# บทที่ 3 องค์ประกอบของยานใต้น้ำขนาดเล็ก

เทคโนโลยีเกี่ยวกับยานใต้น้ำมีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้ง ระบบขับเคลื่อน (Thruster) ถูกพัฒนาให้สามารถป้องกันน้ำได้ดี เซ็นเซอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีการพัฒนาให้มีการตอบสนองที่รวดเร็วและมีความแม่นยำสูง การออกแบบ วิเคราะห์และควบคุมการทำงานของระบบมีโปรแกรมช่วยสนับสนุนให้สามารถกระทำได้ง่ายขึ้น ในบทนี้จะได้กล่าวถึง การพัฒนาระบบขับเคลื่อนยานใต้น้ำขนาดเล็ก การออกแบบตัวเรือและโครงสร้าง ระบบอิเล็กทรอนิกส์และการเชื่อมต่ออุปกรณ์ และโปรแกรมควบคุมการทำงานของยานใต้น้ำขนาดเล็ก

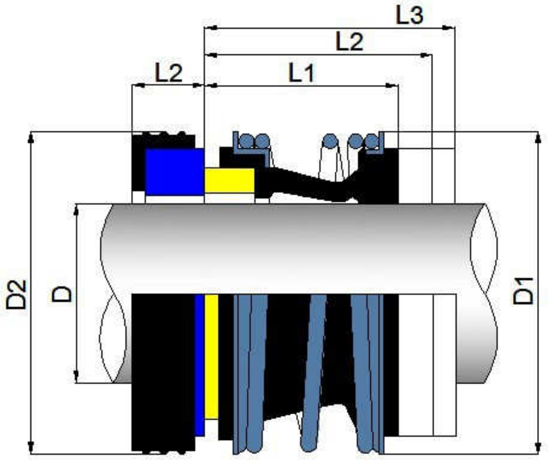
## 3.1 ระบบขับเคลื่อน (Thruster)

ระบบขับเคลื่อนของยานใต้น้ำเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยานใต้น้ำสามารถเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้ แต่เนื่องจากยานใต้น้ำต้องทำงานภายใต้น้ำลึก ดังนั้นระบบขับเคลื่อนจึงต้องมีการออกแบบพิเศษเพื่อให้สามารถป้องกันน้ำในขณะปฏิบัติงานได้ สำหรับวิธีการออกแบบมอเตอร์ป้องกันน้ำสามารถกระทำได้ใน 3 ลักษณะคือ

1) หลักการป้องกันน้ำด้วยซีลทางกล (mechanical seal)
2) หลักการป้องกันน้ำด้วยน้ำมัน (oil filled)
3) หลักการป้องกันน้ำด้วยคลัปปลิ้งแม่เหล็ก (magnetic coupling)

### 3.1.1 แมคคานิคอลซีลหรือซีลทางกล (Mechanical Seal)

แมคคานิคอลซีลหรือซีลทางกลเป็นอุปกรณ์ซีลกันรั่วชนิดหนึ่ง ซึ่งทำจากวัสดุหลายชนิด นำมาประกอบรวมกันเป็นชุด [37] ใช้สำหรับสวมใส่บนแกนเพลาตรงบริเวณห้องซีลของอุปกรณ์เพลาหมุนต่างๆ เพื่อป้องกันการรั่วซึมของของเหลวต่างๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ (water pump) เครื่องสูบแบบจุ่ม (submersible pump) เครื่องสูบแบบหอยโข่ง (centrifugal pump) เครื่องสูบสารเคมี (chemical pump) เครื่องสูบของเหลวอื่นๆ เครื่องผสม (mixer) เครื่องกวน (agitator) โดยได้รับการออกแบบทางวิศวกรรมมาเพื่อให้ใช้งานได้ตามข้อกำหนดของแต่ละรุ่น ดังนั้นผู้ใช้จึงควรมีความเข้าใจเกี่ยวกับข้อกำหนดของซีลทางกลชนิดต่างๆ ลักษณะการทำงานของเครื่องจักรอุปกรณ์ที่จะใช้ซีลทางกล ลักษณะและคุณสมบัติของของเหลวที่เกี่ยวข้อง รวมตลอดถึงสภาพสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่อาจเกี่ยวข้อง




**รูปที่ 3.1** ซีลทางกล (Mechanical seal)

**ลักษณะเด่นของซีลทางกล** คือ

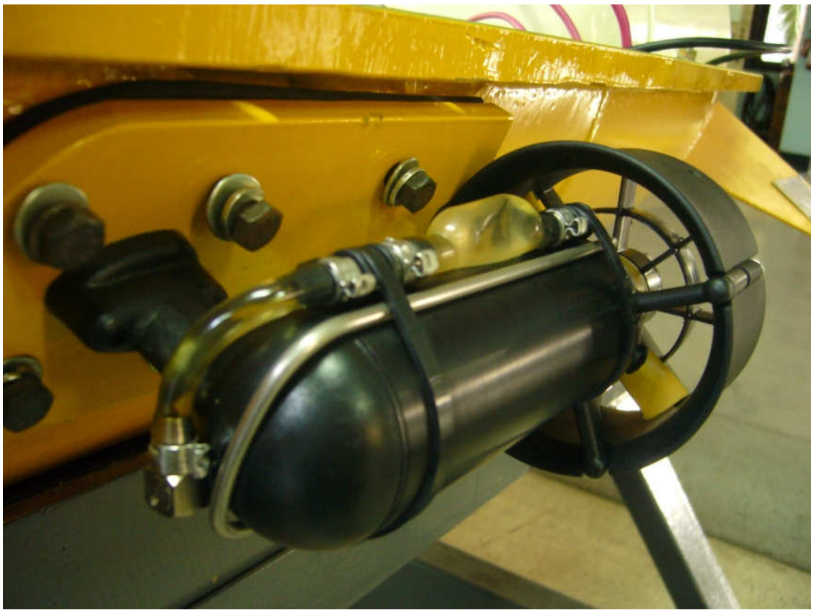
1) ไม่ต้องการบำรุงรักษามาก
2) มีอายุการใช้งานยาวนาน
3) มีประสิทธิภาพในการกันรั่วได้ดี
4) ไม่ทำให้เพลาเสียหาย

**สิ่งที่ต้องพิจารณาในการเลือกซีลทางกล (Mechanical Seal) ใช้งาน**

1) สภาพการหล่อลื่น (Lubrication Condition)
2) ความดันและความเร็ว (PV Factor)
3) อุณหภูมิ (Temperature)
4) คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ (Seal Material)

## 3.1.2 การป้องกันด้วยน้ำมัน (Oil filled)

เนื่องจากคุณสมบัติการไม่รวมตัวกันของน้ำและน้ำมัน เมื่อเราบรรจุน้ำมันเข้าไปในโครงของมอเตอร์แล้วจุ่มลงไปใต้น้ำ น้ำมันจะช่วยป้องกันไม่ให้น้ำย้อนเข้าไปภายในตัวของมอเตอร์ เทคนิคนี้มีหลายบริษัทได้นำไปออกแบบและผลิตขายกันอย่างแพร่หลาย



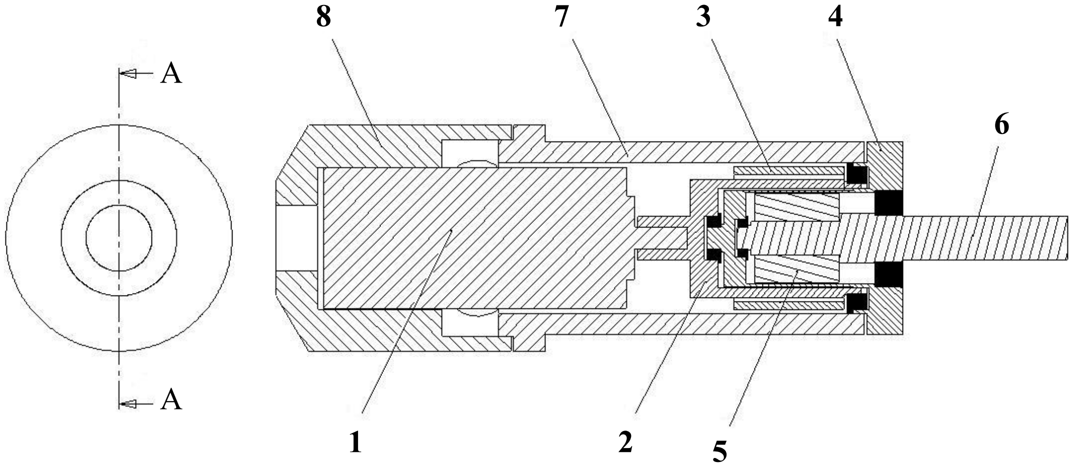
**รูปที่ 3.2** การป้องกันด้วยน้ำมันของชุดขับเคลื่อนจากบริษัท SeaBotix [38]

จากรูปที่ 3.2 เป็นระบบขับเคลื่อนที่ป้องกันด้วยน้ำมันที่ผลิตโดยบริษัท SeaBotix ซึ่งมีน้ำมันบรรจุอยู่ภายในโครงของมอเตอร์ ภายนอกมีกระเปาะน้ำมันที่มีความยืดหยุ่นตัว ทำหน้าที่ปรับความดันน้ำมันภายในมอเตอร์ให้ใกล้เคียงกับความดันน้ำภายนอกตามระดับความลึก ช่วยป้องกันน้ำเข้าภายในมอเตอร์ได้ บางครั้งจะใช้การป้องกันด้วยซีลทางกลร่วมกับการป้องกันด้วยน้ำมันทำให้สามารถป้องกันน้ำได้ดีขึ้น

### 3.1.3 คลัปปลิ้งแม่เหล็ก (Magnetic Coupling)

โดยปกติมอเตอร์ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานใต้น้ำ ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่จะใช้มอเตอร์เป็นตัวส่งกำลังสำหรับงานใต้น้ำโดยตรง ระบบขับเคลื่อน (Thruster) ของยานใต้น้ำที่กล่าวมาแล้วนั้นส่วนใหญ่เป็นระบบที่ใบพัดจะต่อเข้ากับเพลาหมุนที่เชื่อมต่อเข้ากับมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อใช้งานไปนานๆ เพลาและซีลมีการสึกหรอ ทำให้น้ำสามารถไหลตามแกนเพลาเข้าสู่ภายในได้ การป้องกันอีกวิธีหนึ่งทำได้โดยการส่งกำลังด้วยคลัปปลิ้งแม่เหล็ก [39] คลัปปลิ้งแม่เหล็กส่งกำลังจากมอเตอร์ไปยังใบพัดด้วยหลักการเหนี่ยวนำแม่เหล็กด้านส่งกำลังไปยังแม่เหล็กด้านรับกำลังโดยมีผนังบางกั้นระหว่างแม่เหล็กทั้งสองด้าน สามารถป้องกันไม่ให้น้ำเข้าภายในมอเตอร์ได้ จึงเป็นระบบที่สามารถป้องกันน้ำได้เป็นอย่างดี

### 3.1.3.1 หลักการทำงานและการออกแบบคลัปปลิ้งแม่เหล็ก (magnetic coupling)



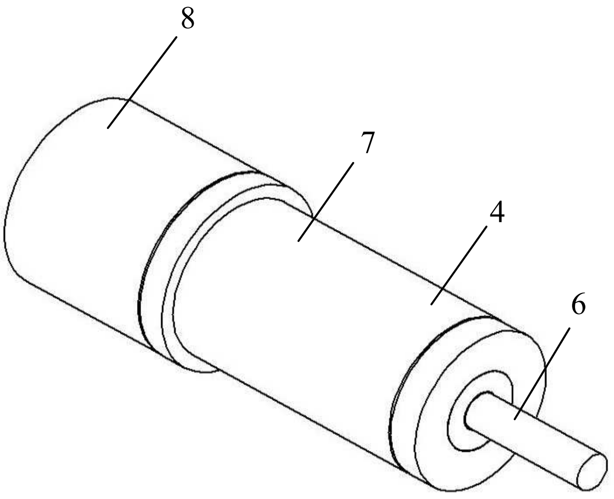

**รูปที่ 3.3** ส่วนประกอบคลัปปลิ้งแม่เหล็กในชุดขับเคลื่อน (Thruster)

รูปที่ 3.3 แสดงภาพส่วนประกอบของคลัปปลิ้งแม่เหล็ก ซึ่งประกอบด้วย มอเตอร์ (1), ชุดแม่เหล็กส่งกำลัง (2), ปลอกเหล็ก (3), ผนังกั้น (4), ชุดแม่เหล็กรับกำลัง (5), เพลา (6), โครงครอบกลาง (7), และฝาครอบท้าย (8)

มอเตอร์ (1) เป็นต้นกำลังของระบบ ซึ่งต่อเข้ากับชุดแม่เหล็กส่งกำลัง (2) ทำให้หมุนไปได้พร้อมกัน, ปลอกเหล็ก (3) สวมอยู่กับชุดแม่เหล็กส่งกำลัง (2) เพื่อควบคุมเส้นแรงแม่เหล็กไม่ให้กระจายออกไปมาก ทำให้สามารถส่งกำลังที่แรงบิดสูงขึ้น, ผนังกั้น (4) เป็นส่วนที่กั้นระหว่างชุดแม่เหล็กส่งกำลัง (2) กับชุดแม่เหล็กรับกำลัง (5) เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำจากด้านนอก (ด้านรับกำลัง) เข้าสู่ภายใน (ด้านส่งกำลัง), ชุดแม่เหล็กรับกำลัง (5) เป็นแม่เหล็กทรงกระบอกสวมอยู่ในผนังกั้น (4) ทำหน้าที่หมุนตามการเหนี่ยวนำของชุดแม่เหล็กส่งกำลัง (2), โดยมีเพลา (6) สำหรับต่ออยู่กับชุดแม่เหล็กรับกำลัง (5) เพื่อนำไปใช้งานตามต้องการ เช่น ต่อกับใบพัด หรือปั๊มน้ำเป็นต้น, สำหรับโครงครอบกลาง (7) ยึดติดกับผนังกั้น (4) และ ฝาครอบท้าย (8) เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้าด้านส่งกำลังโดยหลักการทำงานของคลัปปลิ้งแม่เหล็กคือ เมื่อมอเตอร์ (1) ทำงาน ชุดแม่เหล็กส่งกำลัง (2) จะหมุนไปพร้อมกับเพลาของมอเตอร์ เหนี่ยวนำให้ชุดแม่เหล็กรับกำลัง (5) หมุนตามและถ่ายทอดกำลังไปยังเพลา (6) เพื่อใช้งานต่อไป โดยมีลักษณะพิเศษคือ มีปลอกเหล็ก (3) สวมอยู่บนชุดแม่เหล็กส่งกำลัง (2) เพื่อเพิ่มความสามารถในการส่งกำลัง แรงบิดให้สูงขึ้น คลัปปิ้งแม่เหล็กนี้สามารถประยุกต์ใช้กับงานส่งกำลังใต้น้ำได้ดี เช่น กับใบพัดเรือ เรือดำน้ำ หุ่นยนต์ใต้น้ำ ปั๊มน้ำหรือของเหลวที่มีการกัดกร่อนและเป็นอันตราย

**3.1.3.2 ชุดขับเคลื่อน (Thruster) ต้นแบบ**

สำหรับยานใต้น้ำงานวิจัยนี้เป็นยานใต้น้ำขนาดเล็ก ใช้ชุดขับเคลื่อน (Thruster) 6 ตัวเพื่อให้สามารถควบคุมได้ทั้ง 6 องศาอิสระ (6 DOF) ชุดขับเคลื่อนต้นแบบได้พัฒนาขึ้นโดยหลักการการส่งกำลังด้วยคลัปปลิ้งแม่เหล็ก (magnetic coupling) เพื่อกันมอเตอร์จากน้ำ โดยใช้มอเตอร์กระแสตรงกำลัง 70 วัตต์ (ใช้ไฟ 36 โวลท์ 1.9 แอมแปร์) มีเอนโคดเดอร์สำหรับวัดความเร็วรอบ แรงขับที่ได้เกิดจากใบพัดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 5 นิ้ว

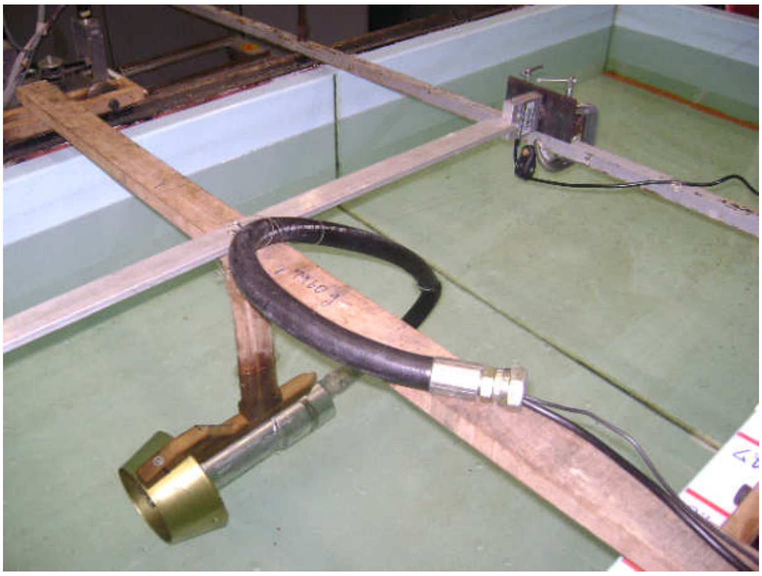



**รูปที่ 3.4** ภาพประกอบรวมของชุดขับเคลื่อน (Thruster)

**รูปที่ 3.5** ชุดกำลังขับเคลื่อนต้นแบบ

**3.1.3.3 การทดสอบหากำลังขับของชุดขับเคลื่อน (Thruster)**

หลังจากสร้างต้นแบบชุดขับเคลื่อนเสร็จ ทำการทดสอบหาแรงขับ โดยทำการทดสอบภายในอ่างน้ำ ขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 6 เมตร ลึก 50 เซนติเมตร วัดค่าแรงขับด้วยโหลดเซล (Load cell) ร่วมกับอุปกรณ์เชื่อมต่อของ NI Compact RIO เก็บบันทึกผลการทดลองด้วยโปรแกรม LabVIEW



**รูปที่ 3.6** การทดสอบหากำลังขับของชุดขับเคลื่อน (Thruster)

**รูปที่ 3.7** อุปกรณ์วัดและบันทึกผลด้วย Load cell และ NI CompactRIO

**รูปที่ 3.8** ควบคุมความเร็วและบันทึกผลการทดลองด้วยโปรแกรม LabVIEW

ต้นแบบชุดขับเคลื่อนถูกสร้างขึ้น 2 ลักษณะได้แก่ ชุดขับเคลื่อนในแนวนอน และชุดขับเคลื่อนในแนวดิ่ง โดยมีความแตกต่างเพียงการประกอบใบพัดและชุดครอบใบพัดเท่านั้น ซึ่งส่งผลให้แรงขับสำหรับการเคลื่อนที่ในแนวนอน ในทิศทางไปข้างหน้ามากกว่าทิศทางไปข้างหลัง สำหรับการดำขึ้นลงแนวดิ่งแรงขับในทิศทางดำลงมากกว่าในทิศทางลอยขึ้น ดังรูปที่ 3.9 แสดงชุดขับเคลื่อนในแนวนอน และรูปที่ 3.10 แสดงชุดขับเคลื่อนในแนวดิ่ง วิธีการทดลอง ทำโดยวัดความเร็วรอบของชุดขับเคลื่อนเทียบกับแรง ผลักที่วัดได้จากโหลดเซล การทดสอบหาแรงขับของชุดขับเคลื่อนทำการทดสอบ 4 รูปแบบได้ผลดังตารางที่ 3.1

**รูปที่ 3.9** ชุดขับเคลื่อนในแนวนอน

**รูปที่ 3.10** ชุดขับเคลื่อนในแนวดิ่ง

**ตารางที่ 3.1** สรุปค่าแรงขับสูงสุดของชุดขับเคลื่อนต้นแบบในทั้ง 4 ทิศทาง

| ชนิดของชุดขับเคลื่อน | ทิศทาง | ค่าแรงขับสูงสุด (นิวตัน; N) |
|---|---|---|
| ชุดขับเคลื่อนแนวนอน | ไปด้านหน้า | 13.83 |
| | ไปด้านหลัง | 7.01 |
| ชุดขับเคลื่อนแนวดิ่ง | ดำลึกลงใต้ผิวน้ำ | 11.55 |
| | ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ | 5.66 |

**3.1.3.4 สรุปผลการทดสอบวัดแรงขับของชุดขับเคลื่อนต้นแบบ**

จากผลการทดสอบ พบว่าชุดขับเคลื่อนแนวนอนสามารถสร้างแรงขับในทิศทางไปข้างหน้าได้สูงสุด 13.83 นิวตัน ในทิศทางถอยหลังได้ 7.01 นิวตัน สำหรับชุดขับเคลื่อนแนวดิ่งสร้างแรงขับในการดำลงได้สูงสุด 11.55 นิวตัน และแรงขับในการลอยขึ้น 5.66 นิวตัน

## 3.2 การออกแบบตัวเรือและโครงสร้าง

ลักษณะที่สำคัญของยานใต้น้ำคือต้องสามารถดำปฏิบัติงานภายใต้น้ำลึกได้อย่างปลอดภัย กรณีที่มีผู้โดยสารจะต้องรักษาทั้งปริมาตรและแรงดันให้คงสภาพไว้ที่ความดันบรรยากาศ ในการออกแบบโครงสร้างของยานใต้น้ำจำเป็นต้องคำนึงถึง น้ำหนักของตัวเรือ แรงลอยตัว ปริมาตรของตัวเรือ รูปทรง ระดับความลึกในการปฏิบัติงาน เพื่อเป็นข้อมูลในการออกแบบตัวเรือให้สามารถทนแรงดันน้ำที่ระดับความลึกปฏิบัติงานได้ รูปทรงของยานใต้น้ำจะต้องมีแรงต้านการเคลื่อนที่น้อยและใช้พลังงานขับเคลื่อนต่ำ

### 3.2.1 ความดันภายใต้น้ำลึก

แรงดันของของเหลวเกิดจากน้ำหนักของของเหลวที่กดทับอยู่ด้านบน ความดันจึงแปรผันตรงกับความหนาแน่นของของเหลวและระดับความลึกตามสมการ

$$p = \rho g h \tag{3.1}$$

โดยที่ $\rho$ คือค่าความหนาแน่นของของเหลว (น้ำจืด 997 $kg/m^3$ ,น้ำทะเล 1025 $kg/m^3$ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส)

$g$ คือค่าแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าเท่ากับ $g = 9.81\ m/s^2$

$h$ คือค่าความลึกของระดับน้ำ (m)

ซึ่งส่งผลให้ทุกๆ ความลึก 10 เมตร ความดันน้ำจะเปลี่ยนแปลงไปประมาณ 1 ความดันบรรยากาศ (101,325 $N/m^2$)

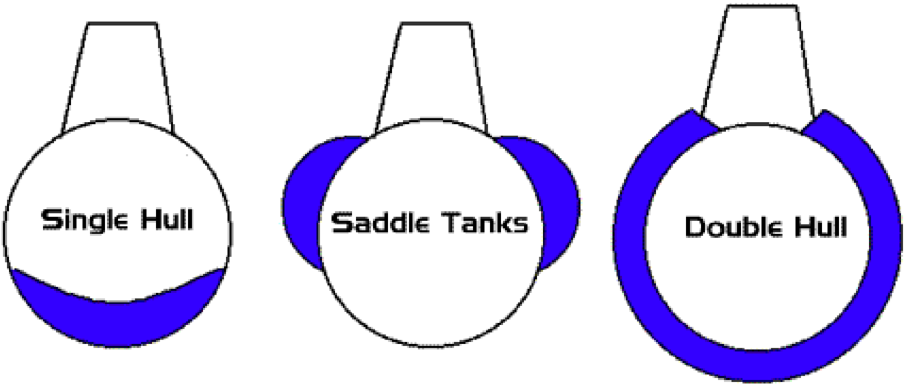
### 3.2.2 แรงลอยตัว

เรือดำน้ำลอยและจมได้ด้วยการปรับแรงลอยตัว ซึ่งแรงลอยตัวมีค่าเท่ากับน้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่ตามกฎแรงลอยตัวของอาร์คีมีดีส แรงลอยตัวนี้มีทิศตรงกันข้ามกับแรงโน้มถ่วงซึ่งพยายามดึงเรือให้จมลง เรือดำน้ำสามารถควบคุมขนาดของแรงลอยตัวได้ โดยจะให้ลอยอยู่ในระดับใต้น้ำลึกเท่าไรก็ได้ การควบคุมความลึกของยานใต้น้ำโดยทั่วไปสามารถทำได้ใน 3 ลักษณะได้แก่

1) การควบคุมความลึกด้วยถังแรงดัน (Ballast Tank)
2) การควบคุมความลึกด้วยครีบหรือปีก (Hydroplane)
3) การควบคุมความลึกด้วยชุดขับเคลื่อน (Thruster)

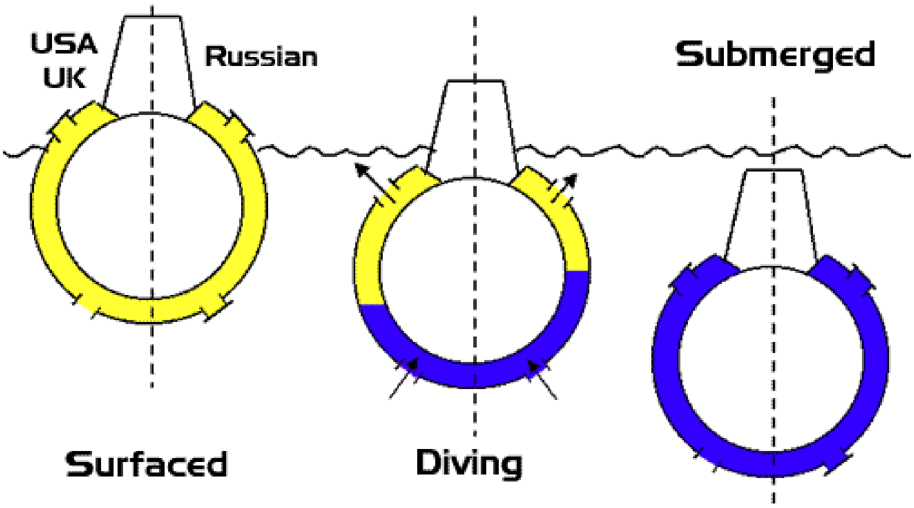
**3.2.2.1 การควบคุมความลึกด้วยถังแรงดัน (Ballast Tank)**

การควบคุมความลึกด้วยถังแรงดัน (Ballast Tank) เป็นวิธีการควบคุมความลึกแบบสถิต (Static Diving) [40] ใช้วิธีการปรับแรงลอยตัวของเรือดำน้ำ โดยการสูบน้ำเข้าหรือระบายน้ำออกจากถังบัลลาสต์หลัก (main ballast tank; MBT) รูปแบบการติดตั้งถังบัลลาสต์ทำได้ 3 แบบ คือ 1) ติดตั้งภายในลำตัวของเรือ 2) ติดตั้งถังด้านนอกตัวเรือ 3) ติดตั้งระหว่างผิวด้านนอกตัวเรือกับตัวเรือ รูปที่ 3.11 แสดง 3 รูปแบบของระบบถังบัลลาสต์ ข้อเสียของการติดตั้งถังในตัวเรือก็คือจะมีพื้นที่ใช้สอยน้อยลง เป็นรูปแบบเรือดำน้ำที่พบได้ในเรือก่อนยุคสงครามโลกครั้งที่ 1



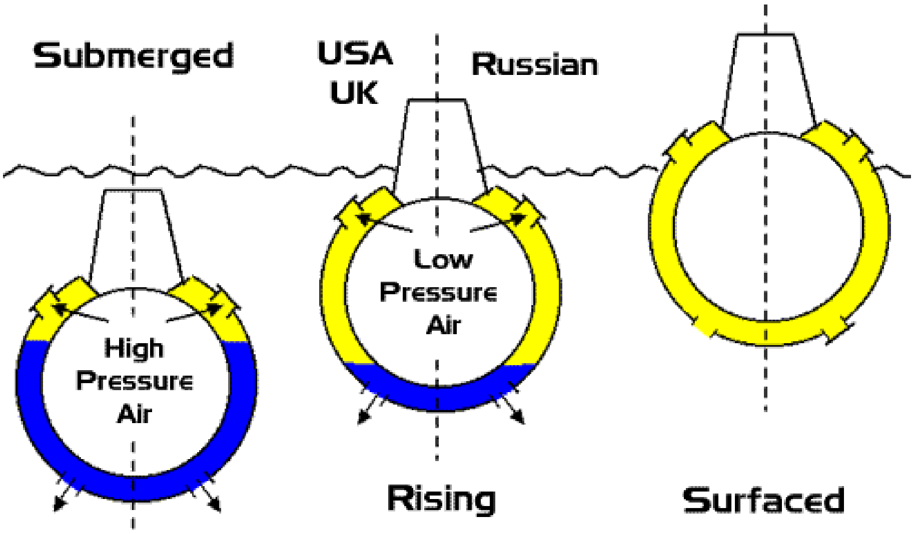

**รูปที่ 3.11** ตำแหน่งการติดตั้งถังบัลลาสต์แบบต่างๆ [40]

รูปที่ 3.12 แสดงวิธีการดำลงสู่ใต้ผิวน้ำ ระบบดูดน้ำเข้าสู่ถังบัลาสต์ทางด้านล่าง อากาศถูกระบายออกทางด้านบน ทำให้เรือมีแรงลอยตัวลดลง จมลงสู่ผิวน้ำ



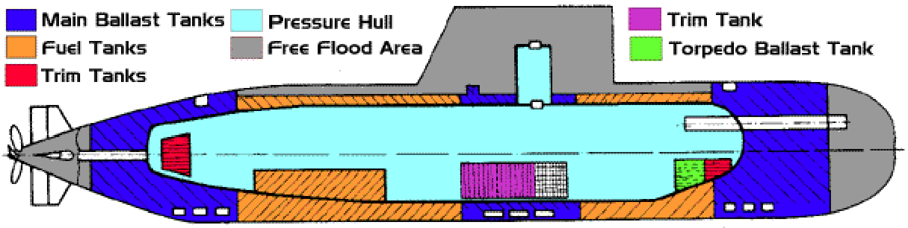

**รูปที่ 3.12** การดำสู่ใต้ผิวน้ำด้วยการเติมน้ำเข้าสู่ถังบัลลาสต์หลัก [40]

จากรูปที่ 3.13 แสดงการลอยตัวขึ้นของยานใต้น้ำ น้ำในถังจะถูกไล่ออกโดยนำอากาศแรงดันสูงเข้ามาแทนที่ ทำให้เรือมีแรงลอยตัวเพิ่มขึ้น เรือจึงลอยสู่ผิวน้ำได้




**รูปที่ 3.13** การลอยขึ้นสู่ผิวน้ำด้วยอากาศอัดไล่น้ำในถังบัลลาสต์หลัก [40]

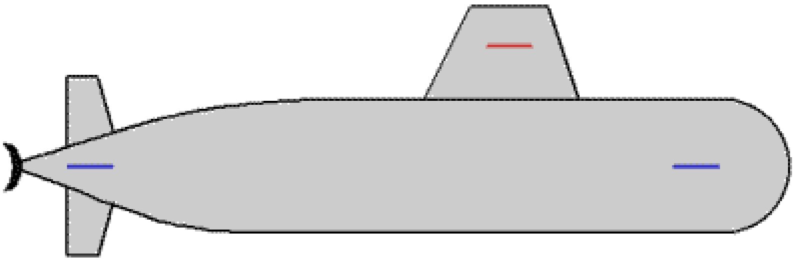
รูปที่ 3.14 แสดงเรือดำน้ำสมัยใหม่ ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ดีเซล มีระบบถังบัลลาสต์หลัก ถังปรับสมดุลและการทรงตัว (trim tank) แยกเป็นส่วนๆ



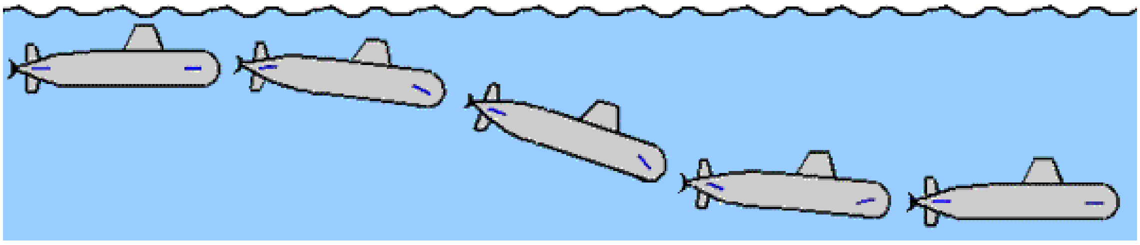

**รูปที่ 3.14** ตำแหน่งการติดตั้งถังควบคุมแรงดันในเรือดำน้ำแบบเครื่องยนต์ดีเซล [40]

**3.2.2.2 การควบคุมความลึกด้วยครีบหรือปีก (Hydroplane)**

การควบคุมความลึกด้วยครีบหรือปีก (Hydroplane) เป็นการควบคุมระดับความลึกของเรือดำน้ำด้วยครีบหรือปีกแบบเครื่องบิน (hydroplane) [40] เรือจะต้องทำความเร็วเพื่อให้เกิดแรงยกหรือแรงกดบนปีกที่เอียง ที่ความเร็วต่ำ แรงที่กระทำบนปีกมีค่าน้อยซึ่งไม่มีศักยภาพในการให้เกิดแรงกับตัวเรือ ครีบหรือปีกนี้จะถูกติดตั้งบนตัวเรือใกล้ใบจักรเรือในตำแหน่งที่ห่างจากจุดศูนย์กลางลำตัว เพื่อให้สามารถควบคุมระดับความลึกได้แม่นยำ



**รูปที่ 3.15** ตำแหน่งการติดตั้งครีบของเรือดำน้ำ [40]



**รูปที่ 3.16** การควบคุมของมุมครีบในระหว่างการดำของยานใต้น้ำ [40]

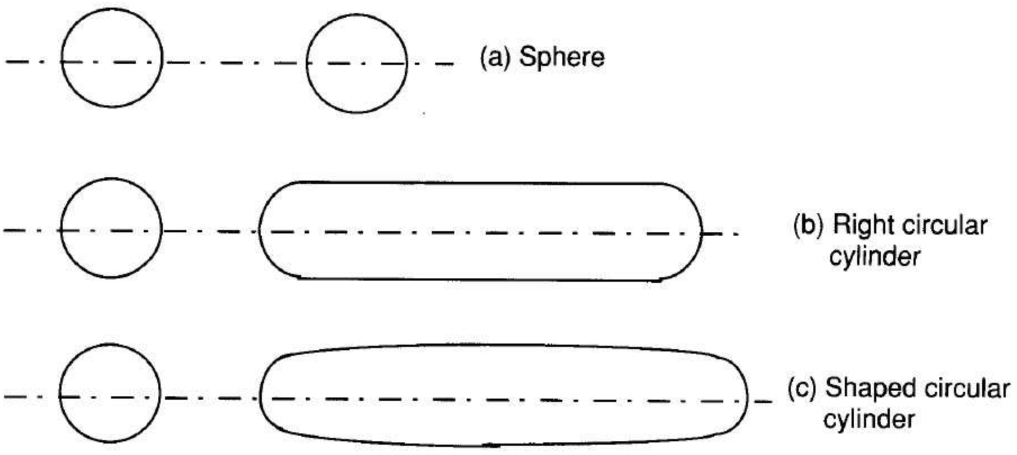
**3.2.2.3 การควบคุมความลึกด้วยชุดขับเคลื่อน (Thruster)**

ชุดขับเคลื่อนสำหรับการดำมีลักษณะเดียวกับชุดขับเคลื่อนในแนวระนาบทั่วไป เพียงแต่กำหนดการติดตั้งให้เกิดแรงในแนวดิ่ง วิธีการนี้เหมาะสมกับยานใต้น้ำขนาดเล็ก หากต้องการให้ยานสามารถดำปฏิบัติงานที่ระดับความลึกมาก ๆ ควรใช้ชุดขับเคลื่อนแนวดิ่งนี้ร่วมกับระบบการดำแบบถังบัลลาสต์ จะทำให้สามารถควบคุมระดับความลึกได้มีประสิทธิภาพ โดยชุดขับเคลื่อนจะทำหน้าที่เป็นตัวปรับความสมดุลให้กับตัวยาน

**รูปที่ 3.17** ชุดขับเคลื่อนแนวดิ่งของยานใต้น้ำขนาดเล็ก SeaLift [38]

### 3.2.3 รูปทรง

การออกแบบยานใต้น้ำตามหลักพลศาสตร์ จะต้องมีรูปร่างกลมมน ออกแบบให้มีขนาดเล็กที่สุดภายใต้อุปกรณ์ที่ต้องบรรจุอยู่ภายใน รูปทรงที่เหมาะสมที่สุดคือมีหน้าตัดเป็นรูปวงกลมเนื่องจากสามารถรับแรงที่กระทำรอบผนังได้ดีกว่ารูปทรงอื่นๆ และมีแรงต้านการเคลื่อนที่น้อย กรณีที่ออกแบบตัวเรือเป็นรูปทรงกระบอก จำเป็นต้องมีวงแหวนเสริมความแข็งแรงตามความยาวท่อโดยมีระยะห่างเพียงพอสำหรับรับแรงดันที่กระทำจากภายนอกโดยไม่เกิดความเสียหาย

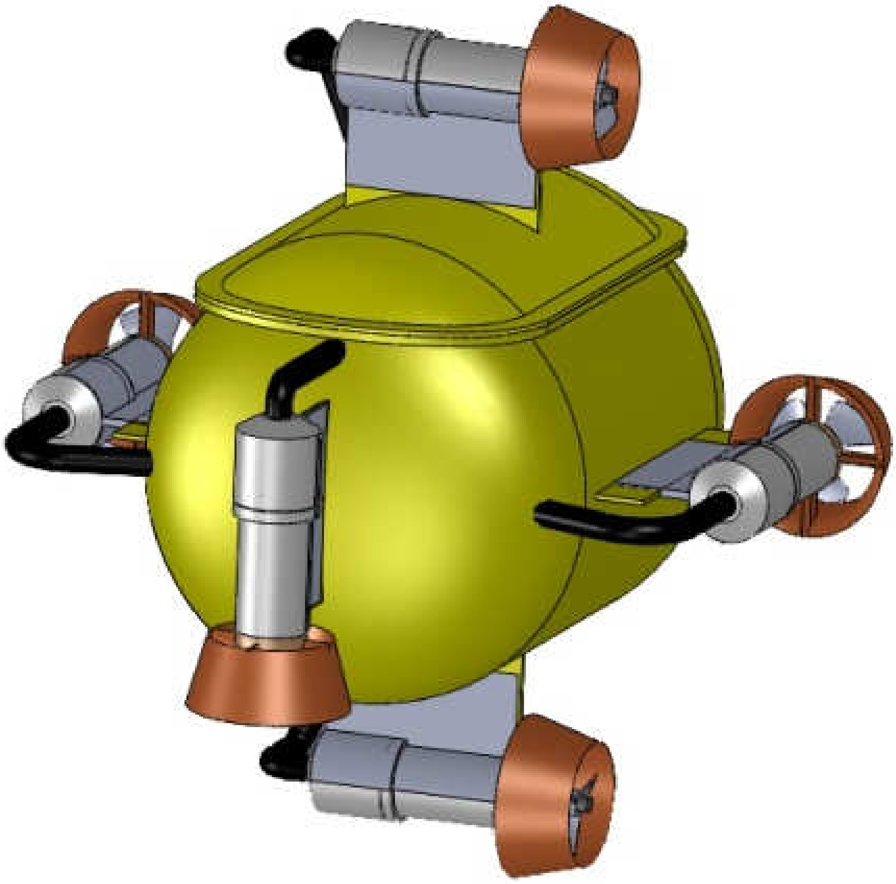



**รูปที่ 3.18** ลักษณะรูปร่างยานใต้น้ำที่เหมาะสม [41]

รูปทรงกลม (Sphere) เป็นรูปทรงที่มีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อเทียบกับรูปทรงอื่นๆ ในขนาดเดียวกัน เหมาะกับยานใต้น้ำที่มีขนาดเล็ก รูปทรงกระบอกหัวมนเป็นรูปทรงที่นำมาออกแบบยานใต้น้ำมากที่สุดสามารถบรรจุอุปกรณ์ต่างๆได้มากและกำหนดทิศทางหัวเรือได้ง่าย

### 3.2.4 การออกแบบยานใต้น้ำขนาดเล็ก

สำหรับงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบยานใต้น้ำเป็นรูปทรงกระบอกหัวมนคล้ายถังแก๊ส มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร ทำจากสแตนเลสหนา 3 มิลลิเมตรมีช่องเปิดเป็นฝาด้านบนตามแนวยาว เชื่อมครีบสำหรับยึดชุดขับเคลื่อน (Thruster) จำนวน 3 คู่ วางอยู่ในแนวเดียวกับระนาบอ้างอิงที่จุดศูนย์กลางลำตัวดังรูปที่ 3.19 โดยมีข้อกำหนดเป็นไปตามตารางที่ 3.2



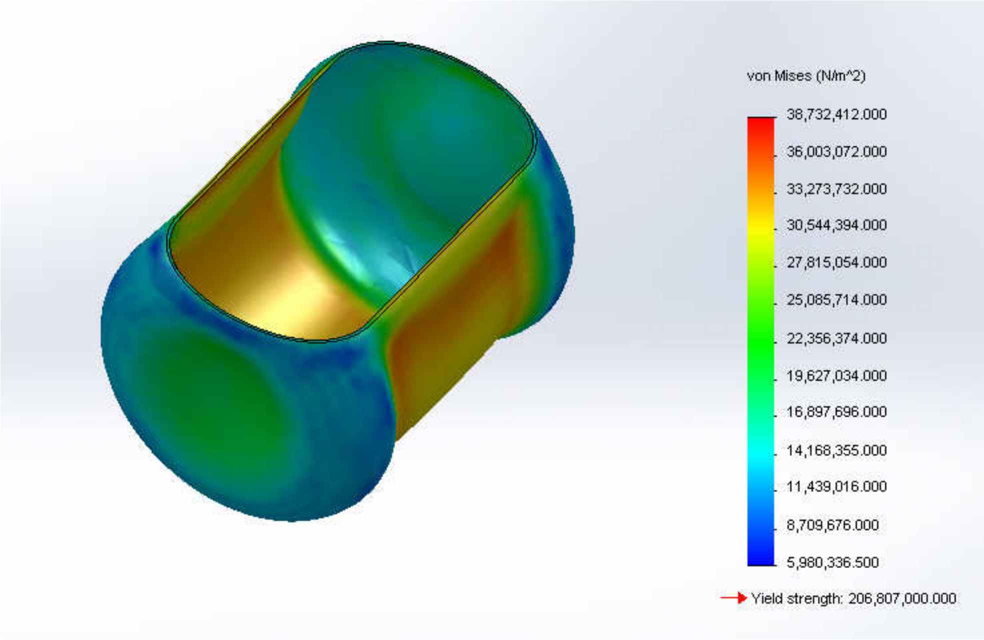
**รูปที่ 3.19** ภาพการออกแบบยานใต้น้ำขนาดเล็ก

**ตารางที่ 3.2** ข้อกำหนดคุณลักษณะของยานใต้น้ำขนาดเล็ก

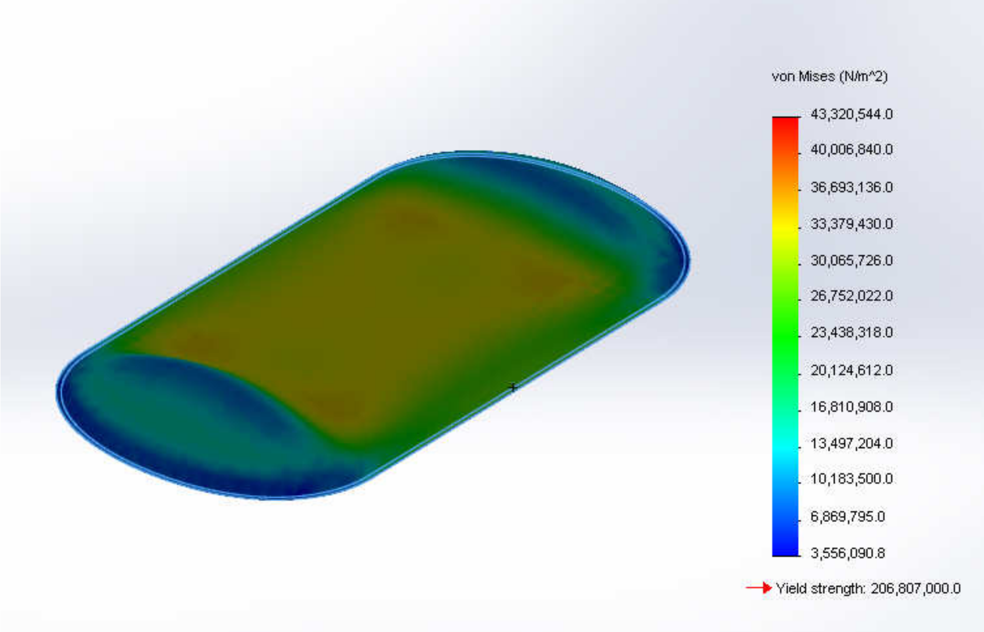
| **คุณลักษณะของยานใต้น้ำ** | |
|---|---|
| ความเร็วสูงสุด | 1 เมตรต่อวินาที |
| ความลึกปฏิบัติงานสูงสุด | 25 เมตร |
| น้ำหนักสุทธิ | 89.50 กิโลกรัม |
| ขนาด | เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.45 เมตร ยาว 0.60 เมตร |
| ชุดขับเคลื่อน (Thrusters) | 6 ชุด |
| ระบบจ่ายไฟ (Power supply) | แบตเตอรี12 โวลท์ 17 แอมป์ต่อชั่วโมง (Ah) จำนวน 4 ก้อน |
| ระบบการทำงาน | ควบคุมด้วยจอยสติกผ่านสายแลน (tetha control) ทำงานได้แบบกึ่งอัตโนมัติ (semi-autonomous) |

### 3.2.5 วิเคราะห์ความแข็งแรงของลำตัวยานใต้น้ำ

การวิเคราะห์ความแข็งแรงของลำตัวยานใต้น้ำ อาศัยการวิเคราะห์แบบไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element) ภายใต้ SimulationXpress Analysis ในโปรแกรม SolidWorks ภายใต้ความลึก 50 เมตร (2 เท่าของความลึกปฏิบัติงาน) มีค่าความดันน้ำเป็น 489,028.50 $N/m^2$ เนื่องจากลำตัวยานทำจากสแตนเลส (AISI 304) ซึ่งมีค่าความเค้นวิกฤติ (Yield Strength) เป็น $2.068 \times 10^8$ $N/m^2$ การวิเคราะห์ความแข็งแรงของตัวยานแยกเป็น 2 ส่วนคือ ลำตัวยานใต้น้ำ กับฝาปิดด้านบน โดยกำหนดบริเวณขอบฝาด้านบนและล่างเป็นจุดยึดแรง (fix) เนื่องจากบริเวณนี้ทำจากหน้าแปลนสแตนเลสหนา 9 มิลลิเมตร สำหรับปิดเปิด ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงสรุปผลได้ดังนี้ รูปที่ 3.20 แสดงผลการวิเคราะห์ความเค้นสูงสุดของยานมีค่าเป็น $3.873 \times 10^7$ $N/m^2$ คิดเป็นค่าความปลอดภัย (safety factor) 5.34 เท่า รูปที่ 3.21 แสดงผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของฝาปิดด้านบนของยานใต้น้ำ ได้ค่าความเค้นสูงสุดเป็น $4.332 \times 10^7$ $N/m^2$ คิดเป็นค่าความปลอดภัยเท่ากับ 4.77 เท่า ดังนั้นเราต้องพิจาณาผลการวิเคราะห์ของฝาปิดเป็นพิเศษ เนื่องจากมีค่าความเค้นสูงที่สุด แต่เนื่องจากยังมีค่าความปลอดภัยค่อนข้างมาก จึงสามารถนำโครงสร้างตามที่ออกแบบไปสร้างยานใต้น้ำใช้งานจริงได้ หลังจากที่ได้ออกแบบและวิเคราะห์ความแข็งแรงแล้ว ได้ลงมือสร้างยานใต้น้ำตามแบบ โดยลำตัวยานทำจาก สแตนเลสหนา 3 มิลลิเมตร เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานใต้น้ำได้โดยไม่เกิดสนิมและการผุกร่อน ใช้ข้อต่อไฮดรอลิกส์เชื่อมต่อเข้ากับตัวยาน เพื่อเป็นจุดเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

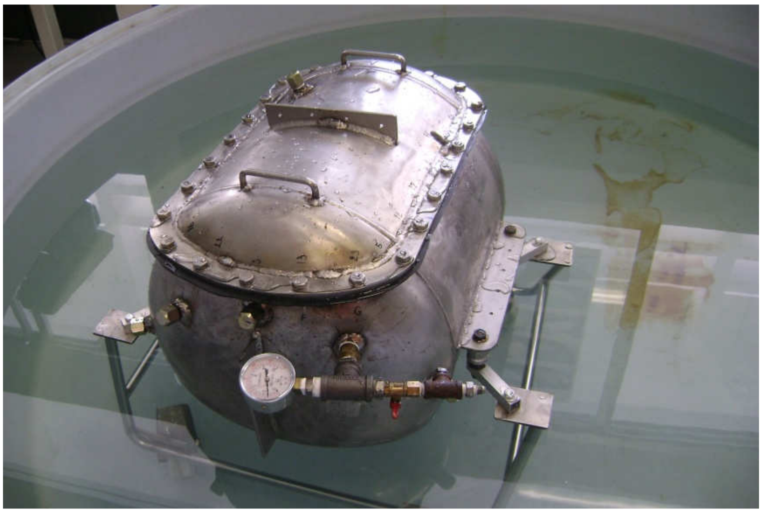



**รูปที่ 3.20** การวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างของยานใต้น้ำ




**รูปที่ 3.21** การวิเคราะห์ความแข็งแรงโครงสร้างฝาปิดของยานใต้น้ำ

การทดสอบรอยรั่วของตัวยานใต้น้ำทำด้วยวิธีการอัดอากาศเข้าไปที่ความดัน 2 บาร์ แล้วทดสอบรอยรั่วด้วยการจุ่มน้ำ หากพบรอยรั่วจะทำการเชื่อมซ่อมจนกว่าจะไม่พบรอยรั่วอีก เพื่อให้มั่นใจว่ารอยเชื่อมไม่มีรอยรั่ว ได้ทำให้ทดสอบตัวยานให้มีความดันเป็นสุญญากาศ ที่ความดัน 0.6 บาร์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง พบว่าความดันภายในตัวยานยังคงที่ เพื่อยืนยันว่าตัวยานใต้น้ำไม่มีรอยรั่วให้อากาศสามารถเข้าได้ ดังรูปที่ 3.22 และ 3.23

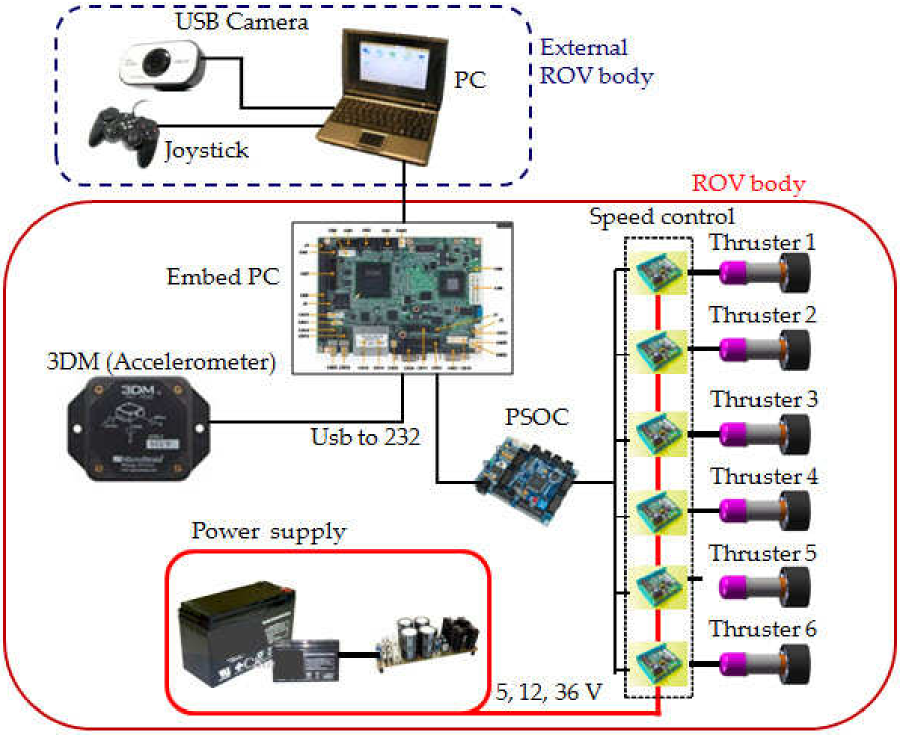


**รูปที่ 3.22** การทดสอบรอยรั่วด้วยการอัดความดันอากาศและจุ่มน้ำ

**รูปที่ 3.23** การทดสอบรอยรั่วด้วยความดันสุญญากาศ

## 3.3 ระบบอิเล็กทรอนิกส์และการเชื่อมต่ออุปกรณ์

แรงขับเคลื่อนของยานใต้น้ำได้จากชุดขับเคลื่อน (Thruster) จำนวน 3 คู่ ติดตั้งอยู่ตามแนวแกนหลักของตัวยาน ชุดกำลังขับแต่ละตัวประกอบด้วยมอเตอร์กระแสตรงขนาด 70 วัตต์ ส่งแรงบิดไปยังใบพัดด้วยชุดคลัปปลิ้งแม่เหล็ก (Magnetic coupling) อุปกรณ์ของยานใต้น้ำประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนอุปกรณ์ที่อยู่กับตัวยานใต้น้ำ และอุปกรณ์ที่อยู่นอกตัวยานใต้น้ำ อุปกรณ์ที่อยู่กับตัวยานได้แก่ บอร์ดพีซีฝังตัว (Embedded PC) เป็นหน่วยประมวลผลส่วนกลางสำหรับติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ภายนอก ทิศและมุมเอียงของตัวยานวัดได้จากอุปกรณ์วัดความเร่ง (IMU) แล้วส่งสัญญาณควบคุมความเร็วแบบคลื่นสี่เหลี่ยม (PWM) เพื่อควบคุมความเร็วชุดกำลังขับ (thruster) คอมพิวเตอร์นอกเรือถูกเชื่อมต่อเข้ากับกล้อง USB (USB camera) เพื่อบันทึกสัญญาณวีดีโอ และยังเชื่อมต่อกับจอยสติก (joystick) เพื่อให้สามารถควบคุมได้โดยผู้ควบคุม คอมพิวเตอร์ในเรือกับนอกเรือเชื่อมต่อกันด้วยสายแลน (LAN wire) โปรแกรม LabVIEW ใช้สำหรับการจำลองและการควบคุมจริง โปรแกรม NI OPC และ LinkMaster OPC ใช้เป็นตัวเชื่อมโยงการสื่อสารของระบบ ระบบจ่ายไฟของยานใต้น้ำประกอบด้วยแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลท์ 17 แอมป์ จำนวน 4 ก้อน เพื่อจ่ายไฟ 5 โวลท์ 12 โวลท์ และ 36 โวลท์ ให้กับอุปกรณ์ในยานใต้น้ำ ดังรูปที่ 3.24

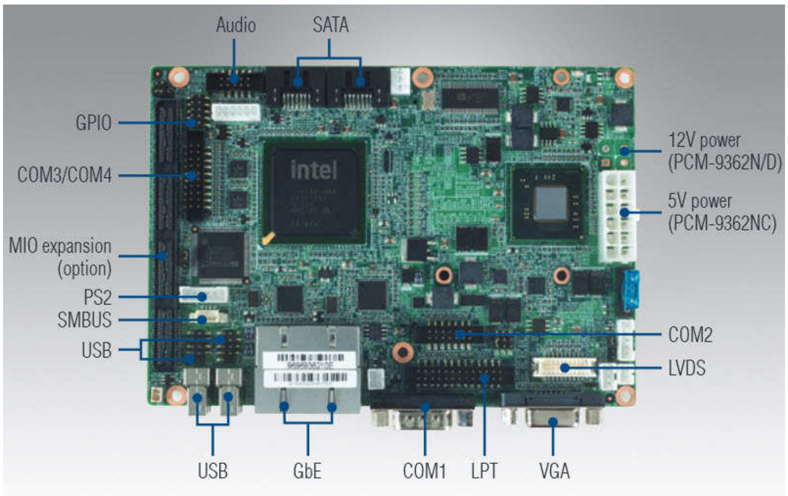



**รูปที่ 3.24** แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่างๆ

รายละเอียดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของยานใต้น้ำมีดังนี้

### 3.3.1 บอร์ดพีซีฝังตัว (Embedded PC)

บอร์ดพีซีฝังตัวเป็นหน่วยประมวลผลส่วนกลางที่อยู่ภายในตัวยาน ใช้แหล่งจ่ายไฟขนาด 12 โวลท์ ใช้ SD Ram ขนาด 1 Gb ต่อเข้ากับฮาร์ทดีสก์แบบ SATA




**รูปที่ 3.25** บอร์ดพีซีฝังตัว (Embedded PC)

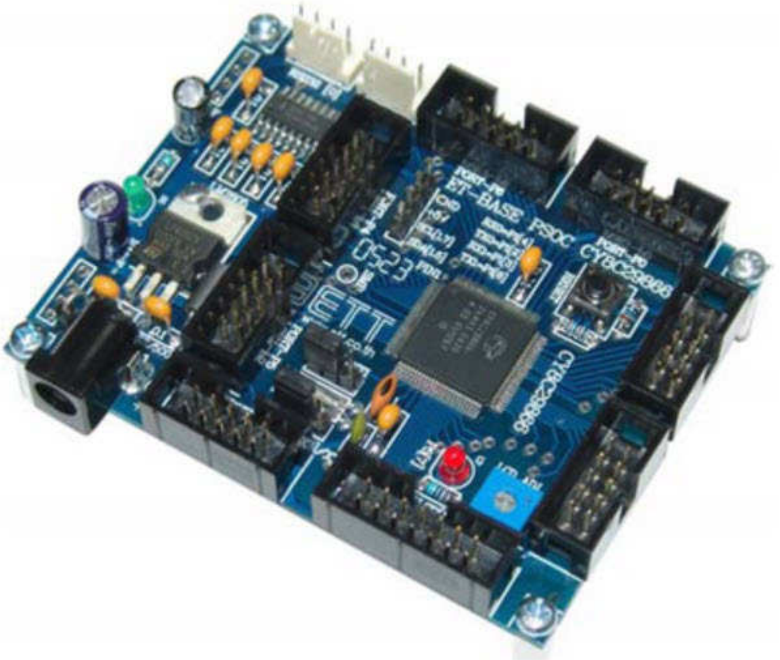
### 3.3.2 3DM Accelerometer

3DM Accelerometer เป็นอุปกรณ์วัดมุมและความเอียงทั้ง 3 แกน ( Roll, Pitch และ Yaw) ช่วงที่สามารถวัดมุม Yaw ได้ ±180 องศา, มุม Pitch ได้ ±180 องศา และมุม Roll ได้ ±70 องศา ส่งข้อมูลแบบ A/D ผ่านทางพอร์ท RS-232 หรือ RS-485 ด้วยอัตราความเร็ว 9600 bits/sec ความระเอียด 12 bits มีความแม่นยำ มุม Yaw ได้ ±1 องศา, มุม Pitch ได้ ±0.93 องศา และมุม Roll ได้ ±0.33 องศา และมีชุดจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 9 โวลท์ อุปกรณ์วัดมุมและความเอียงนี้ติดตั้งอยู่บริเวณกลางลำตัวเรือเพื่อวัดทิศทางและมุมเอียงของยานใต้น้ำเพื่อใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่

**รูปที่ 3.26** อุปกรณ์วัดมุมและความเอียง 3DM Accelerometer

### 3.3.3 PSoC microcontroller

PSoC เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ของบริษัท CYPRESS ใช้ CHIP PSoC เบอร์ CY8C29866 แบบ 100 ขา Flash Programmer ขนาด 32 K BYTE, RAM ขนาด 2K BYTE มี Digital Clock 16, Analog Block 12, Digital I/O 64 Bit มี 10 Pin I/O 6 ชุด 48 Bit I/O มี 10 Pin ISSP Download โปรแกรม มี 14 Pin LCD ต่อใช้งานแบบ Character Type มี 4 Pin RS232 2 ชุด บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์นี้ ใช้สำหรับควบคุมความเร็วของชุดขับเคลื่อน (Thruster) โดยจะรับสัญญาณควบคุมจากบอร์ดพีซีฝังตัว (Embedded PC) แล้วสั่งการ เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม (Pulse Signal) ให้กับบอร์ดควบคุมความเร็ว (Speed Control Board) แต่ละตัว สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของยานใต้น้ำ




**รูปที่ 3.27** บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC

### 3.3.4 บอร์ดขับมอเตอร์แบบ HB80A

บอร์ดขับมอเตอร์แบบ **HB80A** เป็นบอร์ดขับมอเตอร์โดยใช้มอสเฟต (MOSFET) ต่อแบบ H-Bridge ใช้กับไฟกระแสตรง 12-48 โวลท์ กระแสสูงสุด 80 แอมป์ สัญญาณทางเข้าแบบ PWM ความถี่ในช่วง 400 ถึง 1000 Hz สามารถกลับทางหมุนมอเตอร์ได้

**รูปที่ 3.28** บอร์ดขับมอเตอร์แบบ HB80A

### 3.3.5 คอมพิวเตอร์พีซี (Computer PC)

คอมพิวเตอร์พีซี เป็นส่วนประมวลผลภายนอกตัวยานใต้น้ำ เชื่อมต่อกับบอร์ดพีซีฝังตัว (Embedded PC) ภายในตัวยานด้วยสายแลน ทำให้ผู้ควบคุมสามารถติดตามข้อมูลต่างๆ บนยานใต้น้ำ และควบคุมการทำงานได้จากบนบก จำเป็นต้องติดตั้งโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมได้แก่ โปรแกรม LabVIEW, NI OPC และโปรแกรม LinkMaster สำหรับการติดต่อข้อมูลของเซนเซอร์และสัญญาณต่างๆ

**รูปที่ 3.29** คอมพิวเตอร์พีซี (Computer PC)

### 3.3.6 กล้อง USB OKER Full HD 386

กล้อง USB OKER มีความละเอียดในโหมดวีดีโอสูงสุด 1920x1080 pixels ใช้เลนส์แก้วคุณภาพดี ให้ภาพคมชัดสูงมากระดับ Full HD มีระบบ Auto Focus มีระบบปรับความสมดุลของภาพเพื่อให้ได้สีเป็นธรรมชาติสมจริง ปรับแสงเองอัตโนมัติ ลดปัญหาเรื่องแสงไม่เพียงพอ และย้อนแสง มีระยะโฟกัส 30 มิลลิเมตรขึ้นไป กล้อง USB นี้ใช้สำหรับถ่ายวีดีโอติดตามบริเวณเป้าพื้นที่สีแดงบนตัวยานใต้น้ำ แล้วโปรแกรม LabVIEW แปลงความละเอียดภาพเป็นระยะตามแกนอ้างอิงบนระนาบ XY

**รูปที่ 3.30** กล้อง USB

### 3.3.7 จอยสติก (Joystick)

จอยสติกแบบ USB Port เชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ โปรแกรม LabVIEW อ่านสัญญาณแล้วนำไปสั่งการทำงานของชุดขับเคลื่อน (Thruster) เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของยานใต้น้ำโดยผู้ควบคุม สามารถควบคุมใน 3 มิติ คือในทิศทาง x y และ z และสามารถควบคุมการหมุนของยานใต้น้ำได้

**รูปที่ 3.31** จอยสติก (Joystick)

### 3.3.8 แบตเตอรี่และระบบจ่ายไฟ

ระบบจ่ายไฟภายในตัวยานประกอบด้วย แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลท์ 17 แอมป์ จำนวน 4 ก้อน เพื่อจ่ายไฟ 5 โวลท์ 12 โวลท์ และ 36 โวลท์ ให้กับอุปกรณ์ในยานใต้น้ำ มีอุปกรณ์ ป้องกันการเกิดประกายไฟ (spark) ของแรงดัน มีระบบชาร์จไฟเข้าแบตเตอรี่ด้วยเครื่องชาร์จไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 48 โวลท์

**รูปที่ 3.32** แบตเตอรี่ 12 โวล์ท

## 3.4 โปรแกรมการควบคุม

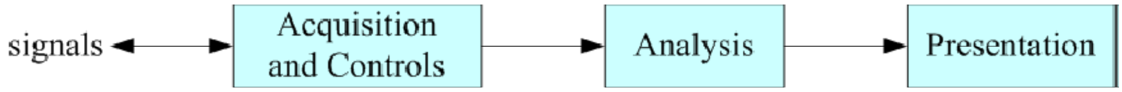
การควบคุมยานใต้น้ำนี้ใช้โปรแกรม LabVIEW เป็นโปรแกรมหลักในการเขียนการควบคุมการทำงานทั้งการควบคุมแบบอัตโนมัติและการควบคุมโดยผู้ใช้งาน นอกจากนี้ยังมีโปรแกรม NI OPC Servers และโปรแกรม LinkMaster OPC ใช้เป็นส่วนการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างเซนเซอร์และอุปกรณ์ต่างๆ ทำงานร่วมกับโปรแกรม LabVIEW

### 3.4.1 โปรแกรม LabVIEW

LabVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ผลิตโดยบริษัท National Instruments LabVIEW [42] แตกต่างจากโปรแกรมอื่นอย่างเห็นได้ชัดที่สุดก็คือ LabVIEW นี้เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) โดยสมบูรณ์ นั่นคือไม่จำเป็นต้องเขียน code หรือคำสั่งใดๆ ทั้งสิ้น และที่สำคัญคือลักษณะภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เราจะเรียกว่าเป็น ภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) แสดงผลเป็นเครื่องมือวัดเสมือน (Virtual Instrument, VI) สามารถติดตั้งใช้งานได้บนระบบปฏิบัติการ Windows นิยมใช้ด้านการจัดการเครื่องมือวัดสำหรับงานทางวิศวกรรม อุตสาหกรรมหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับพอร์ท (Port) หรือ การ์ด (Card) ต่าง ๆ ได้หลายรูปแบบ ข้อดีอีกประการหนึ่งในการหนึ่งของการใช้คอมพิวเตอร์เป็นเครื่องมือวัดก็คือ สามารถใช้ทำเป็น Data Logger และ PLC (Programmable Logical Controlled) ได้พร้อมกัน

**รูปที่ 3.33** การเข้าสู่โปรแกรม LabVIEW 2010 [42]

LabVIEW อาศัยหลักการทางานของเครื่องมือวัดหรือการวัดคุมทำให้ผู้ใช้สามารถออกแบบตามที่ผู้ใช้ต้องการ หลักการดังกล่าวแบ่งออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ




**รูปที่ 3.34** แผนผังเครื่องมือวัดที่สร้างจาก LabVIEW [42]

**1) Acquisition** ซึ่งเป็นส่วนที่รับข้อมูล (Input) จากสิ่งแวดล้อมภายนอกเข้าสู่ระบบในที่นี้คือคอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลที่เข้าสู่ระบบนี้อาจมาจากการ์ด DAQ (สำหรับสัญญาณทางไฟฟ้า)

**2) Analysis** หลังจากที่ได้รับข้อมูลแล้วอาจจะผ่านฟังก์ชันในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งจะแสดงผลในรูปที่สื่อความหมายในสิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถนำไปแสดงแทนสื่อที่วัดได้และใช้งานได้

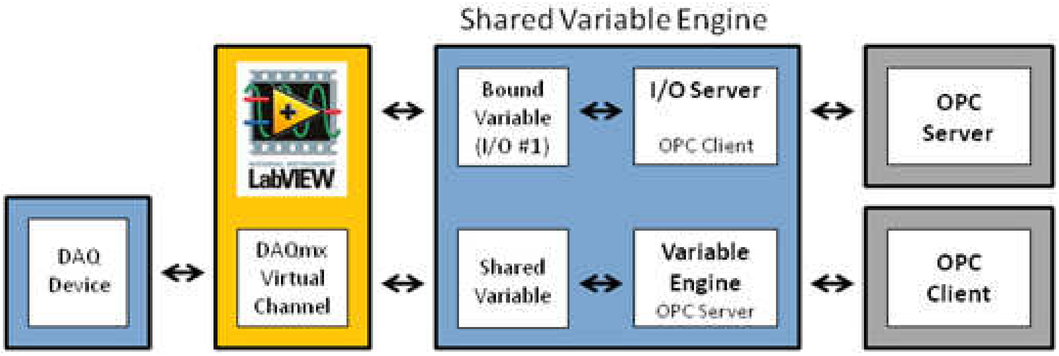
**3) Presentation** คือ การแสดงผลในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน โดยอาจแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เช่น DMM (Digital Multimeter) แสดงผลเฉพาะที่วัดได้โดยไม่จำเป็นต้องรู้ความสำคัญกับเวลา หรือ Spectrum Analysis จะแสดงสัญญาณในรูปความถี่หรือการพิมพ์ออกมาเป็นรายงานหรือเก็บข้อมูลในฮาร์ดดิสก์

## 3.4.2 โปรแกรม NI OPC Servers

NI OPC Servers เป็นการเชื่อมต่อ (Interfaces) มาตรฐานในการติดต่อสื่อสารระหว่างแหล่งข้อมูลจำนวนมาก [43] รวมถึงเซนเซอร์ต่าง ๆ ในโรงงาน อุปกรณ์ห้องปฏิบัติการ การติดตั้งทดสอบระบบและฐานข้อมูลพื้นฐานของ OPC กำหนดชุดมาตรฐานการเชื่อมต่อ (Interfaces) ซึ่งอนุญาตให้ลูกข่ายสามารถเข้าถึง OPC โดยใช้โปรโตคอลพื้นฐาน COM/DCOM ของไมโครซอฟท์เพื่อจัดการกับทางเข้าข้อมูล (data access; DA) ข้อมูลในอดีต (historical data access; HDA) สัญญาณเตือนและเหตุการณ์ (alarms and events, A&H) ต่าง ๆ รูปแบบการทำงานของ NI OPC ทำได้ 3 ลักษณะคือ

### 3.4.2.1. ใช้ OPC ใน LabVIEW

LabVIEW ช่วยให้นักพัฒนาที่จะทำงานร่วมกับระบบ OPC สามารถเชื่อมต่อได้ทั้ง OPC Client และ OPC Servers โดยใช้ข้อมูลร่วมกันในโปรแกรม LabVIEW องค์ประกอบหลักที่ช่วยในการดำเนินการของ LabVIEW กำหนดตัวแปรที่ใช้ร่วมกัน (Shared Variable Engine, SVE) มีการติดตั้งให้ใช้งานได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์เมื่อมีการติดตั้งโปรแกรม LabVIEW

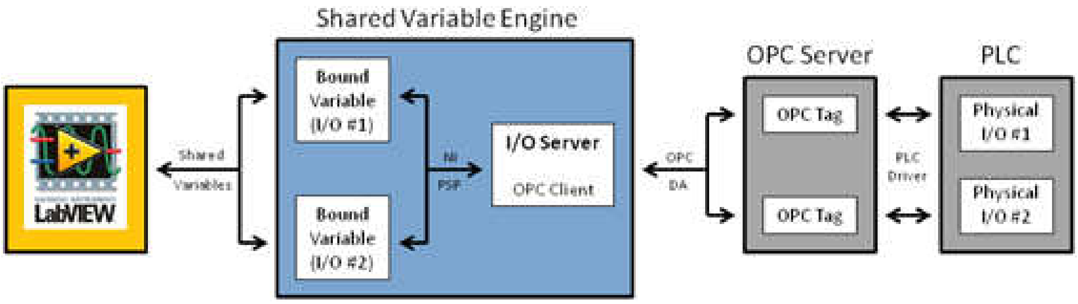



**รูปที่ 3.35** ตัวแปรที่ใช้ร่วมกันสามารถเป็นได้ทั้งลูกข่าย OPC Client หรือ OPC Server [43]

สำหรับ OPC, SVE ทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างรายการข้อมูล NI-PSP และโปรแกรมอื่นๆ ทำให้สามารถกำหนดค่าเซิร์ฟเวอร์ I / O ที่จะเป็นลูกข่ายของ OPC ฟังก์ชันนี้จะรวมอยู่ใน Datalogging LabVIEW และกำกับควบคุม (Datalogging and Supervisory Contro; DSC) โมดูล ผู้ใช้สามารถกำหนดค่า SVE เป็นเซิร์ฟเวอร์ OPC ที่จะเผยแพร่ NI-PSP รายการข้อมูลไปยังเครือข่ายอื่นๆ เพื่อให้ลูกข่าย OPC สามารถโต้ตอบกันได้

### 3.4.2.2. ใช้ LabVIEW เป็นลูกข่าย OPC Client

Datalogging and Supervisory Control (DSC) โมดูลให้ลูกข่าย OPC I/O เซิร์ฟเวอร์สำหรับการสื่อสารกับเซิร์ฟเวอร์ใด ๆ การใช้อินเตอร์เฟซเซิร์ฟเวอร์ OPC OPC นี้จะช่วยให้ LabVIEW สามารถสื่อสารกับ PLC ใดๆ ที่มีการโต้ตอบกับเซิร์ฟเวอร์ OPC OPC ลูกค้า I/O เซิร์ฟเวอร์จะแสดงรายการเซิร์ฟเวอร์ OPC ที่มีอยู่ทั้งหมดที่มีการติดตั้งและทำงานบนคอมพิวเตอร์หรือเครือข่ายท้องถิ่น รูปที่ 3.36 แสดงความสัมพันธ์ขององค์ประกอบที่มีส่วนร่วมในการสื่อสารระหว่าง LabVIEW และ PLC

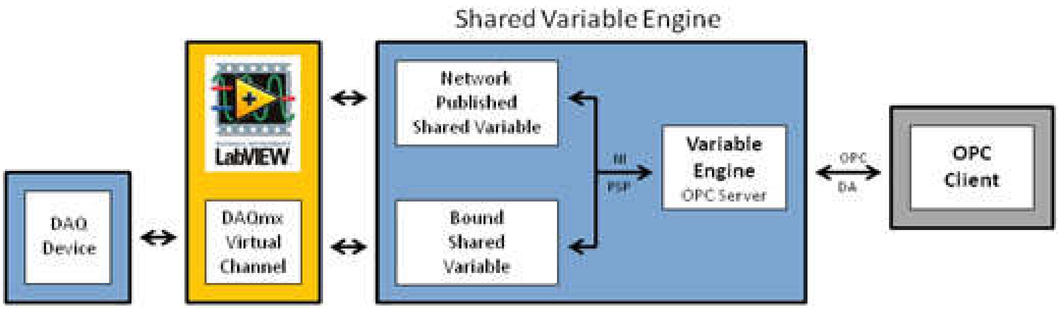



**รูปที่ 3.36** SVE สามารถสื่อสารกับ PLC ที่ผ่าน OPC [43]

PLC ที่ส่งข้อมูลไปยังเครือข่าย โปรแกรม OPC Server ในการสร้างแท็ก OPC สำหรับแต่ละ I/O PLC ให้เป็นโซลูชั่นเซิร์ฟเวอร์ OPC ด้วย NI OPC เซิร์ฟเวอร์ NI OPC เซิร์ฟเวอร์ มีรายชื่อของไดรเวอร์สำหรับหลาย ๆ PLC สามารถกำหนดค่า OPC ลูกข่าย I/O เซิร์ฟเวอร์หลายเครื่องใน SVE ที่มีอัตราการปรับปรุงที่แตกต่างกัน และเชื่อมต่ออัตราการสำรวจความคิดเห็น SVE ให้ PSP URL ของแท็ก OPC แต่ละตัวแปรที่ใช้ร่วมกันอื่น ๆ ตัวแปรที่ใช้ร่วมกันได้รับค่า LabVIEW สามารถอ่านและเขียนไปยังตัวแปรที่ใช้ร่วมกันโดยใช้ VI

**3.4.2.3. ใช้ LabVIEW เป็นเซิร์ฟเวอร์ OPC**

SVE สามารถทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์ของ OPC สามารถเชื่อมต่อกับ LabVIEW VI เพื่อให้ง่ายต่อการติดต่อสื่อสารกับซอฟต์แวร์ของลูกข่าย OPC อื่น ๆ

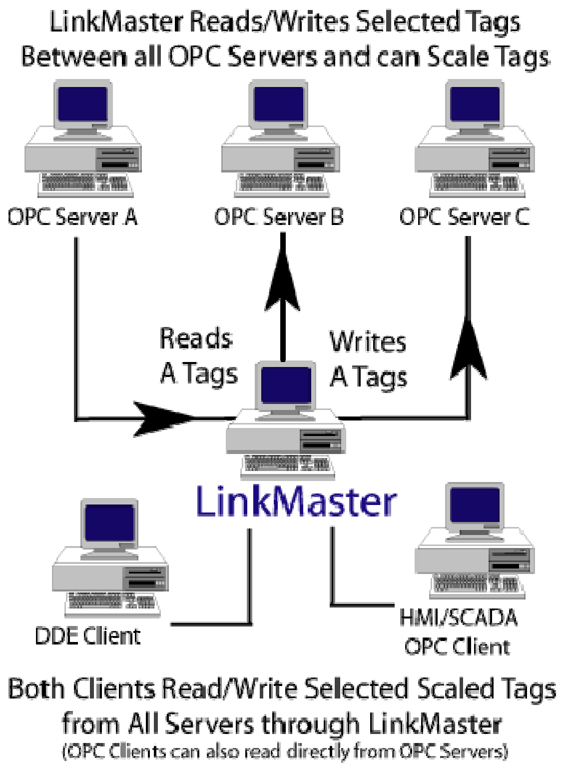



**รูปที่ 3.37** SVE เป็นเซิร์ฟเวอร์ OPC [43]

การประยุกต์ใช้ร่วมกันสำหรับการใช้ SVE เป็นเซิร์ฟเวอร์ OPC เกี่ยวข้องกับการจัดเก็บข้อมูล (DAQ) อุปกรณ์และโปรแกรมควบคุม NI-DAQmx การตั้งค่าช่องเสมือนจริง DAQmx จะสามารถอ้างอิง URL NI-PSP ได้ ดังนั้น SVE สามารถเชื่อมเครือข่ายตัวแปรที่ใช้ร่วมกันกับค่าที่อ่านจากอุปกรณ์ DAQ SVE แล้วใช้มาตรฐาน OPC DA สร้างแท็ก OPC สำหรับตัวแปรที่ใช้ร่วมกัน ด้วยวิธีนี้ลูกข่าย OPC สามารถอ่านและเขียนไปยังอุปกรณ์ DAQ และลูกข่าย OPC ได้

## 3.4.2. โปรแกรม LinkMaster OPC

โปรแกรม LinkMaster OPC ผลิตโดยบริษัท Kepware Technologies [44] เป็นโปรแกรมที่ทำงานคล้ายกับ NI OPC แต่มีข้อแตกต่างที่ LinkMaster OPC สามารถทำเป็นศูนย์กลางการจัดการข้อมูลของ OPC ต่างๆ ได้ เชื่อมโยงข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์หลาย ๆ เครื่องเข้าด้วยกันได้




**รูปที่ 3.38** ลักษณะการเชื่อมต่อด้วยโปรแกรม LinkMaster [44]

ประโยชน์ที่สำคัญของ LinkMaster คือ

1) สามารถเชื่อมต่อกับ OPC Servers ในเครื่องคอมพิวเตอร์เดียวกันหรือระยะไกลผ่านทาง DCOM
2) รองรับการเชื่อมต่อกับ OPC Servers เปลี่ยนเส้นทาง ProgIDs ได้
3) ลากและวางสัญญาณเข้าไปยังสัญญาณทางออก และเริ่มต้นการถ่ายโอนข้อมูลได้ง่าย
4) มาพร้อมกับลูกข่าย OPC Client ขั้นสูงสำหรับการทดสอบ
5) สามารถส่งข้อมูลได้สองทาง (รับและส่ง) ระหว่าง OPC Servers
6) ไม่จำกัดจำนวนของ OPC Servers หรือแท็ก
7) สามารถทำงานเป็นและ OPC Consolidator นำ OPC Servers ทั้งหมดภายใต้การเชื่อมต่อเดียว
8) สามารถควบคุมอัตราการร้องขอและการปรับปรุงเพื่อจัดระเบียบการส่งข้อมูลเครือข่าย
9) สามารถแก้ปัญหาข้อจำกัด การเชื่อมต่อของลูกข่าย OPC Client และ OPC Servers อื่นๆได้
10) แยกแสดงเหตุการณ์เพื่อตรวจสอบข้อผิดพลาดโปรแกรมในการสื่อสารสำหรับการตรวจสอบระยะไกลได้ง่าย

## 3.5 บทส่งท้าย

จากบทที่ 3 เป็นรายละเอียดองค์ประกอบของยานใต้น้ำขนาดเล็ก ทำการพัฒนาระบบขับเคลื่อน (Thruster) ด้วยหลักการคลัปปลิ้งแม่เหล็ก (Magnetic Coupling) ช่วยป้องกันน้ำเข้ามอเตอร์ ผลการทดสอบหากำลังขับ ได้แรงขับเคลื่อนไปด้านหน้า 13.83 นิวตัน แรงขับเคลื่อนไปด้านหลัง 7.01 นิวตัน แรงขับเคลื่อนดำลงใต้ผิวน้ำ 11.55 นิวตัน และแรงขับเคลื่อนลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ 5.66 นิวตัน การออกแบบตัวเรือและโครงสร้าง ได้ศึกษาและออกแบบตัวยานใต้น้ำขนาดเล็กรูปทรงคล้ายถังก๊าซ ทำจากสแตนเลสหนา 3 มิลลิเมตร ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างตัวยานใต้น้ำที่ระดับความลึก 50 เมตร พบว่าที่ฝาปิดด้านบนของตัวยานมีค่าความเค้นสูงสุดมากกว่าที่ลำตัวยาน มีค่าความเค้นสูงสุดเป็น $4.332\times10^7$ $N/m^2$ คิดเป็นค่าความปลอดภัยเท่ากับ 4.77 เท่า ซึ่งมีความปลอดภัยเพียงพอสำหรับการดำปฏิบัติงานในระยะความลึกดังกล่าว สำหรับระบบอิเล็กทรอนิกส์และการเชื่อมต่ออุปกรณ์ ได้ออกแบบให้สามารถควบคุมการทำงานได้แบบกึ่งอัตโนมัติ โดยมีบอร์ดพีซีฝังตัว (Embedded PC) เป็นส่วนประมวลผลหลักภายในตัวยาน เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์พีซี (Computer PC) ด้วยสายแลน (LAN wire) ทำให้สามารถควบคุมได้จากผู้ใช้งาน โปรแกรม LabVIEW ใช้สำหรับเขียนควบคุมการทำงานของระบบโดยมีโปรแกรม NI OPC Server และโปรแกรม LinkMaster OPC ช่วยเชื่องโยงข้อมูลต่างๆ ของระบบควบคุมภายในและภายนอกตัวยาน