บทที่ 4

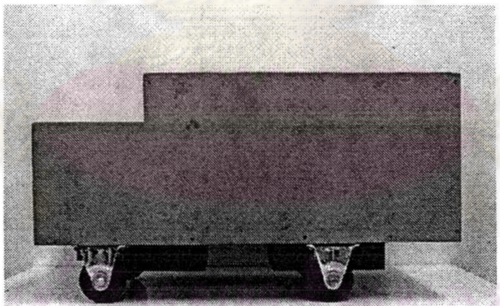
การออกแบบและติดตั้งแบบจำลองย่อส่วน

ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งได้ทำการคำนวณหาน้ำหนักรถบรรทุกจากแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ แต่ยังมีความจำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบโดยแบบจำลองย่อส่วน เพื่อดูแนวโน้มว่าจะสามารถนำวิธีการทายน้ำหนักที่เสนอไปใช้งานได้จริงหรือไม่

ในบทนี้จะได้อธิบายรายละเอียดในการออกแบบทั้งแบบจำลองย่อส่วนของรถบรรทุกและแบบจำลองย่อส่วนของสะพาน และจะได้กล่าวถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดสอบดังนี้

4.1 <u>แบบจำลองย่อส่วนของรถบรรทุก</u>

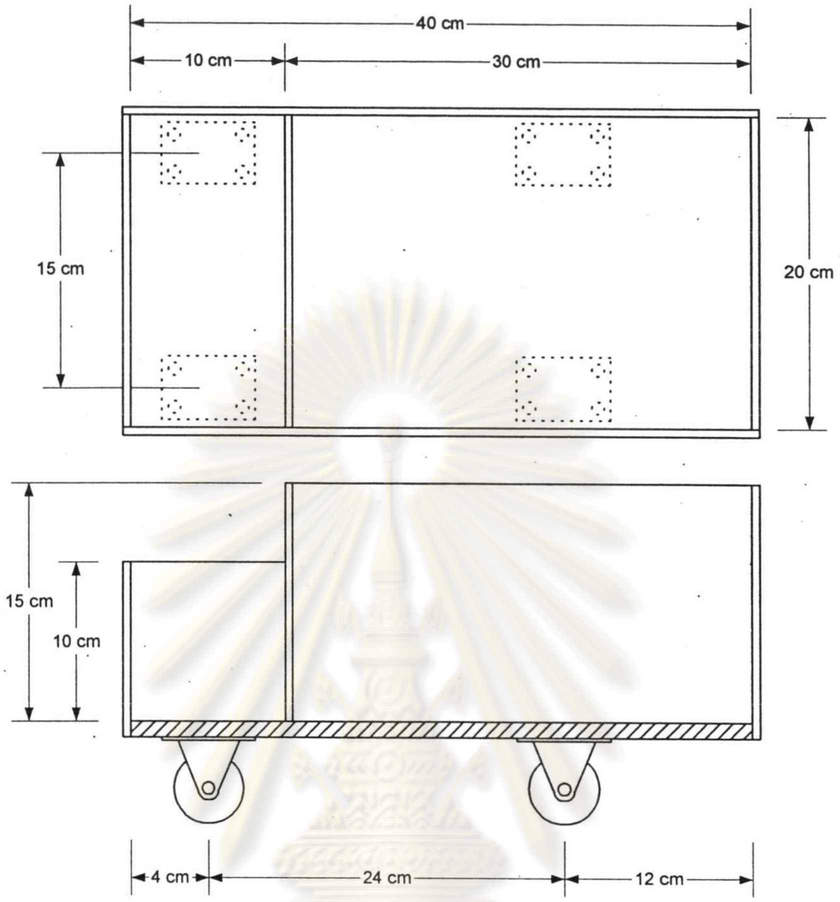
ในส่วนของรถบรรทุกนั้น ได้ทำการย่อขนาดจากรถบรรทุกจริง โดยให้สัดส่วนต่างๆยังคงเดิมอยู่ แต่ลดจำนวนเพลาหลังของรถบรรทุกซึ่งปกติเป็นเพลาคู่(รถบรรทุกสิบล้อ) ให้เหลือเพียงเพลาเดี่ยว ซึ่งแบบจำลองย่อส่วนของรถบรรทุกนั้นได้แสดงดังในรูปที่ 4.1 ส่วนระยะห่างเพลาและขนาดของแบบจำลองย่อส่วนรถบรรทุกนั้นได้แสดงในรูปที่ 4.2



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.1 แบบจำลองย่อส่วนรถบรรทุก

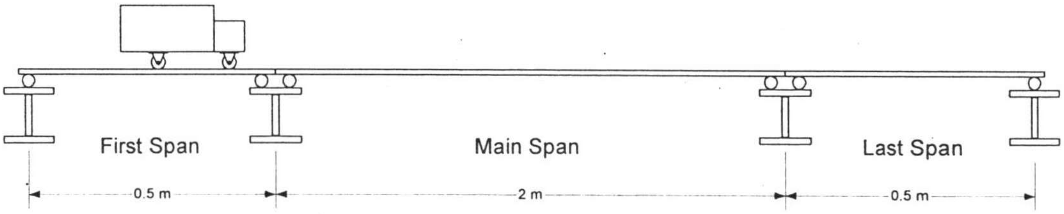
ตัวทำน้ำหนักนั้นใช้เหล็กแผ่นวางซ้อนๆกันไว้ในตัวแบบจำลองย่อส่วนรถบรรทุก ซึ่งจะทำน้ำหนักรวมของแบบจำลองย่อส่วนรถบรรทุกได้ในช่วง 25-40 kg และได้ใช้เครื่องชั่งแบบดิจิตอลซึ่งมีความละเอียด 5 g หรือ 0.005 kg และเมื่อรถบรรทุกวิ่งเหล็กแผ่นซึ่งใช้เป็นตัวทำน้ำหนักที่วางซ้อนกันอาจมีการเคลื่อนตัว ทำให้น้ำหนักเพลาหน้าและเพลาหลังจะมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นแต่จากการทดสอบพบว่าจะมีค่าไม่เกิน 100g



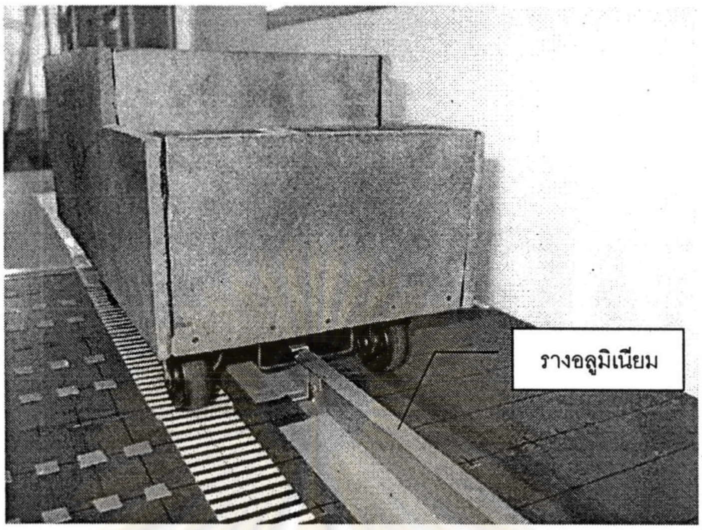
รูปที่ 4.2 ขนาดของแบบจำลองย่อส่วนของรถบรรทุก

4.2 <u>แบบจำลองย่อส่วนของสะพาน</u>

ในส่วนของสะพานก็เช่นกัน จะได้ทำการย่อขนาดลงจากสะพานจริง ซึ่งสะพานที่ออกแบบนี้มีด้วยกัน 3 ช่วง โดยสะพานช่วงแรก (first span) จะใช้สำหรับทำความเร็วก่อนเข้าสะพานช่วงหลัก (main span) และสะพานช่วงหลัง (last span) จะใช้สำหรับชะลอความเร็วแบบจำลองรถบรรทุกหลังจากที่แบบจำลองรถบรรทุกออกจากสะพานช่วงหลัก ดังแสดงในรูปที่ 4.3 และมีรางอลูมิเนียมรูปตัวยูบนสะพานด้วยเพื่อใช้บังคับให้แบบจำลองรถบรรทุกวิ่งได้ตรงตำแหน่งที่ต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 แบบจำลองสะพานทั้งสามช่วง

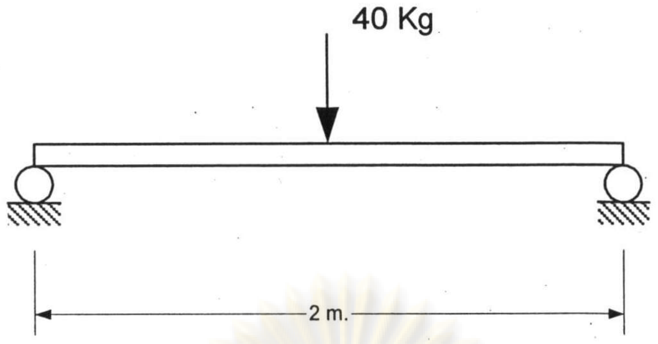


รูปที่ 4.4 รางอลูมิเนียมรูปตัวยูที่ติดตั้งบนสะพาน

โดยที่สะพานช่วงแรกและสะพานช่วงหลังนั้นได้ใช้ไม้อัดหนา 1 cm ส่วนสะพานช่วงหลักจะใช้เป็นช่วงสะพานที่ติดตั้งเครื่องมือการตรวจวัดต่างๆ เพื่อการทดสอบโดยใช้เหล็กแผ่นหนา 1 cm ซึ่งมีหลักการออกแบบดังนี้

1. ความยาวช่วงสะพาน (span length) ในการทดสอบนี้แบบจำลองย่อส่วนรถบรรทุกนั้นจะมีน้ำหนักสูงสุดถึง 40 Kg ซึ่งเป็นน้ำหนักที่ค่อนข้างมากจึงทำให้แบบจำลองรถบรรทุกที่ใช้ทดสอบนั้นสามารถทำความเร็วได้สูงสุดไม่เกิน 1 m/s และได้พิจารณาจากเวลาที่รถบรรทุกโดยทั่วไปวิ่งผ่านสะพานในที่นี้คือ 2 s ดังนั้นจึงได้กำหนดความยาวช่วงสะพานเท่ากับ 2 m ซึ่งจะเทียบได้กับสะพานจริงๆที่มีความยาวช่วงสะพานเท่ากับ 30 m เวลาที่รถวิ่งผ่านสะพาน 2 s จะได้ความเร็วเท่ากับ 15 m/s หรือ 48 km/hr

2. ขนาดหน้าตัด (section area) จะพิจารณามาจากค่าความเครียดของสะพานที่เกิดขึ้น ซึ่งสะพานโดยทั่วไปเมื่อมีรถบรรทุกวิ่งผ่านเพียงหนึ่งคันนั้นจะมีค่าความเครียดในช่วง 70-100 ไมโครสเตรน โดยในที่นี้ได้สมมติสะพานเป็นคานช่วงเดียว (simple support) มีความหนา 1 cm ความกว้าง 50 cm และความยาว 2 m ค่าอีลาสติกโมดูลัสของสะพาน $2x10^6$ ksc และคิดว่ามีน้ำหนักกระทำแบบจุด 40 kg กระทำที่กึ่งกลางสะพาน ดังรูปที่ 4.5 จะสามารถคำนวณค่าความเครียดได้เท่ากับ 120 ไมโครสเตรน



รูปที่ 4.5 ลักษณะน้ำหนักกระทำแบบจุดบนสะพาน

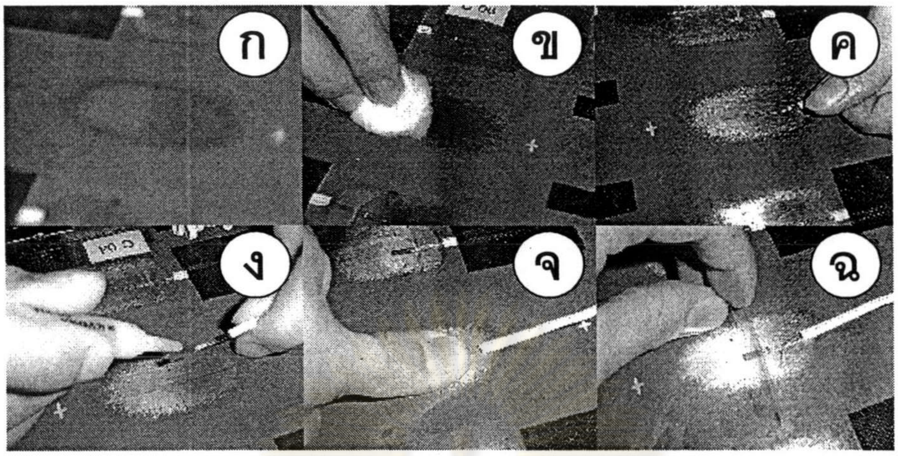
4.3 <u>ขั้นตอนการติดตั้งสเตรนเกจและตำแหน่งการติดตั้งของสเตรนเกจ</u>

ในการที่จะคำนวณน้ำหนักของรถบรรทุก จะต้องทำการตรวจวัดผลตอบสนองของตัวสะพานภายใต้การเคลื่อนที่ผ่านของรถบรรทุกซึ่งอาจจะเป็นความเร่ง หรือ ความเครียดก็ได้ แต่ในการศึกษานี้ได้ใช้การตรวจวัดค่าความเครียดในส่วนต่างๆในสะพานโดยการติดตั้งสเตรนเกจเป็นตัวเก็บสัญญาณ ซึ่งวิธีการติดตั้งและตำแหน่งที่ทำการติดตั้งจะได้กล่าวดังนี้

4.3.1 <u>ขั้นตอนการติดตั้งสเตรนเกจ</u>

1. ใช้กระดาษทรายน้ำขัดจนพื้นผิวที่จะติดตั้งสเตรนเกจนั้นเรียบ ดังรูปที่ 4.6ก
2. ใช้อะซีโตนทำความสะอาดพื้นผิว ดังรูปที่ 4.6ข
3. ทำการระบุตำแหน่งที่จะทำการติดตั้ง ดังรูปที่ 4.6ค
4. ทากาวที่ใต้สเตรนเกจ แล้วติดตั้งให้ตรงตำแหน่ง ดังรูปที่ 4.6ง
5. ใช้แผ่นพลาสติกที่ไม่ติดกาว วางทับไว้แล้วกดประมาณ 1 นาที ดังรูปที่ 4.6จ
6. ดึงพลาสติกออก ดังรูป 4.6ฉ

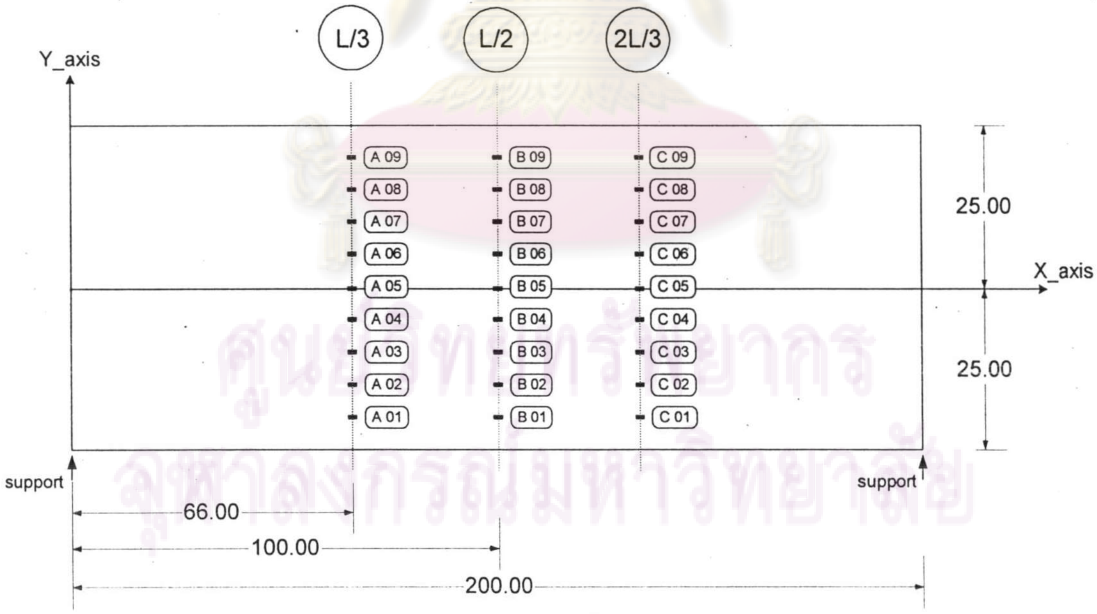
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



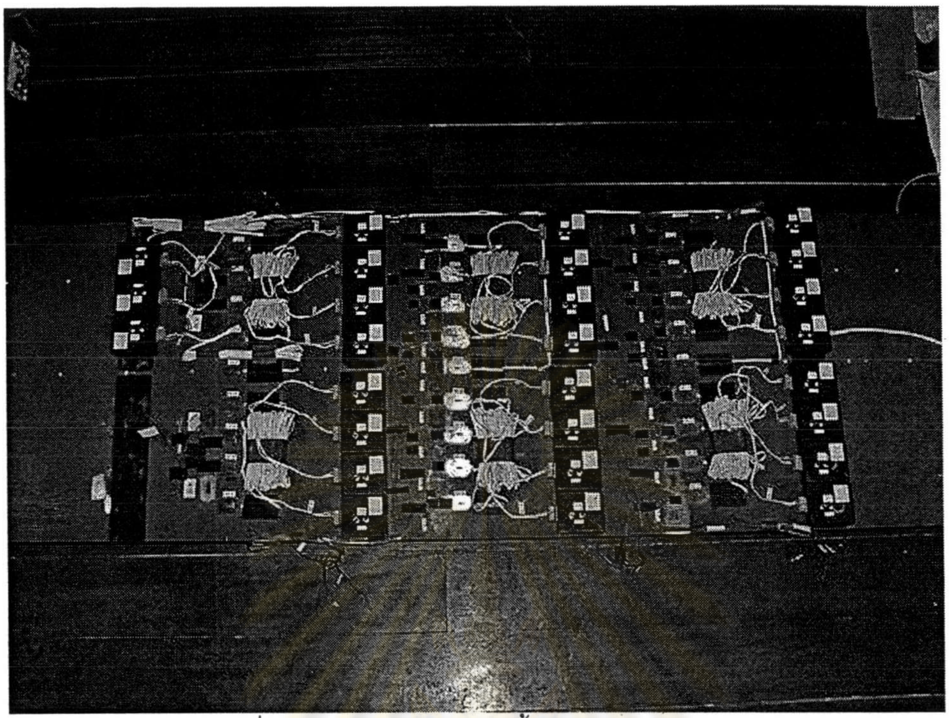
รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการติดตั้งสเตรนเกจ

4.3.2 <u>ตำแหน่งที่ติดตั้งสเตรนเกจ</u>

ในที่นี้ได้ทำการติดตั้งสเตรนเกจอยู่ใต้สะพานตามแนวยาวของสะพานเป็นจำนวน 3 หน้าตัด แต่ละหน้าตัดมีสเตรนเกจทั้งหมด 9 ตัว ซึ่งได้แสดงดังรูปที่ 4.7ก และ 4.7ข การที่ติดตั้งสเตรนเกจหลายตัวในแต่ละหน้าตัด เพื่อควบคุมผลของตำแหน่งในการวิ่งของรถบรรทุก ซึ่งจะได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.5



รูปที่ 4.7ก ตำแหน่งในการติดตั้งสเตรนเกจใต้สะพาน



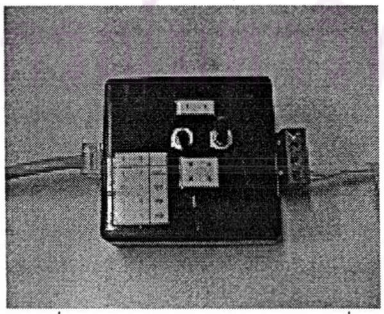
รูปที่ 4.7ข ตำแหน่งในการติดตั้งสเตรนเกจใต้สะพาน

4.4 <u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ</u>

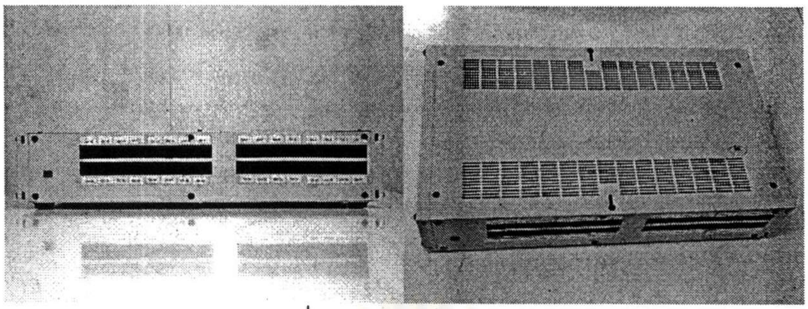
4.4.1 <u>อุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บสัญญาณ</u>

จะมีตัวกล่องบริจคอมพลีทชั่น (bridge completion) ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งในกล่องจะมีวงจร (bridge) อยู่และทำหน้าที่รับสัญญาณอนาลอค (analog signal) จากสเตรนเกจ จากนั้นจะส่งผ่านสายแลนไปยังดาต้าลอคเกอร์ (data logger) ดังรูปที่ 4.9 เพื่อทำการแปลงสัญญาณให้เป็นสัญญาณดิจิตอล (digital signal) แล้วดาต้าลอคเกอร์ก็จะส่งสัญญาณดังกล่าวเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทางยูเอสบีพอร์ต (USB port) เพื่อทำการคำนวณหาน้ำหนักต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



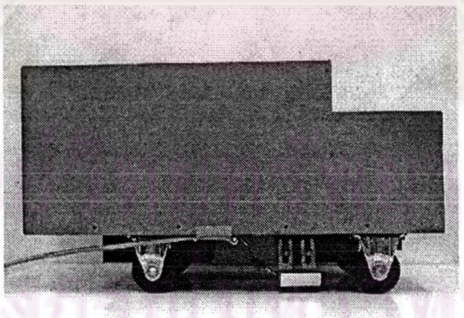
รูปที่ 4.8 รูปกล่องบริจคอมพลีทชั่น



รูปที่ 4.9 รูปดาต้าลอคเกอร์

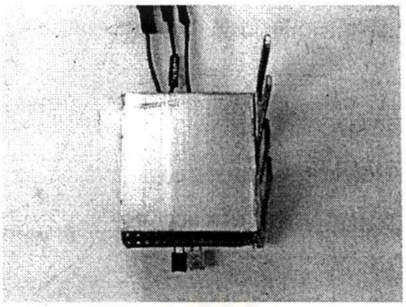
4.4.2 ตัวเซนเซอร์ที่ใช้หาตำแหน่งของรถ

ได้มีการนำเซนเซอร์ (sensor) ไปติดตั้งไว้ใต้แบบจำลองรถบรรทุก ดังรูปที่ 4.10 และทำการเก็บสัญญาณขึ้นมาเพื่อหาความเร็ว ซึ่งหลักการมีดังนี้ตัวเซนเซอร์จะมีหัวอ่านอินฟาเรด 2 หัว ดังรูปที่ 4.11 โดยหัวหนึ่งส่งสัญญาณออกและอีกหัวหนึ่งทำการรับสัญญาณ ซึ่งจะให้รถวิ่งผ่านแถบกระดาษสีขาวสลับดำ ดังรูปที่ 4.12 โดยเมื่อเซนเซอร์วิ่งผ่านแถบสีขาวจะอ่านค่าเป็น 0 และเมื่อวิ่งผ่านแถบสีดำจะอ่าน 3800 แต่ค่าจะไม่คงที่เนื่องจากมีสัญญาณรบกวน ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ทำให้สามารถคำนวณหาความเร็วได้ โดยที่ตัวเซนเซอร์นั้นภายใน 1 วินาทีจะทำการเก็บข้อมูลได้ 1024 ข้อมูล ซึ่งจากกราฟจะทำให้รู้ตำแหน่งของแบบจำลองรถบรรทุกบนสะพานทดสอบ โดยความละเอียดของการกำหนดตำแหน่งนี้ จะขึ้นอยู่กับความกว้างของแถบขาว-ดำที่ติดไว้บนสะพานทดสอบ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้ความกว้างของแถบขาว-ดำเท่ากับ 0.5 cm หรือคิดเป็นค่าประมาณ 1 ส่วน 200 ของความยาวของช่วงสะพานทดสอบ



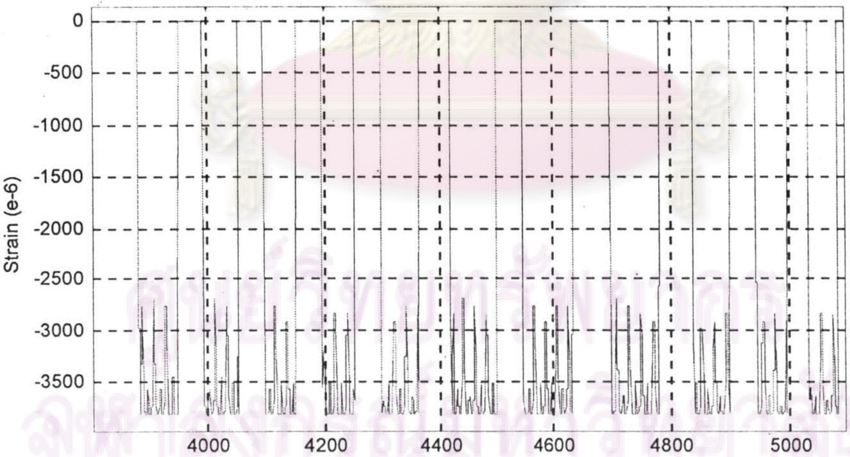
รูปที่ 4.10 เซนเซอร์ที่ติดตั้งไว้ใต้แบบจำลองรถบรรทุก

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 ตัวเซนเซอร์วัดตำแหน่ง

รูปที่ 4.12 แถบขาว-ดำ ความกว้าง 0.5 cm

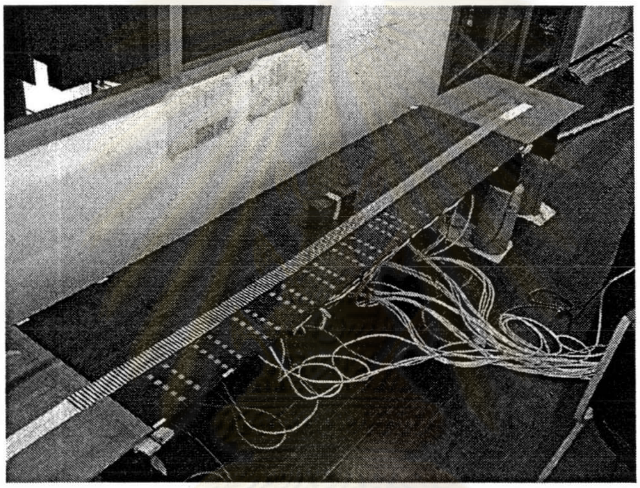


รูปที่ 4.13 สัญญาณที่ตัวเซนเซอร์เก็บข้อมูล

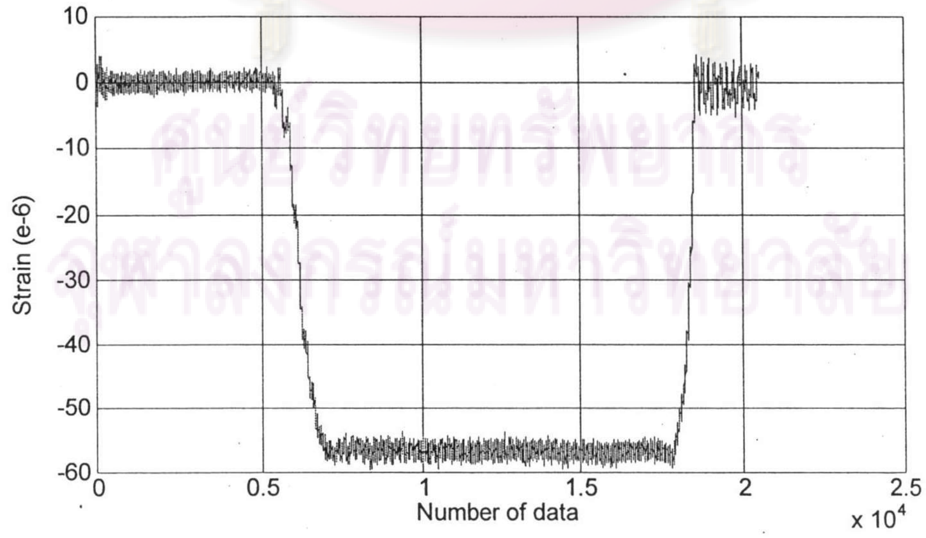
4.5 <u>การตรวจสอบการทำงานของสเตรนเกจ</u>

ก่อนที่จะทำการทดสอบจริง ได้ทำการตรวจสอบสเตรนเกจว่าใช้งานได้หรือไม่ ซึ่งได้ทดสอบ 2 วิธีดังนี้

วิธีแรกทดสอบโดยการนำตุ้มน้ำหนักเหล็กขนาด 5x20 cm หนา 0.7 cm วางซ้อนกัน 6 ชิ้นได้น้ำหนักรวม 20 Kg มาวางบนกลางสะพานแล้วทำการเก็บค่าความเครียด ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ซึ่งค่าความเครียด ที่ช่วงกลางสะพานควรจะได้ค่าเท่ากับ 60 ไมโครสเตรน ส่วนที่ 2L/3 ควรจะได้ค่าเท่ากับ 40 ไมโครสเตรน ซึ่งผลจากการทดสอบจะได้ค่าความเครียดออกมาตามเวลาที่ทำการเก็บวัดได้สัญญาณมาดังรูปที่ 4.15 ซึ่งจะทำการเฉลี่ยตั้งแต่ข้อมูลที่ 10000 ถึง 15000 ซึ่งจะได้ค่าความเครียดที่สเตรนเกจตัวต่างๆดังตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.14 การทดสอบโดยวางน้ำหนักที่กลางสะพาน



รูปที่ 4.15 สัญญาณที่เก็บได้ที่ตำแหน่งกลางสะพาน

ตารางที่ 4.1 ค่าความเครียดที่ตำแหน่งสเตรนเกจตัวต่างๆ

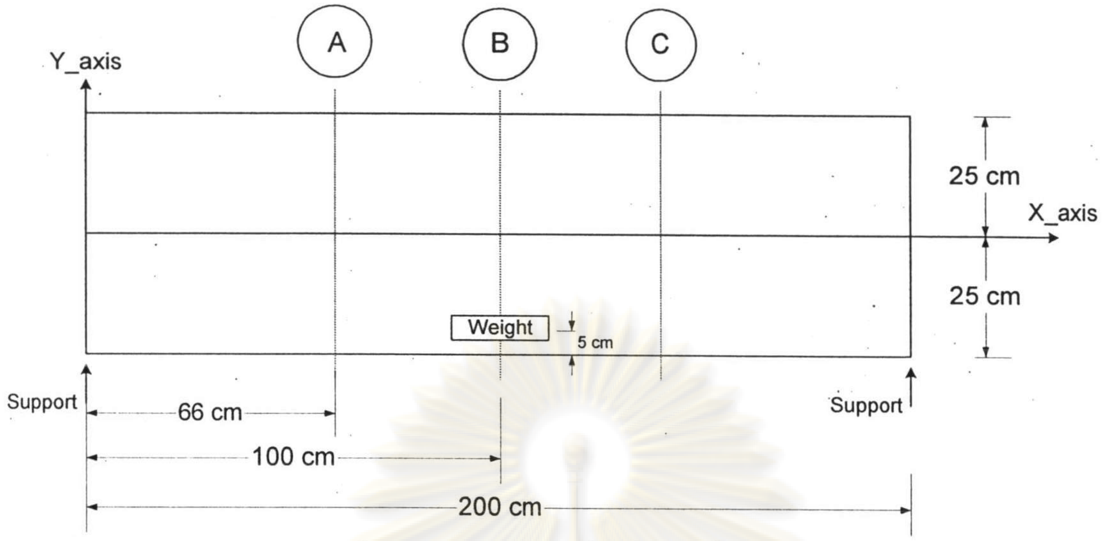
หน้าตัด	หมายเลขช่องสเตรนเกจ								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Section L/3	40.06	39.73	39.41	38.79	39.88	39.10	39.38	39.92	39.17
Section L/2	55.95	56.82	56.76	57.01	56.74	56.59	56.03	56.28	55.25
Section 2L/3	40.61	40.38	40.16	39.96	39.66	39.78	40.08	41.23	40.61

ซึ่งจะเห็นว่าค่าความเครียดที่เก็บมาได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเครียดตามทฤษฎี

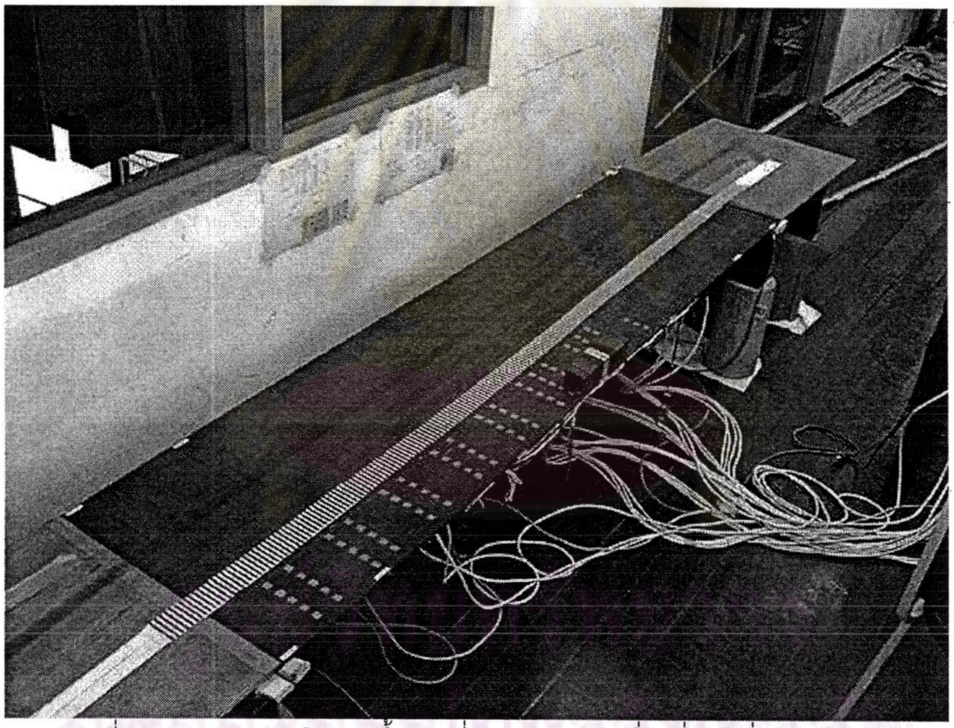
ส่วนวิธีที่สองทดสอบโดยนำตุ้มน้ำหนักเหล็กขนาด 5x20 cm หนา 0.7 cm วางซ้อนกัน 4 ชิ้นได้น้ำหนักรวม 14 Kg มาวางที่ขอบของสะพานโดยให้ศูนย์กลางของตุ้มน้ำหนักห่างจากขอบสะพานเข้ามา 5 cm แล้วค่อยๆเลื่อนผ่านสะพานดังรูปที่ 4.16 และ 4.17 ทีละ 5 cm ซึ่งจะได้ค่าความเครียดที่สเตรนเกจแต่ละตัวแบ่งตามแต่ละหน้าตัดได้แก่ หน้าตัด A B และ C ดังแสดงในรูปที่ 4.18-20 ตามลำดับ จะเห็นว่าที่หน้าตัด A และ C ซึ่งเป็นตำแหน่ง L/3 และ 2L/3 ตามลำดับ ค่าความเครียดนั้นค่อนข้างคงที่เนื่องจากอยู่ห่างจากจุดที่น้ำหนักกระทำ ส่วนหน้าตัด B นั้นจะเห็นว่าค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจะมีผลมากกว่าหน้าตัด A และ C ซึ่งจะเห็นว่า แนวโน้มของค่าความเครียดนั้นถูกต้อง เช่น ค่าความเครียดของสเตรนเกจตัว B01 เมื่อตุ้มน้ำหนักอยู่ที่ตำแหน่ง 5 cm จะได้ค่าความเครียดสูงที่สุด และเมื่อตุ้มน้ำหนักเลื่อนออกไป ก็จะให้ค่าความเครียดลดลงเรื่อยๆ ส่วนสเตรนเกจตัว B09 นั่นก็จะมีผลตรงกันข้ามเนื่องจากอยู่อีกฝั่งของสะพาน ส่วนสเตรนเกจตัวที่อยู่ช่วงกลางสะพานอย่าง B04-B06 นั่นจะเห็นว่าค่าความเครียดนั้นค่อนข้างคงที่

จึงได้ทดลองนำค่าความเครียดมาเฉลี่ยเป็นกลุ่มๆ โดยช่องสัญญาณที่ 01-04 แทนด้วยสัญลักษณ์ L ส่วนช่องสัญญาณที่ 06-09 แทนด้วยสัญลักษณ์ R และจับทุกช่องสัญญาณในหนึ่งหน้าตัดมาเฉลี่ยเป็นอีกหนึ่งกลุ่ม ซึ่งจะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.21 จะเห็นว่าที่หน้าตัด A และ C นั่นค่าความเครียดจะไม่ค่อยมีผลกับตำแหน่งของตุ้มน้ำหนัก เนื่องจากว่า ตุ้มน้ำหนักอยู่ไกลจากสเตรนเกจ ส่วนที่หน้าตัด B จะเห็นว่ากลุ่ม L และกลุ่ม R ก็ยังคงมีแนวโน้มที่ถูกต้องเช่นเดิม และสังเกตได้ว่า กลุ่มที่นำมาเฉลี่ยทุกช่องนั้น ค่าความเครียดนั้นไม่ค่อยมีผลกับตำแหน่งตุ้มน้ำหนัก โดยจะมีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 2-3 ไมโครสเตรน ดังนั้น ถ้านำค่าความเครียดจากกลุ่มนี้ไปทายน้ำหนัก ก็จะไม่ต้องสนใจตำแหน่งของรถบรรทุกว่าจะอยู่บนช่องทางใดของสะพาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

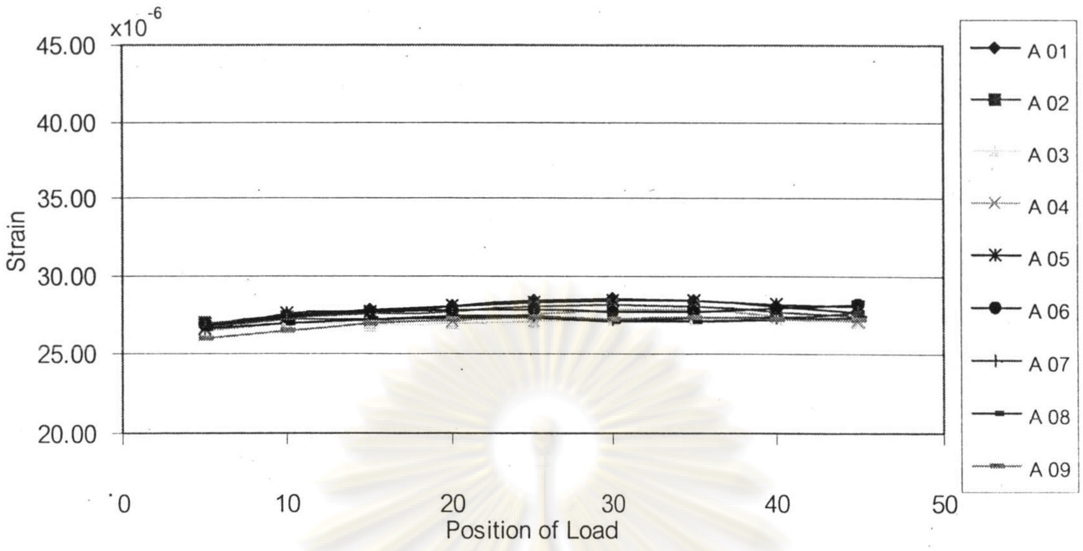


รูปที่ 4.16 ลักษณะการเคลื่อนที่ของตุ้มน้ำหนัก

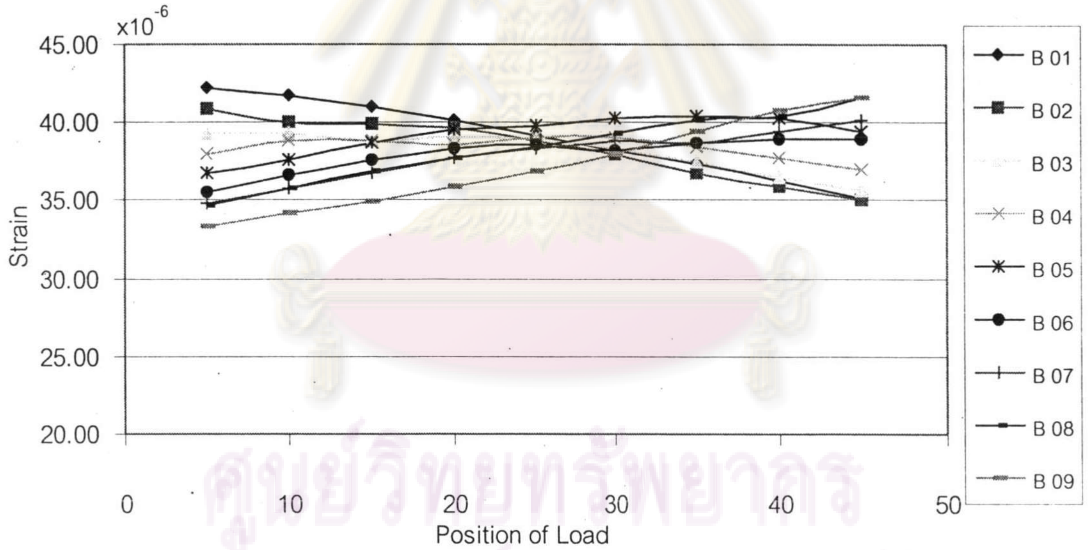


รูปที่ 4.17 การทดสอบโดยวางน้ำหนักที่ริมสะพานแล้วเคลื่อนที่ไปอีกฝั่งทีละ 5 cm

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

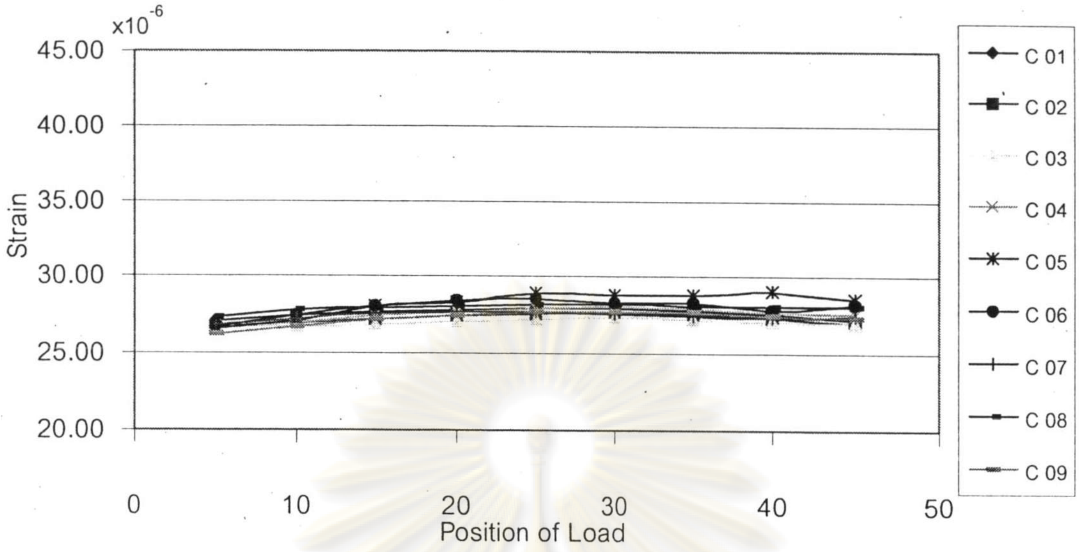


รูปที่ 4.18 ค่าความเครียดของสเตรนเกจบนหน้าตัด A

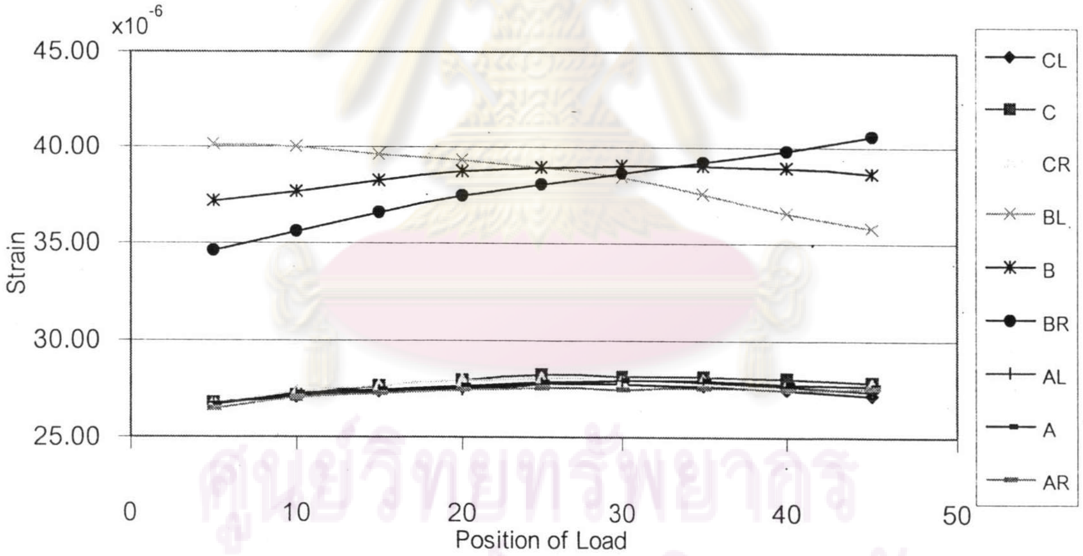


รูปที่ 4.19 ค่าความเครียดของสเตรนเกจบนหน้าตัด B

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.20 ค่าความเครียดของสเตรนเกจบนหน้าตัด C



รูปที่ 4.21 ค่าความเครียดของสเตรนเกจที่เฉลี่ยเป็นกลุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย