บทที่ 3

วิธีการในการศึกษา

ขั้นตอนวิธีการในการศึกษาจะแบ่งเป็นส่วนต่างๆประกอบด้วย การเตรียมวัสดุที่จะใช้ในการศึกษาซึ่งประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และมวลรวม การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลและซูเปอร์เพฟ ระดับ 1 การทดสอบความแปรปรวนของส่วนผสมที่ใช้วิธีการบดอัดที่แตกต่างกัน นั่นก็คือวิธีการปล่อยก้อนน้ำหนักในวิธีของมาร์แชลและการบดอัดด้วยเครื่อง Gyratory compactor และสุดท้ายจะเป็นการเปรียบเทียบส่วนผสมที่ได้ด้วยการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัวและความล้า ดังจะกล่าวรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 การเตรียมและทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของแอสฟัลต์ซีเมนต์

แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้จะใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภท AC 60/70 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์-อุตสาหกรรมแอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับงานทาง มาตรฐานเลขที่ มอก.851 โดยคุณสมบัติต่างๆที่ทำการตรวจวัด ในเบื้องต้นจะอ้างอิงตาม มอก.851 และนอกจากนี้ยังทำการทดสอบบางคุณสมบัติที่อยู่ในวิธีการแบ่งประเภทแอสฟัลต์ซีเมนต์วิธีอื่นด้วย นั่นก็คือค่าความหนืดและ Dynamic shear stiffness ($G^*/\sin\delta$) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของวัสดุที่นำมาใช้ การทดสอบทั้งหมดสำหรับแอสฟัลต์ซีเมนต์แสดงได้ดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 ซึ่งแยกเป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ยังไม่ผ่านและที่เหลือจากการอบตาม ASTM D 1754

ตารางที่ 3.1 การตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ยังไม่ผ่านการอบ

คุณสมบัติ	วิธีทดสอบ
- ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)	AASHTO T228
- ค่าเพนิเทรชั่น (Penetration)	ASTM D5
- จุดวาบไฟ	ASTM D92
- การยืดดึง (Ductility)	ASTM D113
- การละลายในไตรคลอโรเอทิลีน(Solubility)	ASTM D2042
- ความหนืด ที่อุณหภูมิ 135 องศาเซลเซียส	ASTM D 2170
- Dynamic shear , $G^*/\sin\delta$	AASHTO TP5

ตารางที่ 3.2 การตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของแอสฟัลต์ซีเมนต์
ที่เหลือจากการอบตาม ASTM D 1754

คุณสมบัติ	วิธีทดสอบ
- น้ำหนักที่สูญเสียของกากที่เหลือจากการอบ	ASTM D1754
- ค่าเพนิเทรชั่น (Penetration) ของกากที่เหลือจากการอบ	ASTM D1754 และ ASTM D5
- การยืดดึง (Ductility) ของกากที่เหลือจากการอบ	ASTM D1754 และ ASTM D113
- Dynamic shear , G*/sin δ ของกากที่เหลือจากการอบ	ASTM D1754 และ AASHTO TP5

3.2 การเตรียมและทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของมวลรวม

มวลรวม ซึ่งจะแบ่งย่อยเป็นมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) และมวลรวมละเอียด (Fine Aggregate) ในเบื้องต้นจะทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆตามรายละเอียดและข้อกำหนดการก่อสร้างทางหลวงในส่วนงานแอสฟัลต์คอนกรีต

3.2.1 มวลรวมหยาบ

หมายถึงส่วนที่ค้างตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร จะมีการทดสอบคุณสมบัติดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การตรวจวัดคุณสมบัติของมวลรวมหยาบ

คุณสมบัติ	วิธีทดสอบ
- ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) และค่าการดูดซึม (Absorption)	ASTM C127
- ค่าความสึกหรอ	ASTM C131 หรือ ทล.-ท.202
- ค่าความคงทน (Soundness)	AASHTO T104 หรือ ทล.-ท.213
- แอสฟัลต์ที่เคลือบผิว	AASHTO T182
- ปริมาณวัสดุเปราะบางที่ไม่เป็นที่ต้องการ	AASHTO T112 หรือ ASTM C142
- ค่าเหลี่ยมมุมของวัสดุ	ASTM D5821
- ปริมาณวัสดุที่มีรูปร่างแบนยาว	ASTM D4791

3.2.2 มวลรวมละเอียด

หมายถึงส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร จะมีการทดสอบคุณสมบัติดังตารางที่ 3.4

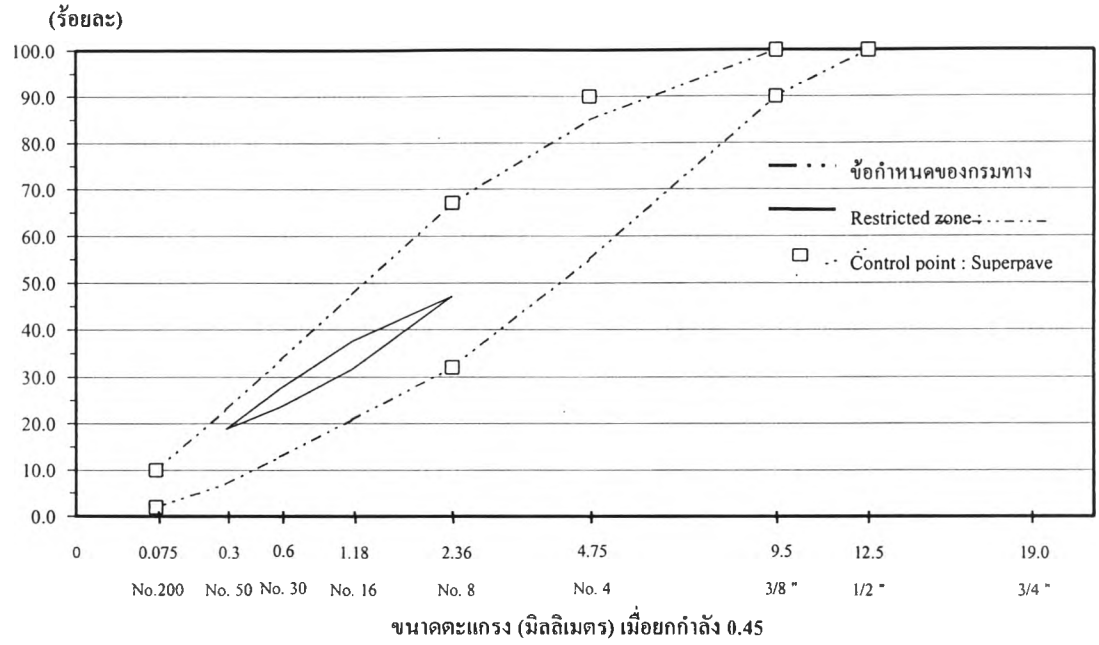
ตารางที่ 3.4 การตรวจวัดคุณสมบัติของมวลรวมละเอียด

คุณสมบัติ	วิธีทดสอบ
- ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) และค่าการดูดซึม (Absorption)	ASTM C128
- ค่าสมมูลย์ของทราย	AASHTO T176 หรือ ทล.-ท.203
- ค่าความคงทน (Soundness)	AASHTO T104 หรือ ทล.-ท.213

3.3 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลและวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1

จากวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์และมวลรวมที่ผ่านการทดสอบตามเกณฑ์ข้อกำหนดต่างๆ นำมาทำการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลและวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1 โดยที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดคละของมวลรวมให้มีทั้งหมด 3 ขนาดคละ โดยใช้พื้นที่ถูกจำกัดของซูเปอร์เพฟและช่วงของขนาดคละตามมาตรฐานของกรมทางหลวงเลขที่ ทล.-ม. 408/2532 เป็นหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกขนาดคละ หลักเกณฑ์ที่ใช้นี้จะแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ทำการคัดเลือกขนาดคละให้ได้และกำหนดชื่อดังต่อไปนี้

- ขนาดคละ 1 (Gradation # 1) ขนาดคละที่เป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงแต่อยู่ด้านบนของพื้นที่ถูกจำกัด
- ขนาดคละ 2 (Gradation # 2) ขนาดคละที่เป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงแต่ผ่านพื้นที่ถูกจำกัด
- ขนาดคละ 3 (Gradation # 3) ขนาดคละที่เป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงแต่อยู่ด้านล่างของพื้นที่ถูกจำกัด



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงข้อกำหนดของขนาดคละที่นำมาใช้ในการคัดเลือกขนาดคละ

การออกแบบส่วนผสมโดยวิธีมาร์แชลจะอ้างอิงตามการทดลอง ทล-ท.604 "วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธี Marshall" ปริมาณจราจรที่ใช้ในการออกแบบจะทำทั้งหมด 2 ระดับ คือ ปริมาณจราจรปานกลางและมากซึ่งเทียบเท่ากับจำนวนการปล่อยก้อนน้ำหนักต่อแต่ละด้านของก้อนตัวอย่างเท่ากับ 50 และ 75 ครั้ง ตามลำดับ ดังนั้นหลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนนี้จะได้ผลการออกแบบทั้งหมด 6 ค่า (มวลรวม 3 ขนาดคละ ขนาดคละละ 2 ระดับปริมาณจราจร)

การออกแบบส่วนผสมโดยวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1 จะอ้างอิงการเตรียมตัวอย่างตามวิธีทดสอบ "Standard Method for Preparing and Determining the Density of Hot Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the SHRP Gyratory Compactor (AASHTO TP4)" โดยทำการบดอัดจนถึงจำนวนรอบสูงสุดที่ใช้ในการออกแบบสำหรับปริมาณจราจรและค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดโดยเฉลี่ยที่มากที่สุด (288 รอบ) แล้วทำการคำนวณกลับเพื่อออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับทุกระดับปริมาณจราจรและทุกค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุดโดยเฉลี่ย ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะทำการผสม 3 ส่วนผสม แต่ค่าที่ได้จะครอบคลุมระดับปริมาณจราจรที่ใช้ในวิธีมาร์แชล และสำหรับการออกแบบโดยวิธีซูเปอร์เพฟ ระดับ 1 นี้ จะไม่ทำการทดสอบหาค่าสัดส่วนกำลังความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength Ratio(TSR)) ตามมาตรฐานวิธีทดสอบ AASHTO T283 เนื่องจากว่าต้องการออกแบบให้ครอบคลุมระดับปริมาณจราจรและอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดทุกค่า ไม่ได้ทำการออกแบบเฉพาะสำหรับนำไปใช้ที่ใดที่หนึ่ง

ในกระบวนการออกแบบส่วนผสมทั้งสองวิธีนั้น จะหาขนาดคละที่สามารถผ่านตามข้อกำหนดในการออกแบบให้ได้ครบทั้ง 3 ขนาด นั่นคือถ้าขนาดคละใดขนาดคละหนึ่งสามารถออกแบบได้เพียงวิธีเดียวหรือไม่ผ่านข้อกำหนดของอีกวิธีนั้น ก็จะทำการเปลี่ยนไปใช้ขนาดคละอื่นแต่ยังคงอยู่ในหลักเกณฑ์การเลือกขนาดคละในการศึกษาดังที่กล่าวไปแล้ว

3.4 การเปรียบเทียบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้

หลังจากทำการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยทั้ง 2 วิธีที่แตกต่างกันข้างต้นแล้ว จากผลการออกแบบก็จะทำให้ทราบปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมและคุณลักษณะทางปริมาตรที่ได้จากแต่ละวิธี ที่ระดับปริมาณจราจรแตกต่างกันและที่อุณหภูมิในการใช้งานที่แตกต่างกัน(ในวิธีของซูเปอร์เพฟ) ค่าต่างๆเหล่านี้ก็จะนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อแสดงถึงผลของการใช้วิธีในการออกแบบที่แตกต่างกัน โดยค่าที่จะเปรียบเทียบก็คือ

- ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ (%AC)
- ปริมาณช่องว่างในมวลรวม (VMA)
- ปริมาณช่องว่างที่ถูกเติมด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ (VFA)

3.5 การทดสอบหาความแปรปรวนของการบดอัดด้วยวิธีที่แตกต่างกัน

การทดสอบในขั้นตอนนี้ ก็เพื่อตรวจวัดว่าก้อนตัวอย่างที่ทำการบดอัดด้วยวิธีการบดอัดที่แตกต่างกัน จะทำให้ได้ความหนาแน่นของกลุ่มก้อนตัวอย่างที่มีความแปรปรวนแตกต่างกันหรือไม่

การทดสอบนี้จะใช้วิธีการทดสอบสมมติฐานโดยใช้วิธี F-test ในการทดสอบ ขั้นตอนในการทดสอบสำหรับมวลรวมแต่ละขนาดคละนั้น จะผสมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3 ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักของมวลรวม) ปริมาณละ 8 ก้อนตัวอย่าง ซึ่งจะแบ่งไปบดอัดด้วยการปล่อยก้อนน้ำหนักเป็นจำนวน 75 ครั้งต่อด้านตามวิธีมาร์แชลและบดอัดด้วยเครื่อง Gyratory Compactor ตามวิธีซูเปอร์เพฟที่จำนวนรอบสูงสุด อย่างละจำนวน 4 ก้อน หรือแต่ละขนาดคละจะทำการผสมตัวอย่างทั้งหมด 24 ก้อน ทำแบบเดียวกันทั้ง 3 ขนาดคละ สามารถแสดงการทดสอบสำหรับแต่ละขนาดคละได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การทดสอบความแปรปรวนของการบดอัดสำหรับแต่ละขนาดคละ

	ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ (ร้อยละโดยน้ำหนักมวลรวม)		
	# 1	# 2	# 3
บดอัดโดยวิธีมาร์แชล	4 ก้อน	4 ก้อน	4 ก้อน
บดอัดโดย Gyratory Compactor	4 ก้อน	4 ก้อน	4 ก้อน

การทดสอบจะทำการเปลี่ยนค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เพราะคำนึงถึงผลของปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เปลี่ยนแปลงไป สำหรับช่วงปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เลือกใช้นี้ เลือกจากค่าที่ครอบคลุมปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ได้จากการออกแบบในการศึกษานี้

สำหรับจำนวนก้อนตัวอย่างที่เลือกใช้ เนื่องจากการทดสอบในขั้นตอนนี้ได้ทำการควบคุมตัวแปรทุกอย่างในการทดลองไว้ทั้งหมด ตั้งแต่วัสดุ วิธีการผสม และตัวผู้ทดสอบ มีแตกต่างกันก็เพียงวิธีการบดอัดที่ใช้ซึ่งนั่นก็คือประเด็นที่ต้องการเปรียบเทียบ ปริมาณตัวอย่างที่ใช้น้อยที่สุดก็คือ 3 ก้อนตัวอย่าง แต่ในการศึกษานี้เลือกใช้จำนวน 4 ก้อนตัวอย่างดังตารางที่ 3.5 นั้น เป็นเพราะไม่เป็นจำนวนตัวอย่างที่น้อยและมีความเหมาะสมทางด้านวัสดุและเวลาที่ใช้

การทดสอบสมมติฐานนี้จะใช้การทดสอบแบบข้างเดียว โดยตั้งสมมติฐานที่ต้องการทดสอบ(H_0)และสมมติฐานแย้ง(H_a)ไว้ดังนี้

- สมมติฐานที่ต้องการทดสอบ (H_0) : ความแปรปรวนของความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ทำการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับความแปรปรวนของความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ทำการบดอัดด้วย Gyratory Compactor ในวิธีของซูเปอร์เพฟ ($\sigma^2_M \leq \sigma^2_S$)
- สมมติฐานแย้ง (H_a) : ความแปรปรวนของความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ทำการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลมีค่ามากกว่าความแปรปรวนของความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ทำการบดอัดด้วย Gyratory Compactor ในวิธีของซูเปอร์เพฟ ($\sigma^2_M > \sigma^2_S$)

เมื่อ

σ^2_M = ความแปรปรวนของความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ทำการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชล

σ^2_S = ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างที่ทำการบดอัดด้วย Gyratory Compactor ตามวิธีของซูเปอร์เพฟ

วิธีทางสถิติที่ใช้ทดสอบคือ F-test โดยทดสอบที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ซึ่งเป็นระดับที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป จำนวนชั้นแห่งความเป็นอิสระเท่ากับ 3 และ 3

3.6 การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวและความล้า

การทดสอบในขั้นตอนนี้ จะเป็นการทดสอบคุณสมบัติค่าโมดูลัสคืนตัวและความล้าของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมด้วยปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์แตกต่างกันซึ่งเป็นผลจากวิธีการออกแบบที่แตกต่างกัน (หมายถึงกรณีที่ผลการออกแบบให้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์แตกต่างกัน) โดยเตรียมตัวอย่างให้ได้ความหนาแน่นเท่ากัน

หลังจากที่ทราบผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้มวลรวมทั้ง 3 ขนาดคละ และจากวิธีการออกแบบทั้ง 2 วิธีแล้ว จะนำผลการออกแบบมาพิจารณาเลือกปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3 ค่าที่ครอบคลุมค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ได้จากการออกแบบ เพื่อพิจารณาถึงผลของการเปลี่ยนปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์

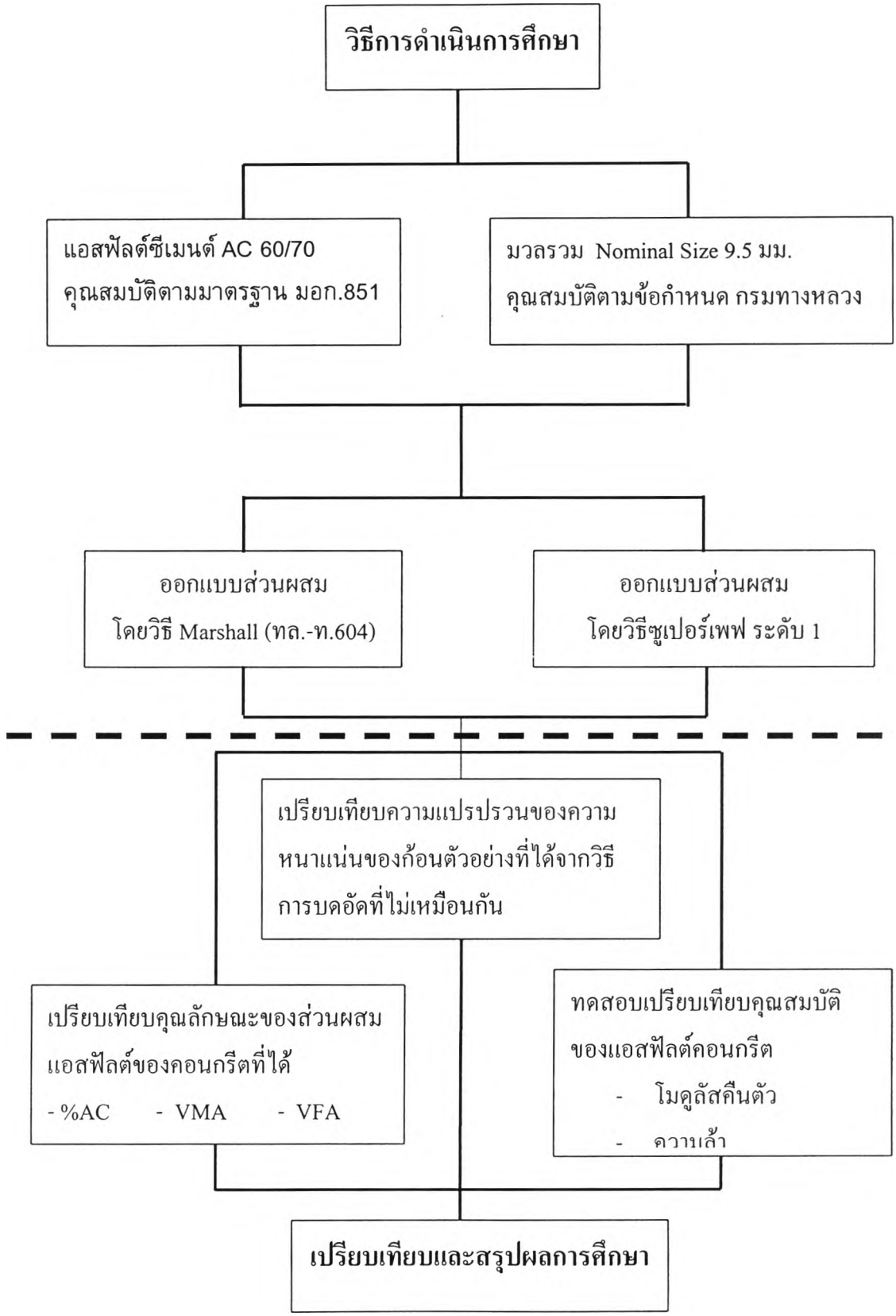
การเตรียมตัวอย่างสำหรับแต่ละขนาดคละ จะผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ 3 ปริมาณ ปริมาณละ 2 ตัวอย่าง สำหรับทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัวและความล้า นอกจากนี้ยังเตรียมตัวอย่างที่ค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ค่ากลาง(จาก 3 ปริมาณข้างต้น)เพื่อใช้ทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมเพื่ออ้างอิงแรงที่ใช้ในการทดสอบข้างต้น ดังนั้นสำหรับแต่ละขนาดคละจะทำการเตรียมตัวอย่างทั้งหมด 7 ตัวอย่าง โดยทำการบดอัดให้ได้ตัวอย่างที่มีปริมาณช่องว่างของอากาศประมาณร้อยละ 6.0-7.0 ซึ่งเป็นปริมาณช่องว่างของอากาศของถนนแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไปภายหลังการก่อสร้างและเปิดใช้งาน

การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อมและค่าโมดูลัสคืนตัวจะใช้วิธีทดสอบในลักษณะของแรงดึงทางอ้อม โดยการทดสอบหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อมจะอ้างอิงตาม

มาตรฐานวิธีทดสอบ AASHTO T283 (Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage) ทดสอบที่อุณหภูมิ 25°C ความเร็วในการให้น้ำหนักเท่ากับ 0.8333 มิลลิเมตรต่อวินาที สำหรับการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัวจะอ้างอิงตามมาตรฐานวิธีทดสอบ ASTM D4123 (Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures) และ AASHTO TP31 (Standard Test Method for Determining the Resilient Modulus of Bituminous Mixtures by Indirect Tension) ที่อุณหภูมิ 25°C 40°C และ 55°C ซึ่งค่าอุณหภูมิสุดท้ายนี้ไม่ได้มีการอ้างถึงในมาตรฐานวิธีทดสอบ เพราะมาตรฐานวิธีทดสอบจะแนะนำค่าอุณหภูมิ 5°C แต่เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อน จึงได้เปลี่ยนมาใช้ค่าอุณหภูมิด้านสูงทดสอบแทนโดยใช้ระยะห่างของอุณหภูมิเท่ากับระยะห่างของอุณหภูมิจาก 25°C ถึง 40°C น้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบ จะอ้างอิงจากการทดสอบหาค่าแรงดึงทางอ้อมโดยใช้ที่ร้อยละ 15 5 และ 3 สำหรับที่อุณหภูมิ 25°C 40°C และ 55°C ตามลำดับ (สำหรับค่าที่อุณหภูมิ 25°C และ 40°C จะอ้างอิงจาก AASHTO TP31 ส่วนค่าที่ใช้สำหรับอุณหภูมิ 55°C จะเลือกใช้ค่าที่น้อยกว่าและให้ค่าการคืนตัวที่คงที่) ความถี่ในการให้น้ำหนักกระทำกับก้อนตัวอย่างทดสอบที่ความถี่ 1 Hz(1 รอบ/วินาที) ซึ่งเป็นค่าที่ ASTM D4123 แนะนำว่าเป็นความถี่ที่ใกล้เคียงกับความถี่ที่เกิดจากปริมาณจราจร และช่วงการให้น้ำหนักเท่ากับ 0.1 วินาที ช่วงการปล่อยนำหนักเพื่อรอน้ำหนักในรอบต่อไปเท่ากับ 0.9 วินาที หรือเทียบเป็นสัดส่วนได้คือ 1:9

ส่วนการทดสอบความล้าจะไม่มีมาตรฐานวิธีทดสอบที่อ้างอิงแน่นอน จึงเลือกทดสอบในรูปแบบเดียวกับการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัวโดยให้น้ำหนักกระทำซ้ำจนกว่าตัวอย่างจะมีค่าโมดูลัสคืนตัวลดลงเหลือเพียงประมาณครึ่งหนึ่งของค่าเริ่มต้น โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 40°C เพื่อความเหมาะสมทางด้านเวลาในการทดสอบ ดังนั้นค่าน้ำหนักที่ใช้ก็จะมีค่าเดียวกับการทดสอบโมดูลัสคืนตัว

ขั้นตอนการทดสอบทั้งหมดในการศึกษานี้สามารถแสดงได้ดังแผนภาพรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการศึกษา