การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 14
2-3 พฤศจิกายน 2543 โรงแรม โนโวเทล เชียงใหม่

ระบบควบคุมโดยใช้คอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องทดสอบวัสดุ
A Computer Control System for Material Testing Machines

วิทยา ยงเจริญ และ อภิชาต อรุณคุณารักษ์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กรุงเทพมหานคร 10330
โทร (662) 218-6610 โทรสาร (662) 252-2889, E-mail: fmewyc@eng.chula.ac.th

Witthaya Yongchareon and Apichart Arunkunarax
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Bangkok 10330, Thailand
Tel: (662) 218-6610 Fax: (662) 252-2889

บทคัดย่อ

ระบบควบคุมสำหรับเครื่องทดสอบวัสดุ ประกอบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมและเก็บข้อมูลการทำงาน อุปกรณ์วัดแรงและระยะทาง อุปกรณ์ทำงานแบบเซอร์โววาล์ว บอร์ดแปลงข้อมูล ADC, DAC และระบบต้นกำลังไฮดรอลิกส์ ระบบควบคุมนี้สามารถทำการหาค่าความเค้นดึง ความเค้นอัด และความล้าของวัสดุ ผู้ใช้งานสามารถปรับพารามิเตอร์ต่าง ๆของระบบได้ทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น ค่าเกนพีไอดี ระยะเวลาการสุ่ม อัตราการเพิ่มของแรง ความถี่ และรูปแบบของแรงที่กระทำได้ หลังจากทำการทดสอบแล้วระบบจะสามารถแสดงผลและพิมพ์ผลการทดสอบ และกราฟได้

โปรแกรมควบคุมสำหรับเครื่องทดสอบวัสดุนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นจาก Microsoft Visual Basic 6.0 เชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูลที่พัฒนาจาก Microsoft Access 97 ผ่านทาง ODBC (Open Database Connectivity)

ผลจากการทดลองใช้งานจะได้ค่าความผิดพลาดเป็น 6.3% 4.4% 8.5% และ 2.6% สำหรับการควบคุมแบบ พี พีไอ พีดี และพีไอดี ตามลำดับ

Abstract

Material testing machine control system contains of personal computer that works as the controller and data collector for force sensor, displacement sensor, ADC board, DAC board and Hydraulics supply. This control system can measure tensile stress, compressive stress and fatigue. User can adjust parameters e.g. PID gain, sampling time, force rate, frequency and force type from monitor. After test, system can show the result in the report and graph form.

This program is developed from Microsoft Visual Basic 6.0 that link to Microsoft Access 97 Database via ODBC (Open Database Connectivity).

From the experiment, the errors are 6.3%, 4.4%, 8.5% and 2.6% for P, PI, PD, and PID control respectively.

วัตถุประสงค์

ทำการสร้างและพัฒนาระบบควบคุมสำหรับเครื่องทดสอบวัสดุระบบไฮดรอลิกส์ โดยใช้

ไมโครคอมพิวเตอร์ในการควบคุม ให้สามารถหาความเค้นดึง ความเค้นกด และความล้าของวัสดุ รวมทั้ง ออกแบบระบบติดต่อระหว่างอุปกรณ์กับผู้ใช้ให้ง่ายต่อการใช้งาน

แนวคิดและทฤษฎี

การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control)

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

- การควบคุมแบบพี (P Control)
- การควบคุมแบบไอ (I Control)
- การควบคุมแบบดี (D Control)
- การควบคุมแบบพีไอ (PI Control)
- การควบคุมแบบพีดี (PD Control)
- การควบคุมแบบพีไอดี (PID Control)

การควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (Computerized Control)

สำหรับการควบคุมแบบพีไอดี ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้น จะเป็นการควบคุมแบบแอนะลอก (Analog Control) ดังนั้นเมื่อต้องการนำมาใช้ควบคุมโดยอาศัยไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการควบคุมแบบดิจิตอล (Digital Control) จึงจำเป็นต้องมีการดัดแปลงลักษณะของตัวควบคุมโดยจากการควบคุมแบบแอนะลอก [3]

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

ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1> Proportional Control

$(\Delta m_n)_P = K_P(e_n - e_{n-1})$

2> Integral Control

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

3> Derivative Control

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

และเมื่อนำมารวมกันทั้งสามส่วนจะได้เป็นการควบคุมแบบ PID คือ

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

หรือ

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

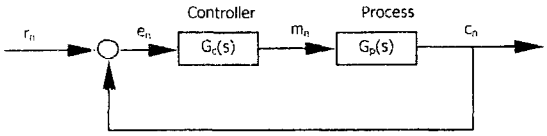
โดยที่

$$K_0 = K_P + K_I T + K_d/T$$

$$K_1 = -K_P - 2K_d/T$$

$$K_2 = K_d/T$$

ขั้นตอนการควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 1 บล็อคไดอะแกรมแสดงการควบคุมแบบโคลสลูป

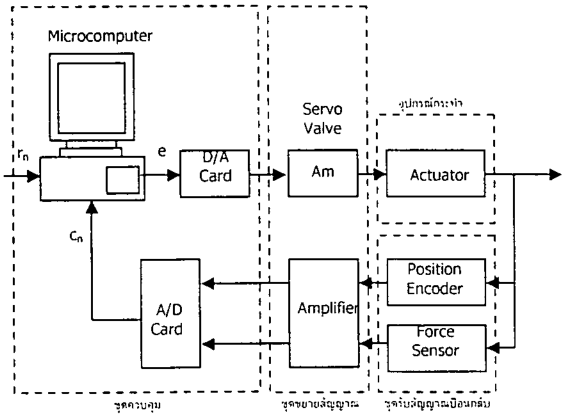
อัลกอริธึมที่ใช้ในการควบคุม

ในการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์จะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. สุ่มค่า c_n
2. คำนวณค่า $e_n = r_n - c_n$
3. คำนวณค่า $m_n = p_n + k_0 e_n$
4. เอาท์พุทค่า 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

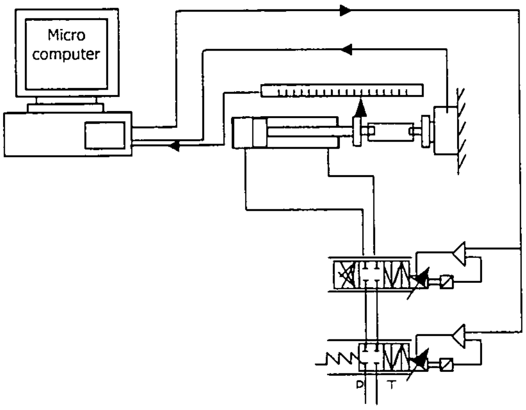
อุปกรณ์ของเครื่องทดสอบวัสดุ

ในชุดอุปกรณ์นี้จะประกอบด้วยส่วนของตัวควบคุม ชุดขยายสัญญาณ อุปกรณ์กระทำ และเซนเซอร์รับสัญญาณป้อนกลับ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์ทดสอบวัสดุ

โดยในการทำงานผู้ใช้จะโปรแกรมการทำงานที่ไมโครคอมพิวเตอร์ ตั้งค่าสภาวะการทำงาน และพารามิเตอร์ในการควบคุมต่างๆ จากนั้นคอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณออกมาโดยผ่านทางการ์ดแปลงสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอนาล็อก แล้วผ่านอุปกรณ์ขยายสัญญาณเพื่อควบคุมวาล์วไฮดรอลิกซึ่งมีทั้งชุดที่คุมทิศทางของกระบอกสูบ และชุดควบคุมแรงดันภายในกระบอกสูบ เมื่อกระบอกสูบกระทำต่อชิ้นงานก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงระยะทาง และ/หรือ แรงที่กระทำต่อชิ้นงาน เราจึงใช้ตัววัดสัญญาณวัดสัญญาณการเคลื่อนที่ของชิ้นงาน และแรงที่กระทำกับชิ้นงานออกมาส่งกลับไปที่ชุดขยายสัญญาณ ก่อนเข้าไปที่การ์ดแปลงสัญญาณอะนาลอกไปเป็นดิจิตอล เพื่อนำไปคำนวณผลในการควบคุมครั้งต่อไป ตามรูปที่ 3

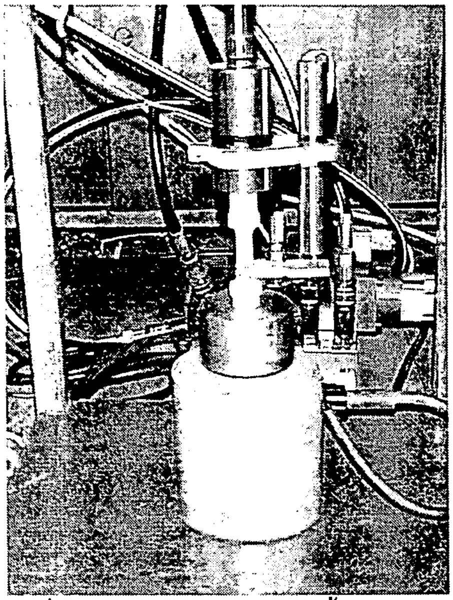


รูปที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์ไฮดรอลิกส์ เซนเซอร์และตัวควบคุม

เซนเซอร์

อุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้จะมีอยู่ 2 ชนิดคือ

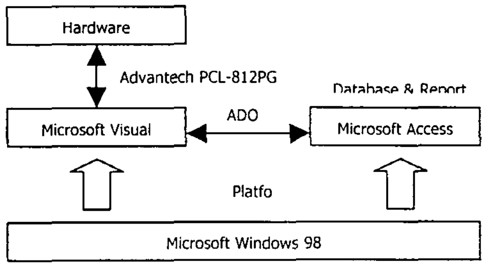
- ชนิดที่ใช้วัดแรง จะเป็นสเตรนเกจ (Strain Gauge)
- ชนิดที่ใช้วัดระยะทาง จะเป็น LVDT (Linear Variable Differential Transformer)



รูปที่ 4 รูปถ่ายชุดอุปกรณ์จับชิ้นงาน และเซนเซอร์

การออกแบบโปรแกรมทดสอบวัสดุ

ผู้วิจัยได้เลือกพัฒนาระบบติดต่อกับผู้ใช้บน Microsoft Windows 98 สำหรับในการพัฒนาก็จะใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 ในการพัฒนาระบบติดต่อ และควบคุมอุปกรณ์สำหรับการเก็บข้อมูลและการออกรายงานของการทดสอบ ตัวเลือก และข้อมูลต่างๆ จะใช้ระบบฐานข้อมูลของ Microsoft Access 97 โดยผ่านการติดต่อทาง ODBC (Open Database Connectivity) ดังรูปที่ 5

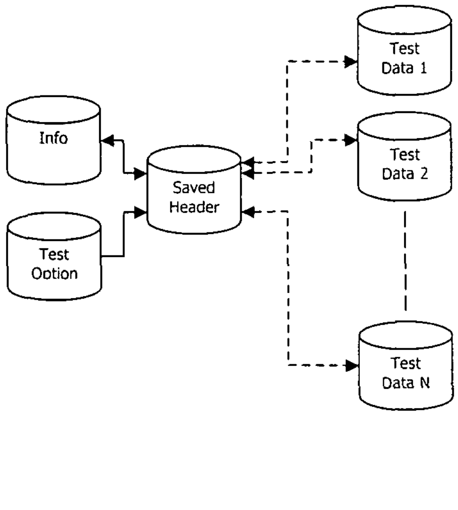


รูปที่ 5 โปรแกรมที่เลือกใช้ และการติดต่อระหว่างโปรแกรม

การออกแบบระบบฐานข้อมูล (Database Design)

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

- Info (ใช้เก็บลักษณะของชิ้นงานทดสอบ)
- TestMachOption (ใช้เก็บสถานะของการทดสอบอย่างค่าเกนของตัวทดสอบ แรงมากที่สุดที่รับได้ก่อนหยุดอุปกรณ์ ฯลฯ)
- TestData (เก็บข้อมูลของการทดสอบ ไม่ว่าจะเป็นแรงที่กำลังกระทำกับชิ้นงาน ระยะยืดของวัสดุ รวมทั้งค่าความดันที่ส่งออกไปควบคุม)
- SavedHeader (ใช้เก็บสถานะของการทดสอบ ณ การทดสอบใดๆ โดยจะเชื่อมกับตาราง Info และดึงค่า TestMachOption ณ ขณะทดสอบมาเก็บไว้)



รูปที่ 6 แบบจำลองฐานข้อมูล

โปรแกรมควบคุมระบบทดสอบ

ในส่วนของโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1) ระบบทดสอบวัสดุ (Specimen Test) จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1.1) การทดสอบแบบ Manual

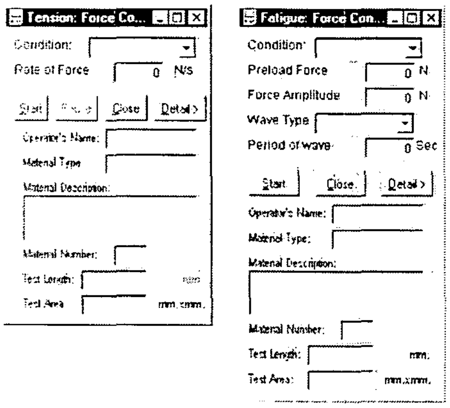
1.2) การทดสอบหาความเค้นดึง และความเค้นอัด

1.3) การทดสอบหาความล้า

ในรูปที่ 7 จะแสดงหน้าจอควบคุมสำหรับการทดสอบความเค้นและความล้า

2) ตัวเลือก (Option) จะเป็นส่วนที่กำหนดสภาวะต่างๆ ของการทดสอบ และเก็บข้อมูลของชิ้นงานทดสอบ

3) ระบบฐานข้อมูล และรายงาน (Database and Reports) เป็นส่วนเก็บข้อมูลและแสดงผลของการทดสอบทั้งหมด



รูปที่ 7 หน้าจอของการควบคุมชิ้นงานทดสอบทั้งที่ใช้เพื่อหาความเค้น และหาความล้า

4.2 การปรับค่าเกนพีไอดี และการทดสอบ

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

ในการปรับค่าเกนนี้จะทำโดยการดึงชิ้นงานที่อัตรา 200 นิวตันต่อวินาที จนถึงแรงดึง 1,200 นิวตัน วัสดุที่ใช้คือ อลูมิเนียม พื้นที่ของชิ้นงานทดสอบบริเวณจุดทดสอบคือ 100 มิลลิเมตร และ ความยาวของชิ้นงาน ณ จุดทดสอบ คือ 35 มิลลิเมตร

<u>การปรับค่าเกนพี</u>

ที่ K_p= 4x10^{-4} ระบบจะไม่สามารถปรับค่าให้เข้าใกล้ค่าที่กำหนดได้ และเมื่อใช้ K_p= 14x10^{-4} ระบบก็จะไม่มีเสถียรภาพ จึงได้เลือกใช้ค่า K_p= 10x10^{-4} ซึ่งเป็นค่ากลางระหว่างทั้งสองจุด โดยจะมีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดคือ 74.83 นิวตัน (6.24%) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคือ 154.73 นิวตัน (12.89%)

<u>การปรับค่าเกนพีไอ</u>

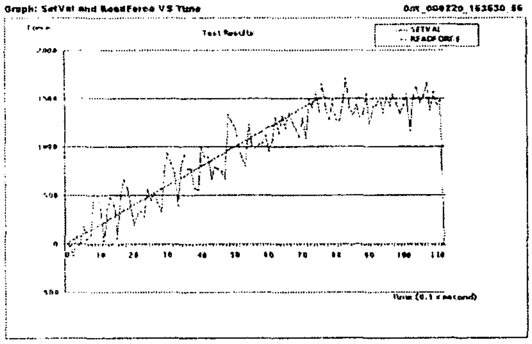
เนื่องจากค่าความผิดพลาดจากการใส่ค่าเกนพีเพียงอย่างเดียวยังมากอยู่จึงได้ทำการเพิ่มค่าเกนไอเข้าไปในระบบควบคุมด้วยโดยจะพบว่าเมื่อค่า K_I= 1x10^{-4} ระบบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างไร ยังคงค่อนข้างคล้ายกับระบบที่ไม่มีค่าเกนไอ และเมื่อใส่ค่า K_I= 20x10^{-4} ระบบจะมีค่าความผิดพลาดที่ชวงเริ่มต้นการทดสอบค่อนข้างมาก จึงเลือกใช้ค่า K_I= 10x10^{-4} ซึ่งจะพบว่าระบบจะติดตามค่าความผิดพลาดได้เร็วขึ้น โดยจะมีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดคือ 52.94 นิวตัน (4.41%) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 176.62 นิวตัน (14.72%)

<u>การปรับค่าเกนพีดี</u>

จากนั้นจึงได้ทดลองใส่ค่าเกนดีโดยจะพบว่าเมื่อใส่ค่า K_D เข้าไปในระบบ ระบบจะแกว่งคือเกิดความไม่มีเสถียรภาพขึ้น แม้ว่าจะลดค่า K_D ลงมาผลการตอบสนองของระบบก็ไม่ดีขึ้น โดยเมื่อ K_D=0.08x10^{-4} ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดจะอยู่ที่ 101.92 นิวตัน (8.49%) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ 146.45 นิวตัน (12.21%)

<u>การปรับค่าเกนพีไอดี</u>

สุดท้ายจึงได้มีการทดลองใส่ค่าเกนพีเกนไอ และเกนดี โดยที่ได้ทดลองใส่ค่า K_p= 10x10^{-4}, K_I= 10x10^{-4} และ K_D= 0.1x10^{-4} โดยจะมีค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดอยู่ที่ 31.04 นิวตัน (2.59%) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 163.20 นิวตัน (13.60%) ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุม โดย ค่าเกนพี = 10x10^{-4} ค่าเกนไอ = 10x10^{-4} ค่าเกนดี = 0.1x10^{-4}

การทดสอบอุปกรณ์

ในการทดสอบนี้จะให้อุปกรณ์ทำการทดสอบกับชิ้นงานที่เป็นพลาสติกชนิด POM ซึ่งเป็นพลาสติกวิศวกรรมที่มีความยืดหยุ่นสูง

การทดสอบหาความเค้นกด

ในการทดสอบหาความเค้นกดของวัสดุส่วนของรายงานชุดแรกจะเป็นลักษณะของชิ้นงานทดสอบ สภาวะของการทดสอบ ดังรูปที่ 9 ส่วนในชุดที่สองจะเป็นข้อมูลดิบของการทดสอบ คือสถานะต่างๆ ของอุปกรณ์ไม่ว่าจะเป็นค่าแรงดันที่สั่งจากบอร์ดควบคุม(คอมพิวเตอร์) ค่าแรงหรือระยะทางที่อ่านได้จากเซนเซอร์ ณ เวลาใดๆ ดังรูปที่ 10 จากนั้นในรูปที่ 11 จะเป็นกราฟของ SetVal & ReadForce VS Time กราฟนี้จะเป็นการนำข้อมูลจากข้อมูลดิบที่บันทึกไว้ มาพล็อตกราฟ ข้อมูลที่นำมาพล็อตก็จะมีค่าแรงที่ระบบต้องการให้กระบอกสูบกระทำกับชิ้นงาน เทียบกับค่าแรงที่กระบอกสูบกระทำกับชิ้นงานจริงๆ ณ เวลาใดๆ เมื่อพิจารณากราฟจะพบว่าระบบสามารถกดชิ้นงานด้วยอัตราแรงกดที่เพิ่มขึ้น (Test Rate) 200 นิวตันต่อวินาที จนถึงจุดที่แรง

กดประมาณ 4800 นิวตันแล้วระบบก็จะไม่สามารถให้แรงกดชิ้นงานเพิ่มขึ้นไปได้อีก 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 12 เมื่อพิจารณาดูจะพบว่าค่า CtrlVal นั้นเริ่มต้นจาก 5 โวลต์ เนื่องจากบอร์ด PCL-812 PG สามารถให้เอาท์พุทอยู่ในช่วง 0 ถึง 10 โวลต์ แต่สำหรับบอร์ดขยายสัญญาณเพื่อควบคุมวาล์วควบคุมทิศทางของกระบอกสูบจะต้องการรับอินพุทในช่วง -10 ถึง 10 โวลต์ ทางผู้วิจัยจึงได้ใช้บอร์ดออปแอมป์เพื่อขยายสัญญาณสองเท่า และเลื่อนช่วงของการควบคุม ดังนั้นค่า 5 โวลต์ที่บอร์ด PCL-812 PG จะแปลงเป็น 0 โวลต์ที่บอร์ดขยายสัญญาณของวาล์วควบคุมทิศทางกระบอกสูบ หลังจากนั้นจะพบว่าค่าของแรงดันที่ควบคุมวาล์วควบคุมทิศทาง (ReadD-Val) และค่าของแรงดันที่บอร์ดขยายสัญญาณของวาล์วควบคุมความดันในกระบอกสูบ (ReadP-Val) จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าอิ่มตัวของอุปกรณ์คือ 10 โวลต์ ก็จะไม่สามารถเพิ่มขึ้นต่อไปได้อีก สำหรับกราฟสุดท้ายคือรูปที่ 13 กราฟระหว่างความเค้นกับความเครียดของวัสดุ ผลของกราฟที่ได้ก็พอจะทราบว่าระบบสามารถดึงชิ้นงานได้จนค่าความเค้นประมาณ 48 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และยังคงอยู่ในช่วงของขีดจำกัดพรอพพอชันแนล (Proportional Limit) อยู่

Test Condition Data Sheet Dat_000220_184301_53

Specimen

Condition Name	Operator Name	Material Type
POM	[illegible]	POM

Test Length (mm)	Test Area (Sq.mm)
[illegible]	100

Material Description
Cylinder, Tapped both ends

Material Number	File Name
1	Dat_000220_184301_53

Test Condition

Maximum Allowable Displacement of LVDT (mm)
[illegible]

Maximum Allowable Force of Strain Gauge (N)
10000

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

Initial Displacement Value of LVDT for Calibration (mm)
[illegible]

Ks [Displacement to Volt Conversion Unit]	Kt [Force to Volt Conversion Unit]
372	1000

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

Test Condition Type	Test Wave Type
[illegible]	0

Test Rate (N/s)	Test Preload Force(N)/ Disp.(mm)
[illegible]	0

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

Created Date
[illegible]

6 April 2000 Page 1 of 1

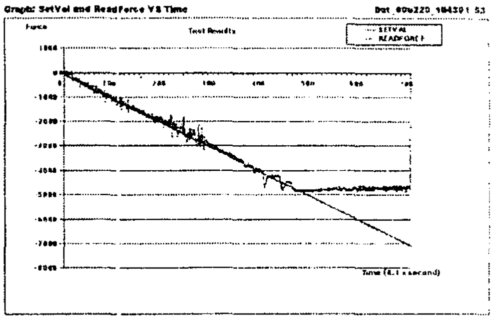
รูปที่ 9 ลักษณะของชิ้นงานทดสอบ และสภาวะทดสอบ

Test Data **Dat_000220_184301_53**

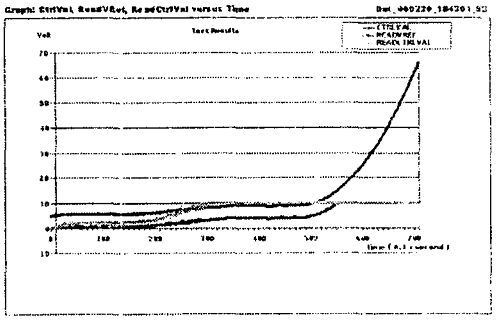
#	SETVAL	CTRLVAL (Volt)	READ-PVAL (Volt)	READ-DVAL (Volt)	READDISP (mm)	READFORCE (N)
0	0.00	5.00	0.02	-0.06	-0.0400	0
1	10.00	5.02	0.02	0.01	-0.0133	12
2	20.00	4.99	0.04	0.04	-0.0133	-32
3	30.00	5.09	0.02	-0.07	-0.0133	54
4	40.00	5.05	0.11	0.24	-0.0133	-10
5	50.00	5.00	0.07	0.14	-0.0400	12
6	60.00	5.07	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	0.72	-0.0133	-24
13	130.00	5.31	0.26	0.75	0.0133	12
14	140.00	5.29	0.33	0.91	-0.0800	14
15	150.00	5.30	0.30	0.83	-0.0267	-63
16	160.00	5.42	0.32	0.37	-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	0.53	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	-0.0267	71
26	260.00	5.52	0.73	2.11	-0.1200	-278
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	5.50	0.56	1.59	-0.1200	-264
30	300.00	5.63	0.61	1.71	0.1333	-312
31	310.00	5.50	0.64	1.82	-0.1066	-298
32	320.00	5.61	0.61	1.76	-0.1600	-291

6 April 2000 Page 1 of 21

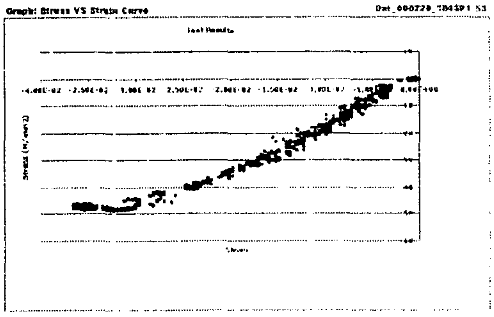
รูปที่ 10 ข้อมูลดิบของการทดสอบ



รูปที่ 11 กราฟแสดงค่าแรงที่ต้องการให้ระบบทำงานเทียบกับแรงที่ระบบกระทำกับชิ้นงานจริง



รูปที่ 12 กราฟแสดงค่าแรงดันที่ส่งออกไปควบคุมระบบ ณ จุดต่างๆ



รูปที่ 13 กราฟแสดงค่าความเค้นกับความเครียดของวัสดุ

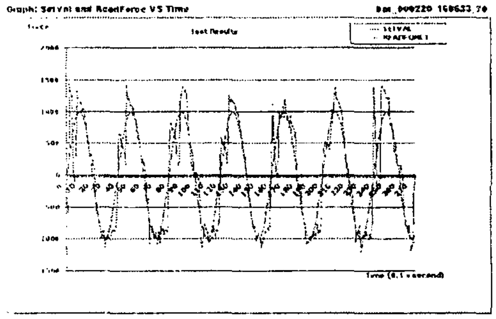
การทดสอบหาความล้า

สำหรับการทดสอบหาความล้านี้จะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

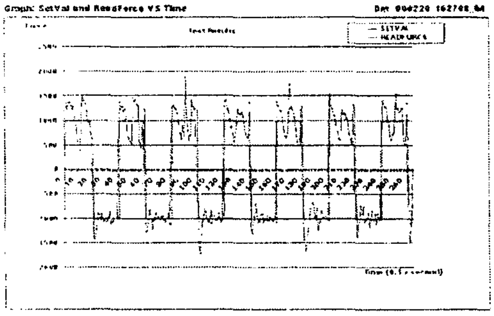
- ➢ การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ

- ❑ การทดสอบหาความล้า โดยควบคุมแรงรูปซายน์ที่กระทำกับชิ้นงาน ดูได้จากรูป 14 จะเป็นการทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปซายน์ที่มีแอมปลิจูดเท่ากับ 1000 นิวตัน โดยจะมีค่าเฉลี่ยของ Absolute ของความผิดพลาดเท่ากับ 232.4 นิวตัน และค่าเบี่ยงเบนของความผิดพลาดอยู่ที่ 314.22 นิวตัน
- ❑ การทดสอบหาความล้า โดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยมที่กระทำกับชิ้นงาน ดูได้จากรูปที่ 15

จากกราฟการทดสอบความล้าส่วนใหญ่จะพบว่าระบบสามารถควบคุมตามที่คอมพิวเตอร์สั่งได้ ไม่ว่ากราฟรูปซายน์ หรือรูปสี่เหลี่ยม ทั้งแบบไม่มีแรง/ ระยะทางเริ่มต้น หรือมีการตั้งค่าเริ่มต้นของแรง/ระยะทางทั้งที่เป็นบวก และ ลบ แต่กราฟที่ได้อาจแสดงให้เห็นว่ายังคงมีความผิดพลาดอยู่บ้าง



รูปที่ 14 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปซายน์ กรณีแรงกระทำเริ่มต้น 0 นิวตัน



รูปที่ 15 การทดสอบหาความล้าโดยควบคุมแรงรูปสี่เหลี่ยม กรณีแรงกระทำเริ่มต้น 0 นิวตัน

สรุป

เครื่องทดสอบวัสดุจะให้แรงดึงมากสุด 1,500 นิวตัน แรงอัดมากสุด 4,800 นิวตัน ที่แรงดันขณะทำงานคือ 60 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว นอกจากนี้ยังสามารถวัดระยะยืดหรือหดได้มากสุดที่ 20 มิลลิเมตร ในการทดสอบดึงชิ้นงานที่อัตรา 200 นิวตันต่อวินาที จนถึงแรงมากสุดที่ 1,200 นิวตัน เมื่อควบคุมแบบพีอย่างเดียวค่าความผิดพลาดจะเป็น 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 จากผลการทดสอบข้างต้นแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้การควบคุมแบบพีอย่างเดียวก็สามารถควบคุมระบบไฮดรอลิกส์ได้ และเมื่อเพิ่มการควบคุมแบบไอเข้าไปในระบบค่าความผิดพลาดของระบบก็จะลดลง แต่ถ้าระบบใช้การควบคุมแบบพี.ดี. จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพลดลง สุดท้ายเมื่อใช้การควบคุมแบบพี.ไอ.ดี. ระบบควบคุมจะสามารถตอบสนองต่อการควบคุมได้ดีที่สุด

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

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] Cadzow, James A., Martens, Hinrich R., Discrete Time and Computer Control System. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1970.

[4] กิตติ ภักดีวัฒนะกุล, จำลอง ครูอุตสาหะ. คัมภีร์ระบบฐานข้อมูล: บริษัท เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์ จำกัด, พ.ศ. 2542