

報廢日光燈中三基色日光燈之比例探討

李清華^{1*} 潘姿妤¹ 黃浩軒¹ 張映雯¹ 鄭名津² 陳渝叡³

¹大葉大學環境工程學系

51591 彰化縣大村鄉學府路 168 號

²中山科學研究院材料暨光電研究所 技正

³中山科學研究院材料暨光電研究所 研發替代役

32546 桃園縣龍潭鄉佳安村 6 鄰中正路佳安段 481 號

摘要

目前市面上常見家用日光燈中的螢光粉，包括有鹵磷酸鈣與三基色兩大類，本研究收集分析國內廢日光燈回收廠產生之螢光粉與三基色日光燈製造商產生之廢螢光粉，以了解此兩種螢光粉之組成差異，並藉由兩者稀土銻鉍元素含量多寡，來推估我國廢日光燈回收廠所處理廢日光燈管中，鹵磷酸鈣與三基色兩大類之比例分布。本研究進行之螢光粉成分分析項目包括：篩分、比重、水份、灰份、可燃份及銻、鉍及鋁金屬含量（方法：ICP，SEM-EDS，XRD）分析。本研究顯示，製造商「三基色螢光粉」篩分結果大都介於在 50mesh (0.297 mm)~100mesh (0.149 mm)，其重量百分比為 75.37%，另其水份、灰份、可燃份及比重依序為 0%、99.43%、0.57% 及 3.71，而三基色螢光粉銻、鉍及鋁之全含量依序為 16,428mg/kg、231,521mg/kg、8,034mg/kg。另國內廢日光燈回收廠產生之「回收混合螢光粉」篩分結果大都介於在 100mesh (0.149 mm) 以下，其重量百分比為 96.89%，此螢光粉之水份、灰份、可燃份及比重依序為 0.06%、99.86%、0.08% 及 2.78，而銻、鉍、鋁之全含量依序為 2,052mg/kg、30,500mg/kg、6,179mg/kg，由上可知，製造商三基色螢光粉之銻、鉍及鋁之全含量均高於廢日光燈回收廠螢光粉之銻、鉍及鋁全含量，且本研究據此推估國內回收廠平均回收處理每八支廢日光燈管中就有一支是三基色日光燈。

關鍵詞：日光燈，螢光粉，銻，鉍，成分比例，廢棄物，回收。

The Proportion of Waste Trichromatic Fluorescent Lamps in Waste Fluorescent Lamps

CHING-HWA LEE^{1*}, ZI-YU PAN¹, HAO-HSUAN HUANG¹, YING-WEN CHANG¹, MING-CHIN CHENG² and YU-JUEI CHEN³

¹Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University
No. 168, University Rd., Dacun, Changhua 51591, Taiwan, R.O.C.

²Senior engineer, Materials and Electro-Optics Research Division, Chung-Shan Institute of Science and Technology

³Research and development Substitute Services, Materials and Electro-Optics Research Division, Chung-Shan Institute of Science and Technology

No.481, Sec. Jia'an, Zhongzheng Rd., Longtan Dist., Taoyuan City 32546, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

Currently, the market for household fluorescent phosphors includes two categories: trichromatic fluorescent lamps and halogen calcium phosphate fluorescent lamps. In this study, waste fluorescent lamp phosphor produced at a domestic waste recycling plant and manufactured trichromatic fluorescent lamp powder were collected and comparatively screened to measure the specific gravity, moisture and ash content, and combustible components, and to conduct a content analysis (ICP, SEM-EDS, XRD) of the metal components Eu, Y, and Al. An analysis of the tricolor fluorescent powder revealed that most of the screening results ranged between 50_mesh (0.297 mm) and 100_mesh (0.149 mm). The content of Eu, Y, and Al was 16428, 231521 and 8034 mg/kg, respectively. In these samples, the weight percentage, moisture content, ash content, combustible components and specific gravity were 75.37%, 0%, 99.43%, 0.57% and 3.71 g/cm^3 , respectively. When the fluorescent lamp phosphor produced at the waste recycling plant was screened, the results ranged mostly below 100 mesh (0.149 mm). The analysis revealed that the content of Eu, Y, and Al was 2052, 30500 and 6179 mg/kg, respectively. In these samples, the weight percentage, moisture content, ash content, combustible components, and specific gravity were 96.89%, 0.06%, 99.86%, 0.08%, and 2.78 g/cm^3 , respectively. These results reveal that the manufactured tricolor fluorescent phosphor exhibited a higher Eu, Y, and Al content compared with that obtained from the recycled fluorescent lamp phosphor. The findings of this study indicate that the average domestic recycling plant can recycle one trichromatic fluorescent lamp for every eight fluorescent lamp tubes.

Key Words: Fluorescent lamp, Fluorescent powder, Eu, Y, Composition, Waste, Recycling.

一、前言

目前日光燈為全球家用照明光源之主要器具，傳統日光燈玻璃管內壁塗有螢光物質(以鹵磷酸鈣、磷酸氫鈣為主)，當日光燈起動器充電時，電極(陰極)通過電流預熱，則從電極有豐富的熱電子放出到管內，此熱電子被引導到相反側之電極(陽極)即開始放電，因放電而流動之電子會形成電子光束，其與管內之汞電子衝激，產生波長僅為 253.7nm 之紫外線，此紫外線會被塗佈於管壁上之螢光物質(鹵磷酸鈣、磷酸氫鈣)所吸收，進而被轉換成為肉眼可以看見之可視光(400~700nm)，如此燈管即具有照明作用[8]。20 世紀 50 年代以後的日光燈大都採用鹵磷酸鈣，俗稱鹵粉。鹵粉價格便宜，但發光效率低，熱穩定性差，光衰較大，光通維持率低，因此不適用於細管徑緊湊型日光燈中。故 1974 年，荷蘭飛利浦成功研製了能夠將發出人眼敏感的紅、藍、綠三色光的螢光粉此三種粉體一經過混色組合後，即可以獲得照明用的白色光，三基色螢光粉的發光效率高可達 80~100lm/W，色溫為 2500K-6500K，顯色指數在 85-90 左右[2]，三基色燈管是現代使用的普遍的節能燈管，使用壽命長，不但節能

且對人體傷害較小，發展前景較好日光燈的一項科技 [1,3,9]。

目前廢日光燈管已被我國環保署公告為「應回收廢棄物」，我國家戶所產生之廢日光燈管皆會被收集送至國內合格之廢日光燈回收處理業者，進行回收處理，國內合格之廢日光燈回收處理業者所採用之回收處理流程如圖 1[10]所示，由圖 1 可知，廢日光燈經國內合格回收處理廠處理後會產生廢螢光粉，由於國內處理廠並未將不同種類(亦及鹵磷酸鈣日光燈與三基色日光燈)分類分別處理，因此國內回收處理廠產生之廢螢光粉中將混合有鹵磷酸鈣螢光粉與三基色螢光粉。

常見之日光燈鹵磷酸鈣螢光粉成份如表 1[7]所示，另常見之三基色螢光粉之成份如表 2[3]所示。由表 1 與表 2 之比較可知，傳統鹵磷酸鈣螢光粉中並未含有稀土銻、鉍元素，而三基色螢光粉則含有稀土銻、鉍元素，故由原始「三基色螢光粉」中稀土銻鉍含量多寡，與國內回收處理廠產生之「回收混合螢光粉」中稀土銻鉍含量多寡，即將可推算出國內廢日光燈回收廠所處理之廢日光燈管中，鹵磷酸鈣日光燈與三

基色日光燈之比例。因此本研究收集分析國內廢日光燈回收廠產生之螢光粉與三基色日光燈製造商產生之廢螢光粉，以了解此兩種螢光粉中之鎘、鉍元素含量差異，並藉由兩者稀土鎘、鉍元素含量多寡，來推估我國廢日光燈回收廠所處理廢日光燈管中，傳統鹵磷酸鈣與三基色兩大類之比例分布。本研究分析此兩種螢光粉之顆粒大小、比重、水份、灰份、可燃份及鎘、鉍及鋁金屬全含量分析，本研究亦利用 SEM-EDS 與 XRD 來分析了解其組成。

二、實驗方法

(一) 樣品收集

本研究收集兩種不同來源之廢日光燈螢光粉，其分別為三基色螢光粉與回收混合螢光粉，以作為後續研究之樣品。

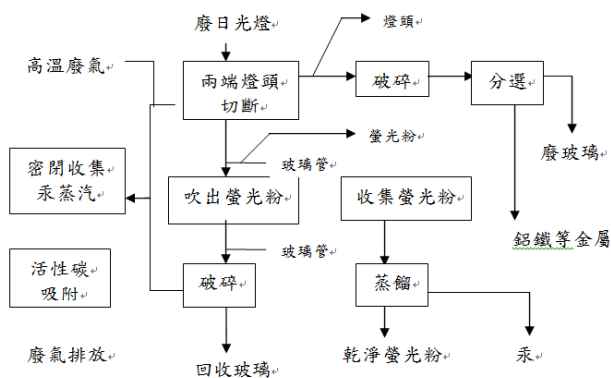


圖 1. 國內常見處理廢日光燈之流程[10]

表 1. 常見鹵磷酸鈣螢光粉成份[7]

NP No.	Composition	SG	Color	Characteristic
NP-10	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ FCL:Sb,Mn	3.14	Daylight 6500K CRI:74	IEC Color
NP-11	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ FCL:Sb,Mn	3.14	Daylight	Slightly different color from NP-10
NP-20	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ FCL:Sb,Mn	3.16	Cool White 4200K CRI:62	IEC Color

表 2. 常見三基色螢光粉成份[3]

顏色	成份
紅	Y ₂ O ₃ :Eu
綠	CeMgAl ₁₁ O ₁₉ :Tb
藍	BaMgAl ₁₀ O ₁₇ :Eu

(二) 成分分析

本研究針對廢日光燈螢光粉來進行篩分、比重以及水份、灰份、可燃份之分析，其檢測方法係參考環檢所公告之廢棄物含水份測定方法—間接測定法 (NIEA R203.02C) [5]及廢棄物中灰份、可燃分測定方法 (NIEA R205.01C) [6]。除了篩分、比重以及水份、灰份、可燃份外，本研究亦針對廢日光燈螢光粉來進行鎘、鉍、鋁之金屬含量分析，本研究所收集之廢日光燈螢光粉，以環檢所公告之土壤重金屬檢測方法—水水消化法 (NIEA S321.63B) [4]來進行消化，再以感應偶合電漿-原子放射光譜儀 (Inductively Coupled Plasma, Optima, 簡稱 ICP) 來進行廢日光燈螢光粉中鎘、鉍、鋁金屬之檢測，以作為後續規劃廢日光燈螢光粉中「有價鎘、鉍金屬」回收流程之依據。本研究亦透過多功能掃描式電子顯微鏡 (Multi-Function Scanning Electron Microscope, 簡稱 SEM) 進行樣品外觀之觀察，並利用能量分散光譜儀 (Energy Dispersive Spectrometer, 簡稱 EDS) 及 X 光繞射分析儀 (X-Ray Diffraction, 簡稱 XRD) 進行化學元素之成分分析。以下將上述各項分析方法介紹如下：

1. 篩分分析

為了瞭解三基色螢光粉與回收混合螢光粉的粒徑分布，本研究利用篩分之方式 (20 mesh、50 mesh 與 100mesh 等篩網)，來分析此廢日光燈螢光粉粒徑之分佈情形。

2. 比重分析

本研究對廢日光燈螢光粉進行比重分析測定，其測定步驟如下所示：

- (1) 首先使用天秤，精密秤量廢日光燈螢光粉樣品粉末之重量為 w 。
- (2) 然後取威爾比重瓶 (Weld pycnometer)，並將其洗淨後，置欲測之廢日光燈螢光粉末於瓶內，裝滿超純水，觀察瓶中有無小氣泡產生。若有小氣泡產生，則使用超音波震盪或加熱比重瓶使其逸出，然後置比重瓶於恆溫槽內，使其溫度到達 t °C 後，取出擦乾比重瓶，並用天秤精密秤其重量為 WB 。
- (3) 倒出比重瓶內之水及固體，洗淨比重瓶，再以超純水充滿之，同樣於恆溫槽內。待其溫度到達 t °C 後取出比重瓶擦乾並秤其重量為 WA 。
- (4) 查出 t °C 水之密度 t ，代入公式 (1) 即可得固體密度。
 ρ = 固體樣品密度。
 ρ_t = t °C 時水之密度。

W = 乾基固體樣品之重量。

WA = 溫度到達 t °C 後充滿超純水之比重瓶重量。

WB = 溫度達 t °C 時加入固體樣品及充滿超純水之比重瓶總重量。

$$\rho = \frac{W}{\frac{W_A - (W_A - W)}{\rho_1}} = \frac{W \cdot \rho_1}{W_A - (W_B - W)} \quad (1)$$

3. 三成份分析

本研究以環檢所所訂定之廢棄物含水分測定方法—間接測定法 (NIEA R203.02C) 來分析廢日光燈螢光粉樣品之含水率, 此檢測方式係將廢日光燈螢光粉樣品攪拌混合並秤取樣品 5 克, 置於烘箱中進行烘乾 (105°C) 2 小時, 經多次烘乾、秤重步驟後, 直至其秤重重量無明顯減少。以下為水份計算公式 (2):

$$\text{水份}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (2)$$

W₁: 置入烘箱前之樣品重

W₂: 經 105 °C 烘乾後之樣品重

根據上式可計算出廢日光燈螢光粉樣品之水份含量。

另外本實驗亦分析廢日光燈螢光粉之灰份含量, 灰份之分析係參考環檢所公告之廢棄物中灰份、可燃份測定方法 (NIEA R205.01C) 進行檢測, 本研究先將廢日光燈螢光粉置於烘箱 (105°C) 中進行烘乾 2 小時, 再置於 800°C 高溫灰化爐中灰化 3 小時, 冷卻後稱重求其殘餘重量, 即為樣品之灰份, 而百分比減去其水份與灰份即得可燃份。下列為灰份計算公式 (3)、可燃份計算公式 (4)。

$$\text{灰份}(\%) = \frac{W_1}{W_2} \times 100\% \quad (3)$$

W₁: 經 800 °C 高溫爐灰化後之樣品重

W₂: 置入烘箱前之樣品重。

$$\text{可燃份}(\%) = 100(\%) - \text{水份}(\%) - \text{灰份}(\%) \quad (4)$$

4. 全含量分析

由於目前國內各單位並未公佈鎘、鉍、鋁金屬之 ICP 標準消化方法, 因此本研究參考環檢所公告之土壤中重金屬

檢測—王水消化法 (NIEA S321.63B) 進行鎘、鉍、鋁金屬消化與全含量檢測, 其測定步驟如下所示:

- (1) 秤取適量已經處理之樣品約 3g (精秤至 1mg), 置於 250 ml 反應瓶中。先以 0.5 至 1 ml 水潤濕樣品。
- (2) 緩慢加入 21 ml 濃鹽酸, 再慢慢加入 7 ml 濃硝酸, 搖盪充分混合均勻。若樣品加酸會產生強烈氣泡, 則需小心逐滴加入。
- (3) 在室溫下靜置此裝置 16 小時, 可適時將反應瓶搖晃使充分反應之。
- (4) 緩慢加熱溶液至迴流溫度, 使溶液在沸騰狀態下維持約 2 小時。加熱程度保持迴流區域在冷凝管高度三分之一以下。
- (5) 冷卻樣品至室溫後, 以約 10 ml 的 0.5 M 稀硝酸沖洗冷凝管, 並收集於反應瓶中。
- (6) 將反應瓶中溶液倒入 100 ml 量瓶中, 以 0.5M 稀硝酸沖洗反應瓶, 並收集於此量瓶中, 再加水至標線, 加蓋並搖勻。
- (7) 待不溶物沉降後, 取上層液分析。若不溶物不易沉降, 需藉過濾、離心等方法移除, 以免在霧化時堵塞原子吸收光譜儀之噴霧裝置或其他分析儀器之樣品進入裝置。
- (8) 同時用蒸餾水作空白實驗。
- (9) 在進行消化反應後, 先以過濾方式將消化液中粒狀物去除, 然後再利用 ICP 分析金屬含量, 以了解廢日光燈螢光粉所含之鎘、鉍、鋁金屬含量。並透過下述公式 (5) 來計算鎘、鉍、鋁金屬全含量。

$$\text{金屬全含量} = \frac{\text{液體中之金屬重量}}{\text{原始樣品之總重量}} \times 100\% \quad (5)$$

三、結果與討論

本研究已收集兩種不同來源之廢日光燈螢光粉, 分別為三基色螢光粉與回收混合螢光粉。為要比較此兩種廢日光燈螢光粉中鎘、鉍、鋁含量之差異, 本研究乃針對此兩種不同廢日光燈螢光粉來進行基本性質分析, 其分析項目包括: 篩分、比重、水份、灰份、可燃份及鎘、鉍、鋁金屬之全含量分析, 亦將透過多功能掃描式電子顯微鏡分析 (SEM-EDS) 與 X 光單晶繞射儀 (XRD), 以了解廢日光燈螢光粉之基本性質, 以下將上述各項分析結果介紹如下:

(一) 篩分分析

本研究針對所收集之廢日光燈螢光粉利用不同篩網來進行篩分分析，本研究採用之篩網包括：20mesh (0.84 mm)、50mesh (0.297 mm) 以及 100mesh (0.149 mm)。本研究針對此三基色螢光粉所進行之篩分分析結果如圖 2 所示，由圖 2 中可得知，三基色螢光粉在大於 20mesh 以上之重量百分比為 0%，介於 20~50mesh 重量百分比為 8.23%，介於 50~100mesh 之重量百分比為 75.37%，而小於 100mesh 以下重量百分比為 16.4%。另回收混合螢光粉所進行之篩分分析結果如圖 3 所示，由圖 3 中可得知，回收混合螢光粉在大於 20mesh 以上之重量百分比為 2.79%，介於 20~50mesh 重量百分比為 0.22%，介於 50~100mesh 之重量百分比為 0.1%，而小於 100mesh 以下重量百分比為 96.89%。

綜合上述篩分分析之結果得知，三基色螢光粉篩分結果大都介於在 50mesh (0.297 mm) ~100mesh (0.149 mm)，其重量百分比為 75.37%，另回收混合螢光粉篩分結果大都介於在 100mesh (0.149 mm) 以下，其重量百分比為 96.89%。

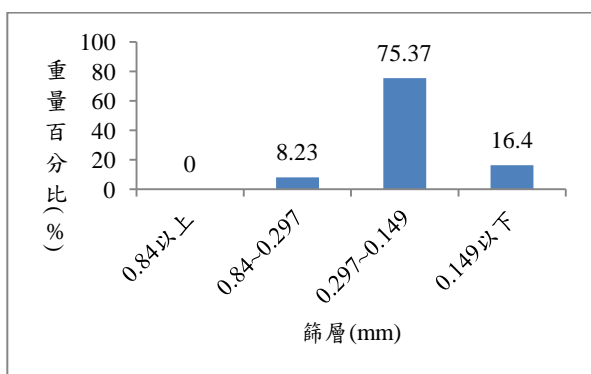


圖 2. 不同篩層之三基色螢光粉重量百分比

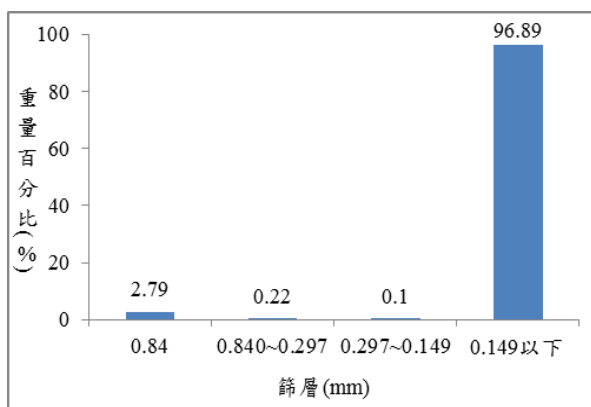


圖 3. 不同篩層之回收混合螢光粉重量百分比

表 3. 三基色螢光粉與回收混合螢光粉之比重分析

測試編號	三基色螢光粉(比重)	回收混合螢光粉(比重)
1	3.85	2.94
2	3.85	2.65
3	3.45	2.76
平均	3.71	2.78

表 4. 三基色螢光粉與回收混合螢光粉之三成份分析

測試編號	三基色螢光粉			回收混合螢光粉		
	水份 (%)	灰份 (%)	可燃份 (%)	水份 (%)	灰份 (%)	可燃份 (%)
1	0	99.44	0.56	0.08	99.88	0.04
2	0	99.38	0.62	0.04	99.88	0.08
3	0	99.46	0.54	0.06	99.82	0.12
平均	0	99.43	0.57	0.06	99.86	0.08

(二) 比重分析

本研究於比重分析實驗時，首先分別稱取三基色螢光粉及回收混合螢光粉各 1g，各樣品根據比重測定方法與公式 (1)，各進行三次測試，來針對廢日光燈螢光粉進行比重測量，三基色螢光粉與回收混合螢光粉經本研究分析後之比重測量結果如表 3 所示，由表 3 可知三基色螢光粉比重平均為 3.71，另回收混合螢光粉比重平均為 2.78，由此可知，三基色螢光粉之比重大於回收混合螢光粉。

(三) 三成份分析

三基色螢光粉與回收混合螢光粉經本研究分析後之三成份分析結果如表 4 所示，由表 4 可知三基色螢光粉之水份、灰份、可燃份依序為 0%、99.43% 及 0.57%，由此可知三基色螢光粉中之水分與可燃分甚低，主要為無機物。另回收混合螢光粉之水份、灰份、可燃份依序為 0.06%、99.86% 及 0.08%，由此可知回收混合螢光粉中之水份與可燃份亦甚低，其主要成分亦為無機物。

綜合上述之三成份分析實驗結果可知，本研究所使用之廢日光燈螢光粉中大都為無機物質。

(四) 鎘、鉍、鋁金屬全含量分析

本研究鎘、鉍、鋁金屬全含量檢測結果其結果如表 5 所示，分別為 16,428mg/kg、231,521mg/kg、8,034mg/kg。另回收混合螢光粉中有價鎘、鉍、鋁之全含量分別為 2,052mg/kg、30,500mg/kg、6,179mg/kg。

綜合上述可知，三基色螢光粉之鎘、鉍、鋁全含量均高於回收混合螢光粉之鎘、鉍、鋁全含量。

(五) SEM-EDS 與 XRD 分析結果

本研究為瞭解所收集三基色螢光粉與回收混合螢光粉之顆粒形狀與大小，乃利用多功能掃描式電子顯微鏡 (Multi-Function Scanning Electron Microscope, SEM)，以進行此兩種廢日光燈螢光粉物體表面之影像觀察，並利用能量分散光譜儀 (Energy Dispersive Spectrometer, EDS) 分析此兩種廢日光燈螢光粉之大概化學組成。圖 4 為三基色螢光粉之 SEM-EDS 分析結果，由圖 4 可知，三基色螢光粉中之銻、鉕，其含量分別為 2.49%、20.71%，由上可知廢日光燈螢光粉主要含有鉕元素，而銻含量則較少，且 SEM-EDS 之銻、鉕分析結果與本研究之銻、鉕全含量分析結果(如表 5 所示)差異不大。另圖 5 為回收混合螢光粉之 SEM-EDS 分析結果，由圖 5 可知，回收混合螢光粉中銻、鉕則皆未檢測到，可能是因為此螢光粉中之銻、鉕含量較低。

本研究亦利用 XRD 針對廢日光燈螢光粉三基色螢光粉與回收混合螢光粉進行組成構造分析，三基色螢光粉之 XRD 分析結果如圖 6 所示，由圖 6 可知，三基色螢光粉中含銻、鉕之主要結晶構造為 Y_2O_3 。另回收混合螢光粉之 XRD 分析結果如圖 7 所示，由圖 7 可知，回收混合螢光粉中含銻、鉕之主要結晶構造為 $Ca_8Eu_2(PO_4)_6O_2 \cdot (Y_{0.95}Eu_{0.05})_2O_3 \cdot Y_2O_3$ 。綜合上述可知，三基色螢光粉與回收混合螢光粉中皆含有 Y_2O_3 。

表 5. 三基色螢光粉與回收混合螢光粉銻、鉕、鋁金屬全含量

測試編號	三基色螢光粉			回收混合螢光粉		
	Eu (mg/kg)	Y (mg/kg)	Al (mg/kg)	Eu (mg/kg)	Y (mg/kg)	Al (mg/kg)
1	16,680	229,033	7,333	1,893	28,933	6,030
2	16,763	240,566	8,803	2,116	31,466	6,246
3	15,843	224,966	7,966	2,146	31,100	6,260
平均	16,428	231,521	8,034	2,052	30,500	6,179

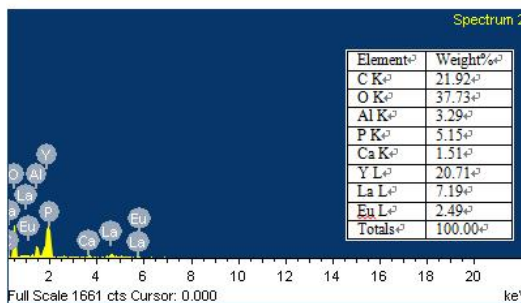
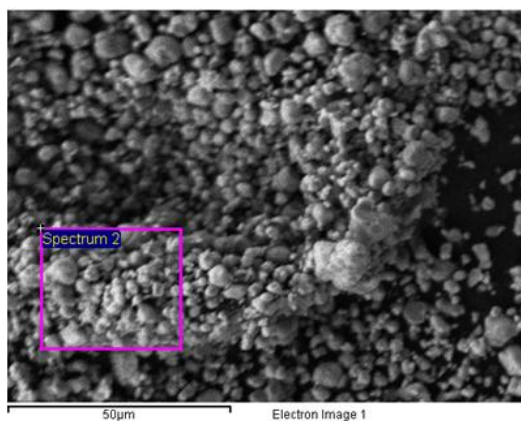


圖 4. 三基色螢光粉之 SEM-EDS 分析結果

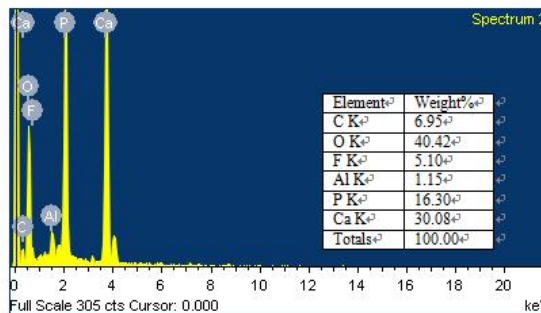
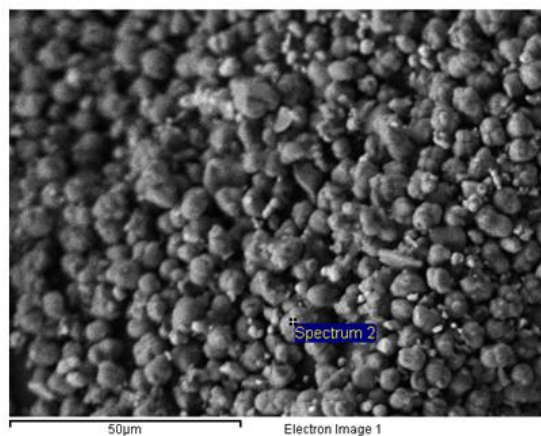


圖 5. 回收混合螢光粉之 SEM-EDS 分析結果

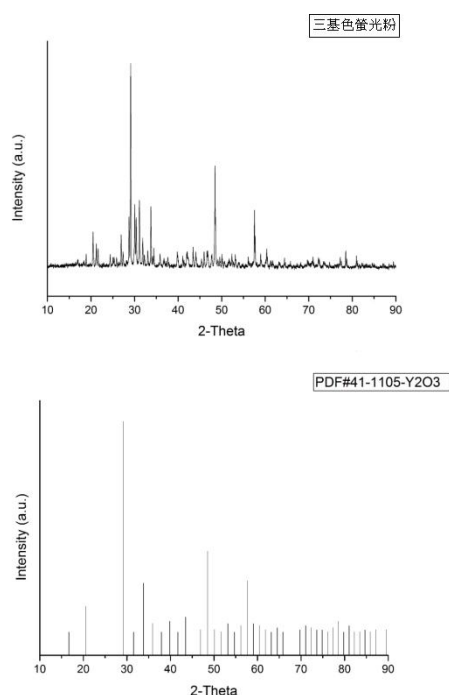


圖 6. 三基色螢光粉之 XRD 分析結果

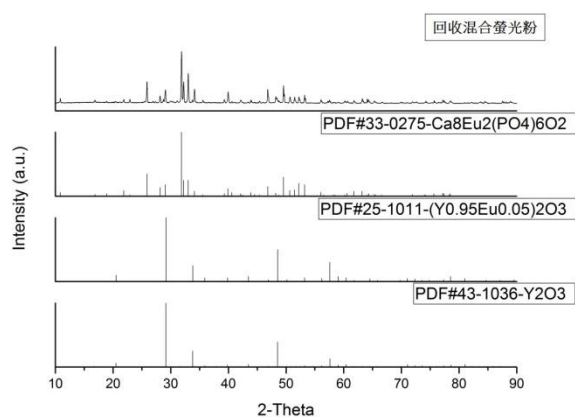


圖 7. 回收混合螢光粉之 XRD 分析結果

(六) 國內處理廠處理三基色日光燈之比例探討

本研究係收集分析三基色螢光粉與回收混合螢光粉中之銻、鉍含量差異，並藉由此兩種螢光粉中稀土銻、鉍元素含量多寡，來探討推估我國廢日光燈回收廠所處理廢日光燈管中三基色所佔之比例。根據表 5 得知，三基色螢光粉中之銻含量為 16,428mg/kg，而回收混合螢光粉中之銻含量為 2,052 mg/kg，由上可知三基色螢光粉中之銻含量約為回收混合螢光粉中銻含量之八倍，另三基色螢光粉中之鉍含量 231,521 mg/kg，而回收混合螢光粉中之鉍含量 30,500 mg/kg，由上可知三基色螢光粉中之鉍含量約為回收混合螢光粉中

鉍含量之八倍，由於三基色螢光粉中之銻、鉍含量皆約為回收混合螢光粉中銻、鉍含量之八倍。故綜合上述得知，國內廢日光燈管回收處理廠平均回收處理每八支廢日光燈管中約有一支是三基色日光燈。

四、結論

本研究分別針對不同來源之廢日光燈螢光粉進行成分分析比較，並藉由此兩種螢光粉中稀土銻、鉍元素含量多寡，來探討推估我國廢日光燈回收廠所處理廢日光燈管中三基色所佔之比例。本研究進行之成分分析比較項目包括：篩分、比重、三成份及銻、鉍、鋁金屬全含量分析，SEM-EDS、XRD，各項分析重點成果如下：

- (一) 本研究篩分分析實驗結果顯示，三基色螢光粉篩分結果大都介於在 50mesh (0.297 mm) ~100mesh (0.149 mm)，其重量百分比為 75.37%；另回收混合螢光粉篩分結果大都介於在 100mesh (0.149 mm) 以下，其重量百分比為 96.89%。
- (二) 由本研究比重分析結果可知，本研究使用之三基色螢光粉比重為 3.71；另回收混合螢光粉比重為 2.78。
- (三) 本研究三成份分析實驗結果顯示，三基色螢光粉之水份、灰份、可燃份依序為 0%、99.43%及 0.57%；另回收混合螢光粉之水份、灰份、可燃份依序為 0.06%、99.86%及 0.08%，由三成份分析實驗結果可知，本研究使用之廢日光燈螢光粉中大都為無機物質。
- (四) 由 SEM-EDS 分析結果得知，三基色螢光粉中之銻、鉍，其含量分別為 2.49%、20.71%，而回收混合螢光粉之 SEM-EDS 分析結果銻、鉍則皆未檢測到。
- (五) 由 XRD 分析結果得知，三基色螢光粉與回收混合螢光粉中皆有二氧化鉍 (Y_2O_3) 結晶構造。
- (六) 由本研究金屬全含量分析結果得知，此三基色螢光粉中銻、鉍、鋁金屬全含量分別依序為 16,428mg/kg、231,521mg/kg、8,034mg/kg；回收混合螢光粉銻、鉍、鋁之全含量分別為 2,052mg/kg、30,500mg/kg、6,179 mg/kg。
- (七) 綜合螢光粉中銻、鉍含量分析結果可得知，三基色螢光粉之銻、鉍全含量皆約為回收混合螢光粉之 8 倍，故可推估得知，國內廢日光燈管回收處理廠平均回收處理每八支廢日光燈管中約有一支是三基色日光燈。

誌謝

本研究經費是由國防部軍備局中山科學研究院所提供
(計畫編號:CSIST-706-V105)。

參考文獻

1. 互動百科，三基色燈管，103年9月15日，取自 <http://www.baike.com/wiki/%E4%B8%89%E5%9F%BA%E8%89%B2%E7%81%AF%E7%AE%A1>。
2. 互動百科，螢光燈，103年9月15日，取自 <http://www.baike.com/wiki/%E8%8D%A7%E5%85%89%E7%81%AF>。
3. 百度百科，螢光粉，103年9月15日，取自 <http://baike.baidu.com/view/59582.htm?fromTaglist>。
4. 行政院環保署，土壤中重金屬檢測方法－王水消化法，103年9月20日，取自 <http://www.niea.gov.tw/niea/SOIL/S32163B.htm>。
5. 行政院環保署，事業廢棄物水分測定方法－間接測定法，103年9月20日，取自 <http://www.niea.gov.tw/niea/REFUSE/R20302C.htm>。
6. 行政院環保署，廢棄物中灰分、可燃分測定方法，103年9月20日，取自 <http://www.niea.gov.tw/niea/REFUSE/R20501C.htm>。
7. 李清華等（民90），廢日光燈資源再生處理技術評析，工業污染防治季刊，78，41-56。
8. 李碩重（民83），照明設計學，全華科技圖書股份有限公司，台北。
9. 齊伍凱（民99），廢棄螢光燈的無害化綜合回收處理，華南師範大學碩士論文。
10. 資源回收電子報 R-Paper（98年5月號），廢照明光源回收處理及再生利用，103年9月15日，取自 <http://recycle.epa.gov.tw/epa/rpaper/9805/epaper98050104.html>。

收件：103.10.09 修正：104.01.12 接受：104.02.06