รายงานการวิจัย

การพัฒนาเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำและระบบติดตาม โดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย

Development of Intravenous Infusion Pump and the Monitoring System using Wireless Transmission

ผู้วิจัย

นางจันทร ชัยประเสริฐ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
ปีงบประมาณ 2559

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ชื่อเรื่อง: การพัฒนาเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำและระบบติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย
ปีที่ทำการศึกษา: 2559
ผู้ทำการศึกษา: นางจันทร ชัยประเสริฐ

บทคัดย่อ

การให้สารละลายทางหลอดเลือดดำเป็นการรักษาโรควิธีหนึ่ง ซึ่งผู้ป่วยส่วนใหญ่ที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลจะได้รับสารละลายชนิดต่างๆ โดยการควบคุมอัตราการไหล ปริมาตรสารละลายโดยรวมตามแผนการรักษาของแพทย์ ในการควบคุมสารละลายให้ถูกต้องตามแผนการรักษามีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูง เช่นผู้ป่วยโรคหัวใจล้มเหลว ผู้ป่วยไตวาย ผู้ป่วยที่มีการสูญเสียน้ำและเลือด เพราะอาจเกิดผลเสียต่อผู้ป่วยจนถึงแก่ชีวิตได้ ซึ่งในสภาวะการณ์ปัจจุบันเครื่องให้สารละลายผ่านทางหลอดเลือกอัตโนมัติ (Infusion Pump) มีจำนวนจำกัด และมีราคาสูง ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสะดวกในการดูแลผู้ป่วย การวิจัยในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ เพื่อสร้างโปรแกรมระบบเฝ้าระวังและติดตามการให้สารละลายจากเครื่องที่พัฒนาขึ้นโดยการส่งข้อมูลแบบไร้สาย เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุมและโปรแกรมการติดตามการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ และเพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ

การทำงานของเครื่องควบคุมการให้สารละลายที่พัฒนาขึ้นใช้อินฟาเรดเซนเซอร์ตรวจจับหยดน้ำเกลือและใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลอัตราความเร็วของการไหลของสารละลาย และเมื่อมีค่าผิดพลาดเกิดขึ้น เช่น สารละลายหมด หรือมีการอุดตันของสารละลายจะมีการส่งข้อมูลของเตียงคนไข้และข้อความค่าผิดพลาดไปแสดงผลที่จอแอลซีดี ที่เครื่องติดตามการทำงานระยะไกลแบบไร้สาย (central mornitor) ที่เคาน์เตอร์เจ้าหน้าที่พยาบาล เพื่อช่วยให้บุคลากรทางการแพทย์สามารถเฝ้าติดตามและเฝ้าระวังการไหลของสารละลายในระยะไกลได้

จากผลการทดสอบการทำงานโดยรวมของเครื่องให้สารละลายฯ ที่ได้พัฒนาขึ้น พบว่าเปอร์เซ็นค่าความผิดพลาดในการวัดค่าปริมาตรของเครื่องควบคุมฯ เทียบกับปริมาตรจริงที่ของสารละลายที่ได้จากการคำนวณอัตราการไหลของสารละลายที่ได้กำหนดขึ้นพบว่าความเปอร์เซ็นความผิดพลาดอยู่ระหว่าง 0.25 – 6.12

สำหรับผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นการทดสอบการทำงานของระบบโดยรวมใน 5 ด้าน คือ 1) การตรงต่อความต้องการใช้ระบบ 2) การทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ 3) ความง่ายต่อการใช้งานระบบ 4) การรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ และ 5) ความปลอดภัยในการนำระบบไปใช้งาน พบว่าในภาพรวมเครื่องให้สารละลายฯ ที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 3.60 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 1.2 นอกจากนี้ผลการประเมินผลการประเมินประสิทธิภาพต่อการใช้เครื่องให้สารละลายฯ ที่พัฒนาขึ้นโดยบุคคลากรทางการแพทย์ใน 4 ด้าน คือ 1) คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ

2) ความเหมาะสมของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ ในด้านการออกแบบ 3) การใช้วัสดุเพื่อผลิตเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ และ 4) คุณค่าของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ พบว่าในภาพรวมนวตกรรมที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 3.80 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.17

สำหรับผลการประเมินด้านความพึงพอใจในการใช้งานนวตกรรมที่พัฒนาขึ้นโดยบุคคลากรทางการแพทย์ใน 4 ด้าน คือ 1) ด้านการใช้ประโยชน์ได้จริง 2) ด้านความปลอดภัย 3) ด้านความสวยงาม และ 4) ด้านความคุ้มค่า คุ้มทุน พบว่าในภาพรวมบุคลากรทางการแพทย์มีความพึงพอใจต่อนวตกรรมที่พัฒนาขึ้นในเกณฑ์ที่ดี โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 3.98 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.24

จากผลการทดลองพบว่าเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ ที่พัฒนานี้เป็นเครื่องต้นแบบที่สามารถนำไปใช้ได้ในสถานการณ์จริง ซึ่งควรมีการปรับปรุงในส่วนของความคงทน ถาวรของทั้งเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ และที่เครื่องติดตามการทำงานระยะไกลแบบไร้สาย (central mornitor) นอกจากนี้ภาพลักษณ์ความสวยงามของนวตกรรมที่พัฒนาขึ้น ยังคงเป็นสิ่งที่จำเป็นเช่นเดียวกัน สำหรับความปลอดภัยในการใช้งานโดยการแจ้งเตือนที่เครื่องติดตามการทำงานในกรณีที่มีความผิดปกติต่าง ๆ ที่จะส่งผลถึงผู้ป่วยควรให้ครอบคลุมในทุก ๆ ด้าน โดยประกอบไปด้วยการตรวจจับฟองอากาศ การแจ้งเตือนเมื่อประตูในส่วนของการใส่สายเข้าในเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ ขณะใช้งาน การตรวจสอบสายหากมีการอุดตันในสายทั้งด้านบน (upstream) และด้านล่าง (downstream) ความผิดปกติของการใช้งานเมื่อไม่ได้เสียบสายไฟ (mains power disconnection) ขณะที่แบตเตอรี่อ่อนกำลัง (low battery) เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่ได้ให้การสนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี อีกทั้งขอขอบคุณบุคลากรโรงพยาบาลโคกสำโรงโดยเฉพาะอย่างยิ่งเจ้าหน้าที่ในแผนกหอผู้ป่วยหนัก (ICU) ที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ ได้ทดลองใช้นวตกรรมที่ได้พัฒนาขึ้น ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นแนะนำการทำงานของเครื่องให้สารละลายดังกล่าว ขอขอบคุณ น.พ. นุสิทธิ์ ชัยประเสริฐที่ทำให้งานวิจัยได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีทั้งการออกแบบวงจร การทำงานในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ การประกอบฮาร์ดแวร์ของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ตลอดจนทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่อง

นอกจากนี้ขอขอบคุณผู้บริหารและเจ้าหน้าที่สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่ช่วยให้การสนับสนุนอำนวยความสดวกในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัย
จันทร ชัยประเสริฐ
พฤศจิกายน 2559

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

สารบัญ

บทคัดย่อ ... ก
กิตติกรรมประกาศ ... ค
สารบัญ ... ง
สารบัญตาราง ... ฉ
สารบัญภาพ ... ช
บทที่ 1 บทนำ ... 1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย ... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย ... 3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย ... 3
1.4 นิยามศัพท์ ... 3
1.5 สมมติฐานการวิจัย ... 4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย ... 4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ... 5
2.1 การให้สารละลายทางหลอดเลือด ... 5
2.2 เครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือด (infusion pump) ... 5
2.2.1 กลไกการขับดันสารละลาย ... 7
2.2.2 หลักการทำงานของเครื่อง Infusion pump ... 8
2.2.3 คุณลักษณะและฟังก์ชั่นที่จำเป็นของเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือด ... 9
2.2.4 ลักษณะการใช้งานของเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือด ... 12
2.2.5 มาตรฐานค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของเครื่องให้สารละลาย ... 13
2.2.6 คุณลักษณะของ IV set ... 14
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น ... 14
2.4 มอเตอร์ไฟฟ้า ... 15
2.5 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ... 15
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย ... 17
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย ... 17
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ... 19
3.3 การสร้างเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ ... 21
3.3.1 การตรวจจับหยดสารละลาย ... 21

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

3.3.2 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ 23
3.3.3 การรับและส่งข้อมูลแบบไร้สาย 28
3.3.4 การออกแบบและพัฒนาวงจรขับมอเตอร์เพื่อควบคุมการไหลของสารละลาย 29
3.3.5 การออกแบบและพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้ 29
3.4 การออกแบบและพัฒนาระบบเฝ้าระวังและติดตามการให้สารละลายจากเครื่องควบคุมฯ 29
3.5 ดำเนินการทดลองใช้งานเครื่องควบคุม และโปรแกรมระบบเฝ้าระวัง ติดตามการให้สารละลาย 30
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 33
4.1 ผลการทดสอบระบบโดยรวม 33
4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุม ฯ 35
4.2.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุม ฯ โดยผู้เชี่ยวชาญ35
4.2.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุม ฯ โดยบุคลากรทางการแพทย์ 37
4.3 ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องควบคุมฯ 39
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 42
5.1 สรุปผลการวิจัย 42
5.2 อภิปรายผลการทดลอง 43
5.3 ข้อเสนอแนะ 44
เอกสารอ้างอิง 46
ภาคผนวก ก ตัวอย่างผลการทดสอบระบบโดยรวม 47
ภาคผนวก ข แบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ และระบบติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย 71
ภาคผนวก ค แบบสอบถามเพื่อประเมินประสิทธิภาพ และความพึงพอใจต่อเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำและระบบติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย 76

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

สารบัญตาราง

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองที่ได้จากการเปรียบเทียบปริมาตรของสารละลาย ระหว่างค่เฉลี่ยของปริมาตรของสารละลายที่อ่านได้จากบีกเกอร์การทดลอง และค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จากการกำหนดอัตราการ 33
ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของสารละลาย ระหว่างอัตราการไหลของเครื่องควบคุมการให้สารละลายที่ผู้ใช้ได้กำหนดขึ้น และค่าเฉลี่ยอัตราการไหลที่อ่านได้จากเครื่องควบคุมการให้สารละลายที่พัฒนาขึ้น............ 34
ตารางที่ 3.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพทั้ง 4 ด้าน โดยผู้เชี่ยวชาญ............ 36
ตารางที่ 3.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพของนวตกรรม โดยบุคลากรทางการแพทย์ 39
ตารางที่ 3.5 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งาน โดยบุคลากรทางการแพทย์ 40

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

สารบัญภาพ

ภาพที่ 2.1 peristaltic pump – finger pump 6
ภาพที่ 2.2 Reciprocating piston pump 6
ภาพที่ 2.3 Piston-actuated diaphragm pump 7
ภาพที่ 2.4 แสดงกลไกการทำงานของ Cam-operated fingers 7
ภาพที่ 2.5 แสดงกลไกการทำงานของ Rotor on eccentric shift 8
ภาพที่ 2.6 แสดงภาพกลไกการทำงานของ Diaphragm pump 8
ภาพที่ 2.7 แสดง Block Diagram ของเครื่อง Infusion pump 9
ภาพที่ 2.8 สัญญาณเตือนและวิธีการแก้ปัญหา 11
ภาพที่ 2.9 มาตรฐานค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของเครื่องให้สารละลาย 13
ภาพที่ 3.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตรวจจับหยดสารละลาย 22
ภาพที่ 3.2 Reflective Photoelectric เซ็นเซอร์ใช้ตรวจจับวัตถุโดยใช้หลักการสะท้อนของแสง 22
ภาพที่ 3.3 ชุดตรวจจับหยดสารละลาย 22
ภาพที่ 3.4 ไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Pro Mini Atmega328 23
ภาพที่ 3.5 แผนภาพของการทำงานของระบบเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำในส่วนของการกำหนดค่า 24
ภาพที่ 3.6 แผนภาพของการทำงานของระบบเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำในส่วนของเตือนการไหลของสารละลาย 25
ภาพที่ 3.7 จอแสดงผลการเตือนในกรณีอัตราการไหลของสารละลายช้ากว่าที่กำหนดที่เครื่องควบคุมการให้สารละลาย 27
ภาพที่ 3.8 จอแสดงผลการเตือนในกรณีอัตราการไหลของสารละลายช้ากว่าที่กำหนดที่เครื่องติดตามการทำงานระยะไกลแบบไร้สาย 27
ภาพที่ 3.9 โมดูลสื่อสารไร้สาย NRF24L01 28
ภาพที่ 3.10 จอแสดงผลแบบ OLED LCD 28
ภาพที่ 3.11 สเต็ปมอเตอร์ (Stepping motor) ที่ใช้ในในการพัฒนาเครื่องควบคุมฯ 29
ภาพที่ 3.12 ทดสอบการทำงานโดยรวมของทั้งระบบ 31
ภาพที่ 3.13 Infusion set ที่ใช้ในการทดลอง 20 หยดต่ มล 31
ภาพที่ 3.14 การทดลองใช้งานเครื่องควบคุมสารละลายฯ ที่หอผู้ป่วยฉุกเฉิน (ICU) 32

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

การให้สารละลายทางหลอดเลือดดำเป็นการรักษาโรควิธีหนึ่ง ซึ่งผู้ป่วยส่วนใหญ่ที่เข้ารับการรักษาในโรงพยาบาลจะได้รับสารละลายชนิดต่างๆ โดยการควบคุมอัตราการไหล ปริมาณสารละลายโดยรวมตามแผนการรักษาของแพทย์ การควบคุมสารละลายให้เพียงพอไม่มากหรือน้อยเกินไปมีความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูง เช่นผู้ป่วยโรคหัวใจล้มเหลว ผู้ป่วยไตวาย ผู้ป่วยที่มีการสูญเสียน้ำและเลือด เพราะอาจเกิดผลเสียต่อผู้ป่วยตั้งแต่เล็กน้อยจนถึงแก่ชีวิตได้

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าปัจจัยป้องกันการให้สารละลายให้ได้ตรงตามเป้าหมาย คือการใช้เครื่องควบคุมการให้สารละลาย แต่ข้อจำกัดคือ เครื่องควบคุมที่มีคุณภาพที่ดีมีราคาสูง ทำให้โรงพยาบาลส่วนใหญ่มีจำนวนเครื่องควบคุมสารละลายไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้ป่วยทุกราย (สำหรับในรายที่จำเป็นต้องได้รับสารละลายทางหลอดเลือดดำ) ดังนั้นโดยส่วนใหญ่จึงใช้การควบคุมปริมาณการให้สารละลายด้วยมือ และต้องใช้เวลาในการสังเกตบ่อยๆ ว่าปริมาณสารละลายนั้นไหลในอัตราที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งทำให้เสียทั้งเวลาและบุคลากรในการดูแลดังกล่าว และหากดูแลไม่ทั่วถึงก็จะเกิดปัญหาต่อผู้ป่วยได้ เช่น เลือดไหลย้อนกลับ การอุดตันของปลายเข็มบริเวณให้สารละลาย ทำให้ผู้ป่วยต้องได้รับการเปิดเส้นเลือดใหม่ (ฐิตารีย์ แก้วตาทิพย์, 2557)

นอกจากนี้ถึงแม้จะมีการใช้เครื่องควบคุมการให้สารละลายสำหรับผู้ป่วย แต่ก็ยังพบเหตุการณ์ผิดปรกติ ต่าง ๆ ได้เสมอ เช่น ข้อต่อหลุด สายพับ สารละลายอุดตัน ซึ่งเหตุการณ์บางอย่างเครื่องให้สารละลายโดยทั่วไปสามารถเตือนโดยเสียงจากเครื่องควบคุมได้ แต่เหตุการณ์ผิดปกติบางอย่างไม่สามารถเตือนได้ เช่นผู้ป่วยถอดเครื่องควบคุมออกเพื่อไปทำกิจกรรมต่าง ๆ เช่น เข้าห้องน้ำ โดยไม่ได้แจ้งเจ้าหน้าที่ให้ระงับการทำงานของเครื่อง อย่างไรก็ตามในส่วนที่มีการเตือนด้วยเสียงเมื่อมีความผิดปรกติของการไหลของสารละลายอาจดังไม่พอให้เจ้าหน้าที่ได้ยินหรือมาแก้ไขได้ทันท่วงที

ในปัจจุบันวิธีการควบคุมการให้สารละลายที่ดีที่สุดคือ การใช้เครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ (infusion pump) ดังนั้นโรงพยาบาลทุกแห่งจะมีเครื่องควบคุมดังกล่าวนี้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากราคาเครื่องที่สูง คือ ราคาตั้งแต่ 50,000 ถึง 80,000 บาทต่อเครื่อง (เรืองศักดิ์ ใครบุตร, 2557) จึงทำให้ไม่สามารถจัดซื้อมาใช้ได้เพียงพอต่อความต้องการ แม้ว่าการใช้เครื่องควบคุมการให้สารละลายจะสามารถควบคุมการให้สารละลายได้ดีแต่การเตือนเมื่อมีความผิดปรกติต่างๆ ยังเตือนที่ตัวเครื่องควบคุมการให้สารละลายเป็นหลัก จะได้ยินเสียงเตือนเฉพาะกรณีที่อยู่ใกล้ๆ เท่านั้น และการทำงานของเครื่องควบคุมการให้สารละลายจะทำงานโดยการขับมอเตอร์ตลอดเวลาทำให้ใช้กระแสไฟฟ้ามาก บางครั้งถ้าต้องถอด

ปลั๊กไฟฟ้าเพื่อเคลื่อนย้ายผู้ป่วยไปไกลๆ แบตเตอรี่ที่สำรองไฟไว้อาจไม่เพียงพอ ต้องปิดเครื่องแล้วใช้การควบคุมด้วยมือชั่วคราวทำให้มีความผิดพลาดได้

เนื่องจากเครื่องควบคุมการให้สารละลายส่วนใหญ่นำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้ราคาแพง จึงมีผู้คิดค้นเครื่องให้สารละลายโดยวัสดุที่หาได้ในประเทศ มีหลักการทำงานคล้ายกับเครื่องที่นำเข้าจากต่างประเทศและมีราคาถูกกว่า แต่เมื่อนำมาทดสอบพบว่ายังมีปัญหาการควบคุมอัตราการไหลไม่ถูกต้อง อีกทั้งมีขนาดใหญ่จึงยังไม่ได้นำมาใช้งานกับผู้ป่วยจริง (วิวัฏฏะ มงคลจิตร และรัตน์ติยา โชติรุ่งโรจน์, 2554) นอกจากนี้จากงานวิจัยของวุฒิชัย วรนันทกุล และ สุเมธ อำชิต (2556) ซึ่งได้ทำการพัฒนาเครื่องตรวจเฝ้าระวังการให้น้ำเกลือ ที่สามารถวัดอัตราการหยดและปริมาตรของน้ำเกลือได้ใกล้เคียงกับเครื่องควบคุมมาตรฐาน แต่เป็นการติดตามการไหลของสารละลายให้ถูกต้องด้วยมือเท่านั้น ไม่ได้มีการปรับควบคุมการไหลโดยอัตโนมัติ

การสร้างเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำที่มีประสิทธิภาพตามมาตรฐาน ในราคาถูก และใช้งานง่าย กินไฟฟ้าต่ำ เพื่อให้โรงพยาบาลโดยเฉพาะโรงพยาบาลของรัฐสามารถจัดซื้อหามาใช้ให้เพียงพอต่อความต้องการจึงมีความจำเป็น นอกจากนี้การสร้างระบบโปรแกรมเพื่อติดตามหรือเฝ้าระวังการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำจากเครื่องควบคุมการให้สารละลาย โดยการส่งข้อมูลในรูปแบบไร้สายมายังเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนกลางที่ควบคุมโดยบุคลากรทางการแพทย์ เมื่อพบเหตุการณ์ต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ (เช่น สารละลายไหลช้าเนื่องจากการอุดตัน สารละลายไหลเร็วจากการหลุดรั่วของข้อต่อต่างๆ ผู้ป่วยหรือญาติปรับเครื่องหรือถอดเครื่องเองเป็นต้น) นวัตกรรมดังกล่าว ต้องได้รับการยอมรับจากบุคลากรทางการแพทย์ ผู้ป่วย และญาติผู้ป่วยทั้งประสิทธิภาพและความพึงพอใจ ซึ่งจะส่งผลให้ทำให้บุคลากรทางการแพทย์ สามารถรับรู้ปัญหาได้รวดเร็ว และแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ทันที ผู้ป่วย และญาติผู้ป่วยได้รับความสดวกสบาย มีความไว้วางใจในการใช้นวัตกรรมดังกล่าว อีกทั้งในงานวิจัยเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำที่ผ่านมาทั้งของในประเทศ และต่างประเทศ เช่น Guta et al., 2005 และ hariyan et al., 2000 ตลอดจนที่ใช้อยู่โดยทั่วไปในโรงพยาบาลต่าง ๆ ในปัจจุบันยังไม่มีระบบควบคุมทางกลในรูปแบบย้อนกลับเพื่อปรับอัตราการไหลของสารละลายโดยอัตโนมัติตามปริมาตรที่บุคลากรทางการแพทย์ต้องการให้กับผู้ป่วย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำที่มีการปรับอัตราการไหลของสารละลายโดยอัตโนมัติตามช่วงเวลาที่กำหนดเพื่อให้อัตราการไหลของสารละลาย สอดคล้องกับปริมาตรของสารละลายที่ผู้ป่วยต้องการตามเวลาที่บุคลากรการแพทย์กำหนด และมีระบบโปรแกรมเพื่อติดตามหรือเฝ้าระวังการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำจากเครื่องควบคุมการให้สารละลายดังกล่าว นอกจากนี้จะมีการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องควบคุมและโปรแกรมเพื่อติดตามหรือเฝ้าระวังการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำจากเครื่องควบคุม ทั้งประสิทธิภาพการทำงาน และความพึงพอใจจากผู้ใช้งานในสภาวะจริงอีกด้วย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสร้างเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ

2. เพื่อสร้างโปรแกรมระบบเฝ้าระวังและติดตามการให้สารละลายจากเครื่องที่พัฒนาขึ้นโดยการส่งข้อมูลแบบไร้สาย

3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุมและโปรแกรมการติดตามการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ

4. ประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อสร้างเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ และสร้างโปรแกรมระบบเฝ้าระวังและติดตามการให้สารละลายจากเครื่องที่พัฒนาขึ้นโดยการส่งข้อมูลแบบไร้สาย ตลอดจนการประเมินความพึงพอใจ และประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุมและโปรแกรมดังกล่าว ซึ่งประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ บุคลากรทางการแพทย์ รพ. โคกสำโรง อ. โคกสำโรง จ. ลพบุรี

สำหรับขอบเขตของเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติดังนี้

1. ผู้ใช้สามารถปรับอัตราความเร็วของเครื่องในการให้สารอาหารและยาทางหลอดเลือดดำในช่วง 20-1,000 ml/hr ผ่านการออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้

2. ชุดการให้สารละลาย (IV-set) ที่ใช้กับเครื่องที่พัฒนาขึ้น เป็นชุดการให้สารละลายขนาด 20 หยด/ml ซึ่งเป็นขนาดมาตรฐานที่ใช้กับผู้ป่วยใน รพ. โคกสำโรง

1.4 นิยามศัพท์

เครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ หรือ เครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ (Infusion pump) หมายถึง เครื่องควบคุมอัตราการไหลของสารน้ำ ยา หรืออาหารเข้าสู่ร่างกาย ตามความต้องการของผู้ป่วย

ชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ (IV set) หมายถึง สายยางพร้อมอุปกรณ์ที่เป็นตัวนำสารละลายจากภาชนะที่บรรจุสารละลาย โดยมีขนาดหยดที่แตกต่างกัน (15-60 หยด/มล.) ประกอบไปด้วยหัวเจาะถุงน้ำเกลือ และ Air Vent Port ป้องกันเชื้อโรคเข้าไป และ ปลายสายจะมี Injection Site ใช้สำหรับฉีดยา

Flow rate of infusion solution หมายถึง จำนวนปริมาตรของสารละลายที่เข้าไปในหน่วยเวลา ในกรณีนี้แสดงเป็น มล./ชม.

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

1.5 สมมติฐานการวิจัย

สมมติฐานการวิจัยในการพัฒนาเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำและระบบการติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย ประกอบด้วย 3 สมมุติฐานดังนี้

1. โปรแกรมระบบเฝ้าระวังและติดตามการให้สารละลายจากเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำที่พัฒนาขึ้นสามารถส่งข้อมูลแบบไร้สายได้ถูกต้องอย่างน้อย 90%

2. เครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำและระบบการติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สายมีประสิทธิภาพการใช้งานในระดับ error น้อยกว่า 10%

4. ความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ และระบบการติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สายอยู่ในระดับดี (3.50-4.49 จากคะแนนเต็ม 5)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. ได้เครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำที่ได้มาตรฐานมีประสิทธิภาพ ในราคาที่ประหยัด สามารถลดความผิดพลาดจากการควบคุมการให้สารละลายด้วยมือ

2. ได้โปรแกรมระบบเฝ้าระวังและติดตามการให้สารละลายที่มีประสิทธิภาพ จากเครื่องที่พัฒนาขึ้นโดยการสื่อสารในรูปแบบไร้สาย

3. โรงพยาบาลประหยัดงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ให้สารละลาย

4. เจ้าหน้าที่มีเวลาทำงานอย่างอื่นมากขึ้น

5. ผู้ป่วยปลอดภัยเพราะมีเครื่องอำนวยความสะดวก มีการเตือนเมื่อมีปัญหา และก่อนเกิดปัญหาป้องกันการบาดเจ็บจากการแทงหลอดเลือดเพื่อให้สารละลายบ่อยๆ

6. เป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีทางการแพทย์ เพื่ออำนวยความสะดวกต่อการักษาพยาบาลต่อไป

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำและระบบติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สายซึ่งเครื่องดังกล่าวเป็นอุปกรณ์เชิงไฟฟ้าเครื่องกล (Electro-mechanical) ที่ใช้สำหรับควบคุมการไหลของน้ำเกลือโดยไม่มีส่วนประกอบใดสัมผัสน้ำเกลือที่ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์ โดยมีวัตถุประสงค์หลัก 4 วัตถุประสงค์ดังนี้ 1) เพื่อสร้างเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ 2) เพื่อสร้างโปรแกรมระบบเฝ้าระวังและติดตามการให้สารละลายจากเครื่องที่พัฒนาขึ้นโดยการส่งข้อมูลแบบไร้สาย 3) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุมและโปรแกรมการติดตามการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ และ 4) ประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ ดังนั้นการทบทวนวรรณกรรมในบทนี้จึงกล่าวถึงข้อมูลพื้นฐานของการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ เครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือด (infusion pump) ไมโครคอนโทรลเลอร์ และการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 การให้สารละลายทางหลอดเลือด

การให้สารน้ำทางหลอดเลือดดำ หมายถึง การให้สารน้ำที่มีส่วนผสมของน้ำ น้ำตาล และเกลือแร่เจือจางในปริมาณมากแก่ผู้ป่วยเข้าทางหลอดเลือดดำ โดยการใช้แรงโน้มถ่วงตามธรรมชาติ ปัจจุบันการให้น้ำแก่ผู้ป่วยมีหลายทาง ได้แก่ ทางปาก ทางสายให้อาหารและทางหลอดเลือดดำ โดยมีผู้ป่วยจำนวนมากได้รับการบำบัดรักษาโดยการให้น้ำ เกลือแร่ ยา เลือด และส่วนแยกของเลือด ผ่านเข้าทางหลอดเลือดดำ

2.2 เครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือด (infusion pump)

เครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือด (infusion pump) คือ เครื่องควบคุมอัตราการไหลของสารน้ำ ยา หรืออาหาร เข้าสู่ร่างกาย มักให้เข้าทางหลอดเลือดดำ (intravenous) แต่อาจเข้าทางอื่นได้ เช่น subcutaneous, arterial, epidural เป็นต้น ทำให้สามารถให้ใน ปริมาณ อัตราเร็ว หรือความถี่ห่างที่ทำไม่ได้ง่ายด้วยคน หรือสามารถให้ตามความต้องการของผู้ป่วย (patient-controlled) ได้

เครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือมีอยู่ 2 แบบ คือ เครื่องที่มีปริมาตรขนาดใหญ่ (Large volume infusion pump) และเครื่องที่มีปริมาตรเล็ก (Small volume infusion pump) ความแตกต่างของเครื่องสองชนิดนี้อยู่ที่อัตราการไหล โดยเครื่องที่มีปริมาตรขนาดเล็กซึ่งใช้สำหรับการจ่ายของเหลวที่มีปริมาตรน้อยมากๆ มักใช้เพื่อให้ยาจะมีอัตราการไหลน้อยกว่าเครื่องที่มีปริมาตรขนาดใหญ่ซึ่งใช้สำหรับการจ่ายของเหลวที่มีปริมาตรมากมักใช้เพื่อให้สารน้ำ และสารอาหารเ ช่น น้ำเกลือ สำหรับ Infusion Pump แบบอื่นๆ เช่น ใช้คน pump ใช้มือบีบ ใช้ BP cuff พัน และ Pressure infusor

ชนิดของเครื่องให้สารละลายแบ่งตามกลไกการทำงาน แบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1. Drop-counting pump นับหยด

2. Volumetric pump คำนวณปริมาตร ประกอบด้วย 4 ชนิดย่อย

2.1 Linear peristaltic pump – finger pump เป็นก้านเรียงติดต่อกันกดสายน้ำเกลือในลักษณะนิ้วกดไล่เรียงกันไป เช่น Infusomat (B Braun), Terufusion (Teruma) ดังแสดงในภาพที่ 2.1

ภาพที่ 2.1 peristaltic pump – finger pump

2.2 Rotary peristaltic pump เป็นล้อหมุน รีดสายน้ำเกลือ เช่น Simplicity (Critikon), Narco (Air Shields)

2.3 Reciprocating piston pump ใช้ลูกสูบ ดึงสารน้ำเข้ามาในกระบอกสูบแล้ว pump ออกไปด้วยอัตราที่ตั้งไว้ กำหนดทิศทางการไหลของสารน้ำให้เข้าหรือออกจากกระบอกสูบด้วย rotary valve หรือการอุดกั้นทางออก เช่น Imed 960 (Imed), Imfu-Check 1500 (Ivac) ดังแสดงในภาพที่ 2.2

ภาพที่ 2.2 Reciprocating piston pump

2.4 Piston-actuated diaphragm pump เป็น ลูกสูบดันน้ำไปดัน diaphragm ให้สารน้ำในอีกกระเปาะหนึ่งไหลออกจากกระเปาะไป เมื่อลูกสูบถูกดึงกลับ แรงดัน diaphragm ลดลง สารน้ำไหลเข้าสู่กระเปาะผ่าน one-way valve เช่น Flo-Gard (Travenol), Valleylab (Valleylab) ดังแสดงในภาพที่ 2.3

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ภาพที่ 2.3 Piston-actuated diaphragm pump

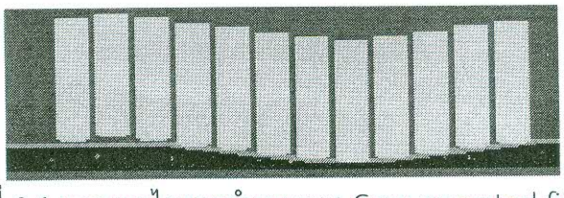
เครื่องควบคุมการให้สารละลายอัตโนมัติที่ถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์จนเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายคือเครื่อง Syring pump และเครื่อง Infusion pump

2.2.1 กลไกการขับดันสารละลาย

เครื่องทั้งสองนี้มีกลไกการขับดันสารละลายออกไปสู่คนไข้ด้วยวิธีที่เหมือนกัน ผิดกันที่ภาชนะใส่สารละลายต่างกัน กลไกการขับดันสารละลายที่ถูกนำมาใช้กับเครื่องทั้งสองมีหลายวิธี แต่ที่นิยมแพร่หลายมีดังนี้ (สาธิต นฤภัยและอื่น ๆ, 2555)

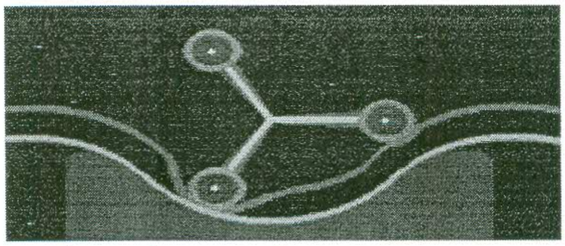
1. Piston pump ชนิดนี้อาศัยหลักการทำงานของมอเตอร์ขับดันก้านสูบของไซริงค์ให้ดันสารละลายออกจากไซริงค์ไปสู่คนไข้ มอเตอร์ที่ใช้อาจเป็น D.C. มอเตอร์ที่มีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมความเร็วและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ หรือเป็น Stepping motor ที่สามารถควบคุมให้หมุนตามจังหวะของ Pulse ที่ส่งมาให้ Stepping motor เคลื่อนที่ ซึ่งความเร็วหรือความช้าขึ้นอยู่จำนวน Pulse ที่สัมพันธ์กับจำนวนที่ตั้งไว้บนหน้าปัด กลไกนี้จะพบในเครื่อง Syring pump ซึ่งต้องใช้แรงดันสูงในการดันสารอาหารที่มีความหนืด

2. Peristaltic pump กลไกนี้ใช้ Stepping motor ขับเคลื่อน Cam-operated fingers ให้เคลื่อนที่โดยขับ finger แต่ละอันให้เคลื่อนที่ในลักษณะรูปคลื่น Sine wave ทำการรีดสารละลายที่อยู่ในสายยางไปสู่คนไข้ได้อย่างต่อเนื่องและปริมาณน้อยๆได้ดังแสดงในรูปที่ 1 ก หรือใช้ Stepping motor ขับเคลื่อนลูกเบี้ยวให้ทำการรีดสายยางโดยตรง (Rotor on eccentric shift) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 กลไกนี้จะพบในเครื่อง Infusion pump



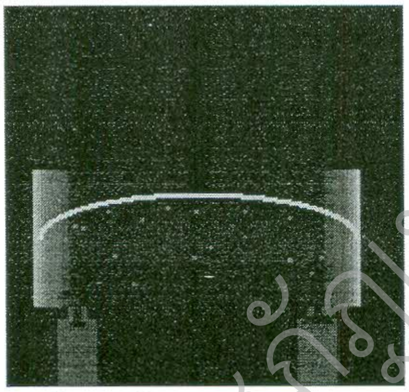
ภาพที่ 2.4 แสดงกลไกการทำงานของ Cam-operated fingers

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี



ภาพที่ 2.5 แสดงกลไกการทำงานของ Rotor on eccentric shift

3. Diaphragm pump กลไกที่ใช้นี้คือ การใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนแผ่นไดอะแฟรมให้ผลักดันสารละลายไปสู่คนไข้ กลไกนี้ไม่เป็นที่นิยมเพราะเกิดการกระเพื่อมของสารละลาย (Pulsating flow) จำนวนสารละลายที่ถูกส่งออกไปมีความคลาดเคลื่อนมากและไม่สม่ำเสมอ



ภาพที่2.6 แสดงภาพกลไกการทำงานของ Diaphragm pump

2.2.2 หลักการทำงานของเครื่อง Infusion pump

เครื่อง Infusion pump เป็น positive pump ที่ใช้สำหรับการให้สารอาหารและยาทางหลอด เลือดดำซึ่งต้องการความละเอียดและความแม่นยำในปริมาณและอัตราเร็วที่ตั้งไว้เข้าไปในหลอดเลือดดำ (Vein) ได้อย่างถูกต้อง ปริมาตรของสารละลายมีหน่วยเป็น มิลลิลิตร (ml) ส่วนใหญ่แล้วจะไม่เกิน 10,000 ml อัตราเร็ว (Rate) มีหน่วยเป็น ml/hr หรือ drop/min rate ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 1-500 ml/hr เครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ เป็นเครื่องให้สารละลายหรือยาแก่คนไข้ในกรณีที่ต้องการควบคุมหรือกำหนดจำนวนที่ให้แต่ละครั้งมีจำนวนแน่นอนและในระยะเวลาที่กำหนด เช่น กำหนดการให้สารละลายที่มียาผสมอยู่ด้วยจำนวน 5 มล.ในเวลา 5 ชั่วโมงเป็นต้น ดังนั้นเครื่อง Infusion pump จะต้องทำการส่งสารละลายนั้นไปสู่คนไข้ในจำนวน 1 มล./ชั่วโมงเป็นเวลา 5 ชั่วโมงเป็นต้น

วิธีการตรวจวัดจำนวนสารละลายที่เครื่อง Infusion pump ส่งไปให้คนไข้ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมี 2 แบบคือ

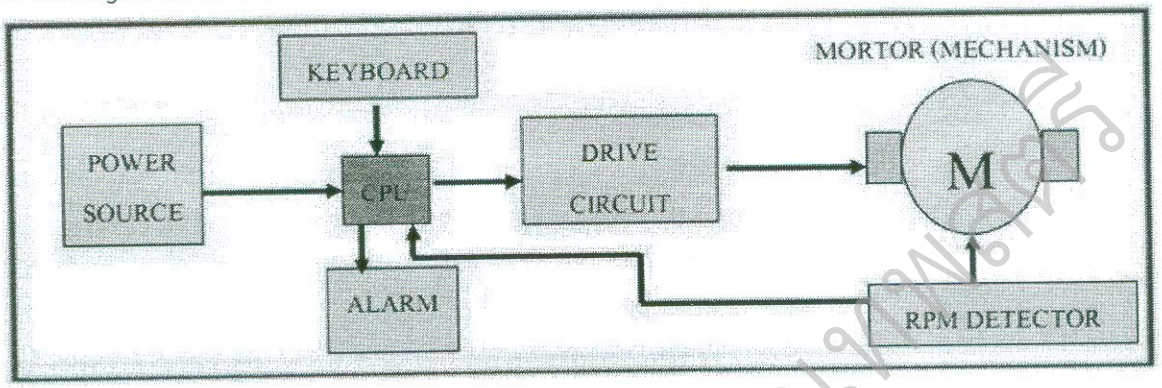
1. Drop Detector วิธีใช้หลักการของ Photo Detector โดยใช้ LED ส่องแสงไปยังตัวรับแสงที่ยึดติดอยู่ภายในตัว drop detector ที่ติดอยู่ที่บริเวณกะเปาะของสาย IV ในขณะที่มีสารละลายหยดลงมา 1 หยอด สารละลายนั้นจะขวางกั้นแสงสว่างที่ส่งจาก LED มายัง Photo Detector ทำให้เกิดสัญญาณลูกคลื่น 1 ลูกคลื่น ถ้าจำนวนการไหลของสารละลายมีความเร็วมากขึ้นลูกคลื่นก็จะมากขึ้นตามจำนวนหยอด จำนวนลูกคลื่นที่เกิดขึ้นนี้จะถูกส่งเข้าไปยังวงจรเปรียบเทียบเพื่อใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในการให้

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

สารละลาย เครื่องที่ใช้วิธีของ drop detector จะต้องใช้สาย I.V เฉพาะของยี่ห้อนั้นๆ จึงจะได้ค่าที่ถูกต้อง ทั้งนี้เพราะเส้นผ่าศูนย์กลางของสาย IV แต่ละบริษัทมีขนาดที่แตกต่างกัน

2. Volume Detector วิธีนี้เป็นการตรวจวัดปริมาตรที่ส่งไปให้คนไข้โดยที่เครื่องจะทำการคำนวณค่า Volume ที่ตั้งกับขนาดสาย I.V ที่ใช้และส่งผลไปยังหน่วยควบคุมให้มอเตอร์ทำงาน

หลักการโดยทั่วๆไปของเครื่อง Infusion pump จะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญต่างๆ ดังแสดงใน Block Diagram ภาพที่ 2.7



ภาพที่2.7 แสดง Block Diagram ของเครื่อง Infusion pump

รายละเอียดของ Block Diagram ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- Power source คือแหล่งจ่ายพลังงาน เช่น ไฟ 220 V.จากปลั๊ก หรือ แบตเตอรี่ภายในตัวเครื่อง
- Keyboard เพื่อใช้ป้อนข้อมูล คำสั่งต่างๆเข้าสู่ตัวเครื่อง
- CPU ส่วนประมวลผลกลางมีหน้าที่รวบรวมประมวลผลคำสั่ง ควบคุม สั่งการ การทำงานของเครื่อง
- Alarm ระบบตรวจสอบความผิดปกติต่างๆ และการแจ้งเตือนเมื่อมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น
- Drive circuit วงจรชุดขับเคลื่อนมอเตอร์โดยรับคำสั่งจาก CPU
- Motor มอเตอร์และกลไก Mechanism (ตีนตะขาบ) ทำหน้าที่ขับดันสารละลายในสาย IV set ที่เป็น ของเหลวเข้าสู่ร่างกายผู้ป่วย
- RPM Detector เพื่อตรวจสอบว่ามอเตอร์ทำงานอย่างถูกต้องหรือไม่ แล้วจะส่งสัญญาณไปยัง CPU อีกทีเพื่อคำนวณจำนวนรอบสั่งให้มอเตอร์ทำงานอย่างถูกต้องและให้ได้ Rate(ml / hr) ออกมาตามที่ต้องการ

2.2.3 คุณลักษณะและฟังก์ชั่นที่จำเป็นของเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือด

เครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือที่ใช้โดยทั่วไปควรจะต้องมีคุณลักษณะดังนี้

1. ความสามารถในการพกพา

เครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือจะต้องสามารถพกพาได้สำหรับการใช้ใน

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

กรณีที่ผู้ป่วยมีเหตุจำเป็นที่จะต้องเคลื่อนย้าย ดังนั้นเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือจำเป็นจะต้องมีน้ำหนักเบา มีขนาดเล็ก และมีแบตเตอรี่สำหรับเป็นแหล่งพลังงานในการใช้งานเพราะฉะนั้นผู้ออกแบบให้เครื่องมีขนาดเล็กและใช้พลังงานน้อยเพื่อความสะดวกในการใช้

2. ส่วนแสดงผลละติดต่อผู้ใช้

ส่วนแสดงผลและติดต่อผู้ใช้เป็นส่วนที่ใช้ในการตั้งค่าอัตราการไหลและแสดงข้อมูลต่างๆ เช่น อัตราการไหล, สารละลายชนิดใดที่จะให้แก่ผู้ป่วย, ข้อมูลของผู้ป่วย, ระยะเวลาของแบตเตอรี่ และเงื่อนไขในการเตือนของเครื่อง เป็นต้น โดยทั่วไปอัตราการไหลของสารละลายที่ควบคุมโดยเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือจะมีค่าอยู่ที่ 0.01-999 มล./ชม.

สำหรับเครื่องบางรุ่นที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้ผู้ป่วยใช้เองที่บ้าน ผู้ป่วยจะต้องทำการตั้งค่าเองได้ ดังนั้นเครื่องรุ่นแบบนี้จะมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟิก (GUIs) เพื่อช่วยแนะนำการตั้งค่าต่างๆของผู้ป่วย โดยหน้าจอแสดงผลจะเป็นจอสีและเป็นหน้าจอแบบสัมผัสสำหรับรับค่า ซึ่งอาจมีการตอบสนองเมื่อผู้ใช้ใส่ค่าเข้าไป เช่น มีภาพ มีเสียง เป็นต้น และจะต้องมีโปรแกรมที่ควบคุมและเตือนผู้ป่วย ถ้าหากอัตราการไหลนั้นไม่ปกติหรืออันตรายกับผู้ป่วย

3. กลไกการรีดสายน้ำเกลือ

โดยทั่วไปมอเตอร์ไฟฟ้าที่จะถูกใช้เป็นเครื่องต้นกำลังในกลไกของเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือ ซึ่งอาจเป็นมอเตอร์แบบ Stepping เพื่อควบคุมอัตราการไหลอย่างแม่นยำโดยใช้เซนเซอร์ตำแหน่งเชิงมุม หรือ Hall-effect secsors ร่วมด้วย แต่ในทางปฏิบัติแล้วเราสามารถใช้มอเตอร์กระแสตรงแทนได้

การทำงานของมอเตอร์ในเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือขึ้นอยู่กับตำแหน่งภายในเครื่อง, ความหนืดของของเหลวและอัตราการไหล วงจรขับมอเตอร์ที่ซับซ้อนประกอบไปด้วย Operational amplifiers, current-sense amplifiers, และ Filters อยู่ภายในระบบ

4. แบตเตอรี่และภาคจ่ายไฟ

เครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือจำเป็นต้องมีแบตเตอรี่เพื่อให้เครื่องยังสามารถทำงานได้ตามปกติเมื่อต้องการเคลื่อนย้ายผู้ป่วย เครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือจะไม่ทำงานถ้าไม่มีไฟฟ้า ดังนั้นสิ่งที่จำเป็นต้องมีคือวงจรชาร์จแบตเตอรี่และวงจรวัดพลังงานของแบตเตอรี่ (Fuel gauge) การวัดพลังงานในแบตเตอรี่ส่วนใหญ่จะใช้หลักการ Coulomb counting เนื่องจากการใช้ Voltage-sensing fuel gauges ไม่แม่นยำพอสำหรับอุปกรณ์ในปัจจุบัน เพื่อให้แบตเตอรี่ใช้งานได้นานดังนั้นผู้ออกแบบระบบได้ออกแบบให้ระบบมีการเปลี่ยนระดับพลังงาน โดยการใช้สวิตซ์ควบคุมแรดันไฟฟ้าซี่ทำให้แบตเตอรี่นั้นใช้งานได้นาน วงจร Low-dropout linear regulators ใช้จัดการแรงดันขาออกที่ระดับต่ำ การใช้หน่วยประมวลผลที่ดีและซับซ้อนนั้นถูกตั้งอยู่บนข้อกำหนดที่ภาคจ่ายไฟจะต้องประกอบด้วยวงจรที่สามารถควบคุมระดับแรงดันจ่ายไปยังหน่วยประมวลผลกลางได้, การตอบสนองที่รวดเร็วต่อโหลด, และมีความเสถียรในขณะที่มีแรงดันต่ำและกระแสสูง ส่วนวงจรแปลงสัญญาณอนาลอก

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เป็นสัญญาณดิจิตอลที่ใช้ในการปรับระดับแรงดันที่สามารถโปรแกรมได้นั้นจะต้องมีแต่จะไม่ถูกสร้างรวมกับวงจรควบคุมอื่นๆ ซึ่งการเปิดปิดของภาคจ่ายไฟจะต้องถูกออกแบบและผ่านการรับรองมาตราฐานจากองค์กรสำหรับการดูแลด้านการแพทย์

5. การทดสอบและระบบการควบคุมกระบวนการต่างๆ

ก่อนการใช้งานทุกครั้ง เครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือทุกเครื่องจะต้องมี Power-on self-test (POST) สำหรับตรวจสอบการทำงานของเครื่อง เพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องยังสามารถใช้งานได้อย่างปกติตลอดระยะเวลาที่ผู้ป่วยใช้อยู่ และเพื่อลดความเสี่ยงของความล้มเหลวที่ไม่อาจคาดการณ์ได้ การตรวจสอบมีตั้งแต่การทดสอบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องทำงานเป็นปกติจนกระทั่งภาคจ่ายไฟจะต้องมีความเสถียร โดยภาคจ่ายไฟทุกตัวจะถูกตรวจค่าแรงดันไฟฟ้าและถูกบันทึกเก็บไว้เป็นช่วงๆ และถูกทดสอบว่ามีค่าน้อยกว่าหรือมากกว่าค่าตามงื่อนไขหรือไม่ และแรงดันที่โหลดจะถูกตรวจด้วยเช่นกัน เนื่องจากปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยคือเสถียรภาพของระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้เครื่องอาจต้องมีเซนเซอร์เพื่อใช้ในการอ่านค่า เช่น อุณหภูมิ, Motor, loading, ความดันของสาย IV และค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

6. สัญญาณเตือน

เนื่องจากในบางครั้งวิธีการให้ยาผ่านสายน้ำเกลือจำเป็นต้องมีความเที่ยงตรง แม่นยำ หากเกิดความผิดพลาดขึ้นมาอาจเกิดอันตรายกับผู้ป่วย ดังนั้นเครื่องควบคุมการไหลสารละลายผ่านสายน้ำเกลือจะต้องมีสัญญาณเตือนด้วยเสียงหรือสัญญาณไฟเพื่อเตือนผู้ใช้ว่าทำผิดเงื่อนไขหรือมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดอันตราย โดยเครื่องส่วนใหญ่จะมีสัญญาณไฟ LEDs และมีเสียง Beep เพื่อเตือนผู้ใช้ ตัวอย่างของสัญญาณเตือนของเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.8

ภาพที่ 2.8 สัญญาณเตือนและวิธีการแก้ปัญหา

สัญลักษณ์/ข้อความ	**สาเหตุ**	**การแก้ไขปัญหา**
1. แบตเตอรี่ไม่สามารถชาร์ตไฟได้	ยังไม่ต่อ AC power cord เข้ากับแหล่งจ่ายไฟ	เสียบ AC power cord เข้ากับระบบให้เรียบร้อย
2. เครื่องไม่ทำงานเมื่อเปิดการทำงานโดยใช้แหล่งพลังงานภายใน(แบตเตอรี่)	แบตเตอรี่มีพลังงานต่ำ	เสียบ AC power cord เข้ากับระบบเพื่อชาร์จพลังงาน
3. ไฟฟ้าจากแหล่งไฟไม่เข้าเครื่อง	สาย AC ที่ต่อจากตัวเครื่องและแหล่งจ่ายไฟไม่เข้าที่	จัดการสายไฟให้เข้าที่และแน่นสนิทดี
4. ไฟแสดงสถานะแบตเตอรี่กระพริบพร้อมกัน 3 ดวง	แบตเตอรี่เสื่อม	แจ้งบริษัทตัวแทนจำหน่าย
5. เครื่องไม่สามารถเริ่มทำงาน	ตั้งค่าไม่ถูกต้อง	ปรับตั้งค่าใหม่ เครื่องไม่สามารถ

สัญลักษณ์/ข้อความ	สาเหตุ	การแก้ไขปัญหา
ได้เมื่อกดปุ่ม START		ทำงานได้อัตราของสารละลายอยู่ที่ 0
6. ไฟแสดงสถานะการทำงานที่อยู่บนตัวเครื่อง กระพริบเป็นสีแดงและมีเสียงร้องเตือน	เครื่องยังไม่ได้ดำเนินการหลังจากที่เครื่องพร้อมทำงาน 2 นาที	กดปุ่ม START เริ่มทำงาน
7. สัญญาณ [OCLUSSION]	1. สาย IV set หักพับงอ 2. มีการอุดตันที่ Filter หรือเข็มที่แทงกับเส้นเลือดผู้ป่วย 3. ลูกกลิ้งสำหรับเปิด/ปิดสารละลายถูกปิดอยู่ 4. ใส่สายไม่ตรงตำแหน่ง	1. จัดการสาย IV set ให้ตรง 2. มีดูแลเข็มที่แทงกับเส้นเลือดผู้ป่วยไม่ให้อุดตัน 3. ปรับตำแหน่งลูกกลิ้งสำหรับเปิด/ปิด สารละลายให้อยู่ในตำแหน่งเปิด 4. ใส่สาย IV set ให้ถูกต้อง
8. สัญญาณ [AIR]	1. สารละลายหมดขวด 2. มีฟองอากาศอยู่ใน IV set 3. ใช้ชนิดของ IV set ไม่ถูกต้อง 4. ตัวจับ Air-in-line สกปรก	1. เปลี่ยนสารละลายขวดใหม่ 2 จัดการไล่ฟองอากาศออกให้หมด 3. จัดการเปลี่ยน IV setให้ถูกต้อง 4. ทำความสะอาดด้วยผ้าสะอาด
9. สัญญาณ [FLOW ERR]	1. สารละลายหมดขวด 2. ใส่สาย IV set ไม่ถูกต้อง	1 กด ปุ่ม STOP 2 ปิด Manual roller clamp ที่สาย IV set ตำแหน่งที่ปิด 3 เปลี่ยนสาย IV set ให้ถูกต้อง

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

2.2.4 ลักษณะการใช้งานของเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือด

การใช้งานเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือและพบว่าเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือจะถูกใช้ก็ต่อเมื่อแพทย์ต้องการให้ยาเช่น กลุ่มยา high alert หรือน้ำเกลือที่มีความเข้มข้นสูงเป็นต้นแก่ผู้ป่วยโดยปริมาณที่จะให้แก่ผู้ป่วยนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของยา

การตั้งค่าการให้น้ำเกลือและส่วนผสมของยาของเครื่องทั้งหมดจะมี 2 ขั้นตอนคือ

1. ต้องการให้ปริมาณทั้งหมดเท่าไหร่

2. การให้ปริมาณหยดต่อนาทีเท่าไร โดยปริมาณต่างๆ จะต้องกำหนดลงไปที่เครื่อง จากนั้นเครื่องจะทำการควบคุมปริมาณตามที่ผู้ใช้ใส่ค่า

ส่วนที่สำคัญของเครื่องที่ใช้ภายในห้อง ICU คือเครื่องจะต้องมีหน่วยความจำเครื่องบันทึกว่าผู้ป่วยแต่ละคนใช้ยาปริมาณเท่าไรอยู่ เพื่อที่จะได้ตรวจสอบว่าผู้ป่วยได้รับปริมาณของสารละลายต่างๆ อย่างถูกต้องไม่ผิดเพี้ยนไป

สายน้ำเกลือ (Set iv) ที่ใช้กับเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือมีทั้งหมด 2 แบบคือ

1. สั่งน้ำเกลือที่ใช้เฉพาะกับยี่ห้อของเครื่องโดยตรง โดยจะมีราคาแพงแต่จะมีความแม่นยำสูง ส่วนมากจะใช้กับผู้ป่วยในห้อง ICU

2. สายน้ำเกลือชนิดใดก็ได้จะมีราคาถูกแต่ข้อเสียคือจะมีความแม่นยำน้อยไม่เหมาะกับผู้ป่วยที่อยู่ในห้อง ICU

เพื่อให้การจ่ายยาเป็นไปอย่างถูกต้องแม่นยำข้างโรงพยาบาลต้องการเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือที่มีความแม่นยำมากโดยเฉพาะเครื่องที่ใช้ภายในห้อง ICU ต้องมีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 2% แต่ในปัจจุบันเครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือที่บริษัทผู้ผลิตสามารถทำได้จะมีความผิดพลาดต่ำสุดอยู่ที่ 5% เท่านั้น

เครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือจะมีสัญญาณเตือนเมื่อมีเหตุการณ์บางอย่างเกิดขึ้น เช่น มีฟองอากาศในสาย, หยุดน้ำมีความเร็วไม่คงที่ เป็นต้นเครื่องจะมีเซนเซอร์ ในการตรวจสอบว่าประตู Pump chamber ถูกปิดอยู่หรือไม่และมีเซนเซอร์ตรวจสอบสาย set IV ว่ายังคงล็อคตามปกติหรือไม่

2.2.5 มาตรฐานค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของเครื่องให้สารละลาย

มาตรฐานค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของเครื่องให้สารละลายดังแสดงในตารางที่ 2.1

ภาพที่2.9 มาตรฐานค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ของเครื่องให้สารละลาย

ลำดับ	รายการเครื่องมือแพทย์	ค่าพิดพลาดที่ยอมรับได้		หน่วยวัด
		พื้นที่ปกติ	พื้นที่วิกฤต	
1	เครื่องปั๊มสารละลายเข้าสู่ร่างกาย (Syringe Pump)	± 10 %	± 5	ml/h
2	เครื่องปั๊มสารละลายเข้าสู่ร่างกาย (InfusionPump) - สารละลายทั่วไป	± 10 %	± 5 %	ml/h
	- วิกฤติ หรือ ยาอันตราย	± 5 %	± 3 %	ml/h

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

2.2.6 คุณลักษณะของ IV set

คุณลักษณะเฉพาะของ IV Set ที่ใช้กันโดยทั่วไปในโรงพยาบาล มีคุณสมบัติดังนี้

1. เป็นชุดให้สารละลายทางหลอดเลือด

2. ใช้วัตถุดิบพลาสติกชนิดที่ใช้ทางการแพทย์ (Medical Grade)

3. ประกอบด้วยปลอกเข็มเจาะภาชนะบรรจุ เข็มภาชนะบรรจุ ท่อหยุด กระเปาะหยดสายส่งตัวควบคุมการไหลบริเวณสำหรับฉีดสารละลาย ข้อต่อใน ปลอกหุ้มข้อต่อใน ตัวกรองสารละลาย

4. ให้บรรจุชุดสารละลายทางหลอดเลือดแต่ละชุดในภาชนะห่อหุ้มที่ผนึกเรียบร้อยสามารถรักษาสภาพปราศจากเชื้อได้ตลอดจนกระทั่งเปิดใช้ และผลิตภัณฑ์ต้องไม่แบน ไม่หักพับปลอกหุ้ม ข้อต่อในและ/หรือปลอกหุ้มเข็มต้องไม่หลุด

5. ฉลากอย่างน้อยต้องแสดงข้อความ เดือนปีที่ผลิต และรหัสรุ่นที่ผลิต เดือนปีที่ หมดอายุ ชื่อผู้ผลิตหรือผู้ที่จำหน่ายพร้อมสถานที่ตั้ง มีข้อความระบุว่า “ปราศจากเชื้อ” และ“ปราศจากไพโรเจน”

6. อายุของผลิตภัณฑ์ที่ส่งมอบต้องไม่น้อยกว่า 2 ปี นับจากวันที่ส่งมอบ

คุณสมบัติทางเทคนิค

1. เป็นชุดที่ให้สารละลายทางหลอดเลือดสำหรับเด็กและมีอุปกรณ์ที่ให้อากาศเข้าพร้อมที่กรอง

2. สายส่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในไม่น้อยกว่า 2.5 มิลลิเมตร

3. สายส่งมีความยาววัดจากปลายข้อต่อในถึงปลายเข็มเจาะภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่า 140 เซนติเมตร

4. กระเปาะหยดมีรูปร่างที่สามารถเห็นการหยดของสารละลายได้ชัดเจนและมีขนาดหยดเท่ากับ 60 หยดต่อมิลลิเมตร

5. ตัวควบคุมการไหล ต้องสามารถปรับอัตราการไหลได้ตามต้องการ และต้องหยดการไหลได้สนิท และไม่ทำให้สายส่งเสียหายต่อการใช้งาน เช่น รั่ว ตีบ

6. ส่วนประกอบต้องไม่สีเมื่อบรรจุสารละลาย สามารถมองเห็นสารละลายและ/หรือฟองอากาศในสารละลายได้ชัดเจน เว้นแต่ส่วนที่เป็นเข็ม ตัวควบคุมการไหล และบริเวณสำหรับฉีดสารละลาย

7. ต้องไม่พบจุลินทรีย์ทุกชนิด ไม่มีสารไพโรเจน ไม่มีพิษ

8. มีข้อต่อเข้าผู้ป่วยมีขนาดมาตรฐาน

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์เบื้องต้น

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์ขนาดเล็กที่สามารถเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อควบคุมการทำงานได้ตามต้องการ ซึ่งปัจจุบันมีการพัฒนาไปอย่างมากมีความสามารถมากขึ้น ทำงานได้เร็วขึ้นในขณะที่ขนาดเล็กลง ส่วนภาษาคอมพิวเตอร์ที่เขียนเพื่อควบคุมการทำงานก็มีหลายภาษา ทั้งยาก

และง่าย เช่น ภาษา C++ ที่อยู่ในโปรแกรม Arduino IDE ซึ่งเป็น open source มีการใช้งานที่ไม่ซับซ้อน แต่สามารถประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย และ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่เป็นตระกูล AVR ก็มีราคาถูก ขนาดเล็ก กะทัดรัด สามารถดัดแปลงมาใช้ในการควบคุมการแสดงผลต่างๆได้ดี ทั้งการแสดงผลทางกล เช่น การขับ motor servo การแสดงผลทางแสง เช่น การขับหลอด LED การใช้งานร่วมกับจอแสดงผลแบบต่างๆ การแสดงออกทางเสียง เช่น การควบคุมลำโพง รวมทั้งสามารถเชื่อมโยงกับอุปกรณ์สื่อสารไร้สายต่างๆ ได้ดี (เอกชัย มะการ, 2552)

2.4 มอเตอร์ไฟฟ้า

เป็นมอเตอร์ที่ขับเครื่องด้วยพัลส์ ลักษณะการขับเคลื่อน จะหมุนรอบแกนได้ 360 องศา มีลักษณะไม่ต่อเนื่อง แต่มีลักษณะเป็นสเต็ป โดยแต่ละสเต็ปจะขับเคลื่อนได้ 1,1.5,1.8 หรือ 2 องศา แล้วแต่ละโครงสร้างของมอเตอร์

stepping motor นั้นสามารถที่จะเคลื่อนที่ได้จากหลักการของการจ่ายไฟเข้าที่ขดลวดบน stator ในลักษณะที่จ่ายไฟให้เกิดแบบ ลำดับเฟสกันไป

ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ 1 rotor ซึ่งเป็นส่วนที่หมุนหรือเคลื่อนที่ได้ 2.คือ stator ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่กับที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยที่ส่วนที่เป็น stator ของ stepping motor นี้จะเป็นส่วนซึ่งมีขดลวดพันล้อมอยู่บนแกนเหล็ก เมื่อเราจ่ายไฟเข้าที่ขดลวดที่พันอยู่บน stator ที่ขด 1 ก่อน ก็จะทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็กขึ้นที่ตำแหน่ง 1 นี้ และผลักให้ rotor เกิดการเคลื่อนที่ได้ การเคลื่อนที่นี้เรียกว่ามันเคลื่อนที่ไป 1 stepนั่นเอง ซึ่งการที่มันจะเคลื่อนที่ไปเป็นมุมเท่าไหร่นั้นก็ขึ้นอยู่กับ spec ของ stepping motor ตัวนั้นว่ามันสามารถที่จะหมุนได้ step ละกี่องศา และต่อไปถ้าเราหยุดจ่ายไฟเข้าที่ขดลวด1 และไปจ่ายไฟเข้าที่ขดลวด 2 แทนก็จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่บริเวณ 2 บน stator และก็จะทำให้สนามแม่เหล็กนี้ผลัก rotor ให้เคลื่อนที่ต่อไปได้ และถ้าเราหยุดจ่ายกระแสเข้าที่ 2 และไปจ่ายเข้าที่ขด 3 แทนก็จะทำให้สนามแม่เหล็กมาเกิดที่บริเวณ 3 และผลักให้ rotor เคลื่อนที่ต่อไปได้อีก

2.5 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำหรือที่เรียกโดยทั่วไปว่าการให้น้ำเกลือยังเป็นที่ใช้รักษาโรคอย่างแพร่หลายบางครั้งปริมาณการให้คิดเป็นร้อยละ 80 ของจำนวนผู้ป่วยที่เข้านอนในโรงพยาบาล การควบคุมส่วนใหญ่ใช้มือปรับลูกกลิ้งกดสายน้ำเกลือเพื่อปรับอัตราการไหล ซึ่งพบปัญหาต่างๆ ได้แก่ อัตราการไหลไม่แน่นอน ไม่ตรงตามแผนการักษา สารละลายหมดไม่มีการเตือนทำให้เลือดไหลย้อนกลับและอุดตันต้องแทงเข็มน้ำเกลือใหม่ ทำให้เสียเวลา และงบประมาณ รวมทั้งการเจ็บตัวของผู้ป่วยตลอดจนความเสี่ยงที่เพิ่มขึ้นเพราะการเจาะเลือดบ่อยขึ้น เช่น ความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุต่างๆ เข็มทิ่มตำ เป็นต้น (กาญจนา พรมสิทธิ์,เยาวเรศ พันธุ์เกิด, อารีรัตน์ สาลี และคณะ, 2557) บางโรงพยาบาลใช้วิธีการเดินสำรวจปริมาณน้ำเกลือที่เหลืออยู่เป็นประจำ เช่นทุกสองชั่วโมง ถ้าพบว่ามีปริมาณน้ำเกลือที่ไม่เป็นไปตามที่คาดไว้ก็จะทำการปรับอัตราการไหลใหม่ วิธีนี้ทำให้การให้สารละลายกับผู้ป่วยใกล้เคียงกับปริมาณที่ผู้ป่วยที่

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ต้องการ และสามารถตรวจพบความผิดปรกติได้ แต่บางครั้งอาจใช้เวลานานเกินไปกว่าจะพบความผิดปรกติ อีกทั้งต้องใช้เจ้าหน้าที่พยาบาลเดินดูทีละเตียงทำให้เสียเวลาทำงานอย่างอื่น (พรศิริ ชูแสง, 2557)

ดังนั้นจึงมีโรงพยาบาลบางแห่งพัฒนาเครื่องเตือนน้ำเกลือใกล้หมดโดยการชั่งน้ำหนักขวดน้ำเกลือ และส่งสัญญาณเสียงและแสงเพื่อให้เจ้าหน้าที่ได้รู้ก่อนที่น้ำเกลือจะหมด ซึ่งใช้เตือนได้ดีแต่ยังไม่ละเอียดมากนักเพราะเป็นการเตือนใกล้จะหมดเท่านั้น และเป็นการเตือนที่เตียงผู้ป่วยเท่านั้น (ฐิตารีย์ แก้วตาทิพย์, 2557) นอกจากนั้น สุเมธ อ่ำชิต (2552) และ ในงานวิจัยวุฒิชัย วรนันทกุล และสุเมธ อำชิต (2556) ได้ทำการคิดค้นเครื่องติดตามการให้สารละลายโดยสามารถบอกอัตราการไหล และปริมาณสารละลายที่เหลือหรือที่ให้คนไข้ทั้งหมด ตลอดจนตรวจจับความผิดปรกติต่าง ๆ เช่น น้ำเกลืออุดตัน น้ำเกลือรั่วเป็นต้นโดยใช้อุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์สามารถส่งผลรายงานต่างๆ ผ่านทางการสื่อสารไร้สาย Bluetooth มายังเครื่องคอมพิวเตอร์ของบุคลากรทางการแพทย์ ทำให้ได้รับความสะดวกสบาย แต่อย่างไรก็ตามเครื่องดังกล่าวยังไม่สามารถควบคุมอัตราการไหลของสารละลายได้ ในงานวิจัยของสุทธิพงษ์ ผัดแก้ว (2557) ได้คิดค้นเครื่องเตือนน้ำเกลือใกล้หมดโดยวิธีส่งสัญญาณไร้สาย แต่เครื่องดังกล่าวต้องมีการทำงานของเครื่องควบคุมอยู่ตลอดเวลาทำให้สิ้นเปลืองพลังงานอย่างมาก

สำหรับงานวิจัยในการพัฒนาเครื่องควบคุมการให้สารละลายอัตโนมัติในต่างประเทศ เช่น Guta et al. (2005) และ Hariyan et al. (2000) ยังไม่มีระบบเฝ้าระวังและการแจ้งเตือนด้วยระบบการส่งข้อมูลแบบไร้สาย เพื่อไปแสดงผลที่เครื่องคอมพิวเตอร์ของบุคลากรทางการแพทย์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยในรูปแบบการพัฒนาทดลอง (Experimental development) เครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำและระบบติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย โดยในบทนี้จะกล่าวถึง วิธีวิจัย, รูปแบบการวิจัย, ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา, การสร้างและหาคุณภาพเครื่องมือ การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยประกอบไปด้วย 3 ระยะที่สำคัญ คือ

1) การสร้างเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ

2) สร้างโปรแกรมเฝ้าระวังและติดตามการให้สารละลายจากเครื่องควบคุมที่พัฒนาขึ้น

3) ดำเนินการทดลองใช้งานเครื่องควบคุม และโปรแกรมเฝ้าระวัง ติดตามการให้สารละลาย เพื่อประเมินประสิทธิภาพ และความพึงพอใจของการใช้งานของเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

ระยะที่ 1: การสร้างเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. ศึกษาการทำงานและความต้องการของผู้ใช้เครื่องควบคุมให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ โดยการสัมภาษณ์บุคลากรทางการแพทย์ที่เกี่ยวข้องเพื่อเก็บข้อมูลจากผู้ใช้งานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันที่โรงพยาบาลโคกสำโรง เกี่ยวกับปัญหาการใช้งาน เทคนิคที่ต้องการใช้เพื่อให้การพัฒนาเครื่องดังกล่าวอำนวยความสะดวกได้สูงสุด

2. วิเคราะห์ข้อมูลความต้องการการใช้งานของเครื่องควบคุมให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ

3. ออกแบบวงจรการทำงานของเครื่อง

4. จัดหาอุปกรณ์อิเลคทรอนิกส์ รวมทั้งไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องเพื่อทำต้นแบบเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ

5. พัฒนาเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำตามวงจรที่ออกแบบไว้

6. ทดสอบการทำงานของเครื่องที่พัฒนาและทำการปรับปรุงวงจรต่าง ๆ ให้ได้รับประสิทธิภาพสูงสุด

ระยะที่ 2: สร้างโปรแกรมระบบเฝ้าระวังและติดตามการให้สารละลายจากเครื่องควบคุมที่พัฒนา

ในการพัฒนาโปรแกรมระบบเฝ้าระวัง ติดตามการให้สารละลายจากเครื่องควบคุมที่พัฒนาจะดำเนินการตาม ขั้นตอนการพัฒนาระบบซอฟต์แวร์ (Systems Development Life Cycle หรือ SDLC) ดังนี้

1. วิเคราะห์และกำหนดความต้องการของระบบงาน (System Analysis and Specification)
2. ออกแบบขั้นตอนการแก้ไขปัญหา (System Design)
3. เขียนชุดคำสั่ง (Program Coding)
4. ทดสอบการทำงานของระบบงาน (System or Program Testing)
5. ใช้งานและบำรุงรักษาระบบ (System Implementation and Maintenance)
6. จัดทำเอกสารประกอบระบบ (Documentation)

สำหรับโปรแกรมระบบเฝ้าระวังและติดตามการให้สารละลายจากเครื่องควบคุมที่พัฒนาจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ภาษา C++ โดยใช้โปรแกรม Arduino IDE เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องให้สารละลาย และการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายไปที่เครื่องคอมพิวเตอร์ของบุคลากรทางการแพทย์

การทดสอบการทำงานของระบบโปรแกรมร่วมกับเครื่องควบคุมที่ได้พัฒนาขึ้น หลังจากได้พัฒนาโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว กำหนดให้มีการทดสอบคุณภาพ และความเป็นไปได้ในการใช้งาน โดยผู้เชี่ยวชาญด้านต่างๆ ได้แก่ นักเขียนโปรแกรม หรือนักวิชาการด้านคอมพิวเตอร์ แพทย์ และบุคลากรสาธารณสุข การประเมินทำได้โดยให้กลุ่มผู้เชี่ยวชาญเหล่านี้ได้ทดลองใช้งานโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น ที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว ตอบแบบประเมินเป็นผลลัพธ์ว่ามีคุณสมบัติที่เหมาะสมหรือไม่ และควรปรับปรุงอะไรบ้าง หลังจากนั้นจึงพิจาณาปรับปรุงโปรแกรมให้มีความเหมาะสม ก่อนนำไปใช้กับผู้เข้าร่วมวิจัยต่อไป

ระยะที่ 3: ดำเนินการทดลองใช้งานเครื่องควบคุม และโปรแกรมระบบเฝ้าระวัง ติดตามการให้สารละลาย

หลังจากที่ได้มีการทดสอบการทำงานของระบบโปรแกรมร่วมกับเครื่องควบคุมที่ได้พัฒนาขึ้น จะทำการปรับปรุงแก้ไขทั้งเครื่องควบคุม และโปรแกรมเฝ้าระวังและติดตามการให้สารละลายที่ได้พัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยในการนำไปทดสอบการใช้งานจริงกับผู้ป่วยนั้น จะนำเครื่องควบคุมและโปรแกรมระบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับผู้ป่วยที่ไม่มีปัญหาสุขภาพมาก ภายใต้การยินยอมของผู้ป่วย และการเห็นชอบของทีมรักษาที่ประกอบด้วยแพทย์เจ้าของไข้ พยาบาลที่ดูแลผู้ป่วย และเฝ้าสังเกตความผิดปรกติอย่างใกล้ชิดเพื่อหาข้อผิดพลาดและทำการแก้ไขทันที

ผู้เข้าร่วมวิจัยถูกคัดเลือกโดยการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย ที่เป็นบุคลากรทางการแพทย์เพื่อประเมินประสิทธิภาพ และความพึงพอใจของการใช้งานของเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

นอกจากนี้ ผู้ป่วยและญาติผู้ป่วยที่ได้ใช้เครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำจะถูกคัดเลือกโดยการสุ่มตัวอย่างอย่างง่ายเพื่อประเมินการความพึงพอใจของการใช้งานของเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 1) เครื่องมือทดลอง และ 2) เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

1) เครื่องมือทดลอง

เครื่องมือทดลองในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท 1. เครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ 2. โปรแกรมระบบติดตามและเฝ้าระวังการให้สารละลายจากเครื่องมือที่พัฒนาขึ้น

1.1 เครื่องควบคุมการให้สารละลายต้นแบบสำหรับใช้กับผู้ป่วยที่จำเป็นต้องได้รับสารละลายจำนวน 2 เครื่อง โดยใช้หลักการไหลของสารละลายด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก และควบคุมอัตราการไหลด้วยอุปกรณ์ทางกล (Servo or step motor) ที่ไม่ต้องเคลื่อนไหวตลอดเวลา โดยการลอกเลียนแบบการบังคับด้วยมือแบบดั้งเดิมแต่ให้มีประสิทธิภาพมากกว่า โดยอ้างอิงจากข้อมูลป้อนกลับที่ได้จากการนับหยดของเหลวที่ออกจากขวดบรรจุเป็นช่วงเวลา (ใช้ตัว sensor ในการนับ) แล้วทำงานปรับอัตราการไหลให้เหมาะสม เปรียบเสมือนการตรวจสอบและปรับอัตราการไหลด้วยมือ แต่ทำด้วยเครื่องควบคุมอัตโนมัติ มีการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่สามารถปรับอัตราการไหลของสารละลายได้ทุกช่วงเวลาโดยคำนึงถึงการประหยัดพลังงาน (ถ้ามีการปรับอัตราการไหลบ่อยจะใช้พลังงานมาก สำหรับการปรับด้วยมือโดยส่วนใหญ่จะปรับทุกสองชั่วโมงหรือมากกว่านั้น)

คุณสมบัติของเครื่องควบคุมการให้สารละลายต้นแบบมีหลักการดังนี้

- มีขนาดเล็กสามารถติดตั้งกับชุดให้สารละลายทางหลอดเลือดดำทั่วๆ ไปที่ใช้ในโรงพยาบาลทุกชนิด
- มีประสิทธิภาพที่เชื่อถือได้ ทำงานผิดพลาดไม่เกิน 2%
- ราคาถูก และประหยัดพลังงาน
- สามารถกำหนดการทำงานให้มีการสื่อสารในรูปแบบไร้สาย และสามารถถอดอุปกรณ์สื่อสารไร้สายออกกรณีไม่จำเป็นต้องใช้ เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย

1.2 โปรแกรมระบบเฝ้าระวัง และติดตามการให้สารละลายโดยการส่งสัญญาแบบไร้สายจำนวน 1 ชุดเพื่อติดตามการทำงานของเครื่องควบคุมการให้สารละลายอย่างน้อย 2 เครื่องในเวลาเดียวกัน

2) เครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล

2.1 แบบสัมภาษณ์ เพื่อศึกษาการทำงานและความต้องการของผู้ใช้ในการใช้เครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

2.2 แบบบันทึกการทดลอง เพื่อใช้บันทึกอัตราการไหลของสารละลายและปริมาตรของสารละลายที่ถูกใช้ไป โดยการใช้เครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ

2.3 แบบสอบถาม เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมและโปรแกรมเฝ้าระวังติดตามการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ ความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องควบคุมและโปรแกรมเฝ้าระวังติดตามการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ

2.3.1 แบบสอบถามสำหรับผู้เชี่ยวชาญ เพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องควบคุม และโปรแกรมเฝ้าระวัง ติดตามการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ

โดยการประเมินผลจากการใช้งานโปรแกรมโดยผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาโปรแกรม และบุคลากรทางการแพทย์ว่าผ่านการประเมินคุณสมบัติการใช้งานหรือไม่ ซึ่งเป็นการทดสอบการทำงานของระบบโดยรวมทั้งหมดว่ามีกระบวนการทำงานถูกต้องตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการหรือไม่ โดยผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้ทดสอบ ซึ่งในการทดสอบนี้จะแบ่งการทดสอบโปรแกรมออกเป็น 4 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

- การประเมินระบบด้าน Functional requirement test (การตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ)
- การประเมินระบบด้าน Functional test (การทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ)
- การประเมินระบบด้าน Usability test (ความง่ายต่อการใช้งานระบบ)
- การประเมินระบบด้าน Security test (การรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ)
- การประเมินระบบด้าน Safety test (ความปลอดภัยในการใช้งานระบบ)

2.3.2 แบบสอบถามสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุมการให้สารละลายและโปรแกรมเฝ้าระวัง ติดตามการทำงานของเครื่องควบคุม โดยแบ่งแบบสอบถามออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

- คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องควบคุมฯ
- ความเหมาะสมของเครื่องควบคุมฯ
- การใช้วัสดุเพื่อผลิตเครื่องควบคุมฯ
- คุณค่าของเครื่องควบคุม

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องควบคุมการให้สารละลาย และโปรแกรมเฝ้าระวัง ติดตามการทำงานของเครื่องควบคุมดังกล่าว โดยการนำเครื่องและโปรแกรมที่ได้พัฒนาไปใช้กับผู้ป่วยที่คุณสมบัติเหมาะสม (ผู้ที่ไม่ต้องการความถูกต้องของการให้สารละลายอย่างยิ่งยวด) ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความปลอดภัยกับผู้ป่วยสำหรับการทดสอบระยะแรก แต่ถ้าหากได้ผลดีหรือมีข้อบกพร่องต่างๆ จะทำแก้ไขต่อไปเพื่อใช้ได้กับผู้ป่วยทุกประเภท

2.3.3 แบบสอบถามความพึงพอใจสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ ผู้ป่วยที่ได้รับสารละลายทางหลอดเลือดดำ และญาติของผู้ป่วยที่ได้รับสารละลายทางหลอดเลือดดำ เพื่อใช้ในการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำโดยแบ่งแบบสอบถามออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

- ด้านการใช้ประโยชน์ได้จริง
- ด้านความปลอดภัย
- ความสวยงาม
- ด้านความคุ้มค่า คุ้มทุน

3.3 การสร้างเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ

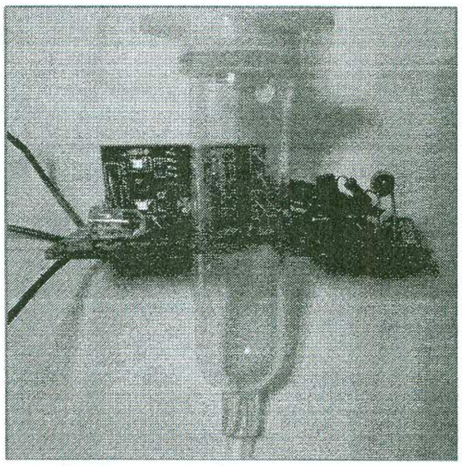
การสร้างเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ และระบบติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย โดยใช้หลักการสะท้อนของแสงในการตรวจจับหยดของสารละลาย โดยมีหลอด LED อินฟาเรดส่งแสง และมีโฟโต้ทรานซิสเตอร์ในการรับแสง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ พร้อมส่งข้อมูลเตือนด้วยเสียงเมื่อมีความผิดปรกติของการไหลของสารละลาย เช่น การไหลช้า หรือเร็วมากเกินกว่าที่กำหนดไว้ เพื่อติดตามหรือเฝ้าระวังการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำจากเครื่องควบคุมการให้สารละลายดังกล่าว ประกอบด้วยรายละเอียดในส่วนต่าง ๆ ดังนี้ การออกแบบและพัฒนาการตรวจจับหยดของสารละลาย การส่งและรับข้อมูลแบบไร้สาย วงจรขับมอเตอร์เพื่อควบคุมการไหลของสารละลาย ส่วนติดต่อผู้ใช้ และระบบติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย

3.3.1 การตรวจจับหยดสารละลาย

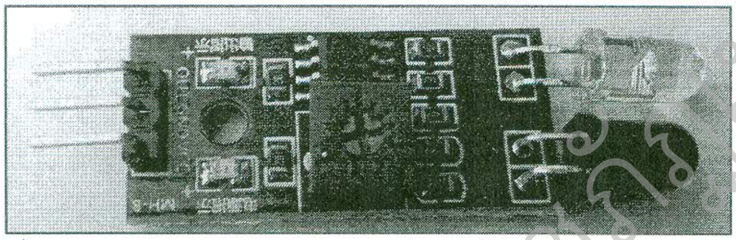
การทำงานในส่วนของการตรวจจับหยดสารละลาย จะนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วัดหยดสารละลายไปจับที่ชุดการให้สารละลาย (IV-set) ในส่วนที่เป็นกระเปาะดังแสดงในภาพที่ 3.1 ลักษณะอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับวัตถุ Reflective Photoelectric โดยมีหลอด LED อินฟาเรดส่องแสง และมีโฟโต้ทรานซิสเตอร์ในการรับแสง (ภาพที่ 3.2) โดยใช้หลักการสะท้อนของแสงเมื่อไปชนวัตถุ (Reflective)

เมื่อสารละลายหยดผ่านระหว่างหลอดส่งสัญญาณอินฟราเรดและโฟโต้ทรานซิสเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3.3 ทำให้แสงอินฟราเรดมีการเปลี่ยนแปลงทำให้ลอจิกเปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 และเกิดการเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่สารละลายน้ำหยดผ่านอินฟราเรดเซนเซอร์ ทำให้เกิดเป็นสัญญาณพัลซ์ (Pulse) โดยนำสัญญาณที่ได้ไปประมวลผลที่ไมโครคอนโทรลเลอร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี



ภาพที่3.1 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตรวจจับหยดสารละลาย



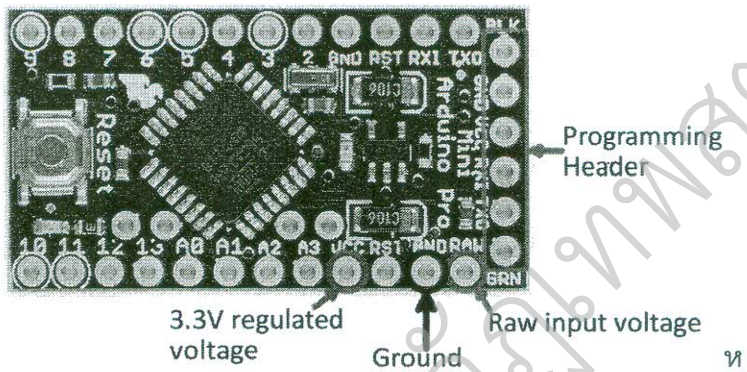
ภาพที่3.2 Reflective Photoelectric เซ็นเซอร์ใช้ตรวจจับวัตถุโดยใช้หลักการสะท้อนของแสง

ภาพที่3.3 ชุดตรวจจับหยดสารละลาย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

3.3.2 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

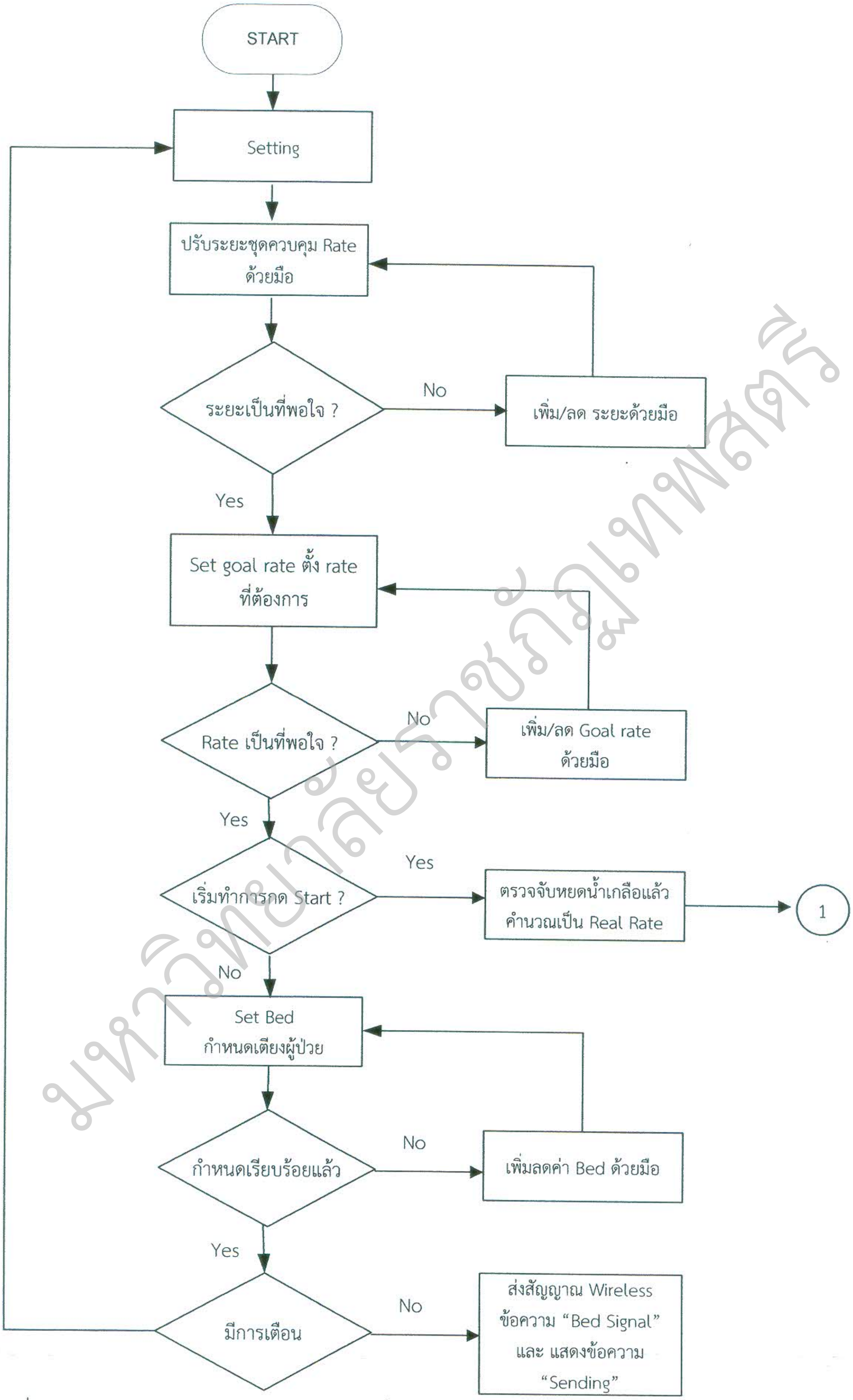
ไมโครคอนโทรเลอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ Arduino Pro Mini Atmega328 ดังแสดงในภาพที่ 3.4 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้ ทำงานด้วยความถี่ 8 MHz พร้อม resonator (0.5% tolerance) ใช้ไฟ 3.3 โวลต์ กระแสเอาต์พุตสูงสุด 150mA ประกอบด้วยขาอะนาล็อก 8 ขา ขาดิจิตอล I/O 14 ขา Flash Memory ขนาด 32 KB SRAM 2 KB และ EEPROM 1 KB



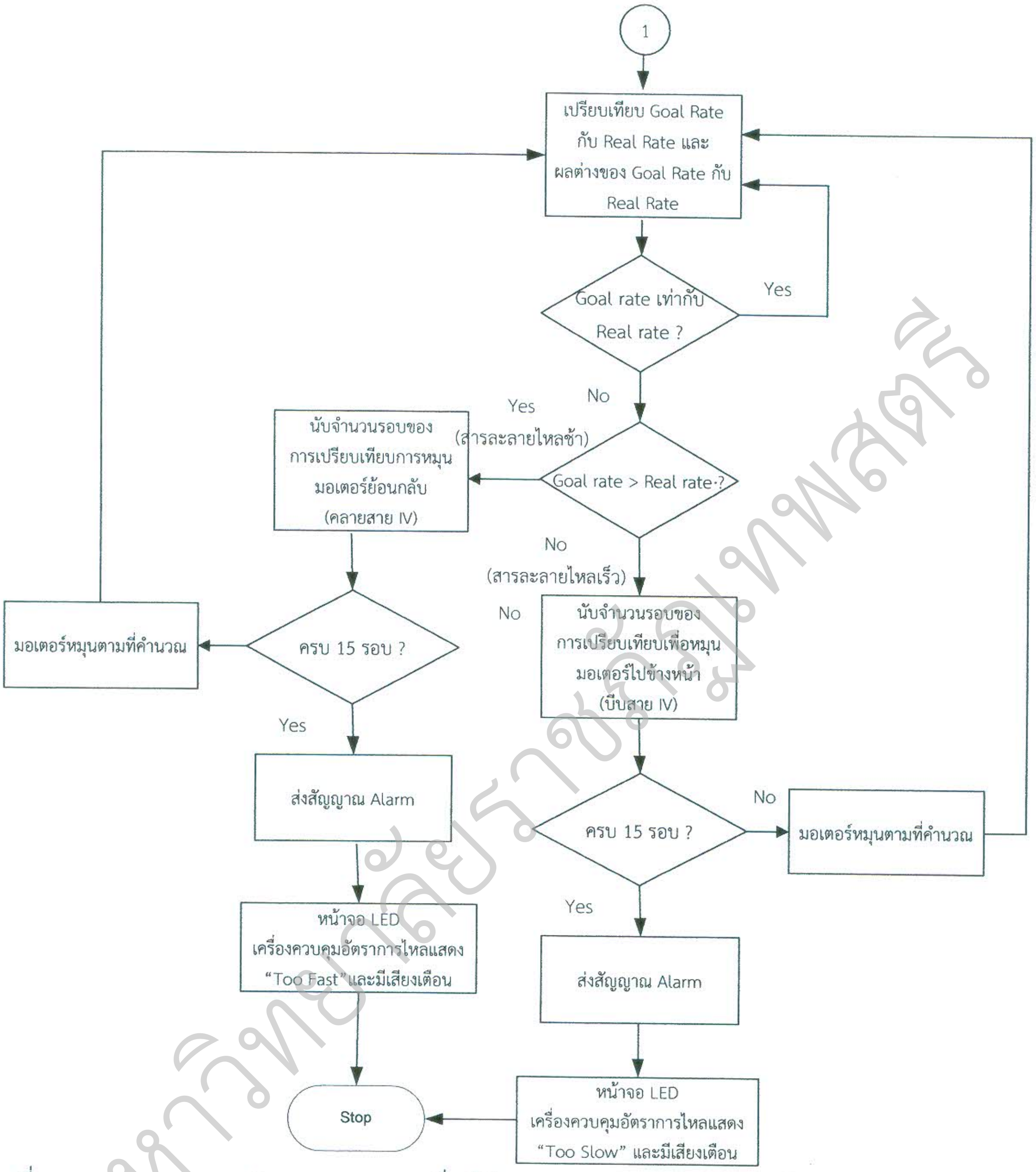
ภาพที่3.4 ไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Pro Mini Atmega328

แผนภาพของการทำงานของระบบเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำและระบบติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย ดังแสดงในภาพที่ 3.5 และ ภาพที่ 3.6

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี



ภาพที่3.5 แผนภาพของการทำงานของระบบเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำในส่วนของการกำหนดค่า



ภาพที่3.6 แผนภาพของการทำงานของระบบเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำในส่วนของเตือนการไหลของสารละลาย

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ (Arduino Pro Mini 328) ได้รับสัญญาณพัลซ์ จากชุดตรวจจับหยดสารละลาย จะทำการนับเวลาในการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณพัลซ์ในแต่ละรูปคลื่นมาเทียบกับสัญญาณนาฬิกา เพื่อหาช่วงเวลาที่สัญญาณพัลซ์เกิดซ้ำ (Pulse Repetition Time) แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่าอัตราการหยดของน้ำเกลือ (หยดต่อนาที) ดังสมการที่ (3.1) คือ

อัตราการหยดของน้ำเกลือ (หยดต่อนาที) = 60 / ช่วงเวลาที่สัญญาณพัลซ์เกิดซ้ำ (วินาที)......สมการ 3.1

โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำค่าอัตราการหยดของน้ำเกลือที่คำนวณได้จากสมการที่ 3.1 มาคำนวณค่าอัตราการไหล (มิลลิลิตรต่อนาที) ดังสมการที่ 3.2

อัตราการไหล (มล.ต่อนาที) = จำนวนหยดต่อนาที(หยดต่อนาที) / ขนาดของสายน้ำเกลือ (หยดต่อมล.) .....สมการ 3.2

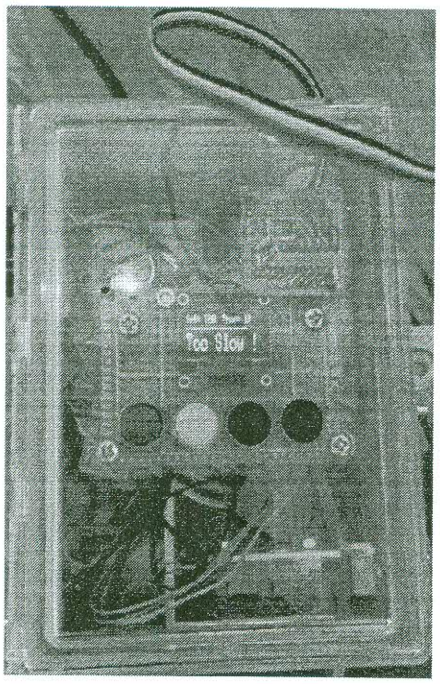
สำหรับการคำนวณค่าปริมาตรที่เหลือของสารละลาย (มิลลิลิตร) โดยนำค่าปริมาตรของสารละลายที่ต้องการให้ผู้ป่วยมาลบกับปริมาตรของสารละลายที่ผู้ป่วยได้รับ โดยในการคำนวณปริมาตรของสารละลาย จำนวน 1 หยด (มิลลิลิตร) ดังสมการที่ 3.3

ปริมาตรของน้ำเกลือจำนวน 1 หยด = 1 / ขนาดของสายน้ำเกลือ (หยดต่อมิลลิลิตร) .....สมการ 3.3

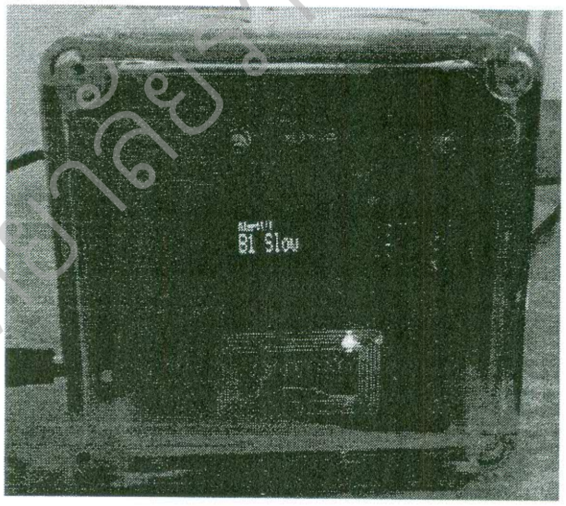
ในกรณีที่ไม่มีสัญญาณพัลซ์ ทั้งในส่วนของพัลซ์ HIGH (ช่วงเวลาที่หยดน้ำผ่านโดยโฟโต้ทรานซิสเตอร์ไม่ได้รับแสง) และ พัลซ์ LOW (ช่วงเวลาที่ไม่มีหยดน้ำผ่านโดยโฟโต้ทรานซิสเตอร์) นานมากกว่าเวลาที่ได้กำหนดไว้ โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดไว้ที่ 17 วินาที ระบบจะแจ้งเตือนด้วยเสียง และข้อความ “Empty” ที่เครื่องส่งและ บนจอ LCD ที่เคาน์เตอร์พยาบาล ซึ่งหมายถึง สารละลายไม่มีการไหล หรือ ตัวตรวจระดับการหยด (drip detector) ทำงานไม่ได้

ในกรณีที่สารละลายมีการไหลช้ามากจากการที่อัตราการไหลจริงของสารละลายน้อยกว่าเป้าหมายที่กำหนด หลังจากที่โปรแกรมได้พยายามทำการปรับค่าการไหลโดยสเต็ปมอเตอร์ ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ขับเครื่องด้วยพัลส์ เพื่อคลายสายน้ำเกลือที่ได้ถูกบีบไว้ จำนวนมากกว่า 15 ครั้งแล้วยังไม่ได้ค่าของอัตราการไหลจริงเท่ากับค่าอัตราการไหลของเป้าหมาย จะมีการแจ้งเตือนด้วยเสียง และข้อความ “Too slow” ที่เครื่องส่งดังภาพที่ 3.7 และแสดงข้อความดังกล่าวที่เครื่องรับบนจอ LCD ที่เคาน์เตอร์พยาบาล และเตียงของผู้ป่วยที่มีปัญหาดังกล่าว ดังแสดงในภาพที่ 3.8

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี



ภาพที่3.7 จอแสดงผลการเตือนในกรณีอัตราการไหลของสารละลายช้ากว่าที่กำหนดที่เครื่องควบคุมการให้สารละลาย



ภาพที่3.8 จอแสดงผลการเตือนในกรณีอัตราการไหลของสารละลายช้ากว่าที่กำหนดที่เครื่องติดตามการทำงานระยะไกลแบบไร้สาย

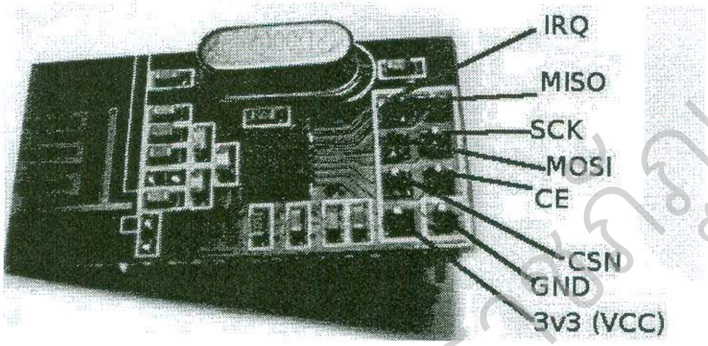
ในกรณีที่สารละลายมีการไหลเร็วมากจากการที่อัตราการไหลจริงของสารละลายมากกว่าเป้าหมายที่กำหนด หลังจากที่โปรแกรมได้พยายามทำการปรับค่าการไหลโดยสเต็ปมอเตอร์ ซึ่งเป็นมอเตอร์ที่ขับเครื่องด้วยพัลส์ เพื่อบีบสายน้ำเกลือ จำนวนมากกว่า 10 ครั้งแล้วยังไม่ได้ค่าของอัตราการไหลจริง

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เท่ากับหรือใกล้เคียงค่าอัตราการไหลของเป้าหมาย จะมีการแจ้งเตือนด้วยเสียง และข้อความ “Too fast” บนจอ LCD ที่เคาน์เตอร์พยาบาล

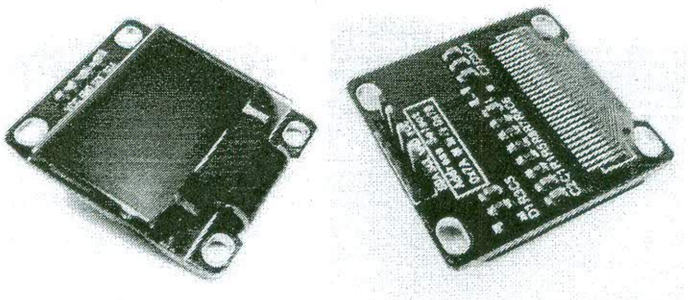
3.3.3 การรับและส่งข้อมูลแบบไร้สาย

ชุดส่งข้อมูล (เครื่องควบคุมการไหลของสารละลาย) เป็นไมโครคอนโทรเลอร์ Arduino Pro Mini Atmega328 ดังแสดงในภาพที่ 3.4 สำหรับชุดรับข้อมูล (เครื่องติดตามการทำงานระยะไกลแบบไร้สาย) ใช้โมดูล NRF24L01ดังที่แสดงในภาพที่ 3.9 เป็นโมดูลสื่อสารแบบไร้สายมีขนาดเล็กสะดวกในการต่อใช้งาน มีความเร็ว 2.4G ดังนั้นจึงสื่อสารได้รวดเร็วและไม่ต้องการเสาอากาศที่ยาว สามารถรับส่งข้อมูลได้ในระยะ 15-500 เมตร โมดูลนี้ใช้ชิฟ nRF24L01+ m ทำงานด้วยความเร็วสูง High-speed SPI interface ใช้พลังงานต่ำ รองรับการทำงานร่วมกับ Arduino และมีเสาอากาศมาให้ในตัว ดังแสดงในภาพที่ 3.9



ภาพที่3.9 โมดูลสื่อสารไร้สาย NRF24L01

ข้อมูลที่ส่งจะแสดงผลทั้งหมดบนหน้าจอแอลซีดี ดังแสดงในภาพที่ 3.10 โดยเป็นจอแสดงผลแบบ OLED LCD ขนาด128x64 ความหนา 0.96" เชื่อมต่อแบบ IIC สีขาว ใช้ไฟได้ทั้ง 3.3V หรือ 5V ให้จอสว่างแสดงผลมองเห็นได้อย่างชัดเจน และประหยัดไฟ สามารถวาดภาพกราฟฟิกส์เป็นรูปต่าง ๆ หรือทำเป็นเมนูตามแบบที่ต้องการได้

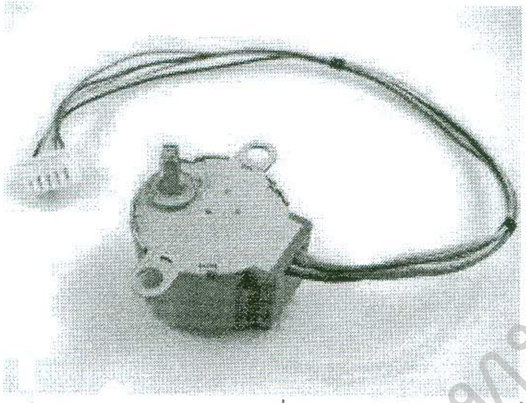


ภาพที่3.10 จอแสดงผลแบบ OLED LCD

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

3.3.4 การออกแบบและพัฒนาวงจรขับมอเตอร์เพื่อควบคุมการไหลของสารละลาย

ในการออกแบบวงจรขับมอเตอร์ เพื่อควบคุมการไหลของสารละลายผู้วิจัยได้ใช้ Stepper motor หรือ Stepping motor การควบคุมตำแหน่งของการหมุนได้อย่างแม่นยำ โดยไม่ต้องใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control) มอเตอร์ที่เลือกใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้ไฟฟ้า 12 โวลต์ มีความเร็วรอบอยู่ที่ 5 รอบต่อนาที และกินกระแสประมาณ 50 mA ขณะที่ไม่มี Load ดังรูปที่ 3.11



ภาพที่3.11 สเต็ปมอเตอร์ (Stepping motor) ที่ใช้ในในการพัฒนาเครื่องควบคุมฯ

3.3.5 การออกแบบและพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้

การรับค่าจากผู้ใช้นั้นสามารถอธิบายได้ดัง Flow chart ในภาพที่ 3.5 คือ เมื่อผู้ใช้เริ่มเปิดเครื่องควบคุมฯ จะมีข้อความแสดง "IV Control" ประมาณ 0.03 วินาที หลังจากนั้น จะมีข้อความแสดงให้ผู้ใช้ปรับค่าระยะควบคุมอัตราการไหลของสารละลายด้วยมือ จนได้ระยะที่ต้องการโดยดูจากอัตราการหยดของสารละลายในกระเปาะ IV set จากนั้นผู้ใช้สามารถเลือกโหมดการทำงานเพื่อที่จะทำการกำหนดอัตราการไหลของสารละลายให้กับเครื่องควบคุม เมื่อผู้ใช้กำหนดอัตราการไหลของสารละลายตามที่ต้องการแล้ว โดยค่าที่สามารถกำหนดได้จะอยู่ในช่วง 20-999 มล./ชม. ถ้าผู้ใช้กำหนดค่าน้อยกว่า 20 จะปรับเป็นค่า 20 โดยอัติโนมัติ ถ้าผู้ใช้ป้อนค่ามากกว่า 999 จะปรับเป็นค่า 999 โดยอัติโนมัติ หลังจากนั้นผู้ใช้สามารถกำหนดเตียงผู้ป่วยสำหรับการกำหนด rate ของสารละลายนี้ให้กับผู้ป่วย เมื่อกำหนดเรียบร้อยแล้ว จะมีการส่งสัญญาณไปยังเครื่องรับที่เคาน์เตอร์พยาบาล โดยที่เครื่องรับจะปรากฏข้อความ Bed Signal ส่วนเครื่องส่งในขณะส่งสัญญาณ Wireless จะปรากฏข้อความ Signal

3.4 การออกแบบและพัฒนาระบบเฝ้าระวังและติดตามการให้สารละลายจากเครื่องควบคุมฯ

สำหรับการติดตามการส่งสัญญาณแบบไร้สายจากเครื่องควบคุมอัตราการไหลของสารละลายจากเตียงคนไข้ (ภาคส่งข้อมูล) ไปยังเครื่องติดตามการทำงานระยะไกลแบบไร้สาย (ภาครับข้อมูล) ที่เคาเตอร์พยาบาล โดยการทำงานของเครื่องติดตามการทำงานระยะไกลแบบไร้สาย จะทำการค้นหาความถี่ของควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย ตามหมายเลขเตียงของผู้ป่วยที่ได้กำหนดให้กับเครื่องควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย โดยสามารถกำหนดจำนวนเตียงที่ใช้กับเครื่องควบคุมฯ ได้ไม่จำกัดตามที่ผู้ใช้ต้องการ โดยระยะเวลาในการค้นหาระหว่างหมายเลขของเครื่องติดตามฯ ถูกตั้งไว้ที่ 0.05 วินาที ถ้ามีการตอบรับ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

และมีข้อมูลจากเครื่องควบคุมฯ เครื่องติดตามฯ จะทำการรับข้อมูลและแสดงผลผ่านหน้าจอที่เครื่องติดตาม ฯ ในกรณที่เครื่องควบคุมฯ มีปัญหาต่าง ๆ เช่น สารละลายหมด, สารละลายใน IV set ไหลช้าลง, สารละลายใน IV set ไหลเร็วเกินไป โดยบนหน้าจอเครื่องติดตามฯ จะแสดง หมายเลขเครื่องที่ส่ง (หมายเลขเตียง) และข้อความ error ที่กำหนด ที่แตกต่างกันออกไป โดยมีเงื่อนไขการยอมรับ error ของจำนวนครั้งของการอัตราการไหลของสารละลายที่ต่างกัน

- ในกรณีที่เป้าหมายของอัตราการไหลของสารละลายน้อยกว่า 40 มล.ต่อ ชม. จะพิจารณาที่ค่าความแตกต่างระหว่างอัตราการไหลของสารละลายที่ไหลจริงกับอัตราการไหลตามที่ได้กำหนด มากกว่า 5 มล.ต่อ ชม.
- ในกรณีที่เป้าหมายของอัตราการไหลของสารละลายมากกว่า 40 มล.ต่อ ชม. จะพิจารณาที่ค่าความแตกต่างระหว่างอัตราการไหลของสารละลายที่ไหลจริงกับอัตราการไหลตามที่ได้กำหนด มากกว่า 10%ของ.

สำหรับเงื่อนไขที่ให้ปรากฏข้อความการเกิด error มีดังนี้

- "Empty" ในกรณีที่ อัตราการไหลของสารละลายน้อยกว่า 10 มล.ต่อ ชม. จำนวน 10 ครั้งติดกัน
- "Too Slow" " ในกรณีที่ อัตราการไหลของสารละลายน้อยกว่าเป้าหมายที่กำหนด เกินกว่า Error ที่ยอมรับได้มากกว่า 20 ครั้งติดกัน
- "Too Fast" ในกรณีที่ อัตราการไหลของสารละลายมากกว่าเป้าหมายที่กำหนด เกินกว่า Error ที่ยอมรับได้มากกว่า 25 ครั้งติดกัน

3.5 ดำเนินการทดลองใช้งานเครื่องควบคุม และโปรแกรมระบบเฝ้าระวัง ติดตามการให้สารละลาย

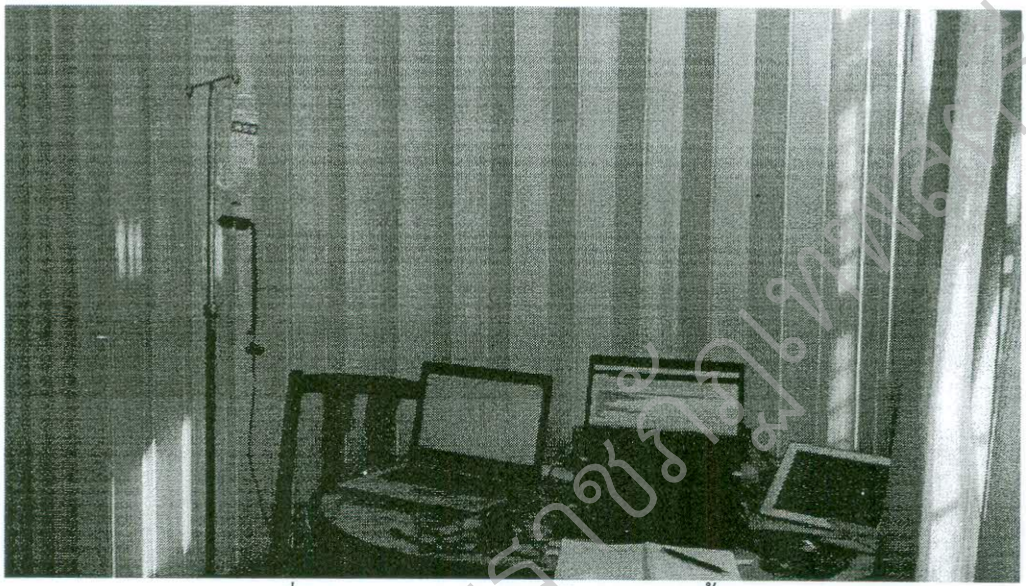
การทดสอบการทำงานโดยรวมทั้งระบบ ดังแสดงในภาพที่ 3.12 โดยนำเอาส่วนโปรแกรมการใช้งาน การนับหยดน้ำเกลือ ส่วนของการควบคุมการหมุนของมอเตอร์เพื่อให้ได้อัตราการไหลของสารละลายตามที่ต้องการ และส่วนที่เป็นเครื่องติดตามการทำงานระยะไกลแบบไร้สาย โดยเริ่มจากการติดตั้งสาย IV set เข้าในเครื่องควบคุมฯ และปรับความเร็วของมอเตอร์จากการกดที่ปุ่มบนเครื่องควบคุม จากนั้นติดตั้ง sensor เพื่อตรวจจับการหยดของสารละลายที่เปราะ IV set จากนั้นกำหนดเตียงที่ใช้เครื่องควบคุมดังกล่าว และกำหนดอัตราการไหลของสารละลายที่ต้องการ เปิดตัวจับหมุน (roller clamp) ที่ IV set

ซึ่งในการทดสอบ จะทดสอบจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 30 นาที – 1 ชั่วโมง โดยคณะผู้วิจัยได้กำหนดอัตราการไหลของสารละลายที่ต่างกัน คือ ที่อัตราการไหล 20, 40, 60, 90, 80, 100, 120, 140 และ 160 มล.ต่อ ชม. โดยใช้ IV set ที่ ดังแสดงในภาพที่ 3.13 ในขณะทดสอบได้ ทำการบันทึกค่าพัลซ์ที่อ่านได้จากเซนเซอร์ตรวจจับการหยดของสารละลาย และอัตราการไหลผ่าน Serial Mornitor ดังที่แสดงใน

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

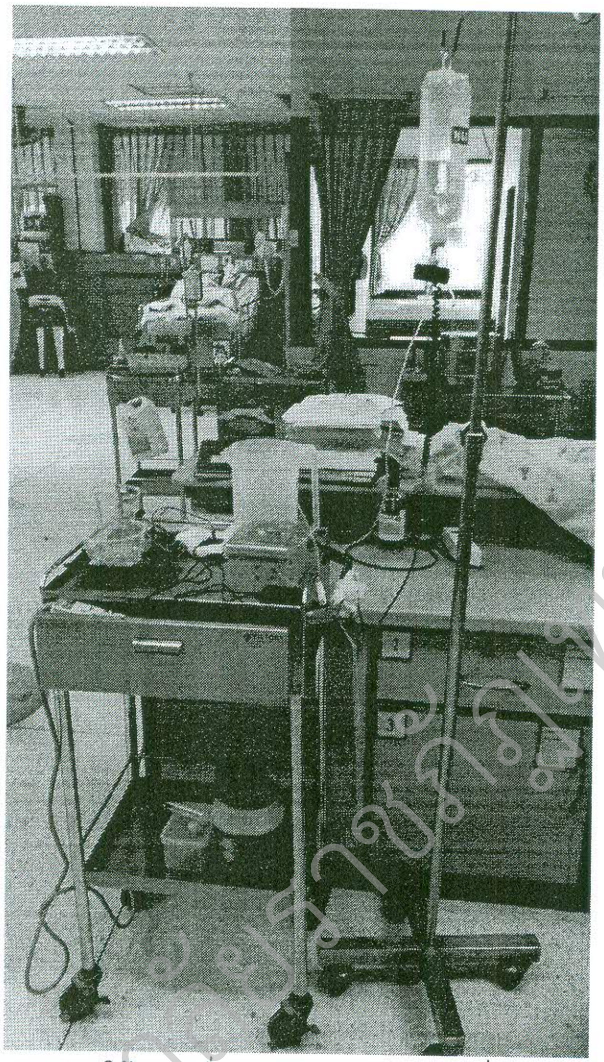
ภาคผนวก สำหรับการหาค่าปริมาตรของสารละลายที่ให้กับผู้ป่วย ในการทดลองนี้วัดจากการชั่งน้ำหนักสารละลาย และการอ่านค่าที่ได้จากบีกเกอร์เพื่อยืนยันความถูกต้องของค่าปริมาตรที่ได้จากทั้ง 2 วิธีข้างต้น ดังแสดงในภาพที่ 3.14

สำหรับการทดลองครั้งที่ 4 และ 5 ทำการทดลองโดยคณะบุคคลากรทางการแพทย์ ที่หอผู้ป่วยหอผู้ป่วยฉุกเฉิน (ICU) รพ.โคกสำโรง จ.ลพบุรี โดยในการทดลองในแต่ละอัตราการไหลจะอยู่ในช่วงระยะเวลา 1 ชั่วโมง ถึง 4 ชั่วโมง ดังแสงในภาพที่ 3.14



ภาพที่3.12 ทดสอบการทำงานโดยรวมของทั้งระบบ

ภาพที่3.13 Infusion set ที่ใช้ในการทดลอง 20 หยดต่ มล.



ภาพที่3.14 การทดลองใช้งานเครื่องควบคุมสารละลายฯ ที่หอผู้ป่วยฉุกเฉิน (ICU)

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ดังได้กล่าวแล้วในบทที่ 1 การวิจัยในครั้งนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ เพื่อสร้างโปรแกรมระบบเฝ้าระวังและติดตามการให้สารละลายจากเครื่องที่พัฒนาขึ้นโดยการส่งข้อมูลแบบไร้สาย เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุมและโปรแกรมการติดตามการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ และเพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ โดยในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากนวตกรรมที่ได้พัฒนาขึ้นโดยเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลประกอบไปด้วยแบบสัมภาษณ์ และแบบสอบถาม ดังรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการทดสอบระบบโดยรวม

ผลการทดสอบระบบโดยรวมจากการทดลองโดยคณะผู้วิจัยสำหรับการทดลองครั้งที่ 1- 3 และจากการทดลองโดยบุคลากรทางการแพทย์ ในแผนกผู้ป่วย ICU รพ. โคกสำโรง สำหรับการทดลองครั้งที่ 4-5 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 3.1 ผลการทดลองที่ได้จากการเปรียบเทียบปริมาตรของสารละลาย ระหว่างค่เฉลี่ยของปริมาตรของสารละลายที่อ่านได้จากบีกเกอร์การทดลอง และค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้จากการกำหนดอัตราการ

ปริมาตรของสารละลายที่ได้จากการคำนวณอัตราการไหลของสารละลายที่ได้กำหนดขึ้น (มล.)	ค่าปริมาตรเฉลี่ยของน้ำเกลือที่อ่านได้จากบีกเกอร์จากการทดลอง (มล.)					ค่าปริมาตรเฉลี่ยของน้ำเกลือที่อ่านได้จากบีกเกอร์จากการทดลอง (มล.)	ค่าความผิดพลาดในการวัดค่าปริมาตรของเครื่องควบคุมฯ (เปอร์เซ็นต์)
	1	2	3	4*	5*		
20	22.12	24	22	22	20	22.02	10.12
40	40	34	34	42	44.58	38.92	2.71
60	56	62.22	58	60	56	58.44	2.59
90	84	76	81	80	80	80.20	0.25
80	80	82	82	92	97.34	86.67	3.70
100	103.2	96	94	104	100	99.44	0.56
120	106	106.67	119	125	130	117.33	2.22
140	126.6	138	130	150	159	140.72	0.51
160	145.5	158	151.2	162.86	166	156.71	2.06

* ทำการทดลองโดย บุคลากรทางการแพทย์ ในแผนกผู้ป่วย ICU รพ. โคกสำโรง

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของสารละลายระหว่างอัตราการไหลที่ผู้ใช้ได้กำหนดให้กับเครื่องควบคุมฯ และค่าเฉลี่ยอัตราการไหลที่อ่านได้จากเครื่องควบคุมการให้สารละลายที่พัฒนาขึ้น

ตารางที่ 3.2 ผลการทดลองที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของสารละลาย ระหว่างอัตราการไหลของเครื่องควบคุมการให้สารละลายที่ผู้ใช้ได้กำหนดขึ้น และค่าเฉลี่ยอัตราการไหลที่อ่านได้จากเครื่องควบคุมการให้สารละลายที่พัฒนาขึ้น

อัตราการไหลของเครื่องควบคุมการให้สารละลายที่กำหนดขึ้น (มล. ต่อ ชม.)	ค่าเฉลี่ยอัตราการไหลที่อ่านได้จากเครื่องควบคุมการให้สารละลายที่พัฒนาขึ้น (มล. ต่อ ชม.)			ค่าเฉลี่ยอัตราการไหลที่อ่านได้จากเครื่องควบคุมการให้สารละลายที่พัฒนาขึ้น (มล. ต่อ ชม.)	ค่าความผิดพลาดในการวัดอัตราการไหลของเครื่องควบคุมฯ (เปอร์เซ็นต์)
	1	2	3		
20	19.18	20.09	20.1	19.79	1.05
40	40.17	40.51	40.18	40.29	0.72
60	59.35	58.46	60.52	59.44	0.93
80	79.91	80.07	79.98	79.99	0.02
90	90.16	91.1	90.97	90.74	0.83
100	99.51	99.96	100.25	99.91	0.09
120	118.47	120.89	120.6	119.99	0.01
140	140.22	141	141.02	140.75	0.53
160	160.33	161.28	160.37	160.66	0.41

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุม ฯ

4.2.1 ผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุม ฯ โดยผู้เชี่ยวชาญ

แบบสอบถามนี้ใช้เพื่อทดสอบคุณภาพ และความเป็นไปได้ในการใช้งาน โดยผู้เชี่ยวชาญด้านต่างๆ จำนวน 5 ท่าน ประกอบด้วย นักเขียนโปรแกรม หรือนักวิชาการด้านคอมพิวเตอร์ แพทย์ และบุคลากรสาธารณสุข การประเมินทำได้โดยให้กลุ่มผู้เชี่ยวชาญเหล่านี้ได้ทดลองใช้งานเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำและระบบติดตามการส่งสัญญาณแบบไร้สาย จากนั้นตอบแบบประเมินเป็นผลลัพธ์ว่ามีคุณสมบัติที่เหมาะสมหรือไม่ และควรปรับปรุงอะไรบ้าง หลังจากนั้นจึงพิจาณาปรับปรุงเครื่องที่พัฒนาขึ้นและโปรแกรมให้มีความเหมาะสม ก่อนนำไปใช้กับผู้เข้าร่วมวิจัยต่อไป โดยใช้แบบประเมินเพื่อทดสอบคุณภาพของระบบโปรแกรมในรูปแบบ Black-Box Testing ซึ่งเป็นการทดสอบการทำงานของระบบโดยรวม ใน 5 ด้าน คือ 1) การตรงต่อความต้องการใช้ระบบ 2) การทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ 3) ความง่ายต่อการใช้งานระบบ 4) การรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ และ 5) ความปลอดภัยในการนำระบบไปใช้งาน

การแปรผลค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้ดังนี้

- 4.50-5.00 โปรแกรมที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับดีมาก
- 3.50-4.49 โปรแกรมที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับดี
- 2.50-3.49 โปรแกรมที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับพอใช้
- 1.50-2.49 โปรแกรมที่พัฒนาต้องปรับปรุงแก้ไข
- 1.00-1.49 โปรแกรมที่พัฒนาไม่สามารถนำไปใช้งานได้

จากผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุมและโปรแกรมการติดตามการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำโดยผู้เชี่ยวชาญแบ่งการประเมินออกเป็น 5 ด้าน สามารถสรุปผลการประเมินได้ดังนี้

1. การประเมินระบบด้าน Functional Requirement Test (การตรงตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ) เป็นการประเมินความเหมาะสมในหน้าที่การทำงาน พบว่าค่าเฉลี่ยจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญมีค่าเท่ากับ 3.50 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 1.18 ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นมีระดับประสิทธิภาพในด้าน Functional Requirement Test ในระดับดี

2. การประเมินระบบด้าน Functional Test (การทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ) เป็นการประเมินความเหมาะสมในหน้าที่การทำงาน พบว่าค่าเฉลี่ยจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญมีค่าเท่ากับ 4.33 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.61 ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นมีระดับประสิทธิภาพในด้าน Functional Test ในระดับดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

3. การประเมินระบบด้าน Usability Test (ความง่ายต่อการใช้งานระบบ) เป็นการประเมินด้านความสะดวกในการใช้งานระบบ พบว่าค่าเฉลี่ยจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญมีค่าเท่ากับ 4.06 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.42 ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นมีระดับประสิทธิภาพในด้าน Usability Test ในระดับดี

4. การประเมินระบบด้าน Security Test (ความปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูลในระบบ) เป็นการประเมินด้านความปลอดภัยในการใช้งานของระบบ พบว่าค่าเฉลี่ยจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญมีค่าเท่ากับ 2.00 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0 ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นมีระดับประสิทธิภาพในด้าน Security Test ในระดับที่ต้องปรับปรุงแก้ไข

5. การประเมินระบบด้าน Safety test (ความปลอดภัยของการใช้งานระบบ) เป็นการประเมินด้านความปลอดภัยของผู้ป่วยเมื่อสิ่งที่พัฒนาขึ้นถูกนำไปใช้งาน พบว่าค่าเฉลี่ยจากกลุ่มผู้เชี่ยวชาญมีค่าเท่ากับ 3.00 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.82 ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นมีระดับประสิทธิภาพในด้าน Security Test ในระดับพอใช้

จากผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุมและโปรแกรมการติดตามการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำโดยผู้เชี่ยวชาญดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 3.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพทั้ง 4 ด้าน โดยผู้เชี่ยวชาญ

หัวข้อประเมิน	$\bar{x}$±SD (n=5)	**ประสิทธิภาพของโปรแกรม**
1. ตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ	3.50±.1.18	ดี
2. ฟังก์ชันงานของระบบ	4.33±.61	ดี
3. ความง่ายต่อการใช้งานระบบ	4.06±.42	ดี
4. ความปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูลในระบบ	2.00±.0	ต้องปรับปรุงแก้ไข
4. ความปลอดภัยในการนำระบบไปใช้งาน	3.00±.82	พอใช้
สรุป	3.60±1.2	ดี

จากตารางที่ 4.3 ตามความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญในระบบที่ได้พัฒนาขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ผลปรากฏว่าประสิทธิภาพของระบบมีค่าเฉลี่ยรวมของทุกด้าน คือ 3.60 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ 1.2 ในภาพรวมนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในเกณฑ์ดี

ข้อเสนอแนะอื่น ๆ จากผู้เชี่ยวชาญมีรายละเอียดดังนี้

1. ในการนำไปใช้งานจริงกลุ่มผู้ป่วยที่เหมาะสมจะใช้เครื่องที่พัฒนาขึ้น คือ วอร์ดผู้ป่วยในทั่วไปที่ผู้ป่วยมีอาการเจ็บป่วยอยู่ในเกณฑ์ไม่รุนแรง ที่ไม่ต้องการการควบคุมระดับสารละลายอย่างเคร่งครัด ซึ่งสารละลายที่เหมาะสมกับเครื่องที่พัฒนาขึ้น และระดับสารละลายที่แพทย์มักสั่งให้กับผู้ป่วยอยู่เสมอจะอยู่

ในช่วงอัตรา 40 – 120 มล. ต่อ ชม. และ ในการสั่งอัตราการให้สารละลายกับผู้ป่วยจะเป็นเลขคู่ที่หารด้วย 10 ลงตัวเสมอ คือ เป็นอัตราการไหลของน้ำเกลือที่ 40, 60, 80, 100, 120 มล.ต่อ ชม.

2. ในการทดสอบก่อนที่จะนำไปใช้งานจริง ควรนำไปทดสอบกับผู้ป่วยในหอผู้ป่วยฉุกเฉิน (ICU) ในกรณีที่ผู้ป่วยอยู่ในขั้นวิกฤตไม่รุนแรง เพราะเนื่องจากในกลุ่มผู้ป่วยกลุ่มนี้ จะมีพยาบาลคอยดูแลอย่างแก้ชิด ในกรณีที่เครื่องที่พัฒนาขึ้นมีปัญหาพยาบาลจะสามารถแก้ไขได้อย่างทันท่วงที

3. ปัญหาที่พบจากการทดสอบเครื่องให้สายละลายฯ ที่พัฒนาขึ้นนี้ โดยส่วนใหญ่เกิดจากการทำงานของ ตัวตรวจจับหยดสายละลายในกระเปาะ IV set ซึ่งในบางครั้งไม่สามารถตรวจจับการหยดสารละลายได้ ถ้ามีหยดน้ำจับที่กระเปาะ มีฝ้าเกิดขึ้น มีทิศทางการวางกระเปาะที่เอียง อาจทำให้การตรวจจับหยดสารละลายไม่ถูกต้องได้

4. ในสภาวะการใช้งานจริง ชุดของ IV set มีหลายขนาด และยี่ห้อ ในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งควรที่จะสามารถให้เลือดขนาดของ IV set ได้

5. ภายในกล่องอุปกรณ์ควรจะแยกในส่วนของของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และในส่วนที่ต้องใส่สาย IV set ออกจากกันให้ชัดเจน ซึ่งผู้ใช้ไม่ควรที่จะเห็นหรือสัมผัสวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้

6. ควรปรับปรุงปุ่มกดให้ใช้งานได้สะดวกมากยิ่งขึ้นในการกำหนดตัวเลขที่เป็นอัตราการไหลของสารละลาย

4.2.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุม ฯ โดยบุคลากรทางการแพทย์

ในการทดสอบคุณภาพ และความเป็นไปได้ในการใช้งาน โดยบุคลากรทางการแพทย์ จำนวน 10 ท่าน ประกอบด้วย พยาบาลวิชาชีพ จำนวน 9 ท่าน และแพทย์จำนวน 1 ท่าน การประเมินทำได้โดยให้กลุ่มบุคลากรทางการแพทย์เหล่านี้ได้ทดลองใช้งานเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำและระบบติดตามการส่งสัญญาณแบบไร้สาย จากนั้นตอบแบบประเมินเป็นผลลัพธ์ว่ามีคุณสมบัติที่เหมาะสมหรือไม่ และควรปรับปรุงอะไรบ้าง โดยใช้แบบประเมินประสิทธิภาพต่อเครื่องให้สารละลายฯ ที่พัฒนาขึ้น เป็นการทดสอบการการประเมิน ใน 4 ด้าน คือ 1) คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ 2) ความเหมาะสมของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ ในด้านการออกแบบ 3) การใช้วัสดุเพื่อผลิตเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ และ 4) คุณค่าของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ

การแปรผลค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้ดังนี้

- 4.50-5.00 นวตกรรมที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับดีมาก
- 3.50-4.49 นวตกรรมที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับดี
- 2.50-3.49 นวตกรรมที่พัฒนามีประสิทธิภาพในระดับพอใช้
- 1.50-2.49 นวตกรรมที่พัฒนาต้องปรับปรุงแก้ไข
- 1.00-1.49 นวตกรรมที่พัฒนาไม่สามารถนำไปใช้งานได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

จากผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุมและโปรแกรมการติดตามการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำโดยผู้เชี่ยวชาญแบ่งการประเมินออกเป็น 4 ด้าน สามารถสรุปผลการประเมินได้ดังนี้

1. การประเมินระบบด้านคุณสมบัติทั่วไปของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ เป็นการประเมินว่าสิ่งที่พัฒนาขึ้นใหม่นี้มีรูปแบบวิธีการทำงานดีกว่าเดิมหรือไม่ สามารถพัฒนาต่อยอดได้หรือไม่ และสามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ได้อย่างถูกต้องอย่างไร พบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่าเท่ากับ 3.81 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.54 ดังนั้นนวตกรรมที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติทั่วไปในระดับดี

2. การประเมินระบบความเหมาะสมของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ ในด้านการออกแบบเป็นการประเมินความเหมาะสมในการออกแบบว่าได้ดึงดูดความสนใจหรือไม่ มีขนาด และน้ำหนักที่เหมาะสมในการใช้งาน เทคนิคในการออกแบบระบบการ ทำงานมีความเหมาะสม ความชาญฉลาดในการประดิษฐ์คิดค้น ในการใช้ความรู้หรือเทคโนโลยีได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์ ความปลอดภัยในการใช้ และความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานพบว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.71 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.42 ดังนั้นนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นมีระดับประสิทธิภาพในด้านความเหมาะสมในระดับดี

3. การประเมินระบบด้านการใช้วัสดุเพื่อผลิตเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ เป็นการประเมินด้านการเลือกใช้วัสดุที่มีคุณค่าเหมาะสมกับสภาพและประโยชน์ในการใช้งาน คุณภาพของวัสดุที่ใช้มีความคงทน แข็งแรง และมีความปลอดภัยพบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่าเท่ากับ 3.64 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.9 ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นมีระดับประสิทธิภาพในด้านการใช้วัสดุเพื่อผลิตเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ ในระดับดี

4. การประเมินระบบด้านคุณค่าของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ เป็นการประเมินด้านความมีประโยชน์ในการใช้งานตามวัตถุประสงค์ สามารถช่วยพัฒนาคุณภาพการทำงานได้ มีประสิทธิภาพสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องตามที่กำหนดไว้ มีประสิทธิผล ก่อให้เกิดผลงานที่คุ้มค่าต่อการลงทุนและสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้ และสามารถพัฒนาไปสู่เชิงพาณิชย์ หรืออุตสาหกรรมในปัจจุบันได้ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.04 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.44 ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นมีระดับประสิทธิภาพในด้านคุณค่าของนวตกรรม ในระดับที่ดี

จากผลการประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุมและโปรแกรมการติดตามการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำโดยบุคลากรทางการแพทย์ สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ตารางที่ 3.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพของนวตกรรม โดยบุคลากรทางการแพทย์

หัวข้อประเมิน	$\overline{x}$+SD (n=5)	ประสิทธิภาพของโปรแกรม
1. คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องควบคุมการให้การละลายฯ	3.81±.54	ดี
2. ความเหมาะสมของครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ	3.71±.42	ดี
3. การใช้วัสดุเพื่อผลิตเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ	3.64±.69	ดี
4. คุณค่าของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ	4.04±.44	ดี
สรุป	**3.80±.17**	**ดี**

จากตารางที่ 4.4 ตามความคิดเห็นของบุคลากรทางการแพทย์ในระบบที่ได้พัฒนาขึ้นในการวิจัยครั้งนี้ ผลปรากฏว่าประสิทธิภาพของระบบมีค่าเฉลี่ยรวมของทุกด้าน คือ 3.80 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ 0.17 ในภาพรวมนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในเกณฑ์ดี

ข้อเสนอแนะอื่น ๆ จากบุคลากรทางการแพทย์มีรายละเอียดดังนี้

1. ขั้นตอนในการเริ่มต้น start ในการใช้งานยังไม่สะดวกเท่าที่ควร โดยเฉพาะการใส่สายน้ำเกลือในเครื่องเมื่อเริ่มต้น

2. ปุ่มกดทำงาน (Setting/Start/Menu) มีความไวต่อการกดแต่ละครั้งค่อนข้างมาก ทำให้ต้องกดเลย rate ที่ต้องการ setting

3. การทำงานของไฟแบตเตอร์รี ไม่มีสถาะเปอร์เซ็นต์ที่เหลือแจ้งให้ทราบ

4. ปริมาตรที่ได้หรือที่เหลือของสารละลายจากการให้กับผู้ป่วยควรมีการแสดงสถานะให้ทราบ

5. นวตกรรมที่พัฒนาควรตรวจจับฟองอากาศที่อยู่ในสายน้ำเกลือให้ได้

4.3 ผลการประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องควบคุมฯ

ในการทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องควบคุม โดยบุคลากรทางการแพทย์ จำนวน 10 ท่าน ประกอบด้วย พยาบาลวิชาชีพ จำนวน 9 ท่าน และแพทย์จำนวน 1 ท่าน การประเมินทำได้โดยให้กลุ่มบุคลากรทางการแพทย์เหล่านี้ได้ทดลองใช้งานเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำและระบบติดตามการส่งสัญญาณแบบไร้สาย จากนั้นตอบแบบสอบถามความพึงพอใจต่อการใช้งานเครื่องควบคุมฯ ที่ได้พัฒนาขึ้นใน 4 ด้าน คือ 1) ด้านการใช้ประโยชน์ได้จริง 2) ด้านความปลอดภัย 3) ด้านความสวยงาม และ 4) ด้านความคุ้มค่า คุ้มทุน

การแปรผลค่าเฉลี่ยที่คำนวณได้ดังนี้

4.50-5.00 มีความพึงพอใจต่อนวตกรรมที่พัฒนาในระดับดีมาก

3.50-4.49 มีความพึงพอใจต่อนวตกรรมที่พัฒนาในระดับดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

2.50-3.49 มีความพึงพอใจต่อนวตกรรมที่พัฒนาในระดับพอใช้

1.50-2.49 ต่อนวตกรรมที่พัฒนาต้องปรับปรุงแก้ไข

1.00-1.49 ต่อนวตกรรมที่พัฒนาไม่สามารถนำไปใช้งานได้

จากผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานของเครื่องควบคุมการให้สารละลาย และโปรแกรมการติดตามการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำโดยกลุ่มบุคลากรทางการแพทย์แบ่งการประเมินออกเป็น 4 ด้าน สามารถสรุปผลการประเมินได้ดังนี้

1. ด้านการใช้ประโยชน์ได้จริงของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ เป็นการประเมินว่านวตกรรม มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน และมีประโยชน์ต่อผู้บุคลากรทางการแพทย์ และผู้ป่วยผู้เข้ารับบริการ พบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่าเท่ากับ 4.14 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.23 ดังนั้นนวตกรรมที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงในระดับดี

2. การประเมินด้านความปลอดภัยฯ สำหรับบุคลากรทางการแพทย์หรือผู้ป่วยผู้เข้ารับบริการสามารถใช้นวัตกรรมได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย พบว่าค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.53 ดังนั้นนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นมีระดับความปลอดภัยสำหรับการนำไปใช้งานจริงในระดับดี

3. การประเมินด้านความสวยงามของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ เป็นการประเมินด้านนวัตกรรมมีความเรียบง่าย น่าสนใจ และน่าใช้ พบว่าค่าเฉลี่ยที่ได้มีค่าเท่ากับ 3.64 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.64 ดังนั้นนวตกรรมที่พัฒนาขึ้นมีระดับความสวยงามอยู่ในระดับดี

4. การประเมินระบบด้านด้านความคุ้มค่า คุ้มทุน มีการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า มีประสิทธิภาพไม่ฟุ่มเฟือย พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.14 และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.64 ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นมีระดับประสิทธิภาพในด้านความคุ้มค่า คุ้มทุน อยู่ในระดับที่ดี

จากผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานของเครื่องควบคุมและโปรแกรมการติดตามการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำโดยบุคลากรทางการแพทย์ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 3.5 ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งาน โดยบุคลากรทางการแพทย์

หัวข้อประเมิน	$\bar{x}\pm$SD (n=5)	**ประสิทธิภาพของโปรแกรม**
1. ด้านการใช้ประโยชน์ได้จริง	4.14±.23	ดี
2. ด้านความปลอดภัย	4.00±.53	ดี
3. ด้านความสวยงาม	3.64±.64	ดี
4. ด้านความคุ้มค่า คุ้มทุน	4.14±.64	ดี
สรุป	3.98±.24	ดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ความพึงพอใจต่อนวตกรรมที่ได้พัฒนาขึ้นจากความคิดเห็นของบุคลากรทางการแพทย์ในการวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปได้ในตารางที่ 4.5 ผลปรากฏว่ามีค่าเฉลี่ยรวมของทุกด้านของความพึงพอใจ คือ 3.98 และมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ 0.24 ในภาพรวมนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นได้รับความพึงพอใจในเกณฑ์ดี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นงานวิจัยในรูปแบบ การพัฒนาทดลอง (Experimental development) โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อสร้างเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ เพื่อสร้างโปรแกรมระบบเฝ้าระวังและติดตามการให้สารละลายจากเครื่องที่พัฒนาขึ้นโดยการส่งข้อมูลแบบไร้สาย เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุมและโปรแกรมการติดตามการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ และเพื่อประเมินความพึงพอใจในการใช้งานเครื่องควบคุมการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ โดยในบทนี้จะทำการสรุปผลการพัฒนา การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบการทำงานโดยรวมของนวตกรรมที่ได้พัฒนาขึ้น พบว่าเปอร์เซ็นค่าความผิดพลาดในการวัดค่าปริมาตรของเครื่องควบคุมฯ เทียบกับปริมาตรจริงที่ของสารละลายที่ได้จากการคำนวณอัตราการไหลของสารละลายที่ได้กำหนดขึ้นพบว่าความเปอร์เซ็นความผิดพลาดอยู่ระหว่าง 0.25 – 6.12 โดยอัตราการไหลของสารละลายที่ 90 มล.ต่อชม. มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยที่สุด 0.25 สำหรับอัตราการไหลของสารละลายที่ 20 มล.ต่อชม. มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมากที่สุดคิดเป็น 6.12

สำหรับผลการทดลองที่ได้จากการเปรียบเทียบค่าอัตราการไหลของสารละลาย ระหว่างอัตราการไหลของเครื่องควบคุมการให้สารละลายที่ผู้ใช้ได้กำหนดขึ้น และค่าเฉลี่ยอัตราการไหลที่อ่านได้จากเครื่องควบคุมการให้สารละลายที่พัฒนาขึ้นพบว่าค่าความผิดพลาดอยู่ระหว่าง 0.01 – 1.05 โดยอัตราการไหลของสารละลายที่ 120 มล.ต่อชม. มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยที่สุดคิดเป็น 0.01 สำหรับอัตราการไหลของสารละลายที่ 20 มล.ต่อชม. มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมากที่สุดคิดเป็น 1.05

สำหรับผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญซึ่งเป็นการทดสอบการทำงานของระบบโดยรวม ใน 5 ด้าน คือ 1) การตรงต่อความต้องการใช้ระบบ 2) การทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ 3) ความง่ายต่อการใช้งานระบบ 4) การรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ และ 5) ความปลอดภัยในการนำระบบไปใช้งานพบว่าในภาพรวมนวตกรรมที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 3.60 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 1.2 ในส่วนของฟังก์ชั่นการทำงานของระบบได้รับการประเมินอยู่ในเกณฑ์สูงสุดที่ 4.33 สำหรับด้านความปลอดภัยของการเข้าถึงข้อมูลในระบบควรจะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขเพราะผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ต่ำสุดที่ 2.00 จากคะแนนเต็ม 5

นอกจากนี้ผลการประเมินผลการประเมินประสิทธิภาพต่อการใช้งานนวตกรรมที่พัฒนาขึ้นโดยบุคคลากรทางการแพทย์ใน 4 ด้าน คือ 1) คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ 2) ความเหมาะสมของครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ ในด้านการออกแบบ 3) การใช้วัสดุเพื่อผลิตเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ และ 4) คุณค่าของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ พบว่าในภาพรวมนวตกรรมที่

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 3.80 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.17 ในส่วนของคุณค่าของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ นั้นได้รับการประเมินอยู่ในเกณฑ์สูงสุดที่ 4.04 สำหรับด้านการใช้วัสดุเพื่อผลิตเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ ได้รับผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ต่ำสุดที่ 3.64 จากคะแนนเต็ม 5 แต่อย่างไรก็ตามภาพรวมของผลการประเมินประสิทธิภาพทุกด้านทั้งจากผู้เชี่ยวชาญ และบุคลากรทางการแพทย์อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

สำหรับผลการประเมินด้านความพึงพอใจในการใช้งานนวตกรรมที่พัฒนาขึ้นโดยบุคคลากรทางการแพทย์ใน 4 ด้าน คือ 1) ด้านการใช้ประโยชน์ได้จริง 2) ด้านความปลอดภัย 3) ด้านความสวยงาม และ 4) ด้านความคุ้มค่า คุ้มทุน พบว่าในภาพรวมบุคลากรทางการแพทย์มีความพึงพอใจต่อนวตกรรมที่พัฒนาขึ้นในเกณฑ์ที่ดี โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 3.98 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 0.24 ในส่วนของการใช้ประโยชน์ได้จริงและด้านความคุ้มค่า คุ้มทุนได้รับการประเมินอยู่ในเกณฑ์สูงสุดที่ 4.33 สำหรับด้านความสวยงามได้รับผลการประเมินอยู่ในเกณฑ์ต่ำสุดที่ 3.64 จากคะแนนเต็ม 5

5.2 อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่าเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ ที่พัฒนานี้เป็นเครื่องต้นแบบที่สามารถนำไปใช้ได้ในสถานการณ์จริง แต่ควรมีการปรับปรุงในส่วนของความคงทนในการใช้งานซึ่งต้องมีการเปิดกล่องวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อนำสาย IV เข้ามาผ่านในส่วนของมอเตอร์ที่จะทำการดันสาย IV ตามอัตราการไหล ที่ผู้ใช้ได้กำหนดไว้ ตลอดจนความปลอดภัยในส่วนของหยดน้ำของสารละลายที่จะไม่เข้าไปในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ในส่วนของเซ็นเซอร์ สำหรับตรวจสอบหยดสารละลาย ควรมีส่วนที่ปิดที่จะไม่ทำให้แสง หรือสีจากสภาวะภายนอกส่งผลต่อการตรวจสอบหยดสารละลาย สำหรับในด้านความปลอดภัยในการป้องกันการปรับเปลี่ยนค่าของอัตราการให้สารละลาย หรือการปรับรูปแบบการทำงานจากคนไข้ควรต้องได้รับการปรับปรุงด้วยเช่นกัน สำหรับระบบการจ่ายไฟฟ้า เครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ ที่พัฒนาขึ้นค่อนข้างประหยัด จากการทดลองตลอด 48 ชั่วโมงยังใช้งานได้ปรกติ และระยะส่งเป็นที่พอใจสามารถส่งได้ในระยะ 20-80 เมตร

สำหรับการอัตราการไหล และปริมาตรของสารละลายที่ผู้ป่วยได้รับ ณ. ปัจจุบันทั้งการปรับค่าอัตราความเร็วในช่วงแรกของการเริ่มใช้เครื่องควบคุมฯ หรือความเร็วของอัตราการไหลของสารละลายตลอดระยะเวลาการใช้งาน ควรแสดงให้เห็นบนหน้าจอแสดงผลเพื่อให้บุคลากรทางแพทย์ได้ตรวจสอบความถูกต้องตลอดการใช้งานเครื่องควบคุม เพื่อเป็นการเพิ่มความมั่นใจในการใช้งานของบุคลากรทางการแพทย์ นอกจากนี้การแจ้งเตือนในกรณีที่มีความผิดปกติต่าง ๆ ที่จะส่งผลถึงผู้ป่วยเรื่องความปลอดภัยควรให้ครอบคลุมในทุก ๆ ด้าน ประกอบไปด้วยการตรวจจับฟองอากาศ การแจ้งเตือนเมื่อมีการประตูในส่วนของการใส่สายเข้าในเครื่องควบคุมขณะใช้งาน การตรวจสอบสายของสารละลายหากมีการอุดตันในสายทั้งด้านบน (upstream)และด้านล่าง (downstream) ของเครื่อง ความผิดปกติของการใช้งานเมื่อไม่ได้เสียบสายไฟ (mains power disconnection) ขณะที่แบตเตอรี่อ่อนกำลัง (low battery)

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

นอกจากวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ควรมีความคงทน ถาวร ปลอดภัยแล้ว ภาพลักษณ์ความสวยงามยังเป็นสิ่งที่จำเป็นเช่นเดียวกันสำหรับการใช้งานของบุคลากรทางการแพทย์ และผู้ป่วย เช่นเดียวกับการออกแบบปุ่มกดเพื่อตั้งค่าเตียงที่ใช้กับเครื่องควบคุมฯ ตลอดจนอัตราการไหลของสารละลายของแต่ละเตียง ควรใช้ปุ่มกดให้มากกว่าที่ใช้อยู่ ณ. ปัจจุบัน โดยการแยกปุ่มที่ใช้สำหรับการเปิด/ปิดเครื่องควบคุมฯ, การกำหนด mode การทำงานในลักษณะ Menu ปุ่มสำหรับการเพิ่มค่าตาม menu ที่เลือก และปุ่มสำหรับการลดค่าตาม menu ที่เลือก เพื่อความสดวกในการใช้งาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยในด้านประสิทธิภาพการใช้งาน ดังนั้นข้อเสนอแนะในส่วนทางด้าน Hardware มีรายละเอียดดังนี้ เนื่องจากใช้การตรวจจับหยดน้ำเกลือด้วยแสง infrared แม้จะแก้ปัญหาการรบกวนทางแสงจากแสงธรรมชาติได้ แต่ก็พบปัญหาสัญญาณรบกวนได้เนื่องจากหยดน้ำมีความโปร่งแสงน้อยกว่าวัตถุอื่นๆเช่นเลือด ดังนั้นผลต่างของแสงระหว่างที่มีหยดน้ำบังกับขณะที่ไม่มีหยดน้ำบัง sensor จึงมีช่วงความแตกต่างน้อย จากการสังเกตจึงเห็นปัญหาสัญญาณรบกวนในขณะที่มีละอองน้ำมาเกาะที่ขอบกระเปาะสายน้ำเกลือ หรือเวลาที่มีการขยับชุดให้น้ำเกลือที่ทำให้มุมของ sensor เปลี่ยนไป เกิดความแตกต่างทางแสงที่รับได้จึงทำให้การนับค่าจำนวนหยดน้ำเกลือผิดพลาดได้ ดังนั้นถ้าต้องการให้มีความแม่นยำมากตลอดเวลาผู้ใช้งานจะต้องคอยสังเกตกระเปาะน้ำเกลือด้วยว่ามีละอองมาเกาะมากเกินไปหรือไม่ และคอยแก้ไขถ้ามีมากเกินไปจนการอ่านหยดน้ำเกลือคลาดเคลื่อน

แนวทางพัฒนาต่อไปคือการตรวจจับละอองให้ได้เพื่อให้เตือนผู้ใช้งานมาแก้ไขไม่ไม่เกิดปัญหาการอ่านผิดพลาด ซึ่งทำได้โดยสร้างวงจรในการตรวจจับที่ละเอียดขึ้น หรือเปลี่ยนชนิดของเซนเซอร์ เช่นใช้กล้อง CMOS แทนการใช้หลอด LED กับ Photo Diode

นอกจากนี้จากการทดลองผู้วิจัยพบว่าไมโครคอนโทรเลอร์จะตรวจจับลูกคลื่นที่ได้รับจากการหยดของน้ำเกลือจำนวนสามลูกเพื่อประมวลผลเป็นอัตราการไหล ถ้าหยดน้ำเกลือมีสองหยดและหยดที่สามไม่มีด้วยเหตุใดๆนานจนเกินระยะ time out ที่ตั้งไว้จะทำให้โปรแกรมคำนวณคาบเวลาของหยดน้ำเกลือผิดพลาด ซึ่งแก้ปัญหาโดยให้มี alarm บอกผู้ใช้งานให้มาตรวจสอบว่าการไหลมีปัญหาอะไรหรือไม่แล้วทำการแก้ไข อย่างไรก็ตามถ้ามีเหตุไม่คาดฝัน คือน้ำเกลือไหลเป็นสายไม่ใช่เป็นหยด หรือไม่ไหลเลยอย่างกะทันหัน โปรแกรมจะรออยู่อย่างนั้นไม่สามารถนับจำนวนหยดได้ ทำให้ทุกอย่างหยุดนิ่ง ดังนั้นควรมีวงจรตรวจจับภาวะเหล่านี้อาจใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์หรือ microcontroller ตัวอื่นเพิ่มเติมแล้วรายงานเป็น alarm ให้ผู้ใช้งานทราบแล้วรีบมาตรวจสอบและแก้ไข

สำหรับการตั้งค่าต่างๆ ช่นตั้งค่าอัตราการไหลที่ต้องการ ตั้งค่าตัวเลขเตียงที่ต้องการให้รายงานส่งสัญญาณไร้สายไปบอกบุคลากรทางการแพทย์ การตั้งค่าเหล่านี้ใช้การกดปุ่มเพียงสามปุ่ม ซึ่งบางครั้งผู้ที่ใช้งานที่ไม่คุ้นเคยอาจไม่ถนัด เพราะการกดต้องกดหลายครั้งเพื่อจะให้ได้ค่าที่ต้องการ ดังนั้นถ้าเพิ่มปุ่มกด เช่นปุ่มเพิ่มลดตัวเลขคนละหลัก หรือเพิ่มเป็นแป้นตัวเลข 0-9 ไปเลยจะทำให้ผู้ใช้งานสะดวกมากยิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

สำหรับการทดลองนี้ใช้กับชุดให้น้ำเกลือที่ระบุว่าอัตราไหลมาตรฐานของหยดน้ำเกลือคือ 20 หยดต่อ 1 มิลลิเมตร ถ้าต้องการใช้กับชุดสายให้น้ำเกลือขนาดอื่นต้องทำการโปรแกรมเข้าไปใน microcontroller ใหม่ ดังนั้นควรใช้กับหอผู้ป่วยหรือสถานที่มีชุดการให้น้ำเกลือขนาดเดียว ไม่เช่นนั้นต้องมีการเขียนโปรแกรมเพิ่มเพื่ออนุญาตให้ผู้ใช้งานเปลี่ยนขนาดสายน้ำเกลือเป็นมาตรฐานอื่นได้เช่น อัตราการไหลที่ 15 หยดต่อมิลลิลิตรเป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เอกสารอ้างอิง

กาญจนา พรมสิทธิ์, เยาวเรศ พันธุ์เกิด, อารีรัตน์ สาลี และคณะ (2557). **นวัตกรรมโรงพยาบาลชัยภูมิ.** รายงานการวิจัย โรงพยาบาลชัยภูมิ.

ฐิตารีย์ แก้วตาทิพย์ (2557). **นวัตกรรม IV. Alarm.** รายงานผลการดำเนินการ โครงการพัฒนาคุณภาพ, งานการพยาบาลผู้ป่วยสูติ-นรีเวชกรรม โรงพยาบาลธรรมศาสตร์เฉลิมพระเกียรติ.

พรศิริ ชูแสง (2557). **แนวทางการตรวจสอบความถูกต้องการให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ.** เอกสารประกอบการบรรยาย โรงพยาบาลระโนด จังหวัดสงขลา.

เรืองศักดิ์ ใครบุตร (2557). **การสอบราคาซื้อครุภัณฑ์การแพทย์ Infusion pump,** ประกาศจังหวัดสกลนคร โรงพยาบาลสกลนคร.

วิวัฏฏะ มงคลจิตร, รัตน์ติยา โชติรุ่งโรจน์ (2554). **เครื่องควบคุมการไหลของสารละลายผ่านสายน้ำเกลือ.** รายงานโครงการของนักศึกษาภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วุฒิชัย วรนันทกุล, สุเมธ อำชิต (2556). **การพัฒนาระบบตรวจเฝ้าระวังการให้น้ำเกลือแบบไร้สาย.** วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 23(3) (ก.ย.-ธ.ค. 2556), 687-695

สุทธิพงษ์ ผัดแก้ว (2557). **เครื่องควบคุมปริมาณน้ำเกลือใกล้หมดแจ้งเตือนแบบส่งสัญญาณไร้สาย.** ปริญญานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

สาธิต นฤภัยและอื่น ๆ (2555). **รายงานการวิจัยการประเมินประสิทธิภาพด้านการใช้งานชุดนำสารละลาย ที่ใช้กับเครื่องปั๊มของเหลวเข้าสู่ร่างกาย.** กลุ่มมาตรฐานและประเมินเทคโนโลยี กองวิศวกรรมการแพทย์กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข.

สุเมธ อำชิต (2552). **เครื่องวัดหยดน้ำเกลือและส่งข้อมูลแบบบลูทูธ.** วารสารอีซี, 46 (พฤศจิกายน-ธันวาคม 2552), ISSN: 1685-3679.

เอกชัย มะการ (2552). **เรียนรู้เข้าใจใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ด้วย Arduino.** บริษัท อีทีที จำกัด:กรุงเทพ, ISBN: 974-63822-5-0.

Gupta, R. C., Taneja, S. R., Thariyan, K. K., & Kumar, S. (2005). **Design and implementation of controlled drug infusion system.** Journal of Scientific and Industrial Research, 64(10), 761-766.

Thariyan, K. K., Verma, S., Taneja, S. R., Gupta, R. C., & Ahluwalia, S. S. (2002**). Design and development of unique drop sensing unit for infusion pump.** Journal of Scientific and Industrial Research, 61(10), 798-801.

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างผลการทดสอบระบบโดยรวม

ตัวอย่างผลการทดสอบระบบโดยรวมที่แสดงผลลัพธ์บน Serial Mornitor ของ โปรแกรม Arduino IDE จากการกำหนดอันตราการไหลของสารละลายที่ 160 มล. ต่อชั่วโมงในการทดลองเป็นเวลา 30 นาที ดังแสดงผลในตารางด้านล่าง

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18987	2355125	64	-96	12	0	15	15
19149	687378	217	57	13	0	30	0
19022	731554	205	45	13	1	7	7
19056	1174510	128	-32	12	0	28	0
18927	1141942	132	-28	12	1	4	4
19018	883060	171	11	0	0	25	0
18999	880373	171	11	0	0	1	1
18972	877640	171	11	0	0	1	2
18969	880525	171	11	0	0	1	3
18993	905019	166	6	0	0	0	3
18999	904734	166	6	0	0	3	6
18928	1100729	137	-23	0	0	27	0
18902	1107844	136	-24	0	0	3	3
18917	931938	162	2	0	0	0	0
18963	932068	162	2	0	0	0	0
18953	930916	162	2	0	0	0	0
18906	931744	162	2	0	0	0	0
18921	925950	162	2	0	0	3	3
18930	934509	161	1	0	0	0	3
18944	930154	162	2	0	0	0	3

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18992	931209	162	2	0	0	0	3
18938	933034	162	2	0	0	0	3
18931	930870	162	2	0	0	0	3
18918	930826	162	2	0	0	3	6
18846	934728	161	1	0	0	0	6
18888	932367	162	2	0	0	0	6
18857	932961	162	2	0	0	0	6
18913	933469	161	1	0	0	0	6
18915	930754	162	2	0	0	0	6
18903	931387	162	2	0	0	3	9
18864	932174	162	2	0	0	0	9
18898	934847	161	1	0	0	0	9
18875	931019	162	2	0	0	0	9
18860	933094	162	2	0	0	0	9
18857	930765	162	2	0	0	0	9
18872	932927	162	2	0	0	3	12
18843	934674	161	1	0	0	0	12
18834	933452	162	2	0	0	0	12
19241	931631	162	2	0	0	0	12
18838	930980	162	2	0	0	0	12
18880	928192	162	2	0	0	0	12
18820	935750	161	1	0	0	3	15
18829	933283	162	2	0	0	0	15
18825	932514	162	2	0	0	0	15
18846	932093	162	2	0	0	0	15
18844	930670	162	2	0	0	0	15
19248	929509	162	2	0	0	3	18

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18827	935885	161	1	0	0	0	18
18798	930958	162	2	0	0	0	18
18750	930694	162	2	0	0	0	18
18814	930639	162	2	0	0	0	18
18784	932000	162	2	0	0	0	18
18808	929373	162	2	0	0	3	21
18761	928904	162	2	0	0	0	21
18730	933659	161	1	0	0	0	21
18594	926834	162	2	0	0	0	21
18556	938997	161	1	0	0	0	21
19192	931257	162	2	0	0	0	21
18785	930545	162	2	0	0	3	24
19191	933551	161	1	0	0	0	24
18804	928720	162	2	0	0	0	24
18756	928858	162	2	0	0	0	24
18806	932067	162	2	0	0	0	24
18831	932350	162	2	0	0	0	24
18769	932808	162	2	0	0	3	27
18829	931455	162	2	0	0	0	27
18792	925572	162	2	0	0	0	27
18763	930801	162	2	0	0	0	27
18809	932346	162	2	0	0	0	27
18811	928190	162	2	0	0	3	30
18730	1100826	137	-23	0	0	19	0
18747	1104831	136	-24	0	0	3	3
18758	1104136	136	-24	0	0	3	6
18768	1110828	135	-25	0	0	4	10

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18722	988704	153	-7	0	0	1	11
18787	940529	160	0	0	0	0	11
18819	942872	160	0	0	0	0	11
18760	937955	161	1	0	0	0	11
18757	939931	160	0	0	0	0	11
18771	945044	159	-1	0	0	0	11
18787	936583	161	1	0	0	-3	0
18762	939228	160	0	0	0	0	0
18476	946225	159	-1	0	0	0	0
18521	937523	161	1	0	0	0	0
18758	939950	160	0	0	0	0	0
18746	943232	160	0	0	0	0	0
19122	936961	161	1	0	0	0	0
18674	939292	160	0	0	0	0	0
18672	942911	160	0	0	0	0	0
18778	936353	161	1	0	0	0	0
18894	934647	161	1	0	0	0	0
18777	937879	161	1	0	0	0	0
18767	933548	162	2	0	0	0	0
18747	936449	161	1	0	0	0	0
18765	938774	161	1	0	0	0	0
19081	937104	161	1	0	0	0	0
18751	935887	161	1	0	0	0	0
18706	936675	161	1	0	0	3	3
18710	937850	161	1	0	0	0	3
18761	937833	161	1	0	0	0	3
18762	935902	161	1	0	0	0	3

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18759	931792	162	2	0	0	0	3
19110	938443	161	1	0	0	0	3
18704	935910	161	1	0	0	0	3
18728	935561	161	1	0	0	0	3
19113	935282	161	1	0	0	0	3
18742	935112	161	1	0	0	3	6
18769	936248	161	1	0	0	0	6
18739	935032	161	1	0	0	0	6
18726	936883	161	1	0	0	0	6
18712	932574	162	2	0	0	0	6
18744	932026	162	2	0	0	0	6
18734	936591	161	1	0	0	0	6
18783	933724	161	1	0	0	0	6
18735	933752	161	1	0	0	3	9
18763	935659	161	1	0	0	0	9
18702	935423	161	1	0	0	0	9
18713	935450	161	1	0	0	0	9
18730	933787	161	1	0	0	0	9
18755	936158	161	1	0	0	0	9
18856	933689	161	1	0	0	0	9
18707	930380	162	2	0	0	0	9
18734	937540	161	1	0	0	0	9
18758	933749	161	1	0	0	3	12
18714	934325	161	1	0	0	0	12
18714	933587	162	2	0	0	0	12
18754	929736	162	2	0	0	0	12
18749	927929	162	2	0	0	0	12

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18754	933078	162	2	0	0	0	12
18695	930794	162	2	0	0	3	15
18737	931658	162	2	0	0	0	15
18711	933899	161	1	0	0	0	15
18735	930751	162	2	0	0	0	15
19119	933504	161	1	0	0	0	15
18735	932713	162	2	0	0	0	15
18675	933510	162	2	0	0	3	18
18885	930580	162	2	0	0	0	18
18866	928815	162	2	0	0	0	18
18858	930936	162	2	0	0	0	18
18884	934083	161	1	0	0	0	18
18883	928067	162	2	0	0	0	18
18856	935305	161	1	0	0	3	21
18887	932889	162	2	0	0	0	21
18906	930989	162	2	0	0	0	21
18865	933164	162	2	0	0	0	21
18889	932041	162	2	0	0	0	21
18873	931538	162	2	0	0	3	24
18890	934637	161	1	0	0	0	24
18879	932947	162	2	0	0	0	24
18852	929669	162	2	0	0	0	24
18870	931536	162	2	0	0	0	24
18883	932569	162	2	0	0	0	24
18896	932402	162	2	0	0	3	27
18856	931427	162	2	0	0	0	27
18868	931166	162	2	0	0	0	27

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18879	931199	162	2	0	0	0	27
18885	928976	162	2	0	0	0	27
18905	932341	162	2	0	0	3	30
18813	1089989	138	-22	0	0	19	0
18793	1095844	137	-23	0	0	3	3
18817	1089090	138	-22	0	0	3	6
18805	1094856	137	-23	0	0	3	9
18823	1046133	144	-16	0	0	2	11
18869	935391	161	1	0	0	-3	0
18861	941221	160	0	0	0	0	0
18839	941089	160	0	0	0	0	0
18885	938173	161	1	0	0	0	0
18812	937361	161	1	0	0	0	0
18830	939463	160	0	0	0	0	0
18863	935488	161	1	0	0	0	0
18844	938510	161	1	0	0	0	0
18814	936925	161	1	0	0	0	0
18872	939180	160	0	0	0	0	0
18863	941380	160	0	0	0	0	0
18840	933747	161	1	0	0	0	0
18842	941345	160	0	0	0	0	0
18814	935334	161	1	0	0	0	0
19333	935535	161	1	0	0	0	0
18873	941300	160	0	0	0	0	0
18808	936438	161	1	0	0	0	0
18818	939070	160	0	0	0	0	0
18788	930827	162	2	0	0	0	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18826	938726	161	1	0	0	0	0
18819	937189	161	1	0	0	0	0
18804	937381	161	1	0	0	0	0
18791	937182	161	1	0	0	0	0
18789	933301	162	2	0	0	0	0
18822	936046	161	1	0	0	0	0
18788	938664	161	1	0	0	3	3
18821	937027	161	1	0	0	0	3
18816	936766	161	1	0	0	0	3
18796	938415	161	1	0	0	0	3
18788	941941	160	0	0	0	0	3
19273	937836	161	1	0	0	0	3
18795	937931	161	1	0	0	0	3
18795	939929	160	0	0	0	0	3
18800	940459	160	0	0	0	0	3
18770	939343	160	0	0	0	0	3
18778	940286	160	0	0	0	0	3
18851	939313	160	0	0	0	0	3
18807	937861	161	1	0	0	0	3
18775	938420	161	1	0	0	0	3
19271	940656	160	0	0	0	0	3
18753	939402	160	0	0	0	0	3
18773	939883	160	0	0	0	0	3
18798	938622	161	1	0	0	0	3
18748	942035	160	0	0	0	0	3
18763	940285	160	0	0	0	0	3
18727	941628	160	0	0	0	0	3

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18778	944467	159	-1	0	0	0	3
18798	937833	161	1	0	0	0	0
18784	943426	160	0	0	0	0	0
18786	943119	160	0	0	0	0	0
18741	939907	160	0	0	0	0	0
18773	948071	159	-1	0	0	0	0
18750	941677	160	0	0	0	0	0
18777	944084	160	0	0	0	0	0
19133	948467	159	-1	0	0	0	0
18767	946182	159	-1	0	0	0	0
18745	942337	160	0	0	0	0	0
18718	945522	159	-1	0	0	0	0
18752	948206	159	-1	0	0	0	0
18745	946093	159	-1	0	0	0	0
18727	945933	159	-1	0	0	0	0
18699	947821	159	-1	0	0	0	0
18708	945098	159	-1	0	0	4	4
18758	880377	171	11	0	0	25	0
18761	882302	171	11	0	0	1	1
18755	879754	171	11	0	0	1	2
18891	879030	171	11	0	0	1	3
18838	898611	167	7	0	0	1	4
18790	956049	157	-3	0	0	-1	0
18788	959024	157	-3	0	0	4	4
18794	955993	157	-3	0	0	0	4
18829	956681	157	-3	0	0	4	8
18818	959878	157	-3	0	0	0	8

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18862	957519	157	-3	0	0	4	12
18806	958156	157	-3	0	0	0	12
18822	964140	156	-4	0	0	4	16
18897	959994	157	-3	0	0	0	16
18883	959340	157	-3	0	0	4	20
18889	962023	156	-4	0	0	0	20
18882	961194	156	-4	0	0	4	24
18810	965200	156	-4	0	0	0	24
18838	965222	156	-4	0	0	4	28
18844	916375	164	4	0	0	-8	0
18872	919289	163	3	0	0	0	0
18843	916756	164	4	0	0	3	3
18843	920877	163	3	0	0	0	3
18866	919214	163	3	0	0	0	3
18856	921724	163	3	0	0	0	3
18851	921558	163	3	0	0	3	6
18815	918843	163	3	0	0	0	6
18823	917530	164	4	0	0	0	6
18808	919605	163	3	0	0	3	9
18786	921631	163	3	0	0	0	9
18805	922871	163	3	0	0	0	9
18831	920258	163	3	0	0	0	9
18769	920248	163	3	0	0	3	12
18755	919674	163	3	0	0	0	12
18784	922589	163	3	0	0	0	12
18753	921828	163	3	0	0	0	12
19188	922352	163	3	0	0	3	15

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18754	920451	163	3	0	0	0	15
18727	922424	163	3	0	0	0	15
18762	921320	163	3	0	0	0	15
18725	921796	163	3	0	0	3	18
18741	920647	163	3	0	0	0	18
19015	920897	163	3	0	0	0	18
18774	919193	163	3	0	0	0	18
18722	921021	163	3	0	0	3	21
18821	921019	163	3	0	0	0	21
18747	919766	163	3	0	0	0	21
18748	921825	163	3	0	0	0	21
18758	924329	162	2	0	0	3	24
18709	919208	163	3	0	0	0	24
18720	921682	163	3	0	0	0	24
18704	919610	163	3	0	0	0	24
19121	921246	163	3	0	0	3	27
18688	917264	164	4	0	0	0	27
18706	916035	164	4	0	0	0	27
18707	916834	164	4	0	0	3	30
18662	1104481	136	-24	0	0	19	0
18701	1112109	135	-25	0	0	4	4
18638	1110966	135	-25	0	0	4	8
18548	1110754	135	-25	0	0	4	12
18572	899145	167	7	0	0	23	0
18805	892210	169	9	0	0	1	1
18754	892035	169	9	0	0	1	2
18749	892830	169	9	0	0	1	3

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18750	890015	169	9	0	0	1	4
18740	889495	169	9	0	0	1	5
18751	909374	165	5	0	0	0	5
18748	905259	166	6	0	0	3	8
18703	1100818	137	-23	0	0	26	0
18726	1110609	135	-25	0	0	4	4
18721	947108	159	-1	0	0	0	4
18753	948874	159	-1	0	0	0	4
18711	947689	159	-1	0	0	0	4
18736	944307	160	0	0	0	0	4
18722	947641	159	-1	0	0	0	4
19046	943271	160	0	0	0	0	4
18683	944980	159	-1	0	0	0	4
18725	944687	159	-1	0	0	0	4
18736	944080	160	0	0	0	0	4
18681	941264	160	0	0	0	0	4
18683	944844	159	-1	0	0	0	4
18683	940855	160	0	0	0	0	4
18670	944725	159	-1	0	0	0	4
18692	939513	160	0	0	0	0	4
18676	944565	159	-1	0	0	0	4
18681	942354	160	0	0	0	0	4
18636	944421	160	0	0	0	0	4
18669	945015	159	-1	0	0	0	4
18663	937721	161	1	0	0	-1	0
18682	943096	160	0	0	0	0	0
18695	940973	160	0	0	0	0	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18671	944550	159	-1	0	0	0	0
18488	942727	160	0	0	0	0	0
18480	940766	160	0	0	0	0	0
18473	941713	160	0	0	0	0	0
18665	939536	160	0	0	0	0	0
18719	939810	160	0	0	0	0	0
18809	943963	160	0	0	0	0	0
18739	939456	160	0	0	0	0	0
18757	943075	160	0	0	0	0	0
18719	942325	160	0	0	0	0	0
18718	941830	160	0	0	0	0	0
18739	943739	160	0	0	0	0	0
18747	940822	160	0	0	0	0	0
18732	941201	160	0	0	0	0	0
18700	944852	159	-1	0	0	0	0
18753	942241	160	0	0	0	0	0
18718	943305	160	0	0	0	0	0
18695	941959	160	0	0	0	0	0
18730	941792	160	0	0	0	0	0
18736	943675	160	0	0	0	0	0
18719	942580	160	0	0	0	0	0
18730	944371	159	-1	0	0	0	0
18672	945482	159	-1	0	0	0	0
18678	941077	160	0	0	0	0	0
18670	942824	160	0	0	0	0	0
18696	941924	160	0	0	0	0	0
18695	937693	161	1	0	0	0	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18723	945607	159	-1	0	0	0	0
18714	943314	160	0	0	0	0	0
18720	942161	160	0	0	0	0	0
18717	944323	160	0	0	0	0	0
18694	941454	160	0	0	0	0	0
18693	945919	159	-1	0	0	0	0
18702	943758	160	0	0	0	0	0
18733	941527	160	0	0	0	0	0
18686	943415	160	0	0	0	0	0
18714	941958	160	0	0	0	0	0
18701	944442	159	-1	0	0	0	0
18702	947080	159	-1	0	0	0	0
18674	943847	160	0	0	0	0	0
18690	946151	159	-1	0	0	0	0
18713	942958	160	0	0	0	0	0
18719	943344	160	0	0	0	0	0
18709	942136	160	0	0	0	0	0
18691	942554	160	0	0	0	0	0
18682	944732	159	-1	0	0	0	0
18680	946296	159	-1	0	0	0	0
18686	946512	159	-1	0	0	0	0
18634	943672	160	0	0	0	0	0
18711	941475	160	0	0	0	0	0
18689	946345	159	-1	0	0	0	0
18683	945272	159	-1	0	0	0	0
18659	945124	159	-1	0	0	0	0
18676	945427	159	-1	0	0	0	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัธราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18728	946074	159	-1	0	0	0	0
18681	943836	160	0	0	0	0	0
18704	950978	158	-2	0	0	0	0
19031	943570	160	0	0	0	0	0
18725	944689	159	-1	0	0	0	0
18692	949727	159	-1	0	0	0	0
18655	944383	160	0	0	0	0	0
18638	946093	159	-1	0	0	0	0
18668	946551	159	-1	0	0	0	0
18677	946482	159	-1	0	0	0	0
18711	943525	160	0	0	0	0	0
18661	944525	159	-1	0	0	0	0
18974	947087	159	-1	0	0	0	0
19007	945996	159	-1	0	0	0	0
19011	943814	160	0	0	0	0	0
19038	943752	160	0	0	0	0	0
19438	948826	159	-1	0	0	0	0
19009	943222	160	0	0	0	0	0
19379	945667	159	-1	0	0	0	0
19007	946872	159	-1	0	0	0	0
19030	947906	159	-1	0	0	0	0
19018	939710	160	0	0	0	0	0
18974	944864	159	-1	0	0	0	0
18997	945449	159	-1	0	0	0	0
19024	941634	160	0	0	0	0	0
19022	947542	159	-1	0	0	0	0
19015	944310	159	-1	0	0	0	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
19045	943628	160	0	0	0	0	0
19035	946369	159	-1	0	0	0	0
18975	946577	159	-1	0	0	0	0
19033	946265	159	-1	0	0	0	0
19028	942553	160	0	0	0	0	0
19013	945890	159	-1	0	0	0	0
19004	946479	159	-1	0	0	0	0
19022	945269	159	-1	0	0	0	0
19012	946882	159	-1	0	0	0	0
19018	943364	160	0	0	0	0	0
19020	945239	159	-1	0	0	0	0
18985	947292	159	-1	0	0	0	0
18963	945728	159	-1	0	0	0	0
19004	943724	160	0	0	0	0	0
18981	945597	159	-1	0	0	0	0
19027	946768	159	-1	0	0	0	0
18967	944110	160	0	0	0	0	0
18954	944266	159	-1	0	0	0	0
19023	945409	159	-1	0	0	0	0
18983	945552	159	-1	0	0	0	0
18973	945495	159	-1	0	0	0	0
18959	946909	159	-1	0	0	0	0
19004	949297	159	-1	0	0	4	4
19037	764019	196	36	13	0	29	0
18986	790071	189	29	13	1	4	4
18941	1029796	146	-14	0	0	26	0
18939	1030972	146	-14	0	0	2	2

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18995	988057	153	-7	0	0	1	3
18976	945114	159	-1	0	0	0	3
18944	942657	160	0	0	0	0	3
18965	946719	159	-1	0	0	0	3
18933	945102	159	-1	0	0	0	3
18978	948176	159	-1	0	0	0	3
18990	946551	159	-1	0	0	0	3
18930	946166	159	-1	0	0	0	3
18944	947529	159	-1	0	0	4	7
19026	758898	198	38	13	0	29	0
18969	790829	189	29	13	1	4	4
18924	1029691	146	-14	0	0	26	0
18918	1032835	145	-15	0	0	2	2
18957	993148	152	-8	0	0	1	3
18964	950879	158	-2	0	0	0	3
18927	945210	159	-1	0	0	0	3
18937	949532	159	-1	0	0	0	3
18954	947259	159	-1	0	0	0	3
18943	949694	158	-2	0	0	4	7
18959	760847	197	37	13	0	29	0
19027	791948	189	29	13	1	4	4
19054	1034748	145	-15	0	0	26	0
18869	1035305	145	-15	0	0	2	2
18937	994704	152	-8	0	0	1	3
18939	952015	158	-2	0	0	0	3
18922	949425	159	-1	0	0	0	3
18902	949850	158	-2	0	0	0	3

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18867	953293	158	-2	0	0	4	7
18914	764574	196	36	13	0	28	0
18928	763668	197	37	13	1	6	6
18824	1100262	137	-23	0	0	27	0
18873	1110487	135	-25	0	0	4	4
18930	901851	167.	7	0	0	25	0
18901	897816	168	8	0	0	1	1
18890	899103	167	7	0	0	1	2
18939	899953	167	7	0	0	1	3
18840	919221	163	3	0	0	0	3
18889	922488	163	3	0	0	0	3
18850	918454	163	3	0	0	0	3
18874	923153	162	2	0	0	3	6
18768	1112436	135	-25	0	0	28	0
18808	1078617	140	-20	0	0	3	3
18853	919734	163	3	0	0	0	0
18881	917265	164	4	0	0	0	0
18831	918685	163	3	0	0	3	3
18828	913545	164	4	0	0	0	3
18851	915854	164	4	0	0	0	3
18894	918711	163	3	0	0	3	6
18837	917749	164	4	0	0	0	6
18864	915676	164	4	0	0	0	6
18821	911805	165	5	0	0	3	9
18855	913475	164	4	0	0	0	9
18857	914220	164	4	0	0	0	9
18819	916316	164	4	0	0	3	12

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
18804	914124	164	4	0	0	0	12
18811	913870	164	4	0	0	0	12
18780	916132	164	4	0	0	3	15
18786	915887	164	4	0	0	0	15
18835	916364	164	4	0	0	0	15
18805	914399	164	4	0	0	3	18
18832	916122	164	4	0	0	0	18
18820	918281	163	3	0	0	0	18
18796	913390	164	4	0	0	3	21
18782	914939	164	4	0	0	0	21
18811	915151	164	4	0	0	0	21
18783	915544	164	4	0	0	3	24
18819	917149	164	4	0	0	0	24
18820	914800	164	4	0	0	0	24
18804	913432	164	4	0	0	3	27
18804	910357	165	5	0	0	0	27
18801	914613	164	4	0	0	0	27
18817	913530	164	4	0	0	3	30
18753	1057228	143	-17	0	0	18	0
18784	1059898	142	-18	0	0	2	2
18792	1061630	142	-18	0	0	2	4
18810	1062442	142	-18	0	0	2	6
19328	1063409	142	-18	0	0	2	8
19367	1063604	142	-18	0	0	2	10
19401	1014625	148	-12	0	0	1	11
19387	975969	154	-6	0	0	4	15
19404	777392	193	33	13	0	26	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
19431	772106	194	34	13	1	5	5
19425	909181	165	5	0	0	0	5
19459	906721	166	6	0	0	3	8
19338	1109590	135	-25	0	0	27	0
19431	1115790	135	-25	0	0	4	4
19452	907398	165	5	0	0	-1	0
19426	905357	166	6	0	0	3	3
19491	902250	166	6	0	0	0	3
19483	903238	166	6	0	0	3	6
19499	902195	166	6	0	0	0	6
19488	900265	167	7	0	0	1	7
19502	902101	167	7	0	0	1	8
19441	901353	167	7	0	0	1	9
19486	899899	167	7	0	0	1	10
19465	902019	167	7	0	0	1	11
19501	901438	167	7	0	0	1	12
19479	901330	167	7	0	0	1	13
19504	901235	167	7	0	0	1	14
19513	899736	167	7	0	0	1	15
19455	901797	167	7	0	0	1	16
19503	901191	167	7	0	0	1	17
19461	898841	167	7	0	0	1	18
19523	898963	167	7	0	0	1	19
19474	898494	167	7	0	0	1	20
19483	898699	167	7	0	0	1	21
19493	900675	167	7	0	0	1	22
19468	897934	167	7	0	0	1	23

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
19537	900563	167	7	0	0	1	24
19462	898848	167	7	0	0	1	25
19519	900181	167	7	0	0	1	26
19491	899740	167	7	0	0	1	27
19573	897957	167	7	0	0	1	28
19538	912842	164	4	0	0	0	28
19555	913647	164	4	0	0	0	28
19517	914690	164	4	0	0	3	31
19536	1114026	135	-25	0	0	20	0
19460	1117295	135	-25	0	0	4	4
19505	1122760	135	-25	0	0	4	8
19458	1071398	141	-19	0	0	3	11
19529	920840	163	3	0	0	-3	0
19574	920188	163	3	0	0	0	0
19515	915775	164	4	0	0	3	3
19552	916831	164	4	0	0	0	3
19503	916844	164	4	0	0	0	3
19537	914310	164	4	0	0	3	6
19542	917087	164	4	0	0	0	6
19525	910016	165	5	0	0	0	6
19487	917656	163	3	0	0	3	9
19545	915725	164	4	0	0	0	9
19555	914990	164	4	0	0	0	9
19557	915495	164	4	0	0	3	12
19493	914515	164	4	0	0	0	12
19519	911316	165	5	0	0	0	12
19507	913346	164	4	0	0	3	15

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
19597	915329	164	4	0	0	0	15
19511	912737	164	4	0	0	0	15
19497	913675	164	4	0	0	3	18
19488	915275	164	4	0	0	0	18
19550	914514	164	4	0	0	0	18
19512	911833	165	5	0	0	3	21
19480	913691	164	4	0	0	0	21
19481	913650	164	4	0	0	0	21
19525	912337	164	4	0	0	3	24
19527	915942	164	4	0	0	0	24
19525	912346	164	4	0	0	0	24
19466	912286	164	4	0	0	3	27
19505	911358	165	5	0	0	0	27
19505	909661	165	5	0	0	3	30
19454	1055225	143	-17	0	0	18	0
19433	1055975	143	-17	0	0	2	2
19515	1058087	143	-17	0	0	2	4
19475	1059958	142	-18	0	0	2	6
19080	1058889	143	-17	0	0	2	8
19137	1059241	142	-18	0	0	2	10
19180	1014372	148	-12	0	0	1	11
19181	976043	154	-6	0	0	4	15
19243	776089	193	33	13	0	26	0
19191	772779	194	34	13	1	5	5
19188	902941	166	6	0	0	0	5
19183	904574	166	6	0	0	3	8
19153	1105541	136	-24	0	0	26	0

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
19214	1110915	135	-25	0	0	4	4
19189	953667	158	-2	0	0	0	4
19238	951982	158	-2	0	0	0	4
19225	952607	158	-2	0	0	4	8
19274	768801	195	35	13	0	28	0
19250	761546	197	37	13	1	6	6
19157	1104182	136	-24	0	0	27	0
19163	1108095	136	-24	0	0	3	3
19216	958988	157	-3	0	0	0	3
19186	956893	157	-3	0	0	4	7
19265	768061	195	35	13	0	28	0
19280	763989	196	36	13	1	5	5
19223	1037197	145	-15	0	0	26	0
19234	1040707	144	-16	0	0	2	2
19222	997263	151	-9	0	0	1	3
19201	954989	157	-3	0	0	0	3
19188	955785	157	-3	0	0	4	7
19274	766518	196	36	13	0	28	0
19246	760306	197	37	13	1	6	6
19149	1103774	136	-24	0	0	27	0
19190	1106810	136	-24	0	0	3	3
19248	956129	157	-3	0	0	0	3
19228	955688	157	-3	0	0	4	7
19271	766294	196	36	13	0	28	0
19286	762063	197	37	13	1	6	6
19147	1106743	136	-24	0	0	27	0
19152	1108068	136	-24	0	0	3	3

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

เวลาที่หยดสารละลายไหลผ่านเซนเซอร์ (นาโนวินาที)	ระยะเวลาที่รอหยดสารละลาย	อันตราการไหลของสารละลาย	ค่าความต่างของอัราการไหลของสารละลายที่ต้องการกับที่กำหนด	สถานะการเตือนเมื่อมีความผิดพลาด	จำนวนครั้งที่มีการเตือนของความผิดพลาดอย่างต่อเหนื่อง	เป้าหมายการหมุนของมอเตอร์	การปรับค่าความเฉื่อยของการหมุนของ motor
19195	952917	158	-2	0	0	0	3
19187	953531	158	-2	0	0	0	3
19211	954136	158	-2	0	0	4	7
19251	766676	196	36	13	0	28	0
19263	758772	198	38	13	1	6	6
19323	1101031	137	-23	0	0	27	0
19263	0	137	-23	0	0	3	3

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ภาคผนวก ข

แบบประเมินประสิทธิภาพเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ และระบบติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย

คำชี้แจง

แบบประเมินระบบชุดนี้ เป็นแบบสอบถามเพื่อให้ความคิดเห็นเกี่ยวกับการใช้เครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ และระบบติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องให้สารละลายฯ ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยแบ่งการประเมินออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ประเมิน

ส่วนที่ 2 การแสดงความคิดเห็นของผู้ประเมินเกี่ยวกับ ประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนของข้อคำถามที่อยู่ด้านซ้ายมือ และมาตราส่วนประมาณค่าที่อยู่ด้านขวามือจำนวน 5 ช่อง โดยโปรดกาเครื่องหมาย ✓ (ถูก) ลงในช่องทางด้านขวามือที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน

ส่วนที่ 3 การให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการพัฒนาปรับปรุงระบบ

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ประเมิน

ชื่อ-นามสกุล...

ตำแหน่งงานของท่าน..

คุณวุฒิของท่าน

........ปริญญาตรี ....ปริญญาโท ....ปริญญาเอก

อื่น ๆ โปรดระบุ..

ส่วนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้ประเมินเกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องให้สารละลายฯ และระบบติดตามฯ ที่พัฒนาขึ้น

ด้านที่ 1 การประเมินด้านความสามารถในการทำงานตามความต้องการของผู้ใช้ระบบ (Functional Requirement Test)

	ข้อความ	**ดีมาก**	**ดี**	**พอใช้**	**ปรับปรุง**	**ไม่เหมาะสม**
1	สามารถควบคุมอัตราการไหลปริมาตรของของเหลวที่ไหลเข้าสู่ร่างกายได้อย่างแม่นยำ					
2	สามารถใช้ได้กับไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ และสามารถใช้กระแสไฟฟ้าตรงจากแบตเตอรี่สำรองภายในเครื่อง					
3	มีระบบตรวจสอบการทำงานอัตโนมัติก่อนการใช้งาน เพื่อเป็นการป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดการไหลอิสระของสารละลาย (free - flow)					
4	สามารถกำหนดปริมาตรของการให้สารละลาย (Volume Limit)					
5	สามารถปรับตั้งเวลาการให้สารละลายได้					
6	มีค่าความเที่ยงตรง (Accuracy) ของอัตราการให้สารละลายไม่เกิน ±5%					
7	ความสามารถของระบบในการแจ้งเตือนความผิดพลาดที่เกิดขึ้น					
8	มีระบบตรวจจับฟองอากาศในสาย โดยตรวจจับขนาดฟองอากาศ โดยตั้งค่าได้ไม่มากกว่า 250 ไมโครลิตร					

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

	ข้อความ	ดีมาก	ดี	พอใช้	ปรับปรุง	ไม่เหมาะสม
9	มีระบบตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงแรงดันภายในสาย ซึ่งจะเตือนในกรณีแรงดันมีการเปลี่ยนแปลง เช่น เกิดการอุดตัน หรือสายหลุดจากคนไข้					
10	แบตเตอรี่ภายในเครื่อง เมื่อมีประจุไฟฟ้าเต็ม สามารถใช้งานได้ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 5 ชั่วโมงที่อัตราการไหล 125 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง					

ด้านที่ 2 การประเมินด้านความสามารถการทำงานได้ตามฟังก์ชันงานของระบบ (Function Test)

	ข้อความ	ดีมาก	ดี	พอใช้	ปรับปรุง	ไม่เหมาะสม
1	ความถูกต้องในการบันทึกข้อมูลการกำหนดอัตราการไหลปริมาตรของของเหลวที่ไหลเข้าสู่ร่างกาย					
3	ความถูกต้องในการปรับปรุงแก้ไขข้อมูลการกำหนดอัตราการไหลปริมาตรของของเหลวที่ไหลเข้าสู่ร่างกาย					
5	ความถูกต้องของปริมาตรของของเหลวที่ไหลเข้าสู่ร่างกาย ที่ได้จากการประมวลผลในโปรแกรมจากปริมาตรที่ได้กำหนดไว้					
6	ความน่าเชื่อถือได้ของระบบ					
7	การป้องกันข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น					
8	ความถูกต้องในการแจ้งเตือนข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น					

ด้านที่ 3 การประเมินด้านความสามารถการทำงานในด้านความง่ายต่อการใช้งานระบบ (Usability Test)

	ข้อความ	ดีมาก	ดี	พอใช้	ปรับปรุง	ไม่เหมาะสม
1	ความง่ายต่อการใช้งานของระบบ					
2	ความเหมาะสมในการใช้ปุ่มควบคุมเพื่อติดต่อกับผู้ใช้					
3	ความเหมาะสมในการเลือกใช้ขนาดของตัวอักษรบนจอภาพแสดงผล					
4	ความเหมาะสมในการใช้สีของตัวอักษร					

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

	ข้อความ	ดีมาก	ดี	พอใช้	ปรับปรุง	ไม่เหมาะสม
5	ความเหมาะสมในการใช้ข้อความเพื่ออธิบายสื่อความหมาย					
6	ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบหน้าจอภาพ					
7	ความเป็นมาตรฐานเดียวกันในการออกแบบการใช้งานปุ่มควบคุมเพื่อติดต่อกับผู้ใช้					
8	ความเหมาะสมในการปฏิสัมพันธ์โต้ตอบกับผู้ใช้					

ด้านที่ 4 ประเมินด้านความสามารถการทำงานในด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลในระบบ (Security Test)

	ข้อความ	ดีมาก	ดี	พอใช้	ปรับปรุง	ไม่เหมาะสม
1	การกำหนดระบบความปลอดภัยในการเข้าใช้งานระบบ					
2	การตรวจสอบสิทธิก่อนการใช้งานของผู้ใช้ระบบ					
3	การควบคุมให้ใช้งานตามสิทธิผู้ใช้ได้อย่างถูกต้อง					

ด้านที่ 5 ประเมินด้านระบบความปลอดภัย และระบบแจ้งเตือนในกรณีที่มีความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการใช้งานระบบ (Safety Test)

	ข้อความ	ดีมาก	ดี	พอใช้	ปรับปรุง	ไม่เหมาะสม
1	มีระบบความปลอดภัย และระบบแจ้งเตือนสัญญาณเสียงในการตรวจจับฟองอากาศ					
2	มีระบบความปลอดภัย และระบบแจ้งเตือนสัญญาณเสียงเมื่อประตูเปิดขณะใช้งาน					
3	มีระบบความปลอดภัย และระบบแจ้งเตือนสัญญาณเสียงในระบบตรวจสอบสาย หากมีการอุดตันในสายทั้งด้านบน (upstream)และด้านล่าง (downstream) ของเครื่อง					
4	มีระบบตรวจสอบเครื่อง กรณีเครื่องมีความผิดปกติของการใช้งานเมื่อไม่ได้เสียบสายไฟ (mains power disconnection) ขณะที่แบตเตอรี่อ่อนกำลัง (low battery)					

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี

<u>ส่วนที่ 3</u> ข้อเสนอแนะ

โปรดแสดงความคิดเห็นและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการพัฒนาระบบ

....

....

....

....

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในการให้ข้อมูลที่เป็นจริงจากท่าน

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ภาคผนวก ค

แบบสอบถามเพื่อประเมินประสิทธิภาพ และความพึงพอใจต่อเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำและระบบติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย

คำชี้แจงในการตอบแบบสอบถาม

1. แบบสอบถามฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นเครื่องมือในการประเมินประสิทธิภาพ และระดับความพึงพอใจในการใช้เครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ ที่พัฒนาขึ้นจากการดำเนินงานวิจัยเรื่อง “การพัฒนาเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำและระบบติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย”

2. แบบสอบถามมีทั้งหมด 2 หน้า แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 สถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ความคิดเห็นเกี่ยวกับคุณภาพ และประสิทธิภาพของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ ที่พัฒนาขึ้น

ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นเกี่ยวกับความพึงพอใจต่อเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ ที่พัฒนาขึ้น

3. โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องที่เป็นสถานภาพของท่าน หรือที่ต้องการแสดงความคิดเห็น

ผู้วิจัยขอขอบคุณท่านที่ให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามฉบับนี้ เพื่อเป็นการพัฒนาเครื่องให้สารละลายฯ อย่างต่อเนื่อง ความคิดเห็นของท่านจึงมีคุณค่าต่อการพัฒนาเป็นอย่างยิ่ง

นพ. นุสิทธิ์ ชัยประเสริฐ

ส่วนที่ 1 สถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

เพศ :	☐ ชาย	☐ หญิง		
อายุ :	☐ ต่ำกว่า 20 ปี	☐ 20 – ต่ำกว่า 40 ปี	☐ 40 – ต่ำกว่า 50 ปี	☐ 50 ปีขึ้นไป
การศึกษา :	☐ ต่ำกว่าปริญญาตรี	☐ ปริญญาตรี	☐ ปริญญาตรีโท	☐ ปริญญาเอก
ตำแหน่งงาน	☐ พยาบาลวิชาชีพ	☐ ผู้ช่วยพยาบาล	☐ แพทย์	☐ อื่น ๆ ....
ประสบการณ์การทำงาน :	☐ ต่ำกว่า 6 ปี	☐ 6 – ต่ำกว่า 10 ปี	☐ 10 – 15 ปี	☐ 15 ปีขึ้นไป

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ส่วนที่ 2 การประเมินคุณภาพ และประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องควบคุมการให้สารละลาย และระบบติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย

ประเด็น	ระดับคะแนน				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ					
1.1 เป็นสิ่งที่พัฒนาขึ้นใหม่โดยรูปแบบวิธีการทำงานดีกว่าเดิม					
1.2 สามารถพัฒนาต่อยอดได้					
1.3 สามารถทำงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ได้อย่างถูกต้อง					
2. ความเหมาะสมของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ ในด้านการออกแบบ					
2.1 รูปแบบมีความเหมาะสมมีการออกแบบได้ดึงดูดความสนใจ มีขนาด และน้ำหนักที่เหมาะสมในการใช้งาน					
2.2 เทคนิคในการออกแบบระบบการทำงานมีความเหมาะสม การทำงานมีความสัมพันธ์สอดคล้องและถูกต้องตามหลักวิชาการ					
2.3 ความชาญฉลาดในการประดิษฐ์คิดค้น ในการใช้ความรู้หรือเทคโนโลยีได้อย่างครบถ้วนสมบูรณ์					
2.4 ความปลอดภัยในการใช้ และความเหมาะสมกับสภาพการใช้งาน					
3. การใช้วัสดุเพื่อผลิตเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ					
3.1 มีการเลือกใช้วัสดุที่มีคุณค่าเหมาะสมกับสภาพและประโยชน์ในการใช้งาน					
3.2 คุณภาพของวัสดุที่ใช้มีความคงทน แข็งแรง และมีความปลอดภัย					
4. คุณค่าของเครื่องควบคุมการให้สารละลายฯ					
4.1 มีประโยชน์ในการใช้งานตามวัตถุประสงค์ สามารถช่วยพัฒนาคุณภาพการทำงานได้					
4.2 มีประสิทธิภาพ สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องตามที่กำหนดไว้					
4.3 มีประสิทธิผล ก่อให้เกิดผลงานที่คุ้มค่าต่อการลงทุนและสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้					
4.4 สามารถพัฒนาไปสู่เชิงพาณิชย์ หรืออุตสาหกรรมในปัจจุบันได้					

มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

ส่วนที่ 3 แบบสอบถามระดับความพึงพอใจต่อเครื่องให้สารละลายทางหลอดเลือดดำ และระบบติดตามโดยการส่งสัญญาณแบบไร้สาย

ประเด็น	ระดับความพึงพอใจ				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. ด้านการใช้ประโยชน์ได้จริง					
1.1 สิ่งประดิษฐ์มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน					
1.2 นวัตกรรมมีประโยชน์ต่อท่าน และผู้ป่วยผู้เข้ารับบริการ					
2. ด้านความปลอดภัย					
2.1 ท่านหรือผู้ป่วยผู้เข้ารับบริการ สามารถใช้นวัตกรรมได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย					
3. ความสวยงาม					
3.1 นวัตกรรมมีความเรียบง่าย					
3.2 นวัตกรรมน่าสนใจ และน่าใช้					
4. ด้านความคุ้มค่า คุ้มทุน					
4.1 นวัตกรรมทำให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า มีประสิทธิภาพ ไม่ฟุ่มเฟือย					

ข้อเสนอแนะ ....

....

....

....

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี