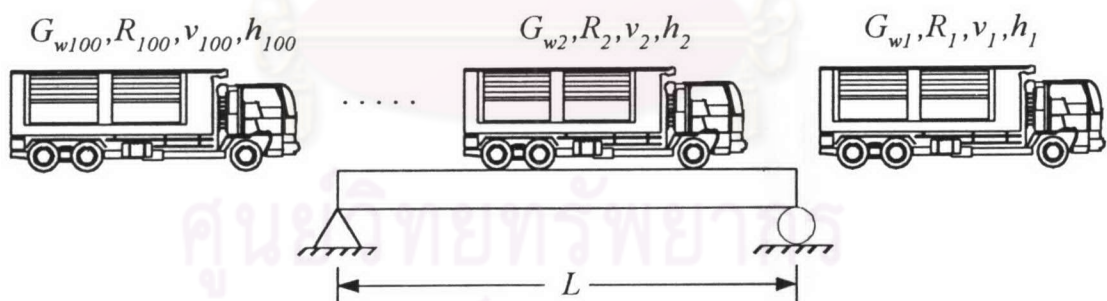


บทที่ 8 การหาน้ำหนักจากการสั่นตัวอย่างรถ

ในบทนี้จะทำการสั่นตัวอย่างรถ 100 คัน ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาถึงผลของน้ำหนักรวม อัตราส่วนของน้ำหนักล้อหน้าต่อน้ำหนักรวม ความเร็ว ระดับของความขรุขระ ระยะทางที่รถวิ่งห่างจากแนวกลางของสะพาน ไปพร้อมๆ กัน โดยนำรถ 100 คัน ดังกล่าวนี้วิ่งผ่านแบบจำลองที่ใช้ในการสร้างสัญญาณความเครียดแล้วนำสัญญาณความเครียดที่เกิดขึ้นมาหาน้ำหนักรวมทางสถิติของรถด้วยวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่ง โดยที่ในการหาน้ำหนักรถจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 กรณีคือ การหาน้ำหนักรถโดยไม่พิจารณาผลการบิดของสะพานและการหาน้ำหนักรถโดยพิจารณาผลการบิดของสะพาน หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์ในเชิงสถิติ

8.1 การสร้างสัญญาณความเครียดจากรถ 100 คันที่วิ่งอยู่บนสะพานโดยไม่พิจารณาผลการบิดของสะพาน

ในหัวข้อนี้รถ 100 คัน จะวิ่งที่ตำแหน่งแนวกลางของสะพานที่มีจุดรองรับเป็นแบบธรรมดา ซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆดังนี้คือ ความกว้างของสะพาน $B = 8.2$ เมตร, ความยาวของสะพาน $L = 35$ เมตร, น้ำหนักของสะพาน $m_0 = 332$ กิโลกรัม/เมตร², $EI = 1.71 \times 10^{10}$ นิวตัน.เมตร², $\omega_1 = 20.1$ Hz, $\omega_2 = 80.4$ Hz, $\omega_3 = 180.9$ Hz และ $\omega_4 = 15.71$ Hz (ω_1, ω_2 และ ω_3 คือความถี่เชิงมุมของโหมดการดัดในโหมดที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วน ω_4 คือความถี่ธรรมชาติเชิงมุมของโหมดการบิดในโหมดที่ 1), $\xi_1 = \xi_2 = \xi_3 = \xi_4 = 0.01$ (ξ_1, ξ_2 และ ξ_3 คือสัดส่วนความหน่วง (damping ratio) ของโหมดการดัดในโหมดที่ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ ส่วน ξ_4 คือสัดส่วนความหน่วงของโหมดการบิดในโหมดที่ 1) ระยะจากแนวแกนสะพานถึงท้องสะพานเท่ากับ 1.1 เมตร



รูปที่ 8.1 การหาน้ำหนักรถ 100 คัน โดยไม่พิจารณาผลการบิดของสะพาน

คุณสมบัติต่างๆของรถซึ่งได้แก่ น้ำหนักรวม Gw อัตราส่วนของน้ำหนักล้อหน้าต่อน้ำหนักรวม R ความเร็ว v และระดับของความขรุขระบนผิวสะพาน h สำหรับรถแต่ละคันจะได้รับการสุ่มโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยวิธีการสุ่มแบบเดียวกัน (Uniform Random) ซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 8.1 และ 8.2

หลังจากนั้นหาความเครียดที่ตำแหน่ง $L/4, L/2$ และ $3L/4$ โดยวิธีการเหมือนกับหัวข้อ 6.1 โดยสัญญาณที่ใช้จะถูกแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 500 ช่วงเท่าๆกัน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติต่างๆของรถคันที่ 1-50

| No. | G_w (ton) | R (%) | v (m/s) | h (cm) | T (%) |
|-----|-------------|---------|-----------|----------|---------|
| 1 | 23 | 27.5 | 20 | 0.3 | 22.5 |
| 2 | 36 | 25 | 25 | 1.2 | 10.0 |
| 3 | 24 | 30 | 23 | 0.3 | 7.5 |
| 4 | 21 | 7.5 | 12 | 0.8 | 20.0 |
| 5 | 38 | 22.5 | 7 | 0.9 | 30.0 |
| 6 | 27 | 12.5 | 25 | 1.6 | 30.0 |
| 7 | 21 | 15 | 5 | 1.5 | 27.5 |
| 8 | 28 | 5 | 21 | 0.9 | 5.0 |
| 9 | 21 | 22.5 | 6 | 0.2 | 25.0 |
| 10 | 26 | 27.5 | 23 | 0.4 | 27.5 |
| 11 | 21 | 22.5 | 25 | 0.8 | 5.0 |
| 12 | 25 | 22.5 | 15 | 0.8 | 17.5 |
| 13 | 27 | 5 | 18 | 1.5 | 0.0 |
| 14 | 38 | 20 | 6 | 0.9 | 5.0 |
| 15 | 27 | 25 | 22 | 2.0 | 25.0 |
| 16 | 21 | 7.5 | 24 | 0.8 | 0.0 |
| 17 | 16 | 2.5 | 22 | 1.9 | 22.5 |
| 18 | 20 | 7.5 | 23 | 1.6 | 5.0 |
| 19 | 28 | 2.5 | 7 | 0.0 | 27.5 |
| 20 | 30 | 12.5 | 19 | 0.4 | 7.5 |
| 21 | 26 | 12.5 | 10 | 1.5 | 12.5 |
| 22 | 39 | 27.5 | 23 | 0.5 | 15.0 |
| 23 | 23 | 20 | 13 | 0.2 | 15.0 |
| 24 | 29 | 10 | 18 | 1.1 | 10.0 |
| 25 | 27 | 5 | 20 | 0.2 | 12.5 |

| No. | G_w (ton) | R (%) | v (m/s) | h (cm) | T (%) |
|-----|-------------|---------|-----------|----------|---------|
| 26 | 37 | 15 | 11 | 0.1 | 20.0 |
| 27 | 31 | 22.5 | 25 | 0.7 | 0.0 |
| 28 | 37 | 10 | 16 | 1.6 | 0.0 |
| 29 | 31 | 2.5 | 5 | 1.5 | 27.5 |
| 30 | 39 | 30 | 20 | 0.7 | 25.0 |
| 31 | 32 | 17.5 | 6 | 1.1 | 20.0 |
| 32 | 26 | 5 | 19 | 1.0 | 25.0 |
| 33 | 35 | 30 | 20 | 0.2 | 12.5 |
| 34 | 40 | 30 | 18 | 0.1 | 25.0 |
| 35 | 25 | 10 | 9 | 0.3 | 2.5 |
| 36 | 33 | 22.5 | 14 | 1.1 | 7.5 |
| 37 | 25 | 5 | 21 | 0.4 | 15.0 |
| 38 | 22 | 5 | 25 | 1.5 | 15.0 |
| 39 | 38 | 22.5 | 13 | 1.3 | 7.5 |
| 40 | 17 | 27.5 | 6 | 1.9 | 20.0 |
| 41 | 34 | 20 | 17 | 0.5 | 2.5 |
| 42 | 33 | 27.5 | 22 | 1.1 | 10.0 |
| 43 | 28 | 10 | 9 | 1.2 | 0.0 |
| 44 | 34 | 15 | 25 | 2.0 | 2.5 |
| 45 | 39 | 2.5 | 20 | 1.5 | 0.0 |
| 46 | 35 | 15 | 9 | 1.5 | 17.5 |
| 47 | 35 | 2.5 | 12 | 0.4 | 20.0 |
| 48 | 18 | 17.5 | 7 | 0.0 | 0.0 |
| 49 | 19 | 17.5 | 18 | 1.0 | 17.5 |
| 50 | 23 | 22.5 | 7 | 1.0 | 30.0 |

ตารางที่ 8.2 คุณสมบัติต่างๆของรถคันที่ 51-100

| No. | G_w (ton) | R (%) | v (m/s) | h (cm) | T (%) |
|-----|-------------|---------|-----------|----------|---------|
| 51 | 23 | 17.5 | 22 | 0.6 | 22.5 |
| 52 | 37 | 20 | 23 | 1.9 | 30.0 |
| 53 | 32 | 20 | 13 | 0.2 | 7.5 |
| 54 | 26 | 17.5 | 21 | 1.9 | 20.0 |
| 55 | 39 | 15 | 10 | 0.1 | 5.0 |
| 56 | 24 | 27.5 | 5 | 2.0 | 5.0 |
| 57 | 25 | 12.5 | 21 | 1.0 | 17.5 |
| 58 | 33 | 10 | 25 | 0.4 | 15.0 |
| 59 | 26 | 17.5 | 5 | 2.0 | 0.0 |
| 60 | 28 | 22.5 | 18 | 0.4 | 20.0 |
| 61 | 18 | 10 | 18 | 1.7 | 0.0 |
| 62 | 25 | 25 | 8 | 0.6 | 20.0 |
| 63 | 30 | 2.5 | 23 | 1.5 | 0.0 |
| 64 | 34 | 10 | 20 | 0.2 | 5.0 |
| 65 | 27 | 27.5 | 17 | 0.8 | 25.0 |
| 66 | 33 | 15 | 14 | 1.8 | 20.0 |
| 67 | 18 | 7.5 | 7 | 1.1 | 25.0 |
| 68 | 21 | 2.5 | 8 | 0.9 | 27.5 |
| 69 | 37 | 30 | 20 | 1.8 | 10.0 |
| 70 | 33 | 10 | 21 | 0.4 | 12.5 |
| 71 | 31 | 17.5 | 10 | 1.3 | 2.5 |
| 72 | 28 | 10 | 17 | 0.5 | 25.0 |
| 73 | 18 | 25 | 15 | 1.2 | 15.0 |
| 74 | 18 | 10 | 23 | 0.9 | 0.0 |
| 75 | 38 | 10 | 11 | 0.4 | 17.5 |

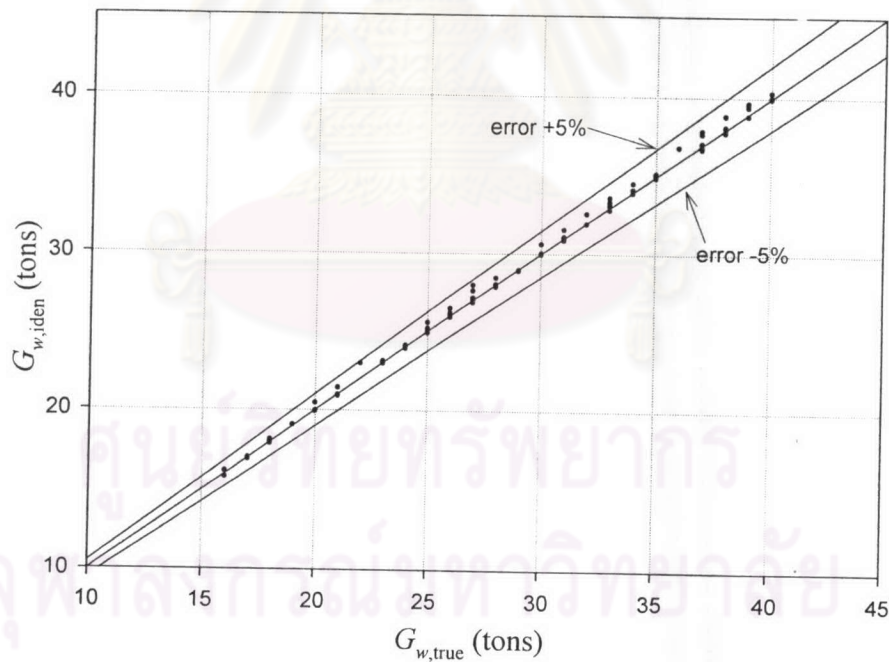
| No. | G_w (ton) | R (%) | v (m/s) | h (cm) | T (%) |
|-----|-------------|---------|-----------|----------|---------|
| 76 | 29 | 27.5 | 9 | 0.6 | 17.5 |
| 77 | 38 | 17.5 | 19 | 1.4 | 30.0 |
| 78 | 31 | 15 | 18 | 2.0 | 12.5 |
| 79 | 40 | 17.5 | 16 | 0.7 | 27.5 |
| 80 | 29 | 25 | 15 | 0.2 | 2.5 |
| 81 | 35 | 10 | 16 | 0.2 | 12.5 |
| 82 | 16 | 25 | 16 | 1.6 | 30.0 |
| 83 | 17 | 22.5 | 25 | 0.2 | 12.5 |
| 84 | 18 | 22.5 | 11 | 0.1 | 5.0 |
| 85 | 20 | 22.5 | 13 | 0.1 | 20.0 |
| 86 | 37 | 5 | 13 | 0.7 | 15.0 |
| 87 | 38 | 20 | 9 | 0.1 | 25.0 |
| 88 | 25 | 27.5 | 25 | 0.8 | 10.0 |
| 89 | 23 | 12.5 | 17 | 1.2 | 20.0 |
| 90 | 40 | 10 | 8 | 1.9 | 7.5 |
| 91 | 24 | 20 | 11 | 0.4 | 7.5 |
| 92 | 20 | 2.5 | 7 | 1.1 | 20.0 |
| 93 | 33 | 30 | 5 | 1.2 | 17.5 |
| 94 | 32 | 25 | 22 | 1.1 | 10.0 |
| 95 | 16 | 10 | 25 | 0.8 | 25.0 |
| 96 | 37 | 5 | 15 | 1.7 | 15.0 |
| 97 | 30 | 7.5 | 15 | 0.3 | 22.5 |
| 98 | 27 | 20 | 5 | 0.7 | 12.5 |
| 99 | 17 | 22.5 | 5 | 0.6 | 0.0 |
| 100 | 24 | 12.5 | 12 | 1.8 | 7.5 |

8.2 การหาน้ำหนักรถ 100 คันโดยไม่พิจารณาผลการบิดของสะพาน

หลังจากได้ข้อมูลสัญญาณความเครียดในหัวข้อ 8.1 แล้ว นำข้อมูลดังกล่าวมาหาน้ำหนักด้วยวิธีไดนามิคโปรแกรมมิ่ง ซึ่งใช้แบบจำลองที่เป็นชิ้นส่วนคาน (beam element) โดยแบ่งออกเป็น 7 เอลิเมนต์ และมีระดับชั้นความเร็ว (n) เท่ากับ 14

การคำนวณหาน้ำหนักรถ จะทำตามขั้นตอนต่างๆตามหัวข้อที่ 4.9 โดยมีค่า $P, A, B, Z,$ และ Q เหมือนกับสมการที่ (6.2)-(6.6) และมีค่าระยะห่างระหว่างเพลาร r ของรถแต่ละคันเท่ากับ 4.8 เมตร

การหาน้ำหนักรถ 100 คันโดยไม่พิจารณาผลการบิดของสะพานจะได้ผลดังรูป 8.2 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.41 % และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 1.02 % จากรูป 8.2 จะเห็นได้ว่าน้ำหนักที่หาได้ส่วนใหญ่จะมีค่าสูงกว่าน้ำหนักจริง แต่ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นก็มีค่าอยู่ในช่วง $\pm 5\%$ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนสูงๆที่เกิดขึ้นจะเกิดจากรถที่มีความเร็วสูงและความขรุขระมีค่าสูงพร้อมๆ กัน ดังตารางที่ 8.3 และจากการวิเคราะห์เชิงสถิติหากสมมติให้การกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อนเป็นแบบปกติพบว่าความน่าจะเป็นที่ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าน้อยกว่า 5% เท่ากับ 1



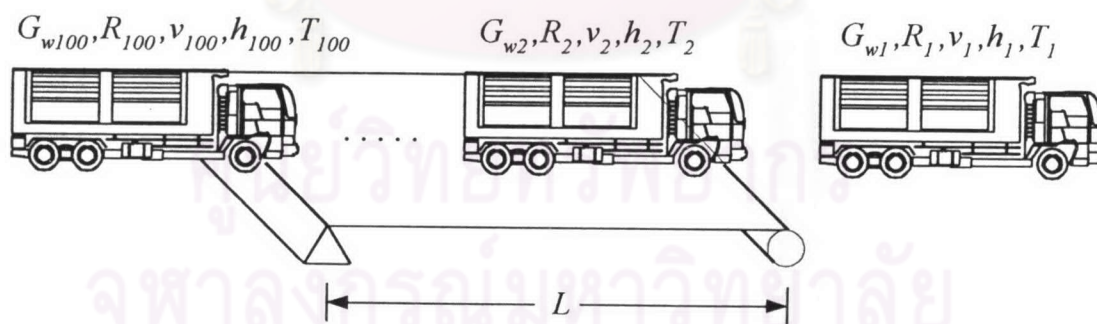
รูปที่ 8.2 น้ำหนักของรถ 100 คันที่หาได้จากวิธีไดนามิคโปรแกรมมิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักจริงโดยไม่พิจารณาผลการบิดของสะพาน

ตารางที่ 8.3 ความคลาดเคลื่อนในการหาม้าน้ำหนักสูงสุด 5 อันดับแรกในกรณีที่ไม่พิจารณาผลการบิดของสะพาน

| No. | G_w (tons) | R (%) | v (m/s) | h (cm) | error (%) |
|-----|--------------|---------|-----------|----------|-----------|
| 38 | 22 | 5 | 25 | 1.5 | 4.25 |
| 6 | 27 | 12.5 | 25 | 1.6 | 3.58 |
| 52 | 37 | 20 | 23 | 1.9 | 2.41 |
| 2 | 36 | 25 | 25 | 1.2 | 2.39 |
| 77 | 38 | 17.5 | 19 | 1.4 | 2.23 |

8.3 การสร้างสัญญาณความเครียดจากรถ 100 คันที่วิ่งอยู่บนสะพานโดยพิจารณาผลการบิดของสะพาน

ในกรณีนี้รถ 100 คัน จะวิ่งที่ตำแหน่งต่างๆ ของสะพานที่มีจุดรองรับเป็นแบบธรรมดา ซึ่งมีคุณสมบัติต่างๆ ดังนี้คือ ความกว้างของสะพาน $B = 8.2$ เมตร, ความยาวของสะพาน $L = 35$ เมตร, น้ำหนักของสะพาน $m_0 = 332$ กิโลกรัม/เมตร², $EI = 1.71 \times 10^{10}$ นิวตัน.เมตร², $\omega_1 = 9.59$ Hz, $\omega_2 = 39.14$ Hz, $\omega_3 = 90.65$ Hz และ $\omega_4 = 51.87$ Hz (ω_1, ω_2 และ ω_3 คือความถี่เชิงมุมของโหมดการดัดในโหมดที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ส่วน ω_4 คือความถี่ธรรมชาติเชิงมุมของโหมดการบิดในโหมดที่ 1), $\xi_1 = \xi_2 = \xi_3 = \xi_4 = 0.01$ (ξ_1, ξ_2 และ ξ_3 คือสัดส่วนความหน่วง (damping ratio) ของโหมดการดัดในโหมดที่ 1, 2, และ 3 ตามลำดับ ส่วน ξ_4 คือสัดส่วนความหน่วงของโหมดการบิดในโหมดที่ 1) ระยะจากแนวแกนสะพานถึงห้องสะพานเท่ากับ 0.15 เมตร



รูปที่ 8.3 การหาม้าน้ำหนักรถ 100 คัน โดยพิจารณาผลการบิดของสะพาน

คุณสมบัติต่างๆ ของรถแต่ละคันจะเหมือนกับหัวข้อ 8.1 แต่จะมีผลการบิดของสะพานอันเนื่องมาจากรถวิ่งห่างจากแนวกลางของสะพานเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยที่การบิดของสะพาน (T) สำหรับรถแต่ละคัน ดังตารางที่ 8.1 และ 8.2 สามารถคำนวณได้ตามสมการ (7.6) เมื่อทราบระยะที่รถแต่ละคันวิ่งห่างจากแนวกลางของสะพานว่ามีค่าเท่าใด (ระยะที่รถแต่ละคันวิ่งห่างจากแนวกลางของสะพานจะได้จากการสุ่มโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เช่นเดียวกัน)

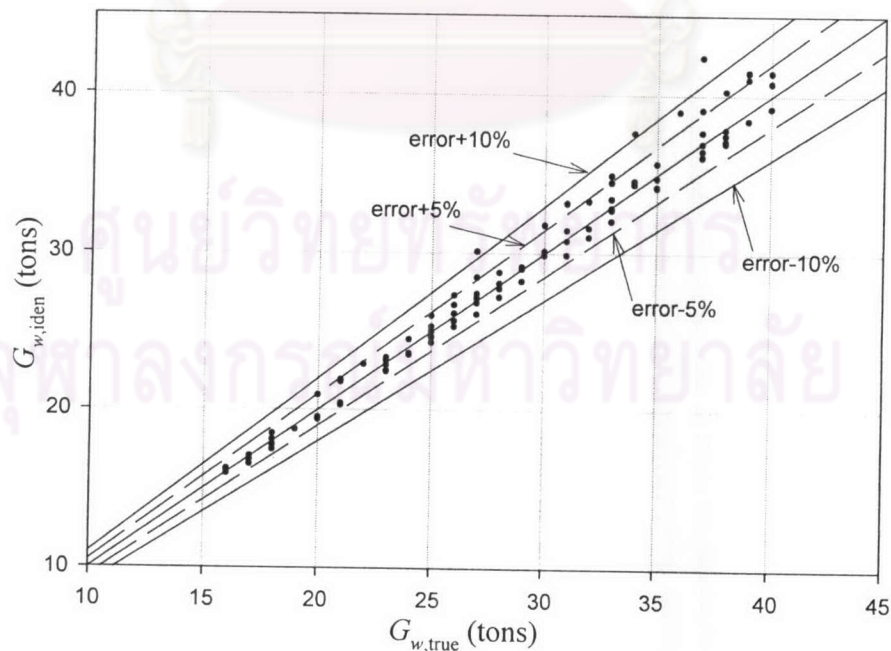
หลังจากนั้นหาความเครียดด้วยวิธีการเดียวกันกับหัวข้อที่ 7.2 ซึ่งใช้ความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ 9 จุด เช่นเดียวกัน โดยสัญญาณที่ใช้จะถูกแบ่งช่วงข้อมูลออกเป็น 250 ช่วงเท่าๆกัน

8.4 การหาน้ำหนักรถ 100 คันโดยพิจารณาผลการบิดของสะพาน

หลังจากได้ข้อมูลสัญญาณความเครียดในหัวข้อ 8.3 แล้ว นำข้อมูลดังกล่าวมาหาน้ำหนักด้วยวิธีไดนามิคโปรแกรมมิ่ง ซึ่งใช้แบบจำลองที่เป็นชิ้นส่วนแผ่น (plate element) โดยแบ่งออกเป็น 48 เอลิเมนต์ (ด้านกว้าง 4 เอลิเมนต์ ด้านยาว 12 เอลิเมนต์) และมีระดับชั้นความเสรี (n) เท่ากับ 175

การคำนวณหาน้ำหนักรถ จะทำตามขั้นตอนต่างๆตามหัวข้อที่ 4.9 โดยมีค่า $P, A, B, Z,$ และ Q เหมือนกับสมการที่ (7.7)-(7.11) และมีค่าระยะห่างระหว่างเพลลา (s) ของรถแต่ละคันเท่ากับ 4.8 เมตร

การหาน้ำหนักรถ 100 คันโดยพิจารณาผลการบิดของสะพานจะได้ผลดังรูป 8.4 โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 0.73 % และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 3.52 % จากรูป 8.4 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 5% และมีบางส่วนที่อยู่ในช่วง 5 % ถึง 10 % และส่วนน้อยซึ่งมีอยู่ 3 คันที่เกิน 10 % โดยความคลาดเคลื่อนสูงๆ ที่เกิดขึ้นจะเกิดจากรถมีความเร็วสูงและความขรุขระมีค่าสูงพร้อมๆ กัน ดังตารางที่ 8.4 และจากการวิเคราะห์เชิงสถิติหากสมมติให้การกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อนเป็นแบบปกติพบว่าความน่าจะเป็นที่ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าน้อยกว่า 5% เท่ากับ 0.83 และความน่าจะเป็นที่ค่าความคลาดเคลื่อนจะมีค่าน้อยกว่า 10 % เท่ากับ 0.99



รูปที่ 8.4 น้ำหนักของรถ 100 คันที่ทำได้จากวิธีไดนามิคโปรแกรมมิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำหนักจริงโดยพิจารณาผลการบิดของสะพาน

ตารางที่ 8.4 ความคลาดเคลื่อนในการหาน้ำหนักสูงสุด 5 อันดับแรกในกรณีที่พิจารณาผลการบิดของ
สะพาน

| No. | G_w (tons) | R (%) | v (m/s) | h (cm) | T (%) | error (%) |
|-----|--------------|---------|-----------|----------|---------|-----------|
| 52 | 37 | 20 | 23 | 1.9 | 30 | 14.54 |
| 6 | 27 | 12.5 | 25 | 1.6 | 30 | 11.57 |
| 44 | 34 | 15 | 25 | 2 | 2.5 | 10.57 |
| 2 | 36 | 25 | 25 | 1.2 | 10 | 8.18 |
| 27 | 31 | 22.5 | 25 | 0.7 | 0 | 7.02 |

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย