

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและพัฒนาต้นแบบยานใต้น้ำขนาดเล็กสำหรับดำสำรวจใต้ท้องเรือรบในกองทัพเรือ เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการปรับนับัติบำรุงตามวงรอบ ภายใต้งบประมาณการวิจัยที่มีจำกัด ทำให้ต้องออกแบบและพัฒนาชุดขับเคลื่อน (Thruster) ขึ้นเอง ชุดขับเคลื่อนที่พัฒนาใช้หลักการส่งกำลังด้วยคัลป์ปลิงแม่เหล็ก (Magnetic Coupling) สามารถส่งกำลังได้แรงบิดสูงสุด (Maximum Torque) 4.51 N-m การทดสอบหาแรงขับเคลื่อนไปข้างหน้าได้สูงสุด 13.83 N แรงขับเคลื่อนไปข้างหลัง 7.01 N แรงขับเคลื่อนในการดำลง 11.55 N และแรงขับเคลื่อนในการลอยสู่ผิวน้ำ 5.66 N ผลการวิเคราะห์โครงสร้างยานใต้น้ำขนาดเล็ก มีค่าความเค้นสูงสุด (Maximum Stress) ที่ผาด้านบน 4.332×10^7 N/m² คิดเป็นค่าความปลอดภัย (Safety Factor) 4.77 เท่า ซึ่งมีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการดำปฏิบัติการที่ความลึก 25 เมตร จากนั้นได้ทำการออกแบบและประกอบระบบควบคุมของยานใต้น้ำขนาดเล็ก แล้วทำการทดลองควบคุมการทำงานใน 4 ลักษณะคือ การควบคุมทิศทางของยานด้วยการควบคุมแบบพีไอดี (PID Control) การจำลองควบคุมแบบลดผลกระทบด้วยสนามความเร็ว (Passive Velocity Field Control; PVFC) การควบคุมแบบสนามความเร็วช่วยควบคุมเส้นทางของยานใต้น้ำอัตโนมัติ (Velocity Field Control Assistance for Autonomous Underwater Vehicle Path Control) และการทดลองควบคุมโดยผู้ควบคุมจากจอยสติค ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

5.1.1 การควบคุมทิศทางยานด้วยการควบคุมแบบพีไอดี (PID Control)

เป็นการควบคุมแบบสัญญาณทางเข้าและทางออกเดียว (SISO) ได้กำหนดหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของยานใต้น้ำ จำลองการทำงานระบบทั้งแบบเปิด (Open-loop) และแบบปิด (Closed-loop) แล้วทดลองควบคุมการทำงานจริงภายในอ่างกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เมตร ลึก 50 เซนติเมตร ผลการทดลองควบคุมที่มุม 90, 45, 0, -45 และ -90 องศา สามารถควบคุมทิศทางของยานใต้น้ำได้ตามมุมที่ต้องการ และยังสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงมุมแบบต่อเนื่องได้

ข้อดีของระบบควบคุมแบบพีไอดี คือสามารถใช้งานง่ายไม่ซับซ้อนโดยไม่ต้องหาสมการทางคณิตศาสตร์ของระบบและสามารถปรับอัตราขยายได้ แต่มีข้อจำกัดคือการควบคุมแบบพีไอดีใช้ได้กับระบบสัญญาณทางเข้าและทางออกเดียว (SISO) หากต้องการใช้กับระบบที่มีความซับซ้อนต้องใช้งานร่วมกับระบบควบคุมแบบอื่น

5.1.2 การจำลองการควบคุมแบบลดผลกระทบด้วยสนามความเร็ว (Passive Velocity Field Control)

เป็นการใช้การควบคุมแบบลดผลกระทบด้วยสนามความเร็ว (PVFC) ร่วมกับการควบคุมความเร็วเชิงมุมในการโคจรด้วยการควบคุมแบบพีไอดี การติดตามเส้นทางโคจรของยานใต้น้ำ กำหนดเส้นทางเป็นวงกลมรัศมี 3 เมตร บนพื้นที่สี่เหลี่ยมขนาด 10×10 เมตร หาสมการทางคณิตศาสตร์ของระบบและระบบเสริม (Augmented System) และสมการการเคลื่อนที่ของยาน ทำการปรับค่าอัตราขยาย (Gain) ต่างๆ จนระบบสามารถจำลองการทำงานได้ ผลการจำลองการควบคุมเริ่มต้นจากจุด $(-5, -5)$ และเริ่มต้นจากจุด $(1, 1)$ ระบบควบคุมสามารถควบคุมยานให้ลู่เข้าสู่เส้นทางวงกลมที่กำหนดไว้ได้ ข้อจำกัดของ PVFC ก็คือระบบที่ใช้ควบคุมต้องเป็นระบบแบบตัวขับเคลื่อนสถานะ (Fully Actuated) ดังนั้นในการจำลองจึงกำหนดให้ยานเคลื่อนที่ในระนาบโดยไม่มีกรหมุน ซึ่งเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติ จึงไม่ได้ทำการทดลองจริงกับยานใต้น้ำ ในทางตรงข้ามผลจากการจำลองนี้ทำให้มองเห็นจุดเด่นของ การควบคุมแบบสนามความเร็ว (VFC) ว่าจะสามารถช่วยให้ระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) ทำงานเป็นเสมือนระบบเชิงเส้น (Linear) ได้

5.1.3 การควบคุมแบบสนามความเร็วช่วยควบคุมเส้นทางของยานใต้น้ำอัตโนมัติ (Velocity Field Control Assistance for Autonomous Underwater Vehicle Path Control)

การควบคุมแบบสนามความเร็วช่วยควบคุมเส้นทางของยานใต้น้ำอัตโนมัติเป็นการติดตามเส้นทางโคจรของยานใต้น้ำแบบวงกลม รัศมี 1 เมตร บนพื้นที่สี่เหลี่ยม 3×3 เมตร ได้หาสมการการเคลื่อนที่ของยาน โดยคิดผลของมวลที่เพิ่มขึ้น (Added mass) จากการที่ยานเคลื่อนที่ในของเหลว การทำงานของระบบได้นำสนามความเร็ว (VFC) มาช่วยควบคุมการทำงานของแอลคิวอาร์ (LQR) และมีระบบประมาณค่าแบบลดรูปสถานะ (Reduce-Order State Estimator) ช่วยประมาณหาค่าสถานะความเร็ว (\hat{V}) เพื่อทำให้ระบบมีสถานะเต็ม (Full State; X_f) ผลการจำลองการทำงานพบว่ายานใต้น้ำสามารถเคลื่อนที่ลู่เข้าสู่เส้นทางโคจรที่กำหนดได้ ไม่ว่าจะเริ่มต้นที่จุดใดๆ บนระนาบ แล้วได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบในสระขนาด 3×3 เมตร กล้อง USB จับภาพเป้าสีแดงบนยานใต้น้ำส่งให้ระบบการมองเห็น (Vision System) ในโปรแกรม LabVIEW แปลงเป็นพิกัดด้วยยานบนระนาบ สำหรับการติดตามเส้นทางโคจรของยานใต้น้ำ ผลการทดลองยืนยันได้ว่าการควบคุมสนามความเร็ว (VFC) สามารถเปลี่ยนรูประบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นเส้นตรงเล็กๆ ในช่วงเวลาหนึ่งเสมือนเป็นระบบเชิงเส้น ทำให้ควบคุมการทำงานของระบบได้ง่ายและมีความคงทน (Robust) จึงสามารถควบคุมการติดตามเส้นทางโคจรของยานใต้น้ำให้ลู่เข้าสู่เส้นทางที่กำหนดได้ ในทุกๆ จุดบนระนาบ

5.1.4 การทดลองควบคุมโดยผู้ควบคุมจากจอยสติค

นอกเหนือจากการควบคุมติดตามเส้นทางโคจร งานวิจัยนี้ได้ทดลองควบคุมการทำงานโดยผู้ควบคุมจากจอยสติคผ่านคอมพิวเตอร์พีซีบนบก โดยได้ทำการทดลองที่หนองสมบุรณ์ จังหวัดนครสวรรค์ ผู้ควบคุมสามารถควบคุมยานไปในตำแหน่งและทิศทางต่างๆ ตามที่ต้องการได้ แต่เนื่องจากการต่อเชื่อมระบบคอมพิวเตอร์ทั้งสองส่วนด้วยสายแลนยาว 50 เมตร ทำให้การตอบสนองคำสั่งของยานยังช้าอยู่

5.2 ข้อจำกัดในงานวิจัย

เนื่องด้วยงานวิจัยนี้เป็นการสร้างยานใต้น้ำต้นแบบ ศึกษาและออกแบบระบบควบคุมการทำงานของยาน และทดสอบการทำงานของระบบควบคุม ผู้วิจัยจำเป็นต้องมีความรู้ในศาสตร์หลายแขนง ทั้งเครื่องกล ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์ ทำให้ต้องใช้เวลาในการศึกษาค้นคว้าเพื่อนำองค์ความรู้ดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ อีกทั้งงานวิจัยนี้มีผลจากน้ำและความชื้นทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์บางส่วนเสียหาย ทำให้ต้องเสียเวลาในการซ่อมและใช้งบประมาณสูงขึ้น และยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการดังต่อไปนี้

- ภายใต้งบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด ทำให้ไม่สามารถจัดซื้อชุดขับเคลื่อน (Thruster) ทั้ง 6 ชุดจากต่างประเทศมาใช้งานได้ จึงต้องออกแบบและพัฒนาชุดขับเคลื่อนเพื่อใช้งานเอง ทำให้ต้องใช้เวลาในการทำวิจัยนานขึ้น และประสิทธิภาพยังไม่ดีเท่าที่ควร
- ระบบควบคุมต้องการควบคุมแบบเวลาจริง (Real Time) จึงจำเป็นต้องกำหนดเวลาให้เหมาะสมกับวงรอบ (Loop) การทำงานของคำสั่ง ระบบจึงจะสามารถตอบสนองการทำงานได้ดี
- ต้องใช้สถานที่ทดสอบที่เป็นน้ำ ซึ่งอาจอยู่ไกล ใช้คนและเวลาในการขนย้าย ทางนักวิจัยเองแก้ปัญหานี้โดยสร้างสระทดลองในบ้านพัก เพื่อให้ทำการทดลองได้สะดวก
- มีความยุ่งยากการซ่อมบำรุงเมื่อระบบเกิดการเสียหาย เนื่องจากต้องคลายน็อตหลายตัวกว่าจะเปิดฝาของตัวยานได้
- เซนเซอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ยังไม่เป็นอุปกรณ์แบบป้องกันน้ำ (Waterproof) ทำให้บางส่วนได้รับความเสียหาย ซึ่งหากต้องการแบบป้องกันน้ำก็จะมีราคาสูงขึ้นมา
- การเชื่อมต่อระบบคอมพิวเตอร์ภายในและภายนอกตัวยานผ่านสายแลน ยังทำให้ระบบมีการตอบสนองการทำงานที่ยังช้า

5.3 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัย

- ควรพัฒนาให้ระบบการดำเป็นแบบผสมระหว่างถังบัลลาสต์และชุดขับเคลื่อน (Thruster) เพื่อให้สามารถควบคุมระดับความลึกของตัวยานได้ดีขึ้น
- ควรออกแบบให้ฝาปิดด้านบนให้มีความสะดวกในการถอดประกอบ
- เซนเซอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ควรออกแบบให้สามารถป้องกันน้ำ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้มากขึ้น
- ความละเอียดของกล้อง USB ในระบบการมองเห็น (Vision System) ควรปรับให้มีค่าน้อยที่สุด เพื่อลดเวลาในการประมวลผล จะทำให้ระบบมีเวลาการตอบสนอง (Response Time) ที่ดีขึ้น และสามารถควบคุมการทำงานของระบบได้ทัน
- ควรมีสระน้ำในบริเวณใกล้ ๆ เพื่อความสะดวกในการทดสอบการทำงานของระบบ
- ควรเปลี่ยนการเชื่อมต่อระบบคอมพิวเตอร์ทั้งสองส่วนเป็นสายไฟเบอร์ใยแก้วเพื่อให้การตอบสนองเร็วขึ้น
- ควรวิจัยและพัฒนาต่อยอดให้สามารถนำไปใช้งานได้จริงเป็นรูปธรรม และเพื่อให้เกิดองค์ความรู้เกี่ยวกับยานใต้น้ำขนาดเล็กอย่างต่อเนื่อง