

การประมาณปริมาตรของถุงโลหิตด้วยการชดเชยแรงบิดโหลดของเครื่องเขย่าโลหิต Volume Estimation of Blood Bag Using Load Torque Compensator of Blood Bag Shaking Machine

จรรยาศักดิ์ พวงขุนทด^{1*}, นิติศักดิ์ หนูมาน้อย¹, และ จิระพล ศรีเสริฐผล¹

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

*ติดต่อ: E-mail: jaroonsak@mns.co.th, เบอร์โทรศัพท์: 081-499-2922

บทคัดย่อ

เครื่องเขย่าถุงโลหิต เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากในหน่วยงานรับบริจาคโลหิต ซึ่งปกติแล้วเมื่อโลหิตไหลออกจากร่างกายจะเกิดการแข็งตัวทำให้ในขณะรับบริจาคจึงต้องมีการเขย่าถุงโลหิตอยู่ตลอดเวลา โดยเครื่องจะทำหน้าที่เขย่าถุงโลหิตไม่ให้แข็งตัวและประมาณปริมาตรของถุงโลหิตตามที่ต้องการได้ แต่เนื่องจากเครื่องเขย่าถุงโลหิตนี้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพงมาก อีกทั้งหน่วยงานรับบริจาคยังมีเครื่องมืออย่างจำกัดและไม่เพียงพอในการให้บริการ บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องเขย่าถุงโลหิต ที่สามารถประมาณปริมาตรและเขย่าถุงโลหิตในเวลาเดียวกัน โดยไม่ต้องติดตั้งโหลดเซลล์ ซึ่งใช้หลักการควบคุมความเร็วรอบให้คงที่ และการประมาณกระแสสูงสุดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมกับการชดเชยแรงบิดโหลดเพื่อใช้ในการประมาณปริมาตรของถุงโลหิต รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

คำหลัก: เครื่องเขย่าถุงโลหิต, การควบคุมความเร็วรอบ, การประมาณปริมาตร, การชดเชยแรงบิดโหลด

Abstract

The blood bag shaking machine is the equipment with a high priority for the community blood services. Generally, when the bloods flow out of the body, it's clotting of the blood. Furthermore, while the processions is necessary to shake the bag of donated blood. Which machine shakes to prevent blood clotting and estimates weight of blood bag. On the other hand, it's imported and more expensive. That's, the community blood services are limited and not enough equipment in service. Consequently, this research designed and constructed shaking machine of blood bag and estimating volume of blood, and shaking the bag at the same time without the load cell. The principles speed control and maximum current of DC motor estimated weight of blood bag. As a result, it also increases the performance of the machines.

Keywords: Blood Bag Shaking Machine, Speed Control, Volume Estimation, Load Torque Compensator.

1. บทนำ

การให้บริการของหน่วยงานรับบริจาคโลหิต ตามข้อมูลคุณสมบัติผู้บริจาคโลหิตเบื้องต้น [1] โดยทั่วไปจะต้องมีน้ำหนัก 45 กิโลกรัมขึ้นไป อายุระหว่าง 17 ปี ถึง 60 ปีบริบูรณ์ (ถ้าเป็นผู้บริจาคครั้งแรก ต้องอายุไม่เกิน 55 ปี) มีสุขภาพสมบูรณ์แข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัว ไม่อยู่ระหว่างไม่สบายหรือรับประทานยาใดๆ ไม่มีพฤติกรรม

เสี่ยงทางเพศ ติดยาเสพติด หรือสตรีไม่อยู่ในระหว่างมีประจำเดือน ตั้งครรภ์ หรือให้นมบุตร รวมถึงไม่มีการคลอดบุตรหรือแท้งบุตรภายใน 6 เดือนที่ผ่านมา จากคุณสมบัติดังกล่าวเป็นเพียงการคัดกรองผู้บริจาคโลหิตเบื้องต้นเท่านั้น เพื่อเป็นข้อมูลในการให้บริการ หลังจากนั้นจะไปสู่ขั้นตอนการบริจาค ซึ่งการรับบริจาคโลหิตในแต่ละครั้งนั้น จะต้องควบคุมปริมาตรโลหิตให้ได้ปริมาตร

DRC-16

คือ บุคคลที่มีน้ำหนักอยู่ในระหว่าง 45-50 kg. โลหิตที่รับบริจาคจะมีขนาด 350 cc. ส่วนผู้ที่น้ำหนัก 50 kg. ขึ้นไปจะมีขนาด 450 cc. เพื่อให้พอเหมาะกับการนำยากันโลหิตแข็ง (Anti-coagulant) ที่มีอยู่ในถุงโลหิตและต้องเขย่าผสมโลหิตให้เข้ากันกับน้ำยากันโลหิตแข็งในระหว่างการรับบริจาคโลหิต เพื่อป้องกันการเกิดก้อนโลหิต (Fibrin blood clot) ซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาในการนำไปให้กับผู้ป่วย หรืออาจเป็นอันตรายต่อผู้บริจาคโลหิตได้เนื่องจากเสียโลหิตมากเกินไป (Acute blood loss) เมื่อนำโลหิตที่ได้ปริมาณพอดีกับน้ำยากันโลหิตแข็งและได้รับการผสมน้ำยา ให้เข้ากันดีไปตีแยกส่วนประกอบของโลหิต (Blood component) ก็จะได้ส่วนประกอบของโลหิตที่มีคุณภาพ และช่วยให้โลหิตมีความคงสภาพอยู่ได้นานยิ่งขึ้นด้วย อีกทั้งยังมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของโลหิต [2, 3] ทำให้เจ้าหน้าที่ต้องทำงานอย่างหนักอีกทั้งในปัจจุบัน การให้บริการด้านรับบริจาคโลหิตทั้งภายในและภายนอกสถานที่ มีเจ้าหน้าที่ไม่เพียงพอที่จะดูแลการรับบริจาคโลหิตและต้องเขย่าผสมโลหิตให้เข้ากันกับน้ำยาในระหว่างรับบริจาคโลหิตได้ตลอดเวลา แต่เนื่องจากเครื่องเขย่าถุงโลหิตนี้ต้องนำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาแพงมาก ทำให้หน่วยรับบริจาคมีเครื่องมืออย่างจำกัดและไม่เพียงพอในการให้บริการ

จากข้อมูลในข้างต้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องเขย่าถุงโลหิต โดยจะชั่งน้ำหนักและเขย่าถุงในเวลาเดียวกัน โดยนำหลักการประมาณค่าโพลต์หรือภาวะโพลต์ที่เปลี่ยนไป [4, 5, 6] ของกระบวนรับถุงโลหิตที่มีความสัมพันธ์กับปริมาตรหรือน้ำหนักของโลหิต การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของโพลต์จากภาวะโพลต์จะทำให้แรงบิดที่เปลี่ยนแปลงเข้ามาควบคุมการทำงานของตัวควบคุม ซึ่งระบบควบคุมโดยทั่วไปของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงใช้หลักการเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เพื่อให้ได้แรงบิดโพลต์และความเร็วรอบตามต้องการในภาวะที่มีแรงบิดเปลี่ยนแปลงโดยระบบควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีการนำตัวสังเกตมาใช้ในการประมาณค่าตัวแปรสแตตเพื่อนำไปใช้ในการควบคุมระบบเช่น วิธีการของ Full-state feedback Control [7] ผลของค่าแรงบิดโพลต์ที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นกับการประมาณค่าตัวแปรสแตตโดยใช้ตัวสังเกต ดังนั้นประสิทธิภาพของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงลดลง ในทางปฏิบัติค่าแรงบิดโพลต์ที่

เปลี่ยนแปลงนี้ไม่สามารถวัดได้โดยตรงแต่สามารถประมาณค่าได้

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการในการประมาณค่าแรงบิดโพลต์ และกระแสไฟฟ้าที่กระทำต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเมื่อปริมาตรของถุงโลหิตเปลี่ยนแปลงโดยใช้วิธีการชดเชยแบบปรับตัวได้เพื่อประมาณค่าของแรงบิดโพลต์ที่เปลี่ยนแปลงร่วมกับตัวสังเกตแบบปรับตัวที่สร้างจากหลักการของ Gradient Method ทำงานภายใต้ขอบเขตของระบบที่มีเสถียรภาพ ซึ่งเราจะได้ข้อมูลต่างๆ เช่นปริมาตรของถุงโลหิตที่เปลี่ยนแปลงกับเวลา โดยไม่มีการติดตั้งเซ็นเซอร์เพิ่มเติม

2. สมการควบคุมและตัวสังเกตอันดับเต็มของ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยควบคุมด้วยวิธี Armature Control ซึ่งใช้การปรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนให้กับวงจรอาร์เมเจอร์ (Armature Circuit) เพื่อควบคุมความเร็วรอบโดยให้ค่ากระแสไฟฟ้าให้กับวงจรสนาม (Field Circuit) คงที่จึงสามารถพิจารณาเฉพาะวงจรอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ให้กับวงจรสนามมีค่าคงที่ทำให้สนามแม่เหล็กของมอเตอร์มีค่าคงที่ไปด้วย การควบคุมจะทำได้โดยการปรับเปลี่ยนค่าความต่างศักย์ที่ให้กับวงจรอาร์เมเจอร์ พิจารณาสมการแรงบิดและสมการสมมูลทางไฟฟ้าในรูปแบบ State space ได้ดังสมการที่ (1)

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + B_1 V_a + B_2 T_L \\ y &= Cx\end{aligned}\quad (1)$$

และตัวสังเกตอันดับเต็มของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังสมการที่ (2) โดยกำหนดให้ค่าที่มีสัญลักษณ์ " $\wedge$ " คือค่าตัวแปรของตัวสังเกตที่ได้มาจากการประมาณค่าจากมอเตอร์ไฟฟ้าและค่า e คือค่าความผิดพลาดของความเร็วยรอบที่เกิดขึ้นระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกับตัวสังเกต

$$\begin{aligned}\dot{\hat{x}} &= A\hat{x} + B_1 V_a + B_2 T_L + Le \\ y &= C\hat{x}\end{aligned}\quad (2)$$

โดยที่ $e = y - C\hat{x} = \omega - \hat{\omega}$ และ

DRC-16

$$x = \begin{bmatrix} \omega \\ i_a \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} -\frac{b}{I} & \frac{K_m}{I} \\ -\frac{K_b}{L_a} & -\frac{R}{L_a} \end{bmatrix}, L = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \end{bmatrix},$$

$$\hat{x} = \begin{bmatrix} \hat{\omega} \\ \hat{i}_a \end{bmatrix}, B_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ L_a \end{bmatrix}, B_2 = \begin{bmatrix} -\frac{1}{I} \\ 0 \end{bmatrix}, C = [1 \ 0]$$

เมื่อ I โมเมนต์ความเฉื่อย ($\text{Kg} \cdot \text{m}^2$)

K_m ค่าคงที่ของแรงบิด ($\text{N} \cdot \text{m/A}$)

K_b ค่าคงที่ของ Electromotive Force ($\text{V} \cdot \text{s/rad}$)

T_L แรงบิดโหลดที่เปลี่ยนแปลง ($\text{N} \cdot \text{m}$)

b ค่าความหน่วงทางกล ($\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s/rad}$)

i_a กระแสไฟฟ้าของอาร์เมเจอร์ (A)

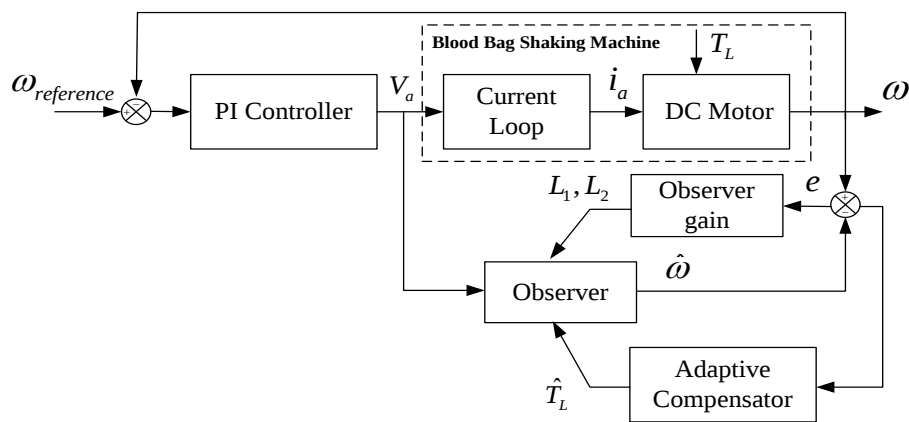
ω ความเร็วรอบ (rad/s)

V_a ค่าความต่างศักย์ของอาร์เมเจอร์ (V)

R ค่าความต้านทานของอาร์เมเจอร์ (Ω)

L_a ค่าความเหนี่ยวนำของอาร์เมเจอร์ (H)

L_1, L_2 ค่าอัตราขยายของตัวสังเกต



รูปที่ 1 แผนภาพของตัวชดเชยแบบปรับตัวได้เพื่อใช้ในการประมาณแรงบิดโหลด

3. ตัวชดเชยแบบปรับตัวได้เพื่อใช้ในการประมาณ

ปริมาตรหรือน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง

ตัวชดเชยแบบปรับตัวได้เพื่อใช้ในการประมาณค่าแรงบิดโหลดที่เปลี่ยนแปลงจากวิธี Gradient Method [8] แสดงดังรูปที่ 1 จากสมการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในสถานะที่ระบบได้รับแรงบิดโหลดที่เปลี่ยนแปลงสามารถจัดรูปแบบได้คือ

$$b_1 V_a = \ddot{\omega} + a_2 \dot{\omega} + a_1 \omega + \alpha_2 \dot{T}_L + \alpha_1 T_L \quad (3)$$

โดยที่ตัวแปรต่างๆในระบบมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถหาค่าได้และกำหนดให้ค่าตัวแปรที่มีค่าคงที่มีเพียงค่าแรงบิดโหลดที่เปลี่ยนแปลง ($\hat{T}_L$) เพียงค่าเดียวที่เกิดการเปลี่ยนแปลงในการประมาณค่าตัวแปรสแตต ดังนั้นเราจะได้สมการของตัวสังเกต ดังนี้

$$b_1 V_a = \ddot{\hat{\omega}} + a_2 \dot{\hat{\omega}} + a_1 \hat{\omega} + \alpha_2 \dot{\hat{T}}_L + \alpha_1 \hat{T}_L \quad (4)$$

เมื่อ

$$b_1 = \frac{K_m}{L_a I}, a_1 = \left[\frac{Rb}{L_a I} + \frac{K_b K_m}{L_a I} \right], a_2 = \left[\frac{R}{L_a} + \frac{b}{I} \right],$$

$$\alpha_1 = \frac{R}{L_a I}, \alpha_2 = \left[\frac{1}{I} \right]$$

ดังนั้นหลักการทำงานของตัวชดเชยแบบปรับตัวได้คือการปรับค่าตัวแปร ($\hat{T}_L$) ให้ความแตกต่างระหว่างเอาต์พุตทั้งสองหมดไป โดยกำหนดให้ Loss Function (J) มีค่า

$$J(\hat{T}_L) = \frac{1}{2} e^2 \quad (5)$$

จากสมการที่ (3) และ (4) จะได้

$$\ddot{e} = -a_2 \dot{e} - a_1 e - \alpha_2 (\dot{\hat{T}}_L - \dot{T}_L) - \alpha_1 (\hat{T}_L - T_L) \quad (6)$$

DRC-16

เมื่อ $\ddot{e} = \ddot{\omega} - \ddot{\hat{\omega}}$ และ $\dot{e} = \dot{\omega} - \dot{\hat{\omega}}$ การเปลี่ยนแปลงของตัวแปร ($\hat{T}_L$) ในทิศทาง Negative Gradient of Loss Function ดังนี้

$$\frac{\partial \hat{T}_L}{\partial t} = -\gamma \frac{\partial J}{\partial \hat{T}_L} = -\gamma e \frac{\partial e}{\partial \hat{T}_L} \quad (7)$$

จากสมการที่ (7) จะเห็นได้ว่าเมื่อเทียบกับ MIT Rule จะได้ตัวแปรปรับตัวได้คือ

$$\frac{\partial e}{\partial \hat{T}_L} = -\frac{\partial \hat{\omega}}{\partial \hat{T}_L} \quad (8)$$

โดยที่ γ คืออัตราการปรับตัวและเมื่อตัวแปรปรับตัว ($\hat{T}_L$) มีการเปลี่ยนแปลง จากสมการที่ (4) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \hat{T}_L} (b_1 V_a) &= \frac{\partial^2}{\partial^2 t} \left(\frac{\partial \hat{\omega}}{\partial \hat{T}_L} \right) + a_2 \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \hat{\omega}}{\partial \hat{T}_L} \right) + a_1 \left(\frac{\partial \hat{\omega}}{\partial \hat{T}_L} \right) \\ &+ \alpha_2 \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \hat{T}_L}{\partial \hat{T}_L} \right) + \alpha_1 \left(\frac{\partial \hat{T}_L}{\partial \hat{T}_L} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

โดยกำหนดให้ Sensitivity Function เท่ากับ

$$v = \frac{\partial \hat{\omega}}{\partial \hat{T}_L} \quad (10)$$

แทนสมการที่ (10) ในสมการที่ (9) จะได้สมการการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรปรับตัว คือ

$$-\alpha_1 = \frac{\partial^2 v}{\partial^2 t} + a_2 \frac{\partial v}{\partial t} + a_1 v \quad (11)$$

4. ผลการจำลองสถานการณ์ระบบ

ในหัวข้อนี้จะแสดงผลการจำลองการประมาณค่าแรงบิดโหลดที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยใช้วิธีการชดเชยแบบปรับตัวได้เพื่อประมาณค่าของแรงบิดโหลดที่เปลี่ยนแปลงร่วมกับตัวสังเกตที่สร้างจากหลักการของ Gradient Method โดยมีค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังตารางที่ 1

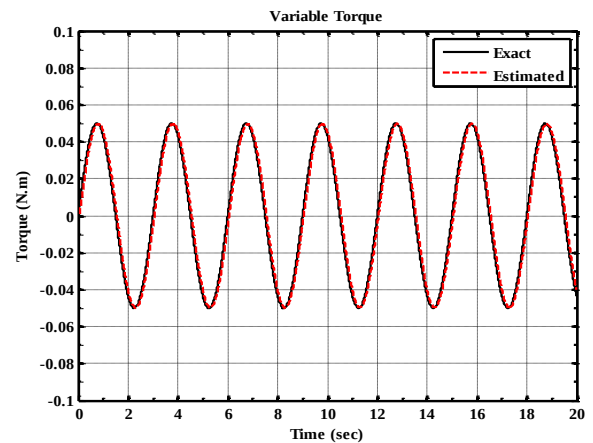
การศึกษาการจำลองสถานการณ์ระบบได้พิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่า $T_L(t)$ แบบฮาร์โมนิกส์ (Harmonic) เพื่อใช้ในการเขย่าถูกลอยโดยกำหนดค่าจาก

น้ำหนักของกระบะรองรับถูกลอยที่กระทำกับระยะการหมุนของมอเตอร์ เมื่อกระบวนหนัก 100 g. ที่ระยะ 5 cm. โดยหมุนที่ความเร็ว 20 rpm. ทำให้ได้ค่า load torque เท่ากับ $T_L(t) = 0.05 \sin(2t)$ ดังรูปที่ 2

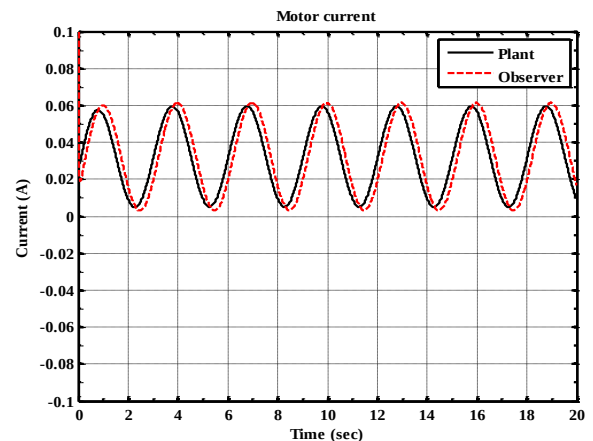
ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

Parameter	Value	Unit
R	45.5	Ω
L_a	34.5	mH
I	3×10^{-3}	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
b	27×10^{-3}	$\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s/rad}$
K_b	1.75	$\text{V} \cdot \text{s/rad}$
K_m	1.75	$\text{N} \cdot \text{m/A}$

หมายเหตุ ค่าต่างๆ ได้จากการวัดและการระบุเอกลักษณ์



รูปที่ 2 แสดงค่า $T_L(t)$ และ $\hat{T}_L(t)$ ในกรณีที่ 1



รูปที่ 3 แสดงค่า $i_a(t)$ และ $\hat{i}_a(t)$ ในกรณีที่ 1

การทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในภาระโหลดที่ระบบได้รับแรงบิดโหลดที่เปลี่ยนแปลงจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบ โดยมีค่ากระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแรงบิดโหลดที่เปลี่ยนแปลง และการทำงานของตัวสังเกตเมื่อระบบได้รับ

DRC-16

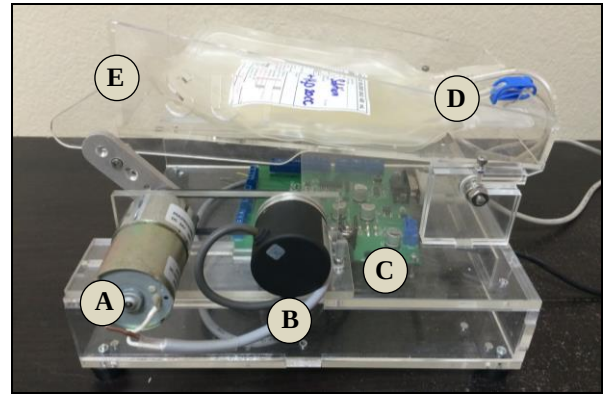
แรงบิดโหลดที่เปลี่ยนแปลง การประมาณค่าตัวแปรสเตตของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งผลจากการประมาณค่าแรงบิดโหลดที่เปลี่ยนแปลง และการประมาณค่าตัวแปรสเตต i_d (กระแสไฟฟ้า) โดยใช้วิธี Gradient Method ที่กระทำกับระบบของมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพแสดงในรูปที่ 3

5. ผลการทดลอง

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยทำการเขียนอัลกอริทึมของตัวควบคุมด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink จากนั้นทำการเชื่อมต่อสัญญาณการควบคุมระหว่างคอมพิวเตอร์ด้วย Board ซึ่งเป็นบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ที่มีหน้าที่เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อโยงระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ทดลองผ่านสาย Serial Cable ไปยัง PCI Serial Card ของคอมพิวเตอร์ ซึ่ง Board จะเชื่อมต่อกับโปรแกรมในส่วนเสริม Real - Time Windows Target เป็นบอร์ดที่สามารถควบคุมแบบ Real Time ซึ่งมีความสามารถในการรับ - ส่งสัญญาณที่มีลักษณะทั้ง D/A และ A/D โดยในการทดลองนั้น จะมี Power Amplifier เพื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรงให้แก่ Board ซึ่งจะทำให้การป้อนแรงดันและกระแสไปยังมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงตามคำสั่งในอัลกอริทึมที่ทำการเขียนไว้ในโปรแกรม จากนั้นเมื่อมอเตอร์หมุน เซนเซอร์วัดความเร็วซึ่งอยู่ในรูป PWM ถูก ส่งต่อไปยัง Board เพื่อประมวลผลยังโปรแกรมควบคุมการทำงานต่อไป

เครื่องเขย่าถุงโลหิตที่ได้นำเสนอนี้ ใช้การหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยติดตั้งกับแกนรองรับ โดยปลายด้านหนึ่งรองรับกระบอกโลหิตเพื่อให้เกิดโมเมนต์สูงสุด ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุดขึ้นเพื่อหมุนแรงบิดโหลดจากปริมาตรหรือน้ำหนักที่เปลี่ยนไป ส่วนปลายอีกด้านยึดติดกับโครงสร้างฐาน ซึ่งงานหมุนกับแกนรองรับจะยึดติดกันแบบเยื้องศูนย์กลางการหมุนกับแกนการหมุนของเพลาชักจากมอเตอร์เหมือนคานกระดกของข้อเหวี่ยง ทำให้กระบอกรองรับโลหิตเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นลงเป็นลักษณะฮาร์โมนิกตามความเร็วรอบของมอเตอร์ โดยมีเซนเซอร์วัดความเร็วรอบเพื่อใช้ในการควบคุม โดยออกแบบระบบควบคุมความเร็วแบบปิดที่มีตัวควบคุมพีไอ ดังแสดงในรูปที่ 4

โดยพิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่า $T_L(t)$ เป็น 2 กรณีดังนี้



รูปที่ 4 เครื่องเขย่าถุงโลหิต

A-- DC Motor, B-- Encoder, C-- Control board,
E-- Blood tray, D-- Blood Bag

ตารางที่ 2 ตารางแสดงปริมาตรและน้ำหนักในถุงโลหิต

NO.	Substance in bag	Volume(cc.)	Weight(g)
1	Solution	63	120.85
2	Solution + H ₂ O 20 cc.	83	141.15
3	Solution + H ₂ O 40 cc.	103	162.79
4	Solution + H ₂ O 60 cc.	123	182.28
5	Solution + H ₂ O 80 cc.	143	206.96
6	Solution + H ₂ O 100 cc.	163	229.10
7	Solution + H ₂ O 150 cc.	213	285.83
8	Solution + H ₂ O 200 cc.	263	339.65
9	Solution + H ₂ O 250 cc.	313	387.98
10	Solution + H ₂ O 300 cc.	363	441.18
11	Solution + H ₂ O 350 cc.	413	493.32
12	Solution + H ₂ O 400 cc.	463	553.78

กรณีที่ 1 ระบบมีค่า $T_L(t)$ เปลี่ยนแปลงแบบฮาร์โมนิก (Harmonic) และมีโหลดคงที่ (Static Load) ในการทดลองเพื่อศึกษาการทำงานเมื่อมีโหลดคงที่นั้นเป็นการพิจารณาว่าถุงโลหิตที่ใส่อยู่ในกระบอกรองรับนั้นมีปริมาตรหรือน้ำหนักคงที่ เพื่อความสะดวกในการทดลองนี้ กำหนดให้ความหนาแน่นของโลหิตใกล้เคียงกับความหนาแน่นของน้ำ โดยใช้ น้ำ ในการทดสอบแทนโลหิตเพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาตรและน้ำหนักในถุงโลหิตจากการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในการทดลองจะเปลี่ยนแปลงปริมาตรในถุงโลหิตดังแสดงในตารางที่ 2 และวัดค่าน้ำหนัก รวมถึงพิจารณาการตอบสนองของ

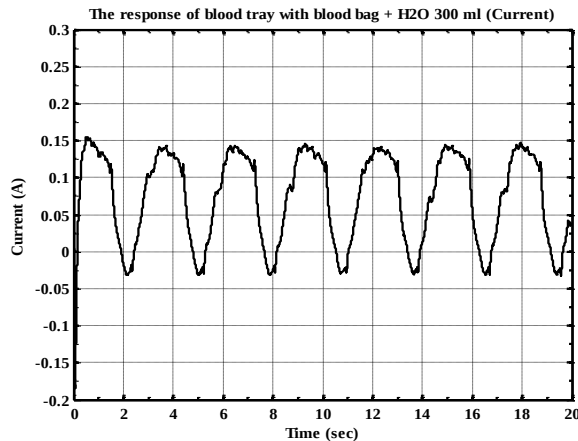
DRC-16

กระแสไฟฟ้างดรูปที่ 5 เพื่อใช้ประมาณค่าแรงบิดโหลดที่กระทำกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแสดงดังรูปที่ 6 ในการควบคุมเพื่อรักษาความเร็วรอบในการหมุนที่ 20 rpm ดังรูปที่ 7 ซึ่งเป็นตัวอย่างผลการตอบสนองของกฎโหิต No. 10 ที่มีของเหลวภายในเป็น Solution ผสมกับน้ำ 300 cc

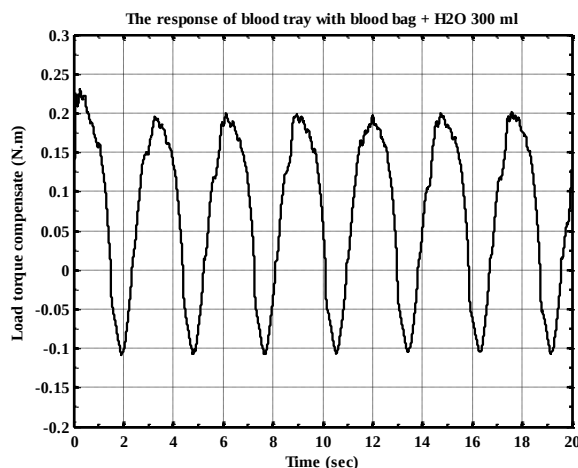
$$\forall = 4698\hat{i}_a - 325,$$

$$W = 5051\hat{i}_a - 296, \quad (12)$$

$$\hat{T}_L = 1.818\hat{i}_a - 0.0635$$

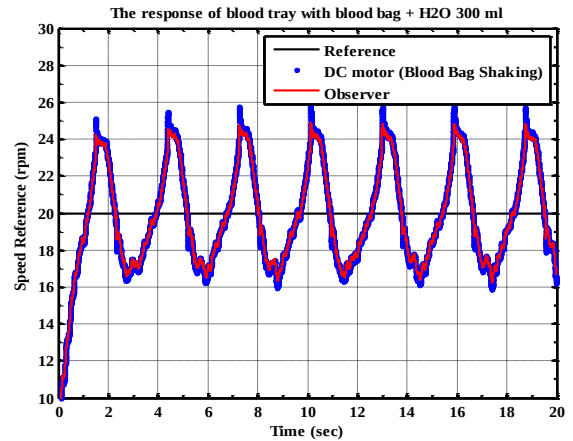


รูปที่ 5 แสดงกระแสของตัวสังเกต $\hat{i}_a(t)$ No.10
(Solution + H₂O 300 cc.)

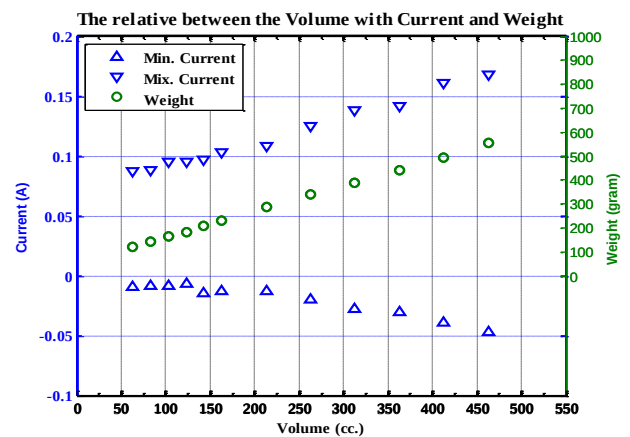


รูปที่ 6 แสดง Estimation Torque $\hat{T}_L(t)$ No.10
(Solution + H₂O 300 cc.)

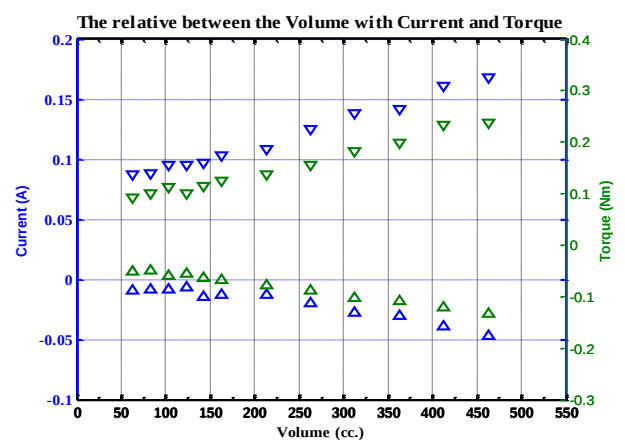
จากรูปที่ 8 และ 9 หากพิจารณาจากเกิดโมเมนต์สูงสุด ที่ส่งผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าสูงสุดขึ้นเพื่อหมุนแรงบิดโหิตจากปริมาตรหรือน้ำหนักที่เปลี่ยนไป ทำให้ได้ความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากตัวสังเกต $\hat{i}_a$ กับปริมาตร $\forall$ และน้ำหนัก W อีกทั้งค่ากระแสไฟฟ้ายังเป็นฟังก์ชันกับภาระโหิตดังนี้



รูปที่ 7 แสดงผลการตอบสนองความเร็ว No.10
(Solution + H₂O 300 cc.)



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์กระแสของตัวสังเกต $\hat{i}_a(t)$
และน้ำหนักที่ปริมาตรต่างๆ



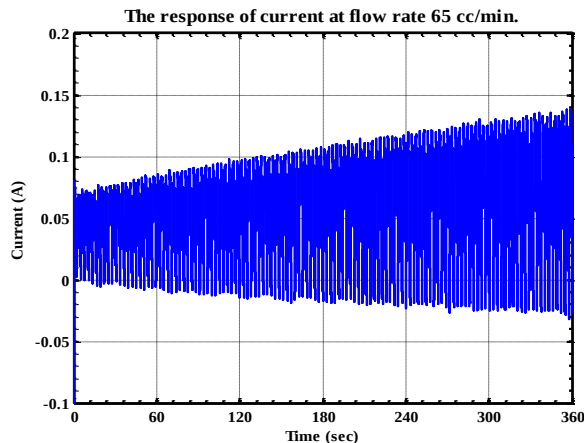
รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์กระแสของตัวสังเกต $\hat{i}_a(t)$
และ Estimation Torque $\hat{T}_L(t)$ ที่ปริมาตรต่างๆ

DRC-16

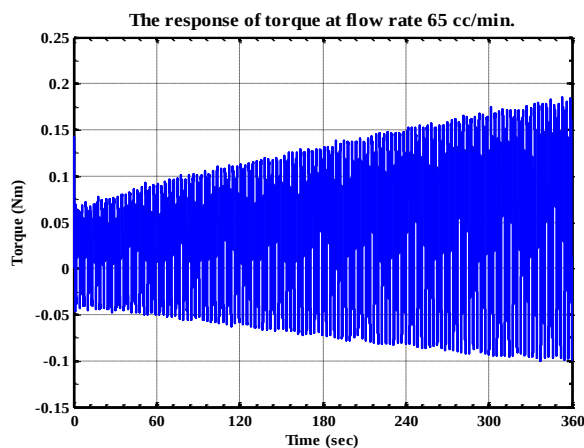
กรณีที่ 2 ระบบมีค่า $T_L(t)$ เปลี่ยนแปลงเมื่อมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของถุงโลหิต มีอัตราการไหลดังนี้

- 65 cc/min (เวลาในการบริจาโลหิตที่ 6 นาที)
- 50 cc/min (เวลาในการบริจาโลหิตที่ 8 นาที)

ซึ่งกำหนดให้มีปริมาตรในถุงโลหิต 400 ± 10 cc.

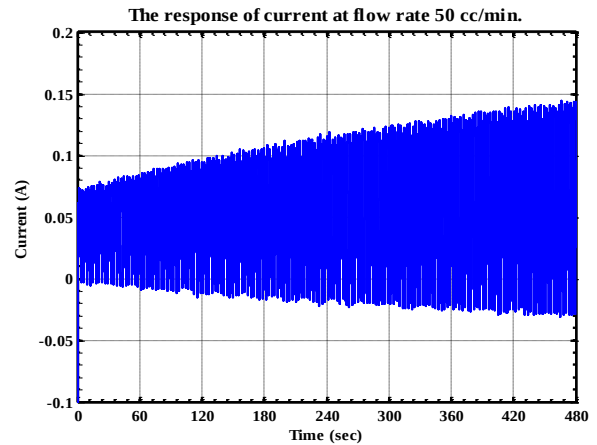


รูปที่ 10 แสดงกระแสของตัวสังเกต $\hat{i}_d(t)$ ที่อัตราการไหล 65 cc/min

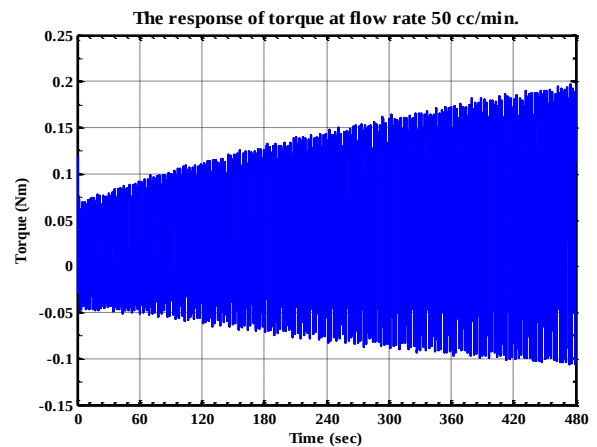


รูปที่ 11 แสดง Estimation Torque $\hat{T}_L(t)$ ที่อัตราการไหล 65 cc/min

ผลการทดลองการประมาณค่าปริมาตรของถุงโลหิตที่ไหลเข้าถุงโลหิต ความชันของการประมาณค่ากระแสไฟฟ้ากับแรงบิดโหลดที่เปลี่ยนแปลงที่กระทำต่อมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีความสัมพันธ์กันกับอัตราการไหลของโลหิตและปริมาตรของโลหิตในกระบอกของเครื่องเขย่าโลหิต กำลังในการหมุนเพื่อเขย่ากระบอกรับโลหิตที่มีปริมาตรที่เปลี่ยนไปด้วยวิธีการ โดยใช้วิธี Gradient Method ในการประมาณค่าภาระโหลดที่เกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 10, 11, 12 และ 13 ตามลำดับ



รูปที่ 12 แสดงกระแสของตัวสังเกต $\hat{i}_d(t)$ ที่อัตราการไหล 50 cc/min



รูปที่ 13 แสดง Estimation Torque $\hat{T}_L(t)$ ที่อัตราการไหล 50 cc/min

6. สรุป

ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของถุงโลหิต จะมีผลกระทบต่อค่าแรงบิดโหลด และกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นวิธีการชดเชยแบบปรับตัวได้เพื่อประมาณค่าของแรงบิดโหลดที่เปลี่ยนแปลงร่วมกับตัวสังเกต ซึ่งข้อมูลที่ได้จะสามารถประมาณปริมาตรของโลหิต อัตราการไหลของโลหิตและการทำระบบแจ้งเตือนในกรณีที่ปริมาตรของโลหิตใกล้กับจำนวนที่ต้องการและอัตราการไหลของโลหิตที่ผิดปกติ เป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่สนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย และบริษัท มณีสุรีย์ กรุ๊ป จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านทุนวิจัย

DRC-16

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปรียานาถ วงศ์จันทร์ (2550). ผู้มีคุณสมบัติเป็นผู้
บริจาคโลหิต, *วารสารเทคนิคการแพทย์เชียงใหม่*,
มกราคม 2550, ปีที่ 40 ฉบับที่ 1, หน้า 1-10.
- [2] อุบล จรูญเรืองฤทธิ์ (2548). การคัดเลือกผู้บริจาค
โลหิต, *วารสารโลหิตวิทยาและเวชศาสตร์บริการโลหิต*,
มกราคม-มีนาคม 2548, ปีที่ 15 ฉบับที่ 1, หน้า 3-6.
- [3] วรวัตร ตั้งพูนผลวิวัฒน์ และ ชื่นฤทัย ยี่เขียน (2552).
ผลของการดื่มน้ำต่อความดันโลหิตของผู้ประสงค์บริจาค
โลหิตที่มีภาวะความดันโลหิตต่ำ, *วารสารโลหิตวิทยาและ
เวชศาสตร์บริการโลหิต*, ตุลาคม-ธันวาคม 2552, ปีที่ 19
ฉบับที่ 4, หน้า 271-276.
- [4] Khajorntraidat, C. and Srisertpol, J. (2010).
Simulation Studies of Position Control Systems for
Estimation of DC Motor Load Torque, *Proceedings of
the 9th WSEAS international Conference on Signal
Processing, Robotics and Automation*, University of
Cambridge, UK.
- [5] Khajorntraidat, C. and Srisertpol, J. (2010).
Torque Control for DC Servo Motor Using Adaptive
Load Torque Compensation, *Proceedings of
ICOSSSE'10*, Iwate Prefectural University, Iwate,
Japan.
- [6] Ata SEVINC (2003). A Full Adaptive Observer for
DC Servo Motors, *Proceeding of Turk Journal
Electrical Engineering*, Vol.11, pp.117-130.
- [7] Ogata, K (2010). *Modern Control Engineering*, 5th
edition, ISBN: 10: 0-13-713337-5, Pearson, New
Jersey.
- [8] Karl J. Åström and Björn Wittenmark (1995).
Adaptive Control, 2nd edition, Addison Wesley, USA.