การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์แบบขนาน
Design and Construction Parallel Hydraulics Robot

ปจิภรณ์ บุตรแสนลี, ฉัตรมงคล สมรอด, ชัยศิริ ฤทธิเดชา, อนันต์ สืบสำราญ, วัชรินทร์ โพธิ์เงิน

สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์แบบขนาน โดยการออกแบบจะมีลักษณะเป็นแขนลิงค์อยู่ 2 ข้าง ที่ติดอยู่กับเสา 2 เสา ที่วางอยู่ในรูปแบบขนานกันและปลายของแขนลิงค์ทั้ง 2 จะยึดเข้าด้วยกันโดยแขนลิงค์แบบอิสระ และใช้ระบบไฮดรอลิกส์ (Hydraulic System) เป็นต้นกำลังทำให้แขนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ขึ้น ลง และใช้ระบบไฟฟ้า (Power System) เป็นต้นกำลังทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ เข้า ออก โดยใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor) และใช้ระบบการควบคุมแบบพีไอดี (Proportion-Integral-Derivative Controller : PID) ในส่วนของตัวควบคุมที่ใช้ในการควบคุมตำแหน่งการทำงานของหุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์แบบขนาน จะใช้อุปกรณ์พีแอลซี (Programmable Logic Controller : PLC) เป็นตัวควบคุมการทำงาน โดยใช้ภาษา Structured Text จากผลการทดลองพบว่าหุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์แบบขนาน สามารถควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนของปลายเครื่อง (Tool) ได้ โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ±0.5 เซ็นติเมตร และสามารถรับโหลดได้ 50 กิโลกรัม

คำสำคัญ: หุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์แบบขนาน

Abstract

This research design and construct parallel hydraulic robot . The design will be characterized by two link arms attached to the two posts placed in parallel and the ends of the two link arms attached together by independent link arms . And used hydraulic system for moves the robot's arm up and down and used electrical power for moves the robot's arm in and out using the stepping motor and used a PID control system . On the part of the controller used PLC for control the position of the parallel hydraulic robot . Structured Text is a control of the work . From the results, the parallel hydraulic robot can control the position of the end of the machine . The error is not more than ± 0.5 centimeters and can be loaded up to 50 kilograms.

Keyword: Parallel Hydraulic Robot

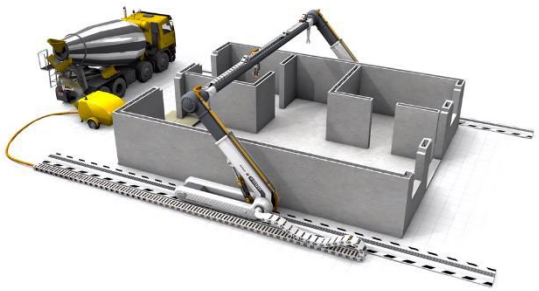
1บทนำ .

ปัจจุบันเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับระบบไฮดรอลิกส์และหุ่นยนต์เข้ามา มีบทบาทสำคัญในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ซึ่งในงานอุตสาหกรรมเหล่านั้น สิ่งที่จำเป็นต่อการผลิตในงานก่อสร้างอาคาร ซึ่งในงานก่อสร้างจำเป็นต้องมีเครื่องจักรขนาดใหญ่และกำลังในการทำงานที่สูง เช่น การขุดเจาะ การยกหรือการสร้างที่พักที่อยู่อาศัย ดังภาพที่ 1 เป็นต้น โดยระบบที่เหมาะสมกับงานที่ต้องใช้กำลังงาน ในการทำงานเยอะๆ นั้นโดยส่วนใหญ่มักจะใช้ระบบไฮดรอลิกส์ และในการควบคุมของระบบไฮดรอลิกส์นั้น เป็นระบบที่ซับซ้อน และระบบที่เป็นไม่เชิงเส้น มีความฝืดและมีช่วงเวลา Dead Band ขณะที่เริ่มจ่ายพลังงาน จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นนี้ จึงมีการนำเอาเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ เข้ามาช่วยในระบบไฮดรอลิกส์ให้มีการทำงานได้หลากหลาย และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นขึ้น

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาการทำงานของหุ่นยนต์ไฮดรอลิก แบบขนาน

1.1.2 เพื่อออกแบบและพัฒนาต้นแบบชุดควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ไฮดรอลิก แบบขนาน



ภาพที่ 1 : การสร้างบ้านด้วย 3D Printer

(ที่มา : Contour Crafting Printing 3D)

L. Dai, Y. Wu, J. Wang, Y. G. Li, Y. Liu[1] จากรายงานผลการวิจัยเรื่อง การสร้างแบบจำลอง(Modelling) และการจำลองเหตุการณ์ (Simulation) ของแขนหุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์ ที่มีความยืดหยุ่น ที่ใช้การควบคุมการทำงานของตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของกระบอกสูบเป็นแบบปิด (Full closed loop control) และใช้ตัวควบคุมแบบพีดี (PD Controller) ซึ่งผลการทดลองของแขนหุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์ สามารถพิสูจน์ได้ว่าสมการการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ที่สร้างขึ้นโดยวิธีนี้สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจน ที่เกี่ยวกับตัวแปลแบบพลวัตของแขนกล

วิษณุกรและวิลาวัณย์[2] ได้ทำปริญญานิพนธ์เรื่องระบบการควบคุมกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ด้วยแรงป้อนกลับ มีการควบคุมแบบทางไกล คือ ระบบที่มีตัว Master เป็นตัวที่มีผู้ควบคุมส่งสัญญาณให้ตัว Slave ทำงานตาม และยังมีการป้อนกลับของแรงจาก Slave มายัง Master โดยการทดลองจะทำการทดลองแบบมีค่าชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกสูบไฮดรอลิกส์และไม่มีค่าชดเชยแรงเสียดทานภายในกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ สามารถพิสูจน์ได้ว่า การทดลองแบบมีค่าชดเชยแรงเสียดทาน มีการเริ่มทำงานและเข้าสู่ค่าที่ตั้งไว้ได้เร็วกว่าแบบไม่มีการชดเชยแรงเสียดทาน และประสิทธิภาพการทำงานดีกว่า

พิษณุและสุภา[3] ได้ทำปริญญานิพนธ์เรื่องการควบคุมการทำงานของชุดจำลองสภาวะการเคลื่อนที่แบบ 2 องศาอิสระ 1 แนวแกนโดยใช้ระบบไฮดรอลิกส์เป็นต้นกาลัง และการควบคุมแบบพีไอดี สามารถพิสูจน์ได้ว่าการควบคุมแบบพีไอดี ระบบสามารถเคลื่อนที่ไปได้ตามตำแหน่งที่ต้องการได้ แต่ความเร็วในการตอบสนองยังช้า เนื่องจากความเร็วของการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับโปรแกรมแลปวิว

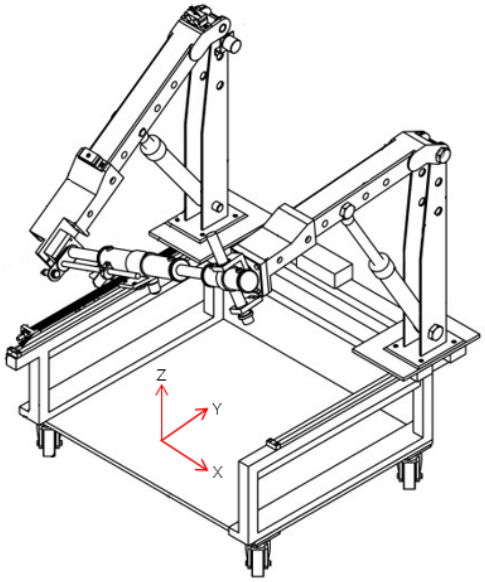
Gerry B. Andeen [4] ได้เขียนหนังสือการออกแบบกลไกหุ่นยนต์และระบบควบคุม โดยหนังสือเล่มนี้ จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับขั้นตอนของการออกแบบหุ่นยนต์สำหรับการผลิตอัตโนมัติและขั้นตอนของการทำงานเพื่อให้เหมาะสมกับการไลน์ผลิต ซึ่งจะเน้นถึงหลักการวิเคราะห์ด้านกลศาสตร์ และพลศาสตร์

Tomohiro UENO, Kazuhisa ITO, Weidong MA and Shigeru IKEO[5] ได้วิจัยเรื่อง การออกแบบชุดความคุมตำแหน่งหรือความดันที่มีประสิทธิภาพ สำหรับกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ โดยใช้การควบคุมแบบอิสระสองแกนและหลักการควบคุมแบบพีไอ ที่ใช้แบบจำลองของการควบคุมความดันในการทดลอง สามารถพิสูจน์ได้ว่า การบิดของแรงเสียดทานแบบไม่เป็นเชิงเส้น การรั่ว และการรับกำลังอัดของกระบอกสูบสามารถชดเชยได้ และมีประสิทธิภาพในการควบคุมตำแหน่งและความดันที่ดี

 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.021

2. การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์

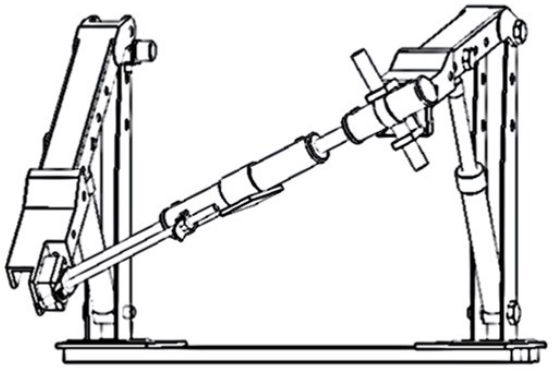
การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์แบบขนานนั้น สามารถควบคุมได้อย่างอิสระ 3 แกน คือ แกน X, Y และ Z โดยที่แกน X และ Z ใช้ระบบไฮดรอลิกส์เป็นต้นกำลัง และการเคลื่อนที่ของแกนจะใช้กระบอกสูบไฮดรอลิกส์ และควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่โดยใช้วาล์วควบคุมทิศทาง ส่วนแกน Y ใช้ระบบไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง และการเคลื่อนที่ของจะใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ ดังภาพที่ 2



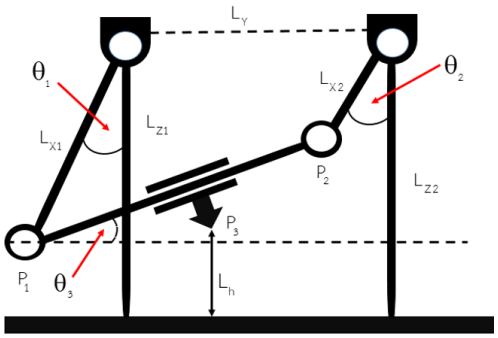
ภาพที่ 2 : โครงสร้างของหุ่นยนต์

2.1 จลนศาสตร์ [6] (Kinematic)

จลนศาสตร์เป็นการศึกษาถึงตำแหน่ง (Position), ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) ของจุด รวมถึงความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) และความเร่งเชิงมุม (Angular Acceleration) ของวัตถุ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จำเป็นที่จะใช้อธิบายถึงลักษณะของวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ตำแหน่งของวัตถุสามารถบอกได้จากตำแหน่งของจุดที่อยู่บนวัตถุประกอบกับตำแหน่งเชิงมุม (Angular Position) ของวัตถุนั้น จลนศาสตร์ของหุ่นยนต์แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ จลนศาสตร์ผันตรงและจลนศาสตร์ผกผัน



ภาพที่ 3 : ลักษณะของหุ่นยนต์



ภาพที่ 4 : ลักษณะทางจนลศาสตร์

โดยที่ L_{X1} , L_{X2} คือ ความยาวของแขนหุ่นยนต์

L_Y คือ ระยะห่างระหว่างแขนของหุ่นยนต์

L_{Z1} , L_{Z2} คือ ความสูงของเสา

L_h ความสูงของหุ่นยนต์เมื่อกระบอกสูบเข้าสุด

ซึ่งจากภาพที่ 4 สามารถหาตำแหน่งการทำงานของหุ่นยนต์ได้ดังนี้

ตำแหน่ง P_1

$$P_1 = (L_{X1}\sin\theta_1, 0, L_h\cos\theta_1) \quad (1)$$

ตำแหน่ง P_2

$$P_2 = (L_{X2}\sin\theta_2, L_Y, L_h\cos\theta_2) \quad (2)$$

ตำแหน่ง P_3

$$P_3 = (A, B, C) \quad (3)$$

โดยที่

$$A = \frac{L_{X2}\sin\theta_2 - L_{X1}\sin\theta_1}{2} \quad (4)$$

$$B = \frac{L_Y - 0}{2} \quad (5)$$

$$C = \frac{((L_h - L_{Z2}\cos\theta_2) - (L_h - L_{Z1}\cos\theta_1))}{2}$$

 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.021

2.2 การคำนวณหาแรงที่กระบอกสูบ [7]

เป็นการออกแบบเพื่อหาแรงที่กระบอกสูบสามารถทำได้ โดยกำหนดค่าที่ใช้ในการคำนวณดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : ค่าที่ใช้ในการคำนวณหาแรงที่กระบอกสูบรับได้

	ตัวแปร	ค่าที่วัดได้
ความดัน	P	$500\,N/cm^2$
เส้นผ่าศูนย์กลางของพื้นที่ลูกสูบ	D	4 cm
น้ำหนักของวัตถุ	m_L	50 kg

คำนวณแรงที่กระบอกสูบรับได้

$$F_H = P \times \frac{D^2\pi}{4} \times 2 \qquad (7)$$

$$F_H = 500 \times \frac{4^2\pi}{4} \times 2$$

$$F_H = 12,566.36\,N$$

คำนวณแรงจากน้ำหนักของวัตถุ

$$F_L = m_L \times g \times sf \qquad (8)$$

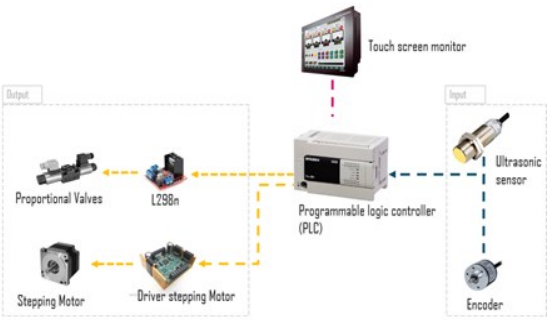
$$F_L = 50 \times 9.81 \times 2$$

$$F_L = 981\,N$$

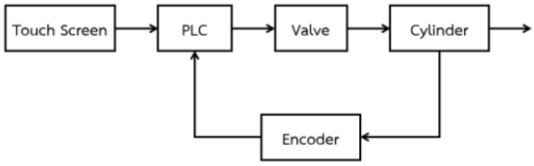
จากการคำนวณสามารถสรุปได้ว่า หุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์แบบขนาน สามารถรับโหลด 50 kg ได้ เนื่องจาก แรงที่กระบอกสูบรับได้ มากกว่า แรงจากน้ำหนักของวัตถุ

2.3 ออกแบบระบบควบคุมทางอุปกรณ์ (Hardware Design)

ระบบควบคุมของหุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์แบบขนาน จะสั่งงานผ่านหน้าจอทัสกรีน จากนั้นคำสั่งจะส่งไปประมวลผลที่พีแอลซี และส่งสัญญาณไปควบคุมวาล์ว วาล์วจะเลือกสั่งให้กระบอกสูบเคลื่อนที่เข้าหรือออก และจะเช็คตำแหน่งป้อนกลับของการเคลื่อนที่ด้วยเอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) เอ็นโค้ดเดอร์จะอยู่ในส่วนของแกน Z ส่วนแกน X จะเช็คตำแหน่งด้วยอุลตร้าโซนิค (Ultrasonic) และแกน Y จะใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์เป็นตัวทำให้แกน Y เคลื่อนที่ ดังภาพที่ 5 และภาพที่ 6



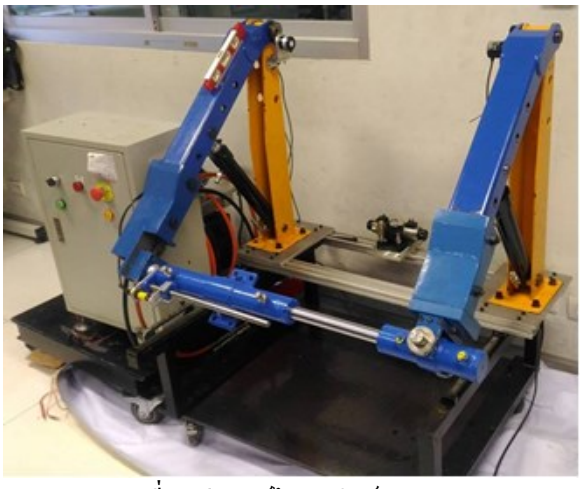
ภาพที่ 5 : ระบบควบคุม



ภาพที่ 6 : การออกแบบทางอุปกรณ์

3. ผลการทดลอง

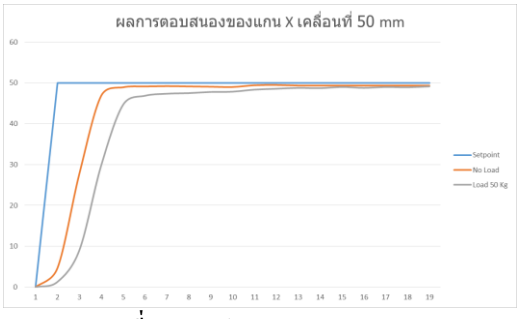
เป็นการทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์หุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์แบบขนาน ในระนาบ X, Y, และ Z ในสภาวะที่มีโหลด 50 กิโลกรัม และในสภาวะที่ไม่มีโหลด



ภาพที่ 7 : หุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์แบบขนาน

 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.021

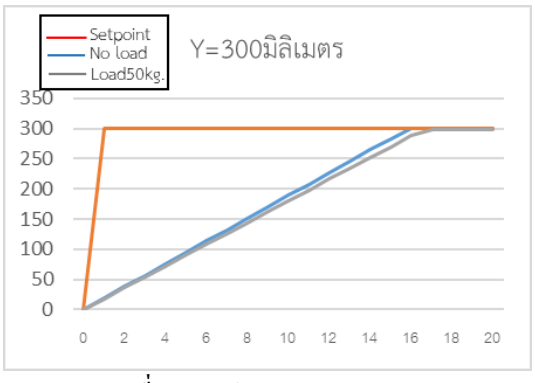
3.1 ผลการทดลองในแกน X



ภาพที่ 8 : กราฟการตอบสนองแกน X

จากภาพที่ 8 ค่า Gain ที่ P=6,I=0,D=0 และค่า Sampling Time = 100 พบว่า ความเร็วในการเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการ (Set point) ในสภาวะที่ไม่มีโหลดดีกว่าในสภาะที่มีโหลด

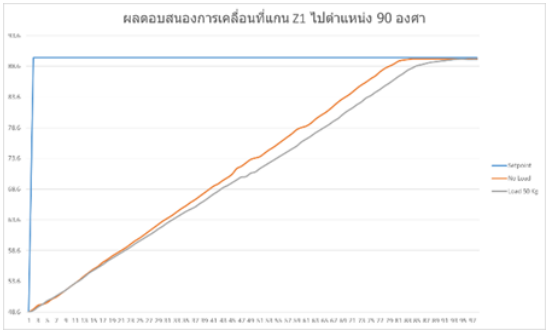
3.2 ผลการทดลองในแกน Y



ภาพที่ 9 : กราฟการตอบสนองแกน Y

จากภาพที่ 9 พบว่า ความเร็วในการเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการ (Set point) ในสภาวะที่ไม่มีโหลดดีกว่าในสภาะที่มีโหลด

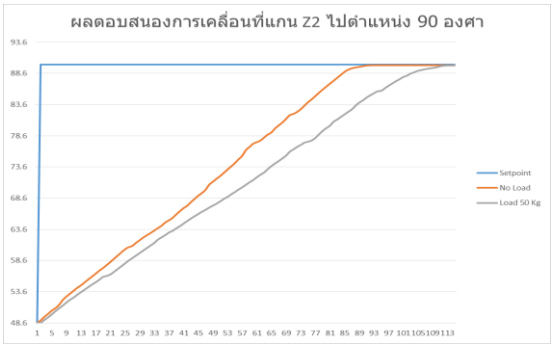
3.3 ผลการทดลองแกน Z ที่แขน Z_1



ภาพที่ 10 : กราฟการตอบสนองแกน Z_1

จากภาพที่ 10 ค่า Gain ที่ P=10,I=0,D=0 และค่า Sampling Time = 100 พบว่า ความเร็วในการเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการ (Set point) ในสภาวะที่ไม่มีโหลดดีกว่าในสภาะที่มีโหลด

3.4 ผลการทดลองแกน Z ที่แขน Z_2



ภาพที่ 11 : กราฟการตอบสนองแกน Z_2

จากภาพที่ 11 ค่า Gain ที่ P=10,I=0,D=0 และค่า Sampling Time = 100 พบว่า ความเร็วในการเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการ (Set point) ในสภาวะที่ไม่มีโหลดดีกว่าในสภาะที่มีโหลด

4. สรุปผลการทดลอง

การออกแบบสร้างหุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์แบบขนาน โดยใช้ระบบไฮดรอลิกส์และสเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping Motor) เป็นต้นกำลังให้กับหุ่นยนต์ โดยงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบหาประสิทธิภาพของหุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์แบบขนาน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

การควบคุมตำแหน่งในแนวแกน X โดยใช้การควบคุมแบบพีไอดี โดยใช้ค่า Gain ที่ P=6,I=0,D=0 และค่า Sampling Time = 100 จากการทดลองหา เปอร์เซนต์ความผิดพลาด อยู่ที่ 0.54% และ %RSD อยู่ที่ 0.618 %

การควบคุมตำแหน่งในแนวแกน Y จากการทดลองหา เปอร์เซนต์ความผิดพลาด อยู่ที่ 0.28% และ %RSD อยู่ที่ 0.241 %

การควบคุมตำแหน่งในแนวแกน Z โดยใช้การควบคุมแบบพีไอดี โดยใช้ค่า Gain ที่ P=10,I=0,D=0 และค่า Sampling Time = 100 จากการทดลองหา เปอร์เซนต์ความผิดพลาด อยู่ที่ 0.46% และ %RSD อยู่ที่ 0.133 %

หุ่นยนต์ไฮดรอลิกส์แบบขนาน สามารถควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนของปลายเครื่องได้ โดยมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน ±0.5 เซ็นติเมตร และสามารถรับโหลดได้ 50 กิโลกรัม

 DOI:10.14416/c.fte.2017.11.021

5. เอกสารอ้างอิง

]1 [L .Dai, Y. Wu, J .Wang, Y .G .Li, Y .Liu" .Modeling and Control of Flexible Hydraulic Robotic Arm", Advanced Engineering Forum, Vols .2-3, pp .334-339, 2012

]2“ .วิษณุกรและวิลาวัณย์ [ระบบการควบคุมกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ด้วย แรงปั๊อนกลับ .”มจพ, พ2557.ศ.

]3“ .พิษณุและสุภา [การควบคุมการทำงานของ ชุดจำลองสภาวะการ เคลื่อนที่แบบ .”แนวแกน 1 องศาอิสระ 2มจพ, พ2556.ศ.

]4 [Gerry B .Andeen“ .1988 .Robot design handbook”, New York, McGraw-Hill

]5 [Tomohiro UENO, Kazuhisa ITO, Weidong MA and Shigeru IKEO”.Design of Robust Position/Pressure Controller for Cylinder Using Hydraulic Transformer”, Proceedings of the 6th JFPS International Symposium on Fluid Power, TSUKUBA 2005

]6“ .2548 .สถาพร ลักษณะเจริญ [วิศวกรรมหุ่นยนต์กรุงเทพฯ.”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี .(ญี่ปุ่น-ไทย)

]7“ .ฉรงค์ ตันชีวะวงศ์ [ไฮดรอลิกส์อุตสาหกรรม”, กรุงเทพฯ :สมาคม ส่งเสริมเทคโนโลยี)ไทย(ญี่ปุ่น-; 2547.

]8 [FX3u series programming manual

]9 [FX3u series programmable controller’s hardware manual

]10 [Fx cpu structured programming - manual application functions

]11 [GOT1000 Series Connection Manual

]12 [GT Designer3 Version1 Screen Design Manual