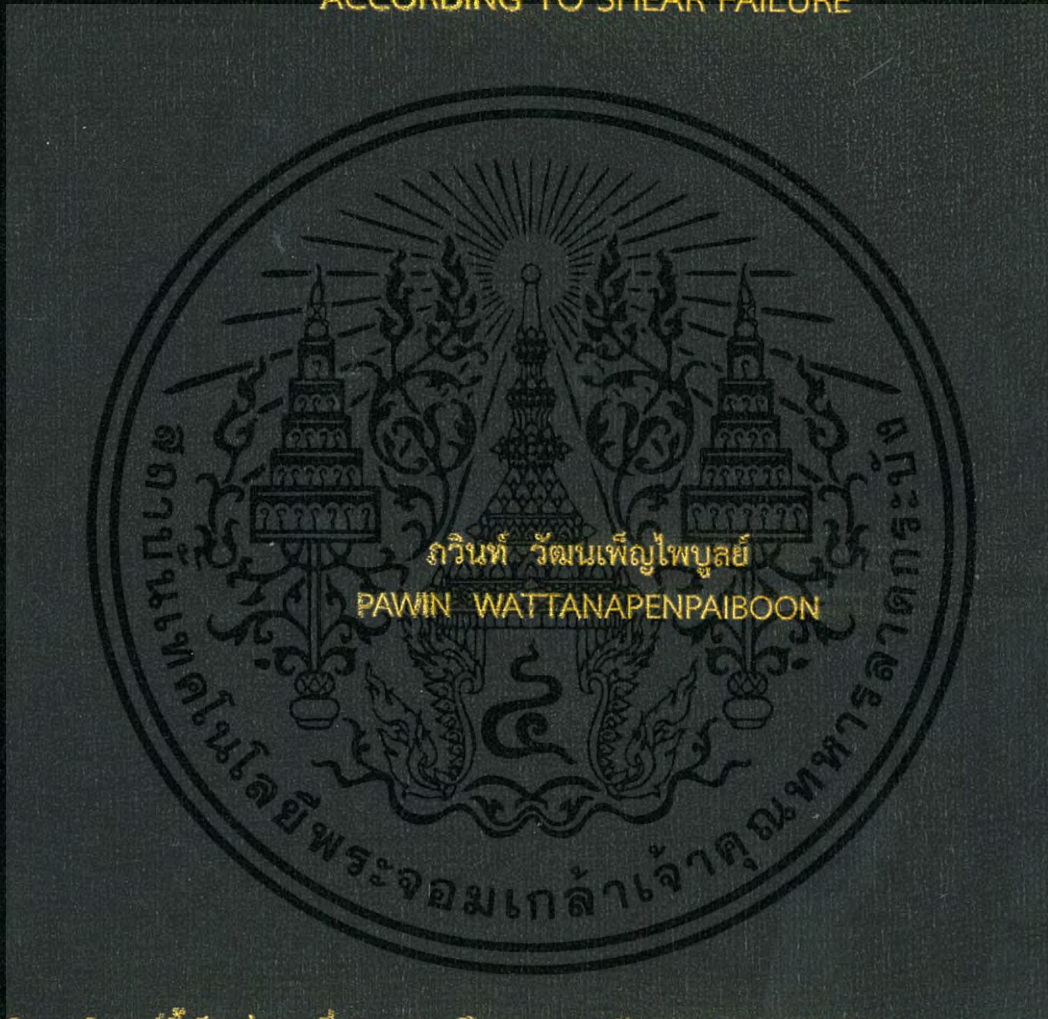


การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกของคานเก่าที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่กับคานที่
เสริมกำลังด้วยแผ่น CFRP จากการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน

A COMPARISON OF LOADING CAPACITY OF CORING BEAMS WITH LARGE
OPENINGS WITH CORING BEAMS STRENGTHED BY CFRP PLATE
ACCORDING TO SHEAR FAILURE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-093-197

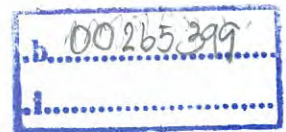
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกของคานเก่าที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่กับคานที่เสริมกำลังด้วยแผ่น CFRP จากการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน

A COMPARISON OF LOADING CAPACITY OF CORING BEAMS WITH LARGE OPENINGS WITH CORING BEAMS STRENGTHED BY CFRP PLATE ACCORDING TO SHEAR FAILURE



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 148722
ใน.เดือน.ปี 23 11 2560



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-093-197

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A COMPARISON OF LOADING CAPACITY OF CORING BEAMS WITH LARGE
OPENINGS WITH CORING BEAMS STRENGTHED BY CFRP PLATE
ACCORDING TO SHEAR FAILURE



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MATER OF ENGINEERING IN CIVIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

KMITL-2016-EN-M-093-197

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกของคานเก่าที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่กับคานที่เสริมกำลังด้วยแผ่น CFRP จากการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน

Thesis Title A Comparison of Loading Capacity of Coring Beams with Large Opening with Coring Beams Strengthened by CFRP Plate According to Shear Failure

นักศึกษา นายภวินทร์ วัฒนเพ็ญไพบูลย์

รหัสประจำตัว 55613218

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.สุวัฒน์ ถิระเศรษฐ์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-093-197

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.เอนก	ศิริพานิชกร	
ดร.อภิวุฒิ	สุจริตพงศ์	
ผศ.ดร.อาทิตย์	เพชรศิธร	
ดร.อำพน	จรัสจรวงเกียรติ	
รศ.สุวัฒน์	ถิระเศรษฐ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 2 ธันวาคม พ.ศ. 2559 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อจากนี้ไปขอสงวนสิทธิ์ในการนำไปใช้

วันที่ 2 ธันวาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบน้ำหนักบรรทุกของคานเก่าที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่กับคานที่เสริมกำลังด้วยแผ่น CFRP จากการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน
นักศึกษา	นายภวินท์ วัฒนเพ็ญไพบูลย์
รหัสนักศึกษา	55613218
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ. สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาพฤติกรรมและแนวทางการเสริมความแข็งแรงของคานที่ทำการเจาะช่องเปิดขนาดใหญ่บริเวณรับแรงเฉือนของอาคารเก่า หรืออาคารที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว กับคานที่เพิ่งสร้างเสร็จ เพื่อใช้เป็นแนวทางการเสริมกำลัง ให้เข้ากับฟังก์ชันการใช้งาน และปรับแก้ให้เหมาะสมกับการใช้งาน ด้วยแผ่น CFRP แบบ Plate เสริมในรูปแบบโครงถักโดยคานที่ใช้ในการศึกษามีขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 2.10 เมตร ลึก 30 เซนติเมตร มาทำการเจาะช่องเปิดขนาด 15 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาด 50 เปอร์เซ็นต์ของความลึกของคาน ซึ่งถือว่าเป็นช่องเปิดขนาดใหญ่แล้วมาเสริมกำลังด้วยแผ่น CFRP แบบ Plate บริเวณรอบช่องเปิดร่วมกับทุกในรูปแบบโครงถัก เพื่อเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของคาน และมาเปรียบกันระหว่างคานใหม่ที่ยังไม่เคยผ่านการรับน้ำหนัก กับคานที่มีการทิ้งน้ำหนักไว้ 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคานที่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงให้เสมือนคานผ่านการรับน้ำหนักมาแล้ว คานที่ผ่านการทิ้งน้ำหนักไว้ 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคาน กำลังจะน้อยกว่าคานใหม่ที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักอยู่ 10 เปอร์เซ็นต์

Thesis	A comparison of Loading Capacity of coring beams with large openings with coring beams strengthened by CFRP Plate according to shear failure
Student	Mr. Pawin Wattanapenpaiboon
Student ID.	55613218
Degree	Master of Engineering
Program	Civil Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc.Prof. Suwat Dhirasedh

ABSTRACT

This research aims to investigate the behaviours and how to strengthen beams with large opening at flexure location in old or existing building and of existing buildings and of newly constructed beams reinforced with CFRP plates in trusses. The beams used in the study were 15 cm. wide, 2.10 m. long and 30 cm. deep, and the diameter of the opening(circular) was 15 cm. or 50% of the overall beam depth, which was considered a large opening. The beams were strengthened with CFRP Plates and Anchor around the opening in order to enhance the shear capacity of the beams. The comparisons were made between the newly constructed beams and the beams that carried weight of 60% ultimate strength for 24 hours, which were used to simulate the old or existing beams. The weight of the beams are 60 percent of the ultimate strength of the beam . Is less than a beam that does not pass the weight is 10 percent.

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สุวัฒน์ ธิระเศรษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาเป็น
อย่างสูงที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนแก้ไขวิทยานิพนธ์
ฉบับนี้ให้สมบูรณ์และให้ความรู้และข้อคิดที่มีประโยชน์ด้านงานวิทยานิพนธ์และงานที่ข้าพเจ้าทำงาน
อยู่

กราบขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากร ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกๆ ท่าน ที่ให้การสนับสนุน ในหลายๆด้าน

ขอขอบคุณ หัวหน้า พี่ๆ และน้องๆ กรมโยธาธิการและผังเมือง ที่ให้การสนับสนุน ใน
หลายๆด้าน

ขอขอบคุณทางหุ้นส่วน ปวช. ลีชิตการสร้าง ที่ให้ความอนุเคราะห์ทีมงานในการผูกเหล็กและ
เข้าแบบคาน

ขอขอบคุณบริษัท น้ำเฮงคอนกรีต (1992) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์คอนกรีตผสมเสร็จที่ใช้
ในการหล่อคาน

ขอขอบคุณบริษัท บริษัท รีโทรฟิต สตรัคเจอร์ สเปเชียลลิสต์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์
แผ่น CFRP และบุคลากรในการติดตั้ง

ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ให้ความช่วยเหลือ ทั้งให้การแนะนำ และช่วยข้าพเจ้าในการทดลอง
และกำลังใจที่ดีเสมอมา

ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้สนใจ และขอน้อม
รับคำติชมจากทุกท่าน หากมีข้อผิดพลาดประการใดข้าพเจ้าต้องขออภัย ณ ที่นี้ด้วย

ภวินท์ วัฒนเพ็ญไพบูลย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	i
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ii
กิตติกรรมประกาศ.....	iii
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง.....	vii
สารบัญภาพ.....	ix
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	4
1.7 ข้อจำกัดของการศึกษา.....	4
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 วรรณกรรมปริทัศน์.....	5
บทที่ 3 หลักการและทฤษฎีที่ใช้.....	17
3.1 ทฤษฎีแรงเฉือน.....	17
3.2 พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่องเปิดขนาดเล็ก.....	24
3.3 คาร์บอนไฟเบอร์	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 วิธีการศึกษาและผลการศึกษา.....	31
4.1 ลักษณะคานที่ทำการทดสอบ	31
4.2 การเตรียมหล่อตัวคานที่ทำการทดสอบ	32
4.2.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	32
4.2.2 การหล่อตัวอย่างคานทดสอบ.....	32
4.3 การเตรียมการทดสอบคานคอนกรีต.....	35
4.3.1 แบ่งส่วนการทดลอง.....	35
4.3.2 วัสดุและอุปกรณ์.....	37
4.3.3 ขั้นตอนการเตรียมการทดสอบ.....	38
4.4 ขั้นตอนการทดสอบคาน	41
4.4.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	41
4.4.2 ขั้นตอนการทดสอบตัวอย่างคาน.....	43
4.5 ขั้นตอนการทดสอบคาน	45
4.5.1 ผลการทดสอบคานไม่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกมาก่อน.....	45
4.5.2 ผลการทดสอบคานที่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกมาก่อน.....	65
4.5.3 เปรียบเทียบคานแต่ละประเภทของคานที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกมาก่อน.....	76
4.5.4 เปรียบเทียบคานแต่ละประเภทของคานที่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกมา เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคานอ้างอิง.....	77
4.5.5 เปรียบเทียบคานให้กับคานที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก.....	78
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	79
5.1 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล.....	79
5.1.1 พิจารณากำลังรับน้ำหนักของคานที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักกระทำมาก่อน...79	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

5.1.2	พิจารณาค่าการแอ่นตัวของคานที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักกระทำมาก่อน.....	81
5.1.3	เปรียบเทียบการเสริมความแข็งแรง CFRP แบบโครงถัก แบบมีกับไม่มีพุก.	82
5.1.4	พิจารณากำลังรับน้ำหนักของคานที่ผ่านการรับน้ำหนักกระทำมาก่อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยน้ำหนักกระทำ 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคาน.....	84
5.1.5	พิจารณาค่าการแอ่นตัวของคานที่ผ่านการรับน้ำหนักกระทำมาก่อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยน้ำหนักกระทำ 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคาน.....	85
5.2	สรุปผลการทดสอบ.....	86
5.3	ข้อเสนอแนะ.....	86
เอกสารอ้างอิง.....		88
ภาคผนวก		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ตารางแสดงค่าความสัมพันธ์โมเมนต์ และการแอนตัวที่กึ่งกลางคาน.....7
2.2	ตารางแสดงค่ารับน้ำหนักประลัย และรูปแบบการแตกหักของคานแต่ละแบบ.....9
2.3	ตารางแสดงค่าจุดคราส การรับน้ำหนักประลัย ของจุดสูงสุดการรับน้ำหนัก ระยะการแอนตัวต่ำสุด และรูปแบบการแตกหัก..... 12
2.4	ตาราง Table 1 แสดงค่าความสามารถของวัสดุแต่ละชนิด Table 2 แสดงรูปแบบการเสริมเพื่อทำการทดสอบ และตารางแสดงค่าการรับน้ำหนักก่อนและหลังของคานที่ถูกเสริมแต่ละชนิด..... 15
3.1	ค่าตัวแปรลดกำลังของแผ่น CFRP สำหรับการเสริมกำลังเฉือน.....27
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BC 1.....45
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BC 2.....47
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BNO 1.....49
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BNO 2.....51
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BNOSP 1.....53
4.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BNOSP 2.....55
4.7	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BNOTP 1.....57
4.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BNOTP 2.....59
4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BNOT 1.....61
4.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BNOT 2.....63
4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BOO 165
4.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BOO 267
4.13	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BOOSP 168
4.14	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BOOSP 270
4.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BOOTP 172

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว คาน BOOTP 274
4.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว คานที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักมาก่อน76
4.18	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว คานที่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกมา 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคานอ้างอิง.....77
5.1	แสดงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของคาน.....79
5.2	แสดงค่าการแอ่นตัวของคาน.....81
5.3	แสดงเปอร์เซ็นต์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของคานและเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบ.....82
5.4	แสดงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของคาน.....84
5.5	แสดงค่าการแอ่นตัวของคานที่ทำการทดสอบ.....85

สารบัญรูป

รูปที่

หน้า

1.1	รูปแบบการนำไปใช้ Sika CarboDur Plates	2
2.1	คาน BC-ACI ไม่มีช่องเปิด.....	5
2.2	คาน BC-ACI ไม่มีช่องเปิด.....	5
2.3	คาน BC-OCT มีช่องเปิดสูงจากผิวล่างคาน ถึงศูนย์กลางช่องเปิด เท่ากับ 17.50 ซม.....	6
2.4	คาน BC-OCB มีช่องเปิดสูงจากผิวล่างคาน ถึงศูนย์กลางช่องเปิดเท่ากับ 13.50 ซม.....	6
2.5	คาน BC-ODT มีช่องเปิดสูงจากผิวล่างคาน ถึงศูนย์กลางช่องเปิดเท่ากับ 18.50 ซม.....	6
2.6	คาน BC-ODB มีช่องเปิดสูงจากผิวล่างคานถึงศูนย์กลางช่องเปิดเท่ากับ 12.00 ซม.....	6
2.7	คานช่องเปิดวงกลม (C-cfrp-f).....	8
2.8	คานช่องเปิดสี่เหลี่ยม (S-cfrp-s).....	8
2.9	CFRP wrapping inside the opening.....	9
2.10	GFRP wrapping inside the opening.....	10
2.11	CFRP wrapping around the opening.....	10
2.12	GFRP wrapping around the opening.....	10
2.13	CFRP wrapping around and inside the opening.....	11
2.14	GFRP wrapping around and inside the opening.....	11
2.15	CFRP wrapping around the opening by double layer.....	11
2.16	CFRP wrapping around the opening by double layer.....	12
2.17	รูปแบบการเจาะรูของคานที่นำมาทำการทดสอบ.....	13
2.18	รูปแบบการทดสอบการกดน้ำหนักลงบนคานที่ทำการทดสอบ.....	14
3.1	แผนภูมิโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน เมื่อรับแรง Uniform Load ของคาน.....	18
3.2	หน่วยแรงกด และแรงดึงที่เกิดขึ้นในคานจากการรับแรง Uniform Load	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3	การพิจารณาแรงเฉือนและแรงดึงจากวงกลมมอร์.....20
3.4	ตัวอย่างมุมและรอยร้าวที่เกิดในคานช่วงเดียว.....20
3.5	ชนิดของรอยแตกร้าวเอวเฉือน และตัดเฉือนของคาน.....21
3.6	การต้านทานรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก.....22
3.7	การกระจายความเค้นของคานที่มีช่องเปิดตามทฤษฎีกำลังประลัย.....24
3.8	การวิบัติของคานที่มีการเจาะรูจากแรงเฉือน.....25
3.9	แสดงการหุ้ม CFRP แบบต่างๆ.....28
3.10	การติดตั้งแผ่น CFRP ในแนวตั้ง และแนวรับแรงเฉือน.....28
4.1	คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ.....31
4.2	แบบหล่อคานคอนกรีต.....32
4.3	เหล็กเสริมในคานที่ใช้ในการทดสอบ.....33
4.4	ผูกเหล็กคานหนุนลูกปูน.....33
4.5	ตรวจสอบระยะหุ้มก่อนเทคอนกรีต.....34
4.6	คอนกรีตผสมเสร็จที่ใช้หล่อคาน.....34
4.7	เทคอนกรีตลงแบบหล่อ.....35
4.8	ทำการบ่มคอนกรีต 28 วัน.....35
4.9	คานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง.....36
4.10	เครื่องคอรัง.....37
4.11	น้ำยา Sikadur- 30 Normal37
4.12	น้ำยา sikacabodur S51238

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13	วางตำแหน่ง แนวที่จะติดตั้ง CFRP.....38
4.14	การเตรียมผิวเพื่อติดตั้ง CFRP39
4.15	การผสมน้ำยาประสาน อีพ็อกซี่ A 3 ส่วน กับ B 1 ส่วน.....39
4.16	ติดตั้งแผ่น CFRP.....39
4.17	ติดตั้งแผ่น CFRP แล้วเสร็จทิ้งไว้ 7 วัน.....40
4.18	ทำการค่อริงคาน40
4.19	คานที่ทำการค่อริงเสร็จแล้ว.....40
4.20	Loading Frame41
4.21	คานถ่ายแรง (Transfer Beam).....41
4.22	Hydraulic Jack42
4.23	Load Cell.....42
4.24	เครื่องบันทึกค่าการยืดหด (Data Logger).....42
4.25	เครื่องมือวัดค่าการแอนตัว.....43
4.26	การติดตั้งตัวอย่างทดสอบ.....43
4.27	การติดตั้งคานตัวอย่างทดสอบเข้ากับ Loading Frame.....44
4.28	ทำการทดสอบคานตัวอย่าง.....44
4.29	การติดตั้งเครื่องมือวัดการแอนตัว (Dial Gauge).....45
4.30	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BC 1.....46
4.31	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BC 1.....46
4.32	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BC 2.....48
4.33	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BC 2.....48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.34	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคาน BNO 1.....50
4.35	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNO 1.....50
4.36	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคาน BNO 2.....52
4.37	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNO 2.....52
4.38	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคาน BNOSP 1.....54
4.39	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNOSP 1.....54
4.40	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคาน BNOSP 2.....56
4.41	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNOSP 2.....56
4.42	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคาน BNOTP 1.....58
4.43	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNOTP 1.....58
4.44	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNOTP 1.....59
4.45	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคาน BNOTP 2.....60
4.46	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNOTP 2.....60
4.47	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคาน BNOT 1.....62
4.48	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNOT 1.....62
4.49	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคาน BNOT 2.....64
4.50	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNOT 2.....64
4.51	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคาน BOO 1.....66
4.52	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BOO 1.....66
4.53	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคาน BOO 2.....67
4.54	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BOO 2.....68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.55	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคาน BOOSP 1.....69
4.56	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BOOSP 1.....69
4.57	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคาน BOOSP 2.....71
4.58	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BOOSP 2.....71
4.59	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคาน BOOTP 1.....73
4.60	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BOOTP 1.....73
4.61	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคาน BOOTP 2.....75
4.62	แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BOOTP 2.....75
4.63	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำกับคานใหม่ที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก.....76
4.64	การวิเคราะห์หน้าตัด E แรงกระทำด้านข้างในทิศทางแกน Y77
4.65	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำ ของคาน BNO 1 BNO 2 BOO 1 BOO 2.....78
4.66	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำ ของคาน BNOSP 1 BNOSP 2 BOOSP 1 BOOSP 2.....78
4.67	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำ ของคาน BNOTP 1 BNOTP 2 BOOTP 1 BOOTP 2.....79
4.68	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักระทำ ของคาน BNOTP 1 BNOTP 2 BNOT 1 BNOT 2.....79
5.1	แสดงเปรียบเทียบกำลังบรรทุกประลัยของคานแต่ละประเภท.....80
5.2	แสดงค่าการแอนตัวกึ่งกลางของคานแต่ละประเภท.....82
5.3	แสดงค่ากำลังประลัยของคาน BNOTP 1 BNOTP 2 BNOT 1 BNOT2.....83
5.4	แสดงเปรียบเทียบกำลังบรรทุกประลัยของคานแต่ละประเภทที่ผ่านการรับน้ำหนักมาก่อน.....84
5.5	แสดงเปรียบเทียบค่าการแอนตัวของคานแต่ละประเภทที่ผ่านการรับน้ำหนักมาก่อน.....85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ขานการค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

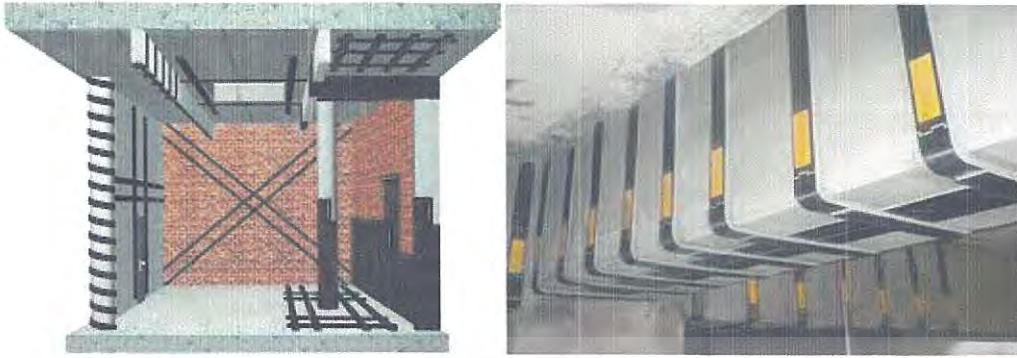
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในยุคปัจจุบันสิ่งอำนวยความสะดวกภายในอาคารมีมากขึ้น ทำให้อาคารที่ก่อสร้างอยู่เดิมและมีอายุการใช้งานมายาวนานไม่มีสิ่งอำนวยความสะดวกที่ทันสมัยปัจจุบันหรือมีอยู่เดิมแต่เกิดการชำรุด ทำให้การปรับปรุงในบางครั้งมีความจำเป็นที่ทำการเจาะช่องเปิดบริเวณคานคอนกรีตเสริมเหล็กทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักลดลง แต่เนื่องจากคานที่ทำการเจาะช่องเปิดผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกมาแล้ว ทำให้ขีดความสามารถในการรับน้ำหนักและค่าการแอนตัวไม่เหมือนคานใหม่ จึงเป็นที่มาของการศึกษาเปรียบเทียบคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่เป็นคานใหม่กับคานที่ผ่านการรับน้ำหนักที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่บริเวณรับแรงเฉือนที่เกิดจากการเจาะและมีการเสริมด้วย แผ่น CFRP Plates

ซึ่งการศึกษานี้ทำให้เข้าใจข้อแตกต่างของคาน ที่มีการเจาะช่องเปิดขนาดใหญ่บริเวณรับแรงเฉือน หลังการรับน้ำหนักมาก่อนกับคานใหม่ และหาแนวทางการเสริมความแข็งแรงด้วย Sika CarboDur Plates ซึ่งเป็นวัสดุเสริมความแข็งแรง ที่มีความสามารถในการรับแรงได้ดีมีน้ำหนักเบาติดตั้งง่าย การศึกษานี้มุ่งเน้นเพื่อสร้างความมั่นใจในการปรับปรุงอาคารที่มีอายุการใช้งานเป็นเวลานาน

เมื่อพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ที่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกมาแล้วด้วยน้ำหนักเกิน 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักประลัยของคาน ซึ่งพฤติกรรมของคานไม่ได้อยู่ในช่วงอีลาสติก คือเมื่อคืนสภาพคานไม่สามารถคืนสภาพกลับมาสภาพเดิมก่อนรับน้ำหนักบรรทุก ได้ทำให้ความแข็งแรงของคานมีค่าน้อยกว่าคานที่ผ่านการรับน้ำหนักไม่เกิน 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักประลัย ซึ่งอยู่ในช่วงอีลาสติก เมื่อการศึกษานี้ได้ศึกษาพฤติกรรมของคานที่ทำการเจาะช่องเปิดขนาดใหญ่ ในขณะที่คานยังรับน้ำหนักบรรทุกที่ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักประลัยบริเวณแรงเฉือน มีผลต่อการรับน้ำหนักของคาน และค่าการแอนตัวของคาน เนื่องจากการวิบัติด้วยแรงเฉือนจะเกิดการวิบัติแบบทันทีทันใด ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจว่าจะหาแนวทางในการเสริมความแข็งแรงอย่างไรให้ใกล้เคียงกับคานที่ไม่ทำการเจาะช่องเปิด ในการศึกษานี้จะเสริมความแข็งแรงด้วย Sika CarboDur Plates ร่วมกับทุกเคมีในการยึดติดกับคาน ก่อนที่จะทำการเจาะช่องเปิด เพื่อจำลองการทดสอบให้เหมือนกับสถานะใช้งานจริง



รูปที่ 1.1 รูปแบบการนำไปใช้ Sika CarboDur Plates

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่
- 1.2.2 ศึกษาพฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับน้ำหนักบรรทุกค้ำไว้ แล้วทำการเจาะช่องเปิดขนาดใหญ่บริเวณรับแรงเฉือนของคาน
- 1.2.3 เปรียบเทียบความแข็งแรงของคานปกติกับคานที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่
- 1.2.4 เปรียบเทียบความแข็งแรงของคาน ที่มีช่องเปิดกับคานที่มีการเสริมความแข็งแรง Sika CarboDur Plates ร่วมกับทุกเคมี
- 1.2.5 เปรียบเทียบพฤติกรรมของงานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทำการเจาะช่องเปิดโดยเทียบกับคานที่รับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ กับคานที่ไม่ผ่านน้ำหนักกระทำ
- 1.2.6 เปรียบเทียบพฤติกรรมของงานคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยทำการเจาะช่องเปิดและเสริมความแข็งแรงด้วย Sika CarboDur Plates ร่วมกับทุกเคมี โดยเทียบกับคานที่รับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ กับคานที่ไม่ผ่านน้ำหนักกระทำ

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

สมมติฐานที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีรายละเอียดดังนี้

- 1.3.1 การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริมเป็นไปอย่างสมบูรณ์
- 1.3.2 ขนาดของช่องเปิดมีผลต่อความแข็งแรงของคาน
- 1.3.3 เหล็กปลอกมีส่วนสำคัญในการช่วยรับแรงเฉือนของคานร่วมกับคอนกรีต
- 1.3.4 Sika CarboDur Plates รับแรงดึงได้ดี และรับแรงอัดได้พอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.4.1 พิจารณาความสามารถในการรับน้ำหนักจนวิบัติ ภายใต้น้ำหนักบรรทุกคงค้าง 60 %ของน้ำหนักประลัยของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
- 1.4.2 พิจารณาคานที่เสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียว (Single Reinforced Beam)
- 1.4.3 พิจารณาคานช่วงเดียว (Simple Beam)
- 1.4.4 พิจารณาผลของน้ำหนักกระทำแบบสถิต (Static Load)
- 1.4.5 ใช้เหล็กเสริมรับแรงดึงใช้มาตรฐาน SD40 และเหล็กรับแรงเฉือนใช้มาตรฐาน SR24
- 1.4.6 ใช้ Sika CarboDur Plates (CFRP) ในการทดลอง
- 1.4.7 ใช้ฟุกเคมีในการทดลอง
- 1.4.8 น้ำหนักที่กระทำเป็นแบบ 4 จุด กระทำ(Four Point Load)
- 1.4.9 ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ในแบบจำลอง $f'_c = 210 \text{ กก/ซม}^2$ และกำลังจุดครากของเหล็กรับแรงดึง คือ $f_y = 4000 \text{ กก/ซม}^2$ และ 2400 กก/ซม^2

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.5.1 ค้นหาข้อมูลจากการวิจัยเรื่อง พฤติกรรมคานที่มีช่องเปิด การเสริมความแข็งแรงคานที่มีช่องเปิด และพฤติกรรมคานที่มีอายุการใช้งานมายาวนาน เพื่อรวบรวมแนวคิดในการวิเคราะห์เพิ่มเติมและแนวทางในการทำการวิจัยโครงการ
- 1.5.2 สรุปผลงานวิจัยก่อนหน้านี้นำมาวิเคราะห์เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบ และปรับปรุงให้การเสริมกำลังสามารถนำมาใช้จริงกับคานที่มีอายุการใช้งานนานหรือคานที่ผ่านการรับน้ำหนักมาแล้ว
- 1.5.3 ออกแบบการดำเนินงานวิจัยและขั้นตอนการวิจัย
- 1.5.4 ออกแบบวิธีการวัดค่าต่างที่ใช้ในการวิจัย
- 1.5.5 ดำเนินการทำชิ้นงานวิจัย
- 1.5.6 ดำเนินการวิจัยและนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์
- 1.5.7 วิเคราะห์ค่าที่ก่ล้งศึกษาเพื่อนำค่าที่ได้มาใช้ในการสรุปผลงานวิจัย
- 1.5.8 สรุปผลการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.6.1 คุณภาพของคาน

1.6.2 น้ำหนักกระทำค้ำที่ค้ำไว้มีเวลาจำกัดในการค้ำไว้

1.7 ข้อจำกัดของการศึกษา

1.7.1 ระยะเวลาค้ำน้ำหนักมีเวลาในการค้ำที่จำกัด

1.7.2 คานที่ใช้ในการศึกษาออกแบบเพื่อศึกษาในส่วนแรงเฉือนคาน

1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.8.1 ทราบถึงพฤติกรรมการรับน้ำหนักของคานที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ที่ทำการเจาะบริเวณส่วนรับแรงเฉือนของคาน

1.8.2 ทราบถึงพฤติกรรมของคานที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ที่ทำการเจาะทีหลัง ทั้งแบบคานที่ไม่เคยผ่านน้ำหนักกระทำกับคานที่ผ่านน้ำหนักกระทำ

1.8.3 ทราบถึงขีดความสามารถของการเสริมความแข็งแรงโดยเสริมเฉพาะผิวนอก

1.8.4 ทราบถึงความสามารถในการเพิ่มกำลังในรูปแบบทั่วไปที่ใช้ในการเสริมความแข็งแรงที่สามารถเพิ่มกำลังของคานที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ได้เท่าไรเมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่น

1.8.5 ทราบถึงความสามารถในการเพิ่มกำลังในส่วนแรงเฉือนทแยง ว่ามีค่าแตกต่างมากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับการเสริมที่ใช้กันในการเสริมความแข็งแรงช่องเปิดขนาดใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 วรรณกรรมปริทัศน์

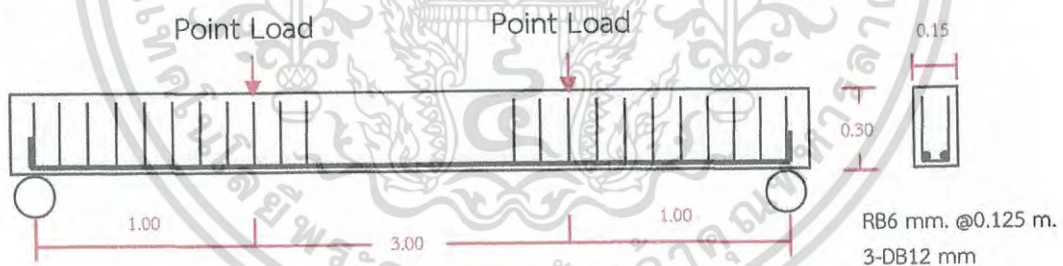
2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับช่องเปิด ทั้งขนาด ตำแหน่ง รูปร่าง และพฤติกรรมของคานที่มีช่องเปิด ซึ่งมีการเพิ่มกำลังช่องเปิดในรูปแบบต่างๆ โดยใช้วัสดุที่มีขีดความสามารถสูงชันและเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยในการเสริมความแข็งแรง เพื่อเป็นข้อมูลในการวิจัยและพัฒนาในงานวิจัยนี้

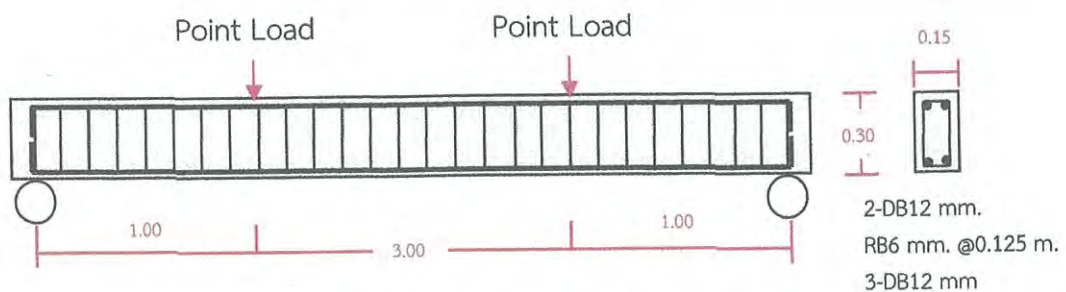
2.2 วรรณกรรมปริทัศน์

2.2.1 พฤติกรรมของคานที่มีช่องเปิด

สหชัย แก่นอากาศ อธิพิงศ์ พันธนิกุล และ ดร.วนิดา แก่นอากาศ (2545) หัวข้อ พฤติกรรมคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่องเปิดขนาดเล็ก [2] ได้ศึกษาพฤติกรรมของคานคอนกรีตที่มีช่องเปิดขนาดเล็ก จากผลทดลองสรุปได้ว่าช่องเปิดขนาดเล็ก (ไม่เกิน 40% ของความลึกคาน) มีความสามารถในการรับแรงได้ไม่ต่างกับคานที่ไม่มีช่องเปิด แต่ค่าการแอ่นตัวของคานที่มีช่องเปิดอยู่บริเวณเหนือแนวแกนสะเทิน ค่าการแอ่นตัวจะมากกว่าคานปกติ และคานที่มีช่องเปิดใต้แกนสะเทิน เนื่องจากเหนือแกนสะเทินเป็นรูปแบบแรงอัด เมื่อมีช่องเปิดเหนือแกนสะเทิน ทำให้คอนกรีตบริเวณช่องเปิดหายไป ทำให้สูญเสียกำลังอัดของคอนกรีตไปค่าการแอ่นตัวจึงเพิ่มขึ้น

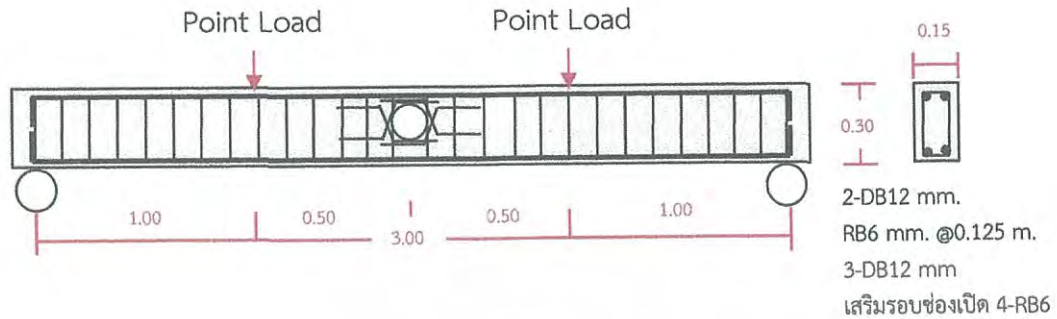


รูปที่ 2.1 คาน BC-ACI ไม่มีช่องเปิด

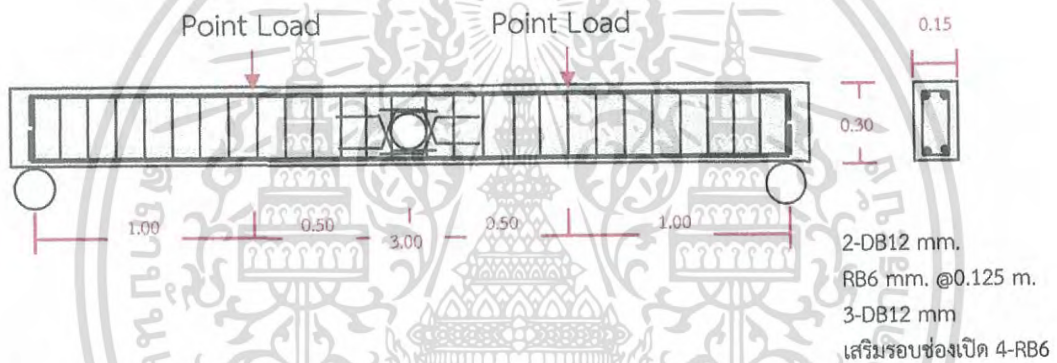


รูปที่ 2.2 คาน BC-PRA ไม่มีช่องเปิด

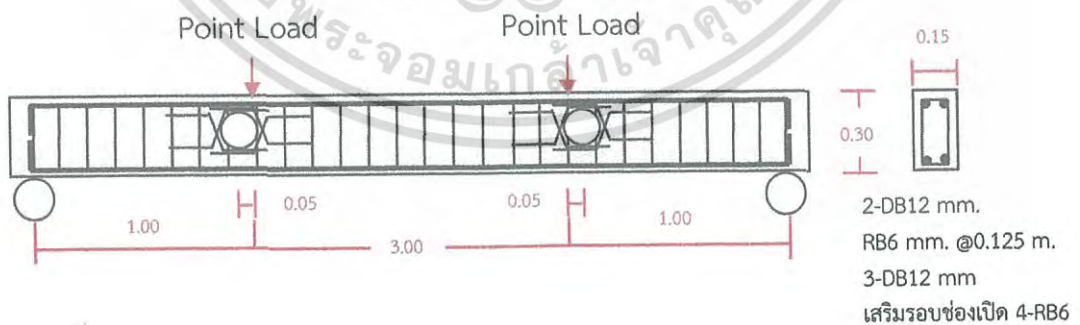
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 คาน BC-OCT มีช่องเปิดสูงจากผิวล่างคาน ถึงศูนย์กลางช่องเปิด เท่ากับ 17.50 ซม

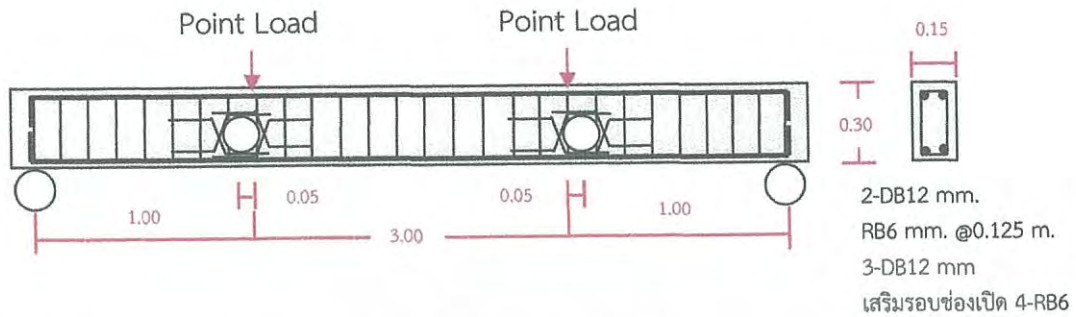


รูปที่ 2.4 คาน BC-OCB มีช่องเปิดสูงจากผิวล่างคาน ถึงศูนย์กลางช่องเปิดเท่ากับ 13.50 ซม.



รูปที่ 2.5 คาน BC-ODT มีช่องเปิดสูงจากผิวล่างคาน ถึงศูนย์กลางช่องเปิดเท่ากับ 18.50 ซม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 คาน BC-ODB มีช่องเปิดสูงจากผิวล่างคานถึงศูนย์กลางช่องเปิดเท่ากับ 12.00 ซม.

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าความสัมพันธ์โมเมนต์ (ตัน-เมตร) และการแอนตัวที่กึ่งกลางคาน (มิลลิเมตร)

โมเมนต์ (ตัน-เมตร)	การแอนตัวที่กึ่งกลางคาน (มิลลิเมตร)					
	BC-ACI	BC-PRA	BC-OCT	BC-OCB	BC-ODT	BC-CDB
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.83	1.13	1.41	2.71	0.65	1.30	1.20
1.34	2.54	2.56	4.12	2.37	3.88	3.56
1.85	4.81	5.85	7.10	4.40	6.81	6.47
2.36	7.46	8.14	11.66	7.92	9.68	9.18
2.87	17.16	16.21	15.95	17.65	25.72	14.84
2.97	30.39	36.05	27.12	33.39	44.00	19.75
3.08	31.66	-	40.57	-	-	30.70
3.18	52.60	-	-	-	-	-

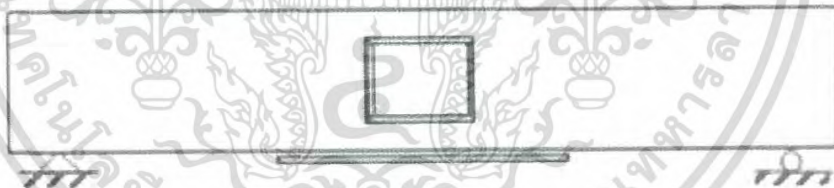
นเรฐฐ พันธ์รธร หัวข้อกำลังในการรับแรงเฉือนของคานที่มีช่องเปิดวงกลมขนาดใหญ่ [1] ได้ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงเฉือนของคาน ที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่หนึ่งช่อง และสองช่องโดยเสริมเหล็กรับแรงเฉือนในรูปแบบต่างๆ ทำให้เห็นความสำคัญของการเสริมเหล็กรับแรงเฉือนในแนวตั้ง แนวทแยง และ ภายในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องเปิด จะเห็นว่าการเสริมเหล็กภายในช่องเปิดสามารถช่วยในการรับแรงได้ค่อนข้างมากเนื่องจากเหล็กเสริมที่เสริมในช่องเปิดสามารถดัดเคยกำลังอัดคอนกรีตที่หายไปเพราะช่องเปิดได้

S.C.ChinN.Shafiq และ M.F.Nuruddin (2011) หัวข้อ Strengthening of RC Beams Containing Large Opening at Flexure with CFRP laminates [4] ได้ศึกษาการเพิ่มกำลังของคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ ด้วย CFRP (คาร์บอนไฟเบอร์) โดยศึกษาช่องเปิดขนาดใหญ่ บริเวณกึ่งกลางคาน ซึ่งเป็นส่วนรับแรงดัดสูงสุด จากการทดสอบจะเห็นว่าช่องเปิดวงกลม มีความแข็งแรงมากกว่าช่องเปิดสี่เหลี่ยม เนื่องจากช่องเปิดสี่เหลี่ยมมีมุม ที่เป็นจุดอ่อนแอของช่องเปิดทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของช่องเปิดสี่เหลี่ยมน้อยกว่าวงกลม ส่วนการเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ผลที่ออกมาที่แตกต่างกันมากนั้น น่าจะเกิดจากการเสริมความแข็งแรงที่ต่างกันโดยการเสริมบริเวณผิวข้างคานสามารถเพิ่มกำลังได้มากกว่าเสริมภายในช่องเปิด



รูปที่ 2.7 คานช่องเปิดวงกลม (C-cfrp-f)



รูปที่ 2.8 คานช่องเปิดสี่เหลี่ยม (S-cfrp-s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่ารับน้ำหนักประลัย และรูปแบบการแตกหักของคานแต่ละแบบ

SUMMARY OF TEST RESULTS		
Beam Specimens	Ultimate Load, P_u (kN)	Failure Mode
Control beam, CB	115.67	Shear
C-con-f	96.57	Flexure at opening
S-con-f	78.14	Flexure at opening
C-cfip-f	164.4	Shear at opening
S-cfip-s	86.07	Flexure at opening

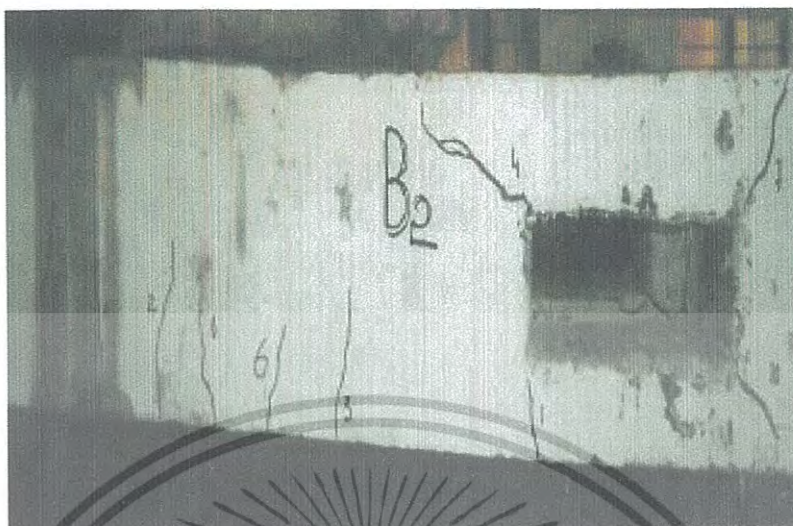
2.2.2 การเสริมความแข็งแรงคานที่มีช่องเปิดบริเวณผิวด้านในของช่องเปิด

Rakesh Diggikar Shivaraj Mangalgi และ Rajendrakumar Harsoor (2013) หัวข้อ Behavior of R.C.C. Beam With Rectangular Opening Strengthened by CFRP And GFRP Sheets [3] ได้ศึกษาแนวทางการเสริมความแข็งแรงภายในและด้านข้างช่องเปิดด้วย CFRP และ GFRP ผลที่ออกมาการเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP และ GFRP ด้านข้างของคานสามารถเพิ่มกำลังคานได้มากกว่าการเสริมข้างในช่องเปิด อีกทั้ง CFRP สามารถเสริมความแข็งแรงได้มากกว่า GFRP



รูปที่ 2.9 CFRP wrapping inside the opening

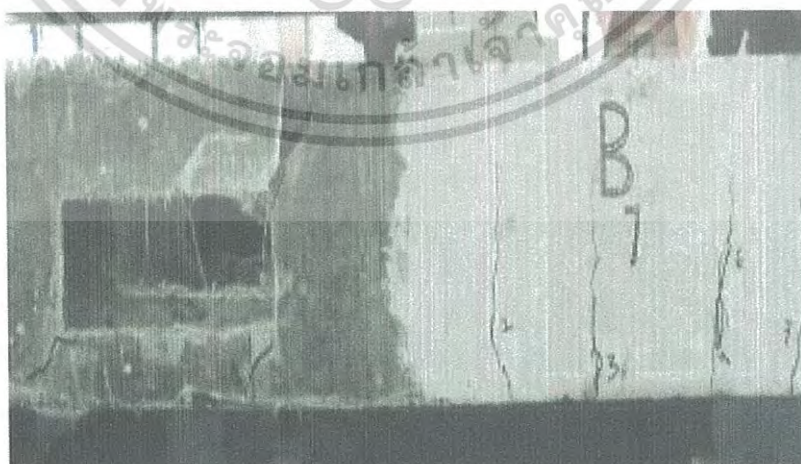
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 GFRP wrapping inside the opening



รูปที่ 2.11 CFRP wrapping around the opening



รูปที่ 2.12 GFRP wrapping around the opening

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 CFRP wrapping around and inside the opening



รูปที่ 2.14 GFRP wrapping around and inside the opening



รูปที่ 2.15 CFRP wrapping around the opening by double layer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 GFRP wrapping around the opening by double layer

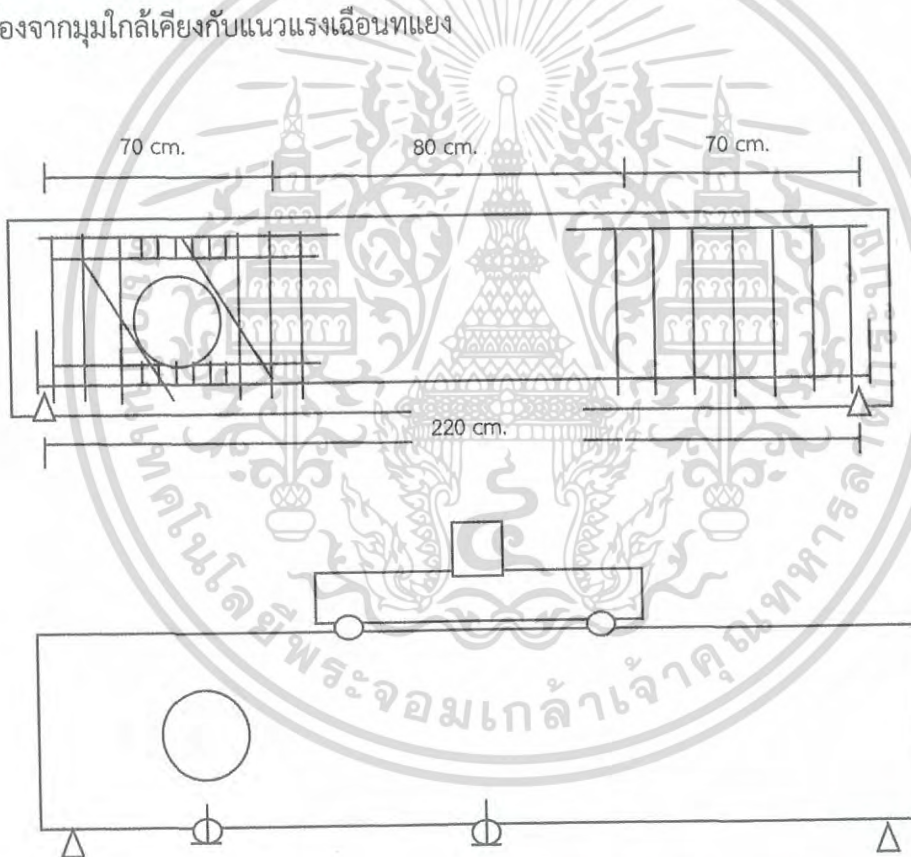
ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงค่าจุดคราก (KN) การรับหนักประลัย (KN) เปอร์เซ็นต์ของจุดสูงสุดการรับน้ำหนัก ระยะการแอ่นตัวต่ำสุด และรูปแบบการแตกหัก

Designation on Beam	Type of Strengthened	Initial Crack Load in KN	Ultimate Failure Load in KN	Increase in load carrying capacity in %	Maximum Deflection	Mode of Failure
B1	Control beam	27.10	79.75	-	10.895	Flexure
B2	Non Strengthened Control beam(post opening)	14.14	43.30	-	6.415	Shear
B3	Strengthened around by CFRP	15.76	54.64	26.18	8.550	Shear
B4	Strengthened around by GFRP	15.76	52.21	20.57	8.200	Shear
B5	Strengthened inside by CFRP	17.38	47.35	9.35	6.975	Shear
B6	Strengthened inside by	17.38	44.92	3.74	6.890	Shear
GFRP						
B7	Strengthened around and inside by CFRP	19.00	65.17	50.50	10.390	Flexure
B8	Strengthened around and inside by GFRP	17.38	59.50	37.41	9.205	Flexure
B9	Strengthened around with double layer by CFRP	19.00	61.12	41.15	9.725	Flexure
B10	Strengthened around with double layer by GFRP	17.38	58.69	35.54	10.510	Flexure

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 เสริมความแข็งแรงคานที่มีช่องเปิดบริเวณผิวด้านข้าง

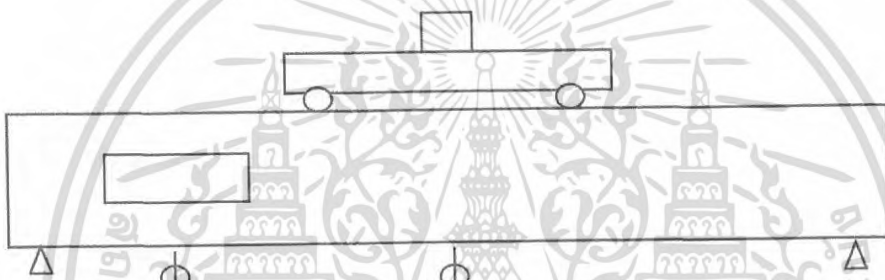
Mohammed J. Abed K. Nasharuddin M.A. AlamZakaria CM และ Moatasem M. Fayyadh หัวข้อ DAMAGED RC BEAMS WITH CIRCULAR WEB OPENING REPAIRED USING DIFFERENT CONFIGURATION OF BONDING STEEL PLATE (2012) [5] ได้ศึกษาแนวทางการเสริมความแข็งแรงของคาน ที่มีช่องเปิดวงกลมบริเวณรับแรงเฉือน ด้วยแผ่นเหล็กติดตั้งบริเวณผิวด้านข้างรอบช่องเปิดของคาน เพื่อศึกษาการเสริมความแข็งแรง ในแนวตั้งกับแนวทแยง ผลเนื่องจากผลการทดลองคานที่มีการเสริมเหล็กแผ่นในแนวตั้ง กับเสริมเหล็กแผ่นในแนวทแยง การวิบัติด้วยน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน แต่ลักษณะความเสียหายต่างกันความเสียหาย ที่เกิดขึ้นจากการเสริมเหล็กแผ่นในแนวตั้ง จะเสียหายบริเวณช่องเปิด ส่วนความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการเสริมเหล็กแผ่นในแนวทแยง จะเสียหายบริเวณคาน ซึ่งเกิดจากการวิบัติของคานเอง ทำให้คาดการณ์ได้ว่าการเสริมความแข็งแรงในแนวทแยง สามารถเพิ่มความสามารถในการรับแรงเฉือน ได้ดีกว่าแนวตั้งเนื่องจากมุมใกล้เคียงกับแนวแรงเฉือนทแยง



รูปที่ 2.17 รูปแบบการเจาะรูของคานที่นำมาทำการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A.Ahmed A S.NaganathanK.Nasharuddin M.M.Fayyadh(2015) หัวข้อ Repair effectiveness of CFRP and steel plates in RC beams with web opening effect of plate thickness [6] ได้ศึกษาความหนาของเหล็กแผ่นในแต่ละขนาด มีผลต่อความสามารถในการรับแรงของคาน ที่มีช่องเปิดเมื่อเทียบกับ CFRP จากผลทดสอบจะเหล็กแผ่น แต่ละขนาดสามารถเพิ่มกำลังในการรับน้ำหนักของคาน ที่มีช่องเปิดได้ใกล้เคียงกัน แต่จะต่างกันค่าการแอ่นตัวของคาน ที่ขนาดของเหล็กแผ่นที่มีความหนามากค่าการแอ่นตัวของคาน ก็จะน้อยลงตามความหนาของแผ่นเหล็ก ส่วน CFRP มีความสามารถในการรับแรงได้ดีกว่าเหล็กแผ่น แต่ค่าการแอ่นตัวของ CFRP ใกล้เคียงกับเหล็กแผ่น จากข้อมูลผลทดสอบที่ได้ จะเห็นว่าตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงและค่าการแอ่นตัวคือ ตัวประสานระหว่างแผ่นเสริมความแข็งแรงกับผิวคอนกรีตของคาน คือขีดความสามารถของตัวประสานน้อยกว่า ตัวเสริมความแข็งแรงสามารถในการรับแรงจะตกไปอยู่ที่ตัวประสาน จึงทำให้ข้อมูลที่ได้ของแต่ละตัวทดลอง มีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2.18 รูปแบบการทดสอบการกदन้หนักลงบนคานที่ทำการทดสอบ

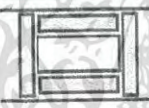
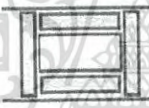


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตาราง Table 1 แสดงค่าความสามารถของวัสดุแต่ละชนิด Table 2 แสดงรูปแบบการเสริมเพื่อทำการทดสอบ และตารางแสดงค่าการรับน้ำหนักก่อนและหลังของคานที่ถูกเสริมแต่ละชนิด

Table 1 Mechanical properties of materials

Material	Diameter (mm)	Compressive strength (MPa)	Ultimate tensile strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa) $\times 10^3$
Concrete	-	26	-	20
	12	-	406	200
Steel bars	10	-	400	200
	6	-	380	200
CFRP	-	-	2800	165
Steel plate	-	-	380	200

Table 2 Configuration types and dimensions

Beam	Repair material	Configuration	Plate Thickness (mm)	plate Width (mm)
B1	CFRP		1.2	100
B2	Steel plate		2	100
B3	Steel plate		3	100
B4	Steel plate		4	100

2.2.4 การเสริมความแข็งแรงด้วยวัสดุเสริมร่วมกับทุก

Allam S.M. (2005) หัวข้อ Strengthening of RC beams with large openings in the shear zone [7] ได้ศึกษาการเสริมความแข็งแรงช่องเปิดสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่ โดยเสริมความแข็งแรงด้วยแผ่นเหล็กเสริมผิวข้างและด้านในช่องเปิดร่วมกับทุก ผลศึกษาที่ได้ออกมาความสามารถในการรับแรงได้ดีมาก โดยศึกษาร่วมกับแบบไม่มีทุก ไม่เสริมภายในช่องเปิด และ CFRP (คาร์บอนไฟเบอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mansur M.A. Tan K.H. และ Wei W. (1999) หัวข้อ Effects of creating an opening in existing beams [9] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเสริมความแข็งแรงของคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วย FRP โดยติดตั้งในแนวทะแยงรับกับแรงเฉือนทะแยงร่วมกับพุก คานที่ใช้ในการศึกษาเป็น T-beam และช่องเปิดอยู่เหนือแกนสะเทินซึ่งทำให้คานอ่อนแอลง ผลการทดสอบได้ผลมาในรูปแบบการเสริมความแข็งแรงด้วย FRP ร่วมกับพุกสามารถรับแรงได้มากกว่า FRP เพียงอย่างเดียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการและทฤษฎีที่ใช้

3.1 ทฤษฎีแรงเฉือน

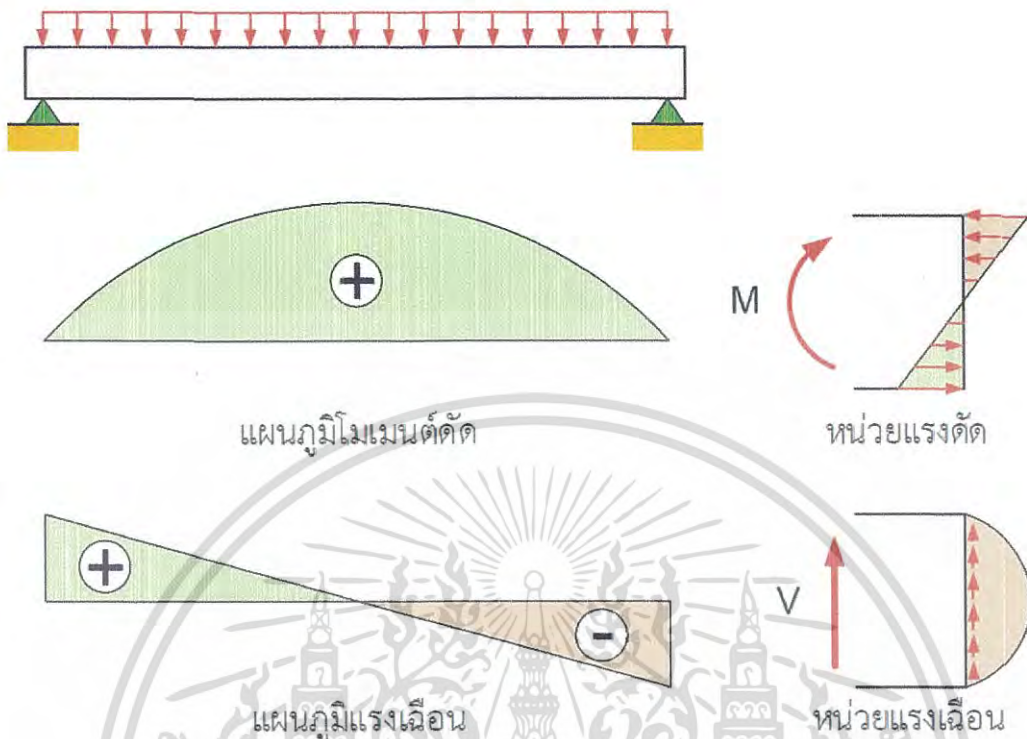
3.1.1 ทฤษฎีแรงเฉือน (ผศ.ดร. มงคล จีรวรรณเดช)

ในการออกแบบหน้าตัดคานจะออกแบบส่วนการตัดก่อนเพื่อให้ได้ขนาดเหล็กเสริมรับโมเมนต์ก่อนมาคิดการต้านทานแรงเฉือน การวิบัติจากแรงเฉือนจะคิดโดยให้หน้าตัดที่รับโมเมนต์ตัด M และแรงเฉือน V จะเกิดหน่วยแรงตึงฉาก f และหน่วยแรงเฉือน v

$$F = \frac{My}{I} \quad (3.1)$$

$$V = \frac{VQ}{Ib} \quad (3.2)$$

เมื่อ y = ระยะแกนสะเทินของหน้าตัด
 Q = โมเมนต์ของพื้นที่ซึ่งระนาบของหน่วยแรงเฉือนตัดผ่าน
 I = โมเมนต์อินเตอร์เซียของหน้าตัด



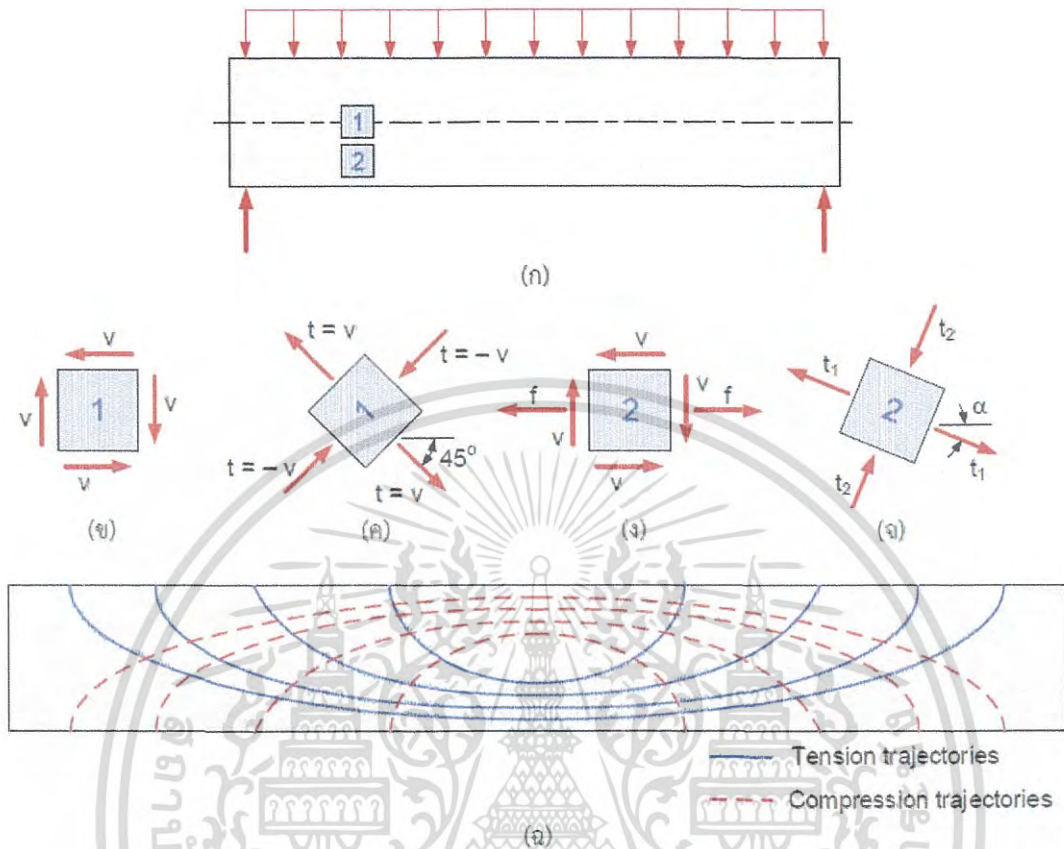
รูปที่ 3.1 แผนภูมิโมเมนต์คัตและแรงเฉือน เมื่อรับแรง Uniform Load ของคานรูปของ (ผศ.ดร. มงคล จิรวชิรเดช)

3.1.2 ทฤษฎีแรงเฉือนทแยง (ผศ.ดร. มงคล จิรวชิรเดช)

แรงเฉือนคือแรงที่พยายามจะเฉือนส่วนของโครงสร้างในลักษณะที่จะทำให้ขาดออกจากกัน แต่ถ้าพูดถึงการวิบัติของคานจากแรงเฉือน จะไม่ได้เกิดจากจากแรงเฉือนโดยตรงแต่เกิดเนื่องจากแรงในแนวทแยง แรงดิ่งที่เกิดในคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ไม่มีเหล็กเสริมทางขวาง มีค่าเกินกว่ากำลังต้านทานแรงดิ่งของคาน คอนกรีตก็จะปรากฏรอยแตกกว้างขึ้น รอยแตกกว้างที่เกิดจากแรงดิ่งทแยงมีความกว้างมากกว่ารอยร้าวที่เกิดขึ้นจากโมเมนต์คัต การวิบัติจากแรงเฉือนจะเกิดขึ้นแบบฉับพลัน เพื่อป้องกันการวิบัติจึงมีการเสริมเหล็กทางขวางเพื่อช่วยในการรับแรงเฉือนทแยงแทนคอนกรีตที่รับแรงดิ่งได้น้อย

จากสมการที่ 3.2 จะเห็นว่าค่าแรงเฉือนจะมีค่าเป็นศูนย์ บริเวณผิวบนของคานจะมีค่ามากบริเวณแกนสะเทิน พิจารณาชิ้นส่วนสี่เหลี่ยมบนแกนสะเทิน ตามรูป 3.1 จะมีเฉพาะหน่วยแรงเฉือนบนขอบทั้งสี่ด้าน โดยมีขนาดเท่ากัน และทิศทางตรงข้ามเพื่อให้อยู่สภาวะสมดุล หน่วยแรงเฉือนล้วนจะถูกหมุนไป 45 องศา จะกลายเป็นหน่วยแรงดิ่งและหน่วยแรงอัด ซึ่งหน่วยแรงดิ่งทแยงมุมทำให้เกิดการแตกร้าวของคอนกรีต ซึ่งมีกำลังดิ่งต่ำกว่ากำลังอัด รอยร้าวจากเฉือนจึงทำมุม 45 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 หน่วยแรงกด และแรงดึงที่เกิดขึ้นในคานจากการรับแรง Uniform Load
รูปของ (ผศ.ดร. มงคล จิรวชิรเดช)

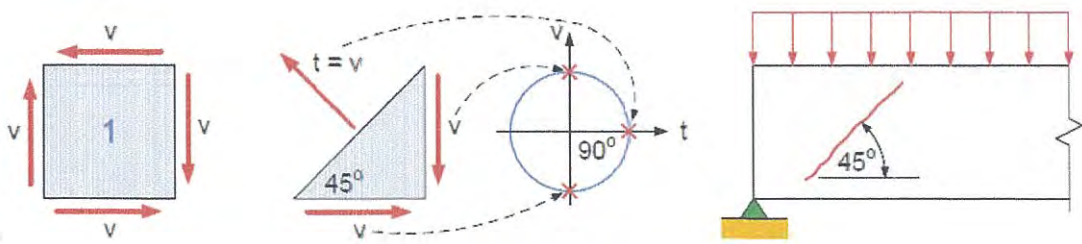
สำหรับชิ้นส่วนอื่นที่ไม่ได้อยู่บนแกนสะเทินหรือขอบบนและล่าง จะมีทั้งหน่วยแรงเฉือนและหน่วยแรงจากการดัด ซึ่งอาจหมุนให้เหลือเพียงหน่วยแรงดึงและอัด เรียกว่าหน่วยแรงหลัก สามารถคำนวณตามวงกลมของมอร์

$$t = \frac{f}{2} \pm \sqrt{\frac{f^2}{4} + v^2} \tag{3.3}$$

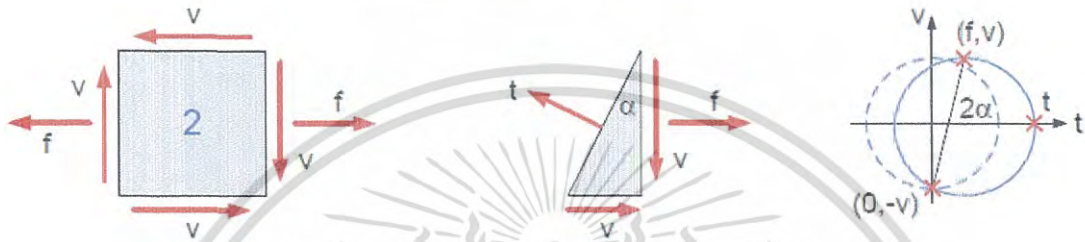
ทิศทางของหน่วยแรงหลักที่ทำมุม α กับแกนคาน คำนวณได้จาก

$$\tan 2 \alpha = \frac{2v}{f} \tag{3.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



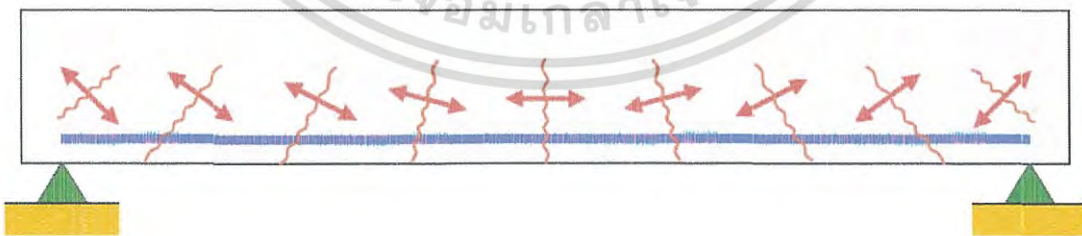
(ก) หน่วยแรงเฉือนล้วนที่แกนสะเทิน



(ข) หน่วยแรงและหน่วยแรงดิ่งบริเวณต่ำกว่าแกนสะเทิน

รูปที่ 3.3 การพิจารณาแรงเฉือนและแรงดิ่งจากวงกลมมอร์
รูปของ (ผศ.ดร. มงคล จิรวรรเดช)

สามารถสรุปได้ว่าหน่วยแรงดิ่งหลัก t ในแนวทแยงทำมุม α กับแกนของคานจะมีขนาดอย่างน้อยสุดเท่ากับ v ในสภาวะการเฉือนล้วนโดยทำมุม 45 องศา กับแกนคาน รูป 3.3 (ก) เมื่อมีหน่วยแรงดิ่ง f มากจะทำให้หน่วยแรงดิ่ง t จะเพิ่มขึ้นแต่มุม α จะน้อยลงกว่า 45 องศา ซึ่งหน่วยแรงตามแนวช่วงคานซึ่งมีสัดส่วนของหน่วยแรงเฉือนและหน่วยแรงดิ่งแตกต่างกันทำให้มีผลต่อแนวของรอยร้าวเอียงตามรูป



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างมุมและรอยร้าวที่เกิดในคานช่วงเดียว
รูปของ (ผศ.ดร. มงคล จิรวรรเดช)

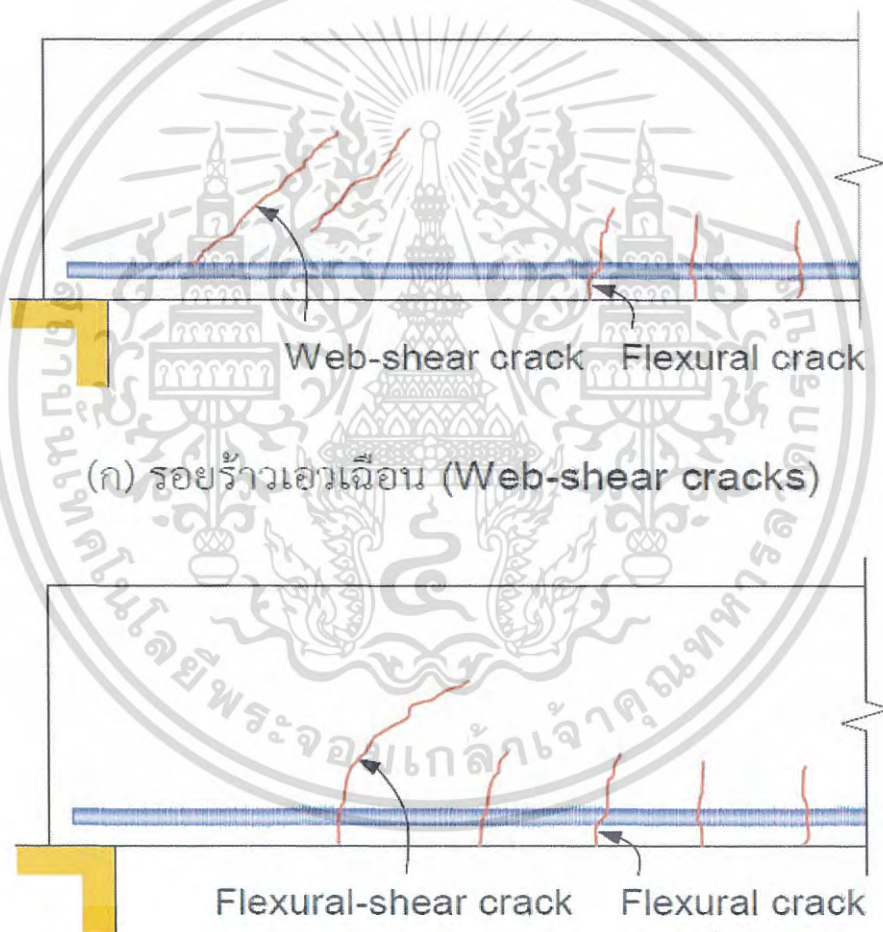
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การแตกร้าวของคานที่ไม่เหล็กรับแรงเฉือน (ผศ.ดร. มงคล จิรวัชรเดช)

คอนกรีตมีความสามารถในการรับแรงดึงต่ำ จะเกิดการแตกร้าวขึ้นเมื่อหน่วยแรงดึงมีค่าเกินกำลังดึงตำแหน่ง และทิศทางของรอยแตกร้าวจะขึ้นกับหน่วยแรงหลัก และมีชื่อเรียกตามตำแหน่งและลักษณะของรอยร้าว

รอยร้าวจะทำมุม 45 องศา โดยส่วนใหญ่มักอยู่บริเวณแกนสะเทิน เรียกว่า “รอยร้าวเอวเฉือน” จะเกิดขึ้นเมื่อหน่วยแรงดึงทแยง มีค่าถึงกำลังรับแรงดึงของคอนกรีต

ในกรณีที่แรงเฉือนและโมเมนต์ดัดมีค่ามากที่บริเวณเดียวกัน จะเกิดรอยแยกแรงดึงจากการดัดก่อน จากนั้นจะขยายตามแนวเอียงตามทิศทางของหน่วยแรงดึง รอยร้าวลักษณะนี้เรียกว่า “รอยร้าวดัดเฉือน”



(ข) รอยร้าวดัดเฉือน (Flexural-shear cracks)

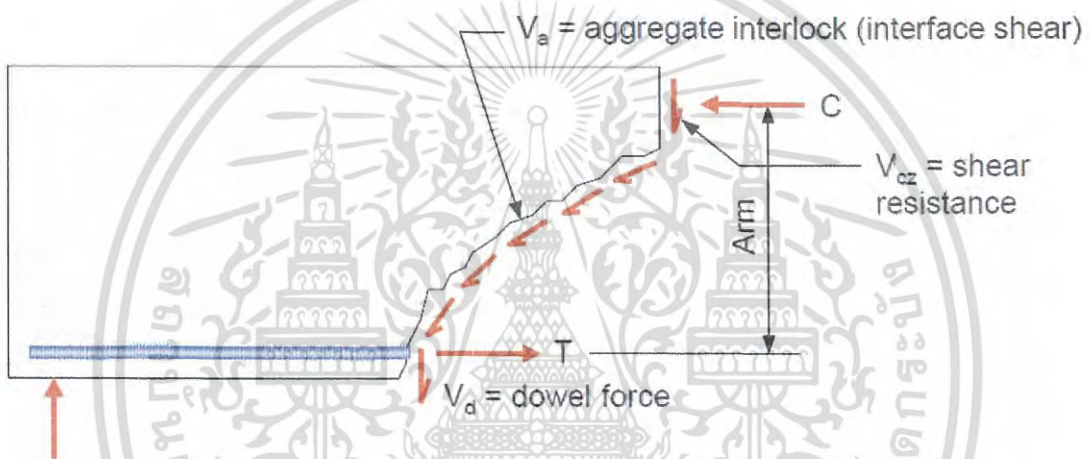
รูปที่ 3.5 ชนิดของรอยแตกร้าวเอวเฉือน และดัดเฉือนของคาน
รูปของ (ผศ.ดร. มงคล จิรวัชรเดช)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 กำลังรับแรงเฉือนของคานไม่เสริมเหล็กกับแรงเฉือน (ผศ.ดร. มงคล จิรวรรณเดช)

ความต้านทานแรงเฉือนในคอนกรีตเสริมเหล็กตามรูป (3.5) เกิดจากดังต่อไปนี้

1. ความต้านทานแรงเฉือนของหน้าตัดคอนกรีตไม่แตกร้า V_{cz}
2. การล๊อคตัวระหว่างกันของมวลรวม V_a ในแนวสัมผัสกับรอยร้า และคล้ายกับแรงเสียดทานระหว่างผิวคอนกรีตในแต่ละด้านของรอยร้า
3. ความต้านทานของเหล็กเสริมหลักต่อแรงเฉือน V_d
4. ผลของความโค้งในคานเล็ก
5. ความต้านทานแรงเฉือนของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน V_s จากเหล็กปลอก



รูปที่ 3.6 การต้านทานรับแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
รูปของ (ผศ.ดร. มงคล จิรวรรณเดช)

จะบอกได้ว่ากำลังเฉือน สามารถคำนวณได้จาก

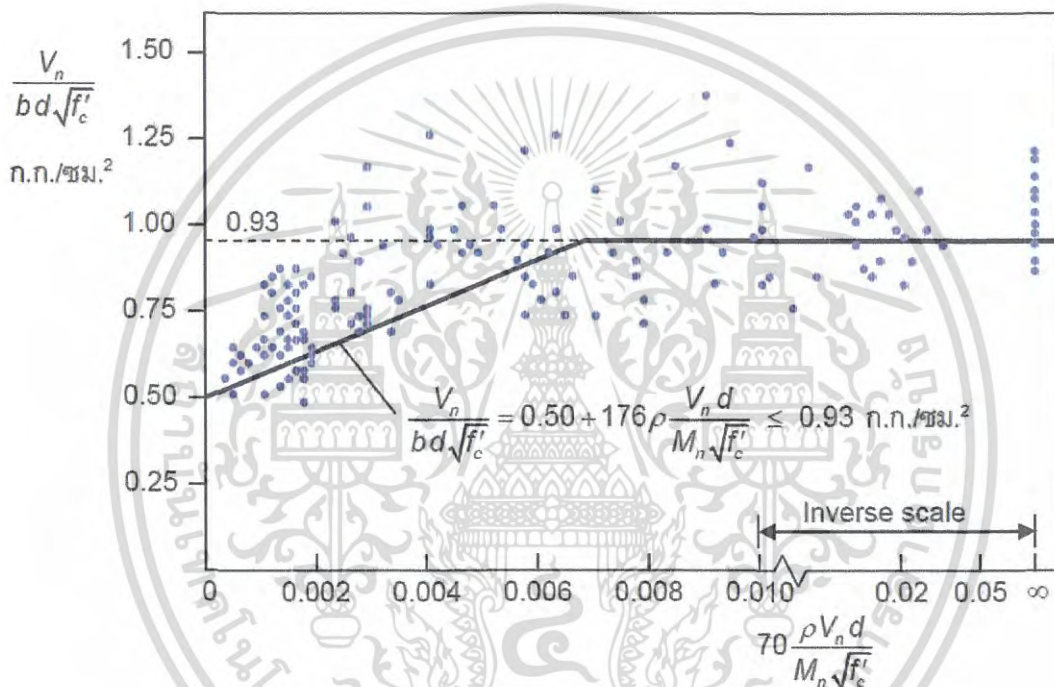
$$\frac{V_n}{bd\sqrt{f_c}} + 0.50 + 176 \frac{pVd}{M_n\sqrt{f_c}} \leq 0.93 \text{ ก.ก./ชม.}^2 \quad (3.5)$$

ตั้งแต่ปี 1963 ACI Code ยอมรับความสัมพันธ์ของสมการกำลังเฉือน ว่าเป็นกำลังเฉือนของคานไม่เสริมเหล็กกับแรงเฉือน ดังนั้นจึงนิยาม V_c เป็นกำลังของคานคอนกรีต โดยใช้ของแอมคาน b_w แทน b จะได้ว่า

$$V_c = (0.50\sqrt{f_c} + 176 \frac{p_w V_u d}{M_u}) b_w d \leq 0.93\sqrt{f_c} b_w d \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คือสูตรโดยละเอียดที่ ACI และ ว.ส.ท. ใช้ในมาตรฐาน การใช้แรงเฉือนประลัย V_u และโมเมนต์ประลัย M_u แทนที่จะเป็น $V_n = \frac{V_u}{\phi}$ และ $M_n = \frac{M_u}{\phi}$ มีความแตกต่างเล็กน้อย เพราะอัตราส่วน $\frac{V_u}{M_u}$ ยังคงเท่ากับ $\frac{V_n}{M_n}$ อยู่โดยประมาณแม้ว่าแฟกเตอร์ลดกำลัง ϕ ของแรงเฉือนและโมเมนต์จะต่างกัน อัตราส่วนเสริมเหล็ก $p_w = \frac{A_s}{(b_w d)}$ ที่ใช้ในสูตรของ ACI ซึ่ง b_w จะเป็นความกว้างของเวกคานสำหรับหน้าตัดตัว T แทนที่จะเป็นความกว้างของปีกคาน



กราฟที่ 3.1 กราฟแสดงกำลังต้านทานแรงเฉือนของคานคอนกรีตเสริมเหล็กไม่มีเหล็กเสริมรูปของ (ผศ.ดร. มงคล จิรวีชรเดช)

เนื่องจากการคำนวณด้วยมือสามารถโดยลำบากเพราะค่า p_w, V_u และ M_u จะมีค่าไม่คงที่ตลอดช่วงคาน ทำให้ต้องคำนวณ V_c เป็นช่วงๆ ดังนั้น ACI จึงยอมให้ใช้สูตรที่ง่ายกว่า คือ

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c}b_w d \quad (3.7)$$

สำหรับองค์อาคารที่มีแรงอัดตามแนวแกนร่วมด้วย

$$V_c = 0.53\left(1 + 0.0071\frac{N_u}{A_g}\right)\sqrt{f'_c}b_w d \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

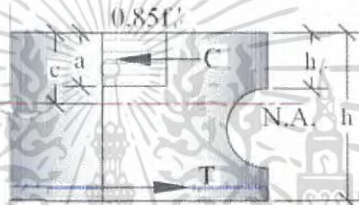
สำหรับองค์อาคารที่มีแรงดึงตามแนวแกนร่วม

$$V_c = 0.53(1 + 0.029 \frac{N_u}{A_g}) \sqrt{f_c} b_w d \tag{3.9}$$

เมื่อ N_u คือ แรงประลัยตามแนวแกน (มีค่าเป็นลบเมื่อเป็นแรงดึง) (ก.ก.)
 A_g คือ พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของคาน ($b_w h$) (จ. ม.²)

3.2 พฤติกรรมของคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่องเปิดขนาดเล็ก (สหชัย แก่นอากาศ)

ในการออกแบบโดยวิธีกำลังประลัย ความลึกที่เป็นส่วนพื้นที่รับความเค้นอัดของคานเท่ากับระยะ a ตามรูป



รูปที่ 3.7 การกระจายความเค้นของคานที่มีช่องเปิดตามทฤษฎีกำลังประลัยรูปของ (สหชัย แก่นอากาศ)

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b} \tag{3.10}$$

โดยที่ A_s = พื้นที่เหล็กเสริมรับแรงดึง (cm²)
 f_y = กำลังครากของเหล็กเสริม
 f_c = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน
 b = ความกว้างของคาน(cm)
 อธิบายค่า h_c = ความกว้างของบนคานถึงของช่องเปิด
 a = ความลึกของหน้าตัดคานส่วนรับแรงอัด

เนื่องจากค่า $h_c > a$ จึงไม่จำเป็นต้องลดกำลังคาน

$$h_c \geq \frac{A_s f_y}{0.85 f_c b} \tag{3.11}$$

และสามารถหาค่า

$$M_n = 0.85 f_c b a \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \tag{3.12}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาก $h_c < a$ จำเป็นต้องลดกำลังของคานโดยใช้ M_n ตามนี้

$$M_n = 0.85f_c'ba \left(d - \frac{h_c}{2} \right) = A_s f_y \left(d - \frac{h_c}{2} \right) \quad (3.13)$$

Mansur อธิบายว่าคานที่รับแรงเฉือนมีลักษณะการวิบัติ 2 แบบ

1. วิบัติแบบคาน คือ มีรอยร้าวเข้าสู่ศูนย์กลางวงกลม
2. วิบัติแบบโครงข้อแข็ง คือ มีรอยร้าวไม่เข้าสู่ศูนย์กลางวงกลมมีรูปแบบการแตกอิสระ



(ก) การวิบัติแบบคาน

(ข) การวิบัติแบบโครงข้อแข็ง

รูปที่ 3.8 การวิบัติของคานที่มีการเจาะรูจากแรงเฉือน รูปของ (สหชัย แก่นอากาศ)

กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต V_c ที่รับได้เมื่อมีช่องเปิด

$$V_c = 0.53\sqrt{f_c'}b(d - d_o) \quad (3.14)$$

โดย d_o = ขนาดของช่องเปิด (cm)

กำลังรับแรงเฉือนของเหล็ก V_s กรณีการวิบัติแบบคาน

$$V_s = V_{sv} + V_{sd} = \frac{A_v f_{yv}}{s} (d_v - d_o) + A_d f_{yd} \sin \alpha \quad (3.15)$$

ตามกำลังรับแรงเฉือนของคานตาม ACI

$$V_n = V_c + V_s \quad (3.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับแรงดึงต่ำจะเกิดการแตกร้าวขึ้นเมื่อหน่วยแรงดึงมีค่าเกินกำลังดึง ตำแหน่งและทิศทางของรอยแตกร้าวจะขึ้นกับหน่วยแรงหลัก มีชื่อเรียกตามตำแหน่งและลักษณะของรอยร้าว x = ห้ามใช้และ v = ใช้ได้

3.3 คาร์บอนไฟเบอร์ (Carbon Fiber Reinforced Polymer CFRP)

สิทธิชัย แสงอาทิตย์(2545) โดยทั่วไปวัสดุ CFRP จะมีคุณสมบัติด้าน รับแรงดึงได้สูงกว่าเหล็กมาก แต่คุณสมบัติด้านการรับแรงอัดจะต่ำกว่าหลายเท่า ซึ่งสามารถเพิ่ม Flexural Capacity และ Shear Capacity ให้กับโครงสร้างคอนกรีตได้โดยตรง แต่การพันรอบเพื่อเพิ่ม Confinement ก็สามารถเพิ่ม Compressive Strength และ Ductility ให้กับโครงสร้างเสาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในโครงสร้างคานและพื้น เหล็กเสริมจะทำหน้าที่รับแรงดึง ขณะที่คอนกรีตรับแรงอัดวัสดุ CFRP จะใช้เสริมกำลังด้านรับแรงดึงเช่นเดียวกับเหล็กเสริม

การออกแบบจะต้องคำนึงถึง Stress และ Strain ในคอนกรีตและเหล็กเสริมเดิม เนื่องจากน้ำหนักเดิมที่มีอยู่ซึ่งแตกต่างกับการออกแบบใหม่

การคำนวณหา Nominal Moment Capacity ของคานซึ่งเสริมกำลังด้วย CFRP จากมาตรฐาน ACI 440 มีสมการ เบื้องต้นดังนี้

$$M_n = A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right) + A_s' f_s' \left(\frac{\beta_1 c}{2} - d \right) + \phi A_f f_f \left(h - \frac{\beta_1 c}{2} \right) \quad (3.17)$$

การใช้ค่า f_s และค่า f_s' เนื่องจากการเพิ่ม CFRP เข้าไปอาจทำให้เกิด Over Reinforcement เหล็กเสริมอาจยังไม่ถึงจุด Yield ค่า factor ϕ เป็นค่าที่ใช้ปรับลดแรงที่ได้จากค่ากำลังประลัยของ Fiber ซึ่งมักใช้ที่ประมาณ 0.85 ซึ่งค่านี้อาจจะเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม และดุลพินิจของวิศวกรผู้ออกแบบในการออกแบบจะต้องคิดถึง Mode of Failure ที่จะเกิดขึ้นในส่วนรับแรงอัด โดยสามารถตรวจสอบจากค่าของ Strain

$$\begin{aligned} \text{ถ้า } \varepsilon_{fu} + \varepsilon_{bi} > \varepsilon_{cu} \left(\frac{h-c}{c} \right) & \text{ จะถูกควบคุมโดย Concrete Crushing} \\ \text{ถ้า } \varepsilon_{fu} + \varepsilon_{bi} < \varepsilon_{cu} \left(\frac{h-c}{c} \right) & \text{ จะถูกควบคุมโดย Fiber Rupture} \end{aligned}$$

การออกแบบสำหรับการเสริมกำลังเฉือน และการติดตั้งแผ่น CFRP ขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตามข้อกำหนดของ ACI 440.2R โดย ACI 440.2R ได้กำหนดแนวทางสำหรับการเสริมกำลังเฉือนด้วยแผ่น CFRP กำลังเฉือนสมบูรณ์แบบ V_n สามารถคำนวณได้จากสมการที่ () และ () ตัวแปร ϕ เป็นตัวคูณลดกำลัง กำลังเฉือนขึ้นอยู่กับทเหล็กปลอก กำลังของคอนกรีต และ กำลังของแผ่น CFRP ตัวแปร ϕ_f เป็นตัวคูณลดกำลังของแผ่น CFRP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_u = \phi V_n \quad (3.18)$$

$$V_u = \phi (V_c + V_s + \phi_f V_f) \quad (3.19)$$

ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรลดกำลังของแผ่น CFRP สำหรับการเสริมกำลังเฉือน

$\phi_f = 0.95$	สำหรับการหุ้ม 4 ด้านอย่างสมบูรณ์
$\phi_f = 0.85$	สำหรับการหุ้ม 2 ด้าน 3 ด้านหรือรูปตัวยู

การเสริมกำลังเฉือนของคานหรือเสาคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยการหุ้มแผ่นเส้นใยเสริมแรงอาจทำเป็น 3 รูปแบบ ดังภาพ

การหุ้ม 4 ด้าน อย่างสมบูรณ์จะให้ประสิทธิภาพมากที่สุด ส่วนการหุ้มที่ลักษณะรูปตัวยูหรือการ หุ้ม 3 ด้าน และ การหุ้ม 2 ด้าน จะให้ประสิทธิภาพรองลงมาตามลำดับ สมการที่ () ให้ค่าการเสริมกำลังเฉือนด้วยแผ่น CFRP ขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยปรับค่ากำลังของวัสดุคานประกอบ และอาศัยการสมมุติ รูปแบบของการแตกกร้าว (Khalifa et al. 1998) การคำนวณการเสริมกำลังเฉือนด้วยแผ่น CFRP สามารถหาได้จากการคำนวณจากหน่วยความเค้นดึงดังแสดงในสมการ

$$V_f = A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cot \alpha) d_f / s_f \quad (3.20)$$

ซึ่ง
โดยที่

- $A_{fv} = 2nt_f w_f$
- $V_f =$ แรงเฉือนของแผ่น CFRP
- $A_{fv} =$ พื้นที่หน้าตัดของแผ่น CFRP
- $n =$ จำนวนชั้นของแผ่น CFRP
- $S_f =$ ระยะห่างของแถบแผ่น CFRP
- $w_f =$ ความกว้างของแผ่น CFRP
- $d_f =$ ความลึกของแผ่น CFRP
- $t_f =$ ความหนาของแผ่น CFRP



รูปที่ 3.9 แสดงการหุ้ม CFRP แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การติดตั้งแผ่น CFRP ในแนวตั้ง และแนวรับแรงเฉือน

ความเค้นดึงของแผ่น CFRP ที่จุดประลัยแปรโดยตรงกับค่าความเครียดในเนื้อวัสดุ สามารถนำมาประยุกต์ในการเสริมกำลังแรงเฉือนดังแสดงในสมการ

$$f_{fe} = \epsilon_{fe} E_f \quad (3.21)$$

โดยที่

- f_{fe} = ความเค้นประลัยผลของแผ่น CFRP
- ϵ_{fe} = ความเครียดออกแบบของแผ่น CFRP
- E_f = ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของแผ่น CFRP

ผลของความเครียดในแผ่น CFRP ที่มากที่สุด สามารถให้การเสริมกำลังเฉือนที่เหมาะสมโดยควบคุมขีดจำกัดของความเครียดที่น้ำหนักประลัย ชนิดรูปแบบของการหุ้มแผ่น CFRP และกำลังของคอนกรีตที่เสริมองค์อาคาร ผู้ออกแบบพิจารณารูปแบบของการหุ้มทั้งหมดที่เป็นไปได้ ใช้ผลความเครียดที่เกิดขึ้นและชนิดการหุ้มที่จุดวิกฤต เพื่อความเข้าใจในการกำหนดแนวทางการคำนวณ จากผลความเครียด และความแตกต่างของรูปแบบการหุ้มแผ่น CFRP ที่ใช้สำหรับการเสริมกำลังเฉือนขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก

การหุ้มอย่างสมบูรณ์ทั้ง 4 ด้านสำหรับการเสริมกำลังของคานและเสาด้วยแผ่น CFRP อาจทำให้เกิดการสูญเสียกำลังของวัสดุผสมคอนกรีต จะสังเกตเห็นได้ขณะเกิดความเครียดของ CFRP น้อยกว่าที่จุดประลัยในการทดลองคอนกรีตอาจจะหลุดติดมากับแผ่น CFRP แสดงว่ากำลังยึดเหนี่ยวของแผ่น CFRP มากกว่ากำลังของคอนกรีต เมื่อเริ่มเห็นลักษณะของการวิบัติทำให้กำหนดความเครียดสูงสุดได้ สำหรับการออกแบบอาจใช้ความเครียดประลัยผลได้ถึง 0.4 % แต่ไม่เกิน 0.75% ของความเครียดประลัยสำหรับการหุ้มอย่างสมบูรณ์ทั้ง 4 ด้านด้วยแผ่น CFRP ดังสมการ

$$\epsilon_{fe} = 0.004 \leq 0.75 \epsilon_{fu} \quad (3.22)$$

โดยที่

- ϵ_{fe} = ความเครียดออกแบบของแผ่น CFRP
- ϵ_{fu} = ความเครียดที่จุดประลัยของแผ่น CFRP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าความเครียดของแผ่น CFRP ขึ้นอยู่กับการทดสอบ (Priestley et al. 1996) ค่าความเครียดที่สูงมากไม่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับการเสริมกำลังเอ็น

แรงยึดเหนี่ยวจากการหุ้ม CFRP 3 ด้านแบบรูปตัวยู หรือ หุ้มด้านข้าง 2 ด้าน ไม่เกิดขึ้นโดยรอบของหน้าตัดโครงสร้าง เป็นการสังเกตจากการยึดหยุ่นของคอนกรีต ก่อนการสูญเสียกำลังของวัสดุผสมของหน้าตัดคอนกรีต ด้วยเหตุผลดังกล่าว หน่วยแรงยึดเหนี่ยวใช้วิเคราะห์กำหนดขนาดของการใช้งานผลสมบูรณ์แบบ (Triantafillou. 1998) ค่าความเครียดประสิทธิผลได้จากค่าสัมประสิทธิ์ลดกำลังยึดเหนี่ยว k_v สำหรับการเสริมกำลังเอ็นโดยการหุ้ม CFRP เป็นรูปตัวยู หรือยึดเหนี่ยว 2 ด้าน สามารถใช้ สมการ

$$\varepsilon_{fe} = k_v \varepsilon_{fu} \leq 0.004 \quad (3.23)$$

สัมประสิทธิ์การลดกำลังยึดเหนี่ยว k_v เป็นตัวกำหนดกำลังของคอนกรีตและรูปแบบของการหุ้มที่ใช้ สติฟเนสของแผ่น CFRP และสัมประสิทธิ์ของการยึดเหนี่ยวระหว่างผิววัสดุแต่ละชนิดสามารถคำนวณได้จาก สมการ

$$k_v = k_1 k_2 L_e / 11900 \varepsilon_{fu} \leq 0.75 \quad (3.24)$$

ความยาวต่อเนื่องของการยึดเหนี่ยว L_e ระหว่างผิวต้องเป็นความยาวที่เพียงพอสำหรับการยึดเหนี่ยว หลังจากที่ใช้ในการเสริมกำลัง ความยาวของการยึดเหนี่ยวแสดงในสมการ

$$L_e = 23,300 / (n t_f \varepsilon_{fe})^{0.58} \quad (3.25)$$

สัมประสิทธิ์การลดแรงยึดเหนี่ยว k_v มี 2 ตัวแปรคือ k_1 และ k_2 สำหรับประยุกต์การเสริมกำลังของคอนกรีตและชนิดของการหุ้มใช้งานตามลำดับ และคำนวณค่าได้จากสมการ

$$k_1 = \left(\frac{f'_c}{27}\right)^{2/3} \quad (3.26)$$

$$k_2 = (d_f - L_e) d_f \quad (\text{สำหรับการหุ้มแบบตัวยู (3 ด้าน) และ 4 ด้าน}) \quad (3.27)$$

$$k_2 = (d_f - 2L_e) d_f \quad (\text{สำหรับการหุ้ม 2 ด้าน}) \quad (3.28)$$

โดย

k_v = สัมประสิทธิ์ของการลดกำลังยึดเหนี่ยว

k_1 = สัมประสิทธิ์ของการยึดเหนี่ยวระหว่างผิว

k_2 = สัมประสิทธิ์ของการยึดเหนี่ยวระหว่างผิว

L_e = ความยาวต่อเนื่องของการยึดเหนี่ยวระหว่างผิว

d_f = ความลึกของแผ่น CFRP

f'_c = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการคำนวณหาค่า k_v ที่เหมาะสมถูกต้อง เฉพาะสำหรับองค์อาคารที่อยู่เหนือไขของขอบเขตของแรงเฉือนสูงและโมเมนต์ต่ำ เช่น คานรองรับน้ำหนักช่วงเดียวอย่างง่าย ข้อยกเว้นของวิธีการจะไม่ยืนยันสำหรับการเสริมกำลังในบริเวณที่เกิดการผสมของแรงดัด และความเค้นเฉือน หรือบริเวณแผ่นของคานที่เกิดแรงอัดเนื่องจากโมเมนต์ลบ ระยะห่างของแถบ CFRP ที่ใช้เสริมกำลังเฉือนจะถูกกำหนดขีดจำกัดโดย ACI 318-99 สำหรับเหล็กเสริมภายในรับแรงเฉือน ระยะห่างของแถบ CFRP จะถูกจำกัดระหว่างศูนย์กลางของแถบปลอก ในการทดสอบโครงสร้างจะเปลี่ยนค่าการใช้โดยตรงของระยะห่างของแถบ CFRP สำหรับการเสริมกำลังเฉือน (Hutchinson et al. 1998)

ขีดจำกัดของการเสริมกำลัง การรวมผลของการเสริมกำลัง จะรวมผลของการเสริมกำลังเฉือนด้วยแผ่น CFRP และเหล็กเสริม กำลังเฉือนดังกล่าวจะถูกจำกัดกำลังบนพื้นฐานของคุณสมบัติกำลังที่ใช้คำนวณ สำหรับเหล็กเสริมปลอกอย่างเดียว ยังไม่รวมกำลังของคอนกรีตในหน้าตัดคานหรือเสา ACI 318-99 Section 11.5.6.9 กำหนดขีดจำกัดไว้ดังแสดงในสมการที่

$$v_s + v_f \leq 0.66 \sqrt{f'_c} b_w d \quad (3.29)$$

โดย

- v_s = กำลังเฉือนของเหล็กปลอก
- v_f = กำลังเฉือนของ CFRP
- f'_c = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต
- b_w = ความกว้างของคาน
- d = ความลึกประสิทธิผลของคาน

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัยและผลการศึกษา

ในการศึกษาและวิจัยนี้ จะดำเนินการแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน โดยส่วนแรกจะเป็นคานใหม่ที่มีช่องโหว่ยังไม่ผ่านการรับน้ำหนัก แล้วมีการเสริมความแข็งแรงแล้วถึงมีการเจาะช่องเปิด ส่วนที่ 2 เป็นคานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังประลัย ที่คำนวณไว้ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการเสริมความแข็งแรงแล้วถึงมีการเจาะช่องเปิด ในการทดสอบมีคานใหม่ที่ไม่ได้ผ่านการดำเนินการใดๆ มาเป็นคานอ้างอิง เพื่อใช้เปรียบเทียบค่ากำลังประลัย และค่าการแอนตัวของคาน โดยทดสอบคานใน 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

- คานที่มีช่องเปิดวงกลม
- คานที่มีช่องเปิดที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ในรูปแบบกรอบสี่เหลี่ยมร่วมกับทุก
- คานที่มีช่องเปิดที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ในรูปแบบโครงถักร่วมกับทุก
- คานที่มีช่องเปิดที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ในรูปแบบโครงถัก

4.1 ลักษณะคานที่ทำการทดสอบ

คานที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 210 เซนติเมตร ลึก 30 เซนติเมตร จำนวน 16 คาน



รูปที่ 4.1 คานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว คาน BC 1

คาน	ลักษณะ
BC1,BC2	คานใหม่
BNO1,BNO2	คานใหม่ที่ทำกาเจาะคาน
BNOSP1,BNOSP2	คานใหม่ที่ทำกาเจาะคานพร้อมเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ร่วมกับพุก รูปแบบ กรอบสี่เหลี่ยม
BNOTP1,BNOTP2	คานใหม่ที่ทำกาเจาะคานพร้อมเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ร่วมกับพุก รูปแบบ โค้งถัก
BNOT1,BNOT2	คานใหม่ที่ทำกาเจาะคานพร้อมเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP รูปแบบ โค้งถัก

4.2 การเตรียมหล่อตัวคานที่ทำการทดสอบ

4.2.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. คอนกรีตผสมเสร็จ กำลัง 210 ksc
2. เหล็กเสริมตามยาวเป็นเหล็กข้ออ้อย DB20 ชั้นคุณภาพ SD40 กำลังครากมีค่าไม่น้อยกว่า 4000 กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร กำลังรับแรงดึงประลัยไม่น้อยกว่า 5,700 กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร และมีค่าการยึดหดตัวไม่น้อยกว่า 15%
3. เหล็กปลอกที่ใช้เป็นเหล็กเส้นกลม SR24 กำลังครากมีค่าไม่น้อยกว่า 2,400 กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร และมีค่าการยึดหดตัวไม่น้อยกว่า 21%
4. ไม้อัด หนา 0.5 เซนติเมตร ทำการยึดโครงด้วยไม้เนื้อแข็งขนาด 2"x4"
5. พลาสติก สำหรับบ่มคานคอนกรีต
6. เครื่องจักรคอนกรีต

4.2.2 การหล่อตัวอย่างคานทดสอบ

1. ประกอบไม้แบบหล่อคาน จำนวน 3 ตัวอย่าง กว้าง 95 เซนติเมตร ยาว 240 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แบบหล่อคานคอนกรีต

2. เหล็กเสริมจะใส่เฉพาะเหล็กรับแรงดึง โดยตัดเหล็กให้ได้ความยาวตามต้องการและทำการผูกเหล็กด้วยลวดผูกเหล็ก เหล็กเสริมในคาน ใช้เหล็ก DB 20 จำนวน 2 เส้น เหล็กปลอก RB 6 ระยะห่าง 13 เซนติเมตร โดยเว้นช่วงกลางไว้ 45 เซนติเมตร



รูปที่ 4.3 เหล็กเสริมในคานที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผูกเหล็กคานหนูนลูกปูน

3. ทำการตรวจสอบระยะหุ้ม ระยะเรียงของเหล็กปลอก ก่อนเทคอนกรีต



รูปที่ 4.5 ตรวจสอบระยะหุ้มก่อนเทคอนกรีต

4. เทคอนกรีตที่ใช้ในการหล่อคานที่ใช้ในการทดสอบ คอนกรีตที่ใช้เป็นคอนกรีตผสมเสร็จ กำลัง 210 ksc Slump 10+-2.5 เซนติเมตร ของบริษัทน้ำเฮงคอนกรีต (1992) จำกัด จำนวน 1.6 ลูกบาศก์เมตร Slump ที่วัดจริงได้ 10.5 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 คอนกรีตผสมเสร็จที่ใช้หล่อคาน



รูปที่ 4.7 เทคอนกรีตลงแบบหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. บ่มคานคอนกรีต โดยหลังจากเทคอนกรีตเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ทำการพันแผ่นพลาสติกโดยรอบคาน



รูปที่ 4.8 ทำการบ่มคอนกรีต 28 วัน

4.3 การเตรียมการทดสอบคานคอนกรีต

4.3.1 แบ่งส่วนการทดลอง

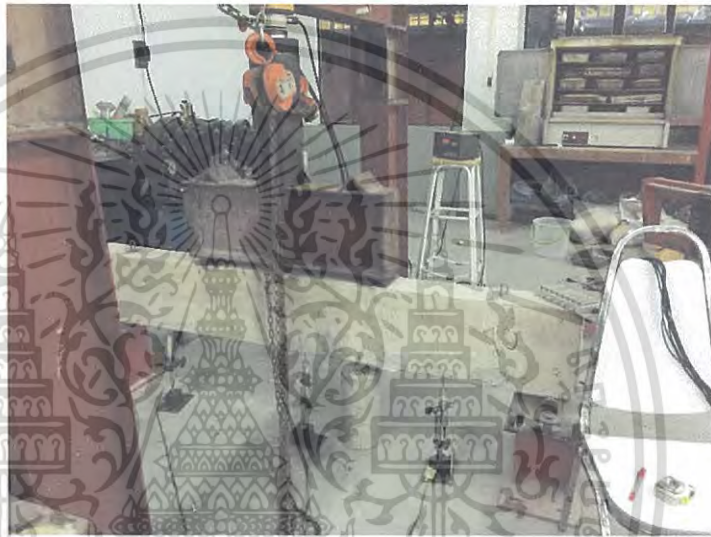
ตัวอย่างคานทดสอบที่ใช้ในการทดลองเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงดึงอย่างเดียวที่มีหน้าตัด กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 210 เซนติเมตร ลึก 30 เซนติเมตร จำนวน 16 คาน กำลังอัดประลัย (f_c') 210 กิโลกรัม / ตารางเซนติเมตร จำนวน 16 ตัวอย่าง ซึ่งตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มที่ 1 คานใหม่ที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก

- คานใหม่ที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก
- คานใหม่ที่ทำการคoring ขนาดช่องเปิดวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร
- คานใหม่ที่ทำการเสริม CFRP ในรูปแบบกรอบสี่เหลี่ยมร่วมกับพุก ก่อนทำการคoring ขนาดช่องเปิดวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร
- คานใหม่ที่ทำการเสริม CFRP ในรูปแบบโครงถักร่วมกับพุก ก่อนทำการคoring ขนาดช่องเปิดวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร
- คานใหม่ที่ทำการเสริม CFRP ในรูปแบบโครงถัก ก่อนทำการคoring ขนาดช่องเปิดวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงนามโดยวิศวกรรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์หรือข้อผิดพลาดประการใด กรุณาแจ้งผู้จัดทำเอกสารทราบโดยทันที ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการค่อริง ขนาดช่องเปิดวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร
- คานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการเสริม CFRP ในรูปแบบกรอบสี่เหลี่ยมร่วมกับพุกก่อนทำการค่อริง ขนาดช่องเปิดวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร
- คานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการเสริม CFRP ในรูปแบบโครงค้ำกับพุกก่อนทำการค่อริง ขนาดช่องเปิดวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร



รูปที่ 4.9 คานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคานเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

4.3.2 วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องค่อริง
2. Sikadur- 30 Normal
3. sikacabodur S512 ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ความหนา 1.2 มิลลิเมตร ค่าโมดูลัส อีลาสติก 165000 นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร กำลังรับแรงดึง 2800 นิวตัน/ตารางเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 เครื่องคoring



รูปที่ 4.11 น้ํายา Sikadur- 30 Normal



รูปที่ 4.12 น้ํายา sikacabodur S512

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 ขั้นตอนการเตรียมการทดสอบ

1. การติดตั้ง CFRP

- วางตำแหน่ง แนวที่จะติดตั้ง CFRP
- การเตรียมผิวเพื่อติดตั้ง CFRP
- การผสมน้ำยาประสาน อีพ็อกซี A 3 ส่วน กับ B 1 ส่วน
- ติดตั้งแผ่น CFRP แล้วทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน ให้อีพ็อกซีแห้ง



รูปที่ 4.13 วางตำแหน่ง แนวที่จะติดตั้ง CFRP



รูปที่ 4.14 การเตรียมผิวเพื่อติดตั้ง CFRP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 การผสมน้ำยาประสาน อีพ็อกซี่ A 3 ส่วน กับ B 1 ส่วน



รูปที่ 4.16 ติดตั้งแผ่น CFRP



รูปที่ 4.17 ติดตั้งแผ่น CFRP แล้วเสร็จทิ้งไว้ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการคoringคาน



รูปที่ 4.18 ทำการคoringคาน

3. คานที่ทำการคoringเสร็จแล้ว



รูปที่ 4.19 คานที่ทำการคoringเสร็จแล้ว

4.4 ขั้นตอนการทดสอบคาน

4.4.1 วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องมือวัดค่าการแอนตัว
2. เครื่องบันทึกค่าการยืดหด (Data Logger)
3. Loading Frame
4. คานถ่ายแรง (Transfer Beam)
5. Load Cell
6. เครื่องอ่านค่าน้ำหนักแบบดิจิตอล
7. Hydraulic Jack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.20 Loading Frame

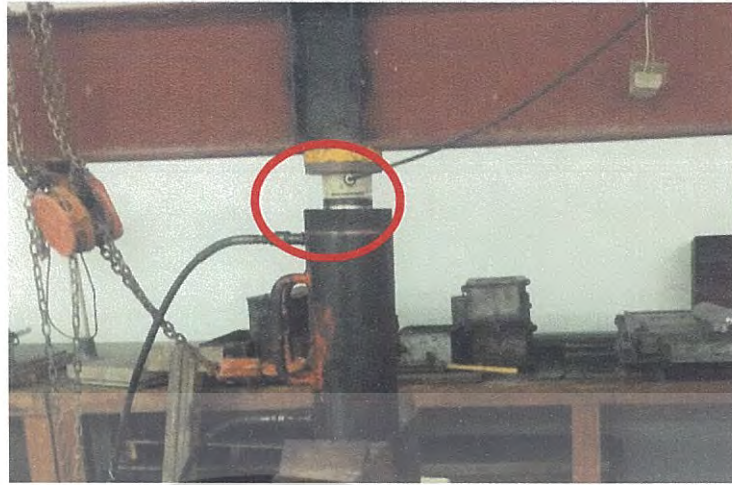


รูปที่ 4.21 คานถ่ายแรง (Transfer Beam)



รูปที่ 4.22 Hydraulic Jack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 Load Cell



รูปที่ 4.24 เครื่องบันทึกค่าการยืดหด (Data Logger)

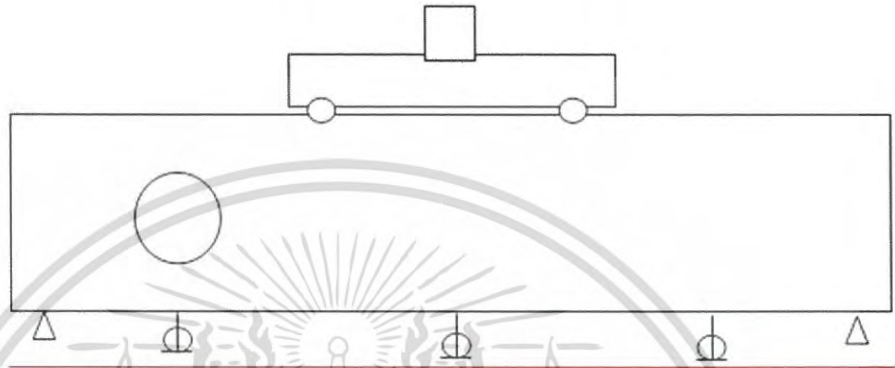


รูปที่ 4.25 เครื่องมือวัดค่าการแอนตัว

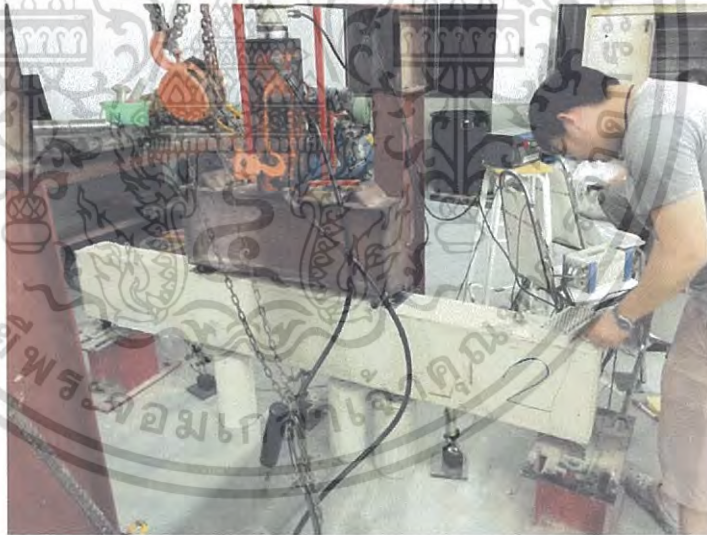
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ขั้นตอนการทดสอบตัวอย่างคาน

1. ทำการติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับ Loading Frame ดังแสดงในรูปที่ 4.4.6 โดยจุดรองรับของคานทั้งสองด้านจะเป็นแบบหมุด
2. ติดตั้ง Dial Gauge ได้ตัวอย่างทดสอบ ที่ตำแหน่งกึ่งกลาง ใต้ช่องเปิด และ บริเวณรับแรงเฉือน



รูปที่ 4.26 การติดตั้งตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 4.27 การติดตั้งคานตัวอย่างทดสอบเข้ากับ Loading Frame

3. ทำการต่อสายไฟเข้ากับเครื่องบันทึกค่าการยืดหด (Data Logger)
4. ทำการทดสอบตัวอย่างคานจะกระทำแบบ Four Points Loading Test โดยใช้ เหล็กตัว I-Beam ถ่ายแรงจาก Hydraulic Bam ลงคานตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 ทำการทดสอบคานตัวอย่าง

5. ดำเนินการทดสอบโดยใช้ Hydraulic Pump อัดน้ำมัน Hydraulic ไปยัง Hydraulic Ram อย่างช้าๆ บันทึกค่าน้ำหนักบรรทุก การแอนตัวของคานตัวอย่างจาก Dial Gauge ทั้ง 3 ตัว และค่าความเครียดจาก Strain Gauge



รูปที่ 4.29 การติดตั้งเครื่องมือวัดการแอนตัว (Dial Gauge)

6. ทำการทดสอบอย่างต่อเนื่องโดยทำการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกอย่างสม่ำเสมอ จนให้น้ำหนักบรรทุกต่อคานจนคานวิบัติ ขณะทำการทดสอบจะสังเกตเห็นรอยเริ่มร้าว ที่คานทดสอบ พร้อมทั้งจดค่าน้ำหนักไว้ที่รอยแตกลั้นๆ ค่าการแอนตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ขั้นตอนการทดสอบคาน

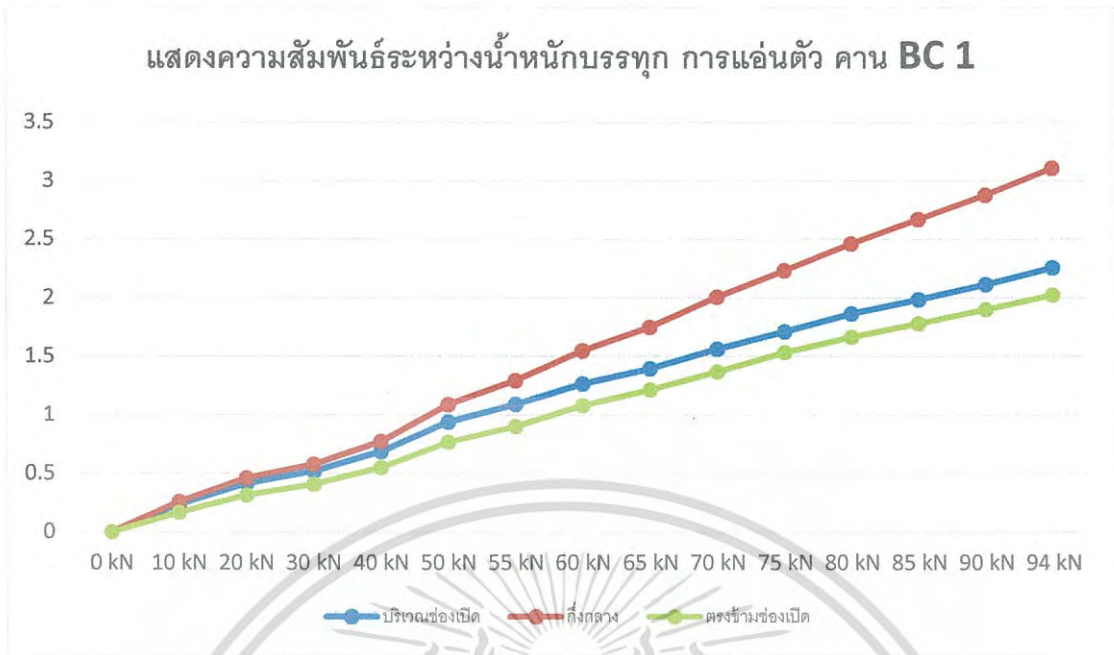
4.5.1 ผลการทดสอบคานไม่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกมาก่อน

4.5.1.1 ผลการทดสอบ BC 1 คานใหม่

ตารางที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BC 1

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอนตัว (มิลลิเมตร)		
	บริเวณช่องเปิด	กึ่งกลาง	ตรงข้ามช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.1671541	0.2577609	0.2343281
20	0.3139997	0.4608453	0.4171041
30	0.4092931	0.5780094	0.5202085
40	0.54989	0.7732828	0.6873625
50	0.7670341	1.088845	0.9404369
55	0.9029444	1.295053	1.090407
60	1.081034	1.548128	1.266934
65	1.215382	1.748088	1.396596
70	1.368476	2.007411	1.56375
75	1.532506	2.232366	1.710595
80	1.665292	2.46357	1.86369
85	1.779332	2.669779	1.983978
90	1.901182	2.879112	2.115202
94	2.024595	3.110315	2.255799

จากการทดสอบคาน BC1 คานใหม่ที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก กำลังของคานที่สามารถรับได้ 94 kN ค่าการแอนตัวก่อนวิบัติ บริเวณกึ่งกลางได้ 3.110315 มิลลิเมตร บริเวณใกล้จุดรองรับ ได้ 2.255799 มิลลิเมตร และ 2.024595 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้ทำหน้าที่ละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคาน ที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอนตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าค่าการแอนตัวช่วงแรกจะน้อย เมื่อเทียบกับน้ำหนักที่กระทำ และค่าการแอนตัวจะมากขึ้นเรื่อยๆ ตามน้ำหนักกระทำที่มากขึ้น



รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BC 1



รูปที่ 4.31 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BC 1

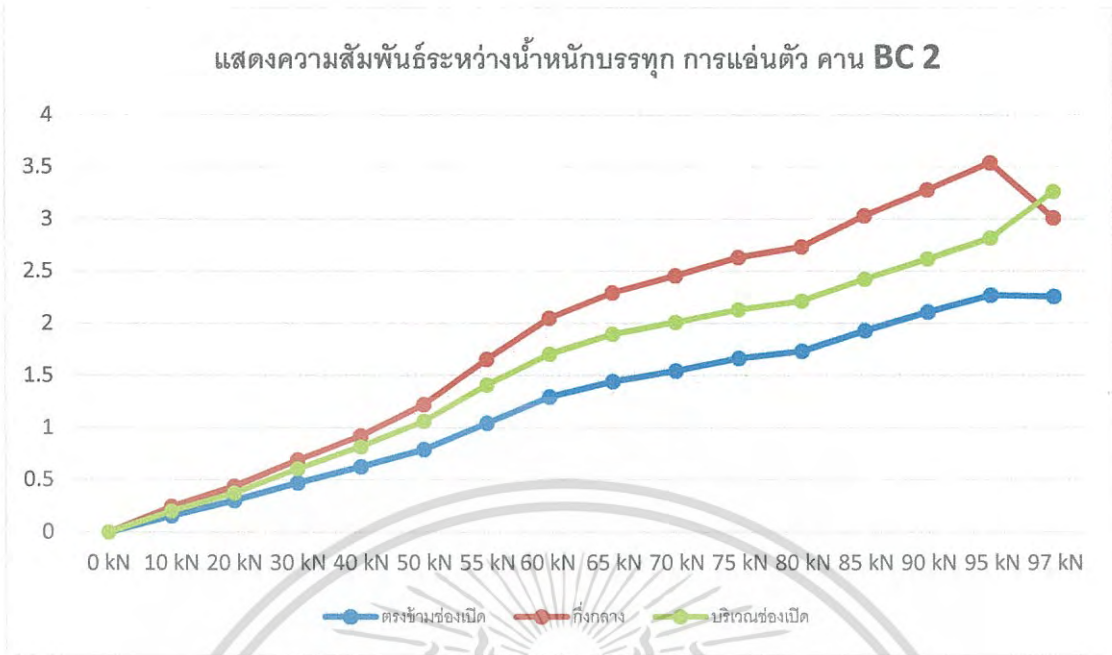
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.2 ผลการทดสอบ BC 2 คานใหม่

ตารางที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BC 2

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอนตัว (มิลลิเมตร)		
	ตรงข้ามช่องเปิด	กึ่งกลาง	บริเวณช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.156218756	0.245263448	0.201522196
20	0.303064388	0.438974706	0.373362828
30	0.473342832	0.690486904	0.60925315
40	0.627999401	0.923252851	0.817024096
50	0.793591283	1.223192863	1.065411919
55	1.045103481	1.657481006	1.410655371
60	1.298177866	2.05271446	1.707471008
65	1.445023497	2.293291345	1.898057891
70	1.548127876	2.457321039	2.010535396
75	1.666854131	2.632286046	2.130823838
80	1.734028197	2.735390426	2.215181967
85	1.93086383	3.032206063	2.422952913
90	2.1105154	3.283718261	2.618226358
95	2.269858531	3.541479209	2.816624179
97	2.258923218	3.010335437	3.263409822

จากการทดสอบคาน BC 2 คานใหม่ที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก กำลังของคานที่สามารถรับได้ 97 kN ค่าการแอนตัวก่อนวิบัติ บริเวณกึ่งกลางได้ 3.541479209 มิลลิเมตร บริเวณใกล้จุดรองรับ ได้ 3.263409822 มิลลิเมตร และ 5.886322743 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้ทำหน้าที่ที่ละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคาน ที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอนตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าค่าการแอนตัวช่วงแรกจะน้อย เมื่อเทียบกับน้ำหนักที่กระทำ และค่าการแอนตัวจะมากขึ้นเรื่อยๆตามน้ำหนักกระทำที่มากขึ้น



รูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BC 2



รูปที่ 4.33 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BC 2

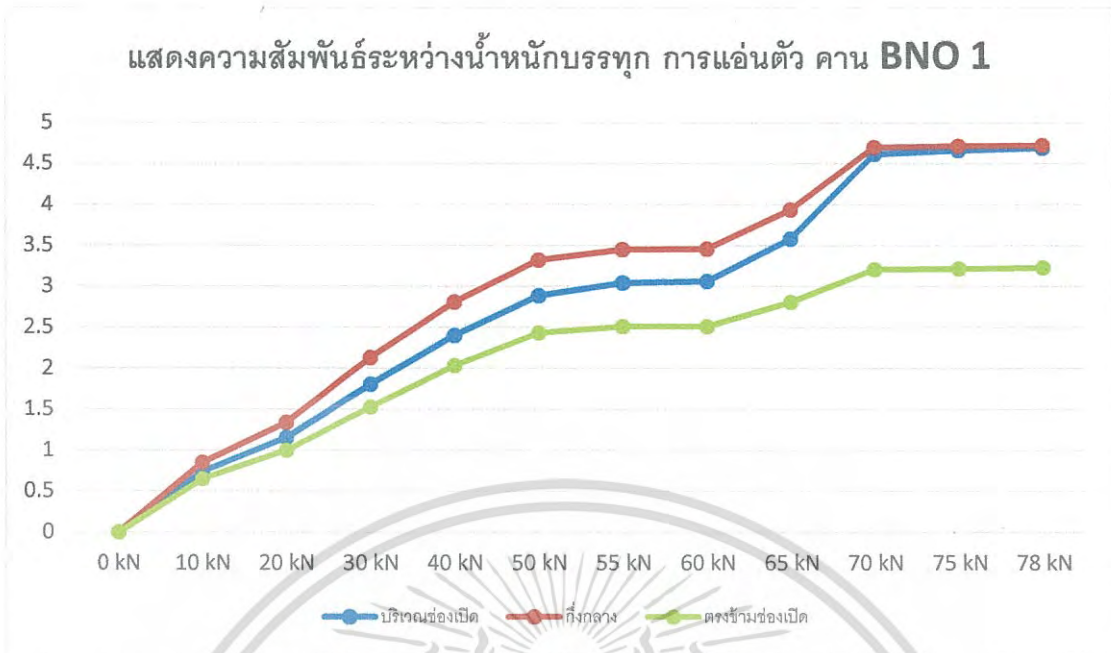
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.3 ผลการทดสอบ BNO 1 คานใหม่

ตารางที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BNO 1

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอนตัว (มิลลิเมตร)		
	บริเวณช่องเปิด	กึ่งกลาง	ตรงข้ามช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.738914718	0.849830035	0.648307839
20	1.15445661	1.34035693	0.999800041
30	1.805888825	2.130823838	1.527819438
40	2.402644474	2.807251054	2.032406021
50	2.885360432	3.32277295	2.432326038
55	3.043141376	3.45087233	2.510435416
60	3.061887627	3.460245455	2.511997604
65	3.57897171	3.93827485	2.807251054
70	4.619388628	4.700622382	3.210295445
75	4.667816443	4.716244257	3.218106383
78	4.692811444	4.734055195	3.229041696

จากการทดสอบคาน BNO 1 คานใหม่ที่มีช่องเปิดวงกลมที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก กำลังของคานที่สามารถรับได้ 78 kN ค่าการแอนตัวก่อนวิบัติ บริเวณกึ่งกลางได้ 4.734055195 มิลลิเมตร บริเวณช่องเปิด ได้ 4.692811444 มิลลิเมตร และบริเวณตรงข้ามช่องเปิด ได้ 3.229041696 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้น้ำหนัก ที่ละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคาน ที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอนตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดจะกำลังรับน้ำหนักจะน้อยกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด (ค่าเฉลี่ย) อยู่ 17 kN หรือ คิดเป็น 81.67 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่ ค่าการแอนของคานที่มีช่องเปิด จะน้อยกว่าคานใหม่ สัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน



รูปที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BNO 1



รูปที่ 4.35 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNO 1

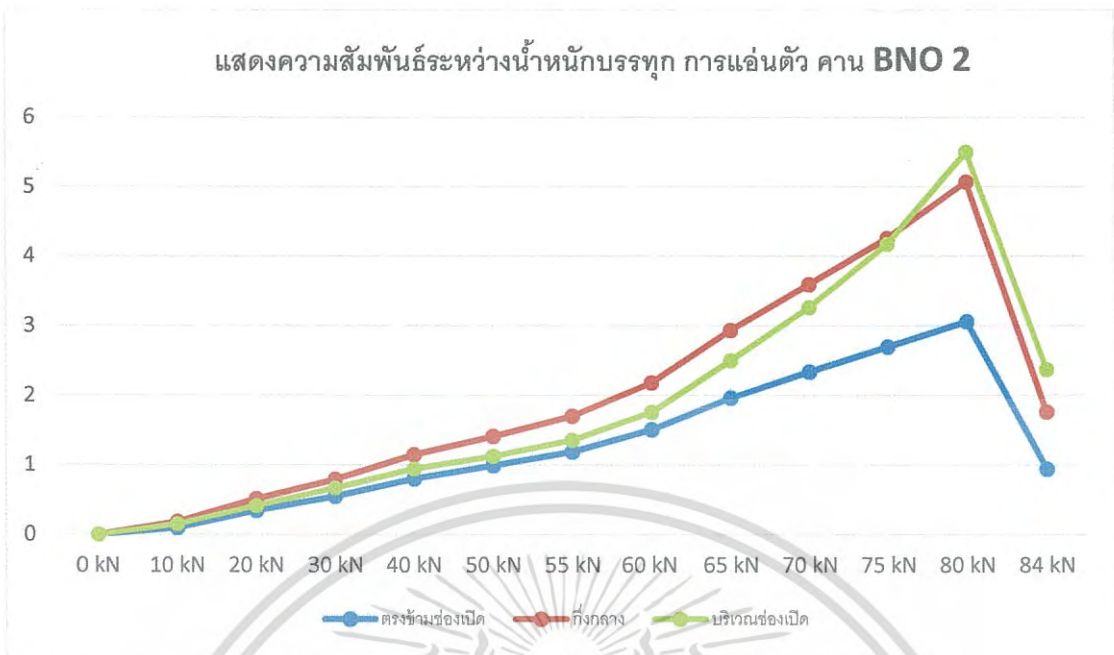
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.4 ผลการทดสอบ BNO 2 คานใหม่

ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว คาน BNO 2

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอ่นตัว (มิลลิเมตร)		
	บริเวณช่องเปิด	กึ่งกลาง	ตรงข้ามช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.1530944	0.1843381	0.09685563
20	0.4155419	0.5123975	0.3452435
30	0.6686163	0.7951535	0.54989
40	0.9466857	1.146646	0.8014022
50	1.123213	1.412218	0.9919891
55	1.355979	1.702784	1.188825
60	1.757461	2.183938	1.505949
65	2.501062	2.932226	1.966794
70	3.260285	3.593031	2.337033
75	4.174165	4.260085	2.69946
80	5.502025	5.072423	3.057201
84	2.372963	1.760585	0.9419991

จากการทดสอบคาน BNO 2 คานใหม่ที่มีช่องเปิดวงกลมที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก กำลังของคานที่สามารถรับได้ 84 kN ค่าการแอ่นตัวก่อนวิบัติสูงสุด บริเวณกึ่งกลางได้ 5.072423 มิลลิเมตร บริเวณช่องเปิด ได้ 5.502025 มิลลิเมตร และบริเวณตรงข้ามช่องเปิด ได้ 3.057201 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้ทำหน้าที่ละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคาน ที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอ่นตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดจะกำลังรับน้ำหนักจะน้อยกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด (ค่าเฉลี่ย) อยู่ 11.5 kN หรือ คิดเป็น 87.95 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่ ค่าการแอ่นของคานที่มีช่องเปิด จะมากกว่าคานใหม่ สัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน และค่าการแอ่นตัววิบัติจะลดลงหลังจากคานวิบัติ



รูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BNO 2



รูปที่ 4.37 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNO 2

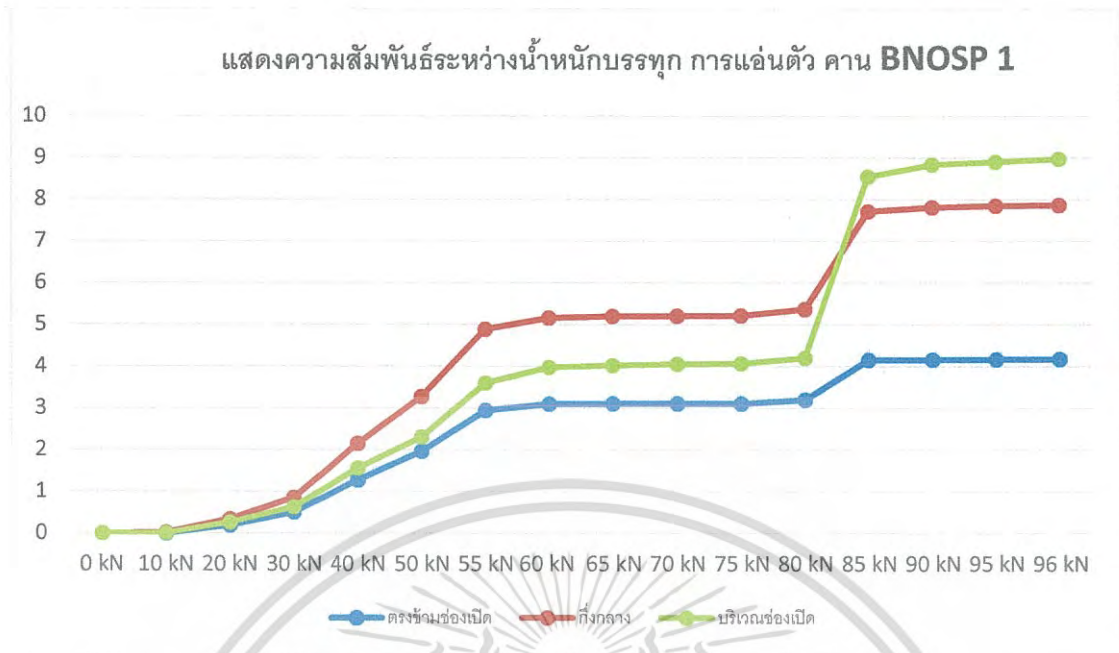
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.5 ผลการทดสอบ BNOSP 1 คานใหม่

ตารางที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BNOSP 1

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอนตัว (มิลลิเมตร)		
	บริเวณช่องเปิด	กึ่งกลาง	ตรงข้ามช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.003124	0.014059688	0
20	0.259323	0.338994702	0.187462508
30	0.626437	0.85295441	0.509273146
40	1.562188	2.152694464	1.273182865
50	2.305789	3.275907323	1.965231956
55	3.600842	4.891209265	2.946285747
60	3.974205	5.163029901	3.094693565
65	4.019509	5.194273652	3.104066691
70	4.050752	5.20208459	3.108753253
75	4.064812	5.209895528	3.104066691
80	4.196036	5.364552097	3.196235757
85	8.542042	7.714082194	4.153856734
90	8.834171	7.810937823	4.161667672
95	8.909156	7.848430324	4.164792047
96	8.971643	7.8640522	4.178851735

จากการทดสอบคาน BNOSP 1 คานใหม่ที่มีช่องเปิดวงกลมที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก และเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ในรูปแบบกรอบสี่เหลี่ยมร่วมกับฟูก กำลังของคานที่สามารถรับได้ 96 kN ค่าการแอนตัวก่อนวิบัติสูงสุด บริเวณกึ่งกลางได้ 7.8640522 มิลลิเมตร บริเวณช่องเปิด ได้ 8.971643 มิลลิเมตร และบริเวณตรงข้ามช่องเปิด ได้ 4.178851735 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้ทำหนัก ทีละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคาน ที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอนตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดจะกำลังรับน้ำหนักจะมากกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด (ค่าเฉลี่ย) อยู่ 0.5 kN หรือ คิดเป็น 100.52 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่ ค่าการแอนของคานที่มีช่องเปิด บริเวณช่องเปิดจะมากกว่าบริเวณอื่นของคาน และสัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน



รูปที่ 4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BNOSP 1



รูปที่ 4.39 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNOSP 1

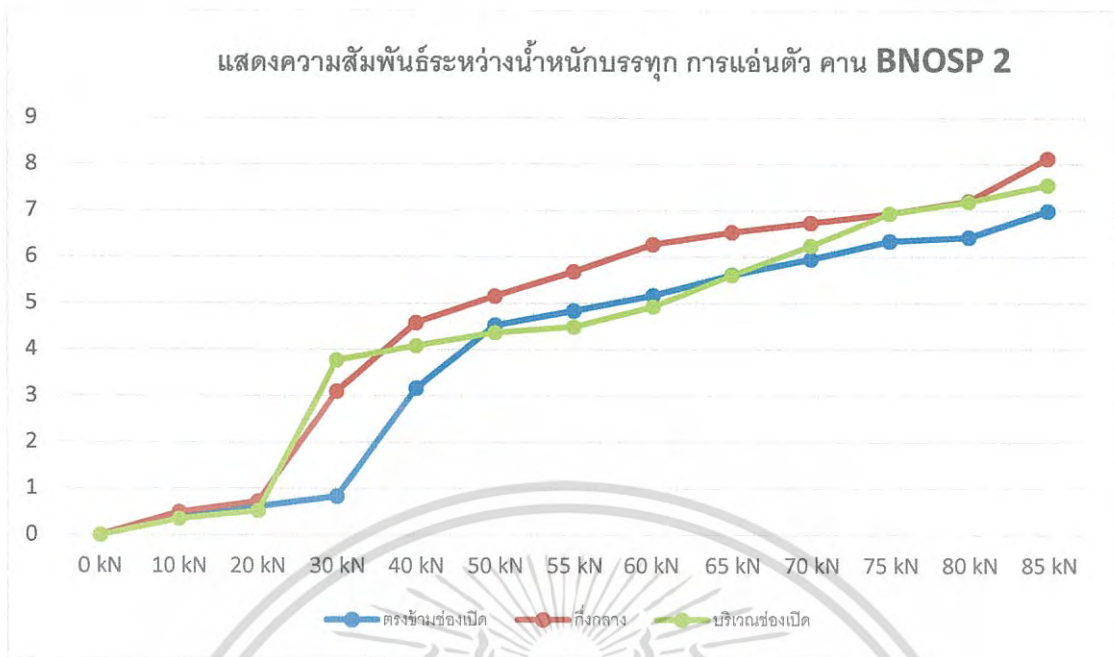
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.6 ผลการทดสอบ BNOSP 2 คานใหม่

ตารางที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว คาน BNOSP 2

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอ่นตัว (มิลลิเมตร)		
	บริเวณช่องเปิด	กึ่งกลาง	ตรงข้ามช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.34993	0.4905269	0.432726
20	0.5280194	0.7279794	0.6123775
30	3.7685963	3.098218	0.8388947
40	4.081034	4.584058	3.170078
50	4.368476	5.158943	4.527819
55	4.493451	5.682276	4.838695
60	4.924615	6.269659	5.169879
65	5.602604	6.53511	5.61354
70	6.233728	6.733428	5.950972
75	6.938275	6.933288	6.338395
80	7.194074	7.202225	6.424555
85	7.553577	8.126066	6.988665

จากการทดสอบคาน BNOSP 2 คานใหม่ที่มีช่องเปิดวงกลมที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก และเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ในรูปแบบกรอบสี่เหลี่ยมร่วมกับทุก กำลังของคานที่สามารถรับได้ 85 kN ค่าการแอ่นตัวก่อนวิบัติสูงสุด บริเวณกึ่งกลางได้ 8.126066 มิลลิเมตร บริเวณช่องเปิด ได้ 7.553577 มิลลิเมตร และบริเวณตรงข้ามช่องเปิด ได้ 6.988665 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้น้ำหนัก ทีละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคาน ที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอ่นตัวของคานกับ น้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดจะกำลังรับน้ำหนักจะน้อยกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด (ค่าเฉลี่ย) อยู่ 10.5 kN หรือ คิดเป็น 89 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่ ค่าการแอ่นของคานที่มีช่องเปิดบริเวณ ช่องเปิดจะมากกว่าบริเวณอื่นของคาน และสัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน



รูปที่ 4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BNOSP 2



รูปที่ 4.41 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNOSP 2

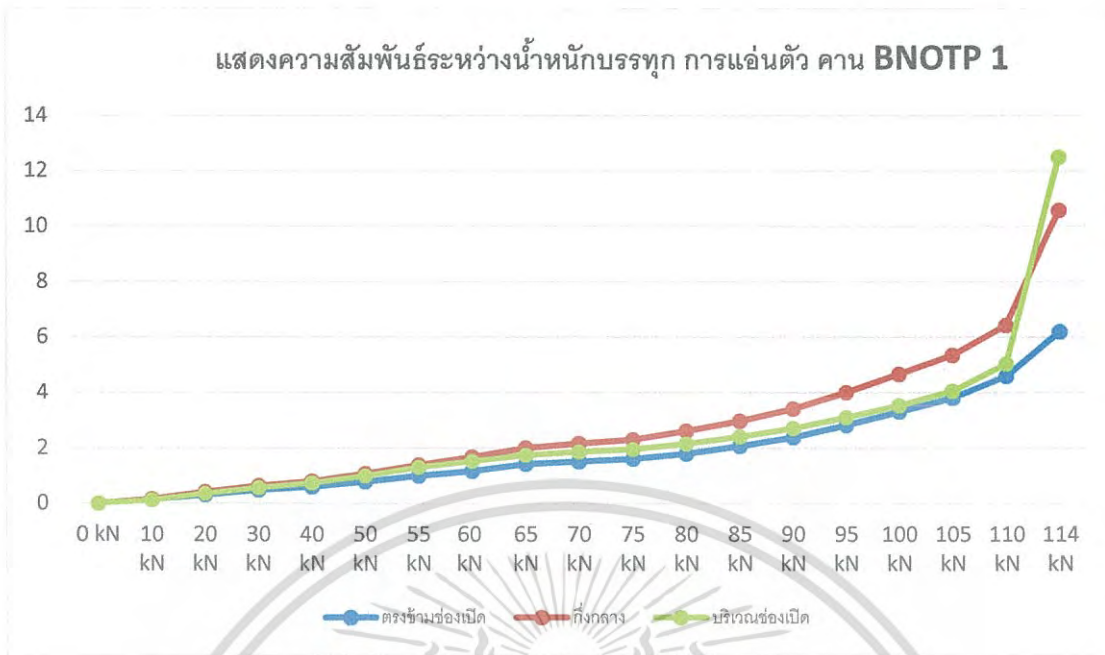
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.7 ผลการทดสอบ BNOTP 1 คานใหม่

ตารางที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว คาน BNOTP 1

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอ่นตัว (มิลลิเมตร)		
	ตรงข้ามช่องเปิด	กึ่งกลาง	บริเวณช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.1421591	0.1530944	0.1343481
20	0.3186863	0.4202285	0.3608653
30	0.4858403	0.6358103	0.5717606
40	0.607691	0.8029644	0.7467257
50	0.7935913	1.074785	0.9951135
55	1.001362	1.391909	1.312238
60	1.171641	1.677789	1.537193
65	1.427839	2.010535	1.755899
70	1.523133	2.16363	1.869939
75	1.615302	2.310475	1.960545
80	1.798078	2.622913	2.160505
85	2.076147	2.977529	2.416704
90	2.393271	3.421191	2.715082
95	2.830684	4.007011	3.102505
100	3.311838	4.67719	3.530544
105	3.816424	5.350492	4.057001
110	4.600642	6.42684	5.038055
114	6.195636	9.18382	12.50219

จากการทดสอบคาน BNOTP 1 คานใหม่ที่มีช่องเปิดวงกลมที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก และเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ในรูปแบบโครงถักร่วมกับพุก กำลังของคานที่สามารถรับได้ 114 kN ค่าการแอ่นตัวก่อนวิบัติสูงสุด บริเวณกึ่งกลางได้ 9.18382 มิลลิเมตร บริเวณตรงข้ามช่องเปิด ได้ 6.195636 มิลลิเมตร และบริเวณช่องเปิด ได้ 12.50219 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้ทำหน้าที่ละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคาน ที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอ่นตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดจะกำลังรับน้ำหนักจะมากกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด (ค่าเฉลี่ย) อยู่ 18.5 kN หรือ คิดเป็น 119.37 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่ ค่าการแอ่นของคานที่มีช่องเปิดบริเวณช่องเปิดจะมากกว่าบริเวณอื่นของคาน และสัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน รอยร้าวจากการวิบัติจะอยู่ฝั่งตรงข้ามช่องเปิด



รูปที่ 4.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BNOTP 1



รูปที่ 4.43 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNOTP 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNOTP 1

4.5.1.8 ผลการทดสอบ BNOTP 2 คานใหม่

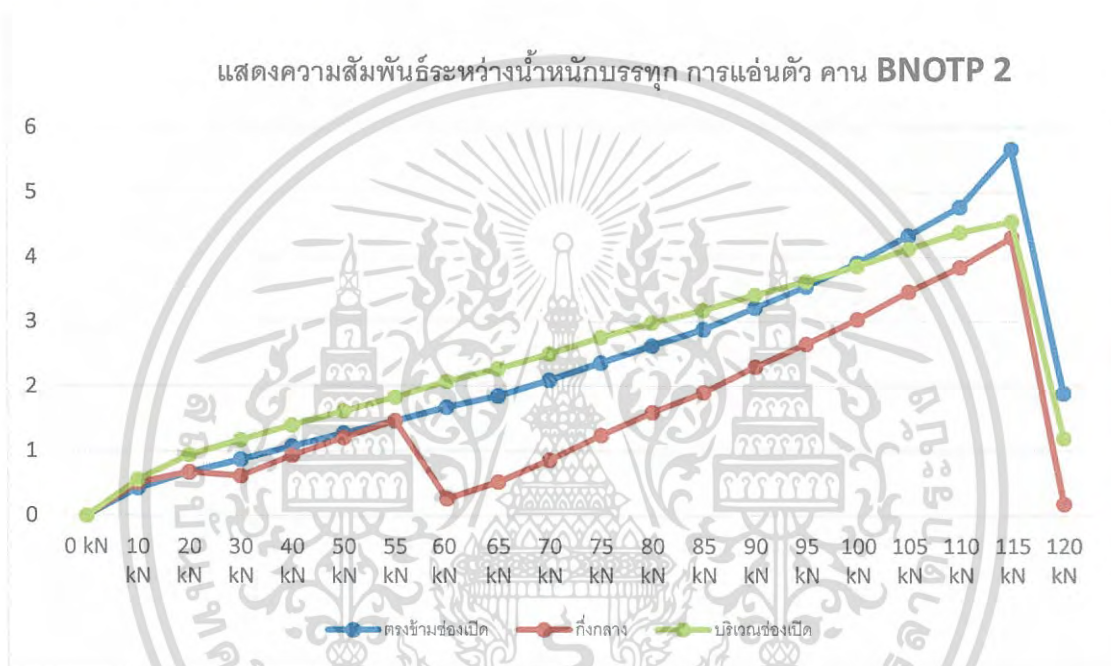
ตารางที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BNOTP 2

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอนตัว (มิลลิเมตร)		
	ตรงข้ามช่องเปิด	กึ่งกลาง	บริเวณช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.4296016	0.5061488	0.5561388
20	0.6717407	0.674865	0.9388747
30	0.8717007	0.6155019	1.174765
40	1.071661	0.9357504	1.401282
50	1.277869	1.206009	1.621551
55	1.46377	1.468456	1.834008
60	1.680914	0.2624475	2.076147
65	1.851192	0.5217706	2.268296
70	2.096456	0.8607653	2.4995
75	2.362028	1.241939	2.755699
80	2.629162	1.596556	2.982216
85	2.879112	1.902744	3.174365
90	3.214982	2.29954	3.410255
95	3.539917	2.654157	3.619589
100	3.907031	3.036893	3.858603
105	4.328822	3.46337	4.1273
110	4.770921	3.839857	4.380374
115	5.666054	4.302265	4.550652
120	1.887123	0.1796516	1.190387

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาและการวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบคาน BNOTP 2 คานใหม่ที่มีช่องเปิดวงกลมที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก และเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ในรูปแบบโครงถักร่วมกับพุก กำลังของคานที่สามารถรับได้ 120 kN ค่าการแอ่นตัวก่อนวิบัติสูงสุด บริเวณกึ่งกลางได้ 4.302265 มิลลิเมตร บริเวณตรงข้ามช่อง ได้ 5.666054 มิลลิเมตร และบริเวณช่องเปิด ได้ 4.550652 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้ทำหน้าที่ ทีละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคาน ที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอ่นตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดจะกำลังรับน้ำหนักจะมากกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด (ค่าเฉลี่ย) อยู่ 24.5 kN หรือ คิดเป็น 125.65 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่ ค่าการแอ่นของคานที่มีช่องเปิดบริเวณช่องเปิดจะมากกว่าบริเวณอื่นของคาน และสัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน



รูปที่ 4.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BNOTP 2



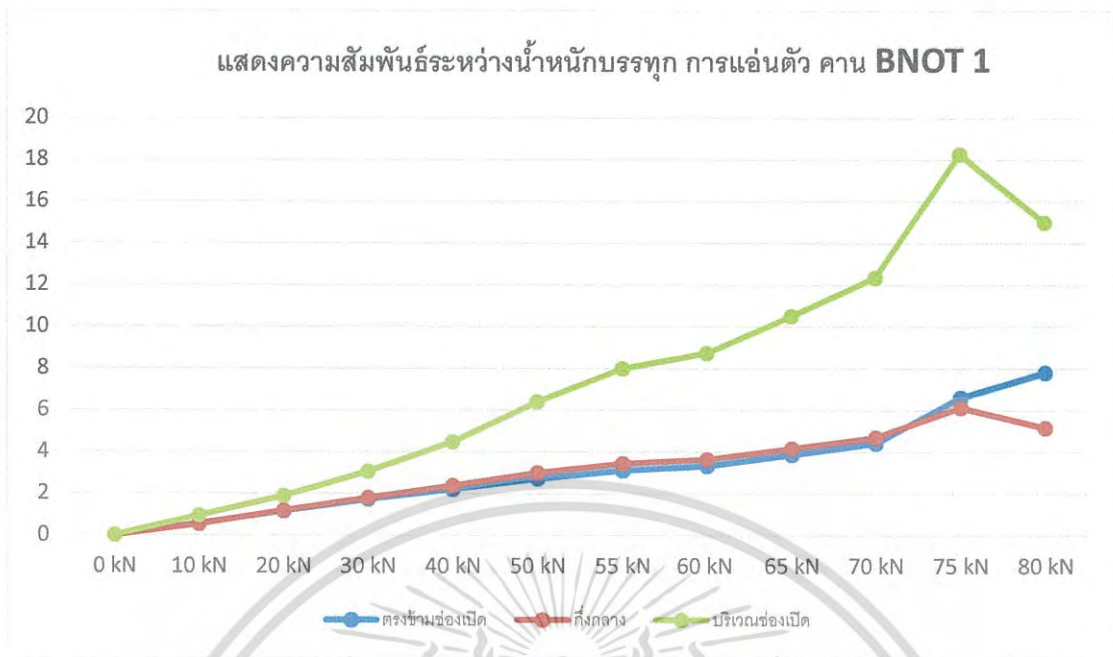
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.46 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNOTP 2
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.9 ผลการทดสอบ BNOT 1 คานใหม่

ตารางที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว คาน BNOT 1

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอ่นตัว (มิลลิเมตร)		
	ตรงข้ามช่องเปิด	กึ่งกลาง	บริเวณช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.554576585	0.542079085	0.93731254
20	1.16070536	1.185700362	1.89024695
30	1.727779446	1.796515699	3.06188763
40	2.207371029	2.383898224	4.46785643
50	2.721330737	2.991589186	6.38934714
55	3.122812942	3.436812642	7.99840033
60	3.33527045	3.635210463	8.73262849
65	3.86797641	4.161667672	10.49790043
70	4.431926121	4.709995507	12.35690364
75	6.617426523	6.134710566	18.27759451
80	7.817186573	5.159905526	14.99700062

จากการทดสอบคาน BNOT 1 คานใหม่ที่มีช่องเปิดวงกลมที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก และเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ในรูปแบบโครงถัก กำลังของคานที่สามารถรับได้ 80 kN ค่าการแอ่นตัวก่อนวิบัติสูงสุด บริเวณกึ่งกลางได้ 6.134710566 มิลลิเมตร บริเวณตรงข้ามช่องเปิด ได้ 7.817186573 มิลลิเมตร และบริเวณช่องเปิด ได้ 14.99700062 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้ทำน้ำหนัก ทีละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคาน ที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอ่นตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดจะกำลังรับน้ำหนักจะน้อยกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด (ค่าเฉลี่ย) อยู่ 15.5 kN หรือ คิดเป็น 83.77 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่ ค่าการแอ่นของคานที่มีช่องเปิด บริเวณตรงช่องเปิดจะมากกว่าบริเวณอื่นของคาน และสัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน



รูปที่ 4.47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BNOT 1



รูปที่ 4.48 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNOT 1

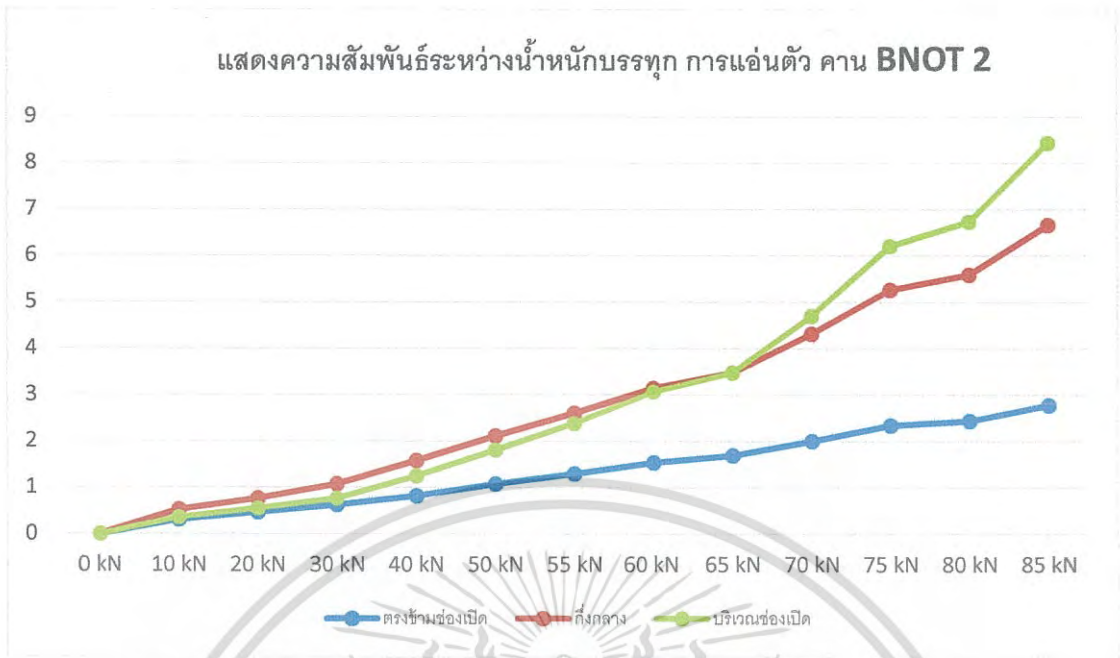
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.10 ผลการทดสอบ BNOT 2 คานใหม่

ตารางที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว คาน BNOT 2

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอ่นตัว (มิลลิเมตร)		
	ตรงข้ามช่องเปิด	กึ่งกลาง	บริเวณช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.30775095	0.523332834	0.360865327
20	0.471780644	0.763909719	0.55145221
30	0.631123776	1.07790942	0.768596282
40	0.823272847	1.58405819	1.252874427
50	1.076347232	2.118326338	1.8090132
55	1.299740054	2.607291045	2.383898224
60	1.545003501	3.147807943	3.072822939
65	1.698097883	3.478991706	3.477429519
70	2.004286645	4.317886428	4.699060194
75	2.344843534	5.269258655	6.205009006
80	2.444823539	5.592631481	6.734590591
85	2.78381824	6.157416526	8.440499411

จากการทดสอบคาน BNOT 2 คานใหม่ที่มีช่องเปิดวงกลมที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก และเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ในรูปแบบโครงถัก กำลังของคานที่สามารถรับได้ 85 kN ค่าการแอ่นตัวก่อนวิบัติสูงสุด บริเวณกึ่งกลางได้ 6.667416526 มิลลิเมตร บริเวณช่องเปิด ได้ 8.440499411 มิลลิเมตร และ ตรงข้ามช่องเปิด ได้ 2.78381824 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้น้ำหนัก ทีละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคาน ที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอ่นตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดจะกำลังรับน้ำหนักจะน้อยกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด (ค่าเฉลี่ย) อยู่ 10.5 kN หรือ คิดเป็น 89 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่ ค่าการแอ่นของคานที่มีช่องเปิดบริเวณตรงช่องเปิดจะมากกว่าบริเวณอื่นของคาน และสัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน



รูปที่ 4.49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BNOT 2



รูปที่ 4.50 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BNOT 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

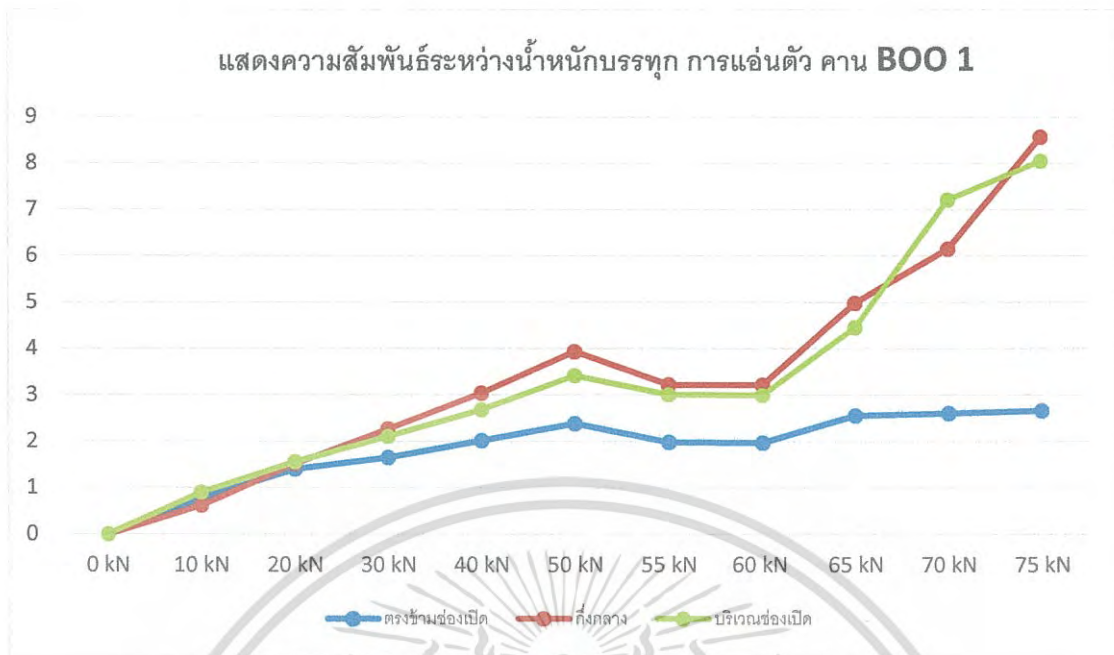
4.5.2 ผลการทดสอบคานที่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกทุกมาก่อน

4.5.2.1 ผลการทดสอบ BOO 1 ผ่านการรับน้ำหนักมาก่อน

ตารางที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BOO 1

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอนตัว (มิลลิเมตร)		
	ตรงข้ามช่องเปิด	กึ่งกลาง	บริเวณช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.773282844	0.618626276	0.895133474
20	1.404406621	1.51375975	1.559063189
30	1.655918818	2.271420719	2.108953212
40	2.016784146	3.044703563	2.682276048
50	2.383898224	3.939837038	3.418066391
55	1.987102582	3.227479508	3.008773249
60	1.971480706	3.214982008	2.996275749
65	2.558863231	4.981816143	4.460045497
70	2.61041542	6.155019004	7.212619986
75	2.66196761	8.567436521	8.051514708

จากการทดสอบคาน BOO 1 คานที่ผ่านการรับน้ำหนักมา 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังวิบัติของคาน โดยทิ้งน้ำหนักไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการเจาะช่องเปิด กำลังของคานที่สามารถรับได้ 75 kN ค่าการแอนตัวก่อนวิบัติสูงสุด บริเวณกึ่งกลางได้ 8.567436521 มิลลิเมตร บริเวณช่องเปิด ได้ 8.051514708 มิลลิเมตร และ ตรงข้ามช่องเปิด ได้ 2.66196761 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้ทำหน้าที่ละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคาน ที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอนตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังวิบัติของคานรับน้ำหนักจะน้อยกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด (ค่าเฉลี่ย) อยู่ 20.5 kN หรือ คิดเป็น 78.53 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่ ค่าการแอนของคานที่มีช่องเปิดบริเวณตรงช่องเปิดจะมากกว่าบริเวณอื่นของคาน และสัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน



รูปที่ 4.51 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแฉ่นตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BOO 1



รูปที่ 4.52 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BOO 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

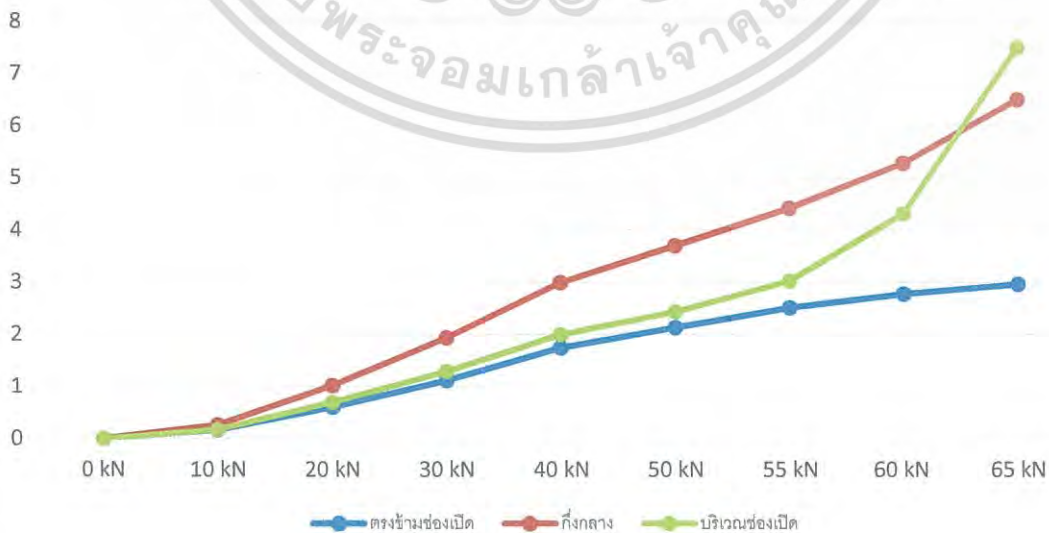
4.5.2.2 ผลการทดสอบ BOO 2 ผ่านการรับน้ำหนักมาก่อน

ตารางที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BOO 2

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอนตัว (มิลลิเมตร)		
	ตรงข้ามช่องเปิด	กึ่งกลาง	บริเวณช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.170278445	0.259323136	0.176527195
20	0.604566587	1.018546292	0.696735654
30	1.113839734	1.932426017	1.291929116
40	1.741839134	2.996275749	1.99491352
50	2.133948213	3.70082234	2.435450413
55	2.511997604	4.422552995	3.022832937
60	2.77756949	5.281756156	4.319448616
65	2.960345435	6.703386831	7.493813747

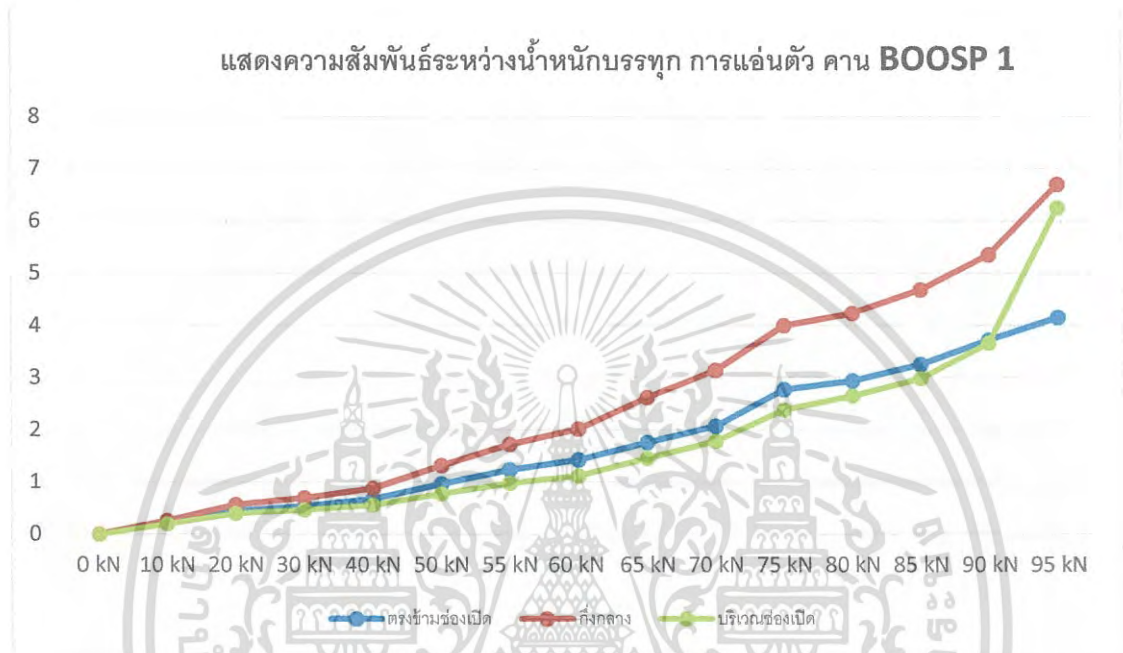
จากการทดสอบคาน BOO 2 คานที่ผ่านการรับน้ำหนักมา 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังวิกฤติของคาน โดยทิ้งน้ำหนักไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการเจาะช่องเปิด กำลังของคานที่สามารถรับได้ 65 kN ค่าการแอนตัวก่อนวิกฤติสูงสุด บริเวณกึ่งกลางได้ 6.703386831 มิลลิเมตร บริเวณช่องเปิด ได้ 7.493813747 มิลลิเมตร และ ตรงข้ามช่องเปิด ได้ 2.960345435 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้ทำน้ำหนัก ทีละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคาน ที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอนตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังวิกฤติของคานรับน้ำหนักจะน้อยกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด (ค่าเฉลี่ย) อยู่ 30.5 kN หรือ คิดเป็น 68.06 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่ ค่าการแอนของคานที่มีช่องเปิดบริเวณตรงช่องเปิดจะมากกว่าบริเวณอื่นของคาน และสัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BOO 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.53 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BOO 2
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.155418922 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้ทำหน้าที่ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคาน ที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอนตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังวิกฤติของคานรับน้ำหนักจะน้อยกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด (ค่าเฉลี่ย) อยู่ 0.5 kN หรือ คิดเป็น 99.48 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่ ค่าการแอนของคานที่มีช่องเปิดบริเวณตรงช่องเปิดจะมากกว่าบริเวณอื่นของคาน และสัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน



รูปที่ 4.55 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BOOSP 1



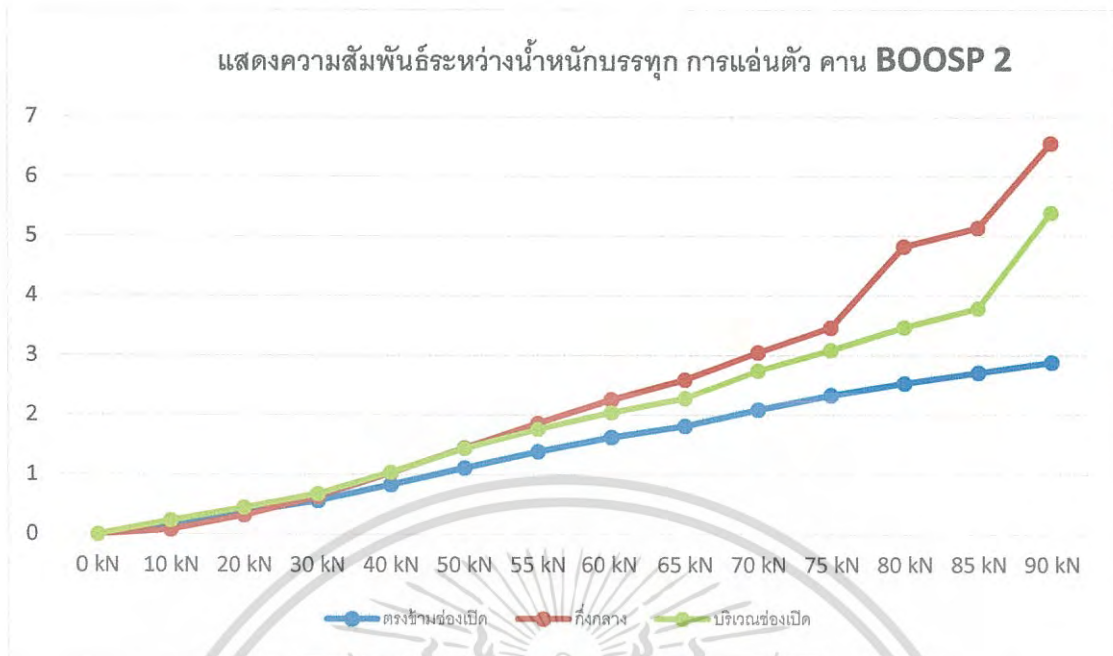
รูปที่ 4.56 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BOOSP 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ซึ่งสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยและการพัฒนาเทคโนโลยีการเกษตร ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

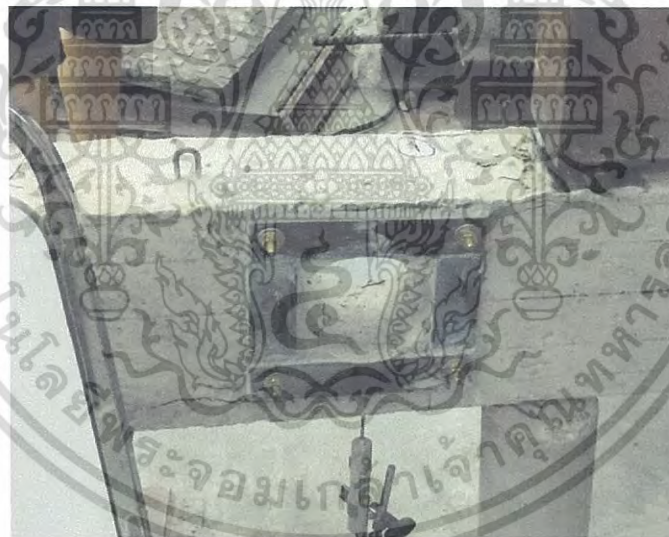
ตารางที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว คาน BOOSP 2

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอ่นตัว (มิลลิเมตร)		
	ตรงข้ามช่องเปิด	กึ่งกลาง	บริเวณช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.190586883	0.081233753	0.232765947
20	0.37180064	0.321810638	0.448347831
30	0.562387523	0.626437213	0.679551591
40	0.835770347	1.03260598	1.03885473
50	1.113839734	1.44971006	1.44346131
55	1.390346932	1.862127577	1.766834136
60	1.627799442	2.260485406	2.04646571
65	1.816824138	2.593231357	2.280793844
70	2.091769149	3.050952314	2.746325738
75	2.333908221	3.468056393	3.09156919
80	2.53386823	4.830483908	3.471180768
85	2.7135198	5.138234859	3.789867032
90	2.885360432	6.560910824	5.39423366

จากการทดสอบคาน BOOSP 2 คานที่ผ่านการรับน้ำหนักมา 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังวิกฤติของคาน โดยทิ้งน้ำหนักไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการเจาะช่องเปิดและเสริมด้วย CFRP ในรูปแบบกรอบสี่เหลี่ยมร่วมกับพุก กำลังของคานที่สามารถรับได้ 90 kN ค่าการแอ่นตัวก่อนวิกฤติสูงสุด บริเวณกึ่งกลางได้ 4.820910824 มิลลิเมตร บริเวณช่องเปิด ได้ 5.39423366 มิลลิเมตร และ ตรงข้ามช่องเปิด ได้ 2.885360432 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้ทำน้ำหนัก ทีละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคาน ที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอ่นตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังวิกฤติของคานรับน้ำหนักจะน้อยกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด (ค่าเฉลี่ย) อยู่ 5.5 kN หรือ คิดเป็น 95.29 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่ ค่าการแอ่นของคานที่มีช่องเปิดบริเวณตรงช่องเปิดจะมากกว่าบริเวณอื่นของคาน และสัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน



รูปที่ 4.57 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BOOSP 2



รูปที่ 4.58 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BOOSP 2

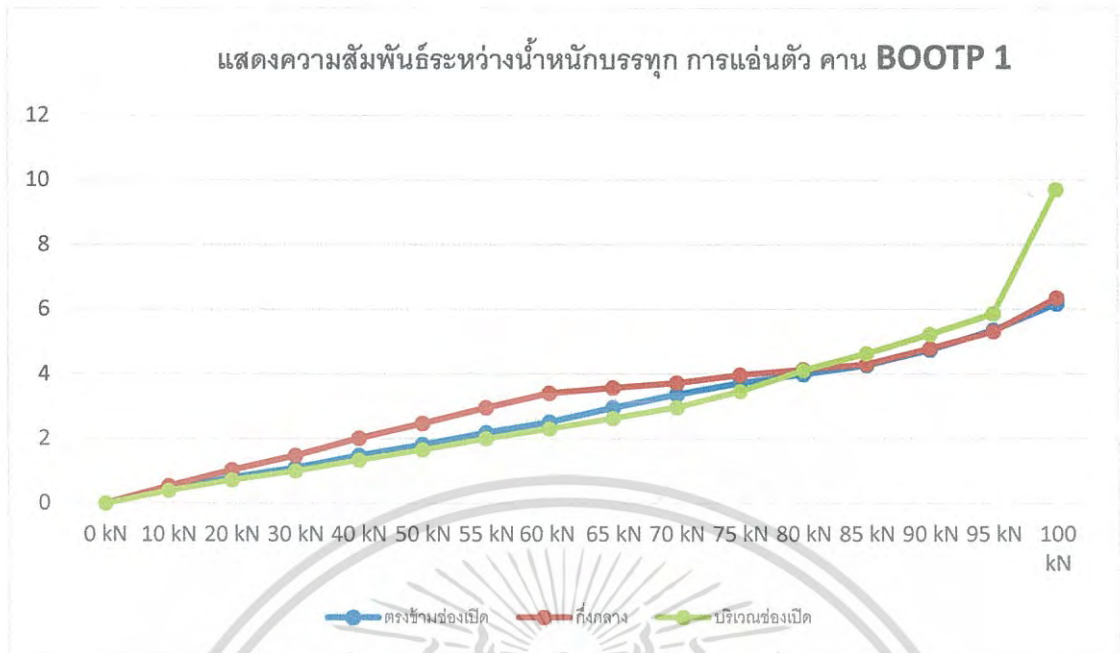
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.5 ผลการทดสอบ BOOTP 1 ผ่านการรับน้ำหนักมาก่อน

ตารางที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คาน BOOTP 1

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอนตัว (มิลลิเมตร)		
	ตรงข้ามช่องเปิด	กึ่งกลาง	บริเวณช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.437412518	0.53895471	0.396795641
20	0.806088783	1.03885473	0.72485503
30	1.107590983	1.482515999	1.001362229
40	1.477829436	2.015221958	1.345043493
50	1.819948513	2.479191665	1.663729756
55	2.182376028	2.961907622	2.012097583
60	2.518246354	3.408693266	2.305788845
65	2.965031998	3.578911723	2.632286046
70	3.371200764	3.72113876	2.968156373
75	3.721130779	3.97654978	3.463369831
80	3.997637978	4.13267654	4.11167767
85	4.274145177	4.30382674	4.628761754
90	4.749050196	4.789667073	5.222393028
95	5.352054596	5.314562095	5.86288993
100	6.169078692	6.345098988	9.701184776

จากการทดสอบคาน BOOTP 1 คานที่ผ่านการรับน้ำหนักมา 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังวิบัติของคาน โดยทิ้งน้ำหนักไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการเจาะช่องเปิดและทำการเสริม CFRP ในรูปแบบโครงถักร่วมกับพุก กำลังของคานที่สามารถรับได้ 100 kN ค่าการแอนตัวก่อนวิบัติสูงสุด บริเวณกึ่งกลางได้ 9.060687874 มิลลิเมตร บริเวณช่องเปิด ได้ 9.701184776 มิลลิเมตร และ ตรงข้ามช่องเปิด ได้ 6.169078692 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้ทำน้ำหนัก ทีละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคานที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอนตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังวิบัติของคานรับน้ำหนักจะมากกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด (ค่าเฉลี่ย) อยู่ 4.5 kN หรือ คิดเป็น 104.71 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่ ค่าการแอนของคานที่มีช่องเปิดบริเวณตรงช่องเปิดจะมากกว่าบริเวณอื่นของคาน และสัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน



รูปที่ 4.59 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแ่นตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BOOTP 1



รูปที่ 4.60 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BOOTP 1

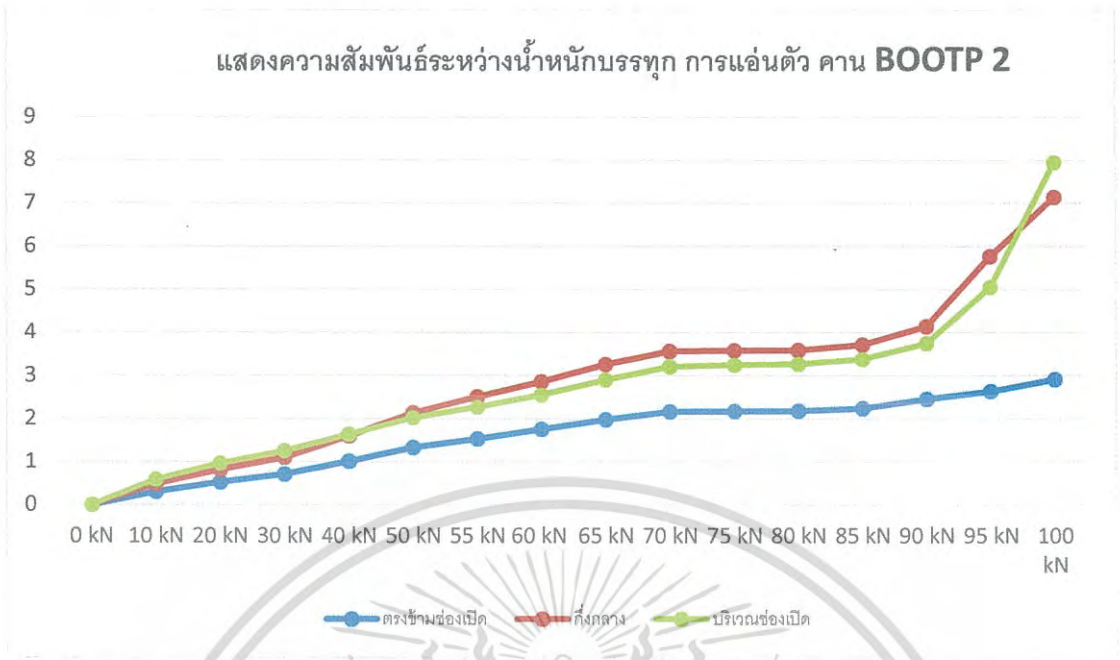
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.6 ผลการทดสอบ BOOTP 2 ผ่านการรับน้ำหนักมาก่อน

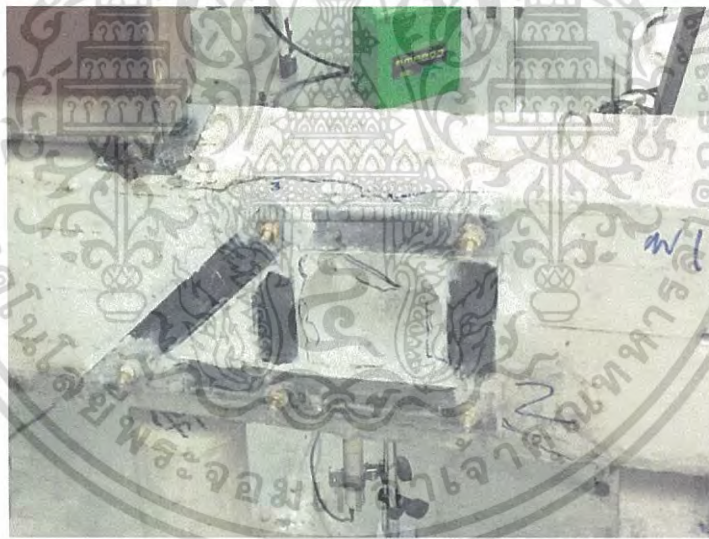
ตารางที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว คาน BOOTP 2

น้ำหนัก (kN)	ระยะการแอ่นตัว (มิลลิเมตร)		
	ตรงข้ามช่องเปิด	กึ่งกลาง	บริเวณช่องเปิด
0	0	0	0
10	0.310875325	0.490526895	0.590506899
20	0.531143772	0.821710659	0.963869727
30	0.717044092	1.104466608	1.255998802
40	1.013859729	1.604366629	1.640296943
50	1.332545993	2.141759151	2.030843834
55	1.538754751	2.511997604	2.269858531
60	1.755898823	2.860365431	2.557301043
65	1.980853832	3.260285447	2.907231058
70	2.16831634	3.569598585	3.21341982
75	2.176127277	3.582096086	3.249350134
80	2.18081384	3.588344836	3.27122076
85	2.24486353	3.716444216	3.383698265
90	2.457321039	4.139797046	3.750812343
95	2.635410421	5.767796447	5.048990209
100	2.91191762	7.141894629	7.948410328

จากการทดสอบคาน BOOTP 2 คานที่ผ่านการรับน้ำหนักมา 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังวิกฤติของคาน โดยทิ้งน้ำหนักไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการเจาะช่องเปิดและทำการเสริม CFRP ในรูปแบบโครงถักร่วมกับพุก กำลังของคานที่สามารถรับได้ 100 kN ค่าการแอ่นตัวก่อนวิกฤติสูงสุด บริเวณกึ่งกลางได้ 6.151894629 มิลลิเมตร บริเวณช่องเปิด ได้ 7.948410328 มิลลิเมตร และ ตรงข้ามช่องเปิด ได้ 2.91191762 มิลลิเมตร ช่วงแรกให้ทำน้ำหนัก ทีละ 10 kN จนไปถึง 50 kN (50 เปอร์เซ็นต์ของกำลังของคานที่อยู่ในช่วงอีลาสติกของคาน) จากค่าการแอ่นตัวของคานกับน้ำหนักที่กระทำกับคาน จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังวิกฤติของคานรับน้ำหนักจะมากกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด (ค่าเฉลี่ย) อยู่ 4.5 kN หรือ คิดเป็น 104.71 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่ ค่าการแอ่นของคานที่มีช่องเปิดบริเวณตรงช่องเปิดจะมากกว่าบริเวณอื่นของคาน และสัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน



รูปที่ 4.61 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักกระทำกับคาน BOOTP 2



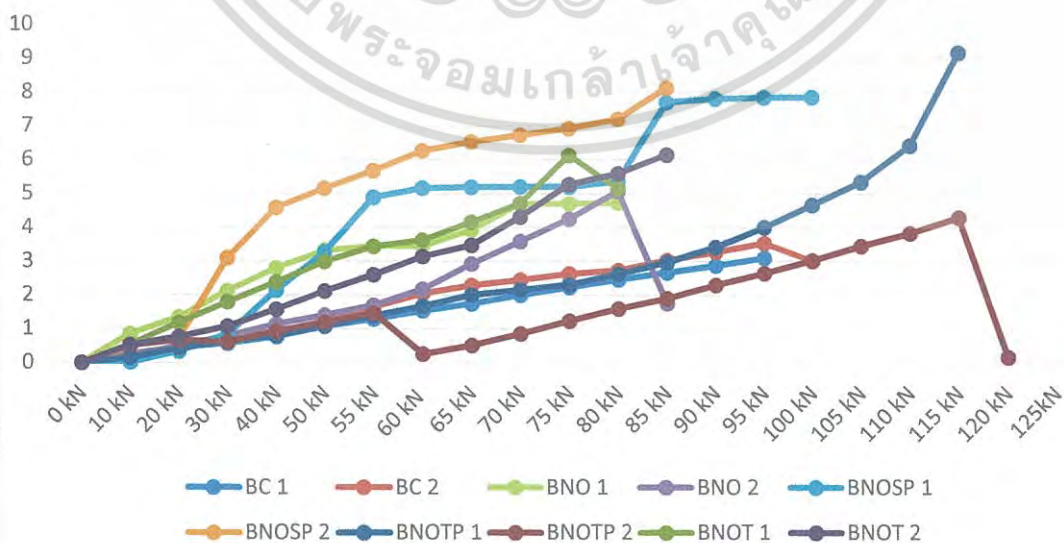
รูปที่ 4.62 แสดงรอยแตกร้าว และการวิบัติของคาน BOOTP 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 เปรียบเทียบคานแต่ละประเภทของคานที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกมาก่อน
 ตารางที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว คานที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักมาก่อน

คานทดสอบ	กำลังบรรทุกประลัย (kN)	ค่าการแอ่นตัวกึ่งกลาง (มิลลิเมตร)
BC 1	94	3.10
BC 2	97	3.01
BNO 1	78	4.73
BNO 2	84	5.07
BNOSP 1	96	7.86
BNOSP 2	85	8.12
BNOTP 1	114	9.18
BNOTP 2	120	4.33
BNOT 1	80	6.01
BNOT 1	85	6.15

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอ่นตัว คานใหม่

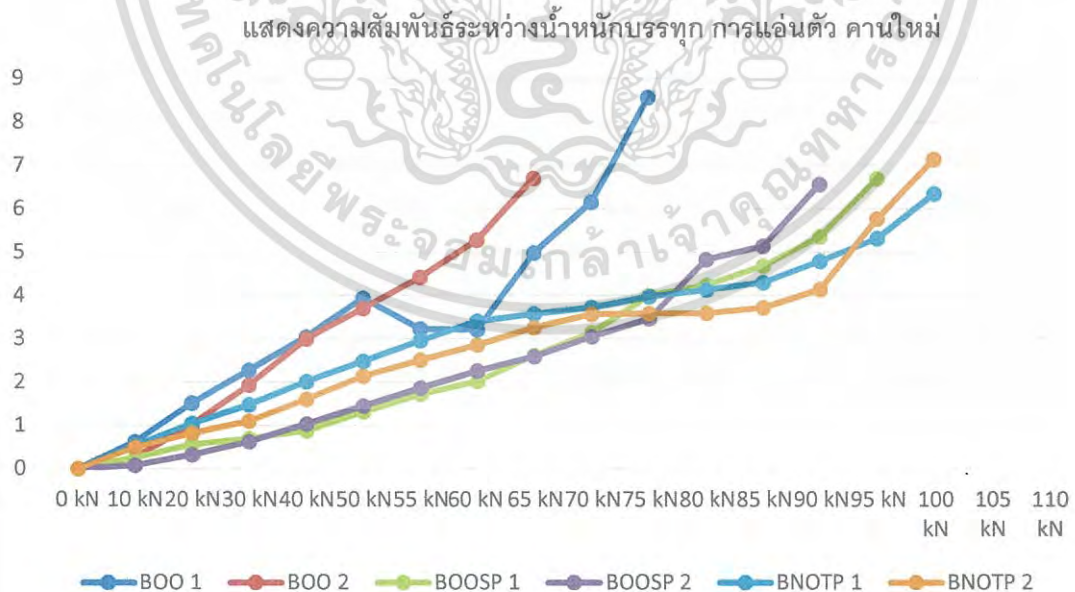


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อจุดประสงค์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ในเชิงพาณิชย์
 รูปที่ 4.63 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักกระทำกับคานใหม่ที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก
 ไม้วาร์ณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.4 เปรียบเทียบคานแต่ละประเภทของคานที่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกมา 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคานอ้างอิง

ตารางที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก การแอนตัว คานที่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกมา 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคานอ้างอิง

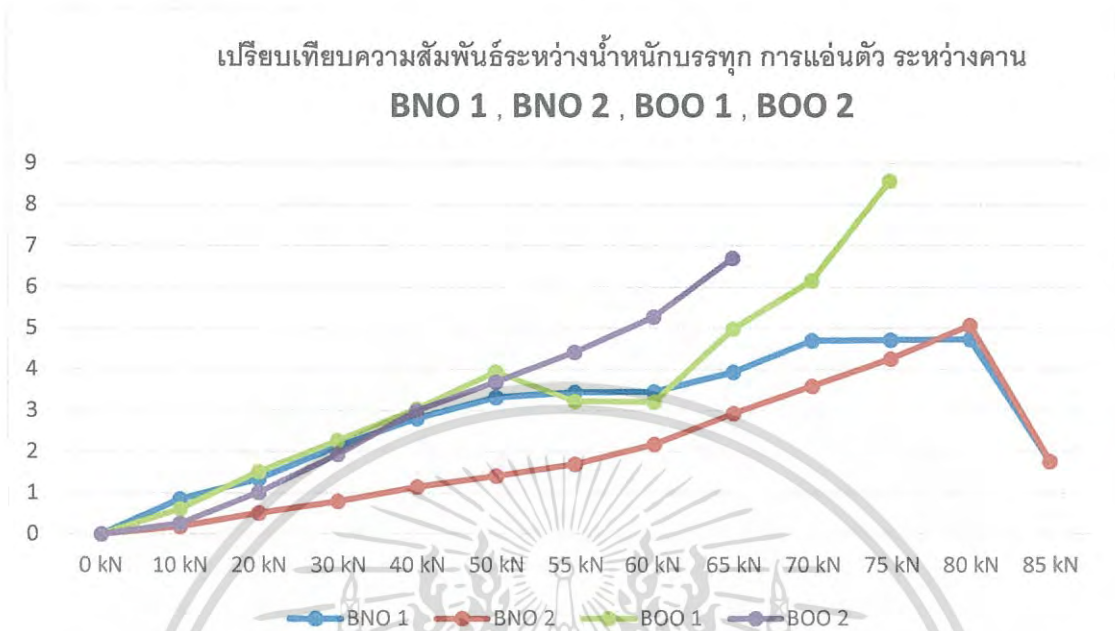
คานทดสอบ	กำลังบรรทุกประลัย (kN)	ค่าการแอนตัวกึ่งกลาง (มิลลิเมตร)
BOO 1	75	8.24
BOO 2	65	6.67
BOOSP 1	95	6.5
BOOSP 2	90	6.56
BOOTP 1	100	6.30
BOOTP 2	100	7.14



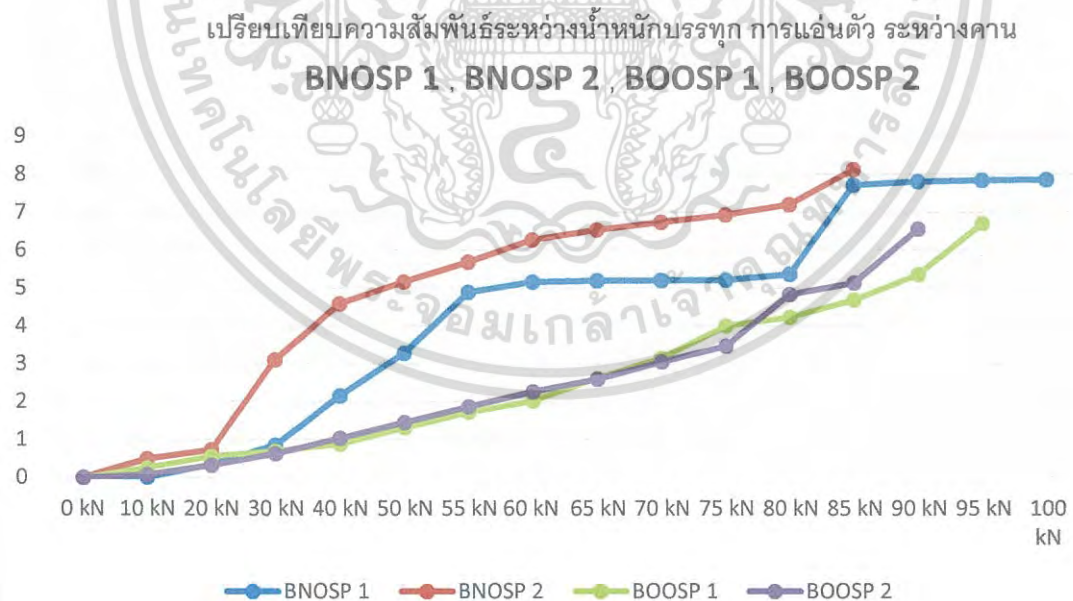
รูปที่ 4.64 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักกระทำกับคานใหม่ที่ผ่านการรับน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.5 เปรียบเทียบคานให้กับคานที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก

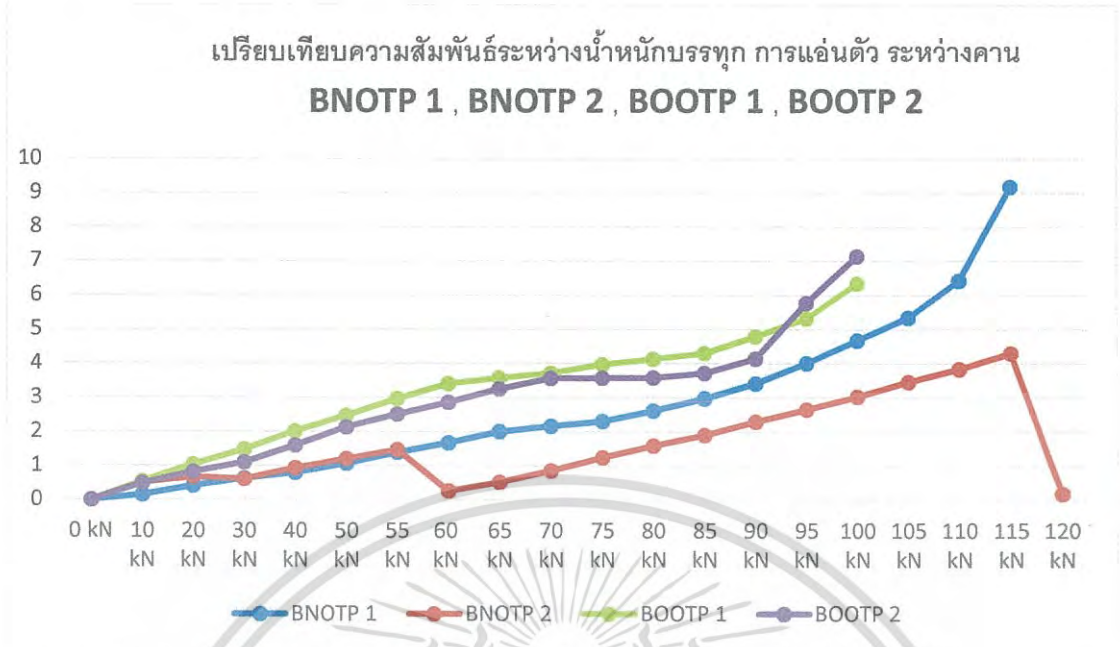


รูปที่ 4.65 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักกระทำ ของคาน BNO 1 BNO 2 BOO 1 BOO 2

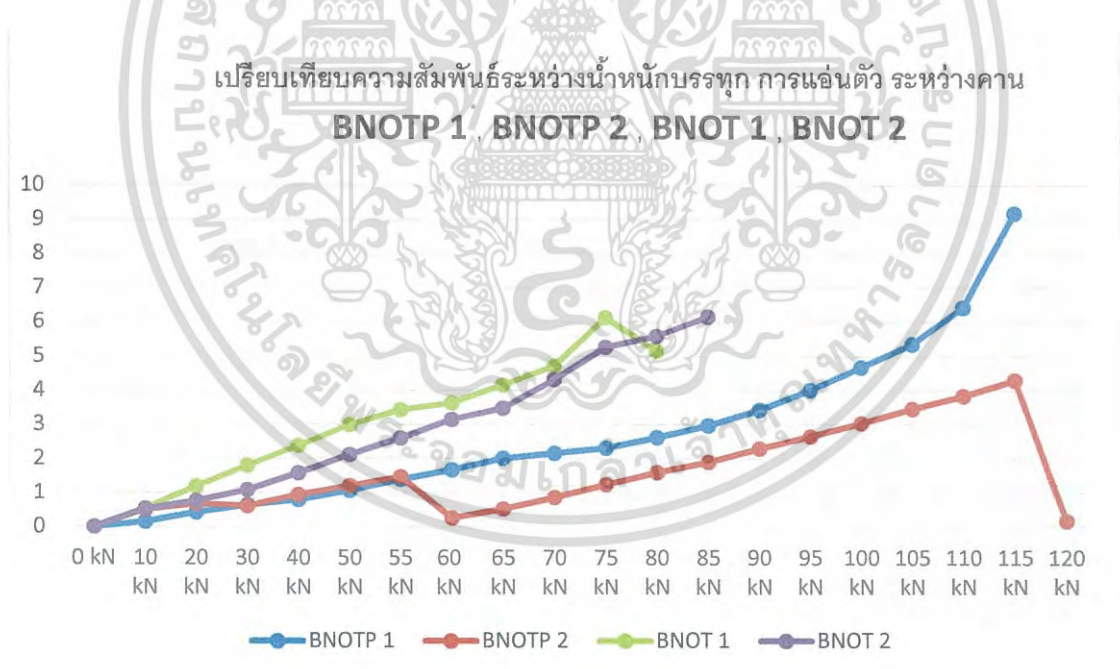


รูปที่ 4.66 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอ่นตัวกับน้ำหนักกระทำ ของคาน BNOSP 1 BNOSP 2 BOOSP 1 BOOSP 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.67 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักกระทำ ของคาน BNOTP 1 BNOTP 2 BOOTP 1 BOOTP 2



รูปที่ 4.68 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการแอนตัวกับน้ำหนักกระทำ ของคาน BNOTP 1 BNOTP 2 BNOT 1 BNOT 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

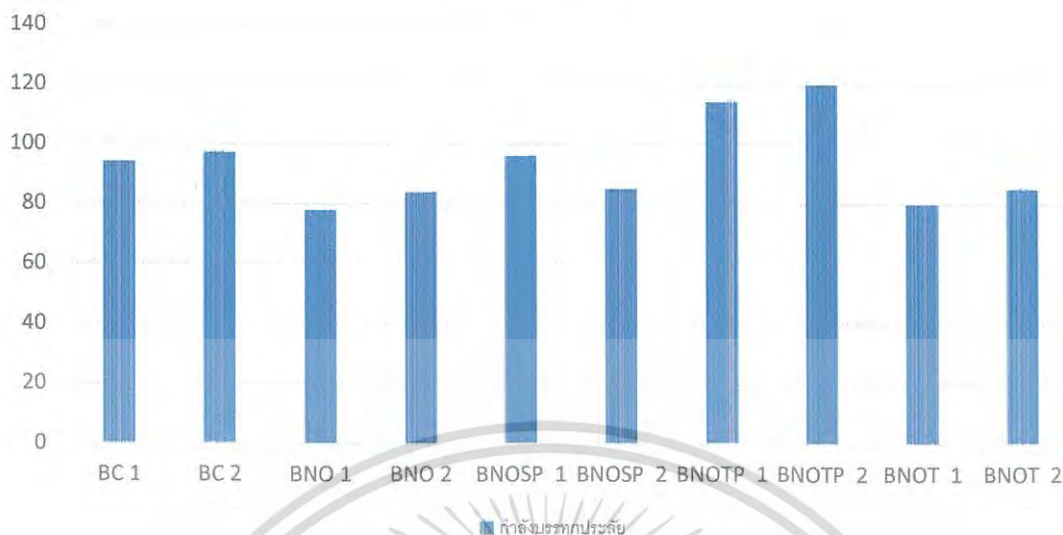
5.1.1 พิจารณากำลังรับน้ำหนักของคานที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักกระทำมาก่อน

ตารางที่ 5.1 แสดงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของคาน

คานทดสอบ	กำลังบรรทุกทุกประลัย	เปอร์เซ็นต์กำลังประลัย
	(kN)	(%)
BC 1	94	95.5 kN
BC 2	97	100
BNO 1	78	81.67
BNO 2	84	87.95
BNOSP 1	96	100.52
BNOSP 2	85	89
BNOTP 1	114	119.37
BNOTP 2	120	125.65
BNOT 1	80	83.77
BNOT 1	85	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังบรรทุกประลัย



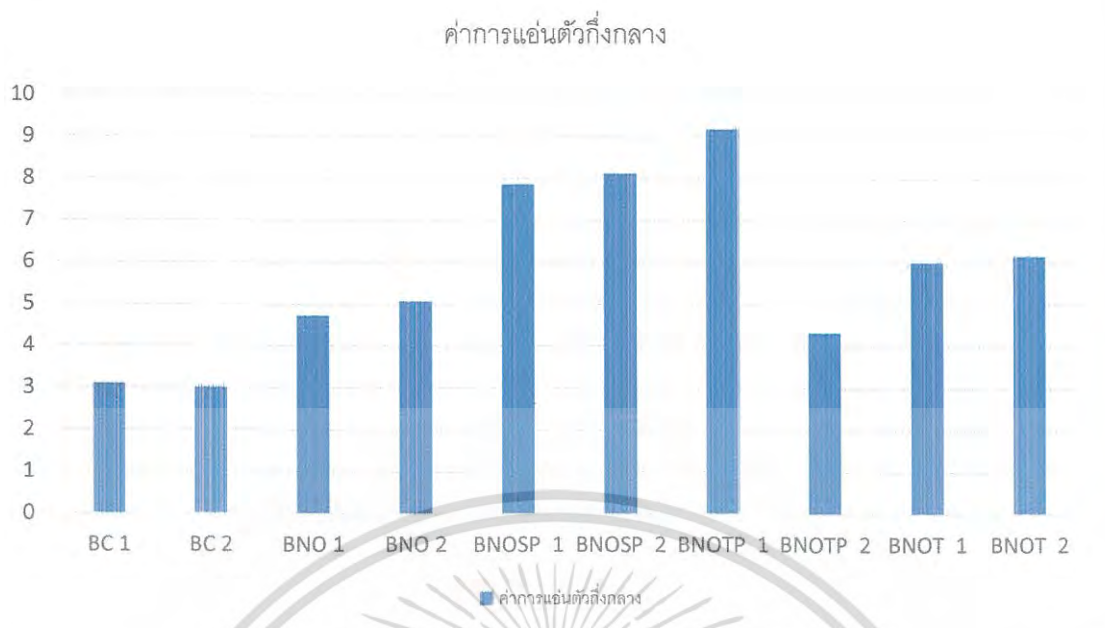
รูปที่ 5.1 แสดงเปรียบเทียบกำลังบรรทุกประลัยของคานแต่ละประเภท

จากผลการทดสอบของคานที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักมาก่อน (คานใหม่) โดยใช้คานใหม่ที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก มาเป็นตัวอ้างอิง จะเห็นว่าคานที่มีช่องเปิดที่เกิดจากการค่อริงคาน กำลังบรรทุกประลัย จะน้อยกว่าคานใหม่ที่ไม่มีช่องเปิด ส่วนคานที่มีช่องเปิดที่ทำการเสริมความแข็งแรงคานด้วย CFRP ในรูปแบบกรอบสี่เหลี่ยม ร่วมกับทุก แล้วทำการค่อริงคาน สามารถเพิ่มกำลังคานที่มีช่องเปิดได้แต่ยังไม่เสมือนคานที่ไม่มีช่องเปิด ส่วนคานที่มีช่องเปิดที่ทำการเสริมความแข็งแรงคานด้วย CFRP ในรูปแบบโครงถัก ร่วมกับทุก แล้วทำการค่อริงคาน จะเห็นว่าคานสามารถรับน้ำหนักบรรทุกประลัยได้มากกว่าคานที่ไม่มีช่องเปิด ทำให้เห็นว่าการเสริมความแข็งแรงของคานในรูปแบบโครงถักร่วมกับทุก สามารถรับกำลังได้มากกว่าคานที่ไม่มีช่องเปิดและคานที่เสริมในรูปแบบอื่นที่ทำการทดลอง เนื่องจาก การเสริมความแข็งแรงในรูปแบบโครงถัก สามารถเสริมบริเวณช่องเปิด ไม่ให้เกิดการบีบอัดและแยกออกของคานบริเวณช่องเปิด เสมือนโครงถักประกบบริเวณช่อง ส่วนการเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ในรูปแบบกรอบสี่เหลี่ยม จะมีแผ่น CFRP ประสานกับผิวด้านข้างของคานสามารถช่วยไม่ให้บริเวณช่องเปิดไม่เกิดการแยกออกและบีบอัดได้ดีเท่าที่ควร

5.1.2 พิจารณาค่าการแอ่นตัวของคานที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักกระทำมาก่อน
ตารางที่ 5.2 แสดงค่าการแอ่นตัวของคาน

คานทดสอบ	ค่าการแอ่นตัวกึ่งกลาง (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ยการแอ่นตัวกึ่งกลาง (มิลลิเมตร)
BC 1	3.10	3.06
BC 2	3.01	
BNO 1	4.73	4.90
BNO 2	5.07	
BNOSP 1	7.86	7.99
BNOSP 2	8.12	
BNOTP 1	9.18	6.755
BNOTP 2	4.33	
BNOT 1	6.01	6.08
BNOT 1	6.15	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงค่าการแอ่นตัวกึ่งกลางของคานแต่ละประเภท

จากผลทดสอบค่าการแอ่นตัวคาน จะเห็นว่าค่าการแอ่นตัวของคานจะสัมพันธ์กับกำลังการรับน้ำหนักของคาน จากผลทดสอบจะเห็นว่า คานที่เสริมความแข็งแรงในรูปแบบโครงถักร่วมกับพุก จะมีค่าการแอ่นตัวสูงที่สุด เนื่องจากการเสริม CFRP ร่วมกับพุกจะเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนัก และเนื่อง CFRP มีความสามารถในการรับแรงดึงมาก และมีค่าการยึดตัวพอสมควรจึงทำให้ค่าที่เสริม มีค่าการแอ่นตัวได้มากกว่าคานที่ไม่เสริม CFRP ร่วมกับพุก

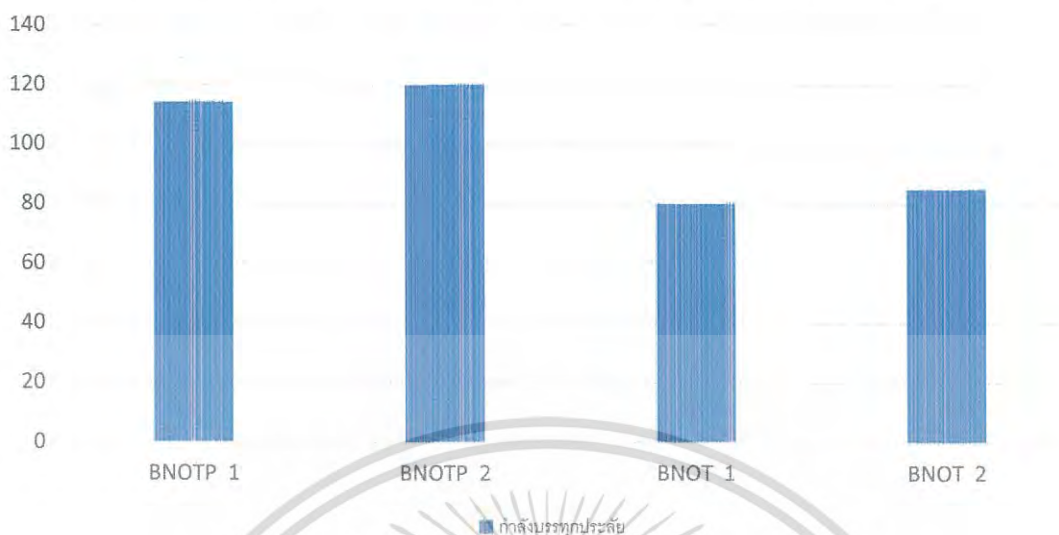
5.1.3 เปรียบเทียบการเสริมความแข็งแรง CFRP แบบโครงถัก แบบมีพุกกับไม่มี

ตารางที่ 5.3 แสดงเปอร์เซ็นต์กำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของคานและเปอร์เซ็นต์เปรียบเทียบ

คานทดสอบ	กำลังบรรทุกทุกประลัย (kN)	เปอร์เซ็นต์กำลังประลัย (%)
BNOTP 1	114	119.37
BNOTP 2	120	125.65
BNOT 1	80	83.77
BNOT 2	85	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังบรรทุกประลัยของคาน BNOTP 1 BNOTP 2 BNOT 1 BNOT 2

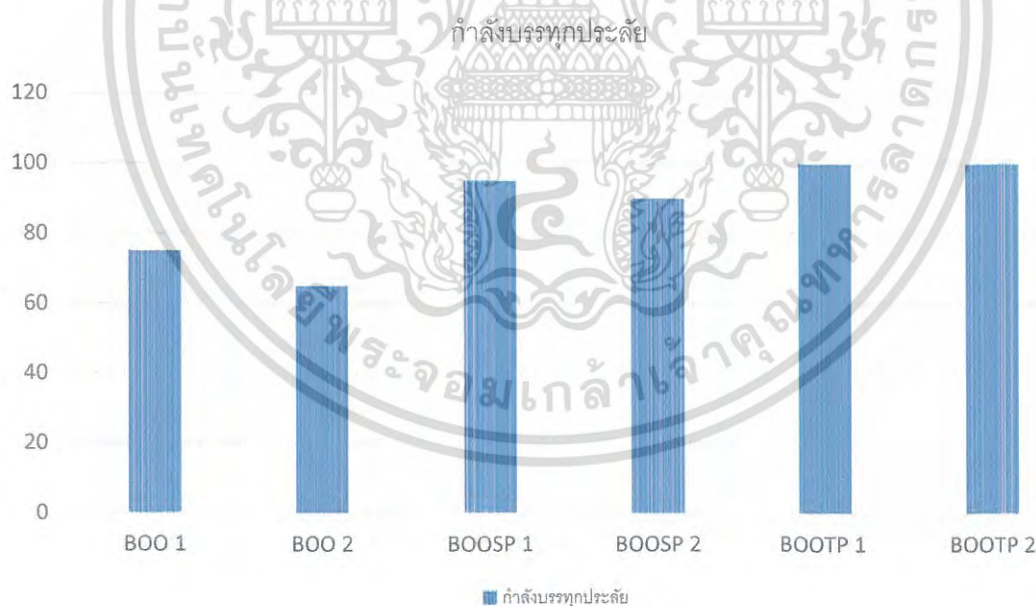


รูปที่ 5.3 แสดงค่ากำลังประลัยของคาน BNOTP 1 BNOTP 2 BNOT 1 BNOT 2

การเสริมความแข็งแรงของคาน ด้วย CFRP ในรูปแบบโครงถัก ร่วมกับฟูก ก่อนทำการค่อริง จะมีกำลังบรรทุกประลัยมากกว่าคานที่มีการเสริมความแข็งแรง ด้วย CFRP ในรูปแบบโครงถัก อย่างเดียว เนื่องจากการเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ในรูปแบบโครงถัก อย่างเดียว การถ่ายน้ำหนักจากคานสู่ แผ่น CFRP ทำได้จากการถ่ายผ่านน้ำยาประสานระหว่างคอนกรีตของคานกับแผ่น CFRP ทำให้ขีดความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุก ขึ้นอยู่กับกำลังของผิวคอนกรีตของคาน แต่การเสริมความแข็งแรง ด้วย CFRP ในรูปโครงถัก ร่วมกับฟูก จะมีฟูกในช่วยในการถ่ายกำลังจากคานไปสู่แผ่น CFRP เนื่องจาก ฟูกเข้าไปฝังในเนื้อของคานทำให้การถ่ายกำลังจากคานสู่แผ่น CFRP ได้ดีกว่า การถ่ายกำลังจากผิวของคานสู่แผ่น CFRP ทำให้การเสริมความแข็งแรงด้วย แผ่น CFRP ร่วมกับฟูก สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่าการเสริมเฉพาะแผ่น CFRP

5.1.4 พิจารณากำลังรับน้ำหนักของคานที่ผ่านการรับน้ำหนักกระทำก่อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยน้ำหนักกระทำ 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคาน
 ตารางที่ 5.4 แสดงกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยของคาน

คานทดสอบ	กำลังบรรทุกทุกประลัย (kN)	เปอร์เซ็นต์กำลังประลัย (%)
BOO 1	75	78.53
BOO 2	65	68.06
BOOSP 1	95	99.48
BOOSP 2	90	95.29
BOOTP 1	100	104.71
BOOTP 2	100	104.71

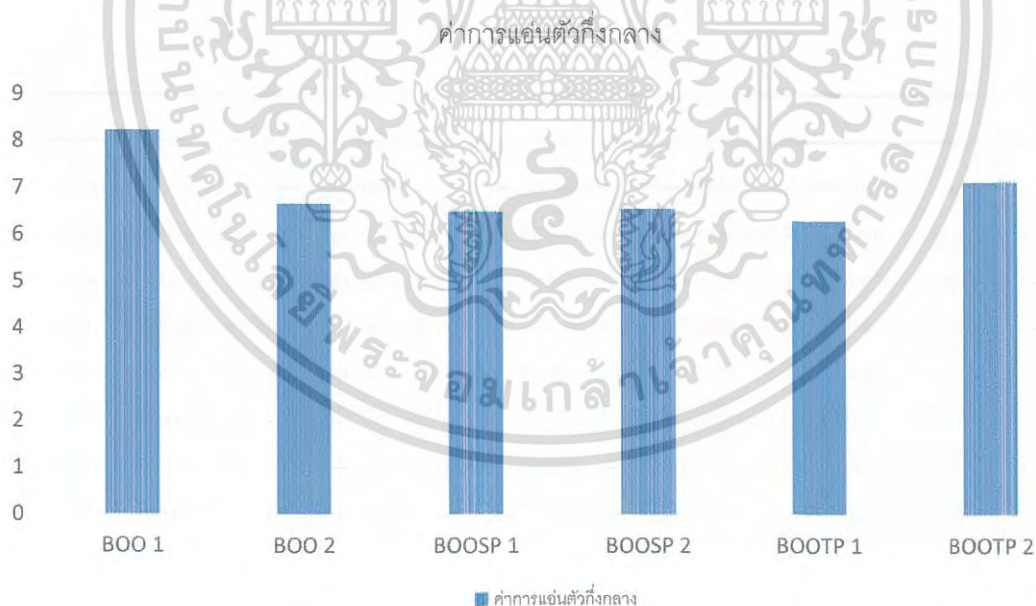


รูปที่ 5.4 แสดงเปรียบเทียบกำลังบรรทุกทุกประลัยของคานแต่ละประเภทที่ผ่านการรับน้ำหนักกระทำก่อน

กำลังบรรทุกทุกประลัยของคานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคาน ตัวอย่าง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะเห็นว่ากำลังบรรทุกทุกประลัยของคานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคาน จะมีกำลังน้อยกว่าคานที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.5 พิจารณาค่าการแอนตัวของคานที่ผ่านการรับน้ำหนักกระทำมาก่อนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ด้วยน้ำหนักกระทำ 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคาน ตารางที่ 5.5 แสดงค่าการแอนตัวของคาน

คานทดสอบ	ค่าการแอนตัวกึ่งกลาง (มิลลิเมตร)	ค่าเฉลี่ยการแอนตัวกึ่งกลาง (มิลลิเมตร)
BOO 1	8.24	7.46
BOO 2	6.67	
BOOSP 1	6.5	6.53
BOOSP 2	6.56	
BOOTP 1	6.30	6.72
BOOTP 2	7.14	



รูปที่ 5.5 แสดงเปรียบเทียบค่าการแอนตัวของคานแต่ละประเภทที่ผ่านการรับน้ำหนักมาก่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปผลการทดสอบ

1. จากการทดลองในส่วนคานที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักมาก่อน คานที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ในรูปแบบโครงถักร่วมกับพุก จะสามารถเพิ่มกำลังได้มากที่สุด จากคานที่ทำการทดลอง คือ 22.51 เปอร์เซ็นต์ของคานใหม่
2. การเสริมความแข็งแรงคานด้วย CFRP ร่วมกับพุกสามารถเพิ่มกำลังได้ดีกว่าไม่มีพุก เพราะตัวพุกเองฝังไปในเนื้อคอนกรีตของคาน แต่น้ำยาประสานจะสัมผัสเฉพาะผิวคอนกรีตของคาน
3. คานที่มีช่องเปิดจะมีค่าการแอ่นตัวมากกว่าคานที่ไม่มีช่องเปิด
4. ค่าการแอ่นตัวของคานที่มีช่องเปิดที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุก จะมีค่าการแอ่นตัวน้อยกว่าคานที่มีช่องเปิดที่ผ่านการรับน้ำหนักมาก่อนทำการทดสอบ
5. ค่าการแอ่นตัวของคานใหม่ที่มีช่องเปิดและเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ร่วมกับพุก จะมีค่าการแอ่นตัวมากกว่าคานที่มีช่องเปิดที่ผ่านการรับน้ำหนักมาก่อนเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ร่วมกับพุก
6. การเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP และ พุก ชัดความสามารถในการเพิ่มกำลังจะขึ้นอยู่กับกำลังของคอนกรีตของคานว่ากำลังมากรับได้มากขึ้นกำลังน้อยรับได้น้อย

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การหล่อคานควรควบคุมขนาดหน้าตัดและความยาวของคานให้ได้ขนาดเท่ากันเพื่อไม่ให้ค่าในการทดสอบคลาดเคลื่อน
2. การวางตำแหน่งเหล็กเสริมและเหล็กปลอก ให้วางตรงตามตำแหน่ง ทั้งแนวแกน X Y และ Z ลดการคลาดเคลื่อน
3. ขั้นตอนการเทคอนกรีตลงแบบควรควบคุมให้คอนกรีตเข้าไปในแบบหล่อได้เต็มทั้งพื้นที่ และการกระจายของเนื้อคอนกรีตให้ สม่ำเสมอทั่วทั้งคาน
4. การบ่มคอนกรีตควรควบคุมการบ่มให้เท่ากันทุกคาน
5. การถ่ายน้ำหนักในการทดสอบ ให้ได้ตำแหน่งเดียวกันทุกคานเพื่อให้ค่าที่ออกมาเป็นในทางเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. การติดตั้งตัวอ่านค่า ควรติดตั้งให้ได้ตำแหน่งเดียวกันกับคานทุกตัว
7. การขึ้นน้ำหนักเพื่อทดสอบคานควรค่อยๆขึ้น เพื่อให้รอยแตกกระจายใกล้เคียงกับสิ่งที่ต้องการศึกษา
8. ในการเสริมความแข็งแรงด้วย แผ่นCFRP ควรให้ความระมัดระวังในการติดตั้ง
9. การศึกษานี้เพื่อใช้เป็นในทางการเสริมความแข็งแรงของคานที่มีช่องเปิด เพื่อใช้ในการพิจารณาการเสริมความแข็งแรงอาคารที่จะทำการปรับปรุง
10. การทดลองนี้ กำลังของคานน้อยเพื่อให้การวิบัติเกิดในส่วนของแรงเฉือน ทำให้แผ่น CFRP ทำงานได้ไม่เป็นประสิทธิภาพของแผ่น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] นเรฐฐ์ พันธราธร, “กำลังในการรับแรงเฉือนของคานที่มีช่องเปิดวงกลมขนาดใหญ่” ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์
- [2] สหชัย แก่นอากาศ อิทธิพงษ์ พันธนิกุล และ ดร.วนิดาแก่นอากาศ (2545) หัวข้อ พฤติกรรมคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่องเปิดขนาดเล็ก,
- [3] Rakesh Diggikar Shivaraj Mangalagi Rajendrakumar Harsoor(2013) หัวข้อ Behavior of R.C.C. Beam With Rectangular Opening Strengthened by CFRP And GFRP Sheets
- [4] S.C.Chin, N.Shafiq and M.F.Nuruddin. “Strengthening of RC Beams Containing Large Opening at Flexure with CFRP Laminates: World Academy of Science, Engineering and Technology 60 2011
- [5] Mohammed J. Abed K. Nasharuddin M.A. Alam Zakaria CM and Moatasem M. Fayyadh. DAMAGED RC BEAMS WITH CIRCULAR WEB OPENING REPAIRED USING DIFFERENT CONFIGURATIONS OF BONDING STEEL PLATE:International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET),ISSN 0976-6316(Online) Volume 3,Issue 2, July-December(2012)
- [6] A.Ahmed A S.NaganathanK.Nasharuddin M.M.Fayyadh(2015) หัวข้อ Repair effectiveness of CFRP and steel plates in RC beams with web opening effect of plate thickness
- [7] Allam,S.M.”Strengthening of RC beams with large openings in the shear zone” Alexandria Engineering Journal,Vol.44,No. 1,pp. 59-78. Mansur M.A. Tan K.H. และ Wei W. (1999) หัวข้อ Effects of creating an opening in existing beams
- [8] S.C.Chin, N.Shafiq and M.F.Nuruddin. “Strengthening of RC Beams with Large Openings in Shear by CFRP Laminates: Experiment and 2D Nonlinear Finite Element Analysis”.Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 4(9): 1172-1180,2012 ISSN: 2040-7467

- [9] Mansur M.A. Tan K.H. and Wei W.” ANALYSIS OF CONCRETE BEAMS WITH CIRCULAR WEB OPENINGS USING STRUT-AND-TIE MODELS: Malaysian Journal of Civil Engineering 18(2):89-98(2006)
- [10] มยผ. 1211.50 มาตรฐานการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดของคอนกรีต (Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete)
- [11] มยผ. 1508-51 มาตรฐานการเสริมกำลังโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใย กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย พ.ศ.2551



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ก-1 วิธีการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

ก-2 การทิ้งน้ำหนักกระทำต่อคาน 60 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ก-3 กำลังรับแรงเฉือนของคานที่มีช่องเปิด

ก-4 กำลังรับแรงเฉือนของแผ่น CFRP

ก-5 กำลังรับแรงเฉือนของแผ่น CFRP ขึ้นอยู่กับกำลังคอนกรีต

เอกสารประชุมวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-1 การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

กำลังรับแรงเฉือนของคาน

กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต v_c

$$v_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_w d \text{ กิโลกรัม}$$

$$v_c = 0.53 \sqrt{210} \times 15 \times 25$$

$$v_c = 2880 \text{ กิโลกรัม}$$

กำลังรับแรงเฉือนของเหล็กเสริมตามขวาง v_s

$$v_s = \frac{A_v f_y d}{s} [\sin \alpha + \cos \alpha] \text{ กิโลกรัม}$$

$$v_s = \frac{0.565 \times 2400 \times 25}{13.5} [\sin 90] \text{ กิโลกรัม}$$

$$v_s = 2511 \text{ กิโลกรัม}$$

กำลังรับแรงเฉือนของคานประลัย $v_u = v_c + v_s$

$$v_u = v_c + v_s$$

$$v_u = 2880 + 2511$$

$$v_u = 5391 \text{ กิโลกรัม}$$

น้ำหนักที่กระทำคานที่ทดสอบให้เกิดการวิบัติ

$$v_u \times 2 = \text{น้ำหนักที่กระทำคานที่ให้คานเกิดการวิบัติ}$$

$$= 10782 \text{ กิโลกรัม}$$

$$= 107.82 \text{ kN}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-2 การดึงน้ำหนักกระทำต่อคาน 60 เเปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

น้ำหนักกระทำต่อคาน **60** เเปอร์เซ็นต์เป็นเวลา **24** ชั่วโมง = **64 kN**

ก-3 กำลังรับแรงเฉือนของคานที่มีช่องเปิด

กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต v_c

$$v_c = 0.53\sqrt{f'_c}b(d - d_0)$$

$$v_c = 0.53\sqrt{210} \times 15 \times (25 - 15)$$

$$v_c = 1152 \text{ กิโลกรัม}$$

กำลังรับแรงเฉือนของเหล็กเสริมตามขวาง v_s

$$v_s = \frac{A_v f_{yv}}{s} (d_v - d_0) + A_d f_{yd} \sin \alpha$$

$$v_s = \frac{0.565 \times 2400 \times 10}{15} [\sin 90] \text{ กิโลกรัม}$$

$$v_s = 1004 \text{ กิโลกรัม}$$

กำลังรับแรงเฉือนของคานประลัย $v_u = v_c + v_s$

$$v_u = v_c + v_s$$

$$v_u = 1152 + 1004$$

$$v_u = 2156 \text{ กิโลกรัม}$$

น้ำหนักที่กระทำคานที่ทดสอบให้เกิดการวิบัติ

$$v_u \times 2 = \text{น้ำหนักที่กระทำคานที่ให้คานเกิดการวิบัติ}$$

$$= 4312 \text{ กิโลกรัม}$$

$$= 43.12 \text{ kN}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก-4 กำลังรับแรงเฉือนของแผ่น CFRP

$$V_f = A_{fv} f_{fe} (\sin \alpha + \cot \alpha) d_f / s_f$$

$$A_{fv} = 2nt_f w_f$$

$$A_{fv} = 2 \times 4 \times 0.12 \times 5$$

$$A_{fv} = 4.8$$

$$V_f = 48 \times 68 \times 1 \times 2$$

$$V_f = 6528 \text{ กิโลกรัม}$$

โดยที่ $V_f =$ แรงเฉือนของแผ่น CFRP

$A_{fv} =$ พื้นที่หน้าตัดของแผ่น CFRP

$n =$ จำนวนชั้นของแผ่น CFRP

$s_f =$ ระยะห่างของแถบแผ่น CFRP

$w_f =$ ความกว้างของแผ่น CFRP

$d_f =$ ความลึกของแผ่น CFRP

$t_f =$ ความหนาของแผ่น CFRP

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} E_f$$

$$\varepsilon_{fe} = 0.004 \leq 0.75 \varepsilon_{fu}$$

$$f_{fe} = 0.004 \times 17000$$

$$f_{fe} = 68$$

โดยที่ $\varepsilon_{fe} =$ ความเครียดออกแบบของแผ่น CFRP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ϵ_{fu} = ความเครียดที่จุดประลัยของแผ่น CFRP

ก-5 กำลังรับแรงเฉือนของแผ่น CFRP ขึ้นอยู่กับกำลังคอนกรีต (กำลังคอนกรีตที่ใช้ 210 ksc) ของคานที่มีช่องเปิด

$$v_s + v_f \leq 0.66\sqrt{f'_c}b_wd$$

$$1004 + 6528 \leq 0.66 \times \sqrt{210} \times 15 \times 25$$

$$7532 \leq 3586.61 \text{ กิโลกรัม}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sika® CarboDur® Plates

Pultruded carbon fibre plates for structural strengthening as part of a Sika CarboDur® system

System Description

Sika® CarboDur® plates are pultruded carbon fibre reinforced polymer (CFRP) laminates designed for strengthening concrete, timber and masonry structures.

Sika® CarboDur® plates are bonded onto the structure as externally bonded reinforcement using Sikadur®-30 structural adhesive (for details on the adhesive see the relevant Product Data Sheet).

Uses

To strengthen structures for:

Load increase

- Increasing the capacity of floor slabs and beams
- Increasing the capacity of bridges to accommodate increase axle loads
- Installation of heavier machinery
- Stabilising vibrating structures
- Changes of building use

Damage to structural elements

- Deterioration of original construction materials
- Steel reinforcement corrosion
- Vehicle impact
- Fire
- Earthquakes

Service improvements

- Reduced deflection
- Stress reduction in steel reinforcement
- Crack width reduction
- Reduced fatigue

Change in structural system

- Removal of walls or columns
- Removal of slab sections for openings

Change of specification

- Earthquakes
- Changed design philosophy

Design or construction defects

- Insufficient / inadequate reinforcement
- Insufficient / inadequate structural depth

Construction



Characteristics / Advantages

- Non corrosive
- Very high strength
- Excellent durability
- Lightweight
- Unlimited lengths, no joints required
- Low overall thickness, can be coated
- Easy transportation (rolls)
- Simple plate intersections or crossings
- Very easy to install, especially overhead
- Outstanding fatigue resistance
- Minimal preparation of plate, applicable in several layers
- Combinations of high strength and modulus of elasticity available
- High alkali resistance
- Clean edges without exposed fibres thanks to the pultrusion process
- Approvals from many countries worldwide

Tests

Approval / Standards

France: CSTB - Avis Technique 3/07-502, SIKA CARBODUR SIKA WRAP

Slovakia: TSUS, Building Testing and research institutes, Technical Approval TO-09/0080, 2009: Systémy dodatočného zosilňovania konštrukcií Sika® CarboDur® a SikaWrap® (Slovak).

Poland: Technical Approval ITB AT-15-5604/2011: Zestaw wyrobów Sika CarboDur do wzmacniania i napraw konstrukcji betonowych (Polish)

Poland: Technical Approval IBDiM Nr AT/2008-03-0336/1 „Płaskowniki, pręty, kształtki i maty kompozytowe do wzmacniania betonu o nazwie handlowej: Zestaw materiałów Sika CarboDur® do wzmacniania konstrukcji obiektów mostowych (Polish)

Fib, Technical Report, bulletin 14: Externally bonded FRP reinforcement for RC structures, July 2001 (International).

USA: ACI 440.2R-02, Guide for the Design and construction of Externally Bonded FRP Systems for strengthening concrete structures, October 2002, (USA).

UK: Concrete Society Technical Report No. 55, Design guidance for strengthening concrete structures using fiber composite material, 2000 (UK).

Switzerland: SIA 166, Klebebewehrungen, 2003 /2004 (CH).

Italy: CNR-DT 200/2004 - Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Existing Structures

Product Data Sika® CarboDur® CFRP plates**Form****Appearance / Colour** Carbon fibre reinforced polymer with an epoxy matrix, black.**Packaging** Cut to size according parts list in reusable packaging.
Supplied in rolls of 250 m in nonreturnable packing boxes.**Types** Sika® CarboDur® S Tensile E-Modulus 170'000 N/mm

Type	Width	Thickness	Cross sectional area
Sika® CarboDur® S512*	50 mm	1.2 mm	60 mm ²
Sika® CarboDur® S812*	80 mm	1.2 mm	96 mm ²
Sika® CarboDur® S1012*	100 mm	1.2 mm	120 mm ²
Sika® CarboDur® S1212	120 mm	1.2 mm	144 mm ²
Sika® CarboDur® S1512	150 mm	1.2 mm	180 mm ²

Sika® CarboDur® M (steel equivalent) Tensile E-Modulus 210'000 N/mm

Type	Width	Thickness	Cross sectional area
Sika® CarboDur® M614*	60 mm	1.4 mm	84 mm ²
Sika® CarboDur® M814*	80 mm	1.4 mm	112 mm ²
Sika® CarboDur® M1014*	100 mm	1.4 mm	140 mm ²
Sika® CarboDur® M1214	120 mm	1.4 mm	168 mm ²

* Stock grades. Others to special order

Storage**Storage Conditions / Shelf Life** Unlimited, provided there is no exposure to direct sunlight (UV light), in dry conditions and at temperatures of max. 50°C

Transportation: only in the original packaging, or otherwise adequately protected against any mechanical damage

Technical Data**Density** 1.60 g/cm³**Glass Transition Temperature** > 100°C**Fibre Volume Content** > 68%

Mechanical / Physical Properties

Plate Properties

		Sika CarboDur S	Sika CarboDur M
E-Modulus	Mean Value	170'000 N/mm ²	210'000 N/mm ²
	5% Fractile-Value	165'000 N/mm ²	205'000 N/mm ²
Tensile Strength	Mean Value	3'100 N/mm ²	3'500 N/mm ²
	5% Fractile-Value	2'900 N/mm ²	3'200 N/mm ²
Strain at break* (min. value)		> 1.80%	> 1.7%

Values obtained from longitudinal direction of fibres.

System Information

System Structure

The system build-up and configuration as described must be fully complied with and may not be changed.

Resin Adhesive - Sikadur[®]-30 .

Structural strengthening Carbon plates – CarboDur M or S

For detailed information on Sikadur[®]-30 together with the application details, refer to the Sikadur[®]-30 Product Data Sheet and the "Technical Information Manual for Sika CarboDur[®] Externally Bonded Reinforcement" Ref: 850 41 05.

Application Details

Consumption

Width of CarboDur [®] plate	Typical Consumption of Sikadur [®] -30
50 mm	0.20 – 0.28 kg/m*
60 mm	0.24 – 0.32 kg/m*
80 mm	0.35 – 0.50 kg/m*
100 mm	0.44 – 0.64 kg/m*
120 mm	0.45 – 0.80 kg/m*
150 mm	0.60 – 0.85 kg/m*

*Note: Consumption is for standard application only. Rough or uneven substrate surfaces, plate crossings, loss and wastage can lead to a higher adhesive consumption of up to 20%.

Substrate Quality

Sika CarboDur® plates externally bonded to the concrete surface:

Recommended minimum concrete pull-off strength after surface preparation

- Mean: 2.0 N/mm²

- Minimum: 1.5 N/mm²

The effective concrete pull-off strength after surface preparation has to be verified.

When the concrete pull-off strength is below the stated minimum requirements, alternative Sika solutions are available:

- CarboDur® applied in slots as near surface mounted (NSM) reinforcement
- SikaWrap® fabrics:

Concrete must generally be older than 28 days (dependent on curing conditions and the type of concrete etc.)

Sika CarboDur® externally bonded to other substrates:

For application of CarboDur® plates to all other substrates (brick, stone, steel, wood, fibre reinforced polymer etc.) please refer to the "Technical Information Manual for Sika CarboDur® Externally Bonded Reinforcement" Ref: 850 41 05

Substrate Preparation

Concrete and masonry:

Substrates must be sound, dry, clean and free from laitance, ice, standing water, grease, oils, old surface treatments or coatings and all loosely adhering particles.

Concrete must be cleaned and prepared to achieve a laitance and contaminant free, open textured surface.

Repairs and levelling must be undertaken with structural repair materials such as Sikadur®-41 repair mortar or Sikadur®-30 adhesive, filled max. 1 : 1 by weight with quartz sand (0.6 – 1.2 mm). The prior wetting of the substrate with Sikadur®-30 improves the bond (wet in wet). If levelling has been conducted more than 2 days before applying the plates, the levelled surface has to be textured again to ensure a proper bond between Sikadur®-41 and Sikadur®-30 (see the relevant Product Data Sheets).

Timber surfaces:

Must be prepared by planing, grinding or sanding. Dust must be removed by vacuum.

Steel surfaces:

Must be prepared by blastcleaning to Sa 2.5 free from grease, oil, rust and any other contaminants which could reduce or prevent adhesion.

Use primer (see table).

Be careful to avoid water condensation (dew point).

Priming can be done with Sikagard®-63N as temporary corrosion protection; or Icosit-EG1 as permanent corrosion protection.

	+10°C	+20°C	+30°C
1) Maximum waiting time between - Blastcleaning of steel and - Primer / or Sikadur®-30 (application without priming possible, if no corrosion protection is needed)	48 hours	48 hours	48 hours
2) Minimum waiting time between - Primer and - Sikadur®-30 application (without additional preparation of the Primer)	48 hours	24 hours	12 hours
3) Maximum waiting time between - Primer and - Sikadur®-30 application (without additional preparation of the Primer)	7 days	3 days	36 hours
4) Waiting time between - Primer and - Sikadur®-30 application (with additional preparation of the Primer)*	> 7 days	> 3 days	> 36 hours

*If additional preparation of the primer is necessary (4), it shall be done at the earliest, the day

Plate preparation:

Prior to the application of Sikadur®-30, solvent wipe the bonding surface with Sika® Colma Cleaner/Thinner C to remove contaminants. Wait until the surface is dry before applying the adhesive (> 10 minutes).

**Application
Conditions /
Limitations**

Substrate Temperature	See Product Data Sheet for Sikadur®-30
Ambient Temperature	See Product Data Sheet for Sikadur®-30
Substrate Humidity	See Product Data Sheet for Sikadur®-30.
Dew Point	See Product Data Sheet for Sikadur®-30



Application Instructions

Mixing See Product Data Sheet for Sikadur®-30

Mixing Time See Product Data Sheet for Sikadur®-30

Application Method / Tools

CarboDur® plates can be cut with a diamond saw or a hacksaw

Place the cut Sika® CarboDur® plate on a table and clean the unlabelled side with Colma Cleaner/ Thinner C using a clean rag. Wait > 10 minutes to allow the surface to dry completely. Apply the well-mixed Sikadur®-30 adhesive with a special "dome" shaped spatula onto the cleaned CarboDur® laminate. Apply the Sikadur®-30 adhesive carefully to the properly cleaned and prepared substrate, with a spatula to form a thin layer for substrate wetting.

Within the open time of the adhesive, place the Sikadur®-30 coated Sika® CarboDur® plate onto the Sikadur® coated concrete surface. Using a rubber roller, press the plate into the adhesive until the material is forced out on both sides of the laminate. Remove surplus adhesive.

Intersections / multiple layers:

Where there are to be plate intersections or crossovers, the first Sika® CarboDur® plate should be cleaned with Sika® Colma Cleaner/Thinner C before overlaying with adhesive and then the second plate applied. If more than one plate is to be bonded together, they all have to be cleaned on both sides with Sika® Colma Cleaner/Thinner C.

Use Sikadur®-330 or Sikadur®-30 adhesive in these instances (for details see the Product Data Sheets for Sikadur®-330 and Sikadur®-30).

Quality assurance:

For quality control of curing rate and strength, samples may be made up on site if requested by code or project engineer.

Average standard values after curing 7 days at +23°C are:

- Compressive strength > 75 N/mm²
- Flexural tensile strength > 35 N/mm²

These values can differ by up to 20% dependent on the circumstances. The following are the most important factors which can have an influence on the mechanical properties:

- Mixing ratio (A : B = 3 : 1 exactly)
- Air entrapment in the sample (from mixing or filling into the mould!)
- Curing temperature / time
- Contamination of the adhesive!

Therefore care should be taken to avoid these situations.

When the Sikadur®-30 has cured, test for voids by tapping the surface of the plate with metallic object or impuls-thermography.

Maximum permissible continuous service temperature is approx. +50°C.

Note: When using the Sika CarboHeater for curing Sikadur®-30 LP to be used at elevated temperatures, the maximum continuous service temperature can be increased to max. +80°C. Refer to the Sika CarboHeater Product Data Sheet for further information.

Cleaning of Tools Clean all tools and application equipment with Sika® Colma Cleaner/Thinner C immediately after use. Cured material can only be mechanically removed.

Potlife See the Product Data Sheet for Sikadur®-30.

Notes on Application / Limitations

A suitably qualified Engineer must be responsible for the design of the strengthening works.

This application is structural and great care must be taken in selecting suitably experienced and trained specialist labourers.

Only apply plates within the open time of Sikadur®-30.

Site quality control should be supported/monitored by an independent testing authority.

Care must be taken when cutting plates. Use suitable protective clothing, gloves, eye protection and respirator.

The Sika® CarboDur® system must be protected from permanent exposure to direct sunlight.

Coating:

The exposed plate-surface can be painted with a coating material such as Sikagard®-550 W Elastic or Sikagard®-ElastoColor W for UV protection.

Maximum permissible service temperature is approx. +50°C.

The instructions in the Product Data Sheet must be followed when applying Sikadur®-30 adhesive.

Note:

Detailed advice on the above must always be obtained from Sika Ltd

Fire Protection

If required Sika® CarboDur® plates may be protected with fire resistant material.

In many instances, reducing the safety factors for fire in the structural design may avoid the need for fire protection.

Value Base

All technical data stated in this Product Data Sheet are based on laboratory tests. Actual measured data may vary due to circumstances beyond our control.

Local Restrictions

Please note that as a result of specific local regulations the performance of this product may vary from country to country. Please consult the local Product Data Sheet for the exact description of the application fields.

Health and Safety Information

For information and advice on the safe handling, storage and disposal of chemical products, users shall refer to the most recent Material Safety Data Sheet containing physical, ecological, toxicological and other safety-related data.

Legal Notes

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions in accordance with Sika's recommendations. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The user of the product must test the product's suitability for the intended application and purpose. Sika reserves the right to change the properties of its products. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject to our current terms of sale and delivery. Users must always refer to the most recent issue of the local Product Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.



SIKA LIMITED

Head Office · Watchmead · Welwyn Garden City · Hertfordshire · AL7 1BQ · United Kingdom

Phone: +44 1 707 394444 · Fax: +44 1 707 329129 · www.sika.co.uk



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษไ้เท่านั้น เมื่อผู้ยาดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sikadur[®]-30

Thixotropic adhesive for bonding reinforcements

Description

Sikadur-30 is a thixotropic adhesive mortar based on a 2-component solvent free epoxy resin. Sikadur-30 is used primarily to bond structural reinforcements to other substrates. It can also be used to bond and fill a wide variety of building and construction materials.

Uses

For structural bonding of:

- Sika CarboDur to concrete, brickwork, stone, timber and blockwork.
- Steel plates to concrete.
- Concrete elements.
- Bridge segments.

For bonding of:

- Starter bars.
- Wall anchors.
- Fixings.

For vertical and overhead filling of:

- Holes
- Dimensional inaccuracies.

Advantages

- Excellent green-strength – non sag in vertical and overhead applications.
- High creep resistance under permanent load.
- Good mechanical strength.
- Good chemical resistance.
- Low shrinkage during curing stage.
- Application at low temperatures.
- Excellent adhesion to most building material even when damp.
- High abrasion resistance.
- High early strength.
- High tensile and flexural strength.
- Supplied in factory proportioned units.

Storage and Shelf Life

Minimum shelf life is approximately two (2) years. Store under controlled conditions in original containers (minimum 5°C, maximum 35°C temperature range).

Instructions for Use

Surface Preparation

All surfaces must be clean, sound and free from dust, ice, oils, grease or other surface contaminants such as form release residues and curing membranes.

Concrete, Mortar, Stone: Mechanically abrade the surface with a needle gun, water blast, grit blast or grind. All surface laitance must be removed. Cement and concrete should be at least 3-4 weeks old (max. moisture content 4%). Minimum adhesive tensile strength of the substrate 1.5MPa.

Metals: Remove any paints, oils, grease, rust and oxide films by grit blasting. Apply Sikadur-30 without delay.

Timber: Sandblast the surface or grind the timber, leaving a rough surface on the substrate.

Epoxy: Abrade and rinse with Sika Colma Cleaner.

Mixing

Sikadur-30 is supplied in factory proportioned units comprising the correct quantities of Part A (Resin) and Part B (Hardener). Thoroughly stir both components separately using a slow running drill/stirrer with a helical paste mixer (max. speed 600 rpm). Decant all Part B into Part A and mix

Construction

Sika[®]

Sikadur[®]-30
Page 1 of 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mixing (continued) thoroughly until a uniform colour is achieved (typically 3 mins.). A streaky colouration is indicative of inadequate or incomplete mixing. Apply immediately. Small units may be hand mixed provided an even colour is achieved.

Application When using Sikadur-30 as a structural reinforcement adhesive, apply well mixed epoxy to the substrate, at maximum 1mm thickness, using a spatula, trowel, or float. Adhesive should then be applied to the Sika CarboDur laminate or steel plate in a roof shape (minimum 1mm thickness at the sides, 2mm in the centre).

Steel plates must be fixed to the concrete substrate using specially prepared supports.

Sika CarboDur laminates are pressed into the substrate with hard rubber rollers by hand. It is important that laminates are evenly pressed onto the substrate until the adhesive is squeezed from both sides of the laminate.

Cleaning Uncured material may be cleaned from application tools, etc. by using Sika Colma Cleaner (flammable solvent). Cured material can only be removed mechanically.

Technical and Physical Data

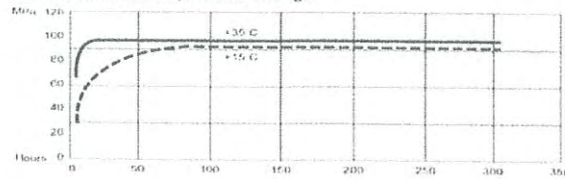
Appearance	Part A	White paste
	Part B	Black paste
	Part A + B	Light grey when mixed
Mix Ratio	A : B = 3 : 1	(parts by weight & volume)
Density	1.77 kg/L	(A + B)
Pot Life *	40 minutes	(at 35°C)
Open Time*	30 minutes	(at 35°C)
Sag Flow*	3 - 5mm	(at 35°C)
Shrinkage	0.04%	
Glass Transition Point*	62°C	
Static E-Modulus*	12,800 MPa	
Adhesive Strength*	Concrete:	4MPa (Concrete Failure)
	Steel	33MPa (Sandblasted Substrate)
Shear Strength*	15 MPa	(Concrete Failure)
Coefficient of Expansion	9×10^{-5} per °C	(-10°C to 40°C)
Consumption	Laminate Type	Sikadur -30
	S512 / H514	~ 0.31 kg/m
	S612 / S614 / M614	~ 0.38 kg/m
	S812	~ 0.50 kg/m
	S914 / M914	~ 0.56 kg/m
	S1012	~ 0.62 kg/m
	S1212 / S1214 / M1214	~ 0.74 kg/m
Packaging	5 kg tins	Part A 3.75 kg Part B 1.25 kg

To F.I.P Federation Internationale de la Precontrainte

Note: The values given may vary according to amount of air extrained during mixing

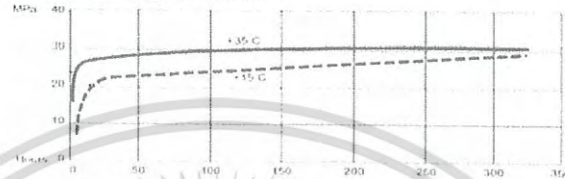
Compressive strength
(EN 12514-7)

Development of compressive strength



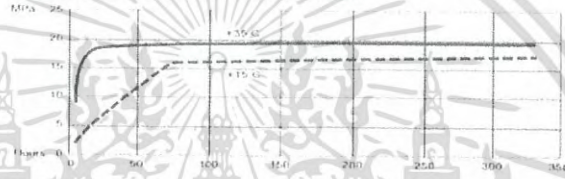
Tensile strength
(DIN 43455)

Development of tensile strength

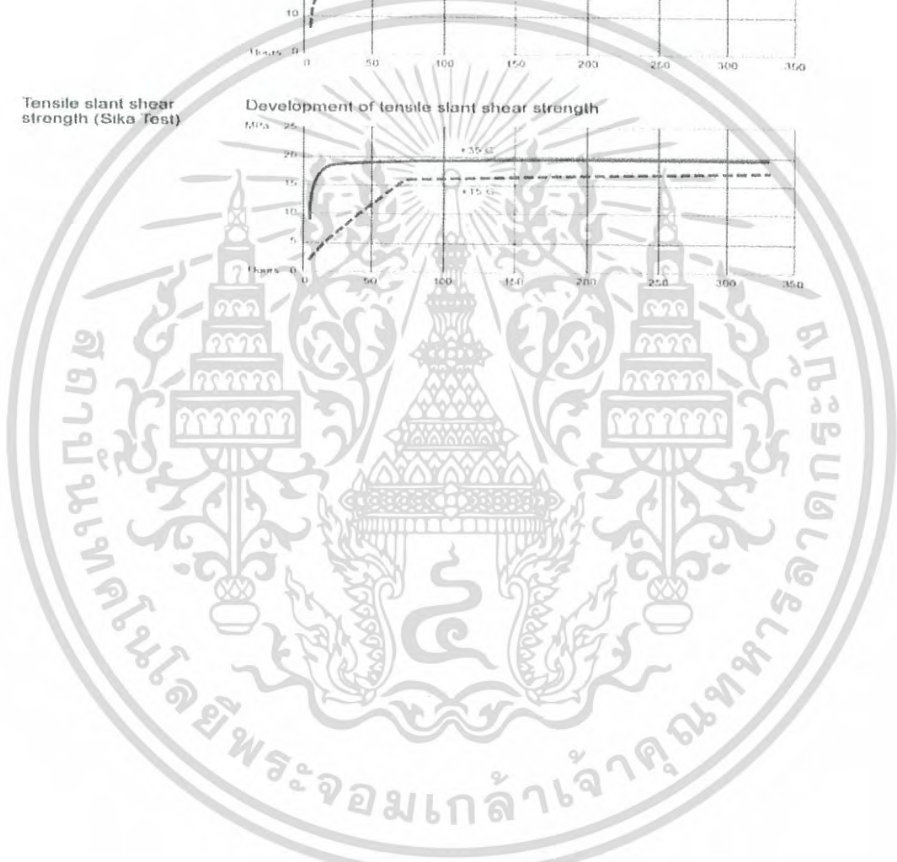


Tensile slant shear strength (Sika Test)

Development of tensile slant shear strength



Construction



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Important Notes

- Do not apply Sikadur-30 to surfaces with standing water. Maximum moisture content of the concrete 10%.
- Always mix a full kit to avoid mix ratio errors.
- Only mix as much material as can be applied within the stated potlife.
- It is important to entrain as little air as possible when mixing Sikadur-30. Air entrainment will result in lower compressive strength development.
- Do not dilute the product with solvent as this will affect the cure and service performance.
- Constant service temperature >50°C may affect the performance of this product.
- Sikadur-30 can be heated up to 70°C during curing to speed up the setting time.
- If in doubt, consult our Technical Department.
- Compressive strengths etc. of epoxy resins must be qualified by the testing method e.g. Test Standard or size of specimen under test and the rate of which the test piece is loaded while under test, as these factors will effect the result markedly. Faster loading rates will generally give higher ultimate loads and vice versa. Also, a specimen at lower temperature will show higher strengths and vice versa.

Handling Precautions

- Avoid contact with the skin, eyes and avoid breathing it's vapour.
- Wear protective gloves when mixing or using.
- If poisoning occurs, contact a doctor or Poisons Information Centre.
- If swallowed, do NOT induce vomiting. Give a glass of water.
- If skin contact occurs, remove contaminated clothing and wash skin thoroughly.
- If in eyes, hold eyes open, flood with water for at least 15 minutes and see a doctor.
- For more detailed information refer to Material Safety Data Sheet.

Important Notification

The information, and, in particular, the recommendations relating to the application and end-use of Sika's products, are given in good faith based on Sika's current knowledge and experience of the products when properly stored, handled and applied under normal conditions. In practice, the differences in materials, substrates and actual site conditions are such that no warranty in respect of merchantability or of fitness for a particular purpose, nor any liability arising out of any legal relationship whatsoever, can be inferred either from this information, or from any written recommendations, or from any other advice offered. The proprietary rights of third parties must be observed. All orders are accepted subject of our terms and conditions of sale. Users should always refer to the most recent issue of the Technical Data Sheet for the product concerned, copies of which will be supplied on request.

PLEASE CONSULT OUR TECHNICAL DEPARTMENT FOR FURTHER INFORMATION.

Construction



Sika Australia Pty Limited
ABN 12 001 342 329

www.sika.com.au
Tel: 1300 22 33 48

Sikadur®-30
Page 4 of 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The 21st National Convention on Civil Engineering

This is to certify that

PAWIN WATTANAPENPAIBOON

has successfully participated in the 21st NCCCE for the paper titled

Reinforcement of Old Beams with Large Openings at the Coring and Reinforced with CFRP Plate in Trusses

BP Samila Beach Hotel, Songkhla, Thailand

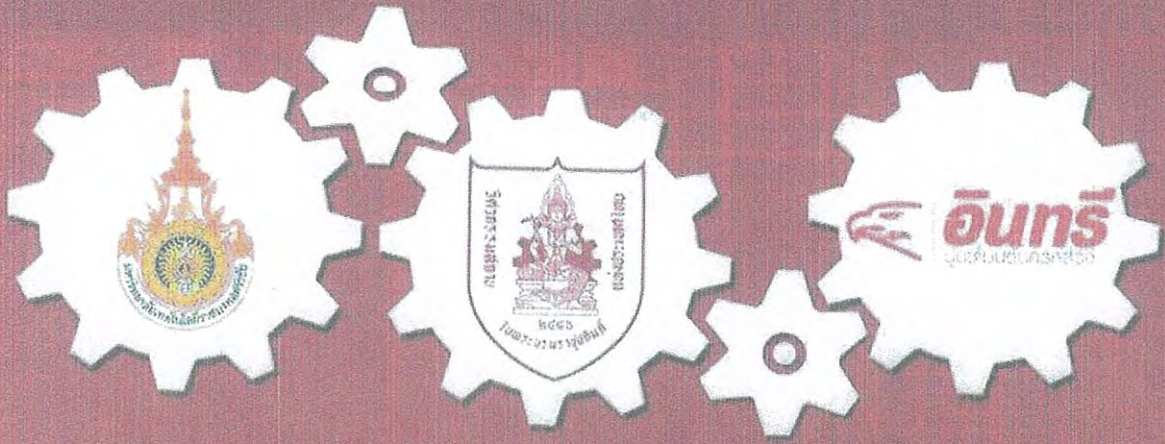
June 28-30, 2016

Prof. Dr. Suchatvee Suwansawat
President of EIT

Assoc. Prof. Charoon Charoennatkul
Dean of Engineering Faculty, RMUTSV

Asst. Prof. Pomarai Boonrasi
Chairperson of 21st NCCCE Committee

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้



การประชุมวิชาการ **21** ครั้งที่ **21** วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ

The 21st National Convention on Civil Engineering

“วิศวกรรมโยธาสู่พรมแดนใหม่และความท้าทายในอนาคต”
“Civil Engineering for Future Challenges and New Frontiers”

www.ncce21.org



28-30 มิถุนายน 2559

โรงแรม บีพี สมิลา บีช สงขลา

28 - 30 June 2016

BP Samila Beach Hotel, Songkhla

เนื้อหาการประชุมวิชาการจะครอบคลุมถึงงานวิจัยใหม่ ๆ และงานวิจัยที่ทันสมัยเกี่ยวกับวิศวกรรมโยธา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Proceeding

การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 21
The 21st National Convention on Civil Engineering



ณ โรงแรม บีพี สมิทลา บีช สงขลา จังหวัดสงขลา
วันที่ 28 - 30 มิถุนายน 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ABSTRACT

วิศวกรรมโครงสร้าง (Structural Engineering, STR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การเสริมความแข็งแรงของคานเก่าที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ ที่เกิดการเจาะและเสริมด้วยแผ่น CFRP Plate ในรูปแบบโครงถัก

Reinforcement of old beams with large openings at the coring and reinforced with CFRP Plate in trusses

ภวิทร์ วัฒนเพ็ญไพบูลย์¹ สุวัฒน์ ธีรเศรษฐ์² อานนท์พร สุวรรณพลาย³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

² สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

³ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาพฤติกรรมและแนวทางการเสริมความแข็งแรงของคานที่ทำการเจาะช่องเปิดขนาดใหญ่บริเวณรับแรงเฉือนของอาคารเก่า หรืออาคารที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว กับคานที่เพิ่งสร้างเสร็จ เพื่อใช้เป็นแนวทางการเสริมกำลัง ให้เข้ากับฟังก์ชันการใช้งาน และปรับแก้ให้เหมาะสมกับการใช้งาน ด้วยแผ่น CFRP แบบ Plate เสริมในรูปแบบโครงถักโดยคานที่ใช้ในการศึกษามีขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 2.10 เมตร ลึก 30 เซนติเมตร มาทำการเจาะช่องเปิดขนาด 15 เซนติเมตร ซึ่งมีขนาด 50 เปอร์เซ็นต์ของความลึกของคาน ซึ่งถือว่าเป็นช่องเปิดขนาดใหญ่ แล้วมาเสริมกำลังด้วยแผ่น CFRP แบบ Plate บริเวณรอบช่องเปิดร่วมกับทุกในรูปแบบโครงถัก เพื่อเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนของคาน และมาเปรียบกันระหว่างคานใหม่ที่ยังไม่เคยผ่านการรับน้ำหนัก กับคานที่มีการทึ่งน้ำหนักไว้ 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคานที่ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงให้เสมือนคานผ่านการรับน้ำหนักมาแล้ว คานที่ผ่านการทึ่งน้ำหนักไว้ 60 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของคาน กำลังจะน้อยกว่าคานใหม่ที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักอยู่ 10 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: คานที่มีช่องเปิด, ช่องเปิดขนาดใหญ่, CFRP

Abstract

This research aims to investigate the behaviours and how strengthen beams with large opening at flexure location in old or existing building and of existing buildings and of newly constructed beams reinforced with CFRP plates in trusses. The beams used in the study were 15 cm. wide, 2.10 m. long and 30 cm. deep, and the diameter of the opening(circular) was 15 cm. or 50% of the overall beam depth, which was considered as large opening. The beams were strengthened with CFRP Plates and Anchor around the opening in order to enhance the shear capacity of the beams. The comparisons were made between the newly constructed beams and the beams that carried weight of 60% ultimate strength for 24 hours, which were used to simulate the old or existing beams. The weight of the beams are

60 percent of the ultimate strength of the beam . Is less than a beam that does not pass the weight is 10 percent .

Keywords: beam with opening, Large opening, CFRP

1. คำนำ

ในยุคปัจจุบันเทคโนโลยีมีการพัฒนาก้าวหน้ามากขึ้นมากทำให้การใช้ชีวิตมีความสะดวกสบายมากขึ้น ซึ่งไม่สอดคล้องอาคารสิ่งก่อสร้างที่มีการใช้งานอยู่เดิมเป็นเวลานานรวมทั้งอาคารเก่าแก่อายุยาวนานและมีคุณค่าต่อคนรุ่นหลัง ในบางครั้งมีความจำเป็นที่จะปรับปรุงอาคารสิ่งก่อสร้างให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมความสะดวกในชีวิตปัจจุบัน ในบางครั้งการปรับปรุงมีความจำเป็นที่งานระบบอำนวยความสะดวกจำเป็นผ่านโครงสร้างคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกมาแล้วเพื่อไม่ให้สูญเสียพื้นที่ใช้งาน ทำให้เกิดการศึกษาพฤติกรรมและแนวทางการเสริมความแข็งแรงของคานที่ผ่านการรับน้ำหนักบรรทุกมาแล้ว เมื่อทำการเจาะช่องเปิดขนาดใหญ่เพื่อศึกษาพฤติกรรมของคานโดยมุ่งเน้นการศึกษาไปที่แรงเฉือนภายในคานเนื่องจากแรงเฉือนมีลักษณะการวิบัติทันทีซึ่งมีอันตรายมากต่อผู้อยู่อาศัย ซึ่งการศึกษาทำให้เข้าใจพฤติกรรมของคานที่มีการเจาะช่องเปิดบริเวณรับแรงเฉือนหลังจากรับน้ำหนักมาก่อนและหาแนวทางการเสริมความแข็งแรงด้วย Sika CarboDur Plates ซึ่งเป็นวัสดุเสริมความแข็งแรงที่มีความสามารถในการรับแรงได้ดีมีน้ำหนักเบาติดตั้งง่ายและกินพื้นที่ในการเสริมความแข็งแรงน้อย การศึกษานี้มุ่งเน้นเพื่อสร้างความมั่นใจในการปรับปรุงอาคารที่มีอายุการใช้งานเป็นเวลานาน

2. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับช่องเปิด ทั้งขนาด ตำแหน่ง รูปร่าง และพฤติกรรมของคานที่มีช่องเปิด ซึ่งมีการเพิ่มกำลังช่องเปิดในรูปแบบต่างๆ โดยใช้วัสดุที่มีขีดความสามารถสูงในการเพิ่มกำลังและเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยในการเสริมความแข็งแรง เพื่อเป็นข้อมูลในการวิจัยและพัฒนาในงานวิจัยนี้

2.2 วรรณกรรมปริทัศน์

2.2.1 คานที่มีช่องเปิด

* ภวิทร์ วัฒนเพ็ญไพบูลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

E-mail address: toto_na_kub@hotmail.co.th

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สหชัย แก่นอากาศ อิทธิพงศ์ พันธนิกุล และ ดร.วนิดาแก่นอากาศ พุดถึง คอนกรีตบริเวณช่องเปิดหายไปทำให้สูญเสียกำลังอัดของคอนกรีตไป ค่าการแอนดิวจิ่งเพิ่มขึ้น นเรฐฐ์ พันธราธร พุดถึงเหล็กเสริมที่เสริมในช่องเปิดสามารถลดเขยกำลังอัดคอนกรีตที่หายไปเพราะช่องเปิดได้ S.C.Chin N.Shafig และ M.F.Nuruddin พุดถึงการเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP สามารถในการรับน้ำหนักของช่องเปิดสี่เหลี่ยมน้อยกว่าวงกลมมาก

2.2.2 เสริมความแข็งแรงคานที่มีช่องเปิดบริเวณผิวด้านข้าง

การเสริมความแข็งแรงบริเวณผิวข้าง Mohammed J. Abed K. Nasharuddin M.A. Alam Zakaria CM และ Moatasem M. Fayyadh การเสริมความแข็งแรงแนวแขนงสามารถเพิ่มกำลังรับแรงเฉือนได้ดีกว่า แนวตั้ง A.Ahmed A S.Naganathan K.Nasharuddin M.M.Fayyadh ได้ศึกษาความหนาของเหล็กแผ่นในแต่ละขนาดมีผลต่อความสามารถ ในการรับแรงของคานที่มีช่องเปิด จากผลทดสอบจะเหล็กแผ่นแต่ละขนาดสามารถเพิ่มกำลังในการรับน้ำหนักของคานที่มีช่องเปิดได้ใกล้เคียงกัน แต่จะต่างกัน ค่าการแอนดิวจิ่งของคานที่ขนาดของเหล็กแผ่นที่มีความหนา

2.2.3 การเสริมความแข็งแรงด้วยวัสดุเสริมร่วมกับทุก

การใช้ทุกในการยึดวัสดุเสริมความแข็งแรง Attam S.M. ได้ศึกษาการเสริมความแข็งแรงช่องเปิดสี่เหลี่ยมขนาดใหญ่โดยเสริมความแข็งแรงด้วยแผ่นเหล็กเสริมผิวข้างและด้านในช่องเปิดร่วมกับทุก ผมศึกษาที่ได้ออกมาความสามารถในการรับแรงได้ดีมาก โดยศึกษาร่วมกับแบบไม่มีทุก Mansur M.A. Tan K.H. และ Wei W ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเสริมความแข็งแรงของคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วย FRP โดยติดตั้งในแนวทะแยงขนาดกับแรงเฉือนทะแยงร่วมกับทุก FRP ร่วมกับทุกสามารถรับแรงได้มากกว่า FRP เพียงอย่างเดียว

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สหชัย แก่นอากาศ พุดถึงการออกแบบวิธีกำลัง ความลึกรับแรงอัดของคานเท่ากับ a ตามสมการ

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} \quad (1)$$

โดยที่ A_s =พื้นที่เหล็กเสริมรับแรงดึง (cm^2)

f_y = กำลังครากของเหล็กเสริม f'_c = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน b = ความกว้างของคาน(cm) h_c = ความกว้างของบนคานถึงช่องเปิด a = ความลึกของหน้าตัดคานส่วนรับแรงอัด

หาค่าโมเมนต์ของคานที่มีช่องเปิด(M_n) จากสมการ

$$M_n = 0.85 f'_c b a \left(d - \frac{a}{2} \right) = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2)$$

กำลังรับแรงเฉือนของคอนกรีต V_c ที่รับได้เมื่อมีช่องเปิดตามสมการ

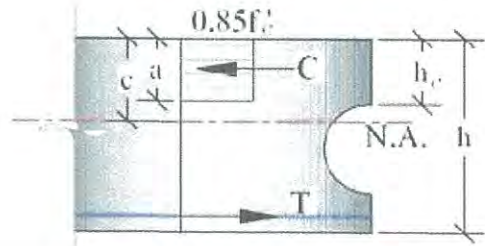
$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b (d - d_0) \quad (3)$$

โดย d = ความลึกประสิทธิภาพ d_0 = ขนาดของช่องเปิด(cm) กำลังรับแรงเฉือนของเหล็ก = V_s กรณีการวิบัติแบบคาน

$$V_s = V_{sv} + V_{sd} = \frac{A_v f_{yv}}{s} (d_v - d_0) + A_d f_{yd} \sin \alpha \quad (4)$$

ตามกำลังรับแรงเฉือนของคานตาม ACI

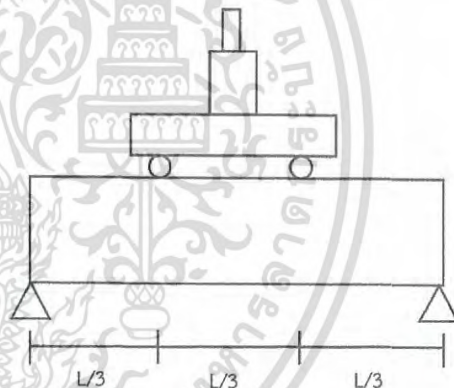
$$V_n = V_c + V_s \quad (5)$$



รูปที่ 1 การกระจายความเค้นของคานที่มีช่องเปิดตามทฤษฎีกำลังประลัย

3. วิธีการทดลอง

คานที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด กว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 210 เซนติเมตร ลึก 30 เซนติเมตร จำนวน 16 คาน โดยแบ่งคานเป็น 2 ส่วน คือ คานใหม่ที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก จำนวน 10 คาน กับคานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 % จากการคำนวณเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จำนวน 6 คาน โดยใช้การทดสอบแบบ 4 จุด 2 จุดกระทำ ระยะห่างระหว่างแรงกระทำ $L/3$ ของความยาวคาน คือ 67 เซนติเมตร ทุกที่ใช้ขนาด $1/2$ นิ้ว



รูปที่ 2 การทดสอบแบบ 4 จุด 2 จุดกระทำ

แบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกหลังจากหล่อคานและบ่มคอนกรีตให้ได้กำลัง 210 ksc พร้อมเสริมความแข็งแรงคานด้วยแผ่น Sika CarboDur Plates และทิ้งไว้ 7 วัน ก่อนทำการเจาะช่องเปิด จำนวน 10 คาน

รูปแบบการเสริมความแข็งแรง 3 รูปแบบ รูปแบบแรก เป็นรูปกรอบสี่เหลี่ยม ร่วมกับทุก รูปแบบที่ 2 เป็นรูปโครงถัก ร่วมกับทุก และรูปแบบที่ 3 เป็นรูปแบบโครงถัก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3 รูปแบบกรอบสี่เหลี่ยมร่วมกับทุก



รูปที่ 4 รูปแบบโครงคดร่วมกับทุก



รูปที่ 5 รูปแบบโครงคด

ตารางที่ 1 ประเภทคานใหม่

คาน	ลักษณะ
BC 1	คานใหม่
BC 2	คานใหม่ที่
BNO 1	คานใหม่ที่ทำการเจาะคาน
BNO 2	คานใหม่ที่ทำการเจาะคาน
BNOSP 1	คานใหม่ที่ทำการเจาะคานพร้อมเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ร่วมกับทุก รูปแบบ กรอบสี่เหลี่ยม
BNOSP 2	คานใหม่ที่ทำการเจาะคานพร้อมเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ร่วมกับทุก รูปแบบ กรอบสี่เหลี่ยม
BNOTP 1	คานใหม่ที่ทำการเจาะคานพร้อมเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ร่วมกับทุก รูปแบบ โครงคด
BNOTP 2	คานใหม่ที่ทำการเจาะคานพร้อมเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ร่วมกับทุก รูปแบบ โครงคด
BNOT 1	คานใหม่ที่ทำการเจาะคานพร้อมเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP รูปแบบ โครงคด
BNOT 2	คานใหม่ที่ทำการเจาะคานพร้อมเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP รูปแบบ โครงคด

ความแข็งแรงด้วยแผ่น Sika CarboDur Plates และทิ้งไว้ 7 วัน ก่อนทำการเจาะช่องเปิด จำนวน 6 คาน

ตารางที่ 2 คานที่ผ่านการรับน้ำหนัก

คาน	ลักษณะ
BOO 1	คานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 % ของกำลังประลัยแล้วทำการเจาะคาน
BOO 2	คานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 % ของกำลังประลัยแล้วทำการเจาะคาน
BOOSP 1	คานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 % ของกำลังประลัยแล้วทำการเจาะคานพร้อมเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ร่วมกับทุก รูปแบบ กรอบสี่เหลี่ยม
BOOSP 2	คานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 % ของกำลังประลัยแล้วทำการเจาะคานพร้อมเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ร่วมกับทุก รูปแบบ กรอบสี่เหลี่ยม
BOOTP 1	คานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 % ของกำลังประลัยแล้วทำการเจาะคานพร้อมเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ร่วมกับทุก รูปแบบ โครงคด
BOOTP 2	คานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60 % ของกำลังประลัยแล้วทำการเจาะคานพร้อมเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ร่วมกับทุก รูปแบบ โครงคด

ช่องเปิดเป็นช่องวงกลมที่ทำการเจาะเป็นช่องหลังจากหล่อคาน โดยแบ่งเป็นคานใหม่ที่หล่อเสร็จ กับคานที่มีน้ำหนักกระทำ 60% ของกำลังประลัยของคาน ตัวช่องเปิดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ช่องเปิดอยู่บริเวณ $L/6=35$ เซนติเมตรจากปลายคาน

4. ผลการทดสอบ

จากการทดสอบคานระหว่างคานใหม่กับคานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60% ของกำลังประลัยเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เปรียบเทียบกำลังประลัยของคานและค่าการแอนตัวของคานทั้ง 2 ลักษณะ โดยมีคานปกติที่ไม่มีช่องเปิดที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนักมาก่อนเป็นคานอ้างอิง เพื่อใช้ในการทดสอบคานที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ที่ทำการเจาะหลังจากหล่อคานเสร็จ คานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60% ของกำลังประลัยเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทำการเจาะช่องเปิดวงกลมขนาดใหญ่



รูปที่ 6 คาน BC 1, BC 2

ส่วนที่ 2 หลังจากหล่อคานและบ่มคอนกรีตให้ได้กำลัง 210 ksc จากนั้นทำการทิ้งน้ำหนัก 60 % กำลังประลัย เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7 คาน BNO 1, BNO 2



รูปที่ 13 คาน BOOSP 1, BOOSP 2



รูปที่ 8 คาน BNOSP 1, BNOSP 2



รูปที่ 14 คาน BOOTP 1, BOOTP 2



รูปที่ 9 คาน BNOTP 1



รูปที่ 10 คาน BNOTP 2



รูปที่ 11 คาน BNOT 1, BNOT 2



รูปที่ 12 คาน BOO 1, BOO 2

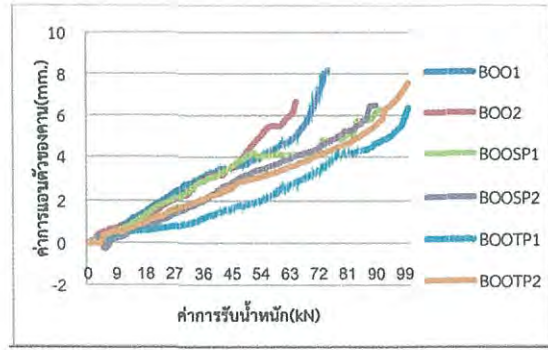
ตารางที่ 3 สรุปผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของคานที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่และรูปแบบการเสริมความแข็งแรงรูปแบบต่างๆ

ลำดับคาน	กำลังประลัย	เปอร์เซ็นต์ กำลังประลัย เทียบกับ คาน BC1 BC2 95.5 kN	ค่าเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์กำลัง ประลัยเทียบกับ คาน BC1 BC2	เปอร์เซ็นต์เพิ่มลด กำลังประลัย เทียบกับคาน BC1 BC2
BC 1	94kN	95.5 kN	84.81 %	ลดลง 15.19 %
BC 2	97 kN	100%		
BNO 1	78 kN	81.67 %	94.76 %	ลดลง 15.24 %
BNO 2	84 kN	87.95 %		
BNOSP 1	96 kN	100.52 %	122.51 %	เพิ่มขึ้น 22.51 %
BNOSP 2	85 kN	89 %		
BNOTP 1	114kN	119.37 %	86.39 %	ลดลง 13.61 %
BNOTP 2	120 kN	125.65 %		
BNOT 1	80kN	83.77 %	73.30 %	ลดลง 26.70 %
BNOT 2	85kN	89 %		
BOO 1	75kN	78.53 %	97.39 %	ลดลง 2.61 %
BOO 2	65kN	68.06 %		
BOOSP 1	95kN	99.48 %	104.71 %	เพิ่มขึ้น 4.71 %
BOOSP 2	90kN	95.29 %		
BOOTP 1	100kN	104.71 %		
BOOTP 2	100kN	104.71 %		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4 สรุปผลการทดสอบค่าการแอ่นตัวของคานที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่และรูปแบบการเสริมความแข็งแรงรูปแบบต่างๆ

ลำดับคาน	ค่าการแอ่นตัว กึ่งกลาง	เปอร์เซ็นต์ค่าการแอ่น ตัวเทียบกับคาน BC1 BC2	ค่าเฉลี่ยค่าการแอ่น ตัวเทียบกับคาน BC1 BC2
BC 1	3.10 mm	100%	3.06 mm
BC 2	3.01 mm		
BNO 1	4.73 mm	155.08 %	4.90 mm
BNO 2	5.07 mm	166.23 %	
BNOSP 1	7.86 mm	257.70 %	7.99 mm
BNOSP 2	8.12 mm	266.23 %	
BNOTP 1	9.18 mm	300.98 %	13.51 mm
BNOTP 2	4.33 mm	139.68 %	
BNOT 1	6.01 mm	197.77 %	6.08 mm
BNOT 2	6.15mm	201.64 %	
BOO 1	8.24 mm	270.16 %	7.46 mm
BOO 2	6.67 mm	218.69 %	
BOOSP 1	6.5 mm	213.11 %	6.53 mm
BOOSP 2	6.56 mm	215.08 %	
BOOTP 1	6.30 mm	206.56 %	6.72 mm
BOOTP 2	7.14mm	234.10 %	



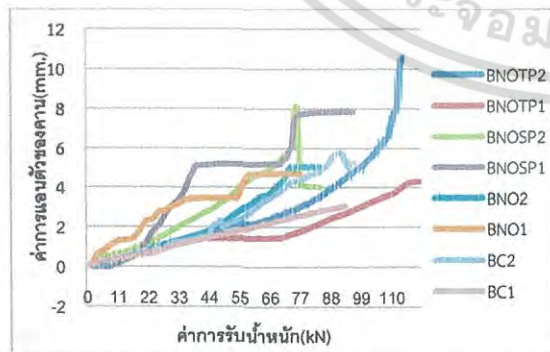
รูปที่ 16 คานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60% ของกำลังประลัยของคานปกติ

คานที่มีการผ่านการรับน้ำหนัก 60% ของกำลังประลัยของคานปกติ จากการทดสอบจะเห็นว่ากำลังของคานจะน้อยกว่าคานใหม่ อยู่ 10% ของคานใหม่ เนื่องจากคานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60% ของกำลังประลัยของคานปกติ ผ่านการรับน้ำหนักเกิน 50% ของกำลังประลัยของคานปกติ ซึ่งเกินช่วงยืดหยุ่นของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตอาจเกิดการร้าวที่ตามองไม่เห็นขึ้น เมื่อคานคอนกรีตเสริมเหล็กเกิดรอยร้าวที่มองด้วยตาไม่เห็นบริเวณคานขึ้น ทำให้กำลังของคานลดลง

ส่วนค่าการแอ่นตัวของคานที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ กับค่าการแอ่นตัวของคานที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ที่มีการเสริมความแข็งแรง ค่าการแอ่นตัวมีค่าตรงกันข้ามกัน โดยที่คานที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ คานใหม่มีค่าการแอ่นตัวน้อยกว่าคานที่มีช่องที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60% ของกำลังประลัย ซึ่งค่าการแอ่นตัวมากกว่าคานที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ที่เป็นคานใหม่ อยู่ 2.56 มิลลิเมตร ส่วนค่าการแอ่นตัวของคานที่มีช่องเปิดที่มีการเสริมด้วย CFRP ในรูปแบบกรอบสี่เหลี่ยม และรูปแบบโครงถัก จะเห็นว่าค่าการแอ่นตัวของคานใหม่จะมีค่าการแอ่นตัวมากกว่าคานเก่าผลการทดสอบจะเห็นว่า ในส่วนรูปแบบสี่เหลี่ยม ต่างกัน 1.46 มิลลิเมตร ส่วนรูปแบบโครงถัก ต่างกัน 6.79 มิลลิเมตร เนื่องจากคานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60% ของกำลังประลัยคานผ่านการรับน้ำหนักเกิน 50% ของกำลังประลัยคาน ซึ่งถือว่าเป็นช่วงยืดหยุ่น

5. บทสรุป

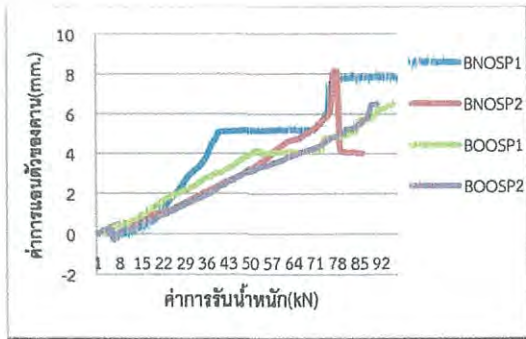
จากการทดสอบคานที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ที่ทำการเจาะช่องเปิดขนาดใหญ่ที่มีการเสริมความแข็งแรงด้วย CFRP ในรูปแบบโครงถักร่วมกับทุกจะ สามารถเพิ่มกำลังของคานที่มีช่องเปิดได้ถึง 22.5 % ของคานปกติ ซึ่งสามารถเพิ่มกำลังได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับการเสริม CFRP แบบกรอบสี่เหลี่ยม ร่วมกับทุกกำลังลดลง 5 % ของคานปกติ และการเสริม CFRP แบบโครงถัก กำลังลดลง 13.6% ของคานปกติ



รูปที่ 15 คานใหม่ที่ไม่ผ่านการรับน้ำหนัก

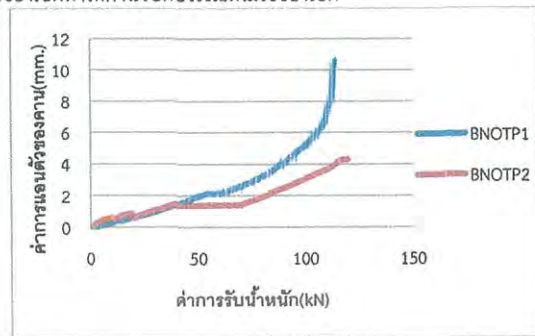


รูปที่ 17 คานที่มีช่องเปิด ระหว่างคานใหม่กับคานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60%ของกำลังประลัยของคานปกติ

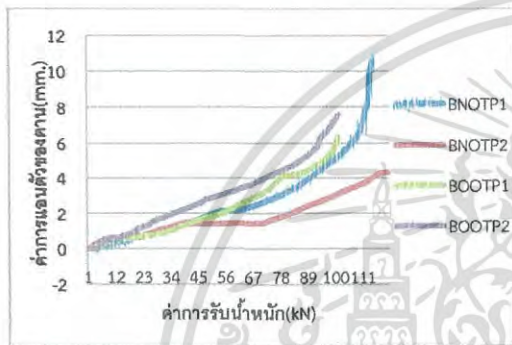


รูปที่ 18 คานที่มีการเสริมความแข็งแรงรูปแบบกรอบสี่เหลี่ยม ระหว่างคานใหม่กับคานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60%ของกำลังประลัยของคานปกติ

ความแข็งแรงบริเวณช่องเปิดมีความแข็งแรงเทียบเท่าหรือมากกว่าบริเวณที่ไม่มีช่องเปิดทำให้คานวิบัติบริเวณที่ไม่ใช้ช่องเปิด



รูปที่ 21 คานที่เสริมความแข็งแรงในรูปแบบโครงงัด



รูปที่ 19 คานที่มีการเสริมความแข็งแรงรูปแบบโครงงัด ระหว่างคานใหม่กับคานที่ผ่านการรับน้ำหนัก 60%ของกำลังประลัยของคานปกติ

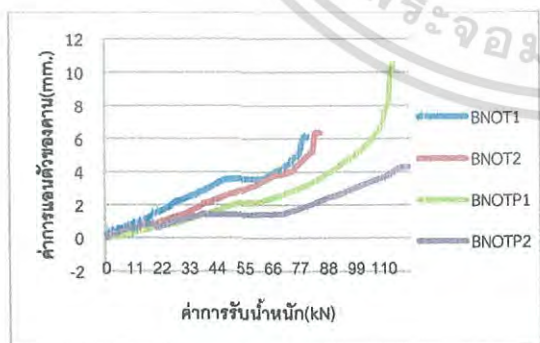
กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ จะสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. สุวัฒน์ ภิระเชษฐ์ เป็นอย่างสูงที่คอยให้คำแนะนำ แนวทาง และคำปรึกษาในทุกๆ ด้านของงานวิจัย เพื่อให้บทความนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี
ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ บุคลากรของสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และผู้ใหญ่และผู้ทรงคุณวุฒิโยธาธิการและผังเมืองที่ให้ความสนับสนุนในทุกๆ ด้าน
ขอขอบคุณผู้สนับสนุนงานวิจัยนี้ บริษัท นำเฮงคอนกรีต (1992) จำกัด ผู้สนับสนุนบุคลากรในการประกอบคานและผูกเหล็กคาน บริษัท ริโทรฟิท สตรัคเจอร์ สเปเชียลลิสต์ จำกัด ผู้ให้การสนับสนุน CFRP และบุคลากรในการติดตั้ง
สุดท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณครอบครัวและญาติพี่น้องของผู้เขียนที่คอยให้การสนับสนุนและช่วยเหลือส่งเสริมจนทำให้บทความนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คานที่มีการเสริมความแข็งแรงรูปแบบโครงงัดร่วมกับทุก สามารถเพิ่มกำลังได้มากกว่าคานที่มีการเสริมรูปแบบโครงงัด อยู่ 50% ของคานที่มีการเสริมรูปแบบโครงงัด เนื่องจากคานที่มีการเสริมในรูปแบบโครงงัด การถ่ายแรงระหว่างคานกับCFRP ขึ้นอยู่กับตัวประสานกับผิวคอนกรีตของคานในการถ่ายแรงทำให้ CFRP เพิ่มกำลังคานที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ไม่ได้เต็มประสิทธิภาพ เมื่อการเสริมความแข็งแรงร่วมกับทุกที่มีการฝังตัวเข้าไปในคานทำให้การถ่ายแรงสามารถถ่ายเข้าคานได้มากขึ้นทำให้ CFRP สามารถช่วยรับแรงได้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Allam,S.M."Strengthening of RC beams with large openings in the shear zone" Alexandria Engineering Journal,Vol.44,No. 1,pp. 59-78.
- [2] Mohammed J. Abed K. Nasharuddin M.A. Alam Zakaria CM and Moatasem M. Fayyadh. DAMAGED RC BEAMS WITH CIRCULAR WEB OPENING REPAIRED USING DIFFERENT CONFIGURATIONS OF BONDING STEEL PLATA:International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET),ISSN 0976-6316(Online) Volume 3,Issue 2, July-December(2012)
- [3] S.C.Chin, N.Shafiq and M.F.Nuruddin. "Strengthening of RC Beams with Large Openings in Shear by CFRP Laminates: Experiment and 2D Nonlinear Finite Element Analysis".Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 4(9): 1172-1180,2012 ISSN: 2040-7467
- [4] S.C.Chin, N.Shafiq and M.F.Nuruddin. "Strengthening of RC Beams Containing Large Opening at Flexure with CFRP Laminates: World Academy of Science, Engineering and Technology 60 2011



รูปที่ 20 คานที่เสริมความแข็งแรงในรูปแบบโครงงัดร่วมกับทุก กับ คานที่เสริมความแข็งแรงในรูปแบบโครงงัด

จากการทดสอบคาน BNOTP 1 การวิบัติของคานเกิดขึ้นในส่วนบริเวณที่ไม่มีช่องเปิด การเสริมความแข็งแรงแบบโครงงัดบริเวณช่องเปิดทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล นายภวินท์ วัฒนเพ็ญไพบูลย์
วัน เดือน ปีเกิด 5 ธันวาคม 2532 ที่กรุงเทพฯ
ที่อยู่ 30 หมู่ 11 ซ. เสนานิคม 1 ถนน เสนานิคม 1 ซอย 42 แยก 11-2
เขตลาดพร้าว แขวงลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230 โทร 081-425-1232

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550 โรงเรียน สาธิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร (ฝ่ายมัธยม)

พ.ศ. 2554 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระ
จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ. 2555 – 2556 ตำแหน่งวิศวกรปฏิบัติการ
สำนักตรวจสอบการบริหารพัสดุและสืบสวนที่ 3
สำนักงานการตรวจเงินแผ่นดิน

พ.ศ. 2557- ปัจจุบัน ตำแหน่งวิศวกรโยธาปฏิบัติการ
กองควบคุมการก่อสร้าง
กรมโยธาธิการและผังเมือง

ผลงานทางวิชาการ “การเสริมความแข็งแรงของคานเก่าที่มีช่องเปิดขนาดใหญ่ที่เกิดการเจาะ
และเสริมด้วยแผ่น CFRP Plate ในรูปแบบโครงถัก”

การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 21 วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ