

ระบบควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์สำหรับ เครื่องทดสอบวัสดุ

นายอภิชาติ อรุณคุณารักษ์



สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

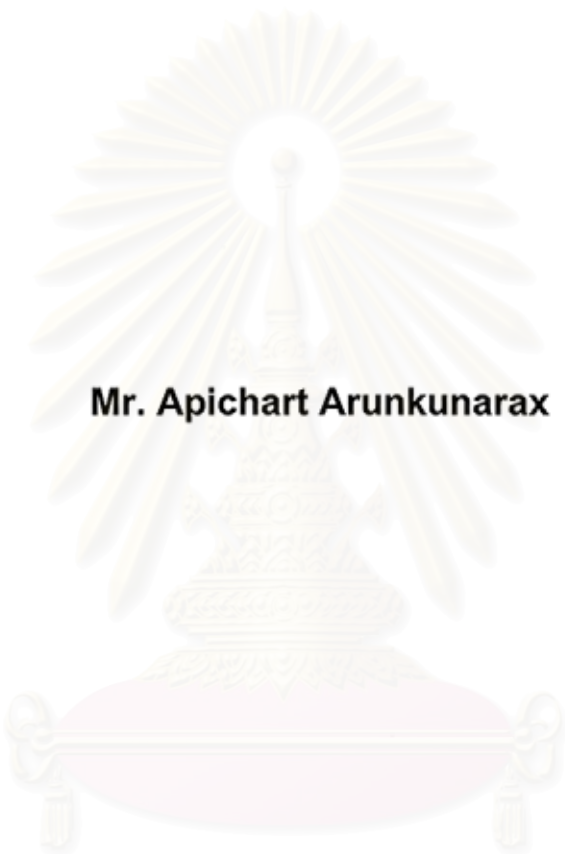
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-319-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPUTER CONTROL SYSTEM FOR MATERIAL TESTING MACHINES




Mr. Apichart Arunkunrarax

สถาบันวิทยบริการ

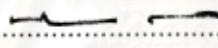
**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 1999
ISBN 974-334-319-9**


หัวข้อวิทยานิพนธ์ ระบบควบคุมสำหรับเครื่องทดสอบวัสดุ
โดย นายอภิชาติ อรุณคุณารักษ์
ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ

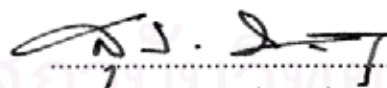
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก่อเกียรติ บุญชูกุล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ บุญยวานิชกุล)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยโรจน์ คุณเพนชกิจ)

อภิชาติ อรุณคุณารักษ์: ระบบควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องทดสอบวัสดุ (COMPUTER CONTROL SYSTEM FOR MATERIAL TESTING MACHINE) อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ, 133 หน้า

โครงการวิทยานิพนธ์นี้ เป็นการศึกษาและพัฒนาาระบบควบคุมสำหรับเครื่องทดสอบวัสดุโดยใช้ไฮดรอลิกให้สามารถทำการหาค่าความเค้นดึง ความเค้นอัด และความล้าของวัสดุได้ ระบบควบคุมนี้จะสามารถปรับแต่งค่าเกณฑ์โอดีที่ใช้ในการควบคุม เวลาของการสูม ระบบป้องกันอุปกรณ์เสียหายจากแรงหรือระยะที่เกินกำหนด อัตราการเพิ่มขึ้นของแรงที่กระทำกับชิ้นงานสำหรับการหาค่าความเค้นและระยะยืดหรือหดของชิ้นงานที่ต้องการ แรงดึงหรืออัดที่กระทำต่อชิ้นงานมีลักษณะรูปคลื่นของแรงที่อาจจะเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยมหรือคลื่นรูปซายน์ ความถี่ของอัตรากระทำต่อชิ้นงานสำหรับกรณีหาค่าความล้า หลังจากทำการทดสอบแล้วระบบจะสามารถแสดงผลของการทดสอบของรายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ สภาวะของการทดสอบและวัสดุที่ใช้ สถานะต่างๆ ของอุปกรณ์ขณะทดสอบ กราฟแสดงแรงดันที่คอมพิวเตอร์ส่งไปควบคุมอุปกรณ์เทียบกับแรงดันที่วัดกลับมา ณ เวลาใดๆ กราฟแสดงแรงที่กระทำต่อชิ้นงานเทียบกับแรงที่ตั้งค่าจากคอมพิวเตอร์ กราฟแสดงระยะยืดหรือหดของชิ้นงานเทียบกับระยะยืดหรือหดที่ตั้งค่าจากคอมพิวเตอร์ กราฟระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุ

โปรแกรมควบคุมสำหรับเครื่องทดสอบวัสดุนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นจาก Microsoft Visual Basic 6.0 เชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูลที่พัฒนาจาก Microsoft Access 97 ผ่านทาง ODBC (Open Database Connectivity) ในส่วนของเครื่องทดสอบวัสดุที่ใช้สำหรับทดสอบโปรแกรมควบคุมจะให้แรงดึงมากที่สุด 1,500 นิวตัน แรงอัดมากที่สุด 4,800 นิวตัน และวัตรระยะยืดหรือหดได้มากที่สุดคือ 20 มิลลิเมตร ในการทดสอบดึงชิ้นงานที่อัตรา 200 นิวตันต่อวินาที จนถึงแรงมากที่สุด 1,200 นิวตัน โดยเมื่อใช้การควบคุมแบบพีค่าความผิดพลาดจะเป็น 6.24% การควบคุมแบบพีโอค่าความผิดพลาดจะเป็น 4.41% การควบคุมแบบพีดีค่าความผิดพลาดจะเป็น 8.49% และการควบคุมแบบพีโอดีค่าความผิดพลาดจะเท่ากับ 2.59% โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 12.89%, 14.72%, 12.21% และ 13.60% ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต



ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา



APICHART ARUNKUNARAX: COMPUTER CONTROL SYSTEM FOR MATERIAL TESTING MACHINE. THESIS ADVISOR: VICE PROF. WITHAYA YONGCHAROEN, Ph.D. 133 PP.

This thesis is a study and development of Computer Control System for testing Tensile Stress, Compressive Stress, and Fatigue in Hydraulic Universal Testing Machine. This control system can be adjusted the controller PID gain, sampling time, limiting force/ displacement for preventing system failure, increased force rate for stress testing, desired force/ displacement, force/ displacement amplitude, sine or square wave form, and test frequency for fatigue testing. The specimen information, test condition, equipment and sensor status, setting controlled voltage vs. measured controlled voltage graph, setting controlled force vs. measured testing force graph, setting controlled specimen extension vs. measured specimen extension graph and stress-strain curve can be reported after testing.

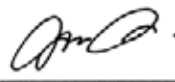
This computer control system is developed by Microsoft Visual Basic 6.0 and linked to the database system in Microsoft Access 97 via ODBC (Open Database Connectivity). The Universal Testing Machine has a maximum tensile force at 1,500 N, a maximum compressive force at 4,800 N, and maximum increased/ decreased displacement of specimen at 20 mm. In the specimen testing at condition: tensile force rate = 200 N/s; maximum force = 1200 N, the errors are 6.24% for using P controller, 4.41% for PI controller, 8.49% for PD controller and 2.59% for PID controller. The Standard deviations are 12.89%, 14.72%, 12.21% and 13.60% respectively.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2542

ลายมือชื่อนิสิต



ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา





กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รศ.ดร. วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้กรุณาเสียสละเวลาเพื่อให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็น ต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ก่อเกียรติ บุญชูกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ บุญยวานิชกุล ที่ได้สละเวลามาเป็น กรรมการคุมสอบ ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ฝ่ายวิจัยของจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย และบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนในส่วนของงานวิจัย จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ มารดา ซึ่งได้สนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย เสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

นายอภิชาติ อรุณคุณารักษ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฅ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์.....	1
วัตถุประสงค์.....	1
ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	1
ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้.....	2
2. ความรู้พื้นฐาน.....	3
2.1 การควบคุมแบบป้อนกลับ (FEEDBACK CONTROL).....	3
2.1.1 การควบคุมแบบพี.....	3
2.1.2 การควบคุมแบบไอ.....	5
2.1.3 การควบคุมแบบดี.....	6
2.1.4 การควบคุมแบบพีไอ.....	6
2.1.5 การควบคุมแบบพีดี.....	7
2.1.6 การควบคุมแบบพีไอดี.....	7
2.1.7 การควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์.....	9
2.1.8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	11
2.1.9 การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม.....	14
2.2 ระบบไฮดรอลิกไฟฟ้า.....	16
2.2.1 การควบคุมระบบไฮดรอลิก.....	16
2.2.2) ลักษณะของการตอบสนอง.....	17
2.2.3) ความไวของการตอบสนอง.....	17
2.2.4) การควบคุมอัตราเร่งและอัตราหนึ่งของมวล.....	17
2.2.5) การควบคุมแบบปิด.....	19
2.3 เซนเซอร์.....	22
2.3.1) ตัววัดระยะทาง.....	22
2.3.2) ตัววัดแรง.....	23
2.4 การทดสอบวัสดุ.....	24

2.4.1) ความเค้น	24
2.4.2) ความเครียด	25
2.4.3) ความแข็งแรงของวัสดุ	25
2.4.4) ความยืดหยุ่น	25
2.4.5) ความล้า	26
3. อุปกรณ์และการออกแบบโปรแกรมทดสอบวัสดุ	30
3.1 อุปกรณ์ของเครื่องทดสอบวัสดุ.....	30
3.1.1) คอมพิวเตอร์ และ อุปกรณ์แปลงสัญญาณ.....	32
3.1.2) ชุดอุปกรณ์ไฮดรอลิก	32
3.1.3) เซนเซอร์ และตัวจับชิ้นงาน.....	35
3.1.4) ชิ้นงานทดสอบ	46
3.1.5) อุปกรณ์ขยายสัญญาณ และแหล่งจ่ายพลังงาน	48
3.2 การออกแบบโปรแกรมทดสอบวัสดุ	51
3.2.1) การออกแบบระบบฐานข้อมูล	52
3.2.2) การออกแบบชุดรายงาน	57
4. โปรแกรมควบคุมระบบทดสอบและผลการควบคุม	59
4.1 โปรแกรมควบคุมระบบทดสอบ	59
4.1.1) ระบบทดสอบวัสดุ	60
4.1.2) ตัวเลือก	70
4.1.3) ระบบฐานข้อมูล	74
4.2 การปรับค่าเกณฑ์ไอที และการทดสอบ.....	80
การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์พีไอทีของระบบ.....	80
การทดสอบอุปกรณ์.....	90
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	106
ข้อเสนอแนะ	106
รายการอ้างอิง	108
ภาคผนวก	110
ประวัติผู้เขียน	133

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1.1 ผลการสอบเทียบสเตรนเกจ	38
ตารางที่ 3.1.2 ผลการสอบเทียบตัววัดระยะทาง	41



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1.1	ช่วงพรอพพอชันแนลของตัวควบคุมจะแปรผกผันกับค่าเกน.....	4
รูปที่ 2.1.2	ผลของช่วงพรอพพอชันแนลต่อกระบวนการกำลังสอง.....	4
รูปที่ 2.1.3	ผลของเวลาอินทิกรัลที่มีต่อผลตอบของกระบวนการในการควบคุมแบบพีไอ.....	5
รูปที่ 2.1.4	แสดงผลของเกนเดริเวทีฟที่มีต่อผลตอบของกระบวนการในการควบคุมแบบพีดี.....	6
รูปที่ 2.1.5	ผลของตัวควบคุมแบบพีไอต่อผลตอบของกระบวนการ.....	7
รูปที่ 2.1.6	ผลของตัวควบคุมแบบพีดีต่อผลตอบของกระบวนการ.....	8
รูปที่ 2.1.7	ผลของตัวควบคุมแบบพีไอดีต่อกระบวนการ.....	8
รูปที่ 2.1.8	บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมแบบวงจรมอด.....	9
รูปที่ 2.1.9	รูปแสดงเวลาที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ของการควบคุมของอัลกอริธึมแบบทั่วไป.....	10
รูปที่ 2.1.10	รูปแสดงเวลาที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ของการควบคุมของอัลกอริธึมแบบที่ปรับปรุงแล้ว.....	10
รูปที่ 2.1.11	แสดงกระบอกสูบและวาล์วที่ใช้ในการควบคุม.....	11
รูปที่ 2.1.12	บล็อกไดอะแกรมแสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุม.....	14
รูปที่ 2.1.13	ตัวควบคุมแบบพีไอดี.....	14
รูปที่ 2.1.14	แสดงระบบที่สามารถควบคุมได้และควบคุมไม่ได้.....	15
รูปที่ 2.2.1	การควบคุมโดยใช้พรอพพอชันแนลวาล์วแบบวงจรมอด.....	17
รูปที่ 2.2.2	วิธีหาค่าเวลาตอบสนองของระบบ.....	17
รูปที่ 2.2.3	การคำนวณหาระยะทาง อัตราเร็ว และอัตราเร่งของกระบอกสูบ.....	18
รูปที่ 2.2.4	การคำนวณแรงดึงของกระบอกสูบ.....	19
รูปที่ 2.2.5	ตัวอย่างวงจรวงจรมอดระบบไฮดรอลิกแบบปิด.....	20
รูปที่ 2.2.6	สัญลักษณ์ของวาล์วพรอพพอชันแนลแบบวงจรมอด.....	20
รูปที่ 2.2.7	กราฟแสดงอัตราการไหลที่สัญญาณไฟฟ้าค่าต่างๆ.....	21
รูปที่ 2.2.8	การเชื่อมกันของวาล์วชนิดต่าง ๆ.....	22
รูปที่ 2.3.1	หลักการทํางานของตัววัดระยะทาง.....	23
รูปที่ 2.3.2	แสดงสเตรนเกจชนิดต่าง ๆ.....	23
รูปที่ 2.3.3	วงจรมอด.....	24
รูปที่ 2.4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด.....	25
รูปที่ 2.4.2	ขบวนการเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากความล้า.....	27
รูปที่ 2.4.3	แสดงกราฟรูปไซน์ที่ใช้ทดสอบความล้า.....	28
รูปที่ 2.4.4	แสดงจำนวนรอบที่ทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากความล้าที่ความเค้นแต่ละจุด.....	28
รูปที่ 2.4.5	แสดงวิธีสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบความล้า.....	29
รูปที่ 2.4.6	แสดงฮิสเทอรีซิสของวัสดุชนิดต่างๆ.....	29
รูปที่ 3.1.1	ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์ทดสอบวัสดุ.....	30
รูปที่ 3.1.2	การติดตั้งอุปกรณ์ไฮดรอลิก เซนเซอร์ และตัวควบคุม.....	31
รูปที่ 3.1.3	ชุดอุปกรณ์ทดสอบวัสดุทั้งระบบ.....	31

รูปที่ 3.1.4	สายสัญญาณที่เชื่อมเข้ากับ I/O Card ของ Advantech [PCL-812 PG].....	32
รูปที่ 3.1.5	ระบบไฮดรอลิกของเครื่องทดสอบวัสดุ.....	33
รูปที่ 3.1.6	อุปกรณ์ไฮดรอลิก.....	33
รูปที่ 3.1.7	ปั๊มไฮดรอลิกแบบมีวาล์วปรับความดัน และมาตรวัดระดับความดันในระบบไฮดรอลิก	34
รูปที่ 3.1.8	วาล์วควบคุมความดันของกระบอกสูบ	34
รูปที่ 3.1.9	วาล์วควบคุมทิศทางของน้ำมันเข้ากระบอกสูบ	35
รูปที่ 3.1.10	รูปถ่ายชุดอุปกรณ์จับชิ้นงาน และเซนเซอร์	36
รูปที่ 3.1.11	สเตรนเกจ.....	37
รูปที่ 3.1.12	กราฟแสดงผลการสอบเทียบสเตรนเกจ	38
รูปที่ 3.1.13	การติดตั้งตัววัดระยะทางเข้ากับตัวจับชิ้นงาน.....	39
รูปที่ 3.1.14	การติดตั้งตัววัดระยะทางเข้ากับชิ้นงานทดสอบ	40
รูปที่ 3.1.15	กราฟแสดงการสอบเทียบตัววัดระยะทาง	42
รูปที่ 3.1.16	รูปแบบของตัวยึดจับชิ้นงาน (ASTM E 606-92).....	42
รูปที่ 3.1.17	ตัวยึดชิ้นงาน และชิ้นงานทดสอบ	43
รูปที่ 3.1.18	ตัวอย่างของการออกแบบตัวยึดจับเพื่อวัดระยะเคลื่อนของชิ้นงาน (ASTM E 606-92)	44
รูปที่ 3.1.19	ตัวยึดจับตัววัดระยะทางสำหรับเครื่องทดสอบ	45
รูปที่ 3.1.20	มาตรฐานของชิ้นงานทดสอบขนาดเล็ก (ASTM E 606-92).....	46
รูปที่ 3.1.21	ชิ้นงานสำหรับทดสอบ.....	46
รูปที่ 3.21.22	รูปชิ้นงานทดสอบต้นแบบที่ทำจากอลูมิเนียม.....	47
รูปที่ 3.1.23	รูปชิ้นงานทดสอบที่ทำมาจากพลาสติกที่แตกหักเนื่องจากการทดสอบ	47
รูปที่ 3.1.24	การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ควบคุม และเซนเซอร์โดยผ่านชุดขยายสัญญาณ	48
รูปที่ 3.1.25	ชุดรับส่งสัญญาณ.....	48
รูปที่ 3.1.26	วงจรถ่ายช่วงสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์	49
รูปที่ 3.1.27	ชุดอุปกรณ์ขยายช่วงสัญญาณควบคุม.....	50
รูปที่ 3.2.1	โปรแกรมที่เลือกใช้ และการติดต่อระหว่างโปรแกรม.....	51
รูปที่ 3.2.2	ผังการทำงานของระบบควบคุมเครื่องทดสอบวัสดุ	53
รูปที่ 3.2.3	แบบจำลองฐานข้อมูล.....	54
รูปที่ 3.2.4	โครงสร้างของฐานข้อมูล.....	54
รูปที่ 4.1.1	หน้าจอควบคุมการทดสอบแบบ Manual.....	60
รูปที่ 4.1.2	หน้าจอของการควบคุมชิ้นงานทดสอบ ทั้งที่ใช้เพื่อหาความเค้น และหาความล้า	61
รูปที่ 4.1.3	หน้าจอเริ่มต้นของโปรแกรมทดสอบวัสดุ.....	62
รูปที่ 4.1.4	การเลือกเมนูของการควบคุม.....	63
รูปที่ 4.1.5	การควบคุมโดยผู้ใช้.....	64
รูปที่ 4.1.6	หน้าจอถามว่าต้องการเก็บข้อมูลลงระบบฐานข้อมูลหรือไม่.....	64
รูปที่ 4.1.7	หน้าจอถามชื่อของไฟล์ที่ต้องการบันทึกข้อมูลการทดสอบ.....	65
รูปที่ 4.1.8	หน้าจอควบคุมสำหรับการทดสอบหาความเค้นของวัสดุ	65

รูปที่ 4.1.9 การเลือกชิ้นงานทดสอบเพื่อทำการทดสอบหาความเค้นของวัสดุ	66
รูปที่ 4.1.10 หน้าจอแสดงสถานะของการทดสอบ	67
รูปที่ 4.1.11 การปรับเปลี่ยนค่าแรงดันที่ไปควบคุมวาล์วควบคุมทิศทางและ วาล์วควบคุมความดัน.....	68
รูปที่ 4.1.12 หน้าจอถามเพื่อบันทึกข้อมูลลงระบบฐานข้อมูล.....	69
รูปที่ 4.1.13 การป้อนชื่อของไฟล์ที่ต้องการเก็บข้อมูล.....	69
รูปที่ 4.1.14 หน้าจอเลือกรูปแบบการทดสอบเพื่อหาความล้าของวัสดุ.....	70
รูปที่ 4.1.15 หน้าจอแสดงข้อมูลของชิ้นงานทดสอบ.....	71
รูปที่ 4.1.16 เมนูเลือกเข้าที่ไปยังตัวเลือกของระบบทดสอบ	72
รูปที่ 4.1.17 ตัวอย่างของข้อมูลของชิ้นงานทดสอบ.....	72
รูปที่ 4.1.18 หน้าจอแสดงข้อมูลของสถานะทดสอบ ณ ปัจจุบัน.....	73
รูปที่ 4.1.19 การแสดงข้อความเตือนและหยุดระบบทดสอบทั้งหมด เมื่อระบบทดสอบตั้งหรือกดวัสดุจนระยะที่ตั้งหรือกดมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ในสภาวะทดสอบ	73
รูปที่ 4.1.20 การแสดงข้อความเตือนและหยุดระบบทดสอบทั้งหมด เมื่อระบบทดสอบตั้งหรือกดวัสดุจนแรงที่ตั้งหรือกดมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ในสภาวะทดสอบ	74
รูปที่ 4.1.21 การเปิดระบบฐานข้อมูลจากโปรแกรมทดสอบวัสดุ.....	75
รูปที่ 4.1.22 หน้าจอหลักของส่วนพิมพ์รายงาน	75
รูปที่ 4.1.23 หน้าจอปริ๊นก่อนพิมพ์รายงานข้อมูลชิ้นงาน.....	76
รูปที่ 4.1.24 หน้าจอปริ๊นแสดงข้อมูลสภาวะการทดสอบ.....	76
รูปที่ 4.1.25 หน้าจอปริ๊นแสดงข้อมูลของการทดสอบ	77
รูปที่ 4.1.26 หน้าจอปริ๊นแสดงกราฟของค่าที่ส่งไปควบคุมกับค่าที่อ่านกลับมา ณ จุดควบคุม	77
รูปที่ 4.1.27 หน้าจอปริ๊นแสดงกราฟของค่าที่คอมพิวเตอร์ส่งออกไปควบคุมเทียบกับค่าแรงที่กระทำกับชิ้นงานจริง.....	78
รูปที่ 4.1.28 หน้าจอปริ๊นแสดงกราฟของค่าที่คอมพิวเตอร์กำหนดเทียบกับค่าระยะยืดหรือหดที่ชิ้นงานเกิดขึ้นจริง.....	78
รูปที่ 4.1.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุ.....	79
รูปที่ 4.2.1 หน้าจอตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ.....	80
รูปที่ 4.2.2 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดยวิธีซีเกลอร์นิกอล ค่าเกนพี = 5×10^{-4}	81
รูปที่ 4.2.3 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดยวิธีซีเกลอร์นิกอล ค่าเกนพี = 10×10^{-4}	81
รูปที่ 4.2.4 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดยวิธีซีเกลอร์นิกอล ค่าเกนพี = 18×10^{-4}	82
รูปที่ 4.2.5 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดยวิธีซีเกลอร์นิกอล ค่าเกนพี = 20×10^{-4} เวลาสุ่มค่า 0.1 วินาที	82
รูปที่ 4.2.6 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดยวิธีซีเกลอร์นิกอล ค่าเกนพี = 20×10^{-4} เวลาสุ่มค่า 0.2 วินาที	83
รูปที่ 4.2.7 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 10×10^{-4}	84
รูปที่ 4.2.8 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 14×10^{-4}	85
รูปที่ 4.2.9 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 4×10^{-4}	85
รูปที่ 4.2.10 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 10×10^{-4} ค่าเกนไอ = 1×10^{-4}	86

รูปที่ 4.2.11 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 10×10^{-4} ค่าเกนไอ = 10×10^{-4} 86

รูปที่ 4.2.12 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 10×10^{-4} ค่าเกนไอ = 20×10^{-4} 87

รูปที่ 4.2.13 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 8×10^{-4} ค่าเกนดี = 8×10^{-4} 87

รูปที่ 4.2.14 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 8×10^{-4} ค่าเกนดี = 0.8×10^{-4} 88

รูปที่ 4.2.15 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 8×10^{-4} ค่าเกนดี = 0.08×10^{-4} 88

รูปที่ 4.2.16 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 10×10^{-4} ค่าเกนไอ = 10×10^{-4} ค่าเกนดี = 0.1×10^{-4} 89

รูปที่ 4.2.17 รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ.....90

รูปที่ 4.2.17 รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ (ต่อ)91

รูปที่ 4.2.18 ลักษณะของชิ้นงานทดสอบ และสภาวะทดสอบ.....93

รูปที่ 4.2.19 ข้อมูลดิบของการทดสอบ.....94

รูปที่ 4.2.20 กราฟแสดงค่าแรงที่ต้องการให้ระบบทำงานเทียบกับแรงที่ระบบกระทำกับชิ้นงานจริง.....95

รูปที่ 4.2.21 กราฟแสดงค่าแรงดันที่ส่งออกไปควบคุมระบบ ณ จุดต่างๆ.....95

รูปที่ 4.2.22 กราฟแสดงค่าความเค้นกับความเครียดของวัสดุ.....96

รูปที่ 4.2.23 กราฟแสดงค่าแรงที่ต้องการให้ระบบทำงานเทียบกับแรงที่ระบบกระทำกับชิ้นงานจริง.....97

รูปที่ 4.2.24 กราฟแสดงค่าความเค้นกับความเครียดของวัสดุ.....97

รูปที่ 4.2.25 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปชายน์ กรณีแรงกระทำเริ่มต้น 0 นิวตัน.....98

รูปที่ 4.2.26 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปชายน์ กรณีแรงกระทำเริ่มต้น 1000 นิวตัน.....99

รูปที่ 4.2.27 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปชายน์ กรณีแรงกระทำเริ่มต้น -1000 นิวตัน99

รูปที่ 4.2.28 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยม กรณีแรงกระทำเริ่มต้น 0 นิวตัน.....100

รูปที่ 4.2.29 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยม กรณีแรงกระทำเริ่มต้น 1000 นิวตัน.....100

รูปที่ 4.2.30 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยม กรณีแรงกระทำเริ่มต้น -1000 นิวตัน.....101

รูปที่ 4.2.31 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมระยะทางรูปสี่เหลี่ยม กรณีระยะทางเริ่มต้น 0 มิลลิเมตร...101

รูปที่ 4.2.32 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมระยะทางรูปสี่เหลี่ยม กรณีระยะทางเริ่มต้น 0.1 มิลลิเมตร 102

รูปที่ 4.2.33 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมระยะทางรูปสี่เหลี่ยม กรณีระยะทางเริ่มต้น -0.1 มิลลิเมตร102

รูปที่ 4.2.34 การทดสอบหาความล้าของอลูมิเนียมโดยควบคุมแรงรูปชายน์ กรณีแรงเริ่มต้น 0 นิวตัน..... 103

รูปที่ 4.2.35 การทดสอบหาความล้าของอลูมิเนียมโดยควบคุมแรงรูปชายน์ กรณีแรงเริ่มต้น 750 นิวตัน... 103

รูปที่ 4.2.36 การทดสอบหาความล้าของอลูมิเนียมโดยควบคุมแรงรูปชายน์ กรณีแรงเริ่มต้น -1000 นิวตัน104

รูปที่ 4.2.37 การทดสอบหาความล้าของอลูมิเนียมโดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยม กรณีแรงเริ่มต้น 0 นิวตัน...104

รูปที่ 4.2.38 การทดสอบหาความล้าของอลูมิเนียมโดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยม กรณีแรงเริ่มต้น 800 นิวตัน105

รูปที่ 4.2.39 การทดสอบหาความล้าของอลูมิเนียมโดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยม กรณีแรงเริ่มต้น -1250 นิวตัน105

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A_1, A_2	=	พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ
P_1, P_2	=	ความดันที่กระทำต่อพื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ
V_1, V_2	=	ปริมาตรของน้ำมันในกระบอกสูบ
Q_1, Q_2	=	อัตราการไหลของน้ำมันในกระบอกสูบ
$\delta Q_1, \delta Q_2$	=	อัตราการไหลของน้ำมันในกระบอกสูบ ณ เวลาหนึ่ง
P_s	=	ความดันของปั๊มไฮดรอลิก
P_{atm}	=	ความดันบรรยากาศ
k	=	ค่าโมดูลัสสปริงในโซลินอยด์วาล์ว
x	=	ระยะทางที่วาล์วเคลื่อนที่
y	=	ระยะทางที่กระบอกสูบเคลื่อนที่
F	=	แรงที่กระทำต่อกระบอกสูบ
U_E	=	แรงดันที่ควบคุมโซลินอยด์วาล์ว
U_R	=	แรงดันก่อนเข้าตัวขยายสัญญาณ
U_N	=	แรงดันป้อนกลับ
K_{SV}	=	ค่าเกนที่โซลินอยด์วาล์ว
K_{EL}	=	ค่าเกนของตัวขยายสัญญาณ
K_{Disp}	=	ค่าเกนของตัววัดระยะทาง
K_{Force}	=	ค่าเกนของตัววัดแรง
$G_c(s)$	=	ทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันของตัวควบคุม
$G_p(s)$	=	ทรานส์เฟอ์ฟังก์ชันของระบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ



ความเป็นมาและความสำคัญของวิทยานิพนธ์

ในงานวิศวกรรมไม่ว่าจะเป็นในการสร้างหรือออกแบบใดๆ ก็ต้องมีการคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นหลัก ปัจจัยต่างๆ ที่ต้องพิจารณาก็มีอยู่หลายอย่างเช่น ความเค้น ความแข็ง ความล้า ฯลฯ นอกจากนั้นยังมีการวิเคราะห์ถึงสาเหตุ และปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเสียหายของวัสดุ เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายจากการเสียหายในภายหลัง วิธีการหนึ่งในการป้องกันก็คือการเลือกใช้วัสดุให้เหมาะสมกับชนิดของงาน โดยอาศัยข้อมูลของวัสดุที่เลือกใช้ที่ได้มีการวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ มาก่อน

สำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุต่างๆ ของวัสดุนั้น ในสมัยก่อนก็จะใช้อุปกรณ์ทางกลแล้วควบคุมโดยมนุษย์เป็นส่วนใหญ่ ทำให้ผลการทดลองที่ได้มีความไม่แน่นอนเนื่องจากความผิดพลาดของผู้ทดสอบ อย่างเช่นความผิดพลาดในการอ่านค่าเครื่องมือวัด หรือการไม่ได้ยู่ควบคุมเครื่องมือทดสอบอยู่ตลอดเวลา ทำให้มีการสร้างอุปกรณ์ทดสอบวัสดุโดยเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วย สัญญาณทางกลจะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า แล้วส่งให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลเพื่อส่งสัญญาณกลับไปควบคุมอุปกรณ์ทดสอบ

ในการทดสอบหาคุณสมบัติต่างๆ นี้ ระบบที่ใช้ควบคุมส่วนมากมักจะใช้ระบบไฮดรอลิก เพราะเป็นระบบที่ให้แรงขับเคลื่อนได้มาก การควบคุมระบบนี้ก็มีการใช้ระบบการควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อให้สามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น แต่อุปกรณ์สำหรับหาคุณสมบัติของวัสดุเหล่านี้ยังไม่ค่อยได้รับการพัฒนา รวมทั้งความรู้ทางด้านการควบคุมไฮดรอลิกแบบป้อนกลับยังมีอยู่น้อยมาก จึงต้องทำการนำเข้าตัวเครื่องมือจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูงถึงสูงมาก ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะสร้างและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมอุปกรณ์สำหรับทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุเหล่านี้โดยใช้ระบบไฮดรอลิกในลักษณะที่เป็นต้นแบบเพื่อใช้ในการสร้าง อุปกรณ์ทดสอบวัสดุสำหรับงานอุตสาหกรรมต่อไป

วัตถุประสงค์

ทำการสร้างและพัฒนาาระบบควบคุมสำหรับเครื่องทดสอบวัสดุระบบไฮดรอลิก โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการควบคุม ให้สามารถหาความเค้นดึง ความเค้นกด และความล้าของวัสดุ รวมทั้ง ออกแบบระบบติดต่อระหว่างอุปกรณ์กับผู้ใช้ให้ง่ายต่อการใช้งาน

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1) สร้างและพัฒนาาระบบควบคุมสำหรับเครื่องทดสอบวัสดุโดยใช้ระบบไฮดรอลิก ให้สามารถทดสอบหา

(ก) ความเค้นอัด (Compressive Stress) และ ความเค้นดึง (Tensile Stress)

(ข) ความล้า (Fatigue) โดยสามารถควบคุม

(1) ระยะทางที่ยืด หรือหดของชิ้นงานที่นำมาทดสอบ (Displacement) หรือ

(2) แรงดึง หรืออัดที่กระทำต่อชิ้นงานที่นำมาทดสอบ (Force)

ในลักษณะที่สามารถกำหนดให้เป็นรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยม (Square Wave) หรือแบบไซน์ (Sine Wave) และยังสามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency) ของระยะทางหรือแรงที่กระทำต่อชิ้นงานได้ด้วย

2) พัฒนาโปรแกรมการติดต่อกับผู้ใช้ให้สามารถส่งข้อมูลไปควบคุมตัวเครื่องทดสอบวัสดุ แล้วสามารถแสดงกราฟระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุ (สำหรับการหาความเค้นอัด และความเค้นดึง)

กราฟระหว่างระยะยืดของวัสดุกับจำนวนรอบที่กระทำ (สำหรับกรณีที่ต้องการหาความล้า) และบันทึกผลเก็บไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์หาคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุได้

ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาค้นหาข้อมูลและทฤษฎีเกี่ยวกับระบบไฮดรอลิก การควบคุมระยะทาง และแรง จากวารสาร หรือเอกสารที่เกี่ยวข้อง
- 2) ศึกษาหลักการทํางาน และหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์ไฮดรอลิก เช่นเซอร์วูดระยะทาง และ แรง
- 3) ออกแบบระบบควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อควบคุมระยะทาง หรือแรง
- 4) สร้างตัวเครื่องทดสอบวัสดุเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการทดสอบทั้งแบบดึง และแบบกดวัสดุที่นำมาทดสอบ
- 5) พัฒนาโปรแกรมให้สามารถควบคุมเครื่องทดสอบวัสดุ และติดต่อกับผู้ใช้ได้
- 6) ทําการทดสอบ และปรับแต่งตัวพารามิเตอร์ของตัวควบคุมให้สามารถใช้งานได้ดี
- 7) สรุปและเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปในอนาคต

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้

- 1) เป็นต้นแบบในการทําระบบทดสอบวัสดุ เพื่อนำไปพัฒนาใช้ในอุตสาหกรรมจริงๆ
- 2) สามารถพัฒนาระบบควบคุมอื่นๆ โดยใช้ระบบติดต่อกับผู้ใช้ที่ง่ายต่อการเข้าใจ
- 3) ลดการนำเข้าอุปกรณ์ทดสอบวัสดุจากต่างประเทศ เพื่อลดการขาดดุลทางการค้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ความรู้พื้นฐาน

แนวคิดและทฤษฎี

ความรู้พื้นฐานในการศึกษาและพัฒนากระบวนการควบคุมสำหรับเครื่องทดสอบวัสดุจะมีอยู่หลายส่วน แต่ในที่นี้จะกล่าวถึง 4 หัวข้อหลัก คือ

- 2.1 การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control)
- 2.2 พื้นฐานเกี่ยวกับระบบไฮดรอลิก
- 2.3 การทำงานของเซนเซอร์
- 2.4 คุณลักษณะของวัสดุและการทดสอบวัสดุ

2.1 การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control)

ในระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Controller) นั้นจะมีการสร้างสัญญาณควบคุม (Control Signal) ที่สามารถเป็นตัววัดหรือปรับค่าที่ได้ออกมาจริง (Actual Value) จากระบบให้มีค่าเบี่ยงเบนไปจากค่าที่เราต้องการ (desired value) ให้น้อยที่สุดหรือไม่มีเลย [1] ในระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในอุตสาหกรรม (industrial automatic controllers) จะมีการนำการควบคุมแบบพีไอดี (PID Control) มาใช้ค่อนข้างมากโดยรูปแบบของตัวควบคุมจะมีดังนี้ [2]

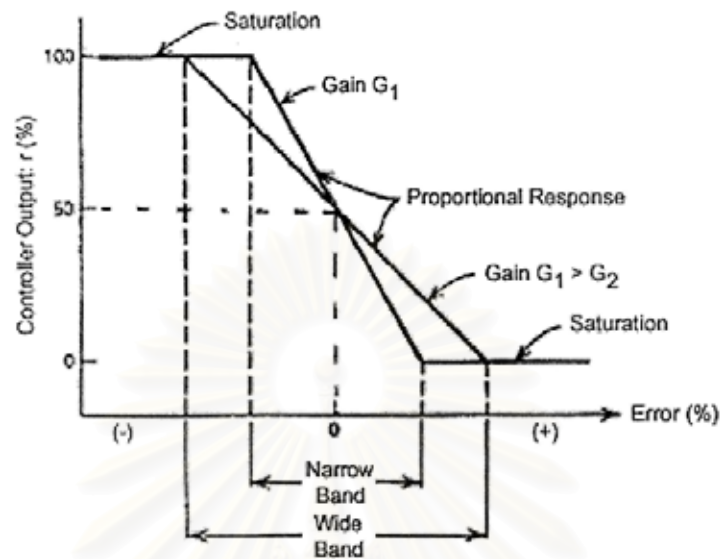
- 2.1.1 การควบคุมแบบพี หรือพรอพพอชันแนล
- 2.1.2 การควบคุมแบบไอ หรืออินทิกรัล
- 2.1.3 การควบคุมแบบดี หรือดิริเวทีฟ
- 2.1.4 การควบคุมแบบพีไอ หรือพรอพพอชันแนลอินทิกรัล
- 2.1.5 การควบคุมแบบพีดี หรือพรอพพอชันแนลดิริเวทีฟ
- 2.1.6 การควบคุมแบบพีไอดี หรือพรอพพอชันแนลอินทิกรัลดิริเวทีฟ

2.1.1 การควบคุมแบบพี

สำหรับการควบคุมแบบเปิดปิดนั้นค่าของสัญญาณออกจะมีอยู่สองแบบคือ 100% หรือ 0% ขึ้นกับค่าของความผิดพลาดว่ามาก หรือน้อยกว่าช่วงนิวทรัล (Neutral Zone) แต่ในการควบคุมแบบหลายระดับ (Multiple step) จำนวนระดับของการควบคุมก็จะมีมากขึ้น โดยหลักการนี้เราจะนำมาประยุกต์ใช้กับระบบควบคุมแบบพีซึ่งจะมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความผิดพลาด กับสัญญาณออกที่แปรผันตรงกันมากขึ้น และต่อเนื่องขึ้น ช่วงของความผิดพลาดรอบๆ ค่าที่กำหนด จะแปรผันตรงแบบหนึ่งต่อหนึ่งกับสัญญาณออกที่มาใช้ควบคุม ช่วงของความผิดพลาดที่ครอบคลุมสัญญาณออกตั้งแต่ 0% ถึง 100% จะถูกเรียกว่าช่วงพรอพพอชันแนล (proportional band) โดยจะมีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$\begin{aligned} P &= K_p E_p + P_0 && \text{สำหรับ Direct Acting} \\ \text{หรือ} \quad P &= -K_p E_p + P_0 && \text{สำหรับ Reverse Acting} \\ \text{เมื่อ} \quad K_p &= \text{ค่าคงที่แบบพรอพพอชันแนลระหว่างความผิดพลาดกับสัญญาณออกที่มาควบคุม} \\ P_0 &= \text{สัญญาณออกเมื่อไม่มีค่าผิดพลาด (\%)} \end{aligned}$$

ค่าของช่วงพรอพพอชันแนลจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จาก $100/K_p$ โดยค่านี้จะอยู่ในช่วง 0% ถึง 100% และจะเรียกค่าตรงนี้ว่าค่าอิมตัว (Saturation value) สำหรับค่า P_0 โดยปกติจะเลือกใช้ตรงจุด 50% ของช่วงสัญญาณออกเพื่อให้สามารถชดเชยค่าผิดพลาดที่แกว่งรอบๆ ค่าที่ตั้งไว้ (Set Point)

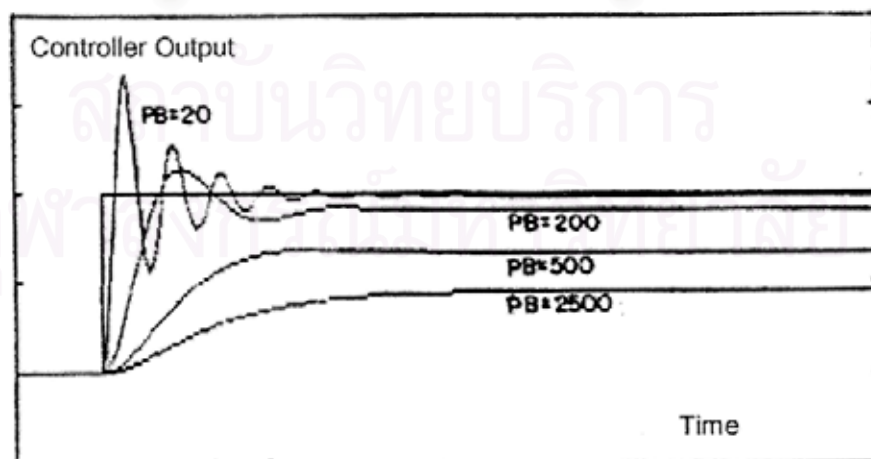


รูปที่ 2.1.1 ช่วงพรอพพอชันแนลของตัวควบคุมจะแปรผกผันกับค่าเกน

อัตราขยายของกระบวนการ (Proportional Gain, K_p) จะเป็นสัดส่วนผกผันกับช่วงพรอพพอชันแนล โดยสามารถแสดงได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ตามสมการ [3]

$$\text{Gain, } K_p = 100/PB$$

สำหรับผลของช่วงพรอพพอชันแนลกับการควบคุมแบบพื้นั้น ค่าของช่วงพรอพพอชันแนลจะมีผลกับขนาดของผลตอบรวมถึงความไว (Sensitivity) และออฟเซต (Offset) หรือค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัว (Steady state Error) ของผลตอบ ค่าช่วงพรอพพอชันแนลที่มากเกินไป จะมีผลทำให้เกิดค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวมากขึ้น และทำให้ความไวของผลตอบลดลง ในทางตรงกันข้าม ค่าของช่วงพรอพพอชันแนลที่น้อยเกินไปจะทำให้กระบวนการเกิดการแกว่งหรือเข้าใกล้จุดไร้เสถียรภาพมากขึ้น รูปที่ 2.1.2 แสดงผลของการเพิ่ม หรือลดค่าช่วงพรอพพอชันแนลต่อระบบกระบวนการกำลังสอง



รูปที่ 2.1.2 ผลของช่วงพรอพพอชันแนลต่อกระบวนการกำลังสอง

2.1.2 การควบคุมแบบโอ

ในการควบคุมแบบนี้จะช่วยในระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างน้อยๆ อัตราของสัญญาณควบคุมจะเปลี่ยนแปลงตามค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนไป ซึ่งจะเขียนสมการได้คือ

$$\frac{dP}{dt} = K_I E_P$$

เมื่อ

$$\frac{dP}{dt} = \text{อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุม}$$

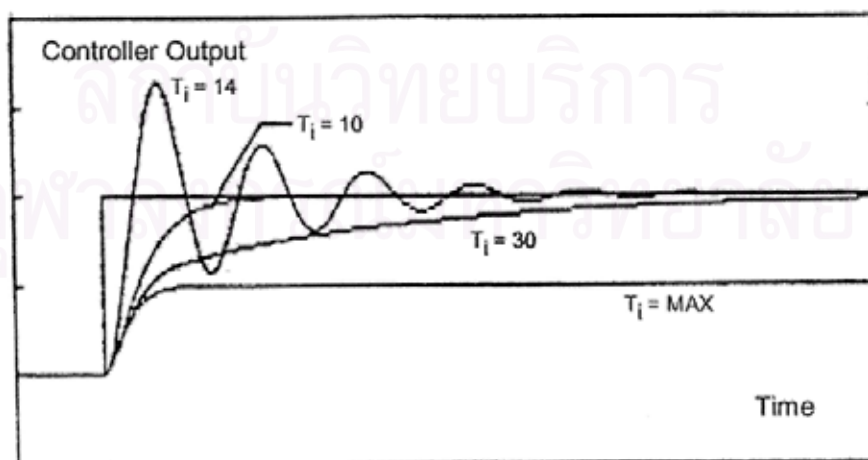
$$K_I = \text{ค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับอัตราการผิดพลาด (\%/วินาที/\%)}$$

ในบางครั้งเราจะใช้เวลาอินทิกรัลหรือ T_I แทนผลกลับของ K_I คือ

$$P(t) = K_I \int E_P(t) dt + P(0)$$

$$P(t) = \frac{1}{T_I} \int E_P(t) dt + P(0)$$

สำหรับเกนอินทิกรัล (K_I) นั้น จะมีผลกับผลตอบในลักษณะของค่าสะสม แต่จะไม่มีผลกับผลตอบในลักษณะทันทีทันใด การลดค่าเวลาอินทิกรัล(T_I) จะมีผลทำให้ออฟเซต หรือค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวของกระบวนการลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเกนอินทิกรัลจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของความผิดพลาดสะสมของผลตอบ แต่ถ้าเวลาอินทิกรัลที่ตั้งให้กระบวนการนั้นมีค่าน้อยเกินไป (เกนอินทิกรัลมากเกินไป) ก็จะทำให้ผลตอบของกระบวนการเกิดการแกว่งมากขึ้น (การพุ่งเกิน [Overshoot] มากขึ้น) เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สถานะอยู่ตัวนานขึ้นได้ ในทำนองกลับกันการเพิ่มค่าเวลาอินทิกรัลจะมีผลในทางตรงกันข้ามกับที่กล่าวมาแล้ว คือจะเพิ่มค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวของผลตอบของกระบวนการ ถ้าผลตอบของกระบวนการนั้นเป็นผลตอบที่มีค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวอยู่ แต่ในขณะเดียวกัน ก็จะเป็นการลดการแกว่ง หรือการพุ่งเกินของผลตอบของกระบวนการ ในกรณีที่กระบวนการนั้นมีค่าเวลาอินทิกรัลเดิมน้อยเกินไป เมื่อมีการเริ่มเดินเครื่องอย่างอัตโนมัติ (Automatic Start) เกนอินทิกรัลจะทำให้เกิด Integral Windup เนื่องจากขณะเริ่มเดินเครื่อง ความผิดพลาดจะเกิดขึ้นเป็นเวลานาน ทำให้เทอมของอินทิกรัลมีค่าเกิน 100% รูป 2.2 แสดงผลของการเพิ่มหรือลดค่าเวลาอินทิกรัลในการควบคุมแบบพีโอ



รูปที่ 2.1.3 ผลของเวลาอินทิกรัลที่มีต่อผลตอบของกระบวนการในการควบคุมแบบพีโอ

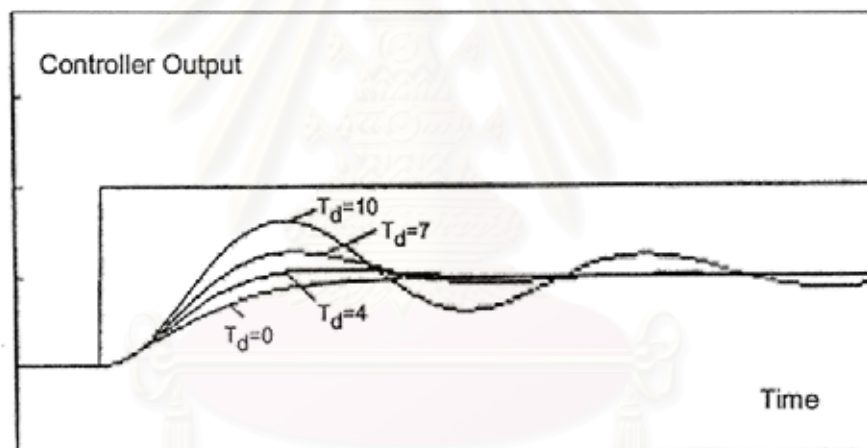
2.1.3 การควบคุมแบบดี

สำหรับการควบคุมในโหมดนี้จะต้องใช้รวมกับการควบคุมตัวอื่น เพราะ เมื่อค่าความผิดพลาดมีค่าคงที่ ตัวควบคุมจะไม่สามารถทำให้ค่าความผิดพลาดกลับมาเป็นศูนย์ได้

$$P = K_D \frac{dE_p}{dt} + P_0$$

$$P = \frac{1}{T_D} \frac{dE_p}{dt} + P_0$$

ผลของ Derivative time (T_D) จะเป็งัดส่วนโดยตรงกับค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเข้า ซึ่งมีผลทำให้กระบวนการสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้เร็วขึ้น แต่เกนเดริเวทีฟจะมีผลเสียในการควบคุมกระบวนการที่มีสัญญาณรบกวนมาก ทั้งนี้เนื่องจากเกนเดริเวทีฟจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเข้าอย่างมาก ดังนั้นกระบวนการที่มีสัญญาณรบกวนอย่างเช่น กระบวนการควบคุมอัตราไหล หรือ กระบวนการควบคุมความดัน การควบคุมแบบดีอาจมีผลทำให้กระบวนการไม่มีเสถียรภาพได้ รูปที่ 2.1.4 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของเกนเดริเวทีฟต่อการควบคุมแบบพีดี



รูปที่ 2.1.4 แสดงผลของเกนเดริเวทีฟที่มีต่อผลตอบของกระบวนการในการควบคุมแบบพีดี

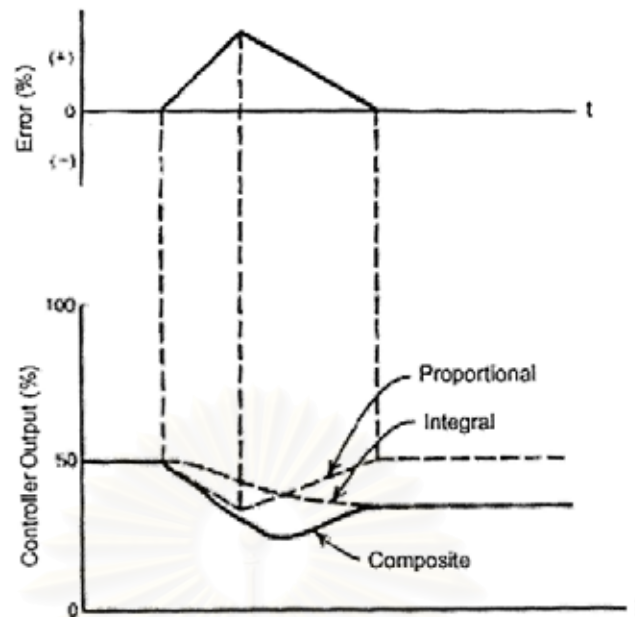
2.1.4 การควบคุมแบบพีไอ

ในการควบคุมแบบนี้จะเป็นการรวมการควบคุมแบบพีเข้ากับไอคือในรูปแบบ

$$P = K_p E_p + K_p K_I \int E_p(t) dt + P(0)$$

ข้อดีของการรวมการควบคุมทั้งสองแบบนี้เข้าด้วยกันก็คือ สามารถตอบสนองสัญญาณได้แบบแปรผันตรง พร้อมทั้งยังสามารถกำจัดค่าความผิดพลาดที่สถานะอยู่ตัวให้เข้าใกล้ศูนย์ได้มากขึ้น

จากรูปที่ 2.1.5 ถ้าต้องการเปลี่ยนค่า Set Point ของ Controller Output หากระบบมีแต่การควบคุมแบบพีเพียงอย่างเดียว ค่า Controller Output จะไม่สามารถเปลี่ยนไปอยู่ที่ Set Point อื่นได้ หากไม่มีตัวควบคุมแบบอินทิกรัลเข้ามาช่วย หรืออีกนัยหนึ่งตัวควบคุมแบบอินทิกรัลจะช่วยเปลี่ยนจุดทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงภาระ (Load) ขึ้น



รูปที่ 2.1.5 ผลของตัวควบคุมแบบพีไอต่อผลตอบของกระบวนการ

2.1.5 การควบคุมแบบพีดี

ในการควบคุมแบบนี้จะเป็นการรวมการควบคุมแบบพีเข้ากับดี คือในรูปแบบ

$$P = K_p E_p + K_p K_D \frac{dE_p}{dt} + P_0$$

ในการควบคุมแบบนี้ระบบจะสามารถตอบสนองได้เร็วกว่าการควบคุมแบบพีแต่เพียงอย่างเดียว แต่จะมีข้อเสียตรงที่ระบบไม่สามารถกำจัดค่าออฟเซต (Offset) ได้ดังรูปที่ 2.1.6

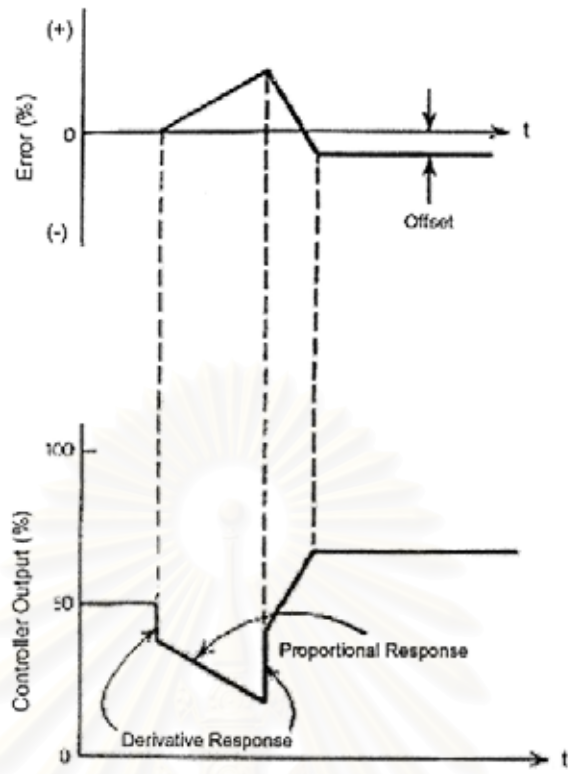
2.1.6 การควบคุมแบบพีไอดี

ในการควบคุมแบบนี้จะเป็นการรวมการควบคุมข้อดีของตัวควบคุมทั้ง 3 แบบข้างต้นเข้าด้วยกันตามสมการ

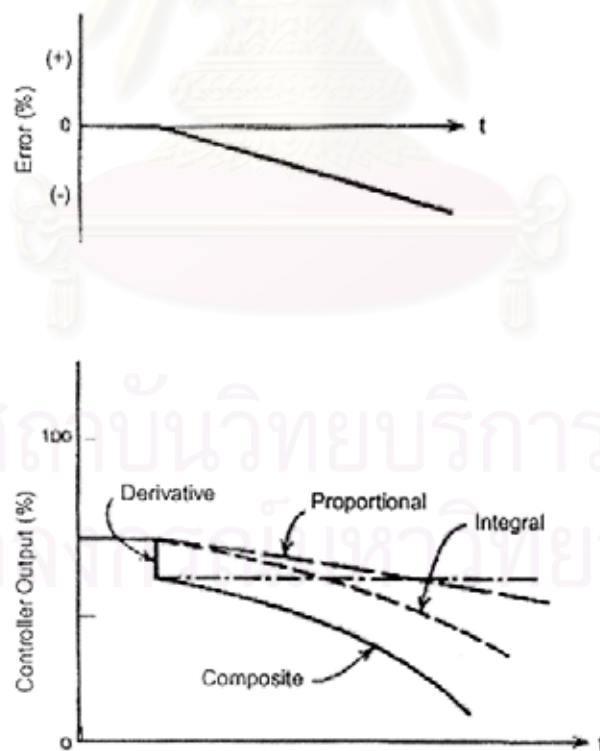
$$P = K_p E_p + K_p K_I \int E_p(t) dt + K_p K_D \frac{dE_p}{dt} + P_0$$

การควบคุมแบบนี้จะสามารถใช้ควบคุมระบบโดยทั่วๆ ไปได้เกือบทั้งหมด โดยจะสามารถกำจัดค่าออฟเซตของตัวควบคุมแบบพีและลดแนวโน้มในการแกว่งของระบบ ในรูปที่ 2.1.7 จะเป็นค่าความผิดพลาดและค่าสัญญาณออกของตัวควบคุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.1.6 ผลของตัวควบคุมแบบพีดีต่อผลตอบของกระบวนการ



รูปที่ 2.1.7 ผลของตัวควบคุมแบบพีไอดีต่อกระบวนการ

2.1.7 การควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (Computerized Control)

สำหรับการควบคุมแบบพีโอดี ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น จะเป็นการควบคุมแบบแอนะล็อก (Analog Control) ดังนั้นเมื่อต้องการนำมาใช้ควบคุมโดยอาศัยไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการควบคุมแบบดิจิทัล (Digital Control) จึงจำเป็นต้องมีการดัดแปลงลักษณะของตัวควบคุม โดยจากการควบคุมแบบแอนะล็อก [4]

$$m(t) = K_p e(t) + K_p K_I \int_0^t e(t) dt + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} + m_0$$

ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1> การควบคุมแบบพี

$$(\Delta m_n)_p = K_p (e_n - e_{n-1})$$

2> การควบคุมแบบไอ

$$(\Delta m_n)_I = m_n - m_{n-1} = K_p K_I T e_n ; T = \text{sample interval}$$

3> การควบคุมแบบดี

$$(\Delta m_n)_D = m_n - m_{n-1} = K_p K_D (e_n - 2e_{n-1} + e_{n-2})/T$$

และเมื่อนำมารวมกันทั้งสามส่วนจะได้เป็นการควบคุมแบบพีโอดี คือ

$$\Delta m_n = (\Delta m_n)_p + (\Delta m_n)_I + (\Delta m_n)_D$$

หรือ

$$\Delta m_n = m_n - m_{n-1} = K_0 e_n + K_1 e_{n-1} + K_2 e_{n-2}$$

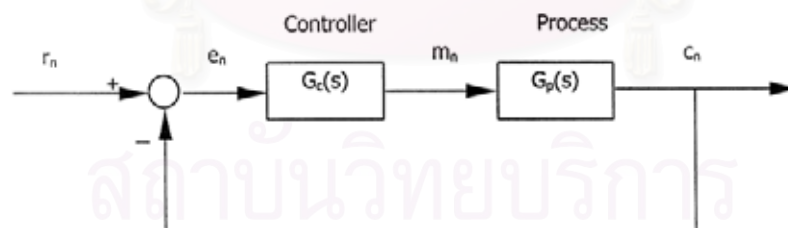
โดยที่

$$K_0 = K_p + K_I T + K_D / T$$

$$K_1 = -K_p - 2K_D / T$$

$$K_2 = K_D / T$$

ขั้นตอนการควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.1.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงการควบคุมแบบวงจรมอด

อัลกอริธึมที่ใช้ในการควบคุม

ในการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์จะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- 1) หาค่าเอาต์พุตที่ออกมาจากระบบการควบคุม (c_n)
- 2) คำนวณหาค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น (e_n) จากความสัมพันธ์

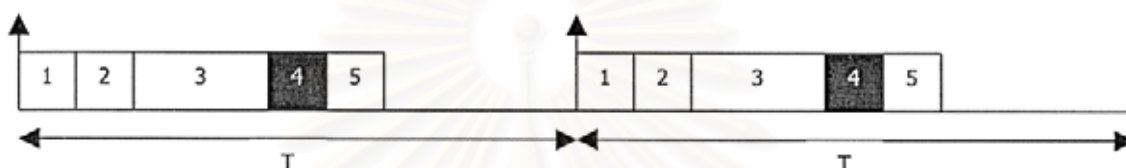
$$e_n = r_n - c_n$$

โดยที่ r_n คือค่าอ้างอิง (หรือที่ต้องการ) ที่เก็บไว้ในคอมพิวเตอร์

- 3) คำนวณหาค่าอินพุตที่ต้องส่งให้กับระบบ (m_n) จากความสัมพันธ์

$$m_n = m_{n-1} + K_0 e_n + K_1 e_{n-1} + K_2 e_{n-2}$$

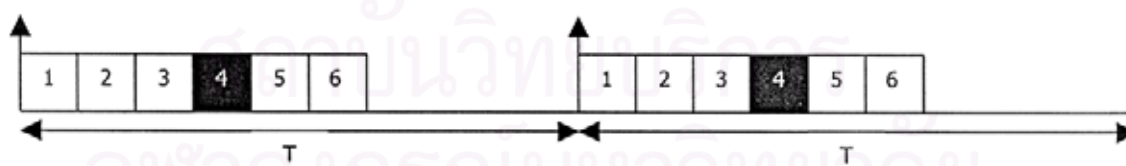
- 4) ส่งค่า m_n เข้าไปควบคุมระบบ
- 5) คำนวณค่า m_{n-1} , e_{n-1} และ e_{n-2} ใหม่ (แทนค่า)



รูปที่ 2.1.9 รูปแสดงเวลาที่ใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ของการควบคุมของอัลกอริธึมแบบทั่วไป

จากการควบคุมข้างต้นจะพบว่าเวลาในการคำนวณค่าก่อนส่งออกควบคุมในขั้นตอนที่ 3 จะใช้เวลาค่อนข้างมาก จึงได้มีการดัดแปลงอัลกอริธึมข้างต้นโดยให้มีการคำนวณค่าที่จะใช้หาค่าของ m_n ก่อนส่วนหนึ่งคือ

1. สุ่มค่า c_n
2. คำนวณค่า $e_n = r_n - c_n$
3. คำนวณค่า $m_n = p_n + k_0 e_n$
4. เอาต์พุตค่า m_n
5. คำนวณค่า m_{n-1} , e_{n-1} และ e_{n-2} ใหม่ (แทนค่า)
6. ทำการคำนวณค่า $p_n = m_{n-1} + k_1 e_{n-1} + k_2 e_{n-2}$ ล่วงหน้า



รูปที่ 2.1.10 รูปแสดงเวลาที่ใช้ในขั้นตอนต่าง ๆ ของการควบคุมของอัลกอริธึมแบบที่ปรับปรุงแล้ว

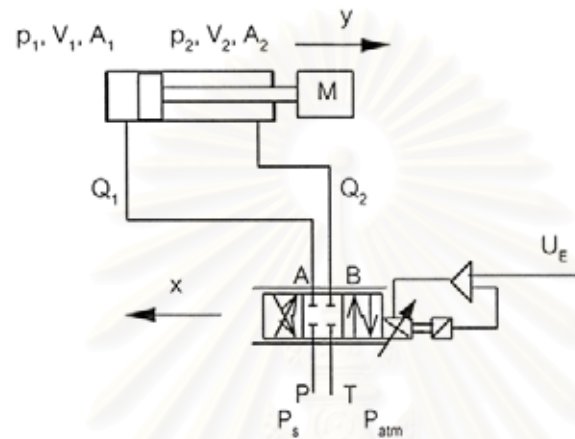
เมื่อพิจารณาอัลกอริธึมในรูป 2.1.9 เทียบกับอัลกอริธึมในรูป 2.1.10 เมื่อระบบมีช่วงเวลาในการสุ่มค่าเป็น T เท่ากัน จะพบว่าช่วงเวลาที่ 1-3 ของอัลกอริธึมแรกจะใช้เวลาอย่างมากกว่าอัลกอริธึมหลัง คือเมื่อมีสัญญาณสั่งให้ระบบสุ่มค่าและนำไปคำนวณเพื่อส่งไปควบคุมระบบ อัลกอริธึมหลังจะสามารถส่งสัญญาณไปควบคุมระบบได้เร็วกว่า

2.1.8 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

☒ วาล์วและกระบอกสูบ

สมมติฐาน

- 1) ความดันของปั๊มจ่ายน้ำมัน (P_s) คงที่
- 2) ปริมาตรของน้ำมันในท่อจ่ายน้ำมันน้อยกว่าในกระบอกสูบมาก
- 3) พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบ $A_1 = 2A_2$



รูปที่ 2.1.11 แสดงกระบอกสูบและวาล์วที่ใช้ในการควบคุม

อัตราการไหลของน้ำมันผ่านวาล์วคือ [5]

$$Q_1 = kx\sqrt{(p_s - p_1)}$$

$$Q_2 = kx\sqrt{p_2}$$

ในสภาวะ Steady State จะได้ $Q_1 = 2Q_2$ ดังนั้น

$$(p_s - p_1) = 4p_2$$

เมื่อทำการลিনিยไรซ์สมการของอัตราการไหลของน้ำมันจะได้

$$\delta Q_1 = k\delta x\sqrt{(p_s - p_1)} - \frac{kx}{2\sqrt{(p_s - p_1)}}\delta p_1$$

และ
$$\delta Q_2 = k\delta x\sqrt{p_2} + \frac{kx}{2\sqrt{p_2}}\delta p_2$$

กำหนดให้ $k\sqrt{p_2} = K_e$ และ $\frac{kx}{2\sqrt{p_2}} = K_p$ จะได้

$$\delta Q_1 = 2K_e\delta x - \frac{K_p}{2}\delta p_1 \quad \dots (1)$$

และ
$$\delta Q_2 = K_e\delta x + K_p\delta p_2 \quad \dots (2)$$

ดังนั้น
$$\delta Q_1 - 2\delta Q_2 = -\frac{K_p}{2}\delta p_1 - 2K_p\delta p_2 \quad \dots (3)$$

นอกจากนั้น

$$\delta Q_1 = As\delta y + \frac{V_1}{B}s\delta p_1 \quad \dots (4)$$

และ
$$\delta Q_2 = \frac{A}{2}s\delta y - \frac{V_2}{B}s\delta p_2 \quad \dots (5)$$

ดังนั้น
$$\delta Q_1 - 2\delta Q_2 = \frac{V_1}{B}s\delta p_1 + \frac{2V_2}{B}s\delta p_2$$

สำหรับค่าความถี่ธรรมชาติ (ω_n) ที่น้อยที่สุดนั้น จะเกิดที่ $V_1 = 0.6V$ และ $V_2 = 0.2V$ ดังนั้น

$$\delta Q_1 - 2\delta Q_2 = \frac{0.6V}{B}s\delta p_1 + \frac{0.4V}{B}s\delta p_2 \quad \dots (6)$$

จาก (3) และ (6) จะได้

$$-\left[\frac{K_p}{2} + \frac{0.6V}{B}s\right]\delta p_1 = \left[2K_p + \frac{0.4V}{B}s\right]\delta p_2$$

ดังนั้น
$$\frac{\delta p_1}{\delta p_2} = -\frac{\left[\frac{K_p}{2} + \frac{0.6V}{B}s\right]}{\left[2K_p + \frac{0.4V}{B}s\right]} \quad \dots (7)$$

ที่กระบอกลูกสูบ

$$F = p_1A - p_2\frac{A}{2} = Ms^2y$$

ดังนั้น
$$\delta F = \delta p_1 - \frac{\delta p_2}{2} = \frac{M}{A}s^2\delta y$$

$$\delta p_2 = \frac{M}{A}s^2\delta y \left[\frac{1}{\frac{\delta p_1}{\delta p_2} - \frac{1}{2}} \right]$$

จาก
$$\delta Q_2 = K_e\delta x + K_p\delta p_2 = \frac{A}{2}s\delta y - \frac{0.2V}{B}s\delta p_2$$

$$K_e\delta x - \frac{A}{2}s\delta y = -\left[K_p + \frac{0.2V}{B}s\right]\delta p_2$$

ดังนั้น
$$\frac{A}{2}s\delta y - K_e\delta x = \left[K_p + \frac{0.2V}{B}s\right] \frac{M}{A}s^2\delta y \left[\frac{1}{\frac{\delta p_1}{\delta p_2} - \frac{1}{2}} \right]$$

$$\frac{A}{2}s\delta y - K_e\delta x = \left[K_p + \frac{0.2V}{B}s\right] \frac{M}{A}s^2\delta y \left[-\frac{K_p + \frac{0.3V}{B}s}{3K_p + \frac{0.7V}{B}s} \right]$$

$$\frac{A}{2}s\delta y - K_e\delta x \approx -\frac{M}{3A}\left[K_p + \frac{0.3V}{B}s\right]s^2\delta y$$

หรือ
$$\left\{ \frac{A}{2K_e}s \left[\frac{MV}{5A^2B}s^2 + \frac{2MK_p}{3A^2}s + 1 \right] \right\} s\delta y = \delta x$$

ดังนั้นจะได้
$$G_p(s) = \frac{\delta y}{\delta x} = \frac{1}{\frac{A}{2K_e}s \left[\frac{MV}{5A^2B}s^2 + \frac{2MK_p}{3A^2}s + 1 \right]}$$

ในทำนองเดียวกันเมื่อกำหนดให้ $s\delta y \approx 0$ จะได้

$$G_p(s) = \frac{\delta F}{\delta x} = \frac{3K_e}{\frac{0.3V}{B}s + K_p}$$

☒ ตัววัดระยะทาง (Position Encoder)

$$K_{Disp} = \frac{U_N}{y}$$

☒ ตัววัดแรง (Force Sensor)

$$K_{Force} = \frac{U_N}{F}$$

☒ ตัวควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller)

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

☒ ตัวขยายสัญญาณ (Amplifier)

$$K_{EL} = \frac{U_E}{U_R}$$

☒ โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve)

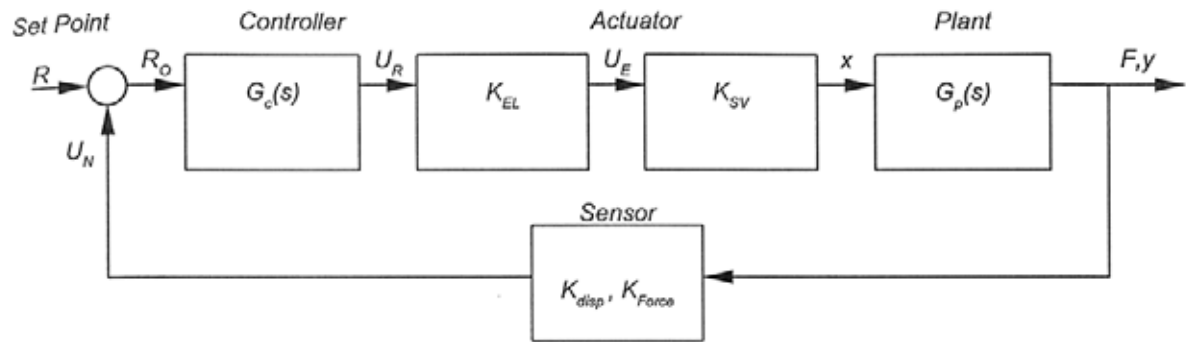
$$K_{SV} = \frac{x}{U_E}$$

☒ ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของระบบควบคุมที่ป้อนกลับระยะทาง (Position Closed-Loop Transfer Function)

$$G_T = \frac{y}{R} = \frac{G_c(s)K_{EL}K_{SV}G_p(s)}{1 + G_c(s)K_{EL}K_{SV}G_p(s)K_{Disp}}$$

☒ ทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของระบบควบคุมที่ป้อนกลับแรง (Force Closed-Loop Transfer Function)

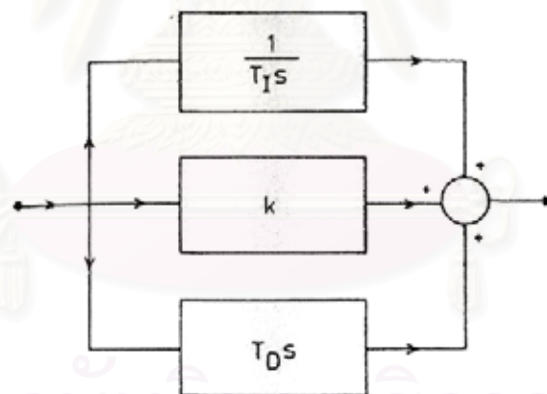
$$G_T = \frac{F}{R} = \frac{G_c(s)K_{EL}K_{SV}G_p(s)}{1 + G_c(s)K_{EL}K_{SV}G_p(s)K_{Force}}$$



รูปที่ 2.1.12 บล็อกไดอะแกรมแสดงพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุม

2.1.9 การหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม

จากทรานสเฟอ์ฟังก์ชันเราสามารถหาค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมของตัวควบคุม $G_c(s)$ ได้หากเราทราบค่าพารามิเตอร์ทุกตัวในระบบ โดยอาจจะใช้ Bode Plot (Root Locus Method) หรือ วิเคราะห์จาก Frequency Response แต่เนื่องจากส่วนใหญ่ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบมักจะหาได้ไม่ครบ หรือถ้าหาได้ก็อาจไม่ถูกต้องมากนัก จึงมีการใช้วิธีทดลองแล้วแก้ไข (Trial & Error Method) ซึ่งการปรับค่าด้วยวิธีนี้ จำเป็นอย่างมากที่ต้องอาศัยความชำนาญ ประสบการณ์ และความคุ้นเคยกับกระบวนการเป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามก็มีการวิจัยหาวิธีที่จะช่วยหาค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมได้ ถึงแม้วิธีเหล่านี้จะปฏิบัติได้อย่างค่อนข้างลำบากในกระบวนการที่แท้จริงก็ตาม แต่ก็ถือว่าเป็นแนวทางในการหาค่าตัวพารามิเตอร์ของการควบคุมได้บ้าง วิธีที่จะกล่าวถึงนี้จะกล่าวเฉพาะวิธีที่เป็นที่นิยมใช้จริงๆ คือ [6]



รูปที่ 2.1.13 ตัวควบคุมแบบพีไอดี

วิธีที่ 1 On-plant tuning

สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

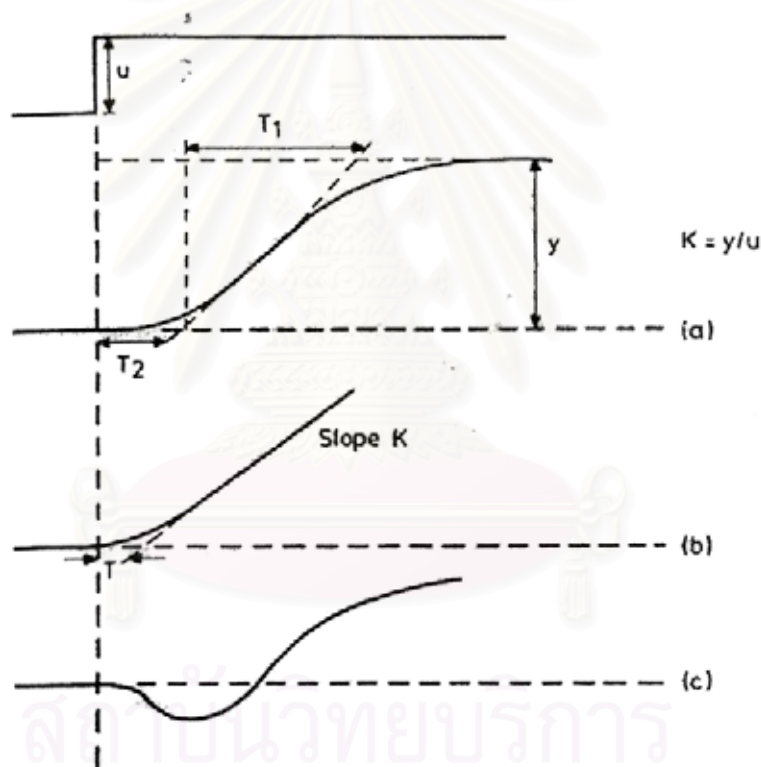
1. ใช้การควบคุมแบบป้อนกลับโดยที่ไม่มีค่าเกนแบบอินทิกรัล (K_I) และเกนแบบดิริเวทีฟ (K_D) แล้วเพิ่มค่าเกนแบบพี (K_P) อย่างเดียวจนกว่าจะเกิดการแกว่งอย่างคงตัว โดยที่คาบของการแกว่งจะให้แทนด้วย T^*
2. กำหนดค่าคาบของการหน่วง (T_D) และคาบอินทิกรัล (T_I) อย่างเช่น $T_D = T_I = T^* / 2$

3. สังเกตคาบของการสั่นของระบบ จุดมุ่งหมายของวิธีนี้ก็คือพยายามทำให้คาบของการสั่นคงที่เป็น T^* ในวิธีนี้จะประสบความสำเร็จมากน้อยแค่ไหนก็ขึ้นอยู่กับค่าคาบของการหน่วงที่ทำในข้อที่ 2 ว่าถูกต้องมากน้อยเพียงใด ในกรณีที่ต้องการปรับค่า เราสามารถ

- ลดคาบของการหน่วง (T_0) เมื่อต้องการให้คาบของการสั่นของระบบ (T^*) เพิ่มขึ้น หรือ
 - เพิ่มคาบอินทิกรัล (T_1) เมื่อต้องการให้คาบของการสั่นของระบบ (T^*) ลดลง
4. ปรับค่าของเกนควบคุม (K_p) จนกระทั่งได้ระบบควบคุมตามต้องการ

วิธีที่ 2 Ziegler-Nichols methods

วิธีนี้ต้องการวัดค่าการตอบสนองของระบบเปิด ซึ่งจะดูจากผลของการตอบสนองเมื่อมีการให้อินพุทเป็นฟังก์ชันขั้นบันได (Step Function) และจำลองระบบเป็น ระบบกำลังหนึ่งที่มี first order lag คือ $K/(1+sT_1)$ และช่วงเวลาที่ระบบไม่ได้ตอบสนอง (Dead Time) คือ e^{-sT_2} โดยในการทดสอบนี้จะทำโดยไม่คำนึงว่าระบบจริงๆ จะเป็นระบบแบบออร์เตอร์ใด ๆ ผลจากการใส่ค่าอินพุทนี้จะได้ตามรูป 2.1.14 (a)



รูปที่ 2.1.14 แสดงระบบที่สามารถควบคุมได้และควบคุมไม่ได้

แต่ก็พบว่ามึบบางระบบที่ไม่สามารถใช้วิธีนี้หาค่าได้ เช่น

- ระบบที่มีค่า integrators ซึ่งจะได้ค่าออกมาเป็น Ke^{-T}/s รูป [b]
- ระบบที่มีการสั่นซึ่งต้องการระบบอย่างน้อยกำลังสองเพื่อจำลอง
- ระบบที่มีการตอบสนองในรูป [c] จะต้องการระบบอย่างน้อยกำลังสองเพื่อจำลอง และ เพื่อให้ได้ค่าของระบบที่ต้องการ

สำหรับระบบที่มีแบบจำลองอยู่ในรูป $(Ke^{-sT_2})/(1+sT_1)$ นั้น Ziegler และ Nichols ได้แนะนำว่าค่าต่อไปนี้ เป็นค่าเริ่มต้นที่น่าจะนำไปทดลองหาค่าเกณฑ์ควบคุมของระบบ

ระบบที่มีแต่พหุพหุอันดับแรก $K=(1/K)(T_1/T_2)$

ระบบที่มีทั้งพหุพหุอันดับแรก และ อินทิเกรเตอร์

$$K=(0.9/K)(T_1/T_2) , T_1=3.3T_2$$

ระบบที่มีค่าเกณฑ์สามตัว

$$K=(1.2/K)(T_1/T_2) , T_1=2T_2 , T_0=0.5T_2$$

นอกจากนี้สำหรับระบบที่เป็นแบบป้อนกลับ แต่ไม่มีการห้วง (Derivative) ให้หาค่าเกณฑ์ k^* ที่ทำให้ระบบมีการแกว่งแบบคงที่ที่มีคาบคือ T^* ค่าที่แนะนำสำหรับระบบควบคุมก็คือ

ระบบที่มีแต่พหุพหุอันดับแรก $K=0.5k^*$

ระบบที่มีทั้งพหุพหุอันดับแรก และ อินทิเกรเตอร์

$$K=(0.9/K)(T_1/T_2) , T_1=3.3T_2$$

ระบบที่มีค่าเกณฑ์สามตัว

$$K=(1.2/K)(T_1/T_2) , T_1=2T_2 , T_0=0.5T_2$$

2.2 ระบบไฮดรอลิกไฟฟ้า (Electrohydraulics System)

2.2.1 การควบคุมระบบไฮดรอลิก

ในงานอุตสาหกรรม ระบบไฮดรอลิกได้ถูกนำมาใช้กับระบบควบคุมโดยใช้วงจรไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์อย่างมาก แม้ว่าทั้งสองระบบนี้ได้ถูกออกแบบแยกกันมา แต่ขณะที่ต้องดูแลซ่อมแซมก็ต้องทำไปในหน่วยเดียวกัน ระบบไฮดรอลิกไฟฟ้านี้จะมีการนำไปควบคุมอยู่หลายแบบ คือ [7]

2.2.1.1 การควบคุมแบบเปิด-ปิดวาล์ว

การควบคุมแบบนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงของความดัน และอัตราการไหล อย่างทันทีทันใด เมื่อมีการส่งสัญญาณมา ทำให้เกิดแรงกระทำของความดันที่สูง อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบจึงสึกหรอค่อนข้างมาก ระบบควบคุมแบบนี้จึงใช้ได้แค่การควบคุมบางประเภทเท่านั้น

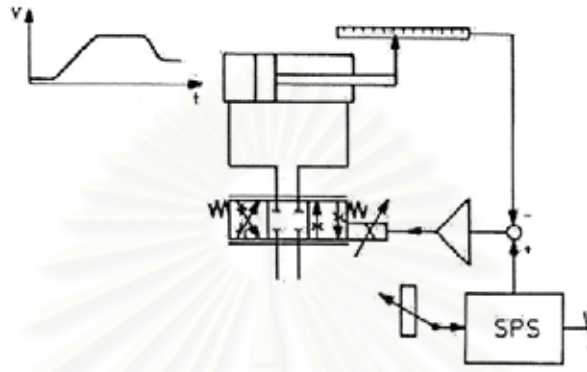
2.2.1.2 การควบคุมโดยใช้พหุพหุอันดับแรกวาล์ว (Proportional Valve)

การควบคุมแบบนี้เป็นการควบคุมแบบแอนะล็อก จะมีการกำหนดค่าที่ต้องการ (Set point) ของความดัน อัตราการไหล และทิศทาง แล้วส่งสัญญาณมาควบคุมโดยวงจรไฟฟ้าแบบแอนะล็อก ซึ่งปัจจุบันนี้มักจะใช้พีแอลซี (PLC: Programmable Controller) ทำให้ระบบที่ซับซ้อนและระบบที่ต้องการคุมอัตราเร็ว อัตราห้วงสามารถจัดการได้

การใช้พหุพหุอันดับแรกวาล์ว (Proportional valve) นั้นส่วนใหญ่มักจะเป็นการคุมแบบเปิด (Open control loop) ที่ไม่มีการสนองกลับ และไม่มีการแก้ไขค่าที่ไม่ถูกต้องในแต่ละขั้นตอนของการควบคุม จุดต่อระหว่างสัญญาณเข้า และสัญญาณออก ถูกกำหนดโดยทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer Function) ถ้ามีการเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในแต่ละขั้นตอน ข้อผิดพลาดนี้ก็จะถูกรวมเข้ากับสัญญาณออก ตัวอย่างข้อผิดพลาดนี้ก็อาจเป็นจาก กระแสไฟฟ้ารั่ว การอัดตัว(Compressibility) ของน้ำมัน แรงเสียดทาน ระยะทางที่จุดเริ่มต้นควบคุม (Zero point displacement) และการสึกหรอของอุปกรณ์ สิ่งที่เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมากกับอัตราเร็ว ก็คือ การเปลี่ยนแปลงของภาระของมอเตอร์ และกระบอกสูบ ซึ่งอาจจะแก้ไขโดยใช้การทดแทนความดัน (Pressure Compensator)

2.2.1.3 การควบคุมโดยใช้พรอพพอร์ชันแนลวาล์วแบบปิด (Closed-loop proportional-valve)

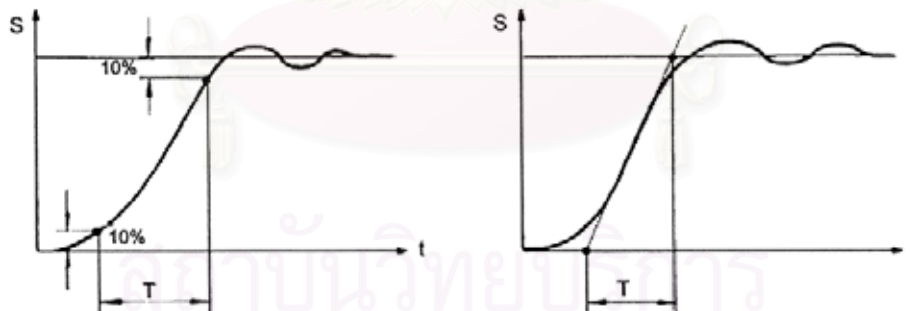
ในที่นี้จะใช้พรอพพอร์ชันแนลวาล์วแบบปิดโดยจะมีอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณเพื่ออ่านค่า และวงจรถยายสัญญาณไฟฟ้าที่วาล์ว ในวงจรควบคุมสัญญาณออกจะถูกวัดและเทียบกับค่าอ้างอิงที่ตั้งมา (Set point Value) แล้วตัวควบคุมจะแปลงค่าเบี่ยงเบนที่ได้ไปสั่งตัวอุปกรณ์เพื่อแก้ไขข้อผิดพลาด ปริมาณที่ไปสั่งให้แก้ไขข้อผิดพลาดนี้จะมีเฉพาะการควบคุมแบบปิด ซึ่งในการควบคุมแบบเปิดจะไม่มี



รูปที่ 2.2.1 การควบคุมโดยใช้พรอพพอร์ชันแนลวาล์วแบบปิด

2.2.2) ลักษณะของการตอบสนอง (Response Time)

จะเป็นตัวที่ง่ายที่สุดที่สามารถบอกการตอบสนองของระบบ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดของอินพุต โดยทั่วไปของวาล์วและระบบไฟฟ้าที่ควบคุมจะมีเวลาตอบสนองอยู่ประมาณ 25-60 มิลลิวินาที โดยทั่วไปจะมีวิธีการหาค่าเวลาตอบสนองอยู่ 2 วิธีตามรูป



รูปที่ 2.2.2 วิธีหาค่าเวลาตอบสนองของระบบ

2.2.3) ความไวของการตอบสนอง (Response Sensitivity)

เป็นการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณออกซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาออกในทิศทางเดียวกันจากจุดหยุดนิ่งจุดหนึ่ง

2.2.4) การควบคุมอัตราเร่งและอัตราหน่วงของมวล

2.2.4.1 การหาอัตราเร็ว อัตราหน่วงคงที่เมื่อความดันคงที่

ตามสมการของนิวตัน

$$F = ma$$

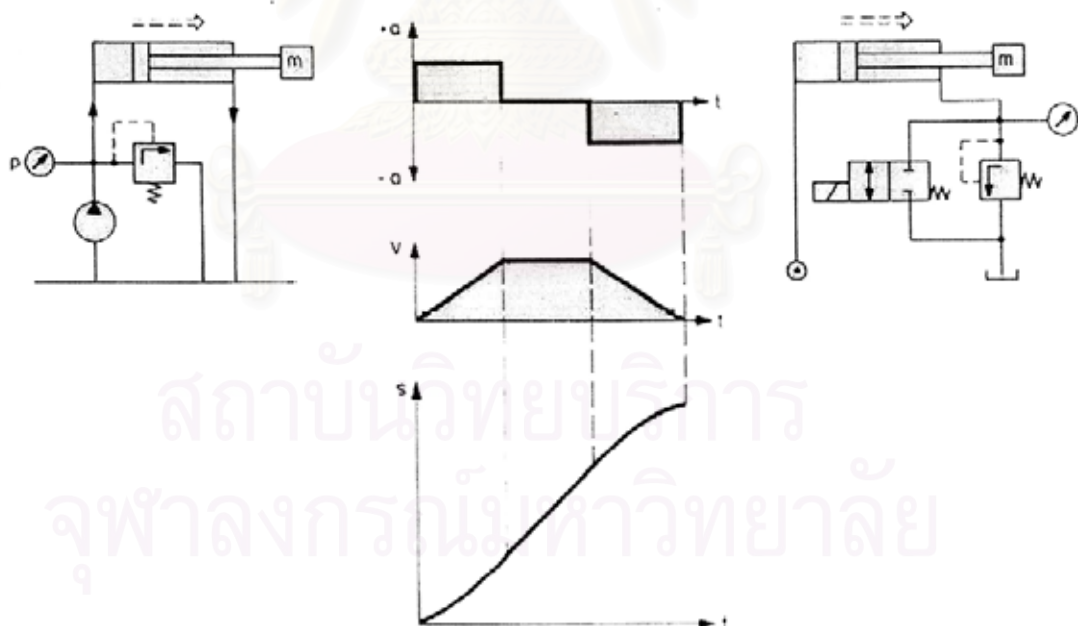
เนื่องจากแรงที่กระทำของระบบไฮดรอลิกนั้นจะขึ้นกับความดันของระบบ ฉะนั้นอัตราเร่ง หรืออัตราหน่วงคงตัวจะเกิดจากการที่ระบบมีความดันคงที่โดยจะมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$a = \frac{v}{t}$$

$$s = \frac{1}{2} vt$$

$$s = \frac{v^2}{2a}$$

โดยที่	s	=	ระยะทาง (เมตร)
	t	=	เวลา (วินาที)
	v	=	อัตราเร็ว (เมตรต่อวินาที)
	a	=	อัตราเร่ง หรืออัตราหน่วง (เมตรต่อวินาที ²)



รูปที่ 2.2.3 การคำนวณหาระยะทาง อัตราเร็ว และอัตราเร่งของกระบอกสูบ

2.2.4.2 การคำนวณแรงดึง

ในกรณีที่กระบอกสูบเป็นกระบอกสูบแบบมีพื้นที่รับแรงที่สมมาตรกัน แรงดึงขณะที่ดึงกระบอกสูบเข้าหรือดันกระบอกสูบออกจะเท่ากัน แต่ในกรณีที่พื้นที่ที่กระบอกสูบไม่สมมาตร อัตราการไหลที่ PA จะมากกว่าที่ BT ตามอัตราส่วนของพื้นที่ที่กระบอกสูบ (ϕ) ตามสมการ

$$Q_{PA} = \phi \cdot Q_{BT}$$

จากสมการของอัตราการไหล

$$Q \propto \sqrt{\Delta P}$$

หรือ

$$Q^2 \propto \Delta P^2$$

ดังนั้น

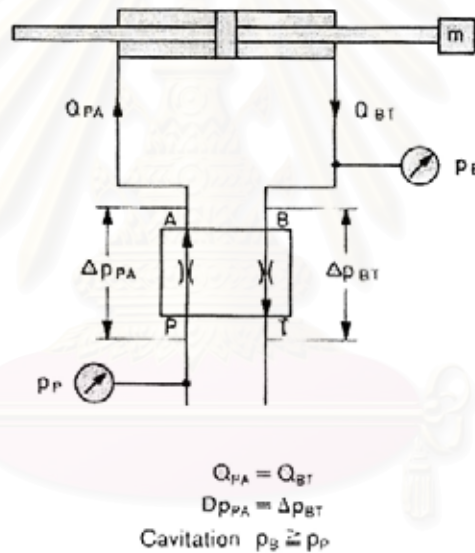
$$\Delta P_{PA} = \phi^2 \Delta P_{BT}$$

ในกรณีที่ต้องการหลีกเลี่ยง cavitation ก็จะต้องมี

$$\Delta P_{BT} \leq \frac{\Delta P_{PA}}{\phi^2}$$

หรือ

$$P_B \leq \frac{\Delta P_P}{\phi^2}$$



รูปที่ 2.2.4 การคำนวณแรงดึงของกระบอกสูบ

2.2.5) การควบคุมแบบวงจรมหัพิด (Closed loop control)

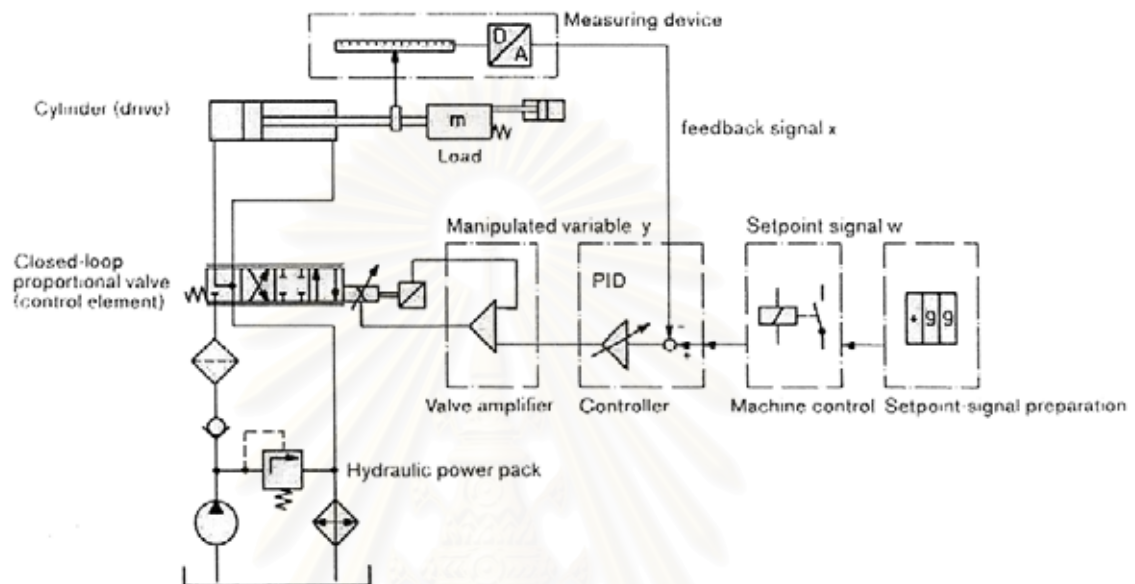
2.2.5.1 การออกแบบระบบควบคุมไฮดรอลิกไฟฟ้าแบบปิด

ในระบบไฮดรอลิกที่มีการควบคุมแบบปิดก็จะมีวาล์วแบบพรอพพอนชันแนลวงจรมหัพิดเป็นตัวควบคุม และมีมอเตอร์หรือกระบอกสูบเป็นตัวขับเคลื่อน ค่าอ้างอิงที่เป็นสัญญาณเข้าจะอยู่ในรูปของสัญญาณไฟกระแสดวงแบบแอนะล็อก ซึ่งได้มาจากแหล่งกำเนิดหลายๆ แห่ง เช่น โฟเทนซิโอมิเตอร์ ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ หรือจากระบบขับเคลื่อนของตัวอุปกรณ์

การหาค่าตัวแปรของระบบจะทำได้โดยใช้เครื่องมือที่สามารถเปลี่ยนเป็นค่าของสัญญาณไฟตรงแบบแอนะล็อก โดยในการวัดค่าตัวแปรแต่ละตัวก็จะมีอุปกรณ์ที่เหมาะสมแตกต่างกันไป ตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้วัดก็มีเช่น โฟเทนซิโอมิเตอร์ อุปกรณ์วัดแบบเพิ่มค่าตัวแปร แทคโคมิเตอร์ หรืออุปกรณ์วัดความดัน เป็นต้น

ตัวขยายสัญญาณแบบควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์จะใช้เพื่อเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนของระบบเมื่อเทียบกับค่าที่ต้องการ (ตั้งไว้) โดยมาจากการคำนวณของทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันเมื่อเป็นการควบคุมแบบพีไอดี แล้วป้อนสัญญาณเข้าไปที่วาล์วแบบพรอพพอชันแนลวงจรรปิด โดยจะมีการขยายสัญญาณควบคุมไปเป็นกระแสไฟควบคุมขดลวดโซลินอยด์

เครื่องมือวัดที่เหมาะสมจะสามารถใช้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ได้ แต่ค่าตัวแปรบางค่ายังสามารถหาได้จากการคำนวณโดยใช้ดิฟเฟอเรนเชียล อย่างเช่น อัตราเร็ว คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของระยะทางต่อหน่วยเวลา

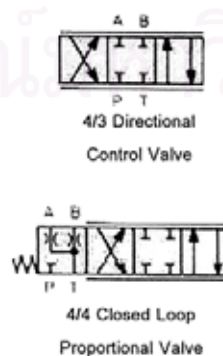


รูปที่ 2.2.5 ตัวอย่างวงจรรควบคุมระบบไฮดรอลิกแบบปิด

2.2.5.2 คุณลักษณะของวาล์วพรอพพอชันแนลแบบวงจรรปิด

ก. รูปและสัญลักษณ์

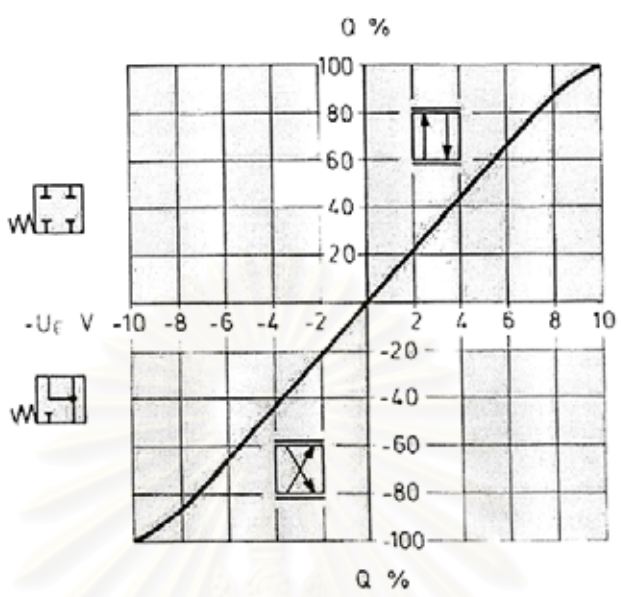
วาล์วพรอพพอชันแนลแบบวงจรรปิด จะเทียบได้กับวาล์วพรอพพอชันแนลแบบควบคุมทิศทาง ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นแบบ 4/3 และการเหลื่อมกันแบบลบ (Negative Overlap) ที่ตำแหน่งตรงกลางของวาล์ว แสดงด้วยตำแหน่งที่ของไหลไม่ไหล เมื่อไม่มีการกระตุ้นที่ขดลวดโซลินอยด์ ก็จะถือว่าวาล์วอยู่ที่ตำแหน่ง ณ ขณะนั้น แต่สำหรับวาล์วพรอพพอชันแนลแบบวงจรรปิดนั้นจะมีตำแหน่งวาล์วตำแหน่งที่ 4 เพิ่มขึ้นมา ซึ่งจะคืนกลับเมื่อไม่มีการกระตุ้นที่ขดลวดโซลินอยด์



รูปที่ 2.2.6 สัญลักษณ์ของวาล์วพรอพพอชันแนลแบบวงจรรปิด

ข. ลักษณะการไหล

ลักษณะกราฟนี้จะแสดงถึงอัตราการไหลที่เป็นฟังก์ชันของสัญญาณไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณเข้าที่ตัวขยายสัญญาณของวาล์ว



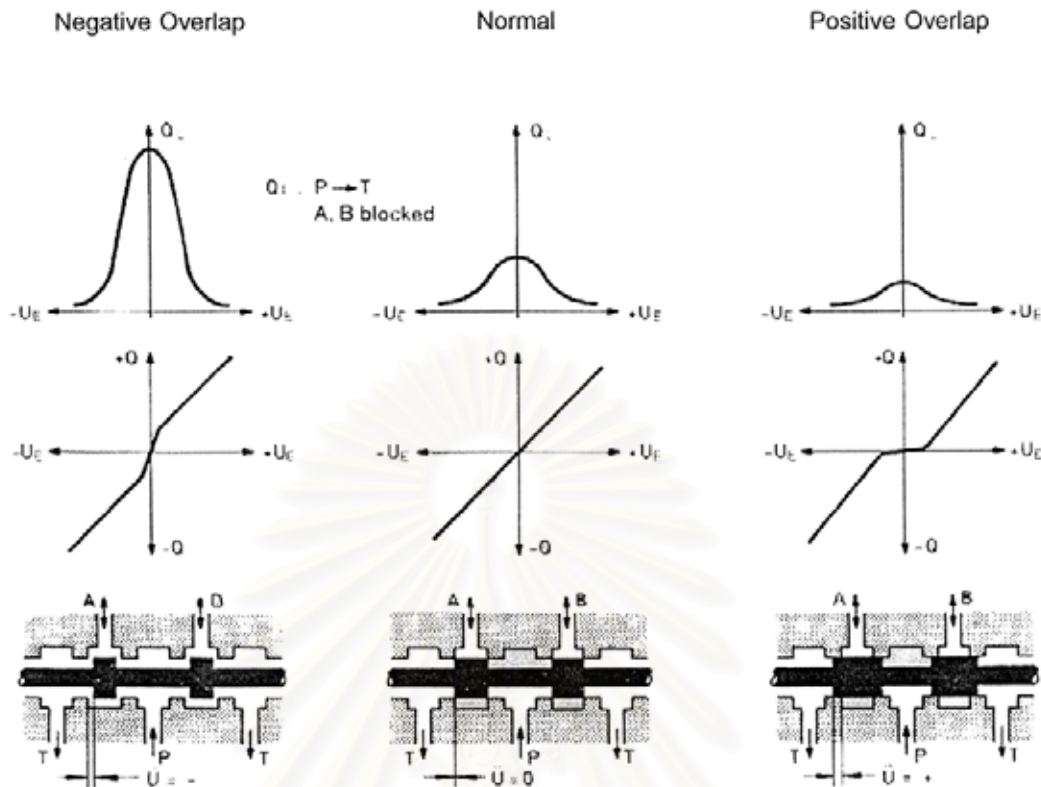
รูปที่ 2.2.7 กราฟแสดงอัตราการไหลที่สัญญาณไฟฟ้าค่าต่าง ๆ

ในทางตรงข้ามกับลักษณะกราฟของวาล์วพรอพพอร์ชันแนลแบบควบคุมทิศทาง ลักษณะกราฟของวาล์วพรอพพอร์ชันแนลแบบวงปิดจะมีเส้นกราฟที่ผ่านจุดศูนย์ เนื่องจากไม่มีการเหลื่อมกัน (Zero Overlap) เส้นกราฟนี้จะมีลักษณะค่อนข้างตรง แต่ก็จะมีข้อเสียที่จะมีความดันลดลงอย่างมาก (วาล์วพรอพพอร์ชันแนลแบบควบคุมทิศทางจะมีความดันลดลง $[\Delta P]$ ประมาณ 8 บาร์ แต่วาล์วแบบพรอพพอร์ชันแนลวงจรมีความดันลดลง $[\Delta P]$ ประมาณ 35 บาร์) ส่วนอัตราการไหลของของไหลจะสามารถหาได้จากสมการ

$$Q_x = Q_{nom} \sqrt{\frac{\Delta P_x}{\Delta P_{nom}}}$$

ค. การเหลื่อมที่ตำแหน่งตรงกลางวาล์ว

การไม่มีการเหลื่อม (Zero Overlap) ที่ตำแหน่งตรงกลางวาล์วเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากสำหรับการควบคุมตำแหน่ง การเหลื่อมแบบบวก (Positive Overlap) จะทำให้เกิดเขตโชน (Dead Zone) และการรบกวนระบบ ส่วนการเหลื่อมแบบลบ (Negative Overlap) จะทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นอย่างมากของการรั่วของน้ำมัน เมื่อคำนึงถึงการเหลื่อมของวาล์วแล้ว วาล์วพรอพพอร์ชันแนลแบบวงจรมักจะปิดกับวาล์วพรอพพอร์ชันแนลจะแตกต่างกันอย่างมาก



รูปที่ 2.2.8 การเหลื่อมกันของวาล์วชนิดต่าง ๆ

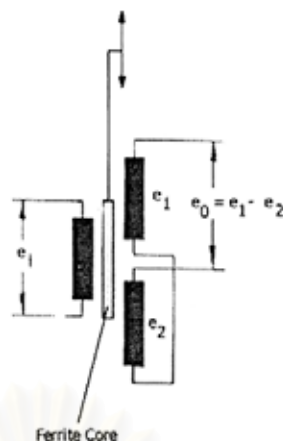
2.3 เซนเซอร์

2.3.1 ตัววัดระยะทาง (Linear Variable Differential Transducer: LVDT)

การทำงานของอุปกรณ์นี้จะอาศัยหลักการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของขดลวด โดยประกอบด้วยขดลวดหลัก (Primary Coil) และขดลวดรอง (Secondary Coil) ทำงานคล้ายกับหลักการของหม้อแปลงทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก (Magnetic Flux) [8]



โดยหลักการกระแสไฟที่เหนี่ยวนำจะต้องเป็นกระแสไฟสลับ (AC to AC) แต่ในทางปฏิบัติจริงๆ จะใช้กระแสไฟตรงป้อนเข้าผ่าน สวิตซ์ซิ่งแอมพลิฟายเออร์(Switching Amplifier) ออกมาเป็นกระแสไฟสลับผ่านขดลวด เพื่อเหนี่ยวนำขดลวดอีกคู่ แล้วผ่านเรกติฟายเออร์ (Rectifier) เพื่อให้สัญญาณออกเป็นกระแสไฟตรง



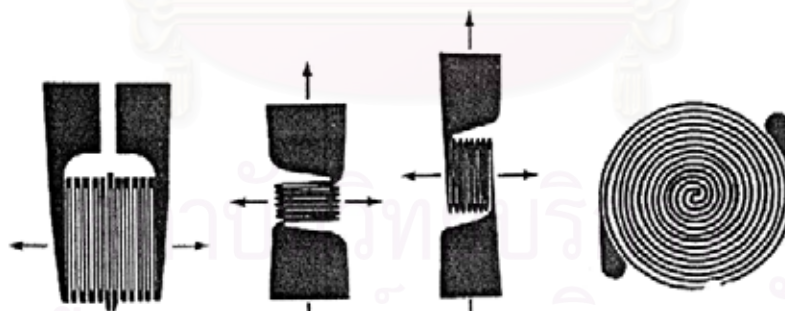
รูปที่ 2.3.1 หลักการทำงานของตัววัดระยะทาง

2.3.2) ตัววัดแรง (Strain Gauge)

การทำงานของสเตรนเกจนี้จะอาศัยการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของวัสดุมาใช้ เนื่องจากการนำไฟฟ้าของตัวนำจะขึ้นกับพื้นที่หน้าตัด (A) ความยาวของตัวนำ (L) และวัสดุที่นำมาทำตัวนำ (ρ) ดังนั้นความต้านทานของตัวนำจะเป็นตามสมการ

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

จากหลักการนี้จะสามารถนำมาประยุกต์ทำตัววัดค่าความเครียดของวัสดุเพื่อวัดอัตราการยืด หรือหดตัวของวัสดุ และจะนำตัวนำมาขดเป็นแถวหรือเป็นวง ตามรูปที่ 2.3.2 เพื่อเป็นการขยายสัญญาณก่อน อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงค่าของความต้านทาน (R) นั้นยังมีค่าน้อยมากทำให้ยากต่อการวัดจึงมีการนำวงจรบริดจ์มาใช้ร่วมเพื่อขยายสัญญาณขึ้นมาอีก



รูปที่ 2.3.2 แสดงสเตรนเกจชนิดต่าง ๆ

นอกจากนั้นอุณหภูมิ ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องพิจารณา เพราะการเปลี่ยนแปลงของความเครียดเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทานนั้นน้อยอยู่แล้ว ดังนั้นถ้ามีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก็จะมีผลค่อนข้างมากกับตัวสเตรนเกจ

2.3.2.1 Bridge Circuit

ในการวัดต่างๆ เราจะพบวงจรบริดจ์ในจุดต่างๆ ค่อนข้างมาก ทั้งในจุดที่เป็นความต้านทาน ความจุไฟฟ้า และการนำไฟฟ้า เพราะอุปกรณ์วัดต่างๆ ส่วนใหญ่จะเปลี่ยนค่าที่วัดมาเป็นในรูปแบบทั้งสามนี้ และค่าที่ได้จะต้องมีการขยายสัญญาณ หรือทำให้สัญญาณดีขึ้น วงจรบริดจ์จะเป็นตัวช่วยในด้านเหล่านี้



รูปที่ 2.3.3 วงจรบริดจ์

จากรูป 2.3.3 นี้ เราจะได้สมการของค่าความดันที่วัดที่ตัววัด (Meter) คือ

$$e_0 = E \left[\frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)} \right]$$

และถ้า $R_2 = R_3 = R_4 = R$ จะได้

$$e_0 = E \frac{\Delta R}{4R}$$

ที่มีค่าความไว (Sensitivity) คือ

$$s = \frac{de_0}{dR} = \frac{E}{4R} = \frac{I}{4}$$

2.4 การทดสอบวัสดุ

สิ่งจำเป็นพื้นฐานสำหรับการออกแบบโครงสร้างต่างๆ ในเชิงวิศวกรรมนั้นต้องคำนึงถึงลักษณะและคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่นำมาใช้ ปัจจัยที่ต้องพิจารณาโดยทั่วไปก็เช่น ความเค้น (Stress) ความเครียด (Strain) ความล้า (Fatigue) และความแข็ง (Hardness) เป็นต้น [9]

2.4.1 ความเค้น (Stress)

ความเค้นคือ ความหนาแน่นของแรงกระทำภายในที่กระจายอยู่บนผิววัสดุ หรือก็คือ แรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว, นิวตันต่อตารางเมตร)

ตามสมการ

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

โดยสามารถแบ่งชนิดของความเค้นออกเป็น ความเค้นดึง (Tensile Stress) ความเค้นกด (Compressive Stress) ความเค้นเฉือน (Shear Stress) ความเค้นบิด (Torsional Stress)

2.4.2) ความเครียด (Strain)

เมื่อวัสดุถูกกระทำโดยแรงให้มีการเปลี่ยนรูป อัตราส่วนระหว่างการเปลี่ยนรูปต่อหน่วยความยาวของวัสดุในทิศทางที่รับแรงจะเรียกว่า ความเครียด จำนวนโมเลกุลของวัสดุจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง จะมีก็แต่การเปลี่ยนรูปลักษณะภายนอก การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถวัดได้โดยอุปกรณ์ทางกล หรือไฟฟ้า ตัวอย่างเช่น ตัววัดการยืด (Extensometer) โดยที่ภายในของอุปกรณ์ชิ้นนี้จะประกอบด้วยสเตรนเกจ

2.4.3) ความแข็งแรงของวัสดุ (Strength)

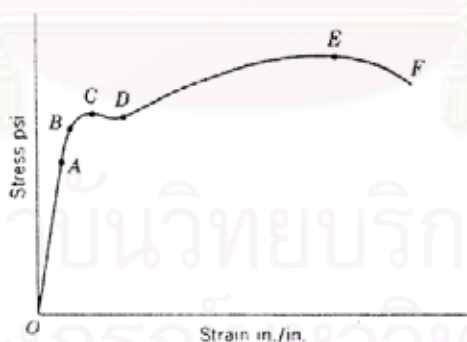
คือความสามารถของวัสดุที่จะสามารถทนแรงกระทำจากภายนอกโดยไม่เกิดการเสียหาย โดยการเสียหายนี้อาจจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การเสียหายแบบเฉียบพลัน (Catastrophic failure) เช่น การแตกหัก การเสียรูป ส่วนอีกแบบจะเป็นการเสียหายทีละน้อย (Gradual failure) โดยในแบบหลังนี้จะตรวจดูการเสียหายได้ยากกว่าในแบบแรก ตัวอย่างเช่น สปริงที่ถูกแรงกระทำแบบซ้ำๆ

2.4.4) ความยืดหยุ่น (Elasticity)

เป็นความสามารถของวัสดุที่เมื่อโดนแรงกระทำ อาจมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างจากเดิม แต่ถ้านำเอาแรงที่กระทำออก วัสดุจะคืนสู่สภาพเดิม

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ขณะที่ความเค้นของวัสดุเพิ่ม ความเครียดก็จะเพิ่มขึ้น โดยในบางช่วงความเค้นจะเป็นอัตราส่วนแปรผันตรงกับความเครียด แต่บางช่วงก็จะเป็น ความสัมพันธ์ของความเค้นกับความเครียดสามารถแสดงได้โดยกราฟระหว่างความเค้นกับความเครียด ดังรูปที่ 2.4.1



รูปที่ 2.4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด

ระหว่างจุดกำเนิดของเส้นกราฟและจุด A เส้นกราฟจะเป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นว่าความเครียดแปรผันโดยตรงกับความเค้น ที่จุด A จะเรียกว่า ขีดจำกัดความเป็นสัดส่วน (proportional limit) ของวัสดุ ระหว่างจุด A และจุด B จะเป็นช่วงที่เส้นกราฟไม่เป็นเส้นตรง นั่นคือความเค้นจะไม่เป็นอัตราส่วนกับความเครียด จะเรียกจุด B นี้ว่า ขีดจำกัดความยืดหยุ่น (elastic limit) หลังจากจุด B วัสดุจะเปลี่ยนรูปทั้งทางด้านการยืดแบบยืดหยุ่น (elasticity) และแบบพลาสติก (plasticity) ซึ่งหมายความว่าแม้จะไม่มีแรงกระทำกับวัสดุชิ้นงานก็จะไม่สามารถหดตัวกลับไปเหมือนเดิมได้ ขนาดที่เปลี่ยนไปจะเรียกว่า permanent set [10]

ขณะที่ความเค้นจะถึงจุด C ชิ้นงานจะเปลี่ยนรูปร่างอย่างสม่ำเสมอโดยไม่จำเป็นต้องให้แรงเพิ่มแต่อย่างใดในช่วงระหว่าง C กับ D (ช่วงนี้วัสดุจะเปลี่ยนรูปโดยใช้แรงน้อยกว่าที่จุด C) จุด C นี้จะถูกเรียกว่า จุดคราก (yield point) และความเค้นที่จุดนี้ก็คือ ความต้านแรงดึงคราก (yield strength) ต่อจากนั้นที่จุด E ซึ่งเป็นจุดที่สูงที่สุดของกราฟ ความเค้นที่จุด E จะถือว่าเป็นความแข็งแรงของวัสดุมากที่สุดที่จะสามารถรับแรงดึงได้ หรือจะเรียกว่า tensile strength หรือ ultimate tensile strength และ ยังส์โมดูลัส (Young's modulus) หรือโมดูลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) จะเป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียดในส่วนของกราฟเป็นเส้นตรง

2.4.5) ความล้า (Fatigue)

การเสียหายเนื่องจากความล้าเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงอย่างมากในการออกแบบ หรือใช้งานวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ เพราะการเสียหายประเภทนี้สามารถเกิดขึ้นจากการใช้งานทั่วไปโดยที่ไม่ได้รับแรงกระทำอย่างหนัก การเสียหายแบบนี้จะเกิดขึ้นที่จุดเล็กๆ แล้วลุกลามมากขึ้นภายใต้แรงกระทำแบบซ้ำๆ (Cyclic Load) ความเค้นภายใต้แรงกระทำนี้จะเป็นค่าที่น้อยกว่าความเค้นแรงดึงที่วัสดุ (Tensile stress) รับได้ สภาวะนี้เป็นสภาวะที่น่าสนใจมากเพราะการเปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะนี้จะเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึก (Crystalline structure) ในระดับจุลภาค (Submicroscopic change) จนทำให้เกิดจุดแตกเล็กๆ แล้วกลายเป็นการเสียหายของวัสดุอุปกรณ์ภายใต้แรงกระทำแบบซ้ำๆ การแตกหักที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบเปราะ (brittle) หรือแบบยืด (ductile) นั้นจะขึ้นกับสิ่งแวดล้อมและความเค้นที่ได้รับ [11]

จากที่กล่าวมาแล้วจะพบว่า การเกิดความล้าจะมีอยู่ 3 ระยะคือ เริ่มแตก (Initiation) ลุกลาม (Propagation) และเสียหาย (Fracture)

ระยะที่ 1 เริ่มแตก (Initiation)

การเสียหายเนื่องจากความล้าที่จุดนี้เป็นช่วงที่ซับซ้อนมาก เป็นจุดที่มีการวิจัยเกี่ยวกับเรื่องนี้อย่างมาก เพราะถ้าสามารถป้องกันไม่ให้เกิดการเสียหายที่จุดนี้ได้ นั่นก็หมายถึงจะไม่เกิดการการเสียหายขึ้น การเปลี่ยนแปลงที่ระดับจุลภาคนี้เป็นช่วงที่ยากที่จะอธิบาย และก็ยากต่อการเข้าใจ รวมทั้งไม่สามารถสังเกต หรือหาจุดที่เริ่มเกิดเสียหายได้

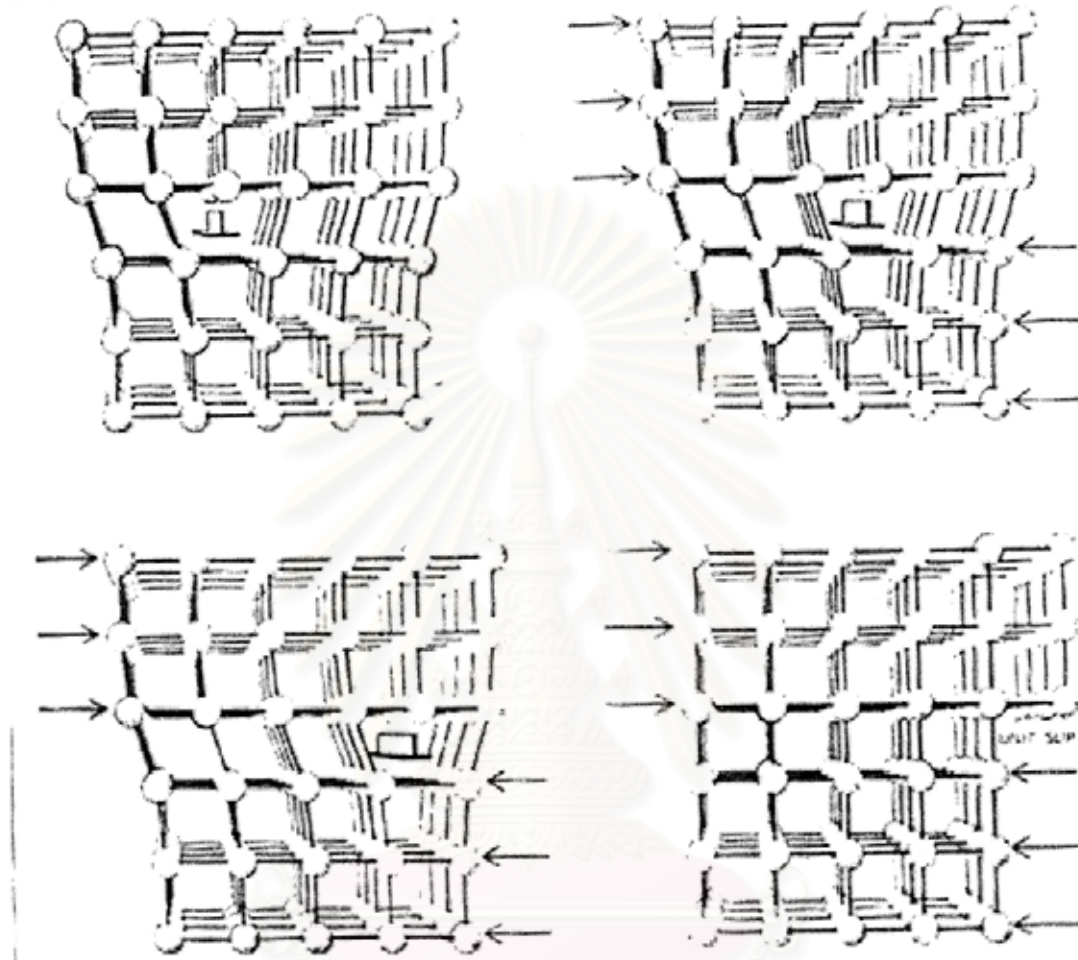
ปัจจัยที่สำคัญที่ทำให้เกิดการเสียหายที่จุดนี้จะเกิดจากความเค้นเฉือนที่กระทำแบบซ้ำๆ ต่อวัสดุจนไม่สามารถคืนตัวกลับได้ ดังรูปที่ 2.4.2 เมื่อเกิดแรงกระทำซ้ำๆ บ่อยเข้า ความเสียหายที่เกิดขึ้นก็ค่อยสะสมมากขึ้น เป็นระดับพัน หรือระดับล้าน จนเกิดเป็นความเสียหายแบบสะสม (Cumulative damage) นำเข้าไปสู่การเสียหายในระยะที่ 2

ระยะที่ 2 ลุกลาม (Propagation)

ในขณะที่มีแรงกระทำอย่างต่อเนื่อง การเสียหายจากจุดเล็กๆ ก็ค่อยๆ เพิ่มขึ้นทั้งจากแรงเฉือนในทิศทางที่ขนานกับรอยแตก และจากแรงดึงในทิศตั้งฉากกับรอยแตก สภาวะนี้จะสามารถสังเกตได้ง่าย คือ เมื่อจุดเริ่มต้นของการเสียหายก่อตัวขึ้นตรงบริเวณที่มีรอยแตกจะมีความเค้นสะสมค่อนข้างมาก เนื่องจากพื้นที่ที่รับแรงมีน้อยทำให้เกิดการลุกลามของการเสียหาย

ระยะที่ 3 เสียหาย (Final Rupture)

หลังจากที่รอยแตกค่อยๆ เพิ่มขึ้น พื้นที่ที่สามารถรับแรงของชิ้นงานก็จะลดลงจนกระทั่งไม่สามารถรับแรงที่เข้ามากระทำได้ การเสียหายแบบทันทีก็จะเกิดขึ้น ซึ่งในสภาวะนี้จะเป็นสภาวะที่เห็นได้ชัดเจนมากที่สุด

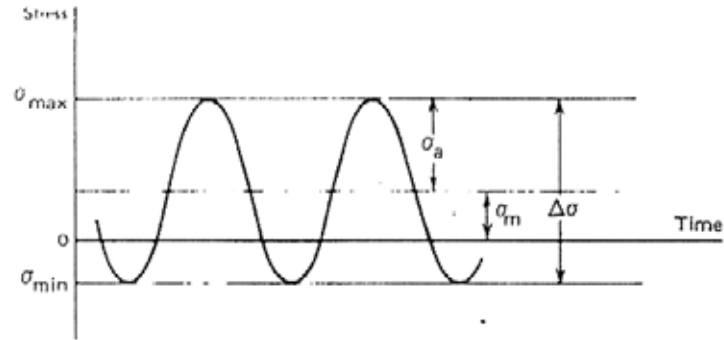


รูปที่ 2.4.2 ขบวนการเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากความล้า

คำอธิบาย จากรูปจุดที่ไม่สมบูรณ์ (แสดงด้วยสัญลักษณ์รูปตัว T) เป็นจุดที่โครงสร้างผลึกมีข้อบกพร่อง เมื่อมีแรงเฉือนกระทำแบบซ้ำๆ จนเกิดการเคลื่อนตัวของพันธะระหว่างอะตอมข้ามมาหนึ่งช่อง (ตัว T เลื่อนไปทางขวาหนึ่งช่อง) ตามรูปบนขวา และเมื่อได้รับแรงกระทำแบบซ้ำไปซ้ำมา จุดที่ไม่สมบูรณ์จะค่อยๆ เลื่อนไปทางขวาเรื่อยๆ จนเกิดการเสียหายหนึ่งหน่วย (จุดเล็กๆ) ตามรูปล่างขวา

ตัวแปรที่ต้องพิจารณาในการทดสอบ

สมมติว่าเราต้องการทำนายว่าอายุการใช้งานของชิ้นส่วนอุปกรณ์ตัวหนึ่งประมาณเท่าใด ผลการทดลองก็เป็นสิ่งจำเป็น โดยในผลการทดลองนี้ควรจะบอกถึง ลักษณะของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุม คือความเค้น หรือ ความเครียด และสภาวะของการทดสอบต่างๆ เช่น อุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ อัตราการทำซ้ำของแรง (cyclic frequency) อัตราการเปลี่ยนแปลงของแรงกระทำ และสภาพแวดล้อมอื่นๆ เพื่อที่จะนำไปจำลองเทียบกับสภาวะจริงที่วัสดุนั้นนำไปใช้งาน โดยที่ลักษณะทั่วไปที่จะต้องพิจารณา คือ [12]

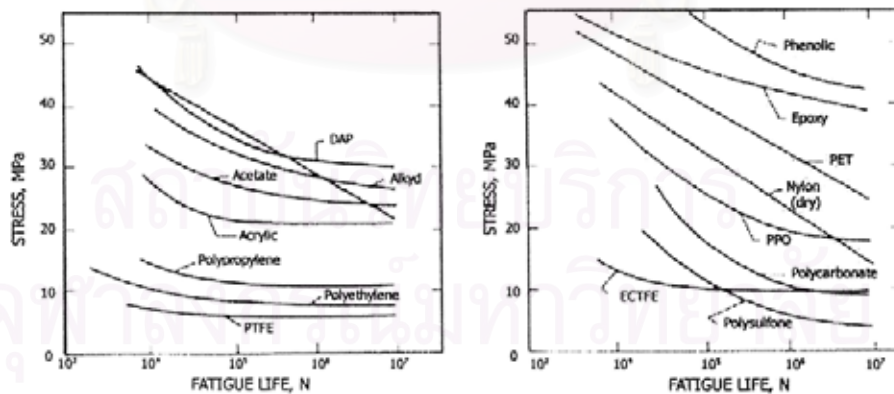


รูปที่ 2.4.3 แสดงกราฟรูปไซน์ที่ใช้ทดสอบความล้า

- $\sigma_{max}, \sigma_{min}$ = ค่ามากที่สุดและน้อยสุดของความเค้น (ตามลำดับ)
- $\Delta\sigma$ = ช่วงของความเค้น = $\sigma_{max} - \sigma_{min}$
- σ_a = ขนาดของความเค้น = $\frac{1}{2}(\sigma_{max} - \sigma_{min})$
- σ_m = ความเค้นเฉลี่ย = $\frac{1}{2}(\sigma_{max} + \sigma_{min})$
- R = อัตราส่วนของความเค้น = $\sigma_{min} / \sigma_{max}$

2.4.5.1 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมความเค้น (Stress-controlled Fatigue Testing)

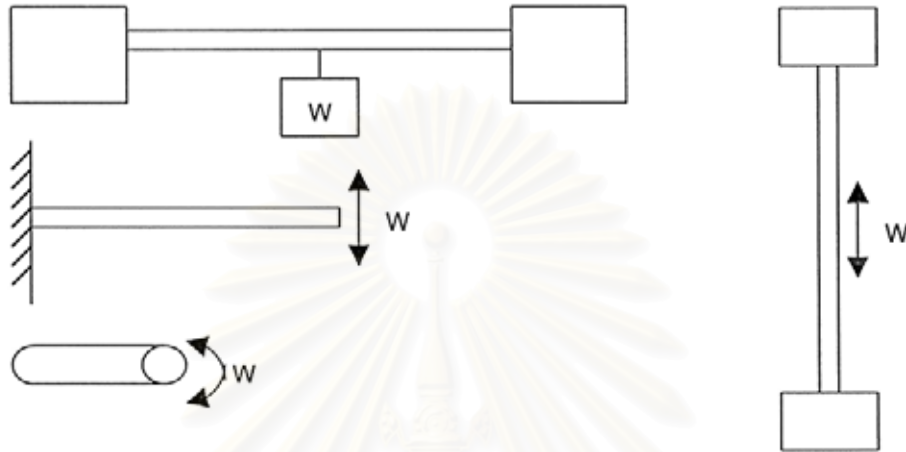
นักวิจัยต่างพบว่าขนาดของการเปลี่ยนแปลงของความเค้น หรือ ช่วงของความเค้นที่วัสดุได้รับจะมีผลค่อนข้างมากกับอายุการใช้งานของชิ้นส่วนอุปกรณ์ หรือวัสดุที่นำมาทดสอบ สำหรับเหตุผลนี้ทำให้ข้อมูลของการทดสอบความล้าส่วนใหญ่จะมาเปรียบเทียบกันที่ขนาดของความเค้นที่ใช้ทดสอบโดยจะทำการพล็อตกราฟระหว่างความเค้นกับจำนวนรอบที่ถูกแรงกระทำลงในกราฟแบบล็อก (S-N diagram) ซึ่งจะแสดงให้เห็นข้อเท็จจริงที่สำคัญหลายอย่าง อย่างแรกคืออายุการใช้งานของวัสดุจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของความเค้นที่กระทำกับวัสดุลดลง นอกจากนี้ ภายใต้การกระทำของความเค้นระดับหนึ่งบางวัสดุจะสามารถมีอายุการใช้งานแบบไม่เสียหายได้ (คือไม่เสียหายก่อน 10,000,000 รอบ) ตามรูป



รูปที่ 2.4.4 แสดงจำนวนรอบที่ทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากความล้าที่ความเค้นแต่ละจุด

ลักษณะของชิ้นงานทดสอบ และวิธีการทดสอบ

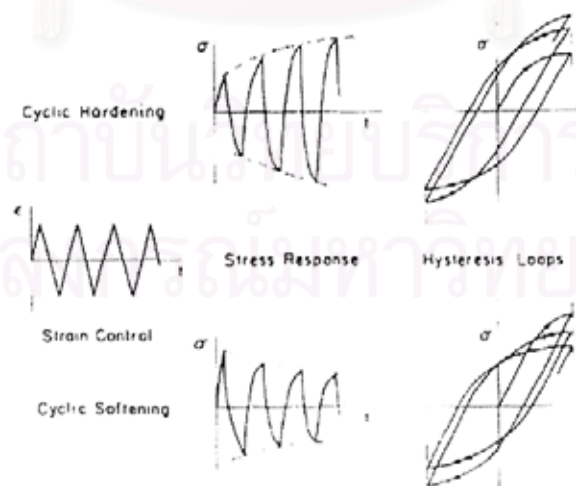
สำหรับการทดสอบเพื่อให้ได้ผลตามที่ต้องการนั้น จะมีการทดสอบอยู่หลายวิธี เช่น การตัดด้วย การดัดวัสดุด้วยน้ำหนักจำนวนหนึ่งบนเพลลา (Rotational Bending) การตัดโดยดัดน้ำหนักไว้ที่ปลายแบบ ขึ้นๆ ลงๆ (Reciprocal Bending) การบิดไปบิดกลับ (Reciprocal Torsion) และ โดยการบีตหดวัสดุในแนวแกน (Pulsating axial loads)



รูปที่ 2.4.5 แสดงวิธีสร้างแบบจำลองเพื่อทดสอบความล้า

2.4.5.2 การทดสอบความล้าโดยการควบคุมความเครียด (Strain-Controlled Fatigue Testing)

การทดสอบในแบบนี้ส่วนใหญ่จะกระทำภายใต้แรงดึงและแรงกดที่มากที่สุดเสมอ (Push-Pull Mode) ตามรูป 2.4.6 ในระหว่างการทดสอบจะเห็นว่าความสูงของกราฟฮิสเทอรีซิส จะมีทั้งแบบที่เพิ่มขึ้น และแบบที่ลดลง (Hardening and Softening) สำหรับโลหะโดยทั่วไปจะเป็นแบบลดลง (Softening) แต่สำหรับวัสดุจำพวกพลาสติก จะเป็นแบบเพิ่มขึ้น (Hardening)



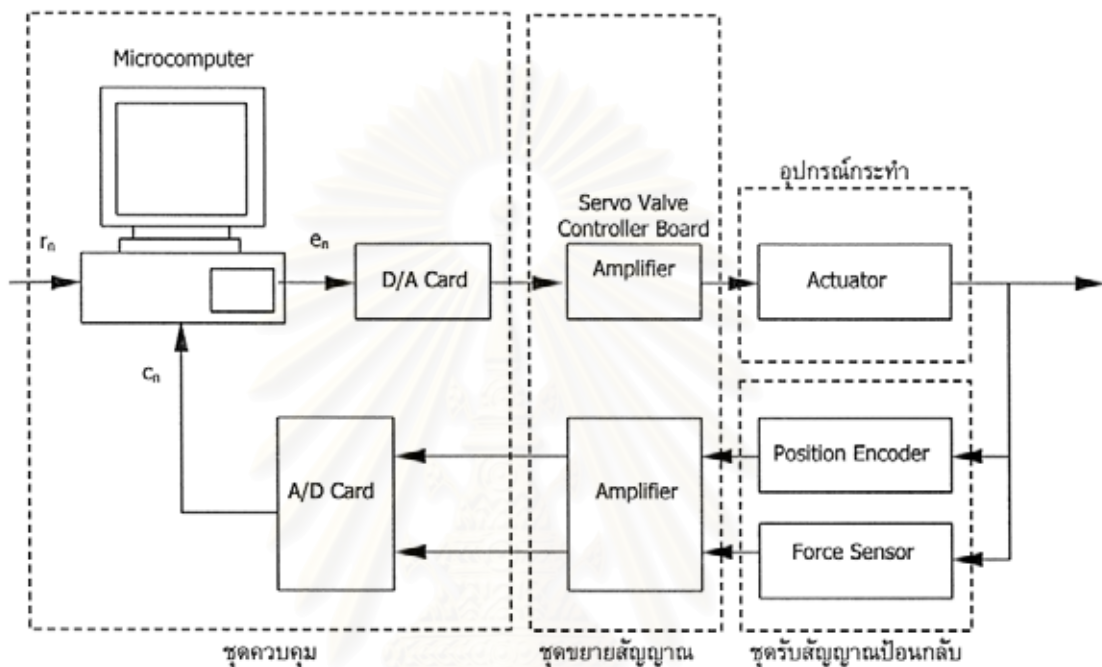
รูปที่ 2.4.6 แสดงฮิสเทอรีซิสของวัสดุชนิดต่าง ๆ

บทที่ 3

อุปกรณ์ และการออกแบบโปรแกรมทดสอบวัสดุ

3.1 อุปกรณ์ของเครื่องทดสอบวัสดุ

ในชุดอุปกรณ์นี้จะประกอบด้วยส่วนของตัวควบคุม ชุดขยายสัญญาณ อุปกรณ์กระทำ และเซนเซอร์รับสัญญาณป้อนกลับ ดังรูปที่ 3.1.1

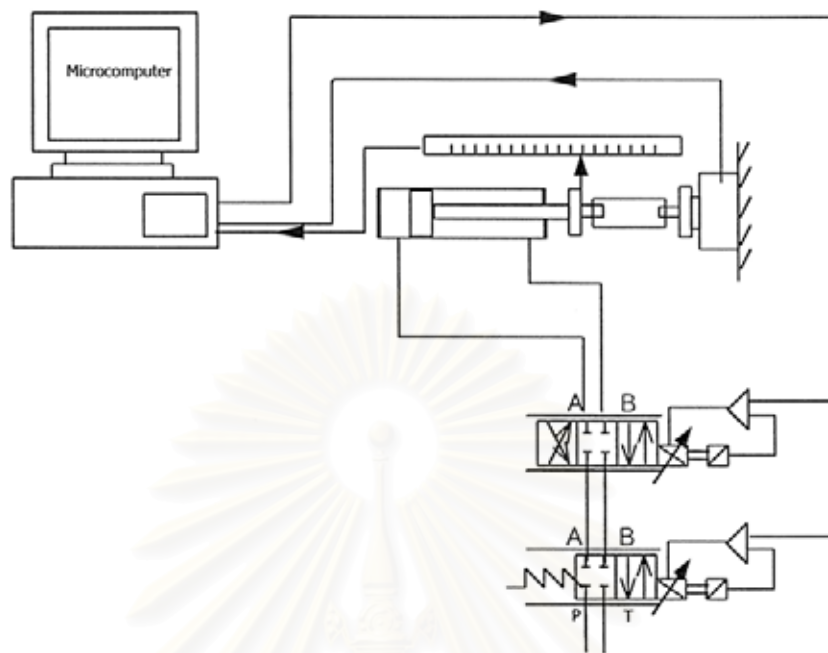


รูปที่ 3.1.1 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์ทดสอบวัสดุ

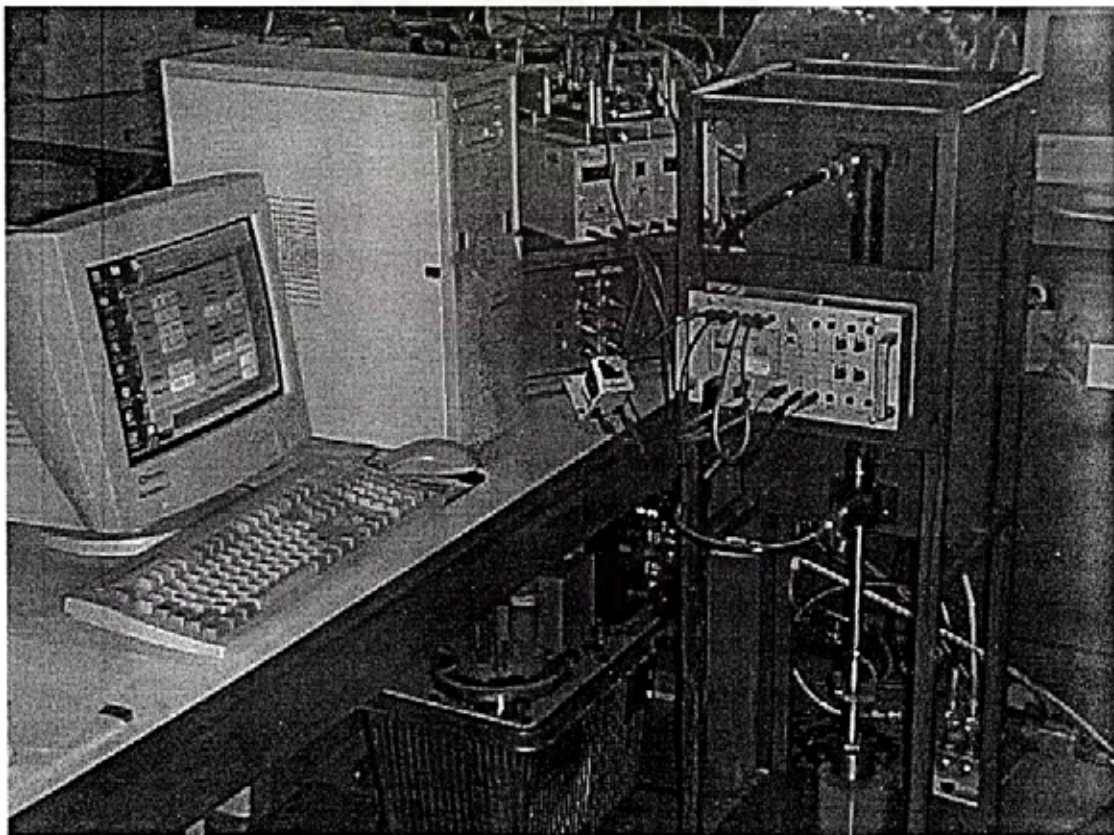
โดยในการทำงานผู้ใช้จะโปรแกรมการทำงานที่ไม่โครคอมพิวเตอร์ ตั้งค่าสภาวะการทำงาน และพารามิเตอร์ในการควบคุมต่างๆ จากนั้นคอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณออกมาโดยผ่านทางการ์ดแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณแอนะล็อก แล้วผ่านอุปกรณ์ขยายสัญญาณเพื่อควบคุมวาล์วไฮดรอลิกซึ่งมีทั้งชุดที่คุมทิศทางของกระบอกสูบ และชุดควบคุมแรงดันภายในกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบกระทำต่อชิ้นงานก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงระยะทาง และ/หรือ แรงที่กระทำต่อชิ้นงาน เราจึงใช้ตัววัดสัญญาณวัดสัญญาณการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน และแรงที่กระทำกับชิ้นงานออกมาส่งกลับไปชุดขยายสัญญาณ ก่อนเข้าไปที่การ์ดแปลงสัญญาณอะนาล็อกไปเป็นดิจิทัล เพื่อนำไปคำนวณผลในการควบคุมครั้งต่อไป

โดยอุปกรณ์ของชุดทดสอบทั้งหมดจะประกอบด้วย ดังรูปที่ 3.1.2 และรูปที่ 3.1.3

- 3.1.1) คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์แปลงสัญญาณ
- 3.1.2) ชุดอุปกรณ์ไฮดรอลิก
- 3.1.3) เซนเซอร์ และตัวจับชิ้นงาน
- 3.1.4) ชิ้นงานทดสอบ
- 3.1.5) อุปกรณ์ขยายสัญญาณ และแหล่งจ่ายพลังงาน



รูปที่ 3.1.2 การติดตั้งอุปกรณ์ไฮดรอลิก เซนเซอร์ และตัวควบคุม



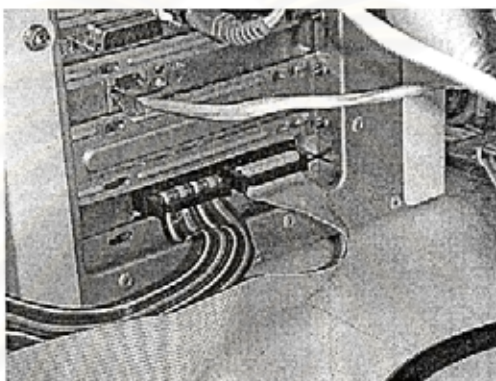
รูปที่ 3.1.3 ชุดอุปกรณ์ทดสอบวัสดุทั้งระบบ

3.1.1 คอมพิวเตอร์ และ อุปกรณ์แปลงสัญญาณ

สำหรับคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมจะมีคุณสมบัติคือ

CPU:	Pentium II 350 MHz
RAM:	64 MB
Hard Disk:	6 GB
Monitor:	15"
I/O Card:	Advantech PCL-812PG (รูปที่ 3.1.4) [13]

การ์ด I/O ที่ใช้นี้จะสามารถรับ หรือส่งสัญญาณได้ทั้งที่เป็นดิจิทัล และอะนาลอก โดยสามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก



รูปที่ 3.1.4 สายสัญญาณที่เชื่อมเข้ากับ I/O Card ของ Advantech [PCL-812 PG]

3.1.2 ชุดอุปกรณ์ไฮดรอลิก

ในชุดอุปกรณ์ไฮดรอลิกนี้จะประกอบด้วย

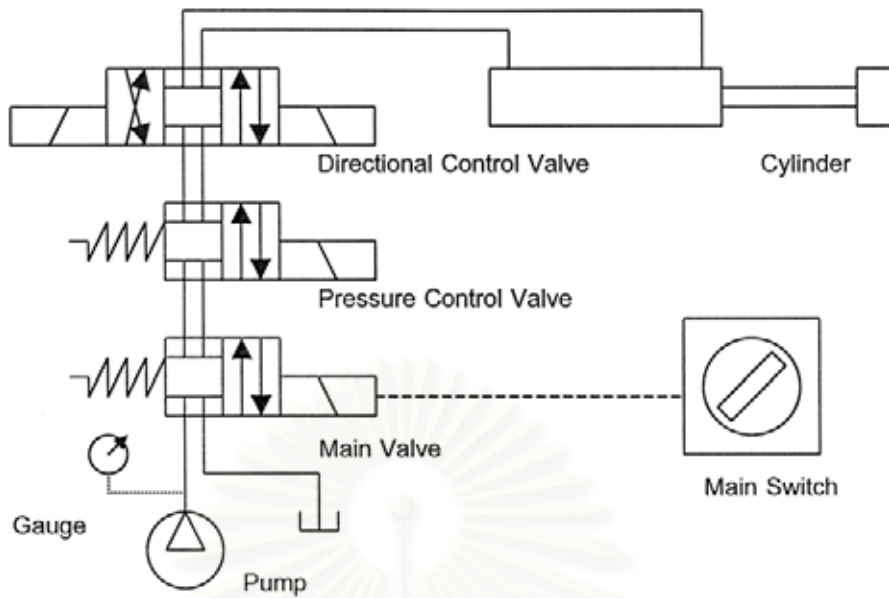
- บีมไฮดรอลิก, เมนวาล์ว, มาตรฐานวัดความดันของระบบไฮดรอลิก และ สวิตช์ไฟฟ้า สำหรับควบคุมเมนวาล์ว
- กระจบอกสูบ
- วาล์วควบคุมความดันของกระจบอกสูบ
- วาล์วควบคุมทิศทางของกระจบอกสูบ

คืออุปกรณ์ดังกล่าวจะต่อกันตั้งโต๊ะแกรมรูปที่ 3.1.5 และรูปถ่ายอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.1.6 บีมน้ำมันรูปที่ 3.1.7 จะส่งน้ำมันขึ้นมาผ่านเมนวาล์วซึ่งควบคุมแบบเปิด-ปิดด้วยสวิตช์ควบคุมแบบมือหมุน สวิตช์นี้จะส่งสัญญาณไฟฟ้าไปควบคุมขดลวดโซลินอยด์ของเมนวาล์ว หลังจากน้ำมันผ่านเมนวาล์วขึ้นมาจะไปที่วาล์วควบคุมความดันของระบบไฮดรอลิก ดังรูปที่ 3.1.8 หลังจากผ่านวาล์วควบคุมความดันก็ไปที่วาล์วควบคุมทิศทางของกระจบอกสูบ ดังรูปที่ 3.1.9 วาล์วทั้งสองนี้จะเป็นวาล์วพรอพพอชันแนลแบบวงจรมัด ซึ่งถูกควบคุมด้วยบอร์ดขยายสัญญาณควบคุมที่ต่อมาจากคอมพิวเตอร์ เมื่อน้ำมันผ่านวาล์วทั้งสองแล้วก็จะผ่านไปที่กระจบอกสูบเพื่อดึงหรือกดชิ้นงาน

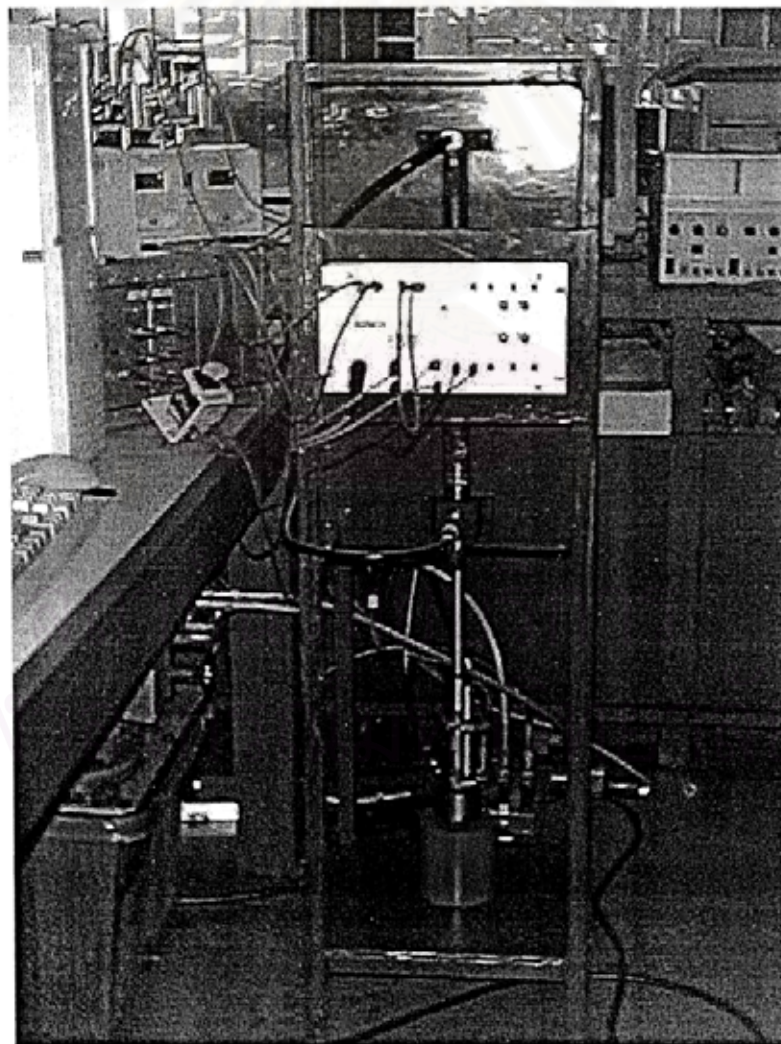
Specification:

Cylinder: Diameter = 20 mm. Height = 400 mm.

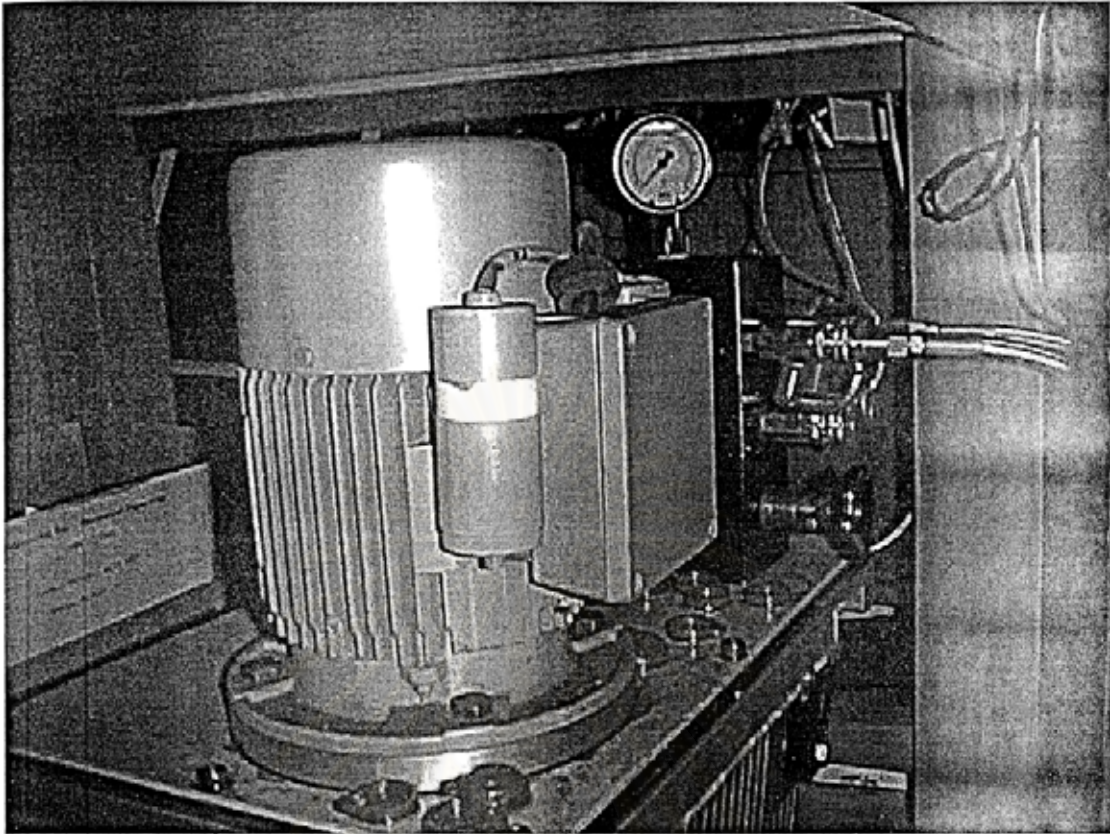
Valve: Pmax = 315 Bar P_v = 4-80 Bar



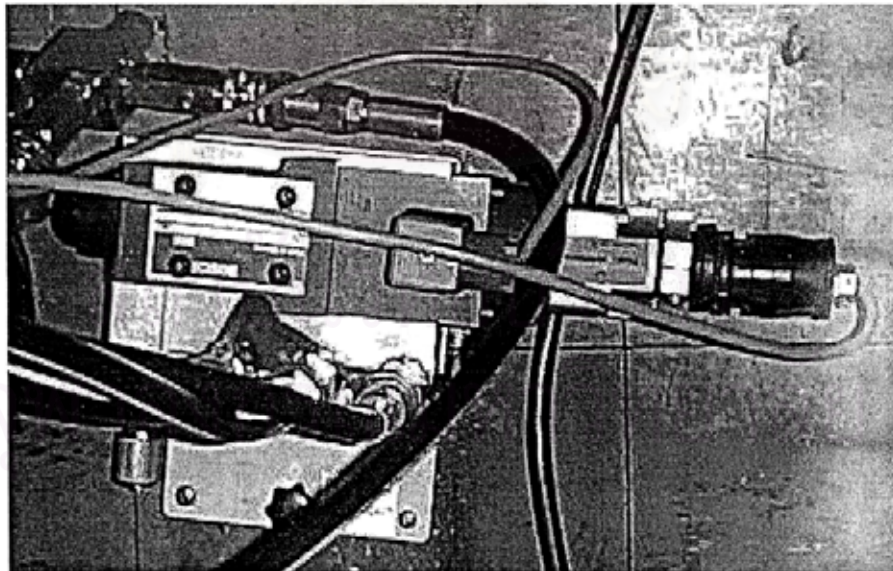
รูปที่ 3.1.5 ระบบไฮดรอลิกของเครื่องทดสอบวัสดุ



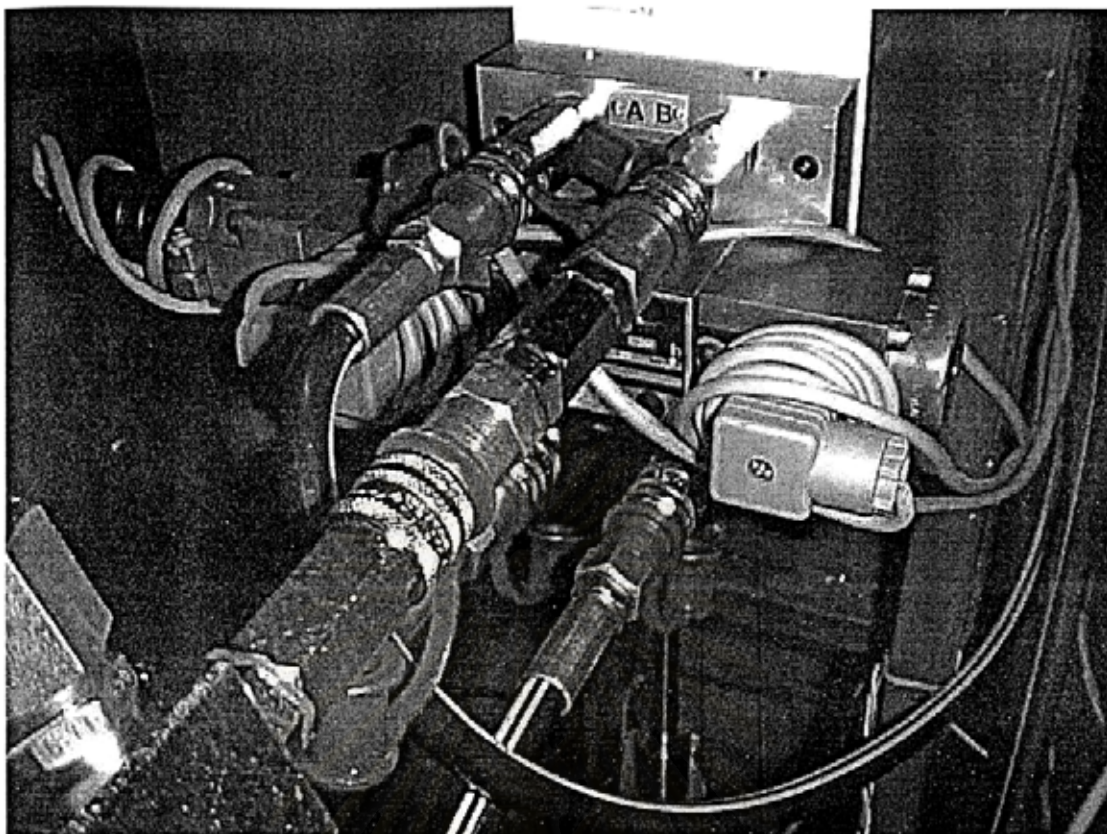
รูปที่ 3.1.6 อุปกรณ์ไฮดรอลิก



รูปที่ 3.1.7 บี้มไฮดรอลิกแบบมีวาล์วปรับความดัน และมาตรวัดระดับความดันในระบบไฮดรอลิก



รูปที่ 3.1.8 วาล์วควบคุมความดันของกระบอกสูบ



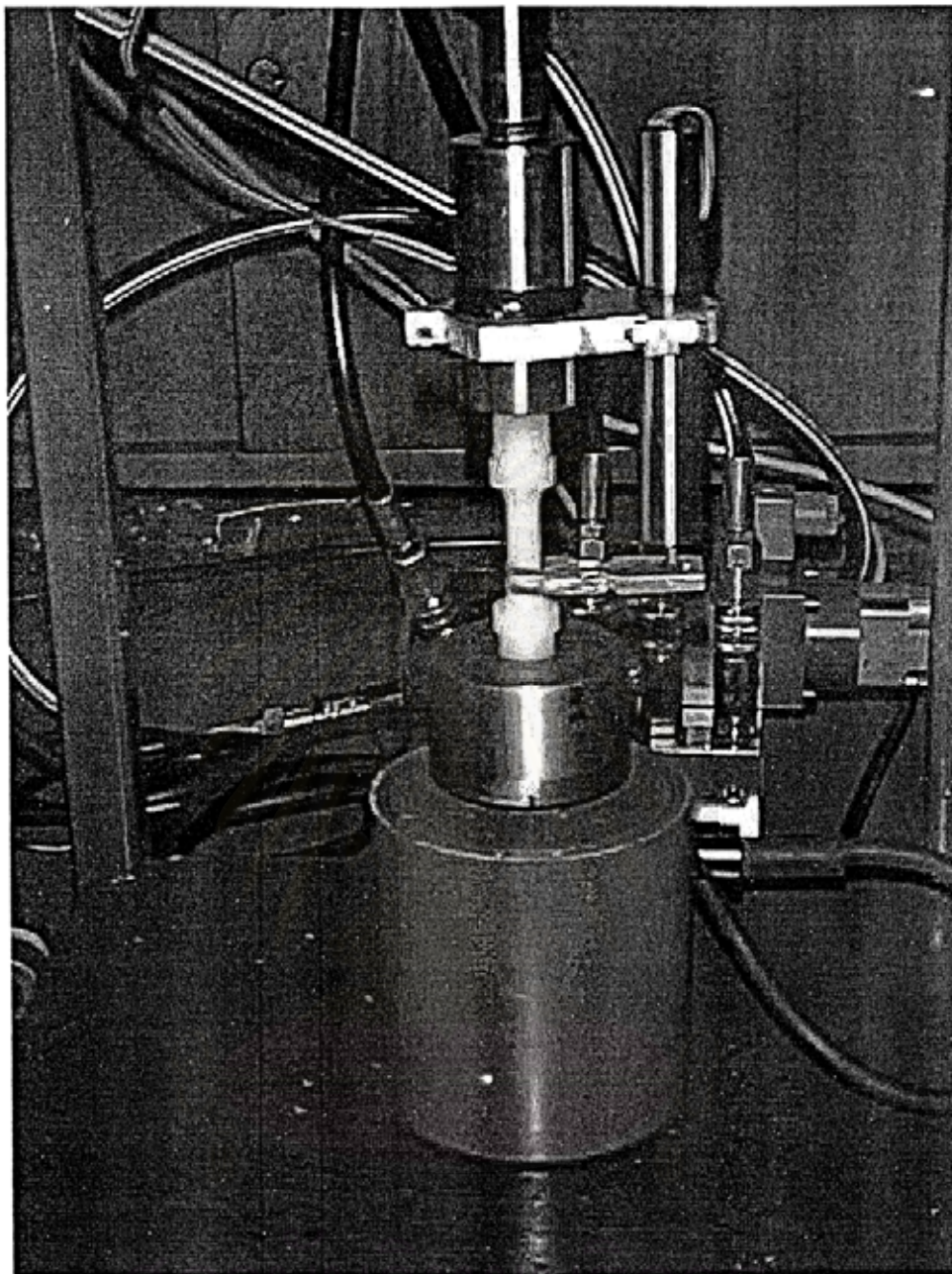
รูปที่ 3.1.9 วาล์วควบคุมทิศทางของน้ำมันเข้ากระบอบอกสูบ

3.1.3) เซนเซอร์ และตัวจับชิ้นงาน

อุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้จะมีอยู่ 2 ชนิดคือ

- ชนิดที่ใช้วัดแรง จะเป็นสเตรนเกจ (Strain Gauge)
- ชนิดที่ใช้วัดระยะทาง จะเป็น LVDT (Linear Variable Differential Transformer)

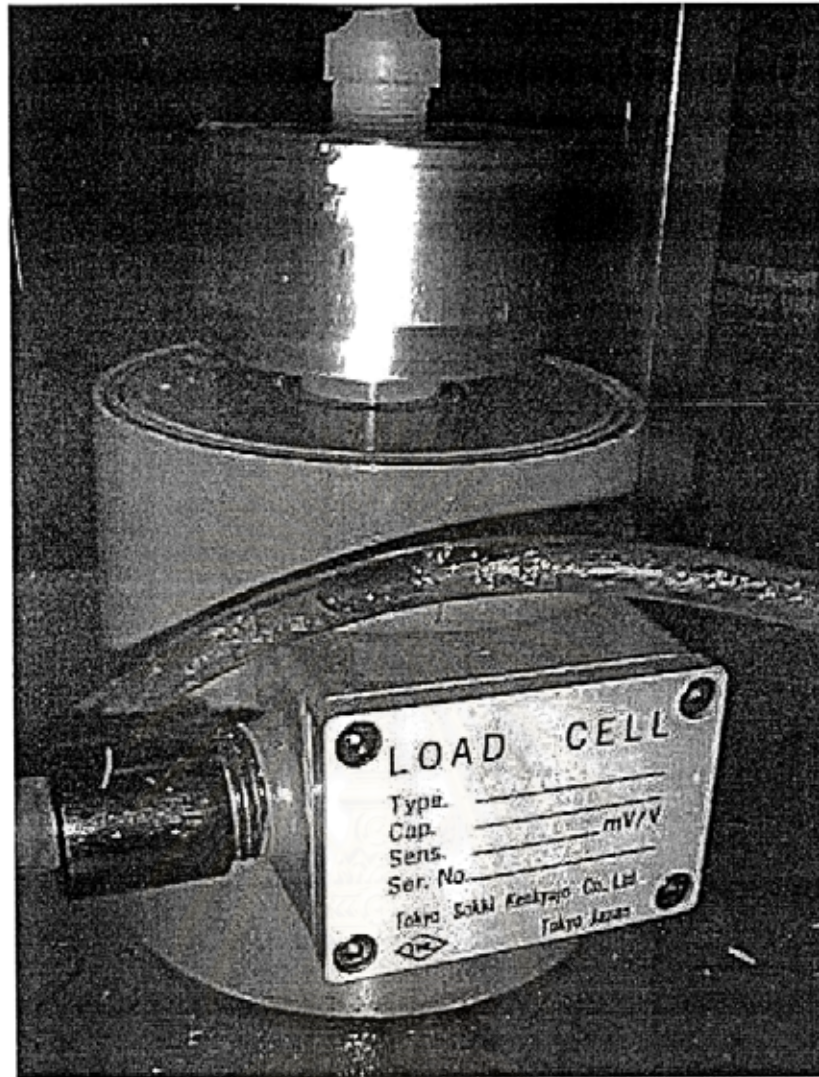
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1.10 รูปถ่ายชุดอุปกรณ์จับชิ้นงาน และเซนเซอร์

สเตรนเกจ (Strain Gauge)

อุปกรณ์วัดแรงกระทำ (Strain Gauge) ที่ใช้นี้จะเป็นของ Tokyo Sokki Kenkyujo
ซึ่งสามารถรับแรงได้มากที่สุด 2 Ton Force



รูปที่ 3.1.11 สเตรนเกจ

Load Cell Specification:

Model:	TCLP-2A
Capacity:	2 Ton
Sensitivity:	2.0 mV/V
Manufacturer:	Tokyo Sokki Kenkyujo

การสอบเทียบสเตรนเกจ

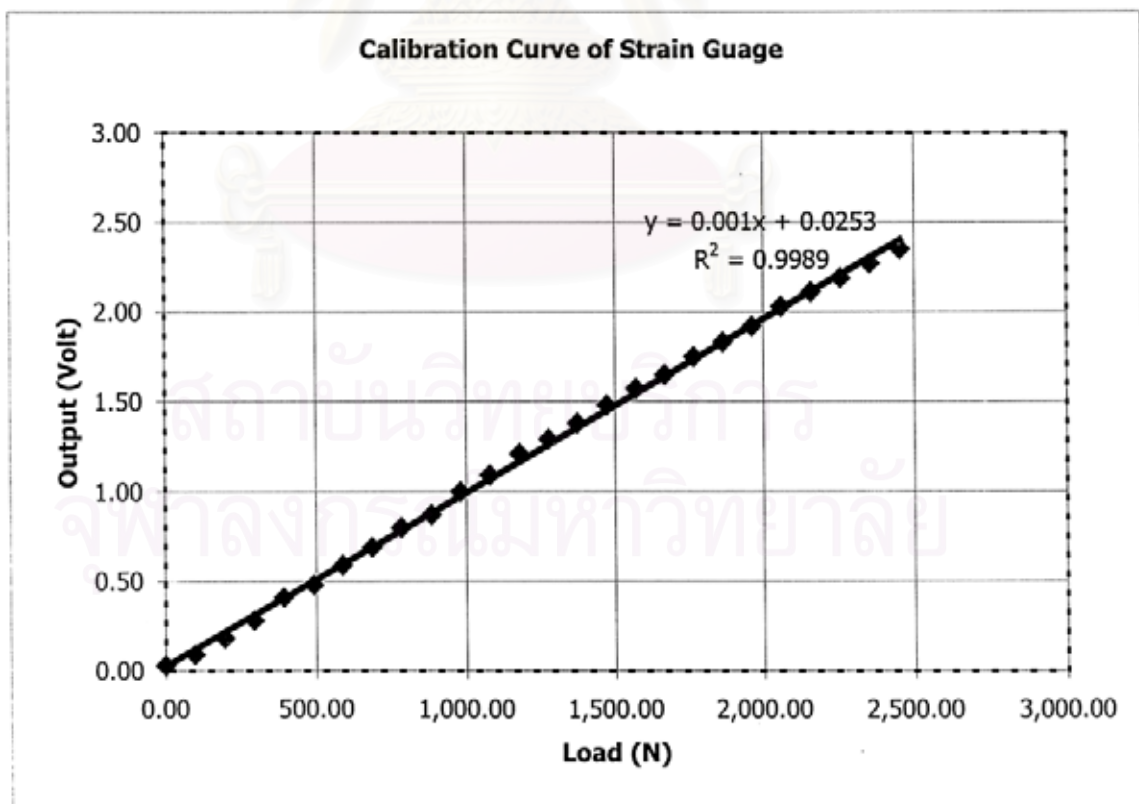
ในการสอบเทียบสเตรนเกจนี้จะต่อสเตรนเกจเข้ากับ Dynamic Strain Meter: Type DS-6003-F ซึ่งเป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณ แล้วต่อเข้าคอมพิวเตอร์โดยผ่าน A/D Card: PCL-812PG ก่อนทำการสอบเทียบนี้จะต้องมีการปรับเครื่องมือ Dynamic Strain Meter ให้

CALIB	= 100×10^{-6}
Low Pass Filter Frequency (LPF)	= 10Hz
Attn. Value	= 0.1
Gain	= 0.5

หลังจากนั้นจะทำการใส่น้ำหนักไปที่สเตรนเกจแล้วอ่านค่าที่ได้จากโปรแกรม และบันทึกผล จะได้ผลดังตารางที่ 3.1.1 และเมื่อนำข้อมูลที่ได้อัปโหลดกราฟจะได้ดังรูปที่ 3.1.12 สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับ Specification ของตัวสเตรนเกจ, Dynamic Strain Meter, และ PCL-812 PG ดูได้ในภาคผนวก

Load (N)	Output (Volt)	Load (N)	Output (Volt)
0.00	0.03	1,275.30	1.29
98.10	0.09	1,373.40	1.38
196.20	0.18	1,471.50	1.48
294.30	0.28	1,569.60	1.57
392.40	0.41	1,667.70	1.65
490.50	0.48	1,765.80	1.75
588.60	0.59	1,863.90	1.83
686.70	0.69	1,962.00	1.92
784.80	0.80	2,060.10	2.03
882.90	0.87	2,158.20	2.11
981.00	1.00	2,256.30	2.19
1,079.10	1.09	2,354.40	2.27
1,177.20	1.21	2,452.50	2.35

ตารางที่ 3.1.1 ผลการสอบเทียบสเตรนเกจ



รูปที่ 3.1.12 กราฟแสดงผลการสอบเทียบสเตรนเกจ

จากกราฟรูปที่ 3.1.12 เมื่อพิจารณาดูจะพบว่าลักษณะของกราฟจะเป็นเส้นตรง ค่าความชันของกราฟที่ได้คือ 0.001 Volt/N หรือจะได้ค่าเกินของสเตรนเกจ = 1000 N/Volt

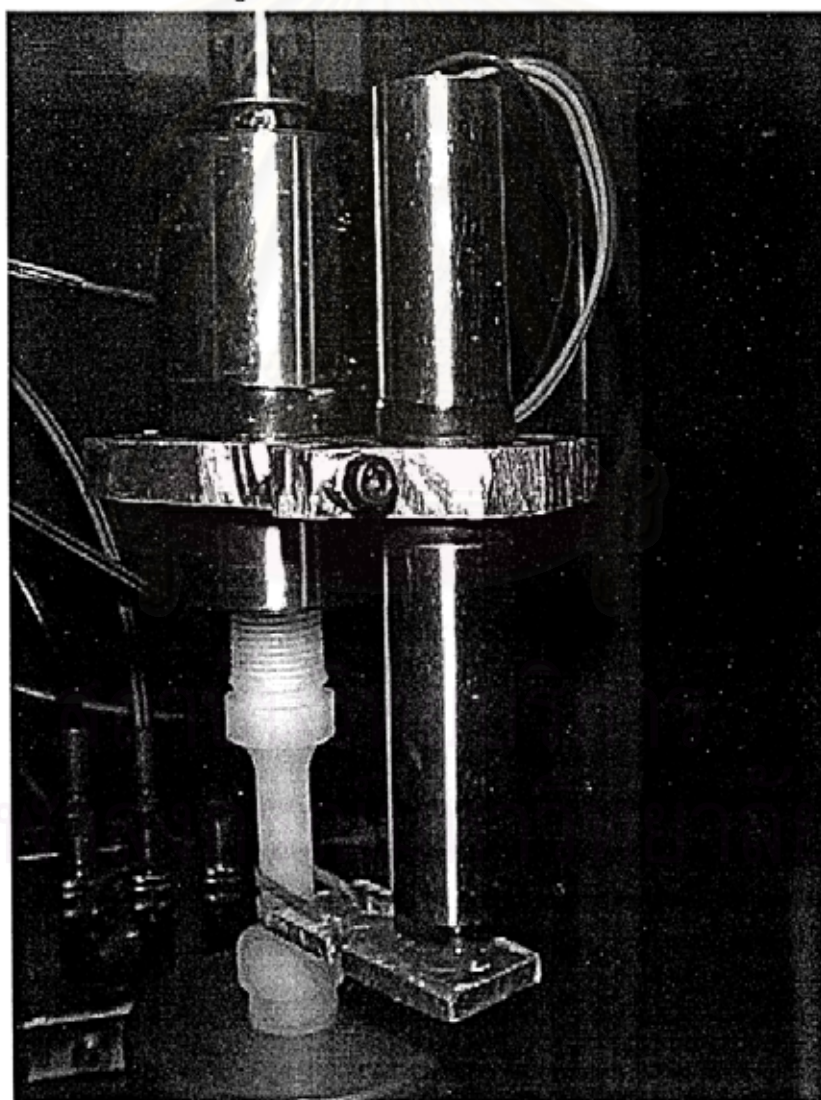
ตัววัดระยะทาง (LVDT)

Linear variable-differential-transformers (LVDT) : Trans-Tek Incorporated

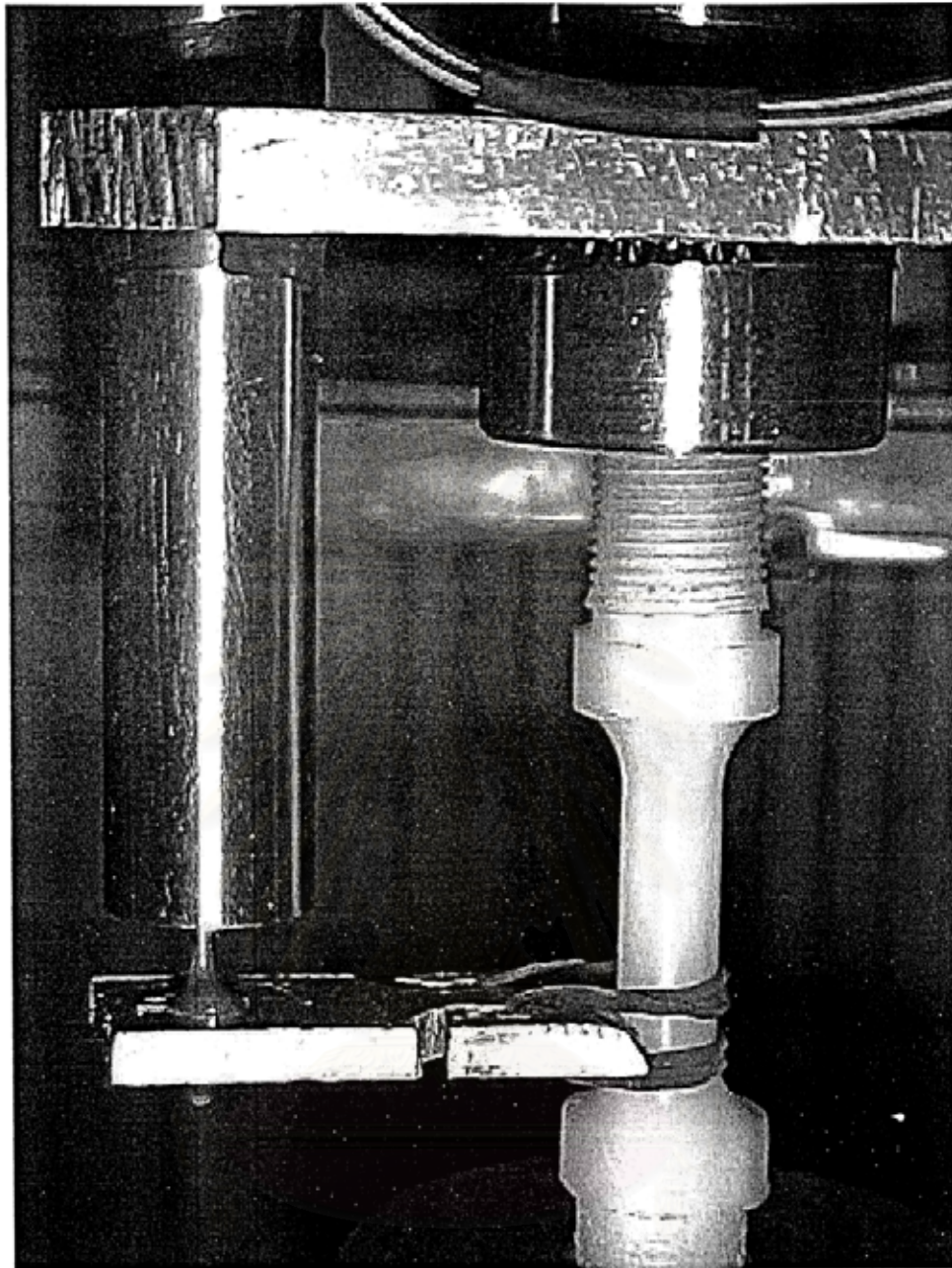
Calibration Record

Model No.	0244-0000	
Input Voltage	30	VDC Max.
	6	VDC Min.
Full scale output	20.0	VDC @ 24 VDC excitation
Linearity	$\pm 0.5\%$	
Input:	Red (+),	Black (-)
Output:	Blue (+),	Green (-)

Output is positive with core moving toward lead end.



รูปที่ 3.1.13 การติดตั้งตัววัดระยะทางเข้ากับตัวจับชิ้นงาน



รูปที่ 3.1.14 การติดตั้งตัววัดระยะทางเข้ากับชิ้นงานทดสอบ

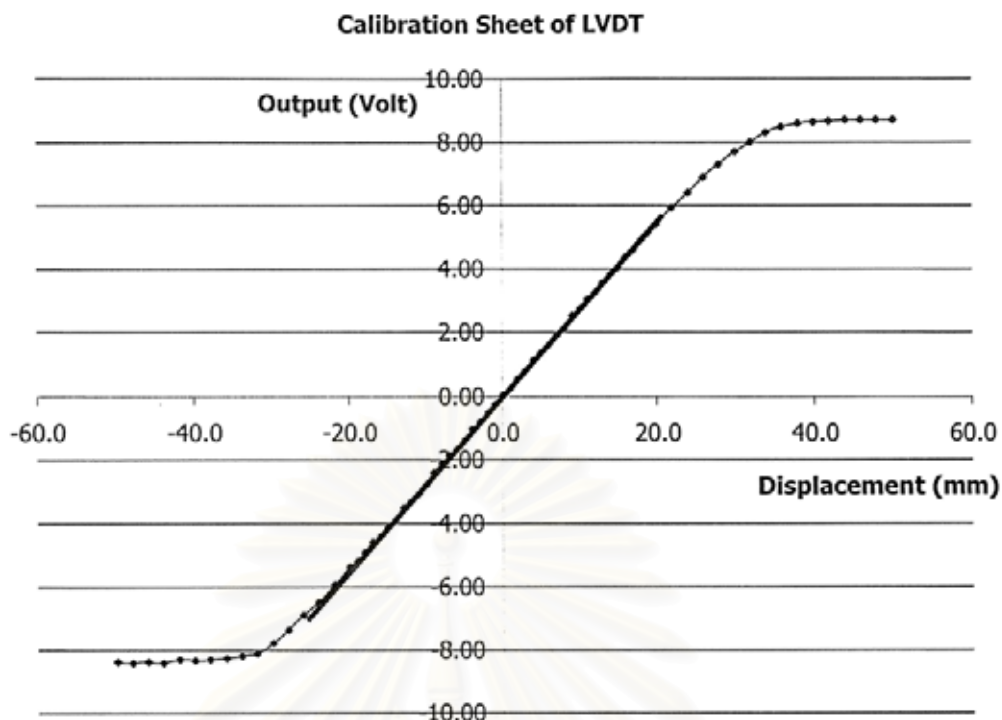
การสอบเทียบตัววัดระยะทาง

การสอบเทียบตัววัดระยะทางนี้จะใช้ชุดเครื่องมือทดสอบมาตรฐาน โดยจะมีขนาดชิ้นงานมาตรฐานอยู่หลายขนาด โดยในการทดสอบจะเริ่มจากการปรับแกนกลางของตัววัดระยะทางให้อยู่ตรงกลางก่อนแล้วตั้งให้ตำแหน่งตรงนี้เป็นศูนย์ จากนั้นจะใส่ชิ้นงานขนาดมาตรฐานโดยค่อยๆ เพิ่มขนาดชิ้นงานเรื่อยๆ แล้วบันทึกผล ดังตารางที่ 3.1.2 และเมื่อนำมาพล็อตกราฟจะได้ดังรูปที่ 3.1.15

Displacement (mm)	Output (Volt)
-50	-8.39
-48	-8.41
-46	-8.37
-44	-8.41
-42	-8.31
-40	-8.35
-38	-8.29
-36	-8.25
-34	-8.20
-32	-8.11
-30	-7.79
-28	-7.38
-26	-6.91
-24	-6.48
-22	-5.95
-20	-5.39
-19	-5.19
-18	-4.92
-17	-4.59
-16	-4.41
-15	-4.17
-14	-3.89
-13	-3.53
-12	-3.34
-11	-3.09
-10	-2.78
-9	-2.42
-8	-2.13
-7	-1.88
-6	-1.68
-5	-1.39
-4	-1.06
-3	-0.82
-2	-0.55
-1	-0.27
0	0.01

Displacement (mm)	Output (Volt)
1	0.25
2	0.55
3	0.80
4	1.11
5	1.34
6	1.62
7	1.90
8	2.14
9	2.53
10	2.74
11	3.04
12	3.28
13	3.55
14	3.81
15	4.03
16	4.39
17	4.61
18	4.92
19	5.16
20	5.42
22	5.95
24	6.40
26	6.90
28	7.30
30	7.70
32	8.00
34	8.30
36	8.50
38	8.60
40	8.65
42	8.68
44	8.70
46	8.71
48	8.72
50	8.72

ตารางที่ 3.1.2 ผลการสอบเทียบตัววัดระยะทาง

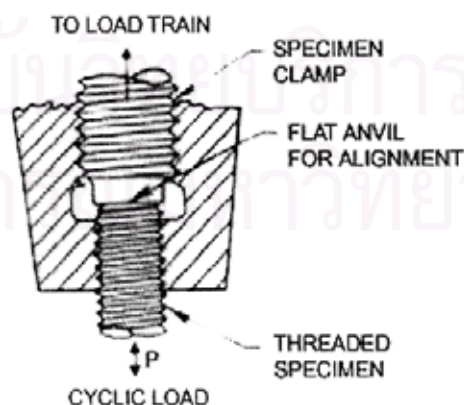


รูปที่ 3.1.15 กราฟแสดงการสอบเทียบตัววัดระยะทาง

จากกราฟรูปที่ 3.1.15 แสดงผลการสอบเทียบตัววัดระยะทาง จะพบว่ากราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรง เฉพาะช่วงประมาณ -25 mm ถึง 25 mm คือช่วงนี้จะเป็นช่วงที่เหมาะสมกับการใช้งานเท่านั้นสำหรับระยะทางที่น้อยกว่านี้ หรือระยะทางที่มากกว่านี้ค่าแรงดันที่วัดได้จะไม่แปรผันตรงกับระยะทาง ทำให้ไม่สามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์วัดได้ จากนั้นเมื่อทำการหาค่าความชันของกราฟตรงช่วงที่แปรผันตรงจะได้ค่าความชันหรือค่าเกนของตัววัดระยะทางคือ 0.27

ตัวยึดจับชิ้นงาน (Specimen Fixture)

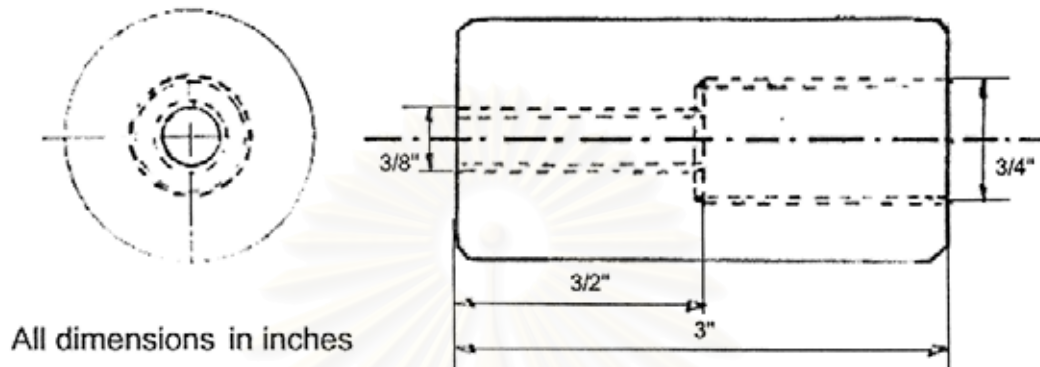
สำหรับตัวยึดจับชิ้นงานนี้จะใช้ตามมาตรฐาน ASTM E 606-92 ดังรูปที่ 3.1.16 [14]



รูปที่ 3.1.16 รูปแบบของตัวยึดจับชิ้นงาน (ASTM E 606-92)

จากมาตรฐานนี้ เราจะใช้รูป (c) มาออกแบบตัวยึดชิ้นงาน ทั้งนี้เนื่องจากสามารถเป็นตัวจับยึดชิ้นงานเพื่อการทดสอบได้ทั้งแบบ ความเค้นดึง ความเค้นกด และ ความล้าได้ ดังรูป 3.1.17 [15]

Fixture (Gripper)

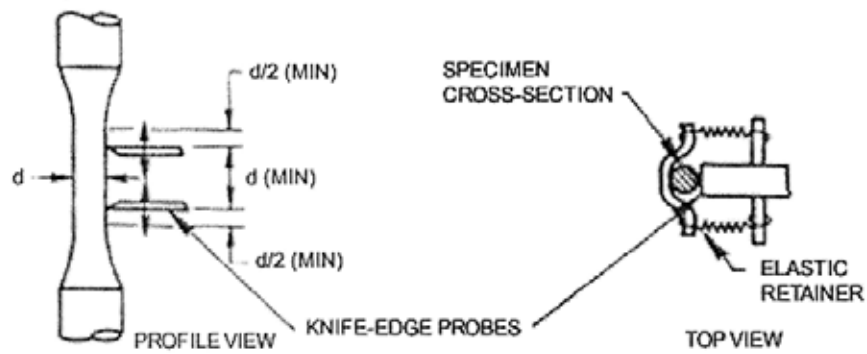


รูปที่ 3.1.17 ตัวยึดชิ้นงาน และชิ้นงานทดสอบ

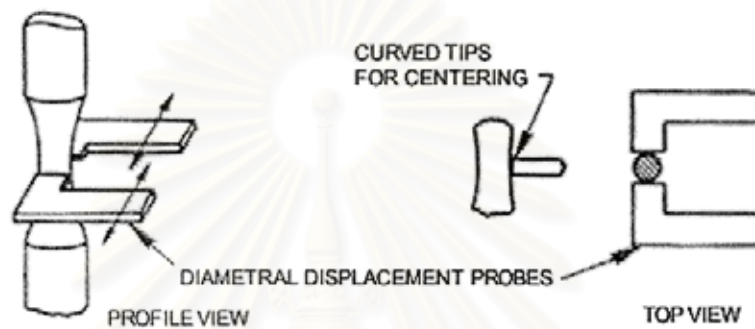
ตัวจับยึด LVDT

สำหรับตัวยึดตัววัดระยะทางจะอิงมาตรฐานตามรูป 3.1.18 แต่ด้วยข้อจำกัดจากน้ำหนักของตัววัดระยะทางเองจึงได้มีการดัดแปลงตัวยึดจับให้เป็นการวัดแบบกึ่งวัดเทียบกับชิ้นงาน (Semi-relative measurement)

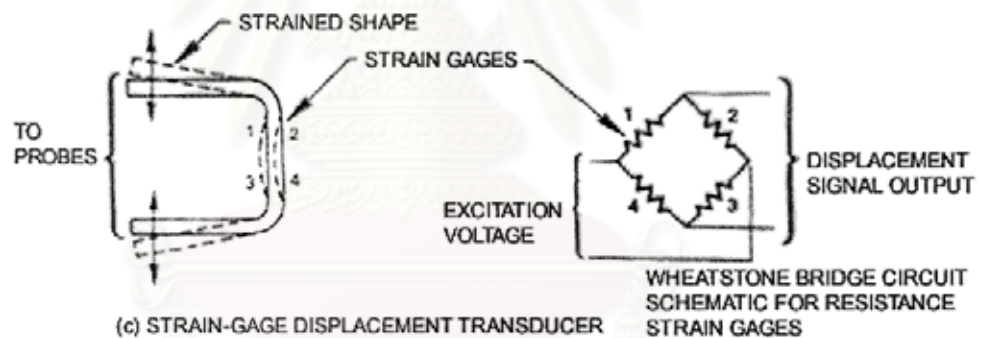
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



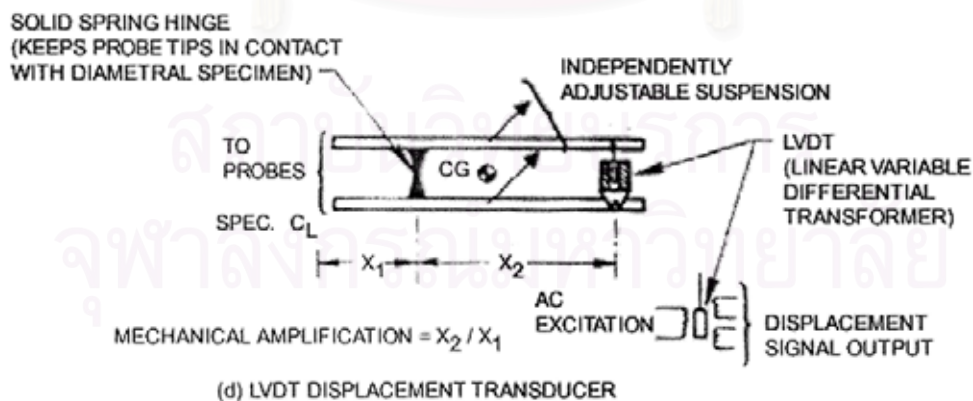
(a) LONGITUDINAL DISPLACEMENT MEASUREMENT FOR UNIFORM GAGE SPECIMEN. PROBES MAY BE ATTACHED TO EITHER TRANSDUCER (c) OR (d).



(b) DIAMETRAL DISPLACEMENT MEASUREMENT FOR HOURGLASS SPECIMEN. PROBES MAY BE ATTACHED TO EITHER TRANSDUCER (c) OR (d).



(c) STRAIN-GAGE DISPLACEMENT TRANSDUCER

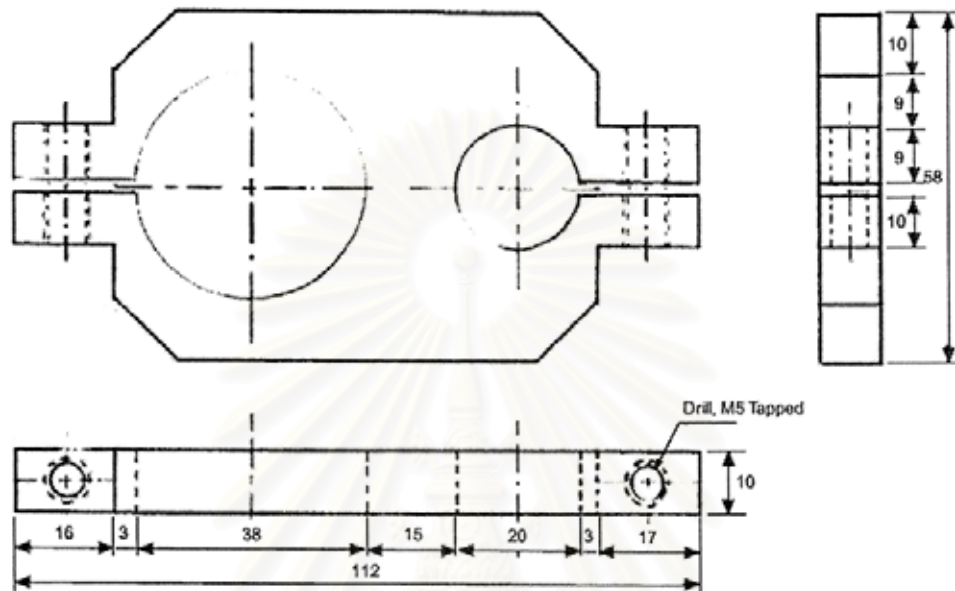


(d) LVDT DISPLACEMENT TRANSDUCER

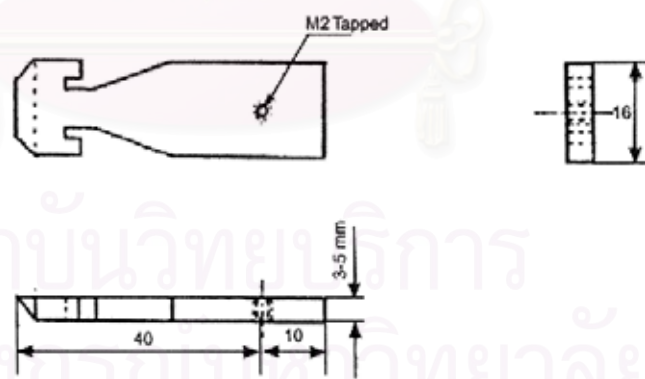
รูปที่ 3.1.18 ตัวอย่างของการออกแบบตัววัดจับเพื่อวัดระยะเคลื่อนของชิ้นงาน (ASTM E 606-92)

โดยจากรูปที่ 3.1.18 รูป (a) ได้นำมาดัดแปลงเพื่อให้ตัววัดระยะทางสามารถยึดติดกับตัวจับชิ้นงานในส่วนด้านบน โดยวัสดุที่ใช้จะเป็นอลูมิเนียม สำหรับส่วนด้านล่างจะทำให้มีลักษณะเบา และง่ายต่อการยึดเข้ากับชิ้นงาน จุดที่เป็นตะขอจะทำไว้เพื่อให้สามารถใส่ยางดึงเข้าติดกับชิ้นงานได้ ดังรูปที่ 3.1.19

LVDT Gripper: Top



LVDT Gripper: Bottom

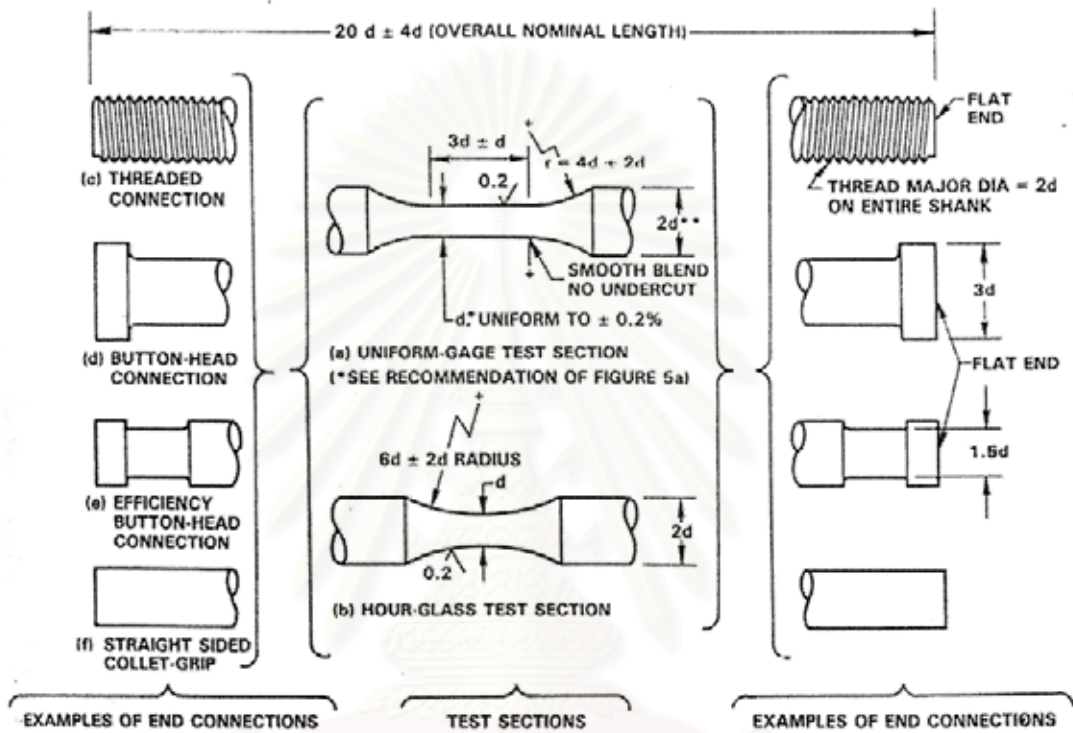


All Dimensions in millimetre

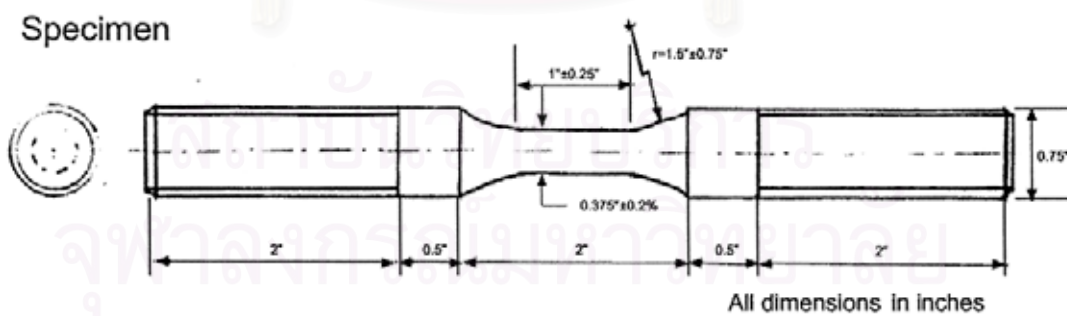
รูปที่ 3.1.19 ตัวยึดจับตัววัดระยะทางสำหรับเครื่องทดสอบ

3.1.4) ชิ้นงานทดสอบ

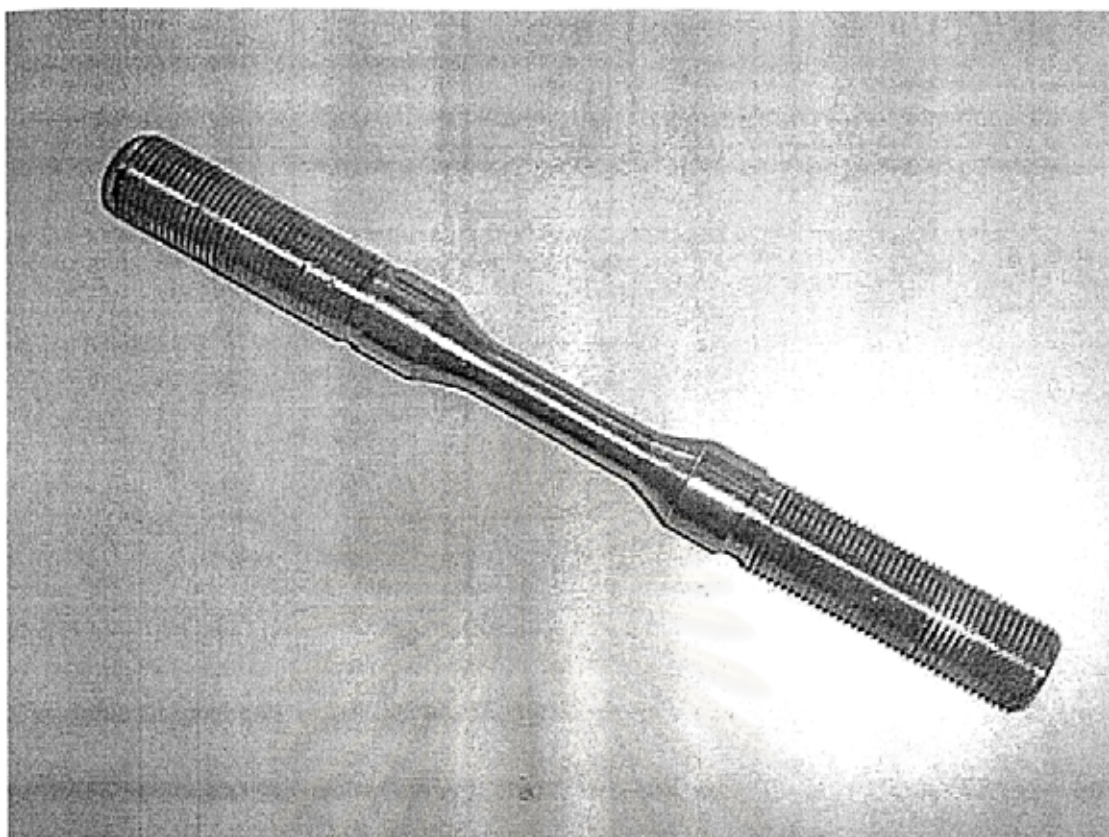
สำหรับชิ้นงานทดสอบนี้จะใช้มาตรฐานตาม ASTM E 606-92 [14] ตามรูปที่ 3.1.20 โดยจะเลือกชิ้นงานชนิดที่ปลายทั้งสองข้างเป็นเกลียว ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง ณ บริเวณทดสอบ (d) อยู่ที่ 3/8 นิ้ว วัสดุที่จะนำมาทำเป็นชิ้นงานทดสอบจะเป็นพลาสติกวิศวกรรมชนิดโพลีอะซีทัล (Polyacetals: POM หรือ Polyformaldehydes) ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นสูง ตามรูปที่ 3.1.21



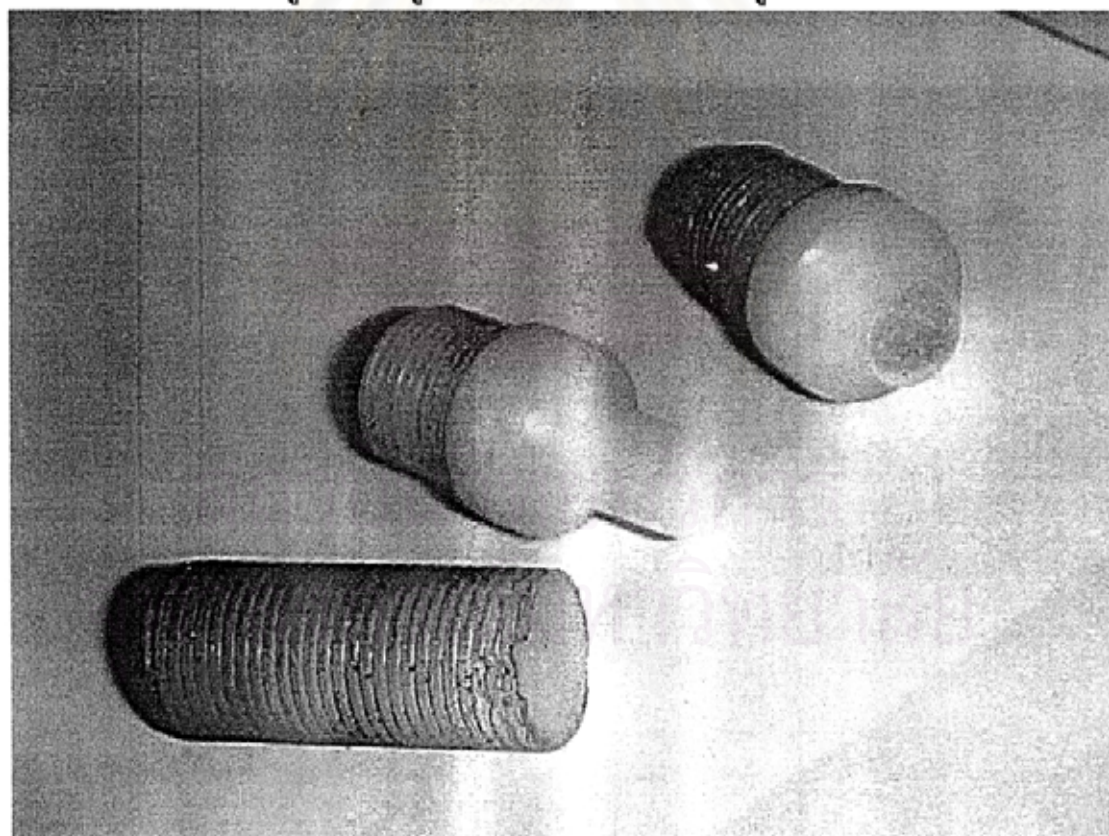
รูปที่ 3.1.20 มาตรฐานของชิ้นงานทดสอบขนาดเล็ก (ASTM E 606-92)



รูปที่ 3.1.21 ชิ้นงานสำหรับทดสอบ



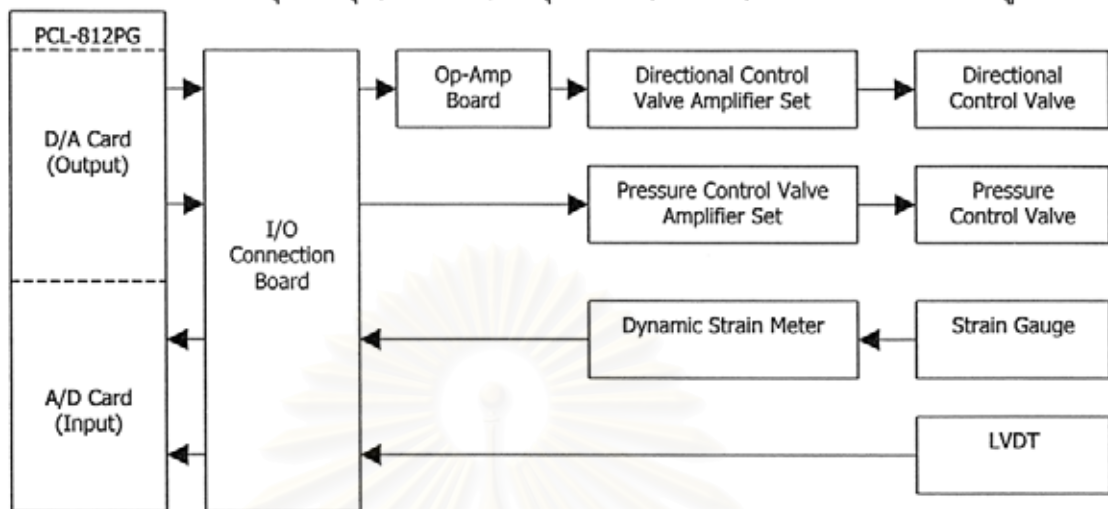
รูปที่ 3.21.22 รูปชิ้นงานทดสอบต้นแบบที่ทำจากอลูมิเนียม



รูปที่ 3.1.23 รูปชิ้นงานทดสอบที่ทำมาจากพลาสติกที่แตกหักเนื่องจากการทดสอบ

3.1.5) อุปกรณ์ขยายสัญญาณ และแหล่งจ่ายพลังงาน

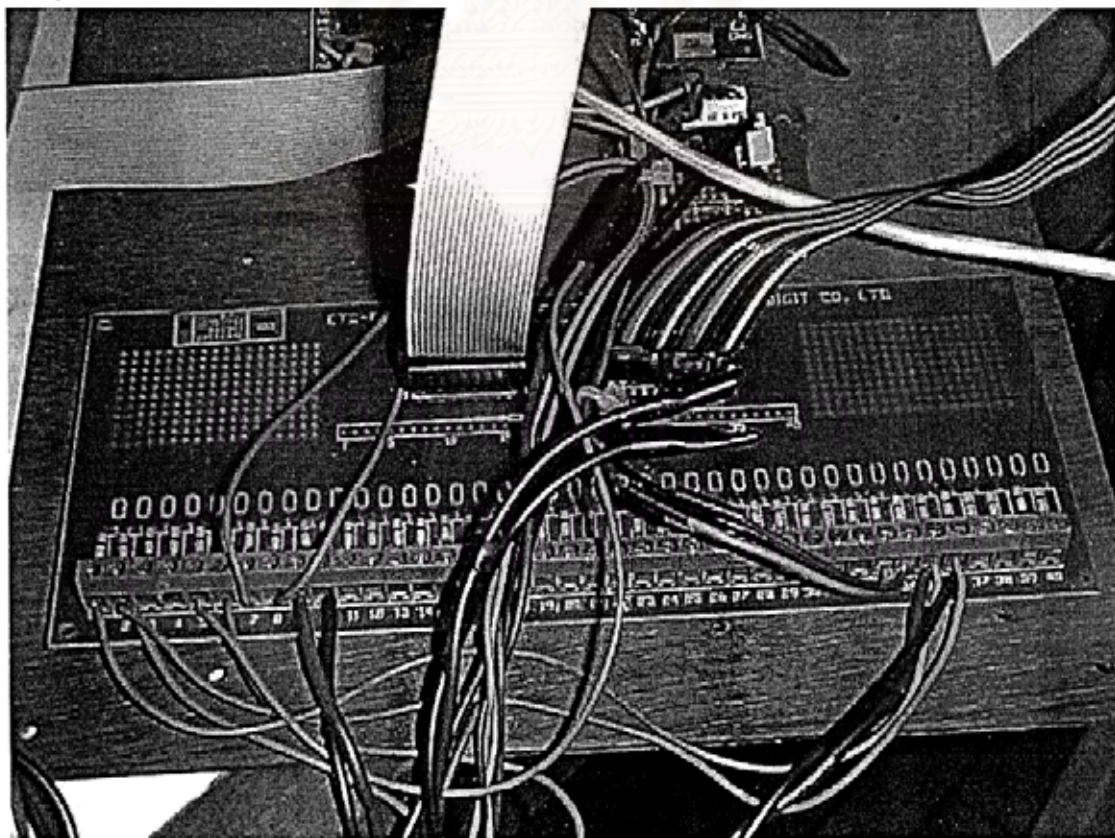
สำหรับอุปกรณ์ขยายสัญญาณ และแหล่งจ่ายพลังก็เป็นอุปกรณ์อีกชุดหนึ่งที่มีความสำคัญ อุปกรณ์เหล่านี้จะเป็นตัวเชื่อมระหว่างชุดควบคุม(Controller) กับชุดกระทำ (Actuator) โดยจะมีการทำงานตามรูป



รูปที่ 3.1.24 การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ควบคุม และเซนเซอร์โดยผ่านชุดขยายสัญญาณ

ชุดรับส่งสัญญาณ (I/O Connection Board)

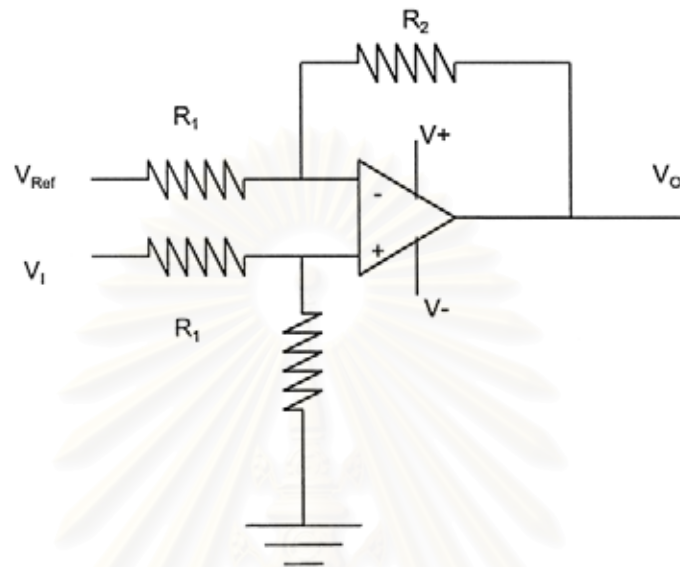
ที่บอร์ดนี้จะเป็นจุดเชื่อมสัญญาณระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ควบคุม และเซนเซอร์ จากรูป สายแพทั้งสองเส้นจะต่อมาจากการ์ด PCL-812PG ในคอมพิวเตอร์ ส่วนจุดเชื่อมต่อด้านล่างจะต่อไปยังอุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ 3.1.25 ชุดรับส่งสัญญาณ

ชุดขยายช่วงสัญญาณความถี่: บอร์ดออปแอมป์ (Op-Amp Board)

เนื่องจากช่วงสัญญาณที่ออกมาจากบอร์ด PCL-812PG จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 10 โวลต์ แต่สัญญาณที่จะควบคุมบอร์ดขยายสัญญาณของวาล์วควบคุมทิศทางต้องอยู่ในช่วง -10 ถึง 10 โวลต์ ดังนั้นจึงได้จัดทำบอร์ดออปแอมป์เพื่อขยายสัญญาณให้อยู่ในช่วงที่ต้องการ [16]



รูปที่ 3.1.26 วงจรขยายช่วงสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์

จากรูปอัตราขยายของวงจรออปแอมป์ (Op-Amp Gain, K_o) = R_2 / R_1

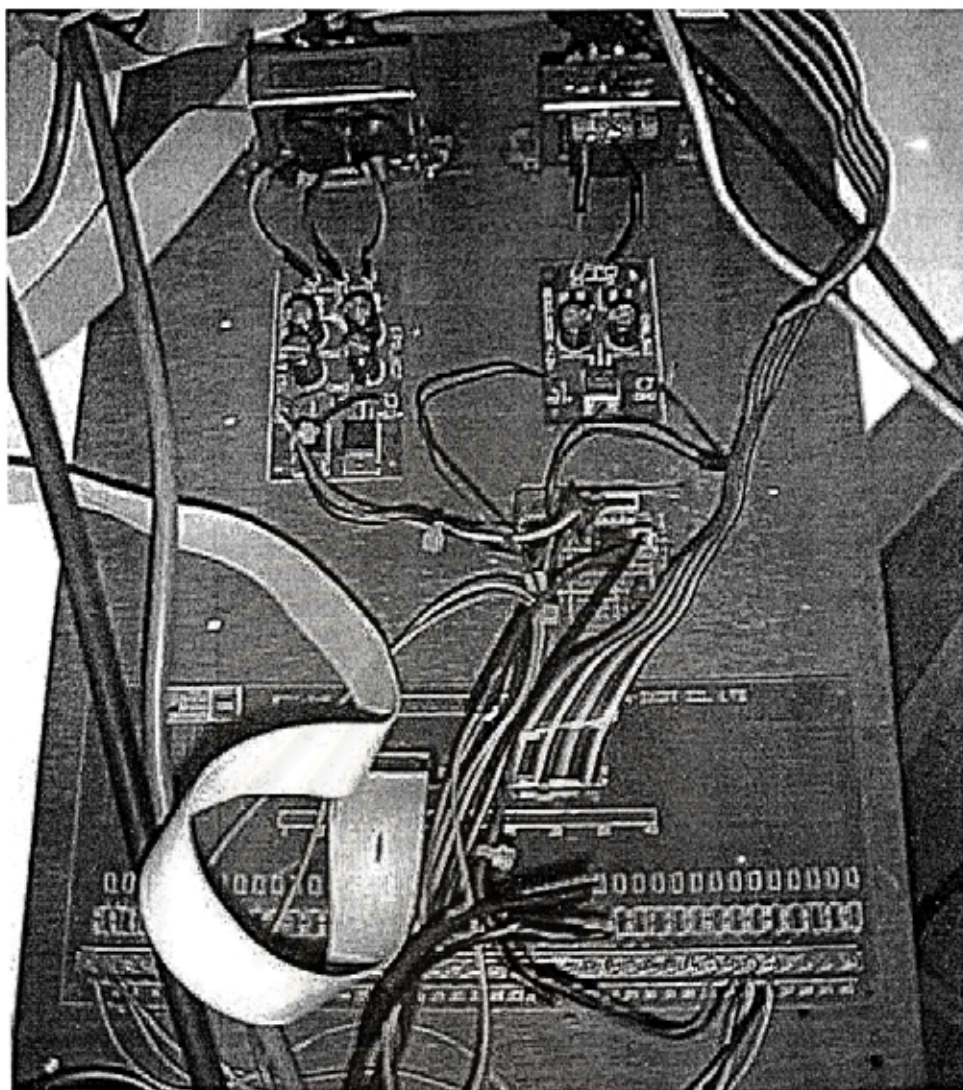
โดยให้ $R_1 = 1 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 2 \text{ K}\Omega$ จะได้ค่า

$$K_o = R_2 / R_1 = 2$$

และเมื่อให้ $V_{\text{Ref}} = 5$ โวลต์, $V_+ = 15$ โวลต์ และ $V_- = -15$ โวลต์

ถ้า V_i มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 10 โวลต์ ค่าของ V_o จะมีค่าในช่วง -10 ถึง 10 โวลต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



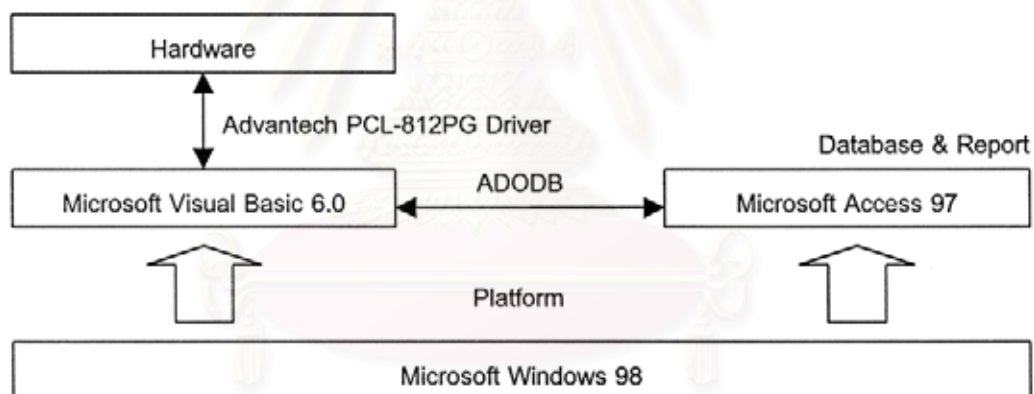
รูปที่ 3.1.27 ชุดอุปกรณ์ขยายช่วงสัญญาณควบคุม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การออกแบบโปรแกรมทดสอบวัสดุ

ในการพัฒนาระบบนี้ผู้วิจัยได้เลือกพัฒนาระบบติดต่อกับผู้ใช้บน Microsoft Windows 98 เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้รูปภาพเป็นส่วนใหญ่ในการติดต่อกับผู้ใช้ ทำให้ง่ายต่อการใช้งานและสามารถเข้าใจได้ง่าย สำหรับในการพัฒนาจะใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio โดยเลือกใช้ Microsoft Visual Basic 6.0 ในการพัฒนาระบบติดต่อ และควบคุมอุปกรณ์ สำหรับการเก็บข้อมูลและการออกรายงานของการทดสอบ ตัวเลือก และข้อมูลต่างๆ จะใช้ระบบฐานข้อมูลของ Microsoft Access 97 โดยผ่านการติดต่อทาง ODBC (Open Database Connectivity) สำหรับเหตุผลในการเลือกโปรแกรมเหล่านี้ก็เพราะ

1. เป็นโปรแกรมของผู้พัฒนา Software รายใหญ่ ทำให้มั่นใจได้ว่าโปรแกรมที่เลือกใช้ (Microsoft Visual Studio, Microsoft Access) จะมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง [17]
2. ทางผู้พัฒนาฮาร์ดแวร์ (Advantech) ได้พัฒนา Driver ของบอร์ดจากเดิมที่ต้องติดต่อผ่านระบบ DOS ให้สามารถใช้ในระบบ Windows95/98 ซึ่งจะมีผลดีกับโปรแกรมทั้งในเรื่องของความเร็วของโปรแกรม และในเรื่องของการพัฒนาเพื่อเป็นต้นแบบ
3. การติดต่อกับฐานข้อมูลผ่านทาง ADODB ทำให้สามารถเปลี่ยนระบบฐานข้อมูลได้ง่าย โดยอาจจะเปลี่ยนจาก Microsoft Access ไปเป็น Microsoft SQL Server หรือ Oracle หรือทำการติดต่อผ่าน Internet ก็ได้



รูปที่ 3.2.1 โปรแกรมที่เลือกใช้ และการติดต่อระหว่างโปรแกรม

จากการศึกษาระบบข้างต้น เมื่อทำการวิเคราะห์ระบบทดสอบทั้งหมดแล้วนำมาเขียนเป็นผังการทำงานสำหรับโปรแกรมทดสอบวัสดุ โดยในโปรแกรมจะใช้แบบ MDI (Multiple Document Interface) ซึ่งเป็นแถบเมนูในการเข้าหน้าจอแต่ละหน้า ทำให้สะดวกในการเข้าถึงหน้าจอและใช้งาน นอกจากนั้นยังมีแถบเครื่องมือ (Toolbar) ทำให้การเข้าถึงโปรแกรมเป็นไปได้อย่างขึ้น ในส่วนของการออกแบบก็จะเป็นแบบโมดูลทำให้สามารถแก้ไข และออกแบบเพิ่มเติมต่อได้ง่าย

การออกแบบโปรแกรมเพื่อทดสอบวัสดุนี้ออกแบบให้สามารถทดสอบหาความกดดัน ความเค้นดึง ความล้าที่ควบคุมแรง และความล้าที่ควบคุมระยะทางได้ โดยจะสามารถตรวจเช็คสถานะปัจจุบันของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ไม่ว่าจะเป็นสเตรณเกจ ตัววัดระยะทาง (LVDT) หรือค่าแรงดันที่ส่งออกไปควบคุมได้ สามารถตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม อย่างเช่นค่าเกนพี-ไอ-ดี ค่าเกนของอุปกรณ์วัดต่างๆ คาบของการควบคุม (Sampling Time) ค่าแรงหรือระยะทางมากที่สุดที่ระบบสามารถรับได้ก่อนสั่งหยุดระบบไฮดรอลิก

หลังจากที่ทำการทดสอบแล้วก็จะสามารถบันทึกค่าสภาวะของการทดสอบ วัสดุที่ใช้ ค่าแรงที่กระทำกับวัสดุทดสอบ รวมทั้งระยะของวัสดุทดสอบที่ยืด หรือหดได้ และเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จึงได้จัดทำระบบออกรายงาน และพล็อตกราฟด้วย

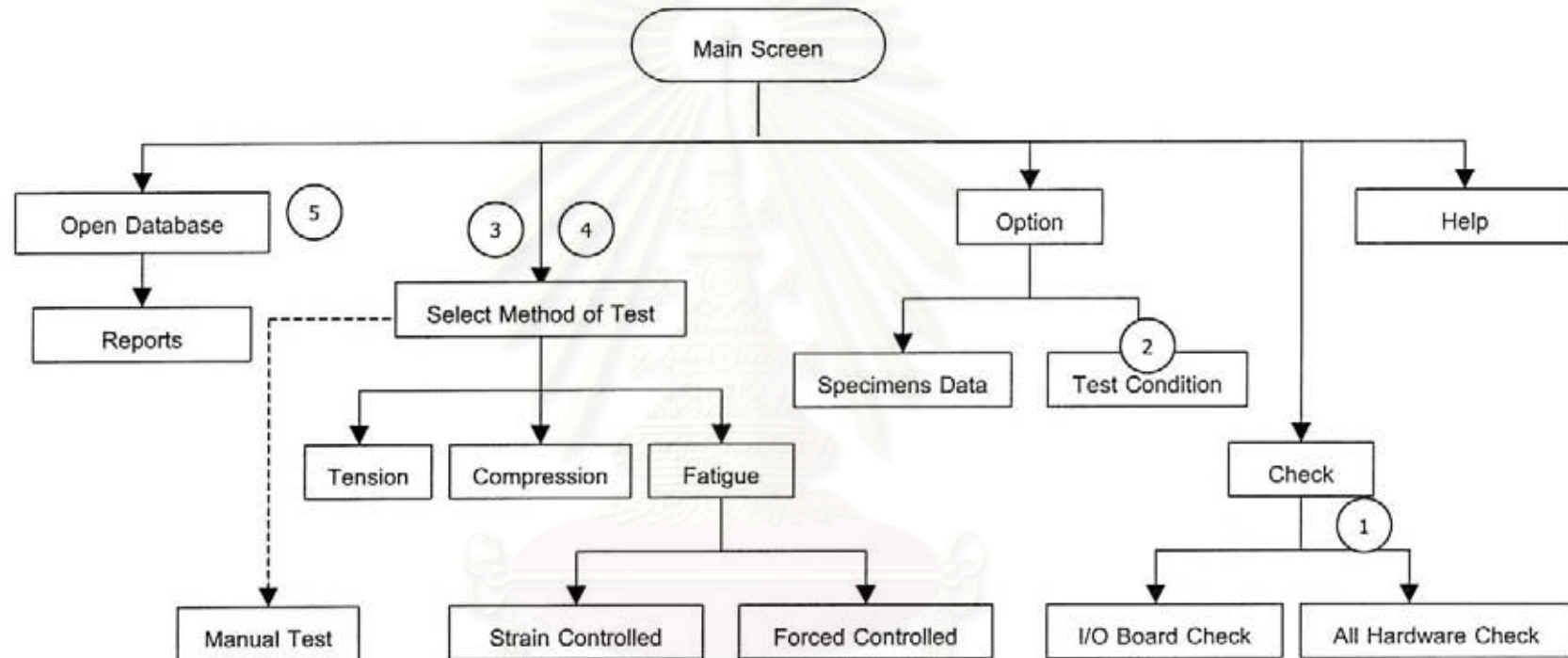
รูปที่ 3.2.2 เป็นผังการทำงานของโปรแกรมทดสอบวัสดุ ในการทดสอบเมื่อผู้ทดสอบเปิดคอมพิวเตอร์และสั่งโปรแกรมทำงาน

1. ตรวจสอบเซตอุปกรณ์ทั้งหมดของระบบ
2. ปรับแต่งค่าตัวเลือกของโปรแกรม
3. เลือกวิธีทำการทดสอบ
4. ทดสอบ และบันทึกผล
5. ตรวจสอบผลการทดสอบ และจัดพิมพ์รายงาน

3.2.1) การออกแบบระบบฐานข้อมูล (Database Design)

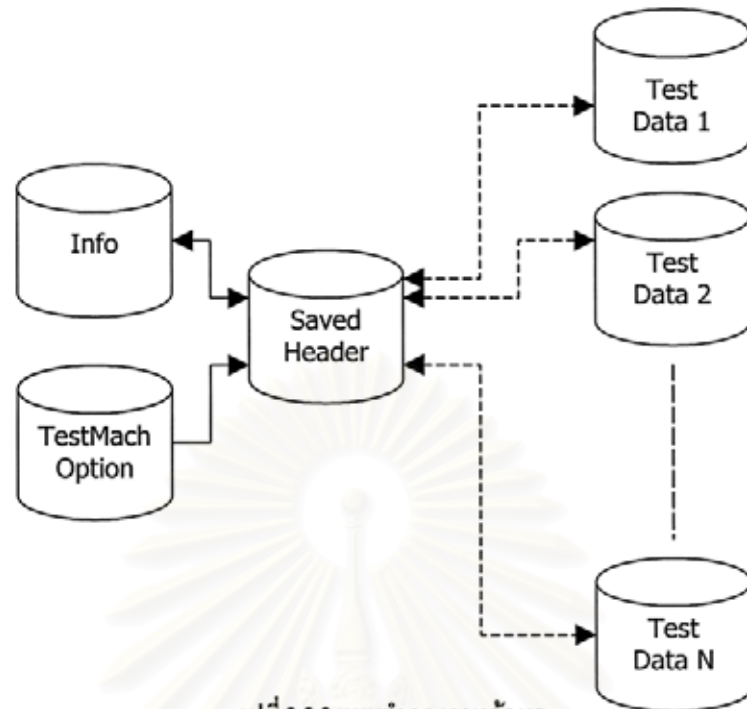
ในระบบนี้จะแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเป็นตาราง และส่วนที่ใช้ในการออกรายงาน โดยการเก็บข้อมูลนั้นจะแยกออกเป็น 4 ตาราง คือ [18]

- Info (ใช้เก็บลักษณะของชิ้นงานทดสอบ)
- TestMachOption (ใช้เก็บสถานะของการทดสอบอย่างค่าเกณฑ์ของตัวทดสอบ แรงมากที่สุดที่ได้รับได้ก่อนหยุดอุปกรณ์ ฯลฯ)
- TestData (เก็บข้อมูลของการทดสอบ ไม่ว่าจะเป็นแรงที่กำลังกระทำกับชิ้นงาน ระยะยืดของวัสดุ รวมทั้งค่าความดันที่ส่งออกไปควบคุม)
- SavedHeader (ใช้เก็บสถานะของการทดสอบ ณ การทดสอบใดๆ โดยจะเชื่อมกับตาราง Info และตั้งค่า TestMachOption ณ ขณะทดสอบมาเก็บไว้)

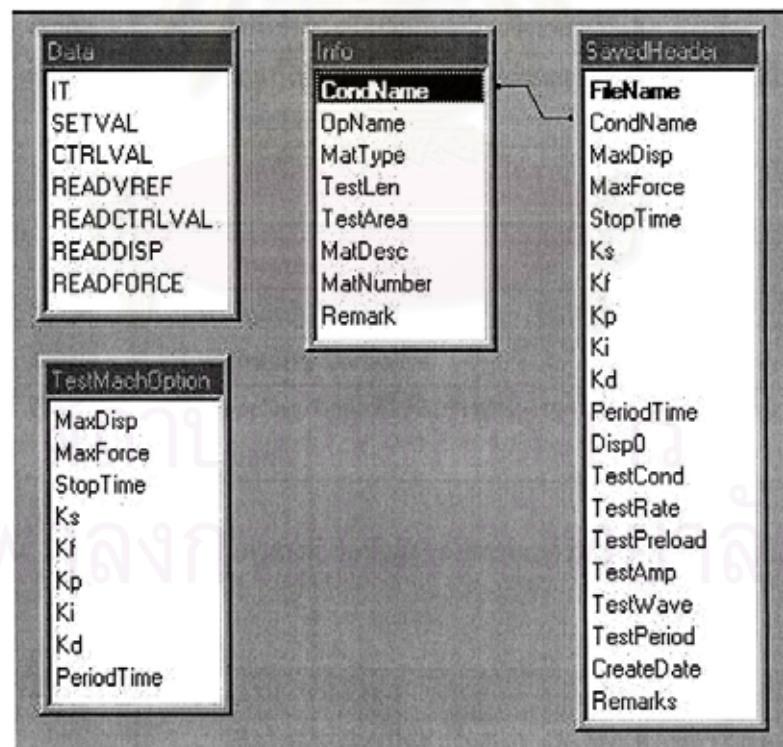


สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.2.2 ผังการทำงานของระบบควบคุมเครื่องทดสอบวัสดุ



รูปที่ 3.2.3 แบบจำลองฐานข้อมูล

Data Dictionary

รูปที่ 3.2.4 โครงสร้างของฐานข้อมูล

3.2.1.1) ตาราง *Info* จะเป็นตารางซึ่งเก็บข้อมูลของชิ้นงานที่นำมาทดสอบโดยมีรายละเอียดคือ

ชื่อ	ชนิดตัวแปร	ความหมาย
CondName	Text(20)	ชื่อ หรือสถานะของชิ้นงานทดสอบ
OpName	Text(50)	ชื่อผู้ทดสอบ
MatType	Text(30)	ชนิดของชิ้นงานที่นำมาทดสอบ (ประเภทของวัสดุ)
TestLen	Single	ความยาวของชิ้นงานตรงบริเวณที่ทดสอบ (mm)
TestArea	Single	พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานตรงจุดที่ทดสอบ (mm ²)
MatDesc	Memo	คำอธิบายลักษณะอื่นๆ ของชิ้นงาน
MatNumber	Long Integer	หมายเลขชิ้นงาน
Remark	Memo	หมายเหตุอื่นๆ

3.2.1.2) ตาราง *TestMachOption* เป็นตารางที่เก็บสถานะของการทดสอบ ณ ปัจจุบันไว้โดยที่

ชื่อ	ชนิดตัวแปร	ความหมาย
MaxDisp	Single	ระยะทางที่มากที่สุดที่วัดได้ก่อนที่จะหยุดระบบไฮดรอลิกทั้งหมด (ในการควบคุม ค่ามากที่สุดของ SetValue ที่คำนวณได้จะใช้ค่านีหารสอง - Safety Factor=2)
MaxForce	Single	ระยะทางที่มากที่สุดที่วัดได้ก่อนที่จะหยุดระบบไฮดรอลิกทั้งหมด (ในการควบคุม ค่ามากที่สุดของ SetValue ที่คำนวณได้จะใช้ค่านีหารสอง - Safety Factor=2)
StopTime	Single	เวลาที่ใช้ทดสอบมากที่สุดก่อนที่จะหยุดระบบทดสอบ
Ks	Single	ค่าเกณฑ์ใช้แปลงค่าโวลต์ที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดระยะทางไปเป็นค่าประมาณของระยะทาง
Kf	Single	ค่าเกณฑ์ใช้แปลงค่าโวลต์ที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงไปเป็นค่าประมาณของแรง
Kp	Single	ค่าเกณฑ์แบบ Proportional
Ki	Single	ค่าเกณฑ์แบบ Integral
Kd	Single	ค่าเกณฑ์แบบ Derivative
PeriodTime	Single	Sampling Time ที่ใช้ในการอ่านค่าจากเซนเซอร์ จำนวน แล้วส่งค่ากลับไปควบคุม

3.2.1.3) ตาราง *SavedHeader* เป็นตารางที่เก็บข้อมูลของสถานะการทดสอบที่สภาวะหนึ่งๆ โดยตารางนี้จะเชื่อมต่อกับตาราง *TestData*

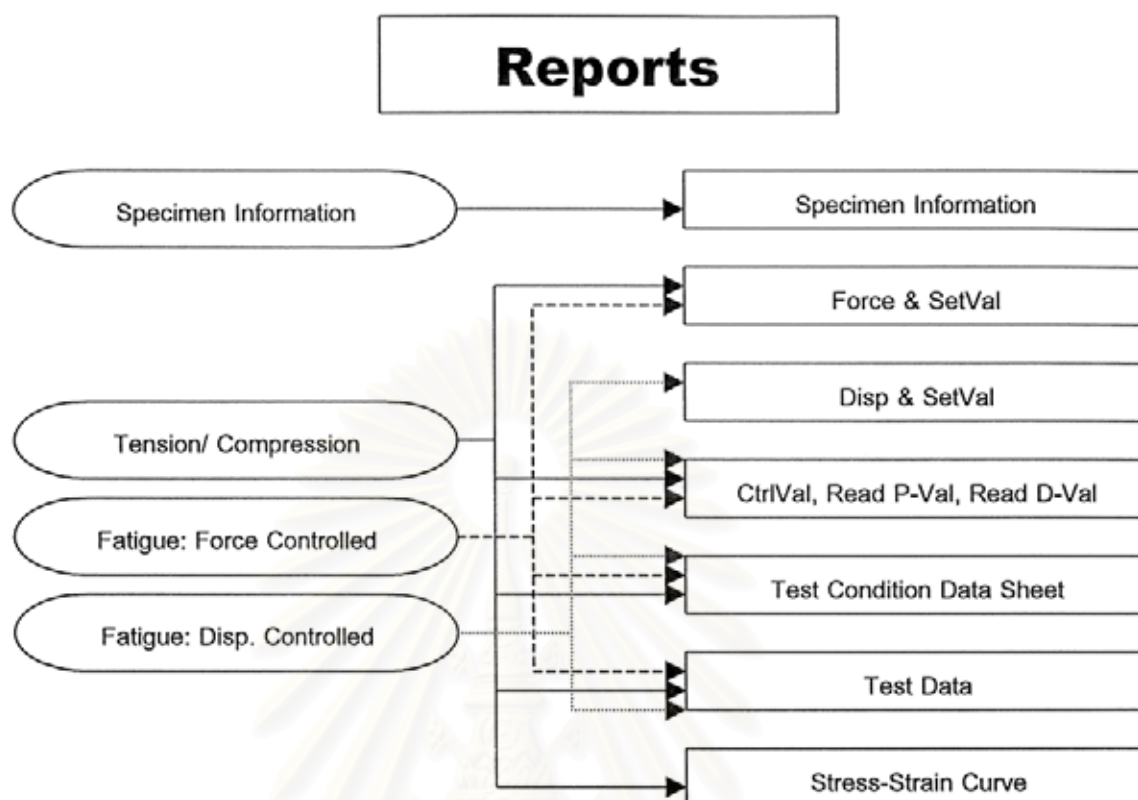
ชื่อ	ชนิดตัวแปร	ความหมาย
FileName	Text(20)	ชื่อไฟล์โดยจะเป็นค่า Default ของ YYMMDD_HHMMSS_TT YYMMDD คือ ปี เดือน วัน, HHMMSS คือ เวลา, TT คือครั้งที่ทดสอบ
CondName	Text(20)	ชื่อ/ สถานะการทดสอบ ของข้อมูลในขณะนั้นๆ
MaxDisp	Single	ระยะยิดของชิ้นงานทดสอบมากที่สุดก่อนที่ระบบจะสั่งปิดควาล์วไฮดรอลิก

		หลัก เพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์ทดสอบ (มิลลิเมตร)
MaxForce	Single	แรงมากที่สุดที่ระบบสามารถรับได้ก่อนที่ระบบจะสั่งปิดวาล์วไฮดรอลิกหลัก เพื่อความปลอดภัยของอุปกรณ์ทดสอบ (นิวตัน)
StopTime	Single	ช่วงเวลาทดสอบที่มากที่สุดก่อนที่ระบบจะสั่งหยุด (วินาที)
Ks	Single	ค่าแกนของ LVDT
Kf	Single	ค่าแกนของ Strain Gauge
Kp	Single	ค่าแกนแบบพหุพหุชั้นแนล
Ki	Single	ค่าแกนแบบอินทิกรัล
Kd	Single	ค่าแกนแบบดิริเวทิฟ
PeriodTime	Single	ช่วงเวลาที่สุดค่าสัญญาณอินพุต แล้วคำนวณส่งออกไปควบคุม (วินาที)
Disp0	Single	ระยะทางเริ่มแรกที่สามารถอ่านได้จากตัววัดระยะทางก่อนที่ระบบจะตั้งค่าระยะทางเป็นศูนย์
TestCond	Byte	ชื่อสถานะของการทดสอบ
TestRate	Double	อัตราการตั้ง หรือกวดำทดสอบ
TestPreload	Double	แรง/ระยะทางเริ่มแรกที่ทำกับชิ้นงาน
TestAmp	Double	แอมพลิจูดของแรง/ระยะทางที่ทำกับชิ้นงานในการทดสอบหาความล้า
TestWave	Byte	ลักษณะของรูปคลื่นของแรง/ระยะทางที่ทำเพื่อหาความล้า
TestPeriod	Double	คาบของคลื่นที่ทดสอบวัสดุ
CreateDate	Date	วันที่เริ่มทำการทดสอบ
Remarks	Memo	หมายเหตุ

3.2.1.4) ตาราง TestData เป็นตารางที่เก็บผลการทดสอบ ผลการควบคุมอุปกรณ์ทดสอบ ตั้งแต่เริ่มทดสอบจนเสร็จสิ้น

ชื่อ	ชนิดตัวแปร	ความหมาย
IT	Integer	ครั้งที่สุ่มเพื่อหาค่าอินพุตและคำนวณค่าที่จะออกไปควบคุมอุปกรณ์
SETVAL	Double	ค่าที่ควรจะเป็นของแรง/ ระยะทาง
CTRLVAL	Double	ค่าแรงดันที่ส่งออกไปควบคุมกระบอกสูบจาก I/O บอร์ด
READVREF	Double	ค่าแรงดันที่อ่านได้ของสัญญาณที่ไปควบคุมวาล์วควบคุมความดัน
READCTRLVAL	Double	ค่าแรงดันที่อ่านได้ของสัญญาณที่ไปควบคุมวาล์วควบคุมทิศทาง
READDISP	Double	ค่าระยะทางที่อ่านได้ของ LVDT
READFORCE	Double	ค่าแรงที่อ่านได้ของ Strain Gauge

3.2.2 การออกแบบชุดรายงาน



ในส่วนของรายงานการทดสอบจะมีการแบ่งรายงานออกเป็น 4 แบบ คือ

3.2.2.1) Specimen Information

จะเป็นรายงานสภาวะของชิ้นงาน เช่น พื้นที่ของชิ้นงาน หนา บริเวณทดสอบ ความยาวของชิ้นงานบริเวณที่ใช้ทดสอบ ผู้ทดสอบ ลักษณะของวัสดุ ฯลฯ

3.2.2.2) Tension/ Compression

ในรายงานชุดนี้จะเป็นรายงานที่ทำการทดสอบโดยการดึง หรือกดชิ้นงานทดสอบ ประกอบด้วยรายงาน 5 ชุด คือ

3.2.2.2.1) Force & SetVal จะเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าแรงที่สั่งจากระบบคอมพิวเตอร์เทียบกับค่าที่อ่านได้จากสเตรนเกจ

3.2.2.2.2) CtrlVal, Read P-Val, Read D-Val เป็นกราฟที่แสดงค่าแรงต้นที่คอมพิวเตอร์ส่งไปสั่งบอร์ดควบคุมเทียบกับค่าแรงต้นที่อ่านได้ ณ บอร์ดขยายสัญญาณควบคุมวาล์วควบคุมความดันในกระบอกสูบ และ บอร์ดขยายสัญญาณควบคุมวาล์วควบคุมทิศทางของกระบอกสูบตามลำดับ

3.2.2.2.3) Test Condition Data Sheet เป็นรายงานแสดงสภาวะของการทดสอบ คุณสมบัติของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบ

3.2.2.2.4) Test Data เป็นข้อมูลของสถานะของแรงที่อ่านจากสเตรนเกจ ค่าระยะยืดของชิ้นงานที่อ่านได้จากตัววัดระยะทางและ ค่าแรงดันที่ส่งไปควบคุมบอร์ด ซึ่งค่าเหล่านี้จะนำไปวาดกราฟตามข้อ 3.2.2.2.1), 3.2.2.2.2) และ 3.2.2.2.4)

3.2.2.2.5) Stress-Strain Curve เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้น กับค่าความเครียดของวัสดุ

3.2.2.3) *Fatigue: Force Controlled*

ในรายงานชุดนี้จะเป็นรายงานที่แสดงผลของการทดสอบเพื่อหาความล้าโดยมีการควบคุมแรงที่กระทำกับชิ้นงาน จะประกอบด้วยรายงาน 4 ชุด คือ

3.2.2.3.1) Force & SetVal

3.2.2.3.2) CtrlVal, Read P-Val, Read D-Val

3.2.2.3.3) Test Condition Data Sheet

3.2.2.3.4) Test Data

3.2.2.4) *Fatigue: Displacement Controlled*

ในรายงานชุดนี้จะเป็นรายงานที่แสดงผลของการทดสอบเพื่อหาความล้าโดยมีการควบคุมระยะยืดของชิ้นงาน จะประกอบด้วยรายงาน 4 ชุด คือ

3.2.2.4.1) Displacement & SetVal จะเป็นกราฟเปรียบเทียบระหว่างค่าระยะยืดที่สั่งจากระบบคอมพิวเตอร์เทียบกับค่าที่อ่านได้จากตัววัดระยะทาง (LVDT)

3.2.2.4.2) CtrlVal, Read P-Val, Read D-Val

3.2.2.4.3) Test Condition Data Sheet

3.2.2.4.4) Test Data

บทที่ 4

โปรแกรมควบคุมระบบทดสอบ และผลของการควบคุม

4.1 โปรแกรมควบคุมระบบทดสอบ

จากการออกแบบโปรแกรมในบทที่ 3 เมื่อได้ทำการพัฒนาโปรแกรม ระบบฐานข้อมูล เพื่อการทดสอบออกมา จะมีแผนภาพการทำงานตามรูปที่ 3.2.2 โดยเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาจะมีเมนูให้เลือก ถ้าเป็นการเปิดเข้ามาทำงานในครั้งแรกก็สามารถเข้าไปตรวจสอบสถานะต่างๆ ของอุปกรณ์ได้ที่หน้าจอ All Hardware Check ในหน้าจอนี้จะสามารถตรวจสอบสถานะของสเตรนเกจ ตัววัดระยะทาง ค่าแรงดันที่บอร์ดขยายสัญญาณเพื่อควบคุมวาล์วควบคุมทิศทาง และ ค่าแรงดันที่กระทำกับบอร์ดขยายสัญญาณเพื่อควบคุมวาล์วควบคุมความดันของน้ำมันไฮดรอลิกในระบบ เมื่อตรวจสอบการทำงานทุกอย่างเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะปิดหน้าจอนี้และเข้าไปตรวจสอบชิ้นงานทดสอบได้จากหน้าจอ Specimen Information โดยจะสามารถตรวจสอบคุณสมบัติของชิ้นงานไม่ว่าจะเป็นลักษณะของชิ้นงานทดสอบ วัสดุที่ใช้ทดสอบ รวมทั้งผู้ทำการทดสอบได้ ต่อจากนั้นยังสามารถตรวจสอบสถานะของการทดสอบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นค่าเกณฑ์โอดี ค่าเกณฑ์ของสเตรนเกจ ค่าเกณฑ์ของตัววัดระยะทาง รวมทั้งค่าแรงมากที่สุด หรือระยะยืดของวัสดุทดสอบที่ระบบสามารถรับได้ก่อนที่จะหยุดระบบ ได้ที่หน้าจอ Test Condition หลังจากนั้นเมื่อตรวจสอบสถานะทุกอย่างเรียบร้อยแล้ว จะสามารถทดสอบวัสดุได้ทั้งการหาความเค้นดึง การหาความเค้นกด หรือ ความล้าของวัสดุได้ โดยถ้าจะหาความเค้นดึงของวัสดุก็จะเข้าไปที่หน้าจอ Tension โดยในหน้าจอนี้จะต้องเลือกชิ้นงานทดสอบ (Condition) ก่อน ซึ่งจะสามารถดูรายละเอียดของชิ้นงานได้จากปุ่ม Detail หลังจากนั้นจะต้องเลือกอัตราการเพิ่มแรงดึงก่อน ถึงจะสามารถทำการเริ่มการทดสอบได้ ขณะที่ทดสอบตัวโปรแกรม จะมีหน้าจอแสดงสถานะต่างๆ ของอุปกรณ์ทดสอบไม่ว่าจะเป็น ค่าแรงดึงที่กระบอกสูบกระทำกับชิ้นงานในขณะนั้น ค่าระยะยืดหรือหดของชิ้นงานทดสอบ ค่าแรงดันที่ส่งออกไปจากคอมพิวเตอร์เพื่อส่งออกที่บอร์ด PCL-812PG รวมทั้งค่าที่วัดกลับมา ณ บอร์ดขยายสัญญาณเพื่อควบคุมวาล์ว ในขณะที่ทดสอบนี้หากต้องการหยุดการทดสอบชั่วคราว ก็สามารถสั่งให้โปรแกรมหยุดการทดสอบชั่วคราวก่อนได้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ หรือชิ้นงานก่อน แล้วค่อยสั่งให้ดำเนินการทดสอบต่อ หลังจากนั้นเมื่อทำการหยุดการทดสอบ โปรแกรมจะถามว่าต้องการบันทึกข้อมูลที่เก็บไว้ในบัฟเฟอร์หรือไม่ ถ้าต้องการโปรแกรมก็จะบันทึกข้อมูลการทดสอบไม่ว่าจะเป็นคุณลักษณะของชิ้นงานทดสอบ สภาวะต่างๆ ของการทดสอบ รวมทั้งค่าระยะยืดหรือหดของชิ้นงานทดสอบ ค่าแรงที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ ณ เวลาต่างๆ ไว้ด้วย เมื่อทำการบันทึกเสร็จเรียบร้อยแล้ว หากต้องการดูรายงานสรุปของการทดสอบก็จะสามารถเข้าไปที่ Open database ซึ่งโปรแกรมจะอาศัย OLE ไปเปิด Microsoft Access 97 ในส่วนที่เป็นระบบฐานข้อมูลขึ้นมาโดยเมื่อเปิดขึ้นมาจะพบกับหน้าจอซึ่งสามารถเลือกดูรายงานต่างๆ ของการทดสอบได้ ไม่ว่าจะเป็นข้อมูลของชิ้นงานทดสอบ สภาวะของการทดสอบ ข้อมูลดิบของสถานะของอุปกรณ์ ขณะทดสอบ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงที่คอมพิวเตอร์สั่งให้กระบอกสูบกระทำกับชิ้นงานเทียบกับค่าแรงที่วัดได้จริงจากสเตรนเกจ ณ เวลาต่างๆ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าระยะยืด หรือหดของชิ้นงานทดสอบที่คอมพิวเตอร์สั่งให้กระบอกสูบกระทำกับชิ้นงานเทียบกับค่าระยะที่วัดได้จากตัววัดระยะทาง ณ เวลาต่างๆ กราฟของแรงดันที่คอมพิวเตอร์สั่งไปควบคุมบอร์ดขยายสัญญาณ เทียบกับค่าแรงดัน ณ บอร์ดขยายสัญญาณเพื่อควบคุมวาล์วควบคุมความดันในกระบอกสูบ และวาล์วควบคุมทิศทางของกระบอกสูบ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้นกับความเครียดของวัสดุ โดยในรายงานดังกล่าวทั้งหมดนี้จะสามารถดูตัวอย่างในหน้าจอก่อน หรือจะสั่งพิมพ์ออกมาทางพรินท์เตอร์เพื่อทำรายงานต่อได้

สำหรับการทดสอบหาความเค้นกด หรือการหาความล้า ก็จะเป็นในลักษณะเดียวกัน เพียงแต่จะเปลี่ยนในส่วนของอัตราแรงกดที่จะกระทำกับชิ้นงานสำหรับการทดสอบหาความเค้นกด หรือ ขนาดแอมพลิจูดของแรงหรือระยะทางที่จะกระทำกับชิ้นงาน ลักษณะรูปคลื่นที่จะกระทำกับชิ้นงาน ค่าแรงหรือระยะทางเริ่มต้น และค่าความถี่ของคลื่น สำหรับการทดสอบหาความล้า

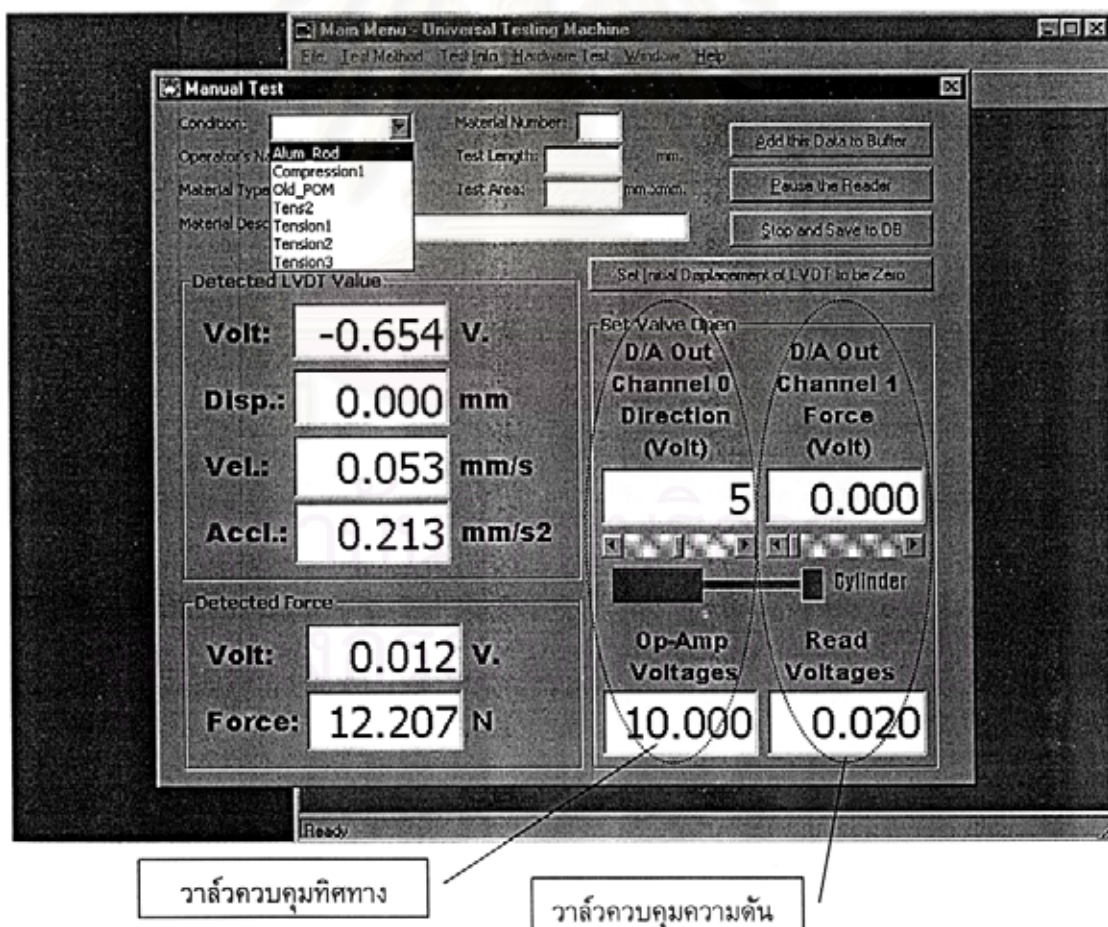
จาก Main Screen จะแบ่งออกเป็น

- 4.1.1) ระบบทดสอบวัสดุ (Specimen Test)
- 4.1.2) ตัวเลือก (Option)
- 4.1.3) ระบบฐานข้อมูล และรายงาน (Database and Reports)

โดยในแต่ละระบบมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1) ระบบทดสอบวัสดุ (Specimen Test)

ในระบบควบคุมนี้สามารถทำการทดสอบโดยควบคุมแบบควบคุมจากผู้ใช้ หรือแบบอัตโนมัติก็ได้ โดยในการควบคุมจากผู้ใช้ นี้สามารถควบคุมวาล์ว 2 ตัว คือวาล์วควบคุมทิศทางของกระบอกสูบให้ตั้งหรือกดชิ้นงาน และวาล์วควบคุมความดันของน้ำมันไฮดรอลิกที่ผ่านไปที่กระบอกสูบซึ่งจะใช้ในการควบคุมแรงที่กระบอกสูบจะไปกระทำกับชิ้นงาน



วาล์วควบคุมทิศทาง

วาล์วควบคุมความดัน

รูปที่ 4.1.1 หน้าจอควบคุมการทดสอบแบบ Manual

จากรูปที่ 4.1.1 วาล์วควบคุมทิศทางนี้ค่าแรงดันจะเริ่มจาก 5 โวลต์ โดยที่ค่าแรงดันนี้วาล์วจะอยู่ในตำแหน่งปกติปิด (Normally closed) ทำให้กระบอกสูบหยุดนิ่ง และเมื่อเพิ่มค่าแรงดันกระบอกสูบก็จะดันออก เช่นเดียวกับที่กระบอกสูบจะดึงกลับเมื่อลดค่าแรงดัน

ส่วนในการควบคุมแบบอัตโนมัติก็จะมีการหาความเค้นดึง ความเค้นกด และความล้า ในส่วนของการทดสอบหาความเค้นในการควบคุมนี้จะควบคุมเฉพาะอัตราการเพิ่มแรงดึง หรือ แรงกดเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากตัวอุปกรณ์ทดสอบไม่สามารถหาระยะทางที่ยืดหรือหดของวัสดุทดสอบได้ละเอียดพอ จึงไม่สามารถควบคุมอัตราการเพิ่ม หรือลดลงของระยะยืด หรือหดตัวของชิ้นงานทดสอบได้ จากรูป 4.1.2 ด้านซ้ายจะเป็นหน้าจอการควบคุมเพื่อทดสอบหาความเค้น โดย

"Condition" คือสภาวะของวัสดุทดสอบ ตัวโปรแกรมทดสอบจะไปดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลที่เก็บสภาวะของตัวทดสอบนี้ไว้ โดยสามารถแก้ไขและเพิ่มเติมได้ตามรูปที่ 4.1.15

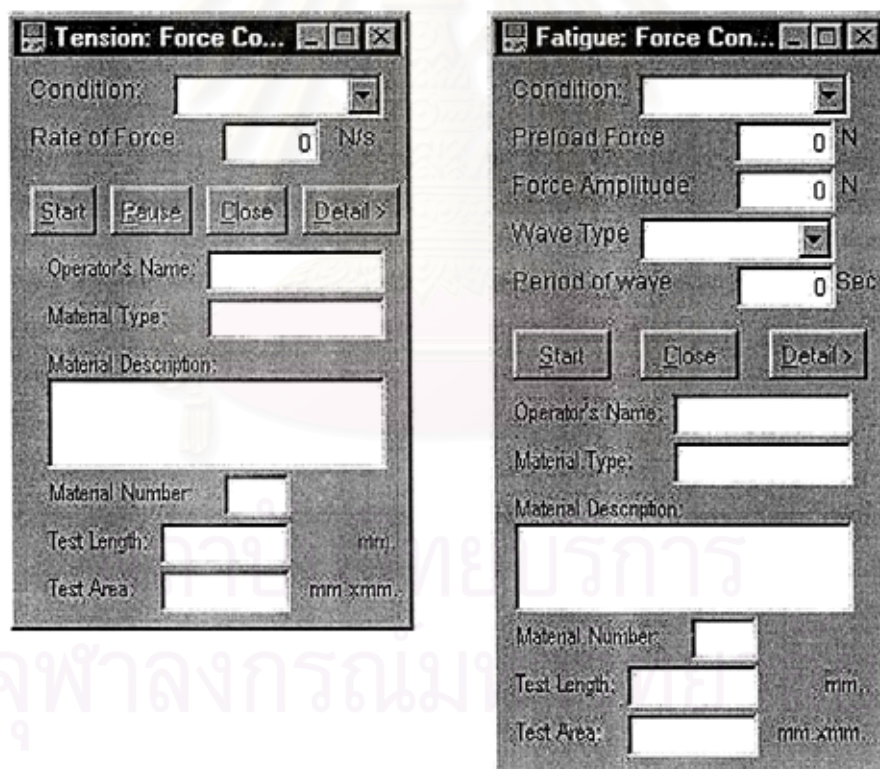
"Rate of Force" จะเป็นการปรับค่าอัตราของแรงที่เพิ่มขึ้นเพื่อตั้งหรืออัตราวัสดุทดสอบ

ปุ่ม "Start" จะเป็นปุ่มที่สั่งให้อุปกรณ์เริ่มทดสอบชิ้นงาน

ปุ่ม "Pause" จะเป็นปุ่มที่สั่งหยุดการทดสอบชั่วคราว เพื่อตรวจสอบสภาวะของวัสดุทดสอบ แต่หลังจากตรวจสอบเสร็จแล้ว สามารถสั่งให้อุปกรณ์ทดสอบทำงานต่อไปได้

ปุ่ม "Close" เป็นปุ่มหยุดการทดสอบและปิดหน้าจอการควบคุมการทดสอบทิ้ง

ปุ่ม "Detail" เป็นปุ่มดูรายละเอียดของสภาวะการทดสอบตามที่ใส่ไว้ในหน้าจอรูป 4.1.15



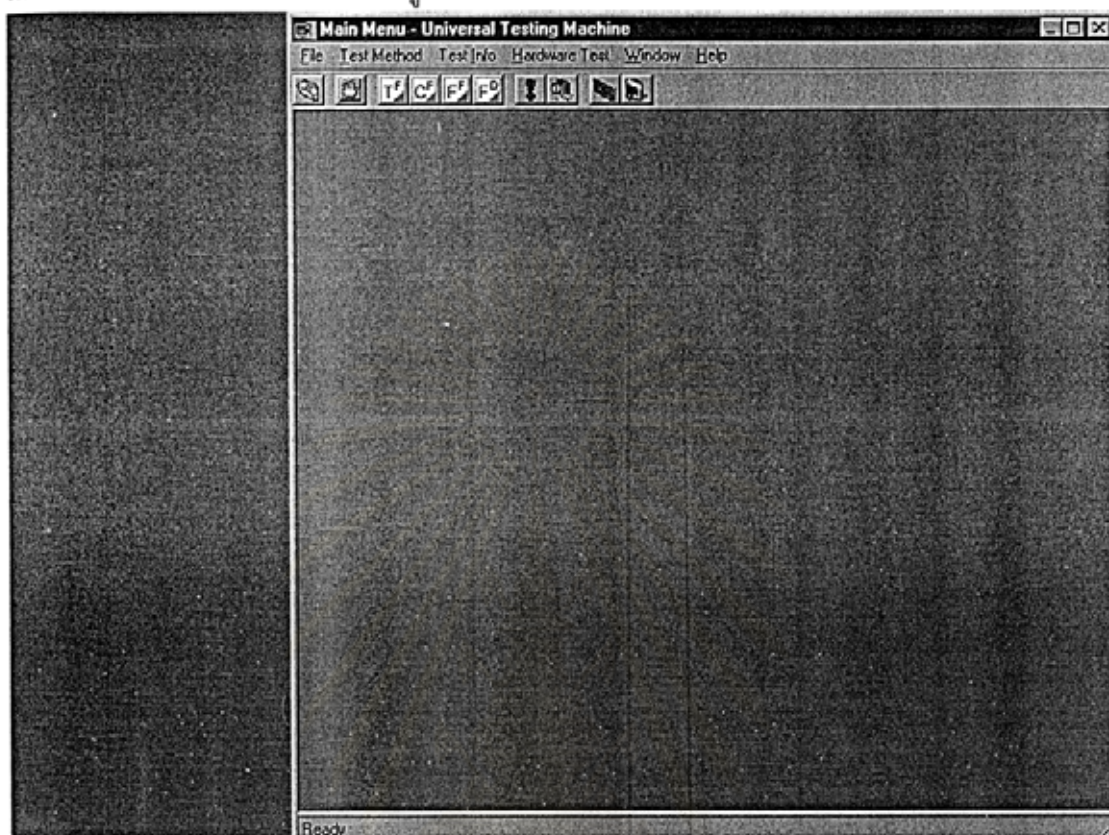
รูปที่ 4.1.2 หน้าจอของการควบคุมชิ้นงานทดสอบ ทั้งที่ใช้เพื่อหาความเค้น และหาความล้า

ในส่วนของการทดสอบความล้า ก็จะมีรายละเอียดเหมือนกับในส่วนของการทดสอบหาความเค้น แต่จะสามารถเลือกรูปแรงที่กระทำกับชิ้นงานให้เป็นคลื่นรูปซายน์หรือแบบสี่เหลี่ยมจาก "Wave Type" และ

สามารถตั้งค่าแรง หรือระยะทางเริ่มต้นก่อนการทดสอบ รวมทั้งสามารถกำหนดความถี่ในการทดสอบอุปกรณ์ ด้วย ตามรูปที่ 4.1.2 ขวามือ

การทำงานของโปรแกรม

เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาจะพบหน้าจอดังรูปที่ 4.1.3

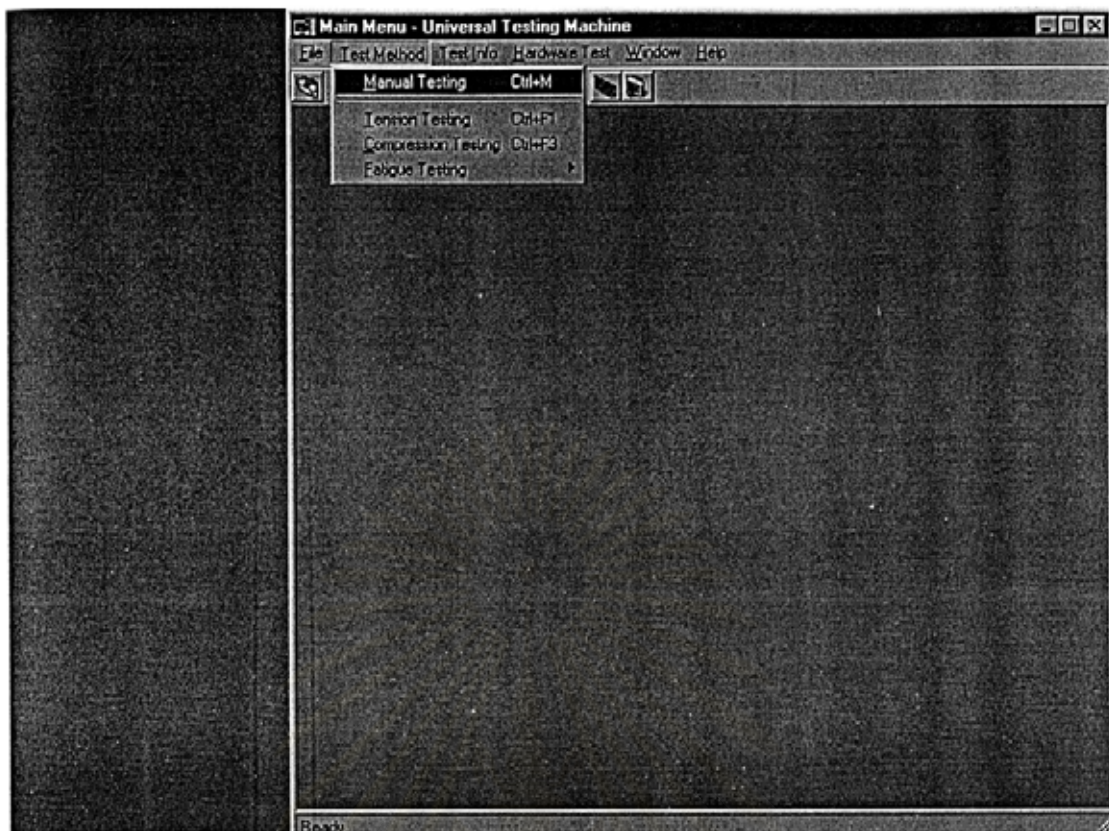


รูปที่ 4.1.3 หน้าจอเริ่มต้นของโปรแกรมทดสอบวัสดุ

เมื่อเข้ามาในส่วนของเมนูการทดสอบวัสดุ (รูปที่ 4.1.4) ก็จะสามารถเลือกทดสอบได้โดยแบ่งเป็น

- Manual Testing
- Tension Testing
- Compression Testing
- Fatigue Testing
 - Force Controlled Fatigue Testing
 - Strain Controlled Fatigue Testing

ศูนย์บริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

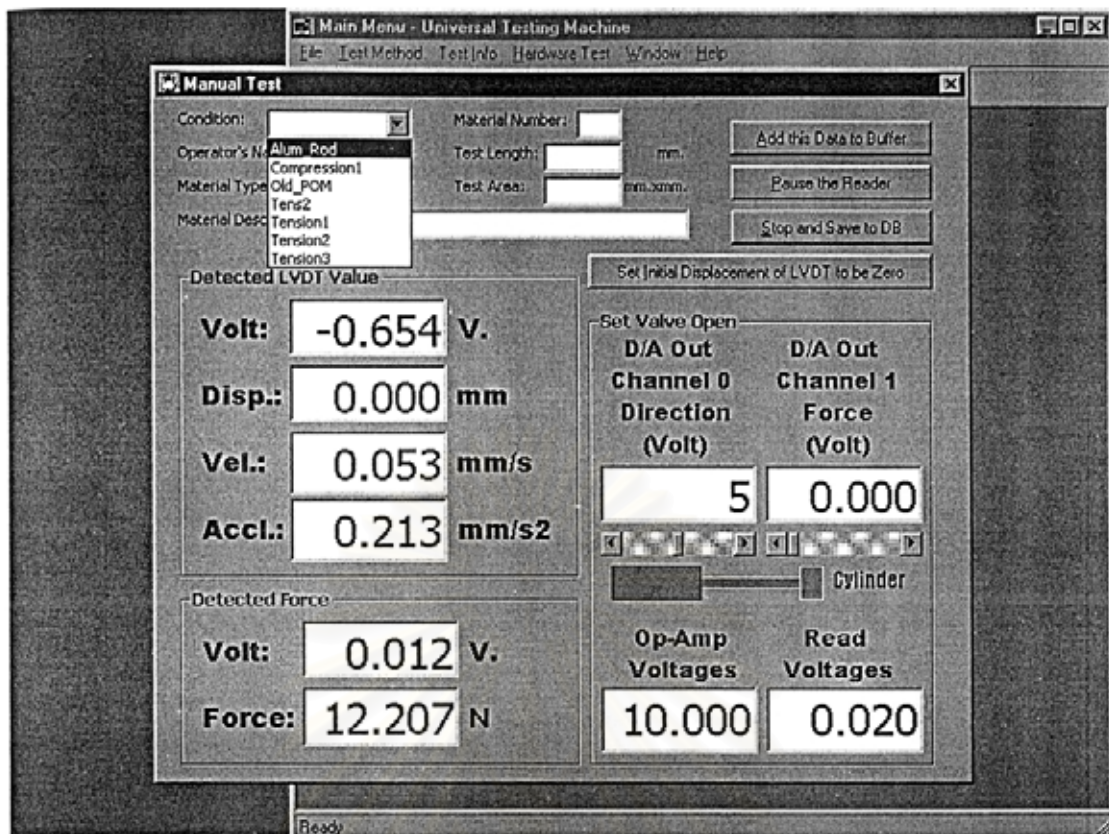


รูปที่ 4.1.4 การเลือกเมนูของการควบคุม

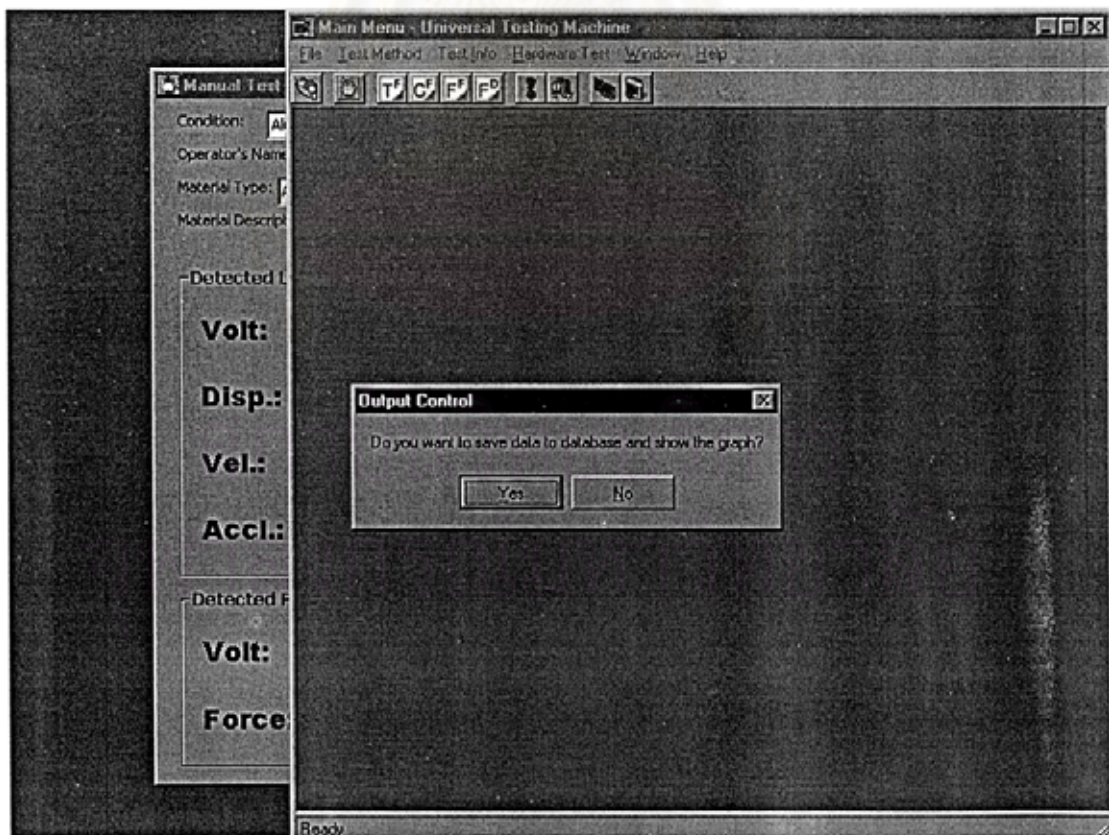
เมื่อทำการเลือกการควบคุมแบบ Manual Testing จะมีหน้าจอสำหรับควบคุมดังรูป 4.1.5 ในหน้าจอนี้จะสามารถปรับค่าแรงดันที่จะไปควบคุมวาล์วซึ่งบังคับทิศทางของกระบอกสูบ และแรงดันที่จะไปควบคุมวาล์วซึ่งควบคุมระดับความดันในกระบอกสูบ โดยที่

ปุ่ม Add this Data to Buffer	จะเก็บข้อมูลของสถานะการทดสอบนี้ลงในบัฟเฟอร์
ปุ่ม Play the Reader/ Stop the Reader	ใช้เพื่อหยุดการอ่านค่าสถานะต่างๆให้หยุดนิ่ง
ปุ่ม Stop and Save to DB	จะหยุดการทดสอบและเก็บข้อมูลในบัฟเฟอร์ลงฐานข้อมูล
ปุ่ม Set Initial Disp. To be Zero	ใช้เพื่อสอบเทียบตัววัดระยะทางให้มีค่าเป็นศูนย์ก่อนการทดสอบ

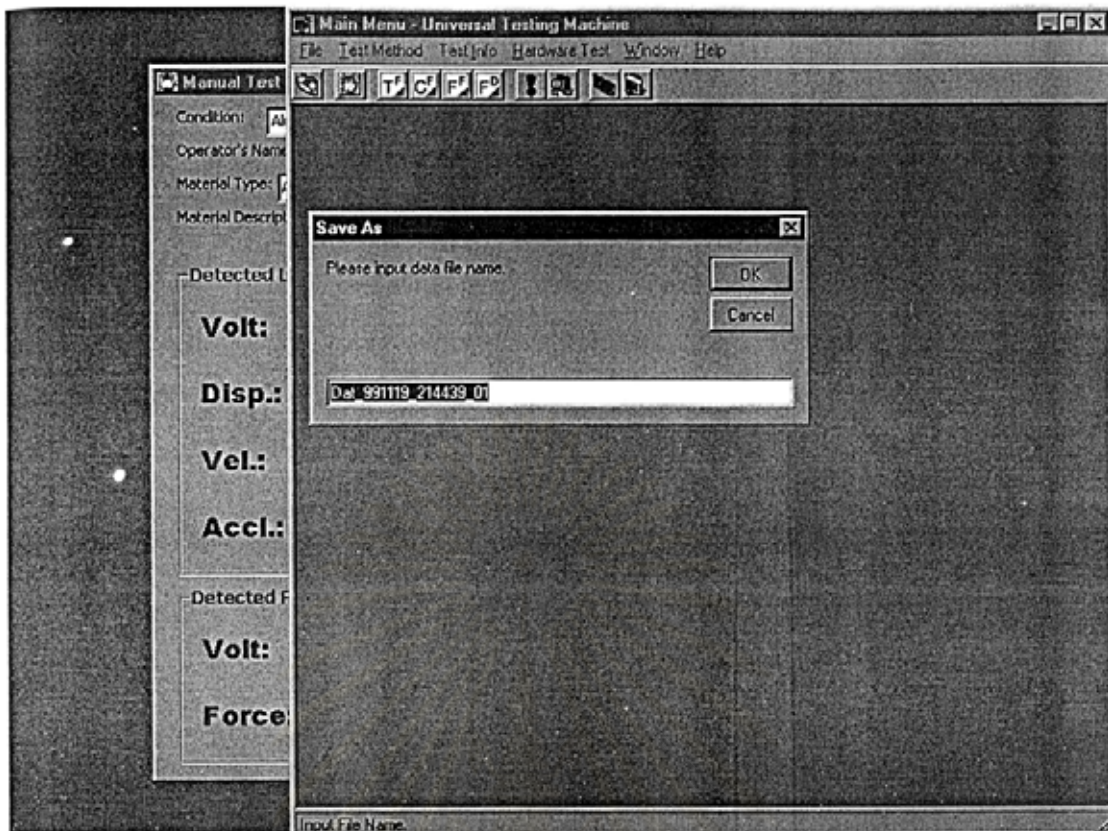
หลังจากเมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้ว จะสามารถบันทึกข้อมูลสถานะปัจจุบันลงระบบฐานข้อมูลโดยจะถามว่าต้องการเก็บข้อมูลที่อยู่ในบัฟเฟอร์ลงในระบบฐานข้อมูลหรือไม่ ดังรูปที่ 4.1.6 หากต้องการก็จะบันทึกข้อมูลลงระบบฐานข้อมูล ดังรูปที่ 4.1.7 หากไม่ต้องการก็จะลบข้อมูลในบัฟเฟอร์ทิ้ง แล้วออกจากหน้าจอ



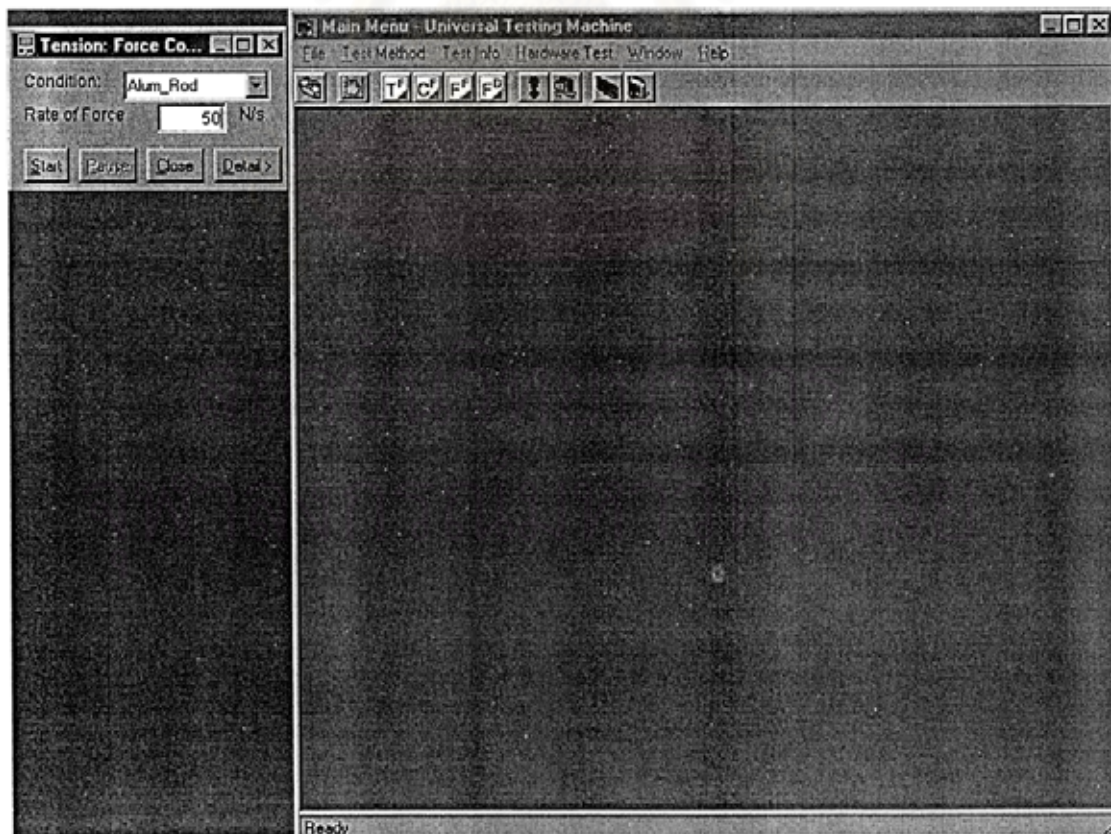
รูปที่ 4.1.5 การควบคุมโดยผู้ใช้



รูปที่ 4.1.6 หน้าจอถามว่าต้องการเก็บข้อมูลระบบฐานข้อมูลหรือไม่

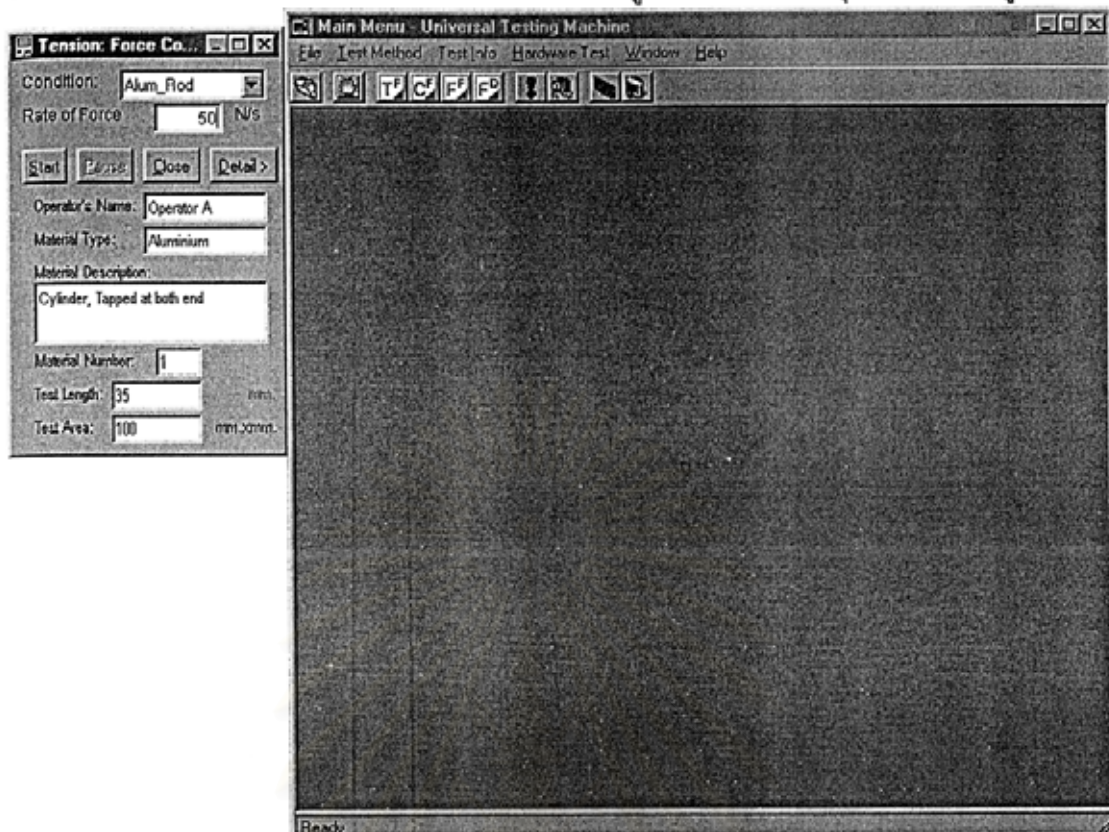


รูปที่ 4.1.7 หน้าจอถามชื่อของไฟล์ที่ต้องการบันทึกข้อมูลการทดสอบ สำหรับการทดสอบความเค้น เมื่อเข้าในเมนูนี้จะมีหน้าจอควบคุมเพื่อให้กรอกข้อมูลสำหรับการทดสอบ ดังรูปที่ 4.1.8



รูปที่ 4.1.8 หน้าจอควบคุมสำหรับการทดสอบหาความเค้นของวัสดุ

จากนั้นจะทำการเลือกชื่อของชิ้นงานทดสอบก่อนและสามารถดูรายละเอียดได้จากปุ่ม Detail> ตามรูปที่ 4.1.9



รูปที่ 4.1.9 การเลือกชิ้นงานทดสอบเพื่อทำการทดสอบหาความเค้นของวัสดุ

ในขณะที่ทำการทดสอบจะมีหน้าจอแสดงสถานะของค่าสถานะต่างๆ ของระบบ ไม่ว่าจะเป็น Input หรือ Output (รูปที่ 4.1.10) โดยที่

D/A: 0 เป็นค่าแรงดันที่ส่งออกจากบอร์ดควบคุม(คอมพิวเตอร) ไปที่ออปแอมป์ (เป็นค่าที่ตั้งไว้แล้วส่งออกไปควบคุม)

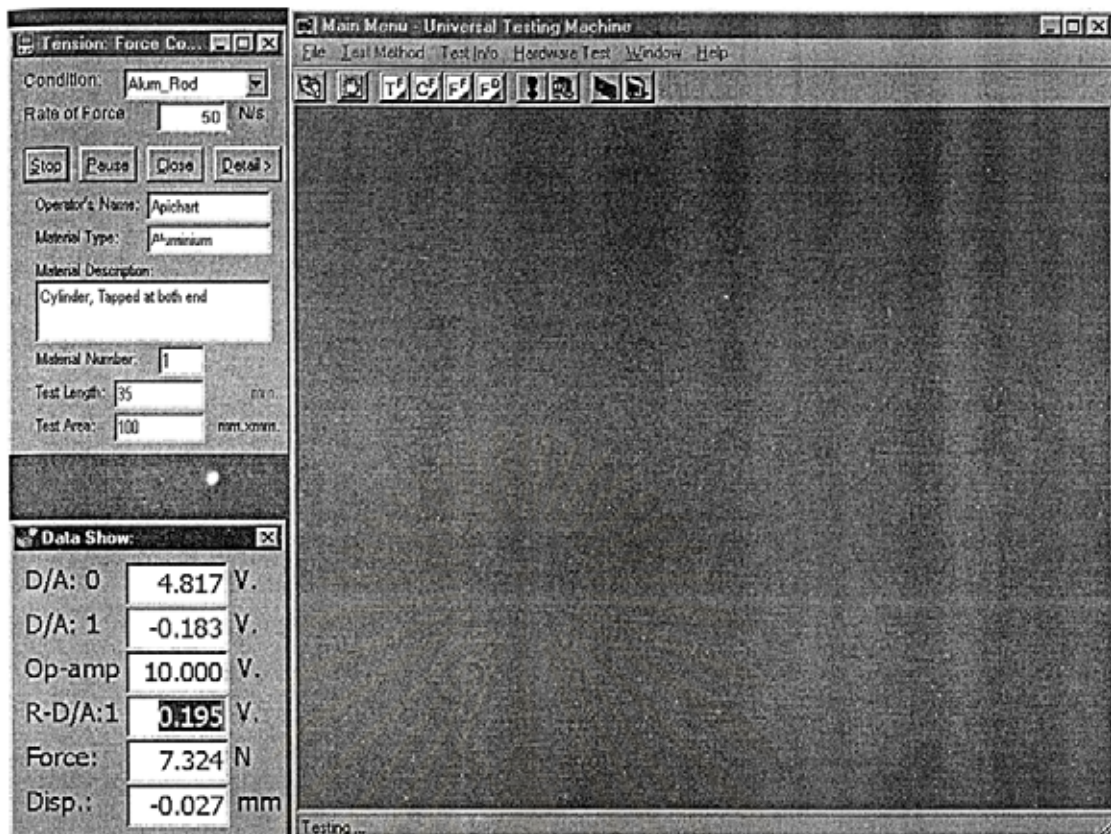
D/A: 1 เป็นค่าแรงดันที่ส่งออกจากบอร์ดควบคุม(คอมพิวเตอร) ไปที่บอร์ดควบคุมวาล์วควบคุมแรงดัน (เป็นค่าที่ตั้งไว้แล้วส่งออกไปควบคุม)

Op-amp เป็นค่าแรงดันที่ถูกขยายเพื่อไปควบคุมบอร์ดควบคุมทิศทางของกระบอกลูกสูบ (เป็นค่าที่อ่านเข้ามา)

R-D/A:1 เป็นค่าแรงดันที่ส่งออกจากบอร์ดควบคุม(คอมพิวเตอร) ไปที่บอร์ดควบคุมวาล์วควบคุมแรงดัน (เป็นค่าที่อ่านเข้ามา)

Force: เป็นค่าแรงกระทำที่อ่านได้จาก Strain meter ซึ่งรับค่ามาจาก Strain Gauge

Disp.: เป็นค่าระยะทางที่อ่านได้จาก LVDT

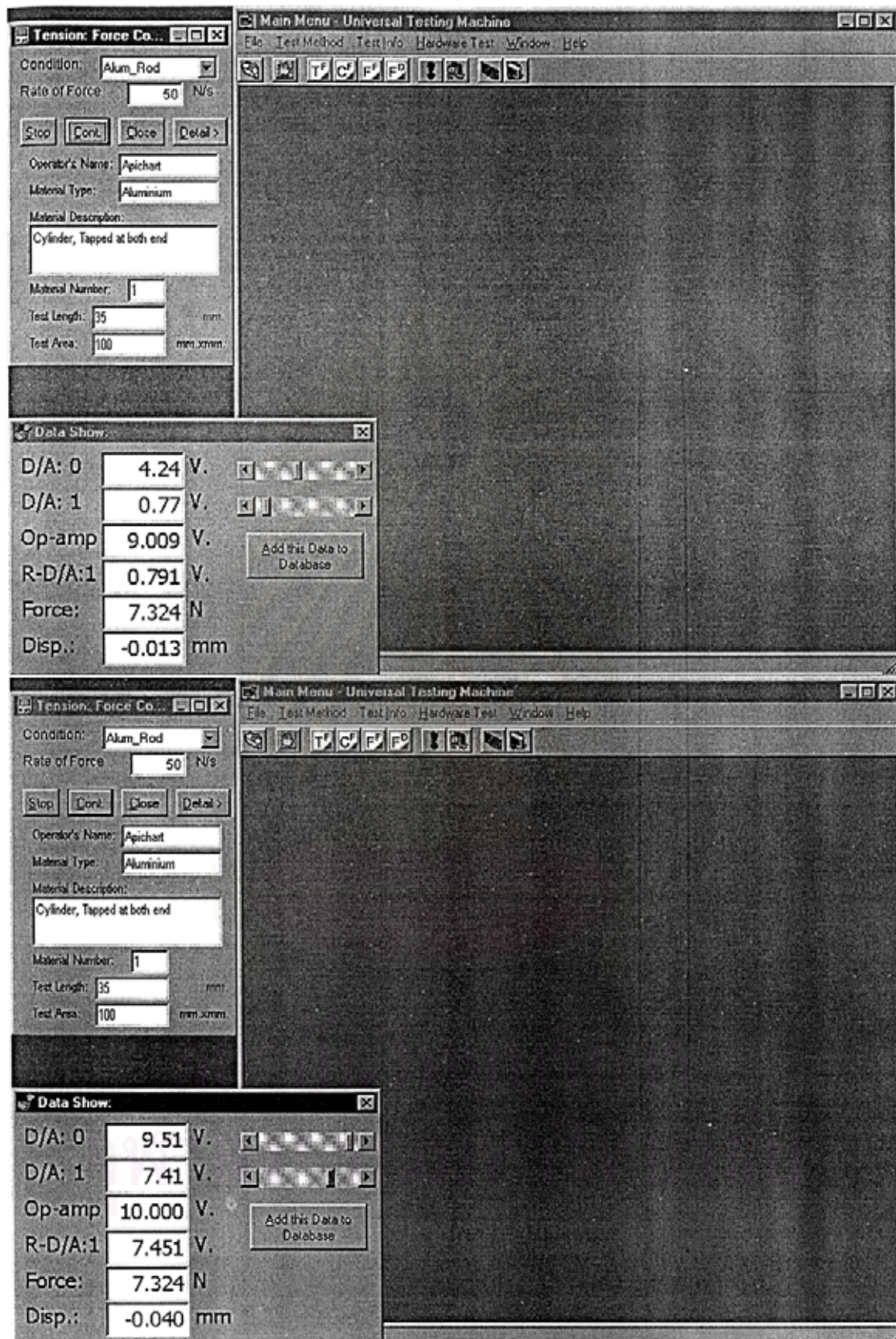


รูปที่ 4.1.10 หน้าจอแสดงสถานะของการทดสอบ

นอกจากนั้นในกรณีฉุกเฉิน หรือกรณีที่ต้องการหยุดการทดสอบชั่วคราวแล้วสามารถปรับเปลี่ยนค่าของแรงดันที่ควบคุมบอร์ดขยายสัญญาณของวาล์วควบคุมความดันและ วาล์วควบคุมระยะทางได้ ดังรูปที่ 4.1.11

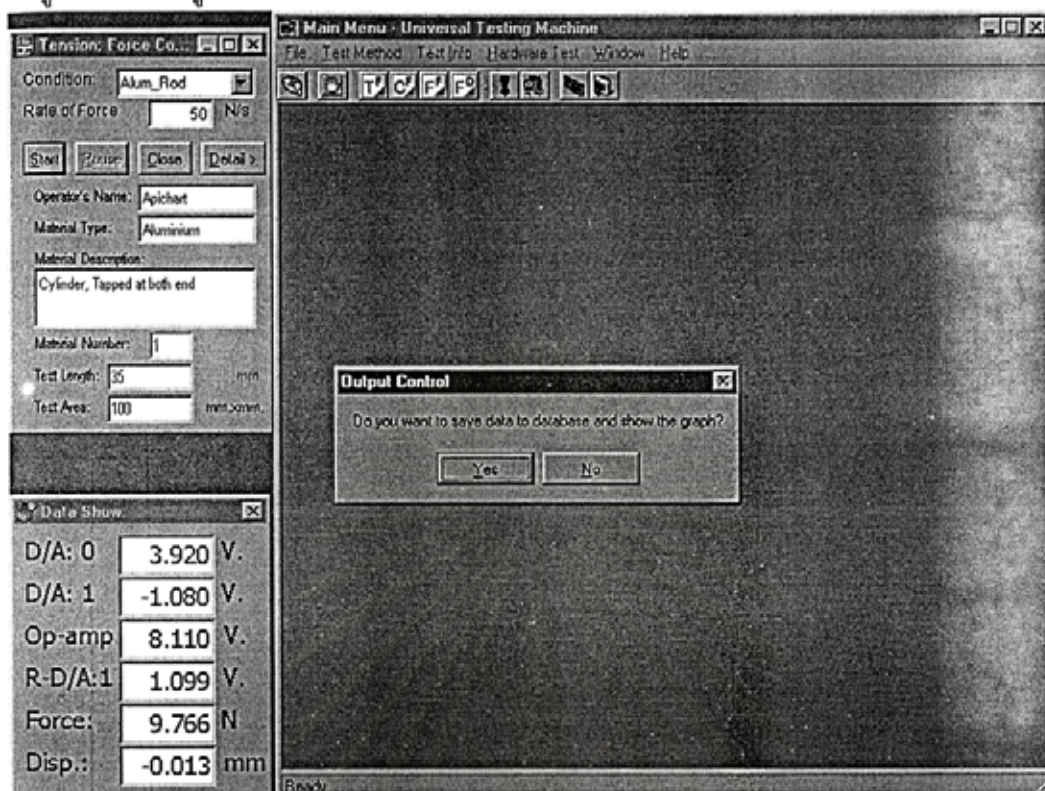
ณ จุดตรงนี้จะสามารถที่จะปรับค่าต่างๆ ได้เอง นอกจากนั้นยังสามารถบันทึกค่าสถานะต่างๆ เหล่านี้ลงในไฟล์เพื่อบันทึกลงระบบฐานข้อมูลต่อได้ โดยการกดปุ่ม Add this Data to Database หลังจากนั้นเมื่อต้องการให้เครื่องควบคุมต่อก็สามารถกดปุ่ม Cont. (Continue) เครื่องก็จะทำการควบคุมการทดสอบแบบอัตโนมัติต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



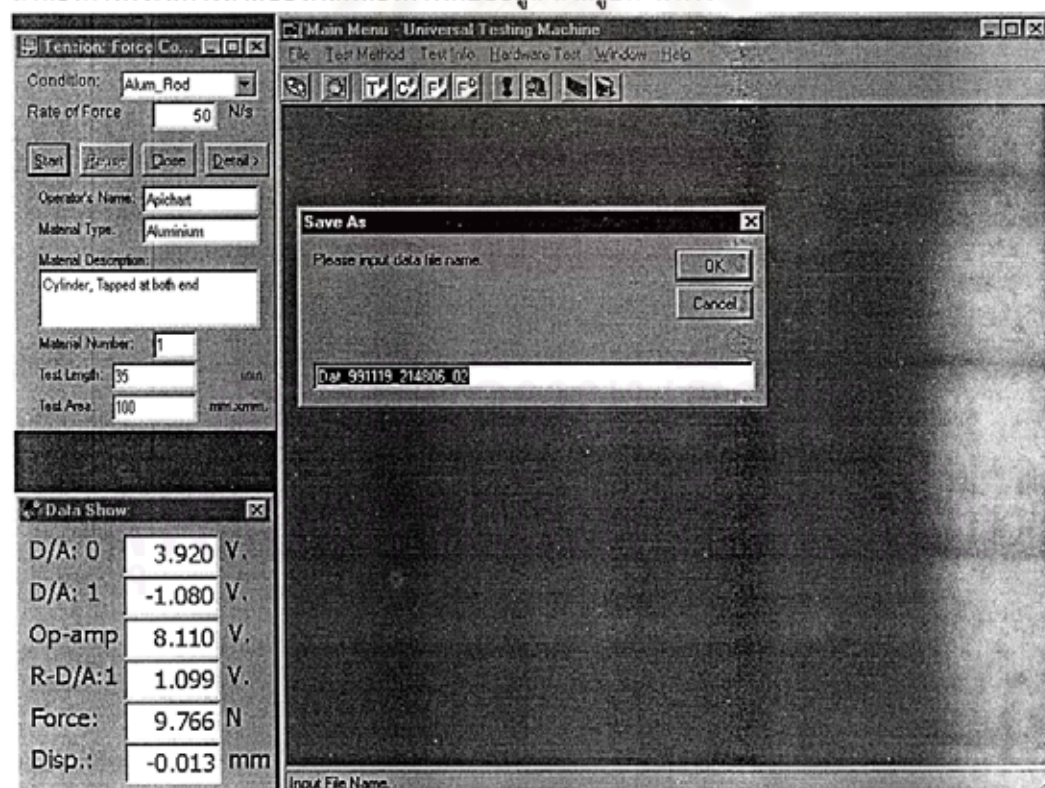
รูปที่ 4.1.11 การปรับเปลี่ยนค่าแรงดันที่ไปควบคุมวาล์วควบคุมทิศทางและ วาล์วควบคุมความดัน

หลังจากที่ทดสอบเสร็จแล้วเมื่อหยุดการทดสอบจะมีการถามว่าต้องการเก็บข้อมูลที่ได้ทดสอบทั้งหมดเข้าฐานข้อมูลหรือไม่ ตามรูปที่ 4.1.12



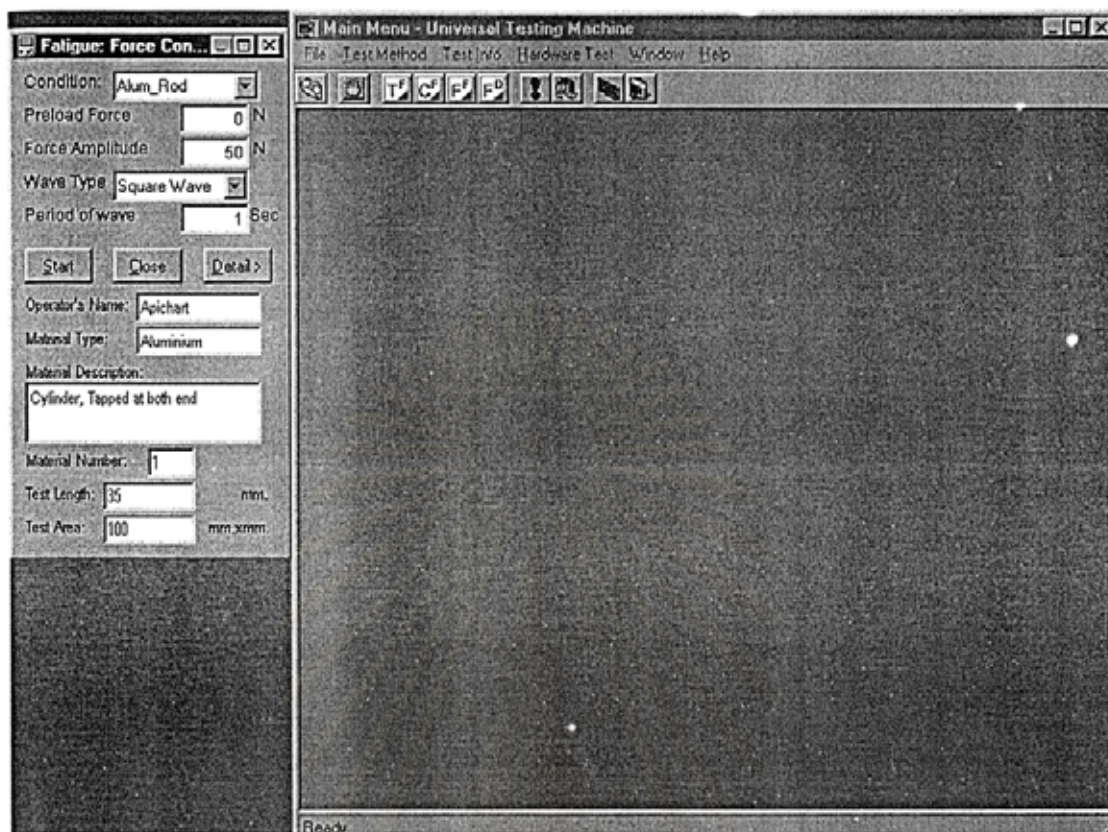
รูปที่ 4.1.12 หน้าจอถามเพื่อบันทึกข้อมูลลงระบบฐานข้อมูล

ถ้าต้องการก็จะมีการถามชื่อไฟล์ที่ต้องการเก็บข้อมูล ตามรูปที่ 4.1.13



รูปที่ 4.1.13 การป้อนชื่อของไฟล์ที่ต้องการเก็บข้อมูล

สำหรับในส่วนของการทดสอบหาความล้าก็จะทำนองเดียวกัน กับการหาความเค้น เพียงแต่จะสามารถเลือกรูปแบบของการดึง หรือกดวัสดุทั้งในแบบเป็นคลื่นรูปไซน์ และคลื่นรูปสี่เหลี่ยมได้ ตามรูปที่ 4.1.14



รูปที่ 4.1.14 หน้าจอเลือกรูปแบบการทดสอบเพื่อหาความล้าของวัสดุ

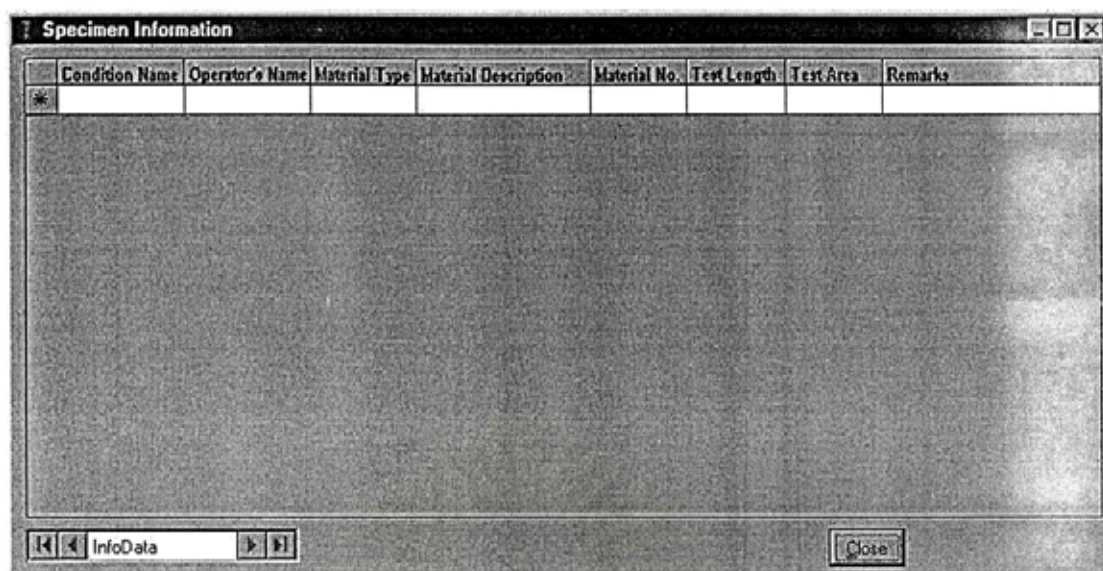
4.1.2) ตัวเลือก (Option)

สำหรับตัวเลือกของการทดสอบจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

- ข้อมูลของชิ้นงานทดสอบ ตามรูปที่ 4.1.15

โดยข้อมูลในส่วนนี้จะประกอบด้วย

- ชื่อของชิ้นงาน
- ชื่อผู้ทดสอบ
- ชนิดของวัสดุที่นำมาทำชิ้นงานทดสอบ
- รายละเอียดของชิ้นงาน
- หมายเลขของชิ้นงาน
- ความยาวของชิ้นงาน ในส่วนที่มีผลกับการทดสอบ
- พื้นที่ของชิ้นงานตรงจุดที่มีผลกับการทดสอบ
- หมายเหตุ



รูปที่ 4.1.15 หน้าจอแสดงข้อมูลของชิ้นงานทดสอบ

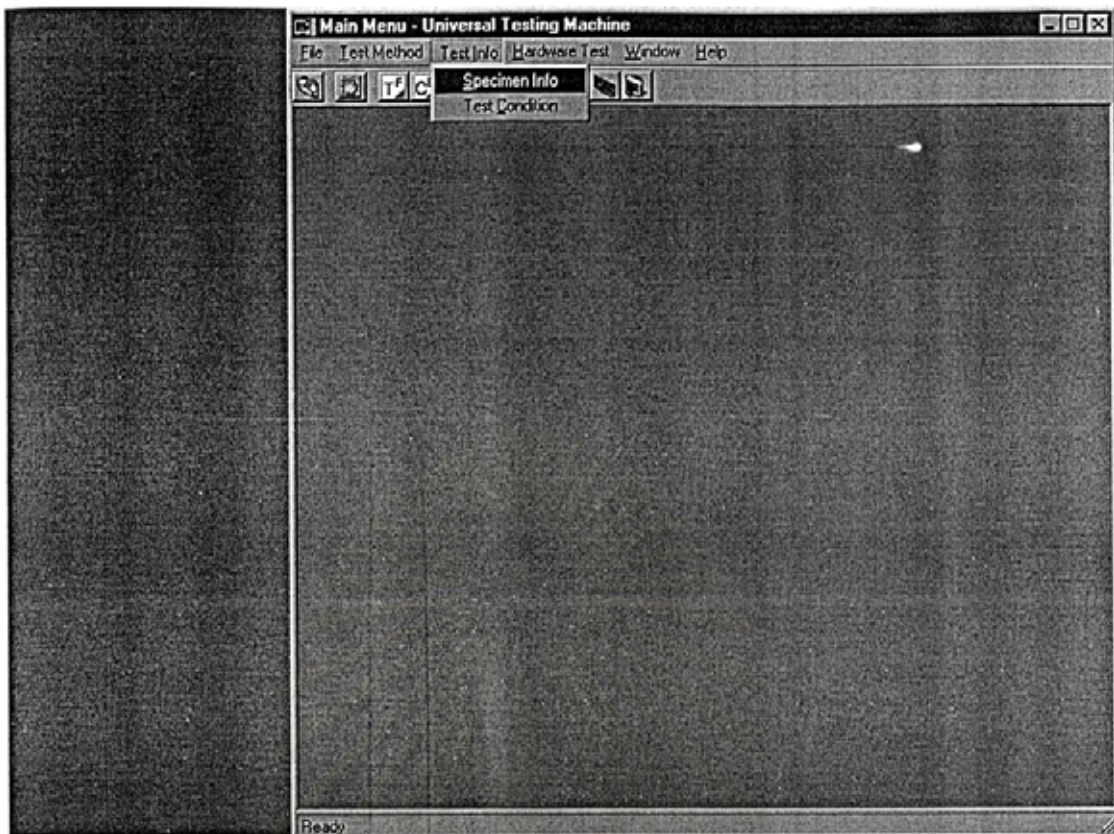
□ สภาวะของการทดสอบ (รูปที่ 4.1.18)

โดยข้อมูลในส่วนนี้จะประกอบด้วย

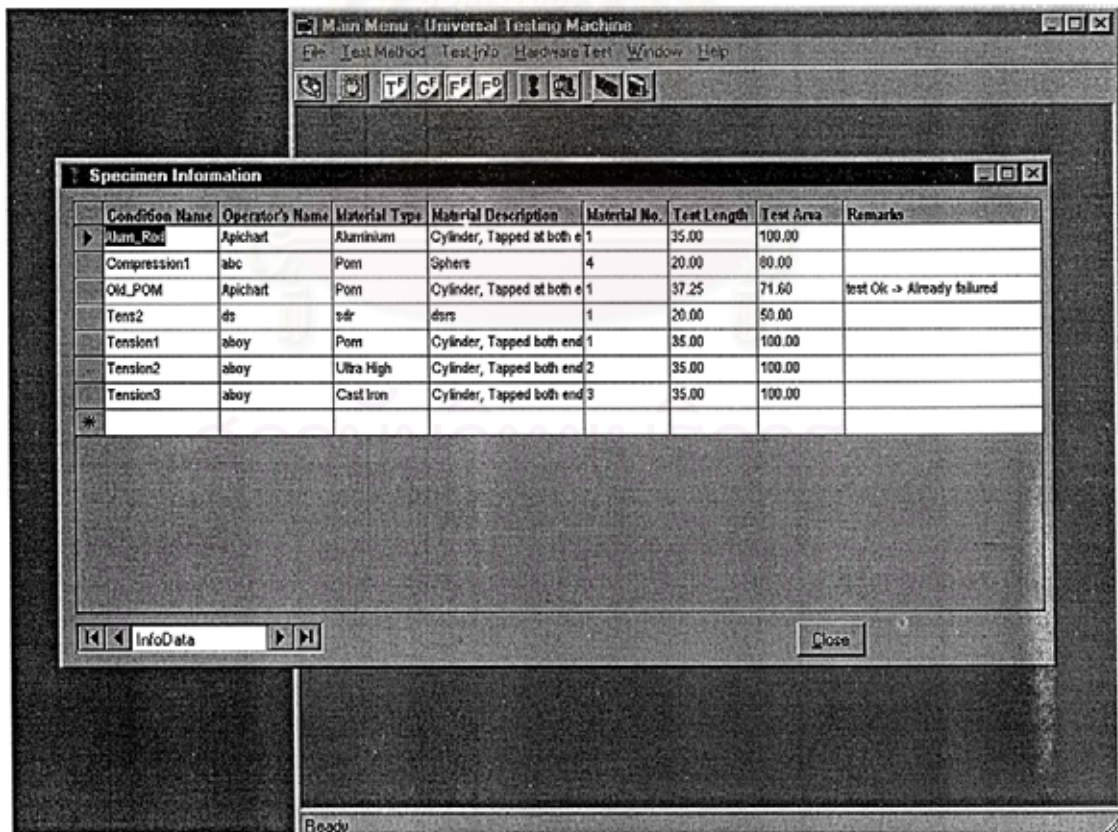
- ระยะเวลาที่ยาวที่สุดของตัววัดระยะทางที่ระบบจะทำงานได้ก่อนที่จะหยุดระบบทดสอบ
- แรงมากที่สุดที่กระทำต่อสเตรนเกจที่ระบบจะทำงานได้ก่อนที่จะหยุดระบบทดสอบ
- ระยะเวลาทดสอบที่มากที่สุดที่จะทดสอบวัสดุ
- ค่าเกณฑ์แปลงระยะทางจากตัววัดระยะทางที่อ่านได้ไปเป็นค่าแรงต้นที่รับเข้ามาควบคุมที่คอมพิวเตอร์
- ค่าเกณฑ์แปลงค่าแรงที่อ่านได้จากสเตรนเกจไปเป็นค่าแรงต้นที่รับเข้ามาควบคุมที่คอมพิวเตอร์
- ค่าเกณฑ์แบบพรอพพอร์ชันแนล (Proportional Gain, K_p)
- ค่าเกณฑ์แบบอินทิกรัล (Integral Gain, K_i)
- ค่าเกณฑ์แบบดิริเวทีฟ (Derivative Gain, K_d)
- คาบช่วงเวลาที่ใช้สุ่มเพื่อควบคุมระบบ (Sampling Time)

ในรูปที่ 4.1.16 จะเป็นเมนูที่เลือกเข้าไปยังหน้าจอของชิ้นงานทดสอบ (รูปที่ 4.1.17) หรือจะเข้าไปที่หน้าจอของสภาวะการทดสอบ (รูปที่ 4.1.18)

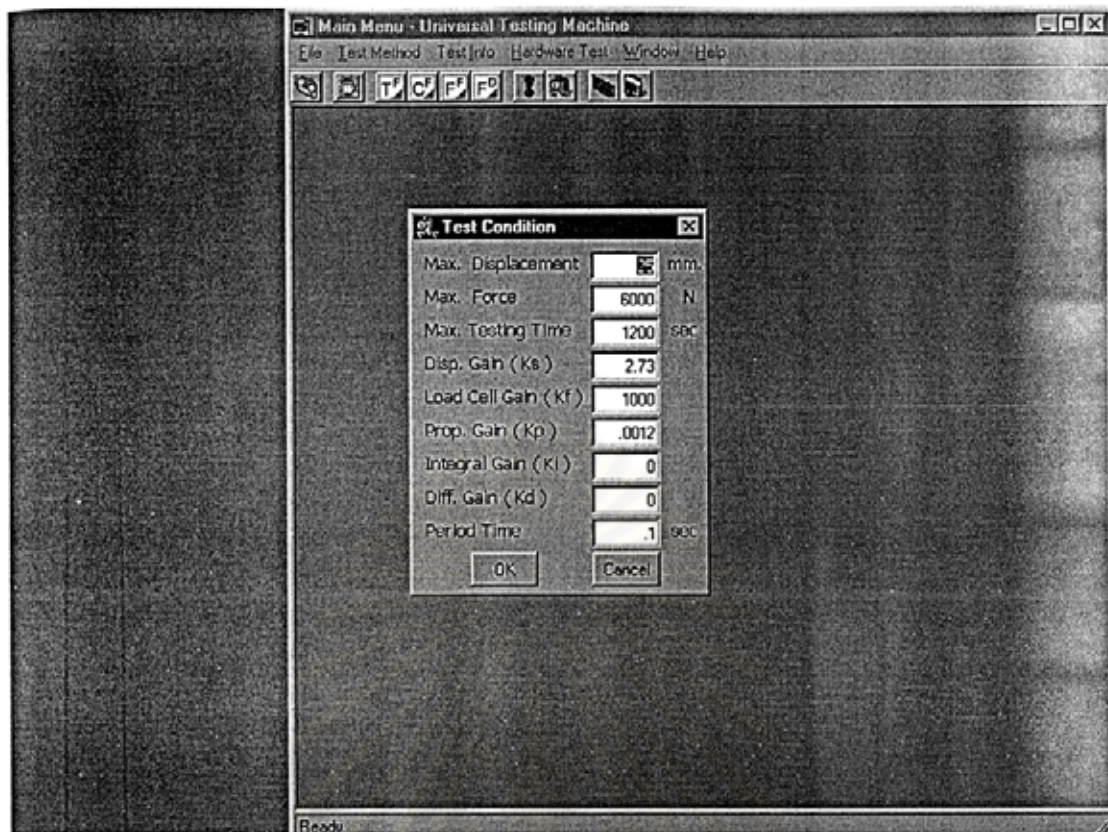
นอกจากนั้นในรูปที่ 4.1.19 จะเป็นตัวอย่างของระบบป้องกันความเสียหายของอุปกรณ์ทดสอบ โดยจะเป็นกรณีที่ ระยะเวลาของตัววัดระยะทางเกินค่าที่กำหนดไว้ในสภาวะของการทดสอบ ระบบจะสั่งรีเซ็ตวาล์วและอุปกรณ์อื่นๆ ให้หยุดและกลับเข้าสู่สถานะพร้อมทดสอบ ส่วนในรูปที่ 4.1.20 จะเป็นกรณีที่แรงที่กระทำกับสเตรนเกจมีค่าเกินค่าที่กำหนดในสภาวะการทดสอบ



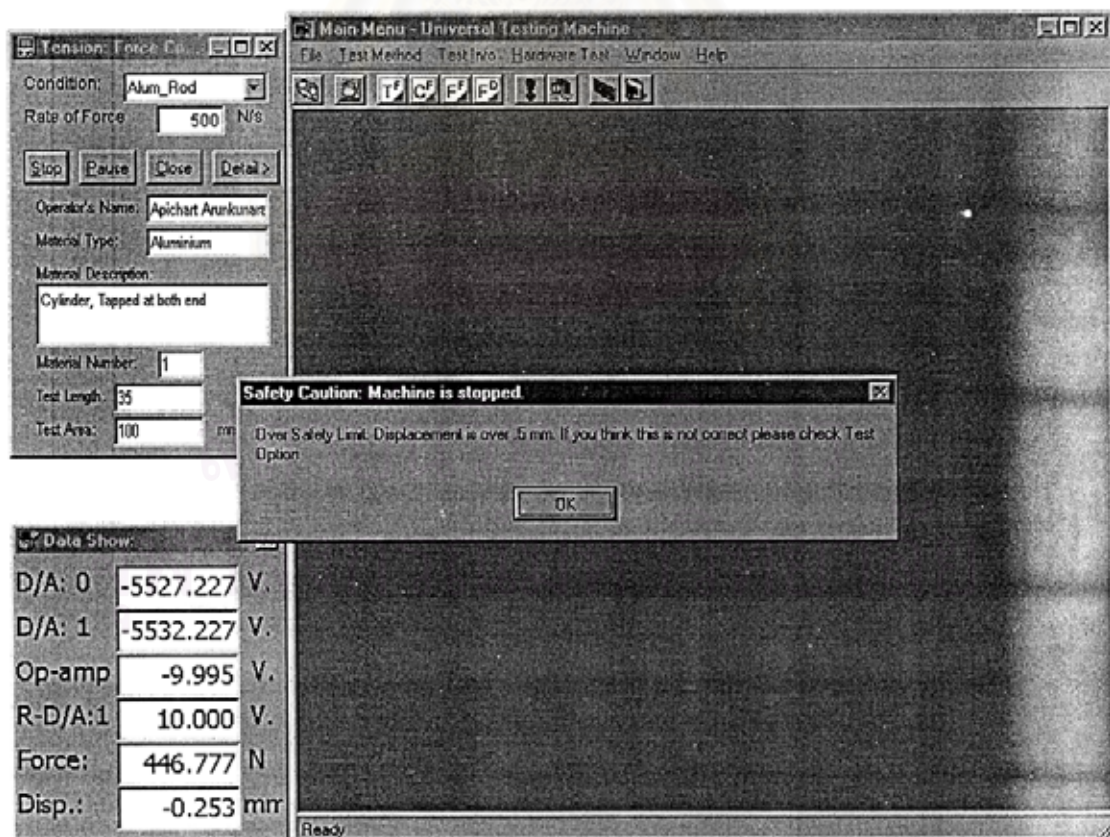
รูปที่ 4.1.16 เมนูเลือกเข้าที่ไปยังตัวเลือกของระบบทดสอบ



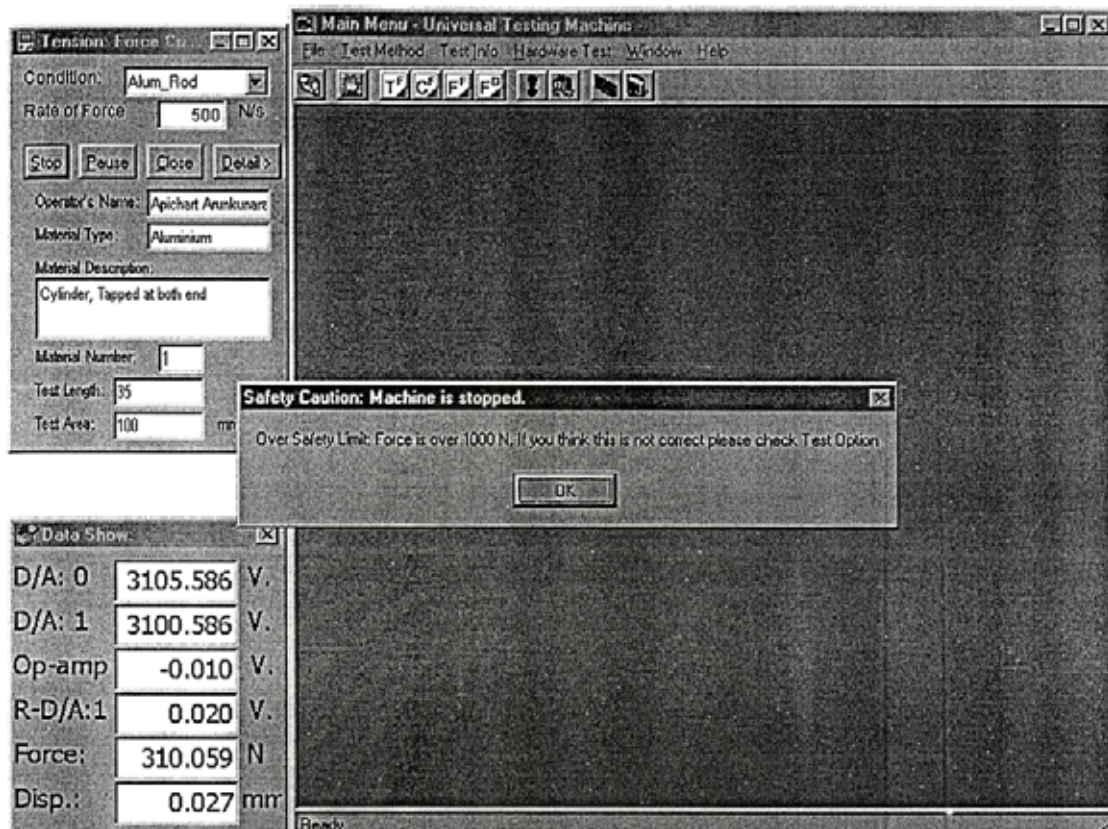
รูปที่ 4.1.17 ตัวอย่างของข้อมูลของชิ้นงานทดสอบ



รูปที่ 4.1.18 หน้าจอแสดงข้อมูลของสถานะทดสอบ ณ ปัจจุบัน



รูปที่ 4.1.19 การแสดงข้อความเตือนและหยุดระบบทดสอบทั้งหมด เมื่อระบบทดสอบดึงหรือกดวัสดุจนระยะที่ดึง หรือ กดมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ในสภาวะทดสอบ



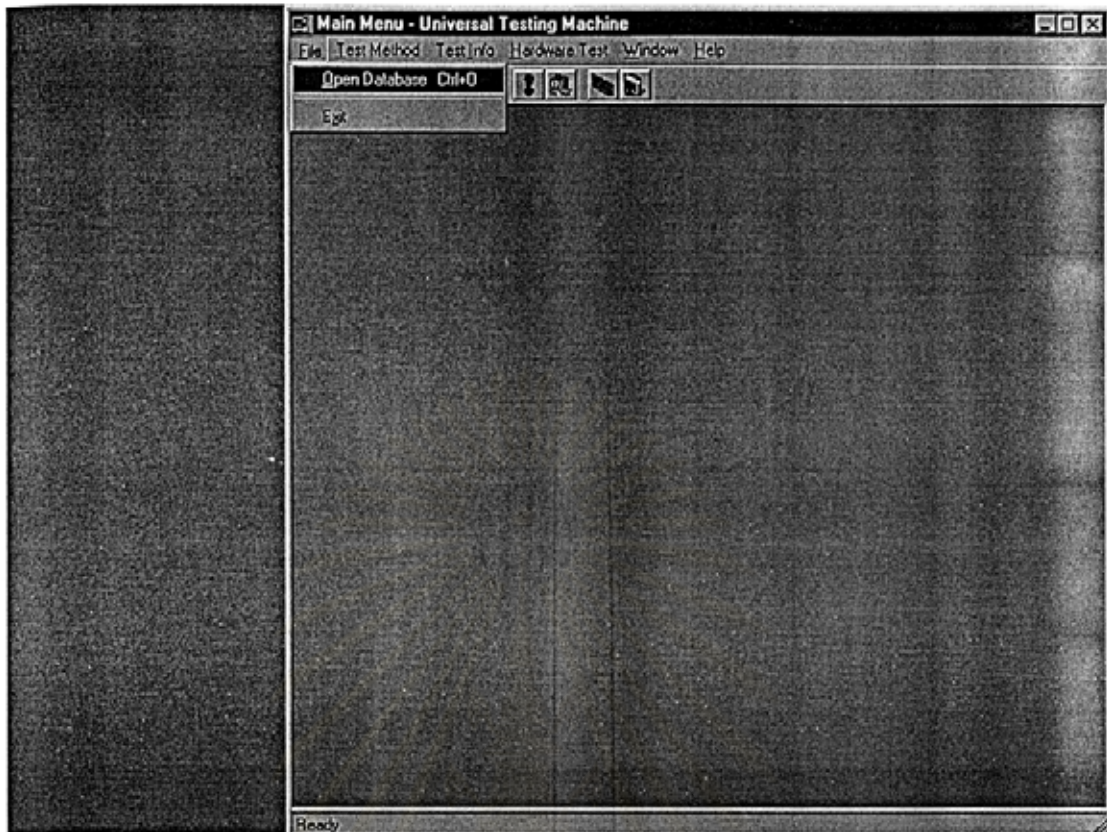
รูปที่ 4.1.20 การแสดงข้อความเตือนและหยุดระบบทดสอบทั้งหมด เมื่อระบบทดสอบดึงหรือกดวัสดุจนแรงที่ดึงหรือกดมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ในสภาวะทดสอบ

4.1.3) ระบบฐานข้อมูล (Database System)

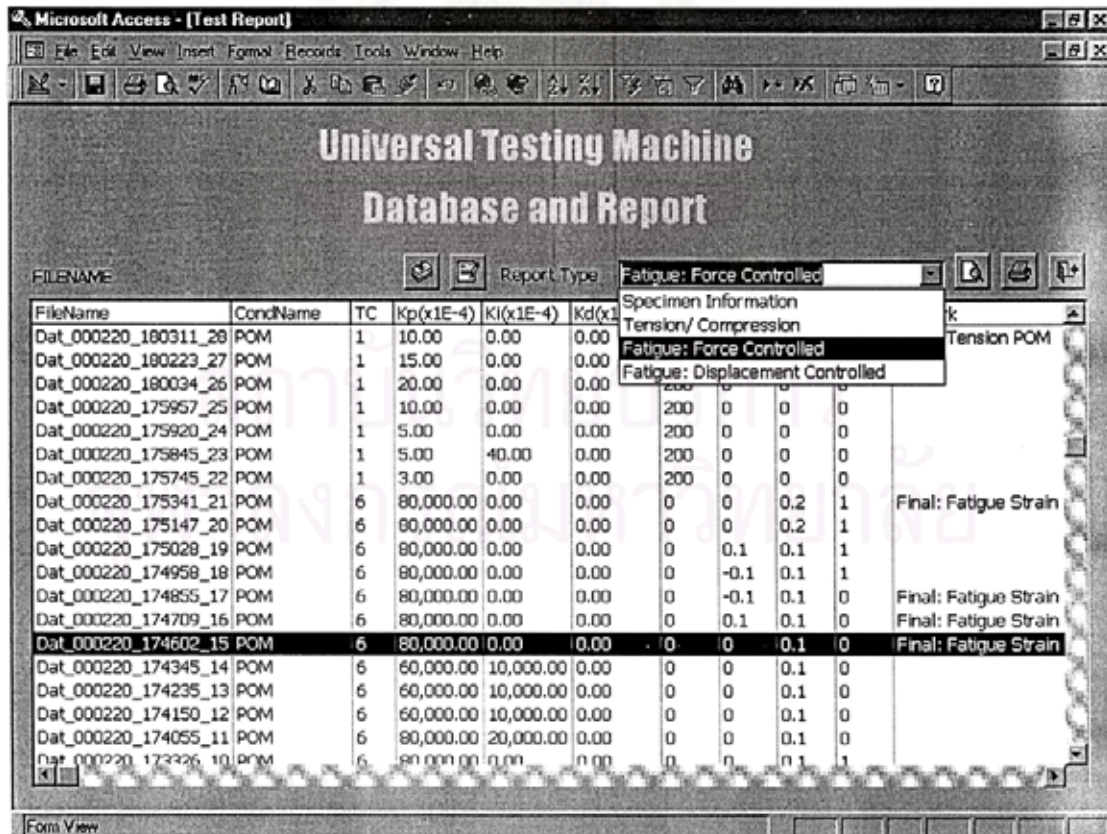
สำหรับในส่วนของการเก็บข้อมูล และแสดงผล เพื่อการวิเคราะห์ ทางผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Microsoft Access 97 เนื่องจากมีเครื่องมือที่ช่วยในการพิมพ์รายงาน โดยเมื่อเปิดระบบฐานข้อมูลจากเมนูในระบบทดสอบ ดังรูปที่ 4.1.21 โปรแกรมจะไปเรียก OLE (Object Linking and Embedding) เพื่อเปิด Microsoft Access ดังรูป 4.1.22

นอกจากนั้นในส่วนของรายงานจะมีอยู่ 6 แบบ คือ

- รายงานข้อมูลชิ้นงานทดสอบ (Specimen Information) ดังรูปที่ 4.1.23
- ข้อมูลสภาวะการทดสอบชิ้นงาน (Test Condition Data Sheet) ตามรูปที่ 4.1.24
- ผลการทดสอบชิ้นงาน (Test Data) ตามรูปที่ 4.1.25
- กราฟเปรียบเทียบค่าที่ส่งไปควบคุมเทียบกับค่าวัดกลับมาณจุดก่อนควบคุม (CtrlVal, Read P-Val, Read D-Val) ตามรูปที่ 4.1.26
- กราฟเปรียบเทียบแรงที่สั่งจากคอมพิวเตอร์เทียบกับที่กระทำกับชิ้นงานจริง (SetVal & ReadForce) ตามรูปที่ 4.1.27
- กราฟเปรียบเทียบระยะยืดหรือหดของชิ้นงานที่สั่งจากคอมพิวเตอร์เทียบกับที่กระทำกับชิ้นงานจริง (SetVal & ReadDisp) ตามรูปที่ 4.1.28
- กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress VS Strain Curve) ตามรูปที่ 4.1.29



รูปที่ 4.1.21 การเปิดระบบฐานข้อมูลจากโปรแกรมทดสอบวัสดุ



รูปที่ 4.1.22 หน้าจอหลักของส่วนพิมพ์รายงาน

Microsoft Access - [Info]

File Edit View Tools Window Help

Fit Close

Specimen Information

Condn Name	OpName	MatType	TestLen	TestArea	MatNumber
Run 001	ApChert Arunkornw	Aluminum		35	100
MatDesc:					
Cylinder, Tapped at both ends					
Remark:					

Wednesday, February 23, 2000

Page 1 of 4

Page: 1/1

Ready

รูปที่ 4.1.23 หน้าจอปริ๊นก่อนพิมพ์รายงานข้อมูลชิ้นงาน

Microsoft Access - [TestReport-4]

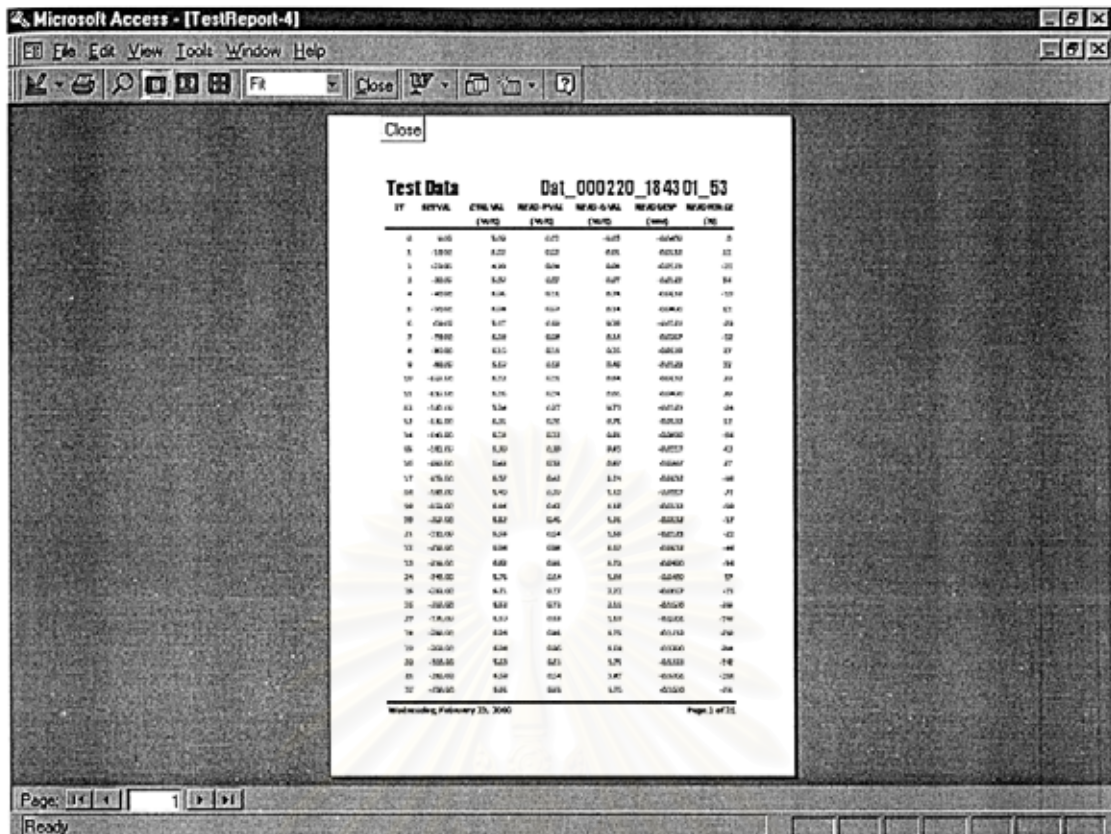
File Edit View Tools Window Help

Fit Close

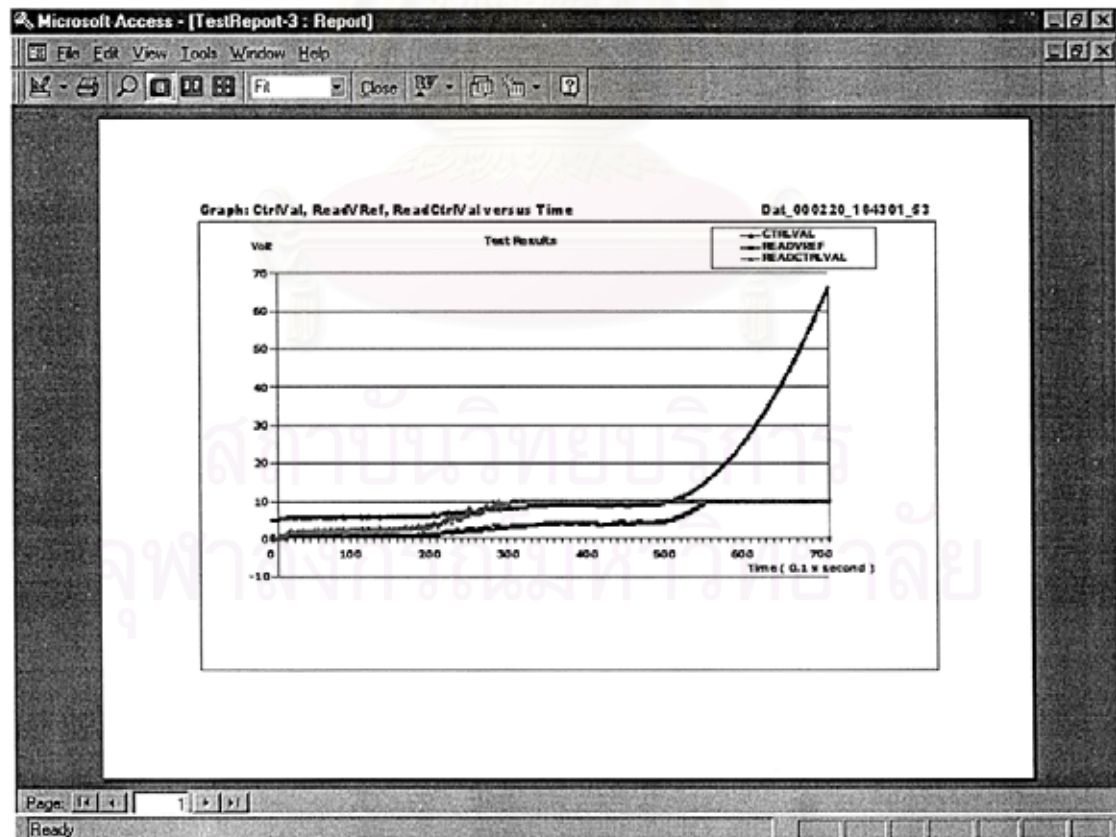
Test Condition Data Sheet Job: 00220_18401_50

Condn Name	Operator Name	Material Type
Run	ApChert Arunkornw	Aluminum
Test Length (mm)	Test Area (cm ²)	
35	271	
Material Description		
Cyl. Mtr, Tapped both ends		
Material Number	Site Name	
2	00_00220_18401_50	
Test Results		
Minimum Allowable Displacement of LVDT (mm)		
2		
Maximum Allowable Force of Strain Gauge (N)		
1000		
Minimum Test Time (s)	Complier Sampling Time (s)	
100	0.1	
DISPLACEMENT OF LVDT AT STRAIN GAUGE POINT		
4.45A		
APPLIED LOAD TO VOLT CONVERSION (mm)	APPLIED VOLT CONVERSION (mm)	
2.75	270	
SETPOINT LOAD (N)	SETPOINT VOLT	SETPOINT VOLT
0.000	0.000	0.000
Test Condition Type	Test Wave Type	
0	0	
Test Rate (N/s)	Test Hold/Fault (N/s)	
100	0	
Default Waveform	Default Strain Gauge	
0	0	
Created Date		
02/23/2000 10:46:44 AM		

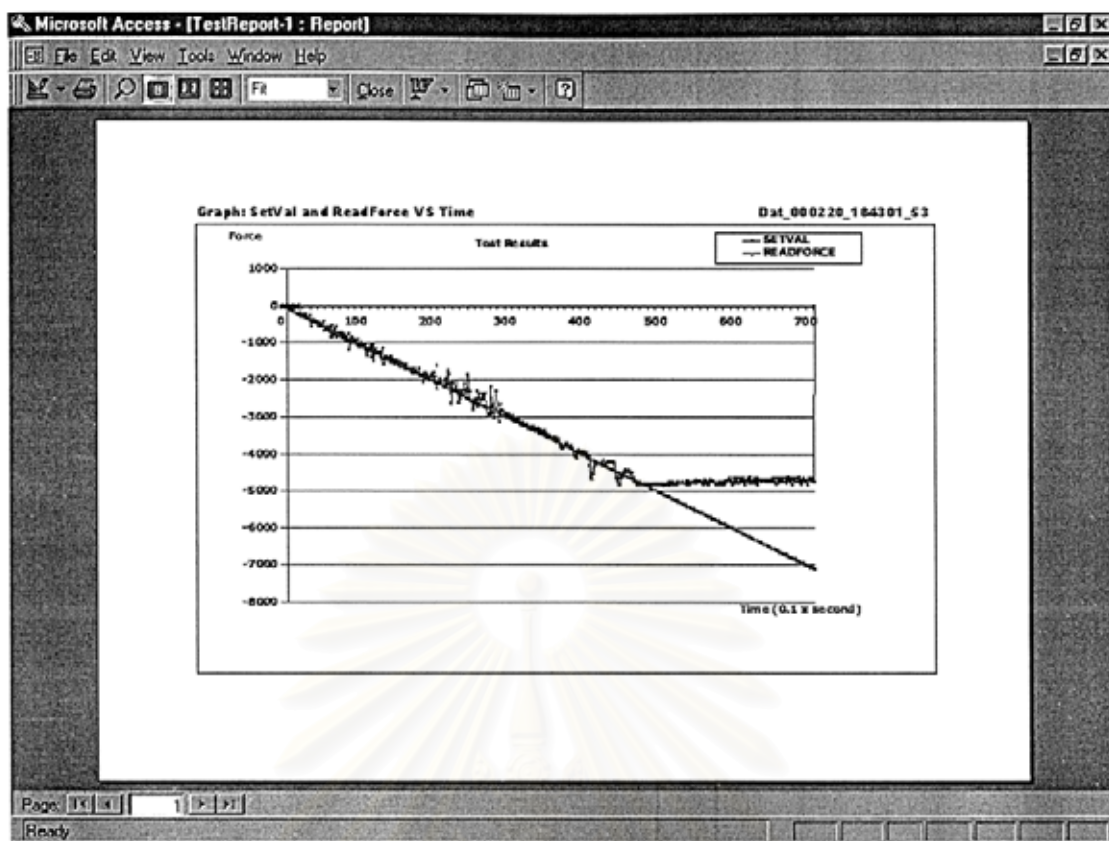
รูปที่ 4.1.24 หน้าจอปริ๊นแสดงข้อมูลสภาวะการทดสอบ



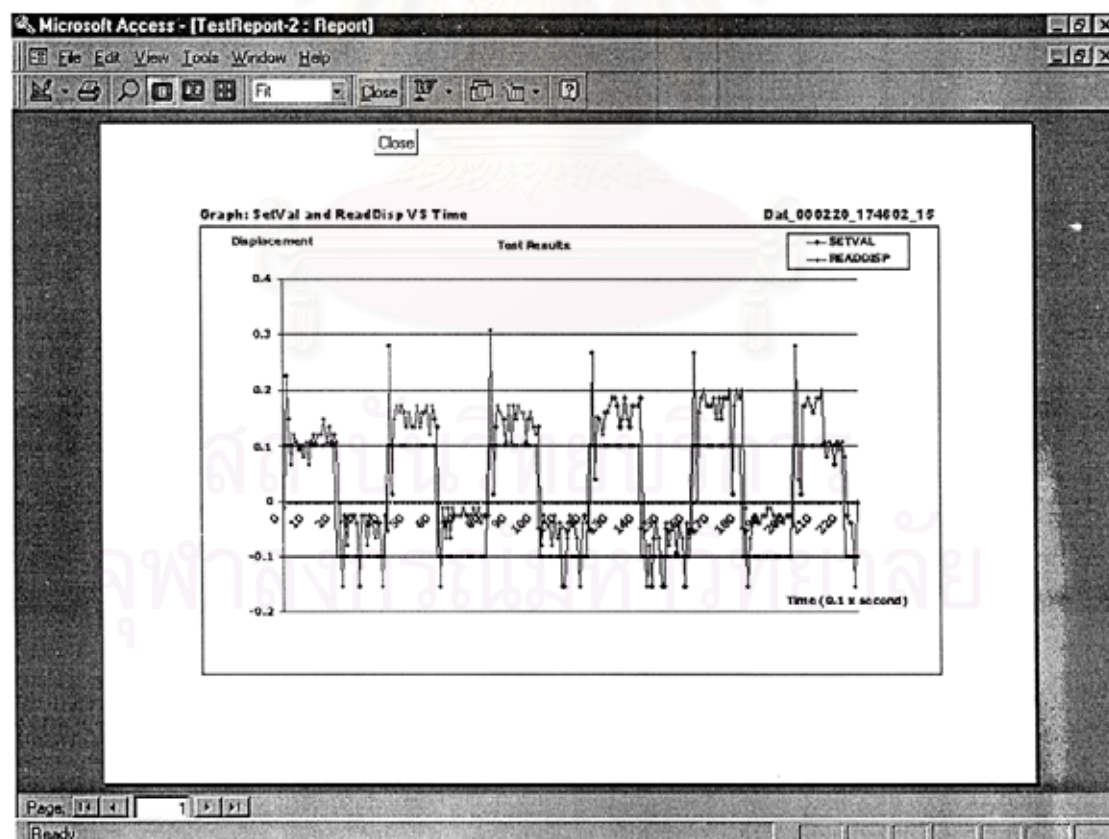
รูปที่ 4.1.25 หน้าจอปริ๊นแสดงข้อมูลของการทดสอบ



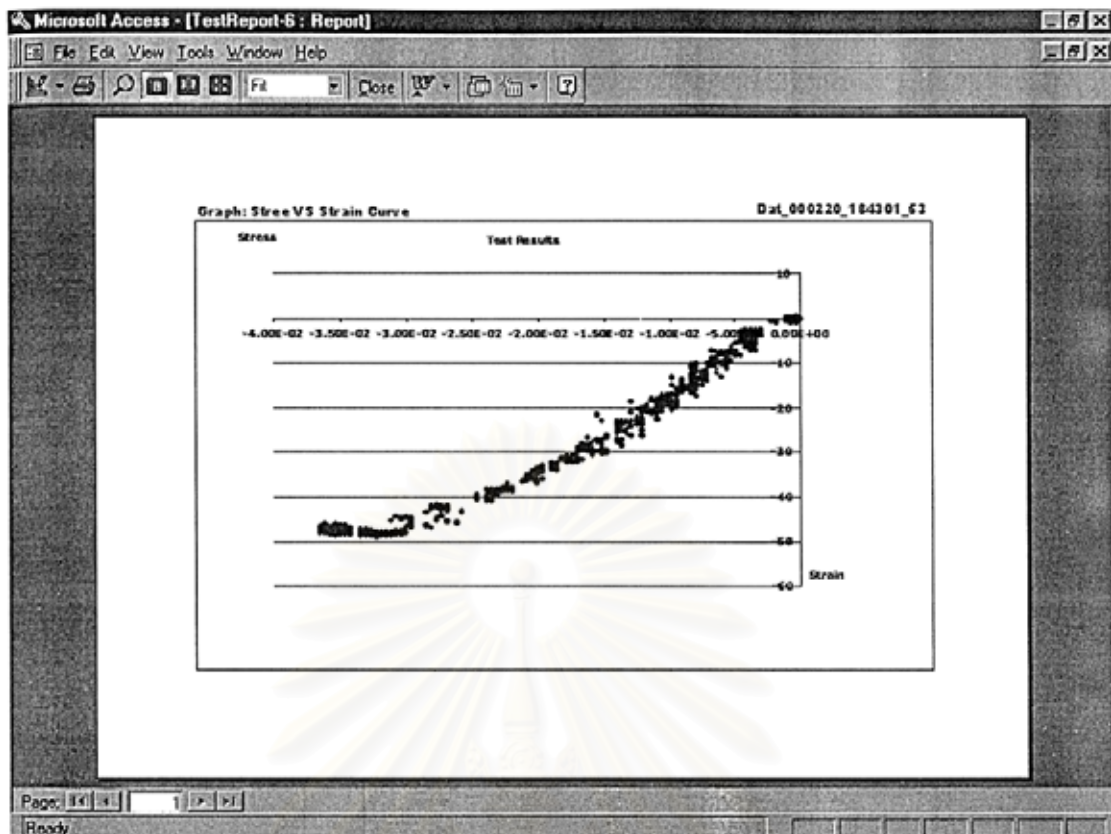
รูปที่ 4.1.26 หน้าจอปริ๊นแสดงกราฟของค่าที่ส่งไปควบคุมกับค่าที่อ่านกลับมา ณ จุดควบคุม



รูปที่ 4.1.27 หน้าจอปริ๊นแสดงกราฟของค่าที่คอมพิวเตอร์ส่งออกไปควบคุมเทียบกับค่าแรงที่กระทำกับชิ้นงานจริง ๆ



รูปที่ 4.1.28 หน้าจอปริ๊นแสดงกราฟของค่าที่คอมพิวเตอร์กำหนดเทียบกับค่าระยะยืดหรือหดที่ชิ้นงานเกิดขึ้นจริง ๆ

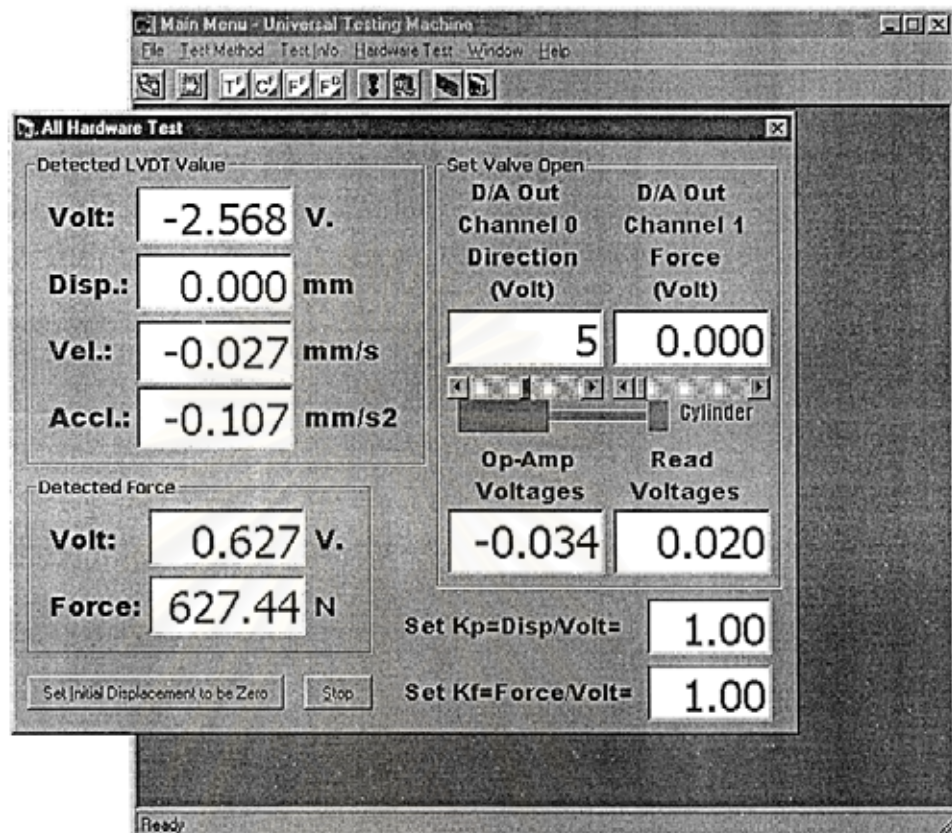


รูปที่ 4.1.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของวัสดุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 การปรับค่าเกนพีไอดี และการทดสอบ

ในการเริ่มทดสอบ สิ่งที่ต้องทำเป็นก่อนการทดสอบก็คือ การตรวจเช็คอุปกรณ์ทุกอย่างก่อน ซึ่งจะใช้หน้าจอบ All Hardware Test



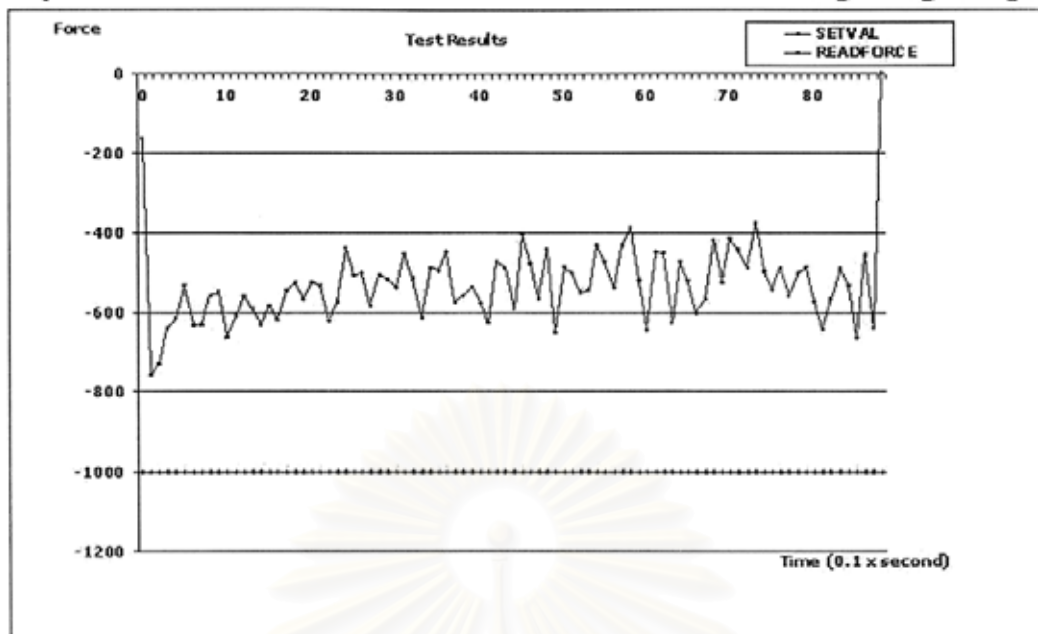
รูปที่ 4.2.1 หน้าจอตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบ

การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์พีไอดีของระบบ

จากการพิจารณาทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของระบบควบคุมป้อนกลับแรง และระยะทางในหัวข้อ 2.1.8 จะพบว่าทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของระบบเป็นแบบ Non-Linear ดังนั้นถึงแม้ว่าจะหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบมาแทนค่าได้ แต่ก็พบว่าไม่สามารถใช้วิธีออกแบบระบบควบคุมอย่างเช่น Root Locus หรือ Frequency Response Method ได้ สำหรับวิธี On-Plant Tuning และ Ziegler Nichols Method ทางผู้วิจัยได้ลองนำมาปรับค่าเพื่อหาค่าเกนที่เหมาะสม โดยในรูปที่ 4.2.2 จะเป็นการใส่ค่าเกนพี = 5×10^{-4} อย่างเดียว โดยมี Input เป็น Step Function ที่ให้แรง 1,000 นิวตัน จากกราฟของแรงกับเวลาที่ได้จะพบว่าระบบไม่สามารถให้แรงถึง 1,000 นิวตันได้ จากนั้นจึงได้ลองเพิ่มค่าเกนพีให้เป็น 10×10^{-4} ดังรูปที่ 4.2.3 ระบบจะสามารถ Track เข้าหาค่าที่ตั้งไว้ได้คือ 1,000 นิวตัน แต่เนื่องจากในวิธีของ Ziegler Nichols จำเป็นต้องปรับค่าเกนเพิ่มขึ้นให้ค่าเอาท์พุทแกว่งโดยมีคาบของการแกว่งคงที่จึงได้ลองเพิ่มค่าเกนพีเป็น 18×10^{-4} ปรากฏว่ากราฟที่ได้ยังไม่สามารถให้ช่วงการแกว่งคงที่ตามรูปที่ 4.2.4 จึงได้เพิ่มค่าเกนพีจนเท่ากับ 20×10^{-4} ตามรูปที่ 4.2.5 โดยมีช่วงเวลาของการสุมค่าคือ 0.1 วินาที และตามรูปที่ 4.2.6 โดยช่วงเวลาการสุมค่าคือ 0.2 วินาที ซึ่งก็จะเกิดการแกว่งไปมาแต่ไม่ใช้การแกว่งแบบคงตัว จึงสรุปว่าระบบไม่สามารถใช้วิธีการปรับค่าเกนแบบ Ziegler Nichols ในการช่วยปรับค่าเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมได้ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นระบบ Non-Linear

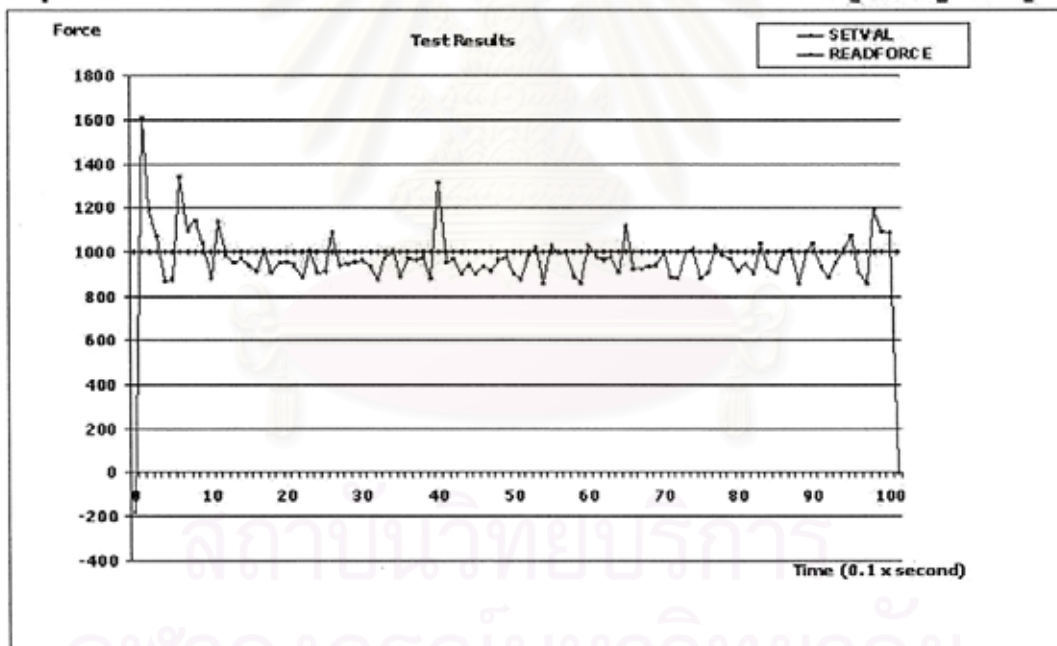
Graph: SetVal and ReadForce VS Time

Dat_000228_192243_06

รูปที่ 4.2.2 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดยวิธีซีเกลอร์นิกอล ค่าเกณฑ์ = 5×10^{-4}

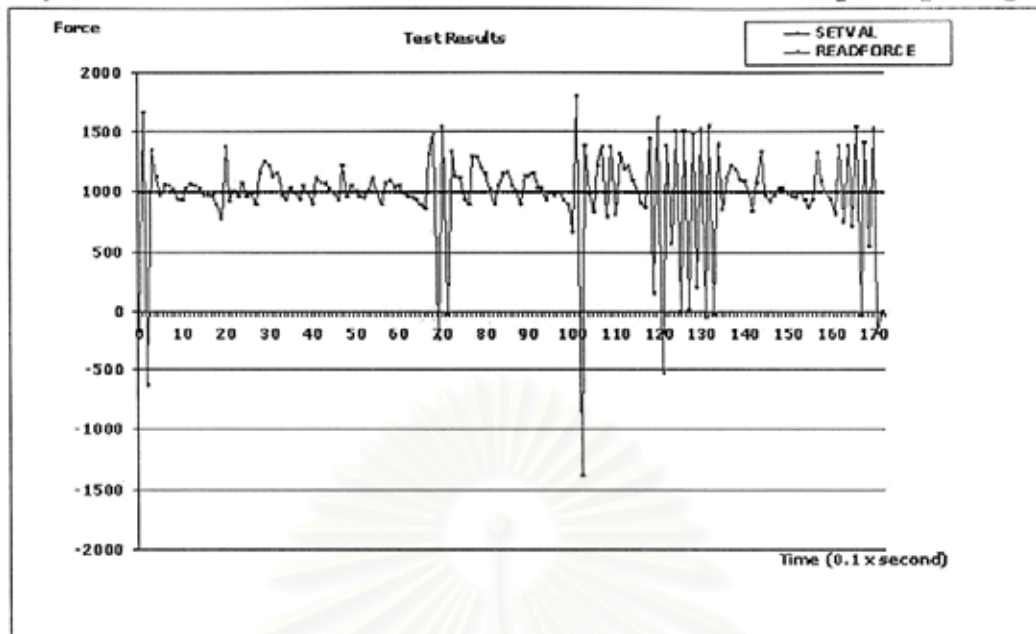
Graph: SetVal and ReadForce VS Time

Dat_000228_193710_15

รูปที่ 4.2.3 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดยวิธีซีเกลอร์นิกอล ค่าเกณฑ์ = 10×10^{-4}

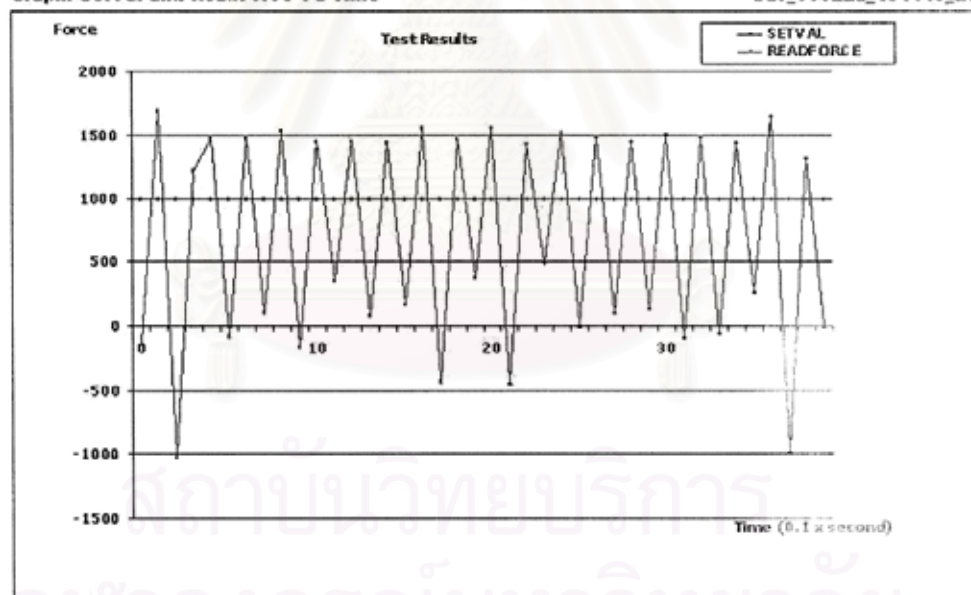
Graph: SetVal and ReadForce VS Time

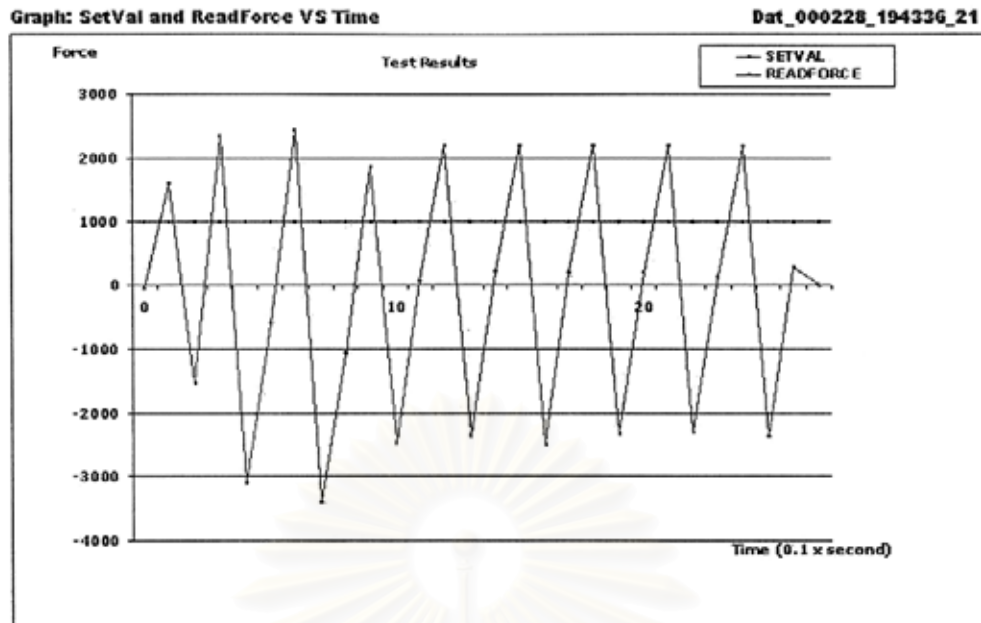
Dat_000228_194110_19

รูปที่ 4.2.4 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดยวิธีซีเกลอร์นิกอล ค่าเกณฑ์ = 18×10^{-4}

Graph: SetVal and ReadForce VS Time

Dat_000228_194149_20

รูปที่ 4.2.5 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดยวิธีซีเกลอร์นิกอล ค่าเกณฑ์ = 20×10^{-4} เวลาสุ่มค่า 0.1 วินาที



รูปที่ 4.2.6 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดยวิธีซีเกลอร์นิโคล ค่าเกนพี = 20×10^{-4} เวลาสุ่มค่า 0.2 วินาที

จากการพิจารณาข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์พีไอดีในระบบโดยการทดลองและแก้ไขข้อผิดพลาด (Trial & Error) โดยได้ทดลองใส่ค่าเกนพี (Proportional Gain) อย่างเดียวก่อน แล้วค่อยเพิ่มเกนไอ (Integral Gain) อย่างเดียว และลองเพิ่มเกนดี (Derivative Gain) สุดท้ายปรับแต่งโดยใช้ทั้งพีไอและดี (PID Control)

ในการปรับค่าเกนนี้จะทำโดยการตั้งชิ้นงานที่อัตรา 200 นิวตันต่อวินาที จนถึงแรงถึง 1,200 นิวตัน วัสดุที่ใช้คือ อลูมิเนียม พื้นที่ของชิ้นงานทดสอบบริเวณจุดทดสอบคือ 100 มิลลิเมตร และความยาวของชิ้นงาน ณ จุดทดสอบ คือ 35 มิลลิเมตร

การปรับค่าเกนพี

รูปที่ 4.2.7 ได้ทดลองใส่ค่าเกนพีอย่างเดียวก้าวเข้าไปที่ $K_p = 10 \times 10^{-4}$

รูปที่ 4.2.8 ได้ทดลองใส่ค่าเกนพีอย่างเดียวก้าวเข้าไปที่ $K_p = 14 \times 10^{-4}$

รูปที่ 4.2.9 ได้ทดลองใส่ค่าเกนพีอย่างเดียวก้าวเข้าไปที่ $K_p = 4 \times 10^{-4}$

โดยจากผลดังกล่าวจะพบว่าที่ $K_p = 4 \times 10^{-4}$ ระบบจะไม่สามารถปรับค่าให้เข้าใกล้ค่าที่กำหนดได้ และเมื่อใช้ $K_p = 14 \times 10^{-4}$ ระบบก็จะไม่มีเสถียรภาพ จึงได้เลือกใช้ค่า $K_p = 10 \times 10^{-4}$ ซึ่งเป็นค่ากลางระหว่างทั้งสองจุด โดยจะมีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดคือ 74.83 นิวตัน (6.24%) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 154.73 นิวตัน (12.89%)

การปรับค่าเกนพีไอ

แต่เนื่องจากค่าความผิดพลาดจากการใส่ค่าเกนพีเพียงอย่างเดียวยังมากอยู่จึงได้ทำการเพิ่มค่าเกนไอเข้าไปในระบบควบคุมด้วยโดยที่

รูปที่ 4.2.10 ได้ทดลองใส่ค่า $K_p = 10 \times 10^{-4}$, $K_i = 1 \times 10^{-4}$

รูปที่ 4.2.11 ได้ทดลองใส่ค่า $K_p = 10 \times 10^{-4}$, $K_i = 10 \times 10^{-4}$

รูปที่ 4.2.12 ได้ทดลองใส่ค่า $K_p = 10 \times 10^{-4}$, $K_i = 20 \times 10^{-4}$

จะพบว่าเมื่อค่า $K_i = 1 \times 10^{-4}$ ระบบจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด ยังคงค่อนข้างคล้ายกับระบบที่ไม่มีค่าเกนไอ และเมื่อใส่ค่า $K_i = 20 \times 10^{-4}$ ระบบจะมีค่าความผิดพลาดในช่วงเริ่มต้นการทดสอบค่อนข้างมาก จึงเลือกใส่ค่า $K_i = 10 \times 10^{-4}$ ซึ่งจะพบว่าระบบจะติดตามค่าความผิดพลาดได้เร็วขึ้น โดยจะมีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดคือ 52.94 นิวตัน (4.41%) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 176.62 นิวตัน (14.72%)

การปรับค่าเกนพีดี

จากนั้นจึงได้ทดลองใส่ค่าเกนดีโดยที่

รูปที่ 4.2.13 ได้ทดลองใส่ค่า $K_p = 8 \times 10^{-4}$, $K_D = 8 \times 10^{-4}$

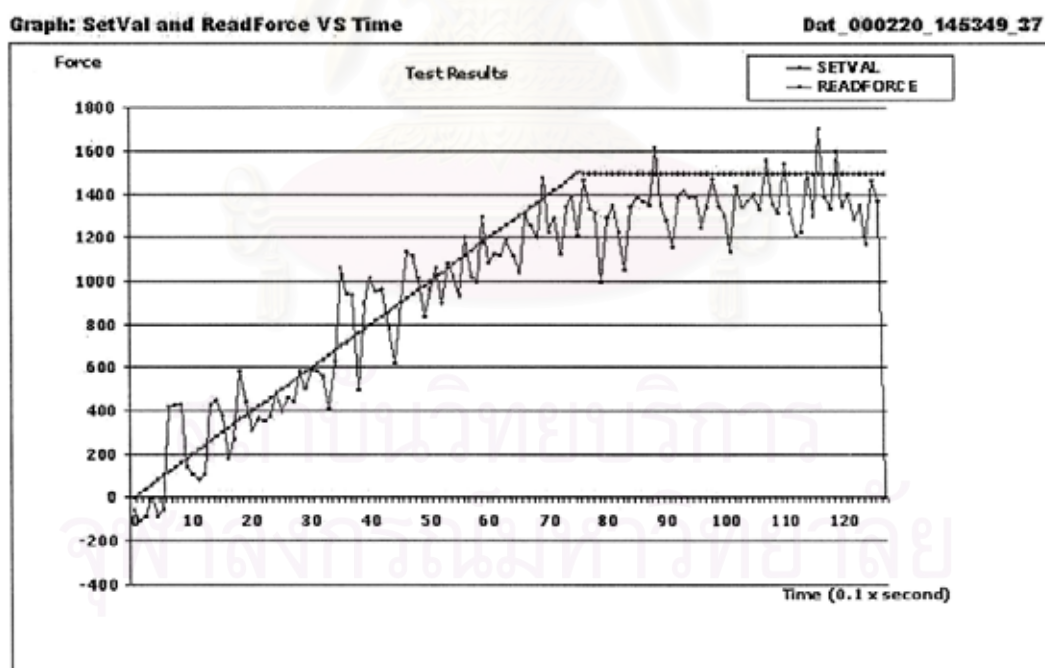
รูปที่ 4.2.14 ได้ทดลองใส่ค่า $K_p = 8 \times 10^{-4}$, $K_D = 0.8 \times 10^{-4}$

รูปที่ 4.2.15 ได้ทดลองใส่ค่า $K_p = 8 \times 10^{-4}$, $K_D = 0.08 \times 10^{-4}$

จะพบว่าเมื่อใส่ค่า K_D เข้าไปในระบบ ระบบจะแกว่ง คือเกิดความไม่มีเสถียรภาพขึ้น แม้ว่าจะลดค่า K_D ลงมาผลการตอบสนองของระบบก็ไม่ดีขึ้น โดยเมื่อ $K_D = 0.08 \times 10^{-4}$ ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดจะอยู่ที่ 101.92 นิวตัน (8.49%) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 146.45 นิวตัน (12.21%)

การปรับค่าเกนพีไอดี

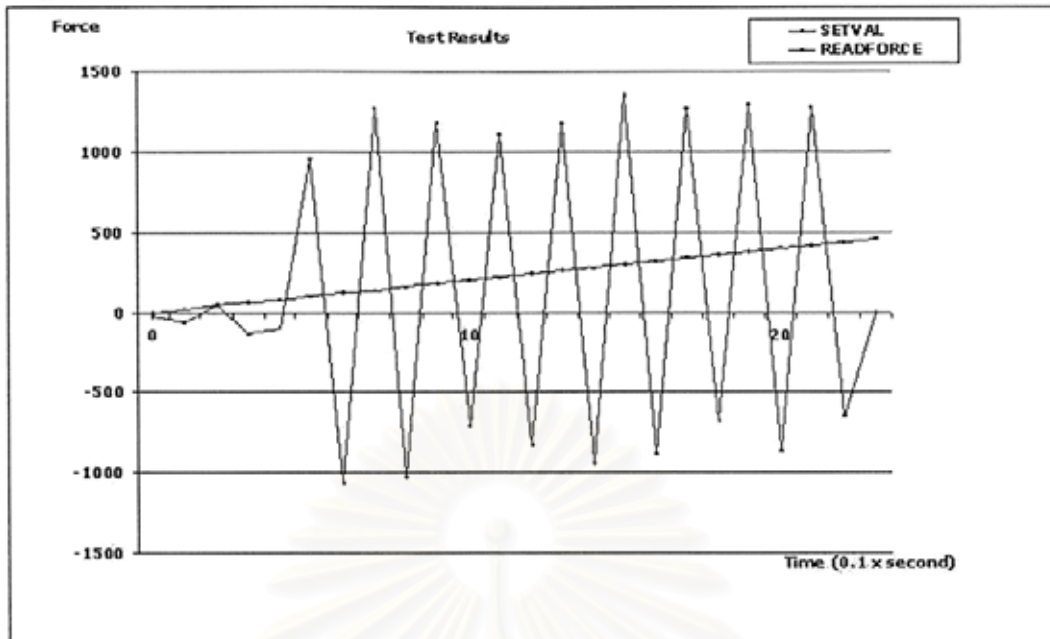
สุดท้ายจึงได้มีการทดลองใส่ค่าเกนพี เกนไอ และเกนดี โดยที่ได้ทดลองใส่ค่า $K_p = 10 \times 10^{-4}$, $K_i = 10 \times 10^{-4}$ และ $K_D = 0.1 \times 10^{-4}$ ในรูปที่ 4.2.16 จะเป็นกราฟแสดงผลของการทดลองปรับค่าให้เหมาะสม โดยจะมีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดอยู่ที่ 31.04 นิวตัน (2.59%) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 163.20 นิวตัน (13.60%)



รูปที่ 4.2.7 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 10×10^{-4}

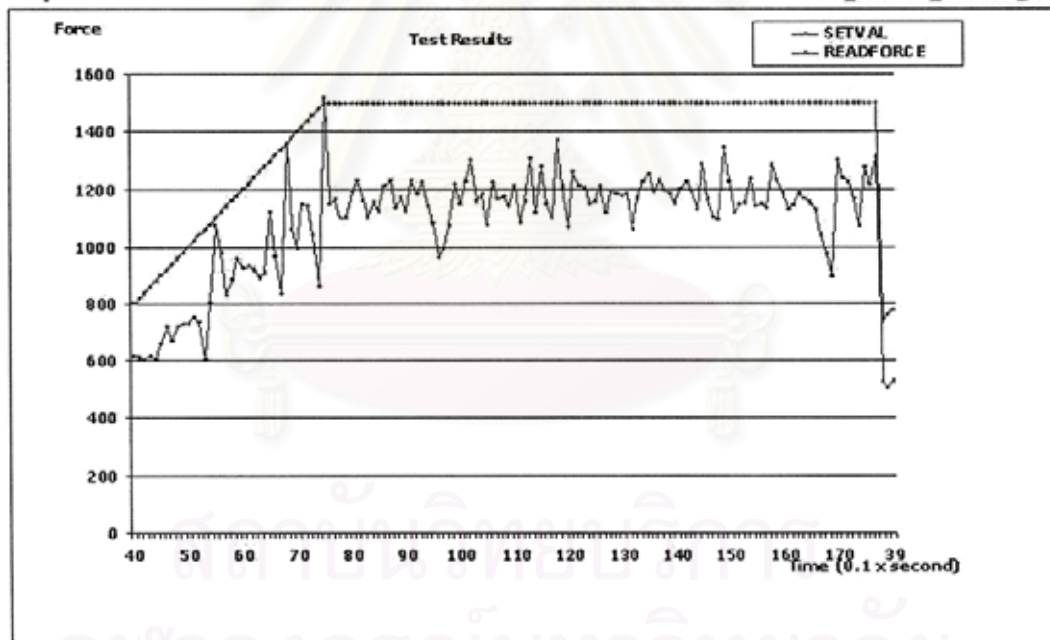
Graph: SetVal and ReadForce VS Time

Dat_000220_145948_40

รูปที่ 4.2.8 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 14×10^{-4}

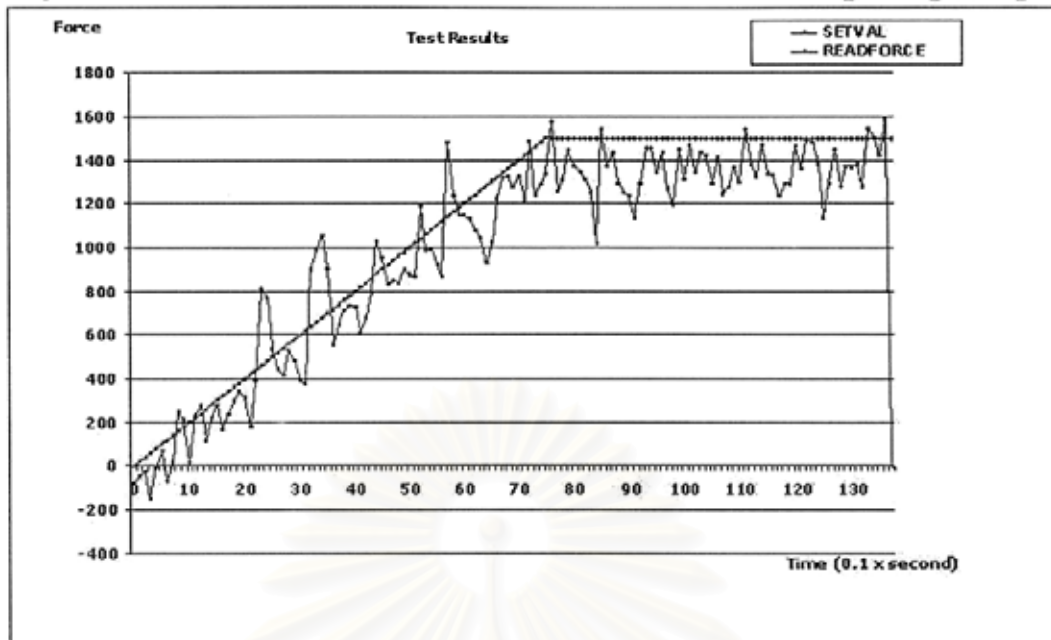
Graph: SetVal and ReadForce VS Time

Dat_000220_150541_43

รูปที่ 4.2.9 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 4×10^{-4}

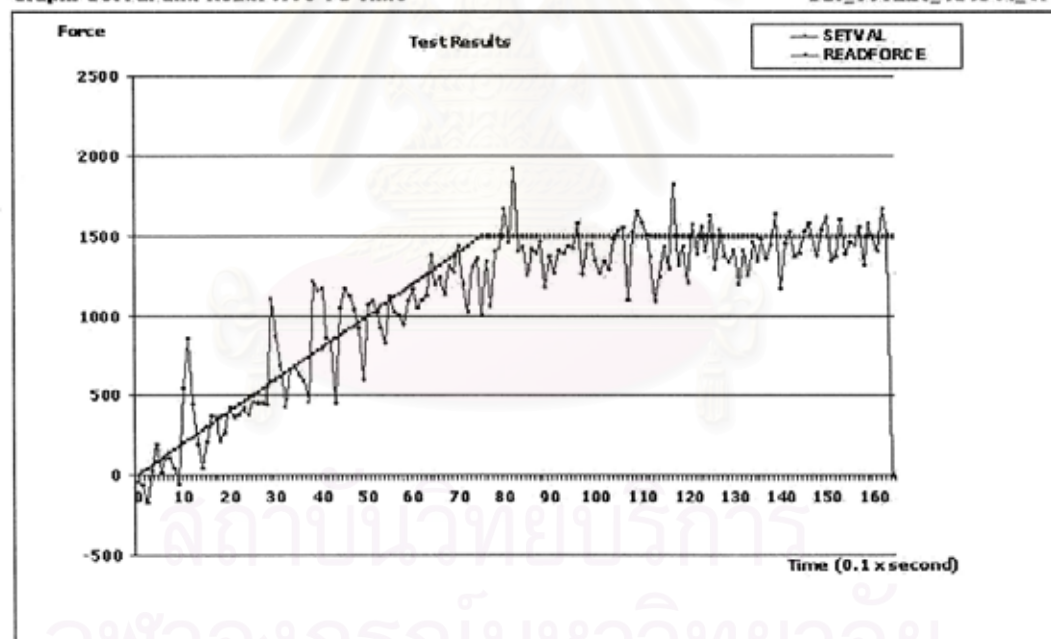
Graph: SetVal and ReadForce VS Time

Dat_000220_151714_46

รูปที่ 4.2.10 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 10×10^{-4} ค่าเกนไอ = 1×10^{-4}

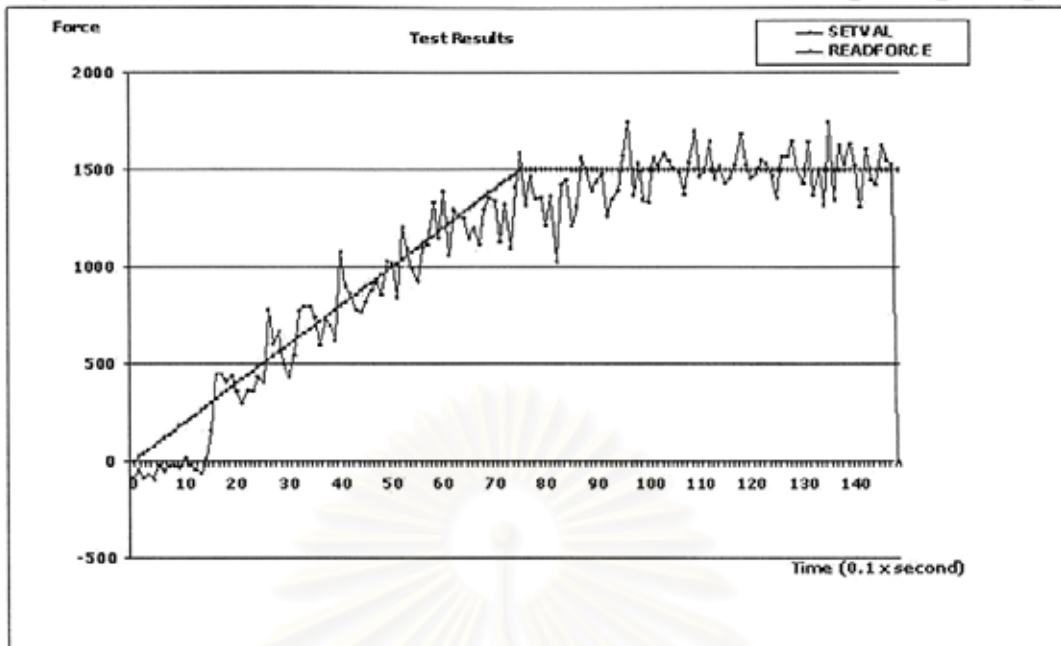
Graph: SetVal and ReadForce VS Time

Dat_000220_151941_47

รูปที่ 4.2.11 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 10×10^{-4} ค่าเกนไอ = 10×10^{-4}

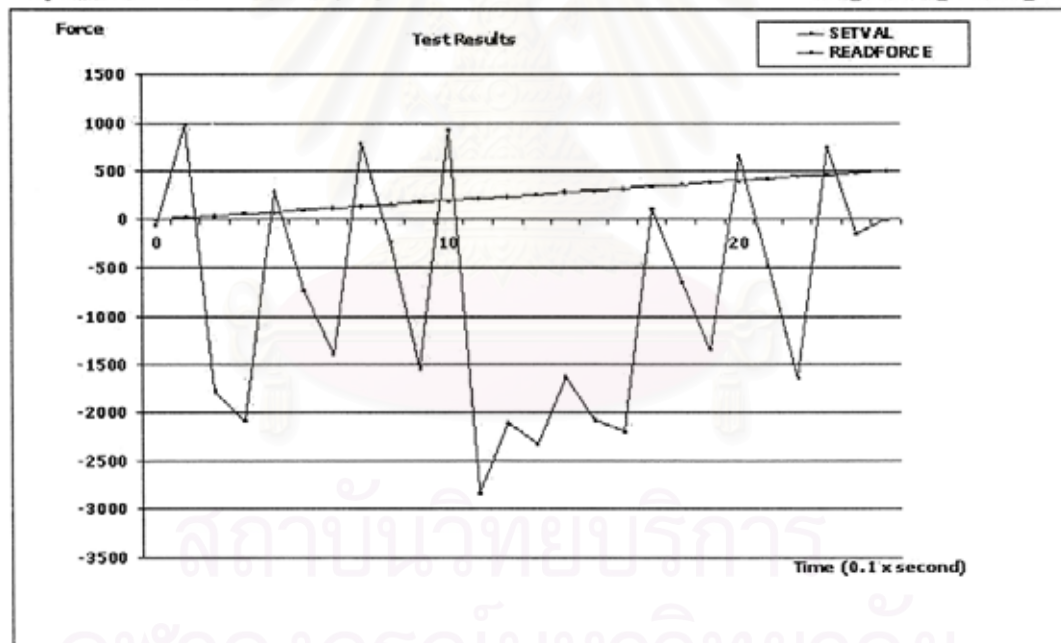
Graph: SetVal and ReadForce VS Time

Dat_000220_152456_48

รูปที่ 4.2.12 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกณฑ์ = 10×10^{-4} ค่าเกณฑ์โอ = 20×10^{-4}

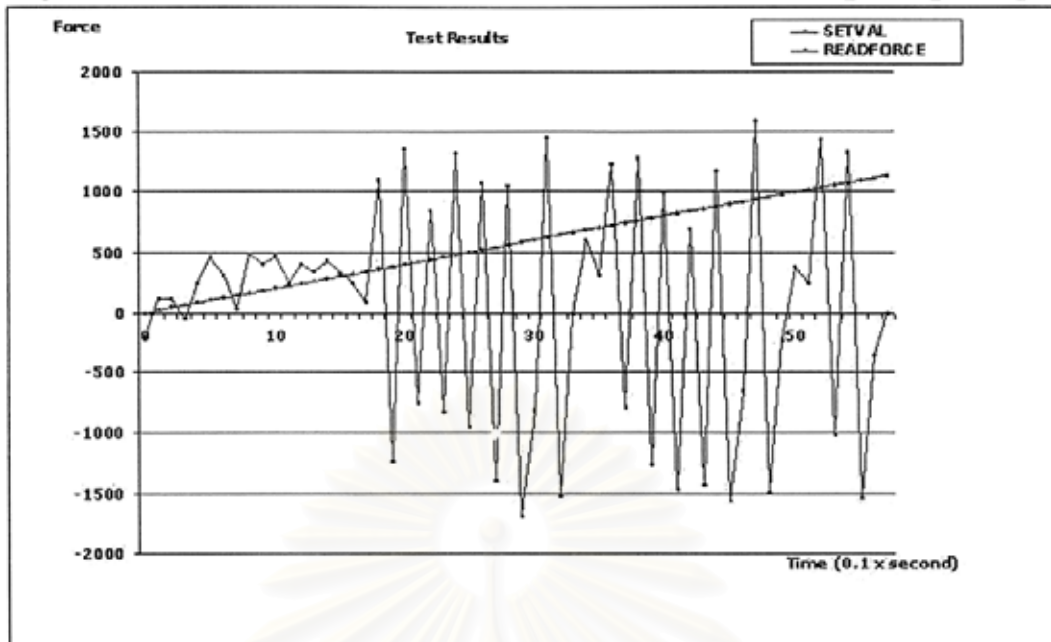
Graph: SetVal and ReadForce VS Time

Dat_000220_153328_52

รูปที่ 4.2.13 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกณฑ์ = 8×10^{-4} ค่าเกณฑ์โอ = 8×10^{-4}

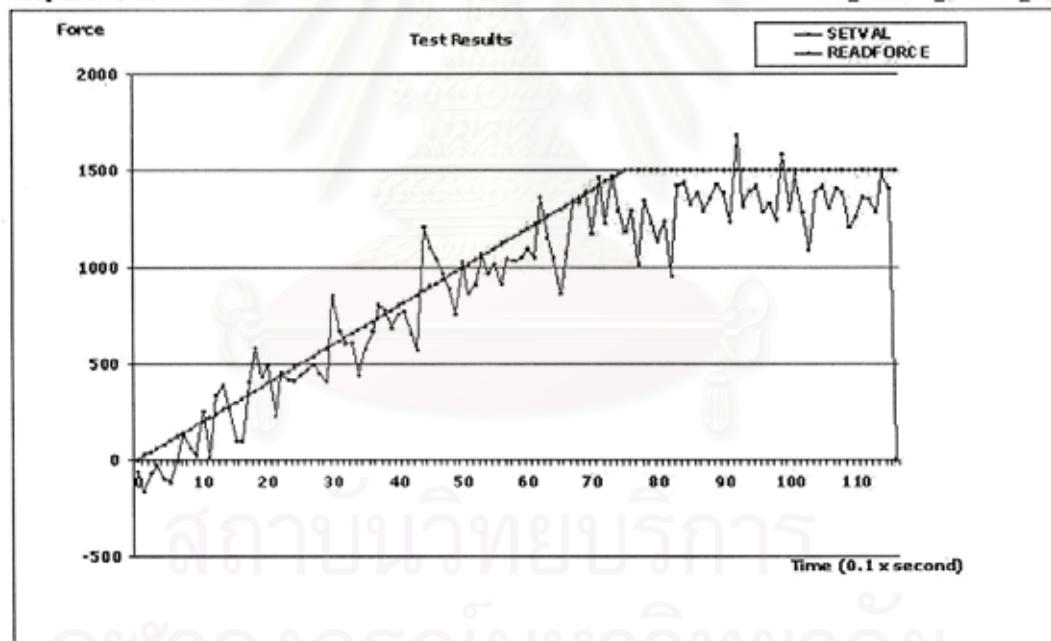
Graph: SetVal and ReadForce VS Time

Dat_000220_153403_53

รูปที่ 4.2.14 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 8×10^{-4} ค่าเกนดี = 0.8×10^{-4}

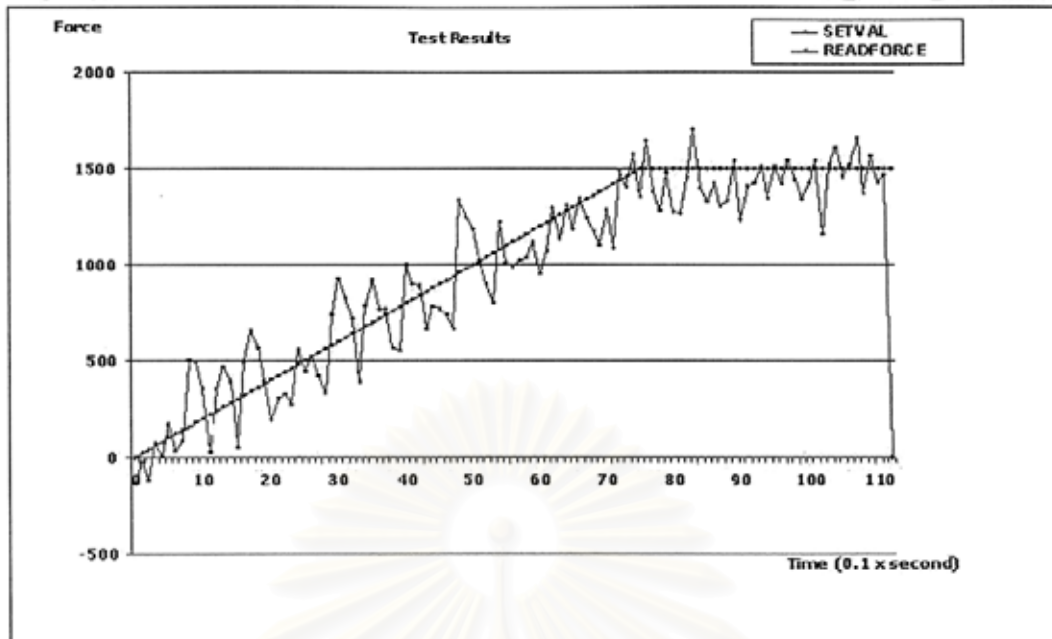
Graph: SetVal and ReadForce VS Time

Dat_000220_153428_54

รูปที่ 4.2.15 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกนพี = 8×10^{-4} ค่าเกนดี = 0.08×10^{-4}

Graph: SetVal and ReadForce VS Time

Dat_000220_153630_56

รูปที่ 4.2.16 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุมโดย ค่าเกณฑ์ = 10×10^{-4} ค่าเกณฑ์โอ = 10×10^{-4} ค่าเกณฑ์ดี = 0.1×10^{-4}

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบอุปกรณ์

ในการทดสอบนี้จะให้อุปกรณ์ทำการทดสอบกับชิ้นงานที่เป็นพลาสติกชนิด POM ซึ่งเป็นพลาสติกวิศวกรรมที่มีความยืดหยุ่นสูง โดยจะสามารถดูรายละเอียดของชิ้นงานทดสอบได้จากรายงานชุดของ Specimen Information ในรูปที่ 4.2.17

Specimen Information

CondName	DpName	MatType	TestLen	TestArea	MatNumber
Alum_Rod	Pichart Arunkunrax	Aluminium	35	100	1
MatDesc					
Cylinder, Tapped at both end					
Remark					

8 April 2000

Page 1 of 4

CondName	DpName	MatType	TestLen	TestArea	MatNumber
NiRod	Ying	Aluminium	35	100	3
MatDesc					
Cylinder, Tapped at both ends					
Remark					
CondName	DpName	MatType	TestLen	TestArea	MatNumber
POM	Pichart Arunkunrax	POM	35	100	2
MatDesc					
Cylinder, Tapped both ends					
Remark					

8 April 2000

Page 2 of 4

รูปที่ 4.2.17 รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ

CondName	DpName	MatType	TestLen	TestArea	MatNumber
BamCast1	iboy	Pom	35	100	4
MatDesc					
Cylinder, Tapped both end					
Remark					

CondName	DpName	MatType	TestLen	TestArea	MatNumber
BamCast2	iboy	Ultra High	35	100	5
MatDesc					
Cylinder, Tapped both end					
Remark					

8 April 2000

Page 3 of 4

CondName	DpName	MatType	TestLen	TestArea	MatNumber
BamCast3	iboy	Cast Iron	35	100	6
MatDesc					
Cylinder, Tapped both end					
Remark					

8 April 2000

Page 4 of 4

รูปที่ 4.2.17 รายละเอียดของชิ้นงานทดสอบ (ต่อ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบหาความเค้นกด

ใน Dat_000220_184301_53 จะเป็นการทดสอบหาความเค้นกดของวัสดุ ในส่วนของรายงานชุดแรกจะเป็นลักษณะของชิ้นงานทดสอบ สภาวะของการทดสอบ ดังรูปที่ 4.2.18 ส่วนในชุดที่สองจะเป็นข้อมูลดิบของการทดสอบคือสถานะต่างๆ ของอุปกรณ์ไม่ว่าจะเป็นค่าแรงดันที่สั่งจากบอร์ดควบคุม(คอมพิวเตอร์) ค่าแรง หรือระยะทางที่อ่านได้จากเซนเซอร์ ณ เวลาใดๆ ตามรูปที่ 4.2.19 จากนั้นในรูปที่ 4.2.20 จะเป็นกราฟของ SetVal & ReadForce VS Time กราฟนี้จะเป็นการนำข้อมูลจากข้อมูลดิบที่บันทึกไว้ มาพล็อตกราฟ ข้อมูลที่นำมาพล็อตก็จะมีค่าแรงที่ระบบต้องการให้ระบบอกสูบกระทำกับชิ้นงาน เทียบกับค่าแรงที่ระบบอกสูบกระทำกับชิ้นงานจริงๆ ณ เวลาใดๆ เมื่อพิจารณากราฟจะพบว่าระบบสามารถกดชิ้นงานด้วยอัตราแรงกดที่เพิ่มขึ้น (Test Rate) 200 นิวตันต่อวินาที จนถึงจุดที่แรงกดประมาณ 4800 นิวตันแล้วระบบก็จะไม่สามารถให้แรงกดชิ้นงานเพิ่มขึ้นไปอีก เนื่องจากข้อจำกัดของขนาดกระบอกสูบ ในการหาค่า Absolute ของความผิดพลาดเฉลี่ยของแรงที่กระทำจริงเทียบกับแรงที่สั่งจากคอมพิวเตอร์ในช่วงของแรงกระทำตั้งแต่ 0 นิวตันถึง 4,600 นิวตันจะได้เท่ากับ 99.09 นิวตัน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความผิดพลาดคือ 129.07 นิวตัน สำหรับกราฟระหว่างค่า CtrlVal, ReadP-Val และ ReadD-Val ณ เวลาใดๆ จะแสดงในรูปที่ 4.2.21 เมื่อพิจารณาจะพบว่าค่า CtrlVal นั้นเริ่มต้นจาก 5 โวลต์ เนื่องจากบอร์ด PCL-812 PG สามารถให้เอาต์พุตอยู่ในช่วง 0 ถึง 10 โวลต์ แต่สำหรับบอร์ดขยายสัญญาณเพื่อควบคุมวาล์วควบคุมทิศทางของกระบอกสูบจะต้องการรับอินพุตในช่วง -10 ถึง 10 โวลต์ ทางผู้วิจัยจึงได้ใช้บอร์ดออปแอมป์เพื่อขยายสัญญาณสองเท่า และเลื่อนช่วงของการควบคุม ดังนั้นค่า 5 โวลต์ที่บอร์ด PCL-812 PG จะแปลงเป็น 0 โวลต์ที่บอร์ดขยายสัญญาณของวาล์วควบคุมทิศทางกระบอกสูบ หลังจากนั้นจะพบว่าค่าของแรงดันที่ควบคุมวาล์วควบคุมทิศทาง (ReadD-Val) และค่าของแรงดันที่บอร์ดขยายสัญญาณของวาล์วควบคุมความดันในกระบอกสูบ (ReadP-Val) จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าอิมิต์ของอุปกรณ์คือ 10 โวลต์ ก็ไม่สามารถเพิ่มขึ้นต่อไปได้อีก สำหรับกราฟสุดท้ายคือรูปที่ 4.2.22 กราฟระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุ ผลของกราฟที่ได้ก็พอจะทราบว่าระบบสามารถตั้งชิ้นงานได้จนค่าความเค้นประมาณ 48 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และยังคงอยู่ในช่วงของขีดจำกัดพรอพอซันแนล (Proportional Limit) อยู่

Test Condition Data Sheet

Dat_000220_184301_53

Specimen

Condition Name	Operator Name	Material Type
POM	Apichart Arunkunrax	POM

Test Length (mm)	Test Area (Sq. mm)
35	100

Material Description

Cylinder, Tapped both ends

Material Number	File Name
2	Dat_000220_184301_53

Test Condition

Maximum Allowable Displacement of LVDT (mm)
2

Maximum Allowable Force of Strain Gauge (N)
15000

Maximum Test Time (s)	Controller Sampling Time (s)
1200	.1

Initial Displacement Value of LVDT for Calibration (mm)
-8.49126

Ks [Displacement to Volt Conversion Unit]	Kf [Force to Volt Conversion Unit]
.273	1000

Kp [Proportional Gain]	Ki [Integral Gain]	Kd [Derivative Gain]
0.0008	0.0020	0.0000

Test Condition Type	Test Wave Type
3	0

Test Rate (N/s)	Test Preload Force(N)/ Disp.(mm)
100	0

Period of Wave (s)	Force(N)/ Disp.(mm) Amplitude
0	0

Created Date
20/2/00 18:43:04

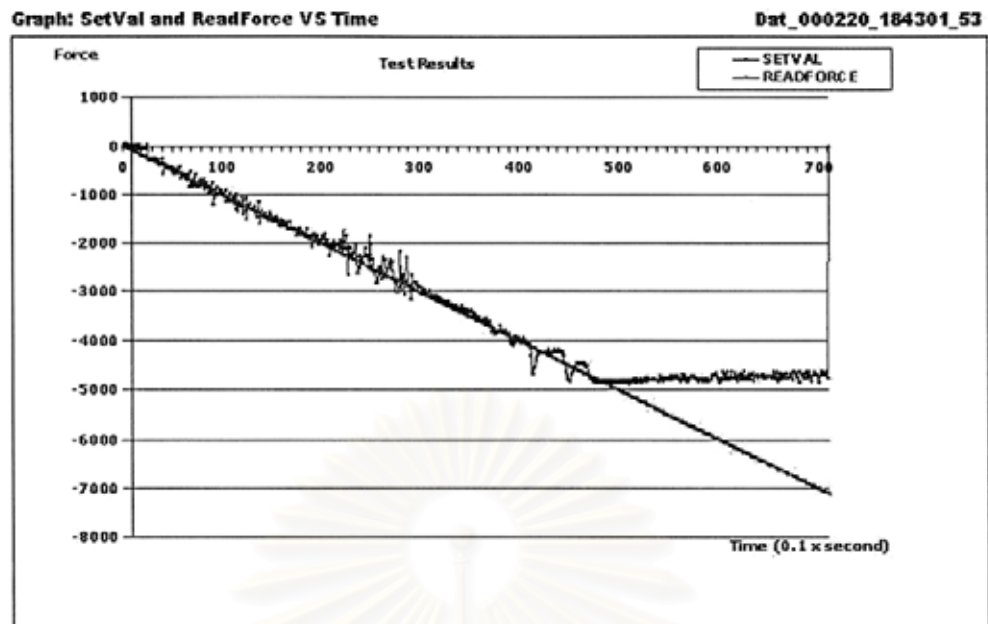
Test Data**Dat_000220_184301_53**

IT	SETVAL	CTRLVAL (Volt)	READ-PVAL (Volt)	READ-DVAL (Volt)	READDISP (mm)	READFORCE (N)
0	0.00	5.00	0.02	-0.03	-0.0400	0
1	-10.00	5.02	0.02	-0.01	-0.0133	12
2	-20.00	4.99	0.04	0.04	-0.0133	-32
3	-30.00	5.09	0.02	-0.07	-0.0133	54
4	-40.00	5.05	0.11	0.24	-0.0133	-10
5	-50.00	5.09	0.07	0.14	-0.0400	12
6	-60.00	5.07	0.10	0.26	-0.0133	-29
7	-70.00	5.09	0.08	0.18	-0.0267	-22
8	-80.00	5.16	0.11	0.26	-0.0133	27
9	-90.00	5.19	0.18	0.46	-0.0133	22
10	-100.00	5.23	0.21	0.54	-0.0133	29
11	-110.00	5.25	0.24	0.66	-0.0400	20
12	-120.00	5.24	0.27	0.73	-0.0133	-24
13	-130.00	5.31	0.26	0.75	-0.0133	12
14	-140.00	5.28	0.33	0.91	-0.0800	-54
15	-150.00	5.30	0.30	0.83	-0.0267	-63
16	-160.00	5.42	0.32	0.87	-0.0267	27
17	-170.00	5.37	0.43	1.24	-0.0133	-68
18	-180.00	5.40	0.39	1.10	-0.0267	-73
19	-190.00	5.44	0.42	1.18	-0.0133	-59
20	-200.00	5.52	0.46	1.31	-0.0133	-17
21	-210.00	5.56	0.54	1.55	-0.0133	-22
22	-220.00	5.59	0.58	1.67	-0.0133	-44
23	-230.00	5.62	0.61	1.73	-0.0400	-54
24	-240.00	5.75	0.64	1.84	-0.0400	27
25	-250.00	5.71	0.77	2.22	-0.0567	-71
26	-260.00	5.53	0.73	2.11	-0.1600	-298
27	-270.00	5.59	0.55	1.59	-0.1066	-244
28	-280.00	5.54	0.61	1.75	-0.1333	-310
29	-290.00	5.59	0.56	1.59	-0.1200	-264
30	-300.00	5.63	0.61	1.71	-0.1333	-242
31	-310.00	5.59	0.64	1.87	-0.1066	-298
32	-320.00	5.61	0.61	1.76	-0.1600	-291

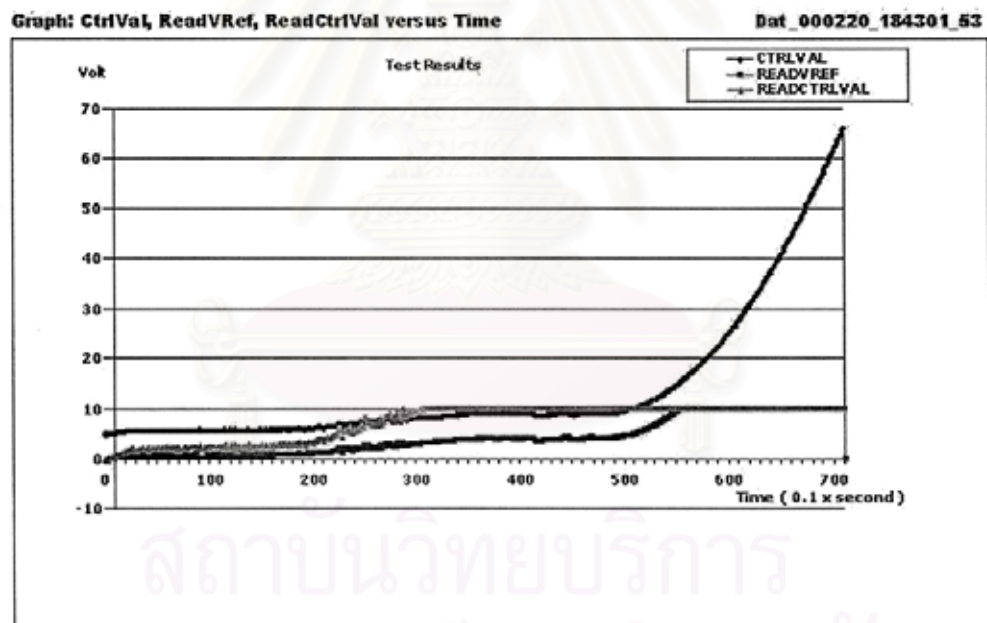
6 April 2000

Page 1 of 21

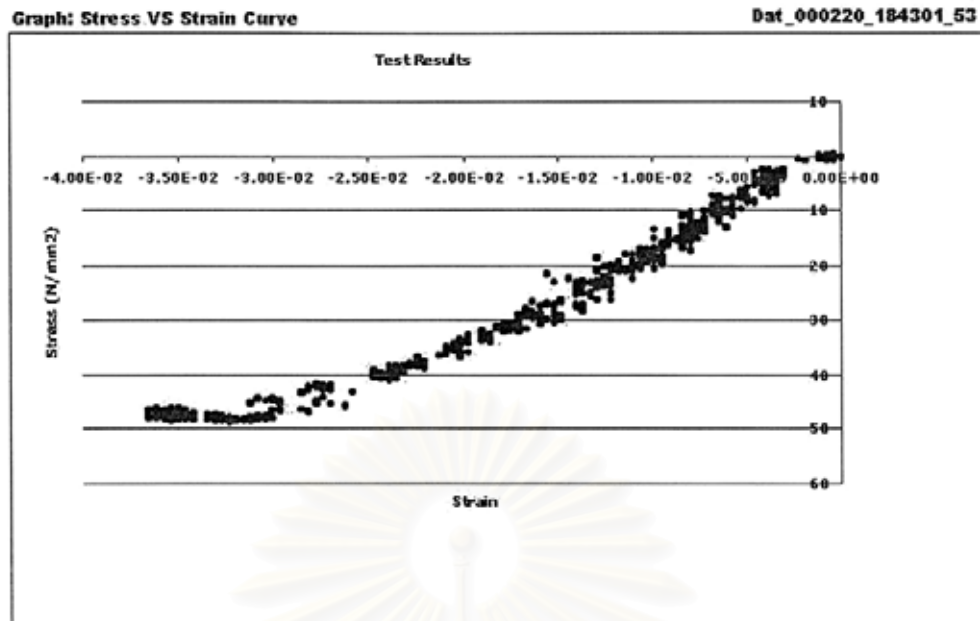
รูปที่ 4.2.19 ข้อมูลดิบของการทดสอบ



รูปที่ 4.2.20 กราฟแสดงค่าแรงที่ต้องการให้ระบบทำงานเทียบกับแรงที่ระบบกระทำกับชิ้นงานจริง



รูปที่ 4.2.21 กราฟแสดงค่าแรงดันที่ส่งออกไปควบคุมระบบ ณ จุดต่าง ๆ



รูปที่ 4.2.22 กราฟแสดงค่าความเค้นกับความเครียดของวัสดุ

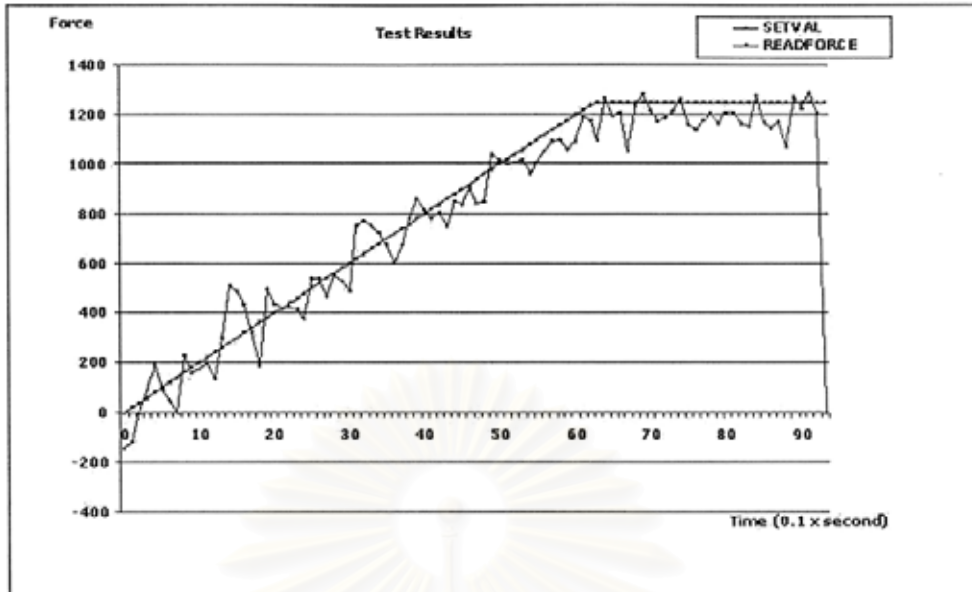
การทดสอบหาความเค้นดึง

ใน Dat_000220_180311_28 จะเป็นการทดสอบหาความเค้นดึงของวัสดุ ในส่วนของรายงานชุดแรกจะเป็นลักษณะของชิ้นงานทดสอบ สภาพะของการทดสอบ ส่วนในชุดที่สองจะเป็นข้อมูลดิบของการทดสอบคือสถานะต่างๆ ของอุปกรณ์ไม่ว่าจะเป็นค่าแรงดันที่ส่งจากบอร์ดควบคุม(คอมพิวเตอร์) ค่าแรง หรือระยะทางที่อ่านได้จากเซนเซอร์ ณ เวลาใดๆ จากนั้นจะเป็นกราฟของ SetVal & ReadForce VS Time ถ้าพิจารณากราฟในรูปที่ 4.2.23 จะพบว่าระบบสามารถดึงชิ้นงานตามที่คอมพิวเตอร์สั่งขึ้นไปด้วยอัตราแรงดึง (Test Rate) 200 นิวตันต่อวินาที หลังจากนั้นคอมพิวเตอร์จะสั่งให้กระบอกสูบกระทำกับชิ้นงานด้วยแรงคงที่ประมาณ 1200 นิวตัน เนื่องจากกระบอกสูบที่ใช้ดึงชิ้นงานเป็นกระบอกสูบที่มีขนาดเล็กจึงมีข้อจำกัดในการให้กระบอกสูบดึงชิ้นงานด้วยแรงมากกว่านี้ สำหรับรูป 4.2.24 กราฟระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุ ผลของกราฟที่ได้อาจจะไม่สามารถบอกผลได้มากนัก เนื่องจากตัวอุปกรณ์ไม่สามารถดึงชิ้นงานได้มาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Graph: SetVal and ReadForce VS Time

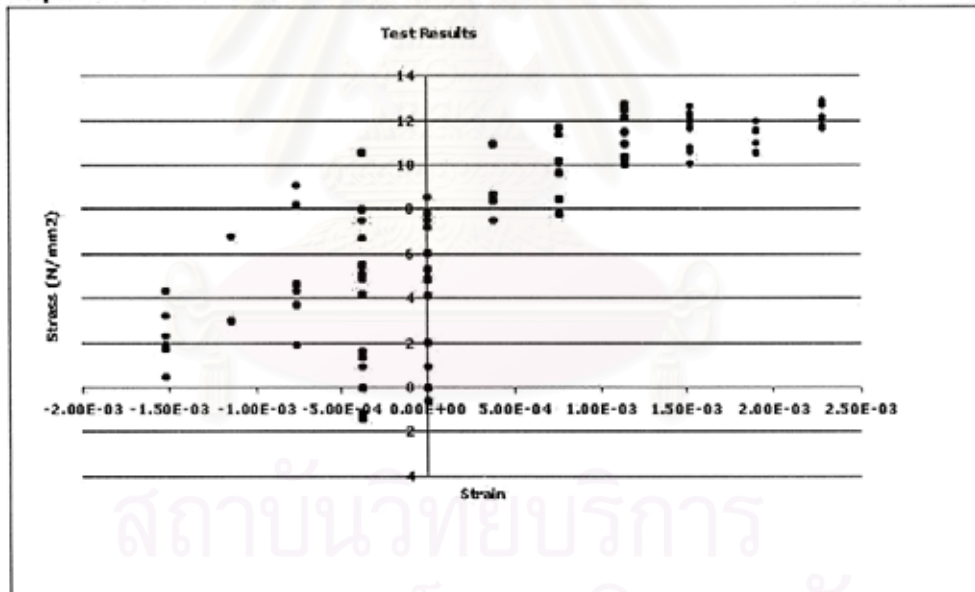
Dat_000220_180311_28



รูปที่ 4.2.23 กราฟแสดงค่าแรงที่ต้องการให้ระบบทำงานเทียบกับแรงที่ระบบกระทำกับชิ้นงานจริง

Graph: Stress VS Strain Curve

Dat_000220_180311_28



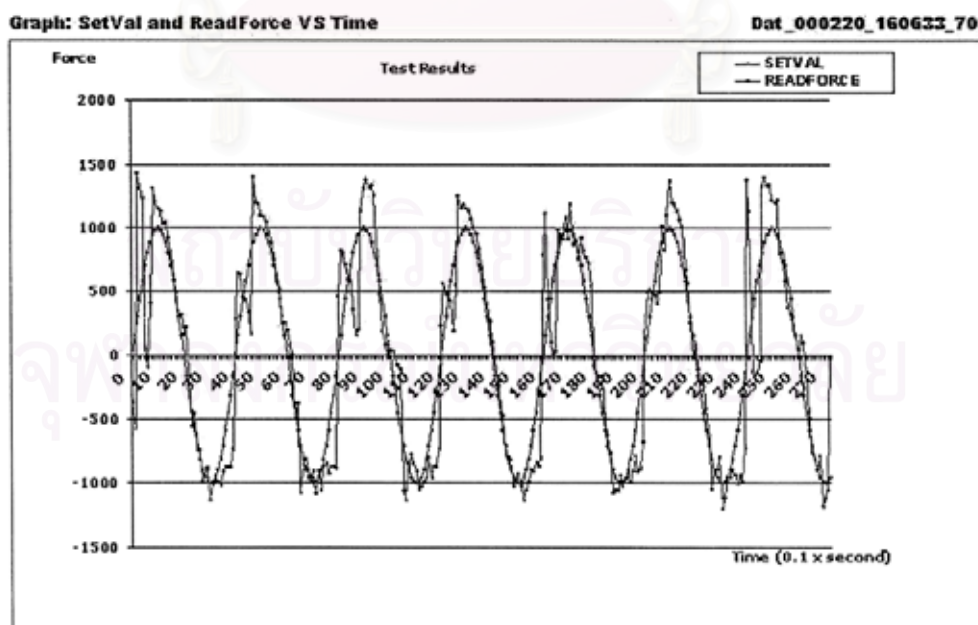
รูปที่ 4.2.24 กราฟแสดงค่าความเค้นกับความเครียดของวัสดุ

การทดสอบหาความล้า

สำหรับการทดสอบหาความล้านี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

- การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ
 - การทดสอบหาความล้า โดยควบคุมแรงรูปชายนี่ที่กระทำกับชิ้นงาน
 - กรณี Preload Force = 0 ดูได้จากรูป 4.2.25 จะเป็นการทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปชายนี่ที่มีแอมป์ลิจูดเท่ากับ 1000 นิวตัน โดยจะมีค่าเฉลี่ยของ Absolute ของความผิดพลาดเท่ากับ 232.4 นิวตัน และค่าเบี่ยงเบนของความผิดพลาดอยู่ที่ 314.22 นิวตัน
 - กรณี Preload Force = 500 นิวตัน ดูได้จากรูป 4.2.26
 - กรณี Preload Force = -1000 นิวตัน ดูได้จากรูป 4.2.27
 - การทดสอบหาความล้า โดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยมที่กระทำกับชิ้นงาน
 - กรณี Preload Force = 0 ดูได้จากรูป 4.2.28
 - กรณี Preload Force = 1000 นิวตัน ดูได้จากรูป 4.2.29
 - กรณี Preload Force = -1000 นิวตัน ดูได้จากรูป 4.2.30
- การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมระยะยึดของชิ้นงานทดสอบ
 - การทดสอบหาความล้า โดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยมที่กระทำกับชิ้นงาน
 - กรณี Preload Disp = 0 ดูได้จากรูป 4.2.31
 - กรณี Preload Disp = 0.1 มม. ดูได้จากรูป 4.2.32
 - กรณี Preload Disp = -0.1 มม. ดูได้จากรูป 4.2.33

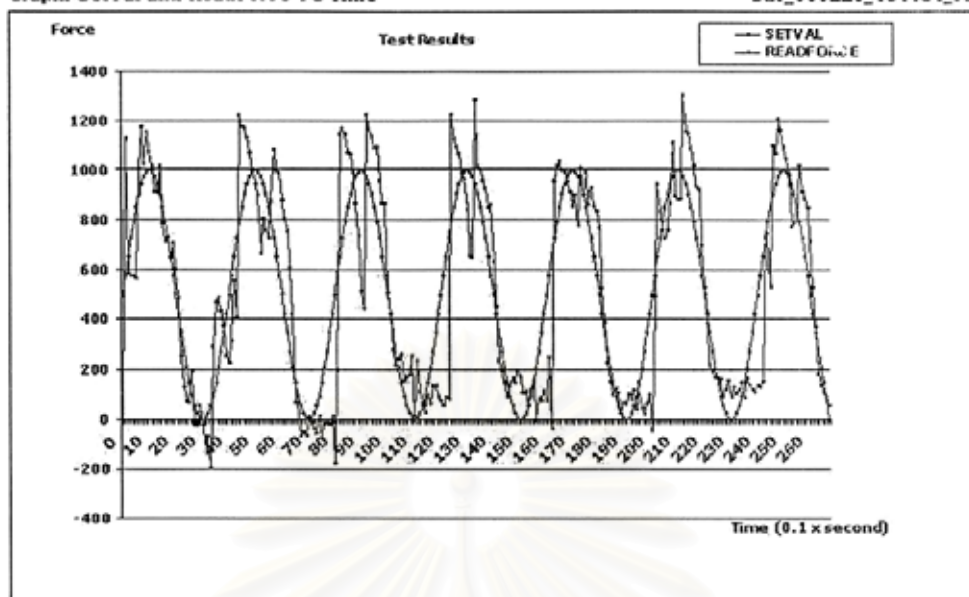
จากกราฟการทดสอบความล้าส่วนใหญ่ จะพบว่าระบบสามารถควบคุมตามที่คอมพิวเตอร์สั่งได้ ไม่ ว่ากราฟรูปชายนี่ หรือรูปสี่เหลี่ยม ทั้งแบบไม่มีแรง/ ระยะทางเริ่มต้น หรือมีการตั้งค่าเริ่มต้นของแรง/ระยะทาง ทั้งที่เป็นบวก และ ลบ แต่กราฟที่ได้อาจแสดงให้เห็นว่ายังคงมีความผิดพลาดอยู่บ้าง



รูปที่ 4.2.25 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปชายนี่ กรณีแรงกระทำเริ่มต้น 0 นิวตัน

Graph: SetVal and ReadForce VS Time

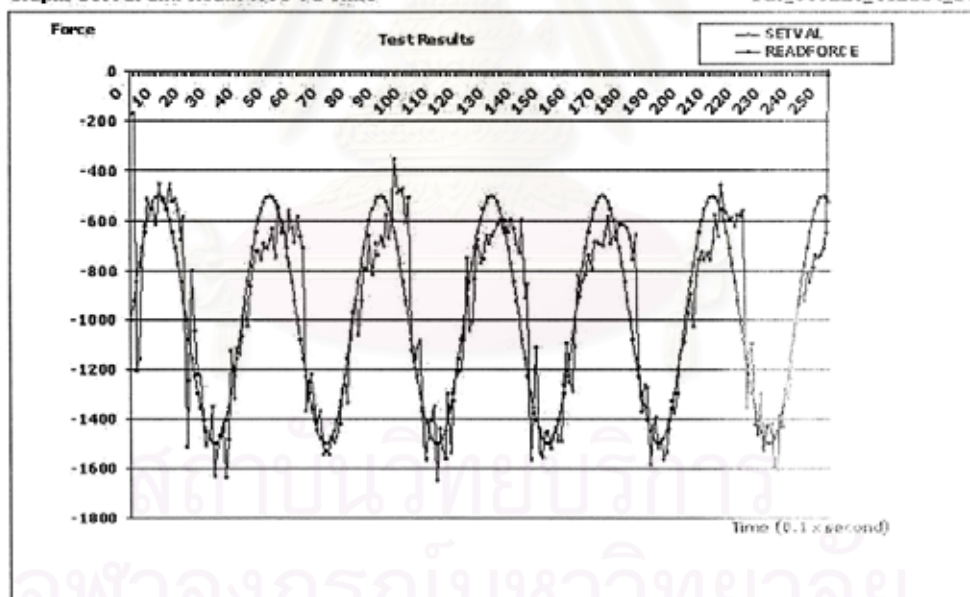
Dat_000220_161154_72



รูปที่ 4.2.26 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปชายนั้ กรณีแรงกระทำเริ่มต้น 1000 นิวตัน

Graph: SetVal and ReadForce VS Time

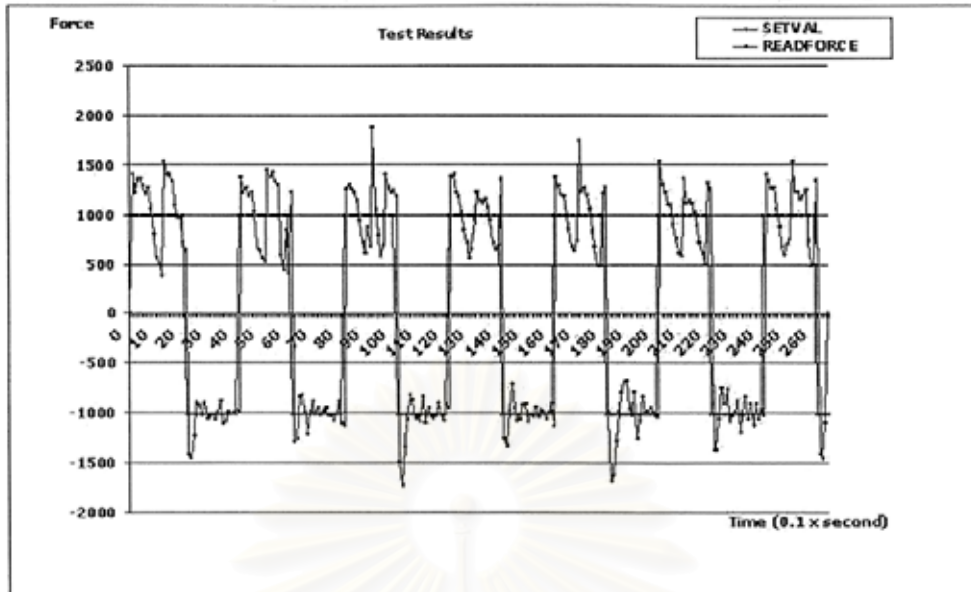
Dat_000220_162354_81



รูปที่ 4.2.27 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปชายนั้ กรณีแรงกระทำเริ่มต้น -1000 นิวตัน

Graph: SetVal and ReadForce VS Time

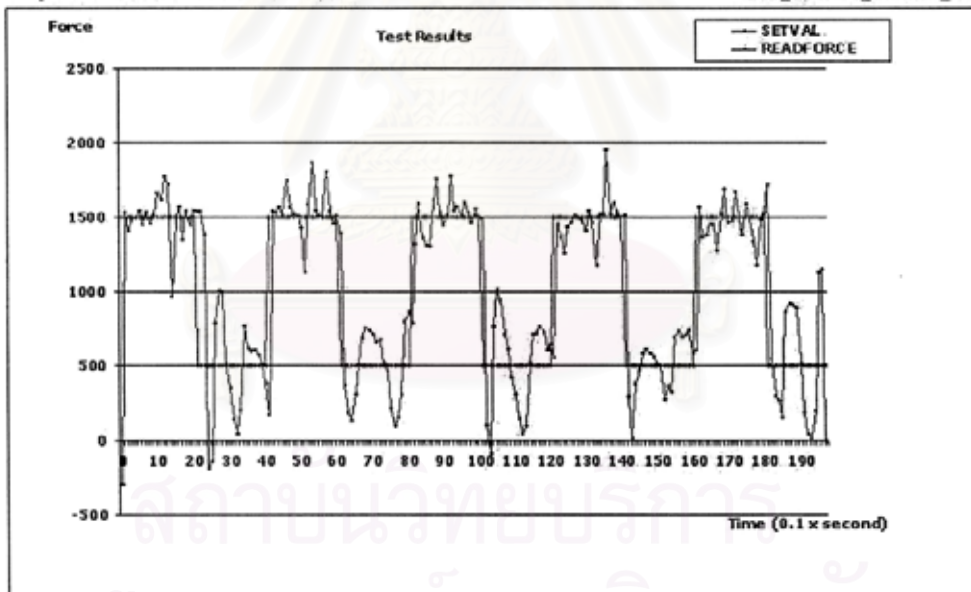
Dat_000220_162708_84



รูปที่ 4.2.28 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยม กรณีแรงกระทำเริ่มต้น 0 นิวตัน

Graph: SetVal and ReadForce VS Time

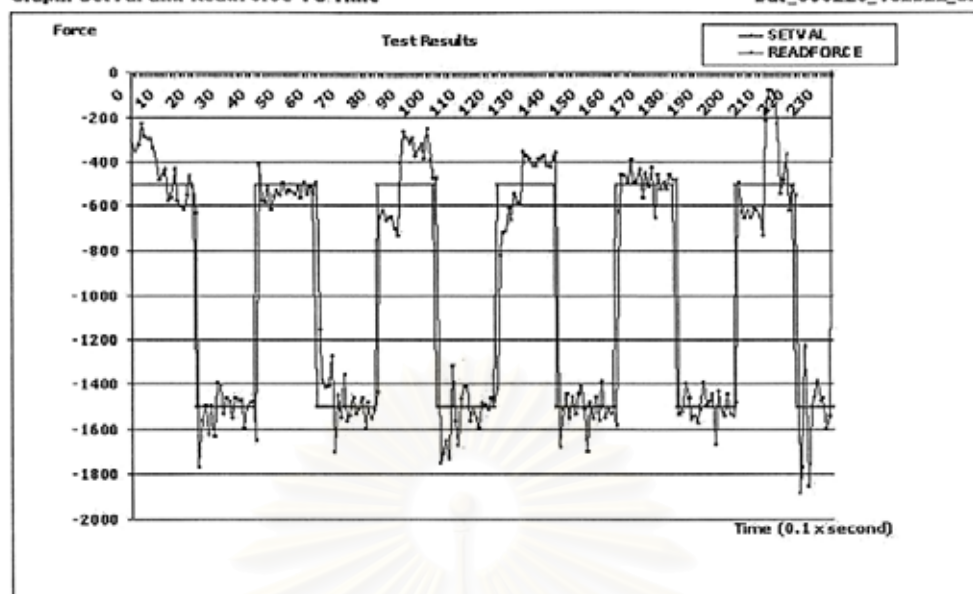
Dat_000220_162618_83



รูปที่ 4.2.29 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยม กรณีแรงกระทำเริ่มต้น 1000 นิวตัน

Graph: SetVal and ReadForce VS Time

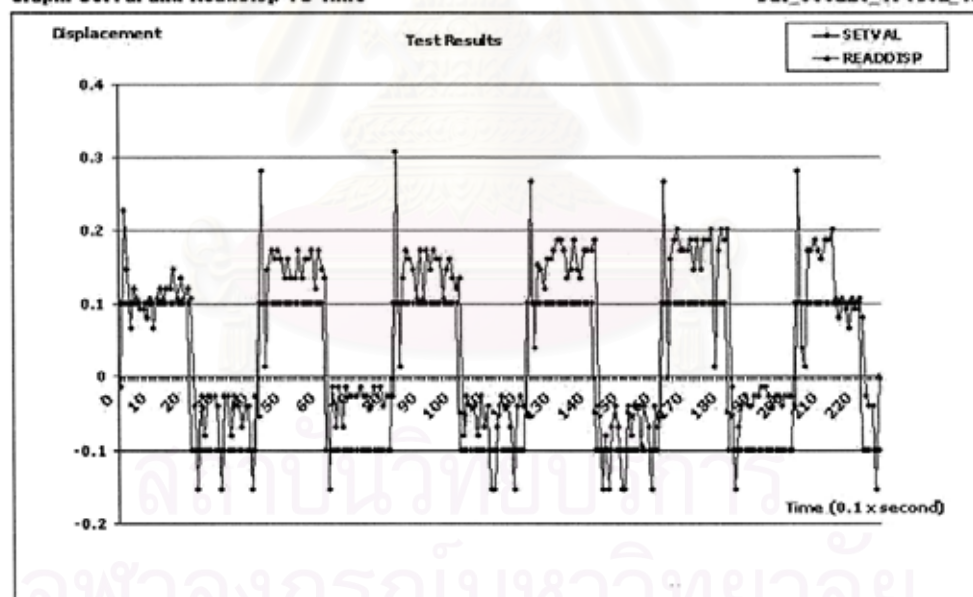
Dat_000220_162522_82



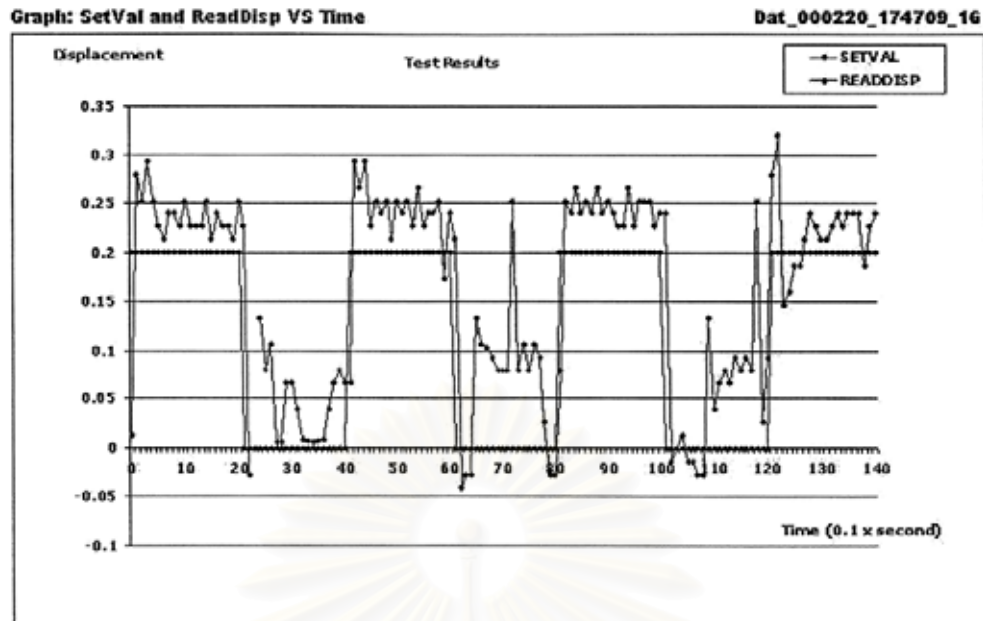
รูปที่ 4.2.30 การทดสอบหาความล่าโดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยม กรณีแรงกระทำเริ่มต้น -1000 นิวตัน

Graph: SetVal and ReadDisp VS Time

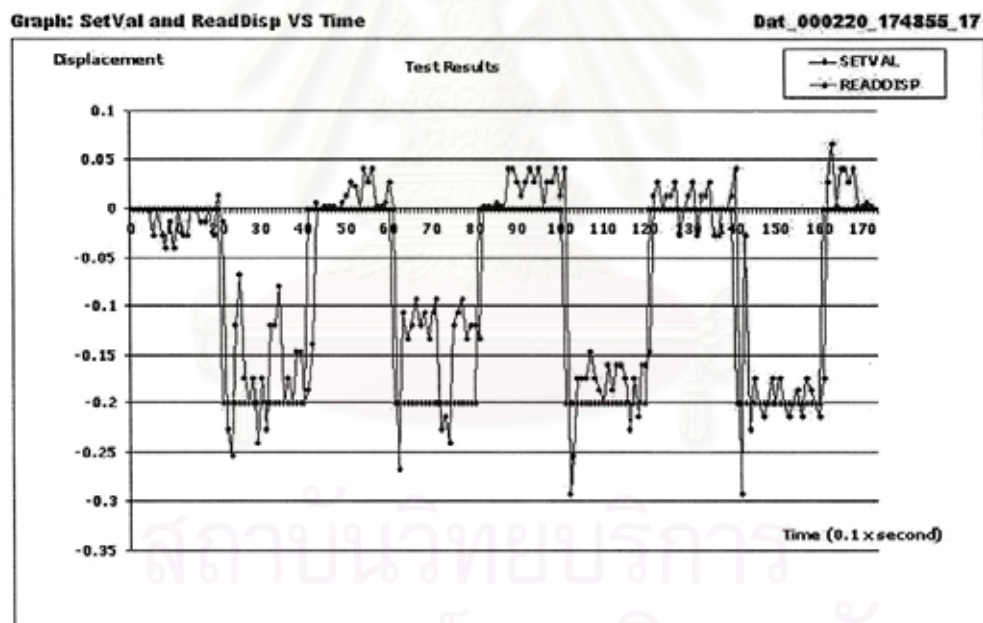
Dat_000220_174602_15



รูปที่ 4.2.31 การทดสอบหาความล่าโดยควบคุมระยะทางรูปสี่เหลี่ยม กรณีระยะทางเริ่มต้น 0 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.2.32 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมระยะทางรูปสี่เหลี่ยม กรณีระยะทางเริ่มต้น 0.1 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.2.33 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมระยะทางรูปสี่เหลี่ยม กรณีระยะทางเริ่มต้น -0.1 มิลลิเมตร

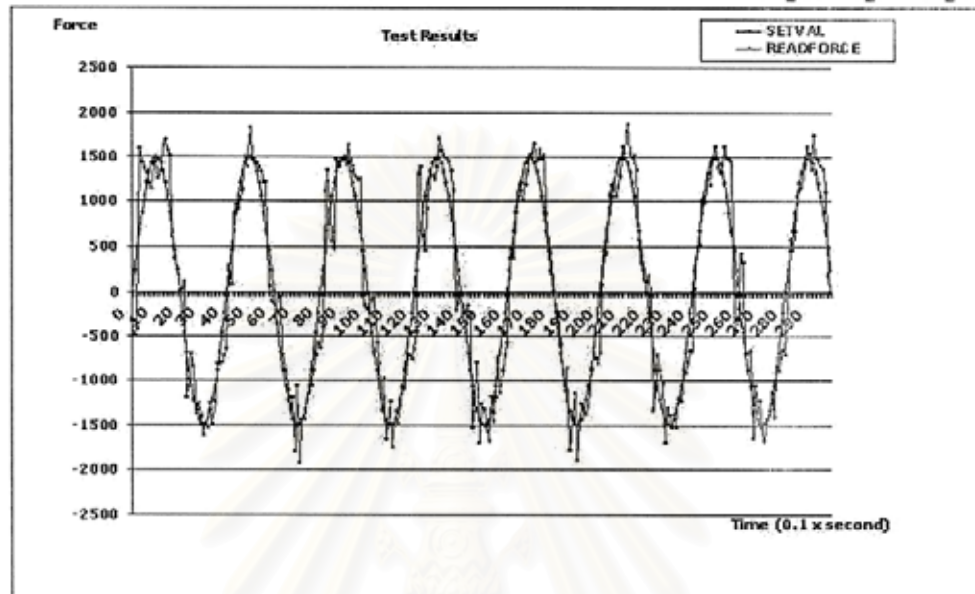
สำหรับการทดสอบหาความล้าในส่วนของการควบคุมแรงโดยกระทำกับชิ้นงานอลูมิเนียมจะมีอยู่
ด้วยคือ

- การทดสอบหาความล้า โดยควบคุมแรงรูปซายน์ที่กระทำกับชิ้นงาน
 - กรณี Preload Force=0 ดูได้จากรูป 4.2.34
 - กรณี Preload Force=750 นิวตัน ดูได้จากรูป 4.2.35

- กรณี Preload Force=-1000 นิวตัน ดูได้จากรูป 4.2.36
- การทดสอบหาความล้า โดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยมที่กระทำกับชิ้นงาน
 - กรณี Preload Force=0 ดูได้จากรูป 4.2.37
 - กรณี Preload Force=800 นิวตัน ดูได้จากรูป 4.2.38
 - กรณี Preload Force=-1250 นิวตัน ดูได้จากรูป 4.2.39

Graph: SetVal and ReadForce VS Time

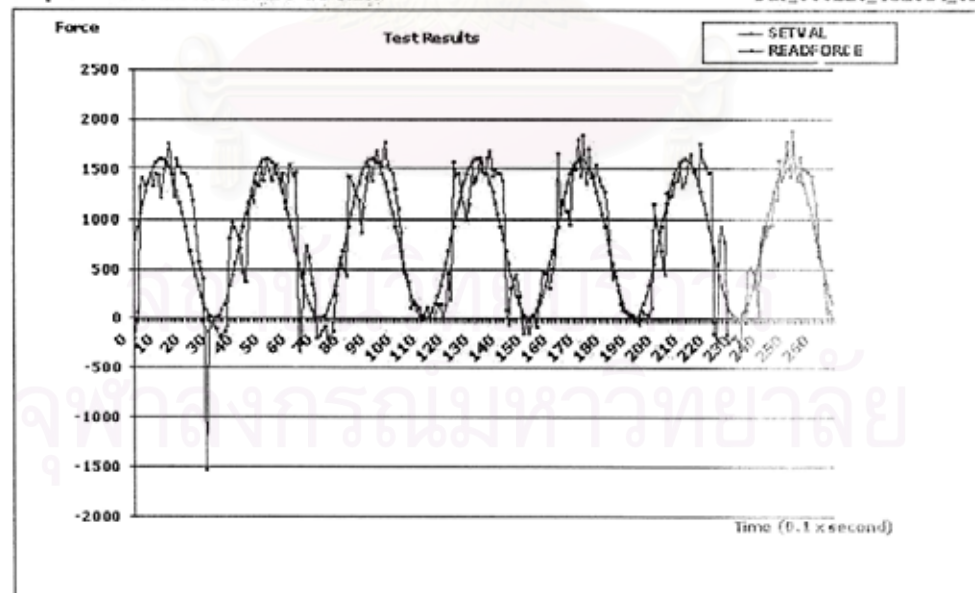
Dat_000220_131857_01



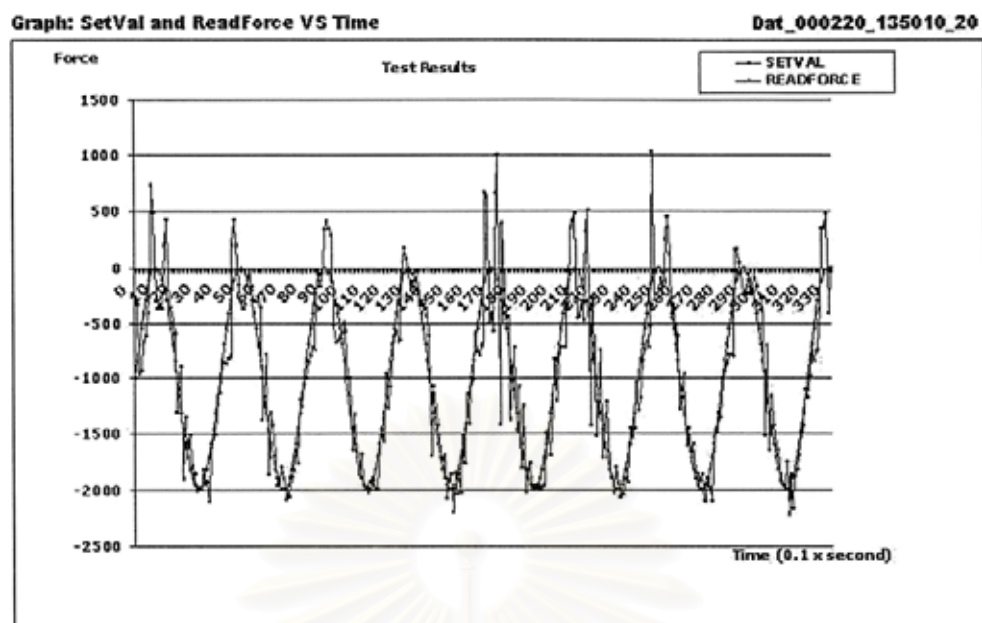
รูปที่ 4.2.34 การทดสอบหาความล้าของอลูมิเนียมโดยควบคุมแรงรูปซายน์ กรณีแรงเริ่มต้น 0 นิวตัน

Graph: SetVal and ReadForce VS Time

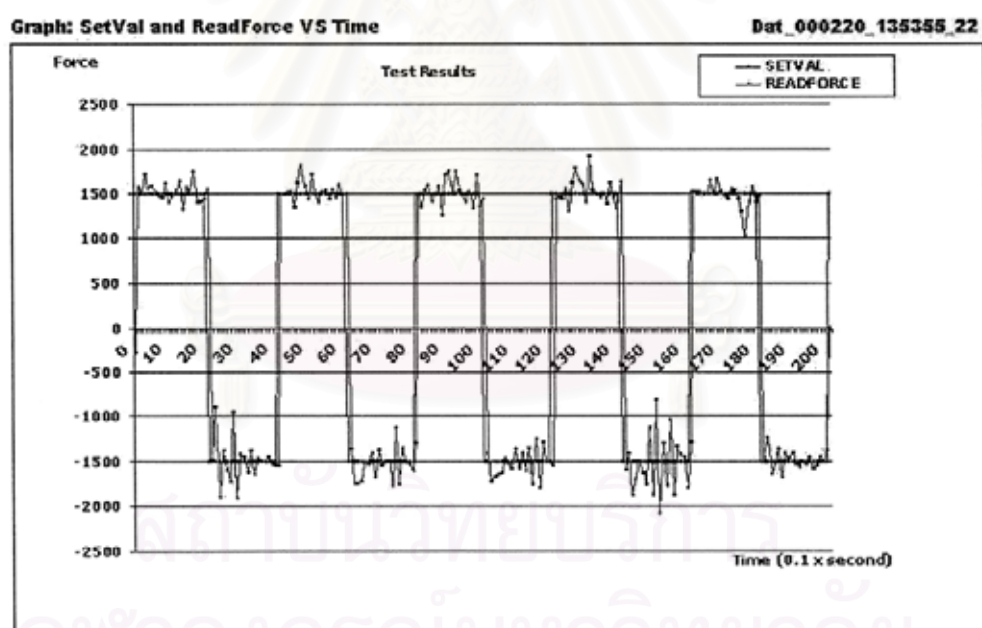
Dat_000220_132054_02



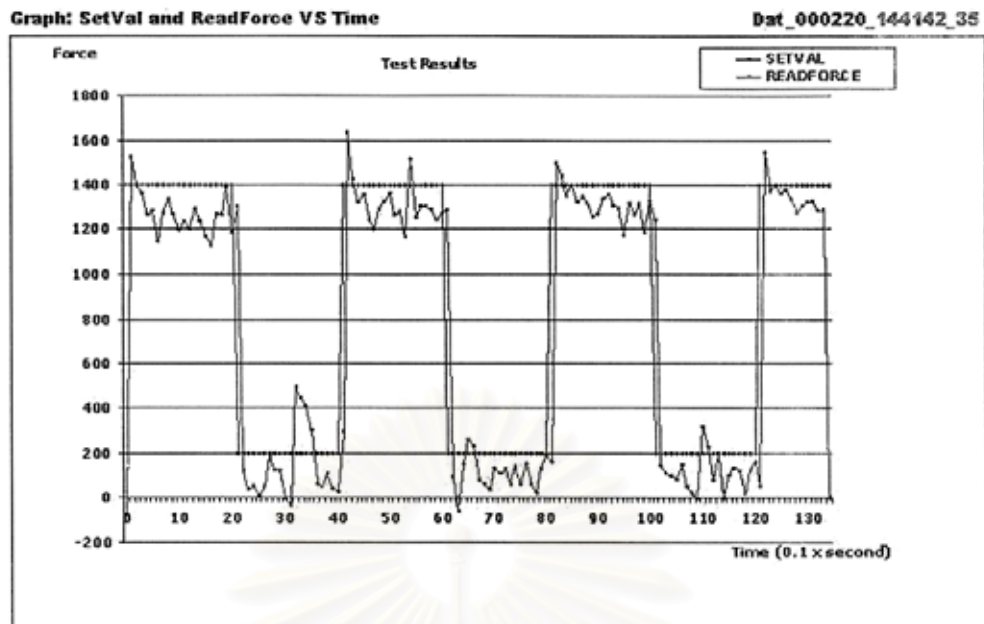
รูปที่ 4.2.35 การทดสอบหาความล้าของอลูมิเนียมโดยควบคุมแรงรูปซายน์ กรณีแรงเริ่มต้น 750 นิวตัน



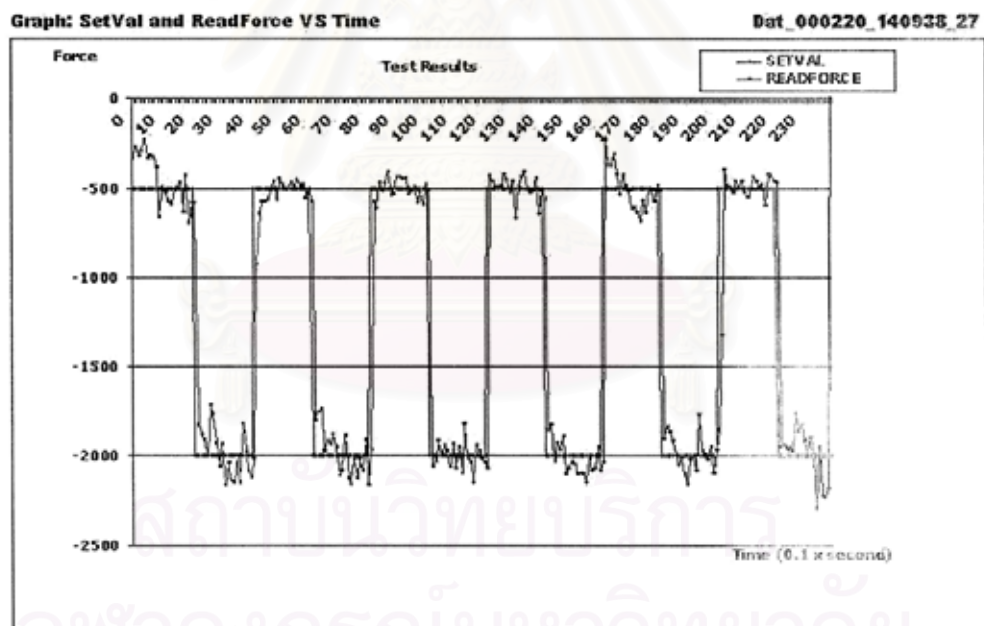
รูปที่ 4.2.36 การทดสอบหาความล้าของอลูมิเนียมโดยควบคุมแรงรูปซายน์ กรณีแรงเริ่มต้น -1000 นิวตัน



รูปที่ 4.2.37 การทดสอบหาความล้าของอลูมิเนียมโดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยม กรณีแรงเริ่มต้น 0 นิวตัน



รูปที่ 4.2.38 การทดสอบหาความล้าของอลูมิเนียมโดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยม กรณีแรงเริ่มต้น 800 นิวตัน



รูปที่ 4.2.39 การทดสอบหาความล้าของอลูมิเนียมโดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยม กรณีแรงเริ่มต้น -1250 นิวตัน

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการสร้างระบบควบคุมคอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องทดสอบวัสดุโดยระบบควบคุมที่ใช้เป็นแบบพีไอดีที่สามารถปรับค่าเกนและเวลาของการสุ่มค่าได้ มีระบบป้องกันอุปกรณ์เสียหายจากแรงหรือระยะที่เกินกำหนด โปรแกรมควบคุมจะถูกพัฒนาด้วย Microsoft Visual Basic 6.0 ระบบฐานข้อมูลและรายงานถูกพัฒนาใน Microsoft Access 97 เชื่อมต่อกันด้วย ODBC เพื่อทดสอบหา

1) ความเค้นอัด (Compressive Stress) ความเค้นดึง (Tensile Stress) โดยสามารถควบคุม อัตราของแรงที่กระทำกับชิ้นงาน

2) ความล้า (Fatigue) โดยสามารถควบคุม

(1) ระยะทางที่ยืด หรือหดของชิ้นงานที่นำมาทดสอบ (Displacement) หรือ

(2) แรงดึง หรืออัดที่กระทำต่อชิ้นงานที่นำมาทดสอบ (Force)

ในลักษณะที่สามารถกำหนดให้เป็นรูปคลื่นแบบสี่เหลี่ยม (Square Wave) หรือแบบไซน์ (Sine Wave) สามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ (Frequency) ของระยะทางหรือแรงที่กระทำต่อชิ้นงาน

ในส่วนรายงานจะประกอบด้วย รายงานสรุปละเอียดของชิ้นงานทดสอบ รายงานสภาวะของการทดสอบและวัสดุที่ใช้ รายงานข้อมูลดิบที่บันทึกไว้ของการทดสอบ กราฟแสดงแรงดันที่คอมพิวเตอร์ส่งไปควบคุมเทียบกับแรงดันที่กระทำต่อออร์ดิควบคุมที่วัดกลับมา ณ เวลาใดๆ กราฟระหว่างแรงที่กระทำต่อชิ้นงานทดสอบกับจำนวนรอบที่กระทำ กราฟระหว่างระยะยืด/หดของวัสดุกับจำนวนรอบที่กระทำ กราฟระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุ

เครื่องทดสอบวัสดุจะให้แรงดึงมากที่สุด 1,500 นิวตัน แรงอัดมากที่สุด 4,800 นิวตัน ที่แรงดันขณะทำงานคือ 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นอกจากนี้ยังสามารถวัดระยะยืดหรือหดได้มากที่สุดที่ 20 มิลลิเมตร ในการทดสอบดึงชิ้นงานที่อัตรา 200 นิวตันต่อวินาที จนถึงแรงมากที่สุดที่ 1,200 นิวตัน เมื่อควบคุมแบบพือย่างเดี่ยว ค่าความผิดพลาดจะเป็น 6.24% แบบพี.ไอ.ค่าความผิดพลาดจะเป็น 4.41% แบบพี.ดี.ค่าความผิดพลาดจะเป็น 8.49% และสำหรับระบบที่ควบคุมแบบพี.ไอ.ดี. ค่าความผิดพลาดจะเท่ากับ 2.59% โดยมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 12.89%, 14.72%, 12.21% และ 13.60% ตามลำดับ จากผลการทดสอบข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้การควบคุมแบบพือย่างเดี่ยวก็สามารถควบคุมระบบไฮดรอลิกได้ และเมื่อเพิ่มการควบคุมแบบไอเข้าไปในระบบค่าความผิดพลาดของระบบก็จะลดลง แต่ถ้ระบบใช้การควบคุมแบบพีดี จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพลดลง สุดท้ายเมื่อใช้การควบคุมแบบพีไอดี ระบบควบคุมจะสามารถตอบสนองต่อการควบคุมได้ดีที่สุด

จากการทดสอบพบว่าระบบสามารถควบคุมได้ในกรณีที่อัตราแรงดึง/กด หรือระยะยืด/หดต่ำ ซึ่งจะเกิด Steady State Error มากขึ้นที่อัตราแรงดึง/กด หรือระยะยืด/หดสูงขึ้น เนื่องจากตัวระบบกระทำเป็นระบบไฮดรอลิกซึ่งเป็นระบบที่ค่อนข้างช้า จึงอาจจะมีช่วงเวลาหน่วง (Delay Time) อยู่พอสมควรหลังจากที่คอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณไปสั่งวาล์วให้ควบคุมกระบอกสูบ จึงทำให้ผลการตอบสนองไม่สามารถออกมาดีนักเมื่อเทียบกับระบบที่เป็นระบบไฟฟ้าทั้งหมดเช่นระบบควบคุมมอเตอร์

ข้อเสนอแนะ

1. ในส่วนของการทดสอบจะพบว่าในส่วนของ การทดสอบชิ้นงานจะพบว่าระบบไม่สามารถให้แรงดึงหรือกดชิ้นงานทดสอบได้มากนัก ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดของตัวอุปกรณ์คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบมีขนาดเล็กเกินไป ทางผู้วิจัยได้ตระหนักถึงข้อจำกัดอันนี้ตั้งแต่เริ่มออกแบบอุปกรณ์ แต่ก็ทำได้ทำ

ระบบนี้ขึ้นมาเพื่อเป็นต้นแบบ ถ้าต้องการนำไปใช้ในระบบอุตสาหกรรม ก็ควรจะมีการเปลี่ยนขนาดของกระบอกสูบให้ใหญ่ขึ้นเพื่อสามารถทดสอบแรงได้มากขึ้น

2. สำหรับการวัดระยะยืดของชิ้นงาน ทางผู้วิจัยได้ดัดแปลง LVDT ให้เป็นตัววัดระยะยืดหรือหดของชิ้นงานทดสอบ แต่เนื่องจากตัว LVDT ที่มีอยู่มีน้ำหนักค่อนข้างมาก จึงไม่สามารถออกแบบให้สามารถจับชิ้นงานแบบที่ไม่ยึดติดกับตัวเครื่องทดสอบได้ รวมทั้งที่จุดยึดต่อได้ใช้หนึ่งขงเป็นตัวยึดเข้าชิ้นงานจึงอาจมีผลเสียทำให้เกิดการสั่นขึ้น ในผลการทดสอบจึงอาจจะมีข้อผิดพลาดของระยะที่ดึง จึงควรจะมีการพัฒนาตัววัดระยะทางให้มีขนาดน้ำหนักเบากว่านี้ และมีความละเอียดในการวัดมากกว่านี้

3. ในการวัดค่าแรงอัดของชิ้นงานทดสอบ ค่าที่ได้ขณะนี้จะเป็นเพียงแต่ค่าที่ประมาณขึ้นมาเท่านั้น เนื่องจากในการสอบเทียบอุปกรณ์วัดแรงคือสเตรนเกจ ได้ทดสอบเพียงในช่วง 0 ถึง 2,500 นิวตันเท่านั้น เนื่องจากไม่สามารถหาน้ำหนักทดสอบมาทดสอบเพิ่มเติมได้ แต่เนื่องจากตัวสเตรนเกจเองมีคุณสมบัติวัดแรงได้ถึง 20,000 นิวตัน จึงได้ประมาณว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับแรงดันยังเป็นแบบเชิงเส้น แต่เมื่อใช้งานจริงจำเป็นต้องมีการสอบเทียบเพิ่มเติม

4. ในส่วนของตัวจับยึดชิ้นงานขณะนี้ได้พัฒนาตัวยึดจับให้มีเพียงรูปแบบเดียวทั้งการทดสอบหาความเค้นดึง ความเค้นกด และความล้า ซึ่งถ้าจะนำไปใช้งานจริง ควรจะมีการปรับปรุงในจุดนี้ให้มีตัวจับยึดชิ้นงานที่เหมาะสมกับงานทดสอบในแต่ละแบบ

5. รายงานของระบบควบคุมอุปกรณ์ทดสอบในขณะนี้ จะเป็นเพียงรายงานเพื่อแสดงผลการทดสอบว่าสามารถควบคุมได้อย่างที่ต้องการได้ตีเพียงใด แต่เมื่อต้องการนำไปใช้งานจริงอาจต้องมีการปรับปรุงในส่วนของการแสดงรายงานให้แสดงเฉพาะข้อมูลที่ต้องการเพื่อการวิเคราะห์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

- [1] Ogata, Katsuhiko. Modern Control Engineering. (n.p.): Prentice-Hall Inc., 1990.
- [2] Johnson, Curtis D. Process Control Instrumentation Technology 2nd Edition. (n.p.): John Wiley & Sons, 1982.
- [3] พิษณุ กิจไพฑูรย์, การปรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของตัวควบคุม พีไอดี, วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิตสาขาวิชาาระบบควบคุม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534 หน้า 10 –17.
- [4] Cadzow, James A., Martens, Hinrich R., Discrete Time and Computer Control System. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1970.
- [5] Goodwin, AB. Fluid Power Systems, Theory, worked examples and Problems. (n.p.): Thomson Litho Limited, 1976.
- [6] Leigh, James Roanld. Applied Control Theory 2nd Edition. England: Peter Peregrinus Ltd., 1987.
- [7] Gotz, Werner. Electrohydraulic Proportional Valves and Closed Loop Control Valves: Theory and Application. (n.p.): Robert Bosch GmbH, 1989.
- [8] O. Doebelin, Ernest. Measurement Systems: Application and design 4th Edition. Singapore: McGraw-Hill Inc., 1990.
- [9] Bruch, Charles D. Strength of materials for technology. (n.p.): John Wiley & Sons, Inc. 1978.
- [10] F. Riley, William, Zachary, Loren. Introduction to Mechanics of Materials. Singapore: John Wiley & Sons, 1989.
- [11] J. Wulpi, Donald. Understanding How Components Fail. Ohio: Americal Society for Metals, 1988.
- [12] Hertzberg, Richard W. Fatigue of engineering plastics. London: Academic Press, Inc Ltd. 1980.
- [13] PCL-812PG Enhanced Multi-Lab Card User's Manual. Taiwan: Advantech Co.,Ltd., 1993.
- [14] E 606-92 Standard Practice for Strain-Controlled Fatigue Testing. Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01, pp.520 – 533
- [15] วุฑฒิ อึ้งภากรณ์, ชาญ ถนัดงาน. การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, พ.ศ. 2521.
- [16] Storey, Neil. Electronics: A System Approach. Bedford: Addison-Wesley Publishers Ltd., 1994.
- [17] Feldman, Phil, Jennings, Roger. Using Visual Basic 3. (n.p.): Que Corporation, 1993.
- [18] กิตติ ภัคดีวัฒนะกุล, จำลอง ครูอุตสาหะ. คัมภีร์ระบบฐานข้อมูล. กรุงเทพฯ: บริษัท เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด, พ.ศ. 2542.
- [19] E 8M-96 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric], Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01, pp.76 – 95.
- [20] E 9-89a Standard Test Methods of Compression Testing of Metallic Materials at Room Temperature, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01, pp.97 – 104.
- [21] D 638M-93 Standard Test Methods for Tensile properties of Plastics [Metric], Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.01, pp.57 – 65.

- [22] D 695M-91 Standard Test Methods for Compressive Properties of Rigid Plastics [Metric], Annual Book of ASTM Standards, Vol. 08.01, pp.89 – 94.
- [23] E 466-96 Standard Practice for Conducting Force Controlled Constant Amplitude Axial Fatigue Tests of Metallic Materials, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01, pp.465 – 469.
- [24] E 467-90 Standard Practice for Verification of Constant Amplitude Dynamic Loads on Displacements in an Axial Load Fatigue Testing System, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01, pp.470 – 474.
- [25] E 4-96 Standard Practice for Force Verification of Testing Machines, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 03.01, pp.9 – 16.
- [26] Dynamic Strain Meter: Type DS-6003-F Instructional Manual, Shinkoh Communication Industry Co., Ltd., 1981.
- [27] พิชิต เลี่ยมพิพัฒน์. พลาสติกวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: บริษัท สยามคาสท์ไนลอน จำกัด, พ.ศ. 2538.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

อัลกอริทึมที่ใช้ในการควบคุม

```
Public Sub RunFeedBack()
```

```
' Control Algorithm with pre-calculation
```

```
' 1. สุ่มค่า  $c(n)$ 
```

```
' 2. คำนวณค่า  $e(n) = r(n) - c(n)$ 
```

```
' 3. คำนวณค่า  $m(n) = p(n) + k_0 \cdot e(n)$ 
```

```
' 4. เอาท์พุทค่า  $m(n)$ 
```

```
' 5. คำนวณค่า  $m(n-1)$  ,  $e(n-1)$  และ  $e(n-2)$  ใหม่
```

```
' 6. ทำการคำนวณค่า  $p(n) = m(n-1) + k_1 \cdot e(n-1) + k_2 \cdot e(n-2)$  ล่วงหน้า
```

```
' 7. กลับไปทำข้อ 1 ใหม่อีกครั้ง
```

```
' Input: 0=V-ref, 2=Op-amp Output, 3=LVDT, 4=Load Cell
```

```
ReadAI
```

```
If (MDIMain.Tag = 1 Or MDIMain.Tag = 3 Or MDIMain.Tag = 5) Then
```

```
    En = SetVal(IT) - fVoltage(4) * Kf 'Force
```

```
Else
```

```
    En = SetVal(IT) - (fVoltage(3) - DispVolt0) * Ks 'Displacement
```

```
End If
```

```
Mn = Pn + K0 * En
```

```
WriteAO 0, (-Mn + 5) 'Direction of Cylinder , 5= Reference voltage -> should be preset every time
```

```
for testing
```

```
' WriteAO Positive Value= Compress specimen, Negative Value=Stretch speciment
```

```
WriteAO 1, Abs(Mn) ' Force Control
```

```
CtrlVal(IT) = CDbI(-Mn + 5)
```

```
ReadVRef(IT) = CDbI(fVoltage(0)) ' Read D/A channel 1
```

```
ReadCtrlVal(IT) = CDbI(fVoltage(2))
```

```
ReadDisp(IT) = CDbI((fVoltage(3) - DispVolt0) * Ks)
```

```
ReadForce(IT) = CDbI(fVoltage(4) * Kf)
```

```
' Check safety of equipment
```

```
If TestIsSafe = False Then Exit Sub
```

```
' Precalculate gain
```

```
Mn_1 = Mn
```

```
En_2 = En_1
```

```
En_1 = En
```

$P_n = M_{n-1} + K_1 * E_{n-1} + K_2 * E_{n-2}$

frmDatOut.txtShow(0).Text = FormatNum(CtrlVal(IT))

frmDatOut.txtShow(1).Text = FormatNum(ReadVRef(IT))

frmDatOut.txtShow(2).Text = FormatNum(ReadCtrlVal(IT))

frmDatOut.txtShow(3).Text = FormatNum(ReadForce(IT))

frmDatOut.txtShow(4).Text = FormatNum(ReadDisp(IT))

frmDatOut.txtShow(5).Text = FormatNum(CtrlVal(IT) - 5) ' Calculate back to find D/A Channel 1

IT = IT + 1

End Sub



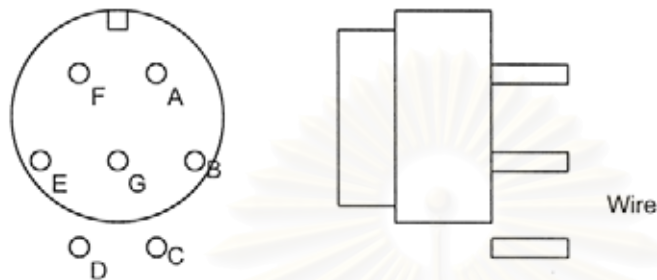
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Load Cell (Strain gauge) TCLP-2A

Input แต่ง (A) [+], ต่ำ (C) [-]

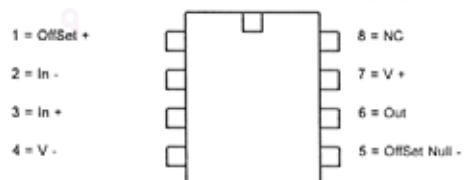
Output เข็ม (B), ขาว (D)

Shield E

www.tokyosokki.co.jp**Linear variable-differential-transformers (LVDT) : Trans-Tek Incorporated**

Calibration Record

Model No.	0244-0000
Input Voltage	30 VDC Max. 6 VDC Min.
Full scale output	20.0 VDC @ 24 VDC excitation
Linearity	$\pm 0.5\%$
Input:	Red (+), Black (-)
Output:	Blue (+), Green (-)
Output is positive with core moving toward lead end.	

Op-Amp 741 (μ A 741)

Dynamic Strain Meter: Type DS-6003-F

Instruction Manual

1. General

- Designed small in size and light in weight.
- Built-in low-pass filter eliminating noises

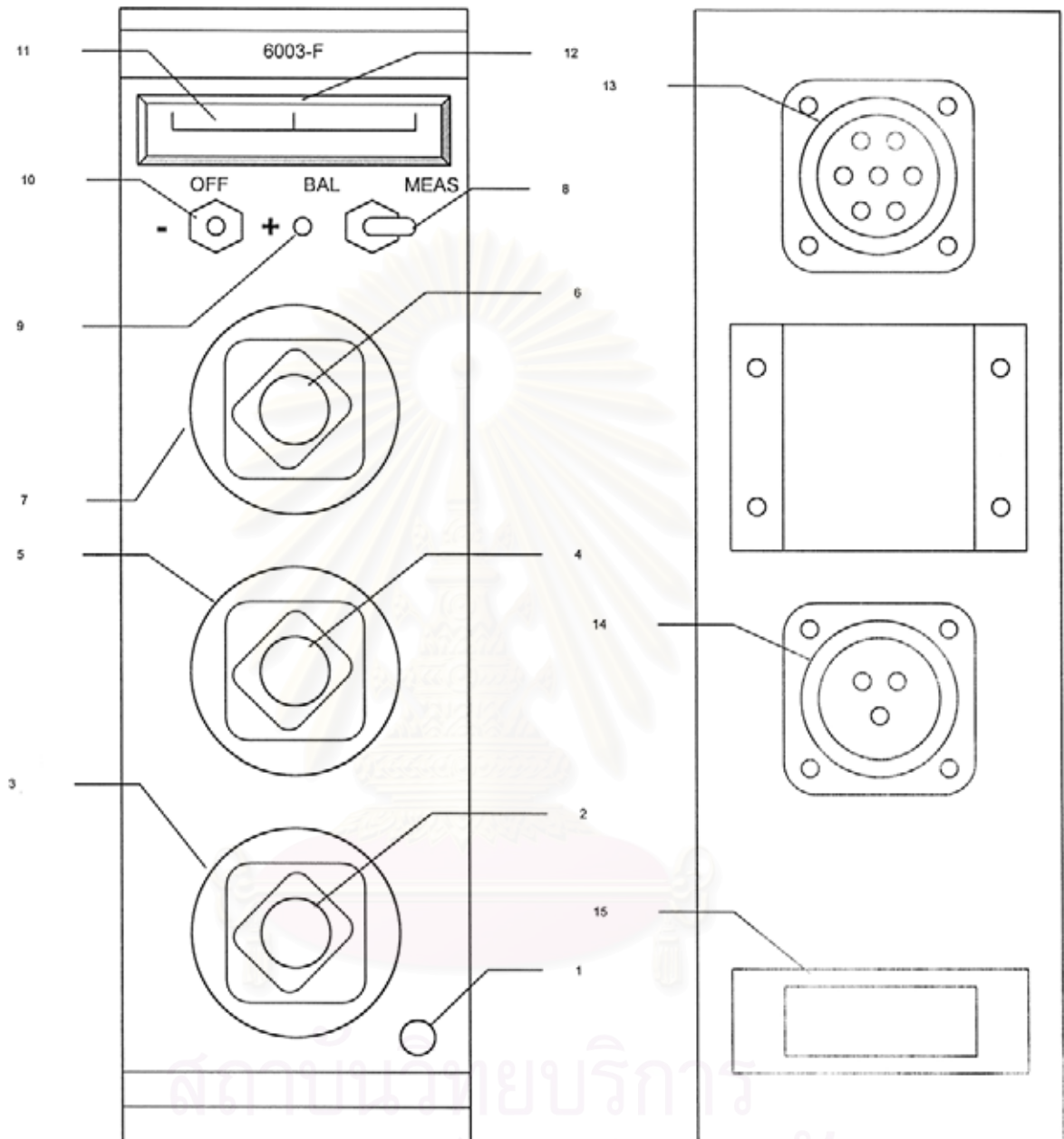
2. Front Panel

- (1) POWER Switch: When this is ON, L.E.D. (12) emits
- (2) GAIN Knob [Red]: Sensitivity of instrument
- (3) ATT Rotary Switch [Black]: turn CCW = Sensitivity attenuates, used when overscale
- (4) L.P.F. Rotary Switch [Red]: Frequency response of a built-in filter (Low Pass Filter)
- (5) CALIB Rotary Switch [Black]: Set CALIB switch near an expected strain, use with polarity switch (10).
- (6) R-BAL Knob [Red]: Balance resistance of wheatstone bridge or transducer
- (7) C-BAL Knob [Black]: Balance capacity of wheatstone bridge or transducer
- (8) Meter Switch: selects balance adjustment.
 - BAL for C-BAL adjustment
 - MEAS for R-BAL adjustment.
- (9) O-BAL: used in setting ATT switch "O" and balances amplifier
- (10) Calibration Polarity switch (Positive or Negative)
- (11) Meter: used for balance adjustment. This meter deflects only to the right in C-BAL adjustment.

Maximum meter deflection is approximately ± 3 V.
- (12) L.E.D.: emits in applying AC line voltage to instrument.

3. Rear Panel

- (13) INPUT Connector: This connects the bridge head or transducer.
- (14) OUTPUT Connector: This connects a recorder and the other instrument.
- (15) Power Supply Connector: AC 100V supplied in synchronizing with other instrument.



4. Operation

4.1 Turn-on Procedure (Refer to Figure in a previous page) *before connecting the strain guage.*

- 4.1.1 Turn off POWER Switch
- 4.1.2 Set GAIN to minimum
- 4.1.3 Set ATT switch to "0"
- 4.1.4 Set L.P.F. switch to PASS
- 4.1.5 Set CALIB Switch t 100×10^{-6}
- 4.1.6 Set R-BAL control near the center
- 4.1.7 Set C-BAL control near the center
- 4.1.8 Set METER switch to MEAS
- 4.1.9 Do not set O-BAL
- 4.1.10 Set Calibration Polarity switch to OFF.
- 4.1.11
- 4.1.12
- 4.1.13 Connect the input cable of the transducer or bridge box
- 4.1.14 Connect the output cable
- 4.1.15 Connect the attached AC cable

4.2 Adjustment

- 4.2.1 Turn on the POWER switch
- 4.2.2 Check on L.E.D. emitting
- 4.2.3 Adjust the O-BAL for zero reading with a screwdriver
- 4.2.4 Set the Meter switch to BAL
- 4.2.5 With ATT set to $1/10$, rotate the GAIN adjuster CW and set it so that the pointer will not exceed the scale. Adjust the R-BAL and C-BAL so that the pointer may reach the zero or approach it as close as possible.
- 4.2.6 With the ATT set to $1/5$, $1/2$ and 1 , increase the GAIN until the meter pointer reach the maximum value on the scale (the extreme right), and then adjust the R-BAL and C- BAL so that the pointer may reach the zero or approach it as close as possible.
- 4.2.7 Set the Meter switch to MEAS
- 4.2.8 Adjust R-BAL for exact zero reading. (Keep C-BAL unchanged)
- 4.2.9 Set the CALIB switch to 100×10^{-6} , and then confirm that the pointer stops at the same scale with the CALIB switch set to either (+) or (-).
- 4.2.10 It may take 15 minutes for this instrument to become stable. The double adjustment from 4.2.1 to 4.2.6 will allow highly accurate measurement when the instrument is stable.

Summary of 4.2

1. Set Meter to BAL: Change ATTN from 1/10, 1/5, 1/2, 1 with adjusting R, C to be closed to 0.
2. Set Meter to MEAS: Change only R to be closed to 0.
3. Set CALIB = 100×10^{-6} : No change of pointer when set CALIB to be (-) or 0 or (+)

4.3 Measurement

- 4.3.1 Set the ATT to "1" and load the strain gauge with maximum load
- 4.3.2 If the pointer is over the scale, try to set ATT to be 1/2 , 1/5 and 1/10 to maintain the scale.

Note: For this system, we use the L.P.F. = 10 Hz.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พลาสติกวิศวกรรม

เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปว่าพลาสติกเป็นวัสดุสังเคราะห์ที่มีความสำคัญและมีประโยชน์ต่อมนุษยชาติมาก ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ใช้ในชีวิตประจำวันล้วนมีพลาสติกเป็นส่วนประกอบเกือบทั้งสิ้น พลาสติกที่นิยมใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่รู้จักคุ้นเคยดีและมีปริมาณการผลิตสูง คือ โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LD.PE) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HD.PE) โพลีโพรพิลีน (PP) โพลีสไตรีน (PS) พีวีซี (PVC) อะคริลิก (PMMA) และโพลีเอสเตอร์เรซิน (UP)

แต่ยังมีพลาสติกอีกกลุ่มหนึ่งซึ่งไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายมากนัก นิยมใช้ทำชิ้นส่วนในอุปกรณ์ และเครื่องจักร เช่น เฟือง เกียร์ บูช แบร้ง แหวน ซีล วาล์วลูกกลิ้ง รางเลื่อน ชิ้นส่วนที่รับแรงเสียดทาน ทนน้ำและสารเคมี พลาสติกกลุ่มนี้มีชื่อเรียกว่า พลาสติกวิศวกรรม (Engineering Plastics)

พลาสติกวิศวกรรมที่นิยมใช้ และสามารถผลิตจำหน่ายในประเทศได้ คือ

1) โพลีเอทิลีน (Polyethylene: PE)

PE เป็นพลาสติกยอดนิยมนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ มากมาย เช่น ถัง ขวดบรรจุของเหลว ฟิล์ม ฯลฯ และเป็นประเภทที่มีการใช้สูงสุด พลาสติกชนิดนี้จะมีลักษณะคล้ายขี้ผึ้ง (Wax feel) มีหลายชนิด คือ

LD. PE	=	Low-Density Polyethylene
LLD. PE	=	Linear-low density Polyethylene
HD. PE	=	High-density polyethylene
UHMW.PE	=	Ultra high molecular weight polyethylene

ผลิตภัณฑ์ที่นิยมใช้ PE ได้แก่ งานชาม ตะกร้า ของเด็กเล่น ฟิล์ม ถัง ท่อน้ำ ขวด บรรจุภัณฑ์ต่างๆ พลาสติกวิศวกรรม ฯลฯ เป็นต้น

UHMW-HDPE

UHMW.HDPE (Ultra High Molecular Weight High Density Polyethylene) โพลีเอทิลีนชนิดนี้หนาหนักโมเลกุลสูง คือ พลาสติกวิศวกรรมชนิดใหม่ของ PE หนาหนักของโมเลกุลสูง มีลักษณะทางกายภาพเป็นวัตถุทึบแสง ปกติจะมีสีขาวขุ่น จับดูแล้วจะมีลักษณะลื่น คุณสมบัติที่ดีเด่น คือ หนาหนักของโมเลกุลสูงถึง 6,000,000 mol./g จึงส่งผลให้มีความทนทานต่อการสึกหรอสูงมาก เหมาะกับงานที่ต้องการความทนทานต่อแรงกระแทกและเสียดสี นอกจากนี้แล้วยังทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีด้วย อุณหภูมิที่ใช้ทำงาน -200°C ถึง 95°C มีชื่อทางการค้าหลายชื่อแล้วแต่บริษัทผู้ผลิต ที่นิยมใช้และมีจำหน่ายในประเทศไทยขณะนี้คือ SUPERLENE ULTRA-HIGH ชื่อบริษัท สยามคาสท์โนล่อน จำกัด เป็นผู้ผลิตและผู้แทนจำหน่าย

SUPERLENE ULTRA-HIGH

โดยคุณสมบัติพื้นฐานแล้ว SUPERLENE ULTRA-HIGH (ซูเปอร์ลีน อุลตรา-ไฮ) เป็นสารไม่มีพิษ ไม่ละลายเจือปนกับน้ำหรืออาหาร จึงใช้ในงานที่ต้องสัมผัสกับอาหารได้ โดยได้รับการรับรองคุณสมบัตินี้จากกระทรวงสาธารณสุข แห่งสหพันธ์สาธารณรัฐเยอรมัน

SUPERLENE ULTRA-HIGH เหมาะสมกับการใช้งานดังต่อไปนี้ แทนรองไม้ตีกระสวย ลูกรอกของเครื่องขนถ่ายสินค้า ลีนวาล์ว ลูกรอกนำสายพานลำเลียง ลูกล้อ รถเข็น สลิปเปอร์ลิฟท์ บูชที่ต้องการความลื่นตัวสูง ตลับลูกปืน บูชเรือเดินทะเล เรือประมง เรือหางยาว รางเลื่อน เขียงรองรับใบมีด รวมทั้งงานที่ต้องการความทนทานต่อการเสียดสีตลอดเวลา ฯลฯ

SUPERLENE ULTRA-HIGH (UHMW.PE) นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมการขนส่ง ฯลฯ

ตารางคุณสมบัติของ SUPERLENE ULTRA-HIGH

Properties	Test method	Superlene Ultra-High	Unit
Density	DIN 53479	0.93	g/cm ³
Elongation at break	DIN 53455	> 350	%
Yield stress	DIN 53455	20	N/mm ²
Ultimate tensile strength	DIN 53455	40	N/mm ²
Flexural stress at 3.5% Deformat	DIN 53452	20	N/mm ²
Ball indentation hardness	DIN 53456	36	N/mm ²
30 sec value	Test load 365 n		
Shore hardness D,3-15 sec value	DIN 53505	61-65	
Working temperature	DIN 53461	+95/ -200	C°

โพลีเอมีดหรือไนลอน (POLYAMIDE หรือ NYLON)

โพลีเอมีดหรือไนลอน (POLYAMIDE : PA หรือ NYLON)

เป็นพลาสติกที่ได้จากการสังเคราะห์ระบบ CONDENSATION ซึ่งสังเคราะห์จาก DIABASIC ACIDS และDIAMINES ชนิดต่างๆ

เราค้นเคยกับ NYLON ในรูปของเส้นใย สิ่งทอ พรม ขนแปรง และเชือก

NYLON ได้ถูกนำไปใช้กับงาน พลาสติกวิศวกรรม (ENGINEERING PLASTICS) มากขึ้น โดยทำเป็นชิ้นส่วนในเครื่องจักร อุปกรณ์และเครื่องมือแทนโลหะ

ไนลอนหล่อ (MOLDED NYLON) มีความแข็งแรง เหนียว น้ำหนักเบา มีคุณสมบัติพิเศษ ทนรอยขีดข่วน ทนแรงเสียดทาน และทนสารเคมี

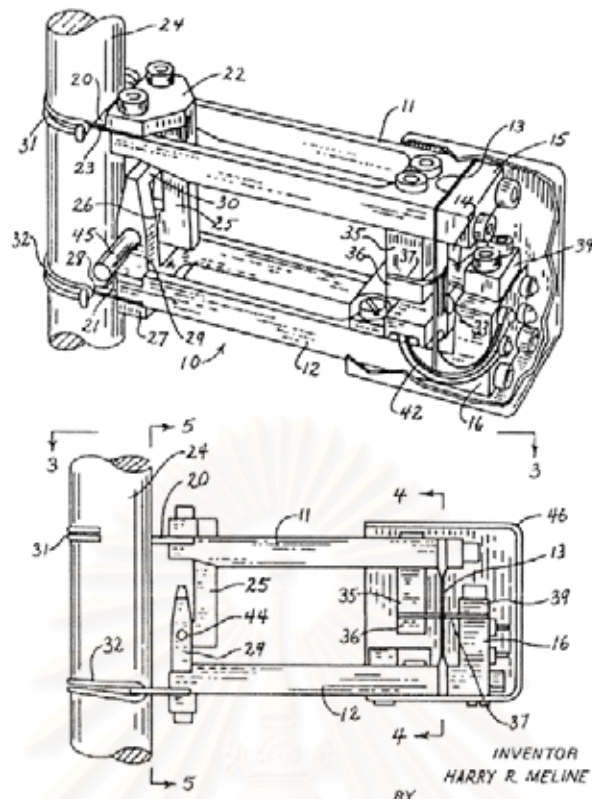
NYLON เป็นพลาสติกอีกชนิดหนึ่งที่มีจุดอ่อนตัวสูงสุด (SOFTENING TEMPERATURE)

NYLON เป็นเทอร์โมพลาสติก (THERMOPLASTIC) ดังนั้นจึงสามารถผลิตได้จากหลายวิธี เช่น แบบฉีด (INJECTION) แบบรีด (EXTRUSION) แบบหล่อเหวี่ยง (ROTATIONAL) เป็นต้น

ชิ้นส่วนที่ใช้กรรมวิธี EXTRUSION เป็นรูปหน้าตัดต่างๆ เช่น แท่งตัน แท่งกลวงแผ่น ซึ่งสามารถนำมาขึ้นรูปโดยการตัด เจาะ กลึง เจียร ขัดไส ด้วยเครื่องจักร เครื่องมือ ปกรณ์ชนิดเดียวกับงานโลหะ (METAL WORKING) ได้อย่างดี

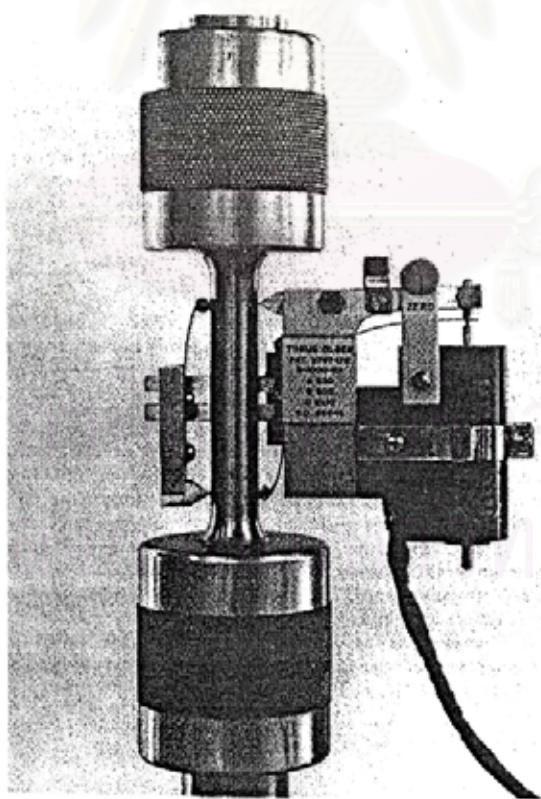
NYLON ชนิดแรกที่ถูกผลิตออกมา คือ NYLON 6.6 ซึ่งพลิกประวัติศาสตร์ของพลาสติก เป็น CRYSTALLINE PLASTIC ชนิดแรก NYLON สามารถเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นของเหลวได้อย่างรวดเร็ว และได้ชื่อว่าเป็น "SUPER POLYMERS" ตัวแรกในเรื่องมีน้ำหนักโมเลกุลสูงที่สุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

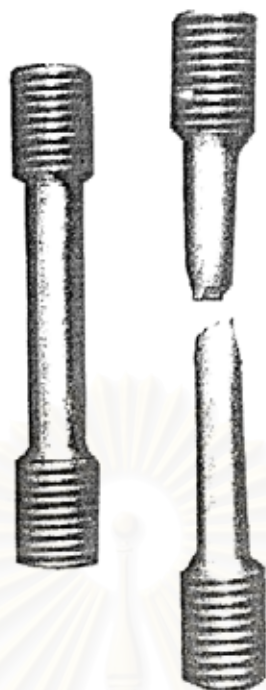


INVENTOR
 HARRY R. MELINE
 BY
Duggan Pitman Johnson & Westman
 ATTORNEYS

Recommended Extensometer



Typical Extensometer



Typical Specimen

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระบบไฮดรอลิกส์

การควบคุมแบบเปิด-ปิดวาล์ว

ในระบบนี้จะใช้วาล์วแบบเปิด-ปิดเชิงกล และวาล์วที่สามารถควบคุมอัตราการไหล ส่วนระบบไฟฟ้าจะใช้รีเลย์ หรือ พีแอลซี (PLC: Programmable Controller) ให้สัญญาณควบคุม

สำหรับการควบคุมแบบนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงของความดัน และอัตราการไหล อย่างทันทีทันใด เมื่อมีการส่งสัญญาณมา ทำให้เกิดแรงกระแทกของความดันที่สูง อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบจึงสึกหรอค่อนข้างมาก ระบบควบคุมแบบนี้จึงใช้ได้แค่การควบคุมบางประเภทเท่านั้น

การควบคุมโดยใช้พรอพพอร์ชันแนลวาล์ว (Proportional Valve)

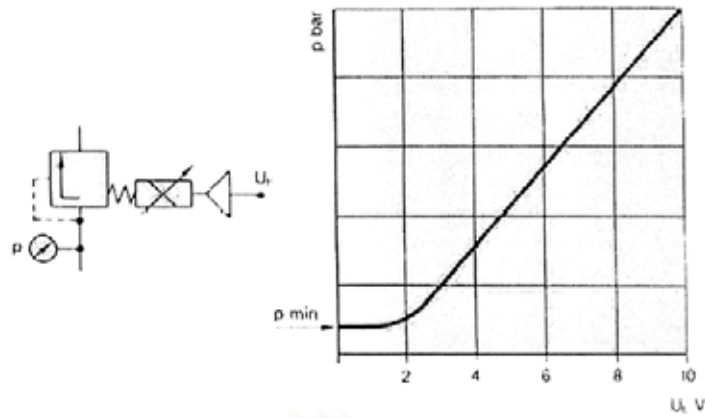
การควบคุมแบบนี้เป็นการควบคุมแบบอนาล็อก จะมีการกำหนดค่าที่ต้องการ (Set point) ของความดัน อัตราการไหล และทิศทาง แล้วส่งสัญญาณมาควบคุมโดยวงจรไฟฟ้าแบบอนาล็อก ซึ่งปัจจุบันนี้มักจะใช้พีแอลซี (PLC: Programmable Controller) ทำให้ระบบที่ซับซ้อนและระบบที่ต้องการคุมอัตราเร่ง อัตราหน่วง สามารถจัดการได้

การใช้พรอพพอร์ชันแนลวาล์ว (Proportional valve) นั้นส่วนใหญ่มักจะเป็นการคุมแบบเปิด (Open control loop) ที่ไม่มีการสนองกลับ และไม่มีการแก้ไขค่าที่ไม่ถูกต้องในแต่ละขั้นตอนของการควบคุม จุดต่อระหว่างสัญญาณเข้า และสัญญาณออก ถูกกำหนดโดยทรานส์เฟอร์ฟังก์ชัน (Transfer Function) ถ้ามีการเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในแต่ละขั้นตอน ข้อผิดพลาดนี้ก็จะถูกรวมเข้ากับสัญญาณออก ตัวอย่างข้อผิดพลาดนี้อาจเป็นจาก กระแสไฟฟ้าว การอัดตัว(Compressibility) ของน้ำมัน แรงเสียดทาน ระยะทางที่จุดเริ่มต้นควบคุม (Zero point displacement) และการสึกหรอของอุปกรณ์ สิ่งที่เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมากกับอัตราเร็ว ก็คือ การเปลี่ยนแปลงของภาระของมอเตอร์ และกระบอกสูบ ซึ่งอาจจะแก้ไขโดยใช้การทดแทนความดัน (Pressure Compensator)

วาล์วแบบพรอพพอร์ชันแนล

วาล์วแบบพรอพพอร์ชันแนลเป็นวาล์วที่รับสัญญาณเข้าเป็นสัญญาณไฟฟ้า เพื่อไปควบคุมอัตราการไหลของน้ำมันในระบบไฮดรอลิกส์

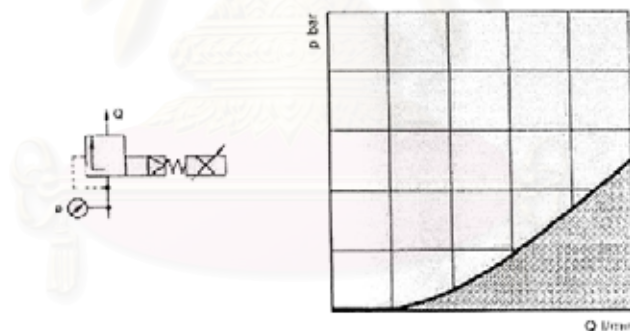
1. วาล์วควบคุมความดันแบบพรอพพอร์ชันแนล



เป็นวาล์วที่สามารถควบคุมความดันได้โดยการควบคุมจากสัญญาณไฟฟ้าที่มาจากขดลวดโซลีนอยด์ โดยลักษณะของเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอัตราการไหล ในช่วงต้นมีการโค้งเนื่องจากการต้านการไหลของวาล์วเนื่องจากความเสียดทาน ซึ่งจะเพิ่มขึ้นตามความดันของสปริงที่กดอยู่ในตอนแรก

ช่วงของการใช้งาน

อัตราการไหลของน้ำมันจะถูกจำกัดโดยวาล์วควบคุมความดัน ตามกราฟ

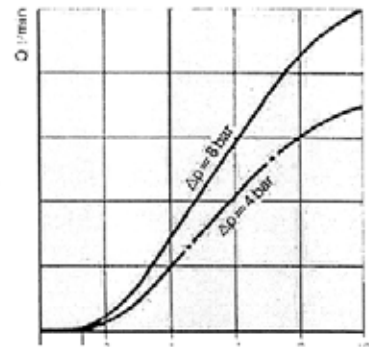
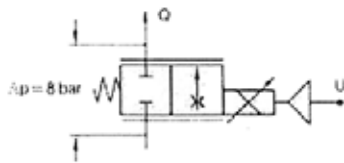


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. วาล์วทรอทเทิลแบบพรอพพอนันแนล

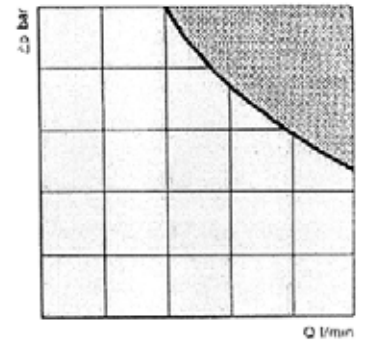
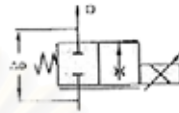
เป็นวาล์วที่ควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของตัววาล์ว โดยจะมีการโค้งที่ปลายทั้งสองข้างของกราฟ ที่ช่วงแรกของการเปิดวาล์วจะช้าเนื่องจากรูปร่างของตัวทรอทเทิลตามรูป

ส่วนที่ช่วงท้ายของกราฟจะมีการโค้งเนื่องจากการอื่นตัวของการไหลของวาล์ว และเหมือนกับวาล์วแบบทรอทเทิลทั่วไปที่

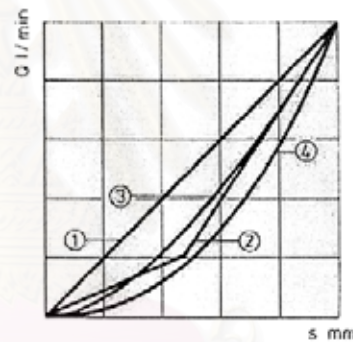
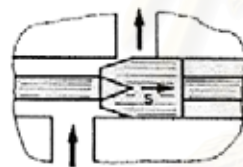
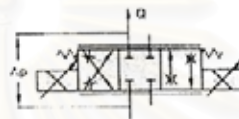


$$Q \propto \sqrt{P}$$

หรือ $Q_x \propto Q_{nom} \sqrt{\frac{\Delta P_x}{\Delta P_{nom}}}$

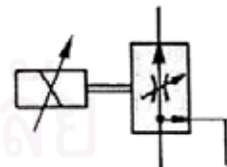


ลักษณะโค้งของกราฟระหว่าง อัตราการไหลกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้าวาล์ว จะขึ้นกับลักษณะส่วนตัดของหัวทรอทเทิล



3. วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบพรอพพอนันแนลพร้อมชดเชยความดัน

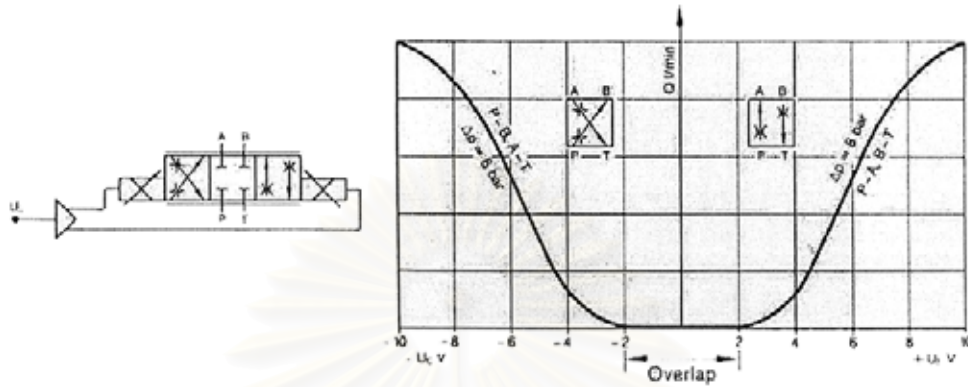
วาล์วควบคุมอัตราการไหลโดยมีการชดเชยภาวะจะประกอบด้วยวาล์วทรอทเทิลแบบพรอพพอนันแนล และวาล์วควบคุมทิศทางการไหลพร้อมกับมีตัวชดเชยความดัน



4. วาล์วควบคุมทิศทางแบบพรอพพอนันแนล

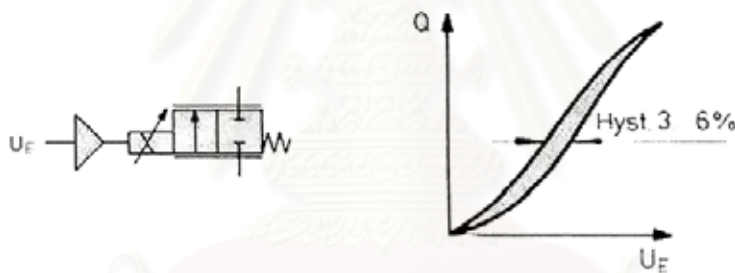
ในวาล์วแบบนี้จะมีอยู่ 2 ควาทแดรนท์ที่ใช้งานโดยทั้งสองข้างจะเหมือนกันแต่จะอยู่ในลักษณะตรงข้าม

สำหรับวาล์วนี้จะมีช่วงที่เหลื่อมกันอยู่ประมาณ $\pm 20\%$ ที่ให้กันวาล์วเคลื่อนที่ โดยไม่มีการไหลของไฮดรอลิกส์ ช่วงนี้จะเรียกว่าเดดโซน (Dead Zone) ซึ่งจะสามารถแก้ไขโดยการใช้วงจรไฟฟ้าชดเชย



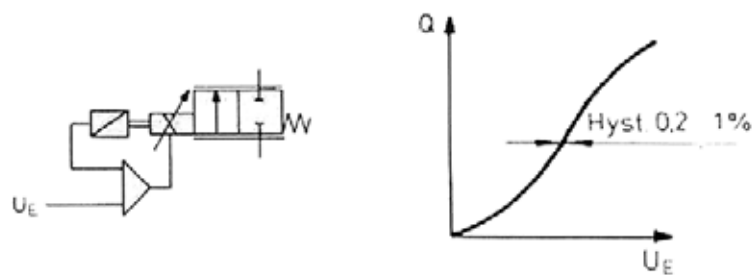
วาล์วแบบพรอพพอนันแนลชนิดที่มีการควบคุมตำแหน่ง และไม่มีการควบคุมตำแหน่ง

1. วาล์วแบบพรอพพอนันแนลชนิดที่มีการควบคุมตำแหน่ง



วาล์วแบบพรอพพอนันแนลชนิดที่มีการควบคุมตำแหน่ง เป็นชนิดที่มีราคาถูก เนื่องจากมี Hysteresis ค่อนข้างมาก

2. วาล์วแบบพรอพพอนชันแนลชนิดที่ไม่มีการควบคุมตำแหน่ง



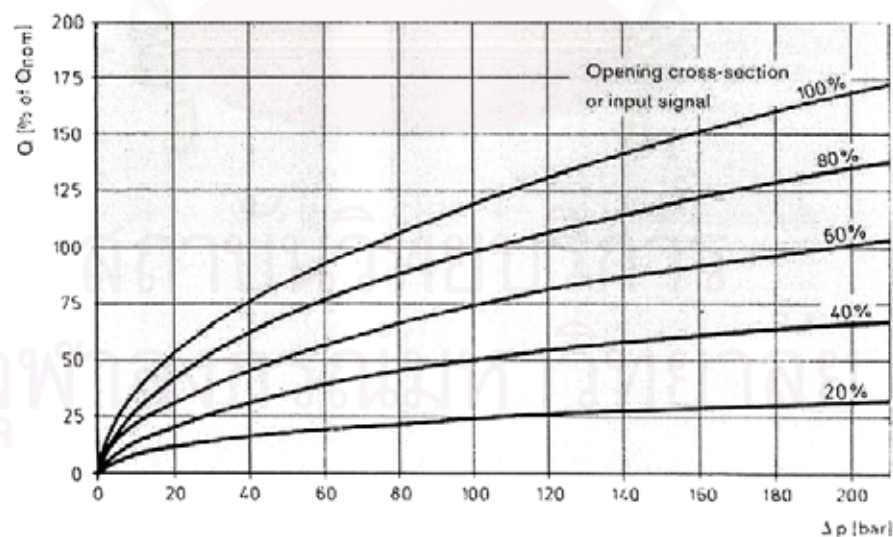
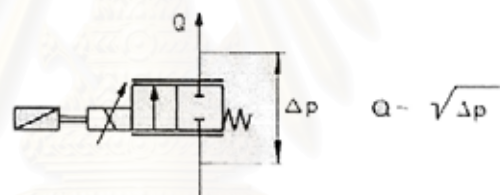
วาล์วแบบพรอพพอนชันแนลชนิดที่ไม่มีการควบคุมตำแหน่ง เป็นวาล์วที่มีราคาสูงขึ้นไป จึงใช้ในระบบที่ต้องการความถูกต้องมากขึ้น Hysteresis จะน้อยมาก ประมาณ 0.2-1%

ตัวชดเชยความดัน (Pressure Compensators)

สำหรับวาล์วควบคุมอัตราการไหลแบบพรอพพอนชันแนลและวาล์วควบคุมระยะทางแบบพรอพพอนชันแนล อัตราการไหล (Q) จะขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของความดัน (ΔP) ตามสมการของอัตราการไหล

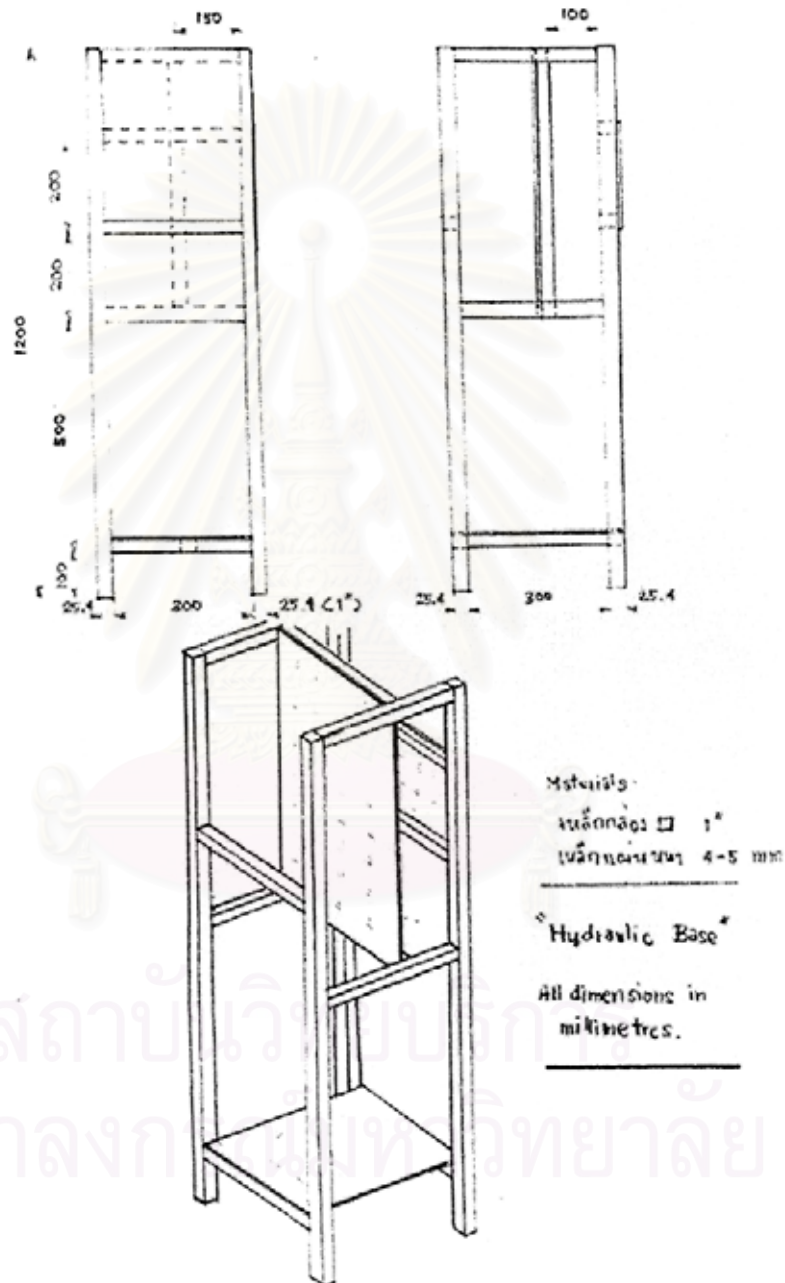
$$Q \propto \sqrt{\Delta P}$$

การเปลี่ยนแปลงของความดันที่ทางเข้าซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของภาระ (Load) จะไปรบกวนความดันตกคร่อมวาล์ว (ΔP) ที่จะถูกแก้ไขโดยการทำให้อัตราการไหลคงที่



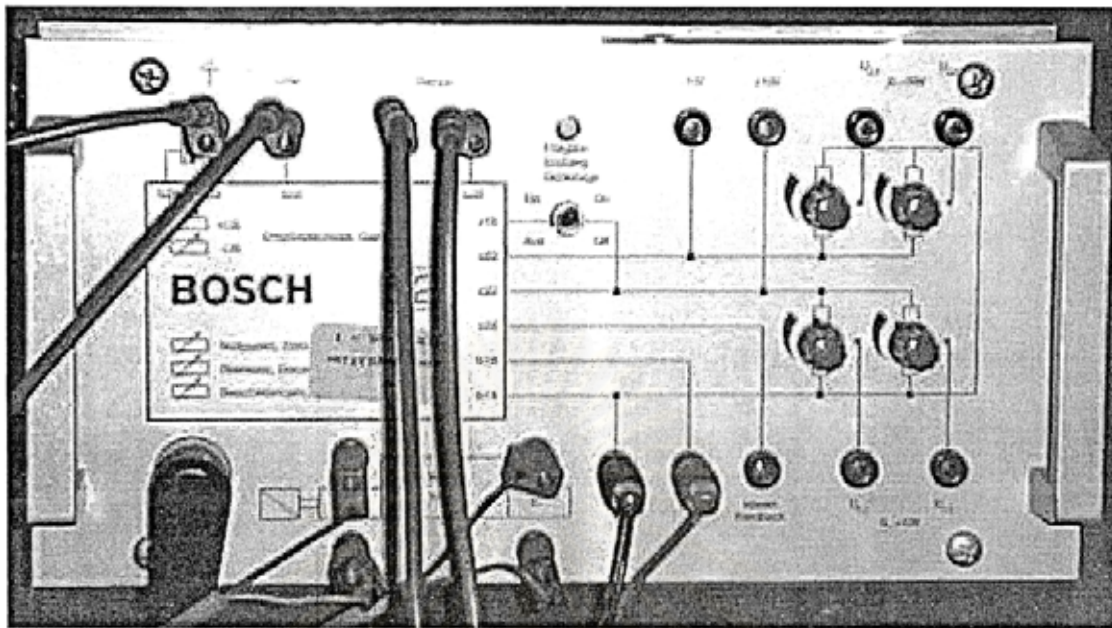
โครงยึดระบบไฮดรอลิกส์ (Hydraulic Base)

นอกจากนี้สำหรับการยึดระบบไฮดรอลิกส์ทั้งหมดก็ได้ออกแบบโครงยึดสำหรับยึดอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์และเซนเซอร์เพื่อการทดสอบ โดยได้เลือกใช้เหล็กกล่องขนาด 1" x 1" ซึ่งมีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร โดยมีการออกแบบตามรูป



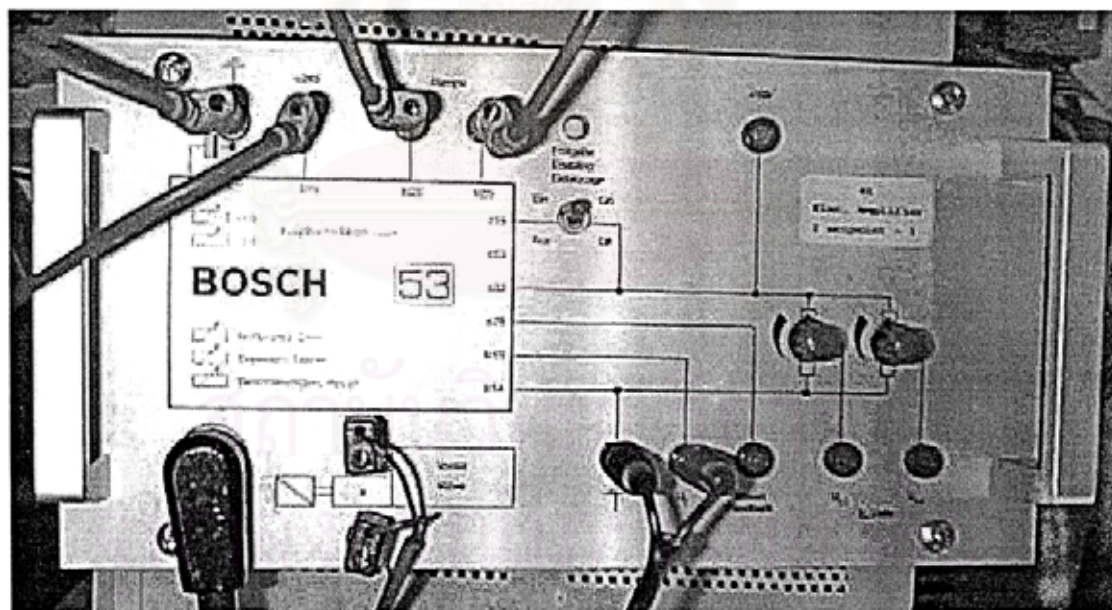
รูปแสดงโครงยึดระบบไฮดรอลิกส์

ชุดขยายสัญญาณวาล์วควบคุมทิศทาง (Directional Control Valve Amplifier Set)



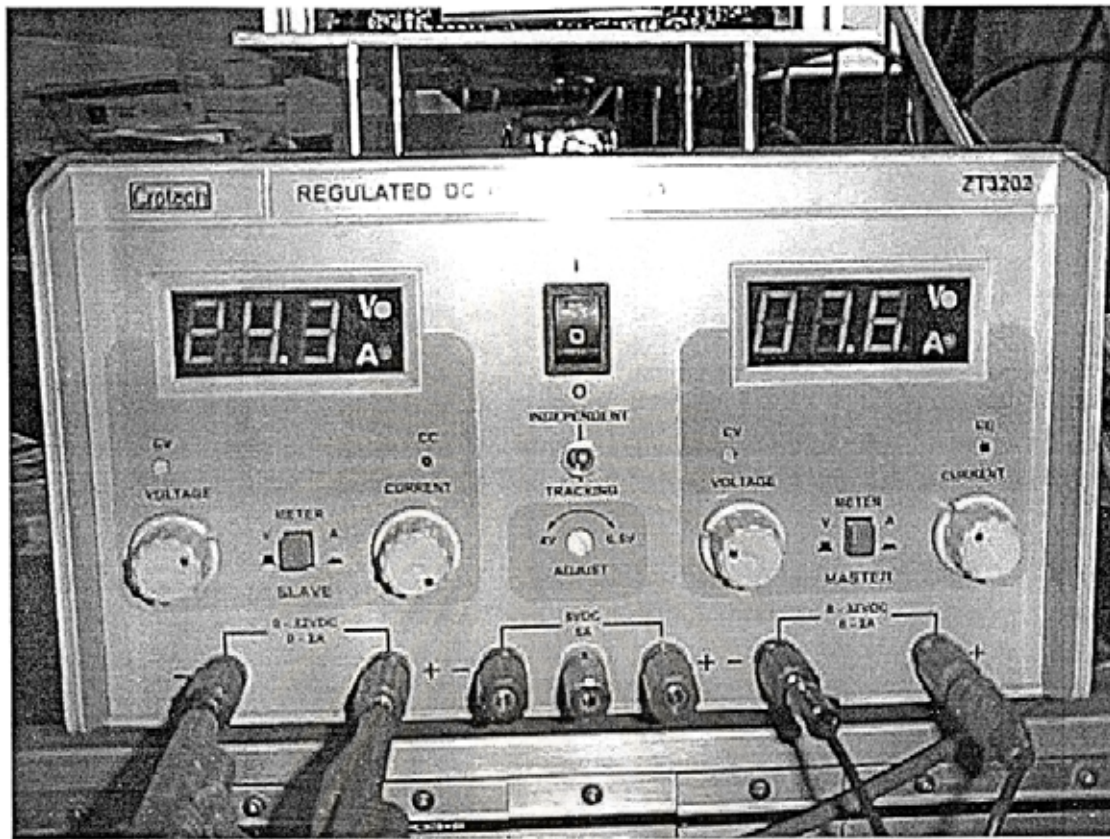
รูปแสดงชุดขยายสัญญาณวาล์วควบคุมทิศทาง

ชุดขยายสัญญาณวาล์วควบคุมความดัน (Pressure Control Valve Amplifier Set)



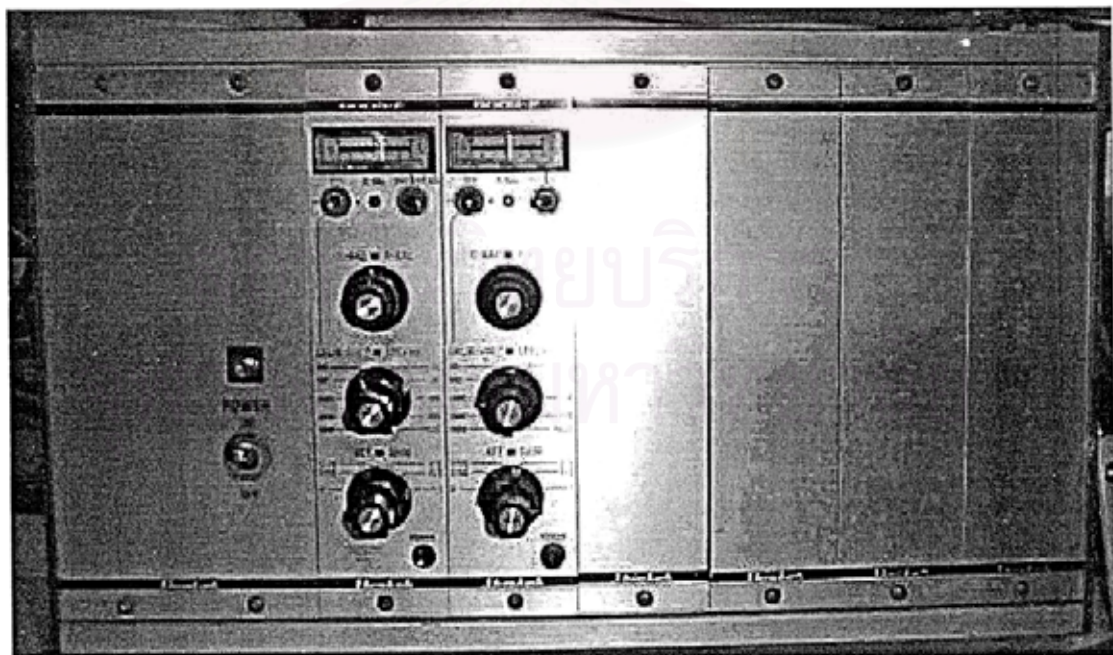
รูปแสดงชุดขยายสัญญาณวาล์วควบคุมความดัน

แหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า (Power Generator)

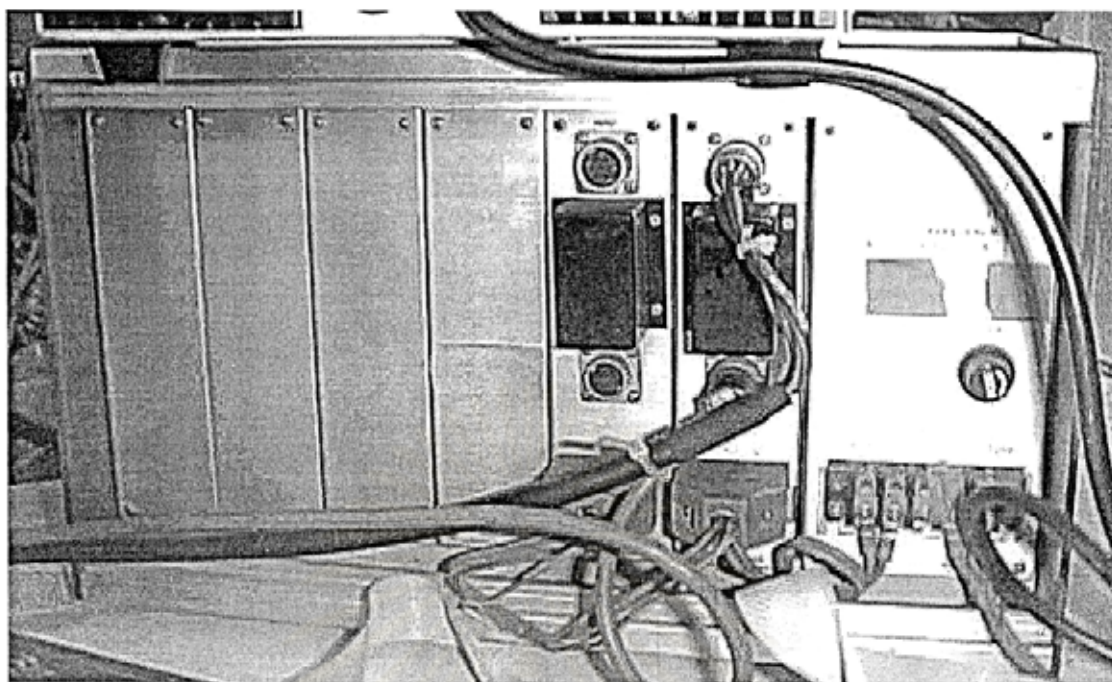


รูปแสดงแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้า

ชุดขยายสัญญาณสเตรนเกจ (Dynamic Strain Meter)



รูปแสดงด้านหน้าของสเตรนมิเตอร์

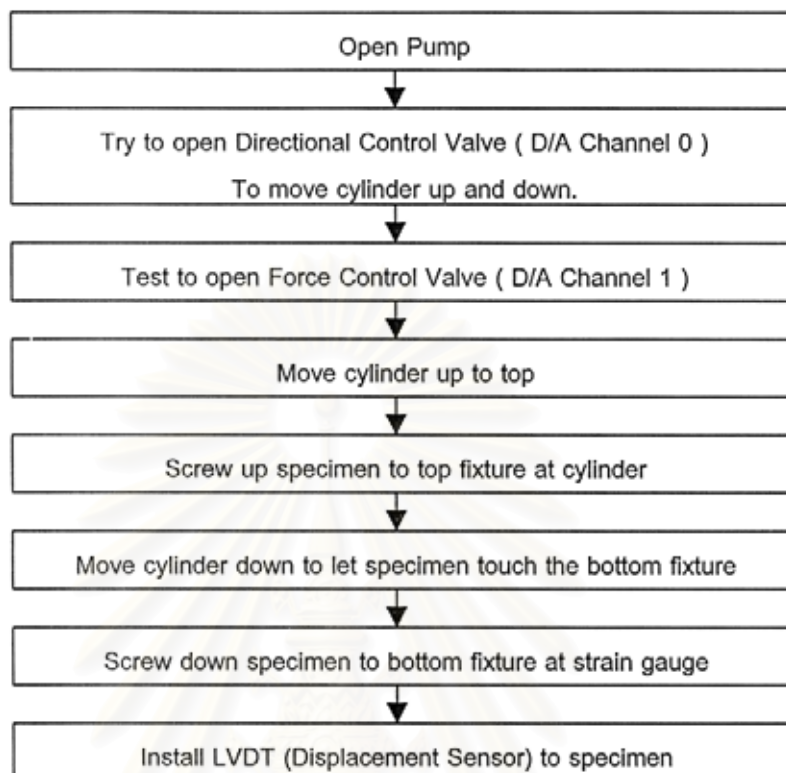


รูปแสดง ด้านหลังของสเตรมิเตอร์ และจุดเชื่อมต่อกับสเตรนเกจ



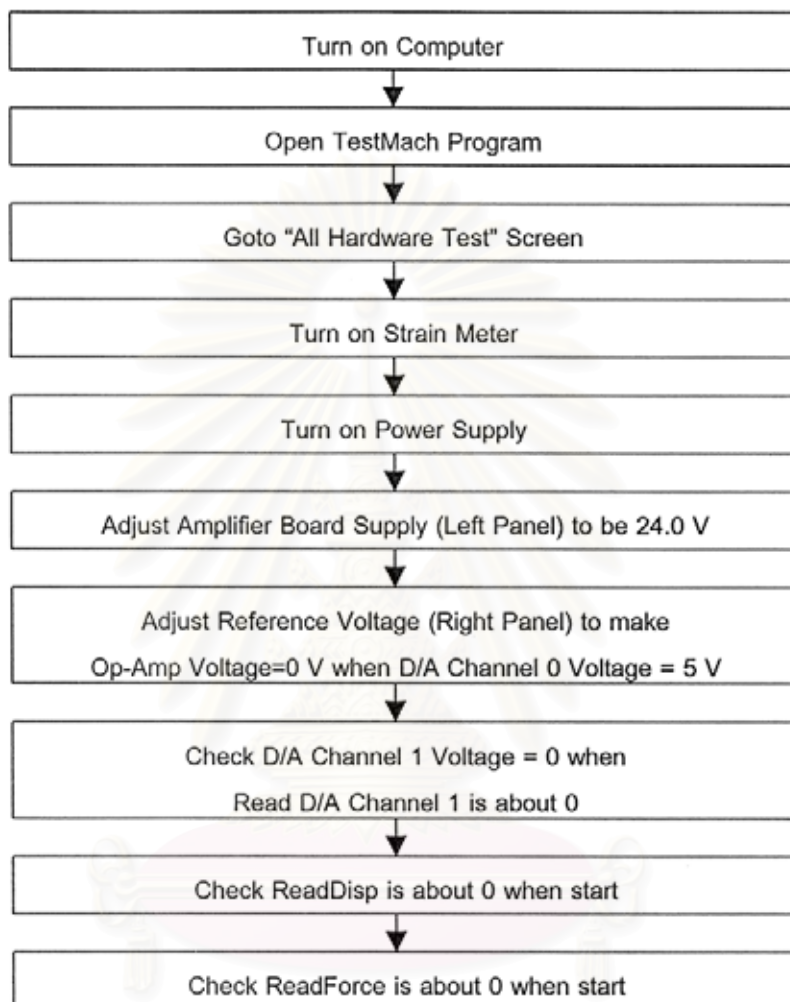
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การติดตั้งชิ้นงานทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบ (Specimen Installation)



รูปที่ 4.1.30 แผนผังการติดตั้งชิ้นงานทดสอบเข้ากับชุดทดสอบ

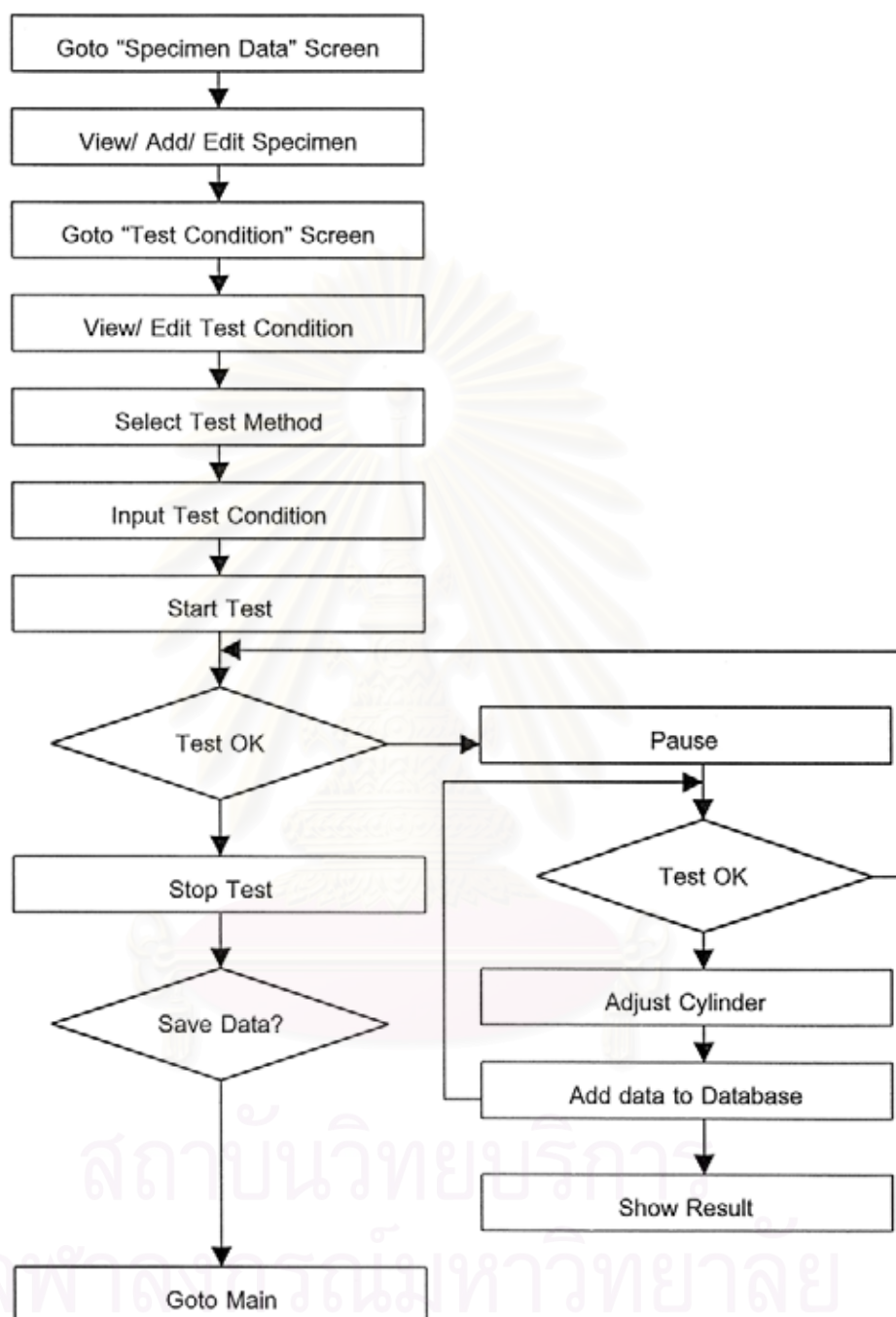
เริ่มต้น: การเริ่มใช้งาน และสิ่งที่ต้องตรวจสอบในอันดับแรก ๆ



รูปที่ 4.1.31 แผนผังการเปิดเครื่องและตรวจเช็คก่อนเริ่มใช้งาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีทดสอบ (Test Procedures)



รูปที่ 4.1.32 แผนผังการทำงานของอัลกอริธึมในการควบคุมชิ้นงาน

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำโดย นายอภิชาติ อรุณคุณารักษ์ เกิดวันที่ 1 กรกฎาคม 2518 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาชั้นปริญญาตรีจาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สาขาวิศวกรรมเครื่องกล (วศบ. เครื่องกล) เมื่อปี พ.ศ. 2539



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย