

## นิพนธ์ต้นฉบับ

# การศึกษาวิธีการบรรจุส่วนประกอบโลหิตที่เหมาะสมเพื่อการขนส่ง

พินิธา ตันเถียร, ตรึงตรา ลีลารังสรรค์ และ นิชาภา อยู่กำเหนิด

ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย

**บทคัดย่อ :** การรักษาอุณหภูมิของส่วนประกอบโลหิตแต่ละชนิดให้เหมาะสมในการขนส่งจากสถานที่เตรียมไปยังธนาคารเลือดหรือโรงพยาบาลมีความสำคัญต่อคุณภาพของส่วนประกอบโลหิตซึ่งองค์การอนามัยโลกให้ความสำคัญและกำหนดเกณฑ์มาตรฐานอุณหภูมิที่เหมาะสมของส่วนประกอบโลหิตแต่ละชนิด ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติจึงทำการศึกษาค้นคว้าทดสอบกระบวนการขนส่งส่วนประกอบโลหิตโดยมุ่งเน้นถึงอุณหภูมิระหว่างการขนส่งและระยะเวลาในการขนส่งที่เหมาะสมด้วยวัสดุอุปกรณ์และวิธีการที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานดังกล่าวกำหนดอุณหภูมิสำหรับการขนส่งส่วนประกอบโลหิตชนิดเม็ดโลหิตแดงเข้มข้น (Packed red cells, PRC) คือ  $2 - 10^{\circ}\text{C}$  เกล็ดโลหิตเข้มข้น (Platelet concentrates, PC) คือ  $20 - 24^{\circ}\text{C}$  และพลาสมาสดแช่แข็ง (Fresh frozen plasma, FFP) คือ  $-18^{\circ}\text{C}$  หรือต่ำกว่า และระยะเวลาขนส่งไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง ผลการศึกษาโดยใช้ ice pack (IP) ของ AHT U - Pac ชนิดอุณหภูมิ  $-3^{\circ}\text{C}$  ขนาด 0.5 และ 2.2 กก. และชนิดอุณหภูมิ  $-28^{\circ}\text{C}$  ขนาด 2.2 และ 5 กก. เป็นอุปกรณ์ให้ความเย็นได้รูปแบบการบรรจุ PRC จำนวน 10 - 15 และ 30 ยูนิตต่อกล่อง ซึ่งเก็บรักษาอุณหภูมิ  $2 - 10^{\circ}\text{C}$  ได้นาน 24 ชั่วโมง การบรรจุ PC จำนวน 12 และ 25 ยูนิตต่อกล่อง สามารถเก็บรักษาอุณหภูมิ  $20 - 24^{\circ}\text{C}$  ได้นาน 20 - 24 ชั่วโมง และ 16 ชั่วโมง 30 นาที ถึง 21 ชั่วโมง ตามลำดับ และการบรรจุ FFP จำนวน 20 ยูนิตต่อกล่อง สามารถเก็บรักษาอุณหภูมิต่ำกว่า  $-18^{\circ}\text{C}$  ได้นาน 24 ชั่วโมง การศึกษานี้จะทำให้สามารถรักษาคุณภาพของโลหิตและส่วนประกอบโลหิตได้โดยการบรรจุที่รักษาอุณหภูมิได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดตลอดระยะเวลาการขนส่ง และพบว่าการใช้ IP ทดแทน dry ice และน้ำแข็งเกล็ดในการบรรจุส่วนประกอบโลหิตนั้นสะดวก มีประสิทธิภาพ และประหยัดค่าใช้จ่ายได้ในระยะยาวเนื่องจาก IP สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้

**Key Words :** ● Blood component ● Packing ● Transportation

วารสารโลหิตวิทยาและเวชศาสตร์บริการโลหิต 2550;17:11-27.

งานบริการโลหิตที่มีคุณภาพต้องคำนึงถึงระบบของห่วงโซ่ความเย็น (Blood Cold Chain) ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิที่เก็บรักษาโลหิตและส่วนประกอบโลหิตหลังการ

ได้รับต้นฉบับ 25 กุมภาพันธ์ 2550 ให้ลงตีพิมพ์ 10 มีนาคม 2550  
ต้องการสำเนาต้นฉบับติดต่อ พญ.พินิธา ตันเถียร ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สภากาชาดไทย เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

จะเก็บและปั่นแยกเป็นส่วนประกอบชนิดต่างๆ แล้ว มีผลกระทบโดยตรงต่อคุณภาพของโลหิต อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาส่วนประกอบโลหิตแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน กล่าวคือ ส่วนประกอบโลหิตชนิดเม็ดโลหิตแดงเข้มข้น (Packed red cells, PRC) เก็บที่  $2 - 6^{\circ}\text{C}$ <sup>1,2</sup> เกล็ดโลหิตเข้มข้น (Platelet concentrates, PC)

เก็บที่ 20 - 24 °C<sup>1,4</sup> พลาสมาสดแช่แข็ง (Fresh frozen plasma, FFP) และ Cryoprecipitate เก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า -18 °C<sup>2,4</sup> นอกจากการเก็บรักษาเพื่อรอการนำไปใช้แล้ว การดูแลควบคุมอุณหภูมิระหว่างกระบวนการขนส่งไปยังธนาคารเลือดของโรงพยาบาลก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน ซึ่งเกณฑ์มาตรฐานที่องค์การอนามัยโลกกำหนดอุณหภูมิสำหรับการขนส่ง PRC คือ 2 - 10 °C PC คือ 20 - 24 °C และ FFP คือ -18 °C หรือต่ำกว่า และระยะเวลาขนส่งไม่ควรเกิน 24 ชั่วโมง การขนส่งในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ส่วนประกอบโลหิตมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐานและเกิดผลเสียได้ เช่น PRC ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 °C จะทำให้เม็ดเลือดแดงแตก (hemolyse)<sup>1,4</sup> FFP และ Cryoprecipitate ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ปริมาณ Factor V และ Factor VIII ซึ่งเป็น labile coagulation factor ที่สำคัญลดลง<sup>1</sup> และ PC ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C จะเกิดการเปลี่ยนรูปร่างและตายไป<sup>5</sup> ส่งผลให้ส่วนประกอบโลหิตที่ใช้ไม่ได้ผลในการรักษา อาจเป็นสาเหตุให้ผู้ป่วยพิการหรือเสียชีวิตได้

### วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษารูปแบบการบรรจุส่วนประกอบโลหิตที่เหมาะสม โดยการทดสอบผลจากการศึกษาของบริษัท เอ เอช ที จำกัด และปรับปรุงแก้ไขวิธีการบรรจุหากการทดสอบได้ผลอุณหภูมิและระยะเวลาไม่เป็นไปตามเกณฑ์
2. เพื่อศึกษารูปแบบการบรรจุส่วนประกอบโลหิตในปริมาณที่ลดลงครึ่งหนึ่ง เพื่อให้ได้วิธีการบรรจุที่สามารถรักษาอุณหภูมิและระยะเวลาในการขนส่งส่วนประกอบโลหิตให้เหมาะสม
3. เพื่อศึกษารูปแบบการบรรจุส่วนประกอบโลหิตที่สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายและคุ้มค่า

### วัสดุและวิธีการ

ตัวอย่างทดสอบ (ต่อการบรรจุแต่ละครั้ง)

- PRC จำนวน 30 ยูนิต เก็บรักษาในตู้เย็น

อุณหภูมิ 2 - 6 °C

- PC จำนวน 25 ยูนิต เก็บรักษาในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 20 - 24 °C
- FFP บรรจุในถุงพลาสติก air bubble จำนวน 25 ยูนิต เก็บในตู้แช่แข็ง (freezer) อุณหภูมิ -25 ถึง -30 °C

ตัวอย่างทดสอบเป็นส่วนประกอบโลหิตที่หมดอายุหรือเหลือจากการตรวจประเมินคุณภาพประจำเดือน

### วัสดุอุปกรณ์

1. Ice pack AHT U-Pac (IP) 2 ชนิด คือ ชนิดอุณหภูมิ 3 °C ขนาด 0.5 และ 2.2 กก. และชนิดอุณหภูมิ -28 °C ขนาด 2.2 และ 5 กก. แช่แข็งในตู้ freezer อุณหภูมิ -25 ถึง -30 °C มากกว่า 12 ชั่วโมงก่อนนำมาใช้ ทดลอง นำยาภายในประกอบด้วยส่วนผสมพิเศษของน้ำเกลือและสีย้อมอาหารซึ่งไม่อันตราย ภายนอกทำจาก High Density Polyethylene (HDPE) (ขนาด IP ดังกล่าวเป็นขนาดเฉพาะที่ผู้ผลิตผลิตออกจำหน่าย)

2. ● กล่องโฟมขนาดบรรจุ 1.3 ลบ.ฟุต (L) หนา 2.5 ซม. บรรจุในกล่องกระดาษแข็งขนาด กว้าง x ยาว x สูง (W x L x H) 14 x 19 x 15 นิ้ว

● กล่องโฟมขนาดบรรจุ 0.69 ลบ.ฟุต (M) หนา 2.0 ซม. บรรจุในกล่องกระดาษแข็ง (W x L x H) 10 x 15 x 13 นิ้ว

● กล่องโฟมขนาดบรรจุ 0.31 ลบ.ฟุต (S) หนา 2.0 ซม. บรรจุในกล่องกระดาษแข็ง (W x L x H) 9 x 12.5 x 11 นิ้ว

● แผ่นโฟมธรรมชาติ (F) หนา 10 หรือ 20 มม.

● แผ่นโฟม Polyethylene (PE) หนา 10 มม.

● แผ่นโฟม PE เคลือบ aluminium (FAL) หนา 3, 10, 15 และ 20 มม.

● เทปกาวปิดกล่องโฟมและกล่องกระดาษ

3. เครื่องเก็บข้อมูลอุณหภูมิพร้อม software อ่านผล : Escort iLog Data Logging System ที่ผ่านเกณฑ์การสอบเทียบและยังอยู่ภายในระยะเวลาสอบ

เทียบ สามารถเก็บข้อมูลอุณหภูมิได้ละเอียด 0.1 หรือ 0.5 °C วัดอุณหภูมิช่วง -40 ถึง +70 °C ตั้งเวลาเก็บข้อมูล ทุก 10 นาที (สอบเทียบโดยกรมอุตุนิยมวิทยา)

4. ตู้แช่แข็ง (freezer) อุณหภูมิ -25 ถึง -30 °C ที่ผ่านเกณฑ์การสอบเทียบและยังอยู่ภายในระยะเวลาสอบเทียบ (สอบเทียบโดยคณะทำงานสอบเทียบเครื่องมือศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ)

5. เครื่องชั่งแบบสปริงงานเดียว ความละเอียด 200 กรัม ชั่งน้ำหนักช่วง 1 - 60 กก.

#### ข้อมูลผลการศึกษารวบรวมส่วนประกอบโลหิตจากบริษัท เอ เอเชีย จำกัด (AHT (Asia) Co., Ltd.)

บริษัท เอ เอเชีย จำกัด ผู้ผลิต Ice Pack AHT U-Pac (IP) ใช้ส่วนประกอบโลหิตจำลองซึ่งทำจากถุงโลหิตบรรจุสารละลายน้ำตาลที่มีความหนืดเท่ากับโลหิตจริง ทำการศึกษารวบรวมในกล่องโฟมและกล่องกระดาษที่ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติใช้อยู่เดิม และใช้แผ่นโฟมชนิดต่างๆ เป็นฉนวนรักษาอุณหภูมิภายในให้เหมาะสมตามเกณฑ์ โดยใช้ Ice Pack AHT U-Pac ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัทเองเป็นอุปกรณ์ทำความเย็น กล่าวคือ สำหรับการทดลองบรรจุส่วนประกอบโลหิตชนิด PRC และ PC จะใช้ IP ชนิดอุณหภูมิ -3 °C และส่วนประกอบโลหิตชนิด FFP จะใช้ IP ชนิดอุณหภูมิ -28 °C ทั้งนี้เนื่องจากส่วนประกอบโลหิตชนิด PRC และ PC ต้องการสภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่าส่วนประกอบโลหิตชนิด FFP จึงเลือกใช้ IP ที่ชนิดอุณหภูมิสูงกว่าในการบรรจุส่วนประกอบโลหิตชนิด PRC และ PC ผลการศึกษาดังนี้

**การบรรจุ PRC 30 ยูนิตต่อกล่อง:** ใช้ IP ชนิด -3 °C ขนาด 2.2 กก. 3 ก้อน ขนาด 0.5 กก. 1 ก้อน กล่องโฟมขนาด L 1 กล่อง แผ่นโฟมหนา 15 มม. 5 ชั้น วางด้านล่างและด้านข้างทั้ง 4 ด้าน เรียง PRC จำลองในแนวตั้ง วาง IP ด้านข้าง 2 ด้านและด้านบน ระหว่าง IP ด้านบนและ PRC จำลอง ไม่มีแผ่นโฟมกัน ได้ผลอุณหภูมิ 2 - 8 °C นาน 26 ชั่วโมง

**การบรรจุ PC 25 ยูนิตต่อกล่อง:** ใช้ IP ชนิด -3 °C

ขนาด 0.5 กก. 3 ก้อน กล่องโฟมขนาด M 1 กล่อง แผ่น FAL 15 มม. 6 ชั้น วางด้านล่างและด้านข้างทั้ง 4 ด้าน เรียง PC จำลองในแนวตั้ง ใช้ FAL 1 ชั้นดัน PC ให้ชิดผนังกล่องโฟมด้านใดด้านหนึ่ง ปิดทับด้านบนด้วย FAL หนา 15 และ 3 มม. ตามลำดับ และวาง IP ทับด้านบนสุดจำนวน 3 ก้อน ได้ผลอุณหภูมิ 19.3 °C นาน 23 ชั่วโมง

**การบรรจุ FFP 25 ยูนิตต่อกล่อง:** ใช้ IP ชนิด -28 °C ขนาด 2.2 กก. 5 ก้อน ขนาด 5 กก. 1 ก้อน กล่องโฟมขนาด L 1 กล่อง วาง IP ด้านล่างและด้านข้าง 4 ด้าน วาง FFP จำลองเรียงตามแนวนอน ปิดทับด้านบนด้วย IP ขนาด 5 กก. คลุมด้วยกระดาษผิวมัน 1 ชั้น ได้ผลอุณหภูมิต่ำกว่า -18 °C นาน 24 ชั่วโมง 37 นาที

#### วิธีทดสอบ

- ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติทำการทดสอบยืนยันประสิทธิภาพของวิธีการบรรจุของ บริษัท เอ เอเชีย จำกัด โดยใช้ส่วนประกอบโลหิตจริงในสภาวะอุณหภูมิห้องไม่มีเครื่องปรับอากาศ (26 - 32 °C) นานกว่า 24 ชั่วโมง และใช้อุณหภูมิและระยะเวลาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาผลการศึกษา ซึ่งผลการทดสอบต้องให้ผลดีตั้งแต่ครั้งแรกและให้ผลดีติดต่อกันไม่น้อยกว่า 3 ครั้ง

- หากผลการทดสอบไม่บรรลุประสิทธิภาพจะทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยปรับเปลี่ยนรูปแบบวิธีการบรรจุ ได้แก่ การปรับเปลี่ยนชนิด ความหนา ขนาด และจำนวนของฉนวน การปรับเปลี่ยนชนิด ขนาด และจำนวนของ IP โดยพิจารณาจากคุณสมบัติในการทำความเย็นของ IP เอง และการเพิ่ม/ลดจำนวนส่วนประกอบโลหิตที่บรรจุต่อกล่อง โดยพิจารณาเลือกรูปแบบวิธีการบรรจุที่ให้ผลอุณหภูมิและระยะเวลาตามกำหนด ซึ่งหากผลการทดลองไม่ผ่านเกณฑ์ตั้งแต่ครั้งแรกจะทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบวิธีการบรรจุใหม่ จนกระทั่งได้รูปแบบที่ผ่านเกณฑ์ทดสอบ 3 ครั้งติดต่อกัน

- เมื่อทดลองได้วิธีที่เหมาะสมสำหรับกรบรรจุเต็มจำนวนที่กำหนด ทำการทดลองต่อเพื่อหาวิธีการบรรจุสำหรับส่วนประกอบโลหิตจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวน

**ตารางที่ 1** ผลการทดลองรูปแบบการบรรจุ PRC 30 ยูนิต โดยใช้โพลีเอทิลีนหนา 10 มม. เป็นฉนวนกั้นระหว่าง IP กับ PRC

แบบที่	ขนาด กล่อง	IP -3°C จำนวน x ขนาด (กก.)	ฉนวน: จำนวน x หนา (มม.)			ช่วงอุณหภูมิ - เวลาผ่านเกณฑ์*	
			F	FAL	PE	°C	hours
1	L	3 x 2.2 + 1 x 0.5	3 x 20 1 x 10	-	-	2 - 10	28.00
2	L	3 x 2.2 + 1 x 0.5	5 x 20 1 x 10	-	-	2 - 10	28.50
3	L	3 x 2.2 + 1 x 0.5	1 x 20 4 x 10	1 x 10	-	2 - 10	22.00 - 27.00

F = แผ่นโพลีเอทิลีน, PE = แผ่นโพลี Polyethylene, FAL = แผ่นโพลี PE เคลือบ aluminium

\*ค่าอุณหภูมิและเวลาแสดงเป็นช่วงเนื่องจากมีการเก็บข้อมูลจากตำแหน่งต่างๆ ในการทดสอบ

เดิม ซึ่งนำหน้าการบรรจุที่ศึกษาได้เพื่อเป็นข้อมูลวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายสำหรับการขนส่ง

● จัดหาข้อมูลการขนส่งส่วนประกอบโลหิตของศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติประกอบด้วย จำนวนที่ขนส่งเฉลี่ยต่อเดือน ระยะเวลาที่ใช้ขนส่งไปยังภาคบริการโลหิตแต่ละแห่ง ค่าใช้จ่ายในการบรรจุและขนส่งทั้งไปและกลับ ค่าระวางการขนส่งแบบต่างๆ ได้แก่ ทางรถยนต์ รถไฟ และเครื่องบิน ค่าใช้จ่ายการบรรจุที่สูญเสียได้ ได้แก่ น้ำแข็งเกล็ด น้ำแข็งแห้ง (dry ice) เมื่อได้รูปแบบวิธีการบรรจุที่ได้ผลอุณหภูมิตามเกณฑ์ หาข้อมูลค่าใช้จ่ายทั้งหมด เช่น ราคา IP ตู้ deep freezer ค่าไฟฟ้า คำนวณค่าใช้จ่ายอย่างครบวงจร

### ผลการศึกษา

การทดสอบผลการศึกษาที่ดำเนินการโดย บริษัท เอ เอช ที จำกัด พบว่าการบรรจุ PRC เมื่อใช้ส่วนประกอบโลหิตจริงไม่สามารถบรรจุในกล่องขนาด L ได้ครบ 30 ยูนิต และรูปแบบดังกล่าวไม่มีฉนวนกั้นระหว่าง PRC ด้านบนกับ IP ทำให้มีความเสี่ยงที่ PRC จะสัมผัสกับ IP โดยตรง การบรรจุ PC 25 ยูนิต ได้อุณหภูมิต่ำกว่าเกณฑ์ (18.3°C) และสำหรับ FFP ไม่สามารถบรรจุ FFP 25 ยูนิต ได้เต็มจำนวนตามวิธีที่บริษัทศึกษา เนื่องจากทางบริษัททำการศึกษาโดยไม่ได้บรรจุ FFP ในถุง

พลาสติก air bubble เพื่อป้องกันการแตก

เมื่อทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบวิธีการบรรจุเพื่อให้ได้อุณหภูมิและระยะเวลาตามวัตถุประสงค์ ได้ผลการศึกษาดังนี้

### วิธีการบรรจุ PRC จำนวน 30 ยูนิต และผลการทดสอบอุณหภูมิและระยะเวลา:

ทดลองลดจำนวนฉนวนตำแหน่งต่างๆ และเพิ่มโพลีเอทิลีนหนา 10 มม. เป็นฉนวนกั้นระหว่าง IP กับ PRC ได้ผลอุณหภูมิและระยะเวลาตามเกณฑ์ที่กำหนด ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 แต่เนื่องจากพบว่าโพลีเอทิลีนหนา 10 มม. เปราะบางและหักง่าย ไม่สามารถนำมาใช้ซ้ำ จึงทำการทดลองโดยใช้โพลีเอทิลีนหนา 10 มม. แทน ได้ผลอุณหภูมิและระยะเวลาผ่านเกณฑ์ที่กำหนดติดต่อกัน 3 ครั้ง จึงพิจารณาเลือกใช้รูปแบบการบรรจุนี้

- IP ชนิด -3°C ขนาด 2.2 กก. 3 ก้อน และขนาด 0.5 กก. 1 ก้อน
- กล่องโพลีในกล่องกระดาษแข็งขนาด L 1 กล่อง
- แผ่นโพลีหนา 20 หรือ 10 มม. ขนาด 8.7 x 16.4 นิ้ว (W x L) 3 ชั้น (แผ่นหนา 10 มม. จะแตกง่าย)
- แผ่นโพลี PE หนา 10 มม. ขนาด 12 x 16.7 นิ้ว (W x L) 1 ชั้น



**รูปที่ 1** รูปแบบการบรรจุ PRC จำนวน 30 ยูนิต ในกล่องขนาด L โดยใช้ IP ชนิด อุณหภูมิ  $-3^{\circ}\text{C}$  ขนาด 2.2 กก. จำนวน 3 ก้อน และขนาด 0.5 กก. จำนวน 1 ก้อน ใช้ โฟมธรรมชาติ (F) ความหนา 20 มม. จำนวน 3 ชั้น ความหนา 10 มม. จำนวน 1 ชั้น และโฟม Polyethylene (PE) ความหนา 10 มม. จำนวน 1 ชั้นเป็นฉนวน สามารถ รักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง  $2 - 10^{\circ}\text{C}$  นาน 24 - 28 ชั่วโมง เมื่อทำการทดลองติดต่อกัน 3 ครั้ง

**ตารางที่ 2** ผลการทดลองรูปแบบการบรรจุ PRC จำนวน 30 ยูนิต โดยใช้โฟม PE หนา 10 มม. เป็นฉนวนกันระหว่าง IP กับ PRC ซึ่งเป็นรูปแบบที่เลือกใช้

แบบที่	ขนาด กล่อง	IP $-3^{\circ}\text{C}$ จำนวน x ขนาด (กก.)	ฉนวน: จำนวน x หนา (มม.)			ครั้งที่	ช่วงอุณหภูมิ - เวลาผ่านเกณฑ์	
			F	FAL	PE		$^{\circ}\text{C}$	hours
4	L	3 x 2.2 1 x 0.5	3 x 20	-	1 x 10	1	2 - 10	25.00
			1 x 10	-	-	2	2 - 10	28.00
			-	-	-	3	2 - 10	24.00

F = แผ่นโฟมธรรมชาติ, PE = แผ่นโฟม Polyethylene, FAL = แผ่นโฟม PE เคลือบ aluminium

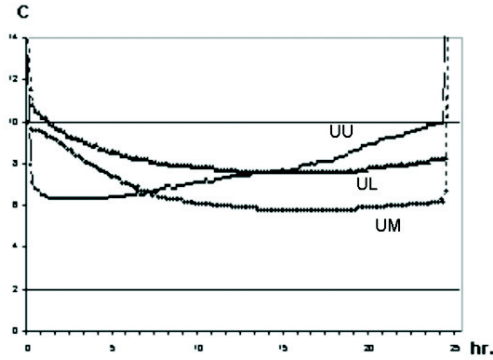
วางแผ่นโฟมในกล่องโฟมด้านล่างสุดและผนังด้านยาวทั้งสองด้านเพื่อไม่ให้ IP สัมผัสกับ PRC โดยตรง วาง IP ขนาด 2.2 กก. จำนวน 2 ก้อน ระหว่างแผ่นโฟม และผนังกล่องโฟมดังกล่าวข้างละก้อน วาง IP ขนาด 0.5 กก. จำนวน 1 ก้อน ข้าง IP ขนาด 2.2 กก. (เพียงด้านเดียว) บรรจุ PRC ตามแนวนอนจนครบ 30 ยูนิต ปิดทับด้านบนด้วยโฟม PE 1 ชั้น และ IP ขนาด 2.2 กก. ตามลำดับ ปิดฝากล่องโฟม ปิดเทปกาวรอบฝา ปิดฝากล่องกระดาษ และปิดเทปกาวโดยรอบ (รูปที่ 1) น้ำหนักโดยประมาณ 18 กก. จากการทดลอง 3 ครั้งติดต่อกัน เก็บรักษาอุณหภูมิ  $2 - 10^{\circ}\text{C}$  นาน 24 ชั่วโมง ผลอุณหภูมิและระยะเวลาจากการทดสอบ 3 ครั้งติดต่อกัน ดังแสดงในตารางที่ 2 และแผนภูมิที่ 1 ซึ่งแสดงผล

อุณหภูมิของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ในการบรรจุ PRC จำนวน 30 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่อง

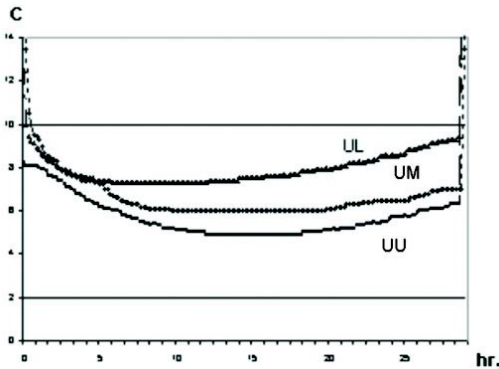
#### วิธีการบรรจุ PRC จำนวน 10 - 15 ยูนิต และผลการทดสอบอุณหภูมิและระยะเวลา:

ทดลองลดจำนวนส่วนประกอบโลหิตลงเหลือ 10 - 15 ยูนิต โดยเปลี่ยนขนาดของกล่อง ความหนาและจำนวนฉนวนที่ตำแหน่งต่างๆ พบว่าการบรรจุบางรูปแบบยังไม่ผ่านเกณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 3 รูปแบบการบรรจุที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ 3 ครั้งติดต่อกันและพิจารณาเลือกใช้เป็นดังนี้

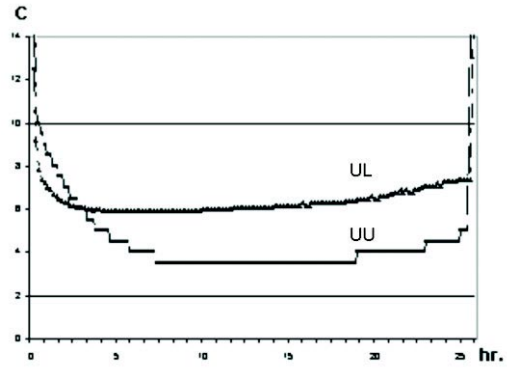
- IP ชนิด  $-3^{\circ}\text{C}$  ขนาด 2.2 กก. 2 ก้อน
- กล่องโฟมในกล่องกระดาษแข็งขนาด M 1 กล่อง



**แผนภูมิที่ 1.1** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 1 ในการบรรจุ PRC จำนวน 30 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่อง ได้แก่ ตำแหน่งบนสุด (UU) ตรงกลาง (UM) และล่างสุด (UL)



**แผนภูมิที่ 1.2** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 2 ในการบรรจุ PRC จำนวน 30 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่อง ได้แก่ ตำแหน่งบนสุด (UU) ตรงกลาง (UM) และล่างสุด (UL)



**แผนภูมิที่ 1.3** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 3 ในการบรรจุ PRC จำนวน 30 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่อง ได้แก่ ตำแหน่งบนสุด (UU) และล่างสุด (UL)

**แผนภูมิที่ 1** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ในการบรรจุ PRC จำนวน 30 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่อง

**ตารางที่ 3** ผลการทดลองรูปแบบการบรรจุ PRC 10 - 15 ยูนิต ที่ไม่ผ่านเกณฑ์อุณหภูมิและระยะเวลา

แบบที่	จำนวน PRC	ขนาด กล่อง	IP -3 °C จำนวน x ขนาด (กก.)	ฉนวน: จำนวน x หนา (มม.)			ช่วงอุณหภูมิ - เวลาผ่านเกณฑ์*	
				F	FAL	PE	°C	hours
1	15 u	L	2 x 2.2	5 x 20	-	-	2 - 10	20.50 - 25.50
				1 x 10				
2	15 u	L	2 x 2.2 1 x 0.5	5 x 20	-	-	2 - 10	16.83 - 20.83
				1 x 10				
3	15 u	M	1 x 2.2	5 x 20	-	-	2 - 10	6.00 - 7.17
				1 x 10				
4	10 u	M	2 x 2.2	5 x 20	-	-	7.8 - 10	16.00 - 19.67
				1 x 10				

F = แผ่นโฟมธรรมชาติ, PE = แผ่นโฟม Polyethylene, FAL = แผ่นโฟม PE เคลือบ aluminium

\*ค่าอุณหภูมิและเวลาแสดงเป็นช่วงเนื่องจากการเก็บข้อมูลจากตำแหน่งต่างๆ ในการทดลอง



**รูปที่ 2** รูปแบบการบรรจุ PRC จำนวน 10 - 15 ยูนิต ในกล่องขนาด M โดยใช้ IP ชนิด อุณหภูมิ -3°C ขนาด 2.2 กก. จำนวน 2 ก้อน ใช้โฟมธรรมชาติ (F) และโฟม Polyethylene เคลือบ aluminium (FAL) ความหนา 20 มม. จำนวนชนิดละ 2 ชั้น สามารถรักษา อุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 2 - 10°C นาน 23.50 ชั่วโมงขึ้นไป เมื่อทำการทดลองติดต่อกัน 3 ครั้ง

- แผ่นโฟมธรรมชาติหนา 20 มม. หรือแผ่น PE หนา 10 มม. ขนาด 6.8 x 12.0 นิ้ว (W x L) 2 ชั้น
  - แผ่น FAL หนา 10 มม. หรือแผ่น PE หนา 10 มม. ขนาด 8.0 x 13.0 นิ้ว (W x L) 2 ชั้น
- วางแผ่นโฟมในกล่องโฟมด้านล่างสุด วาง IP ขนาด 2.2 กก. จำนวน 2 ก้อน ที่ผนังด้านยาวของกล่องทั้งสอง ด้านถัดจาก IP วาง FAL 2 ข้างกันไม่ให้ IP สัมผัสกับ PRC โดยเอาด้าน aluminium แนบกับ IP บรรจุ PRC ตามแผนออนจนครบ ปิดทับด้านบนด้วยโฟมธรรมชาติ 1 ชั้น ปิดฝากล่องโฟม ปิดเทปการรอบฝา ปิดฝากล่อง กระดาษ และปิดเทปการโดยรอบ (รูปที่ 2) นำหนักโดย

ประมาณ 10 กก. จากการทดลองติดต่อกัน 3 ครั้ง เก็บรักษาอุณหภูมิ 2 - 10°C ได้นาน 24 ชั่วโมง

ผลอุณหภูมิและระยะเวลาสำหรับรูปแบบการบรรจุที่ผ่านเกณฑ์ แสดงในตารางที่ 4 และแผนภูมิที่ 2 ซึ่งแสดงผลอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ในการบรรจุ PRC จำนวน 10 - 15 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่อง

**วิธีการบรรจุ PC จำนวน 25 ยูนิต และ ผลการทดสอบอุณหภูมิและระยะเวลา:**

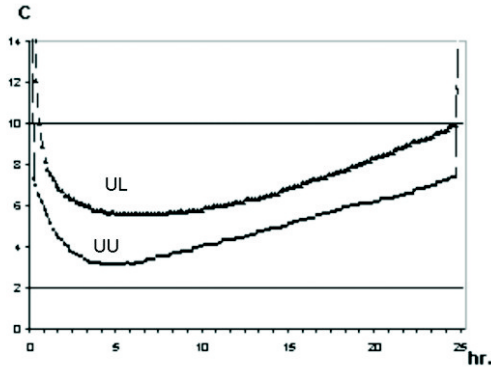
ผลอุณหภูมิและระยะเวลาสำหรับรูปแบบการบรรจุที่ไม่ผ่านเกณฑ์ แสดงในตารางที่ 5 รูปแบบการบรรจุที่ผ่านเกณฑ์การทดสอบ 3 ครั้งติดต่อกันและพิจารณาเลือกใช้

**ตารางที่ 4** ผลการทดลองรูปแบบการบรรจุ PRC 10 - 15 ยูนิต ที่ผ่านเกณฑ์อุณหภูมิและระยะเวลา

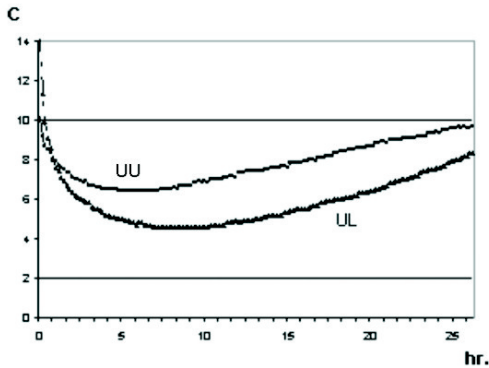
แบบที่	ขนาดกล่อง	IP -3 °C จำนวน x ขนาด (กก.)	ฉนวน: จำนวน x หนา (มม.)			ครั้งที่	ช่วงอุณหภูมิ - เวลาผ่านเกณฑ์*	
			F	FAL	PE		°C	hours
5 (10 u)	M	2 x 2.2	2 x 20	2 x 10	-	1	2 - 10	24.58
			2 x 20	2 x 10	-	2	2 - 10	> 24.00
			2 x 20	2 x 10	-	3	2 - 10	> 24.00
6 (15 u)	M	2 x 2.2	2 x 20	2 x 10	-	1	2 - 10	23.50 - 24.00
			2 x 20	2 x 10	-	2	2 - 10	> 24.00
			2 x 20	2 x 10	-	3	2 - 10	> 24.00

F = แผ่นโฟมธรรมชาติ, PE = แผ่นโฟม Polyethylene, FAL = แผ่นโฟม PE เคลือบ aluminium

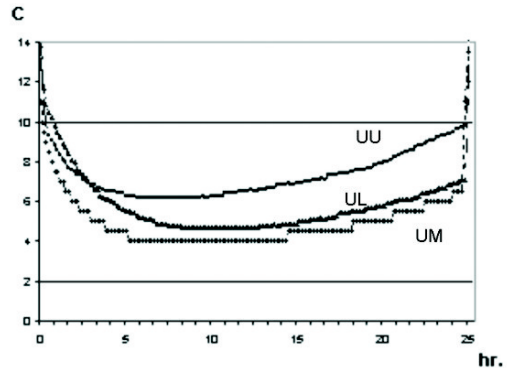
\*ค่าอุณหภูมิและเวลาแสดงเป็นช่วงเนื่องจากการเก็บข้อมูลจากตำแหน่งต่างๆ ในการทดสอบ



**แผนภูมิที่ 2.1** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 1 ในการบรรจุ PRC จำนวน 10 - 15 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆของกล่อง ได้แก่ ตำแหน่งบนสุด (UU) และล่างสุด (UL)



**แผนภูมิที่ 2.2** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 2 ในการบรรจุ PRC จำนวน 10 - 15 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่อง ได้แก่ ตำแหน่งบนสุด (UU) และล่างสุด (UL)



**แผนภูมิที่ 2.3** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 3 ในการบรรจุ PRC จำนวน 10 - 15 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆของกล่อง ได้แก่ ตำแหน่งบนสุด (UU) ตรงกลาง (UM) และล่างสุด (UL)

**แผนภูมิที่ 2** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ในการบรรจุ PRC จำนวน 10 - 15 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่อง

**ตารางที่ 5** ผลการทดลองรูปแบบการบรรจุ PC 25 ยูนิต ที่ไม่ผ่านเกณฑ์อุณหภูมิและระยะเวลา

แบบที่	ขนาด กล่อง	IP -3 °C จำนวน x ขนาด (กก.)	FAL จำนวน x หนา (มม.)	ช่วงอุณหภูมิ-เวลาไม่ผ่านเกณฑ์		ช่วงอุณหภูมิ-เวลาผ่านเกณฑ์	
				°C	hours	°C	hours
1	M	3 x 0.5	7 x 15 + 1 x 3	18.0 - 19.7	10.33	20 - 24	13.67
2	M	3 x 0.5	7 x 20 + 1 x 3 + 1 x 10	19.7 - 19.9	5.17	20 - 24	18.83
3	M	3 x 0.5	7 x 20 + 1 x 15	19.8 - 19.9	5.33	20 - 24	18.67
4	M	2 x 0.5	7 x 10 + 1 x 15	19.4 - 19.9	8.67	20 - 24	15.33

FAL = แผ่นโฟม PE เคลือบ aluminium





**รูปที่ 3** รูปแบบการบรรจุ PC จำนวน 25 ยูนิต ในกล่องขนาด M โดยใช้ IP ชนิดอุณหภูมิต่ำ  $-3^{\circ}\text{C}$  ขนาด 0.5 กก. จำนวน 2 ก้อน และใช้โฟม Polyethylene เคลือบ aluminium (FAL) ความหนา 10 มม. จำนวน 8 ชั้นเป็นฉนวน สามารถรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง  $20 - 24^{\circ}\text{C}$  นาน 20.17 - 24.00 ชั่วโมง เมื่อทำการทดลองติดต่อกัน 3 ครั้ง

เป็นดังนี้

- IP ชนิด  $-3^{\circ}\text{C}$  ขนาด 0.5 กก. 2 ก้อน
- กล่องโฟมในกล่องกระดาษแข็งขนาด M 1 กล่อง
- แผ่นโฟม FAL หนา 10 มม. ขนาด  $8.6 \times 12.7$  นิ้ว (W x L) 4 ชั้น (A)
- แผ่นโฟม FAL หนา 10 มม. ขนาด  $7.5 \times 8.7$  นิ้ว (W x L) 2 ชั้น (B)
- แผ่นโฟม FAL หนา 10 มม. ขนาด  $8.0 \times 8.7$  นิ้ว (W x L) 2 ชั้น (C)
- เศษแผ่นโฟมธรรมดาหนา ขนาดประมาณ  $5 \times 5$  นิ้ว (W x L) 4 ชั้น (D)

นำ IP ที่แช่แข็งไว้วางที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ  $28^{\circ}\text{C}$ ) 30 นาทีก่อนการบรรจุ วางแผ่นโฟม A 1 ชั้นรองด้านล่างสุดโดยหันด้าน aluminium ลงข้างล่าง วางแผ่นโฟม A ซิดหนึ่งด้านยาวทั้งสองด้านของกล่อง โฟมด้านละ 1 ชั้น วางแผ่นโฟม B ซิดหนึ่งด้านกว้างทั้งสองด้านด้านละ 1 ชั้น วางแผ่นโฟม C ทั้งสองชั้นขนานกับแผ่นโฟม B ตรงกลางกล่องโดยหันด้าน aluminium ออกจากกัน บรรจุ PC ตามแนวตั้งระหว่างแผ่นโฟม C 2 ชั้น จนครบ 25 ยูนิต ดันแผ่นโฟม C เข้าหากันจน

ชิดกับ PC สอดโฟม D ไว้กลางช่องว่างทั้งสองด้านเพื่อดันให้แผ่นโฟม C และ PC ตั้งตรงและไม่ล้มระหว่างการขนส่ง วางแผ่นโฟม A ปิดทับด้านบนตามด้วย IP 2 ก้อน เรียงชิดกันตรงกลางกล่องในแนวเดียวกับแผ่นโฟม C ด้านข้างของ IP วางแผ่นโฟม D ดันให้ IP อยู่กลางกล่องตลอดการขนส่ง ปิดฝากล่องโฟม ปิดเทปกาวรอบฝา ปิดฝากล่องกระดาษ และปิดเทปกาวโดยรอบ (รูปที่ 3) น้ำหนักโดยประมาณ 5 กก. จากการทดลอง 3 ครั้งติดต่อกัน เก็บรักษาอุณหภูมิ  $20 - 24^{\circ}\text{C}$  ได้นาน 20 - 24 ชั่วโมง

ผลอุณหภูมิและระยะเวลาสำหรับรูปแบบการบรรจุที่ผ่านเกณฑ์ แสดงในตารางที่ 6 และแผนภูมิที่ 3 ซึ่งแสดงผลอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ในการบรรจุ PC จำนวน 25 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่อง

### วิธีการบรรจุ PC จำนวน 12 ยูนิต และ ผลการทดสอบอุณหภูมิและระยะเวลา:

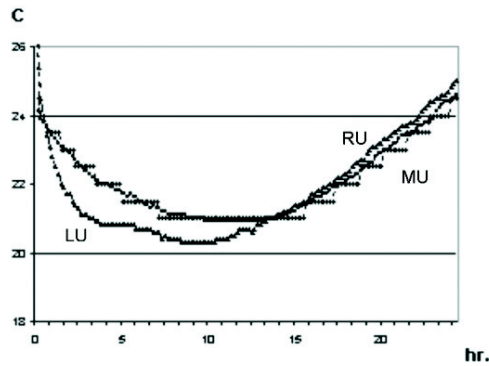
ผลอุณหภูมิและระยะเวลาสำหรับรูปแบบการบรรจุที่ไม่ผ่านเกณฑ์ แสดงในตารางที่ 7 รูปแบบการบรรจุที่อุณหภูมิผ่านเกณฑ์การทดสอบ 3 ครั้งติดต่อกันแต่ระยะเวลาไม่ผ่านเกณฑ์เป็นดังนี้

- IP ชนิด  $-3^{\circ}\text{C}$  ขนาด 0.5 กก. 2 ก้อน

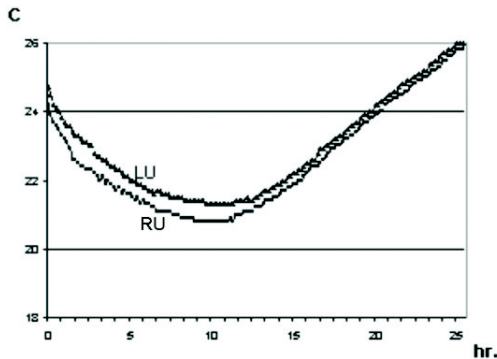
**ตารางที่ 6** ผลการทดลองรูปแบบการบรรจุ PC 25 ยูนิต ที่ผ่านเกณฑ์อุณหภูมิและระยะเวลา

แบบที่	ขนาด กล่อง	IP -3 °C จำนวน x ขนาด (กก.)	FAL จำนวน x หนา (มม.)	ครั้งที่	ช่วงอุณหภูมิ - เวลาผ่านเกณฑ์	
					°C	hours
5	M	2 x 0.5	8 x 10	1	20 - 24	24.00
				2	20 - 24	22.00
				3	20 - 24	20.17

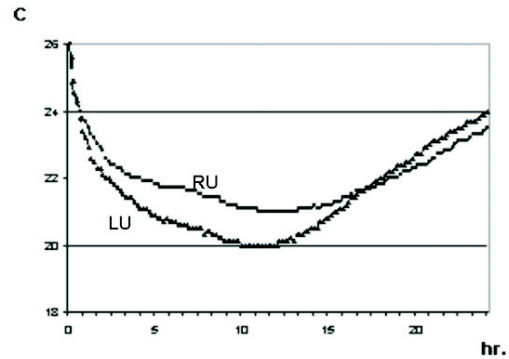
FAL = แผ่นโฟม PE เคลือบ aluminium



**แผนภูมิที่ 3.1** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 1 ในการบรรจุ PC จำนวน 25 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆของกล่อง ได้แก่ ด้านซ้าย (LU) ตรงกลาง (MU) และด้านขวา (RU)



**แผนภูมิที่ 3.2** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 2 ในการบรรจุ PC จำนวน 25 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆของกล่อง ได้แก่ ด้านซ้าย (LU) และด้านขวา (RU)



**แผนภูมิที่ 3.3** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 3 ในการบรรจุ PC จำนวน 25 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆของกล่อง ได้แก่ ด้านซ้าย (LU) และด้านขวา (RU)

**แผนภูมิที่ 3** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ในการบรรจุ PC จำนวน 25 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่อง

**ตารางที่ 7** ผลการทดลองรูปแบบการบรรจุ PC 12 ยูนิต ที่ไม่ผ่านเกณฑ์อุณหภูมิและระยะเวลา

แบบที่	ขนาด กล่อง	IP -3 °C จำนวน x ขนาด (กก.)	FAL จำนวน x หนา (มม.)	ช่วงอุณหภูมิ-เวลาไม่ผ่านเกณฑ์		ช่วงอุณหภูมิ-เวลาผ่านเกณฑ์*	
				°C	hours	°C	hours
1	M	2 x 0.5	7 x 20 + 1 x 15	18.9 - 19.9	11.00	20 - 24	13.00
2	M	1 x 0.5	7 x 20 + 1 x 15	-	-	20 - 24	7.67 - 8.50
3	S	1 x 0.5	5 x 20 + 1 x 15	15.5 - 19.8	10.67	20 - 24	13.33
4	S	2 x 0.5	7 x 20 + 1 x 10	15.0 - 19.9	19.00	20 - 24	5.00

FAL = แผ่นโฟม PE เคลือบ aluminium

\*ค่าอุณหภูมิและเวลาแสดงเป็นช่วงเนื่องจากการเก็บข้อมูลจากตำแหน่งต่างๆ ในการทดสอบ

● กล่องโฟมในกล่องกระดาษแข็งขนาด M 1 กล่อง

● แผ่นโฟม FAL หนา 20 มม. ขนาด 8.5 x 12.8 นิ้ว (W x L) 1 ชั้น (E)

● แผ่นโฟม FAL หนา 20 มม. ขนาด 8.0 x 13.1 นิ้ว (W x L) 2 ชั้น (F)

● แผ่นโฟม FAL หนา 20 มม. ขนาด 7.4 x 8.0 นิ้ว (W x L) 4 ชั้น (G)

● แผ่นโฟม FAL หนา 15 มม. ขนาด 8.5 x 12.8 นิ้ว (W x L) 1 ชั้น (H)

● แผ่นโฟม FAL หนา 3 มม. ขนาด 8.5 x 12.8 นิ้ว (W x L) 1 ชั้น (I)

● เศษแผ่นโฟมธรรมดาหนา ขนาดประมาณ 5 x 5 นิ้ว (W x L) 4 ชั้น (J)

นำ IP ที่แช่แข็งไว้วางที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 28°C) 30 นาทีก่อนการบรรจุ วางแผ่นโฟม E 1 ชั้นในกล่องโฟมด้านล่างสุดโดยหันด้าน aluminium ลงข้างล่าง วางแผ่นโฟม F ซิดผนังด้านยาวทั้งสองด้านของ

กล่องด้านละ 1 ชั้น วางแผ่นโฟม G ซิดผนังด้านกว้างทั้งสองด้านของกล่องด้านละ 1 ชั้น วางแผ่นโฟม G อีก 2 ชั้น ขนานกับผนังด้านกว้างของกล่องโดยหันด้าน aluminium ออกจากกัน บรรจุ PC ในแนวตั้งระหว่างแผ่นโฟม G 2 ชั้นที่อยู่กลางกล่องจนครบ 12 ยูนิต ดันแผ่นโฟม G เข้าหากันจนชิดกับ PC สอดโฟม J ไว้กลางช่องว่างทั้งสองด้านเพื่อดันให้โฟม G และ PC ตั้งตรงและไม่ล้มระหว่างการขนส่ง วางแผ่นโฟม H และ I ปิดทับด้านบนตามลำดับ วาง IP 2 ก้อน เรียงชิดกันตรงกลางกล่องในแนวเดียวกับแผ่นโฟม G ด้านข้างของ IP วางแผ่นโฟม J ดันให้ IP อยู่กลางกล่องตลอดการขนส่ง ปิดฝากล่องโฟม ปิดเทปกาวรอบฝา ปิดฝากล่องกระดาษ และปิดเทปกาวโดยรอบ (รูปที่ 4) น้ำหนักโดยประมาณ 4.5 กก. จากการทดลอง 3 ครั้ง เก็บรักษาอุณหภูมิ 20 - 24°C ได้นาน 16 ชั่วโมง 30 นาที ถึง 21 ชั่วโมง ผลอุณหภูมิจากการทดสอบติดต่อกัน 3 ครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 8 และแผนภูมิที่ 4 ซึ่งแสดงผลอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ในการบรรจุ PC จำนวน

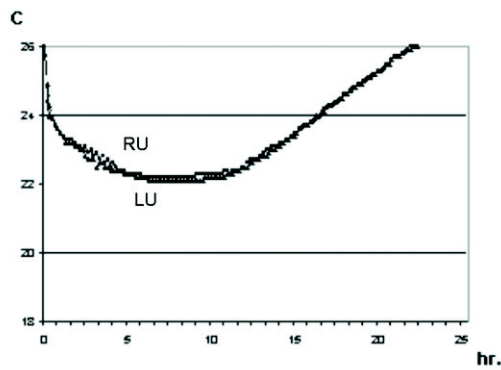
**ตารางที่ 8** ผลการทดลองรูปแบบการบรรจุ PC 12 ยูนิต ที่อุณหภูมิผ่านเกณฑ์แต่ระยะเวลาน้อยกว่า 24 ชั่วโมง

แบบที่	ขนาด กล่อง	IP -3 °C จำนวน x ขนาด (กก.)	FAL จำนวน x หนา (มม.)	ครั้งที่	ช่วงอุณหภูมิ - เวลาผ่านเกณฑ์	
					°C	hours
5	M	2 x 0.5	7 x 20 + 1 x 15 + 1 x 3	1	20 - 24	16.58
				2	20 - 24	21.00
				3	20 - 24	19.00

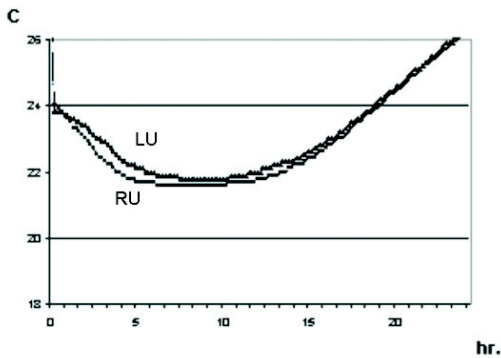
F = แผ่นโฟมธรรมดา, PE = แผ่นโฟม Polyethylene, FAL = แผ่นโฟม PE เคลือบ aluminium



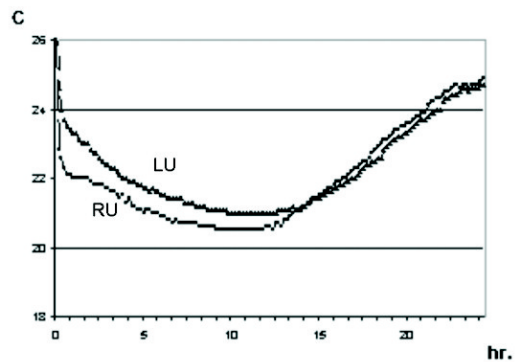
**รูปที่ 4** รูปแบบการบรรจุ PC จำนวน 12 ยูนิต ในกล่องขนาด M โดยใช้ IP ชนิด อุณหภูมิ  $-3^{\circ}\text{C}$  ขนาด 0.5 กก. จำนวน 2 ก้อน และใช้โฟม Polyethylene เคลือบ aluminium (FAL) ความหนา 20 มม. จำนวน 7 ชั้น ความหนา 15 มม. จำนวน 1 ชั้น และ ความหนา 3 มม. จำนวน 1 ชั้น เป็นฉนวน สามารถรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง  $20 - 24^{\circ}\text{C}$  นาน 16.58 - 21.00 ชั่วโมง เมื่อทำการทดลอง ติดต่อกัน 3 ครั้ง



**แผนภูมิที่ 4.1** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 1 ในการบรรจุ PC จำนวน 12 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆของกล่อง ได้แก่ ด้านซ้าย (LU) และด้านขวา (RU)



**แผนภูมิที่ 4.2** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 2 ในการบรรจุ PC จำนวน 12 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆของกล่อง ได้แก่ ด้านซ้าย (LU) และด้านขวา (RU)



**แผนภูมิที่ 4.3** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 3 ในการบรรจุ PC จำนวน 12 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆของกล่อง ได้แก่ ด้านซ้าย (LU) และด้านขวา (RU)

**แผนภูมิที่ 4** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ในการบรรจุ PC จำนวน 12 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่อง

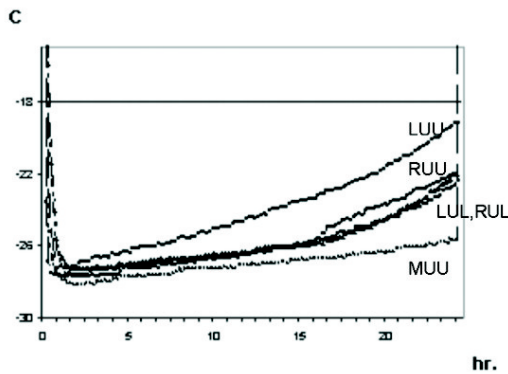
12 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่อง

**วิธีการบรรจุ FFP จำนวน 20 ยูนิต และผลการทดสอบอุณหภูมิและระยะเวลา:**

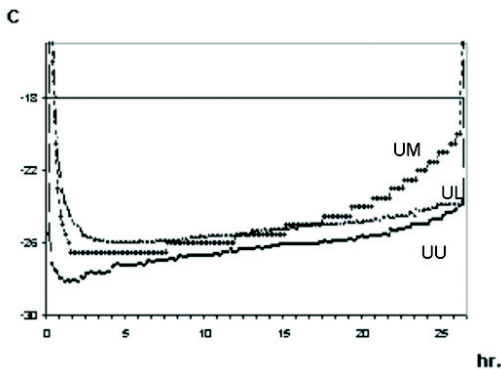
ได้ผลอุณหภูมิการบรรจุตามเกณฑ์คือต่ำกว่า  $-18^{\circ}\text{C}$  และรักษาอุณหภูมิได้นาน 24 ชั่วโมง แต่บรรจุได้เพียง 20 ยูนิต เนื่องจาก FFP ต้องบรรจุในถุงพลาสติก air bubble เพื่อป้องกันการกระแทก ทำการทดลองโดยวาง IP ขนาด 5 กก. ด้านล่างของกล่องโฟม เพื่อความ

สะดวกในการบรรจุ แต่สามารถรักษาอุณหภูมิได้เพียง 19 ชั่วโมง ผลการทดลองจากการทดสอบ 3 ครั้งติดต่อกันดังแสดงในตารางที่ 9 และแผนภูมิที่ 5 ซึ่งแสดงผลอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ในการบรรจุ FFP จำนวน 20 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่อง

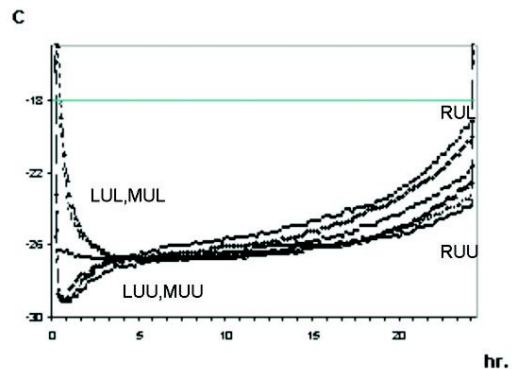
- IP ชนิด  $-28^{\circ}\text{C}$  ขนาด 2.2 กก. 5 ก้อน ขนาด 5.0 กก. 1 ก้อน
- กล่องโฟมในกล่องกระดาษแข็งขนาด L 1 กล่อง



**แผนภูมิที่ 5.1** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 1 ในการบรรจุ FFP จำนวน 20 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆของกล่อง ได้แก่ ด้านซ้ายล่าง (LUL) ด้านซ้ายบน (LUU) ตรงกลางด้านบน (MUU) ด้านขวาล่าง (RUL) และด้านขวาบน (RUU)



**แผนภูมิที่ 5.2** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 2 ในการบรรจุ FFP จำนวน 20 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆของกล่อง ได้แก่ ด้านล่าง (UL) ตรงกลาง (UM) และด้านบนสุด (UU)



**แผนภูมิที่ 5.3** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองครั้งที่ 3 ในการบรรจุ FFP จำนวน 20 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆของกล่อง ได้แก่ ด้านซ้ายล่าง (LUL) ด้านซ้ายบน (LUU) ตรงกลางด้านล่าง (MUL) ตรงกลางด้านบน (MUU) ด้านขวาล่าง (RUL) และด้านขวาบน (RUU)

**แผนภูมิที่ 5** แสดงผลอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ในการบรรจุ FFP จำนวน 20 ยูนิต ที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่อง

### ตารางที่ 9 ผลการทดลองรูปแบบการบรรจุ FFP 20 ยูนิต ที่ผ่านเกณฑ์

แบบที่	ขนาด กล่อง	IP -28 °C		จำนวน จำนวน x หนา (มม.)	ครั้งที่	ช่วงอุณหภูมิ - เวลาผ่านเกณฑ์	
		จำนวน x ขนาด (กก.)				°C	hours
1	L	1 x 5	-	1	< -18	24.10	
		5 x 2.2	-	2	< -18	26.00	
		5 x 2.2	-	3	< -18	24.00	

F = แผ่นโฟมธรรมชาติ, PE = แผ่นโฟม Polyethylene, FAL = แผ่นโฟม PE เคลือบ aluminium

วาง IP ขนาด 2.2 กก. จำนวน 5 ก้อน ในกล่องทั้งด้านล่างและด้านข้างทั้ง 4 ด้าน บรรจุ FFP ในถุงพลาสติก air bubble ตามแนวนอนทับบน IP ก้อนล่างจนครบ 20 ยูนิต วาง IP ขนาด 5 กก. ทับด้านบนสุดของ FFP และ IP ที่อยู่ด้านข้าง ปิดฝากล่องโฟม ปิดเทปกาวรอบฝา ปิดฝากล่องกระดาษ และปิดเทปกาวโดยรอบ (รูปที่ 5) นำหนักโดยประมาณ 22 กก. จากการทดลอง 3 ครั้ง เก็บรักษาอุณหภูมิต่ำกว่า  $-18^{\circ}\text{C}$  ได้นาน 24 ชั่วโมง หรือต่ำกว่า  $-20^{\circ}\text{C}$  ได้นาน 23 ชั่วโมง

คณะผู้ศึกษาไม่ได้ทำการทดลองบรรจุ FFP ในจำนวนยูนิตที่ลดลง เนื่องจาก FFP ต้องการอุณหภูมิที่ยิ่งต่ำมากยิ่งขึ้นเป็นผลดี ดังนั้นหากมีการลดจำนวนการบรรจุ FFP ลงก็สามารถใช้ปริมาณ IP เท่าเดิมได้เพื่อให้ได้อุณหภูมิที่ต่ำมากยิ่งขึ้น

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านค่าใช้จ่าย:

ศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติรวบรวมข้อมูลการขนส่งส่วนประกอบโลหิตไปยังภาคบริการโลหิตทั่วประเทศ ใช้ระยะเวลาขนส่ง 5 - 24 ชั่วโมง ปริมาณการจ่ายโลหิตและส่วนประกอบของโลหิตให้แก่ภาคบริการโลหิตโดยเฉลี่ยต่อเดือน ได้แก่ Whole Blood 900 ยูนิต, PRC 4,700 ยูนิต, PC 370 ยูนิต, FFP 4,100 ยูนิต จำนวนกล่องที่ใช้จัดส่งโดยเฉลี่ยต่อวันของ Whole Blood คือ 3 กล่อง, PRC 14 กล่อง, PC 6 กล่อง และ FFP 6 กล่อง ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของการใช้ dry ice 75 กก./วัน ราคา กิโลกรัมละ 26.75 บาท คิดเป็น 2,006.25 บาท/วัน และค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของการใช้น้ำแข็งเกิดคิดเป็น 972.10 บาท/วัน รวมค่าใช้จ่ายเฉลี่ยของอุปกรณ์ทำความเย็นสำหรับการบรรจุเพื่อขนส่งส่วนประกอบโลหิตที่ใช้อยู่



รูปที่ 5 รูปแบบการบรรจุ FFP จำนวน 20 ยูนิต ในกล่องขนาด L โดยใช้ IP ชนิดอุณหภูมิ  $-28^{\circ}\text{C}$  ขนาด 2.2 กก. จำนวน 5 ก้อน และขนาด 5 กก. จำนวน 1 ก้อน สามารถรักษาอุณหภูมิให้ต่ำกว่า  $-18^{\circ}\text{C}$  ได้นาน 24.00 - 26.00 ชั่วโมง เมื่อทำการทดลองติดต่อกัน 3 ครั้ง

เดิมคือ 2,978.35 บาท/วัน

วิเคราะห์ข้อมูลค่าใช้จ่าย ได้แก่ ค่าขนส่ง IP และ กล่องโฟมกลับศูนย์บริการโลหิตฯ ค่าไฟฟ้าสำหรับการแช่แข็ง IP ค่าน้ำแข็ง และ dry ice ที่ใช้ในการบรรจุแบบ เดิม ค่า IP (AHT) ค่าตู้แช่แข็งสำหรับ IP สรุปผล ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนมาใช้วิธีการบรรจุที่ศึกษา นี้ โดย จัดซื้อ IP ใช้หมุนเวียน 20 วัน จะคุ้มทุนใน 0.90 ปี (ประมาณ 11 เดือน)

### วิจารณ์

ผลการศึกษาทดสอบวิธีการขนส่งส่วนประกอบ โลหิตนี้เป็นการศึกษารูปแบบการบรรจุในสภาพอุณหภูมิ ห้องทั่วไป 26 - 32 °C ไม่ใช่สภาวะการขนส่งจริง ซึ่งอาจ มีปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบได้ เช่น แสงแดด การเขย่าและ การกระทบกระเทือน ซึ่งผู้ปฏิบัติต้องมีการควบคุมและ ป้องกัน

การบรรจุ PRC เพื่อการขนส่งทั้งชนิด 10 - 15 ยูนิต และ 30 ยูนิต สามารถรักษาอุณหภูมิตามเกณฑ์ 2-10 °C ได้นาน 24 ชั่วโมง ซึ่งไม่ยุ่งยากมากนักและสามารถรับ เปลี่ยนได้โดยไม่กระทบต่ออุณหภูมิที่ต้องรักษา เช่น สามารถใช้แผ่นโฟมได้ทั้งชนิดหนา 20 มม. และ 10 มม. แต่จากการทดสอบ การใช้แผ่นโฟมชนิดหนา 20 มม. สามารถหมุนเวียนได้หลายครั้งกว่า

การบรรจุ PC เพื่อการขนส่งทั้งชนิด 12 ยูนิต และ 25 ยูนิตต่อกล่อง มีปัญหาในการรักษาอุณหภูมิให้อยู่ใน เกณฑ์ 20 - 24 °C ให้ได้นานถึง 24 ชั่วโมงในทุกครั้งของ การทดสอบ การรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วงดังกล่าวมี ความยุ่งยากและมีวิธีการบรรจุที่ซับซ้อน ผลการทดสอบ การบรรจุ PC 12 ยูนิตต่อกล่อง เก็บรักษาอุณหภูมิ 20-24 °C ได้นาน 16 ชั่วโมง 30 นาที ถึง 21 ชั่วโมง และการ บรรจุ PC 25 ยูนิตต่อกล่อง เก็บรักษาอุณหภูมิ 20-24 °C ได้นาน 20 - 24 ชั่วโมง ซึ่งจากผลการทดสอบนี้ เพื่อความมั่นใจในคุณภาพส่วนประกอบโลหิตควร ควบคุมเวลาที่ใช้ในการขนส่งจริงให้น้อยกว่า 16 ชั่วโมง

เช่น ขนส่งโดยเครื่องบิน หรือบรรจุเรียบร้อยแล้วรีบส่งไป และปลายทางรีบรับทันที เป็นต้น นอกจากนี้คณะผู้ทำ การศึกษายังได้ทำการทดลองเพิ่มเติมเพื่อพิสูจน์ ประสิทธิภาพของรูปแบบการบรรจุ PC ที่ได้ทดลอง ศึกษาเปรียบเทียบกับกรบรรจุแบบเดิมของศูนย์บริการ โลหิตฯ ซึ่งใช้น้ำแข็งเกล็ดเป็นอุปกรณ์ให้ความเย็น โดย พิจารณา Swirling Phenomenon ของ PC ทั้งก่อนการ บรรจุ (Swirling Phenomenon เป็น +5) และหลังการ บรรจุ พบว่า PC จากรูปแบบการบรรจุที่ได้ทำการศึกษา (ขนาดบรรจุ 25 ยูนิต ต่อกล่อง โดยมี PC กลุ่มทดลอง จำนวน 10 ใน 25 ยูนิต) มีลักษณะของ Swirling Phenomenon ลดลงจากเดิม 1 ระดับ เพียง 2 ใน 10 ยูนิต หรือร้อยละ 20 ในขณะที่ PC จากการบรรจุรูปแบบ เดิม นั้นมีลักษณะของ Swirling Phenomenon ลดลงจาก เดิม 1 ระดับ จำนวน 2 ใน 11 ยูนิต และมีจำนวน 1 ยูนิต ที่ไม่พบ Swirling Phenomenon เลย ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 27.3 จากข้อมูลการศึกษาโดย Holme S และคณะ พบว่า ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 20 °C จะมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการ เปลี่ยนแปลงรูปร่างและมีผลเชื่อมโยงกับความมีชีวิต ของ PC โดยการเพิ่มขึ้นของระดับการเปลี่ยนแปลงดัง กล่าวจะแปรตามอุณหภูมิที่ลดลงและระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และการศึกษาที่อุณหภูมิ 26 °C และ 30 °C พบว่าไม่มีผล ต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ PC อย่างมีนัยสำคัญ แต่ ที่อุณหภูมิ 30 °C จำนวนนับเกล็ดโลหิต (platelet count) จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ<sup>5</sup>

การบรรจุ FFP โดยใช้ IP แทน dry ice สามารถรักษา อุณหภูมิได้ต่ำกว่า -18 °C ได้นาน 24 ชั่วโมง และต่ำกว่า -20 °C ได้นาน 23 ชั่วโมง แต่สามารถบรรจุได้เพียง 20 ยูนิตต่อกล่อง น้ำหนัก 22 กก. ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกร บรรจุโดยใช้ dry ice จะบรรจุได้ 25 ยูนิตต่อกล่อง น้ำหนัก 18 กก. การใช้ dry ice จึงมีข้อดีคือสะดวก ง่าย ต่อการบรรจุขนส่ง ใช้ในปริมาณน้อย และสามารถทำ อุณหภูมิได้ต่ำถึง -78.3 °C<sup>6</sup> ทำให้มั่นใจในคุณภาพของ FFP ขณะขนส่ง อย่างไรก็ตาม การใช้ dry ice ก็มีข้อควร

ระวังเนื่องจาก dry ice เป็นสารเคมีอันตรายชนิดหนึ่ง การนำมาใช้ควรสวมถุงมือขณะหยิบจับไม่ให้มือสัมผัสกับ dry ice โดยตรงและดูแลให้มีการหมุนเวียนอากาศที่ดีในการเก็บรักษาและขนส่ง<sup>6</sup> ปัญหาที่พบในงานบริการโลหิตคือไม่สามารถจัดหา dry ice ได้โดยเฉพาะในจังหวัดเล็กๆ ดังนั้นการใช้ IP ในการบรรจุขนส่ง FFP จะเป็นทางออกที่ดี ในการรักษาคุณภาพส่วนประกอบโลหิตไว้ได้

### สรุป

การศึกษานี้ทำให้ได้วิธีการบรรจุและขนส่งส่วนประกอบโลหิตที่สามารถรักษาและควบคุมอุณหภูมิของส่วนประกอบโลหิตแต่ละชนิดให้เหมาะสม ซึ่งอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์กับคุณภาพของส่วนประกอบโลหิตนั้นๆ สำหรับการบรรจุ PC ต้องควบคุมระยะเวลาการขนส่งทั้งหมดให้อยู่ในช่วงที่ศึกษา การศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ในการบรรจุ FFP รวมถึงส่วนประกอบโลหิตชนิด Cryoprecipitate และผลิตภัณฑ์อื่นที่ใช้อุณหภูมิเดียวกันในการขนส่ง เช่น การใช้ IP ชนิด -28 °C ในการบรรจุ Fibrin Glue สำหรับหน่วยงานที่ไม่สามารถหาซื้อ dry ice ได้ จากการศึกษายังพบว่า IP สามารถแช่แข็งในตู้ freezer (-25 °C ถึง -30 °C) ซึ่งธนาคารเลือดมีอยู่แล้วโดยไม่ต้องซื้อตู้ deep freezer เฉพาะสำหรับ IP นอกจากนี้การใช้ IP แทนน้ำแข็ง หรือ dry ice สามารถใช้หมุนเวียนได้ในระยะเวลานาน ทำให้คุ้มทุน แตกต่างจากน้ำแข็งหรือ dry ice ที่ละลายหมดไป แม้ว่าผลการศึกษานี้จะได้รูปแบบวิธีการบรรจุและผลการรักษาอุณหภูมิที่ตรงตามเกณฑ์ที่กำหนดแล้วก็ตาม แต่เมื่อนำไปใช้งานจริงควรมีการประเมินตรวจสอบเผื่อระวังเป็นระยะเพื่อติดตามผล ทั้งนี้รวมถึงการนำวิธีการบรรจุเพื่อขนส่งจากการศึกษานี้ไปใช้เป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนการบรรจุเพื่อใช้ขนส่งในระยะทางสั้นๆ เช่น ขนส่งภายใน

โรงพยาบาล หรือ ระหว่างหอผู้ป่วย ซึ่งควรต้องมีการทดลองปรับเปลี่ยนองค์ประกอบในการบรรจุเช่นเดียวกับการศึกษานี้และเก็บข้อมูลเพื่อการนำไปประเมินผลและเผื่อระวังด้วยเช่นกัน

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ แพทย์หญิง พิมล เชี่ยวศิลป์ ผู้จัดการระบบคุณภาพศูนย์บริการโลหิตแห่งชาติ สำหรับคำแนะนำและข้อเสนอแนะในการศึกษานี้

ขอขอบคุณบริษัท AHT (Asia) Co., Ltd. สำหรับการศึกษารูปแบบการบรรจุส่วนประกอบโลหิตจำลองในเบื้องต้น

### 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.* 11<sup>th</sup> ed. 2005. (online). Available: <http://www.coe.int/> (26 February 2007).
3. UK Blood Transfusion & Tissue Transplantation Services. *Guidelines for the blood transfusion services in the UK.* 7<sup>th</sup> ed. United Kingdom: The Stationery Office, 2005.
4. Brecher ME, Leger RM, Linden JV, Roseff SD eds. *Technical Manual.* 15<sup>th</sup> ed. Bethesda, MD. AABB 2005.
5. Holme S, Sawyer S, Heaton A, Sweeney JD. *Studies on platelets exposed to or stored at temperatures below 20°C or above 24°C.* *Transfusion* 1997;37:5-11.
6. National Institute for Occupational Safety and Health. *NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards.* No.2005-149. Cincinnati: NIOSH Publications Dissemination, 2005.



## Study of Blood Components Packing and Transportation

**Pintira Tanthien, Treungtra Leelarungsun and Nichapa Yookamnerd**

*National Blood Centre, Thai Red Cross Society.*

---

**Abstract :** *Blood components should be kept in the right temperature during the whole transportation period in order to retain the quality of blood. Thus, The World Health Organization has set standard temperature for each blood component. The National Blood Centre has studied and validated the blood component transportation process by emphasizing on the temperature, transportation time, equipment and management. The standard temperature criteria for the transportation of blood components are as follows: 2 - 10 °C for Packed red cells (PRC), 20 - 24 °C for Platelet concentrates (PC), -18 °C or lower for Fresh frozen plasma (FFP) with the transportation time of not more than 24 hours. According to the study, ice pack (IP) AHT U - Pac of -3 °C, 0.5 and 2.2 kgs and of -28 °C, 2.2 and 5 kgs can be used as follows: the 10 - 15 and 30 units of PRC/box can be kept at 2 - 10 °C for 24 hours, 12 and 25 units of PC/box can be kept at 20 - 24 °C for 20 - 24 hours and 16.5 - 21 hours respectively, and 20 units of FFP/box can be kept at below -18 °C for 24 hours. This study can help retain the quality of blood and blood components for the whole transportation period. Moreover IP is efficient and more cost-effective in the long run as it can be reused.*

**Key Words :** ● Blood component ● Packing ● Transportation

**Thai J Hematol Transf Med 2007;17:11-27.**

