บทที่ 5

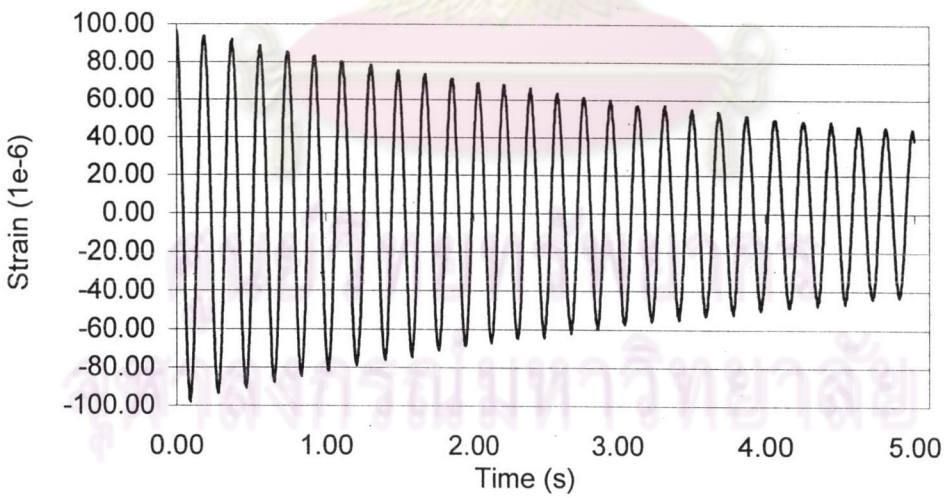
การปรับเทียบแบบจำลอง

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงวิธีการหาคุณสมบัติพื้นฐานของสะพาน และการปรับเทียบการหาน้ำหนักแบบจำลองย่อส่วนรถบรรทุกก่อนที่จะทำการทดสอบ ดังต่อไปนี้

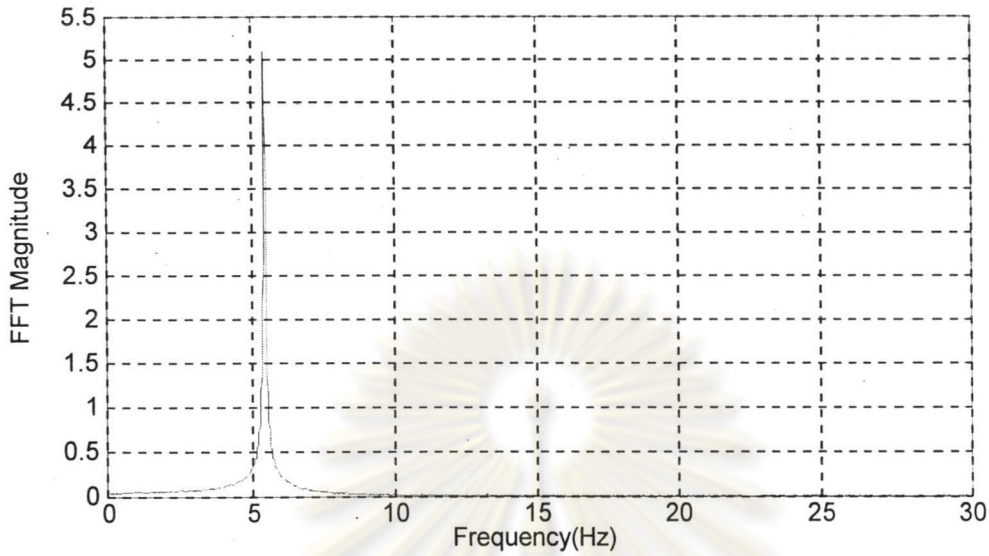
5.1 การหาคุณสมบัติพื้นฐานของสะพาน

คุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของสะพานได้แก่ ความถี่ธรรมชาติของสะพาน (natural frequency) และความหน่วงของสะพาน (damping ratio) ซึ่งสามารถหาได้โดยการทดสอบแบบการสั่นไหวอิสระ (free vibration) โดยการให้ระยะขจัดเริ่มต้น จะได้สัญญาณมาดังรูปที่ 5.1 จากสัญญาณนี้ก็จะทำการแปลงให้อยู่บนโดเมนของความถี่ (frequency domain) โดยวิธีการฟาสฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม (fast fourier transform) ซึ่งจะหาค่าความถี่ธรรมชาติของสะพานได้จากรูปที่ 5.2 ส่วนค่าความหน่วงของสะพานก็จะหาได้จากรูปที่ 5.1 เช่นกัน ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 5.1

$$\ln\left(\frac{x_n}{x_{n+1}}\right) = 2\xi\omega \tag{5.1}$$



รูปที่ 5.1 สัญญาณการสั่นไหวแบบอิสระ



รูปที่ 5.2 สัญญาณบนโดเมนของความถี่ (frequency domain)

ซึ่งจากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าขนาดของสัญญาณจะมีค่าสูงที่สุดเมื่อความถี่มีค่าเท่ากับ 5.4 Hz ดังนั้นความถี่ธรรมชาติโหมดที่หนึ่งของสะพานมีค่าเท่ากับ 5.4 Hz และจากสมการที่ 5.1 จะสามารถคำนวณหาค่าความหน่วงของสะพานได้มีค่าเท่ากับ 0.5%

5.2 การปรับเทียบแบบจำลอง (Calibration)

จากหลักการของไดนามิคโปรแกรมมิง จะทำการทายค่าแรง $\mathbf{f}_n$ จากสมการ (2.91) และค่าปฏิกริยาตอบสนอง $\mathbf{X}_j$ จากสมการ (2.76) แต่ในขณะที่ทำการคำนวณจะเห็นว่า $\mathbf{X}_j$ จะต้องคูณด้วย $\mathbf{Q}$ ซึ่งเป็นเมตริกซ์ที่ถูกเลือกเพื่อเชื่อมโยงระหว่างการวัดกับตัวแปร เช่น ถ้าเมตริกซ์การวัดเป็นค่าความเครียดก็จะสามารถหาเมตริกซ์ $\mathbf{Q}$ ได้จากสมการที่ (2.84) แต่ถ้าเมตริกซ์การวัดเป็นค่าโมเมนต์ก็สามารถหาได้เช่นกันโดยการนำสมการที่ (2.81) แทนลงในสมการที่ (4.1) ทำให้หาเมตริกซ์ $\mathbf{Q}$ ได้เช่นกัน โดยเมตริกซ์ $\mathbf{Q}$ นั้นจะเปรียบเสมือนค่าสติฟเนสของสะพาน โดยมีค่าอีลาสติกโมดูลัสของสะพาน ค่าโมเมนต์ความเฉื่อย และความยาวของสะพานแฝงอยู่

ก่อนที่จะทำการทดสอบนั้น จะต้องทำการปรับเทียบแบบจำลอง เนื่องจากแบบจำลองย่อส่วนสะพานที่ใช้ในการทดสอบ และสะพานที่จะทำการทดสอบในงานจริงนั้น ค่าสติฟเนสของสะพานอาจจะมีค่าไม่คงที่ หรือมีค่าไม่เป็นไปตามทฤษฎี จึงต้องมีการปรับเทียบโดยการหาค่าพารามิเตอร์มาปรับเทียบค่าสติฟเนส โดยนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวเข้าไปคูณกับเมตริกซ์ของการวัดก่อนที่จะนำไปทายน้ำหนักดังแสดงในสมการที่ (5.2) เพื่อให้ทายน้ำหนักรถบรรทุกได้ถูกต้อง

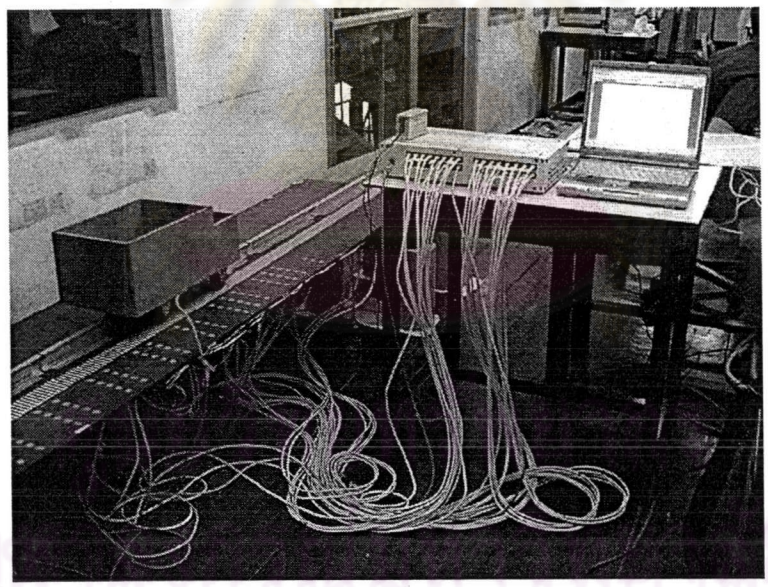
$$\mathbf{d}_{input} = \alpha \mathbf{d}_{measured} \tag{5.2}$$

โดยที่ $\mathbf{d}_{measured}$ คือ เวคเตอร์ของการวัดมีมิติ $m \times 1$

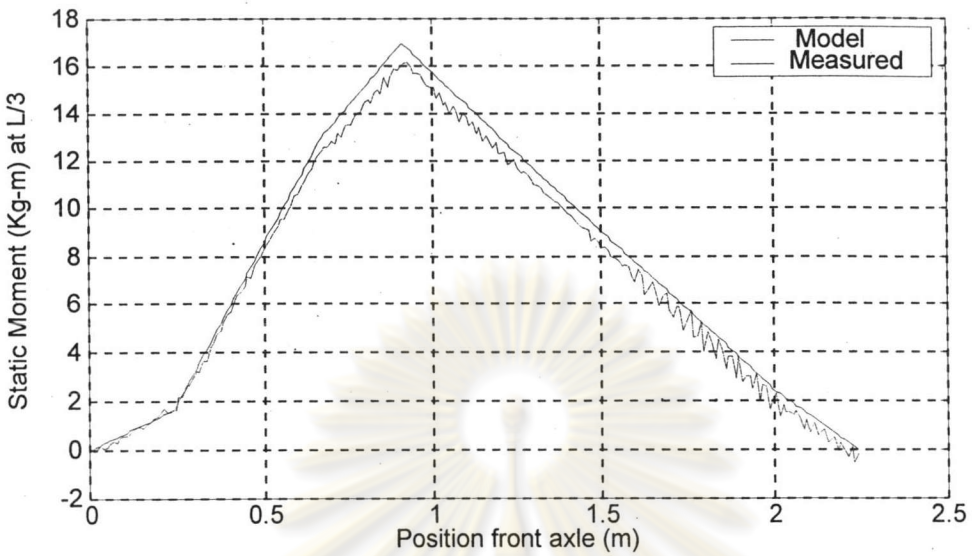
$\mathbf{d}_{input}$ คือ เวคเตอร์ของการวัดหลังจากผ่านการปรับเทียบแล้วมีมิติ $m \times 1$

α คือ พารามิเตอร์ค่าปรับเทียบ

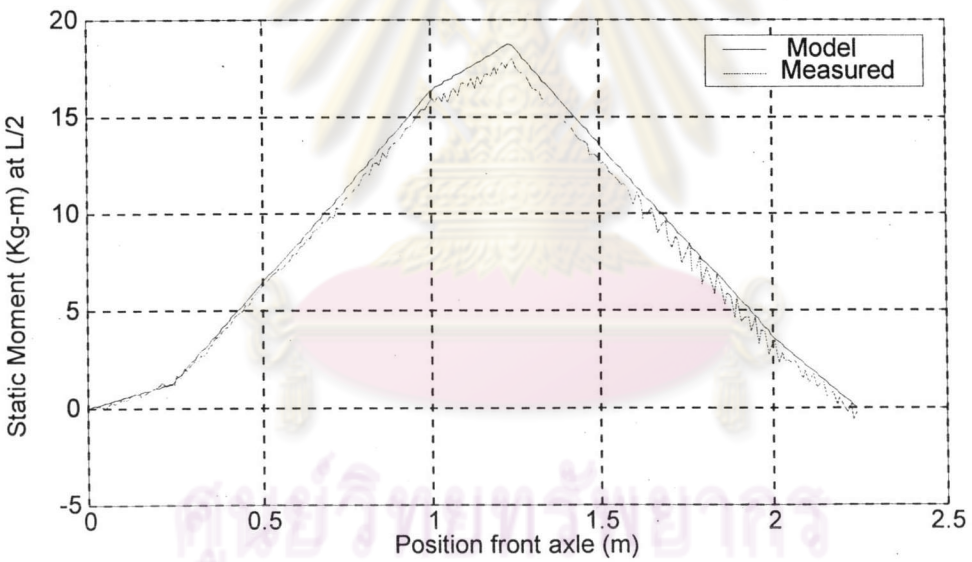
การปรับเทียบมีขั้นตอนดังนี้ การทำการวิ่งแบบจำลองรถบรรทุกบนแบบจำลองสะพานด้วยความเร็วต่ำมากๆ ในที่นี้ได้ใช้ความเร็ว 0.1 m/s โดยน้ำหนักของเพลาหน้าเท่ากับ 10 kg น้ำหนักเพลาหลังเท่ากับ 30 kg และน้ำหนักรวมเท่ากับ 40 kg ดังในรูปที่ 5.3 ซึ่งจะเห็นว่าค่าโมเมนต์ที่ได้จากการวิ่งของแบบจำลองรถบรรทุกนั้นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าโมเมนต์ที่ได้จากทางทฤษฎีโดยพิจารณาให้มีน้ำหนักรถบรรทุกวางอยู่นิ่งๆบนสะพานที่ตำแหน่งต่างๆ จะได้ดังรูปที่ 5.4-5.6 ค่าโมเมนต์ที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าต่ำกว่าค่าจากทฤษฎีอยู่ ซึ่งจะส่งผลให้น้ำหนักที่ทายออกมานั้นน้อยกว่าค่าที่ถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 5.7 และ 5.8 โดยที่น้ำหนักรวมจะได้ค่าเท่ากับ 37.48 kg ส่วนน้ำหนักเพลาหน้าและเพลาหลังเท่ากับ 11.93 และ 25.37 kg ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้เท่ากับ 6.3% 19.27% และ 15.42% ตามลำดับ



รูปที่ 5.3 การทดสอบที่ความเร็วต่ำๆ

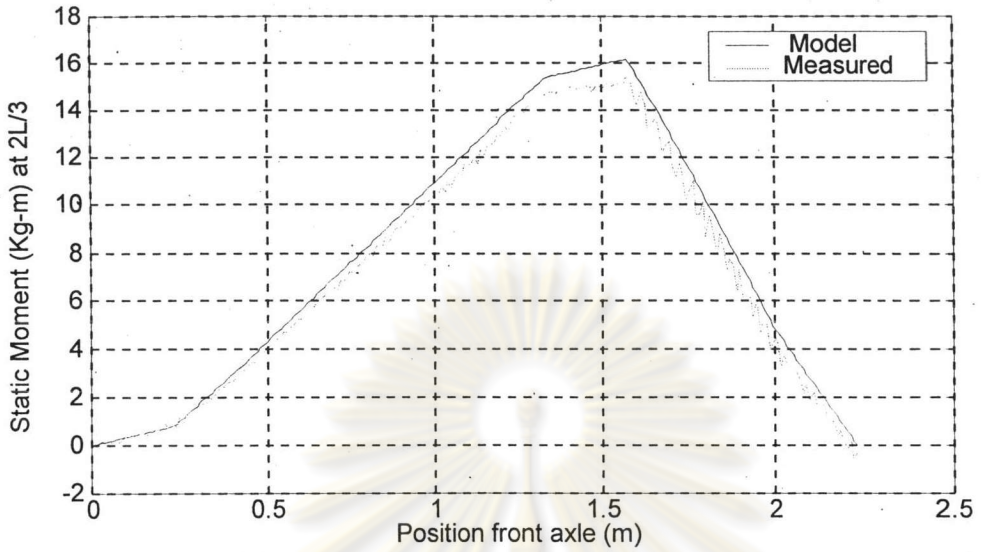


รูปที่ 5.4 ค่าโมเมนต์ที่ตำแหน่ง L/3 ของสะพาน

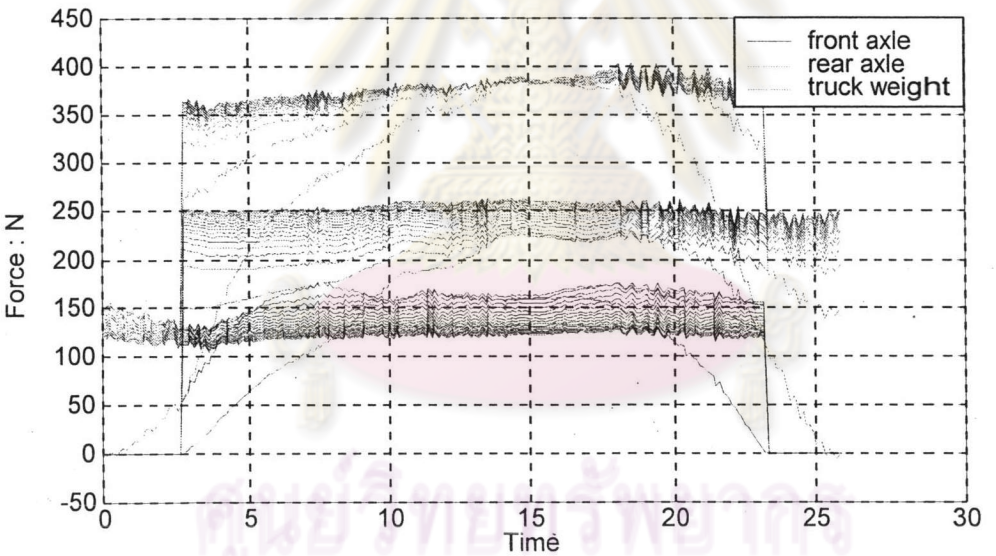


รูปที่ 5.5 ค่าโมเมนต์ที่ตำแหน่ง L/2 ของสะพาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

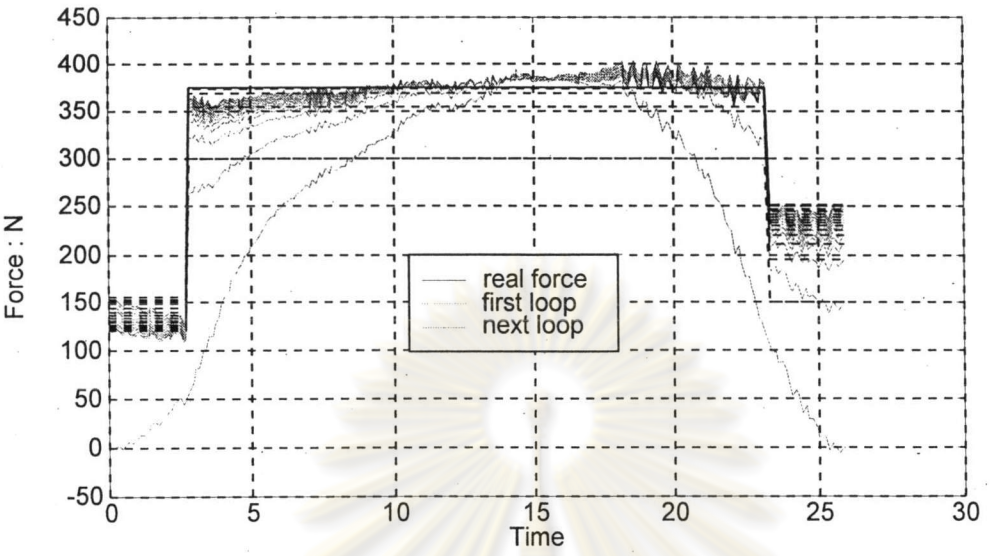


รูปที่ 5.6 ค่าโมเมนต์ที่ตำแหน่ง 2L/3 ของสะพาน



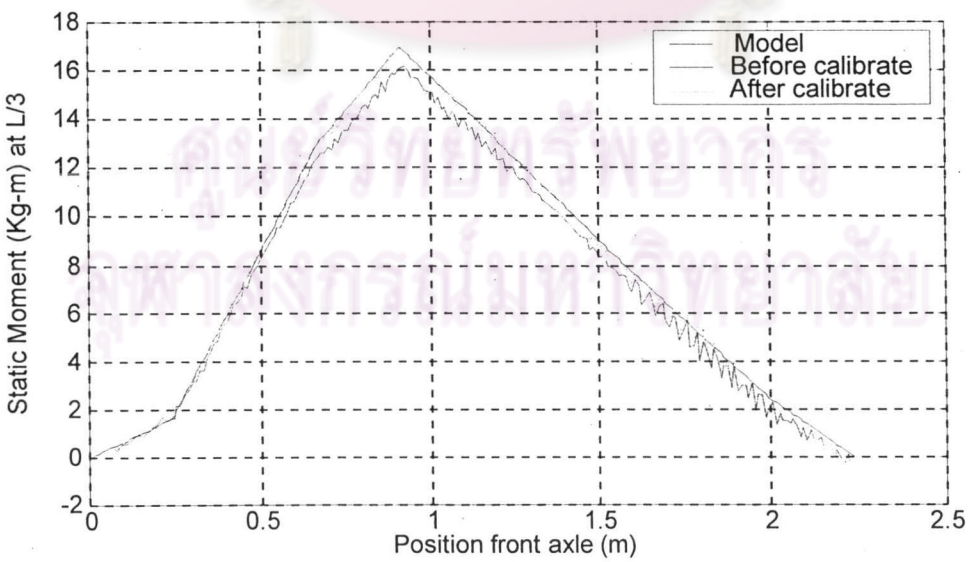
รูปที่ 5.7 น้ำหนักเพลาหน้า,เพลาหลังและน้ำหนักรวมของรถบรรทุกทางพลศาสตร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

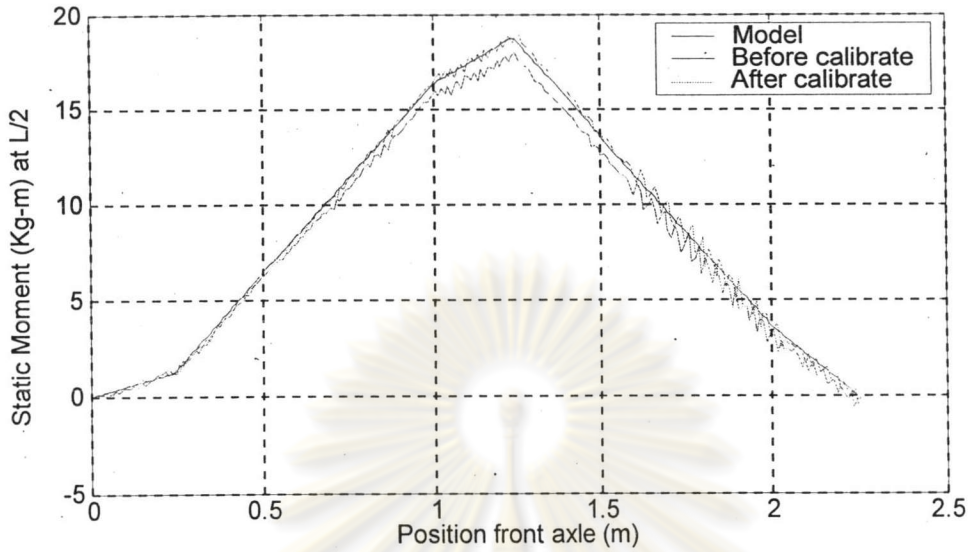


รูปที่ 5.8 น้ำหนักรวมของรถบรรทุกทางสถิต

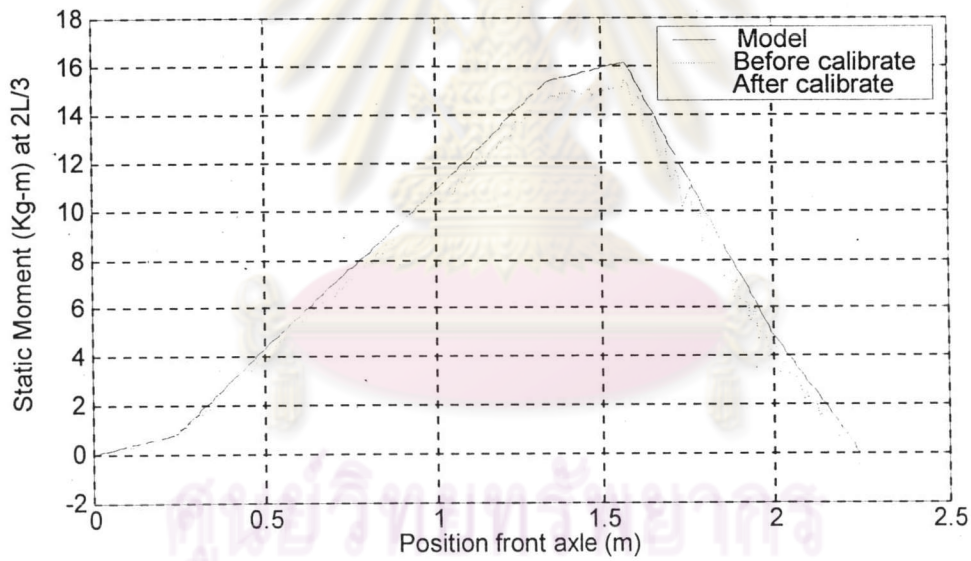
ดังนั้นจึงได้ทำการปรับแก้โดยปรับให้ค่าสติฟเนสของสะพานสูงขึ้น 5% โดยการคูณค่าสติฟเนสด้วยค่าเปรียบเทียบ (α)ที่มีค่าเท่ากับ 1.05 จะเห็นว่าค่าโมเมนต์ที่ได้จากการปรับแก้นั้นดีขึ้นกว่าเดิม ดังแสดงในรูปที่ 5.9-5.11 ส่วนค่าน้ำหนักที่ทายได้แสดงดังในรูปที่ 5.12 และ 5.13 โดยที่น้ำหนักรวมจะได้ค่าเท่ากับ 39.36 kg ส่วนน้ำหนักเพลาหน้าและเพลาหลังเท่ากับ 12.52 และ 26.64 kg ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนได้เท่ากับ 1.61% 25.24% และ 11.19% ตามลำดับ จะเห็นว่าหลังจากปรับแก้แล้วค่าน้ำหนักที่ทายได้ดีขึ้นมาก ยกเว้นน้ำหนักเพลาหน้าที่ความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้น



รูปที่ 5.9 ค่าโมเมนต์หลังจากปรับแก้ที่ตำแหน่ง L/3 ของสะพาน

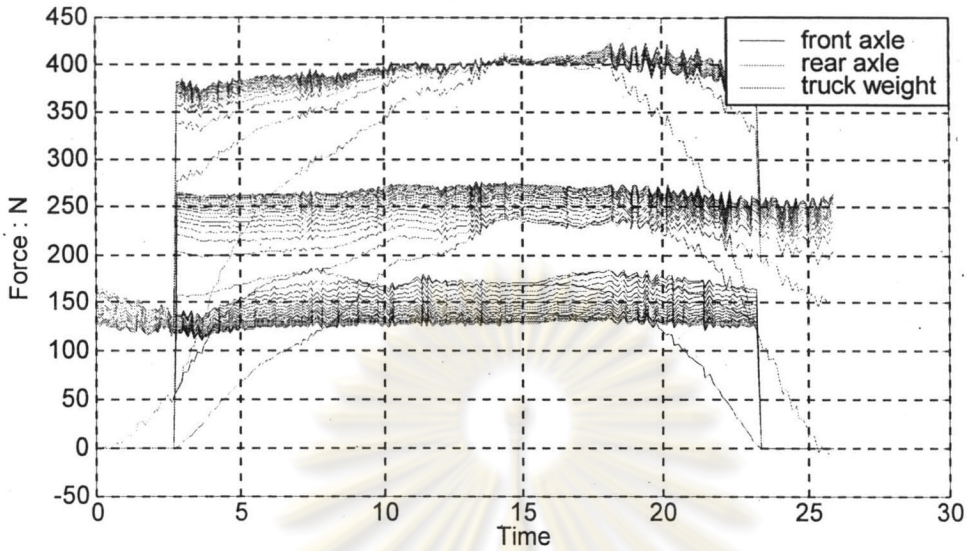


รูปที่ 5.10 ค่าโมเมนต์หลังจากปรับแก้ที่ตำแหน่ง L/2 ของสะพาน

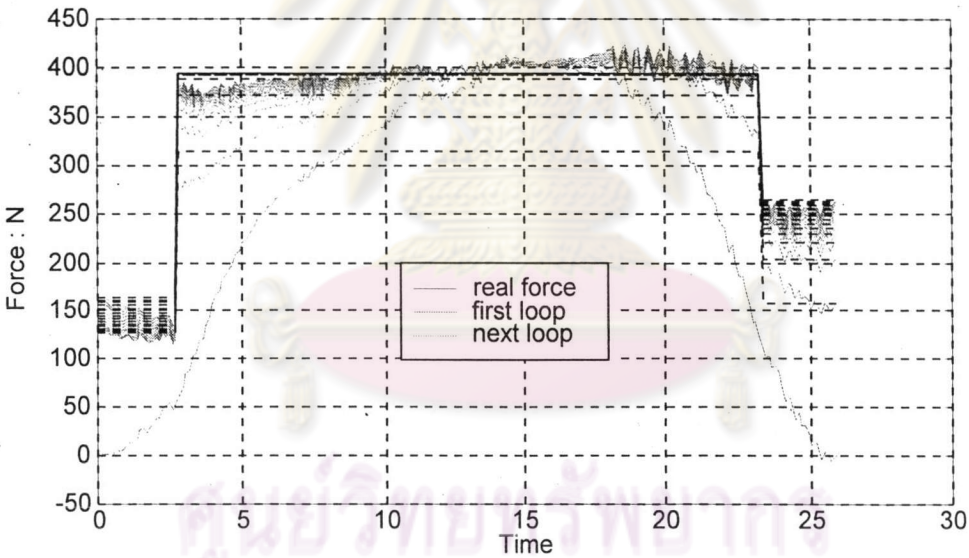


รูปที่ 5.11 ค่าโมเมนต์หลังจากปรับแก้ที่ตำแหน่ง 2L/3 ของสะพาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.12 น้ำหนักเพลาหน้า เพลาหลังและน้ำหนักรวมของรถบรรทุกทางพลศาสตร์หลังจากทำการปรับแก้



รูปที่ 5.13 น้ำหนักรวมของรถบรรทุกทางสถิตหลังจากทำการปรับแก้

ดังนั้นจะเห็นว่า การปรับแก้หน้างานก่อนทำการทายน้ำหนักนั้นมีความสำคัญ ซึ่งในการทดสอบนี้ก็ได้ทำการปรับแก้ดังนี้ โดยทำการทดสอบให้แบบจำลองรถบรรทุกวิ่งผ่านสะพานด้วยความเร็ว 0.1 m/s เป็นจำนวน 4 รอบ น้ำหนักเพลาหน้า เพลาหลัง และน้ำหนักรวมมีค่าเท่ากับ 10 30 และ 40 kg แล้วทำการปรับแก้โดยใช้ค่า α ตั้งแต่ 1.01-1.10 แล้วนำค่าความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมมาทำการหา (root mean square) ที่น้อยที่สุด เพื่อหาค่า α ที่ดีที่สุดไว้ใช้ในการทายน้ำหนัก โดยที่ค่าน้ำหนักเพลาหน้า เพลาหลัง และน้ำหนักรวม รวมทั้งค่าความคลาดเคลื่อนของทั้ง 4 รอบที่ทำการทดสอบ ได้แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าน้ำหนักเพลาหน้า เพลาหลัง และน้ำหนักรวม และเปอร์เซ็นต์ความเคลื่อน

		ก่อนทำการปรับเทียบ	ค่าปรับเทียบ (α)									
			1.01	1.02	1.03	1.04	1.05	1.06	1.07	1.08	1.09	1.10
ทดสอบครั้งที่ 1	น้ำหนักเพลาหน้า	11.93	12.05	12.17	12.29	12.40	12.52	12.64	12.76	12.88	13.00	13.12
	Error	19.27	20.47	21.66	22.85	24.04	25.24	26.43	27.62	28.81	30.01	31.20
	น้ำหนักเพลาหลัง	25.37	25.63	25.88	26.14	26.39	26.64	26.90	27.15	27.40	27.66	27.91
	Error	15.42	14.57	13.73	12.88	12.04	11.19	10.35	9.50	8.65	7.81	6.96
	น้ำหนักรวม	37.48	37.86	38.23	38.61	38.98	39.36	39.73	40.10	40.48	40.85	41.23
	Error	6.30	5.36	4.42	3.49	2.55	1.61	0.68	0.26	1.20	2.14	3.07
ทดสอบครั้งที่ 2	น้ำหนักเพลาหน้า	11.23	11.34	11.45	11.56	11.68	11.79	11.90	12.01	12.13	12.24	12.35
	Error	12.28	13.40	14.53	15.65	16.77	17.89	19.02	20.14	21.26	22.39	23.51
	น้ำหนักเพลาหลัง	25.81	26.07	26.33	26.59	26.85	27.10	27.36	27.62	27.88	28.14	28.39
	Error	13.96	13.10	12.23	11.37	10.51	9.65	8.79	7.93	7.07	6.21	5.35
	น้ำหนักรวม	37.23	37.60	37.98	38.35	38.72	39.09	39.46	39.84	40.21	40.58	40.95
	Error	6.92	5.99	5.06	4.13	3.20	2.27	1.34	0.41	0.52	1.45	2.38
ทดสอบครั้งที่ 3	น้ำหนักเพลาหน้า	11.65	11.76	11.88	12.00	12.11	12.23	12.35	12.46	12.58	12.69	12.81
	Error	16.46	17.63	18.79	19.96	21.12	22.29	23.45	24.62	25.78	26.95	28.11
	น้ำหนักเพลาหลัง	26.40	26.66	26.92	27.19	27.45	27.72	27.98	28.24	28.51	28.77	29.04
	Error	12.01	11.13	10.25	9.37	8.49	7.61	6.73	5.85	4.97	4.09	3.21
	น้ำหนักรวม	38.15	38.53	38.91	39.29	39.67	40.05	40.43	40.82	41.20	41.58	41.96
	Error	4.64	3.68	2.73	1.77	0.82	0.13	1.09	2.04	2.99	3.95	4.90
ทดสอบครั้งที่ 4	น้ำหนักเพลาหน้า	11.14	11.26	11.37	11.48	11.59	11.70	11.81	11.92	12.04	12.15	12.26
	Error	11.45	12.56	13.68	14.79	15.91	17.02	18.14	19.25	20.36	21.48	22.59
	น้ำหนักเพลาหลัง	26.30	26.56	26.83	27.09	27.35	27.62	27.88	28.14	28.41	28.67	28.93
	Error	12.33	11.45	10.57	9.70	8.82	7.94	7.07	6.19	5.31	4.44	3.56
	น้ำหนักรวม	37.64	38.01	38.39	38.76	39.14	39.52	39.89	40.27	40.65	41.02	41.40
	Error	5.91	4.97	4.03	3.09	2.15	1.21	0.27	0.68	1.62	2.56	3.50
rms of total load			5.07	4.15	3.24	2.35	1.52	0.94	1.10	1.82	2.68	3.58

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าทั้ง 4 รอบที่ทำการทดสอบนั้นเมื่อค่า α ที่ใช้ปรับแก้นั้นมีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหน้านั้นเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักเพลาหลังนั้นจะลดลง ส่วนเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมค่าจะลดลงจนกระทั่งค่า α อยู่ในช่วง 0.5-0.7 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมจะเริ่มเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงได้นำค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมของทั้ง 4 กรณีมาทำการหาค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง ซึ่งจะได้ว่าที่ α เท่ากับ 1.06 จะทำให้รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของน้ำหนักรวมน้อยที่สุด ในที่นี้จึงใช้ค่า α เท่ากับ 1.06 เป็นค่าปรับเทียบเพื่อใช้ในการหาน้ำหนักของรถบรรทุกทดสอบต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย