บทที่ 4
การประเมินอายุการใช้งานที่เหลือของสะพาน

<u>การประเมินหาอายุการใช้งานที่เหลือของสะพานเหล็กข้ามแยก</u>

การประเมินหาอายุการใช้งานที่เหลือของสะพานเหล็กข้ามแยกนั้น เป็นการประเมินเพื่อที่จะหาอายุการใช้งานที่เหลืออย่างปลอดภัยสำหรับสะพานเหล็กข้ามแยก โดยจะนับจากปัจจุบันไปจนกระทั่งหมดอายุการใช้งานของสะพาน ซึ่งผลที่ได้จากการประเมินนั้นจะส่งผลทำให้ได้ทราบถึงความปลอดภัยในการใช้ยวดยานแล่นผ่านสะพาน, ระยะเวลาที่จะต้องทำการซ่อมแซมเพื่อที่จะได้เพิ่มอายุการใช้งานของสะพาน เป็นต้น การประเมินหาอายุการใช้งานที่เหลือนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการคือ

1. ค่าช่วงความเค้น (stress range) ซึ่งจะหามาได้จากแผนภูมิค่าช่วงความเค้น (stress-range histogram) ซึ่งค่าช่วงความเค้นดังกล่าวนี้จะได้มาจากการตรวจวัดจริงจากสะพาน หรือแบบจำลองที่นำรถบรรทุกแล่นผ่านสะพานในแบบจำลอง
2. จำนวนรอบ (No. of cycles) ซึ่งจำนวนรอบดังกล่าวนี้จะมีความสัมพันธ์กันกับค่าช่วงความเค้น

จากความสัมพันธ์ของค่าทั้งสองข้างต้นนั้นจะนำมาทำเป็นความสัมพันธ์ออกมาเป็นกราฟ S-N ได้นั่นเองซึ่งกราฟดังกล่าวนั้นเป็นหลักการขั้นพื้นฐานในการประเมินหาอายุการใช้งานที่เหลือนั่นเอง การประเมินหาอายุการใช้งานที่เหลือของสะพานข้ามแยกนั้นสามารถทำการพิจารณาได้ 2 แนวทางด้วยกัน ดังนี้

4.1 การประเมินหาอายุการใช้งานตามแนวทางของ AASHTO ซึ่งจะแบ่งออกมาเป็น 3 แนวทางย่อยดังนี้

4.1.1 การประเมินโดยใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรจากการตรวจวัดจริง แต่คำนวณค่าช่วงความเค้นจะใช้การวิเคราะห์หาจากแบบจำลองรถบรรทุก (fatigue truck) [13] ที่กำหนดโดยมาตรฐาน AASHTO

4.1.2 การประเมินโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดทั้งข้อมูลปริมาณการจราจรและข้อมูลความเครียดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร แต่จะหาโดยการเทียบกับรถบรรทุก 10 ล้อ

4.1.3 การประเมินโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดทั้งข้อมูลปริมาณการจราจรและข้อมูลความเครียดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร

2. การประเมินหาอายุการใช้งานตามหลักของ Palmgren-Miner [6]

การประเมินหาอายุการใช้งานที่เหลือนั้นสามารถที่จะแสดงวิธีการประเมินได้ ดังนี้

4.1.1 *การประเมินโดยใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรจากการตรวจวัดจริง แต่ค่าช่วงความเค้นจะใช้การวิเคราะห์หาจากแบบจำลองรถบรรทุก (fatigue truck) ที่กำหนดโดยมาตรฐาน*

การประเมินด้วยวิธีการนี้จะเป็นการประเมินโดยอาศัยค่าช่วงความเค้น (stress range) ของรถบรรทุกมาตรฐานมาทำการแล่นผ่านแบบจำลองของสะพานที่พิจารณา โดยที่จะอาศัยหลักการของ AASHTO (ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2) ซึ่งจะมีทั้งขนาดรถบรรทุกมาตรฐาน, การกระจายน้ำหนักลงบนคานของสะพาน เป็นต้น ภายใต้การประเมินด้วยวิธีการนี้นั้นจะทำการคิดปริมาณการจราจรที่แล่นผ่านบนสะพานโดยอาศัยจากค่าโมเมนต์สูงสุดที่เกิดจากน้ำหนักของรถประเภทต่างๆ ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับรถบรรทุกมาตรฐานของ AASHTO (ซึ่งจะใช้รถบรรทุกประเภท HS20) ซึ่งจะใช้สมการตามที่ทาง AASHTO ได้กำหนดได้ดังสมการที่ (2-6) ทั้งนี้จะไม่ทำการหาค่าช่วงความเค้นที่มาจากการแล่นผ่านของรถยนต์ 4 ล้อเนื่องจากรถยนต์ 4 ล้อนั้นไม่ส่งผลที่จะทำให้เกิดค่าช่วงความเค้นที่มากพอที่จะส่งผลกระทบต่อการลดลงของค่าอายุการใช้งานที่เหลือของสะพาน (สมการที่ (2-6))

$$Y_f = \frac{f \times K \times 10^6}{T_a \times C \times (R_S S_r)^3} \quad - a$$

โดยจะทำการแสดงการคำนวณหาอายุการใช้งานที่เหลือด้วยวิธีการดังกล่าวได้ดังนี้

4.1.1.1 ทำการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การกระจายน้ำหนัก (lateral distribution factor ,*DF*) ของรถบรรทุกมาตรฐานลงสู่คาน

สะพานที่ทำการการศึกษาในขณะนี้คือ สะพาน B1 ซึ่งมีความยาวช่วงคานหลักเท่ากับ 35 เมตร (หรือ 114.83 ฟุต) ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตารางที่ (4-1) จะทำการเลือกใช้ค่า D ให้มีค่าเท่ากับ

สำหรับคานด้านในนั้น $DF = DF_i = S/D$ แต่ค่าดังกล่าวนี้จะต้องมีค่าไม่มากกว่าค่า $(S-3)/S$ เมื่อ S คือระยะห่างระหว่างคาน (ฟุต) จากแบบของสะพาน B1 ในช่วงของคานหลักนั้นจะพบว่าคานตัวนอกสุด (G1) และตัวถัดเข้ามา (G2) นั้นมีระยะห่างระหว่างกันเท่ากับ 1.92 เมตร (หรือ 6.299 ฟุต) ดังนั้น

$DF_i = 6.299 / 22 = 0.286$ และค่า $(S - 3) / S = (6.299-3) / 6.299 = 0.523$

พบว่าค่า DF_i นั้นมีค่าน้อยกว่าค่า $(S - 3) / S$ จึงใช้ค่า $DF_i = 0.286$

สำหรับคานด้านนอกนั้น ทาง AASHTO ได้กำหนดให้มีค่า $DF_e = 0.9 - 0.8P$ เมื่อค่า P นั้นมีค่าน้อยกว่า 0.5 และ ค่า DF_e จะต้องมีค่าที่ไม่น้อยกว่าค่า DF_i โดยที่ค่า P คือค่าระยะจากคานตัวนอกถึงตำแหน่งกึ่งกลางของเลนด้านนอกที่ใกล้กับคานตัวนอกที่สุดและถูกหารด้วย ค่าระยะห่างระหว่างคานทั้งสอง (S) (ดูรูปที่ (2-7) ประกอบ)

เมื่อทำการพิจารณาจากแบบของสะพานข้ามแยกรัชโยธินแล้วจะพบว่าเลนด้านนอกนั้นมีความกว้างเท่ากับ 0.77 – 0.45 +1.92 +(1.92 / 2) = 3.2 เมตร (หรือ 10.499 ฟุต) และพบว่าตำแหน่งของคานตัวนอกจะมีระยะห่างจากตำแหน่งกึ่งกลางของเลนด้านนอกเท่ากับ (3.2 / 2) – 0.77 = 0.83 เมตร (หรือ 2.723 ฟุต) ดังนั้น

$$P = 2.723 / 6.299 = 0.432$$

ดังนั้น

$$DF_e = 0.9 – (0.8*0.432) = 0.5544 > DF_i$$

4.1.1.2 ทำการคำนวณน้ำหนักของรถบรรทุกมาตรฐานที่ทำการถ่ายลงสู่คานตัวนอก (G1) โดยนำค่าสัมประสิทธิ์การกระจายน้ำหนัก DF_e คูณกับน้ำหนักรถบรรทุกมาตรฐาน รวมทั้งทำการคูณด้วยค่าสัมประสิทธ์ของการกระแทก (impact coeffcient) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.20 ดังแสดงได้ดังตารางที่ (4-2)

4.1.1.3 นำค่าน้ำหนักของเพลาต่างๆ และระยะห่างระหว่างเพลาทั้งสามตามที่ AASHTO ได้กำหนดไว้ จะพบว่าเพื่อให้ได้ค่าแรงภายในของคานให้มีค่ามากที่สุดนั้นค่าระยะห่างระหว่างเพลาหน้าและเพลากลางจะมีค่าเท่ากับ 4.2 เมตร (หรือ 14 ฟุต) และระยะห่างระหว่างเพลากลางและเพลาท้ายมีระยะเท่ากับ 9 เมตร (หรือ 30 ฟุต)

โดยจะทำการหาคำนวณหาค่าโมเมนต์มากที่สุด จากรถบรรทุกมาตรฐานโดยมีการวางตำแหน่งของเพลาดังรูปที่ (4-1) (ดังแสดงในภาคผนวก) โดยที่จะทำการใช้เงื่อนไขคือ

ก. ช่วงสะพานไม่มีความต่อเนื่องกัน จึงทำการคิดในรูปของกรณีที่คานมีจุดรองรับเป็นแบบธรรมดา (simple beam)

ข. กำหนดให้จุดรองรับด้านหนึ่งเป็นแบบฮิ้ง (hinge) และอีกด้านหนึ่งเป็นแบบโลเลอร์ (roller)

พบว่า ค่าโมเมนต์มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 106,170 ก.ก.-ม. ณ.ตำแหน่งที่ห่างจากจุดรองรับข้างซ้ายเท่ากับ 17.5 เมตร (หรือ ณ.ตำแหน่งกึ่งกลางช่วงของคานหลัก)

4.1.1.4 ทำการคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย (moment of inertia, I) โดยพิจารณาจากแบบของสะพาน B1 ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยได้แสดงไว้ในตารางที่ (4-3) ในการคำนวณหาโมเมนต์ความเฉื่อยนั้นจะไม่ทำการพิจารณาชิ้นส่วนทางเดินด้านข้างของสะพาน (curb), ราวกันตก, ผิวทาง เป็นต้น แต่จะทำการคำนวณเฉพาะชิ้นส่วนสำคัญสำหรับคานตัวนอก (มี 6 ชิ้นส่วนดังที่แสดงไว้ในรูปที่ (4-2)) ทั้งนี้จะเป็นการที่จะเพิ่มความปลอดภัยให้มีค่ามากขึ้นด้วยเนื่องจากจะมีค่าโมเมนต์ความเฉื่อยน้อยกว่าการคำนึงถึงผลของชิ้นส่วนที่ประกอบทั้งหมด แต่เพื่อความถูกต้องที่มากขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับแก้ค่าอัตราส่วนของค่าโมเมนต์ความเฉื่อยกับระยะระหว่างแนวแกนสะเทินถึงผิวด้านล่างของหน้าตัด โดยค่าปรับแก้ดังกล่าวจะทำการคำนวณมาจากผลของการตรวจวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในการทดสอบแบบพลศาสตร์ (dynamic test) ซึ่งรายละเอียดในการคำนวณหาค่าโมเมนต์ความเฉื่อย และหาค่าปรับแก้ดังกล่าวจะแสดงในภาคผนวก จากการคำนวณพบว่าค่าปรับแก้ดังกล่าวนั้นจะมีค่าเท่ากับ 0.8692 ซึ่งค่าปรับแก้นี้จะใช้กับสะพานที่เหลืออีก 5 สะพานด้วย

4.1.1.5 ทำการหาค่าหน่วยแรงสูงสุด (maximum stress, ksc.) ซึ่งจะหาค่าหน่วยแรงสูงสุดที่ผิวด้านล่างของคาน (เป็นหน่วยแรงดึง) เพื่อให้สอดคล้องกับการตรวจวัดจากสภาพการจราจรจริงของสะพาน B1 อีกทั้งเป็นที่ทราบกันดีว่าบริเวณที่เกิดความเค้นในลักษณะเป็นแรงดึงเท่านั้นที่จะส่งผลต่อการเกิดปัญหาทางด้านความล้า ทั้งนี้ค่าหน่วยแรงสูงสุดที่คำนวณออกมาได้นั้น จะเป็นค่าช่วงความเค้นสูงสุด (maximum stress range, ksc.) สำหรับรถบรรทุกมาตรฐานที่แล่นผ่านสะพาน โดยที่จะหาได้มาจากลมการการหาค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นกับผิวด้านล่างของชิ้นส่วนได้ดังนี้

$$\sigma = M / R_I$$

$$= (106170 * 100) / (25749.033 * 0.8692)$$

$$S_r = 474.37 \text{ กก./ตร.ซม. (6.748 กิโลปอนด์/ตร.นิ้ว)}$$

ซึ่งจะได้ค่าช่วงความเค้นสำหรับรถบรรทุกมาตรฐาน ที่มีต่อสะพานข้ามแยกรัชโยธินมีค่าเท่ากับ 474.37 กก./ตร.ซม. (หรือ 6.748 กิโลปอนด์/ตร.นิ้ว)

4.1.1.6 จะทำการหาค่าปริมาณรถเฉลี่ยต่อวันต่อช่องทางการจราจร (Average Daily Truck Traffic, ADTT) ในรูปของปริมาณรถของรถบรรทุกมาตรฐาน (fatigue truck) ของ AASHTO โดยที่จะทำการแปลงค่าผลของรถประเภทต่างๆ ไปอยู่ในรูปของผลเนื่องจากรถบรรทุกมาตรฐาน (fatigue truck) ซึ่งกระทำโดยการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์สูงสุดที่เกิดจากของรถบรรทุกประเภท 10 ล้อเป็นรถบรรทุกมาตรฐาน กับรถบรรทุกมาตรฐานในรูปของโมเมนต์มากที่สุด (โดยที่จะทำการสมมุติให้โมเมนต์มากที่สุดที่เกิดจากรถบรรทุกมาตรฐานนั้นมีค่าเท่ากันกับค่าโมเมนต์มากที่สุดที่เกิดจากรถบรรทุก 10 ล้อ ที่ได้จากการตรวจวัดจริง) การหาสัดส่วนนั้นจะทำการแปลงค่าอัตราส่วนดังกล่าวด้วยการยกกำลังสาม อัตราส่วนที่คำนวณได้ทั้งนี้เนื่องจากจากสมการที่ (2-2) นั้นแสดงให้เห็นว่าค่าช่วงความเค้นดังกล่าวนั้นต้องยกกำลังสามเพื่อที่จะให้มีการแปลงจำนวนรอบได้ตามความเป็นจริง ดังแสดงได้ในตารางที่ (4-4) การหาค่า โมเมนต์มากที่สุด สำหรับรถบรรทุก 6 ล้อ, รถบรรทุก 10 ล้อ, รถบัส, รถบรรทุกกึ่งพ่วง และรถบรรทุกพ่วง นั้นจะแสดงต่อไปจากนี้

การคำนวณการหาค่า โมเมนต์มากที่สุดนั้นสามารถหาได้ โดยที่จะมีการวางตำแหน่งของเพลาต่าง, น้ำหนักที่ถ่ายลงเพลาต่างๆทั้งที่ยังไม่มีการกระจายน้ำหนัก และมีการกระจายน้ำหนักแล้วของรถทั้ง 5 ประเภท รวมทั้งรูปที่ (4-3) จะแสดงระยะห่างมากที่สุดที่จะทำให้เกิดค่าโมเมนต์มากที่สุดด้วย

4.1.1.7 จากตารางที่ (4-4) พบว่าเมื่อทำการแปลงจำนวนรถประเภทต่างๆ ไปเป็นรถบรรทุก 10 ล้อแล้วจะได้ปริมาณรถบรรทุกเฉลี่ยต่อวันต่อช่องทางการจราจรมีค่าเท่ากับ 338.0 คันต่อวันต่อช่องทางการจราจร ซึ่งจะหมายความว่า

Ta = 338.0 คันต่อวันต่อช่องทางการจราจร

4.1.1.8 จากการพิจารณาพบว่า ณ ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดค่าความเครียด (strain gage) นั้น พบว่ารอยเชื่อม ณ.ตำแหน่งดังกล่าวนั้นเป็นแบบ B' จะทำให้ใช้ค่า K = 17 (ดูจากตารางที่ (4-5))

4.1.1.9 ทำการพิจารณาหาค่า R_S จากการที่ได้ทำการพิจารณาชิ้นส่วนที่มีการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดค่าความเครียด (strain gage) นั้น ได้ทำการติดตั้ง ณ.บริเวณปีกล่างของคานตัวนอก (G1) ซึ่งพิจารณาแล้วว่าเป็นชิ้นส่วนแบบนันรีดันแดนท์ (nonredundant) ซึ่งจำเป็นที่จะต้องใช้ค่า R_{S0} = 1.75 นอกจากนี้แล้วการที่หาค่าช่วงความเค้นนั้นจะหาจากน้ำหนักของรถบรรทุกมาตรฐาน ปรากฏว่าใช้ค่า $F_{S1} = F_{S2} = 1.00$ ดังนั้นทำการหาค่าความน่าเชื่อถือ หรือค่าความปลอดภัยที่จะนำมาคูณกับค่าช่วงความเค้นได้ดังนี้

$$R_S = R_{S0} F_{S1} F_{S2}$$
$$= (1.75)(1.00)(1.00)$$
$$= 1.75$$

<u>หมายเหตุ</u> ** สำหรับการหาอายุการใช้งานที่เหลือแบบค่ากลาง (remaining mean life) จะใช้ค่าความน่าเชื่อถือ หรือค่าความปลอดภัยนั้นมีค่าเท่ากับ 1.00 **

4.1.1.10 ทำการพิจารณาค่า C พบว่าช่วงความยาวคานของสะพานข้ามแยกรัชโยธินนั้นมีความยาวช่วงเท่ากับ 35 เมตรซึ่งมีค่ามากกว่า 12 เมตร ดังนั้นจะใช้ค่า C เท่ากับ 1.00

4.1.1.11) สะพานแห่งนี้เปิดทำการใช้งานมาตั้งแต่ พ.ศ. 2534 นับจนกระทั่งถึงวันที่ทำการตรวจวัดคือปี พ.ศ. 2540 เป็นระยะเวลาประมาณ 7 ปี ซึ่งหมายความว่าค่า a = 7 ปี

4.1.1.12) เมื่อหาอายุการใช้งานที่เหลืออย่างปลอดภัย (safe life) ใช้ค่า f = 1 แต่ถ้าเป็นการคำนวณหาครึ่งอายุการใช้งานที่เหลือ (mean life) ใช้ค่า f = 2 ทำการแทนค่าต่างๆที่ได้มาจากการคำนวณจากข้อ 4.1.1.5 ถึง 4.1.1.11 แทนลงในสมการตามข้อกำหนดของ AASHTO (สมการที่ (2-6)) จะทำให้ได้ดังนี้

ทำการหาอายุการใช้งานที่เหลืออย่างปลอดภัย (safe life)

$$Y_f = \frac{1.00 \times 17 \times 10^6}{338.0 \times 1.00 \times (1.75 \times 6.748)^3} - 7$$

$$= 24 \text{ ปี}$$

ทำการหาครึ่งอายุการใช้งานที่เหลือ (mean life)

$$Y_f = \frac{2.00 \times 17 \times 10^6}{338.0 \times 1.00 \times (1.00 \times 6.748)^3} - 7$$

$$= 320 \text{ ปี}$$

จากผลการคำนวณข้างต้นนั้นพบว่าสะพานดังกล่าวนั้นจะมีอายุการใช้งานที่เหลืออย่างน้อยเท่ากับ 24 ปี

4.1.2 การประเมินโดยใช้ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดทั้งข้อมูลปริมาณการจราจร และข้อมูลความเครียดที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจร

การประเมินด้วยวิธีการดังกล่าวนี้จะทำการหาค่าช่วงความเค้นมาจากข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดค่าความเครียด โดยการสุ่มเลือกเอาข้อมูลของรถประเภทต่างๆ มาทำการหาค่าช่วงความเค้นเสมือน (equivalent stress range, S_e) ของรถประเภทต่างๆ การสุ่มตัวอย่างของรถทั้ง 5 ประเภทขึ้นมานั้นจะอยู่ภายใต้เงื่อนไข คือรถบรรทุกทั้ง 5 ประเภทนั้นจะก่อให้เกิดค่าช่วงความเค้นมากกว่า 80 กก./ตร.ซม. เพราะจากการดูข้อมูลสัญญาณที่ได้จากการตรวจวัดนั้นค่าช่วงความเค้นสูงสุดของรถยนต์ประเภท 4 ล้อ และรถกระบะมีค่าไม่เกิน 80 กก./ตร.ซม. จากนั้นจะทำการแปลงค่า ADTT ของ รถบรรทุก 6 ล้อ (6-Wheel truck), รถบัส (BUS), รถบรรทุกกึ่งพ่วง (Semi-trailor) และรถบรรทุกพ่วง (Full-trailor) มาเป็นรถบรรทุก 10 ล้อ (10-Wheel truck) โดยหลักการแปลงดังกล่าวนั้นจะทำตามขั้นตอนเดียวกับหัวข้อที่ 4.1.1 ซึ่งจะใช้ค่าช่วงความเค้นเสมือน และปริมาณรถบรรทุกที่แปลงแล้วดังกล่าวไปแทนในสมการที่ (2-6)

การประเมินในหัวข้อนี้จะมีความแตกต่างกับการประเมินในหัวข้อที่ 4.1.1 ในเรื่องของค่าช่วงความเค้นคือในหัวข้อนี้จะนำเอาค่าช่วงความเค้นที่ได้มาจากการตรวจวัดมาทำการพิจารณาหาอายุการใช้งานที่เหลือ (หัวข้อ 4.1.1 นั้นจะใช้ค่าช่วงความเค้นจากการหาโดยการนำเอารถบรรทุกมาตรฐานมาแล่นผ่านแบบจำลองของสะพานที่ทำการพิจารณา) และนอกจากนี้ยังมีความแตกต่างกันในเรื่องของค่า ADTT คือ หัวข้อ 4.1.1 นั้นจะทำการแปลงปริมาณ ADTT โดยเปรียบ

เทียบกันในค่าโมเมนต์มากที่สุดเทียบกับค่าโมเมนต์มากที่สุดที่เกิดจากรถบรรทุกมาตรฐาน แต่หัวข้อนี้จะเปรียบเทียบกันในค่าช่วงความเค้นของรถที่เหลืออีก 4 ประเภทเทียบกับค่าช่วงความเค้นที่เกิดจากรถบรรทุก 10 ล้อ

โดยจะทำการแสดงการคำนวณหาอายุการใช้งานที่เหลือด้วยวิธีการดังกล่าวข้างต้นได้ดังนี้

4.1.2.1 ทำการคำนวณหาค่าช่วงความเค้นของรถบรรทุก 10 ล้อ

จะทำการสุ่มตัวอย่างรถบรรทุก 10 ล้อ จำนวน 184 คันที่แล่นผ่านสะพาน จากนั้นทำการใช้วิธีการของเรนโฟล์วเคาน์ติ้ง มาทำการคำนวณหาค่าช่วงความเค้นของรถบรรทุกแต่ละคัน สามารถแสดงได้ในภาคผนวก ต่อจากนั้นจะนำค่าช่วงความเค้นที่หามาได้นั้นมาทำการแทนค่าในสมการด้านล่างดังนี้

$$S_{re} = [\Sigma f_i S_{ri}^3]^{1/3}$$

ซึ่งจะทำให้ได้ค่าตัวแทนค่าช่วงความเค้น (equivalent stress range) ของรถบรรทุก 10 ล้อที่แล่นผ่านสะพาน และจะนำค่าดังกล่าวนั้นเป็นค่าที่เป็นหลักในการเปรียบเทียบกับรถประเภทต่างๆ ต่อไป

4.1.2.2 ทำการหาค่าตัวแทนค่าช่วงความเค้นของรถประเภทต่างๆที่เหลืออีก 4 ประเภท ได้ตามขั้นตอนเดียวกับขั้นตอนที่ 4.1.2.1 แต่จะทำการสุ่มตัวอย่างในปริมาณที่แตกต่างกันดังจะแสดงไว้ในตารางที่ (4-6)

4.1.2.3 นำเอาค่าตัวแทนค่าช่วงความเค้นของรถประเภทต่างๆที่หามาได้นั้นมาเปรียบเทียบกับค่าตัวแทนค่าช่วงความเค้นของรถบรรทุก 10 ล้อ ได้ดังตารางที่ (4-7) จะต้องใช้ค่า S_r = 6.261 กิโลปอนด์/ตร.นิ้ว

4.1.2.4 นำค่าอัตราส่วนที่หามาได้จากตารางข้างต้นมาทำการปรับแก้ค่า ADTT ที่หามาได้นั้นเพื่อที่จะหาค่า ADTT ของรถบรรทุก 10 ล้อได้ดังตารางที่ (4-8) (ทำตามหลักการเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 4.1.1) ซึ่งจะได้ค่าปริมาณรถบรรทุกเฉลี่ยต่อวันต่อช่องทางการจราจรมีค่าเท่ากับ 249 คันต่อวันต่อช่องทางการจราจรซึ่งหมายความว่า

T_a = 249.0 คันต่อวันต่อช่องทางการจราจร

4.1.2.5 จากการพิจารณาพบว่า ณ.ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดค่าความเครียด (strain gage) นั้น พบว่ารอยเชื่อม ณ.ตำแหน่งดังกล่าวนั้นเป็นแบบ B' จะทำให้ใช้ค่า K = 17

4.1.2.6 ทำการพิจารณาหาค่า R_S จากการที่ได้ทำการพิจารณาชิ้นส่วนที่มีการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดค่าความเครียด (strain gage) นั้น ได้ทำการติดตั้ง ณ.บริเวณปีกล่างของคานตัวนอก (G1) ซึ่งพิจารณาแล้วว่าเป็นชิ้นส่วนแบบนันรีดันแดนท์ (nonredundant) ซึ่งจำเป็นที่จะต้องใช้ค่า R_{S0} = 1.75 นอกจากนี้แล้วการที่หาค่าช่วงความเค้นนั้นได้จากการตรวจวัดภาคสนาม จึงทำให้ต้องใช้ค่า F_{S1} = 0.85 และใช้ค่า F_{S2} = 1.00 ดังนั้นทำการหาค่าความน่าเชื่อถือ หรือค่าความปลอดภัยที่จะนำมาคูณกับค่าช่วงความเค้นได้ดังนี้

$$R_S = R_{S0} F_{S1} F_{S2}$$
$$= (1.75)(0.85)(1.00)$$
$$= 1.4875$$

<u>หมายเหตุ</u> ** สำหรับการหาอายุการใช้งานที่เหลือแบบค่ากลาง (remaining mean life) จะใช้ค่าความน่าเชื่อถือ หรือค่าความปลอดภัยนั้นมีค่าเท่ากับ 1.00 **

4.1.2.7 ทำการพิจารณาค่า C พบว่าช่วงความยาวคานของสะพานข้ามแยกรัชโยธินนั้นมีความยาวช่วงเท่ากับ 35 เมตรซึ่งมีค่ามากกว่า 12 เมตรดังนั้นจะใช้ค่า C เท่ากับ 1.00

4.1.2.8 สะพานแห่งนี้เปิดทำการใช้งานมาตั้งแต่ พ.ศ. 2534 นับจนกระทั่งถึงวันที่ทำการตรวจวัดคือปี พ.ศ. 2540 เป็นระยะเวลาประมาณ 7 ปี ซึ่งหมายความว่าค่า a = 7.0 ปี

4.1.2.9 เมื่อหาอายุการใช้งานที่เหลืออย่างปลอดภัย (safe life) ใช้ค่า f = 1 แต่ถ้าเป็นการคำนวณหาครึ่งอายุการใช้งานที่เหลือ (mean life) ใช้ค่า f = 2 ทำการแทนค่าต่างๆที่ได้มาจากการคำนวณจากข้อ 4.1.2.1 ถึง 4.1.2.8 แทนลงในสมการตามข้อกำหนดของ AASHTO (สมการที่ (2-6)) จะทำให้ได้ดังนี้

ทำการแทนค่าต่างๆที่ได้มาจากการคำนวณจากข้อ 4.1.2.1 ถึง 4.1.2.9 แทนลงในสมการตามข้อกำหนดของ AASHTO จะทำให้ได้ดังนี้

ทำการหาอายุการใช้งานที่เหลืออย่างปลอดภัย (safe life)

$$Y_f = \frac{1.00 \times 17 \times 10^6}{249.0 \times 1.00 \times (1.4875 \times 6.261)^3} - 7$$

$$= 78 \text{ ปี}$$

ทำการหาครึ่งอายุการใช้งานที่เหลือ (mean life)

$$Y_f = \frac{2.00 \times 17 \times 10^6}{249.0 \times 1.00 \times (1.00 \times 6.261)^3} - 7$$

$$= 549 \text{ ปี}$$

จากผลการคำนวณข้างต้นนั้น พบว่าสะพานดังกล่าวนั้นจะมีอายุการใช้งานที่เหลืออย่างน้อยเท่ากับ 78 ปี

4.1.3 *<u>การประเมินโดยใช้ข้อมูลปริมาณการจราจรจากการตรวจวัดจริง และใช้ค่าช่วงความเค้นที่ได้จากการตรวจวัดจริง</u>*

การประเมินด้วยวิธีการดังกล่าวนี้จะเป็นการประเมินโดยใช้ค่าช่วงความเค้น (stress rage) ที่ได้มาจากการตรวจวัดภาคสนามซึ่งจะหามาได้จากการหาค่าช่วงความเค้นเสมือน (equivalent stress range, S_e) ซึ่งค่าช่วงความเค้นเสมือนนี้จะมาจากการตรวจวัดค่าความเครียด โดยที่ค่าดังกล่าวจะเป็นค่าของรถทั้ง 5 ประเภทที่แล่นผ่านสะพาน (ได้แก่ รถบรรทุก 6 ล้อ (6-Wheel truck), รถบัส (BUS), รถบรรทุก 10 ล้อ (10-Wheel truck), รถบรรทุกกึ่งพ่วง (Semi-trailor) และรถบรรทุกพ่วง (Full-trailor)) ซึ่งค่าช่วงความเค้นเสมือนนี้จะหาจากวิธีการเรนโฟล์วเคาน์ติ่ง และจะใช้ปริมาณ ADTT ของช่องทางการจราจรด้านนอกจากการตรวจวัดยวดยานในการตรวจวัดภาคสนาม โดยจะนำค่าที่ได้มานั้นมาทำการแทนลงในสมการที่ (2-6) ซึ่งเป็นสมการที่ทางAASHTO ได้กำหนดไว้

การประเมินในหัวข้อนี้จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของค่าช่วงความเค้น และปริมาณรถบรรทุกเฉลี่ยต่อวันต่อช่องทางการจราจร ซึ่งค่าดังกล่าวทั้งสองนี้จะใช้มาจากข้อมูลของการตรวจ

วัดภาคสนามโดยไม่ต้องมีการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบของรถบรรทุกมาตรฐาน หรือรถบรรทุก 10 ล้อ แต่อย่างใด

โดยจะทำการแสดงการคำนวณหาอายุการใช้งานที่เหลือด้วยวิธีการดังกล่าวข้างต้นได้ดังนี้

4.1.3.1 ทำการคำนวณหาค่าตัวแทนของค่าช่วงความเค้นที่ได้มาจากการตรวจวัดภาคสนาม จากการใช้วิธีการของเรนโฟล์วเคาน์ติ้ง มาทำการคำนวณหาค่าช่วงความเค้นของรถบรรทุกแต่ละคันที่แล่นผ่านสะพานข้ามแยกสามารถแสดงได้ในภาคผนวก ต่อจากนั้นจะนำค่าช่วงความเค้นที่หามาได้นั้นมาทำการแทนค่าในสมการที่ (2-1)

ซึ่งจะทำให้ได้ค่าตัวแทนค่าช่วงความเค้น (equivalent stress range) ของรถทั้ง 5 ประเภทที่แล่นผ่านสะพาน และจะนำเอาค่าตัวแทนค่าช่วงความเค้นดังกล่าวมาเป็นค่าช่วงความเค้นที่จะแทนในสมการที่ (2-6) การหาค่าตัวแทนค่าช่วงความเค้นนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ (4-9)

$$S_e = \{[\Sigma(n*S^3)] / [\Sigma(n)]\}^{1/3}$$

$$S_e = \{[\ 106,485,636,700\ ] / [\ 6,539\ ]\}^{1/3} = 253.47 \text{ กก./ตร.ซม.}$$

หรือ $$S_e = 253.47 * 2.205 * 2.54^2 / 1000 = 3.606 \text{ กิโลปอนด์/ตร.นิ้ว}$$

4.1.3.2 จากตารางที่ (4-4) จะได้ว่าปริมาณรถบรรทุกเฉลี่ยต่อวันต่อช่องทางการจราจร (ADTT) ที่ได้มาจากการตรวจวัดภาคสนามของการตรวจวัดยวดยานจะได้ว่า ค่า ADTT มีค่าเท่ากับ 1006 คันต่อวันต่อช่องทางการจราจรซึ่งหมายความว่า

$T_a = 1006$ คันต่อวันต่อช่องทางการจราจร

4.1.3.3 จากการพิจารณาพบว่า ณ ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดค่าความเครียด (strain gage) นั้น พบว่ารอยเชื่อม ณ.ตำแหน่งดังกล่าวนั้นเป็นแบบ B' จะทำให้ใช้ค่า K = 17

4.1.3.4 ทำการพิจารณาหาค่า R_s จากการที่ได้ทำการพิจารณาชิ้นส่วนที่มีการติดตั้งอุปกรณ์การตรวจวัดค่าความเครียด (strain gage) นั้น ได้ทำการติดตั้ง ณ.บริเวณปีกล่างของคานตัวนอก (G1) ซึ่งพิจารณาแล้วว่าเป็นชิ้นส่วนแบบนันรีดันแดนท์ (nonredundant) ซึ่งจำเป็นที่จะต้องใช้ค่า $R_{S0} = 1.75$ นอกจากนี้แล้วการที่หาค่าช่วงความเค้นนั้นได้จากการตรวจวัดภาคสนาม

จึงทำให้ต้องใช้ค่า F_{S1} = 0.85 และใช้ค่า F_{S2} = 1.00 ดังนั้นทำการหาค่าความน่าเชื่อถือ หรือค่าความปลอดภัยที่จะนำมาคูณกับค่าช่วงความเค้นได้ดังนี้

$$R_S = R_{S0} F_{S1} F_{S2}$$
$$= (1.75)(0.85)(1.00) = 1.4875$$

<u>หมายเหตุ</u> ** สำหรับการหาอายุการใช้งานที่เหลือแบบค่ากลาง (remaining mean life) จะใช้ค่าความน่าเชื่อถือ หรือค่าความปลอดภัยนั้นมีค่าเท่ากับ 1.00 **

4.1.3.5 ทำการพิจารณาค่า C พบว่าช่วงความยาวคานของสะพานข้ามแยกรัชโยธินนั้นมีความยาวช่วงเท่ากับ 35 เมตรซึ่งมีค่ามากกว่า 12 เมตรดังนั้นจะใช้ค่า C เท่ากับ 1.00

4.1.3.6 สะพานแห่งนี้เปิดทำการใช้งานมาตั้งแต่ พ.ศ. 2534 นับจนกระทั่งถึงวันที่ทำการตรวจวัดคือปี พ.ศ. 2540 เป็นระยะเวลาประมาณ 7 ปี ซึ่งหมายความว่าค่า a = 7.0 ปี

4.1.3.7 เมื่อหาอายุการใช้งานที่เหลืออย่างปลอดภัย (safe life) ใช้ค่า f = 1 แต่ถ้าเป็นการคำนวณหาครึ่งอายุการใช้งานที่เหลือ (mean life) ใช้ค่า f = 2 ทำการแทนค่าต่างๆที่ได้มาจากการคำนวณจากข้อ 4.1.3.1 ถึง 4.1.3.6 แทนลงในสมการตามข้อกำหนดของ AASHTO (สมการที่ (2-6)) จะทำให้ได้ดังนี้

ทำการแทนค่าต่างๆที่ได้มาจากการคำนวณจากข้อ 4.1.3.1 ถึง 4.1.3.7 แทนลงในสมการตามข้อกำหนดของ AASHTO จะทำให้ได้ดังนี้

ทำการหาอายุการใช้งานที่เหลืออย่างปลอดภัย (safe life)

$$Y_f = \frac{1.00 \times 17 \times 10^6}{1006 \times 1.00 \times (1.4875 \times 3.606)^3} - 7$$

$$= 102 \quad \text{ปี}$$

ทำการหาครึ่งอายุการใช้งานที่เหลือ (mean life)

$$Y_f = \frac{2.00 \times 17 \times 10^6}{1006 \times 1.00 \times (1.00 \times 3.606)^3} - 7$$

= 713 ปี

จากผลการคำนวณข้างต้นนั้น พบว่าสะพานดังกล่าวนั้นจะมีอายุการใช้งานที่เหลืออย่างน้อยเท่ากับ 102 ปี

4.2 การประเมินหาอายุการใช้งานตามหลักของ Palmgren-Miner [13]

4.2.1 ทำการพิจารณาลักษณะรูปแบบของรอยเชื่อม (strength category) ที่ใช้ในการก่อสร้างจากแบบสะพานข้ามแยก รัชโยธิน พบว่าสำหรับคานที่ทำการพิจารณา (G1) ใช้รอยเชื่อมแบบ D(100) โดยพิจารณาจากตารางที่ (4-5) ซึ่งรูปแบบของรอยเชื่อมดังกล่าวนั้นมีค่าของค่าช่วงความเค้นที่ยอมให้เท่ากับ 100 เมกะปาสคาล (ที่ $2x10^6$ รอบ) โดยที่จะใช้ค่า C_o ได้ดังแสดงจากการคำนวณดังนี้ (สมการที่ (2-11))

$$C_o = 2x10^6 * \Delta\sigma_i^m$$

$$C_o = 2x10^6 * 100^3$$

$$C_o = 2x10^{12}$$

4.2.2 ทำการคำนวณหาค่าช่วงความเค้นเสมือน ที่ได้จากการตรวจวัดสะพานข้ามแยกรัชโยธินเป็นเวลา 6.5 วัน โดยที่ค่าของช่วงความเค้นเสมือนจะมีค่าเท่ากับ 253.47 กก./ตร.ซม. หรือมีค่าเท่ากับ 24.86 เมกะปาสคาล (เป็นค่าที่ได้มาจากหัวข้อที่ 4.1.3) เมื่อทำการใช้ค่าโมดุลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) เท่ากับ $2x10^6$ กก./ตร.ซม.

4.2.3 สะพานข้ามแยกแห่งนี้ได้ทำการเปิดใช้มาแล้วประมาณ 7.0 ปี จะได้อายุการใช้งานที่เหลือของสะพานแห่งนี้เท่ากับ (ค่า 6.5 เป็นค่าของจำนวนวันที่ได้ทำการตรวจวัด) จากนั้นทำการคำนวณหาอายุการใช้งานที่เหลือได้ โดยจากข้อ 4.2.1 สามารถหาค่า C_o ได้เท่ากับ $2x10^{12}$ สำหรับลักษณะรูปแบบของรอยเชื่อมแบบ D เมื่อนำค่า C_o และค่าช่วงความเค้นที่หามาได้ข้างต้นนั้นมาแทนลงสมการที่ (2-16) จะได้ดังนี้

$$Y_f = \frac{2 \times 10^{12}}{24.86^3 \times 365 \times (6539 / 6.5)} - 7$$

= 347 ปี

จากผลการคำนวณข้างต้นนั้น พบว่าสะพานดังกล่าวนั้นจะมีอายุการใช้งานที่เหลือเท่ากับ 347 ปี

จากการประเมินหาอายุการใช้งานที่เหลือที่ผ่านมานั้นสามารถที่จะทำมาแสดงได้ดังตารางด้านล่าง

วิธีการประเมินหาอายุการใช้งานที่เหลือ	อายุการใช้งานที่เหลืออย่างปลอดภัย (safe life) ;ปี
4.1.1 ตาม AASHTO วิธีการที่ 4.1.1	24
4.1.2 ตาม AASHTO วิธีการที่ 4.1.2	78
4.1.3 ตาม AASHTO วิธีการที่ 4.1.3	102
4.2 ตามวิธีการของ Palmgren - Miner	347

สำหรับสะพานที่ได้ทำการทดสอบที่เหลืออีก 5 สะพานนั้นจะทำเช่นเดียวกันกับขั้นตอนต่างที่ได้แสดงมาแล้วข้างต้นซึ่งสามารถที่จะแสดงได้ดังตารางที่ (4-10) ถึงตารางที่ (4-13) (เรียงลำดับจากหัวข้อที่ 4.1.1 ถึงหัวข้อที่ 4.2) และสามารถที่จะแสดงตารางสรุปแสดงอายุการใช้งานที่เหลือของสะพานตัวอย่างทั้ง 6 สะพาน จากการคำนวณด้วยวิธีการต่างๆ ได้ดังตารางที่ (4-14)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย