บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความนำ

ในปัจจุบันการเก็บข้อมูลน้ำหนักรถบรรทุกและการกระจายน้ำหนักได้นำระบบ weigh-in-motion (WIM) มาใช้แทนการเก็บข้อมูลโดยการให้รถขึ้นชั่งน้ำหนักบนตราชั่ง เพื่อขจัดปัญหาการเสียเวลา ปัญหาการจราจร และปัญหาการโกงน้ำหนัก ซึ่งจะทำให้ได้ข้อมูลน้ำหนักรถบรรทุกที่มีความถูกต้องมากขึ้น โดยน้ำหนักรถบรรทุกที่มีความถูกต้องนั้นนอกจากจะมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้าง ตลอดจนการบำรุงรักษาถนน และสะพานแล้ว ยังมีความสำคัญต่อการวางแผนทางด้านนโยบายการขนส่งของประเทศ รวมไปถึงการนำข้อมูลมาใช้เพื่อเป็นแนวทางในการออกกฎหมายเพื่อใช้ควบคุมการบรรทุกน้ำหนักของรถบรรทุกให้เหมาะสมอีกด้วย

ระบบ WIM คือระบบที่ใช้ในการหาน้ำหนักเพลา ระยะห่างระหว่างเพลา จำนวนเพลา และความเร็วของยวดยานพาหนะขณะที่กำลังเคลื่อนที่อยู่บนถนนหรือสะพาน ในช่วงแรกๆระบบ WIM ถูกนำมาใช้กับผิวทาง (ถนน) โดยมีวิธีการต่างๆกันอันได้แก่ การติดตั้งคอนกรีตหน้าตัดรูปกล่องสี่เหลี่ยม (culvert) ไว้ใต้ถนน โดยที่ภายในกล่องคอนกรีตนี้จะมี มาตรวัดความเครียด (strain gauge) ติดตั้งอยู่ หรือการใช้แผ่นโลหะติดตั้งอยู่บนผิวถนน ซึ่งแผ่นโลหะดังกล่าวจะถูกรองรับด้วยตัวเซลล์วัดน้ำหนัก จากการศึกษาในอดีตที่ผ่านมาจะพบว่าระบบ WIM ที่ใช้กับผิวทาง (ถนน) ยังมีข้อเสียอยู่หลายประการเช่น ในการติดตั้ง ซ่อมแซม หรือบำรุงรักษานั้นจะต้องทำการเปิดช่องทางจราจรแล้วจึงทำการเปิดผิวทางเพื่อติดตั้งอุปกรณ์หรือทำการซ่อมแซมอันจะส่งผลให้เป็นอุปสรรคต่อการจราจร ด้วยข้อเสียดังกล่าว ภายหลังจึงได้มีการพัฒนาระบบ WIM ที่ใช้กับสะพาน โดยจะมีมาตรวัดความเครียดติดไว้กับคาน (girder) ใต้สะพานเพื่อใช้ในการหาน้ำหนักรถ ซึ่งการหาน้ำหนักรถนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างอันได้แก่ ความเร็วรถ ระยะห่างระหว่างเพลา และความขรุขระของผิวทาง โดยเฉพาะความเร็วรถ จะมีผลต่อค่าตัวประกอบการขยายพลวัต (dynamic amplification factor) ของสะพานซึ่งเป็นผลทางพลศาสตร์ และความเร็วยังจะมีผลมากขึ้นเมื่อผิวทางมีความขรุขระมากขึ้น ดังนั้นการที่จะหาน้ำหนักให้ได้ค่าที่ถูกต้องจึงต้องทำการหาค่าความเร็ว และระยะห่างระหว่างเพลาให้ได้ค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

ในปัจจุบันวิธีการในการหาค่าความเร็ว ระยะห่างระหว่างเพลา และประเภทของรถที่เคลื่อนที่ผ่านสะพาน มีหลายวิธีอันได้แก่ การใช้กล้องวีดีทัศน์ (video) ทำการบันทึกภาพ ซึ่งจะพบว่าวิธีนี้มีข้อจำกัด ไม่ว่าจะเป็นการกำหนดตำแหน่งในการติดตั้งกล้อง การกำหนดมุมกล้อง การกำหนดจุดอ้างอิง และอาจจะมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการบังกันของรถที่เคลื่อนที่สวนกัน ส่วนอีกวิธีหนึ่งคือการติดตัวตรวจจับเพลา (axle detector) บนผิวทางของสะพานเพื่อใช้ตรวจจับรถที่เคลื่อนที่ผ่านสะพาน แต่ตัวตรวจจับเพลาที่ติดตั้งจะสัมผัสกับการจราจรโดยตรงอันเป็นผลทำให้เกิดการชำรุดและเสียหายได้ง่าย ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น จึงได้มีการนำระบบ WIM ที่ใช้กับสะพานโดยไม่มีตัวตรวจจับเพลามาใช้ ซึ่งระบบดังกล่าวจะ

เป็นระบบที่ใช้มาตรวัดความเครียดที่ติดไว้กับคานใต้สะพานหรือท้องพื้นเป็นตัวหาน้ำหนักรถ ความเร็วรถ และระยะห่างระหว่างเพลาไปพร้อมๆกัน

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ.1970 องค์กรวิจัยต่างๆมากมายทั่วโลก ได้เข้ามามีส่วนในการพัฒนาการชั่งน้ำหนักโดยจะทำการติดแผ่นโลหะเข้ากับผิวทางที่มีรถวิ่งผ่าน ซึ่งปฏิกิริยาตอบสนองของผิวทางสามารถถูกตรวจสอบและทำการปรับแก้เพื่อความถูกต้องด้วยน้ำหนักเพลาทางสถิต

Moses และคณะ (1979)[1] ได้พิจารณาถึงวิธีการดังกล่าวและได้สรุปว่า ผลกระทบทางพลศาสตร์เป็นปัญหาหลักในการชั่งน้ำหนักบนผิวทาง โดยผลดังกล่าวเกิดมาจากความขรุขระของผิวทางและการกระแทกที่เกิดขึ้นโดยน้ำหนักของตัวรถเอง ซึ่งแรงทางพลศาสตร์นี้จะมีค่าประมาณ 30-40% ของค่าแรงทางสถิต

ด้วยอุปสรรคที่เกิดขึ้นกับการชั่งน้ำหนักบนผิวทาง Moses และคณะ (1979) จึงได้เพิ่มการวัดความเค้นของสะพานเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณน้ำหนักของรถ โดย Moses และคณะได้สรุปว่า การวัดน้ำหนักจากคานของสะพานดีกว่าการวัดน้ำหนักรถจากผิวทาง เนื่องจากแรงพลศาสตร์ที่ผิวสัมผัสของยางจะถูกกรองออกและจะถูกลดลงโดยความเฉื่อยเนื่องจากมวล (massive inertia) ของสะพานและวิธีการยกกำลังสองน้อยที่สุด (least square)

แม้ว่าจะเปลี่ยนการหาน้ำหนักบนผิวทางมาเป็นการหาน้ำหนักบนคานสะพานแล้ว ผลของแรงทางพลศาสตร์ก็ยังคงมีผลอยู่บ้าง ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากเมื่อขณะที่รถกำลังเคลื่อนที่บนสะพาน สะพานและรถจะมีปฏิกิริยาต่อกัน โดยที่พฤติกรรมนี้จะเรียกว่า bridge-vehicle dynamic interaction ซึ่งจะเกิดผลกระทบทั้งกับสะพาน และตัวรถเอง สำหรับตัวรถ การเคลื่อนที่จะก่อให้เกิดแรงทางพลศาสตร์กระทำกับตัวสะพาน และสำหรับตัวสะพาน จะเกิดการสั่นไหวภายใต้รถที่กำลังเคลื่อนที่ผ่าน โดยการสั่นไหวจะก่อให้เกิดการตอบสนองทางพลศาสตร์ที่มากกว่าเมื่อเทียบกับการตอบสนองของสะพานทางสถิต โดยการตอบสนองทางพลศาสตร์สามารถพิจารณาให้อยู่ในรูปของตัวประกอบการขยายพลวัต (dynamic amplification factor,DAF)

Boonchu Sedchaichan (1998)[2] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาทางพลศาสตร์ระหว่างรถที่เคลื่อนที่ผ่านกับตัวสะพาน พบว่าผลทางพลศาสตร์ ได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความเร็วของรถที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านสะพาน ลักษณะของน้ำหนักบรรทุก ระยะห่างระหว่างเพลา อัตราส่วนของความถี่ ความยาวสะพาน และความขรุขระของผิวทาง

เมื่อความเร็วของรถที่เปลี่ยนไปจะทำให้ค่าตัวประกอบการขยายพลวัตเปลี่ยนไปด้วย Wang และคณะ (1992) และ Yang (1995) ตรวจสอบพบว่าค่าความเร็วกับค่าตัวประกอบการขยายพลวัตจะมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น

Green และคณะ (1995) และ Chang และ Lee (1994) สรุปได้ว่า ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบการขยายพลวัตและความเร็วรถไม่ได้เป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ในบางครั้งความเร็วสูงจะให้ค่าตัวประกอบการขยายพลวัตที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับค่าตัวประกอบการขยายพลวัตที่ได้จากความเร็วต่ำ จากการสังเกตพบว่า ช่วงความเร็ววิกฤต คือ 60-80 km/h ซึ่งปรากฏการณ์นี้สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการของการสั่นพ้อง

Heywood (1996) ก็พบว่าค่าตัวประกอบการขยายพลวัต จะมีค่าน้อยเมื่อความเร็วของรถที่กำลังเคลื่อนที่มีค่าน้อยกว่า 40 km/h ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าสภาพพื้นผิวของถนนสามารถเปลี่ยนผลกระทบของความเร็วที่มีต่อค่าตัวประกอบการขยายพลวัตได้ด้วย

สภาพจริงของการจราจรบนสะพานไม่ใช่กรณีทั่วไปที่พิจารณา รถที่เคลื่อนที่มีลักษณะเป็นน้ำหนักแบบจุดบนสะพาน โดยในกรณีดังกล่าวไม่สามารถแสดงพฤติกรรมจริงที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นในการที่จะหาค่าน้ำหนักของรถที่กำลังเคลื่อนที่ให้ถูกต้องจึงต้องนำค่าระยะห่างระหว่างเพลามาพิจารณาด้วย

จากการที่ Moses (1979) ได้ทำการคิดระบบ bridge weigh-in-motion (B-WIM) ขึ้นโดยการติดมาตรวัดความเครียด (strain gauge) ไว้ใต้ท้องคานเพื่อทำการหาน้ำหนักรถที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านสะพาน และทำการติดตัวตรวจจับเพลาไว้บนผิวสะพานเพื่อทำการวัดค่าความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลาของรถที่กำลังเคลื่อนที่ผ่านไปพร้อมกันด้วย แต่เนื่องจากตัวตรวจจับเพลาที่ติดที่ผิวสะพานนั้นจะสัมผัสกับการจราจรโดยตรง ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดการชำรุดเสียหายได้ง่าย

Dempsey และคณะ (1997) และ Znidaric และคณะ (1998)[3] ทำการคิดระบบ B-WIM ชนิดที่ไม่มีตัวตรวจจับเพลา เรียกว่า ระบบ " Free of Axle Detector " (FAD) ซึ่งจะเป็นระบบที่ใช้มาตรวัดความเครียด (strain gauge) ที่ติดตั้งไว้ใต้ท้องคานสะพานเป็นตัวหาน้ำหนักรถพร้อมกับหาค่าความเร็วรถและระยะห่างระหว่างเพลาด้วย

สิ่งที่ต้องการคือเวลาที่รถเคลื่อนที่ผ่านระหว่างจุดสองจุดที่ทำการวัดค่าความเครียด โดยสะพานประเภท orthotropic deck bridge จะทำการติดมาตรวัดความเครียดไว้สองหน้าตัดระหว่างคานตามาขวาง และ ประเภทสะพานชนิดแผ่นพื้นทางเดียวจะทำการติดมาตรวัดความเครียดไว้ที่หน้าตัด ระยะ ¼ และ ¾ ของความยาวสะพาน ซึ่งช่วงเวลาที่รถเคลื่อนที่ผ่านจุดสองจุดที่วัดค่าความเครียดนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่1 orthotropic deck bridge อาศัยหลักการการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) โดยจะใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดของผลต่างค่าความเครียดของทั้งสองหน้าตัดที่ทำการวัดค่าความเครียด สร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) ขึ้นมาดังแสดงด้วยสมการที่ 1.1 โดยค่าที่รถเคลื่อนที่ผ่านจุดสองจุด คือค่าที่

ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ มีค่าน้อยที่สุด โดยค่า Δt ที่รถเคลื่อนที่ผ่านจุดสองจุด คือค่าที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าน้อยที่สุด

$$O(\Delta t) = \sum_{t=1}^{T}[\sum_{i=1}^{G} \varepsilon_i(t+\Delta t) - \sum_{j=1}^{H} \varepsilon_j(t)]^2 \qquad (1.1)$$

เมื่อ Δt = เวลาที่รถเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัดทั้งสองที่ทำการติดมาตรวัดความเครียด

t = เวลา

T = เวลาทั้งหมดที่รถเคลื่อนที่ผ่าน

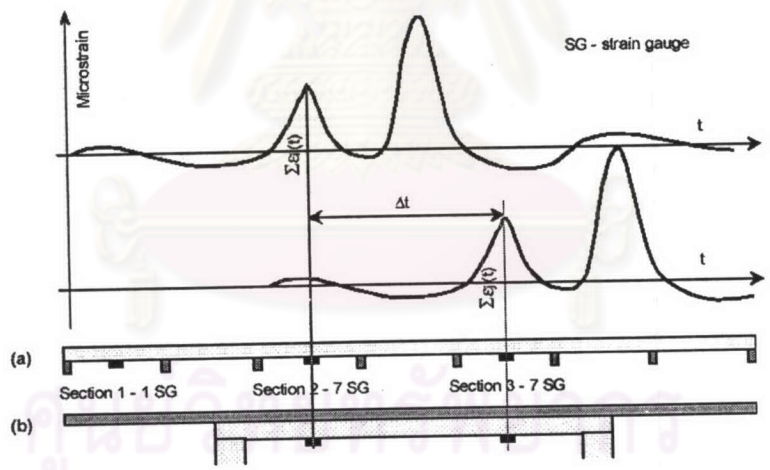
G = จำนวนของมาตรวัดความเครียดที่ติดในหน้าตัดแรก

H = จำนวนของมาตรวัดความเครียดที่ติดในหน้าตัดทั้งสอง

$\varepsilon_i(t+\Delta t)$ = ค่าความเครียดของมาตรวัดความเครียดตัวที่ i ที่เวลา $t+\Delta t$

$\varepsilon_j(t)$ = ค่าความเครียดของมาตรวัดความเครียดตัวที่ j ที่เวลา t

กรณีที่2 สะพานชนิดแผ่นพื้นทางเดียวจะทำการหาผลต่างของเวลาที่เพลาแรกของรถผ่านจุดที่ทำการวัดค่าความเครียดทั้ง 2 จุด ซึ่งคือผลต่างของที่ทำให้เกิดค่าความเครียดสูงสุดครั้งแรกของกราฟทั้ง 2 รูป ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 (a) แปลนของ orthotropic deck bridge

(b) แปลนของสะพานชนิดแผ่นพื้นทางเดียวและผลตอบสนองของค่าความเครียดกับเวลา

เนื่องจากวิธีการหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลาที่ Dempsey และ Znidaric ทำการเสนอนั้นจะทำการหาเวลาที่รถเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัดที่ติดมาตรวัดความเครียดทั้ง 2 จากสมการที่ 1.1 ซึ่งถ้าลักษณะของสัญญาณความเครียดที่ได้จากมาตรวัดความเครียดไม่เหมือนกัน ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่น้อยที่สุดอาจไม่ได้ให้ค่า Δt ที่ถูกต้อง พร้อมทั้งในความเป็นจริงสัญญาณความเครียดดังกล่าวจะมีผลของสัญญาณรบกวนเข้ามารวมด้วยซึ่งจะยิ่งทำให้ค่า Δt ผิดพลาดไป ส่วนการคำนวณความเร็วของรถนั้นจะมีสมมติฐานที่ว่า รถเคลื่อนที่ผ่านหน้าตัดทั้ง 2 ด้วยความเร็วคงที่

ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำการนำเสนอวิธีการคำนวณหาค่าความเร็วและระยะห่างเพลาด้วยการแก้สมการพิชคณิต พร้อมกับการกำหนดเวลาที่ล้อรถวิ่งผ่านหน้าตัดที่ติดตั้งมาตรวัดความเครียด ด้วยเทคนิคทางด้านสัญญาณเพื่อเพิ่มความถูกต้องในการคำนวณ

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาวิธีการหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลาของรถที่เคลื่อนที่ผ่านสะพานชนิดแผ่นพื้นทางเดียวจากสัญญาณความเครียด
2. เพื่อทำการพัฒนาและปรับปรุงวิธีการหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลาของรถที่กำลังเคลื่อนที่
3. เพื่อทำการตรวจสอบการใช้งานได้จริงของหลักการในการหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลาของรถที่เคลื่อนที่บนสะพานด้วยแบบจำลองย่อส่วน

1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. ทำการหาความเร็วและระยะห่างระหว่างเพลาสำหรับสะพานชนิดแผ่นพื้นทางเดียว
2. การวิเคราะห์จะพิจารณาเฉพาะสะพานช่วงเดียวที่มีจุดรองรับเป็นแบบธรรมดา (simple support)
3. พิจารณาโครงสร้างสะพานที่มีพฤติกรรมภายใต้น้ำหนักบรรทุกเป็นแบบยืดหยุ่นเชิงเส้น (linear elastic)
4. พิจารณาชิ้นส่วนของแบบจำลองสะพานเป็นแบบโครงสร้างเปลือก (shell element) โดยมีความหนาสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น โดยพิจารณาทั้งผลของแรงเฉือนและผลของแรงดัดร่วมกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย