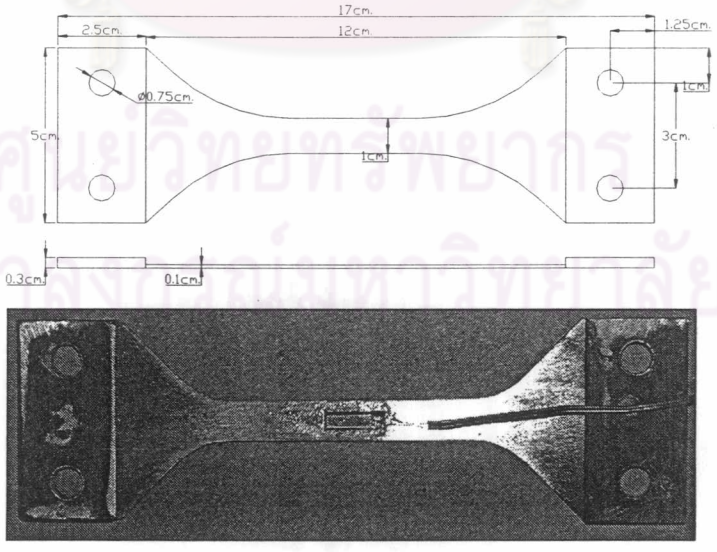
บทที่ 3

การพัฒนาอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน

ระบบ WIM สามารถใช้ได้ทั้งกับผิวทางหรือสะพาน ซึ่งในระบบ WIM ที่ใช้กับสะพานนิยมใช้ตัวเซ็นเซอร์ได้แก่ อุปกรณ์วัดความเครียดและอุปกรณ์ตรวจวัดความเร่งไปติดไว้ที่คานใต้สะพาน โดยข้อมูลที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์ดังกล่าวสามารถที่จะนำไปวิเคราะห์เพื่อหาน้ำหนักของรถที่วิ่งผ่านบนสะพานได้

3.1 หลักการทำงานของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน

การทดสอบครั้งนี้ได้มีการติดมาตรวัดความเครียด(strain gage)สำหรับวัดผลตอบสนองของสะพานภายใต้การเคลื่อนที่ของรถบรรทุกเช่นกันโดยจะทำการติดตั้งมาตรวัดความเครียดที่ใต้สะพาน ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงการนำไปงานจริงแล้ว จะพบว่ามาตรวัดความเครียดสำหรับติดคอนกรีตที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันไม่สะดวกในการติดตั้งใต้สะพานเท่าที่ควร ตลอดจนค่าความเครียดที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนได้เนื่องจากมาตรวัดความเครียดสำหรับติดคอนกรีตเกิดความคลาดเคลื่อนขณะใช้งาน เช่น เมื่อเกิดรอยแตก (crack) ที่คอนกรีตทำให้ค่าความเครียดที่ได้คลาดเคลื่อนหรือเกิดปัญหาของฟองอากาศขนาดเล็กภายในมาตรวัดความเครียดสำหรับติดคอนกรีตที่ไล่ฟองอากาศไม่หมดระหว่างที่ติดตั้งอีกทั้งยังอาจมีปัญหาในการอ่านค่าความเครียดกรณีที่เกิดหน่วยแรงอัด ด้วยสาเหตุที่กล่าวมานี้จึงได้มีการประดิษฐ์อุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานสำหรับติดมาตรวัดความเครียดขึ้นโดยทศพล(2003) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 เพื่อให้สามารถตรวจสอบวัดค่าความเครียดในสะพานได้อย่างถูกต้องและสามารถติดตั้งได้สะดวก

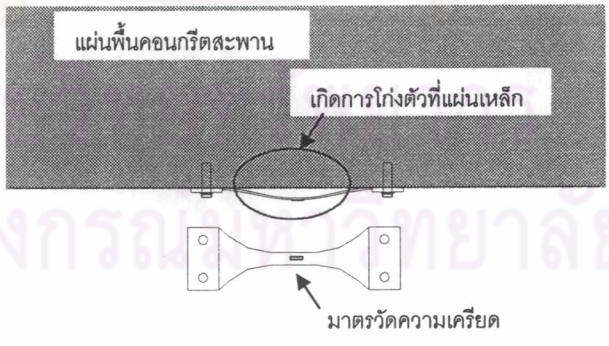


รูปที่ 3.1 อุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานที่ออกแบบสำหรับติดมาตรวัดความเครียดสำหรับติดเหล็ก

โดยขั้นตอนการทำอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานเริ่มจากนำเหล็กแผ่นมาตัดให้ได้ตามขนาดที่ต้องการ หลังจากนั้นทำการติดแผ่นเหล็กที่ตัดเรียบร้อยแล้วเข้าด้วยกันด้วยการเป่าแผ่นเหล็กให้ร้อนแล้วประกบแผ่นเหล็กทั้งสองให้ติดกัน แผ่นเหล็กจะติดกันด้วยการใช้เครื่องมือบีบเหล็กให้ติดกันขณะเหล็กยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ จากนั้นทำการเจาะรูให้ได้ตามขนาดและตำแหน่งที่ต้องการ โดยจะทำการติดตั้งมาตรวัดความเครียดสำหรับติดเหล็กที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแผ่นเหล็กดังแสดงในรูปที่ 3.1

เมื่อทำการเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานกับมาตรวัดความเครียดสำหรับติดคอนกรีตพบว่าอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานจะมีข้อดีกว่าหลายด้าน เช่น การติดตั้งจะทำได้สะดวกและรวดเร็วกว่าเมื่อทำการเตรียมตำแหน่งที่ติดตั้งเรียบร้อย สามารถถอดออกจากตำแหน่งที่ติดตั้งได้เมื่อไม่ใช้งานแล้วและยังสามารถนำอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานนี้ไปใช้ที่ตำแหน่งอื่นได้อีก เป็นต้น โดยมีข้อจำกัดว่าจะต้องทำการดึงอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานให้เกิดหน่วยแรงดึงในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานขึ้นก่อนที่จะใช้งาน

การนำอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นจะต้องมีการดึงอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานให้เกิดหน่วยแรงดึงในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานขึ้นก่อน (pre-tension) แล้วจึงทำการติดตั้งใต้แผ่นพื้นของสะพาน เนื่องจากขณะเกิดการเปลี่ยนแปลงของหน่วยแรงขึ้นในสะพานซึ่งเป็นผลของแรงพลศาสตร์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของรถบนสะพาน แรงดึงในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานที่เหลืออยู่จะสามารถทำให้อุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานทำงานอยู่ในช่วงของหน่วยแรงดึงเสมอ ซึ่งในกรณีที่ไม่ดึงอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานก่อนการติดตั้งหรือหน่วยแรงดึงที่มีในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานน้อยกว่าหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในสะพาน ก็อาจเกิดการโก่งตัวหรือดัดตัวที่แผ่นเหล็ก ทำให้ค่าความเครียดที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานมีความคลาดเคลื่อนสูงมาก เพราะค่าความเครียดที่อ่านค่าได้นั้นได้จากมาตรวัดความเครียดสำหรับติดเหล็กบริเวณกึ่งกลาง ดังแสดงในรูปที่ 3.2

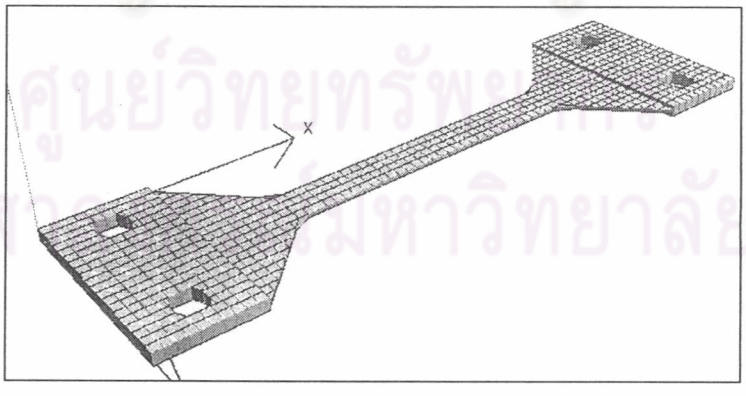


รูปที่ 3.2 อุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานที่ให้แรงดึงไม่เพียงพอ

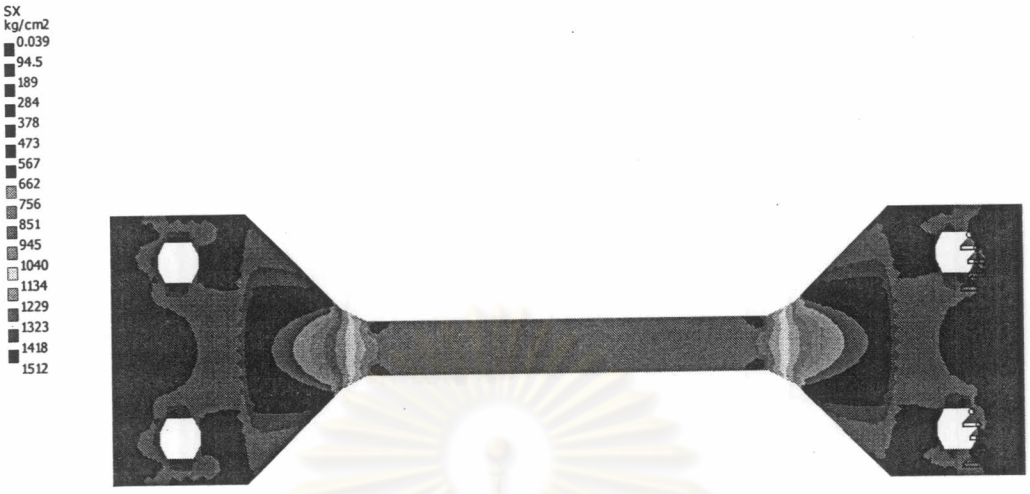
ดังนั้นในการทดสอบครั้งนี้จึงได้ทำการเลือกใช้หน้าตัดของอุปกรณ์วัดความเครียดช่วงกลางเท่ากับ 0.1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งจะสามารถรับแรงดึงที่จะใช้ดึงแผ่นเหล็กก่อนการใช้งานได้ประมาณไม่เกิน 2400 นิวตัน ซึ่งอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานนี้จะสามารถรับความเครียดที่เกิดขึ้นได้ถึงประมาณ 1200 $\mu\varepsilon$ โดยสาเหตุที่ต้องออกแบบหน้าตัดของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานให้รับแรงดึงได้ประมาณ 2400 นิวตัน เพราะว่าเมื่อนำอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานนี้ไปติดตั้งใต้สะพานแล้วในขั้นตอนของการให้แรงดึงกับอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานจะใช้ค่าแรงในการดึงอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานไม่สูงมากเกินไปซึ่งจะทำให้สะดวกในการทำงาน โดยจะต้องตรวจสอบว่าเมื่อติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานเรียบร้อยแล้วค่าความเครียดที่เกิดจากการดึงอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานก่อนการติดตั้งรวมกับค่าความเครียดที่เกิดจากการวิ่งของรถบรรทุกที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานแล้วจะต้องไม่เกิน 1200 $\mu\varepsilon$ ซึ่งค่าความเครียดที่เกิดขึ้นเนื่องจากรถบรรทุกที่วิ่งข้ามสะพานจะมีค่าประมาณไม่เกิน 100 $\mu\varepsilon$ โดยในการทดสอบครั้งนี้จะให้แรงดึงในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานก่อนการติดตั้งให้มีความเครียดประมาณ 500 $\mu\varepsilon$ ซึ่งจะสามารถทำงานได้สะดวกเพราะจะใช้แรงดึงประมาณ 1400 นิวตัน ซึ่งไม่มากนักในการสร้างความเครียดดังกล่าวในตัวของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน

3.2 การวิเคราะห์อุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

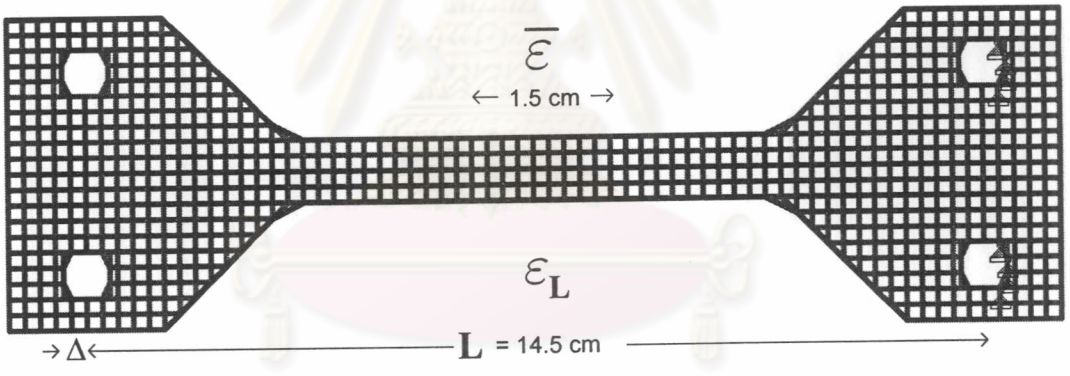
ในการทดสอบครั้งนี้จะให้แรงดึงในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานก่อนการติดตั้งให้มีความเครียดประมาณ 500 $\mu\varepsilon$ ซึ่งต้องจะใช้แรงดึงประมาณ 1400 นิวตัน กระทำกับอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน ดังนั้นเพื่อตรวจสอบการกระจายตัวของหน่วยแรงของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานเมื่อนำไปใช้งานจริง จึงได้ทำการจำลองอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานในโปรแกรม Staad 2004 โดยให้แรงดึงกระทำที่อุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน 1400 นิวตัน แล้ววิเคราะห์ดูการกระจายตัวของหน่วยแรงดึงในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน



รูปที่ 3.3 แบบจำลองอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน



รูปที่ 3.4 การกระจายตัวของหน่วยแรงดึงในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน(เมื่อให้แรงดึง 1400 นิวตัน)



รูปที่ 3.5 การกระจายตัวของหน่วยแรงดึงในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน(เมื่อให้แรงดึง 1400 นิวตัน)

จากการตรวจสอบลักษณะการกระจายตัวของหน่วยแรงดึงในช่วงกลาง (ประมาณ 1.5 ซม.) ของอุปกรณ์วัดความเครียดซึ่งเป็นบริเวณที่ใช้ติดมาตรวัดความเครียดสำหรับติดเหล็กพบว่าค่าหน่วยแรงดึงที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มคงที่โดยมีค่าประมาณ 1400 กก./ซม.^{2}ซึ่งเมื่อนำค่าหน่วยแรงดึงในช่วงกลางของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานมาหาค่าความเครียดช่วงกลาง ($\overline{\varepsilon}$) จะมีค่าเท่ากับ 669.7 $\mu\varepsilon$ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเครียดเฉลี่ยที่คำนวณจาก Δ ที่ได้จะได้ค่าความเครียดเฉลี่ย (ε_L)เท่ากับ 482.8 $\mu\varepsilon$ จึงพบว่าอัตราส่วนระหว่างค่าความเครียดเฉลี่ยกับค่าความเครียดช่วงกลาง $(\varepsilon_L / \overline{\varepsilon})$ จะมีค่าเท่ากับ 0.72 ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าค่าความเครียดในช่วงกลางที่อุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานที่สามารถวัดได้จะมีค่ามากกว่าค่าความเครียดเฉลี่ยซึ่งเป็นผลดีในกรณีการ

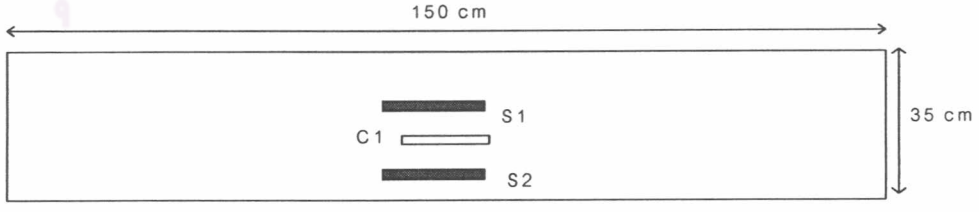
ตรวจวัดคืออุปกรณ์มีความไหวต่อสัญญาณมากกว่านั้นเอง ซึ่งเป็นการยืนยันว่าอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานจะสามารถวัดความเครียดได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อนำไปใช้งานจริง โดยสามารถติดมาตรวัดความเครียดสำหรับติดเหล็กตรงกึ่งกลางของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานแล้วนำไปติดตั้งตามตำแหน่งที่ต้องการในสะพานเพื่อวัดผลตอบสนองที่เกิดขึ้นของสะพาน

3.3 <u>การทดสอบความสามารถของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน</u>

จากข้อมูลของกรมทางหลวงซึ่งได้ทำการสรุปปริมาณจราจรเฉลี่ยคันต่อวัน บนทางหลวงในเขตกรุงเทพและบนทางหลวงในเส้นทางสายหลัก ปี 2546 พบว่าปริมาณของรถบรรทุก 3 เพลาขึ้นไปโดยเฉลี่ยแต่ละเส้นทางมีค่าประมาณ 3000 คันต่อวัน ซึ่งน่าจะเป็นรถบรรทุกหนักประมาณ 60 % ดังนั้นปริมาณรถบรรทุกหนักที่วิ่งบนทางหลวงทั่วไปจะมีค่าประมาณ 1800 คันต่อวัน ซึ่งรถปริมาณรถบรรทุกหนักที่วิ่งในช่วงเวลา 6 เดือน จะมีค่าประมาณ 32500 คัน โดยจากข้อมูลที่ได้ทำการศึกษาพบว่าค่าความเครียดที่เกิดขึ้นเนื่องจากรถบรรทุกหนักที่วิ่งข้ามสะพานจะมีค่าประมาณไม่เกิน 100 $\mu\varepsilon$ ขณะที่ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นเนื่องจากรถชนิดอื่นหรือรถบรรทุกเปล่าที่วิ่งข้ามสะพานจะมีค่าประมาณไม่เกิน 10 $\mu\varepsilon$

ดังนั้นจึงทำการออกแบบการทดสอบเพื่อเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของในการใช้อุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานในการติดตั้งใต้สะพาน จึงได้มีการออกแบบการทดสอบโดยทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานกับแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูป แล้วนำไปทำการทดสอบด้วยการให้แรงแบบต่อเนื่อง 380,000 รอบ ด้วยเครื่องเซอร์โวเพลาเซอร์ (servopulser) เพื่อเป็นการจำลองสภาพของรถบรรทุกหนักที่วิ่งข้ามสะพาน

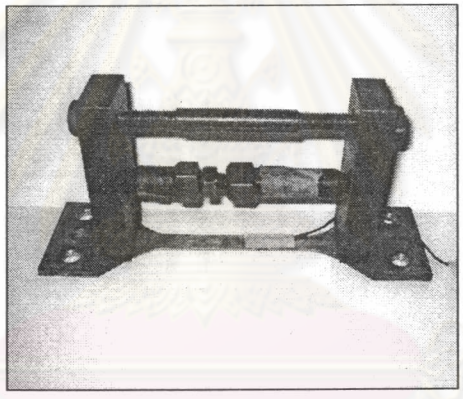
โดยที่ขณะให้แรงจะทำการเก็บค่าความเครียดที่เกิดขึ้นที่ระยะเวลาต่างๆไว้ จากนั้นทำการศึกษาค่าความเครียดที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานว่าจะเกิดเปลี่ยนแปลงอย่างไร โดยทำการติดตั้งมาตรวัดความเครียดสำหรับติดคอนกรีตและเก็บค่าแรงที่กระทำที่แผ่นพื้นคอนกรีต โดยที่จะติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานกับแผ่นพื้นคอนกรีต 2 ตัว ตัวแรก (S1) จะติดตั้งที่ตำแหน่งบริเวณช่วงกลางของแผ่นพื้นคอนกรีตและตัวที่สอง (S2) บริเวณขอบของแผ่นพื้นคอนกรีตจากนั้นติดตั้งมาตรวัดความเครียดสำหรับติดคอนกรีต (C1) 1 ตัวบริเวณช่วงกลางของแผ่นพื้นคอนกรีตอีกเช่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 3.6



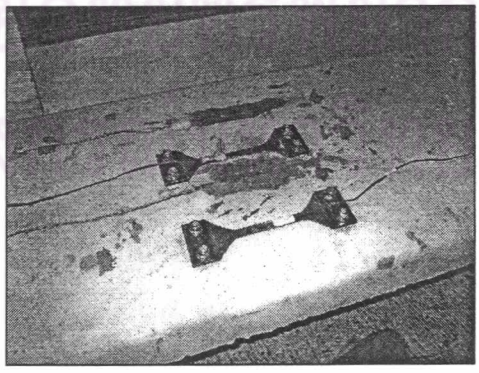
รูปที่ 3.6 ตำแหน่งการติดตั้งมาตรวัดความเครียดที่แผ่นพื้นคอนกรีตขนาด 35 cm x 35 cm

ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานเข้ากับแผ่นพื้นคอนกรีต

1. เจาะรูที่ด้านล่างของแผ่นพื้นคอนกรีตด้วยสว่านไฟฟ้าตามตำแหน่งและขนาดที่ได้กำหนด
2. ทำความสะอาดรูที่เจาะให้เรียบร้อย
3. ทำการติดตั้งสลักเกลียว (bolt) เข้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตด้วยการใช้อีพอกซี (epoxy)
4. อีพอกซีจะใช้เวลาพัฒนากำลังประมาณ 1 วัน
5. ดึงอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานให้ได้ค่าความเครียดที่ต้องการด้วยเครื่องให้แรงดึงที่ประดิษฐ์ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.7
6. ติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานขณะมีแรงดึงอยู่เข้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตด้วยการขันสลักเกลียว โดยทำการขันสลักเกลียวให้แน่น
7. ถอดเครื่องให้แรงดึงออกแล้วตรวจสอบว่ายังมีความเครียดในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานตามที่ต้องการ

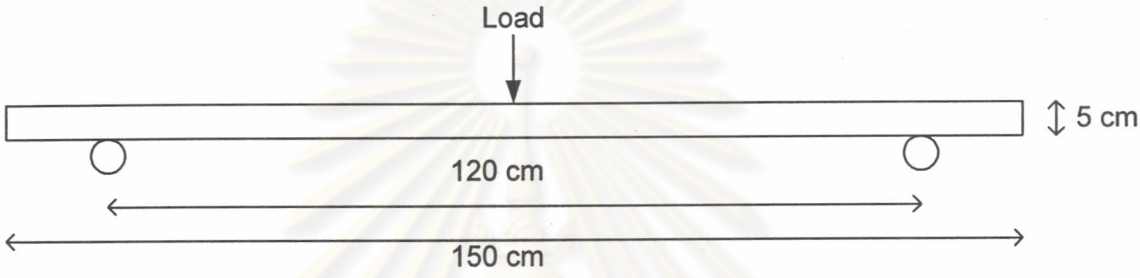


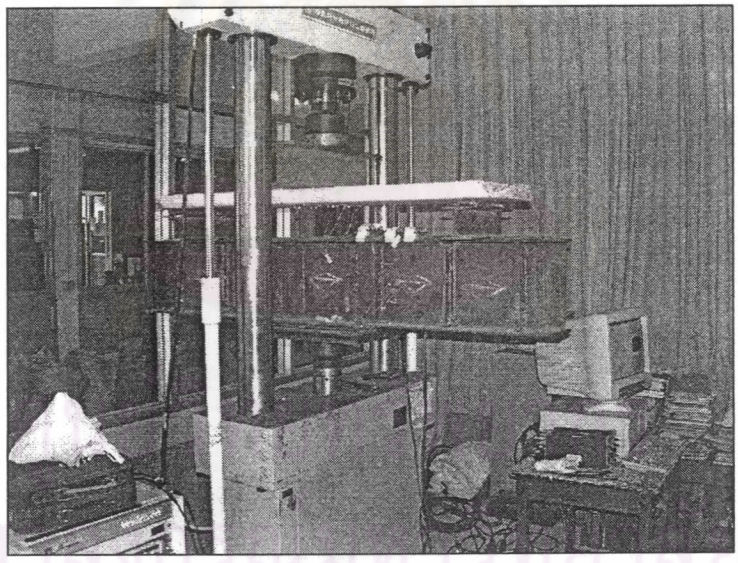
รูปที่ 3.7 เครื่องให้แรงดึงในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน



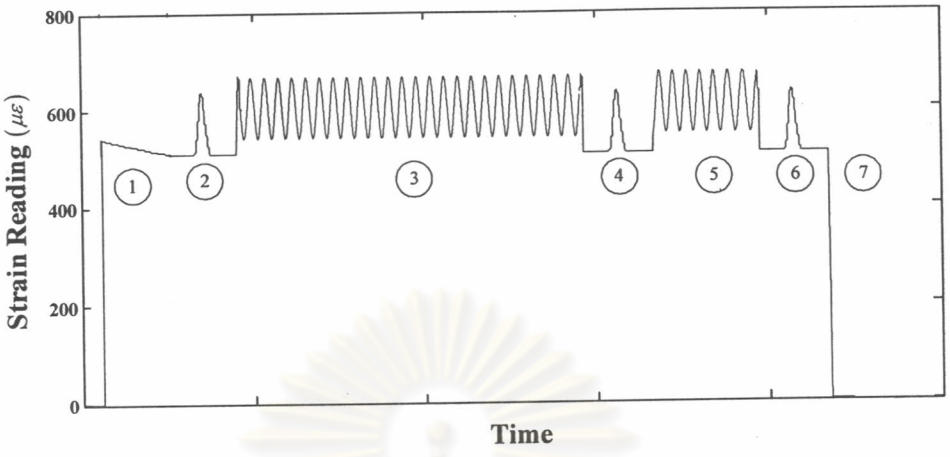
รูปที่ 3.8 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานที่เรียบร้อย

หลังจากที่ติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานที่ติดมาตรความเครียดสำหรับติดเหล็กเข้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็นำแผ่นพื้นคอนกรีตมาติดตั้งกับเครื่องเซอร์โวเพลาเซอร์โดยจะให้แรงแบบต่อเนื่องลักษณะรูปไซน์(sine curve) โดยใช้ความถี่ 4 รอบต่อวินาที(Hz) กระทำที่บริเวณช่วงกลางของแผ่นพื้นคอนกรีตดังแสดงในรูปที่ 3.9 ให้แรงกระทำจนถึง 380,000 รอบ และทำการเก็บค่าความเครียดที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ ทั้งนี้มีขั้นตอนและรายละเอียดในการให้แรงแก่แผ่นพื้นคอนกรีตทดสอบโดยจะแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยมีรายละเอียดการให้แรงของแต่ละขั้นตอนดังนี้





รูปที่ 3.9 ลักษณะการทดสอบของแผ่นพื้นคอนกรีตกับเครื่องเซอร์โวเพลาเซอร์



รูปที่ 3.10 แผ่นภาพแสดงรายละเอียดในการทดสอบทั้งหมด

รายละเอียดในการทดสอบทั้งหมด

ขั้นตอนที่1 ให้แรงดึง (tension) ในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน แล้วนำไปติดตั้งใต้แผ่นพื้นคอนกรีตที่จะทำการทดสอบ โดยจะเก็บค่าความเครียดที่ได้จากอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานและมาตรวัดความเครียดสำหรับติดคอนกรีตเป็นระยะเวลาประมาณ 20 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่2 ทำการปรับแก้ (calibrate) ค่าแรงและค่าความเครียดเก็บไว้ครั้งที่ 1(ก่อนการทดสอบ)

ขั้นตอนที่3 ให้แรงแบบต่อเนื่องลักษณะรูปไซน์ด้วยความถี่ 4 รอบต่อวินาที ด้วยเครื่องเซอร์โวเพลาเซอร์ โดยเก็บค่าความเครียดขณะที่แรงกระทำอย่างต่อเนื่องจนกระทำครบ 350,000 รอบ

ขั้นตอนที่4 ทำการปรับแก้ค่าแรงและค่าความเครียดเก็บไว้ครั้งที่ 2 (หลังครบ 350,000 รอบ)

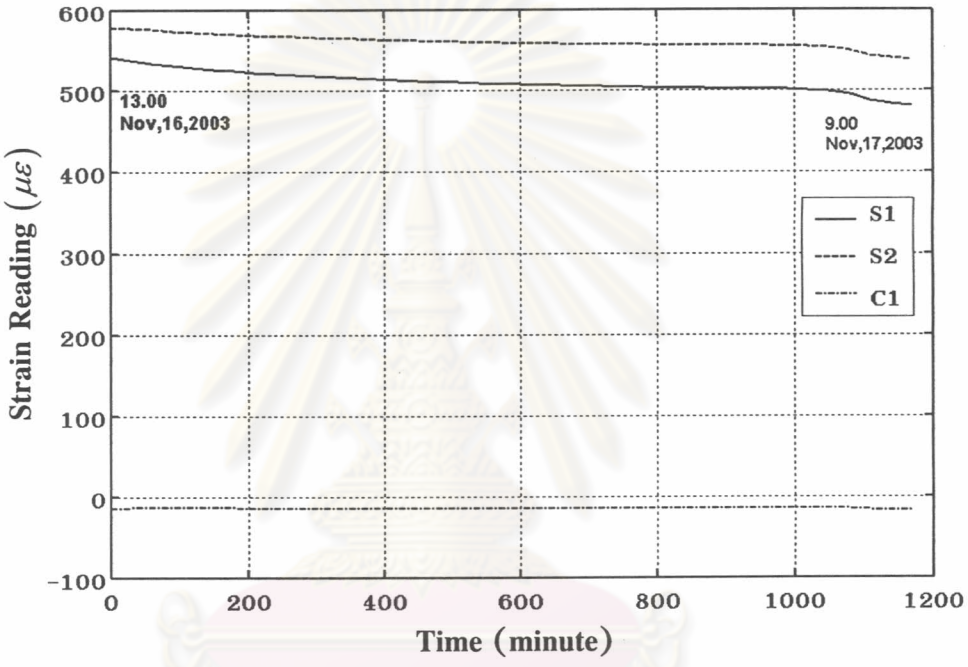
ขั้นตอนที่5 ให้แรงแบบต่อเนื่องลักษณะรูปไซน์ด้วยความถี่ 4 รอบต่อวินาที ด้วยเครื่องเซอร์โวเพลาเซอร์ โดยเก็บค่าความเครียดขณะที่แรงกระทำอย่างต่อเนื่องจนกระทำครบ 30,000 รอบ

ขั้นตอนที่6 ทำการปรับแก้ค่าแรงและค่าความเครียดเก็บไว้ครั้งที่ 3 (หลังครบ 380,000 รอบ)

ขั้นตอนที่7 คลายอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานที่ติดตั้งด้วยสลักเกลียว เพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานมีการคลายตัวเท่าใด หลังจากการทดสอบทั้งหมด

3.4 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ขั้นตอนที่1 ทำการให้แรงดึงในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานแล้วนำมาติดตั้งใต้แผ่นพื้นคอนกรีตโดยใช้สลักเกลียว หลังจากนั้นวัดค่าแรงดึงเริ่มต้นที่อุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน คือ S1 และ S2 โดยค่าความเครียดที่วัดได้มีค่าประมาณ 580 $\mu\varepsilon$ และ 540 $\mu\varepsilon$ ตามลำดับ ทำการวัดค่าความเครียดเมื่อเวลาผ่านไป เพื่อดูการพฤติกรรมการคลายตัวของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานที่ยึดติดกับแผ่นพื้นคอนกรีตด้วยสลักเกลียว

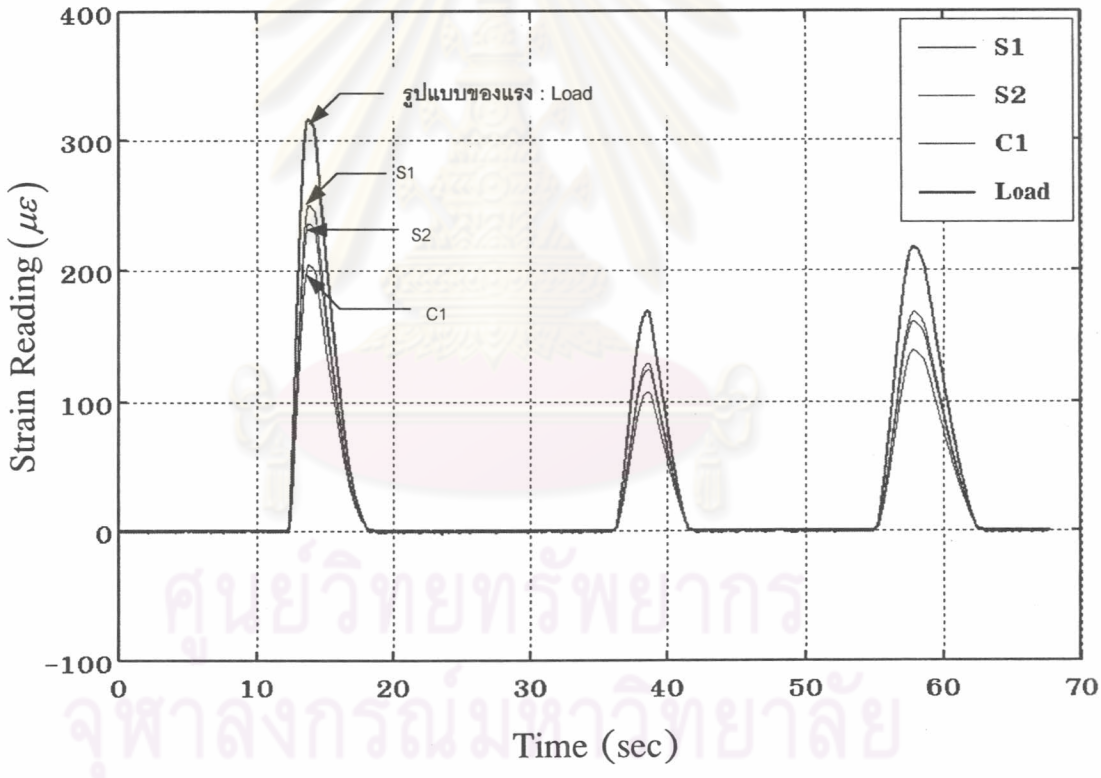


รูปที่ 3.11 พฤติกรรมของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานที่เวลาต่างๆ

จากกราฟในรูปที่ 3.11 จะพบว่าค่าความเครียดที่วัดได้จาก S1 และ S2 จะมีอัตราการลดลงค่อนข้างรวดเร็วในช่วงแรก (ประมาณ 10 ชั่วโมงแรก) แต่หลังจากนั้นจะสังเกตได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปอีกระยะเวลาหนึ่ง (ประมาณ 14 ชั่วโมง) พบว่าค่าความเครียดที่วัดได้จะเริ่มมีค่าคงที่ ซึ่งหลังนั้นได้ทำการเมื่อเปรียบเทียบค่าความเครียดทั้งหมดแล้วพบว่า ค่าความเครียดจะเริ่มมีค่าคงที่เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 14 ชั่วโมง ซึ่งสาเหตุที่ค่าความเครียดในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานเริ่มคงที่นั้น สันนิษฐานว่าอาจมีสาเหตุมาจากที่อุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานมีการคลายตัวของค่าความเค้นในตัวของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานเองที่เรียกว่า " สเตรส รีแลกเซชั่น (stress relaxation)" และอาจสรุปว่าอุณหภูมิมีผลต่อค่าความเครียดในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานที่ยึดเข้ากับแผ่นพื้นคอนกรีตด้วยสลักเกลียว ดังที่สังเกตได้จากช่วงสุดท้ายของกราฟจะพบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของห้องทดสอบส่งผลให้ค่าความเครียดมีค่าต่ำลงอย่างรวดเร็ว (S1, S2=20 $\mu\varepsilon$, C1=2 $\mu\varepsilon$)

โดยสาเหตุที่ค่าความเครียดในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานมีค่าต่ำลง สันนิษฐานว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องทดสอบเนื่องจากการเปิดเครื่องปรับอากาศทำให้แผ่นพื้นคอนกรีตเกิดการหดตัวตลอดความยาวซึ่งการหดตัวของแผ่นพื้นมีค่ามากกว่าการหดตัวของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน ส่งผลให้ค่าความเครียดที่มีอยู่ในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานมีค่าต่ำลง

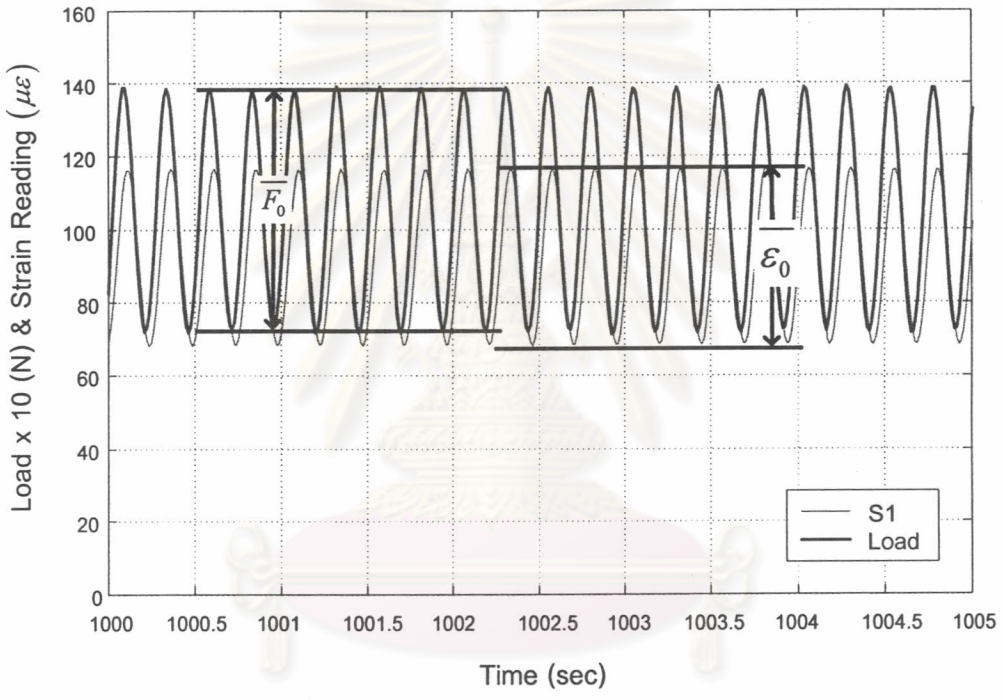
ขั้นตอนที่ 2 เนื่องจากการทดสอบด้วยการให้แรงแบบต่อเนื่องอาจมีผลกระทบกับประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานจึงต้องทำการปรับแก้ค่าแรงและค่าความเครียดเก็บไว้ เพื่อใช้ตรวจสอบว่าอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานหลังการทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพก่อนทำการทดสอบ โดยทำการปรับแก้ค่าแรงและค่าความเครียดเก็บไว้ก่อนการทดสอบ ซึ่งประกอบด้วย 3 กรณี คือ ค่าความเครียด อยู่ในช่วง 100 $\mu\varepsilon$ 150 $\mu\varepsilon$ และ 200 $\mu\varepsilon$ โดยแต่ละช่วงก็จะมีการให้แรงและคลายแรง 3 รอบ จากนั้นทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงและค่าความเครียดเพื่อหาค่าแรงสูงสุดกับค่าความเครียดสูงสุดของแต่ละรอบ



รูปที่ 3.12 แสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลค่าความเครียดในอุปกรณ์วัด S1, S2 และ C1ในการทดสอบเปรียบเทียบกับรูปแบบของแรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที่ 3 ทำการให้แรงแบบต่อเนื่องลักษณะรูปไซน์ด้วยความถี่ 4 รอบต่อวินาที ด้วยเครื่องเซอร์โวเพลาเซอร์ โดยที่ค่าเฉลี่ยของแรงที่กระทำที่กึ่งกลางของแผ่นพื้นคอนกรีตมีค่าประมาณ 1100 นิวตัน ซึ่งจะเก็บค่าความเครียดและค่าแรงระหว่างทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องจนกระทำครบ 350,000 รอบ จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเครียดของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ โดยนำผลต่างของค่าความเครียดสูงสุดกับค่าความเครียดต่ำสุดหารด้วยผลต่างของค่าแรงสูงสุดกับค่าแรงต่ำสุดของ S1 S2 และC1 ในช่วงเวลาที่พิจารณาดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยจะเรียกจำนวนนี้ว่า "อัตราส่วนของความเครียดต่อแรง (Strain Ratio)"



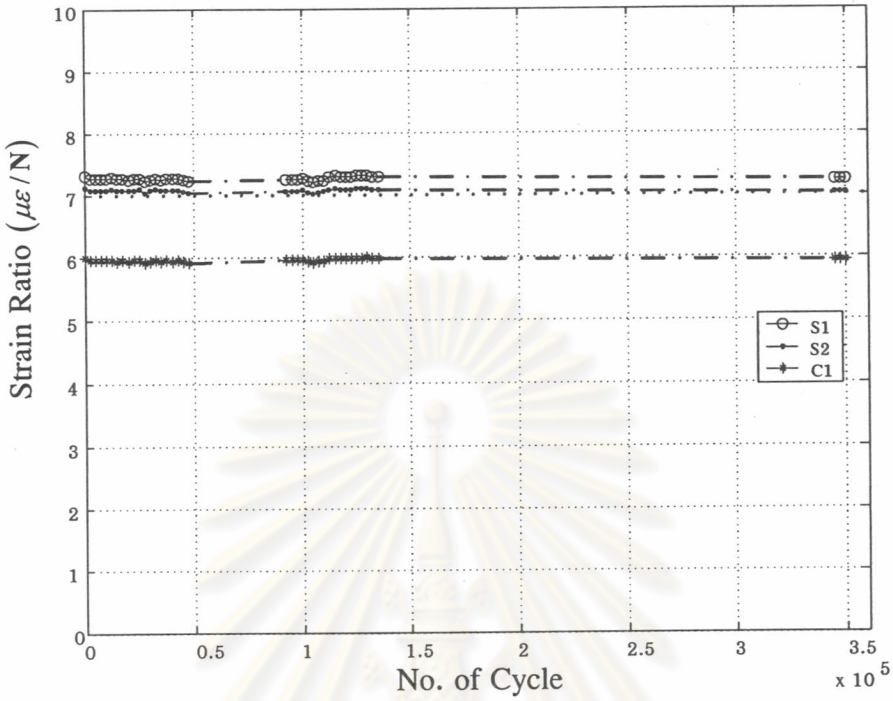
รูปที่ 3.13 แสดงการพิจารณาค่าอัตราส่วนของความเครียดกับแรง

$$\text{อัตราส่วนความเครียดต่อแรง } (\text{Strain Ratio}) = \frac{\overline{\varepsilon_0}}{\overline{F_0}}$$

โดยที่

$$\overline{\varepsilon_0} = \frac{\sum_{i=1}^{n=2500} (S_{\max} - S_{\min})_i}{n} \qquad \overline{F_0} = \frac{\sum_{i=1}^{n=2500} (load_{\max} - load_{\min})_i}{n}$$

และ n = จำนวนรอบของการให้ แรง 2500 รอบ

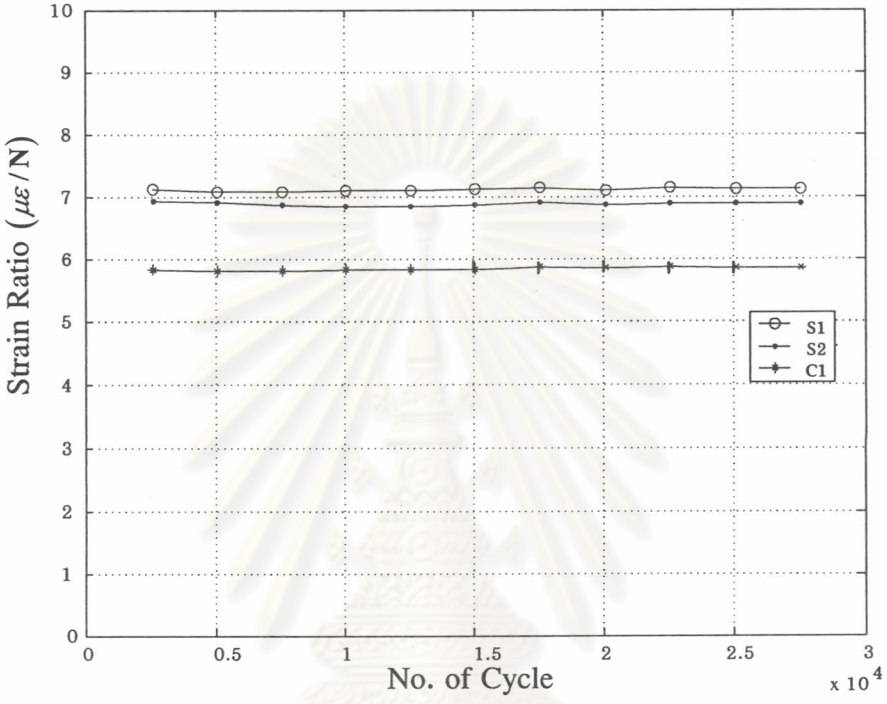


รูปที่ 3.14 ค่าอัตราส่วนของความเครียดกับแรงในช่วงการทดสอบ 350,000 รอบ

จากรูปที่ 3.14 จะพบว่าค่าอัตราส่วนของความเครียดกับแรงจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงที่ค่อนข้างน้อย (ประมาณ 1 หน่วย) หรืออาจกล่าวได้ว่าอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานมีการคลายตัวน้อยมากระหว่างการทดสอบโดยค่าความเครียดจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีแรงขนาดเท่าเดิมมากระทำในช่วงระหว่างการทดสอบ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนของความเครียดกับแรงของ S1และ S2 กับ C1 ดูแล้วจะพบว่าค่าอัตราส่วนของความเครียดกับแรงจะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกันค่อนข้างดีมาก หรือถ้าดูในส่วนค่าความเครียดที่ลดลงหลังจากที่ครบ 350,000 รอบ (S1 = 7.5 $\mu\varepsilon$, S2 = 6 $\mu\varepsilon$, C1=0 $\mu\varepsilon$) จะพบว่าค่าความเครียดที่ให้กับอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน S1และ S2 ลดลงน้อยมากคือ -1.29% -1.11% ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 4 ทำการปรับแก้ค่าแรงและค่าความเครียดเก็บไว้(หลังครบ 350,000 รอบ) ซึ่งประกอบด้วย 3 กรณี คือ ค่าความเครียด อยู่ในช่วง 100 $\mu\varepsilon$ 150 $\mu\varepsilon$ และ 200 $\mu\varepsilon$ โดยแต่ละช่วงก็จะมีการให้แรงและคลายแรง 3 รอบ จากนั้นทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงและค่าความเครียดเพื่อหาค่าแรงสูงสุดกับค่าความเครียดสูงสุดของแต่ละรอบทั้งช่วงให้แรงและช่วงคลายแรง

ขั้นตอนที่ 5 ทำการให้แรงแบบต่อเนื่องลักษณะรูปไซน์ด้วยความถี่ 4 รอบต่อวินาที ด้วยเครื่องเซอร์โวเพลาเซอร์ โดยที่ค่าเฉลี่ยของแรงที่กระทำบริเวณกึ่งกลางของแผ่นพื้นคอนกรีตมีค่าประมาณ 1100 นิวตันอีกครั้งเพื่อเป็นการตรวจสอบผลการทดสอบ ซึ่งจะเก็บค่าความเครียดและค่าแรงระหว่างทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องจนกระทำครบ 30,000 รอบ จากนั้นทำการหาค่าอัตราส่วนของความเครียดกับแรง ดังแสดงในรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 ค่าอัตราส่วนของความเครียดกับแรงในช่วงการทดสอบ 30,000 รอบ

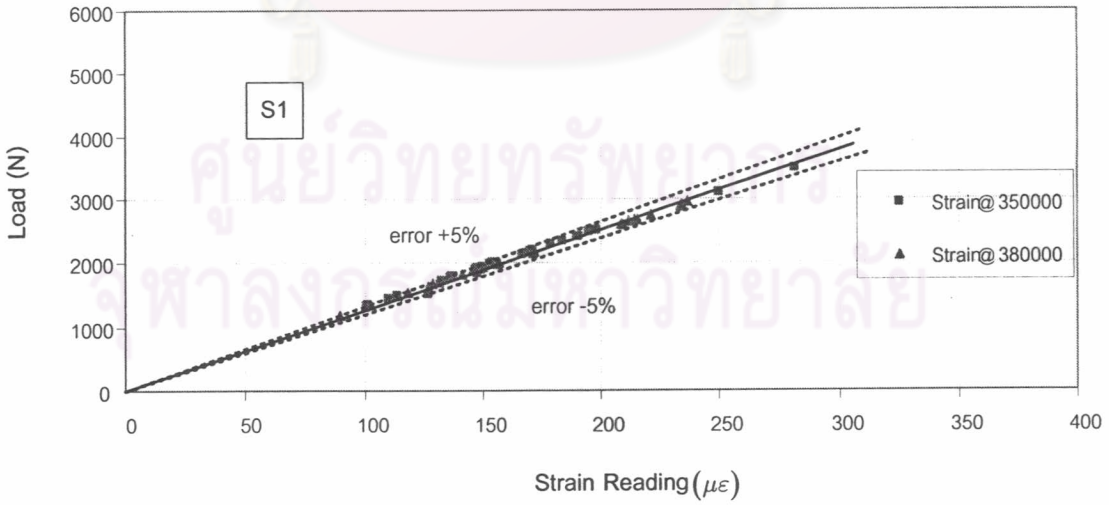
จากรูปที่ 3.15 จะพบว่าค่าอัตราส่วนของความเครียดกับแรงจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงที่ค่อนข้างน้อย หรืออาจกล่าวได้ว่าอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานมีการคลายตัวน้อยมากระหว่างการทดสอบ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนของความเครียดกับแรงของ S1และ S2 กับ C1 ดูแล้วจะพบว่าค่าอัตราส่วนของความเครียดกับแรงจะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไปในทางเดียวกันค่อนค้างดีมาก หรือถ้าดูในส่วนค่าความเครียดที่ลดลงหลังจากที่ครบ 30,000 รอบ จะพบว่าค่าความเครียดที่ให้กับอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน S1และ S2 ลดลงน้อยมากเป็นที่น่าพอใจ

ขั้นตอนที่ 6 ทำการปรับแก้ค่าแรงและค่าความเครียดเก็บไว้(หลังครบ 380,000 รอบ) ซึ่งประกอบด้วย 3 กรณี คือ ค่าความเครียด อยู่ในช่วง 100 $\mu\varepsilon$ 150 $\mu\varepsilon$ และ 200 $\mu\varepsilon$ โดยแต่ละช่วงก็จะมีการให้แรงและคลายแรง 3 รอบ จากนั้นทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงและค่าความเครียดเพื่อหาค่าแรงสูงสุดกับค่าความเครียดสูงสุดของแต่ละรอบทั้งช่วงให้แรงและช่วงคลายแรง

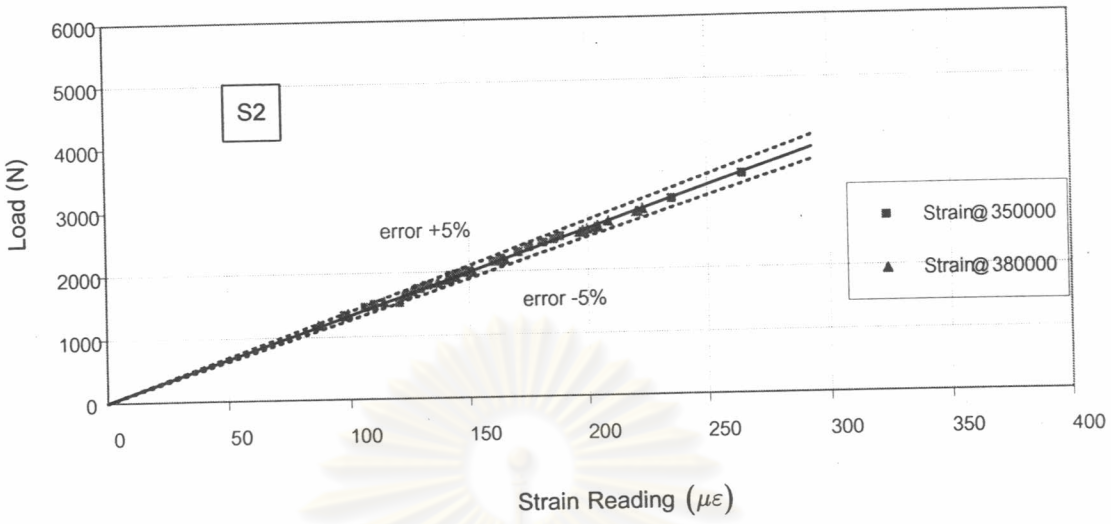
ขั้นตอนที่ 7 ภายหลังจากทำการทดสอบเสร็จสิ้นแล้วได้มีการเก็บค่าความเครียดในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานต่อไป เพื่อจะดูว่าอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานจะเหลือค่าความเครียดเหลืออยู่เท่าไร โดยคลายสลักเกลียวที่ใช้ยึดอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานกับแผ่นพื้นคอนกรีตออก พบว่าค่าความเครียดที่คงค้างอยู่กับอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานหลังจากทำการทดสอบเรียบร้อยแล้วมีค่าเท่ากับ 453.1 $\mu\varepsilon$ และ 508.5 $\mu\varepsilon$ สำหรับอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน S1และ S2ตามลำดับ

3.5 การประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน

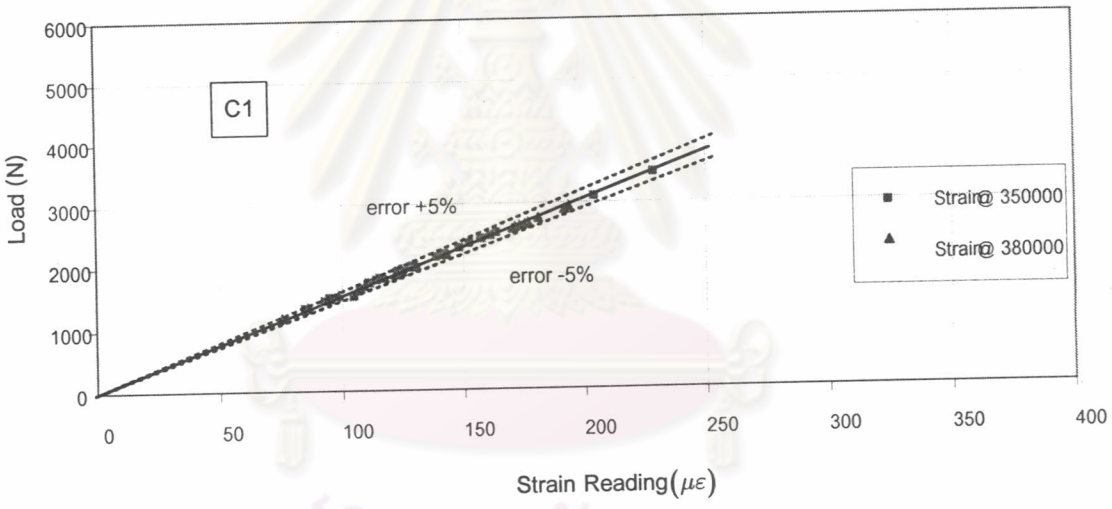
จากผลการทดสอบที่ได้ในหัวข้อที่ 3.4 จึงนำมาสู่การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงและค่าความเครียดของแต่ละกรณี โดยที่เมื่อให้แรงภายนอกเพื่อสร้างค่าความเครียดในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานประมาณ 100 $\mu\varepsilon$ 150 $\mu\varepsilon$ และ 200 $\mu\varepsilon$ ซึ่งได้ทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ไว้ 3 ครั้ง ประกอบด้วยก่อนการทดสอบ หลังการทดสอบที่ 350,000 รอบ และหลังการทดสอบที่ 380,000 รอบ ซึ่งจะเรียกว่า strain@0 strain@350,000 และ strain@380,000 ตามลำดับ โดยนำค่าแรงสูงสุดกับค่าความเครียดสูงสุดของแต่ละกรณีที่ทำการปรับแก้ก่อนการทดสอบ strain@0 มาหาความสัมพันธ์เชิงเส้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงและตรวจสอบว่าอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานหลังการทดสอบด้วยการให้แรงต่อเนื่องจะมีการพฤติกรรมอย่างไรเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพก่อนทำการทดสอบ โดยนำค่าแรงสูงสุดกับค่าความเครียดสูงสุดของแต่ละกรณีที่ทำการปรับการหลังจากทดสอบคือ strain@350,000 และ strain@380,000 มาเทียบกับความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ได้จาก strain@0 แล้วดูลักษณะการกระจายตัวของข้อมูล ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน S1 กับ S2 และมาตรวัดความเครียดสำหรับติดคอนกรีต C1 ดังแสดงในรูปที่ 3.16 ถึง รูปที่ 3.18



รูปที่ 3.16 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงสูงสุดกับค่าความเครียดสูงสุดของ S1



รูปที่ 3.17 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงสูงสุดกับค่าความเครียดสูงสุดของ S2



รูปที่ 3.18 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงสูงสุดกับค่าความเครียดสูงสุดของ C1

จากข้อมูลจะพบว่าลักษณะการกระจายตัวของค่าแรงสูงสุดกับค่าความเครียดสูงสุดของกรณี strain@350,000 และ strain@380,000 เมื่อเปรียบเทียบกับกับความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ได้จาก strain@0 ของ S1, S2 และ C1 แตกต่างกันค่อนข้างน้อย (ไม่เกิน $\pm$ 5%) และมีลักษณะการกระจายตัวของค่าแรงสูงสุดกับค่าความเครียดสูงสุดเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งค่าแรงสูงสุดและค่าความเครียดสูงสุดของข้อมูลและแนวโน้มการกระจายของข้อมูล กล่าวคือ ค่าแรงสูงสุดกับค่าความเครียดสูงสุดของ S1 กับ S2 จะมีลักษณะพฤติกรรมเหมือนกับค่าแรงสูงสุดกับค่าความเครียดสูงสุดของ C1

โดยลักษณะของการกระจายตัวของค่าความคลาดเคลื่อนที่พบทั้งในอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน S1 และ S2 กับ มาตรวัดความเครียดสำหรับติดคอนกรีต C1 น่าจะมาจากพฤติกรรมจริงของแผ่นพื้นคอนกรีตอัดแรงที่พิจารณามีการเปลี่ยนแปลงค่าสติฟเนสในส่วนของตัวแผ่นพื้นคอนกรีตเองหลังจากทำการทดสอบด้วยการให้แรงแบบต่อเนื่องเมื่อเปรียบเทียบกับสภาพก่อนทำการทดสอบ

ดังนั้นจากข้อมูลที่ได้จึงเป็นการยืนยันว่า วิธีการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานในขณะที่มีหน่วยแรงดึงอยู่ด้วยสลักเกลียว มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการนำไปใช้งานจริงและเป็นการสนับสนุนแนวคิดที่ว่าสามารถนำอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานมาวัดผลตอบสนองของสะพานจริงได้ โดยต้องให้หน่วยแรงดึงกับอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานก่อนการใช้งานเพื่อสร้างค่าความเครียดในตัวนำอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานก่อน โดยที่ค่าความเครียดที่ในการทดสอบครั้งนี้มีค่าประมาณ 500 $\mu\varepsilon$

เมื่อพิจารณาจากผลการทดสอบทั้งหมดดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้นั้น จะพบว่าอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานจะสามารถทำงานได้ดีเมื่อนำไปใช้งานจริงโดยประสิทธิภาพในด้านการวัดค่าความเครียดนั้นแทบไม่แตกต่างกับมาตรวัดความเครียดแบบติดคอนกรีต อีกทั้งยังมีข้อดีกว่าในกรณีที่สามารถถอดเข้าออกเพื่อนำไปใช้งานที่ตำแหน่งอื่นได้ แต่อุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานก็มีข้อจำกัดในแง่ของกรณีที่ต้องมีการให้หน่วยแรงดึงกับอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานก่อนการใช้งานเพื่อสร้างค่าความเครียดในตัวอุปกรณ์ซึ่งจากผลการทดสอบด้วยการทดสอบโดยให้แรงแบบต่อเนื่องในครั้งนี้ สามารถยืนยันได้ว่าอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานจะมีช่วงเวลาในการใช้งานยาวพอสมควร(ประมาณ 6 เดือน) เมื่อให้หน่วยแรงดึง(pre-tension) ที่สร้างค่าความเครียดประมาณ 500 $\mu\varepsilon$ ในตัวของอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพาน ดังนั้นจากข้อมูลทั้งหมดจึงเป็นการที่ยืนยันได้ว่า วิธีการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเครียดในสะพานในขณะที่มีหน่วยแรงดึงอยู่ด้วยสลักเกลียว มีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการนำไปใช้งานจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย