



深耕衣甲子
科技織未來



石墨烯智慧恆溫紡織品 分級規範說明

紡織產業綜合研究所
檢驗部 高瑞宏

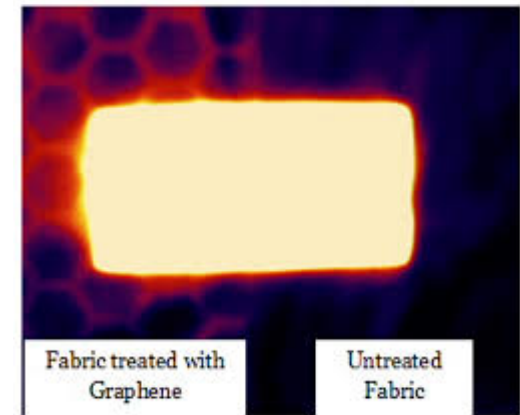
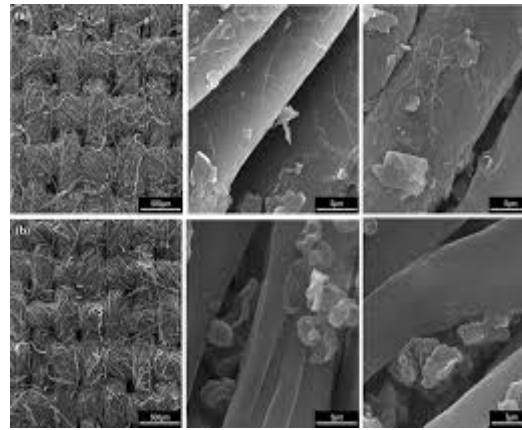
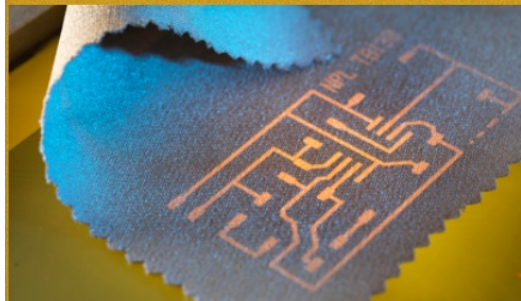


一. 前言

依據PD CEN/TR 16298智慧紡織品定義,分類,應用和標準化需求,分為:

- e-textiles或textronics(電子式)-只有電能(4.1.3);只有通訊能力(4.1.4);有電能且有通訊能力(4.1.5)
- self-regulating(非電子式)-無電能且無通訊能力(4.1.2),依標準智慧紡織材料的定義為,機能性紡織材料具有主動與環境互動,亦即可回應或適應環境中的變化。

Graphene Textile new smart textiles manufacturing by 3D Print

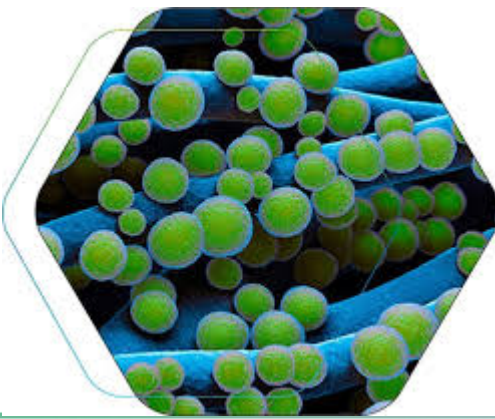


本篇標準PD CEN/TR 16298僅為**共通性指引**,不同產品需依其**第5節標準化建議**的要求,各自展開詳細的測試及規格標準,將於本文後續說明。

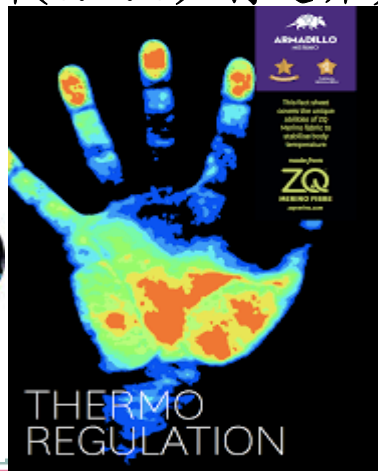
- 5.1 通則-智慧紡織材料應符合類似非智慧材料,再附加連結到格外性質的特定需求上,所以現存規範和試驗方法仍是**可以使用的**,或在某些情況下做一些修訂,但是新的規範和試驗方法也應該要持續開發。
- 5.2 所要求**性能的驗證**
- 5.3 無毒無害安全性
- 5.4 性能的**耐久性**
- 5.5 產品**訊息**
- 5.6 環境面向,符合環保法規如REACH

一. 前言

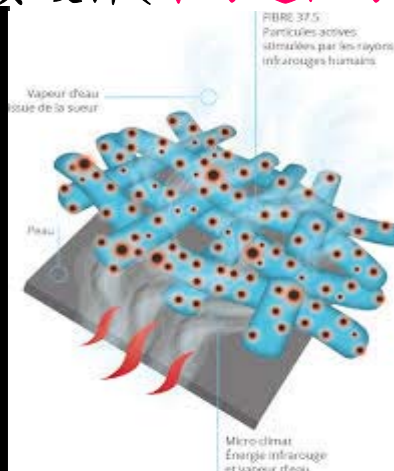
- 依標準定義Smart與Intelligent被視為相同且可互換，都是表示擁有功能上的特性，其並不是一般傳統紡織品所具有的，因此本標準提供智慧紡織材料的分析原則，一為具可逆反應reversible且可漸進反應強度gradual intensity者；另一為不可逆反應但具可漸進反應強度者。
- 依據PD CEN/TR 16298所列舉的(非電子式)智慧紡織材料有:(但不僅限於此, 其他依標準所提智慧紡織材料的分析原則判斷)
 1. 相變化PCM材料, 化學吸放熱反應(3.2.3及4.2.4及5.7.1.2)-調溫(可逆且可漸進反應)
 2. 熱傳導材料(3.1.3)-調溫(可逆且可漸進反應)
 3. 吸收(放射)750nm-100000nm紅外線輻射熱材料(3.1.4)-調溫(可逆且可漸進反應)
 4. 可逆形變或形狀記憶材料(3.2.4)-改變外觀尺寸(可逆且可漸進反應)
 5. 剪應力增稠材料改變軟硬(3.2.7)-耐撞(可逆且可漸進反應)
 6. 變色材料(3.2.2)-改變顏色(可逆且可漸進反應)
 7. 螢光(3.1.6)及磷光(3.1.7)材料-螢光及蓄光(可逆且可漸進反應)
 8. 微膠囊介質緩釋材料(3.1.8)-特定介質緩釋(不可逆但可漸進反應)



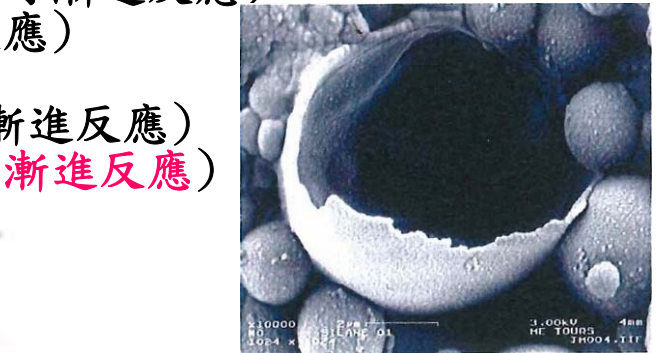
1. PCM



2. 美麗諾羊毛



3. 吸放輻射熱37.5

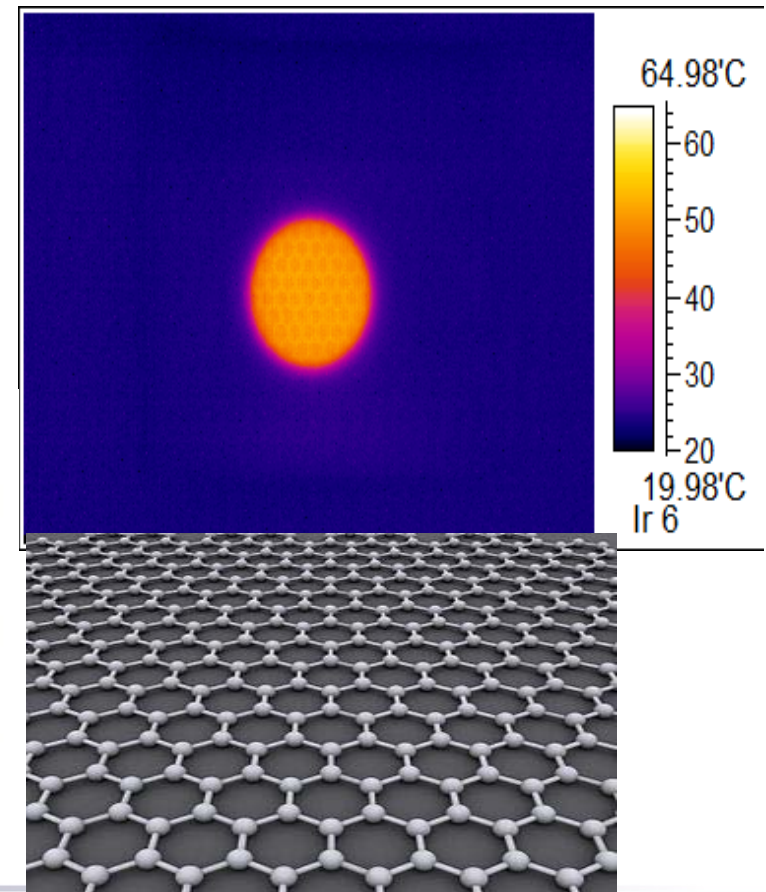
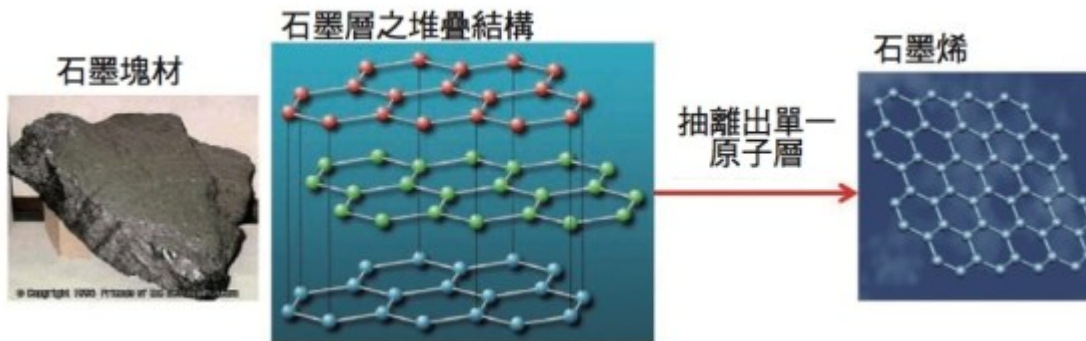


6. 變色材料

8. 微膠囊緩釋材料

二、石墨烯熱傳導智慧恆溫材料介紹

- 單層石墨烯 (Graphene) 是一種由碳原子以sp²雜化軌道組成六角型呈蜂巢晶格的平面薄膜，只有一個碳原子厚度的二維材料。
- 單層石墨烯一直被認為是假設性的結構，無法單獨穩定存在，直至2004年，英國曼徹斯特大學，成功地在實驗中從石墨中分離出石墨烯，而證實它可以單獨存在，獲得2010年諾貝爾物理學獎。
- 單層石墨烯目前是世上最薄也是最堅硬的奈米材料
- 單層石墨烯幾乎是完全透明的，只吸收2.3%的光
- 導熱系數高達5300 W/m·K，高於碳奈米管和金剛石



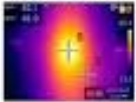
三、石墨烯智慧恆溫的原理

- 依據標準: PD CEN/TR 16298 智慧紡織品 3.1.3 節-熱傳導材料智慧恆溫(可逆且可漸進反應)
- 人體恆溫: Physiology of Temperature Regulation/Dynamic Temperature Control/ (Thermoregulation), core temperature of 37°C (98.6°F) and a skin temperature of 31-35°C
- 作用原理:
 1. 高溫散熱原理-石墨烯的熱傳導具溫度依存性, 隨溫度增加, 熱傳導率增加, 表示溫度越高, 散熱效果越佳【說明石墨烯紡織品在高溫是散熱涼爽】
 2. 低溫速熱原理-石墨烯的組成元素是碳, 具有吸熱性, 加上其快速的熱擴散性, 可以在很短時間內, 將所吸的熱, 擴散至整件含有石墨烯的衣服【說明石墨烯紡織品在低溫是速熱均溫】

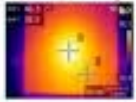
1. Thermal Conductivity

Graphene's very high thermal conductivity (up to ~5,300 W/(m·K)) allows for heat to be quickly spread away from a heat source. In a sheet form, graphene can be used as a thermal spreader in mobile electronics.

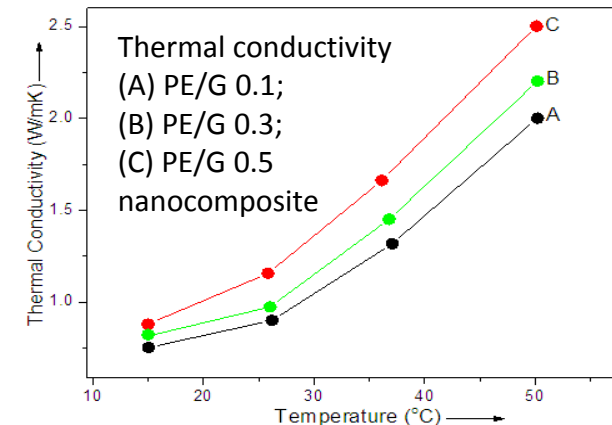
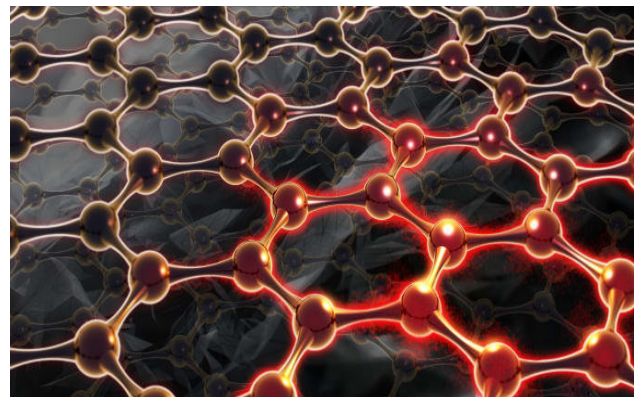
No Thermal Spreader



Angstrom's Thermal Spreader



www.angstrommaterials.com



四、石墨烯的市場應用

報導1. August 2017義大利紡織集團Grassi與該國歐洲石墨烯最大量產公司(年產30噸)Directa Plus G+合作,利用G+ 高熱傳導性,開發含石墨烯智慧紡織品

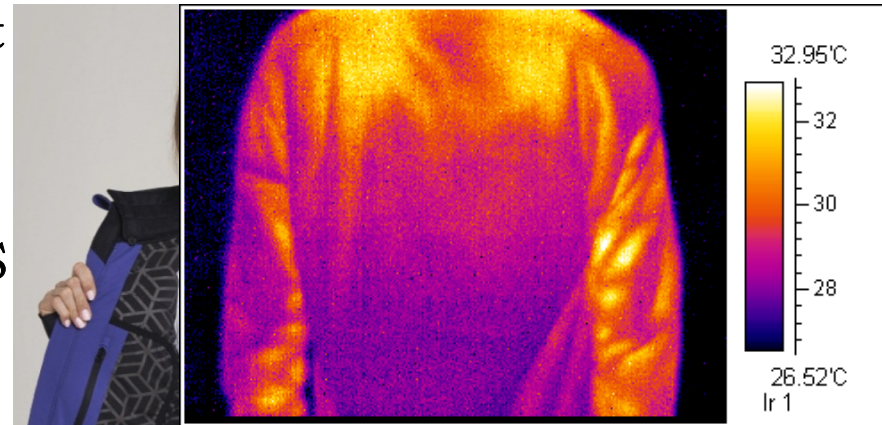
- 低溫-the **homogeneous** distribution of the heat produced by the human body in cold

- 高溫-a heat **dispersion** effect in hot

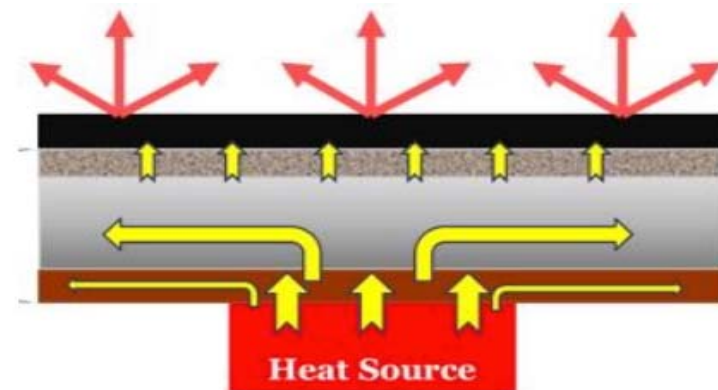
同時具抗靜電及抑菌(bacteriostatic)

【出自:Advances in Textiles Technology-Smart textiles】

報導2. **MOVETEC**: GRAPHENE COATED FABRICS



Polyester, wool and elastane blend jersey fabric with graphene print by Movetec



四、石墨烯的市場應用

報導3. **Oakley and Bioracer** have collaborated in the development of a cycling jersey called G+ Graphene Aero Jersey, printed in a pattern which is described as a “planar thermal circuit”, distribute heat generated by the body **evenly** and helps to dissipate heat 【**thermoregulate**】, and it provides fabric 【**bacteriostatic**】 and **electrostatic** properties

G+ treatment inside G+ Graphene Aero Jersey



報導4. Directa Plus and **Colmar** have collaborated in the development of a ski apparel

報導5. Directa Plus and **Eurojersey** have collaborated in the development of Sensitive branded warp knitted fabrics treated with G+

報導6. **Vollebak** Launches World’ s First Graphene Jacket: graphene nanoplatelets and combined it with polyurethane, 85% nylon and 15% elastane. It is waterproof to 10,000mm and has a RET12

報導7. Graphene-based yarn to enable advanced wearable e-textiles

Researchers at the National Graphene Institute (NGI)

According to a University of Manchester

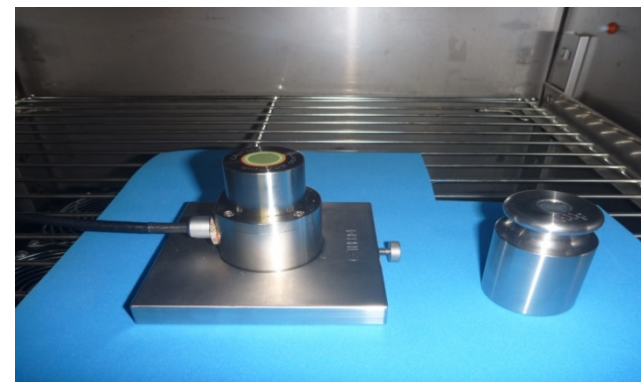


五、石墨烯應用於熱傳導智慧恆溫的評估驗證

$$\text{差異} = (B-A)/A \times 100\%$$

- 沿布厚度的熱傳導系數評估: **ASTM D 7984-2016** 熱傳導系數 (W/m·K)

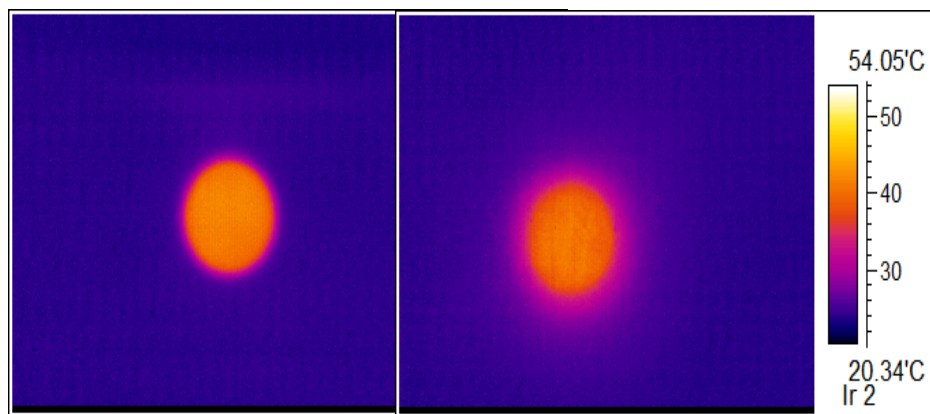
	10°C (A)	30°C (B)	AB 差異
0(對比樣)	D	D(1±1%)	±1 %
樣態1	D(1+10%)	D(1+16%)	6 %
樣態2	D(1+20%)	D(1+32%)	12 %
樣態3	D(1+30%)	D(1+50%)	20 %



- 沿布平面的熱傳導擴散評估: FTTS-010 modify (5 min的熱擴散面積mm²)

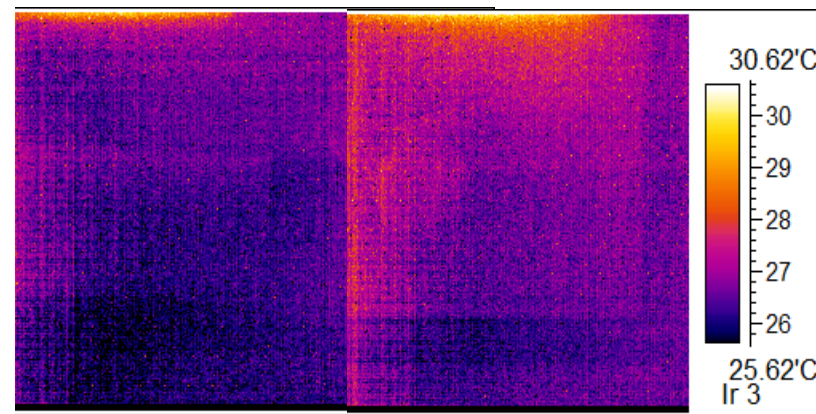
對照樣

試驗樣



對照樣

試驗樣



<p style="text-align: center;"><u>織物熱逸散驗證規範</u> Specified Requirements for Thermal Effusivity of Fabrics</p>	<p>文件編號 : FTTS- FA-180 版次 : 1.0 修 4</p>
<p>1.適用範圍 本規範適用在最低氣流流動及特定環境條件下，量測具智慧機能織物(如<u>石墨烯</u>等)在乾燥狀態 30°C 與 10°C <u>熱逸散</u>差異率，以評估織物的熱逸散效果。</p> <p>2.用語釋義</p> <p>2.1 <u>改良式瞬態平面熱源</u>(Modified Transient Plane Source, MTPS)傳導儀：具有單側平面熱源，及垂直於熱源上設置隔熱環的一種裝置，該熱源及隔熱環同時與試樣的一側接觸，在短時間之熱脈衝進入於試樣內。隔熱環的作用是維持試樣一致之單向熱流量。</p> <p>2.2 <u>滲透深度</u> (Penetration depth)：在表面處施加初始輻射熱量進入試樣的深度。為確保試樣中含有熱波，試樣的厚度應大於熱脈衝滲透深度。</p> <p>2.3 <u>熱逸散</u> (Thermal effusivity)：此為一種描述測試平面與另一種接觸材料交換熱能之材料屬性。</p> <p>兩種接觸材料的熱流動性決定了熱交換後接觸表面的溫度。</p>	



圖 1 改良式瞬態平面熱源傳導儀配置圖例

說明：

- 1 試樣
- 2 加熱器與溫度感應器
- 3 控制器
- 4 數據擷取器
- 5 加壓裝置

3. 熱逸散等級

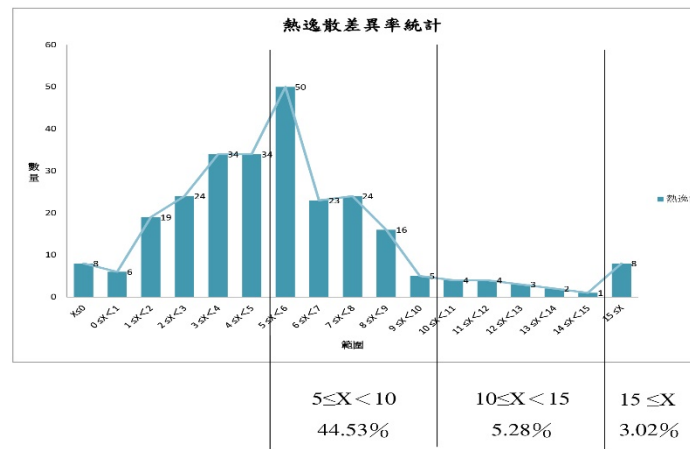
4.4.2 計算兩環境之熱逸散差異率，公式如下：

$$X = \left(\frac{e_{30} - e_{10}}{e_{10}} \right) \times 100\%$$

其中： e_{30} = 30 °C 環境下之平均熱逸散值

e_{10} = 10 °C 環境下之平均熱逸散值

熱逸散	數量
$X \leq 0$	8
$0 < X < 1$	6
$1 < X < 2$	19
$2 < X < 3$	24
$3 < X < 4$	34
$4 < X < 5$	34
$5 < X < 6$	50
$6 < X < 7$	23
$7 < X < 8$	24
$8 < X < 9$	16
$9 < X < 10$	5
$10 \leq X < 11$	4
$11 < X < 12$	4
$12 \leq X < 13$	3
$13 \leq X < 14$	2
$14 \leq X < 15$	1
$15 \leq X$	8



等級 (Grade)	30°C與10°C熱逸散差異率 (%)	分類 (Classification)
A	$5 \leq X < 10$	好 (Good)
AA	$10 \leq X < 15$	很好 (Very Good)
AAA	$15 \leq X$	優良 (Excellent)

(一). 開發步驟

1. 塗佈印刷織物：

- 本實驗利用單面塗佈印刷技術，採用含石墨烯的塗佈漿料製作出如下條件之樣本，
對照組：0%
測試組：塗佈印刷面積佔比 $20\pm 5\%$ 、 $30\pm 5\%$ 、 $40\pm 5\%$ 、 $50\pm 5\%$

2. 含石墨烯聚酯纖維之織物：

- 本實驗利用圓編針織機，織出不同含量比例的織物其條件如下：
對照組：0%
測試組：含石墨烯聚酯纖維纖維成份佔比分別為 $20\pm 5\%$ 、 $30\pm 5\%$ 、 $40\pm 5\%$

(二). 結果與討論

1. 石墨烯塗佈印刷面積佔比對熱逸散的影響

- 本研究發現在 10°C 及 30°C 的環境條件下熱逸散值均隨石墨烯塗佈印刷面積佔比的增加而增加，但在達40%的面積比後，增加速率趨緩，如圖2所示。

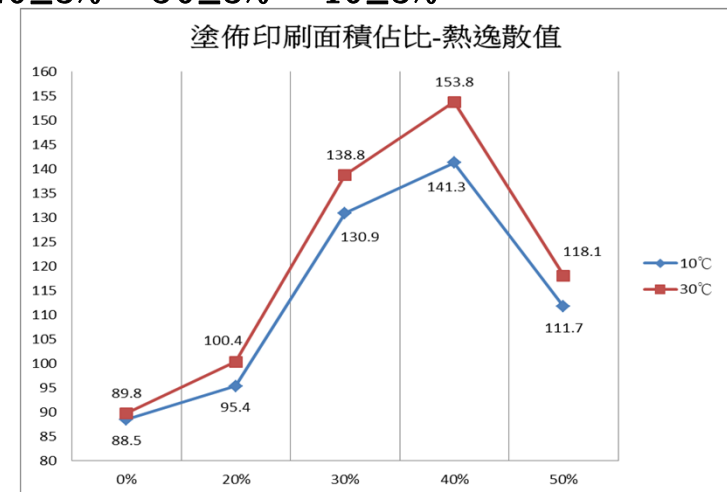


圖2. 塗佈印刷面積佔比對熱逸散之影響

七、石墨烯智慧恆溫紡織品應用開發

- 本研究也發現，在30°C的環境條件下，增加的幅度比在10°C時的增幅還大，兩者間的差距隨石墨烯面積佔比的增加而增加，如圖3所示。
- 判斷石墨烯在熱環境下其熱逸散對溫度更敏感，數值比在冷環境下增幅更快，使得在30°C熱環境下，散熱較佳，而在10°C冷環境下則以均溫為主，顯示石墨烯材料具有熱調節恆溫效果。

2. 石墨烯塗佈印刷面積佔比對熱傳導率的影響

本研究發現在10°C及30°C的環境條件下熱傳導率均隨石墨烯塗佈印刷面積佔比的增加而增加，但在達40%的面積比後，增加速率趨緩，如圖4所示。

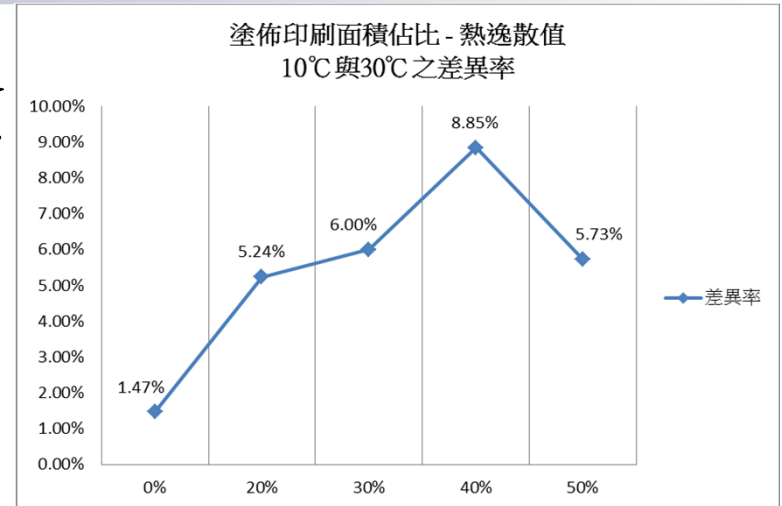


圖3. 塗佈印刷面積佔比對熱逸散差異率之影響

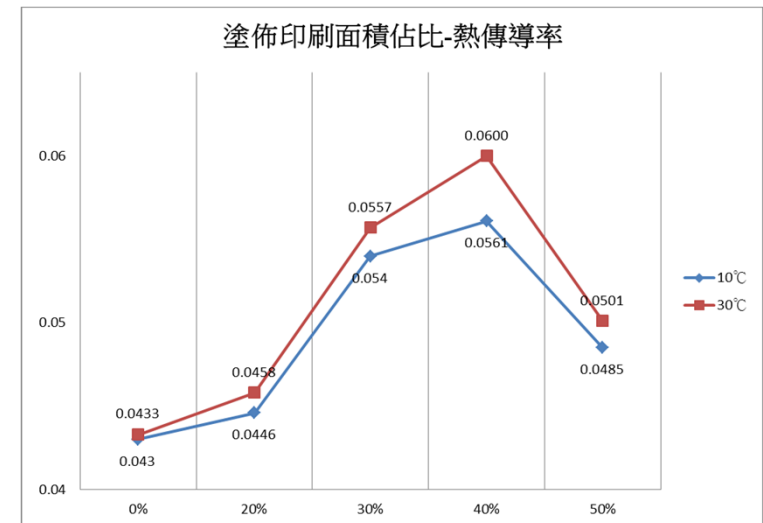


圖4. 塗佈印刷面積佔比對熱傳導率之影響

七、石墨烯智慧恆溫紡織品應用開發

- 本研究也發現，在30°C的環境條件下，增加的幅度比在10°C時的增幅還大，兩者間的差距隨石墨烯面積佔比的增加而增加，如圖5所示。
- 判斷石墨烯在熱環境下其熱傳導率對溫度更敏感，數值比在冷環境下增幅更快，使得在30°C熱環境下，散熱較佳，而在10°C冷環境下則以均溫為主，顯示石墨烯材料具有熱調節恆溫效果。

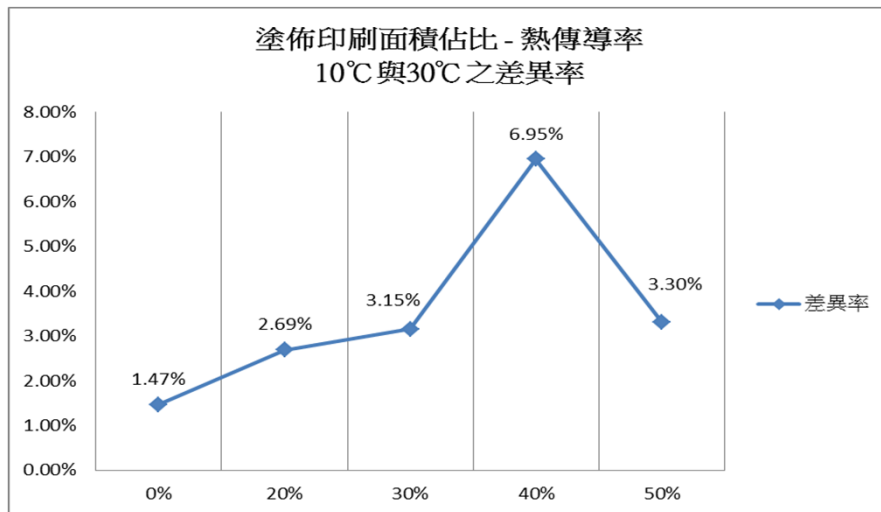


圖5. 塗佈印刷面積佔比對熱傳導率差異率之影響

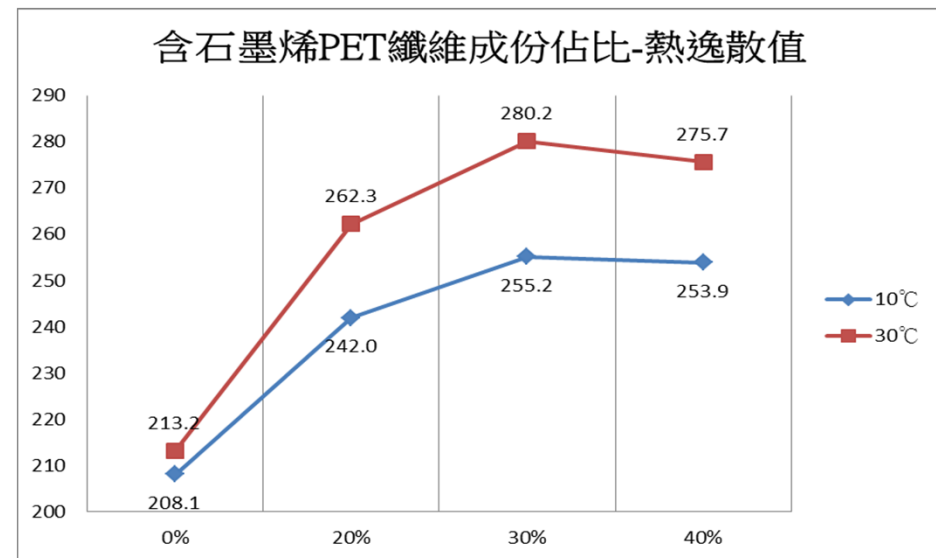


圖6. 含石墨烯PET纖維成份佔比對熱逸散之影響

3. 含石墨烯PET纖維成份佔比對熱逸散的影響

- 本研究發現在10°C及30°C的環境條件下熱逸散值均隨含石墨烯PET纖維成份佔比的增加而增加，但在達30%的面積比後，增加速率趨緩，如圖6所示。

七、石墨烯智慧恆溫紡織品應用開發

- 本研究也發現，在30°C的環境條件下，增加的幅度比在10°C時的增幅還大，兩者間的差距隨石墨烯面積佔比的增加而增加，如圖7所示。
- 判斷石墨烯在熱環境下其熱逸散對溫度更敏感，數值比在冷環境下增幅更快，使得在30°C熱環境下，散熱較佳，而在10°C冷環境下則以均溫為主，顯示石墨烯材料具有熱調節恆溫效果。

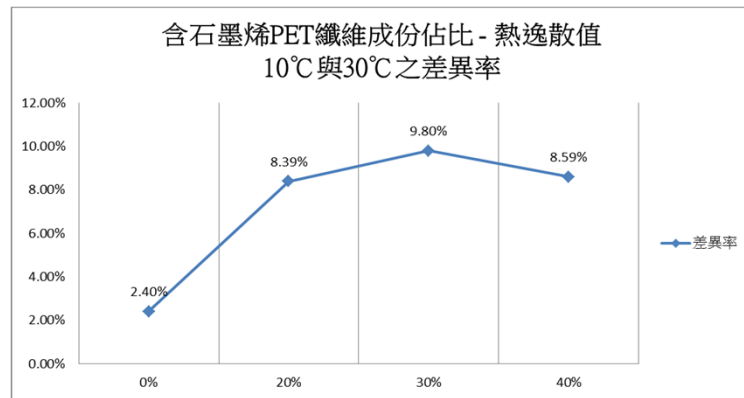


圖7. 含石墨烯PET纖維成份佔比對熱逸散差異率之影響

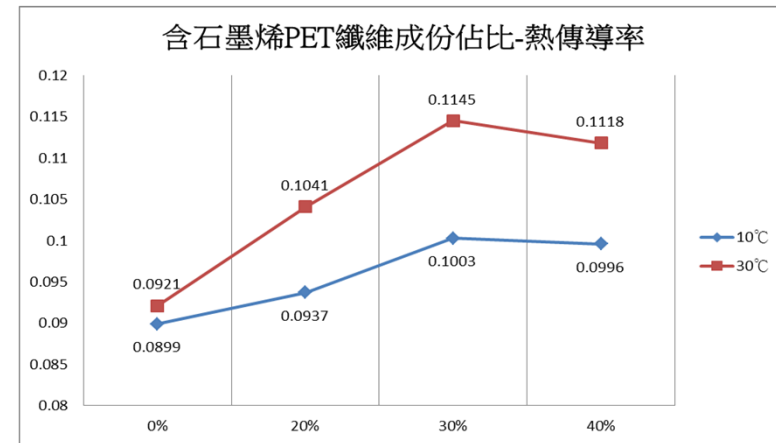


圖8. 含石墨烯PET纖維成份佔比對熱傳導率之影響

4. 含石墨烯PET纖維成份佔比對熱傳導率的影響

本研究發現在10°C及30°C的環境條件下熱傳導率均隨含石墨烯PET纖維成份佔比的增加而增加，但在達30%的面積比後，增加速率趨緩，如圖8所示。

七、石墨烯智慧恆溫紡織品應用開發

- 本研究也發現，在30°C的環境條件下，增加的幅度比在10°C時的增幅還大，兩者間的差距隨石墨烯纖維PET佔比的增加而增加，如圖9所示。
- 判斷石墨烯在熱環境下其熱傳導率對溫度更敏感，數值比在冷環境下增幅更快，使得在30°C熱環境下，散熱較佳，而在10°C冷環境下則以均溫為主，顯示石墨烯材料具有熱調節恆溫效果。

(三). 結論

- 研究發現，對照組石墨烯含量0%者，在10°C及30°C熱逸散及熱傳導率數值上，差異不明顯，此因一般紡織材料的熱傳導性較低，所以較不受環境溫度高低的影響；但經塗佈印刷石墨烯者，隨著面積佔比增加熱逸散及熱傳導率數值亦會增加，到40%佔比後增加趨緩，且30°C比10°C的增幅大，造成10°C及30°C有明顯的差距，同樣的趨勢，隨者含石墨烯PET纖維成份佔比的增加，熱逸散值及熱傳導率都增加，但到30%成份佔比後增加會趨緩，且30°C比10°C的增加來的多，造成10°C及30°C有明顯的差距。
- 判斷是因石墨烯具有很高的熱傳導率，在30°C熱環境時其表現高於10°C時，在30°C熱環境下，熱逸散及熱傳導率高，表示有較佳的散涼感效果，而在10°C冷環境下，熱逸散值及熱傳導率較低則有均溫之保溫效果。
- 最後得到結論是石墨烯具有熱調節恆溫的效果，屬於智慧機能材料的一種。

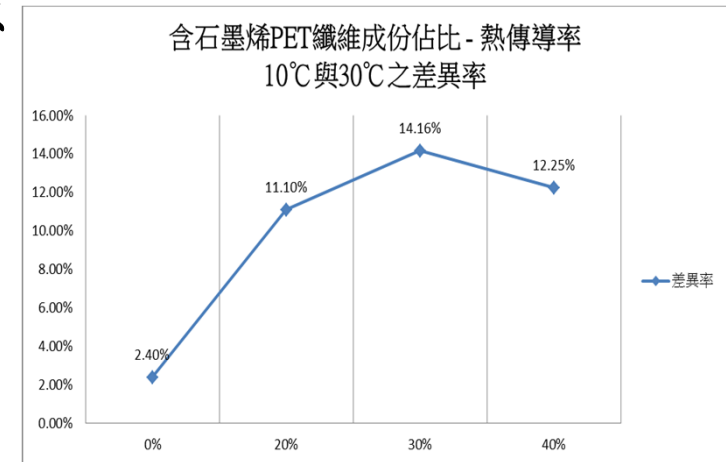


圖9. 含石墨烯PET纖維成份佔比對熱傳導差異率之影響