

中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組 化工、衛工及環工科

第一名

最佳創意獎

091103

恆溫護身符-高分子導電應用之研究

學校名稱：臺北市私立開南高級商工職業學校

作者：	指導老師：
職一 陳彥宏	張丕白
職二 孫明愷	江明岳
職二 徐正泰	

關鍵詞：熱塑性橡膠、恆溫控制、高分子導電

摘 要

人是恆溫動物，失溫立即危及生命安全，因此許多公共設施、住宅、交通工具、醫療機構均提供保溫器材。最常用者為暖氣機，然而體積龐大笨重，並且能量轉換效率低落耗費能源，甚至產生廢氣不符合綠色環保的需求。有鑑於此，我們研發出造型輕巧便於攜帶，能自動控溫的裝置「恆溫護身符」，可安全存放、節省能源、不會有高溫灼傷人體或燃燒的危險，能廣泛應用於各種場合，例如：戶外保暖、登山、失溫急救、老人居家照顧、運動前的暖身。本研究系統分為兩大項：

一、溫控系統

結構輕巧運用熱敏電阻控制，「體溫過低」自動啟動增溫裝置。

二、高分子電熱片

將不導電的高分子薄片，以摻雜方式產生導電性，通電能產生熱能。

壹、研究動機

人類是恆溫動物，失溫立即危及人們的生命安全，因此許多公共設施、住宅、交通工具、醫療機構均提供保溫器材。最常用者為暖氣機，然而體積龐大笨重，電熱管式暖氣機或燃燒加熱暖氣機，當易燃物接近會引發火災，並且能量轉換效率低落耗費能源，甚至產生廢氣不符合綠色環保之需求。尤其臺灣高山林立，曾發生多次高山失溫致死的山難意外，足見救難恆溫供應之必要性。

基於學有所用的理想，將學校課程「表1」與研究相融合，如化學的「有機化合物」探索高分子化合物的特性。希望本研究能防護人們各種活動與居家安全，增進人類的福祉。

表1 高職課程學習相關內容

科目名稱	年級	內 容	作品應用部分
基礎化學	高一	元素性質	碳的導電性
		化學鍵	共價鍵的材料性質
		有機化合物	高分子化合物的物理特性
物理	高一	物理量及其單位	各種物理量級單位換算
		焦耳定律	熱能計算
化 學	高二	分子結構	加熱材料
計算機概論	高一	應用軟體	編輯資料
化工實驗	高二	儀器分析	系統實作之量測、校正、檢修
		程序控制	自動溫控系統設計

貳、研究目的

新聞常報導許多人因失溫致死，或於高山、水中失溫太久導致死亡或昏迷。如果能有快速提供熱能且輕薄短小的裝置，則可拯救許多寶貴的生命。失溫對人體會造成多種傷害，例如：引發中風、休克、死亡。但登山要攜帶的物品很多，還要攜帶笨重的暖氣機或木炭，實在是不可能的任務！

登山者只能消極地「防禦」，使用導熱係數較低的材料防止熱量散失，例如：羽毛衣、防寒手套等硬撐過去。如果能有造型輕巧便於攜帶，散發熱能的裝置，即可防範失溫。然而溫度過高也有危險性，必須融合自動控制溫度的系統，兼顧人身安全與節能減碳。

叁、研究設備及器材

本研究所的化學藥品、設備與器材，分為下列四大類：

一、研究藥品：參閱「表2」所列。

表2 研究藥品一覽表

研究設備	規 格	數 量	備 註
石墨粉		500g	
乙 烯		300g	合成高分子薄膜
聚氨脂樹脂		300g	合成高分子薄膜
石蠟油		300g	合成高分子薄膜

二、研究設備：參閱「表3」所列。

表3 研究設備一覽表

研究設備	規 格	數 量	備 註
信號產生器		1	產生標準訊號提供校正
電源供應器		1	提供固定電壓測試加熱
三用電表	類比	2	

三、研究器材：參閱「表4」所列。

表4 研究器材一覽表

研究器材	規 格	數 量	備 註
燒 杯	1000ml	1	
燒 杯	500ml	1	
玻璃瓶	500ml	1	
玻璃瓶	250ml	1	
橡膠管		1	
刮 勺		1	
軟木塞		1	
水 盆		1	
容量瓶	1000ml	1	
容量瓶	500ml	1	
溫度計		1	
量 筒	50ml	1	
量 筒	100ml	1	

四、工具機：參閱「表5」。

表5 研究工具機一覽表

工具機	規 格	數 量	備 註
電烙鐵	30W	2	恆溫控制
尖嘴鉗	電子用	4	無 牙
斜口鉗		1	
螺絲起子組		4	
電 鑽	小型	2	
銼 刀		5	一 組

肆、研究過程或方法

一、溫度設定資料

(一) 人的體溫

人是恆溫動物，恆溫動物有體溫調節中樞，當體溫過高時便以血管舒張、排汗、呼氣等方式散熱以降溫。寒冷時便收縮血管顫抖維持體溫。恆溫動物體溫並非固定不變，而是在小範圍內變動。

(二) 失溫

「失溫」是指核心體溫低於35°C，低於32°C就會逐漸失去意識。失溫是由於外傷、冷水浸泡或長時間暴露於低溫的環境。嬰兒、老年人或病人較容易失溫，因為嬰兒比成年人產熱少，體表大散熱快，所以容易失溫。老年人因為體內代謝率較低，容易失溫。生病發燒或喝酒的人，因散熱快容易失溫，生病發熱或喝酒的人下水游泳會更快失溫。

二、失溫的急救與預防

(一) 失溫的急救

- 1.選擇無風較溫暖乾爽的環境。
- 2.依照C.P.R急救要領施行。
- 3.脫掉潮濕冰冷之衣物並以乾衣物覆蓋保暖。
- 4.設法增加患者體溫。
- 5.給予熱水袋防止體溫再降低。
- 6.讓患者喝適量之熱飲，如：薑湯、溫開水等。

(二) 失溫的預防

- 1.在低溫活動應穿著防寒衣或救生衣。
- 2.最好攜帶手電筒、哨子……等便於發出求救信號。
- 3.水上活動前應進食補充足夠熱量。

三、電能轉換熱能

(一) 電功率

電能單位時間所做的功或消耗能量，稱為電功率，如（式1）所示，符號為P，單位為瓦特（W）。

$$P = \frac{W}{t} \quad (\text{式1})$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{VIt}{t} = VI \quad (\text{式2})$$

(二) 焦耳定律

電流通過電阻產生熱量，電能轉換成熱能的作用即為電流熱效應。電流熱效應的熱量與電流平方成正比，與電阻及通電時間（t）成正比，即為焦耳定律（Joule's Law）。根據物理學定義，一公克水升高1°C所需熱量為1卡，必須輸入4.185焦耳的能量，所以電能轉換熱能（H），依（式3）計算：

$$H = \frac{I^2 R t}{4.185} = 0.24 I^2 R t \text{ 卡} \quad (\text{式3})$$

（式3） $I^2 R t$ = 電能，單位為瓦特·秒。

(三) 電阻

電荷（Q）移動形成電流，任何材料對電荷移動一定具有阻力，反抗電荷移動的阻力稱為電阻（簡寫R）。電阻單位為歐姆（Ohm），簡稱Ω。決定電阻的因素如下：

- 1.材料種類：不同材料的電阻係數（ρ）不同，與電阻成正比。
- 2.導體的長度（l）：R值與l成正比。
- 3.導體的截面積（A）：R值與A成反比。

以上關係可以用（式4）表示：

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (\text{式4})$$

（式4）ρ 為電阻係數，SI 制單位為 Ω·m，l 單位為公尺，A 單位為平方公尺。

四、高分子生熱軟片

經上述物理公式推導，電阻大則電流小比較容易控制並且省電，因此選用石墨做摻雜的材料，石墨的特性如下：

(一) 石墨的導電特性

1. 共價網狀晶體

共價鍵為兩原子間的共用電子對，同時受到兩個原子核的吸引，使原子連結在一起。共價鍵結合的分子，如 H_2 、 CO_2 和 O_2 等，這些分子間並無鍵結，都是獨立分子。少數化合物為共價鍵結合，類似聚合物的結構，例如：鑽石與石墨。

2. 石墨的結構與特性

鑽石與石墨都是共價網狀晶體，不同結構使兩者性質差異很大，鑽石質硬不導電；黑色的石墨卻滑軟能導電。鑽石中碳原子為四面體排列，石墨為共邊的六元環，互相連結形成層狀構造（圖 1）。

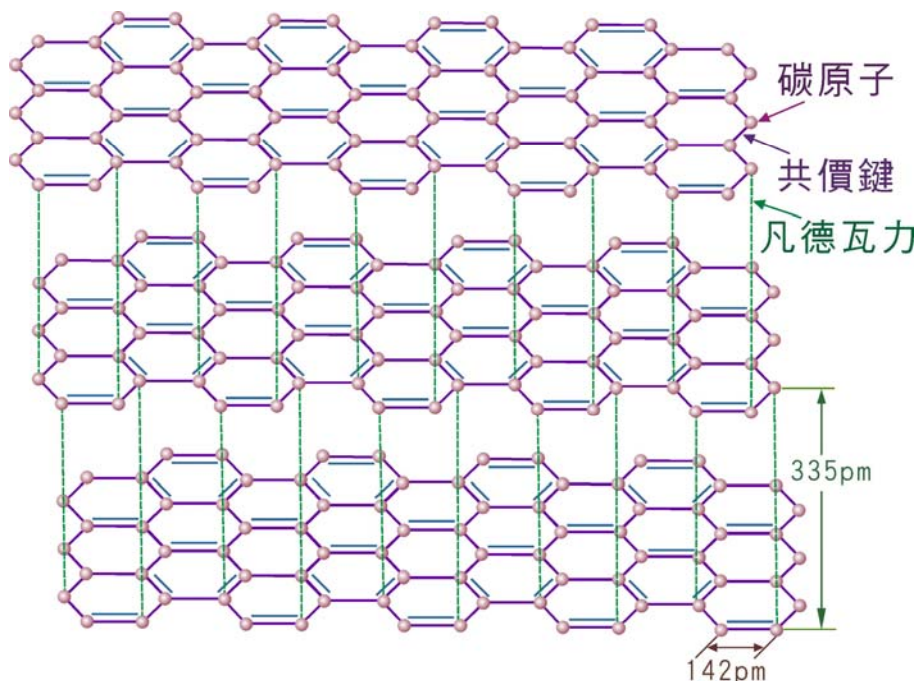


圖 1 石墨的層狀結構

石墨的碳原子都是 sp^2 混成，三個混成 sp^2 軌域，以 σ 鍵的鍵結方式與鄰近的三個碳原子結合，層面垂直的未混成 p 軌域連結形成 π 鍵。因此每層有很強的鍵結，但各層之間只有微弱的作用力，受力容易滑動，所以石墨可以當潤滑劑使用。眾多 p 軌域形成 π 鍵，價電子的能隙很低，容易在 π 軌域中移動所以能導電。

(二) 導電軟片製作

運用高分子柔軟、保溫、耐用的特性，設計出貼身的恆溫裝置。然而高分子不具導電性，但有些高分子化合物對於碳的吸附性很強，將化合物加溫熔化，添加高濃度極細的石墨粉即可導電。

搜尋相關資料並反覆實驗，選擇對石墨吸附性很強的聚氨脂樹脂作為主要材料。其重複結構單元如（圖 2）所示，為 TPR（Thermoplastic Rubber，熱塑性橡膠），沒有毒性兼具橡膠與熱塑性塑料特性，常溫時具有硫化橡膠的彈性，加熱具有熱塑性加工性質。

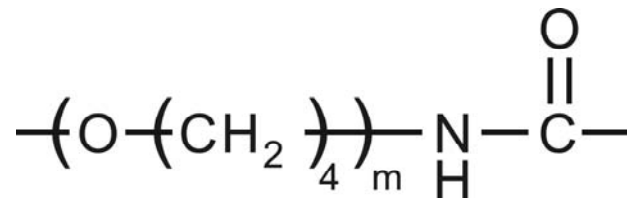


圖 2 聚氨脂的重複結構單元

TPR 有兩個以上互相分離的聚合物相，常溫時一相為流體（溫度高於 T_g —玻璃化溫度），另一相為固體（使溫度低於 T_g 或等於 T_g ），兩相為相互作用。具有柔軟的觸感，加熱溶解可添加互溶的藥品，能調整物理特性與硬度，可注模鑄造或擠壓成型，邊料溢料都可以 100%回收再用，符合環保回收的優點。無須硫化即有硫化橡膠的特性，能防止空氣污染，防水性佳且耐低溫（ -60°C ）。

為了增加延展性，將符合 F.D.A（醫療良品級）的聚氨脂樹脂，加熱後添加 15% 醫療用石蠟油（Liquid petrolatum）。石蠟油是原油分餾無色無味的混合物，含有 16~35 個碳原子的正烷烴，有少量的異構烷烴和環烷烴。添加石蠟油加熱至 120°C 攪拌配製而成軟片（圖 3）。將化合物加溫熔化時（圖 4），添加高濃度極細的碳粉（圖 5），灌入模型後取得加熱用軟片。此軟片清潔衛生，不會飛散、不滴落、不污染環境，不會刺激眼睛或皮膚。



圖 3 高分子化合物加溫熔化實驗



圖 4 聚氨脂樹脂添加石蠟油



圖 5 高分子添加細碳粉攪拌

(三) 高分子導電生熱實驗

將導電軟片剪裁適當大小，依（式 4）產生電阻值。將定電壓連接軟片兩端，通電產生固定電流（圖 6），再測試軟片是否依據焦耳定律、電功率、歐姆定律發出合理的熱量（圖 7）（圖 8），再進行下列相關實驗。

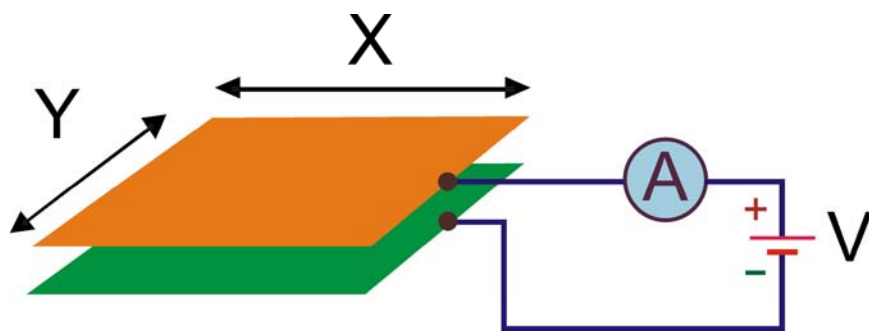


圖6 電阻測試圖

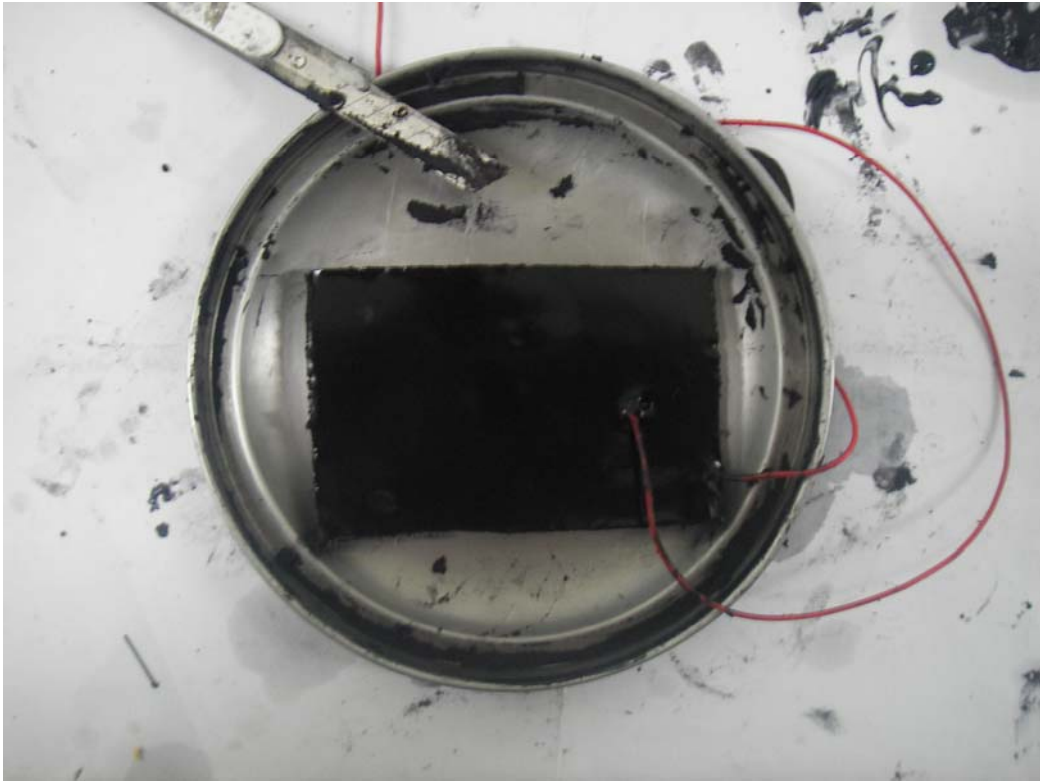


圖7 含碳導電軟片與接線



圖8 焦耳定律實驗

1. 加熱實驗

分為衣物包覆與裸露兩種條件，藉由國立臺北科技大學化學工程系的恆溫低溫箱，模擬 2.5°C 的高山低溫（圖 9）。將恆溫護身符放入箱中，以通電加熱每 2 分鐘記錄溫度變化。



圖 9 低溫加熱實驗

2. 降溫實驗

分為衣物包覆與裸露兩種條件，先將恆溫護身符加溫，斷電後放入低溫 2.5°C 箱中，每 2 分鐘記錄下降的溫度。

3. 控制系統測試

分為衣物包覆與裸露兩種條件，實驗的目的測試恆溫控制器是否適合低溫使用。先將恆溫控制器設置為 39°C，結合恆溫護身符，放入低溫 2.5°C 箱中，實驗是否能夠達到設定的溫度，測試恆溫護身符能否使用於高山或低溫環境中。

4. 耐力測試實驗

測試恆溫護身符沒有恆溫控制器時的狀況，輸入 9V 的電壓持續加熱，觀察恆溫護身符是否會因溫度過高而有異常現象。

伍、研究結果

一、高分子化合物的生熱反應

(一) TPR 濃度與電阻值

軟片中 TPR 濃度越高則電阻值越高，將 TPR 加到當量濃度電阻值遽增，TPR 濃度決定了導電軟片電阻值（圖 10）（圖 11）。

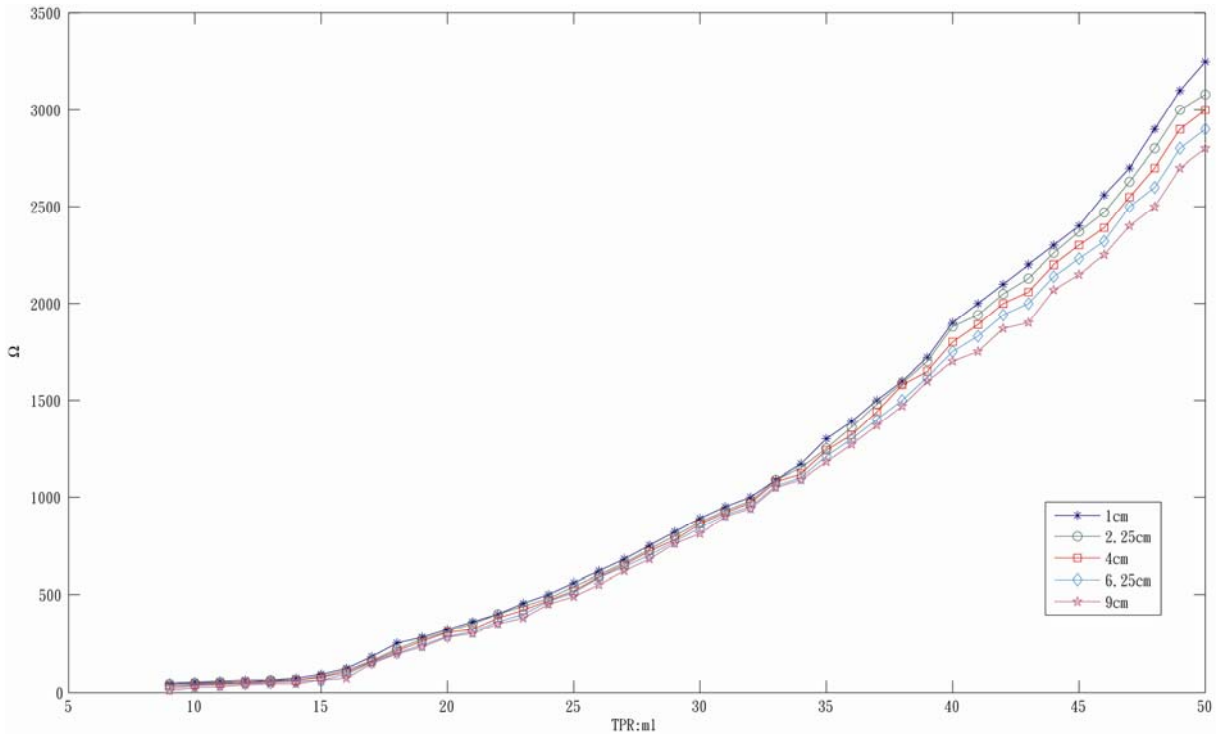


圖 10 1.5 mole 石墨摻雜 TPR 濃度電阻特性

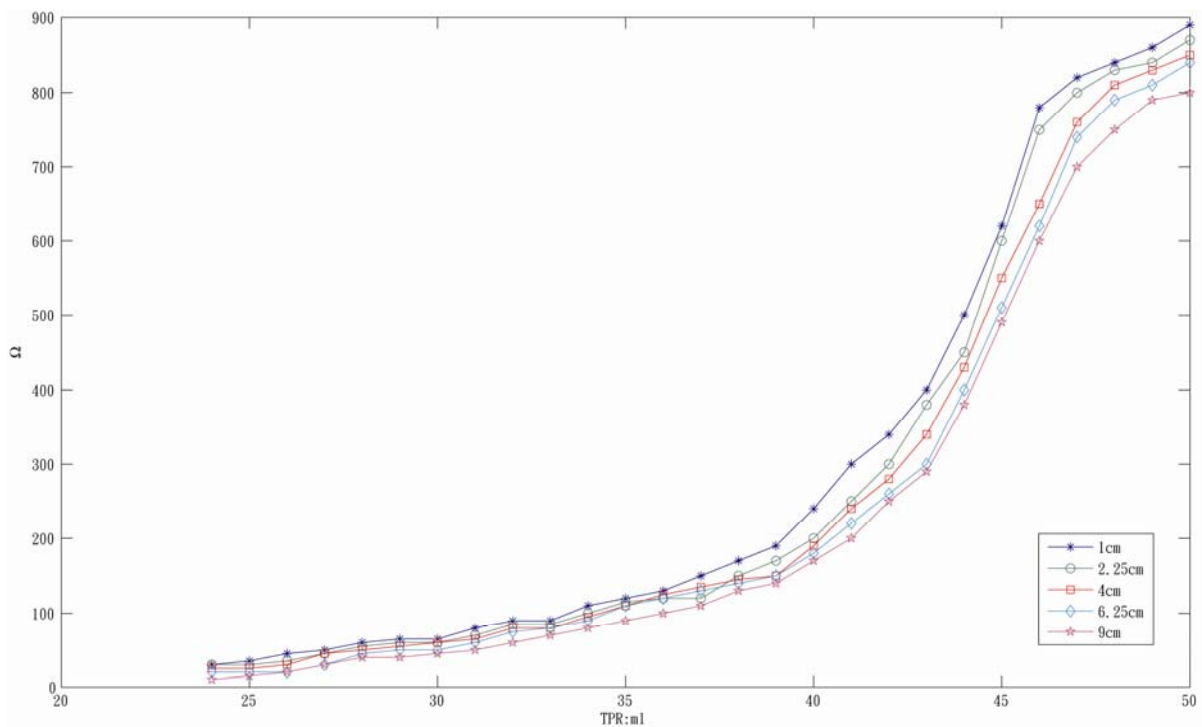


圖 11 2 mole 石墨摻雜 TPR 濃度電阻特性

(二) 電能熱能轉換

長 7 cm，寬 5.5 cm，厚度 1 cm，電阻值為 30Ω 的導電薄片，供應不同直流電壓，表面電流熱效應如（圖 12）所示。經實驗得知 7.5V 通電五分鐘後，即可達到正常體溫，初始溫度變化緩慢是受薄膜材質比熱影響，薄膜產生的熱量足夠個人保暖。

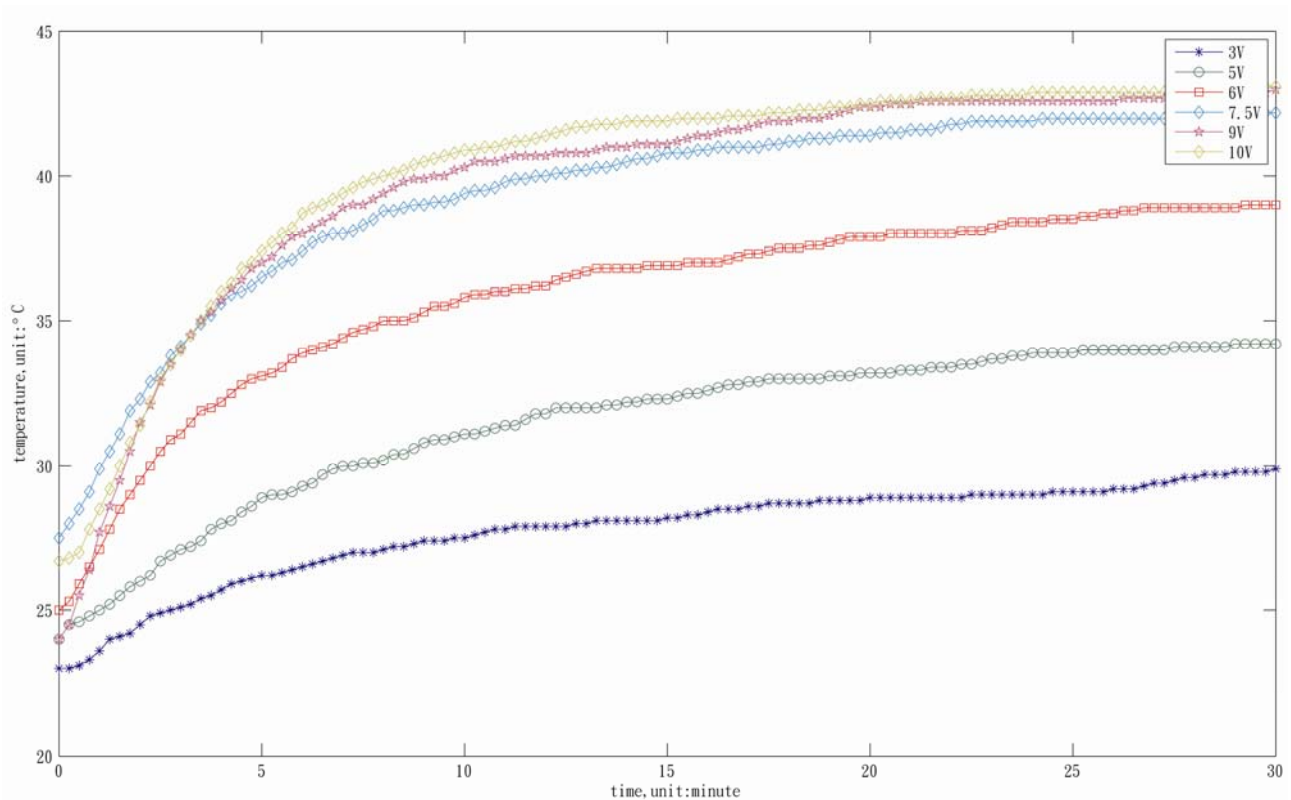


圖 12 薄膜表面電流熱效應

(三) 高分子比熱

薄膜加熱後停止供電，表面溫度下降如（圖 13）所示。比熱為每單位需輸入多少能量才能使溫度上昇 1°C ，單位為卡/($\text{g}\times^{\circ}\text{C}$)。 15°C 水的比熱是 1 卡/ g°C ，也是 $4.184 \text{ J/g}^{\circ}\text{C}$ ，本系統薄片比熱為 $1.59 \text{ 卡/g}^{\circ}\text{C}$ 。

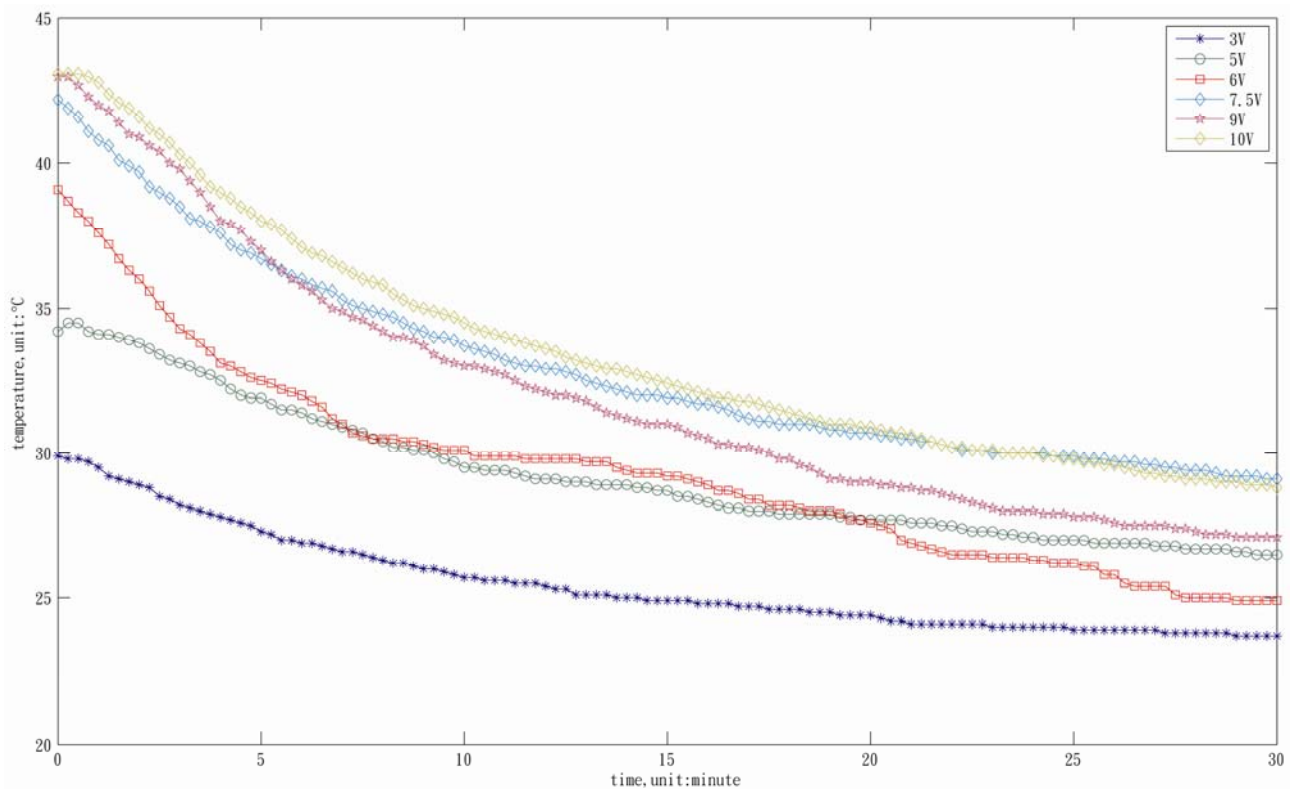


圖 13 薄膜表面降溫特性

(四) 電阻溫度係數

室溫 23°C 電阻係數 ρ 為 $3.448\Omega\text{-cm}$ ，為正溫度係數，電阻係數 ρ 與溫度關係如（圖 14）；溫度係數的電流變化如（圖 15）所示。

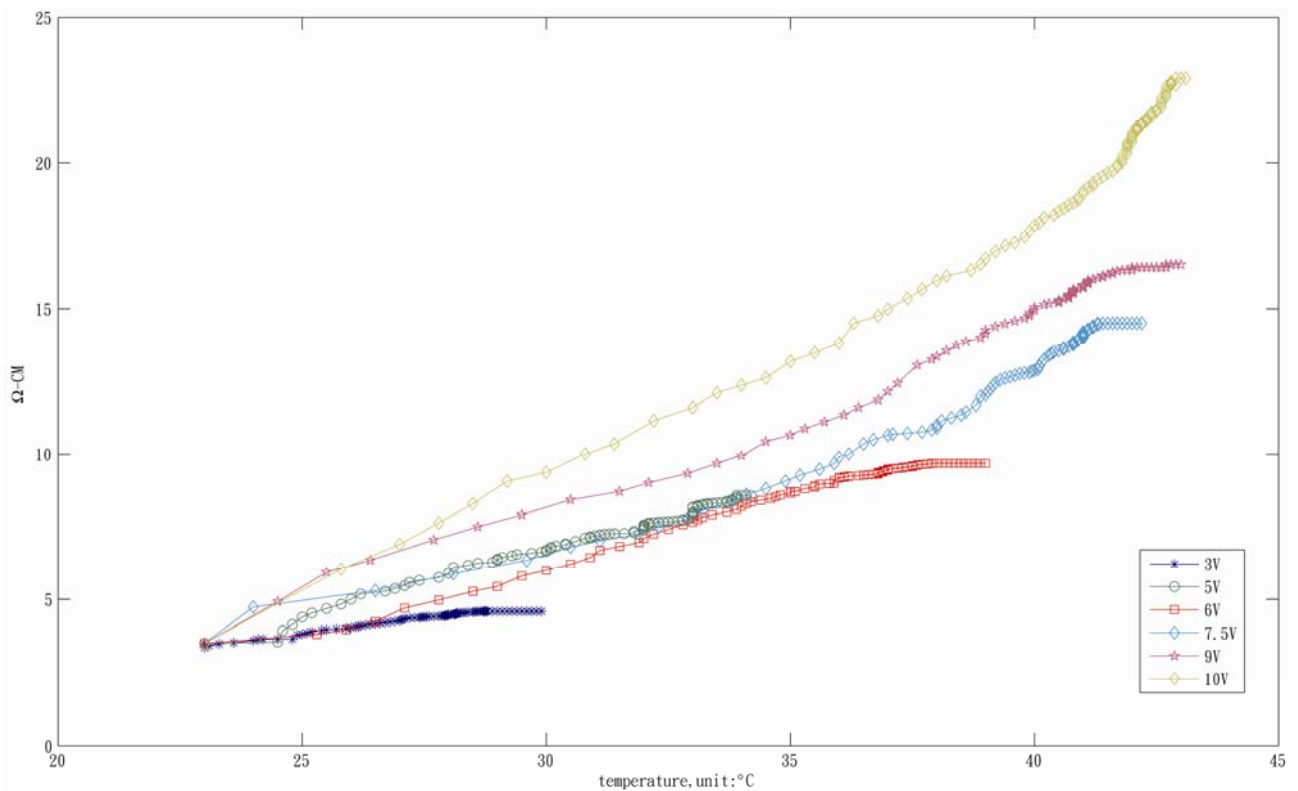


圖 14 薄膜電阻溫度係數

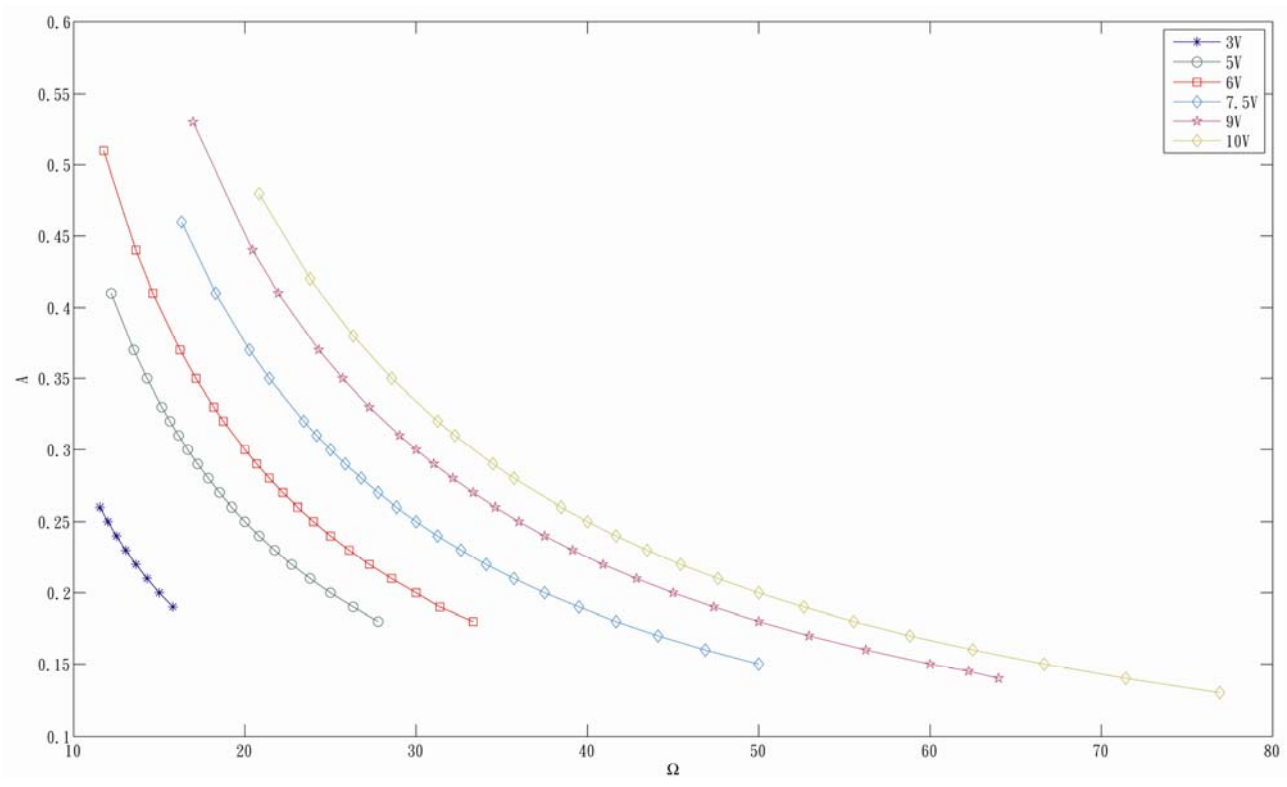


圖 15 薄膜電阻溫度係數與電流關係

(五) 低溫環境的增溫效果

1. 低溫裸露

2.5°C時通電 2 分鐘，表面迅速增溫至 13°C (圖 16)，恆溫護身符在寒冷的環境中，具有快速升溫的優點比暖暖包還要優異。

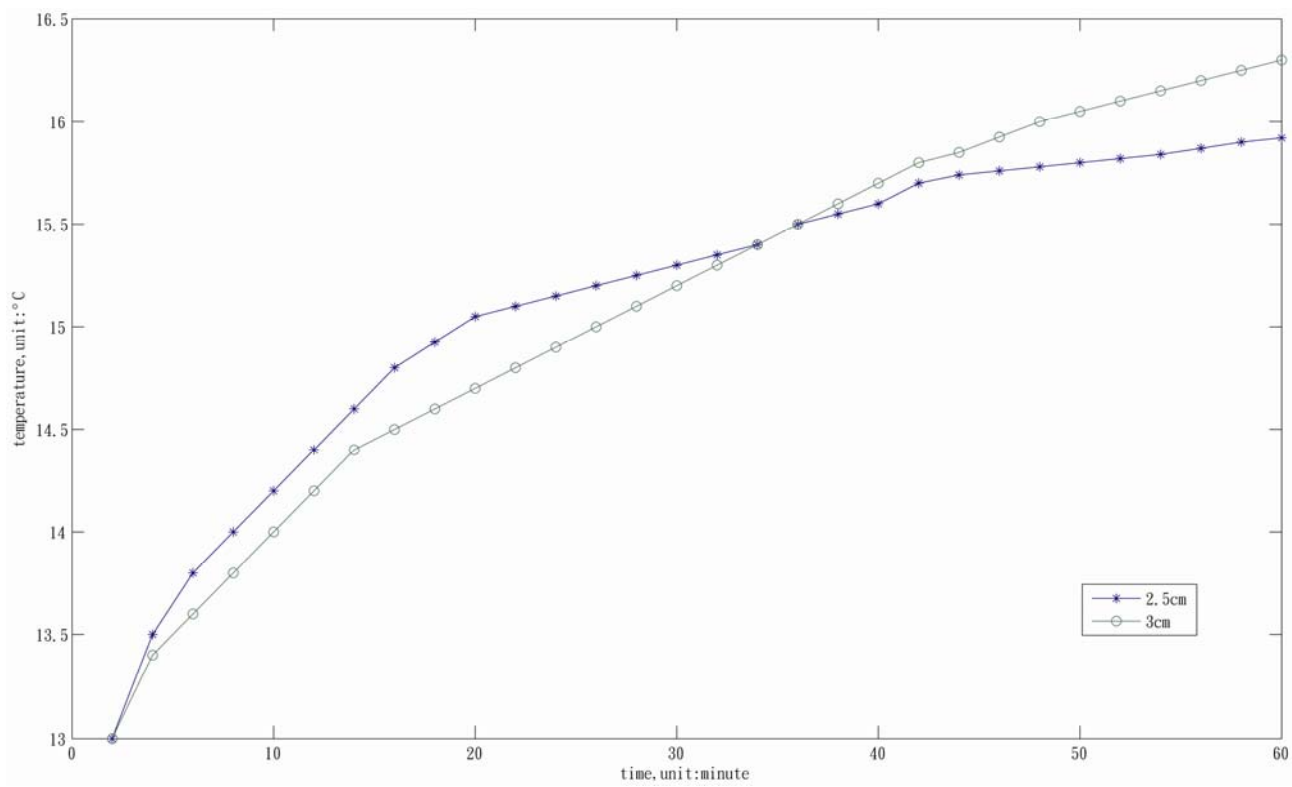


圖 16 低溫裸露表面增溫特性

2. 低溫衣物包覆

2.5°C 衣物包覆時，通電一小時增溫至 28°C（圖 17），人穿著衣物加熱薄膜貼附於皮膚，溫度立即可達 30°C 以上。

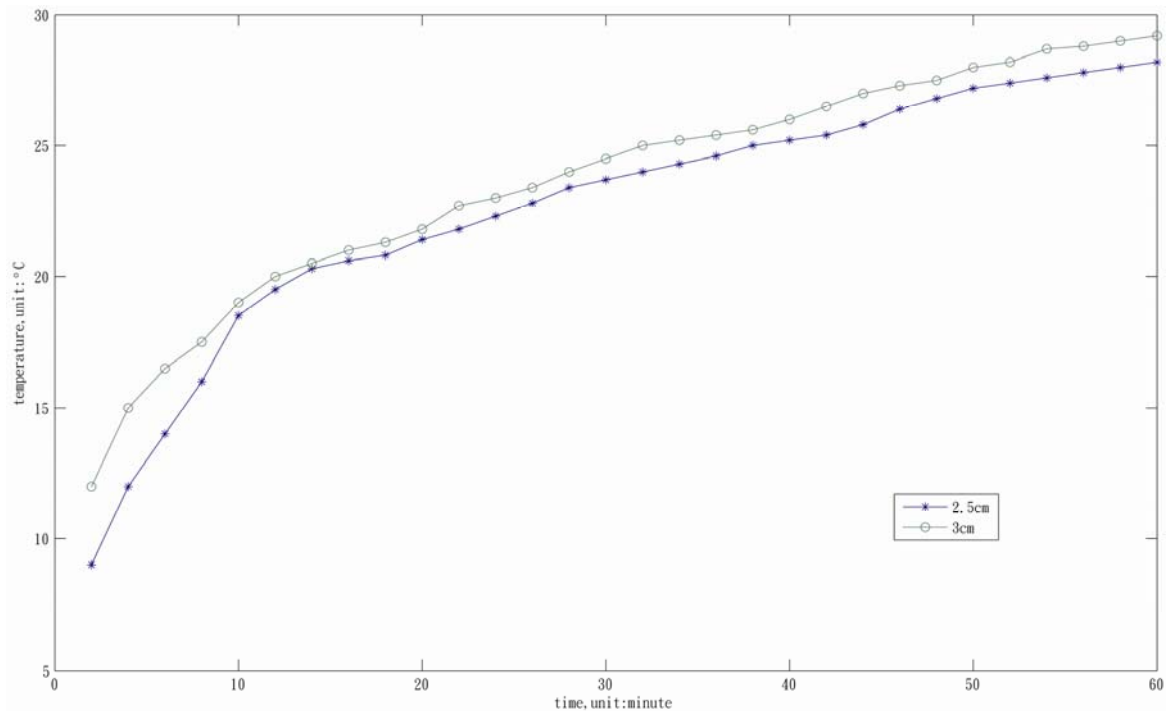


圖 17 低溫衣服包覆表面增溫特性

(六) 降溫特性

1. 低溫裸露

系統表面降溫特性如(圖 18)所示，停止加熱放入低溫箱，2 分鐘後溫度降到 20°C，60 分鐘降至 5°C。

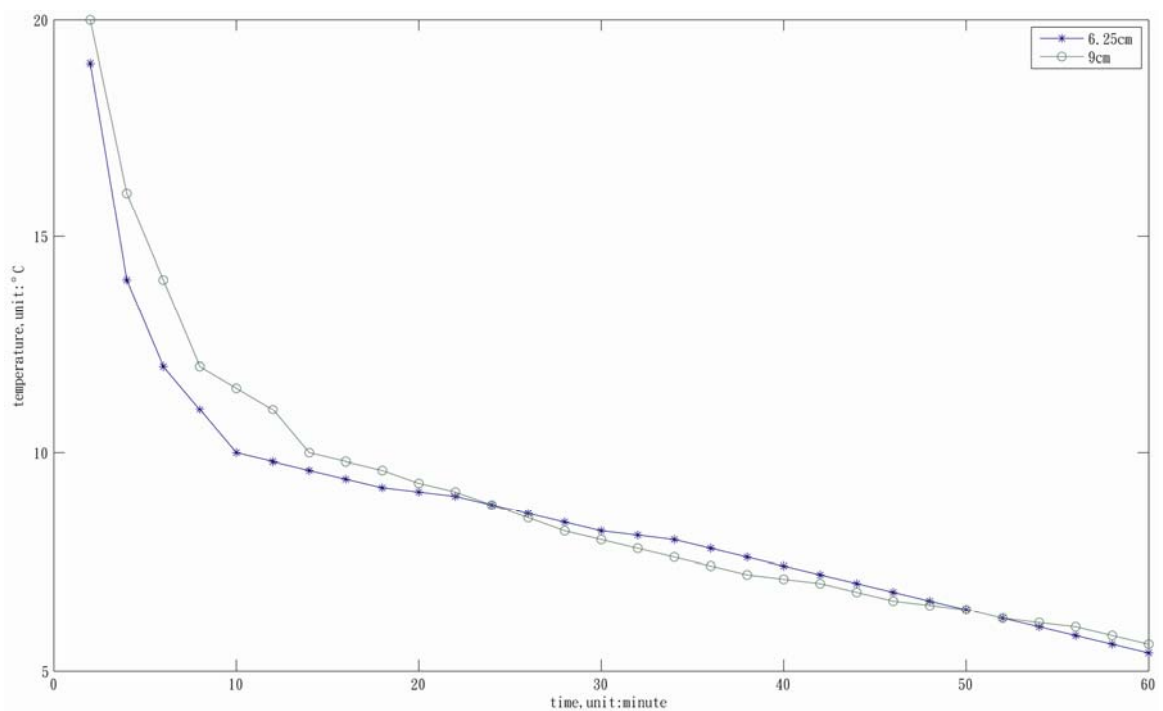


圖 18 低溫裸露表面降溫特性

2.低溫衣物包覆

低溫衣物包覆表面降溫特性如（圖 19）所示，初溫 37°C 兩分鐘降至 34°C，一小時降至 6°C。衣物包覆降溫速度變慢，貼皮膚降溫速度也會慢，具有良好保溫效果。

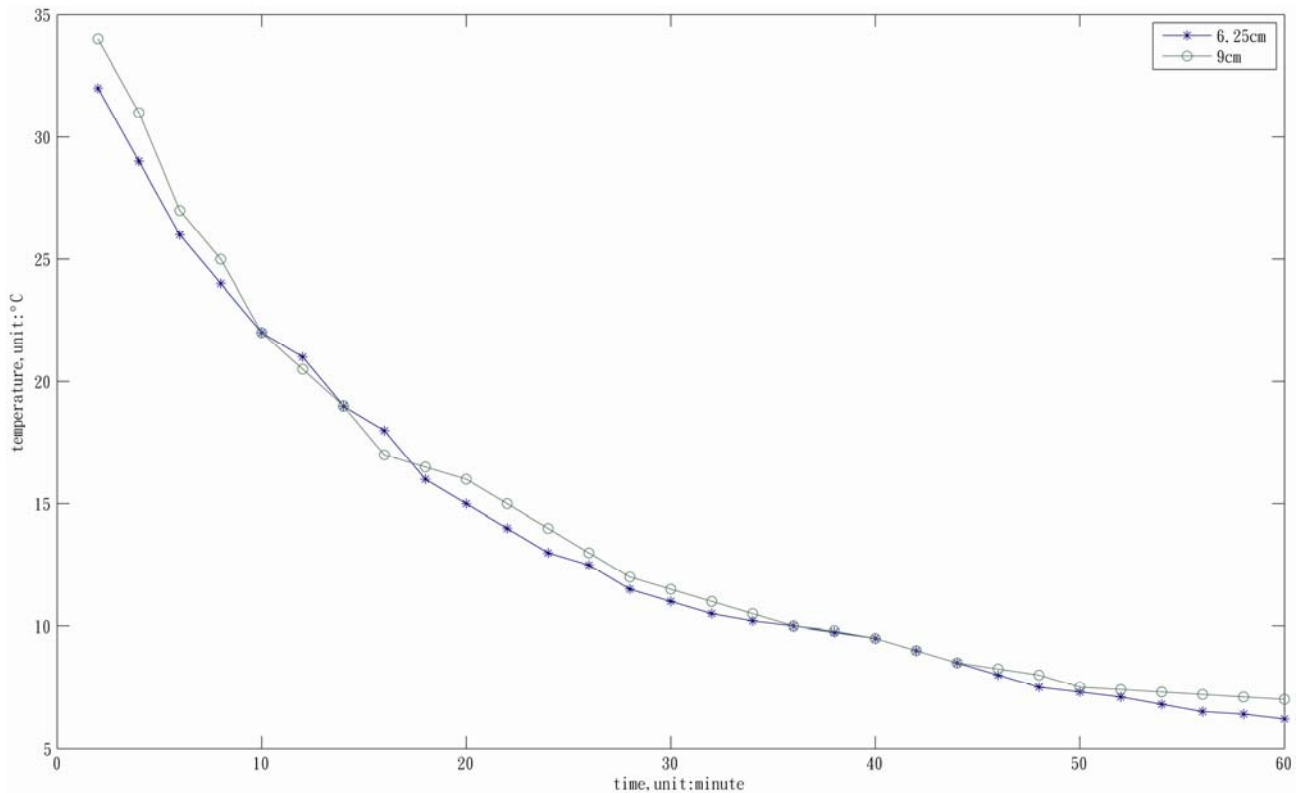


圖 19 低溫衣物包覆表面降溫特性

二、自動溫控系統

（一）功率探討

以（圖 20）之方塊圖，進行電功率實驗結果如下：

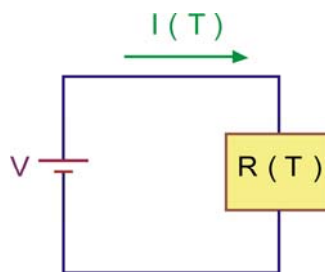


圖 20 電功率分析圖

V ：為供應直流電壓（定值；以 9V 為例）。 $I(T)$ ：供應電流（隨溫 T 度改變；目前是溫度越高電流越小）。 $R(T)$ ：電加熱元件等效電阻（隨溫 T 度改變；測試是正溫度係數）。

1.溫度 35°C：

電源供應器電流 0.29 安培，電功率 = $9V \times 0.29A = 2.61W$ ， $R(35^\circ C) = 9V \div 0.29A = 31\Omega$ 。

2.溫度 38°C：

電源供應器電流 0.2 安培，電功率 = $9V \times 0.2A = 1.8W$ ， $R(38^\circ C) = 9V \div 0.2A = 45\Omega$ 。

證實本系統溫度越高越省電，電加熱元件等效電阻 $R(T)$ 是正溫度係數。

(二) 恆溫控制

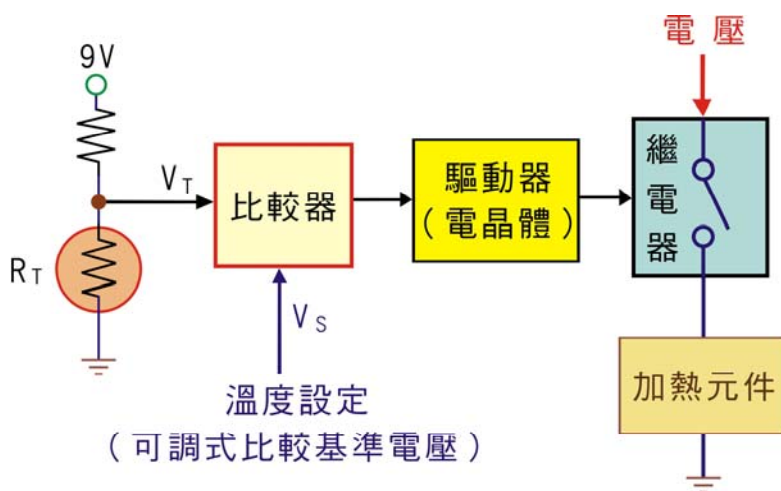


圖 21 恆溫控制方塊圖

R_T 是六個 $10K\Omega$ 負溫度係數熱敏電阻串聯，可增加偵測面積及靈敏度。加熱元件持續加熱，溫度上升使 R_T 變小；則 V_T 下降降到 $V_T < V_S$ 時，比較器會輸出低電位讓驅動器 OFF，繼電器開關斷電，加熱元件停止加熱。加熱元件停止加熱，溫度持續下降使 R_T 變大；則 V_T 上升，升到 $V_T > V_S$ 時，比較器輸出高電位讓驅動器 ON，繼電器開關通電加熱元件開始加熱。

(三) 恆溫控制電功率分析

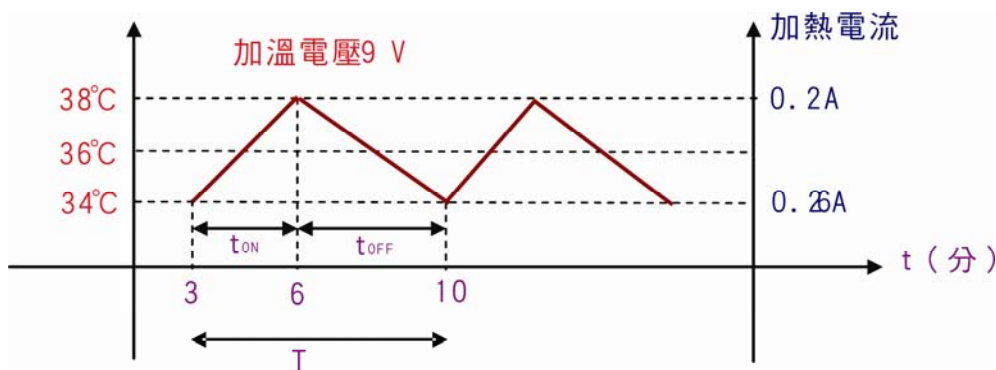


圖 22 加熱及非加熱時間、溫度與電流變化

加溫電壓 9 V，加熱時間 $t_{ON} = 6 \text{ 分} - 3 \text{ 分} = 3 \text{ 分}$ ，停止加熱時 $t_{OFF} = 10 \text{ 分} - 6 \text{ 分} = 4 \text{ 分}$ ，週期 $T = t_{ON} + t_{OFF} = 7 \text{ 分}$ ，平均電流 = 0.087A，平均加熱功率 = $9V \times 0.087A = 0.783W$ 。若以小時計，加熱次數 = $n = \frac{60 \text{ 分}}{T} = 8.57 \text{ 次}$ ，每小時平均加熱電流 = $0.087A \times 8.57 \text{ 次/小時} = 0.7559 \text{ Ah}$ ，3 號電池的壽命 = 2.7Ah，3 號電池可用時間 = $2.7Ah \div 0.7559 \text{ Ah} = 3.57h$ 。由於不需要持續供電給加熱軟片，四顆三號電池可以連續使用兩天以上。

(四) 低溫環境的溫控特性

1. 低溫裸露

低溫 2.5°C 系統能迅速提升溫度，啓動電源 2 分鐘內，提升至 13°C（圖 23）。

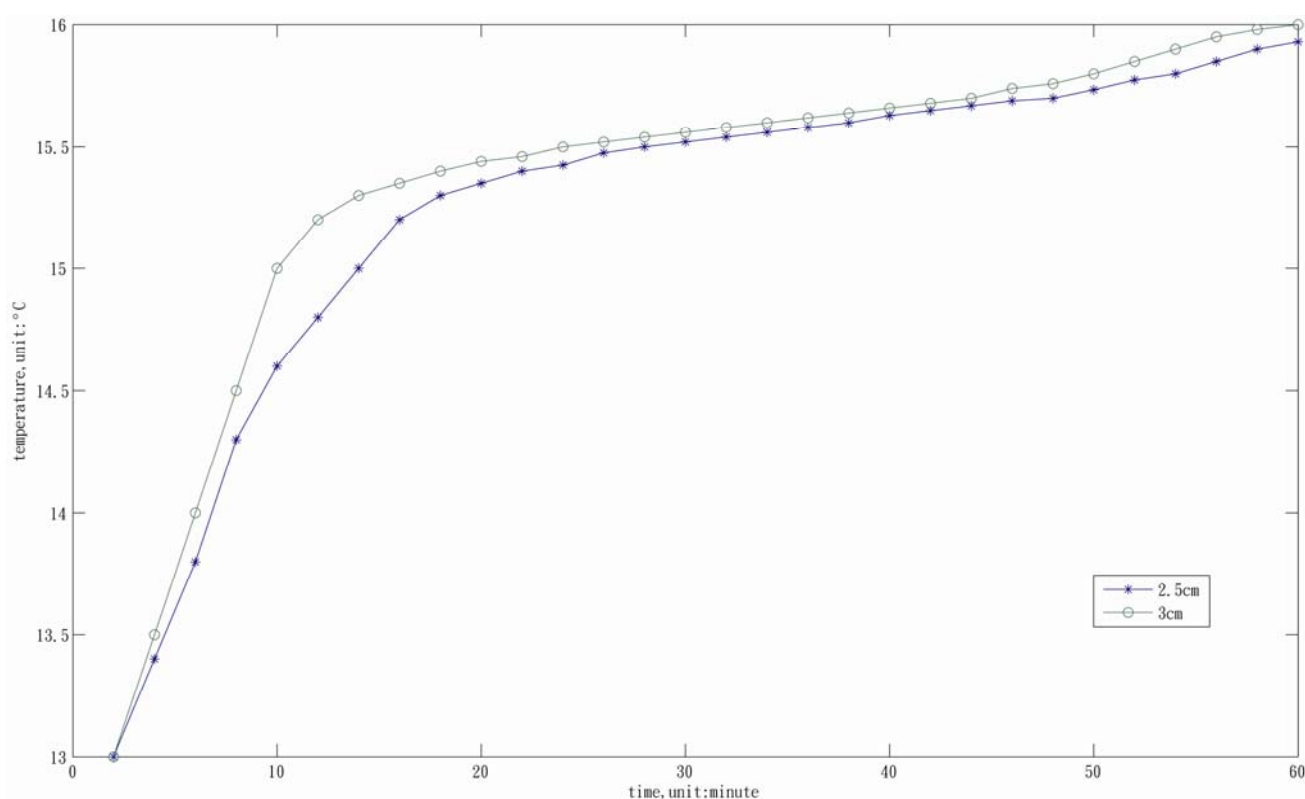


圖 23 低溫裸露表面加溫特性

2. 低溫衣物包覆

衣服包覆溫度明顯提升（圖 24），與人體接觸就能達到設定的溫度，在低溫的環境中有良好的加溫效果。

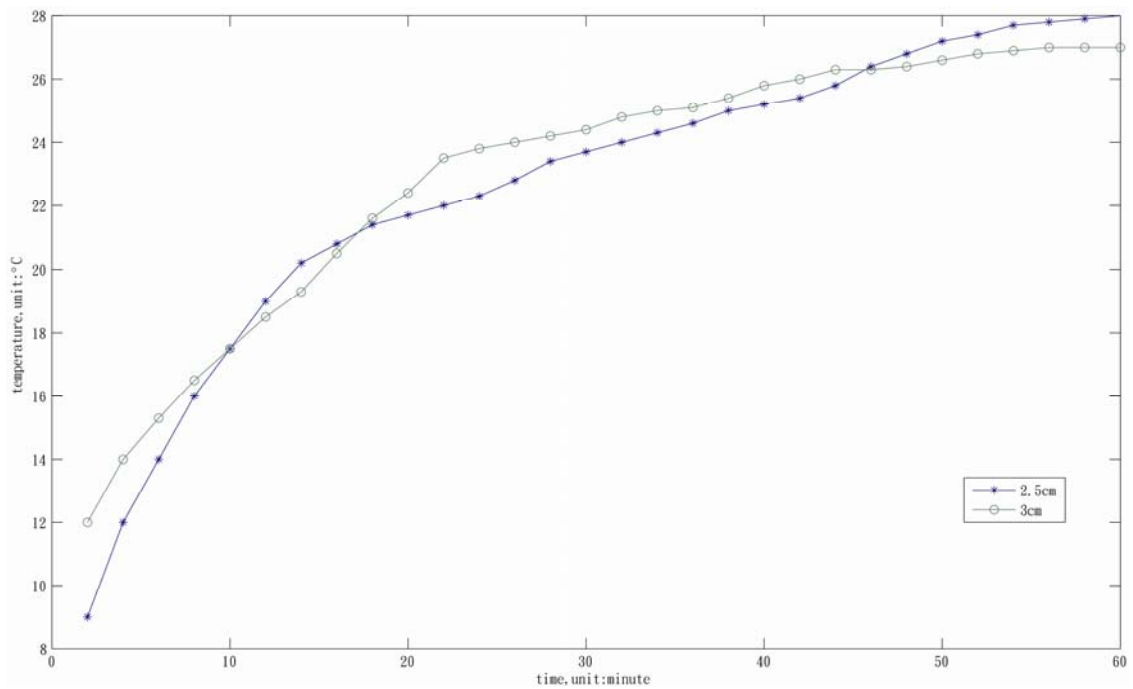


圖 24 低溫包覆衣物表面加溫特性

三、穩定性與安全性

將電阻值 14Ω 截面積 5.5 平方公分的高分子電熱軟片，接上 $9V$ 的直流電持續加熱， 5 分鐘溫度已達 $56^\circ C$ ，因此恆溫護身符在短時間內即可增溫，當表面溫度超過 $56^\circ C$ 持續增溫，外層高分子化合物開始軟化，且有融化的現象，可能造成電熱片短路與燙傷。改為電阻值 40Ω 截面積 5.5 平方公分的高分子電熱軟片，接上 $9V$ 的直流電持續加熱，溫度停留在 $46^\circ C$ ，電阻值為增溫與安全的關鍵（圖 25）。

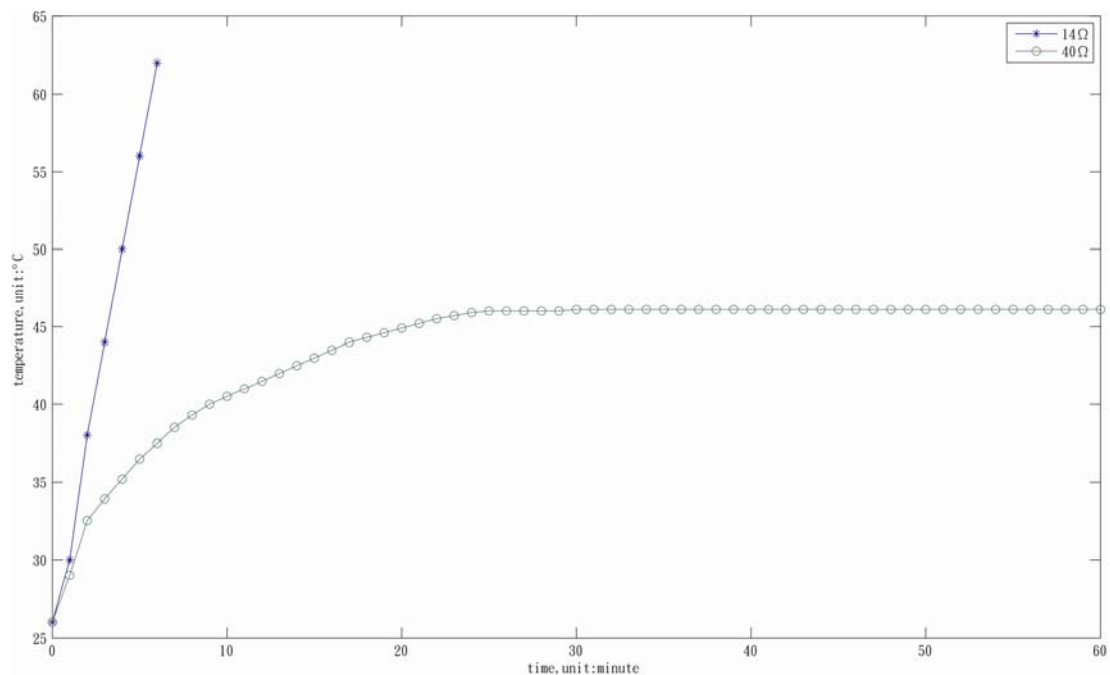


圖 25 持續供電增溫特性圖

四、實際運用

將加溫軟片包裝成可以雲遊四海，不怕天寒地凍的「恆溫護身符」(圖26)，沒有一般「暖暖包」、「懷爐」溫度過高或飄忽不定的缺點，良好的延展性能與皮膚大範圍親密接觸，增加保溫效果。將一塊導電軟片裁切後，依照不同的形狀，連接導線形成「增溫矩陣」(圖27)，將恆溫護身符和衣物結合，變成可以普遍使用的「恆溫護身服」(圖28)，即使幾塊導電軟片損壞也不會影響整體功能，使用充電電池供電，達到環保減碳的目標。

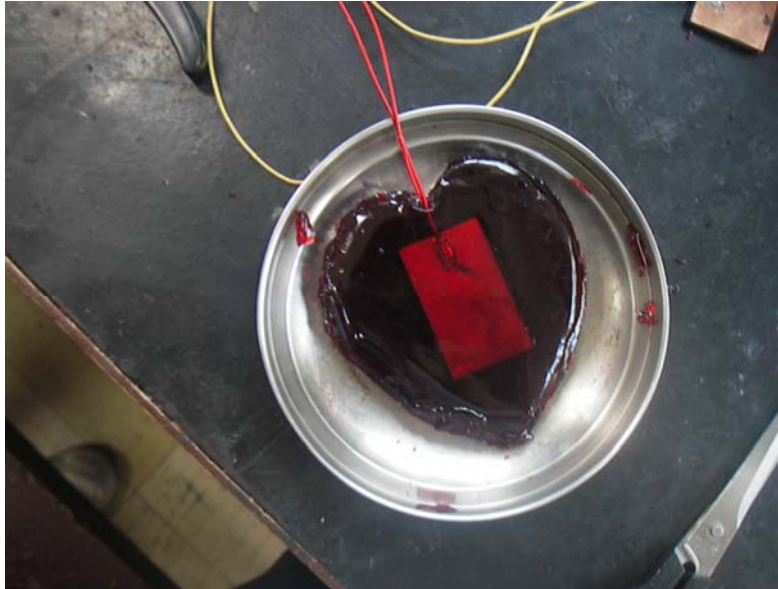


圖26 恆溫護身符

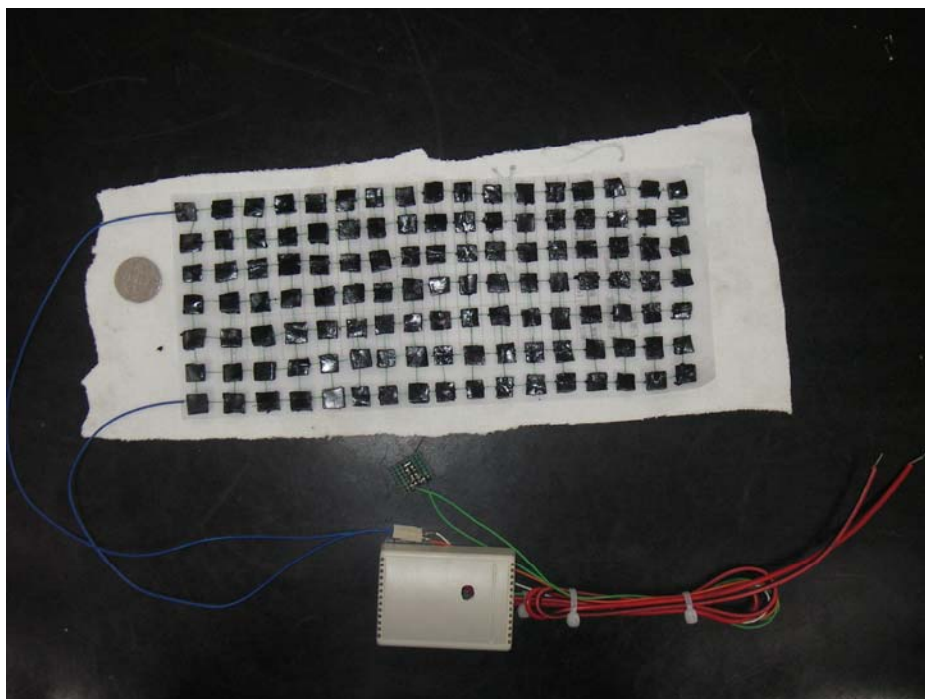


圖27 增溫矩陣

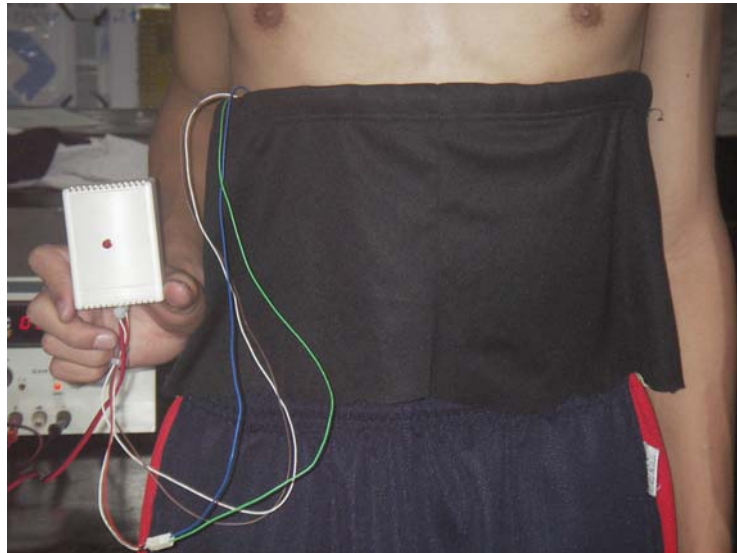


圖28 恆溫護身服

(圖28) 為貼附於腹部的恆溫護身符，內裝導電軟片所排成的矩陣(圖27)，能與皮膚緊密結合，此為體表溫度最高的部份，以電阻較小的導電軟片快速增溫。由於是矩陣結構，導電軟片損壞幾片，也不影響基本功能。

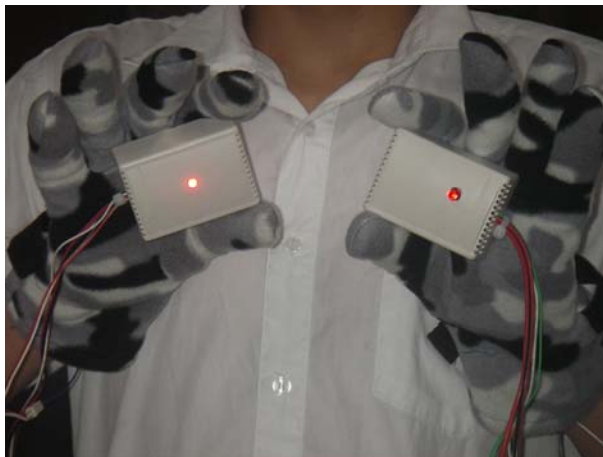


圖 29 恆溫手套



圖 30 暖耳套

手套內部手背關節處設置導電軟片，不會影響關節動作，通電時手背接受熱能(圖29)。暖耳套的導電軟片裝設於耳罩內層，環狀排列於夾層內，恆溫護身符的穩定熱源，能溫暖耳朵與臉頰，是冬天中最佳的伴侶(圖30)。

陸、討 論

一、問題：能否運用於飛機機翼上的除冰功能？

討論：機翼結冰是危害飛行安全的大敵，飛機機翼、操縱面、發動機進氣口與其他關鍵部位結冰都很危險。若將恆溫護身符的電熱片使用於機翼、操縱面、發動機進氣口……，可防止結冰失速墜機的危險。

二、問題：與現有飛機的除冰套相較合者較優？

討論：高空結冰的速度很快，許多的飛機設有除冰套依然發生意外。飛機製作時若能將高分子電熱片，設置於需要除冰的位置，低溫時啟動電熱片，即可防止結冰的危險。

三、問題：是否可以取代市面上的電毯？

討論：市面上販售的電毯為串聯電熱線加熱，電線短路時就不會加熱，且容易發生危險。而我們的「增溫矩陣」，採取並聯的方式通電，幾個加熱點故障，並不影響其他的加熱點，系統仍可正常運作。

四、問題：能否使用於食物的保溫？

討論：食物放至於不鏽鋼的便當盒，將恆溫護身符貼於便當盒外，即可達到保溫的效果。

五、問題：寒帶地區是否能夠使沙發有加熱的效果？

討論：若在沙發的夾層當中放置恆溫護身符，即可使沙發增溫，

六、問題：酸痛時所用的熱敷貼，可否被恆溫護身符取代？

討論：恆溫護身符的溫度可達到熱敷的溫度，恆溫裝置能避免溫度過高的危險。

七、問題：系統的體積與重量是否造成使用者的負擔？

討論：外出時全系統最重的部分就是電池，在高山攜帶六顆三號充電電池，對登山者而言不夠成負擔，此重量足可供應兩三天的保暖所需。

解決方案：請教醫生，醫生表示符合救生之需求。

八、問題：如何規劃高山失溫救難所需的熱能？

討論：臺灣為海島地形，大氣中濕氣較重，升高一百公尺溫度下降 0.6°C 。三千公尺高山只要衣物不要過於輕薄，依正常登山衣物的散熱狀況，六顆三號充電電池，能提供兩天以上的恆溫熱量。如要長途跋涉，可攜帶十二顆的三號電池，其重量也在合理範圍內。

九、問題：可否代替復健用蠟療？

討論：可以，一般蠟療為溫度較高，且儀器較為昂貴，而恆溫護身符可控溫且價格低廉，提高延展性就能廣泛應用於家庭中。

柒、結 論

經長期研究與實驗，獲得結論如下：

(一) 達成研究目的

經多次實驗得知系統能有效控制溫度，可廣泛應用於各種區域，保障人們的安全。

(二) 未來展望

系統達成救災之需求，符合現今國內公共安全之需求，並且造價低廉，使化學工程與生活安全相融合，得以防止意外悲劇的發生。更發現高分子導電後有許多意想不到的特效，這是課本沒有論及之處。希望這個發現未來可以繼續發展，開拓高分子化合物的應用範疇。

捌、參考資料及其他

- 一、曾國輝，化學，台北市，藝軒圖書出版社，2002年
- 二、林敬二等編著，高中物質科學化學篇(下)，臺北市，三民書局，2007年
- 三、中華民國科學教育館，中小學科展作品專輯，臺北市，豐山彩色印書有限公司，1990年
- 四、施河編著，高級中學生命科學下冊，初版，臺南市，南一書局，2001年
- 五、Arthur C. Guyton，蓋統生理學上冊，初版，臺北市，華杏書局，1998年
- 六、Laidler & Meiser 原著，郭冠麟、王榮英、陳寶祺合譯，物理化學，初版，臺北市，學富文化，2006年

【評語】 091103

本作品以聚氨脂高分子摻雜石墨粉製成導電軟片，配合自動溫控系統製備“恆溫護身符”，提供人體及食物保溫之用。

整體設計頗具創意，且能實作出雛型系統具實用發展潛力。

建議未來宜深入探討石墨粉粒徑、高分子聚合物種類，組成配比等因素對加熱保溫穩定性之影響。