

นิพนธ์ต้นฉบับ

การบรรจุหีบห่อเพื่อการขนส่งส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็ง โดยใช้น้ำเกลือแช่แข็ง

ธีระ วิทยาวิวัฒน์

ฝ่ายคัดกรอง จ่ายโลหิตและผลิตภัณฑ์ ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ

บทคัดย่อ : บทนำ : องค์การอนามัยโลกกำหนดเกณฑ์มาตรฐานอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการขนส่งส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็ง (Frozen Plasma Component) ที่อุณหภูมิ -18°C หรือต่ำกว่า และระยะเวลาไม่เกิน 24 ชั่วโมง ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติได้กำหนดให้ใช้น้ำแข็งแห้ง (dry Ice) เป็นวัสดุให้ความเย็นในการบรรจุหีบห่อ ทำให้โรงพยาบาลต้องเตรียม dry ice ในการมารับส่วนประกอบโลหิต แต่ dry ice เป็นวัสดุที่มีราคาสูง ใช้แล้วหมดไป หาซื้อได้ยากโดยเฉพาะโรงพยาบาลต่างจังหวัด และมีอันตรายหากใช้อย่างไม่ระมัดระวัง **วัตถุประสงค์ :** เพื่อทดลองเตรียม Ice pack (IP) โดยใช้น้ำเกลือ และศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ ice pack ที่เตรียมได้ในการขนส่งส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็ง ที่สามารถรักษาอุณหภูมิได้ตามเกณฑ์มาตรฐานขององค์การอนามัยโลก **วัสดุอุปกรณ์ / วิธีการ :** ทดลองเตรียม IP โดยใช้ขวด PET บรรจุน้ำเกลือที่มีปริมาณเกลือ 10%, 30%, 40% และ 50% W/V แล้วทำการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบ และทดสอบโดยนำ IP ไปใช้ในการบรรจุหีบห่อ Fresh Frozen Plasma (FFP) และ cryo-precipitate จำนวน 20 และ 50 ยูนิต ตามลำดับ ในที่มีอุณหภูมิภายนอก $25-35^{\circ}\text{C}$ และทดสอบการนำไปใช้งานในสภาวะการขนส่งจริง โดยจัดส่ง FFP จำนวน 20 ยูนิต ไปยังภาคบริการโลหิตแห่งชาติ จังหวัดลพบุรี ทางรถโดยสารประจำทาง **ผลการศึกษา :** IP ที่เตรียมขึ้นมีน้ำหนัก 1.5 กิโลกรัมต่อขวด ภายในบรรจุน้ำเกลือที่มีปริมาณเกลือ 40% W/V (Ice Pack C : IPC) สามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำสุดต่อขวดคือ -22.6°C และรักษาอุณหภูมิได้ดี โดยในเวลาที่ 30 ยังสามารถรักษาอุณหภูมิได้ที่ -22.0°C ในการบรรจุหีบห่อ FFP จำนวน 20 ยูนิตต่อกล่อง ใช้ IPC จำนวน 7 ขวด โดยทดสอบ 3 ครั้ง พบว่า สามารถรักษาอุณหภูมิของ FFP ได้ต่ำกว่า -18.0°C ได้นาน 13-14 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่อง -23.2 ถึง -23.8°C และอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกกล่อง $29.7-30.6^{\circ}\text{C}$ และในการบรรจุหีบห่อ cryoprecipitate จำนวน 50 ยูนิตต่อกล่อง ใช้ IPC จำนวน 8 ขวด โดยทดสอบ 3 ครั้ง พบว่า สามารถรักษาอุณหภูมิของ cryo-precipitate ได้ต่ำกว่า -18.0°C ได้นาน 16-22 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่อง -22.1 ถึง -22.6°C และอุณหภูมิเฉลี่ยภายนอกกล่อง $29.0-31.9^{\circ}\text{C}$ และสามารถใช้ในการสภาวะการขนส่งจริงเป็นเวลา 7 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยของ FFP ระหว่างขนส่งอยู่ที่ -25.4°C ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และส่วนประกอบโลหิตมีสภาพดี ไม่แตกหัก และไม่ละลาย **สรุป :** IPC สามารถนำไปใช้ในการรักษาอุณหภูมิของส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็งในระหว่างการขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานอุณหภูมิที่องค์การอนามัยโลกกำหนดตลอดระยะเวลาการขนส่ง สามารถนำมาใช้ทดแทน dry ice ได้ ซึ่ง IPC นี้ ธนาคารเลือดของโรงพยาบาล หน่วยงานหรือองค์กรต่างๆ สามารถเตรียมได้เองจากวัสดุที่หาง่าย เตรียมง่าย มีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและส่วนประกอบโลหิตที่ขนส่ง ทนทาน และสามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้ซ้ำได้อีก จึงเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งอย่างมาก

Key Words : ● Ice pack ● Frozen plasma component ● Transportation ● FFP
● Cryoprecipitate ● Packing ● Dry ice

วารสารโลหิตวิทยาและเวชศาสตร์บริการโลหิต 2551;18:183-97.

ได้รับต้นฉบับ 1 พฤษภาคม 2551 ให้ลงตีพิมพ์ 23 พฤษภาคม 2551

ต้องการสำเนาต้นฉบับติดต่อ นายธีระ วิทยาวิวัฒน์ ฝ่ายคัดกรอง จ่ายโลหิตและผลิตภัณฑ์ ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติสภากาชาดไทย ถนนอังรีดูนังต์ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

ตามระบบห่วงโซ่ความเย็น (Blood Cold Chain) อุณหภูมิมีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของโลหิตและส่วนประกอบโลหิต โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บรักษาโลหิตภายหลังการเจาะเก็บ การปั่นแยกเป็นส่วนประกอบโลหิตชนิดต่างๆ และการเก็บรักษาคุณภาพโลหิตและส่วนประกอบโลหิตแต่ละชนิดให้อยู่ในอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อรอการนำไปใช้ ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาโลหิตและส่วนประกอบโลหิตแต่ละชนิดนั้นแตกต่างกัน โดยส่วนประกอบโลหิตประเภทเม็ดโลหิตแดง (red cell components) เก็บที่อุณหภูมิ 2-6 °C.^{1,2} ส่วนประกอบโลหิตประเภทเกล็ดโลหิต (platelet components) เก็บที่อุณหภูมิ 20 ถึง 24 °C.¹⁴ และส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็ง (frozen plasma components) เก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 °C.^{2,4} ทั้งนี้ ครอบคลุมไปถึงการขนส่งโลหิตและส่วนประกอบโลหิตไปยังธนาคารเลือดของโรงพยาบาลต่างๆ ก็ต้องมีการควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการขนส่งให้เหมาะสมด้วย ซึ่งองค์การอนามัยโลกได้กำหนดเกณฑ์มาตรฐานของอุณหภูมิสำหรับการขนส่งสำหรับส่วนประกอบโลหิตประเภทเม็ดโลหิตแดงอยู่ที่ 2-10 °C. ประเภทเกล็ดโลหิตอยู่ที่ 20-24 °C. และประเภทพลาสมาแช่แข็งอยู่ที่ -18 °C. หรือต่ำกว่า และระยะเวลาในการขนส่งไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง¹ การที่โลหิตและส่วนประกอบโลหิตอยู่ในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมในระหว่างการขนส่งจะทำให้คุณภาพของโลหิตและส่วนประกอบโลหิตเสียไป ไม่ได้มาตรฐานและใช้ไม่ได้ผลในการรักษาผู้ป่วย หรืออาจเกิดผลเสียกับผู้ป่วยที่ได้รับโลหิตหรือส่วนประกอบโลหิตนั้นๆ เช่น ส่วนประกอบโลหิตชนิดพลาสมาสดแช่แข็ง (Fresh Frozen Plasma, FFP) และไครโอปริซิปปิต (cryoprecipitate) ที่อยู่ในอุณหภูมิสูง จะทำให้ปริมาณ Factor V และ Factor VIII ซึ่งเป็น labile coagulation factor ที่สำคัญลดลง¹ และอาจเกิดก้อนไฟบรินหลังละลายได้ ซึ่งศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติได้กำหนดให้ใช้น้ำแข็งแห้ง (dry ice) เป็นวัสดุให้ความเย็นเพื่อรักษาคุณภาพสำหรับการขนส่งส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็ง เนื่องจากสามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำมากถึง -78.3 °C.⁵ ทำให้สามารถมั่นใจในคุณภาพของ FFP และ cryoprecipitate ที่ขนส่งไปยังภาคบริการโลหิตแห่งชาติและโรงพยาบาลในต่างจังหวัด แต่ dry ice ก็เป็นวัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้แล้วหมดไป มีราคาสูง หาซื้อได้ยาก และมีอันตรายหากใช้อย่างไม่ระมัดระวัง เช่น การสัมผัสกับ dry ice โดยตรง การหมุนเวียนของอากาศที่ไม่ดี ทำให้ผู้ปฏิบัติงานอาจได้รับอันตรายได้ โดยปัญหาที่พบในงานบริการโลหิตคือ โรงพยาบาลในบางจังหวัดหรือบางพื้นที่ไม่สามารถหาซื้อ dry ice ได้เนื่องจากไม่มีผู้ให้บริการ และการเบิกส่วน

ประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็งในกรณีฉุกเฉินของโรงพยาบาลต่างๆ ทั้งในเขตกรุงเทพมหานครและต่างจังหวัดไม่สามารถหาซื้อได้ เนื่องจากอยู่นอกเวลาให้บริการของบริษัทผู้ขาย หรือหาซื้อได้แต่ไม่ทันเวลาที่ต้องการใช้

วัตถุประสงค์

1. ทดลองเตรียมวัสดุให้ความเย็น (ice pack) โดยใช้น้ำเกลือ ที่สามารถทดแทนการใช้ dry ice ในการขนส่งส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็ง
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้ ice pack ที่เตรียมได้ในการขนส่งส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็ง ที่สามารถรักษาอุณหภูมิได้ตามเกณฑ์มาตรฐานขององค์การอนามัยโลก

วัสดุและวิธีการ

1. การศึกษาทดลองเตรียม Ice pack

1.1 วัสดุอุปกรณ์

- 1.1.1 ขวดพลาสติชนิด Poly Ethylene Terephthalate (PET) ขนาด 1.5 หรือ 1.25 ลิตร ได้แก่ ขวดบรรจุน้ำดื่มหรือขวดบรรจุน้ำอัดลมทั่วไป
- 1.1.2 เกลือแกงป่นชนิดถุง
- 1.1.3 น้ำประปา
- 1.1.4 กรวย
- 1.1.5 บีกเกอร์หรือกระบอกตวง ขนาด 2 ลิตร
- 1.1.6 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริงจานเดี่ยว ความละเอียด 0.1 กรัม ชั่งน้ำหนักในช่วง 0.1 กรัม ถึง 12 กิโลกรัม
- 1.1.7 ตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -25 °C. ถึง -30 °C.
- 1.1.8 Standard thermometer รุ่น Testo 925 พร้อม probe class 1 สามารถวัดอุณหภูมิได้ละเอียด 0.1 °C. ในช่วงอุณหภูมิ -50 °C. ถึง +200 °C.⁶ จำนวน 2 เครื่อง
- 1.1.9 กล้องโฟมขนาดบรรจุ 0.69 ลูกบาศก์ฟุต หนา 2.0 เซนติเมตร ขนาดกว้าง x ยาว x สูง : 10 x 15 x 13 นิ้ว จำนวน 4 กล่อง
- 1.1.10 เทปกาวใสสำหรับปิดกล่องโฟม

1.2 วิธีการเตรียม Ice pack (รูปที่ 1-3)

- 1.2.1 ชั่งเกลือแกงป่นให้ได้น้ำหนักที่ต้องการทดสอบ โดยแบ่งเป็น A : เกลือแกงป่นหนัก 120 กรัม



รูปที่ 1 วัสดุอุปกรณ์สำหรับทดลองเตรียม ice pack



รูปที่ 2 ice pack ที่เตรียมเรียบร้อยแล้ว ภายในบรรจุน้ำเกลือเข้มข้น



รูปที่ 3 ice pack ที่นำออกจากตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -28°C ภายในบรรจุแช่แข็งนานประมาณ 30 ชั่วโมง

B : เกลือแกงป่นหนัก 360 กรัม

C : เกลือแกงป่นหนัก 480 กรัม

D : เกลือแกงป่นหนัก 600 กรัม

1.2.2 เทเกลือแกงป่นลงในขวดพลาสติก PET โดยแยกเป็น 4 ขวด A, B, C และ D ตามลำดับ

1.2.3 เติมน้ำประปาลงไปในขวด ปิดฝาขวดให้แน่น เขย่าผสมให้เกลือละลายดี แล้วปรับปริมาตรให้ได้สารละลายที่มีปริมาตร 1,200 มิลลิลิตร ทุกขวด จะได้น้ำเกลือที่มีปริมาณเกลือเป็น 10%, 30%, 40% และ 50% W/V ในขวด A, B, C และ D ตามลำดับ

1.2.4 ทดสอบอุณหภูมิของ ice pack (รูปที่ 4) โดยนำขวดน้ำเกลือทั้ง 4 ขวด (A, B, C และ D) ไปแช่ในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -28°C นาน 30 ชั่วโมง

1.2.5 นำออกมาวัดอุณหภูมิของ IP ทั้ง 4 โดยแยกใส่ในกล่องโฟมที่ปิดสนิทกล่องละ 1 ขวด และใช้เครื่องวัดอุณหภูมิพร้อม probe วัดอุณหภูมินาทีที่ 0, 5, 10, 20 และ 30

2 การทดสอบการบรรจุหีบห่อเพื่อการขนส่ง (ทดลองในสถานที่)

2.1 วัสดุอุปกรณ์

2.1.1 ตัวอย่างทดสอบ (ต่อการบรรจุหีบห่อแต่ละครั้ง)

- ส่วนประกอบโลหิตชนิด FFP บรรจุอยู่ในถุงพลาสติกและถุง air bubble จำนวน 20 ยูนิต เก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -28°C เป็นเวลานานไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง

- ส่วนประกอบโลหิตชนิด cryoprecipitate บรรจุในถุงพลาสติก จำนวน 50 ยูนิต เก็บในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -28°C เป็นเวลานานไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง

ส่วนประกอบโลหิตที่ใช้ทดสอบเป็นส่วนประกอบโลหิตที่หมดอายุแล้ว หรือที่มีผล antibodies screening positive ไม่ใช้กับผู้ป่วย

2.1.2 IP ที่ผ่านการศึกษาดทดลอง ขนาดน้ำหนัก 1.5



รูปที่ 4 การทดสอบอุณหภูมิของ ice pack

กิโลกรัมต่อขวด จำนวน 7 ขวด สำหรับบรรจุหีบห่อ FFP และ 8 ขวด สำหรับบรรจุหีบห่อ cryoprecipitate แช่แข็งในตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -28°ซ. นานประมาณ 30 ชั่วโมง ก่อนนำมาใช้ทดลอง

- 2.1.3 กล่องโฟมขนาดบรรจุ 1.3 ลูกบาศก์ฟุต หนา 2.5 เซนติเมตร บรรจุในกล่องกระดาษแข็งขนาดกว้าง x ยาว x สูง : 14 x 19 x 14 นิ้ว
- 2.1.4 เครื่องเก็บข้อมูลอุณหภูมิพร้อม software อ่านผล : Testo Logger 175-T2 พร้อม probe จำนวน 2 เครื่อง สามารถเก็บข้อมูลอุณหภูมิได้ละเอียด 0.1°ซ. วัดอุณหภูมิช่วง -40°ซ. ถึง +70°ซ. ตั้งเวลาเก็บข้อมูลทุก 5 นาที
- 2.1.5 Standard thermometer รุ่น Testo 925 พร้อม probe class 1 สามารถวัดอุณหภูมิได้ละเอียด 0.1°ซ. ในช่วงอุณหภูมิ -50°ซ. ถึง +200°ซ.⁶
- 2.1.6 ตู้แช่แข็งที่อุณหภูมิ -25°ซ. ถึง -30°ซ.
- 2.1.7 กระดาษฟาง
- 2.1.8 เทปกาวยึดสำหรับปิดกล่องโฟมและกล่องกระดาษ

2.2 วิธีการบรรจุหีบห่อ FFP จำนวน 20 ยูนิต (รูปที่ 5)

- 2.2.1 ปูกระดาษฟางที่ก้นกล่องโฟมหนา 4 ชั้น
- 2.2.2 วาง IP ในแนวนอนตามความยาว จำนวน 3 ขวด เพื่อไม่ให้ IP เคลื่อนที่มากและไม่ให้กล่องหลังการบรรจุหีบห่อมีน้ำหนักมากจนเกินไป
- 2.2.3 วาง FFP จำนวน 5 ยูนิต ในแนวนอนเรียงตามลำดับหีบ IP
- 2.2.4 ติดตั้ง probe บน FFP เพื่อวัดอุณหภูมิที่จุด L (ตำแหน่งล่างสุด)
- 2.2.5 วาง FFP จำนวน 5 ยูนิต ซ้อนทับในแนวนอนเรียง

ตามลำดับแบบสลับฟันปลา

- 2.2.6 ติดตั้ง probe บน FFP เพื่อวัดอุณหภูมิที่จุด M (ตำแหน่งกลาง)
- 2.2.7 วาง FFP จำนวน 5 ยูนิต ซ้อนทับในแนวนอนเรียงตามลำดับแบบสลับฟันปลา
- 2.2.8 ติดตั้ง probe บน FFP เพื่อวัดอุณหภูมิที่จุด T (ตำแหน่งบนสุด)
- 2.2.9 วาง FFP จำนวน 5 ยูนิต ซ้อนทับในแนวนอนเรียงตามลำดับแบบสลับฟันปลา
- 2.2.10 วาง IP ในแนวนอน จำนวน 4 ขวด ทับด้านบนจนเต็มพื้นที่
- 2.2.11 ปิดทับด้วยกระดาษฟางหนา 10 ชั้น
- 2.2.12 ปิดฝากล่องโฟมให้สนิท ยึดด้วยเทปการรอบด้านบรรจุลงในกล่องกระดาษปิดฝากล่อง
- 2.2.13 ติดตั้งเครื่องเก็บข้อมูลอุณหภูมิ Testo Logger 175-T2 ที่บนกล่อง เพื่อวัดอุณหภูมิที่จุด O (ภายนอกกล่องบรรจุ)
- 2.2.14 ชั่งน้ำหนักกล่องได้ประมาณ 17 กิโลกรัม

2.3 วิธีการบรรจุหีบห่อ cryoprecipitate จำนวน 50 ยูนิต (รูปที่ 6)

- 2.3.1 ปูกระดาษฟางที่ก้นกล่องโฟมหนา 4 ชั้น
- 2.3.2 วาง IP ในแนวนอนจำนวน 4 ขวด เนื่องจาก cryoprecipitate มีลักษณะบาง ละลายง่ายกว่า FFP
- 2.3.3 วาง cryoprecipitate จำนวน 10 ยูนิต ในแนวนอนกระจายทับ IP ให้ทั่ว
- 2.3.4 ติดตั้ง probe บน cryoprecipitate เพื่อวัดอุณหภูมิที่จุด L (ตำแหน่งล่างสุด)
- 2.3.5 วาง cryoprecipitate จำนวน 15 ยูนิต ในแนว



รูปที่ 5 รูปแบบการบรรจุหีบห่อ FFP จำนวน 20 ยูนิต ในภาชนะบรรจุโดยใช้ ice pack C



รูปที่ 6 รูปแบบการบรรจุหีบห่อ cryoprecipitate จำนวน 50 ยูนิต ในภาชนะบรรจุโดยใช้ ice pack C



รูปที่ 7 รูปแบบการบรรจุหีบห่อ FFP จำนวน 20 ยูนิต ในภาชนะบรรจุโดยใช้ ice pack C สำหรับจัดส่งไปยังภาคบริการโลหิตแห่งชาติ จังหวัดลพบุรี ทางรถโดยสารประจำทาง

- นอกระบายหีบห่อไปให้เต็มพื้นที่
- 2.3.6 ติดตั้ง probe บน cryoprecipitate เพื่อวัดอุณหภูมิที่จุด M (ตำแหน่งกลาง)
- 2.3.7 วาง cryoprecipitate จำนวน 15 ยูนิต ในภาชนะบรรจุหีบห่อไปให้เต็มพื้นที่
- 2.3.8 ติดตั้ง probe บน cryoprecipitate เพื่อวัดอุณหภูมิที่จุด T (ตำแหน่งบนสุด)
- 2.3.9 วาง cryoprecipitate จำนวน 10 ยูนิต ในภาชนะบรรจุหีบห่อไปให้เต็มพื้นที่
- 2.3.10 วาง IP ในภาชนะบรรจุหีบห่อจำนวน 4 ขวด หักด้านบนจนเต็มพื้นที่
- 2.3.11 ปิดทับด้วยกระดาษฟางหนา 10 ชั้น
- 2.3.12 ปิดฝากล่องโฟมให้สนิท ยึดด้วยเทปการอบด้านบรรจุลงในกล่องกระดาษปิดฝากล่อง
- 2.3.13 ติดตั้งเครื่องเก็บข้อมูลอุณหภูมิ Testo Logger 175-T2 ที่บนกล่อง เพื่อวัดอุณหภูมิที่จุด O (ภายนอกกล่องบรรจุ)
- 2.3.14 ชั่งน้ำหนักกล่องได้ประมาณ 15 กิโลกรัม

2.4 เกณฑ์การทดสอบ

ทำการทดสอบประสิทธิภาพของ IP ที่ผ่านการศึกษาดูแลและประสิทธิภาพของการบรรจุหีบห่อส่วนประกอบโลหิตโดยใช้อุณหภูมิของส่วนประกอบโลหิตและระยะเวลาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา คือ อุณหภูมิต้องต่ำกว่า -18.0°C .¹ ได้นานไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง ในทุกตำแหน่ง โดยผลการทดสอบต้องได้ผลดีตั้งแต่ครั้งแรก ให้ผลดีติดต่อกันอย่างน้อย 3 ครั้ง

3 การทดสอบประสิทธิภาพของ IPC และวิธีการบรรจุหีบห่อ FFP ในสภาวะการขนส่งจริง

หากผลการทดสอบบรรจุประสิทธิภาพแล้ว จึงทำการทดสอบ

ต่อไปโดยนำ IP ที่เตรียมได้ไปใช้ในการขนส่งส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็งในสภาวะการขนส่งจริง โดยทดลองส่ง FFP จำนวน 20 ยูนิต ไปยังภาคบริการโลหิตแห่งชาติ จังหวัดลพบุรี ทางรถโดยสารประจำทาง ซึ่งใช้เวลาเดินทางนาน 6-8 ชั่วโมง เพื่อเป็นข้อมูลยืนยันประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานจริง และวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายสำหรับการขนส่งเทียบกับการใช้ dry ice

ผลการทดสอบ

1. การศึกษาทดลองเตรียม Ice pack

เมื่อละลายเกลือแกลบกับน้ำประปาที่อุณหภูมิห้อง แล้วปรับปริมาตรให้ได้น้ำเกลือที่มีปริมาตร 1,200 มิลลิลิตร พบว่า ขวด A และ B นั้น เกลือแกลบสามารถละลายน้ำได้หมด ส่วนขวด C และ D นั้น จะมีส่วนของเกลือแกลบที่ไม่สามารถละลายน้ำได้หมด เพราะคุณสมบัติของ NaCl ในการละลายในน้ำ คือ 35.9 กรัม/100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 25°C .⁷ ผลการวัดอุณหภูมิของ IP ทั้ง 4 ที่นำออกจากตู้แช่แข็ง ที่อุณหภูมิประมาณ -28°C . ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่า 40% W/V NaCl สามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำที่สุด คือ น้ำที่ 0 มีอุณหภูมิ -22.6°C . และนานที่สุด คือ น้ำที่ 30 มีอุณหภูมิ -22.0°C . จึงได้ทดลองนำ ice pack C (IPC) มาใช้เป็นวัสดุให้ความเย็นในการศึกษาทดลองบรรจุหีบห่อเพื่อขนส่งส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็ง (FFP และ cryoprecipitate) ทดแทนการใช้ dry ice

2. การทดสอบการบรรจุหีบห่อเพื่อการขนส่ง

2.1 การทดสอบโดยใช้ FFP ในการบรรจุหีบห่อ

จากการทดสอบที่ใช้ IPC จำนวน 7 ขวด (น้ำหนักรวม 10.5 กิโลกรัม) และใช้วิธีการบรรจุหีบห่อ FFP จำนวน 20 ยูนิต ที่เหมือนกันทั้ง 3 ครั้ง แล้วนำไปตั้งไว้ในสถานที่ทดสอบที่มีอุณหภูมิภายนอกกล่องบรรจุคล้ายกันคือ 25°C . ถึง 34°C . พบ

ตารางที่ 1 Temperature of 4 concentrations of ice pack after taking out from deep freezer

Ice Pack	อุณหภูมิ (°ซ)				
	นาฬิกาที่ 0	นาฬิกาที่ 5	นาฬิกาที่ 10	นาฬิกาที่ 20	นาฬิกาที่ 30
A	-19.3	-19.8	-19.6	-19.4	-19.0
B	-19.8	-20.7	-20.6	-20.4	-20.2
C	-22.6	-23.0	-23.2	-22.5	-22.0
D	-21.3	-20.8	-20.5	-20.0	-19.5

ตารางที่ 2 Temperature of FFP inside the box and temperature outside the box for the 1st, 2nd and 3rd trials

ระยะเวลา (ชั่วโมงที่)	อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ (°ซ)											
	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2				ครั้งที่ 3			
	L	M	T	O	L	M	T	O	L	M	T	O
0.00	-14.8	-28.3	-24.0	22.7	-30.1	-28.3	-25.8	22.6	-29.5	-27.9	-30.1	23.2
0.25	-26.7	-29.6	-30.5	22.7	-30.2	-28.5	-27.4	25.6	-29.5	-29.1	-30.2	24.3
0.50	-26.5	29.9	-30.8	26.4	-30.2	-28.4	-27.3	27.9	-29.6	-29.3	-30.1	27.1
0.75	-26.2	-29.8	-30.4	28.4	-29.9	-28.2	-27.0	29.3	-29.3	-29.2	-29.6	28.9
1.00	-25.5	-29.0	-29.4	32.6	-29.0	-27.2	-26.1	31.0	-28.4	-28.7	-28.7	31.3
2.00	-24.1	-27.3	-27.3	33.7	-27.0	-26.7	-24.8	32.0	-26.3	-27.2	-26.5	32.4
3.00	-23.2	-25.1	-25.2	33.9	-25.2	-25.0	-23.6	32.2	-24.6	-25.3	-25.0	32.7
4.00	-22.5	-23.6	-23.7	33.8	-23.8	-23.3	-23.0	33.0	-23.2	-23.7	-23.8	33.5
5.00	-22.1	-22.7	-22.7	32.8	-22.7	-22.5	-22.4	33.3	-22.1	-22.2	-22.9	32.7
6.00	-21.6	-22.1	-22.1	31.7	-21.8	-21.9	-22.0	32.7	-21.3	-21.7	-22.3	32.5
7.00	-21.4	-21.5	-21.5	31.4	-21.2	-21.2	-21.6	32.2	-20.8	-20.8	-21.6	32.3
8.00	-21.0	-20.9	-21.2	31.3	-20.6	-20.6	-21.4	31.9	-20.3	-20.2	-21.3	32.4
9.00	-20.8	-20.2	-21.0	27.6	-20.3	-19.9	-21.2	31.6	-20.0	-19.5	-21.0	32.2
10.0	-20.8	-19.6	-20.7	25.8	-19.9	-19.6	-21.0	31.5	-19.6	-19.1	-20.8	31.5
11.0	-20.6	-19.2	-20.6	28.5	-19.8	-19.0	-20.8	31.2	-19.4	-18.7	-20.5	31.1
12.0	-20.4	-18.7	-20.4	30.1	-19.5	-18.6	-20.8	31.0	-19.2	-18.4	-20.6	31.0
13.0	-20.2	-18.4	-20.1	30.3	-19.4	-18.2	-20.6	30.9	-19.0	-18.1	-20.5	30.7
14.0	-20.2	-18.1	-20.1	30.7	-19.2	-17.6	-20.6	31.0	-18.8	-17.3	-20.6	30.2
15.0	-20.0	-17.5	-19.5	30.8								
Mean	-22.1	-23.6	-24.0	29.7	-24.2	-23.4	-23.3	30.6	-23.7	-23.5	-24.4	30.6
SD	2.84	4.24	3.84	3.42	4.20	3.74	2.44	2.73	4.08	4.18	3.78	2.91
Max	-14.8	-18.0	-20.1	33.9	-19.4	-18.2	-20.6	33.3	-19.0	-18.1	-20.5	33.5
Min	-26.7	-29.9	-30.8	22.7	-30.2	-28.5	-27.4	22.6	-29.6	-29.3	-30.2	23.2

หมายเหตุ L คือ ตำแหน่งล่างสุด M คือ ตำแหน่งกลาง T คือ ตำแหน่งบนสุด O คือ ตำแหน่งภายนอกกล่องบรรจุ
ค่าที่คำนวณได้เป็นค่าอุณหภูมิที่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด คือ ต่ำกว่า -18°ซ ทุกตำแหน่ง

ว่า ในการทดสอบครั้งที่ 1, 2 และ 3 สามารถรักษาอุณหภูมิของ FFP ได้ต่ำกว่า -18.0°C . ทั้ง 3 ตำแหน่ง (บน กลาง และล่าง) ได้นาน 14, 13 และ 13 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่ง คือ ตำแหน่งบนสุดที่ -24.0°C , -23.3°C . และ -24.4°C . ตามลำดับ ตำแหน่งกลางที่ -23.6°C , -23.4°C . และ -23.5°C . ตามลำดับ และตำแหน่งล่างสุดที่ -22.1°C , -24.2°C . และ -23.7°C . ตามลำดับ อุณหภูมิภายในเฉลี่ยทั้งกล่องอยู่ที่ -23.2°C , -23.6°C . และ -23.8°C . ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิภายนอกกล่องเฉลี่ยอยู่ที่ 29.7°C , 30.6°C . และ 30.6°C . ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2

2.2 การทดสอบโดยใช้ Cryoprecipitate ในการบรรจุหีบห่อ

จากการทดสอบที่ใช้ IPC จำนวน 8 ขวด (น้ำหนักรวม 12 กิโลกรัม) และใช้วิธีการบรรจุหีบห่อ cryoprecipitate จำนวน 50 ยูนิต ที่เหมือนกันทั้ง 3 ครั้ง แล้วนำไปตั้งไว้ในสถานที่ทดสอบที่มีอุณหภูมิภายนอกกล่องบรรจุคล้ายกัน คือ 25°C . 34°C . พบว่า ในการทดสอบครั้งที่ 1, 2 และ 3 สามารถรักษาอุณหภูมิของ cryoprecipitate ได้ต่ำกว่า -18.0°C . ทั้ง 3 ตำแหน่ง (บน กลาง และล่าง) ได้นาน 16, 20 และ 22 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละตำแหน่ง คือ ตำแหน่งบนสุดที่ -22.7°C , -23.4°C . และ -23.2°C . ตามลำดับ ตำแหน่งกลางที่ -21.4°C , -20.9°C . และ -21.6°C . ตามลำดับ และตำแหน่งล่างสุดที่ -22.2°C , -23.0°C . และ -23.2°C . ตามลำดับ อุณหภูมิภายในเฉลี่ยทั้งกล่องอยู่ที่ -22.1°C , -22.4°C . และ -22.6°C . ตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิภายนอกกล่องเฉลี่ยอยู่ที่ 31.9°C , 30.5°C . และ 29.0°C . ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

3. การทดสอบประสิทธิภาพของ IPC และประสิทธิภาพวิธีการบรรจุหีบห่อ FFP ในสภาวะการขนส่งจริง

จากการทดสอบโดยบรรจุหีบห่อ FFP จำนวน 20 ยูนิต ใช้ IPC จำนวน 7 ขวด และใช้รูปแบบวิธีการบรรจุหีบห่อที่ได้ทำการศึกษาทดสอบ จำนวน 1 กล่อง น้ำหนัก 17 กิโลกรัม จัดส่งไปยังภาคบริการโลหิตแห่งชาติ จังหวัดลพบุรี ทางรถโดยสารประจำทาง พบว่า อุณหภูมิของส่วนประกอบโลหิตชนิด FFP ในช่วงระยะเวลาต่างๆ จากที่หีบห่อเสร็จจนถึงเวลาที่เปิดกล่องรวม 7 ชั่วโมง มีอุณหภูมิต่ำกว่า -18.0°C ตลอดระยะเวลาที่ขนส่ง ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุณหภูมิขนส่งที่องค์การอนามัยโลกกำหนดไว้ โดยอุณหภูมิต่ำที่สุดคือ -28.9°C . และอุณหภูมิสูงที่สุดคือ -18.8°C . (ไม่นับรวมอุณหภูมิที่ชั่วโมงที่ 0 ซึ่งการบรรจุหีบห่อยังไม่เสร็จสมบูรณ์) อุณหภูมิเฉลี่ยในตำแหน่งกลางตลอดการขนส่งอยู่ที่ -25.3°C . และอุณหภูมิเฉลี่ยในตำแหน่งล่างสุดตลอดการขนส่งอยู่ที่ -25.6°C .

4. การวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลด้านค่าใช้จ่าย

เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการขนส่ง FFP และ cryoprecipitate จากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ ไปยังภาคบริการโลหิตแห่งชาติ จังหวัดลพบุรี ทางรถโดยสารประจำทาง จะเห็นได้ว่า

- การจัดส่ง FFP ในครั้งที่ 1 การใช้ IPC เป็นวัสดุให้ความเย็นจะประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าการใช้ dry ice เป็นจำนวนเงิน 361 บาท ในจำนวน FFP ที่จัดส่ง 100 ยูนิต เท่ากัน (หากไม่ได้นำกลับมาใช้หมุนเวียน) และในครั้งที่ 2, 3 และครั้งต่อไป หากนำ IPC กลับมาใช้หมุนเวียนซ้ำ จะประหยัดกว่าการใช้ dry ice เป็นเงิน 436 บาท ต่อครั้ง ในจำนวน FFP ที่จัดส่งเท่ากัน โดยคิดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง IPC กลับมาเพื่อหมุนเวียนใช้ ดังแสดงในตารางที่ 5

- การจัดส่ง cryoprecipitate ในครั้งที่ 1 การใช้ IPC เป็นวัสดุให้ความเย็นจะเสียค่าใช้จ่ายมากกว่าการใช้ dry ice เป็นจำนวนเงิน 113 บาท ในจำนวน cryoprecipitate ที่จัดส่ง 200 ยูนิต เท่ากัน ทั้งนี้ เนื่องจากต้องเสียค่าเตรียม IPC ค่าภาชนะบรรจุ และค่าขนส่งที่เพิ่มขึ้น และในครั้งที่ 2, 3 และครั้งต่อไป จะมีค่าใช้จ่ายมากกว่าการใช้ dry ice เป็นจำนวนเงิน 65 บาทต่อครั้ง ในจำนวน cryoprecipitate ที่จัดส่งเท่ากัน โดยคิดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง IPC กลับมาเพื่อหมุนเวียนใช้ ดังแสดงในตารางที่ 6

วิจารณ์

ภาชนะบรรจุสารละลายน้ำเกลือเข้มข้น 40% W/V (40% W/V NaCl) ที่ใช้เตรียมเป็น IPC ผู้ศึกษาได้เลือกใช้ขวดพลาสติกชนิด Poly Ethylene Terephthalate (PET) ขนาด 1.5 หรือ 1.25 ลิตร ได้แก่ ขวดบรรจุน้ำดื่มหรือขวดบรรจุน้ำอัดลมทั่วไป ด้วยเหตุผลที่มีความทนทานต่อการกระแทก ไม่แตกหักง่ายในอุณหภูมิที่ต่ำมากๆ ซึ่งแตกต่างจากถุงบรรจุโลหิต เพราะเมื่ออยู่ในอุณหภูมิที่ต่ำมากๆ ถุงบรรจุโลหิตจะมีความเปราะและแตกหักได้ง่าย นอกจากนี้ ยังหาได้ง่าย มีใช้อยู่ทั่วไป ราคาถูก แต่ขวด PET มีข้อด้อย คือ มีรูปทรงที่ใช้พื้นที่มาก ทำให้สามารถบรรจุ FFP ได้เพียง 20 ยูนิตต่อกล่อง ซึ่งมีน้ำหนักรวม 17 กิโลกรัมต่อกล่อง (น้ำหนัก IPC รวม 10.5 กิโลกรัม) และบรรจุ cryoprecipitate ได้เพียง 50 ยูนิตต่อกล่อง มีน้ำหนักรวม 15 กิโลกรัมต่อกล่อง (น้ำหนัก IPC รวม 12 กิโลกรัม) และการแผ่กระจายความเย็นอาจดีน้อยกว่า IP ทั่วไปที่มีรูปร่างแบนเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งใช้พื้นที่น้อยกว่าและสามารถแผ่กระจายความเย็นได้กว้างและทั่วถึงกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับภาชนะบรรจุโดยใช้ dry ice จะบรรจุ FFP ได้ 25 ยูนิตต่อกล่อง น้ำหนักรวม 16 กิโลกรัม

ตารางที่ 3 Temperature of cryoprecipitate inside the box and temperature outside the box for the 1st, 2nd and 3rd trials

ระยะเวลา (ชั่วโมงที่)	อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ (°ซ)											
	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2				ครั้งที่ 3			
	L	M	T	O	L	M	T	O	L	M	T	O
0.00	-26.0	-25.8	-25.2	21.4	-29.4	-21.1	-29.5	22.5	-30.8	-25.2	-27.9	20.0
0.25	-25.5	-25.6	-25.5	28.0	-29.1	-22.3	-29.4	28.9	-31.4	-26.2	-30.2	26.0
0.50	-25.1	-25.2	-25.2	30.8	-28.7	-23.6	-28.9	30.9	-30.9	-27.7	29.5	29.7
0.75	-24.7	-24.5	-25.0	32.1	-28.1	-24.4	-28.1	33.8	-30.1	-27.7	-29.0	31.3
1.00	-24.3	-24.0	-24.5	32.7	-27.5	-25.1	-27.5	34.8	-29.5	-27.1	-28.1	32.0
2.00	-23.1	-22.9	-23.6	33.4	-25.8	-24.5	-25.0	35.9	-27.3	-26.6	-25.5	32.4
3.00	-22.5	-21.4	-22.9	33.9	-24.1	-23.6	-23.6	35.3	-25.1	-25.1	-24.0	32.5
4.00	-22.0	-21.1	-22.5	34.1	-23.2	-22.7	-22.9	34.6	-23.6	-23.9	-23.1	33.2
5.00	-21.6	-20.9	-22.3	34.0	-22.5	-21.8	-22.5	33.5	-22.6	-22.1	-22.6	33.3
6.00	-21.4	-20.6	-22.1	34.0	-22.0	-21.3	-22.2	33.4	-22.1	-21.2	-22.2	32.9
7.00	-21.2	-20.4	-21.8	33.8	-21.6	-20.8	-22.1	34.5	-21.6	-20.9	-22.0	32.8
8.00	-21.2	-20.3	-21.8	33.6	-21.4	-20.3	-21.8	35.0	-21.2	-20.6	-21.8	32.1
9.00	-21.0	-20.2	-21.6	33.5	-21.2	-20.0	-21.7	31.9	-21.1	-20.1	-21.7	28.9
10.0	-21.0	-20.0	-21.6	33.6	-21.0	-19.7	-21.6	29.0	-20.9	-19.8	-21.6	28.0
11.0	-20.8	-20.0	-21.5	33.6	-21.0	-19.5	-21.6	28.2	-20.8	-19.6	-21.6	27.6
12.0	-20.8	-19.9	-21.4	32.9	-20.9	-19.4	-21.6	27.9	-20.7	-19.5	-21.4	27.5
13.0	-20.7	-19.6	-21.4	32.9	-20.8	-19.4	-21.6	27.8	-20.6	-19.3	-21.4	27.4
14.0	-20.6	-19.2	-21.4	32.5	-20.8	-19.3	-21.4	27.6	-20.6	-19.2	-21.3	27.3
15.0	-20.6	-18.8	-21.3	29.2	-20.7	-19.3	-21.4	27.5	-20.4	-19.1	-21.2	27.3
16.0	-20.4	-18.4	-21.2	28.1	-20.6	-19.1	-21.4	27.4	-20.4	-19.0	-21.2	27.1
17.0	-20.4	-17.8	-21.2	28.0	-20.6	-18.8	-21.4	27.3	-20.4	-18.8	-21.2	27.0
18.0					-20.5	-18.6	-21.4	27.2	-20.2	-18.7	-21.2	27.0
19.0					-20.4	-18.3	-21.3	27.3	-20.2	-18.7	-21.2	27.2
20.0					-20.4	-18.1	-21.2	29.1	-20.2	-18.6	-21.1	27.6
21.0					-20.3	-17.9	-21.1	29.5	-20.0	-18.3	-21.0	28.0
22.0									-20.0	-18.2	-21.0	28.4
23.0									-20.0	-17.9	-20.9	28.4
Mean	-22.2	-21.4	-22.7	31.9	-23.0	-20.9	-23.4	30.5	-23.2	-21.6	-23.2	29.0
SD	1.81	2.29	1.50	3.05	3.12	2.10	2.86	3.55	3.95	3.27	2.98	3.01
Max	-20.4	-18.4	-21.2	34.1	-20.4	-18.1	-21.2	35.9	20.0	-18.2	-21.0	33.3
Min	-26.0	-25.8	-25.5	21.4	-29.4	-25.1	-29.5	22.5	-31.4	-27.7	-30.2	20.0

หมายเหตุ L คือ ตำแหน่งล่างสุด M คือ ตำแหน่งกลาง T คือ ตำแหน่งบนสุด O คือ ตำแหน่งภายนอกกล่องบรรจุ
ค่าที่คำนวณได้เป็นค่าอุณหภูมิที่อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด คือ ต่ำกว่า -18°ซ ทุกตำแหน่ง

(น้ำหนัก dry ice รวม 8 กิโลกรัม) และบรรจุ cryoprecipitate
ได้ 100 ยูนิตต่อกล่อง น้ำหนักรวม 16 กิโลกรัม (น้ำหนัก dry
ice รวม 10 กิโลกรัม) ซึ่งสามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำถึง -78.3°ซ.
ทำให้มั่นใจในคุณภาพของ FFP และ cryoprecipitate ขณะที่ทำ

การขนส่ง

จากรูปแบบการบรรจุหีบห่อส่วนประกอบโลหิต ใช้รูปแบบ
การบรรจุหีบห่อเช่นเดียวกับการปฏิบัติงานจริงในปัจจุบัน ซึ่ง
เป็นรูปแบบที่สามารถป้องกันการแตกหักของส่วนประกอบโลหิต

ตารางที่ 4 Temperature of FFP inside the box between middle and bottom position during transportation to 2nd Regional Blood Centre (Lopburi).

ระยะเวลา (ชั่วโมงที่)	อุณหภูมิ (°ซ)	
	ตำแหน่งกลาง	ตำแหน่งล่างสุด
0	-18.3	-14.7
0.17	-28.1	-28.1
0.33	-28.3	-28.7
0.50	-28.1	-28.9
0.67	-27.8	-28.7
0.83	-27.5	-28.7
1.0	-27.3	-28.4
2.0	-25.7	-27.1
3.0	-24.1	-25.3
4.0	-23.0	-23.2
5.0	-22.0	-21.4
6.0	-21.4	-20.0
7.0	-20.8	-18.8
Mean	-25.3	-25.6
SD	2.78	3.62
Max	-20.8	-18.8
Min	-28.3	-28.9

หมายเหตุ เริ่มคำนวณค่าตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0.17 เนื่องจากในชั่วโมงที่ 0 การหีบห่อยังไม่เสร็จสมบูรณ์

ตารางที่ 5 Comparison of FFP transportation cost to 2nd Regional Blood Center (Lopburi) for 3 times between dry ice and ice pack C

ครั้งที่จัดส่ง	วัสดุให้ความเย็น	ค่าใช้จ่ายวัสดุให้ความเย็น (บาทxจำนวน)	จำนวน FFP (ยูนิต)	จำนวนบรรจุ(กล่อง)	ค่าขนส่ง (80บาท/กล่อง)	รวมค่าใช้จ่าย / ครั้ง (บาท)	ส่วนต่างค่าใช้จ่าย (บาท / ครั้ง)
	Dry ice	26.75 x 32* = 856	100	4	320	1,176	
1	IPC	9 x 35** = 315	100	5	400	715+100***	-361
2	IPC	240****	100	5	400	640+100***	-436
3	IPC	240****	100	5	400	640+100***	-436

* Dry ice (ราคา 26.75 บาท/กิโลกรัม) จำนวน 8 กิโลกรัม ต่อการบรรจุ FFP จำนวน 25 ยูนิต (1 กล่องบรรจุ)

** IPC (ราคาประมาณ 9 บาท/ ขวด) จำนวน 7 ขวด ต่อการบรรจุ FFP จำนวน 20 ยูนิต (1 กล่องบรรจุ)

*** ค่าภาชนะบรรจุ (กล่องโฟมพร้อมกล่องกระดาษ) ที่เพิ่มขึ้น (ราคาประมาณ 100 บาท/กล่อง)

**** ค่าขนส่ง IPC กลับเพื่อใช้หมุนเวียน (ราคา 80 บาท/กล่อง จำนวนรวม 3 กล่อง)

ตารางที่ 6 Comparison of cryoprecipitate transportation cost to 2nd Regional Blood Center (Lopburi) for 3 times between dry ice and ice pack C

ครั้งที่จัดส่ง	วัสดุให้ความเย็น	ค่าใช้จ่ายวัสดุให้ความเย็น (บาทxจำนวน)	จำนวน Cryo (ยูนิต)	จำนวนบรรจุ(กล่อง)	ค่าขนส่ง (80บาท/กล่อง) / ครั้ง (บาท)	รวมค่าใช้จ่าย	ส่วนต่างค่าใช้จ่าย (บาท / ครั้ง)
	Dry ice	26.75 x 20* = 535	200	2	160	695	
1	IPC	9 x 32** = 288	200	4	320	608+200***	+113
2	IPC	240****	200	4	320	560+200***	+65
3	IPC	240****	200	4	320	560+200***	+65

* Dry ice (ราคา 26.75 บาท/กิโลกรัม) จำนวน 10 กิโลกรัม ต่อการบรรจุ Cryoprecipitate จำนวน 100 ยูนิต (1 กล่องบรรจุ)

** IPC (ราคาประมาณ 9 บาท/ ขวด) จำนวน 8 ขวด ต่อการบรรจุ Cryoprecipitate จำนวน 50 ยูนิต (1 กล่องบรรจุ)

*** ค่าภาชนะบรรจุ (กล่องโฟมพร้อมกล่องกระดาษ) ที่เพิ่มขึ้น (ราคาประมาณ 100 บาท/กล่อง)

**** ค่าขนส่ง IPC กลับเพื่อใช้หมุนเวียน (ราคา 80 บาท/กล่อง จำนวนรวม 3 กล่อง)

ประเภทแช่แข็งได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะส่วนที่เป็นหัวถุง (port) จากการทดสอบพบว่า ในระยะแรกอุณหภูมิของส่วนประกอบโลหิตในแต่ละตำแหน่งจะปรับมาใกล้เคียงกัน จากนั้นส่วนประกอบโลหิตในตำแหน่งกลางจะมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเร็วกว่าตำแหน่งล่างสุดและบนสุด เนื่องมาจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ห่างจาก IPC มากกว่าตำแหน่งอื่น ดังนั้น จึงใช้อุณหภูมิของส่วนประกอบโลหิตที่ตำแหน่งกลางเป็นเกณฑ์พิจารณาระยะเวลาในการรักษาอุณหภูมิของการบรรจุหีบห่อ และเมื่อนำอุณหภูมิที่ผ่านเกณฑ์ในแต่ละช่วงเวลาของการทดสอบของ FFP ทั้ง 3 ครั้ง มาวิเคราะห์ พบว่า

- ตั้งแต่เริ่มบรรจุจนถึงชั่วโมงที่ 6 อุณหภูมิเฉลี่ยของ FFP ภายในกล่องอยู่ที่ -24.9 °ซ.
- ในชั่วโมงที่ 7 ถึงชั่วโมงที่ 11 อุณหภูมิเฉลี่ยของ FFP ภายในกล่องอยู่ที่ -20.5 °ซ.
- ในชั่วโมงที่ 12 ถึงชั่วโมงที่ 13 อุณหภูมิเฉลี่ยของ FFP ภายในกล่องอยู่ที่ -19.5 °ซ.

เมื่อนำอุณหภูมิที่ผ่านเกณฑ์ในแต่ละช่วงเวลาของการทดสอบของ cryoprecipitate ทั้ง 3 ครั้ง มาวิเคราะห์ พบว่า

- ตั้งแต่เริ่มบรรจุจนถึงชั่วโมงที่ 7 อุณหภูมิเฉลี่ยของ cryoprecipitate ภายในกล่องอยู่ที่ -23.7 °ซ.
- ในชั่วโมงที่ 8 ถึงชั่วโมงที่ 14 อุณหภูมิเฉลี่ยของ cryoprecipitate ภายในกล่องอยู่ที่ -20.7 °ซ.
- ในชั่วโมงที่ 15 ถึงชั่วโมงที่ 16 อุณหภูมิเฉลี่ยของ cryoprecipitate ภายในกล่องอยู่ที่ -20.2 °ซ.

จากผลที่ได้จากการทดสอบจะเห็นว่า IPC สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุให้ความเย็นในการบรรจุหีบห่อส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็งชนิด FFP และ cryoprecipitate

ทดแทนการใช้ Dry ice ได้จริงในระยะเวลาไม่เกิน 13 ที่อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย 30.6 °ซ. และ 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย 31.9 °ซ. ตามลำดับ โดยส่วนประกอบโลหิตในทุกตำแหน่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า -18.0 °ซ. ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ มีอุณหภูมิต่ำกว่า -18.0 °ซ.¹ นานไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง ในทุกตำแหน่ง และได้ผลดีตั้งแต่ครั้งแรกและติดต่อกันอย่างน้อย 3 ครั้ง และเมื่อตรวจสอบสภาพส่วนประกอบโลหิตภายหลังการทดสอบพบว่า ทุกยูนิตอยู่ในสภาพแข็ง ไม่ละลาย และไม่แตกหักชำรุด ซึ่งหากอุณหภูมิภายนอกกล่องบรรจุหีบห่อเปลี่ยนแปลงไปจากผลการทดลองที่ได้ ผู้นำไปใช้จะต้องทำการศึกษาเพิ่มเติม

จากผลการทดสอบทั้ง 6 ครั้ง พบว่า ระยะเวลาในการรักษาอุณหภูมิของส่วนประกอบโลหิตชนิดเดียวกันไม่เท่ากัน เนื่องมาจากอุณหภูมิภายนอกของภาชนะบรรจุ (ตำแหน่ง O) ไม่เท่ากัน ซึ่งหากอุณหภูมิภายนอกยิ่งสูงขึ้น ระยะเวลาในการรักษาอุณหภูมิของส่วนประกอบโลหิตจะสั้นลง

อนึ่ง ในสภาวะการขนส่งจริงอาจมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกล่องที่บรรจุหีบห่อต่างจากที่ได้ทำการศึกษาได้ เช่น ลักษณะและคุณภาพของภาชนะที่ใช้บรรจุหีบห่อ (ความสามารถในการเก็บรักษาความเย็น) แสงแดด หรืออยู่ในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าที่ทำการการศึกษา เช่น ในช่องเก็บสัมภาระใต้ท้องรถโดยสาร การเขย่า และการกระทบกระเทือน ซึ่งต้องระมัดระวังและมีการควบคุมป้องกัน รวมถึงการประเมิน ตรวจสอบ และเฝ้าระวังเป็นระยะ เพื่อรักษาคุณภาพของส่วนประกอบโลหิต ผู้ศึกษามีข้อเสนอแนะว่า เมื่อบรรจุหีบห่อเรียบร้อยแล้วให้รีบดำเนินการขนส่ง โดยแยกกันไปตามเส้นทางการขนส่ง เช่น ทางเครื่องบิน ทางรถโดยสารประจำทางสายใต้ สายเหนือ และสายตะวันออกเฉียงเหนือ ไม่วิ่งวน

ส่งหลายจุดในคราวเดียวกัน ซึ่งใช้เวลาในการขนส่งนานเพื่อลดความเสี่ยงจากปัจจัยภายนอกอื่นๆ ดังที่ได้กล่าวข้างต้น ด้วยเหตุผลที่ต้องการรักษาคุณภาพของส่วนประกอบโลหิตในระหว่างขนส่งให้ดีที่สุด

จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการขนส่ง พบว่า การใช้ IPC ทดแทน dry ice ในการขนส่ง FFP จะมีค่าใช้จ่ายถูกกว่า ทั้งนี้ เนื่องจาก IPC ที่เตรียมขึ้นเองสามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้ซ้ำได้ในระยะเวลานาน จึงไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนของวัสดุให้ความเย็น คงเหลือแต่ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ค่าภาชนะบรรจุ และค่าขนส่ง IPC กลับเพื่อใช้หมุนเวียนเท่านั้น ต่างจากการใช้ dry ice ที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายทุกครั้งที่จัดส่ง เนื่องจากเป็นวัสดุสิ้นเปลือง ไม่สามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้ซ้ำได้อีก และเมื่อเปรียบเทียบราคากับ IP ที่จัดซื้อจากบริษัทพบว่า IPC ที่เตรียมขึ้นเองจะมีต้นทุนถูกกว่าประมาณ 20-25 เท่า (ในขนาดน้ำหนักที่เท่ากัน) และไม่ต้องระวังการสูญหาย ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการจัดซื้อมาทดแทน ส่วนในการขนส่ง cryoprecipitate จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการใช้ dry ice โดยรวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดจากค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ค่าภาชนะบรรจุ และค่าขนส่ง IPC กลับเพื่อใช้หมุนเวียน เนื่องจากในการบรรจุหีบห่อ cryoprecipitate โดยใช้ IPC สามารถบรรจุหีบห่อได้น้อยกว่าเป็น 2 เท่า เมื่อเทียบกับการใช้ dry ice จึงทำให้จำนวนกล่องในการจัดส่งมากกว่าเป็น 2 เท่า ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งมากขึ้น ค่าภาชนะบรรจุมากขึ้น ดังนั้น การใช้ IPC ในการขนส่ง cryoprecipitate จึงไม่เหมาะสมในการใช้ขนส่งไปยังภาคบริการโลหิตแห่งชาติ ที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่ง สำหรับโรงพยาบาลที่เตรียม IPC ไว้ใช้เองเพื่อใช้ในการมารับส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็งจากศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติหรือภาคบริการโลหิตแห่งชาติ จะประหยัดค่าใช้จ่ายลงได้อย่างมาก เนื่องจากจะเสียค่าใช้จ่ายในการเตรียม IPC และค่าภาชนะบรรจุในครั้งแรกเท่านั้น หลังจากนั้นสามารถนำกลับมาหมุนเวียนใช้ได้เป็นระยะเวลานานจนกว่าจะชำรุด ซึ่งต่างจากการใช้ dry ice ที่ต้องซื้อเตรียมมาทุกครั้งที่มารับส่วนประกอบโลหิต

สรุป

จากการศึกษาทดลองเตรียม IPC (40% W/V NaCl) สามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำที่สุดและนานที่สุด (นาฬิกาที่ 0 มีอุณหภูมิ -22.6°C และนาฬิกาที่ 30 มีอุณหภูมิ -22.0°C) จึงนำมาใช้เป็นวัสดุให้ความเย็นทดแทนการใช้ dry ice ในการบรรจุหีบห่อเพื่อขนส่งส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็งชนิด FFP และ cryoprecipitate โดยทดสอบประสิทธิภาพทั้งภายในสถานที่และการนำไปใช้ในสภาวะการขนส่งจริง พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของ

FFP คือ -23.8°C ที่อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย 30.6°C ใช้นาน 13 ชั่วโมง สำหรับ FFP และใช้นาน 16 ชั่วโมง สำหรับ cryoprecipitate โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยของ cryoprecipitate คือ -22.1°C ที่อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย 31.9°C และในการขนส่ง FFP ไปยังภาคบริการโลหิตแห่งชาติ จังหวัดลพบุรี นาน 7 ชั่วโมง อุณหภูมิเฉลี่ยของ FFP คือ -25.4°C ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุณหภูมิในการขนส่งส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็งตามข้อกำหนดการอนามัยโลกกำหนดคือ ต่ำกว่า -18.0°C ¹ ดังนั้น การใช้ IPC ที่เตรียมขึ้นไว้ใช้เองเป็นวัสดุให้ความเย็นในการบรรจุหีบห่อเพื่อขนส่งส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็งทุกชนิดและผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ใช้เกณฑ์มาตรฐานอุณหภูมิเดียวกันในการขนส่งที่มีระยะเวลาการเดินทางขนส่งไม่มากนักขององค์กรโรงพยาบาลทั้งในเขตกรุงเทพมหานคร และโรงพยาบาลต่างจังหวัด รวมถึงหน่วยงานต่างๆ ภายในองค์กรเอง เช่น การขนส่งภายในโรงพยาบาลหรือระหว่างหอผู้ป่วย ในกรณีที่ไม่สามารถหาซื้อ dry ice ได้ในบางจังหวัดหรือบางพื้นที่เนื่องจากไม่มีผู้ให้บริการ หรืออยู่นอกเวลาให้บริการของผู้ขาย หรือหาซื้อได้แต่ไม่ทันเวลาที่ต้องการใช้ ในกรณีฉุกเฉินเร่งด่วนได้อย่างมีประสิทธิภาพ IPC จึงเป็นทางเลือกที่ดีทางหนึ่งสำหรับโรงพยาบาลเพื่อใช้ในการรักษาคุณภาพส่วนประกอบโลหิตประเภทพลาสมาแช่แข็งระหว่างขนส่ง ทั้งยังเตรียมง่าย ราคาถูก ทนทานไม่แตกหักง่าย สามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ได้ อีก มีความปลอดภัยต่อผู้ปฏิบัติงานและส่วนประกอบโลหิตที่ขนส่งหากเกิดการรั่วไหล และลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ทั้งนี้ ในการนำไปใช้งานจริงมีข้อควรระวังคือ การขึ้นต้องชัดเจน โดยต้องขึ้นว่า “ใช้สำหรับขนส่งพลาสมาแช่แข็งเท่านั้น” เพื่อป้องกันการนำไปใช้กับส่วนประกอบโลหิตประเภทเม็ดโลหิตแดงหรือเกล็ดโลหิต

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ของผู้ศึกษาทดลอง (ร้านไอศกรีม) ที่ทำให้เกิดแนวคิดเตรียม ice pack เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาในการขนส่งพลาสมาแช่แข็ง กรณีที่ไม่มี dry ice สำหรับงานบริการโลหิต ศาสตราจารย์เกียรติคุณ แพทย์หญิง พิมล เชื้อวชิรศิลป์ ผู้จัดการระบบคุณภาพ ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ และแพทย์หญิง สร้อยสองค์ พิกุลสดี ผู้อำนวยการศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สำหรับคำแนะนำ ส่งเสริมแนวความคิด และให้ข้อเสนอแนะในการศึกษานี้ และขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาคบริการโลหิตแห่งชาติ จังหวัดลพบุรี สำหรับความร่วมมือในการให้ข้อมูลตอบกลับในการทดสอบการนำไปใช้งานในสภาวะการขนส่งจริง

เอกสารอ้างอิง

1. World Health Organization. *Manual on the Management, Maintenance and Use of Blood Cold Chain Equipment*. India : Minimum Graphics, 2005.
2. Council of Europe. *Guide to The Preparation, Use and Quality Assurance of Blood Components*. 11th ed. (online). Available: <http://www.coe.int/> (20 June 2007).
3. UK Blood Transfusion & Tissue Transplantation Services. *Guidelines for the Blood Transfusion Services in the UK*. 7th ed. United Kingdom : The Stationary Office, 2005.
4. Brecher ME, Leger RM, Linden JV, et al. *Technical Manual*. 15th ed. Bethesda : MD. AABB, 2005:184-5.
5. National Institute for Occupational Safety and Health. *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards*. Cincinnati : NIOSH Publications Dissemination, 2005.
6. Hotek Technologies, Inc. *Handheld Digital Thermometer Testo 925 Thermometer with Standard Probe*. (online). Available: <http://www.hotektech.com/Tes925.htm> (17 March 2008).
7. Wikipedia. ไส้เติมคอลโลไรด์. (online) <http://th.wikipedia.org/wiki/> (27 June 2008).

Packing Frozen Plasma Component for Transportation Using Frozen Sodium Chloride Solution

Theera Withayawiwat

Blood Screening Laboratory and Distribution Section, National Blood Centre, The Thai Red Cross Society

Abstract : Introduction : The World Health Organization defines the standard temperature for frozen plasma component transportation as below -18°C within 24 hours. The National Blood Centre recommends using dry ice as a packaging coolant. Therefore, hospitals need to prepare dry ice for receiving blood components. However, dry ice is costly, cannot be reused, not commonly available especially for provincial hospitals and unsafe in case of careless use. **Objective :** To prepare ice pack (IP) using Sodium Chloride solution and to study efficiency of prepared ice pack for transporting frozen plasma component that meet standard temperature. **Materials and Methods :** 10%, 30%, 40% and 50% W/V of NaCl were prepared as IP in PET bottles, then temperature of these frozen Sodium Chloride solution were compared. The temperature of 20 units and 50 units packed FFP and Cryoprecipitate respectively were monitored using IP with outside temperature between $25 - 30^{\circ}\text{C}$. After that, these prepared FFP were carried by bus to the Lopburi Regional Blood Centre. **Results :** 1.5 kilograms for one bottle of frozen 40% W/V Sodium Chloride solution (IPC) could reach and keep at -22.6°C as the lowest temperature. At the 30th minute it still maintained -22.0°C . Packing 20 units FFP used 7 bottles of IPC. Three time-consecutive trials found that the IPC could keep the temperature at below -18.0°C for 13-14 hours. The average temperature inside packaging box was between -23.2 to -23.8°C and the outside temperature was $29.7 - 30.6^{\circ}\text{C}$. While packing 50 units Cryoprecipitate used 8 bottles of IPC. Three time-consecutive trials found that the IPC could keep the temperature at below -18.0°C for 16 - 22 hours. The average temperature inside packaging box was between -22.1 to -22.6°C and the outside temperature was $29.0 - 31.9^{\circ}\text{C}$. In addition, these experiments could be used to meet standard temperature requirements in a real situation for 7 hours, with the average temperature while transport was -25.4°C . These blood components were all in good conditions. **Conclusion:** IPC can be used instead of dry ice for maintaining the transportation temperature of frozen plasma components effectively. Hospital blood banks, institutes or organizations are able to prepare IPC in an easy way by themselves. Furthermore, IPC is durable and reusable that cause the cost of transportation reduction.

Key Words : ● Ice pack ● Frozen plasma component ● Transportation ● FFP
● Cryoprecipitate ● Packing ● Dry ice

J Hematol Transf Med 2008;18:183-97.

