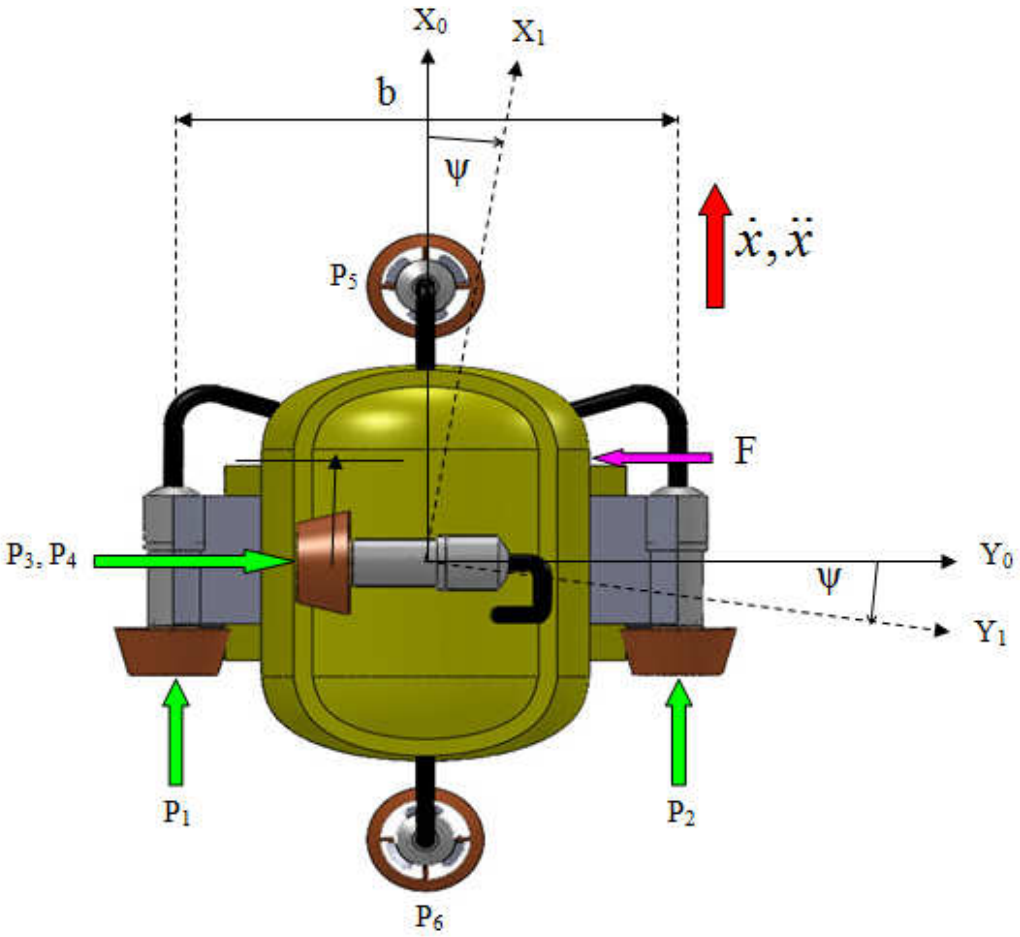
บทที่ 4 ผลการจำลองและการปฏิบัติ (Simulation and Implementation)

การทดลองยานใต้น้ำขนาดเล็กนี้มีการทดลองอยู่ 3 ลักษณะคือ การควบคุมทิศทางด้วยการควบคุมแบบพีไอดี (PID Control) การจำลองการควบคุมแบบลดผลกระทบด้วยสนามความเร็ว (Passive Velocity Field Control) และการควบคุมแบบสนามความเร็วช่วยควบคุมเส้นทางของยานใต้น้ำอัตโนมัติ (Velocity Field Control Assistance for Autonomous Underwater Vehicle Path Control)

4.1 การควบคุมทิศทางด้วยการควบคุมแบบพีไอดี (PID Control)

4.1.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

พิจารณาการเคลื่อนที่ยานใต้น้ำบนระนาบ (ROV Planar Motion)



รูปที่ 4.1 แผนภาพอ้างอิงบนตัวยานของการเคลื่อนที่ในระนาบ

ระบบขับเคลื่อนในแนวแกน x เกิดจากแรง P_1 และ P_2 เช่นเดียวกันแรงในทิศทาง y เกิดจากแรง P_3 และ P_4 แรงในทิศทาง z เกิดจากแรง P_5 และ P_6 แบบจำลองการเคลื่อนที่ในระนาบ เราสมมุติว่าแรงขับไปด้านหน้าเป็นอิสระจากการการหมุน แรงต้านการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของยานใต้น้ำถูกควบคุมด้วยสมการ

$$F_D = \frac{\rho}{2} C_{Dx} \dot{x}^2 A_x \tag{4.1.1}$$

โดยที่ A_x เป็นพื้นที่หน้าตัดด้านหน้าของยานใต้น้ำ, C_{Dx} เป็นสัมประสิทธิ์แรงต้านการเคลื่อนที่ตามแกน x ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ของยานตามแกน x สามารถเขียนได้เป็น

$$M\ddot{x} = F_T - F_D \tag{4.1.2}$$

$$\ddot{x} = \frac{P_1+P_2}{M} - \frac{\rho}{2M} C_{Dx} \dot{x}^2 A_x \tag{4.1.3}$$

แทนค่า $M = 89.50$ kg, $C_{Dx} = 0.70$ และ $A_x = 0.159$ m^2 ลงในสมการที่ (4.1.3) ได้สมการ

$$\ddot{x} = \frac{P_1+P_2}{89.50} - 0.63\, \dot{x}^2 \tag{4.1.4}$$

รูปที่ 4.2 แสดงรูปด้านข้างยานใต้น้ำ แสดงการคำนวณโมเมนต์แรงต้าน สำหรับโมเมนต์จากการหมุนของยาน โดยพิจารณาเป็นแถบเล็กๆ

$$dM_D = r dF \tag{4.1.5}$$

โดยที่ $dF = \frac{1}{2}\rho C_{Dy} \omega^2 r^2 dA_y$ และ $dA_y = l dr$
โดย A_y เป็นพื้นที่หน้าตัดด้านข้างของยานใต้น้ำ, C_{Dx} เป็นสัมประสิทธิ์แรงต้านการเคลื่อนที่ตามแกน y อินทริเกรตสมการข้างต้นจาก 0 ถึง R สามารถหาโมเมนต์ต้านจากการอินทริเกรตตลอดความยาวของยานได้เป็น

$$M_D = \rho \frac{C_{Dy} l R^4 \omega^2}{4} \tag{4.1.6}$$

สมการการเคลื่อนที่ในทิศทางยานใต้น้ำเขียนได้ในรูป

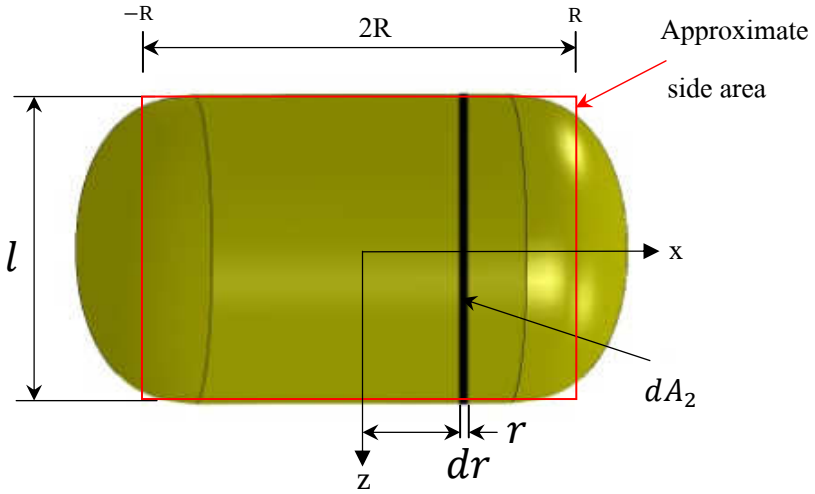
$$I_Z \ddot{\psi} = M_T - M_D \tag{4.1.7}$$

โดยที่

$$M_T = \frac{b}{2I_Z}(P_1 - P_2) \tag{4.1.8}$$

b เป็นระยะห่างระหว่างแรง P_1 และ P_2

$$\ddot{\psi} = \frac{b}{2I_Z}(P_1 - P_2) - \frac{\rho}{4I_Z} C_{D2} l R^4 \omega^2 \tag{4.1.9}$$



รูปที่ 4.2 แผนภาพอิสระพื้นที่หน้าตัดด้านข้างของยานใต้น้ำ

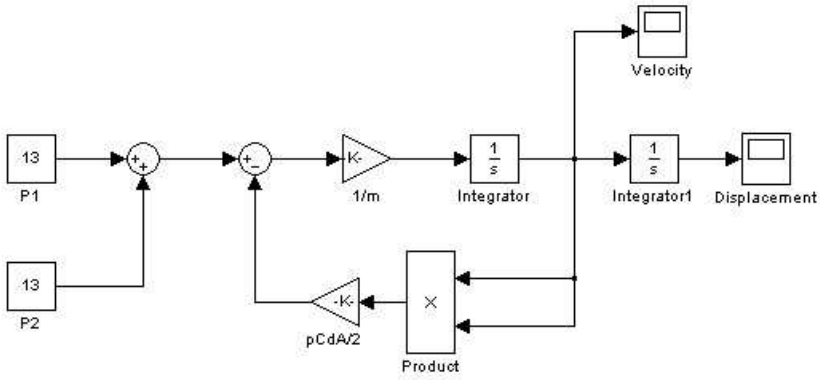
แทน $I_Z = 4.14 \text{kg.m}^2$ (ได้จากการคำนวณจากโปรแกรม SolidWorks)
$C_{Dy} = 0.64$, $l = 0.45$ m, $R = 0.27$ m ($R = 0.1725 + 2l/3\pi$) ลงในสมการ (4.1.9) เขียนสมการใหม่ได้เป็น

$$\ddot{\psi} = 0.0864\,(P_1 - P_2) - 0.0924\,\omega^2 \tag{4.1.10}$$

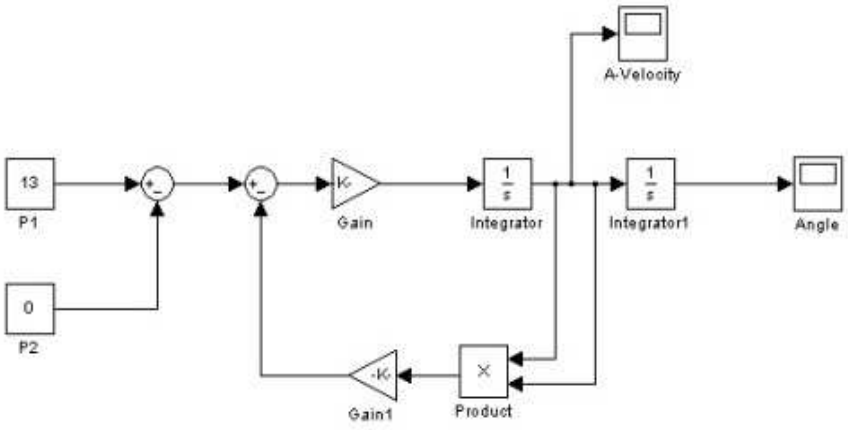
ดังนั้นได้สมการการเคลื่อนที่ในระนาบของยานใต้น้ำตามสมการที่ (4.1.4) และสมการที่(4.1.10)

4.1.2 การจำลองการควบคุม (Control Simulations)

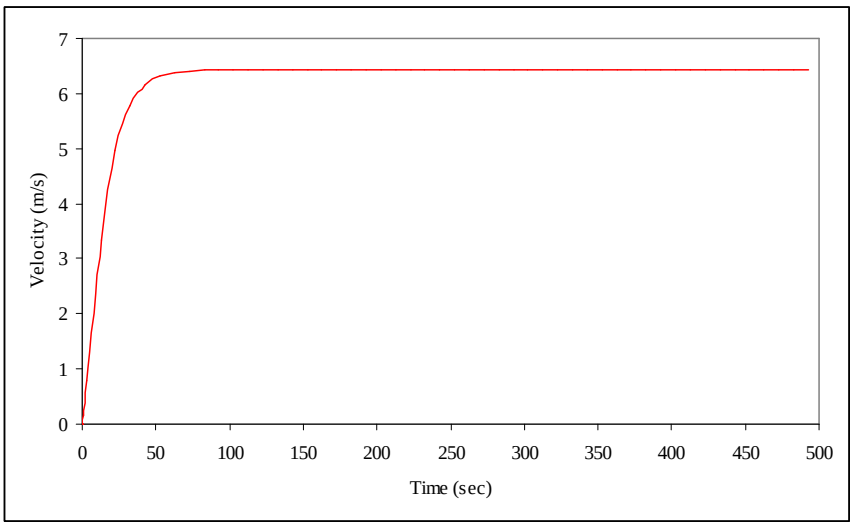
การจำลองการควบคุมของยานใต้น้ำใช้โปรแกรม MATLAB Simulink จากสมการการเคลื่อนที่สมการที่ (4.1.4) และสมการที่ (4.1.9) สามารถประยุกต์เพื่อจำลองการทำงานในรูปแบบเปิดได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แผนผังการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแบบเปิด (Open-loop forward motion diagram)

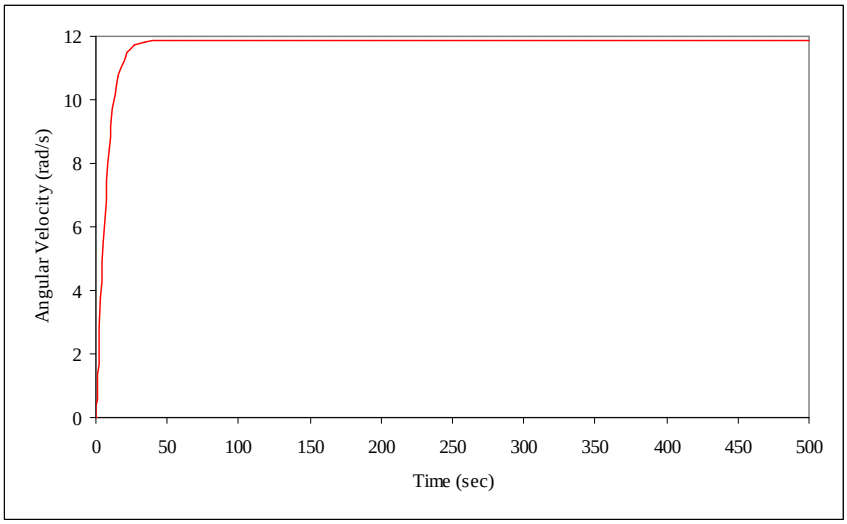


รูปที่ 4.4 แผนผังการควบคุมทิศทางยานใต้น้ำแบบเปิด (Open-loop yawing motion diagram)



รูปที่ 4.5 ผลการจำลองการควบคุมความเร็วการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าแบบเปิด

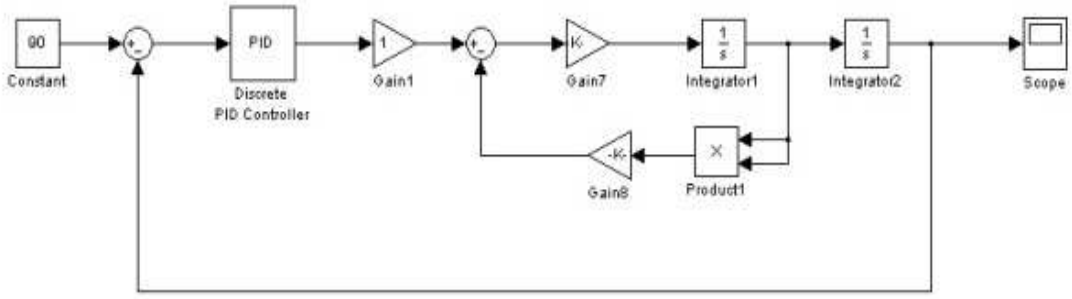
(Forward simulation for open-loop control)



รูปที่ 4.6 ผลการจำลองการควบคุมทิศทางยานใต้น้ำแบบเปิด

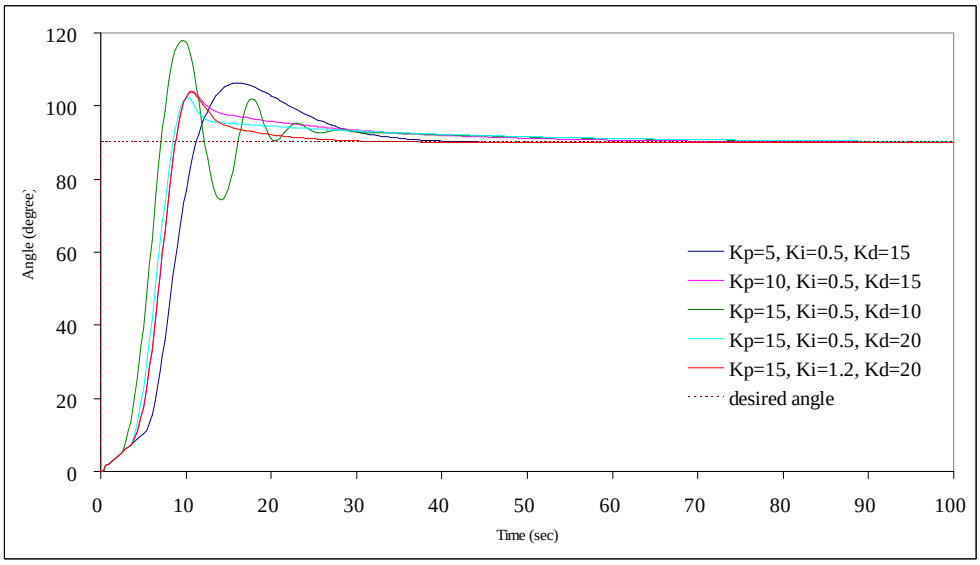
(Yawing simulation for open-loop control)

การควบคุมทิศทางยานใต้น้ำแบบปิดจำลองการควบคุมภายใต้การควบคุมแบบพีไอดี (PID control) บน simulink จากรูปที่ 4.7 แสดงแผนผังการทำงานของการติดตามการควบคุมมุมด้วยพีไอดี (PID) อัตราขยายพีไอดี (PID gain) การปรับอัตราขยายจนกระทั่งความคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ตามหลักการของโอกาตะ [45] ผลลัพธ์การจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 แผนผังการควบคุมทิศทางยานใต้น้ำแบบปิดด้วยต้นกำลังขับเดียว

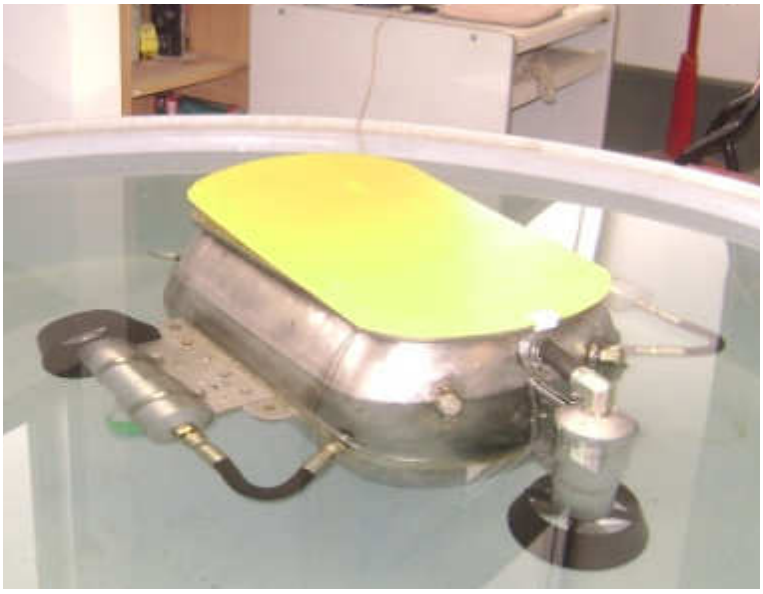
(Closed-loop yawing motion diagram with single thruster)



รูปที่ 4.8 แสดงอัตราขยายพีไอดี (PID gains) ต่าง ๆ ของการติดตามการควบคุมมุมที่ 90 องศา

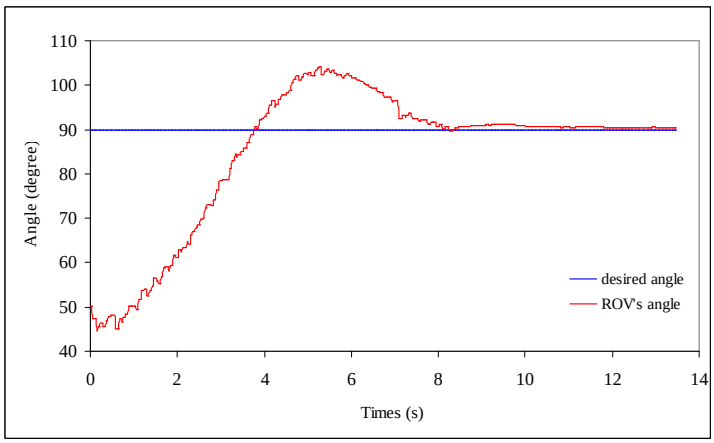
4.1.3 การประยุกต์ใช้งาน (Implementations)

การทดลองเบื้องต้น การควบคุมแบบพีไอดีถูกประยุกต์ด้วยต้นกำลังขับเดียว (single thruster) สำหรับการติดตามการควบคุมมุม โดยเซนเซอร์วัดความเร่ง (3DM accelometer) ถูกนำมาใช้วัดทิศทางของยานใต้น้ำเทียบกับทิศเหนือ ทำการทดลองในอ่างวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 เมตร ลึก 50 เซนติเมตร ณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ดังรูปที่ 4.9

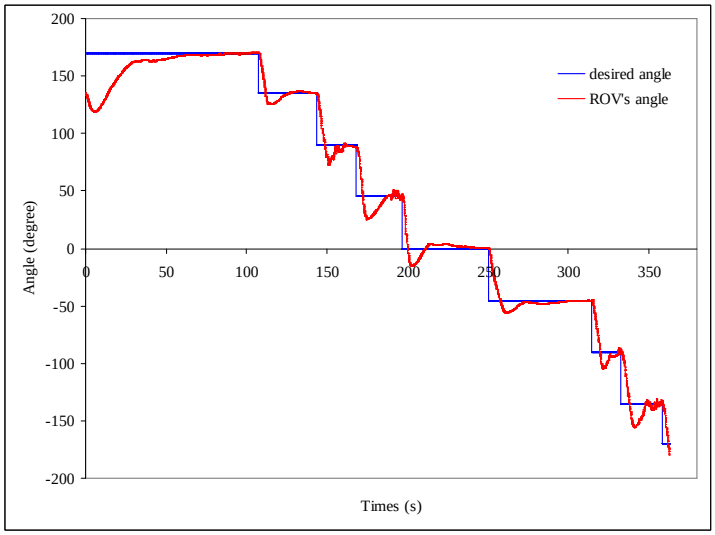


รูปที่ 4.9 การทดสอบการติดตามทิศทางยานใต้น้ำ

การปรับค่าอัตราขยายพีไอดี (PID gain) จะต้องปรับจนกระทั้งความคลาดเคลื่อนของมุมลู่เข้าสู่ ศูนย์ อัตราขยายที่เหมาะสมของการทดลองนี้คือ $K_P = 0.85$, $K_I = 0.35$ and $K_D = 0.05$ รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดลอง กำหนดค่ามุมอ้างอิงที่ 90 องศา ยานใต้น้ำเริ่มหมุนจากมุม 50 องศา เข้าสู่ค่ามุมอ้างอิง โดยยอมให้เกิดภาวะพุ่งเกิน (Overshoot) เพื่อให้ระบบลู่เข้าสู่ค่าอ้างอิงได้เร็วขึ้น รูปที่ 4.11 เป็นผลการทดลองของเปลี่ยนแปลงค่ามุมอ้างอิงแบบต่อเนื่องเริ่มจากที่มุม 170, 135, 90, 45, 0, -45, -90, -135 และ -170 องศาอย่างต่อเนื่องตามลำดับ



รูปที่ 4.10 การติดตามการควบคุมแบบพีไอดีที่ 90 องศา



รูปที่ 4.11 การติดตามการควบคุมแบบพีไอดีที่มุมต่าง ๆ

ผลของการทดลอง การควบคุมทิศทางด้วยการควบคุมแบบพีไอดี (PID control) ระบบสามารถควบคุมทิศทางยานใต้น้ำเข้าสู่ค่ามุมอ้างอิงที่กำหนดได้ การปรับค่าอัตราขยาย (gain) ให้มีภาวะการพุ่งเกิน (overshoot) เล็กน้อย ส่งผลให้ระบบควบคุมมีการตอบสนองที่รวดเร็วและลู่เข้าสู่ค่ามุมอ้างอิงได้เร็วขึ้น