บทที่ 6
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการทำการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติของวัสดุท้องถิ่นดินลูกรังที่ใช้ทำชั้นรองพื้นทางของถนนลาดยางซึ่งได้แก่ค่า Resilient Modulus (M_r) เพื่อที่จะนำไปสร้าง Design Chart ช่วยในการออกแบบความหนาชั้นรองพื้นทางของถนนลาดยางที่มีปริมาณจราจรน้อยถึงสูงปานกลางได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว

วัสดุที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ วัสดุท้องถิ่นดินลูกรังซึ่งนำมาจาก 3 จังหวัดบริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทย ได้แก่ จังหวัดชลบุรี จังหวัดฉะเชิงเทรา และจังหวัดปราจีนบุรี จากคุณสมบัติของดินลูกรังทั้ง 3 แหล่ง พบว่าเมื่อจำแนกประเภทดินตามวิธีการของ AASHTO สามารถจำแนกดินลูกรังจากแหล่งชลบุรี ฉะเชิงเทรา และปราจีนบุรี ได้เป็น A-1-a , A-2-4 และ A-2-6 ตามลำดับ ซึ่งวัสดุทั้ง 3 แหล่งนี้จัดเป็นวัสดุประเภท Granular ตามข้อกำหนดของ AASHTO จากการทดสอบพบว่าวัสดุทั้ง 3 แหล่งไม่ได้มาตรฐานเพราะขนาดคละไม่ผ่านเกณฑ์ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงสภาพความเป็นพลาสติกจากค่าขีดจำกัดเหลว และดัชนีสภาพพลาสติกแล้ว จะเห็นว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานในการนำวัสดุท้องถิ่นมาใช้เป็นรองพื้นทางของถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อยถึงปานกลาง จึงสามารถนำดินลูกรังจากทั้ง 3 แหล่งนี้มาใช้เป็นชั้นรองพื้นทางของถนนชนบทที่ออกแบบตามวิธี Analytical ได้

การทดสอบเพื่อหาค่า M_r ได้ทำการทดสอบตามมาตรฐาน AASHTO T292-91 ตามวิธีการทดสอบของวัสดุประเภท Granular ซึ่งค่า M_r ของวัสดุประเภทนี้จะมีค่าไม่คงที่ โดยจะแปรเปลี่ยนตามค่า Stress ที่เกิดขึ้น โดยมีความสัมพันธ์อยู่ในรูปของสมการที่ 2.4 เนื่องจากวัสดุ Granular เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติแบบ Nonlinear Elastic ในการทดสอบจะทำการให้น้ำหนักกระทำซ้ำตามแนวแกน โดยกำหนดขนาดคงที่ มีช่วงระยะเวลาที่น้ำหนักกระทำและความถี่ค่าหนึ่งกระทำกับแท่งตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm สูง 200 mm ระหว่างที่มีน้ำหนักกระทำซ้ำตามแนวแกนนั้น แท่งตัวอย่างจะถูกกระทำด้วยแรงดันรอบข้างที่คงที่ ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันภายในกระบอก Triaxial ทำการวัดค่า Recoverable Deformation ของแท่งตัวอย่าง จะทำให้สามารถคำนวณหาค่า M_r ได้ ในการทดสอบจะทำการปรับค่าแรงดันด้านข้างและน้ำหนักกระทำซ้ำเป็นค่าต่างๆตามลำดับที่ได้กำหนดไว้ในตารางที่ 3.3 ซึ่งแต่ละตัวอย่างจะทำการทดสอบทั้งสิ้น 14 ลำดับ จากนั้นจึงนำค่า M_r และค่า Bulk Stress (θ) ที่ได้จากการทดสอบมาเขียนกราฟในระบบ Log-Log Scale และใช้วิธี Linear Regression หาค่า k_1 และ k_2 ของสมการที่ 2.4 ได้ต่อไป

จากผลการทดสอบเพื่อหาค่า M_r ของดินลูกรังทั้ง 3 แหล่งพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า M_r กับค่า θ ไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อเพิ่มค่า θ จะมีผลทำให้ค่า M_r เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาผลของความชื้นของดินลูกรังทั้งสามแหล่งต่อค่า M_r จะพบว่าค่าความชื้นในช่วงที่ทำการทดสอบจะมีผลต่อค่า M_r น้อยมาก

ค่า M_r ดินลูกรังแหล่งชลบุรีจะมีค่าต่ำที่สุดคือมีค่าเท่ากับ $402\theta^{0.36}$ MPa ($9,741\theta^{0.36}$ psi) ในขณะที่แหล่งฉะเชิงเทราและปราจีนบุรีจะมีค่าใกล้เคียงกันคือมีค่าเท่ากับ $445\theta^{0.26}$ MPa ($17,382\theta^{0.26}$ psi) และ $467\theta^{0.25}$ MPa ($19,788\theta^{0.25}$ psi) ตามลำดับ และจะสังเกตได้ว่าค่า M_r ของดินลูกรังแหล่งฉะเชิงเทราและปราจีนบุรีจะมีค่าสูงกว่าแหล่งชลบุรีมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงสภาพความเป็นพลาสติกพบว่าเมื่อดินมีสภาพความเป็นพลาสติกมากขึ้นค่า M_r ก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นจึงสามารถแบ่งดินลูกรังที่นำมาทดสอบได้ 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ไม่เป็นสภาพพลาสติก และกลุ่มที่เป็นพลาสติกน้อยถึงปานกลาง โดยกลุ่มที่ไม่เป็นสภาพพลาสติกจะกำหนดค่า M_r เท่ากับ $380\theta^{0.35}$ MPa ซึ่งเป็นค่าประมาณใกล้เคียงกับแหล่งชลบุรี ส่วนกลุ่มที่เป็นพลาสติกน้อยถึงปานกลางจะกำหนดค่า M_r เท่ากับ $450\theta^{0.25}$ MPa ซึ่งเป็นค่าประมาณใกล้เคียงกับแหล่งฉะเชิงเทราและปราจีนบุรี ค่า M_r ที่ได้จากทั้งสองกลุ่มจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางที่มีดินลูกรังเป็นชั้นรองพื้นทางต่อไป

นำค่า M_r ที่ได้จากการทดสอบมาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์โครงสร้างชั้นทางด้วยโปรแกรม KENLAYER ผลการวิเคราะห์ที่ได้สามารถสรุปเป็น Design Chart เพื่อช่วยในการออกแบบความหนาโครงสร้างถนนลาดยางชนบทที่มีปริมาณจราจรน้อยถึงสูงปานกลางได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว โดยในการวิเคราะห์ได้แบ่งการพิจารณาเป็นระบบโครงสร้างชั้นทาง 2 ระบบด้วยกัน ได้แก่ ระบบโครงสร้างชั้นทาง 4 ชั้น ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต ชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ ชั้นรองพื้นทางดินลูกรังที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุประเภท Granular และชั้น Subgrade และระบบโครงสร้างชั้นทาง 3 ชั้น ซึ่งประกอบไปด้วยชั้นผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีต ชั้นพื้นทางและรองพื้นทางดินซีเมนต์ และชั้น Subgrade

ระบบโครงสร้างชั้นทาง 4 ชั้น ได้แบ่งเป็นรูปแบบย่อยๆ 4 รูปแบบ ซึ่งมีความหนา และค่า M_r ของแต่ละชั้นแตกต่างกันไปดังตารางที่ 5.2 เมื่อใช้โปรแกรม KENLAYER ช่วยในการวิเคราะห์ค่า Critical strain ที่เกิดขึ้นในชั้นทางเพื่อทำการคำนวณหาค่าจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้ พบว่า Critical strain ในช่วงจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่พิจารณาน้อยกว่า 10^6 เที่ยว ซึ่งเป็นค่าสำหรับปริมาณจราจรน้อยถึงสูงปานกลาง จะเกิดขึ้นที่ด้านล่างของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ทั้งหมด ซึ่งเป็นค่า Tensile strain ที่จะทำให้เกิดรอยแตก (Fatigue crack) โดยค่า Critical strain ที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลงเมื่อความ

หนาของแต่ละชั้นเพิ่มขึ้น และเมื่อค่ากำลังของทางที่อยู่ด้านล่างซึ่งได้แก่ ชั้นรองพื้นทางหรือชั้น Subgrade เพิ่มมากขึ้น Design Chart ที่สร้างขึ้นสำหรับรูปแบบที่ 1 ถึง 4 สามารถแสดงได้ในภาคผนวก ค.

ระบบโครงสร้างชั้นทาง 3 ชั้น ได้แบ่งเป็น 2 รูปแบบ ซึ่งมีความหนา และค่า M_r ของแต่ละชั้นแตกต่างกันไปดังตารางที่ 5.3 เมื่อใช้โปรแกรม KENLAYER ช่วยในการวิเคราะห์ค่า Critical strain ที่เกิดขึ้นในชั้นทางเพื่อทำการคำนวณหาค่าจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่ยอมให้ พบว่าค่า Critical strain ในช่วงจำนวนน้ำหนักกระทำซ้ำที่พิจารณาน้อยกว่า 10^6 เที่ยว ซึ่งเป็นค่าสำหรับปริมาณจราจรน้อยถึงสูงปานกลาง จะเกิดขึ้นที่ด้านล่างของชั้นพื้นทางดินซีเมนต์ นอกจากนี้แล้วเมื่อความหนาของชั้นผิวทางหรือชั้นพื้นทางเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Critical strain ที่เกิดขึ้นมีค่าลดลง สามารถรับน้ำหนักกระทำซ้ำได้มากขึ้น Design Chart ที่สร้างขึ้นสำหรับรูปแบบที่ 5 และ 6 สามารถแสดงได้ในภาคผนวก ค. ซึ่ง Design Chart ที่ 5 และ 6 นี้ช่วยให้สามารถออกแบบโครงสร้างถนนที่มีความหนาชั้นพื้นทางดินซีเมนต์เป็นค่าต่างๆได้

Design Chart ทั้ง 6 รูปแบบที่สร้างขึ้นนี้จะช่วยให้สามารถออกแบบความหนาของโครงสร้างถนนลาดยางชนบทที่มีปริมาณจราจรน้อยถึงสูงปานกลางได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว โดยตัวอย่างการใช้งาน Design Chart สามารถแสดงได้ดังภาคผนวก ง.

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาผลกระทบของตำแหน่งการติดตั้ง Lvdt เพื่อหาค่า M_r ได้แก่ ตำแหน่งบนแท่งตัวอย่างทดสอบ (Internal Lvdt)โดยใช้ Clamp เปรียบเทียบผลกับการติดตั้ง Lvdt ภายนอกแท่งตัวอย่างทดสอบ (External Lvdt)

2. ควรมีการทดสอบเพื่อหาค่า M_r ของวัสดุประเภท Granular ที่สภาพอิ่มตัว (Saturated Condition)

3. ควรมีการทำการทดสอบเพื่อหาค่า M_r ของวัสดุประเภทอื่นๆ เช่น แอสฟัลท์คอนกรีต วัสดุที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ วัสดุที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวัสดุบิทูมินัส วัสดุที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาว ตลอดจนวัสดุชั้น Subgrade เป็นต้น เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับใช้ในการออกแบบถนนได้อย่างกว้างขวางและถูกต้องมากยิ่งขึ้น

4. ควรมีการศึกษา Fatigue model ของวัสดุต่างๆในประเทศไทย เช่น แอสฟัลท์คอนกรีต วัสดุที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ เป็นต้น เพื่อสามารถนำไปใช้ในการออกแบบได้อย่างถูกต้อง