

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生活與應用科學科

第三名

030807

冰風暴—液態二氧化碳冰敷包

學校名稱：臺北市私立復興實驗高級中學

作者：  國二 陳昶蓉  國一 梅佳龍  國一 梅珍鳳	指導老師：  鄭調榮  何成玗
---	-----------------------------

關鍵詞：冰敷治療、液態二氧化碳

## 摘 要

在發生意外傷害時，冰敷包是緊急處理的利器，但是傷害發生在戶外活動時，往往無法及時取得冰塊進行冰敷治療，我們計算出人體皮膚單位面積的散熱量，並以它為基礎設計出一款新型的冰敷包，這款冰敷包利用液態二氧化碳(LCO<sub>2</sub>)汽化時產生的吸熱反應來降溫，符合「可攜帶」、「可長久保存」及「隨時可用」的條件，並製作樣品來證明它的實用價值，這對於經常從事戶外活動而又有受傷風險的人，實在是一大保障，在延伸研究中，我們以「液態二氧化碳冰敷包」為基礎，設計「液態二氧化碳冰桶」，使它更具有應用的價值。

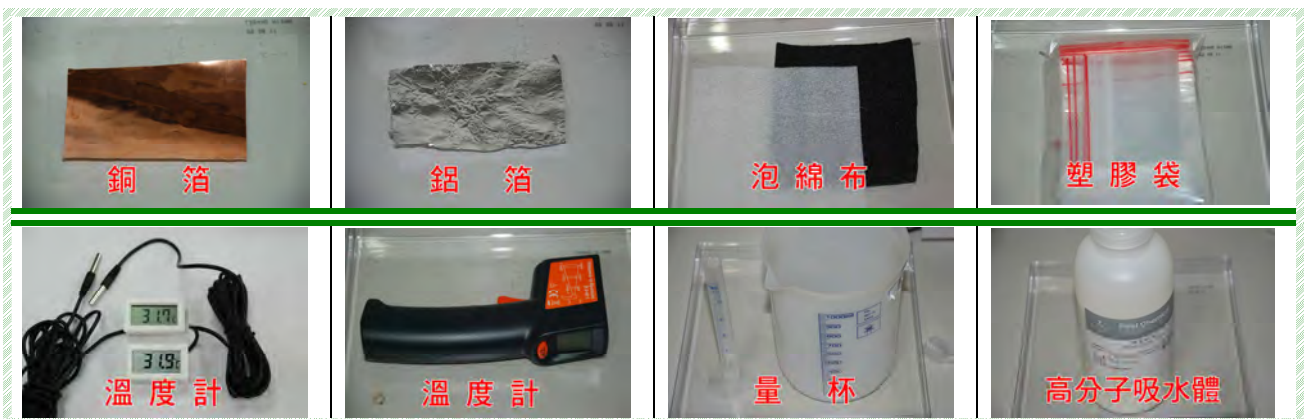
### 壹、 研究動機：

我們就讀的學校，因為位於市中心區，校園空間有限，所以經常選擇一些較空曠的場所舉辦戶外教學及體能訓練課程，在一次體能訓練課程中，一位同學不慎撞傷腳部，據現場體能課程老師說最好能立即冰敷，但是上課的地點位於偏遠的山區，根本無法取得冰塊，所以只好由其他同學攙扶回車上休息，如果有一種冰敷包可於急救箱中長期儲存，隨時可用，那麼對於經常從事戶外活動而又有受傷風險的人，實在是一大保障，於是，集結了幾位對這個議題感興趣的同學一起來研究，我們發現市售的 CO<sub>2</sub> 鋼瓶，在瞬間釋放氣體時，會產生急速降溫的現象，故我們希望能利用這個現象設計出「可攜帶型」的冰敷包。

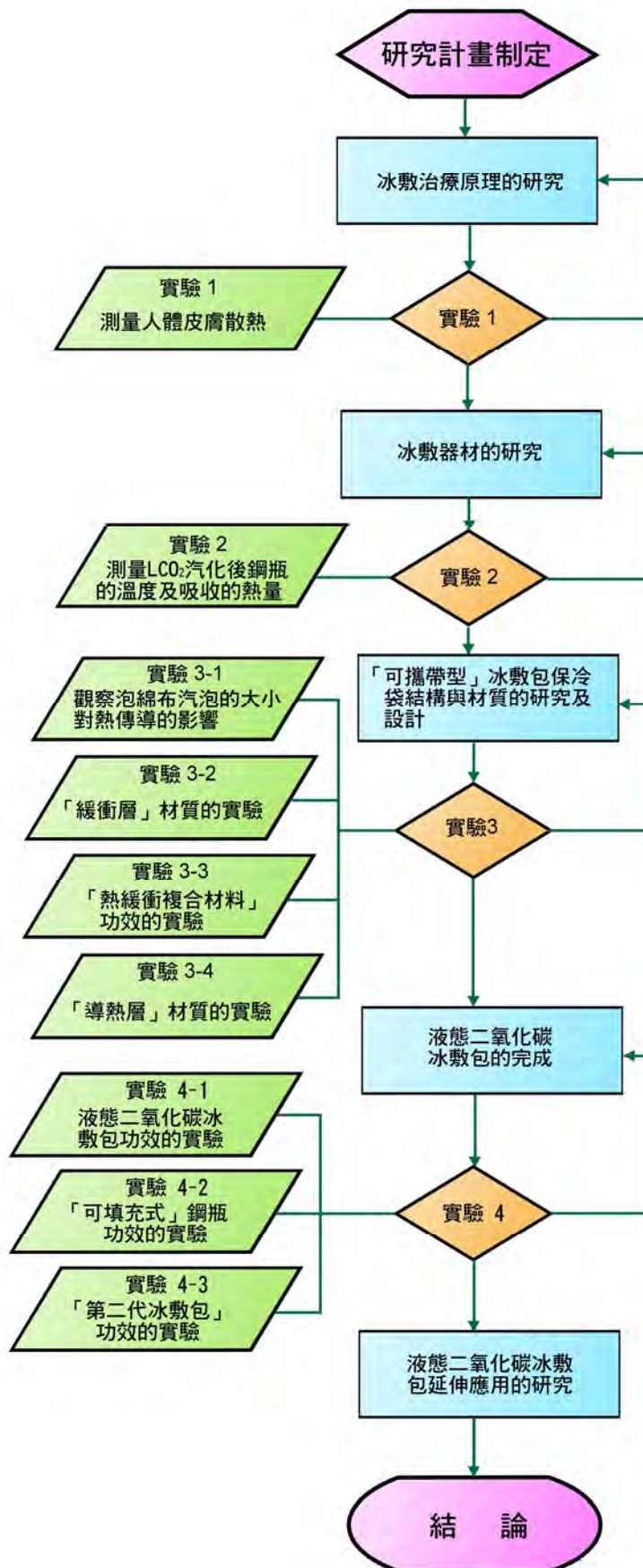
### 貳、 研究目的：

- 一、 冰敷治療原理以及冰敷器材的研究。
- 二、 吸熱單元以及液態二氧化碳相變的研究。
- 三、 「可攜帶型」冰敷包保冷袋結構與材質的研究及設計。
- 四、 製作樣品來證明新型冰敷包的實用價值，

### 參、 研究的設備與器材：



## 肆、研究的過程：



## 伍、 研究的方法與結果：

### 一、 冰敷治療原理的研究

根據訪問護理與復健方面的專業人員以及查閱參考資料的結果，我們對於冰敷治療有下列的認識：

- 1、冰敷常用在紅、腫、熱、痛急性期，如打球扭傷、發炎、表皮一度燒傷、肌肉痙攣、輕微刀傷、頭痛、牙痛、流鼻血、昆蟲咬傷、眼壓過高或水腫等情況，效果十分顯著。
- 2、冰敷的時間視冰敷的部位而異，脂肪較少的部位，像是腳踝、膝蓋、手肘，最好不要冰太久；脂肪多的部位，像是大腿和臀部，則可以冰多一點時間。
- 3、冰敷治療的作用原理，在血管立即收縮，血流減少，以避免出血、瘀青、腫脹；降低代謝作用，延緩神經傳導速度，以達到消炎止痛麻痺的效果。
- 4、皮膚對冷的感覺受器，其正常反應溫度範圍在  $10^{\circ}\text{C}$  至  $41^{\circ}\text{C}$  之間。若冰敷的過程中，**皮膚溫度低於  $10^{\circ}\text{C}$  以下**，那麼，皮膚對冷的正常反應，將會因為感覺受納器的不正常反應而改變，進而出現血管擴張與冷傷害的情形。般一般來說，在正常的冰敷狀況下，剛開始的 **3 分鐘** 左右會有冷的感覺，**2 至 7 分鐘** 左右會有灼熱與疼痛感，**5 至 10 分鐘** 左右會有局部麻痺、麻木疼痛、刺激反應被阻斷等反應，**10 至 15 分鐘** 左右則會出現深層組織血管放鬆的現象並產生冷傷害，故如果沒有特殊的醫療目的，冰敷的時間大概是 **5 至 10 分鐘** 左右為宜。
- 5、冰塊、冰水、冰袋、冰劑...等都是冰敷治療的工具，通常，以看不到冰塊的冰水進行冰敷時，不易出現冷傷害，以冰塊直接冰敷時，則可能在 **5 分鐘** 內出現冷傷害生理反應。

綜合以上的論述，我們知道冰敷治療是屬於一種被認可醫療的行為，但是它使用的器材-冰袋，卻沒有相關的規範，因為在日常生活上能取得的冰塊，它的溫度可能介於  $0^{\circ}\text{C}$  到  $-20^{\circ}\text{C}$  之間，不同的溫度會影響冰袋的效能，另外冰袋本身的大小、材質等相關的條件也任廠商隨意生產，沒固定的標準，因此冰敷治療雖然是一種被認可的醫療的行為，但是它卻沒有「**標準作業程序**」(Standard Operating Procedure SOP.)。

如果我們不以溫度、大小、材質等條件來衡量冰袋，而改以「**單位面積吸熱能力**」作為冰袋規範冰袋的標準，那麼冰袋的效能就能以量化的數據來描述，而冰敷治療的操作規範也就會較為明確，因此我們就以「**單位面積吸熱能力**」作為設計「**可攜帶型**」的冰敷包的理論依據。

要以「**單位面積吸熱能力**」來設計「**可攜帶型**」的冰敷包，我們必須先了解人體皮膚的散熱數據，我們查閱了相關的參考資料，得知影響人體皮膚散熱的因素非常多，包括個人體質、健康狀況等，因此沒有標準的數據，但是我們知道人體的溫度大約介於  $35^{\circ}\text{C}$  到  $45^{\circ}\text{C}$  之間，超過或低於這個範圍就會有生命危險，因此人體皮膚的散熱數據應該有一定的範圍，不可能會有極端的數據，為了尋求這個問題的答案，我們募集了一些不同年齡、性別的人，以較常出現意外傷害的手部與足部為標的並且假設冰敷時間為 10 分鐘，用實驗來推算人體皮膚的散熱數據。

### 實驗 1：

- 一、實驗目的：測量人體皮膚散熱。
- 二、實驗方法：
  - 1、依年齡、性別將「測試水袋」的分類。
  - 2、測量受測人手部與足部的體溫。
  - 3、將 50 ml 的水倒入長 10cm、寬 7cm 的塑膠袋中製作「測試水袋」。
  - 4、測量「測試水袋」的水溫。
  - 5、將「測試水袋」平貼在受測人的人手部與足部上並記錄 10 分鐘內的溫度的變化。
  - 6、以測量所得的數據推算人體皮膚散熱值。



(1) 測量受測人手部與足部的體溫



(2) 製作「測試水袋」



(3) 測量「測試水袋」的水溫



(4) 記錄「測試水袋」溫度的變化

### 三、實驗結果：

- 1、我們募集到的受測人共 6 人，實驗當時室溫 21°C，實驗前「測試水袋」水溫為 18.1°C，測量所得的數據如【表 1】

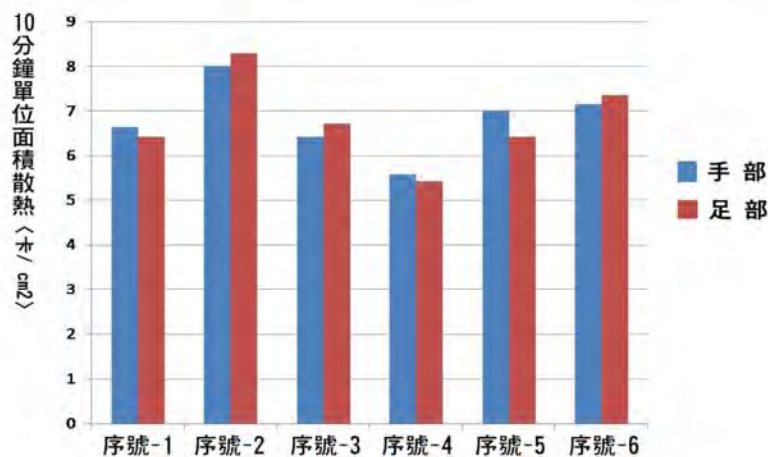
序號	受測人性別	受測人年齡	手 部		足 部	
			實驗前體溫	實驗後測試水袋水溫	實驗前體溫	實驗後測試水袋水溫
1	男	71 歲	31.1°C	27.4°C	30.8°C	27.1°C
2	男	48 歲	32.4°C	29.3°C	31.1°C	29.7°C
3	女	45 歲	30.8°C	27.1°C	30.9°C	27.5°C
4	女	14 歲	30.2°C	25.9°C	31.1°C	25.7°C
5	男	13 歲	33.5°C	27.9°C	33.1°C	27.1°C
6	女	13 歲	30.6°C	28.1°C	30.1°C	28.4°C

【表 1】

- 我們將「實驗後測試水袋水溫」減「實驗前測試水袋水溫」所得的差就是人體手部或足部  $70 \text{ cm}^2$  的皮膚，在 10 分鐘內將 50 ml 的水所提昇的溫度。
- 依熱量單位的定義，將 1 ml 的水提昇  $1^\circ\text{C}$  的熱量為 1 卡，故我們將水所提昇的溫度乘以 50 ml 在除以  $70 \text{ cm}^2$ ，所得的結果就是人體每  $1 \text{ cm}^2$  的皮膚在 10 分鐘內所散發的熱量，其推算結果如【表 2】、【圖 1】。

序號	受測人性別	受測人年齡	手部 10 分鐘單位面積散熱 (卡/ $\text{cm}^2$ )	足部 10 分鐘單位面積散熱 (卡/ $\text{cm}^2$ )
1	男	71 歲	6.64	6.42
2	男	48 歲	8.0	8.28
3	女	45 歲	6.42	6.71
4	女	14 歲	5.57	5.42
5	男	13 歲	7.0	6.42
6	女	13 歲	7.14	7.35
最大 值			8.0	8.28
最 小 值			5.57	5.42
平 均 值			6.79	6.76

【表 2】



【圖 1】

- 4、依【表 2】的數據，我們採用最大值 8.28 爲人體皮膚的散熱數據，換言之，冰敷包至少須要具備每  $\text{cm}^2$  在 10 分鐘內能吸收 8.28 卡熱量以上的效能，才能有冰敷治療的效果。

## 二、冰敷器材的研究

- (一) 根據市場訪查的結果，我們找到 2 樣「號稱」據有「可攜帶」冰敷包功能的商品，它們的名稱爲「小林退熱貼」與「冰爆包」，以下爲對它們的分析與測試。

### 1、「小林退熱貼」的分析與測試：



本商品的工作原理是將含水的吸水體包裹在不透水材料製作的夾層袋中，當皮膚接觸時，因吸水體的溫度較皮膚低，所以就會有冰涼的感覺。



以溫度計測量的結果，我們發現「小林退熱貼」的溫度與室溫相同，所以我們可以斷定「小林退熱貼」並不具有降低溫度的功能，換言之，它不能當作冰敷包。

### 2、「冰爆包」的分析與測試：



本商品的工作原理是以鋁箔製作密封外袋，內裝約 100 公克的硝酸銨( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )與尿素( $\text{CON}_2\text{H}_4$ )晶體混合物，另外還有一個以鋁箔製作密封水袋，內裝約 50 公克的水。



使用時用力壓破水袋，使水與硝酸銨、尿素晶體混合，由於硝酸銨的莫耳溶解熱是 26.2 千焦，因此「冰爆包」的溫度在很短時間內會降低。



以溫度計測量的結果，我們發現「冰爆包」的溫度可在 50 秒左右由室溫 22°C 降至 5°C，以此觀之，「冰爆包」確實具備冰敷包的功能。

(二) 根據「冰爆包」的測試，雖然它具有降溫冰敷的功能，但是我們在實際操作與資訊搜尋時，發現它有下列的問題：

- 1、水袋破裂到「冰爆包」開始降溫約有 15 秒的延遲時間，在這段時間內我們無從判斷水袋是否已破裂，甚至誤以為敲擊力道不足，以至反覆增加力道敲打，鋁箔外袋差一點被敲破，這對於第一次使用「冰爆包」的人而言，實有不便。
- 2、根據「冰爆包」包裝上列印的資訊，不可置於 35°C 以上的環境中，否則內容物會硬化變質，依照生活經驗，在夏季汽車受太陽照射後，車內溫度高於 35°C 以上是很正常的事，以此觀之，要把「冰爆包」當成「可攜帶型」的冰敷包可能會有問題。
- 3、硝酸銨(NH<sub>4</sub>N0<sub>3</sub>)的水溶液雖然無毒，但是用石蕊試紙測試變橘黃色，呈弱酸性，接觸皮膚或眼睛須立刻以水清洗，否則可能會造成傷害，根據「[華夏經緯網 2007 年 8 月 9 日訊](#)」報導，曾有一名小朋友在玩「冰爆包」時，被裏頭的液體噴出濺入眼睛，導致眼角膜輕微剝落，我們在實際操作時，發現使用中的「冰爆包」，只要施以 70 公斤的壓力，鋁箔外袋黏合處就會破裂，使得內部的水溶液飛濺而出，其安全性頗為堪虞。
- 4、硝酸銨(NH<sub>4</sub>N0<sub>3</sub>)是製造炸藥的主要原料，它的安全性頗有爭議，並且它也屬於「[內政部消防署](#)」所公告的「[公共危險物品之第一類：氧化性固體](#)」，我們曾拜訪某化工行，據老闆說硝酸銨是管制品不能賣，但是它卻能出現在「冰爆包」中隨意販售，對此我們深感驚訝與不解。

基於上述的原因，我們認為「冰爆包」雖具備冰敷包的功能，但是並不適合當作「可攜帶型」的冰敷包。另外，由「冰爆包」的分析與測試中，我們發現以鹽類溶解於水中產生的吸熱反應來製造冰敷包，雖然具有一定的功效，但是其演生出的問題卻降低了其應用的價值，因此必須另外尋找其他方法來製作吸熱單元。



### 三、吸熱單元的研究

我們在化學課中曾經學過，物質由液態轉變成汽態時，會吸收一定量的「汽化熱」，因此，如果將裝有液化氣體의鋼瓶打開，瞬間釋放液化氣體，則必然會產生降溫的現象，我們認為可以利用這個原理來製造「冰敷包」的吸熱單元。

每一種液化氣體，在汽化時都會吸熱，如果以這個原理來製造吸熱單元，那麼勢必要將氣體釋放到大氣中無法回收，因此適用的液化氣體應該具備下列的條件：

- 1、不可有毒性、腐蝕性、刺激性等對人體或環境有傷害。
- 2、不可有可燃性、助燃性等對公共安全有危害。
- 3、價格低廉易於取得。

在徵詢販售液化氣體의廠商後，我們發現只有**液態氮(LN<sub>2</sub>)**與**液態二氧化碳(LCO<sub>2</sub>)**符合上述的條件，但是**液態氮(LN<sub>2</sub>)**沸點是-196℃，臨界溫度是-147℃，故存放**液態氮**的容器必須有隔熱的設計以保持低溫如【圖 2】，另外若將容器置於常溫下，**液態氮**會不斷的汽化自洩壓閥流失，否則將導致壓力過大，容器無法承受，以這樣的狀況來看，**液態氮(LN<sub>2</sub>)**並不適合當作「可攜帶型」冰敷包的吸熱單元。

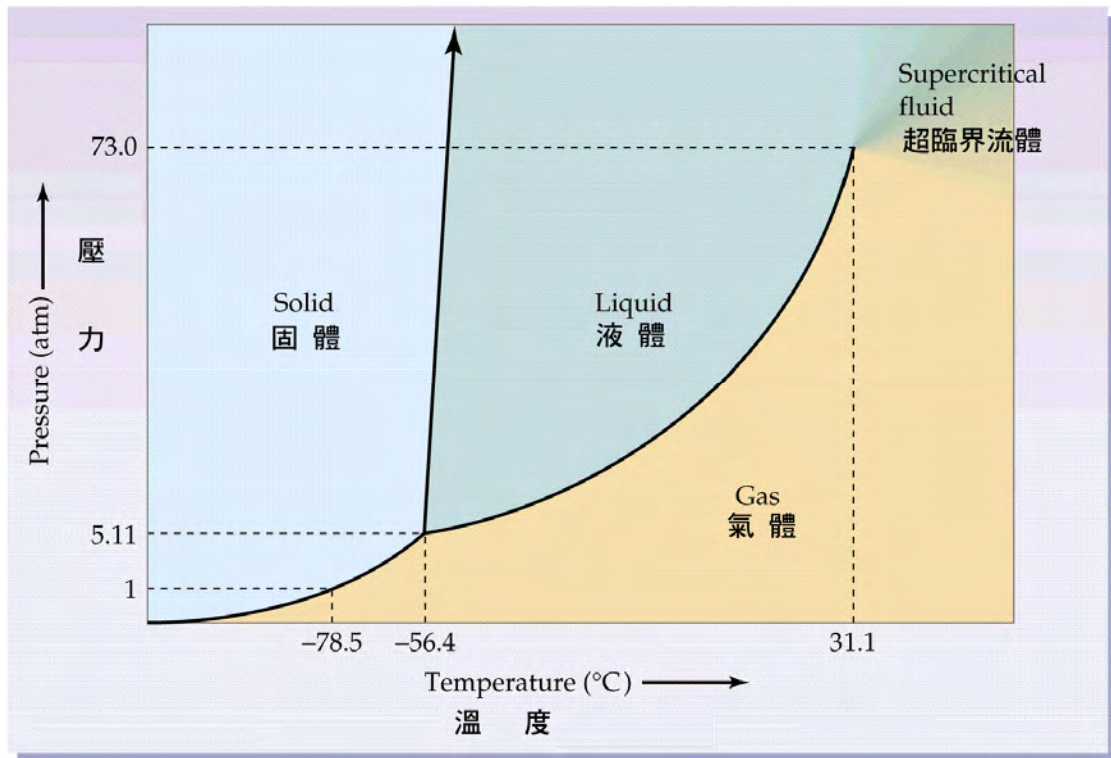


液態氮的容器

【圖 2】

本圖摘錄自網頁 [http://ejournal.stpi.org.tw/NSC\\_INDEX/Journal/EJ0001/9911/9911-08.pdf](http://ejournal.stpi.org.tw/NSC_INDEX/Journal/EJ0001/9911/9911-08.pdf)

**液態二氧化碳(LCO<sub>2</sub>)**的條件就不一樣了，它的特性如【圖 3】



本圖摘錄自網頁 <http://www.teamonslaught.fsnet.co.uk/co2%20phase%20diagram.GIF> 【圖 3】

液態二氧化碳(LCO<sub>2</sub>)的臨界溫度是 31.1°C，對應的壓力為 73 atm，而目前常用的鋼瓶，大多可承受 150 atm 的壓力，故以鋼瓶盛裝的液態二氧化碳(LCO<sub>2</sub>)不須要有隔熱的設計，並且可長期置於常溫下，很適合當作「可攜帶型」冰敷包的吸熱單元。目前市售的 CO<sub>2</sub>鋼瓶種類繁多，以我們收集到的樣品來看可分為「可填充式」與「拋棄式」2類如【圖 4】、【圖 5】。



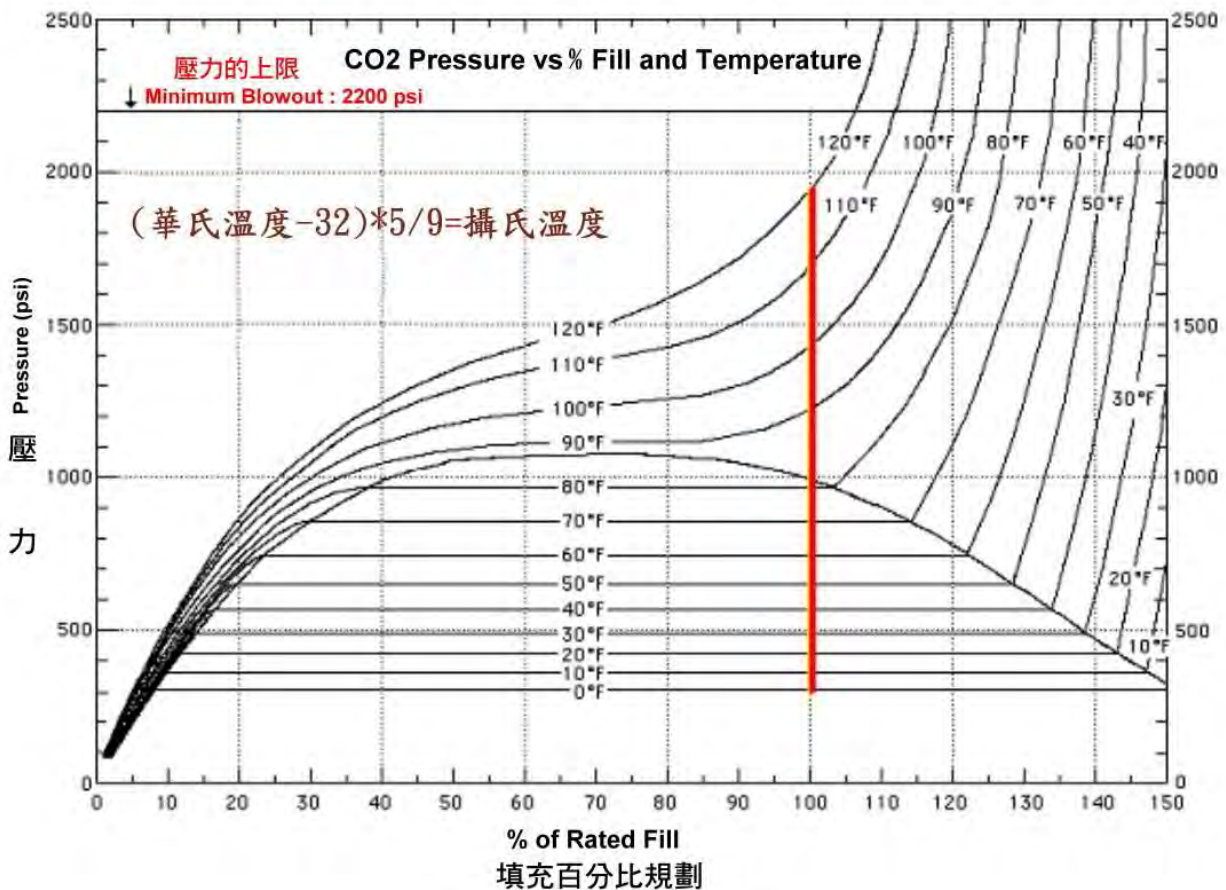
可填充式 【圖 4】



拋棄式 【圖 5】

「可填充式」鋼瓶的體積較大如【圖 4】，「拋棄式」鋼瓶則依填充物的重量區分為多種規格如【圖 5】，以便於攜帶的考量，當然是越小越好，所以我們選擇 20g、16g 與 12g 這 3 種尺寸較小的鋼瓶來測試。

我們由參考資料中得知 CO<sub>2</sub>的汽化熱: 571.08 kJ/kg，1 卡= 4.18 焦耳，依此推算每公克的液態二氧化碳(LCO<sub>2</sub>)完全汽化後可吸收約 137 卡的熱量，可是基於安全的考量，鋼瓶內部必須填充部分的氣體，其說明如【圖 6】，



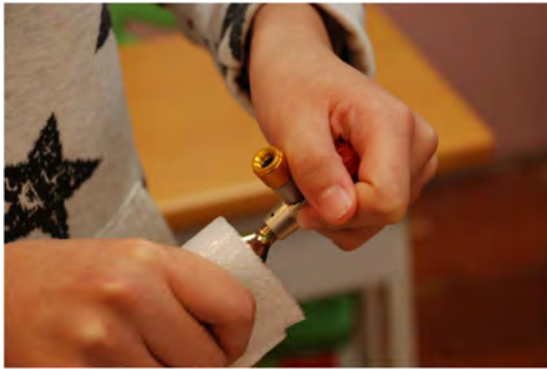
本圖摘錄自網頁 [http://www.teamonslaught.fsnet.co.uk/co2\\_info.htm](http://www.teamonslaught.fsnet.co.uk/co2_info.htm)

【圖 6】

目前常用的鋼瓶工作壓力的上限大約在 2000 psi (140 atm) ~ 2200 psi (150 atm) 左右，圖中紅色的線位置標示的 100% OF RATED FILL (填充百分比規劃)，意思其實是 68% 液體而已，但是在 120 °F (49 °C) 時，對應的壓力值已趨近鋼瓶工作壓力的上限，若超量填充的話，越往圖右邊，壓力曲線爬升越快！液態二氧化碳跟一般氣態的鋼瓶不一樣，壓力對應溫度的曲線不是線性的。而且瓶內的壓力也不直接對應容量，故單看填充物的重量是不能確定鋼瓶內純液態二氧化碳有多少公克，因此要知道鋼瓶能吸收多少熱量，唯有以實驗來測量。

#### 實驗 2：

- 一、實驗目的：測量液態二氧化碳(LCO<sub>2</sub>) 汽化後鋼瓶的溫度及吸收的熱量。
- 二、實驗方法：
  - 1、選擇 20g、16g 與 12g 的鋼瓶各一個，裝上氣閥後將 CO<sub>2</sub> 放出。
  - 2、以溫度計測量鋼瓶的溫度。
  - 3、將 300 ml 的水倒入保溫瓶中並測量水溫。
  - 4、選擇 20g、16g 與 12g 的鋼瓶各一個，裝上氣閥後將 CO<sub>2</sub> 放出後分別丟入保溫瓶。
  - 5、觀察保溫瓶內達成熱平衡後的水溫，並計算鋼瓶吸收的熱量。



(1) 裝上氣閥



(2) 將 CO<sub>2</sub> 放出



(3) 測量鋼瓶的溫度



(4) 將 300 ml 的水倒入保溫瓶中



(5) 測量水溫



(6) 熱平衡後的水溫

### 三、實驗結果與分析：

1、實驗的數據如【表 3】，實驗當時室溫 21°C，實驗前保溫瓶水溫為 18.7°C。

鋼瓶規格	12g	16g	20g
零售單價〈新台幣〉	14 元	22 元	105 元
CO <sub>2</sub> 放出後鋼瓶的溫度	-9°C	-16°C	-23°C
熱平衡後保溫瓶的水溫	14.6°C	13.8°C	12.1°C
鋼瓶吸收的熱量推算值	1230 卡	1470 卡	1980 卡

【表 3】

鋼瓶吸收的熱量推算值(卡) = 實驗前保溫瓶水溫(°C) - 熱平衡後保溫瓶的水溫(°C) × 300 ml

- 根據我們市調得知，液態二氧化碳(LCO<sub>2</sub>) 每公斤售價約 30 元，20g、16g 與 12g 鋼瓶的價差是市場需求量造成的，因為液態二氧化碳(LCO<sub>2</sub>)使用量大而且固定的人，會選擇「可填充式」鋼瓶，使用「拋棄式」鋼瓶通常是臨時性或方便性的選擇，故鋼瓶的體積越小，市場需求量越大，另外 16g 與 12g 鋼瓶也廣泛的運用在「漆彈槍」、「BB 槍」等玩具中，20g 以上的「拋棄式」鋼瓶用途就較為有限，如果有新的用途足以影響市場需求量，那麼 20g 以上的「拋棄式」鋼瓶將會比較便宜。
- 如果 CO<sub>2</sub>放出後，鋼瓶直接接觸人體皮膚會造成冷傷害，所以必須要有溫度緩衝的設計。
- 將「鋼瓶吸收的熱量推算值」與「實驗 1」的結果相比對，將「鋼瓶吸收的熱量推算值」除以【表 2】的數據「人體皮膚的散熱最大值」8.28 卡/cm<sup>2</sup>，得知假設冰敷時間為 10 分鐘，以 20g、16g 與 12g 的鋼瓶製作「可攜帶型」冰敷包的最大面積如【表 4】

鋼瓶規格	12g	16g	20g
冰敷包的最大面積	149 cm <sup>2</sup>	167 cm <sup>2</sup>	239 cm <sup>2</sup>

【表 4】

#### 四、「可攜帶型」冰敷包保冷袋結構與材質的研究及設計。

我們由「實驗 2」中得知，為避免造成冷傷害，鋼瓶必須要有溫度緩衝的設計，另外為了讓冰敷包散熱較平均，避免低溫集中在鋼瓶附近，所以還要有讓溫度快速傳導的設計，而為了讓鋼瓶吸熱的效能充分發揮在冰敷包上，我們必須要避免鋼瓶吸收到空氣中的背景熱，所以冰敷包與空氣的接觸面還要有隔熱的設計，綜合以上的考量，我們得知冰敷保冷袋結構必須要下列的設計：1、隔熱層，2、導熱層，3、緩衝層，其說明如【圖 7】。



【圖 7】

以下我們將分別對各層加以研究。

##### 〈一〉保冷袋「隔熱層」的研究

符合「隔熱層」的功能的材質，必然是不易傳導熱的材質，我們查詢關於熱傳導的資料，結果如【表 5】。

以溫度25°C為準 導熱係數越大導熱量越大		
1 W / ( m k ) = 1 W / ( m °C ) = 0. 85984 kcal / ( h m °C )		
材質	規範	單位 W / m k
銀	Silver	429
銅	Copper	390~401
金	Gold	310~312
鋁與鋁合金	Aluminum	210~255
鎢	Tungsten	162~173
鐵	Iron	70~80
不銹鋼	SUS304	16.3
地表 / 土	Earth	1.5
塑膠類	Plastic	< 1
玻璃	Glass	0.75~1.05
空氣	Air	0.024

本圖摘錄自網頁 <http://www.landon.com.tw/blog/rewrite.php/read-21.html> 【表 5】

最不易傳導熱的材質是空氣，所以「緩衝層」理想的材質應該是含有大量空氣的泡綿布，我們拜訪販售包裝材料的商店，發現類似的材料多到難以想像，以原料來分大致有下列幾類：

- 1、發泡聚苯乙烯（EPS）俗稱保麗龍
- 2、發泡聚乙烯（EPE）
- 3、發泡聚丙烯（EPP）
- 4、發泡乙烯聚合物（EPO）
- 5、醋酸乙烯酯共聚物（EVA）

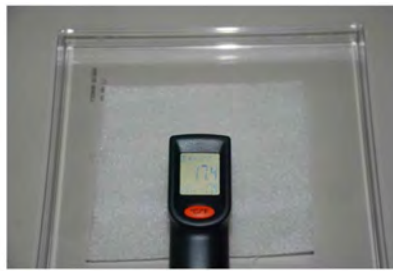
每一種原料的**導熱係數都小於 1**，又都可製成許多種不同規格的商品，我們實在無法一一的以實驗證明它們的功效，不過我們知道空氣是流體，會以對流的方式傳導熱，泡綿布中汽泡的大小及厚度對空氣的對流一定會有影響，厚度關係著使用上的方便性，屬於非量化的因素，無法用實驗討論，故我們以汽泡的大小來觀察對熱傳導的影響。

#### 實驗 3-1：

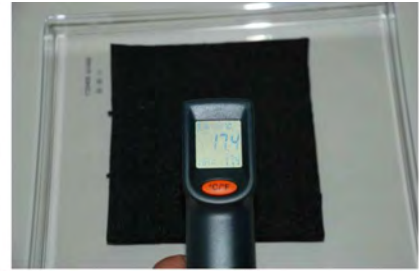
- 一、實驗目的：觀察泡棉布汽泡的大小、分布密度對熱傳導的影響。
- 二、實驗方法：
  - 1、汽泡的大小不同但厚度相同的泡棉布 3 片，汽泡的較大的編號為「A」，次編大的編號為「B」，最小的編號為「C」，並分別以溫度計測量表面溫度。
  - 2、取溫度及大小相同的冰塊 3 塊，分別以「A」、「B」、「C」泡綿布加以包覆。
  - 3、每 10 秒以溫度計測量表面溫度並加以記錄。



編號「A」初始 17.2°C



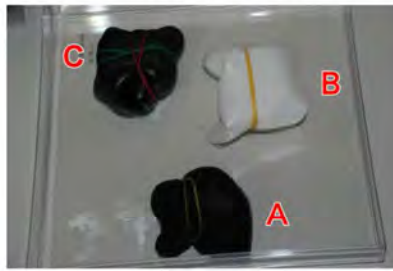
編號「B」初始 17.4°C



編號「C」初始 17.4°C



冰塊溫度 -15°C



以泡綿布包覆



測量表面溫度



編號「A」最低溫 -9.8°C



編號「B」最低溫 0.2°C



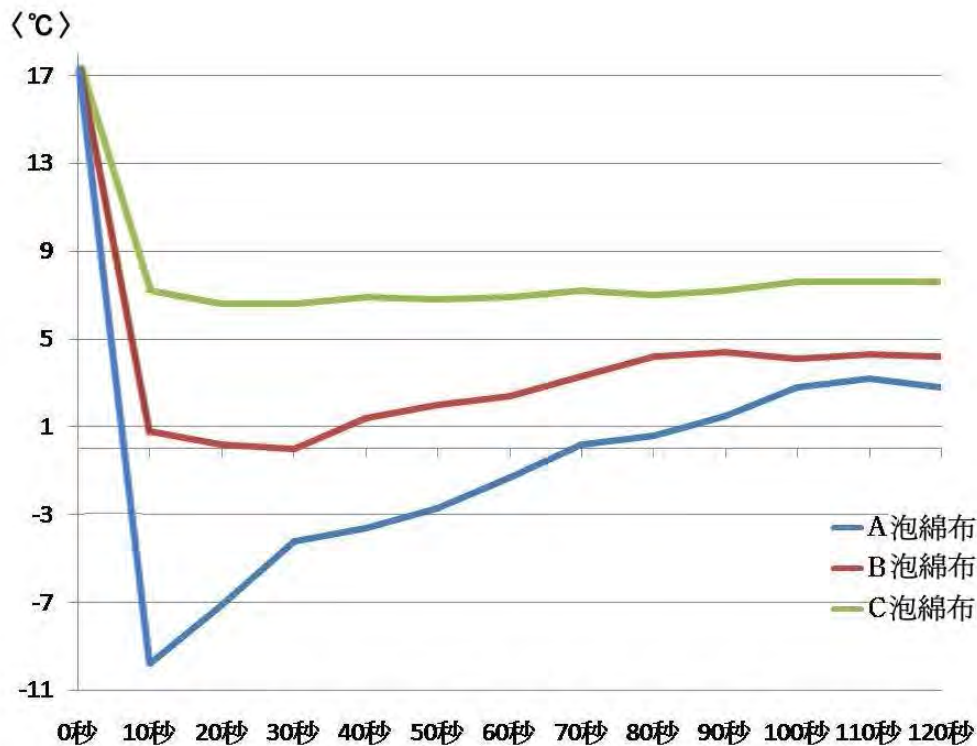
編號「C」最低溫 6.6°C

三、實驗結果與分析：

1、實驗的數據如【表 6】、【圖 8】

	A 泡綿布 〈°C〉	B 泡綿布 〈°C〉	C 泡綿布 〈°C〉
實驗前溫度	17.2	17.4	17.4
10 秒	-9.8	0.8	7.2
20 秒	-7.1	0.2	6.6
30 秒	-4.2	1.2	6.6
40 秒	-3.6	1.4	6.9
50 秒	-2.7	2.0	6.8
60 秒	-1.3	2.4	6.9
70 秒	0.2	3.3	7.2
80 秒	0.6	4.2	7.0
90 秒	1.5	4.4	7.2
100 秒	2.8	4.1	7.6
110 秒	3.2	4.3	7.6
120 秒	2.8	4.2	7.6

【表 6】



【圖 8】

- 2、泡棉布汽泡的大小目前沒有測量的單位與工具，只能用目測判斷，我們發現汽泡越大，分布的密度就會越小。
- 3、由實驗的數據來看，汽泡越小、分布的密度越大的泡棉布熱傳導越慢，熱絕緣越好，故我們選擇「C」泡綿布為「隔熱層」的材質。

### 〈二〉保冷袋「導熱層」的研究

符合「導熱層」功能的材質，必然是容易傳導熱的材質，依【表 5】的資料我們得知銀、銅、金、鋁依序為導熱係數的前 4 名，銀與金是貴金屬，不可能拿來製作冰敷包，銅與鋁則頗為符合「導熱層」的需求，銅的導熱係數比鋁高，但是價格比鋁貴，如果兩者都符合「導熱層」的需求，那麼當然以鋁為最佳選擇。因為「導熱層」必須與「緩衝層」結合後，才能顯示它的功能，所以「導熱層」材質的實驗，我們必須等「緩衝層」確定後再進行。

### 〈三〉保冷袋「緩衝層」的研究

「緩衝層」的功能在於避免使皮膚直接接觸低溫的吸熱單元造成凍傷，它與「隔熱層」不一樣的地方在於「緩衝層」必須要能吸收皮膚散發的熱量，而不是隔絕熱的傳導，所以理想的「緩衝層」要能吸收大量的熱量，但是本身的溫度卻不會快速升高，同時也能放出大量的熱量，但是本身的溫度卻不會快速降低，在以冰塊作為冰敷包吸熱單元的傳統作法中，通常會以微濕的毛巾包覆冰袋，藉由水比熱較高，熱容量（heat capacity）大的原理，達成緩



衝的效果，因此「緩衝層」理想的材質，必然是容易吸水並且柔軟可伏貼於皮膚的材質，基於生活經驗，我們覺得「海綿」符合這樣的條件，另外我們也曾有一次校外研習中，見過老師使用過一種由由丙烯酸( $\text{CH}_2\text{CHCOOH}$ )及丙烯酸鈉( $\text{CH}_2\text{CHCOONa}$ )所聚合而成的聚合物，這種聚合物能吸收其本身重量 300 倍以上的水，它的商品名為「高分子吸水體」，通常使用在紙尿布的夾層中來吸收尿液，當它飽和吸水後，質感類似果凍，體積大約膨脹 50 倍以上，應該也是作為「緩衝層」理想的材質，故我們以實驗來檢驗這 2 種材質的功効。

### 實驗 3-2：

- 一、 實驗目的： 「緩衝層」材質的實驗。
- 二、 實驗方法：
  - 1、取「海綿」一片，「高分子吸水體」1 公克，分別裝入塑膠袋中，並倒入 100 ml 的水。
  - 2、以溫度計測量「海綿」袋與「高分子吸水體」袋表面溫度。
  - 3、取溫度及大小相同的冰塊 2 塊，分別以「海綿」袋與「高分子吸水體」袋加以包覆。
  - 4、每 10 秒以溫度計測量表面溫度並加以記錄。



「海綿」裝入塑膠袋中



「高分子吸水體」裝入塑膠袋中

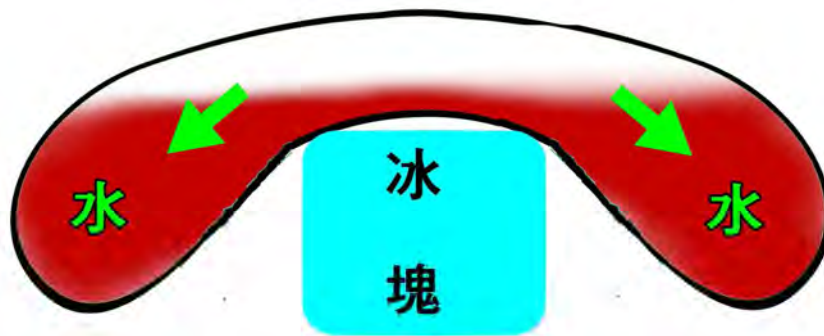


倒入 100 ml 的水



倒入 100 ml 的水

- 三、 實驗結果：取樣冰塊溫度  $-16^{\circ}\text{C}$ ，「緩衝層」內的水或「高分子吸水體」受重力的影響向兩側低處流動，導致中央與冰塊接觸的位置完全無緩衝效果，其說明如【圖 9】



【圖 9】

本實驗證明我們對「緩衝層」材質的選擇錯誤，必須另謀他法。

在「實驗 3-2」中，我們忽略了水或「高分子吸水體」的流動，以致無法達成預期的效果，如果能將水固定在「海綿」層內不要流動，問題就能解決，因此我們認為將乾燥的「高分子吸水體」與「海綿」混合，然後倒入適量的水，讓「高分子吸水體」在「海棉」纖維中膨脹而無法流動，這樣就能解決問題，這種由「高分子吸水體」與「海綿」所構成的複合材料我們將它命名為「熱緩衝複合材料」，以下我們將以實驗來檢驗這種複合材料的功效。

實驗 3-3：

- 一、 實驗目的：「熱緩衝複合材料」功效的實驗。
- 二、 實驗方法：
  - 1、取「海綿」一片與「高分子吸水體」1 公克混合後裝入塑膠袋中製成「熱緩衝複合材料」，並倒入 100 ml 的水，讓「高分子吸水體」膨脹。
  - 2、以溫度計測量「熱緩衝複合材料」的表面溫度。
  - 3、取冰塊 1 塊，並以溫度計測量表面溫度，再以「熱緩衝複合材料」加以包覆。
  - 4、每 10 秒以溫度計測量「緩衝層」表面溫度並加以記錄。



「海綿」與「高分子吸水體」混合



倒入 100 ml 的水



熱緩衝複合材料溫度 21.6°C



冰塊溫度 -16°C



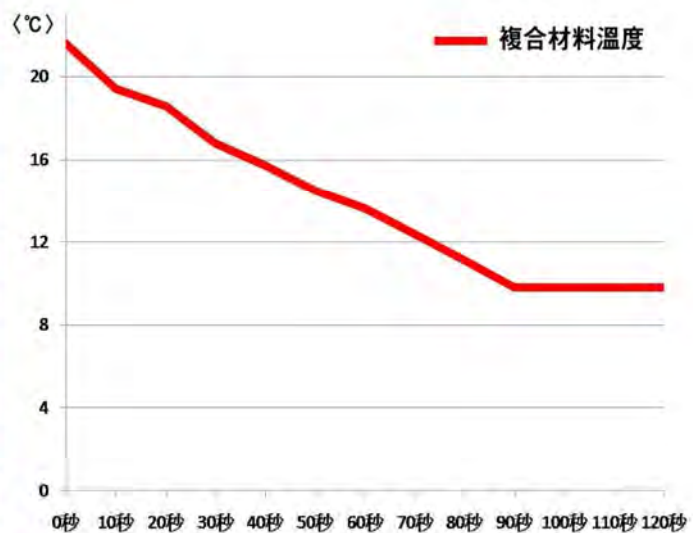
最高溫 19.4°C



最低溫 9.8°C

三、 實驗結果與分析： 實驗的數據如【表 7】、【圖 10】，「複合材料」確實符合「緩衝層」的要求。

複合材料溫度 (<math>^{\circ}\text{C}</math>)	
實驗前溫度	21.6
10 秒	19.4
20 秒	18.6
30 秒	16.8
40 秒	15.7
50 秒	14.5
60 秒	13.6
70 秒	12.4
80 秒	11.1
90 秒	9.8
100 秒	9.8
110 秒	9.8
120 秒	9.8



【表 7】

【圖 10】

實驗 3-4：

- 一、 實驗目的：「**導熱層**」材質的實驗。
- 二、 實驗方法：
  - 1、 取含水「**熱緩衝複合材料**」3片，其中2片分別貼上銅箔與鋁箔，3片製成「**保冷袋模擬包**」。
  - 2、 以溫度計測量「**模擬包**」的表面溫度。
  - 3、 取溫度及大小相同的冰塊3塊，分別以模擬包包覆，銅箔或鋁箔面接觸冰塊。
  - 4、 每20秒以溫度計測量「**模擬包**」表面不同位置的溫度並加以記錄。



貼上銅箔與鋁箔



測量「**模擬包**」的表面溫度



測量冰塊的溫度-12 °C



測量貼上銅箔「**模擬包**」表面不同位置的溫度



測量貼上鋁箔「**模擬包**」表面不同位置的溫度



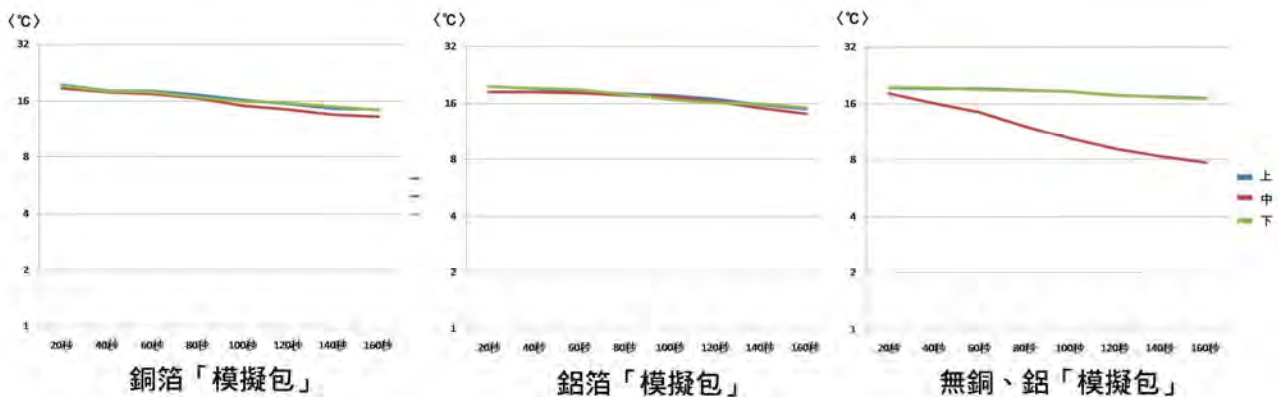
測量貼上無銅箔、鋁箔「**模擬包**」表面不同位置的溫度

### 三、實驗結果分析：

#### 1、實驗的數據如【表 8】、【圖 10】

	銅箔「模擬包」〈°C〉			鋁箔「模擬包」〈°C〉			無銅、鋁「模擬包」〈°C〉		
實驗前溫度	20.2			20.4			20.4		
測溫位置	上	中	下	上	中	下	上	中	下
20 秒	19.5	18.7	19.3	19.7	18.4	19.6	19.5	18.2	19.6
40 秒	18.2	17.9	18.1	19.1	18.4	19.3	19.3	16.1	19.5
60 秒	18.1	17.4	17.9	18.6	18.2	18.9	19.3	14.4	19.1
80 秒	17.3	16.6	16.8	18.0	17.7	17.9	18.9	12.1	18.8
100 秒	16.2	15.1	15.9	17.6	17.4	16.8	18.6	10.4	18.6
120 秒	15.4	14.4	15.6	16.8	16.4	16.1	17.8	9.1	17.9
140 秒	14.6	13.5	14.9	15.7	15.1	15.9	17.5	8.3	17.4
160 秒	14.4	13.2	14.3	14.9	14.1	15.2	17.2	7.7	17.0

【表 8】



【圖 10】

- 2、銅的導熱係數比鋁高，但是在「熱緩衝複合材料」的緩衝下，溫度曲線幾乎相同，上、中、下段區域都是平緩穩定的下降，反觀無銅、鋁「模擬包」中段區域，因為與冰塊直接接觸，故溫度下降特別快。
- 3、本實驗證明「導熱層」的功效，因為銅的價格比鋁貴，故我們以鋁為「導熱層」的最佳選擇。

### 五、液態二氧化碳冰敷包的完成

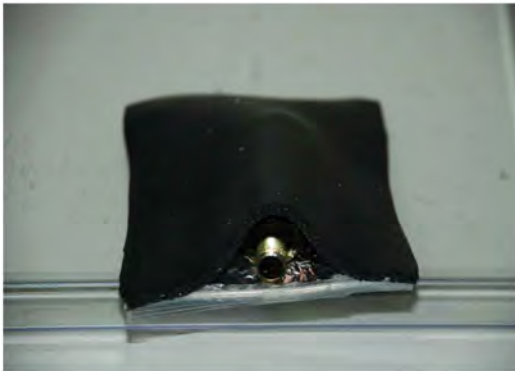
〈一〉液態二氧化碳冰敷包的各項組件都已研發完成，我們決定用 16g 鋼瓶來製作冰敷包的樣品，由【表 4】的數據中，我們得知使用 16g 鋼瓶能吸收 1470 卡的熱量，換算成冰敷包的最大面積為 167 cm<sup>2</sup>，但是在實際操作中，鋼瓶效能一定會有不當的損耗，所以冰敷包的面積應該要小於 167 cm<sup>2</sup>，我們買到的塑膠袋最接近的尺寸為 107 cm<sup>2</sup>，故我們就以它來製作冰敷包，其設計如【圖 11】。



【圖 11】

實驗 4-1：

- 一、實驗目的：液態二氧化碳冰敷包功效的實驗。
- 二、實驗方法：
  - 1、製作液態二氧化碳冰敷包的樣品。
  - 2、以溫度計測量「冰敷包樣品」的表面溫度。
  - 3、裝入 16g 的鋼瓶將 CO<sub>2</sub> 放出。
  - 4、每 30 秒以溫度計測量「冰敷包樣品」表面不同位置的溫度並加以記錄。



冰敷包樣品



「冰敷包樣品」的表面溫度

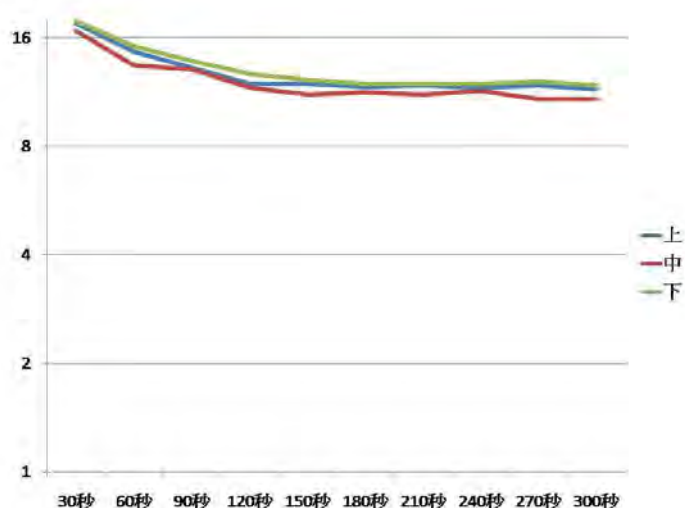


測量「冰敷包樣品」表面不同位置的溫度

### 三、實驗結果分析：

實驗的數據如【表 9】、【圖 12】，「冰敷包樣品」功能確實如預期。

液態二氧化碳冰敷包 〈℃〉			
實驗前溫度	19.4		
測溫位置	上	中	下
30 秒	17.5	16.7	17.8
60 秒	14.6	13.4	15.1
90 秒	13.2	13.1	13.8
120 秒	11.9	11.6	12.7
150 秒	11.9	11.1	12.2
180 秒	11.7	11.3	11.9
210 秒	11.8	11.1	11.9
240 秒	11.6	11.4	11.9
270 秒	11.8	10.8	12.1
300 秒	11.5	10.8	11.8



【表 9】

【圖 12】

〈二〉 我們請護理與復健方面的專業人員對「冰敷包樣品」加以指導，據他們表示，雖然目前冰敷包並沒有制式的規格，但是以我們的「冰敷包樣品」來看，面積如果能更大一些，在使用上將更方便，但是要增加「冰敷包樣品」的面積，16g 鋼瓶的效能顯然是不夠，因此我們必須考慮用更大鋼瓶的可行性。

依我們目前收集到的「拋棄式」鋼瓶中，較大型的規格與價格如【表 10】

鋼 瓶 規 格	45g	88g	95g
零售單價〈新台幣〉	190 元	250 元	320 元

【表 10】

與【表 3】中 16g 鋼瓶的價格相比較，顯然太貴，其實液態二氧化碳 每公斤售價僅 30 元，「拋棄式」鋼瓶的成本主要集中在瓶身，使用較大型「拋棄式」鋼瓶其實是很不划算的作法，因此我們考慮用「可填充式」的鋼瓶來製作新的「冰敷包樣品」，為了方便稱呼，我們將使用 16g「拋棄式」鋼瓶的「冰敷包樣品」稱為「第一代冰敷包」，使用「可填充式」鋼瓶的稱為「第二代冰敷包」。

最小型的「可填充式」鋼瓶容積為 0.095 公升，價格為 650 元，但是它可以重複填充，所以成本計算方式與「拋棄式」鋼瓶不一樣，其效能則必須以實驗來測試。

實驗 4-2：

- 一、 實驗目的：「可填充式」鋼瓶功效的實驗。
- 二、 實驗方法：
  - 1、 購買容積為 0.095 公升的「可填充式」鋼瓶 2 枝。
  - 2、 將其中 1 枝置於保溫桶中，再將 1300 ml 的水倒入保溫桶並測量水溫。
  - 3、 將鋼瓶中的二氧化碳放空並測量熱平衡後的水溫。
  - 4、 以磅秤測量空鋼瓶與另一枝未放空鋼瓶的重量



將 1300 ml 的水倒入保溫桶



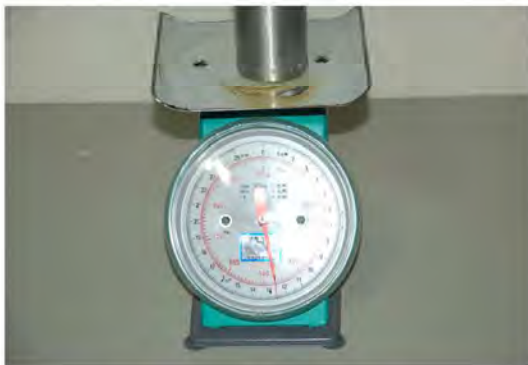
實驗前水溫為 18.6°C



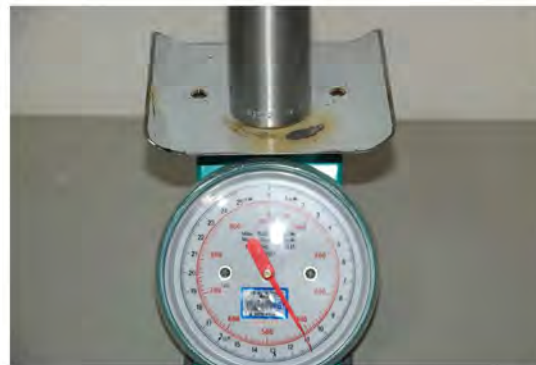
將鋼瓶中的 CO<sub>2</sub> 放空並測量水溫



熱平衡後的水溫 13.1°C



未放空鋼瓶的重量 470g



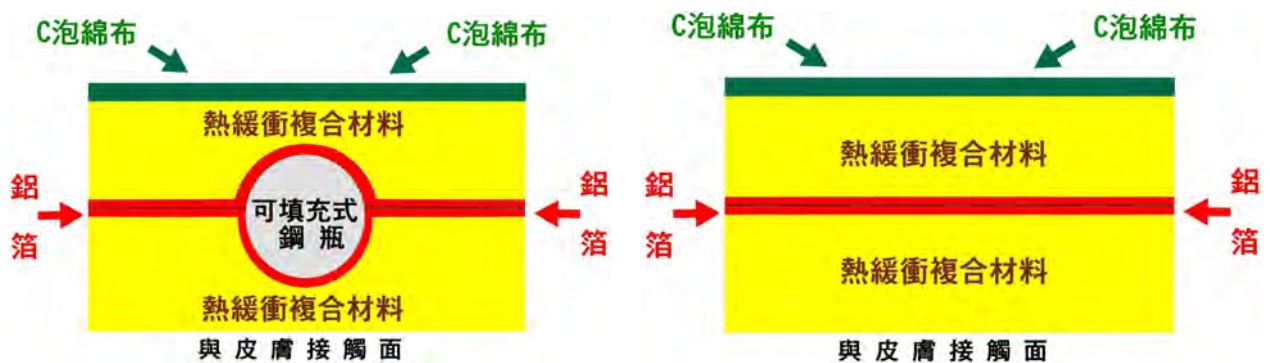
放空後鋼瓶的重量 410g

三、 實驗結果分析：



- 1、以磅秤測量的結果，我們得知鋼瓶內填充物重量為 60g。
- 2、實驗前水溫為 18.6°C，實驗後熱平衡的水溫 13.1°C，共降低了 5.5°C，乘以鋼瓶內 1300 ml 的水，我們得知鋼瓶可吸收 7150 卡的熱量。
- 3、將 7150 卡的熱量除以【表 2】的數據「人體皮膚的散熱最大值」8.28 卡/cm<sup>2</sup> 我們得知如果以 0.095 公升的「可填充式」鋼瓶製作的「第二代冰敷包」，最大面積為 863 cm<sup>2</sup>。

由「實驗 4-2」的數據來看，0.095 公升的「可填充式」鋼瓶的確擁有足夠的效能，但是它的重量和體積都較「拋棄式」鋼瓶大，所以「第二代冰敷包」在使用時，鋼瓶和保冷袋必須分開，以減輕使用者的負擔，另外 0.095 公升「可填充式」鋼瓶降溫的效能較大，所以「緩衝層」也要加大，除了有較佳的緩衝效果外，也可儲存鋼瓶降溫的效能，延長冰敷的時間，增加操作上的彈性，如此，「第二代冰敷包」的結構就必須重新設計，其示意圖如【圖 13】、【圖 14】



【圖 13】

【圖 14】

【圖 13】表示「第二代冰敷包」未使用的狀態，「可填充式」鋼瓶上、下都以附有鋁箔導熱的「緩衝層」覆蓋，當鋼瓶放出 CO<sub>2</sub> 降溫時，就會與「緩衝層」內的複合材料產生熱交換，等到熱平衡後再將鋼瓶取出如【圖 14】，然後就可以將「第二代冰敷包」，覆蓋在需要冰敷的地方。

我們再請護理與復健方面的專業人員對「第二代冰敷包」的設計加以指導，據他們表示，如果依實驗 4-2 的推論，「第二代冰敷包」面積達到 863 cm<sup>2</sup>，實在是太大了，參考他們的建議以及我們能夠買到的塑膠袋的尺寸，最後我們決定「第二代冰敷包」的規格為 24 cm 乘以 17 cm，面積為 408 cm<sup>2</sup>，上、下「緩衝層」各裝入 200 ml 的水，以鋼瓶可吸收 7150 卡的熱量除以 400 ml 的水，我們得知熱平衡後大約可降低 18°C。

實驗 4-3：

- 一、 實驗目的：「第二代冰敷包」功效的實驗。
- 二、 實驗方法：
  - 1、 依【圖 13】的設計製作「第二代冰敷包」。
  - 2、 測量冰敷包內部和皮膚接觸面的溫度。
  - 3、 將鋼瓶內的 CO<sub>2</sub> 放出並每 30 秒測量溫度的變化。



製作「第二代冰敷包」



測量冰敷包皮膚接觸面的溫度



測量冰敷包內部的溫度



將鋼瓶內的 CO<sub>2</sub> 放出



熱平衡後冰敷包內部的溫度



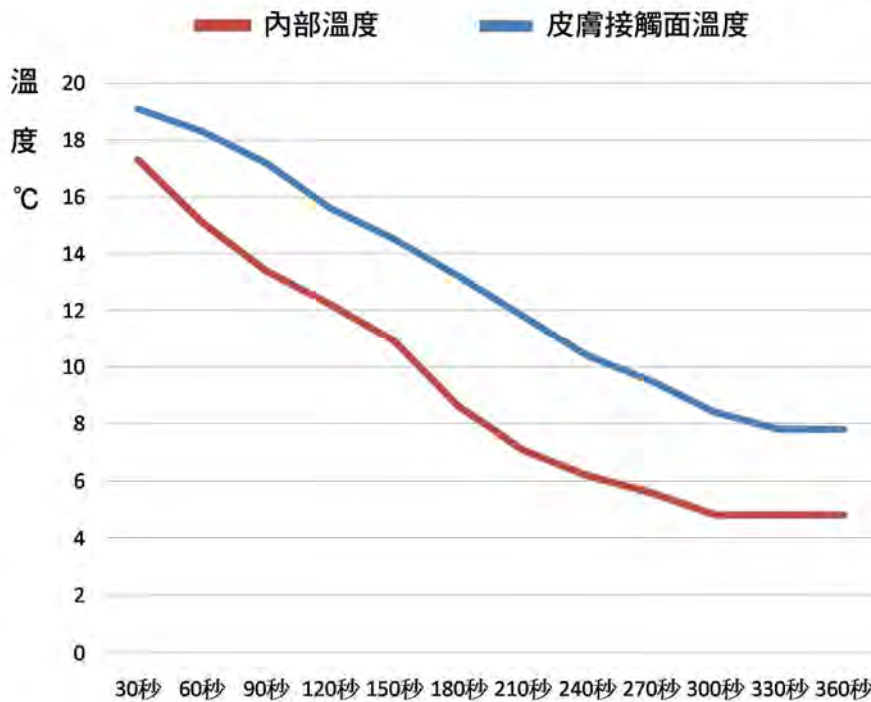
熱平衡後皮膚接觸面的溫度

三、 實驗結果分析：

1、 實驗的數據如【表 11】、【圖 15】

測溫位置	第二代冰敷包	
	內部溫度〈℃〉	皮膚接觸面溫度〈℃〉
實驗前溫度	19.0	19.6
30 秒	17.3	19.1
60 秒	15.1	18.3
90 秒	13.4	17.2
120 秒	12.2	15.6
150 秒	10.9	14.5
180 秒	8.6	13.2
210 秒	7.1	11.8
240 秒	6.2	10.4
270 秒	5.6	9.5
300 秒	4.8	8.4
330 秒	4.8	7.8
360 秒	4.8	7.8

【表 11】



【圖 15】

- 2、冰敷包內部的溫度 300 秒時到達熱平衡，代表此時可將鋼瓶取出開始進行冰敷。
- 3、據【表 11】、【圖 15】的數據來看，熱平衡的溫度並未如預期降低 18℃，但是已經足以達成冰敷治療的要求，故「第二代冰敷包」的設計確實可行。

## 六、液態二氧化碳冰敷包的成本分析

因為部分材料價錢太低不易計算，故不到 0.5 元的我們一律以 0.5 元來算。

### 1、第一代冰敷包

可重覆使用部分		不可重覆使用部分	
C 泡綿布	0.5 元	16g 鋼瓶	22 元
鋁箔	0.5 元		
高分子吸水體	0.5 元		
海綿	0.5 元		
塑膠袋	0.5 元		
氣閥	20 元		
小記	22.5 元	小記	22 元
總計		44.5 元	

故每次使用成本為 22 元。

### 2、第二代冰敷包

可重覆使用部分		不可重覆使用部分	
C 泡綿布	0.5 元	CO <sub>2</sub> 填充費用	50 元
鋁箔	0.5 元		
高分子吸水體	0.5 元		
海綿	0.5 元		
塑膠袋	0.5 元		
0.095 公升可填充式鋼瓶	650 元		
小記	652.5 元	小記	50 元
總計		702.5 元	

液態二氧化碳每公斤售價約 30 元，0.095 公升可填充式鋼瓶內填充物重量為 60 g，大約是 1.8 元，所以填充費用主要是工資，它是一個沒有固定行情的數字，賣鋼瓶給我們的廠商願意免費幫我們填裝，一般不熟的廠商則從 50 元到 100 元都有，故我們以 50 元為標準來計算，因此「第二代冰敷包」的每次使用成本為 50 元。

## 七、液態二氧化碳冰敷包延伸應用的研究

雖然「第一代冰敷包」與「第二代冰敷包」都已達預期之功效，但是就應用上而言，它們應該還有其他的功能，記得在上生物課時，老師曾經提到，在戶外採集微生物標本時，

最好能保存在低溫的環境下，以避免標本產生變化而影響實驗的結果，但是在偏遠的地區無法取得冰塊時，要製造低溫的環境幾乎是不可能的，如果事先準備冰塊或乾冰，則會受到保存時效的限制而影響行程，換言之，理想的低溫保存裝置應具備「可攜帶」、「可長久保存」及「隨時可用」的條件，與「液態二氧化碳冰敷包」的特性完全相同，因此我們就以「液態二氧化碳冰敷包」為基礎，來設計一款種新型的冰桶，並且將它命名為「液態二氧化碳冰桶」，其設計圖如圖 16。

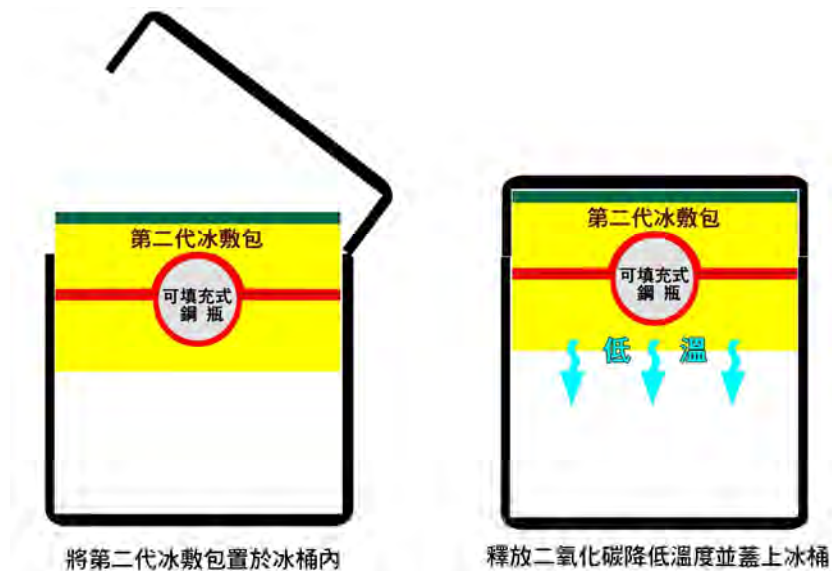


圖 16

這種冰筒除了具備「可攜帶」、「可長久保存」及「隨時可用」的優點外，因為有「緩衝層」的存在，溫度可以較平均的降低，並且它可以直接使用「第二代冰敷包」而不需任何改變，因此從事戶外活動，「液態二氧化碳冰敷包」除了可用於冰敷急救外，又有了新的功能。

目前市售冰桶的材質、尺寸及外型並沒有固定的規格，因此我們選了一款尺寸較符合「第二代冰敷包」的冰桶來驗證「液態二氧化碳冰桶」的功能，雖然這款冰桶的規格並不足以代表所有的冰桶，但是由以下的模擬操作中可確實證明「液態二氧化碳冰桶」的應用價值。

液態二氧化碳冰桶的模擬操作：



1、將 2 支電子溫度計感應器裝入冰桶中，左上編號為 1，右下編號為 2。



2、記錄實驗前溫度。



3、將鋼瓶內的 CO<sub>2</sub> 放出



4、將「第二代冰敷包」放入冰桶內



5、每隔 5 分鐘記錄 1 次溫度的變化。

溫度的變化如 表 12 與圖 17

時間〈分鐘〉	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
溫度計-1〈°C〉	26.2	17.6	12.1	9.0	10.1	10.7	11.2	11.4	11.9	12.1	12.4	12.9	13.2
溫度計-2〈°C〉	26.1	21.1	14.8	9.2	9.7	9.9	10.3	10.6	10.7	10.9	11.5	11.5	11.9

表 12

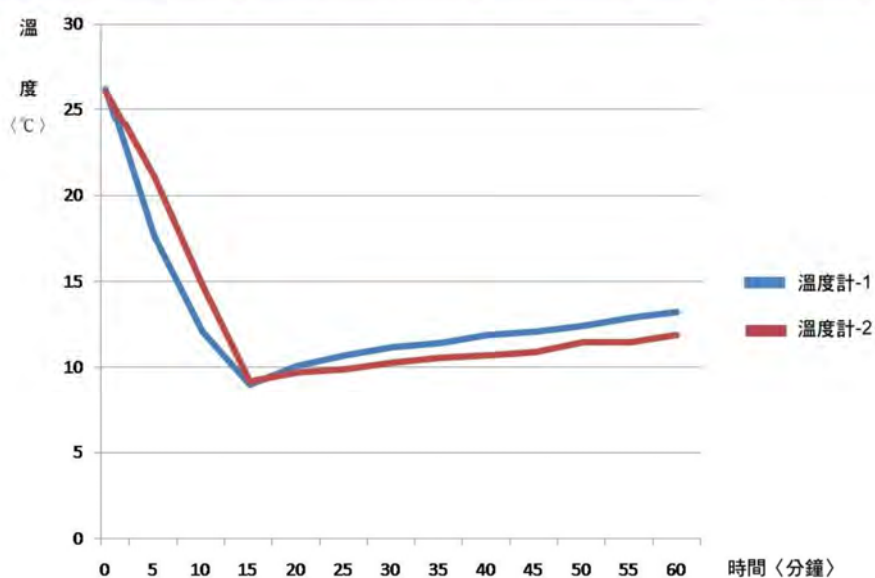


圖 17

雖然「液態二氧化碳冰桶」的效能可能因冰桶的規格有所不會，但是由以上的模擬操作可證明它可以製造一個低溫的空間，確實具有應用的價值。

## 陸、結 論：

- 一、 在冰敷治療原理的研究中，我們得知冰敷的時間大概是 **5 至 10 分鐘**左右為宜，溫度則不宜低於 **10°C** 以下，在「實驗 1」中，我們計算出人體皮膚每 **cm<sup>2</sup>** 在 **10 分鐘**內能吸收 **8.28 卡**熱量，並以此為依據來設計出一款新型的冰敷包。
- 二、 冰敷器材的研究中，我們分析了「**小林退熱貼**」與「**冰爆包**」2 樣商品，發現「**小林退熱貼**」並不具有降低溫度的功能，「**冰爆包**」雖具備冰敷包的功能，但是並不適合當作「**可攜帶型**」的冰敷包。
- 三、 吸熱單元的研究中，我們選擇了**液態二氧化碳(LCO<sub>2</sub>)** 為新型冰敷包的吸熱單元，「實驗 2」中，我們計算出 **LCO<sub>2</sub>鋼瓶**吸收的熱量，並將它對應到「實驗 1」的數據，得知新型的冰敷包面積的上限。
- 四、「**可攜帶型**」冰敷包保冷袋結構與材質的研究及設計中，我們認為新型的冰敷包必須要下列的結構：**1、隔熱層，2、導熱層，3、緩衝層**，並以實驗來選擇它們的材質。
- 五、在「實驗 4」中，我們製作了「**第一代**」與「**第二代**」液態二氧化碳冰敷包的樣品，以實驗證明了它的可行性，並進一步分析它們的使用成本以證明了它們的實用性。
- 六、在「**液態二氧化碳冰桶**」的模擬操作中，我們證明它確實可行，為「**液態二氧化碳冰敷包**」增添了新的用途，使它更具有應用的價值。

## 柒、參考資料：

- 一、 網頁：<http://www.teamonslaught.fsnet.co.uk/co2%20phase%20diagram.GIF>  
檢索日期 2010 / 11 / 14
- 二、 網頁：[http://www.teamonslaught.fsnet.co.uk/co2\\_info.htm](http://www.teamonslaught.fsnet.co.uk/co2_info.htm)  
檢索日期 2010 / 11 / 15
- 三、 網站：維基百科 <http://zh.wikipedia.org/zh-tw/Wikipedia:%E9%A6%96%E9%A1%B5>
- 四、 網站：[奇摩知識 http://tw.knowledge.yahoo.com/](http://tw.knowledge.yahoo.com/)
- 五、 **Therapeutic Physical Modalities** 2002 by Hanley & Belfus. Inc.
- 六、 **INTEGRATING PHYSICAL AGENTS IN REHABILITATION**  
2006, 1994 by Pearson Education Inc.
- 七、 生活與自然科技 - 康軒版 第 3 冊 第 5 章 「溫度與熱」。

## 【評語】 030807

利用儲放液態二氧化碳之鋼瓶，打開釋放液化氣體會吸熱的特性，製造冰敷包，較目前市售相關產品，確有新的設計，且驗證可行，是件不錯的作品。惟鋼瓶在使用及擠壓上仍有安全與方便性之疑慮，或可思考能更發揮其特性之應用上，而不須限縮「冰敷」之主題。