บทความวิจัย

การประชุมวิชาการ งานวิจัยและพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 8

8th ECTI-CARD 2016, Hua Hin, Thailand

เครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัด

Blood infusion warmer for patient blood transfusion in operation room

เสนอ สะอาด* รุ่งลาวัลย์ ชูสวัสดิ์ และ ดรุณี ชายทอง

[1]สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

1 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000 โทรศัพท์: 0-7431-7162 E-mail: s_saner@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบสร้างเครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัด เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของเลือดก่อนให้ผู้ป่วยในห้องผ่าตัดให้มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นใกล้เคียงกับอุณหภูมิของร่างกาย เพื่อป้องกันการเกิดภาวะอุณหภูมิกายต่ำ (Hypothermia) ในขณะผ่าตัด เครื่องอุ่นเลือดฯ ถูกออกแบบให้มีชุดทำความร้อน 2 ชุด คือ (1) ชุดทำความร้อนที่ถุงเลือด และ (2) ชุดทำความร้อนที่สายให้เลือด ซึ่งใช้ขดลวดทำความร้อนในการเพิ่มอุณหภูมิและมีเซนเซอร์ทำหน้าที่ในการตรวจจับอุณหภูมิ ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีโหมดการทำงาน 2 โหมด คือ โหมดอัตโนมัติและโหมดกำหนดการใช้งานโดยผู้ใช้ ผลการทดสอบการทำงานพบว่า สามารถเพิ่มอุณหภูมิของเลือดก่อนให้ผู้ป่วยได้ประมาณ 20 ถึง 30 องศาเซลเซียส โดยเฉลี่ยอุณหภูมิเลือดจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที (ที่อัตราการไหล 22 มิลลิลิตรต่อนาที)

คำสำคัญ: เครื่องอุ่นเลือด ภาวะอุณหภูมิกายต่ำ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ขดลวดทำความร้อน

Abstract

This article presents the design of blood infusion warmer for patient blood transfusion in operation room. It uses to increase temperature of blood before operation to be similar to body temperature and prevent low temperature (Hypothermia) during operation. It is designed to have two sets of heater; 1) blood bag set heater and 2) cable kit heater which uses the heating coil to increase temperature and have sensor to detect temperature. The blood warmer for patient blood transfusion in operation room controls the operation with microcontrollers. It is divided into two modes; 1) automatic mode and 2) manual mode. The experimental result showed that it could increase blood temperature before transfusion to patients around 20 to 30 degrees Celsius. The average temperature raised approximately 1.5 degrees Celsius per minute (the flow rate at 22 ml per minute).

Keywords: blood warmer, hypothermia, microcontroller, heater coil

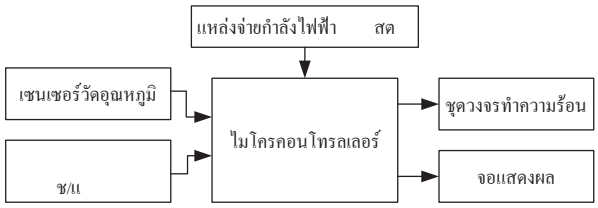
1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมี อัตราการเกิดอุบัติเหตุ อยู่ในระดับที่น่าวิตก ซึ่งในการเกิดอุบัติเหตุผู้บาดเจ็บจะมีการสูญเสียเลือดจากอุบัติเหตุและในการผ่าตัด ปกติในร่างกายของมนุษย์จะมีเลือดเป็นองค์ประกอบอยู่ 7-8 เปอร์เซ็นต์ หากมีการสูญเสียเลือดหรือเลือดไหลออกจากร่างกายไปมากกว่าหนึ่งในสามส่วน ก็อาจมีอันตรายถึงชีวิตได้ [1]

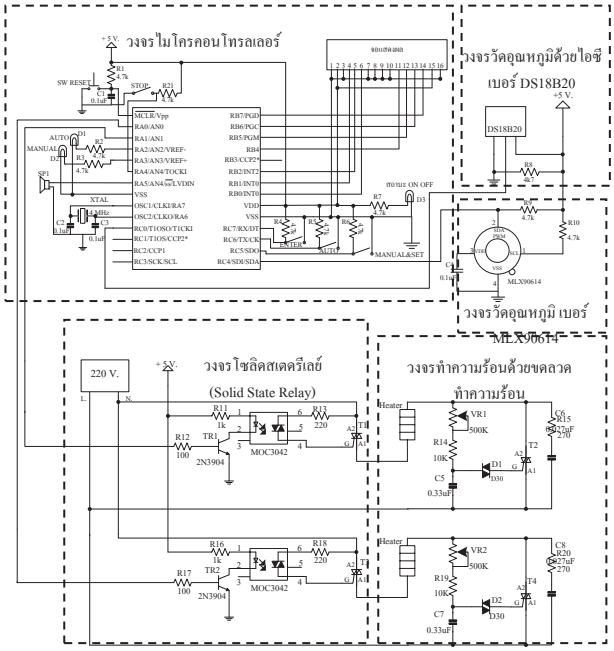
ในการผ่าตัดผู้ป่วยในแต่ละครั้ง ต้องมีการให้เลือดทดแทนเลือดที่สูญเสียไป การให้เลือดทนแทนในปริมาณที่มากกว่าปริมาณเลือดทั้งหมดในร่างกายของผู้ป่วยภายในระยะเวลา 2-3 ชั่วโมง อาจทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนอันได้แก่ ภาวะอุณหภูมิกายต่ำ (Hypothermia) ทำให้เกิดความดันโลหิตต่ำ กล้ามเนื้อขดเกร็งและเกิดอาการช็อกได้ เนื่องจากเลือดที่นำมาให้ทดแทนมีการเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส การให้เลือดจึงควรเพิ่มอุณหภูมิเลือดให้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของร่างกาย (37 องศาเซลเซียส) ดังนั้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งต้องมีการควบคุมอุณหภูมิของเลือดก่อนให้ผู้ป่วย [2] จึงได้มีการประดิษฐ์เครื่องอุ่นเลือดและสารละลายเพื่อใช้ในการป้องกันภาวะอุณหภูมิกายต่ำในผู้ป่วยขณะผ่าตัด [3] โดยผู้ช่วยศาสตราจารย์ทันตแพทย์สุรพงษ์ วงศ์วัชรานนท์ เครื่องดังกล่าวสามารถอุ่นเลือดและน้ำเกลือในอุณหภูมิที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตาม มีการใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมซึ่งมีขนาดใหญ่และราคาสูง เครื่องอุ่นเลือด Barkey รุ่นS-line [4] นำเข้าจากประเทศเยอรมันเพื่อใช้อุ่นสายให้เลือดและน้ำเกลือ ซึ่งมีใช้อยู่ในโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ สามารถปรับอุณหภูมิให้อยู่ที่ประมาณ 39 องศาเซลเซียส ค่าความผิดพลาดไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตาม เครื่องดังกล่าวไม่สามารถปรับตั้งค่าอุณหภูมิได้และมีราคาค่อนข้างสูง และเครื่อง Blood and Infusion Warmer Nuova/05 [5] สามารถตั้งค่าการทำงานได้ตั้งแต่ 37–41 องศาเซลเซียส ค่าความผิดพลาดไม่เกิน 0.5 องศาเซลเซียส แต่อย่างไรก็ตามการใช้งานค่อนข้างยุ่งยาก เพราะต้องนำสายให้เลือดพันรอบแกนที่ให้ความร้อนและมีราคาสูง

จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบเครื่องอุ่นเลือดสำหรับให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัด เพื่อทำหน้าที่ปรับค่าอุณหภูมิของเลือดให้มีค่าที่เหมาะสมก่อนการให้เลือดทดแทนแก่ผู้ป่วย เพื่อลดการเกิดภาวะอุณหภูมิกายต่ำและเกิดการช็อก โดยใช้เทคนิคการถ่ายเท

ความร้อนจากวงจรทำความร้อนไปยังถุงเลือดและสายให้เลือด มีตัวเซ็นเซอร์เพื่อตรวจวัดของอุณหภูมิและแสดงค่าอุณหภูมิของเลือดก่อนให้ผู้ป่วยผ่านทางจอแสดงผลควบคุมการทำงานโดยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 1 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของการทำงานของเครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัด



รูปที่ 2 วงจรเครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดฯ ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

2. การออกแบบเครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัด

เครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัด แสดงดังในรูปที่ 1 ถูกออกแบบให้ทำหน้าที่ในการเพิ่มอุณหภูมิเลือดหรือของเหลวให้มีค่าอุณหภูมิสูงขึ้นโดยอัตโนมัติ หรือกำหนดโดยผู้ใช้ มีเซนเซอร์วัดค่าอุณหภูมิเลือดตลอดเวลา ควบคุมทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีระบบหยุดการทำงานโดยอัตโนมัติหากอุณหภูมิที่วัดได้สูงกว่าที่กำหนด สามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

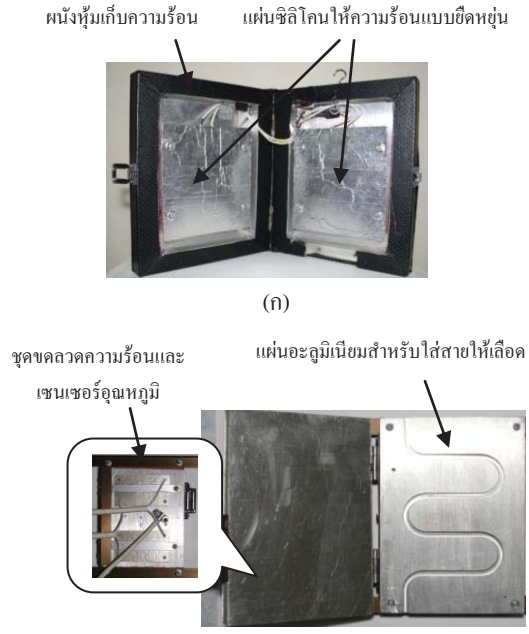
(1) เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ทำหน้าที่ในวัดอุณหภูมิโดยใช้เซนเซอร์ MLX90614 ถูกติดตั้งในถุงให้เลือดและเซนเซอร์ DS18B20 ถูกติดตั้งในสายให้เลือด ทั้งสองชุดจะส่งค่าอุณหภูมิที่วัดได้ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลต่อไป

(2) ชุดวงจรทำความร้อน ทำหน้าที่ในการเพิ่มอุณหภูมิของเลือดในถุงเลือดและในสายให้เลือด โดยจะใช้ขดลวดและแผ่นทำความร้อนเป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิ ให้มีค่าตามอุณหภูมิของเครื่องอุ่นเลือดที่กำหนด

(3) ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลหลัก โดยจะรับค่าอินพุตจากวงจรเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ แล้วทำการประมวลผลตามโปรแกรมที่ออกแบบไว้ เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรทำความร้อน ถูกออกแบบให้ทำงาน 2 โหมด คือ แบบอัตโนมัติ (Auto) และแบบกำหนดโดยผู้ใช้ (Manual) โดยในโหมดการทำงานอัตโนมัติจะถูกกำหนดค่าอุณหภูมิไว้ที่ 37 องศาเซลเซียส และในโหมดกำหนดโดยผู้ใช้สามารถกำหนดค่าอุณหภูมิในช่วง 25-40 องศาเซลเซียส นอกจากนั้นยังมีระบบแจ้งเตือนหากอุณหภูมิเลือดที่วัดได้มีค่าสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส

(4) จอแสดงผล ทำหน้าที่แสดงการทำงานของระบบ เช่น ค่าอุณหภูมิของชุดอุ่นเลือดในถุงเลือด ชุดอุ่นเลือดในสายให้เลือด เป็นต้น

จากหลักการทำงานของเครื่องอุ่นเลือดถูกนำมาออกแบบเป็นวงจรควบคุมการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2 โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ทำหน้าที่เป็นหัวใจสำคัญของระบบ โดยการรับค่าอุณหภูมิที่ได้จากตัวเซนเซอร์ในถุงเลือดและในสายให้เลือด เพื่อควบคุมชุดทำความร้อนให้มีความเหมาะสมทั้งสองตำแหน่ง ซึ่งในการออกแบบจะเห็นได้กำหนดให้มีการให้ความร้อนในการอุ่นเลือดสองตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การติดตั้งชุดทำความร้อนของเครื่องอุ่นเลือดฯ
(ก) ชุดให้ความร้อนในถุงเลือด (ข) ชุดทำความร้อนในสายให้เลือด

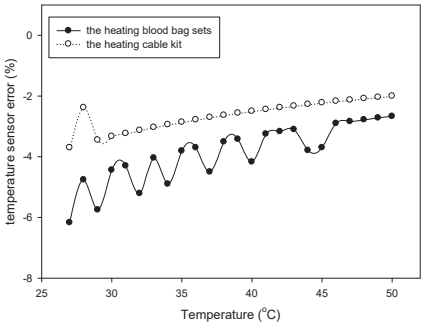
รูปที่ 4 เครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัดที่นำเสนอ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

เครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัดที่นำเสนอดังแสดงในรูปที่ 4 ถูกนำมาทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการทำงาน โดยการทดสอบการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ชุดให้ความร้อนในถุงเลือดและชุดสายให้เลือด การวัดค่าอุณหภูมิจะมีการติดตั้งชุดวัดอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยทำการวัดค่าอุณหภูมิที่ได้จากเครื่องอุ่นเลือดเปรียบเทียบกับมิเตอร์วัดอุณหภูมิมาตรฐาน ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 27-50 องศาเซลเซียส โดยจะทำการทดลองเป็นจำนวน 3 ซ้ำ ผลการทดสอบการทำงานพบว่าชุดให้ความร้อนในถุงเลือด มีค่าความผิดพลาดสูงสุด 6 เปอร์เซ็นต์ และชุดสายให้เลือดค่าความผิดพลาดสูง 3.5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในรูปที่ 6 การทดสอบการทำงานของเครื่องอุ่นเลือดดังแสดงในรูปที่ 7 เป็นการทดสอบการทำงานโดยทำการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำที่มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในปริมาณ 350 มิลลิลิตร เท่ากับปริมาณของเลือดที่ใช้กับผู้ป่วย แล้วตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องอุ่นเลือดฯ ไว้ที่ 32, 37, 40, 45, และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แล้วทำการอุ่นน้ำในถุงเลือดเป็นเวลา 5 นาที ก่อนทำการปล่อยให้น้ำไหลออกจากถุง ทำการวัดค่าอุณหภูมิของน้ำทุก 2 นาที ผลการทดสอบการทำงานพบว่าอุณหภูมิของน้ำจะมีค่าค่อยๆ เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำจะมีการเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยสามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำจาก 4 องศาเซลเซียส ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 20 – 39 องศาเซลเซียส โดยเฉลี่ยอุณหภูมิของน้ำจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2.19 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อัตราการไหลของน้ำ 21.86 มิลลิลิตรต่อนาที

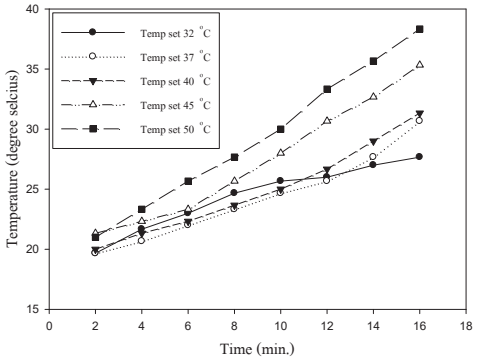
รูปที่ 9 แสดงการทดสอบการทำงานของเครื่องอุ่นเลือดฯ ทดสอบด้วยถุงเลือดที่มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส โดยตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องอุ่นเลือดไว้ที่ 45 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบการทำงานพบว่าเลือดจะมีอุณหภูมิค่อยๆ เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับน้ำแต่จะมีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่น้อยกว่า โดยเฉลี่ยอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นประมาณ 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อัตราการไหล 21.86 มิลลิลิตรต่อนาที ดังแสดงในรูปที่ 10 จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิของเลือดที่เพิ่มขึ้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อัตราการไหลของเลือด การชดเชยอุณหภูมิของวงจรทำความร้อนและ ระยะเวลาในการอุ่นถุงเลือดก่อนการให้เลือด

รูปที่ 5 การทดสอบการทำงานของตัวเซนเซอร์วัดอุณหภูมิในชุดให้ความร้อนในถุงเลือดและชุดสายให้เลือด



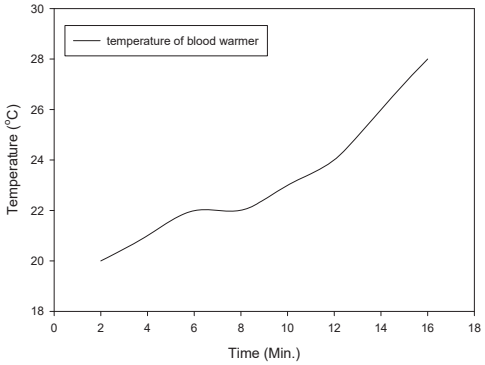
รูปที่ 6 การเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิที่อ่านได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิกับมิเตอร์ในชุดให้ความร้อนในถุงเลือดและชุดสายให้เลือด

รูปที่ 7 การทดสอบการทำงานของเครื่องอุ่นเลือดฯ ด้วยอุ่นน้ำเมื่อกำหนดการทำงานที่อุณหภูมิต่างๆ



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นกับระยะเวลาเมื่อกำหนดการทำงานของเครื่องอุ่นเลือดที่ค่าอุณหภูมิต่างๆ

รูปที่ 9 การทดสอบการทำงานของเครื่องอุ่นเลือดฯ เมื่อกำหนดการทำงานของเครื่องที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส



รูปที่ 10 ความสมันพันธ์ของอุณหภูมิเลือดที่เพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับระยะเวลาเมื่อกำหนดการทำงานที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

4. สรุป

เครื่องอุ่นเลือดสำหรับการให้เลือดผู้ป่วยในห้องผ่าตัดที่ได้ออกแบบ มีประสิทธิภาพในการเพิ่มอุณหภูมิของเลือดได้อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยใช้เทคนิคการอุ่นเลือดทั้งในบริเวณถุงเลือดและสายให้เลือด โดยสามารถเพิ่มอุณหภูมิของเลือดได้สูงสุดถึง 30 องศาเซลเซียส มีอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่อัตราการไหล 21.86 มิลลิลิตรต่อนาที เครื่องมีค่าสูญเสียพลังงานไฟฟ้า 38 วัตต์ จึงเหมาะที่จะนำมาใช้สำหรับใช้งานสำหรับการให้เลือดผู้ป่วย เพื่อป้องกันการเกิดภาวะอุณหภูมิกายต่ำ (Hypothermia) ในขณะผ่าตัด เพื่อลดการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย และขอขอบคุณนักศึกษาสาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน ตลอดจนโรงพยาบาลหาดใหญ่และโรงพยาบาลสงขลานครินทร์

เอกสารอ้างอิง

[1] วิน เชยชมศรี, “โลหิตวิทยา”, *วารสารอิเล็กทรอนิกส์ สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*, 2547. หน้า 1-21.

[2] ศักดา ดาดวง, “37 °C สุขภาพดี”, *ศูนย์หนังสือ ส.ส.ท.*, กรุงเทพมหานคร, 2553.

[3] สุรพงษ์ วงศ์วัชรานนท์, “การประดิษฐ์เครื่องอุ่นเลือดและสารละลายเพื่อใช้ในการป้องกันภาวะอุณหภูมิกายต่ำในผู้ป่วยขณะผ่าตัด”, คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สงขลา, 2548.

[4] Barkey GmbH & Co. KG.(2009) *The BarkeyS-line*. [online] ได้จาก: http://www.barkey.de/en/medical-technology/infusion-warming/s-line.html.

[5] Nuova GmBs. .(2012, Jun 05) *Blood and Infusion Warmer Nuova/05.* [online] ได้จาก: http://www.nuova.de/en/blood_ _infusion_warmer_nuova05.php.

เสนอ สะอาด

จบการศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโท จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ปี พ.ศ. 2542 และ 2548 ตามลำดับ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ทำงานวิจัยด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ด้านกระประยุกต์ใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ และด้านพลังงานทางเลือก