บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญคือ ส่วนแรกเกี่ยวข้องกับการพัฒนาแบบจำลองของโครงสร้างถนน โดยรวมไปถึงการพัฒนาวิธีการคำนวณหาค่าการทรุดตัว ที่เกิดขึ้นบนผิวทางเมื่อมีน้ำหนักมากระทำ ในการวิเคราะห์ปัญหาจะทำในลักษณะพลวัต โดยแรงที่มากระทำจะมีลักษณะเป็นแรงดล แบบจำลองที่ได้สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบแบบไม่ทำลายโดยเครื่อง FWD ด้วยวิธีการที่เรียกว่าการคำนวณย้อนกลับ เพื่อหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุในแต่ละชั้นของถนน โครงสร้างของถนนที่พัฒนาขึ้นนั้นจะถูกจำลองให้มีลักษณะเป็นตัวกลางยืดหยุ่นหลายชั้น ที่อาจวางตัวอยู่บนชั้นหินแข็งหรือบนชั้นดินยืดหยุ่นก็ได้ ความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่มากระทำและการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้นนั้น จะถูกจัดให้อยู่ในรูปของสมการเมทริกซ์ จากนั้นจึงใช้วิธีสติฟเนสเมทริกซ์ในการคำนวณหาค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นที่ผิวถนน นอกจากนั้นยังได้ศึกษาถึงลักษณะและค่าคุณสมบัติของชั้นวัสดุในโครงสร้างถนน เช่น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น และความหนาของชั้น ที่มีผลต่อคำตอบในการวิเคราะห์โดยคำตอบที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ในลักษณะสถิต ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการประเมินสภาพความแข็งแรงของโครงสร้างถนนในปัจจุบัน

สำหรับส่วนที่สองของงานวิจัยนั้นจะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาวิธีการคำนวณย้อนกลับในลักษณะพลวัต เพื่อหาค่าคุณสมบัติของโครงสร้างถนน จากข้อมูลทดสอบแบบไม่ทำลายด้วยเครื่อง FWD โดยจะนำงานวิจัยในส่วนแรกประกอบกับการนำหลักการของ nonlinear least square optimization โดยใช้วิธี Modified Levenberg-Marquardt Algorithm เปรียบเทียบค่าการทรุดตัวที่บันทึกได้จากเครื่อง FWD กับที่คำนวณได้จากแบบจำลอง

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาถึงพฤติกรรมของโครงสร้างถนนหลายชั้นภายใต้น้ำหนักกระทำชนิดแรงดลและผลจากการคำนวณย้อนกลับด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ภายใต้ขอบเขตของงานวิจัยนี้ผลสรุปที่สำคัญมีดังต่อไปนี้

1. ค่าการทรุดตัวที่วิเคราะห์ได้จากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจะคล้ายกับลักษณะของน้ำหนักที่มากระทำ และมีผลที่ใกล้เคียงกับข้อมูลทดสอบที่บันทึกได้จริงจากเครื่อง FWD ดังนั้นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น จึงสามารถอธิบายถึงพฤติกรรมของโครงสร้างถนนยืดหยุ่นหลายชั้นขณะรับน้ำหนักกระทำเนื่องจากการจราจรได้

2. ค่าการทรุดตัวสูงสุดจากการคำนวณ โดยวิธีวิเคราะห์แบบพลวัต เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์แบบสถิตพบว่ามีค่าที่แตกต่างกัน โดยการวิเคราะห์แบบสถิตจะให้ค่าสูงกว่าการวิเคราะห์แบบพลวัตประมาณ 20 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าที่แตกต่างดังกล่าวจะมากขึ้น เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งห่างจากจุดศูนย์กลางของน้ำหนักกระทำมาก แม้ว่าจะเปลี่ยนค่าโมดูลัสยืดหยุ่นหรือความหนาของวัสดุในแต่ละชั้น ผลที่ได้ยังคงมีแนวโน้มเหมือนเดิม

3. การเพิ่มความแข็งแรงอันได้แก่ การเพิ่มค่าโมดูลัสหรือการเพิ่มค่าความหนาให้แก่ ชั้นแอสฟัลต์คอนกรีตหรือชั้นพื้นทางจะทำให้ ค่าการทรุดตัวที่เป็นผลจากการวิเคราะห์แบบพลวัตและวิธีวิเคราะห์แบบสถิต มีความแตกต่างกันมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากเพิ่มค่าโมดูลัสของชั้นดินเดิม จะทำให้ความแตกต่างของการทรุดตัวระหว่างวิธีวิเคราะห์ทั้งสองนั้นลดลง แสดงให้เห็นว่ากรณีชั้นดินเดิมเป็นชั้นดินอ่อนจะทำให้วิธีวิเคราะห์หาค่าการทรุดตัวแบบสถิตมีความแตกต่างจากวิธีวิเคราะห์แบบพลวัตมาก

4. ในการวิเคราะห์หาค่าการทรุดตัวแบบพลวัต ผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสหรือความหนาของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต หรือชั้นพื้นทาง จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการทรุดตัวที่ตำแหน่งใกล้กับน้ำหนักกระทำมากที่สุด ในทางกลับกันการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสของชั้นดินเดิมจะมีผลกระทบให้ค่าการทรุดตัวที่ตำแหน่งใกล้กับน้ำหนักกระทำมีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง

5. ผลจากการเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสหรือความหนาในวัสดุแต่ละชั้นของโครงสร้างถนนตัวอย่างนั้น สามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงค่าโมดูลัสของชั้นแอสฟัลต์คอนกรีต จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าการทรุดตัวที่วิเคราะห์แบบพลวัตน้อยที่สุด

6. การให้น้ำหนักกระทำชนิดแรงดลที่ผิวถนนในช่วงเวลาที่เพิ่มมากขึ้น จะมีผลให้ค่าการทรุดตัวสูงสุดที่ผิวถนน ณ. ตำแหน่งต่างๆ มากขึ้นตามไปด้วย แม้ว่าค่าน้ำหนักกระทำสูงสุดจะมีค่าเท่าเดิม อย่างไรก็ตามค่าการทรุดตัวสูงสุดที่เกิดขึ้นในทุกตำแหน่งจะมีค่าน้อยกว่าค่าที่วิเคราะห์ได้จากวิธีแบบสถิต

7. การเปลี่ยนช่วงเวลาที่ให้น้ำหนักกระทำ จะเป็นผลให้ค่าการทรุดตัวสูงสุดที่เกิดขึ้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในกรณีที่ชั้นดินเดิมเป็นชั้นดินอ่อน นั่นแสดงว่าข้อมูลที่บันทึกได้จากเครื่อง FWD ที่ต่างชนิดกัน แต่ให้น้ำหนักกระทำสูงสุดเท่ากัน เมื่อนำไปวิเคราะห์หาค่าคุณสมบัติของถนนโดยการคำนวณย้อนกลับแบบสถิตจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนอย่างมากในกรณีของชั้นถนนวางตัวอยู่บนชั้นดินอ่อน

8. วิธีการคำนวณย้อนกลับที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายค่าลักษณะและคุณสมบัติของชั้นถนนตัวอย่างได้เป็นอย่างดีไม่ว่าจะเป็นค่าโมดูลัสเพียงอย่างเดียว หรือทั้งค่าโมดูลัสและความหนาของวัสดุแต่ละชั้น

9. การกำหนดค่าเริ่มต้นในการคำนวณย้อนกลับ ควรให้มีค่าน้อยกว่าค่าที่เป็นจริง และใกล้เคียงกับค่าที่ถูกต้องมากที่สุด ซึ่งจะทำให้การทำนายผลมีความรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

10. การคำนวณย้อนกลับที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของชั้นถนนจากข้อมูลการทดสอบจริงในสนามด้วยเครื่อง FWD ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เพื่อให้การวิเคราะห์ใกล้เคียงกับสภาพจริงยิ่งขึ้น ควรมีการศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ ความชื้น และผลกระทำร่วมระหว่างแผ่นเหล็กวงกลมถ่ายน้ำหนักกับโครงสร้างถนน

5.2.2 ในการจัดเก็บข้อมูลการทดสอบในประเทศไทยควรมีการบันทึกในลักษณะพลวัต โดยบันทึกเป็นค่าการทรุดตัวที่เวลาต่างๆ