หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลองแอสฟัลต์ซีเมนต์

จากผลการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอ. 1-5% และไม่ผสม จะให้ค่าที่ค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง 1.009-1.010 การทดลองค่า Penetration ทั้งก่อนและหลังการทำ Thin Film Oven Test จะให้ผลการทดลองคล้ายคลึงกัน ในช่วงแรกของการผสมจะให้ค่าความแข็งลดลง การจมของเข็มมากขึ้นและสูงสุดที่การผสมสารอีวีเอ. 3% เมื่อผสมมากขึ้นความแข็งกลับจะเพิ่มขึ้นอย่างมากทำให้ค่าการทะลวง (Penetration ลดลง การทดลองค่าการยืดตัว (Ductility) ทั้งก่อนและหลังการทำ Thin Film Oven Test จะให้ลักษณะของผลการทดลองคล้ายการทดลองค่าการทะลวง (Penetration) คือจะมีค่ามากขึ้นช่วงแรกที่การผสมสารอีวีเอ. 1-3% จะให้ค่าความเหนียวมากขึ้น และสูงที่สุดที่การผสมสารอีวีเอ. 3% จากนั้นจะลดลงเมื่อผสมสารอีวีเอมากขึ้น การทดลองจุดวาบไฟ (Flash Point) และการทดลองการสูญเสียสารประกอบแอสฟัลต์เมื่อได้รับความร้อน (Lost on Heating) จะให้ค่าความแตกต่างระหว่างแอสฟัลต์ทั้งก่อนและหลังการผสมสารอีวีเอน้อยมาก แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณการผสมสารอีวีเอ ส่วนการทดลองค่าความหนืดแบบคิเนมาติค (Kinematic Viscosity) ทั้งก่อนและหลังผ่านการทดลอง Thin Film Oven Test ปรากฏว่าจะให้ค่าที่สูงขึ้นตามปริมาณการผสมสารอีวีเอ ทั้งนี้อัตราการเพิ่มยังคงแตกต่างกันอยู่ โดยช่วงแรกที่การผสม 1-3% จะให้ค่าอัตราการเพิ่มสูงกว่าช่วงต่อไปที่อัตราการเพิ่มจะลดลง ตามปริมาณการผสมอีวีเอที่สูงขึ้น ผลการทดลองค่าจุดอ่อนตัว (Softening Point) จะคล้ายคลึงผลการทดลองความหนืด แต่การเพิ่มกลับเป็นไปอย่างสม่ำเสมอกว่า การเพิ่มความคงทน(Toughness) จะให้ค่าของงานที่ได้สูงเรื่อย ๆ ตามปริมาณการผสมสารอีวีเอ ซึ่งค่าที่ทดสอบได้นี้จะเป็นค่าในช่วงการยืดหยุ่นจนถึงจุดที่รับแรงได้สูงสุด ส่วนการทดลองความเหนียว (Tenacity) เป็นค่างานในช่วงพลาสติค (Plastic) จะยืดตัวรับแรงลดลงและไม่มีการคืนตัวกลับจนขาด ค่าที่ได้จะสูงในช่วงแรกตามปริมาณการผสมสารอีวีเอและสูงสุดที่ 3% จากนั้นค่าการทดสอบจะต่ำลงเมื่อมีการผสมสารอีวีเอมากขึ้น ผลการทดลอง

นี้คล้ายคลึงการทดลองการยืดตัวและการทดลองการคืนตัว (Torsional Recovery) จะให้ค่าการเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตามปริมาณการผสมสารอีวีเอ แต่สำหรับการทดลองการคืนตัวอัตราการเพิ่มช่วงแรกที่ 2-3% กลับ ให้ค่าที่ต่ำกว่าอัตราการเพิ่มช่วงหลัง 2-3%

6.2 สรุปผลการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต

จากการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตของมวลรวมหินคลุก ค่าจากการประเมินโดยวิธี CKE จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการออกแบบตามข้อกำหนดของสถาบัน The Asphalt Institute ซึ่งจะได้ค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 5.1% โดยน้ำหนักมวลรวม ค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ เท่ากับ 49 และจะให้ค่าช่องว่างอากาศ เท่ากับ 3.7% ซึ่งอยู่ในช่วงที่กำหนด 3-5% ส่วนค่าการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value) จะให้ค่าการทดสอบเท่ากับ 291.9 สูงกว่าค่าที่กำหนดมากด้วย เมื่อเปรียบเทียบค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีแอสฟัลต์ซีเมนต์ผสมสารอีวีเอปริมาณ 2-5% โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์กับที่ไม่ผสม ผลการทดลองค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ 60 °ซ. ค่าที่ได้จะลดลงเรื่อย ๆ ในช่วงการผสม 2-3% ต่ำสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% จากนั้นค่าที่ได้จะสูงขึ้นแต่ยังคงต่ำกว่าการทดลองแอสฟัลต์ซีเมนต์ ในทำนองเดียวกันเมื่อบ่มตัวอย่างก่อนทำการทดสอบที่ 7, 14 และ 28 วัน จะให้ลักษณะผลการทดลองคล้ายคลึงเดิม เมื่อเปรียบเทียบจากการผสมสารอีวีเอและไม่ผสมในแอสฟัลต์ซีเมนต์ แต่อย่างไรค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์จะยังคงเพิ่มตามจำนวนวันการบ่ม ส่วนการทดสอบค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ที่ 25 °ซ. จะให้ผลแตกต่างจากเดิมเมื่อผสมสารอีวีเอมากขึ้นค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์กลับเพิ่มขึ้นจนถึงการผสมสารอีวีเอที่ 3% จะเป็นค่าสูงสุด จากนั้นค่าที่ได้จะลดลง เมื่อปริมาณสารอีวีเอสูงขึ้น ส่วนการทดลองค่าการยึดเหนียวปรากฏว่าที่การทดลอง 60 °ซ. เมื่อผสมสารอีวีเอค่าจะลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงการผสม 3% จะต่ำสุด จากนั้นค่าจะสูงขึ้นเมื่อผสมสารอีวีเอมากขึ้น ผลการทดลองตัวอย่างที่บ่ม 7, 14 และ 28 วัน ผลการเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมสารอีวีเอและไม่ผสมสารอีวีเอจะยังคงลักษณะเป็นเช่นเดียวกัน แต่ค่าที่ได้จากการทดสอบยังคงเพิ่มตามจำนวนวันที่บ่ม แต่อัตราการเพิ่มจะลดลงเมื่อจำนวนวันที่บ่มมากขึ้น และจากการทดสอบที่ 25 °ซ. ค่าการยึดเหนี่ยวจะให้ค่าสูงขึ้นตามปริมาณการผสมสารอีวีเอจนถึงค่าการผสมที่ 4% จะให้ค่าสูงสุด และเมื่อผสมสารอีวีเอมากขึ้นกลับจะให้ค่าที่ลดลง

เมื่อวิเคราะห์จากผลการทดลองข้างต้น แสดงให้เห็นว่าสารอีวีเอไม่สามารถปรับปรุงค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์และค่าการยึดเหนี่ยวที่อุณหภูมิสูง 60 °ซ. ได้ แต่จะกลับไปปรับปรุงค่าดังกล่าวที่อุณหภูมิต่ำที่ 25 °ซ. และค่าที่เหมาะสมในการผสมสารอีวีเอเท่ากับ 3% โดยน้ำหนักแอสฟัลต์ซีเมนต์

ผลจากการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตของมวลรวมดิน Silty Clay ที่ปรับปรุงด้วยหินคลุก 20% โดยน้ำหนักดิน จะได้ค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์สูงสุดเพียง 29 ซึ่งไม่เหมาะในการทำพื้นทางถนน แต่เมื่อเพิ่มการปรับปรุงด้วยหินคลุกมากขึ้นเป็น 30% โดยน้ำหนักดินปรากฏว่าค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์จากการออกแบบจะสูงขึ้นตามปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ และสูงสุดที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 9% ค่าเสถียรภาพเท่ากับ 33 จากนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์กลับจะให้ค่าที่ต่ำลง ที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 9% ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.122 เปอร์เซนต์ช่องว่างระหว่างอากาศเท่ากับ 9.7% และค่าการยึดเหนี่ยวเท่ากับ 742.3 ทั้งนี้เป็นไปตามข้อกำหนดค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ 9% จึงเป็นค่าที่เหมาะสม เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองของแอสฟัลต์ที่ผสมสารอีวีเอ 2-5% กับที่ไม่ผสม การทดสอบทำที่ 60 °ซ. พบว่าจะให้ลักษณะผลการทดลองคล้ายคลึงกับผลการทดลองของวัสดุหินคลุก ค่าเสถียรภาพจะต่ำลงตามปริมาณการผสมสารอีวีเอจนถึงปริมาณการผสมสารอีวีเอที่ 3% จะให้ค่าต่ำสุด และจะสูงขึ้นตามปริมาณสารอีวีเอมากขึ้น เมื่อทำการทดสอบ ตัวอย่างที่บ่ม 7, 14 และ 28 วัน เปรียบเทียบค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอและไม่ผสม จะปรากฏผลคล้ายคลึงเดิม แต่ค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์จะยังคงสูงขึ้นตามจำนวนวันที่บ่ม และอัตราการเพิ่มจะลดลงเมื่อการบ่มมากวันขึ้น การทดสอบค่าการยึดเหนี่ยวจะให้ค่าต่ำลงเมื่อผสมสารอีวีเอจนถึงจุดต่ำสุดที่ 3% จากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้น และสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ทำการผสมสารอีวีเอ 5% เมื่อทำการทดสอบตัวอย่างที่บ่ม 7, 14 และ 28 วัน ค่าการยึดเหนี่ยวของแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอและไม่ผสมยังคงมีลักษณะเช่นเดิม อัตราเพิ่มจะลดลงเมื่อจำนวนวันที่บ่มที่มากขึ้น ส่วนการทดสอบที่ 25 °ซ. ค่าเสถียรภาพสัมพัทธ์จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงอัตราการผสมสารอีวีเอ 3% จะให้ค่าสูงสุด จากนั้นเมื่อผสมมากขึ้นค่าที่ได้จะลดลง ส่วนค่าการยึดเหนี่ยวจะสูงขึ้นตามปริมาณการผสมสารอีวีเอ

ผลการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตของดิน Silty Sand ที่ปรับปรุงด้วยหินคลุก 30% โดยน้ำหนักดิน ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับดิน Silty Clay จะได้ค่าเสถียรภาพสูงสุดที่ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 8% หากมีปริมาณมากกว่านี้กลับจะได้ค่าที่ลดลง ค่าเปอร์เซนต์ช่องว่างอากาศ

จะลดลงตามปริมาณแอสฟัลต์ที่สูงขึ้น และที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ 8% จะให้ค่าเปอร์เซนต์ช่องว่างเท่ากับ 5.6% ค่าการยืดเหนี่ยวเท่ากับ 416.0 และค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.260 ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดที่ 2.23 ดังนั้นค่าปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมจึงเท่ากับ 8% การทดลองหาค่าการทดสอบค่าเสถียรภาพเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอ 2-5% กับที่ไม่ผสม ทั้งที่บ่มที่ 7, 14 และ 28 วัน หรือที่ไม่บ่ม ปรากฏผลที่คล้ายคลึงกันคือ ค่าเสถียรภาพลัมพัทธ์จะต่ำลงเมื่อการผสมสารอีวีเอมากขึ้น จนถึงจุดต่ำสุดที่การผสม 3% จากนั้นจะให้ค่าที่สูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณการผสม และค่าเสถียรภาพจะยังคงเพิ่มขึ้นตามจำนวนวันที่บ่ม แต่อัตราการเพิ่มกลับจะลดลงเมื่อจำนวนวันที่บ่มมากขึ้น ส่วนการทดสอบค่าการยืดเหนี่ยวเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอ 2-5% กับที่ไม่ผสม ทั้งตัวอย่างที่บ่มนาน 7, 14 และ 28 วัน หรือที่ไม่บ่ม ผลการทดลองยังคงคล้ายคลึงเดิม จะให้ค่าที่ต่ำลงในการผสมสารอีวีเอช่วงแรก และต่ำสุดที่การผสม 3% จากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อการผสมเพิ่มขึ้นและค่าการยืดเหนี่ยวจะยังคงเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนวันที่บ่มสูงขึ้นอีกเช่นกัน และเมื่อทำการทดสอบที่ 25 °ซ. ปรากฏว่าค่าเสถียรภาพจะสูงขึ้นในช่วงแรกของการผสมสารอีวีเอ และสูงสุดที่การผสม 3% จากนั้นค่าจะลดลงเมื่อการผสมสูงขึ้น ในทำนองเดียวกันการทดสอบค่าการยืดเหนี่ยวจะมีลักษณะของผลการทดลองคล้ายคลึงกัน แต่ค่าการยืดเหนี่ยวจะสูงสุดที่การผสมสารอีวีเอ 4%

จากการทดลองดังกล่าว เมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของตารางที่ 2.21 และ 2.23 ปรากฏทั้งดิน Silty Clay และ Silty Sand สามารถปรับปรุงขึ้นเพื่อเป็นชั้นพื้นทางถนนได้ และเมื่อ Silty Clay ปรับปรุงด้วยหินคลุก 30% และแอสฟัลต์ซีเมนต์ จะเหมาะสำหรับทำเป็นชั้นพื้นทางถนนที่มีการจราจรเบาบาง แต่หากมีการบ่มมากกว่า 7 วัน จะสามารถรับระดับปริมาณการจราจรสูงขึ้นได้ ดิน Silty Clay ปรับปรุงด้วยหินคลุก 30% และแอสฟัลต์ซีเมนต์ จะใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์น้อยกว่าดิน Silty Clay เนื่องจากวัสดุเม็ดมากขึ้น ความแข็งแรงจะสูงขึ้นสามารถใช้ทำพื้นทางถนนรับปริมาณการจราจรระดับปานกลางได้ หากแต่มีการบ่มก่อนใช้งานนานมากขึ้น จะสามารถรับระดับการจราจรที่สูงขึ้นได้

จากผลการทดลองพบว่า ค่าเสถียรภาพลัมพัทธ์ของแอสฟัลต์คอนกรีตของหินคลุกจะสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตของดิน Silty Sand และแอสฟัลต์คอนกรีตของดิน Silty Sand ก็จะให้ค่าสูงกว่าดินแอสฟัลต์คอนกรีตของดิน Silty Clay ทั้งนี้เนื่องจากขนาดวัสดุยิ่งโตจะให้ค่าการรับน้ำหนักได้ดีกว่า ทั้งนี้จะต้องมีขนาดคละที่ดีด้วยค่าการยืดเหนี่ยวของแอสฟัลต์คอนกรีต

ของดิน Silty Clay จะให้ค่าสูงสุด รองลงมาคือแอสฟัลต์คอนกรีตของดิน Slity Sand และแอสฟัลต์คอนกรีตของหินคลุกกลับจะให้ค่าการยึดเหนี่ยวต่ำกว่าวัสดุอื่น

6.3 ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการทดลองของแอสฟัลต์คอ. กรีตเพื่อประเมินความเป็นได้ในการทำชั้นพื้นทางของดิน Silty Clay และดิน Silty Sand ที่ทำการปรับปรุงด้วยมวลรวมหินคลุกและแอสฟัลต์ซีเมนต์ ปรากฏว่ามีความเหมาะสมจริง ซึ่งเป็นการนำทรัพยากรในท้องถิ่นมาใช้ให้เป็นประโยชน์ และเป็นการเลือกใช้วัสดุทดแทนมวลรวมหินคลุกและดินลูกรังด้วย การเลือกประเภทของดินพบว่าหากมีวัสดุเม็ดอยู่มาก โดยเฉพาะดินที่มีทรายผสมอยู่มากจะยิ่งทำให้ความแข็งแรงสูงขึ้น และลดปริมาณการใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ลงด้วย

2. การปรับปรุงแอสฟัลต์ซีเมนต์ด้วยสารอีวีเอโคโพลิเมอร์ พบว่าไม่มีความเหมาะสมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ต้องการความแข็งแรงเพิ่มขึ้นสำหรับอุณหภูมิที่สูง แต่จะกลับเหมาะสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตที่ต้องการความแข็งแรงที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากมีความสามารถในการยืดหยุ่นที่ดีและไม่เปราะแตกด้วย จึงเหมาะสำหรับการทำถนนในประเทศที่อากาศหนาวเย็น ส่วนประเทศไทยจึงไม่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในการปรับปรุงความแข็งแรงให้ถนน

3. การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีฮวีม (Hveem) เหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาใช้ โดยเฉพาะวัสดุมีขนาดเม็ดเล็ก เนื่องจากการทำงานของการบดอัดจะมีลักษณะเป็นการกระแทก (Compaction) และการนวด (Kneading) ไปพร้อม ๆ กัน จึงเป็นเสมือนการจำลองการทำงานจริง ๆ ของภาคสนามได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้การทดสอบค่าการยึดเหนี่ยว (Cohesiometer Value) เป็นการประเมินหาค่า Indirect Tensile Strength ทางอ้อมด้วย อีกทั้งการทดลองวัดการพองตัว (Swell) ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ต้องแช่น้ำ เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตรดิน ซึ่งเป็นการออกแบบที่เหมาะสมกับประเทศไทยที่มีสภาพภูมิ-อากาศฝนตกชุกด้วย และในการออกแบบแอสฟัลต์ของหินคลุก นอกจากจะประเมินหาค่าของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมจากข้อกำหนดของค่าเสถียรภาพ, ค่าการยึดเหนี่ยว และค่าการพองตัว ยังมีการประเมินค่าแอสฟัลต์คอนกรีต จากการทดลอง Contrifuge Kerosene Equivalent เป็นการตรวจสอบซ้ำอีกครั้งหนึ่ง สามารถใช้เป็นค่าประเมินขั้นต้นแบบคราว ๆ ได้ และค่าที่ได้จากการประเมินทั้งสองวิธีจะใกล้เคียงกันด้วย

4. จากผลการทดลองคุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ผสมสารอีวีเอ และไม่ผสม ที่อุณหภูมิ 25 °ซ. ค่าการจมของเข็ม และค่าการยืดตัว จะให้ค่าสูงสุดที่การผสมสารอีวีเอ 3% และเมื่อทดสอบค่าความหนืดแบบคิเนมาติค, ค่าความคงทน, ค่าความเหนียว และค่าการคืนตัว ที่การผสมสารอีวีเอที่ 3% จะเป็นจุดที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูง ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการทดลองเสถียรภาพสัมพัทธ์ที่ 25 °ซ. และค่าการยืดเหนี่ยวที่อุณหภูมิ 25 °ซ. ที่การผสมสารอีวีเอ 3% จะเป็นจุดที่มีอัตราการเพิ่มเปลี่ยนแปลงมากด้วย ดังนั้นอัตราการผสมสารอีวีเอในการนำไปปรับปรุงแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่อุณหภูมิต่ำ จะเท่ากับ 3% นั่นเอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย