หุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับการสำรวจใต้น้ำ
Prototype Robot for Underwater Surveying

*ธีรภัทร หลิ่มบุญเรือง[1] สมชาย แย้มใส[1] สิทธินันท์ ท่อแก้ว[2] สำรวย คะระนันท์[1] และ พิศมัย พันธุ์อภัย[1]
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล[1] ภาควิชาวิศวกรรมเคมี[2] คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120 ประเทศไทย
โทร 0-2664-1000 ต่อ 2055 โทรสาร 0-3732-2609 อีเมล์ : teeerapath@swu.ac.th*

*Teerpath Limboonrueng[1] Somchai Yamsai[1] Sittinan Toawkeaw[2] Samruey Kharanan[1] and Pissamai Phun-pai[1]
Department of Mechanical Engineering[1] Department of Chemical Engineering[2]
Faculty of Engineering Srinakharinwirot University Ongkharak Nakhonnayok 26120 Thailand
Tel. 0-2664-1000 Ext. 2055 Fax 0-3732-2609 Email: teeerapath@swu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับการสำรวจทรัพยากรใต้น้ำ ซึ่งสามารถเคลื่อนได้ทั้งในแนวราบและในแนวดิ่ง การเคลื่อนที่ถูกควบคุมด้วยรีโมทคอนโทลแบบไร้สาย ซึ่งตัวควบคุมจะส่งสัญญาณวิทยุไปยังตัวรับสัญญาณที่อยู่ภายในหุ่นยนต์ ตัวรับสัญญาณจะส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุมความเร็วเพื่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ โดยที่ตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์มี 2 ชุด คือ ชุดที่หนึ่งเพื่อควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ในแนวขึ้นและลง และชุดที่สองเพื่อควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ไปข้างหน้าและถอยหลัง

การทดสอบประสิทธิภาพของตัวหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำได้แก่ การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ที่ระดับความลึกต่างๆ การตรวจสอบความลึกสูงสุดและระยะทางไกลสุดในการควบคุมการทำงาน การตรวจสอบวงเลี้ยวของหุ่นยนต์ การตรวจสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง และการทดสอบระยะเวลาการใช้งาน

หุ่นยนต์ต้นแบบที่สร้างขึ้นมีขนาด 495 mm x 656 mm x 254 mm และมีน้ำหนัก 15.5 kg ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า หุ่นยนต์ต้นแบบสามารถดำได้ลึกสุด 3.5 m และระยะควบคุมทางไกลสุด 23 m มีความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ถอยหลัง ลอยตัวและจมตัวเท่ากับ 68.8 61.1 224.6 และ 169.3 mm/s ตามลำดับ ระยะเวลาในการใช้งานต่อการชาร์จไฟ 1 ครั้ง ประมาณ 30 นาที

คำสำคัญ: หุ่นยนต์ต้นแบบ / การควบคุมไร้สาย / ใต้น้ำ / หุ่นยนต์ / สัญญาณวิทยุ

Abstract

This research present about designing and creating underwater resource surveying prototype robot surveyor model. It can move in underwater both horizontal and vertical line. The movement of underwater surveying robot was controlled by using wireless remote control and sending wireless signal into receiver which within prototype robot for underwater surveying. The signal receiver receives the signal and give the command to motor speed controller. The motor speed controller was created to be 2 sets. One, controlling motor move up or move down and set two, controlling motor move forward and move backward.

Testing of underwater surveying prototype robot efficiency has 5 steps as the following, speed in various deep, maximum distance, maximum depth, turning radius, speed in move up or move down and the running period in one recharged.

Prototype Robot for Underwater Surveying has dimensions 495 mm x 656 mm x 254 mm. The result is show that underwater surveying prototype robot movement to forward and backward by maximum velocity at 68.8 mm/s and 61.1 mm/s, respectively, can drive deepest at 3.5 m and maximum distance 23 m, have narrowest turn radius at 1.21 m, can move up and move down at 224.6 mm/s and 169.3 mm/s respectively, The underwater surveying prototype robot can used in 30 minutes for a recharging.

Key-words: Prototype Robot / wireless control / Underwater / Robot / radio wave

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

F_B	แรงลอยตัว	(N)
γ	น้ำหนักจำเพาะของของไหล	(N/m^3)
V	ปริมาตรของหุ่นยนต์ทั้งหมด	(m^3)
m	มวลของวัตถุใดๆ	(kg)
g	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	(m/s^2)
F_p	แรงต้านจากความดัน	(N)
F_f	แรงต้านจากความเสียดทาน	(N)
C_f	สัมประสิทธิ์ของแรงต้านจากความเสียดทาน-	
ρ	ความหนาแน่นของน้ำ	(kg/m^3)
B	ความกว้างของหุ่นยนต์ในแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่	(m)
L	ความยาวของหุ่นยนต์ผิวที่ขนานกับทิศทางการเคลื่อนที่	(m)
T_b	แรงบิดของใบพัด	(N.m)
F_b	แรงผลักของใบพัด	(N)
Q	อัตราการไหลของน้ำ	(m^3/s)
P	ความดันที่ระดับความลึกใดๆ	(N/m^2)
h	ความลึก	(m)
P_b	กำลังของเพลาที่ใบพัด	(HP)
v_b	ความเร็วของใบพัด	(m/s)

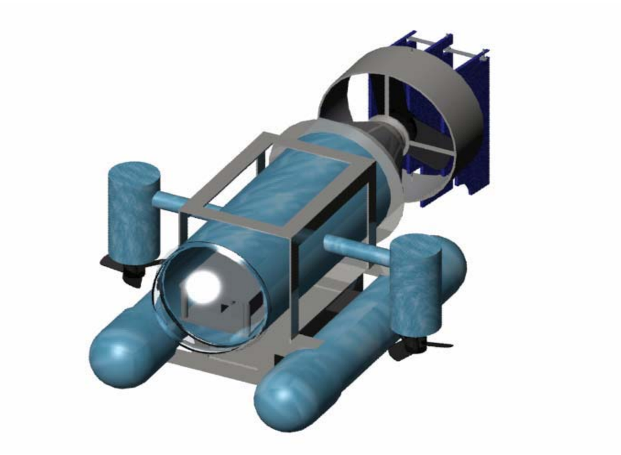
1. บทนำ

ในปัจจุบันทรัพยากรธรรมชาติใต้น้ำได้ถูกนำมาใช้เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะการทำเหมืองแร่ใต้ทะเล การขุดเจาะก๊าซธรรมชาติ การทำประมงน้ำลึก เป็นต้น ซึ่งเป็นผลให้ทรัพยากรธรรมชาติหมดไปเรื่อยๆ ทำให้ต้องมีการสำรวจหาทรัพยากรในแหล่งใหม่ๆ เพื่อมารองรับความต้องการของมนุษย์ ในปัจจุบันการสำรวจเบื้องต้นใช้ข้อมูลจากดาวเทียมเป็นหลักในการสำรวจ ซึ่งเมื่อพบแหล่งที่เหมาะสมจำใช้มนุษย์ในการสำรวจและเก็บตัวอย่าง เพื่อนำมาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุน

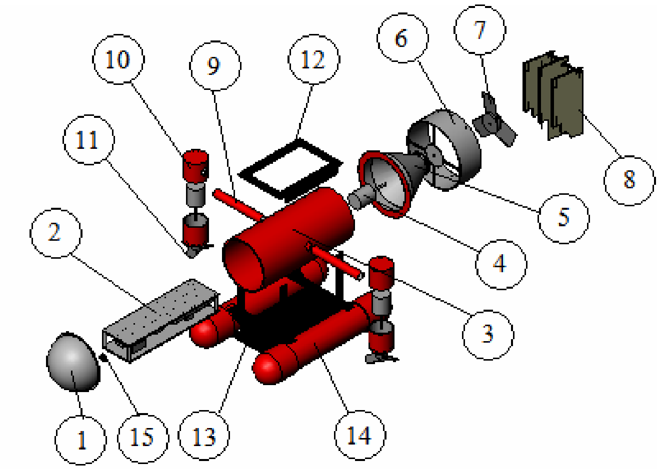
ในการสำรวจใต้น้ำในระดับน้ำทะเลลึกไม่มาก ส่วนใช้จะใช้การดำน้ำในการสำรวจและเก็บตัวอย่าง ในขณะที่ในระดับน้ำทะเลที่ลึก การสำรวจจำเป็นต้องใช้ยานสำรวจใต้น้ำที่บังคับหรือขับเคลื่อนด้วยมนุษย์ ซึ่งจำเป็นต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง และบุคคลที่มีความชำนาญในการควบคุม สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่มีทรัพยากรใต้น้ำในบริเวณอ่าวไทย ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และสินแร่ต่าง ๆ ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเราทราบข้อมูลจากดาวเทียมสำรวจเบื้องต้น แต่ยังขาดการสำรวจและการเก็บตัวอย่าง ซึ่งจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีจากต่างประเทศ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบสำหรับการสำรวจใต้น้ำขนาดเล็ก

2. การคำนวณและการออกแบบ

ในรูปที่ 1 และ 2 แสดงแบบจำลองของหุ่นยนต์ต้นแบบในการสำรวจใต้น้ำ และส่วนประกอบของหุ่นยนต์ และในตารางที่ 1 แสดงส่วนประกอบต่างๆ และน้ำหนักของวัสดุที่ใช้สร้าง เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ทั้งในแนวดิ่งและในแนวราบ จำเป็นต้องคำนวณหาค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้ เพื่อใช้ประกอบการออกแบบ



รูปที่ 1 แสดงแบบจำลองของหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ



รูปที่ 2 แสดงส่วนประกอบของหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ

2.1 การคำนวณแรงลอยตัว

ในการคำนวณแรงลอยตัวหาได้จากสมการที่ (1)[1]

$$F_B = \gamma V \tag{1}$$

เมื่อ

F_B คือ แรงลอยตัว, (N)

γ คือ น้ำหนักจำเพาะของของไหล, (N/m^3)

V คือ ปริมาตรของหุ่นยนต์ทั้งหมด, (m^3)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบต่างๆ ของหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ

รายละเอียด	มวล (kg)
1. โดมครอบกล้อง	0.1
2. ฐานติดตั้งและอุปกรณ์ภายใน	2.2
3. โครงหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ	0.8
4. มอเตอร์ขับเคลื่อน	1.7
5. กรวยติดมอเตอร์	0.6
6. ที่ครอบใบพัดหลัง	0.3
7. ใบพัดหลัง	0.7
8. หางเสือ	0.4
9. ก้านติดมอเตอร์ขึ้นลง	0.2
10. ที่ครอบใบพัดขับเคลื่อนขึ้น-ลง	0.9
11. ใบพัดขับเคลื่อนขึ้น-ลง	0.7
12. โครงยึดตัวหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ	0.2
13. ฐานรองตัวหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ	0.6
14. ทุ่นถ่วงน้ำหนัก	6.0
15. กล้องวงจรปิด	0.1
น้ำหนักรวม	**15.5**

ตารางที่ 2 ปริมาตรต่างๆ ของหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ

ส่วนต่าง ๆ	ปริมาตร (m^3)
ปริมาตรตัวเรือ	0.0066000
ปริมาตรท่อถ่วงน้ำหนัก	0.0057180
ปริมาตรโดมครอบกล้อง	0.0009750
ปริมาตรกรวยติดมอเตอร์	0.0008800
ปริมาตรมอเตอร์ขับเคลื่อนขึ้น-ลง	0.0012482
รวม	**0.0154200**

หาปริมาตรของหุ่นยนต์ทั้งหมดสามารถหาได้จากสมการที่ (2) ซึ่งมีค่าเท่ากับ (V) 0.01542 m^3 ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณหาค่าแรงลอยตัว (F_B) ได้เท่ากับ 154.0458 N หรือเทียบเท่ากับน้ำหนัก 15.7 kg

$$V_{total} = V_{\text{ตัวเรือ}} + 2V_{\text{ท่อถ่วงน้ำหนัก}} + V_{\text{โดมครอบกล้อง}} + V_{\text{กรวยติดมอเตอร์หลัง}} + 2V_{\text{ส่วนของมอเตอร์ขึ้นลง}} \quad (2)$$

2.2 การคำนวณแรงต้านการเคลื่อนที่ในแนวราบ

สำหรับแรงต้านการเคลื่อนที่ในแนวราบเกิดจากความเสียดทานในน้ำ ซึ่งมีค่าเท่ากับผลบวกระหว่างความเค้นเฉือนตามผิวของวัตถุในทิศทางการเคลื่อนที่ ซึ่งแรงต้านที่เกิดจากความเสียดทานสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ (3)[3,4]

$$F_f = C_f \rho \frac{V^2}{2} BL \quad (3)$$

ซึ่งจะได้แรงต้านการเคลื่อน (F_f) มีค่าเท่ากับ 4.68 x 10^{-3} N ซึ่งจะนำค่านี้ไปคำนวณหาขนาดของมอเตอร์ในขั้นตอนต่อไป

2.3 การคำนวณมอเตอร์ไฟฟ้า

การคำนวณมอเตอร์ไฟฟ้าเพื่อหากำลังของมอเตอร์ที่ใช้สำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยคำนวณจากสูตรดังนี้

แรงผลักของใบพัด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)[2]

$$F_b = \rho Q v_b = \rho A (v_b)^2 \quad (3)$$

แรงบิดของใบพัด ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)[2]

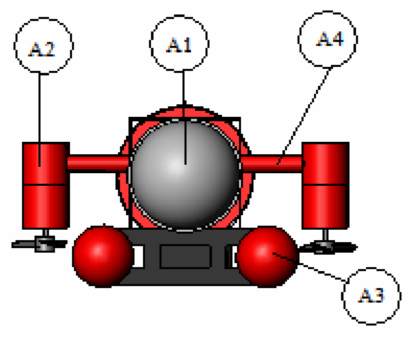
$$T_b = F_b \times r_b \quad (4)$$

กำลังของมอเตอร์ที่ต้องการซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5)[2]

$$P_b = (2\pi\, T_b n)/60 \quad (5)$$

<u>มอเตอร์ขับเคลื่อนไปข้างหน้า</u>

หาพื้นที่หน้าตัดของตัวหุ่นยนต์ด้านหน้า



รูปที่ 3 พื้นที่ในการคำนวณแรงต้านการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

เมื่อ

พื้นที่ A_1 = 0.0177 m^2
พื้นที่ A_2 = 0.0182 m^2
พื้นที่ A_3 = 0.0154 m^2
พื้นที่ A_4 = 0.0050 m^2

ดังนั้นพื้นที่รวมที่ใช้ในการคำนวณ

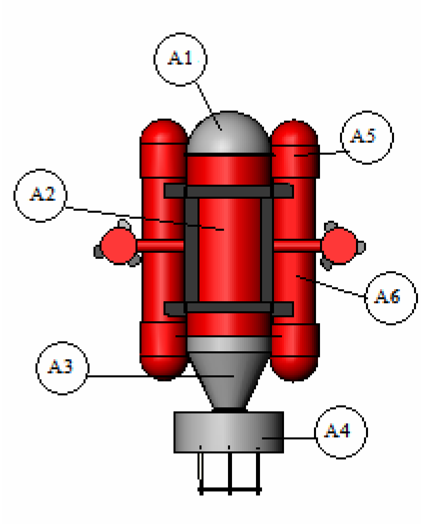
$$A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 0.00563 \ m^2$$

เมื่อคำนวณหาพื้นที่ทั้งหมดสามารถนำมาคำนวณหาแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้จากสมการ (3), (4) และ (5) ซึ่งจะได้ค่าต่างๆ ดังนี้

1. แรงผลักของใบพัด	0.5624	N
2. แรงบิดของใบพัด	0.045	N.m
3. กำลังของมอเตอร์ที่ต้องการ	0.013	HP

มอเตอร์ขับเคลื่อนขับเคลื่อนขึ้น-ลง

หาพื้นที่หน้าตัดของตัวหุ่นยนต์ด้านบน



รูปที่ 4 พื้นที่ในการคำนวณแรงต้านการเคลื่อนที่ไปในแนวดิ่ง

เมื่อ

พื้นที่ A_5 = 0.043 m^2

พื้นที่ A_6 = 0.058 m^2

พื้นที่ A_7 = 0.012 m^2

พื้นที่ A_8 = 0.017 m^2

พื้นที่ A_9 = 0.014 m^2

พื้นที่ A_{10} = 0.029 m^2

ดังนั้นพื้นที่รวมที่ใช้ในการคำนวณ

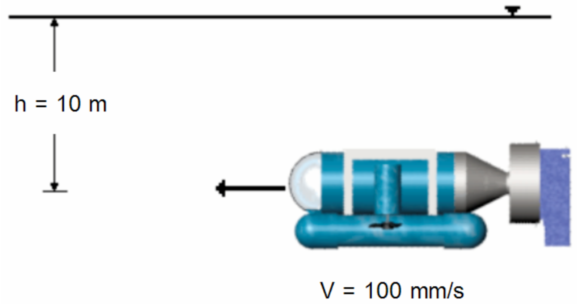
$$A_{total} = A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 + A_{10} = 0.00563 \ m^2$$

เมื่อคำนวณหาพื้นที่ทั้งหมดสามารถนำมาคำนวณหาแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นได้จากสมการ (3), (4) และ (5) ซึ่งจะได้ค่าแรงต่างๆ ดังนี้

1. แรงผลักของใบพัด	1.728	N
2. แรงบิดของใบพัด	0.104	N.m
3. กำลังของมอเตอร์ที่ต้องการ	0.015	HP

2.4 การคำนวณความดันที่กระทำต่อหุ่นยนต์

การคำนวณหาความดันที่กระทำต่อหุ่นยนต์ ได้ทำการออกแบบโดยให้หุ่นยนต์มีความสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 100 mm/s ที่ความลึก 10 m และนำค่าความดันและเงื่อนไขต่างๆ ไปทดสอบด้วยโปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์ เพื่อหาความปลอดภัยต่อตัวหุ่นยนต์ โดยจะดูเงื่อนไข ของความดันและความเค้นที่เกิดขึ้นกับหุ่นยนต์เป็นหลัก ซึ่งจากการเข้าโปรแกรมทางไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า ความเค้นและความดันที่เกิดขึ้นไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อหุ่นยนต์

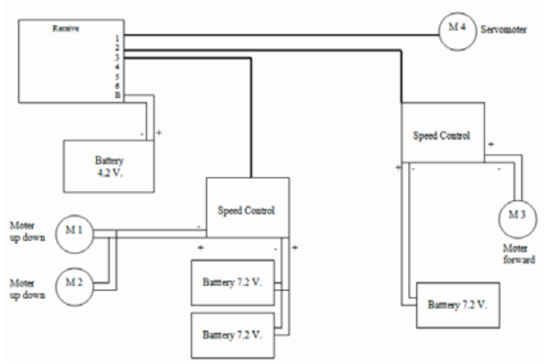


รูปที่ 5 เงื่อนไขของการคำนวณหาความดัน

3.หลักการทำงาน

การทำงานของหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ คือ เริ่มจากการต่อชุดควบคุมที่อยู่ภายในตัวของหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ ซึ่งประกอบด้วยตัวควบคุมไร้สาย ตัวรับสัญญาณ ตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์ มอเตอร์ แบตเตอรี่ และเซอร์โวมอเตอร์ซึ่งใช้ในการบังคับเลี้ยว (รูปที่ 6)

ตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์แบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดควบคุมมอเตอร์เดินหน้า-ถอยหลัง และชุดควบคุมมอเตอร์เคลื่อนที่ขึ้น-ลง โดยจากรูปที่ 6 มอเตอร์ M1 และ M2 ใช้สำหรับการขับเคลื่อนขึ้น-ลง ในแนวดิ่ง ส่วนมอเตอร์ M3 จะใช้ในการขับเคลื่อนเดินหน้า-ถอยหลัง และมอเตอร์ M4 จะใช้ในการขับเคลื่อนหางเสือให้เลี้ยวซ้าย-ขวา



รูปที่ 6 วงจรไฟฟ้าของหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ

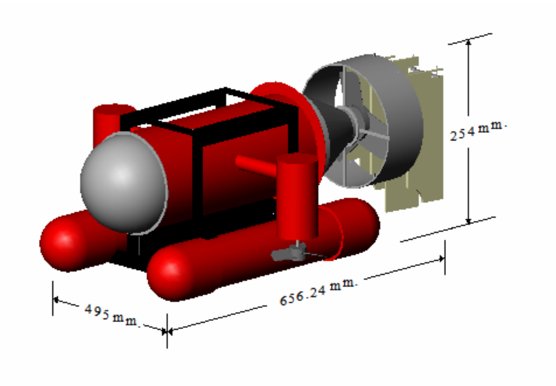
โดยชุดการทำงานของการเคลื่อนที่ขึ้น-ลงประกอบด้วยแบตเตอรี่ขนาด 7.2 V 2 ก้อน และมอเตอร์ 2 ตัว ขนาด 0.015 HP ในการเคลื่อนที่ขึ้นของหุ่นยนต์จะอาศัยแรงลอยตัวและ แรงขับจากมอเตอร์ ส่วนชุดควบคุมมอเตอร์เพื่อการเดินหน้า-ถอยหลัง ประกอบด้วยแบตเตอรี่ ขนาด 7.2 V 1 ก้อน และมอเตอร์ 1 ตัว ขนาด 0.013 HP

หลักการทำงานในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์คือ ตัวควบคุมไร้สายจะส่งสัญญาณไปที่ตัวรับสัญญาณ จากนั้นตัวรับสัญญาณจะส่งสัญญาณไปที่ตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์ ตัวควบคุมความเร็วมอเตอร์จะจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ไปยังมอเตอร์ทำให้ใบพัดทำงาน ทำให้เกิดการขึ้น-ลง หรือ เดินหน้าถอยหลัง โดยการเคลื่อนที่เดินหน้า-ถอยหลังจะอาศัยการทำงานของใบพัดด้านหลังของหุ่นยนต์ ในขณะที่การเคลื่อนที่ขึ้น-ลง จะ

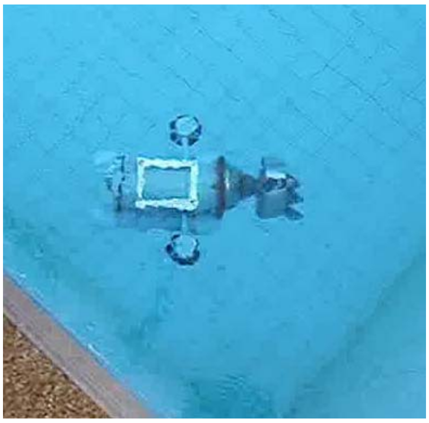
อาศัยการทำงานของใบพัดที่ติดด้านข้างลำตัวหุ่นยนต์ เซอร์โวมอเตอร์ทำหน้าที่บังคับการเคลื่อนที่โดยอาศัยการปรับการทำงานของหางเสือ

ในรูปที่ 7 แสดงรูปหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำต้นแบบพร้อมชุดควบคุมทิศทางที่สร้างขึ้น ซึ่งมีขนาด กว้าง ยาว สูง เท่ากับ 495 656 และ 254 mm ตามลำดับ (รูปที่ 8) และในรูปที่ 9 แสดงการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ขณะดำน้ำจริง

รูปที่ 7 หุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำพร้อม ชุดควบคุมทิศทาง



รูปที่ 8 ขนาดโดยรวมของหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ



รูปที่ 9 การทดสอบขณะที่หุ่นยนต์ดำน้ำ

4. การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 ระดับความลึกและระยะทางสูงสุดที่สามารถทำงานได้

หุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำสามารถรับสัญญาณและเคลื่อนที่ได้ที่ระดับความลึกสูงสุดคือ 3.5 m และระยะทางไกลในการควบคุมสูด 23 m

4.2 การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและถอยหลังที่ระดับความลึกต่าง ๆ

ที่ระดับผิวน้ำหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ด้วยความเร็วเฉลี่ย 68.8 mm/s และเคลื่อนที่ถอยหลังได้ด้วยความเร็วเฉลี่ย 61.1 mm/s

ที่ระดับความลึกของน้ำเป็น 0.5 m หุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ด้วยความเร็วเฉลี่ย 59.6 mm/s และเคลื่อนที่ถอยหลังได้ด้วยความเร็วเฉลี่ย 57.8 mm/s

ทีระดับความลึกของน้ำเป็น 1.0 m หุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ด้วยความเร็วเฉลี่ย 55.2 mm/s และเคลื่อนที่ถอยหลังได้ด้วยความเร็วเฉลี่ย 52.4 mm/s

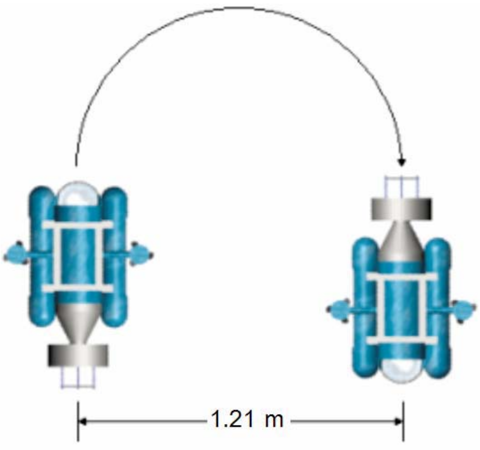
การรับส่งสัญญาณพบว่า หุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำจะสามารถรับ-ส่งสัญญาณและเคลื่อนที่ได้ดีที่ความลึกระดับ 1 m และไม่สามารถเคลื่อนที่หรือรับส่งสัญญาณที่ระดับความลึกเกิน 3.5 m ได้

4.3 การเคลื่อนที่ขึ้นและลง

หุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำสามารถเคลื่อนขึ้นด้วยความเร็วเฉลี่ย 224.6 mm/s และเคลื่อนที่ลงด้วยความเร็วเฉลี่ย 169.3 mm/s

4.4 ขนาดวงเลี้ยวแคบสุด

หุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำระยะมีวงเลี้ยวแคบสุดเท่ากับ 1.21 m ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 วงเลี้ยวแคบสุดของหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ

4.5 การทดสอบระยะเวลาการใช้งาน

หุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำสามารถทำงานได้นานต่อเนื่องเป็นระยะเวลาประมาณ 30 นาที ต่อการประจุแบตเตอรี่ 1 ครั้ง (ใช้เวลาในการบรรจุประมาณ 30 นาทีต่อครั้ง)

5. สรุปผลการทดลอง

การออกแบบและสร้างหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำนี้เป็นแนวทางในการพัฒนาหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ เพื่อสามารถนำไปใช้ในสภาพงานจริงได้ โดยมีตัวหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำมีน้ำหนัก 15.5 kg มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.165 m มีมิติด้านกว้าง 0.495 m ด้านยาว 0.656 m ด้านสูง 0.254 m หุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำสามารถทำงานที่ความลึกสูงสุด 3.5 m และระยะทางควบคุมไกลสุด 23 m ความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้น 224.6 mm/s และความเร็วในการเคลื่อนที่ลงเป็น 169.3 mm/s ที่ระดับผิวน้ำสามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็ว 68.8 mm/s และเคลื่อนที่ถอยหลังด้วยความเร็ว 61.1 mm/s ที่ระดับความลึก 1.0 m สามารถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็ว 55.2 mm/s และเคลื่อนที่ถอยหลังด้วยความเร็ว 52.4 mm/s มีวงเลี้ยวแคบสุด 1.21 m และสามารถทำงานได้เป็นเวลานานประมาณ 30 นาที อย่างต่อเนื่องต่อการชาร์ตแบตเตอรี่ 1 ครั้ง (ใช้เวลาในการบรรจุประมาณ 30 นาทีต่อครั้ง)

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณวิสิฏ เลิศสิริถาวร คุณอธิปัตย์ ผ่องบุพกิจ และคุณอานุภาพ อดุลย์เดช ที่เอื้อเฟื้อในการเก็บข้อมูลการทดสอบหุ่นยนต์สำรวจใต้น้ำ

7. เอกสารและสิ่งอ้างอิง

[1] บัญญัติ นิยมวาส. 2548 แรงพยุงและเสถียรภาพของการลอยตัว. **Mechanical Technology**. 4(44) : 81-84.ธีรยุทธ ชาติชนะยืนยง. 2548. “ชาละวัน” หุ่นยนต์อัตโนมัติใต้น้ำแบบไทยประดิษฐ์. **RC Racing**. 1(11) : 40-42.

[2] ไชยชาญ หินเกิด. **เครื่องกลไฟฟ้า เล่ม 1**. พิมพ์ครั้งที่ 10 กรุงเทพมหานคร, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

[3] สุนันท์ ศรัณยนิตย์ **กลศาสตร์ของไหล**. กรุงเทพมหานคร, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2536.

[4] Bruce R. Munson, Donald F. Young And Theodore H. Okiishi. **FUNDAMENTALS OF FLUID MECHANICS** 4 **th edition**. Singapore, John Wiley & Sons (ASIA) Pte Ltd. 2002.