

การออกแบบหุ่นยนต์เดลต้าสำหรับไฮดรอลิกส์แฮปติก Delta Robot Design for Haptic Hydraulic

บริหาร ฤทธิศักดิ์, วัชรินทร์ โพธิ์เงิน, อนันต์ สืบสำราญ

สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบหุ่นยนต์เดลต้าสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบไฮดรอลิกส์แฮปติก โดยการออกแบบหุ่นยนต์เดลต้านี้เป็นการออกแบบการเคลื่อนที่ในระนาบแบบ 3 มิติ คือ ระนาบ X, Y และ Z การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในแต่ละ ระนาบ จะวิเคราะห์ในทางจลศาสตร์เพื่อหาตำแหน่งแต่ละตำแหน่งของระนาบ 3 มิติ ในส่วนระบบของการควบคุมจะใช้พีแอลซี (Programmable Logic Control: PLC) เป็นตัวประมวลเพื่อส่งสัญญาณไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ที่สื่อสารผ่านระบบ CANopen โดยหุ่นยนต์เดลต้าที่ทำการออกแบบ จะใช้เซอร์โวมอเตอร์ทั้งหมด 3 ตัว และแขนของหุ่นยนต์จะใช้วัสดุเป็นคาร์บอนไฟเบอร์ซึ่งมีคุณสมบัติแข็งแรงและน้ำหนักเบา จากการออกแบบและทดลองพบว่าหุ่นยนต์เดลต้า สามารถควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ของปลายทูลในรูปแบบวงกลมได้ และมีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเฉลี่ยไม่เกิน 30 มิลลิเมตร

คำสำคัญ: หุ่นยนต์เดลต้า, ไฮดรอลิกส์แฮปติก

Abstract

This research is a delta robot design for application in haptic hydraulic .By designing this delta robot .Design of robot in 3D planes is X, Y and Z planes .The motion of the robot in each plane is analyzed in kinematics to determine the position of each 3D plane .In the system part of the control will use PLC .It is a signal processor to control servo motors . Communication via CANopen system .Delta robot designed will be used three servo motors, and the robot arm will use carbon fiber material, which is strong and lightweight .From the design and experiments found that delta robots .Can control the position of the end of the tool in the form of a circle command and average maximum tolerance more than 30 millimeters.

Keyword: Delta Robot, Haptic Hydraulic

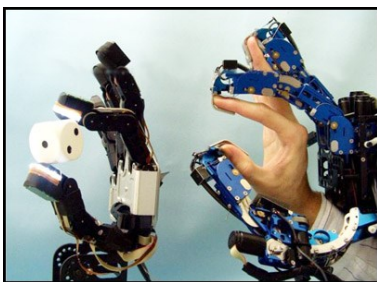
1 บทนำ .

ในปัจจุบันหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ (Robotics and Automation) ได้เข้ามามีบทบาทในวิถีชีวิตมนุษย์มากขึ้น ไม่จำกัดเพียงหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่มุ่งเน้นการเพิ่มผลผลิตและการลดต้นทุนเท่านั้น ยังมีการพัฒนาหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติเพื่อยกระดับคุณภาพชีวิตของมนุษย์เราให้ดีขึ้นตามไปด้วย และนำเข้ามาช่วยอำนวยความสะดวกในรูปแบบต่าง ๆ เช่น หุ่นยนต์ทำความสะอาด หุ่นยนต์ประชาสัมพันธ์ หุ่นยนต์ด้านการแพทย์ หุ่นยนต์สำรวจ หุ่นยนต์กู้ภัย หุ่นยนต์หยิบจับชิ้นงาน แขนหุ่นยนต์เดลต้า (Delta Robot) ได้ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดยเรมอล คลาเวล (Raymond Clavel) [1] ได้ศึกษาและสร้างต้นแบบหุ่นยนต์แบบขนานออกมาในปี 1980



ภาพที่ 1 : หุ่นยนต์เดลต้า

(ที่มา: ABB Flex Picker Delta Robot)



ภาพที่ 2 : การจำลองของอุปกรณ์แฮปติก

(ที่มา: JITS-Robotics Workshop)

นอกจากนี้ยังมีหุ่นยนต์ที่สามารถทำงานได้เสมือนมนุษย์จริงและสามารถโต้ตอบกับผู้ควบคุมหุ่นยนต์อีกด้วย ดังภาพที่

2

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบควบคุมการทำงานของระบบแฮปติกส์ ไฮดรอลิก

1.1.2 เพื่อพัฒนาระบบควบคุมการทำงานของระบบแฮปติกส์ ไฮดรอลิก

ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์และสมโพธิ โทบรเรลง [2] ได้นำเสนอการออกแบบอุปกรณ์แฮปติกส์ ซึ่งอุปกรณ์ที่ออกแบบนี้เป็นชนิดกลไกขนานแบบ Five-Bars Parallel Link พื้นที่ทำงานเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส สามารถรองรับแรงปฏิกิริยาโต้ตอบกับผู้ใช้งานในระดับ 5-7 นิวตัน ซึ่งในงานวิจัยได้แสดงผลการวิเคราะห์จลนศาสตร์ของอุปกรณ์และใช้ซอฟต์แวร์ Simulink และ Sim-Mechanic ในการจำลองพลศาสตร์ของอุปกรณ์แฮปติก

ยุทธพงศ์ สุขทองและณัฐพงศ์ ผลพุดิ [3] ได้ออกแบบการควบคุมระยะไกลด้วยหุ่นยนต์แบบเดลต้า เพื่อควบคุมหุ่นยนต์เอบีบี (ABB Robot) ผลที่ได้จากการทดลองหุ่นยนต์เอบีบีสามารถเคลื่อนที่ตามหุ่นยนต์อุตสาหกรรม 3 แกนแบบเดลต้าได้และทุกครั้งที่หุ่นยนต์เอบีบี การชนวัตถุก็จะเกิดแรงต้านหรือแรงบิดมอเตอร์เพิ่มขึ้นที่หุ่นยนต์อุตสาหกรรม 3 แกนแบบเดลต้า

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

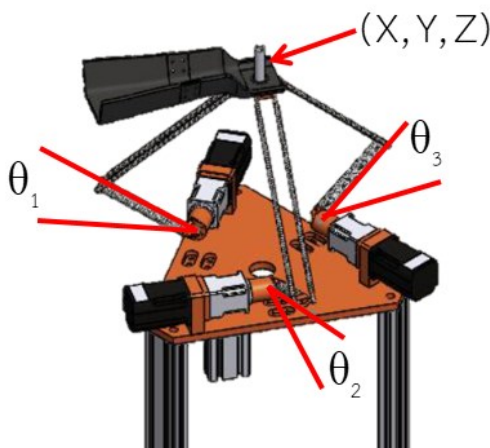
Mark W. Spong และ M. Vidyasagar [5] ได้เขียนหนังสือพลวัตและการควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัยพื้นฐานของหุ่นยนต์ ได้แก่ จลนศาสตร์ของหุ่นยนต์ พลวัตของหุ่นยนต์ การวางแผนการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และการควบคุมหุ่นยนต์ โดยหนังสือเล่มนี้ จะช่วยให้ผู้ออกแบบหุ่นยนต์ได้ทราบถึงประเภทของหุ่นยนต์และขอบเขตการทำงานของหุ่นยนต์ในแต่ละประเภท

2. จลนศาสตร์ [6] (Kinematic)

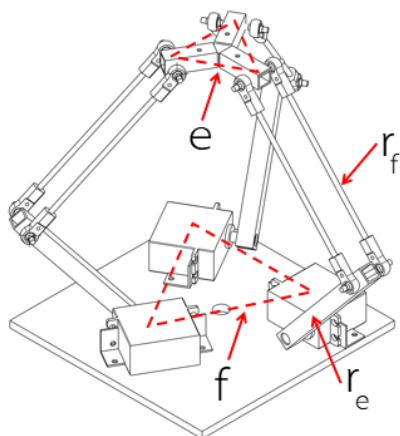
จลนศาสตร์เป็นการศึกษาถึงตำแหน่ง (Position), ความเร็ว (Velocity) และความเร่ง (Acceleration) ของจุด รวมถึงความเร็วเชิงมุม (Angular Velocity) และความเร่งเชิงมุม (Angular Acceleration) ของวัตถุ ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จำเป็นที่จะใช้อธิบายถึงลักษณะของวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid Body) ตำแหน่งของวัตถุสามารถบอกได้จากตำแหน่งของจุดที่อยู่บนวัตถุประกอบกับตำแหน่งเชิงมุม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

2.1 จลนศาสตร์ผกผัน (Forward Kinematics)

การหาตำแหน่งปลายของการเคลื่อนที่ (X,Y,Z) ที่หาได้จากการกำหนดตำแหน่งการเคลื่อนที่เชิงมุม (q_1, q_2, q_3) ของแขนล่างของหุ่นยนต์เดลด้า



ภาพที่ 3 : ภาพสามมิติของหุ่นยนต์เดลด้า



ภาพที่ 4 : การกำหนดตัวแปรของหุ่นยนต์เดลด้า

เมื่อรู้ตำแหน่งของการเคลื่อนที่เชิงมุมของแขนล่าง (q_1, q_2, q_3) สามารถหาตำแหน่งปลายของการเคลื่อนที่ (X, Y, Z) ได้จากสมการ[7],[8] ดังนี้

$$t = \frac{1}{2}(f - e) \tan(\pi/6) \quad (1)$$

$$Y_1 = -(t + r_1 \cos(\theta_1)) \quad (2)$$

$$Z_1 = -r_1 \sin(\theta_1) \quad (3)$$

$$Y_2 = (t + r_1 \cos(\theta_2)) \sin(\pi/6) \quad (4)$$

$$X_2 = Y_2 \tan(\pi/3) \quad (5)$$

$$Z_2 = -r_1 \sin(\theta_2) \quad (6)$$

$$Y_3 = (t + r_1 \cos(\theta_3)) \sin(\pi/6) \quad (7)$$

$$X_3 = -Y_3 \tan(\pi/3) \quad (8)$$

$$Z_3 = -r_1 \sin(\theta_3) \quad (9)$$

$$n = (Y_2 - y_1)X_3 - (Y_3 - y_1)X_2 \quad (10)$$

$$W_1 = Y_1^2 + Z_1^2 \quad (11)$$

$$W_2 = X_2^2 + Y_2^2 + Z_2^2 \quad (12)$$

$$W_3 = X_3^2 + Y_3^2 + Z_3^2 \quad (13)$$

$$a_1 = (Z_2 - Z_1)(Y_3 - Y_1) - (Z_3 - Z_1)(Y_2 - Y_1) \quad (14)$$

$$b_1 = -\frac{(W_2 - W_1)(Y_3 - Y_1) - (W_3 - W_1)(Y_2 - Y_1)}{2} \quad (15)$$

$$a_2 = -(Z_2 - Z_1)X_3 + (Z_3 - Z_1)X_2 \quad (16)$$

$$b_2 = \frac{1}{2}((W_2 - W_1)X_3) - (W_3 - W_1)X_2 \quad (17)$$

$$a = a_1^2 + a_2^2 + n^2 \quad (18)$$

$$b = 2(a_1 b_1 + a_2 (b_2 - Y_1 n) - Z_1 n^2) \quad (19)$$

$$c = (b_2 - Y_1 n)^2 + b_1^2 + n^2 (Z_1^2 - r_e^2) \quad (20)$$

$$d = b^2 - 4ac \quad (21)$$

ดังนั้น สามารถหาตำแหน่งปลาย (X, Y, Z) ได้จากตำแหน่ง Z

$$Z = -\frac{b + \sqrt{d}}{2a} \quad (22)$$

ตำแหน่ง X

$$X = \frac{a_1 Z + b_1}{n} \quad (23)$$

ตำแหน่ง Y

$$X = \frac{a_2 Z + b_2}{n} \quad (24)$$

2.2 จลนศาสตร์ผกผัน (Inverse Kinematics)

การหาการเคลื่อนที่เชิงมุม (q_1, q_2, q_3) ของแกนล่างของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ที่หาได้จากตำแหน่งปลายของการเคลื่อนที่ (X, Y, Z)

จากภาพที่ 2 เมื่อกำหนดตำแหน่งปลายของการเคลื่อนที่ (X, Y, Z) จะสามารถหาการเคลื่อนที่เชิงมุม (q_1, q_2, q_3) ของแกนล่างของหุ่นยนต์ ได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$X_0, Y_0, Z_0 \quad (25)$$

$$Y_0 = -\frac{1}{2} \tan(p/6) f \quad (26)$$

$$Y_1 = -\frac{1}{2} \tan(p/6) e \quad (27)$$

$$a = \frac{(X_0^2 + Y_0^2 + Z_0^2 + r_r^2 - r_c^2 - Y_1^2)}{2Z_0} \quad (28)$$

$$b = \frac{Y_1 - Y_0}{Z_0} \quad (29)$$

$$d = -(a + bY_1)(a + bY_1) + r_r(b^2 r_r + r_r) \quad (30)$$

ค่า d จะต้องมากกว่า 0 จึงจะสามารถคำนวณหาจลนศาสตร์ผกผันได้

$$Y_j = \frac{Y_1 - ab - \sqrt{d}}{b^2 + 1} \quad (31)$$

$$Z_j = a + bY_j \quad (32)$$

$$q = \tan^{-1} \left(-\frac{Z_j}{Y_1 - Y_j} \right) \quad (33)$$

ดังนั้น q ที่ได้จะเป็น q_1

q_2 จะหาได้จาก

$$X'_0 = (X_0 \cos(2p/3)) + (Y_0 \sin(2p/3)) \quad (34)$$

$$Y'_0 = (Y_0 \cos(2p/3)) - (X_0 \sin(2p/3)) \quad (35)$$

$$Z'_0 = Z_0 \quad (36)$$

q_3 จะหาได้จาก

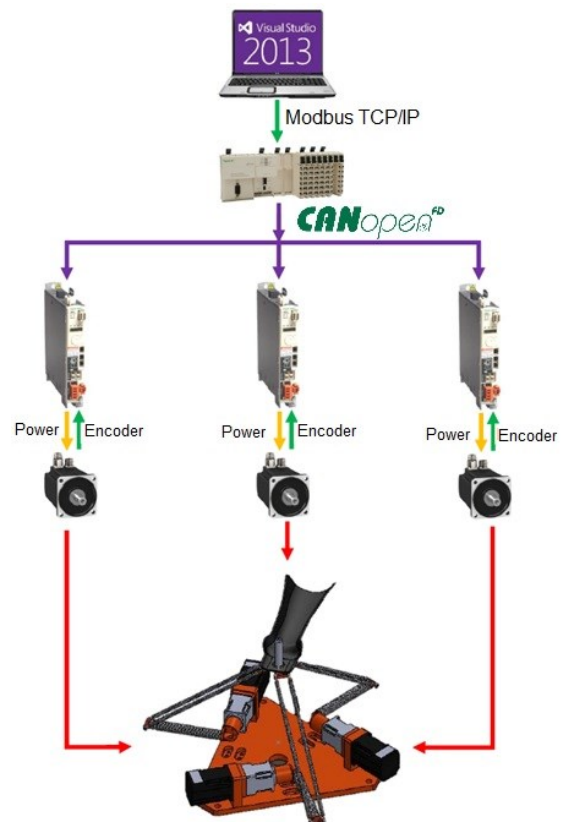
$$X'_0 = (X_0 \cos(2p/3)) - (Y_0 \sin(2p/3)) \quad (37)$$

$$Y'_0 = (Y_0 \cos(2p/3)) + (X_0 \sin(2p/3)) \quad (38)$$

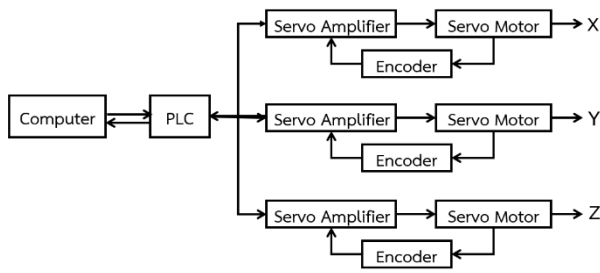
$$Z'_0 = Z_0 \quad (39)$$

3. การออกแบบระบบควบคุมทางอุปกรณ์

เป็นการออกแบบระบบควบคุมโดยใช้พีแอลซี [9] เป็นตัวประมวลผล และส่งสัญญาณคำสั่งในรูปแบบการสื่อสาร CANopen ไปยังชุดขับเคลื่อนเซอร์โว (Servo Drive) แต่ละตัว ชุดขับเคลื่อนเซอร์โวจะทำการส่งสัญญาณไปที่เอซีเซอร์โวมอเตอร์ (AC Servo Motor) เมื่อแขนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่จะส่งสัญญาณป้อนกลับ (Feed Back) ซึ่งในที่นี้คือสัญญาณของเอนโค้ดเดอร์ (Encoder) กลับมายังชุดขับเคลื่อนเซอร์โว เพื่อไปประมวลผลและรอคำสั่งถัดไปจากพีแอลซี โดยผู้ใช้งานสามารถควบคุมชุดสาธิตผ่านหน้าจอแสดงผลที่ผู้จัดทำสร้างขึ้นจากโปรแกรม Microsoft Visual Studio [10] ดังภาพที่ 5 และ ภาพที่ 6



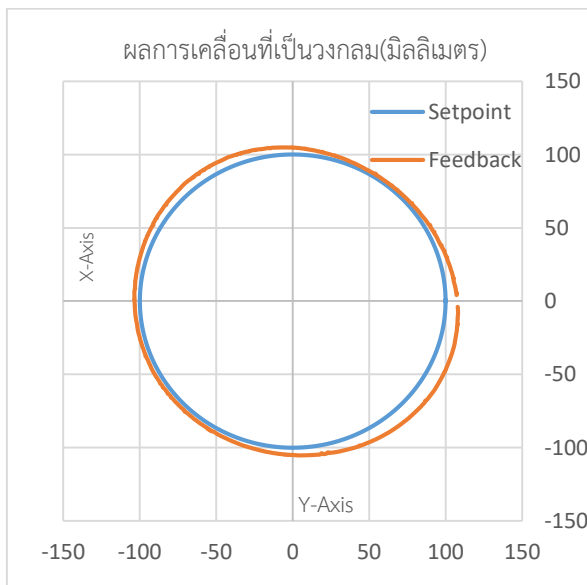
ภาพที่ 5 : การออกแบบระบบควบคุมทางอุปกรณ์



ภาพที่ 6 : บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

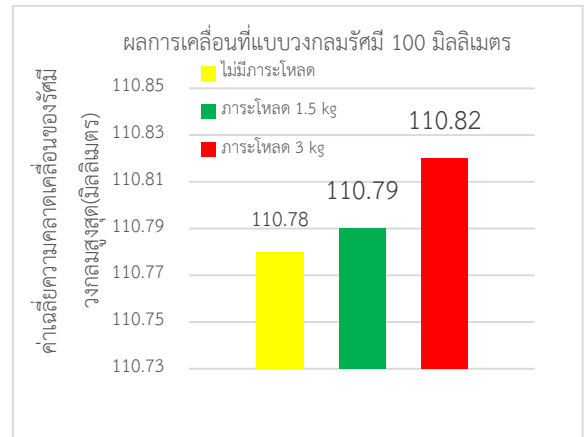
4. ผลการทดลอง

การทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในระนาบ X, Y, และ Z โดยมีการเก็บผลการทดลอง 5 ครั้ง จากภาพที่ 5 เป็นผลการเคลื่อนที่แบบวงกลม แบบไม่มีภาระโหลดรัศมี 100 มิลลิเมตร โดยเส้นสีน้ำเงินเป็นตำแหน่งที่มาจากระบบการควบคุม (Set point) และเส้นสีส้มเป็นตำแหน่งที่เกิดขึ้นจากชุดต้นแบบเคลื่อนที่ที่เป็นวงกลม (Feedback) และนำมาหาค่าเฉลี่ย ของค่ารัศมีที่มีคลาดเคลื่อนสูงสุดเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ และค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ [11] (Integral Absolute Error Absolute Error : IAE) ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 7 : ผลการเคลื่อนที่แบบวงกลม

จากภาพที่ 7 พบว่า ตำแหน่งของการเคลื่อนที่จากการป้อนกลับของเอ็นโค้ดเดอร์มีค่าผิดพลาดอยู่ที่ 10.78 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 8 : ผลการเคลื่อนที่แบบวงกลม

จากภาพที่ 8 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่แบบวงกลมที่ดีที่สุด เป็นการทำงานในลักษณะที่ไม่มีภาระของโหลด

ตารางที่ 1: ค่ารัศมีที่มีคลาดเคลื่อนสูงสุดเฉลี่ย

ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเฉลี่ยแบบไม่มีภาระโหลด			
แกน	รัศมี	Error (%)	ค่า IAE
ค่าเฉลี่ย	110.78	10.78	1232.87
ค่า S.D.	0.080		
ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเฉลี่ยแบบมีภาระโหลด 1.5 กิโลกรัม			
แกน	รัศมี	Error (%)	ค่า IAE
ค่าเฉลี่ย	110.79	10.79	1366.19
ค่า S.D.	0.089		
ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเฉลี่ยแบบมีภาระโหลด 3 กิโลกรัม			
แกน	รัศมี	Error (%)	ค่า IAE
ค่าเฉลี่ย	110.82	10.82	1376.85
ค่า S.D.	0.042		

จากตารางที่ 1 พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเฉลี่ยแบบไม่มีภาระโหลด มีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 10.78 เปอร์เซ็นต์ ค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเฉลี่ยแบบมีภาระโหลด 1.5 กิโลกรัม มีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 10.79 เปอร์เซ็นต์ และค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเฉลี่ยแบบมีภาระโหลด 3 กิโลกรัม มีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 10.82 เปอร์เซ็นต์

5. สรุปผลการทดลอง

จากภาพที่ 7 และตารางที่ 1 ในขณะที่ไม่มีภาระโหลด ค่ารัศมีที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 10.78 มิลลิเมตร โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.080 และมีความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของการเคลื่อนที่แบบวงกลม (IAE)

เท่ากับ 1232.87 และในขณะที่มีภาระโหลด 1.5 กิโลกรัม ค่ารัศมีที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 10.79 มิลลิเมตร โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.089 และมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของการเคลื่อนที่แบบวงกลม (IAE) เท่ากับ 1366.19 และในขณะที่มีภาระโหลด 3 กิโลกรัม ค่ารัศมีที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 10.82 โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.042 และมีค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ของการเคลื่อนที่แบบวงกลม (IAE) เท่ากับ 1376.85 จากการทดสอบการเคลื่อนที่แบบวงกลม แบบไม่มีภาระโหลด แบบมีภาระโหลด 1.5 กิโลกรัม และแบบมีภาระโหลด 3 กิโลกรัม ค่ารัศมีที่มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดเฉลี่ยไม่เกินสมมติฐานที่กำหนดไว้ 30 มิลลิเมตร

6. เอกสารอ้างอิง

- 11 [Clavel, R.(1987). Device for displacing and positioning an element in space, patent number: Wo8703528a1.
- 12 [ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์ และสมโพธิ โดบรเรลง)2010 .(การจำลองและออกแบบอุปกรณ์ แอปพลิเคชันสององศาอิสระชนิดห้าลิงค์แบบขนาน, การประชุมวิชาการครุศาสตร์อุตสาหกรรมระดับชาติครั้งที่ 3.
- 13 [ยุทธพงศ์และณัฐพงษ์)2556 .(การควบคุมระยะไกลด้วยหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- 14 [Gerry B .Andeen .1988 .Robot design handbook, New York, McGraw-Hill.
- 15 [Mark W.Spong and M.Vidyasagar .1989 .Robot dynamics and control, New York, Wiley.
- 16 [สถาพร ลักษณ์เจริญ .(2548) วิศวกรรมหุ่นยนต์, กรุงเทพฯ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี .(ญี่ปุ่น-ไทย)
- 17 [Joshua B .Gafford) 2014 .(Empirical Design and Validation of Deltoid :A Desktop Delta-Style Parallel Robot, ADVANCED INTRO TO ROBOTICS,
- 18 [T .Cuong, T .Tho, and N .Thin) 2013 .(A Generalized Approach on Design and Control Methods Synthesis of Delta Robots, Research Notes in Information Science)RNIS.(
- 19 [กฤษดา วิษวะธีรานนท์)2546 การควบคุมซีเคานซ์และ .(PLC, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์ ส-ไทย) สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี.ท.ส. .(ญี่ปุ่น
- 110 [เอกรินทร์ วัฒนฤทธิสฤต) 2556 .(การใช้งานโปรแกรมภาษาวิซวลเบสิก, วิทยาลัยการสารสนเทศ .ม., สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- 111 [กานดา พูนลาภทวี .สถิติเพื่อการวิจัยฟิสิกส์เซนต์เตอร์ : กรุงเทพฯ .การพิมพ์, 2528