บทที่ 6

สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

จากการนำวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภท AC 60/70 และวัสดุมวลรวมประเภทหินปูนบริเวณภาคกลางของประเทศไทย มาทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน และนำมาทำการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล ด้วยสัดส่วนขนาดคละภายใต้บริเวณที่กำหนดไว้ จากนั้นจึงนำส่วนผสมที่ได้จากการออกแบบมาทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติค่าโมดูลัสคืนตัวด้วยวิธีแรงดึงทางอ้อม ซึ่งการวิเคราะห์ผลทดสอบวัสดุที่ได้จะทำให้เราทราบถึงคุณสมบัติต่าง ๆ และทราบถึงความเป็นไปได้ในการนำวัสดุในท้องถิ่นเหล่านั้นมาใช้เป็นวัสดุผิวทางภายใต้มาตรฐานการก่อสร้างของกรมทางหลวง รวมถึงอาจจะเกิดข้อเสนอแนะแนวทางในการใช้งานจากการลองทดสอบได้ภายหลังการทำการทดสอบจริง

สำหรับค่าโมดูลัสคืนตัว (M_r) ของวัสดุผิวทางที่เป็นแอสฟัลต์คอนกรีตนั้นเป็นข้อมูลสำคัญที่จะนำไปสร้างกราฟเพื่อการออกแบบ (Design Chart) ความหนาชั้นผิวทางของโครงสร้างถนนชนิดยืดหยุ่นที่มีปริมาณจราจรต่าง ๆ ได้อย่างสะดวกและรวดเร็วด้วยโปรแกรม Kenlayer ซึ่งการนำ Design Chart ไปใช้งานสามารถทำได้โดยการเลือกรูปแบบโครงสร้างชั้นทาง ค่า Subgrade Resilient Modulus และค่า ESAL ที่คาดว่าน่าจะเกิดขึ้น แล้วเปิดหาค่าความหนาของชั้นผิวทางขั้นต่ำที่ใช้ในการออกแบบจาก Design Chart ของโครงสร้างชั้นทางแบบต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้เบื้องต้น

Design Chart ที่สร้างขึ้นเพื่อช่วยในการออกแบบความหนาของโครงสร้างผิวทาง ได้มีการแบ่งประเภทของ Chart ต่าง ๆ ตามระบบโครงสร้างชั้นทาง ซึ่งระบบโครงสร้างชั้นทางสามารถแบ่งได้เป็น 2 ระบบด้วยกัน ได้แก่ ระบบโครงสร้างชั้นทาง 4 ชั้น ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ชั้นพื้นทางดินลูกรังผสมซีเมนต์ ชั้นรองพื้นทางดินลูกรังที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุประเภท Granular และชั้น Subgrade และระบบโครงสร้างชั้นทาง 3 ชั้น ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นผิวทางและพื้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต ชั้นรองพื้นทางดินลูกรังที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุประเภท Granular และชั้น Subgrade

ระบบโครงสร้างชั้นทาง 4 ชั้น สามารถแบ่งเป็นรูปแบบย่อยๆ ได้ 4 รูปแบบ สำหรับการวิเคราะห์แบบ Linear Elastic และ 8 รูปแบบ สำหรับการวิเคราะห์แบบ Nonlinear Elastic และ Viscoelastic ซึ่งมีความหนาของชั้นรองพื้นทางและชนิดของชั้นพื้นทางและชั้นรองพื้นทางที่แตกต่างกันไป เมื่อใช้โปรแกรม Kenlayer ช่วยในการวิเคราะห์ค่า Critical strain ที่เกิดขึ้นในชั้นทาง เพื่อทำการคำนวณหาค่าจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้ พบว่าค่า Critical strain ในช่วงจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่พิจารณาน้อยกว่า 10^6 เที่ยว ซึ่งเป็นค่าสำหรับปริมาณจราจรน้อยถึงสูงปานกลาง จะเกิดขึ้นที่ด้านล่างของส่วนบนของชั้น Subgrade ทั้งหมด ซึ่งเป็นค่า Vertical Compressive Strain ที่จะทำให้เกิดการวิบัติแก่โครงสร้างชั้นทางขึ้น สำหรับ Design Chart ที่สร้างขึ้นสำหรับโครงสร้างชั้นทางแบบ Linear Elastic รูปแบบที่ 1 ถึงรูปแบบที่ 4 นั้น ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค. สำหรับ Design Chart ที่สร้างขึ้นสำหรับโครงสร้างชั้นทางแบบ Nonlinear Elastic รูปแบบที่ 1 ถึงรูปแบบที่ 8 นั้น ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง. และสำหรับ Design Chart ที่สร้างขึ้นสำหรับโครงสร้างชั้นทางแบบ Viscoelastic รูปแบบที่ 1 ถึงรูปแบบที่ 8 นั้น ได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ.

ระบบโครงสร้างชั้นทาง 3 ชั้น สามารถแบ่งเป็นรูปแบบย่อยๆ ได้ 2 รูปแบบ สำหรับการวิเคราะห์แบบ Linear Elastic และ 4 รูปแบบ สำหรับการวิเคราะห์แบบ Nonlinear Elastic และ Viscoelastic ซึ่งมีความหนาของชั้นรองพื้นทางและชนิดของชั้นรองพื้นทางที่แตกต่างกันไป เมื่อใช้โปรแกรม Kenlayer ช่วยในการวิเคราะห์ค่า Critical strain ที่เกิดขึ้นในชั้นทาง เพื่อทำการคำนวณหาค่าจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้ พบว่าค่า Critical strain ในช่วงจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่พิจารณาน้อยกว่า 10^6 เที่ยว ซึ่งเป็นค่าสำหรับปริมาณจราจรน้อยถึงสูงปานกลาง จะเกิดขึ้นที่ด้านล่างของส่วนบนของชั้น Subgrade ทั้งหมด ซึ่งเป็นค่า Vertical Compressive Strain ที่จะทำให้เกิดการวิบัติแก่โครงสร้างชั้นทางขึ้น สำหรับ Design Chart ที่สร้างขึ้นสำหรับโครงสร้างชั้นทางแบบ Linear Elastic รูปแบบที่ 5 ถึงรูปแบบที่ 6 นั้น ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค. สำหรับ Design Chart ที่สร้างขึ้นสำหรับโครงสร้างชั้นทางแบบ Nonlinear Elastic รูปแบบที่ 9 ถึงรูปแบบที่ 12 นั้น ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง. และสำหรับ Design Chart ที่สร้างขึ้นสำหรับโครงสร้างชั้นทางแบบ Viscoelastic รูปแบบที่ 9 ถึงรูปแบบที่ 12 นั้น ได้แสดงไว้ในภาคผนวก จ. โดย Design Chart ของระบบโครงสร้างชั้นทาง 3 ชั้นนี้ สามารถนำไปใช้ประยุกต์ในการออกแบบโครงสร้างถนน ที่มีความหนาของชั้นพื้นทางดินลูกรังผสมซีเมนต์แต่ละประเภทที่เป็นค่าต่างๆ กันได้

6.2 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาต่อไปในอนาคตสำหรับการออกแบบโครงสร้างถนนชนิดยืดหยุ่นด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์นี้ ตามความคิดเห็นของผู้วิจัยควรได้มีการพิจารณาและทำการศึกษาในประเด็นต่าง ๆ เพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1. ควรมีการพิจารณาความเหมาะสมในการออกแบบโครงสร้างถนนด้วยวิธีเชิงวิเคราะห์เชิงวิเคราะห์แบบต่าง ๆ ระหว่าง Linear Elastic Nonlinear Elastic และ Viscoelastic ตามคุณสมบัติของวัสดุท้องถิ่นที่มีอยู่นั้น เนื่องจากการวิเคราะห์แบบที่ต่างกันจะให้ค่าความหนาของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตต่างกัน

2. ควรมีการพิจารณาใช้วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภทอื่นๆ ในการออกแบบและหาค่าโมดูลัสคืนตัวของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เช่น โมดิฟายด์แอสฟัลต์ แอสฟัลต์ซีเมนต์พีนีเทรชั่นเกรดอื่นๆ ยางคัทแบค หรืออิมัลซิฟายแอสฟัลต์ เป็นต้น

3. ควรมีการพิจารณาใช้วัสดุชั้นพื้นทางและชั้นรองพื้นทางประเภทอื่นๆ ในการออกแบบและหาค่าโมดูลัสคืนตัว เช่น วัสดุที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวัสดุบิทูมินัส วัสดุที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาว ตลอดจนวัสดุชั้น Subgrade ด้วย เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการออกแบบโครงสร้างถนนในประเทศไทยได้อย่างกว้างขวางและถูกต้องมากขึ้น

4. ควรมีการทดลองศึกษาออกแบบโดยใช้มวลรวมและวัสดุชั้นทางต่างๆ ในบริเวณภูมิภาคอื่นๆ ในประเทศไทยด้วย ซึ่งได้แก่ ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ เพื่อสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบความหนาของโครงสร้างชั้นทางในประเทศไทยได้อย่างถูกต้องมากขึ้น

5. ควรมีการทดลองศึกษาออกแบบโดยใช้มวลรวมประเภทอื่นๆ ที่มีการใช้ทำถนนในประเทศไทยประกอบด้วย เช่น หินบะซอลท์ และหินแกรนิต เป็นต้น

6. ควรมีการทดลองเปลี่ยนแปลงใช้สัดส่วนผสมขนาดคละอื่นๆ ที่อยู่ภายในบริเวณข้อกำหนดของกรมทางหลวง เพื่อศึกษาผลกระทบของสัดส่วนผสมขนาดคละที่มีผลต่อคุณสมบัติของโครงสร้างผิวทางที่ได้

7. ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต ด้วยวิธีการทดสอบอื่นๆ เช่น วิธี Repeated Load Flexural Test เป็นต้น เพื่อเป็นแนวทางในการนำค่าปรับแก้ของแต่ละวิธีการทดสอบไปใช้ในการหาค่าโมดูลัสคืนตัวที่แท้จริงได้อย่างเหมาะสม และมีค่าถูกต้องตามจริงมากยิ่งขึ้น

8. ควรมีการเปรียบเทียบการนำไปใช้งานจริงในสนาม ทั้งการบดอัด การควบคุมคุณภาพ และสมรรถนะของโครงสร้างทางที่ใช้งานได้จริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย