

ระบบวัดตำแหน่งด้วยแสงเลเซอร์แบบไทรแองกูลেশัน Laser Positioning Measurement System Using Triangulation

ศุภวุฒิ จันทรานูวัฒน์*, จารุบุตร คณะนัย, และ รัชทิน จันทร์เจริญ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กทม. 10330
โทรศัพท์ 02-218-6591 โทรสาร 02-252-2889 email: supavut.c@chula.ac.th

Supavut Chantranuwathana*, Jaruboot Kananai, and Ratchatin Chanchareon
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,
Chulalongkorn University, Bangkok 10330
TEL 02-218-6891 FAX 02-252-2889 *E-mail: supavut.c@chula.ac.th

บทคัดย่อ:

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาระบบวัดตำแหน่งด้วยแสงเลเซอร์แบบหนึ่งที่เรียกว่า LPS (Local Positioning System) ระบบวัดนี้สามารถวัดตำแหน่งต่างๆได้เช่นเดียวกับระบบ CMM (Coordinate Measurement Machine) ที่มีใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรม แต่ต่างกันที่ LPS มีพื้นที่ทำงานที่กว้างกว่า ระบบนี้วัดตำแหน่งโดยใช้อุปกรณ์สะท้อนแสง (Retroreflector) วางไว้ในตำแหน่งที่ต้องการวัด และใช้การวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ (Laser Interferometer) ร่วมกับระบบวัดทิศทางลำแสงเพื่อใช้ในการคำนวณตำแหน่ง ระบบ LPS ที่พัฒนาขึ้นในงานนี้เป็นแบบไทรแองกูลেশันซึ่งสามารถลดราคาของระบบลงได้ ทั้งนี้เพราะไม่จำเป็นต้องใช้ระบบวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ที่มีราคาสูง แต่จำเป็นต้องใช้แนวแสงเลเซอร์สองแนว ในงานวิจัยนี้ใช้หัวเลเซอร์ที่สามารถวัดแนวแสงหนึ่งชุด หัวเลเซอร์นี้สามารถเลื่อนตำแหน่งไปมาได้เพื่อจำลองระบบวัดแนวแสงสองแนว ระบบแบบนี้สามารถลดราคาของระบบลงได้อีกเพราะใช้หัวเลเซอร์เพียงหัวเดียว ผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถวัดตำแหน่งได้ด้วยความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 2.2 mm (เฉลี่ย 0.94mm) ที่ระยะประมาณ 1 m เมื่อเทียบกับระบบสองหัว (จำลองโดยใช้หัวเลเซอร์เพียงหัวเดียว) ที่มีความแม่นยำเท่ากับ 1.3 mm (เฉลี่ย 0.53mm) ค่าที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณจากความแม่นยำของระบบวัดแนวแสงที่ใช้ จากการคำนวณนี้จะสามารถเลือกประเภทของหัวเลเซอร์ที่ใช้ให้เหมาะสมกับความแม่นยำที่ต้องการได้ นอกจากการวัดตำแหน่งนี้แล้ว ระบบที่สร้างขึ้นสามารถทำการติดตามอุปกรณ์สะท้อนแสงได้ด้วย ทำให้การวัดตำแหน่งต่างๆรวดเร็วขึ้น จากการทดสอบพบว่าสามารถติดตามอุปกรณ์สะท้อนแสง

ได้ที่ระยะสูงสุด 5.8 m และ ที่ความเร็วในสามมิติเท่ากับ 9 cm/s (ที่ระยะ 4.5 m)

Abstract:

This paper presents a laser position measurement system called LPS (Local Positioning System). This system is capable of measuring position or coordinate of a selected target similar to a CMM (Coordinate Measurement Machine) which is widely used in the industrial. LPS is partly used because of its larger working space. The system measures a target by using a retroreflector placing at the measuring point. Its position can be calculated by using the distance to the retroreflector measured with a laser interferometer and by using the angles of the laser beam. On the contrary, LPS developed in this work used a triangulation method that does not require an expensive interferometer but needed two laser beams intersected at a single retroreflector target. Furthermore, instead of using two laser heads, a single movable laser head is used allowing further reduction in cost of the system. Testing shows that the system has a maximum error of 2.2 mm (0.94mm on average) at a range of 1 m compared to 1.3 (0.53mm on average) for a system with two laser heads (simulated with only one laser head). The results agree with calculations implying that better results can be obtained with better sensors. Another useful feature of the system is its ability to keep laser pointing at the target

retroreflector which helps speeding up the measurement process. The system developed is capable of tracking the target at a maximum 5.8 m range and has a tracking speed of 9 cm/s (at 4.5m).

1. บทนำ

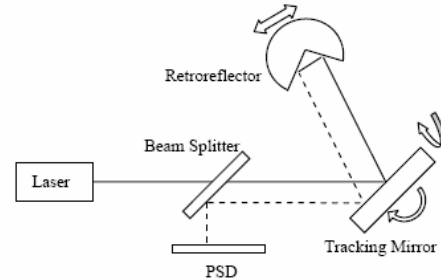
ปัจจุบันระบบวัดตำแหน่งด้วยแสงเลเซอร์แบบหนึ่งที่เรียกว่า LPS (Local Positioning System) เริ่มมีการนำมาใช้มากขึ้น ระบบวัดนี้สามารถวัดตำแหน่งต่างๆได้เช่นเดียวกับระบบ CMM (Coordinate Measurement Machine) ที่มีใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรม แต่ต่างกันว่า LPS มีพื้นที่ทำงานที่กว้างกว่า [1-3] ระบบนี้วัดตำแหน่งโดยใช้อุปกรณ์สะท้อนแสง (retroreflector) วางไว้ในตำแหน่งที่ต้องการวัด และใช้การวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ ร่วมกับระบบวัดทิศทางลำแสงเพื่อใช้ในการคำนวณตำแหน่ง ระบบวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์มีสองแบบที่ใช้กันแพร่หลาย แบบแรกคือ Laser Interferometer ที่มีราคาสูง Interferometer เป็นการวัดตำแหน่งแบบ incremental ทำให้ไม่สามารถวัดระยะสมบูรณ์ได้ จึงทำให้มีข้อจำกัดที่แนวแสงเลเซอร์จะต้องไม่ถูกบังตลอดระยะเวลาใช้งาน และ อีกแบบคือ ADM (Absolute Distance Measurement) ที่มีราคาสูงยิ่งกว่าเพราะสามารถวัดระยะสมบูรณ์ได้

ระบบ LPS ที่พัฒนาขึ้นในงานนี้เป็นแบบโทรแองกูล์ชันซึ่งสามารถลดราคาของระบบลงได้ [4] ทั้งนี้เพราะไม่จำเป็นต้องใช้ระบบวัดระยะด้วยแสงเลเซอร์ที่มีราคาสูง แต่จำเป็นต้องใช้แนวแสงเลเซอร์สองแนว ตำแหน่งของจุดวัดสามารถคำนวณได้จากตำแหน่งตัดกันของแสงเลเซอร์ทั้งสอง นอกจากนี้การใช้ระบบโทรแองกูล์ชันทำให้การวัดเป็นแบบสมบูรณ์ ทำให้ไม่ต้องระวังการบังของแนวแสง ในงานวิจัยนี้ผู้เขียนได้ทำการสร้างหัวเลเซอร์ที่สามารถวัดทิศทางแสงหนึ่งชุด โดยหัวเลเซอร์นี้สามารถเลื่อนตำแหน่งไปมาได้เพื่อจำลองระบบวัดทิศทางแสงสองแนว ระบบแบบนี้สามารถลดราคาของระบบลงได้อีกเพราะใช้หัวเลเซอร์เพียงหัวเดียว

2. ระบบวัดตำแหน่งด้วยแสงเลเซอร์

ระบบการทำงานของ LPS โดยทั่วไป [2] จะอาศัยการวัดทิศทางของแนวแสงเลเซอร์ที่ชี้ไปยังจุดวัดได้จากการวัดมุมบิดของกระจกเงาติดตามจำนวน 2 มุม และระยะห่างจากกระจกติดตามกับอุปกรณ์ retroreflector เลเซอร์ในอุปกรณ์ LPS จะถูกยิงไปสะท้อนกระจกติดตามไปยังอุปกรณ์ retroreflector ที่ติดกับวัตถุหรือตำแหน่งที่ต้องการวัดดังในรูปที่ 1 ซึ่ง retroreflector นี้จะมีลักษณะคล้ายกระจกเงาสามบานวางตั้งฉากซึ่งกันและกัน ซึ่งจะส่งผลทำให้ลำแสงที่เข้า retroreflector จะสะท้อนกลับมาในแนวขนานกับทางเดิม โดยที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างแสงขาเข้าและออกจะอยู่ในแนวกึ่งกลางของ retroreflector พอดี ลำแสงที่สะท้อนกลับมาจะถูกแบ่งด้วย Beam Splitter ไปยังอุปกรณ์ PSD (Photo Sensitive Detector) เพื่อใช้ในการ

วัดค่า offset ของแสงขาไปและขากลับ สัญญาณค่า offset นี้จะนำไปใช้ในการปรับมุมบิดของกระจกทั้งสองเพื่อให้ค่า offset นี้มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้กระจกติดตามสามารถสะท้อนแสงไปสู่ retroreflector ที่ตำแหน่งกึ่งกลางได้โดยอัตโนมัติ และจะสามารถติดตาม retroreflector ได้ตลอดเวลาแม้ retroreflector จะมีการเคลื่อนที่ ระบบติดตามนี้ทำให้สามารถวัดมุมของแนวแสงได้แม่นยำ นอกจากนี้แล้วแสงสามารถถูกแบ่งไปยังอุปกรณ์วัดระยะ เช่น interferometer ได้อีกด้วย



รูปที่ 1 หลักการทำงานของระบบ LPS

ระบบ LPS ที่พัฒนาขึ้นในงานนี้เป็นแบบโทรแองกูล์ชันซึ่งจำเป็นต้องใช้แนวแสงเลเซอร์สองแนว ในงานวิจัยนี้ใช้หัวเลเซอร์ที่สามารถวัดทิศทางแสงดังในรูปที่ 1 เพียงหนึ่งชุด แต่หัวเลเซอร์นี้สามารถเลื่อนตำแหน่งไปมาได้เพื่อจำลองระบบวัดทิศทางแสงสองแนว การคำนวณตำแหน่งนั้นทำได้จากการวัดแนวแสงสองแนวที่ชี้ไปที่ retroreflector อันเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตาม ในการทำงานจริงทิศทางของแนวแสงเลเซอร์ทั้งสองอาจจะไม่ตัดกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความละเอียดของอุปกรณ์วัดมุม หรือความผิดพลาดของระบบควบคุมในการปรับกระจกติดตามทั้งสอง

2.1 การคำนวณตำแหน่งโดยวิธีโทรแองกูล์ชัน

เนื่องจากแนวแสงเลเซอร์อาจจะไม่ตัดกัน การคำนวณตำแหน่งนั้นทำได้โดยการหาจุดที่ใกล้เส้นแนวแสงเลเซอร์ทั้งสองมากที่สุด จุดนี้จะตั้งอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของเส้นตรงที่ตั้งฉากกับเส้นแนวแสงเลเซอร์ทั้งสองซึ่งจะมีเพียงเส้นเดียวดังแสดงในรูปที่ 2 ในรูปที่ 2 จุด P_L และ P_R คือเวกเตอร์ตำแหน่งกึ่งกลางของกระจกติดตามในตำแหน่งที่ 1 (ซ้าย) และในตำแหน่งที่ 2 (ขวา) แนวเวกเตอร์หนึ่งหน่วยของลำแสงที่สะท้อนจากกระจกทั้งสองให้เป็น $\hat{n}_L$ และ $\hat{n}_R$ เวกเตอร์ตำแหน่งจุด P_A และ P_B หาได้จากการแก้สมการ

$$(P_L - P_A) \cdot (P_A - P_B) = 0$$

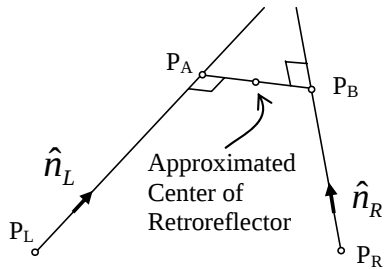
$$(P_R - P_B) \cdot (P_A - P_B) = 0$$

โดยที่จะต้องลดรูปให้เหลือเพียงสองตัวแปรคือ μ_L และ μ_R ซึ่งเป็นค่าระยะจากจุด P_L และ P_R ดังนั้นสามารถใช้สมการ

$$P_A = P_L + \mu_L \hat{n}_L$$

$$P_B = P_R + \mu_R \hat{n}_R$$

เมื่อได้ค่า μ_L และ μ_R จึงนำมาคำนวณเวกเตอร์ตำแหน่งจุดกึ่งกลางของ Retroreflector จาก $0.5(P_A + P_B)$



รูปที่ 2 ตัวแปรต่างๆในการคำนวณหาตำแหน่งของ retroreflector

2.2 การประมาณความแม่นยำของระบบแบบไตรแองกูลेशन

ในส่วนนี้นำเสนอการประมาณความแม่นยำของระบบ การคำนวณนี้สามารถนำมาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆของระบบ เพื่อให้ได้ความแม่นยำของระบบตามความต้องการ เพื่อให้การคำนวณง่าย ผู้เขียนมิได้ใช้การคำนวณตำแหน่งในส่วนที่แล้ว แต่แยกคำนวณความแม่นยำในระนาบ x-y กับในแนวตั้ง z ความสัมพันธ์ระหว่างความแม่นยำของอุปกรณ์วัดมุมที่ใช้และความผิดพลาดในการอ่านมุมของแนวแสงขึ้นอยู่กับวิธีการจัดวางแนวแสงและกลไกการวัดมุมบิตของกระจกสะท้อนแสง ในที่นี้ให้ค่าความผิดพลาดของแนวแสงที่สะท้อนออกจากกระจกเป็นสองเท่าของความแม่นยำของอุปกรณ์วัด เพราะสำหรับการสะท้อนในระนาบเดียวมุมของแนวแสงจะผิดเป็นสองเท่าของค่าความผิดพลาดของมุมกระจก

ในระนาบ x-y ตำแหน่งวัดจะสามารถคำนวณได้จากสมการ (ที่ระนาบเดียวกับกระจกสะท้อนแสงทั้งสอง)

$$x = l_1 \left(\frac{1}{2} - \frac{\tan \theta_L}{\tan \theta_L + \tan \theta_R} \right)$$

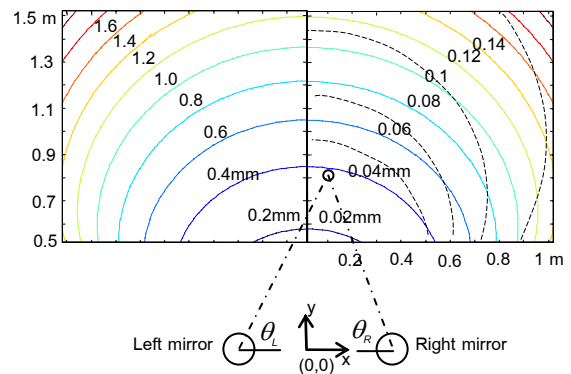
$$y = \frac{l_1}{1/\tan \theta_L + 1/\tan \theta_R}$$

เมื่อ l_1 คือระยะห่างระหว่างกระจกทั้งสอง ที่ตำแหน่ง x และ y ต่างๆ จะสามารถคำนวณค่ามุมบิตของกระจกทั้งสองได้ ความผิดพลาดในการวัดเกิดความแม่นยำในการวัดตำแหน่งมุมบิตทั้งสอง ความแม่นยำในการวัดจะสามารถหาได้จากการปรับให้มุมบิตทั้งสองผิดพลาดไปในช่วงของความแม่นยำในการวัดมุม แล้วคำนวณค่าตำแหน่งใหม่ จากนั้นคำนวณค่าตำแหน่งค่าตำแหน่ง x และ y ที่ผิดไปได้มากที่สุดจากค่าตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณที่ไม่มีความผิดพลาดในการวัด

เมื่อคำนวณค่าความผิดพลาดสูงสุดของแต่ละตำแหน่งบนระนาบจะ ได้ค่าความผิดพลาด(ในหน่วยมิลลิเมตร)ดังแสดงเป็นกราฟระดับในรูปที่ 3 ในรูปแสดงพื้นที่ทำงานของระบบสองพื้นที่ที่ความแม่นยำในการวัดแนวแสงเลเซอร์ต่างกัน แต่ละพื้นที่มีขนาด 1x1 เมตร และห่างจากกระจกติดตามเป็นระยะ 0.5 เมตร พื้นที่ทางด้านซ้ายเป็นค่าผิดพลาดสูงสุดที่

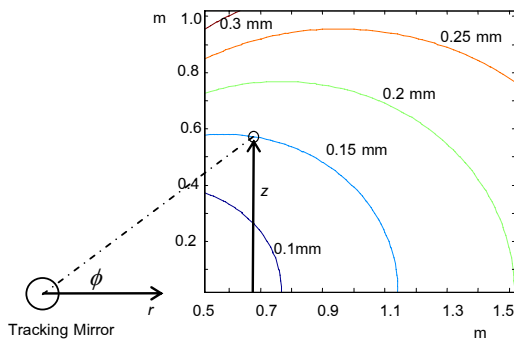
ตำแหน่งนั้นเมื่อใช้ความแม่นยำของมุมเท่ากับ 0.00766 องศา (หรือเท่ากับการใช้อุปกรณ์วัดมุมที่มีความแม่นยำเท่ากับ 94000 ตำแหน่งต่อรอบ ค่าความแม่นยำนี้ได้มาจากการวัดเทียบกับ dial gauge ที่ระยะประมาณ 0.5 เมตร โดยที่อุปกรณ์วัดมุมที่ใช้เป็นแบบ sine encoder 2048 ลูกคลื่นต่อรอบ) พื้นที่ทางด้านซ้ายแสดงค่าความแม่นยำที่จะได้ ถ้าสามารถเพิ่มความแม่นยำในการวัดมุมให้มากขึ้นอีกสิบเท่า ในรูปเส้นทึบแต่ละเส้นแสดงค่าความผิดพลาดคงที่ตามค่าที่ให้ไว้ในรูป

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าค่าผิดพลาดมากที่สุดคือ 2 mm ที่ตำแหน่งไกลที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบพื้นที่ด้านซ้ายและขวาจะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดสามารถประมาณเป็นสัดส่วนตรงได้กับค่าความแม่นยำในการวัดแนวแสงได้ (ซึ่งมีความถูกต้องเพราะค่ามุมที่ผิดพลาดนั้นมีค่าน้อย) นอกจากนี้ยังสามารถสังเกตได้ว่าค่าความแม่นยำนั้นขึ้นอยู่กับมุมระหว่างแสงเลเซอร์ทั้งสอง มุมระหว่างแสงทั้งสองถ้ามากก็จะทำให้การวัดนั้นแม่นยำมากขึ้น ในรูปที่ 3 เส้นประแสดงเส้นแนวตำแหน่งวัดที่มีค่ามุมระหว่างแนวแสงคงที่ (ค่ามุมไม่ได้ให้ไว้ในรูป) สังเกตว่ามุมระหว่างแนวแสงนี้จะมากกว่า 90 องศาไม่ได้ ทั้งนี้เพราะหน้าเปิดของ retroreflector นั้นอยู่ที่ 90 องศาดังในรูปที่ 1 มุมเปิดนี้ทำให้การวัดนั้นทำได้ยากหรือไม่ได้เลยถ้า retroreflector อยู่ใกล้กระจกติดตามมากเกินไป



รูปที่ 3 ค่าความผิดพลาดสูงสุดจากการคำนวณที่ตำแหน่งวัดต่างๆบนระนาบเดียวกับตำแหน่งกระจกวัดทั้งสอง

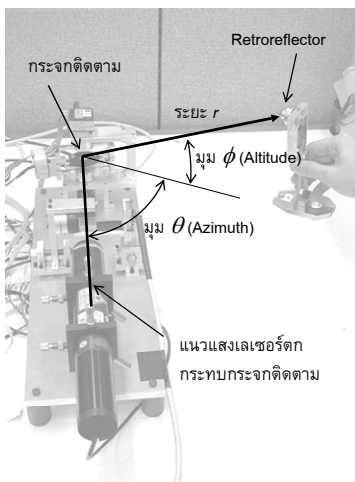
ค่าตำแหน่งความสูงจากระนาบของตำแหน่งกระจกติดตามทั้งสองสามารถหาได้จากการ $z = r \tan \phi$ เมื่อ z คือความสูงของจุดวัดจากระนาบในแนวระดับของกระจกติดตาม, r คือระยะห่างในแนวระดับ, และ ϕ คือมุมของแนวแสงจากแนวระดับ ค่าความผิดพลาดของความสูงของจุดวัดแสดงในรูปที่ 4 เส้นในรูปแสดงแนวค่าความผิดพลาดคงที่ในกราฟ แกนนอนแสดงค่าระยะ r และ แกนตั้งเป็นค่า z ในรูปที่ 3 และ 4 ค่าความผิดพลาดสูงสุดในการวัดในช่วงระยะประมาณ 1 เมตร จะอยู่ที่ประมาณ 0.4 mm



รูปที่ 4 ค่าความผิดพลาดสูงสุด
ของความสูงของจุดวัดจากการคำนวณ

2.3 ระบบ LPS ต้นแบบ

ระบบ LPS ที่ได้สร้างขึ้นแสดงดังรูปที่ 5 ระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นระบบที่พัฒนาต่อเนื่องจาก [1],[5] การพัฒนาเป็นการเพิ่มความแม่นยำในการวัดแนวแสงเลเซอร์ และเพิ่มวงเลื่อนให้สามารถสร้างตำแหน่งกระจกติดตามสองที่ที่ระยะห่างกัน 0.5 m



รูปที่ 5 ระบบต้นแบบ LPS

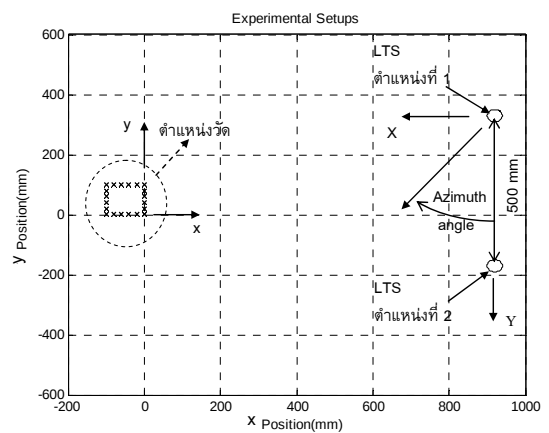
รายละเอียดสำคัญของระบบมีดังนี้ [5] มอเตอร์ปรับมุม altitude ใช้มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่านขนาด 17 Watts แรงบิดสูงสุด 232 mNm ที่มีอุปกรณ์วัดมุมแบบ encoder แบบ sine encoder 2048 ลูกคลื่นต่อรอบ มอเตอร์ปรับมุม azimuth ใช้มอเตอร์กระแสตรงไร้แปรงถ่าน ขนาด 80 Watts แรงบิดสูงสุด 355 mNm และใช้อุปกรณ์วัดมุมแบบเดียวกับแกน altitude มอเตอร์ทั้งสองไม่ใช้การทดกำลังใดๆ retroreflector ที่ใช้เป็นแบบ hollow cube ขนาดหน้าเปิด 0.875 นิ้ว อุปกรณ์ PSD ขนาด 1x1cm ที่ความละเอียดสูงสุด 0.5 ไมครอน

4. การทดสอบระบบ

ส่วนนี้นำเสนอผลทดสอบสองแบบ แบบแรกเป็นการวัดตำแหน่ง และส่วนที่สองเป็นการวัดความเร็วในการติดตาม retroreflector

4.1 ผลการทดสอบการวัดตำแหน่งในระนาบเดียว

ในส่วนนี้เป็นการแสดงผลการทดสอบการวัดตำแหน่งของ retroreflector โดยวิธีไทรแองกูล์ชัน การทดสอบใช้การวัดตำแหน่งจุดวัด 20 จุดที่ระยะประมาณ 1 เมตรจากระบบวัด ดังแสดงในรูปที่ 6 สอง การเลื่อนตำแหน่งจุดวัดใช้การติดตั้ง retroreflector ไว้บนโต๊ะ x-y ที่มีความละเอียดในการอ่านค่าตำแหน่ง ที่ 0.02 mm (ผู้เขียนประมาณความแม่นยำอยู่ที่ 0.2 mm) ตำแหน่งวัดเลื่อนทีละ 20 mm ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาสองรอบ ที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมจตุรัสมีด้านยาวเท่ากับ 100 mm



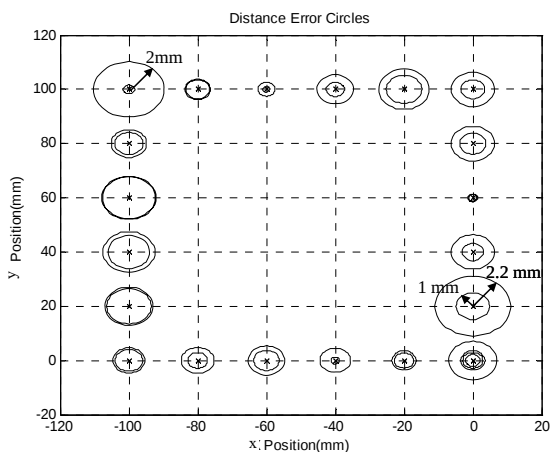
รูปที่ 6 การทดลองวัดตำแหน่ง retroreflector

การวัดตำแหน่งใช้การเลื่อนชุดกระจกสะท้อนแสงที่มีอยู่เพียงชุดเดียวไปมาระหว่างจุดสองจุด การทดสอบแบ่งเป็นสองชุด โดยชุดแรกใช้การเลื่อนตำแหน่งทุกครั้งในการวัดตำแหน่งแต่ละจุด และในชุดที่สองใช้การเลื่อนตำแหน่งกระจกเพียงครั้งเดียว ในชุดที่สองนี้ใช้การวัดทิศทางของแสงจากกระจกที่ตำแหน่งที่ 1 ก่อน และเลื่อนตำแหน่งวัดจนครบรอบทุกจุด จากนั้นจึงเลื่อนกระจกไปอีกตำแหน่ง จากนั้นจึงวัดทิศทางแสงจากตำแหน่งที่ 2 ไปยังตำแหน่งจุดวัดเดิมซ้ำอีกรอบ ผลการทดสอบในชุดแรกอาจพิจารณาว่าเป็นการทดสอบระบบวัดตำแหน่งแบบใหม่ที่ใช้กระจกติดตามเพียงตัวเดียวแต่ใช้การขยับระหว่างสองตำแหน่ง ส่วนข้อมูลในชุดที่สองอาจพิจารณาเป็นผลของการใช้กระจกติดตามสองชุดในการวัดตำแหน่ง

ข้อสำคัญในการทดสอบนี้คือ ในการทดสอบนี้มีได้มีการจัดวางระยะและแนวแกนต่างๆ ที่แม่นยำระหว่าง อุปกรณ์วัดและ ตำแหน่งแนวในการเคลื่อนที่ของ retroreflector กับแนวการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์กระจกติดตาม ระยะที่ทราบแน่นอนคือระยะในการเคลื่อนที่ของ retroreflector เทียบการตำแหน่งแรกเท่านั้น ส่วนในการวัดตำแหน่งนั้นจะเป็นตำแหน่งของ retroreflector เทียบกับตำแหน่งที่ 1 ของกระจกติดตามในแกน X-Y แต่ค่าจริงของตำแหน่งวัดอยู่ในแกน x-y จึงไม่สามารถเทียบกันได้โดยตรง

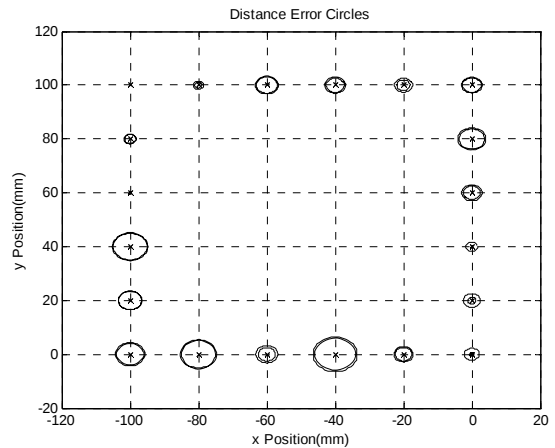
การเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าจริงนั้นทำได้ดังนี้ จากข้อมูลที่ได้จากการวัดนั้น จะนำมาสร้างระนาบ(ใช้ Normal Vector) ของโตะ x-y เทียบกับแกนของอุปกรณ์วัด X-Y การหาใช้วิธี Least-Square เพื่อให้มีค่าผิดในแนวแกน Z (ตั้งฉากกับแกน X-Y น้อยที่สุด) จากนั้นจึงทำการ project จุดทั้งหมดลงบนระนาบนี้ แล้วทำการหาแนวแกน x และ y ของโตะ x-y โดยประมาณจากจุดในแนวหนึ่ง จากนั้นใช้จุดวัดหนึ่งจุด, แนวหนึ่งแนวนี้ และ normal vector ของระนาบนี้ในการเปลี่ยนแกนอ้างอิงของจุดทั้งหมดจากแกนของ LPS (แกน X-Y) มาเป็นค่าเทียบกับแกนของ โตะ x-y ที่ประมาณขึ้นมา จากนั้นจึงนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าจริงที่วัดได้จากโตะ x-y

ในรูปที่ 7 และ 8 แสดงค่าความผิดพลาดในการวัดเมื่อเทียบกับตำแหน่งที่วัดสำหรับข้อมูลชุดแรกและชุดที่สองตามลำดับ โดยที่แสดงเป็นวงกลมที่มีรัศมีเป็นสัดส่วนกับค่าผิดที่ตำแหน่งนั้นๆ สำหรับข้อมูลชุดแรก ค่าผิดพลาดในระนาบ x-y มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 2.2 mm และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.94 mm ค่าผิดพลาดในแนว z มากที่สุดคือ 0.34 mm และขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.12 mm สำหรับข้อมูลชุดที่สอง ค่าผิดพลาดในระนาบ x-y มีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1.3 mm และค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.53 mm ค่าผิดพลาดในแนว z มากที่สุดคือ 0.2 mm และขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 0.066 mm



รูปที่ 7 ค่าผิดพลาดในการวัดในระนาบ x-y เทียบกับตำแหน่งที่วัด (ผลชุดที่ 1)

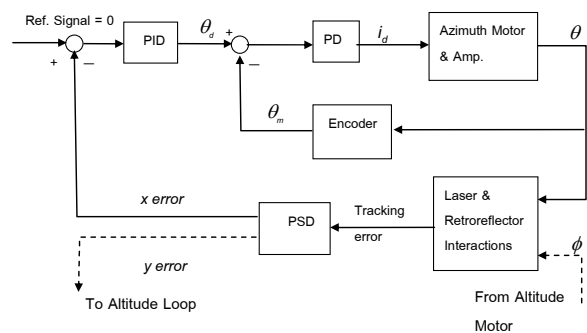
ถ้าเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่ได้จากข้อมูลชุดที่สองและข้อมูลในการคำนวณจะเห็นว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกัน จากการคำนวณจะเห็นว่าที่ระยะประมาณ 1 เมตรนั้น ค่าความผิดพลาดในระนาบอยู่ที่ประมาณ 0.65 mm และ 0.13 mm ในแนวแกนตั้ง ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดคือ 1.3 mm และ 0.2 mm แต่การพิจารณาไม่พบความสัมพันธ์อย่างชัดเจนของตำแหน่งที่วัดต่อค่าความผิดพลาดตามที่คำนวณไว้ในส่วนที่ 2.2



รูปที่ 8 ค่าผิดพลาดในการวัดในระนาบ x-y เทียบกับตำแหน่งที่วัด (ผลชุดที่ 2)

4.2 ผลการทดสอบการติดตาม retroreflector

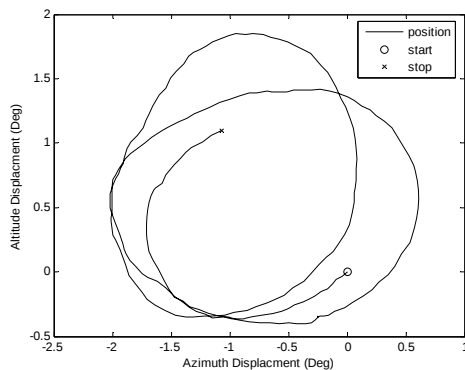
ในส่วนนี้นำเสนอผลการติดตาม retroreflector ระบบควบคุมนั้นแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งเป็นระบบเดียวกับที่ได้แสดงไว้ใน [5] เพียงแต่มีการปรับปรุงความละเอียดในการวัดมุม และทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆใหม่ รวมทั้งใช้ retroreflector ขนาดใหญ่ขึ้น ระยะสูงสุดที่พบจากการทดสอบคือ 5.8 m ส่วนผลการทดสอบความเร็วในการติดตามแสดงในรูปที่ 10 และ 11 แสดงค่าตำแหน่งมุมทั้งสองของกระจกติดตาม และค่าความเร็วของมุมทั้งสองนี้ ตามลำดับ retroreflector นั้นถูกถือและขยับเป็นวงกลมที่ระยะประมาณ 4.5 เมตรจากกระจกติดตามโดยที่ค่ามุม azimuth มีค่าประมาณ 30 องศา, และมุม altitude ประมาณ 20 องศา



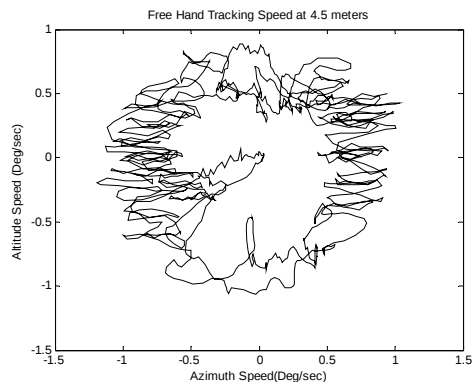
รูปที่ 9 ระบบควบคุมแบบสองลูปของชุดควบคุมกระจกในแนว Azimuth

ในรูปที่ 10 จุด o แสดงจุดเริ่มติดตาม และ ตำแหน่ง "x" ในรูปที่แสดงจุดที่ระบบไม่สามารถทำการติดตามได้ ในรูปที่ 11 แสดงค่าความเร็วของมุมทั้งสองนี้ โดยการคำนวณความเร็วใช้ค่ามุม 100 จุด (0.1วินาที) ในการประมาณความเร็วทุกๆ 20 msec จากรูปที่ 10 จะ

เห็นว่าความเร็วสูงสุดในการติดตามคือประมาณ 1.2 องศาต่อวินาทีหรือ 9 cm/s (ผลรวมความเร็วในทั้งสองแกน)



รูปที่ 10 ค่ามุม Azimuth และ Altitude ในการทดสอบการติดตามทั้งสองแกน



รูปที่ 11 ค่าความเร็วเชิงมุม Azimuth และ Altitude ในการทดสอบการติดตามทั้งสองแกน

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาาระบบวัดตำแหน่งด้วยแสงเลเซอร์แบบหนึ่งที่เรียกว่า LPS (Local Positioning System) แบบไร้แรงกู่เลชั่น ระบบต้นแบบได้ถูกสร้างขึ้น และจากผลการทดสอบพบว่าระบบแบบชุดเดียวที่สามารถเลื่อนไปมาได้สามารถวัดตำแหน่งได้ที่มีความผิดพลาดสูงสุดเท่ากับ 2.2 mm (เฉลี่ย 0.94mm) ที่ระยะประมาณ 1 m และระบบสองชุดที่มีความแม่นยำเท่ากับ 1.3 mm (เฉลี่ย 0.53mm) ระบบสองชุดมีราคาสูงกว่าแต่ก็แม่นยำกว่าด้วย ค่าความแม่นยำที่ได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ นอกจากการวัดตำแหน่งนี้แล้วระบบที่สร้างขึ้นสามารถทำการติดตามอุปกรณ์สะท้อนแสงได้ทีระยะสูงสุด 5.8 m และ ที่ความเร็วในสามมิติเท่ากับ 9 cm/s (ที่ระยะ 4.5 m)

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนและคณะขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ในการสนับสนุนโครงการนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chantranuwathana, S., Chanchareon, R., Kananai, J., and Phongwasin, P., 2005, Tracking Control of a Laser Positioning System, The 19th Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, 19-21 October 2005, Phuket, Thailand, 6 pages.
- [2] Heeren, T.A.G., Velpaus, F.E., "An Optical System to Measure the End Effector Position for Online Control Purposes," International Journal of Robotics Research, Vol. 11, No.1, pp 53-63.
- [3] Yen, J., Jeng, C., Fan, K., "Servo Design for a 3-D Laser Tracking Measurement System," ASME Journal of Dynamic System, Measurement and Control, Vol. 118, 1996, pp. 476-481.
- [4] Lau, K., Hocken, R., Haynes, L., "Robot Performance Measurements Using Automatic Laser Tracking Techniques," Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, 1985, Vol. 2., No. 3/4, pp. 227-236.
- [5] ศุภวุฒิ จันทราวัฒน์, จารุบุตร คณะนัย, รัชทิน จันท์เจริญ "การพัฒนาระบบวัดตำแหน่งด้วยแสงเลเซอร์สำหรับการผลิตด้วยหุ่นยนต์แบบไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน," National Science and Technology Development Agency (NSTDA) Annual Conference 2005, 6 หน้า