

DRC-2

การควบคุมตำแหน่งของเครื่องอัดอิฐบล็อกประสานระบบไฮดรอลิกด้วยวิธีการควบคุมแบบเลื่อนไหล

Position Control of a Hydraulic Interlocking Block Pressing Machine Using Sliding Mode Control Approach

นิวัฒน์ สุขสาม^{1*}, กิตติพงษ์ พุ่มโกษา², ณิชากา มินาบูลย์¹ และ นิวัฒน์ ภูเจริญ³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
96 หมู่ที่ 3 ถนนพุทธมณฑล สาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

² สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
96 หมู่ที่ 3 ถนนพุทธมณฑล สาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

³ สำนักบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

*ติดต่อ: E-mail: niwat.suk@rmutr.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 0 2889 4585-7, เบอร์โทรสาร 0 2889 4585-7 ต่อ 2621

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบระบบควบคุมของเครื่องอัดอิฐบล็อกประสานระบบไฮดรอลิก เพื่อควบคุมตำแหน่งการอัดของเครื่องซึ่งส่งผลต่อความแม่นยำของขนาดอิฐบล็อกที่ทำการผลิต โดยเครื่องนี้เดิมนั้นทำงานโดยใช้วิธีการควบคุมแบบเปิด-ปิด ซึ่งพลศาสตร์ของระบบไฮดรอลิกของเครื่องเป็นแบบไม่เชิงเส้น ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจึงได้ทำการออกแบบระบบควบคุมของเครื่องด้วยวิธีการควบคุมแบบเลื่อนไหลซึ่งเป็นวิธีการควบคุมที่มีความคงทนต่อระบบที่มีความไม่แน่นอน และได้เปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีไอดี โดยการสร้างแบบจำลองและจำลองการทำงานของระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ผลการจำลองพบว่าการควบคุมแบบเลื่อนไหลให้การตอบสนองต่อตำแหน่งได้เร็วกว่าการควบคุมแบบพีไอดี

คำหลัก: เครื่องอัดอิฐบล็อกประสาน, ระบบไฮดรอลิก, การควบคุมตำแหน่ง, การควบคุมแบบเลื่อนไหล

Abstract

This paper presents the design of a control system which controlling the pressing position of a hydraulic interlocking block pressing machine. The pressing position is the critical parameter effect on the size of interlocking block. The original of this machine controlled by on-off control but dynamic system is nonlinear. In this work, a control system design by using sliding mode control was employed in order to improve machine performance. Sliding mode control is a robust control to dealing with system under uncertainty. Mathematical model of a control system with sliding mode control is simulated using computer and compare with PID control. The simulation results show that sliding mode control provide a faster response to position than PID control.

Keywords: Interlocking block pressing machine, Hydraulic system, Position control, Sliding mode control

DRC-2

1. บทนำ

อิฐบล็อกประสานเป็นวัสดุที่มีความสำคัญในการก่อสร้างอาคารบ้านเรือนและสิ่งปลูกสร้างอื่น ๆ ซึ่งมีการใช้ในปริมาณที่มาก ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องจักรช่วยในการผลิตอิฐบล็อกประสานมากขึ้น เครื่องอัดอิฐบล็อกประสานที่เป็นระบบไฮดรอลิกเป็นเครื่องจักรที่นิยมใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสาน เนื่องจากระบบไฮดรอลิกให้กำลังต่อน้ำหนักที่สูง ตอบสนองได้เร็ว และสามารถให้ตำแหน่งการทำงานที่ดี [1] มีขนาดกะทัดรัด อย่างไรก็ตามระบบไฮดรอลิกที่ใช้งานจริงนั้นมีค่าที่ไม่แน่นอนและมีพฤติกรรมที่ไม่เป็นเชิงเส้นสูง [2] เนื่องจากความเสียดทาน ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับความดัน การรั่วของน้ำมัน และอื่น ๆ อีกทั้งยังมีสิ่งรบกวนต่อระบบ ทำให้ยากในการออกแบบการควบคุม ดังนั้นถ้าจะเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตอิฐบล็อกประสานจำเป็นต้องใช้วิธีการควบคุมที่สามารถควบคุมระบบที่พฤติกรรมที่ไม่เป็นเชิงเส้นสูง มีความไม่แน่นอน และมีสิ่งรบกวนได้

การควบคุมแบบเลื่อนไถล (sliding mode control) เป็นวิธีการควบคุมที่สามารถประยุกต์ใช้กับระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่มีความคงทนต่อระบบที่ไม่แน่นอน [3] และมีสิ่งรบกวน พบว่าได้มีการประยุกต์ใช้วิธีการควบคุมแบบเลื่อนไถลกับหลายการควบคุม [1,4-9]

ในบทความนี้นำเสนอการควบคุมตำแหน่งของเครื่องอัดอิฐบล็อกประสานระบบไฮดรอลิกด้วยวิธีการควบคุมแบบเลื่อนไถล โดยการสร้างแบบจำลองและจำลองการทำงานของระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์

2. เครื่องอัดอิฐบล็อกประสานระบบไฮดรอลิก

เครื่องอัดอิฐบล็อกประสานระบบไฮดรอลิกและส่วนต่าง ๆ ของเครื่องดังแสดงในรูปที่ 1 เครื่องนี้เดิมนั้นทำงานโดยใช้วิธีการควบคุมแบบเปิด-ปิด (on-off control) ทำงานโดยเมื่อใส่ส่วนผสมของวัสดุผลิตอิฐบล็อกประสานลงไปแม่พิมพ์แล้วปิดฝาแม่พิมพ์แล้วทำการอัดด้วยระบบไฮดรอลิกซึ่งฐานแม่พิมพ์นั้นติดอยู่กับก้านสูบ เมื่อถึงตำแหน่งที่กำหนดไว้เครื่องก็จะ

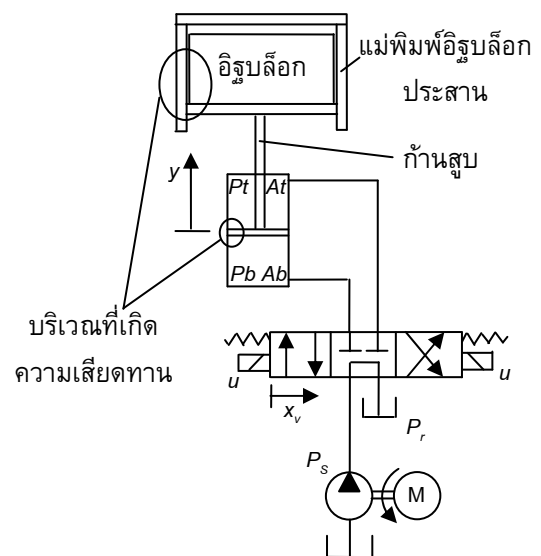
หยุดอัด หลังจากนั้นเปิดฝาแม่พิมพ์ออกแล้วทำการดันก้อนอิฐบล็อกประสานออกจากแม่พิมพ์ด้วยระบบไฮดรอลิก เมื่อเอาก้อนอิฐบล็อกประสานออกจากแม่พิมพ์แล้วทำการถอยฐานแม่พิมพ์กลับโดยการเคลื่อนที่ก้านสูบเข้าสู่ตำแหน่งเริ่มต้น

3. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบ

แบบจำลองพลศาสตร์ของระบบไฮดรอลิกของเครื่องอัดอิฐบล็อกประสานระบบไฮดรอลิกดังแสดงในรูปที่ 2 สามารถอธิบายโดยใช้กฎข้อที่สองของนิวตันดังแสดงในสมการ (1)



รูปที่ 1 เครื่องอัดอิฐบล็อกประสานระบบไฮดรอลิก



รูปที่ 2 แผนภาพระบบไฮดรอลิกของเครื่องอัดอิฐบล็อกประสานระบบไฮดรอลิก

DRC-2

$$\ddot{y} = \frac{1}{m}(-b\dot{y} - k_s y + P_b A_b - P_t A_t) \quad (1)$$

เมื่อ y คือการเคลื่อนตำแหน่งของก้านสูบ, m คือมวลของลูกสูบ ก้านสูบ ฐานแม่พิมพ์ และภาระ (วัสดุทำอิฐบล็อกประสาน เช่น คอนกรีต เป็นต้น), b คือค่าสัมประสิทธิ์การหน่วงของระบบที่เกิดขึ้นที่ผิวระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบ และที่ผิวระหว่างแม่พิมพ์กับฐานแม่พิมพ์และวัสดุทำอิฐบล็อก, k_s คือค่า stiffness ของระบบ, P_b และ P_t คือความดันภายในกระบอกสูบที่ด้านล่างและด้านบนตามลำดับ, A_b และ A_t คือพื้นที่หน้าตัดลูกสูบที่ด้านล่างและด้านบนตามลำดับ

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำมันไฮดรอลิกที่ไหลผ่านโซเลนอยด์วาล์ว อธิบายโดยสมการ (2) สำหรับการไหลที่ต่อเข้ากับด้านล่างของกระบอกสูบ และสมการ (3) สำหรับการไหลที่ต่อเข้ากับด้านบนของกระบอกสูบ [2]

$$\begin{aligned} q_b &= k_d w x_v \sqrt{P_s - P_b} & x_v &\geq 0 \\ q_b &= k_d w x_v \sqrt{P_b - P_r} & x_v &< 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} q_t &= k_d w x_v \sqrt{P_t - P_r} & x_v &\geq 0 \\ q_t &= k_d w x_v \sqrt{P_s - P_t} & x_v &< 0 \end{aligned} \quad (3)$$

เมื่อ k_d คือค่าสัมประสิทธิ์การไหลของโซเลนอยด์วาล์ว, w คือเกรดเดียนท์ของพื้นที่หน้าตัดการไหลผ่านโซเลนอยด์วาล์ว, x_v คือการเคลื่อนตำแหน่งของโซเลนอยด์วาล์ว, P_s คือความดันของน้ำมันไฮดรอลิกจากปั๊ม และ P_r คือความดันของน้ำมันไฮดรอลิกที่ถึงพัก

สำหรับการเคลื่อนตำแหน่งของวาล์วในโซเลนอยด์วาล์ว อธิบายโดยสมการ (4) [9]

$$x_v = k_v u \quad (4)$$

เมื่อ k_v คือค่าเกนของโซเลนอยด์วาล์ว และ u คือแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้าสู่โซเลนอยด์วาล์ว

อัตราการไหลเชิงปริมาตรของน้ำมันไฮดรอลิกที่ไหลผ่านกระบอกสูบ ซึ่งไม่คิดการรั่วไหลผ่านลูกสูบ อธิบายโดยสมการ (5) สำหรับการไหลที่ด้านล่างของกระบอกสูบ และสมการ (6) สำหรับการไหลที่ด้านบนของกระบอกสูบ [10]

$$q_b = \left(\frac{V_b + A_b y}{\beta} \right) \dot{P}_b + A_b \dot{y} \quad (5)$$

$$q_t = - \left(\frac{V_t - A_t y}{\beta} \right) \dot{P}_t + A_t \dot{y} \quad (6)$$

เมื่อ β คือบัลก์โมดูลัสของน้ำมันไฮดรอลิก, V_b คือปริมาตรเริ่มต้นของน้ำมันไฮดรอลิกที่อยู่ด้านล่างของกระบอกสูบ และ V_t คือปริมาตรเริ่มต้นของน้ำมันไฮดรอลิกที่อยู่ด้านบนของกระบอกสูบ

จากสมการ (2)-(6) ในกรณีที่ก้านสูบเคลื่อนที่ออก ($x_v \geq 0$) จะได้อัตราการเปลี่ยนแปลงความดันภายในกระบอกสูบที่แต่ละด้าน โดยสมการ (7) สำหรับที่ด้านล่างของกระบอกสูบ และสมการ (8) สำหรับที่ด้านบนของกระบอกสูบ

$$\dot{P}_b = \frac{\beta}{V_b + A_b y} \left(-A_b \dot{y} + k_d w k_v u \sqrt{P_s - P_b} \right) \quad (7)$$

$$\dot{P}_t = \frac{\beta}{V_t - A_t y} \left(A_t \dot{y} - k_d w k_v u \sqrt{P_t - P_r} \right) \quad (8)$$

อนุพันธ์สมการ (1) เทียบกับเวลา ในกรณีที่ก้านสูบเคลื่อนที่ออก ($x_v \geq 0$) จะได้

$$\begin{aligned} \ddot{y} &= -\frac{b\dot{y}}{m} - \frac{k_s}{m} \dot{y} - \left(\frac{A_b^2}{V_b + A_b y} + \frac{A_t^2}{V_t - A_t y} \right) \frac{\beta}{m} \dot{y} \\ &+ \frac{\beta k_d w k_v}{m} \left(\frac{A_b}{V_b + A_b y} \sqrt{P_s - P_b} \right) u \\ &+ \frac{\beta k_d w k_v}{m} \left(\frac{A_t}{V_t - A_t y} \sqrt{P_t - P_r} \right) u \end{aligned} \quad (9)$$

DRC-2

เมื่อกำหนดให้ $y = y_1$ และจากสมการ (1) และ (9) สามารถเขียนสมการสถานะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \dot{y}_1 &= y_2 \\ \dot{y}_2 &= y_3 \\ \dot{y}_3 &= f(y) + g(y)u \end{aligned} \quad (10)$$

เมื่อ $f(y)$ และ $g(y)$ แสดงได้ดังนี้

$$f(y) = -\frac{b\ddot{y}}{m} - \left[\frac{k_s}{m} + \left(\frac{A_b^2}{V_b + A_b y} + \frac{A_t^2}{V_t - A_t y} \right) \frac{\beta}{m} \right] \dot{y} \quad (11)$$

$$g(y) = \frac{\beta k_d w k_v}{m} \left(\frac{A_b}{V_b + A_b y} \sqrt{P_s - P_b} \right) + \frac{\beta k_d w k_v}{m} \left(\frac{A_t}{V_t - A_t y} \sqrt{P_t - P_r} \right) \quad (12)$$

4. วิธีการควบคุมแบบเลื่อนไหล

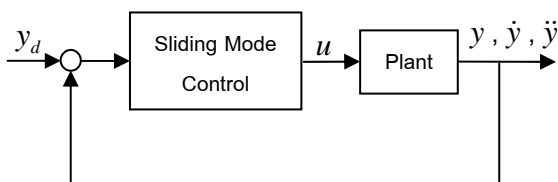
การควบคุมของระบบนี้ได้ใช้วิธีการควบคุมแบบเลื่อนไหล (sliding mode control) [3] ซึ่งเป็นวิธีที่มีความคงทนต่อระบบที่มีความไม่แน่นอนและมีสิ่งรบกวน รูปที่ 3 แสดงแผนภาพบล็อกของระบบควบคุม

ออกแบบการควบคุมระบบด้วยวิธีการควบคุมแบบเลื่อนไหล โดยจากสมการของพื้นผิวสลับเครื่องหมาย (switching surface) [11] แสดงได้ดังนี้

$$S(y, t) = \left(\frac{d}{dt} + \lambda \right)^{n-1} \tilde{y} \quad (13)$$

เมื่อ

$$\tilde{y} = y - y_d \quad (14)$$



รูปที่ 3 แผนภาพบล็อกของระบบควบคุม

เมื่อ λ คือพารามิเตอร์ของกฎการควบคุมซึ่งเป็นค่าคงที่มีค่ามากกว่าศูนย์, \tilde{y} คือค่าความคลาดเคลื่อน และ y_d คือตำแหน่งที่ต้องการซึ่งในบทความนี้ให้เป็นค่าคงที่ จากสมการสถานะซึ่งเป็นสมการอนุพันธ์ที่มีอันดับสูงสุดเท่ากับ 3 ($n=3$) จะได้พื้นผิวสลับเครื่องหมายดังนี้

$$S = \ddot{y} + 2\lambda\dot{y} + \lambda^2(y - y_d) \quad (15)$$

อนุพันธ์สมการพื้นผิวสลับเครื่องหมายเทียบกับเวลา จะได้

$$\dot{S} = \ddot{y} + 2\lambda\dot{y} + \lambda^2\dot{y} \quad (16)$$

แทนค่าสมการ (10) ซึ่งเป็นสมการสถานะของระบบลงในสมการ (16) จะได้

$$\dot{S} = f(y) + g(y)u + 2\lambda\dot{y} + \lambda^2\dot{y} \quad (17)$$

จากสมการ (17) เมื่อ $\dot{S} = 0$ จะได้สัญญาณควบคุมแบบต่อเนื่องดังนี้

$$u_{eq} = \frac{-f(y) - 2\lambda\dot{y} - \lambda^2\dot{y}}{g(y)} \quad (18)$$

แทน $u = u_{eq} + u_{sw}$ ลงในสมการ (17) จะได้

$$\dot{S} = f(y) + g(y)(u_{eq} + u_{sw}) + 2\lambda\dot{y} + \lambda^2\dot{y} \quad (19)$$

เมื่อ u_{sw} คือสัญญาณควบคุมแบบสลับเครื่องหมายไปมา และแทนค่าสัญญาณควบคุมแบบต่อเนื่องจากสมการ (18) ลงในสมการ (19) จะได้

$$\dot{S} = g(y)u_{sw} \quad (20)$$

DRC-2

จากเงื่อนไขความสามารถไปถึงได้ (reachability condition) แสดงได้ดังสมการ (21)

$$S\dot{S} \leq -\eta|S| \quad (21)$$

เมื่อ η เป็นค่าคงที่มีค่ามากกว่าศูนย์ แทนสมการ (20) ลงในสมการ (21) จะได้

$$Sg(y)u_{sw} = -\eta|S| \quad (22)$$

จากสมการ (22) จะ u_{sw} ดังนี้

$$u_{sw} = \frac{-\eta|S|}{Sg(y)} = \frac{-\eta \operatorname{sgn}(S)}{g(y)} \quad (23)$$

ดังนั้นจะได้สัญญาณควบคุมดังนี้

$$u = \frac{-f(y) - 2\lambda\dot{y} - \lambda^2\ddot{y} - \eta \operatorname{sgn}(S)}{g(y)} \quad (24)$$

เพื่อลดการสลับเครื่องหมายไปมาด้วยความถี่สูงของสัญญาณควบคุมจึงแทน $\operatorname{sgn}(S)$ ด้วย $\operatorname{sat}(S)$ ซึ่งมีค่าดังนี้

$$\operatorname{sat}(S) = \begin{cases} 1 & S/\varepsilon > 1 \\ S/\varepsilon & -1 \leq S/\varepsilon \leq 1 \\ -1 & S/\varepsilon < -1 \end{cases} \quad (25)$$

สมการ (24) จึงเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$u = \frac{-f(y) - 2\lambda\dot{y} - \lambda^2\ddot{y} - \eta \operatorname{sat}(S)}{g(y)} \quad (26)$$

5. การจำลองและผลการจำลอง

เพื่อทดสอบการควบคุมตำแหน่งโดยวิธีการควบคุมแบบเลื่อนไหลที่กล่าวไว้ข้างต้น จึงทำการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์โดยสมการพลศาสตร์ของ

ระบบ ซึ่งเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยจำลองให้คล้ายกับการทำงานจริงของเครื่องอัดอิฐบล็อกประสาน พารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในการตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของระบบที่ใช้ในการจำลอง

P_s (Pa)	7×10^6		
P_r (Pa)	0		
b (N s/m)	1600		
β (Pa)	5×10^9		
A_b (m ²)	0.002027		
A_r (m ²)	0.00152		
V_b (m ³)	0.015		
V_r (m ³)	0.015		
k_d (m ^{3/2} /kg ^{1/2})	0.032		
w (m)	0.02		
k_v (m/V)	0.001		
	เมื่ออัด	เมื่อดันออก	เมื่อถอยกลับ
m (kg)	20	30	20
k_s (N/m)	1.5×10^5	0	0

จำลองแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีพารามิเตอร์บางค่ามีการเปลี่ยนแปลงตามการเคลื่อนที่ของก้านสูบ โดยเริ่มต้นให้ก้านสูบเคลื่อนที่ออกไปอัดอิฐบล็อกที่ตำแหน่ง 0.04 m โดยมีค่า $m = 20$ kg และเนื่องจากเป็นขั้นตอนการอัดจึงมีแรงต้านมากกว่าช่วงอื่น จึงกำหนดให้ค่า $k_s = 1.5 \times 10^5$ N/m ต่อมาเคลื่อนที่ดันอิฐบล็อกออกจากแม่พิมพ์ไปที่ตำแหน่ง 0.15 m ช่วงนี้กำหนดให้ $m = 30$ kg และ $k_s = 0$ N/m หลังจากนั้นเป็นการเคลื่อนที่กลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้น โดยให้ค่า $m = 20$ kg และ $k_s = 0$ N/m สำหรับค่า $\lambda = 100$, $\eta = 1000$ และ $\varepsilon = 0.1$ และให้ค่าเริ่มต้นของระบบเท่ากับศูนย์

ในการจำลองได้เปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบพีไอดีซึ่งแสดงในรูปของผลการแปลงลาปลาซได้ดังสมการ (27)

DRC-2

$$u(s) = \left(P + I \frac{1}{s} + D \frac{N}{1 + N \frac{1}{s}} \right) e(s) \quad (27)$$

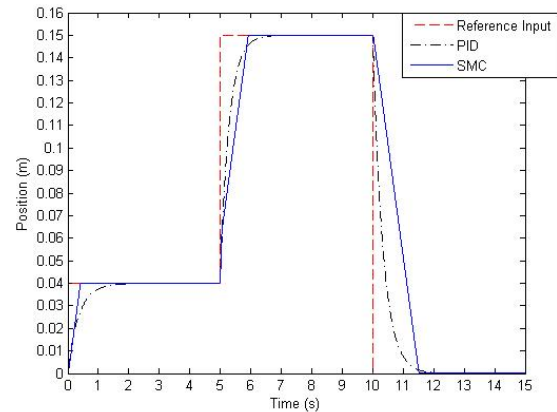
เมื่อ $u(s)$ คือสัญญาณควบคุม, N คือ filter coefficient ได้ใช้ค่าเท่ากับ 100, $e(s)$ คือค่าความคลาดเคลื่อน และใช้ค่าขยาย $P = 4.96$ การปรับค่าขยาย P นั้นเริ่มจากค่าเริ่มต้นที่เข้าใกล้ศูนย์แล้วเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนได้ค่ามากที่สุดโดยที่การตอบสนองต่อตำแหน่งไม่เกิด overshoot สำหรับค่าขยาย I และ D ให้มีค่าเท่ากับศูนย์เนื่องจากการปรับค่าตัวขยายทั้งสองจะทำให้การตอบสนองต่อตำแหน่งมี overshoot หรือมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่าการปรับค่าขยาย P เพียงอย่างเดียว

รูปที่ 4 แสดงผลการจำลองการตอบสนองของตำแหน่งสำหรับการเคลื่อนที่ออกของก้านสูบ 2 ครั้ง และเคลื่อนที่เข้า 1 ครั้ง จากเวลาเริ่มต้นที่ 0 วินาที การเคลื่อนที่ครั้งแรกนั้นเคลื่อนที่ออกไปที่ตำแหน่ง 0.04 m ครั้งที่สองที่เวลา 5 วินาที เคลื่อนที่ออกไปอีกที่ตำแหน่ง 0.15 m และครั้งที่สามที่เวลา 10 วินาที เคลื่อนที่เข้ากลับไปที่ตำแหน่ง 0 m วิธีการควบคุมแบบเลื่อนไถลตอบสนองต่อตำแหน่งที่ต้องการได้เร็วกว่าการควบคุมแบบพีไอดีทั้งการเคลื่อนที่ออกและเคลื่อนที่เข้าของการสูบ

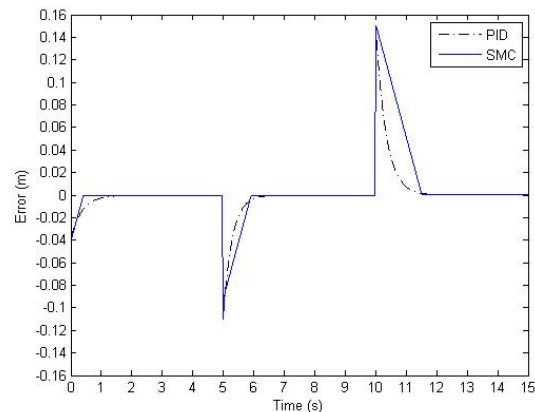
รูปที่ 5 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของการควบคุมแบบพีไอดีและการควบคุมแบบเลื่อนไถล ที่เวลาเริ่มต้น 0 วินาที มีค่าคลาดเคลื่อน -0.04 m และเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าความคลาดเคลื่อนก็ลดลงจนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เมื่อถึงเวลา 5 วินาที มีการเคลื่อนที่ออกไปเป็นครั้งที่สอง ค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นอีกครั้งมีค่าเท่ากับ -0.11 m เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าความคลาดเคลื่อนก็ลดลงจนมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ เมื่อถึงเวลา 10 วินาที มีการเคลื่อนที่กลับ ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าเท่ากับ 0.15 m ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของการเคลื่อนที่ทั้ง 3 ครั้งนั้น การควบคุมแบบเลื่อนไถลจะเข้าใกล้ศูนย์ได้เร็วกว่าการควบคุมแบบพีไอดีซึ่งสอดคล้องกับผลการตอบสนองต่อตำแหน่ง และค่า

ความคลาดเคลื่อนของการควบคุมแบบเลื่อนไถลจะน้อยกว่าการควบคุมแบบพีไอดี

รูปที่ 6 แสดงสัญญาณควบคุมที่เป็นแรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าสู่ระบบเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่ต้องการ สัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบเลื่อนไถลจะราบเรียบกว่า

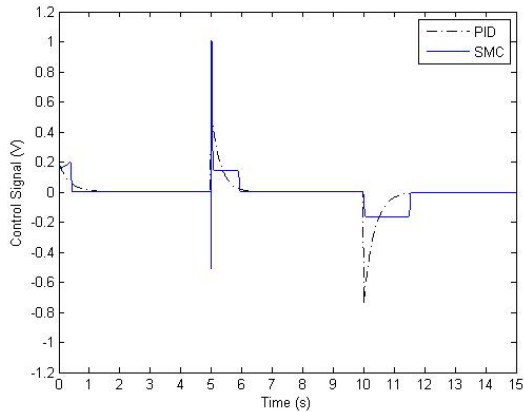


รูปที่ 4 การตอบสนองต่อตำแหน่งของการควบคุมแบบพีไอดี (PID) และแบบเลื่อนไถล (SMC)



รูปที่ 5 ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของการควบคุมแบบพีไอดี (PID) และแบบเลื่อนไถล (SMC)

DRC-2



รูปที่ 6 สัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบพีไอดี (PID) และแบบเลื่อนไถล (SMC)

การควบคุมแบบพีไอดี ยกเว้นในช่วงเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ออกของก้านสูบครั้งที่สองไปที่ตำแหน่ง 0.15 m การควบคุมแบบพีไอดีจะสม่ำเสมอกว่า แรงดันไฟฟ้าป้อนเข้าของการควบคุมแบบเลื่อนไถล จะมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.2 V และ -0.2 V สำหรับการเคลื่อนที่ออกและเข้าของก้านสูบตามลำดับ

รูปที่ 7 แสดงพื้นผิวสลับเครื่องหมายของการควบคุมแบบเลื่อนไถล มีลักษณะเส้นกราฟคล้ายกับค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง โดยที่เวลาเริ่มต้นมีค่าประมาณ -350 เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าของพื้นผิวสลับเครื่องหมายจะลู่เข้าสู่ศูนย์ เมื่อมีการเคลื่อนที่ออกไปครั้งที่สอง ค่าของพื้นผิวสลับเครื่องหมายมีค่าประมาณ -900 เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าความคลาดเคลื่อนจะลู่เข้าสู่ศูนย์ เมื่อก้านสูบเคลื่อนที่กลับ ค่าของพื้นผิวสลับเครื่องหมายมีค่าประมาณ -1500 เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นค่าของพื้นผิวสลับเครื่องหมายจะลู่เข้าสู่ศูนย์ จนในที่สุดก็เท่ากับศูนย์

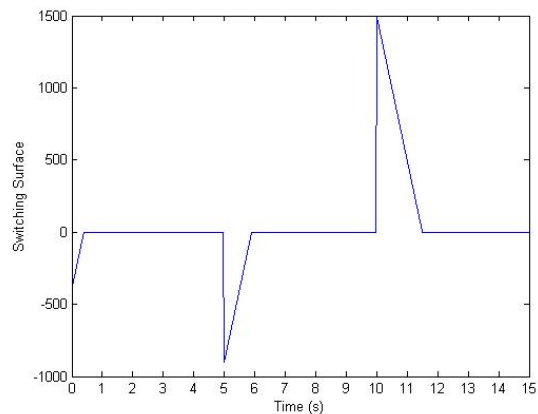
6. สรุปผลการจำลอง

จากผลการจำลองพบว่าการควบคุมแบบพีไอดี และการควบคุมแบบเลื่อนไถล สามารถควบคุมให้ระบบรักษาตำแหน่งที่ต้องการไว้ได้ โดยที่ไม่มี overshoot ซึ่งการมี overshoot เป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ สำหรับการอัดอัฐรูปล็อกประสานเนื่องจากการมี overshoot จะทำให้การผลิตอัฐรูปล็อกไม่ไต่ขนาดตามที่ต้องการ แต่การควบคุมแบบเลื่อนไถลให้การ

ตอบสนองต่อตำแหน่งที่เร็วกว่าการควบคุมแบบพีไอดี ทั้งการเคลื่อนที่ออกและการเคลื่อนที่เข้าของก้านสูบ ดังนั้นจึงคาดว่าหากนำการควบคุมแบบเลื่อนไถลไปใช้กับเครื่องอัดอัฐรูปล็อกประสานระบบไฮดรอลิกในการทำงานจริงจะช่วยให้การทำงานของเครื่องเร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์



รูปที่ 7 พื้นผิวสลับเครื่องหมายของการควบคุมแบบเลื่อนไถล

เอกสารอ้างอิง

- [1] Rui Tang and Qi Zhang. (2011). Dynamic Sliding Mode Control Scheme for Electro-Hydraulic Position Servo System, *Procedia Engineering*, vol. 24, 2011, pp. 28 – 32.
- [2] H. Khan, Seraphin C. Abou and N. Sepehri. (2005). Nonlinear observer-based fault detection technique for electro-hydraulic servo-positioning systems, *Mechatronics*, vol. 15(9), November 2005, pp. 1037 – 1059.
- [3] สุวัฒน์ กุลธนปรีดา (2553). การควบคุมไม่เชิงเส้นเบื้องต้น, กรุงเทพฯ: ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

DRC-2

- [4] Yung-Tien Liu, Tien-Tsai Kung, Kuo-Ming Chang and Sheng-Yuan Chen. (2013). Observer-based adaptive sliding mode control for pneumatic servo system, *Precision Engineering*, vol. 37(3), July 2013, pp. 522 – 530.
- [5] Supparat Damyot and Withit Chatlatanagulchai. (2013). Common-Rail Pressure Control in a Diesel-Dual Truck Using Sliding Mode Controller, *The 4th TSME International Conference on Mechanical Engineering 2013*, Pattaya, Chonburi, Thailand.
- [6] นิชานันท์ ศรีแก้ว และ วิทิต ฉัตรรัตนกุลชัย (2556). การควบคุมความเร็วรอบเดินเบาของรถกระบะเครื่องยนต์เชื้อเพลิงร่วมดีเซล แก๊สธรรมชาติ ด้วยวิธีการควบคุมแบบแผนเลื้อน, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย*, พัทยา จังหวัดชลบุรี
- [7] Hong Sun and George T.-C. Chiu. (1999). Nonlinear Observer Based Force Control of Electro-Hydraulic Actuators, *Proceedings of the American Control Conference*, June 1999, San Diego, California.
- [8] Junbo Song and Yoshihisa Ishida. (1997). A robust sliding mode control for pneumatic servo systems, *International Journal of Engineering Science*, vol. 35(8), June 1997, pp. 711 – 723.
- [9] Y. Liu and H. Handroos. (1999). Technical note Sliding mode control for a class of hydraulic position servo, *Mechatronics*, vol. 9(1), 1 February 1999, pp. 111 – 123.
- [10] Merritt HE. (1967). *Hydraulic control systems*, Wiley, New York.
- [11] Jean-Jacques E. Slotine and Weiping Li. (1991). *Applied Nonlinear Control*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.