

การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์วัดความหนาถึงเหล็กกล้าทรงกระบอกขนาดใหญ่ Design and Deveopment of Thickness Measurement Robot for large Cylindrical Tank

สุธี คำใจคง¹, สมนึก วัฒนศรียกกุล^{1*} และ จิรพงศ์ ลิ้ม¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาชื่น 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

*ติดต่อ: E-mail : nuk.watana99@gmail.com , เบอร์โทรศัพท์ +66 2-555-2000 เบอร์โทรสาร +66 2-587-4350

บทคัดย่อ

ถึงเหล็กกล้าทรงกระบอกขนาดใหญ่ซึ่งถูกนำมาใช้งานในอุตสาหกรรมเคมีและปิโตรเคมี ต้องมีการตรวจสอบสภาพอย่างน้อยทุก 5 ปี การตรวจสอบที่สำคัญอันหนึ่งคือการวัดความหนาผนังด้วยอัลตราโซนิก (UT) โดยมักทำนั้งร้านรอบถัง เนื่องจากถังมีความสูงมากทำให้ใช้ระยะเวลาและมีค่าใช้จ่ายสูง

ปัจจุบันมีการใช้หุ่นยนต์สำหรับการวัดความหนาซึ่งลดเวลา ค่าใช้จ่ายและความปลอดภัย แต่หุ่นยนต์ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ คือการพัฒนาหุ่นยนต์เพื่อการวัดความหนาของผนังถึงเหล็กกล้าทรงกระบอกขนาดใหญ่ โดยมีลักษณะคล้ายรถขนาดเล็กขับเคลื่อนในแนวดิ่งและแนวขวางของผนังถึงเหล็กกล้า โดยล้อทำด้วยลูมียูนิแมกบางหุ้มด้วยแผ่นยางและภายในบรรจุแท่งแม่เหล็กทรงกระบอกขนาดเล็กเพื่อช่วยในการเกาะติดแต่ละล้อทั้ง 4 ล้อมีมอเตอร์ 1 ตัวสำหรับการขับเคลื่อน และอีก 1 ตัว สำหรับการบิดล้อเพื่อทำการบังคับเลี้ยวทำให้สามารถเคลื่อนตัวได้ทั้งแนวดิ่งและแนวระนาบ การควบคุมและการรับและส่งข้อมูลใช้ระบบไร้สาย โดยได้รับสัญญาณจากเอ็นโคเดอร์จากมอเตอร์ทั้งหมด ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งที่ต้องการให้หุ่นเคลื่อนที่และหยุดเพื่อวัดความหนา รวมถึงสัญญาณความหนาของจุดที่วัดจากเครื่องอัลตราโซนิก หุ่นยนต์ที่พัฒนาใหม่นี้มีราคาถูกแต่เคลื่อนตัวได้คล่อง ทั้งแนวดิ่งและแนวระดับ

ผลการประเมินพบว่า หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนตัวได้ด้วยความเร็วสูงสุด 202 มม./วินาที ที่น้ำหนักตัวหุ่น 4 กก. สามารถข้ามสิ่งกีดขวางทรงสี่เหลี่ยมได้ทีขนาดสูงสุด 16 มม. มีแรงเกาะยึดในแนวดิ่งจากสูงสุด 100 N สามารถควบคุมให้หุ่นเคลื่อนที่และหยุดในตำแหน่งที่ต้องการวัดความหนา และทำการวัดความหนาได้อย่างแม่นยำ

คำหลัก: ระบบขับเคลื่อนสี่ล้ออิสระ , ระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้ออิสระ , หุ่นยนต์ป้ายผนัง

Abstract

Cylindrical steel tanks most used in chemical and petrochemical industries have to be inspected at least every 5 years. The wall thickness measurement by using Ultrasonic Testing (UT) is one of the importance method. The scaffolding has to be built around the tank to operating because the height of the tanks, this is time consume and costly.

Nowadays the robots were used for measuring the wall thickness of the steel tanks. It could reduce operating time and cost. It is also very safe. But the robots had to be imported and were very costly. The aim of this research is to develop a robot for measuring the wall thickness of big cylindrical steel tanks. The developed robot is like a small car could be moved on the steel wall in vertical and horizontal direction. Each wheel was made by thin aluminum wall and covered with thin rubber sheet. There was a small cylindrical magnet inside of each wheel to stick on the steel wall.. There were 2 motors of each wheel one for direct driving and the other one for turning the wheel so that the robot could move vertically and horizontally. The control and the data

AMM-02

transfer were wirelessly. The position of the robot could be controlled by using the signal from the encoders of all motors. The robot could be stopped and measured the thickness and transferred the result wirelessly.

This new developed robot was lower cost and moved faster in vertical and horizontal direction.

It was found that the robot could be moved by maximum speed with 202 mm/sec by weight of 4 kg and could be moved over the rectangular barrier by maximum height of 16 mm. The maximum magnetic stick force in perpendicular direction is 100 N. The robot could be controlled to move and stop at the required position and measured the thickness accurately.

Keywords: four wheels independent driving , four wheels independent steering , climbing robots

1. บทนำ

ในปัจจุบัน หุ่นยนต์ได้ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมรวมถึงงานด้านการตรวจสอบ หุ่นยนต์ที่ถูกออกแบบและพัฒนาจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมการนำไปใช้งานหรือสถานที่ และในงานวิจัยนี้หุ่นยนต์ต้องทำการปีนไต่และข้ามแนวเชื่อมของถังทรงกระบอกขนาดใหญ่เพื่อไปตรวจสอบวัดความหนาถึงเหล็กกล้า เนื่องจากถังเหล็กขนาดใหญ่นั้นถูกสร้างจากแผ่นเหล็กนำไปตัดให้ได้ตามรัศมีที่ต้องการแล้วนำมาเชื่อมติดกันจะเป็นถึงเหล็กกล้าทรงกระบอกขนาดใหญ่

ที่ผ่านมาได้มีงานวิจัยในลักษณะแบบนี้ ทางธีระพงษ์ จรรย์หาญ และคณะ [1],[2] ได้ทำการออกแบบหุ่นยนต์ให้มีความสามารถในการปีนไต่ถึงที่ทำการวัดจากเหล็กกล้าโดยใช้ล้อแม่เหล็กถาวรทรงกระบอกใช้ในการยึดเกาะระบบขับเคลื่อนเป็นแบบขับเคลื่อน 4 ล้อ และระบบบังคับเลี้ยวใช้ความแตกต่างของทิศทางและความเร็วของล้อข้างซ้ายและขวา ในระดับถัดมาทางทาง นายปฐิต กุลศรี และคณะ [3] ได้ทำการสร้างออกแบบและพัฒนาล้อที่ใช้ในการยึดเกาะและขับเคลื่อน โดยจะมีลักษณะเป็นล้อตะขาง ส่วนระบบบังคับเลี้ยวยังเป็นแบบใช้ความแตกต่างของทิศทางและความเร็วของล้อข้างซ้ายและขวาเช่นเดิม

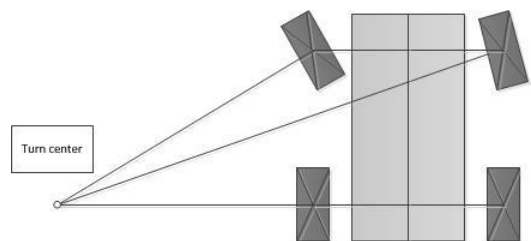
โครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบพัฒนาและสร้างหุ่นยนต์ที่มีความสามารถในการปีนไต่และข้ามแนวเชื่อมของถังเหล็กกล้าทรงกระบอกได้ ระบบบังคับเลี้ยวและระบบขับเคลื่อนเป็นแบบ 4 ล้ออิสระ เพื่อให้ตัวหุ่นยนต์มีสมรรถนะในการปีนข้ามแนวเชื่อมของถังเหล็ก และให้มีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ที่ดีกว่าเดิม

ข้อกำหนดให้ตัวหุ่นยนต์วัดความหนาถึงเหล็กกล้าทรงกระบอก มีขนาดไม่เกิน 350 x 450 x 130 มิลลิเมตร (กว้าง x ยาว x สูง)และมีน้ำหนักไม่เกิน 4 กิโลกรัม

2. รูปแบบของหุ่นยนต์

2.1 รูปแบบการเคลื่อนที่

ระบบบังคับเลี้ยวและระบบขับเคลื่อนแบบ Ackerman เป็นระบบบังคับเลี้ยวที่การปรับเปลี่ยนมุมล้อหน้าเพียงสองล้อ เมื่อทำการลากเส้นตั้งฉากกับแนวทิศทางการลี้ยวทั้ง 4 ล้อตัดกัน ทำให้จุดศูนย์กลางของรัศมีวงเลี้ยว (Turn center) ไปอยู่ด้านหลังของตัวหุ่นยนต์ทำให้วงเลี้ยวของหุ่นยนต์มีรัศมีที่กว้าง (รูปที่ 1)

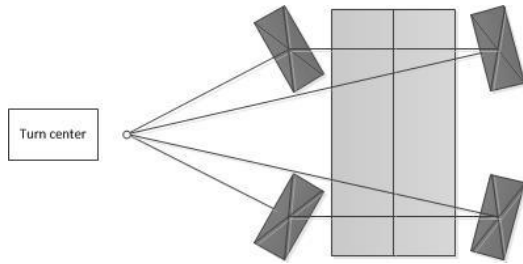


รูปที่ 1 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่

รูปแบบ Ackerman

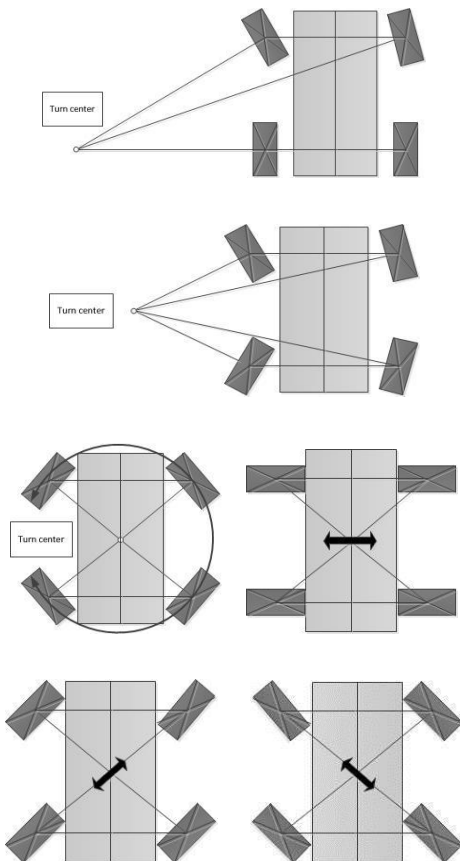
ระบบบังคับเลี้ยวและระบบขับเคลื่อนแบบ Double Ackerman (รูปที่ 2) เป็นระบบบังคับเลี้ยวที่มีลักษณะเช่นเดียวกับรูปแบบ Ackerman แตกต่างตรงที่จากที่มีการปรับมุมล้อด้านหน้าเพียงชุดเดียว จะมีการเพิ่มการปรับมุมล้อหลังด้วย เมื่อทำการลากเส้นตั้งฉากกับแนวทิศทางของล้อทั้ง 4 ล้อตัดกัน ทำให้จุดศูนย์กลางของรัศมีวงเลี้ยว (Turn center) จะไปอยู่ในตำแหน่งกลางตัวของตัวหุ่นยนต์ ทำให้วงเลี้ยวของหุ่นยนต์มีรัศมีที่แคบลง

AMM-02



รูปที่ 2 แสดงลักษณะการเคลื่อนที่
รูปแบบ Double Ackerman

ระบบบังคับเลี้ยวและระบบขับเคลื่อนแบบ Omni-direction (รูปที่ 3) เป็นระบบบังคับเลี้ยวและระบบขับเคลื่อนที่มีความอิสระของล้อทั้งสี่ล้อจากกันทำให้สามารถเคลื่อนที่ในรูปแบบลักษณะต่างๆได้อย่างอิสระทำให้เกิดความคล่องตัวในเคลื่อนที่ในสภาวะหรือสถานที่ซับซ้อนได้

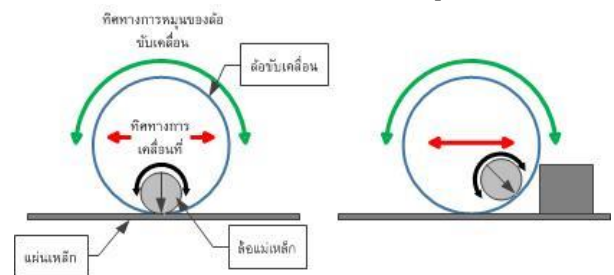


รูปที่ 3 แสดงลักษณะต่างๆของการเคลื่อนที่
รูปแบบ Omni-direction

2.2 รูปแบบการยึดเกาะของล้อแม่เหล็ก

ล้อแม่เหล็กกลิ้งอยู่ภายในล้อขับเคลื่อน (wheel in wheel) ล้อแม่เหล็กแบบนี้จะมีล้อแม่เหล็กหรือแม่เหล็ก

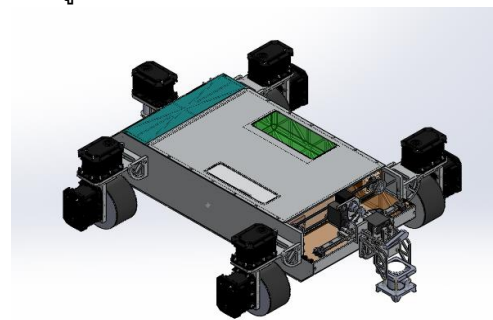
ทรงกระบอกขนาดเล็กกลิ้งอยู่ภายในล้อขับเคลื่อนซึ่งล้อขับเคลื่อนจะมีขนาดใหญ่กว่า ล้อลักษณะแบบนี้จะช่วยให้มีการเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่ต่างระดับได้ดี (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 ล้อแม่เหล็กกลิ้งอยู่ภายในล้อขับเคลื่อน

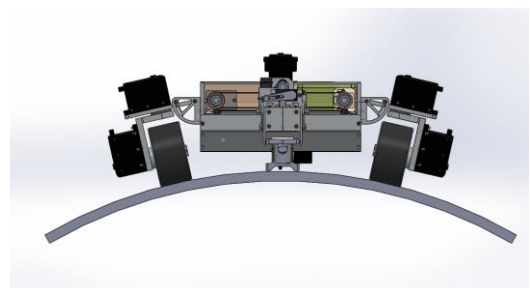
3. การออกแบบหุ่นยนต์

โครงสร้างหลักใช้อลูมิเนียมเนื่องจากอลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรง และน้ำหนักเบา โดยออกแบบให้มีขนาดเล็กกระทัดรัดและมีน้ำหนักเบา ซึ่งมีน้ำหนักเพียง 4 กิโลกรัม และมีขนาดไม่เกิน 350 x 450 x 130 มิลลิเมตร (กว้างxยาวxสูง)



รูปที่ 5 ภาพโดยรวมของหุ่นยนต์

เนื่องจากลักษณะถังเหล็กกล้าที่บรรจุสารเคมีขนาดใหญ่ นั้นสร้างโดยการนำเหล็กแผ่นมาตัดและเชื่อมให้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ดังนั้นการออกแบบหุ่นยนต์นั้นต้องสามารถไต่ถังเหล็กกล้ารูปทรงกระบอกเพื่อให้หุ่นยนต์มีแรงยึดเกาะที่ดีที่สุด (รูปที่ 6)

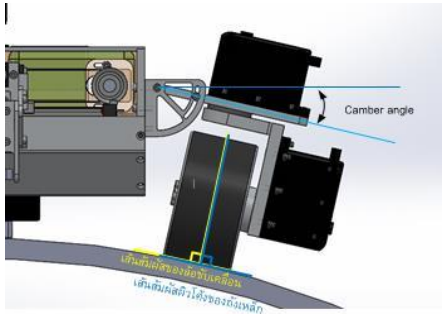


รูปที่ 6 ภาพลักษณะการไต่ถังเหล็กของหุ่นยนต์

AMM-02

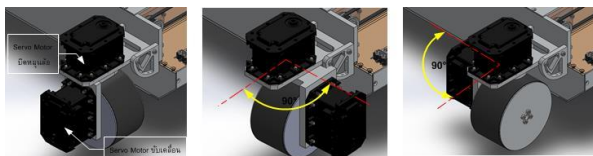
3.1 การออกแบบชุดปรับมุมแคมเบอร์

ชุดปรับมุมแคมเบอร์ จะมีลักษณะการทำงานเหมือนระบบรองรับน้ำหนักแบบปีกนกชั้นเดียวของรถยนต์ ซึ่งทำให้สามารถปรับองศาของเหล็กขนาดต่างๆ ได้โดยการปรับมุมมุมนี้ การปรับมุมแคมเบอร์นั้นทำให้เส้นสัมผัสของล้อตรงกับเส้นสัมผัสผิวโค้งของถังเหล็กส่งผลทำให้ได้แรงยึดเกาะที่ดีที่สุด (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 แสดงมุมแคมเบอร์ของหุ่นยนต์

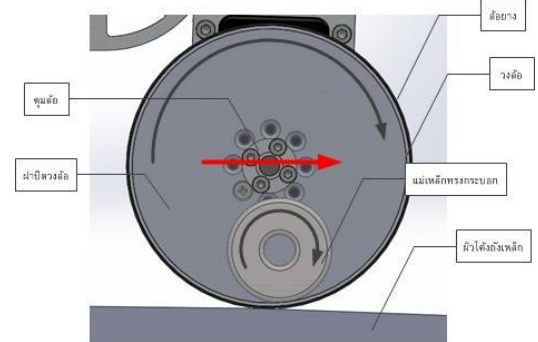
ระบบขับเคลื่อนและระบบบังคับเลี้ยว นั้น จะถูกแยกเป็นอิสระจากกันทั้งสอง โดยใช้ Servo Motor ในการปรับทิศทางการหมุนและขับเคลื่อนของล้อทั้งสอง (รูปที่ 8)



รูปที่ 8 แสดงระบบขับเคลื่อนและระบบบังคับเลี้ยว

3.2 การออกแบบล้อขับเคลื่อน

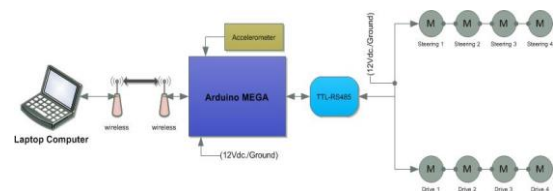
ล้อขับเคลื่อนมีส่วนประกอบคือ วงล้อ ดุมล้อ ฝาปิดวงล้อ ด้านนอกและด้านใน เลือกใช้วัสดุที่เป็นอลูมิเนียมซึ่งมีคุณสมบัติที่แข็งแรงและน้ำหนักเบา ด้านนอกของวงล้อติดล้อยางเพื่อให้มีแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวสัมผัสที่มากขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปีนป่าย ภายในวงล้อมีแม่เหล็กถาวรนีโอไดเมียม (NdFeB) รูปทรงกระบอกกลิ้งอยู่ทำหน้าที่สร้างแรงยึดเหนี่ยวระหว่างตัวหุ่นยนต์กับถังเหล็ก (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 แสดงส่วนประกอบของล้อขับเคลื่อน

3.3 System Diagram

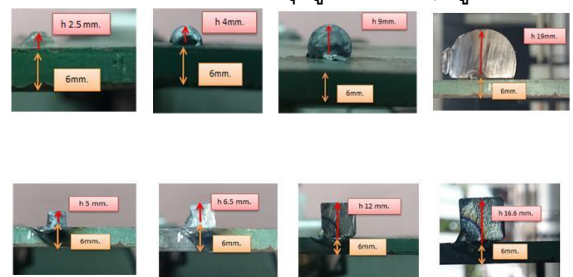
การควบคุมระบบการทำงานของหุ่นยนต์ทำได้โดยการกดปุ่มคีย์บน Laptop computer ผ่านระบบสื่อสารแบบ wireless รับและส่งข้อมูลคำสั่งไปยัง Micro Controller ที่ตัวหุ่นยนต์หลังจากนั้นจะทำการประมวลผลเพื่อไปสั่งระบบขับเคลื่อนและระบบบังคับเลี้ยว (รูปที่ 10)



รูปที่ 10 แสดง System Diagram

4. การทดลอง

ในการทดสอบได้ทำการทดสอบหาแรงยึดเกาะของล้อขับเคลื่อน ความสามารถในการเคลื่อนที่ปีนข้ามแนวเชื่อมสมมุติที่มีรูปทรงครึ่งวงกลมและรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาดต่างๆ และทำการทดสอบหาความเร็วของหุ่นยนต์เมื่อทำการปีนข้ามแนวเชื่อมสมมุติรูปทรงต่างๆ (รูปที่ 11)



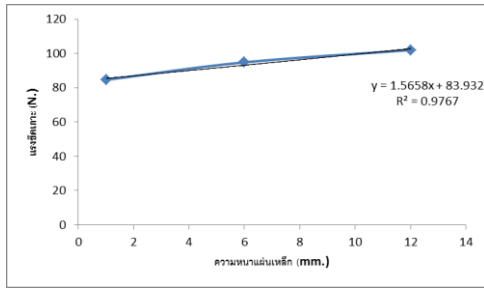
รูปที่ 11 แสดงรูปทรงแนวเชื่อมสมมุติขนาดต่างๆ

4.1 การทดสอบหาแรงยึดเกาะของหุ่นยนต์

ในการทดสอบหาแรงยึดเกาะของหุ่นยนต์นั้นทำโดยการนำหุ่นยนต์ไปยึดเกาะบนแผ่นเหล็กที่มีความหนา 1 , 6 , 12 มิลลิเมตร แล้วทำการใส่น้ำหนักจนหุ่นยนต์ไม่

AMM-02

สามารถยึดเกาะได้หรือตัวหุ่นยนต์หลุดออกจากแผ่นเหล็ก
(รูปที่ 12)



รูปที่ 12 แสดงแรงยึดเกาะที่ความหนาต่างๆ

4.2 การทดสอบการเคลื่อนที่ข้ามแนวเชื่อมสมมุติ

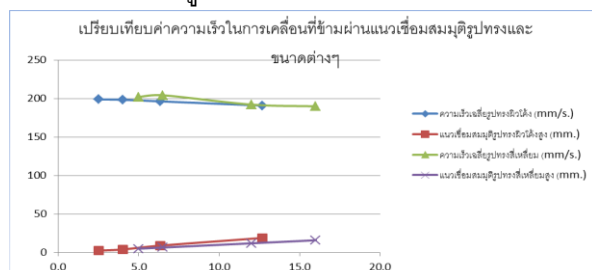
ในการทดสอบการเคลื่อนที่ข้ามแนวเชื่อมสมมุติ ทำโดยการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในแนวตั้งเป็นเส้นตรงป็น ข้ามแนวเชื่อมสมมุติรูปทรงครึ่งวงกลมที่มีขนาดรัศมี 2.5 , 4.0 , 6.4 และ 12.7 มิลลิเมตรและรูปทรงสี่เหลี่ยม จตุรัสขนาดความสูง 5 , 6.5 , 12 และ 16 มิลลิเมตร พบว่าหุ่นสามารถข้ามแนวเชื่อมสมมุติได้ทุกระดับความสูง



รูปที่ 13 แสดงการทดสอบหุ่นยนต์ข้ามแนวเชื่อมสมมุติ

4.3 การทดสอบหาความเร็วในการเคลื่อนที่ข้ามแนวเชื่อมสมมุติ

การทดสอบหาค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ข้ามแนวเชื่อมสมมุติในแนวตั้ง ทำได้โดยทำการเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ข้ามแนวเชื่อมสมมุติเทียบกับระยะทางที่เคลื่อนที่ ซึ่งระยะทางที่ใช้ในการเคลื่อนที่ นั้นถูกกำหนดให้เป็น ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 950 มิลลิเมตร จากการทดสอบทำให้ ได้ผลดัง แสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 ผลลัพธ์ความเร็วในการเคลื่อนที่ข้ามผ่านแนวเชื่อมสมมุติรูปทรงและขนาดต่างๆ

5. สรุปผล

หุ่นยนต์สามารถยึดเกาะถึงเหล็กโดยมีแรงยึดเกาะเฉลี่ย 84.7 N. ที่ความหนา 1 มม. และมีแรงยึดเกาะ 100 N. ที่ความหนา 12 มม.

จากการทดสอบสมรรถนะในการเคลื่อนที่ป็นข้ามแนวเชื่อมสมมุติตามที่กล่าวมาในข้างต้นนั้น พบว่าหุ่นยนต์ที่ได้ทำการสร้างขึ้นมานี้สามารถเคลื่อนที่ป็นข้ามแนวเชื่อมสมมุติได้สูง 16 มม.

ขนาดและรูปทรงของแนวเชื่อมสมมุติมีผลต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ลดลงโดยเมื่อเทียบผลกระทบระหว่างขนาดและรูปทรง ขนาดของแนวเชื่อมสมมุติจะมีผลทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ลดลงมากกว่ารูปทรง

หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ในแนวตั้งได้ความเร็วสูงสุด 202 มม./วินาที

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชีระพงษ์ จรรย์หาญ, ทศพร แก้ววิจิตร และชัยนรินทร์ เชาว์ชัยพัฒน์.(2550) การพัฒนาหุ่นยนต์ตรวจสอบสภาพของถังเหล็กกล้าด้วยเครื่องวัดความหนาอัลตราโซนิก. ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมการผลิต ภาควิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [2] นายพัชร ศิริกุลยานนท์. (2556). การพัฒนาระบบแสดงผลสำหรับหุ่นยนต์ตรวจสอบถังบรรจสารเคมี. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมการผลิต ภาควิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [3] นายบุษิต กุลศรี (2556) . การออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับตรวจสอบถังบรรจุ , วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมการผลิต ภาควิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [4] วิษณุ จูฑาริ, ฐานันดร ทองสว่างแจ้ง, ศิวัช วรรณแหวก และ ดร.ถวิดา มณีวรรณ (2554). ยานพาหนะไฟฟ้าต้นแบบ ความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ที่สูง , การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 2554.

AMM-02

- [5] Xiaodong Wu, Member, IACSIT, Min Xu, and Lei Wang. Differential Speed Steering Control for Four-Wheel Independent Driving Electric Vehicle International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing, Vol. 1, No. 4, November 2013 , pp. 355 – 359.
- [6] He Xu, Dawei Tan, and Zhenyu Zhang. An Innovative Reconfigurable Mobile Robot with Multi-Maneuver Modes , Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics Bangkok, Thailand, February 21 - 26, 2009 , pp. 1659 – 1664.
- [7] Huihuan QIAN, Tin Lun LAM, Weimin LI, Chenggang XIA, and Yangsheng XU . System and Design of an Omni-directional Vehicle , Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics Bangkok, Thailand, February 21 - 26, 2009 , pp.389 – 394.