บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของการเสริมกำลังด้วย CFRP ต่อพฤติกรรมของสะพานคอมโพสิตทั้งโครงสร้าง ทั้งชนิดที่มีความเสียหายเริ่มต้นและชนิดที่ไม่มีความเสียหายเริ่มต้น ต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้าของสะพานคอมโพสิตโดยใช้ไฟไนท์อิลิเมนท์โปรแกรม ABAQUS ในการศึกษา โดยรูปแบบของการเสริมกำลังด้วย CFRP ที่พิจารณาในงานวิจัยนี้มี 2 รูปแบบ คือ การเสริมกำลังโดยใช้ CFRP ชนิดแผ่น (CFRP Laminate) ติดที่บริเวณปีกของคานรูปตัวไอ (I-Shape) ที่ทำหน้าที่รับแรงดึง และการใช้แผ่นพื้นคอมโพสิต (CFRP Composite deck) แทนที่แผ่นพื้นคอนกรีต ทั้งนี้การตอบสนองทางพลศาสตร์จะพิจารณาที่ค่าหน่วยแรงและค่าการแอ่นตัวสูงสุดที่เกิดขึ้น ส่วนการตอบสนองของความล้าจะพิจารณาที่จำนวนรอบสูงสุดที่โครงสร้างสามารถรับได้ นอกจากนี้ก็จะศึกษาถึงผลของความเสียหายเริ่มต้นในรูปแบบของรอยร้าวเริ่มต้น 2 ขนาดคือ ความลึก 3 และ 6 มิลลิเมตร ที่ปีกล่างของคานรูปตัวไอ ที่มีผลต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้าของสะพานคอมโพสิตทั้งชนิดที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วย CFRP และที่เสริมกำลังด้วย CFRP อนึ่งตัวแปรที่อาจมีผลต่อพฤติกรรมของสะพานได้แก่ ลักษณะการวิ่งของรถ จำนวนคานเหล็กรูปตัวไอ ก็ได้พิจารณาในงานวิจัยนี้ด้วย ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยสามารถสรุปได้เป็นกรณีต่าง ๆ ดังนี้

5.1.1 พฤติกรรมของสะพานคอมโพสิตที่ไม่ได้เสริมกำลัง

ผลการศึกษาการตอบสนองทางพลศาสตร์ของสะพานคอมโพสิตที่ไม่ได้เสริมกำลัง โดยพิจารณาสะพานคอมโพสิตที่มีคานเหล็ก 3 และ 5 ตัว สามารถสรุปได้ ดังนี้

- กรณีรถวิ่ง 2 ช่องจราจร ทั้งวิ่งในทิศทางเดียวกัน และวิ่งสวนทางกัน จะให้ค่าการตอบสนองทางพลศาสตร์ สูงสุด มากกว่า กรณีรถวิ่ง 1 ช่องจราจร ซึ่งค่าหน่วยแรงและค่าการแอ่นตัวเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 12 และร้อยละ 4 ของสะพานคอมโพสิตที่มีคานเหล็ก 3 และ 5 ตัว ตามลำดับ เพราะน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์ ของสะพานคอมโพสิต
- การเพิ่มขึ้นของจำนวนคานเหล็ก จากสะพานที่มีคานเหล็ก 3 ตัว เป็นสะพานที่มีคานเหล็ก 5 ตัว จะส่งผลโดยตรงต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์ โดยที่ค่าหน่วย

แรง และค่าการแอ่นตัวของสะพานจะลดลง เนื่องจากสะพานจะมีค่าสติฟเนสเพิ่มขึ้นทำให้สะพานสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ดีขึ้น

5.1.2 พฤติกรรมของของสะพานคอมโพสิตที่เสริมกำลังด้วยวัสดุโพลิเมอร์เสริมเส้นใย

ในกรณีผลการตอบสนองทางพลศาสตร์ของสะพานคอมโพสิตที่เสริมกำลังด้วย CFRP โดยรูปแบบของการเสริมกำลังด้วย CFRP ที่พิจารณาในงานวิจัยนี้มี 2 รูปแบบ คือ การเสริมกำลังโดยใช้ CFRP ชนิดแผ่น (CFRP Laminate) ติดที่บริเวณปีกของคานรูปตัว I ที่ทำหน้าที่รับแรงดึง และการใช้แผ่นพื้นคอมโพสิต (CFRP Composite deck) แทนที่แผ่นพื้นคอนกรีต โดยผลที่ได้จากโปรแกรมไฟไนท์อิลิเมนท์ที่ทำการศึกษา สามารถสรุปได้ ดังนี้

- ในการเสริมกำลังของสะพานคอมโพสิตโดยใช้วัสดุโพลิเมอร์เสริมเส้นใย จะช่วยลดค่าการตอบสนองทางพลศาสตร์ของสะพานคอมโพสิต ทั้งค่าการแอ่นตัว และค่าหน่วยแรง ได้มากสะพานคอมโพสิตที่ไม่ได้เสริมกำลังถึงประมาณร้อยละ 35
- เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ระหว่างการเสริมกำลังของสะพานคอมโพสิตโดยใช้วัสดุโพลิเมอร์เสริมเส้นใยทั้ง 2 วิธี คือ เสริมกำลังด้วย CFRP laminate กับ เสริมกำลังด้วย CFRP composite deck ซึ่งการเสริมกำลังด้วย CFRP composite deck จะมีประสิทธิภาพในการช่วยลดการตอบสนองทางพลศาสตร์ของสะพานคอมโพสิต ได้ดีกว่าการเสริมกำลังด้วย CFRP laminate แต่การเสริมกำลังด้วย CFRP composite deck ก็มีข้อเสียอยู่มาก เนื่องจากในการติดตั้ง CFRP composite deck นั้นจะต้องนำแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กเดิมออกเสียก่อน งานทำงานจึงยุ่งยาก ทั้งจะต้องปิดช่องทางจราจร และถ้าผู้ติดตั้งไม่มีความสามารถพอก็อาจจะเกิดอันตรายได้ แต่สำหรับการเสริมกำลังโดยใช้ CFRP laminate ในการติดตั้งจะใช้เวลาติดตั้งน้อยกว่า ไม่กีดขวางการจราจร แต่ก็จำเป็นที่ต้องใช้ผู้ติดตั้งที่มีความชำนาญมากเช่นกัน

5.1.3 พฤติกรรมของของสะพานคอมโพสิตที่มีความเสียหายเริ่มต้น

ในกรณีผลการตอบสนองทางพลศาสตร์ของสะพานคอมโพสิตที่มีความเสียหายเริ่มต้นเกิดขึ้น จะส่งผลต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์ของสะพานเป็นอย่างมาก โดยผลที่ได้จากโปรแกรมไฟไนท์อิลิเมนท์ที่ทำการศึกษา สามารถสรุปได้ ดังนี้

- หลังจากที่คานเหล็กของสะพานคอมโพสิตมีรอยร้าวเกิดขึ้น อายุการใช้งานของสะพานหรืออายุความล้า จะลดลงถึง 15 เท่า จากสะพานคอมโพสิตที่ไม่มีรอยร้าวเกิดขึ้น เนื่องจากสะพานที่มีความเสียหายเกิดขึ้นจะส่งผลต่อค่าหน่วยแรงที่เกิดใน

คานเหล็กเพิ่มมากขึ้น และอายุการใช้งานก็ลดลงด้วยเช่นกัน เพราะค่าหน่วยแรงเป็นตัวแปรที่สำคัญต่ออายุการใช้งานของสะพาน

5.1.4 ข้อเสนอแนะ และแนวทางในการเสริมกำลังด้วยวัสดุโพลิเมอร์เสริมเส้นใย

สะพานนคอมโพสิตในประเทศไทยปัจจุบันมีอยู่หลายแห่ง ทั้งที่ใช้เพื่อข้ามแม่น้ำ หรือข้ามทางแยกไฟแดง ดังนั้นในการที่จะเสริมกำลังของสะพานคอมโพสิต ให้เกิดประสิทธิภาพ และประโยชน์อย่างเต็มที่ ควรที่จะต้องพิจารณาถึงรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

- ส่วนใหญ่แล้วการปรับปรุงสภาพของสะพานโดยการเสริมกำลังให้แก่สะพานจะเป็นตัวเลือกที่นิยมกันเนื่องจากว่ามีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับการก่อสร้างใหม่คือค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่า สามารถดำเนินการภายในระยะเวลาอันสั้น และที่สำคัญคือไม่กระทบหรือกระทบการจราจรบนสะพานเพียงเล็กน้อย แต่ถ้าพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงกับกรณีอื่น ๆ เช่น การเสริมแผ่นเหล็กที่ปีกคานรับแรงดึง การเสริมกำลังด้วย CFRP นั้นจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่า
- วัสดุโพลิเมอร์เสริมเส้นใย (Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)) ที่ใช้ในการเสริมกำลังให้แก่โครงสร้าง ข้อดีของวัสดุชนิดนี้คือ มีน้ำหนักเบา สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี
- ข้อเสียของ CFRP ก็คือราคาวัสดุที่ค่อนข้างสูงและต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการติดตั้ง ดังนั้นสืบเนื่องจากค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงในการติดตั้ง ดังนั้นจำเป็นต้องศึกษาถึงผลของการเสริมกำลังด้วย CFRP เป็นอย่างดี
- ในกรณีที่มีรอยร้าวเริ่มต้นเกิดขึ้นที่คานเหล็ก ก่อนที่จะทำการปรับปรุงกำลังของสะพาน จะต้องทำการเชื่อมติดรอยร้าวให้เรียบร้อยก่อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการเสริมกำลังด้วย CFRP laminate ให้ใช้งานได้อย่างเต็มกำลัง
- ตัวแปรที่มีผลต่อพฤติกรรมของสะพาน เช่น ลักษณะการวิ่งของรถ จำนวนคานเหล็กรูปตัว I และรูปแบบการเสริมกำลัง ดังนั้นจำเป็นจะต้องศึกษาพฤติกรรมของสะพานให้ดี เพื่อให้การปรับปรุงความแข็งแรงของสะพานมีประสิทธิภาพมากที่สุด
- วิธีการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างนั้นสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (สำหรับศึกษาพฤติกรรมของชิ้นส่วนบางชิ้นของโครงสร้างหรือโครงสร้างที่มีขนาดเล็ก) หรือที่หน้างาน (สำหรับศึกษาพฤติกรรมจริงของโครงสร้างสะพาน) และการจำลองด้วยไฟไนท์อิลิเมนท์โปรแกรม ซึ่งการศึกษาพฤติกรรมจริงของโครงสร้างสะพานที่หน้างานจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากเมื่อเทียบกับการจำลองด้วยไฟไนท์อิลิเมนท์โปรแกรม รวมทั้งไม่สามารถแปรผันตัวแปรที่จะมี

ผลต่อพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานได้ง่ายเหมือนกับการจำลองด้วยไฟไนท์อิลิเมนท์โปรแกรม