

## เครื่องให้เลือด

สมชัย เถาสมบัติ\*

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อออกแบบ และสร้างเครื่องให้เลือดที่สามารถฉีดเลือดเข้าสู่หลอดเลือดได้โดยไม่ต้องแฉวน หรือถือถุงเลือดไว้เหนือเข็มฉีดเลือดเหมือนการให้เลือดแบบใช้หลักความโน้มถ่วง เครื่องให้เลือดนี้สามารถทำงานให้ทั้งขณะนำคิคว ไปกับผู้ป่วย วางไว้บนเตียงผู้ป่วย และวางไว้ใต้เตียงผู้ป่วย

---

\* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

## เครื่องให้เลือด

### บทนำ

ปัจจุบันจำนวนประชากรมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ โรคภัยไข้เจ็บ อุบัติเหตุ การฆาตกรรม และการสู้รบฆ่าฟันกันย่อมเพิ่มขึ้นเป็นเงาตามตัว ด้วยเหตุนี้ สิ่งสำคัญสิ่งหนึ่งที่จะขาดเสียมิได้ และมีแนวโน้มที่จะต้องจัดหาเพิ่มขึ้นเพื่อบรรเทาหรือรักษาผู้ป่วย หรือผู้ได้รับบาดเจ็บอันเกิดจากเหตุการณ์ต่าง ๆ ดังกล่าวคือ สถานรักษาพยาบาล และเครื่องมือแพทย์ หรือเครื่องมือช่วยในการรักษาพยาบาลอันทันสมัย

ถ้ามีความจำเป็นต้องเข้าไปในสถานพยาบาลไม่ว่าแห่งใดก็ตาม ภาพที่มักจะพบเห็นกันอยู่เป็นนิจก็คือ ภาพของผู้ป่วยนอนอยู่บนเตียงมีดุง (ขาด) น้ำเกลือ หรือเลือดแขวนอยู่ใกล้ ๆ เตียง มีสายน้ำเกลือ หรือเลือดต่อจากดุง (ขาด) เข้าสู่เข็มที่ฝังปลายอยู่ภายในหลอดเลือดของผู้ป่วย เหตุการณ์เช่นนี้บางท่านอาจประสบมาด้วยตนเองแล้ว การให้น้ำเกลือเป็นการให้สารอาหารแก่ผู้ป่วยทางเส้นเลือดในรายที่ผู้ป่วยไม่สามารถรับประทานอาหารได้ หรือต้องงดอาหารเพื่อเตรียมตัว เข้ารับการผ่าตัด หรือภายหลังการผ่าตัดแล้ว สำหรับการให้เลือดนั้นมิใช่วัตถุประสงค์เพื่อทดแทนเลือดที่ผู้ป่วยต้องสูญเสียไปมากในขณะที่ได้รับบาดเจ็บ หรือขณะผ่าตัด

การให้เลือด หรือน้ำเกลือแก่ผู้ป่วยในรายที่ไม่ใช่ผู้ป่วยฉุกเฉินมักจะแขวนดุง (ขาด) บรรจุเลือด หรือน้ำเกลือไว้กับตะขอขาตั้งข้าง ๆ เตียงผู้ป่วย โดยให้ดุง (ขาด) อยู่สูงจากเข็มประมาณหนึ่งเมตร เพื่อให้เลือด หรือน้ำเกลือไหลเข้าสู่ร่างกายทางหลอดเลือด ด้วยความโน้มถ่วงของโลก และปรับอัตราการไหลให้เหมาะสมด้วยแคลิป์แบบลูกกลิ้ง

ในรายของผู้ป่วยฉุกเฉินที่ต้องเร่งร้อนนำส่งสถานพยาบาลโดยด่วนนั้น จะต้องมี การเคลื่อนย้ายตัวผู้ป่วยออกจากสถานที่เกิดเหตุ นำขึ้นรถพยาบาล หรือยานพาหนะอื่น ๆ เพื่อนำส่งสถานพยาบาล เมื่อถึงสถานพยาบาลก็ห้องนำผู้ป่วยออกจากรถ นำขึ้นเตียงผู้ป่วยเพื่อนำเข้ารักษาพยาบาลต่อไป จะพบว่าขั้นตอนต่าง ๆ ในการเคลื่อนย้ายตัวผู้ป่วยจากที่เกิดเหตุส่ง

สถานพยาบาลนั้น ห้องใช้คนช่วยเคลื่อนย้ายหลายคน ใช้สองคนเป็นอย่างน้อยในการยก หรือหามเปลผู้ป่วย ในรายที่มีรถพยาบาลไปรับก็จะมีรถพยาบาล และมีการให้เลือด หรือน้ำเกลือตามความจำเป็นของอาการผู้ป่วยก่อนนำส่งสถานพยาบาล จะต้องมีอีกหนึ่งคนเป็นผู้ถือถุง (ขวด) บรรจุเลือด หรือน้ำเกลือไว้เหนือผู้ป่วยประมาณหนึ่งเมตร และวิ่งตามเปลผู้ป่วยไปทุกหนทุกแห่ง เป็นเหตุการณ์ที่วุ่นวาย และไม่คล่องตัว และยังเป็นเหตุให้การนำผู้ป่วยส่งสถานพยาบาลช้าลงด้วย

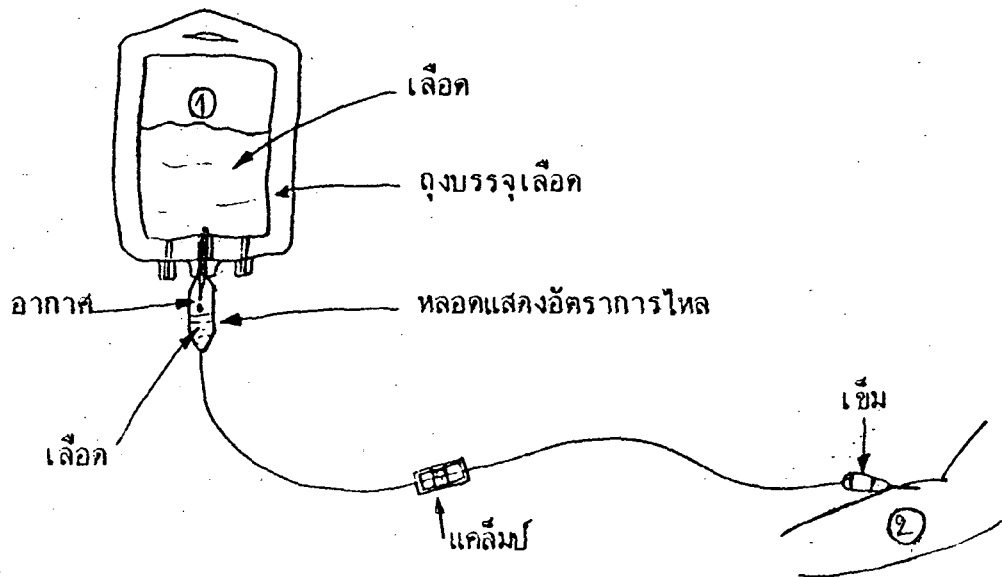
ในกรณีของทหารที่กำลังรบคิพหันอยู่ในสนามรบนั้น หากได้รับบาดเจ็บ และจำเป็นต้องการปฐมพยาบาลให้นำน้ำเกลือ หรือให้เลือดก็ตาม การปฏิบัติการปฐมพยาบาล การให้นำน้ำเกลือ หรือให้เลือดแก่ทหารที่บาดเจ็บนั้นยังมีความยุ่งยากเป็นที่สุด เนื่องจากการให้นำน้ำเกลือ หรือให้เลือด และการเคลื่อนย้ายผู้ได้รับบาดเจ็บไม่อาจทำได้โดยสะดวก และเปิดเผยการชูดึง (ขวด) เลือด หรือน้ำเกลือไว้เหนือผู้ได้รับบาดเจ็บเป็นระยะประมาณหนึ่งเมตรนั้นย่อมไม่สามารถทำได้ ต้องถือไว้ในระดับต่ำ ๆ เพื่อไม่ให้เป็นที่สะดุดตาของข้าศึก ซึ่งการทำเช่นนั้นจะเป็นเหตุให้เลือดในร่างกายผู้ได้รับบาดเจ็บไหลย้อนกลับออกมาทางสายให้เลือด หรือน้ำเกลือให้

จากข้อขัดข้อง และความไม่สะดวกนานาประการดังกล่าวแล้ว การให้เลือด หรือน้ำเกลือด้วยการอาศัยความโน้มถ่วงของโลกจึงเหมาะสำหรับผู้ป่วย หรือผู้ได้รับบาดเจ็บที่นอนพักรักษาตัวอยู่กับที่ แต่ไม่เหมาะ และไม่สะดวกเป็นอย่างยิ่งที่จะใช้กับผู้ป่วยฉุกเฉิน และทหารบาดเจ็บในสนามรบ ผู้เขียนจึงได้ดำเนินการวิจัย และสร้างเครื่องให้เลือด หรือให้นำน้ำเกลือขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถให้เลือด หรือให้นำน้ำเกลือแก่ผู้ป่วยได้โดยไม่ต้องมีผู้หนึ่งผู้ใดช่วยถือถุง (ขวด) บรรจุเลือด หรือน้ำเกลือ แต่จะใช้วิธีพอกพาบกับหัวผู้ป่วย หรือผู้ได้รับบาดเจ็บ หรือวางไว้บนเตียง หรือใต้เตียงก็ได้ เครื่องให้เลือด หรือน้ำเกลือที่สร้างขึ้นนี้จะใช้กับเลือด หรือน้ำเกลือที่บรรจุถุงเท่านั้น การทำงานของเครื่องจะใช้ความดันจากอากาศอัดที่กำเนิดขึ้นภายในเครื่องเป็นตัวสร้างความดันแก่เลือด หรือน้ำเกลือภายในถุง และขับดันเลือด หรือน้ำเกลือดังกล่าวเข้าสู่หลอดเลือดในร่างกาย โดยอากาศอัดที่ใช้สร้างความดันนั้นไม่ได้สัมผัสกับเลือด หรือน้ำเกลือในถุงโดยตรง ซึ่งจะไม่ก่อให้เกิดการปนเปื้อนเชื้อโรค

ในเลือด หรือน้ำเกลืออย่างเด็ดขาด

ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

ตามปกติการให้เลือดแก่ผู้ป่วยที่สูญเสียเลือดจะใช้วิธีกดถุง (ขวด) เลือดให้สูงกว่าระดับเข็มให้เลือดเพื่อสร้างความดันให้แก่เลือดที่ปลายเข็มให้สูงพอที่เลือดจะไหลเข้าสู่ร่างกายได้ เลือดในถุง (ขวด) เลือดจะไหลผ่านหลอดแสดงอัตราการไหล (สามารถทราบอัตราการไหลของเลือดได้จากการนับจำนวนหยดเลือดที่ไหลผ่านต่อหนึ่งหน่วยเวลา) ผ่านท่อพลาสติกซึ่งมีแคลมป์สำหรับปรับอัตราการไหลแบบลูกกลิ้งสวมอยู่ไปยังเข็มให้เลือด การไหลของเลือดจากถุง (ขวด) เลือดไปยังปลายเข็ม และเข้าสู่ร่างกายจะเป็นไปตามกฎการไหลของของไหลหนืดในท่อ เนื่องจากอัตราการไหลและความเร็วของเลือดที่ให้ หรือฉีดเข้าสู่ร่างกายนั้นต่ำ ลักษณะการไหลของเลือดในท่อจึงเป็นแบบลามินาร์ การพิจารณาการไหลของเลือด หรือความต้านการให้เลือดจึงพิจารณาได้จากสมการเบอร์นูลลี



สมการ เบอร์นูลลี

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_L$$

โดยที่

- $P_1$  คือ ความดันที่ระดับเลือดในอุ้งบรรจุเลือด
- $P_2$  คือ ความดันที่ปลายเข็มให้เลือด
- $V_1$  คือ ความเร็ว ของระดับเลือดในอุ้งบรรจุเลือด
- $V_2$  คือ ความเร็ว ของเลือดที่ปลายเข็มให้เลือด
- $Z_1$  คือ ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงของระดับเลือดในอุ้งบรรจุเลือด
- $Z_2$  คือ ระดับความสูงจากระดับอ้างอิงของปลายเข็มให้เลือด
- $h_L$  คือ ความสูญเสียความดันในท่อ ข้อต่อ แคสึมป์ และ เข็ม

เนื่องจาก  $V_1$  มีค่าน้อยมาก ๆ จึงไม่หึงนำมาคำนึงถึงได้ ดังนั้นสมการเบอร์นูลีจึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$\frac{P_2 - P_1}{\gamma} = Z_1 - Z_2 - \frac{V_2^2}{2g} - h_L$$

$$\frac{\Delta P}{\gamma} = -\Delta Z - \frac{V_2^2}{2g} - h_L$$

ถ้า  $h_2$  เป็นความสูญเสียความดันอันเนื่องมาจากความเสียดทานภายในท่อ ข้อต่อต่าง ๆ ท่อบริเวณที่ถูกแคสึมป์หนีบ และเข็มขณะแคสึมป์ไม่ได้ทำงาน (ไม่ได้หนีบท่อ) ค่าความสูญเสียความดันของเลือดภายในท่อจะมีค่าน้อยมากเนื่องจากความเร็วของเลือดภายในท่อต่ำ และท่อเป็นท่อที่มีผิวภายในเรียบเป็นมัน ค่าความสูญเสียความดันจะสูงขึ้นเป็นลำดับเมื่อแคสึมป์หนีบท่อมากขึ้น ๆ ค่าความสูญเสียความดันส่วนใหญ่จึงเป็นค่าที่เกิดจากการปรับแคสึมป์ สำหรับความเร็ว  $V_2$  ก็ค่อนข้างต่ำ ซึ่งทำให้เทอม  $\frac{V_2^2}{2g}$  มีค่าต่ำกว่าเทอมอื่น ๆ มาก ดังนั้นจะเห็นว่าค่าความดันแตกต่างกันระหว่างความดันที่ปลายเข็ม และที่อุ้งเลือดจะขึ้นอยู่กับระดับแตกต่างของปลายเข็มกับอุ้งเลือด และการปรับแคสึมป์ ถ้าปรับแคสึมป์ไว้ไม่ได้หนีบ

ถึง 9-12 ซม.น้ำ ความดันเลือดดำจะลดลงในช่วงหายใจเข้า และในขณะที่เกิดภาวะช็อก จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการหายใจแบบ positive pressure breathing ขณะออกกำลัง ภายปริมาณเลือดเพิ่ม และในภาวะหัวใจวาย ในภาวะหัวใจวายแบบมีเลือดคั่ง ความดันเลือดดำหน้าข้อศอกอาจสูงถึง 20 มม.ปรอท (27 ซม.น้ำ) หรือมากกว่านั้น

ปกติการให้เลือด หรือน้ำเกลือแก่ผู้ป่วยจะให้ทางหลอดเลือดดำหน้าข้อศอก หรือ บริเวณหลังมือ ซึ่งถ้าพิจารณาจากข้อมูลต่าง ๆ ช่างค้นจะพบว่าความดันในหลอดเลือดดำนั้น จะไม่สูงเกิน 100 ซม.น้ำ ( $P_2$ ) ในทางปฏิบัติการให้เลือด หรือน้ำเกลือแบบอาศัยความโน้มถ่วงก็แขนง (ขวด) เลือดไว้สูงจากเข็มประมาณ 100 ซม. อยู่แล้ว ถ้าการให้เลือดกระทำโดยให้ถุงเลือดอยู่ในระดับเดียวกับเข็ม การสร้างความดันแก่ถุงเลือด 100 ซม.น้ำ ก็สามารถฉีดเลือดเข้าสู่หลอดเลือดได้แล้ว โดยไม่ต้องคำนึงถึงค่าความสูญเสียความดันภายในท่อขณะแคสึมป์ไม่ได้หนีบท่อ และค่า  $\frac{v^2}{2g}$  โดยทั่วไปเตียงผู้ป่วยจะอยู่สูงจากพื้นประมาณ 1 เมตร หรือสูง-ต่ำกว่าอีกเล็กน้อย ดังนั้นเพื่อให้การออกแบบเครื่องให้เลือดสามารถวางหรือติดตั้งเครื่องได้ในทุก ๆ ระดับจึงกำหนดให้สร้างความดันแก่ถุงเลือด 250 ซม.น้ำ แล้วปรับอัตราการไหลของเลือดด้วยแคสึมป์แบบลูกกลิ้ง เมื่อต้องการปรับอัตราการไหล หรือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับแตกต่างระหว่างเครื่องให้เลือด และเข็ม

### การออกแบบและสร้าง

การฉีดเลือดเข้าหลอดเลือดยังมีนอกจากการใช้หลักความโน้มถ่วงของโลก  
แล้วยังมีอีกวิธีหนึ่งที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันคือ การใช้เครื่องสูบลมลูกกลิ้งรีดท่อที่ค่อจากหลอดอ่าน  
อัตราการใช้ของถุงเลือด วิธีนี้มีมิใช่สำหรับการถ่ายเลือดจำนวนมาก ๆ และวิธีนี้มีข้อเสีย  
คือ ทำให้เม็ดเลือดทั้งเม็ดเลือดแดง และเม็ดเลือดขาวแตกเสียหายไปบางส่วน เนื่องจาก  
การใช้เลือดนั้นไม่สามารถใช้เครื่องสูบลมดูดเลือดเข้าสู่หลอดได้โดยตรง เพราะเชื่อโรคอาจ  
ปนเปื้อนไปกับเลือดได้ การขับดันเลือดเข้าสู่หลอดเลือดจึงนิยมขับดันผ่านอุปกรณ์ให้เลือดที่มีใช้  
อยู่ในปัจจุบัน การวิจัยครั้งนี้ใช้หลักการขับดันเลือดผ่านถุงเลือดโดยการใช้ความดันแก่ถุงเลือด  
ทั่วอากาศอัด

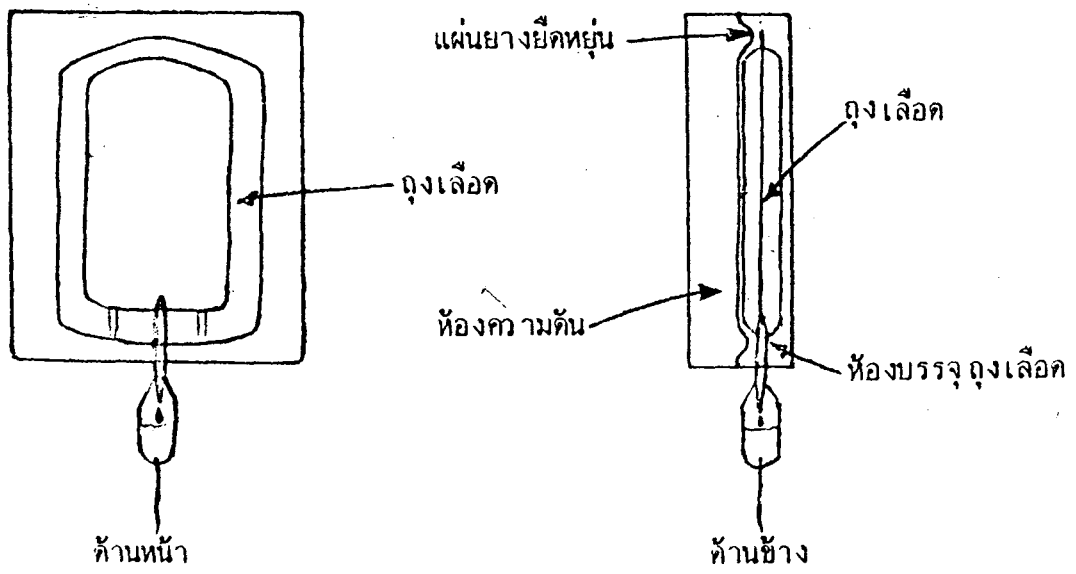
เครื่องให้เลือดที่ออกแบบ และสร้างขึ้นประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนด้วยกัน  
คือ

1. ห้องความดันสำหรับบรรจุถุงเลือด
2. อุปกรณ์สร้างความดันให้แก่ห้องความดัน

ห้องความดันที่ได้ออกแบบ และทดลองใช้แล้วมี 2 แบบคือ แบบให้ความดัน  
จากอากาศอัด หรือแก๊สกดดันถุงเลือดโดยตรง วิธีนี้มีปัญหาในเรื่องการซีล หรือการป้องกัน  
การสูญเสียความดันเนื่องจากการรั่วไหลของอากาศอัด หรือแก๊สโดยรอบของฝาปิด-เปิดห้อง  
ความดัน อีกวิธีหนึ่งคือ เป็นห้องความดันสองชั้นใช้แผ่นยางที่ยึดหยุ่นได้ดีเป็นผนังกั้นระหว่าง  
ห้องทั้งสอง ห้องหนึ่งเป็นห้องที่รับความดันจากอุปกรณ์สร้างความดัน หรือแก๊ส ส่วนอีกห้องหนึ่ง  
สำหรับบรรจุถุงเลือดมีฝาปิด-เปิดได้ วิธีนี้จะตัดปัญหาเรื่องการรั่วไหลของความดันจากอากาศ  
อัด หรือแก๊สออกไปได้อย่างสิ้นเชิง ความดันจากอากาศอัด หรือแก๊สจะกดแผ่นยางยึดหยุ่นและ  
ส่งผ่านแรงกดดันไปยังถุงเลือดอีกต่อหนึ่ง

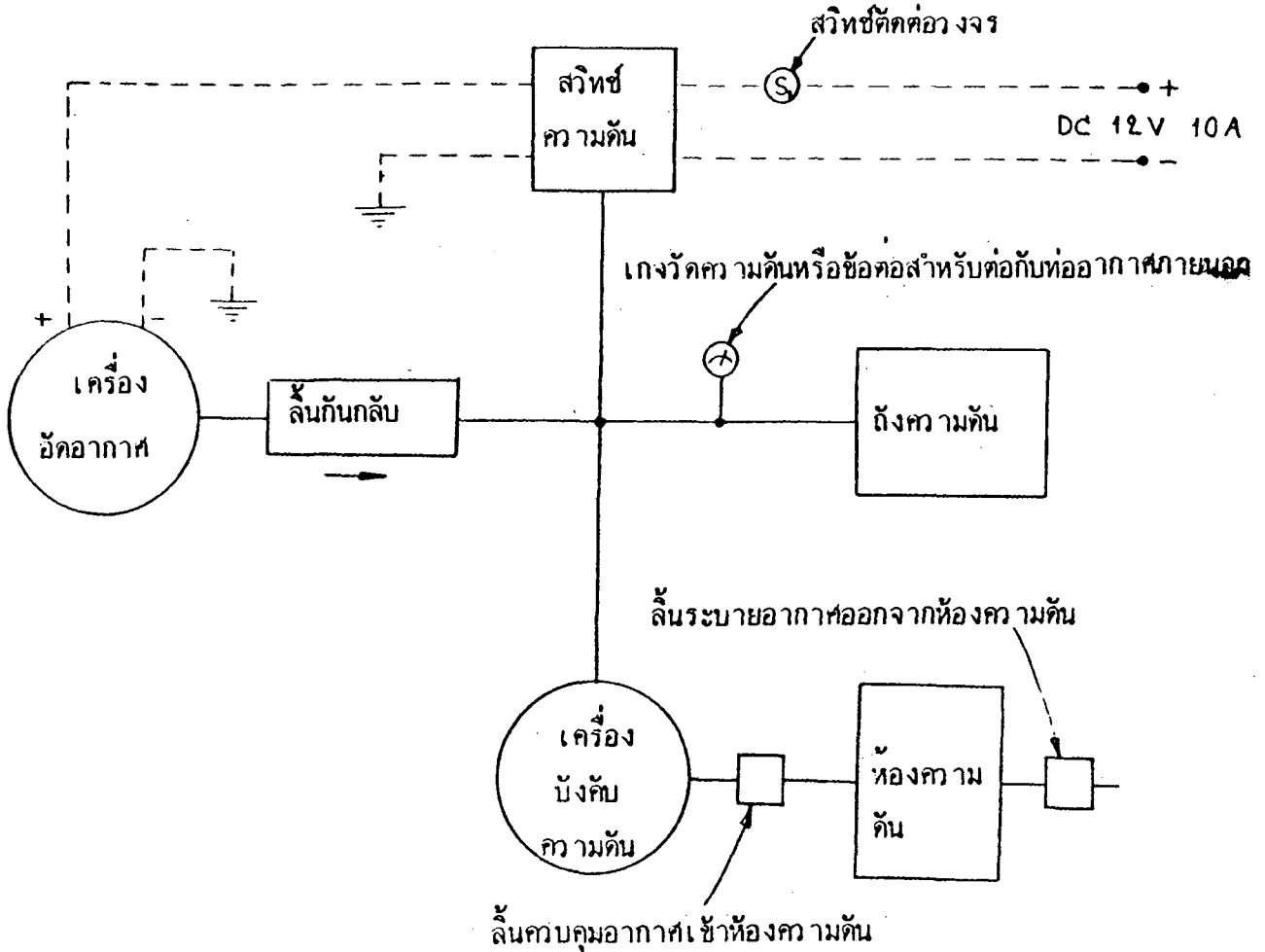
อุปกรณ์สร้างความดันให้แก่ห้องความดันนั้นได้ออกแบบ และทดลองใช้อยู่หลาย  
แบบด้วยกันคือ ชุดเครื่องอัดอากาศ และบังคับความดันแบบ Solenoid ถึงแก๊สความดัน  
สูง และเครื่องบังคับความดัน และอุปกรณ์สร้างความดันแบบใช้เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบ

ขนาดเล็กทำงานร่วมกับถังบรรจุอากาศขนาดเล็ก และเครื่องบังคับความดันแบบแรกนั้นต้องใช้กระแสไฟฟ้ามาก และ Solenoid ทำงานหลายครั้งต่อการให้เลือดหนึ่งถุง แบบที่สองเป็นแบบใช้ความดันจากแก๊ส แก๊สที่เหมาะสมที่จะใช้กับงานนี้ก็คือน้ำแก๊ส CO<sub>2</sub> เนื่องจากแก๊ส CO<sub>2</sub> ที่บรรจุถึงทั้งขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ที่จำหน่ายในตลาด ภายในประเทศนั้นมีความดันสูงมากคือประมาณ 250 bar เป็นเหตุให้ชิ้นส่วนต่าง ๆ ต้องมีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมาก อีกประการหนึ่งการหาซื้อแก๊ส CO<sub>2</sub> ถึงขนาดเล็กที่มีจำหน่ายอยู่ในขณะนี้ไม่สามารถหาซื้อได้โดยง่าย จะมีจำหน่ายอยู่เพียงไม่กี่แห่ง โดยเฉพาะในต่างจังหวัดจะหาซื้อไม่ได้เลย จึงเห็นว่าวิธีนี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้กับเครื่องให้เลือดในขณะนี้ วิธีสุดท้ายคือ ใช้เครื่องอัดอากาศชนิดลูกสูบทำงานร่วมกับถังความดัน และเครื่องบังคับความดัน เครื่องอัดอากาศอัดอากาศเข้าในถังความดันโดยมีสวิตซ์ความดันเป็นตัวควบคุมความดันของอากาศในถังความดัน อากาศอัดภายในถังความดันจะไหลผ่านเครื่องบังคับความดันไปยังห้องความดันเพื่อกดคันถุงเลือด วิธีนี้ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ



รูปแสดงห้องความดัน และห้องบรรจุถุงเลือด





รูปแสดงวงจรอากาศอัดและไฟฟ้าของเครื่องให้เลือด

เครื่องอัดอากาศจะเริ่มทำงานเมื่อเปิดสวิตช์  $s_1$  ให้ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ 10 แอมป์ ไหลผ่านสวิตช์ความดันไปยังเครื่องอัดอากาศขณะความดันภายในถังความดันต่ำ อากาศอัดจากเครื่องอัดอากาศจะไหลผ่านล้นกันกลับเข้าสู่ถังความดัน เมื่อความดันภายในถังความดันสูงถึงความดันที่กำหนดไว้ สวิตช์ความดันจะตัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องอัดอากาศ อากาศภายในถังความดันไหลผ่านเครื่องบังคับความดันเพื่อลดความดันลง และไหลไปยังห้องความดันกดดันเลือด ล้นควบคุมอากาศเข้าห้องความดันจะยอมให้อากาศไหลเข้าสู่ห้องความดัน เมื่อเปิดฝาห้องบรรจุถุงเลือด และล้นระบายอากาศออกจากห้องความดันจะทำงานเมื่อต้องการระบายอากาศออกจากห้องความดันเพื่อต้องการให้ห้องบรรจุถุงเลือดมีปริมาณพอที่จะใส่ถุงเลือดเข้าไปใหม่ได้โดยการกดปุ่มบังคับล้น ส่วนเกจวัดความดันที่แสดงไว้ในวงจร

นั้นจะขึ้นอยู่กับข้อต่อที่สามารถต่อกับท่ออากาศอัดภายนอกเครื่องได้ ในกรณีที่ใช้เครื่องนี้ในสถานพยาบาลที่มีระบบท่ออากาศอัดภายในสถานพยาบาลก็สามารถต่อท่ออากาศอัดของเครื่องเข้ากับระบบท่ออากาศอัดของสถานพยาบาลเพื่อใช้อากาศอัดจากระบบท่ออากาศอัดแทนการใช้ไฟฟ้าขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศได้ นอกจากนี้ความดันจากเครื่องนี้ยังต่อไปใช้งานอื่นภายนอกได้ด้วยการขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศอัดอากาศผ่านข้อต่อ

### การทดลอง

ในการทดลองในระยะเบื้องต้นจะใช้ท่อที่สร้างความดันให้เท่ากับ ความดันภายในหลอดเลือดดำของผู้ป่วยทั่ว ๆ ไป แทนหลอดเลือดผู้ป่วยจริง ๆ แล้วฉีดของไหลที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับเลือดเข้าไป จากการทดลองปรากฏผลเป็นที่น่าพอใจมาก เครื่องอัดอากาศทำงานหนึ่งครั้งสามารถอัดอากาศเข้าสู่ถึงความดันให้พอเพียงที่จะใช้กดดันถุงเลือดให้เลือดไหลเข้าสู่หลอดเลือดได้ 1 ถุง ที่ความดันภายในถึงความดันประมาณ 3.4 bar (49.3 psig) และความดันภายในห้องความดันประมาณ 250 cm. H<sub>2</sub>O (3.675 psig) สวิตซ์ความดันทำหน้าที่ตัดต่อวงจรไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เครื่องอัดอากาศ เครื่องอัดอากาศเริ่มทำงานที่ความดันประมาณ 0.5 bar (7.25 psig) และหยุดทำงานที่ความดันประมาณ 3.4 bar (49.3 psig) เครื่องบังคับความดันทำหน้าที่บังคับความดันอากาศที่จ่ายให้ห้องความดันให้คงที่ที่ 250 cm. H<sub>2</sub>O (3.675 psig) อัตราการไหลสามารถควบคุมได้ตั้งแต่ไม่ไหลจนกระทั่งไหลเป็นลำของของไหล เนื่องจากอัตราการไหลที่ใช้ในการให้เลือดจะอ่านจากจำนวนหยดเลือดต่อเวลาจึงนับได้ว่าอัตราการไหลครอบคลุมช่วงอัตราการไหลของการให้เลือด

สรุป

เครื่องให้เลือดที่ออกแบบ และสร้างขึ้นทำงานด้วยอากาศอัดกดดันสูงเลือดผ่านแผ่นยางยืดหยุ่น ใช้ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ 10 แอมป์ ขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศหนึ่ง-ครั้งสามารถให้เลือดได้ 1 ถุง ความดันภายในถึงความดันประมาณ 3.4 bar ความดันภายในห้องความดันประมาณ 250 cm. H<sub>2</sub>O ปรับอัตราการไหลด้วยแคลมป์แบบลูกกลิ้งสามารถปรับอัตราการไหลได้ครอบคลุมอัตราการไหลที่ห้องการ นอกจากนั้นยังใช้อากาศอัดภายนอกเครื่องต่อเข้าเครื่องแทนการใช้กระแสไฟฟ้าได้ และในทางกลับกันก็สามารถใช้ความดันจากเครื่องต่อออกไปใช้งานอื่นภายนอกได้ด้วยกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องนี้สามารถใช้ได้ทั้งกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ และไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ต่อผ่านเครื่องแปลงกระแส และแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเครื่องให้เลือดขนาด 12 โวลต์ 10 แอมป์

เอกสารอ้างอิง

1. Fox, R.W. and McDonald, A.T., Introduction to Fluid Mechanics, John Wiley & Sons, 1978.
2. White, F.M., Fluid Mechanics, International Student Edition, McGraw-Hill, 1979.
3. คณิงนิจ พงศ์ภากรมกล. สัมพันธศาสตร์พื้นฐานของการไหลเวียน. กรุงเทพฯ : แม็ค, 2529
4. วัฒนา ผลากรกุล. จลนศาสตร์ของการไหลเวียนเลือด. กรุงเทพฯ :โครงการตำราศิริราช, 2527