

บทที่ 6

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ความถูกต้องของการหาน้ำหนัก

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบจากรูปแบบการทดสอบทั้งหมด และทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้ เพื่ออธิบายถึงพฤติกรรมเคลื่อนที่ของรถบนสะพานและความถูกต้องแม่นยำในการหาน้ำหนัก รวมทั้งการประเมินผลการทดสอบในเชิงสถิติ เพื่ออธิบายถึงความเชื่อถือได้ของวิธีการหาน้ำหนักและการนำไปประยุกต์สำหรับการใช้งานจริง

6.1 การหาน้ำหนักรถบรรทุกซึ่งเคลื่อนที่บนสะพานขงเดียวที่มีจุดรองรับแบบธรรมดา

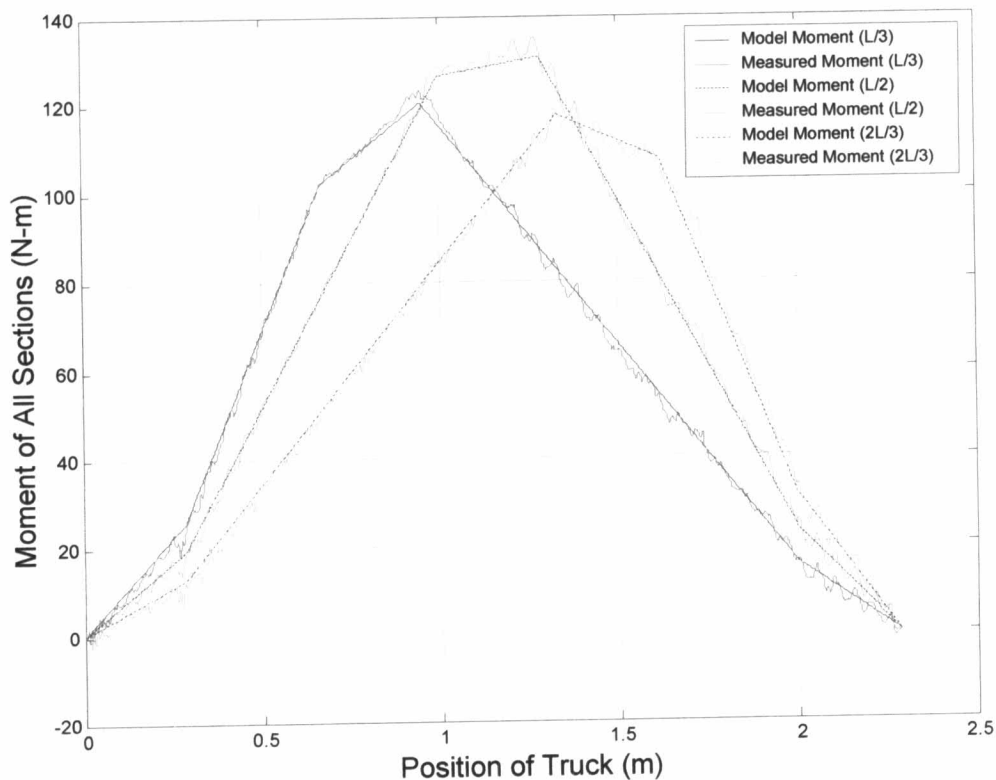
ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงผลการทดสอบการหาน้ำหนักรถบรรทุกที่เคลื่อนที่บนสะพานขงเดียว ด้วยรูปแบบการทดสอบหลักดังนี้

1. การทดสอบผลของตำแหน่งตามแนวขวางของรถเนื่องจากการวิ่งรถในช่องจราจรด้านซ้าย ด้านขวา และกึ่งกลางของสะพาน โดยจะให้การทดสอบที่รถเคลื่อนที่ในตำแหน่งกึ่งกลางสะพานเป็นกรณีทดสอบพื้นฐาน เนื่องจากไม่มีผลของการเอียงศูนย์จากแนวกึ่งกลางของสะพาน
2. การทดสอบเพื่อศึกษาผลของความขรุขระของพื้นผิวการจราจรบนสะพานที่มีต่อการทายน้ำหนัก เพื่อศึกษาถึงพฤติกรรมของแรงทางพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นในเพลารถ และปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทายน้ำหนัก
3. การศึกษาอิทธิพลของมวลและความเร็วของรถบรรทุกที่มีต่อการทายน้ำหนัก ทั้งในกรณีพื้นผิวการจราจรมีความราบเรียบและความขรุขระ

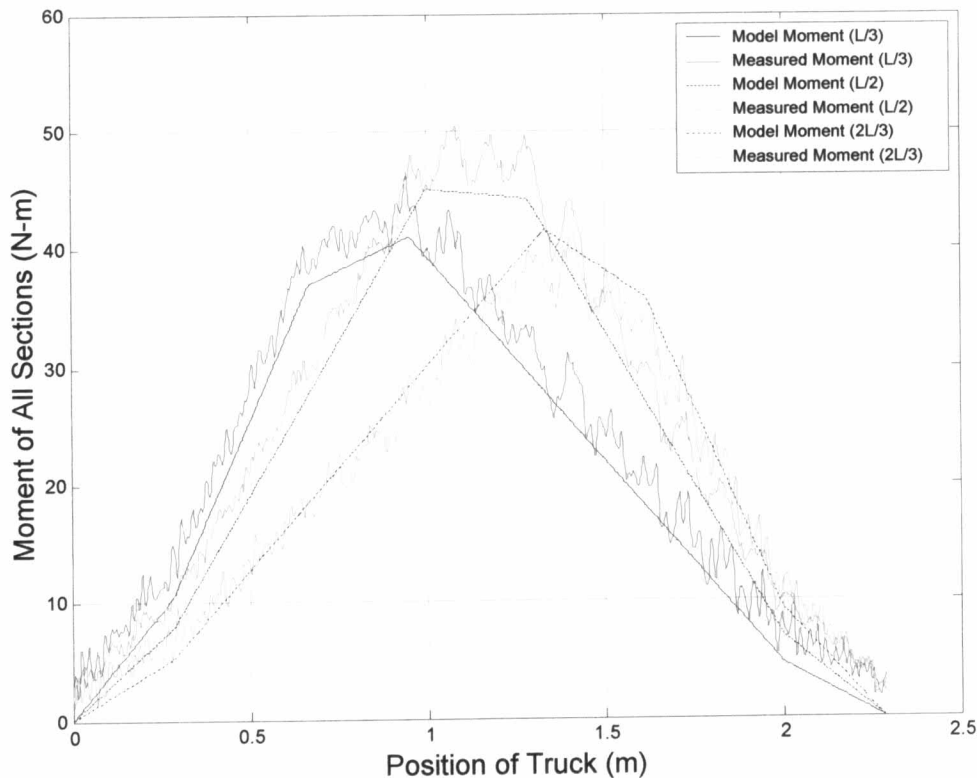
6.1.1 การหาน้ำหนักรถบรรทุกกรณีทดสอบพื้นฐาน

ในหัวข้อนี้จะได้ทำการทายน้ำหนักรถบรรทุกจากแบบจำลองย่อส่วน ด้วยการเคลื่อนที่รถบรรทุกจำลองผ่านสะพานแบบขงเดียวซึ่งมีจุดรองรับแบบธรรมดาซึ่งมีพื้นผิวสะพานที่ราบเรียบไม่มีความขรุขระ และเคลื่อนที่ในตำแหน่งกึ่งกลางของสะพาน ซึ่งได้ทำการทดสอบที่ระดับความเร็วต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ ความเร็วระดับต่ำ (ประมาณ 0.1 ถึง 0.4 m/s) ความเร็วระดับปานกลาง (ประมาณ 0.4 ถึง 0.8 m/s) และความเร็วระดับสูง (ประมาณ 0.8 ถึง 1.2 m/s) โดยที่แต่ละระดับความเร็วได้ทำการทดสอบเป็นจำนวน 5 ครั้งด้วยกัน และทำการทดสอบรูปแบบนี้ทุก ๆ ระดับน้ำหนักของรถบรรทุกจำลองที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ รถบรรทุกที่มีน้ำหนักเบา (10 กก.) รถบรรทุกที่มีน้ำหนักปานกลาง (20 กก.) และรถบรรทุกที่มีน้ำหนักมาก (30 กก.) รวมทั้งหมดเป็นจำนวน 45 การทดสอบ ใช้ตำแหน่งที่เก็บสัญญาณ 3 จุด และใช้ค่าเรกูลาร์ไรเซชันพารามิเตอร์ (regularization parameter, λ) สำหรับโปรแกรมการหาน้ำหนักเท่ากับ 0.05 ซึ่งได้ผลการทดสอบในการหาน้ำหนักเพลาน้ำ เพลาลัง และน้ำหนักรวมรวมทั้งค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักที่ทายได้ดังตารางที่ 6.1

ซึ่งในการคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักที่หาค่าได้ นั้น จะอ้างอิงจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักทางพลศาสตร์จากที่วัดได้ในเพลารถให้เป็นค่าน้ำหนักทางสถิต เนื่องจากในขณะที่รถบรรทุกเคลื่อนที่ค่าน้ำหนักเพลารถของรถที่ถ่ายแรงให้เป็นแรงกระทำแบบจุดบนสะพานนั้นอาจไม่เท่ากับน้ำหนักเพลารถของรถขณะหยุดนิ่ง และจากตารางที่ 6.1 พบว่าค่าน้ำหนักรวมของรถบรรทุกที่หาค่าได้ นั้น แทบทุกกรณีทดสอบนั้นมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% ซึ่งจะพบว่ากรณีที่น้ำหนักรถบรรทุกทุกหนัก 10 กก. นั้นจะมีบางการทดสอบที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงกว่า 5% เพื่ออธิบายผลของความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น จึงทำการตรวจสอบสัญญาณความเครียดที่เก็บวัดมาได้ของสะพาน โดยทำการตรวจสอบและเปรียบเทียบสัญญาณความเครียดหรือโมเมนต์ดัดของสะพานที่เก็บวัด เทียบกับสัญญาณความเครียดหรือโมเมนต์ดัดของสะพานที่คำนวณได้ทางทฤษฎี โดยรูปที่ 6.1 จะแสดงตัวอย่างสัญญาณโมเมนต์ดัดที่เก็บวัดได้และให้ค่าน้ำหนักที่หาค่าได้มีความคลาดเคลื่อนต่ำ ซึ่งสัญญาณที่เก็บวัดได้นั้นเมื่อทำการปรับแก้ด้วยพารามิเตอร์ α แล้วพบว่ามีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณได้ทางทฤษฎี ขณะที่สัญญาณโมเมนต์ดัดในรูปที่ 6.2 เป็นสัญญาณของกรณีทดสอบที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูง จะสังเกตเห็นว่ามีค่าที่คลาดเคลื่อนจากแรงที่คำนวณได้ทางทฤษฎีอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งเป็นความผิดพลาดอันเนื่องมาจากขั้นตอนการเก็บวัดสัญญาณทดสอบนั่นเอง สังเกตจากจุดเริ่มต้นของค่าโมเมนต์ดัดที่เก็บวัดมานั้นมีการเหลื่อมที่สูงขึ้นโดยไม่ได้เริ่มต้นจากค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งมีสาเหตุจากขั้นตอนการเก็บวัดและกรองข้อมูล



รูปที่ 6.1 ลักษณะของโมเมนต์ดัดของสะพานที่ให้ผลการทายน้ำหนักมีความคลาดเคลื่อนต่ำ (ผลการทดสอบครั้งที่ 3 กรณีรถบรรทุกหนัก 30 กก. เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ)



รูปที่ 6.2 ลักษณะของโมเมนต์ดัดของสะพานที่ให้การทายน้ำหนักมีความคลาดเคลื่อนสูง (ผลการทดสอบครั้งที่ 5 กรณีรถบรรทุกหนัก 20 กก. เคลื่อนที่ด้วยความเร็วปานกลาง)

6.1.2 อิทธิพลของมวลของรถบรรทุกที่มีต่อประสิทธิภาพในการทายน้ำหนัก

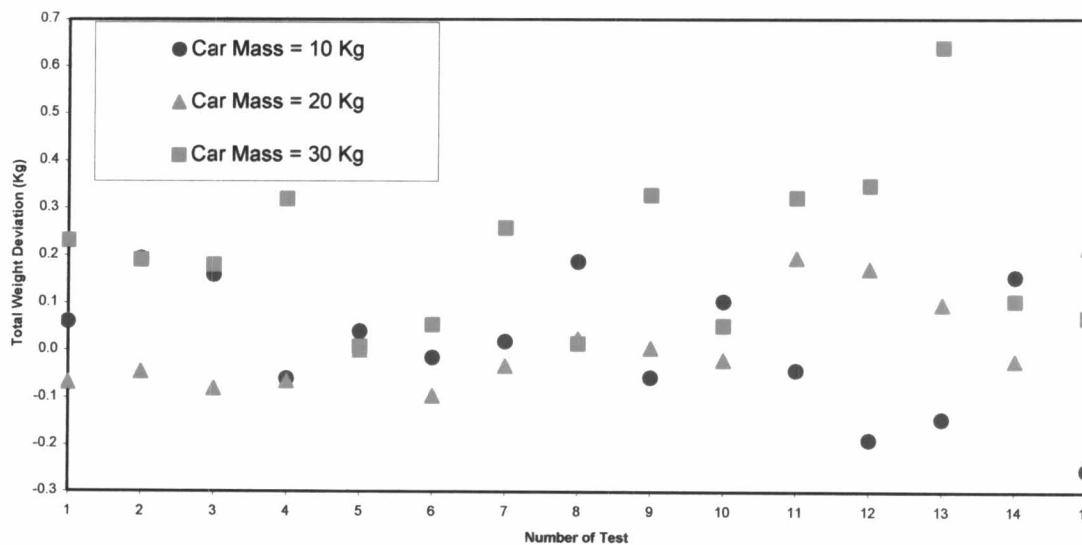
จากตารางที่ 6.1 เมื่อพิจารณาผลการทดสอบกรณีที่รถบรรทุกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ ซึ่งเป็นกรณีที่สัญญาณความเครียดของสะพานได้รับผลทางพลศาสตร์น้อยที่สุด พบว่าแนวโน้มของค่าน้ำหนักรวมของรถที่ทายน้ำหนักได้มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำลงเมื่อมวลของรถบรรทุกมีค่าสูงขึ้น

เนื่องจากกรณีทดสอบสำหรับรถบรรทุกที่มีน้ำหนัก 10 กก. นั้นถือว่าเป็นค่าน้ำหนักที่ค่อนข้างเบา อาจเปรียบได้กับรถบรรทุกจริงซึ่งไม่มีการบรรทุกของ ซึ่งจะให้ค่าความเครียดของหน้าตัดสะพานที่ต่ำประมาณ 30 ไมโครสเตรน ขณะที่สัญญาณรบกวน (noise) ของการเก็บวัดของการทดสอบมีค่าความเครียดรบกวนอยู่ที่ประมาณ 3 ไมโครสเตรน หรือคิดเป็นประมาณ 10% ดังนั้นในกรณีการทดสอบด้วยน้ำหนักรถเท่ากับ 10 กก. นี้จึงให้แนวโน้มของผลการทดสอบที่เสี่ยงต่อความคลาดเคลื่อนที่ของการทายน้ำหนักที่สูงกว่าการทดสอบด้วยน้ำหนักที่มากขึ้น เช่นในกรณีที่รถบรรทุกจำลองมีน้ำหนักเท่ากับ 20 กก. หรือ 30 กก.

ตารางที่ 6.1 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักบรรทุก และค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ กรณีเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน และพื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระ

กรณีบรรทุกเคลื่อนที่ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน พื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระ		น้ำหนักบรรทุกทุกจำลองเท่ากับ 10 กก.					น้ำหนักบรรทุกทุกจำลองเท่ากับ 20 กก.					น้ำหนักบรรทุกทุกจำลองเท่ากับ 30 กก.				
		การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ความเร็วรถต่ำ (0.1-0.4 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.025	5.410	5.190	5.207	5.340	9.389	9.191	9.471	9.393	9.500	14.062	14.085	13.638	14.370	14.373
	Error Static (%)	-12.496	-7.037	-10.787	-9.978	-9.037	0.071	-1.779	1.104	-0.115	1.181	1.616	1.855	-0.883	6.000	4.257
	น้ำหนักเพลาลัง	4.949	4.630	4.802	4.747	4.546	11.059	10.916	10.906	10.958	10.788	16.515	16.291	16.936	16.846	16.387
	Error Static (%)	21.268	2.847	8.913	6.940	3.818	-2.951	-3.883	-4.380	-3.814	-4.792	-1.866	-2.569	0.704	-2.185	-3.498
	น้ำหนักรวม	9.974	10.039	9.991	9.954	9.887	20.448	20.107	20.376	20.351	20.288	30.577	30.376	30.574	31.216	30.760
	Error Static (%)	1.531	-2.726	-2.294	-2.632	-3.545	-1.587	-2.932	-1.907	-2.142	-2.085	-0.295	-0.566	-0.010	1.420	-0.023
ความเร็วรถปานกลาง (0.4-0.8 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.404	5.251	5.553	5.597	5.386	9.520	9.634	9.994	9.408	9.664	14.024	14.578	14.723	13.838	14.462
	Error Static (%)	-5.560	-8.957	-3.607	-3.308	-3.954	0.441	2.278	6.253	1.164	2.506	2.572	6.707	7.409	1.499	5.741
	น้ำหนักเพลาลัง	4.821	4.692	4.778	4.967	6.021	10.744	10.896	11.124	11.111	10.693	17.009	16.657	16.880	17.400	16.317
	Error Static (%)	11.001	3.874	5.596	6.793	20.152	-3.487	-2.836	-2.915	-2.762	-3.692	-1.044	-2.288	-4.927	-1.786	-4.422
	น้ำหนักรวม	10.224	9.943	10.331	10.564	11.406	20.264	20.530	21.119	20.518	20.357	31.033	31.234	31.604	31.238	30.779
	Error Static (%)	1.586	-3.322	0.442	1.192	7.422	-1.681	-0.502	1.218	-1.000	-0.846	0.558	1.714	0.448	-0.358	0.099
ความเร็วรถสูง (0.8-1.2 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.653	5.074	5.256	5.808	6.625	9.637	9.580	9.513	9.865	9.389	14.602	14.689	14.514	14.594	14.801
	Error Static (%)	0.899	-9.609	-6.182	2.568	17.052	2.141	-0.203	-1.183	3.747	-2.113	7.575	7.463	5.205	5.858	6.783
	น้ำหนักเพลาลัง	4.441	4.398	3.940	4.044	2.250	10.651	10.697	11.036	10.856	11.053	16.734	16.688	16.312	16.432	16.386
	Error Static (%)	-7.766	-7.005	-16.368	-14.257	-52.472	-4.016	-2.939	1.014	-2.245	-0.052	0.538	-2.169	-4.662	-3.444	-1.751
	น้ำหนักรวม	10.094	9.471	9.196	9.853	8.875	20.287	20.277	20.550	20.722	20.442	31.336	31.377	30.826	31.026	31.186
	Error Static (%)	-3.106	-8.418	-10.835	-5.078	-14.610	-1.186	-1.666	-0.015	0.519	-1.009	3.699	2.116	-0.257	0.719	2.122

หมายเหตุ : ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาน้ำ น้ำหนักเพลาลัง และน้ำหนักรวม อ้างอิงจากค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถ

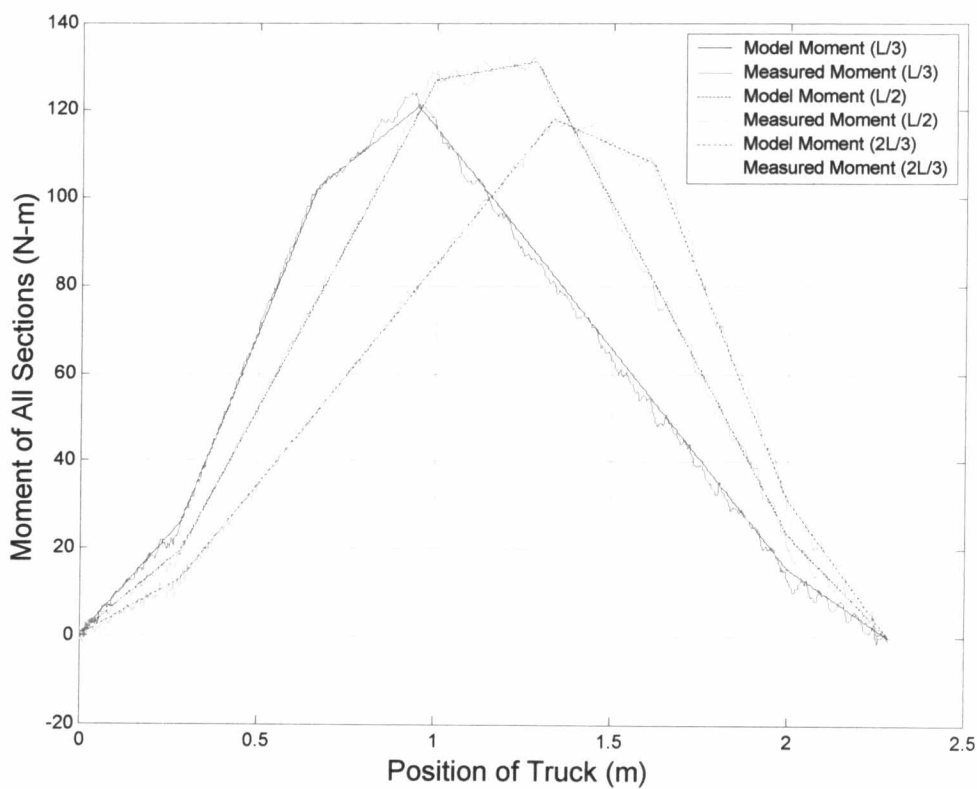


รูปที่ 6.3 กราฟแสดงผลต่างของน้ำหนักรถบรรทุกที่หายได้กับน้ำหนักที่วัดได้จริง กรณีทดสอบด้วยน้ำหนักรถบรรทุกจำลองที่แตกต่างกันเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำจำนวน 15 การทดสอบ

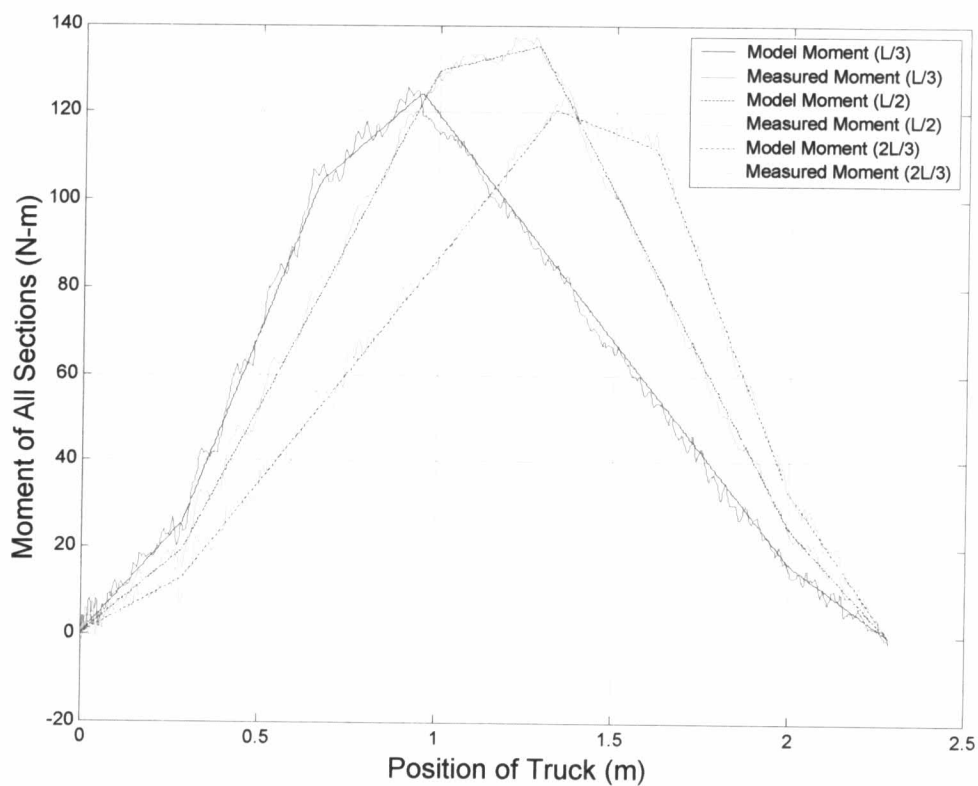
ทั้งนี้เนื่องจากการวัดความถูกต้องของผลการทดสอบ ได้ทำการอ้างอิงจากค่าความคลาดเคลื่อนด้วยการเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในกรณีที่รถบรรทุกมีมวลที่น้อยจึงมีค่าผลต่างของน้ำหนักที่หายได้กับน้ำหนักจริงที่จะให้ค่าความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้อยู่ในช่วงที่น้อยกว่ารถบรรทุกที่มีน้ำหนักมากกว่า โดยได้แสดงตัวอย่างค่าผลต่างระหว่างน้ำหนักรถบรรทุกที่หายได้กับน้ำหนักจริงของรถบรรทุกที่วัดได้ที่มีน้ำหนักแตกต่างกันดังรูปที่ 6.3 และเนื่องจากการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนนั้นจะคำนวณในรูปแบบที่เป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะสังเกตเห็นว่ารถบรรทุกที่มีน้ำหนักค่าน้ำหนักที่หายได้มีค่าที่แตกต่างจากน้ำหนักจริงได้มากกว่ารถที่มีน้ำหนักเบา โดยยังคงให้ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 5\%$ เช่นกัน ดังนั้นรถบรรทุกที่มีน้ำหนักมากจะมีแนวโน้มที่ให้ค่าความถูกต้องที่ต่ำกว่ารถบรรทุกที่มีน้ำหนักเบา

6.1.3 อิทธิพลของความเร็วของรถบรรทุกที่มีต่อประสิทธิภาพในการทายน้ำหนัก

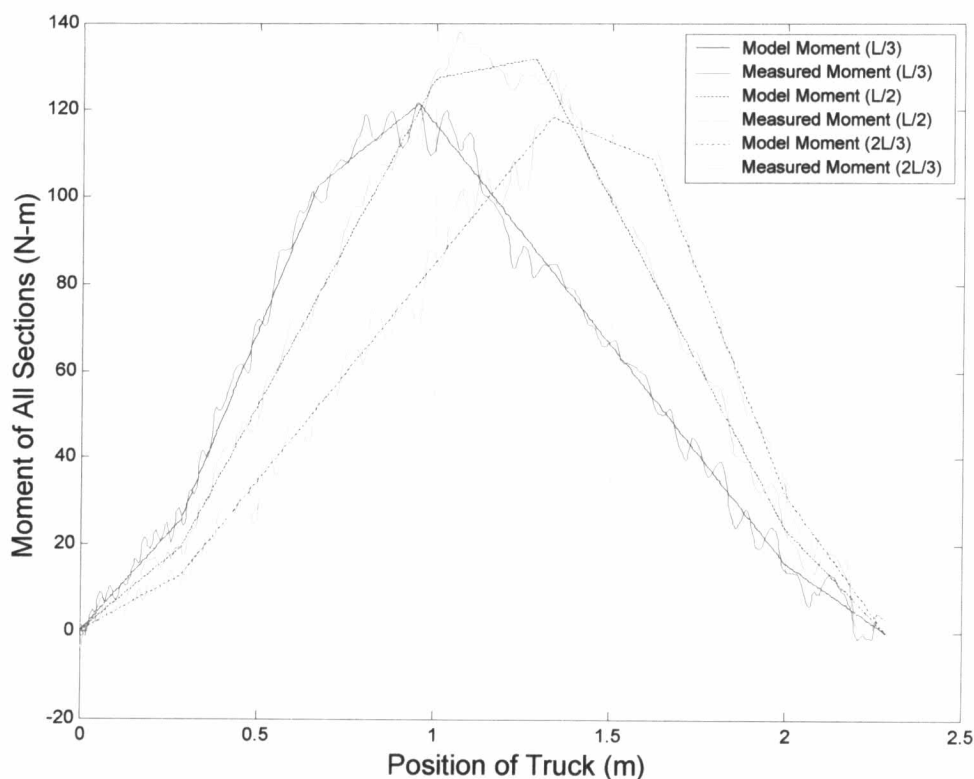
เพื่อศึกษาผลอิทธิพลของความเร็วที่มีต่อการทายน้ำหนัก จะทำการพิจารณาลักษณะของโมเมนต์ดัดของหน้าตัดสะพานที่เก็บวัดได้ในแต่ละกรณีที่รถบรรทุกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ดังรูปที่ 6.4 ถึง รูปที่ 6.6 โดยสัญญาณโมเมนต์ดัดที่ยกตัวอย่างมานี้ เป็นลักษณะสัญญาณที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการทายน้ำหนักที่ต่ำพบว่าเมื่อความเร็วของรถบรรทุกต่ำ ค่าโมเมนต์ดัดที่ได้จะมีค่าใกล้เคียงกับที่คำนวณได้ตามทฤษฎีเนื่องจากค่าแรงในเพลาน้ำและเพลาลังมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่เมื่อความเร็วของรถบรรทุกมีค่าเพิ่มขึ้น สัญญาณโมเมนต์ดัดของสะพานที่ได้จะมีความแปรปรวนสูงขึ้น เนื่องมาจากเกิดการถ่ายแรงกันระหว่างเพลาน้ำและเพลาลังของรถบรรทุก อย่างไรก็ตามหากลักษณะสัญญาณโมเมนต์ดัดที่เก็บวัดได้นี้ มีแนวโน้มและลักษณะที่สอดคล้องกับค่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี (model) ผลการทายน้ำหนักที่ได้ก็จะให้ค่าความถูกต้องสูงมีความคลาดเคลื่อนต่ำ เพียงแต่แนวโน้มในการทายน้ำหนักของรถที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงนั้น จะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงกว่ากรณีที่รถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ



รูปที่ 6.4 ลักษณะของโมเมนต์ดัดของสะพาน เมื่อรถบรรทุกเคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วต่ำ



รูปที่ 6.5 ลักษณะของโมเมนต์ดัดของสะพาน เมื่อรถบรรทุกเคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วปานกลาง



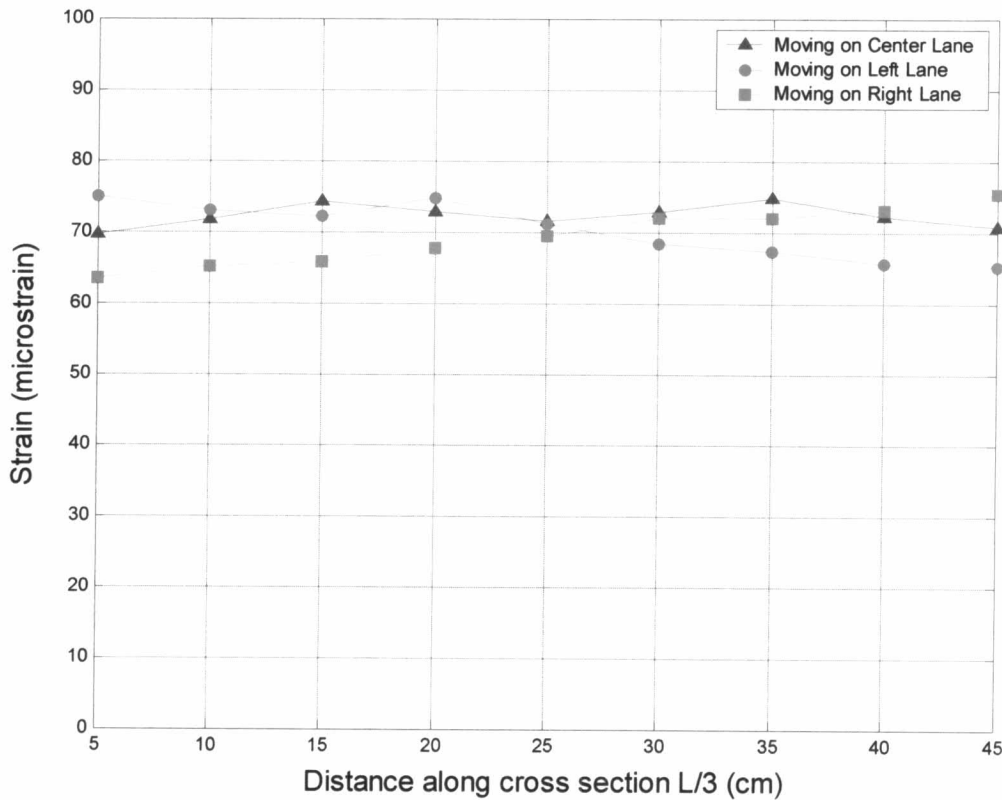
รูปที่ 6.6 ลักษณะของโมเมนต์ดัดของสะพาน เมื่อรถบรรทุกเคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วสูง

ซึ่งทั้งผลของความเร็วและมวลของรถบรรทุกนี้จะทำการศึกษารเปรียบเทียบและอธิบายเพิ่มเติม ในกรณีทดสอบด้วยพื้นผิวสะพานที่มีความขรุขระในหัวข้อที่ 6.1.5

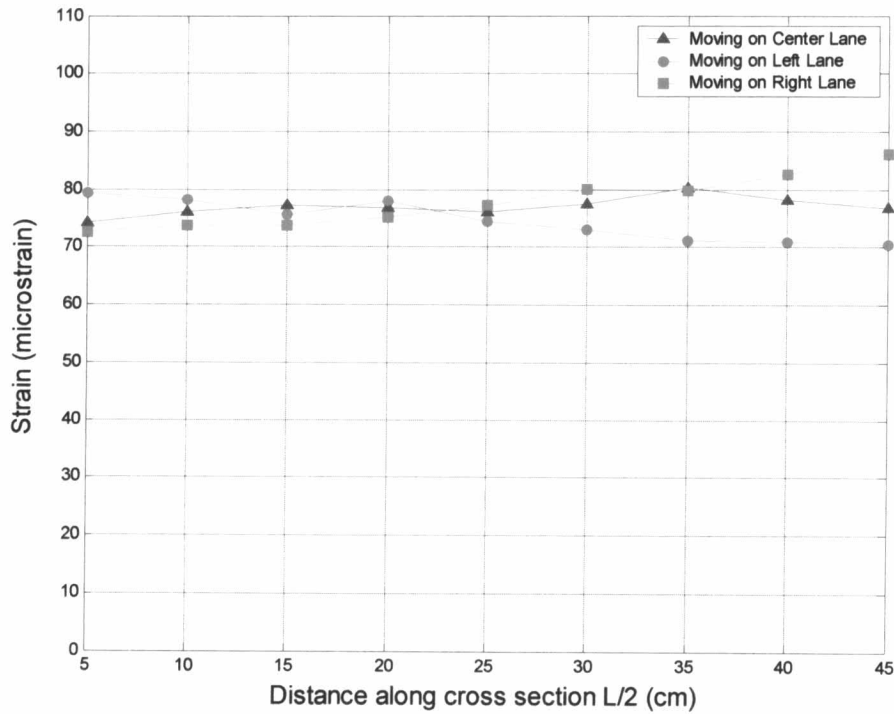
6.1.4 ผลการทดสอบการหำน้ำหนักรถบรรทุกซึ่งมีตำแหน่งเคลื่อนที่ตามแนวขวางในช่องจราจรที่แตกต่างกัน

เนื่องจากสัญญาณความเครียดในหน้าตัดสะพานทั้ง 3 หน้าตัดนั้น ได้ทำการเฉลี่ยค่าสัญญาณความเครียดของเกจวัดความเครียดทุกตัวในแต่ละหน้าตัดนั้น เพื่อศึกษาว่าหลักการเฉลี่ยค่าสัญญาณความเครียดนี้จะนำไปใช้ได้กับการหำน้ำหนักรถบรรทุกที่เคลื่อนที่เยื้องศูนย์กลางจากแนวกึ่งกลางสะพานได้หรือไม่นั้น จึงได้ทำการทดสอบผลของตำแหน่งรถบรรทุกที่เคลื่อนที่ในตำแหน่งช่องจราจรด้านซ้ายและขวาของสะพาน โดยมีผลการทดสอบดังตารางที่ 6.2 และ 6.3 ซึ่งพบว่าให้ผลการทดสอบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำเช่นเดียวกับกรณีทดสอบด้วยการเคลื่อนที่รถบรรทุกจำลอง ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน และเมื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณความเครียดของกรณีทดสอบด้วยการเคลื่อนที่รถบรรทุกในตำแหน่งด้านซ้าย กึ่งกลางและด้านขวาของสะพานที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 6.7 ถึง 6.9 พบว่าสัญญาณความเครียดทั้ง 3 กรณีมีลักษณะที่แตกต่างกัน โดยจะค่าความเครียดจะมีค่ามากเมื่อน้ำหนักรถกระทำใกล้กับเกจวัดความเครียดตัวนั้น และจะมีค่าลดลงเมื่อตำแหน่งของเกจวัดความเครียดอยู่ห่างออกไปจากตำแหน่งที่น้ำหนักรถกระทำ โดยที่กรณีที่รถบรรทุกเคลื่อนที่บนช่องจราจรด้านซ้ายค่าความเครียดที่อยู่ฝั่งซ้ายของสะพานจะมีค่ามากกว่าฝั่งขวา เช่นเดียวกันเมื่อรถบรรทุกเคลื่อนที่บนช่องจราจรด้านขวาค่าความเครียดที่อยู่ฝั่งขวาก็จะมีค่ามากกว่าฝั่งซ้าย และหากรถบรรทุกเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพานค่าความเครียดบริเวณ

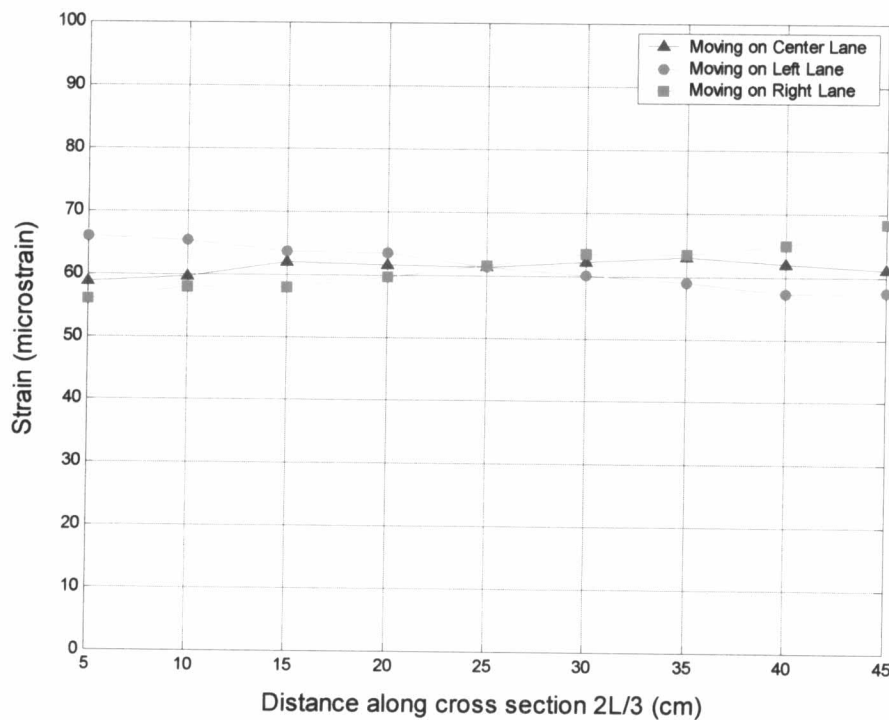
กึ่งกลางสะพานก็จะมีค่ามากกว่าบริเวณขอบสะพาน โดยจะมีค่ามากที่สุดที่ตำแหน่งใกล้ลัดรตนเอง ซึ่งจากรูปที่ 6.10 และ 6.11 ซึ่งแสดงถึงค่าความเครียดที่หน้าตัด $L/2$ เมื่อรถบรรทุกหนัก 30 กก. เคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วต่ำ ตามแนวขวางของสะพานด้านซ้ายและขวาตามลำดับ จะพบว่าผลของการบิดของสะพานโดยคำนวณจากค่าความเครียดที่ขอบทั้งสองข้างเทียบกับความเครียดที่กึ่งกลางสะพานพบว่าเกิดค่าความเครียดเนื่องจากโมเมนต์บิด (torsional strain) อยู่ในช่วง 5 - 10% ของความเครียดของโมเมนต์ดัด (bending strain) เมื่อรถเคลื่อนที่ในด้านซ้ายและขวาของสะพาน หากทำการเฉลี่ยสัญญาณความเครียดแต่ละตัวเข้าด้วยกันเพื่อทำการหักล้างผลของการบิดตัวดังรูปที่ 6.12 จะพบว่าค่าความเครียดที่ได้เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วพบว่ามีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก จึงทำให้ผลการทายน้ำหนักอยู่ในช่วงความคลาดเคลื่อนที่ใกล้เคียงกันนั่นเอง



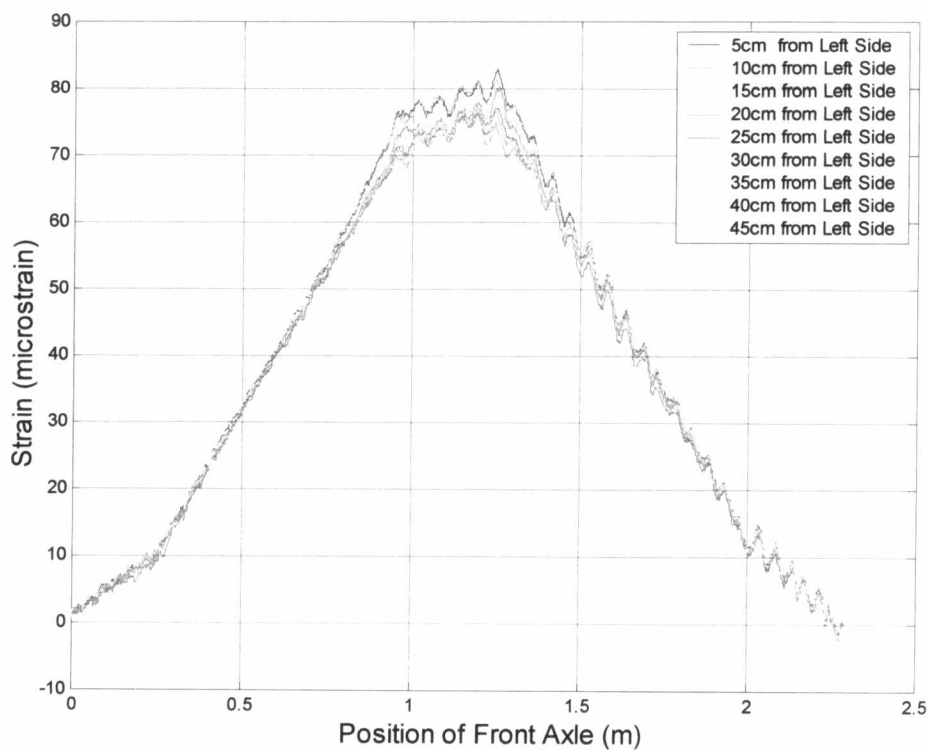
รูปที่ 6.7 เปรียบเทียบลักษณะสัญญาณความเครียดที่หน้าตัดสะพาน $L/3$ เมื่อเพลาลังของรถบรรทุกที่มีน้ำหนักรวม 30 กก. อยู่ที่ตำแหน่งติดตั้งเกจวัดความเครียด และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ ณ ตำแหน่งด้านซ้าย ขวา และกึ่งกลางสะพาน



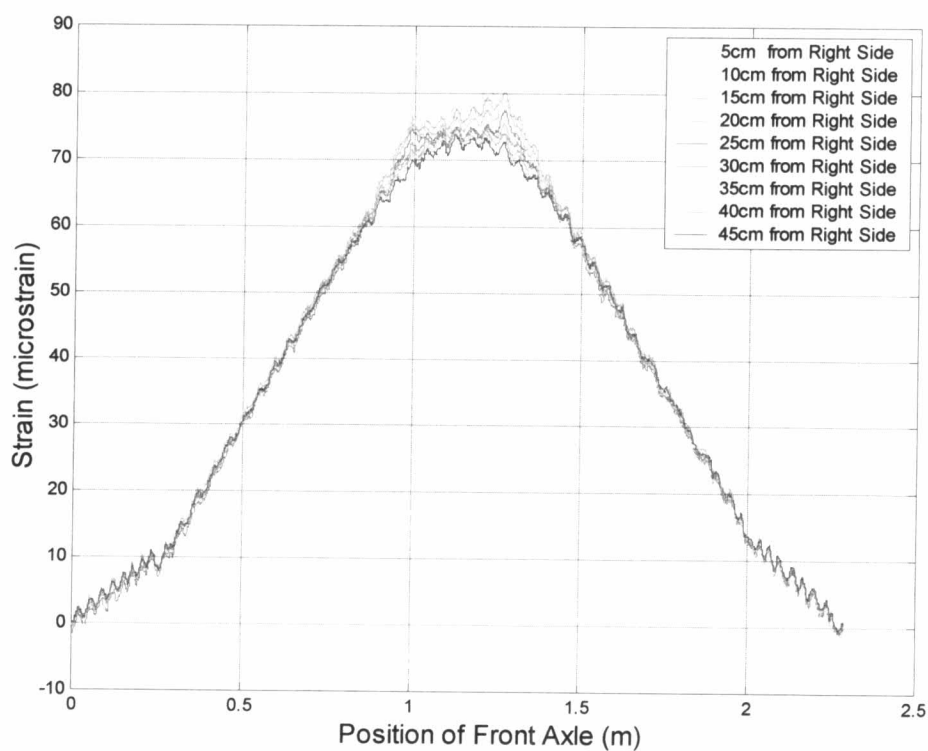
รูปที่ 6.8 เปรียบเทียบลักษณะสัญญาณความเครียดที่หน้าตัดสะพาน $L/2$ เมื่อเพลาลังของรถบรรทุกที่มีน้ำหนักรวม 30 กก. อยู่ที่ตำแหน่งติดตั้งเกจวัดความเครียด และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ ณ ตำแหน่งด้านซ้าย ขวา และกึ่งกลางสะพาน



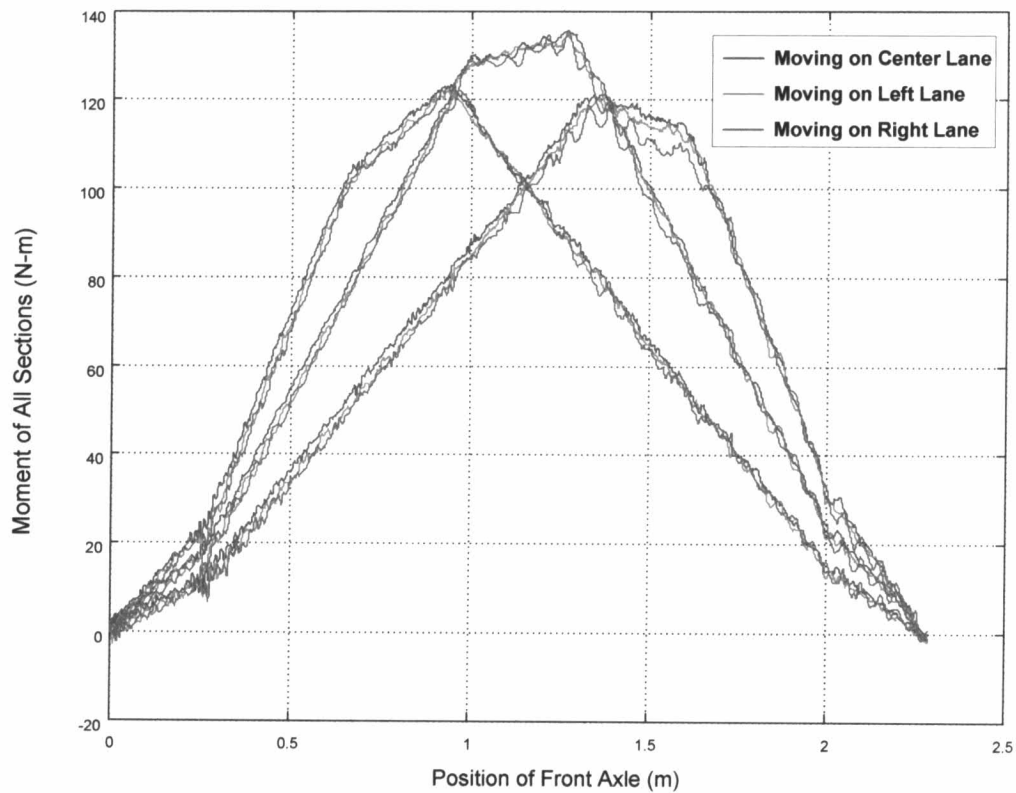
รูปที่ 6.9 เปรียบเทียบลักษณะสัญญาณความเครียดที่หน้าตัดสะพาน $2L/3$ เมื่อเพลาลังของรถบรรทุกที่มีน้ำหนักรวม 30 กก. อยู่ที่ตำแหน่งติดตั้งเกจวัดความเครียด และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ ณ ตำแหน่งด้านซ้าย ขวา และกึ่งกลางสะพาน



รูปที่ 6.10 ลักษณะสัญญาณความเครียดที่หน้าตัด L/2 เมื่อรถบรรทุกหนัก 30 กิโลกรัมเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งฝั่งซ้ายของสะพานด้วยความเร็วต่ำ



รูปที่ 6.11 ลักษณะสัญญาณความเครียดที่หน้าตัด L/2 เมื่อรถบรรทุกหนัก 30 กิโลกรัมเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งฝั่งขวาของสะพานด้วยความเร็วต่ำ



รูปที่ 6.12 เปรียบเทียบลักษณะโมเมนต์ดัดของหน้าตัดสะพานเมื่อรถบรรทุกหนัก 30 กก. เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ ในตำแหน่งตามแนวขวางของสะพานกรณีเคลื่อนที่ในช่องจราจรด้านซ้าย ขวา และกลาง

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเคลื่อนที่ในตำแหน่งตามแนวขวางของสะพานที่แตกต่างกัน ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำนายน้ำหนักหากผลของการบิดตัวมีค่าไม่เกิน 10% เมื่อใช้สัมประสิทธิ์ความเครียดจากการเฉลี่ยค่าความเครียดของแถววัดความเครียดทุกตัวในหน้าตัดนั้น ๆ เข้าด้วยกัน นอกจากนี้จากผลการทดสอบพบว่ากรณีที่รถจำลองมีน้ำหนัก 20 กก. และ 30 กก. นั้น ค่าความคลาดเคลื่อนในการทำนายน้ำหนักที่พบในทุกครั้งของการทดสอบมีค่าไม่เกิน $\pm 5\%$ ไม่ว่าจะเคลื่อนที่ในตำแหน่งตามแนวขวางอย่างไรก็ตาม

ตารางที่ 6.2 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักบรรทุก และค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ กรณีเคลื่อนที่ ณ ช่องจราจรด้านซ้ายของสะพาน และพื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระ

กรณีบรรทุกเคลื่อนที่ ช่องจราจรด้านซ้ายของสะพาน พื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระ		น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 10 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 20 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 30 กก.				
		การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ความเร็วต่ำ (0.1-0.3 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.453	5.428	5.484	5.456	5.629	9.959	9.796	9.715	10.006	9.852	15.267	14.672	14.573	14.723	14.128
	Error Static (%)	-2.988	-2.248	-0.545	-0.067	1.615	6.379	4.733	3.520	6.905	5.530	11.543	7.435	8.018	7.621	4.620
	น้ำหนักเพลาลัง	5.085	5.863	5.039	5.032	5.046	11.502	11.409	11.374	11.311	11.326	16.187	16.982	17.097	16.866	17.169
	Error Static (%)	6.560	24.777	7.091	5.864	6.263	-0.289	-0.485	-1.090	-1.677	-2.539	-6.332	-1.408	-2.151	-0.757	-4.145
	น้ำหนักรวม	10.538	11.290	10.523	10.488	10.675	21.461	21.205	21.088	21.317	21.178	31.454	31.654	31.670	31.588	31.298
	Error Static (%)	1.396	10.139	2.971	2.693	3.760	2.698	1.859	0.982	2.173	1.055	1.568	2.503	2.280	2.979	-0.377
ความเร็วปานกลาง (0.4-0.7 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.523	5.629	5.450	5.656	5.519	10.169	9.968	9.902	9.746	9.762	14.678	14.014	14.585	14.508	15.045
	Error Static (%)	-0.549	1.112	-2.397	0.290	-2.017	8.389	6.002	5.517	4.026	3.774	6.919	2.522	5.758	4.566	9.567
	น้ำหนักเพลาลัง	4.981	5.007	5.061	4.874	4.914	10.790	11.252	11.200	11.166	11.253	17.065	17.444	16.601	16.392	16.729
	Error Static (%)	3.203	3.760	7.474	2.886	5.237	-5.635	-0.764	-3.214	-2.849	-0.785	-4.411	3.255	-0.577	1.131	-4.388
	น้ำหนักรวม	10.503	10.636	10.510	10.530	10.432	20.958	21.220	21.102	20.912	21.014	31.743	31.458	31.186	30.900	31.773
	Error Static (%)	1.196	2.342	2.119	1.475	1.271	0.685	2.304	0.696	0.238	1.282	0.514	2.927	2.289	2.715	1.748
ความเร็วสูง (0.8-1.2 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.770	5.847	5.322	5.351	5.353	10.056	10.201	9.932	9.899	9.961	14.825	14.988	14.982	15.059	14.434
	Error Static (%)	-0.316	5.833	-2.391	-4.210	-4.700	6.359	9.007	6.615	5.388	5.124	9.090	9.591	8.962	10.045	5.792
	น้ำหนักเพลาลัง	4.515	4.705	5.138	5.061	5.006	11.087	10.530	11.198	10.808	10.976	17.247	17.112	16.788	16.880	17.582
	Error Static (%)	-4.960	-0.296	4.947	6.689	7.601	-1.569	-6.369	-2.945	-5.986	-1.046	-5.984	-0.757	-5.408	-1.383	3.097
	น้ำหนักรวม	10.285	10.552	10.460	10.411	10.359	21.143	20.731	21.130	20.707	20.937	32.072	32.100	31.770	31.939	32.016
	Error Static (%)	-2.409	3.009	1.080	0.795	0.873	2.049	0.615	1.326	-0.872	1.797	0.430	3.820	0.865	3.695	4.295

หมายเหตุ : ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาน้ำ น้ำหนักเพลาลัง และน้ำหนักรวม อ้างอิงจากค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถ

ตารางที่ 6.3 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักบรรทุก และค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ กรณีเคลื่อนที่ ณ ช่องจากรด้านขวาของสะพาน และพื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระ

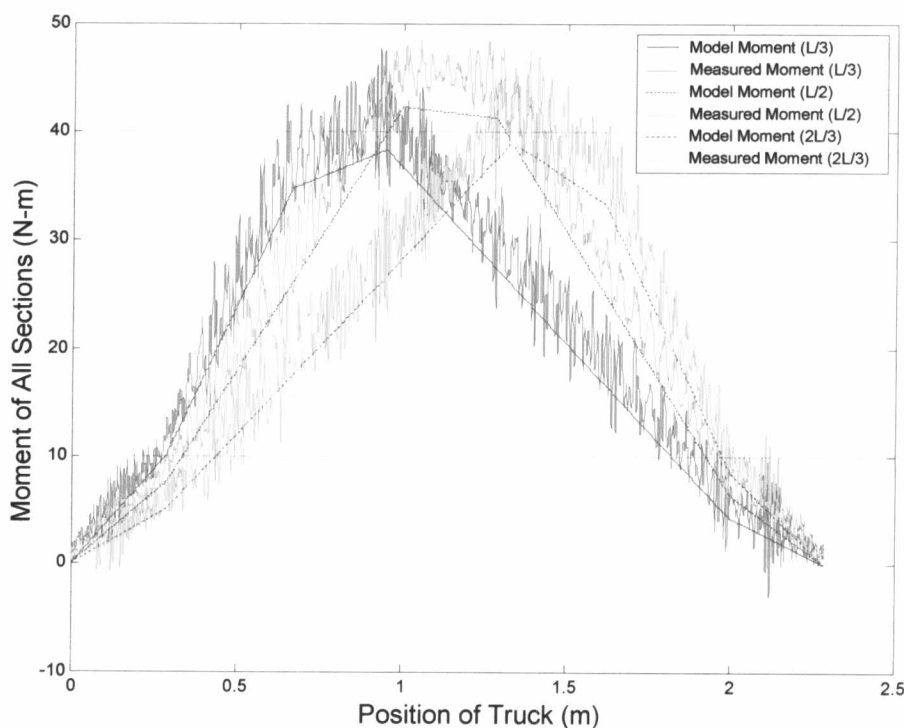
กรณีรถบรรทุกเคลื่อนที่ ช่องจากรด้านขวาของสะพาน พื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระ		น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 10 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 20 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 30 กก.				
		การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ความเร็วรถต่ำ (0.1-0.3 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.186	5.418	5.217	5.234	5.208	9.550	9.526	9.470	9.475	9.565	14.008	14.011	13.886	14.153	14.106
	Error Static (%)	-2.438	-2.723	-6.134	-6.215	-7.478	3.392	2.771	1.912	3.169	2.178	2.526	2.559	1.549	4.069	3.145
	น้ำหนักเพลาลัง	5.046	5.003	5.066	4.932	4.970	10.907	11.006	10.994	10.931	11.112	16.760	17.037	17.063	16.884	16.569
	Error Static (%)	3.930	7.428	10.981	6.188	10.232	-3.372	-2.664	-2.288	-3.145	-1.786	-0.669	-0.918	-0.178	-1.360	-2.482
	น้ำหนักกรม	10.232	10.421	10.282	10.166	10.178	20.458	20.532	20.464	20.406	20.676	30.767	31.049	30.949	31.037	30.676
	Error Static (%)	0.602	1.900	1.585	-0.581	0.398	-0.328	-0.216	-0.388	-0.312	0.009	0.761	0.621	0.589	1.043	0.027
ความเร็วรถปานกลาง (0.4-0.7 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.253	5.186	5.353	5.248	5.319	9.500	9.579	9.603	9.654	9.550	14.007	14.197	14.120	13.571	13.711
	Error Static (%)	-4.316	-4.420	-2.318	-6.159	-3.465	1.416	2.336	2.367	2.317	1.961	2.159	3.448	2.943	-0.508	1.004
	น้ำหนักเพลาลัง	4.865	4.873	4.923	4.807	4.969	10.792	10.792	10.905	10.579	10.799	16.712	16.822	16.518	17.529	16.757
	Error Static (%)	4.789	5.620	6.847	6.368	6.312	-2.073	-2.267	-1.773	-1.971	-1.850	-1.422	-1.253	-2.296	2.323	-0.493
	น้ำหนักกรม	10.118	10.059	10.275	10.055	10.287	20.292	20.372	20.508	20.232	20.348	30.719	31.020	30.638	31.100	30.468
	Error Static (%)	-0.144	0.194	1.868	-0.560	1.022	-0.470	-0.155	0.123	0.029	-0.098	0.179	0.845	0.051	1.068	0.175
ความเร็วรถสูง (0.8-1.2 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.440	5.175	5.471	5.491	5.526	9.773	9.811	9.704	9.726	9.906	14.473	14.335	14.471	14.375	14.413
	Error Static (%)	-2.548	-6.779	-2.000	-2.164	-0.034	5.727	5.871	4.814	3.310	5.151	7.274	6.631	7.197	6.937	6.158
	น้ำหนักเพลาลัง	4.782	4.934	4.525	4.808	4.342	11.166	11.165	11.242	10.802	10.856	16.991	17.046	16.812	16.702	16.485
	Error Static (%)	2.156	3.964	-0.709	6.131	-5.469	-2.896	-3.215	-2.997	-2.985	-2.400	-3.730	-3.087	-1.931	-4.718	-4.438
	น้ำหนักกรม	10.222	10.110	9.996	10.298	9.868	20.938	20.976	20.946	20.528	20.761	31.464	31.381	31.283	31.077	30.898
	Error Static (%)	-0.403	-1.828	-1.420	1.541	-2.500	0.947	0.833	0.471	-0.101	1.063	1.038	1.123	2.091	0.340	0.229

หมายเหตุ : ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาน้ำ น้ำหนักเพลาลัง และน้ำหนักกรม อ้างอิงจากค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถ

6.1.5 อิทธิพลของความขรุขระของพื้นผิวสะพานที่มีต่อประสิทธิภาพในการทายน้ำหนัก

เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการถ่ายน้ำหนักระหว่างเพลารถให้เป็นแรงกระทำต่อสะพาน และเพื่อศึกษาผลของค่าแรงทางพลศาสตร์ที่เกิดขึ้นให้มีความชัดเจนมากขึ้น จึงได้ทำการทดสอบการน้ำหนักของรถบรรทุกที่เคลื่อนที่บนสะพานที่มีพื้นผิวขรุขระ โดยทำการศึกษาดัวยระดับความขรุขระ 3 ระดับด้วยกันได้แก่ระดับน้อย ปานกลาง และมาก ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกับกรณีทดสอบด้วยสะพานที่มีพื้นผิวราบเรียบดังที่ได้อธิบายข้างต้น โดยผลการทดสอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 6.4 ถึง 6.6

จากตารางที่ 6.4 ซึ่งเป็นกรณีที่พื้นผิวสะพานมีความขรุขระน้อยนั้น พบว่าค่าน้ำหนักรวมของรถบรรทุกที่ทลายได้มีความคลาดเคลื่อนสูงกว่ากรณีที่รถเคลื่อนที่บนสะพานที่ไม่มีความขรุขระ และพบว่าผลของมวลและความเร็วของรถบรรทุกมีผลต่อประสิทธิภาพในการทายน้ำหนักค่อนข้างมาก สังเกตเห็นว่ากรณีที่รถบรรทุกมีน้ำหนักเท่ากับ 30 กก. ผลการทดสอบที่ได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนที่ต่ำ ซึ่งอธิบายได้ว่าเมื่อมวลรถมีค่ามากแล้วน้ำหนักในเพลารถขณะเคลื่อนที่มีความแปรปรวนน้อย และรถมีการสั่นไหวจากความขรุขระน้อยกว่ารถบรรทุกที่มีน้ำหนักเบา โดยที่กรณีที่รถมีน้ำหนักเท่ากับ 10 กก. นั้นจะเห็นว่าผลการทดสอบที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง ซึ่งเมื่อตรวจสอบลักษณะของโมเมนต์ตัดของหน้าตัดสะพานดังรูปที่ 6.13 จะพบว่ามีค่าความแปรปรวนเมื่อเทียบกับค่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี (Model) อย่างเห็นได้ชัด ขณะที่ตัวอย่างทดสอบที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนต่ำนั้น ถึงแม้ว่าสัญญาณจะมีการสั่นไหวที่มากกว่ากรณีพื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระเนื่องจากการสั่นสะเทือนของตัวรถ แต่สัญญาณความเคียดยังมีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับที่คำนวณได้ทางทฤษฎี จึงให้ผลการน้ำหนักที่ยังมีความถูกต้องที่เพียงพอ



รูปที่ 6.13 ลักษณะของโมเมนต์ตัดของสะพาน เมื่อรถบรรทุกหนัก 10 กก. เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำบนสะพานที่มีพื้นผิวขรุขระเล็กน้อย

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบในระดับความขรุขระที่มากขึ้นดังตารางที่ 6.5 และ 6.6 พบว่าผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนที่สูง เนื่องจากค่าแรงทางพลศาสตร์ที่วัดได้ในเพลารถมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาและอาจมีความคลาดเคลื่อนสูงจากน้ำหนักทางสถิติของรถบรรทุกที่นำไปซึ่ง เพราะขณะที่รถเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่มีความขรุขระมาก ๆ นั้น ตัวรถบรรทุกมีการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงจึงทำให้การนำค่าแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย และอ้างอิงเป็นค่าแรงทางสถิติของเพลารถนั้นมีค่าที่คลาดเคลื่อนจากค่าแรงในเพลารถเมื่อนำรถบรรทุกไปซึ่ง ทำให้ค่าแรงทางสถิติที่คำนวณได้มีค่าผิดพลาดตามไปด้วย

เมื่อวิเคราะห์ถึงผลของความเร็วยของรถบรรทุก จากที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้แล้วว่ารถบรรทุกที่มีความเร็วสูงจะมีแนวโน้มที่ให้ผลการทดสอบที่ถูกต้องแม่นยำน้อยกว่ารถบรรทุกที่มีความเร็วต่ำ แต่เมื่อทำการทดสอบเพื่อตรวจสอบผลของความขรุขระของพื้นผิวสะพานแล้วจะพบว่า ผลกระทบของความเร็วยของรถบรรทุกมีผลต่อประสิทธิภาพในการหาน้ำหนักของสะพานที่มีความขรุขระอย่างไม่เป็นระบบ แต่จะขึ้นกับสัญญาณที่เก็บวัดได้เป็นหลัก

6.1.6 พฤติกรรมของน้ำหนักทางพลศาสตร์ของรถบรรทุกและค่าความคลาดเคลื่อนของการทดสอบ

เนื่องจากการทดสอบเพื่อพิจารณาผลของความขรุขระของสะพานพบว่า ค่าน้ำหนักที่ท่ายได้มีค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติค่อนข้างสูง ดังนั้นเพื่อตรวจสอบว่าวิธีการหาน้ำหนักนั้นให้ผลการท่ายน้ำหนักที่แม่นยำกับค่าน้ำหนักจริงซึ่งเป็นผลทางพลศาสตร์ที่มากกระทำต่อสะพานหรือไม่ จึงทำการพิจารณาถึงพฤติกรรมของน้ำหนักทางพลศาสตร์ของรถบรรทุก และค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ที่ได้ ซึ่งสามารถคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ได้ดังสมการที่ 6.1 โดยจะทำการเปรียบเทียบทั้งกรณีพื้นผิวสะพานราบเรียบและกรณีพื้นผิวสะพานมีความขรุขระ และผลการทดสอบของทั้งสองกรณีให้ค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ดังตารางที่ 6.7 ถึง 6.10 ซึ่งพบว่ากรณีพื้นผิวสะพานมีความราบเรียบนั้น ค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ของน้ำหนักรวมที่ท่ายได้มีค่าไม่เกิน 5% ยกเว้นกรณีที่รถบรรทุกมีน้ำหนัก 10 กก. และเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง ซึ่งเป็นสัญญาณที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติที่มากกว่า 5% เช่นเดียวกัน และเมื่อพิจารณากรณีที่รถบรรทุกมีน้ำหนักเท่ากับ 30 กก. จะสังเกตได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ของน้ำหนักเพลาน้ำหนักและเพลาลังจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรถบรรทุกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงขึ้น ถึงแม้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมจะยังอยู่ในช่วง $\pm 5\%$ ก็ตาม

$$\begin{aligned} \text{ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักทางพลศาสตร์} &= \frac{\| \mathbf{f}_{iden} - \mathbf{f}_{measure} \|}{\| \mathbf{f}_{measure} \|} \times 100\% \\ &= \frac{\sqrt{\sum (\mathbf{f}_{iden} - \mathbf{f}_{measure})^2}}{\sqrt{\sum (\mathbf{f}_{measure})^2}} \times 100\% \end{aligned} \quad (6.1)$$

โดยที่ \mathbf{f}_{iden} คือ ค่าน้ำหนักที่ท่าย ณ ทุกตำแหน่งเวลา
 $\mathbf{f}_{measure}$ คือ ค่าน้ำหนักจริงที่เก็บวัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงทางพลศาสตร์ ณ ทุกตำแหน่งเวลา

ตารางที่ 6.4 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักบรรทุก และค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ กรณีเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน และสะพานมีความขรุขระเล็กน้อย

กรณีรถบรรทุกเคลื่อนที่ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน พื้นผิวสะพานมีความขรุขระเล็กน้อย		น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 10 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 20 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 30 กก.				
		การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ความเร็วต่ำ (0.1-0.3 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.753	5.612	5.750	6.147	5.799	9.639	10.172	10.182	10.058	9.957	13.861	14.332	14.578	14.272	14.237
	Error (%)	6.612	4.711	7.906	15.482	8.646	11.026	15.138	17.217	17.131	14.165	2.529	6.156	7.115	5.272	4.976
	น้ำหนักเพลาลัง	5.438	5.569	5.383	5.390	5.395	12.164	11.601	11.421	11.518	11.873	16.246	16.615	16.755	16.557	16.978
	Error (%)	16.076	21.268	16.997	13.920	16.031	4.707	-4.115	-5.501	-2.126	0.179	-1.496	-6.878	-6.020	-7.296	-4.585
	น้ำหนักรวม	11.191	11.181	11.133	11.537	11.194	21.803	21.773	21.603	21.576	21.830	30.107	30.946	31.332	30.829	31.215
	Error (%)	11.010	12.351	12.119	14.747	12.084	7.410	4.011	3.999	5.998	6.108	0.317	-1.264	-0.334	-1.873	-0.450
ความเร็วปานกลาง (0.4-0.7 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	6.076	5.929	6.115	5.936	6.001	10.212	10.201	10.228	9.898	10.278	14.925	14.889	14.856	15.223	15.056
	Error (%)	9.700	8.330	10.878	8.777	9.837	11.733	13.110	13.337	7.686	11.956	10.204	6.157	6.363	10.110	9.426
	น้ำหนักเพลาลัง	5.237	4.973	5.079	5.084	5.136	11.320	11.390	11.410	11.771	11.535	16.444	15.952	16.517	16.446	16.845
	Error (%)	-8.316	-6.391	-2.494	-10.453	-3.334	-7.563	-7.781	-7.740	-5.141	-3.202	-6.271	-8.734	-5.739	-6.069	-3.891
	น้ำหนักรวม	11.313	10.902	11.194	11.020	11.137	21.532	21.591	21.637	21.668	21.813	31.369	30.841	31.372	31.669	31.900
	Error (%)	0.553	1.079	4.383	-1.028	3.343	0.683	1.036	1.152	0.317	3.394	0.906	-2.105	-0.371	1.070	1.965
ความเร็วสูง (0.8-1.2 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	6.579	6.144	6.943	6.232	5.881	10.521	10.356	13.171	11.669	11.424	15.210	15.531	15.808	15.782	16.199
	Error (%)	19.411	10.751	26.791	14.608	8.567	11.711	12.095	40.288	24.762	21.407	10.542	13.390	14.637	14.751	17.713
	น้ำหนักเพลาลัง	3.963	5.068	3.156	4.374	5.186	10.399	10.671	7.611	7.926	8.762	15.864	14.869	15.197	15.149	14.449
	Error (%)	-44.885	-18.716	-50.818	-34.397	-14.895	-15.606	-11.734	-40.918	-37.825	-30.128	-10.241	-16.021	-14.304	-14.523	-17.113
	น้ำหนักรวม	10.542	11.212	10.098	10.606	11.067	20.920	21.026	20.782	19.595	20.186	31.074	30.400	31.005	30.931	30.648
	Error (%)	-16.993	-4.843	-15.085	-12.384	-3.853	-3.771	-1.412	-6.685	-11.338	-8.035	-1.143	-3.192	-1.644	-1.732	-1.749

หมายเหตุ : ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาน้ำ น้ำหนักเพลาลัง และน้ำหนักรวม อ้างอิงจากค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถ

ตารางที่ 6.5 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักบรรทุก และค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ กรณีเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน และสะพานมีความขรุขระปานกลาง

กรณีรถบรรทุกเคลื่อนที่ ของจราจรด้านซ้ายของสะพาน พื้นผิวสะพานมีความขรุขระปานกลาง		น้ำหนักบรรทุกทุกจาลองเท่ากับ 10 กก.					น้ำหนักบรรทุกทุกจาลองเท่ากับ 20 กก.					น้ำหนักบรรทุกทุกจาลองเท่ากับ 30 กก.				
		การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ความเร็วต่ำ (0.1-0.3 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.488	5.538	5.980	5.662	5.396	10.086	10.005	9.892	9.927	9.593	14.242	14.819	14.873	14.930	14.824
	Error (%)	4.387	8.058	14.849	5.921	1.380	16.244	14.575	13.317	15.148	12.064	14.012	18.736	19.146	19.198	21.306
	น้ำหนักเพลาลัง	10.081	10.366	10.464	10.504	10.421	11.399	11.364	11.595	11.500	11.553	17.931	17.283	17.130	17.034	17.107
	Error (%)	15.999	16.674	8.750	19.657	26.462	6.732	7.118	5.030	11.180	8.727	5.261	2.107	1.044	1.108	1.287
	น้ำหนักรวม	10.081	10.366	10.464	10.504	10.421	21.485	21.368	21.487	21.426	21.147	32.172	32.102	32.003	31.963	31.931
	Error (%)	9.375	11.907	12.154	11.839	12.102	10.996	10.485	8.689	12.983	10.216	8.963	9.164	8.721	8.822	9.691
ความเร็วปานกลาง (0.4-0.7 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.850	5.882	5.595	5.853	5.883	10.022	10.258	9.586	10.231	10.241	15.112	14.923	14.109	13.708	13.543
	Error (%)	2.632	2.491	-1.800	1.158	2.896	11.173	15.892	7.209	14.586	14.409	19.230	18.352	9.596	8.710	7.049
	น้ำหนักเพลาลัง	4.853	4.944	4.713	4.889	5.001	11.420	11.414	11.888	11.358	11.288	16.957	17.385	17.841	18.801	18.594
	Error (%)	-12.453	-21.676	-25.712	-15.095	-15.081	-8.208	-10.691	3.276	-8.563	-11.001	-1.454	-0.208	4.325	7.789	6.157
	น้ำหนักรวม	10.703	10.825	10.308	10.742	10.884	21.441	21.671	21.474	21.589	21.529	32.070	32.308	31.950	32.509	32.137
	Error (%)	-4.806	-10.167	-14.399	-6.949	-6.225	-0.065	0.186	4.995	1.118	-0.487	7.319	7.585	6.589	8.175	6.531
ความเร็วสูง (0.8-1.2 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.310	5.732	5.999	5.423	5.557	10.230	10.045	10.315	9.778	10.307	15.158	15.008	15.020	15.155	15.192
	Error (%)	-3.975	-0.541	4.787	-7.476	-3.734	15.493	10.386	14.047	7.650	13.693	22.500	23.296	15.419	19.025	17.879
	น้ำหนักเพลาลัง	5.215	4.915	4.644	5.397	5.073	10.978	11.163	11.261	11.512	10.965	16.649	16.664	17.009	17.243	16.997
	Error (%)	-21.621	-26.947	-22.958	-19.546	-13.003	-9.309	1.867	-1.102	5.057	-5.049	-3.718	-3.229	1.828	0.027	-0.269
	น้ำหนักรวม	10.525	10.647	10.643	10.820	10.630	21.208	21.208	21.576	21.290	21.271	31.807	31.672	32.029	32.399	32.189
	Error (%)	-13.612	-14.765	-9.443	-13.918	-8.392	1.172	5.731	5.604	6.232	3.194	7.218	7.756	7.780	8.098	7.546

หมายเหตุ : ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาน้ำ น้ำหนักเพลาลัง และน้ำหนักรวม อ้างอิงจากค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถ

ตารางที่ 6.6 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักบรรทุกทุก และค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ กรณีเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน และสะพานมีความขรุขระมาก

กรณีบรรทุกเคลื่อนที่ ช่องจราจรด้านขวาของสะพาน พื้นผิวสะพานมีความขรุขระมาก		น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 10 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 20 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 30 กก.				
		การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ความเร็วต่ำ (0.1-0.3 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	6.347	6.000	6.487	6.077	5.896	10.184	9.699	10.172	10.220	10.086	15.387	14.585	15.125	15.107	15.042
	Error (%)	24.376	13.961	23.308	18.759	9.441	10.645	5.581	11.726	14.805	12.546	19.532	9.894	15.556	15.492	18.549
	น้ำหนักเพลาลัง	5.282	5.269	5.212	4.934	5.398	11.224	11.549	11.172	11.763	11.369	16.997	17.248	17.494	17.078	17.415
	Error (%)	-22.015	62.143	53.281	36.292	27.871	-2.183	8.115	0.669	10.544	11.483	1.753	4.739	4.633	3.227	4.520
	น้ำหนักรวม	11.629	11.269	11.699	11.011	11.293	21.408	21.248	21.344	21.983	21.455	32.383	31.833	32.620	32.185	32.457
	Error (%)	-2.082	32.351	35.075	26.024	17.538	3.527	6.943	5.652	12.485	11.980	9.491	7.040	9.429	8.642	10.585
ความเร็วปานกลาง (0.4-0.7 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	6.685	6.422	6.466	5.995	5.727	10.292	11.089	11.016	11.013	10.155	14.900	15.787	15.797	14.874	16.030
	Error (%)	15.462	14.542	17.338	8.948	4.918	11.128	22.636	17.719	30.497	9.322	14.950	22.869	20.183	15.114	24.044
	น้ำหนักเพลาลัง	4.682	4.186	4.214	4.675	5.130	11.364	10.990	10.831	10.960	11.733	17.664	17.167	17.189	17.781	16.955
	Error (%)	-20.042	-26.232	-40.220	-23.221	-24.662	-16.040	-21.847	-26.168	-24.378	-12.277	1.116	-6.863	4.503	-0.238	-1.062
	น้ำหนักรวม	11.368	10.608	10.680	10.669	10.857	21.656	22.079	21.847	21.973	21.888	32.564	32.954	32.986	32.654	32.986
	Error (%)	-2.391	-5.967	-14.968	-7.950	-11.500	-5.003	-4.439	-9.076	-4.183	-3.424	7.008	5.350	11.468	6.214	9.731
ความเร็วสูง (0.8-1.2 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	6.002	6.337	6.351	6.390	6.255	10.991	10.466	10.638	10.572	10.890	16.465	16.358	16.411	15.900	16.732
	Error (%)	6.056	15.188	14.314	17.476	14.868	21.094	15.224	18.754	17.547	18.479	30.661	28.868	29.409	25.235	31.797
	น้ำหนักเพลาลัง	4.471	4.469	4.630	4.495	4.455	9.918	10.814	10.893	10.735	10.863	13.744	14.863	14.910	15.543	13.767
	Error (%)	-27.229	-31.225	-28.735	-34.989	-31.967	-31.286	-24.611	-22.006	-25.158	-20.077	-21.098	-12.378	-15.454	-8.200	-18.660
	น้ำหนักรวม	10.473	10.806	10.981	10.885	10.709	20.909	21.280	21.531	21.307	21.752	30.209	31.221	31.321	31.443	30.499
	Error (%)	-11.270	-9.947	-8.890	-11.888	-10.702	-11.064	-9.166	-6.078	-8.701	-4.522	0.629	5.276	3.312	6.128	2.966

หมายเหตุ : ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาน้ำ น้ำหนักเพลาลัง และน้ำหนักรวม อ้างอิงจากค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถ

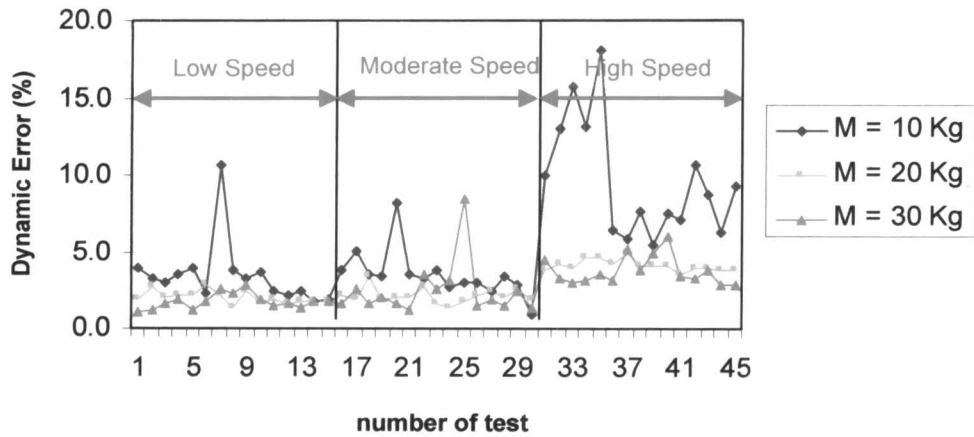
เมื่อพิจารณากรณีที่สะพานมีความขรุขระ จากรูปที่ 6.14 ถึง 6.17 จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ของทั้งน้ำหนักเพลาหน้า เพลาหลัง และน้ำหนักรวมนั้น มีค่าความคลาดเคลื่อนที่สูง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับความขรุขระของพื้นผิวสะพาน ดังนั้นเพื่อที่จะวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพในการหาค่าน้ำหนักทางพลศาสตร์ จึงได้ทำการหาค่าอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุด (maximum) ต่อค่าเฉลี่ยของน้ำหนักหรือแรงที่เก็บวัดได้หรือหาค่าได้ เรียกว่าค่า "Impact Factor" ดังสมการที่ 6.2 และ 6.3 ซึ่งค่า Impact Factor นี้จะเป็นสัดส่วนที่ทำให้เราทราบได้ว่าค่าแรงหรือน้ำหนักในเพลารถที่เก็บวัดได้หรือหาค่าได้นั้น มีลักษณะที่กวัดแกว่งเนื่องจากการสั่นสะเทือนของรถบรรทุกมากน้อยเท่าใด ซึ่งหากค่า Impact Factor มีค่ามากแสดงว่าแรงหรือน้ำหนักที่เก็บวัดหรือหาค่าได้นั้นมีความแปรปรวนสูง และหากค่า Impact Factor มีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่าแรงหรือน้ำหนักที่เก็บวัดหรือหาค่าได้นั้นมีความแปรปรวนน้อยหรือมีลักษณะที่ราบเรียบมาก

$$\text{Impact Factor ของน้ำหนักที่เก็บวัดได้} = \frac{\max(\mathbf{f}_{measure})}{\text{mean}(\mathbf{f}_{measure})} \quad (6.2)$$

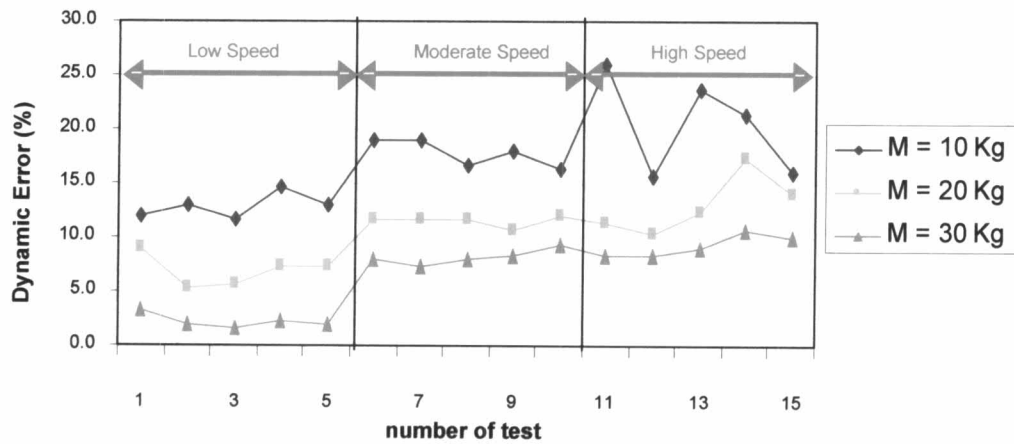
$$\text{Impact Factor ของน้ำหนักที่หาค่าได้} = \frac{\max(\mathbf{f}_{iden})}{\text{mean}(\mathbf{f}_{iden})} \quad (6.3)$$

โดยที่ $\max(\dots)$ หมายถึงค่าสูงสุดของข้อมูล
 $\text{mean}(\dots)$ หมายถึงค่าเฉลี่ยของข้อมูล

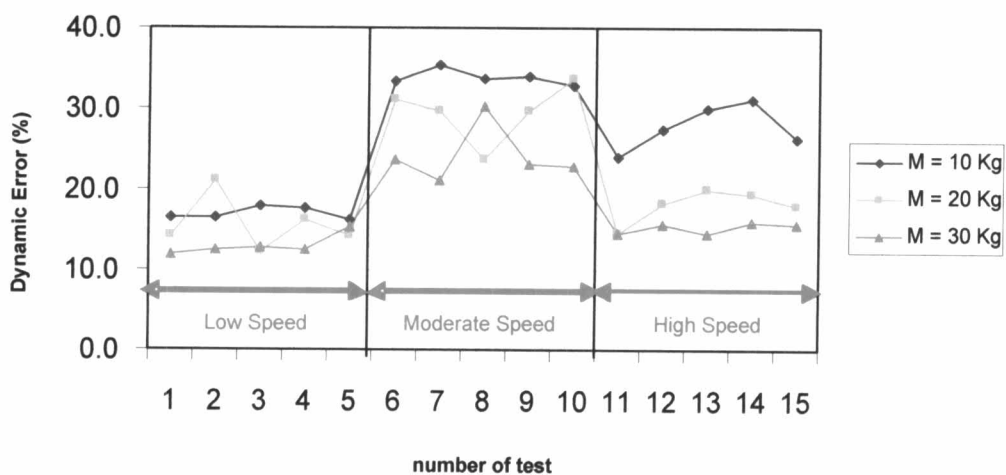
จากตารางที่ 6.7 และ 6.8 ซึ่งแสดงค่า Impact Factor ของแรงที่วัดได้จากเพลารถด้วยอุปกรณ์วัดแรงพลศาสตร์และค่า Impact Factor ของแรงที่ทำการหาค่าได้เมื่อเคลื่อนรถบรรทุกผ่านสะพานที่มีพื้นผิวราบเรียบและมีความขรุขระเล็กน้อยตามลำดับ พบว่าทั้งสองกรณีค่า Impact Factor ของแรงที่หาค่าได้นั้นจะมีค่าต่ำกว่าค่า Impact Factor ของแรงที่วัดได้ ซึ่งเป็นผลจากค่าเรกูลาร์ไรเซชันพารามิเตอร์ (λ) เนื่องจากในขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) จำเป็นต้องใช้พารามิเตอร์ λ เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดสภาวะบกพร่อง (ill-condition) ของระบบสมการ แต่การใช้วิธีเรกูลาร์ไรเซชันนี้จะเป็นผลให้ค่าแรงที่หาค่าได้มีความราบเรียบมากขึ้น ซึ่งจากผลการทดสอบที่ได้แสดงว่าค่าเรกูลาร์ไรเซชันพารามิเตอร์ λ ที่ใช้นี้ทำให้ค่าแรงที่หาค่าได้มีกรกวัดแกว่งน้อยกว่าค่าแรงที่เกิดขึ้นจริง ดังตัวอย่างการทดสอบกรณีรถบรรทุกหนัก 30 กก. และเคลื่อนที่บนสะพานที่ไม่มีความขรุขระด้วยความเร็วปานกลาง ดังรูปที่ 6.18 แสดงค่าแรงของรถบรรทุกที่หาค่าได้กับค่าแรงที่เกิดขึ้นจริงจากที่เก็บวัดได้ จะเห็นว่าค่าแรงทั้งสองมีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน และมีเฟสที่สอดคล้องกัน แต่ค่าแอมพลิจูดหรือการกวัดแกว่งของค่าแรงที่หาค่าได้จะมีค่าน้อยกว่าค่าแรงที่ทำการเก็บวัด และเมื่อทดสอบด้วยรูปแบบเดียวกันแต่ทำการเพิ่มระดับความขรุขระของพื้นผิวสะพานเล็กน้อย จะเห็นได้ชัดเจนว่าค่าแรงที่ทำการหาค่าได้ไม่สามารถหาค่าได้ละเอียดให้มีระดับแอมพลิจูดเทียบเท่ากับที่วัดได้จริง



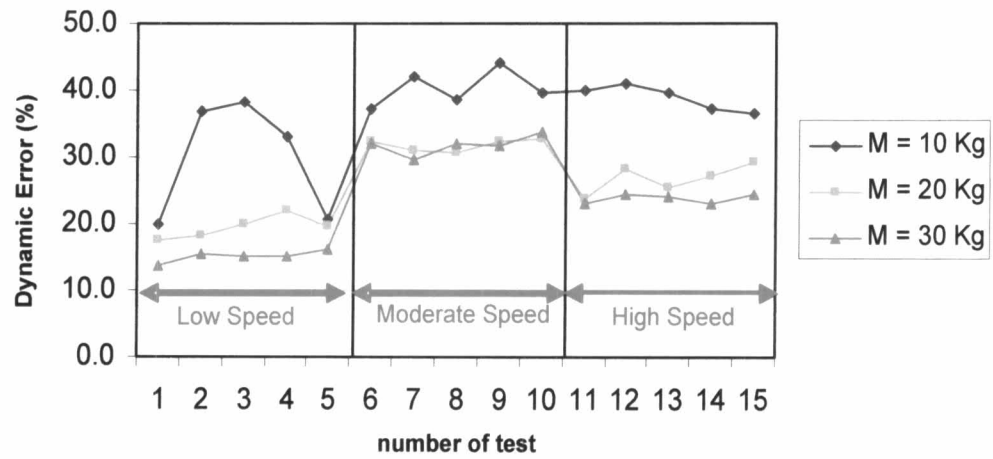
รูปที่ 6.14 ค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ที่ระดับมวลและความเร็วของรถบรรทุกที่แตกต่างกัน เมื่อพื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระ



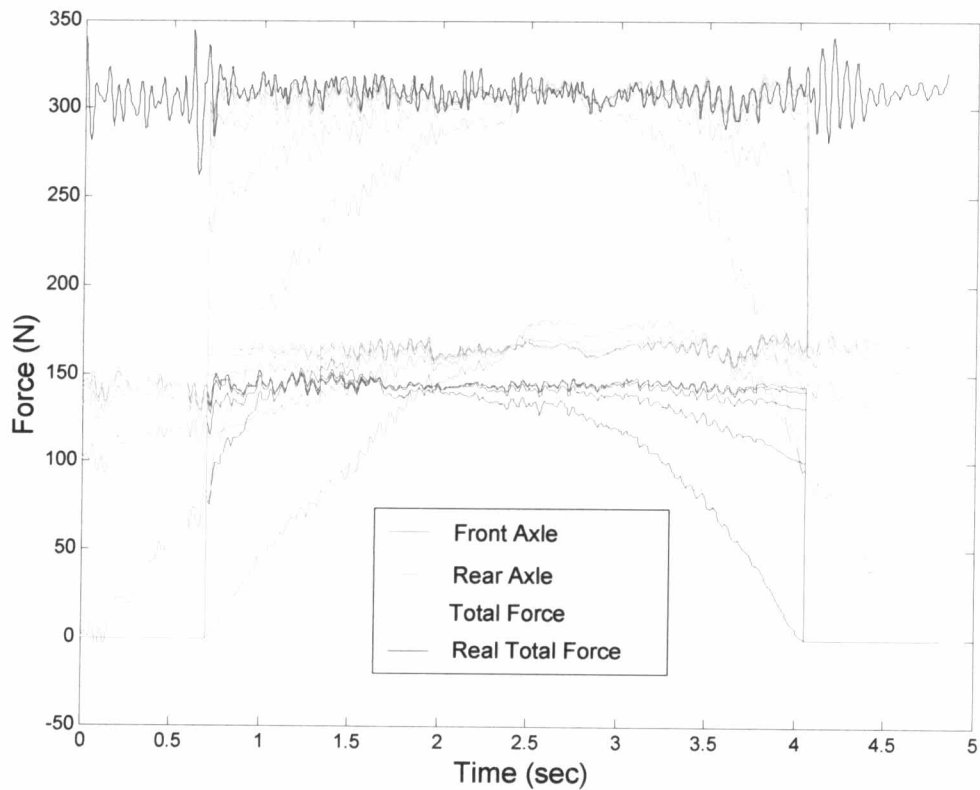
รูปที่ 6.15 ค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ที่ระดับมวลและความเร็วของรถบรรทุกที่แตกต่างกัน เมื่อพื้นผิวสะพานมีความขรุขระเล็กน้อย



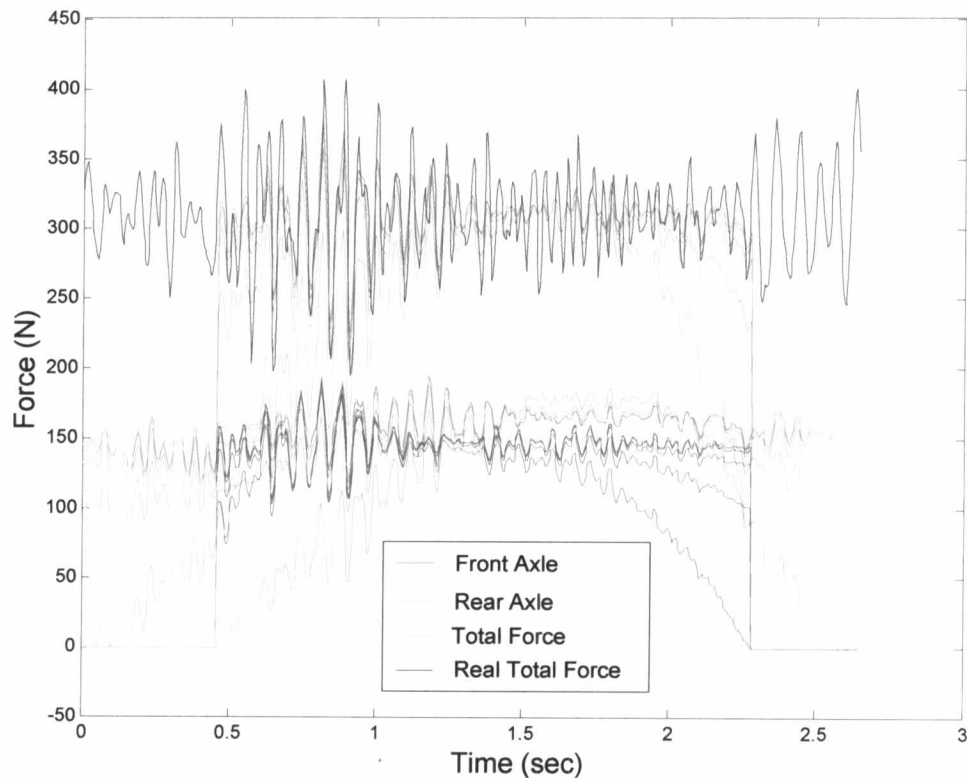
รูปที่ 6.16 ค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ที่ระดับมวลและความเร็วของรถบรรทุกที่แตกต่างกัน เมื่อพื้นผิวสะพานมีความขรุขระปานกลาง



รูปที่ 6.17 ค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ที่ระดับมวลและความเร็วของรถบรรทุกที่แตกต่างกัน เมื่อพื้นผิวสะพานมีความขรุขระมาก

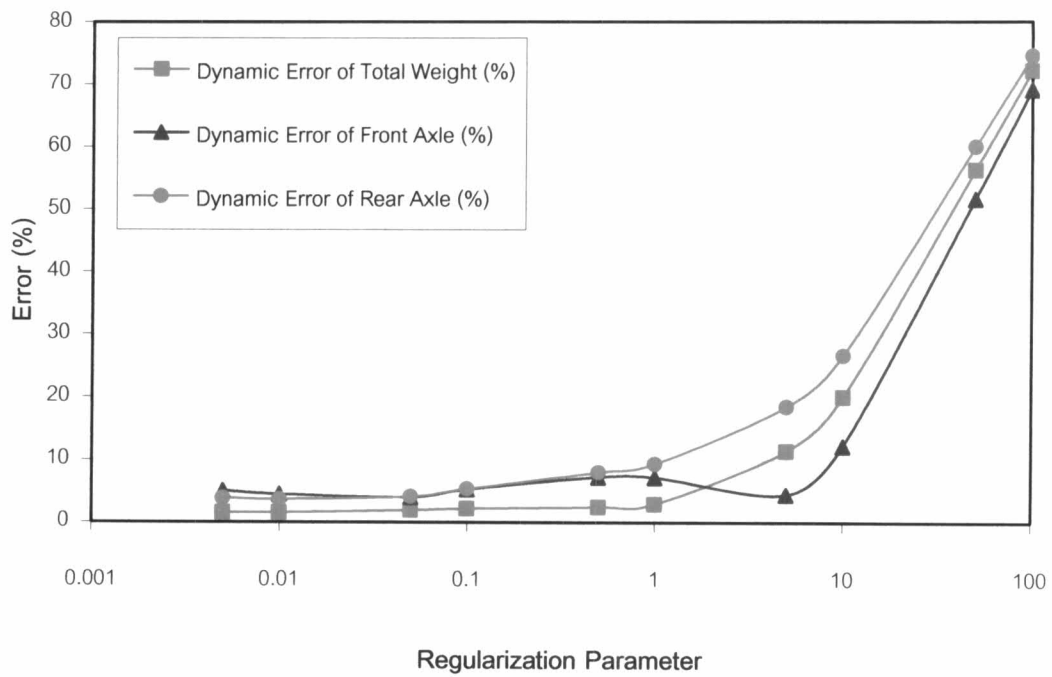


รูปที่ 6.18 เปรียบเทียบลักษณะแรงที่เก็บวัดได้และทำการหายไป เมื่อเคลื่อนที่รถบรรทุกหนัก 30 กก. ด้วยความเร็วปานกลาง ผ่านสะพานที่พื้นผิวราบเรียบ

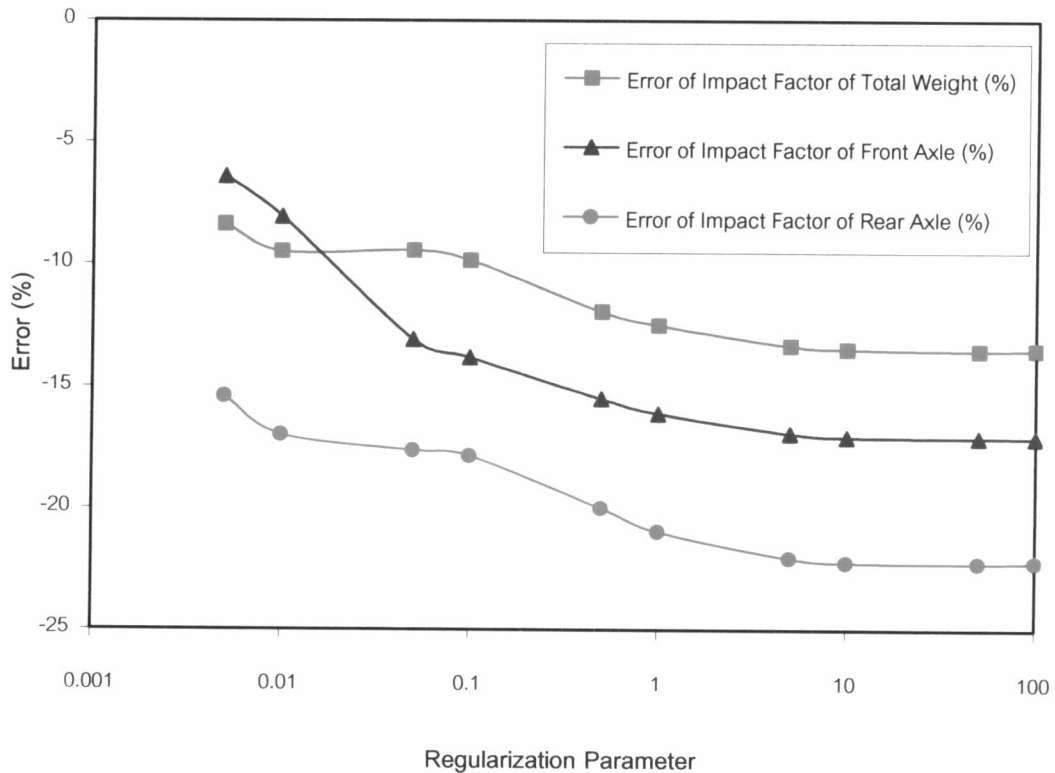


รูปที่ 6.19 เปรียบเทียบลักษณะแรงที่เกิดขึ้นและทำการหายได้ เมื่อเคลื่อนที่รถบรรทุกหนัก 30 กก. ด้วยความเร็วปานกลาง ผ่านสะพานที่พื้นผิวขรุขระ

เพื่อที่จะศึกษาความสามารถในการหายแรงพลศาสตร์ จึงทำการปรับค่าเรกูลาร์ไรเซชันพารามิเตอร์ (λ) ที่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อใช้สัญญาณความเครียดเดียวกันกับที่ได้ในรูปที่ 6.18 จะได้ผลของค่าพารามิเตอร์ (λ) และค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ดังรูปที่ 6.20 พบว่าการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ λ นั้นมีผลต่อประสิทธิภาพในการหายน้ำหนักทางพลศาสตร์เพียงเล็กน้อยหากใช้ค่าพารามิเตอร์ในช่วงที่เหมาะสมในการใช้งาน (0.01 ถึง 1.0) แต่เมื่อพิจารณาจากค่า Impact Factor ดังรูปที่ 6.21 ซึ่งจะพบว่าเมื่อเพิ่มค่าพารามิเตอร์ λ ให้สูงขึ้น ค่า Impact Factor ของน้ำหนักที่หายได้จะมีค่าลดลง และต่ำกว่าค่า Impact Factor ของน้ำหนักจริง สังเกตได้จากค่าความคลาดเคลื่อนที่แสดงเครื่องหมายลบนั่นเอง ซึ่งจากกราฟทั้งสองนี้แสดงให้เห็นว่า ถึงแม้ว่าค่าน้ำหนักที่หายได้นั้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนทั้งทางสถิติและทางพลศาสตร์ที่ต่ำ แต่ลักษณะของน้ำหนักที่หายได้นั้นจะมีการกวัดแกว่งได้ไม่เท่ากับแรงที่เกิดขึ้นจริง และจะมีค่าที่ราบเรียบกว่า



รูปที่ 6.20 ค่าความคลาดเคลื่อนทางพลศาสตร์ของน้ำหนักเพลหน้า เพลหลังและน้ำหนักรวมที่หายได้ที่ระดับค่าเรกูลาร์ไรเซชันพารามิเตอร์ (λ) ที่แตกต่างกัน



รูปที่ 6.21 ค่าความคลาดเคลื่อนของค่า Impact Factor น้ำหนักเพลหน้า เพลหลังและน้ำหนักรวมที่หายได้ที่ระดับค่าเรกูลาร์ไรเซชันพารามิเตอร์ (λ) ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 6.7 ค่า Impact Factor ของน้ำหนักรถบรรทุกที่เก็บวัดได้และที่ทำการทนายได้ กรณีเคลื่อนที่ ณ กึ่งกลางสะพาน และสะพานไม่มีความขรุขระ

Impact Factor (รวมเรียบ)		น้ำหนักรถบรรทุกจำลองเท่ากับ 10 กก.					น้ำหนักรถบรรทุกจำลองเท่ากับ 20 กก.					น้ำหนักรถบรรทุกจำลองเท่ากับ 30 กก.				
		การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ความเร็วรถต่ำ (0.1-0.3 m/s)	เปลาน้ำ (วัดได้)	1.075	1.116	1.094	1.089	1.060	1.092	1.092	1.126	1.094	1.077	1.189	1.213	1.156	1.230	1.179
	เปลาน้ำ (ทนายได้)	1.071	1.062	1.084	1.067	1.051	1.039	1.051	1.046	1.047	1.037	1.031	1.048	1.045	1.033	1.057
	เปลาน้ำ (วัดได้)	1.554	1.113	1.157	1.137	1.164	1.108	1.102	1.102	1.094	1.114	1.127	1.137	1.148	1.095	1.204
	เปลาน้ำ (ทนายได้)	1.046	1.064	1.069	1.061	1.062	1.057	1.051	1.049	1.045	1.042	1.048	1.047	1.061	1.045	1.061
	น้ำหนักรวม (วัดได้)	1.195	1.054	1.057	1.065	1.043	1.042	1.059	1.053	1.038	1.066	1.076	1.100	1.088	1.104	1.101
	น้ำหนักรวม (ทนายได้)	1.047	1.060	1.055	1.062	1.041	1.042	1.035	1.037	1.034	1.027	1.032	1.028	1.049	1.028	1.036
ความเร็วรถปานกลาง (0.4-0.7 m/s)	เปลาน้ำ (วัดได้)	1.156	1.289	1.261	1.251	1.357	1.337	1.173	1.320	1.195	1.210	1.176	1.278	1.200	1.220	1.228
	เปลาน้ำ (ทนายได้)	1.139	1.155	1.153	1.111	1.285	1.099	1.081	1.178	1.151	1.117	1.044	1.064	1.063	1.061	1.050
	เปลาน้ำ (วัดได้)	1.260	1.433	1.466	1.384	1.242	1.318	1.311	1.295	1.291	1.272	1.280	1.230	1.216	1.302	1.266
	เปลาน้ำ (ทนายได้)	1.096	1.122	1.113	1.121	1.125	1.062	1.065	1.089	1.056	1.055	1.045	1.071	1.061	1.073	1.080
	น้ำหนักรวม (วัดได้)	1.115	1.211	1.221	1.183	1.175	1.171	1.174	1.155	1.144	1.113	1.136	1.152	1.116	1.168	1.143
	น้ำหนักรวม (ทนายได้)	1.106	1.121	1.090	1.078	1.155	1.043	1.050	1.098	1.069	1.056	1.026	1.054	1.037	1.058	1.043
ความเร็วรถสูง (0.8-1.2 m/s)	เปลาน้ำ (วัดได้)	1.454	1.423	1.564	1.696	1.670	1.205	1.299	1.279	1.330	1.309	1.218	1.248	1.244	1.209	1.253
	เปลาน้ำ (ทนายได้)	1.149	1.227	1.222	1.193	1.232	1.107	1.164	1.121	1.092	1.113	1.122	1.104	1.098	1.090	1.107
	เปลาน้ำ (วัดได้)	1.704	1.766	1.828	1.781	1.677	1.367	1.366	1.312	1.304	1.294	1.325	1.362	1.291	1.222	1.260
	เปลาน้ำ (ทนายได้)	1.184	1.226	1.407	1.260	1.852	1.080	1.094	1.095	1.108	1.113	1.091	1.061	1.095	1.081	1.100
	น้ำหนักรวม (วัดได้)	1.263	1.278	1.336	1.297	1.314	1.153	1.145	1.168	1.179	1.163	1.147	1.125	1.126	1.130	1.151
	น้ำหนักรวม (ทนายได้)	1.114	1.120	1.183	1.174	1.246	1.056	1.087	1.081	1.085	1.110	1.066	1.060	1.074	1.066	1.078

ตารางที่ 6.8 ค่า Impact Factor ของน้ำนักรบรทุกที่เก็บวัดได้และที่ทำการทายได้ กรณีเคลื่อนที่ ณ กึ่งกลางสะพาน และสะพานมีความขรุขระเล็กน้อย

Impact Factor (ขรุขระน้อย)		น้ำนักรบรทุกจำลองเท่ากับ 10 กก.					น้ำนักรบรทุกจำลองเท่ากับ 20 กก.					น้ำนักรบรทุกจำลองเท่ากับ 30 กก.				
		การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ความเร็วต่ำ (0.1-0.3 m/s)	เปลาน้ำ (วัดได้)	1.465	1.393	1.515	1.532	1.498	1.427	1.395	1.462	1.445	1.343	1.269	1.204	1.195	1.182	1.256
	เปลาน้ำ (ทายได้)	1.283	1.291	1.164	1.318	1.269	1.184	1.140	1.130	1.270	1.160	1.185	1.115	1.115	1.104	1.171
	เปลาน้ำ (วัดได้)	1.471	1.420	1.475	1.412	1.405	1.305	1.251	1.245	1.276	1.219	1.234	1.141	1.150	1.133	1.165
	เปลาน้ำ (ทายได้)	1.361	1.204	1.338	1.370	1.222	1.177	1.154	1.169	1.148	1.189	1.130	1.107	1.079	1.092	1.106
	น้ำนักรวม (วัดได้)	1.264	1.254	1.205	1.269	1.198	1.215	1.158	1.179	1.209	1.168	1.184	1.098	1.134	1.081	1.174
	น้ำนักรวม (ทายได้)	1.222	1.169	1.147	1.220	1.154	1.154	1.103	1.118	1.161	1.138	1.121	1.082	1.082	1.069	1.107
ความเร็วปานกลาง (0.4-0.7 m/s)	เปลาน้ำ (วัดได้)	2.002	1.882	1.732	1.769	1.887	1.685	1.895	1.949	1.740	1.748	1.482	1.628	1.586	1.525	1.556
	เปลาน้ำ (ทายได้)	1.346	1.492	1.559	1.506	1.575	1.343	1.511	1.533	1.342	1.387	1.222	1.286	1.309	1.282	1.281
	เปลาน้ำ (วัดได้)	2.421	2.270	2.098	2.080	2.084	1.623	1.684	1.758	1.501	1.667	1.400	1.462	1.440	1.416	1.451
	เปลาน้ำ (ทายได้)	1.374	1.350	1.418	1.364	1.512	1.251	1.398	1.418	1.236	1.331	1.194	1.193	1.204	1.221	1.196
	น้ำนักรวม (วัดได้)	1.953	1.719	1.574	1.624	1.666	1.401	1.697	1.707	1.391	1.545	1.341	1.293	1.319	1.387	1.359
	น้ำนักรวม (ทายได้)	1.293	1.262	1.359	1.322	1.419	1.259	1.449	1.470	1.235	1.343	1.168	1.226	1.236	1.177	1.217
ความเร็วสูง (0.8-1.2 m/s)	เปลาน้ำ (วัดได้)	2.131	1.811	2.069	1.980	1.916	1.560	1.487	1.520	1.597	1.496	1.479	1.438	1.491	1.604	1.539
	เปลาน้ำ (ทายได้)	1.343	1.531	1.283	1.423	1.447	1.276	1.208	1.183	1.260	1.308	1.172	1.212	1.240	1.252	1.241
	เปลาน้ำ (วัดได้)	1.879	1.786	1.951	1.968	1.842	1.691	1.792	1.743	1.894	1.753	1.502	1.615	1.531	1.605	1.617
	เปลาน้ำ (ทายได้)	1.568	1.464	1.723	1.513	1.377	1.277	1.198	1.305	1.425	1.342	1.162	1.244	1.292	1.317	1.340
	น้ำนักรวม (วัดได้)	1.568	1.418	1.571	1.600	1.629	1.430	1.409	1.428	1.436	1.436	1.314	1.278	1.364	1.387	1.356
	น้ำนักรวม (ทายได้)	1.408	1.410	1.238	1.285	1.286	1.157	1.130	1.156	1.205	1.187	1.143	1.202	1.247	1.260	1.256

อย่างไรก็ตาม ในการนำระบบการหาน้ำหนักนี้ไปใช้งานจริง เพื่อหาค่าแรงทางสถิติของรถบรรทุก จึงไม่จำเป็นที่จะต้องให้ค่าน้ำหนักที่หายได้มีความสามารถในการหาค่าแรงทางพลศาสตร์ได้ละเอียด และในการใช้งานจริงจำเป็นจะต้องเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ λ ที่มีค่าไม่น้อยจนเกินไป เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดสภาวะบัพพร้อมในขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) ดังนั้นการใช้ค่าเรกูลาร์ไรเซชันพารามิเตอร์ (λ) ที่สะดวกต่อการทำงาน และให้ค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติมีค่าน้อยที่สุด จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำไปใช้งานจริง

6.2 การหาน้ำหนักรถบรรทุกซึ่งเคลื่อนที่บนสะพานต่อเนื่อง

6.2.1 อิทธิพลของค่าเริ่มต้นของผลตอบสนองของสะพานที่มีต่อประสิทธิภาพในการทายน้ำหนัก

เนื่องจากพฤติกรรมของรถบรรทุกที่เคลื่อนที่บนสะพานต่อเนื่องนั้น จะแตกต่างกับกรณีเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวแบบธรรมดา ดังที่ได้อธิบายไปแล้วในบทที่ 4 ซึ่งจะต้องทำการตัดสัญญาณความเครียดของสะพานช่วงต้น และช่วงปลายออกให้เหลือเฉพาะช่วงที่เพลลาของรถบรรทุกทั้งสองเพลลาอยู่บนสะพานช่วงหลัก ดังนั้นพฤติกรรมของสะพานในตำแหน่งแรกๆของข้อมูลที่จะนำมาเข้าสู่ขั้นตอนการหาน้ำหนักนั้น จึงมีการสั้นไหวอยู่ก่อนแล้วตั้งแต่ที่รถบรรทุกเคลื่อนที่เข้าสู่สะพานช่วงแรก ทำให้ค่าของผลตอบสนองของสะพานคือเวกเตอร์ \mathbf{X} นั้นมีค่าไม่เท่ากับศูนย์ ซึ่งในการทดสอบกรณีสะพานช่วงเดียวแบบธรรมดานั้น ผลตอบสนองของสะพาน ณ จุดเริ่มต้นจะมีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากสะพานไม่มีการสั้นไหวอยู่ก่อนที่รถบรรทุกจะเคลื่อนที่เข้าสู่สะพาน ทำให้การป้อนข้อมูลเริ่มต้นของเวกเตอร์ \mathbf{X} นั้นสามารถกำหนดให้เท่ากับศูนย์ได้ แต่ในกรณีที่สะพานทดสอบเป็นแบบสะพานต่อเนื่องนั้น จำเป็นจะต้องศึกษาผลของค่าเริ่มต้นของผลตอบสนองของสะพานนี้เสียก่อน โดยการแปรค่าเริ่มต้นของผลตอบสนองของสะพานที่แตกต่างกัน และเปรียบเทียบผลการหาน้ำหนักที่ได้ โดยมีหลักการในการสมมติค่าเริ่มต้นของเวกเตอร์ \mathbf{X} ดังนี้

1. สมมติการแอ่นตัวของสะพานให้มีลักษณะเป็นฟังก์ชันไซน์

$$y = A \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) \quad (6.4)$$

2. สามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดกับฟังก์ชันของการแอ่นตัวได้ดังสมการที่ (6.5)

$$\frac{d^2 y(x)}{dx^2} = \frac{\mathbf{M}}{EI} = \frac{\boldsymbol{\varepsilon}}{\delta} \quad (6.5)$$

3. ทำการหาค่าสัมประสิทธิ์ A ด้วยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimization) โดยใช้หลักการยกกำลังสองน้อยที่สุด (least squares) กับค่าความเครียดที่เก็บวัดได้เมื่อรถอยู่ในที่ตำแหน่งล้อยหลังเข้าสู่สะพาน

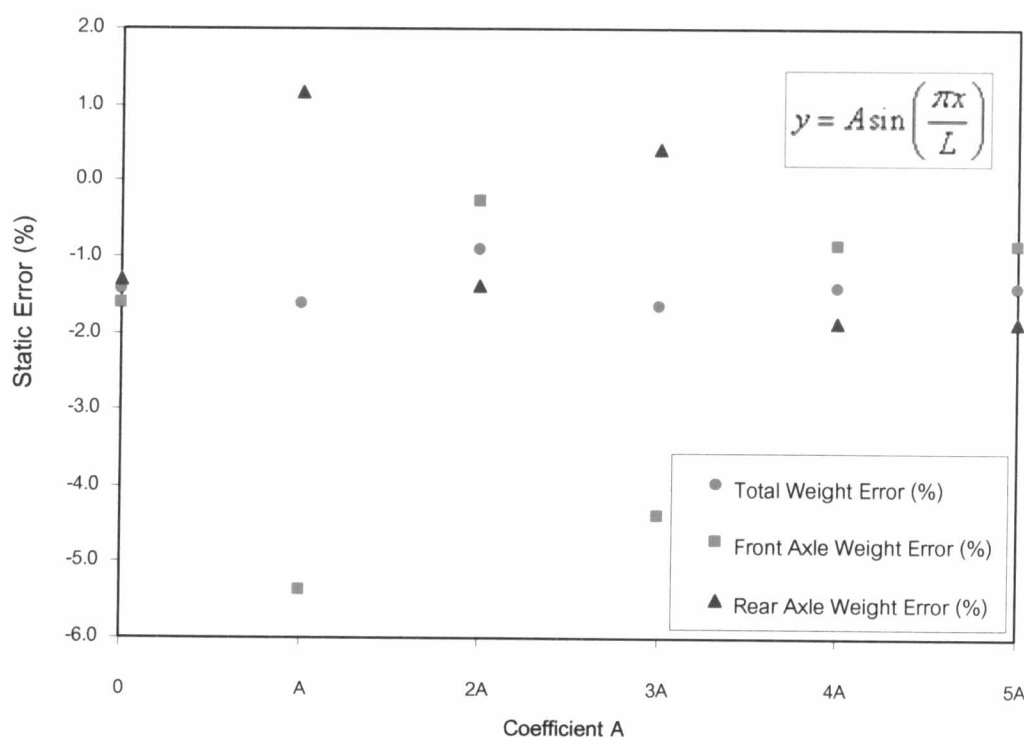
4. ผลตอบสนองของสะพาน หาได้จากการเปลี่ยนตำแหน่งและความเร็วที่ขั้วของแต่ละเอลิเมนต์ซึ่งคำนวณได้จากฟังก์ชันที่ได้

5. นำผลตอบสนองของสะพานที่หาได้เป็นค่าเริ่มต้นของเวกเตอร์ \mathbf{X} และนำเข้าสู่ขั้นตอนการหาน้ำหนักต่อไป

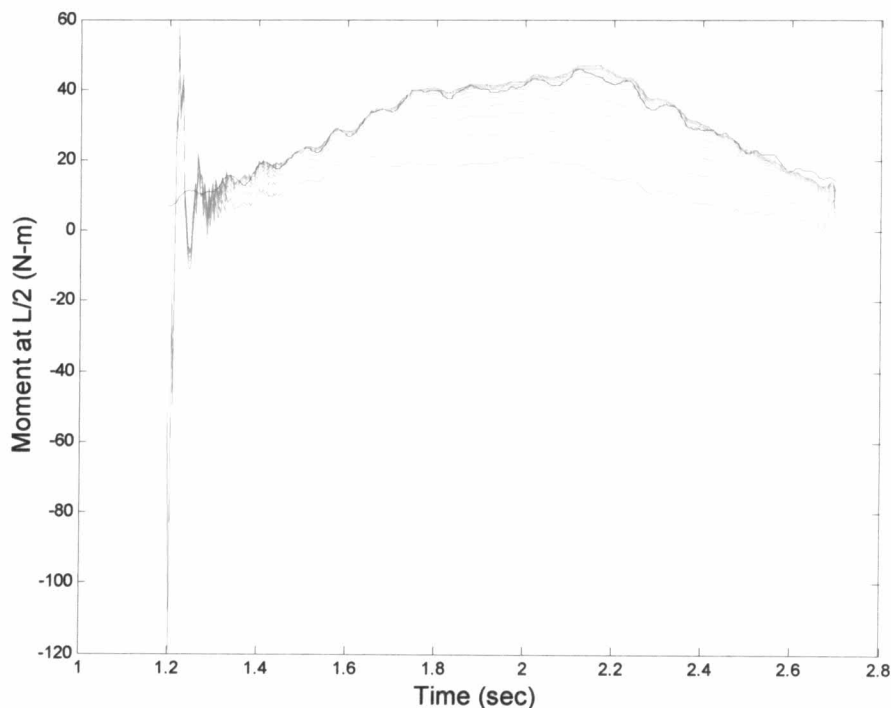
6. การปรับค่าเริ่มต้นของผลตอบสนองของสะพานที่แตกต่างกัน ทำได้โดยการปรับค่าสัมประสิทธิ์ A ให้ลดลงหรือเพิ่มขึ้นด้วยการคูณด้วยค่าคงที่ ซึ่งในการทดสอบนี้จะทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ A เป็นจำนวนเท่าใดก็ได้แก่ค่า

A เท่ากับ $0, A, 2A, 3A, 4A$ และ $5A$ โดยผลการทดสอบที่ได้จะทำการพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติของน้ำหนักรวมของรถบรรทุกกับระดับค่าเริ่มต้นของผลตอบสนอง ดังรูปที่ 6.22

จากรูปที่ 6.22 จะเห็นว่าค่าเริ่มต้นของผลตอบสนองของสะพานนั้นมีผลต่อค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมเล็กน้อย และจะเห็นว่าสามารถกำหนดค่าเริ่มต้นนี้ให้เท่ากับศูนย์ได้ และรูปที่ 6.23 เป็นลักษณะของค่าโมเมนต์ดัดที่สร้างขึ้นในแต่ละรอบของการคำนวณซ้ำ กรณีที่สัมประสิทธิ์ A มีค่าเป็น 5 เท่า ซึ่งจะพบว่าจะมีผลต่อค่าน้ำหนักที่หายได้เพียงเฉพาะช่วงต้นเท่านั้น จึงทำให้น้ำหนักที่ทางสถิติหายได้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน การทดสอบจึงกำหนดค่าเริ่มต้นของผลตอบสนองของสะพานนี้ให้มีค่าเท่ากับศูนย์ เช่นเดียวกับกรณีทดสอบด้วยสะพานแบบช่วงเดียว โดยผลการทดสอบกรณีที่พื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระแสดงดังตารางที่ 6.9 และ 6.10 เมื่อสะพานมีค่า Continuity index เท่ากับ 0.8 และ 0.7 ตามลำดับ และใช้ค่าเรกูลาร์ไรเซชันพารามิเตอร์เท่ากับ 0.05 เช่นเดียวกับกรณีทดสอบด้วยสะพานช่วงเดียวแบบธรรมดา



รูปที่ 6.22 ผลกระทบของค่าเริ่มต้นของผลตอบสนองของสะพานต่อค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติของน้ำหนักรวมของรถบรรทุก

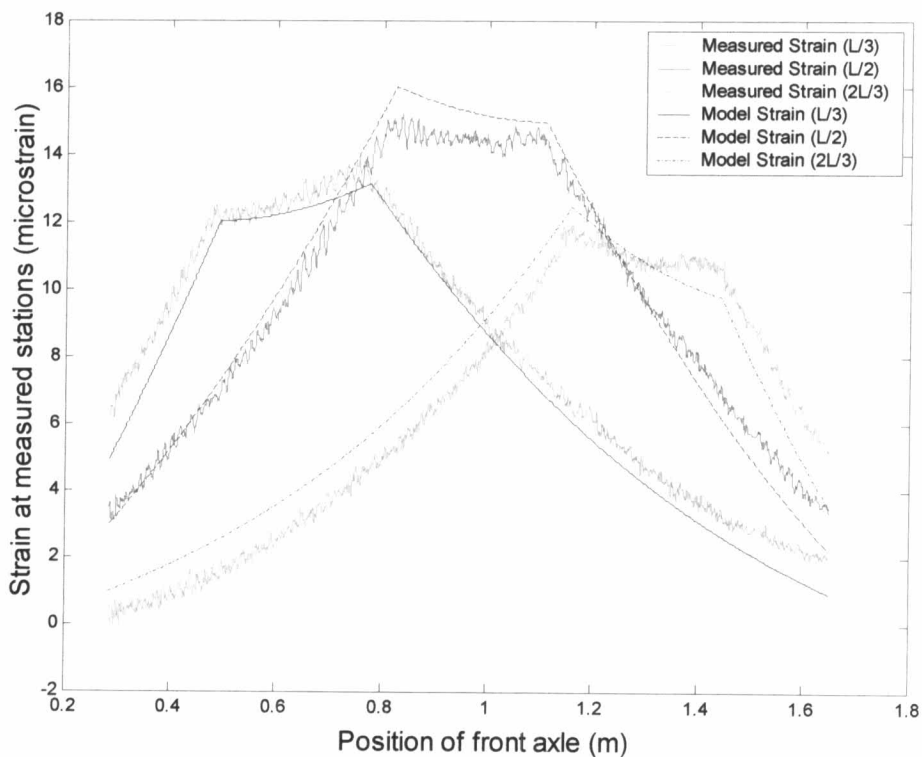


รูปที่ 6.23 ลักษณะของโมเมนต์ดัดที่หน้าตัด L/2 ที่สร้างขึ้นในแต่ละรอบของการคำนวณซ้ำ กรณีที่สัมประสิทธิ์ A มีค่าเป็น 5 เท่า

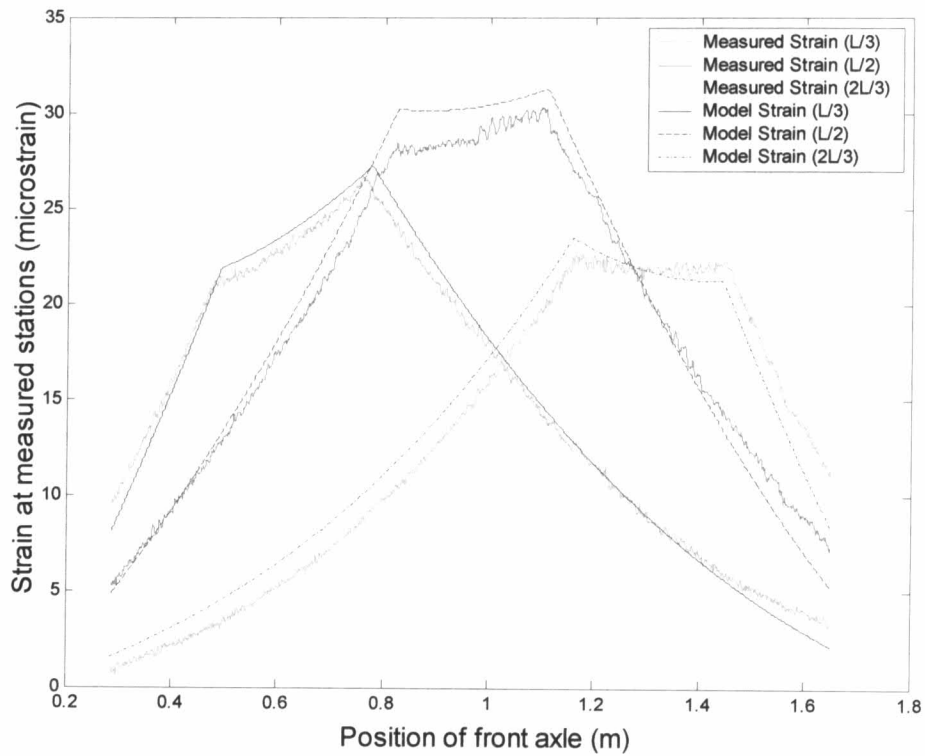
6.2.2 อิทธิพลของค่าปรับเทียบของแบบจำลองสะพานต่อเนื้อที่มีต่อประสิทธิภาพในการทำนายน้ำหนัก

จากผลการทดสอบที่ได้ พบว่ากรณีที่ใช้แบบจำลองสะพานที่มีความยาวช่วงหลักเท่ากับ 1.30 เมตร และมีค่า Continuity index เท่ากับ 0.7 จะให้ผลการทดสอบที่มีความถูกต้องสูงกว่าและมีความคลาดเคลื่อนที่ต่ำกว่ากรณีที่ใช้แบบจำลองสะพานที่มีความยาวช่วงหลักเท่ากับ 1.30 เมตรและมีค่า Continuity index เท่ากับ 0.8 ซึ่งจากการวิเคราะห์เบื้องต้นเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีทดสอบด้วยสะพานช่วงเดียวที่มีจุดรองรับแบบธรรมดา อาจสันนิษฐานผลการทดสอบได้ว่า น่าจะมีแนวโน้มที่ให้ผลการทดสอบที่ดีขึ้นเมื่อพฤติกรรมของสะพานต่อเนื่องใกล้เคียงกับสะพานช่วงเดียวที่มีจุดรองรับแบบธรรมดา แต่จากผลทดสอบที่ได้นั้น ไม่ได้มีแนวโน้มดังกล่าว โดยสะพานต่อเนื่องที่มีค่าสติฟเนสที่จุดรองรับมากกว่าคือกรณีที่มีค่า Continuity index เท่ากับ 0.7 นั้นกลับให้ผลการทดสอบที่ดีกว่า ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้และเพื่ออธิบายถึงสาเหตุที่เกิดขึ้น จึงทำการพิจารณาลักษณะสัญญาณความเครียดของหน้าตัดสะพานที่เก็บวัดได้ โดยลักษณะของสัญญาณความเครียดของหน้าตัดสะพานกรณีค่า Continuity index เท่ากับ 0.8 เมื่อรถบรรทุกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำและเปรียบเทียบที่น้ำหนักรถทั้ง 3 ระดับ แสดงดังรูปที่ 6.24 ถึง 6.26 ซึ่งจะเห็นว่าที่น้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 10 กก. และ 20 กก. นั้น ค่าความเครียดที่เก็บวัดได้มีค่าคลาดเคลื่อนกับที่คำนวณได้ตามทฤษฎีค่อนข้างชัดเจน ขณะที่กรณีรถบรรทุกหนักเท่ากับ 30 กก. นั้น ค่าความเครียดที่เก็บวัดกับที่คำนวณได้มีค่าที่ใกล้เคียงกัน จึงทำให้ผลการทำนายน้ำหนักเมื่อรถบรรทุกหนัก 30 กก. มีความถูกต้องมากกว่า ซึ่งสาเหตุที่ค่าความเครียดของกรณีรถบรรทุกหนัก 30 กก. มีค่าใกล้เคียงกับทางทฤษฎีน่าจะมีสาเหตุมาจากการปรับเทียบเพื่อหาค่าสติฟเนสของข้อหมุดสปริง เนื่องจากในการปรับเทียบนั้น ได้ทำการปรับเทียบกรณีน้ำหนักรถบรรทุกต่าง ๆ กัน ทั้งสามน้ำหนักพร้อม ๆ กัน ซึ่งกรณีทดสอบที่มีน้ำหนักรถมากกว่า ก็จะมีค่าความเครียดมากกว่า ดังนั้นค่าปรับเทียบ

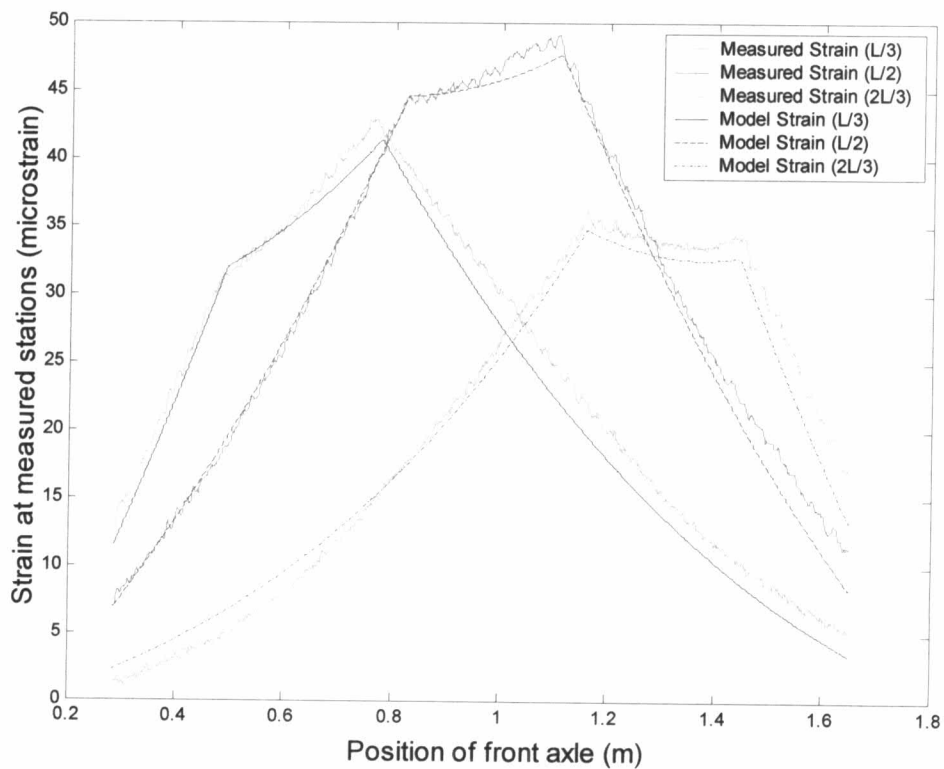
ทั้งค่าสถิติของข้อหมุนสปริงที่ปลายทั้งสองข้าง (k_1 และ k_2) และค่าปรับเทียบจากผลของคุณสมบัติสะพาน (α) จึงมีอิทธิพลต่อกรณีที่น้ำหนักมากซึ่งก็คือกรณีที่รถบรรทุกหนักเท่ากับ 30 กก. นั้นเอง สังเกตได้เช่นเดียวกันกับในกรณีที่สะพานมีค่า Continuity index เท่ากับ 0.7 ซึ่งให้ผลการทดสอบที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำเมื่อรถบรรทุกมีน้ำหนักเท่ากับ 30 กก.



รูปที่ 6.24 ลักษณะสัญญาณความเครียดของหน้าตัดสะพานที่มีค่า Continuity index = 0.8 เมื่อรถบรรทุกจำลองหนัก 10 กก. เคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วต่ำ

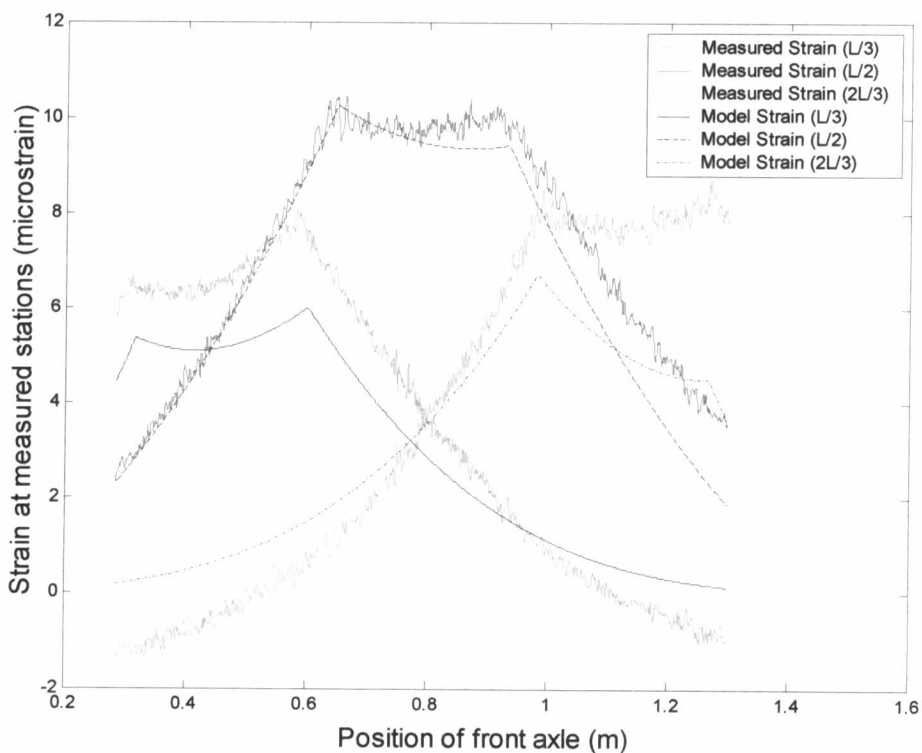


รูปที่ 6.25 ลักษณะสัญญาณความเครียดของหน้าตัดสะพานที่มีค่า Continuity index = 0.8 เมื่อรถบรรทุกจำลองหนัก 20 กก. เคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วต่ำ

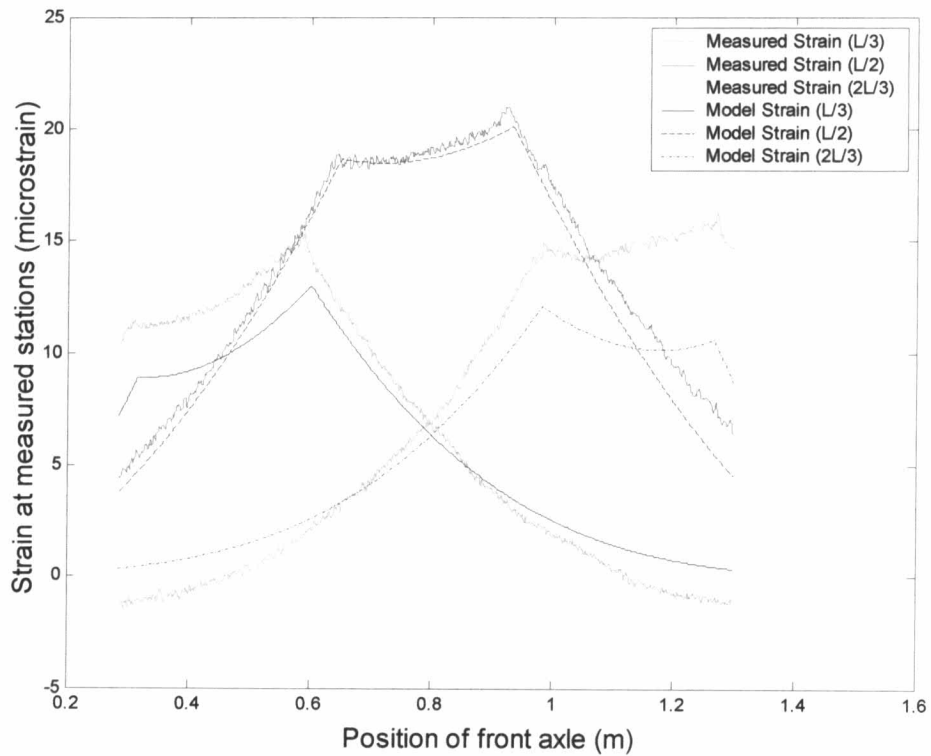


รูปที่ 6.26 ลักษณะสัญญาณความเครียดของหน้าตัดสะพานที่มีค่า Continuity index = 0.8 เมื่อรถบรรทุกจำลองหนัก 30 กก. เคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วต่ำ

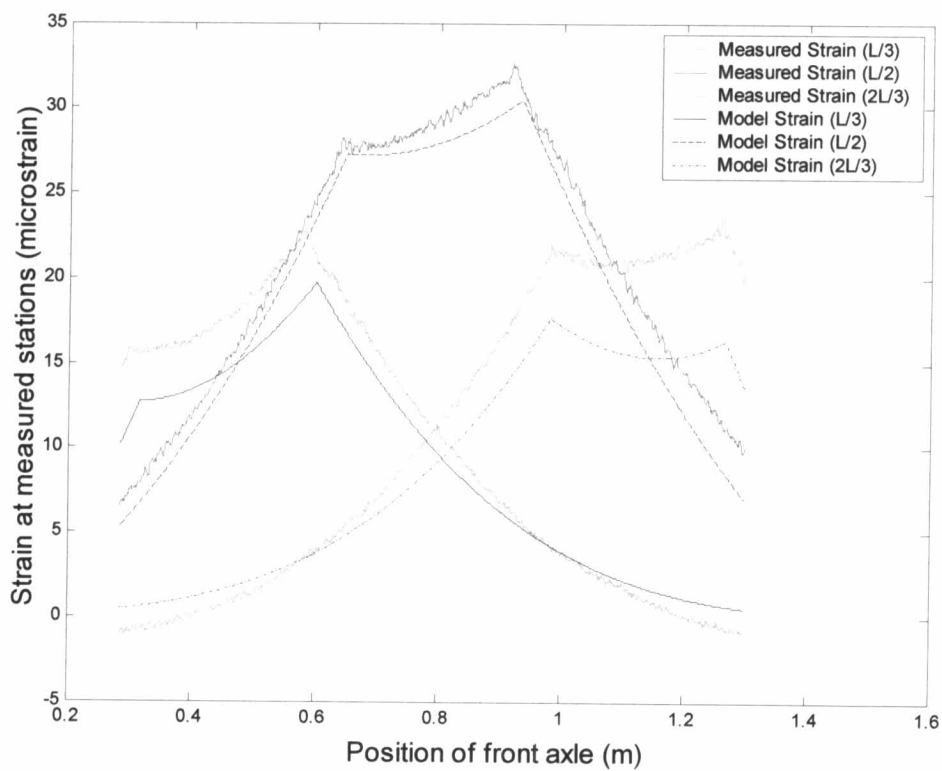
เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาสัญญาณความเครียดกรณีสะพานมีค่า Continuity index = 0.7 ดังรูปที่ 6.27 ถึง 6.29 พบว่าค่าความเครียดที่เก็บวัดได้มีความแตกต่างในรูปแบบเดียวกันกับกรณีแรก แต่จากผลการทดสอบดังตารางที่ 6.9 และ 6.10 จะพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนนั้นดีกว่ากรณีแรกค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงทำการศึกษาถึงผลของค่าปรับเทียบในสะพานแต่ละรูปแบบ โดยทำการวิเคราะห์คานที่มีคุณสมบัติเดียวกับสะพานที่ใช้ในการทดสอบ ด้วยการปรับค่าสตีเฟนสของข้อหมุนสปริงเทียบกับค่า Continuity index ที่เกิดขึ้น จะได้กราฟดังรูปที่ 6.30 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าเมื่อเพิ่มค่าสตีเฟนสของข้อหมุนสปริงให้สูงขึ้น คานจะมีพฤติกรรมเข้าใกล้คานที่มีจุดรองรับแบบยึดแน่น (Continuity index = 0.5) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างสะพานที่มีความยาวช่วงหลักแตกต่างกันจะพบว่าแบบจำลองสะพานที่มีความยาวช่วงหลักมาก เส้นกราฟจะมีความชันที่มากกว่า ซึ่งหมายความว่าสะพานที่มีความยาวช่วงหลักที่ยาวจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่า Continuity index ที่มากกว่าสะพานที่มีความยาวช่วงหลักที่สั้นเมื่อปรับค่าสตีเฟนสของข้อหมุนสปริงเท่า ๆ กัน ดังนั้นสะพานที่มีความยาวช่วงหลักที่ยาวมีผลต่อค่าปรับเทียบมากกว่า ทำให้ค่าปรับเทียบที่คลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย ส่งผลให้สะพานมีพฤติกรรมคลาดเคลื่อนไปมากกว่าด้วยเช่นกัน ขณะที่สะพานที่มีความยาวช่วงหลักที่สั้นนั้น มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า Continuity index ต่อค่าสตีเฟนสของข้อหมุนสปริงที่ต่ำ ทำให้การปรับค่าสตีเฟนส เพียงเล็กน้อย ไม่ได้ทำให้พฤติกรรมของสะพานเปลี่ยนแปลงไปมากนัก จึงทำให้สะพานมีเสถียรภาพของค่าความเครียดและค่าโมเมนต์ดัดที่วัดได้มากกว่า จึงทำให้ผลการทดสอบส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่ให้ความถูกต้องมากกว่านั่นเอง



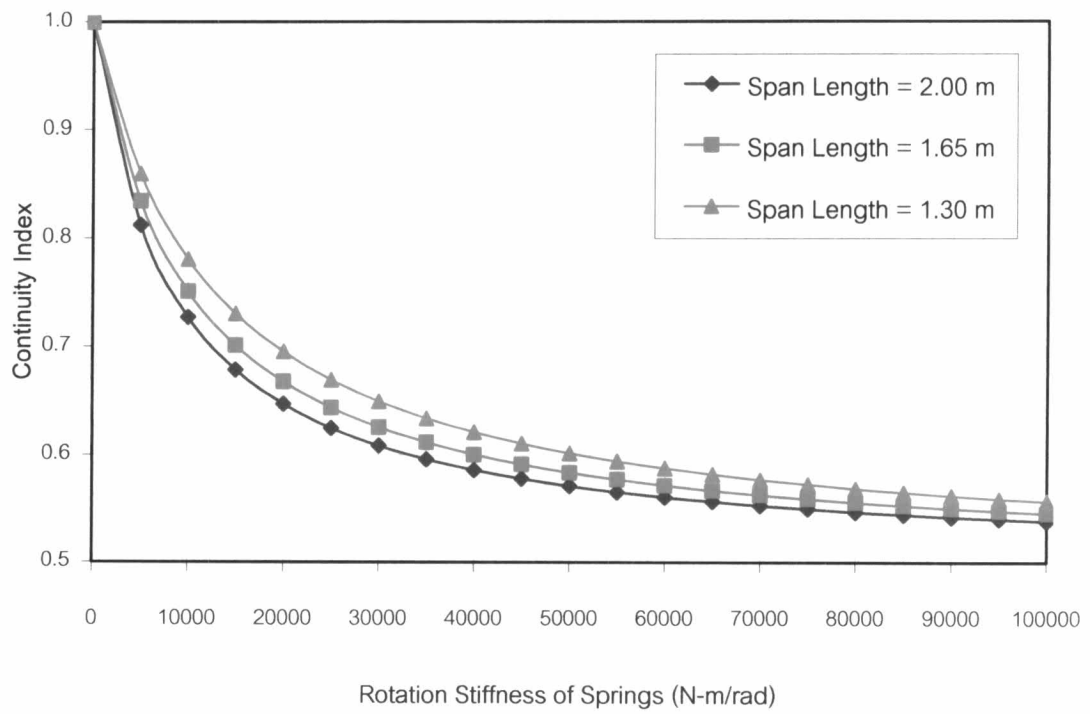
รูปที่ 6.27 ลักษณะสัญญาณความเครียดของหน้าตัดสะพานที่มีค่า Continuity index = 0.7 เมื่อรถบรรทุกจำลองหนัก 10 กก. เคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วต่ำ



รูปที่ 6.28 ลักษณะสัญญาณความเครียดของหน้าตัดสะพานที่มีค่า Continuity index = 0.7 เมื่อรถบรรทุกจำลองหนัก 20 กก. เคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วต่ำ



รูปที่ 6.29 ลักษณะสัญญาณความเครียดของหน้าตัดสะพานที่มีค่า Continuity index = 0.7 เมื่อรถบรรทุกจำลองหนัก 30 กก. เคลื่อนที่ผ่านด้วยความเร็วต่ำ



รูปที่ 6.30 เปรียบเทียบผลของค่าสติฟเนสของข้อหมุนสปริงต่อค่า Continuity index ของสะพานต่อเนื่องที่มีความยาวช่วงหลักแตกต่างกัน

ตารางที่ 6.9 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักบรรทุก และค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ กรณีเคลื่อนที่บนสะพานต่อเนื่องซึ่งมีค่า Continuity index เท่ากับ 0.8

กรณีรถบรรทุกเคลื่อนที่ บนสะพานต่อเนื่อง (CI = 0.8) พื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระ		น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 10 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 20 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 30 กก.				
		การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ความเร็วรถต่ำ (0.1-0.3 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	4.974	4.774	4.838	5.019	4.807	8.901	8.690	8.688	7.251	8.307	13.165	13.069	12.997	13.187	12.824
	Error (%)	-14.339	-17.476	-16.177	-13.759	-16.776	-7.622	-8.273	-8.228	-23.195	-11.966	-1.670	-1.886	-2.436	-1.253	-4.291
	น้ำหนักเพลาลัง	5.381	5.334	5.495	5.173	5.379	10.922	11.061	10.931	11.868	10.795	17.975	17.823	17.913	17.854	17.907
	Error (%)	13.385	14.596	17.666	12.282	14.544	0.891	-2.035	-2.767	4.826	-3.852	0.385	0.205	-1.178	-1.218	0.864
	น้ำหนักกรวม	10.354	10.107	10.333	10.192	10.186	19.823	19.751	19.620	19.118	19.102	31.141	30.893	30.909	31.041	30.731
	Error (%)	-1.871	-3.177	-1.041	-2.254	-2.730	-3.118	-4.881	-5.264	-7.915	-7.558	-0.494	-0.690	-1.711	-1.233	-1.354
ความเร็รถปานกลาง (0.4-0.7 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	4.658	4.694	4.500	4.868	4.666	8.300	8.177	8.472	8.175	8.383	12.997	13.160	13.044	13.092	12.945
	Error (%)	-18.445	-18.179	-21.053	-15.578	-18.098	-11.739	-12.704	-10.781	-12.070	-9.643	-2.415	-2.216	-1.641	-3.448	-3.831
	น้ำหนักเพลาลัง	5.177	5.351	5.143	5.208	5.191	10.905	10.972	10.516	11.144	11.090	18.040	18.245	18.373	17.763	17.805
	Error (%)	5.880	8.360	3.388	6.783	6.511	-3.753	-4.296	-5.601	-4.985	-5.989	-0.699	0.240	-0.759	0.396	-0.084
	น้ำหนักกรวม	9.834	10.045	9.643	10.075	9.857	19.204	19.149	18.988	19.318	19.473	31.037	31.405	31.417	30.855	30.751
	Error (%)	-7.226	-5.902	-9.662	-5.331	-6.753	-7.375	-8.076	-7.984	-8.118	-7.598	-1.425	-0.804	-1.127	-1.272	-1.696
ความเร็รถสูง (0.8-1.2 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	6.780	6.569	5.870	4.709	6.210	11.169	11.893	11.073	14.404	10.134	15.690	17.107	15.049	17.446	15.904
	Error (%)	17.477	14.301	-0.048	-17.291	6.525	18.809	24.084	16.983	53.283	6.453	14.321	23.860	8.438	27.030	15.367
	น้ำหนักเพลาลัง	1.933	2.310	3.014	4.281	2.802	6.849	5.649	6.612	2.160	8.087	13.653	11.712	14.818	11.650	12.734
	Error (%)	-61.170	-54.532	-39.209	-23.376	-49.862	-42.846	-51.139	-44.421	-81.470	-29.102	-24.283	-34.638	-16.473	-34.147	-27.567
	น้ำหนักกรวม	8.713	8.879	8.885	8.990	9.012	18.017	17.542	17.685	16.565	18.221	29.343	28.819	29.867	29.096	28.638
	Error (%)	-18.947	-17.995	-17.976	-20.305	-21.076	-15.742	-17.044	-17.213	-21.332	-12.928	-7.599	-9.174	-5.539	-7.411	-8.698

หมายเหตุ: ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาน้ำ น้ำหนักเพลาลัง และน้ำหนักกรวม อ้างอิงจากค่าน้ำหนักที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถ

ตารางที่ 6.10 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักบรรทุกทุก และค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ กรณีเคลื่อนที่บนสะพานต่อเนื่องซึ่งมีค่า Continuity index เท่ากับ 0.7

กรณีรถบรรทุกเคลื่อนที่ บนสะพานต่อเนื่อง (CI = 0.7) พื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระ		น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 10 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 20 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 30 กก.				
		การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ความเร็วรถต่ำ (0.1-0.3 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.174	5.944	5.209	5.609	5.576	9.546	9.486	9.747	9.568	9.116	13.995	13.890	13.517	13.493	13.632
	Error (%)	-11.884	-0.741	-12.660	-4.821	-6.052	0.021	-1.919	0.540	-0.485	-5.019	3.818	1.480	-1.529	-1.798	-0.702
	น้ำหนักเพลาลัง	6.041	6.135	5.853	5.978	6.087	11.554	11.512	11.596	11.828	11.666	18.254	17.121	17.689	17.308	17.242
	Error (%)	26.598	27.267	23.390	25.825	27.361	0.552	1.032	3.266	2.474	2.241	1.809	-2.401	1.287	-0.422	-1.274
	น้ำหนักรวม	11.215	12.079	11.063	11.587	11.663	21.100	20.998	21.343	21.396	20.782	32.249	31.011	31.206	30.801	30.874
	Error (%)	5.367	11.751	3.310	8.859	8.853	0.311	-0.323	2.003	1.130	-1.076	2.671	-0.700	0.048	-1.029	-1.022
ความเร็วรถปานกลาง (0.4-0.7 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.091	5.632	5.643	5.169	5.557	8.970	8.640	8.529	9.323	9.613	13.254	12.705	13.310	12.843	13.334
	Error (%)	-11.974	-3.812	-5.952	-9.991	-3.877	-7.747	-9.924	-12.001	-3.810	-0.633	-1.613	-5.350	-0.266	-4.388	-0.832
	น้ำหนักเพลาลัง	5.718	5.744	5.396	6.080	5.806	11.086	11.944	11.404	11.359	11.497	17.550	18.129	17.982	18.055	17.508
	Error (%)	18.910	21.953	16.749	28.825	22.060	-0.387	4.965	0.635	0.215	1.410	-1.289	1.180	-1.368	0.422	-1.854
	น้ำหนักรวม	10.809	11.376	11.040	11.249	11.363	20.057	20.584	19.933	20.682	21.110	30.804	30.834	31.292	30.897	30.842
	Error (%)	2.047	7.675	3.925	7.520	7.830	-3.819	-1.845	-5.190	-1.640	0.469	-1.429	-1.617	-0.902	-1.635	-1.415
ความเร็วรถสูง (0.8-1.2 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.421	4.950	5.701	5.133	5.291	9.476	9.523	8.537	8.951	9.725	13.152	13.209	13.144	13.461	12.839
	Error (%)	-7.021	-15.527	-3.176	-11.937	-10.336	-1.516	-1.248	-10.157	-5.942	1.467	-1.155	-2.572	-3.655	-1.204	-4.684
	น้ำหนักเพลาลัง	6.056	5.851	5.488	5.909	5.891	11.582	11.122	11.971	11.599	11.498	18.288	17.849	17.418	17.432	17.765
	Error (%)	21.878	22.268	11.345	18.130	18.807	-1.856	-3.574	-0.104	-0.563	-0.886	-0.515	-1.554	-3.463	-2.584	-1.981
	น้ำหนักรวม	11.477	10.801	11.189	11.042	11.181	21.058	20.645	20.508	20.550	21.222	31.440	31.058	30.562	30.893	30.604
	Error (%)	6.277	1.463	3.440	1.949	2.971	-1.703	-2.515	-4.550	-2.980	0.179	-0.784	-1.990	-3.545	-1.987	-3.133

หมายเหตุ: ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาน้ำ น้ำหนักเพลาลัง และน้ำหนักรวม อ้างอิงจากค่าน้ำหนักที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถ

ตารางที่ 6.11 แสดงอิทธิพลของการค่าปรับเทียบของสะพานต่อเนื่องที่มีต่อความถูกต้องในการทายน้ำหนัก โดยทำการสุ่มนำสัญญาณความเครียดกรณีที่รถบรรทุกเคลื่อนที่ช้า มาแยกทำการปรับเทียบโดยอิสระในแต่ละระดับ น้ำหนักรถ ซึ่งจากเดิมจะทำการปรับเทียบโดยรวมผลของกรณีที่รถบรรทุกมีน้ำหนักทั้ง 3 ระดับรวมกัน และทำการเปรียบเทียบผลการทายน้ำหนักด้วยค่าปรับเทียบที่ได้ทั้ง 2 รูปแบบ ซึ่งจะพบว่าเมื่อทำการปรับเทียบแยกกันอย่างอิสระในแต่ละกรณีนั้น น้ำหนักที่ทายได้จะมีความถูกต้องมากขึ้นและมีความคลาดเคลื่อนต่ำลง และสังเกตเห็นว่าในกรณีที่สะพานต่อเนื่องที่มีค่า Continuity index เท่ากับ 0.7 นั้น มีผลการทายน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปในอัตราที่น้อยกว่ากรณีที่สะพานต่อเนื่องที่มีค่า Continuity index เท่ากับ 0.8 ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมที่ได้อธิบายไปก่อนหน้านี้ดังรูปที่ 6.30 นั้นเอง

และอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนสูงนั้น น่าจะมาจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ทดสอบ ซึ่งการยึดรั้งปลายสะพานด้วยตัวยึดรูปตัวซี (C-clamp) นั้นไม่สามารถบังคับให้ปลายสะพานมีพฤติกรรมแบบยึดแน่นทั้งหน้าตัดสะพานได้ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าปรับแก้ (k_1 และ k_2) เปลี่ยนแปลงไปเมื่อแรงกระทำต่อสะพานเปลี่ยนค่า

ตารางที่ 6.11 อิทธิพลของค่าปรับเทียบของสะพานต่อเนื่องที่มีต่อความถูกต้องในการทายน้ำหนัก

Continuity index = 0.8	10 กก.	20 กก.	30 กก.	Continuity index = 0.7	10 กก.	20 กก.	30 กก.
k_1 (Old)	9309	9309	9309	k_1 (Old)	31747	31747	31747
k_2 (Old)	16657	16657	16657	k_2 (Old)	30448	30448	30448
α (Old)	0.926	0.926	0.926	α (Old)	0.955	0.955	0.955
Total Weight Error (%)	-3.177	-4.881	-0.690	Total Weight Error (%)	5.367	0.311	2.671
k_1 (New)	11676	10759	8266	k_1 (New)	46579	46299	34663
k_2 (New)	21334	20783	15981	k_2 (New)	49406	30864	25746
α (New)	0.860	0.898	0.918	α (New)	0.717	0.795	0.857
Recalibrate Error (%)	1.416	0.897	0.428	Recalibrate Error (%)	0.357	-0.425	-0.366

สำหรับผลของความขรุขระของพื้นผิวสะพานนั้น มีลักษณะเช่นเดียวกันกับกรณีทดสอบหาน้ำหนักรถบรรทุกด้วยสะพานช่วงเดียว โดยที่น้ำหนักที่ทายได้จะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นเมื่อพื้นผิวสะพานมีความขรุขระ

6.3 อิทธิพลของการระบุตำแหน่งของรถบรรทุกที่มีต่อประสิทธิภาพในการทายน้ำหนัก

เนื่องจากในวิธีการหาน้ำหนักที่ใช้มีข้อมูลที่ต้องการนอกจากสัญญาณความเครียดแล้ว ยังต้องการตำแหน่งของรถบรรทุกบนสะพานของทุก ๆ ช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลด้วย เพื่อศึกษาผลของตำแหน่งของรถบรรทุกที่มีต่อการทายน้ำหนัก จึงได้ทำการวิเคราะห์ผลโดยทำการหาตำแหน่งด้วยการสมมติให้รถมีความเร็วคงที่ โดยความเร็วของการเคลื่อนที่คำนวณจากระยะเวลาที่รถบรรทุกเคลื่อนที่เข้าและออกสะพาน ดังสมการที่ (6.6) และตำแหน่งของรถที่สมมติ คำนวณได้จากสมการที่ (6.7)

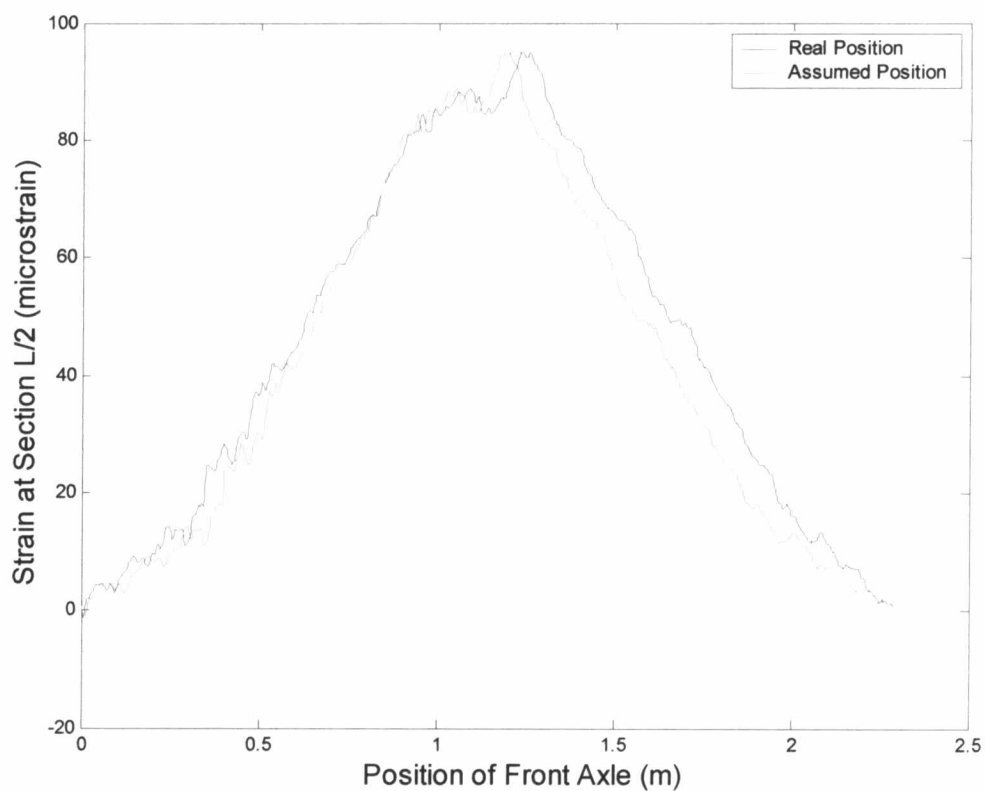
$$\text{ความเร็วของรถบรรทุก} \quad V = \frac{L + sp}{t^{out} - t^{in}} \quad (6.6)$$

โดยที่	V	คือความเร็วของรถบรรทุก (เมตร/วินาที)
	L	คือความยาวสะพาน (เมตร)
	sp	คือระยะห่างระหว่างเพลลาของรถบรรทุก (เมตร)
	t^{in}	คือเวลาที่เพลลหน้าของรถเคลื่อนที่เข้าสู่สะพาน (วินาที)
	t^{out}	คือเวลาที่เพลลหลังของรถบรรทุกเคลื่อนที่ออกจากสะพาน (วินาที)

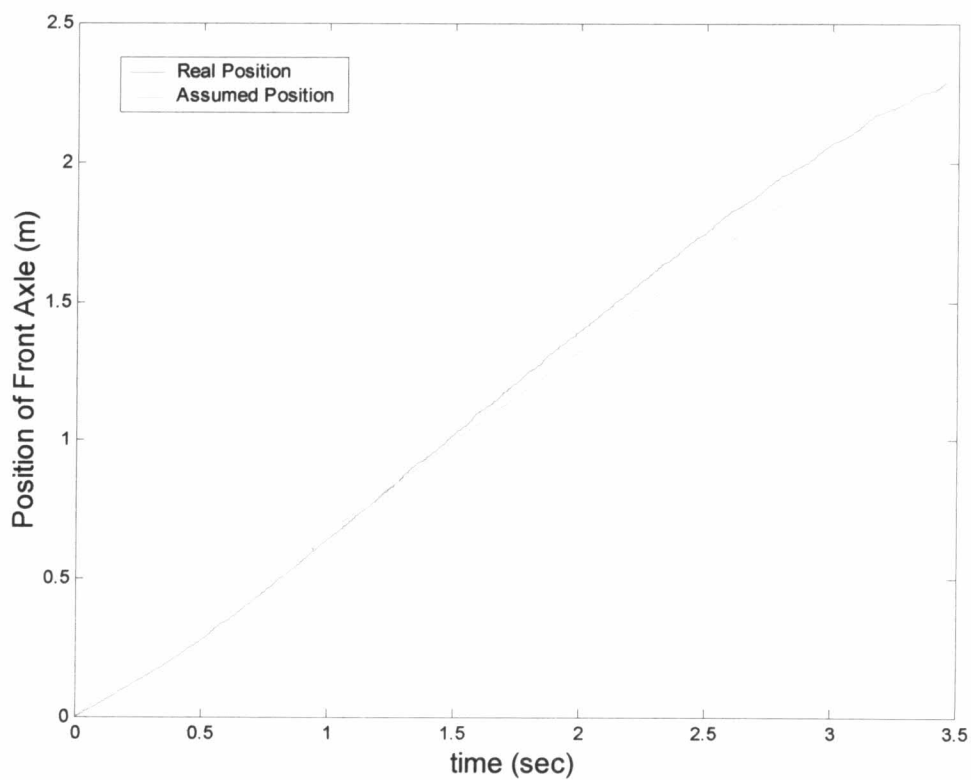
$$\text{ตำแหน่งของรถบรรทุก} \quad S = Vt \quad (6.7)$$

โดยที่	S	คือตำแหน่งของรถบรรทุกบนสะพาน (เมตร) ณ เวลา t
	t	คือเวลาที่ทำการเก็บวัดข้อมูล (วินาที)

ซึ่งเมื่อนำสัญญาณความเครียดชุดเดียวกันกับในกรณีรถบรรทุกเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว และไม่มี ความขรุขระ ดังตารางที่ 6.1 มาทำการสมมติตำแหน่งใหม่และนำไปเข้าสู่โปรแกรมน้ำหนักจะได้ผลการทดสอบดัง ตารางที่ 6.12 ซึ่งพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการทายน้ำหนักนั้นสูงกว่าการใช้ตำแหน่งที่ถูกต้องอย่างมาก นั้น เป็นเพราะตำแหน่งของรถบรรทุกที่สมมติขึ้นไม่สอดคล้องกับค่าความเครียดของสะพานที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลาเดียวกัน เนื่องจากการทดสอบการเคลื่อนที่ของรถบรรทุกไม่ได้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่คงที่ โดยช่วงต้นจะเป็นช่วงที่ ทำ ความเร็วและช่วงปลายจะมีความเร็วลดลงเล็กน้อยเนื่องจากรถเคลื่อนที่อยู่ในช่วงปลายของสะพาน รูปที่ 6.31 แสดง ลักษณะสัญญาณความเครียดที่พล็อตกับตำแหน่งที่เก็บวัดได้จริง และตำแหน่งที่สมมติขึ้นจากการคำนวณของการ ทดสอบที่ 3 กรณีรถบรรทุกหนัก 20 กก. เคลื่อนที่ด้วยความเร็วปานกลาง



รูปที่ 6.31 ลักษณะสัญญาณความเครียดของหน้าตัดสะพานและตำแหน่งรถบรรทุกที่คลาดเคลื่อน



รูปที่ 6.32 แสดงตำแหน่งของรถบรรทุกและเวลา กรณีที่วัดได้จริงและที่สมมติขึ้น

ตารางที่ 6.12 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักบรรทุก กรณีเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน และสะพานไม่มีความขรุขระ และสมมติให้รถบรรทุกเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่

กรณีรถบรรทุกเคลื่อนที่ ตำแหน่งกึ่งกลางสะพาน พื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระ		น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 10 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 20 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 30 กก.				
		การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ความเร็วต่ำ (0.1-0.3 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	1.260	4.288	4.404	4.583	4.136	7.681	8.739	5.461	8.729	9.782	11.717	13.003	12.444	14.171	10.965
	Error (%)	-78.060	-26.312	-24.293	-20.771	-29.550	-18.128	-6.603	-41.704	-7.184	4.186	-15.328	-5.969	-9.563	4.530	-20.465
	น้ำหนักเพลาลัง	8.181	5.328	5.257	5.414	4.745	12.320	10.414	14.798	11.132	10.283	16.681	16.163	17.634	15.446	18.707
	Error (%)	100.448	18.372	19.246	21.953	8.352	8.108	-8.304	29.750	-2.291	-9.251	-0.880	-3.335	4.854	-10.315	10.166
	น้ำหนักกรวม	9.459	9.659	9.703	10.030	8.932	20.057	19.233	20.313	19.924	20.117	28.488	29.278	30.148	29.721	29.696
	Error (%)	-3.711	-6.410	-5.114	-1.886	-12.859	-3.466	-7.151	-2.214	-4.196	-2.909	-7.105	-4.163	-1.403	-3.436	-3.481
ความเร็วปานกลาง (0.4-0.7 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	4.825	4.955	5.337	5.327	5.827	10.233	9.343	9.952	11.915	7.951	11.959	11.812	15.128	8.722	12.794
	Error (%)	-15.671	-14.089	-7.349	-7.977	3.911	7.966	-0.807	5.801	28.124	-15.659	-12.527	-13.536	10.363	-36.025	-6.456
	น้ำหนักเพลาลัง	4.202	4.316	4.563	4.233	4.861	8.938	9.719	9.192	7.586	10.334	17.059	17.206	13.687	19.591	16.529
	Error (%)	-3.241	-4.442	0.833	-8.984	-3.002	-19.711	-13.338	-19.776	-33.604	-6.924	-0.753	0.938	-22.915	10.580	-3.177
	น้ำหนักกรวม	9.060	9.314	9.916	9.562	10.602	19.239	19.144	19.206	19.580	18.365	29.114	29.098	28.917	28.397	29.432
	Error (%)	-9.981	-9.435	-3.590	-8.409	-0.150	-6.657	-7.220	-7.950	-5.529	-10.551	-5.662	-5.243	-8.090	-9.419	-4.283
ความเร็วสูง (0.8-1.2 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.412	4.552	5.308	5.884	6.975	7.018	7.531	6.369	7.619	9.291	12.201	12.914	10.245	10.428	12.970
	Error (%)	-3.409	-18.894	-5.262	3.896	23.229	-25.619	-21.545	-33.845	-19.876	-3.140	-10.113	-5.520	-25.740	-24.361	-6.425
	น้ำหนักเพลาลัง	3.197	4.191	3.136	3.241	1.318	11.360	10.728	12.400	11.084	9.293	16.201	15.716	17.999	17.437	15.352
	Error (%)	-33.606	-11.379	-33.434	-31.281	-72.145	2.375	-2.658	13.491	-0.198	-15.965	-2.662	-7.871	5.200	2.461	-7.950
	น้ำหนักกรวม	8.684	8.862	8.603	9.209	8.457	18.452	18.344	18.821	18.754	18.668	28.505	28.709	28.338	27.985	28.430
	Error (%)	-16.644	-14.306	-16.586	-11.279	-18.631	-10.125	-11.038	-8.425	-9.028	-9.600	-5.672	-6.569	-8.308	-9.152	-6.903

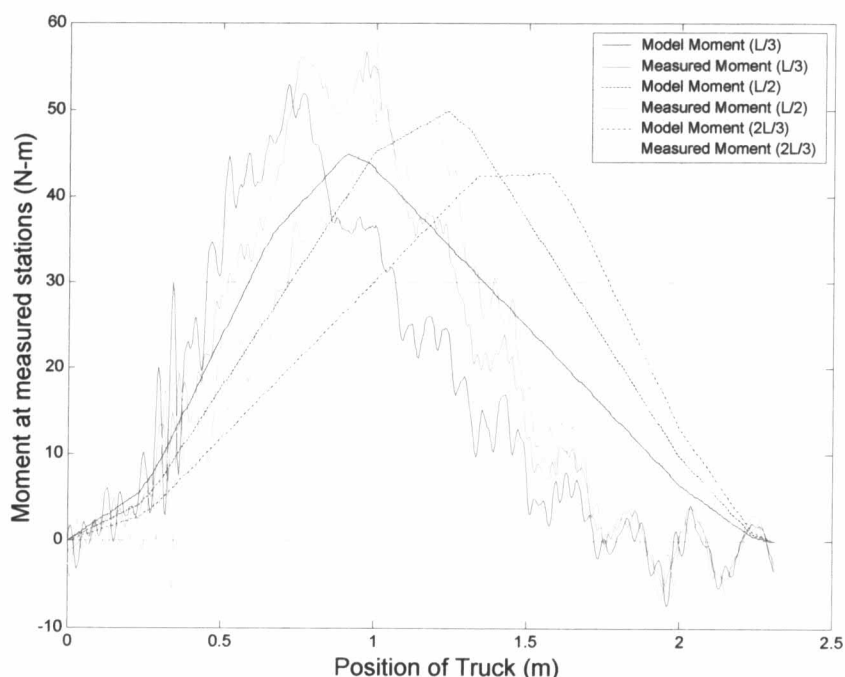
หมายเหตุ: ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาน้ำ น้ำหนักเพลาลัง และน้ำหนักกรวม อ้างอิงจากค่าน้ำหนักที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถ

ซึ่งจากรูปที่ 6.31 และ 6.32 จะเห็นว่าตำแหน่งของรถบรรทุกนั้นที่ไม่สอดคล้องกับสัญญาณความเครียดอย่างชัดเจน โดยตำแหน่งที่สมมติขึ้นในรูปที่ 6.32 นั้นมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดเท่ากับ 6.2% และเป็นสาเหตุให้น้ำหนักรวมของรถบรรทุกที่หาได้มีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นจากเดิมถึง 9.2% เมื่อทายน้ำหนักด้วยสัญญาณความเครียดเดียวกัน ฉะนั้นในการนำระบบการหาน้ำหนักนี้ไปใช้งาน จำเป็นจะต้องมีระบบการหาตำแหน่งรถที่มีความแม่นยำสูงจึงจะให้ผลการทายน้ำหนักมีความถูกต้อง

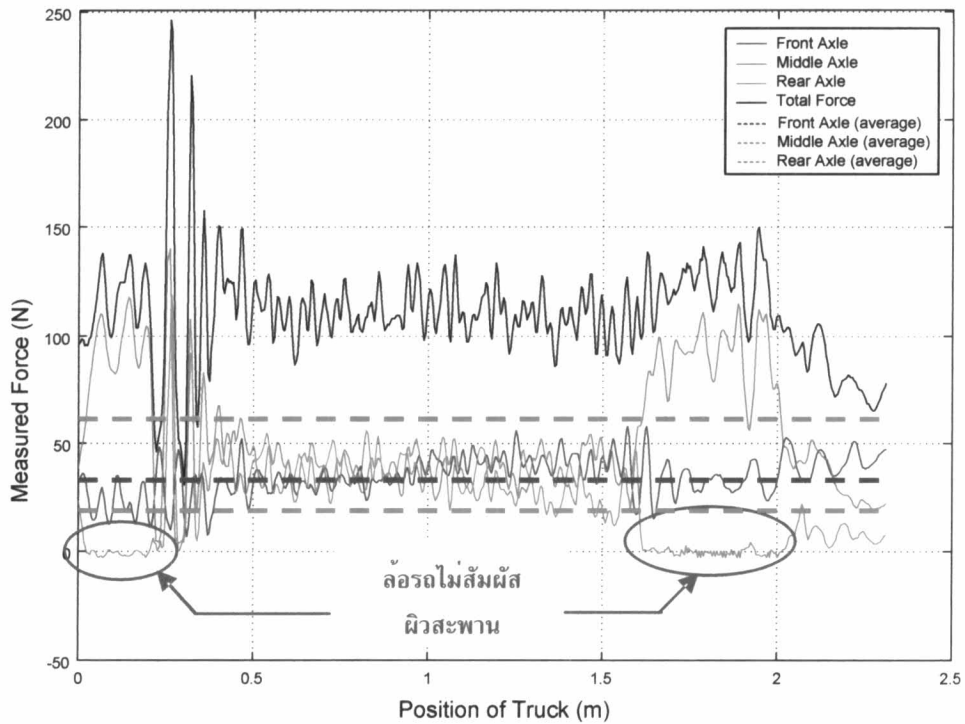
6.4 การหาน้ำหนักรถบรรทุกแบบ 3 เพลา

6.4.1 การหาน้ำหนักรถบรรทุกแบบ 3 เพลาโดยการแก้ปัญหาแบบ 3 ตัวแปร

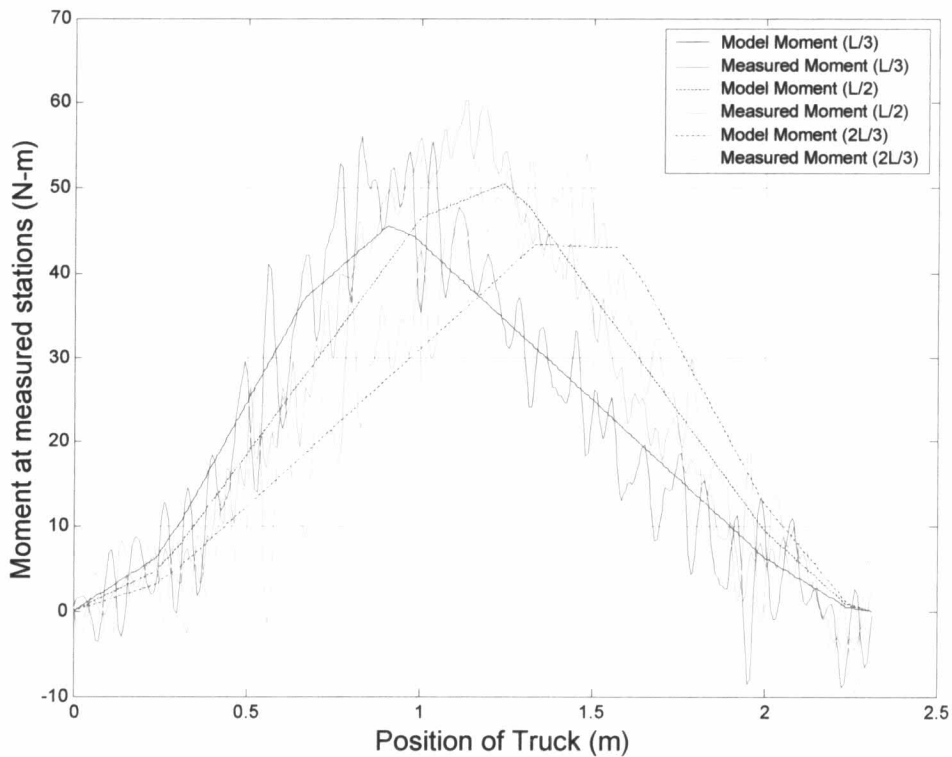
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบการหาน้ำหนักรถบรรทุกแบบ 3 เพลา โดยการแก้ปัญหาแบบ 3 ตัวแปร ซึ่งจะได้น้ำหนักในแต่ละเพลาทั้ง 3 เพลา จากจำนวนจุดเก็บวัดสัญญาณความเครียดของหน้าตัดสะพาน 3 หน้าตัด ซึ่งจะทำให้การทดสอบด้วยสะพานช่วงเดียวที่มีจุดรองรับแบบธรรมดา โดยมีผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 6.13 และ 6.14 ซึ่งจากผลการทดสอบที่ได้พบว่าน้ำหนักรถที่หาได้มีความคลาดเคลื่อนที่ค่อนข้างสูง และเมื่อพิจารณาในส่วนของค่าน้ำหนักเพลา พบว่าบางการทดสอบมีความคลาดเคลื่อนที่สูงมากถึงหลักร้อยเปอร์เซ็นต์ และสังเกตได้ว่าการทดสอบที่พื้นผิวสะพานมีความขรุขระกลับให้ผลการทดสอบที่ดีกว่ากรณีที่มีพื้นผิวราบเรียบ ดังนั้นเพื่ออธิบายข้อบกพร่องของการทายน้ำหนักในกรณีนี้ จึงได้ทำการตรวจสอบสัญญาณความเครียดหรือโมเมนต์ดัดของสะพาน และค่าแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถที่ทำการเก็บวัดได้ โดยตัวอย่างของสัญญาณดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 6.33 ถึง 6.36 ตามลำดับ



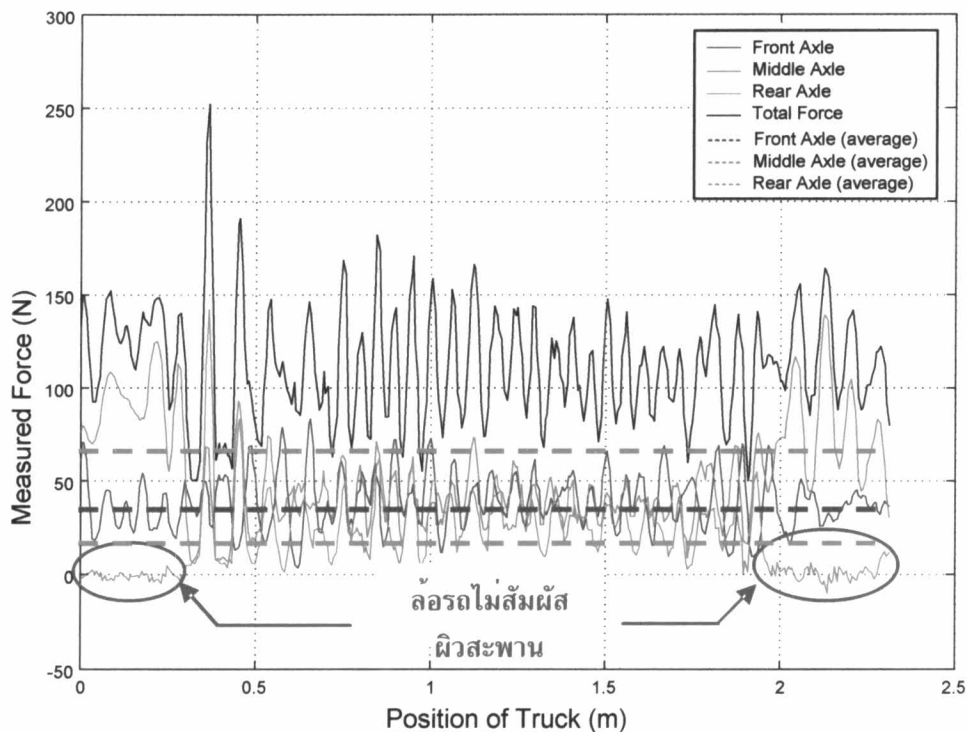
รูปที่ 6.33 ลักษณะโมเมนต์ดัดของหน้าตัดสะพาน เมื่อรถบรรทุกแบบ 3 เพลาหนัก 10 กก. เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงบนสะพานช่วงเดียวที่มีพื้นผิวราบเรียบ



รูปที่ 6.34 ลักษณะน้ำหนักทางพลศาสตร์ในเพลารถที่เก็บวัดได้ เมื่อรถบรรทุกแบบ 3 เพลาหนัก 10 กก. เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงบนสะพานช่วงเดียวที่มีพื้นผิวราบเรียบ



รูปที่ 6.35 ลักษณะโมเมนต์ดัดของหน้าตัดสะพาน เมื่อรถบรรทุกแบบ 3 เพลาหนัก 10 กก. เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงบนสะพานช่วงเดียวที่มีพื้นผิวขรุขระเล็กน้อย



รูปที่ 6.36 ลักษณะน้ำหนักทางพลศาสตร์ในเพลารถที่เก็บวัดได้ เมื่อรถบรรทุกแบบ 3 เพลาน้ำหนัก 10 กก. เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง บนสะพานช่วงเดียวที่มีพื้นผิวขรุขระเล็กน้อย

จากรูปที่ 6.33 ถึง 6.36 จะสังเกตเห็นว่าค่าแรงหรือน้ำหนักทางพลศาสตร์ที่วัดได้ในเพลารถนั้น มีค่าที่แปรปรวนอย่างมาก เนื่องจากแบบจำลองรถบรรทุกที่มี 3 เพลานั้น ขณะเคลื่อนที่จะมีบางช่วงเวลาที่เพลารถไม่ได้สัมผัสกับพื้นผิวสะพานพร้อมกัน เนื่องจากตัวรถสามารถทรงตัวได้ด้วยล้อเพียง 4 ล้อ ทำให้ค่าแรงที่เกิดขึ้นจริงมีความแปรปรวนมาก และเมื่อนำค่าแรงหรือน้ำหนักในเพลานั้นมาเฉลี่ยให้เป็นค่าแรงหรือน้ำหนักทางสถิติ ค่าที่ได้จึงเป็นค่าที่มีความคลาดเคลื่อนสูงมากเช่นกัน จึงเป็นเหตุให้การทายน้ำหนักมีความคลาดเคลื่อนสูงตามไปด้วย และเมื่อสะพานมีพื้นผิวที่ขรุขระนั้น ขณะเคลื่อนที่ตัวรถบรรทุกจะมีการสั่นสะเทือนมากขึ้น จึงทำให้ล้อทุกล้อสัมผัสกับพื้นผิวสะพานสม่ำเสมอว่ากรณีแรง ค่าแรงหรือน้ำหนักทางสถิติที่ทำการเฉลี่ยได้จึงมีความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า จึงมีผลการทายน้ำหนักที่ดีกว่ากรณีแรก แต่เมื่อสังเกตในกรณีที่รถบรรทุกมีน้ำหนักมาก ดังกรณีที่รถบรรทุกหนักเท่ากับ 30 กก. นั้น เนื่องจากรถมีน้ำหนักมาก ล้อทุกล้อจึงสัมผัสพื้นผิวสะพานได้สม่ำเสมอ จึงให้ผลการทดสอบที่ดีทั้งสองรูปแบบของพื้นผิว แต่หากเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงก็จะมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นดังเช่นการทดสอบด้วยรถบรรทุกแบบ 2 เพลาดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น

อย่างไรก็ดี เมื่อพิจารณารณที่รถบรรทุกหนัก 30 กก. เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำหรือปานกลาง ถึงแม้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมนั้นจะมีค่าไม่มากและอยู่ในเกณฑ์ที่ดี แต่เมื่อพิจารณาถึงค่าความคลาดเคลื่อนในเพลารถแล้วยังพบว่าค่าที่สูงอยู่ และจะสังเกตได้ว่าค่าแรงในแต่ละเพลาก็จะทายน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน นั่นอาจเป็นเพราะว่าการแก้ปัญหาของรถบรรทุกแบบ 3 เพลานี้ แก้ปัญหาจากค่าโมเมนต์หรือความเครียดของสะพานจาก 3 หน้าตัด ซึ่งเพื่อที่จะให้ผลการทายน้ำหนักที่ดีขึ้นจึงอาจต้องเพิ่มจำนวนจุดเก็บวัดสัญญาณความเครียดของหน้าตัด

สะพานให้มากกว่า 3 หน้าตัด ให้เป็นการแก้ปัญหาแบบ over-determined problem เช่นเดียวกันกับกรณีทายน้ำหนักรถบรรทุกแบบ 2 เพลาด้วยจุดเก็บวัดสัญญาณความเครียดของสะพาน 3 หน้าตัด

และเนื่องจากขอบเขตของแบบจำลองรถบรรทุกดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ทำให้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นมีค่ามาก ซึ่งรถบรรทุกจริงนั้นมีระบบช่วงล่างที่มีความยืดหยุ่นสูงและทำให้ล้อทุกล้อสัมผัสกับพื้นผิวสะพานพร้อมกัน ซึ่งจะทำให้แรงที่เกิดขึ้นมีความราบเรียบและสม่ำเสมอ จึงมีแนวโน้มที่จะให้ผลการทายน้ำหนักที่ดีขึ้นเมื่อนำไปใช้งานจริง

ตารางที่ 6.13 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักบรรทุกแบบ 3 เฟลา กรณีเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว และสะพานไม่มีความขรุขระ

ค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ กรณีบรรทุกแบบ 3 เฟลา พื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระ		น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 10 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 20 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 30 กก.				
		การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ความเร็วต่ำ (0.1-0.3 m/s)	น้ำหนักเฟลาหน้า	3.929	4.148	4.022	3.864	3.908	7.531	6.833	7.442	6.838	6.529	10.376	10.394	10.241	10.222	11.184
	Error (%)	21.882	32.566	24.987	20.562	25.786	149.117	123.891	146.165	142.781	124.392	41.962	42.223	37.728	40.239	52.184
	น้ำหนักเฟลากลาง	3.877	4.056	3.975	3.760	3.795	7.311	6.665	7.251	6.612	6.240	10.080	10.033	9.977	9.824	10.867
	Error (%)	21.882	32.566	24.987	20.562	25.786	-34.641	-40.420	-34.285	-41.334	-45.936	-28.735	-30.419	-27.938	-29.835	-22.755
	น้ำหนักเฟลาหลัง	3.860	4.143	4.013	3.737	3.822	7.495	6.660	7.429	6.653	6.245	10.256	10.132	10.103	9.885	11.103
	Error (%)	67.880	33.789	28.308	33.770	36.839	20.505	1.037	20.112	2.273	-4.724	12.071	14.428	11.436	15.713	17.162
	น้ำหนักรวม	11.666	12.347	12.010	11.361	11.525	22.337	20.158	22.122	20.104	19.014	30.711	30.559	30.321	29.930	33.154
	Error (%)	9.661	9.356	5.292	0.871	4.507	9.342	-3.227	9.286	-2.376	-9.485	0.350	-0.075	-0.086	0.329	7.317
ความเร็วปานกลาง (0.4-0.7 m/s)	น้ำหนักเฟลาหน้า	4.258	3.810	3.574	3.535	3.692	6.666	6.655	6.675	6.679	6.803	10.414	10.505	10.443	10.261	10.474
	Error (%)	38.295	17.700	17.633	13.165	17.424	128.761	143.097	139.905	135.924	145.812	43.493	45.051	41.435	41.759	44.026
	น้ำหนักเฟลากลาง	4.097	3.661	3.359	3.333	3.497	6.333	6.344	6.438	6.375	6.546	9.888	10.042	9.968	9.765	10.048
	Error (%)	-22.975	-30.980	-38.026	-40.385	-33.593	-46.418	-45.123	-43.770	-44.489	-41.307	-32.783	-30.107	-29.489	-31.227	-29.836
	น้ำหนักเฟลาหลัง	4.228	3.675	3.457	3.257	3.616	6.361	6.369	6.368	6.410	6.566	10.335	10.504	10.378	10.194	10.293
	Error (%)	16.790	13.841	12.830	2.313	-2.659	-15.974	-10.073	-13.446	-14.370	-18.079	10.083	8.975	18.290	13.479	-8.156
	น้ำหนักรวม	12.582	11.145	10.390	10.125	10.805	19.360	19.369	19.481	19.464	19.914	30.638	31.051	30.789	30.219	30.815
	Error (%)	4.699	-5.298	-9.826	-14.904	-10.885	-13.195	-9.413	-9.764	-10.722	-9.212	-2.295	-0.632	1.635	-0.658	-6.052
ความเร็วสูง (0.8-1.2 m/s)	น้ำหนักเฟลาหน้า	2.995	3.360	3.267	3.270	3.540	6.881	6.656	6.569	6.305	6.665	10.035	9.965	9.500	9.449	9.477
	Error (%)	-16.079	-8.120	-10.810	-6.584	-0.678	133.182	123.630	123.427	98.205	112.493	34.086	32.332	25.191	25.785	24.546
	น้ำหนักเฟลากลาง	2.840	3.119	3.092	3.061	3.283	6.428	6.157	6.014	5.826	6.155	9.269	9.271	8.782	8.706	8.642
	Error (%)	-47.221	-43.351	-40.901	-41.270	-38.027	-42.858	-45.216	-45.887	-45.947	-44.439	-33.503	-34.774	-37.179	-37.751	-38.362
	น้ำหนักเฟลาหลัง	3.175	3.406	3.397	3.357	3.530	6.622	6.408	6.230	6.137	6.473	9.587	9.714	9.319	9.196	9.028
	Error (%)	41.372	43.755	17.379	0.985	17.180	-32.960	-25.673	-32.842	-10.084	-14.041	-13.757	-3.948	-10.156	-16.121	-29.693
	น้ำหนักรวม	9.010	9.885	9.756	9.687	10.353	19.931	19.221	18.813	18.268	19.293	28.890	28.950	27.602	27.351	27.147
	Error (%)	-19.523	-14.284	-17.245	-19.512	-12.812	-17.222	-15.831	-19.365	-12.106	-11.278	-11.212	-9.126	-13.585	-15.742	-21.246

หมายเหตุ: ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเฟลาหน้า น้ำหนักเฟลาหลัง และน้ำหนักรวม อ้างอิงจากค่าน้ำหนักที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถ

ตารางที่ 6.14 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักถบรรทุกแบบ 3 เผลา กรณีเคลื่อนที่บนสะพานขงเดียว และพื้นผิวสะพานมีความขรุขระเล็กน้อย

ค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ กรณีรถบรรทุกแบบ 3 เผลา พื้นผิวสะพานขรุขระเล็กน้อย		น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 10 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 20 กก.					น้ำหนักบรรทุกจำลองเท่ากับ 30 กก.				
		การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ความเร็วต่ำ (0.1-0.3 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	3.949	3.871	3.826	3.845	3.954	6.425	7.086	6.354	6.483	6.364	10.147	9.930	10.605	10.627	10.448
	Error (%)	11.479	12.642	11.311	12.876	15.505	125.818	133.826	117.731	117.644	116.055	38.410	32.835	42.912	44.011	41.619
	น้ำหนักเพลากลาง	3.830	3.736	3.707	3.715	3.841	6.202	6.921	6.126	6.242	6.178	9.796	9.605	10.281	10.265	10.138
	Error (%)	-26.671	-29.459	-26.775	-27.321	-23.757	-44.544	-33.534	-44.592	-42.322	-43.929	-34.576	-34.354	-27.510	-27.999	-30.187
	น้ำหนักเพลาลัง	3.907	3.749	3.778	3.809	3.931	6.163	7.172	6.110	6.331	6.084	9.734	9.522	10.403	10.436	10.222
	Error (%)	41.515	38.875	44.056	37.200	37.181	-9.373	-10.637	-19.155	-16.765	-16.877	21.408	13.386	13.397	12.460	10.370
	น้ำหนักรวม	11.685	11.357	11.311	11.370	11.727	18.790	21.178	18.589	19.056	18.625	29.677	29.057	31.289	31.327	30.809
Error (%)	1.387	-0.667	1.697	0.662	3.527	-9.788	-1.350	-13.664	-10.981	-12.484	-2.128	-4.746	1.662	1.333	-1.132	
ความเร็วปานกลาง (0.4-0.7 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	4.089	3.918	3.864	4.039	4.088	6.751	6.890	6.719	6.739	6.813	10.412	10.545	10.476	10.474	10.584
	Error (%)	23.516	15.973	14.463	18.607	21.000	116.411	129.929	120.352	111.784	118.760	43.082	42.096	44.226	44.557	46.243
	น้ำหนักเพลากลาง	3.902	3.748	3.698	3.864	3.924	6.514	6.592	6.478	6.499	6.550	10.009	10.131	10.028	10.025	10.148
	Error (%)	-27.296	-28.987	-29.692	-23.242	-22.293	-37.952	-38.164	-40.027	-37.327	-36.689	-29.394	-28.130	-29.881	-29.465	-27.681
	น้ำหนักเพลาลัง	4.053	3.829	3.828	4.005	4.052	6.556	6.774	6.530	6.501	6.696	10.243	10.237	10.181	10.116	10.184
	Error (%)	-3.047	-6.619	-1.817	-12.632	0.586	-20.693	-16.883	-18.586	-13.270	-10.029	7.378	9.120	4.995	8.249	5.586
	น้ำหนักรวม	12.044	11.495	11.390	11.908	12.064	19.821	20.256	19.726	19.739	20.059	30.665	30.913	30.685	30.615	30.916
Error (%)	-6.330	-9.891	-9.130	-8.565	-3.152	-9.430	-7.113	-9.804	-6.217	-4.036	-1.058	0.046	-1.844	-0.612	0.004	
ความเร็วสูง (0.8-1.2 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	3.966	3.942	3.701	3.856	3.709	6.623	6.721	6.572	6.594	6.729	9.291	8.945	8.518	9.189	9.636
	Error (%)	-2.867	-1.970	-8.145	-3.755	-6.704	87.877	89.789	88.390	85.670	88.977	20.792	15.243	7.608	19.195	24.971
	น้ำหนักเพลากลาง	3.723	3.705	3.403	3.622	3.467	6.111	6.259	6.117	6.031	6.319	8.505	8.291	8.048	8.494	8.824
	Error (%)	-29.702	-28.999	-33.508	-31.588	-34.384	-46.812	-45.535	-46.934	-47.177	-45.810	-40.593	-39.771	-42.052	-39.478	-34.969
	น้ำหนักเพลาลัง	3.811	3.812	3.604	3.792	3.704	6.259	6.338	6.182	6.261	6.411	9.015	8.918	8.857	9.184	9.168
	Error (%)	69.836	73.109	43.341	79.874	84.088	-7.542	-2.508	-2.635	-8.681	-6.085	-24.402	-25.625	-25.943	-25.439	-23.556
	น้ำหนักรวม	11.501	11.458	10.707	11.270	10.881	18.993	19.319	18.871	18.886	19.460	26.811	26.153	25.422	26.867	27.628
Error (%)	-1.058	0.154	-8.174	-1.218	-3.472	-12.813	-10.292	-11.671	-13.467	-11.741	-20.989	-21.970	-24.703	-21.121	-16.965	

หมายเหตุ: ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาน้ำ น้ำหนักเพลาลัง และน้ำหนักรวม อ้างอิงจากน้ำหนักที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถ

6.4.2 การหาค่าน้ำหนักรถบรรทุกแบบ 3 เพลาโดยการแก้ปัญหาแบบ 2 ตัวแปร

เนื่องจากการหาค่าน้ำหนักโดยการแก้ปัญหาแบบ 3 ตัวแปรนั้นใช้เวลาในการคำนวณที่ค่อนข้างนาน และเพื่อศึกษาว่าการรวมน้ำหนักเพลาคู่หลังให้เป็นเพลาเดียวกันนั้นมีความเชื่อถือได้มากน้อยเพียงใด จึงทำการนำสัญญาณการทดสอบกรณีรถบรรทุกแบบ 3 เพลา มาทำการวิเคราะห์และแก้ปัญหาแบบ 2 ตัวแปร โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. สมมติว่าค่าน้ำหนักที่กระทำต่อสะพานของเพลาคู่หลังนั้นมีค่าเท่า ๆ กัน ดังนั้นจึงสามารถสร้างเมตริกซ์เชื่อมโยงระหว่างระบบแรงแบบ 3 เพลา กับ 2 เพลา ได้ดังสมการที่ (6.8)

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{f}_{front} \\ \mathbf{f}_{middle} \\ \mathbf{f}_{rear} \end{Bmatrix}_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0.5 \\ 0 & 0.5 \end{bmatrix}_{3 \times 2} \begin{Bmatrix} \mathbf{f}_{front} \\ \mathbf{f}_{group} \end{Bmatrix}_{2 \times 1} \quad (6.8)$$

โดยที่ \mathbf{f}_{front} คือค่าน้ำหนักเพลาหน้าของรถบรรทุก
 \mathbf{f}_{middle} คือค่าน้ำหนักเพลากลางของรถบรรทุก
 \mathbf{f}_{rear} คือค่าน้ำหนักเพลาหลังของรถบรรทุก
 \mathbf{f}_{group} คือผลรวมของน้ำหนักเพลากลางและเพลาหลังด้วยอัตราส่วนเท่า ๆ กัน

2. ดังนั้นจากฟังก์ชันรูปร่าง (shape function) ของการแปลงแรงกระทำภายนอกมาสู่แรงที่ขั้วจะสามารถแปลงจาก 3 แรงให้เหลือเพียง 2 แรงได้ดังสมการที่ (6.9) ซึ่งจะเป็นการระบุว่าแรงกระทำภายนอกทั้งสองค่านั้นมีค่าเท่ากันและรวมกันเป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าเพียงตัวเดียว

$$\begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{front} & \mathbf{Y}_{group} \end{bmatrix}_{40 \times 2} = \begin{bmatrix} \mathbf{Y}_{front} & \mathbf{Y}_{middle} & \mathbf{Y}_{rear} \end{bmatrix}_{40 \times 3} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0.5 \\ 0 & 0.5 \end{bmatrix}_{3 \times 2} \quad (6.9)$$

โดยที่ \mathbf{Y}_{front} คือฟังก์ชันรูปร่างของแรงกระทำภายนอกในส่วนของเพลาหน้า
 \mathbf{Y}_{middle} คือฟังก์ชันรูปร่างของแรงกระทำภายนอกในส่วนของเพลากลาง
 \mathbf{Y}_{rear} คือฟังก์ชันรูปร่างของแรงกระทำภายนอกในส่วนของเพลาหลัง
 \mathbf{Y}_{group} คือฟังก์ชันรูปร่างของแรงกระทำภายนอกของผลรวมของเพลากลางและเพลาหลังที่รวมด้วยอัตราส่วนที่เท่า ๆ กัน

จากนั้นนำสัญญาณเข้าสู่ขั้นตอนการหาค่าน้ำหนักเสมือนรถบรรทุกแบบ 2 เพลา และจากค่าแรงที่หาได้ จะทำการแปลงกลับไปเป็นแรงในแต่ละเพลาให้กลายเป็นแรงแบบ 3 เพลาอีกครั้งหนึ่งด้วยสมการที่ (6.8) และนำไปผ่านขั้นตอนการคำนวณซ้ำและคำนวณความคลาดเคลื่อนเช่นเดียวกันกับกรณีแก้ปัญหาแบบ 3 ตัวแปร และผลการทดสอบที่ได้แสดงดังตารางที่ 6.15

ตารางที่ 6.15 ผลการทดสอบการหาน้ำหนักบรรทุกทุกแบบ 3 เพลาด้วยการทายน้ำหนักแบบ 2 ตัวแปร กรณีเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว และสะพานไม่มีความขรุขระ

ค่าความคลาดเคลื่อนทางสถิติ กรณีบรรทุกทุกแบบ 3 เพลา พื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระ		น้ำหนักบรรทุกทุกจำลองเท่ากับ 10 กก.					น้ำหนักบรรทุกทุกจำลองเท่ากับ 20 กก.					น้ำหนักบรรทุกทุกจำลองเท่ากับ 30 กก.				
		การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่					การทดสอบครั้งที่				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ความเร็วต่ำ (0.1-0.3 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	4.122	5.361	4.797	3.966	4.499	9.160	7.141	8.952	7.504	7.001	12.578	11.948	11.835	11.719	13.702
	Error (%)	27.869	71.316	49.064	23.752	44.794	202.994	133.979	196.135	166.443	140.600	72.091	63.495	59.159	60.786	86.442
	น้ำหนักเพลากลาง	3.642	3.430	3.506	3.592	3.443	6.466	6.339	6.432	6.178	5.935	8.898	9.146	9.029	8.983	9.538
	Error (%)	-28.812	-32.276	-30.719	-31.764	-32.851	-42.194	-43.333	-41.704	-45.186	-48.583	-37.094	-36.569	-34.790	-35.841	-32.202
	น้ำหนักเพลาลัง	3.643	3.431	3.506	3.594	3.445	6.472	6.343	6.437	6.182	5.938	8.901	9.151	9.032	8.982	9.542
	Error (%)	58.421	10.794	12.113	28.658	23.337	4.057	-3.768	4.066	-4.966	-9.397	-2.732	3.341	-0.375	5.144	0.682
	น้ำหนักรวม	11.406	12.222	11.810	11.153	11.387	22.097	19.823	21.821	19.865	18.874	30.376	30.245	29.895	29.684	32.781
Error (%)	7.216	8.246	3.534	-0.980	3.255	8.171	-4.834	7.802	-3.535	-10.152	-0.745	-1.101	-1.489	-0.496	6.109	
ความเร็วปานกลาง (0.4-0.7 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	5.859	4.517	4.890	3.466	5.032	7.628	7.432	6.718	7.811	7.806	14.926	15.336	14.776	14.654	13.451
	Error (%)	90.324	39.545	60.942	10.953	60.047	161.770	171.492	141.469	175.939	182.090	105.658	111.748	100.115	102.451	84.968
	น้ำหนักเพลากลาง	3.328	3.269	2.777	3.254	2.883	5.818	5.904	6.242	5.769	5.970	7.871	7.880	7.999	7.798	8.600
	Error (%)	-37.436	-38.371	-48.774	-41.808	-45.248	-50.773	-48.933	-45.482	-49.772	-46.467	-46.493	-45.155	-43.414	-45.076	-39.949
	น้ำหนักเพลาลัง	3.329	3.263	2.771	3.254	2.879	5.817	5.902	6.237	5.772	5.964	7.874	7.879	7.998	7.802	8.605
	Error (%)	-8.027	1.089	-9.549	2.200	-22.494	-23.156	-16.671	-15.234	-22.886	-25.590	-16.127	-18.257	-8.834	-13.148	-23.212
	น้ำหนักรวม	12.517	11.049	10.438	9.973	10.795	19.263	19.238	19.197	19.352	19.741	30.672	31.094	30.773	30.254	30.657
Error (%)	4.152	-6.119	-9.413	-16.183	-10.971	-13.628	-10.023	-11.080	-11.232	-10.003	-2.186	-0.492	1.585	-0.544	-6.534	
ความเร็วสูง (0.8-1.2 m/s)	น้ำหนักเพลาน้ำ	6.220	6.025	6.508	6.019	5.980	9.280	9.345	8.856	9.627	9.998	13.574	14.789	15.061	14.489	13.654
	Error (%)	74.273	64.774	77.678	71.955	67.778	214.493	213.949	201.233	202.619	218.778	81.378	96.399	98.460	92.876	79.436
	น้ำหนักเพลากลาง	1.499	2.017	1.730	1.940	2.269	5.357	4.993	5.035	4.467	4.732	7.733	7.208	6.477	6.651	6.925
	Error (%)	-72.138	-63.370	-66.930	-62.775	-57.182	-52.380	-55.572	-54.700	-58.556	-57.285	-44.526	-49.287	-53.666	-52.445	-50.613
	น้ำหนักเพลาลัง	1.494	2.017	1.723	1.940	2.269	5.359	5.009	5.042	4.468	4.723	7.741	7.214	6.477	6.656	6.930
	Error (%)	-33.470	-14.876	-40.460	-41.648	-24.684	-45.747	-41.897	-45.653	-34.536	-37.280	-30.361	-28.674	-37.555	-39.296	-46.034
	น้ำหนักรวม	9.213	10.059	9.962	9.899	10.517	19.996	19.347	18.932	18.562	19.454	29.048	29.211	28.015	27.795	27.508
Error (%)	-17.710	-12.775	-15.501	-17.755	-11.430	-16.951	-15.280	-18.853	-10.692	-10.540	-10.729	-8.308	-12.290	-14.374	-20.200	

หมายเหตุ: ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาน้ำ น้ำหนักเพลาลัง และน้ำหนักรวม อ้างอิงจากค่าน้ำหนักที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงทางพลศาสตร์ในเพลารถ

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับการแก้ปัญหาแบบ 3 ตัวแปรพบว่าให้ค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมที่หายได้ใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการหายน้ำหนักรถบรรทุกแบบ 3 เพลานั้นสามารถแก้ปัญหาได้ด้วยการลดตัวแปรลงให้เหลือเพียงสองตัวแปรได้โดยการสมมติให้เพลากลางและเพลาลังมีค่าน้ำหนักกระทำที่เท่ากัน

6.5 ระดับความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบทั้งหมด เพื่อยืนยันว่าระบบการหายน้ำหนักรถบรรทุกที่ทำการศึกษานั้นมีความเชื่อถือได้เพียงพอต่อการนำไปใช้งานจริง จึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลในเชิงสถิติ โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

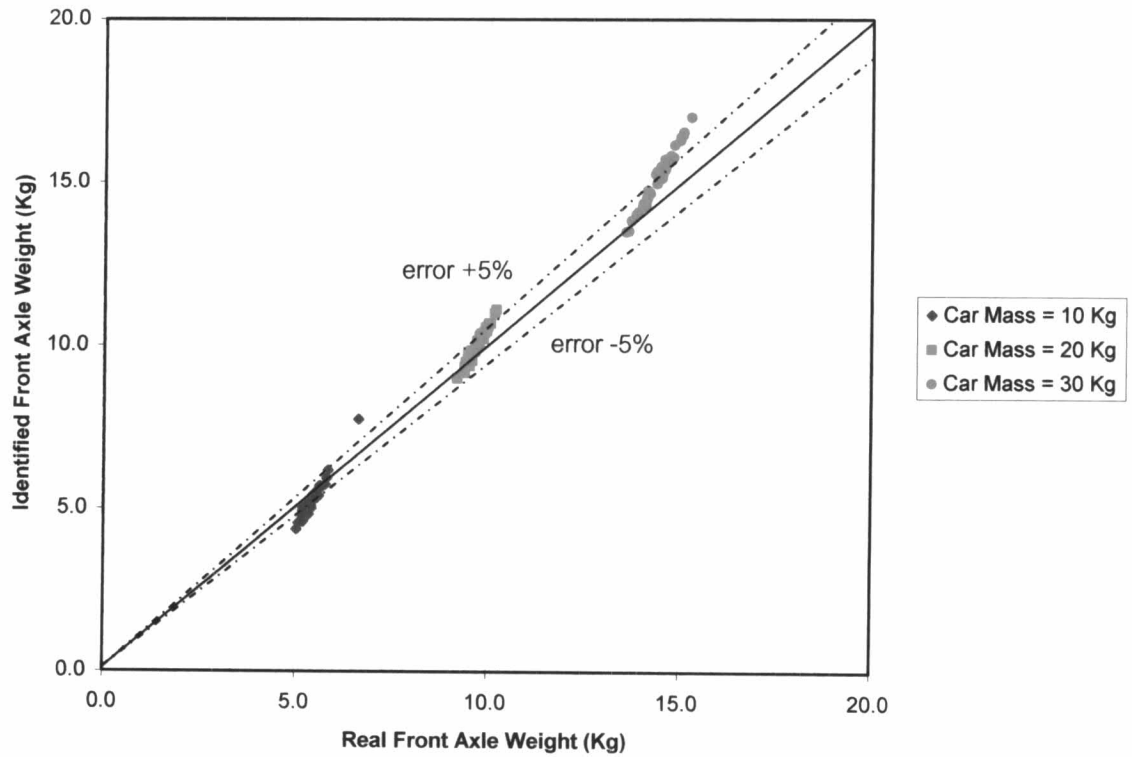
1. การหายน้ำหนักรถบรรทุกแบบ 2 เพล่า ซึ่งเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว
2. การหายน้ำหนักรถบรรทุกแบบ 2 เพล่า ซึ่งเคลื่อนที่บนสะพานต่อเนื่อง
3. การหายน้ำหนักรถบรรทุกแบบ 3 เพล่า ซึ่งเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว

ซึ่งในแต่ละประเภทได้ทำการศึกษามวลของมวลและความเร็วของรถบรรทุก รวมทั้งผลของความขรุขระของพื้นผิวสะพานอย่างละเอียด และจะทำการวิเคราะห์ถึงความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นของทั้งค่าน้ำหนักเพล่า และน้ำหนักรวมที่ทำการหายได้

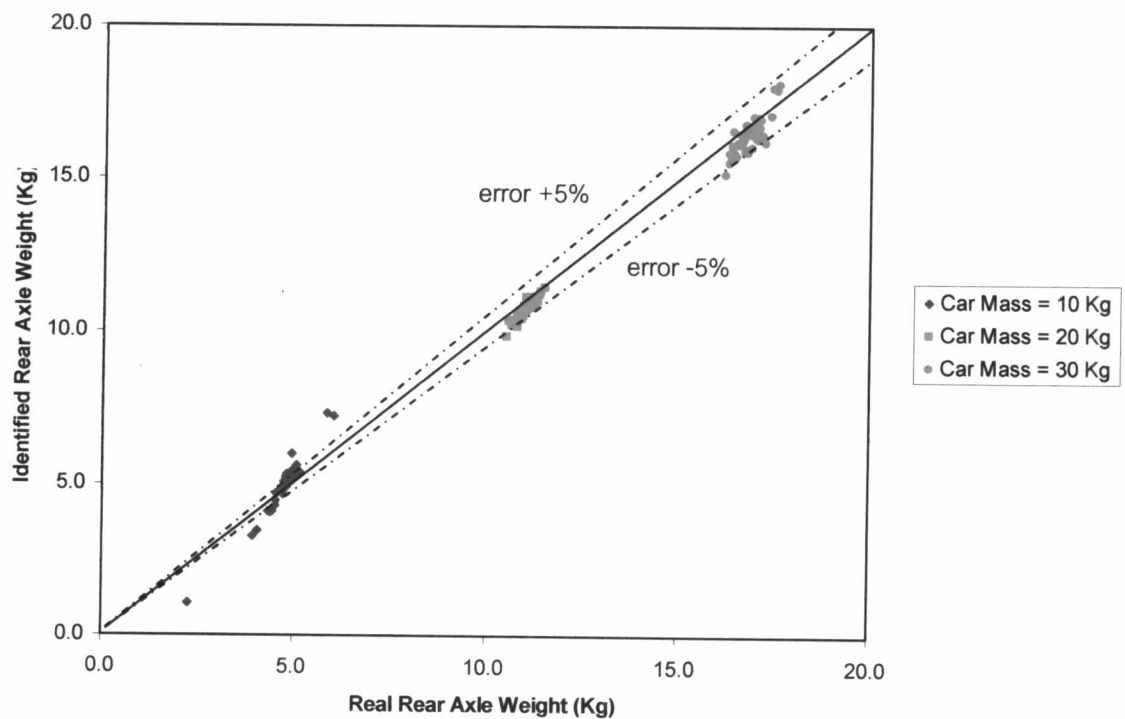
6.5.1 กรณีรถบรรทุกแบบ 2 เพล่าเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว

รูปที่ 6.37 ถึง 6.39 แสดงค่าน้ำหนักที่หายได้และค่าน้ำหนักที่วัดได้จริง เมื่อเคลื่อนที่รถบรรทุกแบบ 2 เพล่าบนสะพานที่ไม่มีความขรุขระ กับช่วงความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ ทั้งน้ำหนักเพล่าหน้า เพลาลัง และน้ำหนักรวมตามลำดับ โดยพล็อตจากผลการทดสอบรวมไปถึงกรณีที่รถบรรทุกเคลื่อนที่ในแนวเฉียงศูนย์จากกึ่งกลางสะพานด้วย

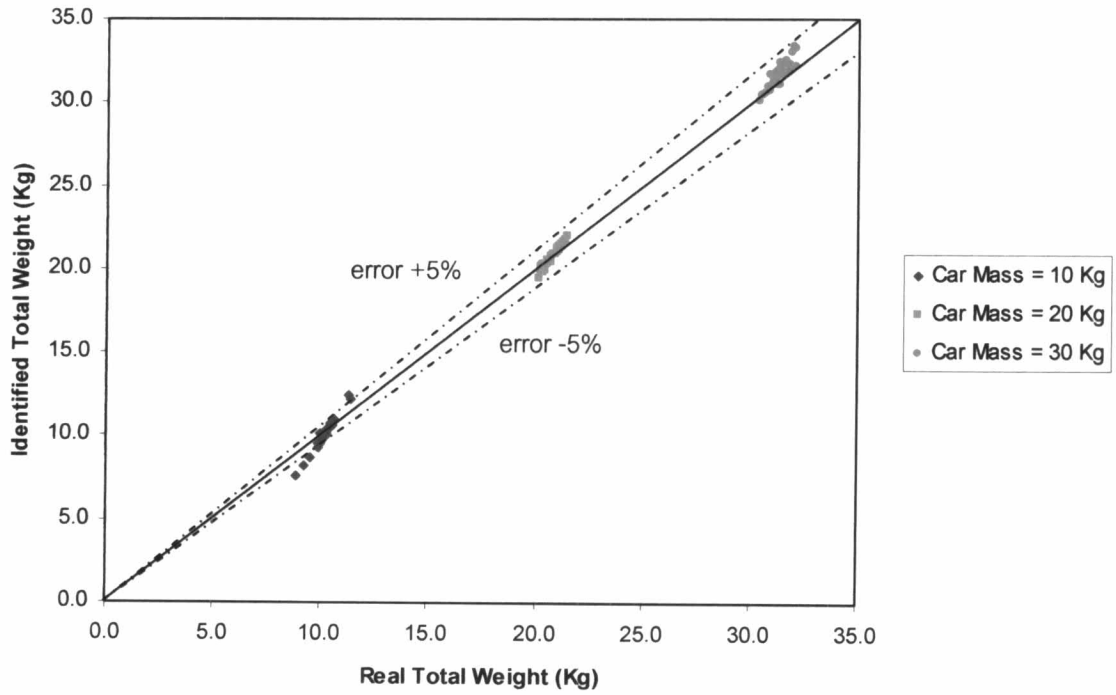
รูปที่ 6.40 ถึง 6.42 แสดงค่าน้ำหนักที่หายได้และค่าน้ำหนักที่วัดได้จริง เมื่อเคลื่อนที่รถบรรทุกแบบ 2 เพล่าบนสะพานที่มีความขรุขระทั้ง 3 ระดับ กับช่วงความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ ทั้งน้ำหนักเพล่าหน้า เพลาลัง และน้ำหนักรวมตามลำดับ



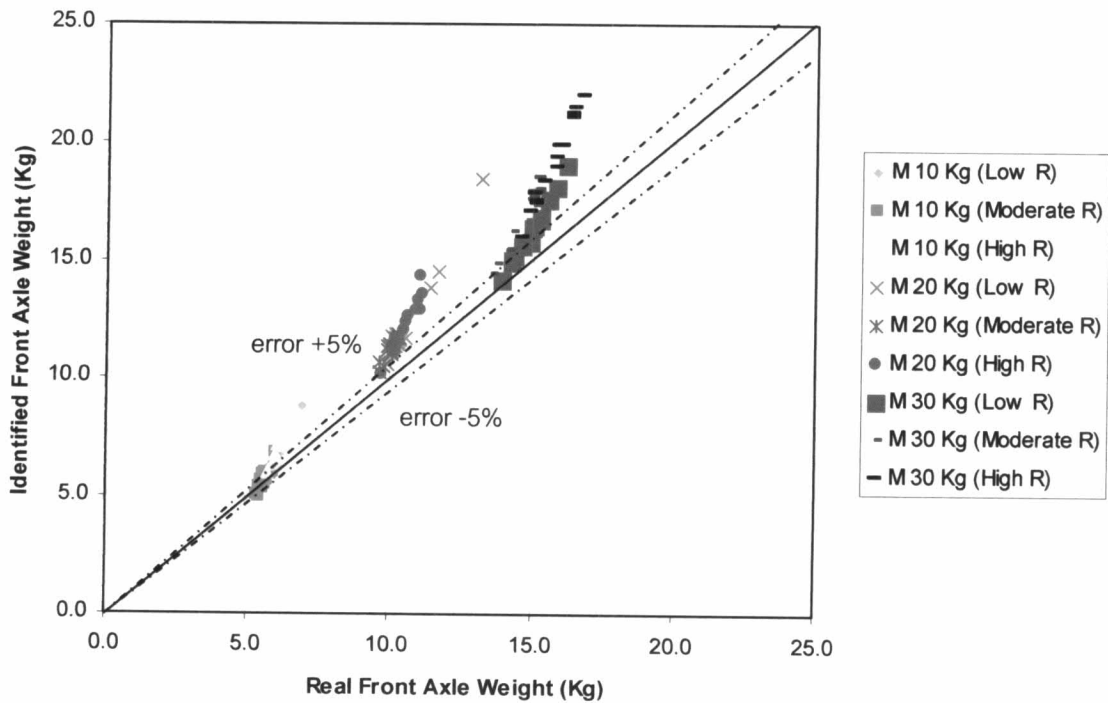
รูปที่ 6.37 ค่าน้ำหนักเพลาหน้าที่ย้ายได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลาหน้าทีวัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 2 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวและไม่มี ความขรุขระ



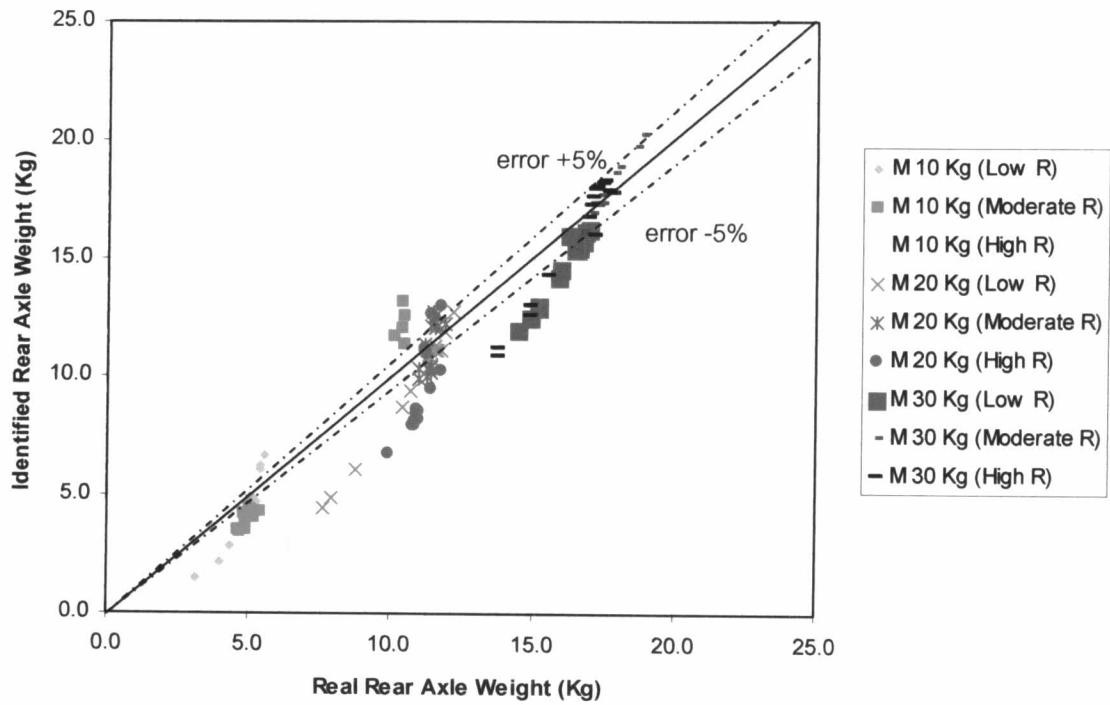
รูปที่ 6.38 ค่าน้ำหนักเพลาหลังที่ย้ายได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลาหน้าทีวัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 2 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวและไม่มี ความขรุขระ



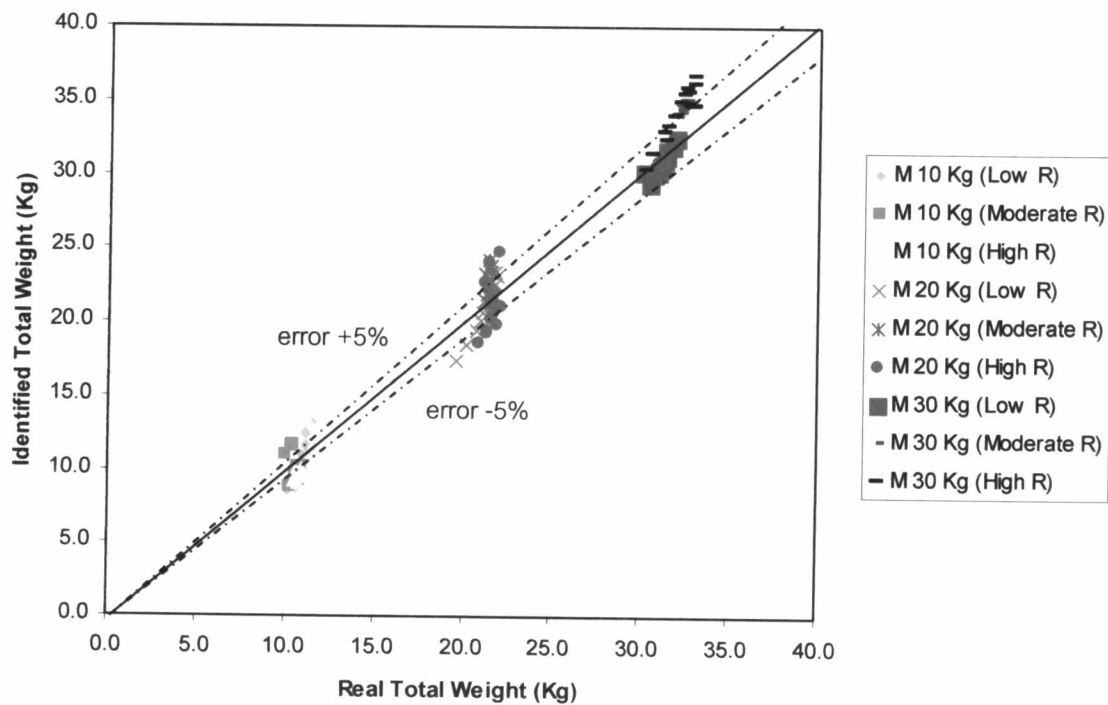
รูปที่ 6.39 ค่าน้ำหนักรวมที่ทายได้เทียบกับค่าน้ำหนักรวมที่วัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 2 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวและไม่มีควมขรุขระ



รูปที่ 6.40 ค่าน้ำหนักเพลาหน้าที่ทายได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลาหน้าที่วัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 2 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวและพื้นผิวมีความขรุขระ



รูปที่ 6.41 ค่าน้ำหนักเพลาหลังที่หายได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลาหลังที่วัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 2 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวและพื้นผิวมีความขรุขระ

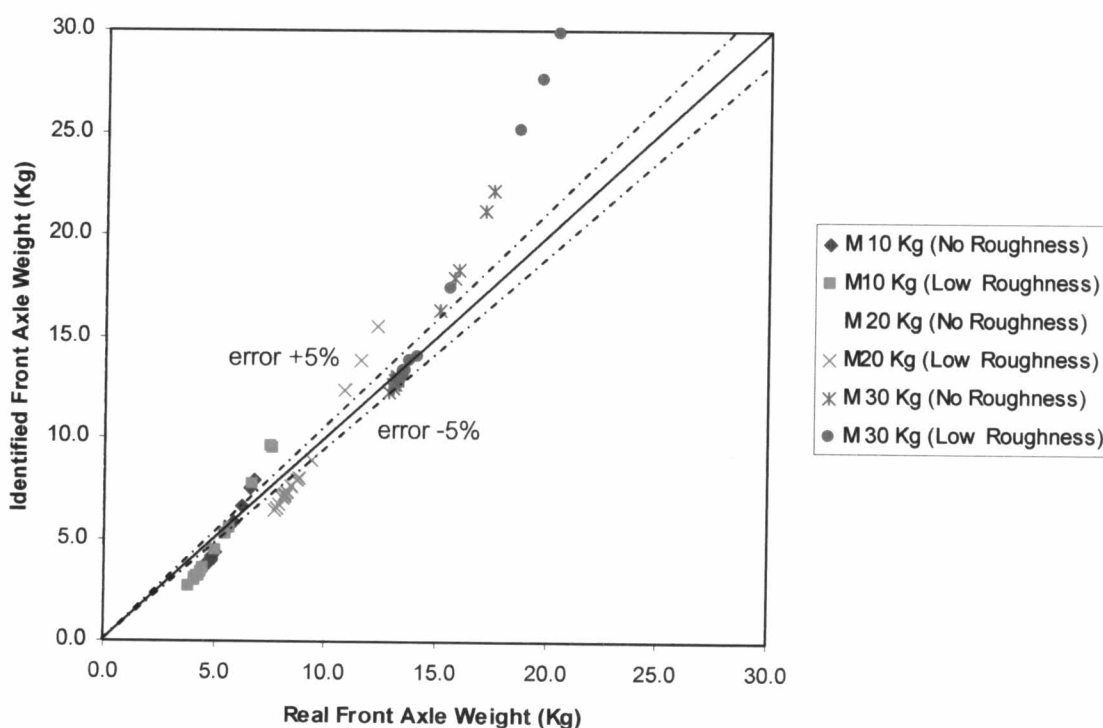


รูปที่ 6.42 ค่าน้ำหนักรวมหายได้เทียบกับค่าน้ำหนักรวมที่วัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 2 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวและพื้นผิวมีความขรุขระ

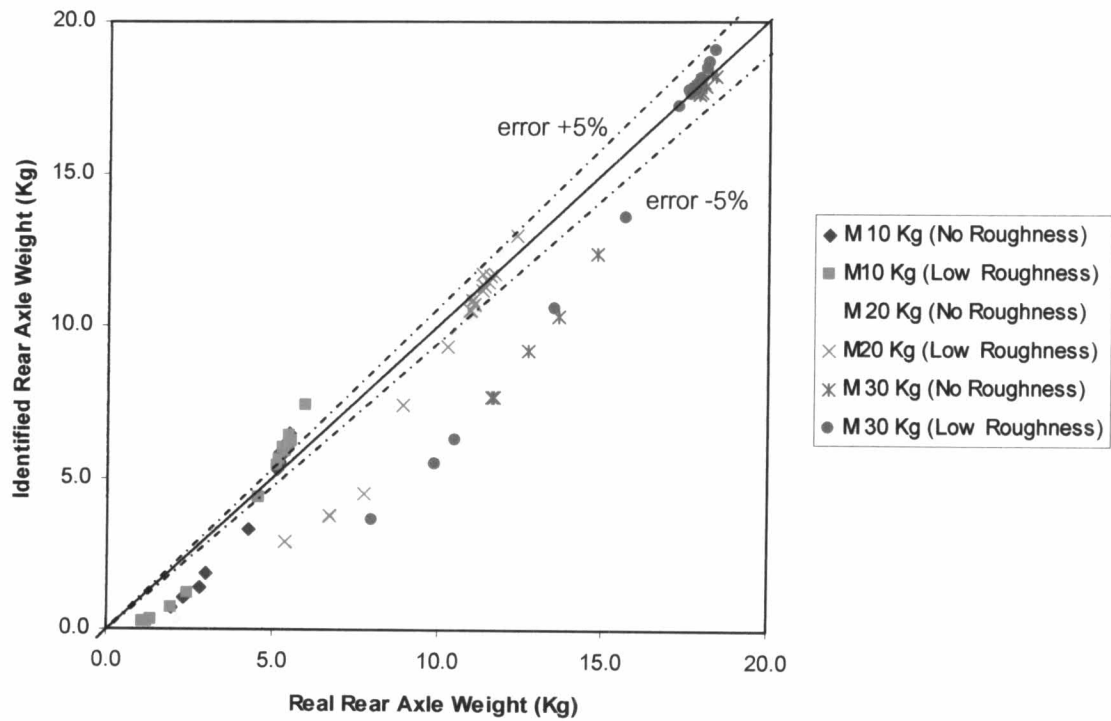
6.5.2 กรณีรถบรรทุกแบบ 2 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานต่อเนื่อง

รูปที่ 6.43 ถึง 6.45 แสดงค่าน้ำหนักที่ทายได้และค่าน้ำหนักที่วัดได้จริง เมื่อเคลื่อนที่รถบรรทุกแบบ 2 เพลา บนสะพานที่ต่อเนื่องที่มีค่า Continuity index เท่ากับ 0.8 กับช่วงความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ ทั้งน้ำหนักเพลาหน้า เพลาหลัง และน้ำหนักรวมตามลำดับ โดยพล็อตจากผลการทดสอบรวมไปถึงกรณีรถบรรทุกเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่มีความขรุขระเล็กน้อยด้วย

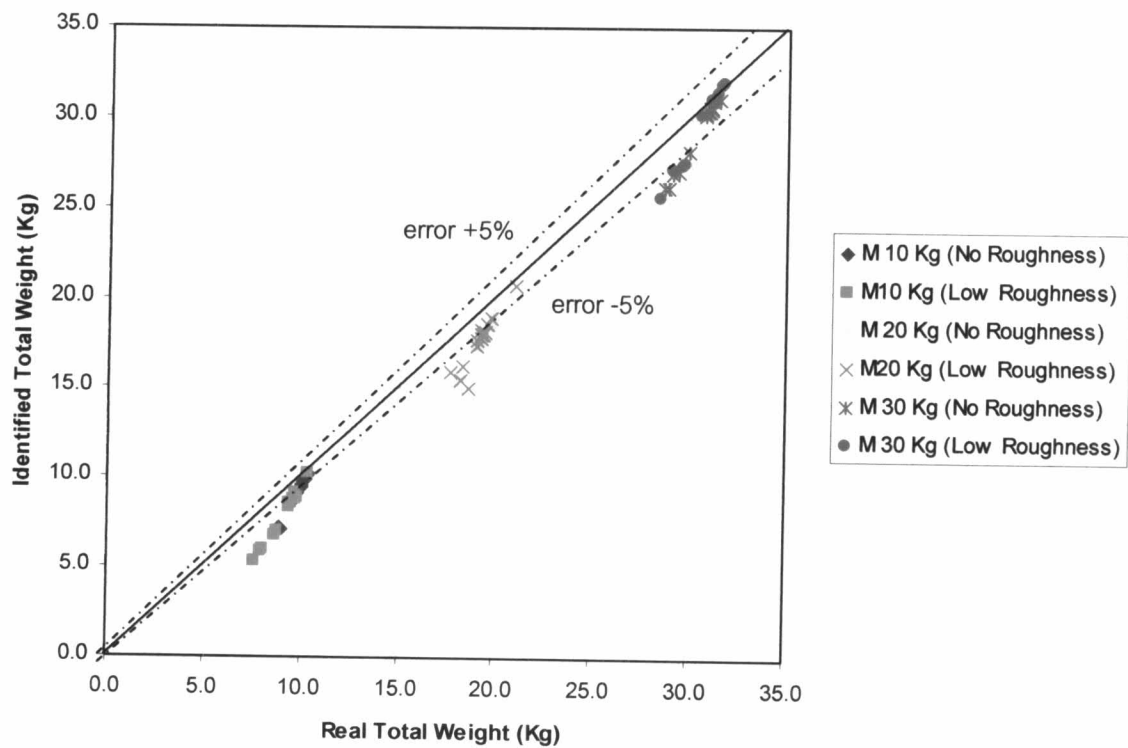
รูปที่ 6.46 ถึง 6.48 แสดงค่าน้ำหนักที่ทายได้และค่าน้ำหนักที่วัดได้จริง เมื่อเคลื่อนที่รถบรรทุกแบบ 2 เพลา บนสะพานต่อเนื่องที่มีค่า Continuity index เท่ากับ 0.7 กับช่วงความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ ทั้งน้ำหนักเพลาหน้า เพลาหลัง และน้ำหนักรวมตามลำดับ โดยพล็อตจากผลการทดสอบรวมไปถึงกรณีรถบรรทุกเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่มีความขรุขระเล็กน้อยด้วย



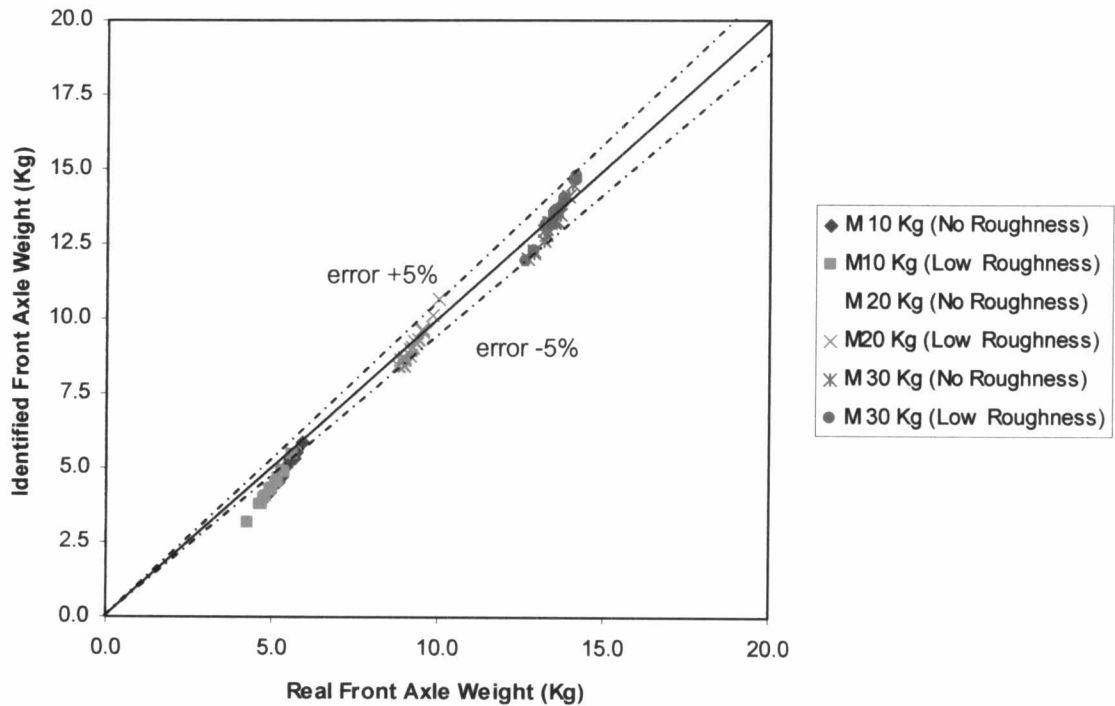
รูปที่ 6.43 ค่าน้ำหนักเพลาหน้าที่ทายได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลาหน้าที่วัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 2 เพลาเคลื่อนที่บน สะพานต่อเนื่องที่มีค่า Continuity index = 0.8



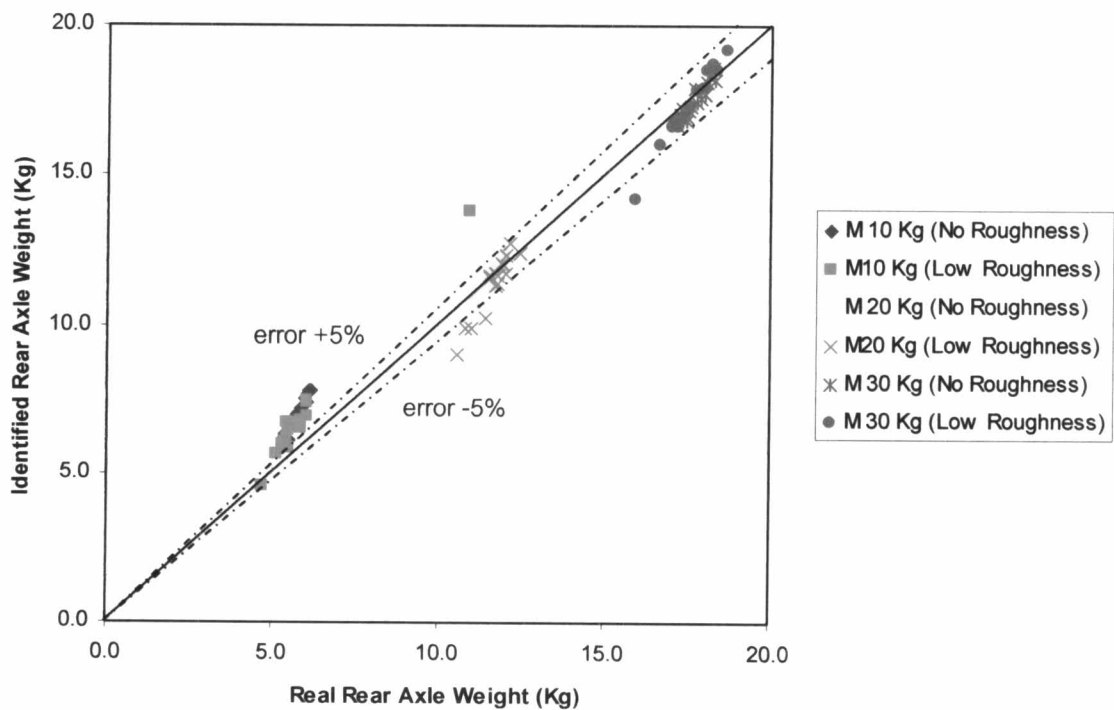
รูปที่ 6.44 ค่าน้ำหนักเพลาหลังที่หายได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลาหลังที่วัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 2 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานต่อเนื่องที่มีค่า Continuity index = 0.8



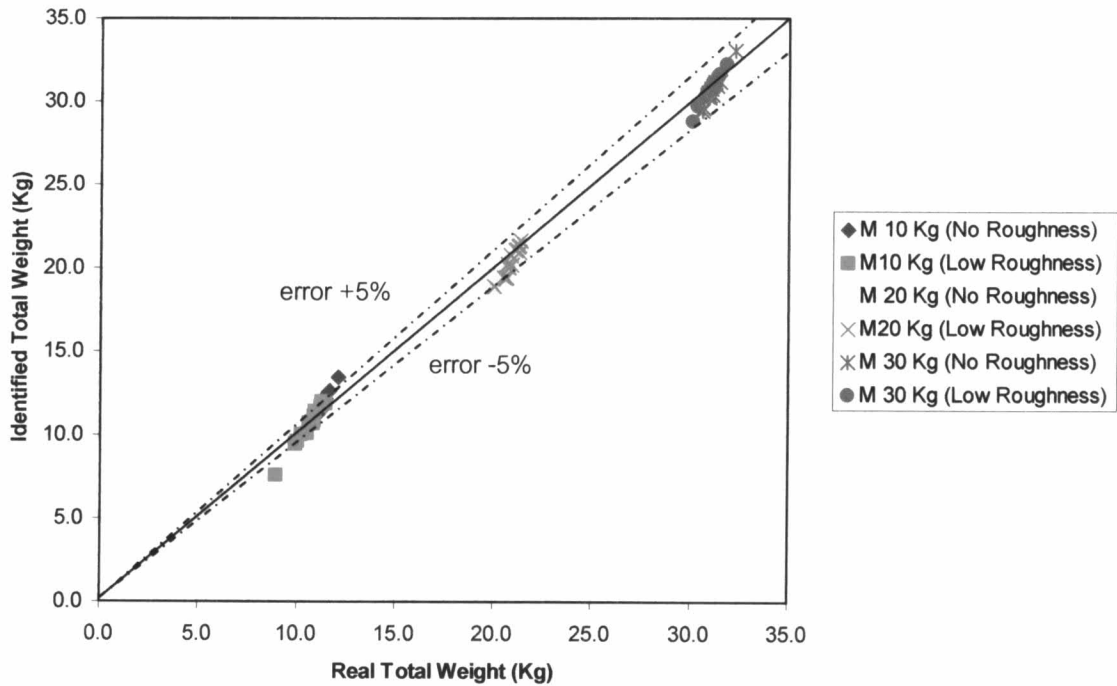
รูปที่ 6.45 ค่าน้ำหนักรวมที่หายได้เทียบกับค่าน้ำหนักรวมที่วัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 2 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานต่อเนื่องที่มีค่า Continuity index = 0.8



รูปที่ 6.46 ค่าน้ำหนักเพลาหน้าที่ย้ายได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลาหน้าที่วัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 2 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานต่อเนื่องที่มีค่า Continuity index = 0.7



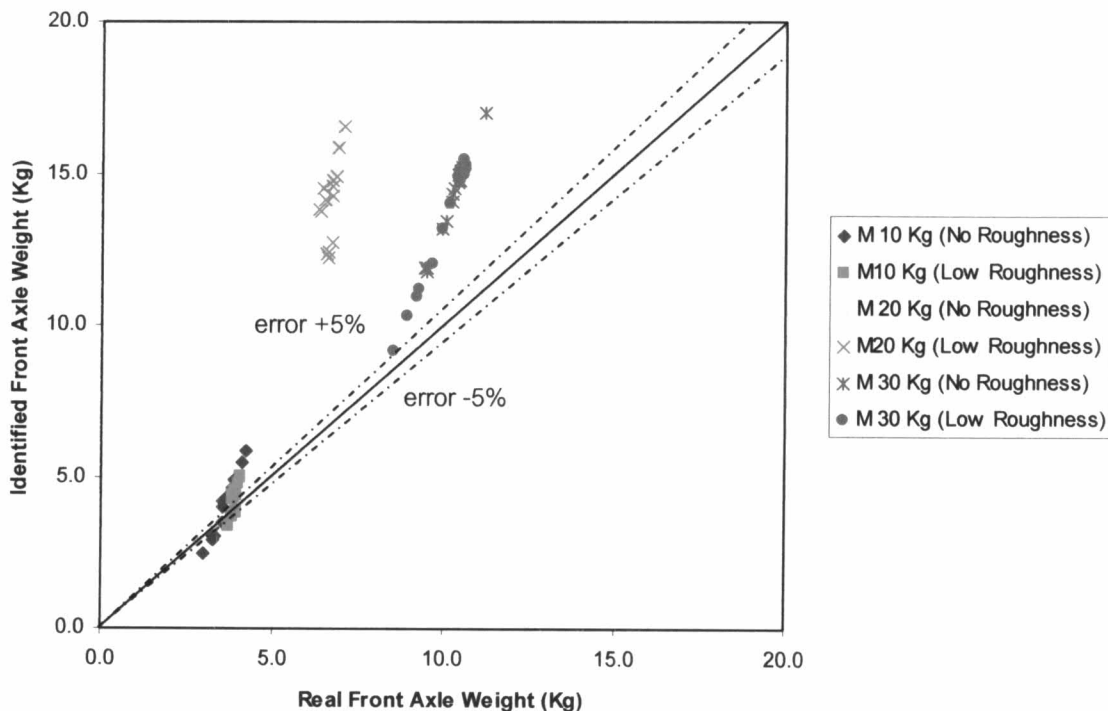
รูปที่ 6.47 ค่าน้ำหนักเพลาหลังที่ย้ายได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลาหลังที่วัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 2 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานต่อเนื่องที่มีค่า Continuity index = 0.7



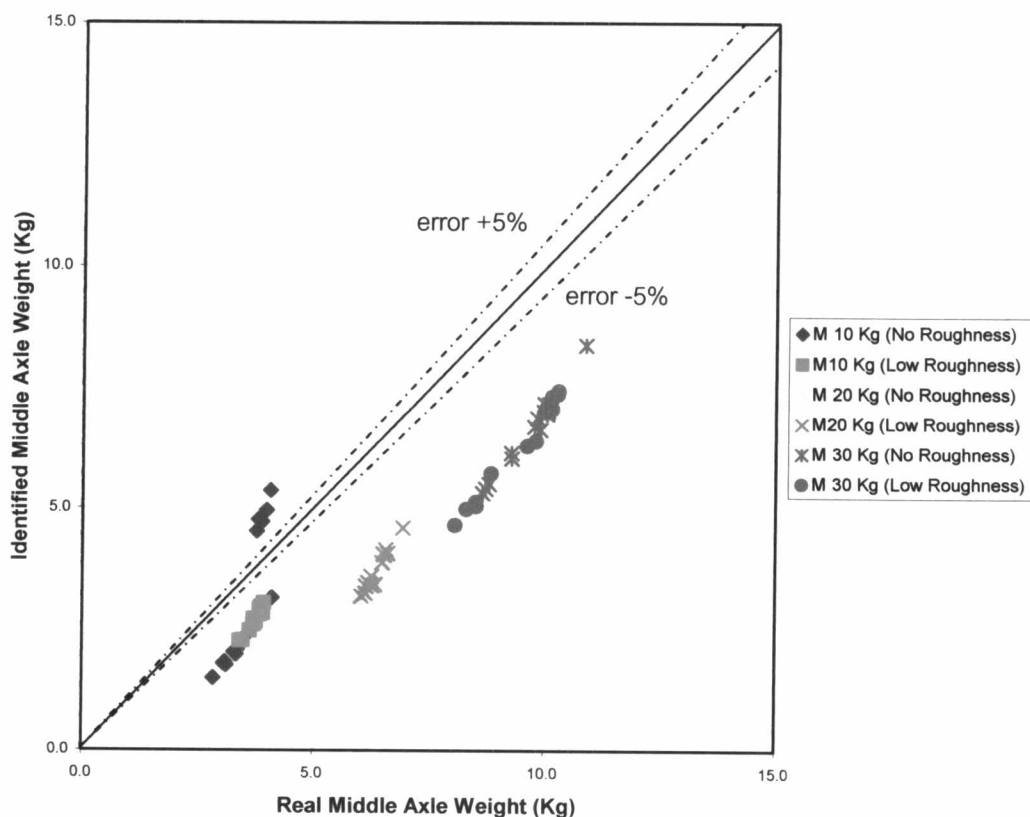
รูปที่ 6.48 ค่าน้ำหนักจริงที่ทาบได้เทียบกับค่าน้ำหนักที่วัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 2 เพลาเคลื่อนที่บนสะพาน ต่อเนื่องที่มีค่า Continuity index = 0.7

6.5.3 กรณีรถบรรทุกแบบ 3 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว

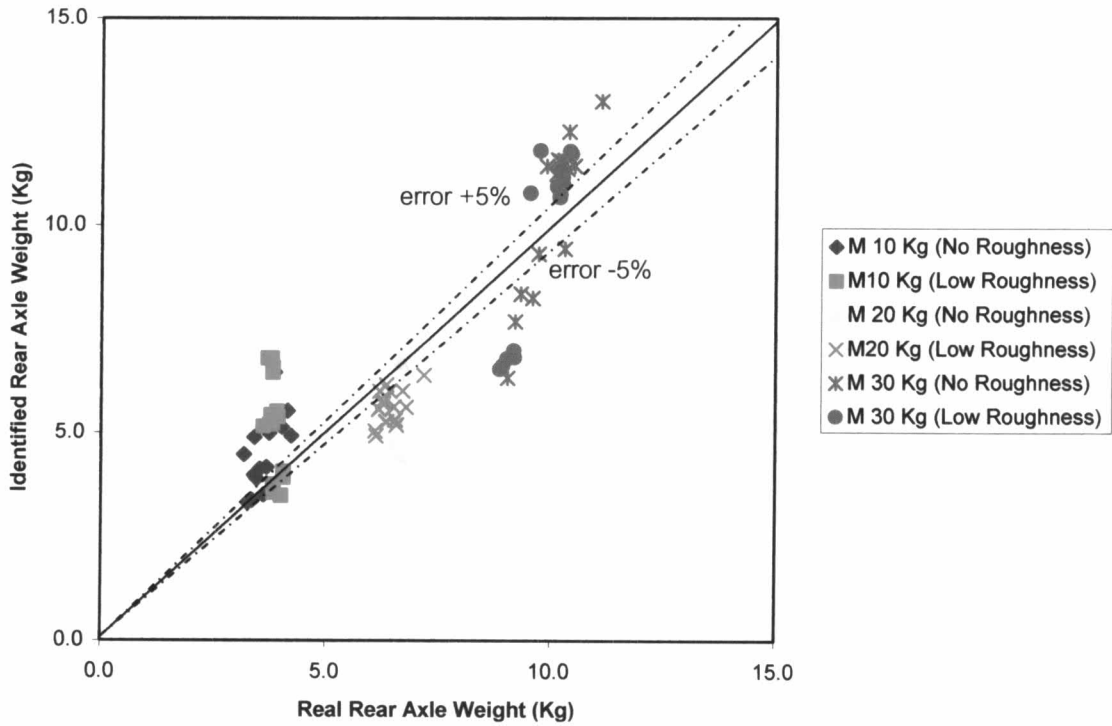
รูปที่ 6.49 ถึง 6.52 แสดงค่าน้ำหนักที่ทาบได้และค่าน้ำหนักที่วัดได้จริง เมื่อเคลื่อนที่รถบรรทุกแบบ 3 เพลาบนสะพานช่วงเดียว กับช่วงความคลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ ทั้งน้ำหนักเพลาหน้า เพลากลาง เพลาหลัง และน้ำหนักรวมตามลำดับ โดยพล็อตจากผลการทดสอบรวมไปถึงกรณีที่รถบรรทุกเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่มีความขรุขระเล็กน้อยด้วย



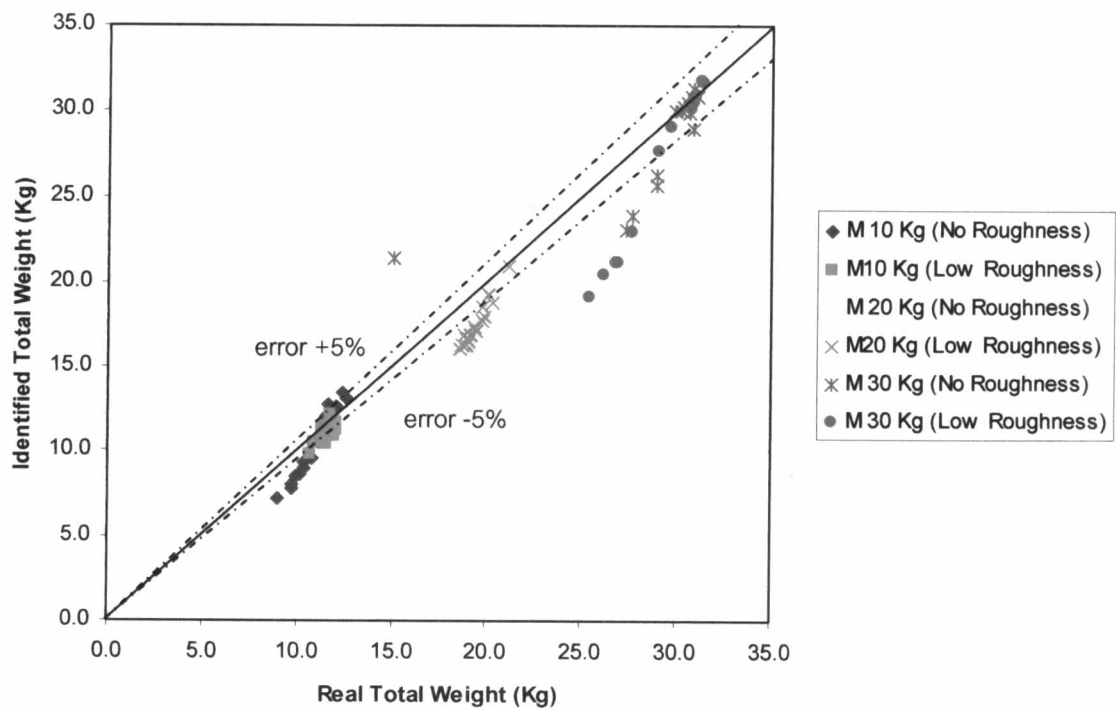
รูปที่ 6.49 ค่าน้ำหนักเพลาหน้าที่ย้ายได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลาหน้าทีวัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 3 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว



รูปที่ 6.50 ค่าน้ำหนักเพลากลางที่ย้ายได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลากลางทีวัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 3 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว



รูปที่ 6.51 ค่าน้ำหนักเพลาหลังที่ทายได้เทียบกับค่าน้ำหนักเพลาหลังที่วัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 3 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว



รูปที่ 6.52 ค่าน้ำหนักรวมที่ทายได้เทียบกับค่าน้ำหนักรวมที่วัดได้จริง กรณีรถบรรทุก 3 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียว

จากผลการทดสอบทั้งหมด จะพบว่าการหาน้ำหนักกรณีรถบรรทุก 2 เพลาเคลื่อนที่บนสะพานช่วงเดียวและพื้นผิวสะพานไม่มีความขรุขระนั้นให้ผลการทดสอบที่อยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก โดยผลการทายน้ำหนักโดยส่วนใหญ่มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 10\%$ สำหรับน้ำหนักแยกเพลา และไม่เกิน $\pm 5\%$ สำหรับน้ำหนักรวม ซึ่งจากจำนวนการทดสอบในครั้งนี้ทั้งหมด 135 การทดสอบพบว่ามีการทดสอบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมมากกว่าช่วง $\pm 5\%$ เพียง 5 การทดสอบเท่านั้น และเป็นกรณีที่รถบรรทุกมีน้ำหนัก 10 กก. ทั้งหมด

จากค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหน้า, เพลาหลัง และน้ำหนักรวมรถบรรทุกในกรณีนี้ เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation, SD) จะได้ค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหน้า, เพลาหลัง และน้ำหนักรวมเท่ากับ 1.83%, -0.41% และ 0.35% ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหน้า, เพลาหลัง และน้ำหนักรวมเท่ากับ 5.11%, 7.23% และ 2.63% ตามลำดับ

เมื่อพื้นผิวสะพานมีความขรุขระ ผลการทายน้ำหนักจะมีความคลาดเคลื่อนที่สูงขึ้นตามระดับของความขรุขระ ซึ่งกรณีที่สะพานมีความขรุขระเล็กน้อย พบว่าจากการทดสอบจำนวน 45 การทดสอบ มีจำนวนการทดสอบที่มีค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมมากกว่าช่วง $\pm 5\%$ ถึง 14 การทดสอบ และส่วนใหญ่เป็นกรณีที่รถบรรทุกมีน้ำหนัก 10 กก. โดยมีการทดสอบจำนวน 9 การทดสอบที่มีความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมมากกว่าช่วง $\pm 10\%$

ขณะที่ผลการทายน้ำหนักในกรณีสะพานต่อเนื่องนั้นมีผลการทดสอบที่มีแนวโน้มที่ดี สังเกตจากกรณีสะพานต่อเนื่องที่มีค่า Continuity index = 0.7 ดังรูปที่ 6.38 แต่ยังคงพบว่าการผลทายน้ำหนักยังมีความแปรปรวนสูงเมื่อทดสอบด้วยแบบจำลองสะพานที่มีค่า Continuity index = 0.8 เช่นเดียวกับกับกรณีรถบรรทุกแบบ 3 เพลาซึ่งมีผลการทดสอบที่ให้ความคลาดเคลื่อนสูง เนื่องจากการขอบเขตของการทดสอบจากแบบจำลองดังที่ได้อธิบายไปแล้ว

โดยผลการทดสอบทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่เกี่ยวข้องซึ่งได้ถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ข