

การประเมินความเสียหายจากความล่าช้าของแผงกั้นเสียงพอลิเมอร์เสริมเส้นใยของรถไฟลอยฟ้า



นายณัฐภัทร บัวเพชร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVALUATION OF FATIGUE DAMAGE OF SKY-TRAIN FIBER-REINFORCED-POLYMER NOISE
BARRIERS

Mr. Nutthapat Buapet



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความเสียหายจากความล่าช้าของแผงกั้นเสียงพอลิเมอร์เสริมเส้นใยของรถไฟลอยฟ้า
โดย	นายณัฐภัทร บัวเพ็ชร
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อัศวิน เล่นวารี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิฑิต ปานสุข)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โชติภักดี)

ณัฐภัทร บัวเพ็ชร์ : การประเมินความเสียหายจากความล้าของแผงกั้นเสียงพอลิเมอร์เสริมเส้นใยของรถไฟลอยฟ้า (EVALUATION OF FATIGUE DAMAGE OF SKY-TRAIN FIBER-REINFORCED-POLYMER NOISE BARRIERS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร. ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี, 65 หน้า.

แผงกั้นเสียงของรถไฟฟ้ายูเอชทีเดิมเป็นวัสดุคอนกรีตเสริมเส้นใยแก้วซึ่งพบว่ามีการแตกร้าวหลังจากผ่านการใช้งานมา 11 ปี จึงได้มีการเปลี่ยนแผงกั้นเสียงใหม่เป็นวัสดุประเภทพอลิเมอร์เสริมเส้นใยซึ่งมีควมที่จะได้รับการประเมินอายุการใช้งานภายใต้ผลของการล้าของวัสดุประเภทพอลิเมอร์เสริมเส้นใยที่นำมาใช้เป็นแผงกั้นเสียงซึ่งได้รับความสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนที่ของรถไฟฟ้าและแรงลม ซึ่งในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของแผงกั้นเสียงของรถไฟฟ้ายูเอชทีโดยทำการตรวจวัดความเครียดของแผงกั้นเสียงในสภาวะการใช้งานจริง และวิเคราะห์จำนวนรอบของการเกิดความเค้นและความเครียดโดยวิธีนับรอบแบบ Rainflow ส่วนการประเมินกำลังต้านทานความล้าทำโดยการทดสอบกำลังต้านทานความล้าของวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยภายใต้แรงดัดในห้องปฏิบัติการแล้วสร้างแผนภาพ s-n diagram ซึ่งแสดงจำนวนรอบที่ทนได้ก่อนการแตกหัก ภายใต้ความเครียดแบบกระทำซ้ำๆ ที่ระดับต่างๆ เทียบกับความเครียดประลัยภายใต้แรงกระทำสูงสุดรอบเดียว จากนั้นประเมินอายุการใช้งานโดยการคำนวณความเสียหายสะสมโดยวิธี Palmgren-Miner และนำไปคำนวณอายุการใช้งานของแผงกั้นเสียงที่เป็นวัสดุพอลิเมอร์เสริมเส้นใยภายใต้ความสั่นสะเทือนและแรงลม รวมถึงความเครียดเนื่องจากผลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละวัน ผลการศึกษาพบว่า การเกิดความล้าอันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนจากขบวนรถและแรงลมรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในรอบวันไม่สามารถทำให้แผงกั้นเสียง FRP วิกฤติภายใต้ความล้าที่เกิดขึ้นได้

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

5570191521 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: FIBER REINFORCED POLYMER,VIBRATION,RAINFLOW COUNTING

NUTTHAPAT BUAPET: EVALUATION OF FATIGUE DAMAGE OF SKY-TRAIN
FIBER-REINFORCED-POLYMER NOISE BARRIERS. ADVISOR: ASST. PROF.
CHATPAN CHINTANAPAKDEE, Ph.D., 65 pp.

Previously, skytrain noise barriers have been made of glass fiber reinforced concrete (GFRC). Many of them have cracked after 11years old, so they were replaced by barriers made of fiber reinforced polymer (FRP). This study aims to evaluate the fatigue life of these new noise barriers because it was suspected that the damage of previous GFRC barriers was due to vibration from train traffic and wind load. Strain variations of FRP noise barriers were measured on site for one day and the number of loading cycles was counted by method of rainflow to consider the rate of load cycles. The fatigue strength of FRP was tested in laboratory by using constant stress amplitude cyclic load and measuring number of cycles sustained before failure. The tests were repeated with many levels of stress amplitudes and the s-n diagram was developed to represent fatigue strength showing number of cycles that FRP can sustain at different levels of stress and strain amplitudes. The accumulated damage was computed by method of Palmgren-Miner and fatigue life was estimated. It was found that the FRP noise barriers subjected the strain measured on site has a very long fatigue life and would not be damage by fatigue because the measured strains were very small (less than 650 microstrain), which is less than 5 percents of one cycle ultimate strain.

Department: Civil Engineering

Student's Signature

Field of Study: Civil Engineering

Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้านายณัฐภัทร บัวเพ็ชร์ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ รองศาสตราจารย์ ดร.วิฑิต ปานสุข ที่ได้เสียสละเวลาให้คำแนะนำ ตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้รวมทั้งให้ความรู้ทางด้านการเขียนโปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการสนทนา ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.อัศววัชร เล่นวารีย์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะ โชติกไกร ที่ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษา รวมทั้งข้าพเจ้าขอกราบขอบ บริษัทขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) ที่ได้อนุเคราะห์ตัวอย่างแผงกันเสียง FRP ในการทดสอบในครั้งนี้

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณคุณ วรณา กรสวัสดิ์ และเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือประสานงานมาโดยตลอด และขอขอบคุณ เพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้อง สาขาวิศวกรรมโครงสร้างคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดมา

ที่สำคัญที่สุดข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคือ บิดา มารดาที่ช่วยอบรมสั่งสอน เลี้ยงดู และให้กำลังใจ รวมไปถึงญาติพี่น้อง ที่คอยเป็นกำลังใจทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่ 1	1
บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 2	3
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 พื้นฐานของทฤษฎีความล้า.....	3
2.2 การประมาณอายุการล้า (Fatigue Lifetime Estimation).....	4
2.3 คุณสมบัติของความเค้นสลับ (Fluctuating Stresses).....	9
2.4 ความเสียหายจากการล้าที่เกิดจากความเค้นสลับ (Fatigue under Fluctuating Stresses).....	9
2.5 ผลกระทบของความเสียหายเนื่องจากความถี่ในการทดสอบ	13
2.6 ทฤษฎีการคำนวณความเสียหายโดย Palmgren-Miner Rule.....	15
บทที่ 3	22
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	22
3.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม	23

3.1.1 ผลการตรวจวัดแฉงกันเสียงชนิด A	28
3.1.2 ผลการตรวจวัดแฉงกันเสียงชนิด B	30
3.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	31
3.2.1 การทดสอบการรับแรงดัดของแฉงกันเสียงภายใต้ขอบเขตการใช้งานจริง.....	32
3.3.2 การทดสอบการรับแรงดัดของวัสดุ FRP	35
3.3.3 การทดสอบหาแรงดิ่งของชิ้นส่วนแฉงกันเสียงด้วยวิธีให้แรงดิ่งโดยตรง.....	38
3.2.4 การทดสอบสอบการหาการต้านทานความล้าของไฟเบอร์เสริมเส้นใยพอลิเมอร์.....	40
บทที่ 4	43
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	43
4.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด	43
4.2 ผลการทดสอบความล้าของวัสดุ FRP ชนิด A และ B	48
4.3 การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดค่าความเครียดภาคสนาม.....	50
4.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี rain flow counting.....	51
4.3.2 การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB	52
4.3.3 การปรับแก้ค่าจากผลกระทบของค่าเฉลี่ยที่ไม่เท่ากับศูนย์.....	53
4.4 การคำนวณหาอายุการใช้งานของแฉงกันเสียง FRP	56
บทที่ 5	61
บทสรุป.....	61
รายการอ้างอิง	62
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	65

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 ข้อมูล FRP เสริมเส้นใยชนิดต่างๆ (Masayuki and Yasushi, 2007).....	8
ตารางที่ 2 การทดสอบหาความล้าของ A723 Steel ที่ระดับความถี่ต่างๆ (Robert , 1994)	13
ตารางที่ 3 สรุปข้อมูลตามการนับ Rainflow counting (Stephens and Fatemi, 2001).....	19
ตารางที่ 4 การแปลงค่าความเค้นแบบอิสระไปเป็นความเค้นเทียบเท่า.....	21
ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกภายในแต่ละชั้นกับระยะยวบตัวของแผงกั้นเสียงดังนี้....	34
ตารางที่ 6 กำลังรับแรงดึงของชิ้นส่วนแผงกั้นเสียง A และ B.....	40
ตารางที่ 7 ผลการทดสอบการหาคณสมบัติการต้านทานความล้าของชิ้นส่วนแผงกั้นเสียง A และ B	42
ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าเทียบกับความเครียดสูงสุด ของชิ้นส่วนแผงกั้นเสียง FRP ชนิด A และ B.....	56

สารบัญรูป

รูปที่ 1 ความเสียหายจากความล้าของเครื่องจักรอลูมิเนียม.....	4
รูปที่ 2 ความเค้นแบบคลื่นโดยที่ค่าแอมพลิจูดของค่าความเค้นสูงสุดและต่ำสุดมีค่าเท่ากัน หรือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (mean stress = 0)	5
รูปที่ 3 แผนภาพ stress – life (s-n diagram) ของเหล็ก UNS G41300.....	6
รูปที่ 4 S-N Diagram ของวัสดุประเภทโลหะและไม่ใช่โลหะ (Courtney, 2000)	7
รูปที่ 5 กราฟอายุความล้าของวัสดุ FRP เสริมเส้นใยชนิดต่างๆ (Masayuki and Yasushi, 2007) ...	8
รูปที่ 6 การให้ความเค้นสลับโดยค่าเฉลี่ยความเค้นเป็นศูนย์	10
รูปที่ 7 การให้ความเค้นสลับโดยค่าเฉลี่ยความเค้นมากกว่าศูนย์.....	10
รูปที่ 8 การให้ความเค้นสลับโดยค่าเฉลี่ยความเค้นน้อยกว่าศูนย์.....	11
รูปที่ 9 กราฟของกู๊๊ดแมนแสดงความต้านแรงและขีดจำกัดขององค์ประกอบต่างๆ สำหรับค่า ความเค้นเฉลี่ย (Shigley and Mischke, 1989)	11
รูปที่ 10 ไดอะแกรมแสดงค่าความเค้นเฉลี่ยของอัตราส่วนแรงดึงและกดต่อค่าอัตราส่วน	12
รูปที่ 11 รอบความเสียหายจากความล้าเนื่องจากผลของความถี่แต่ละระดับของ A723 Steel.....	14
รูปที่ 12 รอบความเสียหายจากความล้าเนื่องจากผลของความถี่แต่ละระดับของ.....	14
รูปที่ 13 การประมาณหารอบความเค้นที่วัสดุได้รับในสเกลลอกลิทิมที่ได้จากความเค้นที่ กระทำ.....	16
รูปที่ 14 การตั้งแกน Rainflow Counting (Stephens and Fatemi, 2001).....	17
รูปที่ 15 ตัวอย่างการนับรอบ Rainflow counting (Stephens and Fatemi, 2001).....	19
รูปที่ 16 ผลที่ได้จากการนับ Rainflow counting (Stephens and Fatemi, 2001).....	19
รูปที่ 17 การแปลงข้อมูลจากค่าความเค้นอิสระไปเป็นค่าความเค้นเทียบเท่า	20
รูปที่ 18 การหาความเค้นเทียบเท่าเนื่องจากผลของค่าเฉลี่ยความเค้นที่ไม่เท่ากับศูนย์	21
รูปที่ 19 แผนผังการดำเนินงาน	22
รูปที่ 20 ส่วนประกอบต่างๆของระบบรถไฟลอยฟ้า	24

รูปที่ 21	แผงกั้นเสียง FRP	24
รูปที่ 22	การยึดแผงกั้นเสียงเข้ากับเสาเหล็ก wide flange	25
รูปที่ 23	การติดตั้ง strain gauge ที่ผิวด้านในของแผงกั้นเสียง	25
รูปที่ 24	ตำแหน่งและหมายเลขของ strain gauge ในแต่ละตำแหน่ง	26
รูปที่ 25	ผลการเก็บข้อมูลความเครียดของแผงกั้นเสียง FRP ชนิด A ในระยะเวลา 1 วัน	27
รูปที่ 26	ผลการเก็บข้อมูลความเครียดของแผงกั้นเสียง FRP ชนิด B ในระยะเวลา 1 วัน	27
รูปที่ 27	ผลการเก็บข้อมูลความเครียดที่ตำแหน่งที่ 1-5 ของแผงกั้นเสียง FRP	28
รูปที่ 28	ผลการเก็บข้อมูลความเครียดที่ตำแหน่งที่ 6-10 ของแผงกั้นเสียง FRP	28
รูปที่ 29	ผลการเก็บข้อมูลความเครียดที่ตำแหน่งที่ 11-15 ของแผงกั้นเสียง FRP	29
รูปที่ 30	ผลการเก็บข้อมูลความเครียดที่ตำแหน่งที่ 1-5 ของแผงกั้นเสียง FRP	30
รูปที่ 31	ผลการเก็บข้อมูลความเค้นที่ตำแหน่งที่ 6-10 ของแผงกั้นเสียง FRP	30
รูปที่ 32	ผลการเก็บข้อมูลความเค้นที่ตำแหน่งที่ 11-15 ของแผงกั้นเสียง FRP	31
รูปที่ 33	การทดสอบการแอ่นตัวของแผงกั้นเสียง A	33
รูปที่ 34	การทดสอบการแอ่นตัวของแผงกั้นเสียง B	33
รูปที่ 35	การหาค่าโมดูลัสแตกหักขณะทำการทดสอบ	36
รูปที่ 36	แบบจำลองการทดสอบหาค่าโมดูลัสแตกหัก	37
รูปที่ 37	ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงและระยะการยุบตัวของแท่งตัวอย่างแผงกั้นเสียง A.....	37
รูปที่ 38	ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงและระยะการยุบตัวของแท่งตัวอย่างแผงกั้นเสียง B.....	38
รูปที่ 39	ขึ้นตัวอย่างการทดสอบการรับแรงดึงแผงกั้นเสียง FRP.....	39
รูปที่ 40	การหาความต้านทานการรับแรงดึงขณะทำการทดสอบ	39
รูปที่ 41	การออกแบบการจับยึดชิ้นงาน	41
รูปที่ 42	เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบความล้าขณะทำการทดสอบโดยเครื่อง	41
รูปที่ 43	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะยุบตัวของคาน FRP B.....	43
รูปที่ 44	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะยุบตัวของคาน FRP B.....	44

รูปที่ 45 กราฟ s-n diagram ของวัสดุ FRP ชนิด A และ B..... 49

รูปที่ 46 ลักษณะความเสียหายจากการทดสอบความล้า 49

รูปที่ 47 กราฟแสดงย่านความถี่ที่มีผลต่อการตรวจวัดค่าความเครียดของแผงกั้นเสียง FRP 52

รูปที่ 48 กราฟการกระจายตัวของค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยความเครียดในช่องสัญญาณที่ 11 53

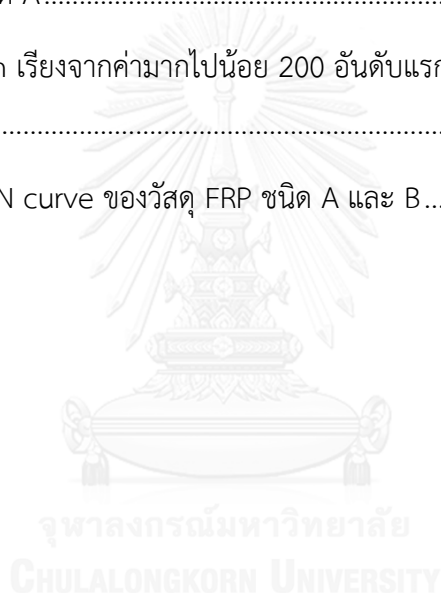
รูปที่ 49 กราฟการกระจายตัวของค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยความเครียดในช่องสัญญาณที่ 5..... 53

รูปที่ 50 การปรับแก้ผลกระทบจากค่า mean stress ที่ไม่เท่ากับศูนย์..... 54

รูปที่ 51 effective strain เรียงจากค่ามากไปน้อย 200 อันดับแรกสำหรับช่องสัญญาณที่ 11 ของแผงกั้นเสียง FRP ชนิด A..... 55

รูปที่ 52 effective strain เรียงจากค่ามากไปน้อย 200 อันดับแรกสำหรับช่องสัญญาณที่ 5 ของแผงกั้นเสียง FRP ชนิด B..... 56

รูปที่ 53 กราฟเชิงเส้น S-N curve ของวัสดุ FRP ชนิด A และ B..... 57





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ส่วนประกอบของเครื่องจักรและชิ้นส่วนภายในโครงสร้างต่างๆของเครื่องจักรหรือส่วนประกอบข้างเคียงนั้นโดยปกติในเวลาทำงานจะได้รับแรงกระทำที่ต่าง ๆ กันและซ้ำไปซ้ำมา (cyclic load) อย่างต่อเนื่อง เป็นผลทำให้วัสดุชิ้นๆได้รับความเค้นสลับ (cyclic stress) ซึ่งนำไปถึงการเกิดความเสียหายต่อโครงสร้างภายในของวัสดุชิ้นๆ ซึ่งเรียกว่า ความล้า (fatigue) เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับโครงสร้างประเภทต่างๆที่ต้องรับแรงกระทำแบบซ้ำๆ และสามารถทำให้ชิ้นส่วนโครงสร้างเกิดการวิบัติได้ภายใต้ความเค้นที่มีค่าต่ำกว่าค่าความเค้นที่จุดครากของวัสดุหรือความเค้นที่ยอมให้ที่ได้ออกแบบไว้สำหรับชิ้นส่วนนั้นๆ เป็นสาเหตุหลักของการวิบัติที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนเช่น ปีกของเครื่องบิน ถังความดัน สะพาน และชิ้นส่วนต่างๆ ภายในรถยนต์ เป็นต้น นอกจากนี้ความล้าไม่ได้เกิดในชิ้นส่วน ในบริเวณที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อรับแรงที่กระทำซ้ำๆ กันอย่างเห็นได้ชัดเท่านั้น

เนื่องจากในบางครั้ง ถึงแม้ว่าชิ้นส่วนนั้นๆ ไม่ได้ถูกคาดหวังที่จะอยู่ภายใต้ของแรงกระทำที่ซ้ำๆ ก็ก็ตามก็ยังอาจมีความเสี่ยงต่อการรับแรงกระทำซ้ำไปซ้ำมาด้วยเช่นกัน เช่น แผงกั้นเสียงของรถไฟลอยฟ้า ซึ่งในปัจจุบันนี้ ความเสียหายของส่วนประกอบของระบบขนส่งทางราง ส่วนใหญ่ มีสาเหตุมาจากความล้า ถึงแม้ว่าค่าความเค้นที่วัสดุได้รับนั้นจะต่ำกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุดก็ตาม ดังนั้นในการผลิตหรือออกแบบชิ้นส่วนที่อยู่ใต้อาการรับแรงกระทำซ้ำไปซ้ำมาจึงจำเป็นต้องที่จะต้องออกแบบให้สอดคล้องกับการใช้งานจริง รวมทั้งการเลือกวัสดุที่มีความทนทานต่อความเสียหายจากความล้าที่ได้รับ

ในงานวิจัยนี้เป็นการประมาณอายุความล้าของโครงสร้างแผงกั้นเสียงพอลิเมอร์เสริมเส้นใย (Fiber Reinforced Polymer, FRP) ด้วยวิธี Rain flow counting และ Palmgren-Miner (1924) โดยความเครียดในแผงกั้นเสียงได้จากการตรวจวัด ณ จุดใช้งานที่สถานีรถไฟฟ้า สนามเป้า และ สถานีอารีย์ จากนั้นค่าความเครียดที่ได้ในโดเมนของเวลานำไปใช้ในการวิเคราะห์ความล้าตัวของโครงสร้าง

ด้วยวิธีการ Stress-Life (s-n) โดยใช้สมการของ Goodman (1954) ในการแก้ค่าความเค้นเฉลี่ย โดยใช้กฎของ Palmgren-Miner (1924) มาใช้ในการคำนวณค่าความเสียหายสะสมและวิธีการ Rainflow counting หารอบความเครียดโดยใช้โปรแกรม MATLAB (Mathwork, 2008)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. หากำลังความล้าของวัสดุ FRP ภายใต้แรงกระทำแบบฟังก์ชันไซน์โดยมีค่าเฉลี่ยของแรงเท่ากับศูนย์
2. ประเมินอายุการใช้งานของแผ่นกั้นเสียงที่เป็นวัสดุ FRP ในการต้านทานการล้าเนื่องจากการสั่นสะเทือน

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตการศึกษาในงานวิจัยนี้ครอบคลุมเฉพาะส่วนของความเสียหายที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของแผ่นกั้นเสียงเท่านั้นไม่ครอบคลุมความเสียหายซึ่งอาจเกิดมาจากการสึกกร่อนเนื่องจากสภาวะแวดล้อมจากการใช้งาน เช่น แสงแดด ความชื้น ความเป็นกรด-ด่าง ของน้ำฝน โดยการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนจะใช้การวิเคราะห์ด้านพลศาสตร์ (dynamic analysis) ซึ่งอยู่บนหลักการพื้นฐานดังนี้

- Wöhler (1867) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเค้นกับจำนวนรอบที่วัสดุทนได้จนกระทั่งวิบัติจากความล้าจนกระทั่งไม่สามารถรับแรงกระทำต่อไปได้
- Palmgren-Miner's rule Palmgren และ Miner (1925, 1945) สำหรับการคำนวณความเสียหายสะสมที่เกิดในวัสดุ
- Rainflow method (Matsuishi and Endo, 1968) ใช้เป็นวิธีสำหรับการนับจำนวนรอบความเค้น
- สมมุติให้วัสดุมีคุณสมบัติด้านการรับแรงแบบ isotropic คือมีความสามารถในการรับแรงได้เหมือนกันทุกทิศทาง
- สมมุติให้เที่ยวการเดินขบวนรถไฟในวันจันทร์ซึ่งมีค่าสูงสุดเป็นตัวแทนข้อมูลในวันอื่นๆด้วย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พื้นฐานของทฤษฎีความล้า

เมื่อวัสดุถูกแรงซึ่งต่ำกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด (ultimate strength) มากกระทำกลับไปกลับมาซ้ำๆ กันก็อาจจะเกิดการแตกหักขึ้นได้เนื่องจากเกิดความล้า (Fatigue) ขึ้น ความล้าที่เกิดในวัสดุต่างๆ เป็นสาเหตุใหญ่ของการเสียหายเช่นชิ้นส่วนเครื่องจักรต่างๆ เพราะขณะเครื่องจักร เช่น เครื่องยนต์ ใบพัด อากาศสูง มอเตอร์ ฯลฯ จะต้องเกิดความเค้นสลับไปสลับมาเป็นซึ่งอาจจะมากถึงล้าน ๆ ครั้งซึ่งทำให้เกิดความล้าขึ้นในชิ้นส่วนต่างๆ ได้ จากการศึกษาพบว่าความล้าจะเกิดเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรกจะเกิดรอยแตกขึ้น เมื่อมีความเค้นรวมศูนย์ (stress concentration) ในบริเวณนั้น และในระยะที่สอง เมื่อมีความเค้นเข้าไปซ้ำมารอยแตกนี้จะโตขึ้นเรื่อยๆ จะมีพื้นที่ภาคตัดขวางของวัสดุลดลง จนกระทั่งแรงกระทำต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด วัสดุก็จะแตกหักจากกัน ถ้าเรากำหนดจำนวนรอบของความเค้นที่ทำซ้ำไปซ้ำมาแล้ว (โดยปกติจะใช้ที่ค่า 1 ล้านรอบ) ค่าความเค้นที่จะทำให้วัสดุแตกหักได้ที่จำนวนรอบของความเค้นรอบนั้น ๆ เราเรียกว่า Fatigue Strength สำหรับโลหะ โดยเฉพาะพวกเหล็ก จะมีค่าความเค้นอยู่ค่าหนึ่ง ซึ่งถ้าใช้ความเค้นต่ำกว่านี้แล้ว ไม่ว่าจำนวนรอบของแรงกระทำจะเป็นเท่าใด วัสดุจะไม่แตกออก ค่าความเค้นนี้เรียกว่า Endurance Limit ความเสียหายตามปกติจะเริ่มจากการเกิดรอยร้าวเริ่มต้นในจุดที่มี stress concentration แล้วเกิดการขยายของรอยร้าวลามเข้าไปเป็นชั้นๆ ตามจำนวนครั้งที่ได้รับโหลด เมื่อพื้นที่หน้าตัดที่รับโหลดลดลงจนเกิดความเค้นสูงกว่ากำลังรับแรงดึงประลัยวัสดุจะเกิดการเสียหายบนพื้นที่รับโหลดที่เหลือเป็นการแตกหักธรรมดา ซึ่งอายุความล้าของวัสดุทดสอบ เขียนได้เป็นสมการที่ 2.1 ดังนี้

$$N_f = N_i + N_p \quad (2.1)$$

โดยที่ N_f คือจำนวนรอบความล้าของวัสดุทดสอบ

N_i คือจำนวนรอบที่ทำให้เกิดรอยร้าวเริ่มต้น

N_p คือจำนวนรอบที่เกิดการขยายของรอยร้าวจนกระทั่งวัสดุแตกหัก

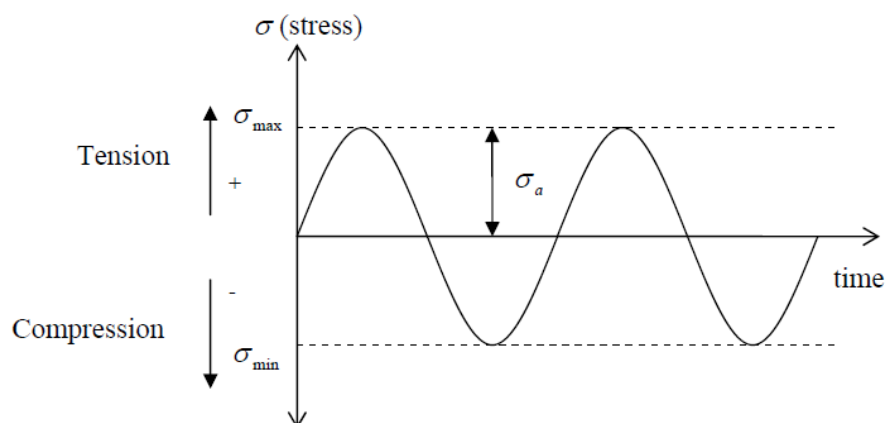


รูปที่ 1 ความเสียหายจากความล้าของเครื่องจักรลูมิเนียม
([https://en.wikipedia.org/wiki/Fatigue_\(material\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Fatigue_(material)))

2.2 การประมาณอายุการล้า (Fatigue Lifetime Estimation)

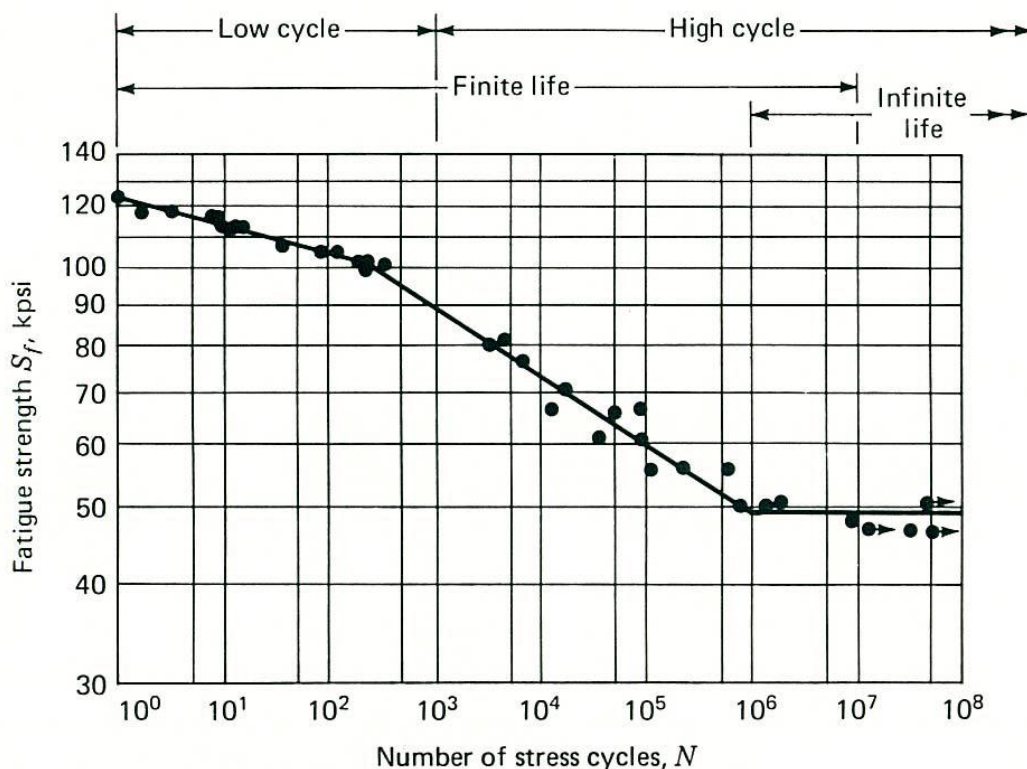
Shigley and Mische (1989) อธิบายถึงหลักการที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบชิ้นงานที่เป็นผลจากเกิดความเสียหายเนื่องจากการล้า ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี ประกอบด้วย stress-life method, strain-life method และ linear-elastic fracture mechanics ซึ่งวิธีการเหล่านี้เป็นวิธีการที่พยายามจะทำนายอายุการล้าของชิ้นงานเป็นรอบการรับโหลดที่จะเกิดความเสียหาย n รอบโดยทั่วไปจะแบ่งเป็นวงรอบการใช้งานต่ำ (low – cycle fatigue) จะหมายถึงชิ้นงานที่มีอายุการใช้งานในช่วงวงรอบ $1 \leq N \leq 1000$ รอบและวงรอบการใช้งานสูง (high – cycle fatigue) จะหมายถึงชิ้นงานที่มีอายุการใช้งานในช่วงวงรอบ $N > 1000$ รอบ การรับโหลดแบบวัฏจักร 1 วงรอบ ($N = 1$) จะประกอบด้วย การใส่โหลดซึ่งเป็นการเค้นเข้าไป 1 ครั้งจากนั้นก็นำโหลดออกแล้วใส่โหลดเข้าไปในทิศทางตรงกันข้ามอีก 1 ครั้งแล้วนำโหลดออกดังแสดงตามรูปที่ 2 โดยมีพารามิเตอร์ในการทดสอบความล้าดังนี้

ความถี่ คือ จำนวนของรอบการทดสอบต่อระยะเวลาโดยส่วนใหญ่จะมีหน่วยเป็น Hz ยิ่งมีค่ามากก็จะทำให้เกิดการแตกหักได้เร็วโดยการทดสอบการหาความต้านทานการล้าจะใช้ความถี่ในการทดสอบความล้าเท่ากับ 2 Hz



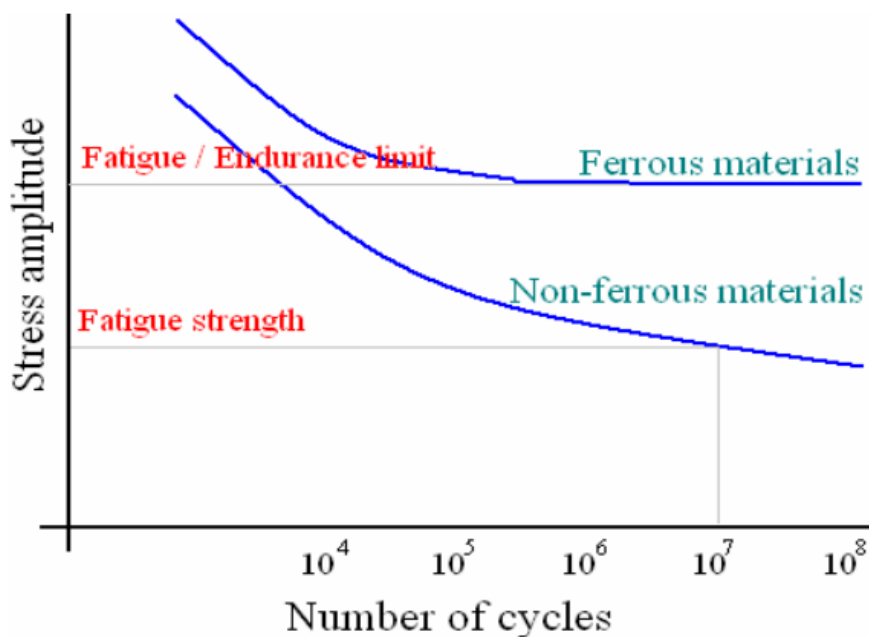
รูปที่ 2 ความเค้นแบบคลื่นโดยที่ค่าแอมพลิจูดของค่าความเค้นสูงสุดและต่ำสุดมีค่าเท่ากัน หรือมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์ (mean stress = 0)

นอกจากนั้นรูปที่ 3 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบความล้ามักกระจายทำให้เกิดความแปรปรวนในค่า N ที่วัดได้จากชิ้นงานจำนวนมาก แม้ว่าการทดสอบที่ระดับความเค้นเดียวกันความแปรปรวนนี้ไปสูความคลาดเคลื่อนในการออกแบบอย่างมาก เพราะอายุการใช้งานและพิกัดความล้า (Fatigue limit) ซึ่งการกระจายตัวดังกล่าวของข้อมูลเป็นผลมาจากความไวของความล้า (Fatigue sensitivity) ต่อจำนวนการทดสอบและตัวแปรต่างๆจากวัสดุ ซึ่งยากที่จะควบคุมได้แม่นยำโดยตัวแปรเหล่านี้ได้แก่การขึ้นรูปขึ้นทดสอบ, การเตรียมผิว, ตัวแปรทางโลหะวิทยา, แนวการวางชิ้นงานในอุปกรณ์ทดสอบและความเค้นเฉลี่ย ดังนั้นเส้นกราฟความล้านี้จะได้มาจากการปรับค่าให้ลงตัว (bestfit curve) โดยการลากเส้นผ่านข้อมูลเฉลี่ยนอกจากในรูปที่ 3 นั้นยังแสดงให้เห็นว่ามีการจำแนกการล้าออกเป็นวงรอบและแบ่งอายุที่ใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลสำหรับความล้าตามช่วงอายุการใช้งานคือชิ้นงานที่มีอายุจำกัด (Finite Life) และชิ้นงานที่มีอายุไม่จำกัด (Infinite Life) บริเวณระหว่างช่วงทั้งสองนี้จะไม่สามารถระบุได้ชัดเจนโดยจะขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิด โดยเฉพาะ เหล็กจะมีค่าอยู่ระหว่าง 10^6 - 10^7 รอบ



รูปที่ 3 แผนภาพ stress – life (s-n diagram) ของเหล็ก UNS G41300
(ความเค้นประลัยสูงสุด = 125 ksi) (NACA, 1966)

โดยงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์ความเสียหายจากความล้าตัวตามวิธีการ stress-life method ที่จะคำนวณอายุการล้าบนพื้นฐานของระดับความเค้นตามวิธีการนี้ก็จะเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการออกแบบชิ้นส่วนที่ทราบวงรอบการนำไปใช้งานที่แน่นอนและใช้สำหรับทำนายอายุการใช้งานสูงที่มีข้อมูลสนับสนุนเพียงพอทั้งนี้เนื่องจากวิธีการนี้ในการหาความต้านทานการล้าของวัสดุจำเป็นต้องทำการทดสอบชิ้นงานที่เป็นวัสดุชนิดเดียวกันหลายๆครั้งภายใต้โหลดการตัดขนาดเดียวกันในขณะที่ทำการทดสอบชิ้นงานทดสอบจะอยู่ภายใต้แรงกระทำแบบ sine curve ซึ่งเป็นความเค้นแบบกระทำสองทิศทางและมีค่าอัตราส่วนความเค้น $R = -1$ ตามรูปที่ 2 ผลการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานการล้าของวัสดุนิยมเขียนเป็นกราฟค่าความต้านทานการล้า (fatigue strength) หรือความทนทาน (endurance strength) เทียบกับอายุของชิ้นงาน n รอบ (s-n diagram) ในสเกล semilog หรือสเกล log-log ซึ่งจากผลการทดสอบกับวัสดุชนิดต่าง ๆ ปรากฏว่ากราฟ s-n มีอยู่ 2 ลักษณะ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 S-N Diagram ของวัสดุประเภทโลหะและไม่ใช่โลหะ (Courtney, 2000)

- โลหะจำพวกเหล็ก (steels) โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้จำนวนรอบความล้าลดลง เมื่อความเค้นลดลงจนถึงค่าหนึ่งแล้วจำนวนรอบความเค้นจะทนได้หลายรอบไม่มีสิ้นสุด โดยลักษณะกราฟจะออกเป็นเส้นตรงคือความเค้นคงที่ เรียกว่าพิกัดความทนทาน (endurance limit) หรือ พิกัดการล้า (fatigue limit) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 10^6 - 10^8 รอบ ดังรูปที่ 4

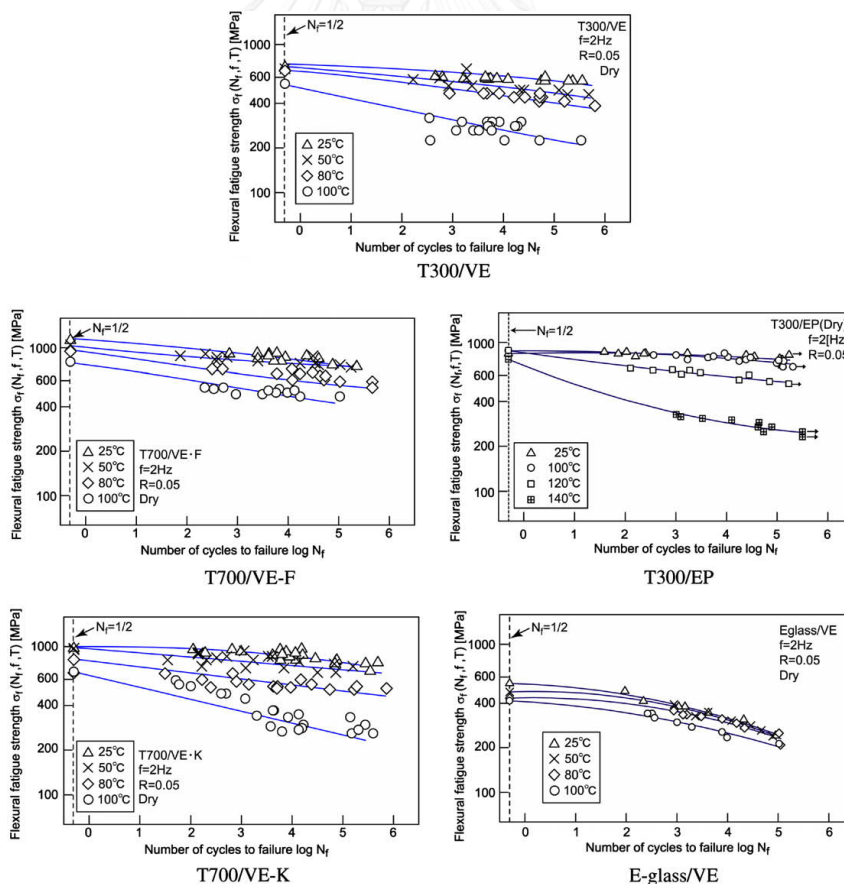
- โลหะที่ไม่ใช่เหล็ก (nonferrous metals) จะมีความแตกต่างจากวัสดุจำพวกโลหะที่ความเค้นลดลง โดยที่จำนวนรอบยังคงไม่มีค่าลิมิต ดังรูปที่ 4 สำหรับ aluminum alloy (2014-T6 aluminum) ซึ่งจะทำให้ไม่ปรากฏเส้นตรงหรือความเค้นคงที่ ที่เรียกว่า พิกัดความทนทาน (Endurance -Limit) จะมีเพียงพิกัดต้านทานการล้า (Fatigue strength, S_f) โดยพิกัดความล้าหมายถึงระดับต้านทานการล้า จะใช้การประมาณที่ Marshek และ Juvinall (1991) รอบที่ 10^8 - 5×10^8 รอบที่ความเค้นประมาณ 0.35 เท่าของความเค้นดึง (tensile -strength)

ตารางที่ 1 ข้อมูล FRP เสริมเส้นใยชนิดต่างๆ (Masayuki and Yasushi, 2007)

Fiber	Matrix	Type	Fiber/matrix	Loading direction	Hypothesis					
					(A)	(B)	(C)			
Carbon	PAN	Epoxy	UD	T400/828	LT	o	o	o		
				T300/2500	LB	o	o	o		
				TB	o	o	o			
			SW	T400/3601	LB	o	o	o		
			QL	T800/3900-2B	LB	o	o	o		
		Vinylester	PW	T300/vinylester	LB	o	o	o		
	UD		T300/PEEK	LB	x	x	x			
			TB		x	x	x			
		Pitch	Epoxy	UD	XN40/25C	LB	x	x	o	
Glass	Epoxy	SW	E-glass/epoxy	LB	x	o	x			
	Vinylester	PW	E-glass/vinylester	LT	o	o	x			
				LB	o	o	x			

Notice: UD: unidirectional; SW: satin woven; PW: plain woven; QL: quasi-isotropic laminates; LT: longitudinal tension; LB: longitudinal bending; TB: transverse bending

FRP joint system	Hypothesis		
	(A)	(B)	(C)
Conical shaped joint of GFRP/metal	o	o	o
Brittle adhesive joint of GFRP/metal	o	o	o
Ductile adhesive joint of GFRP/metal	o	o	o
Bolted joint of GFRP/metal	o	o	o
Bolted joint of CFRP/metal	o	o	o



รูปที่ 5 กราฟอายุความล้าของวัสดุ FRP เสริมเส้นใยชนิดต่างๆ (Masayuki and Yasushi, 2007)

2.3 คุณสมบัติของความเค้นสลับ (Fluctuating Stresses)

Shigley (1986) คุณสมบัติของความเค้นผันแปรของความเค้นที่กระทำต่อชิ้นส่วนเครื่องจักรมักจะเกิดในรูปแบบซึ่งเป็นวงรอบของแรงกระทำและมีการผันแปรของความเค้นที่ไม่สม่ำเสมอก็ยังคงเกิดขึ้นอยู่แต่ก็พบว่าในวงรอบของการหมุนจะเกิดแรงกระทำสูงสุดขึ้น 1 ครั้งและแรงกระทำต่ำสุด 1 ครั้ง ค่าสูงสุดและต่ำสุดในแต่ละวงรอบจึงใช้ค่า F_{\max} และ F_{\min} ในการระบุรูปแบบคุณลักษณะของแรงกระทำ นอกจากนั้นยังพบความจริงที่ขนาดของแรงช่วงที่สูงสุดกับต่ำสุดที่ห่างจากเส้นฐานค่าหนึ่งจะมีค่าเท่ากันดังนี้

$$\text{stress amplitude} = \frac{\text{max stress} - \text{min stress}}{2}$$

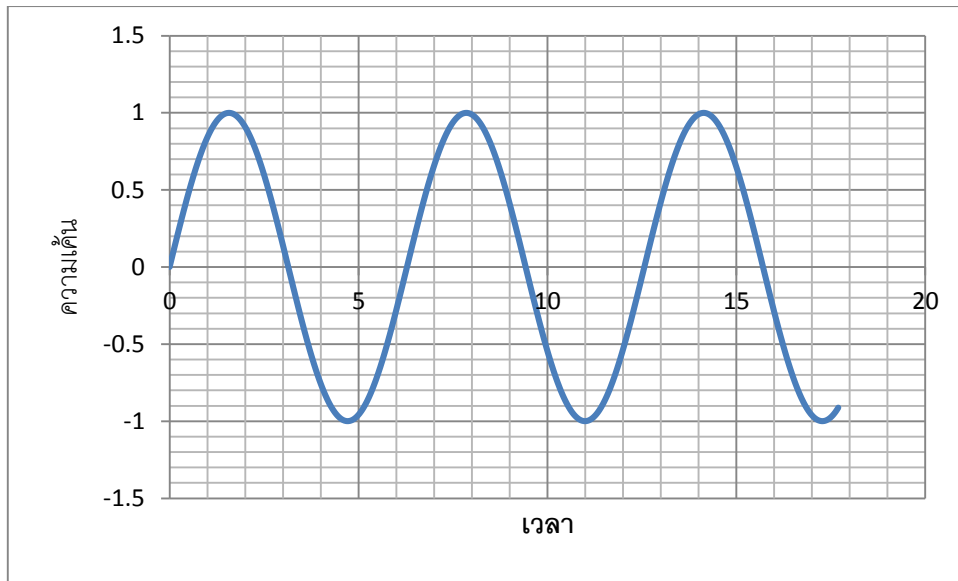
$$\text{mean stress} = \frac{\text{max stress} + \text{min stress}}{2}$$

$$\text{stress range} = \text{max stress} - \text{min stress}$$

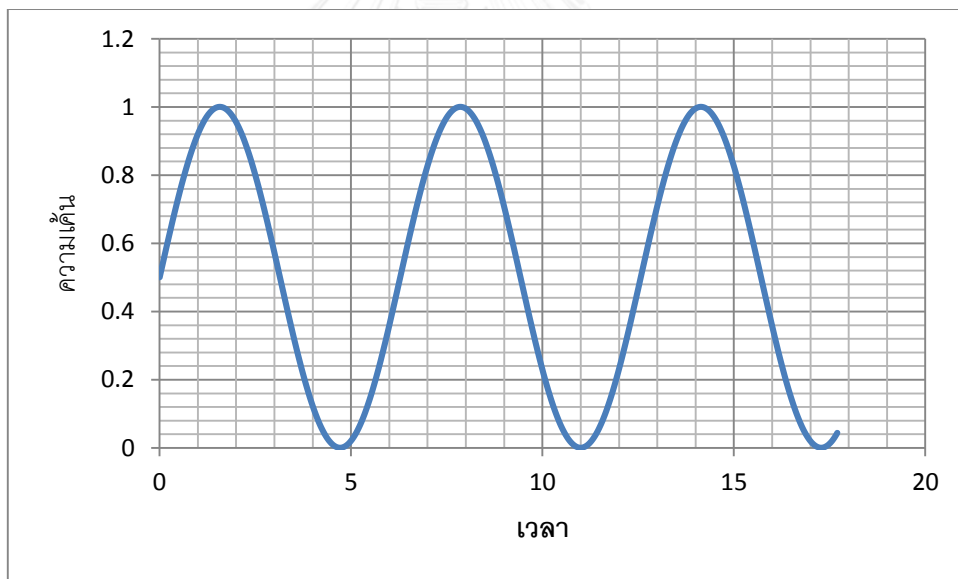
$$R = \frac{\text{min stress}}{\text{max stress}}$$

2.4 ความเสียหายจากการล้าที่เกิดจากความเค้นสลับ (Fatigue under Fluctuating Stresses)

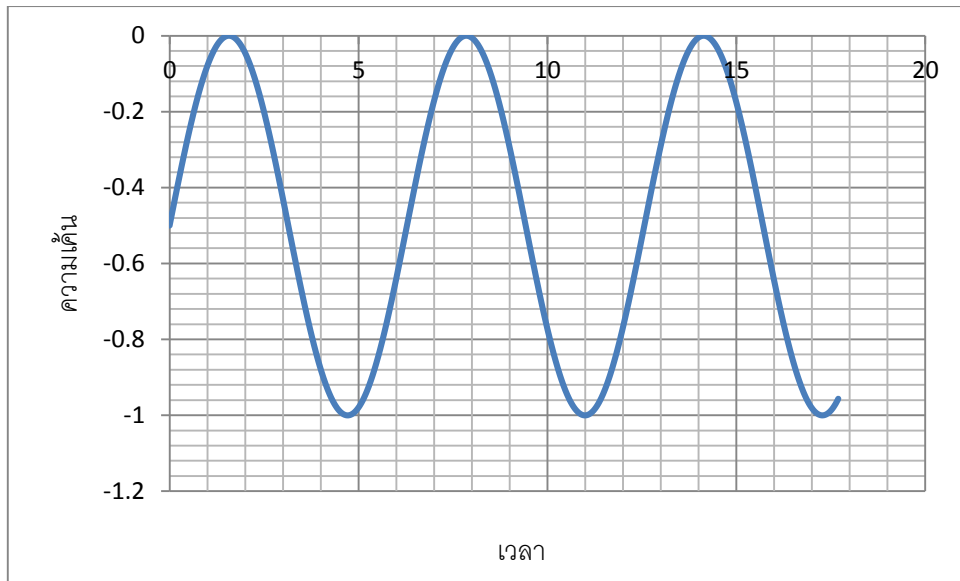
Shigley and Mischke (1989) การกำหนดองค์ประกอบต่าง ๆ ของความเค้นที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบชิ้นงานที่มีการล้าเกิดขึ้นเมื่ออยู่ภายใต้โหลดแบบวัฏจักรความต้านทานการล้าของชิ้นส่วนเครื่องจักรกลซึ่งมีหลักเกณฑ์การออกแบบของ Goodman (1890) รูปที่ 2.9 เป็นการพล็อตค่าความเค้นเฉลี่ยในแนวนอนและองค์ประกอบอื่นของความเค้นในแนวตั้งโดยแรงดึงจะมีค่าเป็นบวก ส่วนค่าพิัดการล้าหรือความเค้นสำหรับชิ้นงานที่มีอายุจำกัด (10^3 รอบ) จะถูกพล็อตในแนวตั้งสำหรับแนวเส้นที่ทำมุม 45° จะเป็นค่าความเค้นเฉลี่ย เส้นการออกแบบของกู๊ดแมนจะเป็นเส้นที่ลากไปยัง S_e หรือ S_f เหนือจุดเริ่มต้นให้สังเกตว่าค่าความเค้นครากจะถูกพล็อตลงไปด้วยทั้งนี้เนื่องจากชิ้นงานจะเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากการครากเมื่อ ความเค้นสูงสุดมีค่าเกินกว่า S_y



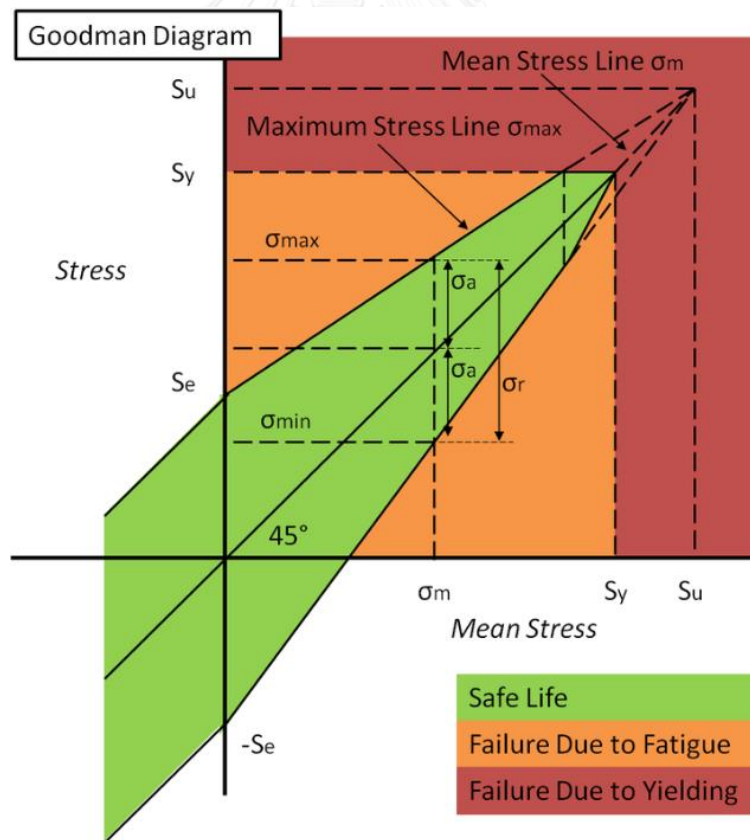
รูปที่ 6 การให้ความเค้นสลับโดยค่าเฉลี่ยความเค้นเป็นศูนย์



รูปที่ 7 การให้ความเค้นสลับโดยค่าเฉลี่ยความเค้นมากกว่าศูนย์

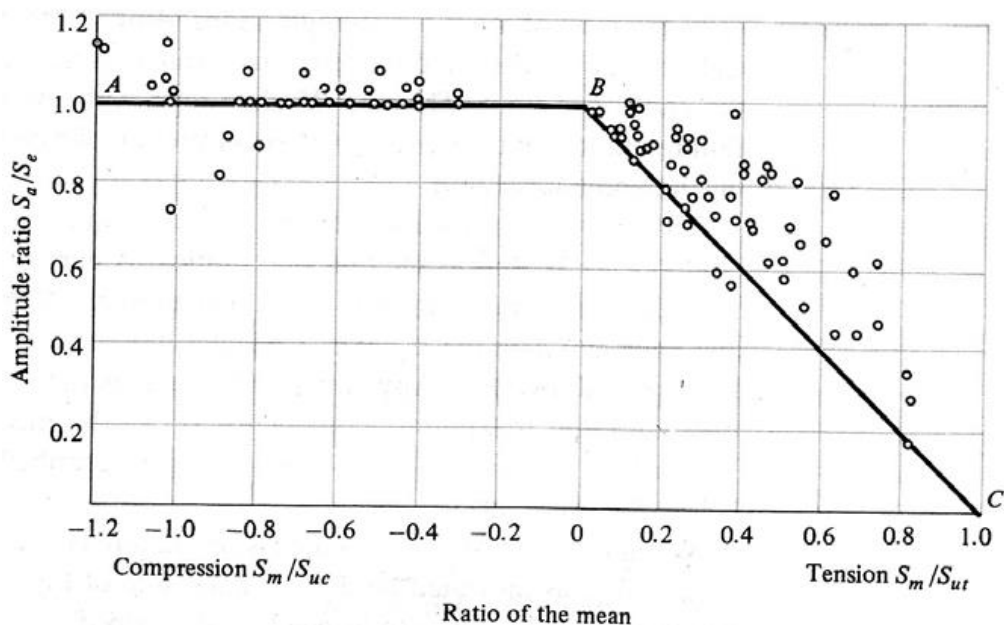


รูปที่ 8 การให้ความเค้นสลับโดยค่าเฉลี่ยความเค้นน้อยกว่าศูนย์



รูปที่ 9 กราฟของกูดแมนแสดงความต้านแรงและขีดจำกัดขององค์ประกอบต่างๆ สำหรับค่าความเค้นเฉลี่ย (Shigley and Mischke, 1989)

ซึ่งวิธีที่จะแสดงผลการทดลองให้ทราบอีกวิธีหนึ่งแสดงตามรูปภาพที่ 10 ซึ่งแกนแนวนอนจะเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างความต้านแรงเฉลี่ย S_m กับค่าความต้านแรงสูงสุด S_{ut} โดยที่ข้อมูลสำหรับการดึงจะถูกพล็อตทางด้านขวาและข้อมูลสำหรับการกดจะถูกพล็อตทางด้านซ้าย ส่วนแกนในแนวตั้งจะเป็นค่าอัตราส่วนของความเค้นผันแปรต่อพิบัติการล้า ดังนั้นเส้นตรง BC จะเป็นตัวแทนของเส้นความเสียหายของ Goodman, J (1899) ให้สังเกตว่าความเค้นเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในช่วงของการกดจะส่งผลกระทบต่อค่าพิบัติการล้าเพียงเล็กน้อยเท่านั้นและรูปภาพที่ 11 เป็นกราฟที่มีความเป็นเอกลักษณ์ในการแสดงองค์ประกอบทั้ง 4 ของความเค้นรวมทั้งค่าอัตราส่วนของความเค้นอีก 2 ค่าเส้นโค้งจะเป็นตัวแทนของค่าพิบัติการล้า สำหรับอัตราส่วน R ค่าต่างๆโดยเริ่มตั้งแต่ R = -1 จนถึงที่สุดที่ R = 1 เริ่มต้นที่ S_e บนแกน σ_a และสิ้นสุดที่ S_{ut} บนแกน σ_a นอกจากนั้นยังมีเส้นโค้งแสดงอายุการใช้งานคงที่สำหรับ $N = 10^5$ รอบและ $N = 10^4$ รอบ ดังนั้นกราฟจะสามารถอธิบายสภาวะความเค้นที่จุดหนึ่งจุดใดได้ ดังจุด A โดยองค์ประกอบของความเค้นสูงสุดและความเค้นต่ำสุดหรือองค์ประกอบของความเค้นเฉลี่ยและความเค้นสลับและจุดที่ปลอดภัยสำหรับการออกแบบจะอยู่ใต้เส้นอายุการใช้งานคงที่ เมื่อความเค้นเฉลี่ยเกิดจากการกดความเสียหายจะเกิดขึ้นเมื่อ $\sigma_a = S_e$ หรือเมื่อใดก็ตามที่ $\sigma_{max} = S_y$ ดังที่แสดงทางด้านซ้ายมือของรูปภาพที่ 9



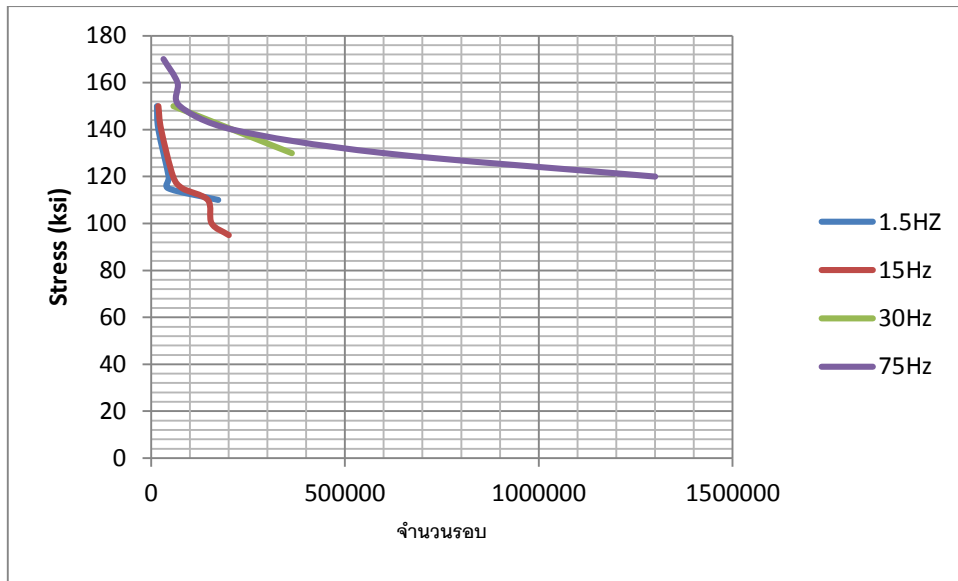
รูปที่ 10 ไดอะแกรมแสดงค่าความเค้นเฉลี่ยของอัตราส่วนแรงดึงและกดต่อค่าอัตราส่วนค่าความแข็งแรงต่อพิบัติความความทนทาน (Shigley and Mischke, 1989)

2.5 ผลกระทบของความเสียหายเนื่องจากความถี่ในการทดสอบ

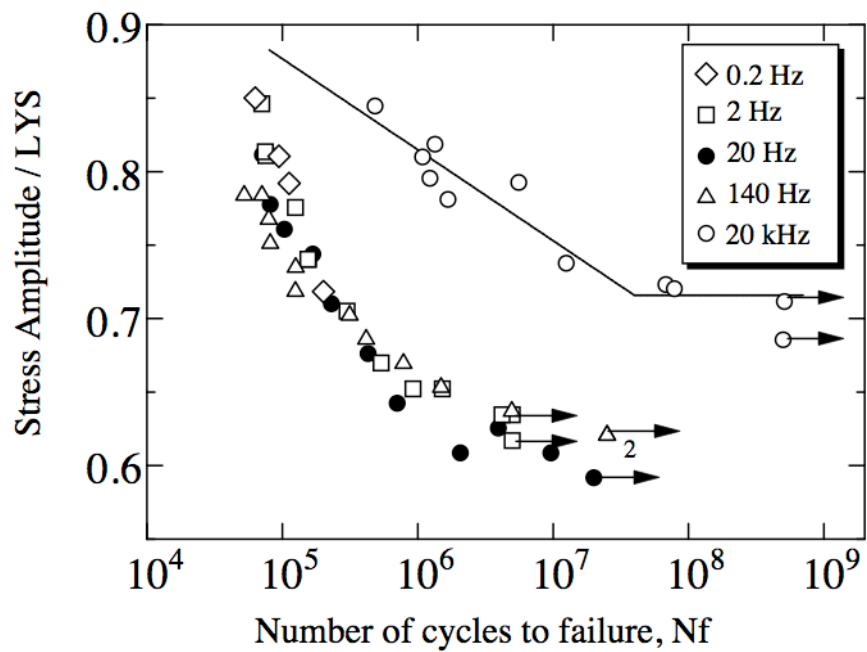
Robert (1994) ได้ทดสอบหาความสัมพันธ์ของความถี่ที่ใช้ในการทดสอบหาความล้าของวัสดุว่า ความถี่ระดับต่างๆนั้นให้ความเสียหายต่อวัสดุแตกต่างกันอย่างไร เนื่องด้วยการทดสอบในการหาความล้า นั้นสามารถเลือกความถี่ในการทดสอบโดยทั่วไปได้ตั้งแต่ 1-20 Hz ซึ่งหากใช้ความถี่สูงในการทดสอบเปรียบเทียบกับการใช้ความถี่ต่ำในการทดสอบด้วยจำนวนรอบรวมที่เท่ากันจะให้ผลต่างกัน โดยมีตัวอย่างดังนี้

ตารางที่ 2 การทดสอบหาความล้าของ A723 Steel ที่ระดับความถี่ต่างๆ (Robert , 1994)

Loading Frequency (Hz)	Stress ksi (MPa)	Cycles to Failure
1.5	150 (1035)	15,131
	140 (966)	18,908
	120 (808)	45,246
	115 (793)	44,007
	110 (759)	172,928
	100 (690)	112,285
15	150 (1035)	18,500
	140 (966)	25,700
	120 (828)	56,500
	115 (793)	80,000
	115 (793)	61,000
	110 (759)	146,200
	100 (690)	156,100
	95 (655)	200,400
30	150 (1035)	58,000
	130 (897)	363,000
75	170 (1173)	32,000
	160 (1104)	68,000
	150 (1035)	74,000
	140 (966)	210,000
	130 (897)	599,000
	120 (828)	1,300,000



รูปที่ 11 รอบความเสียหายจากความล้าเนื่องจากผลของความถี่แต่ละระดับของ A723 Steel



รูปที่ 12 รอบความเสียหายจากความล้าเนื่องจากผลของความถี่แต่ละระดับของ S15C Low Carbon Steel (Akira และคณะ, 2013)

จากรูปที่ 11 และ 12 จะเห็นว่าในการทดสอบความล้าของวัสดุที่ความถี่ต่ำจะใช้รอบในการให้เกิดความล้าน้อยกว่าการใช้ความถี่สูง

2.6. ทฤษฎีการคำนวณความเสียหายโดย Palmgren-Miner Rule

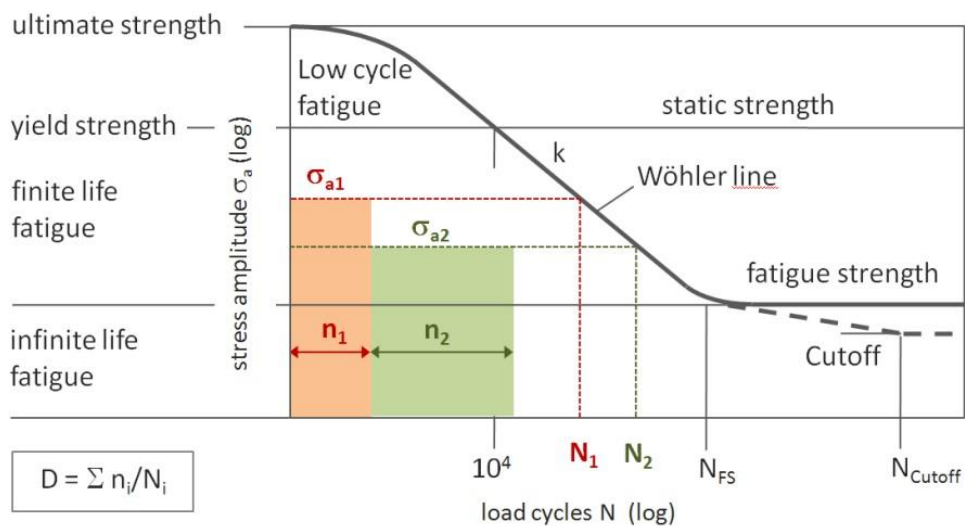
ชนะพงศ์ ทองแสน (2545) ใช้วิธี Palmgren-Miner rule หรือวิธี Miner's rule ในการอายุของชิ้นส่วนหมุดย้ำของโครงสร้างสะพานเหล็กเนื่องจากความล้าของโครงสร้างสะพานเหล็กภายใต้แรงกระทำจากขบวนรถไฟในตึงเชิงกระบวนการสุ่มเป็นวิธีการประเมินอายุความล้าที่มีพื้นฐานจาก S-N Diagram ซึ่งได้จากการทดสอบความล้าของชิ้นส่วนรูปแบบต่างๆ ภายใต้แรงกระทำซ้ำที่มีขนาดคงที่ และเป็นวิธีที่มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายอย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อจำกัดเกี่ยวกับข้อมูลของวัสดุ เมื่อนำมาใช้สำหรับชิ้นส่วนที่เกิดรอยแตกร้าวจากความล้าและแรงกระทำซ้ำมีลักษณะของกระบวนการสุ่มซึ่งขนาดเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยพิจารณาจากความล้าในชิ้นส่วนแรงกระทำซ้ำที่เกิดจากการสัญจรของแบบจำลองความล้าในการศึกษานี้อยู่บนพื้นฐานของทฤษฎี Linear Elastic Fracture Mechanics และวิธีการ Loading Block Palmgren-Miner rule หรือวิธี Miner's rule เป็นวิธีการประเมินอายุความล้าที่มีพื้นฐานจาก s-n diagram

Shigley (1986) ความเสียหายที่เกิดจากความเค้นผันแปรความเค้นสลับและความล้าสะสม ชิ้นงานภายใต้ภาวะความเค้นที่กำหนดใด ๆ ชิ้นงานรับโหลดความเค้นสลับ σ_1 เพียง n_1 รอบจากนั้นความเค้นจะเปลี่ยนไปเป็น σ_2 อีก n_2 รอบหรือสภาวะความเค้นในแต่ละวงรอบมีจุดสูงสุดที่เปลี่ยนแปลงไปชิ้นงานนั้นเป็นชิ้นงานเสียหาย เพื่อให้วงรอบของการกระทำที่ซ้อนแฝงอยู่จะถูกนำมาพิจารณาอย่างครบถ้วนโดยกำหนดวงรอบของการกระทำเริ่มจากค่าสูงสุด-ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุดเท่าเดิมและหาค่าองค์ประกอบของความเค้นสลับ σ_a และความเค้นเฉลี่ย σ_m ซึ่งพบว่าความเสียหายสูงสุดจะเกิดขึ้นในวงรอบ วิธีการนับวงรอบการกระทำของความเค้น สรุปได้ดังนี้

$$D = \sum_{i=1}^k \left(\frac{n_i}{N_f} \right)$$

เมื่อ n_i คืออายุการใช้งานภายใต้ความเค้น σ_i คืออายุการล้าของชิ้นงานที่ระดับความเค้น σ_i ในความเสียหายมีความสัมพันธ์กับอายุการใช้งานในลักษณะเชิงเส้นจะได้เมื่อ D คือความเสียหายสะสม

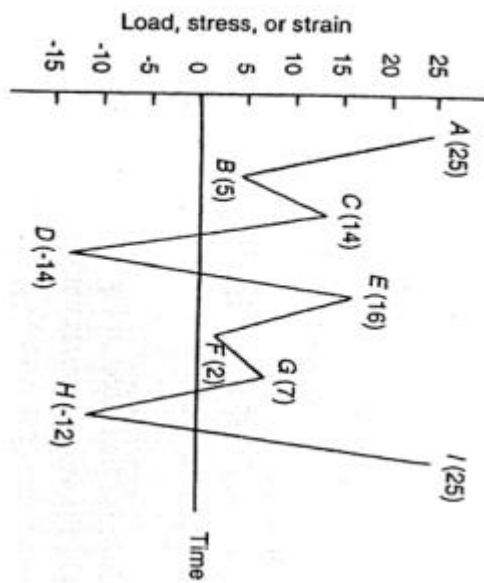
ซึ่งหมายถึงความเสียหายจะเกิดขึ้นเมื่อ $D = 1$ โดยจากการประมาณการ s-n curve ของชิ้นงานที่มีรอบอายุความในการใช้งานสูง ($N > 10^3$)



รูปที่ 13 การประมาณหารอบความเค้นที่วัสดุได้รับในสเกลลอการิทึมที่ได้จากความเค้นที่กระทำ

2.7 วิธีการนับรอบความเค้น โดยวิธี Rainflow Counting

โดยปกติแล้วความเค้นที่วัสดุได้รับนั้นมีหลากหลายระดับความเค้นและจำนวนรอบที่ได้รับแตกต่างกันไปซึ่งยากต่อการนำมาคำนวณหาอายุการใช้งานได้โดยตรงโดย Matsuishi และ Endo (1968) ได้นำเสนอวิธีการนับรอบที่ความเค้น-เวลาหรือเครียด-เวลาในการบันทึกนับรอบ โดยที่แกนเวลาจะอยู่แนวตั้งและแนวนอนจะเป็นภาระความเค้นหรือความเครียดดังรูปที่ 2.14



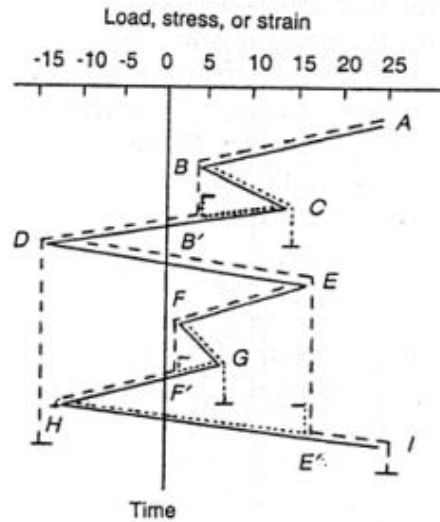
รูปที่ 14 การตั้งแกน Rainflow Counting (Stephens and Fatemi, 2001)



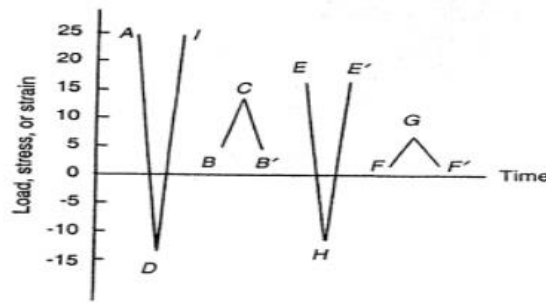
โดยมีวิธีการดังนี้

1. จัดเรียงข้อมูลโดยเริ่มจากจุดต่ำสุดหรือสูงสุดในแต่ละยอด
2. เริ่มนับรอบจากจุดต่ำสุดหรือจุดสูงสุดไล่ลงด้านล่างของตำแหน่งต่อไปของยอดการนับ Rainflow จะนับไล่ลงต่อไปจนได้ขนาดค่าสูงสุดถ้าเริ่มนับจากจุดสูงสุดและจนได้ค่าต่ำสุดถ้าเริ่มจากค่าต่ำสุด
3. ทำซ้ำต่อไปเรื่อยๆจนครบ
4. นำส่วนที่ได้มาจัดเรียง

ตามตัวอย่างรูปที่ 2.14 ตามค่าที่บันทึกค่าที่จุด A เป็นจุดเริ่มนับและเริ่มไล่ลงมาที่จุด B ไปจุด C ที่ตำแหน่งต่อไป ซึ่ง C มีขนาดน้อยกว่าขนาดของ A ดังนั้นจึงให้ตำแหน่งของ B ไหลลงมาเป็นตำแหน่ง B' และนับตำแหน่งต่อไปที่จุด D เนื่องจากขนาดของจุด E และ G มีขนาดเล็กกว่า A ดังนั้นจะนับจุด A-D และเมื่อไล่ลงมายังตำแหน่ง B ไปยังตำแหน่ง C เนื่องจากจุด D มีขนาดใหญ่กว่าจึงหยุดที่จุด C และนับเป็นครึ่งรอบที่ได้จาก B-C เมื่อเริ่มนับจุดใหม่ซึ่ง C ไปยัง B' ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีการนับไปแล้วที่จุด A ดังนั้นผลของอีกครึ่งรอบคือ C- B' ในตำแหน่งต่อไปที่จุด D ไหลลงมายังตำแหน่ง E เนื่องจาก F และ H น้อยกว่า D จึงไล่จุดที่ E' และหยุดที่ตำแหน่ง I ก็จะได้ครึ่งรอบจาก D - I และทำจนครบโหนดที่ต้องการนับจะได้ค่าที่สรุปจากทุกๆส่วนของโหนดซึ่งนับได้เพียงครึ่งรอบในคู่ของขนาดโหนดก็จะได้เต็มรอบซึ่งตามตัวอย่างจะได้ A - D และ D - I, B - C และ C - B', E - H และ H - E', F-G และ G- F' เมื่อทำให้เต็มรอบจะได้ A - D - I, B - C - B', E - H - E' และ F - G - F' จะได้ผลตามตารางที่ 3



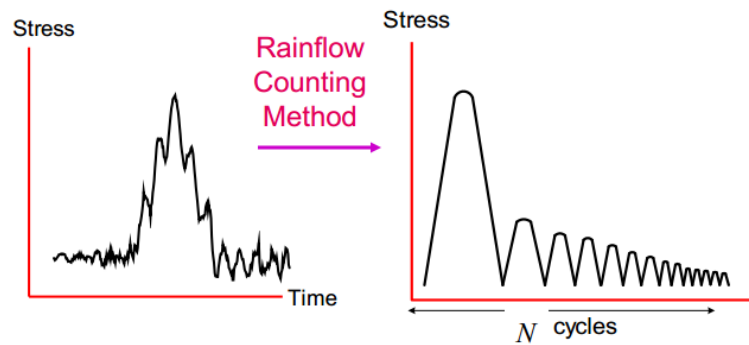
รูปที่ 15 ตัวอย่างการนับรอบ Rainflow counting (Stephens and Fatemi, 2001)



รูปที่ 16 ผลที่ได้จากการนับ Rainflow counting (Stephens and Fatemi, 2001)

ตารางที่ 3 สรุปข้อมูลตามการนับ Rainflow counting (Stephens and Fatemi, 2001)

Cycle	Max	Min	Range	Mean
A-D-I	25	-14	39	5.5
B-C-B'	14	5	9	9.5
E-H-E'	16	-12	28	2
F-G-F	7	2	5	4.5

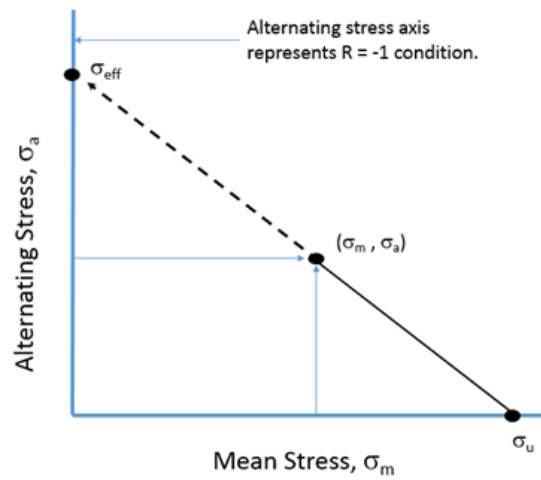


รูปที่ 17 การแปลงข้อมูลจากค่าความเค้นอิสระไปเป็นค่าความเค้นเทียบเท่า
(Fatigue life evaluation of steel bridges อัครวัชร เล่นวารี)

2.8 ผลกระทบจากค่าเฉลี่ยของข้อมูล

เนื่องจากการทดสอบกราฟ S-N curve นั้นจะใช้แรงกระทำสลับไปสลับมาซึ่งโดยปกติแล้วจะมีค่าเฉลี่ยของแรงกระทำเป็น 0 และมีค่า $R = -1$ แต่จากวิเคราะห์โดยใช้วิธี rain flow counting นั้นจะประกอบไปด้วยค่าเฉลี่ยหลายๆค่าและแอมพลิจูดที่ต่างกันอย่างสิ้นเชิงซึ่งจะต้องแปลงเป็นความเค้นเทียบเท่าโดยใช้สมการดังนี้

$$\text{effective stress} = \text{stress amplitude} \frac{\text{ultimate stress}}{\text{ultimate stress} - \text{mean stress}}$$



รูปที่ 18 การหาความเค้นเทียบเท่าเนื่องจากผลของค่าเฉลี่ยความเค้นที่ไม่เท่ากับศูนย์

ตารางที่ 4 การแปลงค่าความเค้นแบบอิสระไปเป็นความเค้นเทียบเท่า

Cycle	Range	Mean	Amplitude (Range/2)	Ultimate stress	Effective Stress
A-D-I	39	5.5	19.5	30	23.9
B-C-B'	9	9.5	4.5	30	6.6
E-H-E'	28	2	14	30	15
F-G-F	5	4.5	2.5	30	2.9

จากตารางที่ 4 จะพบว่าข้อมูลที่มี Amplitude 19.5, 4.5, 14 และ 2.5 และมีค่าเฉลี่ย 5.5, 9.5, 2.0 และ 5 นั้น มีค่าเทียบเท่ากับข้อมูลที่มี Amplitude 23.9, 6.6, 15 และ 2.9 และมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 จึงทำให้สามารถประมาณความล้าที่เกิดขึ้นจากค่าเฉลี่ยหลายๆค่าได้สะดวกขึ้น

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

วิธีการประเมินค่าอายุความล้าของแผงกันเสียง FRP

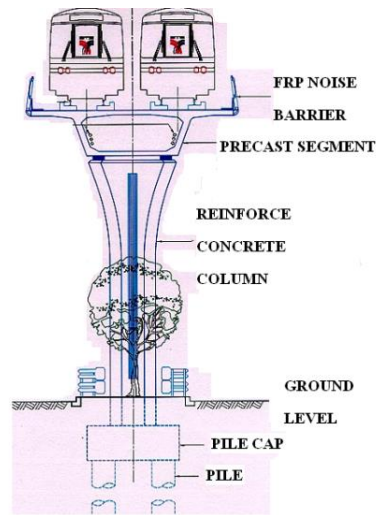
ในกระบวนการประเมินค่าอายุการล้าแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือส่วนแรกเป็นการตรวจวัดการสั่นสะเทือนและบันทึกค่า strain ของแผงกันเสียง FRP ที่เกิดขึ้นขณะใช้งานในภาคสนามแล้วจึงถอดแผงกันเสียง FRP มาทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาอายุการล้าและสุดท้ายจึงนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบภาคสนามและห้องปฏิบัติการมาวิเคราะห์เพื่อหาอายุการใช้งานของแผงกันเสียง ในการศึกษา
นี้สามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังแสดงในแผนผังข้างล่าง



รูปที่ 19 แผนผังการดำเนินงาน

3.1 การเก็บข้อมูลภาคสนาม

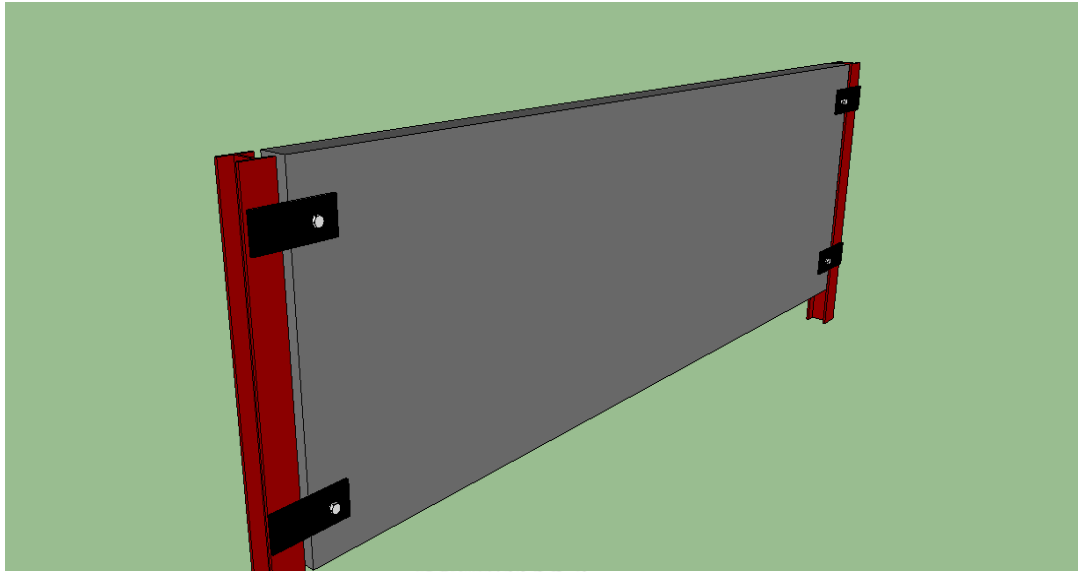
การทดสอบนี้จะบันทึกผลกระทบจากการสั่นสะเทือนโดยบันทึกเป็นค่าการยืดหด (strain) ของแผงกันเสียงในด้วยความถี่ในการเก็บข้อมูล 100 Hz ที่สถานีรถไฟฟ้าสนามเป้าและอารีย์เป็นเวลาสถานที่ละ 1 วันโดยเริ่มจาก 1:30 น. ของวันจันทร์ที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ.2557 จนถึงเวลา 1:30 น. ของวันอังคารที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ.2557 และ 1:30 น. ของวันจันทร์ที่ 28 กรกฎาคม พ.ศ.2557 จนถึงเวลา 1:30 น. ของวันอังคารที่ 29 กรกฎาคม พ.ศ.2557 ตามลำดับ ไปจนถึงเพื่อหาระดับความเครียดและความถี่ของการเกิดความเครียดที่ระดับต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานจริงของแผงกันเสียง โดยจะบันทึกค่า strain และความเร่งบนแผงกันเสียงซึ่งครอบคลุมช่วงเวลาดังกล่าวโดยคาดว่าจะเป็วันที่รถไฟฟ้าถูกใช้งานสูงสุดโดยการติดตั้ง strain gauge เพื่อวัดความเครียดบนแผงกันเสียงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่ของขบวนรถและแรงลมซึ่งส่งผลให้เกิดแรงสั่นสะเทือนมายังแผงกันเสียง โดยข้อมูลความเครียดดังกล่าวเป็นข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดค่าความเครียดในบริเวณด้านในของแผงกันเสียงเพื่อที่จะนับรอบความถี่ของการเกิดความเครียดที่ระดับต่างๆ โดยวิธีการ Rain flow cycle counting (Matsuishi, 1968) ซึ่งเป็นเทคนิคที่ให้ผลการคำนวณถูกต้องแม่นยำภายใต้แรงกระทำซ้ำๆ แบบไม่คงที่โดยใช้โปรแกรม MATLAB (MathWorks, 2008) ช่วยในการนับรอบการเกิด จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากกระบวนการนับจำนวนรอบมาทำการประเมินค่าอายุการล้าที่เกิดขึ้น และทำนายความเสียหายเนื่องจากการล้าโดยอาศัยกฎของ Palmgren–miner rule (Miner, 1945) การประเมินความเสียหายทำได้โดยนำค่าจำนวนรอบความเค้นที่มีค่าสูงจนมีผลต่อค่าความเสียหายมาคำนวณค่าเสียหายที่ได้รับต่อวันโดยการติดตั้ง strain gauge นั้นได้ติดตั้ง 15 จุดที่ผิวด้านใน (ด้านที่ใกล้ขบวนรถไฟ) ดังรูปที่ 5 เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลความเค้นต่อไป



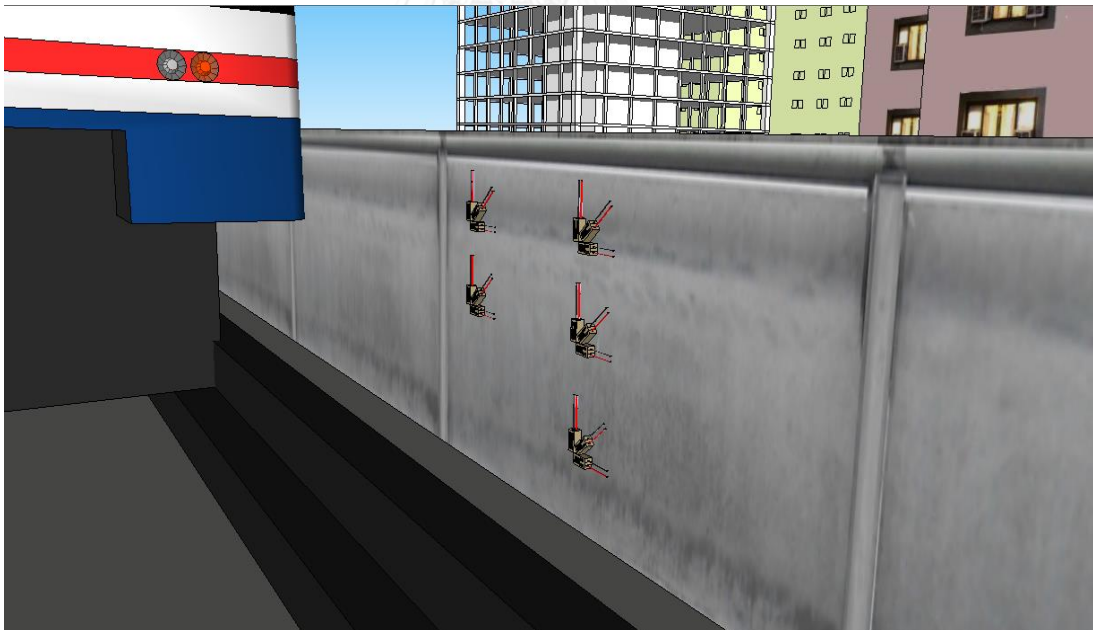
รูปที่ 20 ส่วนประกอบต่างๆของระบบรถไฟลอยฟ้า



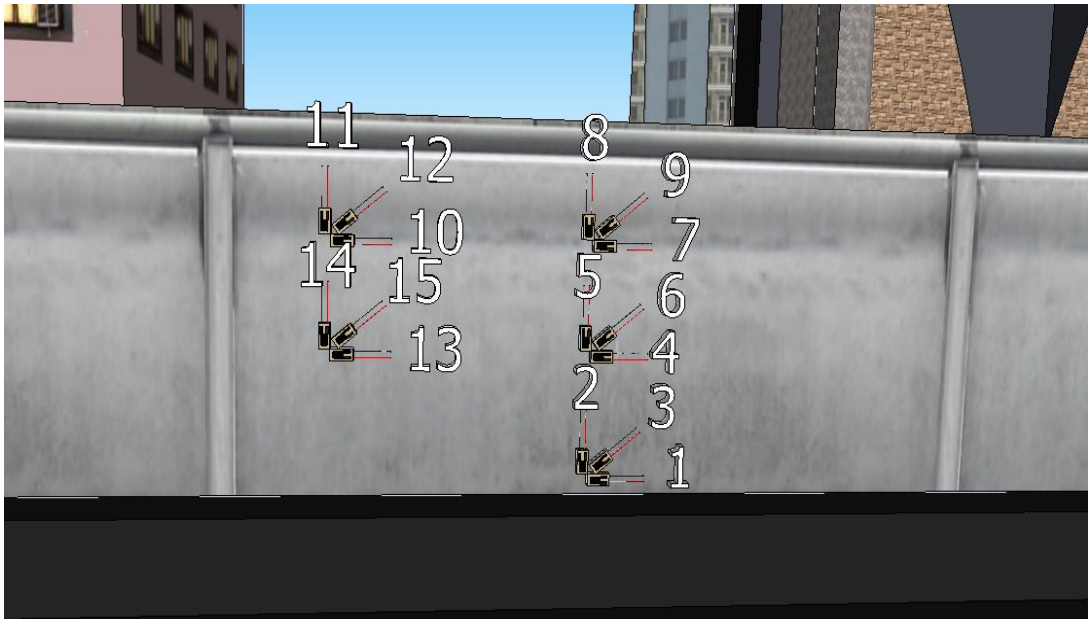
รูปที่ 21 แผงกั้นเสียง FRP



รูปที่ 22 การยึดแผงกันเสียงเข้ากับเสาเหล็ก wide flange



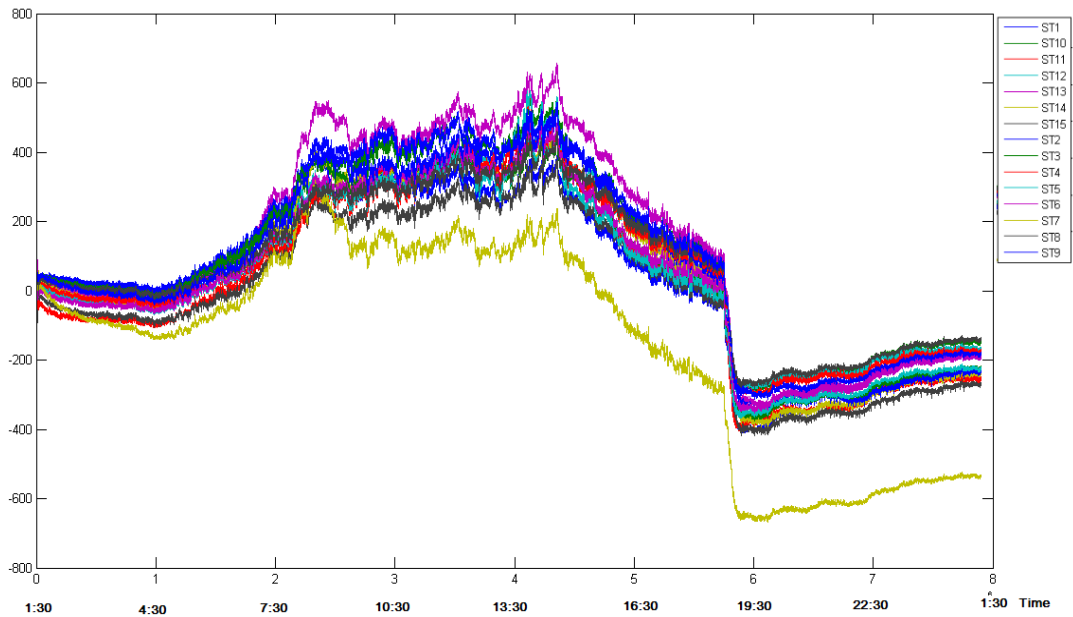
รูปที่ 23 การติดตั้ง strain gauge ที่ผิวด้านในของแผงกันเสียง



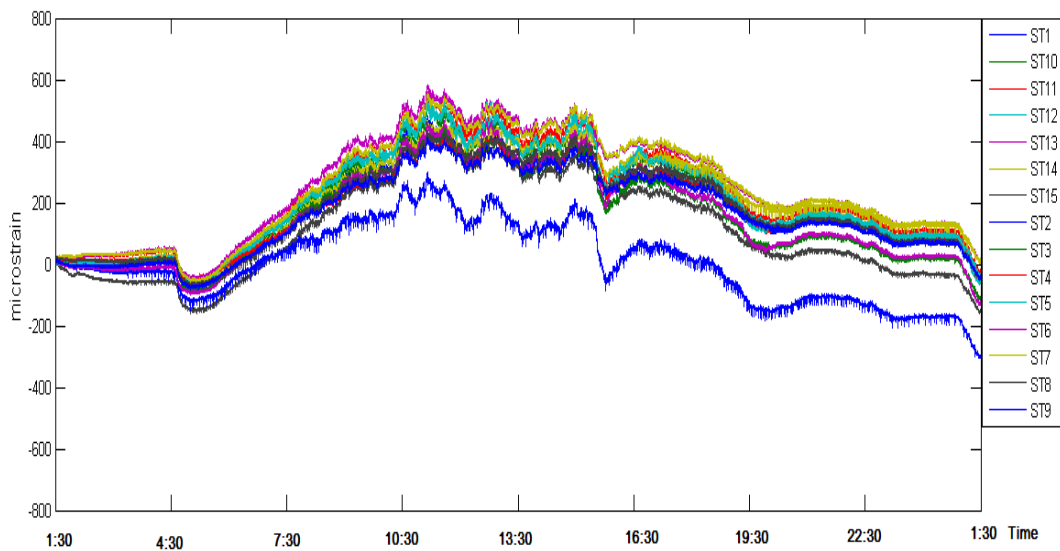
รูปที่ 24 ตำแหน่งและหมายเลขของ strain gauge ในแต่ละตำแหน่ง

ผลการตรวจวัดค่าความเครียดของแผงกันเสียง

จากการบันทึกค่าความเครียดโดยใช้ความถี่ในการเก็บข้อมูล 100 ค่าต่อวินาที เป็นระยะเวลา 1 วันซึ่งมีค่าประมาณ 8,640,000 ข้อมูลต่อ 1 strain gauge ซึ่งมีปริมาณข้อมูลมากจึงเลือกใช้โปรแกรม MATLAB ในการอ่านข้อมูลโดยมีผลการตรวจวัดดังนี้



รูปที่ 25 ผลการเก็บข้อมูลความเครียดของแผงกั้นเสียง FRP ชนิด A ในระยะเวลา 1 วัน

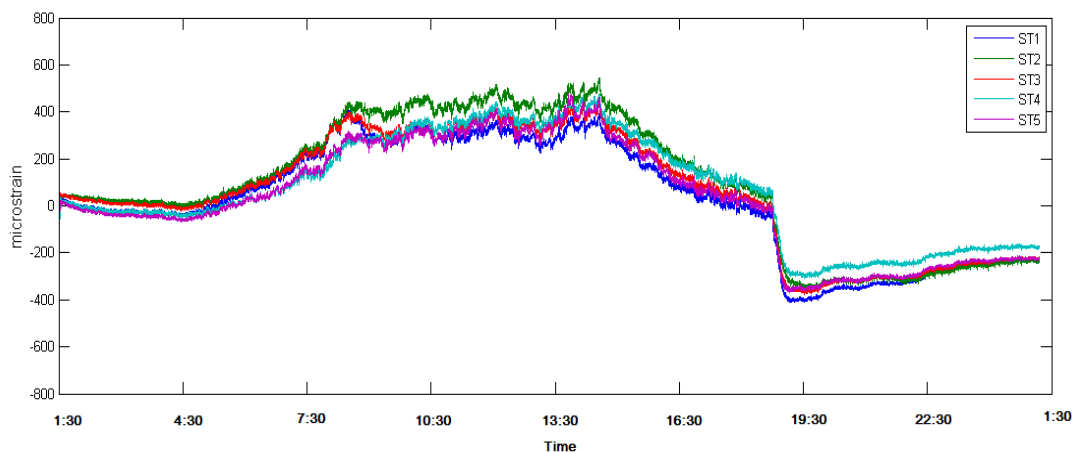


รูปที่ 26 ผลการเก็บข้อมูลความเครียดของแผงกั้นเสียง FRP ชนิด B ในระยะเวลา 1 วัน

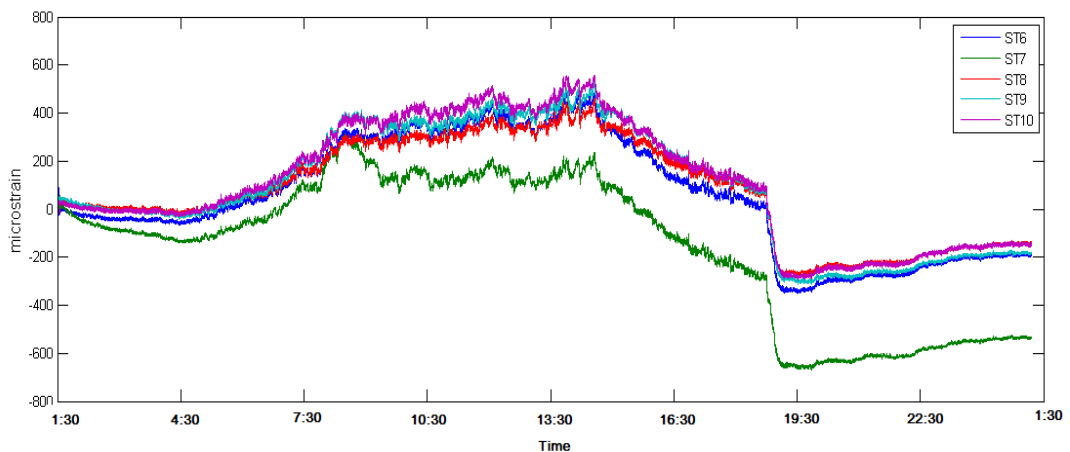
จากข้อมูลที่เก็บได้ในช่วงเวลา 1 วันจะพบว่ากราฟช่วงแรกมีลักษณะค่อนข้างนิ่งเนื่องจากไม่มีการเดินขบวนรถในช่วงนั้นและหลังจากนั้นกราฟค่อยๆขยับขึ้นซึ่งเนื่องมาจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นในช่วงเวลากลางวันและค่อยๆลดลงในเวลาเย็นซึ่งมีบางจุดที่กราฟลดลงอย่างกะทันหันเนื่องจาก

ช่วงเวลานั้นมีฝนตกเป็นผลทำให้อุณหภูมิของแผงกันเสียงลดลงอย่างรวดเร็วเป็นผลให้แผงกันเสียงหดตัวจึงเป็นผลให้ความเค้นลดลงอย่างมีนัยสำคัญซึ่งผลการตรวจวัดโดยแสดงค่าในแต่ละช่องสัญญาณได้ดังนี้

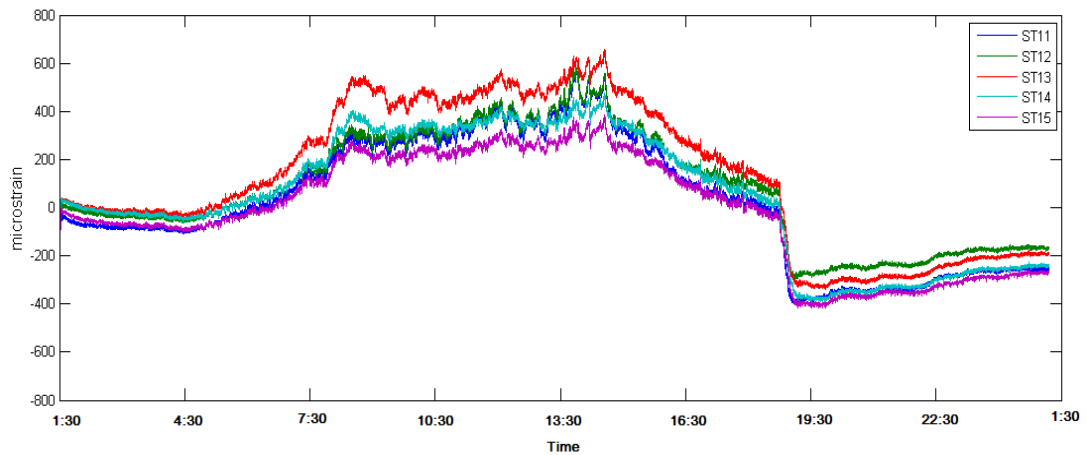
3.1.1 ผลการตรวจวัดแผงกันเสียงชนิด A



รูปที่ 27 ผลการเก็บข้อมูลความเครียดที่ตำแหน่งที่ 1-5 ของแผงกันเสียง FRP ชนิด A ในระยะเวลา 1 วัน



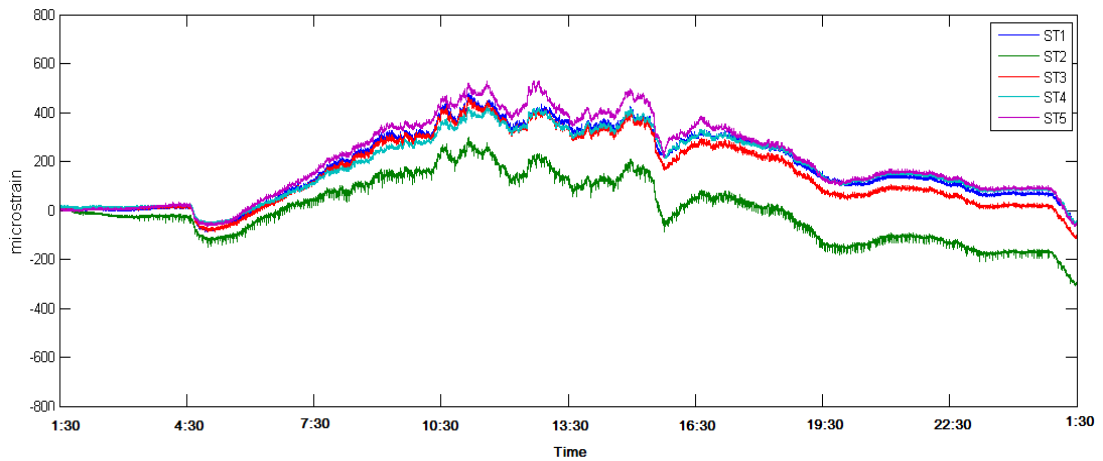
รูปที่ 28 ผลการเก็บข้อมูลความเครียดที่ตำแหน่งที่ 6-10 ของแผงกันเสียง FRP ชนิด A ในระยะเวลา 1 วัน



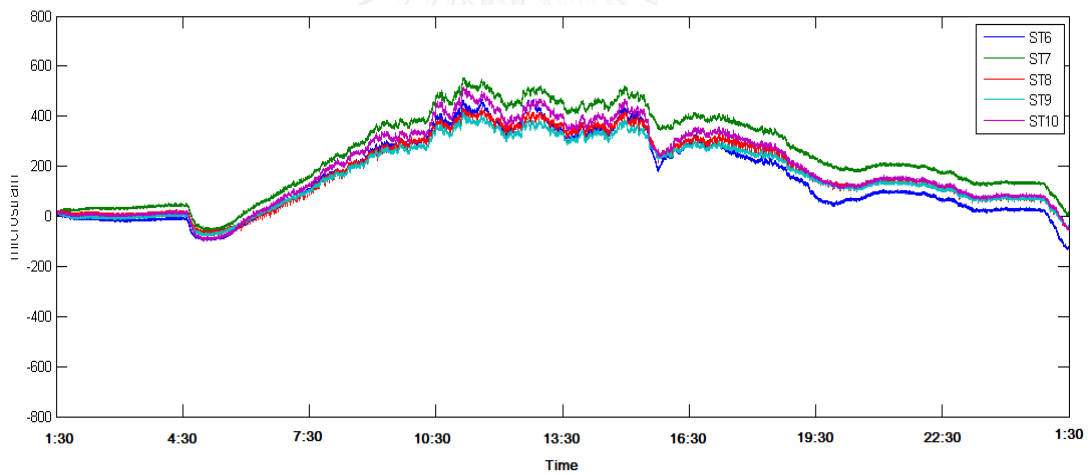
รูปที่ 29 ผลการเก็บข้อมูลความเครียดที่ตำแหน่งที่ 11-15 ของแผงกันเสียง FRP
ชนิด A ในระยะเวลา 1 วัน

จากกราฟการวัดค่าความเครียดของแผงกันเสียง A ดูทั่วไปแล้วจะพบว่าในช่องสัญญาณที่ 10-15 มีค่าความเค้นที่สูงกว่าช่องสัญญาณอื่นๆโดยมาค่าความเครียดอยู่ในระดับใกล้เคียง 600 micro strain ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะเป็นจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดบนแผงกันเสียงโดยต้องผ่านการวิเคราะห์โดยละเอียดโดยโปรแกรม MATLAB ก่อนจึงสามารถยืนยันได้ว่าเป็นจุดที่มีความเสียหายมากที่สุด

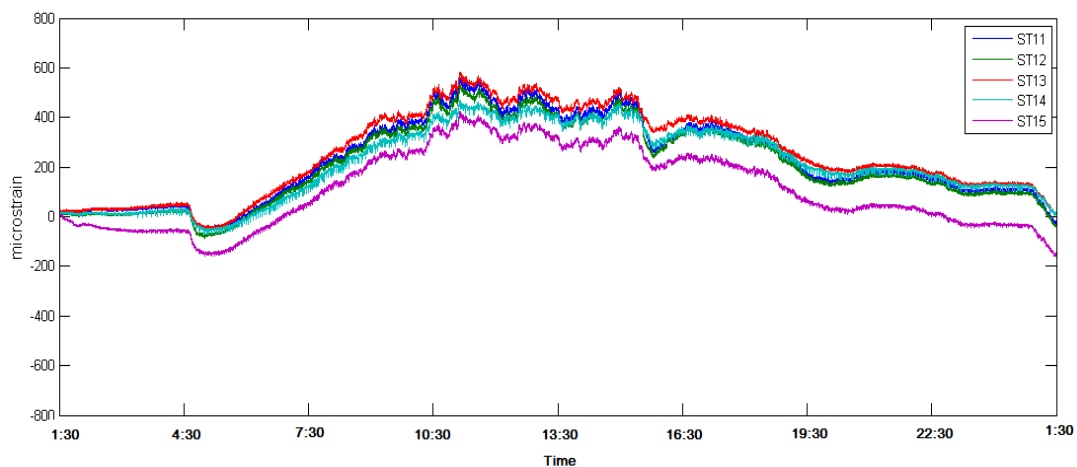
3.1.2 ผลการตรวจวัดแผงกันเสียงชนิด B



รูปที่ 30 ผลการเก็บข้อมูลความเครียดที่ตำแหน่งที่ 1-5 ของแผงกันเสียง FRP ชนิด B ในระยะเวลา 1 วัน



รูปที่ 31 ผลการเก็บข้อมูลความเค้นที่ตำแหน่งที่ 6-10 ของแผงกันเสียง FRP ชนิด B ในระยะเวลา 1 วัน



รูปที่ 32 ผลการเก็บข้อมูลความเค้นที่ตำแหน่งที่ 11-15 ของแผงกันเสียง FRP
ชนิด B ในระยะเวลา 1 วัน

จากกราฟการวัดค่าความเครียดของแผงกันเสียง B ดูทั่วไปแล้วจะพบว่าในช่องสัญญาณที่ 5-6 มีค่าความเค้นที่สูงกว่าช่องสัญญาณอื่นๆ โดยมาค่าความเครียดอยู่ในระดับใกล้เคียง 600 micro strain ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะเป็นจุดที่เกิดความเสียหายมากที่สุดบนแผงกันเสียงโดยต้องผ่านการวิเคราะห์โดยละเอียดโดยโปรแกรม MATLAB ก่อนจึงสามารถยืนยันได้ว่าเป็นจุดที่มีความเสียหายมากที่สุด

3.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบในห้องปฏิบัติการนี้จะทดสอบทั้งคุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติด้านการสั่นไหวของวัสดุที่นำมาใช้ทำแผงกันเสียงโดยจะหาค่าความสัมพันธ์ในการรับแรงและระยะยุบตัวในรูปแบบที่ใกล้เคียงกับการใช้งานจริง ความต้านทานการรับแรงดึง ค่าโมดูลัสการแตกหัก และ กราฟ S-N diagram

3.2.1 การทดสอบการรับแรงดัดของแผงกั้นเสียงภายใต้ขอบเขตการใช้งานจริง

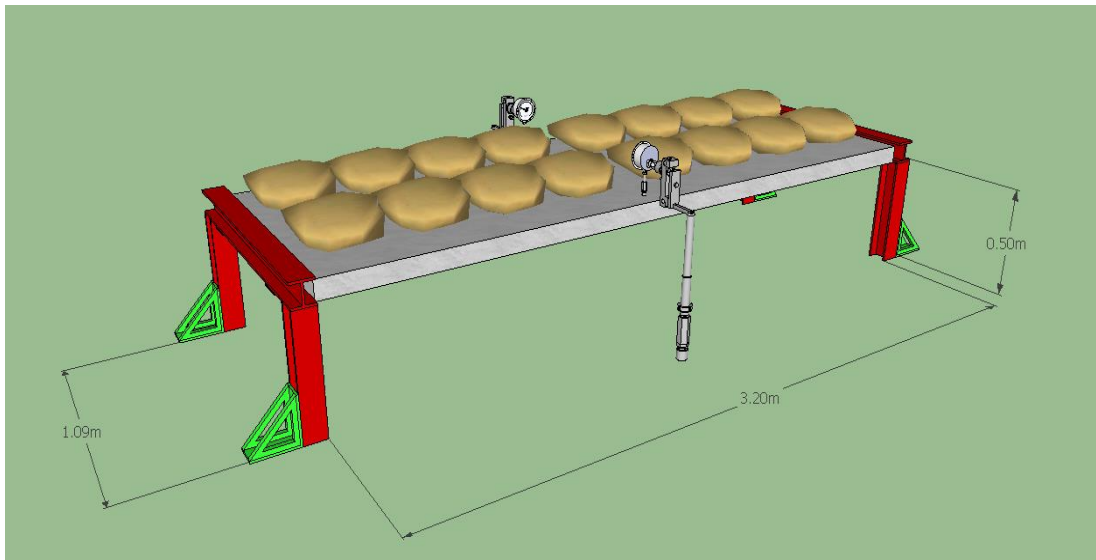
วิธีการทดสอบนี้ ครอบคลุมถึงการทดสอบหาค่ารับแรงดัดของแผงคอนกรีต FRP โดยใช้วิธีให้แรงกระจายอย่างสม่ำเสมอเพื่อจำลองสภาพให้คล้ายกับการรับแรงลมซึ่งกระทำแบบกระจายโดยสร้างแท่นรับให้คล้ายกับของจริงและให้แรงกระทำโดยน้ำหนักของตุ้มน้ำหนักที่ละชั้นโดยจะวัดค่าการยุบตัวและค่าความเครียดด้านผิวล่างของแผงกั้นเสียงจนแผงกั้นเสียงวิบัติซึ่งจะทำที่ละแผงโดยเริ่มจากแผงกั้นเสียงชนิด A ก่อนโดยที่ความยาวของแผงกั้นเสียง A มีความยาว 3.2 เมตร และแผงกั้นเสียง B มีความยาว 2.8 เมตร โดยที่ความกว้างและความหนาเท่ากันคือ 1.08 เมตร และ 8 เซนติเมตร ตามลำดับโดยการจัดแบ่งน้ำหนักเป็นไปตามรูปภาพที่ 3.15 สำหรับแผงกั้นเสียง A และ 3.16 สำหรับแผงกั้นเสียง B

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็น

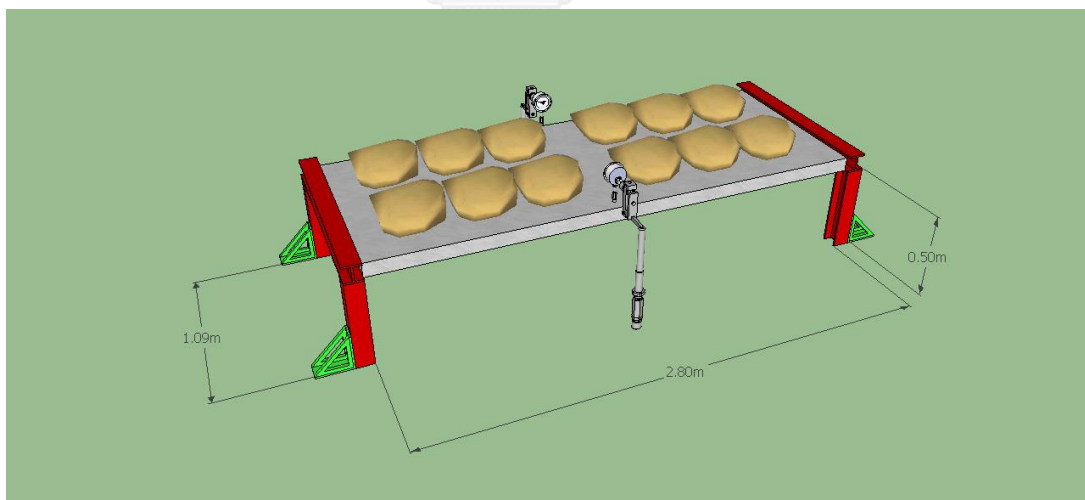
1. ตุ้มน้ำหนักหรือตุ้มน้ำหนักขนาดตุ้มน้ำหนัก 25 kg
2. เครื่องวัดระยะการแอ่นตัว (dial gauge)
3. อุปกรณ์วัดความเครียด (strain gauge)

การเตรียมตัวอย่าง

1. การทดสอบการรับแรงดัดของแผงกั้นเสียง ทำได้โดยการยึดแผงกั้นเสียงกับเสาเหล็กเชื่อมด้วยเหล็กแผ่นแล้วไขน็อตให้แน่น
2. เชื่อมขาทั้งสี่ด้านกับเสาเหล็กให้มีความยาวขาประมาณ 50 cm
3. ทำการยึดขาทั้งสี่ด้านเพื่อป้องกันการเลื่อนไถลขณะทดสอบ
4. ติดตั้งเครื่องมือวัดการแอ่นตัว
5. ติดตั้ง strain gauge ที่กึ่งกลางช่วงยาวของชิ้นตัวอย่างที่ด้านล่าง 15 จุดให้เหมือนกับการทดสอบภาคสนาม



รูปที่ 33 การทดสอบการแอ่นตัวของแผงกั้นเสียง A



รูปที่ 34 การทดสอบการแอ่นตัวของแผงกั้นเสียง B

ผลการทดสอบ

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักถูทรายในแต่ละชั้นกับระยะยุบตัวของแผงกั้นเสียงดังนี้

แผงกั้นเสียง FRP ชนิด A		แผงกั้นเสียง FRP ชนิด B	
จำนวนชั้นถูทราย	ระยะยุบตัว (cm)	จำนวนชั้นถูทราย	ระยะยุบตัว (cm)
1	2.5	1	1.1
2	5.1	2	2.2
3	7.5	3	3.4
4	10.3	4	4.5
5	12.9	5	5.6
6	15.5	6	6.7
		7	7.9
		8	9.1
		9	10.3
		10	11.5
		11	12.7
		12	13.9
		13	15.1
		14	16.4
		15	17.7

3.3.2 การทดสอบการรับแรงดัดของวัสดุ FRP

วิธีการทดสอบนี้เป็นวิธีการดัดแปลงจากทดสอบหาการรับแรงดัดของคอนกรีตโดยใช้แรงกดหนึ่งจุดที่จุดกึ่งกลางคาน (3 point bending)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบ triaxial test
2. dial gauge
3. proving ring 500 k

เนื่องด้วยข้อจำกัดทางรูปร่างของแผงกันเสียงที่ออกแบบลักษณะส่วนประกอบภายในต่างกันจึงทำให้การตัดชิ้นตัวอย่างมีความยาวและความหนาต่างกัน

การเตรียมตัวอย่างสำหรับแผงกันเสียง A

ตัดชิ้นตัวอย่างให้มีขนาด $30 \times 2.5 \times 1.1$ cm จำนวน 3 ชิ้น

การทดสอบ

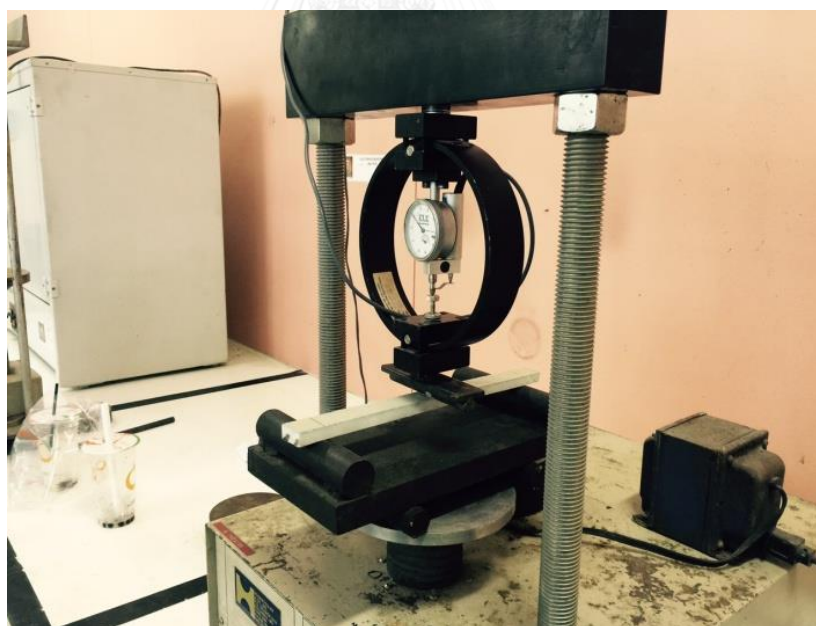
1. วางชิ้นทดสอบลงบนฐานรองรับที่มีช่วงคานเท่ากับ 25 cm
2. ให้ตำแหน่งของหัวกดคานอยู่ที่จุดกึ่งกลางคาน
3. ปรับอัตราการเพิ่มแรงให้มีค่าประมาณร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 6 ของแรงประลัย (ultimate load)
4. เพิ่มแรงกดอย่างต่อเนื่อง และไม่มีการกระตุก ในช่วงครึ่งแรกของแรงประลัย อาจเพิ่มแรงได้อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นให้เพิ่มแรงด้วยอัตราที่อยู่ในช่วง 8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที ถึง 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที (125 ปอนด์ต่อตารางนิ้วต่อนาที ถึง 175 ปอนด์ต่อตารางนิ้วต่อนาที) เทียบได้เป็นแรงกด 22-28 กิโลกรัมต่อนาที สำหรับชิ้นตัวอย่างในการทดสอบนี้

การเตรียมตัวอย่างสำหรับแผงกั้นเสียง A

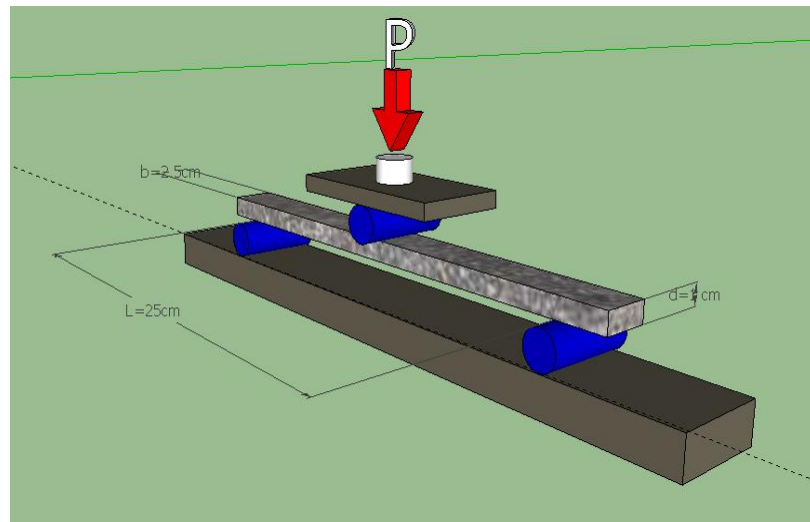
ตัดชิ้นตัวอย่างให้มีขนาด $20 \times 2.5 \times 0.5$ cm จำนวน 3 ชิ้น

การทดสอบ

1. วางชิ้นทดสอบลงบนฐานรองรับที่มีช่วงคานเท่ากับ 15 cm
2. ให้ตำแหน่งของหัวกดคานอยู่ที่จุดกึ่งกลางคาน
3. ปรับอัตราการเพิ่มแรงให้มีค่าประมาณร้อยละ 3 ถึงร้อยละ 6 ของแรงประลัย (ultimate load)
4. เพิ่มแรงกดอย่างต่อเนื่อง และไม่มีการกระตุก ในช่วงครึ่งแรกของแรงประลัย อาจเพิ่มแรงได้อย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นให้เพิ่มแรงด้วยอัตราที่อยู่ในช่วง 8 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที ถึง 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที (125 ปอนด์ต่อตารางนิ้วต่อนาที ถึง 175 ปอนด์ต่อตารางนิ้วต่อนาที) เทียบได้เป็นแรงกด 22-28 กิโลกรัมต่อนาที สำหรับชิ้นตัวอย่างในการทดสอบนี้

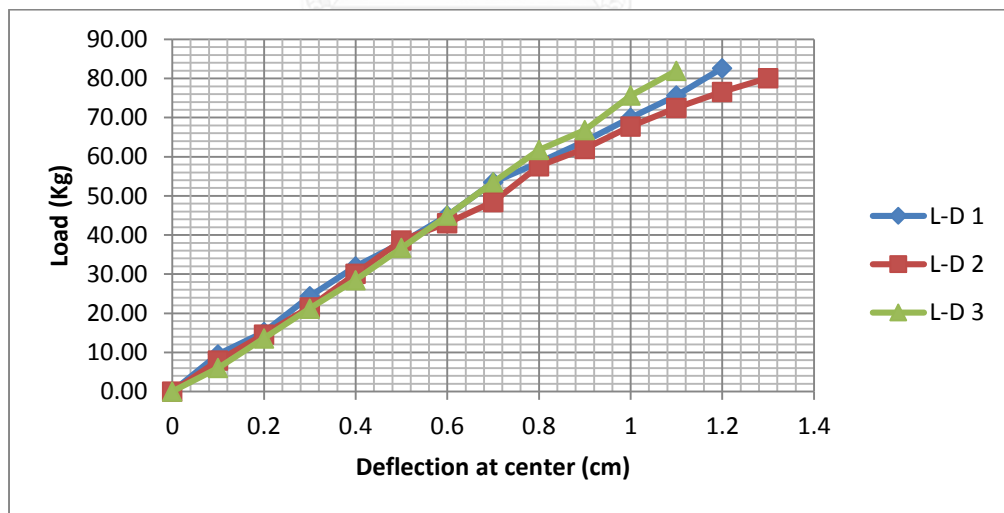


รูปที่ 35 การหาค่าโมดูลัสแตกหักขณะทำการทดสอบ

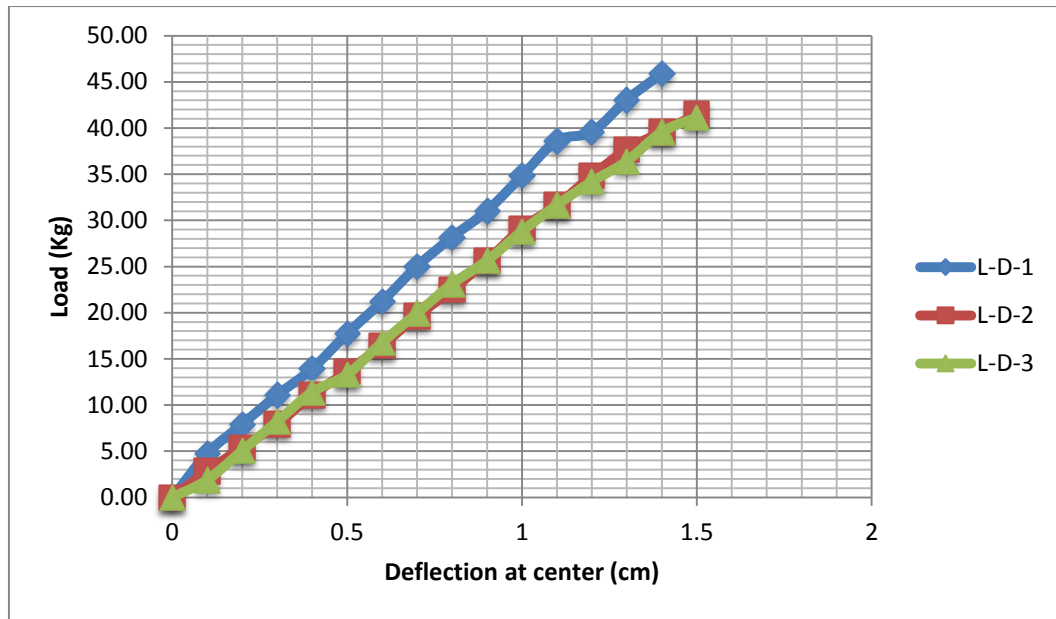


รูปที่ 36 แบบจำลองการทดสอบหาค่าโมดูลัสแตกหัก

ผลการทดสอบ



รูปที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงและระยะการยุบตัวของแท่งตัวอย่างแมงกัันเสียง A โดยรับแรงประลัยได้เฉลี่ย 86.5 kg และระยะยุบตัวสูงสุด 1.24 cm



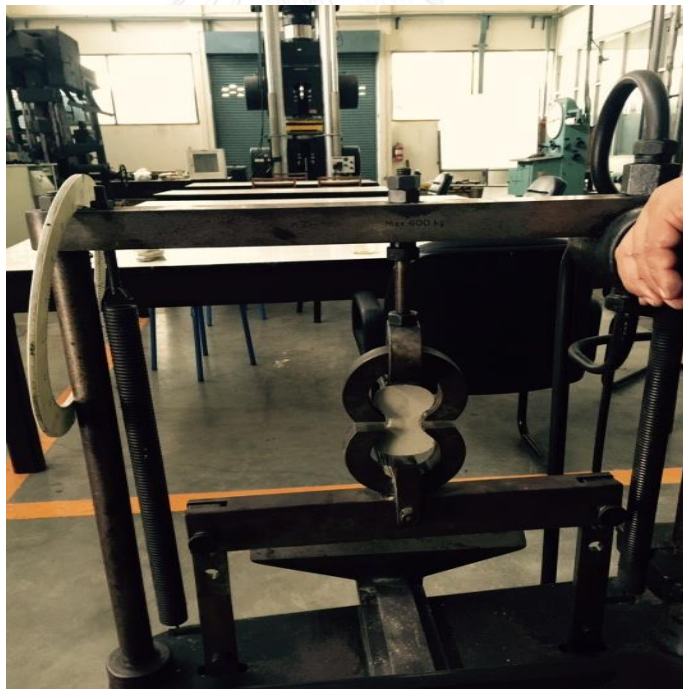
รูปที่ 38 ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงและระยะการยุบตัวของแท่งตัวอย่างแผงกันเสียง B โดยรับแรงประลัยได้เฉลี่ย 44.6 kg และระยะยุบตัวสูงสุด 1.50 cm

3.3.3 การทดสอบหาแรงดึงของชิ้นส่วนแผงกันเสียงด้วยวิธีให้แรงดึงโดยตรง

การทดสอบการรับแรงดึงมีวัตถุประสงค์ต้องการหาค่ากำลังการรับแรงดึงของวัสดุ โดยทำให้สามารถทราบว่าวัสดุสามารถทนต่อการแยกตัวได้มากน้อยเพียงใดโดยการทดสอบจะใช้วิธีให้แรงโดยตรง (แรงตั้งฉากกับพื้นที่หน้าตัด) โดยจะตัดชิ้นส่วนของแผงกันเสียงให้มีลักษณะดังรูปที่ 42 และนำมาทดสอบดังรูปที่ 21



รูปที่ 39 ชิ้นตัวอย่างการทดสอบการรับแรงดึงแผงกั้นเสียง FRP



รูปที่ 40 การหาความต้านทานการรับแรงดึงขณะทำการทดสอบ

ผลการทดสอบ

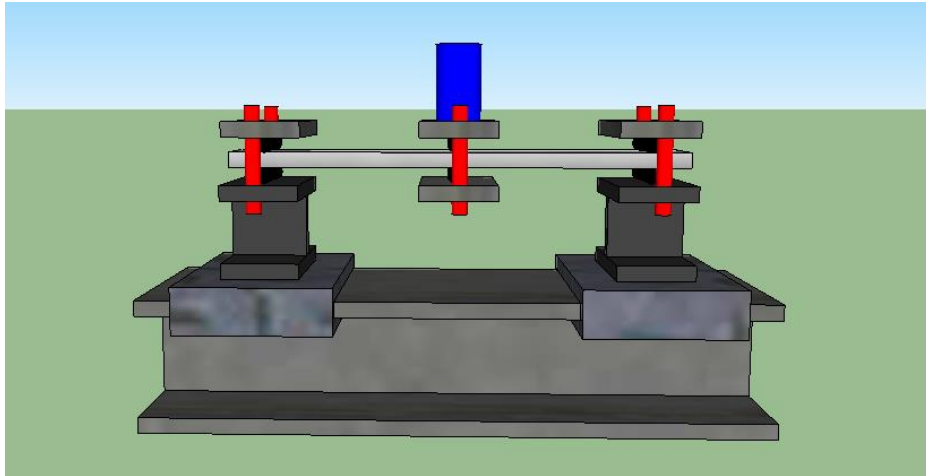
ตารางที่ 6 กำลังรับแรงดึงของชิ้นส่วนแผงกันเสียง A และ B

FRP	Type A			Type B		
specimen	no.1	no.2	no.3	no.1	no.2	no.3
area (cm ²)	2.75	2.75	2.75	1.25	1.25	1.25
P _{max} (kg)	1820	2000	1770	1100	1250	1180
stress (ksc)	662	727	644	880	1000	944
avg. stress (ksc)	678			941		

3.2.4 การทดสอบสอบการหาการต้านทานความล้าของไฟเบอร์เสริมเส้นใยพอลิเมอร์

วิธีการทดสอบ

การทดสอบความล้าในที่นี้จะใช้วิธีการให้แรงกระทำแบบกราฟไซน์โดยที่ค่าเฉลี่ยของแรงกระทำเป็นศูนย์ดังรูปที่ 6 โดยมีความถี่ในการทดสอบ 2 รอบต่อวินาทีโดยแบ่งเป็นระดับการให้แรงกระทำตั้งแต่ 30, 40 จนถึง 100% ของกำลังสูงสุดที่ชิ้นงานสามารถรับได้ โดยชนิดของการทดสอบในที่นี้คือ three point bending ซึ่งจะตัดชิ้นงานให้มีขนาดเหมือนกับการทดสอบการหาความต้านทานแรงดัด โดยได้ปรับปรุงการจับยึดชิ้นงานให้มีความยืดหยุ่นสูงขึ้นโดยได้ผลทดสอบดังตารางที่ 5



รูปที่ 41 การออกแบบการจับยึดชิ้นงาน



รูปที่ 42 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดสอบความล้าขณะทำการทดสอบโดยเครื่อง Shimadzu servo-pulser ขนาด 10 ton

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบการหาคุณสมบัติการต้านทานความล้าของชิ้นส่วนแผงกันเสียง A และ B

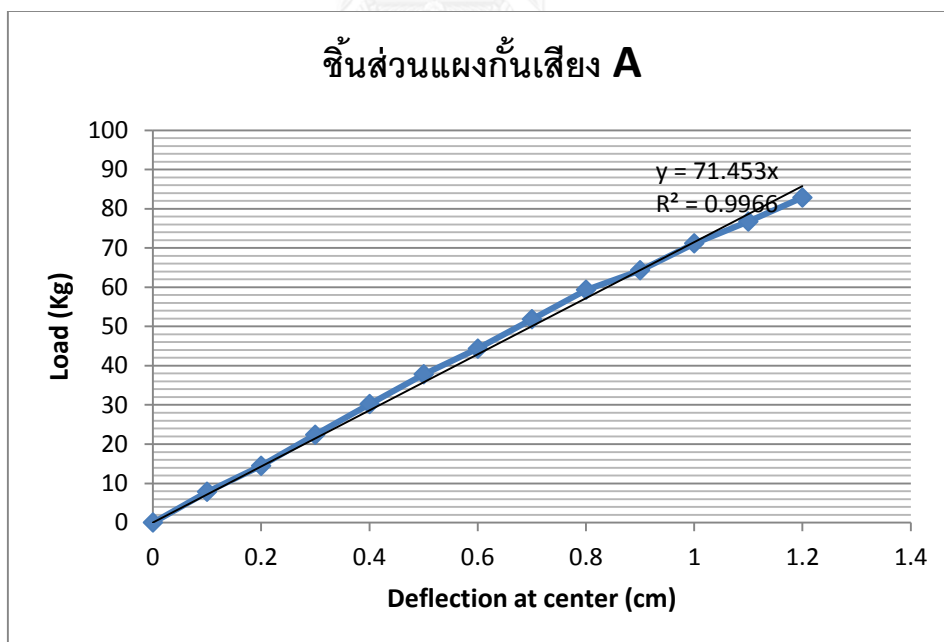
แผงกันเสียง FRP ชนิด A		แผงกันเสียง FRP ชนิด B	
แรงกระทำ (ร้อยละ)	จำนวนรอบที่วิบัติ	แรงกระทำ (ร้อยละ)	จำนวนรอบที่วิบัติ
100	1	100	1
90	325	90	538
80	2,330	80	3,071
70	8,805	70	12,850
60	25,343	60	32,674
50	70,415	50	114,538
40	263,781	40	334,529
30	1,241,335	30	1,743,980

บทที่ 4

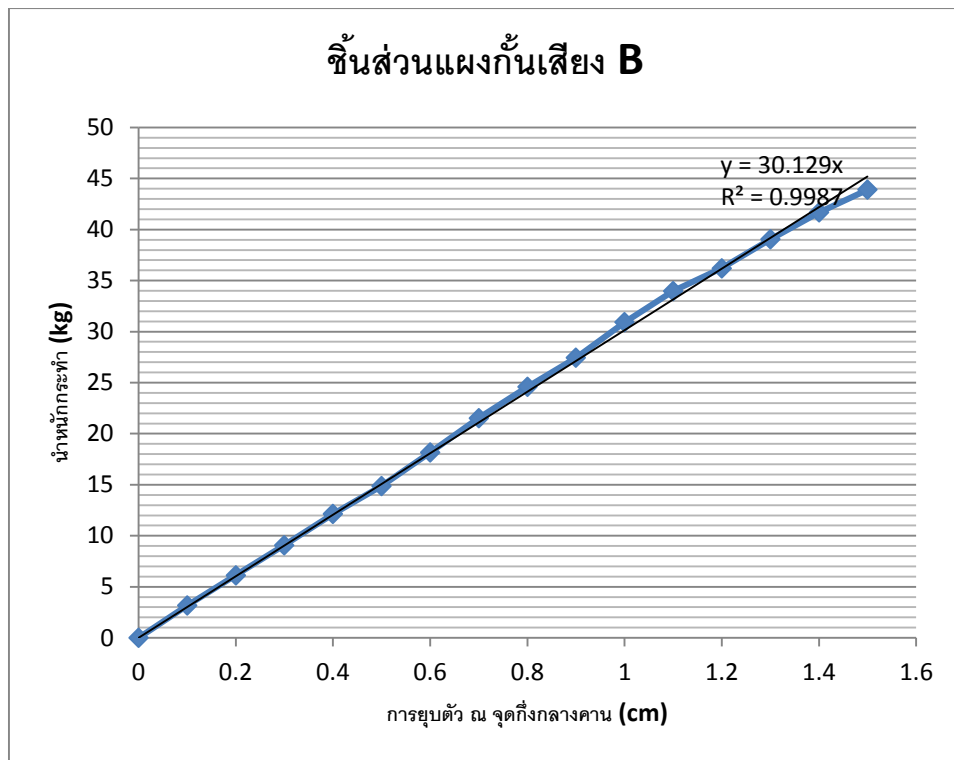
การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด

เนื่องจากข้อมูลที่ตรวจวัดจากภาคสนามเป็นข้อมูลการยืดหดของแผงกันเสียงซึ่งหากจะนำมาวิเคราะห์เพื่อหาอายุการใช้งานโดยวิธีความเค้นจำเป็นจะต้องหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดโดยจะใช้ข้อมูลจากการทดสอบการต้านทานแรงดัดของวัสดุ FRP มาวิเคราะห์ดังนี้ จากรูปภาพ 19 และ 20 นำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ Load-Deflection ได้ดังรูปที่ 43 และ 44 สำหรับ ชั้นส่วนแผงกันเสียงชนิด A และ B ตามลำดับ



รูปที่ 43 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะยุบตัวของคาน FRP B



รูปที่ 44 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะยุบตัวของคาน FRP B

เนื่องจากความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการยุบตัวเป็นลักษณะเชิงเส้นจึงสามารถใช้การคำนวณที่อยู่บนพื้นฐานวัสดุเชิงเส้นได้ดังนี้

การคำนวณ

การคำนวณกำลังรับแรงตัดจะกำหนดให้อยู่ในรูปของ โมดูลัสของการแตกหัก (modulus of rupture) ดังต่อไปนี้

$$R = \frac{Mc}{I} = \frac{(PL/4)(\frac{d}{2})}{bd^3/12} = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (4.1)$$

เมื่อ

R = โมดูลัสของการแตกหัก (ksc)

P = แรงที่จุดวิบัติของคาน (kg)

L = ช่วงคาน (cm)

c = ระยะจากแนวแกนสะเทินถึงขอบนอกของหน้าตัด (cm)

I = โมดูลัสของหน้าตัดของวัตถุ $= \frac{bd^3}{12} \text{ cm}^3$

B = ขนาดความกว้างของหน้าตัดชิ้นตัวอย่าง (cm)

D = ขนาดความสูงของชิ้นตัวอย่าง (cm)

โดยชิ้นส่วนแผงกั้นเสียง A มีค่าตัวแปรต่างๆดังนี้

$L = 25 \text{ cm}$

$b = 2.5 \text{ cm}$

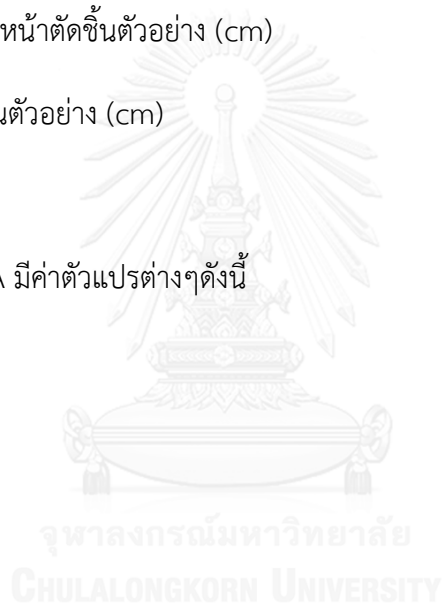
$d = 1.1 \text{ cm}$

$c = 0.55 \text{ cm}$

$I = 0.28 \text{ cm}^4$

$P \text{ max} = 82.8 \text{ kg}$

โดยชิ้นส่วนแผงกั้นเสียง B มีค่าตัวแปรต่างๆดังนี้



$$L = 15 \text{ cm}$$

$$b = 2.5 \text{ cm}$$

$$d = 0.5 \text{ cm}$$

$$c = 0.25 \text{ cm}$$

$$I = 0.026 \text{ cm}^4$$

$$P \text{ max} = 44.6 \text{ kg}$$

แทนค่าลงในสมการจะได้ (ชิ้นส่วนแผงกั้นเสียง A)

$$R \text{ (โมดูลัสของการแตกหัก)} = 1027 \text{ ksc}$$

$$M = 518 \text{ kg.cm}$$

แทนค่าลงในสมการจะได้ (ชิ้นส่วนแผงกั้นเสียง B)

$$R \text{ (โมดูลัสของการแตกหัก)} = 1605 \text{ ksc}$$

$$M = 167 \text{ kg.cm}$$

การคำนวณหาค่า ultimate strain

จากสมการ

$$\Delta = \frac{PL^3}{48EI} \quad \text{และ} \quad E = \frac{\text{stress}}{\text{strain}}$$

โดย

Δ = ระยะการยุบตัวสูงสุด (cm)

P = แรงที่จุดวิบัติของคาน (kg)

L = ช่วงคาน (cm)

E = Young's modulus (ksc)

โดยชิ้นส่วนแผงกั้นเสียง A มีค่าตัวแปรต่างๆดังนี้

$$L = 25 \text{ cm}$$

$$P = 82.8 \text{ kg}$$

$$I = 0.28 \text{ cm}^4$$

$$\Delta = 1.2 \text{ cm}$$

$$\text{stress} = 1027 \text{ ksc}$$



โดยชิ้นส่วนแผงกั้นเสียง B มีค่าตัวแปรต่างๆดังนี้

$$L = 15 \text{ cm}$$

$$P = 44.6 \text{ kg}$$

$$I = 0.026 \text{ cm}^4$$

$$\Delta = 1.5 \text{ cm}$$

$$\text{stress} = 1605 \text{ ksc}$$

จากการคำนวณทำให้ทราบค่า E และ ultimate strain สำหรับชิ้นส่วนแผงกั้นเสียง A ดังนี้

$$E = 79,805 \text{ ksc}$$

$$\text{ultimate strain} = 0.0129$$

จากการคำนวณทำให้ทราบค่า E และ ultimate strain สำหรับชิ้นส่วนแผงกั้นเสียง B ดังนี้

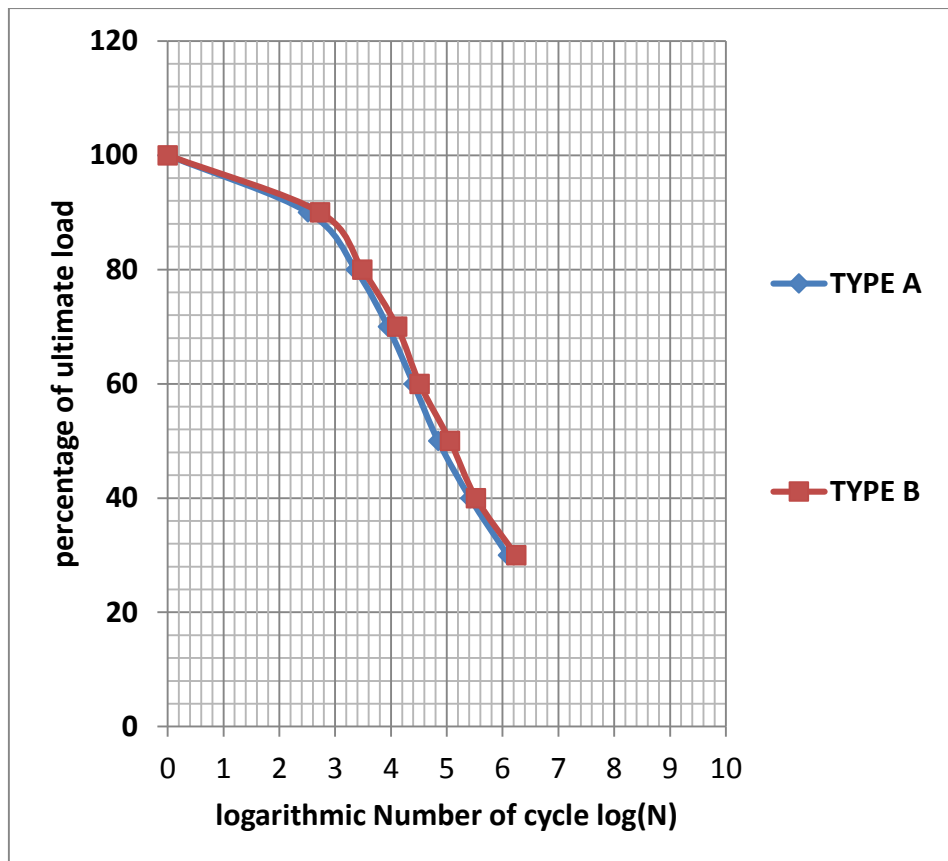
$$E = 78,876 \text{ ksc}$$

$$\text{ultimate strain} = 0.0204$$

จากการคำนวณทำให้ทราบว่าวัสดุ FRP ชนิด A มีกำลังรับแรงตัดได้ 1027 ksc และ 1605 ksc สำหรับชิ้นส่วนแผงกั้นเสียงชนิด B ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบแล้วแผงกั้นเสียงชนิด B มีความสามารถในการรับแรงได้มากกว่าแผงกั้นเสียงชนิด A ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าการยืดตัวสูงสุดเท่ากับ 1.29 เปอร์เซ็นต์ และ 2.04 เปอร์เซ็นต์สำหรับแผงกั้นเสียงชนิด A และ B ตามลำดับซึ่งจะนำข้อมูลการยืดตัวสูงสุดไปเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ข้อมูลจากการใช้งานภาคสนามต่อไป

4.2 ผลการทดสอบความต้านทานการล้าของวัสดุ FRP ชนิด A และ B

จากการทดสอบความต้านทานการล้าของวัสดุ FRP ชนิด A และ B นำมาพล็อตกราฟ โดยแกนตั้งเป็นเปอร์เซ็นต์ของโหลดที่ระดับ ultimate และแกนนอนเป็น logarithm ฐาน 10 ของจำนวนรอบที่วัสดุรับได้โดยจะได้กราฟดังนี้



รูปที่ 45 กราฟ s-n diagram ของวัสดุ FRP ชนิด A และ B



รูปที่ 46 ลักษณะความเสียหายจากการทดสอบความล้า

จากการทดสอบจะพบว่าชิ้นส่วนแผงกั้นเสียงชนิด B สามารถทนทานต่อความล้าได้ดีกว่าแผงกั้นเสียงชนิด A ไม่มากซึ่งจะต้องใช้ข้อมูลการตรวจวัดค่าความเครียดมาเป็นผลวิเคราะห์ต่อไป

4.3 การวิเคราะห์ผลการตรวจวัดค่าความเครียดภาคสนาม

จากการตั้งสมมุติฐานว่าแรงสั่นสะเทือนจากขบวนรถและแรงลมที่เป็นลักษณะเป็นการกระจายแรงอย่างสม่ำเสมอซึ่งการตรวจวัดแผงกั้นเสียง FRP ชนิด A มีความยาว 3.2 เมตร และ แผงกั้นเสียง FRP ชนิด B มีความยาว 2.8 เมตร ซึ่งผลการตรวจวัดค่าความเค้นของแผงกั้นเสียง A ในช่องสัญญาณต่างๆส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าความเค้นที่ตรวจได้ในแผงกั้นเสียง B โดยทางผู้เขียนจะปรับแก้ค่าตามผลกระทบเนื่องจากความยาวดังนี้

จากสมการการยุบตัวเนื่องจากแรงกระทำชนิดสม่ำเสมอจะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$M = \frac{WL^2}{8}$$

$$\text{stress} = \frac{M}{S}$$

$$\text{strain} = \frac{\text{Stress}}{E}$$

M = โมเมนต์ kg.m

W = แรงกระทำกระจายอย่างสม่ำเสมอ (kg/m)

L = ความยาวของแผ่นกั้นเสียง (m)

S = โมดูลัสของหน้าตัด cm^3

E = ยังก์โมดูลัส (ksc)

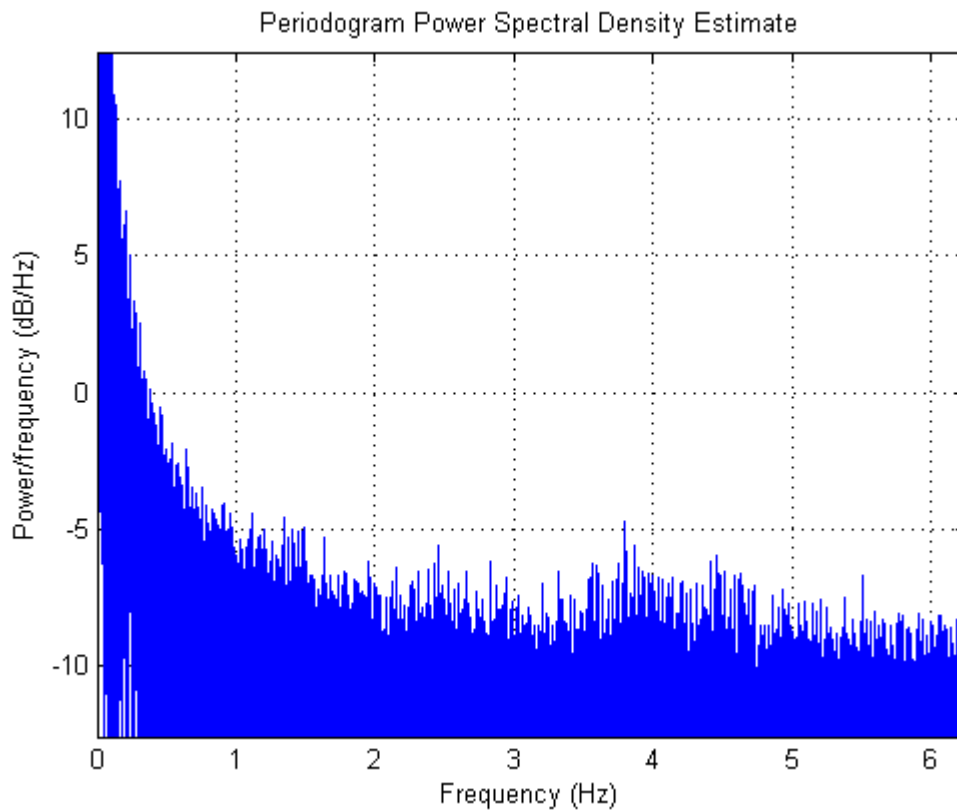
เนื่องจากการทดสอบนั้นทดสอบที่สภาวะการรับแรงใกล้เคียงกันและแผงกันเสียง A และ B มีหน้าตัดที่เหมือนกันอีกทั้งยังมีค่า Young's modulus ที่ใกล้เคียงกันจึงปรับแก้ผลของค่าความเครียดเนื่องจากความยาวไปเป็นความยาวที่เท่ากับแผงกันเสียง B ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\text{Strain factor} &= \frac{L_A^2}{L_B^2} = \frac{3.2^2}{2.8^2} \\ &= 1.306\end{aligned}$$

โดยจะใช้ strain factor ไปคูณค่าของผลการตรวจวัดแผงกันเสียง FRP ชนิด B ในหัวข้อต่อไป

4.3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธี rain flow counting

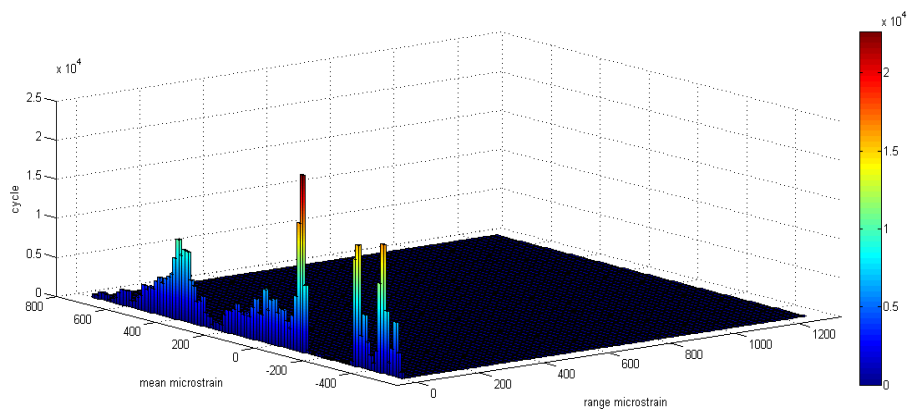
เนื่องจากการทดสอบความล้ามันต้องใช้ระยะเวลาในการทดสอบค่อนข้างยาวนานโดยการทดสอบนั้นไม่สามารถทดสอบได้ที่ค่าเฉลี่ยของแรงกระทำหลายๆค่าได้จึงต้องทำการทดสอบชนิดที่การให้แรงนั้นขึ้นลงจากค่าเฉลี่ยที่เป็น 0 ซึ่งโดยธรรมชาติของการเก็บข้อมูลความเครียดนั้นข้อมูลส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยหลายๆค่าและไม่เป็นศูนย์อีกทั้งยังมีค่าแอมปริจูดจึงเลือกใช้วิธี rain flow counting เพื่อที่จะนับข้อมูลโดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการช่วยคำนวณโดยจะแบ่งข้อมูลเป็นค่า range (max-min) และค่าเฉลี่ยโดยจากการวิเคราะห์ช่องสัญญาณทั้งหมดพบว่าข้อมูลที่ความถี่ต่ำกว่า 1 Hz ให้ผลเพียงพอต่อการระดับความเครียดบนแผงกันเสียงโดยจากการวิเคราะห์สัญญาณพบว่าช่องสัญญาณที่ 11 ของแผงกันเสียง FRP ชนิด A เกิดระดับความเครียด 200 อันดับแรกสูงที่สุด และ สำหรับแผงกันเสียง FRP ชนิด B จะพบว่าเกิดระดับความเครียดสูงสุด 200 อันดับแรกที่ช่องสัญญาณที่ 5



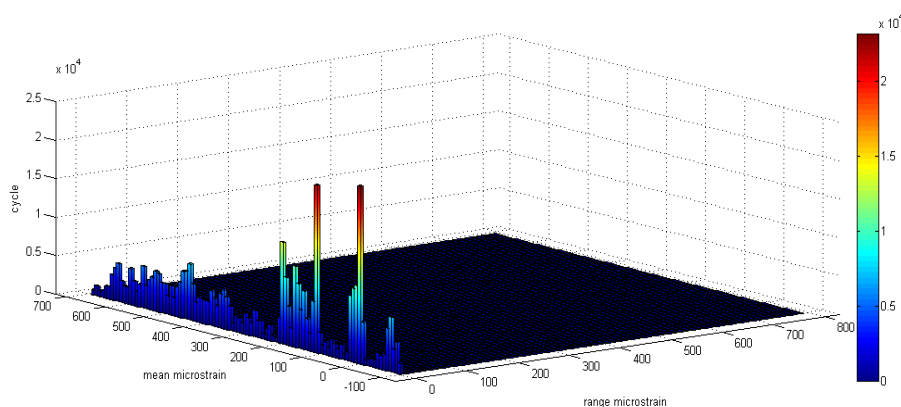
รูปที่ 47 กราฟแสดงย่านความถี่ที่มีผลต่อการตรวจวัดค่าความเครียดของแผงกันเสียง FRP

4.3.2 การวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม MATLAB

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม MATLAB จะได้ข้อมูล range –mean histogram ดังนี้



รูปที่ 48 กราฟการกระจายตัวของค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยความเครียดในช่องสัญญาณที่ 11 ของแผงกันเสียง A

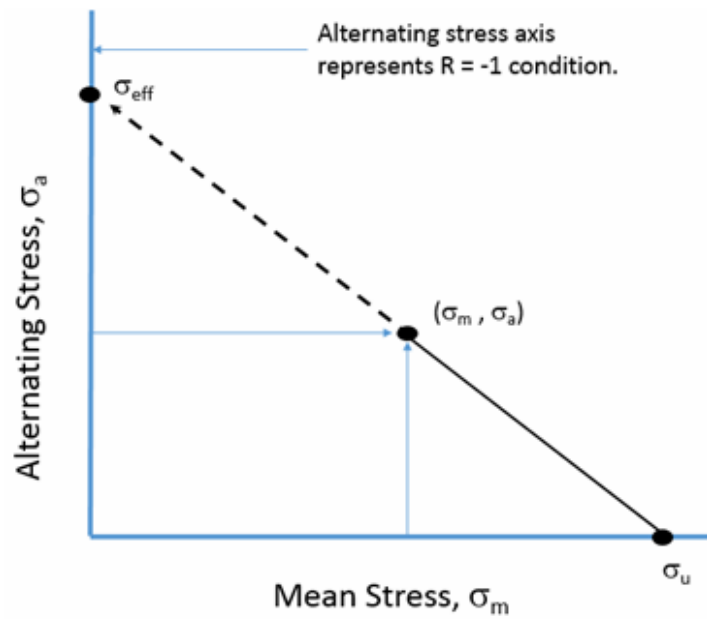


รูปที่ 49 กราฟการกระจายตัวของค่าพิสัยและค่าเฉลี่ยความเครียดในช่องสัญญาณที่ 5 ของแผงกันเสียง B

จากรูปที่ 48 และ 49 จะพบว่าข้อมูลส่วนใหญ่ที่บันทึกได้จากการทดสอบภาคสนามเกิดความเครียดบนค่าเฉลี่ยที่ -100 และ -350 micro strain ภายใต้การสั่นไหวที่น้อยกว่า 50 micro strain สำหรับแผงกันเสียง FRP ชนิด A และ 100 และ -100 micro strain ภายใต้การสั่นไหวที่น้อยกว่า 50 micro strain สำหรับแผงกันเสียง FRP ชนิด B

4.3.3 การปรับแก้ค่าจากผลกระทบของค่าเฉลี่ยที่ไม่เท่ากับศูนย์

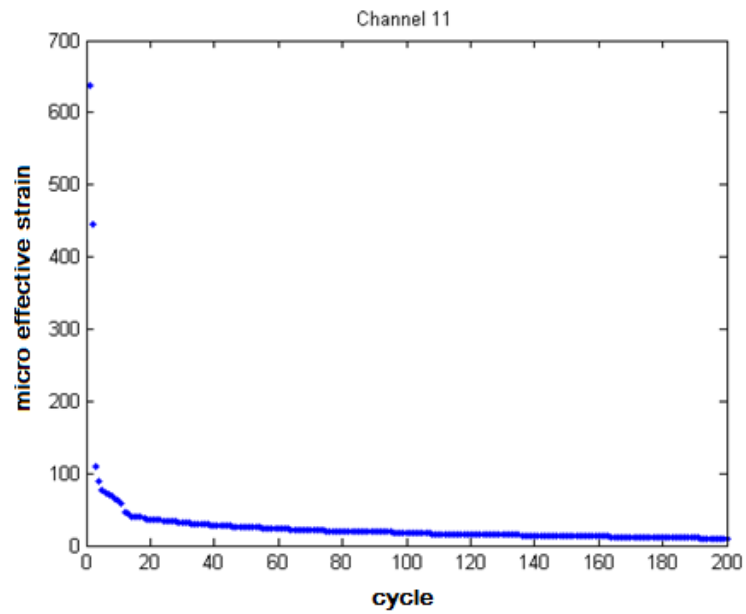
เนื่องจากหาอายุการใช้งานของแผงกันเสียงนั้นได้ทำการทดสอบที่เกิดจากการให้แรงคงที่สลับไปมารอบค่าเฉลี่ยเพียงค่าเดียวซึ่งในการทดสอบนี้ได้ใช้ค่าเฉลี่ยที่เท่ากับศูนย์ในการทดสอบและมีค่า $R = -1$ โดยในความเป็นจริงแล้วความเค้นที่เกิดขึ้นบนการทดสอบภาคสนามนั้นมีค่าแอมปริจูดและค่าเฉลี่ยที่หลากหลาย ตามรูปที่ 4.6 และ 4.7 ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องแปลงค่า range-mean นั้นไปเป็นค่า effective strain ดังนี้



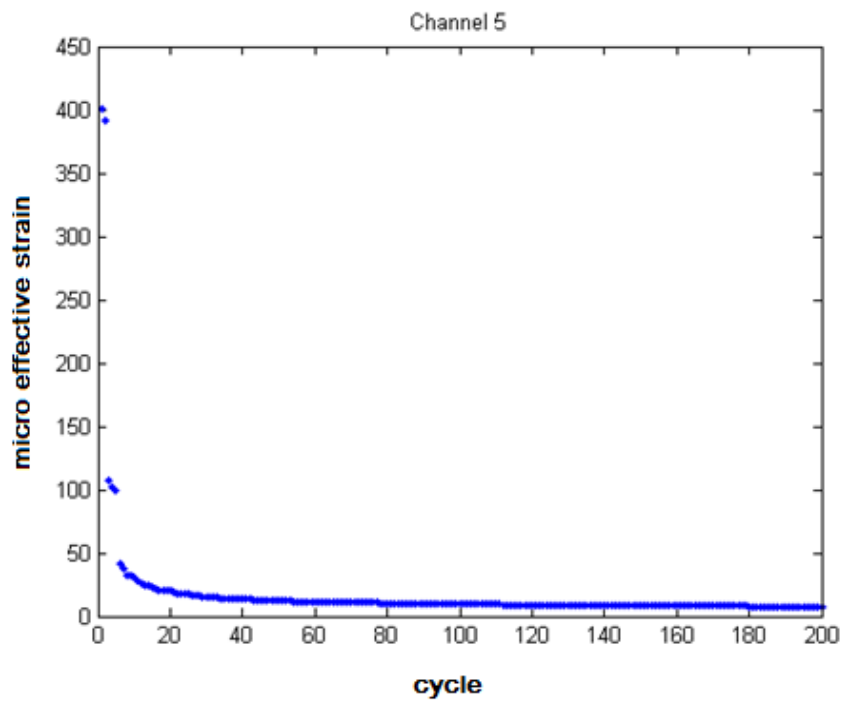
รูปที่ 50 การปรับแก้ผลกระทบจากค่า mean stress ที่ไม่เท่ากับศูนย์

$$\text{effective strain} = \frac{\text{range}}{2} \left[\frac{\text{ultimate strain}}{\text{ultimate strain} - \text{mean strain}} \right]$$

โดยจากการคำนวณโดยโปรแกรม MATLAB จะได้กราฟแท่งของ effective strain 200 ข้อมูลแรกที่มีค่าสูงที่สุดดังต่อไปนี้



รูปที่ 51 effective strain เรียงจากค่ามากไปน้อย 200 อันดับแรกสำหรับช่องสัญญาณที่ 11 ของ
แผงกันเสียง FRP ชนิด A



รูปที่ 52 effective strain เรียงจากค่ามากไปน้อย 200 อันดับแรกสำหรับช่องสัญญาณที่ 5 ของแผง
กันเสียง FRP ชนิด B

จากกราฟจะพบว่าบนแผงกันเสียง FRP ชนิด A เกิดความเครียดเทียบเท่าสูงที่ประมาณ 450-650 micro strain และ จะพบว่าบนแผงกันเสียง FRP ชนิด B เกิดความเครียดเทียบเท่าสูงที่ประมาณ 380-400 micro strain โดยที่ข้อมูลความเครียดที่เหลือนั้นมีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับความเครียดสูงสุดที่วัดจะรับได้โดยจะนำไปคำนวณหาอายุการใช้งานในหัวข้อถัดไป

4.4 การคำนวณหาอายุการใช้งานของแผงกันเสียง FRP

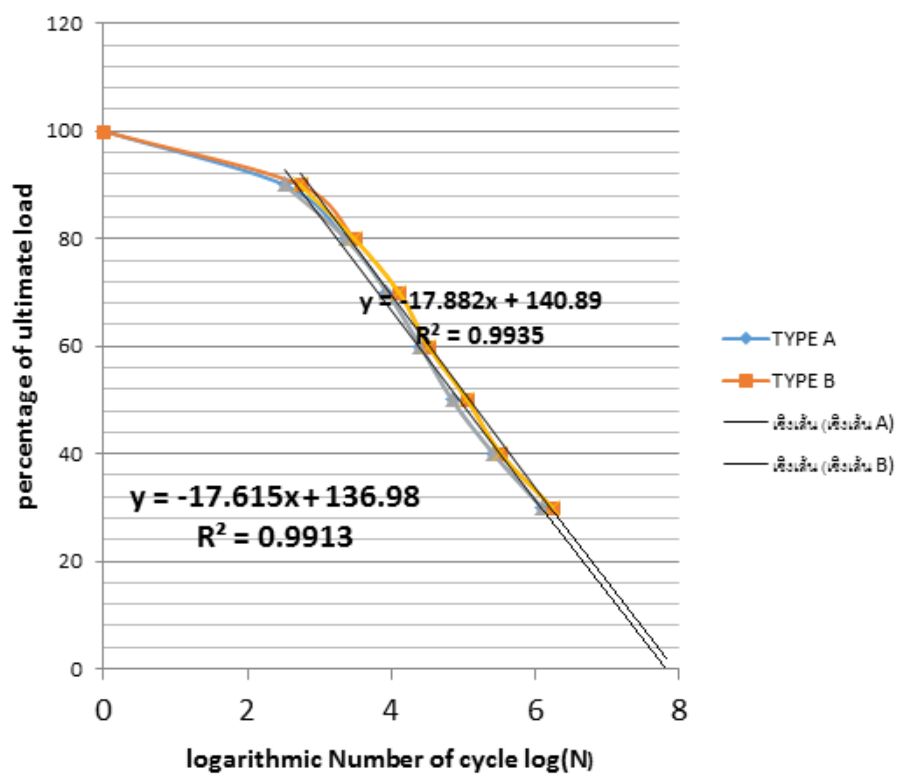
จากการทดสอบการรับแรงดัดของแผงกันเสียงพบว่าแผงกันเสียง FRP ชนิด A มีค่า ultimate strain เท่ากับ 12,900 micro strain และ แผงกันเสียง FRP ชนิด B 20,400 micro strain และจากการตรวจวัดและปรับแก้ค่าผลกระทบจากค่าเฉลี่ยของการทดสอบภาคสนามนั้นทำให้ทราบ Strain สูงสุดในแต่ละวันของแผงกันเสียง FRP ชนิด A เท่ากับ 650 และ 450 micro strain และแผงกันเสียง FRP ชนิด B เท่ากับ 400 และ 380 micro strain ซึ่งสามารถเทียบเป็นร้อยละของ strain ได้ดังนี้

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าเทียบกับความเครียดสูงสุด ของชิ้นส่วนแผงกันเสียง FRP ชนิด A และ B

FRP Type A (ultimate strain 12,900 micro strain)		FRP Type B (ultimate strain 20,400 micro strain)	
Micro strain	percent	Micro strain	percent
650	5.0	400	2.0
450	3.5	380	1.9

จากการทดสอบความล้าได้ S-N curve ดังรูปที่ 45

เมื่อพิจารณาจากกราฟจะพบว่าระดับความเครียดที่ต่ำกว่าร้อยละ 5 ไม่ครอบคลุมในการทดสอบ จึงจำเป็นต้องสร้างกราฟแนวโน้มเพื่อหาขอบความเครียด ณ ระดับที่ร้อยละของความเครียดกระทำอยู่ดังนี้



รูปที่ 53 กราฟเชิงเส้น S-N curve ของวัสดุ FRP ชนิด A และ B

สำหรับแผงกั้นเสียง FRP ชนิด A จะได้สมการ

$$Y = -17.615x + 136.98$$

โดยที่

$Y =$ ร้อยละของกำลังล้าของวัสดุที่ถูกกระทำเมื่อเทียบกับกำลังสูงสุด

$$X = \log(N)$$

$N =$ จำนวนรอบความล้าที่วัสดุรับได้ ณ กำลังล้า

เมื่อแทนค่าต่างๆลงในสมการจะหารอบความล้าจากกำลังความล้าคือ

$$N = 10^{\left(\frac{Y-136.98}{-17.615}\right)}$$

แทนค่าลงในสมการด้วยค่า Y ที่ร้อยละ 5 และ 3.5 จะได้รอบความเครียดที่รับได้คือ 3.108×10^7 รอบ และ 3.781×10^7 รอบตามลำดับ

สำหรับแผงกั้นเสียง FRP ชนิด B จะได้สมการ

$$Y = -17.882x + 140.89$$

$$N = 10^{\left(\frac{Y-140.89}{-17.882}\right)}$$

แทนค่าลงในสมการด้วยค่า Y ที่ร้อยละ 2 และ 1.9 ได้รอบความเครียดที่รับได้คือ 5.848×10^7 รอบ และ 5.924×10^7 รอบตามลำดับ

4.5 การหาความเสียหายสะสม

การคำนวณความเสียหายสะสมสำหรับแผงกั้นเสียงจะใช้สมการดังต่อไปนี้

$$D = \sum_{i=1}^k \left(\frac{n_i}{N_f} \right)$$

โดย

D = ความเสียหายที่เกิดขึ้นรวมผลจากระดับความเครียดหลายๆค่ารวมกัน

n_i = จำนวนรอบความเครียดที่กระทำ ณ ระดับความเครียด i

N_f = จำนวนรอบความเครียดที่วัสดุสามารถรับได้ ณ ระดับความเครียด i

ความเสียหายสะสมที่เกิดบนแผงกั้นเสียง FRP ชนิด A คือ

$$D = \left(\frac{1}{3.108 \times 10^7} + \frac{1}{3.781 \times 10^7} \right)$$

$$D = 5.862 \times 10^{-8}$$

หมายความว่าในการตรวจวัด 1 วันเกิดความเสียหาย 5.862×10^{-8} ซึ่งถ้าวัสดุจะวิบัติภายใต้แรงกล้าได้ค่า D จะเท่ากับ 1 ดังนั้นถ้าสมมติว่าความเสียหายเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอจะต้องใช้เวลาเท่ากับ

$$\frac{1}{5.862 \times 10^{-8}} = 1.706 \times 10^7 \text{ วัน หรือในอีกทางนัยคือไม่เกิดความเสียหายเนื่องจากความล้าจากการ}$$

ใช้งานซึ่งคล้ายกับแผงกั้นเสียง B

โดยมีค่าความเครียดเกิดขึ้นสูงสุดที่ร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับความสามารถในการยึดตัวสูงสุดของแผงกัน
เสียง FRP จากการวิเคราะห์ความล้มเหลวว่าระดับความล้มที่มีผลต่อความเสียหายจะอยู่ที่ระดับ
มากกว่าร้อยละ 30 เป็นต้นไป



บทที่ 5

บทสรุป

จากการทดสอบในงานวิจัยนี้ ความล้มเหลวที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นส่วนส่งเสริมทำให้เกิดความล้มเหลวของโครงสร้างแผงกันเสียง FRP ใช้งานตามสภาพการใช้งานจริงโดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องคือ การสั่นสะเทือนจากการเคลื่อนที่ของขบวนรถ และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน โดยมีเนื้อหาต่างๆดังนี้

1. วัสดุประเภท FRP เป็นวัสดุชนิดที่มีความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดที่เป็นลักษณะเชิงเส้น
2. ความเสียหายจากความล้าส่วนใหญ่มาจากการหดและขยายตัวของแผงกันเสียงโดยได้รับผลจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงกลางวันและกลางคืน
3. ความเสียหายของแผงกันเสียงอันเนื่องมาจากผลของการสั่นสะเทือนจากขบวนรถ, แรงลม และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงตลอดวัน ไม่สามารถทำให้แผงกันเสียง FRP วิกฤติภายใต้ความล้าได้

รายการอ้างอิง

- Akira, U., Tatsuo, S. Effect of Loading Frequency in Fatigue Properties and Micro-Plasticity Behavior of JIS S15C LowCarbon Steel. 13th International Conference on Fracture. Beijing, 2013.
- Ariduru, S. Fatigue Life Calculation by Rainflow Cycle Counting Method. Master's Thesis, Middle East Technical University, 2004.
- Fujczak, R. The Effects of Fatigue Loading Frequency on Fatigue Life of High-Strength Pressure Vessel Steels. Laboratories Waervliet, 1994.
- Goodman, J. Mechanics Applied to Engineering. Reprint of 9th edition.: Longmans Green & Co, 1954.
- Lee , Y. Lee Fatigue Testing and Analysis, Chrysler Group LLC, 2012.
- Masayuki, N., and Yasushi, M. Accelerated testing for long-term durability of various frp laminates for marine use. Materials System Research Laboratory, Kanazawa Institute of Technology, 2007.
- Masayuki, N., and Yasushi, M. Accelerated testing for long-term fatigue strength of various FRP laminates for marine use. Composites Science and Technology, Kanazawa Institute of Technology, 2009.
- MATLAB® 7 Getting Started Guide MathWorks, Inc.
- Miner, A. Cumulative Damage in Fatigue, Journal of Applied Mechanics, 1945.: A159 - A164.
- Palmgren, D. Lebensdauer von Kugellagern. Berlin, 1924.

Salini, K. Fatigue Analysis of Glass Fiber Reinforced Polymer(gfrp) Bridge Deck Panels. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2013.

Secil, A. Fatigue Life Calculation By Rainflow Cycle Counting Method. Master's Thesis, Middle East Technical University, 2004.

Vervoort, S. Fatigue Analysis Of Fibre-Reinforced Polymers. European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, Austria, 2012





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฐภัทร บัวเพชร เกิดเมื่อวันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ.2530 ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นจากโรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนอยุธยาวิทยาลัย ต่อมาได้ศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ.2549 และได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโทบัณฑิตหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ.2555



