

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ในช่วง 50 ปี ที่ผ่านมาได้มีวิวัฒนาการในการก่อสร้างสะพานขึ้นเพื่อสร้างโครงข่ายและรองรับปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้น โดยชนิดของสะพานที่ถูกก่อสร้างขึ้นนั้นมีหลายชนิด เช่น สะพานคอนกรีต สะพานไม้ สะพานเหล็ก และสะพานคอมโพสิต เป็นต้น อย่างไรก็ตามด้วยเหตุผลของความเร็วในการก่อสร้างและประสิทธิภาพในการใช้งานจึงทำให้สะพานคอมโพสิตกลายเป็นสะพานชนิดหนึ่งที่มีความนิยมและก่อสร้างไปทั่วโลก 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 ได้มีการเสนอวัสดุโพลีเมอร์เสริมเส้นใย (Carbon Fiber Reinforced Polymer, CFRP) เพื่อใช้ในการเสริมกำลังให้แก่โครงสร้าง ซึ่งข้อดีของวัสดุชนิดนี้คือ มีน้ำหนักเบา มีอัตราส่วนระหว่างความแข็งแรงต่อน้ำหนัก

(Strength/Weight) และอัตราส่วนระหว่างค่าสติฟเนสต่อน้ำหนัก (Stiffness/Weight) ที่สูง สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดี และไม่นำไฟฟ้า (Mayo, 1987) ทำให้วัสดุชนิดนี้ได้รับความแพร่หลายในการใช้งานทางด้านวิศวกรรมการบินเป็นส่วนมาก แต่ภายหลังจึงได้มีการนำมาใช้กับงานทางด้านวิศวกรรมโยธา ข้อเสียของ CFRP ก็คือราคาวัสดุที่ค่อนข้างสูงและต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการติดตั้ง ดังนั้นสืบเนื่องจากค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงในการติดตั้ง ทำให้จำเป็นต้องทราบถึงพฤติกรรมของโครงสร้างภายหลังจากที่ได้ทำการเสริมกำลังด้วย CFRP แล้วว่าผลจากการเสริมกำลังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสะพานได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งวิธีการศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างนั้นสามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การทดสอบในห้องปฏิบัติการ (สำหรับศึกษาพฤติกรรมของชิ้นส่วนบางชิ้นของโครงสร้างหรือโครงสร้างที่มีขนาดเล็ก) หรือที่หน้างาน (สำหรับศึกษาพฤติกรรมจริงของโครงสร้างสะพาน) และการจำลองด้วยไฟไนท์อีลิเมนต์โปรแกรม ซึ่งการศึกษาพฤติกรรมจริงของโครงสร้างสะพานที่หน้างานจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงมากเมื่อเทียบกับการจำลองด้วยไฟไนท์อีลิเมนต์โปรแกรม รวมทั้งไม่สามารถแปรผันตัวแปรที่จะมีผลต่อพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานได้ง่ายเหมือนกับการจำลองด้วยไฟไนท์อีลิเมนต์โปรแกรม

ดังนั้น วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาผลของการเสริมกำลังด้วย CFRP ต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้าของสะพานคอมโพสิต โดยใช้ไฟไนท์อีลิเมนต์โปรแกรม ABAQUS โดยสะพานคอมโพสิตที่นำมาพิจารณาในการศึกษานี้เป็นแบบจำลองที่ทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบตามมาตรฐานของ AASHTO เพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกทุกขนาด 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) ที่ปีกกลางบริเวณกึ่งกลางของคานเหล็กรูปตัวไอ ของสะพานคอมโพสิตทั้งชนิดที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วย CFRP และชนิดที่เสริมกำลังด้วย CFRP ซึ่งกระบวนการศึกษาก็จะทำเช่นเดียวกับสะพานคอมโพสิตที่ไม่มีความเสียหายเริ่มต้นทุกประการ นอกจากนี้ตัวแปรที่อาจมีผลต่อพฤติกรรมของสะพานเช่น ลักษณะการวิ่งของรถ จำนวนคานเหล็กรูปตัวไอ และรูปแบบการเสริมกำลัง ก็จะถูกศึกษาในงานวิจัยนี้ด้วย

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา พบว่า ยังไม่มีผู้ที่ทำการศึกษาผลของการเสริมกำลังด้วย CFRP ต่อพฤติกรรมของสะพานคอมโพสิตทั้งโครงสร้าง ทั้งชนิดที่มีความเสียหายเริ่มต้นและชนิด

ที่ไม่มีความเสียหายเริ่มต้น ประเด็นนี้จึงเป็นสิ่งที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยจะศึกษาผลของการเสริมกำลังด้วย CFRP 2 รูปแบบ คือ การเสริมกำลังโดยใช้ CFRP ชนิดแผ่น (CFRP Laminate) ติดที่บริเวณปีกของคานารูปตัวไอ ที่ทำหน้าที่รับแรงดิ่ง และการใช้แผ่นพื้นคอมโพสิต (CFRP Composite deck) แทนที่แผ่นพื้นคอนกรีต ต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้าของสะพานคอมโพสิตโดยใช้ไฟไนท์อีลิเมนต์โปรแกรม ABAQUS ในการศึกษา ทั้งนี้การตอบสนองทางพลศาสตร์จะพิจารณาที่ค่าหน่วยแรงและค่าการแอ่นตัวสูงสุดที่เกิดขึ้น ส่วนการตอบสนองของความล้าจะพิจารณาที่จำนวนรอบสูงสุดที่โครงสร้างสามารถรับได้ นอกจากนี้ก็จะศึกษาถึงผลของความเสียหายเริ่มต้นในรูปแบบของรอยร้าวเริ่มต้น 2 ขนาดคือ ความลึก 3 และ 6 มิลลิเมตร ที่ปีกกลางของคานารูปตัวไอ 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 จำนวนคานาเหล็กรูปตัวไอ และรูปแบบการเสริมกำลังก็จะศึกษาในงานวิจัยนี้ด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้มของสะพานคอมโพสิตทั้งชนิดที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วย CFRP และชนิดที่เสริมกำลังด้วย CFRP ภายใต้แรงกระทำแบบเคลื่อนไหว (Moving load) อันเนื่องมาจากน้ำหนักของรถบรรทุกตามมาตรฐานของ AASHTO

1.2.2 เพื่อศึกษาผลของทิศทางของรถที่วิ่งผ่านสะพาน ต่อค่าหน่วยแรง และการแอ่นตัว ที่เกิดขึ้นในสะพานคอมโพสิต

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเสริมกำลังระหว่างการเสริมกำลังโดยใช้ CFRP ชนิดแผ่น (CFRP Laminate) ติดที่บริเวณปีกของคานรูปตัวไอ ที่ทำหน้าที่รับแรงดิ่ง และการใช้แผ่นพื้นคอมโพสิต (CFRP Composite deck) แทนที่แผ่นพื้นคอนกรีต ต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้มของสะพานคอมโพสิต

1.2.4 เพื่อศึกษาผลของขนาดของความเสียหายเริ่มต้น (ขนาดรอยร้าวเริ่มต้น) ต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้มของสะพานคอมโพสิต ทั้งชนิดที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วย CFRP และชนิดที่เสริมกำลังด้วย CFRP ภายใต้แรงกระทำแบบเคลื่อนไหว (Moving load) อันเนื่องมาจากน้ำหนักของรถบรรทุกตามมาตรฐานของ AASHTO

1.2.5 เพื่อศึกษาถึงผลของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการตอบสนองทางพลศาสตร์และความล้มของสะพานคอมโพสิต ทั้งชนิดที่ไม่ได้เสริมกำลังด้วย CFRP และชนิดที่เสริมกำลังด้วย CFRP

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 สะพานคอมโพสิตเป็นสะพานชนิดที่มีองค์ประกอบของสะพานคอมโพสิตจะประกอบไปด้วยแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กและรองรับด้วยคานเหล็กรูปตัวไอ โดยที่การยึดรั้งระหว่างแผ่นพื้นคอนกรีตกับคานเหล็กนั้นจะอาศัยหมุดรับแรงเฉือน (Shear stud) ทำหน้าที่ส่งผ่านหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในแผ่นพื้นไปยังคานเหล็ก

1.3.2 สะพานคอมโพสิตที่ใช้ในการศึกษาเป็นสะพานต้นแบบที่ถูกออกแบบขึ้นเพื่อรองรับน้ำหนักบรรทุกขนาด HS-20 ตามมาตรฐาน ASSHTO

1.3.3 ขนาดความเร็วของน้ำหนักรถบรรทุกที่วิ่งผ่านสะพานมีค่าคงที่เท่ากับ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

1.3.4 ชนิดการเสริมกำลังจะพิจารณาเพียง 2 รูปแบบ คือ การเสริมกำลังโดยใช้ CFRP ชนิดแผ่น (CFRP Laminate) ติดที่บริเวณปีกของคานรูปตัวไอ ที่ทำหน้าที่รับแรงดิ่ง และการใช้แผ่นพื้นคอมโพสิต (CFRP Composite deck) แทนที่แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก

1.3.5 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 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

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 ทั้งชนิดที่ยังไม่ได้เสริมกำลังด้วย CFRP และชนิดที่เสริมกำลังด้วย CFRP
- 1.5.5 สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเสริมกำลังโครงสร้างสะพานคอมโพสิต โดยใช้แผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ด้วยวิธีต่าง ๆ
- 1.5.6 ผลการศึกษาสามารถใช้เป็นแนวทางในการลดต้นทุนในการบำรุงรักษาโครงสร้างสะพานคอมโพสิต ในประเทศไทยได้