

การศึกษาพฤติกรรมทางกลของแผ่นกั้นชานชาลาที่เสริมแรงด้วย
คาร์บอนไฟเบอร์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

STUDY OF MECHANICAL BEHAVIOR OF STRENGTHENING
PLATFORM NOSING WITH CARBON FIBER-REINFORCED POLYMERS
USING FINITE ELEMENT METHOD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมขนส่งทางราง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การศึกษาพฤติกรรมทางกลของแผ่นกั้นชานชาลาที่เสริมแรงด้วย
คาร์บอนไฟเบอร์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

STUDY OF MECHANICAL BEHAVIOR OF STRENGTHENING
PLATFORM NOSING WITH CARBON FIBER-REINFORCED POLYMERS
USING FINITE ELEMENT METHOD



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมขนส่งทางราง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

STUDY OF MECHANICAL BEHAVIOR OF STRENGTHENING
PLATFORM NOSING WITH CARBON FIBER-REINFORCED POLYMERS
USING FINITE ELEMENT METHOD



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN RAIL TRANSPORTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ FACULTY OF ENGINEERING อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีมติเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และเรียงอย่างเรียงใจของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาโทปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่งทางราง คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมทางกลของแผ่นกั้นชานชาลาที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์
โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

STUDY OF MECHANICAL BEHAVIOR OF STRENGTHENING PLATFORM NOSING
WITH CARBON FIBER-REINFORCED POLYMERS USING FINITE ELEMENT METHOD

ผู้จัดทำ

1. นาย กิตตินันท์ สันติวงศ์เดชา รหัสประจำตัว 60010073
2. นาย พงศ์กฤษณ์ วงษาจันทร์ รหัสประจำตัว 60010639
3. นางสาว วรียา คำแก้ว รหัสประจำตัว 60010906

วิศกร

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.จิตราภรณ์ วงศางาม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การศึกษาพฤติกรรมทางกลของแผ่นกั้นขานซาลาที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์โดยระเบียบวิธี
ไฟไนต์เอลิเมนต์

นายกิตตินันท์	สันติวงศ์เดชา	60010073
นายพงศ์ฤกษ์	วงษาจันทร์	60010639
นางสาวรวิยา	ดำแก้ว	60010906
ผศ.ดร.จิตราภรณ์	วงศ์งาม	อาจารย์ที่ปรึกษา ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

ปริญญาพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและวิเคราะห์พฤติกรรมทางกลของแผ่นกั้นขานซาลาที่ทำจากไม้เสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ซึ่งอ้างอิงขนาดและลักษณะของแผ่นกั้นขานซาลาตามโครงการพัฒนาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ศึกษาจากการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ABAQUS เพื่อศึกษาและหารูปแบบการเสริมแรงที่เหมาะสมก่อนที่จะสร้างและทดสอบบนชิ้นงานจริง งานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมทางกลของแผ่นกั้นขานซาลาก่อนและหลังการเสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ ส่วนที่ 2 ทำการศึกษาผลของความยาวของคาร์บอนไฟเบอร์ที่ขนาดต่างกันว่า 2000, 1000, 800, 600 และ 400 มม. ส่วนที่ 3 ศึกษาแบบการเสริมแรง (จำนวนชั้น; 1, 2, 3 และ 4 ชั้น) โดยคงปริมาณคาร์บอนไฟเบอร์เท่ากันในแต่ละรูปแบบ โดยในการวิเคราะห์จะทำการพิจารณา การกระจายความเค้น ระยะการแอ่นตัว ความแข็งแรงต่อการตัด และการดูดซับพลังงาน

ผลการศึกษาพบว่าแผ่นกั้นขานซาลาที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์มีค่าความแข็งแรงต่อการตัด และค่าการดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรับแรงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าความแข็งแรงต่อการตัด และการดูดซับพลังงานเพิ่มขึ้นตามความยาว และจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามที่ความยาว 2000 มม. และ 1000 มม. สมบัติเหล่านี้ไม่ต่างกันมาก ดังนั้นงานวิจัยนี้แนะนำการเสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ด้วยความยาว 1000 มม. จำนวน 2 ชั้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการรับแรงของแผ่นกั้นขานซาลาที่ทำจากไม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

STUDY OF MECHANICAL BEHAVIOR OF STRENGTHENING PLATFORM NOSING WITH
CARBON FIBER-REINFORCED POLYMERS USING FINITE ELEMENT METHOD

Kittinan	Santiwongdecha	60010073
Phongkrit	Wongsajan	60010639
Variya	Dumkaew	60010906
Asst.Prof.Dr.Jittraporn Wongsangam		Advisor
Year 2020		

ABSTRACT

This research studied and analyzed mechanical behaviors of wooden platform nosing strengthened with Carbon Fiber-Reinforce Polymers (CFRP). By referring the size and characteristics from Suvarnabhumi Airport Expansion Project. This research studied by creating models and analyze by finite element method using ABAQUS software to study and determine the suitable shape of reinforcement before tested on actual specimens. This research was divided into three parts, first part, compared the mechanical behavior of platform nosing before and after strengthening with CFRP, second part, studied the effect of carbon fiber lengths at different sizes 2000, 1000, 800, 600 and 400 mm. and third part, studied the effect of the pattern (number of layers: 1, 2, 3, 4 layers) of CFRP. This study focuses on stress distribution, deflection, flexural stiffness and energy absorption.

The result showed that strengthening with CFRP can increased the flexural stiffness and energy absorption. Moreover, flexural stiffness and energy absorption were increased when enhance the length and number of layers of CFRP. However, at length 2000 mm and 1000 mm CFRP, these properties are not much different. Therefore, this research recommends strengthening with 2 layers and 1000 mm long CFRP to increase the load capacity of wooden platform nosing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความอนุเคราะห์จาก ผศ.ดร.จิตรราภรณ์ วงศางาม อาจารย์ผู้ควบคุมดูแลปริญญานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางรวมทั้งปรับปรุง แก้ไข ปัญหา ข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำวิจัยด้วยความเอาใจใส่เสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณภาควิชาชีพวิศวกรรมเครื่องกล และภาควิชาชีพวิศวกรรมโยธาที่ให้ความกรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่รวมถึงอุปกรณ์ที่จำเป็นแก่คณะผู้วิจัย ทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ คณะผู้วิจัยมีความซาบซึ้งในความกรุณา และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ผู้ร่วมทำวิจัยทุกคนที่คอยให้กำลังใจ ให้คำปรึกษา เมื่อมีปัญหาช่วยกันคิดแก้ไขปัญหาพร้อมกันทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ผู้ที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนและทำวิจัยของผู้วิจัยมาโดยตลอด ได้แก่ บิดามารดา และครอบครัว ที่ให้ความช่วยเหลือจนทำให้โครงการครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

กิตตินันท์ สันติวงศ์เดชา
พงศกฤษฎณ์ วงษาจันทร์
วริยา ดำแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไม้.....	9
2.4 ประเภทของไม้.....	10
2.5 สมบัติทางกายภาพของไม้.....	11
2.5.1 ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของไม้.....	11
2.5.2 ความชื้นในเนื้อไม้.....	11
2.6 สมบัติทางกลของไม้.....	12
2.6.1 กำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Strength).....	12
2.6.2 ความแข็งแกร่งต่อการดัด (Flexural Stiffness).....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขข้อมูลเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
2.6.3 โมดูลัสคืนตัว (Modulus of Resilience).....	13
2.6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด	13
2.7 สมบัติทางกลของไม้สำหรับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	14
2.8 ชนิดของเอลิเมนต์.....	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินวิจัย.....	17
3.1 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองไม้	17
3.1.1 การสร้างแบบจำลองไม้.....	17
3.1.2 การกำหนดคุณสมบัติแบบจำลองไม้ (Properties).....	18
3.1.3 การกำหนดทิศทางของคุณสมบัติแบบจำลองไม้ (Orientation materials).....	19
3.1.4 การกำหนดจำนวนเอลิเมนต์แบบจำลองไม้ (Mesh).....	19
3.1.5 การกำหนดขอบเขตเงื่อนไขแบบจำลองไม้ (Boundary condition).....	20
3.1.6 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองไม้.....	21
3.2 รายละเอียดแบบจำลองแผ่นกั้นขานซาลา.....	22
3.2.1 รายละเอียดแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์และไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์.....	22
3.2.2 รายละเอียดแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ความยาวต่าง ๆ.....	23
3.2.3 รายละเอียดแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ.....	24
3.3 การสร้างแบบจำลองแผ่นกั้นขานซาลา.....	25
3.3.1 การสร้างแบบจำลองแผ่นกั้นขานซาลาและแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์.....	25
3.3.2 การกำหนดคุณสมบัติแผ่นกั้นขานซาลาและแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์.....	26
3.3.3 การกำหนดทิศทางของคุณสมบัติวัสดุ (Material Orientations).....	27
3.3.4 การกำหนดแรงปฏิกริยายึดติด (Interaction).....	28
3.3.5 การกำหนดขอบเขตเงื่อนไข (Boundary Condition).....	29
3.3.6 การกำหนดจำนวนเอลิเมนต์ (Mesh).....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์.....	33
4.1 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของการติดตั้งคาร์บอนไฟเบอร์.....	33
4.1.1 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานชาลา.....	33
4.1.2 ความสามารถในการต้านทานแรงดัด.....	36
4.2 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของความยาวของคาร์บอนไฟเบอร์.....	37
4.2.1 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานชาลา.....	37
4.2.2 ความสามารถในการต้านทานแรงดัด.....	41
4.3 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบการติดตั้งคาร์บอนไฟเบอร์.....	42
4.3.1 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานชาลา.....	43
4.3.2 ความสามารถในการต้านทานแรงดัด.....	46
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	48
5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนางานวิจัย.....	48
เอกสารอ้างอิง.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ประเภทของไม้ตามเกณฑ์ของกรมป่าไม้.....	10
3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของไม้	18
3.2 รายละเอียดแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์และไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์	23
3.3 รายละเอียดแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ความยาวต่าง ๆ	23
3.4 รายละเอียดแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ	24
3.5 ตารางแสดงคุณสมบัติของไม้	26
3.6 ตารางแสดงคุณสมบัติของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์	27
3.7 ผลการวิเคราะห์การกำหนดจำนวนเอลิเมนต์	31
4.1 แสดงค่าความแข็งแรงต่อการตัดและค่าการดูดซับพลังงาน.....	36
4.2 แสดงค่าความแข็งแรงต่อการตัดและค่าการดูดซับพลังงาน.....	42
4.3 แสดงค่าความแข็งแรงต่อการตัดและค่าการดูดซับพลังงาน.....	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงรูปแบบการติดตั้งวัสดุเสริมแรง [1]	5
2.2 แสดงถึงการปรับปรุงพันธะระหว่างแผ่นเสริมความแข็งแรง FRP กับพื้นผิวไม้ (a) รูเข็มเจาะที่คาน soffit และ (b) แผ่น CFRP ที่ยึดติดกับคานโดยใช้กาวอีพ็อกซี [2]	6
2.3 แสดงภาคตัดขวางของชิ้นงานขนาดย่อ (a) และภาคตัดขวางขนาดปกติ (b) [3].....	6
2.4 แสดงรูปแบบการเสริมแรง [4].....	7
2.5 ภาคตัดขวางของแต่ละรูปแบบ [5].....	8
2.6 แสดงรูปแบบการติดตั้งวัสดุเสริมแรง [6]	9
2.7 แสดงรูปตัดลำต้นไม้ [8].....	10
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ [8].....	12
2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด [9]	13
2.10 แสดงทิศทางของไม้ [10]	15
2.11 Solid Element C3D8 [11].....	16
3.1 Part แบบจำลองไม้.....	18
3.2 แสดงทิศทางของแบบจำลองไม้	19
3.3 การแบ่งเอลิเมนต์ของไม้	19
3.4 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตจตุรรองรับ	20
3.5 กำหนดจุดรับแรงกระทำ (Load).....	20
3.6 รูปแบบการกระจายความเค้นของผลการวิเคราะห์จากงานวิจัย [6].....	21
3.7 รูปแบบการกระจายความเค้นจากการสร้างแบบจำลอง	21
3.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของงานวิจัย [6]	22
3.9 แผ่นกั้นขานซาลาติตคาร์บอนไฟเบอร์	23
3.10 แผ่นกั้นขานซาลาติตคาร์บอนไฟเบอร์ความยาวต่าง ๆ.....	24
3.11 แผ่นกั้นขานซาลาติตคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ.....	25
3.12 Part แบบจำลองแผ่นกั้นขานซาลา.....	25
3.13 Part แบบจำลองแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์.....	26
3.14 ทิศทางของแบบจำลองแผ่นกั้นขานซาลา.....	27
3.15 กำหนดทิศทางของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์	28
3.16 การยึดติดกันของแผ่นกั้นขานซาลาและแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่ที่เผยแพร่โดยเนื้อหา และที่ยังอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำเนื้อหาไปใช้

This material is reserved for educational use only; not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.17 แผ่นกั้นขานซาลาติดคาร์บอนไฟเบอร์	29
3.18 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่จุดรองรับของแบบจำลอง.....	29
3.19 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่จุดรับแรงกระทำของแบบจำลอง	30
3.20 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ของแผ่นกั้นขานซาลา	32
3.21 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์	32
4.1 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์	34
4.2 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์	34
4.3 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์	35
4.4 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์	35
4.5 การกระจายความเค้นของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์.....	35
4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของแผ่นกั้นขานซาลาที่ไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์และแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์	36
4.7 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 2000 มิลลิเมตร	37
4.8 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 1000 มิลลิเมตร	38
4.9 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 800 มิลลิเมตร	38
4.10 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 600 มิลลิเมตร	38
4.11 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 400 มิลลิเมตร	39
4.12 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 2000 มิลลิเมตร.....	39
4.13 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 1000 มิลลิเมตร.....	40
4.14 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 800 มิลลิเมตร	40
4.15 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 600 มิลลิเมตร	40
4.16 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 400 มิลลิเมตร	41
4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ	41
4.18 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 180 มิลลิเมตร (1 ชั้น).....	43
4.19 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 90 มิลลิเมตร (2 ชั้น).....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.20 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 60 มิลลิเมตร (3 ชั้น)	44
4.21 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 45 มิลลิเมตร (4 ชั้น)	44
4.22 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 180 มิลลิเมตร (1 ชั้น)	45
4.23 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 90 มิลลิเมตร (2 ชั้น)	45
4.24 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 60 มิลลิเมตร (3 ชั้น)	45
4.25 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 45 มิลลิเมตร (4 ชั้น)	46
4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ	46



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันระบบรถไฟฟ้าเป็นหนึ่งในระบบขนส่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัยในการใช้งาน อีกทั้งยังสามารถขนส่งผู้โดยสารจำนวนมากภายในระยะเวลาสั้น ๆ ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิเป็นอีกหนึ่งในสนามบินที่มีการนำระบบรถไฟฟ้ามาใช้เพื่ออำนวยความสะดวกในการเดินทางระหว่างอาคารผู้โดยสารที่ใช้ในปัจจุบันและอาคารเทียบเครื่องบินรองหลังที่ 1 (Midfield Satellite) ซึ่งมีระยะทางประมาณ 1 กิโลเมตร โดยระบบรถไฟฟ้าที่นำมาใช้ในท่าอากาศยานสุวรรณภูมิคือระบบขนส่งผู้โดยสารอัตโนมัติ (Automatic People Mover) ซึ่งเป็นระบบขนส่งผู้โดยสารแบบไร้คนขับ ทำการควบคุมผ่านศูนย์ควบคุมการปฏิบัติการ (Operations Control Center) โดยตัวรถเป็นรถไฟฟ้าแบบล้อยาง

เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานระบบรถไฟฟ้า จึงมีการติดตั้งระบบชุดประตูกันชานชาลา (Platform Screen Door System) ซึ่งแบ่งเขตระหว่างทางวิ่งของรถไฟฟ้าและชานชาลาของสถานี เพื่อป้องกันไม่ให้ผู้โดยสารหรือสิ่งของตกลงไปยังทางวิ่ง รวมไปถึงใช้เป็นส่วนกันระหว่างอุโมงค์กับสถานี ซึ่งสามารถช่วยลดการใช้พลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของสถานีอีกด้วย และอีกส่วนที่สำคัญคือแผ่นกันชานชาลา (Platform Nosing) ที่ติดตั้งอยู่บริเวณขอบชานชาลาฝั่งทางวิ่งของรถไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับชานชาลา ตัวรถ และประตูกันชานชาลาในกรณีที่เกิดความขัดข้องขณะที่รถไฟฟ้าเคลื่อนที่เข้าสู่สถานี โดยทั่วไปเรามักเห็นแผ่นกันชานชาลาทำจากวัสดุที่เป็นยาง แต่เนื่องด้วยการออกแบบตามความเหมาะสมในการใช้งานทั้งขนาด ระยะในการติดตั้ง รวมถึงความสามารถในการรับแรงต่าง ๆ นั้น ทำให้มีการติดตั้งแผ่นกันชานชาลาตลอดความยาวของชานชาลา จึงเลือกใช้วัสดุที่เป็นไม้เนื่องจากมีราคาไม่สูงมาก มีความแข็งแรงและสามารถหาได้ง่าย

การติดตั้งแผ่นกันชานชาลาควรติดตั้งให้แนบกับแนวคอนกรีตของชานชาลา แต่เนื่องจากบริเวณแนวคอนกรีตมีรางวิ่งของประตูกันชานชาลา ส่งผลให้การติดตั้งแผ่นกันชานชาลาต้องเว้นช่องว่างออกมาจากแนวคอนกรีตเพื่อเป็นรางวิ่งของประตู จากเหตุผลทั้งหมดที่กล่าวมา การเว้นช่องว่าง

เอกสารนี้เป็นระหว่างแผ่นกันชานชาลา กับแนวคอนกรีตส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงของแผ่นกันชานชาลา การคำนวณว่ากรณีใด ๆ ที่ไม่ใช่เป็นวัสดุประเภทที่อาจเกิดการแตกหักได้ง่ายและมีกำลังต้านทานแรงดึงต่ำ ดังนั้นแผ่นกันชานชาลา

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ซาลาควรทำการเสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์เพื่อช่วยในการรับแรงดึงที่เกิดขึ้นบริเวณด้านล่างของแผ่นกั้นซาลา เนื่องจากคาร์บอนไฟเบอร์มีกำลังต้านทานแรงดึงสูง มีลักษณะเป็นแผ่นบาง อีกทั้งยังมีความต้านทานการกัดกร่อนสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมทางกลของแผ่นกั้นซาลา และแผ่นกั้นซาลาที่เสริมแรงด้วยแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการรับแรงและค่าการดูดซับพลังงานของแผ่นกั้นซาลา และเพื่อลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับทรัพยากรต่าง ๆ และเนื่องจากการเสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ทำให้มีต้นทุนเพิ่มมากขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษารูปแบบการติดคาร์บอนไฟเบอร์ เพื่อให้การเสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์นั้นมีความคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สมบัติทางกลของแผ่นกั้นซาลาที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของรูปแบบตัวเสริมแรงของแผ่นกั้นซาลาโดยระเบียบวิธีไฟไนต์-เอลิเมนต์
- 1.2.3 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์พฤติกรรมของแผ่นกั้นซาลาที่ติดวัสดุเสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

- 1.3.1 การติดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์อาจทำให้แผ่นกั้นซาลามีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น
- 1.3.2 การลดความยาวของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ทำให้สมบัติทางกลต่าง ๆ มีค่าลดน้อยลง ซึ่งความยาวที่เหมาะสมอาจทำให้สมบัติทางกลมีค่าลดลงเพียงเล็กน้อย
- 1.3.3 รูปแบบการติดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์อาจมีผลทำให้สมบัติทางกลต่าง ๆ มีค่าเพิ่มขึ้น

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.4.1 แผ่นกั้นซาลาทำจากไม้ โดยมีความกว้าง เท่ากับ 180 มิลลิเมตร ความยาว เท่ากับ 2000 มิลลิเมตร และความหนา เท่ากับ 38 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 1.4.2 พิจารณาพฤติกรรมของแผ่นกั้นซาลาในช่วงระยะเวลาการแอนตัวตั้งแต่ 0 ถึง 35 มิลลิเมตร
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพการรับแรงของไม้
- 1.5.2 กำหนดขนาดและลักษณะของแผ่นกั้นชานซาลาโดยอ้างอิงจากโครงการพัฒนาท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ
- 1.5.3 สร้างแบบจำลองแผ่นกั้นชานซาลาด้วยโปรแกรม ABAQUS พร้อมหาขนาดและจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสม
- 1.5.4 คำนวณเชิงตัวเลขจากแบบจำลองแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดตั้งตัวเสริมแรงรูปแบบต่าง ๆ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
- 1.5.5 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขโดยการเปรียบเทียบค่าที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวโดยการสร้างกราฟเปรียบเทียบ ค่าความแข็งแรงต่อการตัด และค่าการดูดซับพลังงาน
- 1.5.6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

- 1.6.1 ได้เรียนรู้เกี่ยวกับพฤติกรรมเชิงกลของแผ่นกั้นชานซาลา
- 1.6.2 เพื่อเป็นประโยชน์ในการออกแบบและพัฒนาแผ่นกั้นชานซาลาที่ทำจากวัสดุไม้
- 1.6.3 ได้แบบจำลองเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาพฤติกรรมเชิงกลของแผ่นกั้นชานซาลาในการเสริมแรงด้วยวัสดุอื่น ๆ หรือรูปแบบแรงกระทำในรูปแบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำเอารูปแบบคมนาคมแบบขนส่งทางรางมาใช้เพิ่มมากขึ้น โดยมีรูปแบบของรถไฟฟ้่าที่หลากหลาย ในส่วนของสถานีขนส่งผู้โดยสารของสนามบินสุวรรณภูมิได้มีการนำรถไฟฟ้่าล้อยางแบบอัตโนมัติ (APM) มาใช้ ซึ่งล้อยางรถไฟฟ้่าที่เป็นยางนี้มีโอกาสเกิดการเอนสายชนเข้ากับสถานีได้ จึงมีแผ่นกั้นชานชลา (Platform Nosing) ที่ช่วยรองรับแรงกระแทกจากด้านข้างของรถไฟฟ้่าเมื่อมีการสายในขณะเข้าจอดที่สถานี โครงการนี้ใช้แผ่นไม้ในการทำแผ่นกั้นชานชลา ซึ่งมีความยืดหยุ่นได้น้อยและด้วยการออกแบบการติดตั้งทำให้เกิดช่องว่างขึ้นระหว่างแผ่นไม้และชานชลา จึงอาจเกิดการแตกหักของแผ่นไม้และส่งผลไปถึงประตูกั้นชานชลาและอุปกรณ์อื่น ๆ ได้ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการศึกษาสมการ สมมติฐาน ทฤษฎี และงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการติดตั้งตัวช่วยเสริมความแข็งแรง (Stiffener) ของแผ่นไม้ โดยการศึกษาโครงสร้างต่าง ๆ ที่จะทำให้เกิดความแข็งแรงและมีประสิทธิภาพในการดูดซับพลังงานได้มากขึ้น อีกทั้งช่วยลดต้นทุนในการติดตั้ง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

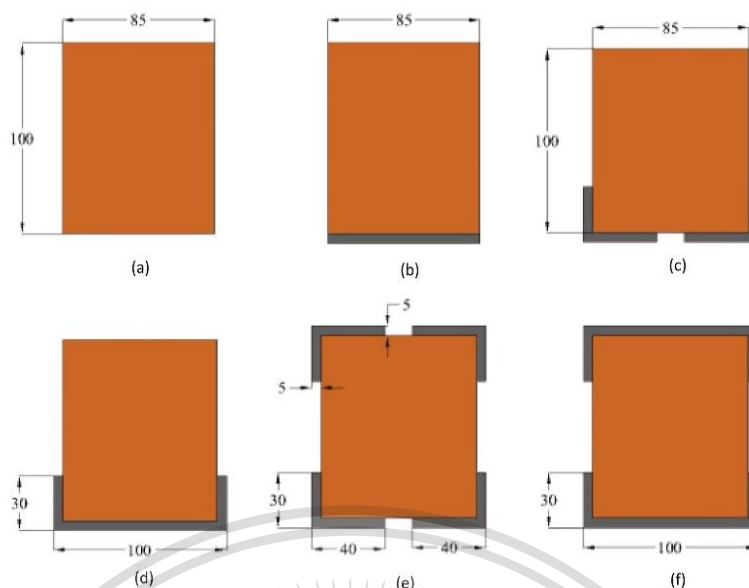
2.2.1 Mohammad Shekarchi, Asghar Vatani Oskouei, Gary M. Raftery [2020]

งานวิจัยได้นำเสนอเกี่ยวกับการเพิ่มความสามารถในการรับแรงของไม้ด้วยการติดวัสดุเสริมแรงคือ Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) โดยการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุจะทำการทดสอบ three-point bending ตามมาตรฐาน ASTM D143 การติดวัสดุเสริมแรงมีรูปแบบ Flat, U-shaped, L-shaped ดังรูป 2.1 เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงของแต่ละรูปแบบและไม้ที่ไม่ได้เสริมแรง ซึ่งจะศึกษาค่าโมดูลัสการแตกหัก ระยะการเอนตัวและความสามารถในการรับแรงของคานไม้ ผลการทดลองเปิดเผยว่ายิ่งพื้นผิวสัมผัสที่ใช้ในการติดวัสดุเสริมแรงมีค่ามากขึ้น จะทำให้ความสามารถในการรับแรงของวัสดุมีค่ามากขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



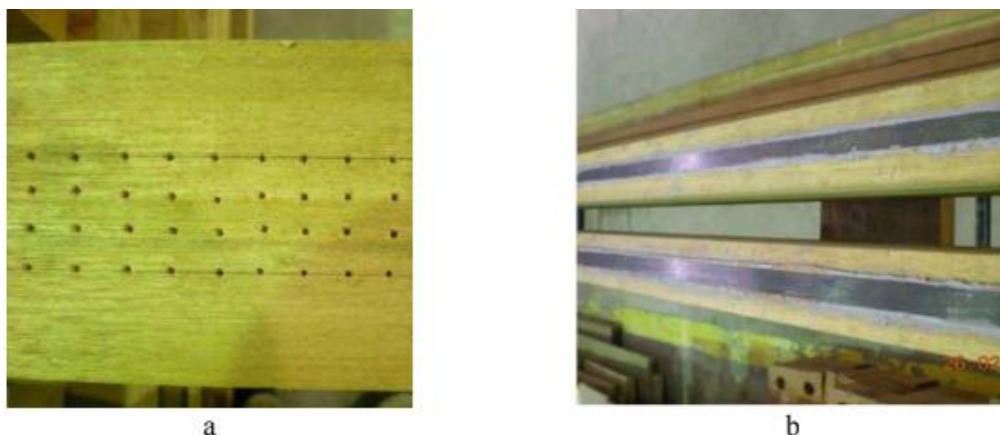
รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบการตัดวัสดุเสริมแรง [1]

2.2.2 Shujaatullah Sheikh, Yusof Ahmad [2015] ได้นำเสนอเกี่ยวกับการเสริมสร้างความแข็งแรงของโครงสร้างไม้ เนื่องจากโครงสร้างของไม้มีพฤติกรรมการรับดึงที่เปราะทำให้ไม้มีแนวโน้มที่จะเสียหายทันทีภายใต้การใช้แรงดึง จึงได้ทำการศึกษาเพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงตัดของไม้เพื่อให้เป็นวัสดุก่อสร้างที่น่าสนใจ โครงสร้างทางวิศวกรรมโยธามีการใช้ไม้เนื้อแข็งและผลิตภัณฑ์จากไม้ทางวิศวกรรม เช่น ไม้ลามิเนตเคลือบผิว ไม้เกลียวคานาน ไม้ลามิเนตเกลียวและไม้วีเนียร์ แต่โครงสร้างของไม้เหล่านี้เมื่อมีอายุมากขึ้นคุณภาพเสื่อมลงจึงต้องมีการเสริมสร้างและติดตั้งโครงสร้างเหล่านี้ใหม่ จึงได้มีการศึกษาวิจัยเพื่อเสริมสร้างและติดตั้งไม้เนื้อแข็งและชิ้นส่วนดัดงอให้สอดคล้องกับหลักการกำหนดของวิศวกรรมไม้ ระบบการเสริมสร้างความแข็งแรงเหล่านี้รวมถึงแนวทางที่คล้ายกับคอนกรีตเสริมเหล็กและคอนกรีตอัดแรง ตัวอย่างเช่นการเสริมคานไม้ด้วยการติดตั้งแท่งโพลีเมอร์เสริมใย (FRP) ในรูที่เจาะไว้ล่วงหน้าหรือการเพิ่มความแข็งแรงในการตัดของคานไม้แปรรูปกลูแลม (glulam) โดยการติดลามิเนตโพลีเมอร์เสริมด้วยคาร์บอนไฟเบอร์อัดแรงบนหน้าสัมผัสที่เปราะของคานเหล่านี้ ซึ่งคานไม้แปรรูปกลูแลม (glulam) ที่เสริมแรงด้วย FRP มีกำลังรับแรงดึงสูงกว่าและมีความแปรปรวนน้อยกว่าไม้ที่ไม่ได้เสริมแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

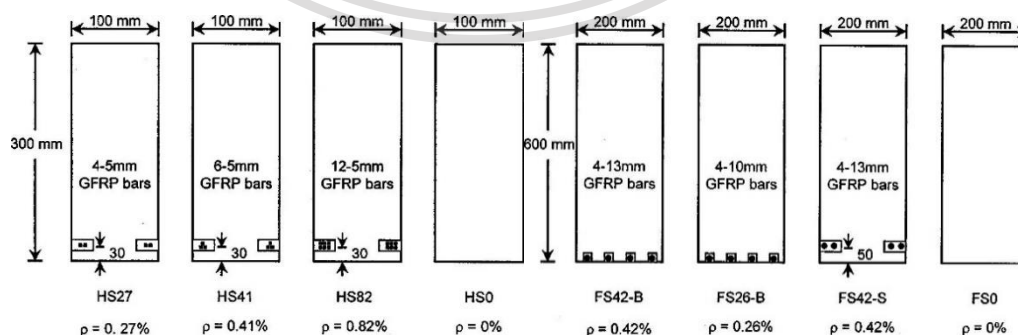
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.2 แสดงถึงการปรับปรุงพันธะระหว่างแผ่นเสริมความแข็งแรง FRP กับพื้นผิวไม้ (a) รูเข็มเจาะที่คาน soffit และ (b) แผ่น CFRP ที่ยึดติดกับคานโดยใช้กาวอีพ็อกซี่ [2]

2.2.3 Chris Gentile, Dagmar Svecova, Sami H. Rizkalla [2002] ได้ศึกษาเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของสะพานโดยการติดวัสดุเสริมแรงคือ Glass Fiber Reinforced Polymer bar (GFRP) ในคานไม้โดยจะมีชิ้นงาน 2 ขนาดดังรูปที่ 2.3 ซึ่งแต่ละขนาดจะมีชิ้นงาน 4 รูปแบบแตกต่างกันโดยจะกำหนดปริมาณการติดวัสดุไว้ที่ 0.27 - 0.82% ของพื้นที่หน้าตัด ในการติดวัสดุเสริมแรงนั้นนอกจากจะเพิ่มความแข็งแรงแล้วยังช่วยเปลี่ยนแปลงรูปแบบความเสียหายจากแรงดึงเป็นความเสียหายจากแรงอัด เพื่อให้เกิดความเสียหายต่อคานไม้ลดลง ในการทดสอบจะทดสอบในรูปแบบ four-point bending โดยเปรียบเทียบค่าโมดูลัสยืดหยุ่น ภาระไหลดสูงสุดและโมดูลัสการแตกหัก ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเสริมวัสดุ GFRP ทำให้ความแข็งแรงของคานเพิ่มขึ้น 18 - 46% เมื่อเทียบกับคานไม้ที่ไม่เสริมแรง และทำให้รูปแบบความเสียหายของคานไม้เปลี่ยนจากความเสียหายจากแรงดึงเป็นความเสียหายจากแรงอัด

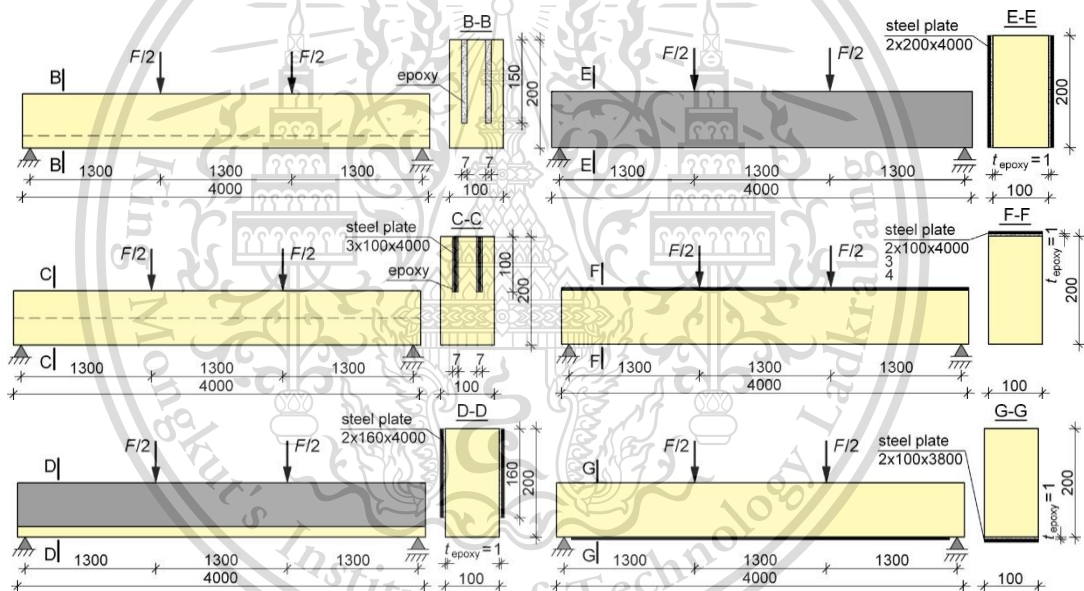


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ (a) ารใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาต (b) ำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น รูปที่ 2.3 แสดงภาคตัดขวางของชิ้นงานขนาดย่อ (a) และภาคตัดขวางขนาดปกติ (b) [3]

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

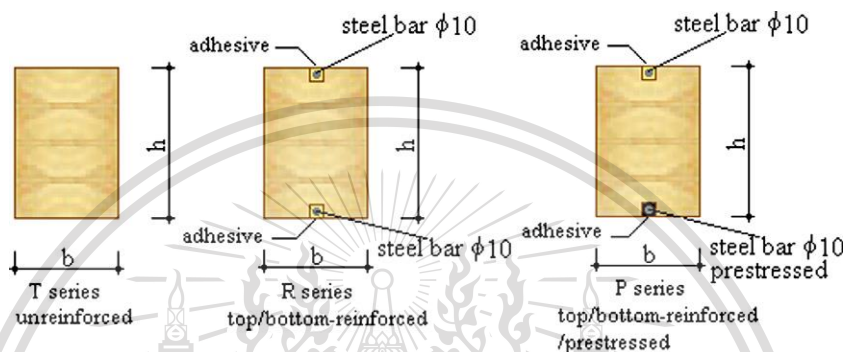
2.2.4 Jerzy Jasieńko, Tamasz P. Nowak [2014] ได้นำเสนองานเกี่ยวกับการเพิ่มความสามารถในการรับแรงของคานไม้ที่ทำจากวัสดุที่เป็นไม้เก่าที่นำมาจากโครงสร้างอื่น และไม้ใหม่ที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน โดยทำการเสริมความแข็งแรงด้วยเหล็กแผ่น ซึ่งการติดเหล็กแผ่นมีทั้งหมด 6 รูปแบบดังรูปที่ 2.4 ทดสอบด้วยวิธีการทดสอบ four-point bending ทำการศึกษาค่าความแข็งแรงแรงโมดูลัสการแตกหัก ระยะการแอ่นตัวและความสามารถในการรับแรงของคานไม้ ผลจากการทดสอบพบว่า การเซาะร่องไม้บริเวณผิวด้านที่รับแรงแล้วใส่เหล็กแผ่นนั้น เป็นรูปร่างที่ทำให้คานไม้มีความสามารถในการรับแรงมากที่สุด แต่อาจเกิดการแตกของไม้บริเวณผิวสัมผัสกับเหล็กได้ง่าย จากผลของความสามารถในการรับแรงที่เพิ่มขึ้นพบว่า การเสริมความแข็งแรงคานไม้ด้วยการติดเหล็กแผ่นสามารถเทียบเคียงกับการใช้วัสดุที่เป็น FRP (Fiber Reinforced Polymer) ข้อดีของ FRP คือน้ำหนักเบากว่าเหล็ก มีคุณสมบัติทนการกัดกร่อนและทนความร้อนสูงกว่าเหล็ก แต่มีราคาที่สูงกว่า



รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบการเสริมแรง [4]

2.2.5 Vincenzo De Luca, Cosimo Marano [2012] ได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มความสามารถในการรับแรงของไม้อัดด้วยการติดวัสดุเสริมแรงคือ แท่งเหล็ก (steel bar) โดยทำการติดแท่งเหล็กบริเวณด้านบนและด้านล่างของไม้ดังรูปที่ 2.5 ชิ้นงานทดสอบจะมี 3 แบบคือ ไม้อัดที่ไม่เสริมแรง (T series) ไม้อัดที่เสริมแรงด้วยแท่งเหล็กปกติ (R series) และไม้อัดที่เสริมแรงด้วยแท่งเหล็กอัดแรง (P series) ในการเปรียบเทียบความสามารถในการรับแรงของแต่ละรูปแบบจะทำการทดสอบ four-point bending โดยจะทำการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรง ภาระไหลดสูงสุดและ

ความเหนียวของไม้อัด โดยผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ไม้อัดที่ไม่เสริมแรงจะรับภาระโหลดสูงสุดในด้านที่รับแรงดึงทำให้เกิดความเสียหายมาก ไม้อัดที่เสริมแรงด้วยแท่งเหล็กปกติจะรับภาระโหลดสูงสุดในด้านที่รับแรงอัดทำให้เกิดความเสียหายในด้านที่รับแรงดึงลดลง และไม้อัดที่เสริมแรงด้วยแท่งเหล็กอัดแรงจะรับภาระโหลดสูงสุดเช่นเดียวกับไม้อัดที่เสริมแรงด้วยแท่งเหล็กปกติ แต่ความเสียหายที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กกว่า และมีชิ้นงานทดสอบ 1 ชิ้นที่แท่งเหล็กเกิดการแตกทำให้อาจจะต้องมีการออกแบบขนาดแท่งเหล็กให้เหมาะสม



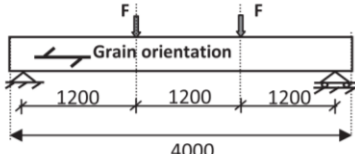
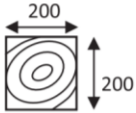
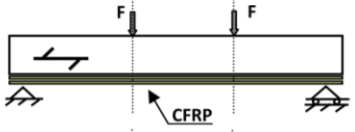

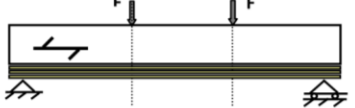

รูปที่ 2.5 ภาคตัดขวางของแต่ละรูปแบบ [5]

2.2.6 M. Khelifa, S. Achet, P.-J. Mausoon [2015] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมการดัดของคานไม้เสริมแรงด้วย Carbon fiber reinforced polymer (CFRP) โดยการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้โปรแกรม ABAQUS และทำการเปรียบเทียบความถูกต้องของผลที่ได้กับการศึกษาเชิงทดลองของงานวิจัยก่อนหน้า ซึ่งใช้วิธีการทดสอบแบบ four-point bending โดยสร้างแบบจำลองทั้งหมด 3 แบบ ซึ่งมีขนาดของตัวคานไม้ที่เหมือนกันแต่มีจำนวนชั้นของ CFRP ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ทำการศึกษาความแข็งแรงต่อการดัดความสัมพันธ์ของความสามารถในการรับแรงและระยะการอ่อนตัวของคานไม้ และศึกษาพฤติกรรมการเสียหายของไม้ ผลจากการวิจัยพบว่าค่าความแข็งแรงต่อการดัดของแบบจำลองที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ 2 ชั้น และ 3 ชั้นเพิ่มขึ้น 41.82% และ 60.24% ตามลำดับเมื่อเทียบกับคานไม้ที่ไม่ได้เสริมแรง พฤติกรรมการแตกของคานไม้ที่เสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์นั้นจะเริ่มแตกจากด้านที่รับแรงดึงก่อนเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Beam Types and description	Details of a typical beam	Cross section
(a) Unreinforced (control) beams (CT) - Not to Scale; - Dimensions in mm; - Beam series: CT#1, CT#2, CT#3		
(b) 2-layers reinforced beams (RT) - Beam series: RT#4, RT#5		
(c) 3-layers reinforced beams (RT) - Beam series: RT#6, RT#7		

รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบการติดวัสดุเสริมแรง [6]

2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับไม้

ไม้เป็นวัสดุที่มีอยู่ทั่วไปแตกต่างกันตามสภาพภูมิประเทศนั้น ๆ ไม้มีประโยชน์ในหลายด้านเช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ ในด้านการก่อสร้างไม้ยังเป็นวัสดุที่มีประโยชน์มากมายหลายอย่างเช่น ใช้เป็นโครงสร้างอาคาร เสาไฟฟ้า หมอนรางรถไฟ เป็นต้น ไม้มีความแข็งแรงสูง มีความยืดหยุ่นตัวสามารถทนต่อแรงกระแทกและสั่นสะเทือนได้ดี กันความร้อนได้ดี มีความทนทานและอายุการใช้งานสูง หากตัดขวางลำต้นของต้นไม้ขนาดใหญ่ให้เป็นแผ่นคล้ายเขียงจะทำให้เห็นภาพรวมโครงสร้างของลำต้น โดยลำต้นของต้นไม้ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

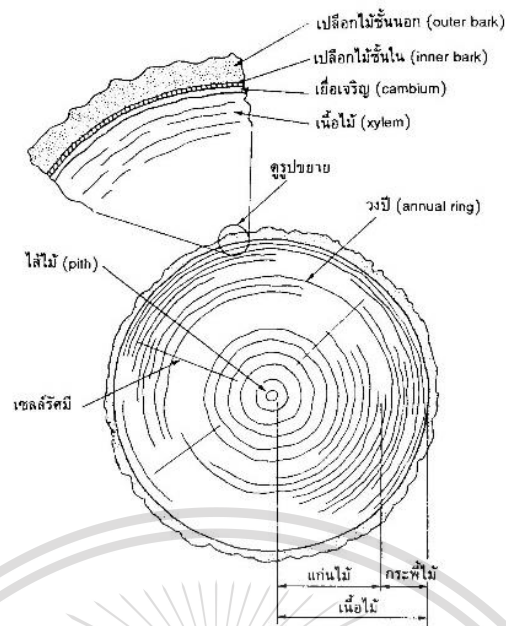
- เปลือกไม้ เป็นส่วนที่อยู่นอกสุดของลำต้น โดยเปลือกชั้นนอกทำหน้าที่ป้องกันลำต้นจากสภาวะแวดล้อมภายนอก ส่วนเปลือกชั้นในทำหน้าที่ลำเลียงอาหารไปยังส่วนต่าง ๆ
- เยื่อเจริญ เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเปลือกชั้นในเข้ามา ทำหน้าที่แบ่งหรือสร้างเซลล์ใหม่เป็นเนื้อไม้และเปลือกไม้ชั้นใน
- กระพี้ไม้ เป็นส่วนที่อยู่ระหว่างเยื่อเจริญกับแก่นไม้ ทำหน้าที่ลำเลียงอาหารและน้ำจากรากขึ้นไปยังใบ ความแข็งแรงของกระพี้ไม้และแก่นไม้ไม่แตกต่างกันมาก แต่กระพี้ไม้จะมีความทนทานน้อยกว่า
- วงรอบปี มีลักษณะเป็นวงกลมรอบ ๆ แก่นไม้แสดงถึงการเจริญเติบโตของไม้ในแต่ละปี
- แก่นไม้ เป็นส่วนของเนื้อไม้เป็นเซลล์ไม่ทำงานแล้ว แก่นเป็นส่วนของไม้ที่ให้ความแข็งแรงมากที่สุด

6. ใจไม้ เป็นส่วนที่อยู่กลางลำต้น ใจไม้ของต้นไม้ที่มีอายุมากจะเริ่มกลายเป็นโพรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.7 แสดงรูปตัดลำต้นไม้ [8]

2.4 ประเภทของไม้

การจำแนกประเภทของไม้ไทยสำหรับการก่อสร้างจะคำนึงถึงสมบัติทางกลและความทนทานของไม้เป็นหลัก โดยไม้เนื้อแข็งคือ ไม้ที่มีความถ่วงจำเพาะสูงมีกลสมบัติและความทนทานดี ไม้เนื้ออ่อน คือไม้ที่มีความถ่วงจำเพาะต่ำมีกลสมบัติและความทนทานน้อยกว่า

ตารางที่ 2.1 ประเภทของไม้ตามเกณฑ์ของกรมป่าไม้

ประเภทของไม้	ความแข็งแรงต่อการตัด (กก./ซม. ²)	ความทนทาน (ปี)
ไม้เนื้อแข็ง	> 1000	> 6
ไม้เนื้อแข็งปานกลาง	600 – 1000	2 – 6
ไม้เนื้ออ่อน	< 600	< 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 สมบัติทางกายภาพของไม้

สมบัติทางกายภาพของไม้ที่สำคัญได้แก่ ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของไม้ และความชื้นในเนื้อไม้ที่จะส่งผลต่อการยืดตัวและหดตัวของไม้ในสภาวะการใช้งาน ปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรง (strength) ของไม้ การศึกษาสมบัติทางกายภาพของไม้จึงจำเป็นสำหรับใช้ในการพิจารณาเลือกไม้ให้เหมาะสมกับการใช้งาน

2.5.1 ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของไม้

ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของไม้เป็นคุณสมบัติเกี่ยวกับน้ำหนักและปริมาตรของไม้ โดยมีปัจจัยขึ้นกับน้ำและปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในเนื้อไม้ ไม้ที่มีความหนาแน่นหรือความถ่วงจำเพาะสูงจะเป็นไม้ที่มีความแข็งแรงและความแกร่งสูง

การคำนวณหาความหนาแน่นสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2.1)$$

ρ คือ ความหนาแน่นของไม้

m คือ น้ำหนักของไม้

V คือ ปริมาตรของไม้

การคำนวณหาความถ่วงจำเพาะสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$S.G. = \frac{\rho}{\rho_w} \quad (2.2)$$

$S.G.$ คือ ความถ่วงจำเพาะของไม้

ρ คือ ความหนาแน่นของไม้

ρ_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ

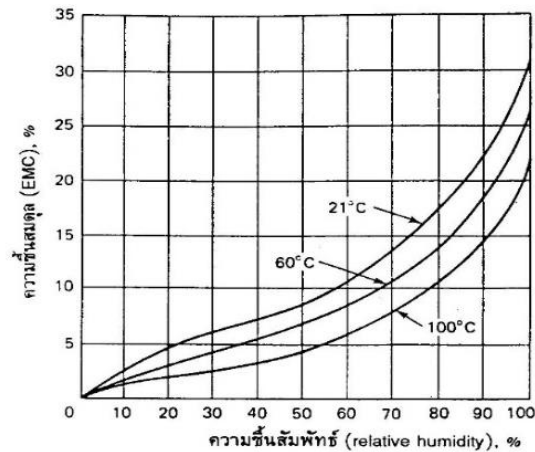
2.5.2 ความชื้นในเนื้อไม้

ไม้สามารถดูดความหรือคายความชื้นได้จนกระทั่งมีความชื้นถึงจุดสมดุลกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ เรียกความชื้นในไม้ที่สภาวะนี้ว่า ความชื้นสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ [8]

จากรูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุลของไม้กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ ซึ่งสามารถนำไปพิจารณาความชื้นที่เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานจริง เพื่อที่จะไม่ทำให้ไม้ยืดหรือหดตัวมากเกินไปจนเกิดการบิดงอและโก่งตัวจนเสียรูป ดังนั้น ไม้ที่จะนำมาใช้งานควรเป็นไม้ที่ผ่านการอบแห้งโดยมีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับปริมาณความชื้นสมดุล เพราะจะทำให้ไม้มีความแข็งแรงสูงขึ้นและยืดหดตัวน้อยลง

2.6 สมบัติทางกลของไม้

2.6.1 กำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Strength)

กำลังต้านทานแรงดัดจะถูกพิจารณาในรูปโมดูลัสการแตกหัก (Modulus of Rupture) โดยสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$MOR = \frac{3}{2} \times \frac{PL}{bh^2} \quad (2.3)$$

MOR คือ โมดูลัสการแตกหัก

P คือ แรงกระทำสูงสุด ณ จุดวิบัติ

L คือ ความยาวของจตุรกรรับ

b คือ ความกว้างของชิ้นงาน

h คือ ความสูงของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.6.2 ความแข็งแรงต่อการดัด (Flexural Stiffness)

ความแข็งแรงต่อการดัด คือผลคูณระหว่างโมดูลัสความยืดหยุ่นและโมเมนต์ความเฉื่อย ซึ่งพิจารณาภายในขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบหาความต้านทานต่อการแอ่นของคานในแนวตั้งเป็นค่าที่ใช้ในการวัดความแข็งแรง (Stiffness) ของวัสดุ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.4)

$$EI = \frac{PL^3}{48\Delta} \quad (2.4)$$

E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น

P คือ แรงกระทำสูงสุด ณ จุดวิบัติ

L คือ ความยาวของจตุรรองรับ

Δ คือ ค่าการแอ่นตัวสูงสุดก่อนเกิดการเปลี่ยนรูป

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย

2.6.3 โมดูลัสคืนตัว (Modulus of Resilience)

โมดูลัสคืนตัว หมายถึง ค่าสมบัติทางกลที่ใช้วัดพิกัดความเหนียว (Toughness) หรือพิกัดของค่าขีดความสามารถต่อการต้านแรงกระแทก (Shock-Resistance) ของไม้เมื่อแรงกระทำที่ไม้ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ (2.5)

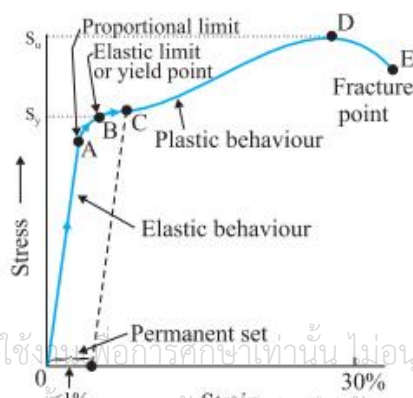
$$Re = \frac{S^2}{2E} \quad (2.5)$$

Re คือ โมดูลัสคืนตัว

S คือ ความเค้นสูงสุดที่วัสดุสามารถรับได้โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงถาวร

E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น

2.6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด [9]

This material is reserved for educational use only; not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 2.9 เป็นกราฟที่ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด โดยช่วง 0 ถึง A เป็นกราฟเส้นตรง แสดงว่าความเค้นแปรผันโดยตรงกับความเครียด ถ้าปล่อยแรงดึงออกวัสดุจะกลับคืนสู่สภาพเดิม ที่จุด A เป็นค่าความเค้นสูงสุดที่ความเค้นแปรผันโดยตรงกับความเครียด เรียกจุด A ว่า ขีดจำกัดของสัดส่วน (Proportional Limit) จุด B เป็นจุดสุดท้ายที่วัสดุสามารถกลับสู่สภาพเดิมได้ เรียกจุด B ว่า ขีดจำกัดความยืดหยุ่น (Elastic Limit)

เมื่อเลยจุด C วัสดุจะยืดออกได้เองโดยไม่ต้องออกแรงเพิ่มขึ้น เรียกจุด C ว่า จุดคราก (Yield Point) เมื่อออกแรงดึงวัสดุต่อไปอีกจนถึงจุด D ซึ่งเป็นจุดสูงสุดที่วัสดุจะรับความเค้นได้ เรียกจุด D ว่า จุดประลัย (Ultimate Strength) จากนั้นวัสดุจะยืดตัวออกเองจนถึงจุด E วัสดุจะขาดออกจากกัน เรียกจุด E ว่า จุดแตกหัก (Fracture point)

การเปลี่ยนแปลงจากจุด 0 ถึงจุด B เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบ Elastic คือวัสดุจะสามารถกลับสู่สภาพเดิมเมื่อหยุดออกแรง ส่วนการเปลี่ยนแปลงหลังจากจุด B เป็นการเปลี่ยนแปลงแบบ Plastic คือวัสดุไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้

2.7 สมบัติทางกลของไม้สำหรับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เนื่องจากไม้เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติแตกต่างกันในแต่ละทิศทาง (Orthotropic) ในการกำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุจำเป็นต้องคำนวณเพื่อหาค่าคงที่ทางวิศวกรรมสำหรับระบุความแข็งแรงของวัสดุในช่วงยืดหยุ่น (elastic) ทั้ง 3 ทิศทางที่ได้มาจากการทดสอบ การคำนวณด้วยเมทริกซ์นี้โดยเงื่อนไขในเมทริกซ์ความแข็งแรงยืดหยุ่นระบุมาจากคู่มือการวิเคราะห์การใช้งานโปรแกรม ABAQUS ดังนี้

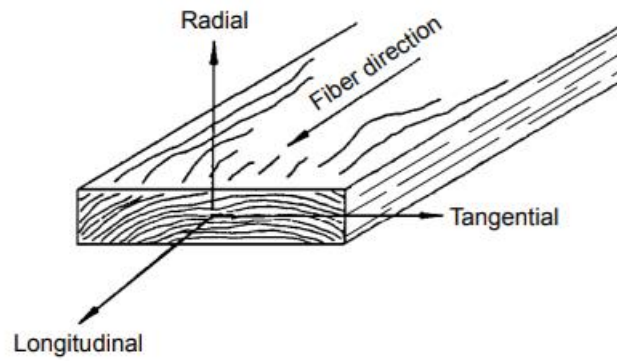
$$\begin{Bmatrix} \varepsilon^{11} \\ \varepsilon^{22} \\ \varepsilon^{33} \\ \gamma^{12} \\ \gamma^{13} \\ \gamma^{23} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/E_1 & -\nu_{21}/E_2 & -\nu_{31}/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{12}/E_1 & 1/E_2 & -\nu_{32}/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ -\nu_{13}/E_1 & -\nu_{23}/E_2 & 1/E_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1/G_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{13} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1/G_{23} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{12} \\ \sigma_{13} \\ \sigma_{23} \end{Bmatrix} \quad (2.7)$$

โดยค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (E) อัตราส่วนปัวซอง (ν) และโมดูลัสของแรงเฉือน (G) ได้มาจากการทดสอบสมบัติทางกลของไม้ในแต่ละทิศทาง โดยกำหนดแนวทแยงยาว (1) แนวสัมผัส (2) และแนวรัศมี (3) ดังรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.10 แสดงทิศทางของไม้ [10]

ในการกำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุจำเป็นต้องคำนวณเพื่อหาค่าคงที่ทางวิศวกรรมสำหรับ
 ระบุความแข็งแรงของวัสดุในช่วงเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic) การคำนวณด้วยเมทริกซ์นี้โดย
 เงื่อนไขในเมทริกซ์คู่มือการวิเคราะห์การใช้งานโปรแกรม ABAQUS จากฟังก์ชันเพิ่มเติมของ Hill's
 potential ดังนี้

$$F(\sigma) = \sqrt{F(\sigma_{22} - \sigma_{33})^2 + G(\sigma_{33} - \sigma_{11})^2 + H(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + 2L\sigma_{23}^2 + 2M\sigma_{31}^2 + 2N\sigma_{12}^2} \quad (2.8)$$

$$F = \frac{(\sigma^0)^2}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{22}^2} + \frac{1}{\sigma_{33}^2} - \frac{1}{\sigma_{11}^2} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_{22}^2} + \frac{1}{R_{33}^2} - \frac{1}{R_{11}^2} \right), \quad (2.9)$$

$$G = \frac{(\sigma^0)^2}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{33}^2} + \frac{1}{\sigma_{11}^2} - \frac{1}{\sigma_{22}^2} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_{33}^2} + \frac{1}{R_{11}^2} - \frac{1}{R_{22}^2} \right), \quad (2.10)$$

$$H = \frac{(\sigma^0)^2}{2} \left(\frac{1}{\sigma_{11}^2} + \frac{1}{\sigma_{22}^2} - \frac{1}{\sigma_{33}^2} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R_{11}^2} + \frac{1}{R_{22}^2} - \frac{1}{R_{33}^2} \right), \quad (2.11)$$

$$L = \frac{3}{2} \frac{(\tau^0)^2}{\sigma_{23}} = \frac{3}{2R_{23}^2} \quad (2.12)$$

$$M = \frac{3}{2} \frac{(\tau^0)^2}{\sigma_{13}} = \frac{3}{2R_{13}^2} \quad (2.13)$$

$$N = \frac{3}{2} \frac{(\tau^0)^2}{\sigma_{12}} = \frac{3}{2R_{12}^2} \quad (2.14)$$

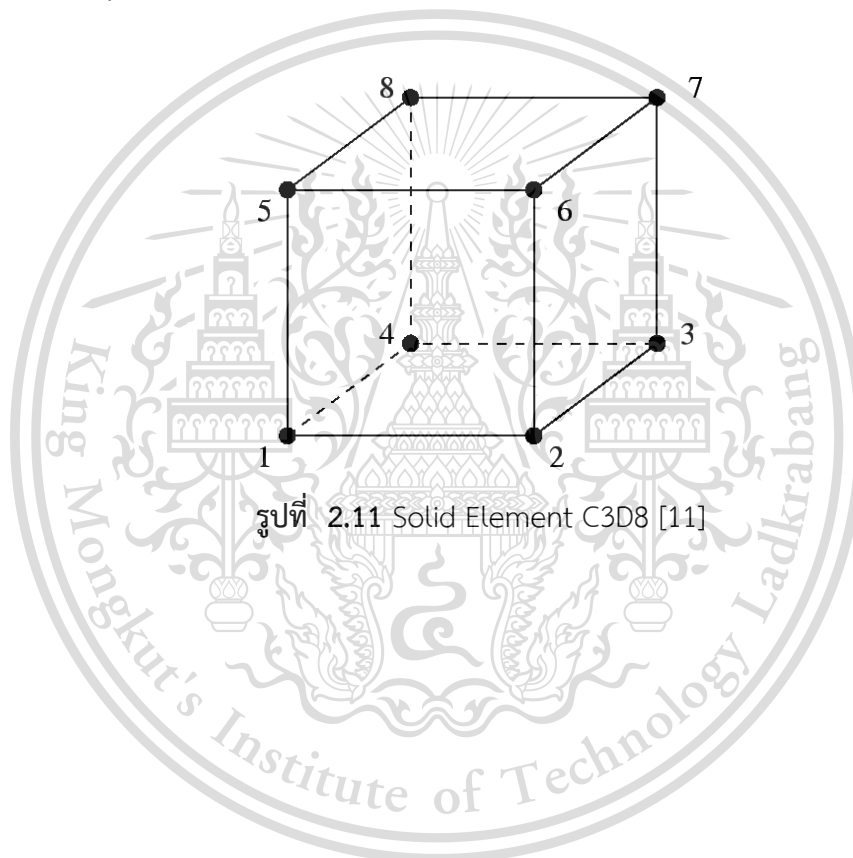
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.8 ชนิดของเอลิเมนต์

ในการสร้างแบบจำลองแผ่นกั้นชานชาลาแบบติดตั้งตัวเสริมแรงและไม่ติดตั้งตัวเสริมแรงนี้ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นจะสร้างเป็นแบบจำลอง 3 มิติโดยใช้เอลิเมนต์เป็นแบบจำลองทั้งแผ่นกั้นชานชาลาและแผ่นเหล็กเสริมแรงต่าง ๆ ด้วย Solid Element C3D8 เป็นเอลิเมนต์ชนิด C3D8 มีลักษณะเป็นทรงลูกบาศก์ซึ่งประกอบไปด้วยโหนด 8 โหนด ในแต่ละโหนดมีตัวแปรที่ใช้อธิบายการเสียรูป 3 ตัวแปร คือทิศทางในการเคลื่อนที่ตามแกน X, Y, และ Z โดยเอลิเมนต์ชนิดนี้สามารถใช้ได้ทั้งวัสดุที่มีคุณสมบัติเหมือนกันหรือวัสดุที่ต่างกันในแต่ละชั้นได้ และสามารถวิเคราะห์ความเค้นการเสียรูปต่าง ๆ ทั้งที่เป็นเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นดังรูปที่ 2.11 ซึ่งเอลิเมนต์เป็นเอลิเมนต์ทั่วไปในโปรแกรม ABAQUS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีการดำเนินวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการศึกษาวิจัย โดยจะทำการศึกษาอิทธิพลของการเสริมความแข็งแรงแผ่นกั้นชานซาลาด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ อิทธิพลของความยาวคาร์บอนไฟเบอร์และอิทธิพลของรูปแบบการติดคาร์บอนไฟเบอร์ เพื่อช่วยลดต้นทุนและช่วยให้การติดคาร์บอนไฟเบอร์มีความคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น ก่อนจะทำการสร้างแบบจำลองแผ่นกั้นชานซาลาจะต้องทำการตรวจสอบความแม่นยำของข้อมูลคุณสมบัติที่นำมาสร้างแบบจำลองไม้และขั้นตอนการสร้างแบบจำลองกับตัวอย่างงานวิจัยในอดีต [6] ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แบบจำลองไม้ในส่วนการรับแรงกระทำต่อระยะการแอ่นตัวและรูปแบบการกระจายความเค้น จากนั้นจึงทำการสร้างแบบจำลองแผ่นกั้นชานซาลาเพื่อวิเคราะห์แผ่นกั้นชานซาลาที่ไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์และติดคาร์บอนไฟเบอร์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยทำการศึกษาค่าการดูดซับพลังงาน (energy absorption) และค่าความแข็งแรงต่อการดัด (flexural stiffness) และหลังจากนั้นจึงนำผลสรุปดังกล่าวที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงในการออกแบบแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ ต่อไป โดยจะทำการวิเคราะห์ผลหากทำการลดความยาวในการติดคาร์บอนไฟเบอร์ลงและปรับรูปแบบการติดคาร์บอนไฟเบอร์ เพื่อใช้พัฒนาแผ่นกั้นชานซาลาให้มีความสามารถในการต้านทานแรงดัดมากยิ่งขึ้น

3.1 การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองไม้

ในการศึกษาหาคำตอบในการทดลองนั้น จำเป็นต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองไม้ที่ใช้ก่อน เพื่อตรวจสอบว่าผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองไม้ที่นำมาศึกษา มีความถูกต้องแม่นยำ โดยเลือกเปรียบเทียบผลของแบบจำลองไม้กับตัวอย่างงานวิจัยในอดีต [6] ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ABAQUS และทำการเปรียบเทียบผลการทดลองกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ มีผลการทดสอบที่ใกล้เคียงอย่างสูงจึงมีความน่าเชื่อถือในการนำมาใช้ศึกษาวิจัย

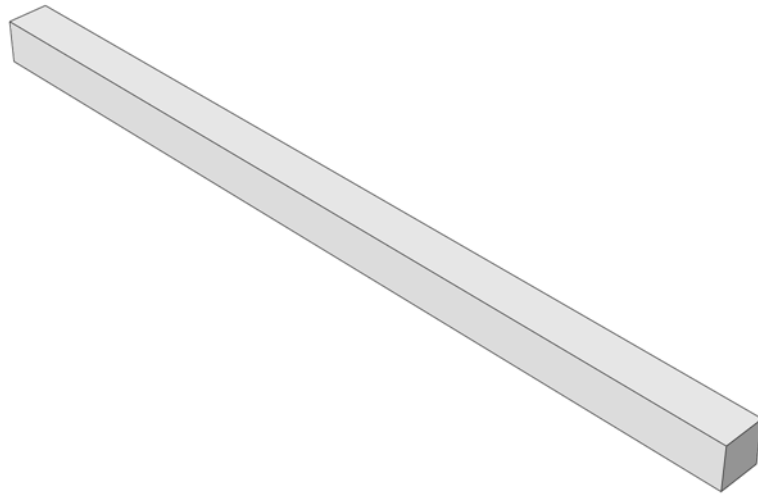
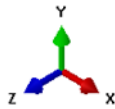
3.1.1 การสร้างแบบจำลองไม้

สร้างแบบจำลองไม้เปล่า โดยทำการสร้างแบบจำลองที่มีขนาด 200x200x4000 มิลลิเมตร โดยกำหนดวัสดุเป็นรูปแบบ solid ตามงานวิจัย [6] ที่กล่าวมา ดังรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.1 Part แบบจำลองไม้

3.1.2 การกำหนดคุณสมบัติแบบจำลองไม้ (Properties)

จากนั้นนำข้อมูลคุณสมบัติแบบจำลองของไม้จากตัวอย่างงานวิจัย [6] เพื่อนำไปแทนในการกำหนดคุณสมบัติของวัสดุไม้ในโปรแกรม ABAQUS ได้ทำการจำลองพฤติกรรมวัสดุ Elasticity เป็นวัสดุประเภท Orthotropic สามารถกำหนดเป็นประเภท Orthotropic หรือ Engineer constant และทำการจำลองพฤติกรรมวัสดุ Plasticity เป็นวัสดุประเภท Isotropic และเพิ่มความสามารถในส่วนของ Potential เนื่องจากไม้เป็นวัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีความแข็งแรงของไม้ขึ้นอยู่กับทิศทางแนวแกนของไม้จึงมีการระบุค่าคงที่ทางวิศวกรรมกำหนดให้พารามิเตอร์ความแข็งแรงยืดหยุ่นอิสระ 9 ตัวเพื่อระบุความแข็งแรงของไม้ทั้ง 3 แกนดังตารางที่ 3.1 นำไปคำนวณได้จากสมการ (2.8-2.14)

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงคุณสมบัติของไม้

Elasticity	$E_1 = 14.5 \text{ GPa}$	$\nu_{12} = 0.37$	$G_{12} = 590 \text{ MPa}$
	$E_2 = 1.2 \text{ GPa}$	$\nu_{13} = 0.43$	$G_{13} = 590 \text{ MPa}$
	$E_3 = 1.2 \text{ GPa}$	$\nu_{23} = 0.45$	$G_{23} = 73 \text{ MPa}$
Plasticity	$\sigma_{yield} = 70 \text{ MPa}$	$F = 0.35$	$L = 1.5$
	$Q = 750 \text{ MPa}$	$G = 0.4$	$M = 1.5$
	$b = 17$	$H = 0.6$	$N = 1.45$

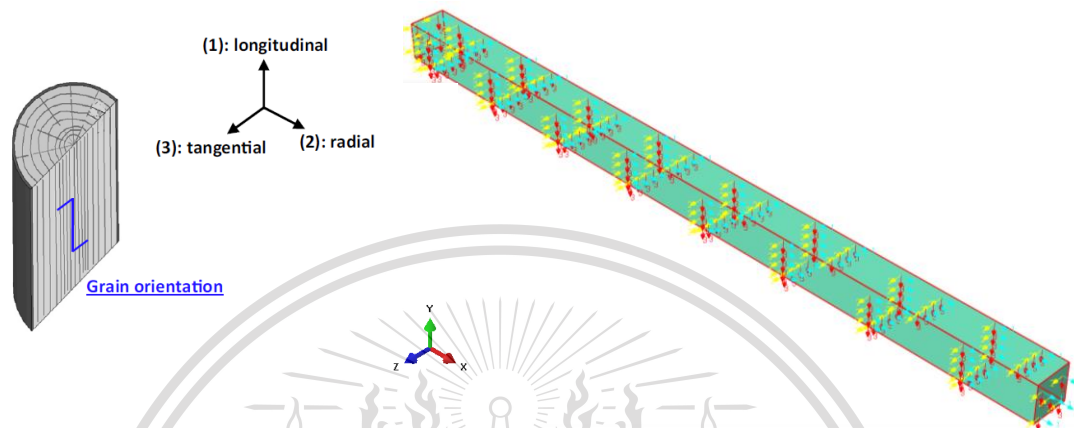
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.3 การกำหนดทิศทางของคุณสมบัติแบบจำลองไม้ (Orientation materials)

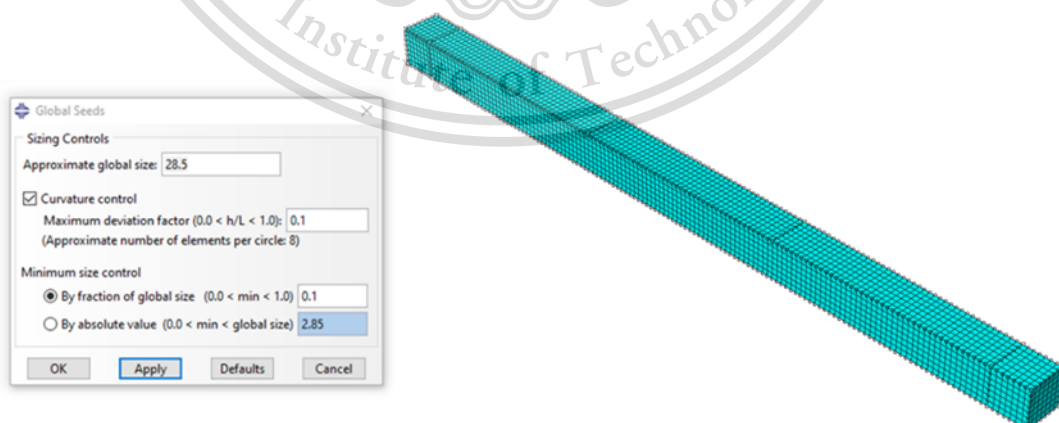
ทำการกำหนดแนวแกนของวัสดุไม้ตามตัวอย่างแบบจำลองงานวิจัย [6] กำหนดเป็นหมายเลข 1 คือแนวแกนไม้ตามยาว หมายเลข 2 คือแนวแกนไม้ตามรัศมี และหมายเลข 3 คือแนวแกนไม้ตามสัมผัส ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงทิศทางของแบบจำลองไม้

3.1.4 การกำหนดจำนวนเอลิเมนต์แบบจำลองไม้ (Mesh)

เมื่อทำการกำหนดคุณสมบัติให้วัสดุ จากนั้นจะทำการแบ่งจำนวนเอลิเมนต์ของไม้ตามตัวอย่างงานวิจัย [6] ดังรูปที่ 3.3 โดยกำหนดเอลิเมนต์ขนาด 28.5 ซึ่งมีจำนวนเอลิเมนต์แบบสี่เหลี่ยมของไม้จำนวนเท่ากับ 6860 เอลิเมนต์



รูปที่ 3.3 การแบ่งเอลิเมนต์ของไม้

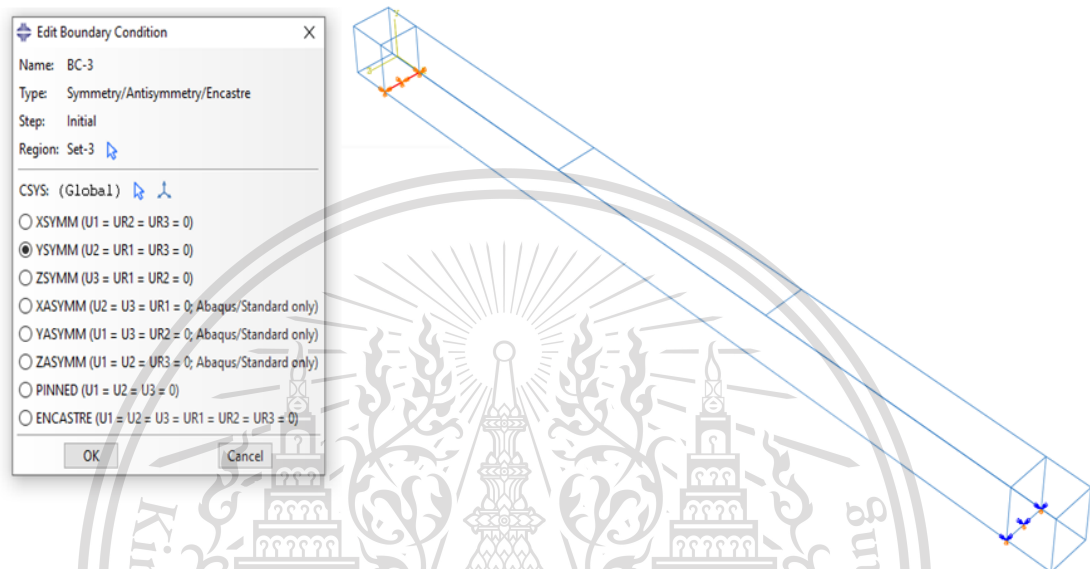
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

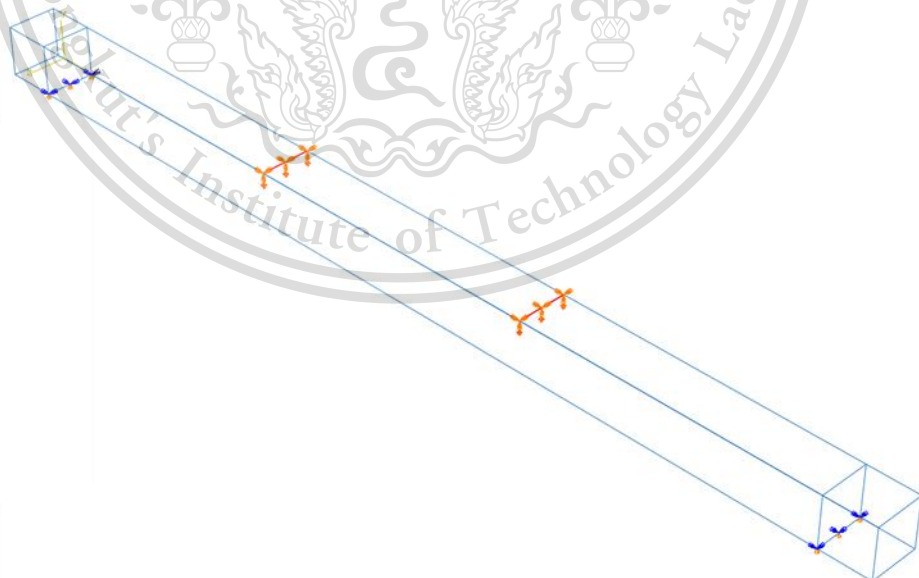
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.5 การกำหนดขอบเขตเงื่อนไขแบบจำลองไม้ (Boundary condition)

ทำการกำหนดขอบเขตเงื่อนไข (boundary condition) กำหนดจุดรองรับ โดยทำการกำหนดให้แนวแกน $Y = 0$ เพียงแกนเดียว ส่วนแกน X และ Z สามารถเคลื่อนที่ได้เพื่อให้มีลักษณะเดียวกับการทดสอบของงานวิจัย [6] ดังรูปที่ 3.4 และทำการกำหนดจุดรับแรงกระทำ (Load) ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตจุดรองรับ



รูปที่ 3.5 กำหนดจุดรับแรงกระทำ (Load)

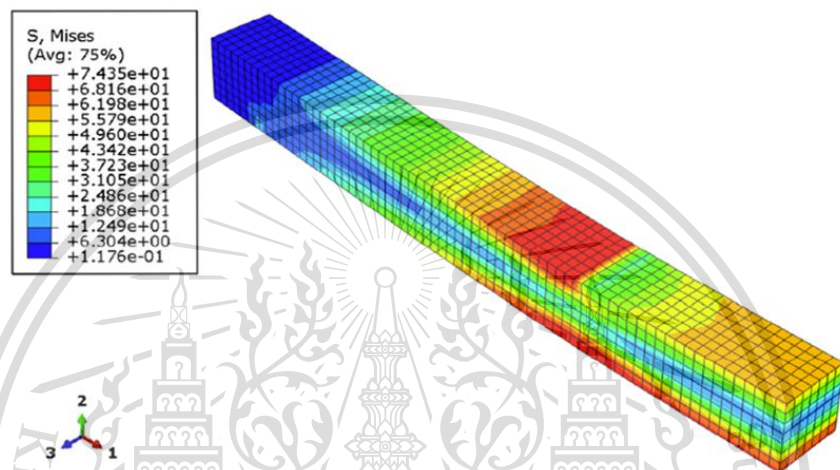
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

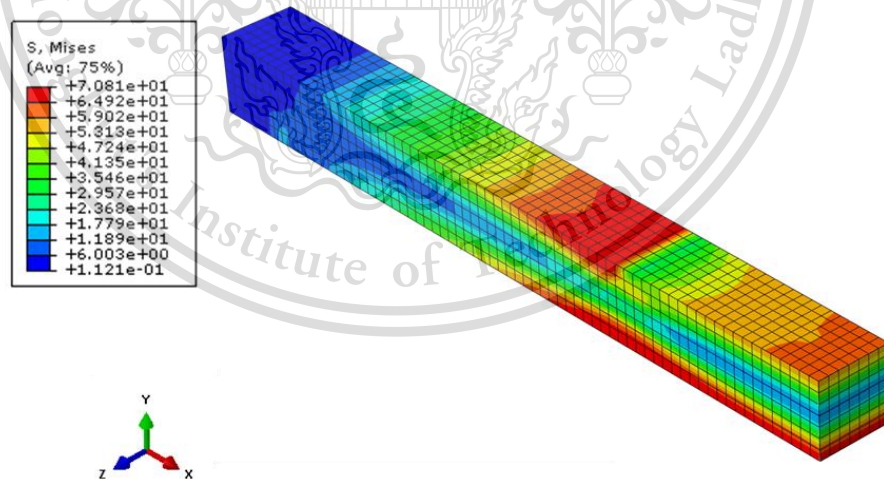
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.6 ผลการวิเคราะห์การตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองไม้

จากการสร้างแบบจำลองของไม้เพื่อวิเคราะห์ในการทำการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองไม้ที่นำมาศึกษาพบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับแบบจำลองของงานวิจัยที่นำมาศึกษา โดยในแบบจำลองของงานวิจัยที่นำมาศึกษามีค่าความเค้นสูงสุด 74.35 MPa เมื่อเทียบระหว่างงานวิจัย [6] ที่นำมาศึกษากับแบบจำลองที่สร้างพบว่าค่าความเค้นสูงสุดมีค่า 70.81 MPa ซึ่งใกล้เคียงถึง 95% และรูปแบบการกระจายความเค้นก็มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 3.6 - 3.7



รูปที่ 3.6 รูปแบบการกระจายความเค้นของผลการวิเคราะห์จากงานวิจัย [6]

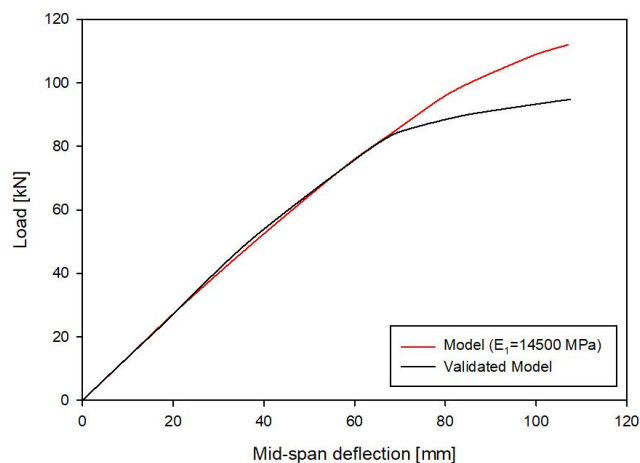


รูปที่ 3.7 รูปแบบการกระจายความเค้นจากการสร้างแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.8 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของงานวิจัย [6] และการสร้างแบบจำลองไม้

จากผลการตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองไม้นั้นพบว่า ในช่วง 0-70 มิลลิเมตรนั้นกราฟมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่ในช่วง 70 มิลลิเมตรขึ้นไปนั้นกราฟมีค่าแตกต่างกัน แต่สำหรับงานวิจัยของเราเน้นศึกษาในช่วงที่แผ่นกั้นชานชาลาสามารถแอ่นตัวได้ก่อนที่รถไฟจะกระแทกเข้ากับประตูกั้นชานชาลานั้นคือ 0-35 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้แบบจำลองที่สร้างนั้นมีค่าเหมาะสมต่อการนำไปสร้างแบบจำลองแผ่นกั้นชานชาลา

3.2 รายละเอียดแบบจำลองแผ่นกั้นชานชาลา

เมื่อทำการวิเคราะห์แล้วว่าข้อมูลที่น่ามามีความน่าเชื่อถือจึงทำการสร้างแบบจำลองแผ่นกั้นชานชาลา ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นไม้ขนาด 180×2000×38 มิลลิเมตร โดยจะทำการติดคาร์บอนไฟเบอร์ 8 รูปแบบ เพื่อศึกษาอิทธิพลของการติดคาร์บอนไฟเบอร์ อิทธิพลของความยาวคาร์บอนไฟเบอร์และอิทธิพลของรูปแบบการติดคาร์บอนไฟเบอร์

3.2.1 รายละเอียดแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์และไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์

ในส่วนแรกจะทำการเปรียบเทียบระหว่างแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์และไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแผ่นกั้นชานชาลา จุดใดที่มีความเสียหายมากที่สุดเพื่อใช้ในการนำไปปรับปรุงแผ่นเสริมแรงให้มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยกำหนดรูปแบบของแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์และไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.9

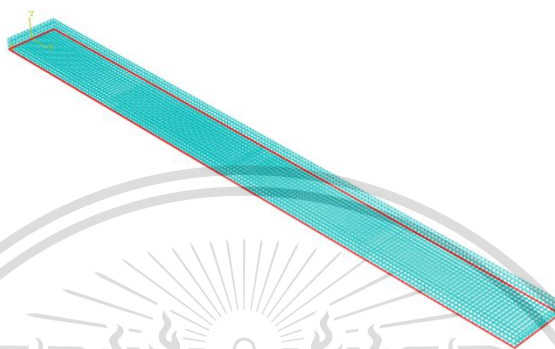
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์และไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์

No.	ชื่อรูปแบบ	ขนาดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (กว้าง×ยาว×หนา) (มิลลิเมตร)	การเสริมแผ่นเสริมแรง
1	Platform nosing	-	-
2	Platform nosing with CFRP	180 × 2000 × 0.22	เสริมช่วงล่างทั้งแผ่น



รูปที่ 3.9 แผ่นกั้นขานซาลาติดคาร์บอนไฟเบอร์

3.2.2 รายละเอียดแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ความยาวต่าง ๆ

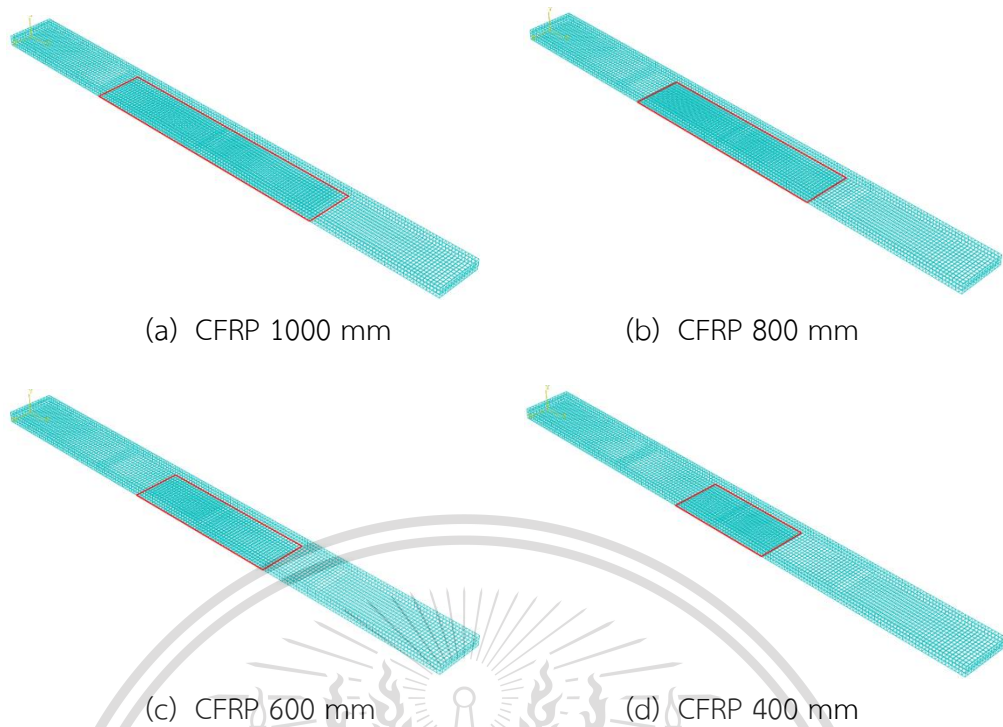
ในส่วนที่สองจะทำการศึกษาดังพฤติกรรมของแผ่นกั้นขานซาลาเมื่อทำการลดขนาดความยาวของตัวเสริมแรงลงว่ามีประสิทธิภาพลดลงน้อยลงเพียงใด เหมาะสมกับการลดต้นทุนหรือไม่ ซึ่งจะเปรียบเทียบกันทั้ง 5 รูปแบบ โดยกำหนดรายละเอียดของแผ่นกั้นขานซาลาแบบเสริมแรงความยาวต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.10

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ความยาวต่าง ๆ

No.	ชื่อรูปแบบ	ขนาดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (กว้าง×ยาว×หนา) (มิลลิเมตร)	การเสริมแผ่นเสริมแรง
1	CFRP 2000	180 × 2000 × 0.22	เสริมช่วงล่างทั้งแผ่น
2	CFRP 1000	180 × 1000 × 0.22	เสริมเฉพาะช่วงกลางแผ่น ความยาว 1000 มิลลิเมตร
3	CFRP 800	180 × 800 × 0.22	เสริมเฉพาะช่วงกลางแผ่น ความยาว 800 มิลลิเมตร
4	CFRP 600	180 × 600 × 0.22	เสริมเฉพาะช่วงกลางแผ่น ความยาว 600 มิลลิเมตร
5	CFRP 400	180 × 400 × 0.22	เสริมเฉพาะช่วงกลางแผ่น ความยาว 400 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้มีการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์นำเข้าไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(a) CFRP 1000 mm

(b) CFRP 800 mm

(c) CFRP 600 mm

(d) CFRP 400 mm

รูปที่ 3.10 แผ่นกั้นขานชาลาติดคาร์บอนไฟเบอร์ความยาวต่าง ๆ

3.2.3 รายละเอียดแผ่นกั้นขานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ

ในส่วนที่สามจะทำการศึกษาถึงพฤติกรรมของแผ่นกั้นขานชาลาเมื่อทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบการติดคาร์บอนไฟเบอร์ว่ามีส่งผลต่อความสามารถในการต้านทานแรงดัดหรือไม่ ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบกันทั้ง 4 รูปแบบโดยกำหนดรูปแบบของแผ่นกั้นขานชาลาติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.4 และรูปที่ 3.11

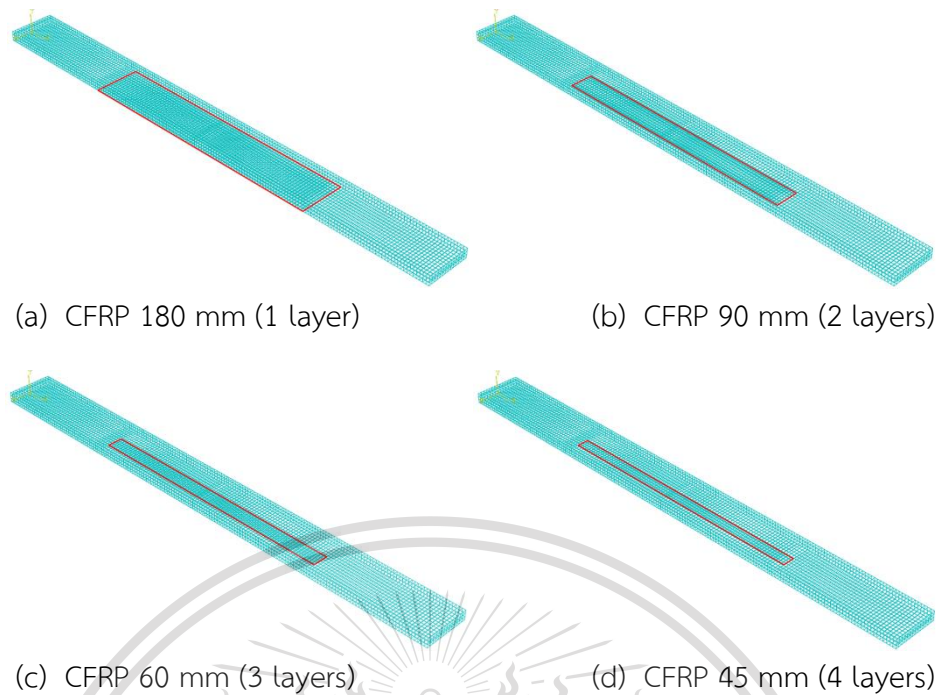
ตารางที่ 3.4 รายละเอียดแผ่นกั้นขานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ

No.	ชื่อรูปแบบ	ขนาดแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ (กว้าง×ยาว×หนา) (มิลลิเมตร)	การเสริมแผ่นเสริมแรง
1	CFRP 180 (1 layer)	180 × 1000 × 0.22	เสริมเฉพาะช่วงกลางแผ่นขนาด 180 มิลลิเมตร 1 ชั้น
2	CFRP 90 (2 layers)	90 × 1000 × 0.22	เสริมเฉพาะช่วงกลางแผ่นขนาด 90 มิลลิเมตร 2 ชั้น
3	CFRP 60 (3 layers)	60 × 1000 × 0.22	เสริมเฉพาะช่วงกลางแผ่นขนาด 60 มิลลิเมตร 3 ชั้น
4	CFRP 45 (4 layers)	45 × 1000 × 0.22	เสริมเฉพาะช่วงกลางแผ่นขนาด 45 มิลลิเมตร 4 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์ผู้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง เนื้อหาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.11 แผ่นกั้นขานขาลาติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ

3.3 การสร้างแบบจำลองแผ่นกั้นขานขาลา

สร้างแบบจำลองแผ่นกั้นขานขาลาที่ติดและไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์จำนวน 2 ตัวอย่าง โดยแบบจำลองทั้งหมดสามารถทำตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1 การสร้างแบบจำลองแผ่นกั้นขานขาลาและแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

สร้างแบบจำลองโดยการสร้างส่วนประกอบต่าง ๆ ในการจำลองคือแผ่นกั้นขานขาลา โดยแผ่นกั้นขานขาลามีขนาด $180 \times 2000 \times 38$ มิลลิเมตร รูปแบบ solid ดังรูปที่ 3.12 และแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์มีขนาด $180 \times 2000 \times 0.22$ มิลลิเมตร รูปแบบ shell ดังรูปที่ 3.13

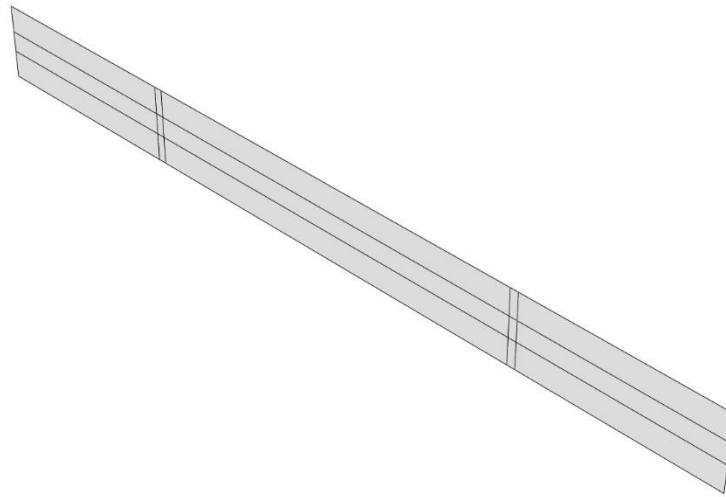


รูปที่ 3.12 Part แบบจำลองแผ่นกั้นขานขาลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.13 Part แบบจำลองแผ่นเสริมแรงคาร์บอนไฟเบอร์

3.3.2 การกำหนดคุณสมบัติแผ่นกั้นขานซาลาและแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

ทำการกำหนดคุณสมบัติของแผ่นกั้นขานซาลาเป็นวัสดุประเภทไม้ ได้ทำการจำลองพฤติกรรมวัสดุเป็นประเภท Engineer constant และส่วนพฤติกรรมวัสดุ Plasticity ประเภท Isotropic และเพิ่มความสามารถในส่วนของ Potential เนื่องจากไม้เป็นวัสดุไม่เป็นเนื้อเดียวกัน มีความแข็งแรงของไม้ขึ้นอยู่กับทิศทางแนวแกนของไม้จึงมีการระบุค่าคงที่ทางวิศวกรรมกำหนดให้พารามิเตอร์ความแข็งแรงยึดหยุ่นอิสระ 9 ตัว เพื่อระบุความแข็งแรงของไม้ทั้ง 3 แกนดังตารางที่ 3.5 นำไปคำนวณได้จากสมการ (2.8-2.14)

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงคุณสมบัติของไม้

Elasticity	$E_1 = 14.5 \text{ GPa}$	$\nu_{12} = 0.37$	$G_{12} = 590 \text{ MPa}$
	$E_2 = 1.2 \text{ GPa}$	$\nu_{13} = 0.43$	$G_{13} = 590 \text{ MPa}$
	$E_3 = 1.2 \text{ GPa}$	$\nu_{23} = 0.45$	$G_{23} = 73 \text{ MPa}$
Plasticity		$F = 0.35$	$L = 1.5$
	$\sigma_{yield} = 70 \text{ MPa}$	$G = 0.4$	$M = 1.5$
		$H = 0.6$	$N = 1.45$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

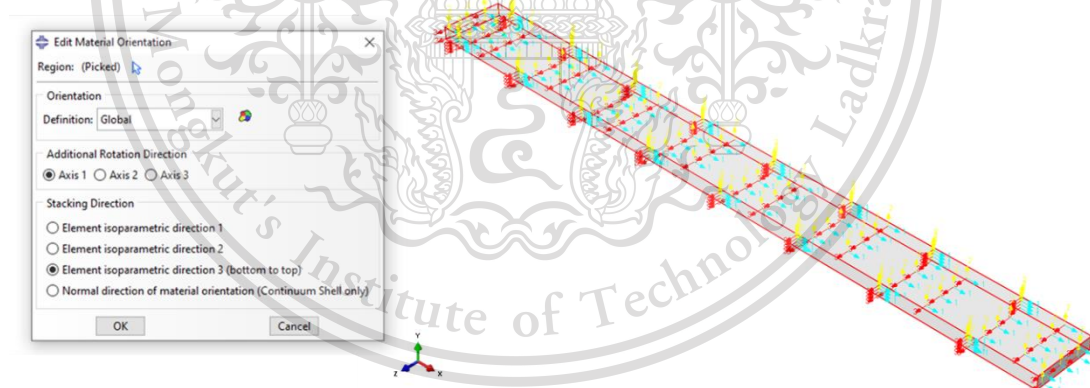
กำหนดคุณสมบัติของแผ่นเสริมแรงคาร์บอนไฟเบอร์ ในการวิเคราะห์คาร์บอนไฟเบอร์สามารถกำหนดพฤติกรรมวัสดุ Elasticity เป็นวัสดุประเภท engineer constant ในการจำลองวัสดุในโปรแกรม ABAQUS ซึ่งมีค่าคุณสมบัติดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงคุณสมบัติของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

Elasticity	$E_1 = 235 \text{ GPa}$	$\nu_{12} = 0.32$	$G_{12} = 4500 \text{ MPa}$
	$E_2 = 17 \text{ GPa}$	$\nu_{13} = 0.32$	$G_{13} = 4500 \text{ MPa}$
	$E_3 = 17 \text{ GPa}$	$\nu_{23} = 0.45$	$G_{23} = 2500 \text{ MPa}$

3.3.3 การกำหนดทิศทางของคุณสมบัติวัสดุ (Material Orientations)

ทำกำหนดแนวแกนไม้ของแผ่นกั้นชานชาลาในรูปแบบเดียวกับตัวอย่างชิ้นงานแผ่นกั้นชานชาลา ดังรูปที่ 3.14 โดยกำหนดเป็นหมายเลข 1 คือแนวแกนไม้ตามยาว หมายเลข 2 คือแนวแกนไม้ตามรัศมี หมายเลข 3 คือแนวแกนไม้ตามสัมผัส จากนั้นทำการกำหนดรูปแบบของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ดังรูปที่ 3.15

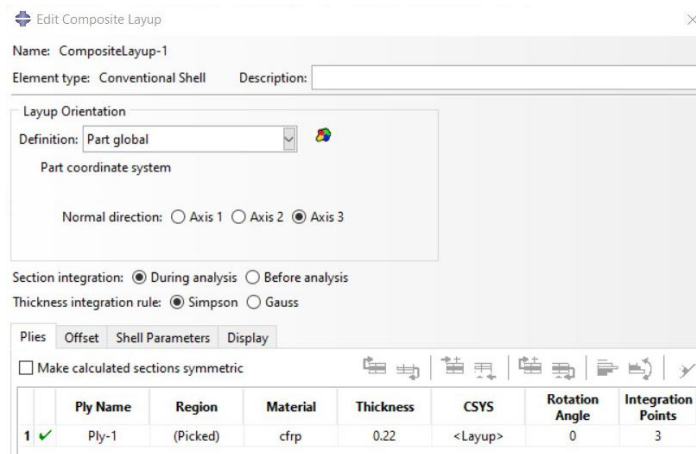


รูปที่ 3.14 ทิศทางของแบบจำลองแผ่นชั้นชานชาลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

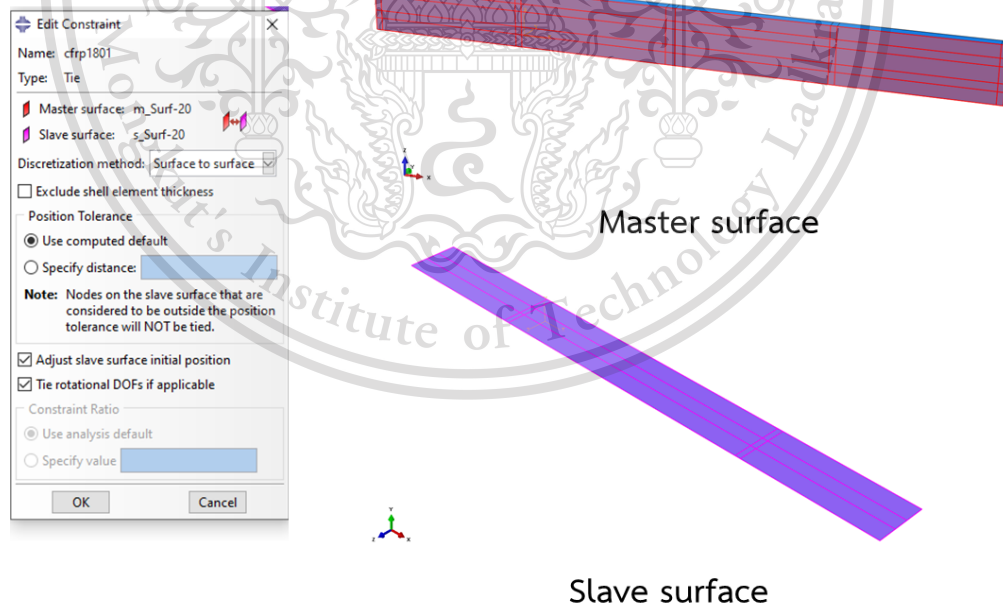
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.15 กำหนดทิศทางของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

3.3.4 การกำหนดแรงปฏิกริยายึดติด (Interaction)

ทำการกำหนดแรงปฏิกริยายึดติดในรูปแบบของ tie ทำการกำหนดแบบยึดติดโดยไม่แยกออกจากกันและไม่มีแรงเสียดทานระหว่างไม้และคาร์บอนไฟเบอร์ ดังรูปที่ 3.16 เมื่อทำการกำหนดเรียบร้อยแล้วจะได้แบบจำลองดังรูปที่ 3.17

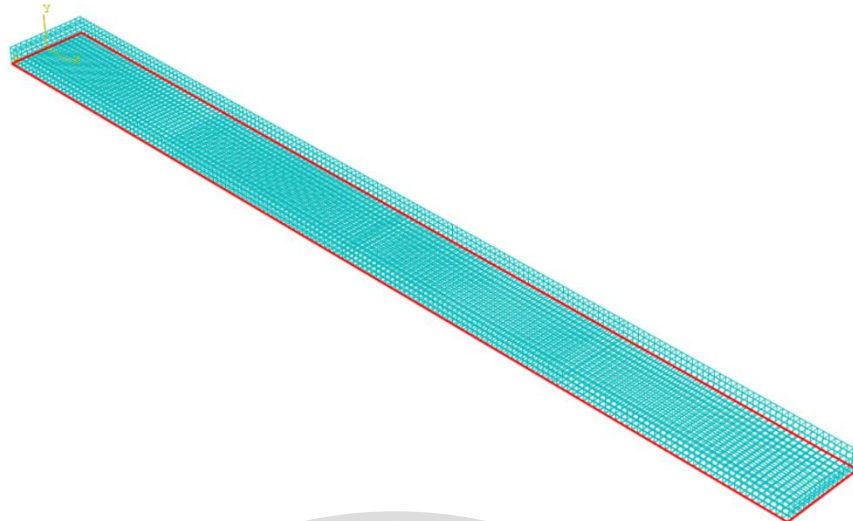


รูปที่ 3.16 การยึดติดกันของแผ่นกั้นชานชาลาและแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

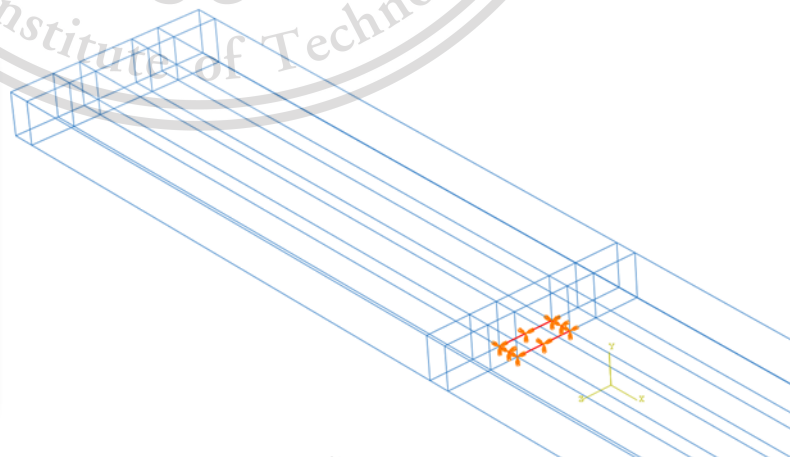
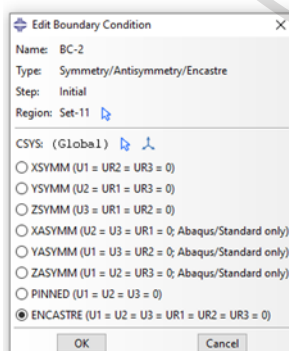
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.17 แผ่นกั้นชานซาลาติดคาร์บอนไฟเบอร์

3.3.5 การกำหนดขอบเขตเงื่อนไข (Boundary Condition)

ทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง โดยทำการกำหนดจุดยึดชิ้นงานที่บริเวณจุดรองรับแผ่นกั้นชานซาลา โดยใช้พื้นที่ขนาด 20x50 มิลลิเมตร จะทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตแบบจำลองให้มีลักษณะเหมือนกับของจริงมากที่สุด โดยจะทำการยึดจุดรองรับชิ้นงานระยะจากขอบเข้ามา 500 มิลลิเมตร ให้ไม่เคลื่อนที่ในแนวแกน $X(U1) = Y(U2) = Z(U3) = 0$ ทั้ง 2 จุด ดังแสดงในรูปที่ 3.18 จากนั้นจึงทำการกำหนดจุดรับแรงกระทำที่บริเวณกึ่งกลางชิ้นงานมีขนาด 30x100 มิลลิเมตร ซึ่งเท่ากับขนาดของตัวกันชนรถไฟ (lug) โดยที่จะกำหนดแรงขนาด 30.5 kN ดังแสดงในรูปที่ 3.19

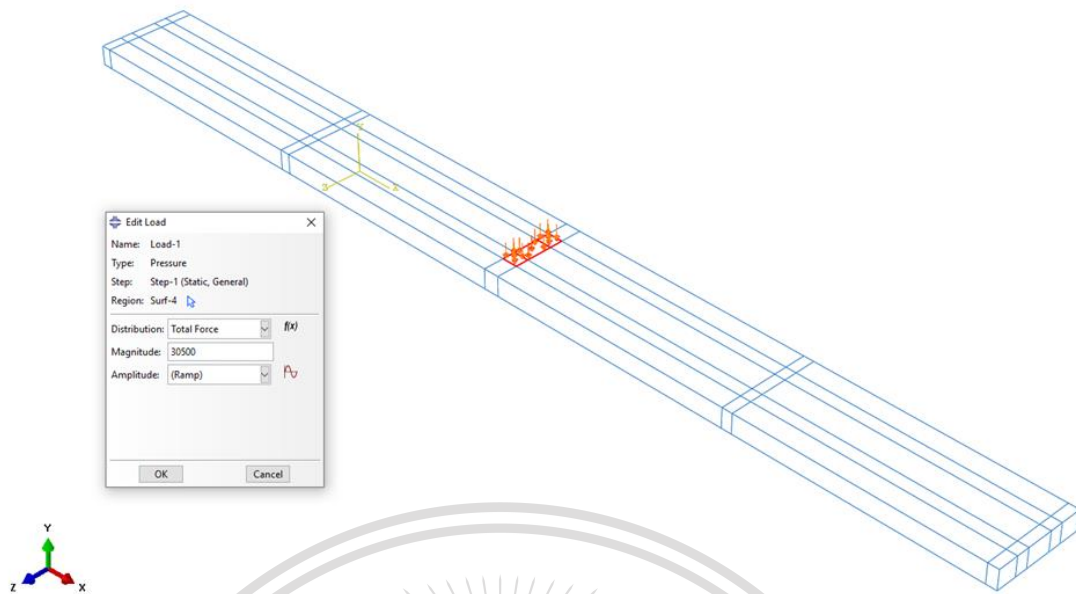


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.18 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่จุดรองรับของแบบจำลอง

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.19 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่จุดรับแรงกระทำของแบบจำลอง

3.3.6 การกำหนดจำนวนเอลิเมนต์ (Mesh)

ในการสร้างแบบจำลองแผ่นกั้นขานชาลาที่ไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์และแผ่นกั้นขานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์นี้ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นจะสร้างเป็นแบบจำลอง 3 มิติ โดยใช้เอลิเมนต์เป็นแบบจำลองทั้งแผ่นกั้นขานชาลาและแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ด้วย Solid Element C3D8 เป็นเอลิเมนต์ชนิด C3D8 ส่วนการตรวจสอบจำนวนเอลิเมนต์ที่เหมาะสมนั้นทำได้โดยการหาจำนวนเอลิเมนต์ที่มีผลต่อความเค้นสูงสุดและรูปแบบการกระจายความเค้น โดยการเปรียบเทียบค่าความเค้นสูงสุดและรูปแบบความเสียหาย โดยการเปรียบเทียบผลการทดสอบที่คำนวณผลมาจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จำนวนเอลิเมนต์ที่ต่างกันทั้งหมด 9 ค่ากับค่าความเค้นสูงสุดที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.7041 MPa ดังแสดงในตารางที่ 3.7 เมื่อนำมาเปรียบเทียบพบว่าที่เอลิเมนต์ขนาด 12 มีจำนวน 8640 เอลิเมนต์ ค่าความเค้นสูงสุดที่ได้มีความใกล้เคียงมากที่สุด มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 1 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.7 ผลการวิเคราะห์การกำหนดจำนวนเอลิเมนต์

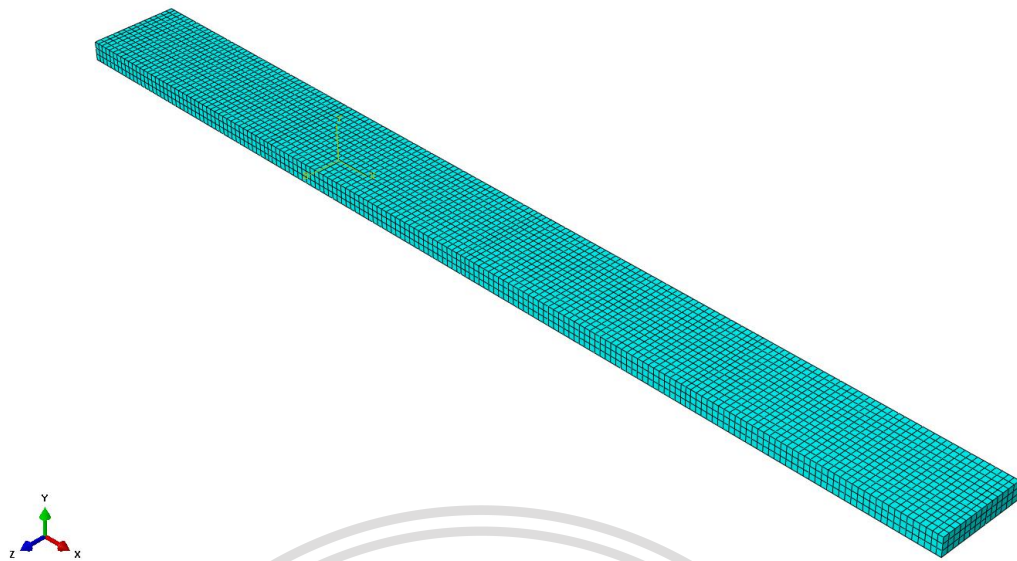
No.	Size of element	Number of element	Maximum Stress (MPa)	%Error
1	30	408	0.1358	80.71
2	20	2000	0.4881	30.67
3	15	4752	0.5977	15.10
4	13	6384	0.6510	7.54
5	12.5	6720	0.6588	6.43
6	12	8064	0.7111	1.0
7	11.5	8256	0.7160	1.70
8	11	8640	0.7257	3.07
9	10	14400	0.9472	34.53

จากนั้นทำการกำหนดจำนวนเอลิเมนต์ของแผ่นกั้นชานชาลาและแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ ใช้ขนาดของเอลิเมนต์ ขนาด 12 ทั้งคู่ตามที่ได้คำนวณมาในข้างต้น โดยแผ่นกั้นชานชาลาจะมีจำนวนเอลิเมนต์ 8064 เอลิเมนต์ ดังรูปที่ 3.20 และแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์จะมีจำนวนเอลิเมนต์ 2505 เอลิเมนต์ ดังรูปที่ 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.20 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ของแผ่นกั้นชานชาลา



รูปที่ 3.21 แสดงการแบ่งเอลิเมนต์ของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์

จากการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมทางกลของแผ่นกั้นชานชาลา ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์จากแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ABAQUS เกี่ยวกับอิทธิพลของการติดคาร์บอนไฟเบอร์ อิทธิพลของความยาวของคาร์บอนไฟเบอร์ และอิทธิพลของการติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงดัดของแผ่นกั้นชานชาลา โดยจะศึกษาการกระจายความเค้น ค่าความแข็งแรงต่อการดัด ค่าการดูดซับพลังงาน กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของแผ่นกั้นชานชาลา ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของการติดคาร์บอนไฟเบอร์

ศึกษาผลการวิเคราะห์ของแบบจำลองแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์และแผ่นกั้นชานชาลาที่ไม่ได้ติดคาร์บอนไฟเบอร์ โดยจะทำการเปรียบเทียบอิทธิพลของการติดคาร์บอนไฟเบอร์ว่าส่งผลต่อการกระจายความเค้น ความแข็งแรงต่อการดัด ความสามารถในการดูดซับพลังงานมากน้อยเพียงใด

4.1.1 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานชาลา

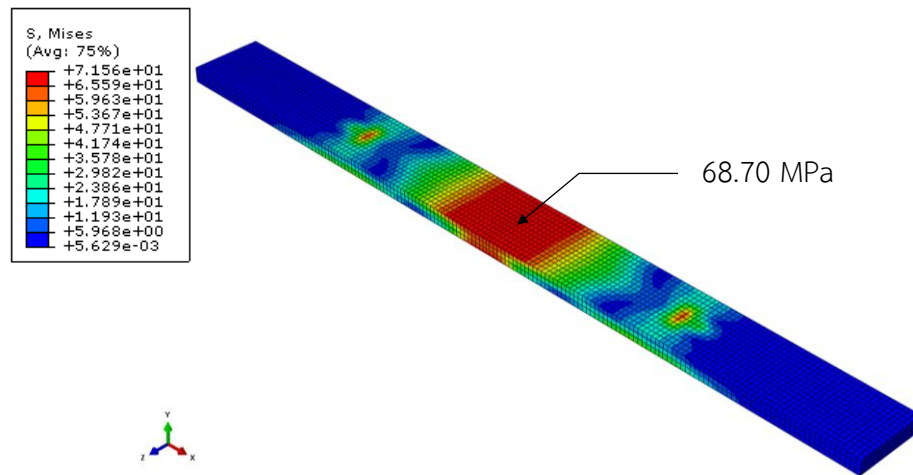
เมื่อได้รับแรงดัดจะทำให้เกิดความเค้นที่แผ่นกั้นชานชาลา โดยจะเกิดความเค้นอัดที่บริเวณด้านบนของแผ่นกั้นชานชาลาและเกิดความเค้นดึงที่บริเวณด้านล่างของแผ่นกั้นชานชาลา ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นการศึกษการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นจะช่วยให้เราทราบว่า จะเกิดความเสียหายที่บริเวณใดบ้าง ซึ่งช่วยให้เราสามารถลดความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ตรงจุด

1. การกระจายความเค้นด้านที่ได้รับแรงอัด การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานชาลาที่ไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์จะมีค่ามากบริเวณกึ่งกลางระหว่างจุดรองรับและบริเวณจุดรองรับ ซึ่งบริเวณกึ่งกลางระหว่างจุดรองรับมีค่าความเค้น 68.70 MPa เมื่อทำการติดคาร์บอนไฟเบอร์แล้วพบว่า การกระจายความเค้นดังกล่าวมีค่าเพิ่มขึ้นเท่ากับ 70.09 MPa เนื่องจากมีคาร์บอนไฟเบอร์ช่วยในการรับแรงทำให้เกิดความเค้นอัดเพิ่มขึ้น ทำให้บริเวณด้านข้างมีการกระจายความเค้นที่ลดลงดังรูปที่ 4.1 - 4.2

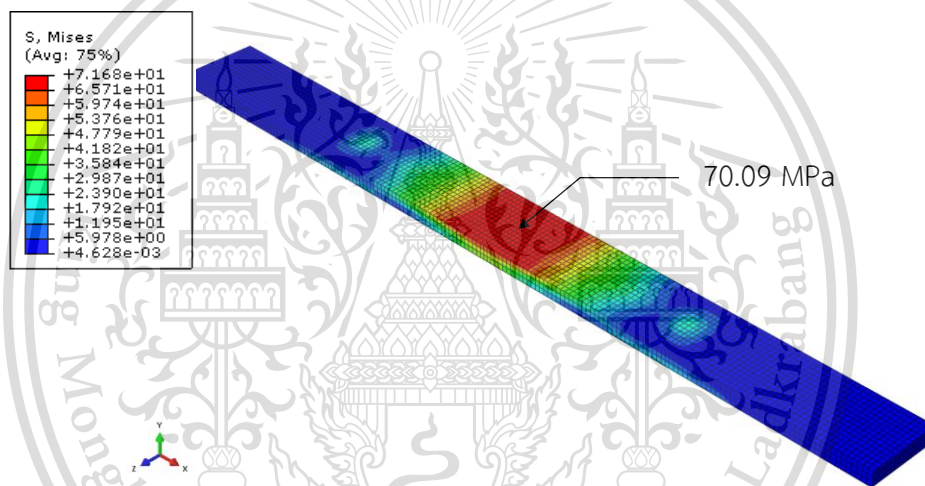
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.1 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์



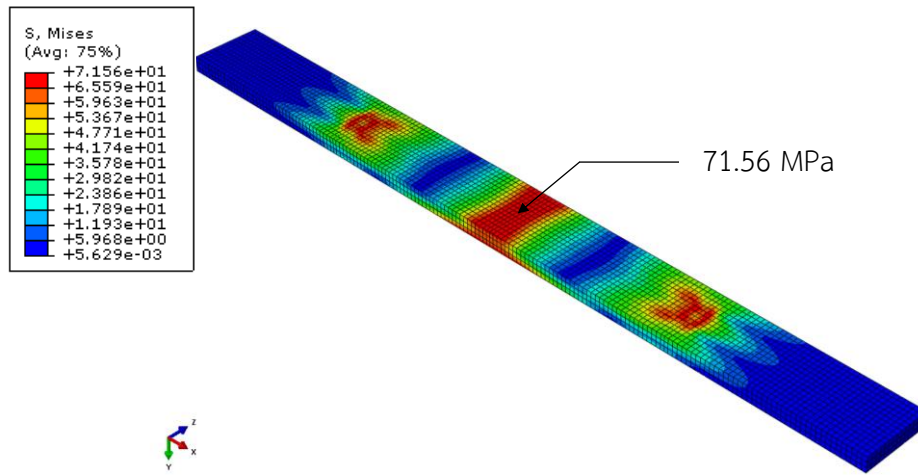
รูปที่ 4.2 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์

2. การกระจายความเค้นด้านที่ได้รับแรงดึง การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ที่บริเวณกึ่งกลางระหว่างจุดรองรับมีค่า 71.56 MPa ซึ่งมากกว่าความเค้น ณ จุดคราก (Yield stress) ดังรูปที่ 4.3 ทำให้แผ่นกั้นขานซาลาเกิดการเสียรูปอย่างถาวร ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อแผ่นกั้นขานซาลา เมื่อทำการติดคาร์บอนไฟเบอร์พบว่า การกระจายความเค้นที่บริเวณดังกล่าวมีค่า 52.84 MPa ซึ่งมีค่าลดลง 26.16% ดังรูปที่ 4.4

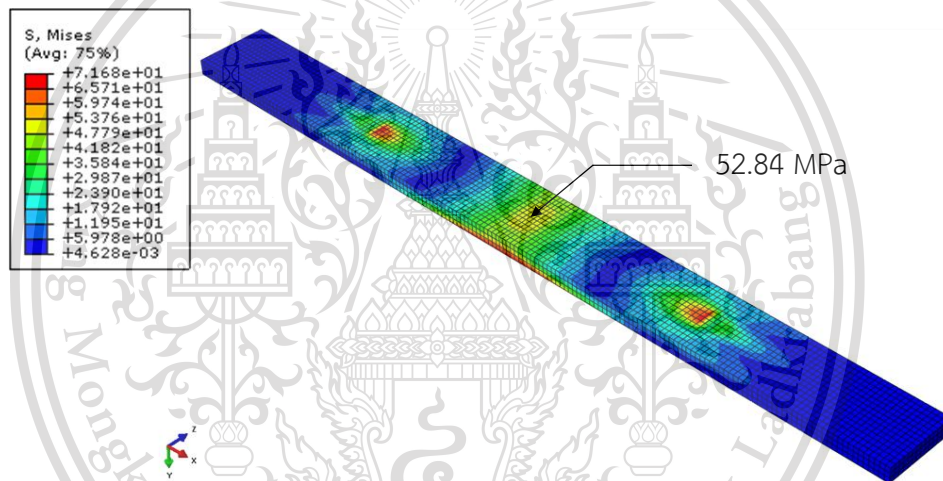
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

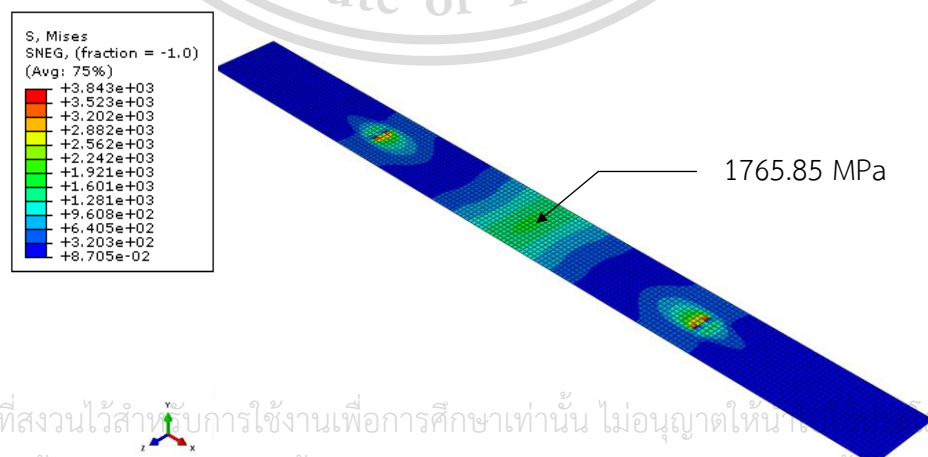
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.3 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานซาลาที่ไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์



รูปที่ 4.4 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์



รูปที่ 4.5 การกระจายความเค้นของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

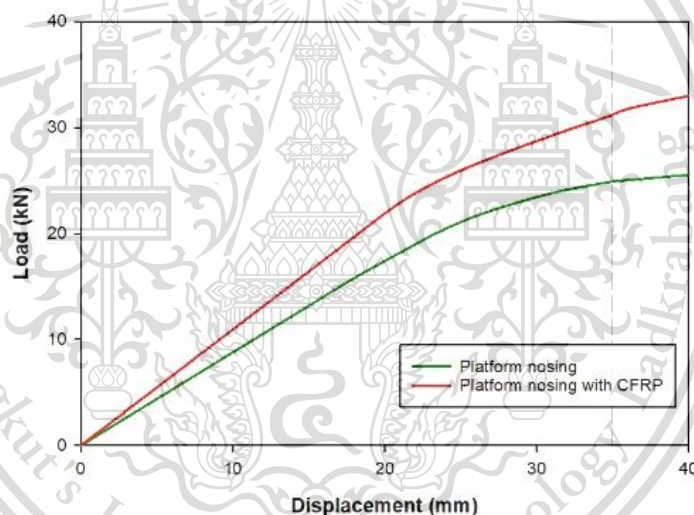
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลของการติดคาร์บอนไฟเบอร์ช่วยให้การกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบนแผ่นกั้นชานชาลาที่มีค่าลดลงเพราะสามารถถ่ายโอนแรงไปยังคาร์บอนไฟเบอร์ซึ่งมีความแข็งแรงสูงกว่า ทำให้เกิดความเค้นขึ้นที่บริเวณกึ่งกลางของแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ดังรูปที่ 4.5 ดังนั้นการติดคาร์บอนไฟเบอร์สามารถช่วยลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อแผ่นกั้นชานชาลาได้ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัย [6] พบว่า การเสริมแรงด้วยคาร์บอนไฟเบอร์ทำให้การกระจายความเค้นบริเวณด้านที่ได้รับแรงดิ่งมีค่าลดลง

4.1.2 ความสามารถในการต้านทานแรงดัด

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้คือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวสามารถนำมาคำนวณค่าความแข็งแรงต่อการดัด (flexural stiffness) จากสมการ (2.4) และค่าการดูดซับพลังงาน (energy absorption) จากพื้นที่ใต้กราฟของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของแผ่นกั้นชานชาลาทั้ง 2 รูปแบบ



รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของแผ่นกั้นชานชาลาที่ไม่ติดคาร์บอนไฟเบอร์และแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความแข็งแรงต่อการดัดและค่าการดูดซับพลังงาน

Model	Flexural stiffness [N. mm ²]	Energy absorption [J]
Platform nosing	1.48E10	504.31
Platform nosing with CFRP	1.86E10	625.38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ลึกทั้งห้ามแก้ไขดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อศึกษาอิทธิพลของการติดคาร์บอนไฟเบอร์ พบว่าแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์มีค่าความแข็งแรงต่อการดัดเพิ่มขึ้น 25.68% และค่าการดูดซับพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้น 24.01% ทำให้แผ่นกั้นชานชาลาที่มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น และการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบนแผ่นกั้นชานชาลา มีค่าลดลงทำให้ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อแผ่นกั้นชานชาลาลดลง

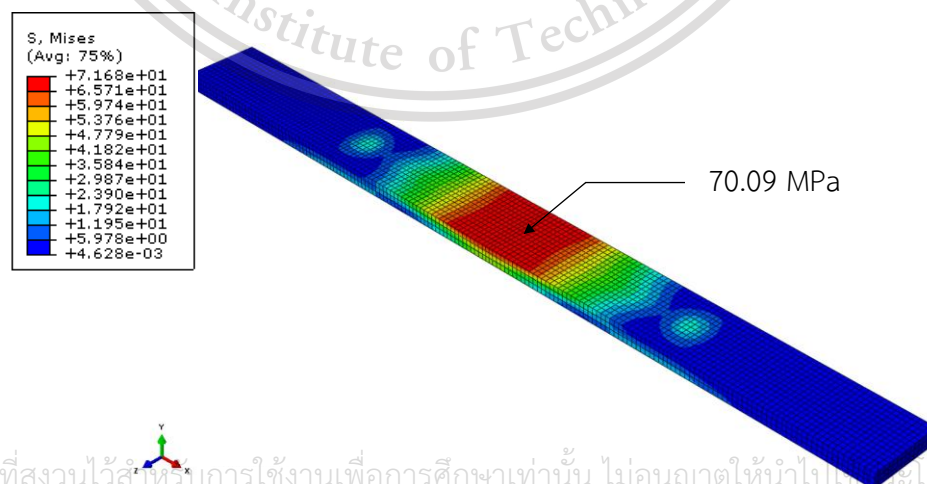
4.2 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของความยาวของคาร์บอนไฟเบอร์

เนื่องจากข้อกำหนดของงานวิจัยนี้ต้องการลดต้นทุนของแผ่นกั้นชานชาลาให้ได้มากที่สุด เราจึงทำการวิเคราะห์อิทธิพลของความยาวของคาร์บอนไฟเบอร์ว่าส่งผลต่อความสามารถในการต้านทานแรงดัดมากน้อยเพียงใด และความยาวขนาดใดจึงจะเหมาะสมต่อการลดต้นทุนมากที่สุด โดยที่ความสามารถในการต้านทานแรงดัดไม่ลดลงมากเกินไป

4.2.1 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานชาลา

เมื่อได้รับแรงดัดจะทำให้เกิดความเค้นที่แผ่นกั้นชานชาลา โดยจะเกิดความเค้นอัดที่บริเวณด้านบนของแผ่นกั้นชานชาลาและเกิดความเค้นดึงที่บริเวณด้านล่างของแผ่นกั้นชานชาลา ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นการศึกษาการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นจะช่วยให้เราทราบว่า จะเกิดความเสียหายที่บริเวณใดบ้าง ซึ่งช่วยให้เราสามารถลดความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ตรงจุด

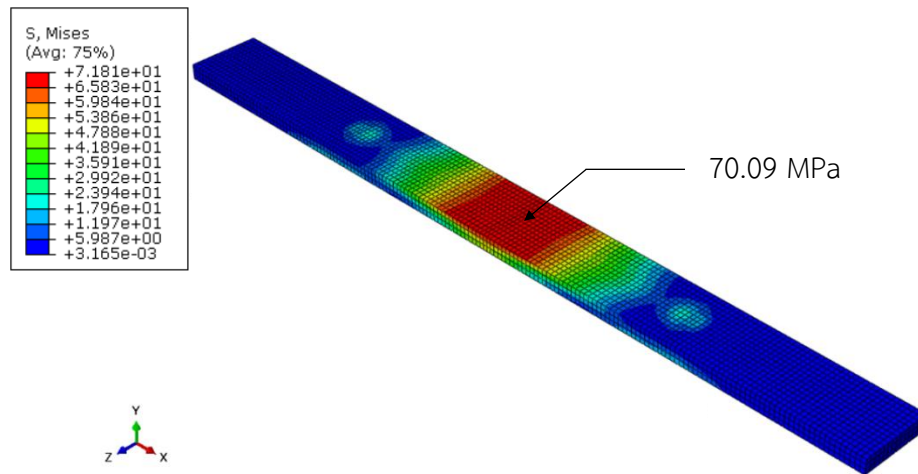
1. การกระจายความเค้นบนด้านที่ได้รับแรงอัด การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ความยาว 2000, 1000 และ 400 มิลลิเมตร บริเวณกึ่งกลางระหว่างจุดรองรับมีค่าเท่ากับ 70.09 MPa และการกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ขนาด 800 และ 600 มิลลิเมตร มีค่าเท่ากับ 70.08 MPa ดังรูปที่ 4.7 - 4.11



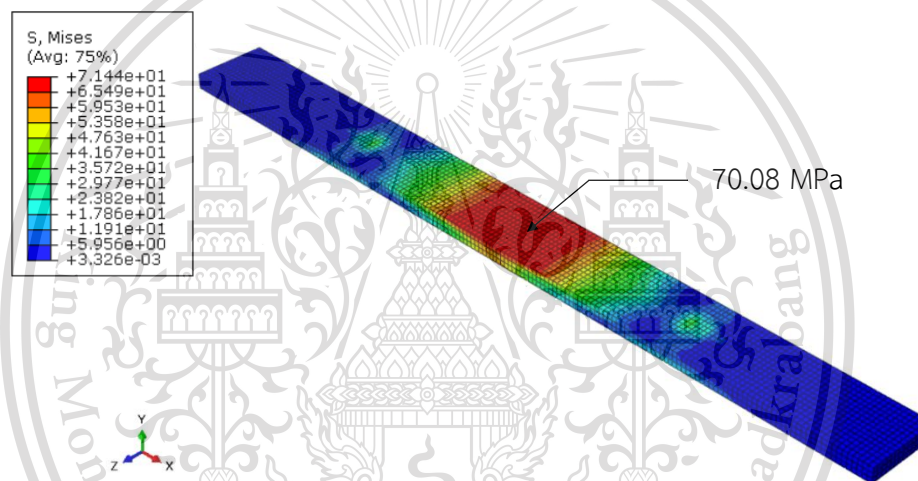
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้ รูปที่ 4.7 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 2000 มิลลิเมตร ใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

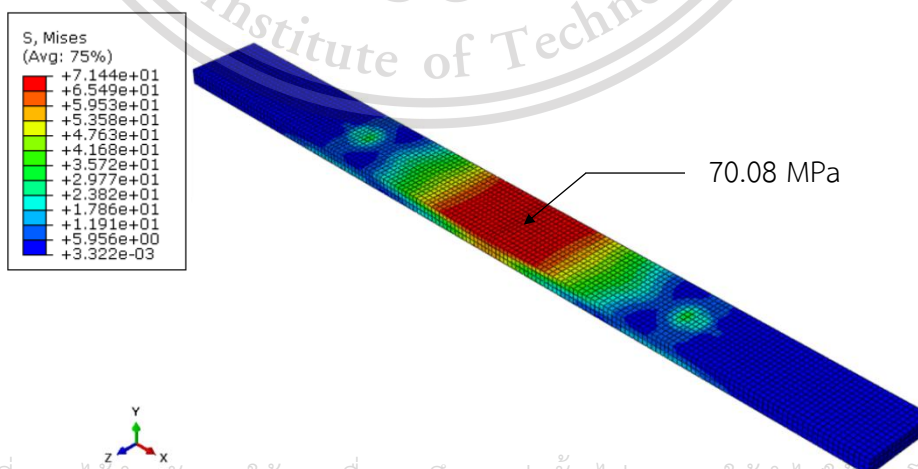
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.8 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 1000 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.9 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 800 มิลลิเมตร

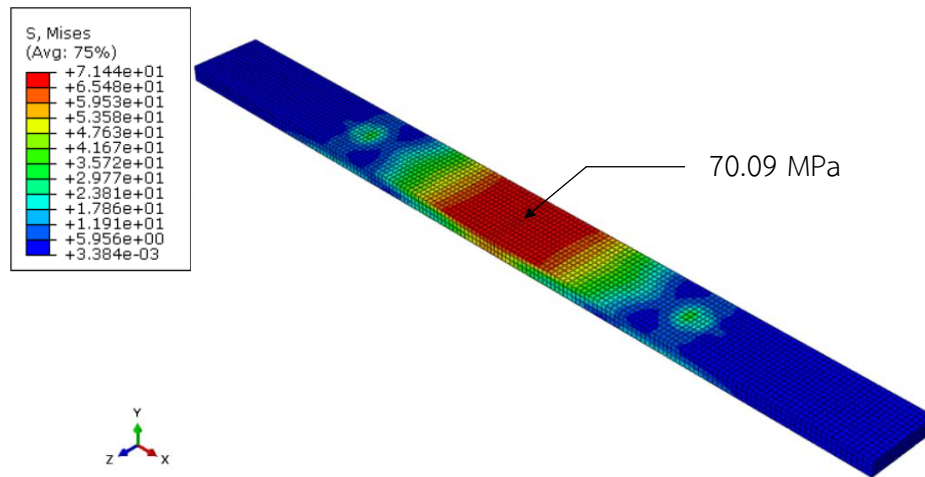


รูปที่ 4.10 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 600 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งนี้หากมีเหตุที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และข้อมูลของเอกสารนี้ให้ใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

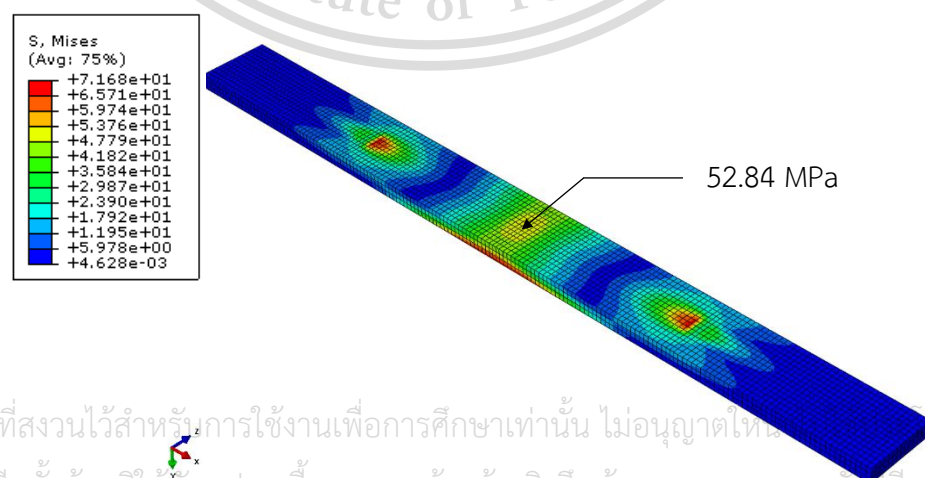
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.11 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 400 มิลลิเมตร

เมื่อติดคาร์บอนไฟเบอร์ที่มีความยาวลดลงพบว่า การกระจายความเค้นบริเวณกึ่งกลางระหว่างจุดรองรับของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ความยาวต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน แต่การกระจายความเค้นบริเวณด้านข้างมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ขนาด 1000 มีการกระจายความเค้นบริเวณดังกล่าวเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

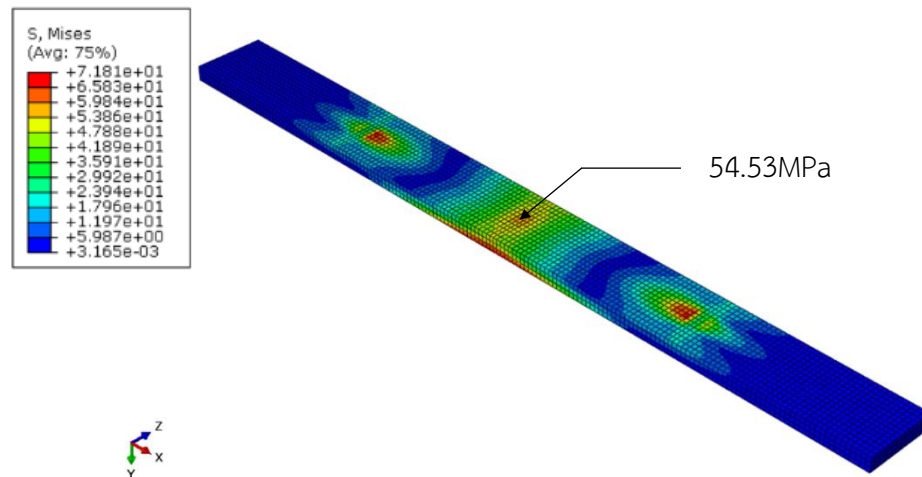
2. การกระจายความเค้นบนด้านที่ได้รับแรงดึง การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ความยาว 2000, 1000, 800, 600 และ 400 มิลลิเมตร บริเวณกึ่งกลางระหว่างจุดรองรับมีค่าเท่ากับ 52.84, 54.53, 64.98, 65.02 และ 67.78 MPa ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.12 – 4.16 ดังนั้นการลดความยาวของคาร์บอนไฟเบอร์ลงพบว่า การกระจายความเค้นที่บริเวณดังกล่าวมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่สำหรับการติดคาร์บอนไฟเบอร์ขนาด 1000 มิลลิเมตร การกระจายความเค้นมีค่าเพิ่มขึ้นเพียง 3.20%



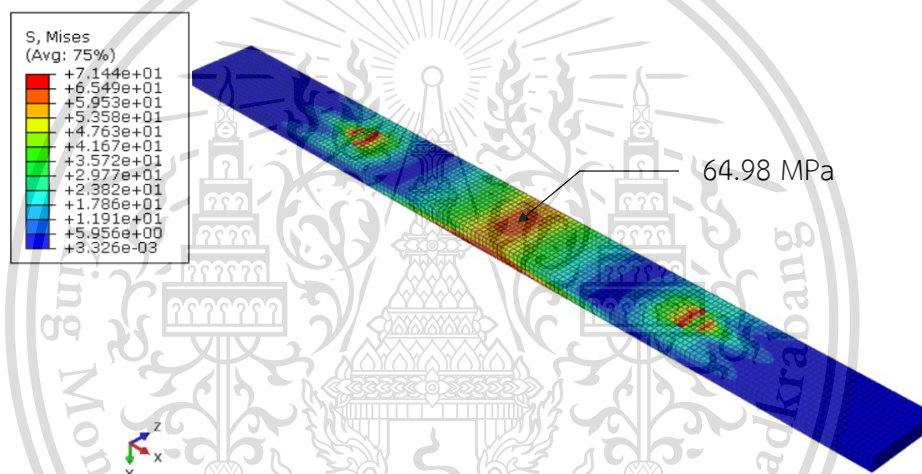
รูปที่ 4.12 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นขานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 2000 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

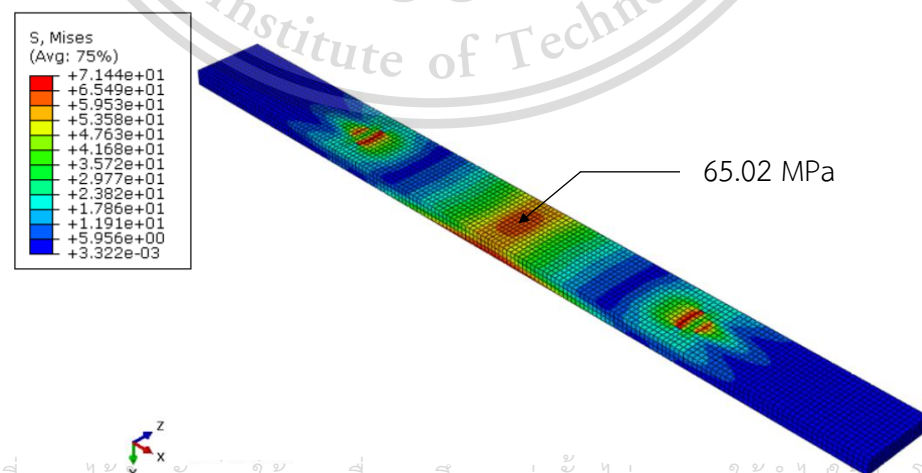
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.13 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 1000 มิลลิเมตร



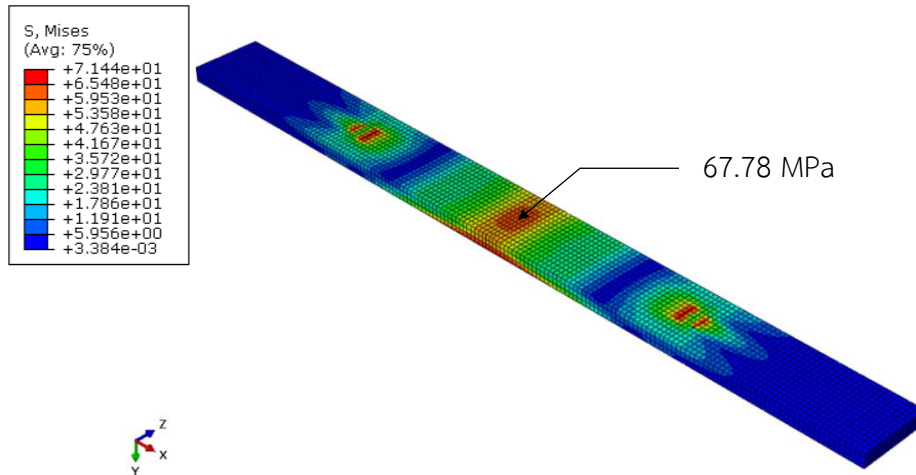
รูปที่ 4.14 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 800 มิลลิเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ รูปที่ 4.15 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 600 มิลลิเมตร

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

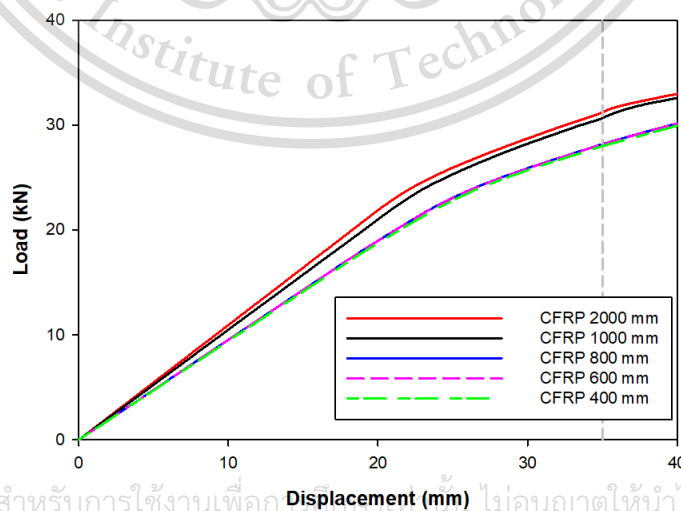


รูปที่ 4.16 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ยาว 400 มิลลิเมตร

ผลของการลดความยาวแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ลงนั้นพบว่า การติดคาร์บอนไฟเบอร์ขนาด 800, 600 และ 400 มิลลิเมตรทำให้การกระจายความเค้นบริเวณดังกล่าวมีค่าเพิ่มมากขึ้นและเป็นบริเวณกว้าง แต่สำหรับการติดคาร์บอนไฟเบอร์ขนาด 1000 มิลลิเมตรทำให้การกระจายความเค้นบริเวณดังกล่าวเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

4.2.2 ความสามารถในการต้านทานแรงดัด

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้คือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวสามารถนำมาคำนวณค่าความแข็งแกร่งต่อการดัด (flexural stiffness) จากสมการ (2.4) และค่าการดูดซับพลังงาน (energy absorption) จากพื้นที่ใต้กราฟของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของแผ่นกั้นชานซาลาทั้ง 5 รูปแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งรูปที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติด

คาร์บอนไฟเบอร์ความยาวต่าง ๆ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความแข็งแรงต่อการดัดและค่าการดูดซับพลังงาน

Model	Flexural stiffness [N.mm ²]	Flexural stiffness decrease [%]	Energy absorption [J]	Energy absorption decrease [%]
CFRP 2000	1.86E10	-	625.38	-
CFRP 1000	1.83E10	1.61	607.75	2.82
CFRP 800	1.68E10	9.68	553.91	11.43
CFRP 600	1.68E10	9.68	553.90	11.43
CFRP 400	1.67E10	10.21	548.74	12.25

เมื่อศึกษาอิทธิพลของการลดความยาวของคาร์บอนไฟเบอร์พบว่า การติดคาร์บอนไฟเบอร์ความยาว 800 มิลลิเมตร 600 มิลลิเมตรและ 400 มิลลิเมตรทำให้ค่าความแข็งแรงต่อการดัดลดลง 9.68%, 9.68% และ 10.21% ตามลำดับและค่าการดูดซับพลังงานมีค่าลดลง 11.43%, 11.43% และ 12.25% ตามลำดับ แต่สำหรับการติดคาร์บอนไฟเบอร์ความยาว 1000 มิลลิเมตรทำให้ค่าความแข็งแรงต่อการดัดลดลงเพียง 1.61% และค่าการดูดซับพลังงานลดลงเพียง 2.82% การกระจายความเค้นบริเวณด้านข้างและด้านล่างเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังนั้นการติดคาร์บอนไฟเบอร์ขนาด 1000 มิลลิเมตรจึงเหมาะสมต่อการลดต้นทุนที่สุด

4.3 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบการติดคาร์บอนไฟเบอร์

ศึกษาผลการวิเคราะห์อิทธิพลของรูปแบบการติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ ว่าส่งผลต่อการกระจายความเค้น ค่าความแข็งแรงต่อการดัดและค่าการดูดซับพลังงานอย่างไร เพื่อให้การติดคาร์บอนไฟเบอร์ช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงดัดของแผ่นกั้นขานซาลาได้มากที่สุด และศึกษาข้อดีและข้อเสียของแต่ละรูปแบบ เพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

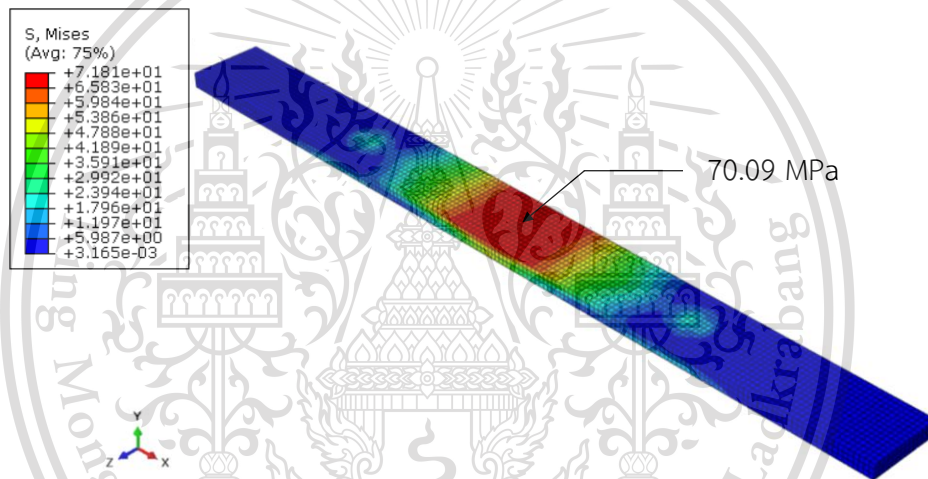
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

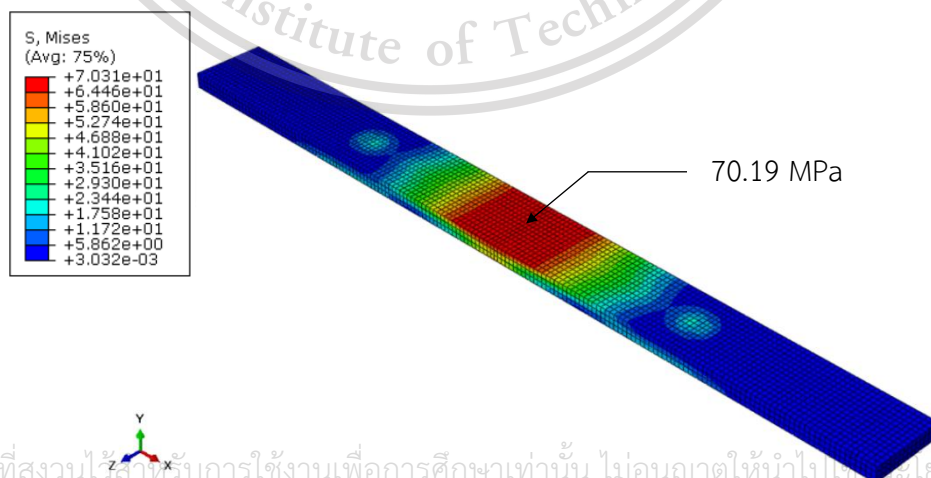
4.3.1 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานชาลา

เมื่อได้รับแรงดัดจะทำให้เกิดความเค้นที่แผ่นกั้นชานชาลา โดยจะเกิดความเค้นอัดที่บริเวณด้านบนของแผ่นกั้นชานชาลาและเกิดความเค้นดึงที่บริเวณด้านล่างของแผ่นกั้นชานชาลา ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นการศึกษาการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นจะช่วยให้เราทราบว่า จะเกิดความเสียหายที่บริเวณใดบ้าง ซึ่งช่วยให้เราสามารถลดความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ตรงจุด

1. การกระจายความเค้นบนด้านที่ได้รับแรงอัด การกระจายความเค้นบริเวณกึ่งกลางระหว่างจุดรองรับของแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 1, 2, 3 และ 4 ชั้นมีค่าเท่ากับ 70.09, 70.19, 70.21, 70.21 MPa ตามลำดับ เมื่อทำการเปลี่ยนรูปแบบการติดคาร์บอนไฟเบอร์ทำให้การกระจายความเค้นมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.18 - 4.21



รูปที่ 4.18 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 180 มิลลิเมตร (1 ชั้น)



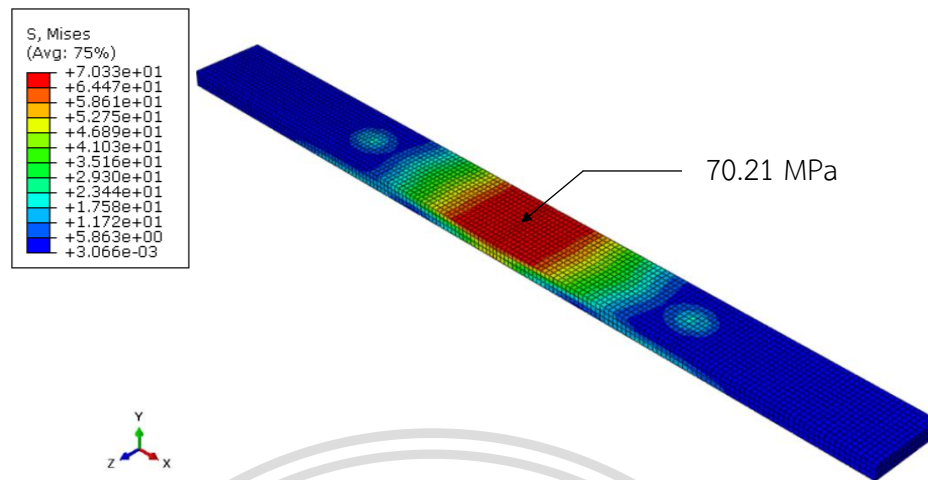
รูปที่ 4.19 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 90 มิลลิเมตร (2 ชั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามทำซ้ำหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.20 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 60 มิลลิเมตร (3 ชั้น)



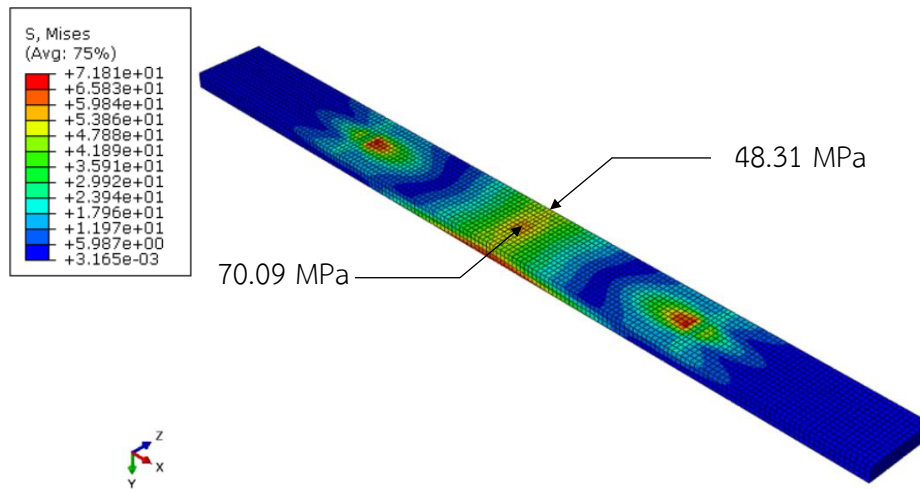
รูปที่ 4.21 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 45 มิลลิเมตร (4 ชั้น)

2. การกระจายความเค้นบนด้านที่ได้รับแรงดึง การกระจายความเค้นบริเวณกึ่งกลางระหว่างจุดรองรับของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์จำนวน 1, 2, 3 และ 4 ชั้นมีค่าเท่ากับ 70.09, 43.68, 38.15, 35.88 MPa ซึ่งมีค่าลดลงตามลำดับ และการกระจายความเค้นบริเวณด้านข้างมีค่าเท่ากับ 48.31, 54.92, 54.92 และ 55.25 MPa ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังนั้นการติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบอื่น ๆ ช่วยให้การกระจายความเค้นที่บริเวณกึ่งกลางระหว่างจุดรองรับมีค่าลดลง แต่การกระจายความเค้นบริเวณขอบของแผ่นกั้นชานซาลามีค่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากคาร์บอนไฟเบอร์ที่มีขนาดเล็กลง แต่ค่าการกระจายความเค้นก็ยังน้อยกว่าความเค้น ณ จุดคราก ดังรูปที่ 4.22 - 4.25

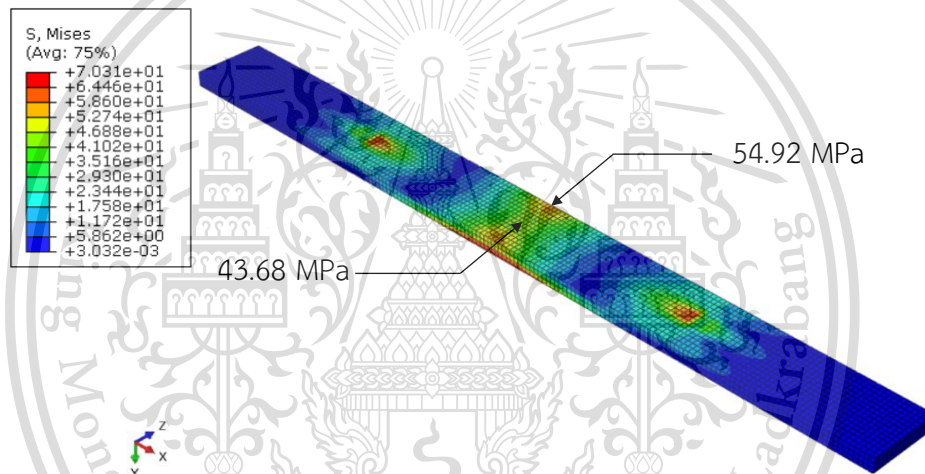
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับเอาไว้ใช้เฉพาะในวงจำกัดเท่านั้น ไม่สามารถนำออกไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น คือขี้หนวดเป็นตัวอย่างของเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับเอาไว้ใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

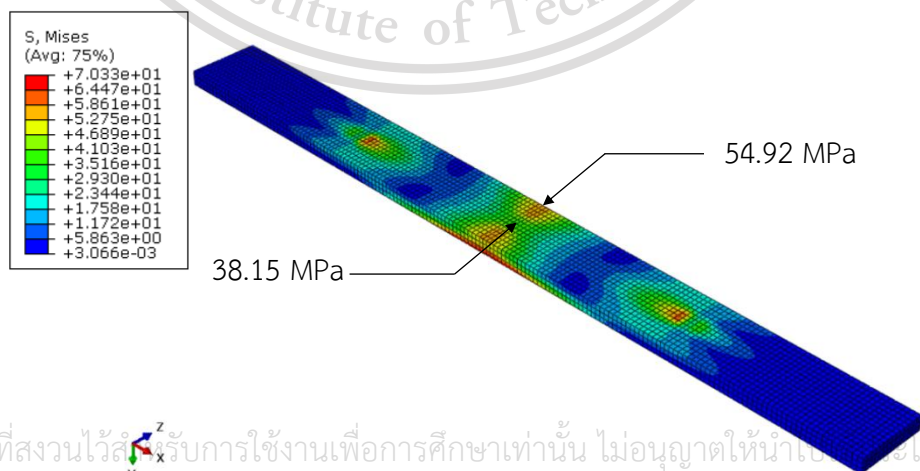
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.22 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 180 มิลลิเมตร (1 ชั้น)



รูปที่ 4.23 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 90 มิลลิเมตร (2 ชั้น)



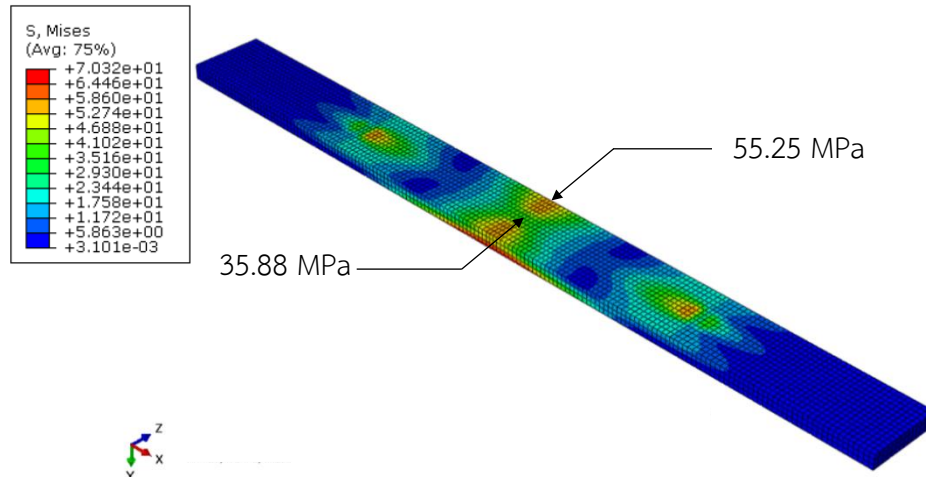
รูปที่ 4.24 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานซาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 60 มิลลิเมตร (3 ชั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้เชิงพาณิชย์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามนำไปให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำข้อมูลไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

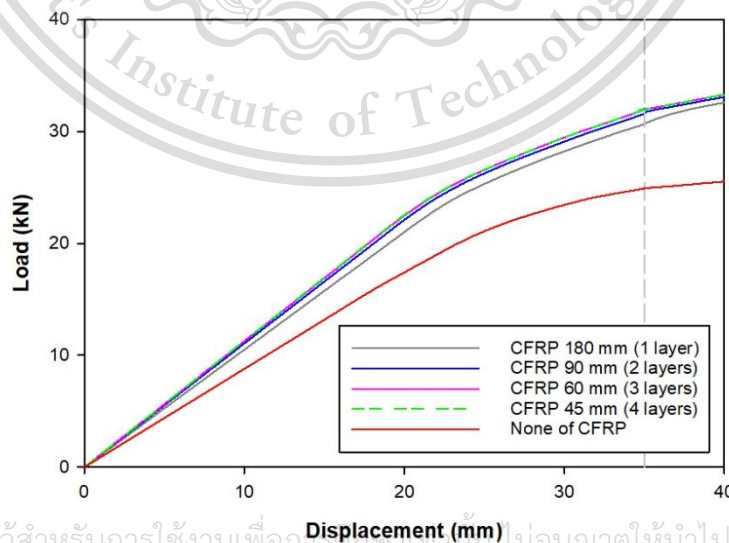


รูปที่ 4.25 การกระจายความเค้นของแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์ 45 มิลลิเมตร (4 ชั้น)

ผลของการติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ การติดคาร์บอนไฟเบอร์ให้มีความหนาเพิ่มมากขึ้นทำให้การกระจายความเค้นบริเวณตรงกลางของแผ่นกั้นชานชาลาซึ่งมีค่าเท่ากับ 70.09 MPa มีค่าลดลงต่ำกว่าความเค้น ณ จุดคราก ซึ่งทำให้ไม่เกิดการเสีรูปร่าง

4.3.2 ความสามารถในการต้านทานแรงดัด

จากผลการวิเคราะห์ที่ได้คือ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวสามารถนำมาคำนวณค่าความแข็งแกร่งต่อการดัด (flexural stiffness) จากสมการ (2.4) และค่าการดูดซับพลังงาน (energy absorption) จากพื้นที่ใต้กราฟของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของแผ่นกั้นชานชาลาทั้ง 4 รูปแบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.26 แสดงการเปรียบเทียบค่าแรงกระทำและระยะการแอ่นตัวของแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความแข็งแรงต่อการตัดและค่าการดูดซับพลังงาน

Model	Flexural stiffness [N.mm ²]	Flexural stiffness increase [%]	Energy absorption [J]	Energy absorption increase [%]
None of CFRP	1.48E10	-	504.31	-
CFRP 180 (1 layer)	1.83E10	23.65	607.75	20.51
CFRP 90 (2 layers)	1.88E10	27.03	633.11	25.54
CFRP 60 (3 layers)	1.90E10	28.54	642.75	27.45
CFRP 45 (4 layers)	1.90E10	28.58	643.77	27.65

เมื่อศึกษาอิทธิพลของรูปแบบการติดคาร์บอนไฟเบอร์พบว่า การติดคาร์บอนไฟเบอร์ให้มีความหนาเพิ่มมากขึ้นช่วยให้ความแข็งแรงต่อการตัดมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 28.58% ค่าการดูดซับพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 27.65% เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกั้นชานชาลาที่ไม่ได้ติดคาร์บอนไฟเบอร์ ความหนาที่เพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยมีค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงต่อการตัดและการดูดซับพลังงานมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการติดให้มีความหนาเพิ่มมากขึ้นจะช่วยให้แผ่นกั้นชานชาลามีความแข็งแรงมากขึ้น โดยการติดคาร์บอนไฟเบอร์ขนาด 45 มิลลิเมตร (4 ชั้น) ช่วยเพิ่มความแข็งแรงต่อการตัดและค่าการดูดซับพลังงาน 28.58% และ 27.65% ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับคาร์บอนไฟเบอร์ขนาด 90 มิลลิเมตร (2 ชั้น) พบว่าความแข็งแรงต่อการตัดและค่าการดูดซับพลังงานมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ในการใช้งานจริงการติดคาร์บอนไฟเบอร์จำนวน 4 ชั้นจะต้องใช้เวลาในการตัดและติดคาร์บอนไฟเบอร์ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาในการทำงานเพิ่มขึ้น ดังนั้นการติดคาร์บอนไฟเบอร์ขนาด 90 มิลลิเมตร (2 ชั้น) จึงเป็นรูปแบบที่มีความคุ้มค่ามากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาและวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการศึกษาอิทธิพลของการติดคาร์บอนไฟเบอร์ อิทธิพลของความยาวคาร์บอนไฟเบอร์และอิทธิพลของรูปแบบการติดคาร์บอนไฟเบอร์ที่ส่งผลต่อความสามารถในการรับแรงดัดของแผ่นกั้นชานชาลา สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการศึกษา

1. การกระจายความเค้นบริเวณด้านที่ได้รับแรงดัดของแผ่นกั้นชานชาลาที่ติดคาร์บอนไฟเบอร์มีค่าลดลง ซึ่งทำให้ช่วยลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นต่อแผ่นกั้นชานชาลา
2. การติดคาร์บอนไฟเบอร์สามารถช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงดัด โดยค่าความแข็งแรงต่อการดัดและค่าการดูดซับพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้นถึง 28.38% และ 27.65% ตามลำดับ
3. การลดความยาวแผ่นคาร์บอนไฟเบอร์ทำให้ค่าความแข็งแรงต่อการดัดลดลงถึง 10.22% และค่าการดูดซับพลังงานลดลงถึง 12.25% แต่สำหรับคาร์บอนไฟเบอร์ความยาว 1000 มิลลิเมตรทำให้ค่าความแข็งแรงต่อการดัดและค่าการดูดซับพลังงานลดลงเพียง 1.61% และ 2.82% ตามลำดับ ดังนั้นคาร์บอนไฟเบอร์ความยาว 1000 มิลลิเมตรจึงเหมาะสมกับการลดต้นทุนที่สุด
4. การติดคาร์บอนไฟเบอร์รูปแบบต่าง ๆ โดยใช้คาร์บอนไฟเบอร์ขนาด 180x1000 มิลลิเมตรเท่ากันช่วยเพิ่มค่าความแข็งแรงต่อการดัดและค่าการดูดซับพลังงาน เมื่อเปรียบเทียบกับการติดคาร์บอนไฟเบอร์ 2 และ 4 ชั้น พบว่ามีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ในการใช้งานจริงการติดคาร์บอนไฟเบอร์จะต้องใช้เวลาในการดัดและติดคาร์บอนไฟเบอร์ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาในการทำงานเพิ่มขึ้น ดังนั้นการติดคาร์บอนไฟเบอร์ขนาด 90 มิลลิเมตร (2 ชั้น) จึงเป็นรูปแบบที่มีความคุ้มค่ามากที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะและการพัฒนางานวิจัย

1. การเพิ่มความหนาหรือจำนวนชั้นของคาร์บอนไฟเบอร์จะช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรง แต่แผ่นกั้นชานชาลาและคาร์บอนไฟเบอร์มีความแข็งแรงแตกต่างกัน เมื่อได้รับแรงกระทำจะทำให้มีระยะการแอ่นตัวไม่เท่ากันอาจทำให้เกิดการแยกตัวออกจากกัน

2. ในงานวิจัยต่อไปอาจพิจารณาแรงเสียดทานหรือพิจารณาการยึดเหนี่ยวระหว่างแผ่นกั้นชานชาลาและคาร์บอนไฟเบอร์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นใบเซปรีเอชันด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mohammad Shekarchi, Asghar Vatani Oskouei, Gary M. Raftery. "Flexural behavior of timber beams strengthened with pultruded glass fiber reinforced polymer profiles," *Composite Structures*, vol. 241, p. 112062, 2020.
- [2] Shujaatullah Sheikh, Yusof Ahmad. "Flexural Strengthening of Structural Timber in the 21st Century: A State of the Art Review," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 735, pp. 128-140, 2015.
- [3] Chris Gentile, Dagmar Svecova, Sami H. Rizkalla, F.ASCE. "Timber Beams Strengthened with GFRP Bars: Development and Applications," *Composites for Construction*, vol. 6, pp. 11-20, 2002.
- [4] Jerzy Jasienko, Tomasz P. Nowak. "Solid timber beams strengthened with steel plates – Experimental studies," *Construction and Building Materials*, vol. 63, pp. 81-88, 2014.
- [5] Vincenzo De Luca, Cosimo Marano. "Prestressed glulam timbers reinforced with steel bars," *Construction and Building Materials*, vol. 30, pp. 206-217, 2012.
- [6] M. Khelifa, S. Auchet, P.-J. Méausoone, A. Celzard. "Finite element analysis of flexural strengthening of timber beams with Carbon Fibre-Reinforced Polymers," *Engineering Structures*, vol. 101, pp. 364-375, 2015.
- [7] M. Khelifa, A. Celzard. "Numerical analysis of flexural strengthening of timber beams reinforced with CFRP strips," *Composite Structures*, vol. 111, pp. 393-400, 2014.
- [8] วินิต ช่อวิเชียร, การออกแบบโครงสร้างไม้ = Structural timber design, กรุงเทพฯ: ป. สัมพันธ์พานิชย์, 2002.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [9] Chris Yang. (2015 Aug). “Material Science – Mechanical behavior” [Online]. Available: <https://www.wmaterials.net/material-science.html>. [Accessed: Nov. 26, 2020].
- [10] David E. Kretschmann, Wood Handbook, Wood as an Engineering Material, Department of Agriculture, Madison, Wisconsin, 2010.
- [11] Guido Dhondt. (2014 Mar). “Element types – Eight-node brick element (C3D8 and F3D8)” [Online]. Available: https://web.mit.edu/calculix_v2.7/CalculiX/ccx_2.7/doc/ccx/node26.html. [Accessed: Nov. 26, 2020].



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.