

ระบบรักษาเสถียรภาพยานพาหนะทางทะเลโดยใช้การควบคุมแบบสไลด์โหมดที่มีการแก้อการสั่น

Marine Vehicle Stabilization System Using Sliding Mode Control with Chattering Reduction

ปภัส ศรีนนตรี (Paphat Srinontri)^{1*} ดร.ธีรยุทธ ชาทิชนะยีนง (Dr.Theerayuth Chatchanayuenyong)**
ดร.ณัฐวุฒิ สุวรรณทา (Dr.Nattawoot Suwannata)***

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบรักษาเสถียรภาพของยานพาหนะทางทะเลโดยใช้เทคนิคการควบคุมแบบสไลด์โหมด เพื่อรักษาเสถียรภาพแนวแกนหมุนและแนวแกนก้มเงย คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กแบบฝังตัวถูกนำมาใช้ประมวลผลการควบคุมจากมุมเอียงของยาน แล้วส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุมตัวสร้างกำลังขับเคลื่อนจำนวนสี่ตัว เพื่อกำเนิดกำลังขับเคลื่อนแก้อการเอียงของยานที่เกิดจากคลื่นน้ำ จากการทดลองพบว่าแนวแกนหมุนและแกนก้มเงยของระบบที่ไม่มีการรักษาเสถียรภาพใช้เวลาเข้าสู่สมดุลเท่ากับ 9.845 วินาที และ 6.723 วินาทีตามลำดับ ในขณะที่ระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้เทคนิคสไลด์โหมดใช้เวลา 0.950 วินาที และ 0.825 วินาที สำหรับแนวแกนหมุนและแกนก้มเงยตามลำดับ แต่จะเกิดการสั่นในระบบในช่วงเวลาสถานะคงตัว ภายหลังจากแก้ปัญหาคารก้านโดยการแทนฟังก์ชันซิกนัมด้วยฟังก์ชันซิกมอยด์ พบว่าสามารถลดการสั่นในช่วงสถานะคงตัวได้ โดยระบบสามารถเข้าสู่เสถียรภาพในแนวแกนหมุนด้วยเวลา 1.076 วินาที และแนวแกนก้มเงยด้วยเวลา 0.981 วินาที

ABSTRACT

This paper presents marine vehicle stabilization system design and implementation using Sliding Mode Control (SMC) technique. The embedded computer is used to compute control signal from angle of the vehicle then the output is send to 4 sets of thruster controllers. The generated forces from thrusters are used to control roll and pitch angle of the vehicle that affected by water waves. From the experimental results, the settling time of the roll axis and pitch axis of the vehicle without stabilized system are 9.845 s and 6.723 s respectively, while roll axis and pitch axis of the vehicle with SMC stabilized system have the settling time of 0.950 s and 0.825 s respectively. However, the roll axis and pitch axis of vehicle with signum

¹ Correspondent author: paphat.sr@gmail.com

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

** ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

*** อาจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

function SMC have chattering in steady state. After the problem is solved by changing the signum function to sigmoid function, it is found that the chattering of the vehicle is reduced. The setting times of the marine vehicle with sigmoid function SMC stabilizing are 1.076 s for roll axis and 0.981 s for pitch axis.

คำสำคัญ: ระบบรักษาเสถียรภาพ ยานพาหนะทางทะเล การควบคุมแบบสไลด์โหมด

Keywords: Stabilization systems, Marine vehicle, Sliding mode control

บทนำ

พื้นผิวโลกมีน้ำเป็นส่วนประกอบหลักถึงสองในสามส่วน ซึ่งมีความสำคัญในหลายๆ ด้านของการดำรงชีวิตของมนุษย์ อาทิเช่น การคมนาคมขนส่ง และการเป็นจุดยุทธศาสตร์ที่สำคัญในด้านการค้าและการทหาร ยานพาหนะทางทะเลจึงมีความสำคัญมาก เนื่องจากถูกใช้เป็นเครื่องมือในการคมนาคมขนส่ง และการปฏิบัติการทางน้ำต่างๆ ได้ แต่การเคลื่อนที่ของยานพาหนะนั้นก็พบปัญหาเนื่องจากต้องเผชิญกับความแปรปรวนของสภาพแวดล้อมในทะเลตลอดเวลา ส่งผลให้ยานพาหนะขาดเสถียรภาพในขณะที่ปฏิบัติการ เนื่องจากความไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ของระบบ ความไม่แน่นอนของพารามิเตอร์ (Parameter uncertainties) หรือตัวแปรต่างๆ ในน้ำ พฤติกรรมทางพลวัตที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying dynamics) รวมไปถึงกระแส น้ำก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการรักษาเสถียรภาพของยานพาหนะ โดยปกติแล้วยานพาหนะในน้ำจะมีการเคลื่อนที่ใน 6 องศาอิสระ (ภาพที่ 1) [1]

การหันเหทิศทาง (Yaw) และการเคลื่อนที่ในแนวแกน x (Surge) เป็นองศาอิสระของยานพาหนะผิวน้ำที่สำคัญในการเคลื่อนที่ แต่อย่างไรก็ตามในการรักษาเสถียรภาพของยานพาหนะที่เคลื่อนที่บนผิวน้ำ จะต้องทำการควบคุมการเคลื่อนที่ในแนวแกนหมุน (Roll) และแนวแกนก้มเงย (Pitch) ของลำตัวยาน โดยที่เสถียรภาพในทิศทางก้มเงยจะมีความสำคัญมากกว่าในทิศทางก้มเงย [2] ระบบที่นำมาใช้ในการรักษาเสถียรภาพของยานพาหนะจะทำการ

ควบคุมและกำจัดการเคลื่อนที่ที่ไม่ต้องการออกไป โดยอุปกรณ์เหล่านี้สามารถทำงานได้ในลักษณะแอคทีฟ (Active) หรือ พาสซีฟ (Passive) โดยจะทำการสร้างแรง (Force) และแรงบิด (Torque) เพื่อทำให้เกิดเสถียรภาพของโมเมนต์การเคลื่อนที่ของลำตัวยานในอดีตมีการประยุกต์ใช้อุปกรณ์แบบแอคทีฟหลายชนิดในการรักษาเสถียรภาพของยานพาหนะฯ เช่น มวลเคลื่อนที่ (Moving mass) ทางเสือ (Rudder) ครีบ (Fin) ถังกระตุ้น (Activated tank) และไจโรสโคป (Gyroscope) เป็นต้น ข้อเสียของอุปกรณ์เหล่านี้คือจะด้อยประสิทธิภาพที่ความเร็วต่ำๆ [3]

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้อัลกอริธึมในการรักษาเสถียรภาพของยานพาหนะหลายเทคนิค เช่น การควบคุมแบบสไลด์โหมด [3] การควบคุมแบบพีไอดี (PID) [4] การควบคุมแบบเหมาะสมที่สุด (Optimal control) [5-6] การควบคุมแบบเฮซุ (H_2) และเฮซอินฟินิตี้ (H_∞) [7] เป็นต้น โดยทั่วไปหลักการของระบบควบคุมดังกล่าวจะถูกออกแบบให้ไปเพิ่มการหน่วง (Damping) ให้กับระบบ และในส่วนอัลกอริธึมที่ถูกนำมาใช้จะต้องสามารถจัดการกับปัญหาความแปรปรวนต่างๆ ของระบบที่มีผลต่อการรักษาเสถียรภาพของยานพาหนะฯ ได้

ในปัจจุบันเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนที่ได้มีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นมา โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ดิจิตอลไจโรสโคปและเซนเซอร์วัดความเร็วที่มีการใช้กระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าองศาอิสระ โดยการใช้ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) ภายในตัวเซนเซอร์เอง ก็จะสามารถให้ค่าองศาอิสระ

ได้อย่างแม่นยำ ทำให้ลดภาระการคำนวณในตัวประมวลผลกลางลง ทำให้ระบบทำงานได้เร็วขึ้นส่งผลให้การรักษาเสถียรภาพมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคสไลด์โหมดในการรักษาเสถียรภาพของยานพาหนะฯ โดยทดลองกับฐานทดสอบ (Testbed) จริงร่วมกับการเขียนโปรแกรมควบคุมในคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก (Embedded PC) ซึ่งรับค่าองศาอิสระจากเซนเซอร์ไจโรสโคปกับเซนเซอร์วัดความเร่ง ที่มีการประมาณค่าองศาอิสระภายในตัวเซนเซอร์เอง แล้วส่งสัญญาณควบคุมไปยังตัวสร้างกำลังขับเพื่อรักษาเสถียรภาพของยานพาหนะฯต่อไป โดยเปรียบเทียบระบบที่มีการควบคุมแบบสไลด์โหมดกับระบบที่ไม่มีการควบคุม และเปรียบเทียบระหว่างระบบควบคุมแบบสไลด์โหมดแบบพื้นฐานกับระบบควบคุมแบบสไลด์โหมดที่มีการแก้ปัญหาการสั่น (Chattering) โดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ (Sigmoid)

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ออกแบบและจัดสร้างฐานทดสอบที่มีระบบควบคุมเสถียรภาพโดยใช้เทคนิคสไลด์โหมด
2. เปรียบเทียบผลการรักษาเสถียรภาพระหว่างสถานะที่ไม่มีระบบรักษาเสถียรภาพกับระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้เทคนิคสไลด์โหมด
3. เปรียบเทียบระบบควบคุมแบบสไลด์โหมดแบบพื้นฐานกับระบบควบคุมแบบสไลด์โหมดที่มีการแก้ปัญหาการสั่นโดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์

เครื่องมือและวิธีการวิจัย

การควบคุมแบบสไลด์โหมด (SMC)

การควบคุมแบบสไลด์โหมดเป็นระบบควบคุมที่รวมระบบควบคุมย่อยๆไว้ด้วยกัน ซึ่งแต่ละระบบย่อยมีโครงสร้างที่แน่นอนและทำงานในแต่ละช่วงสถานะของระบบเท่านั้น การควบคุมนี้มีลักษณะเด่นคือเป็นระบบควบคุมที่ไม่จำเป็นต้องมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ และปัญหาของระบบใน

อันดับสูงจะถูกแทนที่ด้วยปัญหาอันดับหนึ่งซึ่งทำให้ระบบไม่ซับซ้อนและง่ายต่อการควบคุม [8]

$$\ddot{x} = f(\dot{x}, t) + u(t) \quad (1)$$

เมื่อ $f(\dot{x}, t)$ คือ ไดนามิกของระบบ
 $u(t)$ คือ อินพุตของการควบคุม

จากคุณสมบัติที่กล่าวถึงข้างต้น ความไม่แน่นอนในแบบจำลอง (Model uncertainties) ซึ่งเกิดจาก $f(\dot{x}, t)$ ในสมการที่ (1) ซึ่งเป็นเทอมไม่เชิงเส้นสามารถละทิ้งได้ ทำให้สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นการประมาณเชิงเส้นของแบบจำลองไดนามิก ดังนั้นจะได้สมการการควบคุมแบบสไลด์โหมดที่เป็นไปได้แสดงได้เป็น

$$T(t) = -\rho \operatorname{sgn}(s(t)) \quad (2)$$

หรือ หรือ

$$T(t) = \begin{cases} -\rho & \text{if } s(\psi, \dot{\psi}, t) > 0 \\ \rho & \text{if } s(\psi, \dot{\psi}, t) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

เมื่อ ρ คือ อัตราขยายของสไลด์
 $\operatorname{sgn}(\cdot)$ คือ ฟังก์ชันซิกนัม (Signum) หรือฟังก์ชันเครื่องหมาย

ฟังก์ชันการสวิตช์ $s(t)$ สำหรับไดนามิกของยานพาหนะฯซึ่งมีอันดับเป็นสอง ดังสมการที่ (2) มีค่าเท่ากับ

$$s(\psi, \dot{\psi}, t) = \dot{e} + \lambda e \quad (4)$$

เมื่อ e คือ ค่าผิดพลาดในตัวแปร (Tracking error) มีค่าเท่ากับ $\psi - \psi_d$ เมื่อ ψ_d คือสเตตที่ต้องการ

λ คือ จำนวนค่าที่เป็นบวกที่แทนความชันของพื้นผิวของการสวิตช์

การเคลื่อนที่แบบสไลด์โหมดจะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ จากสถานะเริ่มต้นภายหลังสเตตของระบบเคลื่อนที่มายังบริเวณพื้นผิวของการสไลด์โหมด ถ้าสมการที่ (5) เป็นจริง

$$s\dot{s} = \frac{1}{2} \frac{d}{dt} s^2 \leq -\eta |s| \quad (5)$$

เมื่อ η คือ ค่าคงที่ที่เป็นบวก โดยในการเลือก ρ ในสมการที่ (2) นั้น ค่า ρ ต้องมีค่ามากพอที่จะทำให้มีพลังงานในการควบคุมที่จะนำ ρ สเตทของระบบไปยังพื้นผิวของสไลด์และรักษาการเคลื่อนที่แบบสไลด์ไว้ได้ ซึ่งจะทำให้สมการที่ (5) เป็นจริง หรืออาจกล่าวได้ว่า ρ จะต้องมีค่ามากกว่าความไม่แน่นอนของระบบไม่ว่าจะถูกหาแบบจำลองไว้หรือไม่ก็ตาม ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้ว ρ จะถูกกำหนดไว้ที่ค่าสูงสุดของเอาท์พุท อย่างไรก็ตามการควบคุมแบบสไลด์ที่โหมดมีข้อด้อยคือจะเกิดการสั่น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่ไม่พึงประสงค์เป็นอย่างมาก เนื่องจากจะไปกระตุ้นไดนามิกความถี่สูงของระบบที่ถูกละทิ้งไว้ในขั้นตอนการหาแบบจำลองของระบบ และยังสร้างความเสียหายขึ้นในตัวขับเคลื่อนด้วย สถานการณ์เช่นนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้ใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ ในสมการ (6) แทนที่ฟังก์ชันซิกนัม ในสมการ (2) ซึ่งจะเป็นการทำให้เกิดขอบเขตการสวิทช์แคบๆ ขึ้นใกล้ๆ กับพื้นผิวของการสวิทช์ ทำให้การควบคุมที่ไม่ต่อเนื่องเรียบขึ้น

$$u(t) = -\rho \tanh\left(\frac{s(t)}{\phi}\right) \quad (6)$$

โดย ϕ คือ ค่าสเกลาร์ที่เป็นบวกที่บอกถึงความกว้างของขอบเขตของการสวิทช์

จากสมการควบคุมแบบสไลด์ที่โหมดตั้งที่ได้กล่าวข้างต้น สามารถเขียนเป็นไดอะแกรมในการรักษาเสถียรภาพยานพาหนะได้ดังภาพที่ 2 และได้ออกแบบระบบควบคุมจริงโดยใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กเพื่อรับค่าองศาอิสระจากเซนเซอร์ดิจิตอลไจโรสโคปและเซนเซอร์วัดความเร็ว แล้วนำมาคำนวณแบบสไลด์ที่โหมด จากนั้นได้ส่งสัญญาณควบคุมไปยังชุดวงจรขับเคลื่อนทั้งสี่ตัว (ภาพที่ 3) เพื่อรักษาเสถียรภาพยานพาหนะฯ ต้นแบบ (ภาพที่ 4) และ (ภาพที่ 5) ซึ่งมีรายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ดังนี้

ชุดวงจรขับเคลื่อน

ชุดขับเคลื่อนแบบเฮบริดจ์ (H-Bridge)

พิกัดกระแส 205 แอมป์ ที่ระดับแรงดัน 12-48 โวลท์ จำนวนสี่ตัว ซึ่งจะทำหน้าที่รับคำสั่งอินพุทที่เป็นสัญญาณความกว้างพัลส์ (PWM) จากตัวไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อทำการควบคุมความเร็วรอบและทิศทางการหมุนของมอเตอร์

ตัวสร้างกำลังขับ

ตัวสร้างกำลังขับของยานพาหนะฯ ใช้มอเตอร์ขนาด 12 โวลท์ 348 วัตต์ จำนวนสี่ตัว โดยจะมีการสร้างให้ตำแหน่งมอเตอร์ที่อยู่กับตัวใบพัดทำมุม 90 องศา เพื่อใช้ในการทดสอบการรักษาเสถียรภาพของยานพาหนะฯ การติดตั้งตัวสร้างกำลังขับทั้งสี่ (ภาพที่ 5)

เซนเซอร์วัดองศาอิสระชนิดดิจิตอล

ในงานวิจัยนี้ใช้เซนเซอร์รุ่น 3DM-GX4-15 ของ Microstrain ที่มีการส่งข้อมูลอนุกรมแบบ RS232 ซึ่งภายในตัวเซนเซอร์ประกอบไปด้วยทั้งเซนเซอร์ดิจิตอลไจโรสโคปและเซนเซอร์วัดความเร็วที่มีการคำนวณองศาอิสระโดยใช้ตัวกรองคาลมาน

ชุดคอมพิวเตอร์ควบคุม

งานวิจัยนี้ใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่ใช้ตัวประมวลผลชนิดอาร์ม (Arm) 32 บิต เขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ โดยรับสัญญาณค่ามุมมองศาอิสระมาจากเซนเซอร์วัดองศาอิสระชนิดดิจิตอล และคำนวณการควบคุมแบบสไลด์ที่โหมดแล้วส่งสัญญาณการขับเคลื่อนไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ตัวที่สองเป็นแบบ I2C เพื่อจ่ายสัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 8 บิต ไปยังตัวสร้างกำลังขับเคลื่อนต่อไป

แบตเตอรี่

กำลังงานที่ใช้บนฐานทดสอบเช่นชุดวงจรขับเคลื่อน เซนเซอร์และวงจรควบคุม เลือกใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลท์ 60 แอมป์-ชั่วโมง ซึ่งทำให้ระบบระบบทำงานได้เป็นเวลาประมาณ 3 ชั่วโมง

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระบบการควบคุมสองแบบได้แก่ ระบบในภาวะที่มีระบบควบคุมและไม่มีระบบควบคุม และเปรียบเทียบระบบการควบคุมแบบที่มีการแก้การสั่นและไม่มีการแก้การสั่น โดยมีเงื่อนไขการทดลองคือทำการทดสอบการรักษาเสถียรภาพของยานพาหนะฯ ดังภาพที่ 6 ในสองแนวแกนคือแนวแกนหมุนและแนวแกนก้มเงยโดยกำหนดมุมเริ่มต้นในแนวแกนหมุนและแนวแกนก้มเงยไว้ที่ 20 และ 7 องศาตามลำดับ ซึ่งเป็นมุมมองสูงสุดที่ทำให้เรือไม่จม เปรียบเทียบกันระหว่างสามสถานะได้แก่ ระบบที่ไม่มีการรักษาเสถียรภาพกับระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชิกนัมในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด ระบบที่ไม่มีการรักษาเสถียรภาพกับระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชิกมอยต์ในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด และเปรียบเทียบระหว่างระบบควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดที่ใช้ฟังก์ชันชิกนัมกับฟังก์ชันชิกมอยต์ โดยที่ $\lambda = 1$, $\rho = 255$

การทดสอบการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชิกนัม

การทดสอบในแนวแกนหมุน

ทำการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่างสถานะที่ไม่มีระบบรักษาเสถียรภาพกับระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชิกนัมในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 7 พบว่าสถานะที่ไม่มีระบบรักษาเสถียรภาพใช้เวลาสู่สมดุล (Settling time) เท่ากับ 9.845 วินาที ในขณะที่ระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชิกนัมในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด ใช้เวลา 0.950 วินาทีแต่จะพบการสั่นเกิดขึ้นในสภาวะคงตัว (Steady state) ทำให้เรือสั่นไปมาที่มุมประมาณ ± 1.387 องศา

การทดสอบในแนวแกนก้มเงย

ทำการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่างระบบที่ไม่มีการรักษาเสถียรภาพกับระบบที่

มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชิกนัมในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดเช่นเดียวกันกับในแนวแกนหมุน ได้ผลการทดลองดังภาพที่ 8 พบว่าสถานะที่ไม่มีระบบรักษาเสถียรภาพใช้เวลาสู่สมดุลเท่ากับ 6.723 วินาที ในขณะที่ระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้เทคนิคสไลด์ดิ้งโหมดใช้เวลา 0.825 วินาทีและเกิดการสั่นขึ้นในสภาวะคงตัวเช่นเดียวกับการทดสอบในแนวแกนหมุนซึ่งมีมุมการสั่นของเรือประมาณ ± 0.447 องศา

การทดสอบการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชิกมอยต์

การทดสอบในแนวแกนหมุน

ทำการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่างระบบที่ไม่มีการรักษาเสถียรภาพกับระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชิกมอยต์ในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดดังภาพที่ 9 พบว่าระบบที่ไม่มีการรักษาเสถียรภาพใช้เวลาสู่สมดุล 9.845 วินาที ในขณะที่ระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชิกมอยต์ในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดใช้เวลา 1.076 วินาที และมีการสั่นลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับฟังก์ชันชิกนัม (ภาพที่ 10)

การทดสอบในแนวแกนก้มเงย

ทดสอบในแนวแกนก้มเงย โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกันระหว่างระบบที่ไม่มีการรักษาเสถียรภาพกับระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชิกมอยต์ในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด (ภาพที่ 11) พบว่าระบบที่ไม่มีการรักษาเสถียรภาพใช้เวลาสู่สมดุลเท่ากับ 6.723 วินาที ในขณะที่ระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชิกมอยต์ในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดใช้เวลา 0.981 วินาที ซึ่งพบว่าระบบใช้เวลาสู่สมดุลมากกว่าการใช้ฟังก์ชันชิกนัม แต่การสั่นของระบบในสภาวะคงตัวลดลง (ภาพที่ 12)

จากการทดลองทั้งสามสถานะพบว่าระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชิกนัมมีค่าผลตอบสนองสูงที่สุดน้อยที่สุดและสามารถเข้าสู่เสถียรภาพ

ได้เร็วกว่าระบบอื่นแต่พบปัญหาการสั่นในสภาวะคงตัว ซึ่งในระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชกิมอยด์นั้นมีค่าผลตอบสนองสูงสุดและใช้เวลาในการเข้าสู่เสถียรภาพมากกว่าเพียงเล็กน้อยแต่สามารถแก้ปัญหการสั่นในสภาวะคงตัวได้ในทั้งสองแนวแกนดังภาพที่ 13 และ 14

สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1 พบว่าระบบที่ไม่มีมีการรักษาเสถียรภาพจะมีค่าเวลารุ่ง (Rise time) ของแนวแกนหมุนและแนวแกนก้มเงยเท่ากับ 0.400 และ 0.370 วินาทีตามลำดับ ค่าผลตอบสนองสูงสุด (Maximum Overshoot) เท่ากับ 12.725 และ 5.271 องศา เวลาสู่สมดุล เท่ากับ 9.845 และ 6.723 วินาที ระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชกิมอยด์ในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดจะมีค่าเวลารุ่ง เท่ากับ 0.354 และ 0.233 วินาที ค่าผลตอบสนองสูงสุด เท่ากับ 4.005 และ 3.708 องศา เวลาสู่สมดุล เท่ากับ 0.950 และ 0.825 วินาทีในแนวแกนหมุนและแนวแกนก้มเงย แต่จะพบปัญหาการสั่นซึ่งเป็นข้อด้อยของการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดโดยจากผลการทดสอบพบว่าระบบมีค่าความคลาดเคลื่อนในสภาวะคงตัว (Steady state error) โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง ± 1.387 และ ± 0.447 องศาในแนวแกนหมุนและแนวแกนก้มเงย ซึ่งภายหลังการแก้ปัญหการสั่นของระบบโดยการเปลี่ยนฟังก์ชันจากฟังก์ชันชกิมอยด์เป็นฟังก์ชันชกิมอยด์ พบว่าระบบจะมีค่าเวลารุ่งในแนวแกนหมุนและแนวแกนก้มเงย เท่ากับ 0.374 และ 0.280 วินาที ค่าผลตอบสนองสูงสุด เท่ากับ 4.024 และ 3.776 องศา เวลาสู่สมดุล เท่ากับ 1.076 และ 0.981 วินาทีและมีค่าความคลาดเคลื่อนในสภาวะคงตัวโดยเฉลี่ยเท่ากับ ± 0.231 และ ± 0.109 องศา ซึ่งจะพบว่าระบบมีค่าเวลารุ่ง ค่าผลตอบสนองสูงสุด และเวลาสู่สมดุลมากกว่าการใช้ฟังก์ชันชกิมอยด์เพียงเล็กน้อย แต่สามารถลดปัญหการสั่นในระบบในแนวแกนหมุนได้ 83.35 เปอร์เซ็นต์ และ 75.62 เปอร์เซ็นต์ในแนว

แกนก้มเงย ดังภาพที่ 10 และ 12 ในการใช้งานจริงการใช้ฟังก์ชันชกิมอยด์ร่วมกับการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดมีความเหมาะสมมากกว่า

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีป้องกันประเทศ (องค์การมหาชน)

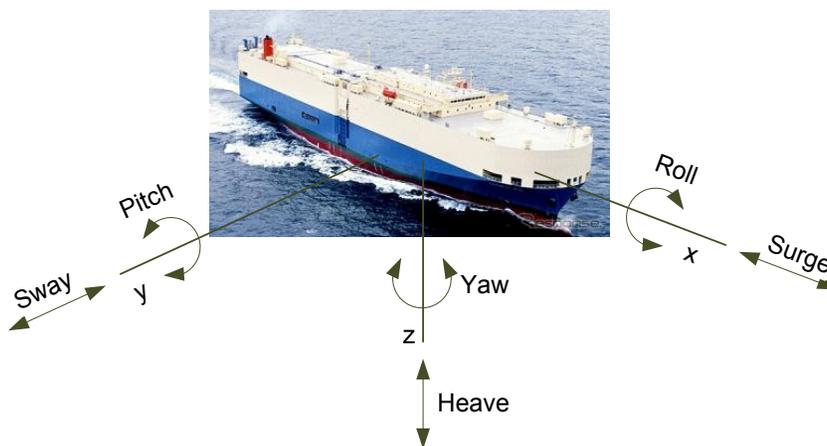
เอกสารอ้างอิง

1. Evers G, Vervoort JHAM, Engelaar RC, Nijmeijer H, de Jager AG, Chen XQ, et al. Modeling and Simulated Control of an Under Actuated Autonomous Underwater Vehicle. Proceedings of the Control and Automation Conference. Christchurch, New Zealand. 2009; 343-6.
2. Barisic M, Vukic Z, Miskovic N. Design of a coordinated control system of marine vehicles. University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing Laboratory for Underwater Systems and Technologies. Dept. of Control and Computer Engineering. Zagreb, Croatia.
3. Koshkouei AJ, Burnham KJ, Law Y. A comparative study between sliding mode and proportional integrative derivative controllers for ship roll stabilization. IET Control Theory Appl. 2007; 1(5): 1266-10.
4. Minorsky N. Experiment with activated tanks. Trans. ASME. 1947; 96: 735-13.
5. Fossen TI. Ship stabilization: history. in Papageorgiou. M. (Ed.): Concise encyclopedia of traffic and transportation systems. Pergamon Press. 1995; 454-6.

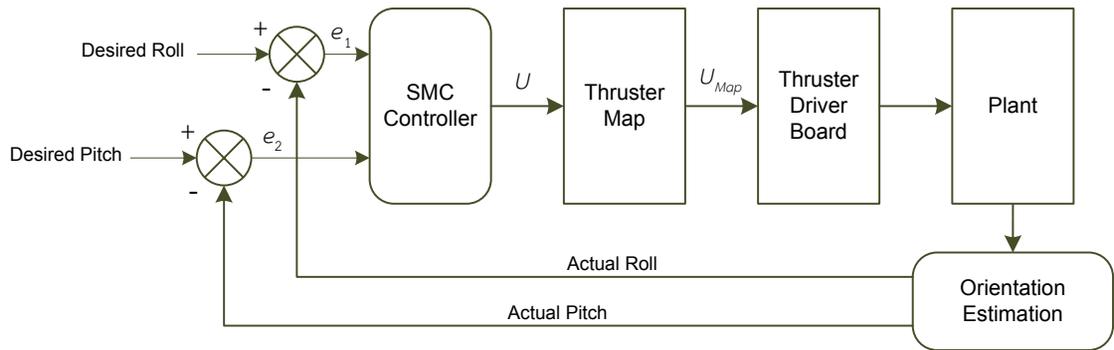
6. Fossen TI. Guidance and control of ocean vehicles. John Wiley & Sons. New York. 1995.
7. Katebi MR, Grimble M, Zhang Y. H_∞ robust control design for dynamic ship positioning. IEE Proc. Control Theory Appl. 1997; 144: 110-11.
8. Chatchanayuenyong T, Parnichkun M. Neural network based-time optimal sliding mode control for an autonomous underwater robot. Science direct Mechatronics. 2006; 1(16): 471-8.

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบการเข้าสู่เสถียรภาพของระบบระหว่างระบบที่ไม่มีการรักษาเสถียรภาพ ระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันซิกนัมในการควบคุมแบบสไลด์ิงโหมด และระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ในการควบคุมแบบสไลด์ิงโหมด

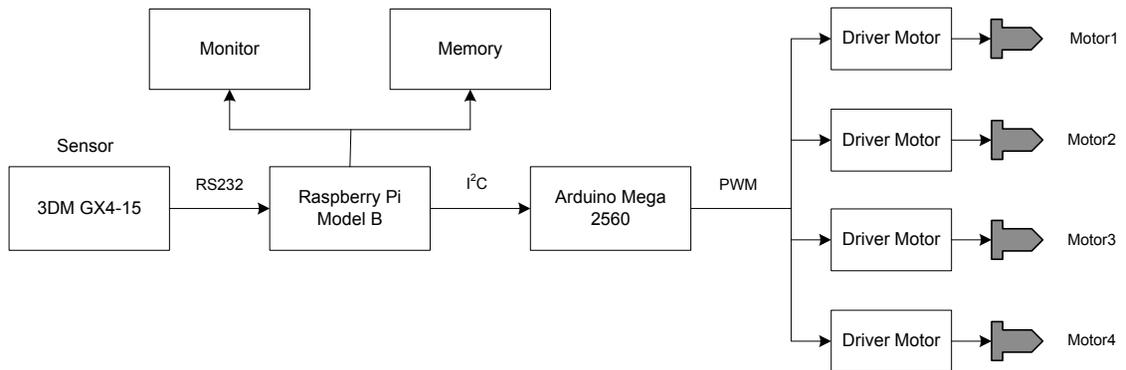
	Roll angle				Pitch angle			
	Rise time (s)	Maximum Overshoot (degree)	Settling time (s)	Steady-state error (degree)	Rise time (s)	Maximum Overshoot (degree)	Settling time (s)	Steady-state error (degree)
Without controller	0.400	12.725	9.845	-	0.370	5.271	6.723	-
Signum function(SMC)	0.354	4.005	0.950	± 1.387	0.233	3.708	0.825	± 0.447
Sigmoid function(SMC)	0.374	4.024	1.076	± 0.231	0.280	3.776	0.981	± 0.109



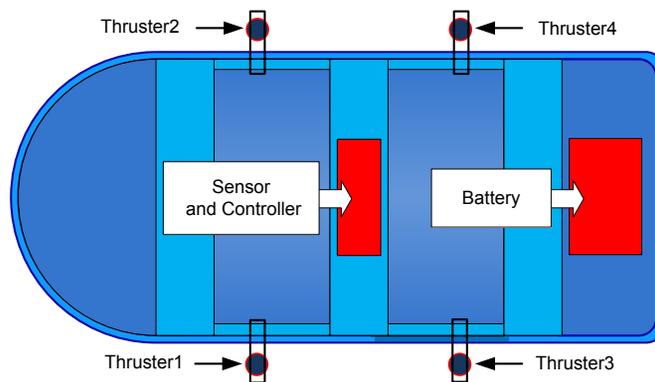
ภาพที่ 1 องค์ประกอบของยานพาหนะทางทะเล



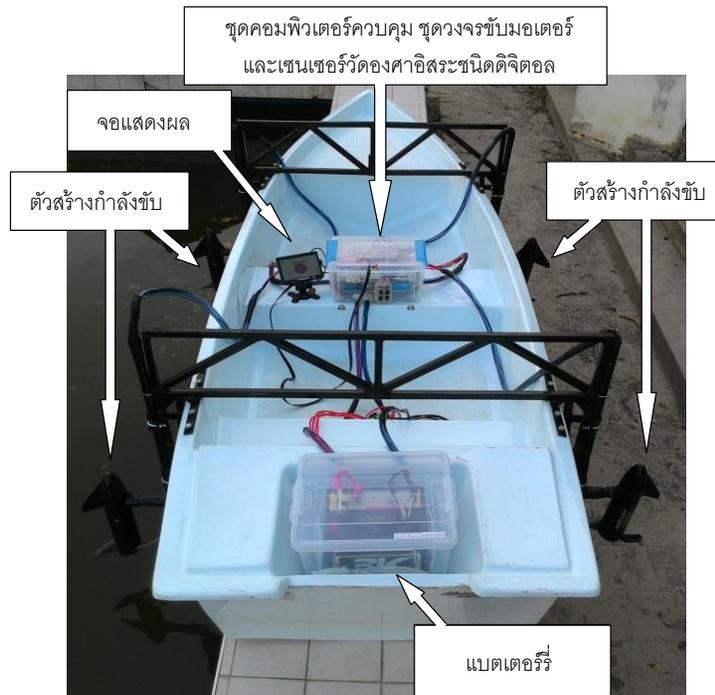
ภาพที่ 2 ไดอะแกรมของการรักษาเสถียรภาพของยานพาหนะโดยใช้เทคนิคสไลด์โหมด



ภาพที่ 3 ไดอะแกรมของวงจรระบบควบคุม



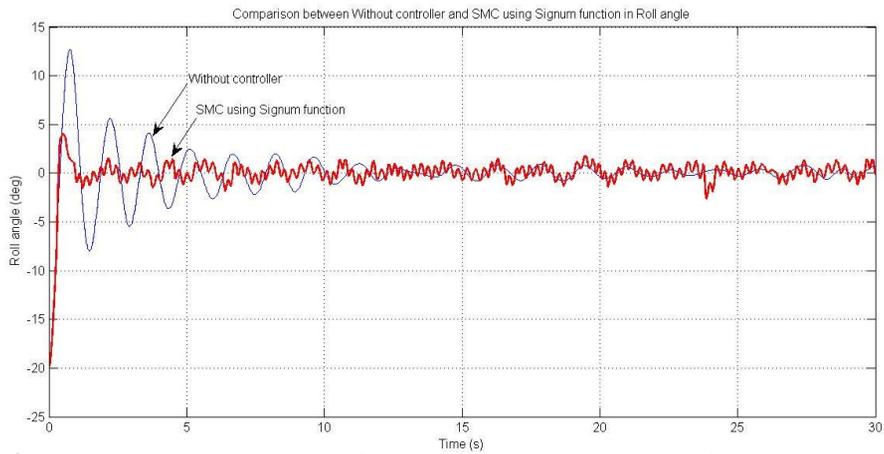
ภาพที่ 4 การออกแบบฐานทดสอบ



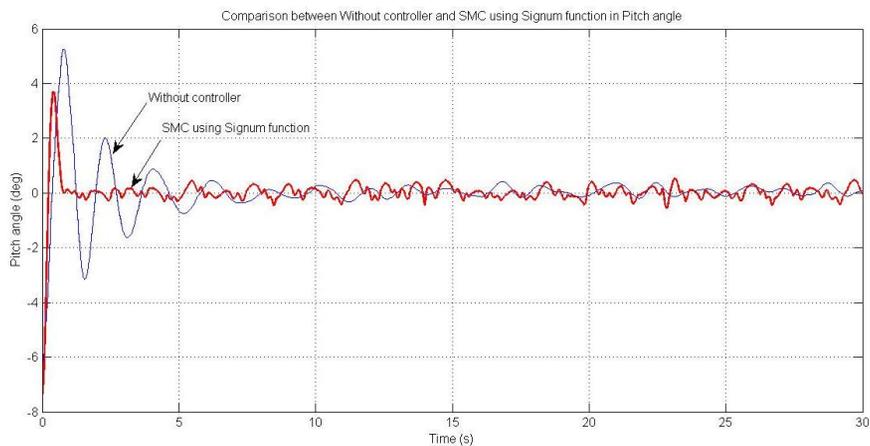
ภาพที่ 5 ส่วนประกอบหลักของฐานทดสอบ



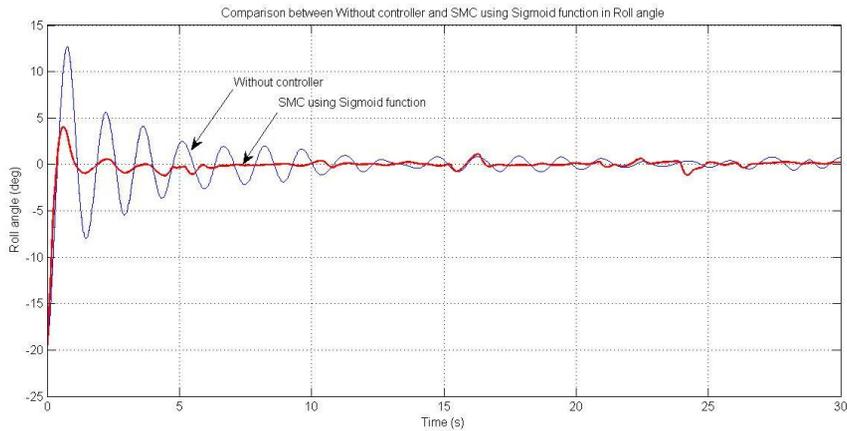
ภาพที่ 6 การทดสอบยานพาหนะในสภาวะจริง



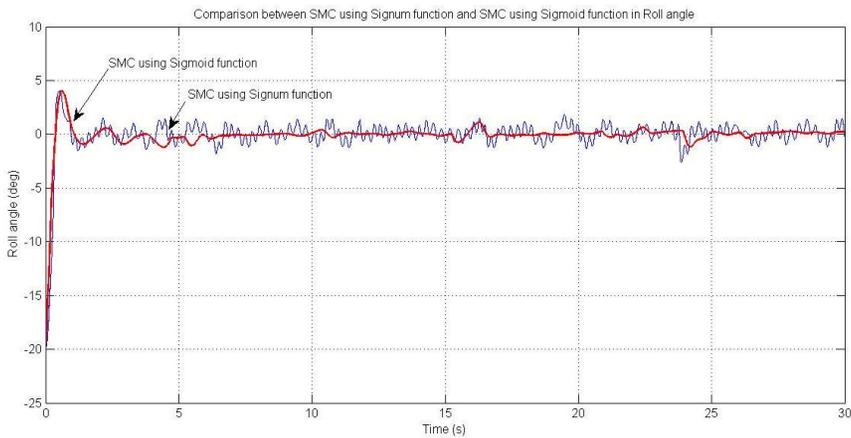
ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่มีการรักษาเสถียรภาพกับระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพ โดยใช้ฟังก์ชันซิกนัมในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดในแนวแกนหมุน



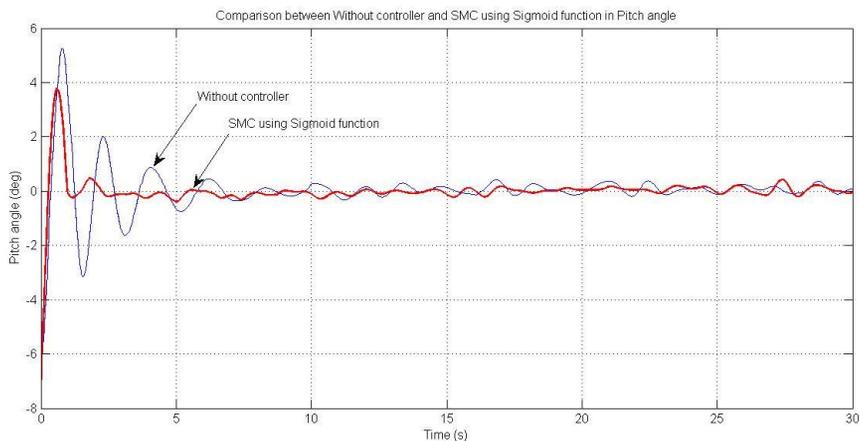
ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่มีการรักษาเสถียรภาพกับระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพ โดยใช้ฟังก์ชันซิกนัมในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดในแนวแกนก้มเงย



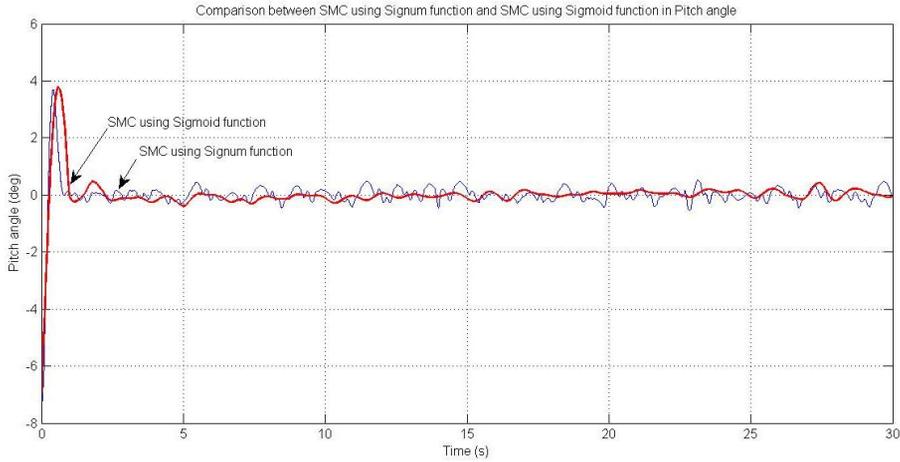
ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่มีการรักษาเสถียรภาพกับระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพ โดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ในการควบคุมแบบสไลด์โหมดในแนวแกนหมุน



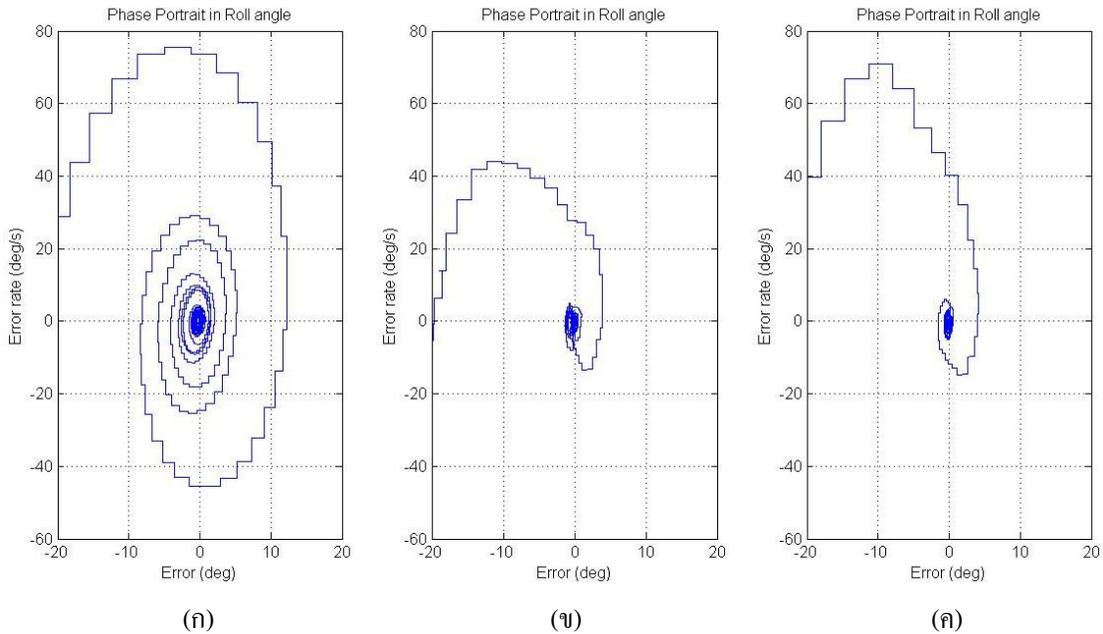
ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันซิกนัมในการควบคุมแบบสไลด์โหมด และระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ในการควบคุมแบบสไลด์โหมดในแนวแกนหมุน



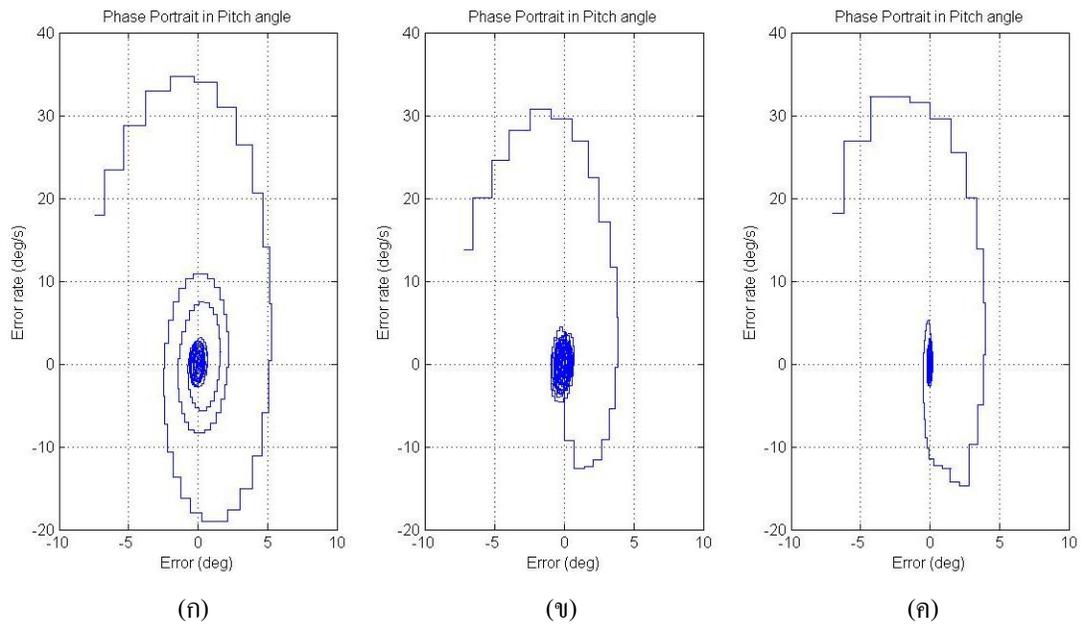
ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบระหว่างระบบที่ไม่มีการรักษาเสถียรภาพกับระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพ โดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ในการควบคุมแบบสไลด์โหมดในแนวแกนก้มเงย



ภาพที่ 12 การเปรียบเทียบระหว่างระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันซิกนัมในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด และระบบที่มีการรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมด ในแนวแกนก้มเงย



ภาพที่ 13 (ก) Error phase portrait ของระบบที่ไม่มีระบบรักษาเสถียรภาพในแนวแกนหมุน (ข) Error phase portrait ของระบบรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันซิกนัมในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดในแนวแกนหมุน (ค) Error phase portrait ของระบบรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันซิกมอยด์ในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดในแนวแกนหมุน



ภาพที่ 14 (ก) Error phase portrait ของระบบที่ไม่มีระบบรักษาเสถียรภาพในแนวแกนหมุน (ข) Error phase portrait ของระบบรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชีกนัมในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดในแนวแกนหมุน (ค) Error phase portrait ของระบบรักษาเสถียรภาพโดยใช้ฟังก์ชันชีกมอยด์ในการควบคุมแบบสไลด์ดิ้งโหมดในแนวแกนก้มเงย