

หุ่นยนต์สำรวจความหนาของถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียม

รังสรรค์ บุญนรา¹⁾ เอกลักษณ์ เครือยศ¹⁾ ประสิทธิ์พร พงศ์วสิน¹⁾ และ ดร.กวีดา มณีวรรณ²⁾

- 1) ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- 2) สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคพื้นสนาม(FIBO)มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

Email: praww@fibo.kmutt.co.th

บทคัดย่อ

ถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียมนั้นเมื่อมีใช้งานไปนานๆแล้วมักเกิดการสึกกร่อน ซึ่งจะทำให้ น้ำมันปิโตรเลียมมีการรั่วซึมได้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการตรวจสอบถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียมนั้นเพื่อให้แน่ใจว่ามีความปลอดภัย การตรวจสอบความหนาผนังถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียมนั้นมักใช้การตรวจสอบแบบไม่ทำลายโดยโดยใช้อุปกรณ์ตรวจสอบพื้นผิวแบบอัลตราโซนิก การตรวจสอบโดยใช้คนอาจทำให้การตรวจสอบครอบคลุมไม่ทั่วถึงหรือได้ค่าความหนาที่ไม่ถูกต้อง ใช้เวลาในการตรวจสอบที่ยาวนานและเสียค่าใช้จ่ายที่สูง จึงได้มีการสร้างหุ่นยนต์ขึ้นเพื่อใช้ในการตรวจสอบแทนการใช้คน หุ่นยนต์ที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนั้นจะสามารถตรวจสอบการสึกหรอความหนาของผนังของถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียมโดยอัตโนมัติ ข้อมูลของการตรวจสอบจะถูกส่งผ่านมายังอุปกรณ์บันทึกข้อมูลบนภาคพื้นดิน ผู้ควบคุมสามารถควบคุมหุ่นยนต์ทางไกลได้ผ่านทางสายสัญญาณ ลักษณะของโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์นั้นจะมีความทำงานหลักคือ การเคลื่อนที่ไปในแนวดิ่งโดยจะยึดเกาะกับผนังของถังด้วยแรงยึดเกาะจากล้อแม่เหล็กถาวรสี่ล้อซึ่งวางเรียงกันเพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านรอยเชื่อมได้โดยสามารถรักษาหัวอัลตราโซนิกโพรบให้แนบกับผนังถังได้ตลอดการเคลื่อนที่

1. ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในปัจจุบันถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียม (Storage-Tank) ที่ใช้งานในอุตสาหกรรมนั้นเมื่อใช้งานไปนานๆจะเกิดการสึกหรอ ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความดันภายในถังและ เกิดจากการกัดกร่อนเนื่องจากการทำปฏิกิริยาเคมีของก๊าซ กับโลหะภายในและภายนอกของถัง ซึ่งหากเกิดการรั่วขึ้นอาจทำให้เกิดอันตรายแก่สิ่งมีชีวิตและวัสดุอุปกรณ์ที่อยู่ใกล้เคียงได้ซึ่งก็จะทำให้เกิดความสูญเสียทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้นจึงทำให้ต้องมีการตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ ในการตรวจสอบความหนาถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียม ในปัจจุบันนั้นมีการใช้แรง

งานคนเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งในการสำรวจโดยใช้คนจะมีปัญหาในเรื่องของความปลอดภัยของคนที่เข้าไปตรวจสอบที่อาจจะได้รับอันตรายจากการปีนป่ายหรือ จากการสูดดมก๊าซที่บรรจุในถัง นอกจากนั้นการตรวจสอบขนาดความหนาของผนังของถังบรรจุก๊าซโดยใช้คนอาจทำให้การตรวจสอบครอบคลุมไม่ทั่วถึงหรือได้ค่าความหนาที่ไม่ถูกต้อง ใช้เวลาในการตรวจสอบที่ยาวนานและเสียค่าใช้จ่ายที่สูง ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นและ ประดิษฐ์หุ่นยนต์ที่ใช้ในการสำรวจถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียม แทนการตรวจสอบด้วยคน การใช้หุ่นยนต์ตรวจสอบความหนาของถังจะมีประสิทธิภาพสูงและได้ค่าที่แม่นยำ

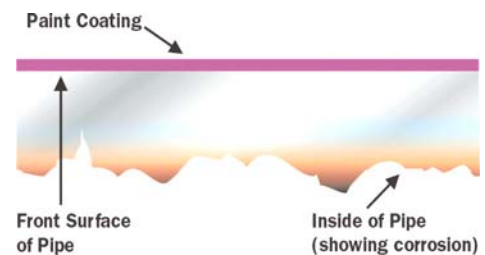
2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาหุ่นยนต์ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ตามแนวตั้ง บนผนังโลหะ
2. เพื่อพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับใช้ในการตรวจสอบการสึกหรอความหนาของผนังของถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียม โดยอัตโนมัติ
3. เพื่อลดการนำเข้าของหุ่นยนต์ที่ใช้ในการสำรวจถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียม จากต่างประเทศ

3. การตรวจสอบพื้นผิวด้วยเครื่องอัลตราโซนิก

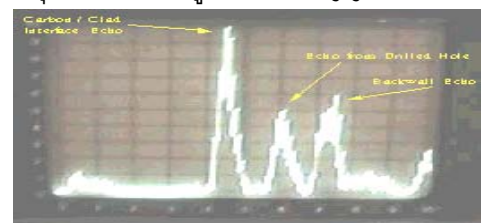
อัลตราโซนิก เทสติง (Ultrasonic Testing) เป็นเครื่องมือทดสอบชนิดไม่ทำลายพื้นผิว โดยการใช้การส่งความถี่สูงของคลื่นเสียงไปยังงานที่ต้องการตรวจสอบ พลังความถี่สูงนี้จะผ่านชิ้นงานไปได้ โดยมีการสูญเสีย น้อยมาก เว้นแต่จะไปกระทบเข้ากับจุดบกพร่องหรือรอยแตกร้าว (Defect or Flaw) ในเนื้อโลหะซึ่งจะทำให้เกิดการสะท้อนและเสียพลังงานไป อัลตราโซนิก เทสติง เหมาะสำหรับการใช้ตรวจสอบ ความบกพร่องที่เกิดขึ้นทั้งบนพื้นผิว และภายใต้พื้นผิวของชิ้นงาน เครื่องทดสอบอัลตราโซนิก ประกอบด้วยหัวสัมผัสเรียกว่า ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) เป็นเครื่องทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล และเปลี่ยนพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้ากลับกัน ทำงานได้โดยการกระตุ้นด้วยแรงเคลื่อนไฟฟ้าความถี่สูง (High Frequency Voltage) ซึ่งทำให้ผลึก (Crystal) ที่อยู่ภายในเกิดการสั่นขึ้นผลึกนี้จะเป็นต้นกำเนิดของคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Mechanical Vibrations) คลื่นความถี่สูงนี้จะถูกส่งไปยังชิ้นงานโดยผ่านฟิล์มบางๆของน้ำมันหรือสารบางอย่างที่เคลือบผิวงานไว้ เมื่อคลื่นความถี่สูงนี้ไปกระทบเข้ากับจุดบกพร่องในแนวเชื่อมหรือชิ้นงานเข้าจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับ และเกิดพลังงานย้อนกลับมายังทรานสดิวเซอร์ ทรานสดิวเซอร์จะทำหน้าที่เป็น

ตัวรับเอาพลังงานสะท้อนกลับจากการที่ไปกระทบเข้ากับจุดบกพร่องหรือรอยแตก และจะส่งผลการรับไปยังจอภาพออสซิลโลสโคป (Oscilloscope Screen) ที่จอภาพนี้จะปรากฏให้เห็นสัญญาณ ขณะที่คลื่นเสียงไปกระทบกับผิวงานในตอนแรก สัญญาณของจุดบกพร่อง และสัญญาณที่คลื่นเสียงไปกระทบผิวงานส่วนล่างสุดพร้อมๆกัน



รูปที่ 1 แสดงหลักการของการทดสอบด้วยอัลตราโซนิก

จากรูปที่ 1 แสดงหลักการของการทดสอบด้วยอัลตราโซนิก ซึ่งความเข้มของสัญญาณจะปรากฏออกมาให้เห็นในลักษณะแนวตั้ง (Vertical Deflection) และช่วงระยะที่เกิดสัญญาณอื่นๆ ปรากฏออกมาเป็นเส้นตามนอน (Horizontal Deflection) ฉะนั้นขนาดของรอยบกพร่องสามารถพิจารณาได้จากการวัดความสูงของสัญญาณ และตำแหน่งที่เกิดความบกพร่องนั้นๆ สามารถพิจารณาได้โดยการวัดระยะของเส้นตามนอน จะเห็นว่าการสะท้อนของสัญญาณอันหน้าและอันหลังจะปรากฏที่ขอบสุดของจอภาพ ส่วนสัญญาณสะท้อน (Echo) ของจุดบกพร่องจะอยู่ในระหว่างสัญญาณทั้งสอง

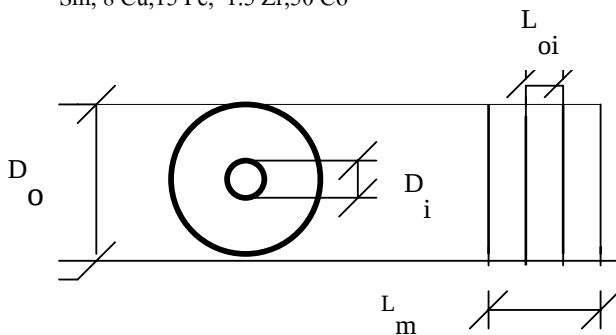


รูปที่ 2 แสดงการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยการทดสอบแบบอัลตราโซนิก

จากรูปที่ 2 แสดงการตรวจสอบแนวเชื่อมด้วยการทดสอบแบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Testing) โดยให้ ทรานสดิวเซอร์ ทำมุมกับชิ้นงาน 45° และส่งพลังงานคลื่น ความถี่สูงไปยังแนวเชื่อม ดังรูปซึ่งจะแสดงให้เห็นสัญญาณที่ปรากฏบนจอภาพ

4. ลักษณะของล้อแม่เหล็ก

ลักษณะของล้อแม่เหล็ก ที่เป็นวัสดุแม่เหล็กจำพวก Rare-Earth-Alloy ซึ่งมีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากกว่าแม่เหล็กแบบ hard อื่นๆ กล่าวคือจะมีค่า $(BH)_{\max}$ และค่า Coercivities ที่สูงซึ่งวัสดุจำพวก Rare-Earth-Alloys นี้ มีวัสดุและองค์ประกอบคือ Co, 25.5 Sm, 8 Cu, 15 Fe, 1.5 Zr, 50 Co



รูปที่ 3 แสดงลักษณะของล้อแม่เหล็ก

ซึ่งแรงยึดเกาะของแม่เหล็กสามารถหาได้จาก

$$F_m = \frac{(BH)_{\max} \times V_{\text{wheel}}}{L_m} \quad (1)$$

เมื่อ $(BH)_{\max}$ = Maximum Energy Product มีค่า 240 kJ/m³

F_m = แรงยึดเกาะของแม่เหล็ก, N

W_{wheel} = ปริมาตรของล้อแม่เหล็ก, m³

L_m = ความกว้างของล้อแม่เหล็ก, ซึ่งมีค่า 15 mm

หาปริมาตรของล้อแม่เหล็ก, W_{heel} ได้จาก

$$V_{\text{wheel}} = \left[\frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2) \times L_m \right] - \left[\frac{\pi}{4} (D_o^2 - D_i^2) \times L_{oi} \right] \quad (2)$$

เมื่อ D_o = เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก, มีค่า 80 mm

D_i = เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน, มีค่า 10 mm

D_{oi} = เส้นผ่านศูนย์กลางของส่วนที่ใส่ O-ring, มีค่า 76 mm

L_{oi} = ความกว้างของล้อแม่เหล็กส่วนที่ใส่ O-ring, มีค่า 7 mm

แทนค่า จะได้

$$V_{\text{Wheel}} = 7.079 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$F_m = \frac{240 \times (7.079 \times 10^{-5})}{0.015}$$

$$= 1132 \text{ N}$$

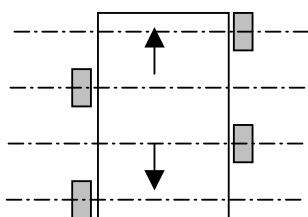
5. ลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์สำรวจถึงบรรจุน้ำมันปิโตรเลียม

โดยลักษณะของโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์นั้นจะมีความทำงานหลักคือ การเคลื่อนที่ไปในแนวดิ่งโดยจะยึดเกาะกับผนังของถังด้วยแรงยึดเกาะจากแม่เหล็กถาวรของล้อหุ่นยนต์ การเลือกล้อให้เป็นแม่เหล็กถาวรนั้นจะมีข้อได้เปรียบกว่าล้อที่เป็นแม่เหล็กชั่วคราวคือ แม่เหล็กถาวรจะไม่มีปัญหาเนื่องจากการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนในเขตลวดและการสูญเสียพลังงานในการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขด

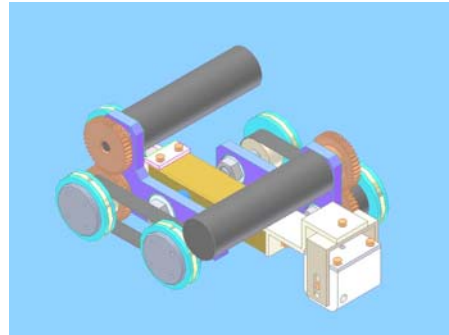
ลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็ก ในการยึดเกาะกับผนังของถังเพื่อที่จะทำการเก็บข้อมูล ที่หุ่นยนต์จะมีการใช้ Ultrasonic sensor ในการตรวจสอบหาความหนาและรอยร้าวของผนังบรรจุก๊าซไปขณะเคลื่อนที่ ซึ่งในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้งนั้น Ultrasonic Sensor จะทำงานร่วมกับ Microcontroller MCS-51 และ Encoder ในการเก็บข้อมูลจากการตรวจสอบเป็นระยะอย่างแม่นยำหลังจากนั้นจะส่งข้อมูลมาเก็บที่หน่วยบันทึกผลหลักต่อไป การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้นจะเป็นการขับเคลื่อนด้วย DC-Servo Motor 2 ตัว โดยมีการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ทั้งสองด้วย Microcontroller MCS-51 การส่งกำลังนั้นจะใช้ระบบเฟืองเป็นตัวส่งกำลังไปยังล้อหน้าและล้อหลัง ซึ่งระบบเฟืองนั้นจะมีความแม่นยำในการส่งกำลังและไม่เกิดการสลิป

6. การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

ลักษณะของตัวหุ่นยนต์สำรวจถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียม นั้นคือ จะใช้ล้อที่เป็นแม่เหล็กถาวร จำนวน 4 ล้อ และจะมีการจัดวางล้อให้แต่ละล้อเยื้องกันตามรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 โดยการวางล้อในลักษณะนี้ก็เนื่องจากลักษณะของถังนั้นจะมีแนวการเชื่อมต่อระหว่างโลหะแต่ละแผ่นที่มีลักษณะนูนขึ้นมา โดยล้อจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด ซึ่งล้อแต่ละชุดจะประกอบด้วย DC Servo Motor จำนวน 1 ตัว ล้อที่ทำมาจากวัสดุแม่เหล็กถาวรจำนวน 2 ล้อ และชุด Pulley สายพาน 1 ชุด



รูปที่ 4 ลักษณะการจัดวางตำแหน่งของล้อที่มีลักษณะเยื้องกัน



รูปที่ 5 แสดงลักษณะโครงสร้างของหุ่นยนต์



รูปที่ 6 การเคลื่อนของหุ่นยนต์ในแนวดิ่ง

7. ทดสอบและเก็บข้อมูล

การทดสอบที่ 1 ทำการทดสอบการยึดเกาะของล้อแม่เหล็กเพื่อทำการทดสอบหาแรงดึงดูดเกาะสูงสุดและโมเมนต์สูงสุดที่สามารถรับได้ โดยไม่มีการลื่นไถลและไม่มีการหยายหลังหรือหลุดล่องจากผนังเหล็ก ซึ่งแสดงในตารางที่ 1 ผลการทดลองหาค่าแรงดึงดูดเกาะสูงสุดและตารางที่ 2 ผลการทดลองหาค่าโมเมนต์สูงสุด

ตารางที่ 1 ผลการทดลองหาค่าแรงยัดเกาะสูงสุด

ลำดับ	น้ำหนัก (kg)	ผลการทดลอง
1	0	ไม่เกิดการไถล
2	5	
3	10	
4	15	
5	16	เกิดการไถล

ตารางที่ 2 ผลการทดลองหาค่าโมเมนต์สูงสุด

ลำดับ	โมเมนต์ (N.m)	ผลการทดลอง
1.	0	ไม่เกิดการหลุดร่วง
2.	1	
3.	2	
4.	3	
5.	3.225	เกิดการหลุดร่วง

การทดสอบที่ 2 ทำการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยจ่ายแรงดันไฟฟ้าคงที่ เพื่อทดสอบหาค่าอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ที่เคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรง โดยวัดระยะทาง (S) และจับเวลา (t) เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสุดท้ายแล้วคำนวณหาอัตราเร็ว (V) จากสูตร

$$V=S/t \quad (3)$$

เมื่อ V= ความเร็วในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

S= ระยะทางที่หุ่นยนต์ใช้เคลื่อนที่

t=เวลาที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปเป็นระยะ S

ตารางที่ 3 การทดสอบการหาอัตราเร็วของหุ่นยนต์

ครั้งที่	แรงดันไฟฟ้า (Volt)	ระยะทาง (m)	เวลา (sec.)	ความเร็ว (m/s)
1.	12	0.9	7.158	0.125
2.	12	0.9	7.564	0.118
3.	12	0.9	7.680	0.117
4.	12	0.9	7.721	0.116
5.	12	0.9	7.772	0.115
6.	12	0.9	7.707	0.116
เฉลี่ย	12	0.9	7.600	0.117

8. สรุป

ในการตรวจหาการสึกหรอของผนังถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียม นั้น มีความจำเป็นที่จะต้องใช้เวลาในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์อย่างคงที่ ซึ่งความต้องการนี้จะต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยการออกแบบลักษณะและโครงสร้างของหุ่นยนต์

จากการทดสอบจะได้ค่าตามตารางที่1 จะเห็นได้ว่า ต้องใช้น้ำหนักถึง 16 kg จึงจะทำให้หุ่นยนต์เกิดการลื่นไถล และ จากตารางที่2 ต้องใช้โมเมนต์เท่ากับ 3.225 N.m. ในการทำให้หุ่นยนต์เกิดการหลุดร่วงจากการยัดเกาะ ซึ่งค่าทั้ง 2 ค่านี้เป็นตัวบ่งบอกถึงแรงยัดเกาะแม่เหล็กสูงสุดที่รับได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงแม่เหล็กที่จากล้อนั้นเพียงพอสำหรับการใช้งาน เนื่องจากน้ำหนักของหุ่นยนต์และอุปกรณ์อื่นๆทั้งหมดที่ได้ออกแบบสร้างนั้น จะอยู่ที่ประมาณ 7 kg ซึ่งมีค่าน้อยกว่าแรงยัดเกาะสูงสุดที่ล้อนแม่เหล็กรับได้

สำหรับการทดสอบหาความเร็วนั้นจะทดสอบ โดยให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปด้วยระยะทาง 0.9 เมตร และทำการจับเวลาจากระยะเริ่มต้นจนถึงระยะ 0.9 เมตร ซึ่งจากตารางที่ 3 จะได้ความเร็วเฉลี่ย 0.117 m/s ซึ่งนับว่าเพียงพอในการใช้งานตรวจสอบ และจากการทดสอบเพิ่มเติมพบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ข้ามรอยเชื่อมซึ่งมีความสูงระหว่าง 1-5 mm ได้โดยไม่หลุดจากการยึดเกาะ และสามารถรักษาหัวอลูมิเนียมให้แนบกับผนังได้ถึงตลอดการเคลื่อนที่

9. กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาวิจัยหุ่นยนต์สำรวจถังบรรจุน้ำมันปิโตรเลียม ได้รับทุนอุดหนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการอุตสาหกรรมสำหรับปัญญาตรี ประจำปี 2546 และได้รับความร่วมมือจากบริษัทควอลิเทคจำกัดในการให้ข้อมูลที่จำเป็นต่อการออกแบบหุ่นยนต์

10. เอกสารอ้างอิง

1. จำรูญ ตันติพิศาลกุล, 2545, การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 1, พิมพ์ ครั้งที่3 บริษัท เอสอาร์ พรินติ้งแมสโปรดักส์ จำกัด
2. จำรูญ ตันติพิศาลกุล, 2542, การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกล 1, พิมพ์ ครั้งที่1 หจก.เม็ดยทราย พรินติ้ง
3. ชีรวัฒน์ ประกอบผล, 2545, การโปรแกรมภาษาซีสำหรับงานวิทยาศาสตร์, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

4. Shigley, J.E., Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill Book company, 1963