

บทที่ 4

การทดลอง

ในบทนี้เป็นการทดสอบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้น้ำที่ได้จากการออกแบบเพื่อศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการออกแบบและปัญหาจากระบบควบคุมและเพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้งานเซนเซอร์ชนิดต่างๆให้ได้ประสิทธิภาพดีและระบุปัญหาที่เกิดขึ้นและ เพื่อนำปัญหาดังกล่าวมาแก้ไขและปรับปรุงให้ตัวหุ่นยนต์ดำน้ำมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

4.1 การทดสอบและผลการทดสอบ

ทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่จะเกิดขึ้นและรวบรวมข้อมูลในการปฏิบัติงาน เพื่อสนับสนุนความรู้ทางด้านทฤษฎีและเพื่อทดสอบการทำงานของอุปกรณ์แต่ละส่วนและการทำงานของร่วมกันของอุปกรณ์ทั้งหมด

4.1.1 ทดสอบการรั่วซึม

ทำการป้องกันการรั่วของฝาครอบถังทั้งสองด้านด้วยโอริงสองชั้น และทำการขันอัดด้วยสกรูในส่วนของ คอนเนคเตอร์และฟิตดิงใช้เทปพันเกลียวแล้วขันอัด โอริงด้วยแหวนและสกรูนำตัวถังเก็บแก๊สลงจุ่มไปแช่ไว้ในระดับน้ำลึก 2 เมตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมงจากนั้นนำถังเก็บแก๊สจุ่มขึ้นมาตรวจสอบการรั่วซึม



รูปที่ 4.1 การทดสอบการรั่วซึม

4.1.2 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์วัดความดัน

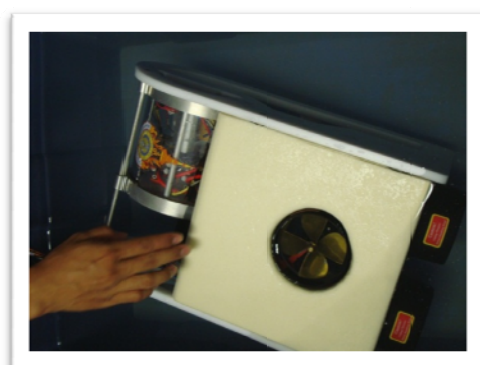
ทำการต่ออุปกรณ์วัดความดันกับตัวถังและส่งข้อมูลมายังบอร์ดควบคุมภายในแล้วจึงทำการประกอบตัวถังเก็บแผงวงจรควบคุมภายในและทำการผูกเชือกพร้อมกับถ่วงน้ำหนักแล้วทำการทดสอบโดยการนำเอาไปหย่อนลงในน้ำแล้วสังเกตผลที่ได้



รูปที่ 4.2 การทดสอบอุปกรณ์วัดความดัน

4.1.3 ทดสอบแรงลอยตัวและเสถียรภาพ

จากปฏิบัติงานพบว่าแรงเนื่องจากน้ำหนักมากกว่าแรงลอยตัวและตัวหุ่นอยู่ในสถานะไม่สมดุล จึงทำการคำนวณปริมาตรของโฟมแล้วทำการตัดโฟมโดยตัดโฟมให้มีปริมาตรมากกว่าที่คำนวณเอาไว้เล็กน้อยจากนั้นทำการประกอบโฟมเข้ากับตัวหุ่นยนต์ดำน้ำและทำการถ่วงน้ำหนักให้ตัวหุ่นอยู่ในสถานะที่สมดุลจากนั้นจึงตรวจที่โฟมว่าตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้หน้านั้นลอยปริ่มน้ำพอดีหรือไม่หากไม่พอดีจึงทำการตะไบโฟมออกอีกเล็กน้อย



รูปที่ 4.3 การทดสอบแรงลอยตัวและเสถียรภาพ

4.1.4 การทดสอบมอเตอร์ขับเคลื่อน

จากการทดสอบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้้นำเบื้องต้นปัญหาที่พบคือมอเตอร์ขับเคลื่อนหยุดทำงานโดยไม่ทราบสาเหตุ จากการสันนิษฐานเบื้องต้นอาจเกิดจากปัญหาเรื่องกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ขับเคลื่อนเนื่องจากมอเตอร์ขับเคลื่อนมีกำลังค่อนข้างเยอะ ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบโดยการวัดค่าความต่างศักย์และกระแสตรงจุดเชื่อมต่อสายไฟที่ส่งกระแสไปยังมอเตอร์ขับเคลื่อนทั้ง 3 ตัว โดยที่บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ส่งคำสั่งไปยังชุดควบคุมมอเตอร์ขับเคลื่อนโดยที่มอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์ที่ใช้กับมอเตอร์ขับเคลื่อนทั้งหนึ่งตัวและสองตัวมีค่าดีวีไอซีเคิล 66.667 เปอร์เซนต์ สำหรับตัวหุ่นเคลื่อนที่ไปข้างหน้ากับค่าลงได้น้ำและ 38.889 เปอร์เซนต์สำหรับตัวหุ่นเคลื่อนที่ถอยหลังกับค่าขึ้นสู่ผิวน้ำ (มอเตอร์ขับเคลื่อนจะไม่ทำงานเมื่อค่าดีวีไอซีเคิลเท่ากับ 50 เปอร์เซนต์) ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความต่างศักย์และกระแสกับจำนวนมอเตอร์ที่ทำงานความต่างศักย์ 12 โวลต์

จำนวนมอเตอร์ขับเคลื่อนที่ทำงาน	ความต่างศักย์ (โวลต์)	กระแส(แอมแปร์)	ผลการทำงานของมอเตอร์
1	11.9	3.3	มอเตอร์ทำงานปกติ
2	9.3	15.6	มอเตอร์หยุดทำงาน

ตารางที่ 4.2 ความต่างศักย์และกระแสกับจำนวนมอเตอร์ที่ทำงานความต่างศักย์ 24 โวลต์

จำนวนมอเตอร์ขับเคลื่อน	ความต่างศักย์ (โวลต์)	กระแส(แอมแปร์)	ผลการทำงานของมอเตอร์
1	24.2	6.68	มอเตอร์ทำงานปกติ
2	21.9	20.21	มอเตอร์หยุดทำงาน

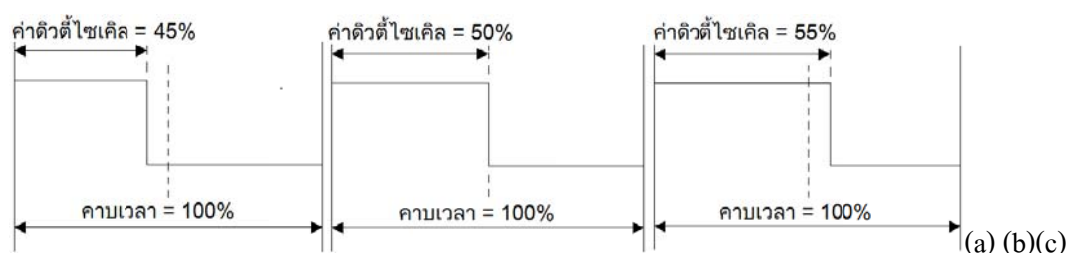
จากการทดสอบดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเมื่อมอเตอร์ขับเคลื่อนสองตัวทำงานพร้อมกันใช้กระแสค่อนข้างเยอะกว่ามอเตอร์ขับเคลื่อนเพียงหนึ่งตัวซึ่งเมื่อมอเตอร์ขับเคลื่อนสองตัวทำงานพร้อมกันจะใช้กระแสค่อนข้างเยอะทำให้ความต่างศักย์ลดลงและประกอบกับสายไฟที่ส่งกระแสไปยังมอเตอร์ขับเคลื่อนมีขนาดเล็กส่งกระแสได้เพียง 10 แอมแปร์ จึงไม่เพียงพอที่จะให้มอเตอร์ขับเคลื่อนสองตัวทำงานพร้อมกันที่ค่าดีวีไอเซลเท่ากับ 66.667 เปอร์เซ็นต์ และ 38.889 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงแก้ปัญหาโดยการลดค่า ดีวีไอเซลเหลือ 55 เปอร์เซ็นต์ และ 45 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้มอเตอร์ขับเคลื่อนสองตัวทำงานได้พร้อมกัน



(a) (b)(c)

รูปที่ 4.4 การทดสอบมอเตอร์ขับเคลื่อน

- (a) โดยทำการวัดความต่างศักย์และกระแส
- (b) โดยให้มอเตอร์ขับเคลื่อนทำงานหนึ่งตัว
- (c) โดยให้มอเตอร์ขับเคลื่อนทำงานสองตัว

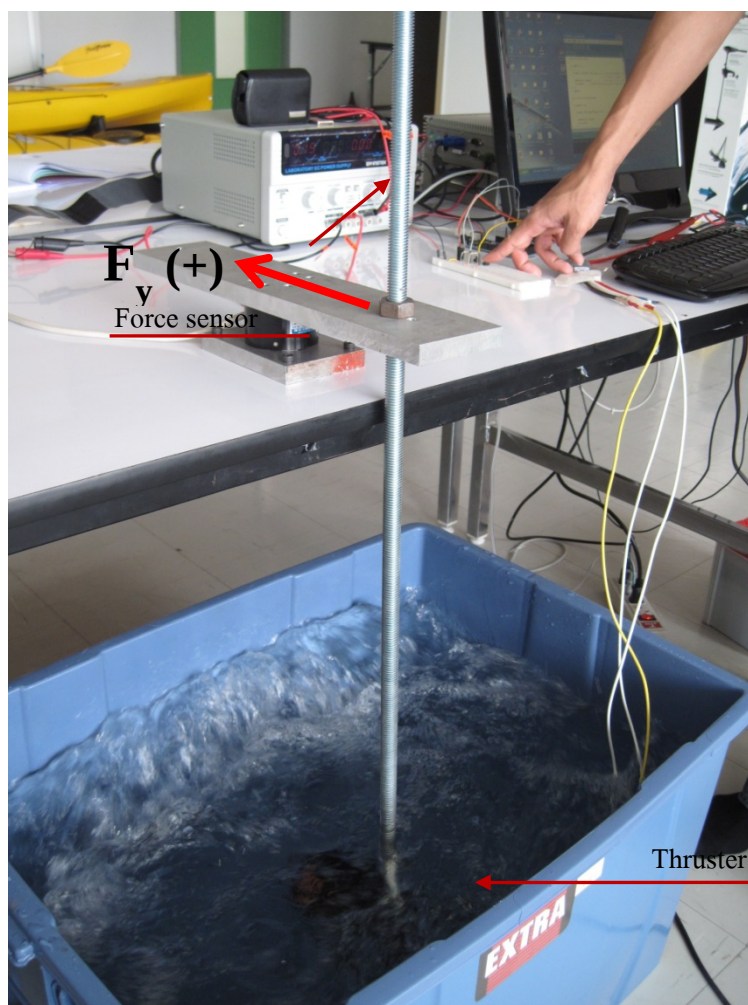


รูปที่ 4.5 มอดูเลชันทางความกว้างของพัลส์

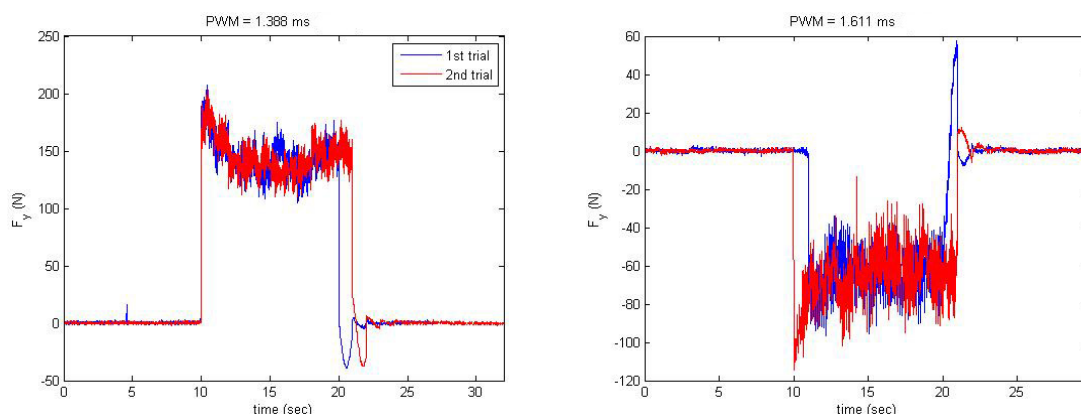
- (a) ค่าดีวีไอเซล 45 เปอร์เซ็นต์
- (b) ค่าดีวีไอเซล 50 เปอร์เซ็นต์
- (c) ค่าดีวีไอเซล 55 เปอร์เซ็นต์

4.1.5 การวัดแรงขับเคลื่อนจากมอเตอร์ขับเคลื่อน

การวัดแรงขับเคลื่อนหรือแรงผลักจากมอเตอร์ขับเคลื่อน(flow thruster) เพื่อให้ทราบถึงขนาดของแรงที่จะใช้ในการควบคุมยานดำน้ำ แรงผลักที่ได้จากมอเตอร์ รุ่น High Flow 400 HFS ที่มีอัตราทดเกียร์ 4.28:1 นั้นจะถูกวัดด้วยเซนเซอร์วัดแรงแบบ 3 แกน เมื่อให้ช่วงคำสั่งแบบ PWM ของมอเตอร์ที่แตกต่างกันไป แกนอ้างอิงของมอเตอร์ขับเคลื่อนที่ใช้ในการทดสอบ แสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงแรงผลักในแกน y ของมอเตอร์ที่มีค่าเป็นบวกและค่าเป็นลบเมื่อป้อน สัญญาณ PWM ในช่วง [1-1.5] มิลลิวินาทีหรือมีดิวตี้ไซเคิลอยู่ในช่วง [0-50%] และในช่วง [1.5-2.0]มิลลิวินาที หรือมีดิวตี้ไซเคิลอยู่ในช่วง [50-100%]



(ก) (ข)

รูปที่ 4.7 (ก)แรงในแกน y จากมอเตอร์ในทิศบวก

เมื่อ PWM=1.388ms

(ข)แรงในแกน y จากมอเตอร์ในทิศลบ

เมื่อ PWM= 1.611 ms

ตามลำดับผู้ปฏิบัติงานสามารถควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ด้วยปุ่มสวิตช์ 2 ปุ่ม โดยมีการเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ที่สร้างสัญญาณ PWM ที่จ่ายให้แก่ชุดขับมอเตอร์ รุ่น Hydra-120 เพื่อควบคุมความเร็ว ชุดการทดลองสำหรับการวัดแรงของมอเตอร์ได้ติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 4.7 แรงผลักรที่เป็นบวก($+F_y$) และที่เป็นลบ($-F_y$) เมื่อให้สัญญาณ PWM คงที่อยู่ที่ 1.388 ms และคงที่อยู่ที่ 1.611ms จากการทดลองทั้งสองครั้งดังแสดงในรูปที่ 4.7 เมื่อมอเตอร์เริ่มทำงานที่เวลา 10 วินาทีก็จะทำการวัดแรงเพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของค่าแรงในช่วงที่หยุดนิ่งและในช่วงคำสั่งจากสัญญาณ PWM ที่คงที่ ซึ่งแสดงให้เห็นผลตอบสนองในช่วงเริ่มเคลื่อนที่และในช่วงหยุดการเคลื่อนที่

4.2 ความเร็วของตัวหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ

ในการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบเพื่อหาความเร็วของตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ น้ำในการเคลื่อนที่ได้ น้ำโดยที่มอเตอร์ขับเคลื่อนในแนวระนาบทำงานตามความเร็วรอบที่กำหนดไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์

ในที่นี้ทำการทดสอบโดยใช้เชือกที่มีความยาว 5 เมตร ผูกติดกับตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ น้ำเอาไว้แล้วให้ตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกับจับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.8 เมื่อตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ข้างหน้าจนสุดสายเชือกจึงทำการกดหยุดเวลา ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ

ครั้งที่	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ความเร่ง (เมตร/วินาที ²)
1	12.1	0.41	0.03
2	11.2	0.44	0.04
3	10.6	0.47	0.07
เฉลี่ย	11.3	0.44	0.04



รูปที่ 4.8 การทดสอบความเร็วการเคลื่อนที่ในแนวระนาบ

4.3 ความเร็วของตัวหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งโดยใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน

ในการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบเพื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งของตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ น้ำ โดยที่มอเตอร์ขับเคลื่อนในแนวดิ่งทำงานตามความเร็วรอบที่กำหนดในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยนำหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ น้ำ ไปทดสอบในสระว่ายน้ำที่มีระดับความลึก 1.5 เมตร แล้วให้ตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ น้ำ เคลื่อนที่ลงโดยใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนที่วางตัวในแนวดิ่งช่วยในการเคลื่อนที่ลงไปยังก้นสระพร้อมกับจับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่ง

ครั้งที่	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ลงในแนวระดับ (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ความเร่ง (เมตร/วินาที ²)
1	8.5	0.176	0.02
2	8.8	0.170	0.02
3	8.6	0.174	0.02
เฉลี่ย	8.6	0.173	0.02



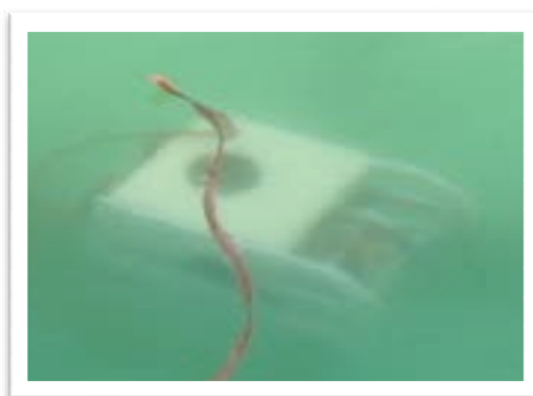
รูปที่ 4.9 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่ง

4.4 ความเร็วของตัวหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งเนื่องจากแรงลอยตัว

ในการทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบเพื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่งของตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้น้ำโดยใช้แรงลอยตัวช่วยในการเคลื่อนที่ขึ้นสู่ผิวน้ำโดยนำหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้น้ำไปทดสอบในสระว่ายน้ำที่มีระดับความลึก 1.5 เมตร แล้วกดตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้น้ำเอาไว้บริเวณพื้นสระว่ายน้ำแล้วทำการปล่อยให้ตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้น้ำเคลื่อนที่ขึ้นมาโดยใช้แรงลอยตัวพร้อมกับจับเวลา ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งผลการทดสอบที่ได้ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่ง

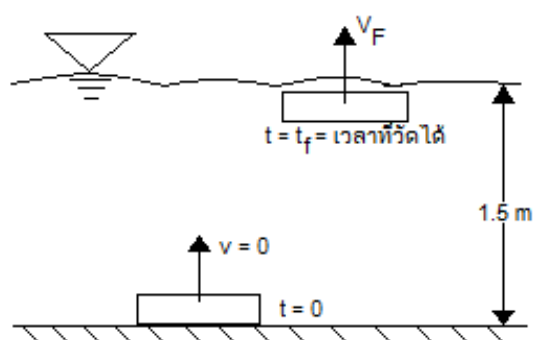
ครั้งที่	เวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวระดับ (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ความเร่ง (เมตร/วินาที ²)
1	6.4	0.23	0.03
2	6.2	0.24	0.03
3	5.8	0.25	0.04
เฉลี่ย	6.1	0.24	0.03



รูปที่ 4.10 การทดสอบความเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวดิ่ง

4.5 ตัวอย่างการคำนวณ

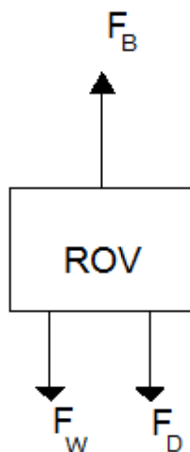
การคำนวณหาค่าความเร็วทางทฤษฎีใน



รูปที่ 4.11 แผนภาพการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง

แผนภาพวัตถุอิสระของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ใต้น้ำ

โดยมีแรงลอยตัว F_B ชี้นขึ้น และแรงต้านการเคลื่อนที่ F_D และน้ำหนัก F_W ในทิศชี้ลงดังแสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แผนภาพวัตถุอิสระของหุ่นยนต์ดำน้ำ

สมดุลแรงในแนวแกน Y

จาก
$$F \uparrow = m \frac{dV}{dt}$$

แทนค่าสมการ
$$F_B - F_W - F_D = m \frac{dV}{dt}$$

- แรงลอยตัว

$$F_B = \rho g V$$

$$F_B = \rho g (V_S + V_C + V_T)$$

เมื่อ ρ_w คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

g คือ ความเร็วเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (เมตร/วินาที²)

V_S คือ ปริมาตรที่น้ำถูกแทนที่ด้วยโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์ (ลูกบาศก์เมตร)

V_C คือ ปริมาตรที่น้ำถูกแทนที่ด้วยถังเก็บวงจรควบคุม (ลูกบาศก์เมตร)

V_T คือ ปริมาตรที่น้ำถูกแทนที่ด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อน (ลูกบาศก์เมตร)

จากสมการ
$$F_B = \rho_w g (V_S + V_C + V_T)$$

$$F_B = 1000 \times 9.81 [(4.90 \times 10^{-3}) + (2.65 \times 10^{-3}) + (1.30 \times 10^{-4})]$$

$$F_B = 75.37 \text{ นิวตัน}$$

- แรงเนื่องจากน้ำหนัก

$$F_w = mg$$

เมื่อ m คือ มวลของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ น้ำที่ได้จากการวัดจริง (กิโลกรัม)

g คือ ความเร็วเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก (เมตร/วินาที²)

$$F_w = mg$$

$$F_w = 7.55 \times 9.81$$

$$F_w = 74.06 \text{ นิวตัน}$$

- แรงต้านการเคลื่อนที่

$$F_D = \frac{1}{2} \rho A C_D V^2$$

เมื่อ ρ_w คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่ปะทะกับน้ำ (ตารางเมตร)

C_D คือ สัมประสิทธิ์แรงต้าน

V คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ (เมตร/วินาที)

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_w A C_D V^2$$

$$F_D = \frac{1}{2} \times 1000 \times \{ (0.15 \times 0.15 \times 0.64) + [(0.26 \times 0.27 \times 1) - (\frac{\pi}{4} \times 0.1^2)] \} \times V^2$$

$$F_D = 38.373 V^2$$

ดังนั้น จะได้สมการ

$$\rho_w g V - mg - \frac{1}{2} \rho_w A C_D V^2 = m \frac{dV}{dt}$$

กำหนดให้

$$W_{รวม} = \rho_w g V - mg$$

จะได้

$$W_{รวม} - BV^2 = m \frac{dV}{dt} = mV \frac{dV}{dS} \quad \text{โดยที่ } B = \frac{1}{2} \rho_w C_D A$$

$$dS = \frac{m}{W_{รวม} - BV^2} dV$$

ทำการหาปริพันธ์ของสมการ

$$\int_0^S dS = \int_0^V \frac{m}{W_{รวม} - BV^2} dV$$

$$\int_0^S dS = \int_0^V \frac{m}{W_{รวม} - BV^2} \cdot \frac{dV^2}{2}$$

$$S - S_0 = \frac{m}{2} \int_0^V \frac{dV^2}{W_{รวม} - BV^2}$$

$$S - S_0 = -\left(\frac{m}{2B}\right) \ln \left| W_{รวม} BV^2 \right|_0^V$$

$$S - S_0 = -\left(\frac{m}{2B}\right) \ln \left| \frac{W_{รวม} - BV^2}{W_{รวม}} \right|$$

$$e^{\frac{-S \times 2B}{m}} = \frac{W_{รวม} - BV^2}{W_{รวม}}$$

ดังนั้น

$$V = \sqrt{\frac{W_{รวม}}{B} \left(1 - e^{\frac{-1.5 \times 2B}{m}}\right)}$$

แทนค่าสมการ

$$V = \sqrt{\frac{1.31}{38.373} \left(1 - e^{\frac{-1.5 \times 2 \times 38.373}{7.55}}\right)}$$

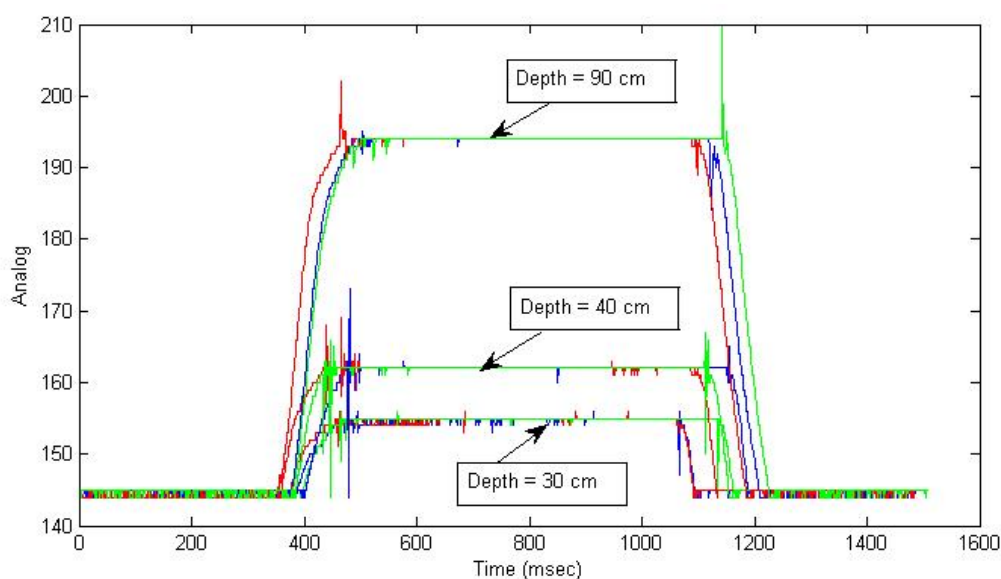
$$V = 0.185 \text{ เมตร/วินาที}$$

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบความเร็วทางทฤษฎีกับความเร็วที่ได้จากการทดสอบ

ครั้งที่	ความเร็วทาง ทฤษฎี	เวลาที่ใช้ในการ เคลื่อนที่ขึ้นใน แนวระดับ (วินาที)	ความเร็ว (เมตร/วินาที)	ค่าความคลาด เคลื่อน (เปอร์เซ็นต์)
1	0.18	6.4	0.23	27.78
2	0.18	6.2	0.24	33.33
3	0.18	5.8	0.25	38.89

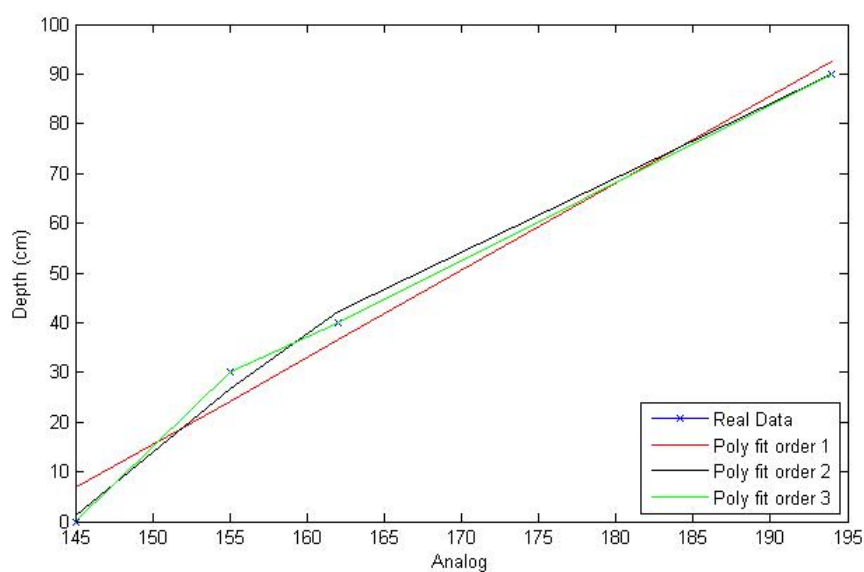
4.6 การทดสอบอุปกรณ์วัดความดัน

ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อทดสอบการทำงานและหาค่าความเที่ยงตรงของเซนเซอร์ความดันในน้ำ โดยถังเก็บแพลงก์ตอนจะมีเซนเซอร์วัดความดันติดตั้งอยู่ภายใน เมื่อนำถังเก็บแพลงก์ตอนดังกล่าวลงในน้ำที่ระดับความลึก 30, 40 และ 90 เซนติเมตร โดยในแต่ละระดับความลึกจะทดสอบ 3 ครั้ง ซึ่งผลการทดสอบจะได้ออกมาดังกราฟในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กราฟการทดสอบเพื่อหาค่าความเที่ยงตรงของเซนเซอร์ความดัน

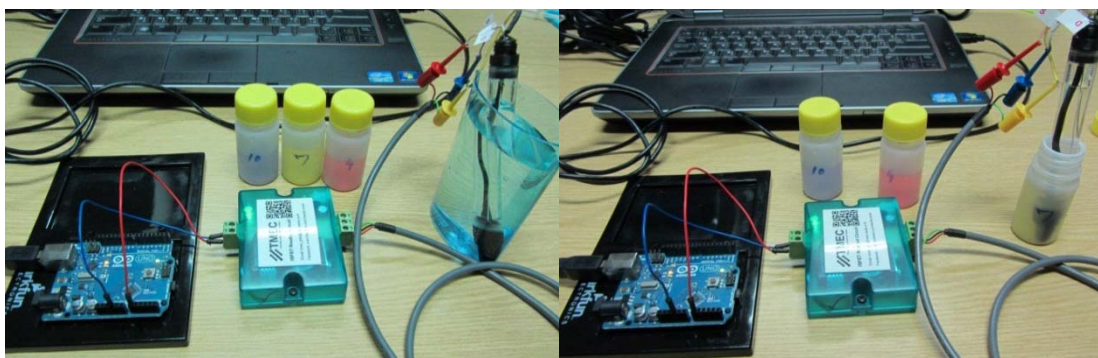
ซึ่งกราฟในรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าสัญญาณอนาล็อกที่เซนเซอร์ความดันส่งออกมาที่ระดับความลึก มีค่าค่อนข้างเที่ยงตรงในแต่ละระดับความลึก เมื่อนำค่าสัญญาณอนาล็อกที่ได้แต่ละระดับความลึกมาทำการพล็อตกราฟเพื่อหาค่าความเที่ยงตรงเครื่องมือวัดโดยใช้สมการโพลิโนเมียลอันดับที่ 1, 2 และ 3 จะแสดงดังในรูปที่ 4.14 โดยที่สมการโพลิโนเมียลอันดับที่ 3 มีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าอนาล็อกที่ได้จากการทดสอบ



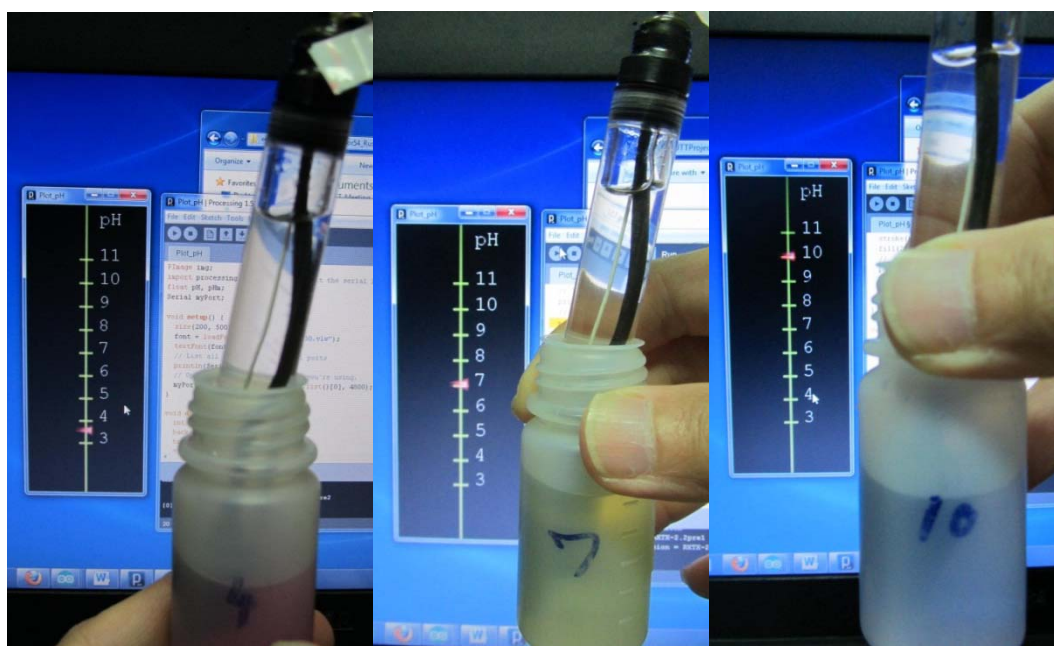
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงค่าความเที่ยงตรงเครื่องมือวัดโดยใช้สมการโพลิโนเมียล

4.7 การทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์ชนิด ISFET

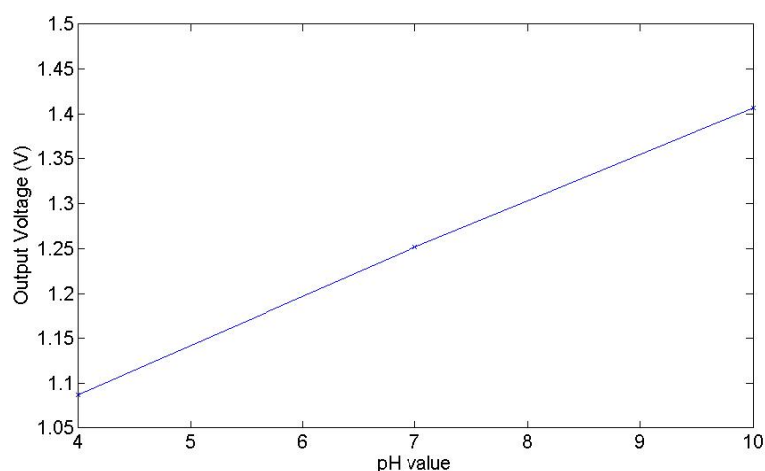
ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์ชนิด ISFET เพื่อวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างของสารละลายมาตรฐานที่ได้เตรียมขึ้นจากสารเคมีที่รู้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างที่แน่นอนสามค่า คือ เป็นกรด ($\text{pH} = 4$), เป็นกลาง ($\text{pH} = 7$), เป็นด่าง ($\text{pH} = 10$) หลังจากที่ได้จุ่มเซนเซอร์ ISFET ลงในสารละลายแต่ละชนิดต้องทำการล้างสารละลายที่ตกค้างด้วยน้ำสะอาดก่อนนำไปจุ่มลงในสารละลายชนิดต่อไป และได้ใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นด้วยโปรแกรม processing เพื่อแสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่างแบบ real time บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ จากรูปที่ 4.16 แสดงการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างด้วยเซนเซอร์ชนิด ISFET ซึ่งผลที่อ่านได้มีค่าแม่นยำตรงตามค่า pH ของสารละลายแต่ละชนิด ในรูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซนเซอร์ชนิด ISFET กับค่า pH เพื่อใช้ช่วยในการแปลงค่าในโปรแกรมของบอร์ด Arduino



รูปที่ 4.15 การทดสอบเซนเซอร์ ISFET เพื่อใช้ในการวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่างผ่านบอร์ด Arduino



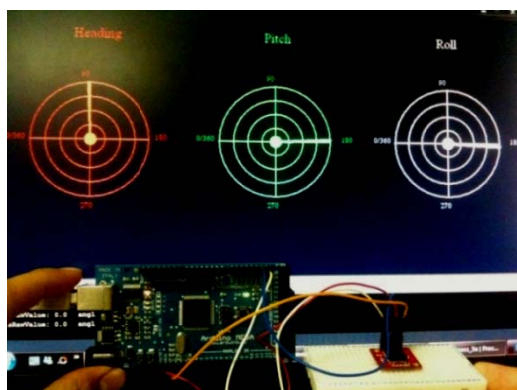
รูปที่ 4.16 การวัดค่า pH ด้วยเซนเซอร์ชนิด ISFET ของสารละลายสามชนิดที่มีค่า $\text{pH} = 4, 7, 10$



รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ที่วัดได้จากเซนเซอร์ชนิด ISFET กับค่า pH

4.8 การทดสอบเข็มทิศและพัฒนาโปรแกรมเพื่อบอกทิศทางการหันเห

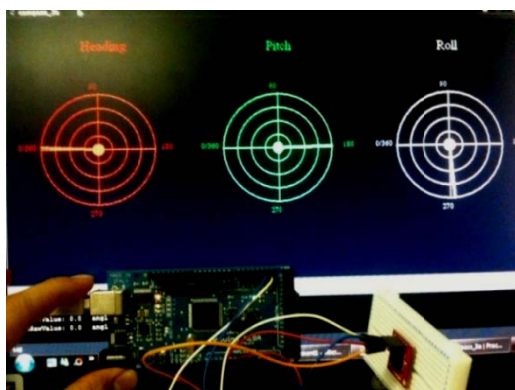
เข็มทิศชนิด 3 แกนที่ติดตั้งอยู่ในตัวยานดำน้ำทำให้ผู้ใช้สามารถประมาณค่าความเอียงของยานดำน้ำที่อยู่ใต้น้ำได้ ระบบการส่งสัญญาณของเข็มทิศได้ส่งข้อมูลผ่านพอร์ต I²C ไปยังตัวรับคือบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยและนำค่าที่ได้จากเซนเซอร์เข็มทิศนั้นมา ประมวลผลโดยโปรแกรมกราฟฟิก เพื่อความเข้าใจต่อผู้



รูปที่ 4.18 โปรแกรมภาพที่แสดงมุมเริ่มต้น Roll, Pitch และYaw จากเข็มทิศดิจิทัล

ใช้งานได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อแสดงค่าองศาการหมุนของแต่ละแกนโดยมีสามวงที่แสดงองศาการกลิ้งในการหมุนรอบแกน(X) องศาปีกแล้วเงยในการหมุนรอบแกน(Y) และองศาการหันเหในการหมุนรอบแกน(Z) แสดงไว้สามภาพดังรูปที่ 4.18 โดยทิศทางหมุนให้อยู่ในระหว่าง 0 ถึง 360 องศา

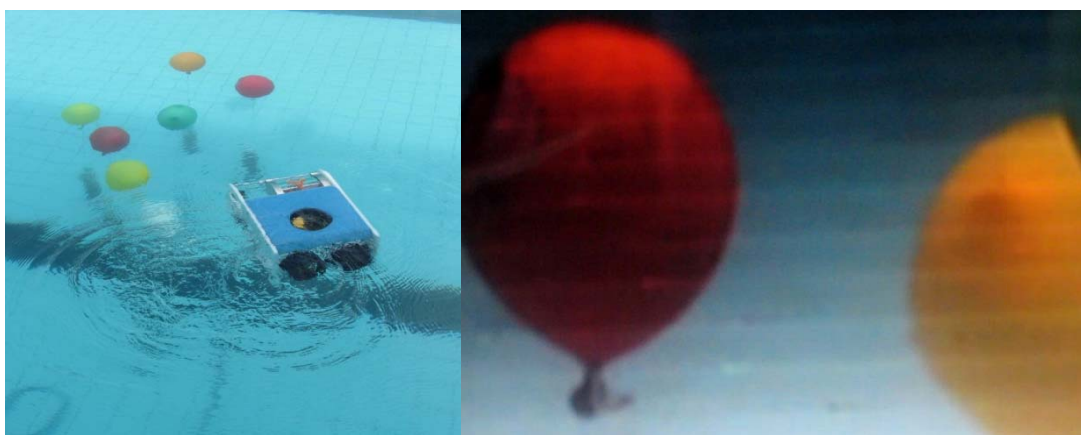
โดยการทดลองการทำงานของโปรแกรมบอกองศาการหันเหของเข็มทิศนี้ได้ทำการทดสอบดังนี้ คือเริ่มต้นจากตั้งให้เข็มทิศอยู่ในระนาบ และเริ่มทำการทดลองโดยได้หมุนเข็มทิศรอบแกน(Z) และรอบแกน(X) อย่างละ 90 องศา แสดงดังภาพที่ 4.19 ซึ่งเห็นได้ว่าเข็มทิศสามารถให้ข้อมูลถูกต้องและทิศทางการหมุนที่มีมุมมองสาขาคิดพลานน้อย



รูปที่ 4.19 เข็มทิศดิจิทัลหมุนในแกน Roll และYaw อย่างละ 90 องศา

4.9 ยานพาหนะใต้น้ำทดสอบสถานที่จริง

ยานดำน้ำควบคุมระยะไกลได้นำมาทำการทดลองในสระว่ายน้ำของมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรบุรีและทำการสอบภาพที่ได้จากกล้องวิดีโอ ผ่านสายไฟ 10 เมตรมายังจอคอมพิวเตอร์บนฝั่งริมสระน้ำซึ่งสามารถมองเห็นภาพจากยานดำน้ำได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การทดสอบกล้องวิดีโอเพื่อใช้ในการค้นหาและถ่ายภาพลูกบอลลอยในสระว่ายน้ำของมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรบุรี (ซ้าย) ภาพถ่ายจากกล้องวิดีโอที่นำมาแสดงผลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่ริมสระน้ำ (ขวา).