บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้จะแบ่งวิธีการดำเนินงานวิจัยออกเป็นหลายขั้นตอน ประกอบด้วย การเก็บตัวอย่างและการรวบรวมข้อมูลรายละเอียดของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต การทดสอบหาคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต และขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการสรุปและวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา โดยจะกล่าวถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การเก็บตัวอย่างและการรวบรวมข้อมูลรายละเอียดของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

3.1.1 การเก็บตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ในการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดที่จะทำการศึกษาจากวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตซึ่งผ่านการออกแบบด้วยวิธีมาร์แชลมาแล้ว โดยสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง โดยทำการเก็บตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตจากโครงการก่อสร้างถนนแอสฟัลต์คอนกรีตในภูมิภาคต่างๆของประเทศไทย โดยแบ่งเป็นวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ชั้น Binder Course จำนวน 15 สายทาง และ ชั้น Wearing Course จำนวน 19 สายทาง โดยในการเก็บตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละชั้นมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการเก็บตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตจากเครื่องปูถนน(Paver) ในขณะที่จะทำการปูวัสดุผสมลงบนถนนซึ่งวัสดุผสมยังคงอยู่ในสภาพที่ร้อน
2. ทำความสะอาดอุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตก่อนทำการเก็บเพื่อป้องกันวัสดุที่ไม่พึงประสงค์ปนเปื้อนมากับตัวอย่าง
3. ทำการเก็บตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตจากบริเวณกลางกอง เพื่อป้องกันการแยกตัว(Segregation) ของวัสดุผสมที่อาจเกิดขึ้นบริเวณริมกอง ใส่ลงในกระป๋องที่เตรียมไว้จนได้ปริมาณตามที่กำหนดไว้
4. ปิดฝากระป๋องให้สนิทในทันทีเพื่อป้องกันการระเหยและวัสดุอื่นเข้าไปปนเปื้อนตัวอย่าง

รูปที่ 3.1 บริเวณที่ทำการเก็บตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในสนาม

รูปที่ 3.2 การเก็บตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตบรรจุลงในภาชนะ

3.1.2 การรวบรวมข้อมูลรายละเอียดของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการรวบรวม Job-Mix Formula มาจากสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ซึ่งเป็นผู้ออกแบบวัสดุผสมทั้งหมดที่ได้เก็บมาตามข้อ 3.1.1 โดยใน Job-Mix Formula จะมีข้อมูลรายละเอียดทั้งหมดของวัสดุผสม ซึ่งข้อมูลรายละเอียดของวัสดุผสมที่จะใช้ในการวิจัยนี้มีดังนี้

- ขนาดคละของมวลรวม(Aggregate Gradation) ทั้งแบบ Cold Bin และ Hot Bin
- Mix Proportion (%)

- Bulk Specific Gravity
- Apparent Specific Gravity
- Effective Specific Gravity
- Water Absorption (%)
- Flakiness Index (%)
- Elongation Index (%)
- Asphalt Absorption (%)
- Los Angeles Abrasion (%)
- Soundness (% Weight Loss)
- Sand Equivalent (%)
- Design Asphalt Content (% By Weight of Aggregate)
- Marshall Density (gm/ml)
- Marshall Air Voids (%)
- Voids in Mineral Aggregate (%)
- Voids Filled with Asphalt (%)
- Marshall Stability (lbs)
- Marshall Flow (0.01")
- Marshall Stability/Marshall Flow (lbs/0.01")
- Strength Index (%)

3.2 การประเมินคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ

3.2.1 การบดอัดตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยเครื่อง SGC

ในขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตของแต่ละสายทางที่เก็บมาตามข้อ 3.1.1 ซึ่งผ่านการออกแบบโดยวิธีมาร์แชล ทั้งวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตชั้น Binder Course และวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตชั้น Wearing Course จะอ้างอิงตามวิธีมาตรฐาน "Standard Method for Preparing and Determining the Density of Hot Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the SHRP Gyratory Compactor (AASHTO TP4)" เพื่อให้ตัวอย่างวัสดุผสมมีคุณ

I20823563

สมบัติเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในวิธีมาตรฐาน จากนั้นจึงนำวัสดุผสมที่เตรียมไว้มาทำการบดอัดใน Mold ขนาด 100 มิลลิเมตร ด้วยเครื่อง SGC ด้วยจำนวนรอบการบดอัด 300 รอบเป็นจำนวน 3 ตัวอย่างต่อสายทาง โดยขั้นตอนหลักๆในการบดอัดตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตมีดังนี้

รูปที่ 3.3 เครื่อง Servopac Gyratory Compactor และเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงาน

ขั้นตอนที่ 1 นำกระป๋องที่บรรจุตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่เก็บมาจากสนามมาให้ความร้อนด้วยการอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวอย่างวัสดุผสมเกิดการหลอมตัว และสามารถเทออกจากกระป๋องได้

ขั้นตอนที่ 2 นำตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่หลอมตัวแล้ว เทออกจากกระป๋องลงในถาด จากนั้นใช้ Spatula ตักและคนเพื่อให้มวลรวมในวัสดุผสมมีขนาดคละกันดี ไม่เกิดการแยกตัว(Segregation)

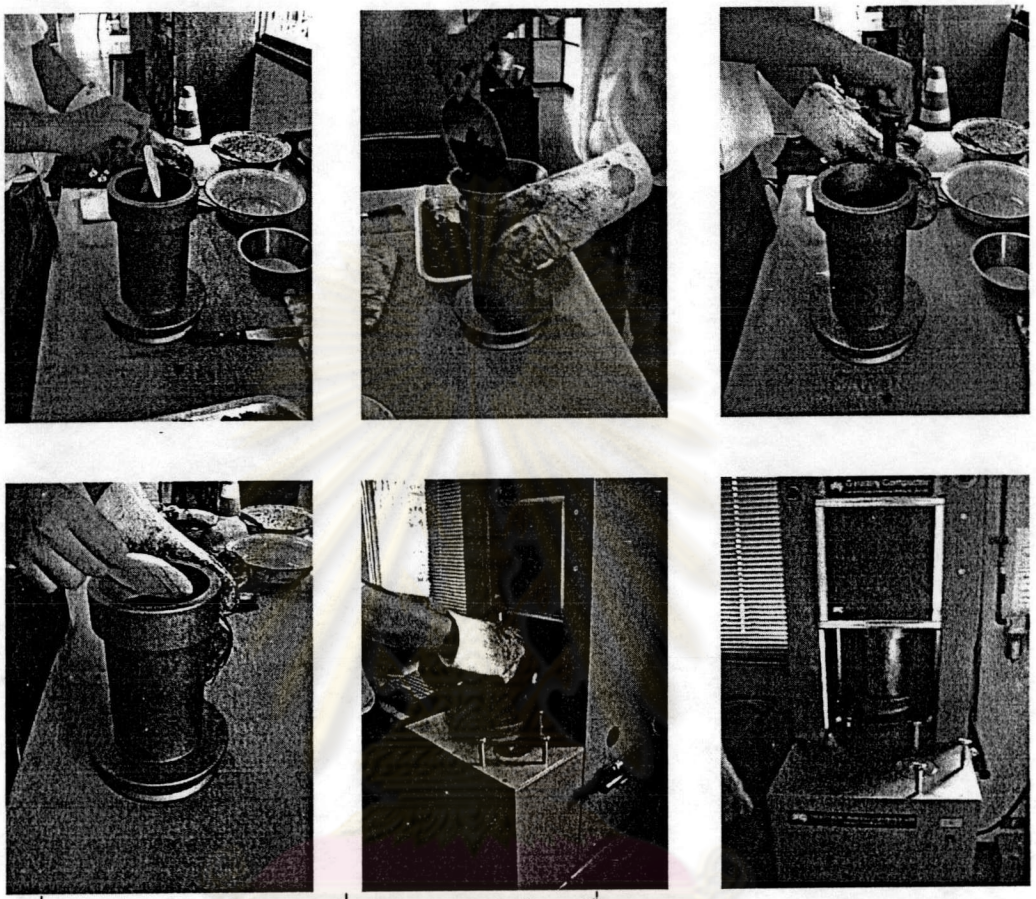
ขั้นตอนที่ 3 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตลงในถาดอีกอันหนึ่ง โดยให้มีน้ำหนักประมาณ 1250 กรัม

ขั้นตอนที่ 4 นำตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ชั่งน้ำหนักแล้ว กลับเข้าไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ประมาณ 2 ชั่งโมง

ขั้นตอนที่ 5 ทำซ้ำขั้นตอนเดิมตั้งแต่ต้นเพื่อเตรียมตัวอย่างก้อนต่อไป

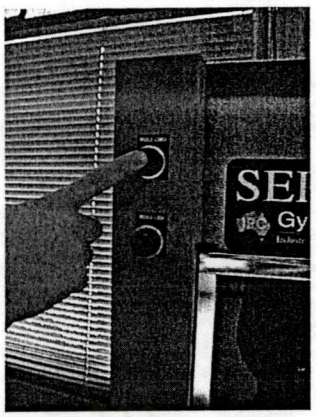
ขั้นตอนที่ 6 เมื่อครบเวลาที่กำหนดนำวัสดุไปตรวจสอบว่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ใช้บดอัด (150 องศาเซลเซียส) หรือไม่ ถ้าอุณหภูมิของวัสดุผสมสูงกว่าหรือต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้บดอัด ให้นำวัสดุผสมไปเข้าเตาอบอีกเพื่อควบคุมให้อุณหภูมิของวัสดุผสมเท่ากับอุณหภูมิที่ใช้ในการบดอัด (เข้าเตาอบเป็นเวลาประมาณ 30 นาที) ขณะเดียวกันให้นำ Mold ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ไปเข้าเตาอบเพื่อให้มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิที่ใช้ในการบดอัด

ขั้นตอนที่ 7 เมื่อถึงเวลาให้นำ Mold และตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตออกจากเตาอบ ใส่กระดาษรองที่เตรียมไว้ลงใน Mold เพื่อรองก้น จากนั้นจึงใส่ตัวอย่างวัสดุผสมลงใน Mold แล้วใส่กระดาษรองอีกอันปิดด้านบน นำ Mold ไปวางติดตั้งไว้ที่เครื่อง SGC เพื่อพร้อมที่จะทำการบดอัด



รูปที่ 3.4 การเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการบดอัดด้วยเครื่อง Servopac Gyratory Compactor

ขั้นตอนที่ 8 ก่อนเดินเครื่องให้กดปุ่ม "Mould Lower" เพื่อเลื่อน Mold ลง แล้วจึงกดปุ่ม "Mould Lock" เพื่อยึด Mold ให้ติดกับฐาน จากนั้นจึงใส่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องใช้ลงในโปรแกรม ตรวจสอบค่าแรงดันและมุมในการบดอัดให้เท่ากับ 600 กิโลปาสคาล(±18 กิโลปาสคาล) และ1.25 องศา(±0.02 องศา) ตามลำดับ แล้วจึงเริ่มเดินเครื่อง



รูปที่ 3.5 การกดปุ่ม "Mould Lower" และปุ่ม "Mould Lock"

ขั้นตอนที่ 9 หลังจากบดอัดเสร็จแล้ว ดันก้อนตัวอย่างออกจาก Mold ลอกกระดาษรองออกจากก้อนตัวอย่าง และทำสัญลักษณ์ที่ก้อนตัวอย่างให้เรียบร้อย จากนั้นจึงทำการบดอัดตัวอย่างก้อนต่อไป

รูปที่ 3.6 การดันก้อนตัวอย่างออกจาก Mold และทำสัญลักษณ์บนก้อนตัวอย่าง

3.2.2 การเปรียบเทียบความแข็งแรงของโครงสร้างมวลรวมในวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

เมื่อทำการบดอัดวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตแต่ละวัสดุผสมดังในข้อ 3.2.1 จากนั้นจะนำข้อมูลการบดอัดของก้อนตัวอย่างทั้ง 3 ก้อนของวัสดุผสมแต่ละสายทางที่ได้จากเครื่อง SGC มาทำการคำนวณหาค่าร้อยละของ Maximum Theoretical Specific Gravity($\%G_{mm}$) ที่ทุกรอบของการบดอัด และหาค่าเฉลี่ยของตัวอย่างทั้ง 3 ก้อน แล้วจึงนำมาเขียน Densification Curve เพื่อนำมาใช้ในการพิจารณาเปรียบเทียบความแข็งแรงของโครงสร้างมวลรวมในวัสดุผสมได้

3.2.3 การตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ

จากการพิจารณา Densification Curve แต่ละเส้น จะทำให้ทราบค่าร้อยละของ Maximum Theoretical Specific Gravity($\%G_{mm}$) ที่ $N_{initial}$, N_{design} และ $N_{maximum}$ ของวัสดุผสมแต่ละสายทางที่ทุกระดับปริมาณการจราจรและอุณหภูมิอากาศ ตามตารางแสดงจำนวนรอบการบดอัดที่แนะนำโดยซูเปอร์เพฟได้ จากนั้นจะนำค่าดังกล่าวมาพิจารณาประกอบกับค่าช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวม(VMA) และช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์(VFA) เพื่อพิจารณาว่าวัสดุผสมแต่ละวัสดุผสมมีคุณสมบัติผ่านข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟหรือไม่อย่างไรต่อไป

3.3 การประเมินคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการทดสอบหาคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผ่านการออกแบบโดยวิธีมาร์แชลซึ่งได้แก่ ค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร(Permanent Deformation) ของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งชั้น Binder Course และชั้น Wearing Course ในแต่ละสายทางที่เก็บมาตามข้อ 3.1.1 ซึ่งเป็นวัสดุผสมที่ผ่านการออกแบบโดยวิธีมาร์แชล โดยในการเตรียมตัวอย่างวัสดุผสมของแต่ละสายทางจะอ้างอิงกับวิธีมาตรฐาน "Standard Method for Preparing and Determining the Density of Hot Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the SHRP Gyratory Compactor (AASHTO TP4)" เพื่อให้ตัวอย่างวัสดุผสมมีคุณสมบัติเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในวิธีมาตรฐาน จากนั้นจึงนำวัสดุผสมที่เตรียมไว้มาทำการบดอัดใน Mold ขนาด 100 มิลลิเมตร ด้วยเครื่อง SGC โดยจะทำการบดอัดวัสดุผสมแต่ละสายทางเพื่อให้ได้ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณช่องว่างอากาศในก้อนตัวอย่างเท่ากับร้อยละ 7(สายทางละ 6 ตัวอย่าง) โดยขั้นตอนวิธีการเตรียมก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจะเหมือนในหัวข้อ 3.2.1

หลังจากได้ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตของแต่ละสายทาง(สายทางละ 6 ตัวอย่าง) ที่บดอัดจนมีปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากับร้อยละ 7 แล้ว จะนำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตของแต่ละสายทางที่ได้มาทำการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร(Permanent

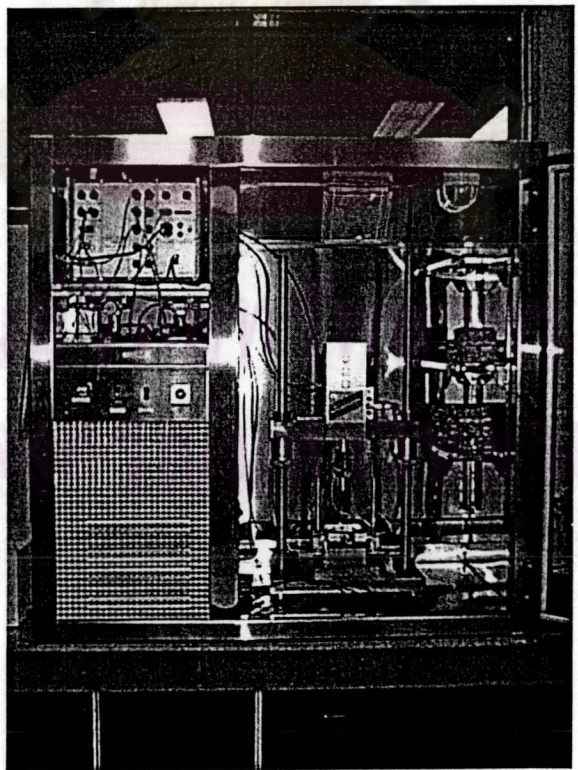
Deformation) โดยใช้วิธีการทดสอบแบบ Repeated Uniaxial Loading Strain Test(Dynamic Creep Test) ที่อุณหภูมิ 40 และ 60 องศาเซลเซียส(อุณหภูมิละ 3 ตัวอย่าง)

3.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

เครื่อง Universal Testing Machine (UTM – 5P)

เครื่อง Universal Testing Machine (UTM – 5P) เป็นเครื่องมือที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Industrial Process Control (IPC) ประเทศออสเตรเลีย ใช้สำหรับทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตและวัสดุอื่นๆ เช่น ดิน โลหะ ฯลฯ ซึ่งขึ้นอยู่กับโปรแกรมที่จะใช้ทดสอบว่ามีอยู่หรือไม่ โดยในขณะที่ทำการวิจัยนี้ เครื่อง UTM – 5P ที่สำนักวิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง สามารถทดสอบคุณสมบัติของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต และ Unbound Materials ได้

เครื่องมือนี้สามารถควบคุมลักษณะการให้น้ำหนักได้ทั้งในอัตราที่คงที่(Static Load) และลักษณะของน้ำหนักกระทำซ้ำ(Dynamic Load) โดยสามารถเลือกรูปแบบของน้ำหนักได้หลายรูปแบบ เช่น Pulse Wave, Square Wave, Haversine Wave ฯลฯ และสามารถให้น้ำหนักสูงสุดได้ 5 กิโลนิวตัน(kN) ด้วยความถี่ตั้งแต่ 0 ถึง 70 รอบต่อวินาที(Hz)



รูปที่ 3.7 เครื่อง UTM – 5P

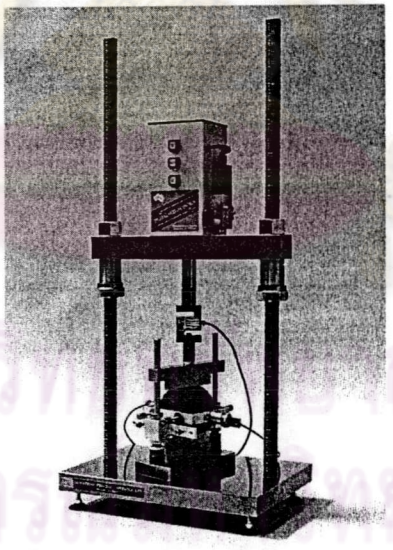
เครื่อง UTM – 5P จะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ Hardware และ Software โดยที่แต่ละส่วนยังประกอบด้วยส่วนย่อยๆอีก ซึ่งรายละเอียดของส่วนต่างๆมีดังนี้

3.3.2.1 Hardware

ในส่วนของ Hardware จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างดังนี้

1. Reaction Loading Frame

โครงเฟรมถูกออกแบบมาให้สามารถทดสอบตัวอย่างที่มีขนาดถึง 150 มิลลิเมตร ทั้งในลักษณะของแรงดึงทางอ้อม(Indirect Tensile) และแรงตามแนวแกน(Axial Load) ตัวโครงเฟรมมีน้ำหนักมาก เพื่อป้องกันการสั่นไหวที่จะเกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ ซึ่งจะส่งผลให้การวัดค่าต่างๆเป็นไปด้วยความถูกต้อง ที่กึ่งกลางแขนของเฟรมด้านบนจะเป็น Pneumatic Actuator ซึ่งควบคุมการเปิด-ปิดอากาศด้วยระบบไฟฟ้า สามารถทำการทดสอบได้จนถึงความถี่ 70 รอบต่อวินาที(Hz) ทั้งยังสามารถปรับเปลี่ยนขนาดของ Actuator ได้ เมื่อต้องการค่าน้ำหนักที่มากขึ้น



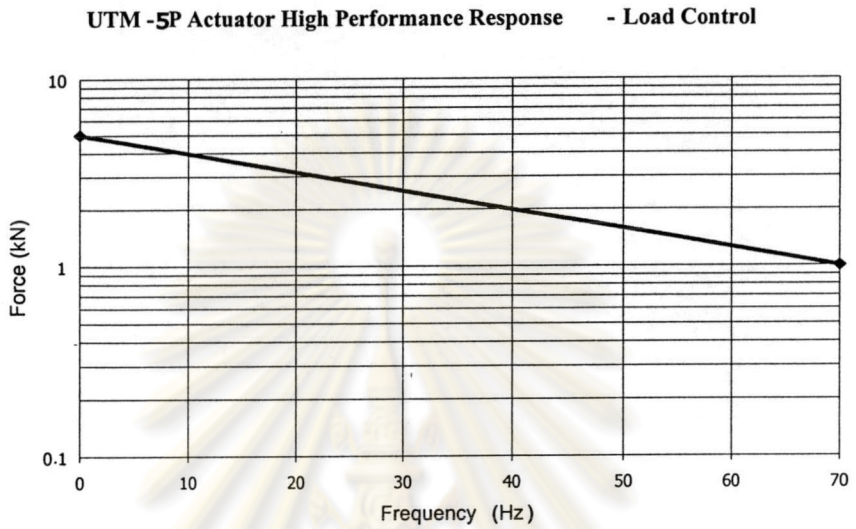
รูปที่ 3.8 Reaction Loading Frame

2. Pneumatic System

ระบบควบคุมการให้น้ำหนักจะใช้แรงดันอากาศเป็นตัวควบคุม ดังนั้นในระบบผลิตแรงดันอากาศจำเป็นต้องมีอุปกรณ์สำหรับกรองอากาศ และอุปกรณ์สำหรับดักเก็บน้ำหรือความชื้นเพื่อให้ได้อากาศที่มีคุณภาพดี โดยแรงดันที่เข้ามาจากเครื่องสูบไม่ควรมีค่าต่ำกว่า 800 กิโลปาส

คาล(kPa) เพราะถ้าหากแรงดันมีค่าต่ำกว่าค่าดังกล่าวจะส่งผลให้ไม่ได้รับค่าน้ำหนักสูงสุดตามที่ต้องการ

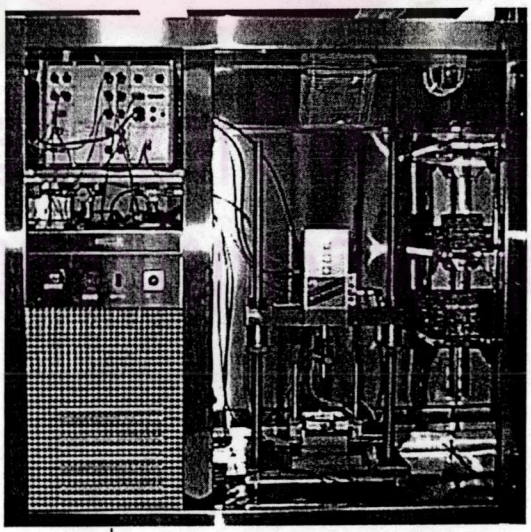
กราฟในรูปที่ 3.9 แสดงถึงสมรรถนะในการให้น้ำหนักของ Actuator เมื่อความถี่ในการให้น้ำหนักเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 3.9 สมรรถนะในการให้น้ำหนักสูงสุดของ Actuator เมื่อความถี่ในการทดสอบเปลี่ยนไป

3. ห้องควบคุมอุณหภูมิ(Temperature Chamber)

ห้องควบคุมอุณหภูมิมีลักษณะเป็นห้องสำหรับจัดวางตัวอย่างเพื่อเตรียมตัวอย่างให้มีอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยสามารถปรับอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 0 ถึง 60 องศาเซลเซียส

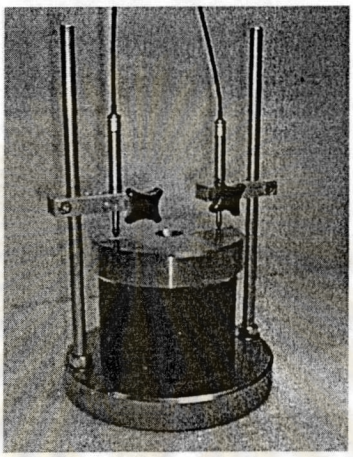


รูปที่ 3.10 ห้องควบคุมอุณหภูมิ

4. ชุดอุปกรณ์ประกอบการทดสอบ

- ชุดทดสอบแบบให้แรงในแนวแกน(Axial Load) ประกอบด้วยฐานเหล็ก 2 อัน สำหรับรองตัวอย่างทั้งด้านบนและด้านล่าง และโครงเหล็กสำหรับยึด LVDTs ในขณะทำการทดสอบ

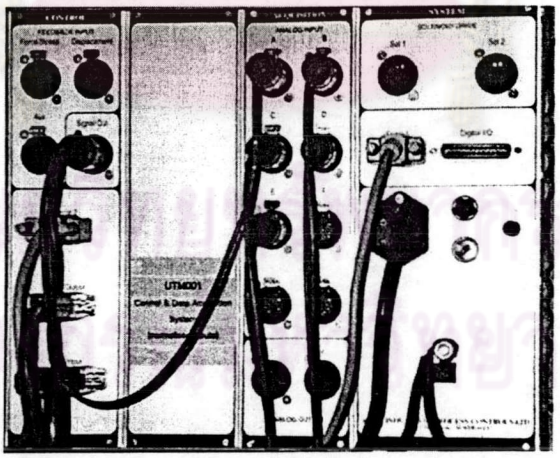
- Linear Variable Differential Transducers(LVDTs) ใช้สำหรับวัดการเคลื่อนตัวในแนวแกนของการทดสอบแบบให้แรงในแนวแกน(Uniaxial Load) มีช่วงการวัดเท่ากับ ±2.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.11 ชุดอุปกรณ์ประกอบการทดสอบแบบให้แรงในแนวแกน

5. Control and Data Acquisition System(CDAS)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการทำงานและรับข้อมูลจากเครื่องทดสอบ โดยเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์ LVDTs และระบบการให้แรง



รูปที่ 3.12 Control and Data Acquisition System(CDAS)

3.3.2.2 Software

เครื่อง UTM – 5P จะมีชุดโปรแกรมควบคุมการทำงานซึ่งเขียนด้วยภาษาปาสคาล (Pascal) สามารถ Run ได้ทั้งใน Dos Mode และ Windows Mode เพื่อใช้ควบคุมการทำงาน และประมวลผลของการทดสอบวิธีต่างๆ การตั้งค่าที่ใช้ในการทดสอบ และการแสดงผลผ่านทางเครื่องพิมพ์

ในขณะทำการวิจัย เครื่อง UTM – 5P จะมีชุดโปรแกรมการทดสอบอยู่ 11 วิธี โดยในการวิจัยนี้จะใช้การทดสอบวิธี "Repeated Uniaxial Loading Strain Test"

3.3.3 ขั้นตอนการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

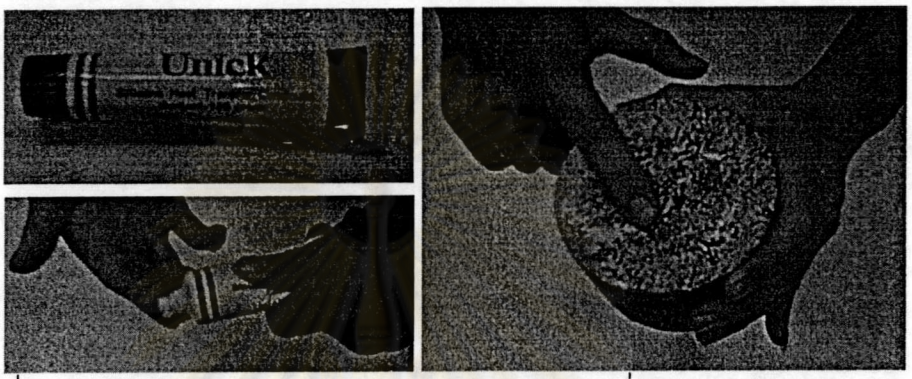
1. นำก้อนตัวอย่างที่เตรียมไว้มาทำการวัดและบันทึกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง และความหนาของก้อนตัวอย่างด้วยเวอร์เนียคาลิปเปอร์ ด้วยความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ของมิลลิเมตร โดยในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางจะทำการวัดใน 2 แนวที่ตั้งฉากกัน และวัดความหนา 4 แนวที่ตำแหน่งปลายของเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดในตอนแรก ซึ่งความหนาทั้ง 4 แนว ไม่ควรแตกต่างกันเกินร้อยละ 2 ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(หรือประมาณ 2-3 มิลลิเมตร ในกรณีที่ก้อนตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 100±5 มิลลิเมตร) นำข้อมูลดังกล่าวมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นค่าสำหรับป้อนในโปรแกรมเพื่อทำการทดสอบต่อไป

2. ตรวจสอบการต่อเชื่อมที่ CDAS ดังนี้

หัวต่อ (Plug)	เครื่องหมายบนหัวต่อ	Channel บน CDAS
Force Load Cell	Force	A
LVDT#1	17236	B
LVDT#2	17237	C
Core Temperature Probe	303	D
Skin Temperature Probe	304	E

3. เปิดเครื่อง UTM – 5P และทำการตั้งอุณหภูมิของห้องควบคุม(40 หรือ 60 องศาเซลเซียส)

4. นำก้อนตัวอย่างที่ทำการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาไว้แล้ว ไปจัดเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการทดสอบ เป็นเวลาอย่างน้อย 3 ชั่วโมง เพื่อให้แน่ใจว่าก้อนตัวอย่างมีอุณหภูมิตามที่ต้องการ โดยก่อนที่จะนำก้อนตัวอย่างเข้าห้องควบคุมอุณหภูมิควรทา Silicone Heat Transfer Compound ที่ด้านบนและล่างของก้อนตัวอย่าง เพื่อลดแรงเสียดทานที่จะเกิดขึ้นระหว่างก้อนตัวอย่างกับชุดทดสอบ และควรทาเพียงบางๆให้ทั่วผิวหน้าเท่านั้น



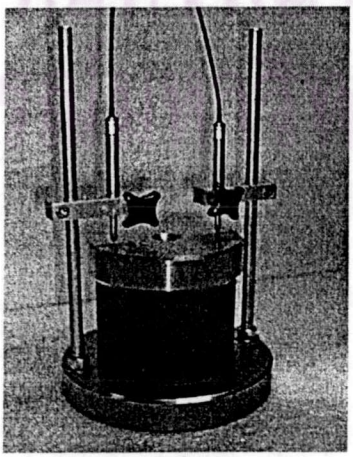
รูปที่ 3.13 การทา Silicone Heat Transfer Compound ที่ด้านบนและล่างของก้อนตัวอย่าง

5. เปิดเครื่องสูบลมและเปิดสวิตซ์ที่อุปกรณ์ Control and Data Acquisition System (CDAS)

6. เปิดวาล์วแรงดันเพื่อปล่อยลมเข้าเครื่อง โดยแรงดันควรมีค่าอยู่ในช่วง 0.75 - 0.80 เมกะปาสคาล(MPa)

7. เปิดวาล์วแรงดันที่ Load Cell ในห้องควบคุมอุณหภูมิ

8. เมื่อก้อนตัวอย่างมีอุณหภูมิตามที่ต้องการแล้ว นำก้อนตัวอย่างมาจัดวางไว้ในชุดทดสอบแบบให้แรงในแนวแกน ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การจัดวางก้อนตัวอย่างในชุดทดสอบแบบให้แรงในแนวแกน

9. พยายามจัดวางก้อนตัวอย่างให้อยู่กึ่งกลางชุดทดสอบ แล้วจึงค่อยวางแถบกดน้ำหนักด้านบนให้อยู่ตรงแนวกึ่งกลางของก้อนตัวอย่าง

10. จัดชุด LVDTs ให้อยู่ด้านบนของก้อนตัวอย่าง เพื่อวัดการเคลื่อนตัวในทิศทางเดียวกับน้ำหนักที่กระทำ

11. ค่อยๆเคลื่อนชุดทดสอบเข้าประจำที่ โดยรางที่อยู่ด้านล่างของชุดทดสอบจะตรงกันพอดีกับหมุดที่อยู่กับ Loading Frame

12. กดปุ่มที่อยู่บน Load Cell เพื่อเลื่อนหัวกดน้ำหนักลงมา พยายามให้หัวกดน้ำหนักสัมผัสพอดีกับช่องที่อยู่บนแถบกดน้ำหนักพอดี

13. ปิดประตูห้องควบคุมอุณหภูมิ โดยยังคงควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ

14. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ และทำการตั้งค่าต่างๆในโปรแกรม

15. Run โปรแกรม เพื่อทำการให้น้ำหนักกระทำ(Load) ด้วยรูปแบบ Square Wave

16. หยุดทำการทดสอบเมื่อก้อนตัวอย่างมีค่า Accumulated Strain เท่ากับร้อยละ 1

ในการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรโดยวิธี Dynamic Creep Test จะอ้างอิงตามมาตรฐานวิธีทดสอบของประเทศออสเตรเลีย AS 2891.12.1 Determination of the Permanent Compressive Strain Characteristics of Asphalt – Dynamic Creep Test ซึ่งกำหนดเงื่อนไขในการทดสอบไว้ดังนี้คือ ปริมาณช่องว่างอากาศในก้อนตัวอย่างเท่ากับร้อยละ 5 อุณหภูมิในการทดสอบเท่ากับ 50 องศาเซลเซียส หน่วยแรงที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 200 กิโลปาสคาล ช่วงเวลาในการให้น้ำหนักกระทำ(Load Period) เท่ากับ 0.5 วินาที และช่วงเวลาในการหยุดเพื่อรอให้น้ำหนักในรอบต่อไป(Rest Period) เท่ากับ 1.5 วินาที

เนื่องจากสภาพการใช้งานของถนนในประเทศไทยต่างจากประเทศออสเตรเลีย ในเรื่องของน้ำหนักบรรทุกและอุณหภูมิอากาศ ดังนั้นจึงได้เปลี่ยนมาใช้เงื่อนไขในการทดสอบดังนี้คือ ปริมาณช่องว่างอากาศในก้อนตัวอย่างเท่ากับร้อยละ 7 อุณหภูมิในการทดสอบเท่ากับ 40 และ 60 องศาเซลเซียส หน่วยแรงที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 100 กิโลปาสคาล ช่วงเวลาในการให้น้ำหนักกระทำ(Load Period) เท่ากับ 0.2 วินาที และช่วงเวลาในการหยุดเพื่อรอให้น้ำหนักในรอบต่อไป(Rest Period) เท่ากับ 0.8 วินาที

ในการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรโดยวิธี Dynamic Creep Test จะทำการให้น้ำหนักกระทำซ้ำกับก้อนตัวอย่างไปเรื่อยๆ จนกระทั่งตัวอย่างมีค่าความเครียดสะสม(Accumulated Strain) หรือการยุบตัวถาวร(Permanent Deformation) เท่ากับร้อยละ 1 จึง

หยุดทำการทดสอบ โดยค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรจะอยู่ในรูปของจำนวนรอบของการให้น้ำหนักบรรทุกกระทำกับก้อนตัวอย่างวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตก่อนที่จะเกิดการยุบตัวถาวร

3.4 สรุปและวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา

3.4.1 สรุปผลการศึกษา

หลังจากทราบคุณสมบัติเชิงปริมาตรและเชิงวิศวกรรมของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตดังในหัวข้อที่ 3.1 , 3.2 และ 3.3 จากนั้นจะนำผลที่ได้มาสรุปเป็นหัวข้อดังนี้

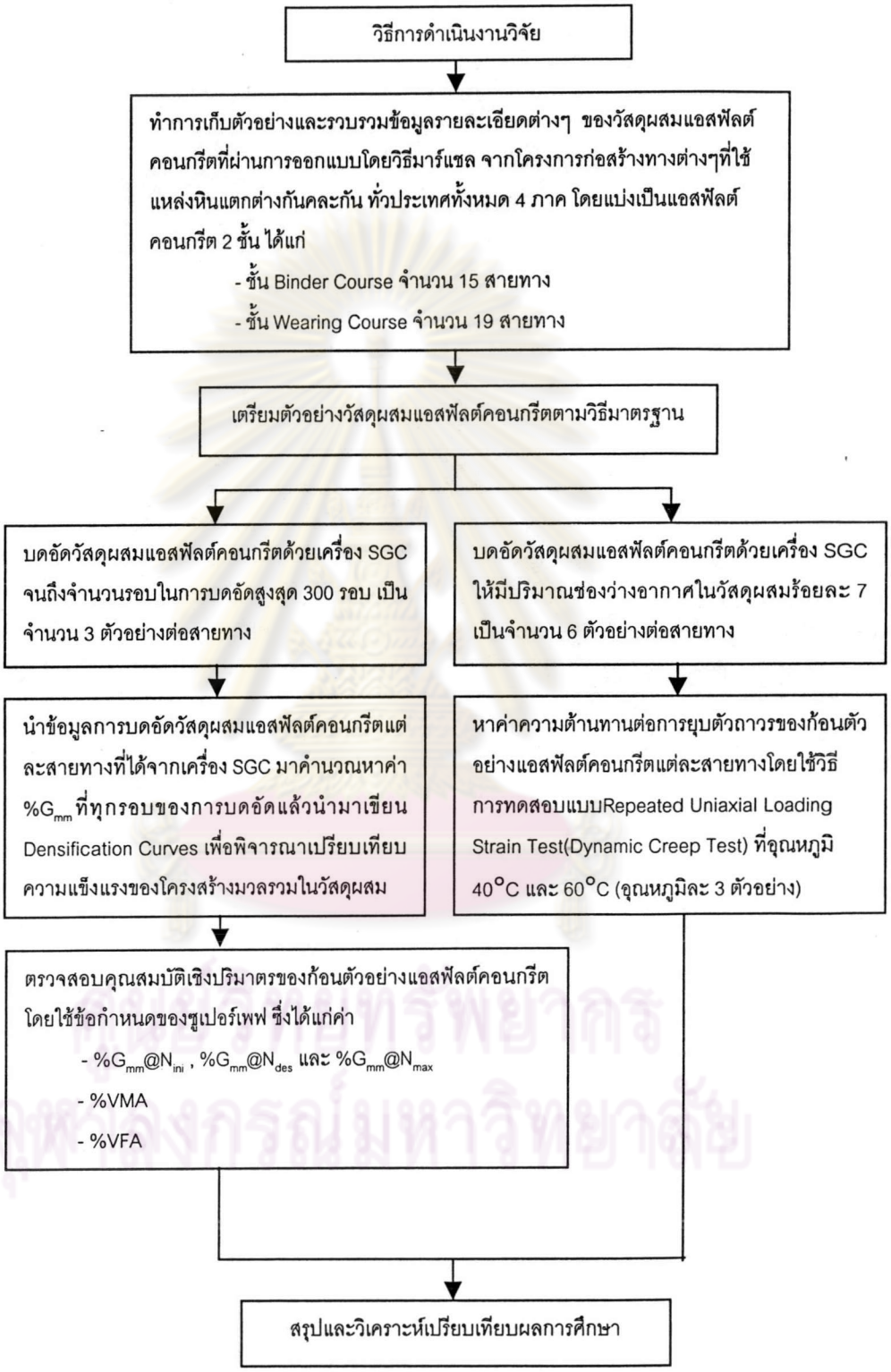
1. ผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล
2. ผลการเปรียบเทียบความแข็งแรงของโครงสร้างมวลรวมในวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
3. ผลการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ
4. ผลการทดสอบความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
5. ลักษณะขนาดคละของมวลรวมในวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

3.4.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการศึกษา

ในหัวข้อนี้จะนำผลสรุปจากหัวข้อ 3.4.1 ตั้งแต่ข้อที่ 1, 2, 3 และ 4 มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อที่ 5 ทีละข้อตามลำดับ เพื่อพิจารณาถึงความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงต่อกันตามหัวข้อดังนี้

1. การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการทดสอบคุณสมบัติทั่วไปโดยวิธีมาร์แชลกับค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบความแข็งแรงของโครงสร้างมวลรวมกับค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
3. การวิเคราะห์เปรียบเทียบผลการตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตรโดยใช้ข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟกับค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
4. การวิเคราะห์เปรียบเทียบลักษณะขนาดคละของมวลรวมกับค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ขั้นตอนในวิธีการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังแผนภาพในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย