



ชุดทดลองปฏิบัติการความเค้นหนาแน่น
STRESS CONCENTRATION LABORATORY INSTRUMENT

พงศกร มะหมัดเหม
PONGSAKORN MAHMADHAM

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองปฏิบัติการความเค้นหนาแน่น
STRESS CONCENTRATION LABORATORY INSTRUMENT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STRESS CONCENTRATION LABORATORY INSTRUMENT



A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEER IN MECHANICAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
PRINCE OF CHUMPHON

2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2022

DEPARTMENT OF ENGINEERING

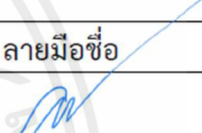

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ ชุดทดลองปฏิบัติการความเค้นหนาแน่น
PROJECT TITLE STRESS CONCENTRATION LABORATORY INSTRUMENT
ชื่อนักศึกษา นายพงศกร มะหมัดเหมม รหัสประจำตัว 61512055
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์
ปริญญาานิพนธ์ ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์
อาจารย์ที่ปรึกษา
ปริญญาานิพนธ์ร่วม

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์	กรรมการสอบ	
ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์	อาจารย์ที่ปรึกษา	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 23 พฤษภาคม 2565 เวลา 11.00 – 12.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุมวิทยาศาสตร์ ชั้น 1 ตึก C

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ รัตน์เดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ชุดทดลองปฏิบัติการความเค้นหนาแน่น

ชื่อนักศึกษา	นายพงศกร มะหมัดเหม	รหัสประจำตัว	61512055
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตุวงศ์		
ปริญญานิพนธ์			
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโสธานนท์		
ปริญญานิพนธ์ร่วม			

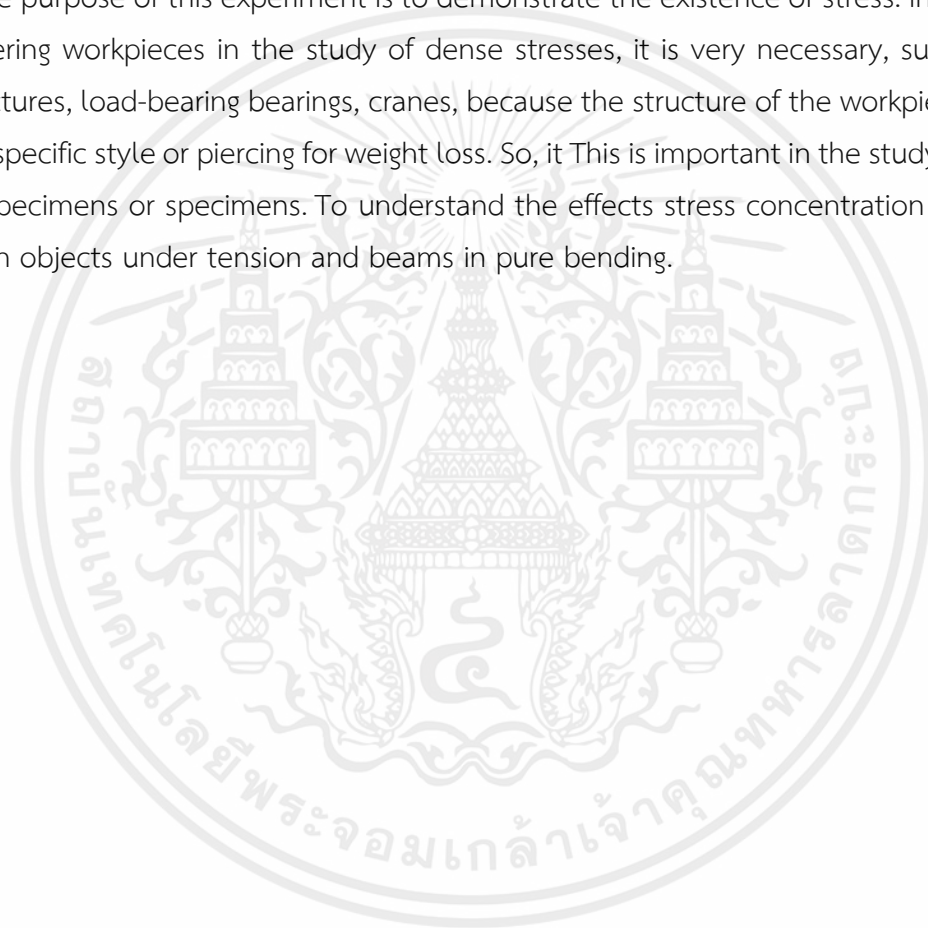
บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของการทดลองนี้คือเพื่อแสดงให้เห็นถึงการมีอยู่ของความเค้น ซึ่งในงานออกแบบชิ้นงานทางวิศวกรรมในการศึกษาความเค้นหนาแน่นมีความจำเป็นอย่างมาก เช่น โครงสร้างเหล็กขนาดใหญ่, ฐานรองรับน้ำหนัก, crane , เนื่องจากโครงสร้างของชิ้นทดลอง อาจจะมีลักษณะเฉพาะหรือการเจาะเพื่อลดน้ำหนัก ดังนั้นจึง มีความสำคัญในการศึกษาความเค้นหนาแน่นของชิ้นวัตถุหรือชิ้นทดลองเพื่อทำความเข้าใจผลกระทบของความเข้มข้นของความเครียด (รูและรอยบาก) ในวัตถุภายใต้แรงดึงและคานในการตัดล้น

Project Title	Stress Concentration Laboratory Instrument	
Student	Mr. Pongsakorn Mahmadham	Student ID 61512055
Degree	Bachelor of Engineering	
Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Chompoonud Kulketwong	
Project Co-Advisor	Asst. Prof. Dr. Dithaporn Thungsotanon	

ABSTRACT

The purpose of this experiment is to demonstrate the existence of stress. In the design of engineering workpieces in the study of dense stresses, it is very necessary, such as large steel structures, load-bearing bearings, cranes, because the structure of the workpieces. There may be a specific style or piercing for weight loss. So, it This is important in the study of density stress in specimens or specimens. To understand the effects stress concentration (holes and notches) in objects under tension and beams in pure bending.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากคณาจารย์ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ความรู้ต่างๆ ตลอดจนขั้นตอนและวิธีการในการทำปริญญาานิพนธ์

บุคคลที่ขาดมิได้คือ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและเป็นทีเคารพรัก ที่คอยให้การสนับสนุนและ กำลังใจแก่ผู้จัดทำเสมอผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง และขอบคุณ เพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือแนะนำ และสนับสนุนในทุกๆด้านรวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงผู้จัดทำหวังว่าปริญญา นิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อยต่อผู้ที่สนใจศึกษา

พงศกร มะหมัดเหมม
16 พฤษภาคม 2564



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VI

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	3
1.3 สมมุติฐานของปริญญานิพนธ์	3
1.4 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.6 ขั้นตอนปริญญานิพนธ์	4
1.7 แผนการดำเนินงาน	5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รูปแบบของความเสียหาย	6
2.2 ผลของท่าหนึ่ต่อความแข็งแรงอุดมคติ	6
2.3 ความเครียด	13
2.4 ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการทดลอง	14

บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์และหลักการทำงานและหน้าที่อุปกรณ์	15
3.2 วิธีการดำเนินการ	18
3.3 ขั้นตอนการทดสอบ	19

บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 การทดลองความเค้น	21
4.1.2 ผลการทดลองความเค้นที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์	21
4.1.3 ผลการทดลองความเค้นที่แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์	22
4.1.4 ผลการทดลองความเค้นที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์	23
4.1.5 ผลการทดลอง Stress concentration factor	24

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 สรุปผลการทดลอง	26
5.2 ปัญหาที่พบ	27
5.3 ข้อเสนอแนะ	27
เอกสารอ้างอิง	28
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ข้อมูลทางเทคนิค	29
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ	35
ประวัติผู้เขียน	49



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
ค.1	ผลการทดลองที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์	37
ค.2	ผลการทดลองที่แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์	39
ค.3	ผลการทดลองที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์	41
ค.4	ค่าได้จากการทดลองที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์	43
ค.5	ค่าได้จากการคำนวณทางทฤษฎีที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์	43
ค.6	Stress concentraton factor ที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์	44
ค.7	ค่าได้จากการทดลองที่แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์	45
ค.8	ค่าได้จากการคำนวณทางทฤษฎีที่แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์	45
ค.9	Stress concentraton factor ที่แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์	46
ค.10	ค่าได้จากการทดลองที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์	47
ค.11	ค่าได้จากการคำนวณทางทฤษฎีที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์	47
ค.12	Stress concentraton factor ที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์	48

สารบัญญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงานการออกแบบและสร้างชุดปฏิบัติการความเค้นหนาแน่น	4
1.2	การกระจายของความเค้นที่ภาคตัดขวางของวัตถุ	8
1.3	การกระจายความเค้นเนื่องจากการตัดในหน้าตัดคาน	9
1.4	การกระจายความเค้นบริเวณหน้าตัดของรูเจาะ (ก) ชิ้นงานเจาะรูรับแรงดึง	9
1.5	การกระจายความเค้นบริเวณหน้าตัดของรูเจาะ (ข) การกระจายความเค้นบริเวณรูเจาะ	9
1.6	ตำแหน่งของความเค้นสูงสุดเนื่องจากรอยบากในการรับแรงดึง	10
1.7	ผลกระทบของรูต่อความเค้นในคานระหว่างการตัด โดยที่ความเค้นที่ B	11
1.8	ผลกระทบของรูต่อความเค้นในคานระหว่างการตัด โดยที่ความเค้นที่ B อาจไม่ใช่ค่าสูงสุด	11
1.9	การตัดชิ้นงานที่มีรอยบาก โดยความเค้นตัดสูงสุดเกิดที่ฐานของรอยบาก	11
3.1	ชุดทดลอง แผ่นเหล็กทดลอง	15
3.2	ตม่น้ำหนักทองเหลือง	15
3.3	เวอร์เนียดิจิตอล Vernier Caliper	16
3.4	WGA-680A Instrumentation Amplifier	16
3.5	Dual-Range DC Power supply (SPD-3606)	16
3.6	เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine	17
3.7	ชิ้นงานเจาะรูตำแหน่งกึ่งกลาง ก.1	18
3.8	ชิ้นงานเจาะรูตำแหน่งกึ่งกลาง ก.2	18
3.9	ชิ้นงานเจาะรูตำแหน่งกึ่งกลาง ก.3	18
3.10	การติดตั้งชุดทดสอบ และปรับเซต	19
3.11	ปรับเซต	19
3.12	ทำการใส่โหลดตม่น้ำหนัก	20
4.1	กราฟความสัมพันธ์ความเค้นที่วัดได้กับมวลน้ำหนักของจากการทดลองขนาดแรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์	21
4.2	กราฟความสัมพันธ์ความเค้นที่คำนวณได้กับมวลน้ำหนักของจากการทดลองขนาดแรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์	22
4.3	กราฟความสัมพันธ์ความเค้นที่วัดได้กับมวลน้ำหนักของจากการทดลองขนาดแรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์	22
4.4	กราฟความสัมพันธ์ความเค้นที่คำนวณได้กับมวลน้ำหนักของจากการทดลองขนาดแรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์	23
4.5	กราฟความสัมพันธ์ความเค้นที่วัดได้กับมวลน้ำหนักของจากการทดลองขนาดแรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์	23

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ Stress concentration factor กับ แรงดันไฟฟ้า Volt	24
4.6	กราฟความสัมพันธ์ความเค้นที่คำนวณได้กับมวลน้ำหนักของจากการทดลองขนาดแรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์	24
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ Stress concentration factor กับ แรงดันไฟฟ้า Volt	24
ก.1	WGA-680A Instrumentation Amplifier	30
ก.2	การเชื่อมต่อ Signal Name	30
ก.3	Set up Amplifier ของ Kyowa รุ่น WGA-680A	31
ก.4	กดปุ่ม HOLD และ FUNCTION	31
ก.5	F 01	32
ก.6	F 03	32
ก.7	ปรับตั้ง Rate output	32
ก.8	ค่าตั้ง ในตัวของ Amplifier WGA-680A	33
ก.9	กด Set เพื่อยืนยันการตั้งค่า	33

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันการสร้างชิ้นงานหรือการออกแบบชิ้นงานทางวิศวกรรมที่มีความแม่นยำทำให้เกิดชิ้นงานทดลอง ณ ตำแหน่งความเค้นและความเครียดเช่น หลุมหรือรอยบาก และชิ้นงานทางกลในรูปร่างลักษณะต่างๆ ที่เป็นรายละเอียดของโครงสร้างทางวิศวกรรม เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของหน้าตัดชิ้นงานทำให้เกิดความหนาแน่น เพื่อพิจารณาวัตถุที่รับแรงภาระ เลือกพิจารณาหน้าตัดของวัตถุซึ่งบนหน้าตัดจะมีภาระภายในเพื่อรักษาสมดุลของวัตถุส่วนนี้

N.T. Younis [1] ความเครียดในการประกอบเพื่อลดความเข้มข้นของความเครียด มีการศึกษาอย่างเป็นระบบโดยใช้วิธีการทดลองของโฟโตอีลาสติกแบบสะท้อนเพื่อหาผลกระทบของความเค้นในการประกอบต่อความเค้นรอบรูกลมภายใต้แรงดึงแนวแกนเดียว ความเค้นในการประกอบเป็นผลมาจากการสัมผัสและความเค้นของแปรงระหว่างโบลต์และชิ้นส่วน สรุปได้ว่าความเค้นในการประกอบมีส่วนช่วยลดความเค้นรอบรู

Lee and Klang [2] ได้ให้วิธีแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิคการทำแผนที่แบบสอดคลองสำหรับการกระจายความเค้นในแผ่นยึดหยุนกึ่งอนันต์ที่แข็งและแข็งซึ่งมีรูกลมภายใต้แรงดึงที่ระยะอนันต์

Dhir, [3] พัฒนาอินทิกรัลความเค้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับรูปร่างต่างๆในจานขนาดใหญ่ภายใต้ความเค้นขอบเขตที่กำหนดที่ระยะอนันต์

Erickson and Riley [3] วิธีหนึ่งในการลดความเข้มข้นของความเค้นรอบรูกลมตรงกลางในจานที่โหลดแกนเดียวนั้นแสดงให้เห็นโดยเฮย์วูด ด้วยวิธีการนี้ รูที่เล็กลงจะถูกนำมาใช้ที่ด้านใดด้านหนึ่งของรูเดิมเพื่อช่วยให้การไหลของวิถีการเคลื่อนที่ของความเค้นหลักผ่านรูเดิมเป็นไปอย่างราบรื่นสำหรับกรณีหนึ่งที่รายงานโดยเฮย์วูด (ซึ่งไม่ได้ลดมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้) ความเค้นสูงสุดลดลงถึง 84 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนนั้นเนื่องจากรูเดียว ในโปรแกรมปัจจุบันได้ทำการศึกษาอย่างเป็นระบบ โดยใช้วิธี photoelasticity สองมิติเพื่อกำหนดขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับรูเสริมสำหรับจำนวนแผ่นที่แตกต่างกันอัตราส่วนความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางรูต่อแผ่นเพลท สำคัญการลดความเครียดทำได้ในทุกกรณี

Ulrich and Moslehy [4] การลดความเข้มข้นของความเครียดในจานที่มีรูสามารถทำได้โดยการใส่รูกลมที่มีขนาดเหมาะสมที่สุดและวางไว้ บทความนี้นำเสนอวิธีการที่อิงตามองค์ประกอบขอบเขตและการเขียนโปรแกรมทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดรูเสริมเหล่านี้วิธีการเขียนโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ประกอบด้วยวิธีของนิวตันที่แก้ไขแล้วและวิธีแทนเจนต์ขนาน (PARTAN) ที่ตามมา มีการนำเสนอวิธีแก้ปัญหาสำหรับรูรูปไข่ในแถบปรับความตึง การวิเคราะห์แบบครอบคลุม การวิเคราะห์องค์ประกอบจำกัด และการศึกษาโฟโตอีลาสติกเกิดจากปฏิสัมพันธ์ระหว่างรูหลักที่มีอยู่ และระบบรูป้องกันที่ตั้งโดยพลการภายใต้แรงดึงแกนเดียว โซลูชันการวิเคราะห์ซึ่งอิงตามศักยภาพที่ซับซ้อนของ Muskhelishvili ขั้นตอนการซ้อนทับที่เหมาะสมและการขยายตัวของอนุกรม Laurent ถูกใช้เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำนายการแปรผันของ ความเข้มข้นของความเค้นสำหรับการกำหนดค่ารูปร่างที่แตกต่างกัน จากนั้น การคาดการณ์เชิงวิเคราะห์จะได้รับการตรวจสอบโดยเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบไฟไนต์และความยืดหยุ่นของแสง และผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นไปตามข้อตกลงทั่วไป

Erickson and Riley [6] ปัญหาในการพิจารณาการกระจายความเค้นและการลดความเข้มข้นของความเค้นรอบๆ รูในเพลตเกิดขึ้นในหลายๆ สถานการณ์การออกแบบ วิธีหนึ่งในการลดความเข้มข้นของความเค้นรอบรูกลมตรงกลางในงานที่โหลดแกนเดียวนั้นแสดงให้เห็นโดยเฮย์วูด' ด้วยวิธีการนี้ จะทำให้เกิดรูสมมาตรที่ด้านใดด้านหนึ่ง รูเดิมเพื่อช่วยให้การไหลของวิถีแรงดึงหลัก-ความเค้นผ่านรูเดิมราบรื่น สำหรับกรณีหนึ่งที่เฮย์วูดรายงาน (ซึ่งไม่ได้สร้างการลดลงมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้) ความเครียดสูงสุดลดลงเหลือ 84 เปอร์เซ็นต์นั้นเนื่องจากรูเดียว ในโปรแกรมปัจจุบัน การศึกษาอย่างเป็นระบบดำเนินการโดยใช้วิธีการ PhOtOelasticity แบบสองมิติเพื่อกำหนดขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับรูเสริมสำหรับเพลตจำนวนหนึ่งที่มีอัตราส่วนความกว้างเส้นผ่านศูนย์กลางรูต่อเส้นผ่านศูนย์กลางต่อเพลตที่แตกต่างกัน การลดความเครียดสูงสุดจาก 13 ถึง 21 เปอร์เซ็นต์แสดงให้เห็นสำหรับเพลตที่มีอัตราส่วนความกว้างของเส้นผ่านศูนย์กลางรูต่อเพลตระหว่าง 0.1 ถึง 0.6 ด้วยการลดระดับความเครียดสูงสุดดังกล่าว การปรับปรุงอายุความล้าของชิ้นส่วนจึงมีความสำคัญมาก

Toubal et al. [7] การศึกษาลักษณะเฉพาะของความเข้มข้นของความเค้นของลามิเนทคาร์บอน/อีพ็อกซีได้ดำเนินการไปแล้ว ความแม่นยำของการวัดผลการทดลองมีอิทธิพลต่อผลลัพธ์ และสิ่งนี้จะอธิบายถึงความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่พบในการทดลอง ใกล้เคียงกับหลุม ความเค้นที่ได้จากการทดลองจะต่ำกว่าอย่างแน่นอนเมื่อเทียบกับแบบจำลองเชิงวิเคราะห์และเชิงตัวเลข ความเข้มข้นของความเครียดในวัสดุผสมผ้าทอที่มีรูจะขึ้นอยู่กับทิศทางการโหลด มีข้อตกลงสูงระหว่างความเค้นเหล่านั้นสำหรับผ้าทอที่ประกอบกับโหลดแรงดึงบนแกน (ทิศทางของผ้า 0) อย่างไรก็ตาม ในทิศทางนอกแกน (90, 45) จะไม่มีการเปรียบเทียบแสดงข้อตกลงที่ดี โดยใช้วิธีการวัดแบบไม่สัมผัส ได้แก่ อิเล็กทรอนิกส์ สเปกเกิล แพตเทิร์น อินเตอร์เฟอโรมิเตอร์ (ESPI) เพื่อตรวจสอบแรงดึง สนามความเครียดของแผ่นคอมโพสิตที่มีความเข้มข้นของความเค้นที่เกิดจากข้อบกพร่องทางเรขาคณิตซึ่งประกอบด้วยรูกลม ESPI ใช้หลักการของอินเทอร์เฟอโรเมทรีจุด 3 มิติเพื่อวัดการเสียรูปและรูปร่างของสนามวัดด้วยความแม่นยำระดับไมโครมิเตอร์ เทคนิค ESPI แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงความเข้มข้นของความเครียดใกล้เคียงกับภาวะเอกฐาน ผลการทดลองจะถูกเปรียบเทียบกับการทำนายของแบบจำลองทางทฤษฎีที่พัฒนามาก่อนหน้านี้โดย Lekhnitskii และการศึกษาเกี่ยวกับไฟไนต์เอลิเมนต์

Khechai [8] ประเมินการกระจายความเค้นรอบรูกลมในแผ่นลามิเนตบางแบบไอโซทรอปิกและสมมาตร ภายใต้การโหลดแนวแกนเดียวโดยใช้อ่งค์ประกอบจำกัดรูสี่เหลี่ยม ซึ่งพัฒนามาก่อนหน้านี้โดย Tati และ Abibsi บทความนี้เริ่มต้นด้วยการกำหนดองค์ประกอบไฟไนต์เอลิเมนต์รูปสี่เหลี่ยม ไฟไนต์เอลิเมนต์คือการรวมกันขององค์ประกอบเมมเบรนไอโซพาราเมตริกเชิงเส้นและองค์ประกอบเฮอร์มิเซียนสี่เหลี่ยมที่มีความแม่นยำสูง จากนั้นจะมีการทบทวนทฤษฎีบางทฤษฎีเพื่อวิเคราะห์การกระจายความเค้นรอบรูกลม ผลลัพธ์เชิงตัวเลขที่ได้จะเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ Kaltakci และ Sharma ค้นพบ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำขององค์ประกอบปัจจุบัน สุดท้าย เพื่อแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของรุกรมต่อการชำรุดของแผ่นเพลต ความแข็งแรงของแผ่นลามิเนตทั้งที่มีและไม่มีรุกรมจะถูกกำหนดโดยใช้ Hashin-Rotem (H-R), Tsai-Hill (T-H) และ Tsai- ทฤษฎีความล้มเหลวของ Wu (T-W) ขึ้นอยู่กับชั้นแรก ความล้มเหลว (FPF)

จากการทบทวนงานวิจัยข้างต้น การศึกษาวิจัยอดีตส่วนใหญ่เป็นการศึกษาเกี่ยวกับ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อสร้างอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการสำหรับประเมินความเค้นหนาแน่น

1.3 สมมติฐานของโครงการ

1.3.1 ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากความเค้นหนาแน่น

1.4 ขอบเขตของปริญญาณิพนธ์

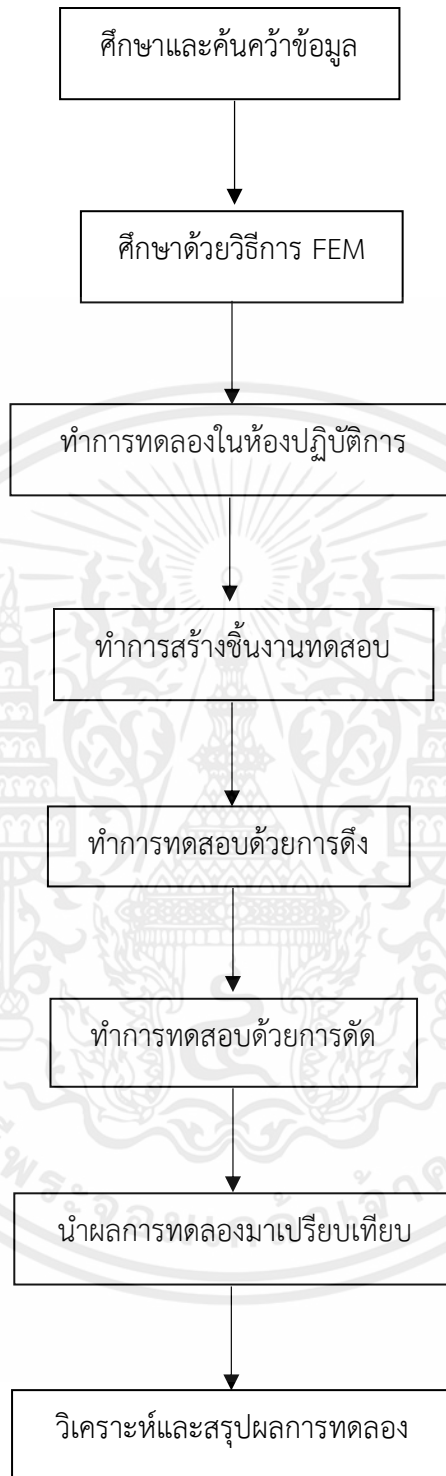
1.4.1 ชิ้นงานมีขนาด 40 mm x 235 mm x 3 mm และรัศมีรูเจาะ = 12.5 mm

1.4.2 ใช้เครื่อง UTM ในการทดสอบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 มีอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการสำหรับศึกษาความเค้นหนาแน่น

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงาน



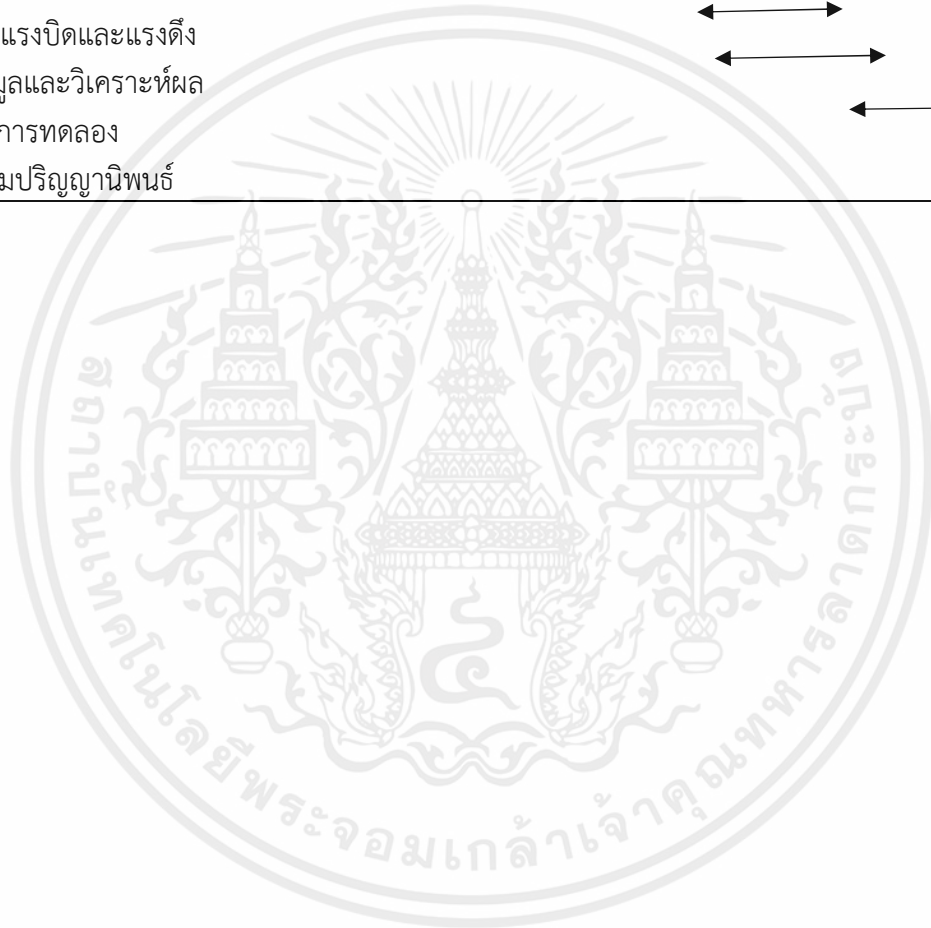
รูปที่ 1.1 แผนการดำเนินงานการออกแบบและสร้างชุดปฏิบัติการความเค้นหนาแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงการดำเนินงานของการสร้างชุดปฏิบัติการความคืบหน้าแน่นอน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินงาน
	2564-2566
	ส.ค., ก.ย ., ต.ค ., พ.ย., ธ.ค., ม.ค. , ก.พ.ธ.ค. , ม.ค., ก.พ., มี.ค.
1. ศึกษาและรวบรวมเอกสารที่เกี่ยวข้อง	←→
2. เตรียมขึ้นงานทดสอบ	←→
3. ทดสอบแรงบิดและแรงดึง	←→
4. เก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผล	←→
5. สรุปผลการทดลอง	←→
6. เขียนเล่มปริญญานิพนธ์	←→



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รูปแบบของความเสียหาย

การออกแบบชิ้นส่วนหรือโครงสร้างเพื่อรับภาระที่กำหนด ต้องมีการวิเคราะห์ว่ากลไกความเสียหาย (damage mechanism) มีเกิดขึ้นตลอดช่วงอายุใช้งานของชิ้นส่วนหรือโครงสร้าง กลไกความเสียหายเช่น การคราก (yielding) ความล้า (fatigue) การคืบ (creep) การผุกร่อน (corrosion) การสึกหรอ (wear) การโก่ง (buckling) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดกลไก ความเสียหาย ได้แก่ รูปร่างของชิ้นส่วน สมบัติของวัสดุ ภาระที่กระทำ และสภาพแวดล้อมใช้งาน

การออกแบบชิ้นส่วนให้มีอายุใช้งานจำกัด (finite life) ต้องคำนึงถึงกระบวนการของความเสียหาย (failure process) ซึ่งเริ่มตั้งแต่ชิ้นส่วนอยู่ในสภาพสมบูรณ์จนถึงตอนที่ชิ้นส่วนใช้งานไม่ได้แล้ว จากนั้นจึงคำนวณระยะเวลาที่เสียหายดำเนินไปในแต่ละขั้นตอนผลรวมของระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนก็คืออายุใช้งานของชิ้นส่วน (service life) ความเสียหายของชิ้นส่วนอาจเกิดจากกลไกความเสียหายเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิดร่วมกัน เช่น ความเสียหายของชิ้นส่วนที่รับภาระการเปลี่ยนแปลง

2.2 ผลของตำหนิต่อความแข็งแรงอุดมคติ

ความแข็งแรงอุดมคติ (ideal strength) หรือความแข็งแรงทางทฤษฎี (theoretical strength) หมายถึง ความแข็งแรงสูงสุดที่เป็นไปได้ของวัสดุ ความแข็งแรงนี้คำนวณจากความแข็งแรงของพันธะระหว่างอะตอม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

เงื่อนไขที่ถือว่าวัสดุเสียหาย คือ อะตอมบนระนาบที่อยู่ประชิดกันถูกดึงแยกจากกันจนไม่เหลือแรงดึงดูดระหว่างกัน แรงดึงดูดระหว่างกัน แรงดึงดูดระหว่างอะตอมต่อหน่วยพื้นที่ (เทียบเท่ากับความเค้น) กับระยะระหว่างอะตอม มีลักษณะดังเส้นโค้งเส้นเติมในรูป 1.1 จากรูป x_0 หมายถึง ระยะระหว่างอะตอมมากกว่าระยะสมดุล ($x > x_0$) จะเกิดความเค้นดึงในพันธะ โดยความเค้นจะเพิ่มขึ้นตามระยะห่างที่มากขึ้น จนถึงค่าสูงสุด σ_c แล้วจึงลดลงจนกระทั่งไม่เหลือแรงดึงดูดระหว่างกัน ดังนั้น σ_c จึงหมายถึงความแข็งแรงของพันธะ การวิเคราะห์ต่อจากนี้จะประมาณเส้นโค้งเส้นเติมด้วยเส้นโค้งเส้นประ ซึ่งเป็นฟังก์ชันไซน์ที่มีจุดเริ่มต้น ณ พิกัด $(x_0, 0)$ และคาบเท่ากับ 2λ รูปสมการของเส้นโค้งเส้นประจึงเขียนได้ดังนี้

$$\sigma = \sigma_c \sin\left(\frac{\pi x}{\lambda}\right) \quad (1)$$

เนื่องจากระยะห่างที่อะตอมเคลื่อนที่ x มีค่าน้อย สมการ(1.1) จึงประมาณได้ด้วยสมการ

$$\sigma \approx \sigma_c \left(\frac{\pi x}{\lambda}\right) \quad (2)$$

เมื่ออะตอมอยู่ห่างมากขึ้น ความเครียดของพันธะจะเท่ากับ x/x_0 ถ้าสมมติให้ความเค้นและความเครียดสัมพันธ์กันตามกฎของฮุก (Hooke's law) จะได้

$$E = \frac{\sigma}{\left(\frac{x}{x_0}\right)} \quad (3)$$

โดย E คือ โมดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) เมื่อแทนสมการ (1.2) ในสมการ (1.3) แล้วจะหาความแข็งแรงของพันธะ σ_c ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_c = \frac{E\lambda}{\pi x_0} \quad (4)$$

แต่ λ มีค่าในอันดับเดียวกับ x_0 และถ้ากำหนดให้ค่าทั้งสองเท่ากันโดยประมาณจะได้

$$\sigma_c = \frac{E}{\pi} \quad (5)$$

สำหรับเหล็กกล้า (E ประมาณ 200 GPa) สมการ(1.4) ทำนายว่า σ_c มีค่าอยู่ในอันดับ 10^4 เมกะปาสคาล แต่ว่าความแข็งแรงสูงสุด (*ultimate strength*) ของเหล็กกล้าที่ค่าอยู่ในอันดับ 10^2 - 10^3 เมกะปาสคาล ซึ่งน้อยกว่าความแข็งแรงอุดมคติในหลักสิบถึงหลักร้อยเท่า ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดคำถามว่า “ทำไมความแข็งแรงอุดมคติ” การทดลองของเลโอนาร์โด ดา วินชี (*Leonardo da Vinci*) และกริฟฟิท (*Griffith*) ตอบคำถามนี้ได้เชิงคุณภาพ (*qualitative*)

ความพยายามแรก คือ การใช้แนวคิดของความเค้นหนาแน่น (*stress concentration*) วิศวกรชาวเยอรมันชื่อ *G. Kirsh* (ค.ศ.1898) ศึกษาปัญหาแผ่นแบนขนาดอนันต์มีรูวงกลมรับความเค้นดึงสม่ำเสมอ σ ดังรูป 1.2(ก) เขาพบว่า ความเค้นสูงสุดเกิดที่จุด *A* และมากกว่าความเค้นที่กระทำอยู่ 3 เท่า แผ่นแบนที่มีรูเจาะจึงรับภาระได้น้อยกว่าแผ่นแบนที่ไม่มีรูผลงานนี้ขยายไปสู่การศึกษาปัญหาแผ่นแบนขนาดอนันต์มีรูวงรี ดังรูป 1.2(ข) โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวรัสเซียชื่อ *G.V. Kolosov* (ค.ศ.1909) และวิศวกรชาวอังกฤษชื่อ *C.E. Inglis* (ค.ศ. 1913) นักวิจัยทั้งสองท่านพบว่า ความเค้นสูงสุดเกิดที่จุดปลายแกนเอก (จุด*A*) และมีขนาดเท่ากับ

$$\sigma_A = \sigma \left(1 + \frac{2a}{b}\right) \quad (6)$$

โดย a และ b คือความยาวครึ่งแกนเอก และครึ่งแกนโท ตามลำดับ เนื่องจากรัศมีความโค้ง ρ ที่จุด *A* คือ $\rho = b^2/a$ สมการ (1.5) จึงเขียนในรูปของ ρ ได้ดังนี้

$$\sigma_A = \sigma \left(1 + 2\sqrt{\frac{a}{\rho}}\right) \quad (7)$$

ถ้าให้วงรีมีความยาวแกนเอก $2a$ เท่าเดิม แต่ลดความยาวแกนโทลงจนกระทั่ง $a \gg b$ แล้วค่าของ ρ จะเข้าสู่ศูนย์ การทำเช่นนี้เปรียบเสมือนการแปลงวงรีในรูป 1.3(ข) ให้กลายเป็นรอยร้าวยาว $2a$ และสมการ (1.6) ประมาณได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$\sigma_A = 2\sigma \left(\sqrt{\frac{a}{\rho}}\right) \quad (8)$$

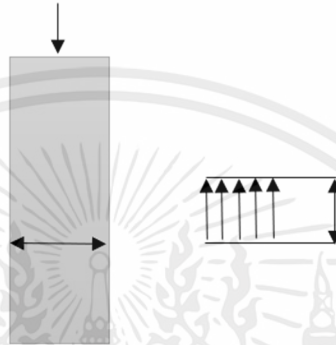
เพราะว่าเทอมที่สองกลายเป็นเทอมเด่น อย่างไรก็ตาม สมการ(1.7) ไม่สามารถอธิบายอิทธิพลของรอยร้าวต่อความแข็งแรงของวัตถุได้อย่างเหมาะสม เพราะสมการทำนายว่าความเค้นที่ปลายรอยร้าวต่อความรอยร้าว มีค่าอนันต์เสมอไม่ว่าวัตถุจะรับภาระน้อยเพียงใด เหตุผลหนึ่งที่อยู่เบื้องหลังเรื่องนี้ได้ก็คือ รัศมีความโค้งที่ปลายรอยร้าว ที่แม้จะมีค่าน้อยมากแต่ก็ไม่ได้เท่ากับศูนย์ ทำให้ความเค้นที่ทำนายด้วยสมการ (1.7) มีค่าจำกัด อย่างไรก็ตาม การทำนายความแข็งแรงของวัตถุที่มีรอยร้าวด้วยแนวทางนี้จำเป็นต้องทราบค่า ρ ขณะที่วัตถุรับภาระ แต่การวัด ρ ให้แม่นยำนั้นไม่ใช่เรื่องง่ายในทางปฏิบัติ

ในการศึกษาด้านกลศาสตร์วัสดุเพื่อใช้เป็นแนวคิดพื้นฐาน ได้แก่ การคำนวณความเค้นตั้งฉาก σ ซึ่งสัมพันธ์กับประเภทของภาระที่กระทำ ในกรณีของความเค้นดึง (หรืออัด) σ คำนวณโดยสมการ

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (9)$$

โดยที่ P คือ ภาระกระจายบนพื้นที่หน้าตัด และ A คือ พื้นที่หน้าตัด

ค่าของ σ จะกระจายเท่าๆกันตลอด หน้าตัดใดๆ ไม่ว่าจะพิจารณาที่ใดก็ตาม รูปที่ 1 แสดงแผนภาพการกระจายความเค้นสำหรับวัตถุในการบีบอัด สังเกตค่าของ σ จะมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ



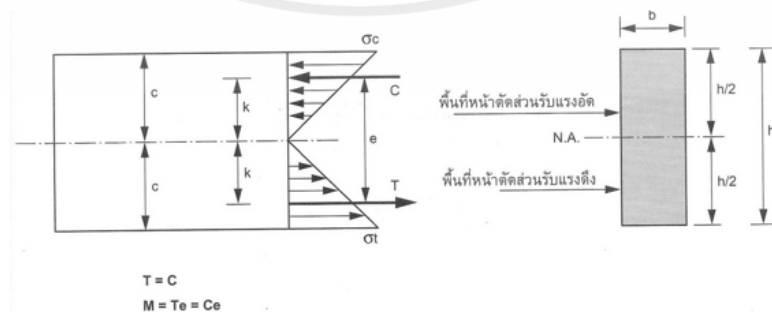
รูปที่ 2.2 การกระจายของความเค้นที่ภาคตัดขวางของวัตถุ

$$\sigma = \frac{P}{bt} \quad (10)$$

ในกรณีของความเค้นดัด σ คำนวณโดยสมการ

$$\sigma = My/I \quad (11)$$

โดยกรณีการดัดค่า σ ไม่ใช่ค่าคงที่ที่จุดใดๆ ในหน้าตัด แต่จะผันแปรไปตามค่าของระยะห่าง y รูปที่ 2.2 แสดงการกระจายความเค้นที่เกิดขึ้นบนระนาบหน้าตัดเนื่องจากการดัด



รูปที่ 2.3 การกระจายความเค้นจากการดัดในหน้าตัดคาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหลายๆ สถานการณ์วัสดุที่มีภายใต้แรงดึงหรือดัดอาจมีรูปร่างเรียบง่าย เช่น ภาคตัดขวางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และบางครั้งรูปร่างที่เรียบง่ายเหล่านี้มักมีรู รอยบากหรือร่องที่จำเป็นสำหรับการใช้งาน ผลของรูปร่างเหล่านี้ก่อให้เกิดความเค้นหนาแน่นที่ตำแหน่งของมัน ความเค้นหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติในบริเวณที่มีการเจาะ

ความเค้นหนาแน่นเนื่องจากแรงดึง

รูปที่ 2.2 แสดงการกระจายของความเค้นสำหรับวัสดุภายใต้แรงกด โดยมีค่า σ คงที่เท่ากันทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัด โดยผลดังกล่าว หากภาระกระทำเป็นแบบดิ่งก็จะให้ผลเช่นเดียวกัน แต่เมื่อมีการเจาะรูดังที่เห็นใน รูปที่ 2.2 ผลของเจาะรูจะทำให้เกิดการกระจายความเค้นที่ปรับเปลี่ยนทั่วทั้งส่วน ดังรูปที่ 2.3 (ข) ค่าของความเค้นสูงสุดเกิดที่ขอบของรูและลดหลั่นลงมาจนเริ่มเข้าใกล้ค่าคงตัวของความเค้นตั้งฉากปกติ

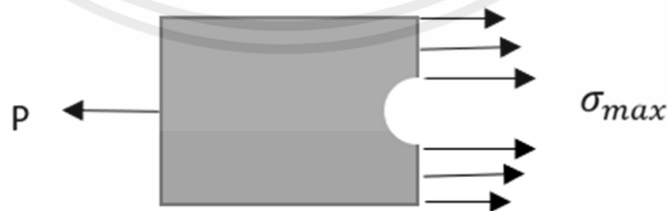
$\sigma_{nom} = \frac{P}{ct}$ โดยที่ ct คือพื้นที่ของส่วนตัวขวางบริเวณรูเจาะ ความเข้มของความเค้นเพิ่มเติมที่เกิดจากรูจะแสดงเป็นอัตราของความเค้นสูงสุดเหนือความเค้นเล็กน้อยและเรียกว่า แฟกเตอร์ความเค้นหนาแน่น (K)

$$K = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{nom}} \quad (12)$$

อีกสถานการณ์หนึ่งของความเค้นหนาแน่นในภายใต้ภาระดิ่งเกี่ยวข้องกับ รอยบาก รูปที่ 2.4 เป็นตัวอย่างของวัตถุถูกดิ่งที่มีรอยบากสองด้าน ความเค้นตั้งฉากของหน้าตัดจะเพิ่มขึ้นในบางพื้นที่โดยการเพิ่มขึ้นสูงสุดอยู่ที่ฐานของรอยบาก



รูปที่ 2.4 การกระจายความเค้นบริเวณหน้าตัดของรูเจาะ (ก) ชิ้นงานเจาะรูรับแรงดึง



รูปที่ 2.5 การกระจายความเค้นบริเวณหน้าตัดของรูเจาะ (ข) การกระจายความเค้นบริเวณรูเจาะ



รูปที่ 2.6 ตำแหน่งของความเค้นสูงสุดเนื่องจากรอยบากในการรับแรงดึง

ความเค้นหนาแน่นเนื่องจากการตัด

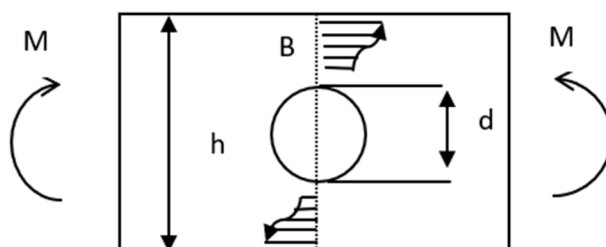
ความไม่ต่อเนื่อง เช่น รูและรอยบากทำให้ความเค้นเพิ่มขึ้น ในระหว่างการตัดเฉกเช่นเดียวกับการดึงกรณีของรูที่ตำแหน่งกึ่งกลางของรับภาระตัดดังรูปที่ 2.5 โดยแนวเส้นประแสดงความเค้นตั้งฉากในกรณีที่ไม่มีรู สังเกตการณ์เพิ่มขึ้นของความเค้นจะเชิงเส้น จากกึ่งกลางและจนถึงขอบนอก แต่หากชิ้นงานมีการเจาะรู ไม่ว่าจะขนาดเท่าไรก็ตาม สิ่งที่เกิดขึ้น คือ ณ บริเวณรูเจาะความเค้นเพิ่มขึ้น (ที่จุด B) เสมอโดยคิดว่าเป็นค่าความเค้นหนาแน่นประมาณ 2 ด้วยเหตุนี้ค่าของความเค้นที่ขอบของรูที่แสดงในรูปที่ 2.5 คือ

$$\sigma_B = 2 \frac{My}{I} \quad (13)$$

และเมื่อแทนค่าที่ตำแหน่งจุด B โดยที่ $y = d/2$ และค่า $I = b(h^3 - d^3)/12$

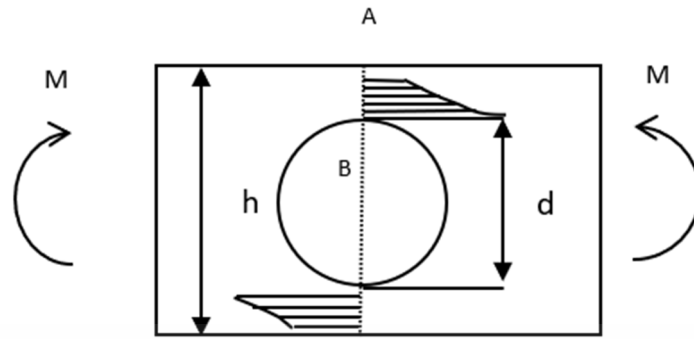
$$\sigma_B \approx \frac{12Md}{b(h^3 - d^3)} \quad (14)$$

โดยที่ b คือ ความหนาของคาน ควรสังเกตว่าความเค้นสูงสุดในคานอาจอยู่ที่ B หรือไม่ก็ได้ นอกจากนี้ควรระบุด้วยว่าค่าของ I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยสุทธิ เมื่อรูมีขนาดค่อนข้างเล็ก ค่าความเค้นสูงสุดจะไม่อยู่ที่ B แต่จะอยู่ที่ขอบของคานแทนดังแสดงในตัวอย่างของรูปที่ 2.5 (ก) การกระจายความเค้นแสดงค่าความเค้นที่มากกว่า A เมื่อเทียบกับ B ซึ่งเป็นผลจากการการเพิ่มขึ้นเชิงเส้นของค่าความเค้นจากตำแหน่งแกนหมุนธรรมชาติ (n.a) แม้ว่าที่จุด A จะไม่ได้รับผลกระทบจากรู แต่ความเค้นก็สูงขึ้นตามธรรมชาติของความเค้นตัด

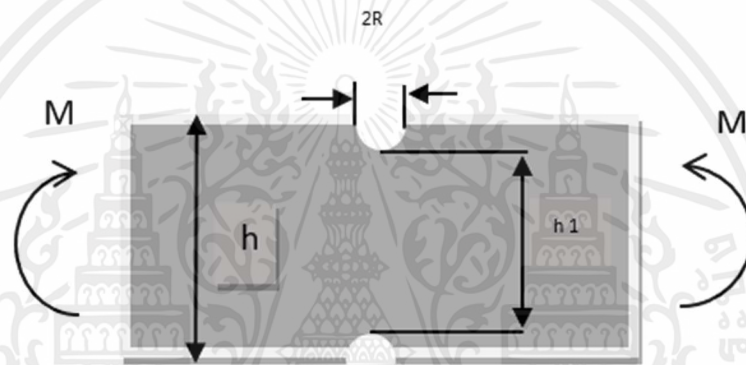


รูปที่ 2.7 ผลกระทบของรูต่อความเค้นในคานระหว่างการตัด โดยที่ความเค้นที่ B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ผลกระทบของรูต่อความเค้นในคานระหว่างการดัด โดยที่ความเค้นที่ B อาจไม่ใช่ค่าสูงสุด



รูปที่ 2.9 การดัดชิ้นงานที่มีรอยบาก โดยความเค้นดัดสูงสุดเกิดที่ฐานของรอยบาก

เมื่อรูมีขนาดค่อนข้างใหญ่ความเค้นสูงสุดจะอยู่ที่ B ดังที่เห็นในรูปที่ 2.8 การคำนวณสามารถใช้สมการเดียวกันกับด้านบนเพื่อหา σ_B ได้ ในการทดลองนี้รูในคานจะค่อนข้างเล็ก ดังนั้น ค่าของ σ_B ที่คำนวณได้จะไม่ใช่ค่าความเค้นสูงสุดในหน้าตัด

นอกจากนี้อาจมีรอยบากอยู่ในคานที่มีการโค้งงอ เช่นเดียวกับกรณีการดัดชิ้นงานงานเจาะ ความเค้นจะเพิ่มขึ้นในบริเวณรอยบาก แต่มีความแตกต่างจากสถานการณ์ที่มีรูตรงที่ความเค้นสูงสุดจะอยู่ที่ริมขอบของรอยบากเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ความเค้นสูงสุด(ที่ฐานของรอยบาก) แสดงดังสมการ

$$\sigma_{max} = K \frac{6M}{b(h^2)} \quad (15)$$

โดยที่ b คือ ความหนาของคาน และ K คือแฟกเตอร์ความเค้นหนาแน่นเนื่องจากการดัด

พิจารณาวัตถุที่รับภาระและอยู่ในสภาพสมดุลดังรูป 2.8 ถ้าพิจารณาหน้าตัดของวัตถุที่ผ่านจุด A ดังรูป 2.8 แล้วแผนภาพวัตถุอิสระของวัตถุส่วนกลางจะมีลักษณะดังรูป 2.9 บนหน้าตัดจะมีภาระภายในเพื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รักษาภาพสมดุลของวัตถุส่วนนี้ พิจารณาพื้นที่ ΔA ที่ล้อมรอบจุด A ดังรูป 2.8 แรงลัพธ์ของภาระภายในบนพื้นที่นี้คือ ΔF แรงลัพธ์ ΔF สามารถแยกเป็นองค์ประกอบที่ตั้งฉากกับหน้าตัด ΔF_n และขนานกับหน้าตัด ΔF_t ดังรูป ความเค้นที่จุดมีนิยามว่า แรงลัพธ์ต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งมีขนาดเข้าใกล้ศูนย์ ดังรูป แรง ΔF_n และ ΔF_t นำไปสู่นิยามของความเค้นตั้งฉาก (normal stress) และความเค้นเฉือน (shear stress)

$$\sigma \equiv \lim_{A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_n}{\Delta A} \quad (16)$$

$$\tau \equiv \lim_{A \rightarrow 0} \frac{\Delta F_t}{\Delta A} \quad (17)$$

องค์ประกอบความเค้นจะมีตัวห้อย 2 ตัว ตัวแรกแสดงหน้าตัดที่องค์ประกอบความเค้นกระทำ ตัวที่สองแสดงแกนขององค์ประกอบความเค้น ความเค้นตั้งฉากในรูป จึงกระทำ ตัวที่สองแสดงแกนขององค์ประกอบตามแนวแกน y และ Z หรือ τ_{xy} และ τ_{xz} ได้นอกจากนี้ หากตัดวัตถุผ่านจุด A ด้วยระนาบ y และ Z ซึ่งต่างก็ตั้งฉากกับระนาบ X จะได้องค์ประกอบความเค้นบนระนาบ y คือ σ_{yy} , τ_{yx} และ τ_{yz} และบนระนาบ Z คือ σ_{zz} , τ_{zx} , และ τ_{zy} และบนระนาบ Z คือ σ_{zz} , τ_{zx} , τ_{zy} จุดใดๆ ของวัตถุจึงมีองค์ประกอบความเค้น 9 องค์ประกอบ การกำหนดค่าขององค์ประกอบเหล่านี้คือ การระบุสถานะความเค้นที่จุด (state of stress at a point) อย่างไรก็ตามเงื่อนไขสมดุลของโมเมนต์ทำให้ $\tau_{xy} = \tau_{yx}$, $\tau_{xz} = \tau_{zx}$ และ $\tau_{yz} = \tau_{zy}$ จึงเหลือเพียง 6 องค์ประกอบ ที่เป็นอิสระต่อกัน สถานะความเค้นที่จุดสามารถเขียนในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\sigma_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (18)$$

องค์ประกอบความเค้นเหล่านี้สามารถบนเอลิเมนต์ความเค้นเพื่อสื่อความหมายให้ชัดเจนขึ้นได้ ดังตัวอย่างเอลิเมนต์ความเค้นในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน หมายเหตุว่าทุกตำแหน่งบนเอลิเมนต์ความเค้นคือตำแหน่งเดียวกันในวัตถุ

เรื่องถัดไปที่ต้องทราบคือ การผันแปรของสถานะความเค้นที่จุดใดๆ ในวัตถุต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขสมดุล (equilibrium condition) สำหรับเอลิเมนต์ขนาด $dx \times dy \times dz$ องค์ประกอบความเค้นบนระนาบลบ (negative plane) และระนาบบวก (positive plane) ตามลำดับ องค์ประกอบบนระนาบลบ (negative plane) และระนาบบวก (positive plane) ตามลำดับ องค์ประกอบบนระนาบบวกผันแปรจากจากค่าบนระนาบลบ นอกจากนี้ เอลิเมนต์ยังมีแรงวัตถุ (body force) B_x, B_y และ B_z กระทำในทิศ x , y และ Z ตามลำดับ เงื่อนไขสมดุลของแรงตามแนวแกน x , y และ Z ของเอลิเมนต์ นำไปสู่ความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + B_x = 0 \quad (19)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + B_y = 0 \quad (20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + B_z = 0 \quad (21)$$

2.3 ความเครียด

การเคลื่อนที่ของจุดใดๆ บนวัตถุสามารถอธิบายได้ด้วยเวกเตอร์ระยะเคลื่อนตัว (displacement vector) ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน องค์ประกอบของเวกเตอร์นี้สำหรับการเคลื่อนที่ตามแกน x, y และ z ของจุดใดๆ ในวัตถุแทนด้วยฟังก์ชัน u, v และ w ตามลำดับ โดยทั่วไป u, v และ w คือผลรวมของระยะเคลื่อนตัวเนื่องจากการเลื่อนตำแหน่ง (translation) การหมุนรอบจุดหมุน (rotation) และเสียรูป (deformation) การเคลื่อนที่ที่สองกรณี คือ การเคลื่อนที่ที่สองกรณีแรก คือ การเคลื่อนที่แบบวัตถุเกร็ง ซึ่งไม่ทำให้วัตถุเกิดความเครียด

องค์ประกอบความเครียดตั้งฉาก (normal strain) ϵ ใช้อธิบายการการยืด หรือหด (dilatation) องค์ประกอบความเครียดเฉือน (shear strain) γ ใช้อธิบายการโย้ (distortion) ที่จุดใดๆ หากการเสียรูปมีขนาดเล็ก (small deformation) องค์ประกอบความเครียดจะสัมพันธ์กับองค์ประกอบระยะเคลื่อนตัว u, v และ w ดังนี้

$$\epsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} \quad (22)$$

$$\epsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} \quad (23)$$

$$\epsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z} \quad (24)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \quad (25)$$

$$\gamma_{yz} = \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \quad (26)$$

$$\gamma_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \quad (27)$$

หากกำจัดเทอมระยะเคลื่อนตัวในสมการ (22) จะได้สมการ (23) จะได้สมการ (24) ซึ่งมีชื่อว่าสมการความเข้ากันได้ (compatibility equation)

$$\frac{\partial^2 \epsilon_{xx}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_{yy}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} \quad (28)$$

$$\frac{\partial^2 \epsilon_{yy}}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_{zz}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z} \quad (29)$$

$$\frac{\partial^2 \epsilon_{zz}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \epsilon_{xx}}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \gamma_{xz}}{\partial x \partial z} \quad (30)$$

$$2 \frac{\partial^2 \epsilon_{xx}}{\partial y \partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(-\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) \quad (31)$$

$$2 \frac{\partial^2 \epsilon_{yy}}{\partial y \partial z} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) \quad (32)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2 \frac{\partial^2 \varepsilon_{zz}}{\partial x \partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial y_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial y_{xz}}{\partial y} + \frac{\partial y_{xy}}{\partial z} \right) \quad (33)$$

สมการความเข้าใจได้มีหน้าที่ควบคุมการผันแปรขององค์ประกอบความเครียดที่ตำแหน่งต่างๆ ของวัตถุเพื่อไม่ให้เกิดเหตุการณ์ต่อไปนี้ จุดที่เดิมอยู่คนละตำแหน่งเคลื่อนมาอยู่ตำแหน่งเดียวกัน(เกิดการทับซ้อน(overlap)) หรือจุดตำแหน่งเดียวกันแต่มีระยะเคลื่อนตัวได้หลายค่า (เกิดช่องว่าง (void))

2.4 ทฤษฎีที่ใช้สำหรับการทดลอง

ในกรณีความเค้นดัด σ คำนวณโดยสมการ

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (34)$$

$$c = \frac{t}{2} \quad (35)$$

$$I = \frac{bt^3}{12} \quad (36)$$

หา strain

$$e = \frac{KGF}{4} \varepsilon E \quad (37)$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (38)$$

ความเข้มของความเค้นเพิ่มเติมที่เกิดจากรูจะแสดงเป็นอัตราส่วนของเค้นสูงสุดเหนือความเค้นเล็กน้อยและเรียกว่า แฟกเตอร์ความเค้นหนาแน่น (K_t)

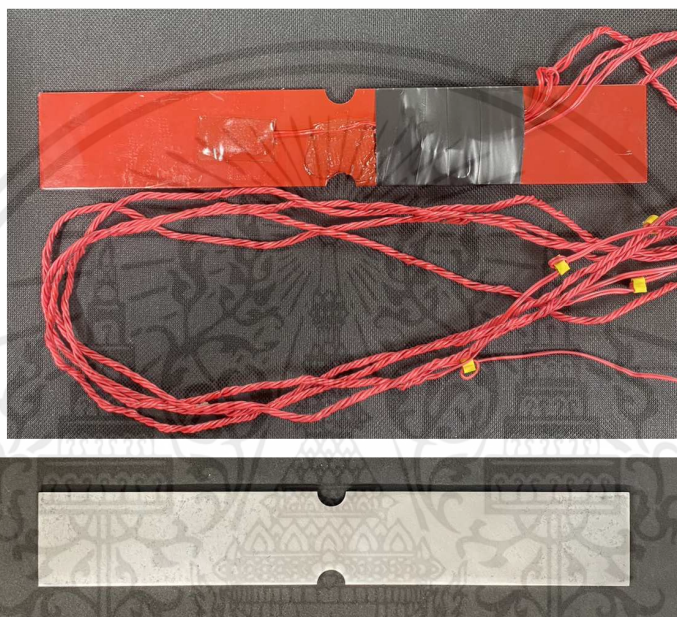
$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{normal}} \quad (39)$$

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 อุปกรณ์และหลักการทำงานและหน้าที่อุปกรณ์

1. ชุดทดลอง แผ่นเหล็กทดลอง (High-strength aluminum alloy beam) เป็นแผ่นเจาะรูขนาด 10 มิลลิเมตร ความยาว 242 มิลลิเมตร โดยการทดลองนั้นเราจะป้อนกระแสไฟฟ้าไปยังสเตรนเกจ



รูปที่ 3.1 ชุดทดลอง แผ่นเหล็กทดลอง

2. ตุ่มน้ำหนักทองเหลือง สำหรับชั่งตวงน้ำหนัก ก่อนน้ำหนัก 50 g , 100g เป็นต้น



รูปที่ 3.2 ตุ่มน้ำหนักทองเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เวอร์เนียดิจิตอล Vernier Caliper สำหรับวัดค่าความยาว กว้าง ของวัตถุ



รูปที่ 3.3 เวอร์เนียดิจิตอล Vernier Caliper

4. WGA-680A Instrumentation Amplifier เป็นเครื่องมือขยายสัญญาณระดับขนาดเล็กมากๆ



รูปที่ 3.4 WGA-680A Instrumentation Amplifier

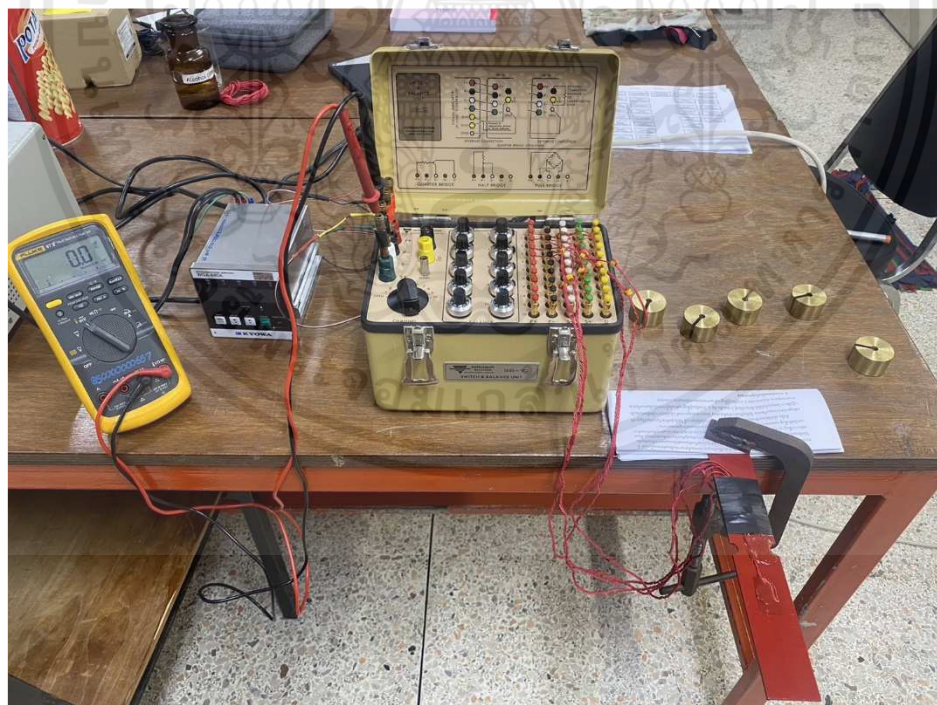
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Dual-Range DC Power supply (SPD-3606) ทำหน้าที่ป้อนกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.5 Dual-Range DC Power supply

6. เครื่องทดสอบ Universal Testing Machine ทำหน้าที่ปรับจูนช่องสัญญาณ



รูปที่ 3.6 Switch and balancing unit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

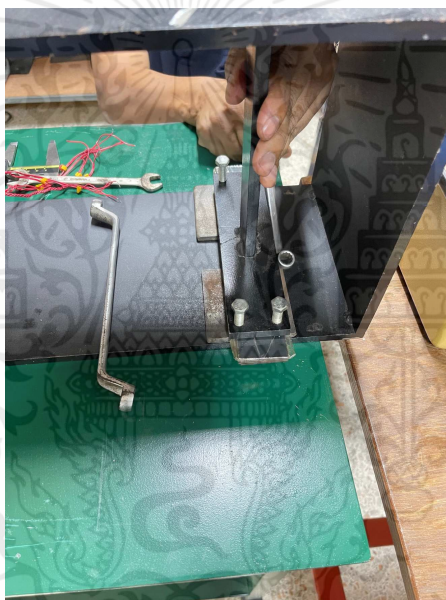
วิธีดำเนินการ

1. วิธีการคำนวณจะทำให้ทราบความเค้นที่ขอบของรูหรือรอยบากสำหรับค่าแรงดึงและการตัดที่แตกต่างกันหลายค่า

2. การทดสอบในห้องปฏิบัติการจะดำเนินการเพื่อเปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าคำนวณได้จากค่าที่วัดได้จากการทดลอง ในการวัดค่าความเค้นสูงสุด ณ จุดที่พิจารณา จะอาศัยวิธีการวัดค่าความเครียดด้วยการติดตั้งเกจวัดความเครียด (strain gauge) แล้วนำผลของค่าความเครียดไปคำนวณ โดยลักษณะตัวอย่างการติดตั้งเกจวัดแสดงดังรูป

3.3 ขั้นตอนการทดสอบ

1. ก่อนเริ่มต้นทดสอบให้ผู้ทดสอบตรวจสอบและสวมใส่แว่นตาเซฟตี้เพื่อป้องกันดวงตาหากเกิดความเสียหายของชิ้นงานทดสอบและตรวจสอบอุปกรณ์ต่างๆภายในระบบให้พร้อมใช้งาน



รูปที่ 3.1 การติดตั้งชุดทดสอบ และปรับเซต

2. ทำการรีเซ็ตเครื่องมือต่างๆ ก่อนการจดบันทึก



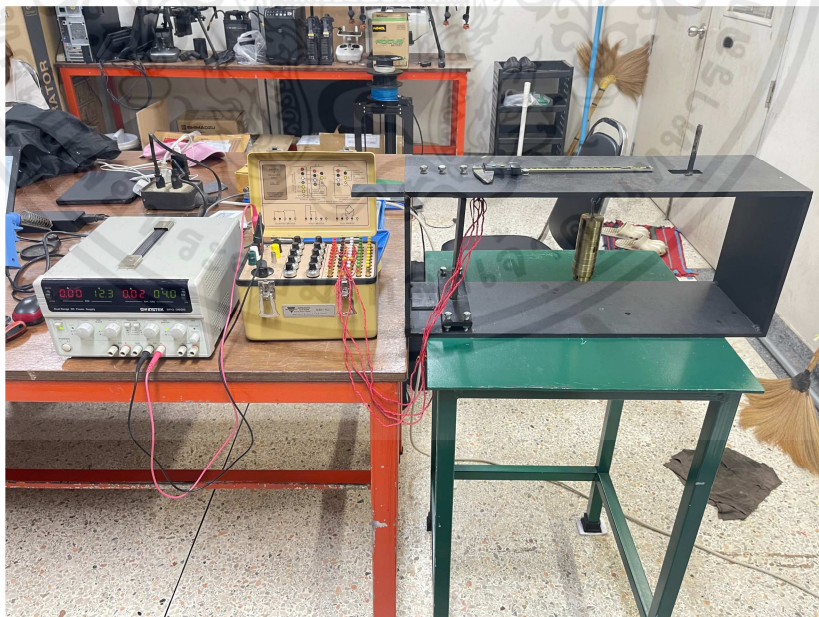
รูปที่ 3.2 ปรับเซต

3. ใส่ชิ้นงานทดสอบ(แบบรู) ในเครื่องทดสอบ

3.1 ทดสอบตั้งชิ้นงานตามแนวตั้งตามค่าโพลแบบสถิตตามค่าที่ระบุไว้แล้วทำการจดบันทึกค่าความเครียดที่อ่านค่าได้จากสเตรนเกจ

3.2 ทำซ้ำข้อ 3.1 ด้วยค่าโพลแบบสถิตค่าอื่น

4. หลังจากทำการทดลองชิ้นงานที่มีรูแล้วให้ทำซ้ำ 3 ครั้ง



รูปที่ 3.3 ทำการใส่โพลดตุ้มน้ำหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

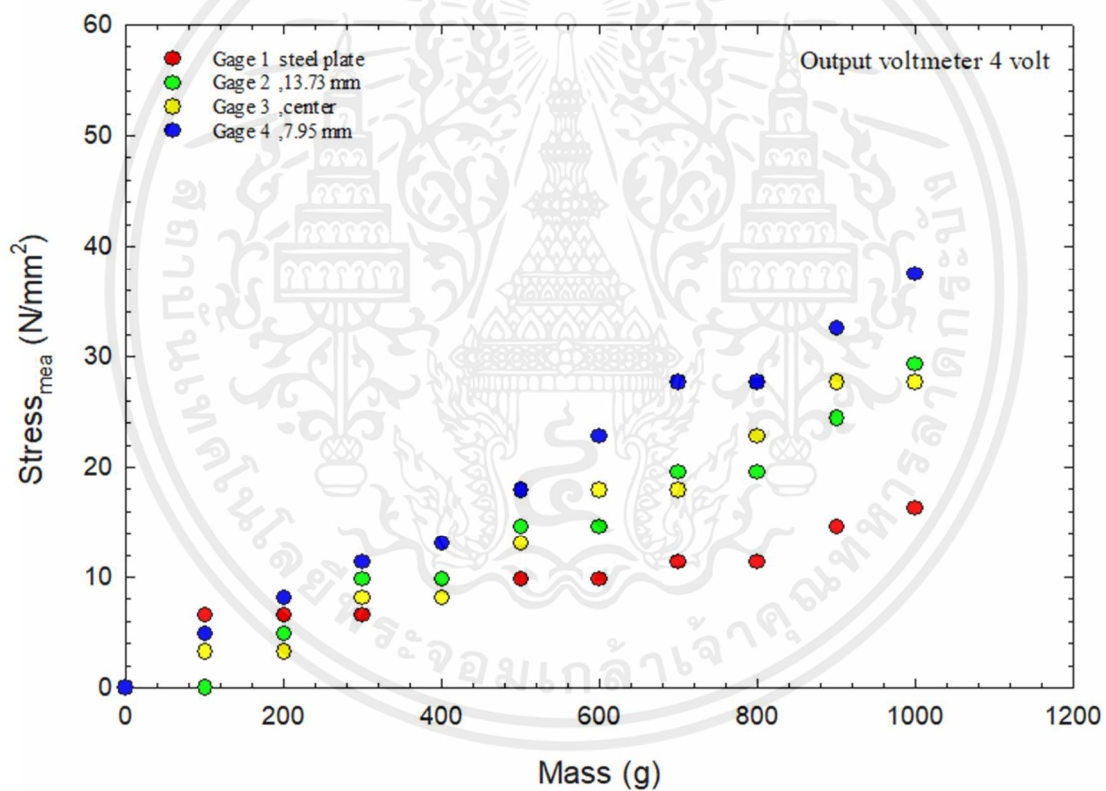
บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผล

4.1 การทดลองความเค้น

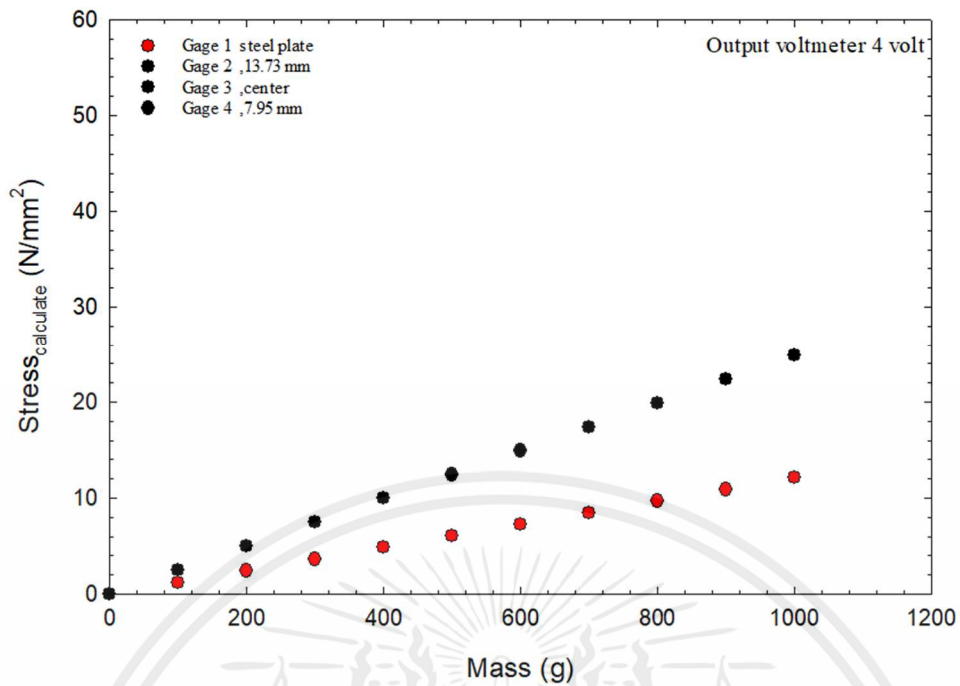
การทดลองการใส่โหลดน้ำหนัก 0,100,200,300,400,500,600,700,800,900,1000 กรัม โดยจะมี สเตรนเกจติดตั้งทั้งหมด 4 ตำแหน่ง โดยตำแหน่งที่ 1 บริเวณแผ่นเต็ม ตำแหน่งที่ 2 ตำแหน่งแนวเจาะ 13.73 มิลลิเมตร ตำแหน่งที่ 3 แนวเจาะ (กึ่งกลาง) ตำแหน่งที่ 4 ตำแหน่งแนวเจาะ 7.95 มิลลิเมตร ก่อนทำการทดลองก่อนทำการรีเซ็ตค่าการทดลองก่อนทุกครั้ง

4.1.2 ผลการทดลองความเค้นที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นที่วัดได้กับมวลน้ำหนักของการทดลองขนาดแรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์

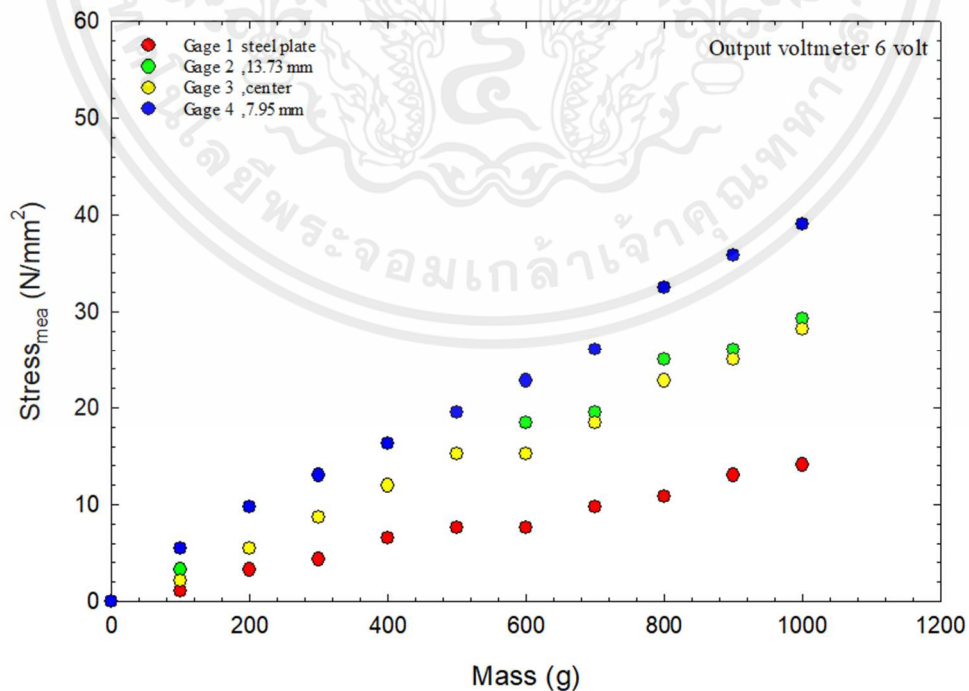
จากกราฟ รูปที่ 4.1 แสดงความเค้นที่วัดได้กับมวลน้ำหนักเมื่อเพิ่มน้ำหนักโหลด ความเค้นบริเวณ Gage ตำแหน่งที่ 1 มีค่าความเค้นสูงขึ้นเรื่อยๆ หลังจากการติดตั้งโหลดน้ำหนัก พบว่าความเค้นที่ตำแหน่งที่ 4 มีค่าความเค้นสูงกว่า ตำแหน่งที่ 2,3 และ 4 ตามลำดับ เนื่องจากตำแหน่งที่ติดตั้งตำแหน่งที่ Gage ตำแหน่งที่ 4 ใกล้บริเวณรอยบาก



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นที่คำนวณได้กับมวลน้ำหนักของจากการทดลองขนาดแรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์

จากกราฟรูปที่ 4.2 แสดงความเค้นที่คำนวณเมื่อเพิ่มน้ำหนักโหลดบริเวณตำแหน่งติดตั้ง Gage 2, 3 และ 4 ความเค้นที่คำนวณที่ค่าใกล้เคียงกันและสูงกว่าตำแหน่งบริเวณติดตั้ง Gage 1 เนื่องจากบริเวณที่ 1 ไม่มีรอยบากและเป็นบริเวณติดตั้งเต็มหน้าสัมผัส

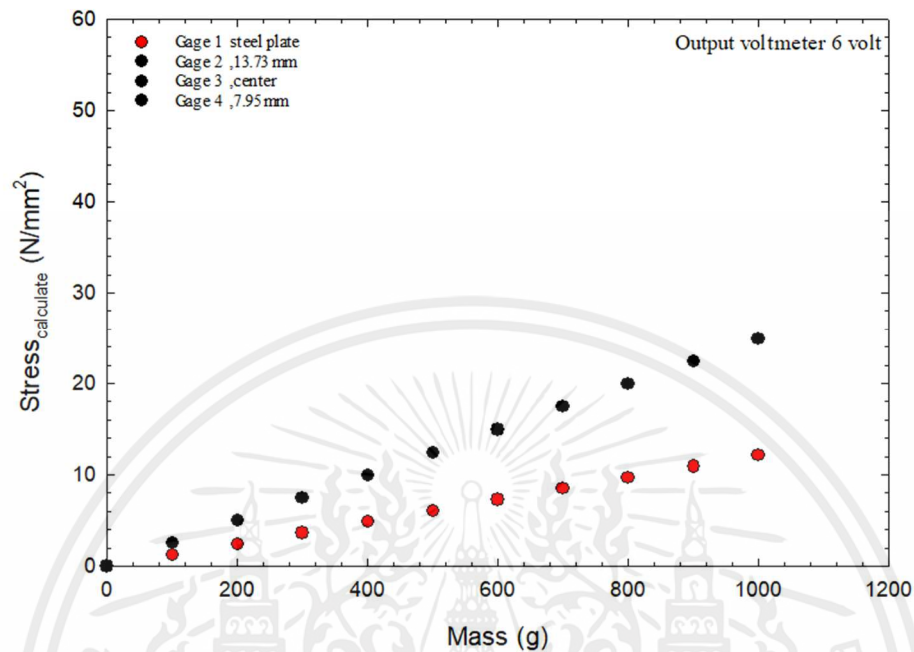
4.1.3 ผลการทดลองความเค้นที่แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นที่วัดได้กับมวลน้ำหนักของจากการทดลองขนาดแรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

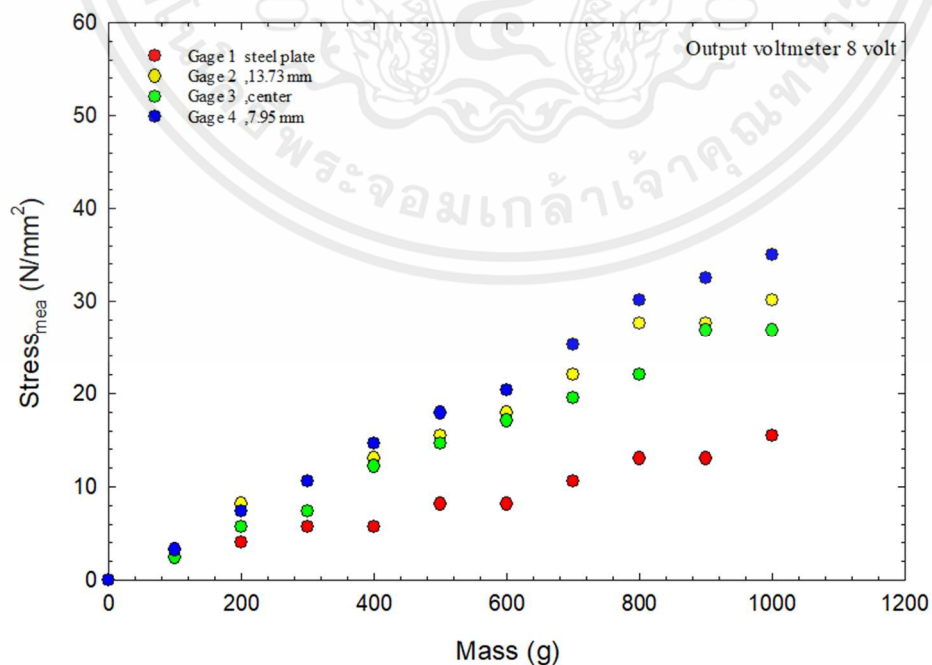
จากรูปที่ 4.3 บริเวณที่ติดตั้ง Gage ที่บริเวณที่ 2 และ 3 ช่วงการใส่น้ำหนักโหลด 0-500 กรัม ค่าความเค้นมีค่าเท่ากัน แต่หลังใส่น้ำหนักโหลด 600-1000 กรัม ค่าความเค้นที่วัดได้บริเวณติดตั้ง Gage บริเวณที่ 2 มีค่ามากกว่า บริเวณที่ 3 เนื่องจากระยะที่ติดตั้งระยะห่างจากรอยบาก



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นที่คำนวณได้กับมวลน้ำหนักของจากการทดลองขนาดแรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์

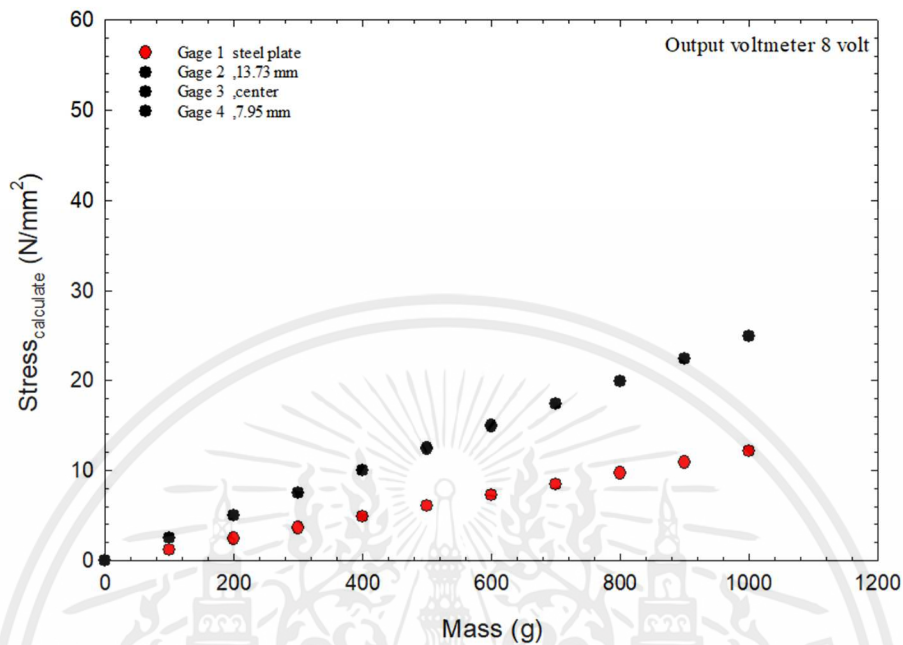
จากผลการทดลองผลค่าความเค้นที่คำนวณได้มีลักษณะกราฟเช่นกันกับรูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นที่คำนวณได้กับมวลน้ำหนักของจากการทดลอง ที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์

4.1.4 ผลการทดลองความเค้นที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นที่วัดได้กับมวลน้ำหนักของจากการทดลองขนาดแรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

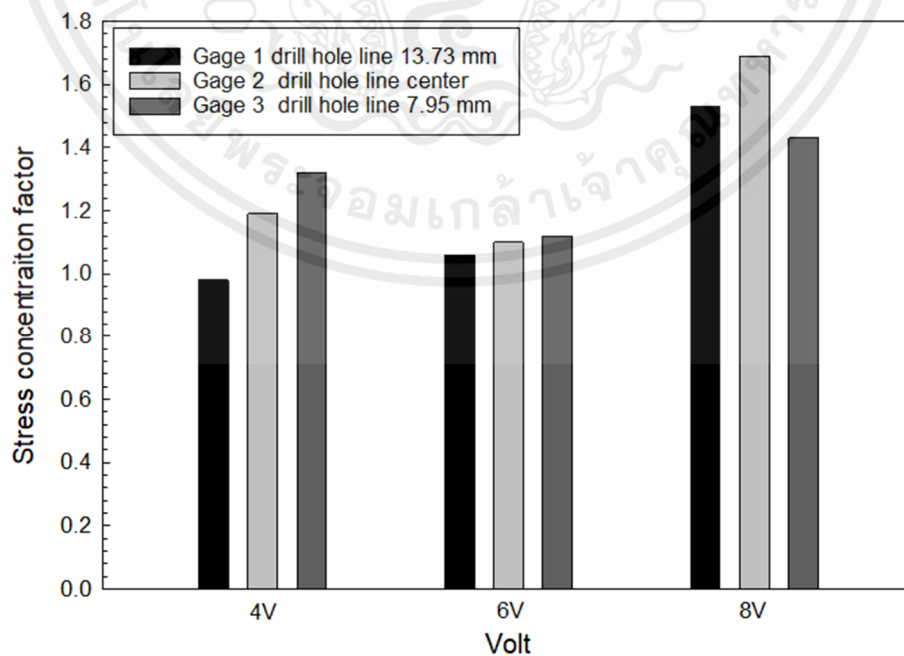
จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองให้เห็นความเค้นที่วัดได้ ความเค้นตำแหน่ง Gage 4 มีค่าความเค้นสูงกว่า บริเวณตำแหน่ง Gage 2, 3 และ 4 และซึ่งบริเวณ ตำแหน่งที่ติดตั้ง Gage 2,3 มีค่าความเค้นใกล้เคียงกัน แตกต่างจากตำแหน่งที่ติดตั้ง Gage 4 ความเค้นน้อยกว่าจุดใดๆ



รูปที่ 4.6 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นที่คำนวณได้จากมวลน้ำหนักของจากการทดลองขนาดแรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์

จากผลการทดลองความเค้นที่คำนวณตำแหน่งที่ 2, 3 และ 4 ความเค้นที่คำนวณตำแหน่งที่ 1 มีค่าความเค้นต่ำกว่า บริเวณตำแหน่งที่ 2, 3, และ 4

4.1.5 ผลการทดลอง Stress concentration factor



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ Stress concentration factor กับ แรงดันไฟฟ้า Volt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย Gage 1 ตำแหน่งแนวเจาะ 13.73 มิลลิเมตร , Gage 2 แนวเจาะ (กึ่งกลาง) Gage 3 ตำแหน่งแนวเจาะ 7.95 มิลลิเมตร

1.ผลการทดลองค่า Stress concentration factor พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ บริเวณตำแหน่ง Gage 3 Drill hole line 7.95 mm ค่า Stress concentration factor สูงสุด สำหรับที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ และ 6 โวลต์ตามระดับ

2.ผลการทดลองค่า Stress concentration factor พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ บริเวณตำแหน่ง Gage 2 Drill hole line center ค่า Stress concentration factor สูงสุด สำหรับที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ และ 6 โวลต์ตามระดับ

2.ผลการทดลองค่า Stress concentration factor พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ บริเวณตำแหน่ง Gage 3 Drill hole line 13.73 mm ค่า Stress concentration factor สูงสุด สำหรับที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ และ 6 โวลต์ตามระดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1สรุปผลการทดลอง

1. จากการทดลองนี้ ทำการใส่โหลตน้ำหนักทองเหลือง 0,100,200,300,400, 500,600,700,800,900,1000 กรัม ทดลองที่แรงดันไฟฟ้า 4, 6 and , 8 โวลต์ สเตรนเกจติดตั้งทั้งหมด 4 ตำแหน่ง **กรณีที่วัดค่าได้**

ตำแหน่งที่ 1 ตำแหน่งแผ่นเต็ม

โดยตำแหน่งที่ 1 แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 16.2736 N/mm^2 พบค่าความเค้นสูงสุด

โดยตำแหน่งที่ 1 แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 14.1038 N/mm^2

โดยตำแหน่งที่ 1 แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 15.4599 N/mm^2

ตำแหน่งที่ 2 ตำแหน่งแนวเจาะ 13.73 มิลลิเมตร

โดยตำแหน่งที่ 2 แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 29.2925 N/mm^2

โดยตำแหน่งที่ 2 แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 29.2925 N/mm^2

โดยตำแหน่งที่ 2 แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 30.1061 N/mm^2 พบค่าความเค้นสูงสุด

ตำแหน่งที่ 3 แนวเจาะ (กึ่งกลาง)

โดยตำแหน่งที่ 3 แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 27.6651 N/mm^2

โดยตำแหน่งที่ 3 แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 28.2075 N/mm^2 พบค่าความเค้นสูงสุด

โดยตำแหน่งที่ 3 แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 26.8514 N/mm^2

ตำแหน่งที่ 4 ตำแหน่งแนวเจาะ 7.95 มิลลิเมตร

โดยตำแหน่งที่ 4 แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 37.4292 N/mm^2

โดยตำแหน่งที่ 4 แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 39.0566 N/mm^2 พบค่าความเค้นสูงสุด

โดยตำแหน่งที่ 4 แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 34.9882 N/mm^2

สเตรนเกจติดตั้งทั้งหมด 4 ตำแหน่ง **กรณีที่วัดค่านวนได้**

ตำแหน่งที่ 1 ตำแหน่งแผ่นเต็ม

โดยตำแหน่งที่ 1 แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 12.1055 N/mm^2 พบค่าความเค้นสูงสุด

โดยตำแหน่งที่ 1 แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 12.1055 N/mm^2

โดยตำแหน่งที่ 1 แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 12.01055 N/mm^2

ตำแหน่งที่ 2 ตำแหน่งแนวเจาะ 13.73 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตำแหน่งที่ 2 แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 24.8607 N/mm^2

โดยตำแหน่งที่ 2 แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 24.8607 N/mm^2

โดยตำแหน่งที่ 2 แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 24.8607 N/mm^2

ตำแหน่งที่ 3 แนวเจาะ (กึ่งกลาง)

โดยตำแหน่งที่ 3 แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 24.8607 N/mm^2

โดยตำแหน่งที่ 3 แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 24.8607 N/mm^2

โดยตำแหน่งที่ 3 แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 24.8607 N/mm^2

ตำแหน่งที่ 4 ตำแหน่งแนวเจาะ 7.95 มิลลิเมตร

โดยตำแหน่งที่ 4 แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 24.8607 N/mm^2

โดยตำแหน่งที่ 4 แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 24.8607 N/mm^2

โดยตำแหน่งที่ 4 แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม ที่วัดได้ 24.8607 N/mm^2

ค่า Stress concentratoin factor

โดยตำแหน่งที่ 2 แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม มีค่า 0.98

โดยตำแหน่งที่ 3 แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม มีค่า 1.06

โดยตำแหน่งที่ 4 แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม มีค่า 1.53

โดยตำแหน่งที่ 2 แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม มีค่า 1.19

โดยตำแหน่งที่ 3 แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม มีค่า 1.10

โดยตำแหน่งที่ 4 แรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม มีค่า 1.69

โดยตำแหน่งที่ 2 แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม มีค่า 1.32

โดยตำแหน่งที่ 3 แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม มีค่า 1.12

โดยตำแหน่งที่ 4 แรงดันไฟฟ้า 8 โวลต์ บริเวณแผ่นเต็ม มีค่า 1.43

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 การสั่นของโหลดทำให้มีผลการเก็บค่าทดลอง

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การรื้อให้โหลดหยุดนิ่งของการสั่น และทำการเก็บผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Younis, N. T. (2006). Assembly stress for the reduction of stress concentration. *Mechanics research communications*, 33(6), 837-845.
- [2] Lee, E. J., & Klang, E. C. (1992). Stress distribution in an edge-stiffened semi-infinite elastic plate containing a circular hole.
- [3] Dhir, S. K. (1981). Optimization in a class of hole shapes in plate structures.
- [4] Erickson, P. E., & Riley, W. F. (1978). Minimizing stress concentrations around circular holes in uniaxially loaded plates: Stress concentrations associated with circular holes in uniaxially loaded plates can be reduced from 13 to 21 percent by introducing auxiliary holes on either side of the original hole. *Experimental Mechanics*, 18, 97-100.
- [5] Ulrich, T. W., & Moslehy, F. A. (1995). A boundary element method for stress reduction by optimal auxiliary holes. *Engineering analysis with boundary elements*, 15(3), 219-223.
- [6] Erickson, P. E., & Riley, W. F. (1978). Minimizing stress concentrations around circular holes in uniaxially loaded plates: Stress concentrations associated with circular holes in uniaxially loaded plates can be reduced from 13 to 21 percent by introducing auxiliary holes on either side of the original hole. *Experimental Mechanics*, 18, 97-100.
- [7] Toubal, L., Karama, M., & Lorrain, B. (2005). Stress concentration in a circular hole in composite plate. *Composite structures*, 68(1), 31-36.
- [8] Khechai, A., Tati, A., & Guettala, A. (2014). Finite element analysis of stress concentrations and failure criteria in composite plates with circular holes. *Frontiers of Mechanical Engineering*, 9, 281-294.

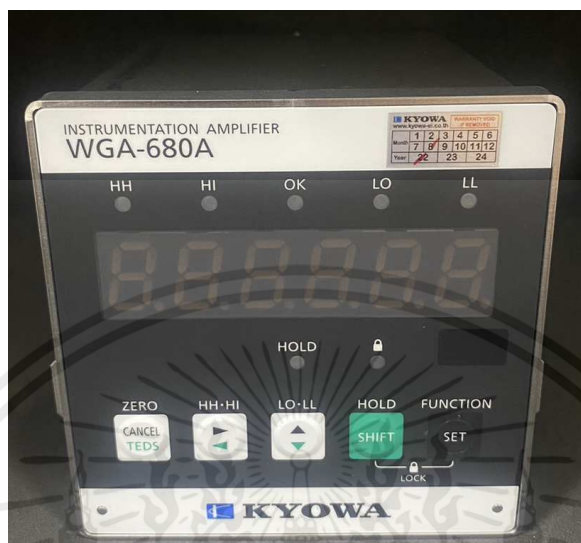


ภาคผนวก ก

ข้อมูลทางเทคนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

WGA-680A Instrumentation Amplifier เป็นเครื่องมือขยายสัญญาณระดับขนาดเล็กมากๆ



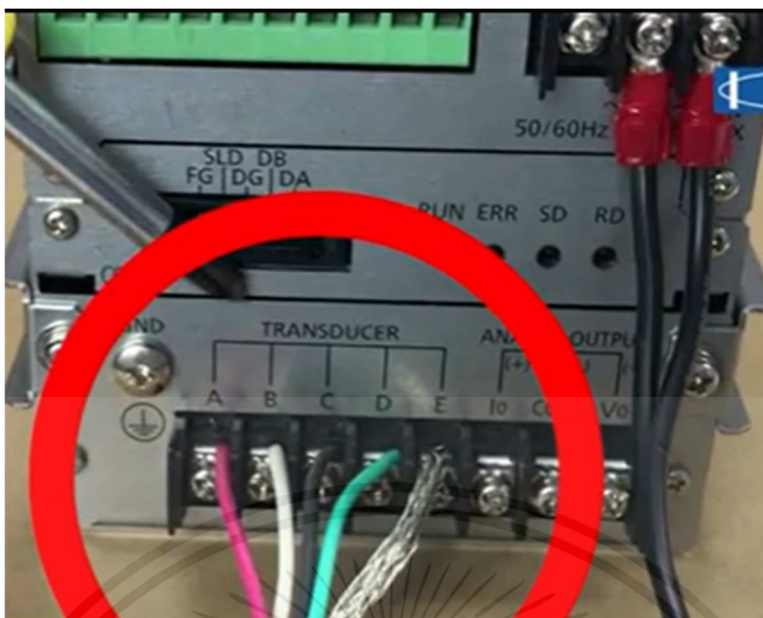
รูปที่ ก.1 WGA-680A Instrumentation Amplifier

การ Set up Amplifier ของ Kyowa รุ่น WGA-680A ที่ด้านหลังของตัวเครื่อง จุดที่สำคัญคือ Line in ไฟที่นำไปเลี้ยงในการทำงานของ WGA ถ้าเราต่อที่ตำแหน่ง L กับ N คือ L-LINE N-Newtron กรณีที่ผู้ใช้งานมีไฟเป็นสาย Ground นำสาย Ground มาต่อในตำแหน่ง FG เมื่อต่อแหล่งจ่ายไฟเสร็จแล้ว มาต่อสายของ Sensor

Pin	Signal Name	Code
A	(+) Bridge Voltage	แดง
B	(-) Signal Output	ขาว
C	(-) Bridge Voltage	ดำ
D	(+) Signal Output	เขียว
E	Shield	-

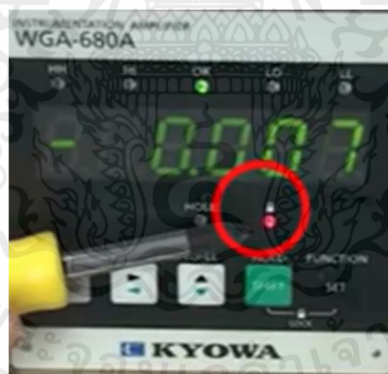
รูปที่ ก.2 การเชื่อมต่อ Signal Name

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 Set up Amplifer ของ Kyowa รุ่น WGA-680A

เมื่อเราทำการต่อสายไฟด้านหลังครบหมดแล้ว เราทำการ Setup ค่าพารามิเตอร์ของตัว Sensor เมื่อเราทำการสังเกตบริเวณตำแหน่ง Lock ตำแหน่งนี้



รูปที่ ก.4 กดปุ่ม HOLD และ FUNCTION

ถ้ามีไฟสีแดง แสดงว่าที่หน้า Panel ของตัวเครื่องมันถูกล็อกอยู่และถ้าเราต้องการปลดล็อกให้เรากดปุ่ม HOLD และ FUNCTION ค้างไว้ 3 วินาที ถ้าเราทำการปลดล็อก สังเกตว่าไฟ LED สีแดง จะหายไป การ Set up ค่าพารามิเตอร์ของตัว Sensor ให้เรากดปุ่ม Set ค้าง 3 วินาที หน้าจอจะขึ้น F-01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นให้ทำการการเปลี่ยน เป็น F-03 โดยที่ปุ่ม HH-HI



รูปที่ ก.5 F-01

จากนั้นให้ทำการการเปลี่ยน เป็น F-03 โดยที่ปุ่ม HH-HI



รูปที่ ก.6 F-03

ที่หน้าจอ F-03 ให้เราทำการกด Set 1 ครั้ง เพื่อที่เข้าไปทำการตั้งค่า



รูปที่ ก.7 ปรับตั้ง Rate output

หน้าจอแรก เมื่อเราเข้ามาให้เราทำการป้อนค่า Rate output เราจะเอาค่า Rate Output จากข้อมูล Data sheet ของ ตัว Sensor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test Data Sheet					
型式名 Model	LCN-A-2KN	検査年月日 Inspected date	2018.7.17	製造番号 Serial No.	JA5450005
定格容量 Rated Capacity	2 kN	温度 Temp.	23°C	湿度 Humidity	50%
1. 定格出力 Rated output				1998 μ V/V	
				3996 $\times 10^{-6}$ ※	
2. 非直線性 Nonlinearity				0.11 %RO	
3. ヒステリシス Hysteresis				0.02 %RO	
4. 校正係数 Calibration constant				0.001001 kN /1.0 μ V/V	
				0.0005005 kN /1.0 $\times 10^{-6}$ ※	
5. 入出力抵抗 Input & Output resistance		入力 Input		350.4 Ω	
		出力 Output		349.7 Ω	

รูปที่ ก.8 ค่าตั้ง ในตัวของ Amplifer WGA-680A

Rated out ที่เราต้องทำการป้อนในตัวของ Amplifer WGA-680A เราต้องป้อนค่าที่เป็นหน่วย mV/V

ถ้าดูจาก Data sheet ค่าจะอยู่ที่ 1998 μ V/V โดยการกดปุ่ม Set 1 ครั้ง จากนั้นหน้าจอจะมีค่าที่เราต้องป้อนเป็น Step ที่ 2 คือการป้อนค่า Rate Capacity โดย Rate Capacity สามารถดูได้จาก Data sheet เหมือนกัน โดยData sheet ระบุว่า Reted capacity รุ่นที่มาใช้งาน คือรุ่นที่เป็น Load cell Capacity อยู่ที่ 2 kN จากนั้นเราป้อนไปเสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ทำการ Set 1 ครั้ง เพื่อยืนยันการตั้งค่า ต่อไปให้สังเกตบริเวณ ทศนิยมกระพริบ จากนั้นให้ทำการเลื่อนทศนิยม จากนั้นทำการกด Set เพื่อยืนยันการตั้งค่า



รูปที่ ก.9 กด Set เพื่อยืนยันการตั้งค่า

หน้าจอจะขึ้นมาเป็นรหัส 00000 เป็นPasswork การตั้งค่า โดยค่าเดิมโรงงานเป็น 00000 ให้ทำการกด Set ค่าได้เลย หน้าจอจะกลับมาที่ F-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีความเค้นดัด σ คำนวณโดยสมการ (หน้าตัดเต็ม)

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$c = \frac{t}{2}$$

$$I = \frac{bt^3}{12}$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = 12.1055 \text{ N/mm}^2$$

$$M = 9.81 \times 74.04 \text{ x m}$$

$$c = \frac{3}{2} = 1.5 \text{ mm}$$

$$I = \frac{40 \times 3^3}{12} = 90 \text{ mm}^4$$

หน้าตัดบาก

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = 24.86072 \text{ N/mm}^2$$

$$M = 9.81 \times 114.04 \text{ x m}$$

$$c = \frac{3}{2} = 1.5 \text{ mm}$$

$$I = \frac{30 \times 3^3}{12} = 67.5 \text{ mm}^4$$

หา strain

$$e = \frac{KGF}{4} \varepsilon E$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

ความเข้มของความเค้นเพิ่มเติมที่เกิดจากรูจะแสดงเป็นอัตราส่วนของเค้นสูงสุดเหนือความเค้นเล็กน้อยและเรียกว่า แฟกเตอร์ความเค้นหนาแน่น (K)

$$K_t = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{normal}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลผลการทดลอง

ผลการทดลองที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 4 โวลต์

ครั้งที่ 1

mass (g)	Gage1	Gage2	Gage3	Gage4
0	-0.1	0	-0.1	-0.1
100	0.1	0	0	0
200	0.1	0.1	0	0.1
300	0.1	0.2	0.1	0.2
400	0.2	0.2	0.1	0.2
500	0.2	0.3	0.2	0.3
600	0.2	0.3	0.3	0.4
700	0.2	0.4	0.3	0.5
800	0.2	0.4	0.4	0.5
900	0.3	0.5	0.5	0.6
1000	0.3	0.6	0.5	0.7

ครั้งที่ 2

mass (g)	Gage1	Gage2	Gage3	Gage4
0	0.1	0	0	0
100	0.1	0	0	0.1
200	0.1	0.1	0	0.1
300	0.1	0.2	0.1	0.1
400	0.1	0.2	0.1	0.2
500	0.1	0.3	0.2	0.3
600	0.1	0.3	0.3	0.4
700	0.2	0.4	0.3	0.5
800	0.2	0.4	0.4	0.5
900	0.2	0.5	0.5	0.6
1000	0.3	0.6	0.5	0.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 3

mass (g)	Gage1	Gage2	Gage3	Gage4
0	-0.1	0	-0.1	-0.1
100	0.1	0	0	0
200	0.1	0.1	0	0.1
300	0.1	0.2	0.1	0.2
400	0.2	0.2	0.1	0.2
500	0.2	0.3	0.2	0.3
600	0.2	0.3	0.3	0.4
700	0.2	0.4	0.3	0.5
800	0.2	0.4	0.4	0.5
900	0.3	0.5	0.5	0.6
1000	0.3	0.6	0.5	0.7

ค่าเฉลี่ย

mass (g)	Avg Gage 1	Avg Gage 2	Avg Gage 3	Avg Gage 4
0	-0.03	0.00	-0.07	-0.07
100	0.10	0.00	0.00	0.03
200	0.10	0.10	0.00	0.10
300	0.10	0.20	0.10	0.17
400	0.17	0.20	0.10	0.20
500	0.17	0.30	0.20	0.30
600	0.17	0.30	0.30	0.40
700	0.20	0.40	0.30	0.50
800	0.20	0.40	0.40	0.50
900	0.27	0.50	0.50	0.60
1000	0.30	0.60	0.50	0.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 6 โวลต์

ครั้งที่ 1

mass (g)	Gage1	Gage2	Gage3	Gage4
0	0.1	0	0	-0.1
100	0.1	0.1	0	0.1
200	0.2	0.2	0.1	0.2
300	0.2	0.3	0.2	0.3
400	0.3	0.4	0.3	0.4
500	0.3	0.5	0.4	0.5
600	0.3	0.6	0.4	0.6
700	0.4	0.6	0.5	0.7
800	0.4	0.8	0.6	0.9
900	0.5	0.8	0.7	1
1000	0.5	0.9	0.8	1.1

ครั้งที่ 2

mass (g)	Gage1	Gage2	Gage3	Gage4
0	0	0	-0.1	-0.1
100	0.1	0.1	0	0
200	0.1	0.1	0.1	0.2
300	0.2	0.2	0.2	0.3
400	0.2	0.3	0.3	0.4
500	0.3	0.4	0.4	0.5
600	0.3	0.5	0.4	0.6
700	0.3	0.6	0.5	0.7
800	0.4	0.7	0.7	0.9
900	0.4	0.8	0.7	1
1000	0.5	0.9	0.8	1.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 3

mass (g)	Gage1	Gage2	Gage3	Gage4
0	0.1	0	-0.1	-0.1
100	0.1	0.1	0	0.1
200	0.2	0.2	0.1	0.2
300	0.2	0.3	0.2	0.3
400	0.3	0.4	0.3	0.4
500	0.3	0.5	0.4	0.5
600	0.3	0.6	0.4	0.6
700	0.4	0.6	0.5	0.7
800	0.4	0.8	0.6	0.9
900	0.5	0.8	0.7	1
1000	0.5	0.9	0.8	1.1

ค่าเฉลี่ย

mass (g)	Avg Gage 1	Avg Gage 2	Avg Gage 3	Avg Gage 4
0	0.07	0.00	-0.07	-0.10
100	0.10	0.10	0.00	0.07
200	0.17	0.17	0.10	0.20
300	0.20	0.27	0.20	0.30
400	0.27	0.37	0.30	0.40
500	0.30	0.47	0.40	0.50
600	0.30	0.57	0.40	0.60
700	0.37	0.60	0.50	0.70
800	0.40	0.77	0.63	0.90
900	0.47	0.80	0.70	1.00
1000	0.50	0.90	0.80	1.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองที่แรงดันไฟฟ้าขนาด 8 โวลต์

ครั้งที่ 1

mass (g)	Gage1	Gage2	Gage3	Gage4
0	0.1	0	-0.1	0
100	0.2	0.1	0	0.1
200	0.2	0.3	0.1	0.3
300	0.3	0.4	0.2	0.4
400	0.3	0.5	0.4	0.6
500	0.4	0.6	0.5	0.7
600	0.4	0.7	0.6	0.8
700	0.5	0.9	0.7	1
800	0.6	1.1	0.8	1.2
900	0.6	1.1	1	1.3
1000	0.7	1.2	1	1.4

ครั้งที่ 2

mass (g)	Gage1	Gage2	Gage3	Gage4
0	0	0	-0.1	-0.1
100	0.1	0.1	0	0.1
200	0.3	0.3	0.2	0.2
300	0.3	0.4	0.2	0.4
400	0.3	0.5	0.4	0.5
500	0.4	0.6	0.5	0.7
600	0.4	0.7	0.6	0.8
700	0.5	0.8	0.7	1
800	0.6	1.1	0.8	1.2
900	0.6	1.1	1	1.3
1000	0.7	1.2	1	1.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 3

mass (g)	Gage1	Gage2	Gage3	Gage4
0	0.1	-0.1	-0.1	0
100	0.2	0.1	0	0.1
200	0.2	0.3	0.1	0.3
300	0.3	0.4	0.2	0.4
400	0.3	0.5	0.4	0.6
500	0.4	0.6	0.5	0.7
600	0.4	0.7	0.6	0.8
700	0.5	0.9	0.7	1
800	0.6	1.1	0.8	1.2
900	0.6	1.1	1	1.3
1000	0.7	1.2	1	1.4

ค่าเฉลี่ย

mass (g)	Avg Gage 1	Avg Gage 2	Avg Gage 3	Avg Gage 4
0	0.07	-0.03	-0.10	-0.03
100	0.17	0.10	0.00	0.10
200	0.23	0.30	0.13	0.27
300	0.30	0.40	0.20	0.40
400	0.30	0.50	0.40	0.57
500	0.40	0.60	0.50	0.70
600	0.40	0.70	0.60	0.80
700	0.50	0.87	0.70	1.00
800	0.60	1.10	0.80	1.20
900	0.60	1.10	1.00	1.30
1000	0.70	1.20	1.00	1.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าได้จากการทดลองที่แรงดันไฟฟ้าแรงดัน 4 โวลต์

mass (g)	แผ่นเต็ม	แนวเจาะ (13.73 mm)	แนวเจาะ (กึ่งกลาง)	แนวเจาะ (7.95 mm)
	Stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100	6.5094	0.0000	3.2547	4.8821
200	6.5094	4.8821	3.2547	8.1368
300	6.5094	9.7642	8.1368	11.3915
400	9.7642	9.7642	8.1368	13.0189
500	9.7642	14.6462	13.0189	17.9009
600	9.7642	14.6462	17.9009	22.7830
700	11.3915	19.5283	17.9009	27.6651
800	11.3915	19.5283	22.7830	27.6651
900	14.6462	24.4104	27.6651	32.5472
1000	16.2736	29.2925	27.6651	37.4292

ค่าได้การคำนวณทางทฤษฎี

mass (g)	แผ่นเต็ม	แนวเจาะ (13.73 mm)	แนวเจาะ (กึ่งกลาง)	แนวเจาะ (7.95 mm)
	Stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100	1.2106	2.4861	2.4861	2.4861
200	2.4211	4.9721	4.9721	4.9721
300	3.6317	7.4582	7.4582	7.4582
400	4.8422	9.9443	9.9443	9.9443
500	6.0528	12.4304	12.4304	12.4304
600	7.2633	14.9164	14.9164	14.9164
700	8.4739	17.4025	17.4025	17.4025
800	9.6844	19.8886	19.8886	19.8886
900	10.8950	22.3746	22.3746	22.3746
1000	12.1055	24.8607	24.8607	24.8607

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stress concentraton factor

mass (g)	แนวเจาะ (13.73 mm)	แนวเจาะ (กึ่งกลาง)	แนวเจาะ (7.95 mm)
	Stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)
0	0.0000	0.0000	0.0000
100	0.0000	1.3092	1.9638
200	0.9819	0.6546	1.6365
300	1.3092	1.0910	1.5274
400	0.9819	0.8182	1.3092
500	1.1783	1.0473	1.4401
600	0.9819	1.2001	1.5274
700	1.1222	1.0286	1.5897
800	0.9819	1.1455	1.3910
900	1.0910	1.2364	1.4546
1000	1.1783	1.1128	1.5056
Stress concentraton factor	0.98	1.06	1.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าได้จากการทดลองที่แรงดันไฟฟ้าแรงดัน 6 โวลต์

mass (g)	แผ่นเต็ม	แนวเจาะ (13.73 mm)	แนวเจาะ (กึ่งกลาง)	แนวเจาะ (7.95 mm)
	Stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)	stress (N/mm ²)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100	1.0849	3.2547	2.1698	5.4245
200	3.2547	5.4245	5.4245	9.7642
300	4.3396	8.6792	8.6792	13.0189
400	6.5094	11.9340	11.9340	16.2736
500	7.5943	15.1887	15.1887	19.5283
600	7.5943	18.4434	15.1887	22.7830
700	9.7642	19.5283	18.4434	26.0377
800	10.8491	24.9528	22.7830	32.5472
900	13.0189	26.0377	24.9528	35.8019
1000	14.1038	29.2925	28.2075	39.0566

ค่าได้การคำนวณทางทฤษฎี

mass (g)	แผ่นเต็ม	แนวเจาะ (13.73 mm)	แนวเจาะ (กึ่งกลาง)	แนวเจาะ (7.95 mm)
	stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100	1.2106	2.4861	2.4861	2.4861
200	2.4211	4.9721	4.9721	4.9721
300	3.6317	7.4582	7.4582	7.4582
400	4.8422	9.9443	9.9443	9.9443
500	6.0528	12.4304	12.4304	12.4304
600	7.2633	14.9164	14.9164	14.9164
700	8.4739	17.4025	17.4025	17.4025
800	9.6844	19.8886	19.8886	19.8886
900	10.8950	22.3746	22.3746	22.3746
1000	12.1055	24.8607	24.8607	24.8607

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stress concentraton factor

mass (g)	แนวเจาะ (13.73 mm)	แนวเจาะ (กึ่งกลาง)	แนวเจาะ (7.95 mm)
	Stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)	Stress (N/mm ²)
0	0.0000	0.0000	0.0000
100	1.3092	0.8728	2.1820
200	1.0910	1.0910	1.9638
300	1.1637	1.1637	1.7456
400	1.2001	1.2001	1.6365
500	1.2219	1.2219	1.5710
600	1.2364	1.0183	1.5274
700	1.1222	1.0598	1.4962
800	1.2546	1.1455	1.6365
900	1.1637	1.1152	1.6001
1000	1.1783	1.1346	1.5710
Stress concentraton factor	1.19	1.10	1.69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าได้จากการทดลองที่แรงดันไฟฟ้าแรงดัน 8 โวลต์

mass (g)	แผ่นเต็ม	แนวเจาะ (13.73 mm)	แนวเจาะ (กึ่งกลาง)	แนวเจาะ (7.95 mm)
	stress (N/mm ²)	stress (N/mm ²)	stress (N/mm ²)	stress (N/mm ²)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100	2.4410	3.2547	2.4410	3.2547
200	4.0683	8.1367	5.6957	7.3231
300	5.6957	10.5778	7.3231	10.5778
400	5.6957	13.0188	12.2051	14.6462
500	8.1367	15.4599	14.6462	17.9009
600	8.1367	17.9009	17.0872	20.3419
700	10.5778	21.9693	19.5283	25.2240
800	13.0188	27.6650	21.9693	30.1061
900	13.0188	27.6650	26.8514	32.5471
1000	15.4599	30.1061	26.8514	34.9882

ค่าได้การคำนวณทางทฤษฎี

mass (g)	แผ่นเต็ม	แนวเจาะ (13.73 mm)	แนวเจาะ (กึ่งกลาง)	แนวเจาะ (7.95 mm)
	stress (N/mm ²)	stress (N/mm ²)	stress (N/mm ²)	stress (N/mm ²)
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100	1.2106	2.4861	2.4861	2.4861
200	2.4211	4.9721	4.9721	4.9721
300	3.6317	7.4582	7.4582	7.4582
400	4.8422	9.9443	9.9443	9.9443
500	6.0528	12.4304	12.4304	12.4304
600	7.2633	14.9164	14.9164	14.9164
700	8.4739	17.4025	17.4025	17.4025
800	9.6844	19.8886	19.8886	19.8886
900	10.8950	22.3746	22.3746	22.3746
1000	12.1055	24.8607	24.8607	24.8607

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stress concentratoin factor

mass (g)	แนวเจาะ (13.73 mm)	แนวเจาะ (กึ่งกลาง)	แนวเจาะ (7.95 mm)
	stress (N/mm ²)	stress (N/mm ²)	stress (N/mm ²)
0	0.0000	0.0000	0.0000
100	1.3091	0.9818	1.3091
200	1.6364	1.1455	1.4728
300	1.4182	0.9818	1.4182
400	1.3091	1.2273	1.4728
500	1.2437	1.1782	1.4400
600	1.2000	1.1455	1.3637
700	1.2624	1.1221	1.4494
800	1.3910	1.1046	1.5137
900	1.2364	1.2000	1.4546
1000	1.2109	1.0800	1.4073
Stress concentratoin factor	1.32	1.12	1.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นาย พงศกร มะหมัดเหมม
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 10 กันยายน พ.ศ. 2542
 ภูมิลำเนา ชุมพร
 ที่อยู่ 132/28 ม.4 ต.ท่ามะพลา อ.หลังสวน จ.ชุมพร 86110
 Email pongsakorn.nine1999@gmail.com

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา จากโรงเรียนสวนศรีวิทยา
ปีการศึกษา 2560
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
(วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จาก
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- ผ่านการฝึกงานจากบริษัท เอเชีย เอวิเอชั่น แอนด์ เทคโนโลยี จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้