บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ในช่วง 50 ปี ที่ผ่านมาได้มีวิวัฒนาการในการก่อสร้างสะพานขึ้นเพื่อสร้างโครงข่ายและรองรับปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้น โดยชนิดของสะพานที่ถูกก่อสร้างขึ้นนั้นมีหลายชนิด เช่น สะพานคอนกรีต สะพานไม้ สะพานเหล็ก และสะพานคอมโพสิต เป็นต้น อย่างไรก็ตามด้วยเหตุผลของความรวดเร็วในการก่อสร้างและประสิทธิภาพในการใช้งานจึงทำให้สะพานคอมโพสิตกลายเป็นสะพานชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมและก่อสร้างไปทั่วโลก ซึ่งองค์ประกอบของสะพานคอมโพสิต จะประกอบไปด้วยแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก วางบนคานเหล็กรูปตัวไอ (I-Shape) โดยที่การยึดรั้งระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตกับคานเหล็กนั้นจะอาศัยหมุดรับแรงเฉือน (Shear stud) ทำหน้าที่ส่งผ่านหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นไปยังคานเหล็ก

แต่จากปัจจัยของการเสื่อมสภาพเนื่องจากสภาพแวดล้อม ปริมาณการจราจรและน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้น รวมทั้งมาตรฐานในการออกแบบที่ปรับปรุงใหม่เพื่อเน้นความปลอดภัยของสะพาน ทำให้สะพานคอมโพสิตที่ได้เปิดใช้งานไปแล้วส่วนใหญ่ต้องมีการปรับปรุงสภาพ (Rehabilitation) หรือต้องทำการขยายช่องจราจร (Expansion) ทำให้บ่อยครั้งตัวเลือกระหว่างการก่อสร้างสะพานขึ้นมาใหม่กับการปรับปรุงสภาพให้สามารถรับน้ำหนักได้จึงเกิดขึ้น ขั้นตอนนี้เป็นหน้าที่รับผิดชอบโดยตรงของผู้ที่เกี่ยวข้องในการบำรุงรักษาสะพาน แต่โดยส่วนใหญ่แล้วการปรับปรุงสภาพของสะพานโดยการเสริมกำลังให้แก่สะพานจะเป็นตัวเลือกที่นิยมกันเนื่องจากว่ามีข้อดีหลายประการเมื่อเทียบกับการก่อสร้างใหม่คือ ค่าใช้จ่ายที่น้อยกว่า สามารถดำเนินการภายในระยะเวลาอันสั้น และที่สำคัญคือไม่กระทบหรือกระทบการจราจรบนสะพานเพียงเล็กน้อย

สำหรับวิธีการเสริมกำลังให้แก่สะพานคอมโพสิตนั้นได้มีผู้นำเสนอหลายวิธี (Klaiber, 1987 ; Dorton, 1997) เช่น การยึดแผ่นเหล็กเข้าที่บริเวณปีกของคานรูปตัวไอ ที่ทำหน้าที่รับแรงดึง อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อเสียหลายประการได้แก่ ความยากในการติดตั้งแผ่นเหล็กที่มีน้ำหนักมากเข้ากับตัวสะพาน ข้อจำกัดเรื่องความยาวของแผ่นเหล็กในการขนส่ง ต้องใช้แรงงานคนเป็นจำนวนมาก และกระทบกับการจราจรบนสะพานอีกด้วย แต่ภายหลังจากปี ค.ศ. 1990 ได้มีการเสนอวัสดุโพลิเมอร์เสริมเส้นใย (Carbon Fiber Reinforced Polymer, CFRP) เพื่อใช้ในการเสริมกำลังให้แก่โครงสร้าง ซึ่งข้อดีของวัสดุชนิดนี้คือ มีน้ำหนักเบา มีอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงต่อน้ำหนัก (Strength/Weight) และอัตราส่วนระหว่างค่าสติฟเนสต่อ

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

น้ำหนัก (Stiffness/Weight) ที่สูง สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี และไม่นำไฟฟ้า (Mayo, 1987) ทำให้วัสดุชนิดนี้ได้รับความแพร่หลายในการใช้งานทางด้านวิศวกรรมการบินเป็นส่วนมาก แต่ภายหลังจึงได้มีการนำมาใช้กับงานทางด้านวิศวกรรมโยธา ข้อเสียของ CFRP ก็คือ ราคาวัสดุที่ค่อนข้างสูงและต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการติดตั้ง ดังนั้นสืบเนื่องจากค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงในการติดตั้ง ทำให้จำเป็นต้องทราบถึงพฤติกรรมของโครงสร้างภายหลังจากที่ได้ทำการเสริมกำลังด้วย CFRP แล้วว่าผลจากการเสริมกำลังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสะพานได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งวิธีการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างนั้นสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (สำหรับศึกษาพฤติกรรมของชิ้นส่วนบางชิ้นของโครงสร้างหรือโครงสร้างที่มีขนาดเล็ก) หรือที่หน้างาน (สำหรับศึกษาพฤติกรรมจริงของโครงสร้างสะพาน) และการจำลองด้วยไฟไนท์อิลิเมนท์โปรแกรม ซึ่งการศึกษาพฤติกรรมจริงของโครงสร้างสะพานที่หน้างานจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากเมื่อเทียบกับการจำลองด้วยไฟไนท์อิลิเมนท์โปรแกรม รวมทั้งไม่สามารถแปรผันตัวแปรที่จะมีผลต่อพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานได้ง่ายเหมือนกับการจำลองด้วยไฟไนท์อิลิเมนท์โปรแกรม

ดังนั้น วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของการเสริมกำลังด้วย CFRP ต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้าของสะพานคอมโพสิต โดยใช้ไฟไนท์อิลิเมนท์โปรแกรม ABAQUS โดยสะพานคอมโพสิตที่นำมาพิจารณาในการศึกษานี้เป็นแบบจำลองที่ทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบตามมาตรฐานของ AASHTO เพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกขนาด HS-20 ซึ่งในการศึกษาจะเริ่มจากการศึกษาพฤติกรรมการตอบสนองทางพลศาสตร์ของสะพานคอมโพสิตทั้งชนิดที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วย CFRP และชนิดที่เสริมกำลังด้วย CFRP หลังจากนั้นก็จะนำค่าหน่วยแรง (Stress) ที่เกิดขึ้นไปทำวิเคราะห์หาช่วงของหน่วยแรง (Stress range) ที่เกิดขึ้นโดยใช้วิธีนับช่วงหน่วยแรงแบบฝนตก (Rainflow counting method) ซึ่งช่วงของหน่วยแรงที่ได้จะสามารถนำไปใช้คำนวณหาการตอบสนองของความล้า (Fatigue cycle) ที่โครงสร้างสามารถรับได้ต่อไป ขั้นตอนต่อไปก็จะทำการศึกษาพฤติกรรมของสะพานคอมโพสิตชนิดที่มีความเสียหายเริ่มต้น โดยความเสียหายเริ่มต้นของสะพานที่จะศึกษาได้แก่ การที่สะพานมีรอยร้าวชนิดความลึกเท่ากันตลอดความกว้างคาน (Through thickness crack) ที่ปีกล่างบริเวณกึ่งกลางของคานเหล็กรูปตัวไอ ของสะพานคอมโพสิตทั้งชนิดที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วย CFRP และชนิดที่เสริมกำลังด้วย CFRP ซึ่งกระบวนการศึกษาก็จะทำเช่นเดียวกับสะพานคอมโพสิตที่ไม่มีความเสียหายเริ่มต้นทุกประการ นอกจากนี้ตัวแปรที่อาจมีผลต่อพฤติกรรมของสะพานเช่น ลักษณะการวิ่งของรถ จำนวนคานเหล็กรูปตัวไอ และรูปแบบการเสริมกำลังก็จะถูกศึกษาในงานวิจัยนี้ด้วย

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่า ยังไม่มีผู้ที่ทำการศึกษาผลของการเสริมกำลังด้วย CFRP ต่อพฤติกรรมของสะพานคอมโพสิตทั้งโครงสร้าง ทั้งชนิดที่มีความเสียหายเริ่มต้นและชนิดที่ไม่มีความเสียหายเริ่มต้น ประเด็นนี้จึงเป็นสิ่งที่จะศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยจะศึกษาผลของการเสริมกำลังด้วย CFRP 2 รูปแบบ คือ การเสริมกำลังโดยใช้ CFRP ชนิดแผ่น

(CFRP Laminate) ติดที่บริเวณปีกของคานรูปตัวไอ ที่ทำหน้าที่รับแรงดึง และการใช้แผ่นพื้นคอมโพสิต (CFRP Composite deck) แทนที่แผ่นพื้นคอนกรีต ต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้าของสะพานคอมโพสิตโดยใช้ไฟไนท์อิลิเมนท์โปรแกรม ABAQUS ในการศึกษา ทั้งนี้การตอบสนองทางพลศาสตร์จะพิจารณาที่ค่าหน่วยแรงและค่าการแอ่นตัวสูงสุดที่เกิดขึ้น ส่วนการตอบสนองของความล้าจะพิจารณาที่จำนวนรอบสูงสุดที่โครงสร้างสามารถรับได้ นอกจากนี้ก็จะศึกษาถึงผลของความเสียหายเริ่มต้นในรูปแบบของรอยร้าวเริ่มต้น 2 ขนาดคือ ความลึก 3 และ 6 มิลลิเมตร ที่ปีกล่างของคานรูปตัวไอ ซึ่งความน่าจะเป็นในการตรวจพบรอยร้าว (Probability of Detection, POD) จะมีค่าสูงเมื่อรอยร้าวมีขนาดตั้งแต่ 2.5 มิลลิเมตร ขึ้นไป (Kuntiyawichai and Limkatanyu, 2006) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการสมมติขนาดรอยร้าวเบื้องต้นในรอยเชื่อมเป็น 3 มิลลิเมตร นอกจากนี้ผู้วิจัยต้องการจะศึกษาผลของขนาดของรอยร้าวต่ออายุการใช้งานของสะพาน ผู้วิจัยจึงได้สมมติขนาดรอยร้าวเพิ่มขึ้นอีก 1 ขนาดคือ 6 มิลลิเมตร โดยที่มีผลต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้าของสะพานคอมโพสิตทั้งชนิดที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วย CFRP และที่เสริมกำลังด้วย CFRP อนึ่งตัวแปรที่อาจมีผลต่อพฤติกรรมของสะพาน เช่น ลักษณะการวิ่งของรถ จำนวนคานเหล็กรูปตัวไอ และรูปแบบการเสริมกำลังก็จะศึกษาในงานวิจัยนี้ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาพฤติกรรมความล้าภายใต้แรงดึงของชิ้นส่วนเหล็กที่เสริมกำลังด้วยคาร์บอนไฟเบอร์

1.2.2 เพื่อศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อความสามารถในการรับแรงดึงแบบซ้ำๆของชิ้นส่วนเหล็กที่เสริมกำลังด้วยคาร์บอนไฟเบอร์

1.2.3 เพื่อศึกษาลักษณะการกระจายของหน่วยแรงในบริเวณกาวที่ยึดระหว่างแผ่นเหล็กและคาร์บอนไฟเบอร์

1.2.4 เพื่อประเมินค่าอายุการใช้งานของชิ้นส่วนเหล็กที่เสริมกำลังด้วยคาร์บอนไฟเบอร์เมื่อมีแรงดึงกระทำแบบซ้ำๆ

1.2.5 เพื่อศึกษาการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้าของสะพานคอมโพสิตทั้งชนิดที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วย CFRP และชนิดที่เสริมกำลังด้วย CFRP ภายใต้แรงกระทำแบบเคลื่อนไหว (Moving load) อันเนื่องมาจากน้ำหนักของรถบรรทุกตามมาตรฐานของ AASHTO

1.2.6 เพื่อศึกษาผลของทิศทางของรถที่วิ่งผ่านสะพาน ต่อค่าหน่วยแรง และการแอ่นตัว ที่เกิดขึ้นในสะพานคอมโพสิต

1.2.7 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเสริมกำลังระหว่างการเสริมกำลังโดยใช้ CFRP ชนิดแผ่น (CFRP Laminate) ติดที่บริเวณปีกของคานรูปตัวไอ ที่ทำหน้าที่รับแรงดึง และ

การใช้แผ่นพื้นคอมโพสิต (CFRP Composite deck) แทนที่แผ่นพื้นคอนกรีต ต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้าของสะพานคอมโพสิต

1.2.8 เพื่อศึกษาผลของขนาดของความเสียหายเริ่มต้น (ขนาดรอยร้าวเริ่มต้น) ต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้าของสะพานคอมโพสิต ทั้งชนิดที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วย CFRP และชนิดที่เสริมกำลังด้วย CFRP ภายใต้แรงกระทำแบบเคลื่อนไหว (Moving load) อันเนื่องมาจากน้ำหนักของรถบรรทุกตามมาตรฐานของ AASHTO

1.2.9 เพื่อศึกษาถึงผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้าของสะพานคอมโพสิต ทั้งชนิดที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วย CFRP และชนิดที่เสริมกำลังด้วย CFRP

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ชิ้นส่วนที่จะทำการศึกษาจะพิจารณาเฉพาะชิ้นส่วนที่รับแรงดึงเท่านั้น

1.3.2 ทำการจำลองพฤติกรรมการรับแรงดึงทั้งแบบสถิตและแบบซ้ำๆ แล้วเปรียบเทียบค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นบริเวณที่เสริมกำลัง

1.3.3 ทำการแปรผันช่วงของหน่วยแรง (Stress Range) ที่กระทำเพื่อทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างช่วงของหน่วยแรงและความล้าที่เกิดขึ้น

1.3.4 ตัวแปรที่จะทำการแปรผันในส่วนของการเสริมกำลังได้แก่ ความหนาของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์และความหนาของกาว

1.3.5 สะพานคอมโพสิตเป็นสะพานชนิดที่มีองค์ประกอบของสะพานคอมโพสิตจะประกอบไปด้วยแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กและรองรับด้วยคานเหล็กรูปตัวไอ โดยที่การยึดรั้งระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตกับคานเหล็กนั้นจะอาศัยหมุดรับแรงเฉือน (Shear stud) ทำหน้าที่ส่งผ่านหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นไปยังคานเหล็ก

1.3.6 สะพานคอมโพสิตที่ใช้ในการศึกษาเป็นสะพานต้นแบบที่ถูกออกแบบขึ้นเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกขนาด HS-20 ตามมาตรฐาน ASSHTO

1.3.7 ขนาดความเร็วของน้ำหนักบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพานมีค่าคงที่เท่ากับ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

1.3.8 ชนิดการเสริมกำลังจะพิจารณาเพียง 2 รูปแบบ คือ การเสริมกำลังโดยใช้ CFRP ชนิดแผ่น (CFRP Laminate) ติดที่บริเวณปีกของคานรูปตัวไอ ที่ทำหน้าที่รับแรงดึง และการใช้แผ่นพื้นคอมโพสิต (CFRP Composite deck) แทนที่แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.3.9 ความเสียหายเริ่มต้นของสะพานที่จะศึกษาจะอยู่ในรูปของรอยร้าวชนิดความลึกเท่ากันตลอดความกว้างคาน (Through thickness crack) ที่ปีกล่างบริเวณกึ่งกลางของคานเหล็กรูปตัวไอ ทุกตัวของสะพานคอมโพสิต

1.4 แนวทางการศึกษา

1.4.1 ศึกษาทฤษฎี และเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษาการใช้โปรแกรม ABAQUS

1.4.3 สร้างแบบจำลองของสะพานคอมโพสิต ในโปรแกรม ABAQUS

1.4.4 ทำการวิเคราะห์ความล้าของสะพานคอมโพสิต

1.4.5 สรุปผลที่ได้จากการวิเคราะห์

1.4.6 จัดทำรูปเล่มรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 มีความเข้าใจถึงพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานคอมโพสิต ชนิดที่ยังไม่ได้เสริมกำลังด้วย CFRP ภายใต้การเคลื่อนไหวของรถที่แล่นผ่าน

1.5.2 มีความเข้าใจถึงพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานคอมโพสิต ที่ฟื้นฟูสภาพโดยใช้ CFRP ติดบริเวณท้องคานภายใต้การเคลื่อนไหวของรถที่แล่นผ่าน

1.5.3 มีความเข้าใจถึงพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานคอมโพสิต ที่ฟื้นฟูสภาพโดยใช้วิธีการเปลี่ยนแผ่นพื้นจากคอนกรีตไปเป็นการใช้แผ่นพื้นคอมโพสิต (CFRP Composite deck) ภายใต้การเคลื่อนไหวของรถที่แล่นผ่านแผ่นพื้นคอนกรีต

1.5.4 ทราบถึงผลของขนาดของความเสียหายเริ่มต้น (ขนาดรอยร้าวเริ่มต้น) ต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้าของสะพานคอมโพสิต ทั้งชนิดที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วย CFRP และชนิดที่เสริมกำลังด้วย CFRP

1.5.5 สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเสริมกำลังโครงสร้างสะพานคอมโพสิต โดยใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ด้วยวิธีต่าง ๆ

1.5.6 ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางในการลดต้นทุนในการบำรุงรักษาโครงสร้างสะพานคอมโพสิต ในประเทศไทยได้