

วิธีการทดสอบอัตราการไหลของเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดโดยการนับหยด

The flow rate testing of infusion pump by drop counting method

ขนิษฐา ลีแดง¹, ชีรารักษ์ ชินารักษ์ และ ธวัช ช่างปั้น

¹ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ 3/4-5 หมู่ 3 ตำบลคลองห้า อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

*ติดต่อ: khanistha@nimt.or.th, 02-577-5100, 02-577-3659

บทคัดย่อ

เครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือด (Infusion pump) คือเครื่องมือที่ใช้ในการปรับอัตราการไหลของสารละลายที่เข้าสู่ผู้ป่วยภายใต้แรงดันที่เกิดจากปั๊ม โดยวัตถุประสงค์ในการทํางานวิจัยนี้เพื่อหาวิธีทดสอบอัตราการไหลของเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดโดยอาศัยทฤษฎีของ Tate ที่กล่าวว่า “การวัดแรงตึงผิวของสารละลายสามารถคำนวณหามวลของสารละลายได้” งานวิจัยนี้เป็นการวัดอัตราการไหลที่ได้จากวิธีการซึ่งเปรียบเทียบกับวิธีการวัดอัตราการไหลที่ได้จากวิธีการนับหยดของสารละลาย โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ได้จากวิธีการนับหยดสามารถหาได้จากผลต่างของอัตราการไหลที่ได้จากวิธีการซึ่งซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐาน งานวิจัยนี้เสนอวิธีการทดสอบอัตราการไหลของเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดที่สอดคล้องกับมาตรฐาน IEC 60601-2-24 โดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 1 มิลลิกรัมเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้ RS-232 เป็นวิธีการซึ่ง และใช้ photoelectric sensor เป็นวิธีการนับหยดของสารละลาย การเก็บรวบรวมวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ระบบ DAQ (Data acquisition) เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เนื่องจากการทดสอบการวัดอัตราการไหลนี้ใช้ระยะเวลาในการทดสอบ 3 ชั่วโมงในแต่ละอัตราการไหลจึงต้องมีการป้องกันการระเหยของน้ำในภาชนะโดยใช้ Oil-film

ผลการทดสอบการวัดอัตราการไหลโดยการนับหยดนั้นพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 2\%$ of reading ซึ่งมีความถูกต้องมากกว่าข้อกำหนดด้านความถูกต้องของ Infusion pump ที่ $\pm 5\%$ สำหรับผู้ป่วยวิกฤตและ $\pm 10\%$ สำหรับผู้ป่วยทั่วไป

คำหลัก: เครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือด, การวัดอัตราการไหลและกฎของ Tate's

Abstract

Infusion pump is equipment for regulating flow of liquid into patient under pressure generated by the pump. The purpose of research is to find the flow measurement method of the infusion pump according to Tate's Law. The Tate's Law is fundamental method to measure water drop mass by using the surface tension of water drop. In this research, the flow rate can be calculated from each drop of solution. The flow rate measured by gravimetric method was brought to compare with the flow rate calculated by the drop counting method. The error of drop counting method can be calculated by the flow rate difference with gravimetric method which has been used widely as the reference standard. In this paper was set according to the IEC 60601-2-24. The flow rate estimated from the drop volume by using 1 mg resolution weighing balance (RS-232) for gravimetric method and photoelectric sensors for drop counting method. The data collection use DAQ (Data acquisition) system which

TSF-05

connects to the computer. The time of each experiment was 3 hours. So, the evaporation of solution in container on the weight balance is protected by oil-film.

The results show the error less than 2% of reading. The error of counting method was less than the criteria of infusion pump which less than 5% of reading for intensive care and less than 10% of reading for the patient.

Keywords: Infusion pump, Flow rate measurement and Tate's Law.

1. บทนำ

เครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดเป็นเครื่องมือวัดทางการแพทย์ที่มีใช้อย่างแพร่หลายทั้งในโรงพยาบาลของรัฐและเอกชน ซึ่งใช้ในการควบคุมและปรับอัตราการไหลของสารละลายก่อนเข้าสู่หลอดเลือดดำ ปัจจุบันมีวิธีการทดสอบเครื่องมือวัดดังกล่าวโดยวิธีการชั่งหรือใช้เครื่องวิเคราะห์อัตราการไหล (Infusion analyzer) ซึ่งมีราคาสูง ดังนั้นวัตถุประสงค์ในการทํางานวิจัยนี้เพื่อสร้างเครื่องมือราคาถูกลงที่สามารถวัดอัตราการไหลที่อัตราการไหลที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงและ 300 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงอ้างอิงตามมาตรฐานวิธีการทดสอบเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือด [4] โดยอัตราการไหลสามารถหาได้จากอัตราส่วนระหว่างปริมาตรกับเวลา งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีการทดสอบอัตราการไหลของ Infusion pump โดยการอ้างอิงทฤษฎีด้านแรงตึงผิวตามกฎของ Tate ที่มีการพิจารณาปริมาตรของหยดน้ำจากน้ำหนักสะสมของสารละลายในแต่ละหยดและแปลงปริมาตรที่ได้จากการนับหยดของสารละลายให้เป็นอัตราการไหลตามที่กำหนดเพื่อเปรียบเทียบอัตราการไหลที่วัดได้กับอัตราการไหลที่ได้จากเครื่องชั่งที่มีค่าความละเอียด 1 มิลลิกรัมซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐานและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้ RS-232 ในการเก็บข้อมูลที่ได้จากการชั่งทุกๆ 30 วินาที มีระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบอัตราการไหลแต่ละจุด 180 นาที มีการป้องกันการระเหยของของเหลวภายในภาชนะและใช้ท่อขนาด 1/8 นิ้วเพื่อสร้างหยดน้ำที่เกิดจากอัตราการไหลโดยใช้ Photoelectric sensor ในการนับหยดของสารละลายและแปลงจำนวนหยดที่นับได้เป็นอัตราการไหลก่อนลงสู่เครื่องชั่ง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการทดลองนี้เลือกใช้ทฤษฎีตามกฎของ Tate เพื่อคำนวณหาปริมาตรต่อหยดของสารละลายและแปลงปริมาตรที่ได้เป็นอัตราการไหลที่ออกมาจากปลายท่อขนาด 1/8 นิ้ว โดยอัตราการไหลที่ได้จากการนับหยดต้องมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการไหลที่ได้จากการวัดโดยเครื่องชั่ง ดังนั้นน้ำหนักแต่ละหยดของสารละลายที่หยดตามแนวตั้งสามารถคำนวณได้จาก [2] สมการ (1) และ (2)

$$m = \frac{2\pi r \gamma}{g} - \frac{\pi r^2 \Delta p}{g} \quad (1)$$

$$\Delta p = p_{liquid} - p \quad (2)$$

เมื่อ m คือมวลต่อหยดของชุดให้สารละลายทางหลอดเลือด (kg), r คือรัศมีของท่อ (m), γ คือค่าแรงตึงผิวของน้ำที่อุณหภูมิ 20°C มีค่า 0.0728 N/m, g คือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีค่า 9.78312 m/s² ณ บริเวณที่ทำการทดลอง, Δp คือค่าความแตกต่างของความดันระหว่างสารละลายและอากาศ (Pa), P_{liquid} คือค่าความดันของสารละลาย (Pa) และ p คือค่าความดันของอากาศ (Pa)



รูปที่ 1 การติดตั้ง Photoelectric sensor เพื่อนับหยดน้ำที่ออกมาจากปลายท่อขนาด 1/8 นิ้ว

TSF-05

2.1 การคำนวณอัตราการไหล

การคำนวณอัตราการไหลของหยดน้ำที่ออกมาจากท่อขนาด 1/8 นิ้วนั้นสามารถคำนวณได้จากปริมาตรต่อหยดที่วัดได้เทียบกับเวลา ดังนี้

$$Q_{drop} = \frac{m}{t} \times 3.6 \quad (3)$$

เมื่อ Q_{drop} คือ อัตราการไหลที่วัดได้จากการนับหยด (ml/h) และ t คือเวลา (วินาที)

การคำนวณอัตราการไหลที่ได้จากเครื่องชั่งซึ่งเป็นวิธีการมาตรฐานสามารถคำนวณได้จาก [3]

$$Q_{balance} = \frac{M}{t} \times 3.6 \times V_{20} \quad (4)$$

$$V_{20} = \frac{m_b}{\rho_b} \cdot \frac{\rho_b - \rho_a}{\rho_w - \rho_a} \cdot [1 - \alpha_c(t_d - t_{20})] \quad (5)$$

เมื่อ M คือ มวลที่วัดได้จากเครื่องชั่ง (kg), ρ_b คือความหนาแน่นของ Standard weight ที่สอบเทียบเครื่องชั่ง มีค่า 8000 kg/m³ อ้างอิงตามมาตรฐาน OIML R111-1, α_c คือ อัตราการขยายตัวของน้ำ มีค่า 0.000214 °C⁻¹, t_d คือ อุณหภูมิในระหว่างทำการทดลอง (°C), t_{20} คือ อุณหภูมิอ้างอิงมีค่า 20°C, ρ_w คือ ค่าความหนาแน่นของน้ำ (kg/m³)

$$\rho_w = \sum_{i=0}^4 a_i (t_w)^i \quad (6)$$

เมื่อ t_w คือ อุณหภูมิน้ำ (°C), a_0 คือ 999.853 kg/m³, a_1 คือ 6.327 × 10⁻² °C⁻¹ kg/m³, a_2 คือ -8.524 × 10⁻³ °C⁻² kg/m³, a_3 คือ 6.943 × 10⁻⁵ °C⁻³ kg/m³, a_4 คือ -3.821 × 10⁻⁷ °C⁻⁴ kg/m³, ρ_a คือ ค่าความหนาแน่นของอากาศ อ้างอิงตามสมการของ OIML R111-1 สามารถหาได้จากสมการ (7)

$$\rho_a = \frac{0.34848p - 0.009(hr) \times e^{0.06T}}{273.15 + t} \quad (7)$$

เมื่อ t คือ อุณหภูมิห้อง (°C), p คือ ความดันบรรยากาศ (hPa) และ hr คือ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (%Rh)

2.2 การคำนวณ Trumpet curve

Trumpet curve ของ Infusion analyzer เป็นกราฟที่แสดงค่าความคลาดเคลื่อนของ Infusion analyzer ที่อัตราการไหลต่างๆ ซึ่งแสดงถึงคุณลักษณะเฉพาะของ Infusion analyzer โดยการคำนวณหา $E_p(MAX)$ และ $E_p(MIN)$ สามารถคำนวณได้จากสมการ (8), (9) และ (10) ดังนี้

$$E_p(MAX) = MAX_{j=1}^m \left[\frac{S}{P} \times \sum_{i=j}^{j+\frac{P}{S}-1} 100 \times e_i \right] \quad (8)$$

$$E_p(MIN) = MIN_{j=1}^m \left[\frac{S}{P} \times \sum_{i=j}^{j+\frac{P}{S}-1} 100 \times e_i \right] \quad (9)$$

$$m = \frac{T-P}{S} + 1 \quad (10)$$

เมื่อ $E_p(MAX)$ และ $E_p(MIN)$ คือ ค่าสูงสุดและต่ำสุดของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ในช่วงที่ทำการพิจารณา, S คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ Trumpet curve มีค่า 0.5 นาที โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 60601-2-24, P คือ ช่วงเวลาที่พิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนของ IV Set (Observation window) โดย $P = 1, 2, 5, 11, 19, 31$ นาที ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC60601-2-24, T คือ เวลาที่ใช้ในการทดสอบ Trumpet curve (นาที) ในที่นี้ใช้ระยะเวลาในการทดสอบ Trumpet curve ที่ 150 นาที เนื่องจากการวิเคราะห์ Trumpet curve มีการวิเคราะห์ที่ช่วงเวลาตั้งแต่นาทีที่ 61 เป็นต้นไป อ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 60601-2-24 และ e_i คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของอัตราการไหลที่วัดได้สามารถคำนวณได้จากสมการ (11)

$$e_i = \left(\frac{Q_{drop} - Q_{balance}}{Q_{balance}} \right) \quad (11)$$

TSF-05

เมื่อ Q_{MUT} คือ อัตราการไหลที่วัดได้จาก Infusion analyzer (ml/h), Q_B คือ อัตราการไหลที่วัดได้จากเครื่องชั่ง (ml/h)

2.3 การคำนวณ Error A และ Error B

การคำนวณ Error A และ Error B คือการคำนวณหาความผิดพลาดของ Infusion analyzer เมื่อเทียบกับเครื่องชั่ง ที่ช่วงเวลาหนึ่ง สามารถคำนวณได้จาก

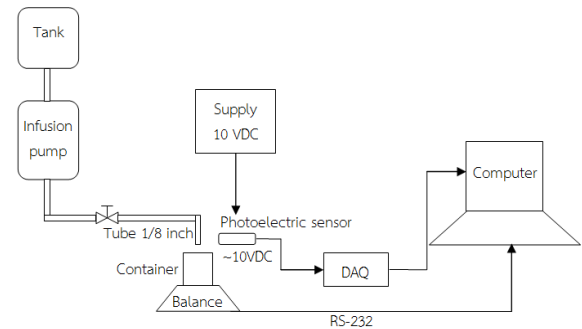
$$ErrorA = \frac{(Q_{drop_A} - Q_{balance}) \times 100}{Q_{balance}} \quad (12)$$

$$ErrorB = \frac{(Q_{drop_B} - Q_{balance}) \times 100}{Q_{balance}} \quad (13)$$

เมื่อ Q_{drop_A} คือ อัตราการไหลที่วัดได้จาก Infusion analyzer ในช่วงเวลาที่ 61 – 120 (ml/h), Q_{drop_B} คือ อัตราการไหลที่วัดได้จาก Infusion analyzer ในช่วง 60 นาทีสุดท้าย (ml/h) และ $Q_{balance}$ คือ อัตราการไหลมาตรฐานที่วัดได้จากเครื่องชั่ง (ml/h)

3. วิธีการทดลอง

ในการทดสอบอัตราการไหลของ Infusion pump นั้นในงานทดลองนี้ได้ทำการประยุกต์วิธีการทดสอบจากมาตรฐาน IEC60601-2-24 ดังแสดงในรูปที่ 2 ระบบการทดสอบ Infusion pump ใช้เครื่องชั่งเป็นเครื่องมือมาตรฐาน โดยเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยใช้ RS-232 เพื่อเก็บข้อมูลที่ได้จากเครื่องชั่งทุกๆ 30 วินาที ในส่วน Photoelectric sensor ใช้ในการนับหยดของสารละลายที่ออกมาจากปลายท่อขนาด 1/8 นิ้วและส่งสัญญาณ Pulse output ไปที่ DAQ (Data acquisition) เพื่อนับหยดน้ำและคำนวณอัตราการไหลที่ได้จาก Photoelectric sensor ไปแสดงผลที่คอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม LabVIEW และนำค่าอัตราการไหลที่วัดได้โดยวิธีการนับหยดมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราการไหลที่ได้จากวิธีการชั่งเพื่อหาความผิดพลาดที่เกิดขึ้นและสร้างความเชื่อมั่นในวิธีการวัดอัตราการไหลโดยการนับหยด



รูปที่ 2 การเชื่อมต่อระบบการทดสอบ Infusion pump โดยใช้เครื่องชั่งเป็นเครื่องมือมาตรฐานและ Photoelectric sensor ในการนับหยด

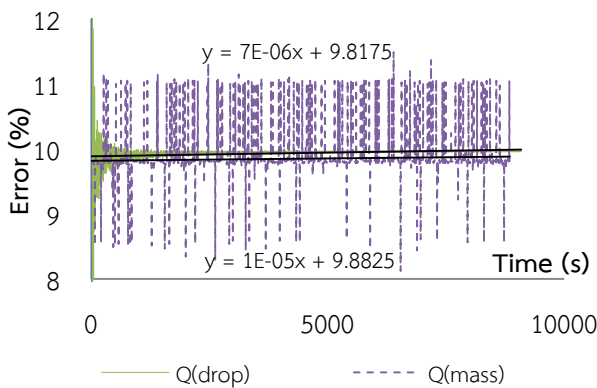
4. ผลการทดลอง

จากการทดสอบการวัดอัตราการไหลโดยวิธีการนับหยดเปรียบเทียบกับอัตราการไหลที่ได้จากเครื่องชั่งที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง และ 300 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง โดยค่าความคลาดเคลื่อนของอัตราการไหลที่ได้ทั้ง 3 จุดต้องมีค่าไม่เกิน $\pm 2\%$ ของอัตราการไหลที่วัดได้จากตารางที่ 1 พบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีการวัดอัตราการไหลโดยวิธีการนับหยดเทียบกับการวัดอัตราการไหลโดยวิธีการชั่งที่อัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงมีค่า Error A เท่ากับ 0.94% และ Error B เท่ากับ 1.03% ที่อัตราการไหล 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงมีค่า Error A เท่ากับ -1.41% และ Error B เท่ากับ -1.92% และที่อัตราการไหล 300 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงมีค่า Error A เท่ากับ 1.71% และ Error B เท่ากับ 1.91% โดยทั้ง 3 อัตราการไหลมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 2\%$ ทั้ง Error A และ Error B ดังนั้นวิธีการวัดอัตราการไหลโดยการนับหยดสามารถนำไปใช้ในการทดสอบ Infusion pump ได้ เนื่องจากกำหนดค่าความถูกต้องของ Infusion pump ไม่เกิน $\pm 5\%$ สำหรับผู้ป่วยวิกฤตและ $\pm 10\%$ สำหรับผู้ป่วยทั่วไป

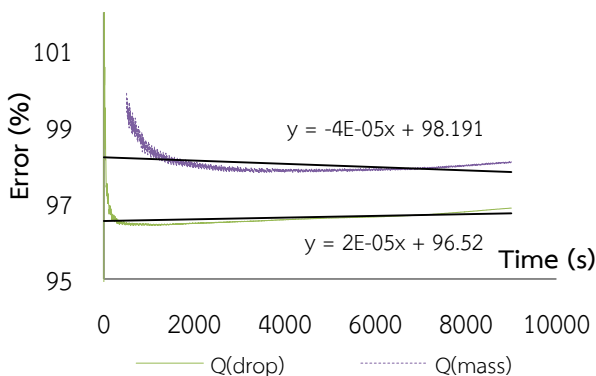
ตารางที่ 1 ผลที่ได้จากการทดสอบวัดอัตราการไหลที่อัตราการไหลต่างๆ โดยวิธีการนับหยด

Q	$Q_{balance}$	Q_{drop}	Error A	Error B
10 ml/h	10.26	10.07	0.94	1.03
100 ml/h	90.73	90.79	-1.41	-1.92
300 ml/h	286.90	295.48	1.71	1.91

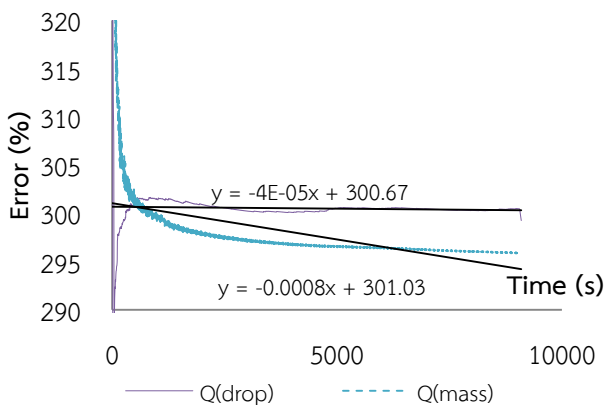
TSF-05



รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบการวัดอัตราการไหลที่ 10 ml/h ที่ได้จากเครื่องชั่งและ Photoelectric sensor



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบการวัดอัตราการไหลที่ 100 ml/h ที่ได้จากเครื่องชั่งและ Photoelectric sensor



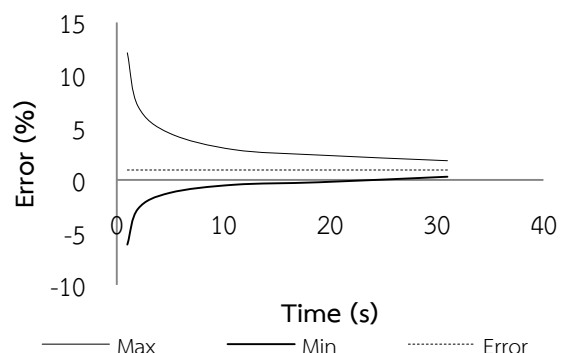
รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบการวัดอัตราการไหลที่ 300 ml/h ที่ได้จากเครื่องชั่งและ Photoelectric sensor

จากรูปที่ 3, 4 และ 5 พบว่าอัตราการไหลที่วัดได้จากการนับหยดเมื่อเทียบกับอัตราการไหลที่วัดได้จากเครื่องชั่งมีค่าใกล้เคียงกันทั้ง 3 อัตราการไหล โดยค่าอัตราการไหลที่ 10 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงที่วัดได้จากเครื่องชั่งมีค่าการกระจายระหว่าง 8.5 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงถึง 11 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง เนื่องจากเป็นอัตราการไหลต่ำทำให้

ระยะเวลาของหยดน้ำแต่ละหยดที่หยดลงเครื่องชั่งมีระยะเวลาสั้นกว่าระยะเวลาในการเก็บข้อมูลของเครื่องชั่งที่ทุกๆ 30 วินาที ส่วนอัตราการไหลที่ได้จากการนับหยดจะมีค่าการกระจายน้อยกว่าซึ่งเกิดจากการเขียนโปรแกรมเพื่อคำนวณอัตราการไหลที่มีการคำนวณอัตราการไหลจากค่าเฉลี่ยของอัตราการไหลที่ได้จากการนับหยดจำนวน 100 ค่า สำหรับอัตราการไหลที่ 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงและ 300 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงเป็นอัตราการไหลที่หยดน้ำที่หยดลงเครื่องชั่งต่อหยดเร็วกว่า 30 วินาทีทำให้ค่าอัตราการไหลที่อ่านได้จากเครื่องชั่งมีการกระจายน้อยกว่าอัตราการไหล 10 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

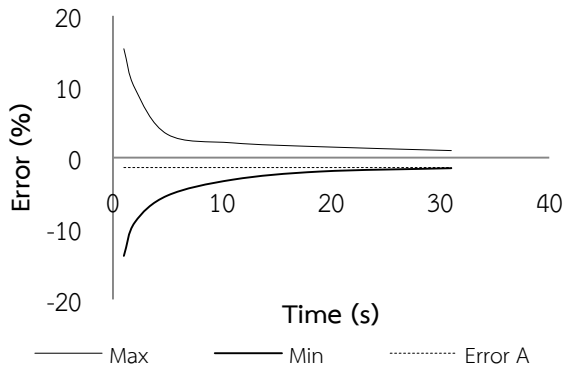
เมื่อนำผลการทดลองที่ได้เมื่อนำมาสร้าง Trumpet curve เพื่อหาค่าความผิดพลาดสูงสุดและต่ำสุดที่อัตราการไหลต่างๆ ในช่วงเวลา 2 นาทีถึง 31 นาทีอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC60601-2-24 ซึ่ง Trumpet curve ที่ได้สามารถใช้ในการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดอัตราการไหลโดยวิธีการนับหยดเทียบกับการวัดอัตราการไหลโดยวิธีการชั่ง

จากรูปที่ 6, 7 และ 8 แสดง Trumpet curve ของการวัดอัตราการไหลที่ 10 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงและ 300 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับเพื่อแสดงค่าความผิดพลาดสูงสุดและต่ำสุดที่เกิดขึ้นจากการวัดอัตราการไหลที่ได้จากวิธีการนับหยดเทียบกับการวัดอัตราการไหลที่ได้จากวิธีการชั่ง ณ ช่วงเวลาหนึ่ง พบว่าค่าความผิดพลาดที่ได้จากการวัดอัตราการไหลทั้ง 3 จุดนั้น มีค่าความผิดพลาดอยู่ในเกณฑ์ $\pm 2\%$ ตามที่กำหนด

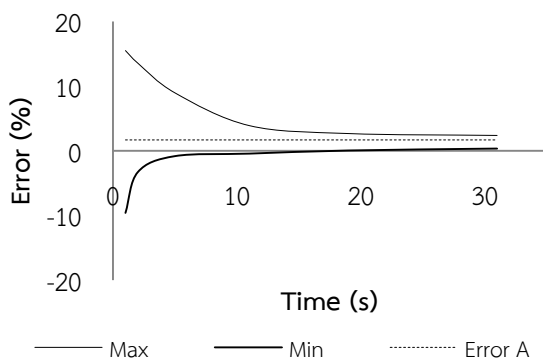


รูปที่ 6 แสดง Trumpet curve ของการวัดอัตราการไหลที่ 10 ml/h

TSF-05



รูปที่ 7 แสดง Trumpet curve ของการวัดอัตราการไหล
ที่ 100 ml/h



รูปที่ 8 แสดง Trumpet curve ของการวัดอัตราการไหล
ที่ 300 ml/h

5. สรุปผลการทดลอง

การทดสอบเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดนั้นสามารถทดสอบได้โดยใช้ท่อขนาด 1/8 นิ้ว วางในแนวตั้งและใช้ Photoelectric sensor นับหยดของสารละลายที่ออกจากปลายท่อและแปลงมวลของหยดน้ำที่ได้จากการคำนวณตามกฎของ Tate ให้เป็นอัตราการไหลจากการทดลองวัดอัตราการไหลโดยวิธีการนับหยดเทียบกับการวัดอัตราการไหลโดยวิธีการชั่งซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานที่อัตราการไหล 3 จุดคือ 10 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมงและ 300 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง พบว่าวิธีการทดสอบอัตราการไหลโดยการนับหยดนี้มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 2\%$ ทั้ง Error A และ Error B และเป็นวิธีการที่สามารถใช้ในการทดสอบอัตราการไหลของ Infusion pump ในส่วนความถูกต้องในการวัดอัตราการไหล โดยมีการกำหนดค่ามาตรฐานความถูกต้องของ Infusion pump ในปัจจุบันต้องไม่เกิน $\pm 5\%$ สำหรับผู้ป่วยวิกฤตและ $\pm 10\%$ สำหรับผู้ป่วยทั่วไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] IEC 60601-2-24, Medical electrical equipment – Part 2-24: Particular requirements for the safety of infusion pumps and controllers, International Electrotechnical Commission 1998.
- [2] K. Leetang, P. Samanpi boon and T. Chinarak. “Drop volume estimations of intravenous set using gravimetric method” 16th International Flow Measurement Conference, FLOMEKO 2013 24-26th September 2013, Paris.
- [3] ISO/TR 20461, Determination of uncertainty for volume measurements made using the gravimetric method, International Organization for Standardization 2000.
- [4] กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข (2554). คู่มือขั้นตอนการปฏิบัติงานมาตรฐานวิธีการทดสอบเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ, พิมพ์ครั้งที่ 1, ISBN 978-616-11-2153-2, 2014.