บทที่ 2
หลักการ ทฤษฎี และมาตรฐานการทดสอบ

2.1 หลักการ

ความล้า(Fatigue) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อวัสดุที่นำมาใช้ในงานวิศวกรรม และเป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาต่างๆที่วิศวกรจำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยดังกล่าว เพื่อที่จะได้ศึกษาพฤติกรรมนำไปสู่การป้องกันและแก้ไขปัญหาที่จะเกิดขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับงานด้านวิศวกรรมการทางที่ผิวทางจะต้องถูกน้ำหนักบรรทุกกดจากเครื่องบินอยู่ตลอดเวลาส่งผลให้เกิดการล้าขึ้น ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้ในการปูผิวทางจะต้องมีการยุบตัวเมื่อถูกน้ำหนักกระทำซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อวัสดุที่ใช้ในงานปูผิวทาง สำหรับในงานวิจัยเล่มนี้จะกล่าวถึงวัสดุที่ชื่อว่า แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในการเลือกไปใช้งานอย่างมากในปัจจุบันไม่ว่าจะเป็นงานถนน งานผิวทางสนามบิน ลานจอดรถขนาดใหญ่ เป็นต้น

2.2 แอสฟัลต์คอนกรีต

แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) หมายถึงวัสดุผิวทางที่มีคุณภาพสูง ประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) และมวลรวม (Aggregates) ผสมกันอย่างร้อนในอุณหภูมิสูง จากนั้นจึงนำไปปูลาดทำเป็นผิวทาง และในขณะที่ส่วนผสมยังร้อนอยู่ให้ทำการบดอัดให้แน่นและเรียบ จึงรู้จักกันดีในนามของ แบล็คท็อป (Blacktop) หรือส่วนผสมร้อน (Hot Mix)

2.2.1 ส่วนประกอบของแอสฟัลต์คอนกรีต

แอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วย แอสฟัลต์ซีเมนต์ มวลรวม และอากาศ ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมประสานอนุภาคของมวลรวม แต่เมื่อแอสฟัลต์ซีเมนต์บางส่วนถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวม ทำให้เกิดช่องว่างของอากาศในส่วนผสม(Air Void)

2.3 องค์ประกอบที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

คุณสมบัติของแอสฟัล์คอนกรีตขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ความหนาแน่น ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม และปริมาณของแอสฟัลต์

2.3.1 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง มวลของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมากจะทำให้มีอายุการใช้งานได้นานและมีคุณภาพดี โดยทั่วไปการบดอัดโดยรถบดในงานจริงจะได้ค่าความหนาแน่นน้อยกว่าความหนาแน่นที่ออกแบบไว้ซึ่งใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นจึงได้กำหนดค่าความหนาแน่นต่ำสุด ที่บดอัดได้จากงานจริงให้เป็นค่าร้อยละของค่าความหนาแน่นที่ได้จากห้องปฏิบัติการ โดยกำหนดให้ใช้ไม่ต่ำกว่า 98% ของความหนาแน่นที่ได้จากห้องปฏิบัติการ

2.3.2 ช่องว่างอากาศ (Air Void)

ช่องว่างอากาศของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ช่องว่างเล็กๆ ที่อยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมที่เคลือบด้วยแอสฟัลต์ สำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ที่ได้รับการบดอัดแล้วจะต้องมีปริมาตรช่องว่างอากาศที่เพียงพอ เนื่องจากหลังเปิดให้ใช้บริการแอสฟัลต์คอนกรีต จะแน่นขึ้นกว่าเดิม ทำให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศน้อยลง ถ้าปริมาตรช่องว่างอากาศหลังก่อสร้างเสร็จใหม่ไม่เพียงพอจะทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ทะลักขึ้นมาบนผิวแอสฟัลต์คอนกรีต นอกจากนี้ช่องว่างอากาศยังเป็นที่รองรับแอสฟัลต์ที่ขยายตัวเมื่ออากาศร้อนและจากการกดทับของน้ำหนักอีกด้วย ซึ่งสำหรับผิวทางชั้นบนสุดจะออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 3 ถึง 5 ส่วนผิวทางชั้นล่างจะออกแบบให้มีปริมาตรช่องว่างอากาศประมาณร้อยละ 4 ถึง 7

2.2.3 ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม(Void in Mineral Aggregates)

ช่องว่างระหว่างอนุภาค(VMA) ของมวลรวม หมายถึง ปริมาตรช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างอนุภาคของมวลรวมในแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้ว ทั้งนี้รวมถึงช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วย

แอสฟัลต์ แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า (VMA) สูงกว่าจะมีความทนทานต่อการใช้งานนานกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า (VMA) น้อยกว่า

2.3.4 ปริมาณแอสฟัลต์ (Asphalt Content)

ปริมาณแอสฟัลต์ ในแอสฟัลต์คอนกรีตมีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นอย่างมาก ดั้งนั้นปริมาณแอสฟัลต์ที่จะใช้ต้องถูกต้องแน่นอน ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมวลรวม ได้แก่ ขนาดคละ และคุณสมบัติในการดูดกลืนแอสฟัลต์

2.4 คุณสมบัติที่ต้องคำนึงถึงในการออกแบบส่วนผสม

2.4.1 เสถียรภาพ (Stability)

เสถียรภาพของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึง ความสามารถในการรับน้ำหนักโดยที่ไม่ทำให้เกิดร่องล้อ หรือเป็นคลื่น หรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปจากเดิมโดยทั่วไปแล้วความมีเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตจะขึ้นอยู่กับความเสียดทานภายใน และแรงยึดประสานระหว่างอนุภาคของมวลรวมโดยทั่วไปแล้ว มวลรวมที่มีรูปร่างอนุภาคเป็นเม็ดเหลี่ยม ผิวขรุขระจะให้ค่าเสถียรภาพสูงแรงยึดเกาะจะมีมากการเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ในส่วนผสมจะทำให้ค่าแรงยึดเกาะมีค่าเยอะขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์จนถึงค่าหนึ่ง จะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบอนุภาคของมวลรวมหนาเกินไปซึ่งจะส่งผลให้ค่าความเสียดทานระหว่างอนุภาคของมวลรวมมีค่าลดลงจึงมีผลทำให้ค่าเสถียรภาพของคอนกรีตมีค่าลดลงตามไปด้วย แต่ในการออกแบบก็ไม่ควรออกแบบค่าเสถียรภาพมากเกินไปด้วย เนื่องจากจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งเกินไป ขาดการยืดหยุ่น และเมื่อนำไปใช้ในงานผิวทางที่มีการแอ่นตัวของผิวทางสูงจะทำให้เกิดความเสียหายได้ง่าย

2.4.2 ความทนทาน (Durability)

ความทนทานของแอสฟัลต์คอนกรีต หมายถึงความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพ ปัจจัยที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพ ส่วนใหญ่เกิดมาจากสภาพการใช้งานซึ่งในงานวิจัยเล่มนี้ได้

ยกหัวข้อปัจจัยด้านน้ำหนักกดทับจากล้อเครื่องบินแล้วเกิดความล้า(Fatigue) มาเป็นตัวที่ทำการศึกษาและวิจัย

2.4.3 ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ (Impermeability)

ความต้านทานต่อการซึมผ่านของน้ำและอากาศ เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของแอสฟัลต์คอนกรีตที่จะส่งผลโดยตรงต่อความทนทานของแอสฟัลต์คอนกรีต

2.4.4 ความสามารถในการปูหรือบดอัด (Workability)

ความสามารถในการปูหรือบดอัดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญอีกประการของแอสฟัลต์คอนกรีตเพราะแอสฟัลต์คอนกรีตที่ดีนั้นจะต้องสามารถทำการปูและบดอัดได้ง่าย ไม่หนืดหรืออ่อนจนเกินไป สำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ทำการปูและบดอัดได้ยาก สามารถแก้ปัญหาโดยการออกแบบใหม่ หรือทำการเปลี่ยนชนิดของมวลรวม หรือเปลี่ยนขนาดคละของมวลรวม

2.4.5 ความสามารถในการยืดหยุ่นตัว (Flexibility)

ความสามารถในการยืดหยุ่นตัว ได้โดยที่แอสฟัลต์คอนกรีตไม่แตกเป็นสิ่งที่ต้องการอย่างมากในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต เนื่องจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตจะเกิดการแอ่นตัวและทรุดต่ำลงเมื่อมีการรับน้ำหนักจากด้านบนและจะเกิดการโป่งนูนเนื่องจากชั้นดินที่อยู่ข้างล่างเกิดการขยายตัว แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติในการแอ่นตัวได้ดีมักจะมีค่าเสถียรภาพต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีคุณสมบัติในการแอ่นตัวได้น้อยกว่า

2.4.6 ความต้านทานต่อการล้า (Fatigue Resistance)

ความต้านทานต่อการล้า คือ ความสามารถในการดัดโค้งแบบซ้ำๆ (Repeat Bending) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เกิดจากน้ำหนักมากระทำ ปริมาตรของช่องว่างอากาศที่เกี่ยวข้องกับปริมาณแอสฟัลต์ และความหนืดของแอสฟัลต์ จะมีผลต่อความต้านทานของการล้าของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาตรช่องว่างของอากาศมากไม่ว่าจะเป็นผลจากการออกแบบ หรือจากการบดอัดที่ไม่แน่นดีพอ ก็จะส่งผลกระทบทำให้ความสามารถในการต้านทานความล้าลดลงด้วย

2.4.7 ความต้านทานต่อการลื่นไถล (Skid Resistance)

ความต้านทานต่อการลื่นไถล เป็นคุณสมบัติอีกประการหนึ่งของแอสฟัลต์คอนกรีตที่สำคัญ เนื่องจากช่วยลดปริมาณอุบัติเหตุ

2.5 การออกแบบ แอสฟัลติกคอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์

2.5.1 พัฒนาการและการใช้

แนวคิดมูลฐานของวิธีมาร์แชลล์ในการออกแบบวัสดุผสมสำหรับผิวทางลาดยาง กำหนดขึ้นโดย บรูซ มาร์แชลล์ (Bruce Marshall) วิศวกร บิทูเมน กรมทางหลวงรัฐมิสซิสซิปปี้ (The Mississippi State Highway Department) ต่อมา the U.S. corps of Engineers ได้ศึกษาวิจัยเพิ่มเติมแล้วปรับปรุงวิธีการ และพัฒนาหลักเกณฑ์ออกแบบส่วนประสมจนกระทั่งการทดสอบได้มาตรฐาน และกำหนดเป็นมาตรฐานการทดสอบ ASTM 1559

วิธีมาร์แชลล์นี้ใช้กับวัสดุผสมผิวทางลาดยางแบบผสมร้อนซึ่งประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ และมวลรวมที่มีการลัดขนาดลงแน่นหรือลงเอียด ที่มีขนาดโตสุด 25 mm. (1นิ้ว) หรือน้อยกว่า วิธีการนี้มีข้อดีคือใช้ได้กับทั้งการออกแบบในห้องปฏิบัติการทดสอบ และการควบคุมงานสนาม สามารถนำไปวิเคราะห์ความแน่นกับโพรง ความแข็ง ความล้า และการทดสอบเสถียรภาพกับการไหลของก้อนตัวอย่างวัสดุผสมอัดแน่นของผิวทางลาดยาง

2.5.2 เค้าโครงของวิธีการ

การเตรียมเบื้องต้นของก้อนตัวอย่างทดสอบ ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

1. วัสดุต้องได้ตามข้อกำหนดของโครงการ
2. มวลรวมผสมต้องมีการจัดขนาดคละตามข้อกำหนดของโครงการ
3. ต้องทราบความถ่วงจำเพาะของวัสดุทุกชนิดที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมถนนลาดยาง

การออกแบบส่วนผสมวิธีมาร์แชลล์ประกอบด้วย

ก. การเตรียมก้อนตัวอย่างทดสอบ
ข. การหาความถ่วงจำเพาะรวม
ค. การทดสอบเสถียรภาพและการไหล
ง. การวิเคราะห์ความหนาแน่นและโพรง
จ. การวิเคราะห์ความแข็ง
ฉ. การวิเคราะห์ความล้า

วิธีนี้มาร์แชลล์ใช้ก้อนตัวอย่างทดสอบอัดแน่นมีขนาดมาตรฐาน คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 102 mm. (4 นิ้ว) สูง 64 mm. (2.5 นิ้ว) เตรียมได้จากวิธีมาตรฐานการชั่งน้ำหนักของก้อนตัวอย่างอัดแน่นต้องกระทำก่อนการทดสอบซึ่งจำเป็นสำหรับการหาค่าความถ่วงจำเพาะรวม

2.2.3 การเตรียมก้อนตัวอย่างทดสอบ

เค้าโครงต่อไปนี้คือการเตรียมก้อนตัวอย่างทดสอบ

1. จำนวนของก้อนตัวอย่าง
2. การเตรียมมวลรวม
3. การพิจารณากำหนดอุณหภูมิ
4. การเตรียมแบบและค้อนที่ใช้บดอัด
5. การเตรียมวัสดุผสม
6. การบดอัดก้อนตัวอย่าง
7. การทำให้ก้อนตัวอย่างเย็นและการดันก้อนตัวอย่างออกจากแบบ

จำนวนของก้อนตัวอย่างในการพิจารณาหาค่าประมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content) ครั้งแรกต้องประมาณค่าก่อนต้องจัดเตรียมชุดของก้อนตัวอย่างทดสอบสำหรับปริมาณแอสฟัลต์ บรรจุที่แตกต่างกัน โดยมีปริมาณบรรจุเพิ่มขึ้นที่ละ 5 % อย่างน้อยสุด 2 ค่า เกินจากจุดเหมาะสม และ 2 ค่า ก่อนจุดเหมาะสม เพื่อให้มีข้อมูลเพียงพอจึงต้องใช้ก้อนตัวอย่าง 3 ก้อน

สำหรับแต่ละปริมาณแอสฟัลต์ บรรจุแต่ละการรวมมวลรวม ซึ่งต้องใช้มวลรวมประมาณ 23 kg (50 ปอนด์) และแอสฟัลต์ประมาณ 4 ลิตร (1 แกลลอน)

การเตรียมมวลรวมต้องอบมวลรวมให้แห้งที่ 105° C (122° F) ถึง 110° C (130° F) เพื่อให้มีน้ำหนักคงที่ จากนั้นช้อนผ่านตะแกรงแบบแห้งเพื่อแยกขนาดตามกำหนด ซึ่งมักจะแยกเป็น 25.4 ถึง 19.0 mm. (1 ถึง 3/4 นิ้ว), 19.0 ถึง 9.5 mm.(3/4 ถึง 3/8 นิ้ว), 9.5 ถึง 4.75 mm. (3/8 นิ้วถึง เบอร์ 4), 4.75 mm.ถึง 2.36 mm. (เบอร์ 4 ถึง เบอร์ 8) และส่วนที่ผ่าน 2.36 mm. (เบอร์ 8)

อุณหภูมิการผสมและการบดอัดควรเป็นอุณหภูมิที่ยอมให้แอสฟัลต์มีความหนืด 170 ±20 เซนติสโตก สำหรับการผสมและ 280 ± 30 เซนติสโตก สำหรับการบดอัด

การเตรียมแบบและค้อนต้องให้แบบและค้อนมีความสะอาดโดยตลอดอาจจะอุ่นในน้ำร้อนหรือวางบนแผ่นร้อน (Hot Plate) ที่อุณหภูมิระหว่าง 93 ถึง 149° C (200 ถึง 300°F) ก่อนใช้ต้องเช็ดแบบและค้อนให้แห้งแล้วสอดกระดาษกรองรองก้นแบบก่อนบรรจุวัสดุผสมลงในแบบ

การเตรียมวัสดุผสมสำหรับแต่ละก้อนตัวอย่างทดสอบให้ใช้ภาชนะบรรจุแยกต่างหาก ชั่งน้ำหนักปริมาณที่เหมาะสมของมวลรวมจากชิ้นส่วนแต่ละขนาดแล้วใส่ลงในภาชนะบรรจุ ความสูงกำหนดของก้อนตัวอย่างเท่ากับ 63.5 ± 1.27 mm.(2.5 ± 0.05 นิ้ว) ซึ่งโดยปกติประกอบด้วยมวลรวมประมาณ 1,200 กรัม และโดยทั่วไป จะเตรียมก้อนตัวอย่างทดลอง (Trial Specimen) ก่อนการเตรียมมวลรวมผสม ถ้าก้อนตัวอย่างทดลองมีความสูงไม่อยู่ในขีดจำกัด จำเป็นต้องมีการปรับแก้ปริมาณของมวลรวมต่อจากนั้นให้ความร้อนแก่มวลรวมที่ประมาณ 28°C (50° F) เกินกว่าอุณหภูมิการผสมที่กำหนดไว้เทมวลรวมลงในชามอ่างสำหรับผสมและคลุกเคล้าผสมให้แห้ง และจัดเป็นรูปปากปล่องภูเขาไฟ ที่จุดนี้อุณหภูมิของมวลรวมต้องอยู่ในขีดจำกัดของอุณหภูมิการผสม นำแอสฟัลต์ร้อนที่ชั่งน้ำหนักเตรียมพร้อมอยู่เทใส่ลงมวลรวมรูปปล่องภูเขาไฟนั้น ผสมแอสฟัลต์กับมวลรวมอย่างรวดเร็วคลุกเคล้าให้ทั่วถึง ควรใช้เครื่องผสมแบบเครื่องจักร จนกระทั่งแอสฟัลต์แผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยตลอดอย่างทั่งถึง

การบดอัดก้อนตัวอย่าง ประกอบแบบ และใส่กระดาษกรองไว้ที่ก้นแบบ เมื่อบรรจุแอสฟัลต์คอนกรีต ผสมใส่ลงในแบบแล้วให้ใช้พายร้อนแซมรอบๆ ตัวอย่างข้างในแบบ 15 ครั้ง และแซะเข้าในตัวอย่างอีก 10 ครั้ง ถอดปลอกออกแล้วแต่งผิวส่วนผสมให้เรียบ มีลักษณะมนเล็กน้อย ก่อนที่จะบดอัดอุณหภูมิของส่วนผสมต้องอยู่ในขีดจำกัดของข้อกำหนดการบดอัด ถ้าแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมเย็นเกินไปต้องทิ้งสวมปลอกอีกครั้งและนำแบบที่ประกอบแล้วพร้อมตัวอย่างบรรจุอยู่ไปวางไว้ที่แบบบนแผ่นบดอัด วางค้อนลงบนตัวอย่าง ตามจำนวนครั้งที่กำหนด (35, 50 หรือ 75 ครั้ง) ซึ่งขึ้นอยู่กับการออกแบบจากนั้นเอาส่วนประกอบของแบบออกจากที่ยึดแบบสลับที่ระหว่างแผ่นรองก้นกับปลอก และกลับแบบตัวอย่างเอาด้านล่างขึ้นเป็นด้านบนแล้วนำแบบที่

ประกอบนี้ไปวางเข้าที่ยึดแบบอีกครั้งจากนั้นเริ่มบดทับตัวอย่างสำหรับหน้าซึ่งกลับด้าน เช่นเดียวกับหน้าซึ่งถูกบดทับไปแล้วด้วยจำนวนครั้งที่เท่ากัน

การทำให้เย็นและการดันตัวอย่างภายหลังการบดอัดถอดแผ่นรองก้นออกจากแบบ ปล่อยให้ก้อนตัวอย่างในแบบเย็นตัวลงเพียงพอในอากาศเพื่อไม่ให้เกิดการเสียรูปในระหว่างการดันก้อนตัวอย่างออกจากแบบถ้าต้องการให้เย็นเร็วขึ้นให้ใช้พัดลมเป่าแบบที่บรรจุตัวอย่างนั้น การดันก้อนตัวอย่างที่เย็นแล้วออกจากแบบให้ใช้แม่แรงดัน หรือเครื่องมือดันชนิดอื่น เมื่อดันตัวอย่างออกมาแล้วให้นำตัวอย่างวางไว้บนผิวเรียบได้ระดับจนพร้อมที่จะทดสอบ โดยปกติควรปล่อยทิ้งไว้ข้ามคืน เพื่อให้เย็นตัวลงเพียงพอ

2.6 มาตรฐานการทดสอบ

ตามมาตรฐานการทดสอบ BSi STANDARDS (BS-DD 213 1993 และ BS-DD ABF 1997) ได้กำหนดให้มีการควบคุมคุณภาพขององค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

2.6.1 การตรวจสอบเครื่อง Dynamic Load Test ให้ได้มาตรฐาน

การตรวจเช็คอุปกรณ์และเครื่องมือให้ได้ตรงมาตรฐาน ต้องทำที่อุณหภูมิห้องปกติควรทำอย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง ในการทดสอบมาตรฐานจะใช้ Steel Annulus ซึ่งมีลักษณะเป็นเหล็กกล้ารูปวงแหวน ที่ใช้แทนก้อนตัวอย่าง ทั้งนี้การทดสอนมาตรฐานจะสามารถยอมรับได้ ถ้าอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยสูงสุดของแรงในแนวตั้ง และค่าเฉลี่ยสูงสุดของแรงในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางกระทำให้ Steel Annulus เปลี่ยนรูป โดยที่ค่าแรงสูงสุดทั้ง 5 แรงต้องทำให้ Steel Annulus เปลี่ยนรูปไป 2 % ถ้าค่าที่ได้อยู่นอกเหนือจากนี้ให้ทำการทดสอบใหม่อีกครั้ง และทำการตรวจสอบจนได้มาตรฐานหรือให้ได้ค่าตามที่เราต้องการจะนำไปใช้งาน

ค่าของ Steel Annulus สามารถหาได้ทันทีจาก load ที่ส่งผ่านและทำให้ Steel Annulus เปลี่ยนรูป นำค่าที่ได้จากการทดสอบที่ทำการเปรียบเทียบกับมาตรฐานบันทึกเก็บไว้ด้วยกันกับการตรวจสอบก้อนตัวอย่าง

2.6.2 การเตรียมก้อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบ

ใช้เลื่อย ในการตัดแต่งก้อนตัวอย่างสำหรับทดสอบ โดยก้อนตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 , 200 และ 300 mm. สามารถตกแต่งได้ไม่เกิน ± 5 mm. โดยตกแต่งให้เป็นรูปทรงกระบอก

ในการตกแต่งก้อนตัวอย่าง ให้ใช้เลื่อยเฉือนที่ผิวบริเวณส่วนหนา ในระยะระหว่าง 30 – 80 mm. ตรวจสอบดูให้แน่ใจว่า ผิวของก้อนตัวอย่างเรียบเสมอกัน และไม่ควรนำก้อนตัวอย่างมาวางซ้อนทับกันเป็นชั้น

สำหรับการวัดความหนาของก้อนตัวอย่างให้กระทำตามขั้นตอนดังนี้

- นำก้อนตัวอย่างวางบน Glass plate หรือ Steel Plate
- วาง Straightedge ขวางตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางที่ผิวด้านบนของก้อนตัวอย่าง
- ใช้ Steel rule วัดระยะจาก Straightedge ถึง plate ที่บริเวณผิวด้านข้างของก้อนตัวอย่าง การอ่านค่าให้อ่านในหน่วย มิลลิเมตร สำหรับการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง ให้ใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ วัดที่บริเวณรอบๆ ก้อนตัวอย่าง

2.6.3 การเก็บรักษาก้อนตัวอย่าง

การเก็บรักษาจำเป็นต้องเก็บในสภาวะอากาศที่แห้ง (โดยที่มีความชื้นสัมพัทธ์ไม่เกิน 65%) และสถานที่เก็บรักษาต้องมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20°C± 5°C ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ โดยที่ยอมให้มีความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 องศาเซลเซียส และถ้าช่วงเวลาในการเก็บก่อนที่จะมีการทดสอบไม่เกิน 4 วัน ให้เก็บที่อุณหภูมิไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส หากมากกว่า 4วัน ให้เก็บที่อุณหภูมิไม่เกิน 5 องศาเซลเซียส ตัวอย่างจะต้องเก็บโดยการวางผิวหน้าก้อนตัวอย่างให้ราบกับที่ราบเรียบและต้องไม่นำมาวางซ้อนทับกัน

2.7 ความล้า (Fatigue)

เมื่อวัสดุถูกแรงซึ่งต่ำกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate Strength) มากระทำกลับไปกลับมาซ้ำๆ กันก็อาจจะเกิดการแตกหักขึ้นได้ เนื่องจากเกิดความล้า (Fatigue) ขึ้น ความล้าที่เกิดในวัสดุนี้ เป็นสาเหตุใหญ่ของการเสียหายของวัสดุเพราะตลอดอายุการใช้งานของวัสดุ เช่น เครื่องยนต์ ผิวทาง ฯลฯ จะต้องเกิดความเค้นสลับไปสลับมาเป็นล้านๆ ครั้ง ทำให้เกิดการล้าขึ้นได้ ขบวนการเกิดความล้าที่แท้จริงยังไม่เป็นที่เข้าใจกันดีนัก แต่จากการศึกษาพบว่าความล้าจะเกิดเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะแรกจะเกิดรอยแตกขึ้นเมื่อมีความเค้น รวมศูนย์ (Stress Concentration) ในบริเวณนั้น และระยะที่สอง เมื่อมีความเค้นซ้ำไปซ้ำมา รอยแตกนี้ก็จะโตขึ้นเรื่อยๆ จะมีพื้นที่ภาคตัดขวางของวัสดุลดลง จนกระทั่งแรงกระทำต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด วัสดุก็จะแตกหักจากกัน

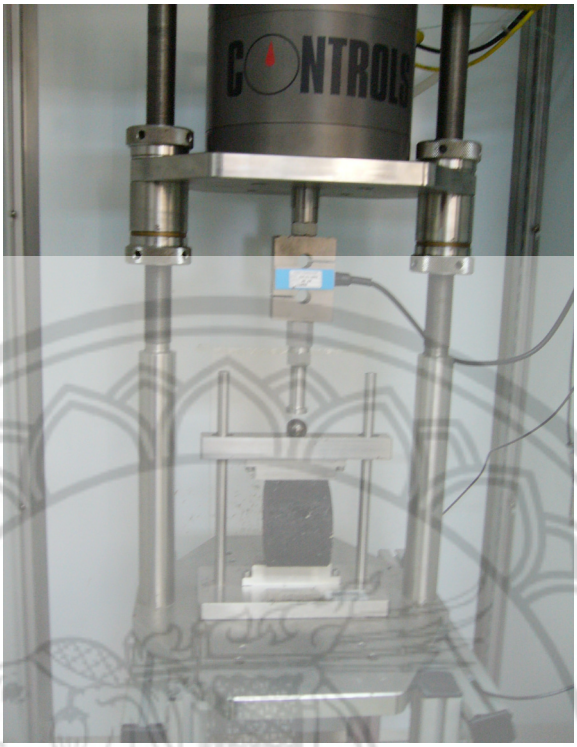
2.8 สัมประสิทธิ์ของการกำหนด (Coefficient of Determination)

สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจหรือ R^2 จะมีค่าจาก 0-1 $\left(0 \le R^2 \le 1\right)$และค่า R^2 นี้จะเป็นค่าที่บอกว่าสมการของเส้นถดถอยที่วิเคราะห์มาได้นั้นสามารถอธิบายความแปรปรวนที่เกิดขึ้นใน Y ได้มากน้อยเพียงใด ในบางครั้งอาจจะอ่านค่า R^2 ในรูปร้อยละ (เปอร์เซ็นต์) เพื่อให้เกิดความเข้าใจได้ดียิ่งขึ้น $R^2 = 0$ ก็แสดงว่าความแปรปรวนของ Y ที่เกิดขึ้นไม่ได้ถูกอธิบายโดยเลยถดถอยเลย และถ้า $R^2 = 1$ หรือ 100% ก็หมายความว่าเส้นถดถอยที่เกิดขึ้นจากสมการนั้นอธิบายความแปรปรวนทั้งหมด และนั่น ส่งผลให้ Unexplained Variance ไม่มีเลยหรือเท่ากับศูนย์

$$R^2 = \frac{Explained\ Variance}{Total\ Variance} = \frac{\left(\sum xy\right)^2}{\left(\sum x^2\right)\left(\sum y^2\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.1)$$

2.9 การทดสอบความล้า (Indirect Tensile Fatigue Test)

การทดสอบความล้าในกรณีศึกษานี้เป็นการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง Stress กับความล้า (Fatigue) โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียด (ที่ได้จากการคำนวณของค่าความความแข็งแกร่ง) กับจำนวนรอบของความล้าที่ทำให้เกิดการวิบัติของตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ ในการทดสอบความล้าของศึกษาเพื่อที่จะนำไปหาความสัมพันธ์นั้น มีด้วยกัน 2 ประเภทคือ ITST (Indirect Tensile Stiffness Test) และ ITFT (Indirect Tensile Fatigue Test) ซึ่งก่อนที่จะทำการทดสอบความล้านั้น จะต้องทำการทดสอบ Indirect Tensile Stiffness Test (ในการศึกษาครั้งนี้อ้างอิงผลการทดสอบ ITST : กิตติภูมิ จันสุริยศักดิ์, จตุรงค์ คำขาว, ธีรชัย เกิดฐูป. การศึกษาคุณสมบัติด้านความแข็งแกร่งของแอสฟัลต์คอนกรีตกรณีศึกษาผิวทางสนามบินสุวรรณภูมิ. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2550.) หลังจากนั้น ทำการติดตั้งเครื่องมือเพื่อที่จะทดสอบความล้าต่อไปดังรูปที่ 2.1 โดยใช้อุณหภูมิในการทดสอบคือ 20 องศาเซลเซียส และมีการเปลี่ยนแปลงความเค้นอยู่ในช่วงระหว่าง 400-600 kPa ในแต่ละตัวอย่าง



รูปที่ 2.1 การติดตั้งตัวอย่างเพื่อทดสอบความล้า

2.10 ขั้นตอนการวิเคราะห์

ลักษณะและจำนวนก้อนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. การทดสอบแบบเต็ม (Full Test) ให้ใช้ก้อนตัวอย่างไม่น้อยกว่า 10 ตัวอย่างสำหรับมวลรวมปกติที่มีขนาดใหญ่สุด 20 มิลลิเมตร แต่ถ้ามวลรวมมีขนาดใหญ่กว่า 20 มิลลิเมตร ให้ใช้ตัวอย่างไม่น้อยกว่า 12 ตัวอย่าง

2. การทดสอบแบบจำกัด (Restricted Test) ให้ใช้ก้อนตัวอย่างไม่น้อยกว่า 5 ตัวอย่างสำหรับมวลรวมปกติที่มีขนาดใหญ่สุด 20 มิลลิเมตร แต่ถ้ามวลรวมมีขนาดใหญ่กว่า 20 มิลลิเมตร ให้ใช้ตัวอย่างไม่น้อยกว่า 10 ตัวอย่าง

การทดสอบ ITFT เป็นการประมาณค่าความต้านทานการเกิดร้อยร้าว หรือแตกหักของแอสฟัลต์คอนกรีตบทนิยามในการทดสอบนี้คือ

1. การวิบัติของตัวอย่างทดสอบคือจุดที่ตัวอย่างนั้นมีการยุบตัวในแนวดิ่ง ถึง 9 มิลลิเมตร หรือการที่ตัวอย่างนั้นแตกวิบัติก่อนที่จะถึง 9 มิลลิเมตร

2. การคำนวณค่า Tensile Stress สูงสุด (kPa) จากสูตร

$$\sigma_{XMax} = \frac{2 \times P_L}{\pi \times d \times t} \quad \text{..... (2.2)}$$

โดยที่ P_L = น้ำหนักที่กระทำในแนวดิ่ง (kN)

d = เส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างทดสอบ (m)

t = ความหนาของก้อนตัวอย่างทดสอบ (m)

3. การคำนวณค่า Maximum Tensile Horizontal Strain (Microstrain) ที่จุดกึ่งกลางของตัวอย่างจากสูตร

$$\delta_{XMax} = \frac{\sigma_{XMax} \times (1+3\nu)}{S_m} \times 1{,}000 \quad \text{..... (2.3)}$$

โดยที่ δ_{XMax} = ความเค้นของแรงสูงสุด (kPa)

ν = อัตราส่วนปัวซอง

S_m = Indirect Tensile Stiffness Modulus (MPa)

ตารางที่ 2.1 แสดงค่า Poisson's Ratio ของแอสฟัสต์คอนกรีต

ค่า Poisson's Ratio สำหรับคำนวณหา Stiffness Modulus	
Test Temperature (°C)	Poisson's Ratio
0	0.25
10	0.25
20	0.35
30	0.45

ตัวอย่างผลการทดสอบและรายการคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับความล้า (จำนวนรอบการวิบัติ)

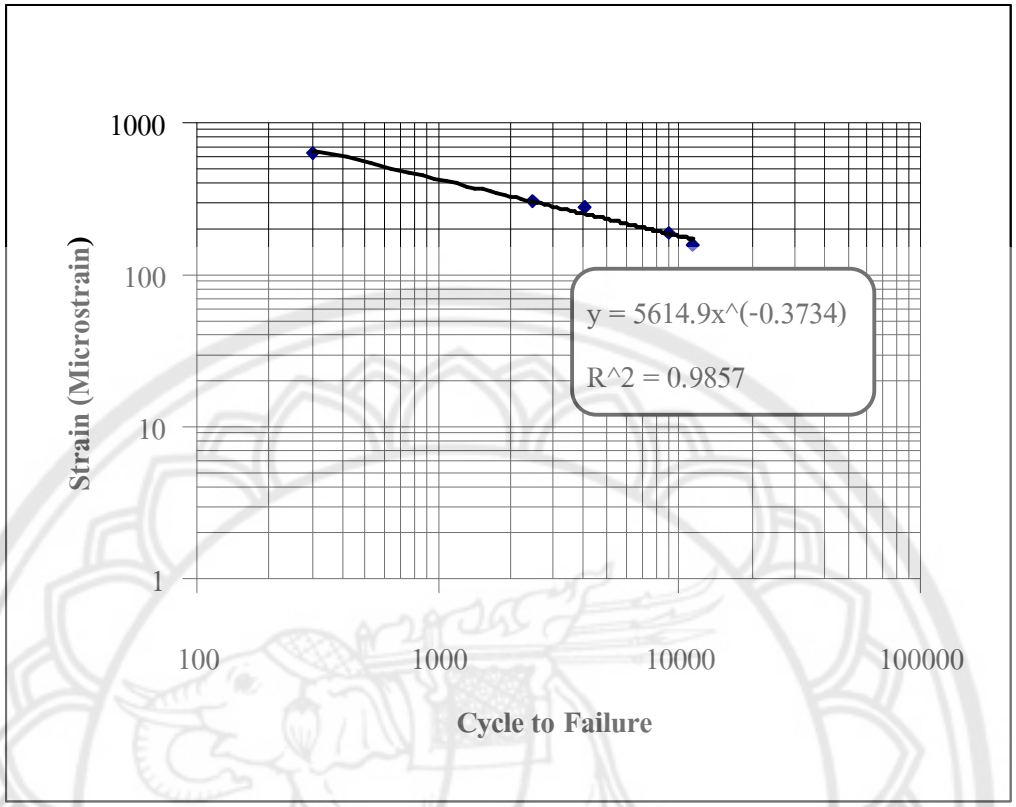
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างผลการทดสอบและวิเคราะห์ค่าความเชื่อมั่น

ผลการทดสอบ ITFT (INDIRECT TENSILE FATIGUE TEST) ประเภท PMB (Binder Course)				
Specimen Reference	**Test Stress Level in kPa**	**Stiffness in MPa**	**Strain in Microstrain**	**Cycle to Failure**
1	600	1918.0	641.3	304
2	500	3,659.5	308.1	2,488
3	550	4,050	278.4	4,049
4	450	4,954.0	186.2	9,075
5	400	5,159.5	158.9	11,405

ตัวอย่างการคำนวณ (ตัวอย่างที่ 3)

$$\text{Strain} \quad \delta_{XMax} = \frac{550 \times [1 + 3(0.35)]}{4{,}050} \times 1{,}000 = 278.40$$

จากตารางผลการทดสอบสามารถนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ผลการทดสอบ ITFT (INDIRECT TENSILE FATIGUE TEST)
ประเภท PMB (Binder Course)

จากกราฟความสัมพันธ์สามารถหาค่าความเชื่อมั่น R^2 ได้ 0.9857 ซึ่งในข้อกำหนดของการทดสอบค่า R^2 จะต้องมีค่าอย่างน้อย 0.90