บทที่ 4
การสร้างแบบจำลองของน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัต ในการประเมินอายุการใช้งานของสะพานเหล็ก

4.1 บทนำ

การประเมินอายุการใช้งานของสะพานเหล็กจากข้อมูลความเครียดที่ได้จากการตรวจวัดภาคสนาม เป็นวิธีการประเมินที่สะท้อนถึงพฤติกรรมและอายุการใช้งานของสะพานที่ใกล้เคียงความเป็นจริงที่สุด เนื่องจากข้อมูลที่ทำการตรวจวัดเปรียบเสมือนเป็นตัวแทนการจราจรทั้งหมดของสะพานนั้น ๆ ส่วนวิธีการประเมินอายุการใช้งานจากแบบจำลองรถบรรทุกตามมาตรฐานของ AASHTO นั้นมีความสะดวกและง่ายในการประเมินอายุการใช้งานของสะพาน แต่จากตารางที่ 4-1 จะเห็นได้ว่าอายุการใช้งานของสะพานที่ประเมินได้จากแบบจำลองรถบรรทุกตามมาตรฐานของ AASHTO เกิดความคลาดเคลื่อนสูงถึง 40 ถึง 70 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับการประเมินอายุจากข้อมูลการตรวจวัดความเครียด ซึ่งทำให้แบบจำลองรถบรรทุกดังกล่าวไม่เหมาะสมกับการนำมาใช้ประเมินอายุการใช้งานของสะพานเหล็กในประเทศไทย

ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินน้ำหนักของรถทั้ง 5 ประเภท คือ รถบรรทุกหกล้อ รถบัส รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกกึ่งพ่วง และรถบรรทุกพ่วง รวมทั้งประเมินตัวประกอบการขยายพลวัตของรถแต่ละประเภทอีกด้วย เพื่อที่จะนำไปใช้ในการประเมินอายุการใช้งานของสะพานเหล็ก และในการศึกษานี้ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 3 แบบจำลอง คือ แบบจำลองที่ 1 ประเมินจากอัตราความเสียหายของรถแต่ละประเภท แบบจำลองที่ 2 ประเมินจากอายุการใช้งานของสะพาน และแบบจำลองสุดท้ายจะทำการประเมินจากความเสียหายของสะพานเป็นปีที่เกิดเนื่องจากรถแต่ละประเภท ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดดังนี้

4.2 แบบจำลองที่ 1 ประเมินจากผลรวมสัดส่วนความคลาดเคลื่อนกำลังสองต่ำสุดระหว่างผลต่างของอัตราความเสียหายที่เกิดจากความเค้นจากการตรวจวัดและจากแบบจำลองรถแต่ละประเภท

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อที่จะใช้ในการประเมินอายุการใช้งานของสะพานเหล็กนั้น สิ่งสำคัญในการประเมินอายุการใช้งานของสะพานก็คือ ตัวแทนน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัต ซึ่งในการหาตัวแทนทั้งสองในแบบจำลองนี้จะพิจารณาบนพื้นฐานของอัตราความเสียหายที่เกิดขึ้นและเมื่อพิจารณาถึงสมการของอัตราความเสียหายดังสมการที่ (2-7) คือ

$$D=\frac{S^3}{A}$$

จะเห็นว่า อัตราความเสียหายของรถแต่ละประเภทไม่ขึ้นแก่กัน (independent) นั่นคือค่าน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัตของรถแต่ละประเภทเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นในการประเมินตัวแทนของน้ำหนักรถและตัวประกอบการขยายพลวัตของรถแต่ละประเภทนั้น จะประเมินจากผลรวมความคลาดเคลื่อนกำลังสองต่ำสุดของผลต่างระหว่างอัตราความเสียหายที่เกิดจากความเค้นที่ได้จากการตรวจวัดและจากแบบจำลองของรถแต่ละประเภท ดังนั้นอัตราความเสียหายที่เกิดจากความเค้นจากการตรวจวัดจะได้เป็น

$$D_{ijk} = \frac{S_{ijk}^3}{A} \qquad (4\text{-}1)$$

โดยที่ i รถคันที่ i

j ประเภทของรถ (รถหกล้อ รถบัส รถสิบล้อ รถกึ่งพ่วง รถพ่วง)

k สะพานที่ k

D_{ijk} อัตราความเสียหายที่เกิดจากรถคันที่ i ของรถประเภท j ในสะพาน k จากสัญญาณการตรวจวัด

S_{ijk} ช่วงความเค้นที่เกิดจากรถคันที่ i ของรถประเภท j ในสะพาน k จากสัญญาณการตรวจวัด

A ค่าคงที่ ขึ้นอยู่กับลักษณะของรอยเชื่อม

และอัตราความเสียหายที่เกิดเนื่องจากแบบจำลองจะได้เป็น

$$D'_{ijk} = \frac{S'^3_{ijk}}{A} \qquad (4\text{-}2)$$

$$D'_{ijk} = \frac{\left(\frac{W'_{ijk} \cdot DAF'_{ijk} \cdot Le_{ijk} \cdot m_{ijk}}{Z_k}\right)^3}{A} \qquad (4\text{-}3)$$

โดยที่ D'_{ijk} อัตราความเสียหายที่เกิดจากรถคันที่ i ของรถประเภท j ในสะพาน k จากแบบจำลอง

S'_{ijk} ช่วงความเค้นที่เกิดจากรถคันที่ i ของรถประเภท j ในสะพาน k จากแบบจำลอง

W'_{ijk} น้ำหนักรถในแบบจำลอง

DAF'_{ijk} ตัวประกอบการขยายพลวัตของรถในแบบจำลอง

m_{ijk} ตัวประกอบโมเมนต์ดัด

Le_{ijk} ตัวประกอบการกระจายด้านข้าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Z_k โมดูลัสหน้าตัดของสะพาน

และในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ต้องการที่จะหาตัวแทนของน้ำหนักรถและตัวประกอบการขยายพลวัตของรถแต่ละประเภท ดังนั้นจึงกำหนดให้

$$W'_{ijk} = W'_j \qquad (4\text{-}4)$$

$$DAF'_{ijk} = DAF'_j \qquad (4\text{-}5)$$

ส่วนตัวประกอบโมเมนต์ดัดนั้นจากหัวข้อในบทที่ผ่านมาจะเห็นว่า ตัวประกอบโมเมนต์ดัดขึ้นอยู่กับประเภทของรถและความยาวของช่วงสะพาน ส่วนตัวประกอบการกระจายด้านข้างจะขึ้นอยู่กับลักษณะของสะพาน ดังนั้นจะได้

$$m_{ijk} = m_{jk} \qquad (4\text{-}6)$$

$$Le_{ijk} = Le_k \qquad (4\text{-}7)$$

แทนค่าสมการที่ (4-4) ถึง (4-7) ลงในสมการที่ (4-3) จะได้

$$D'_{ijk} = \frac{\left(\frac{W'_j \cdot DAF'_j \cdot Le_k \cdot m_{jk}}{Z_k}\right)^3}{A} \qquad (4\text{-}8)$$

เมื่อพิจารณาอัตราความเสียหายที่เกิดจากรถแต่ละประเภทในแต่ละสะพานแล้วจะได้ อัตราความเสียหายที่เกิดจากรถประเภท j ในสะพาน k เป็น

$$D_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^{T_{jk}} \left(S^3_{ijk}\right)}{A} \qquad (4\text{-}9)$$

$$D_{jk} = \frac{T_{jk} \cdot Se^3_{jk}}{A} \qquad (4\text{-}10)$$

โดยที่ D_{jk} อัตราความเสียหายของรถประเภท j ในสะพาน k ทุกคัน จากสัญญาณการตรวจวัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

T_{jk} จำนวนรวมของรถประเภท j ในสะพาน k

Se_{jk} ความเค้นประสิทธิผลของรถประเภท j ในสะพาน k จากสัญญาณการตรวจวัด

และอัตราความเสียหายจากแบบจำลองของรถประเภท j ในสะพาน k จะได้เป็น

$$D'_{jk} = \frac{T_{jk}\left(\frac{W'_j \cdot DAF'_j \cdot Le_k \cdot m_{jk}}{Z_k}\right)^3}{A} \qquad (4\text{-}11)$$

จากสมการที่ (4-11) ตัวแปร W'_j และ DAF'_j ขึ้นแก่กัน (dependent) ดังนั้นจะกำหนดให้

$$WD'_j = W'_j \cdot DAF'_j \qquad (4\text{-}12)$$

จากผลต่างในสมการที่ (4-10) และสมการที่ (4-11) ก็คือ ผลต่างระหว่างอัตราความเสียหายที่เกิดจากความเค้นที่ได้จากการตรวจวัดกับน้ำหนักรถในแบบจำลองของรถประเภท j ดังนั้นจะได้ผลรวมความคลาดเคลื่อนกำลังสองของผลต่างระหว่างอัตราความเสียหายของรถประเภท j ในสะพาน k รวมทั้งหมด 5 สะพานเป็น

$$EWD_j = \sum_{k=1}^{5}\left[\frac{D_{jk} - D'_{jk}}{D_{jk}}\right]^2 \qquad (4\text{-}13)$$

โดยที่ EWD_j ผลรวมความคลาดเคลื่อนกำลังสองของผลต่างระหว่างอัตราความเสียหายที่เกิดจากความเค้นที่ได้จากการตรวจวัดกับน้ำหนักรถในแบบจำลองของรถประเภท j รวมทุกสะพาน

แทนสมการที่ (4-10) (4-11) และ (4-12) ลงในสมการที่ (4-13) จะได้สมการพื้นฐานของแบบจำลองที่ 1 ของรถแต่ละประเภทเป็น

$$EWD_j = \sum_{k=1}^{5}\left[T_{jk}^2 \cdot \left(1 - \frac{WD_j'^3}{We_{jk}^3 \cdot DAF_{jk}^3}\right)^2\right] \qquad (4\text{-}14)$$

เมื่อต้องการหาค่าที่ดีที่สุดของ WD'_j (ค่า EWD_j มีค่าต่ำสุด) โดยการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (4-14) เทียบกับตัวแปร WD'_j แล้วให้เท่ากับศูนย์จะได้

$$\frac{d(EWD_j)}{d(WD'_j)} = \sum_{k=1}^{5}\left[T_{jk}^2 \cdot \left(\frac{WD_j'^2}{We_{jk}^3 \cdot DAF_{jk}^3} - \frac{WD_j'^5}{We_{jk}^6 \cdot DAF_{jk}^6}\right)\right] = 0 \qquad (4\text{-}15)$$

จากการแก้สมการที่ (4-15) จะได้ค่า WD'_j ของรถแต่ละประเภทดังตารางที่ 4-2 ซึ่งก็คือผลคูณระหว่าง W'_j กับ DAF'_j ซึ่งไม่สามารถระบุถึงตัวแทนน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัตของรถแต่ละประเภทได้ และจากข้อมูลของน้ำหนัก รวมทั้งตัวประกอบการขยายพลวัตที่ได้จากการตรวจวัดของรถแต่ละคันนั้น น้ำหนักรถที่เกิดขึ้นมีค่าความแปรปรวนสูงเมื่อเทียบกับตัวประกอบการขยายพลวัตซึ่งมีความแปรปรวนต่ำกว่ามาก ดังนั้นจากสมการที่ (4-14) เมื่อต้องการหาตัวประกอบการขยายพลวัตจากแบบจำลอง ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นตัวแทนของรถประเภทนั้น ๆ ได้โดยการกำหนดตัวแทนน้ำหนักจากแบบจำลองให้เท่ากับน้ำหนักที่ได้จากการตรวจวัดจริงซึ่งจาก สมการที่ (4-14) จะได้เป็น

$$EDAF_j = \sum_{k=1}^{5}\left[T_{jk}^2 \cdot \left(1 - \frac{DAF_j'^3}{DAF_{jk}^3}\right)^2\right] \qquad (4\text{-}16)$$

โดยที่ $EDAF_j$ ผลรวมความคลาดเคลื่อนกำลังสองของผลต่างระหว่างอัตราความเสียหายที่เกิดจากความเค้นที่ได้จากการตรวจวัดและน้ำหนักในแบบจำลองของรถประเภท j เมื่อกำหนดให้น้ำหนักจากแบบจำลองเท่ากับน้ำหนักรถจริง

เมื่อต้องการหาค่าที่ดีที่สุดของ DAF'_j (ค่า $EDAF_j$ มีค่าต่ำสุด) โดยการหาอนุพันธ์ของสมการที่ (4-16) เทียบกับตัวแปร DAF'_j แล้วให้เท่ากับศูนย์จะได้

$$\frac{d(EDAF_j)}{d(DAF'_j)} = \sum_{k=1}^{5}\left[T_{jk}^2 \cdot \left(\frac{DAF_j'^2}{DAF_{jk}^3} - \frac{DAF_j'^5}{DAF_{jk}^6}\right)\right] = 0 \qquad (4\text{-}17)$$

จากการแก้สมการที่ (4-17) จะได้ค่า DAF'_j ของรถแต่ละประเภทดังตารางที่ 4-2 และจากค่า WD'_j และ DAF'_j สามารถที่จะคำนวณค่าตัวแทนน้ำหนักของรถแต่ละประเภท (W'_j) ได้จากสมการที่ (4-18) และสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4-2

$$W'_j = \frac{WD'_j}{DAF'_j} \qquad (4\text{-}18)$$

4.3 แบบจำลองที่ 2 ประเมินจากผลรวมสัดส่วนความคลาดเคลื่อนกำลังสองต่ำสุดระหว่างผลต่างของอายุที่ประเมินได้จากความเค้นที่ได้จากการตรวจวัดและน้ำหนักจากแบบจำลอง

จากแบบจำลองที่ 1 จะเห็นได้ว่าในสมการที่ (4-14) และ (4-16) ซึ่งเป็นสมการของแบบจำลองนั้นจะสนใจเฉพาะอัตราความเสียหายรวมที่เกิดขึ้นเนื่องจากรถแต่ละประเภท ดังนั้นในแบบจำลองที่ 2 จึงสนใจความคลาดเคลื่อนจากการประเมินอายุการใช้งานเป็นสมการพื้นฐาน ซึ่งในสมการการประเมินอายุการใช้งานนั้น ค่าความเค้นประสิทธิผลที่ใช้ในการประเมินอายุได้มาจากความสัมพันธ์ของความเค้นที่เกิดจากรถทั้ง 5 ประเภท และเมื่อพิจารณารวมทุกสะพานแล้วสามารถสร้างความสัมพันธ์ทั้งหมดให้เป็นแบบจำลองได้

พิจารณาสมการในการประเมินอายุการใช้งานในสมการที่ (2-24)

$$Y = \frac{K \times 10^{6}}{Ta \cdot C \cdot Se^{3}}$$

ดังนั้นสมการการประเมินอายุของสะพาน k จากผลการตรวจวัดจะได้เป็น

$$Y_k = \frac{K_k \times 10^{6}}{Ta_k \cdot C_k \cdot Se_k^{3}} \qquad (4\text{-}19)$$

และสมการในการประเมินอายุการใช้งานจากแบบจำลองคือ

$$Y_k' = \frac{K_k \times 10^{6}}{Ta_k \cdot C_k \cdot \left(\sum_{i=1}^{T_{jk}} \sum_{j=1}^{5} \left(\frac{1}{T_k} \cdot S_{ijk}'^{3} \right) \right)} \qquad (4\text{-}20)$$

$$Y_k' = \frac{K_k \times 10^{6}}{Ta_k \cdot C_k \cdot \left(\sum_{j=1}^{5} \left(\frac{T_{jk}}{T_k} \cdot S_{jk}'^{3} \right) \right)} \qquad (4\text{-}21)$$

$$S_{jk}' = \frac{W_j' \cdot DAF_j' \cdot Le_k \cdot m_{jk}}{Z_k} \qquad (4\text{-}22)$$

โดยที่ Y_k อายุที่ประเมินได้จากการตรวจวัดสภาพการใช้งานจริง

Y'_k อายุที่ประเมินได้จากแบบจำลอง

ดังนั้นผลรวมความคลาดเคลื่อนกำลังสองของผลต่างระหว่างอายุการใช้งานที่ประเมินได้จากความเค้นที่ได้จากการตรวจวัดกับน้ำหนักจากแบบจำลองรวมทุกละพาน จะได้เป็น

$$EY = \sum_{k=1}^{5} \left(\frac{Y_k - Y'_k}{Y_k} \right)^2 \qquad (4\text{-}23)$$

แทนสมการที่ (4-19) (4- 21) และ (4-22) ลงในสมการที่ (4-23)

$$EY = \sum_{k=1}^{5} \left(\frac{\dfrac{K \times 10^6}{Ta_k \cdot C_k \cdot Se_k^3} - \dfrac{K \times 10^6}{Ta_k \cdot C_k \cdot \left(\sum_{j=1}^{5} \left(\dfrac{T_{jk}}{T_k} \cdot S'^3_{jk} \right) \right)}}{\dfrac{K \times 10^6}{Ta_k \cdot C_k \cdot Se_k^3}} \right)^2 \qquad (4\text{-}24)$$

$$EY = \sum_{k=1}^{5} \left(1 - \frac{Se_k^3}{\sum_{j=1}^{5} \left(\dfrac{T_{jk}}{T_k} \cdot \left(\dfrac{W'_j \cdot DAF'_j \cdot Le_k \cdot m_{jk}}{Z_k} \right)^3 \right)} \right)^2 \qquad (4\text{-}25)$$

โดยที่ EY เป็นผลรวมความคลาดเคลื่อนกำลังสองระหว่างผลต่างของอายุที่ประเมินได้จากความเค้นที่ได้จากการตรวจวัดและน้ำหนักจากแบบจำลอง

จากสมการที่ (4-25) ตัวแปรที่เหลือและที่ต้องการคือ ตัวแทนของน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัตจากแบบจำลอง และเนื่องจากผลคูณระหว่างน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัตในแบบจำลองนั้นขึ้นแก่กัน แต่จากแบบจำลองที่ 1 ค่าความแปรปรวนของตัวประกอบการขยายพลวัตมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงใช้ค่าตัวประกอบการขยายพลวัตที่ได้จากแบบจำลองที่ 1 ซึ่งสมการที่ (4-25) จะเหลือตัวแปรอยู่ 5 ตัวคือ ตัวแทนน้ำหนักของรถแต่ละประเภท

ในการประเมินหาตัวแทนน้ำหนักจากแบบจำลองนี้ สามารถทำได้โดยการหาค่าต่ำสุดของสมการที่ (4-25) นั่นคือ เป็นการหาค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนกำลังสองต่ำสุดระหว่างผลต่างของอายุที่ประเมินได้จากความเค้นที่ได้จากการตรวจวัดและน้ำหนักจากแบบจำลอง ซึ่งจะใช้หลักการออปติไมเซชัน (optimization method) โดยการใช้ฟังก์ชัน *constr ('fun',x0,options,vlb,vub)* จากโปรแกรม MATLAB ในการออปติไมซ์ โดยทำการออปติไมซ์

สมการที่ (4-25) ซึ่งมีตัวแปรที่จะทำการออปติไมซ์คือ ตัวแทนน้ำหนักของรถทั้ง 5 ประเภท และมีขอบเขตบนและขอบเขตล่างเป็น น้ำหนักประสิทธิผลที่ได้จากแบบจำลองที่ 1 (เป็นค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่ได้จากอัตราความเสียหาย) บวกและลบด้วยค่าความแปรปรวนของน้ำหนักรถประเภทนั้น ๆ จากแบบจำลองที่ 1 และจากขั้นตอนนี้ทำให้ได้ค่าตัวแทนน้ำหนักของรถแต่ละประเภทดังตารางที่ (4-3)

4.4 แบบจำลองที่ 3 ประเมินค่าผลรวมความคลาดเคลื่อนกำลังสองน้อยสุดระหว่างผลต่างจำนวนปีของความเสียหายที่เกิดจากความเค้นที่ได้จากการตรวจวัดและน้ำหนักจากแบบบจำลอง

วิธีการสร้างแบบจำลองที่ 3 นี้ จะคำนึงถึงจำนวนปีของความเสียที่เกิดเนื่องจากรถแต่ละประเภทในแต่ละสะพาน โดยในแบบจำลองจะทำการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความเสียหายและอายุการใช้งานของสะพาน คล้ายกับเป็นการรวมแบบจำลองที่ 1 และแบบจำลองที่ 2 เข้าด้วยกัน ซึ่งหลักการในแบบจำลองที่ 3 ก็คือ ในรถแต่ละประเภทแต่ละสะพานสามารถประเมินถึงความคลาดเคลื่อนของความเสียหายเป็นปีที่เกิดเนื่องจากรถแต่ละประเภท และในสมการพื้นฐานในการสร้างแบบจำลองจะรวมผลของความคลาดเคลื่อนทั้งหมดเข้าด้วยกัน ดังนั้น

$$DY_{jk} = \frac{D_{jk}}{\sum_{j=1}^{5}(D_{jk})} \cdot Y_k \qquad (4\text{-}26)$$

โดยที่ DY_{jk} จำนวนปีของความเสียหายที่เกิดเนื่องจากรถประเภท j ในสะพาน k จากการตรวจวัดจริง

และจำนวนปีของความเสียหายจากแบบจำลองจะได้เป็น

$$DY'_{jk} = \frac{D'_{jk}}{\sum_{j=1}^{5}(D'_{jk})} \cdot Y'_k \qquad (4\text{-}27)$$

โดยที่ DY'_{jk} จำนวนปีของความเสียหายที่เกิดเนื่องจากรถประเภท j ในสะพาน k จากแบบจำลอง

ดังนั้นผลรวมความคลาดเคลื่อนกำลังสองระหว่างผลต่างจำนวนปีของความเสียหายที่เกิดจากความเค้นที่ได้จากการตรวจวัดและน้ำหนักจากแบบจำลองรวมรถทุกประเภทและทุกสะพานจะได้เป็น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$EDY = \sum_{k=1}^{5}\sum_{j=1}^{5}\left[\left(\frac{DY_{jk} - DY'_{jk}}{DY_{jk}}\right)^2\right] \qquad (4\text{-}28)$$

โดยที่ EDY เป็นผลรวมความคลาดเคลื่อนกำลังสองระหว่างผลต่างจำนวนปีของความเสียหายที่เกิดจากความเค้นที่ได้จากการตรวจวัดและน้ำหนักจากแบบจำลองรวมรถทุกประเภทและทุกสะพาน

แทนสมการที่ (4-26) และ (4-27) ลงในสมการที่ (4-28) จะได้

$$EDY = \sum_{k=1}^{5}\sum_{j=1}^{5}\left[\left(\frac{\frac{D_{jk}}{\sum_{j=1}^{5}(D_{jk})}\cdot Y_k - \frac{D'_{jk}}{\sum_{j=1}^{5}(D'_{jk})}\cdot Y'_k}{\frac{D_{jk}}{\sum_{j=1}^{5}(D_{jk})}\cdot Y_k}\right)^2\right] \qquad (4\text{-}29)$$

$$EDY = \sum_{k=1}^{5}\sum_{j=1}^{5}\left[\left(1 - \frac{D'_{jk}\cdot\sum_{j=1}^{5}(D_{jk})\cdot Y'_k}{D_{jk}\cdot\sum_{j=1}^{5}(D'_{jk})\cdot Y_k}\right)^2\right] \qquad (4\text{-}30)$$

แทนสมการที่ (4-10) (4-11) (4-19) และ(4-21) ในสมการที่ (4-30) จะได้

$$EDY = \sum_{k=1}^{5}\sum_{j=1}^{5}\left[\left(1 - \frac{S'^3_{jk}\cdot Se^3_k}{\left(\sum_{j=1}^{5}\left(\frac{T_{jk}}{T_k}\cdot S'^3_{jk}\right)\right)\cdot Se^3_{jk}}\right)^2\right] \qquad (4\text{-}31)$$

โดยที่

$$S'_{jk} = \left(\frac{W'_j\cdot DAF'_j\cdot Le_k\cdot m_{jk}}{Z_k}\right) \qquad (4\text{-}32)$$

จากแบบจำลองที่ 3 จะได้สมการในการประเมินค่าตัวแทนน้ำหนักดังสมการที่ (4-31) และ (4-32) โดยใช้ค่าตัวประกอบการขยายพลวัตจากแบบจำลองที่ 1 และจะเหลือตัวแปรที่ไม่ทราบค่าคือ ตัวแทนน้ำหนักของรถทั้ง 5 ประเภท ซึ่งเป็นตัวแปรที่ต้องการจากการออปติไมซ์เพื่อหาค่าตัวแทนน้ำหนักที่ทำให้สมการที่ (4-31) มีค่าต่ำสุด และมีขอบเขตบนและขอบเขตล่างเป็น น้ำหนักประสิทธิผลที่ได้จากแบบจำลองที่ 1 (เป็นค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่ได้จากอัตราความเสียหาย) บวกและลบด้วยค่าความแปรปรวนของน้ำหนักรถประเภทนั้น ๆ จากแบบจำลองที่ 1 และจากขั้นตอนของแบบจำลองนี้ทำให้ได้ค่าตัวแทนน้ำหนักของรถแต่ละประเภทดังตารางที่ (4-3)

4.5 การประเมินอายุการใช้งานของสะพานเหล็กจากตัวแทนน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัต

ในหัวข้อที่ผ่านมา ได้ทำการประเมินตัวแทนน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัตของรถแต่ละประเภทจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ ที่สร้างขึ้น ซึ่งได้ค่าตัวแทนน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัตของรถแต่ละประเภทดังตารางที่ 4-2 และตารางที่ 4-3 และจะนำไปทำการประเมินอายุการใช้งานของแต่ละแบบจำลอง โดยการประเมินอายุการใช้งานนั้น จะทำการประเมินอายุการใช้งานของสะพาน B1 ในแบบจำลองที่ 1 เป็นตัวอย่างดังต่อไปนี้

4.5.1 น้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัตของรถแต่ละประเภท

จากตัวแทนของน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัตของรถแต่ละประเภทที่ได้จากแบบจำลองที่ 1 ดังตารางที่ 4-2 โดยมีน้ำหนักของรถบรรทุกหกล้อ รถบัส รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกกึ่งพ่วง และรถบรรทุกพ่วง เป็น 10243 12411 19335 23504 และ 54928 กิโลกรัมตามลำดับ และตัวประกอบการขยายพลวัตเป็น 1.18 1.11 1.12 1.10 และ 1.04 ตามลำดับ

4.5.2 ความถี่และปริมาณรถแต่ละประเภทต่อวัน

ปริมาณรถที่ได้จากการตรวจนับเป็นปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันของรถแต่ละประเภทในสะพาน B1 ดังแสดงในตารางที่ 4-5 ซึ่งมีปริมาณของรถบรรทุก 6 ล้อ รถบัส รถบรรทุก 10 ล้อ รถบรรทุกกึ่งพ่วง และรถบรรทุกพ่วงเฉลี่ยต่อวันเป็น 328 220 53 4 และ 18 คันตามลำดับ

จากนั้นทำการเปลี่ยนปริมาณของรถแต่ละประเภทต่อวันให้เป็นความถี่ต่อวันเนื่องจากรถในแต่ละประเภทดังสมการที่ (4-33)

$$f_j = \frac{T_j}{\sum_{j=1}^{5} T_j} \qquad (4\text{-}33)$$

ซึ่งจะได้ความถี่ของรถแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นในสะพาน B1 เป็น 0.526 0.353 0.085 0.006 และ 0.029 ตามลำดับ

4.5.3 ความเค้นที่เกิดเนื่องจากรถแต่ละประเภท

จากสมการที่ 4-32 เป็นสมการในการคำนวณความเค้นที่เกิดเนื่องจากรถแต่ละประเภท

$$S_j' = \left(\frac{W_j' \cdot DAF_j' \cdot Le \cdot m_j}{Z} \right)$$

โดยที่ในสะพาน B1 เมื่อพิจารณารถประเภทรถบรรทุก 6 ล้อ จะได้ตัวแปรต่าง ๆ เป็น

W'	=	10243	กก.
DAF'	=	1.18	
Le	=	0.47	(สะพาน B1)
m	=	1195.27	หน่วยน้ำหนัก-ชม. (รถบรรทุก 6 ล้อ)
Z	=	36036.70	ชม.^{3} (สะพาน B1)

แทนค่าตัวแปรทั้งหมดลงในสมการจะได้ค่าความเค้นที่เกิดเนื่องจากรถบรรทุกหกล้อในสะพาน B1 เป็น

$$S' = \left(\frac{10243 \times 1.18 \times 0.47 \times 1195.27}{36036.70} \right)$$

$$S' = 188.52 \text{ กก. / ตร.ชม.}$$

และในรถบัส รถบรรทุกสิบล้อ รถบรรทุกกึ่งพ่วง และรถบรรทุกพ่วง จะได้ค่าความเค้นเป็น 205.26 334.94 349.68 และ 787.42 กก. / ตร.ชม. ตามลำดับดังตารางที่ 4-5

4.5.4 ความเค้นประสิทธิผล

เมื่อทราบช่วงความเค้นและความถี่ที่เกิดเนื่องจากรถแต่ละประเภท ก็ทำให้สามารถที่จะคำนวณความเค้นประสิทธิผลได้ โดยจากสมการที่ (2-16)

$$Se_k = \sqrt[3]{\left(\sum_{j=1}^{5} f_j \cdot S_j^3\right)}$$

แทนค่าความถี่และความเค้นเนื่องจากรถแต่ละประเภทลงในสมการข้างต้น ซึ่งจะได้ความเค้นประสิทธิผลของสะพาน B1 เป็น

$$Se_k = \sqrt[3]{\left(0.526 \times 188.52^3 + 0.353 \times 205.26^3 + 0.085 \times 334.94^3 + 0.006 \times 349.68^3 + 0.029 \times 787.42^3\right)}$$

Se_k = 289.08 กก. / ตร.ซม. (4.11 กิโลปอนด์ / ตร.นิ้ว)

4.5.5 ปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันต่อช่องทางการจราจร

จากปริมาณของรถแต่ละประเภทเฉลี่ยต่อวันจากหัวข้อที่ 4.5.2 นั้น ซึ่งปริมาณการจราจรเฉลี่ยต่อวันต่อช่องทางการจราจรก็คือ ผลรวมของรถแต่ละประเภทเฉลี่ยต่อวัน ซึ่งจะได้

Ta = 328 + 220 + 53 + 4 + 18

Ta = 623 คันต่อวันต่อช่องทางการจราจร

4.5.6 การประเมินอายุการใช้งานของสะพาน

จากสมการการประเมินอายุการใช้งานของสะพาน ดังสมการที่ 2-24

$$Y = \frac{K \times 10^6}{Ta \cdot C \cdot Se^3}$$

โดยที่สะพาน B1 มีค่าตัวแปรต่าง ๆ เป็น

K = 17

Ta = 623 คันต่อวันต่อช่องทางการจราจร

C = 1 รอบ / คัน

Se = 4.11 กิโลปอนด์ / ตร.นิ้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการการประเมินอายุการใช้งาน ซึ่งจะได้อายุของสะพาน B1 จากตัวแทนน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัตที่ได้จากแบบจำลองที่ 1 เป็น

$$Y = \frac{17 \times 10^{6}}{623 \times 1 \times 4.11^{3}}$$

$$Y = 393 \text{ ปี}$$

และค่าอายุการใช้งานของสะพานอื่น ๆ ที่ทำการประเมินจากตัวแทนน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัตที่ได้จากแบบจำลองที่ 1 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4-5

4.5.7 การประเมินอายุการใช้งานจากตัวแทนน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัตที่ได้จากแบบจำลองที่ 2 และแบบจำลองที่ 3

เมื่อต้องการประเมินอายุการใช้งานจากตัวแทนน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัตที่ได้จากแบบจำลองที่ 2 และแบบจำลองที่ 3 สามารถทำได้โดยแทนค่าตัวแทนน้ำหนักและตัวประกอบการขยายพลวัตที่ได้จากแบบจำลองนั้น ๆ ดังตารางที่ 4-3 จากนั้นทำตามขั้นตอนที่ 4.5.1 ถึง 4.5.6 และจะได้อายุการใช้งานของสะพานต่าง ๆ จากแบบจำลองที่ 2 ดังตารางที่ 4-6 และอายุการใช้งานของสะพานต่าง ๆ จากแบบจำลองที่ 3 ดังตารางที่ 4-7 ส่วนในตารางที่ 4-8 จะแสดงเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของการประเมินอายุการใช้งานจากวิธีการต่าง ๆ เปรียบเทียบกับการประเมินอายุการใช้งานจากการตรวจวัดความเครียดในสภาพการใช้งานจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย