

紅外光線反射塗料的特性研究

呂琪萍*、黃玄昇、鄭慧英、陳哲生、陳文源

柏林股份有限公司

Research of Infrared Radiation Reflective Coatings

C. P. Lu*, H. S. Huang, H. Y. Cheng, C. S. Chen, W. Y. Chen

BERLIN CO.,LTD.

摘要

近年來因溫室效應造成全球暖化現象日益嚴重，各地夏季高溫屢創新高，也因此往往需要耗費巨額空調費用才能將室內溫度維持在舒適範圍內。本公司所開發之高反射率塗料，可將大部分近紅外光區之熱輻射反射於大氣中；並與低熱傳導率之產品搭配使用可有效阻絕熱之傳遞，並藉由簡單的材料與工法便可達到室內降溫的功效。

本公司所開發之紅外線反射塗料，以深藍色系為例，在近紅外光區的反射率約為40%，遠較同色系塗料高，在實驗室中以紅外光燈進行實驗時，可降低內部空間溫度4~6°C；可知反射塗料確可有效阻絕來自太陽光中的紅外線輻射熱，而採用高反射率塗料與低熱傳導率隔熱塗料的塗裝系統，經實驗證實可使內部溫度下降10~15°C(環境溫度為70°C下)，使得建築物空調負載大大降低，而用電量下降，節省了電費，達到了節能省錢之目的。

關鍵詞：隔熱塗料、反射塗料、節能

Abstract

In recent years, according to the greenhouse effect as a result of the growing phenomenon of global warming and record high temperature was reserved at several places during summer, it took a huge indoor air-conditioning costs to keep room temperature in a comfortable situation. The high reflective coating which is developed by our company can reflect most of near-infrared

thermal radiation in the atmosphere. To combine with low thermal conductivity it can effectively cut thermal transmission. So we can cool down room temperature with simple materials and engineering methods.

For example, the infrared reflective coating developed by our company in dark blue color, the reflectivity of near-infrared is 47%, which is higher than the same color general coating. In laboratory, we simulate outdoor environment with infrared lamp. This coating can reduce the room temperature to 4 ~ 6 °C. It shows that reflective coatings indeed can cut the infrared radiant heat from sunlight effectively. And the experiment results show that a complex coating system combines with a high reflective coating and a low thermal conductivity coating decrease internal temperature to 10 ~ 15 °C (Environment temperature is 70°C). So it can reduce building's cooling load, electricity consumption and save cost. So the insulation coating truly can save money and energy.

Keywords: Insulation paint、Reflection paint、Energy saving

1. 前言

1.1 熱島效應

過去四十年以來，台灣因經濟快速發展及高度工業化，能源使用增加近 20 倍，工廠密度及單位面積能源的消耗率，在人口總數超過一千萬的國家中高居首位，大部分土地已被密集的建築、工廠、村莊及柏油馬路取代，所產生的熱島效應是全世界最顯著的地區[1]。而熱島效應形成的原因主要有下列幾項：

- (1) 「大量建築物取代原有植被空間，降低蒸發降溫功能」。
- (2) 「濫用不透水鋪面阻礙雨水滲入土壤」。
- (3) 「過量使用汽機車與冷氣造成空氣與熱污染」。

上述這些作法，已影響地球原有的溫度調節功能。伴隨而生的熱島效應造成高溫、乾燥化、日照減少、降水量增加、空氣污濁、能見度惡劣、平均風速減低、冬季多煙塵的天氣，甚至工業區下風處會降有害的酸雨[2]。醫學研究顯示，環境溫度與人體的

生理活動密切相關，當環境溫度高於 28°C 時，人們就會有不舒適感；溫度再高就易導致煩躁、中暑、精神紊亂；氣溫高於 34°C，並伴有頻繁的熱浪沖擊，將引發一系列疾病，特別是使心臟、腦血管和呼吸系統疾病的發病率上升，死亡率明顯增加[3]。而改善熱島效應的方法主要有：

- (1) 加強城市規劃，選擇合理的城市結構模式，統籌安排工廠區和居民區；將城區分散的熱源集中控制，提高工業熱源和能源的利用率，減少熱量散失和釋放。
- (2) 在路邊、花園和屋頂栽種上花草樹木，也可使城市的環境溫度降下來。
- (3) 將城市建築物上塗遮/斷熱塗料，以減少對太陽輻射的吸收。

其中以(3)塗佈遮/斷熱塗料最為經濟實惠也最快見效，這種塗料不僅可改善室溫使其降至舒適溫度亦可減輕空調的製冷負荷，可謂是一種新型節能建材。因此本公司專注於此方面的研究，期望能推出性能優異而低成本的遮/斷熱塗料。

1.2 熱能介紹

地球上熱的來源主要來自於太陽照射，太陽光隨著磁波的輻射到達地球，其中太陽光的組成中約有 5% 紫外光與 42% 的可見光及 53% 的紅外光線[4]；太陽主要利用紅外線傳遞熱量，波長範圍從 700-2500nm，能直接感溫，在傳到地球表面時每平方公尺每小時能產生 600000 卡之多，故欲達到隔熱效果，須由此方面著手；而在阻隔熱量之前須先知道熱傳遞的途徑[5]:

- (1) 傳導：傳導是藉著固體物質或靜止液體進行熱交換，熱量由高溫往低溫處流動，假設溫度之分佈一定且與時間之變動無關時，稱為「穩定熱傳導」(Steady-state conduction)。
- (2) 對流：對流是利用液體流動來達到熱傳導，在基本的對流中，熱源加熱液體表面周圍，而且其他流動性物體如風等將熱帶走，冷流因此取代熱流。
- (3) 輻射：不同於傳導與對流，輻射熱能係以電磁波方式放出，故高溫物體與低溫系統間無

需有物理性接觸，兩者間無需有介質。熱藉由輻射作用從熱源送至被輻射入射面上，再以傳導機制傳至物體內部。

以上三點中的熱傳導與熱對流可利用陶瓷塗料[6]進行隔離，主要是利用陶瓷中空微粒之低熱傳導性達到阻隔熱傳遞的目的。但此種方式卻無法有效降低熱輻射帶來的熱量；因此如何在有效遮斷熱傳導之餘又能同時隔絕熱輻射之技術乃是現階段改善熱島效應，進而達到節能效果的不二法門。

1.3. 遮熱塗料種類與原理

當太陽輻射照射到建築物表面時會發生幾種不同的現象，可由圖一：遮熱塗料與一般建築物吸收太陽熱後室內溫度比較得知，一般傳統建築物當太陽輻射照射到表面時，建築物會將部分陽光反射回天空中，部份的陽光被建築物吸收而產生熱能，使建築物表面溫度上升；陽光被吸收而產生之能量以3種不同的形式傳遞：

- (1) 部分藉由室外空氣對流將表面熱能傳遞出去
- (2) 部分以長波熱輻射的形式傳送
- (3) 藉由建築物表面與室內溫度差異，由高溫向低溫處傳導進入室內，使室內溫度上升 [7]。

目前國內所使用的建築隔熱材料種類繁多，主要目的為提昇建築物屋頂阻絕外界進入屋內熱量之能力，避免形成室內龐大之熱負荷來源，進而浪費大量之空調系統運轉能源。依遮熱原理大致上分兩大類；一種是阻絕熱傳導與熱對流的隔熱材料，種類包含泡沫混凝土、隔熱磚、發泡PU、陶瓷中空球...等，其熱傳能力的差距很大，熱傳導係數範圍可能為0.3~0.03 W/m-K。另一種則是利用特殊金屬氧化物製成的顏料，利用此種特殊顏料的物理性質，能夠有效地將太陽光中的紅外線反射至大氣中，進而達到降溫的效果。

1.4.紅外線反射塗料的成份

一般塗料的成份有樹脂、添加劑、顏料、填充料與溶劑，反射紅外線塗料當然也不例外，但對於反射塗料而言在塗料成分的挑選上須更加用心，方能使塗膜達到最高的隔熱效益；以下是關於反射塗料當中的樹脂功能性顏料與功能性填充料的介紹：

- (1) 展色劑：展色劑是研究高反射率塗膜的關鍵技術之一，直接關係到塗膜反射性能的展現。展色劑需具有高透明度、對太陽光中紅外線的能量吸收率低的高分子的樹脂。在樹脂的結構中盡量少含碳氧雙鍵(C=O)、醚基(-O-)、羥基(-OH)等吸熱基團 [8]；而除了樹脂本身對紅外光線的吸收率要低以外，更重要的是對紫外光線能有良好的抵抗，使塗膜在戶外不因紫外線破壞而降低塗膜的反射率；並且應具備有良好的柔韌性與較高的成膜伸長率，防止塗膜在戶外曝曬時因溫度差異過大造成收縮龜裂現象。故本研究採用具有良好的耐候性、耐水、耐老化性能的 PU 樹脂，其良好的物理性質與特殊隔熱材料結合，可使塗膜不受薄塗限制。

- (2) 功能性顏料：當物體被陽光照射時，物體溫度會上升的原因，不只是可見光線的作用，主要的原因是來自於太陽光中的紅外光線所產生的熱輻射。一般來說，深色顏料比其他顏色具有更高的吸收率，而白色顏料因為對熱輻射的反射較強，故溫度較低，因此在顏料上須盡量選擇能反射更多熱輻射顏料。從文獻[9]中得知，紅外線反射顏料吸收了輻射熱能會改變且加劇了分子內部的運動，使熱能以電磁波的方式向外部空間發射，進而降低塗膜表面的溫度。用光譜學分析來看，物質的分子吸收光子，可使光子的能量完全變為分子的振動、轉動的能量，促使了分子的振動、轉動能量發生改變，不斷使晶格、鍵團的振動在其相間產生碰撞，使吸收的部分能量以紅外輻射的方式返回外部空間。故本研究採用紅外線反射顏料作為主要的顏料。

(3) 功能性填充料：功能性填充料與一般填充料差異在於，一般填充料主要功能在於降低成本，增加塗膜之體積固成份；而功能性填充料除了上述兩點之外更附帶有特殊功能及特殊的使用方式。例如：目前現階段常使用陶瓷中空球做為功能性填充料，該填充料具備下列幾點特性：

- A. 陶瓷中空球的粒徑分佈：中空球的粒徑對塗料本身的隔熱效果及塗膜性能有一定的影響：，粒徑大隔熱效果好，但塗膜表面粗糙、空隙較多，耐沾污性差；粒徑小塗膜表面光滑平整，耐沾污性好，但隔熱效果較差。故應選擇適當的粒徑搭配，使塗膜具有良好的隔熱效果，且表面光滑平整、耐沾污性好。
- B. 陶瓷中空球的壁厚與空氣體積：中空球內部的體積影響其熱傳導係數，當內部空氣體積越大，熱傳導係數越小，塗膜更具有優越的遮熱效果；而中空球的壁厚決定中空球的機械強度，假使中空球的強度太弱，在分散過程中可能導致中空球破裂而失去斷熱的效果。
- C. 高反射率：材料表面還須經過特殊表面處理使其具有良好的反射性、熱穩定性及耐化學性質，可加強遮熱效果。

1.5. 本研究方向

本公司所開發之深色紅外線反射塗料，採用高反射率塗料與低熱傳導率隔熱塗料的塗裝系統作為研究主軸，期望達到有效阻絕熱輻射與熱傳導，使得建築物空調負載大大降低，達到節能省錢之目的之外更為環保盡一份心力。

2. 實驗方法

2.1. 實驗原料及儀器

2.1.1 實驗材料

本實驗所採用之材料如下表一所示：

2.1.2 儀器設備

(1) UV/VIS/NIR 分光光度計

型號：Cary 5E UV/VIS/NIR Spectrometer 利用分光光度計與積分球測量塗膜的反射率，以鑑定不同條件下所製備得到配方之反射率。

(2) 爐溫測定器

利用爐溫測定器偵測塗膜塗佈在構件上之溫度曲線，操作條件：測量時間 30min，偵測誤差 0.1°C。

(3) 紅外線燈罩組

模擬太陽光中得紅外光線，提供熱能，實驗根據 ASTM D 4803-97，之測試方法進行檢測所示。

(4) 遮熱測溫裝置

依 ASTM D 4803-97 之檢測設備製作遮熱測定箱。

(5) 其他儀器設備

- A. 烘箱
- B. 精密稱量天秤
- C. 機械攪拌器

2.2 實驗變因與塗膜性能測試

本研究採用特殊顏料取代一般顏料，提高塗膜反射率，並搭配已開發之遮熱塗料作為塗裝系統進行探討。以工會色#50、#16 號色作為基本色相，比對摻有特殊高反射顏料進行比較。針對已製成的塗膜藉由 UV/VIS/NIR 分光光度計測試塗膜的反射率；並利用爐溫測定器與遮熱測定裝置模擬建築物在室外照射紅外光線的情況，測量塗膜隔熱效果。本公司所採用之塗裝系統如圖二所示：(a)的塗裝系統為上塗一道 25 μ m 合金底漆後，再上

塗一道含有反射顏料之塗料，膜厚為 $60\mu\text{m}$ ；(b)與之塗裝系統與(a)相同，但面漆系統採用一般塗料作為對照反射塗料之遮熱效果；(c)的塗裝設計為三道塗裝系統，底漆為合金底漆、中塗採用已開發的陶瓷遮熱塗料，膜厚為 $200\text{-}300\mu\text{m}$ 之後再上塗一道反射塗料，其膜厚為 $60\mu\text{m}$ ；(d)與(c)的差異在於面漆系統之反射塗料改為一般塗料。下面將以上述實驗結果分別討論反射塗料與一般塗料與搭配遮熱塗裝系統在近紅外光區反射率的展現與溫度效應。

3. 結果與討論

本公司已開發之陶瓷遮熱產品，具有很低的熱傳導率，與展色劑一起構成良好的絕熱層，有效隔絕熱量的傳遞。其中反射填料的比例亦是效果展現的另一項重要指標；由圖三：反射填料在配方中添加比例對反射率的影響可得知，A-2%，即為 A 配方中添加 2% 陶瓷中空球，具有 25% 的反射率，以此類推。隨著陶瓷中空球的添加量越大，在近紅外光區明顯看出反射率隨之增加；當陶瓷中空球的添加量為 15% 時可達到 52% 的反射率。

眾所周知，淺色系的表面能夠提供較高的反射率，也因此不論是建築物外部或者汽車的車體都會塗裝淺色系的塗料，藉此降低室內與車內溫度，這當中又以白色的效果最好，理論上來說，白色因為可以反射全部的可見光才會展現出白色的色相，那在紅外光區的反射效率是否一樣優異呢？以下針對其特性進行討論。由圖四：不同結構之 TiO_2 與反射率的比較可得知，金紅石(R-Type) TiO_2 的反射率約比銳鈦礦(A-Type) TiO_2 結構大 3% 左右；由文獻[10]指出，金紅石型的原子排列比較緊密，導致其反射指數(refractive index)較銳鈦礦高、遮蓋力大。由圖四明顯得知，不同結構型態之 TiO_2 在紅外光區反射率展現皆有 80% 以上，證實採用白色 TiO_2 為有效的遮熱塗料。因此，白色及淺色系常被作為遮熱塗料色相唯一的選擇；而深色系其反射率非常低，因此無法達到遮熱效果，這對某些特定且須使用深色系之構件則無法有效節省能源，例如：軍用構件上的使用、及偏愛深

色系的客戶群。因此本公司進一步開發適用於深色系之紅外線反射塗料，提供客戶有更多選擇。

本公司所開發之深藍色紅外線反射塗料，如圖五：藍色反射塗料與一般塗料之反射率比較所示，有反射塗料之塗膜 BU-1 在近紅外光區的反射率約為 40%，遠較同色系塗料公會色(#50)高。若搭配已開發之遮熱產品 7733 作為塗裝系統，可提高塗膜的反射率達到 50%。設計塗裝系統之#50/7733 及 BU-1/7733 曲線明顯看出反射率大於一般塗料及反射塗料的塗膜，由圖三得知反射塗料與遮熱塗料做為塗裝系統，在紅外光區之熱反射與溫度測試皆有加成的效果，可提升塗膜的反射率與降低構建內部之溫度，有效達到節能目的。在實驗室中以紅外光燈進行實驗時，可由圖六：藍色反射塗料與一般塗料之溫度曲線得知，在環境溫度從室溫 30°C 升到 67°C 時，公會色(#50)內部溫度從 29.5°C 上升到 56°C，與反射塗料之塗膜(BU-1)內部溫度從 29°C 上升到 50°C 相比，明顯看出反射塗料之塗膜比一般塗膜罐內溫度約低 5~6°C。且搭配本公司已開發之遮熱 7733 作為系統時，更可將室內溫度降至 44°C 左右。有效的降低內部溫度達 12°C。

此外，本公司亦開發另一支淺色反射性塗料，如圖七：黃色反射塗料與一般塗料之反射率比較所示：可明顯發現，反射塗膜(PUER LY-H101)在近紅外光區之反射率維持在 70% 以上；反之一般由白色與黃色調色出來的#16 號色，在近紅外光區具有與白色塗料類似之反射曲線，可能因白色 TiO_2 提供了反射能力所致，因此無法突顯反射塗料的遮熱效果。而其遮熱效果的展現可由圖八：黃色反射塗料與一般塗料之溫度曲線得知，在環境溫度為 70 度的情況下，公會色(#16)與反射塗料(PURE LY-H101)之室內溫度差異不大，反射塗料約比公會色低 3°C 左右。

由以上數據結果顯示，原本使用之深藍色系面漆塗料，若改使用紅外線反射塗料，則可有降低室內溫度，使遮熱塗料無須受限於淺色系；反射塗料在紅外光區的反射率為原本深藍色(#50)反射率一倍以上。

針對色相比較其反射率，如圖十：反射塗料之色相對反射率的影響得知；色相由淺至深，近紅外光區之最高反射率依序為 90%(白色)、81%(黃色)與 40%(深藍)。溫度的展現如圖十一：反射塗料之色相對溫度的影響得知，隨著色相由淺至深所對應得室內溫度曲線亦隨之升高；當環境溫度高達 70 度時，淺色系之白色塗膜室內溫度約維持在 35 度左右、黃色塗膜的室內溫度約為 40~41 度，深藍色塗膜的室內溫度為 50 度，環境溫度與罐內溫度相差 20°C 左右，有效降低溫度達到節能功效。

4. 結論

全球暖化是目前最嚴重的環保問題，柏林亦以節能減碳、提高經濟效益為目標，致力於開發隔熱塗料，期望能以自身的專業與長才為地球的環境盡一份心力。目前本公司成功開發出深色系紅外線反射塗料，在色相上供客戶有更多的選擇性。在實驗室內以遮熱測溫裝置進行溫度測試，採用紅外線反射塗料，其反射率為 40%，比相同色系之塗料反射率高；遮熱效果約比同色之室內溫度降低 4~6°C；若採用遮熱塗料與紅外線反射塗料作為塗裝系統，其反射率可提高至 50% 左右，與同色系比較可降低內部溫度達 10~15°C，有效降低溫度達到節能功效。

參考文獻

1. 劉紹臣、劉振榮、林傳堯、許乾忠、林文澤"台灣西部平原熱島效應"Taiwan Watch Vol.5, No.4 / Winter, (2003)14。
2. http://www.geocities.com/digitalairmen/ch3/disease_a.htm
3. <http://env.people.com.cn/BIG5/7093736.html>
4. www.ASTM.org.ASTM G 173-03
5. 李宗霖、陳立武"增設建築物屋頂隔熱設施改善空調用電之探討"，資源與環境學術研

討會，(2006)335。

6. 劉財宏、盧家鳳、陳哲生、陳文源"應用於鋼構建材之隔熱塗料的特性研討"，中華民國防蝕工程學會，(2007)。
7. 汪柏州、張仕欣、朱時梁"CoolRoof 對「清涼都市」之效應"，工業材料雜誌，248 期，(2007)117。
8. 許鐵群"GF-05 高效反射隔熱防腐塗料的研制"，腐蝕科學與防護技術，第 20 卷，第 4 期，(2008)。
9. 王金台、路國忠"太陽熱反射隔熱塗料"，塗料工業，第 34 卷，第 10 期，(2004)。
10. 李榮興，油墨，印刷工業出版社，第一版，大陸，(1988)501。

圖表：

表一：配方之原料

Table 1: Raw materials in formulation.

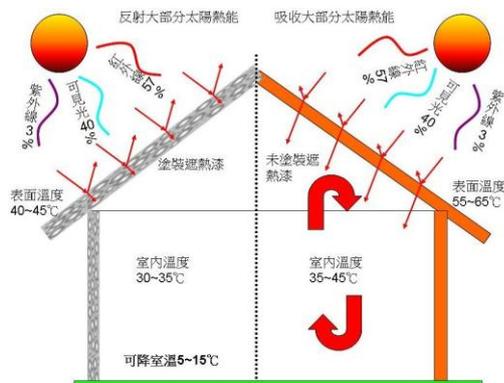
成份	原料
樹脂	耐候型 PU 樹脂
溶劑	EAC、CAC、MEK
添加劑	分散劑、搖變劑、平坦劑、消泡劑
顏料	黃色顏料、白色顏料(A-Type、

R-Type)、藍色顏料、反射顏料

(PURE LY-H101、BU-1)

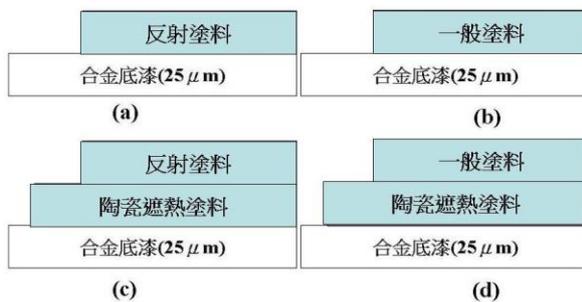
填充料

硫酸鋇、陶瓷中空球



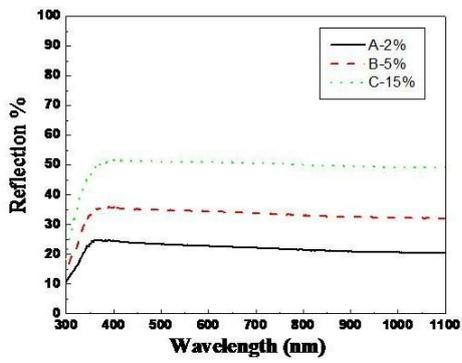
圖一：遮熱塗料與一般建築物吸收太陽熱後室內溫度比較

Figure 1: Indoor temperature of building absorbs solar heat with insulation coating and common coating.



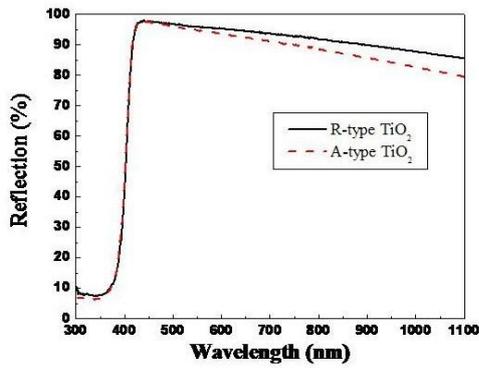
圖二：塗裝系統設計

Figure 2: Coating System.



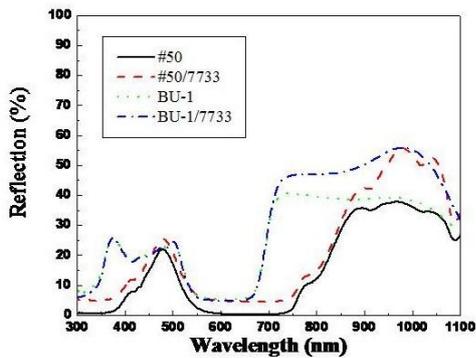
圖三：反射填料在配方中添加比例對反射率的影響

Figure 3: The effect of reflective filler ratio in formula to reflectivity rate.



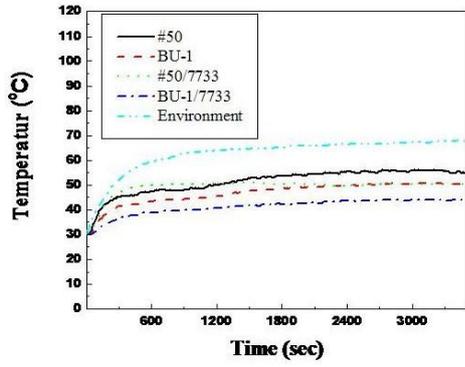
圖四：不同結構之 TiO₂ 與反射率的比較

Figure 4: Reflectivity of different structures of TiO₂.



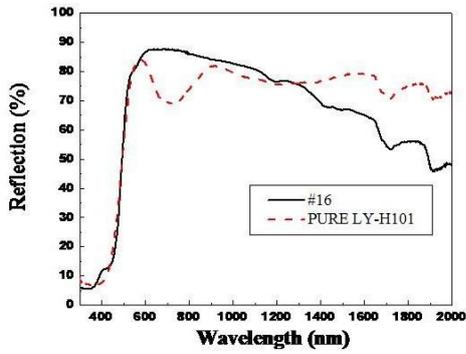
圖五：藍色反射塗料與一般塗料之反射率比較

Figure 5: Reflectivity of blue reflective coating and common coating.



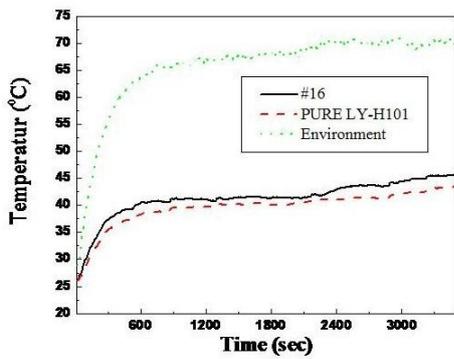
圖六：藍色反射塗料與一般塗料之溫度曲線

Figure 6: The temperature curve of blue reflective coating and common coating.



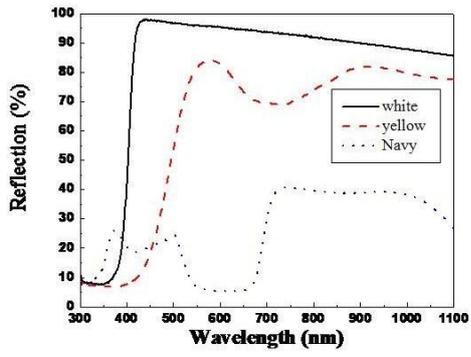
圖七：黃色反射塗料與一般塗料之反射率比較

Figure 7: Reflectivity of yellow reflective coating and common coating.



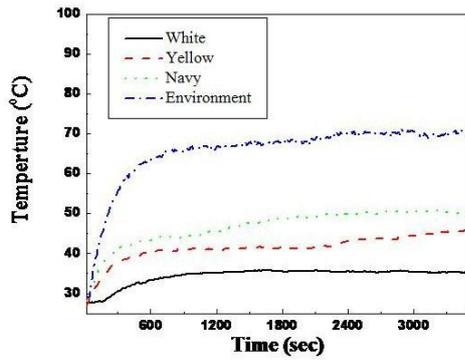
圖八：黃色反射塗料與一般塗料之溫度曲線

Figure 8: The temperature curve of yellow reflective coating and common coating.



圖九：色相之反射率

Figure 9: Reflectivity of different colors.



圖十：反射塗料色相之溫度曲線

Figure 10: The temperature curve of different colors.