



ปีการศึกษา 2534

ผลของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อความต้านทาน
การกัดกร่อนของโลหะทางวิศวกรรม

โดย

นางสาวสาลินี วรรณะภักดิ์

นายจินดา เจริญพรพาณิชย์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์พิเศษ วรากุลสิริพันธ์

027930

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

18 ก.ค. 2534

ผลของสิ่งแวดลอมที่มีต่อความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะทางวิศวกรรม

โดย

1. นางสาวสาลินี วรรณะภัก
2. นายจินดา เจริญพรพาณิชย์

.. Choko Ito .. วิชา... อาจารย์ที่ปรึกษา
CHOKO (เทเรซา วรรณะภัก)
TEREZA ITO

วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิทยาเขตเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2534

เลขหมู่... 330974 b

เลขทะเบียน... 027930

วัน, เดือน, ปี... ๑๙๙๔

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีสิ่งแนบมา

ผลของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะทางวิศวกรรม

นางสาวสาลินี วรรณะภักดิ์
นายจินดา เจริญพรพาณิชย์
อาจารย์ที่ปรึกษา เทเรซ่า วรากุลสิริพันธ์
ปีการศึกษา 2534

บทคัดย่อ

ผลของสิ่งแวดล้อมที่มีต่อความต้านทานการกัดกร่อนของโลหะทางวิศวกรรม เป็นการศึกษาถึงการกัดกร่อนของโลหะที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิศวกรรม โดยจะศึกษาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เมื่อใช้งานในสภาวะแวดล้อมต่างๆ โดยในโครงการงานนี้จะศึกษาเฉพาะลักษณะการกัดกร่อนของโลหะที่อยู่ในสารละลายกรดและมีแรงดึงกระทำร่วมกัน ซึ่งเรียกว่า การผุกร่อนแรงเค้น โดยให้ตัวแปรของสภาพสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. แรงเค้นที่กระทำขึ้นงานเปลี่ยนแปลงไป
2. ชนิดของอิออนเป็น Cl^- หรือ SO_4^{2-}
3. ชนิดของวัสดุ

โดยการศึกษาสภาพชิ้นงานที่เปลี่ยนไปในแต่ละสภาพแวดล้อม จะใช้วิธีการวัดระยะการยึดตัวของชิ้นงานเทียบกับเวลา

THE EFFECT OF ENVIRONMENTAL TO THE CORROSION
RESISTANT OF ENGINEERING MATERIALS

SALINEE WATANAPAT

CHINDA CHAREARNPORN PANICH

TERESA WARAKULSIRIPUN ADVISOR

1990

Abstract

The effect of environment to the corrosion resistant of engineering materials concern about corrosion of engineering materials use in many environments.

In this project we especially study the stress corrosion cracking. Stress corrosion cracking refers to cracking caused by the simultaneous presence of tensile stress and specific corrosion medium.

The factors of environment that we can change are

1. magnitude of tensile strength
2. ions of solution such as Cl^- and SO_4^{2-}
3. materials

We can study the changing of materials in many environments by compare the elongation of specimen with time .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หัวข้อเรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 การกีดกร่อนแบบเปียก	1
1.2 การกีดกร่อนแบบแห้ง	2
1.3 การกีดกร่อนชนิดต่างๆ	2
1.4 การกีดกร่อนอย่างสม่ำเสมอ	2
1.5 การกีดกร่อนกัลวานิก	3
1.6 สนิมขม	6
1.7 การกีดกร่อนเคโรวิซ	6
1.8 การกีดกร่อนตามขอบผลึก	7
1.9 การสูญเสียธาตุสังกะสี	8
1.10 การสึกกร่อน-การกีดกร่อน	8
1.11 การผุกร่อนแรงเค้น	9
บทที่ 2 การผุกร่อนแรงเค้น	10
2.1 ลักษณะของการผุกร่อนแรงเค้น	10
2.2 ลักษณะของการแตก	11
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้างเครื่อง	15
3.1 การคำนวณหาแรงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานเสียหาย	15
3.2 การเลือกใช้วัสดุในการสร้างเครื่องมือ	16
3.3 การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนที่ 1	16
3.4 การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนที่ 1	17
3.5 การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนที่ 2	17
3.6 การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนที่ 3	18
3.7 การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนที่ 4	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8	การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนที่ 5	19
3.9	การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนที่ 6	20
3.10	การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนที่ 7	21
3.11	การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนที่ 8	21
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	23
4.1	ชิ้นทดลองและคุณสมบัติของชิ้นทดลอง	23
4.2	เครื่องมือทดลอง	24
4.3	การเตรียมสารละลายกรด	26
4.4	การทำชิ้นงานทดสอบ	28
4.5	ขั้นตอนการทดลอง	29
4.6	ผลการทดลอง	30
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง วิเคราะห์และเสนอแนะ	71
5.1	สรุปผลการทดลอง	71
5.2	วิเคราะห์	72
5.3	ข้อเสนอแนะ	72
เอกสารอ้างอิง		73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

การกัดกร่อนคือ การที่วัสดุเกิดความเสียหายหรือเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป เนื่องจากมีการทำปฏิกิริยากับสภาพแวดล้อม ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งกับวัสดุที่เป็นโลหะ และไม่ได้เป็นโลหะ ลักษณะของการกัดกร่อนแบ่งได้หลายลักษณะ ในกรณีนี้จะแบ่งลักษณะการกัดกร่อนตามสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดการกัดกร่อน สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ การกัดกร่อนแบบเปียก (wet corrosion) และการกัดกร่อนแบบแห้ง (dry corrosion)

1.1 การกัดกร่อนแบบเปียก

การกัดกร่อนแบบเปียก เป็นการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นในสภาพที่สิ่งแวดล้อมเป็นของเหลว เป็นผลทางปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งอาจมีสภาพเป็นกรดหรือด่าง เรียกว่า สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) สิ่งจำเป็นที่จะทำให้เกิดขบวนการกัดกร่อนทางไฟฟ้าเคมีได้ จะต้องมีความต่างศักย์และคะโทดประกอบกันขึ้นเป็นเซลล์ และจะต้องมีกระแสไหลตรงไหลผ่านขั้วทั้งสอง อะโนดกับคะโทดอาจจะอยู่ติดกันหรือห่างกัน และกระแสที่เกิดอาจมาจากตัวมันเองหรือมาจากแหล่งภายนอกก็ได้ บริเวณที่อะโนดจะเป็นบริเวณที่มีการกัดกร่อนเกิดขึ้น และเป็นจุดที่มีกระแสไหลออกไป ส่วนคะโทดเป็นบริเวณที่ไม่มีการกัดกร่อน และเป็นจุดที่กระแสไหลเข้า อะโนดและคะโทดอาจอยู่บนโลหะชิ้นเดียวกัน ทั้งนี้เพราะเนื้อโลหะต่างกันหรืออยู่กันคนละสิ่งแวดล้อมโลหะที่เป็นอะโนดจะละลายและกลายเป็นไอออนที่มีประจุบวก ให้อิเล็กตรอน เรียกว่าเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ส่วนที่คะโทดจะรับอิเล็กตรอนหรือเกิดปฏิกิริยารีดักชัน (reduction) กระแสจะไหลส่วนทางกับการไหลของอิเล็กตรอน โดยผ่านตัวนำคือสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ไปยังคะโทดแล้วกลับไปยังอะโนด เป็นอันครบวงจร

1.2 การกัดกร่อนแบบแห้ง

การกัดกร่อนแบบแห้ง เป็นการกัดกร่อนในสภาพแวดล้อมที่ไม่จำเป็นต้องมีของเหลว มักเกิดในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง เรียกว่า ออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาเคมีระหว่างโลหะหรือโลหะผสมกับออกซิเจน ไนโตรเจน กำมะถัน หรือก๊าซจำพวกฮาโลเจน

1.3 การกัดกร่อนชนิดต่างๆ

เราสามารถรวบรวมการกัดกร่อนที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าออกได้ 8 ชนิดด้วยกัน โดยแบ่งตามลักษณะการกัดกร่อนและกระบวนการการกัดกร่อนที่เกิดขึ้น ซึ่งจะครอบคลุมการกัดกร่อนที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด คือ

1.4 การกัดกร่อนอย่างสม่ำเสมอ (Uniform Corrosion)

เกิดขึ้นเมื่ออะโนดและแคโทดเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา และดำเนินไปอย่างสม่ำเสมอ โลหะบางลงจนใช้การไม่ได้ ขบวนการนี้ทำให้โลหะสูญเสียได้มากที่สุด แต่อย่างไรก็ดีเราสามารถคาดคะเนอายุการใช้งานได้ เพราะในการออกแบบได้เผื่อความหนาชัดเซย์ไว้แล้ว เมื่อความหนาชัดเซย์หมดไปถึงเวลาเปลี่ยนท่อ หรืออุปกรณ์ดังกล่าวได้ ตัวอย่างการพุกร่อนชนิดนี้เห็นจะได้แก่ สนิมที่เกิดจากบรรยากาศหรือโดยกรด เช่นกรดไฮโดรคลอริก (HCl) , กรดซัลฟูริก (H₂SO₄) , สารประกอบกำมะถัน และอื่นๆ

1.5 การกัดกร่อนกาลวานิก (Galvanic Corrosion)

เกิดเมื่อมีโลหะสองชนิดที่แตกต่างกันมาสัมผัสกัน หรือมีตัวนำกระแสไฟฟ้ามาต่อเข้าด้วยกันและจุ่มอยู่ในสารละลายที่กัดกร่อน โลหะที่ทนต่อการกัดกร่อนน้อยกว่าจะผุไปมากขึ้น ส่วนโลหะที่ทนการกัดกร่อนกว่าจะผุน้อยลง ตัวแรกคืออะโนดและตัวหลังคือแคโทด มีแรงขับเคลื่อนของกระแสไฟฟ้าที่มีศักดาไฟฟ้าเกิดขึ้นระหว่างขั้วทั้งสอง สิ่งนี้ได้นำมาประยุกต์ในการทำแบตเตอรี่แห้ง

จากคุณสมบัตินี้ เราได้จัดอันดับของโลหะต่างๆตามแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากมากไปหาน้อยโดยเทียบกับธาตุอ้างอิง คือ ไฮโดรเจนซึ่งมีค่า EMF เท่ากับศูนย์ ดังตารางที่ 1 สำหรับตารางที่ 2 เป็นการจัดอันดับของโลหะและโลหะผสมในสิ่งแวดล้อมที่เป็นน้ำทะเลโลหะที่อยู่ห่างกันมากก็ยังมีศักดาสูงเมื่อมาจับคู่กัน โลหะที่อยู่เหนือกว่าจะกลายเป็นอะโนด เมื่อเทียบกับตัวที่อยู่ข้างล่าง ปรากฏการณ์อันนี้มักนำไปใช้ในการออกแบบ โดยเล็งผลจากการยอมให้โลหะที่ราคาถูกกว่ายอมเสียสละให้กร่อนไปเพื่อยึดอายุโลหะที่แพงกว่าเอาไว้

ตารางที่ 1.1 อณกรม EMF มาตรฐานของโลหะ

	Metal-metal ion equilibrium (unit activity)	Electrode potential vs. normal hydrogen electrode at 25°C, volts
↑ Noble or cathodic	Au-Au ⁺³	+1.498
	Pt-Pt ⁺²	+1.2
	Pd-Pd ⁺²	+0.987
	Ag-Ag ⁺	+0.799
	Hg-Hg ₂ ⁺²	+0.788
	Cu-Cu ⁺²	+0.337
	H ₂ -H ⁺	0.000
Active or anodic ↓	Pb-Pb ⁺²	-0.126
	Sn-Sn ⁺²	-0.136
	Ni-Ni ⁺²	-0.250
	Co-Co ⁺²	-0.277
	Cd-Cd ⁺²	-0.403
	Fe-Fe ⁺²	-0.440
	Cr-Cr ⁺³	-0.744
	Zn-Zn ⁺²	-0.763
	Al-Al ⁺³	-1.662
	Mg-Mg ⁺²	-2.363
	Na-Na ⁺	-2.714
	K-K ⁺	-2.925

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 อนุกรมของกาลวานิกในน้ำทะเล

↑ Noble or cathodic	Platinum
	Gold
↓ Active or anodic	Graphite
	Titanium
	Silver
	[Chlorimet 3 (62 Ni, 18 Cr, 18 Mo)
	[Hastelloy C (62 Ni, 17 Cr, 15 Mo)
	[18-8 Mo stainless steel (passive)
	[18-8 stainless steel (passive)
	[Chromium stainless steel 11-30% Cr (passive)
	[Inconel (passive) (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe)
	[Nickel (passive)
	Silver solder
	[Monel (70 Ni, 30 Cu)
	[Cupronickels (60-90 Cu, 40-10 Ni)
	Bronzes (Cu-Sn)
	Copper
	[Brasses (Cu-Zn)
	[Chlorimet 2 (66 Ni, 32 Mo, 1 Fe)
	[Hastelloy B (60 Ni, 30 Mo, 6 Fe, 1 Mn)
	[Inconel (active)
	[Nickel (active)
	Tin
	Lead
	Lead-tin solders
	[18-8 Mo stainless steel (active)
	[18-8 stainless steel (active)
	Ni-Resist (high Ni cast iron)
	Chromium stainless steel, 13% Cr (active)
	[Cast iron
	[Steel or iron
	2024 aluminum (4.5 Cu, 1.5 Mg, 0.6 Mn)
	Cadmium
	Commercially pure aluminum (1100)
	Zinc
	Magnesium and magnesium alloys

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 สนิมขุม (Pitting)

การพุกร่อนชนิดนี้เห็นได้ง่ายคือ เป็นรูหรือหลุม เป็นชนิดที่ร้ายแรงที่สุด สากต่อการคาดคะเน อะโนดไม่มีการเคลื่อนที่ไปไหน จึงกินลึกลงไปจนทะลุ อาจกล่าวได้ว่าเป็นสภาวะระหว่างการไม่กร่อนกับการกัดกร่อนอย่างสม่ำเสมอ

สนิมขุมอาจเกิดในตอนแรก เพราะมีเซลล์เข้มข้น เช่น ภาสไตตะกอนนอนกัน ในที่ที่ออกซิเจนเข้าไม่ถึง หรือมีความเข้มข้นของไอออนสูงขึ้น ในขณะที่โลหะภายนอกไหลออกไปมีปริมาณของออกซิเจนหรือไอออนที่คงที่ อัตราส่วนของพื้นที่ระหว่างคะโทด กับอะโนดสูงมาก จึงเกิดการกัดกร่อนอย่างรุนแรง

1.7 การกัดกร่อนแครวิซ (Crevice Corrosion)

เกิดขึ้นเมื่อ มีขั้วอะโนดและคะโทด อยู่ในสิ่งแวดล้อมที่มีความเข้มข้นต่างกัน อาจเกิดจากผิวที่ไม่เรียบร้อย เช่น สันหรือขอบเข้า มีหมุดยึด สลักเกลียว แหวน ปะเก็นและตะกอน ส่วนมากมักเกิดในช่องแคบๆ เพราะภาสในซาดออกซิเจนจึงเป็น อะโนด ส่วนที่อยู่ภาสนอกสัมผัสกับออกซิเจน ทำหน้าที่เป็นคะโทด ยิ่งผลให้ภาสใน ช่องแคบหรือภาสไตตะกอนถูกกัดกร่อนไป การกัดกร่อนแบบนี้บางทีเรียกว่า เซลล์ สารละลายเข้มข้น (concentration cell) หรือเซลล์เข้มข้นของไอออนโลหะ (Metal-ion Cell) หรือการพุกร่อนเนื่องจากการสัมผัส (Contact Corrosion)



รูปที่ 1.1 แสดงการเกิดการกัดกร่อนแบบเกรวี่ซ

1.8 การกัดกร่อนตามขอบผลึก (Intergranular Corrosion)

การกัดกร่อนเกิดขึ้นเป็นแห่งๆตามขอบผลึกของโลหะ หรือโลหะผสม ในบางกรณีทำให้เสียสภาพการใช้งานไปโดยสูญเสียน้ำหนักไปเพียงเล็กน้อย หรือโลหะยังหนามาก ขอบของผลึกจะเป็นอะโนด ส่วนตัวผลึกจะเป็นคะโทด ซึ่งใช้เป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การในการกักตุนโครงสร้างจุลภาคในทางโลหะวิทยา สภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดการผุกร่อนตามขอบผลึก เมื่อเหล็กเสียสภาพแล้วนั้นมียุทธศาสตร์อย่างด้วยกัน ได้แก่ กรดไนตริก, กรดไฮโดรคลอริก, กรดซัลฟูริก, กรดแนพทีนิก(Napthenic), กรดโพลีไทโอนิก(Polythionic), กรดที่เกิดจากกำมะถัน การผุกร่อนตามขอบผลึกจะทำให้โลหะเสียกำลังไปมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความรุนแรงตรงบริเวณนั้นๆ

1.9 การสูญเสียธาตุสังกะสี (Dezincification)

มักเกิดขึ้นในทองเหลือง โดยธาตุสังกะสีถูกกัดลงไปในส่วนละลายที่กัดกร่อน ทำให้ทองแดงพรุนและเปราะ หลักการเกิดก็คือ ทั้งสังกะสีและทองแดงจะละลายลงไปในสารละลายที่กัดกร่อนแต่ทองแดงกลับมายึดที่ทองเหลืองอีก ปริมาณสังกะสีน้อยกว่า 15 เปอร์เซ็นต์ จะทนการผุกร่อนได้ดี การกร่อนอาจสม่ำเสมอ เป็นหลุมหรือเป็นจุดๆก็ได้



รูปที่ 1.2 แสดงการสูญเสียธาตุสังกะสี

1.10 การสึกกร่อน-การกัดกร่อน (Erosion-Corrosion)

เป็นปรากฏการณ์ร่วมกันระหว่างการผุกร่อน และการสึกกร่อนทางกล โลหะและโลหะผสมหลายๆตัวจะคงทนต่อการผุกร่อนหรือไม่ขึ้นอยู่กับคราบที่เป็นเกราะป้องกันตัวถ้าคราบนี้ถูกทำลายไปโดยการสึกกร่อน ก็จะทำให้การผุกร่อนดำเนินไปได้รวดเร็วขึ้น มักพบในที่ที่มีการไหลด้วยความเร็วสูง การปั่นป่วน การชน



กระทรวงศึกษาธิการ
กรมส่งเสริมการศึกษานอกโรงเรียน
กรมการศึกษานอกโรงเรียน
กรมการศึกษานอกโรงเรียน
กรมการศึกษานอกโรงเรียน

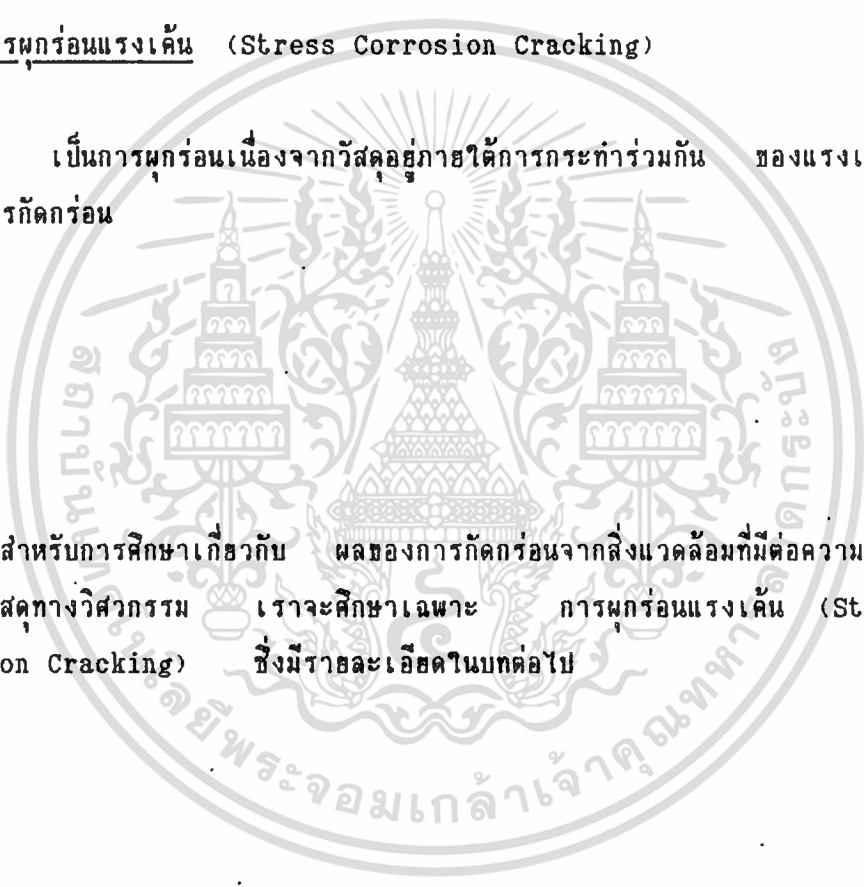
การแตก และมีของเหลวเป็นในท่อไหล
ควาวิเคชั่น(Cavitation) นับได้ว่าเป็นกรณีหนึ่งของการสึกกร่อน ผิวจะ
หยาบขรุขระเป็นหลุมลึก เกิดกับปลายของใบพัด เป็นผลมาจากแรงกลจากการ
แตกตัวของไอของเหลวในทันทีทันใด ทำให้ผิวของโลหะหลุดไป

เฟรตติ้ง(Fretting) เกิดจากการสัมผัสกันระหว่างผิวโลหะภายใต้แรงกระ
ทำ มีการสั่นสะเทือนและการเคลื่อนตัวของโลหะทั้งสอง เกิดผลผลิตของการมู
กร่อนเป็นผงละเอียด

1.11 การผุกร่อนแรงเค้น (Stress Corrosion Cracking)

เป็นการผุกร่อนเนื่องจากวัสดุอยู่ภายใต้การกระทำร่วมกัน ของแรงเค้นกับ
การกัดกร่อน

สำหรับการศึกษาเกี่ยวกับ ผลของการกัดกร่อนจากสิ่งแวดล้อมที่มีต่อความต้าน
ทานของวัสดุทางวิศวกรรม เราจะศึกษาเฉพาะ การผุกร่อนแรงเค้น (Stress
Corrosion Cracking) ซึ่งมีรายละเอียดในบทต่อไป



บทที่ 2

การผุกร่อนแรงเค้น

2.1 ลักษณะของการผุกร่อนแรงเค้น

เป็นลักษณะการผุกร่อนหรือการแตก เนื่องจากวัสดุนั้นอยู่ภายใต้การกระทำร่วมกันของแรงเค้นกับการผุกร่อน ซึ่งแรงเค้นนี้อาจเป็นแรงตกค้าง (Residual Stress) หรือแรงภายนอกมากระทำ ความร้อนหรือผลจากการเชื่อม และการผุกร่อนโดยทั่วไปเกิดประจำถิ่น (Local Stress) การเกิดการผุกร่อนประจำถิ่นเป็นตัวสะสมแรงเค้น และเมื่อมีสารกัดกร่อนและแรงเค้นมากกระทำร่วมกันจะทำให้เกิดรอยแตกขึ้น



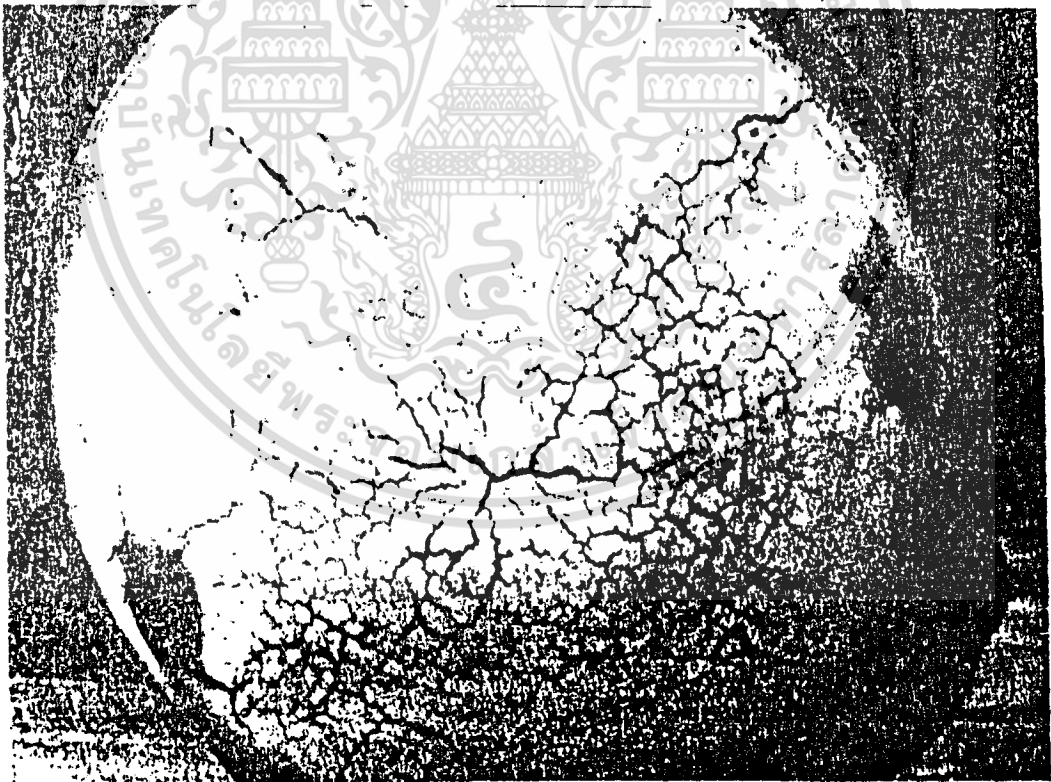
รูปที่ 2.1 แสดงการเกิด Stress Corrosion Cracking ของเหล็กกล้าไร้สนิม (ภาพขยาย 500 เท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ลักษณะของการแตก

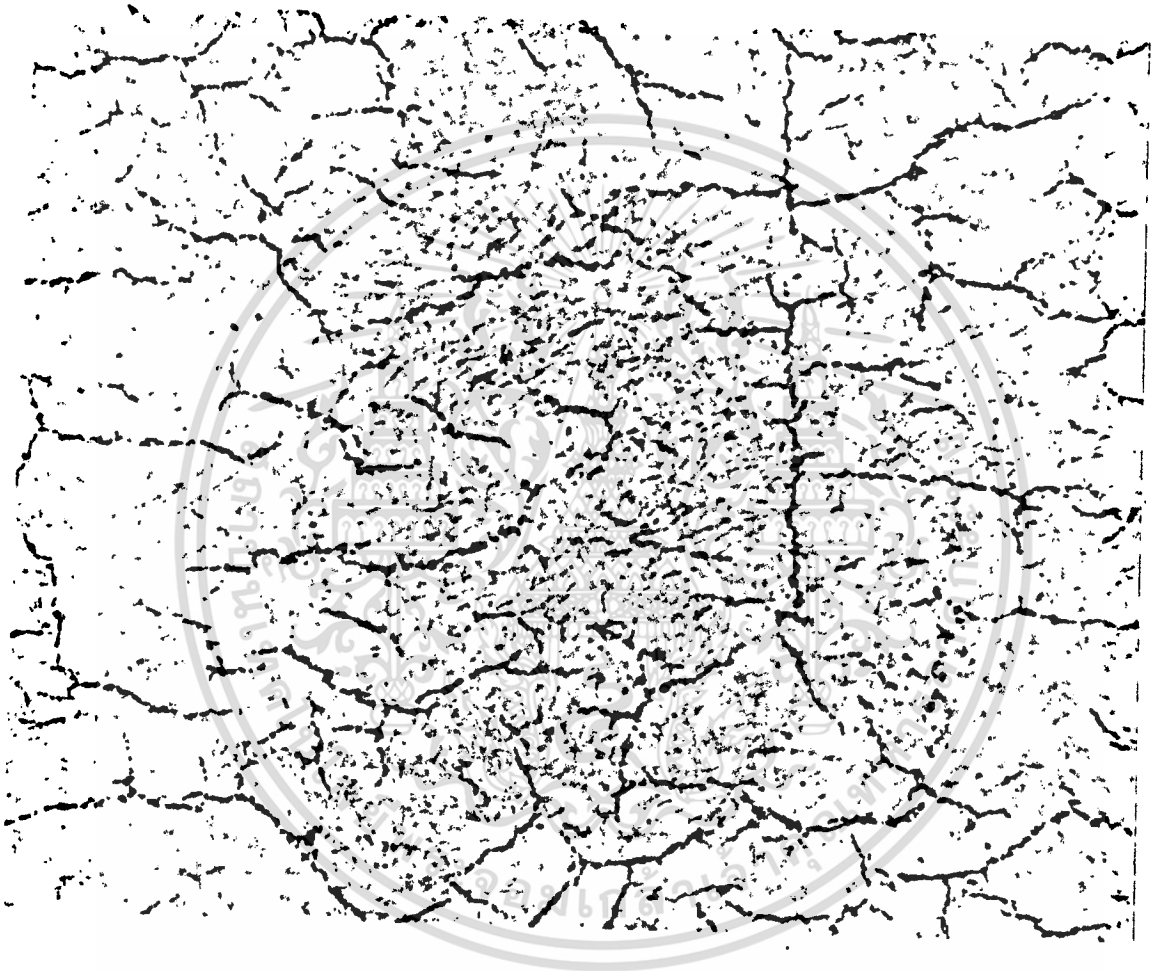
ลักษณะของการแตก อาจจะเป็นแบบฉีกผ่านผลึก(Transgranular) หรือ ว่างตามขอบผลึก(Intergranular) หรือทั้งสองแบบร่วมกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของ โลหะ สภาพทางโลหะวิทยาและสภาพแวดล้อม และยังมีผลทำให้การแตกมีลักษณะ เป็นเส้นเดี่ยวๆหรือแตกเป็นกิ่งก้านสาขา ตัวอย่างเช่น เหล็กกล้าไร้สนิมมักจะ เกิดการแตกด้วยการพุกร้อนแรงเค้น โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีคลอไรด์ที่ ร้อน สารละลายเข้มข้น มีไอน้ำปนอยู่ ลักษณะการแตกมักจะเป็นแบบฉีกผ่าน ผลึกเสมอ เหล็กกล้าไร้สนิมชนิดธรรมดา เกรด 304 และเกรด 316 มักจะ เกิดการแตกเนื่องมาจากการพุกร้อนแรงเค้น ซึ่งเกิดโดยกรดโพสิโทโอนิก(H_2SO_4) การแตกเป็นแบบว่างตามขอบผลึก

ที่ใช้เหล็กกล้าไร้สนิมกันมาก ทั้งนี้เพราะต้องการให้ทนการกัดกร่อนในอุณหภูมิ สูง เช่นใช้เป็นตัวในการแลกเปลี่ยนความร้อน ท่อส่งถ่าย ท่อในเตาอบ เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แสดงการเกิด Stress Corrosion ของ autoclave ชนิด 304

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิด SCC ของ 6Al-4V-Ti alloy ที่เปิดสู่ anhy-drous

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



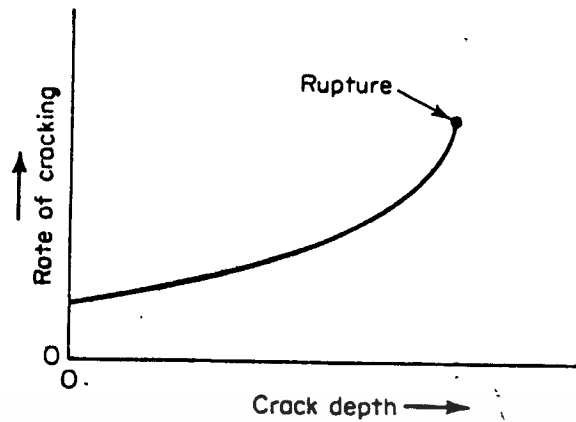
รูปที่ 2.4 แสดงการเกิด SCC แบบ Intergranular ของทองเหลือง.

การพุกร่อนแบบ SCC นั้นอันตรายมาก เพราะมักจะเกิดการเสียหายในทันทีทันใด ไม่มีการเตือนหรือการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของรูปร่างและลักษณะของวัตถุล่วงหน้า และถ้าเกิดการเสียหายแล้วก็ไม่สามารถซ่อมแซมได้

จึงต้องมีการศึกษาหาวิธีป้องกัน เพื่อเลือกใช้วัสดุที่คงทนต่อสิ่งแวดล้อมที่ทำให้เกิดการพุกร่อนแรงเค้น หรือพยายามทำให้วัสดุนี้อยู่ในสภาพที่คงทนถาวรมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

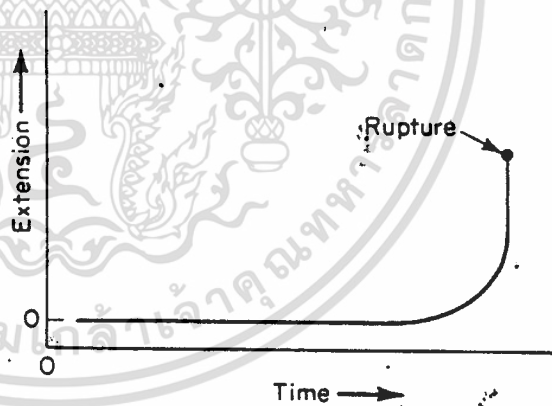
การพุกร่อนด้วยแรงเค้นจะทำให้พื้นที่หน้าตัดของโลหะลดลง และเกิดการเสียหายขึ้นในที่สุด โดยอัตราการพุกร่อนจะเปลี่ยนแปลงไปตามความลึกของการพุกร่อนของชิ้นงาน ภายใต้งแรงดึงคงที่ ในช่วงเริ่มต้นอัตราการพุกร่อนจะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่ การพุกร่อนที่เกิดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ผลทำให้พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานลดลงและความเค้นดึงเพิ่มขึ้น อัตราการพุกร่อนจะเพิ่มขึ้นไปพร้อมกับความลึกของการพุกร่อน จนกระทั่งเกิดการเสียหาย

การเสียหายจะเกิดขึ้นทันทีทันใด เพราะพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานจะลดลงจนถึงจุดที่ความเค้นที่กระทำ มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ ความแข็งแรงสูงสุดของโลหะ (Ultimate Strength)



รูปที่ 2.5 แสดงอัตราของ Stress Corrosion Cracking ที่เป็นไป ตามฟังก์ชันความลึกของการรุกราน

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง เวลากับการขยายตัวของชิ้นงาน ในสภาพที่ เกิด SCC จะพบว่า ในช่วงต้นๆ ความกว้างของการแตกจะแคบและการขยายตัว ของชิ้นงานมีน้อย เมื่อถึงช่วงหลังๆของการเกิด SCC การแตกจะกว้างขึ้น เมื่อชิ้น งานใกล้จะเกิดการเสียหาย จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางรูปร่าง ชิ้นงานจะเกิด การขยายตัวอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 2.6 แสดงการขยายตัวของชิ้นงานที่เป็นไปตามฟังก์ชันของเวลา การทดลอง Stress Corrosion Cracking ภายใต้แรงดึงคงที่

จากรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการทำการทดลองเพื่อ ศึกษาการเกิด SCC จะต้องใช้เวลานานพอที่จะเห็นสภาพการเปลี่ยนแปลงของชิ้น งานที่เกิดขึ้น

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้างเครื่อง

3.1 การคำนวณหาแรงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานเสียหาย

ชิ้นทดสอบเป็นเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนิติก (austenitic stainless steel)
 ความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุด (ultimate tensile strength) 110 ksi
 (ข้อมูลจาก 1973 Material Selector, Reinhold Publishing Co., New York, ASME
 Handbook)

ความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุด $\alpha_u = 110 \text{ ksi}$
 $= 110 * 6.895$
 $= 758.45$ นิวตัน ต่อ ตารางมิลลิเมตร

กำหนดขนาดชิ้นทดสอบมีพื้นที่หน้าตัด $A = 4.5 * 1$ ตารางมิลลิเมตร

จากความสัมพันธ์ ความเค้น (α) = แรง (F) / พื้นที่หน้าตัด (A)

ดังนั้น $F = \alpha * A$

แรงสูงสุดที่จะสามารถทำให้ชิ้นทดสอบเกิดความเสียหาย สามารถคำนวณหาได้
 จากความสัมพันธ์

$$F_{max} = \alpha_u * A$$

$$= 758.45 * 4.5 = 3413.025 \text{ นิวตัน}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การเลือกใช้วัสดุในการสร้างเครื่องมือ

ในการสร้างเครื่องมือ แต่ละชิ้นส่วนจะเลือกใช้เหล็ก st 37 DIN 17100 (9.66) ซึ่งมีความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุด 370 นิวตัน ต่อ ตารางมิลลิเมตร สาเหตุที่เลือกใช้เหล็กชนิดนี้เนื่องมาจาก

1. สามารถทนต่อสภาพการใช้งานได้
2. สามารถหาซื้อได้ทั่วไป
3. มีราคาถูก

3.3 การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนที่ 1

- ความยาว (L) = 1000 มิลลิเมตร
- พื้นที่หน้าตัด (A) = $h * b$
- เส้นผ่านศูนย์กลางรูเจาะ (d) = 9.1 มิลลิเมตร
- ค่าความปลอดภัย (N_u) = 3

โมเมนต์ดัด :

$$\begin{aligned} \text{โมเมนต์สูงสุด } (M_{max}) &= F * 200 \quad \text{นิวตัน-มิลลิเมตร} \\ &= 3413.025 * 200 \\ &= 682.605 * 10^3 \quad \text{นิวตัน-มิลลิเมตร} \\ c &= (h-d)/2 \end{aligned}$$

โมเมนต์ของความเฉื่อย (Moment of inertia) $I = [(b-d)*(h-d)^3] / 12$

จาก ค่าความเค้นออกแบบ $\alpha_u = \frac{\sigma_u}{N_u} = (M_{max} * c) / I$

$$370/3 = [682.605 * 10^3 * (h-9.1) / 2] /$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ (b-9.1)*(h-9.1)^3/12 การคำนวณค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น กำหนดค่า $h = 80.00 \text{ mm}$, $b = 15.70$ เลือกใช้ 25.00 มิลลิเมตร

3.4 การคำนวณหาแรงปฏิกิริยาที่จุดรองรับของคานขึ้นส่วนที่หนึ่ง

ความหนาแน่นของคานขึ้นส่วนที่ 1 (D) = 7.85 กิโลกรัม ต่อ ลูกบาศก์เดซิเมตร

ปริมาตร (V) = $80 \times 25 \times 1000 = 2.00$ ลูกบาศก์เดซิเมตร

มวล (M) = $D \times V = 7.85 \times 2.0 = 15.70$ กิโลกรัม

คิดโมเมนต์รอบจุด a :

$$3413.025 \times 20 = 15.70 \times 9.81 \times 45 + W \times 90$$

$$68260.50 = 6930.765 + W \times 90$$

$$W = 681.441 \text{ N.}$$

- $F_y = 0$:

$$R + 154.02 + 681.441 = 3413.025$$

$$R = 2577.567 \text{ N.}$$

3.5 การคำนวณหาขนาดขึ้นส่วนที่ 2

- พื้นที่หน้าตัด = $h \times b$

- ยาว (L) = 346 mm.

- ค่าความปลอดภัย $N_u = 3$

อัตราส่วนความเพริช $L_u / K = L_u / \sqrt{I/A}$

L_u = ความยาวสมมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I = โมเมนต์ความเฉื่อย

$$A = \text{พื้นที่หน้าตัด}$$

: คัดการโก่งรอบแกน XX

ปลายยึดแน่นอิสระ (CF: clamp free) $L_e = 2L$

$$K = \sqrt{I/A} = \sqrt{((d^4/12)/d^2)}$$

$$= d\sqrt{12}$$

$$F = (\tau^2 * E * A) / (N(L_e/K)^2)$$

$$= (\tau^2 * E * A) / (N(2\sqrt{12}L/b)^2)$$

$$= (\tau^2 * E * A * b^2) / (N * 2\sqrt{12} * L^2)$$

: คัดการโก่งรอบแกน YY

ปลายยึดแน่นอิสระ (CF: clamp free) $L_e = 2L$

$$K = d/\sqrt{12}$$

$$F = (\tau^2 * E * A * h^2) / (N * 2\sqrt{12} * L^2)$$

$$F = (\alpha_y * A/N) [1 - \alpha_y (L_e/K)^2 / 4\tau^2 EI]$$

$$= (370 * d^2 / 3) [1 - 370 * (2L\sqrt{12})^2 / 4\tau^2 (207000)]$$

$$F = 1706.5, L = 346$$

$$1706.5 = (370 * d^2 / 3) [1 - 370 * (2 * 346 * \sqrt{12})^2 / 4\tau^2 (207000)]$$

$$d = 15.52 \text{ mm. } \sim 25 \text{ มิลลิเมตร}$$

3.6 การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนที่ 3

เลือก - ยาว (L) = 500 mm.

- ค่าความปลอดภัย $N_u = 3$

- พื้นที่หน้าตัด $A = h * b$

โมเมนต์บิด

$$M_{max} = F * L / 4 = ((3413.025 / 2) * 500) / 4$$

$$= 213314.06$$

$$c = h / 2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก

$$\text{ความเค้นออกแบบ } \alpha_u = \alpha_u / N_u = M_{\max} * c / I$$

$$\text{ให้ } h = 60.00 \text{ mm.}$$

$$370/3 = (213314.06 * 60.00 / 2) /$$

$$[b * 60.00^3 / 12]$$

$$b = 2.9 \text{ mm. } \sim 5 \text{ mm.}$$

3.7 การคำนวณหาขนาดชิ้นส่วนที่ 4

เลือก - ยาว (L) = 500 mm.

- ค่าความปลอดภัย $N_u = 3$

- U-shape steel เลือกขนาด $h = 65 \text{ mm. } b = 42 \text{ mm.}$

$$I_x = 57.5 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} \text{โมเมนต์บิด } M_{\max} &= R * L / 4 = 2577.567 * 500 / 4 \\ &= 322195.88 \text{ N-mm.} \end{aligned}$$

$$c = h / 2$$

$$I_x = 57.5 * 10^4 \text{ mm}^4$$

จาก

$$\text{ความเค้นออกแบบ } \alpha_u = \alpha_u / N_u = M_{\max} * c / I_x$$

$$370/3 = (M_{\max} * 60.00 / 2) / (57.5 * 10^4)$$

$$M = 2363 \text{ kN-mm.}$$

3.8 การคำนวณหาขนาดชิ้นที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ข้อมูลใดๆ ทั้งสิ้นทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือก - ยาว (L) = 40 mm.

Steel GGG-80 DIN 1693T1 (10.73)

- Ultimate Tensile Strength 800 N/mm.
- พื้นที่หน้าตัด (A) = $\pi * d^2 / 4$
- ค่าความปลอดภัย $N_u = 3$

คำนวณ:

ความเค้นเฉือน:

$$\text{แรงเฉือนสูงสุด} = v_{max} = 3413.025 \text{ N.}$$

$$\text{ความเค้นเฉือนออกแบบ} = 0.6 * \alpha_u / N_u = (4/3) * v_{max} / 2A$$

$$0.6 * 800 / 3 = (4/3) * 3413.025 / 2A$$

$$A = \pi d^2 / 4 = 14.22 / 2$$

$$d = 3.00 \text{ mm.}$$

$$\text{ความเค้นออกแบบ} = \alpha_u / N_u = F / 2A$$

$$370 / 3 = 3413.025 / 2 * (d * 40)$$

$$d = 0.77 \text{ mm.}$$

$$d = 9.1 \text{ mm.}$$

ดัดขึ้นเลือก

3.9 การคำนวณหาขนาดขึ้นที่ 6

จาก

$$\text{ความเค้นออกแบบ} = \alpha_u / N_u = F / A$$

$$370 / 3 = 3413.025 / A$$

$$A = 27.67 \text{ mm}^2$$

จากตารางที่ 7.1

$$\text{nominal size} = 8 \text{ mm.}$$

$$\text{pitch length} = 1.25 \text{ mm.}$$

$$\text{diameter pitch} = 7.1 \text{ mm.}$$

$$d = 6.4 - 6.6 \sim 7.0 \text{ mm.}$$

เอกสารจากตารางที่ 7.8 สำหรับความสูงยาวเกลียว 1_{min} เท่ากับ $1.3 * D$ ที่ $1.3 * 8 = 10.4 \text{ mm}$ แต่ถ้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามความสูงแป้นเกลียว t_{min} อย่างน้อย $0.8 * D$ เอกสาร $0.8 * 8 = 6.4 \text{ mm}$ ใช้

3.10 การคำนวณหาขนาดชิ้นที่ 7

คิดที่รูเจาะ :

$$\text{ความเค้นออกแบบ} = \alpha_u / N_u = F/A ; A=d*t$$

$$370/3 = (2577.567/2)/(9.1*t)$$

$$t = 1.15 \text{ mm.}$$

คิดพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด :

$$\text{ความเค้นออกแบบ} = \alpha_u / N_u = F/A ; A=(b-d)*t$$

$$370/3 = (2577.567/2)/[(b-9.1)*1.15]$$

$$b = 18.19 \sim 30 \text{ mm.}$$

3.11 การคำนวณหาขนาดชิ้นที่ 8

คิดที่รูเจาะ :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

$$\text{ความเค้นออกแบบ} = \alpha_u / N_u = F/A ; A=d*t$$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$370/3 = (3413.025/2)/(9.1*t)$$

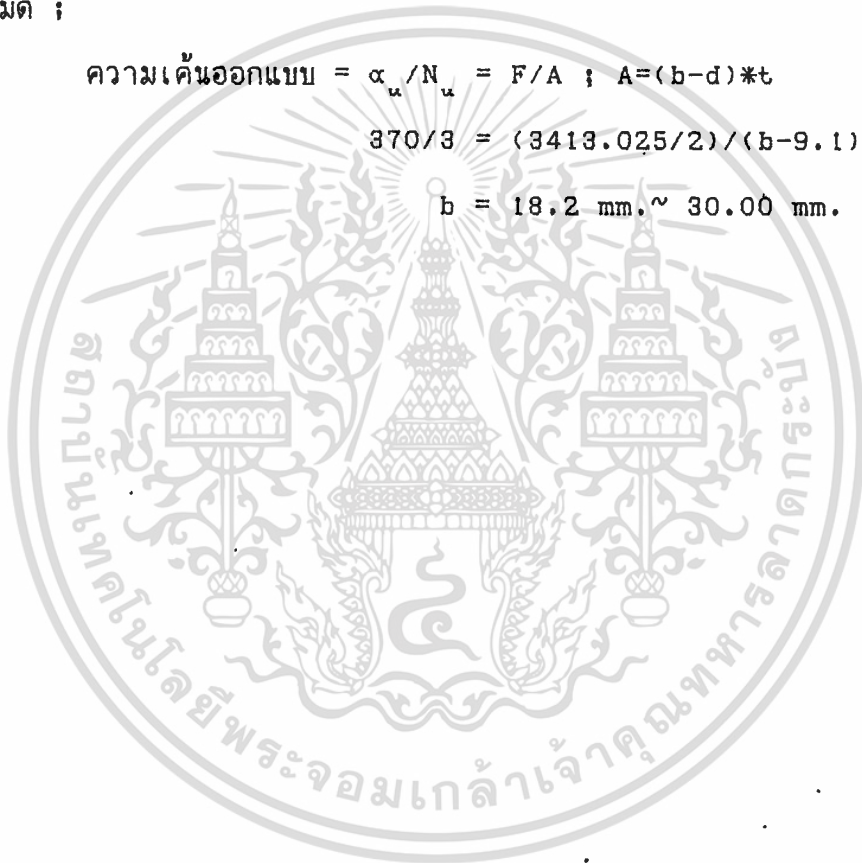
$$t = 1.52 \text{ mm.}$$

คิดพื้นที่ทั้งหมด ;

$$\text{ความเค้นออกแนว} = \alpha_u / N_u = F/A ; A=(b-d)*t$$

$$370/3 = (3413.025/2)/(b-9.1)*1.52$$

$$b = 18.2 \text{ mm.} \sim 30.00 \text{ mm.}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ขั้นตอนทดลองและคุณสมบัติของชิ้นทดลอง

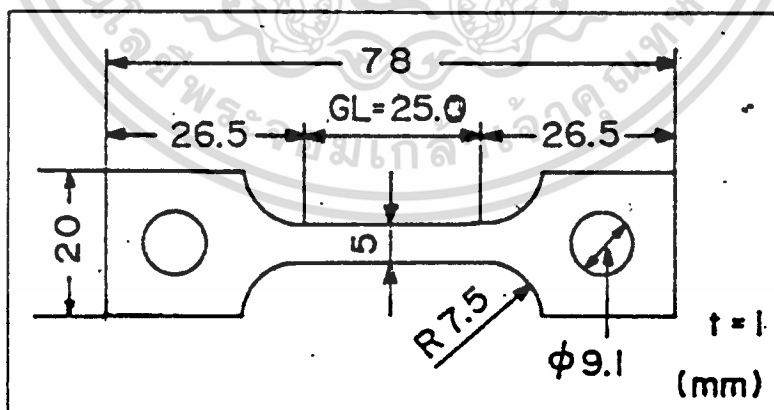
สำหรับการศึกษาความเป็นไปของการแตกเนื่องจากการผุกร่อนแรงเค้น ในครั้งนี้ จะทำการศึกษาลักษณะการแตกเนื่องจากการผุกร่อนแรงเค้น ของเหล็กกล้าไร้สนิม ออสตีนิติก ชนิด 304 มีค่าความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุด 110 ksi มีส่วนประกอบทางเคมีตามตารางที่ 3 และรูปร่างของชิ้นงานที่ใช้ทำการทดลองเป็นไปตามรูปที่ 10

ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็กกล้าไร้สนิม ออสตีนิติก

เกรด 304

Chemical Composition of
AISI 304 and 316 Stainless Steel (wt%)

Specimen	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
AISI 304	0.06	0.58	1.18	0.028	0.009	8.75	18.31	-



รูปที่ 4.1 แสดงรูปร่างและขนาดของชิ้นงานที่ใช้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 เครื่องมือทดลอง

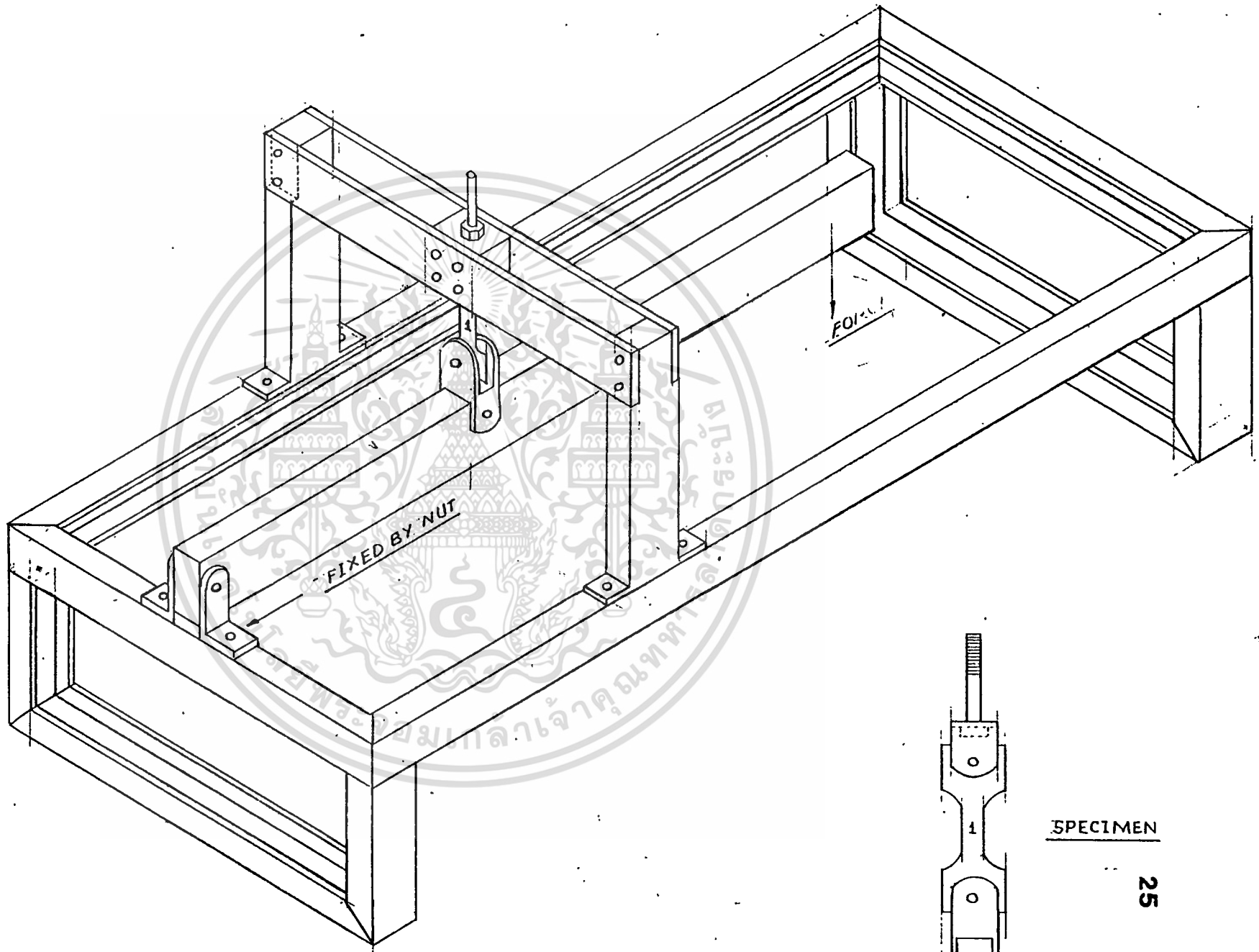
เครื่องมือที่ใช้ทำการทดลอง ออกแบบให้รับแรงดึงสูงสุดได้ 3400 นิวตัน โดยใช้หลักโมเมนต์เข้ามาช่วย ทำให้ขนาดของน้ำหนักสูงสุดที่จะต้องใช้ดึงขึ้นทดลอง มีขนาดน้อยลงเป็นส่วนหนึ่งของคาน แสดงตามรูปที่ 11

ส่วนการเปลี่ยนแปลงความยาวของขึ้นทดลองภายใต้ความเค้นคงที่ จะถูกวัดด้วย เกจวัดระยะยัด (Dial Gauge) สามารถวัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตร โดยขาตั้งของเกจวัดระยะยัดจะทำให้สามารถปรับระยะได้ทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง โดยใช้สกรูเป็นตัวยึดเพื่อความสะดวกในการทำงาน ระยะในการวัดของเกจวัดระยะยัดจะวัดระยะห่างจากแนวการดึงขึ้นทดสอบที่ 20.00 เซนติเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



4.3 การเตรียมสารละลายกรด

สารละลายที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือ สารละลายกรดไฮโดรคลอริก HCl และสารละลายกรดซัลฟูริก H_2SO_4 เรามีสารละลายกรดไฮโดรคลอริก 37% (โดยน้ำหนัก) และสารละลายกรดซัลฟูริก

การเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5 โมลต่อลิตร

$$\begin{aligned} \text{เราต้องการสารละลายกรดไฮโดรคลอริก } 5 \text{ kmol/m}^3 &= (5 \times 10^3) \text{ mol} / 10^3 \text{ dm}^3 \\ &= 5 \text{ mol/l} \end{aligned}$$

$$\text{HCl } 37\% = 37 \text{ กรัม HCl} / 100 \text{ กรัม sol}^n$$

$$M(\text{น้ำหนักโมเลกุล}) = 36.46 \text{ kg/mol}$$

$$\text{ความหนาแน่น} = 1.19 \text{ kg/l}$$

$$\text{HCl } 5 \text{ mol} = 36.46 \times 5 \text{ กรัม}$$

$$= 182.30 \text{ กรัม}$$

มี HCl 37 กรัม ในสารละลาย 100 กรัม

เราต้องการ HCl 182.30 กรัม

$$\text{ดังนั้น ต้องใช้สารละลาย} = (182.30 \times 100) / 37 \text{ กรัม}$$

$$= 492.7 \text{ กรัม}$$

$$= 492.7 / (1.19 \times 10^3) \text{ l}$$

$$= 0.414 \text{ l}$$

$$= 414 \text{ ml}$$

ดังนั้นเราจะเตรียมสารละลาย HCl 5 kmol/l โดย นำสารละลายกรด HCl 37%

จำนวน 414 ml เติมน้ำ (1000-414) = 586 ml.

การเตรียมกรดซัลฟูริก

กรดที่ซื้อจากร้านไม่ได้บอกความเข้มข้นไว้ให้ บอกแต่เพียง ถ้าต้องการสารละลายกรด 1 mol/l ให้นำสารละลายกรดเข้มข้น 5.5 ml ผสมในน้ำ 100 ml แต่เราต้องการสารละลายกรดเข้มข้น 5 kmol/m³ หรือ 5 mol/l วิธีคำนวณดังนี้

เราต้องหาความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ซื้อก่อน

ถ้าเราผสมกรดตามคำแนะนำจะได้สารละลายกรดเข้มข้น 1 mol/l

ใช้สารละลายกรด	5.5 ml
ใส่น้ำบริสุทธิ์	100 ml
จะได้สารละลายเจือจาง	105.5 ml
และในสารละลายนี้จะมี H ₂ SO ₄ อยู่จำนวน	= (105.5X1)/1000 mol
	= 0.1055 mol
ดังนั้นในกรดที่ซื้อมา 5.5 ml จะมี H ₂ SO ₄ อยู่	0.1055 mol
ถ้าใน 1000 ml จะมี H ₂ SO ₄ อยู่	(0.1055X1000)/5.5 mol
	= 19.18 mol
เราต้องการสารละลาย	5 mol/l
ดังนั้นต้องใช้กรดเข้มข้นจำนวน	= (1000X5)/19.18 ml
	= 261 ml
ต้องผสมน้ำบริสุทธิ์	= 1000-261 ml
	= 739 ml

4.4 การทำชิ้นงานทดสอบ(specimen)

การทำชิ้นทดสอบ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ การปั๊มขึ้นรูป (punch & die) แต่ว่าเราไม่ใช้วิธีนี้เพราะ ต้นทุนในการทำ punch & die แพงมาก เนื่องจากเราทำจำนวนน้อย เราเลือกทำ ชิ้นทดสอบ โดยวิธีใช้เครื่องกัด CNC ที่เรามี อยู่ซึ่งเป็นเครื่องกัดควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์การกัดเราไม่สามารถใช้ปากกาจับชิ้นงานมา จับ แผ่น ชิ้นทดสอบ ได้โดยตรงเพราะชิ้นงานมีความแข็งแรงไม่พอดังนั้นเราจึงนำแผ่นชิ้นงาน ไปยึดกับแผ่นอลูมิเนียมก่อนแล้วจึงใช้ปากกาจับอลูมิเนียมอีกที และจะต้องมีแผ่นอลูมิเนียมซึ่งกัดเป็นรูป ชิ้นทดสอบ ประกบด้านบนเพื่อป้องกันการบิดและฉีกขาดของ ชิ้นทดสอบ

ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

1. นำแผ่น เหล็กกล้าไร้สนิม และแผ่นเหล็ก ไปตัดด้วยเครื่องตัดให้ได้ ขนาดใหญ่กว่า ชิ้นทดสอบ เล็กน้อย
2. นำแผ่นชิ้นงานที่ตัดแล้ว ไปเจาะรูแรกด้วยเครื่องpunch เพื่อเจาะรูขนาด 9 มิลลิเมตร (ไม่มีขนาด 9.5 มิลลิเมตร)
3. นำแผ่นชิ้นงานที่ได้ไปขยาสรูด้วยดอกสว่าน และเจาะรูที่สอง โดยใช้แผ่น อลูมิเนียม เป็น guide นำ
4. นำแผ่นชิ้นงานที่เจาะรูเรียบร้อยและไปยึดกับ กับแผ่นอลูมิเนียม ด้วยน็อต และประกบข้างบนด้วยแผ่นอลูมิเนียมรูปชิ้นทดสอบ
5. กัดชิ้นงานด้วย CNC PROGRAM
6. ใช้เครื่องไส ทำ การนำร่อง

การทำ ชิ้นทดสอบ ด้วยเครื่อง CNC นี้จะมี ความผิดพลาด อยู่พอสมควร มีความผิดพลาด เนื่องจากเครื่องและ ความผิดพลาด เนื่องจาก ความไม่พอดีของน็อตและรูเจาะ และจะมี ความผิดพลาด เนื่องจากการไสเพื่อทำ การนำร่อง โดยรอสที่ได้จะมีขนาด ไม่เท่ากัน

4.5 ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้ขั้นตอนทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิมออสติไนติก 304 ทำการหาขนาดน้ำหนักสูงสุดที่จะทำให้งานเกิดการยึดตัวถึงจุดใดจุดหนึ่งหรือไม่ขนาดนั้นเอง โดยถ่วงน้ำหนักเลือกจากขนาด 40 กิโลกรัม แล้วลดลงเรื่อยๆ ซึ่งจะได้ว่าที่ขนาดน้ำหนักสูงสุด 25 กิโลกรัม งานจะเกิดการยึดตัวแต่ไม่ขาดเราจึงเลือกใช้ น้ำหนัก 25 กิโลกรัม เป็นน้ำหนักสูงสุดที่จะใช้ในงาน
2. เลือกน้ำหนักที่จะใช้ในงานเปลี่ยนไปอีก 4 ค่า โดยให้มีขนาดน้อยกว่า 25 กิโลกรัม ดังนั้นเราจะเลือกใช้ที่ 22 กิโลกรัม 20 กิโลกรัม 17 กิโลกรัม และ 12 กิโลกรัม
3. ให้ขั้นตอนทดสอบถูกดึงน้ำหนักด้วย 25 กิโลกรัม และแช่อยู่ในกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลต่อลิตร แล้วบันทึกระยะเวลายึดตัวของชิ้นงานทุก 1 นาที หลังจากใส่น้ำหนักเสร็จจนครบ 30 นาที จากนั้นบันทึกทุกๆ 30 นาที จนครบ 3 ชั่วโมง จากนั้นบันทึกทุกๆ 1 ชั่วโมงจนชิ้นงานขาด และจะบันทึกมากที่สุด 48 ชั่วโมงในการนี้ชิ้นงานไม่ขาด
4. ทำการทดลองแบบเดียวกันกับข้อ 3 แต่เปลี่ยนให้ชิ้นงานถูกดึงด้วยน้ำหนัก 22 กิโลกรัม 20 กิโลกรัม 17 กิโลกรัม และ 12 กิโลกรัม ตามลำดับ
5. ทำการทดลองแบบเดียวกันกับ ข้อ 3 และ ข้อ 4 แต่ให้ขั้นตอนทดสอบแช่อยู่ในกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 5 โมลต่อลิตร
6. ใช้ขั้นตอนทดสอบเป็นเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี ทำการหาขนาดน้ำหนักที่จะทำให้งานไม่ขาดหรือเกิดการยึดตัวถึงจุดใดจุดหนึ่งเท่านั้น โดยถ่วงน้ำหนักจากขนาดมากแล้วลดลงเรื่อยๆ ซึ่งจะได้ที่ขนาด 15 กิโลกรัม แต่เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกับขั้นตอนทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม เราจึงเลือกน้ำหนัก 12 กิโลกรัมในการดึง
7. ดึงขั้นตอนทดสอบด้วยน้ำหนัก 12 กิโลกรัม และแช่อยู่ในกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 5 โมลต่อลิตร บันทึกระยะเวลายึดตัวเป็นช่วง ๆ ตามข้างต้น
8. คำนวณหาระยะการยึดตัวจริงของชิ้นงาน โดยใช้ทฤษฎีสัมเหลี่ยมคล้าย

$$\frac{\text{ระยะการยึดตัวจริงของชิ้นงาน}}{\text{ระยะการยึดตัวของชิ้นงานที่วัดได้}} = \frac{\text{ระยะจากจุดหมุนถึงจุดดึงชิ้นงาน}}{\text{ระยะจากจุดหมุนถึงจุดวัด}}$$

$$\text{ระยะการยึดตัวจริงของชิ้นงาน} = \frac{200 \text{ มิลลิเมตร}}{400 \text{ มิลลิเมตร}} \times \text{ระยะการยึดตัวของชิ้นงานที่วัดได้}$$

9. บันทึกผลที่ได้ในรูปแบบของตาราง โดยแบ่งการบันทึกเป็นสองช่วงคือ ช่วง 30 นาที หลังจากใส่น้ำหนักเสร็จ กับช่วงที่เหลือ
10. แสดงความสัมพันธ์ของระยะการยึดตัวจริงของชิ้นงานเทียบกับเวลา
11. เปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ในสภาวะต่าง ๆ กัน

4.6 ผลการทดลอง

การแสดงผลการทดลองจะแสดงในรูปของตาราง จากนั้นแสดงความสัมพันธ์ของระยะการยึดตัวของชิ้นงานเทียบกับเวลาในกราฟ กราฟจะแสดงอยู่หลังตาราง แต่ละตารางตามลำดับ

ตารางที่ 4.6.1

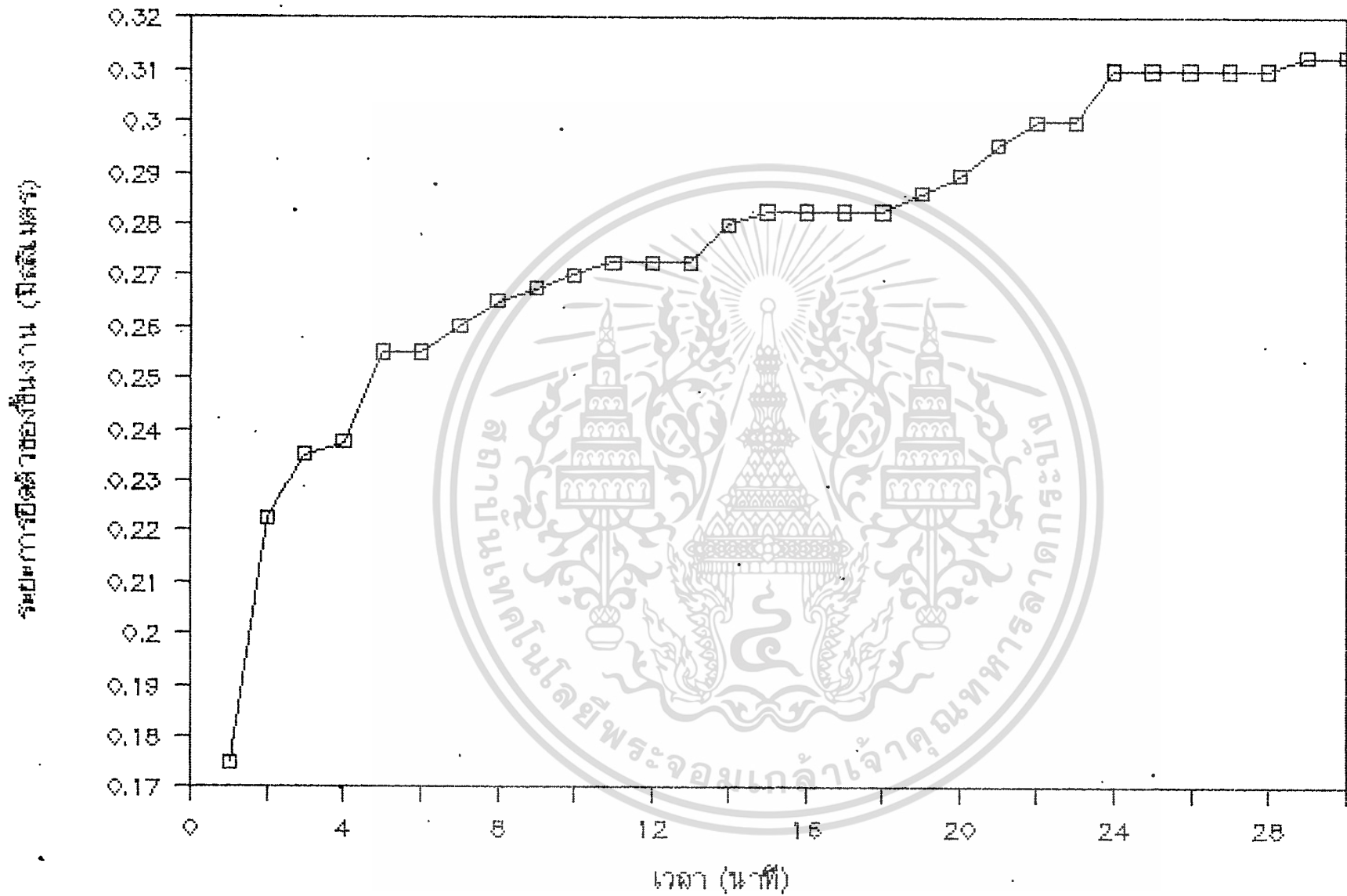
แสดงระยะยัดตัวที่วัดได้ และระยะยัดตัวจริงเทียบกับเวลา
ของชิ้นทดสอบ สแตนเลสสตีล ชนิด 304 (25+ m กิโลกรัม)
ภายใต้แรงดึง 468 นิวตันในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 5 mol/l

เวลา (นาที)	ระยะยัดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยัดตัวจริง (มิลลิเมตร)
1	0.350	0.1750
2	0.445	0.2225
3	0.470	0.2350
4	0.475	0.2375
5	0.510	0.2550
6	0.510	0.2550
7	0.520	0.2600
8	0.530	0.2650
9	0.535	0.2700
10	0.540	0.2675
11	0.545	0.2700
12	0.545	0.2725
13	0.545	0.2725
14	0.560	0.2800
15	0.565	0.2825
16	0.565	0.2825
17	0.565	0.2825
18	0.565	0.2825
19	0.572	0.2860

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	ระยะยัดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยัดตัวจริง (มิลลิเมตร)
20	0.579	0.2895
21	0.591	0.2955
22	0.600	0.3000
23	0.600	0.3000
24	0.620	0.3100
25	0.620	0.3100
26	0.620	0.3100
27	0.620	0.3100
28	0.620	0.3100
29	0.625	0.3125
30	0.625	0.3125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการดูดซับของชั้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 ภายใต้แรงดัน 468 นิวตัน ในสารละลาย HCl 5 mol/l ใน 30 นาทีแรก หลังจากใส่น้ำหนัก

ตารางที่ 4.6.2

แสดงระยะยัดตัวที่วัดได้ และระยะยัดตัวจริงเทียบกับเวลา
ของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 (25+m กิโลกรัม)
ภายใต้แรงดึง 468 นิวตันในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 5 mol/l

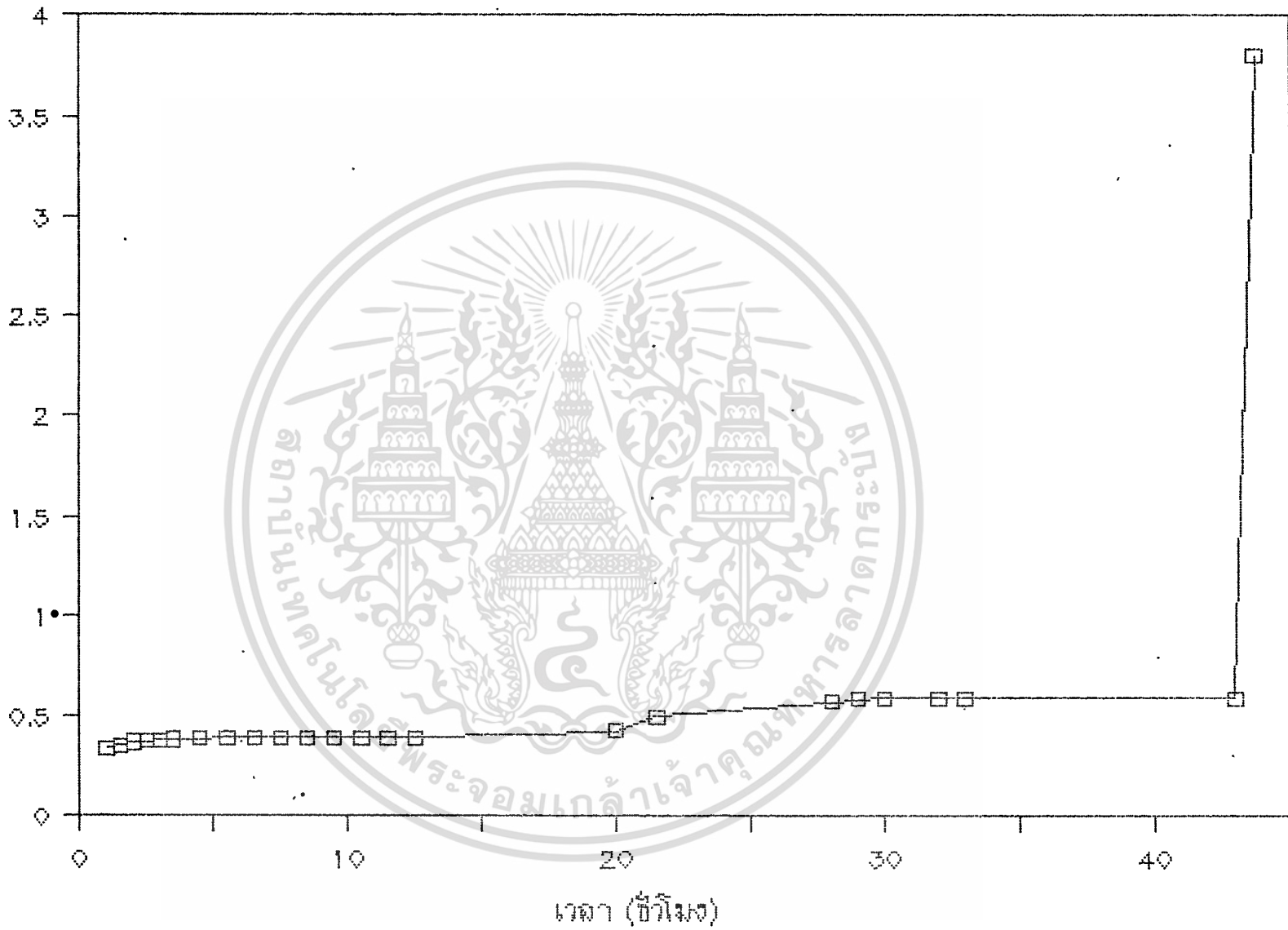
เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยัดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยัดตัวจริง (มิลลิเมตร)
1.00	0.68	0.34
1.50	0.71	0.36
2.00	0.74	0.37
2.50	0.75	0.38
3.00	0.77	0.39
3.50	0.77	0.39
4.50	0.78	0.39
5.50	0.79	0.40
6.50	0.79	0.40
7.50	0.79	0.40
8.50	0.79	0.40
9.50	0.79	0.40
10.50	0.79	0.40
11.50	0.79	0.40
12.50	0.79	0.40
20.00	0.86	0.43
21.50	1.00	0.50
28.00	1.14	0.57
29.00	1.18	0.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยัดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยัดตัวจริง (มิลลิเมตร)
30.00	1.18	0.59
32.00	1.18	0.59
33.00	1.18	0.59
43.00	1.18	0.59
43.75	ขาด	3.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปยี่สิบตัวอย่างขึ้นงาน (มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยี่สิบตัวอย่างขึ้นงาน สแตนเลส สตีล ชนิด 304 ภายใต้แรงดึง 468 นิวตัน ในสารละลาย HCl 5 mol/l ในช่วงหลังจาก 30 นาทีแรก

ตารางที่ 4.6.3

แสดงระยะยึดตัวที่วัดได้ และระยะยึดตัวจริงเทียบกับเวลา
ของชิ้นทดสอบ สแตนเลสสตีล ชนิด 304 (22+ m กิโลกรัม)
ภายใต้แรงดึง 454 นิวตัน ในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 5 mol/l

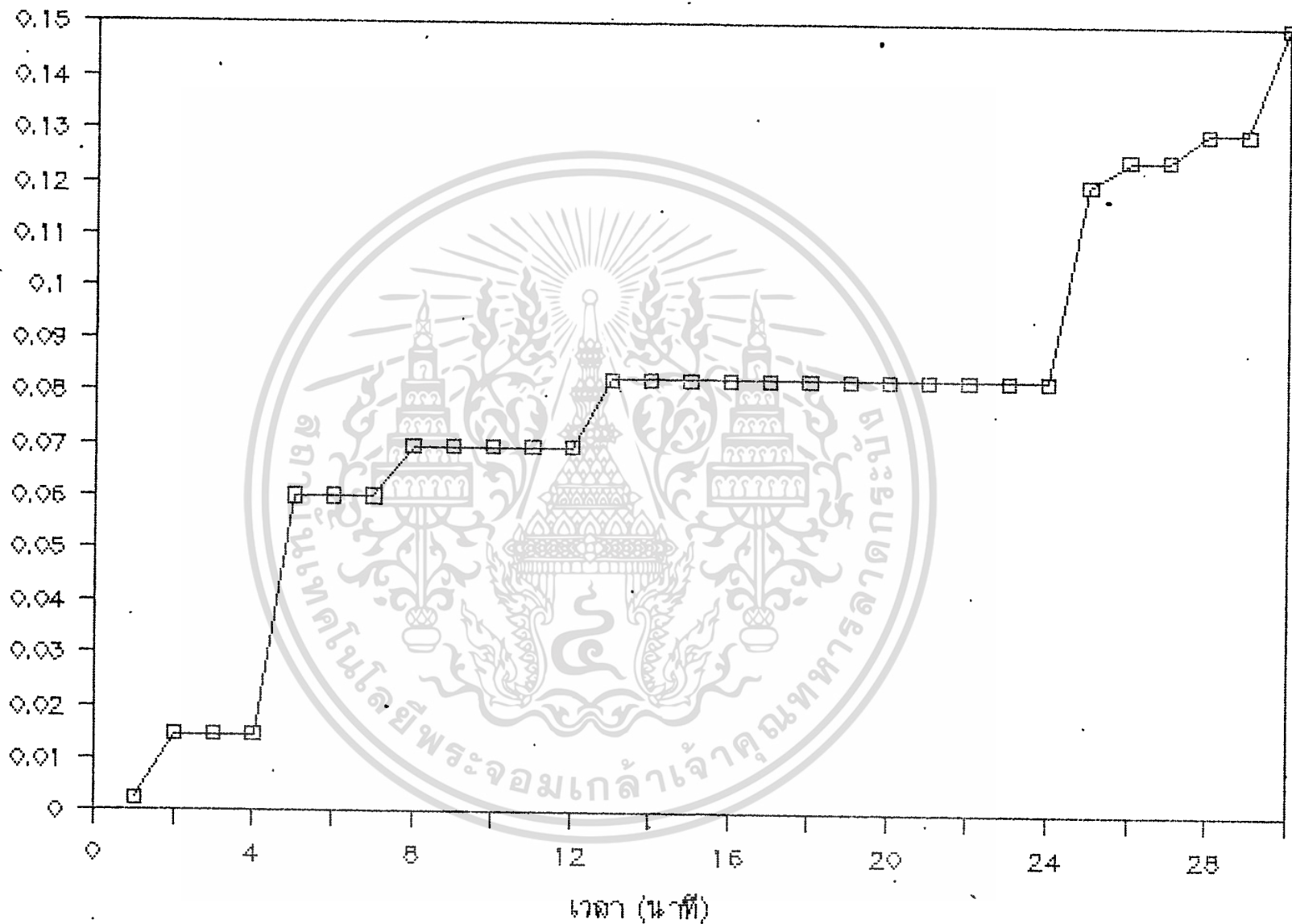
เวลา (นาที)	ระยะยึดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยึดตัวจริง (มิลลิเมตร)
1	0.005	0.0025
2	0.029	0.0145
3	0.029	0.0145
4	0.029	0.0145
5	0.120	0.0600
6	0.120	0.0600
7	0.120	0.0600
8	0.139	0.0695
9	0.139	0.0695
10	0.139	0.0695
11	0.139	0.0695
12	0.139	0.0695
13	0.165	0.0825
14	0.165	0.0825
15	0.165	0.0825
16	0.165	0.0825
17	0.165	0.0825
18	0.165	0.0825
19	0.165	0.0825

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	ระยะยัดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยัดตัวจริง (มิลลิเมตร)
20	0.165	0.0825
21	0.165	0.0825
22	0.165	0.0825
23	0.165	0.0825
24	0.165	0.0825
25	0.240	0.1200
26	0.250	0.1250
27	0.250	0.1250
28	0.260	0.1300
29	0.260	0.1300
30	0.300	0.1500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6.3



รูปที่ 4.6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยืดตัวของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 ภายใต้งแรงดึง 454 นิวตัน ในสารละลาย HCl 5 mol/l ใน 30 นาทีแรก หลังจากใส่น้ำหนัก

ตารางที่ 4.6.4

แสดงระยะยึดตัวที่วัดได้ และระยะยึดตัวจริงเทียบกับเวลา
ของชั้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 (22+ m กิโลกรัม)
ภายใต้แรงดึง 454 นิวตัน ในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 5 mol/l

เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยึดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยึดตัวจริง (มิลลิเมตร)
1.0	0.32	0.160
1.5	0.37	0.185
2.0	0.38	0.190
2.5	0.44	0.220
3.0	0.45	0.225
3.5	0.45	0.225
4.5	0.45	0.225
5.5	0.45	0.225
6.5	0.45	0.225
7.5	0.45	0.225
8.5	0.45	0.225
9.5	0.45	0.225
10.5	0.45	0.225
11.5	0.45	0.225
12.5	0.45	0.225
13.5	0.45	0.225
14.5	0.45	0.225
15.5	0.45	0.225
16.5	0.45	0.225

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

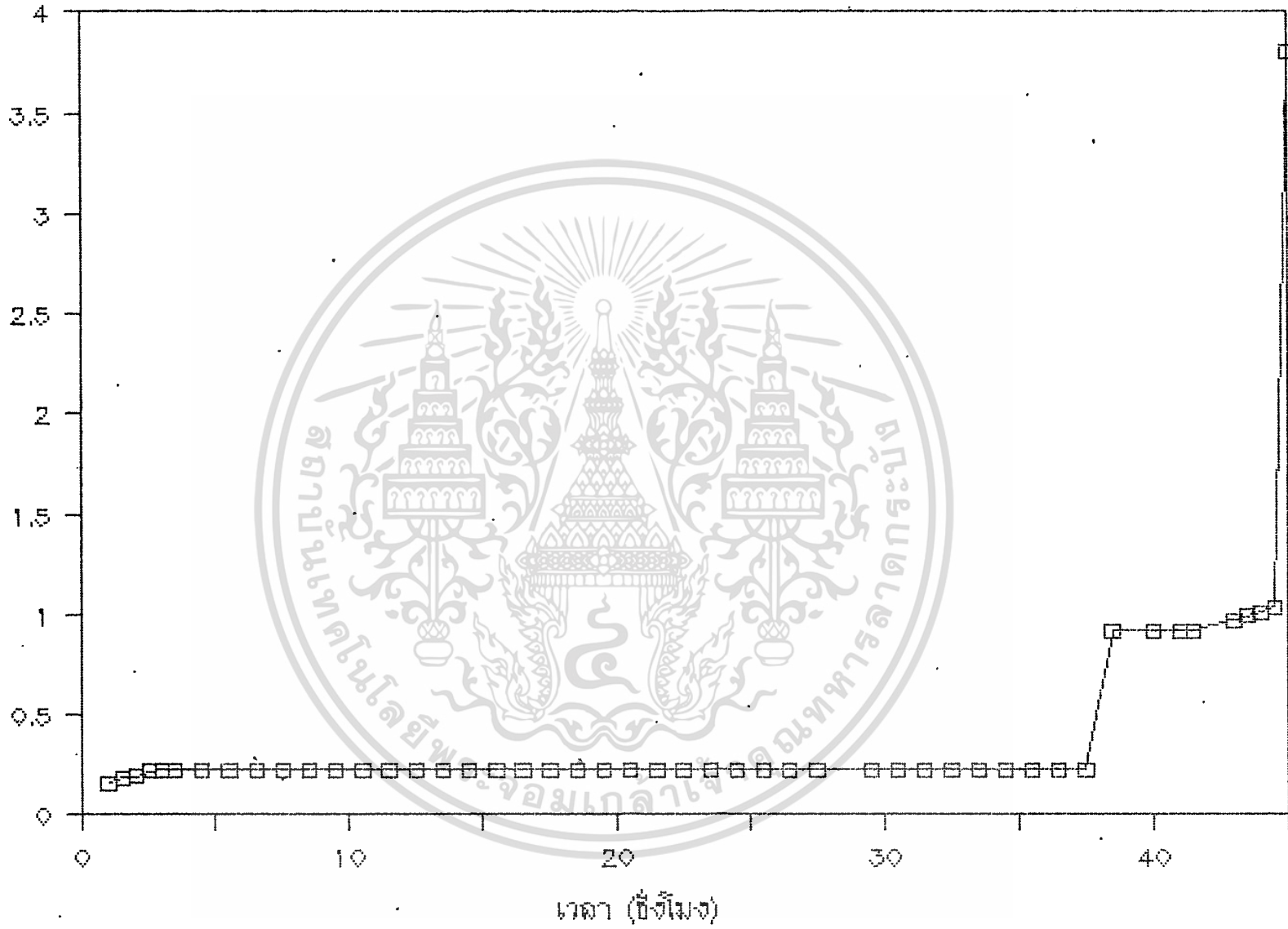
เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยัดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยัดตัวจริง (มิลลิเมตร)
17.5	0.45	0.225
18.5	0.45	0.225
19.5	0.45	0.225
20.5	0.45	0.225
21.5	0.45	0.225
22.5	0.45	0.225
23.5	0.45	0.225
24.5	0.45	0.225
25.5	0.45	0.225
26.5	0.45	0.225
27.5	0.45	0.225
29.5	0.45	0.225
30.5	0.45	0.225
31.5	0.45	0.225
32.5	0.45	0.225
33.5	0.45	0.225
34.5	0.45	0.225
35.5	0.45	0.225
36.5	0.45	0.225
37.5	0.45	0.225
38.5	1.83	0.915
40.0	1.84	0.920
41.0	1.84	0.920

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยัดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยัดตัวจริง (มิลลิเมตร)
41.5	1.84	0.920
43.0	1.94	0.970
43.5	1.98	0.990
44.0	2.02	1.010
44.5	2.07	1.035
45.0	ขาด	3.800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้น (มิลลิโมลาร์)



รูปที่ 4.6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยืดตัวของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 ภายใต้แรงดึง 454 นิวตัน ในสารละลาย HCl 5 mol/l ในช่วงหลังจาก 30 นาทีแรก

ตารางที่ 4.6.5

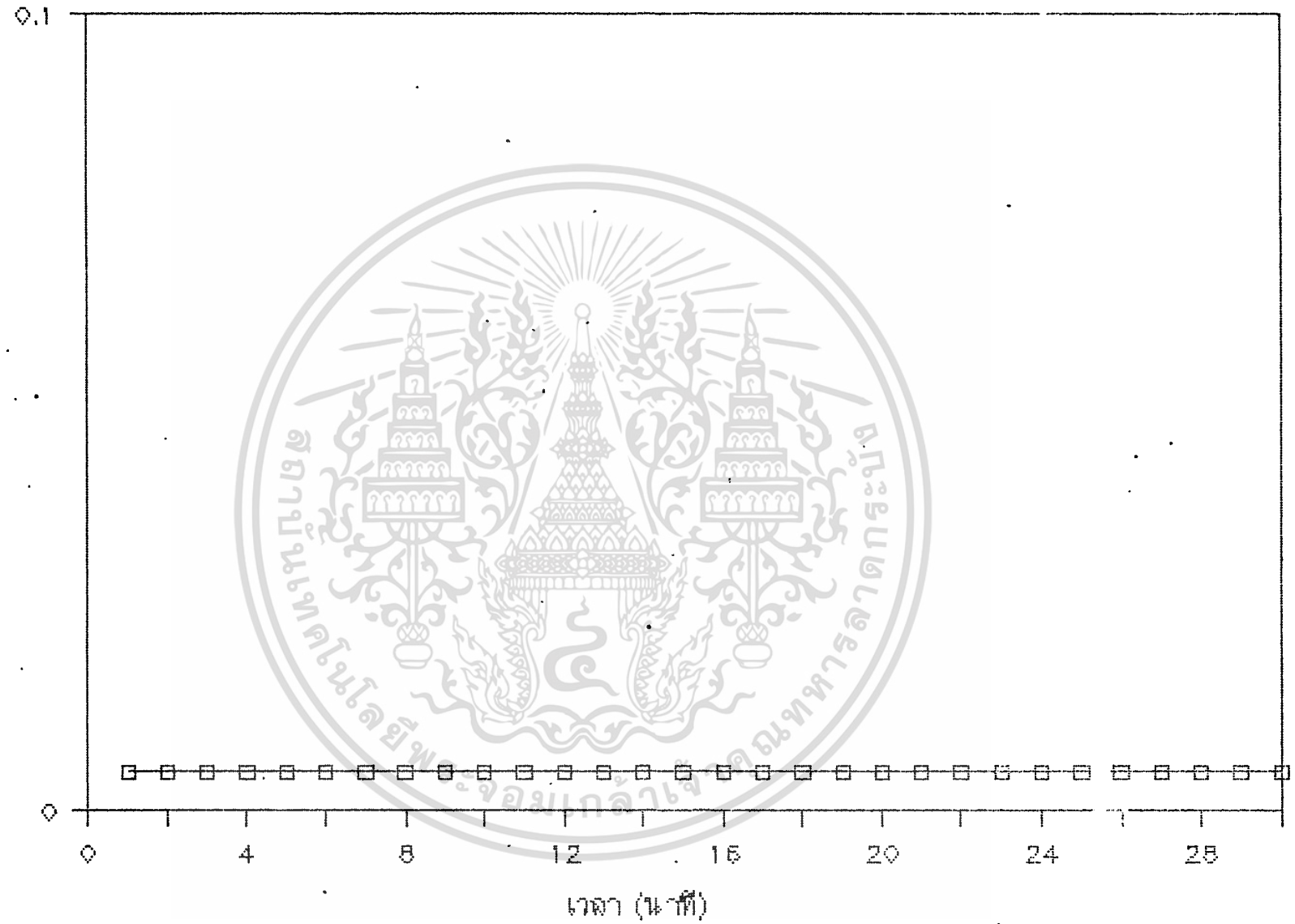
แสดงระยะยึดตัวที่วัดได้ และระยะยึดตัวจริงเทียบกับเวลา
 ของชั้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 (20+ m กิโลกรัม)
 ภายใต้แรงดึง 445 นิวตัน ในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 5 mol/l

เวลา (นาที)	ระยะยึดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยึดตัวจริง (มิลลิเมตร)
1	0.01	0.005
2	0.01	0.005
3	0.01	0.005
4	0.01	0.005
5	0.01	0.005
6	0.01	0.005
7	0.01	0.005
8	0.01	0.005
9	0.01	0.005
10	0.01	0.005
11	0.01	0.005
12	0.01	0.005
13	0.01	0.005
14	0.01	0.005
15	0.01	0.005
16	0.01	0.005
17	0.01	0.005
18	0.01	0.005
19	0.01	0.005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	ระยะยัดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยัดตัวจริง (มิลลิเมตร)
20	0.01	0.005
21	0.01	0.005
22	0.01	0.005
23	0.01	0.005
24	0.01	0.005
25	0.01	0.005
26	0.01	0.005
27	0.01	0.005
28	0.01	0.005
29	0.01	0.005
30	0.01	0.005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยึดตัวของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 ภายใต้งแรงดึง 445 นิวตัน ในสารละลาย HCl 5 mol/l ใน 30 นาทีแรก หลังจากใส่น้ำหนัก

ตารางที่ 4.6.6

แสดงระยะยึดตัวที่วัดได้ และระยะยึดตัวจริงเทียบกับเวลา
ของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 (20+ μ กิโลกรัม)
ภายใต้แรงดึง 445 นิวตัน ในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 5 mol/l

เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยึดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยึดตัวจริง (มิลลิเมตร)
1.0	0.01	0.005
1.5	0.01	0.005
2.5	0.01	0.005
3.0	0.01	0.005
3.5	0.01	0.005
4.5	0.01	0.005
5.5	0.01	0.005
6.5	0.01	0.005
7.5	0.01	0.005
8.5	0.01	0.005
9.5	0.01	0.005
10.5	0.01	0.005
11.5	0.01	0.005
12.5	0.01	0.005
13.5	0.01	0.005
14.5	0.01	0.005
15.5	0.01	0.005
16.5	0.01	0.005
17.5	0.01	0.005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

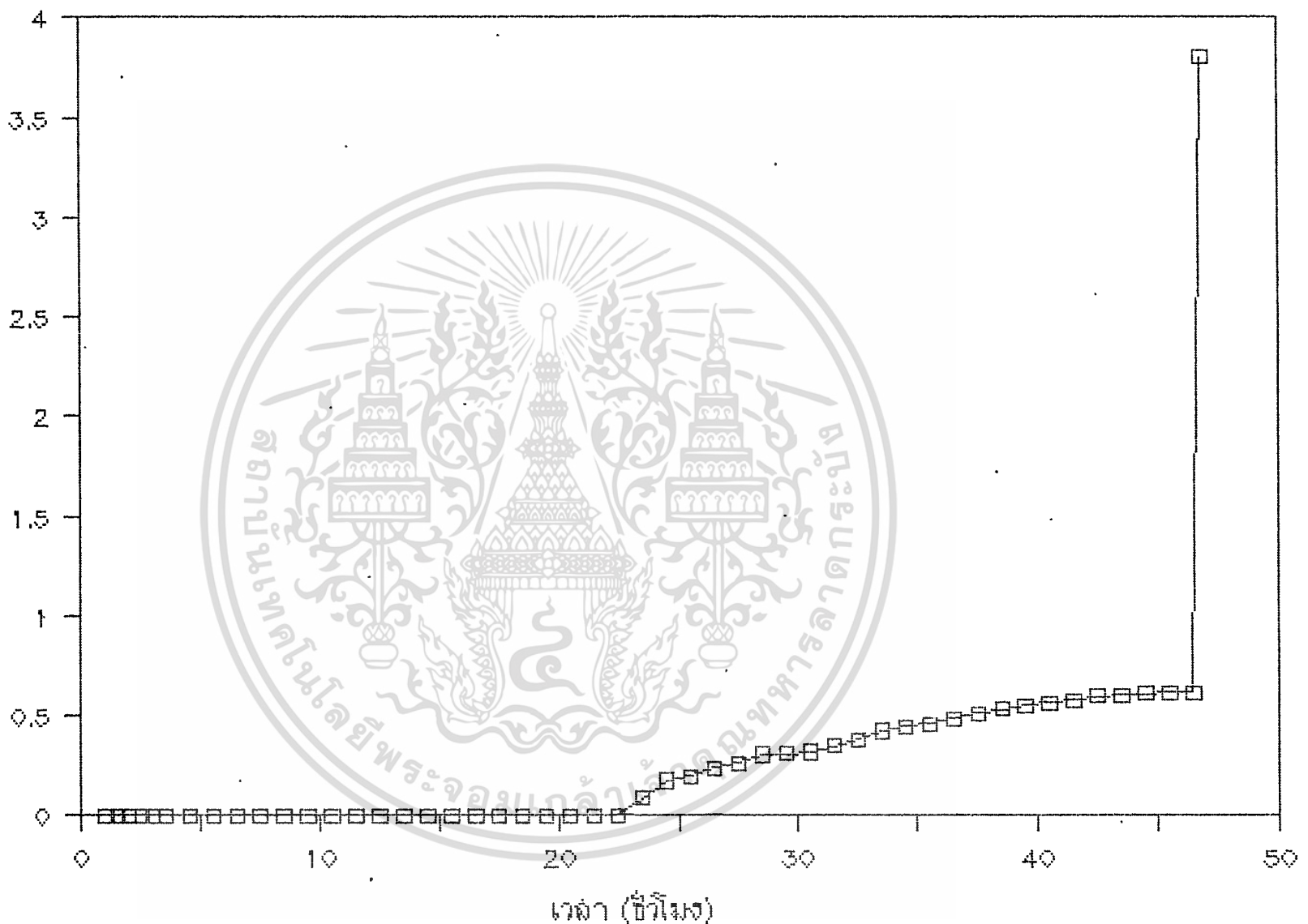
เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยืดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยืดตัวจริง (มิลลิเมตร)
18.5	0.01	0.005
19.5	0.01	0.005
20.5	0.01	0.005
21.5	0.01	0.005
22.5	0.01	0.005
23.5	0.18	0.090
24.5	0.35	0.175
25.5	0.40	0.200
26.5	0.47	0.235
27.5	0.52	0.260
28.5	0.61	0.305
29.5	0.62	0.310
30.5	0.64	0.320
31.5	0.70	0.350
32.5	0.76	0.380
33.5	0.85	0.425
34.5	0.89	0.445
35.5	0.92	0.460
36.5	0.97	0.485
37.5	1.02	0.510
38.5	1.07	0.535
39.5	1.10	0.550
40.5	1.13	0.565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยัดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยัดตัวจริง (มิลลิเมตร)
41.5	1.16	0.580
42.5	1.20	0.600
43.5	1.21	0.605
44.5	1.22	0.610
45.5	1.23	0.615
46.5	1.23	0.615
46.87	ขาด	3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะชีวิตของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.6.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยืดตัวของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 ภายใต้แรงดึง 445 นิวตัน ในสารละลาย HCl 5 mol/l ในช่วงหลังจาก 30 นาทีแรก

ตารางที่ 4.6.7

แสดงระยะยึดตัวที่วัดได้ และระยะยึดตัวจริงเทียบกับเวลา
ของชั้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 (22+m กิโลกรัม)
ภายใต้แรงดึง 454 นิวตัน ในสารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 5 mol/l

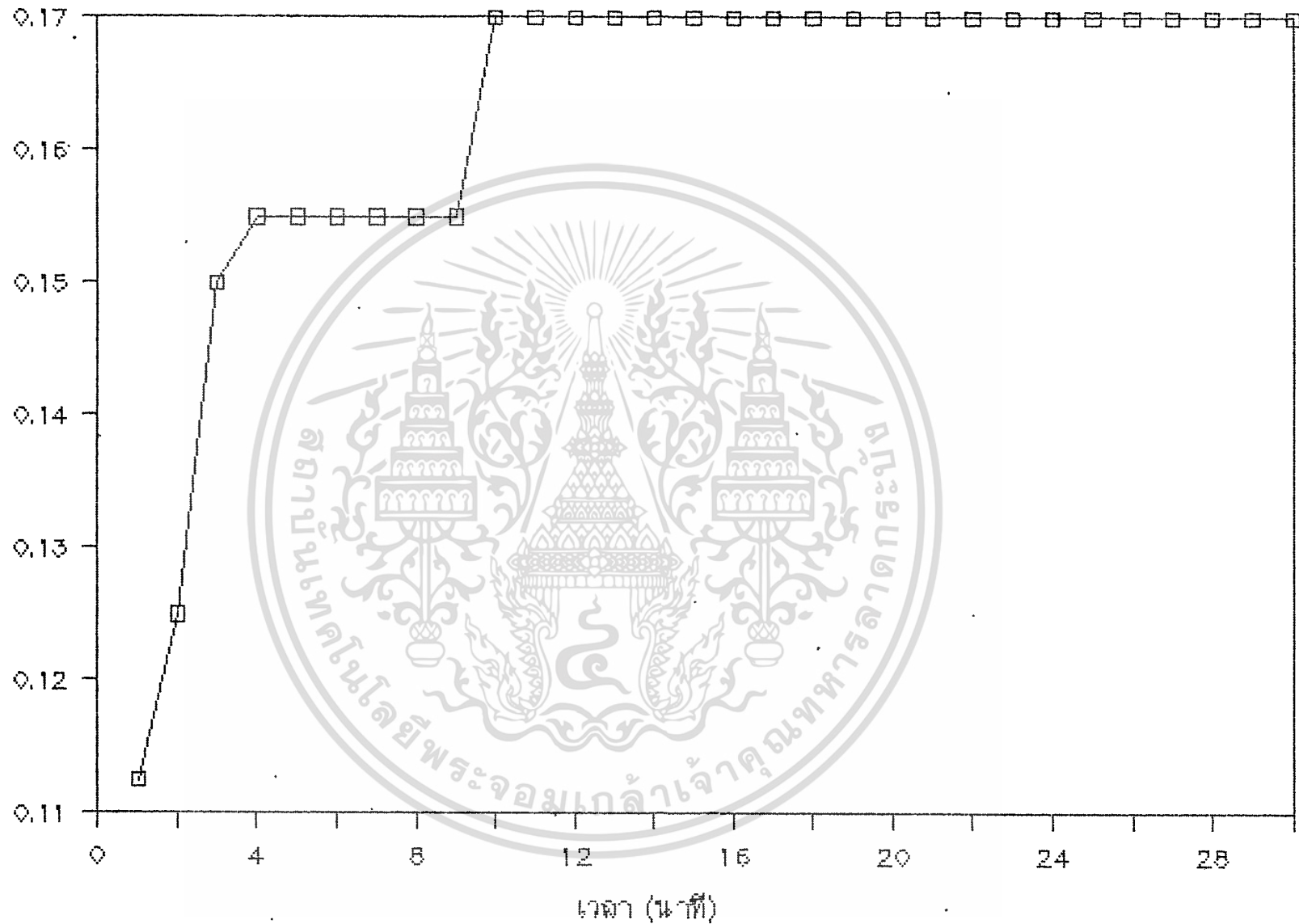
เวลา (นาที)	ระยะยึดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยึดตัวจริง (มิลลิเมตร)
1	0.225	0.1125
2	0.25	0.1250
3	0.30	0.1500
4	0.31	0.1550
5	0.31	0.1550
6	0.31	0.1550
7	0.31	0.1550
8	0.31	0.1550
9	0.31	0.1550
10	0.34	0.1700
11	0.34	0.1700
12	0.34	0.1700
13	0.34	0.1700
14	0.34	0.1700
15	0.34	0.1700
16	0.34	0.1700
17	0.34	0.1700
18	0.34	0.1700
19	0.34	0.1700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	ระยะยัดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยัดตัวจริง (มิลลิเมตร)
20	0.34	0.1700
21	0.34	0.1700
22	0.34	0.1700
23	0.34	0.1700
24	0.34	0.1700
25	0.34	0.1700
26	0.34	0.1700
27	0.34	0.1700
28	0.34	0.1700
29	0.34	0.1700
30	0.34	0.1700

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบอบยึดตัวของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.6.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยึดตัวของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 ภายใต้แรงดึง 454 นิวตัน ในสารละลาย H_2SO_4 5 mol/l ใน 30 นาทีแรก หลังจากใส่น้ำหนัก

ตารางที่ 4.6.8

แสดงระยะยึดตัวที่วัดได้ และระยะยึดตัวจริงเทียบกับเวลา
ของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 (22+ m กิโลกรัม)
ภายใต้แรงดึง 454 นิวตัน สารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 5 mol/l

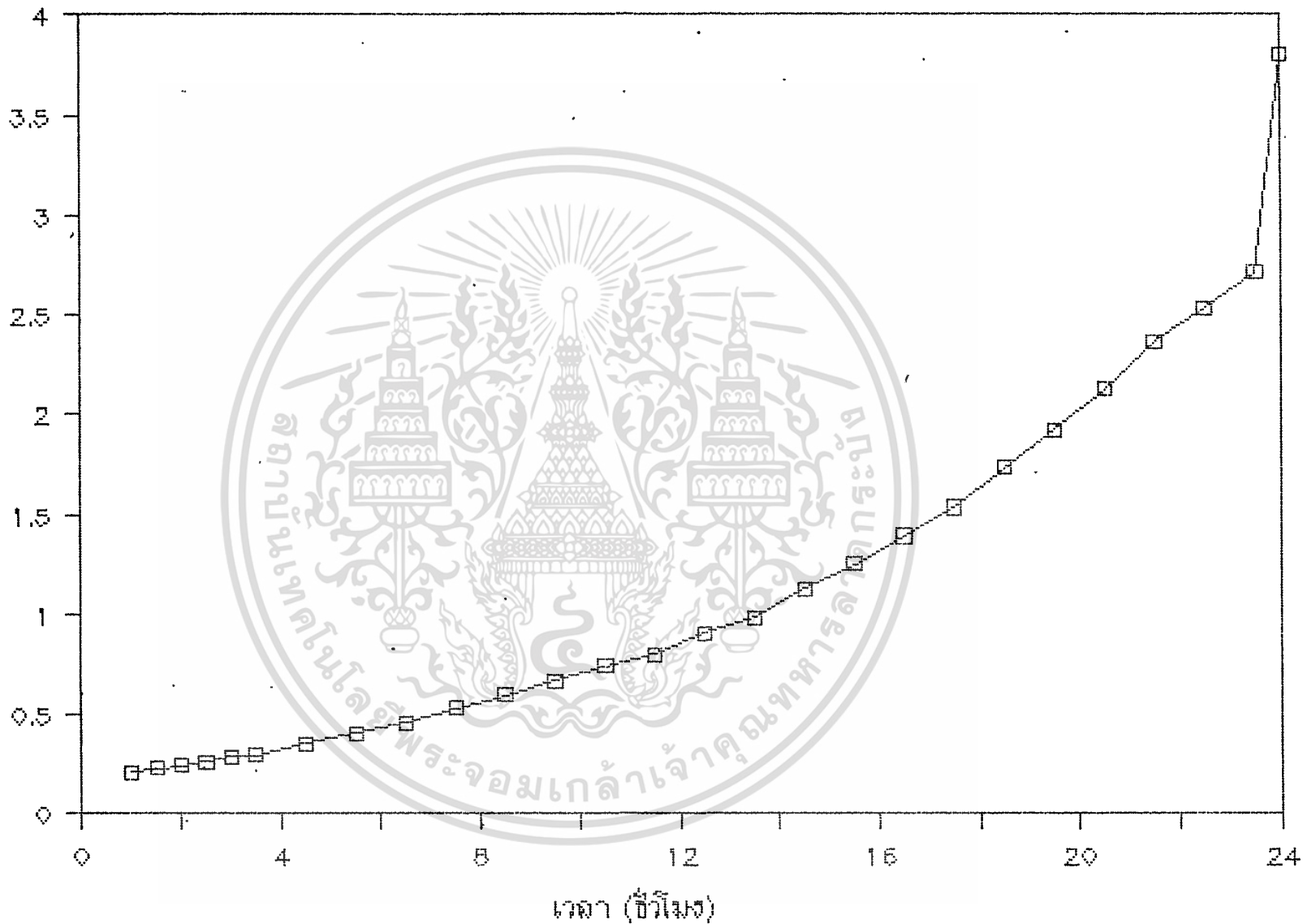
เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยึดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยึดตัวจริง (มิลลิเมตร)
1.0	0.42	0.210
1.5	0.46	0.230
2.0	0.49	0.245
2.5	0.52	0.260
3.0	0.58	0.290
3.5	0.60	0.300
4.5	0.71	0.355
5.5	0.82	0.410
6.5	0.92	0.460
7.5	1.07	0.535
8.5	1.19	0.595
9.5	1.34	0.670
10.5	1.48	0.740
11.5	1.60	0.800
12.5	1.81	0.905
13.5	1.97	0.985
14.5	2.25	1.125
15.5	2.50	1.250
16.5	2.78	1.390

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยึดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยึดตัวจริง (มิลลิเมตร)
17.5	3.07	1.535
18.5	3.47	1.735
19.5	3.85	1.925
20.5	4.25	2.125
21.5	4.74	2.370
22.5	5.08	2.540
23.5	5.43	2.715

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดตัวของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.6.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกัดตัวของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 ภายใต้งานกัด 454 นิวตัน ในสารละลาย H_2SO_4 5 mol/l ในช่วงหลังจาก 30 นาทีแรก

ตารางที่ 4.6.9

แสดงระยะยึดตัวที่วัดได้ และระยะยึดตัวจริงเทียบกับเวลา
ของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 (20+m กิโลกรัม)
ภายใต้แรงดึง 445 นิวตัน ในสารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 5 mol/l

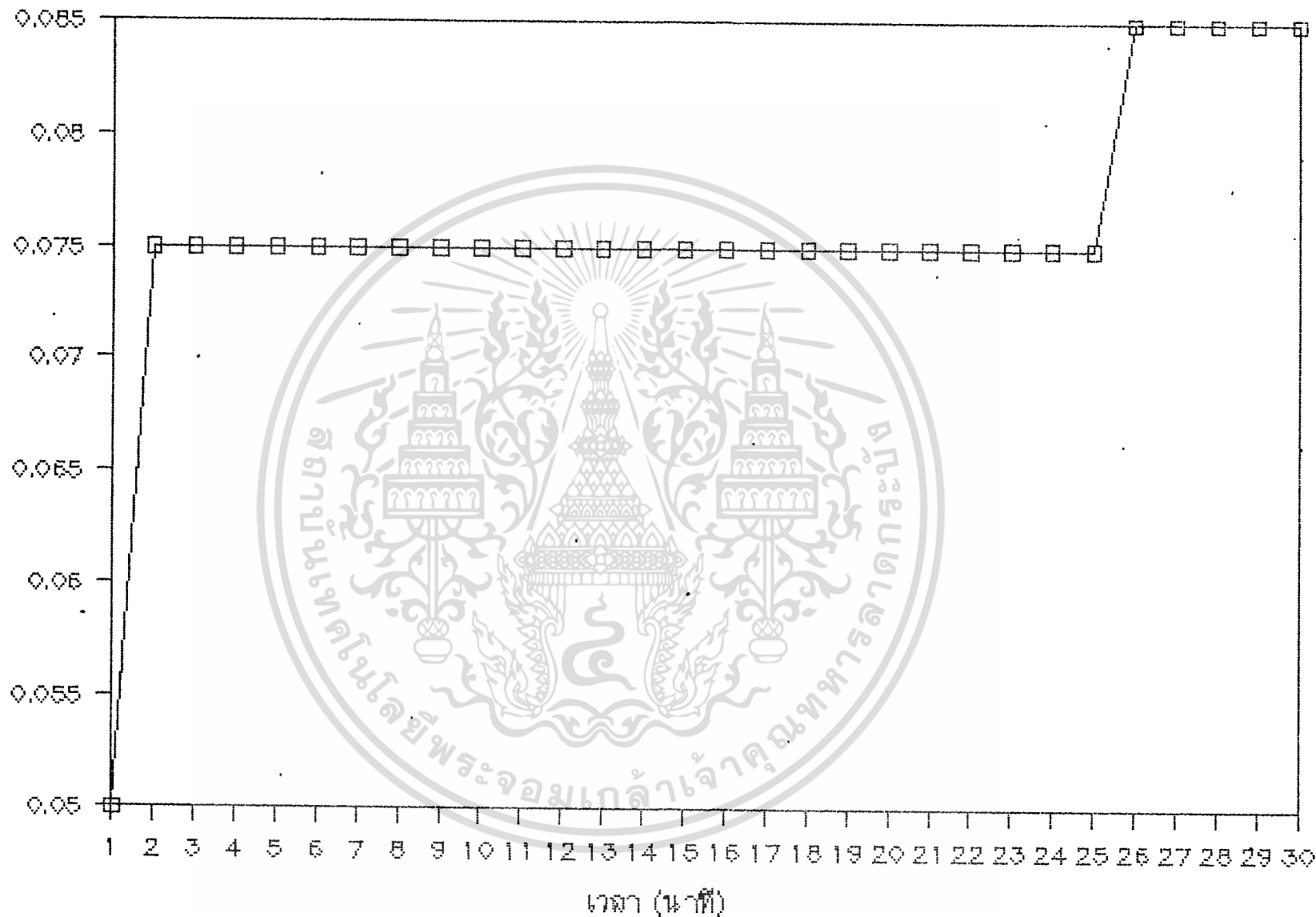
เวลา (นาที)	ระยะยึดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยึดตัวจริง (มิลลิเมตร)
1	0.10	0.050
2	0.15	0.075
3	0.15	0.075
4	0.15	0.075
5	0.15	0.075
6	0.15	0.075
7	0.15	0.075
8	0.15	0.075
9	0.15	0.075
10	0.15	0.075
11	0.15	0.075
12	0.15	0.075
13	0.15	0.075
14	0.15	0.075
15	0.15	0.075
16	0.15	0.075
17	0.15	0.075
18	0.15	0.075
19	0.15	0.075

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	ระยะยัดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยัดตัวจริง (มิลลิเมตร)
20	0.15	0.075
21	0.15	0.075
22	0.15	0.075
23	0.15	0.075
24	0.15	0.075
25	0.15	0.075
26	0.17	0.085
27	0.17	0.085
28	0.17	0.085
29	0.17	0.085
30	0.17	0.085

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับความเข้มข้น (มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยืดตัวลงขึ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 ภายใต้งแรงดึง 445 นิวตัน ในสารละลาย H_2SO_4 5 mol/l ใน 30 นาทีแรก หลังจากใส่น้ำหนัก

ตารางที่ 4.6.10

แสดงระยะยึดตัวที่วัดได้ และระยะยึดตัวจริงเทียบกับเวลา
ของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 (20+m กิโลกรัม)
ภายใต้แรงดึง 445 นิวตัน ในสารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 5 mol/l

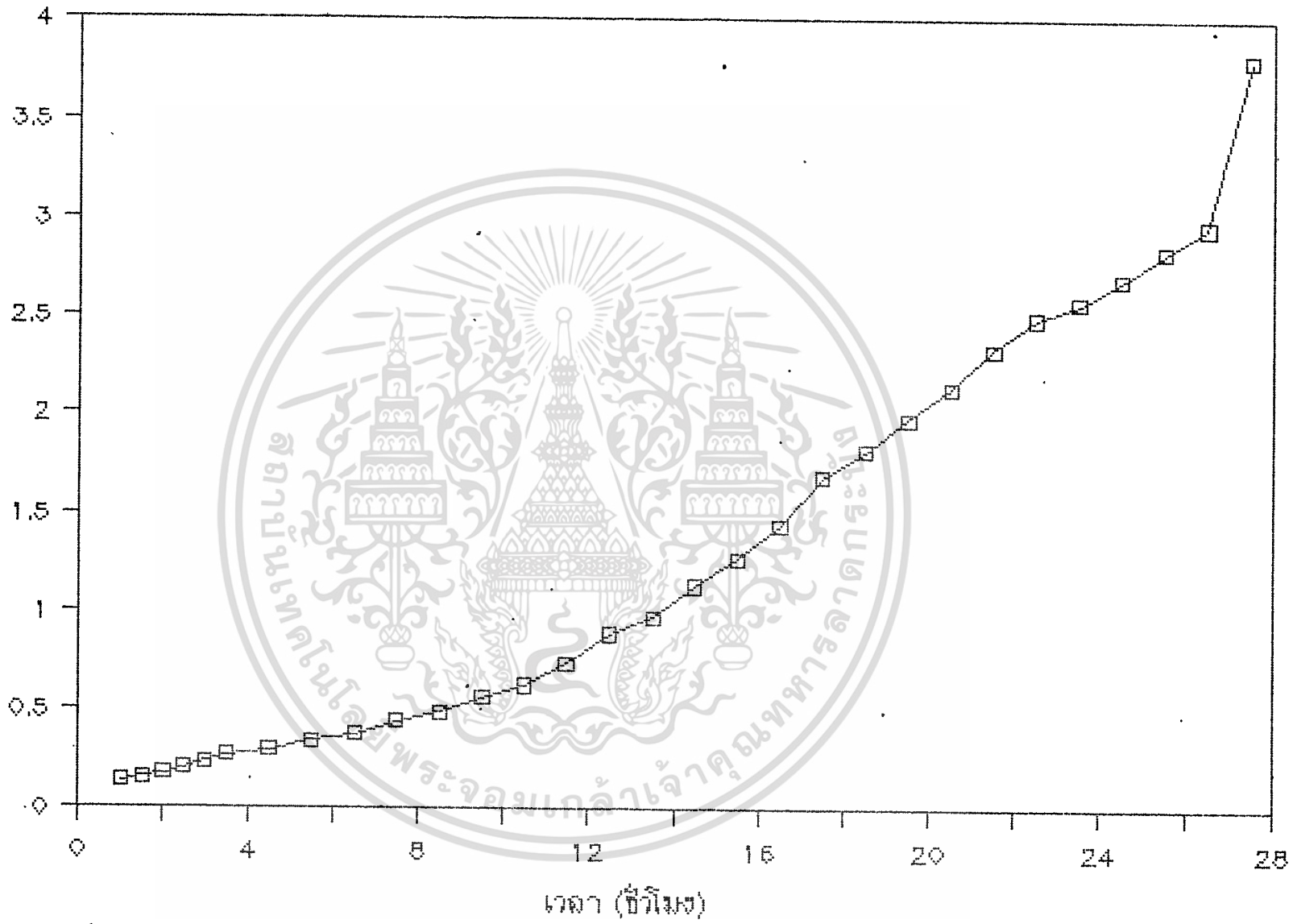
เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยึดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยึดตัวจริง (มิลลิเมตร)
1.0	0.28	0.140
1.5	0.32	0.160
2.0	0.36	0.180
2.5	0.41	0.205
3.0	0.47	0.235
3.5	0.54	0.270
4.5	0.60	0.300
5.5	0.68	0.340
6.5	0.75	0.375
7.5	0.88	0.440
8.5	0.97	0.485
9.5	1.12	0.560
10.5	1.24	0.620
11.5	1.47	0.735
12.5	1.76	0.880
13.5	1.94	0.970
14.5	2.26	1.130
15.5	2.54	1.270
16.5	2.88	1.440

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยัดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยัดตัวจริง (มิลลิเมตร)
17.5	3.36	1.680
18.5	3.63	1.815
19.5	3.95	1.975
20.5	4.26	2.130
21.5	4.66	2.330
22.5	4.98	2.490
23.5	5.14	2.570
24.5	5.38	2.690
25.5	5.67	2.835
26.5	5.92	2.960
27.5	ขาด	3.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยีสต์ของขึ้นทสดอบ



รูปที่ 4.6.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยีสต์ของขึ้นทสดอบ สดทนเลส สตีล ชนิด 304 ภายใต้น้ำแรงดัน 445 นิวตัน ในสารละลาย H_2SO_4 5 mol/l ในช่วงหลังจาก 30 นาทีแรก

ตารางที่ 4.6.11

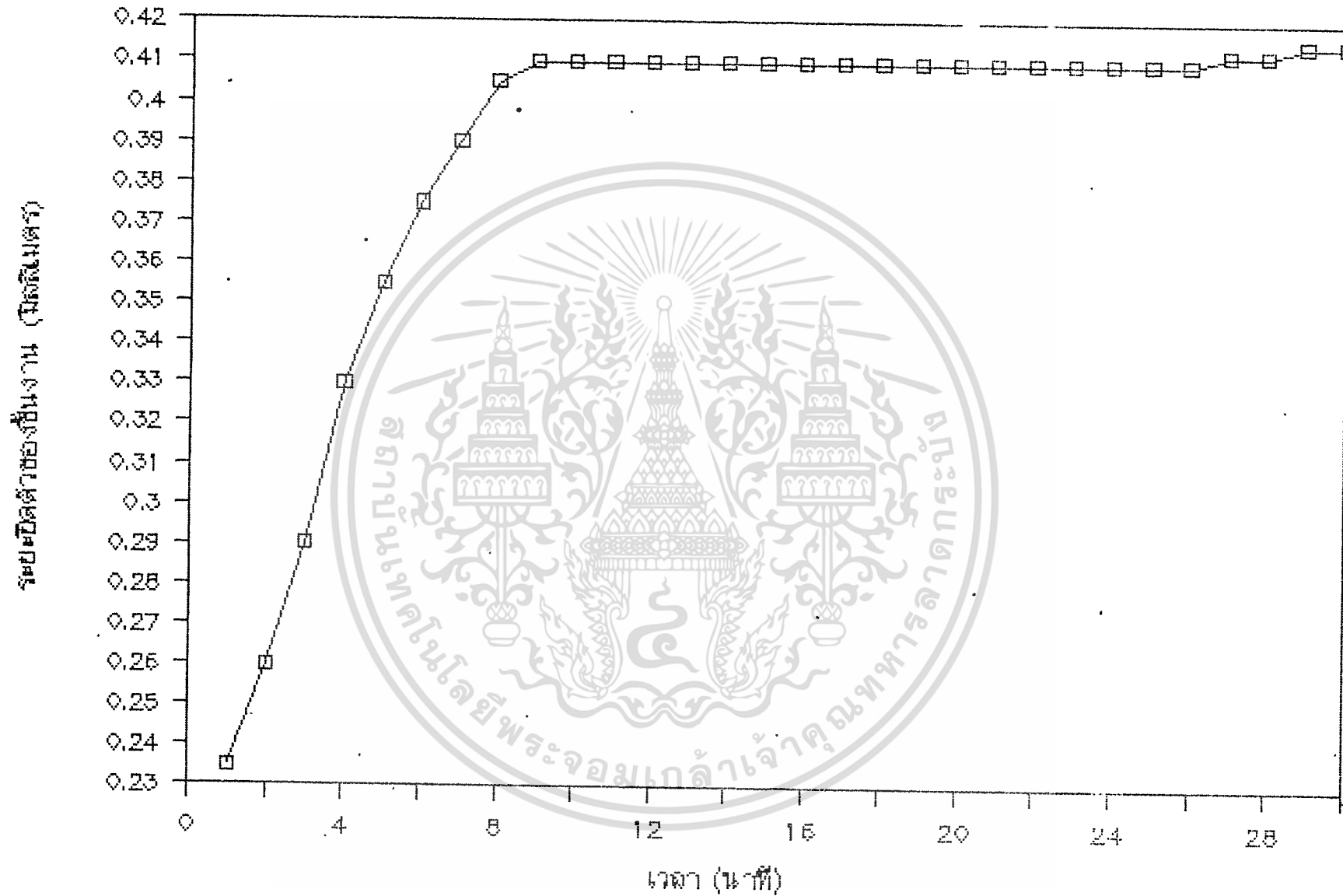
แสดงระยะยึดตัวที่วัดได้ และระยะยึดตัวจริงเทียบกับเวลา
 ของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 (25+ m กิโลกรัม)
 ภายใต้แรงดึง 468 นิวตัน ในสารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 5 mol/l

เวลา (นาที)	ระยะยึดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยึดตัวจริง (มิลลิเมตร)
1	0.47	0.235
2	0.52	0.260
3	0.58	0.290
4	0.66	0.330
5	0.71	0.355
6	0.75	0.375
7	0.78	0.390
8	0.81	0.405
9	0.82	0.410
10	0.82	0.410
11	0.82	0.410
12	0.82	0.410
13	0.82	0.410
14	0.82	0.410
15	0.82	0.410
16	0.82	0.410
17	0.82	0.410
18	0.82	0.410
19	0.82	0.410

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	ระยะยัดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยัดตัวจริง (มิลลิเมตร)
20	0.82	0.410
21	0.82	0.410
22	0.82	0.410
23	0.82	0.410
24	0.82	0.410
25	0.82	0.410
26	0.82	0.410
27	0.825	0.4125
28	0.825	0.4125
29	0.83	0.415
30	0.83	0.415

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการยิดตัวของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 ภายใต้น้ำแรงดัน 468 นิวตัน ในสารละลาย H_2SO_4 5 mol/l ใน 30 นาทีแรก หลังจากใส่น้ำหนัก

ตารางที่ 4.6.12

แสดงระยะยึดตัวที่วัดได้ และระยะยึดตัวจริงเทียบกับเวลา

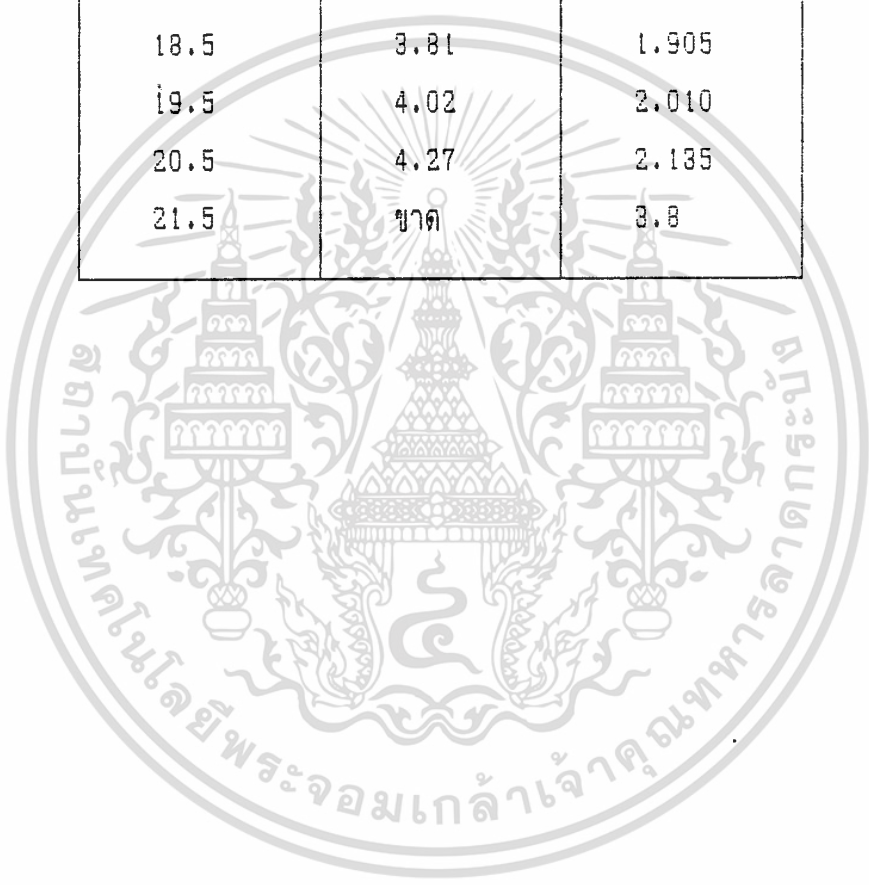
ของชั้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 (25+ m กิโลกรัม)

ภายใต้แรงดึง 468 นิวตัน ในสารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 5 mol/l

เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยึดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยึดตัวจริง (มิลลิเมตร)
1.0	0.85	0.425
1.5	0.88	0.440
2.0	0.92	0.460
2.5	0.95	0.490
3.0	0.98	0.505
3.5	0.01	0.580
4.5	1.06	0.540
5.5	1.08	0.540
6.5	1.08	0.545
7.5	1.09	0.555
8.5	1.11	0.565
9.5	1.13	0.685
10.5	1.37	0.770
11.5	1.54	0.860
12.5	1.72	0.955
13.5	1.91	1.160
14.5	2.32	1.355
15.5	2.71	1.590
16.5	3.18	1.810

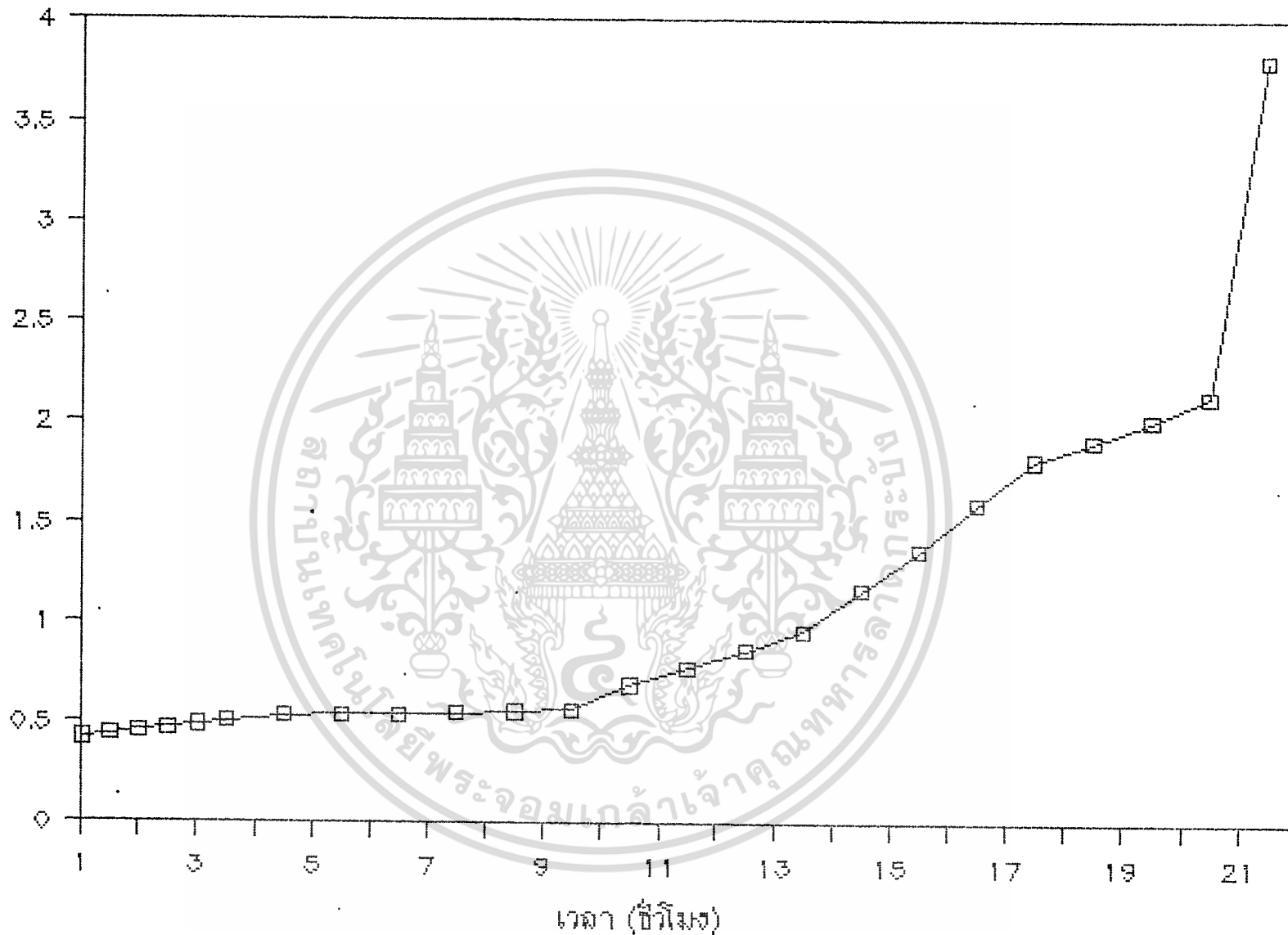
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยัดตัวทวัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยัดตัวจริง (มิลลิเมตร)
17.5	3.62	1.810
18.5	3.81	1.905
19.5	4.02	2.010
20.5	4.27	2.135
21.5	ขาด	3.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับสีน้ำตาลของชิ้นงาน (มิลลิเมตร)



รูปที่ 4.6.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการสัปดาห์ของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 ภายใต้แรงดึง 468 นิวตัน ในสารละลาย H_2SO_4 5 mol/l ในช่วงหลังจาก 30 นาทีแรก

ตารางที่ 4.6.13

แสดงระยะยึดตัวที่วัดได้ และระยะยึดตัวจริงเทียบกับเวลา
ของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 (17+m กิโลกรัม)
ภายใต้แรงดึง 432 นิวตัน ในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 5 mol/l

เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยึดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยึดตัวจริง (มิลลิเมตร)
48	0.00	0.00

ตารางที่ 4.6.14

แสดงระยะยึดตัวที่วัดได้ และระยะยึดตัวจริงเทียบกับเวลา
ของชิ้นทดสอบ สแตนเลส สตีล ชนิด 304 (12+m กิโลกรัม)
ภายใต้แรงดึง 409 นิวตัน ในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 5 mol/l

เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยึดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยึดตัวจริง (มิลลิเมตร)
48	0.00	0.00

ตารางที่ 4.6.15

แสดงระยะยึดตัวที่วัดได้ และระยะยึดตัวจริงเทียบกับเวลา
ของชั้นทดสอบ เหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี (12+m กิโลกรัม)
ภายใต้แรงดึง 409 นิวตัน ในสารละลาย HCl ความเข้มข้น 5 mol/l

เวลา (ชั่วโมง)	ระยะยึดตัวที่วัดได้ (มิลลิเมตร)	ระยะยึดตัวจริง (มิลลิเมตร)
48	0.00	0.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง วิจารณ์และเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง เมื่อนำมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะยิตตัวของชิ้นงานกับเวลาแล้ว เราสามารถสรุปได้ว่า

1. พิจารณาการยิตตัวของชิ้นงานในช่วง 30 นาที หลังจากใส่หน้าหนักถ่วงเสร็จ ชิ้นงานจะเกิดการยิตตัวขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุด ๆ หนึ่งจะคงที่ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการยิตตัวของชิ้นงานในช่วงต้นนี้ เป็นผลเนื่องมาจากแรงดึงของน้ำหนักที่ถ่วงลงไป โดยสารละลายที่ชิ้นงานแช่อยู่ยังไม่มียิตต่อการยิตตัว

2. พิจารณาการยิตตัวของชิ้นงานในช่วงหลังจาก 30 นาทีไปแล้ว หลังจากทีระยะการยิตตัวคงที่ในช่วงเวลาหนึ่ง ชิ้นงานจะยิตตัวเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อย่างรวดเร็ว จนขาดในที่สุด

3. สังเกตได้ว่า ในช่วงสุดท้ายที่ชิ้นงานจะขาด การยิตตัวจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาก เส้นกราฟจะเพิ่มขึ้นจนเกือบเป็นเส้นตั้งฉาก

4. แรงดึงที่กระทำชิ้นงานมีผลต่อการยิตตัวของชิ้นงานด้วย นั่นคือ ถ้าแรงดึงมาก จะทำให้ชิ้นงานเสียหายเร็วขึ้น แต่ถ้าแรงดึงที่กระทำต่างกันไม่มากนัก ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะเร็วช้ากว่ากันเพียงเล็กน้อย

5. เหล็กกล้าไร้สนิมออสตินิติก 304 ภายใต้แรงดึงคงที่ ในสารละลายกรดซัลฟูริก จะเกิดการเสียหายเร็วกว่าในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก ที่ความเข้มข้นเท่ากัน

6. เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการยิตตัวในช่วงก่อนที่ชิ้นงานจะขาด ระหว่างชิ้นงานที่แช่ในกรดไฮโดรคลอริกกับกรดซัลฟูริก จะเห็นว่า ชิ้นงานที่แช่ในกรดไฮโดรคลอริก การยิตตัวจะเพิ่มขึ้นน้อยกว่า และจนถึงช่วงที่ชิ้นงานจะขาด การยิตตัวจะเพิ่มขึ้นรวดเร็วกว่า

7. เมื่อเปรียบเทียบระยะการยิตตัวของสแตนเลส สตีลกับเหล็กแผ่นเคลือบสังกะสี ที่ใช้น้ำหนัก 12 กิโลกรัมตึงและแช่ในกรดไฮโดรคลอริก 5 โมลต่อลิตร จะเห็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่มุ่งหมายให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ว่าข้อมูลเกือบจะไม่แตกต่างกัน อาจเป็นเพราะใช้เวลาน้อยเกินไป

ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วิจารณ์

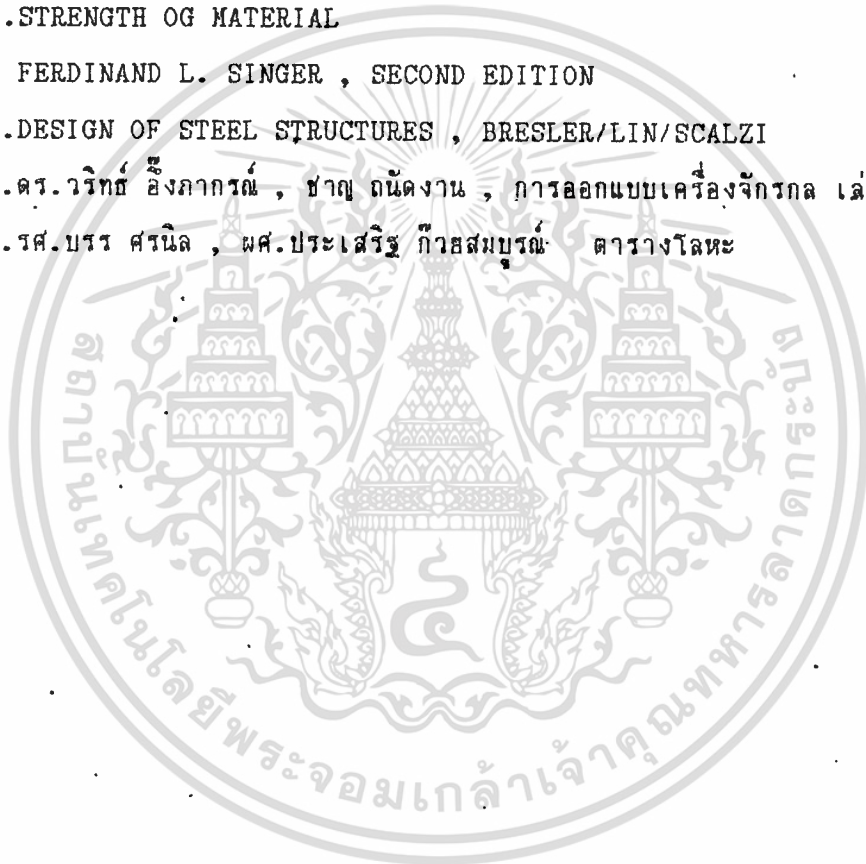
จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองจะเห็นได้ว่า คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงคือ การยึดตัวในช่วง 30 นาทีแรกข้อมูลมีลักษณะแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เช่นในกรณีขึ้นทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิม ภาสได้น้ำหนัก 20 กิโลกรัม กับ 22 กิโลกรัม ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จะเห็นได้ว่า น้ำหนักต่างกันเพียง 2 กิโลกรัม แต่ระยะการยึดตัวแตกต่างกันมาก ซึ่งอธิบายได้ว่า เป็นผลมาจากความผิดพลาดในการเตรียมขึ้นทดสอบ และการนำร่องไม่มีความแม่นยำเพียงพอ ในการทำการทดลองจะเกิดปัญหาทางด้านเวลา ซึ่งจะเห็นว่า การทดลองต้องจดผลบันทึกนานกว่า 40 ชั่วโมงติดต่อกัน ในการทดลองบางครั้ง จึงเป็นไปได้ยากที่จะจดผลได้ครบทุกชั่วโมง อุปสรรคในการทดลองอีกอย่างหนึ่งคือ อุณหภูมิ ซึ่งอุณหภูมิแต่ละวันจะไม่เท่ากัน อาจมีผลต่อความคงที่ของความเข้มข้นของสารละลาย

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองที่เกิดข้อผิดพลาดขึ้น เราสามารถแก้ไขได้โดย การทำการทดลองซ้ำหลายๆครั้ง จะทำให้ได้ข้อมูลที่ผิดพลาดน้อยลง นอกจากนั้นการใช้งานของเหล็กกล้าไร้สนิมออสตินติก 304 มักใช้งานที่ระดับอุณหภูมิสูง ถ้าสามารถออกแบบให้ทดลองที่อุณหภูมิการใช้งานได้ จะเป็นประโยชน์อย่างมาก

เอกสารอ้างอิง

1. MISHIMURA AND K. KUDO, CORROSION SCIENCE P.308-316
 , JULY 1988
2. MARS G. FONTANA, CORROSION ENGINEERING
3. STRENGTH OF MATERIAL
 FERDINAND L. SINGER , SECOND EDITION
4. DESIGN OF STEEL STRUCTURES , BRESLER/LIN/SCALZI
5. ดร.วิทย์ อึ้งภาคย์ , ชาญ ถนัดงาน , การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม
6. รศ.บรรร ศรีนิล , พศ.ประเสริฐ ก้าวสมบูรณ์ ดาวางโลหะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้