Modulus (ITSM) โดยที่น้ำหนักจะมีจังหวะการกระทำไปในแนวทิศทางเดียวกันกับแนวตั้งของเส้นผ่าศูนย์กลางตัวอย่างที่เป็นทรงกระบอก และผลจาการกระทำของน้ำหนักนี้เองจะทำให้เกิดการยุบตัวเข้า-ออกแบบชั่วคราวในแนวราบของตัวอย่างซึ่งสามารถวัดได้ละเอียดมากกว่า 1 micron โดยที่การคำนวณค่า Stiffness จะอยู่ในฟังก์ชั่นของน้ำหนัก การยุบตัวและขนาดของตัวอย่าง

การทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Modulus (ITSM) สามารถกระทำได้ง่ายและรวดเร็ว อย่างไรก็ตามในการทดสอบแต่ละครั้งจะต้องมั่นใจในเรื่องของอุณหภูมิที่กำหนด ความผิดพลาด

เนื่องจากอุณหภูมิที่คลาดเคลื่อนไป 1 องศาเซลเซียสจะส่งผลทำให้ค่าStiffness Modulus มีความแตกต่างถึง 10 เปอร์เซ็นต์

บทสรุป

- สำหรับการทดสอบ Stiffness Modulus โดย NAT ซึ่งมีส่วนประกอบมากมายโดยที่รูปแบบการทดสอบนี้ เปรียบเทียบสถานการณ์จริงที่เกิดขึ้นในสนาม
- NAT สามารถที่ประเมินค่าและวัดค่าคุณสมบัติของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตได้ ซึ่งมีผลกระทบต่อตัวอย่างที่มีความเปลี่ยนแปลงไป อันเนื่องมาจากลำดับขั้นในการการบด อัด ชนิดของตัวเชื่อมประสาน ปริมาณของตัวเชื่อมประสานและคุณสมบัติทางกล

2.2.2 สิ่งที่ได้รับจากการศึกษาในอดีต

จากการศึกษาข้างต้นสามารถสรุปสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อแนวทางการทำวิจัยได้ดังนี้

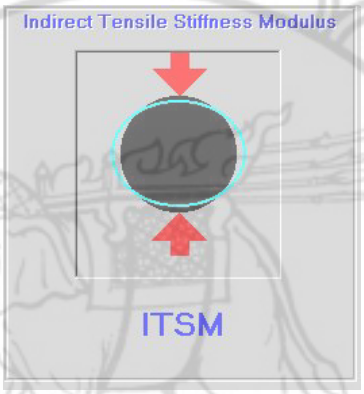
1. เครื่องมือ NAT เป็นเครื่องมือที่ใช้ง่าย ประหยัดเวลาและสะดวกในการทดสอบ ให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำเหมาะกับการทดสอบหาคุณสมบัติของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเพิ่มเติมนอกเหนือจากการทดสอบพื้นฐานในการออกแบบโดยวิธีมาร์แชลล์
2. การทดสอบหาค่า Stiffness Modulus เป็นการทดสอบหาคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตตามที่มีผลการศึกษาในอดีตแนะนำไว้และเป็นวิธีที่ได้รับการยอมรับและแพร่หลายในต่างประเทศ ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายสะดวกไม่สลับซับซ้อนและรวดเร็ว
3. สิ่งที่ต้องคำนึงถึงและระมัดระวังมากก็คือ อุณหภูมิที่สิ่งผลกระทบต่อค่า Stiffness Modulus

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 ความแข็งแกร่ง(Stiffness)

เป็นคุณสมบัติทางกลชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการออกแบบ เพราะเป็นคุณสมบัติของวัสดุที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการต้านทานการแปรรูป หรือเปลี่ยนแปลงรูปร่างในช่วงพิกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit) ขณะรับแรง

ความแข็งแกร่งของวัสดุนั้น จะขึ้นอยู่กับค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น คือ วัสดุใดมีค่าโมดูลัส ของความยืดหยุ่นสูง วัสดุนั้นก็จะมีความแข็งแกร่งสูงด้วย ตรงกันข้าม ถ้าวัสดุใดมีค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นน้อย วัสดุนั้นก็จะมีความแข็งแกร่งน้อยเช่นกัน



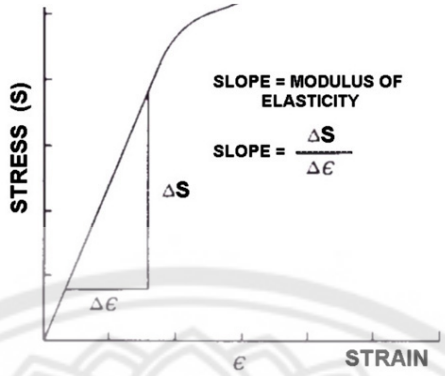
รูปที่ 2.2 การทดสอบแบบ Indirect Tensile Stiffness Modulus

การทดสอบความแข็งแกร่ง (Stiffness Modulus) คือ การหาค่าความยืดหยุ่นของส่วนผสมร้อน (HMA) หรือสัมประสิทธิ์การคืนตัว (Resilient Modulus) ค่าเหล่านี้จะมีความถูกต้องและเป็นค่าที่แท้จริง ซึ่งการทดสอบแบบให้น้ำหนักกระทำแบบซ้ำๆ (Repeated Load) สามารถที่จะให้ค่า Resilient Modulus ได้เป็นอย่างดี ซึ่งในการทดสอบนั้นจะต้องคำนึงถึงอุณหภูมิและให้ความสำคัญเนื่องจากอุณหภูมิมีผลกระทบอย่างมากสำหรับค่าความแข็งแกร่งของส่วนผสมร้อน

2.3.2 สัมประสิทธิ์การยืดหยุ่น (Elastic Modulus)

Elastic Modulus บางครั้งเรียกว่า Young's Modulus หลังจาก Thomas young ผู้ซึ่งได้ค้นพบแนวความคิดนี้ขึ้นมาเมื่อ ค.ศ.1807 ค่า Elastic Modulus (E) สามารถหาได้จากวัสดุที่เป็นของแข็งทุกชนิดซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่าง ความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) อัตราส่วนนี้นั้นคือ ค่าความแข็งแกร่งนั้นเอง (Stiffness)

สัมประสิทธิ์ของความยืดหยุ่นสำหรับวัสดุก็คือ ค่าความลาดชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Stress-Strain สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 และรูปที่2.3 แสดงค่าความสัมพันธ์ในการหาค่า Eของเหล็ก



รูปที่2.3 แสดงค่าความสัมพันธ์ในการหาค่าEของเหล็ก

2.3.3 อัตราส่วนตัวซอง (Poisson' Ratio)

คุณสมบัติของวัสดุที่สำคัญที่ถูกใช้ในการวิเคราะห์ค่าการยืดหยุ่นของผิวทางก็ คือ อัตราส่วนปัวซอง(Poisson' Ratio) อัตราส่วนปัวซองคือ อัตราส่วนของความยืดตัวในแนวตัดขวางและแนวยาวของตัวอย่างเมื่อมีน้ำหนักมากระทำสามารถแสดงในตารางที่2.1

ตารางที่ 2.1 ค่าของ Poisson's Ratio

material	Poisson's ratio
titanium	0.34
steel	0.27-0.30
stainless steel	0.30-0.31
saturated clay	0.40-0.50
sand	0.20-0.45
rubber	0.50
magnesium	0.35
glass	0.24
foam	0.10 to 0.40
cork	ca. 0.00
copper	0.33
concrete	0.20
clay	0.30-0.45
cast iron	0.21-0.26
aluminium-alloy	0.33
asphalt	0.35

2.3.4 องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม และปริมาณของแอสฟัลต์

1. ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง มวลของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ผิงทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมากจะทำให้มีอายุการใช้งานได้นานและมีคุณภาพดี โดยทั่วไปการบดอัดโดยบดอัดในงานจริงจะได้ค่าความหนาแน่นน้อยกว่าความหนาแน่นที่ออกแบบไว้ซึ่งใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงได้กำหนดค่าความหนาแน่นต่ำสุด ที่บดอัดได้จากงานจริงให้เป็นค่าร้อยละของความหนาแน่นที่ได้จากห้องปฏิบัติการ โดยกำหนดให้ใช้ไม่ต่ำกว่า 98% ของความหนาแน่นที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

2. ช่องว่างอากาศ (Air Void)

ช่องว่างอากาศของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ช่องว่างเล็กๆ ที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่เคลือบด้วยแอสฟัลต์ สำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ได้รับการบดอัดแล้ว จะต้องมีปริมาณช่องว่างอากาศที่เพียงพอ เนื่องจากหลังเปิดให้ใช้บริการแอสฟัลต์คอนกรีต จะแน่นขึ้นกว่าเดิม ทำให้มีปริมาณช่องว่างอากาศน้อยลง ถ้าปริมาตรช่องว่างอากาศหลังก่อสร้างเสร็จใหม่ไม่เพียงพอ จะทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ทะลักขึ้นมาบนผิวแอสฟัลต์คอนกรีต นอกจากนี้ช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับแอสฟัลต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนอีกด้วย ซึ่งสำหรับผิวทางชั้นบนสุดจะออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 3 ถึง 5 ส่วนผิวทางชั้นล่างจะออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 4 ถึง 7

3. ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Void in Mineral Aggregates)

ช่องว่างระหว่างอนุภาค (VMA) ของมวลรวม หมายถึง ปริมาตรช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ทั้งนี้รวมถึงช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า (VMA) สูงกว่าจะมีความทนทานต่อการใช้งานนานกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า (VMA) น้อยกว่า

4. ปริมาณแอสฟัลต์ (Asphalt Content)

ปริมาณแอสฟัลต์ ในแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นอย่างมาก ดังนั้นปริมาณแอสฟัลต์ที่จะใช้ต้องถูกต้องแน่นอน ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมวลรวม ได้แก่ ขนาดคละ และคุณสมบัติในการดูดกลืนแอสฟัลต์

2.3.5 คุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบส่วนผสม

1. เสถียรภาพ (Stability)

เสถียรภาพ ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ความสามารถในการรับน้ำหนัก โดยที่ไม่ให้เกิดร่องล้อ หรือเป็นคลื่น หรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากเดิม โดยทั่วไปแล้วความมีเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต จะขึ้นอยู่กับความเสียดทานภายใน และแรงยึดประสานระหว่างอนุภาคของมวลรวม

โดยทั่วไปแล้ว มวลรวมที่มีรูปร่างอนุภาคเป็นเม็ดเหลี่ยม ผิวขรุขระจะให้ค่าเสถียรภาพสูง แรงยึดเกาะจะมีมาก การเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมจะทำให้แรงยึดเกาะมีค่าเยอะขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์จนถึงค่าหนึ่ง จะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบอนุภาคของมวลรวมหนาเกินไป ซึ่งส่งผลให้ค่าความเสียดทานระหว่างอนุภาคของมวลรวมมีค่าลดลง จึงมีผลทำให้ค่าเสถียรภาพของคอนกรีตมีค่าลดลงตามไปด้วย แต่ในการออกแบบไม่ควรออกแบบให้มีค่าเสถียรภาพมากเกินไปด้วย เนื่องจากจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งเกินไป ขาดการยืนหยุ่น และเมื่อนำไปใช้ในงานผิวทางที่มีการแอ่นตัวของผิวทางสูง จะทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย

2. ความทนทาน (Durability)

ความทนทาน ของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ความต้านทานต่อความเสื่อมสภาพ ปัจจัยที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพ ส่วนใหญ่เกิดมาจากสภาพการใช้งาน และอุณหภูมิของอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลง ปัจจัยที่กล่าวมานี้จะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพอันเนื่องมาจากกระบวนการพอลิเมอไรเซชั่น และกระบวนการออกซิเดชั่น

3. ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ

ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของแอสฟัลต์คอนกรีต ที่จะส่งผลโดยตรงต่อความทนทานของแอสฟัลต์คอนกรีต

4. ความสามารถในการปูหรือบดอัด (Workability)

ความสามารถในการปูหรือบดอัด เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของแอสฟัลต์คอนกรีต เพราะแอสฟัลต์คอนกรีตที่ดีนั้น จะต้องสามารถทำการปูและบดอัดได้ง่าย ไม่หนืดหรืออ่อนจนเกินไป สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำการปูและบดอัดได้ยาก สามารถแก้ไขปัญหาโดยการออกแบบใหม่ หรือทำการเปลี่ยนชนิดของมวลรวม หรือเปลี่ยนขนาดคละของมวลรวม

5. ความสามารถในการยืดหยุ่นตัว (Flexibility)

ความสามารถในการยืดหยุ่นตัวได้ โดยที่แอสฟัลต์คอนกรีตไม่แตก เป็นสิ่งที่ต้องการอย่างมากในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต เนื่องจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะเกิดการแอ่นตัวและทรุดตัวลงเมื่อมีการรับน้ำหนักจากด้านบน และจะเกิดการโป่งนูนเนื่องจากชั้นดินที่อยู่ข้างล่างเกิดการขยายตัว แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติในการแอ่นตัวได้ดีจะมีค่าเสถียรภาพต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติในการแอ่นตัวได้น้อยกว่า

6. ความต้านทานต่อการล้า (Fatigue Resistance)

ความต้านทานต่อการล้า คือความสามารถในการดัดแบบซ้ำๆ (Repeated Bending) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เกิดจากน้ำหนักมากระทำ ปริมาณของช่องว่างอากาศที่เกี่ยวข้องกับปริมาณแอสฟัลต์ และความหนืดของแอสฟัลต์ จะมีผลต่อความต้านทานต่อการล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาตรของช่องว่างของอากาศมากไม่ว่าจะเป็นผลจากการออกแบบ หรือจากการบดอัดที่ไม่แน่นดีพอก็จะส่งผลกระทบทำให้ความสามารถในการต้านทานความล้าลดลงด้วย

7. ความต้านทานต่อการลื่นไถล (Skid Resistance)

ความต้านทานต่อการลื่นไถล เป็นคุณสมบัติอีกประการหนึ่งของแอสฟัลต์คอนกรีตที่สำคัญ เนื่องจากสามารถช่วยลดปริมาณอุบัติเหตุ