

บทที่ 5 ผลการทดลอง

การทดลองวัดปริมาตรต่อหยดของ IV Set เลือกใช้ IV Set จำนวน 2 ชนิดคือ 20 drop/ml และ 60 drop/ml ที่อัตราการไหลต่างๆ ซึ่ง IV Set ที่ใช้ในการทดลองเป็น IV Set ที่สืมจากโรงพยาบาลของรัฐ และมีขายตามท้องตลาด โดยผลที่ได้จากการคำนวณตามกฎของ Tate กับการใช้เครื่องชั่งควรมีค่าใกล้เคียงกันเพื่อพิสูจน์ความถูกต้องและน่าเชื่อถือของระบบสอบเทียบ โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน ISO 8536-4 นั้น สามารถยอมรับความคลาดเคลื่อนได้ (1 ± 0.1) ml หรือ $\pm 10\%$ ที่ 1 ml ซึ่งใช้ค่าจากการคำนวณ IV Set เป็นจุดอ้างอิงดังนั้น IV Set ชนิด 20 drop/ml ควรมีปริมาตรต่อหยด (0.05 ± 0.005) ml และ IV Set ชนิด 60 drop/ml ควรมีค่าปริมาตรต่อหยด (0.0167 ± 0.00167) ml

5.1 ผลที่ได้จากการทดลอง

ผลที่ได้จากการทดลองแบ่งเป็น 4 หัวข้อตามขั้นตอนการทดลอง คือ ผลการทดสอบอัตราการระเหยของน้ำ ผลการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Drip-tube เพื่อคำนวณปริมาตรต่อหยดตามกฎของ Tate ผลที่ได้จากการคำนวณปริมาตรต่อหยดโดยวิธีการชั่ง (Gravimetric method) และผลที่ได้จากการคำนวณปริมาตรต่อหยดด้วยวิธีการนับหยดโดยใช้ Photoelectric sensor

1. การทดสอบการระเหยของน้ำ

เนื่องจากการทดสอบชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดดำตามระบบมาตรฐาน IEC 60601-2-24 เป็นการทดสอบที่ใช้ระยะเวลาอันยาวนานจึงมีการป้องกันอัตราการระเหยของน้ำโดยใช้ Oil-film ผลการทดสอบอัตราการระเหยของน้ำกรณีที่มีการใส่น้ำมันและไม่ใส่น้ำมันดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบการระเหยของน้ำกลั่นระหว่างใช้ Oil-film กับ ไม่ใช้ Oil-film

Time (hour)	Evaporation (g)	Evaporation + Oil-film (g)
0	0.000	0.000
1	0.110	0.000
2	0.233	0.000
3	0.376	0.000
4	0.522	0.000

การทดสอบการป้องกันอัตราการระเหยของของเหลวที่อุณหภูมิ $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ $(55 \pm 15) \% \text{Rh}$ ภายในระยะเวลา 4 ชั่วโมง โดยใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียด 1 mg พบว่ากรณีที่ใช้ Oil-film อัตราการระเหยของน้ำลดลงจนเครื่องชั่งไม่สามารถวัดได้ ซึ่งการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าการใช้ Oil-film ช่วยทำให้อัตราการระเหยในระยะเวลา 4 ชั่วโมงน้อยกว่า 1 mg

2. ผลการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Drip-tube

การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Drip-tube (D) จากเครื่อง CNC แบบ Non-contact เป็นการวัดเพื่อนำค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละ IV Set มาคำนวณหาปริมาตรต่อหยดของชุดให้สารละลายทางหลอดเลือด ตามกฎของ Tate ซึ่งได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการคำนวณปริมาตรต่อหยดของ IV Set ตามกฎของ Tate

ชนิดของ IV Set	D (m)	แรงตึงผิว (N/m)	g (m/s^2)	Δp (Pa)	m (g)	V (ml)
IV Set 20 no.1	0.001136	0.0728	9.78312	2.92966	0.0520	0.0520
IV Set 20 no.2	0.001131	0.0728	9.78312	2.92966	0.0517	0.0517
IV Set 20 no.3	0.001140	0.0728	9.78312	2.92966	0.0521	0.0521
IV Set 60 no.1	0.000367	0.0728	9.78312	2.92966	0.0170	0.0170
IV Set 60 no.2	0.000404	0.0728	9.78312	2.92966	0.0188	0.0188
IV Set 60 no.3	0.000367	0.0728	9.78312	2.92966	0.0170	0.0170

ผลการคำนวณปริมาตรต่อหยดของชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดตามกฎของ Tate โดยคำนวณ Δp ที่ $h = 30 \text{ cm}$ พบว่าปริมาตรต่อหยดของ IV Set 20 อยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานตาม ISO 8536-4 คือมีค่าระหว่าง $(0.05 \pm 0.005) \text{ ml}$ เช่นเดียวกับ IV Set 60 ที่มีค่าระหว่าง $(0.0167 \pm 0.00167) \text{ ml}$ ยกเว้น IV Set 60 no.2 ที่มีค่าปริมาตรต่อหยด 0.01875 g ซึ่งเกินกว่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่กำหนด

3. ผลการคำนวณปริมาตรต่อหยดของชุดให้สารละลายทางหลอดเลือด

ผลการคำนวณหาปริมาตรต่อหยดของชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดชนิดต่างๆ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลการคำนวณปริมาตรต่อหยด โดยวิธีการนับหยด

ชนิดของ IV Set	ปริมาตรต่อหยด (ml)
IV Set 20 no.1	0.0500
IV Set 20 no.2	0.0500
IV Set 20 no.3	0.0500
IV Set 60 no.1	0.0167
IV Set 60 no.2	0.0167
IV Set 60 no.3	0.0167

การคำนวณปริมาตรต่อหยดของชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดโดยใช้ Photoelectric sensor เพื่อหาจุดอ้างอิงในการกำหนดของเขตของความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดชนิดต่างๆ ซึ่งชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดชนิด 20 drop/ml มีค่าปริมาตรต่อหยด 0.05 ml และชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดชนิด 60 drop/ml มีค่าปริมาตรต่อหยด 0.0167 ml

4. ผลการทดลองปริมาตรต่อหยดโดยวิธีการชั่ง (Gravimetric method)

การคำนวณเพื่อหาปริมาตรต่อหยดโดยวิธีการชั่งซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในการทดสอบ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดชนิด 20 drop/ml และ 60 drop/ml และการใช้งานชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดนั้น ไม่มีค่าความสูงมาตรฐาน โดยการติดตั้ง Container ที่ระดับความสูงต่างกันนั้น ไม่ส่งผลต่อปริมาตรต่อหยดของสารละลาย เมื่อความสูงของ Container เปลี่ยนไปจะมีผลทำให้อัตราการไหลของสารละลายเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ดังนั้นการทดลองนี้จึงทำการทดลองที่อัตราการไหลต่างกัน 3 ระดับ ภายใต้สมมติฐาน “อัตราการไหลไม่มีผลต่อปริมาตรต่อหยดของชุดให้สารละลายทางหลอดเลือด”

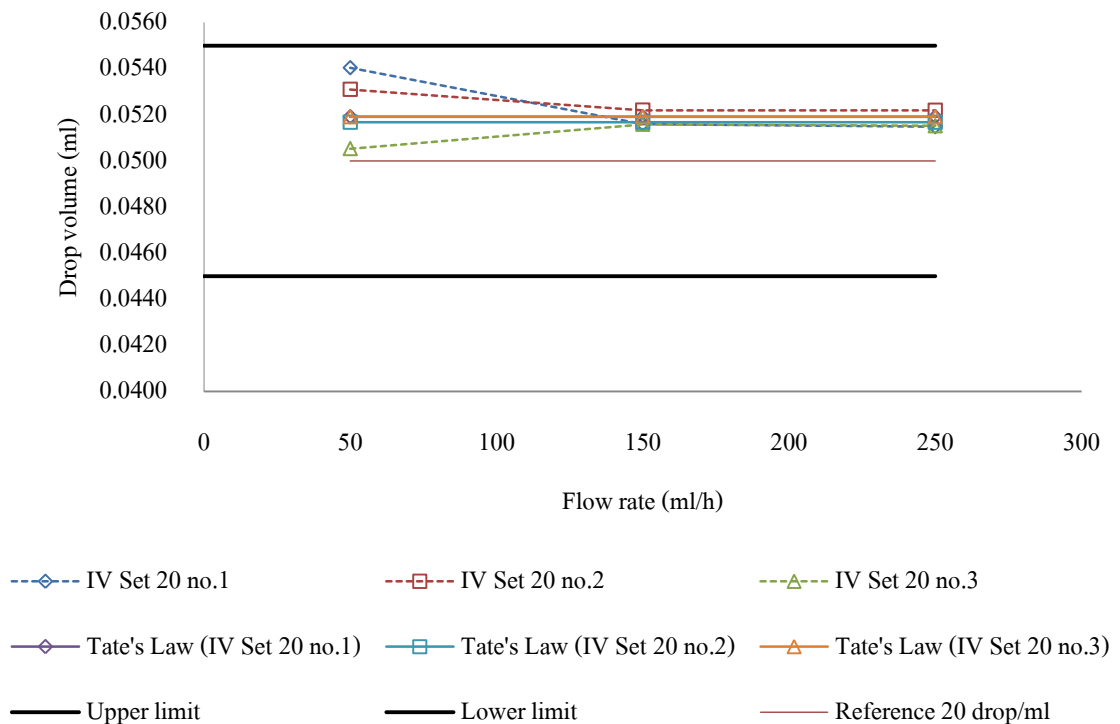
ตารางที่ 5.4 ผลการคำนวณปริมาตรต่อหยด โดยวิธีการชั่ง

ชนิดของ IV Set/อัตราการไหล	50 ml/h	150 ml/h	250 ml/h
IV Set 20 no.1 (drop/ml)	0.0475	0.0502	0.0505
IV Set 20 no.2 (drop/ml)	0.0501	0.0492	0.0511
IV Set 20 no.3 (drop/ml)	0.0483	0.0484	0.0484
ชนิดของ IV Set/อัตราการไหล	10 ml/h	50 ml/h	120 ml/h
IV Set 60 no.1 (drop/ml)	0.0173	0.0167	0.0167
IV Set 60 no.2 (drop/ml)	0.0190	0.0186	0.0191
IV Set 60 no.3 (drop/ml)	0.0167	0.0168	0.0167

จากตารางที่ 5.4 เป็นการแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาตรต่อหยดที่ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 2.5 ชั่วโมงและมีการ Sampling ทุกๆ 30 วินาที พบว่าปริมาตรต่อหยดที่ได้จากการชั่งมีค่าใกล้เคียงกันโดยชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดชนิด 20 drop/ml มีค่าปริมาตรต่อหยดประมาณ 0.05 ml และชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดชนิด 60 drop/ml มีค่าปริมาตรต่อหยดประมาณ 0.0167 ml ยกเว้น IV Set 60 no.2 ที่มีค่าปริมาตรต่อหยดแตกต่างจาก IV Set 60 no.1 และ IV Set 60 no.3 และเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐานกำหนด

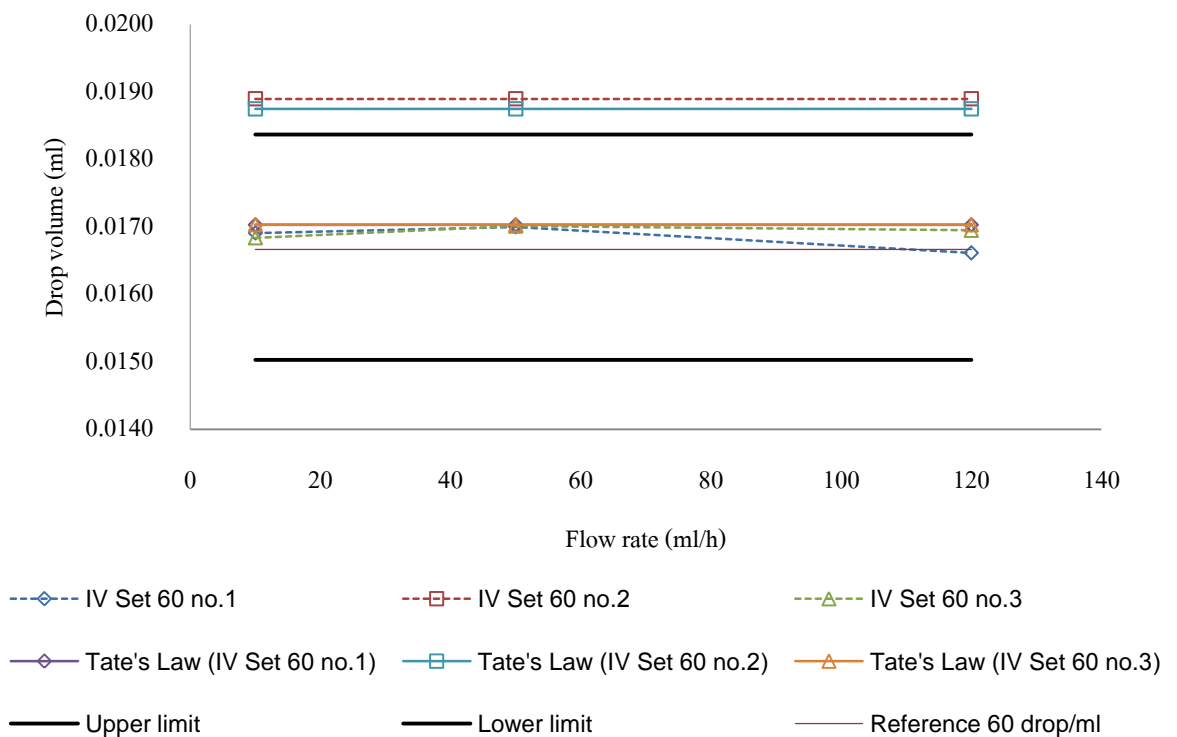
5.2 ผลการเปรียบเทียบวิธีการวัดปริมาตรต่อหยด

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณโดยวิธีต่างๆมาเปรียบเทียบพบว่า IV Set ชนิด 20 drop/ml ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ISO 8536-4 ทั้งหมดโดย มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 10\%$ และการเปรียบเทียบปริมาตรต่อหยดของ IV Set ที่ได้จากการคำนวณตามกฎของ Tate มีค่าใกล้เคียงกับปริมาตรต่อหยดที่ได้จากการใช้เครื่องชั่งและปริมาตรต่อหยดที่อัตราการไหลต่างๆมีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ผลการเปรียบเทียบปริมาตรต่อหยดของ IV Set ชนิด 20 drop/ml ที่อัตราการไหล 50, 150, 250 ml/h

การทดสอบ IV Set ชนิด 60 drop/ml เป็นการทดสอบโดยการสุ่ม IV Set ที่ใช้ทั่วไปตามโรงพยาบาลของรัฐ เพื่อทำการทดสอบพบว่า IV Set 60 no.2 ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ISO 8536-4 เมื่อเทียบกับจุดอ้างอิงที่มีค่า (0.0167 ± 0.00167) ml โดย IV Set 60 no.2 มีค่าปริมาตรต่อหยดที่วัดได้จากเครื่องชั่งโดยเฉลี่ย 0.0189 ml ซึ่งสอดคล้องกับผลการคำนวณตามกฎของ Tate ที่มีค่า 0.0191 ml ทั้งนี้ IV Set 60 no.1 และ IV Set 60 no.3 มีค่าปริมาตรต่อหยดผ่านเกณฑ์ที่กำหนดและผลการเปรียบเทียบการคำนวณตามกฎของ Tate กับผลการวัดปริมาตรต่อหยดที่ได้จากการใช้เครื่องชั่งใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ผลการเปรียบเทียบปริมาตรต่อหยดของ IV Set ชนิด 60 drop/ml ที่อัตราการไหล 10, 50, 120 ml/h

เมื่อนำปริมาตรต่อหยดที่ได้จากผลการทดลองโดยเฉลี่ยในแต่ละ IV Set มาเปรียบเทียบกับผลการคำนวณตามกฎของ Tate และผลการคำนวณจาก IV Set ชนิด 20 drop/ml และ 60 drop/ml ตามลำดับ ได้ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการคำนวณจาก IV Set เทียบกับเครื่องชั่งและผลการคำนวณจาก IV Set เทียบกับผลการคำนวณตามกฎของ Tate ดังแสดงในตารางที่ 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ

ถ้าเราใช้วิธีการชั่งในการสอบเทียบ IV Set ทั้ง 3 Set แล้วพบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 10\%$ ดังแสดงในตารางที่ 5.5 ค่าความคลาดเคลื่อนของ IV Set ชนิด 20 drop/ml ทั้ง 3 ชนิดมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และสามารถนำไปใช้ได้กับผู้ป่วยวิกฤต เนื่องจากมีค่าความ

คลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ $\pm 10\%$ และเมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดลองโดยใช้เครื่องชั่งกับการคำนวณตามกฎของ Tate พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 1.6\%$ ส่งผลให้ระบบสอบเทียบชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดที่สร้างขึ้นมีความน่าเชื่อถือ

ตารางที่ 5.5 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาตรต่อหยดตามกฎของ Tate วิธีการชั่ง

และการนับหยดของ IV Set ชนิด 20 drop/ml

S/N	Descriptions	50 ml/h	150 ml/h	250 ml/h	Average (ml)	Error (%)
IV Set 20 no.1	IV Set (ml/drop)	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	4.74
	Balance (ml/drop)	0.0540	0.0516	0.0515	0.0524	
	Tate's Law (ml/drop)	0.0519	0.0519	0.0519	0.0519	
IV Set 20 no.2	IV Set (ml/drop)	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	4.99
	Balance (ml/drop)	0.0531	0.0522	0.0522	0.0525	
	Tate's Law (ml/drop)	0.0517	0.0517	0.0517	0.0517	
IV Set 20 no.3	IV Set (ml/drop)	0.0500	0.0500	0.0500	0.0500	2.42
	Balance (ml/drop)	0.0505	0.0516	0.0515	0.0512	
	Tate's Law (ml/drop)	0.0519	0.0519	0.0519	0.0519	

ถ้าเราใช้วิธีการชั่งในการสอบเทียบ IV Set ทั้ง 3 Set แล้วพบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 10\%$ จึงจะสามารถนำไปใช้กับผู้ป่วยได้ จากตารางที่ 5.6 และ IV Set 60 no.2 มีค่าความคลาดเคลื่อนสูงสุดคือ 13.17% เมื่อเทียบกับการคำนวณตามกฎของ Tate และ 12.27% เมื่อเทียบกับเครื่องชั่ง ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวสูงเกินกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ISO 8536-4 แต่ IV Set 60 no.1 และ IV Set 60 no.3 มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ $\pm 5\%$ ซึ่งสามารถนำ IV Set ดังกล่าวไปใช้กับผู้ป่วยวิกฤตและ Infusion pump ได้และเมื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างการทดลองโดยใช้เครื่องชั่งกับการคำนวณตามกฎของ Tate พบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 1.2\%$ ส่งผลให้ระบบสอบเทียบชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดที่สร้างขึ้นมีความน่าเชื่อถือ

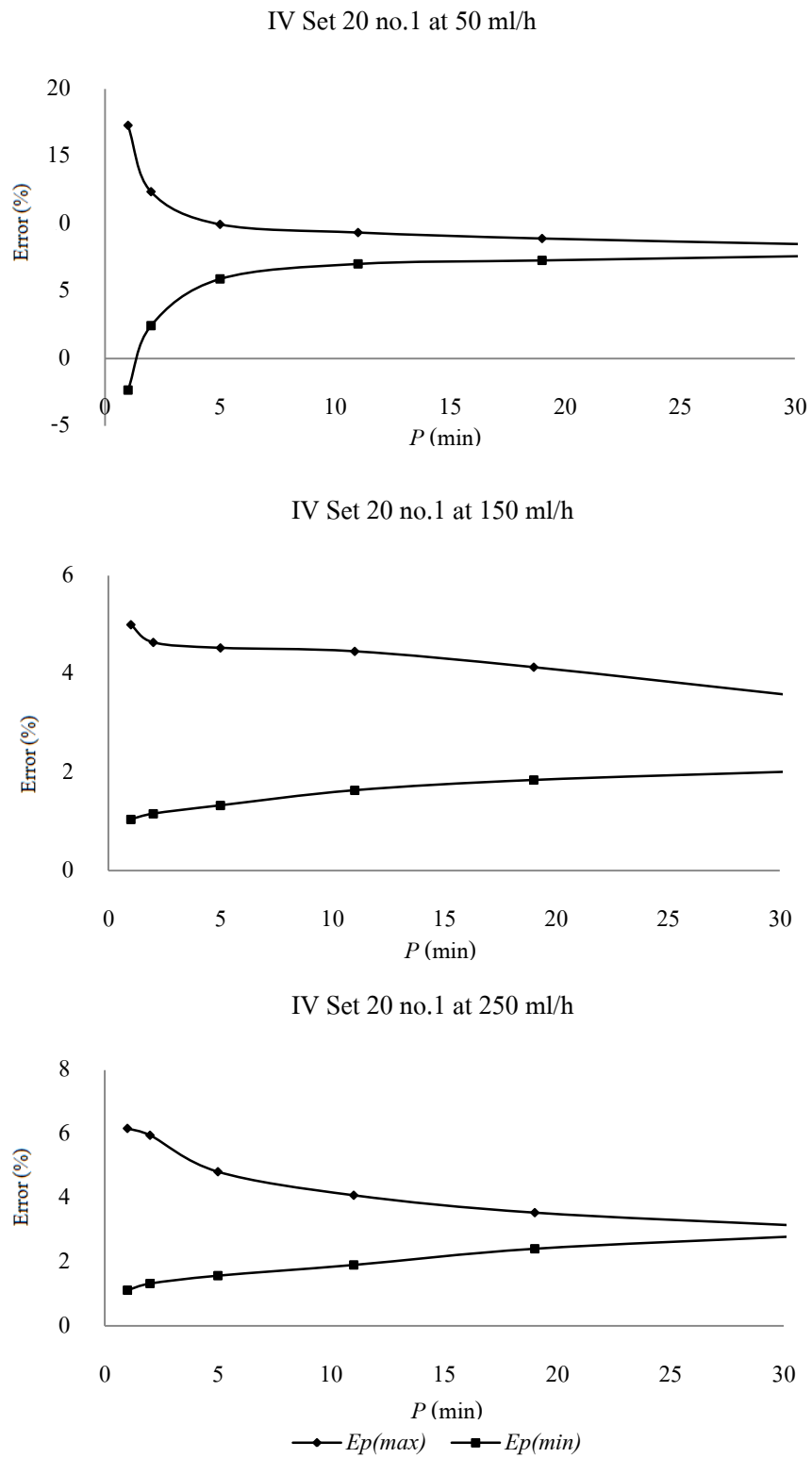
ตารางที่ 5.6 แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาตรต่อหยดตามกฎของ Tate วิธีการชั่ง และการนับหยดของ IV Set ชนิด 60 drop/ml

S/N	Descriptions	10 ml/h	50 ml/h	120 ml/h	Average (ml)	Error (%)
IV Set 60 no.1	IV Set (ml/drop)	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	1.06 2.19
	Balance (ml/drop)	0.0169	0.0170	0.0166	0.0168	
	Tate's Law (ml/drop)	0.0170	0.0170	0.0170	0.0170	
IV Set 60 no.2	IV Set (ml/drop)	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	13.17 12.27
	Balance (ml/drop)	0.0189	0.0189	0.0189	0.0189	
	Tate's Law (ml/drop)	0.0187	0.0187	0.0187	0.0187	
IV Set 60 no.3	IV Set (ml/drop)	0.0167	0.0167	0.0167	0.0167	1.60 2.19
	Balance (ml/drop)	0.0168	0.0170	0.0170	0.0169	
	Tate's Law (ml/drop)	0.0170	0.0170	0.0170	0.0170	

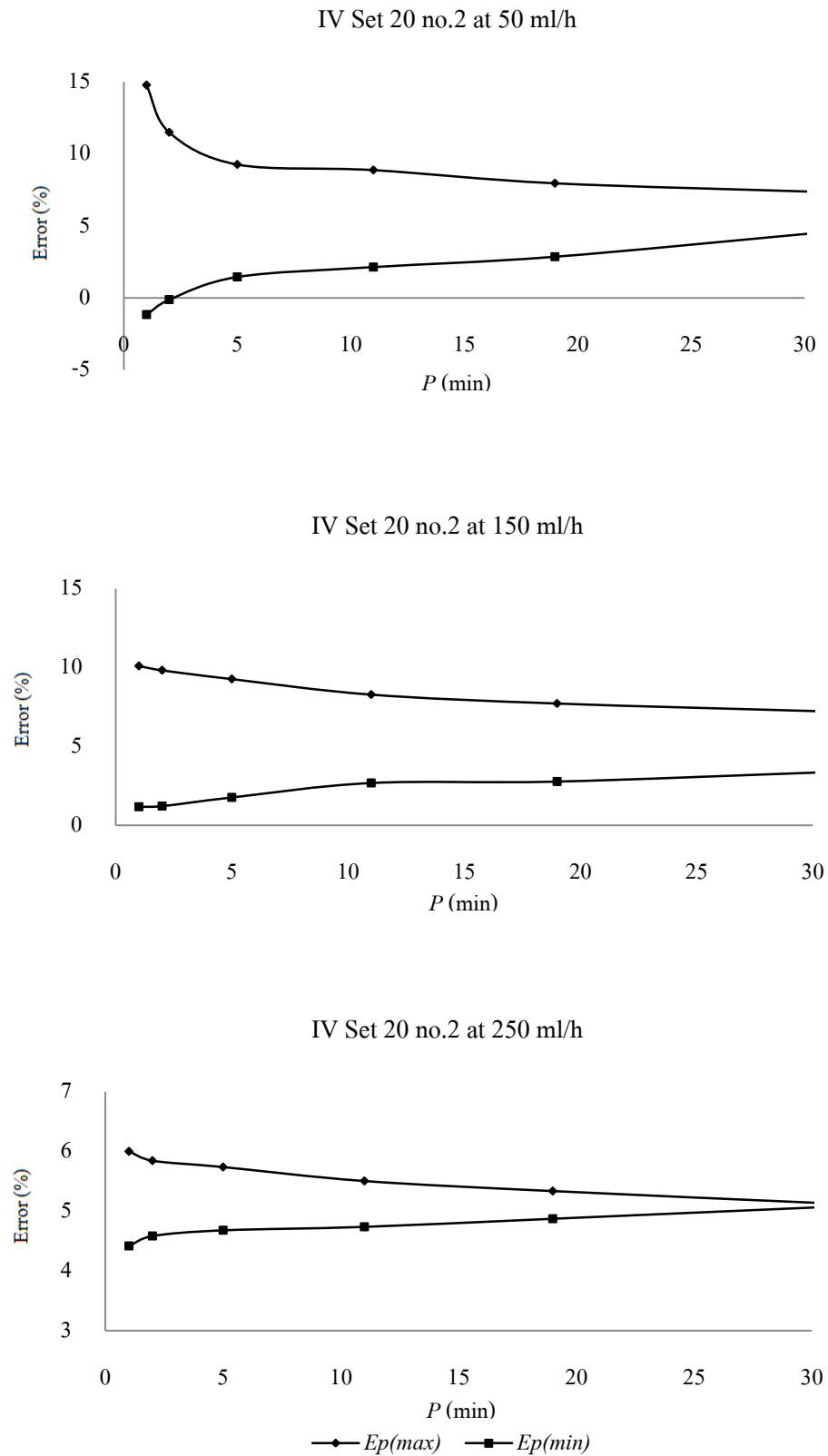
5.3 ผลการคำนวณ Trumpet Curve

กราฟ Trumpet curve เป็นการ Plot หาค่าความคลาดเคลื่อนของชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดตั้งแต่ นาทีที่ 61 เป็นต้นไป โดยค่าความคลาดเคลื่อนที่อ่านจาก Trumpet curve ไม่ควรเกิน $\pm 10\%$ ในการทดลองนี้ ชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดที่นำมาทดสอบผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้งหมด ยกเว้น IV Set 60 no.2 ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนเกินกว่าที่มาตรฐาน ISO 8536-4 การ Plot กราฟ Trumpet curve มีประโยชน์ในด้านการใช้งานที่ระยะเวลาสั้นๆ เช่น การจ่ายยาเข้าสู่หลอดเลือดดำที่ใช้ระยะเวลาในการจ่ายยาน้อยมีค่าความคลาดเคลื่อนในแต่ละช่วงเวลาต่างๆ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ ส่งผลให้ผู้ใช้สามารถเลือกให้ชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดได้เหมาะสมกับการใช้งานจริง ผลการวัดปริมาตรต่อหยดของ IV Set สามารถ Plot กราฟ Trumpet curve ได้ดังรูปที่ 5.3 ถึง 5.8

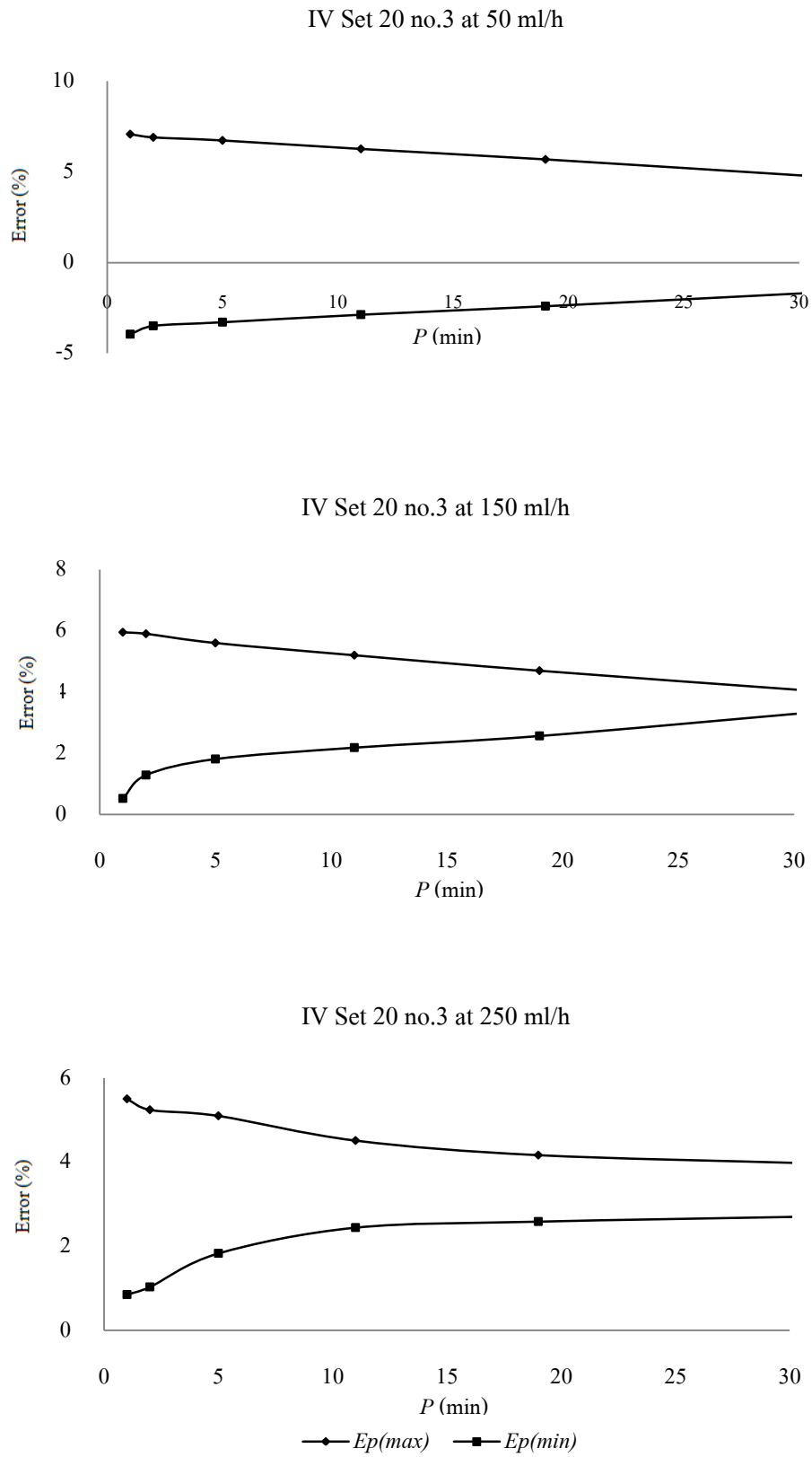
ผลการคำนวณ Trumpet curve ของชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดชนิดต่างๆ พบว่า IV Set 60 no.2 มีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า $\pm 10\%$ ซึ่งไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งานกับผู้ป่วย ส่วนชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดชนิดอื่นๆ มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ISO 8536-4



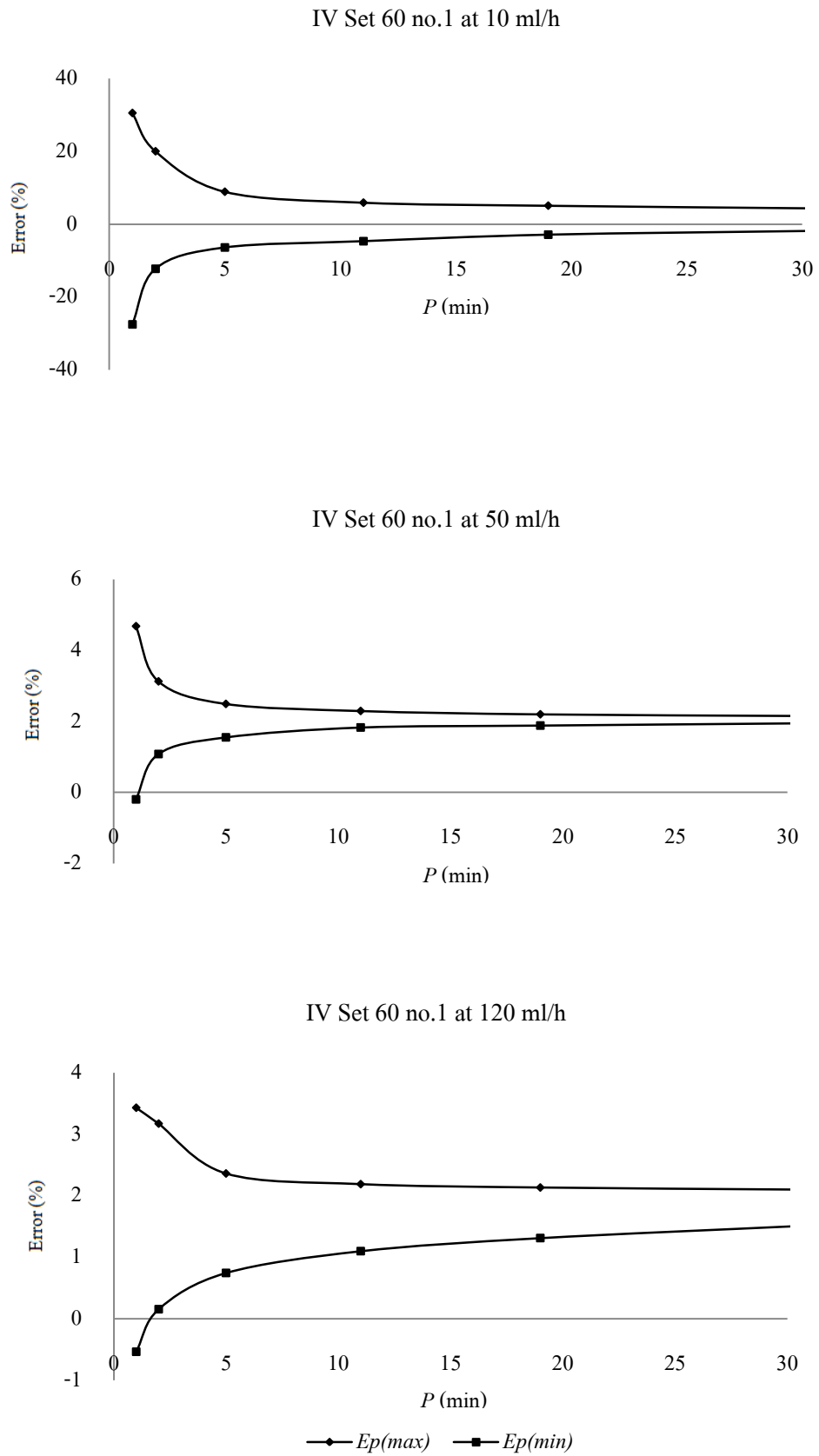
รูปที่ 5.3 Trumpet curve ของ IV Set 20 no.1 ที่อัตราการไหลต่างๆ



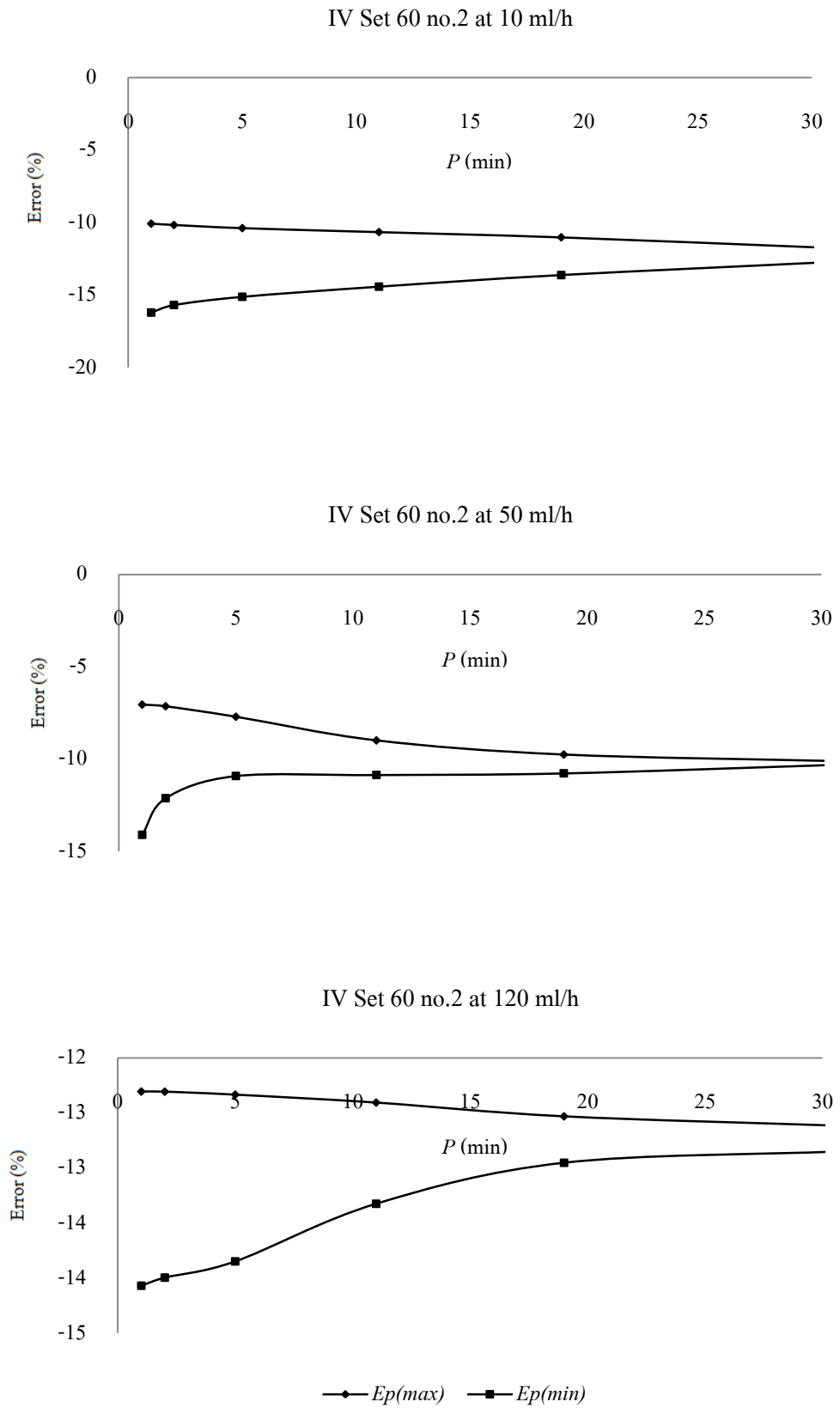
รูปที่ 5.4 Trumpet curve ของ IV Set 20 no.2 ที่อัตราการไหลต่างๆ



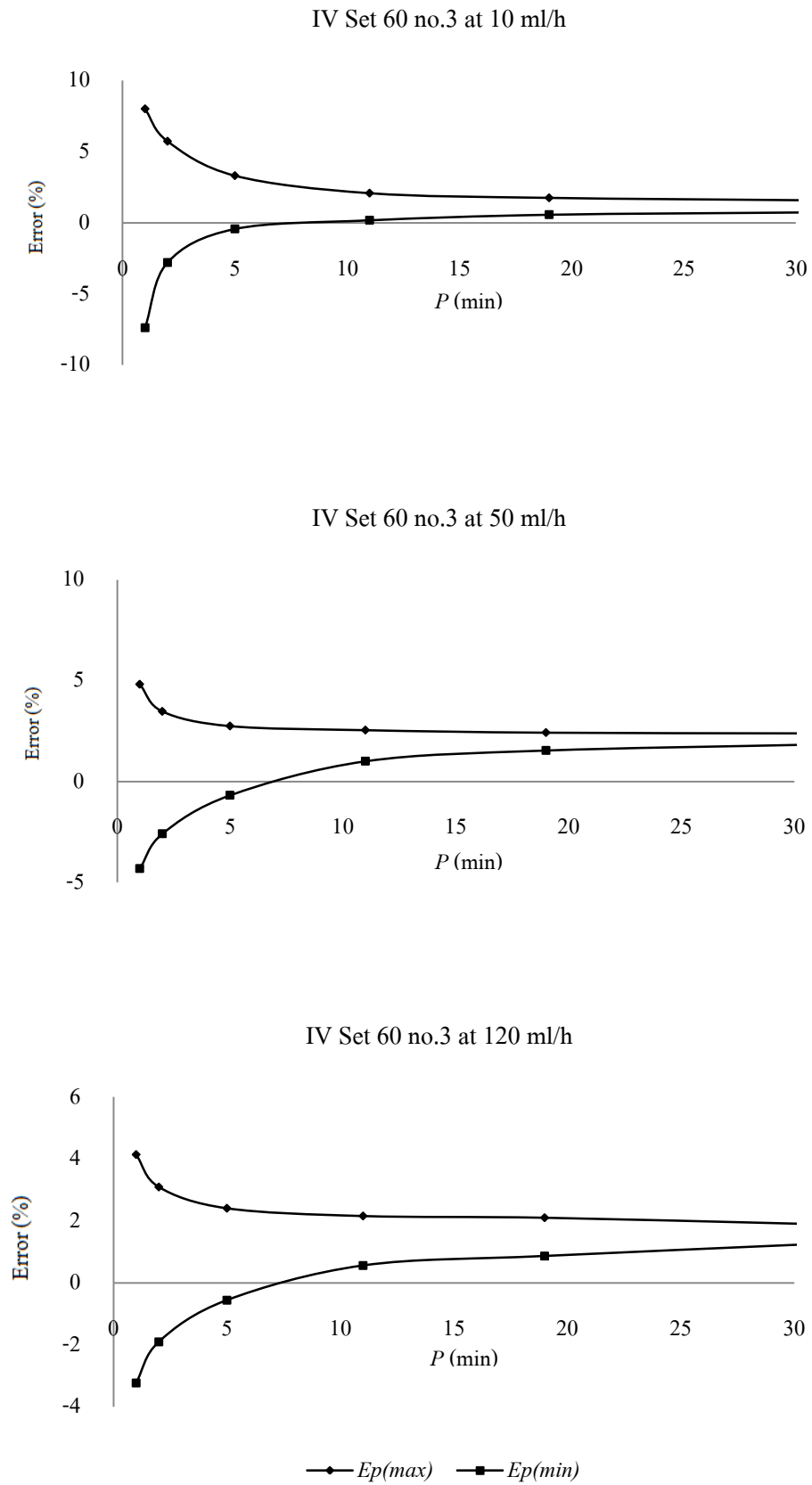
รูปที่ 5.5 Trumpet curve ของ IV Set 20 no.3 ที่อัตราการไหลต่างๆ



รูปที่ 5.6 Trumpet curve ของ IV Set 60 no.1 ที่อัตราการไหลต่างๆ



รูปที่ 5.7 Trumpet curve ของ IV Set 60 no.2 ที่อัตราการไหลต่างๆ



รูปที่ 5.8 Trumpet curve ของ IV Set 60 no.3 ที่อัตราการไหลต่างๆ

5.4 ผลการคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัด

การประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดเป็นการประเมินโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ISO GUIDE 25 [7] โดย Type A เป็นการพิจารณาค่าความไม่แน่นอนโดยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติของผลการวัดและ Type B เป็นการพิจารณาข้อมูลการวัดและปัจจัยที่ส่งผลต่อการวัด ซึ่งค่าความไม่แน่นอนในการวัดของระบบสอบเทียบปริมาตรต่อหยดของชุดให้สารละลายทางหลอดเลือด สามารถคำนวณดังนี้

5.4.1 ค่าความไม่แน่นอนในการวัดของปริมาตรต่อหยด (u_V)

ค่าความไม่แน่นอนในการวัดของปริมาตรต่อหยดสามารถคำนวณได้จากสมการ SD เมื่อ SD คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและ n คือจำนวนตัวอย่างในการสุ่ม

5.4.2 ค่าความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องชั่ง (u_b)

เครื่องชั่งที่ใช้ในการสอบเทียบชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดเป็นเครื่องชั่งที่มีความละเอียด 1 mg ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนในการวัดของความละเอียด (u_{re}) คือ 0.001 g โดยเครื่องชั่งที่ใช้เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบต้องได้รับการสอบเทียบจากหน่วยงานที่มีความน่าเชื่อถือ ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องชั่งจึงใช้ค่าความไม่แน่นอนในการวัดที่ได้จากการสอบเทียบเครื่องชั่ง ในที่นี้ค่าความไม่แน่นอนในการวัดของเครื่องชั่งมีค่า $0.0012 + (7 \times 10^{-6}) \times \text{weight (g)}$ [8] และค่า Sensitivity coefficient ของเครื่องชั่งได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการ (18) คือ

$$c_b = \frac{1}{\rho_w} [1 - \alpha_c(t_d - t_{d20})] \quad (21)$$

5.4.3 ค่าความไม่แน่นอนในการวัดของความหนาแน่นของอากาศ (u_a)

ค่าความหนาแน่นของอากาศใช้สมการตามมาตรฐาน CIMP ซึ่งกำหนดค่าความไม่แน่นอนในการวัดของความหนาแน่นอากาศคือ $2 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ ภายใต้เงื่อนไขของความดันอากาศระหว่าง (900 – 1,100) hPa และอุณหภูมิอากาศระหว่าง (10 – 30) °C [8] ค่า Sensitivity coefficient ของความหนาแน่นของอากาศได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการ (18) คือ

$$c_{\rho_a} = \left[\frac{m}{\rho_b} [1 - \alpha_c(t_d - t_{d20})] \right] \times \left[\frac{\rho_b - \rho_w}{(\rho_w - \rho_a)^2} \right] \quad (22)$$

5.4.4 ค่าความไม่แน่นอนในการวัดของความหนาแน่นของน้ำ (u_w)

ค่าความหนาแน่นของน้ำอ้างอิงจากมาตรฐาน BIPM [8] โดยค่า Sensitivity coefficient ของความหนาแน่นของน้ำได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการ (18) คือ

$$c_{\rho_w} = \left[\frac{m}{\rho_b} [1 - \alpha_c (t_d - t_{d20})] \right] \times \left[\frac{\rho_b - \rho_a}{(\rho_w - \rho_a)^2} \right] \quad (23)$$

5.4.5 ค่าความไม่แน่นอนในการวัดของอุณหภูมิ (u_{td})

อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงส่งผลกับอัตราการขยายตัวของปริมาตร ในการทดลองนี้จึงทำการทดลองโดยมีการควบคุมอุณหภูมิที่ $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ $(55 \pm 15) \% \text{Rh}$ และค่า Sensitivity coefficient ของอุณหภูมิได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการ (18) คือ

$$c_{td} = \left[\frac{m}{\rho_b} \cdot \frac{\rho_b - \rho_a}{\rho_w - \rho_a} \right] \times (-\alpha_c) \quad (24)$$

5.4.6 ค่าความไม่แน่นอนในการวัดของอัตราการขยายตัวของน้ำ (u_{α_c})

อัตราการขยายตัวของน้ำในระหว่างทำการสอบเทียบ มีค่า $0.000214 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ โดยทำการสอบเทียบที่อุณหภูมิระหว่าง $(20 - 22)^\circ\text{C}$ ซึ่งสามารถหาค่าความไม่แน่นอนของอัตราการขยายตัวของน้ำคือ 2×10^{-6} และค่า Sensitivity coefficient ของอัตราการขยายตัวของน้ำได้จากการหาอนุพันธ์ของสมการ (18) คือ

$$c_{\alpha_c} = - \left[\frac{m(\rho_b - \rho_a)(t_d - t_{d20})}{\rho_b(\rho_w - \rho_a)} \right] \quad (25)$$

ดังนั้นผลรวมของค่าความไม่แน่นอนในการวัดสามารถคำนวณได้จาก

$$u(V) = \sqrt{(u_V c_V)^2 + (u_b c_b)^2 + (u_a c_a)^2 + (u_w c_w)^2 + (u_{td} c_{td})^2 + (u_{\alpha_c} c_{\alpha_c})^2} \quad (26)$$

ค่า Effective degree of freedom เป็นการคำนวณเพื่อตรวจสอบระดับความเชื่อมั่น (k -factor) โดยมีการคำนวณตามสมการ Welch-Satterthwaite และนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับตารางที่ 5.7 ดังนี้

$$v_{eff} = \frac{u(V)^4}{\sum_{i=1}^N \frac{[c_i u_i]^4}{v_i}} \quad (27)$$

ตารางที่ 5.7 Student's t Distribution

Degree of freedom	<i>k-factor</i>
	95%
1	12.71
2	4.30
3	3.31
4	2.87
5	2.65
10	2.28
50	2.05
100	2.025
∞	2.576

ค่า Effective degree of freedom from จากสมการ (27) สามารถใช้ในการเลือก *k-factor* จากตาราง two-tailed student's แล้วค่า Expanded uncertainty สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$U = k \times u(V) \quad (28)$$

การคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัดของระบบสอบเทียบชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดแดง ดังตารางที่ 5.8

จากตารางที่ 5.8 พบว่าค่าความไม่แน่นอนในการวัดของระบบสอบเทียบชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดแดงคือ 0.3% of reading ซึ่งระบบสอบเทียบชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดแดงนี้ เมื่อนำมาสอบเทียบชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดชนิดต่างๆสามารถคำนวณค่าความไม่แน่นอนในการวัดได้ดังตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.8 ค่า Expanded uncertainty ($k=2$) ของระบบสอบเทียบชุดให้สารละลายทางหลอดเลือด

Uncertainty Components	type	u_i	c_i	$u_i c_i$	ν_{eff}
Uncertainty of balance, u_b	B	1.20×10^{-6}	1×10^{-3}	1.20×10^{-9}	∞
Uncertainty of air density, u_a	B	2.39×10^{-4}	8.80×10^{-7}	2.10×10^{-10}	∞
Uncertainty of water density, u_w	B	8.40×10^{-4}	-1.01×10^{-6}	-4.22×10^{-10}	∞
Uncertainty of temperature, u_{td}	B	0.4	-2.15×10^{-13}	-8.59×10^{-14}	∞
Uncertainty of cubic expansion, u_{α_c}	B	2.00×10^{-6}	-5.01×10^{-10}	1.00×10^{-15}	∞
Combined Uncertainty (m^3)				1.49×10^{-9}	∞
Expanded Uncertainty (m^3), $k=2$				2.98×10^{-9}	
Expanded Uncertainty (%), $k=2$				0.3	

ตารางที่ 5.9 ค่า Expanded uncertainty ($k=2$) ของ IV Set 20 no.1 ที่อัตราการไหล 50 ml/h

Uncertainty Components	type	u_i	c_i	$u_i c_i$	ν_{eff}
Uncertainty of drop volume, u_V	A	1.88×10^{-4}	1×10^{-3}	1.89×10^{-7}	299
Uncertainty of balance, u_b	B	1.20×10^{-6}	1×10^{-3}	1.20×10^{-9}	∞
Uncertainty of air density, u_a	B	2.39×10^{-4}	8.80×10^{-7}	2.10×10^{-10}	∞
Uncertainty of water density, u_w	B	8.40×10^{-4}	-1.01×10^{-6}	-4.22×10^{-10}	∞
Uncertainty of temperature, u_{td}	B	0.4	-2.15×10^{-13}	-8.59×10^{-14}	∞
Uncertainty of cubic expansion, u_{α_c}	B	2.00×10^{-6}	-5.01×10^{-10}	1.00×10^{-15}	∞
Combined Uncertainty (m^3)				1.89×10^{-7}	∞
Expanded Uncertainty (m^3), $k=2$				3.78×10^{-7}	
Expanded Uncertainty (%), $k=2$				0.32	

จากตารางที่ 5.9 พบว่าค่าความไม่แน่นอนในการวัดของ IV Set 20 no.1 ที่ 50 ml/h มีค่าความไม่แน่นอนในการวัด 0.32% of reading