

การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายผลค่าความแข็งแรง
ดึงของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304

โดย
เฉลิมพล คล้ายนิล

สนับสนุนงบประมาณโดย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2556

Using Artificial Neural Network for Predict Tensile
Strength of AISI 304 Stainless Steel

by
Chalermpol Klaynil



Granted by
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Fiscal Year 2013

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยเรื่องการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายผลค่าความแข็งแรงดึงของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณประจำปี พ.ศ.2556 ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ได้ให้การส่งเสริมและสนับสนุนในการทำวิจัย เนื่องจากงานวิจัยเป็นภารกิจหลักของอาจารย์ในสถาบันอุดมศึกษา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าอาจารย์ทุกท่านจะเล็งเห็นถึงความสำคัญของการทำวิจัยต่อไปในอนาคต

เฉลิมพล คล้ายนิล และคณะ

ตุลาคม 2556



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A-29 / 2556

ชื่อโครงการ : การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายผลค่าความแข็งแรงดึงของเหล็กกล้า
ไร้สนิม AISI304

ชื่อนักวิจัย : นายเฉลิมพล คล้ายนิล และ ผศ.ดร.ไชยา คำคำ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาค่าความแข็งแรงดึงของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 กำหนดให้ความเร็วในการทดสอบแตกต่างกัน 4 ระดับ และขึ้นงานทดสอบเตรียมให้มีศูนย์รวมความเค้นแตกต่างกัน 12 รูปแบบ และผ่านการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง Zwick รุ่น Z020 รวมทั้งการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ผลการทดลองพบว่าขึ้นทดสอบที่สามารถรับแรงดึงได้สูงสุดคือ ขึ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร ส่วนขึ้นทดสอบที่รับแรงดึงได้น้อยที่สุดคือ ขึ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเอียงศูนย์ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร และผลการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความแข็งแรงดึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 พบว่าสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ โดยค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการฝึกสอนอยู่ที่ 1.63% และค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการทำนายค่าความแข็งแรงดึงอยู่ที่ 1.15% ซึ่งช่วยให้ลดเวลาในการทดลองลง และสามารถทำนายค่าที่ยังไม่ได้มีการทดลองได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ: เหล็กกล้าไร้สนิม / ศูนย์รวมความเค้น / ความแข็งแรงดึง / โครงข่ายประสาทเทียม

E-mail Address: chalernpol1@hotmail.com

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2555 ถึง กันยายน 2556

Abstract

Code of project: A-29 / 2013

Project name: Using Artificial Neural Network for Predict Tensile Strength of AISI 304 Stainless Steel

Researcher name: Chalernpol Klaynil and Chaiya Dumkum

The objective of this research is to Ultimate tensile strength of AISI 304 stainless steel. The test speed is identified into 4 difference levels and 12 difference forms of stress concentration which are tested by tensile Testing machine, Zwick (Z020). Artificial Neural network is used to predict the error. The result of the experiment finds that the specimen that able to stand the highest tensile member is the specimen with single hole which the diameter of the its hole is 1 mm. The specimen with offset hole is the specimen that able to stand the lowest tensile member, which the diameter of its hole is 3 mm.

From using artificial Neural network for predicting the ultimate tensile strength of AISI 304 finds it can predict properly which the average training error is 1.63% and the average error of the predicted tensile strength is 1.15% that can reduce that experiment time and able to predict the untested experiment correctly.

Keyword: Stainless steel / Stress concentration / Ultimate tensile strength / Artificial neural network

E-mail Address: chalernpol1@hotmail.com

Period of project: September 2012 to October 2013

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
3. ขอบเขตของงานวิจัย	2
4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1. ทฤษฎีแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม	3
2. มาตรฐานการทดสอบแรงดึง	7
3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด	11
4. ทฤษฎีศูนย์ความเค้น	14
5. การแตกหัก	19
6. การทดสอบแรงดึงของโลหะ	22
7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	27
1. วิธีการดำเนินงานวิจัย	27
2. เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	30
1. การวิเคราะห์ผลการทดลองการสึกหรอของ Punch	36
2. ผลการศึกษาความแข็งแรงดึงสูงสุด ชั้นทดสอบรูเดี่ยว	37
3. ผลการศึกษาความแข็งแรงดึงสูงสุด ชั้นทดสอบที่เจาะรูคู่	40
4. ผลการศึกษาความแข็งแรงดึงสูงสุด ชั้นทดสอบที่เจาะรู 3 รู	43
5. การวิเคราะห์การทำนายผลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม	47
6. ผลการทดลองจากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความแข็งแรงดึง	51

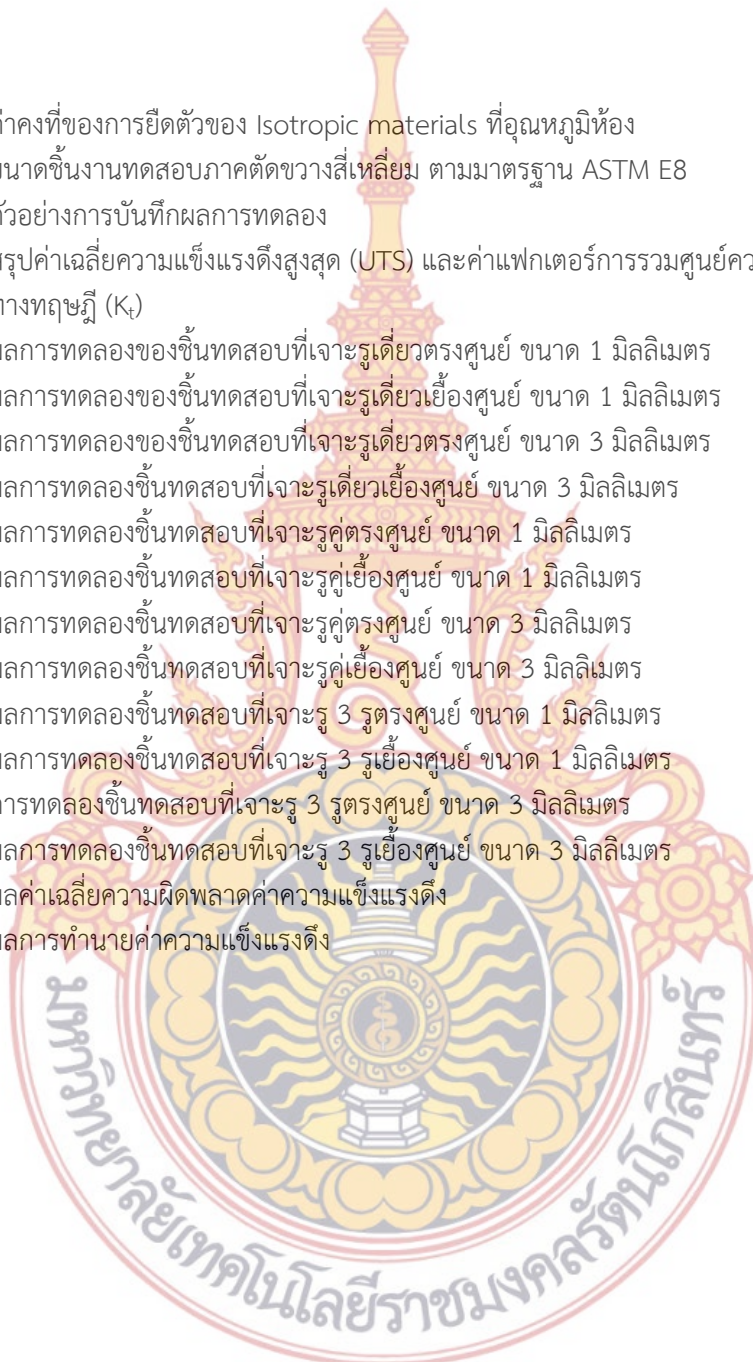
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	55
1. สรุปผลงานวิจัย	55
2. ข้อเสนอแนะ	55
บรรณานุกรม	56
ภาคผนวก ก. ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึง	57
ภาคผนวก ข. กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึง	63
ภาคผนวก ค. การเขียนโปรแกรม MATLAB	105
ประวัติผู้วิจัย	115



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
1	ค่าคงที่ของการยึดตัวของ Isotropic materials ที่อุณหภูมิห้อง	23
2	ขนาดชิ้นงานทดสอบภาคตัดขวางสี่เหลี่ยม ตามมาตรฐาน ASTM E8	28
3	ตัวอย่างการบันทึกผลการทดลอง	32
4	สรุปค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงสูงสุด (UTS) และค่าแฟกเตอร์การรวมศูนย์ความเค้นทางทฤษฎี (K_t)	36
5	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร	37
6	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเอียงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร	37
7	ผลการทดลองของชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร	38
8	ผลการทดลองชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเอียงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร	39
9	ผลการทดลองชิ้นทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร	40
10	ผลการทดลองชิ้นทดสอบที่เจาะรูคู่เอียงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร	40
11	ผลการทดลองชิ้นทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร	41
12	ผลการทดลองชิ้นทดสอบที่เจาะรูคู่เอียงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร	42
13	ผลการทดลองชิ้นทดสอบที่เจาะรู 3 รูตรงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร	43
14	ผลการทดลองชิ้นทดสอบที่เจาะรู 3 รูเอียงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร	43
15	ผลการทดลองชิ้นทดสอบที่เจาะรู 3 รูตรงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร	44
16	ผลการทดลองชิ้นทดสอบที่เจาะรู 3 รูเอียงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร	44
17	ผลค่าเฉลี่ยความผิดพลาดค่าความแข็งแรงดึง	47
18	ผลการทำนายค่าความแข็งแรงดึง	51



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แบบจำลองแบบโพรพาเกชัน	4
2	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว	5
3	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	6
4	การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของโครงข่าย N ชั้น	7
5	การทดสอบแรงดึงในแนวเส้นตรงทิศตรงกันข้าม	9
6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดทางวิศวกรรม	10
7	ความเค้น - ความเครียดของเหล็กกล้า	11
8	การหาค่าความเค้นพิสูจน์	13
9	การรวมศูนย์ความเค้นเกิดโดยรูตรงกลาง	15
10	การรวมศูนย์ความเค้นที่รูเจาะวงรี	16
11	การรวมศูนย์ความเค้นที่รูเจาะรูเดียวตรงศูนย์	17
12	การรวมศูนย์ความเค้นที่รูเจาะรูคู่ตรงศูนย์	18
13	การรวมศูนย์ความเค้นที่รูเจาะ 3 รูตรงศูนย์	19
14	การรวมศูนย์ความเค้นที่รูเจาะรูเดียวเอียงศูนย์	19
15	รูปแบบลักษณะการแตกหัก	21
16	ขั้นตอนการแตกแบบถั่วและโคน	21
17	รอยตำหนิรูปตัววี ที่เป็นลักษณะการแตกแบบเปราะ	22
18	ชิ้นงานทดสอบที่ไม่มีการเจาะรู	28
19	ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูเดียวตรงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร	28
20	ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูเดียวเอียงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร	28
21	ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร	29
22	ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร	29
23	ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูสามรูตรงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร	29
24	ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูสามรูเอียงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร	30
25	ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูเดียวตรงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร	30
26	ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูเดียวเอียงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร	30
27	ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร	31
28	ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูคู่เอียงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร	31
29	ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูสามรูตรงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร	31
30	ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูสามรูเอียงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร	32
31	เครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุ	34
32	ลักษณะชิ้นงานทดสอบ	35

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
33	เวอร์เนียร์คาร์ลิปเปอร์	35
34	ผลการทดลองค่า UTS เมื่อเจาะรูเดี่ยว ขนาด \varnothing 1 มิลลิเมตร	38
35	ผลการทดลองค่า UTS เมื่อเจาะรูเดี่ยว ขนาด \varnothing 3 มิลลิเมตร	39
36	ผลการทดลองค่า UTS เมื่อเจาะรูคู่ ขนาด \varnothing 1 มิลลิเมตร	41
37	ผลการทดลองค่า UTS เมื่อเจาะรูคู่ ขนาด \varnothing 3 มิลลิเมตร	42
38	ผลการทดลองค่า UTS เมื่อเจาะรู 3 รู ขนาด \varnothing 1 มิลลิเมตร	43
39	ผลการทดลองค่า UTS เมื่อเจาะรู 3 รู \varnothing 3 มิลลิเมตร	45
40	ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด \varnothing 3 มิลลิเมตร	46
41	ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด \varnothing 3 มิลลิเมตร	46
42	ความผิดพลาดจากการทำนายผลค่าความแข็งแรงดึง รวม 96 ชุด	50
43	ความผิดพลาดจากการทำนายผลค่าความแข็งแรงดึง ที่ยังไม่ได้ทำการทดลอง	53
44	สมรรถนะการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม	53
45	โปรแกรม MATLAB R2009a	106
46	หน้าต่างของโปรแกรม MATLAB	107
47	หน้าต่างของ M-File	107
48	การสร้างเมตริกซ์อินพุต	108
49	การสร้างเมตริกซ์เอาต์พุต	108
50	การบันทึก เลือก Debug => Save File and Run	109
51	การเขียนโปรแกรมสำหรับการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม	110
52	การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม 1	110
53	การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม 2	111
54	สมรรถนะของการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม	111
55	การ SIMULINK	112
56	การสร้างอินพุตของเงื่อนไขที่เหลือ	112
57	การบันทึก Debug => Save File and Run	113
58	การทำนายโดยการ SIMULINK	113
59	ผลทำนายโดยโครงข่ายประสาทเทียม	114

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความจำเป็นในภาคอุตสาหกรรมได้มีการพัฒนาและสร้างสรรค์ เพื่อให้มีศักยภาพด้านการผลิตเพื่อลดต้นทุนต่างๆ ในการผลิตที่เกิดขึ้นจากการผลิต ความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีจึงก่อให้เกิดการพัฒนาและการค้นคว้านวัตกรรมใหม่ๆ ที่มีส่วนช่วยในการผลิตและทางเลือกสำหรับการเลือกวัสดุที่นำมาใช้งาน จึงทำให้เกิดการออกแบบและเลือกใช้วัสดุให้เหมาะกับการนำไปใช้งาน จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการผลิตชิ้นส่วนในภาคอุตสาหกรรม

โครงสร้างและชิ้นส่วนต่างๆ ในทางวิศวกรรมที่ประยุกต์ไปใช้ต้องเจาะรูทำร่องทำบ่าเพื่อใช้ประโยชน์เช่น เพื่อสวมสลักหรือสกรูเพื่อการจับยึด ปัจจัยเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นสาเหตุของการเกิดจุดรวมความเค้นเมื่อได้รับภาระที่กระทำภายใต้แรงดึงจะส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของชิ้นส่วนซึ่งจะลดลงและเป็นสาเหตุของความเสียหายที่จะเกิดขึ้นซึ่งในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) สามารถนำไปใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เพราะมีคุณสมบัติเด่นหลายประการ ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ชิ้นส่วนเครื่องจักร ชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น โดยก่อนที่จะเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปในการนำไปใช้งานนั้น กระบวนการที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ การทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกลด้านต่างๆ ที่เหมาะสมและต้องรับต่อภาระซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อความปลอดภัยและความเชื่อถือของผลิตภัณฑ์ด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะใช้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมแบบ Feedback network ในการทำนายผลค่าความแข็งแรงดึงของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 โดยมุ่งเน้นศึกษาความสัมพันธ์ของศูนย์รวมความเค้นกับความแข็งแรงของชิ้นทดสอบ ซึ่งชิ้นทดสอบผ่านการเตรียมให้มีจุดรวมความเค้นที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน เพื่อทดสอบผลกระทบที่มีต่อความแข็งแรงของชิ้นทดสอบและการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทดลองแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุดคือ ชุดแรกใช้เพื่อการฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียมและชุดสองใช้เพื่อทดสอบโครงข่ายประสาทเทียมว่าสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำมากเท่าไรเพื่อจะได้ปรับเปลี่ยนค่าของการฝึกหัดจนทำให้การทำนายผลมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นหรืออยู่ในช่วงความผิดพลาดที่ยอมรับได้โดยการทำนายผลของโครงข่ายประสาทเทียมในการทดลองมีวัตถุประสงค์หลักๆ คือ เป็นเครื่องมือช่วยในการวางแผนในการวิเคราะห์ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานทดสอบ สามารถทำนายค่าความแข็งแรงดึงที่ยังไม่ได้มีการทดลองได้อย่างถูกต้อง ซึ่งจะทำให้สามารถวางแผนการออกแบบการทดลองได้อย่างเหมาะสมและลดเวลาในการทดสอบทำการวิเคราะห์ผลโดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป MINITAB ในส่วนของการเตรียมการทดลองและวิเคราะห์ผลความผิดพลาดจากการทดลอง (Experiment) กับการทำนายผล (Prediction) ความแข็งแรงดึง

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของศูนย์รวมความเค้นรูปแบบต่างๆ ที่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นทดสอบ
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบขนาดและรูปร่างของรูเจาะที่แตกต่างกันต่อความแข็งแรงของชิ้นทดสอบและทำนายผลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม
3. เพื่อลดต้นทุนในการสั่งวัสดุและลดเวลาในการทดสอบ

3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. การฝึกหัดโครงข่ายประสาทเทียม ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB แบ่งออกเป็น อินพุต คือศูนย์รวมความเค้นรูปแบบต่างๆ ความเร็วที่ใช้ทดสอบ ส่วนเอาต์พุต คือ ค่าความแข็งแรงดึง
2. ชิ้นงานทดสอบแรงดึงเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด AISI304 (Austenitic stainless steel AISI 304) ตามมาตรฐาน ASTM E8 (American Standard for Testing and Materials)
3. เครื่องทดสอบแรงดึงยี่ห้อ Zwick รุ่น Z202 ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ มีการปรับค่าให้แตกต่างกัน คือตั้งแต่ 110 mm/min, 160 mm/min, 210 mm/min, 260 mm/min จำนวน 4 ระดับ

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถทราบถึงศูนย์รวมความเค้นรูปแบบต่างๆ ที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงของชิ้นทดสอบ
2. สามารถเปรียบเทียบตำแหน่ง และขนาดของรูเจาะที่มีผลต่อความแข็งแรงดึงของชิ้นทดสอบ
3. สามารถออกแบบและเลือกวัสดุที่ใช้สำหรับการผลิตได้อย่างเหมาะสม
4. สามารถลดต้นทุนในการสั่งวัสดุและลดเวลาในการทดสอบได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network model)

กระบวนการในการคิดคำนวณทางคอมพิวเตอร์แบบใหม่ด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligent: AI) ที่กำลังเป็นที่นิยมในปัจจุบันคือแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งเป็นกระบวนการและวิธีการคำนวณที่พยายามสร้างแบบจำลองโครงสร้าง และหน้าที่การทำงานของสมอง และระบบประสาทมนุษย์เพื่อที่จะให้คอมพิวเตอร์ทำงานในสิ่งที่ทำไม่ได้หรือทำยังไม่ดีพอ เช่นการอ่านหนังสือ การจัดหมวดหมู่สิ่งของ เป็นต้น ซึ่งในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ทางสาขาชีววิทยา และสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับการศึกษารูปแบบการทำงานของสมองและระบบประสาทของมนุษย์ ก็ยังไม่สามารถบรรยายละเอียดได้ทั้งหมดของกลไกการทำงานของสมองและระบบประสาทของมนุษย์ได้ ส่งผลให้นักวิชาการทางด้านวิทยาการคอมพิวเตอร์เสนอรูปแบบและวิธีการจำลองการทำงานของสมองและระบบประสาทของมนุษย์มากมาย โดยมีเป้าหมายที่จะทำให้ความสามารถของแบบจำลองเหมือนการทำงานโดยใช้มนุษย์มากที่สุด

1.1 แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม

แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมนั้นประกอบด้วยโนดหรือหน่วยจำนวนหนึ่งเปรียบเทียบได้กับตัวเซลล์แต่ละหน่วยจะมีการเชื่อมโยงต่อกันและแต่ละการเชื่อมต่อจะมีค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยมูลฐานในการเก็บข้อมูลของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม และจะต้องมีการเรียนรู้เพื่อจะปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักใหม่ บางหน่วยจะมีการเชื่อมต่อกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ซึ่งเป็นส่วนกำหนดข้อมูลในหน่วยของอินพุทหรือหน่วยของเอาต์พุท ค่าถ่วงน้ำหนักจะมีการเปลี่ยนแปลงโดยพยายามที่จะนำค่าอินพุท และค่าเอาต์พุทมาทำการหาความสัมพันธ์กันเพื่อให้แบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมปรับเข้าสู่ทิศทางเดียวกันกับสภาพแวดล้อมของปัญหา

แต่ละหน่วยของประสาทเทียมของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมจะประกอบด้วย อินพุทชุดหนึ่งที่จะเชื่อมต่อไปยังหน่วยอื่น เอาต์พุทชุดหนึ่งที่จะเชื่อมโยงมาจากหน่วยประสาทอื่น ระดับการกระตุ้น ณ สภาวะปัจจุบัน และค่าเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณระดับกระตุ้นที่ช่วงเวลาถัดไปจากค่าอินพุท และค่าถ่วงน้ำหนัก แนวคิดในการสร้างโครงข่ายประสาทเทียมอยู่ที่ว่าในแต่ละหน่วยประสาทจะทำการคำนวณโดยอาศัยค่าอินพุทจากหน่วยที่อยู่ข้างเคียง ในทางปฏิบัติแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมส่วนใหญ่ถูกสร้างขึ้นมาโดยซอฟต์แวร์ และการควบคุมตามเวลาในการปรับเปลี่ยนทุกหน่วยประสาทเทียม ให้เป็นลำดับที่แน่นอน การสร้างโครงข่ายประสาทเทียมประยุกต์ใช้ในงานอย่างหนึ่งอย่างใด ชั้นแรกต้องตัดสินใจได้ว่าจะต้องมีหน่วยประสาททั้งหมดเท่าไร หน่วยประสาทที่เหมาะสมนั้นเป็นอย่างไร และทำอย่างไรหน่วยประสาททั้งหมดจึงสามารถเชื่อมต่อกันในรูปของโครงข่ายได้ ชุดตัวอย่างในการฝึกหัด

เหล่านั้น ใช้อัลกอริทึมในการเรียนรู้เพื่อปรับเปลี่ยนค่าถ่วงน้ำหนักให้กับงานนั้นๆ แล้วจึงใช้ชุดตัวอย่างนำมาตัดสินใจว่าจะเข้ารหัสในชุดของอินพุท และเอาท์พุทของแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียมอย่างไร

1.2 แบบจำลองแบคโพรพาเกชัน (Backpropagation model)

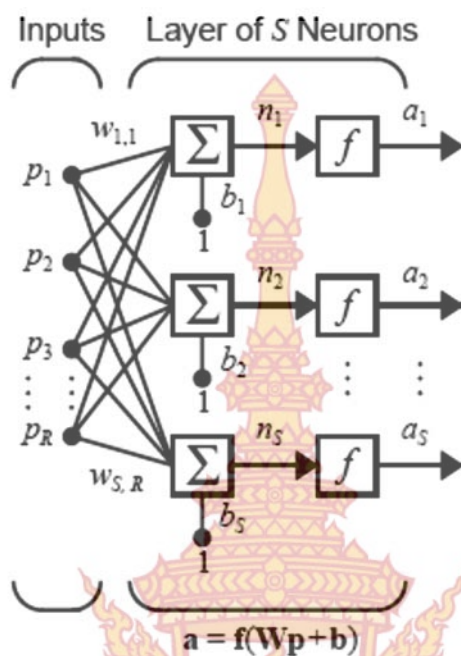
เป็นแบบจำลองที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตัดสินใจแก้ปัญหาได้อย่างกว้างขวาง เป็นแบบจำลองที่ใช้หลักการเรียนรู้แบบมีการสอนเป็นสำคัญ โดยต้องมีชุดข้อมูลที่ดีพอและเหมาะสมในการนำไปใช้ในการฝึกหัดให้กับแบบจำลอง ดังภาพที่ 1 แบ่งออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่ ชั้นอินพุทชั้นที่ซ่อนไว้ และชั้นเอาท์พุท แต่ละชั้นจะรับอินพุทจากเอาท์พุทของชั้นที่อยู่ก่อนหน้า ชั้นที่ถูกซ่อนไว้จะไม่สามารถสังเกตเห็นอินพุทและเอาท์พุทได้โดยตรง เนื่องจากอินพุทของชั้นนี้ไม่ได้รับมาจากภายนอก แต่ได้มาจากการเอาค่าเอาท์พุทของชั้นที่อยู่ก่อนหน้า และเอาท์พุทของชั้นนี้ก็ไม่ได้เป็นเอาท์พุทจริงๆ ที่ต้องการ แต่จะเป็นเอาท์พุทที่จะส่งอินพุทให้กับชั้นถัดไป ชั้นที่ถูกซ่อนไว้จะมีมากกว่า 1 ชั้นก็ได้ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหา



ภาพที่ 1 แบบจำลองแบคโพรพาเกชัน (Backpropagation model) [1]

1.3 โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว (Single layer neural network)

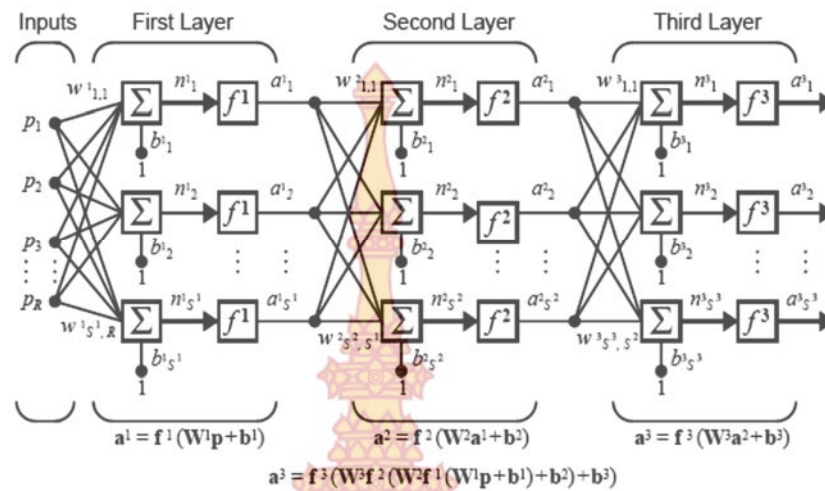
จะประกอบไปด้วยเซลล์ประสาทเทียมที่จัดเรียงตัวอยู่ในชั้นต่างๆ อันได้แก่ชั้นอินพุทและชั้นเอาท์พุท สาเหตุที่จัดโครงสร้างแบบนี้เป็นแบบชั้นเดียว เนื่องมาจากนับชั้นเอาท์พุทเพียงชั้นเดียวเท่านั้นว่าเป็นชั้นของเซลล์ประสาท สำหรับชั้นอินพุทจะไม่พิจารณาว่าเป็นชั้นของเซลล์ประสาทก็เพราะเป็นชั้นที่ไม่มีการประมวลผลใดๆ จะทำหน้าที่เพียงแครับข้อมูลอินพุทเข้ามาและส่งต่อให้กับชั้นถัดไปเท่านั้น ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว [1]

1.4 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น (Multi layer neural network)

โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียวมีข้อจำกัด ไม่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาในบางกรณีได้ นักวิจัยจึงได้นำเสนอรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น ซึ่งมีโครงสร้างจากการจัดเรียงของตัวเซลล์ประสาทตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป (ไม่นับรวมชั้นอินพุต) โดยรูปของการทำงานที่ป้อนไปข้างหน้าซึ่งชั้นที่อยู่ระหว่างชั้นอินพุตและชั้นเอาต์พุต เรียกว่า ชั้นซ่อนซึ่งชั้นซ่อนเป็นตัวเพิ่มความสามารถให้แก่โครงข่าย ทั้งนี้จำนวนของชั้นซ่อนสามารถมีได้มากกว่า 1 ชั้น จำนวนของชั้นซ่อนและจำนวนของนิวรอนในแต่ละชั้นจะมีค่าไม่คงที่ ซึ่งแต่ละชั้นอาจจะมีจำนวนนิวรอนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานดังแสดงในรูปที่ 12 ชุดข้อมูลเอาต์พุตที่ได้จากชั้นหนึ่งจะถูกส่งให้เป็นข้อมูลอินพุตสำหรับชั้นต่อไปโดยค่าเอาต์พุตชั้นสุดท้ายซึ่งก็คือ เอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าความผิดพลาดกับค่าเอาต์พุตที่ต้องการค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้นำไปใช้ในการปรับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียมให้เปลี่ยนแปลงไปในทางที่ถูกต้องมากขึ้น ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น [1]

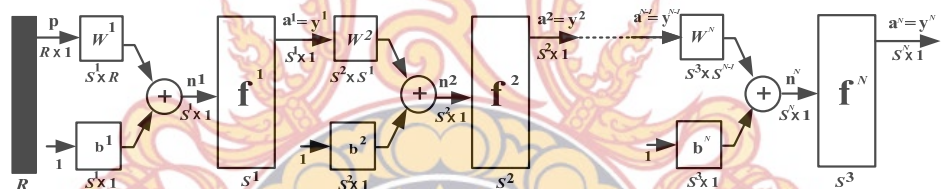
1.5 การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

การเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมจะมีประสิทธิภาพเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับค่าถ่วงน้ำหนักของโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งการสอนโครงข่ายประสาทเทียมก็คือการหาค่าถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมให้แก่โครงข่ายนั้นๆ ซึ่งโครงข่ายประสาทเทียมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการเรียนรู้คือ การเรียนรู้แบบควบคุม (Supervised learning) การเรียนรู้วิธีนี้จะมีการกำหนดคู่ของการฝึกสอนระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตที่ต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียม ที่เรียกว่า เทรนนิ่งแพร์ โครงข่ายประสาทเทียมจะถูกฝึกสอนไปตามจำนวนของคู่ที่ป้อน (จำนวนคู่ของอินพุตกับเอาต์พุตที่ต้องการให้โครงข่ายประสาทเทียม รู้จัก) เอาต์พุตที่คำนวณได้จากโครงข่ายประสาทเทียมจะถูกเปรียบเทียบกับเป้าหมาย ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจะถูกป้อนกลับไปโครงข่ายประสาทเทียมและเปลี่ยนแปลงค่าถ่วงน้ำหนักให้สอดคล้องกับอัลกอริทึมที่ทำให้แนวโน้มของข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างเอาต์พุตกับเป้าหมายโดยเฉลี่ยมีค่าต่ำลง หลังจากการฝึกสอน โครงข่ายประสาทเทียมจะถูกทดสอบโดยให้เฉพาะค่าอินพุต แต่ไม่ให้เอาต์พุตที่ต้องการ และพิจารณาเอาต์พุต ที่ได้จากโครงข่ายประสาทเทียมใกล้เคียงกับค่าเอาต์พุตที่ต้องการหรือไม่ โครงข่ายประสาทเทียมประเภทนี้จะแบ่งออกเป็น Feed-forward neural network และ Radial basis function networks ซึ่งสองชนิดนิยมใช้ในการแก้ปัญหาลักษณะการประมาณค่าฟังก์ชัน และการเรียนรู้ไม่มีการควบคุมการเรียนรู้โดยวิธีนี้จะป้อนข้อมูลอินพุตเข้าสู่โครงข่ายและภายในโครงข่ายจะมีโหนดเอาต์พุตจำนวนหลายโหนดด้วยกัน โดยแต่ละโหนดจะแทนกลุ่มของข้อมูลที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน เมื่อป้อนข้อมูลอินพุตเข้าสู่โครงข่ายๆ จะคำนวณค่าความสัมพันธ์ ที่มีอยู่ภายในเซตของอินพุตโดยอาศัยค่าน้ำหนักเป็นตัวแยกความแตกต่างของข้อมูลอินพุตไปเก็บไว้ในโหนดเอาต์พุตของโครงข่าย การสอนโดยวิธีนี้จะไม่สามารถระบุได้ว่าข้อมูลเอาต์พุตโหนดใดเป็นข้อมูลของกลุ่มไหน ผู้ใช้จะต้องกำหนดเอง ซึ่งต่างจาก

การสอนแบบชี้หน้าที่โครงข่ายสามารถระบุกลุ่มของข้อมูลเอาต์พุตได้อย่างแน่นอน โครงข่ายประสาทเทียมประเภทนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ Kohonen networks ซึ่งนิยมใช้ในการแก้ปัญหาลักษณะการแยกแยะ (Classification problem) และ Hopfield networks ซึ่งนิยมใช้ในการแก้ปัญหาลักษณะการหาค่าที่เหมาะสม

1.6 การแพร่ค่าย้อนกลับ (Back propagation)

ในช่วงเริ่มต้นที่มีการใช้โครงข่ายประสาทเทียม จะมีกฎการเรียนรู้เบื้องต้นเป็นแบบเพอร์เซ็ปตรอน และกฎเรียนรู้แบบวิโตรน์ว-ฮอฟฟ์ ที่ใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งมีโครงสร้างเพียงชั้นเดียวที่มีหลายนิวรอนได้แต่มีข้อจำกัด และสามารถแก้ปัญหาแบ่งแยกได้เชิงเส้นเท่านั้น เพื่อแก้ไขข้อจำกัดจึงมีการพัฒนาการเรียนรู้ใหม่ๆ โดยนำอัลกอริทึมแพร่ค่าย้อนกลับ มาใช้ในการฝึกสอนส่งผลให้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถเรียนรู้ได้ดีขึ้น แก้ปัญหาได้หลากหลายมากขึ้นแม้กระทั่งปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้น และได้รับความนิยมอย่างมาก สามารถใช้กับโครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมแบบป้อนไปข้างหน้าหลายชั้นได้ ดังภาพที่ 4 มีการใช้มากที่สุดในปัจจุบันโดยอยู่บนพื้นฐานอัลกอริทึมแพร่ค่าย้อนกลับดังนี้



ภาพที่ 4 การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ของโครงข่าย N ชั้น [1]

2. มาตรฐานการทดสอบแรงดึง (Tensile test)

2.1 มาตรฐานในการทดสอบ

การทดสอบแรงดึงจำเป็นที่จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานต่างๆ ที่ถูกกำหนดขึ้น เช่น การทดสอบแรงดึงของวัสดุตามมาตรฐานของสมาคมมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย (สมอ.) หรือ American Society for Testing and Materials (ASTM) หรือ International Organization for Standardization (ISO) หรือ Japanese Industrial Standard (JIS) เป็นต้น การประยุกต์ใช้งานโดยการอ้างอิงมาตรฐานในการทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุต่างๆ ดังที่กล่าวมานั้นก็เพื่อต้องการให้ผู้ทดสอบสามารถทำการทดสอบได้อย่างถูกต้องและเพื่อให้ผลการทดสอบที่ได้นั้นมีความถูกต้องและเชื่อถือได้มากที่สุด ถ้าผู้ทดสอบไม่ได้ปฏิบัติตามหลักเกณฑ์ของมาตรฐานในการทดสอบแล้ว ผู้ใช้และผู้ผลิตวัสดุจะไม่ไว้วางใจและเชื่อมั่นในมาตรฐานของคุณภาพของชิ้นงานหรือผลิตภัณฑ์ชนิดนั้นนอกจากนี้ยังอาจก่อให้เกิดความสับสนและความผิดพลาดใน

การใช้งานเกิดขึ้นจำเป็นต้องระลึกอยู่เสมอว่าค่าที่ได้จากผลการทดสอบแรงดึงนั้นมาจากการใช้ชิ้นงานทดสอบที่ได้มาจากส่วนหนึ่งของอุปกรณ์หรือวัสดุ ดังนั้นค่าที่ได้จึงอาจไม่สามารถแสดงความแข็งแรงหรือความเหนียวของอุปกรณ์หรือวัสดุทั้งหมดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิหรือสิ่งแวดล้อมต่างๆในการทดสอบ อย่างไรก็ตามการทดสอบแรงดึงตามวิธีการทดสอบมาตรฐานต่างๆ นั้นสามารถให้ค่าสมบัติทางกลที่เชื่อถือได้อย่างเพียงพอและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป

2.2 ความเค้นและความเครียดทางด้านวิศวกรรม

การทดสอบแรงดึงนั้นจะทำให้เกิดความเค้นและความเครียดในชิ้นงานทดสอบ ความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นนี้พิจารณาว่าเป็นความเค้นทางวิศวกรรมและความเครียดทางวิศวกรรมความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการที่ชิ้นงานถูกดึงด้วยแรงดึงอย่างช้าๆ ในแนวแกน โดยขนาดแรงดึงและความยาวของชิ้นงานจะเปลี่ยนไปในแต่ละช่วงของการทดสอบ

ความเค้นทางวิศวกรรม

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

โดยที่ σ = ความเค้นทางวิศวกรรม
 F = แรงดึง
 A_0 = พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้นของชิ้นงาน

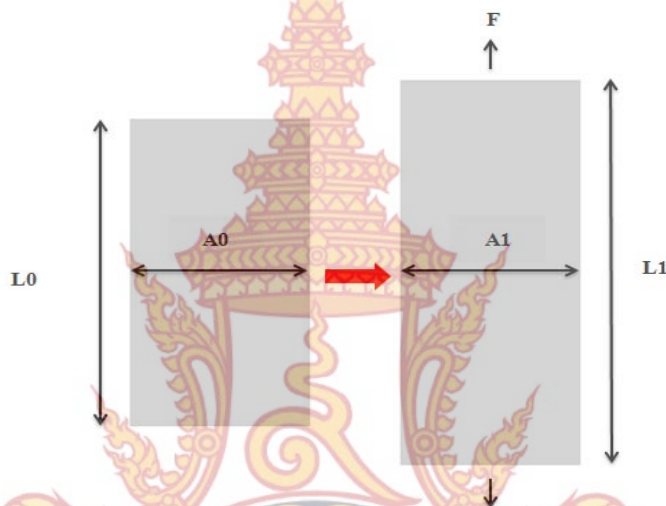
ความเครียดทางวิศวกรรม

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \quad (2)$$

โดยที่ ϵ = ความเครียดทางวิศวกรรม
 ΔL = ความยาวที่เปลี่ยนไป
 L = ความยาวสุดท้ายของชิ้นงาน
 L_0 = ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงาน

2.3 หลักการและวิธีการทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงเป็นการทดสอบที่ง่าย สะดวก และให้ผลการทดสอบที่แสดงค่าสมบัติทางกลได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นการทดสอบแรงดึงจึงเป็นการทดสอบที่ได้รับความนิยมและเป็นที่รู้จักกันมากที่สุดประเภทหนึ่งในการทดสอบสมบัติทางกลพื้นฐานของวัสดุ การทดสอบแรงดึงนั้นอาศัยหลักการง่ายๆ คือ การให้แรงดึงในแนวเส้นตรงแก่ชิ้นงานทดสอบในทิศตรงกันข้ามจนชิ้นงานนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบถาวร (Plastic deformation) และมีการแตกหักเกิดขึ้นในที่สุดดังแสดงให้เห็น ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การทดสอบแรงดึงในแนวเส้นตรงทิศตรงกันข้าม [2]

โดยทั่วไปสามารถทำการทดสอบแรงดึงกับวัสดุได้เกือบทุกประเภทประเภทของวัสดุที่นิยมใช้ในการทดสอบแรงดึงนั้นได้แก่โลหะและพอลิเมอร์ไม่นิยมทำการทดสอบแรงดึงกับวัสดุประเภทเซรามิกเนื่องจากความยากในการเตรียมชิ้นงานทดสอบ การยึดจับชิ้นงานเข้ากับเครื่องทดสอบ และผลการทดสอบที่ยากแก่การนำไปเปรียบเทียบค่า ทั้งนี้เพราะเซรามิกนั้นเป็นวัสดุที่เปราะมากโดยปกติแล้วนิยมทำการทดสอบเซรามิกโดยใช้วิธีการดัดงอแบบสามจุดหรือสี่จุด

2.4 ประเภทของการทดสอบแรงดึง

อาจแบ่งประเภทของการทดสอบแรงดึงออกได้เป็นสามประเภท ได้แก่ การทดสอบแรงดึงแบบอัตราการยืดตัวคงที่ การทดสอบแรงดึงแบบอัตราแรงดึงคงที่และการทดสอบแรงดึงแบบอัตราความเครียดคงที่

- การทดสอบแรงดึงแบบอัตราการยืดตัวคงที่ (Constant rate of extension machines) การทดสอบแรงดึงแบบอัตราการยืดตัวคงที่เป็นการทดสอบที่พบบ่อยที่สุดในการทดสอบแรงดึงทั้งหมด การทดสอบประเภทนี้จะกำหนดให้มีการเคลื่อนที่ของคרוสเสดที่ความเร็วคงที่โดยไม่สนใจขนาดของแรง

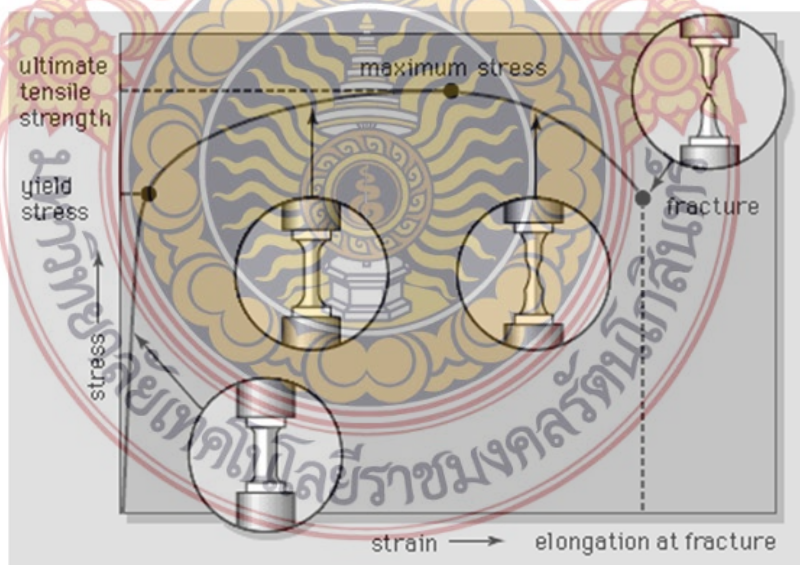
ดึงทำให้ ส่งผลให้ชิ้นงานทดสอบมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในอัตราเร็วคงที่

- การทดสอบแรงดึงแบบอัตราแรงดึงคงที่ (Constant load rate devices) การทดสอบประเภทนี้จะกำหนดให้แรงที่ใช้ในการดึงชิ้นงานทดสอบมีอัตราคงที่โดยปกติระบบขับเคลื่อนของเครื่องทดสอบอเนกประสงค์จะตอบสนองต่ออัตราแรงดึงคงที่เมื่อชิ้นงานทดสอบมีการครากเกิดขึ้น

- การทดสอบแรงดึงแบบอัตราความเครียดคงที่ (Constant strain rate testing) การทดสอบแรงดึงแบบอัตราความเครียดคงที่ จะใช้การเปลี่ยนแปลงขนาดของความเครียดที่วัดได้จากเครื่องทดสอบอเนกประสงค์เป็นข้อมูลป้อนกลับเพื่อให้เครื่องทดสอบสามารถกำหนดอัตราความเครียดคงที่ได้ ในการทดสอบประเภทนี้เครื่องทดสอบจะตอบสนองต่ออัตราความเครียดคงที่เมื่อชิ้นงานทดสอบมีการครากเกิดขึ้น

2.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบแรงดึง

ผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงจะถูกแสดงออกมาในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงกับการยืดตัวของชิ้นงานทดสอบ และสามารถนำผลที่ได้นี้มาหาค่าความเค้นและความเครียด ดังภาพที่ 6 ซึ่งนำไปสู่การคำนวณหาค่าสมบัติทางกลต่างๆของชิ้นงานทดสอบได้ ค่าสมบัติทางกลเหล่านี้ได้แก่ โมดูลัสความเค้นจุดคราก ชีตจำกัดการแปรผันตรง ความต้านแรงดึง ความเค้นประลัย ความเค้นจริงและความเครียดจริง



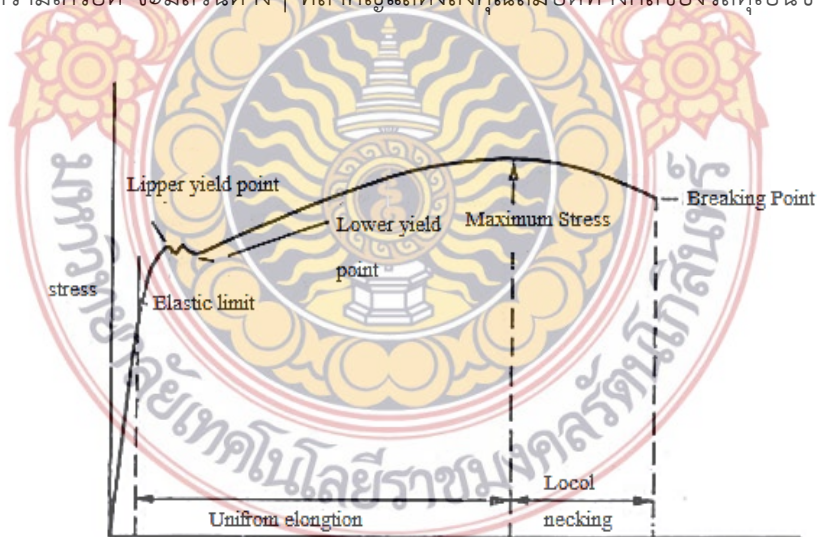
ภาพที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดทางวิศวกรรม [2]

2.6 รายงานผลการทดสอบแรงดึง

โดยส่วนใหญ่เครื่องควบคุมคอมพิวเตอร์จะให้ค่าต่างๆที่วัดได้มาจากการทดสอบแรงดึง ค่าเหล่านี้ได้แก่ ค่าแรงดึงและค่าระยะยืดที่เกิดจากอัตราเร็วในการดึงและอุณหภูมิในระหว่างการทดสอบ หนึ่งๆ ต้องทำการวัดและบันทึกข้อมูลของขนาดของสำหรับชิ้นงานทดสอบทั้งก่อนและหลังการทดสอบ สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือวัดขนาดมาตรฐานทั่วไป เช่น เวอร์เนียคาลิเปอร์ ข้อมูลที่ได้รับทั้งหมดนี้จะถูกใช้ในการวิเคราะห์หาค่าต่างๆ เช่น ความแข็งแรงจุดคราก ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ค่าความแข็งแรง ณ จุดแตกหัก เปอร์เซ็นต์การยืดตัว เปอร์เซ็นต์การลดลงของขนาดของพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน ค่ามอดูลัส ค่าอัตราส่วนของปัวซอง วิธีการมาตรฐานสำหรับการหาค่าเหล่านี้สามารถดูได้จาก ASTM E8, ASTM E 517, ASTM E 646, ASTM E 111, ASTM E 231 และ ASTM E 132 การรายงานผลการทดสอบแรงดึงเป็นความรับผิดชอบของผู้ทำการทดสอบ รายงานผลการทดสอบที่ดีจะช่วยให้ผู้อ่านรายงานสามารถทำการประเมินและนำข้อมูลที่ได้ไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดสอบแรงดึงทั้งหมดควรอยู่ในรูปแบบของรายงานที่สมบูรณ์ สามารถดูมาตรฐานการรายงานผลการทดสอบได้จาก ASTM E 21

3. ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ในการทดสอบโดยการดึงนั้น จะทำให้เกิดความเค้นและความเครียดในชิ้นทดสอบ แล้วก็นำค่าทั้งสองนี้มาเขียนแผนภาพ โดยให้ค่าทางแกนนอนแทนความเครียด แกนตั้งแทนความเค้น แผนภาพนี้จึงเป็นแผนภาพความเค้น-ความเครียด แต่ในการทดสอบจริงนั้น แผนภาพที่เขียนจากเครื่องทดสอบจะเป็นแผนภาพของแรงกับการยืด ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับแผนภาพ ความเค้นกับความเครียด สำหรับแผนภาพความเค้นกับความเครียด จะมีส่วนต่างๆ ที่สำคัญแสดงถึงคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นช่วงๆ ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ความเค้น- ความเครียดของเหล็กกล้า [2]

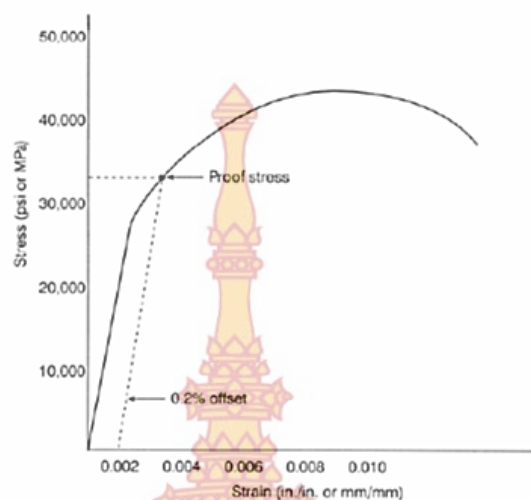
- พิกัดความเป็นสัดส่วน (Proportional limit) หมายถึงค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุรับไว้ได้ โดยที่ความเค้นยังเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเครียด ดังนั้นกราฟในช่วงแรกนี้จะเป็นเส้นตรง และวัสดุยังคงลักษณะ ตามกฎของฮุก

- พิกัดความยืดหยุ่น (Elastic limit) หมายถึงพฤติกรรมของวัสดุที่ได้รับความเค้น ซึ่งอยู่ภายในช่วงการคืนรูปไม่เกิดการแปรรูปอย่างถาวร คือเมื่อปล่อยแรงดึง วัสดุก็จะหดกลับสู่สภาพเดิม ในการทดสอบบางครั้งการที่จะกำหนดพิกัดความยืดหยุ่นในกราฟทำได้ยาก เพราะโลหะหรือวัสดุบางชนิด จะมีพิกัดความยืดหยุ่นเกือบจะเป็นตำแหน่งเดียวกันในกราฟ แต่โดยส่วนมากแล้ว พิกัดความยืดหยุ่นจะอยู่เหนือพิกัดความเป็นสัดส่วนเล็กน้อย

- จุดคราก (Yield point) เมื่อวัสดุที่ได้รับความกระทำเกินพิกัดความยืดหยุ่น ก็จะมีการแปรรูปอย่างถาวรจนถึงจุดหนึ่งที่ทำให้วัสดุแปรรูปง่ายคือ อัตราการยืดตัวจะสูงกว่าตอนแรก เมื่อเป็นเช่นนี้วัสดุจะแปรรูปต่างๆ ที่ความเค้นคงที่จึงเรียกที่จุดนี้ว่า จุดครากบนสำหรับเหล็กกล้าแล้ว ในช่วงนี้จะมีอัตราการยืดตัวสูงมาก เร็วกว่าแรงดึงขณะทดสอบจะเพิ่มขึ้นได้ทัน จึงเหมือนว่า การดึงในช่วงนี้ใช้แรงดึงน้อยกว่าเดิม จึงมีจุดครากล่างในแผนภาพดังรูป ซึ่งจะเกิดขึ้นกับวัสดุที่มีความเหนียวมาก เช่น เหล็กกล้า หรืออลูมิเนียมเท่านั้น

- ความเค้นคราก (Yield stress) หมายถึง ความเค้นที่จุดคราก และความเค้นที่จะทำให้วัสดุแปรรูปอย่างถาวรและดำเนินต่อไปด้วยความเค้นซึ่งเกือบคงที่ สำหรับเหล็กกล้าจะมีทั้งความเค้นครากบนและความเค้นครากล่าง

- ความเค้นพิสูจน์ (Proof stress) สำหรับโลหะหลายชนิด เช่น อลูมิเนียม ทองเหลือง ทองแดง และเหล็กหล่อ จะมีแผนภาพความเค้น-ความเครียด ที่ไม่แสดงจุดครากให้เห็น ดังนั้นการกำหนดความเค้นครากก็ทำได้ยาก แต่ก็อาศัยคุณสมบัติที่เรียกว่า ความเค้นพิสูจน์ แทนได้ ซึ่งหมายถึง ความเค้นที่วัดโดยกำหนดให้มีการแปรรูปถาวรค่าหนึ่ง ซึ่งส่วนมากจะใช้ 0.2% Strain แล้วก็กำหนดค่านี้แทนความเครียดในแผนภาพ ความเค้น-ความเครียด แล้วก็ลากเส้นตรงขนาน กับส่วนที่เป็นเส้นตรงในช่วงพิกัดความเป็นสัดส่วนไปตัดกับเส้นกราฟที่ได้ ก็จะเป็นค่าความเค้นพิสูจน์หรือความเค้นครากด้วย ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 การหาค่าความเค้นพิสูจน์ [2]

- ความแข็งแรงสูงสุด (Ultimate strength) ความเค้นสูงสุด ที่วัสดุรับไว้ได้ก่อนที่จะขาดแตกหรือหักในทางวิศวกรรมในทางบางทีก็เรียกว่าความแข็งแรงดึงสูงสุดความแข็งแรงอัดสูงสุดแล้วแต่ลักษณะของแรงที่มากกระทำกับวัสดุนั้น ถ้าดูในแผนภาพความเค้น-ความเครียดของเหล็กกล้า จะพบว่าค่าความแข็งแรงสูงสุด จะอยู่ที่จุดสูงสุดของกราฟ ถัดจากจุดนี้ไปค่าความเค้นจะลดลงเรื่อยๆ และจะเริ่มสังเกตเห็นว่าการครากตัวของพื้นที่หน้าตัด จนในที่สุดวัสดุจะขาดหรือแตกหักที่จุดแตกหัก เรียกความแข็งแรงที่จุดวัสดุแตกหักว่า Breaking strength

- เปอร์เซ็นต์ความยืด (Percent elongation) หมายถึงความยืดถาวรของความยาวพิกัดหลังจากขึ้นทดสอบ คิดเป็นร้อยละของความยาวพิกัดเดิมดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความยืด} = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 \quad (3)$$

$$\begin{array}{l} \text{เมื่อ } L_0 = \text{ความยาวพิกัดเดิม} \\ L_f = \text{ความยาวพิกัดสุดท้าย} \end{array}$$

- การลดลงของพื้นที่หน้าตัด (Reduction in area) หมายถึงการที่พื้นที่ภาคตัดขวางของชิ้นทดสอบลดลงมากที่สุดหลังจากขึ้นทดสอบขาดโดยการดึง คิดเป็นร้อยละของพื้นที่ภาคตัดขวางเดิม ดังนี้

$$\text{การลดลงของพื้นที่หน้าตัด} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } A_0 &= \text{พื้นที่ภาคตัดขวางเดิมภายในความยาวพักด} \\ A_f &= \text{พื้นที่ภาคตัดขวางน้อยที่สุดหลังจากขาด} \end{aligned}$$

4. ทฤษฎีศูนย์ความเค้น (Stress concentration)

ความเค้นจริงๆ ที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนในขณะที่มีแรงกระทำอาจจะสูงกว่าที่คำนวณได้ เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องในชิ้นส่วนโลหะเพื่อประโยชน์ใช้สอยต่างๆ เช่น เจาะรู ทำบ่า ทำร่อง และเมื่อขนาดพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงไปอย่างกะทันหัน เป็นบ่อเกิดแห่งการมีความเค้นเพิ่มขึ้นทั้งสิ้น ลักษณะดังกล่าวนี้เราเรียกว่าเป็นการเพิ่มความเค้นจุดที่มีความเค้นเพิ่มขึ้นมากนี้เรียกว่าการรวมศูนย์ความเค้นหรือบางตำราเรียกว่าความเค้นหนาแน่น ซึ่งสามารถวัดได้ในรูปของ แฟกเตอร์ของจตุรวมความเค้นทางทฤษฎีดังนี้

$$K_t = \frac{\sigma_0}{\sigma_{\max}} \quad (5)$$

เมื่อ K_t คือ แฟกเตอร์ของจตุรวมความเค้นทางทฤษฎีของแรงดึง

σ_{\max} คือ ความเค้นสูงสุดของแรงดึง

σ_0 คือ ความเค้นระบุของแรงดึงโดยคำนวณจากภาคตัดขวางสุทธิแต่ในบางครั้งอาจใช้พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด

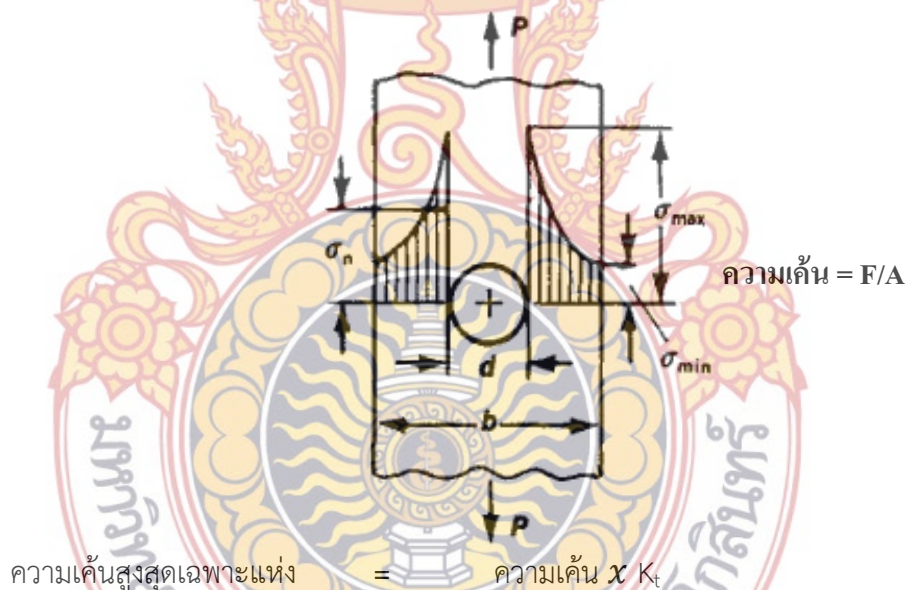
ค่า K_t เป็นตัววัดระดับความเค้นภายนอก ที่ถูกขยายสะสมที่บริเวณปลายรอยแตก การขยายรวมตัวของความเค้นนี้ ไม่จำกัดอยู่แต่เฉพาะระดับจุลภาค อาจเกิดขึ้นในระดับมหภาค ของวัสดุที่มีความไม่สม่ำเสมอภายในได้ด้วย เช่น รูขนาดใหญ่ที่มุมแหลม และที่รอยบากในชิ้นโครงสร้างขนาดใหญ่ ยิ่งไปกว่านั้น บริเวณเพิ่มความเค้นเหล่านี้จะส่งผลรุนแรงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวัสดุเปราะ จะได้รับผลกระทบมากกว่าในวัสดุเหนียว ในกรณีวัสดุเหนียวการแปรรูปถาวรเกิดขึ้นเมื่อความเค้นสูงสุด มีค่าสูงเกินกว่าความแข็งแรงจุดคราก หลักการทางกลศาสตร์การแตกหัก จะพบว่าความเค้นวิกฤต (σ_0) ที่ต้องใช้เพื่อให้รอยแตกขยายตัวในวัสดุเปราะ สามารถเขียนได้ในรูปแบบดังนี้

$$\sigma_0 = \left(\frac{2E y_2}{\pi a} \right) \quad (6)$$

วัสดุเปราะทุกชนิดจะมีรูปและตำหนิเล็กๆ ขนาด รูปร่างและการเรียงตัวแบบต่างๆ อยู่ปริมาณหนึ่ง เมื่อความเค้นดึงที่ปลายรอยแตกด้านหนึ่ง มีขนาดเกินกว่าค่าความเค้นวิกฤต รอยแตกก็จะเกิดขึ้นและขยายตัวจนเกิดการแตกหัก ในวัสดุวิสเกอร์ทั้งประเภทโลหะ และเซรามิก ซึ่งปราศจากข้อบกพร่อง และมีขนาดเล็กมาก จะมีความต้านทานต่อการแตกหักเข้าใกล้ค่าทางทฤษฎี

ความเค้นสูงสุดเฉพาะแห่งจะได้รับการคำนวณหรือการทดลอง ความเค้นทั่วไปจะเกิดขึ้นที่บริเวณพื้นที่หน้าตัดน้อยที่สุด เช่น บริเวณใกล้เคียงกับจุดเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดโดยปกติคำนวณจาก F/A ดังภาพที่ 9

$$K_t = \frac{\text{ความเค้นสูงสุดเฉพาะแห่ง}}{\text{ความเค้นทั่วไป}} = \text{แฟคเตอร์ของจุดรวมความเค้นทางทฤษฎี}$$

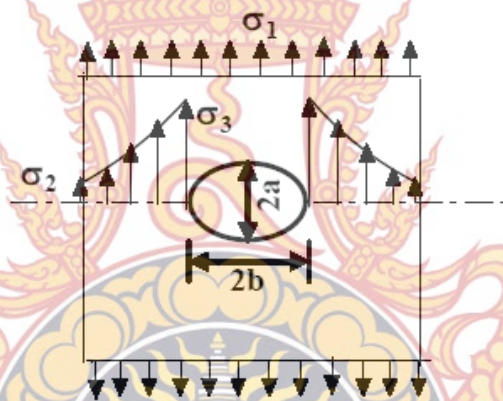


ภาพที่ 9 การรวมศูนย์ความเค้นเกิดโดยรูตรงกลาง [3]

การรวมศูนย์ความเค้นนี้เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการแตกแบบเปราะ หรือการแตกเนื่องจกความล้าซึ่งนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุของโครงสร้างที่ใช้ในการเชื่อมได้ การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุ เช่น การแข็งตัว และการเปราะจะเกิดที่รอยเชื่อมเนื่องจากผลทางความร้อนของการเชื่อม ดังนั้นที่รอยเชื่อมจะเกิดการแตกได้ง่ายกว่าที่เนื้อโลหะพื้นฐาน ดังนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องออกแบบและเลือกใช้

วิธีการเชื่อมที่จะไม่ทำให้เกิดการรวมศูนย์ความเค้นขึ้นได้ เนื่องจากการรวมศูนย์ความเค้นจะเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการแตกหัก

ในสมการพื้นฐานที่ใช้คำนวณค่าความเค้นซึ่งเกิดขึ้นจากการดึง การอัด การบิด ได้จากการสมมุติว่าก่อนวัตถุที่พิจารณามีพื้นที่ภาคตัดขวางเท่ากันตลอด แต่ชิ้นส่วนเครื่องจักรต่างๆ มักจะมีการเปลี่ยนแปลงภาคตัดขวาง เช่นเพลาจจะต้องมีบ่าเพื่อสวมแบริ่ง และรับแรงตามแนวแกนหรือจะต้องมีร่องลิ้นสำหรับยึดฟูล่ เฟืองหรือจานโซ่ เป็นต้น สลักเกลียวที่มีหัวปลายหนึ่งและเกลียวอยู่อีกปลายหนึ่งซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของภาคตัดขวางอย่างทันทีทันใด ชิ้นส่วนอื่นๆ ซึ่งต้องมีรู ร่องน้ำมัน และรอยบากรูปร่างต่างๆ ค่าของความเค้นที่บริเวณของชิ้นงาน ซึ่งภาคตัดขวางเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดหรือขาดความต่อเนื่องดังกล่าวจะสูงขึ้นกว่าบริเวณใกล้เคียงและการกระจายตัวของความเค้นจะไม่เหมือนกับที่หาได้จากสมการพื้นฐาน



ภาพที่ 10 การรวมศูนย์ความเค้นที่รูเจาะวงรี [3]

จากตัวอย่างในภาพที่ 10 เป็นแผ่นราบมีการเจาะวงรีได้รับความเค้นดึง ขนาดของรูเจาะเล็กมากเมื่อเทียบกับความกว้างของแผ่นราบ ให้ระยะ $2b$ เป็นความยาวของแกนยาว และ $2a$ เป็นความยาวของแกนสั้นของรูวงรี ที่ขอบรูตรงปลายแกนยาวจะเกิดค่าความเค้นสูงสุดตามสมการ

$$\sigma_{\max} = \sigma \left(1 + 2\frac{a}{b}\right) \quad (7)$$

ซึ่งจะได้ว่าค่าแฟคเตอร์ของจตุรรวมความเค้นในกรณีนี้คือ

$$K_t = 1 + 2\frac{a}{b} \quad (8)$$

ในกรณีทาง $a=b$ จะเป็นกรณีวงกลม

$$K_t = 3 \quad (9)$$

ในกรณีถ้า $a \approx 0$

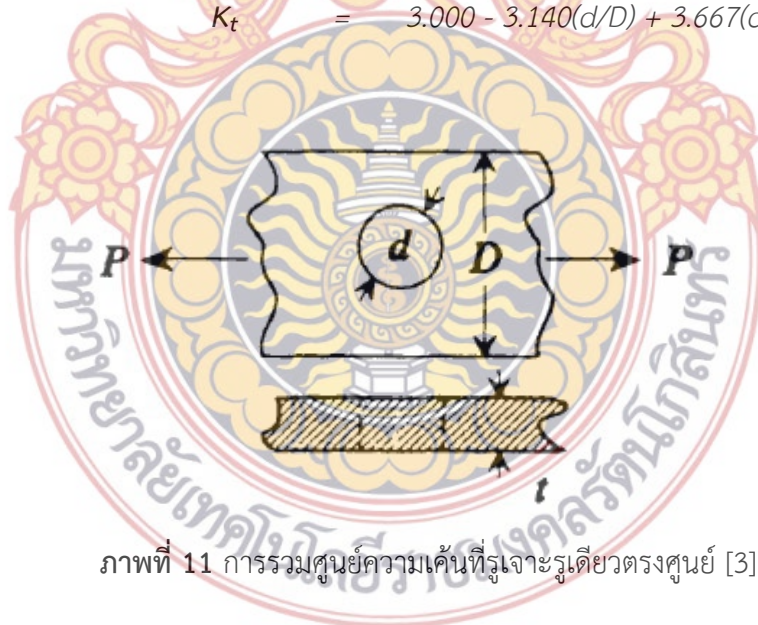
$$K_t = \infty \quad (10)$$

จะส่งผลให้ σ_{\max} มีค่าอนันต์ ซึ่งเป็นค่าทางทฤษฎีเท่านั้น เนื่องจากเมื่อความเค้นสูงสุดมีค่าถึงจุดครากของวัสดุจะเกิดการไหลแบบพลาสติกในบริเวณขอบรูตรงปลายแกนยาวทำให้ σ_{\max} ต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี และในกรณีถ้า $b \approx 0$

$$K_t = 1 \text{ แสดงว่าไม่เกิดค่ารวมศูนย์ความเค้น}$$

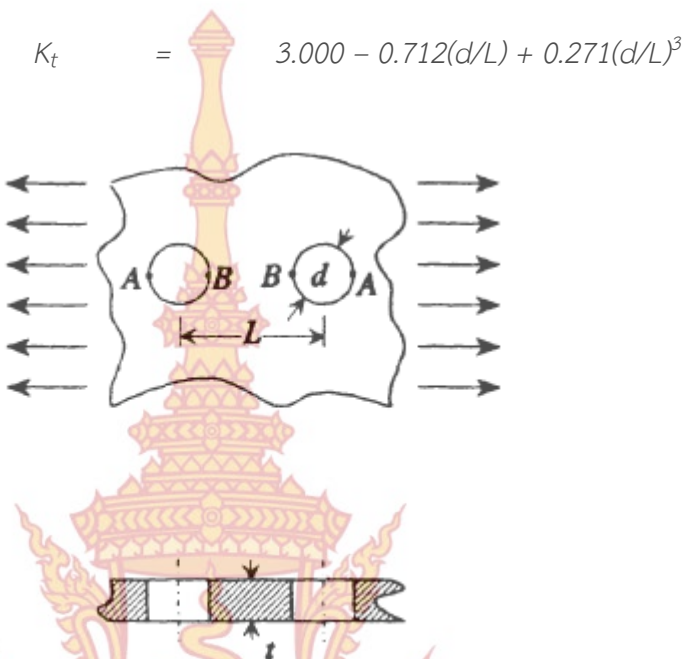
ในกรณีที่ไม่ทราบค่า σ_0 สามารถหาค่าศูนย์รวมความเค้นทางทฤษฎีได้ดังนี้ รูเจาะวงกลมรูเดียวกลางแผ่นราบ ดังภาพที่ 11

$$K_t = 3.000 - 3.140(d/D) + 3.667(d/D)^2 - 1.527(d/D)^3$$



ภาพที่ 11 การรวมศูนย์ความเค้นที่รูเจาะรูเดียวตรงศูนย์ [3]

รูเจาะวงกลมสองรูในแผ่นราบไม่มีที่สิ้นสุด

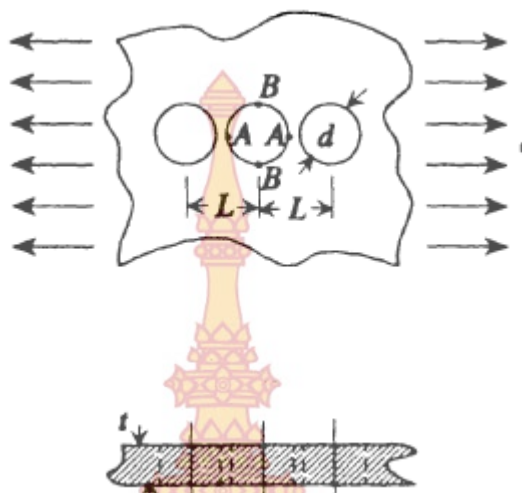


ภาพที่ 12 การรวมศูนย์ความเค้นที่รูเจาะรูคู่ตรงศูนย์ [3]

รูเจาะวงกลมแถวเดียวในแผ่นราบไม่มีที่สิ้นสุด

$$K_t = 3.000 - 3.095(d/L) + 0.309(d/L)^2 + 0.786(d/L)^3$$





ภาพที่ 13 การรวมศูนย์ความเค้นที่รูเจาะ 3 รูตรงศูนย์ [3]

รูวงกลมเยื้องศูนย์ในแผ่นราบ

$$K_t = 3.000 - 3.140(d/2c) + 3.667(d/2c)^2 - 1.527(d/2c)^3$$



ภาพที่ 14 การรวมศูนย์ความเค้นที่รูเจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์ [3]

5. การแตกหัก (Fracture)

การแตกหักแบบธรรมดา คือการแยกส่วนของชิ้นงานออกเป็นสองหรือมากกว่าสองชิ้น เนื่องจากได้รับความเค้นแบบStatic (มีแรงกระทำคงที่หรือเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ เมื่อเวลาผ่านไป) ที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อเทียบกับจุดหลอมเหลวของวัสดุ ความเค้นที่กระทำอาจจะเป็นความเค้นดึง อัด หรือ บิด แต่ในตอนนี้

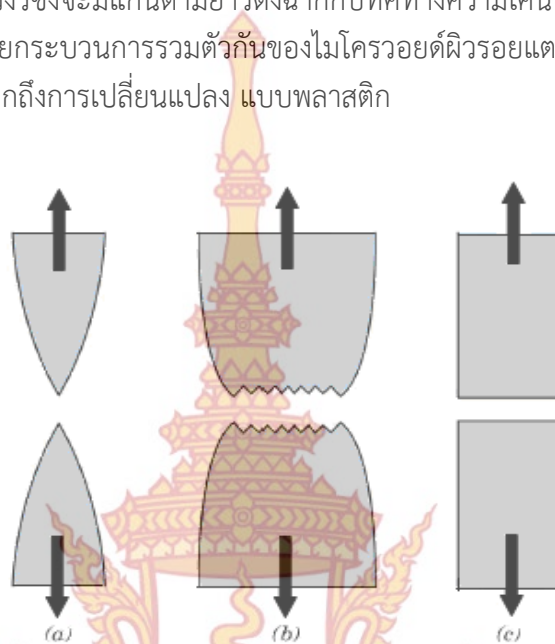
จะกล่าวเฉพาะ การแตกหักที่มีสาเหตุจากแรงดึงแนวเดียว การแตกหักในวัสดุทางวิศวกรรมมีอยู่ 2 ชนิด คือการแตกหักแบบเหนียวและแบบเปราะ

การแบ่งในลักษณะนี้ มาจากความสามารถในการแปรรูปถาวรของวัสดุ วัสดุเหนียวโดยปกติจะสามารถแปรรูปถาวรได้ดีมาก และมีการดูดซับพลังงานสูงก่อนแตกหัก ในทางตรงกันข้าม วัสดุเปราะจะสามารถแปรรูปถาวรได้น้อยหรือไม่ได้เลย และดูดซับพลังงานได้ต่ำทั้งยังแตกหักแบบเปราะอีกด้วย คำว่าเหนียวและเปราะ เป็นคำเชิงเปรียบเทียบเป็นต้น ว่าการแตกหักมีรูปแบบเดียวหรือหลายแบบขึ้นกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นด้วย ความเหนียวอาจจะวัดในเชิงปริมาณในรูปของเปอร์เซ็นต์การยืดตัว และเปอร์เซ็นต์การลดขนาดพื้นที่ที่ยิ่งไปกว่านั้น ความเหนียวยังเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิของวัสดุ อัตราความเครียด และสภาวะความเค้น จะกล่าวถึงปัจจัยที่กำหนดให้วัสดุเหนียวเกิดความเสียหายในลักษณะแบบเปราะ กระบวนการแตกหักเกี่ยวข้องกับขั้นตอน 2 ขั้นตอนการเกิดรอยแตก (Crack formation) และการขยายตัวของรอยแตก (Crack propagation) รูปแบบของการแตกหักโดยส่วนมากขึ้นกับกลไกการขยายตัวของรอยแตก การแตกหักแบบเหนียว เป็นลักษณะที่เกิดขึ้นโดยการแปรรูปถาวรในบริเวณรอบข้างของรอยแตก และจะดำเนินต่อไปอย่างช้าๆ รอยแตกจึงยาวมากขึ้น บางครั้งอาจกล่าวว่ารอยแตกแบบเหนียวนี้คือมันจะต้านทานการขยายตัวไม่ให้เกิดต่อไปถ้าไม่มีความเค้นกระทำเพิ่มขึ้น บางครั้งเราอาจจะเห็นหลักฐานการเปลี่ยนรูปแบบนี้ได้ที่ผิวรอยแตก เช่น การบิดและการฉีกขาดในทางตรงกันข้ามการแตกหักแบบเปราะมีลักษณะของรอยแตกขยายตัวอย่างรวดเร็วมาก และมีการแปรรูปถาวรเกิดร่วมด้วยน้อยมาก รอยแตกแบบนี้จึงไม่เสถียร หมายความว่า การขยายตัวของรอยแตกเมื่อเกิดขึ้นทันทีแล้วก็ขยายตัวต่อไปโดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มความเค้นกระทำอีกหากมีการแตกหักเกิดขึ้น จึงมักต้องการให้เกิดการแตกแบบเหนียวมากกว่า โดยมีเหตุผลสนับสนุน 2 ประการ คือประการแรกการแตกแบบเปราะเกิดขึ้นทันทีโดยปราศจากการเตือนล่วงหน้า สิ่งนี้เป็นผลจากการขยายตัวของรอยแตกรวดเร็วและต่อเนื่องในทางตรงกันข้าม การแตกแบบเหนียวมีการแปรรูปถาวรเกิดขึ้นซึ่งเป็นสัญญาณเตือนว่า การแตกหักจะเกิดขึ้นและทำให้สามารถหามาตรการป้องกันได้ ประการที่สอง คือพลังงานความเครียดที่ต้องใช้ในการแตกหักแบบเหนียวสูงกว่า เพราะโดยปกติวัสดุเหนียวมีความแกร่งสูง

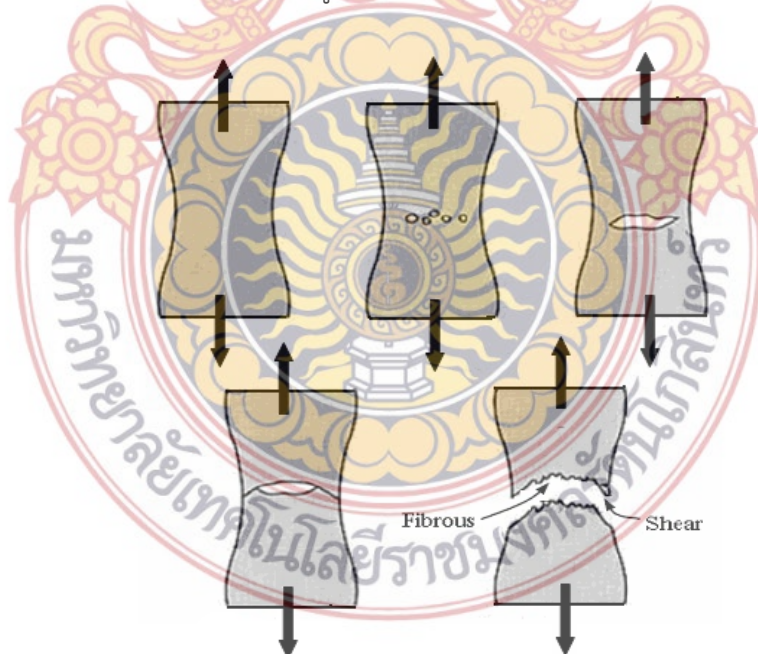
5.1 การแตกหักแบบเหนียว (Ductile fracture)

ผิวรอยแตกแบบเหนียว จะมีลักษณะเฉพาะทั้งในระดับมหภาคและจุลภาค แสดงลักษณะรอยแตกแบบเหนียว 2 ชนิดในระดับมหภาค รอยแตก ดังภาพที่ 15 (a) พบในวัสดุโลหะที่เหนียวมาก เช่น ทองและ ตะกั่วบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิห้อง และพบในวัสดุโลหะ พอลิเมอร์ และแก้ว ต่างๆ ที่อุณหภูมิสูง วัสดุที่มีความเหนียวสูงเหล่านี้เกิดคอขวดเมื่อได้รับแรงกระทำและลดขนาดลงจนแตกหักเป็นปลายแหลม ซึ่งเห็นว่าเป็นการลดขนาดพื้นที่หน้าตัดลง 100% รอยแตกที่พบบ่อยที่สุดในโลหะเหนียว ดังภาพที่ 15 (b) โดยที่เกิดคอขวดในระดับปานกลางก่อนขึ้นงานแตกหักจากกัน กระบวนการแตกหักแยกเป็นหลายขั้นตอนเริ่มแรกเมื่อเกิดคอขวดแล้วรูปหรือช่องว่างขนาดเล็กๆ ระดับจุลภาคหรือ ไมโครรอยด์เกิดขึ้นภายใน

บริเวณภาคตัดขวางของชิ้นงาน เมื่อการเปลี่ยนรูปดำเนินต่อไปเรื่อยๆ เหล่านี้จะขยายตัวใหญ่ขึ้นและรวมตัวกันเป็นรอยแตกรูปร่างรีซึ่งจะมีแกนตามยาวตั้งฉากกับทิศทางความเค้น รอยแตกโตขึ้นในทิศทางที่ขนานกับแกนหลักโดยอาศัยกระบวนการรวมตัวกันของไมโครรอยร้าว รอยแตกจะมีลักษณะไม่เป็นรูปร่างและเหมือนเส้นใย ซึ่งบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลง แบบพลาสติก



ภาพที่ 15 รูปแบบลักษณะการแตกหัก [4]



ภาพที่ 16 ขั้นตอนการแตกแบบฉับและโคน [4]

ขั้นตอนการแตกหักแบบ “ถั่วและโคน” (a) เริ่มเกิดคอขวด (b) การสร้างช่องว่างขนาดเล็ก (c) การรวมตัวของช่องว่างจนกลายเป็นรอยแตก (d) รอยแตกโตต่อไป (e) การแตกหักสุดท้ายแบบเฉือนที่มุม 45° กับทิศทางการดึง สามารถศึกษาข้อมูลรายละเอียดของกลไกการแตกหัก สามารถศึกษาได้จากการตรวจสอบทางภาพถ่ายจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning electron microscopy, SEM) การศึกษาดังกล่าวเรียกว่าภาพการแตกหักกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนนิยมใช้เพื่อศึกษาการแตกหักเพราะสามารถให้ภาพที่คมชัดและรายละเอียดดีกว่าการใช้กล้องจุลทรรศน์แสง

2.5.2 การแตกแบบเปราะ (Brittle fracture)

การแตกหักแบบเปราะเกิดขึ้นโดยปราศจากการเปลี่ยนรูปที่เห็นได้ชัดและรอยแตกขยายตัวอย่างรวดเร็วมารอยแตกโตขึ้นในทิศทางเกือบจะตั้งฉากกับทิศทางของความเค้นแรงดึงที่กระทำและส่งผลให้ผิวรอยแตกแบนเรียบผิวรอยแตกของวัสดุที่มีลักษณะการแตกแบบเปราะนี้ จะมีรูปแบบเฉพาะโดยแทบจะไม่เกิดการแปรรูปถาวรขึ้น ตัวอย่างในชิ้นโลหะเหล็กกล้าบางชนิดจะพบรอยแตกรูปตัว V (V-Shape “chevron”) เกิดขึ้นใกล้บริเวณใจกลางของภาคตัดขวาง รอยแตกซึ่งบ่งชี้กลับไปยังตำแหน่งเริ่มต้นของรอยแตกได้ ดังภาพที่ 17 ผิวรอยแตกแบบเปราะบริเวณอื่นจะประกอบไปด้วยเส้น หรือแนวร่องที่แผ่รังสีออกไปจากจุดกำเนิดรอยแตกคล้ายรูปพัด การขยายตัวของรอยแตกเกิดจากการเอาชนะแรงพันธะระหว่างอะตอมตามแนวระนาบผลึกเฉพาะซึ่งเกิดขึ้นซ้ำๆ กระบวนการนี้เรียกว่ากลไกการแตกหักชนิดนี้ ถูกเรียกว่า การแตกผ่านเกรน หรือ การแตกผ่านผลึกเพราะรอยแตกจะผ่านทะลุเกรนไปผิวของรอยแตกเมื่อพิจารณาระดับมหภาคจะเห็นว่า มีลักษณะเป็นเกรนหรือหน้าตัด



ภาพที่ 17 รอยตำหนิรูปตัววี ที่เป็นลักษณะการแตกแบบเปราะ [4]

6. การทดสอบแรงดึงของโลหะ

6.1 ทฤษฎีการทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงเป็นการดึงขึ้นทดสอบซึ่งทำให้ชิ้นทดสอบตกอยู่ใต้สภาวะการยืดและเป็นกระบวนการที่ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการเสียรูปโดยการเสียรูปเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปทรงของชิ้นทดสอบจากแรงที่กระทำการตรวจวัดการเสียรูปจะวัดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดชิ้นทดสอบเทียบกับขนาดเริ่มต้นนั้น

คือการเสียรูปจะวัดจากความยาวของระยะทดสอบที่เปลี่ยนแปลงไปในการทดสอบเทียบกับระยะทดสอบเริ่มต้นระยะทดสอบเป็นช่วงความยาวมาตรฐานที่ใช้ในการวัดระดับการยืดหรือการเสียรูปที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบโดยความยาวระยะทดสอบมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบแรงดึงปกติเท่ากับ 2 นิ้ว

6.2 ข้อมูลสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงและแผนภาพความเค้นและความเครียดทางวิศวกรรมมีดังนี้

1. โมดูลัสของความเป็นอีลาสติก (Modulus of elasticity) โมดูลัสของความเป็นอีลาสติก เป็นค่าความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ เมื่อได้ รับแรงกระทำสามารถหาได้จากความชันของกราฟความเค้นและความเครียดของวัสดุใน ระยะแรก ที่ยังแสดงสมบัติยืดหยุ่นอยู่ สำหรับโลหะจะมีค่าน้อยกว่า 0.5% ของความเครียด โดยที่โมดูลัส ของความเป็นอีลาสติกนี้เกี่ยวข้องกับความแข็งแรงของพันธะระหว่างอะตอม ของโลหะหรือของโลหะผสมโลหะที่มีค่าโมดูลัสของความเป็นอีลาสติกสูงจะแกร่ง ไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างง่าย เช่น เหล็กกล้ามีค่าโมดูลัสของการยืดตัว 30×10^6 psi. (207 GPa) ในขณะที่โลหะอลูมิเนียมมีค่าต่ำกว่าประมาณ $10 - 11 \times 10^6$ psi (69 - 76 GPa) โปรดสังเกตว่า ในช่วงความยืดตัวของแผนภาพความเค้นและความเครียดค่าโมดูลัสจะไม่มีการ เปลี่ยนแปลง เมื่อความเค้นเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 1 ค่าคงที่ของการยืดตัวของ Isotropic materials ที่อุณหภูมิห้อง [5]

Materials	Modulus of elasticity 10 ⁶ psi (GPa)	Shear modulus 10 ⁶ psi (GPa)	Poisson's ratio
Aluminium alloys	10.5 (72.4)	4.0 (27.5)	0.31
Copper	16.0 (110)	6.0 (41.4)	0.33
Steel	29.0 (200)	11.0 (75.8)	0.33
Stainless steel	28.0 (193)	9.5 (65.6)	0.28
Titanium	17.0 (117)	6.5 (44.8)	0.31
Tungsten	58.0 (400)	22.8 (157)	0.27

2. ความเค้นและความเครียด ณ จุดคราก เป็นค่าความเค้นและความเครียดของวัสดุ ณ จุดที่เปลี่ยนสมบัติจากอีลาสติกไปเป็นพลาสติกหรืออีกนัยหนึ่งหมายความว่าวัสดุนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง อย่างถาวรเมื่อความเค้นหรือความเครียดมีค่ามากกว่านี้ สำหรับวัสดุที่แสดงจุดครากอย่างชัดเจนเราจะสังเกตได้จากที่กราฟมีค่าความชันเท่ากับศูนย์ ส่วนในกรณีที่วัสดุไม่แสดงจุดครากอย่าง

อย่างชัดเจนนั้น อาจกำหนดให้ใช้ 0.2% หรือ 0.1% ของ Plastic strain ที่เกิดขึ้นในแผนภาพความเค้นและความเครียด เป็นค่ากำหนดในการหาจุดคราก อาจเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า Offset yield

3. ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength) ความต้านทานแรงดึงสูงสุด คือความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุ พิจารณาจากความเค้นทางวิศวกรรม สูงสุดในแผนภาพความเค้นและความเครียดค่านี้ไม่ค่อยใช้มากในงานออกแบบทาง วิศวกรรมก่อสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับพวกโลหะอ่อนเนื่องจากการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรขึ้น อย่างมากก่อนถึงค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดนี้ ยังสามารถบ่งชี้ได้ว่าโลหะนั้นมีความสมบูรณ์หรือไม่ถ้าโลหะนั้นไม่สมบูรณ์ เช่น มีรูพรุนจะทำให้ค่า Strength ลดลง

4. เปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Percent elongation (%Strain)) เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ปริมาณ เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นงานตัวอย่างภายใต้แรงดึง เมื่อเทียบกับระยะการวัดของชิ้นงานทดสอบ และยังเป็นค่าที่ใช้บอกถึงความอ่อนของวัสดุ โดยทั่วไปโลหะยิ่งอ่อนยิ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดมากแสดงว่าโลหะนั้น เปลี่ยนรูปมาก สำหรับโลหะอลูมิเนียมบริสุทธิ์ที่เป็นแผ่นหนา 0.062 นิ้ว (1.6 มม.) จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัว สูง ถึง 35% แต่ถ้าเป็นโลหะอลูมิเนียมผสม (ความแข็งแรงสูงกว่า) 7075-T6 ที่หนาเท่ากัน จะมีเปอร์เซ็นต์การยืดตัว เพียง 11% เปอร์เซ็นต์การยืดตัว ณ จุดที่ขาดมีความสำคัญทางด้านวิศวกรรมมาก เพราะนอกจากจะทำให้เราทราบว่าโลหะนั้นอ่อนเพียงใดแล้วยังจะเป็นดัชนีที่ชี้ให้ทราบว่าโลหะ นั้นมีคุณภาพอย่างไรอีกด้วย

6.3 การเสียรูปแบบยืดหยุ่นและแบบถาวร

เมื่อชิ้นทดสอบโลหะได้รับแรงดึงในแกนเดียวจะเกิดการเสียรูปขึ้นและถ้าชิ้นทดสอบโลหะสามารถคืนตัวกลับไปสู่ขนาดเริ่มต้นเมื่อนำแรงที่กระทำออกไปนั้นคือโลหะมีการเสียรูปแบบคืนตัวขนาดของการเสียรูปแบบคืนตัวของโลหะจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเนื่องจากในระหว่างที่เกิดการเสียรูปแบบคืนตัวของโลหะจะเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมในปริมาณที่ไม่มากดังนั้นเมื่อเอาแรงที่กระทำออกไปโลหะที่เกิดการเสียรูปแบบคืนตัวของโลหะจะเคลื่อนกลับไปสู่ตำแหน่งเดิมทำให้โลหะกลับไปสู่รูปทรงเดิม ถ้าโลหะเกิดการเสียรูปเป็นจำนวนมากจนมันไม่สามารถกลับไปสู่รูปทรงเดิมได้อย่างสมบูรณ์แสดงว่าโลหะเกิดการเสียรูปแบบถาวรในระหว่างที่เกิดการเสียรูปแบบถาวรของโลหะเกิดการเคลื่อนออกไปอย่างถาวรจากตำแหน่งเดิมและจะคงอยู่ที่ตำแหน่งใหม่นี้แม้ว่าจะนำแรงที่กระทำออกไปก็ตามบางโลหะสามารถเกิดการเสียรูปแบบถาวรได้มากโดยปราศจากการแตกร้าวซึ่งถือเป็นสมบัติหนึ่งทางวิศวกรรมของโลหะที่นำไปใช้ประโยชน์มากที่สุดยกตัวอย่างความสามารถของการเกิดการเสียรูปแบบถาวรอย่างมากของเหล็กทำให้สามารถนำไปผลิตเป็นชิ้นส่วนของรถยนต์ได้เช่นหลังคาฝากระโปรงและประตูด้วยการขึ้นรูปแบบการอัดด้วยแม่พิมพ์ทางกลโดยไม่เกิดการแตกหัก

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Young Il Kwon และ Byeong Soo Lim [6] ได้ศึกษาการทำนายอายุการคืบ ความล้าของ เหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 316 ด้วยการใช้โครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้การทำนายที่แตกต่างกันคือ วิธี Coffin-Manson, วิธี Ostegren และวิธี artificial neural network ใช้ข้อมูลการทดลอง 21 ข้อมูลจากการทดลองทั้งหมด 27 ข้อมูล จากการทดลองครั้งนี้พบว่าวิธี artificial neural network มีอัตราการเรียนรู้และทำนายผลได้อย่างแม่นยำกว่าวิธีอื่นมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 15.6% และ A.Bahrami, S.H. Mousavi Anijdan และคณะ [7] ได้ศึกษาการทำนายความเครียดไหลในเหล็กกล้าไร้สนิม AISI304 โดยใช้เครือข่ายประสาทเทียม (ANN) ในการตรวจสอบข้อมูลการทดลองก่อนหน้านี้การเพิ่มประสิทธิภาพของความสามารถในการทำงานได้ทั้งร้อนและเย็นในเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 การใช้แผนที่ไม่แน่นอน ถูกเก็บรวบรวมเพื่อให้ได้ข้อมูลการฝึกอบรมและการทดสอบ อุณหภูมิ, อัตราความเครียดและความเครียดถูกนำมาใช้เป็นชั้นอินพุท ขณะที่เอาท์พุทเป็นความเครียดไหล การแพร่แบบย้อนกลับเรียนรู้ อัลกอริทึม ที่มีตัวแปรที่แตกต่างกัน สามตัว และฟังก์ชันการถ่ายโอนแบบโลจิสติก sigmoid ถูกนำมาใช้ในโครงข่าย ผลการวิจัยในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า R^2 สำหรับการทดสอบและชุดข้อมูลการฝึกอบรม 0.9791 และ 0.9871 ตามลำดับ และมีค่าสัมบูรณ์ความผิดพลาดเฉลี่ยน้อยที่สุดอยู่ที่ 14.235 ผลลัพธ์เหล่านี้เราเชื่อว่าเป็นโครงข่ายประสาทเทียมสามารถใช้ทำนายค่าความเครียดไหลในเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 เป็นวิธีที่แม่นยำ และ Jung Me Park , Hong Tae Kang [8] ได้วิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาโครงข่ายประสาทแพร่กระจายย้อนกลับ (BNNs) ที่ทำนายอายุความล้าของการเชื่อมจุดภายใต้ปัจจัยต่างๆ ทางเรขาคณิตและเงื่อนไขการกระกรรม บทความนี้อธิบายขั้นตอนการพัฒนาของโครงข่ายประสาทแพร่กระจายย้อนกลับ (BNNs) ในรายละเอียดสำหรับความล้าจุดเชื่อม BNNs พัฒนาในการศึกษาครั้งนี้ใช้ทำนายอายุความล้าของจุดเชื่อมภายใต้ความตึงเครียดร่วมและภาระกรรมแรงเฉือนและภาระกรรมแรงดัดเฉือน BNNs แสดงให้เห็นความแม่นยำอย่างเหมาะสมสำหรับกรณีการทดสอบในการศึกษานี้ BNNs สามารถใช้เป็นวิธีการปฏิบัติสำหรับการคำนวณอายุความล้าจากการเชื่อมจุดภายใต้ขนาดของรูปทรงเรขาคณิตต่างๆและเงื่อนไขการกระกรรม และกุลวดี จันทร์ธาดา และคณะ [9] ได้วิจัยการศึกษาผลกระทบของศูนย์ความเค้นในเหล็ก SS400 เจาะรู โดยได้เลือกศึกษาเหล็ก SS400 ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ในการรับแรงทั่วไปในงานอุตสาหกรรมไทย เพื่อศึกษาว่าการเกิดศูนย์รวมความเค้นที่มีผลต่อชิ้นงานอย่างไรบ้าง การศึกษาเริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎีพื้นฐานการเกิดศูนย์รวมความเค้นบนชิ้นงานเจาะรูและการทดสอบความแข็งแรงทางดึง เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลที่จะได้รับการทดสอบความแข็งแรงทาง ดึงว่ามีข้อมูลใดบ้างที่ได้จากการทดสอบความแข็งแรงทางดึง และเป็นข้อมูลที่น่าจะแสดงให้เห็นถึงผลจากการเกิดศูนย์รวมความเค้น จากนั้นทำการออกแบบชิ้นงานและเตรียมชิ้นงานเพื่อใช้ในการทดลอง โดยที่ชิ้นงานที่เราเลือกใช้คือเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ SS400 ตามมาตรฐาน JIS G 3101 และทำการเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน JIS Z 2201 โดยแบ่งชิ้นงานที่ไม่มีการเจาะรู ชิ้นงานที่มีการเจาะรูเดียวที่มีการเปลี่ยนแปลงของขนาดของรูเจาะ และระยะระหว่างของรูเจาะ ในการทดสอบจะใช้วิธีการทดสอบโดยการทดสอบความแข็งแรงทางดึง และเกี่ยวกับ แรงดึง ความเค้นประลัย เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ไม่เจาะรู มี

คุณสมบัติทางดีแตกต่างจากชิ้นงานที่ไม่ได้เจาะรูอย่างไร และความต่างนั้นเกิดจากผลของศูนย์รวมความเค้นหรือไม่ เนื่องจากปัจจัยอื่นๆ การวิเคราะห์ผลการทดลองใช้หลักทางสถิติ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ชิ้นงานที่มีการเจาะรูจะเกิดศูนย์รวมความเค้น โดยที่จะเกิดความเค้นสูงสุดที่ขอบของรูซึ่งทำให้ชิ้นงานที่มีการเจาะรูเกิดการเสียหายได้ง่ายกว่าชิ้นงานที่ไม่เจาะ และความเสียหายจะเกิดขึ้นขอบของรูบนชิ้นงานเสมอซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดความเค้นสูงกว่าบริเวณอื่น ส่วนความสามารถในการรับแรงดึงของชิ้นงาน ผลของศูนย์รวมความเค้นมีผลน้อยกว่าขนาดของรู ซึ่งความสามารถในการรับแรงดึงจะขึ้นกับพื้นที่หน้าตัดในการรับแรงดึง ส่วนระยะยึดนั้นปรากฏว่าชิ้นงานที่มีได้เจาะรูจะยึดได้มากที่สุดแสดงว่าชิ้นงานทนแรงดึงได้มากที่สุด แต่เมื่อมีการเจาะรูจะเกิดความเค้นสูงสุดที่ขอบของรูเกิด การรวมจุดความเค้นขึ้น ทำให้ชิ้นงานที่มีการเจาะรูเดี่ยวขาดง่ายกว่าส่วนชิ้นที่มีการเจาะรูหลายรูมีการรวมจุดความเค้นเช่นกัน แต่มีระยะยึดมากกว่าชิ้นงานที่เจาะรูเดี่ยว และน้อยกว่าชิ้นงานที่ไม่เจาะรู ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากที่ชิ้นงานที่มีการเจาะรูหลายรูมีการกระจายความเค้นไปทั่วชิ้นงานมากกว่าชิ้นงานที่มีการเจาะรูเดี่ยวจึงทำให้เกิดความเค้นสูงสุดที่ขอบของชิ้นงานน้อยกว่าทำให้ชิ้นงานที่เจาะหลายรูมีระยะยึดมากกว่า จากการทดลองจึงสรุปได้ว่า ชิ้นงานที่มีการเจาะรูจะเกิดศูนย์รวมความเค้นขึ้น โดยที่รูขนาดเล็กจะมีผลของศูนย์รวมความเค้นมากกว่ารูเจาะขนาดใหญ่ แต่จากการทดลองเป็นการรับแรงดึงอย่างคงที่ จึงทำให้ผลของขนาดรูหรือพื้นที่หน้าตัดมีผลมากกว่าการเกิดการรวมจุดความเค้นได้ชัดเจนกว่า เพราะฉะนั้น ค่าแฟกเตอร์การรวมจุดความเค้นที่มีอยู่ในปัจจุบันนั้นจึงสามารถใช้ออกแบบชิ้นงานเจาะรูได้



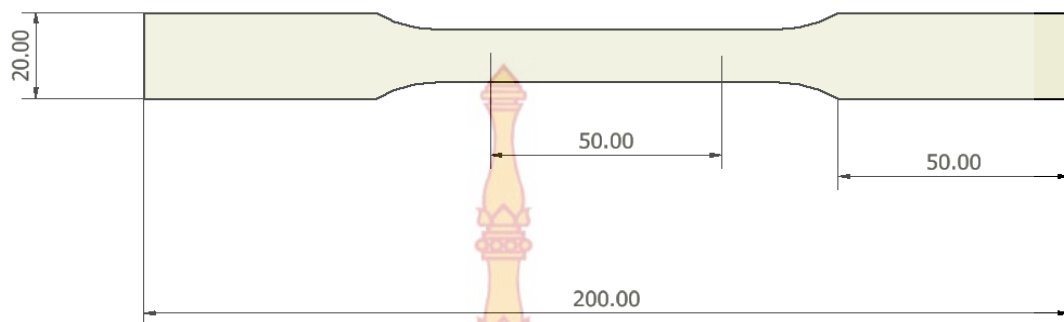
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. วิธีการดำเนินงานวิจัย

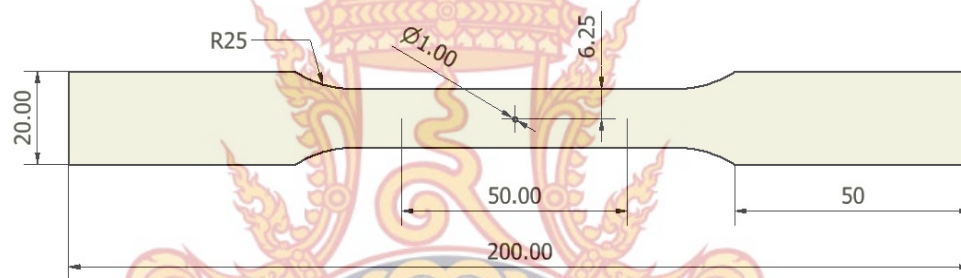
งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาค้นคว้า และทดลองโดยใช้วัสดุเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด AISI304 (Austenitic stainless steel AISI304) ที่นิยมใช้งานอย่างกว้างขวางในทางวิศวกรรม เช่น ข้อต่อสายลวดเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อศึกษาผลกระทบของความเร็วในการทดสอบ และศึกษาศูนย์รวมของความเค้นแต่ละแบบที่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นทดสอบ สมบัติต้านทานแรงดึงของเหล็กกล้าไร้สนิม ศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะการแตกหักเสียหาย ศึกษาความแข็งแรงที่จุดคราก ความแข็งแรงดึงสูงสุด ศึกษาและเปรียบเทียบขนาดและรูปร่างของรูเจาะที่แตกต่างกันต่อความแข็งแรงของชิ้นทดสอบและทำนายผลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทดลองนี้จะใช้ชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8 ที่ผ่านกระบวนการป้อนขึ้นรูป และมีการปรับเปลี่ยนค่าความเร็วที่ใช้ทดสอบแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 110 mm/min, 160 mm/min, 210 mm/min และ 260 mm/min โดยในการทดลองจะใช้เครื่องทดสอบแรงดึง ยี่ห้อ Zwick รุ่น Z020 เพื่อนำข้อมูลทางสถิติที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบในการคำนวณหาสมบัติต้านทานแรงดึงของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด AISI304 ชิ้นงานทดสอบ งานวิจัยนี้ใช้วัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด AISI304 (Austenitic stainless steel AISI304) เป็นแผ่นบางมีความหนา 1 มิลลิเมตร โดยมีขนาดความยาว (L_t) = 200 มิลลิเมตร ความกว้าง (b) = 12.5 มิลลิเมตร ความยาวพิกัด (L_c) = 50 มิลลิเมตร รัศมีของป้า (R) = 25 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM E8 ดังตารางที่ 2 และมีการเตรียมชิ้นทดสอบให้มีศูนย์รวมของความเค้นที่แตกต่างกัน 12 รูปแบบได้แก่ รูเดี่ยวตรงศูนย์, รูเดี่ยวเยื้องศูนย์, รูคู่ตรงศูนย์, รูคู่เยื้องศูนย์, สามรูตรงศูนย์, สามรูเยื้องศูนย์โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน ดังนี้ ขนาด \varnothing 1 มิลลิเมตร และขนาด \varnothing 3 มิลลิเมตร โดยใช้ความเร็วรอบในการเจาะ 1800 รอบ/นาที ดังภาพที่ 18 ถึงภาพที่ 30

ตารางที่ 2 ขนาดชิ้นงานทดสอบภาคตัดขวางสี่เหลี่ยม ตามมาตรฐาน ASTM E8

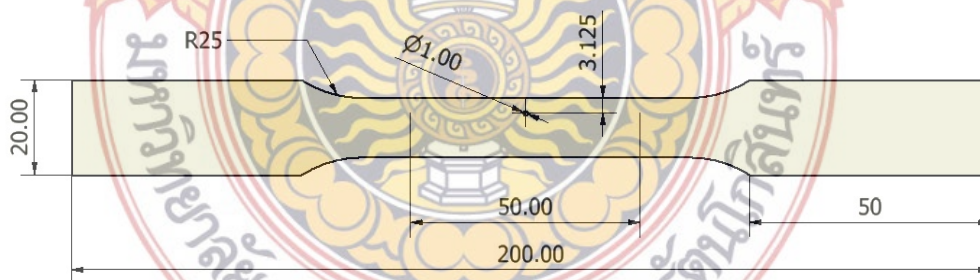
Width (mm)	Gage length (mm)	Radius of fillet (mm)	Overall length (mm)
12.5	50	25	200



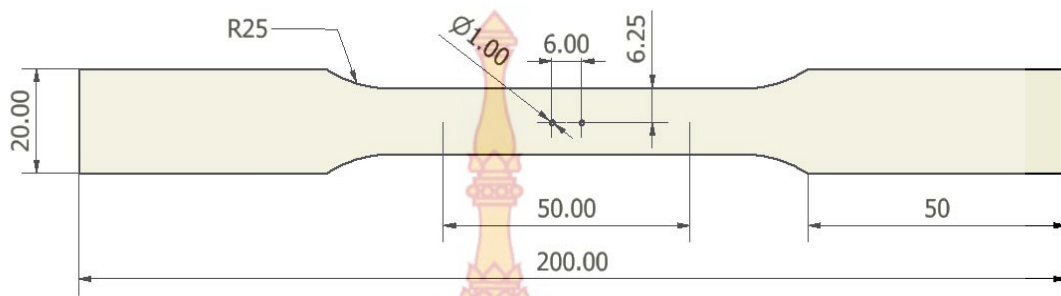
ภาพที่ 18 ชิ้นงานทดสอบที่ไม่มีการเจาะรู



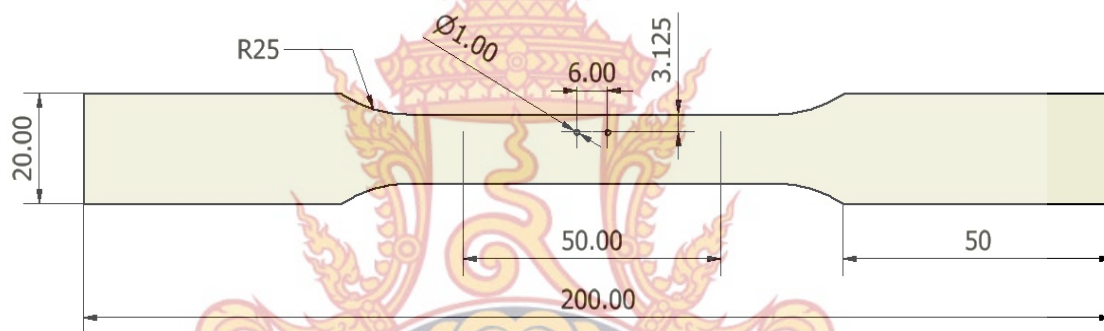
ภาพที่ 19 ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์กลาง ขนาด 1 มิลลิเมตร



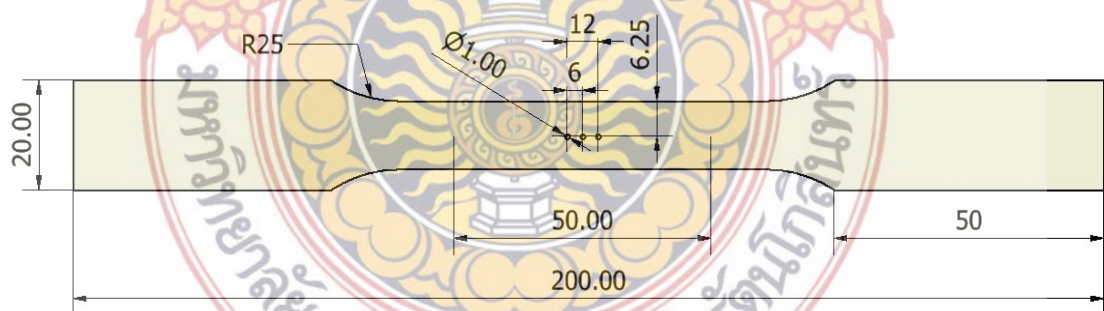
ภาพที่ 20 ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเอียงศูนย์กลาง ขนาด 1 มิลลิเมตร



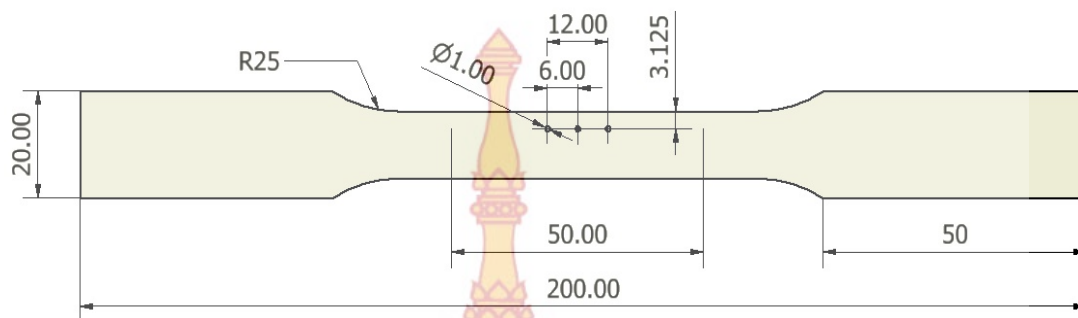
ภาพที่ 21 ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร



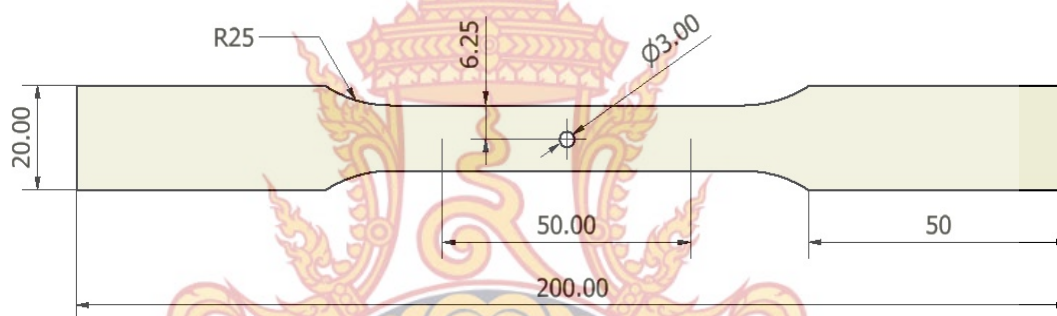
ภาพที่ 22 ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูคู่เอียงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร



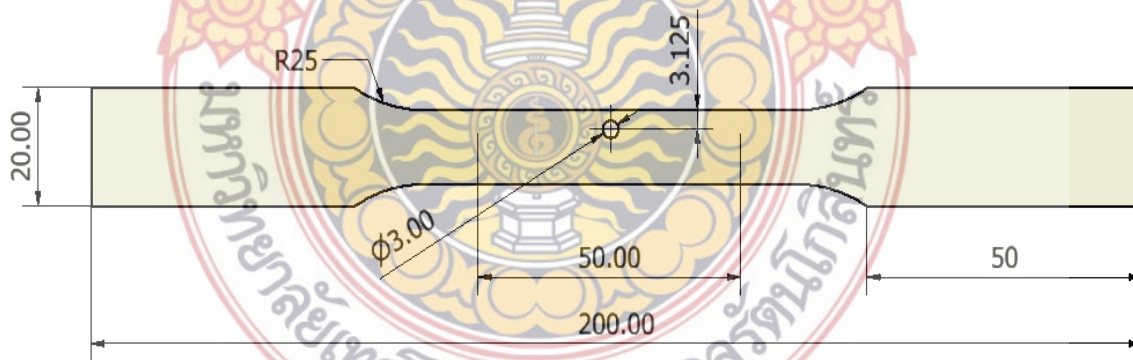
ภาพที่ 23 ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูสามรูตรงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร



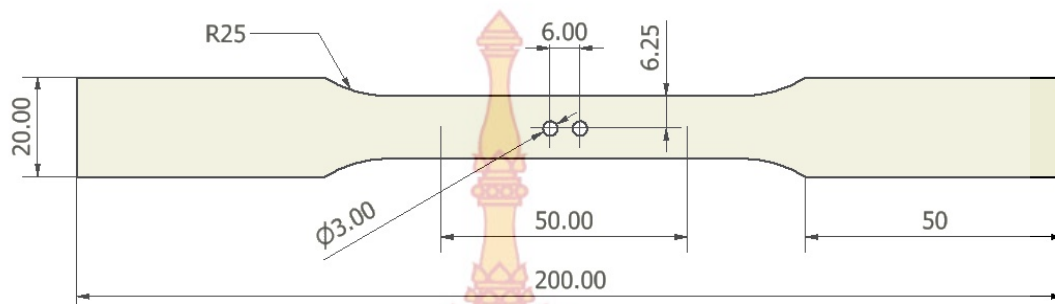
ภาพที่ 24 ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูสามรูเยื้องศูนย์กลาง ขนาด 1 มิลลิเมตร



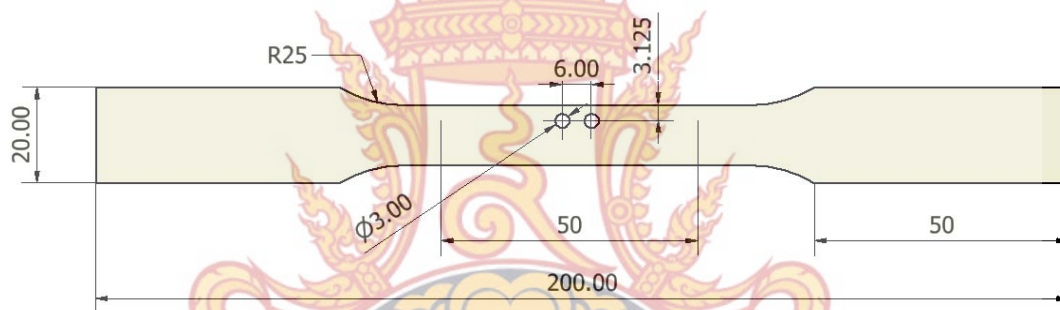
ภาพที่ 25 ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์กลาง ขนาด 3 มิลลิเมตร



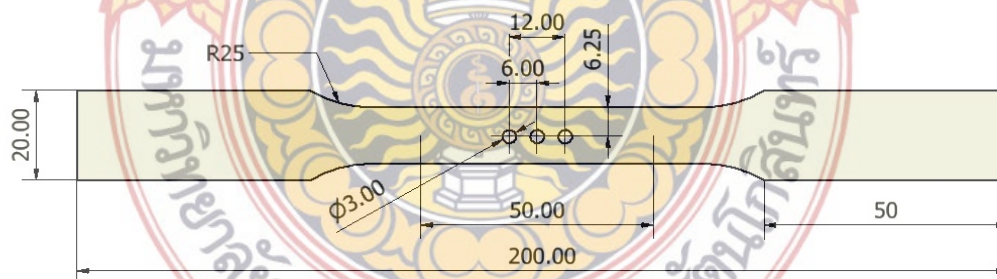
ภาพที่ 26 ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์กลาง ขนาด 3 มิลลิเมตร



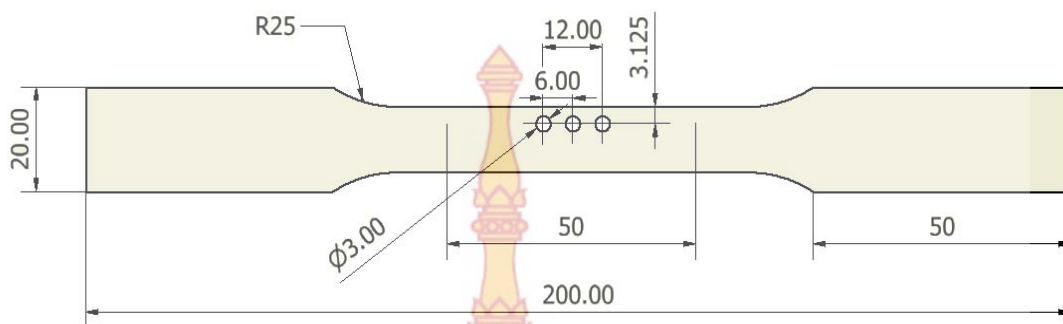
ภาพที่ 27 ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 28 ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูคู่เอียงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 29 ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูสามรูตรงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 30 ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูสามรูเยื้องศูนย์กลาง ขนาด 3 มิลลิเมตร

1.1 การออกแบบการทดลองในการศึกษาผลกระทบของความเร็วในการทดสอบและศูนย์รวมความเค้นที่มีต่อความแข็งแรง ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

- การทดลองแบบที่ 1 การศึกษาผลกระทบของความเร็วในการทดสอบซึ่งมีการกำหนดค่าให้แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 110 mm/min, 160 mm/min, 210 mm/min และ 260 mm/min

- การทดลองแบบที่ 2 การศึกษาศูนย์รวมความเค้นแต่ละแบบ ที่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นทดสอบซึ่งมีการกำหนดค่าให้แตกต่างกัน 4 ระดับ คือตั้งแต่ 110 mm/min, 160 mm/min, 210 mm/min และ 260 mm/min โดยมีปัจจัยเดียว (Single factor) คือรูปแบบลักษณะของการเจาะรูบนชิ้นทดสอบ ซึ่งเป็นปัจจัยที่สามารถควบคุมได้ (Controllable factor) โดยได้ทำการศึกษาจำนวน 4 รูปแบบ

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการบันทึกผลการทดลอง

งาน	σ_0	%E	σ_{max}	k_t
1				
2				
ค่าเฉลี่ย				

1.2 แผนการดำเนินงาน เพื่อให้การดำเนินงานบรรลุวัตถุประสงค์ที่วางแผนไว้ จึงต้องมีการวางแผนการดำเนินงานซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

1. ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบการทดลองโดยการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยในการทดสอบ
3. เตรียมชิ้นทดสอบที่ใช้ทดลองด้วยกระบวนการขึ้นรูป วัสดุเป็นเหล็กกล้าไร้ออกซิเจน นิติค เกรด AISI 304 แผ่นบาง ความหนา 1 มิลลิเมตร กว้าง 12.5 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน ASTM E8
4. ทำการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile test) ยี่ห้อ Zwick รุ่น Z020 และความเร็วที่ใช้ในการดึงชิ้นงานทดสอบ มีค่าแตกต่างกัน 4 ระดับ คือตั้งแต่ 110 mm/min, 160 mm/min, 210 mm/min และ 260 mm/min
5. บันทึกผลการทดลองและคำนวณหาค่าเฉลี่ยในการทดสอบ เพื่อเปรียบเทียบวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของศูนย์รวมความเค้นกับความเร็ว
6. วิเคราะห์ผลการทดลองด้วย การใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายผลค่าความแข็งแรงดึง โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB
7. บันทึกและเปรียบเทียบผลการทดลอง

1.3 วิธีการทดลอง

1. เตรียมชิ้นทดสอบตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ตามมาตรฐาน ASTM E8 โดยชิ้นทดสอบมีความยาว 200 มิลลิเมตร ความกว้าง 12.5 มิลลิเมตร ความยาวพีกัด 50 มิลลิเมตร รัศมีของป้า 25 มิลลิเมตร ด้วยเครื่อง Press ขนาด 60 ตัน จำนวน 144 ชิ้น ได้แก่ รูเดี่ยวตรงศูนย์, รูเดี่ยวเอียงศูนย์, รูคู่ตรงศูนย์, รูคู่เอียงศูนย์, สามรูตรงศูนย์, สามรูเอียงศูนย์ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน ดังนี้ ขนาด \varnothing 1 มิลลิเมตร และขนาด \varnothing 3 มิลลิเมตร
2. ใช้เวอร์เนียคาลิเปอร์วัดขนาดความยาวพีกัด (Gauge length) และความกว้างของชิ้นงานทดสอบ ก่อนและหลังการทดสอบ เพื่อนำไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation)
3. จับยึดชิ้นทดสอบเข้ากับตัวจับยึด (Grip) ของเครื่องทดสอบแรงดึงให้ถูกต้อง
4. ป้อนค่าความเร็วที่ใช้ในการทดสอบซึ่งมีค่าแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 110 mm/min, 160 mm/min, 210 mm/min และ 260 mm/min โดยทดสอบความเร็วละ 3 ครั้ง
5. บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของศูนย์รวมความเค้นกับความเร็วในการดึง
6. ทำการสุ่มข้อมูลจากการทดสอบแรงดึงข้างต้นมาในรูปแบบละ 2 ตัวอย่าง ของแต่ละความเร็วที่ใช้ในการทดสอบ รวมทั้งหมด 96 ตัวอย่าง เพื่อนำไปฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม

7. การฝึกสอนให้กับโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ MATLAB โดยให้อินพุต คือ ศูนย์รวมความเค้นรูปแบบต่างๆ และความเร็วในการทดสอบ (Test speed) ส่วนเอาต์พุต คือ ค่าความแข็งแรงดึง

8. ทำการ SIMULINK เพื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดระหว่างเอาต์พุตและเอาต์พุตที่ได้จากการ SIMULINK

9. ใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายผลค่าความแข็งแรงดึง โดยการป้อนอินพุตเข้าไปใหม่จำนวน 48 ตัวอย่าง ที่ไม่ได้ทำทดลอง

10. ทำการ SIMULINK เพื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดระหว่างเอาต์พุตที่ไม่ได้ทำการทดลองและเอาต์พุตที่ได้จากการ SIMULINK

2. เครื่องมือและอุปกรณ์ในงานวิจัย

2.1 เครื่องทดสอบแรงดึงของวัสดุ (Tensile test) ยี่ห้อ Zwick รุ่น Z020 ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 เครื่องทดสอบแรงดึงวัสดุ

2.2 วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองคือเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกเกรด AISI304 (Austenitic Stainless Steel) ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีประกอบด้วย

- คาร์บอน (Carbon: C)	0.08%
- แมงกานีส (Manganese: Mn)	2.0%
- ซิลิกอน (Silicon: Si)	1.0%
- โครเมียม (Chromium: Cr)	18%
- นิกเกิล (Nickel: Ni)	8%
- ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	0.045%

คุณสมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงานทดลอง

- ความแข็งแรงดึงสูงสุด	515 MPa
- ค่าการยืดตัวออก	40%



ภาพที่ 32 ลักษณะชิ้นงานทดสอบ

2.3 เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์ (Vernier caliper) ใช้วัดขนาดความยาวของชิ้นทดสอบ หลังจากผ่านการทดลองแรงดึงเพื่อนำไปคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation) ดังภาพที่ 33



รูปที่ 33 เวอร์เนียคาร์ลิปเปอร์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

1. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

การศึกษาเกี่ยวกับการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความแข็งแรงดึงของ เหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 มีการเตรียมชิ้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E8 โดยมีการเตรียมชิ้นทดสอบให้มีศูนย์รวมความเค้นที่แตกต่างกัน 12 รูปแบบ ได้แก่ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์ ชิ้นทดสอบที่มีการเจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์ ชิ้นทดสอบที่มีการเจาะรูคู่ตรงศูนย์ ชิ้นทดสอบที่มีการเจาะรูคู่เยื้องศูนย์ ชิ้นทดสอบที่มีการเจาะรูสามรูตรงศูนย์ ชิ้นทดสอบที่มีการเจาะรูสามรูเยื้องศูนย์ โดยมีการกำหนดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะคือ 1 มิลลิเมตรและ 3 มิลลิเมตร และกำหนดความเร็วในการทดสอบแรงดึงที่แตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 110, 160, 210 และ 260 มิลลิเมตรต่อนาที เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 4 สรุปค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงสูงสุด (UTS) และค่าแฟกเตอร์การรวมศูนย์ความเค้นทางทฤษฎี (K_t)

ลักษณะของศูนย์รวมความเค้น	UTS (N/mm ²)	ค่า K_t
รูเดี่ยวตรงศูนย์ Ø 1 มิลลิเมตร	633.20	2.77
รูเดี่ยวเยื้องศูนย์ Ø 1 มิลลิเมตร	623.635	2.59
รูคู่ตรงศูนย์ Ø 1 มิลลิเมตร	620.02	2.88
รูคู่เยื้องศูนย์ Ø 1 มิลลิเมตร	652.51	-
3 รูตรงศูนย์ Ø 1 มิลลิเมตร	624.36	2.50
3 รูเยื้องศูนย์ Ø 1 มิลลิเมตร	613.04	-
รูเดี่ยวตรงศูนย์ Ø 3 มิลลิเมตร	546.82	2.44
รูเดี่ยวเยื้องศูนย์ Ø 3 มิลลิเมตร	453.44	2.16
รูคู่ตรงศูนย์ Ø 3 มิลลิเมตร	539.79	2.71
รูคู่เยื้องศูนย์ Ø 3 มิลลิเมตร	470.32	-
3 รูตรงศูนย์ Ø 3 มิลลิเมตร	541.04	1.63
3 รูเยื้องศูนย์ Ø 3 มิลลิเมตร	479.13	-

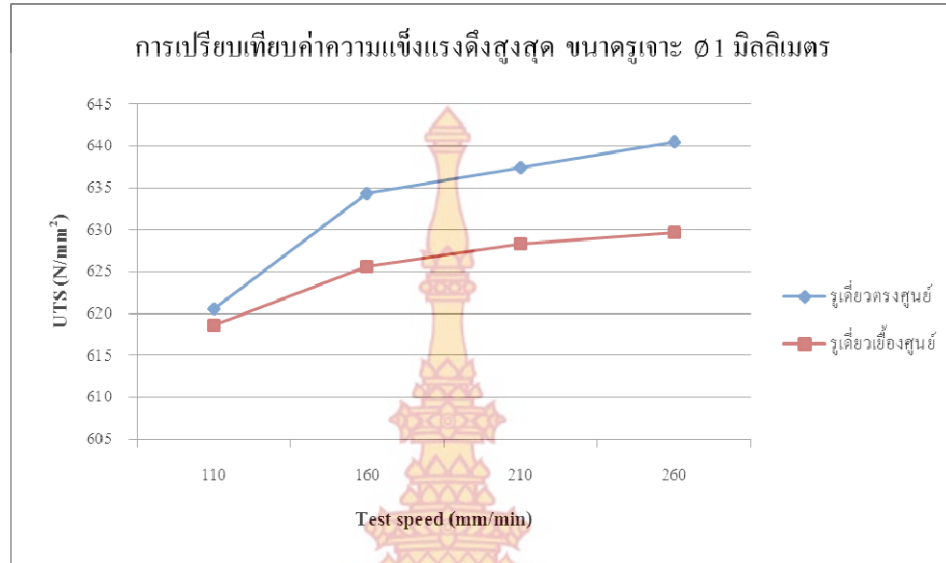
2. ผลการศึกษาความแข็งแรงดึงสูงสุด ชั้นทดสอบรูเดี่ยว

ตารางที่ 5 ผลการทดลองของชั้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร

Test speed (mm/min)	σ_0 (N/mm ²)	σ_{max} (N/mm ²)	Elongation %	k_t
110	224.03	620.57	28	2.77
160	228.99	634.31	26	2.77
210	230.17	637.45	27	2.77
260	231.21	640.46	29	2.77
ค่าเฉลี่ย	228.6	633.20	27.5	2.77

ตารางที่ 6 ผลการทดลองของชั้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร

Test speed (mm/min)	σ_0 (N/mm ²)	σ_{max} (N/mm ²)	Elongation %	k_t
110	239.38	620	26	2.59
160	239.47	620.25	25.50	2.59
210	240.37	622.58	26	2.59
260	243.90	631.71	26.50	2.59
ค่าเฉลี่ย	240.78	623.635	26	2.59



ภาพที่ 34 ผลการทดลองค่า UTS เมื่อเจาะรูเดี่ยว ขนาด $\varnothing 1$ มิลลิเมตร

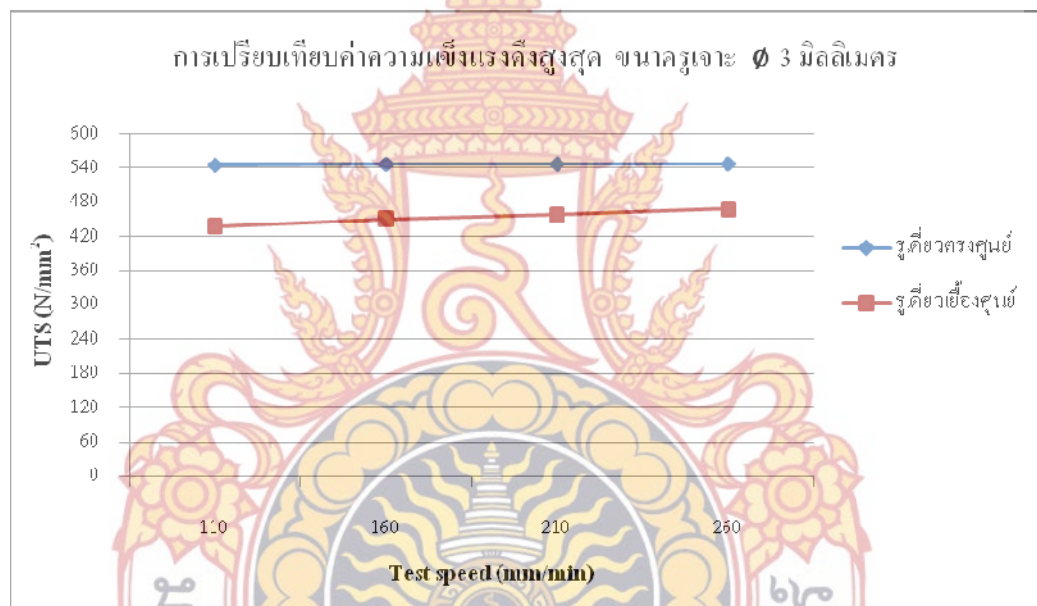
จากภาพที่ 34 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบขั้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์และขั้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ 1 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าความเร็วในการทดสอบมีผลต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุด เมื่อเพิ่มความเร็วในการทดสอบให้สูงขึ้นส่งผลให้แนวโน้มความต้านทานแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากจุดครากตัวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่กลับส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และจะเห็นได้ว่าขั้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์จะสามารถรับแรงดึงได้ดีกว่าขั้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์ เพราะการเกิดศูนย์รวมความเค้นสูงขึ้นบริเวณที่เจาะรู และพื้นที่หน้าตัดลดลง บริเวณหน้าตัดด้านที่มีเนื้อที่น้อยกว่าเริ่มขาดก่อนเนื่องจากมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน และจะขยายตัวไปยังพื้นที่บริเวณหน้าตัดขนาดใหญ่ ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงน้อย

ตารางที่ 7 ผลการทดลองของขั้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร

Test speed (mm/min)	σ_0 (N/mm ²)	σ_{max} (N/mm ²)	Elongation %	k_t
110	223.45	545.22	15.50	2.44
160	224.19	547.03	16	2.44
210	224.30	547.30	16	2.44
260	224.47	547.72	14.50	2.44
ค่าเฉลี่ย	224.10	546.82	15.50	2.44

ตารางที่ 8 ผลการทดลองขึ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์กลาง ขนาด 3 มิลลิเมตร

Test speed (mm/min)	σ_0 (N/mm ²)	σ_{max} (N/mm ²)	Elongation %	k_t
110	202.67	437.77	10	2.16
160	208.68	450.74	10	2.16
210	211.70	457.28	10	2.16
260	216.66	467.98	10	2.16
ค่าเฉลี่ย	209.93	453.44	10	2.16



ภาพที่ 35 ผลการทดลองค่า UTS เมื่อเจาะรูเดี่ยว ขนาด \varnothing 3 มิลลิเมตร

จากภาพที่ 35 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบขึ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์กลางและขึ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์กลาง โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ 3 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าความเร็วในการทดสอบมีผลต่อความต้านทานแรงดึงสูงสุด เมื่อเพิ่มความเร็วในการทดสอบให้สูงขึ้นส่งผลให้แนวโน้มความต้านทานแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากจุดครากตัวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่กลับส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และจะเห็นได้ว่าขึ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์กลางจะสามารถรับแรงดึงได้ดีกว่าขึ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์กลาง เพราะการเกิดศูนย์กลางรวมความเค้นสูงขึ้นบริเวณที่เจาะรู และพื้นที่หน้าตัดลดลง บริเวณหน้าตัดด้านที่มีเนื้อที่น้อยกว่าเริ่มขนาดก่อนเนื่องจากมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน และจะขยายตัวไปยังพื้นที่บริเวณหน้าตัดขนาดใหญ่ ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงน้อย

จากภาพที่ 34 และ 35 สามารถสรุปได้ว่าขึ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์กลางจะสามารถรับแรงดึงได้ดีกว่าขึ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์กลาง เพราะการเกิดศูนย์รวมความเค้นสูงขึ้นบริเวณที่เจาะรู และพื้นที่หน้าตัดที่ลดลงในบริเวณที่มีพื้นที่น้อยกว่าจะเริ่มขาดก่อน เนื่องจากขนาดพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงไปอย่างกะทันหัน ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงมีน้อย

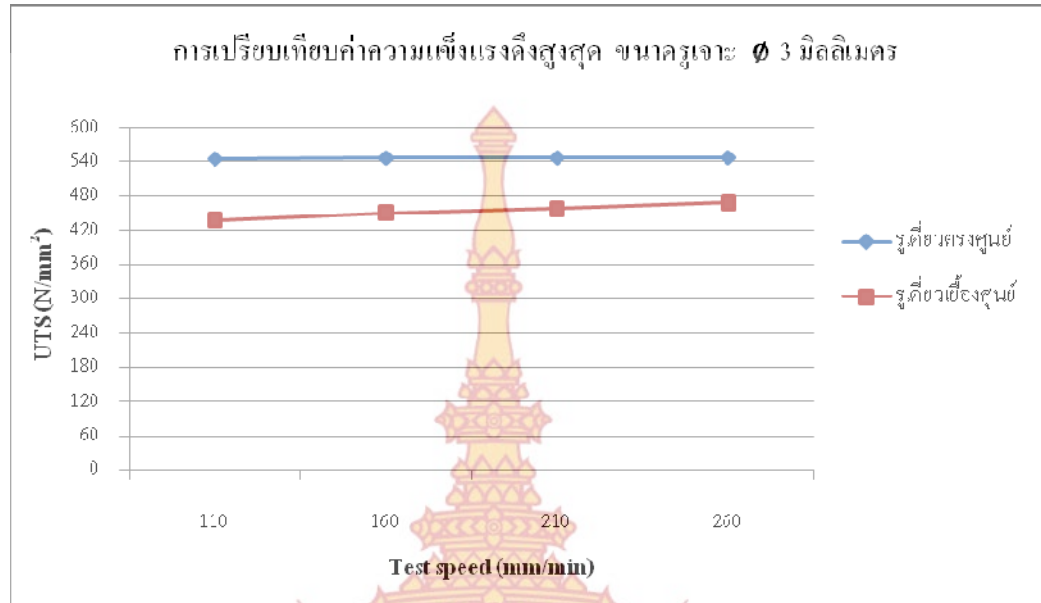
3. ผลการศึกษาความแข็งแรงดึงสูงสุด ขึ้นทดสอบที่เจาะรูคู่

ตารางที่ 9 ผลการทดลองขึ้นทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์กลาง ขนาด 1 มิลลิเมตร

Test speed (mm/min)	σ_0 (N/mm ²)	σ_{max} (N/mm ²)	Elongation %	k_t
110	212.69	612.56	25.50	2.88
160	212.92	613.23	24.50	2.88
210	213.77	615.67	26	2.88
260	221.75	638.60	28	2.88
ค่าเฉลี่ย	215.28	620.02	26	2.88

ตารางที่ 10 ผลการทดลองขึ้นทดสอบที่เจาะรูคู่เยื้องศูนย์กลาง ขนาด 1 มิลลิเมตร

Test speed (mm/min)	σ_0 (N/mm ²)	σ_{max} (N/mm ²)	Elongation %	k_t
110	-	618.56	26	-
160	-	625.58	27.50	-
210	-	628.30	27	-
260	-	629.60	26	-
ค่าเฉลี่ย	-	652.51	26.63	-



ภาพที่ 36 ผลการทดลองค่า UTS เมื่อเจาะรูค้ำ ขนาด ϕ 1 มิลลิเมตร

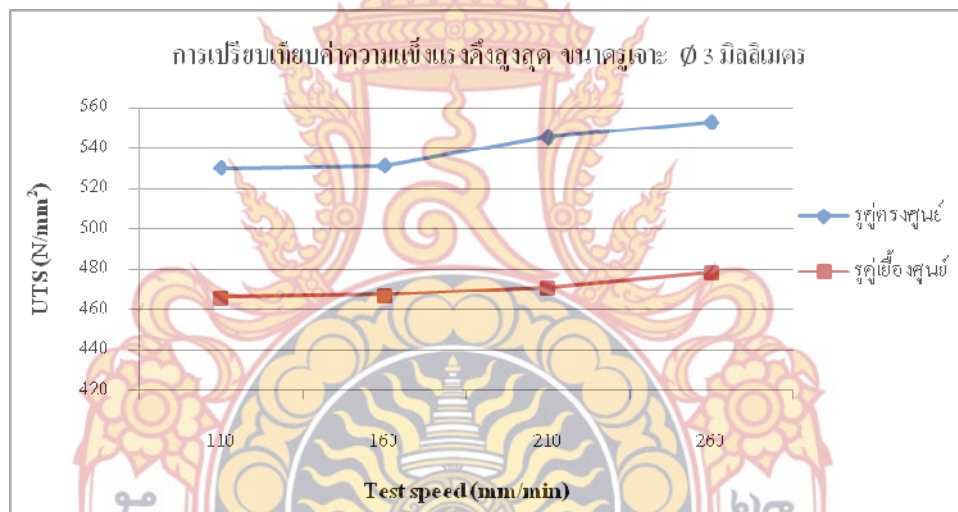
จากภาพที่ 36 เป็นกราฟเปรียบเทียบขึ้นทดสอบที่เจาะรูค้ำตรงศูนย์และขึ้นทดสอบที่เจาะรูค้ำเยื้องศูนย์ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ 1 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าความเร็วในการทดสอบมีผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด ซึ่งทำให้ความต้านทานแรงดึงสูงสุด มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวของความเค้นไม่สม่ำเสมอ เพราะการเกิดศูนย์รวมความเค้นสูงขึ้นบริเวณที่เจาะรู และพื้นที่หน้าตัดมีค่าลดลงจากกราฟจะเห็นได้ว่าความเร็วในการดึงต่ำค่าความเค้นคราก หรือการเปลี่ยนรูปถาวรของวัสดุจะมีค่าต่ำ ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดต่ำลง แต่เมื่อเพิ่มความเร็วในการดึง พบว่าค่าความเค้นครากจะมีค่าลดลง แต่ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มสูงขึ้น

ตารางที่ 11 ผลการทดลองขึ้นทดสอบที่เจาะรูค้ำตรงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร

Test speed (mm/min)	σ_0 (N/mm ²)	σ_{max} (N/mm ²)	Elongation %	k_t
110	195.59	530.06	17	2.71
160	195.97	531.10	16.50	2.71
210	210.22	545.31	17	2.71
260	203.94	552.68	18	2.71
ค่าเฉลี่ย	201.43	539.79	17.13	2.71

ตารางที่ 12 ผลการทดลองขึ้นทดสอบที่เจาะรูคู่เอียงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร

Test speed (mm/min)	σ_0 (N/mm ²)	σ_{max} (N/mm ²)	Elongation %	k_t
110	-	465.79	15	-
160	-	466.98	12	-
210	-	470.45	12	-
260	-	478.06	13	-
ค่าเฉลี่ย	-	470.32	13	-



ภาพที่ 37 ผลการทดลองค่า UTS เมื่อเจาะรูคู่ ขนาด \varnothing 3 มิลลิเมตร

จากภาพที่ 37 เป็นกราฟเปรียบเทียบขึ้นทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์และขึ้นทดสอบที่เจาะรูคู่เอียงศูนย์ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ 3 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าความเร็วในการทดสอบมีผลกระทบต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด เมื่อเพิ่มความเร็วในการดึงแนวโน้มในการต้านทานแรงดึงจะสูงขึ้น เนื่องจากการกระจายตัวของความเค้นไม่สม่ำเสมอ เพราะการเกิดศูนย์รวมความเค้นสูงขึ้นบริเวณที่เจาะรู และพื้นที่หน้าตัดมีค่าลดลง ทำให้จุดครากตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่กลับส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงมีแนวโน้มสูงขึ้น

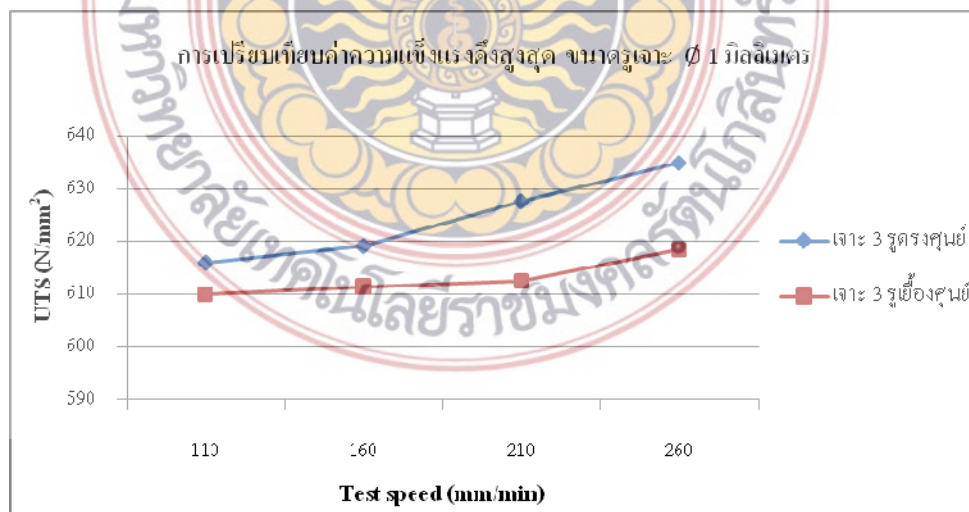
4. ผลการศึกษาความแข็งแรงดึงสูงสุด ชั้นทดสอบที่เจาะรู 3 รู

ตารางที่ 13 ผลการทดลองชั้นทดสอบที่เจาะรู 3 รูตรงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร

Test speed (mm/min)	σ_0 (N/mm ²)	σ_{max} (N/mm ²)	Elongation %	k_t
110	246.37	615.93	27	2.50
160	247.62	619.07	27	2.50
210	251.02	627.57	28	2.50
260	253.94	634.87	30	2.50
ค่าเฉลี่ย	249.74	624.36	28	2.50

ตารางที่ 14 ผลการทดลองชั้นทดสอบที่เจาะรู 3 รูเยื้องศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร

Test speed (mm/min)	σ_0 (N/mm ²)	σ_{max} (N/mm ²)	Elongation %	k_t
110	-	609.96	26.50	-
160	-	611.39	25.50	-
210	-	612.47	26.50	-
260	-	618.34	26	-
ค่าเฉลี่ย	-	613.04	26.13	-



ภาพที่ 38 ผลการทดลองค่า UTS เมื่อเจาะรู 3 รู ขนาด \varnothing 1 มิลลิเมตร

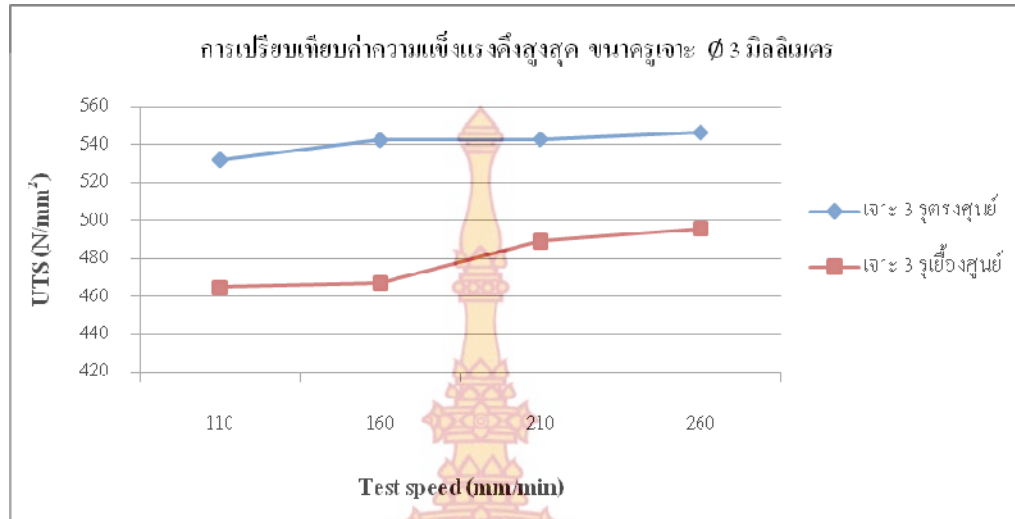
จากภาพที่ 38 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบขึ้นทดสอบที่เจาะรู 3 รูตรงศูนย์และขึ้นทดสอบที่เจาะรู 3 รูเยื้องศูนย์ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ 1 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าความเร็วในการทดสอบมีผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึง เมื่อเพิ่มความเร็วในการดึงมีแนวโน้มส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงเพิ่ม เนื่องจากความเร็วในการดึงที่เพิ่มขึ้น จะทำให้จุดครากตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว กลับส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 15 ผลการทดลองขึ้นทดสอบที่เจาะรู 3 รูตรงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร

Test speed (mm/min)	σ_0 (N/mm ²)	σ_{max} (N/mm ²)	Elongation %	k_t
110	326.39	532.03	18	1.63
160	332.8	542.56	20	1.63
210	333.15	543.04	20	1.63
260	335.30	546.54	18	1.63
ค่าเฉลี่ย	331.92	541.04	19	1.63

ตารางที่ 16 ผลการทดลองขึ้นทดสอบที่เจาะรู 3 รูเยื้องศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร

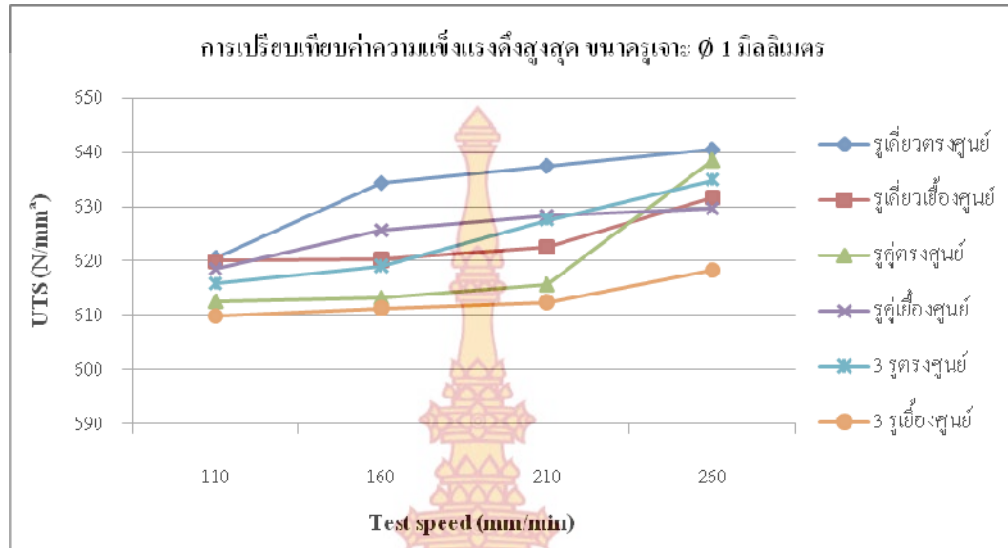
Test speed (mm/min)	σ_0 (N/mm ²)	σ_{max} (N/mm ²)	Elongation %	k_t
110	-	464.82	13	-
160	-	467.04	13	-
210	-	489.09	15	-
260	-	495.57	14.50	-
ค่าเฉลี่ย	-	479.13	13.88	-



รูปที่ 39 ผลการทดลองค่า UTS เมื่อเจาะรู 3 รู \varnothing 3 มิลลิเมตร

จากรูปที่ 39 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบขึ้นทดสอบที่เจาะรู 3 รูตรงศูนย์และขึ้นทดสอบที่เจาะรู 3 รูเอียงศูนย์ โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ 3 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าความเร็วในการทดสอบมีผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึง เมื่อเพิ่มความเร็วในการดึงมีแนวโน้มส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงเพิ่ม เนื่องจากความเร็วในการดึงที่เพิ่มขึ้น จะทำให้จุดครากตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว กลับส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงเพิ่มขึ้น จากภาพที่ 38 และ 39 เป็นกราฟเปรียบเทียบแสดงผลการทดลองการศึกษาผลกระทบของศูนย์รวมความเค้น เมื่อขึ้นทดสอบที่เจาะรูตรงศูนย์และขึ้นทดสอบที่เจาะรูเอียงศูนย์ โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะเท่ากับ 1 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยขึ้นทดสอบที่เจาะรูเอียงศูนย์ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของรูเจาะถึงขอบชิ้นงานคือ 3.125 มิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วในการดึงให้สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นด้วย เพราะจุดครากตัวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วแต่กลับส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น

สรุปได้ว่าขึ้นทดสอบที่มีการเจาะรูคู่และ 3 รูมีความสัมพันธ์ระหว่างขนาดรูเจาะกับความสามารถในการรับแรงดึงเหมือนกับกรณีที่มีการเจาะรูเดี่ยว และระยะห่างระหว่างรูเจาะไม่มีผลต่อการรับแรงดึง โดยระยะห่างระหว่างศูนย์รูเจาะรูหนึ่งถึงศูนย์กลางรูเจาะอีกรูเท่ากับ 6 มิลลิเมตร แสดงว่าการเจาะรูหลายรูในแนวเดียวกันทำให้เกิดการกระจายตัวของจุดรวมความเค้นไปทั่วขึ้นทดสอบ ทำให้ไม่เกิดความเค้นสูงที่จุดใดจุดหนึ่ง แต่ถ้ารูเจาะใกล้กันมากขึ้นโอกาสที่จะขาดที่รูก็จะเพิ่มสูงขึ้น



ภาพที่ 40 ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด \varnothing 1 มิลลิเมตร



รูปที่ 41 ผลการทดลองเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงสูงสุด \varnothing 3 มิลลิเมตร

จากภาพที่ 40 และ 41 เป็นกราฟเปรียบเทียบแสดงผลการทดลองในการศึกษาผลกระทบของศูนย์รวมความเค้นในรูปแบบต่างๆ เมื่อขึ้นทดสอบผ่านการเจาะรูให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 มิลลิเมตร และ 3 มิลลิเมตร ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วในการดึงให้สูงขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานแรงดึงหรือความแข็งแรงดึงสูงสุด (UTS) มีแนวโน้มสูงมากขึ้น เนื่องจากจุดครากตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่กลับส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่ม

สูงขึ้น ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าความสามารถในการรับแรงดึง การเจาะรูเพื่อทำให้เกิดศูนย์รวมความเค้นในรูปแบบต่างๆ จะขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงดึง ถ้าพื้นที่หน้าตัดในการรับแรงดึงมีน้อย ความสามารถในการรับแรงดึงก็มีน้อยเช่นกัน ชั้นทดสอบที่สามารถรับแรงดึงได้สูงสุดคือ ชั้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะขนาด 1 มิลลิเมตร มีค่า UTS = 633.20 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร ส่วนชั้นทดสอบที่รับแรงดึงได้น้อยที่สุดคือ ชั้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเยื้องศูนย์ เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะขนาด 3 มิลลิเมตร มีค่า UTS = 453.44 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร การกระจายตัวของความเค้นไม่สม่ำเสมอ เพราะเกิดศูนย์รวมความเค้นสูงขึ้นบริเวณขอบรูเจาะ ซึ่งพื้นที่บริเวณหน้าตัดด้านที่มีเนื้อที่น้อยกว่าเริ่มขาดก่อน เนื่องจากมีขนาดพื้นที่หน้าตัดเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน และจะขยายตัวไปยังพื้นที่บริเวณหน้าตัดขนาดใหญ่ ส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงน้อย ชั้นทดสอบที่มีขนาดรูเจาะ \varnothing 1 มิลลิเมตรจะมีค่าศูนย์รวมความเค้นมากกว่าชั้นทดสอบที่มีขนาดรูเจาะ \varnothing 3 มิลลิเมตร เนื่องมาจากชั้นทดสอบมีความไม่สม่ำเสมอต่อเนื่องกัน

5. การวิเคราะห์การทำนายผลโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม

ตารางที่ 17 ผลค่าเฉลี่ยความผิดพลาดค่าความแข็งแรงดึง

ค่าความผิดพลาดค่าความแข็งแรงดึง								
ชั้นที่	Test speed (mm/min)	รูปแบบการเจาะ	ขนาดของรูเจาะ (mm)	ตำแหน่งการเจาะ	ค่า UTS (N/mm ²)	Neural network (N/mm ²)	ค่า Error	% Error
1	110	1	1	1	622.42	625.311	2.891	0.46
2	110	2	1	1	612.71	625.656	12.946	2.11
3	110	3	1	1	620.76	625.981	5.221	0.84
4	110	1	1	2	601.5	620.267	18.767	3.12
5	110	2	1	2	618.94	618.098	0.842	0.14
6	110	3	1	2	608.72	610.412	1.692	0.28
7	160	1	1	1	635.3	625.630	9.670	1.52
8	160	2	1	1	615.38	625.956	10.576	1.72
9	160	3	1	1	620.34	626.265	5.925	0.96
10	160	1	1	2	625.38	620.829	4.551	0.73
11	160	2	1	2	618.85	621.409	2.559	0.41
12	160	3	1	2	613.68	621.959	8.279	1.35
13	210	1	1	1	633.01	625.932	7.078	1.12
14	210	2	1	1	623.85	626.242	2.392	0.38
15	210	3	1	1	625.03	626.535	1.505	0.24
16	210	1	1	2	612.26	621.365	9.105	1.49

17	210	2	1	2	621.36	621.917	0.557	0.09
18	210	3	1	2	616.6	622.442	5.842	0.95
19	260	1	1	1	639.73	626.218	13.512	2.11
20	260	2	1	1	640.35	626.51	13.84	2.16
21	260	3	1	1	631.12	626.791	4.329	0.69
22	260	1	1	2	629.81	621.875	7.935	1.26
23	260	2	1	2	629.07	622.40	6.668	1.06
24	260	3	1	2	622.96	622.901	0.059	0.01
25	110	1	3	1	546.65	550.506	3.856	0.71
26	110	2	3	1	538.65	538.516	0.134	0.02
27	110	3	3	1	537.44	538.468	1.028	0.19
28	110	1	3	2	430.65	439.700	9.050	2.10
29	110	2	3	2	451.98	464.599	12.619	2.79
30	110	3	3	2	445.83	465.236	19.406	4.35
31	160	1	3	1	549.08	539.107	9.973	1.82
32	160	2	3	1	531.57	538.170	6.600	1.24
33	160	3	3	1	540.83	542.719	1.889	0.35
34	160	1	3	2	453.31	449.070	4.240	0.94
35	160	2	3	2	485.86	460.152	25.708	5.29
36	160	3	3	2	468.83	472.080	3.250	0.69
37	210	1	3	1	544.11	537.897	6.213	1.14
38	210	2	3	1	545.48	542.353	3.127	0.57
39	210	3	3	1	539.57	546.746	7.176	1.33
40	210	1	3	2	435.18	459.258	24.078	5.53
41	210	2	3	2	458.38	471.127	12.747	2.78
42	210	3	3	2	480.96	483.666	2.706	0.56
43	260	1	3	1	548.34	541.984	6.356	1.16
44	260	2	3	1	555.65	546.433	9.217	1.66
45	260	3	3	1	542.19	550.084	7.894	1.46
46	260	1	3	2	489.99	470.177	19.813	4.04
47	260	2	3	2	488.99	482.673	6.317	1.29
48	260	3	3	2	507.63	495.599	12.031	2.37
49	110	1	1	1	618.71	625.311	6.601	1.07
50	110	2	1	1	612.41	625.656	13.246	2.16
51	110	3	1	1	611.09	625.981	14.891	2.44

52	110	1	1	2	638.5	620.267	18.233	2.86
53	110	2	1	2	618.18	618.098	0.082	0.01
54	110	3	1	2	611.2	610.412	0.788	0.13
55	160	1	1	1	633.31	625.630	7.680	1.21
56	160	2	1	1	611.08	625.956	14.876	2.43
57	160	3	1	1	617.8	626.265	8.465	1.37
58	160	1	1	2	615.12	620.829	5.709	0.93
59	160	2	1	2	632.31	621.409	10.901	1.72
60	160	3	1	2	609.1	621.959	12.859	2.11
61	210	1	1	1	641.88	625.932	15.948	2.48
62	210	2	1	1	607.48	626.242	18.762	3.09
63	210	3	1	1	630.1	626.535	3.565	0.57
64	210	1	1	2	632.89	621.365	11.525	1.82
65	210	2	1	2	635.25	621.917	13.333	2.10
66	210	3	1	2	608.34	622.442	14.102	2.32
67	260	1	1	1	641.18	626.218	14.962	2.33
68	260	2	1	1	636.84	626.513	10.327	1.62
69	260	3	1	1	638.61	626.791	11.819	1.85
70	260	1	1	2	633.61	621.875	11.735	1.85
71	260	2	1	2	630.12	622.402	7.718	1.22
72	260	3	1	2	613.72	622.901	9.181	1.50
73	110	1	3	1	553.78	550.506	3.274	0.59
74	110	2	3	1	521.47	538.516	17.046	3.27
75	110	3	3	1	528.03	538.468	10.438	1.98
76	110	1	3	2	444.89	439.700	5.190	1.17
77	110	2	3	2	479.6	464.599	15.001	3.13
78	110	3	3	2	482.24	465.236	17.004	3.53
79	160	1	3	1	544.98	539.107	5.873	1.08
80	160	2	3	1	530.62	538.170	7.550	1.42
81	160	3	3	1	538.05	542.719	4.669	0.87
82	160	1	3	2	448.17	449.070	0.900	0.20
83	160	2	3	2	448.1	460.152	12.052	2.69
84	160	3	3	2	470.24	472.080	1.840	0.39
85	210	1	3	1	550.48	537.897	12.583	2.29
86	210	2	3	1	545.13	542.353	2.777	0.51

87	210	3	3	1	546.5	546.746	0.246	0.05
88	210	1	3	2	479.38	459.258	20.122	4.20
89	210	2	3	2	482.52	471.127	11.393	2.36
90	210	3	3	2	497.21	483.666	13.544	2.72
91	260	1	3	1	547.09	541.984	5.106	0.93
92	260	2	3	1	549.43	546.433	2.997	0.55
93	260	3	3	1	550.88	550.084	0.796	0.14
94	260	1	3	2	445.97	470.177	24.207	5.43
95	260	2	3	2	467.06	482.673	15.613	3.34
96	260	3	3	2	483.5	495.599	12.099	2.50
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย								1.63

จากตารางที่ 17 ผลการวิเคราะห์การฝึกสอนสำหรับโครงข่ายประสาทเทียมจากข้อมูลอินพุต 4 อินพุต และเอาต์พุต 1 เอาต์พุต รวม 96 ชุด โดยโปรแกรม MATLAB ผลปรากฏว่าสามารถทำนายค่าได้อย่างแม่นยำ คือ มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.63%



ภาพที่ 42 ความผิดพลาดจากการทำนายผลค่าความแข็งแรงดึง รวม 96 ชุด

จากรูปที่ 42 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากผลการทดลองกับการฝึกสอน (Training) ให้กับแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network model)

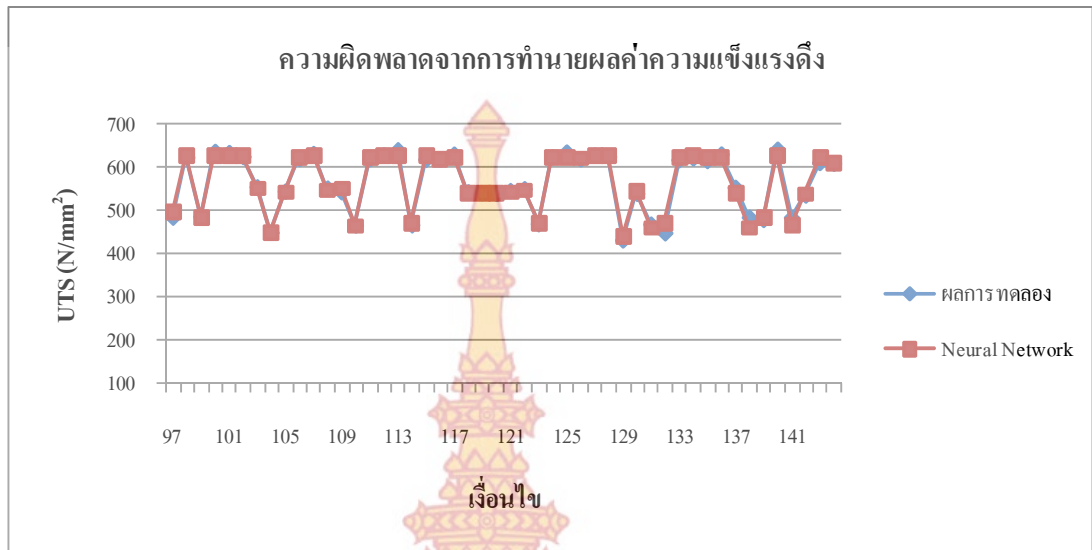
6. ผลการทดลองจากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความแข็งแรงดึง

ตารางที่ 18 ผลการทำนายค่าความแข็งแรงดึง

ชั้น ที่	Test speed (mm/min)	รูปแบบ การ เจาะ	ขนาด ของ รูเจาะ (mm)	ตำแหน่ง การเจาะ	ผลการ ทดลอง	Neural network (N/mm ²)	ค่า Error	% Error
97	260	3	3	2	483.5	495.599	12.099	2.50
98	110	1	1	1	622.42	625.311	2.891	0.46
99	260	2	3	2	485.31	482.673	2.637	0.54
100	110	2	1	1	635.9	625.656	10.244	1.61
101	160	1	1	1	633.31	625.630	7.680	1.21
102	210	2	1	1	623.85	626.242	2.392	0.38
103	110	1	3	1	553.78	550.506	3.274	0.59
104	160	1	3	2	448.17	449.070	0.900	0.20
105	260	1	3	1	543.84	541.984	1.856	0.34
106	210	2	1	2	619.47	621.917	2.447	0.40
107	260	3	1	1	631.12	626.791	4.329	0.69
108	210	3	3	1	550.83	546.746	4.084	0.74
109	260	3	3	1	542.19	550.084	7.894	1.46
110	110	2	3	2	465.31	464.599	0.711	0.15
111	160	1	1	2	618.6	620.829	2.229	0.36
112	210	1	1	1	627.64	625.932	1.708	0.27
113	260	1	1	1	639.73	626.218	13.512	2.11
114	160	3	3	2	465.73	472.080	6.350	1.36
115	160	2	1	1	617.43	625.956	8.526	1.38
116	110	2	1	2	618.18	618.098	0.082	0.01
117	210	1	1	2	629.52	621.365	8.155	1.30
118	160	2	3	1	542.21	538.170	4.040	0.75
119	110	3	3	1	540.25	538.468	1.782	0.33
120	160	1	3	1	538.65	539.107	0.457	0.08
121	210	2	3	1	545.13	542.353	2.777	0.51
122	260	2	3	1	549.43	546.433	2.997	0.55
123	210	2	3	2	468.22	471.127	2.907	0.62

124	260	2	1	2	623.23	622.402	0.828	0.13
125	160	2	1	2	634.37	621.409	12.961	2.04
126	110	1	1	2	618.6	620.267	1.667	0.27
127	160	3	1	1	627.58	626.265	1.315	0.21
128	210	3	1	1	623.88	626.535	2.655	0.43
129	110	1	3	2	430.65	439.700	9.050	2.10
130	160	3	3	1	538.719	542.719	4.000	0.74
131	210	1	3	2	467.39	459.258	8.132	1.74
132	260	1	3	2	447.24	470.177	22.937	5.13
133	210	3	1	2	616.6	622.442	5.842	0.95
134	110	3	1	1	620.76	625.981	5.221	0.84
135	160	3	1	2	614.7	621.959	7.259	1.18
136	260	1	1	2	629.99	621.875	8.115	1.29
137	110	2	3	1	552.6	538.516	14.084	2.55
138	160	2	3	2	483.34	460.152	23.188	4.80
139	210	3	3	2	478.22	483.666	5.446	1.14
140	260	2	1	1	641.11	626.513	14.597	2.28
141	110	3	3	2	482.85	465.236	17.614	3.65
142	210	1	3	1	534.73	537.897	3.167	0.59
143	260	3	1	2	610.06	622.901	12.841	2.10
144	110	3	1	2	608.43	610.412	1.982	0.33
เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ย								1.15

ตารางที่ 18 แสดงผลการทำนายค่าความแข็งแรงดึงในสภาวะที่ยังไม่ได้ทำการทดลอง จากการป้อนอินพุตที่ยังไม่ได้ทำการทดลองเข้าไป 48 อินพุต และให้โครงข่ายประสาทเทียมทำนายผลปรากฏว่าสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำเช่นกัน โดยค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ 1.15%



รูปที่ 43 ความผิดพลาดจากการทำนายผลค่าความแข็งแรงดึง ที่ยังไม่ได้ทำการทดลอง

จากรูปที่ 43 ผลการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากผลการทดลองกับการทำนายผล (Prediction) โดยแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network model)



รูปที่ 44 สมรรถนะการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

จากข้อมูลของ 4 อินพุต และ 1 เอาท์พุต จำนวน 96 ชุด จะถูกนำมาฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งจากการฝึกสอนพบว่าจำนวนนิวรอนที่ฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียมสำเร็จในชั้น

ซ่อน (Hidden layer) ที่ 1 เท่ากับ 18 นิวรอน และชั้นซ่อนที่ 2 เท่ากับ 17 นิวรอน เพื่อให้ได้ค่าเอาต์พุตตรงกับอินพุตที่ป้อนเข้าไป โดยสมรรถนะของกระบวนการฝึกสอน ดังแสดงในรูปที่ 44 ซึ่งมีการฝึกสอนจำนวน 10,000 รอบ



บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

การดำเนินการทดลองในครั้งนี้เป็นการใช้โครงข่ายประสาทเทียมในการทำนายค่าความแข็งแรงดึงในแข็งแรงดึงของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 โดยมุ่งเน้นศึกษาและวิเคราะห์ผลกระทบของศูนย์รวมความเค้นรูปแบบต่างๆ ที่มีผลต่อความแข็งแรงของชิ้นทดสอบ ซึ่งชิ้นทดสอบได้ผ่านการเตรียมให้มีจุดรวมความเค้นที่มีขนาดและรูปร่างแตกต่างกัน 12 รูปแบบ และมีการปรับเปลี่ยนค่าความเร็วที่ใช้ในการทดสอบให้มีค่าแตกต่างกัน 4 ระดับ คือ 110, 160, 210 และ 260 มิลลิเมตรต่อ นาที

1. สรุปผลงานวิจัย

1.1 ชิ้นทดสอบที่สามารถรับแรงดึงได้สูงสุดคือ ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์ \varnothing 1 มิลลิเมตร ส่วนชิ้นทดสอบที่สามารถรับแรงดึงได้น้อยสุดคือ ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเฉียงศูนย์ \varnothing 3 มิลลิเมตร

1.2 ชิ้นทดสอบที่มีขนาดรูเจาะ \varnothing 1 มิลลิเมตรจะมีค่าศูนย์รวมความเค้นมากกว่าชิ้นทดสอบที่มีขนาดรูเจาะ \varnothing 3 มิลลิเมตร เนื่องจากชิ้นทดสอบมีความไม่สม่ำเสมอต่อเนื่องกัน

1.3 การทำนายผลค่าความแข็งแรงดึงจากการใช้โครงข่ายประสาทเทียมสามารถทำนายผลได้อย่างแม่นยำ ให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 1.63%

1.4 จากการทดสอบชิ้นทดสอบที่มีการออกแบบให้มีรูเจาะรูปแบบต่างๆ ชิ้นทดสอบที่มีค่า K_t สูงสุดคือ ชิ้นทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์ รองลงมาคือ ชิ้นทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์และชิ้นทดสอบที่เจาะ 3 รูตรงศูนย์ตามลำดับ เพราะชิ้นทดสอบที่เจาะรูคู่มีการกระจายความเค้นบนชิ้นงานสม่ำเสมอกว่ารูปแบบอื่น

2. ข้อเสนอแนะ

2.1 ควรศึกษารูปแบบชิ้นทดสอบที่ทำให้เกิดศูนย์รวมความเค้นอื่นๆ นอกเหนือจากการทดลองนี้ เช่น รอยบากและรูเจาะแบบอื่น

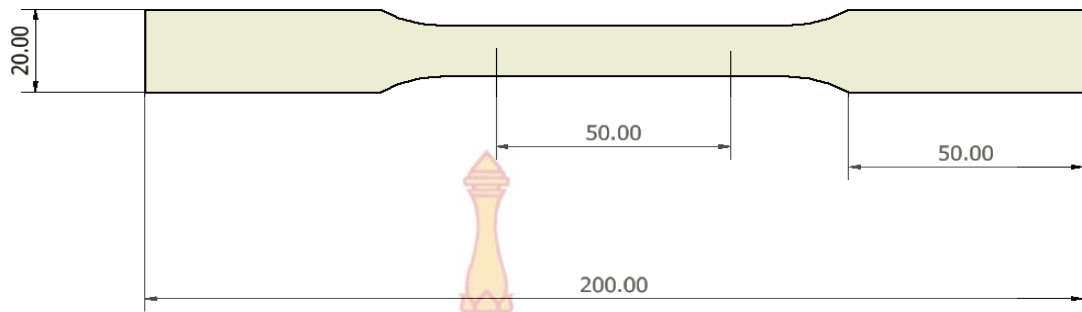
2.2 ควรศึกษาการป้อนข้อมูลอินพุตแบบอื่น นอกเหนือจากการทดลองนี้ เช่น การปรับอินพุตให้อยู่ในฐานข้อมูลเดียวกัน

บรรณานุกรม

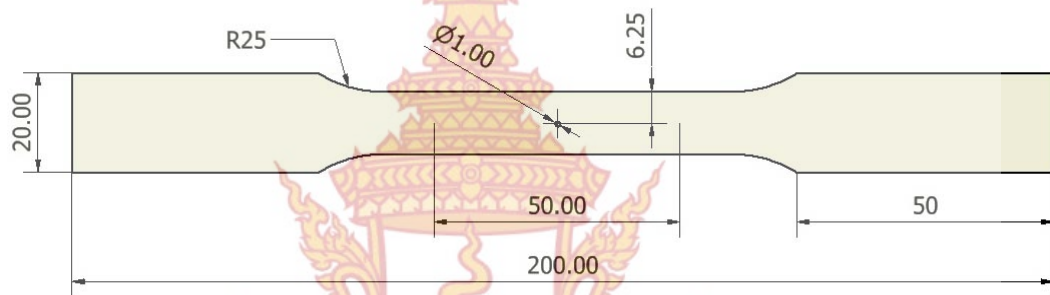
- [1] พยุง มีสัจ, 2551, “**โครงข่ายประสาทเทียม**”, คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [2] เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์ชัย, 2550, “**การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing)**”, สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย.
- [3] Pilkey, W. D., 1997, “**Peterson’s Stress Concentration Factors**”, New York: Wiley
- [4] Hashemi S., 2006, “**Foundations of materials science and engineering**”, 4th, New York: McGraw-Hill
- [5] G. Dieter, 1986, “**Mechanical Metallurgy**”, New York: McGraw-Hill
- [6] Young Il Kwon and Byeong Soo Lim, 2001, “**A Study of Creep-Fatigue Life Prediction Using an Artificial Neural Network**”, METALS AND MATERIALS International Vol. 7, No. 4: pp. 311-317.
- [7] Bahrami, S.H. Mousavi Anijdan, 2005, “**Effective parameters modeling in compression of an austenitic stainless steel using artificial neural network**”, Computational Materials Science 34: 335-341.
- [8] Jung Me Park and Hong Tae Kang, 2007, “**Prediction of fatigue life for spot welds using back-propagation neural networks**”, Materials and Design 28: 2577-2584.
- [9] กุลวดี จันทรราดา และคณะ, 2542, **การศึกษาผลกระทบของศูนย์ความเค้นในแผ่นเหล็ก SS400 เจาะรู**, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



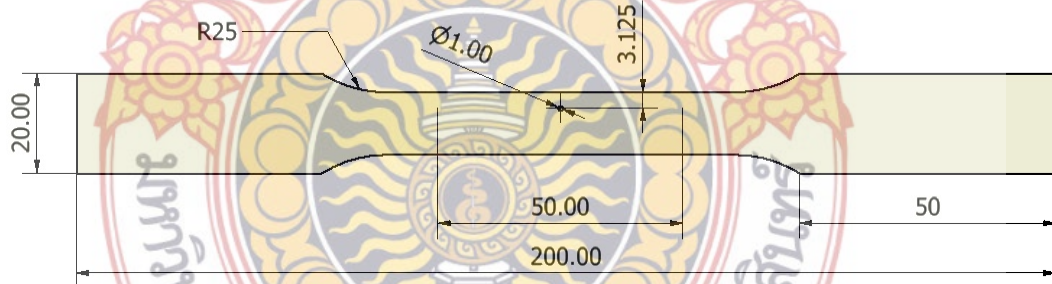
ภาคผนวก ก
ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึง



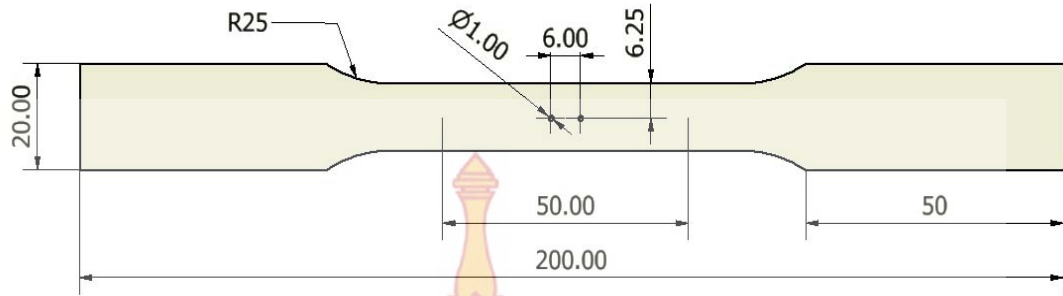
ชิ้นงานทดสอบที่ไม่มีการเจาะรู



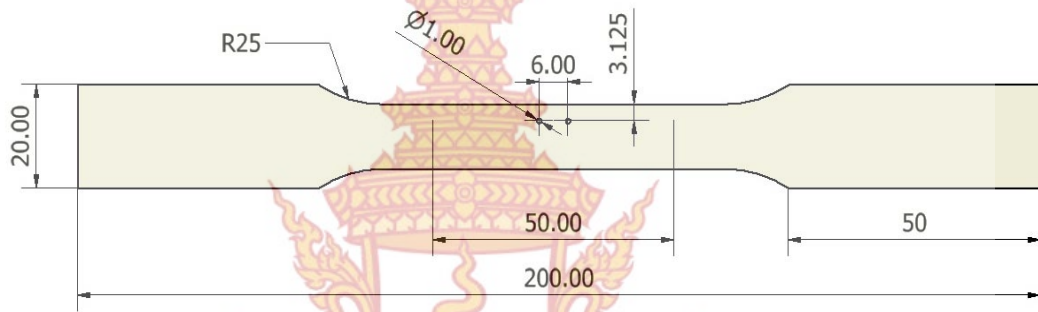
ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวตรงศูนย์กลาง ขนาด 1 มิลลิเมตร



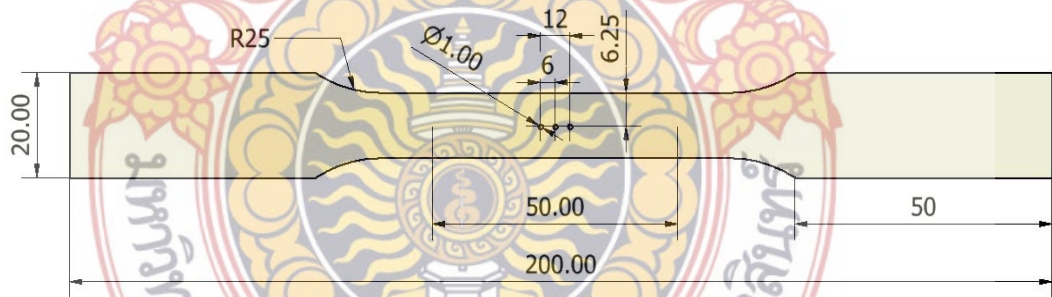
ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูเดี่ยวเอียงศูนย์กลาง ขนาด 1 มิลลิเมตร



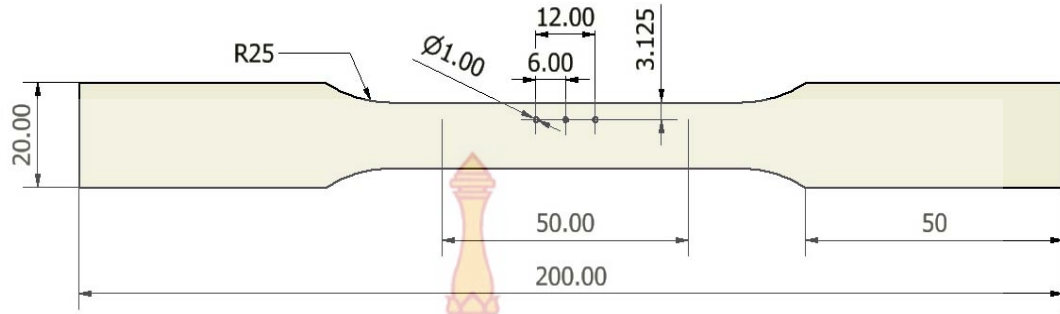
ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร



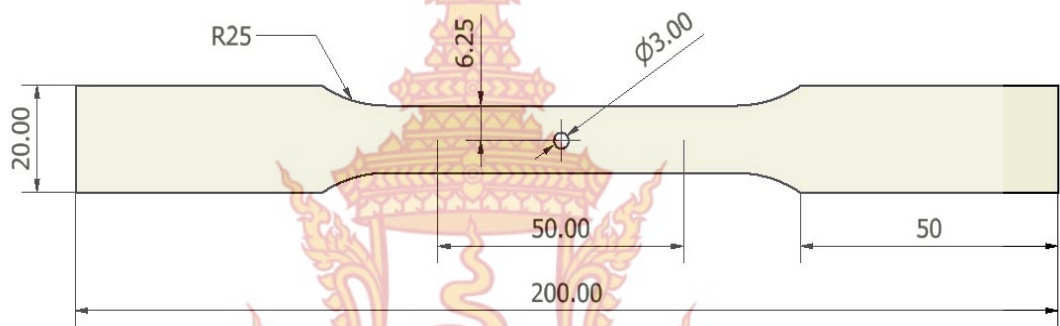
ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูคู่เอียงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร



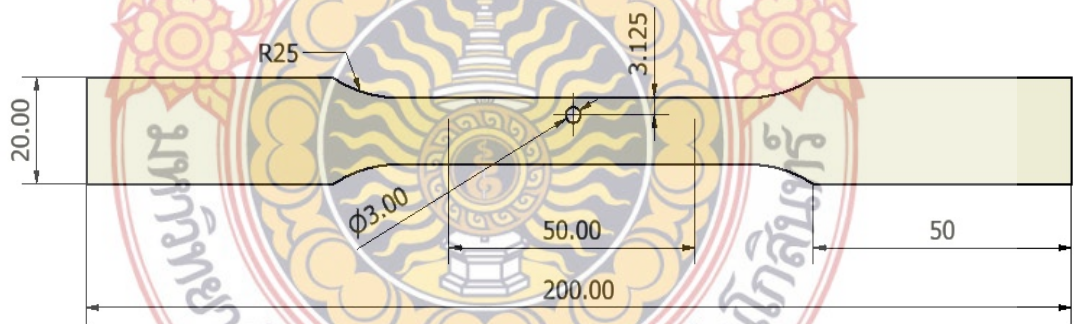
ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูสามรูตรงศูนย์ ขนาด 1 มิลลิเมตร



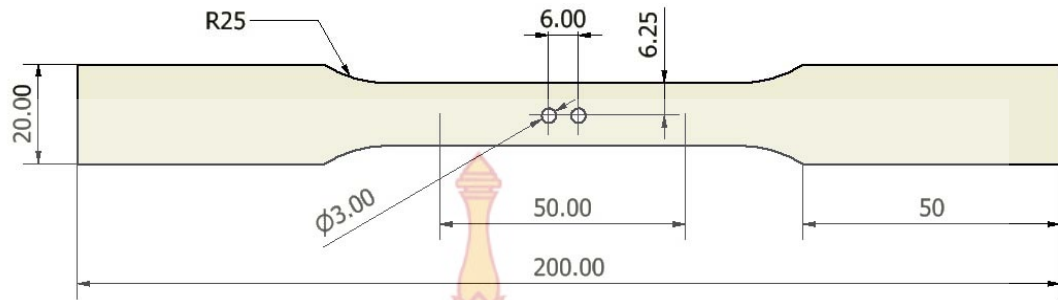
ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูสามรูเยื้องศูนย์กลาง ขนาด 1 มิลลิเมตร



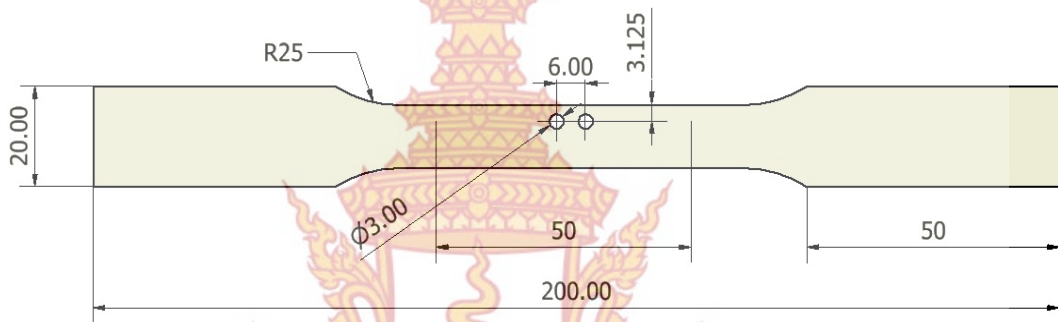
ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูเดียวตรงศูนย์กลาง ขนาด 3 มิลลิเมตร



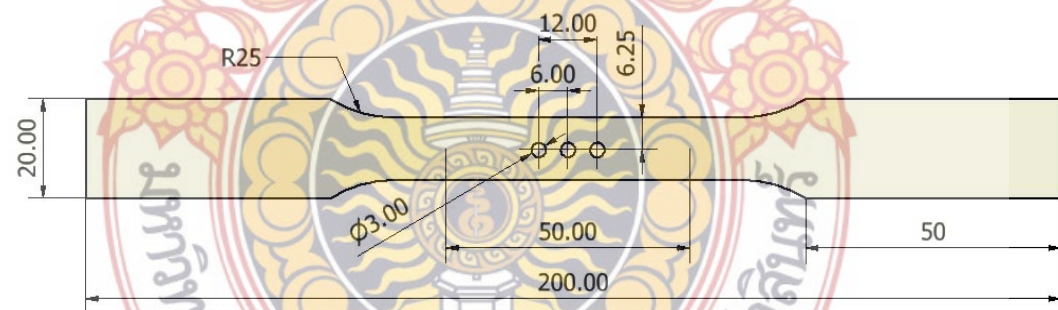
ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูเดียวเยื้องศูนย์กลาง ขนาด 3 มิลลิเมตร



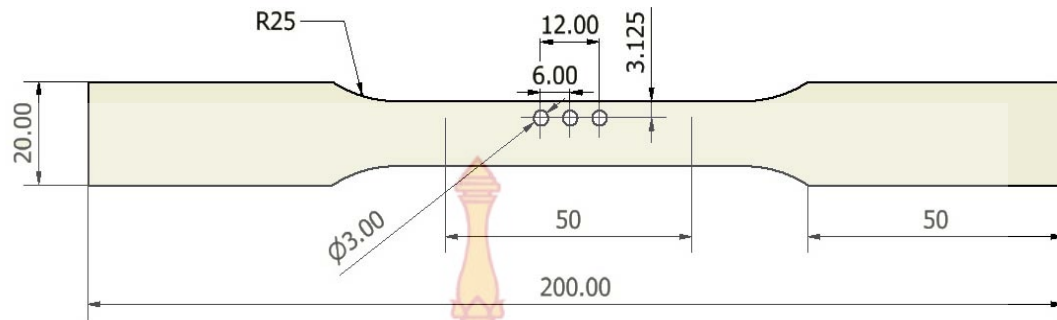
ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูคู่ตรงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร



ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูคู่เอียงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร



ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูสามรูตรงศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร



ชิ้นงานทดสอบที่เจาะรูสามรูเยื้องศูนย์ ขนาด 3 มิลลิเมตร





ภาคผนวก ข.

กราฟแสดงผลการทดสอบแรงดึง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Protocol

20.02.2013

Parameters:

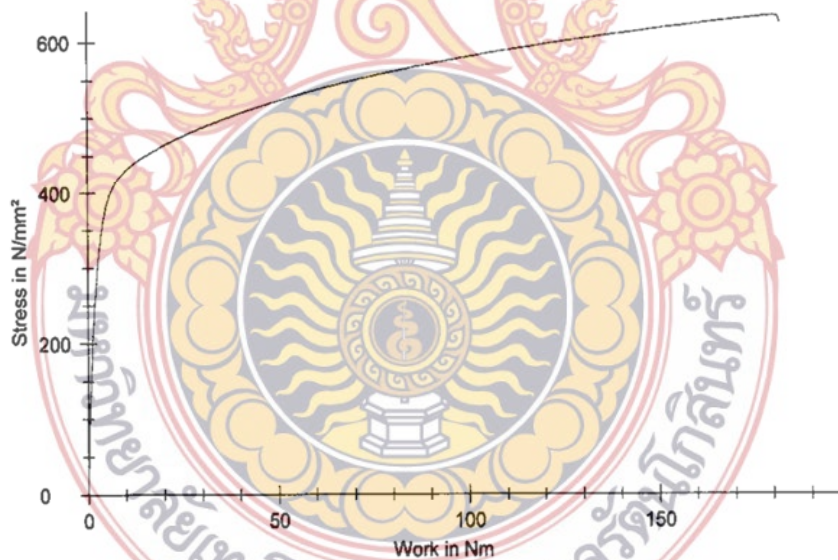
Order number : 3 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path) :
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 160 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	558.98	633.31	623.81	5.08	5.03

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
\bar{x}	1	12.5	558.98	633.31	623.81	5.08	5.03
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

20.02.2013

Parameters:

Order number : 2 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 110 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	558.17	622.42	604.59	5.13	5.08

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	558.17	622.42	604.59	5.13	5.08
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

20.02.2013

Parameters:

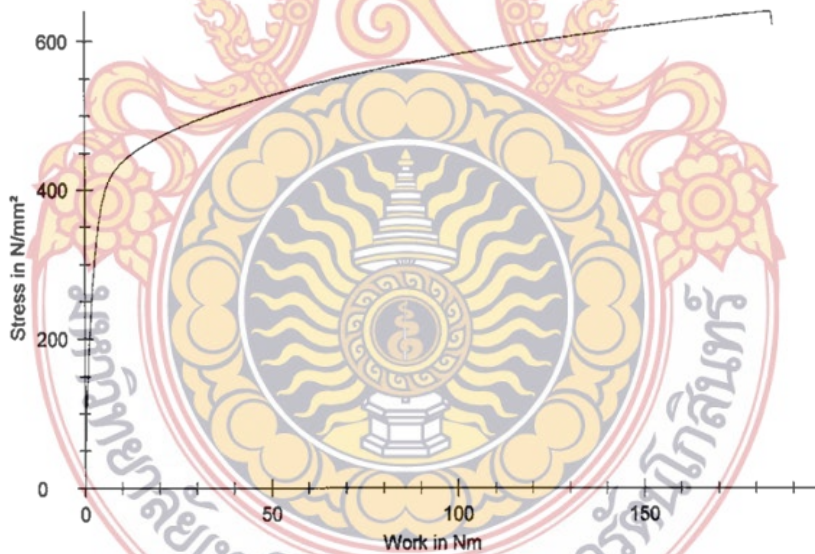
Order number : 3 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 110 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	554.03	638.50	620.25	5.14	5.12

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	554.03	638.50	620.25	5.14	5.12
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

27.02.2013

Parameters:

Order number : 2 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path) :
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 160 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	555.70	615.12	615.02	4.69	4.68

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	555.70	615.12	615.02	4.69	4.68
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

20.02.2013

Parameters:

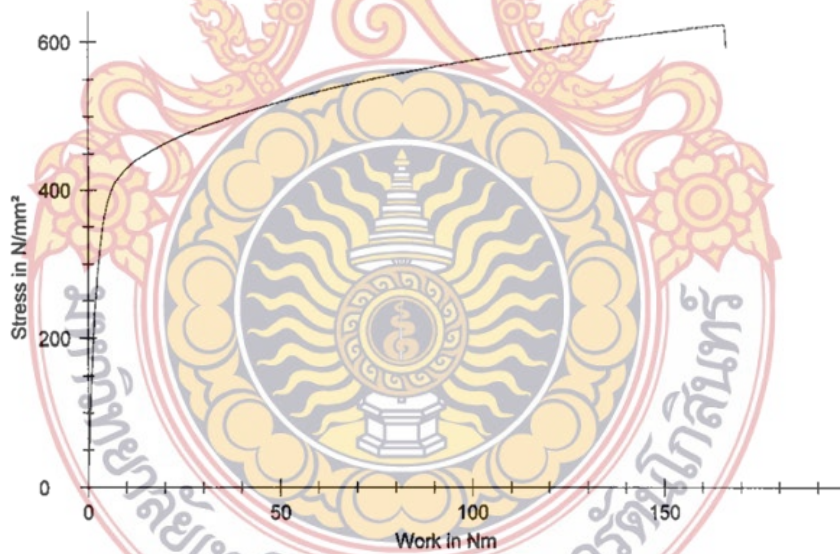
Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed : 10 mm/min
 Test speed : 10 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	555.18	621.26	590.39	4.81	4.79

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	555.18	621.26	590.39	4.81	4.79
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

20.02.2013

Parameters:

Order number : 3 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 110 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	LO mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	565.50	612.41	596.28	4.24	4.17

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	LO mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	565.50	612.41	596.28	4.24	4.17
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

20.02.2013

Parameters:

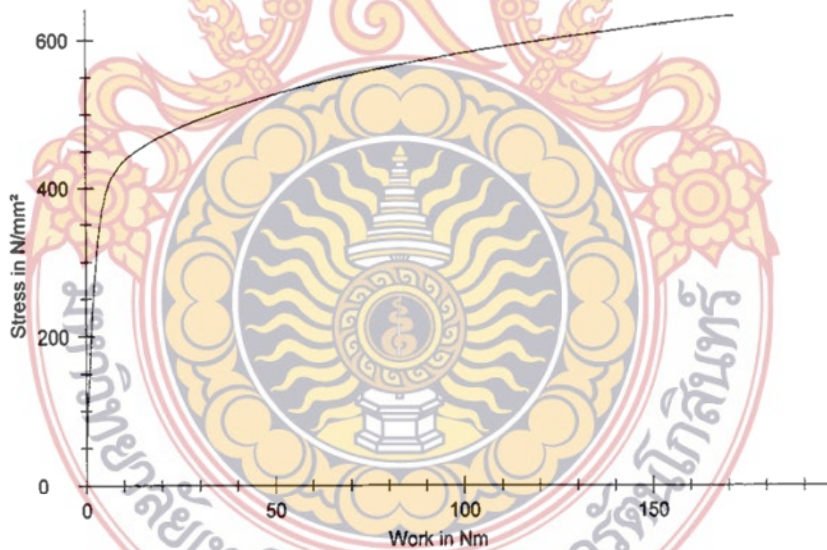
Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path) :
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 260 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	557.14	629.81	629.49	4.84	4.82

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	557.14	629.81	629.49	4.84	4.82
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

27.02.2013

Parameters:

Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 260 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	554.68	640.35	638.53	5.27	5.21

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	554.68	640.35	638.53	5.27	5.21
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

20.02.2013

Parameters:

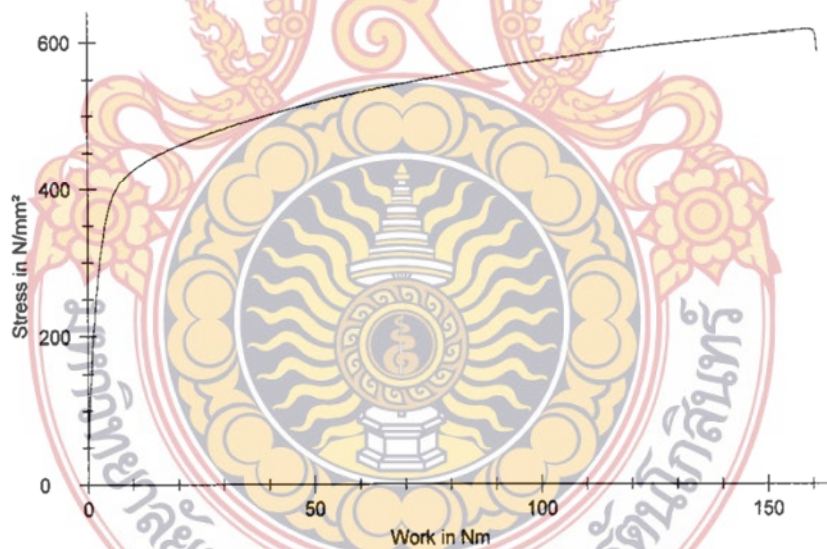
Order number : 2 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path) :
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 160 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	564.34	615.38	585.90	4.54	4.49

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	564.34	615.38	585.90	4.54	4.49
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

20.02.2013

Parameters:

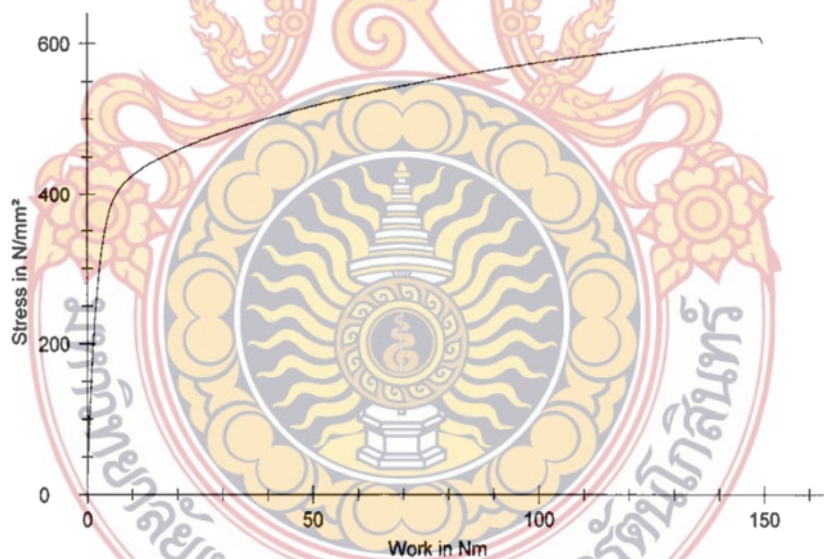
Order number : 3 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 210 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	559.77	607.48	598.82	4.37	4.33

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	559.77	607.48	598.82	4.37	4.33
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

27.02.2013

Parameters:

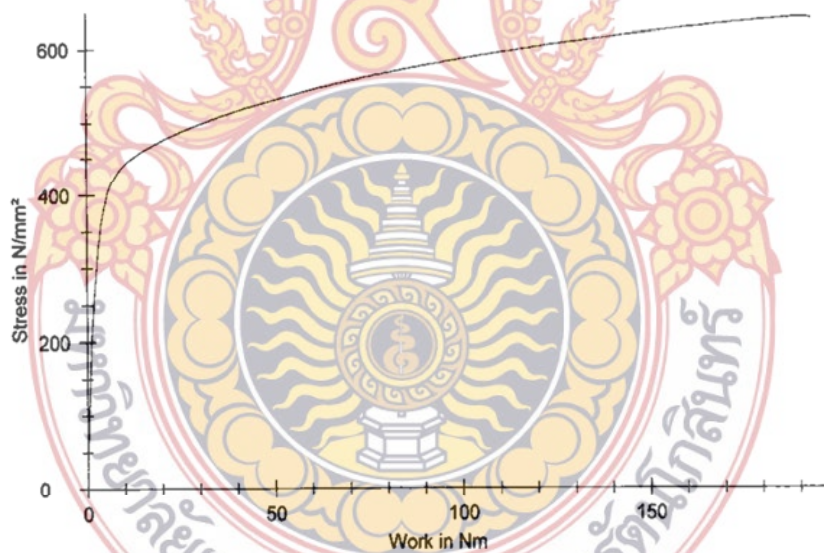
Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 260 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	554.68	640.35	638.53	5.27	5.21

Series graphics:



Statistics:

Series	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
n = 1							
x	1	12.5	554.68	640.35	638.53	5.27	5.21
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

20.02.2013

Parameters:

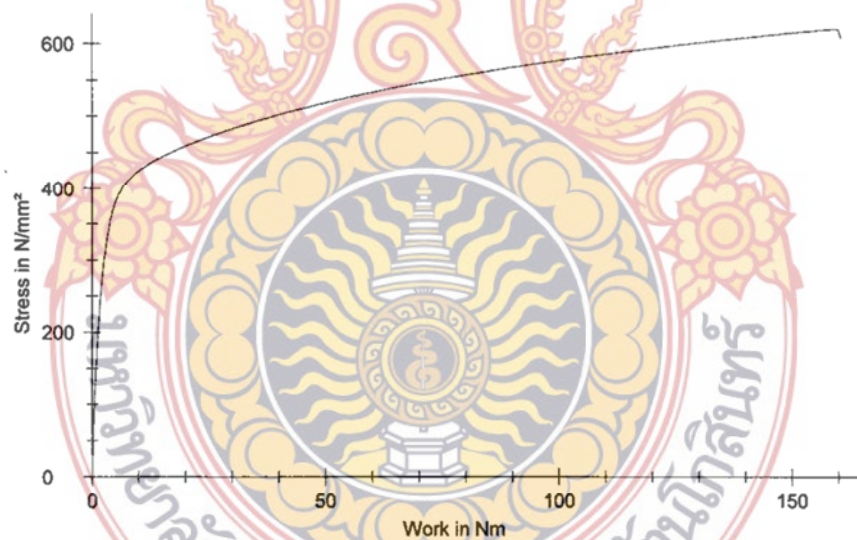
Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 110 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	556.72	618.94	606.82	4.65	4.61

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	556.72	618.94	606.82	4.65	4.61
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

20.02.2013

Parameters:

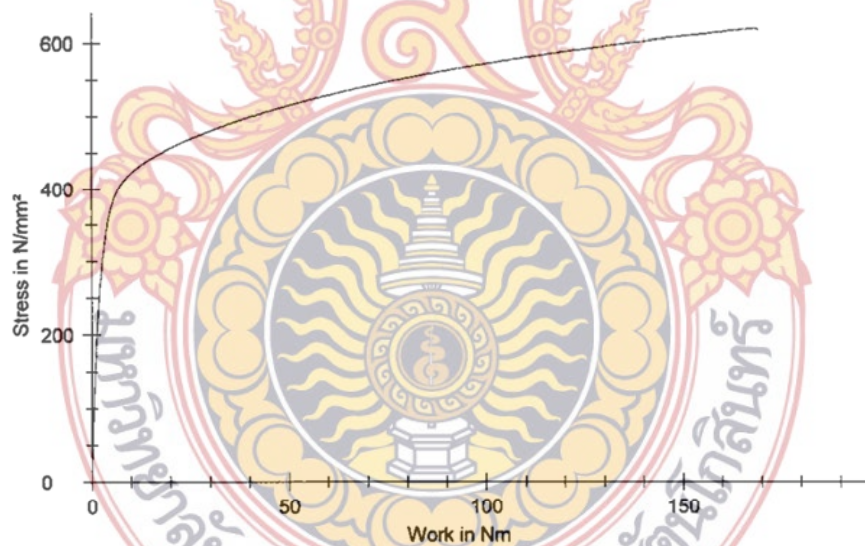
Order number : 2 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 160 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	558.08	618.85	617.22	4.90	4.88

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	558.08	618.85	617.22	4.90	4.88
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

20.02.2013

Parameters:

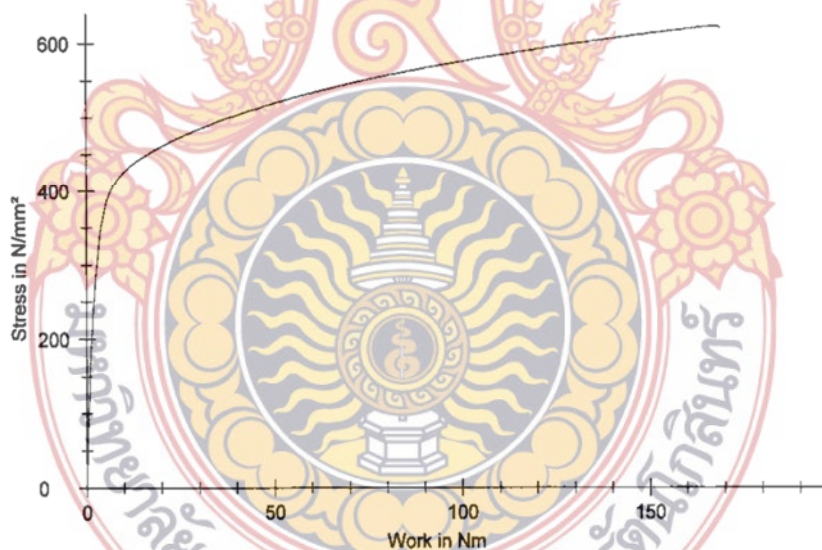
Order number : 2 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 210 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	557.92	621.63	619.45	4.84	4.82

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	557.92	621.63	619.45	4.84	4.82
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

27.02.2013

Parameters:

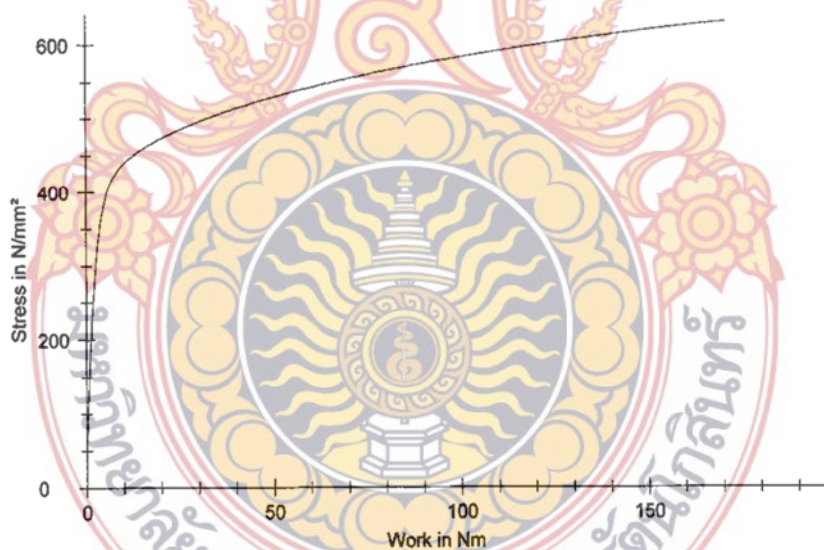
Order number : 3 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 260 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	LO mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	556.62	630.12	630.12	4.77	4.77

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	LO mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	556.62	630.12	630.12	4.77	4.77
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

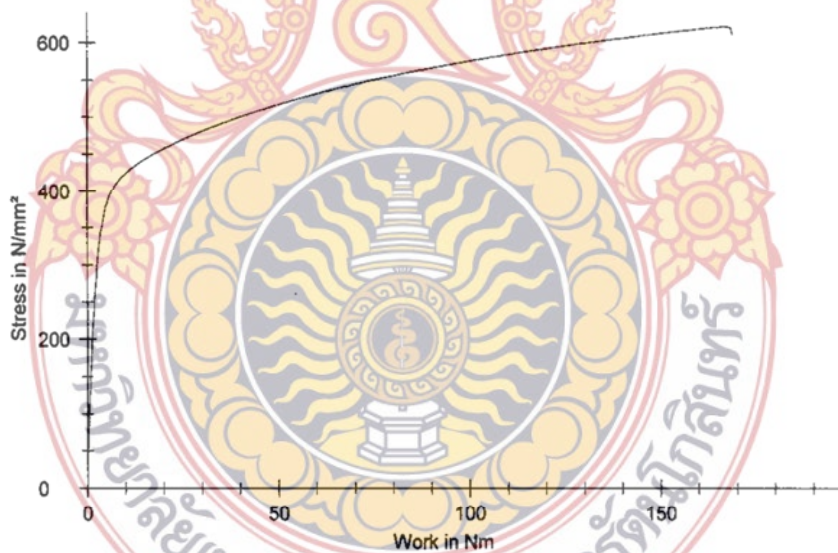
Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 110 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	552.91	620.76	610.32	4.88	4.84

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
\bar{x}	1	12.5	552.91	620.76	610.32	4.88	4.84
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

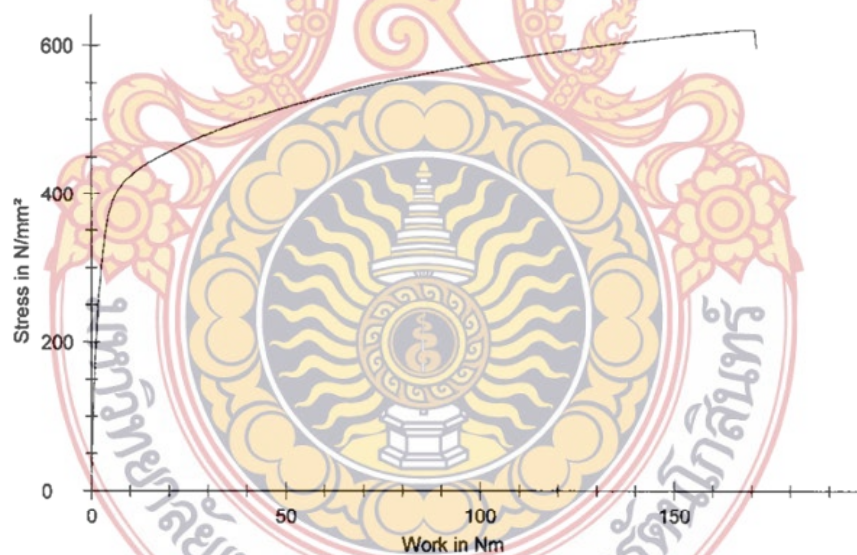
Order number : 2 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 160 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	556.12	620.34	595.58	4.89	4.85

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
\bar{x}	1	12.5	556.12	620.34	595.58	4.89	4.85
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed : 10 mm/min
 Test speed : 210 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	554.32	616.60	612.77	4.34	4.32

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
\bar{x}	1	12.5	554.32	616.60	612.77	4.34	4.32
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

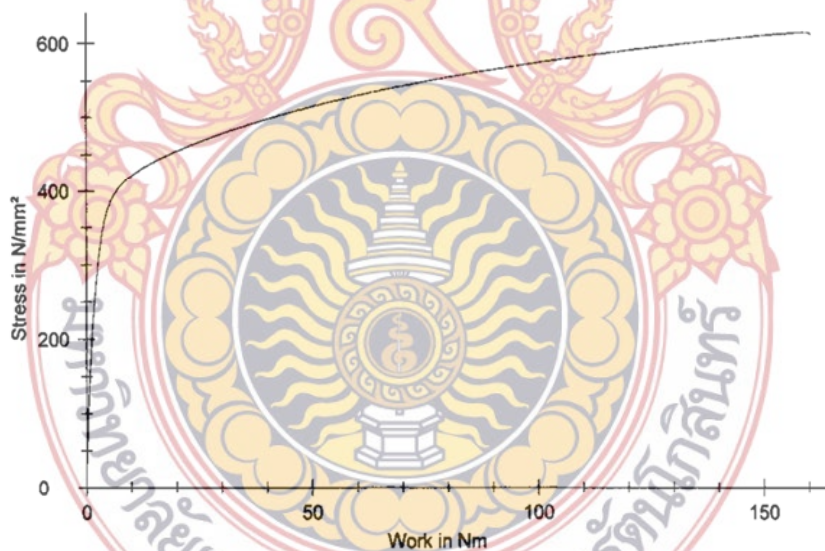
Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 160 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	554.99	613.68	610.56	4.65	4.63

Series graphics:



Statistics:

Series	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
n = 1							
x	1	12.5	554.99	613.68	610.56	4.65	4.63
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 210 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	554.32	616.60	612.77	4.34	4.32

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	554.32	616.60	612.77	4.34	4.32
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

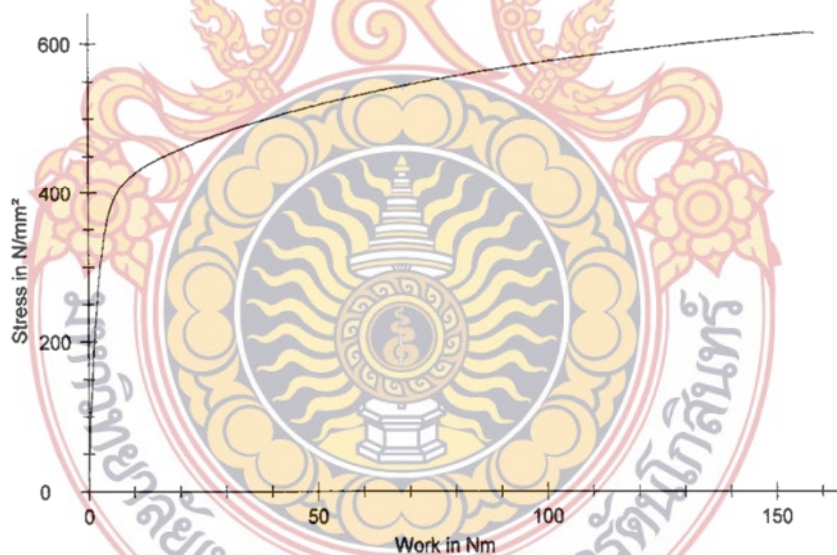
Order number : 3 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 260 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	554.22	613.72	612.73	4.59	4.57

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	554.22	613.72	612.73	4.59	4.57
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

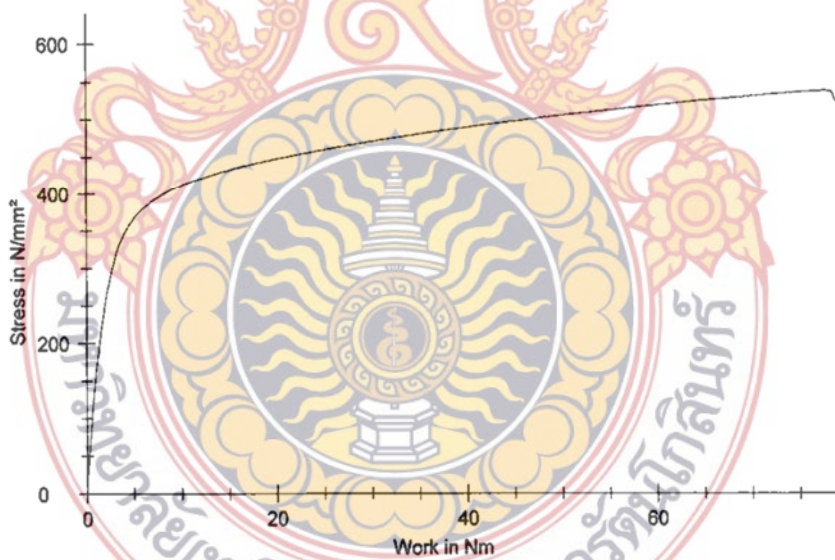
Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 110 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	554.46	536.65	522.84	2.75	2.72

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	554.46	536.65	522.84	2.75	2.72
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

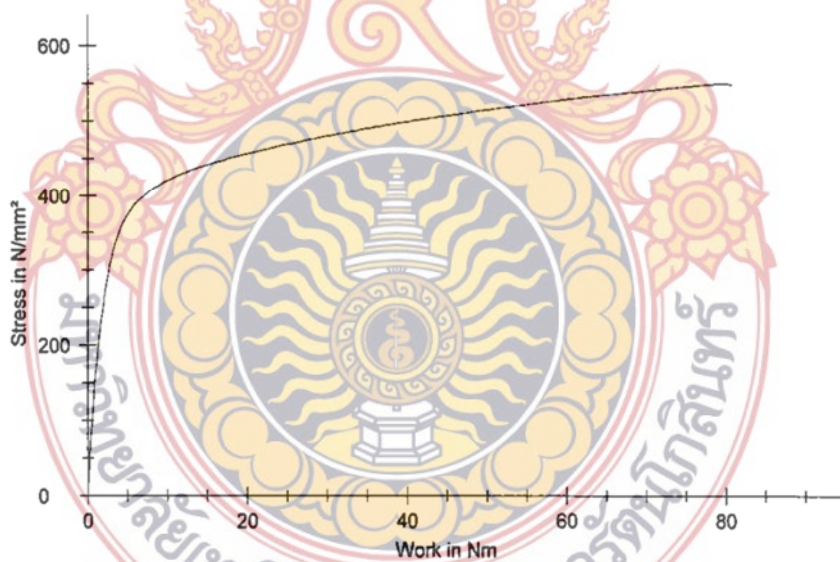
Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 160 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	554.51	549.08	548.36	2.73	2.71

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	554.51	549.08	548.36	2.73	2.71
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

20.02.2013

Parameters:

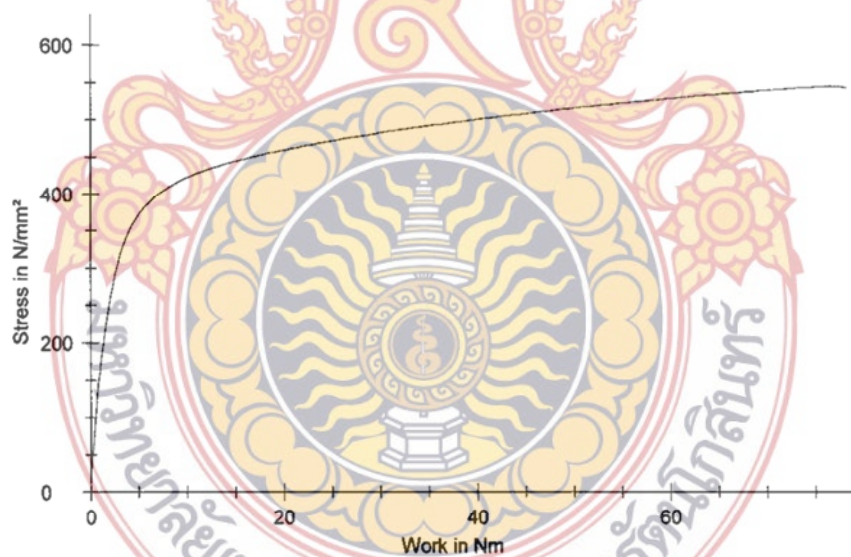
Order number	: 2	Material	: AISI304
Charge	:	Extensometer (path):	:
Test standard	: Tensile	Load cell	:
Tester	: Manop	Specimen grips	:
Customer	:		

Pre-load	: 2 N/mm ²
Pre-load speed	: 10 mm/min
Test speed	: 210 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	557.58	544.11	542.33	2.63	2.59

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	557.58	544.11	542.33	2.63	2.59
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

Order number : 2 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path) :
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 210 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	556.22	435.18	400.87	1.32	0.91

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	556.22	435.18	400.87	1.32	0.91
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

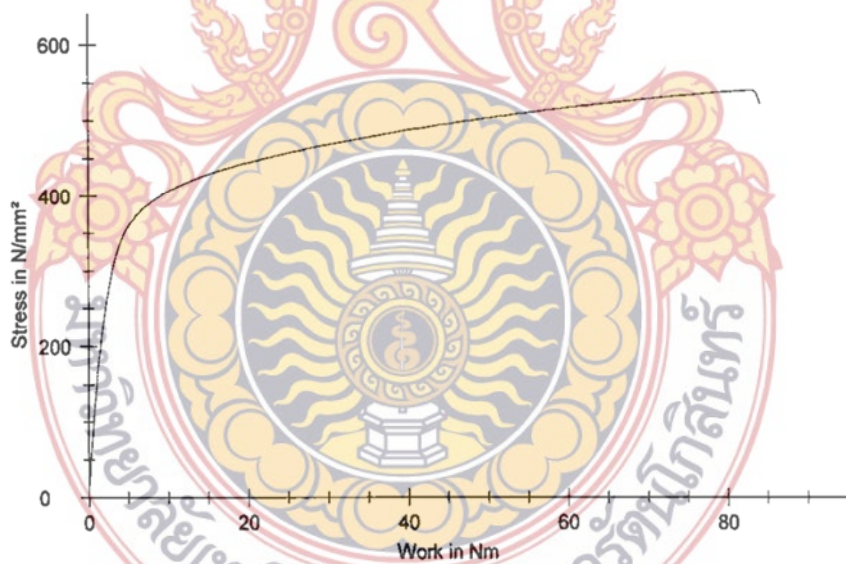
Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 110 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	555.05	538.65	520.77	2.93	2.91

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	555.05	538.65	520.77	2.93	2.91
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

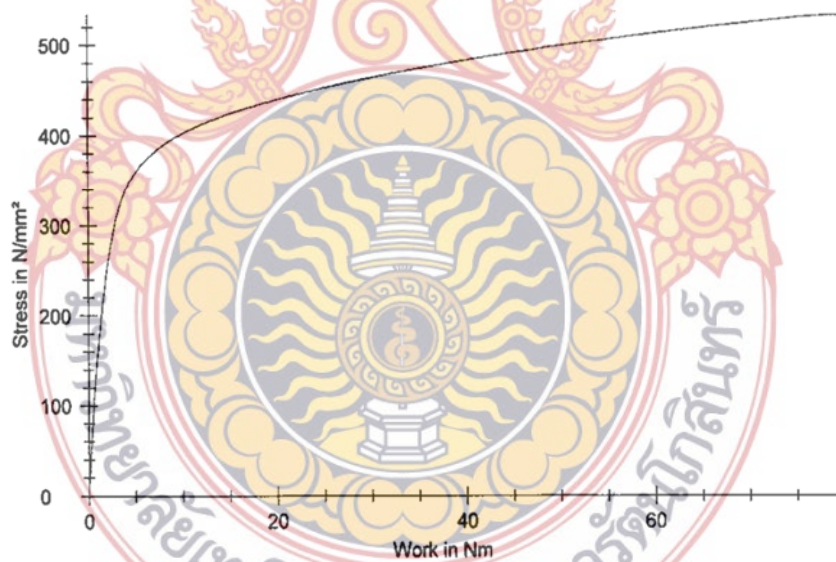
Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 160 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	556.32	531.57	529.35	2.80	2.78

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	556.32	531.57	529.35	2.80	2.78
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

27.02.2013

Parameters:

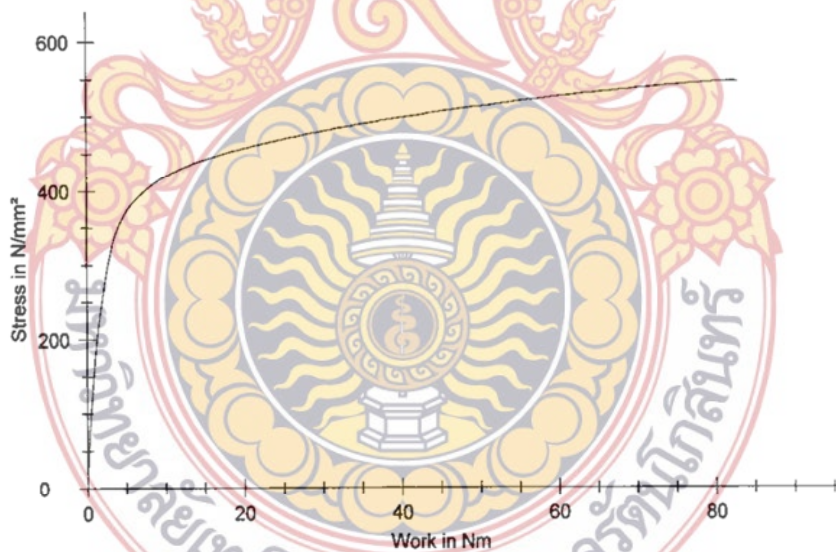
Order number : 2 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path) :
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 210 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	556.34	545.48	545.24	2.77	2.76

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
\bar{x}	1	12.5	556.34	545.48	545.24	2.77	2.76
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

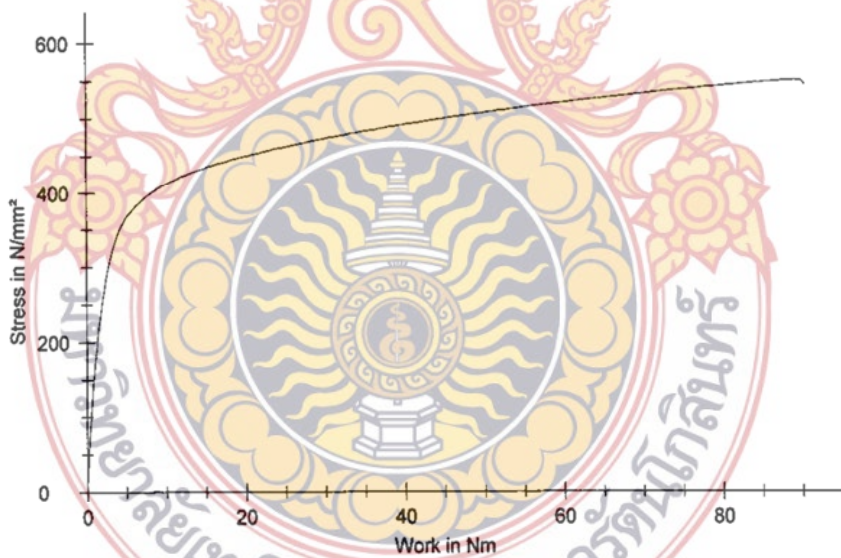
Order number : 2 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer :

 Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 260 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	556.10	549.43	543.05	3.04	3.01

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	556.10	549.43	543.05	3.04	3.01
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

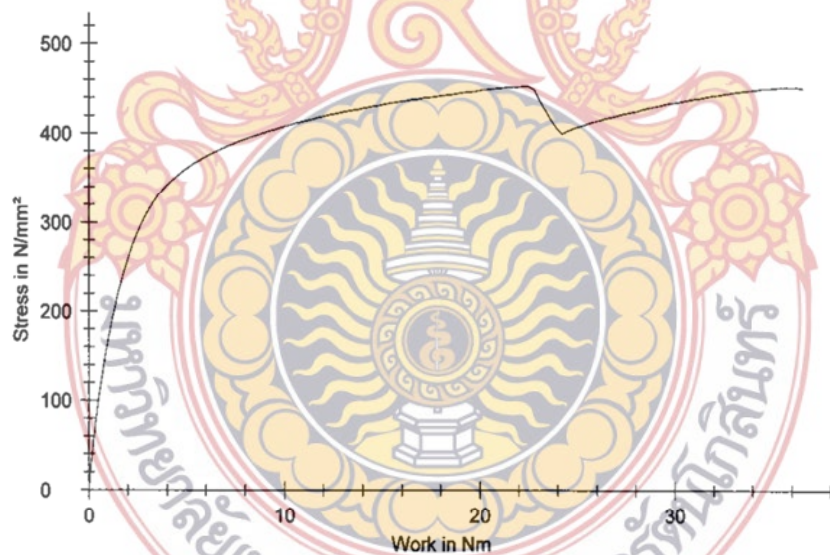
Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path) :
 Test standard : tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 110 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	556.60	451.98	449.46	1.58	1.10

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	556.60	451.98	449.46	1.58	1.10
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

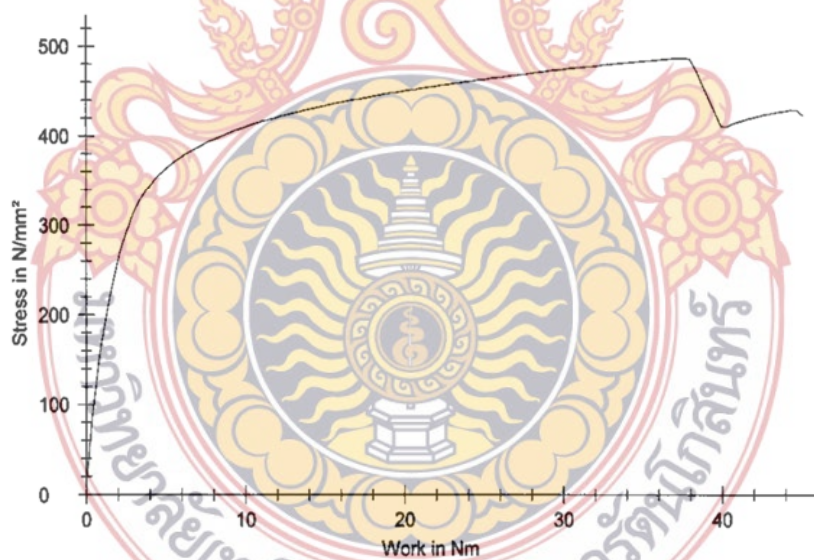
Order number : 2 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 160 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	557.17	485.86	422.34	1.77	1.52

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	557.17	485.86	422.34	1.77	1.52
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

27.02.2013

Parameters:

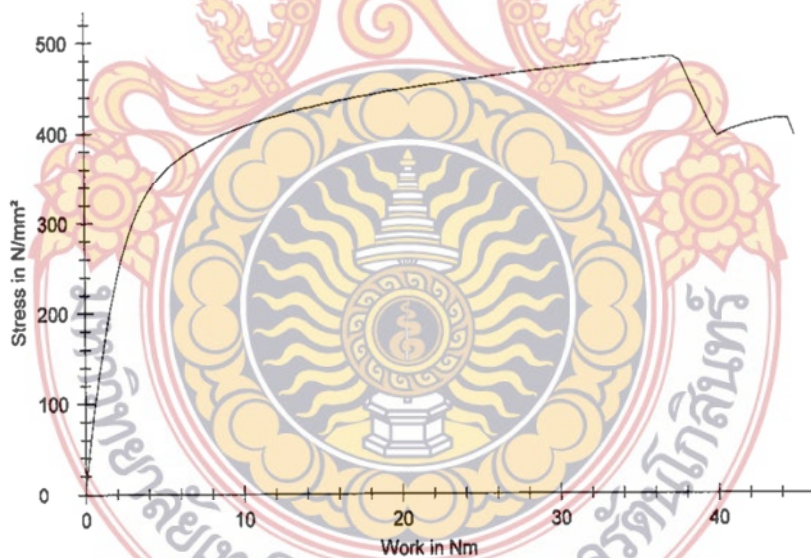
Order number : 3 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 210 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	557.22	482.52	396.18	1.86	1.60

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
\bar{x}	1	12.5	557.22	482.52	396.18	1.86	1.60
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

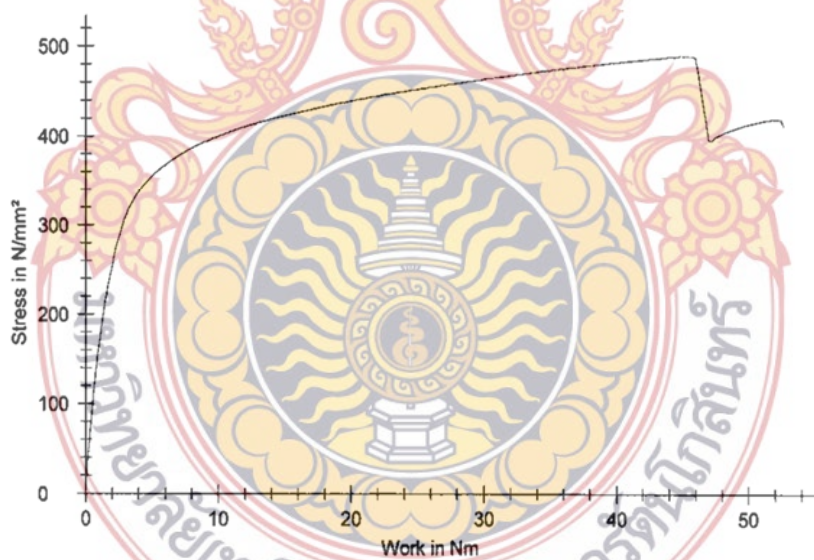
Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 260 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	554.06	488.99	411.41	2.11	1.85

Series graphics:



Statistics:

Series	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
n = 1							
x	1	12.5	554.06	488.99	411.41	2.11	1.85
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

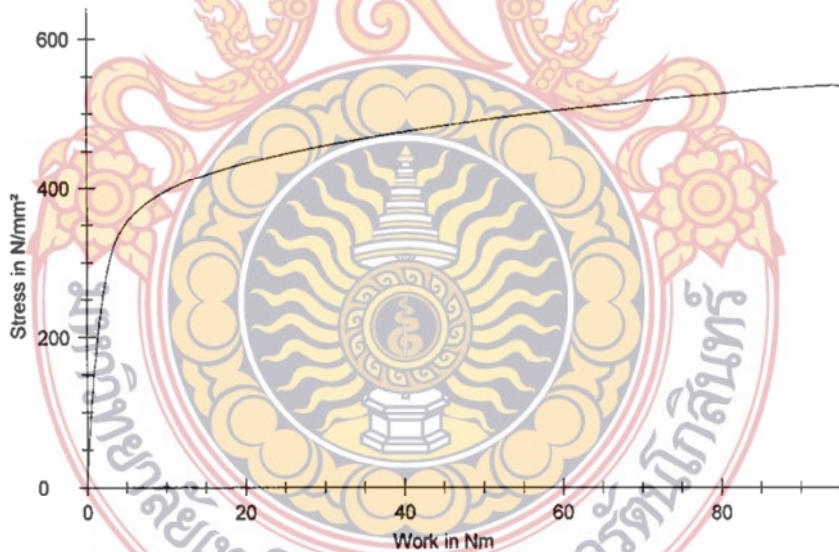
Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 110 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	556.21	537.44	533.01	3.26	3.23

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	556.21	537.44	533.01	3.26	3.23
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

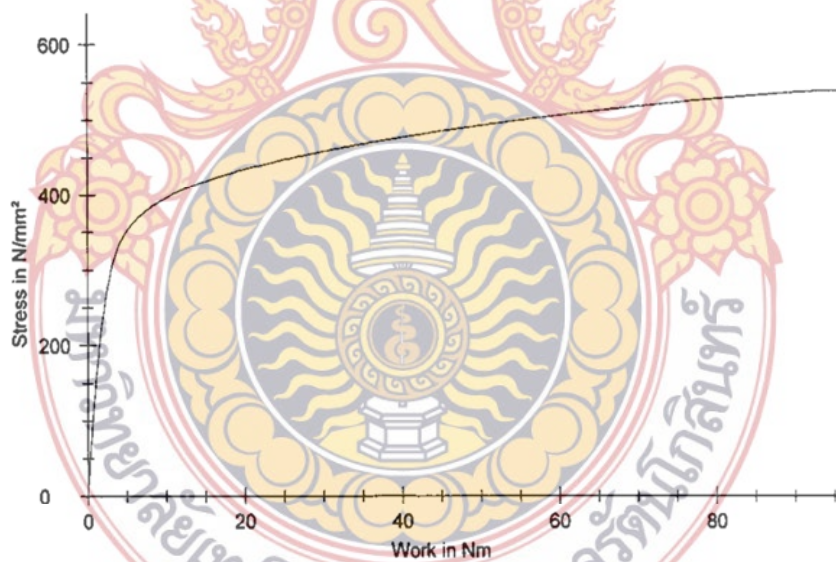
Order number : 2 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 160 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	557.77	538.05	537.46	3.29	3.26

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
\bar{x}	1	12.5	557.77	538.05	537.46	3.29	3.26
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

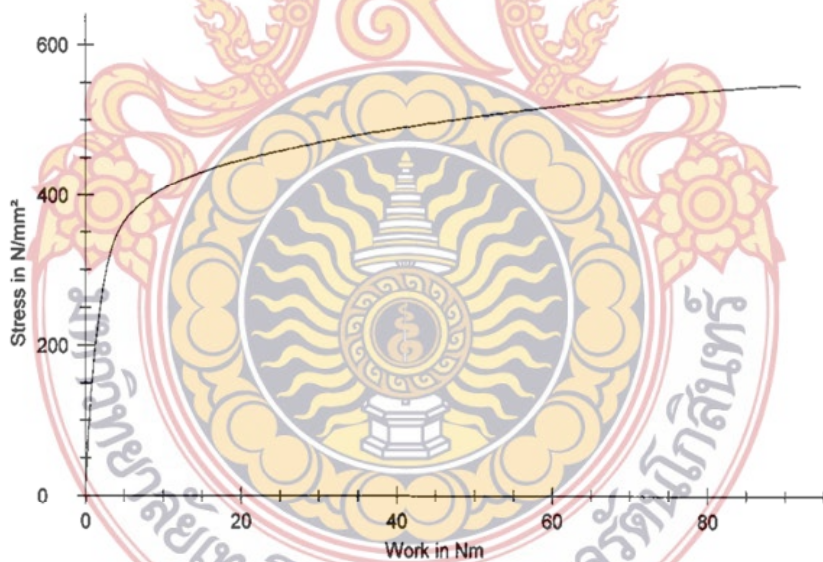
Order number : 3 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 210 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	LO mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	557.88	546.50	544.72	3.05	3.02

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	LO mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	557.88	546.50	544.72	3.05	3.02
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

27.02.2013

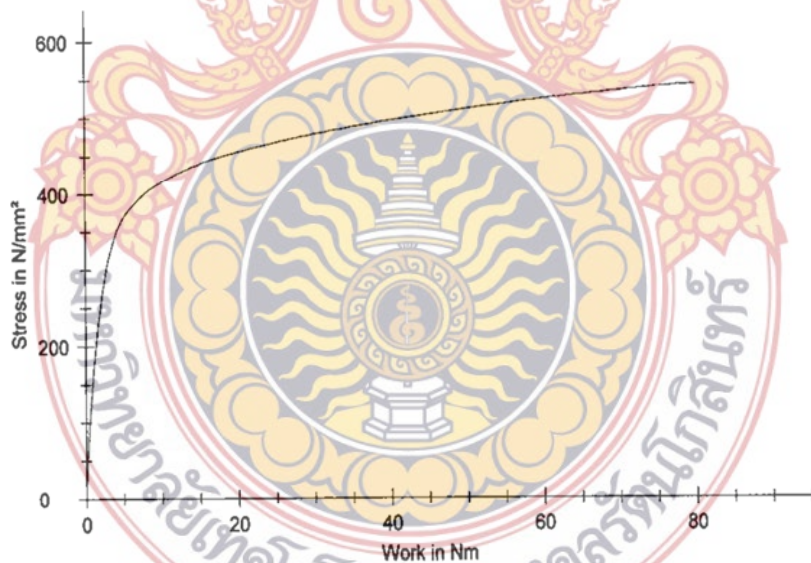
Parameters:

Order number : 2	Material : AISI304
Charge :	Extensometer (path):
Test standard : Tensile	Load cell :
Tester : Manop	Specimen grips :
Customer :	
Pre-load : 2 N/mm ²	
Pre-load speed: 10 mm/min	
Test speed : 260 mm/min	

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	559.51	542.19	541.88	2.71	2.69

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	559.51	542.19	541.88	2.71	2.69
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

27.02.2013

Parameters:

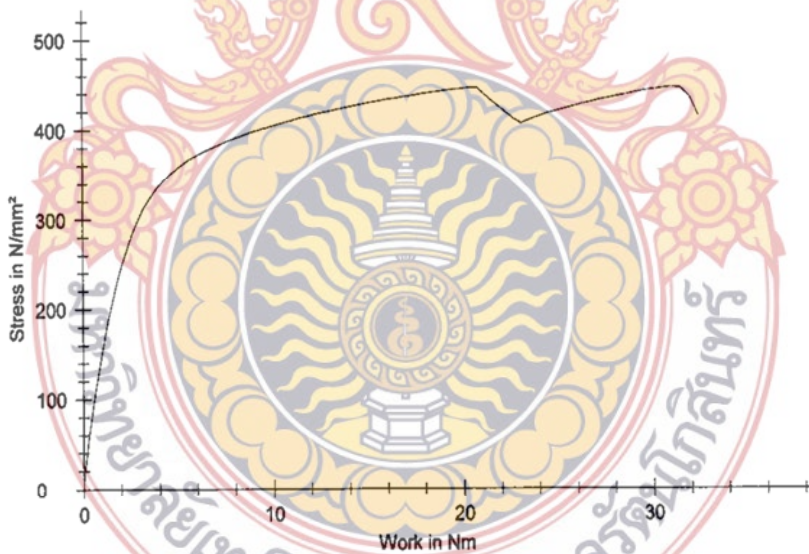
Order number : 1 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer :

 Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 110 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	555.17	445.83	414.70	1.46	1.41

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	555.17	445.83	414.70	1.46	1.41
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

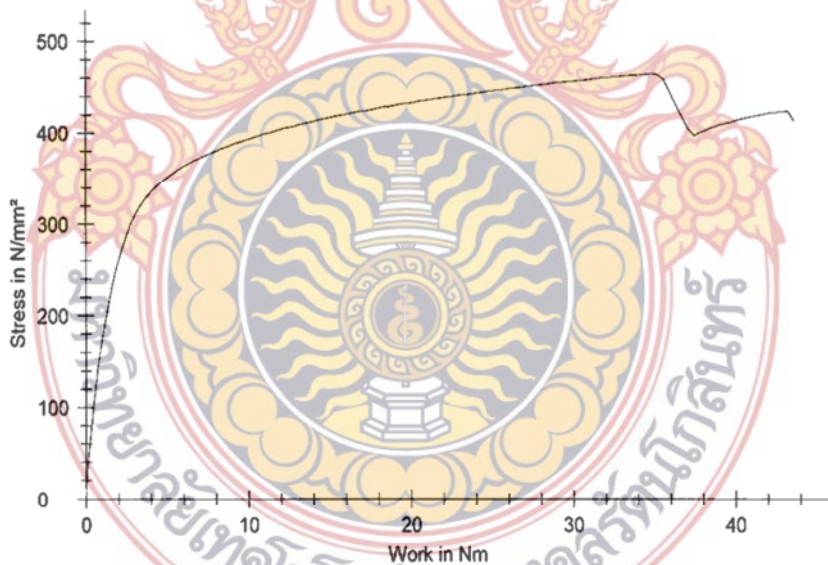
Order number : 2 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path):
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 160 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	558.20	463.83	413.19	1.78	1.48

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	558.20	463.83	413.19	1.78	1.48
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

Order number : 3	Material : AISI304
Charge :	Extensometer (path):
Test standard : Tensile	Load cell :
Tester : Manop	Specimen grips :
Customer :	
Pre-load : 2 N/mm ²	
Pre-load speed: 10 mm/min	
Test speed : 210 mm/min	

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	557.15	497.21	434.00	2.14	1.85

Series graphics:



Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
\bar{x}	1	12.5	557.15	497.21	434.00	2.14	1.85
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-

Protocol

19.02.2013

Parameters:

Order number : 3 Material : AISI304
 Charge : Extensometer (path) :
 Test standard : Tensile Load cell :
 Tester : Manop Specimen grips :
 Customer : :

Pre-load : 2 N/mm²
 Pre-load speed: 10 mm/min
 Test speed : 260 mm/min

Results:

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
1	1	12.5	557.10	483.50	415.63	2.00	1.72

Series graphics:



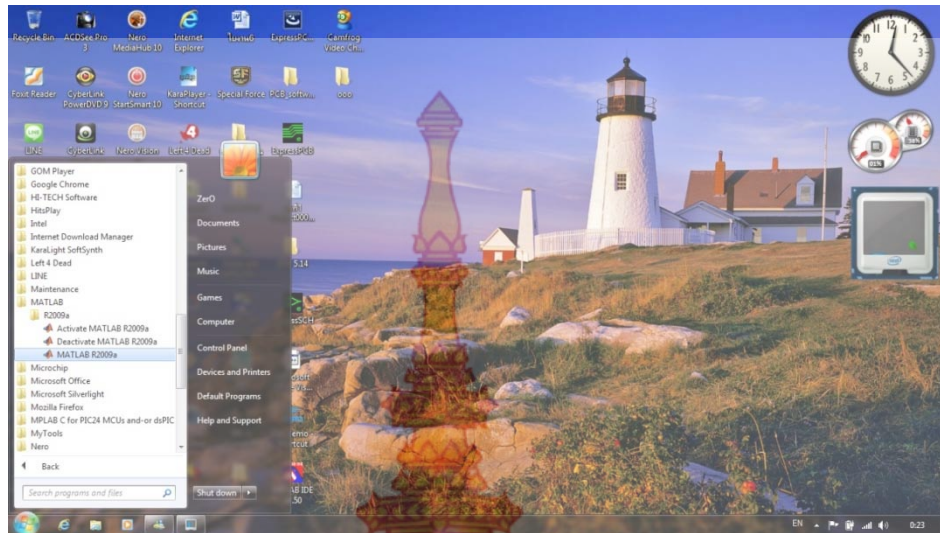
Statistics:

Series n = 1	a0 mm	b0 mm	L0 mm	Fmax. N/mm ²	F _{Break} N/mm ²	ε Break %	ε Fmax. %
x	1	12.5	557.10	483.50	415.63	2.00	1.72
s	-	-	-	-	-	-	-
v	-	-	-	-	-	-	-



ภาคผนวก ค.
การเขียนโปรแกรม MATLAB

ภาควิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

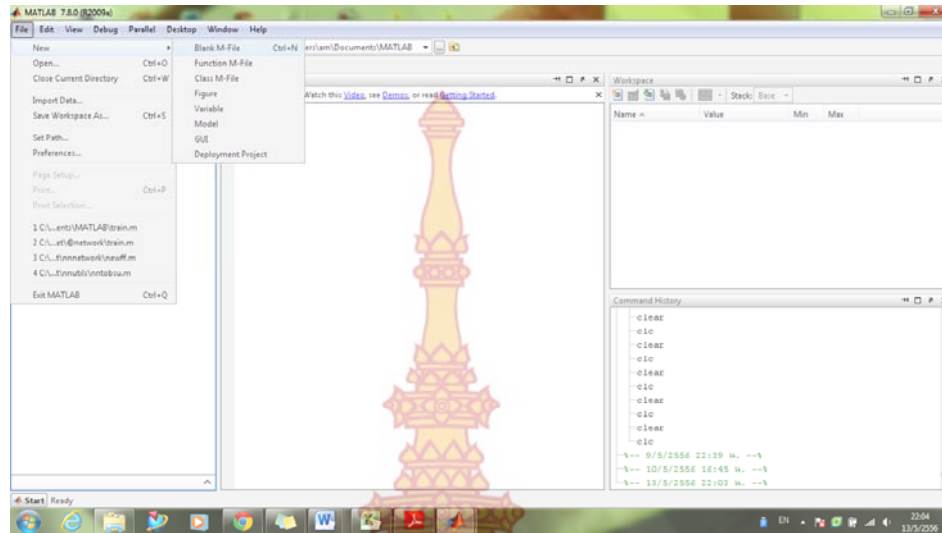


ภาพที่ 45 โปรแกรม MATLAB R2009a

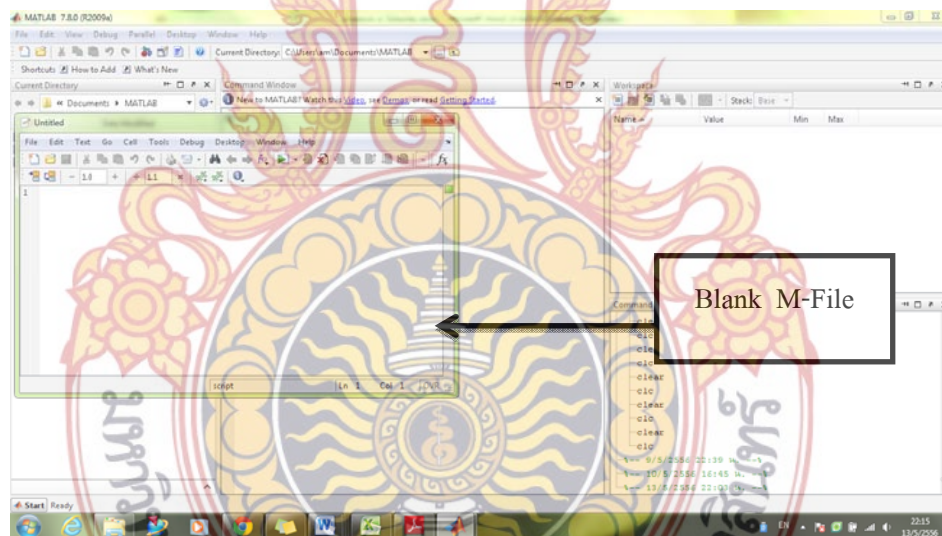
การเริ่มต้นเรียกใช้งานโปรแกรม MATLAB โดยกดปุ่ม Start => All Program เลือกโฟลเดอร์ MATLAB =>โฟลเดอร์ R2009a => MATLAB R2009a เพื่อเรียกใช้งานโปรแกรมในคอมพิวเตอร์

Start, All Program เลือกโฟลเดอร์ MATLAB =>โฟลเดอร์ R2009a => MATLAB R2009a

MATLAB เป็นซอฟต์แวร์ในการคำนวณและการเขียนโปรแกรม เป็นโปรแกรมหนึ่งที่มีความสามารถครอบคลุมตั้งแต่การพัฒนาอัลกอริธึม การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการทำซิมูเลชันของระบบ การสร้างระบบควบคุม MATLAB สามารถทำงานได้ทั้งในลักษณะของการติดต่อโดยตรงคือการเขียนคำสั่งเข้าไปทีละคำสั่ง เพื่อให้ประมวลผลไปเรื่อยๆ หรือสามารถที่จะรวบรวม ชุดคำสั่งเหล่านั้นเป็นโปรแกรมก็ได้ ข้อสำคัญอย่างหนึ่งของ MATLAB ก็คือข้อมูลทุกตัวจะถูกเก็บใน ลักษณะของแถวลำดับคือในแต่ละตัวแปรจะได้รับการแบ่งเป็นส่วนย่อยเล็กๆขึ้น ซึ่งการใช้ตัวแปรเป็นแถวลำดับใน MATLAB เราไม่จำเป็นที่จะต้องจองมิติเหมือนกับการเขียนโปรแกรมในภาษาขั้นต่ำทั่วไป ซึ่งทำให้เราสามารถที่จะแก้ปัญหาของตัวแปรที่อยู่ในลักษณะของเมทริกซ์และเวกเตอร์ได้โดยง่าย ซึ่งทำให้เราลดเวลาการทำงานลงได้อย่างมากเมื่อเทียบกับการเขียนโปรแกรมโดยภาษาซีหรือภาษาฟอร์แทรน



ภาพที่ 46 หน้าต่างของโปรแกรม MATLAB

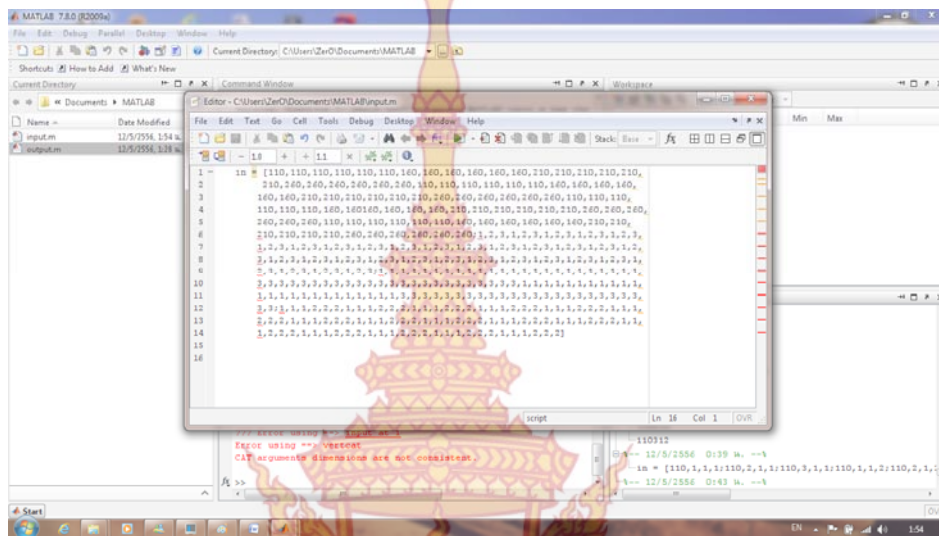


ภาพที่ 47 หน้าต่างของ M-File

การใช้งานโปรแกรม MATLAB มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เริ่มสร้างแฟ้มใหม่ โดยเลือก File ที่แถบเมนูบาร์=> New => Blank M-File
2. สร้างเมตริกซ์อินพุต โดยใช้เครื่องหมาย, หรืออวรดค คั่นระหว่างคอลัมน์ และใช้เครื่องหมาย; คั่นเมื่อจบแถวเพื่อขึ้นแถวใหม่

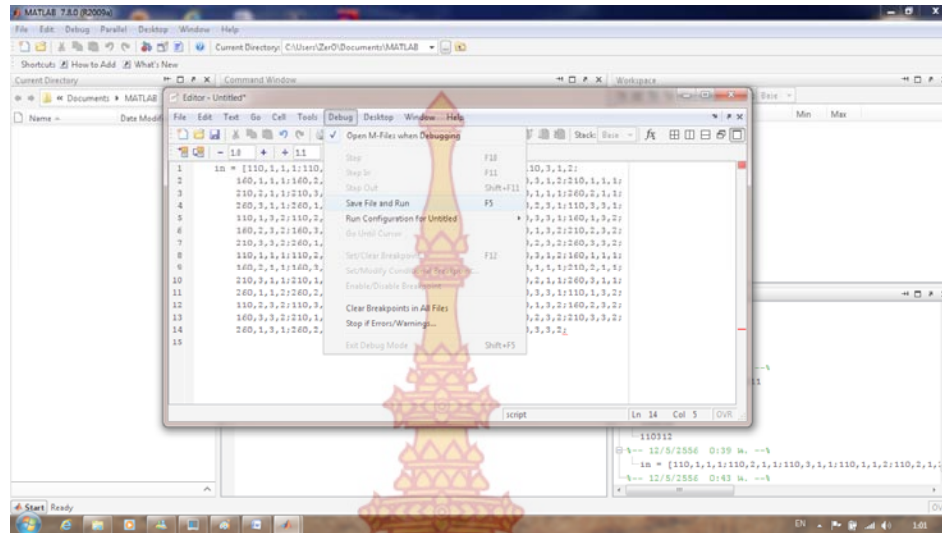
- 3.บันทึกไฟล์ เลือกที่แถบเมนูของหน้าต่าง M-File เลือก Debug => Save File and Run
- 4. สร้างเมตริกซ์เออาร์พุด ทำเช่นเดียวกับการสร้างเมตริกซ์อินพุต



ภาพที่ 48 การสร้างเมตริกซ์อินพุต



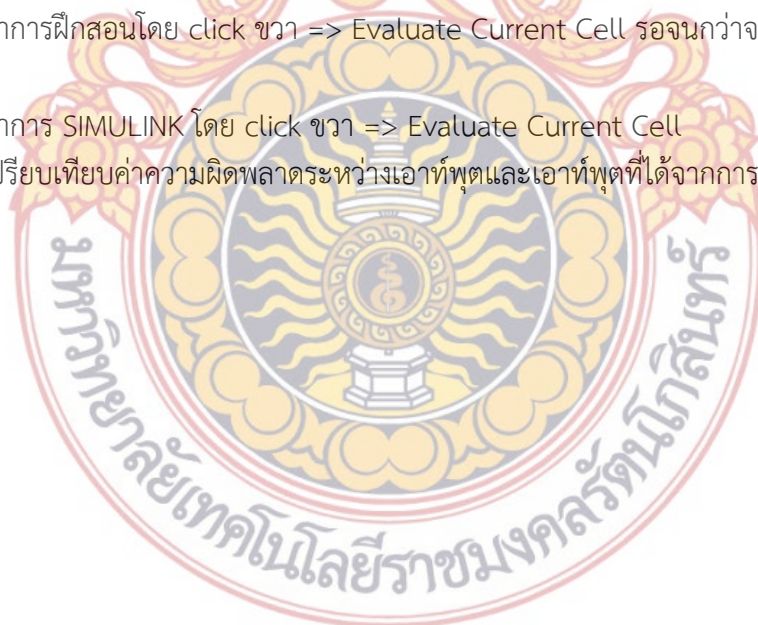
ภาพที่ 49 การสร้างเมตริกซ์เออาร์พุด

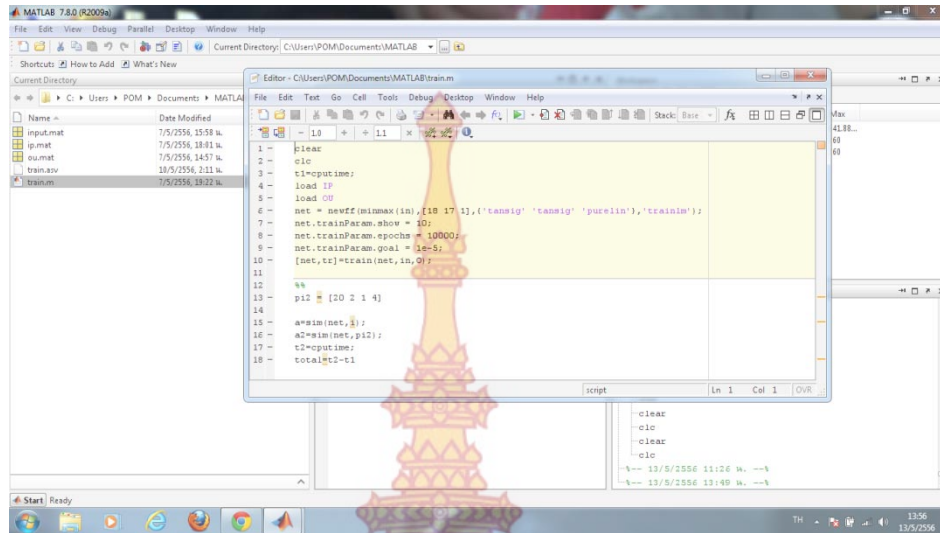


ภาพที่ 50 การบันทึก เลือก Debug => Save File and Run

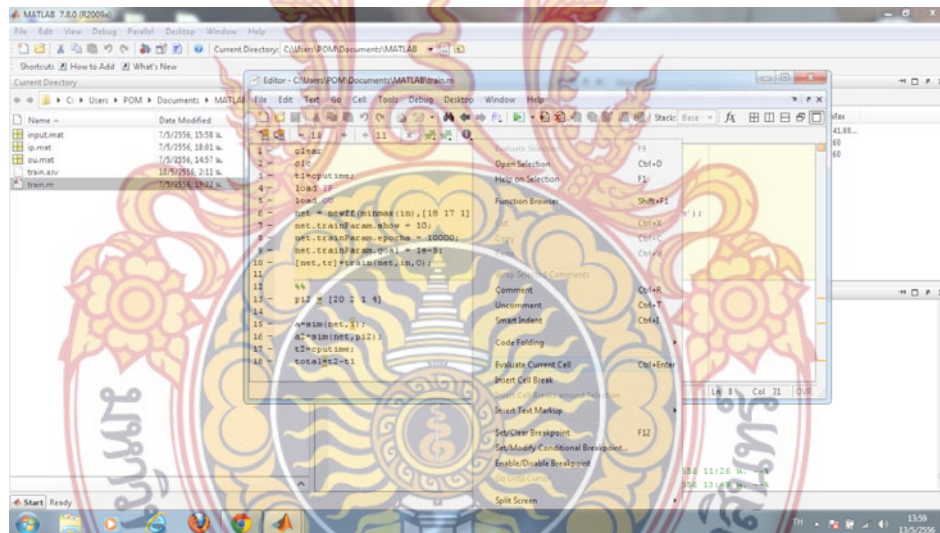
การเขียนโปรแกรมสำหรับการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

1. เริ่มสร้างแฟ้มใหม่ โดยเลือก File ที่แถบเมนูบาร์ => New => Blank M-File
2. โปรแกรมสำหรับฝึกสอน
3. ทำการฝึกสอนโดย click ขวา => Evaluate Current Cell รอจนกว่าจะครบจำนวนรอบตามที่กำหนด
4. ทำการ SIMULINK โดย click ขวา => Evaluate Current Cell
5. เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดระหว่างเอาต์พุตและเอาต์พุตที่ได้จากการ SIMULINK

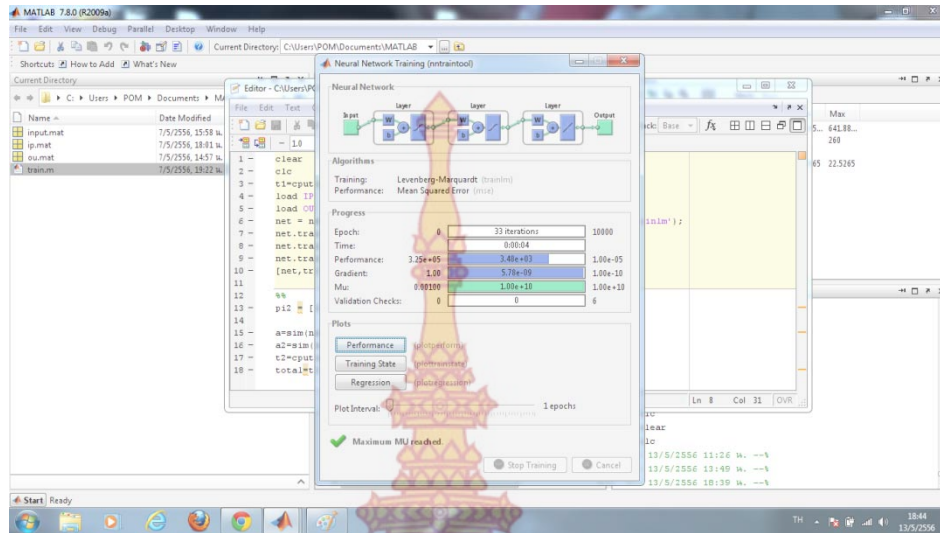




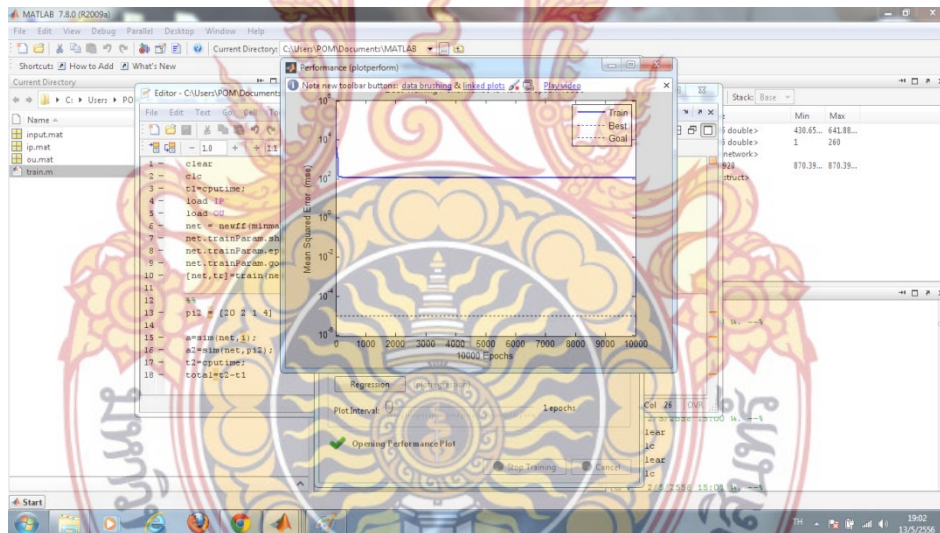
ภาพที่ 51 การเขียนโปรแกรมสำหรับการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม



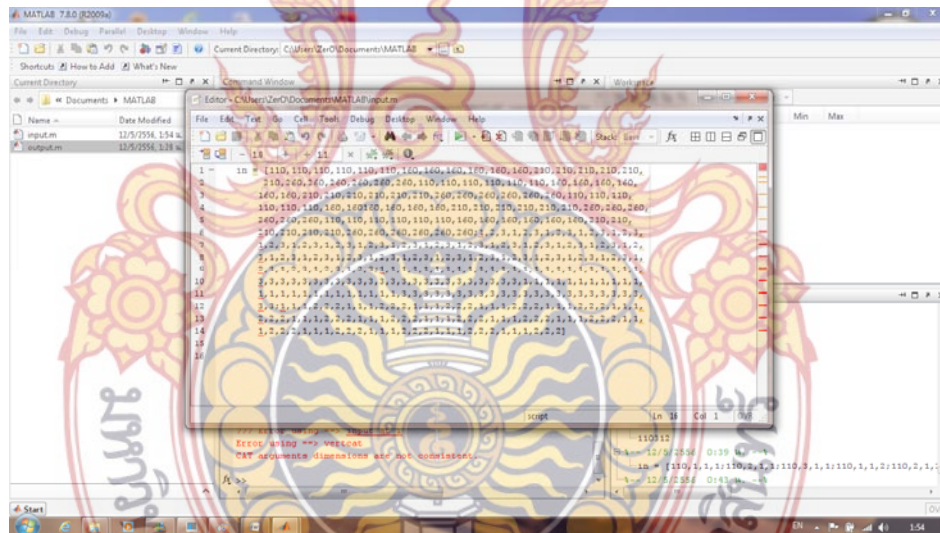
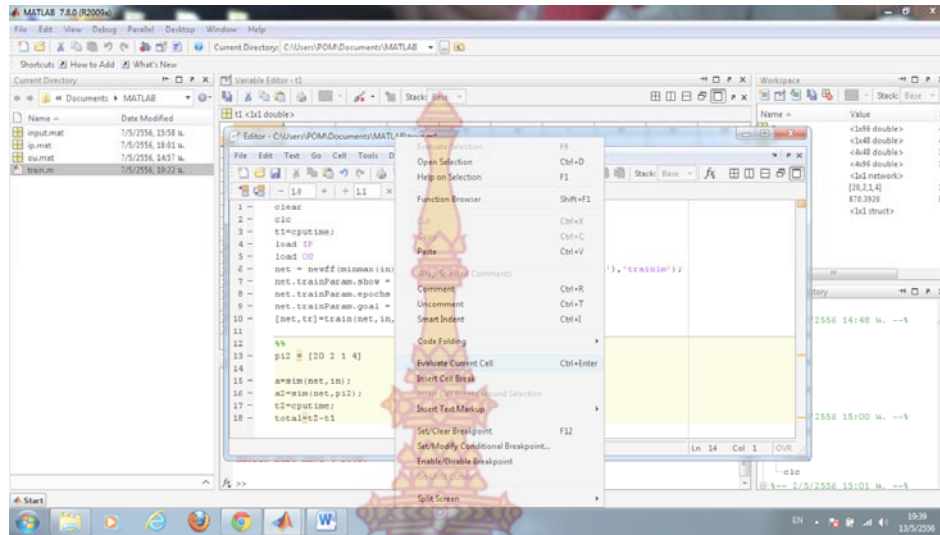
ภาพที่ 52 การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม 1

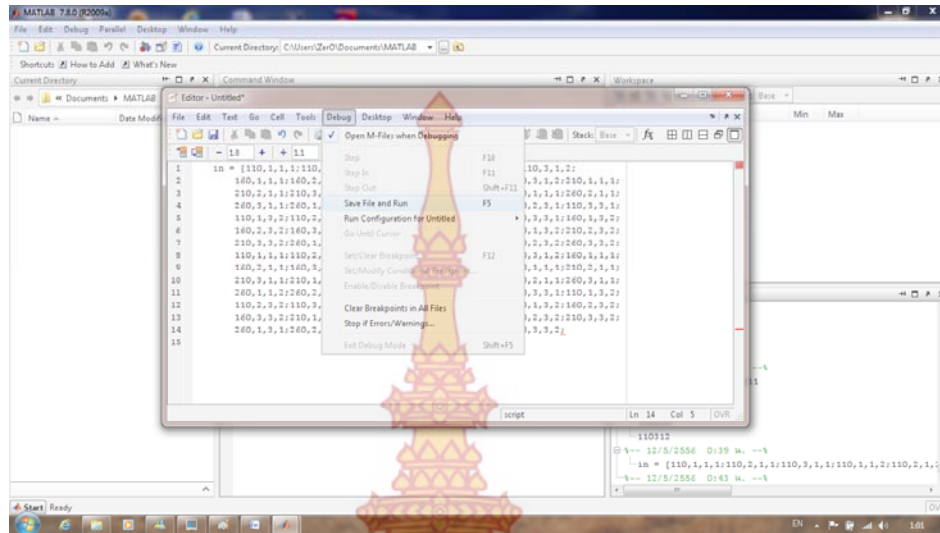


ภาพที่ 53 การฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม 2

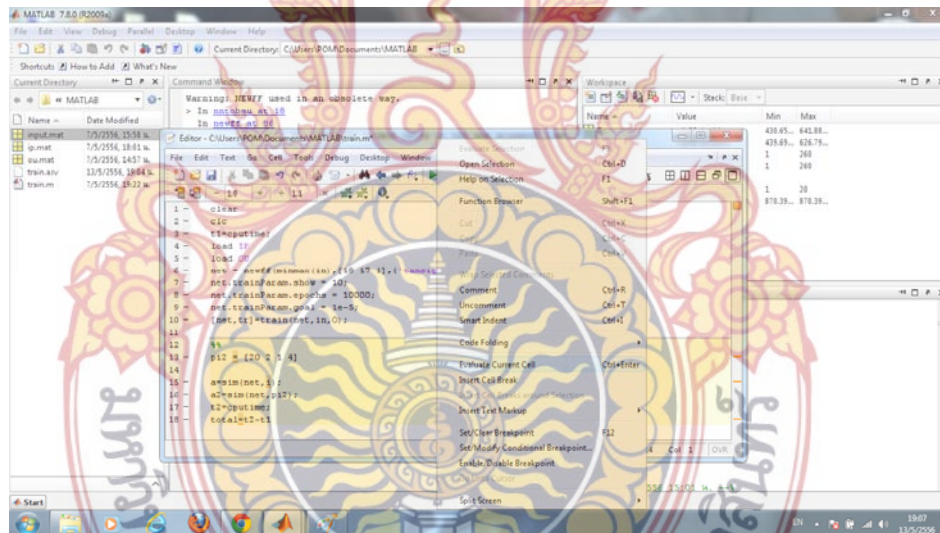


ภาพที่ 54 สมรรถนะของการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม

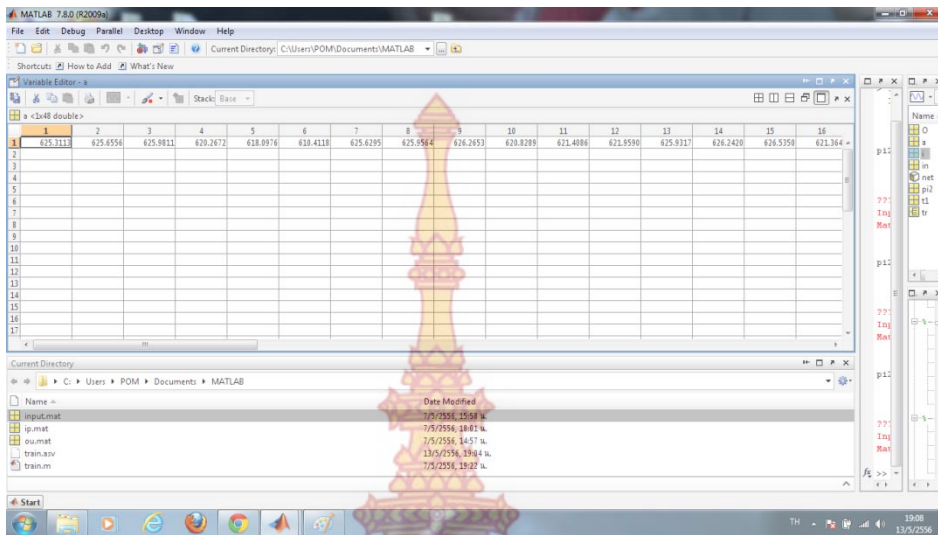




ภาพที่ 57 การบันทึก Debug => Save File and Run



ภาพที่ 58 การทำนายโดยการ SIMULINK



ภาพที่ 59 ผลงานนายโดยโครงข่ายประสาทเทียม



ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ-สกุล นายเฉลิมพล คล้ายนิล
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต
3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ถ.เพชรเกษม ต.หนองแก
อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77110

4. ประวัติการศึกษา

ปริญญา	สาขาวิชา	ชื่อสถานศึกษา	ปีที่จบ
โท	วิศวกรรมโลหการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	2549
ตรี	วิศวกรรมอุตสาหการ	สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล	2540

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

Manufacturing Process, Metallurgical Engineering, Tool Wear

6. รายงานการประชุมทางวิชาการ

เฉลิมพล คล้ายนิล, พิมพ์มาศ กาละวงศ์, จิณกมล ลุยจันทร์, 2556, “การศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์และคุณภาพขอบตัดขึ้นงาน” การประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ, 17 พฤษภาคม 2556 ณ โรงแรมราม่า การ์เด้นส์ กรุงเทพฯ

เฉลิมพล คล้ายนิล, พงศกร หลีตระกูล, 2556, “การศึกษาผลของศูนย์รวมความเค้นในเหล็กกล้า AISI1045 ภายใต้แรงแบบ cyclic”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 16-18 ตุลาคม 2556, โรงแรมเอวัน เดอะ รอยัลครุช พัทยา ชลบุรี

เฉลิมพล คล้ายนิล, จิณกมล ลุยจันทร์, พิมพ์มาศ กาละวงศ์, 2555, “การศึกษาชนิดของเหล็กกล้าเครื่องมือที่มีผลต่อพฤติกรรมการสึกหรอของแม่พิมพ์ตัด” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 17-19 ตุลาคม 2555, โรงแรมเมธาวลัย ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

เฉลิมพล คล้ายนิล, พงศกร หลีตระกูล, พงษ์พันธ์ ราชภักดี, 2555, “การประมาณการสึกหรอของเม็ดมิดกึ่งด้วยโครงข่ายประสาทเทียม” การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ, 17-19 ตุลาคม 2555, โรงแรมเมธาวลัย ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

ณัฐศักดิ์ พรพุมศิริ, เฉลิมพล คล้ายนิล, 2555, “การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิขึ้นงานชนิดความหนาสูงในงานแม่พิมพ์ตัด” การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 17-19 ตุลาคม 2555, โรงแรมเมธาวลัย ชะอำ จังหวัดเพชรบุรี

เฉลิมพล คล้ายนิล, ณัฐศักดิ์ พรพุมศิริ, พงษ์พันธ์ ราชภัคดี, 2554 “ผลกระทบของศูนย์รวมความเค้นในแนวเชื่อมเหล็กกล้า SS400 ภายใต้แรงดึง” การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 20-21 ตุลาคม 2554, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี จอมเทียน พัทยา จ.ชลบุรี

ณัฐศักดิ์ พรพุมศิริ, เฉลิมพล คล้ายนิล, กุลชาติ จุลเพ็ญ, 2554 “การศึกษาอิทธิพลของรัศมีลูกกลิ้งหัวกดที่มีผลต่อการขึ้นรูปด้วยอลูมิเนียมโดยกระบวนการหมุนรีดขึ้นรูป” การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 20-21 ตุลาคม 2554, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ซิตี จอมเทียน พัทยา จ.ชลบุรี

เฉลิมพล คล้ายนิล, ณัฐศักดิ์ พรพุมศิริ, ทศพร เงินเนตร, 2554 “ผลกระทบของการชุบผิวแข็งเหล็กกล้า AISI1020 ที่มีผลต่ออายุของความล้า” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ ครั้งที่ 9, 2-3 พฤษภาคม 2554, โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท จ.ภูเก็ต

เฉลิมพล คล้ายนิล, ทศพร เงินเนตร, 2553, “อิทธิพลของความเร็วในการทดสอบแรงดึงเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 304 ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกล” การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 3, 24 - 26 พฤศจิกายน 2553, ศูนย์ประชุมสถาบันวิจัยจุฬาภรณ์ กรุงเทพฯ

เฉลิมพล คล้ายนิล, 2552, “เครื่องอัดถ่านแท่งจากแคลบด้วยระบบไฮดรอลิกส์” การประชุมวิชาการของเครื่องจักรการวิจัยสถาบันอุดมศึกษา, 2-4 เมษายน 2552, โรงแรมทวินโลตัส, จ.นครศรีธรรมราช

เฉลิมพล คล้ายนิล, 2552, “เครื่องอบแห้งเนื้อมะพร้าวด้วยพลังงานทดแทน” การประชุมวิชาการของเครื่องจักรการวิจัยสถาบันอุดมศึกษา, 2-4 เมษายน 2552, โรงแรมทวินโลตัส, จ.นครศรีธรรมราช

เฉลิมพล คล้ายนิล, ทศพร เงินเนตร, 2552, “การประเมินอายุความล้าของเหล็กกล้าจากกระบวนการ Surface Treatment แบบต่างๆ” การประชุมสัมมนาวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 2, 23 - 28 สิงหาคม 2552, โรงแรมฮอติเคอ์อินน์ จ.เชียงใหม่

พงษ์พันธ์ ราชภัคดี, เฉลิมพล คล้ายนิล, 2551, “การพัฒนาเครื่องปอกมะพร้าว” การประชุมสัมมนาทางวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 1, 27-29 สิงหาคม 2551, โรงแรมธรรมรินทร์ ธนา, จ.ตรัง

พงษ์พันธ์ ราชภักดี, เฉลิมพล คล้ายนิล, 2551, “การพัฒนากรรมวิธีการผลิตเส้นใยใบสับปะรด” การประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ครั้งที่ 1, 27-29 สิงหาคม 2551, โรงแรมธรรมรินทร์ ธนา, จ.ตรัง

เฉลิมพล คล้ายนิล, พงษ์พันธ์ ราชภักดี, 2550, “อิทธิพลของสภาวะการกลึงเหล็กกล้าสแตนเลส AISI 316” การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 24-26 ตุลาคม 2550, โรงแรม Royal Phuket City, จ.ภูเก็ต

เฉลิมพล คล้ายนิล, ไชยา คำคำ, 2549, "การศึกษาอิทธิพลของสภาวะการกลึงเหล็กกล้าสแตนเลสด้วยใบมีดคาร์ไบด์ที่มีผลต่อการสึกหรอใบมีดตัดและความขรุขระของพื้นผิว", การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 17-19 ธันวาคม 2549, โรงแรมอินเตอร์คอนติเนนตัล, กรุงเทพฯ

