

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會  
作品說明書

---

國小組 物理科

佳作

080113

教室的光熱不熱--以相機測量照明光源色溫

學校名稱：桃園市大園區溪海國民小學

作者：	指導老師：
小五 陳宥慈	呂龍興
小五 郭銳喆	徐志宇
小五 張凱恩	
小五 蕭韻玄	
小五 李佳韻	
小五 李芊嬋	

關鍵詞：色溫、三原色、頻閃

## 摘要

利用相機及軟體「小畫家」測量各種色溫光源的 RGB 比例，對照標準色溫圖案，得到色溫與像素 RGB 值比例的關係，比對出教室光源的色溫，並找出不同色溫光源混合時色溫的變化，可以幫助沒有色溫表的學校調配出接近 4000K 色溫的照明光；同樣也能利用相機測量光源照度，加上使用有 960fps 錄影功能的智慧型手機還能測量光源的頻閃（頻率及亮度變化），以容易取得的器材測試光源是否合乎好的照明光源的條件。

## 壹、研究動機

最近教室的燈管有一半換成了黃光燈管，老師說是為了保護視力，因為國內專家建議光源色溫為 4000K 以下，以減少潛在藍光傷害的風險，若照明光源不需要過多偏黃的暖白光，可穿插色溫較高的冷白光來調節。但我們沒有測量色溫的工具，所以請老師指導我們如何用手邊容易取得的相機來測量色溫，實驗時發現相機拍攝光源時觀景窗會出現光源頻閃造成的條紋，進一步嘗試利用相機來測量各項好的照明光源的各項條件－亮度、頻閃。

翰林版五年級自然課本中也有提到星星的顏色差異主要是因為星球表面的溫度不同，天狼星、織女星的表面溫度約攝氏一萬度，呈青白色；天蠍座的心宿二星表面溫度約攝氏三千多度，呈紅色；太陽的表面溫度約攝氏五千多度，呈黃色。所以熱輻射光源應該可以由色溫來判斷溫度，也能由溫度來判斷光源的色溫。

## 貳、研究目的

一、測試手邊的相機能不能準確測量三原色光

（一）用相機拍攝螢幕圖檔找出最適合的白平衡模式。（∵白平衡會影響相機拍攝照片的顏色）

（二）檢查相機在不同曝光度時會否會產生誤差。

二、測試各教室照明的 RGB 比例對照色度準確的色溫圖表求色溫。

三、找出混合不同色溫光源時，光源比例與混合光源色溫的關係。

測量用已知色溫光源不同比例混合的光源色溫，找出光源與混合光源色溫的關係。

四、找出使用相機測量照度的方法。

比對照度計讀數與相機的拍攝參數，找出二者的相關性以測量照度。

五、測試燈泡幾款市售省電燈泡及 LED 燈泡是否有頻閃。

利用慢動作錄影拍攝光源，檢查光源是否有頻閃。

## 參、研究設備及器材

### 一、器材準備與製作：

- (一) 器材準備：相機、手機、照度計、可調光檯燈、測試光源（燈泡）、光罩（LED 燈罩）、電腦、符合 sRGB 的顯示器、三腳架。
- (二) 製作光源測試箱：以白色塑浪板製作，中間安裝一片塑浪板，避免光源直接照射相機或照度計，活動背板安裝燈座方便更換燈泡，前面開一圓孔以便相機拍攝。
- (三) 準備測試圖檔：以小畫家製作 R=200、G=200、B=200 圖片。

## 肆、研究過程及方法

### 一、文獻探討

#### (一) 色溫

1. **色溫**：一位英國物理學家制定了一整套色溫計算法，以絕對溫度「凱氏溫度 K」表示，在 0 K (-273°C) 的黑色物體（指不會反射入射光的黑色材料），在加熱過程中會發出光線，隨者溫度不同，光線顏色會改變，加熱至 2000K 時，散發紅色光，3000K 時由紅橙轉黃，到 5000K 時為白色，一直到 8000K 時為藍色，溫度越高光線中藍光成分就越多；溫度越低光線中紅光成分越多。（LED 知識庫，<http://steinled.blogspot.tw/2011/06/cct.html>）



圖 4-1-1 常見光源的色溫

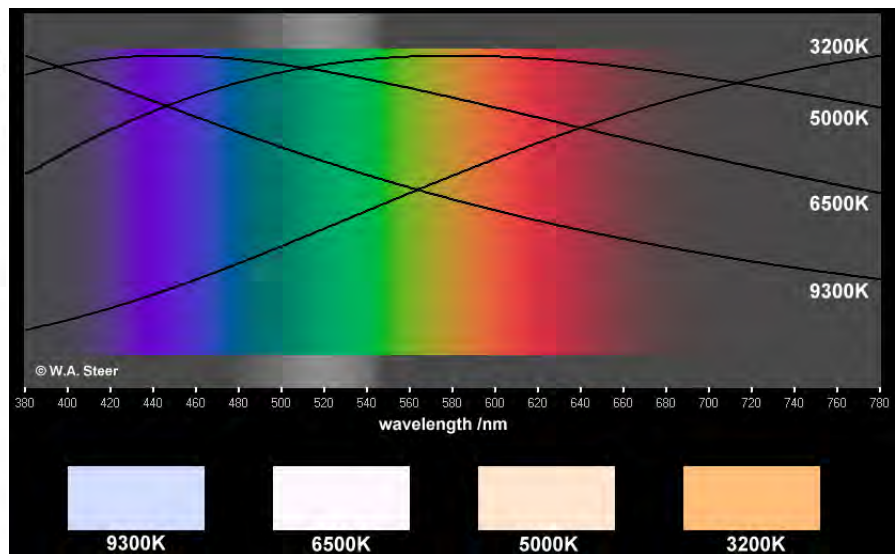


圖 4-1-2 黑體輻射曲線

圖 4-1-2 說明在 3200K，5000K，6500K 和 9300K 的「黑體」上可見光譜各波長的能量相對量。如果您的計算機和顯示器符合 sRGB 規範，那麼樣

品顏色應該是比色準確的。(Colour-Temperature; blackbody radiation visualisation, <http://www.techmind.org/colour/coltemp.html>)



圖 4-1-3 色度準確的色溫圖表

在非正式場合，「色溫」也可以代表「白平衡」。色溫只涉及一個變量（以熱力學溫標 K 做單位），而白平衡同時牽涉到兩個（紅色值、藍色值）。（維基百科，色溫，<https://zh.wikipedia.org/wiki/色溫/>）

2. 國內專家：「白光 LED 光源色溫的建議為 4000K 以下，以減少潛在藍光傷害的風險，若照明光源不需要過多偏黃的暖白光，可穿插色溫較高的冷白光來調節。」（「探討 3C 產品影響視力健康之因子與管理建議計畫」）

心得：1. 色溫越高，藍色光成分越多，專家會建議以使用低色溫的照明光源，如果能找出白光燈與黃光燈以不同比例穿插時的色溫，就能以常見的白黃光燈源調配出 4000K 左右的光源。

2. 燈泡燈管上就有標示「色溫」。可以將不同色溫燈泡的 R、G、B 的比例和「色度準確的色溫圖表」相互比較。

3. 色溫是一個變量，但我們測量光時卻有三個變量（R、G、B），白平衡同時牽涉到兩個變量，取會傷害視力的藍光值比例（ $B/(R+G+B)$ ）當作和色溫對應的變量（色溫高時，藍光的比例也越高）。

4. 用符合 sRGB 規範的顯示器開啟色度準確的色溫圖表，就能得到標準的各色溫光源。

（二）白平衡：數位相機對於環境色溫的偵測（白平衡），大多無法盡如人意，因此，需要透過相機手動設定或事後調校白平衡，來得到正確或適切的色溫。（我是賀禎禎-攝影教學、自助旅行、數位生活：<https://hojenjen.com/教攝影25-什麼是相機白平衡-帶你認識色溫與白平衡/>）

心得：相機如果沒有設定適合的白平衡模式，拍攝的相片顏色就會有誤差，為了使實驗更具參考性，相機必須手動設定在某個固定的白平衡設定，所以要先找出合適的白平衡模式。

（三）三原色：原色是指不能透過其他顏色的混合調配而得出的「基本色」。以不同比例將原色混合，可以產生出其他的新顏色。由於人類肉眼有三種不同顏

色的感光體，因此所見的色彩空間通常可以由三種基本色所表達，這三種顏色被稱為「三原色」。肉眼的椎狀細胞所能感受的光的頻寬很大，紅、綠、藍也能夠獨立刺激這三種顏色的受光體，因此這三色被視為原色。（維基百科，原色，[https://zh.wikipedia.org/wiki/原色#cite\\_note-1](https://zh.wikipedia.org/wiki/原色#cite_note-1)）

心得：紅、綠、藍（R、G、B）是照相機和電腦螢幕的三原色，電腦螢幕能以不同比例的原色混合，可以產生出其他新顏色，照相機也能藉由記錄三原色亮度，將顏色記錄下來，透過相機取得光源的三原色比例就能分辨顏色。

#### （四）藍光

##### 1. 藍光是能量最強的可見光

藍光則是能量較強的可見光，包括藍、靛、紫光，它穿透角膜與水晶體直射入黃斑部，造成黃斑部感光細胞的損傷。

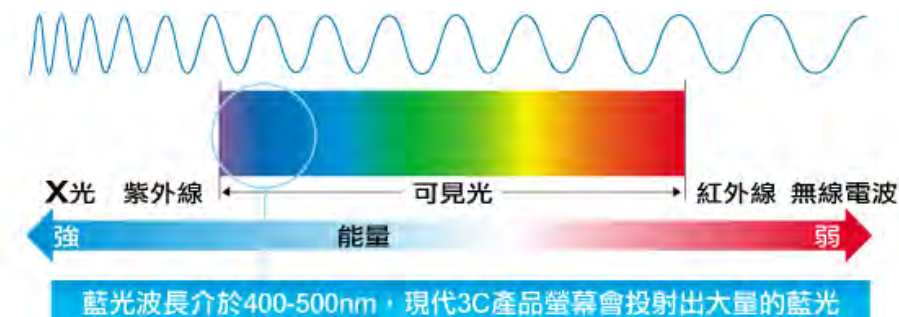


圖 4-1-4 可見光譜與藍光

##### 2. 藍光波長多少？對人體有何傷害？

藍光波長比紫外線波長再長一點、人體眼睛可以看到的可見光中，「藍、靛、紫」（450nm~400nm）的光對眼睛穿透率高，特別是 400nm~420nm 這段光線，稱作「高能量光線」（HEV），會傷害視網膜細胞和水晶體，進而增加視網膜中央區域黃斑部病變的機率。

##### 3. 藍光讓眼睛聚焦不易

另一個藍光傷眼的原因是，藍光波長較短，容易造成散射，眼睛必須更用力聚焦。長時間下來，睫狀肌緊繃、無法放鬆，眼睛容易疲勞、痠疼，可能造成假性近視。「同時看 6 小時的 3C 產品和書本，看 3C 產品眼睛瞳孔縮更小，眼睛更疲勞」（小林眼鏡網站、康健雜誌 176 期）

##### 4. 暴露藍光下，生理時鐘大亂

生理時鐘調節機制中，藍光扮演重要角色。暴露在藍光下時，大腦會認為天亮了，褪黑激素下降，腎上腺素提高，身體感覺飢餓，人會想打起精神，趕

快吃早餐。傍晚天色黃昏，藍光消失，眼睛告訴大腦，褪黑激素可以分泌了，於是人會想睡覺，而且不再想吃東西了。

藍光調節生理時鐘的節律，被藍光氾濫的產品搞得大亂。如果睡前看平板電腦，睡眠品質就會變糟甚至失眠。檯燈、電腦都會釋放藍光，把生理時鐘打亂，就算早點躺下，也睡不著。生理時鐘混亂造成肥胖問題，因為在不該飢餓的時候飢餓，只好狂吃宵夜。（親子天下：<https://m.parenting.com.tw/article/5075435>-黃璫寧：藍光，隱形的健康殺手/）

心得：藍光除了會傷害視力（視網膜傷害、眼睛疲勞、近視），也會影響我們的生理時鐘，所以降低照明光色溫來降低藍光能保護眼睛。

#### （五）頻閃

1. 一般定義：光源頻閃是光源發出的光隨時間呈快速、重複的變化，使得光源跳動和不穩定。

2. 頻閃危害：

- (1)光敏性癲癇或閃爍光誘導的癲癇
- (2)頻閃造成的視覺暫留效應
- (3)頭痛、偏頭痛、噁心、視覺紊亂等生理問題
- (4)用眼疲勞、視力下降

（【照明百科】頻閃(Flicker)：<http://www.asensetek.com/zh/knowledge-flicker/>）

心得：頻閃對健康的危害不比藍光小，而且不易察覺，能測量照明光的頻閃才能預防傷害。

#### 二、準備工作：

- （一）相機設定：以實驗一找到的最佳設定，白平衡設定為「進階設定」「A1，G0」，感光度設為 100，焦距調到最長，光圈設為 F10，安裝在三腳架上時，鏡頭垂直向上加裝光罩。
- （二）電腦螢幕設定：設定為 sRGB 模式，使螢幕能以各標準色溫的 RGB 值發出標準色溫光源。（參考文獻討探-色溫）
- （三）以小畫家製作灰白色（R=200、G=200、B=200）圖片，作為找尋最佳白平衡模式的標準。
- （四）以小畫家開啟「色度準確的色溫圖表」，以「色彩選擇器」點選每 500K 刻度邊緣的像素，再以「編輯色彩」功能讀取像素的 RGB 值，作為判別色溫的標準。



圖 4-2-1 以水平儀校準鏡頭垂直

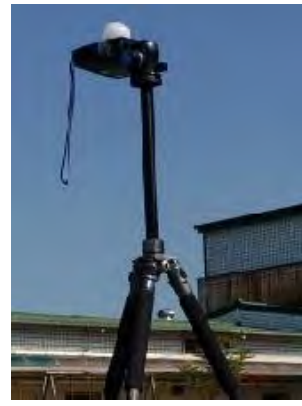


圖 4-2-2 加裝光罩拍攝影像



圖 4-2-3 以小畫家製作灰白色圖片

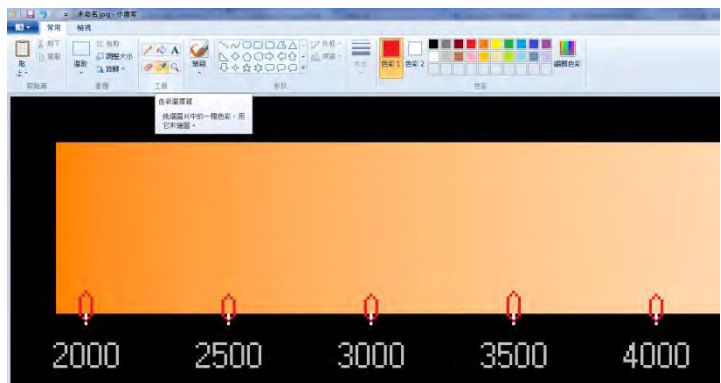


圖 4-2-4 以「色彩選擇器」點選每 500K 刻度邊緣的像素

表 4-2-1 以色度準確的色溫圖表抓取像素的 RGB 值

色溫	R	G	B	色溫	R	G	B	色溫	R	G	B
2000K	255	140	15	6000K	255	243	241	10000K	206	218	255
2500K	255	165	72	6500K	255	249	254	10500K	202	216	255
3000K	255	185	109	7000K	244	243	255	11000K	199	213	255
3500K	255	200	140	7500K	236	237	255	11500K	196	211	255
4000K	255	212	166	8000K	228	232	255	12000K	193	210	255
4500K	255	222	189	8500K	221	228	255	12500K	191	208	255
5000K	255	231	209	9000K	215	224	255	13000K	189	207	255
5500K	255	238	226	9500K	210	221	255	infinity	148	177	255

### 三、實驗一：測試手邊的相機能不能準確測量三原色光

(一) 用相機拍攝螢幕圖檔找出最適合的白平衡模式。

1. 設定各種白平衡模式，相機鏡頭緊貼電腦螢幕拍攝 R=200、G=200、B=200 圖片，拍攝時關閉所有照明光源，避免其他光源影響實驗結果，用小畫家將相片縮小成 1 像素，取得像素 RGB 值，比較各種白平衡拍得像素的 RGB 比例，找到最接近 1:1:1 的白平衡模式。



圖 4-3-1 白平衡的進階設定

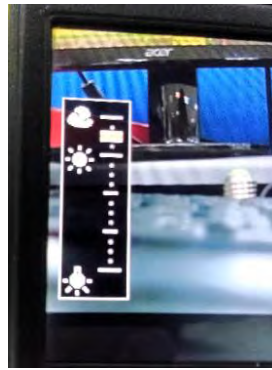


圖 4-3-2 進階設定內容



圖 4-3-3 白平衡補償設定

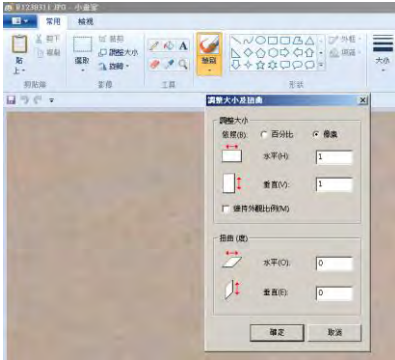


圖 4-3-4 將拍攝的照片縮成一個像素



圖 4-3-5 以色彩選擇器點選像素



圖 4-3-6 以編輯色彩功能讀取 RGB 值

2.前步驟找到的最佳白平衡模式，再使用白平衡的微調功能，重覆拍攝「R=200、G=200、B=200 圖片」，找出最佳的微調設定。

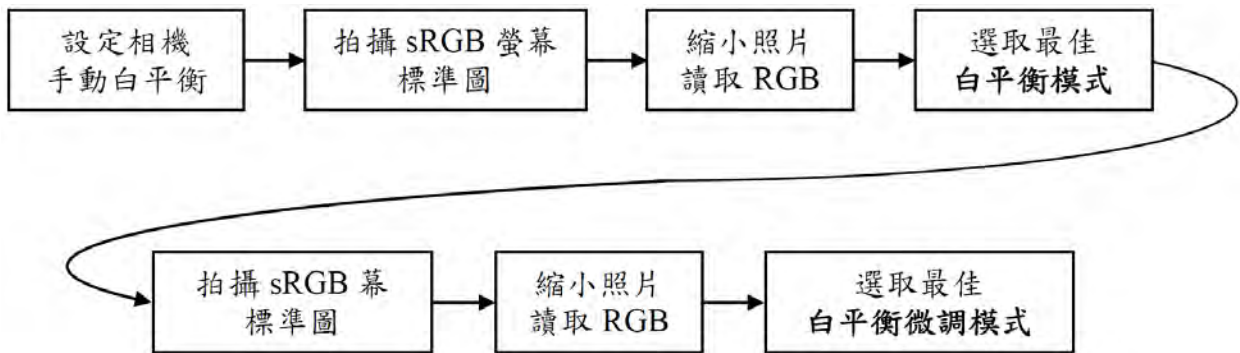


圖 4-3-7 相機白平衡校正流程

(二) 檢查相機在不同曝光度時會否會產生誤差。

以前步驟找到的最佳白平衡及最佳設定，以光圈 F/10，快門時間 2 秒、1 秒、1/1.3 秒、1/1.6 秒、1/2 秒、1/3 秒、1/4 秒、1/5 秒、1/6 秒、1/8 秒、1/10 秒、1/13 秒、1/16 秒、1/20 秒、1/25 秒、1/30 秒，拍攝「R=200、G=200、B=200 圖片」檢視不同曝光度所得像素的 RGB 值比例是否接近 1:1:1。



圖 4-3-8 檢查相機誤差流程



#### 四、實驗二、測試各教室照明色溫。

相機安裝在三腳架上，以水平儀將鏡頭調整為垂直向上，在測試色溫場域中央位置拍攝 10 張照片，取 RGB 值平均作為實驗數據，比對  $B / (R+G+B)$  找出色溫值。



圖 4-4-1 在各場域（自然教室、會議室、活動中心）測試色溫

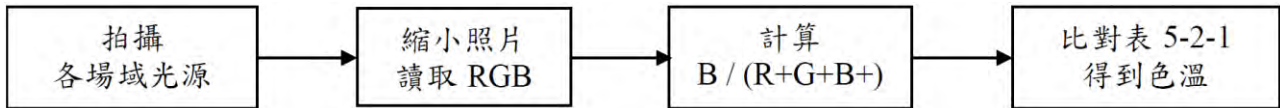


圖 4-4-2 測試各場域色溫流程

#### 五、實驗三：找出混合不同色溫光源時，光源與混合光源色溫的關係。

測試市售照明光源及混合不同色溫光源的 RGB 值對照色度準確的色溫圖表比例得到色溫值。

測試標示為 6500K、3000K 色溫 LED 燈泡（同品牌、同為 1055lm）及兩種燈泡以不同比例混合的 RGB 值。將待測光源安裝在燈座板上，固定在光源測試箱內側，開啟電源後等待一分鐘使燈泡達到工作溫度，透過光源測試箱另一側圓孔以照度計測量照度，以相機加光罩拍攝相片，以軟體「小畫家」開啟相片，使用「調整大小」功能將相片縮小為 1 個像素，以「色彩選擇器」及「編輯色彩」功能讀取像素的 RGB 值，再對照色度準確的色溫圖表比例得到色溫值，分析光源照度及 RGB 值，找出光源混合的色溫關係。



圖 4-5-1 光源測試箱燈座板



圖 4-5-2 光源測試箱內部



圖 4-5-3 燈泡安裝在燈座板



圖 4-5-4 透過圓孔拍攝測試箱內光源

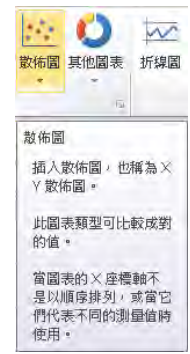


圖 4-5-5 散佈圖

#### 六、實驗四：找出使用相機測量照度的方法。

比對照度計讀數與相機的拍攝參數，找出二者的相關性以測量照度。

將可調光檯燈放在光源測試箱後，利用檯燈亮度調整功能，使光源測試箱前的圓孔能以照度計測得 150 ~1300 lux，間距 50 lux，共 24 種照度，鏡頭安裝光罩，每種照度分別以 1/5 秒、1/10 秒、1/20 秒、1/30 秒、1/40 秒、1/50 秒、1/60 秒、1/80 秒、1/100 秒、1/160 秒、1/200 秒拍攝，照片以小畫家縮為 1 個像素後，讀取 RGB 值並計算「RGB 平均值」，照度乘以快門時間作為相機的「進光量」，以「進光量」與「RGB 平均值」繪出「散佈圖」加上趨勢線作為判斷照度的依據。



圖 4-6-1 測量照度流程圖

#### 七、實驗五：測試燈泡幾款市售省電燈泡及 LED 燈泡是否有頻閃。

在全黑環境時，使用有 960fps (Frame per Second) 功能的智慧型手機拍攝 (錄影) 受測光源，再以「Free Video to JPG Converter」軟體將影片分拆成照片，以「小畫家」擷取照片中光源部位 40 x 40 像素部分 (同一光源每張取相同位置) 縮小為 1 像素，讀取 RGB 值合計作為比較亮度的依據，取第一次相對亮點 (或暗點) 至第六次相對亮點 (或暗點) 相隔的照片間隔數除以五 (閃爍五次) 乘以 1/960，即得到閃爍一次的時間，再換轉成頻率 (Hz)。

以最大最小 RGB 平均值在實驗五得到的「散佈圖」比對出「進光量」，作為光源明暗變化比例的計算值。



圖 4-7-1 測量頻閃流程圖



圖 4-7-2 由影片拆開的光源照片

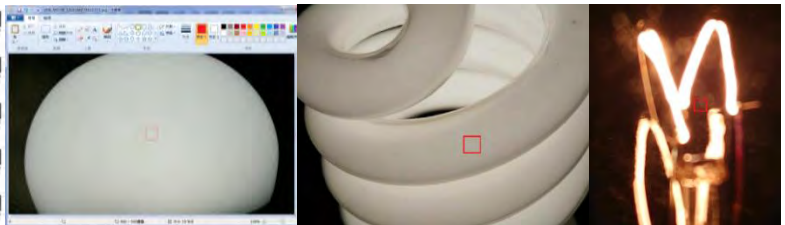


圖 4-7-3 取光源 40 x 40 像素 RGB 值

## 伍、研究結果

### 一、實驗一：測試手邊的相機能不能準確測量三原色光

(一) 用相機拍攝螢幕圖檔找出最適合的白平衡模式。

表 5-1-1 各種白平衡模式拍攝「R=200、G=200、B=200 圖片」所得的 RGB 值

白平衡模式	白熾燈	室外	陰天	螢光燈	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	CT9
R	149	205	221	216	216	212	208	205	202	197	192	186	182
G	225	214	215	214	205	207	207	208	210	210	210	210	212
B	225	221	212	240	206	208	210	213	218	222	226	230	236

表 5-1-2 進階設定 CT3 下各種白平衡補償設定拍攝「R=200、G=200、B=200 圖片」所得的 RGB 值

手動原始設定	CT3A0G0	CT3A1G0	CT3A2G0	CT3A3G0	CT3A1G1	CT3A2G1	CT3A3G1
R	210	209	208	207	205	202	204
G	210	209	206	206	210	205	208
B	213	209	202	199	206	199	197

先測試各種白平衡模式，經過白平衡微調後，找到拍攝測試光源 RGB 值比例最接近 1:1:1 的設定（進階設定 CT3、圖白平衡補償設定 A1G0），確保後續實驗結果具參考性。

(二) 檢查相機在不同曝光度時會否會產生誤差。

表 5-1-3 各種不同曝光度拍攝「R=200、G=200、B=200 圖片」所得的 RGB 值及 B/(R+G+B)

快門時間	2 秒	1 秒	1/1.3 秒	1/1.6 秒	1/2 秒	1/3 秒	1/4 秒	1/5 秒	1/6 秒	1/8 秒	1/10 秒	1/13 秒	1/16 秒	1/20 秒	1/25 秒	1/30 秒
R	252	229	215	195	180	144	127	113	97	85	74	62	53	45	37	30
G	253	230	216	196	180	144	127	113	96	83	71	58	49	41	33	27
B	251	228	215	195	180	144	127	113	97	85	75	62	53	45	37	30
B/(R+G+B)	0.332	0.332	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.333	0.335	0.336	0.341	0.341	0.342	0.344	0.346	0.345

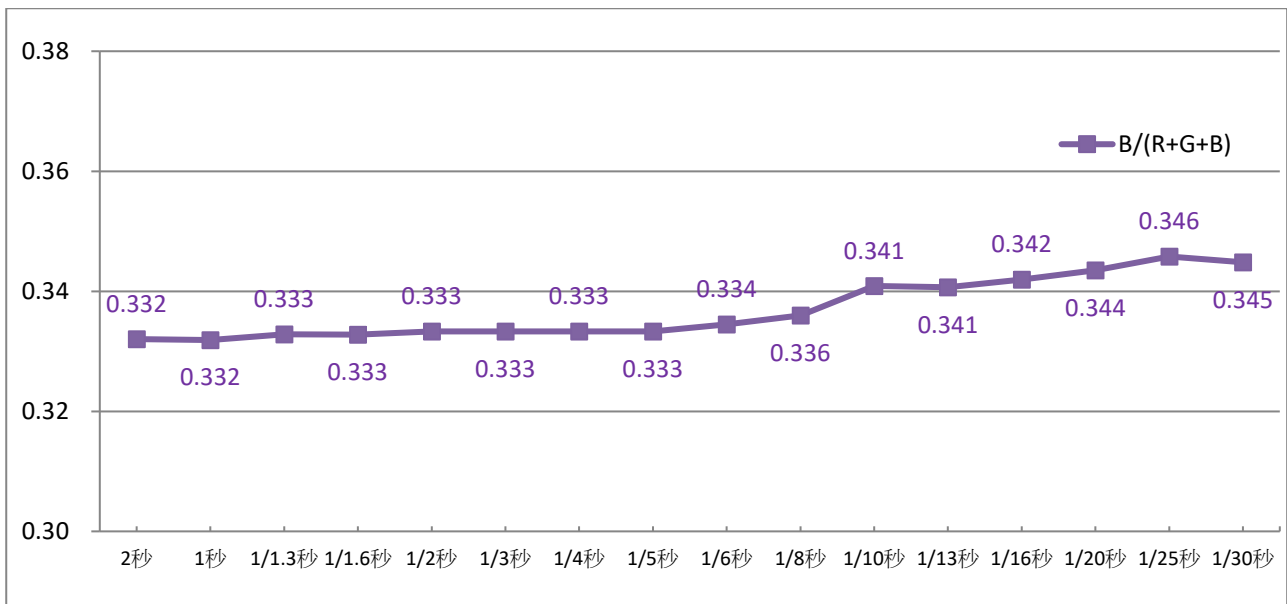


圖 5-1-1 不同曝光度所得的 B/(R+G+B)值

同光源，曝光量較低時會有較大的誤差，當曝光量超過相機能記錄的範圍時，RGB 值都會記錄到「255」，所以測試光源色溫時，曝光量最好控制在 RGB 值 100 以下、250 以下。用 RGB 值比對色溫時，三個變數無法直接對應色溫值，所以用 RGB 值之間比例關係（ B / (R+G+B) ）來對應色溫值。

二、實驗二、測試各教室照明的 RGB 比例對照色度準確的色溫圖表求色溫。

表 5-2-1 色度準確的色溫圖表的 RGB 值換算比例，以內插法算出中間色溫的 RGB 比例 B/(R+G+B)

色溫	R	G	B	B/(R+G+B)	色溫	R	G	B	B/(R+G+B)	色溫	R	G	B	B/(R+G+B)
2000K	255	140	15	0.0366	4000K	255	212	166	0.2622	6000K	255	243	241	0.3261
2100K				0.0585	4100K				0.2666	6100K				0.3279
2200K				0.0805	4200K				0.2709	6200K				0.3297
2300K				0.1024	4300K				0.2752	6300K				0.3315
2400K				0.1244	4400K				0.2795	6400K				0.3333
2500K	255	165	72	0.1463	4500K	255	222	189	0.2838	6500K	255	249	254	0.3351
2600K				0.1568	4600K				0.2872	6600K				0.3368
2700K				0.1672	4700K				0.2906	6700K				0.3385
2800K				0.1777	4800K				0.2939	6800K				0.3402
2900K				0.1881	4900K				0.2973	6900K				0.3420
3000K	255	185	109	0.1985	5000K	255	231	209	0.3007	7000K	244	243	255	0.3437
3100K				0.2059	5100K				0.3034	7100K				0.3450
3200K				0.2132	5200K				0.3062	7200K				0.3463
3300K				0.2206	5300K				0.3089	7300K				0.3476
3400K				0.2279	5400K				0.3116	7400K				0.3490
3500K	255	200	140	0.2353	5500K	255	238	226	0.3143	7500K	236	237	255	0.3503
3600K				0.2407	5600K				0.3167	7600K				0.3515
3700K				0.2461	5700K				0.3190	7700K				0.3528
3800K				0.2515	5800K				0.3214	7800K				0.3541
3900K				0.2569	5900K				0.3238	7900K				0.3554
4000K	255	212	166	0.2622	6000K	255	243	241	0.3261	8000K	228	232	255	0.3566

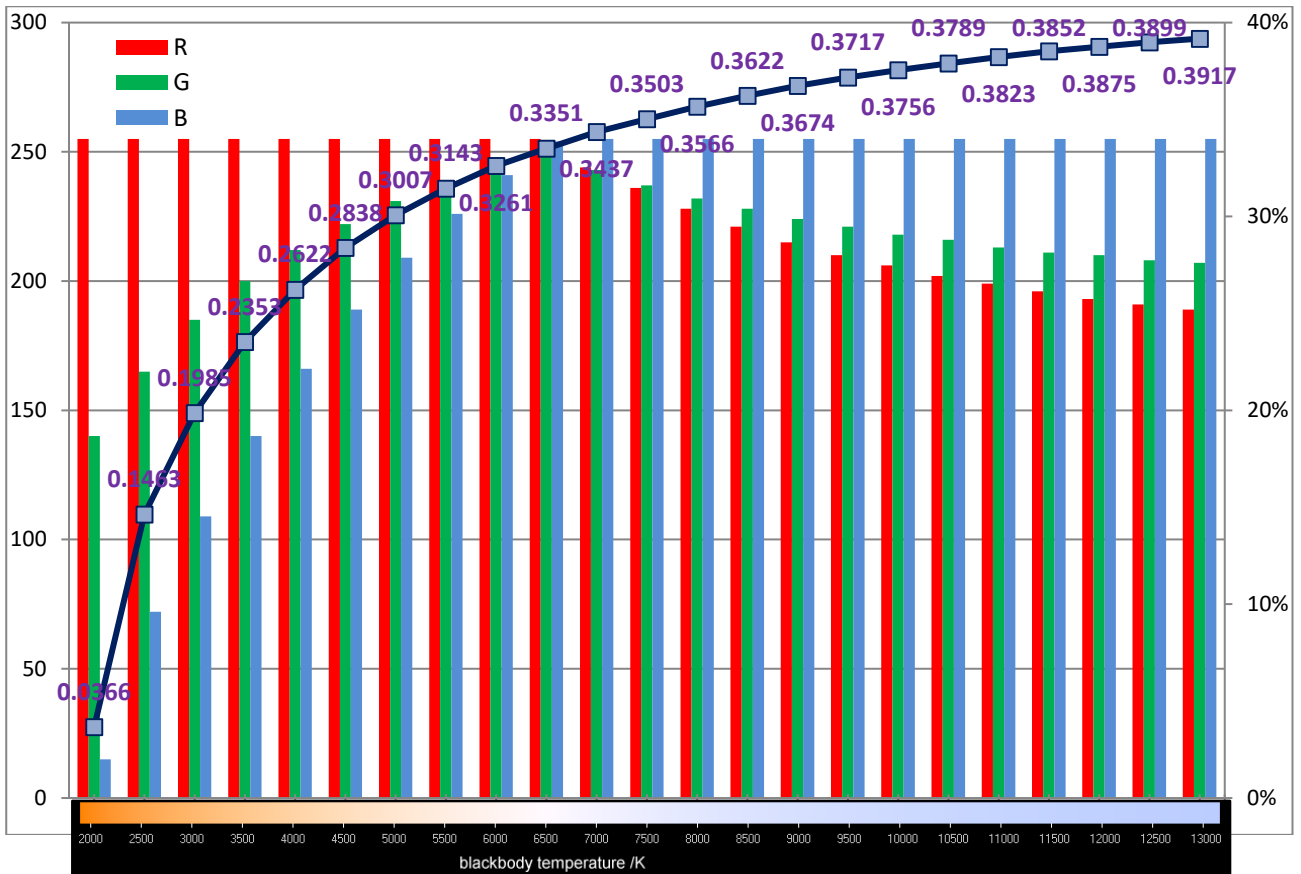


圖 5-2-1 色度準確的色溫圖表的 RGB 值與 B/(R+G+B)

表 5-2-2 以在校園各場域測得 RGB 換算 B/(R+G+B)比對得到色溫值

地點	R 值平均	G 值平均	B 值平均	B/(R+G+B)	測得色溫
一甲教室	201.4	212.5	207.0	0.3334	6400K
五乙教室	212.8	213.7	198.1	0.3172	5600K
活動中心	208.3	213.1	209.2	0.3317	6300K
操場晴天	231.2	218.9	226.1	0.3344	6500K
操場陰天	235.9	227.2	234.9	0.3365	6600K
會議室	233.2	218.4	202.6	0.3097	5300K
電腦教室	199.6	207.4	194.4	0.3232	5900K
辦公室 LED 區	211.9	218.4	216.3	0.3345	6500K
辦公室 T5 區	208.2	212.0	200.4	0.3229	5900K
自然教室	219.5	221.4	210.4	0.3230	5900K
圖書室	226.0	220.5	209.8	0.3197	5700K

會議室的燈泡就是白光與黃光各半，果然測得的色溫值最低，因為都是在白天測試，所以窗外也會有自然光照入，所以如果要得到純照明光的色溫，要把窗簾拉上，或是在晚上做實驗。

三、實驗三：找出混合不同色溫光源時，光源比例與混合光源色溫的關係。

表 5-3-1 測試市售四款白光、黃光燈泡結果

測試光源	R 值平均	G 值平均	B 值平均	B / (R+G+B)	測得色溫
白光 LED 燈泡 (標示 6500K)	217.0	227.5	229.4	0.3404	6800K
黃光 LED 燈泡 (標示 3000K)	237.8	186.6	106.5	0.2006	3000K

測得白光 LED 燈泡色溫為 6800K、黃光 LED 燈泡色溫為 3000K。

表 5-3-2 不同色溫 LED 燈泡以不同比例混合色溫測試結果

燈泡數量 (佔比：%)		R 值	G 值	B 值	B / (R+G+B)	測得色溫
白光 LED 燈泡	黃光 LED 燈泡	平均	平均	平均		
2 ( 100 % )	0 ( 0 % )	213.9	227.5	233.4	0.3404	6800K
2 ( 66.67% )	1 ( 33.33% )	238.5	229.9	220.7	0.3202	5800k
1 ( 50 % )	1 ( 50 % )	237.6	216.8	199.6	0.3052	5200K
1 ( 33.33% )	2 ( 66.67% )	249.0	225.7	182.0	0.2771	4300K
0 ( 0 % )	2 ( 100 % )	237.8	186.6	106.5	0.2006	3000K

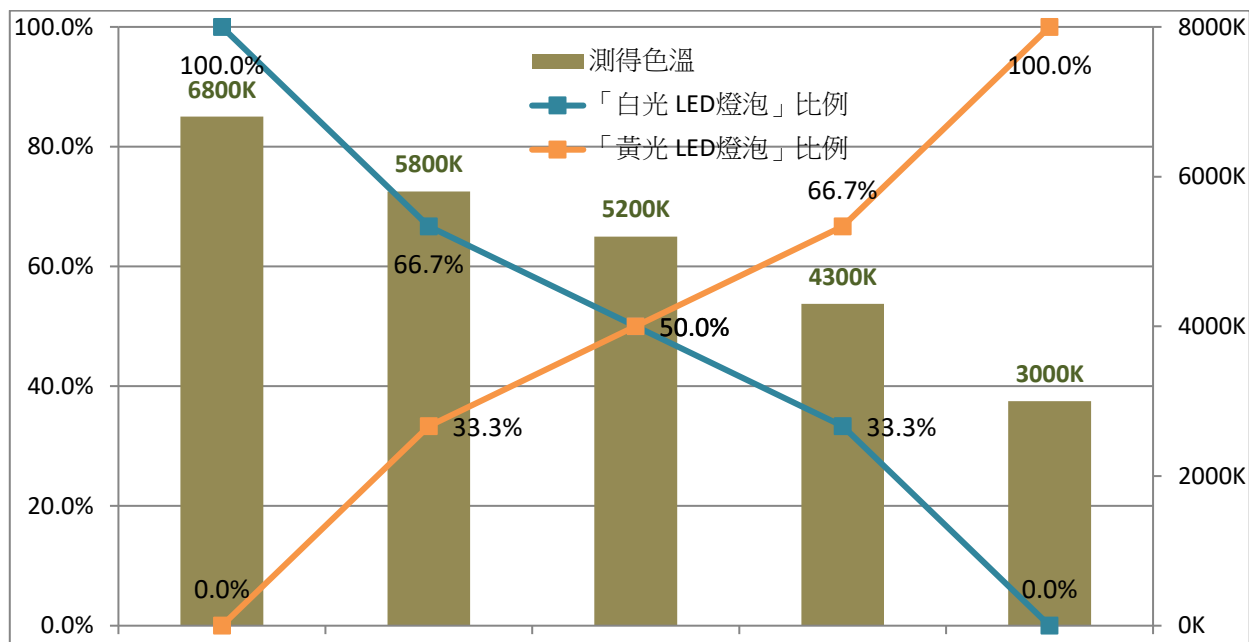


圖 5-3-1 不同色溫 LED 燈泡以不同比例混合色溫測試結果

混合光源時使用白光光源的比例越高，測得的色溫就會越高，黃白光光源的比例越高，測得的色溫就會越低，（黃白光燈泡都是 1055lm）黃白光燈泡 2:1 時可以得到接近 4000K 的光源。

四、實驗四：找出使用相機測量照度的方法。

表 5-4-1 不同照度以不同快門時間拍攝得到的 RGB 平均與進光量 (刪除 RGB 值超過 250 部分)

編號	照度	快門時間	RGB 平均	進光量 (照度 X 快 門時間)	編號	照度	快門時間	RGB 平均	進光量 (照度 X 快 門時間)	編號	照度	快門時間	RGB 平均	進光量 (照度 X 快 門時間)
1	150	1/100	21.0	1.5	73	500	1/60	76.7	8.3	145	600	1/30	129.3	20.0
2	200	1/100	26.3	2.0	74	1250	1/160	77.3	7.8	146	750	1/40	130.3	18.8
3	150	1/80	26.7	1.9	75	650	1/80	78.7	8.1	147	1200	1/60	130.7	20.0
4	150	1/60	30.7	2.5	76	850	1/100	79.7	8.5	148	400	1/20	133.0	20.0
5	250	1/100	32.0	2.5	77	1300	1/160	80.0	8.1	149	1000	1/50	132.7	20.0
6	200	1/80	33.0	2.5	78	550	1/60	81.7	9.2	150	1250	1/60	133.3	20.8
7	300	1/100	36.3	3.0	79	900	1/100	82.3	9.0	151	650	1/30	135.3	21.7
8	300	1/100	37.0	3.0	80	350	1/40	83.3	8.8	152	800	1/40	135.0	20.0
9	150	1/50	37.7	3.0	81	450	1/50	83.0	9.0	153	200	1/10	139.0	20.0
10	200	1/60	39.0	3.3	82	700	1/80	83.7	8.8	154	1300	1/60	136.3	21.7
11	250	1/80	39.0	3.1	83	300	1/30	86.0	10.0	155	1050	1/50	137.0	21.0
12	500	1/160	40.0	3.1	84	950	1/100	85.7	9.5	156	850	1/40	140.0	21.3
13	350	1/100	41.7	3.5	85	750	1/80	86.7	9.4	157	1100	1/50	140.0	22.0
14	550	1/160	43.3	3.4	86	300	1/30	87.3	10.0	158	700	1/30	141.3	23.3
15	300	1/80	45.3	3.8	87	600	1/60	87.0	10.0	159	1150	1/50	142.3	23.0
16	600	1/160	45.3	3.8	88	500	1/50	89.0	10.0	160	900	1/40	142.7	22.5
17	150	1/40	46.3	3.8	89	200	1/20	91.7	10.0	161	450	1/20	144.3	22.5
18	200	1/50	46.3	4.0	90	1000	1/100	89.0	10.0	162	750	1/30	145.0	25.0
19	300	1/80	45.3	3.8	91	650	1/60	90.0	10.8	163	1200	1/50	145.3	24.0
20	400	1/100	46.0	4.0	92	800	1/80	90.0	10.0	164	950	1/40	146.3	23.8
21	250	1/60	46.7	4.2	93	400	1/40	90.7	10.0	165	1250	1/50	146.7	25.0
22	650	1/160	48.3	4.1	94	1050	1/100	91.3	10.5	166	250	1/10	150.7	25.0
23	450	1/100	50.7	4.5	95	350	1/30	94.3	11.7	167	500	1/20	149.7	25.0
24	700	1/160	51.3	4.4	96	1100	1/100	93.0	11.0	168	800	1/30	150.0	26.7
25	300	1/60	52.3	5.0	97	550	1/50	93.3	11.0	169	1300	1/50	150.7	26.0
26	350	1/80	51.7	4.4	98	850	1/80	93.3	10.6	170	1000	1/40	151.0	25.0
27	150	1/30	54.3	5.0	99	700	1/60	94.3	11.7	171	850	1/30	154.7	28.3
28	750	1/160	53.3	4.7	100	1150	1/100	95.0	11.5	172	1050	1/40	154.7	26.3
29	300	1/60	53.7	5.0	101	450	1/40	95.7	11.3	173	550	1/20	159.0	27.5
30	250	1/50	55.3	5.0	102	900	1/80	95.7	11.3	174	900	1/30	158.3	30.0
31	500	1/100	55.0	5.0	103	1200	1/100	97.0	12.0	175	1100	1/40	159.0	27.5
32	200	1/40	56.3	5.0	104	600	1/50	97.3	12.0	176	150	1/5	164.3	30.0
33	400	1/80	56.0	5.0	105	750	1/60	97.3	12.5	177	300	1/10	163.7	30.0
34	800	1/160	56.3	5.0	106	250	1/20	101.0	12.5	178	1150	1/40	161.3	28.8
35	550	1/100	59.0	5.5	107	950	1/80	98.3	11.9	179	300	1/10	164.3	30.0
36	1000	1/200	58.3	5.0	108	1250	1/100	99.0	12.5	180	600	1/20	163.7	30.0
37	1050	1/200	58.3	5.3	109	400	1/30	101.0	13.3	181	950	1/30	162.7	31.7
38	350	1/60	59.7	5.8	110	650	1/50	101.3	13.0	182	1200	1/40	164.3	30.0
39	850	1/160	59.7	5.3	111	1300	1/100	101.3	13.0	183	1000	1/30	167.0	33.3
40	1100	1/200	59.7	5.5	112	800	1/60	101.3	13.3	184	1250	1/40	168.0	31.3
41	1150	1/200	61.3	5.8	113	500	1/40	102.3	12.5	185	650	1/20	171.3	32.5
42	300	1/50	62.3	6.0	114	1000	1/80	101.7	12.5	186	1300	1/40	171.3	32.5
43	450	1/80	61.7	5.6	115	700	1/50	106.0	14.0	187	1050	1/30	171.7	35.0
44	600	1/100	62.7	6.0	116	850	1/60	105.7	14.2	188	700	1/20	175.7	35.0
45	900	1/160	61.7	5.6	117	1050	1/80	105.7	13.1	189	1100	1/30	174.7	36.7
46	300	1/50	63.0	6.0	118	550	1/40	107.7	13.8	190	350	1/10	178.3	35.0
47	200	1/30	65.7	6.7	119	450	1/30	109.0	15.0	191	1150	1/30	178.3	38.3
48	950	1/160	63.7	5.9	120	900	1/60	109.3	15.0	192	750	1/20	182.0	37.5
49	1200	1/200	63.7	6.0	121	1100	1/80	109.0	13.8	193	1200	1/30	181.3	40.0
50	400	1/60	65.3	6.7	122	150	1/10	113.3	15.0	194	1250	1/30	184.0	41.7
51	650	1/100	65.7	6.5	123	300	1/20	112.7	15.0	195	800	1/20	185.7	40.0
52	1250	1/200	65.3	6.3	124	750	1/50	111.3	15.0	196	400	1/10	187.3	40.0
53	250	1/40	67.0	6.3	125	1150	1/80	111.7	14.4	197	200	1/5	190.3	40.0
54	1000	1/160	66.0	6.3	126	300	1/20	113.7	15.0	198	1300	1/30	188.3	43.3
55	500	1/80	66.3	6.3	127	950	1/60	113.0	15.8	199	850	1/20	192.7	42.5
56	1300	1/200	67.0	6.5	128	600	1/40	115.7	15.0	200	900	1/20	194.7	45.0
57	350	1/50	70.0	7.0	129	1200	1/80	114.7	15.0	201	450	1/10	199.0	45.0
58	700	1/100	69.7	7.0	130	800	1/50	116.0	16.0	202	950	1/20	199.7	47.5
59	1050	1/160	69.3	6.6	131	500	1/30	118.3	16.7	203	250	1/5	204.3	50.0
60	450	1/60	71.0	7.5	132	1000	1/60	117.3	16.7	204	500	1/10	204.0	50.0
61	550	1/80	70.7	6.9	133	1250	1/80	117.7	15.6	205	1000	1/20	203.3	50.0
62	750	1/100	73.0	7.5	134	650	1/40	120.0	16.3	206	1050	1/20	208.0	52.5
63	1100	1/160	72.0	6.9	135	850	1/50	120.7	17.0	207	1100	1/20	210.0	55.0
64	150	1/20	75.0	7.5	136	1300	1/80	120.7	16.3	208	300	1/5	216.0	60.0
65	1150	1/160	74.0	7.2	137	1050	1/60	121.0	17.5	209	550	1/10	212.7	55.0
66	300	1/40	75.7	7.5	138	550	1/30	123.7	18.3	210	300	1/5	216.0	60.0
67	600	1/80	74.3	7.5	139	900	1/50	124.3	18.0	211	1150	1/20	214.3	57.5
68	250	1/30	77.7	8.3	140	350	1/20	126.0	17.5	212	600	1/10	215.7	60.0
69	800	1/100	76.3	8.0	141	700	1/40	125.7	17.5	213	1200	1/20	215.7	60.0
70	1200	1/160	75.7	7.5	142	1100	1/60	124.7	18.3	214	1250	1/20	219.0	62.5
71	300	1/40	76.3	7.5	143	1150	1/60	127.3	19.2	215	1300	1/20	220.0	65.0
72	400	1/50	76.7	8.0	144	950	1/50	127.7	19.0					

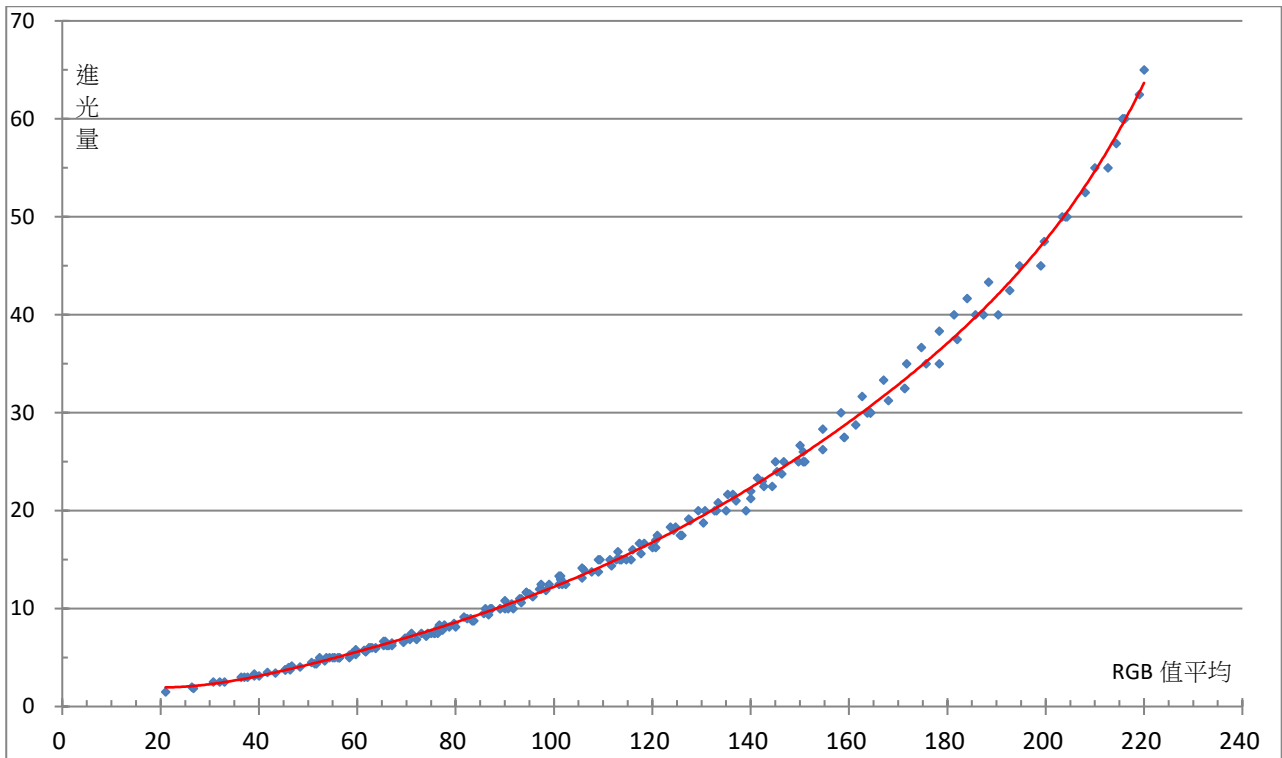


圖 5-4-1 加上趨勢線的「RGB 平均值」與「進光量」散佈圖

從相機拍的照片中取得 RGB 平均值，再從 5-5-1 圖找出對應的進光量，就能利用「進光量 = 照度 X 快門時間」的關係，計算出照度。

#### 五、實驗五、測試燈泡幾款市售省電燈泡及 LED 燈泡是否有頻閃。

表 5-5-1 2700K 省電燈泡頻閃測試資料

檔名	編號	R	G	B	B/(R+G+B)	RGB 平均	亮點(V) 暗點(X)	檔名	編號	R	G	B	B/(R+G+B)	RGB 平均	亮點(V) 暗點(X)
99	1	181	178	164	0.314	174.3		121	23	177	174	160	0.313	170.3	
100	2	184	179	165	0.313	176.0	V1	122	24	181	177	163	0.313	173.7	
101	3	185	179	163	0.309	175.7		123	25	184	180	165	0.312	176.3	
102	4	184	178	160	0.307	174.0		124	26	185	180	165	0.311	176.7	V4
103	5	181	173	155	0.305	169.7		125	27	185	179	163	0.309	175.7	
104	6	178	170	153	0.305	167.0	X1	126	28	184	178	161	0.308	174.3	
105	7	178	174	161	0.314	171.0		127	29	183	176	159	0.307	172.7	
106	8	180	176	163	0.314	173.0		128	30	178	172	153	0.304	167.7	X4
107	9	183	180	166	0.314	176.3		129	31	178	175	160	0.312	171.0	
108	10	186	180	164	0.309	176.7	V2	130	32	180	177	162	0.312	173.0	
109	11	185	179	162	0.308	175.3		131	33	181	178	164	0.314	174.3	
110	12	183	176	158	0.306	172.3		132	34	184	178	165	0.313	175.7	V5
111	13	182	174	157	0.306	171.0		133	35	185	177	162	0.309	174.7	
112	14	177	173	157	0.310	169.0	X2	134	36	184	177	159	0.306	173.3	
113	15	180	176	162	0.313	172.7		135	37	183	176	157	0.304	172.0	
114	16	183	179	165	0.313	175.7		136	38	181	173	156	0.306	170.0	
115	17	185	179	165	0.312	176.3	V3	137	39	178	171	155	0.308	168.0	X5
116	18	186	179	164	0.310	176.3	V3	138	40	181	175	160	0.310	172.0	
117	19	183	177	159	0.306	173.0		139	41	182	177	164	0.314	174.3	
118	20	182	175	157	0.305	171.3		140	42	184	180	166	0.313	176.7	V6
119	21	181	173	155	0.305	169.7		141	43	185	179	163	0.309	175.7	
120	22	178	171	154	0.306	167.7	X3								



閃頻計算方式：

閃一次的時間 = (第 6 次亮編號 - 第 1 次亮編號) X 每張照片的間隔時間 ÷ (第 6 次亮 - 第 1 次亮)

= (第一次亮到第六次亮照片間隔數) X 1/960 ÷ (閃 5 次間隔)

= (42 - 2) X 1/960 ÷ 5 = 0.008333 (秒/次)

1 秒 ÷ 閃一次的時間 = 每秒閃爍的次數      1 ÷ 0.008333 = 120 (次 / 秒)

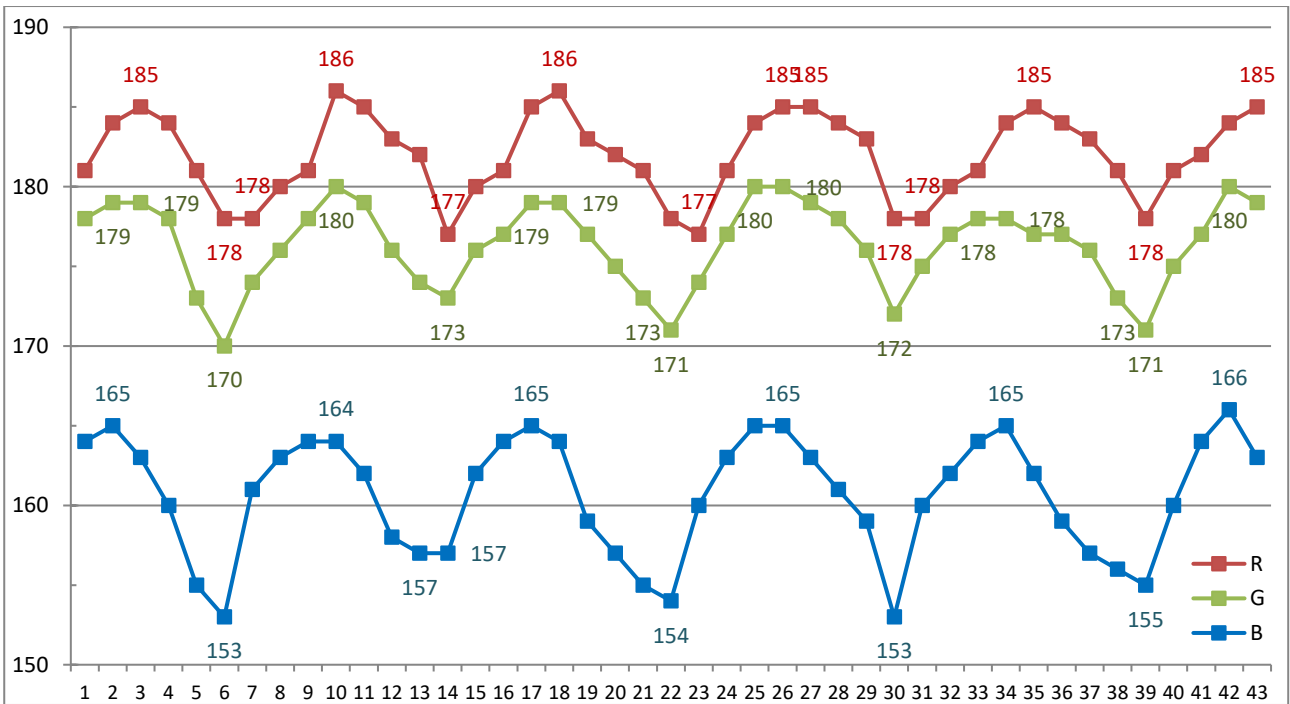


圖 5-5-1 2700K 省電燈泡頻閃測試 RGB 值變化情形

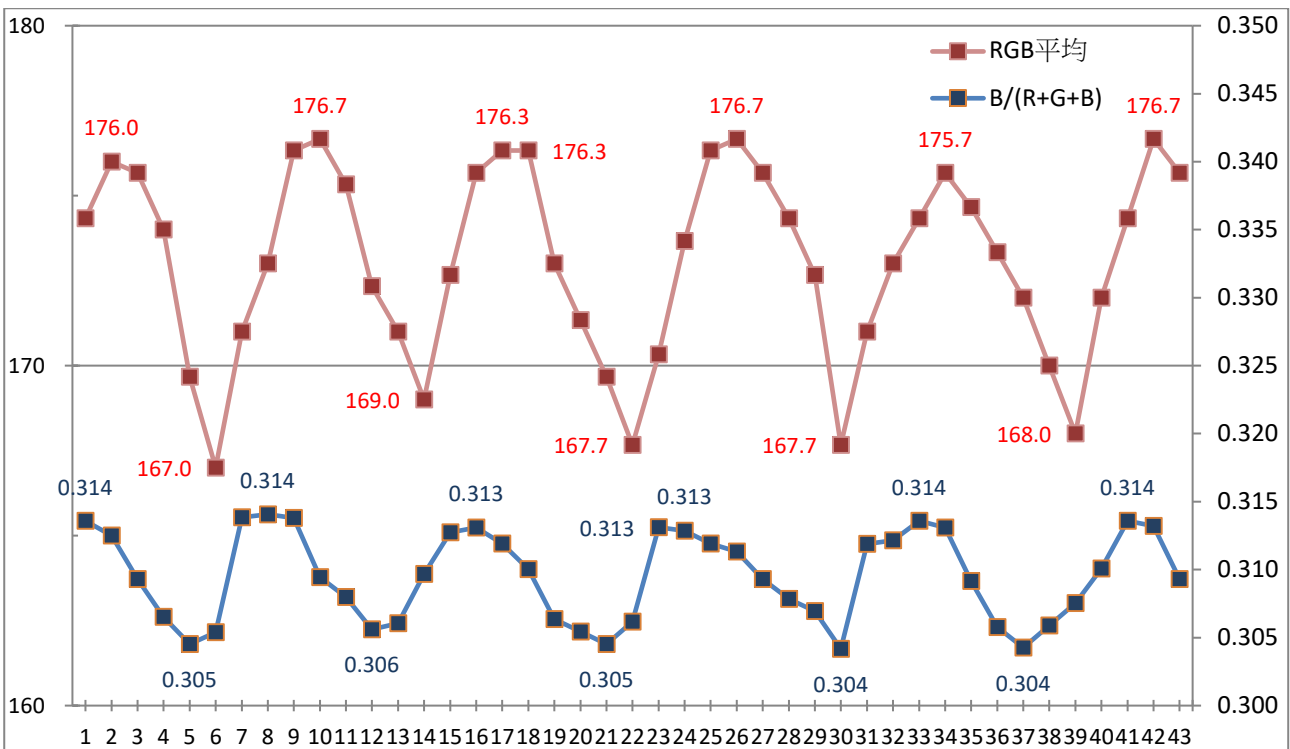


圖 5-5-2 P 牌 2700K 省電燈泡頻閃測試 RGB 平均值、藍光比例變化情形

P 牌 2700K 省電燈泡 RGB 值變化情形並不一致，也就是藍光比例也隨時間改變，這是測試光源頻閃的意外發現，原來燈泡的頻閃除了亮度會變化，色溫也有類似”頻閃”的現象。

把 RGB 值視為亮度時，可以發現燈泡亮度和藍光率會上下起伏，有趣的是省電燈泡的 B 值出現極大值時，下一張照片 (1/960 秒後) R 值就會出現極大值，省電燈泡除了會明暗閃爍外，色溫也會”閃爍”。

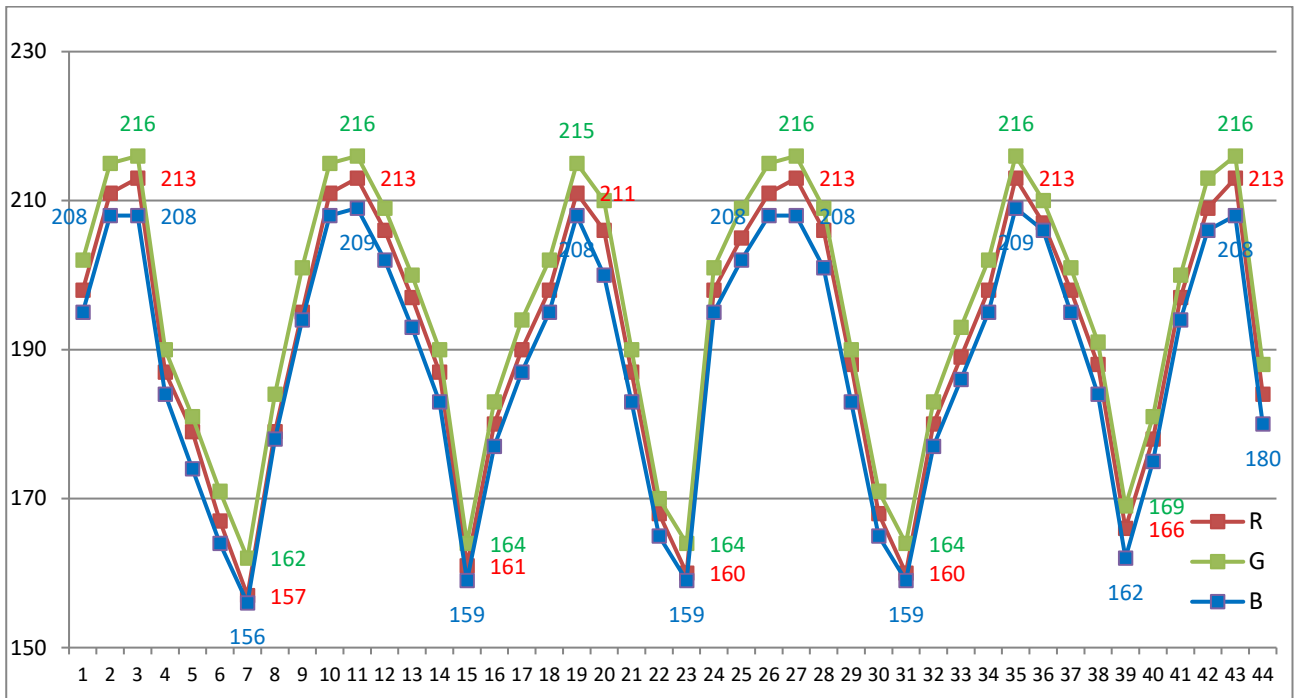


圖 5-5-3 P 牌 6500KLED 燈泡頻閃測試 RGB 值變化情形

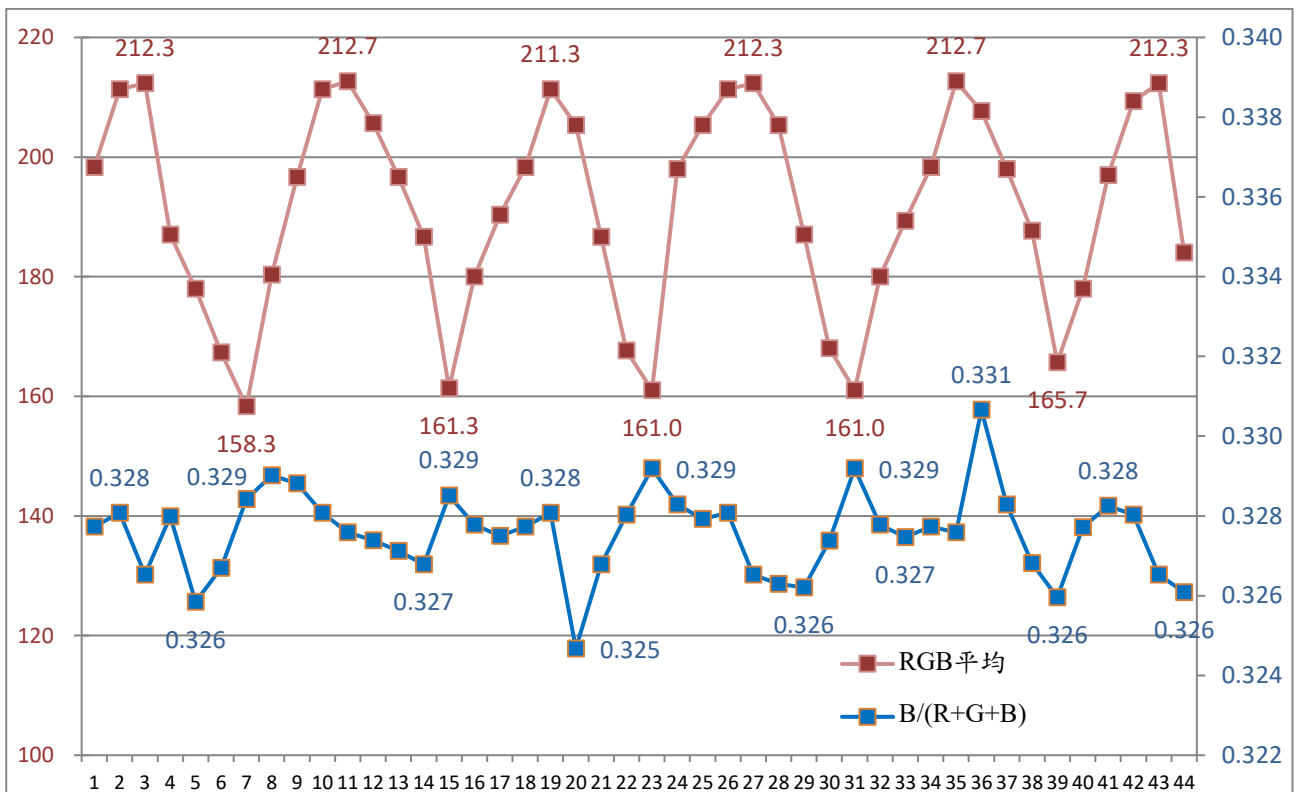


圖 5-5-4 P 牌 6500KLED 燈泡頻閃測試 RGB 平均值、藍光比例變化情形

表 5-5-2 七款燈泡頻閃測試資料（藍光比例與色溫變化範圍只能參考）

光源品牌型號	RGB 平均		RGB 平均值 變化幅度(%)	轉換進光量		頻閃百 分比(%)	B/(R+G+B)		B/(R+G+B) 變化幅度(%)	色溫變化 範圍(K)*	閃頻 (次/秒)
	最大值	最小值		最大值	最小值		最大值	最小值			
P 牌 2700K 省電	176.7	167.0	5.6	35.6	31.5	6.11	0.3141	0.3042	3.20	5500~ 5100	120.0
P 牌 6500K 省電	178.7	168.7	5.8	36.5	32.2	6.26	0.3384	0.3262	3.67	6700~ 6000	120.0
東牌 6500K 省電	166.0	156.0	6.2	31.1	27.5	6.14	0.3128	0.2949	5.89	5400~ 4800	123.1
P 牌 3000K LED	201.0	146.0	31.7	48.5	24.2	33.43	0.3185	0.3151	1.07	5700~ 5500	123.1
P 牌 6500K LED	212.7	158.3	29.3	57.0	28.3	33.65	0.3377	0.3353	0.71	6700~ 6500	120.0
B 牌 4000K LED	236.0	235.7	0.1				0.3305	0.3296	0.27	6200~ 6200	
朝牌白熾燈	78.7	65.3	18.6	8.3	6.2	14.48	0.1907	0.1684	12.42	2900~ 2700	120.0

利用實驗五測量照度的方法，先以各燈泡測得的 RGB 平均值找出「進光量」，就能利用「進光量 = 照度 X 快門時間」的關係，計算出照度，實驗以錄影方式拍攝，快門時間相同（1/960 秒），進光量的比例和照度的比例相同，所以能計算出頻閃亮度變化的幅度。

閃頻幅度計算方式：

$$\text{頻閃幅度} = (\text{進光度最大值} - \text{進光量最小值}) / (\text{進光度最大值} + \text{進光量最小值}) \times 100\%$$

除 B 牌 4000K LED 燈泡外，其餘 LED 燈泡頻閃幅度最大但「B/(R+G+B)」變化幅度最小；省電燈泡則是頻閃幅度最小，「B/(R+G+B)」變化幅度僅次於白熾燈泡；白熾燈泡頻閃幅度僅次於 LED 燈泡，「B/(R+G+B)」變化幅度最大；除 B 牌 LED 燈泡外，其餘燈泡的閃頻是 120.0 或 123.1（次/秒），B 牌 4000K LED 燈泡發出的光非常穩定，幾乎不閃。

\*因為智慧型手機使用錄影功能時無法手動調整白平衡，所以測得的藍光比例與色溫變化範圍只能參考。

## 陸、結論

經過校準後，可以利用相機測量照明光裡 RGB 三原色光的比例得到色溫值，沒有色溫表時也能利用常見易得的工具測量色溫，方便學校調整照明來保護視力，不直接測量色溫也能參考黃白光源（3000K 或 2700K 黃光燈泡、6500K 白光燈泡）以不同比例混合時的色溫值，來調配光源比例得到相近的照明色溫；另外在測量燈泡色溫時，發現 LED 燈泡拍出的相片明暗差距較大，省電燈泡拍的相片亮度雖然也有差別，但差別較小，相機的觀景窗會有條紋狀的閃爍情況，經查資料得知是光源「頻閃」造成的，所以也接著設計實驗用相機測量照度，再用測量照度的方法以智慧型手機錄影測量光源「頻閃」的閃爍頻率、亮度變化率及色溫變

化情形，經過計算有頻閃的燈泡不論是白熾燈、LED 燈或是省電燈泡的閃頻都是 120.0 或 123.1 次/秒，應該和使用 60Hz 的交流電電源有關，也有測得一款燈泡幾乎不閃爍，亮度變化以 LED 燈最大（約 67%），其次是白熾燈（約 29%），省電燈泡最小（約 12%），B/(R+G+B)值變化幅度白熾燈最大（約 12%），其次是省電燈泡（約 4%），LED 燈最小（約 1%）。市售 LED 燈泡有的頻閃（亮度變化）幅度超過 60%，也有幾乎測量不到閃爍現象的產品，LED 燈是現在照明的主流產品，有的產品已能做到無頻閃，而多數產品（絕大多數）還是有頻閃嚴重，有簡單方便讓大家測量色溫、亮度、頻閃的方法，才有挑選好的照明光源的依據，尤其頻閃是產品包裝不會標示的項目，一般人無法像亮度、色溫般容易察覺。

一、校準後的相機可以測量色溫。

二、混合光源時，白光比例越高色溫越高，黃光比例越高色溫就會越低；黃白光燈泡比例 2:1 時，可得到 4000K 左右的光源。

三、以相機測量燈泡照度時，需注意頻閃現象，避免誤差，或是使用能更快速記錄光源的工具（如慢動作錄影設備）。

四、經測試常見三類光源（LED 燈泡、省電燈泡、白熾燈）的頻閃（B 牌燈泡不計）亮度變化：

LED 燈 > 白熾燈 > 省電燈泡

B / (R+G+B)值變化幅度：白熾燈 > 省電燈泡 > LED 燈

五、找到以相機、手機測量照明光源亮度、色溫、頻閃的方法，測量結果可供挑選照明光源時參考。

## 柒、參考資料及其他

### 一、參考資料

**Colour-Temperature; blackbody radiation visualisation ,**

<http://www.techmind.org/colour/coltemp.html>

9 個小撇步，聰明選購好檯燈。取自：

[http://solutions.3m.com.tw/wps/portal/3M/zh\\_TW/cob/home/consumer/58how/](http://solutions.3m.com.tw/wps/portal/3M/zh_TW/cob/home/consumer/58how/)

賀禎禎，我是賀禎禎-攝影教學、自助旅行、數位生活。取自：<https://hojenjen.com/>教攝

影 25-什麼是相機白平衡-帶你認識色溫與白平衡/

黃琮寧，藍光，隱形的健康殺手。親子天下網站。取自：

<https://m.parenting.com.tw/article/5075435-黃琮寧：藍光，隱形的健康殺手/>

專業教室 - 濾藍光鏡片教室・小林眼鏡網站。取自：

<http://www.kobayashi.com.tw/blueray/>。

衛福部國健署 105 年委託「探討 3C 產品影響視力健康之因子與管理建議計畫」，

[https://lil.nptc.edu.tw/Upload/Bulletin/368658e5e6d153d8b19b945b417bb06650e7c7\\_10622065241\\_106D2299575-01.pdf](https://lil.nptc.edu.tw/Upload/Bulletin/368658e5e6d153d8b19b945b417bb06650e7c7_10622065241_106D2299575-01.pdf)

郭佳容，康健雜誌網址，「3C 螢幕藍光」超傷眼！自保 5 招。取自：

<http://m.commonhealth.com.tw/article/article.action?id=5050142>

趙以祥，趙以祥攝影團：數位相機的白平衡。取自：[https://www.facebook.com/notes/趙](https://www.facebook.com/notes/趙以翔攝影團/數位相機的白平衡/101611329907489/)

[以翔攝影團/數位相機的白平衡/101611329907489/](https://www.facebook.com/notes/趙以翔攝影團/數位相機的白平衡/101611329907489/)

【照明百科】頻閃(Flicker)，取自：<http://www.asensetek.com/zh/knowledge-flicker/>

## 二、未來展望

好的照明光源要符合以下條件：合適的照度、照度均勻、無紫外線、無閃頻現象、合宜的色溫、高演色性、低眩光，經過努力，我們已經可以測量色溫、照度和閃頻，希望能繼續找出測量其他條件的方法，已經能測量的條件也希望能找到更準確更方便的測量方式。

## 【評語】 080113

本研究利用相機及電腦，結合手邊可以獲取的工具，針對生活中的光源的色溫分色、閃頻進行分析，並獲得初步的結果，實屬難得可貴，是個很好的科學研究作品。

## 摘要

利用相機及軟體「小畫家」測量各種色溫光源的 RGB 比例，對照標準色溫圖案，得到色溫與像素 RGB 值比例的關係，比對出教室光源的色溫，並找出不同色溫光源混合時色溫的變化，可以幫助沒有色溫表的學校調配出接近 4000K 色溫的照明光；同樣也能利用相機測量光源照度，加上使用有 960 fps 錄影功能的智慧型手機還能測量光源的頻閃（頻率及亮度變化），以容易取得的器材測試光源是否合乎好的照明光源的條件。

關鍵字：色溫、白平衡、頻閃

## 壹、研究動機

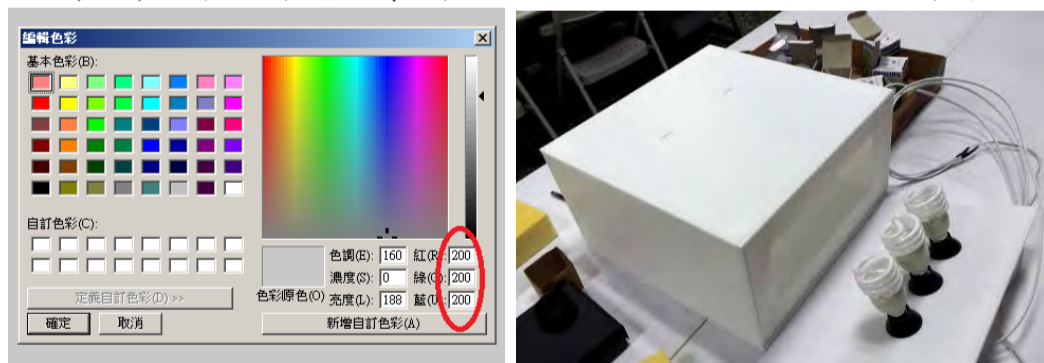
教室有一半燈管換成黃光燈管，老師說是為了保護視力，因為國內專家建議光源色溫為 4000K 以下，以減少潛在藍光傷害的風險，若照明光源不需要過多偏黃的暖白光，可穿插色溫較高的冷白光來調節。沒有測量色溫的工具，所以請老師指導我們如何用手邊容易取得的相機來測量色溫，實驗時發現相機拍攝光源時觀景窗會出現光源頻閃造成的條紋，進一步嘗試利用相機來測量各項好的照明光源的條件 - 亮度、頻閃。

## 貳、研究目的

- 一、測試手邊的相機能不能準確測量三原色光
- 二、測試各教室照明的 RGB 比例對照色度準確的色溫圖表求色溫。
- 三、找出混合不同色溫光源時，光源比例與混合光源色溫的關係。
- 四、找出使用相機測量照度的方法。
- 五、測試幾款市售省電、LED、白熾燈泡是否有頻閃。

## 參、研究設備及器材

- 一、器材準備與製作：
  - (一) 器材準備：相機、手機、照度計、可調光檯燈、測試光源（燈泡）、光罩（LED 燈罩）、電腦、符合 sRGB 的顯示器、三腳架。
  - (二) 製作光源測試箱：以白色塑浪板製作，中間安裝一片塑浪板，避免光源直接照射相機或照度計，活動背板安裝燈座方便更換燈泡，前面開一圓孔以便相機拍攝。
  - (三) 測試圖檔：製作 R=200、G=200、B=200 圖片。

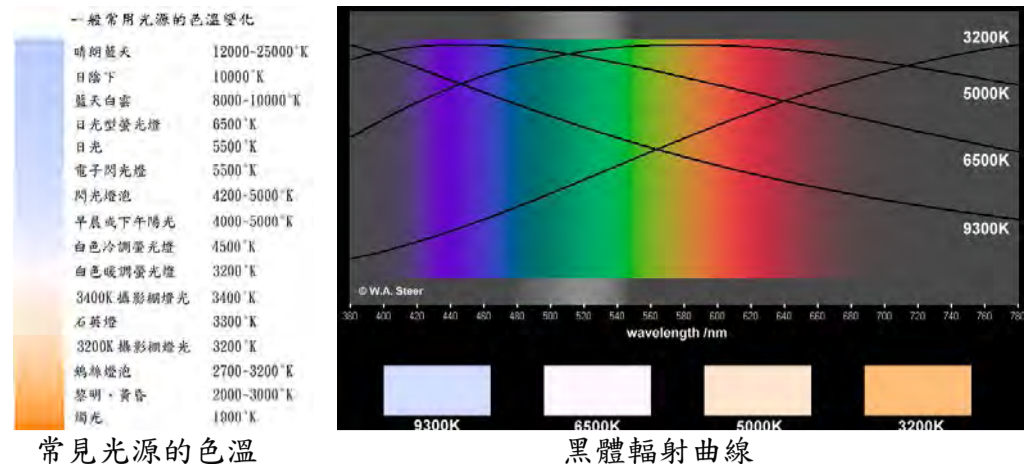


以小畫家製作灰白色圖片

光源測試箱、燈座板

## 肆、研究過程及方法

- 一、文獻心得
  - (一) 色溫：色溫越高藍色光成分越多，能找出黃白光燈泡以不同比例穿插時的色溫，就能調配出 4000K 左右的光源。可將不同色溫燈泡的 RGB 值比例和「色度準確的色溫圖表」比較，色溫是一個變量，但光有三個變量（RGB），白平衡牽涉到兩個變量，取藍光值比例  $B/(R+G+B)$  當作和色溫對應的變量；用符合 sRGB 的顯示器開啟色度準確的色溫圖表，就能得到標準的各色溫光源。



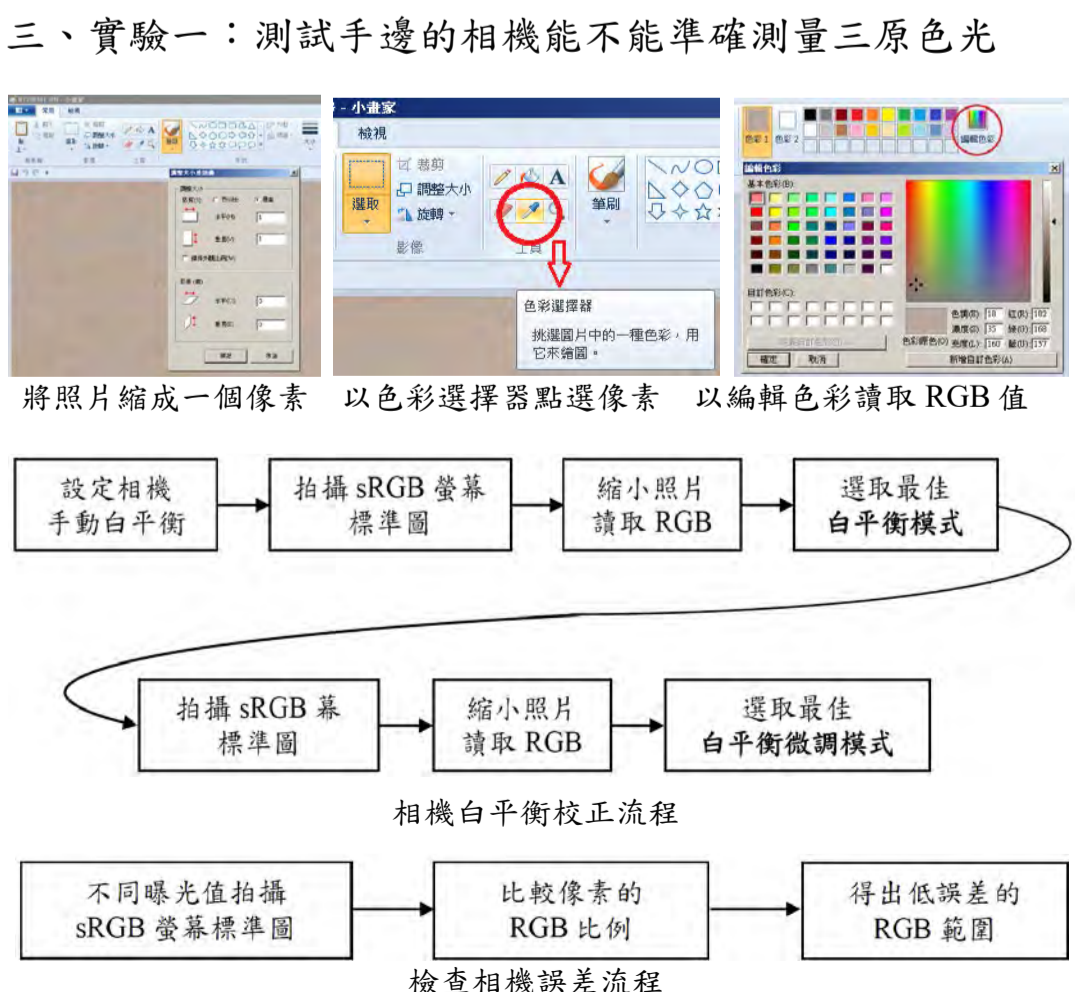
- (二) 白平衡：相機如果沒有設定適合的白平衡模式，拍攝的相片顏色就會有誤差，為了使實驗更具參考性，必須手動設定在固定的白平衡模式，所以要先找出合適的白平衡模式。
- (三) 三原色：紅、綠、藍（R、G、B）是照相機和電腦螢幕的三原色，透過相機取得光源的三原色比例就能分辨顏色。
- (四) 藍光：藍光會傷害視力（視網膜傷害、眼睛疲勞、近視），也會影響我們的生理時鐘。
- (五) 頻閃：頻閃對健康的危害不比藍光小，而且不易察覺，能測量頻閃才能預防傷害。

- 二、準備工作項目：
  - (一) 相機設定：以實驗一找到的最佳設定，白平衡設定為「進階設定」、「A1, G0」，感光度設為 100，焦距調到最長，光圈設為 F10，安裝在三腳架上，鏡頭垂直向上加裝光罩。
  - (二) 電腦螢幕設定：設定為 sRGB 模式，使螢幕能以各標準色溫的 RGB 值發出標準色溫光源。
  - (三) 以小畫家製作灰白色（R=200、G=200、B=200）圖片，作為找尋最佳白平衡模式的標準。
  - (四) 以小畫家開啟「色度準確的色溫圖表」，以「色彩選擇器」點選每 500K 刻度邊緣的像素，再以「編輯色彩」功能讀取像素的 RGB 值，作為判別色溫的標準。



以色度準確的色溫圖表抓取像素的 RGB 值

色溫	R	G	B	色溫	R	G	B	色溫	R	G	B
2000K	255	140	15	4500K	255	222	189	7000K	244	243	255
2500K	255	165	72	5000K	255	231	209	7500K	236	237	255
3000K	255	185	109	5500K	255	238	226	8000K	228	232	255
3500K	255	200	140	6000K	255	243	241	8500K	221	228	255
4000K	255	212	166	6500K	255	249	254	9000K	215	224	255

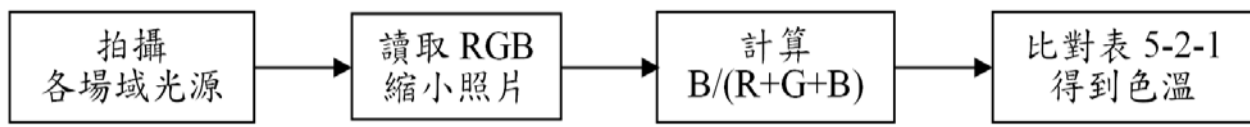


四、實驗二：測量教室照明的 RGB 比例對照色溫圖表求色溫。



加裝光罩拍攝影像

在各場域測試色溫



測試各場域色溫流程

五、實驗三：找出混合不同色溫光源時，光源比例與混合光源色溫的關係。標示 6500K、3000K 的 LED 燈泡（同品牌、同 1055 lm）及兩種燈泡以不同比例混合的 RGB 值。



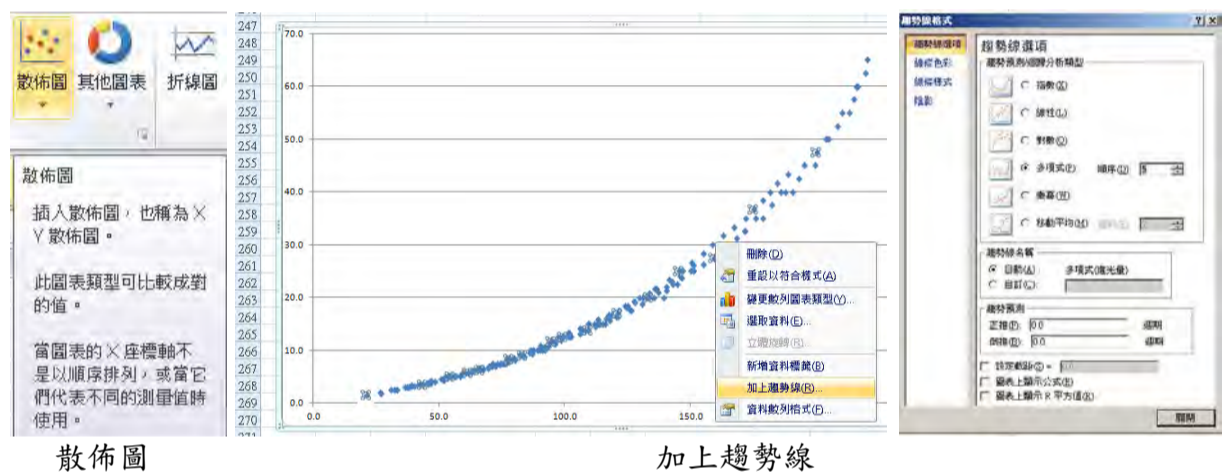
光源測試箱內部

透過圓孔拍攝測試箱內光源

六、實驗四：找出使用相機測量照度的方法。



測量照度流程圖



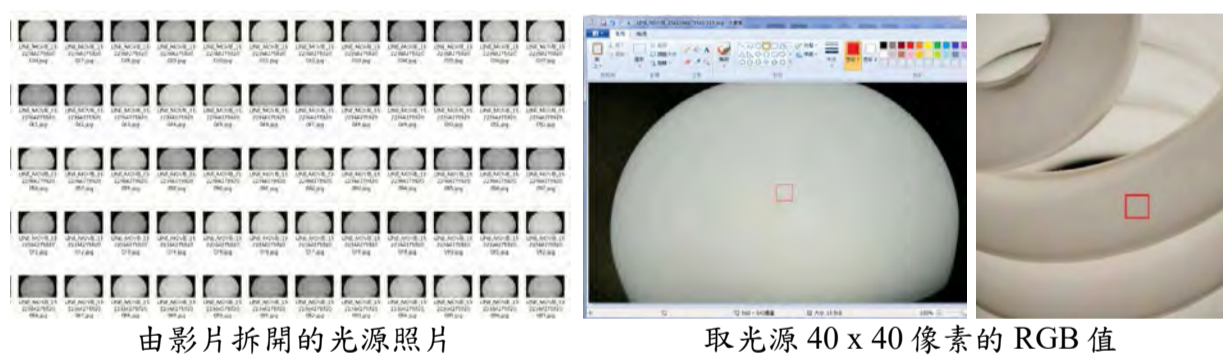
散佈圖

加上趨勢線

七、實驗五：測試幾款市售省電、LED、白熾燈泡是否有頻閃。



測量頻閃流程圖



由影片拆開的光源照片

取光源 40 x 40 像素的 RGB 值

伍、研究結果

一、實驗一：測試手邊的相機能不能準確測量三原色光

(一) 用相機拍攝螢幕圖檔找出最適合的白平衡模式。

各種白平衡模式拍攝「R=200、G=200、B=200 圖片」所得的 RGB 值

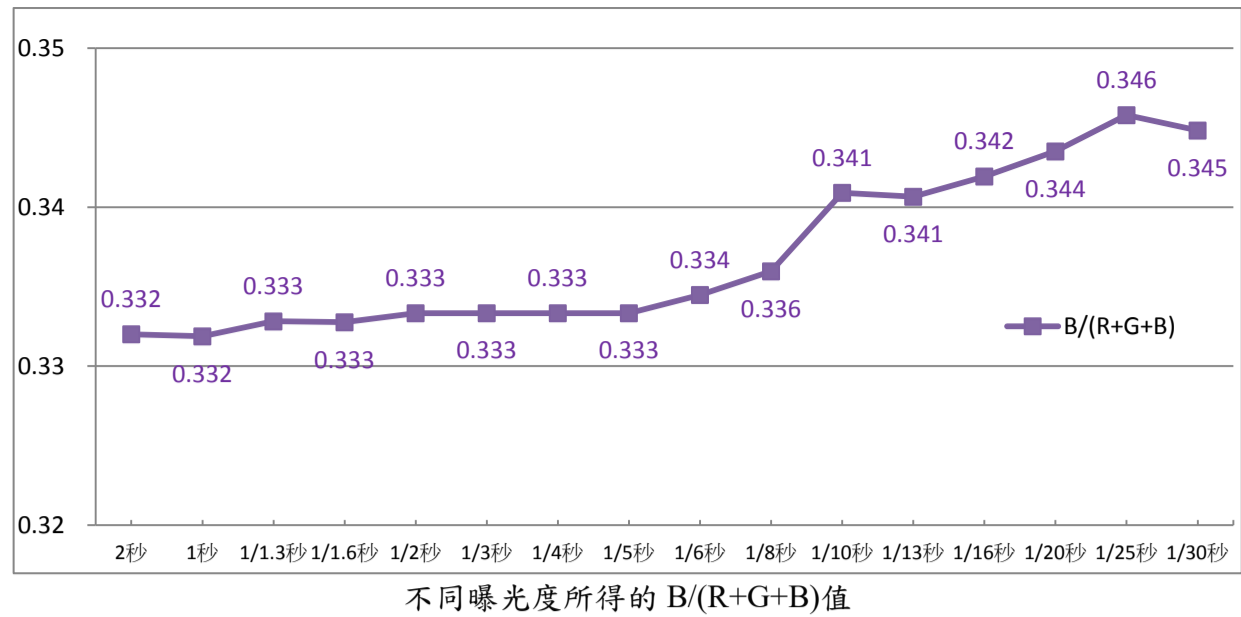
白平衡模式	白熾燈	室外	陰天	螢光燈	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6
R	149	205	221	216	216	212	208	205	202	197
G	225	214	215	214	205	207	207	208	210	210
B	225	221	212	240	206	208	210	213	218	222

各種白平衡補償設定拍攝「R=200、G=200、B=200 圖片」所得的 RGB 值

手動原始設定	CT3 A0G0	CT3 A1G0	CT3 A2G0	CT3 A3G0	CT3 A1G1	CT3 A2G1	CT3 A3G1
R	210	209	208	207	205	202	204
G	210	209	206	206	210	205	208
B	213	209	202	199	206	199	197

找到拍攝測試光源 RGB 值比例最接近 1:1:1 的設定（進階設定 CT3、圖白平衡補償設定 A1G0），確保後續實驗結果具參考性。

(二) 檢查相機在不同曝光度時會否會產生誤差。



曝光量較低時會有較大的誤差，曝光量超過相機能記錄的範圍時，RGB 值都會記錄到「255」，所以測試光源色溫時，曝光量最好控制在 RGB 值 100 以上、250 以下。用 RGB 值比對色溫時，三個變數無法直接對應色溫值，所以用 RGB 值之間比例關係（ $B / (R+G+B)$ ）來對應色溫值。

二、實驗二、測量各教室照明的 RGB 比例對照色度準確的色溫圖表求色溫。

以在校園各場域測得 RGB 換算  $B/(R+G+B)$  比對得到色溫值

地點	R 值平均	G 值平均	B 值平均	B/(R+G+B)	測得色溫
一甲教室	201.4	212.5	207.0	0.3334	6400K
五乙教室	212.8	213.7	198.1	0.3172	5600K
活動中心	208.3	213.1	209.2	0.3317	6300K
操場晴天	231.2	218.9	226.1	0.3344	6500K
操場陰天	235.9	227.2	234.9	0.3365	6600K
會議室	233.2	218.4	202.6	0.3097	5300K
電腦教室	199.6	207.4	194.4	0.3232	5900K
辦公室 LED 區	211.9	218.4	216.3	0.3345	6500K
辦公室 T5 區	208.2	212.0	200.4	0.3229	5900K
自然教室	219.5	221.4	210.4	0.3230	5900K
圖書室	226.0	220.5	209.8	0.3197	5700K

會議室的燈泡就是白光與黃光各半，果然測得的色溫值最低。

三、實驗三：找出混合不同色溫光源時，光源比例與混合光源色溫的關係。

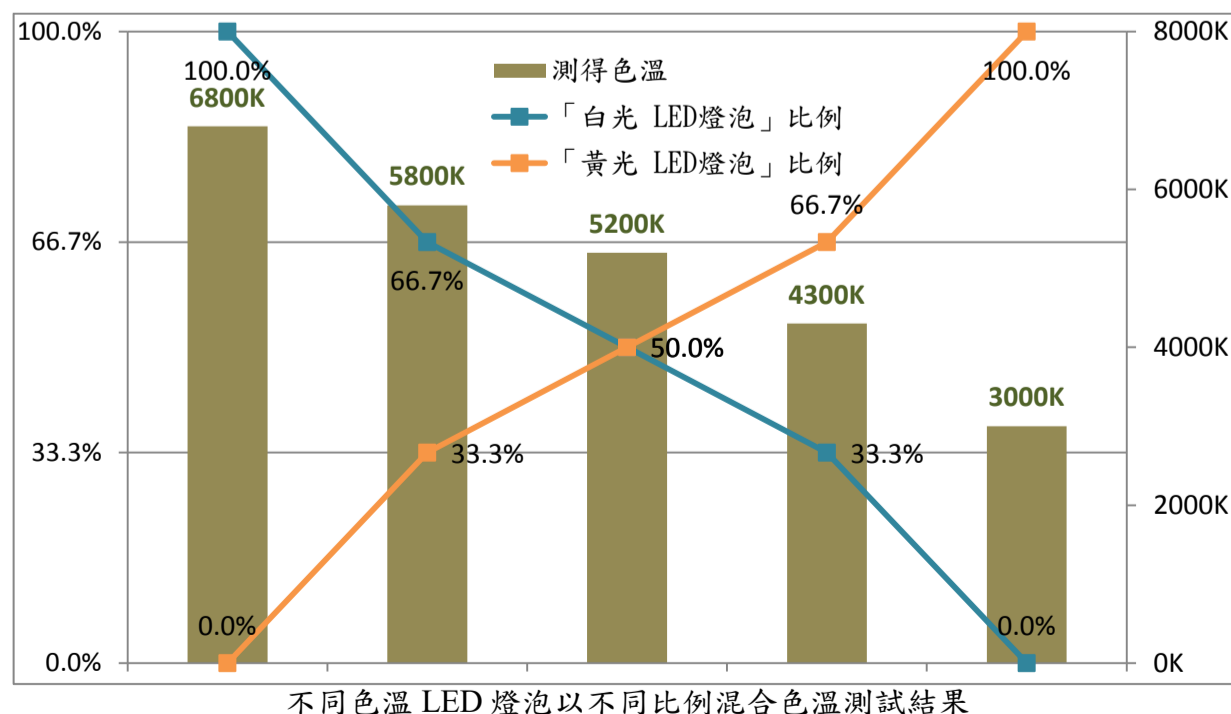
測試白光、黃光 LED 燈泡結果

測試光源	R 值平均	G 值平均	B 值平均	B / (R+G+B)	測得色溫
白光 LED 燈泡 (標示 6500K)	217.0	227.5	229.4	0.3404	6800K
黃光 LED 燈泡 (標示 3000K)	237.8	186.6	106.5	0.2006	3000K

測得白光 LED 燈泡色溫為 6800K、黃光 LED 燈泡色溫為 3000K。

不同色溫 LED 燈泡以不同比例混合色溫測試結果

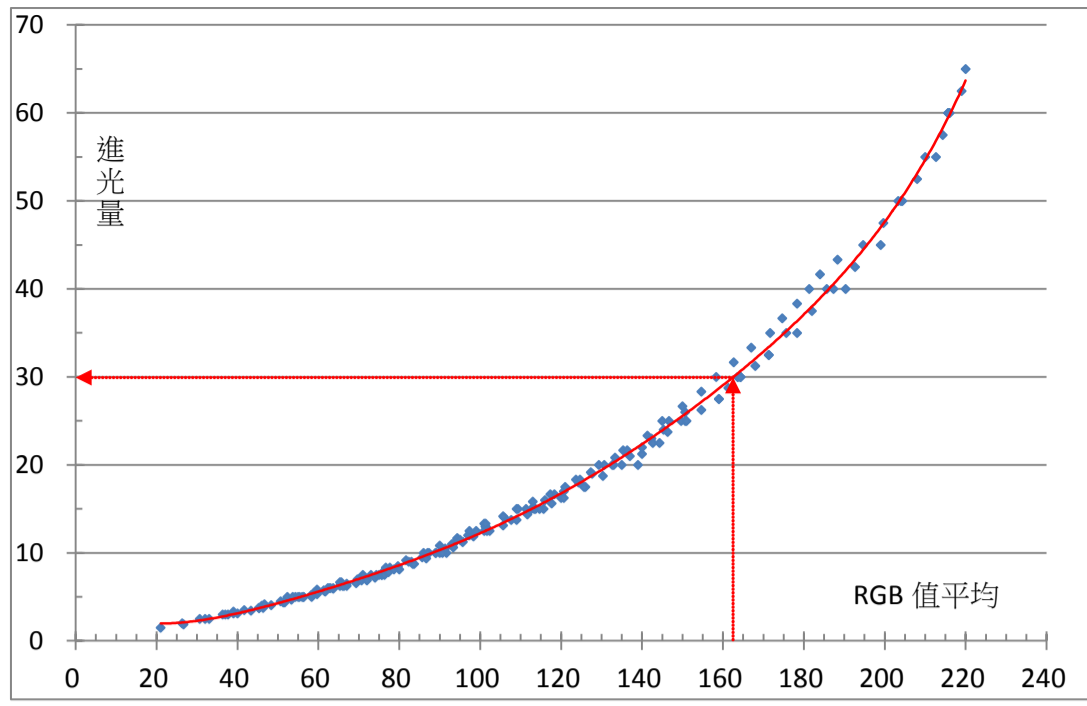
燈泡數量 (佔比: %)	R 值平均	G 值平均	B 值平均	B / (R+G+B)	測得色溫
白光 LED 燈泡 2 (100%) / 黃光 LED 燈泡 0 (0%)	213.9	227.5	233.4	0.3404	6800K
2 (66.67%) / 1 (33.33%)	238.5	229.9	220.7	0.3202	5800K
1 (50%) / 1 (50%)	237.6	216.8	199.6	0.3052	5200K
1 (33.33%) / 2 (66.67%)	249.0	225.7	182.0	0.2771	4300K
0 (0%) / 2 (100%)	237.8	186.6	106.5	0.2006	3000K



混合光源時使用白光光源的比例越高，測得的色溫就會越高，黃白光光源的比例越高，測得的色溫就會越低，（黃白光燈泡都是 1055lm）黃白光燈泡 2:1 時可以得到接近 4000K 的光源。



四、實驗四：找出使用相機測量照度的方法。



加上趨勢線的「RGB 平均值」與「進光量」分佈圖

從相機拍的照片中取得 RGB 平均值，再從上圖找出對應的進光量，就能利用「照度=進光量 X 快門時間分母」的關係，計算出照度。例如：

RGB 平均值 162.5，快門 1/20 秒

RGB 平均值 162.5 → 進光量 30，照度 = 30 X 20 = 600 (lx)

五、實驗五：測試幾款市售燈泡是否有頻閃。

2700K 省電燈泡頻閃測試資料

編號	B/(R+G+B)	RGB 平均	亮點(V) 暗點(X)	編號	B/(R+G+B)	RGB 平均	亮點(V) 暗點(X)	編號	B/(R+G+B)	RGB 平均	亮點(V) 暗點(X)
1	0.314	174.3		16	0.313	175.7		31	0.312	171.0	
2	0.313	176.0	V1	17	0.312	176.3	V3	32	0.312	173.0	
3	0.309	175.7		18	0.310	176.3	V3	33	0.314	174.3	
4	0.307	174.0		19	0.306	173.0		34	0.313	175.7	V5
5	0.305	169.7		20	0.305	171.3		35	0.309	174.7	
6	0.305	167.0	X1	21	0.305	169.7		36	0.306	173.3	
7	0.314	171.0		22	0.306	167.7	X3	37	0.304	172.0	
8	0.314	173.0		23	0.313	170.3		38	0.306	170.0	
9	0.314	176.3		24	0.313	173.7		39	0.308	168.0	X5
10	0.309	176.7	V2	25	0.312	176.3		40	0.310	172.0	
11	0.308	175.3		26	0.311	176.7	V4	41	0.314	174.3	
12	0.306	172.3		27	0.309	175.7		42	0.313	176.7	V6
13	0.306	171.0		28	0.308	174.3		43	0.309	175.7	
14	0.310	169.0	X2	29	0.307	172.7					
15	0.313	172.7		30	0.304	167.7	X4				

閃頻計算方式：

閃一次的時間 = (第 6 次亮編號 - 第 1 次亮編號) X 每張照片的間隔時間 ÷ (第 6 次亮 - 第 1 次亮)

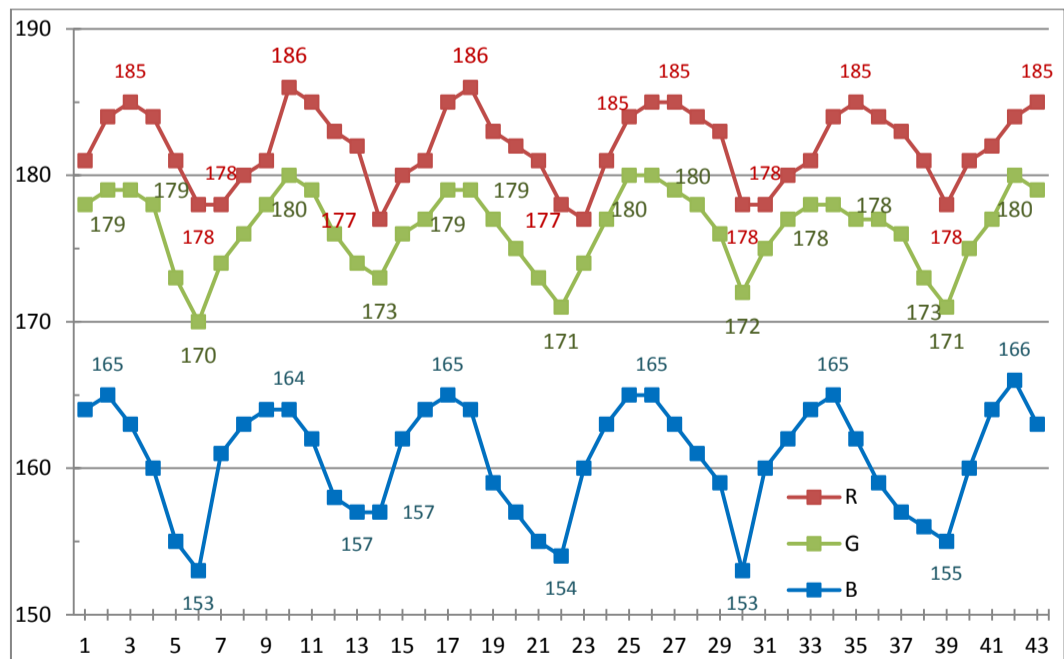
= (第一到六次亮的間隔數) X 1/960 ÷ (閃 5 次間隔)

= (42 - 2) X 1/960 ÷ 5 = 1/120 (秒/次)

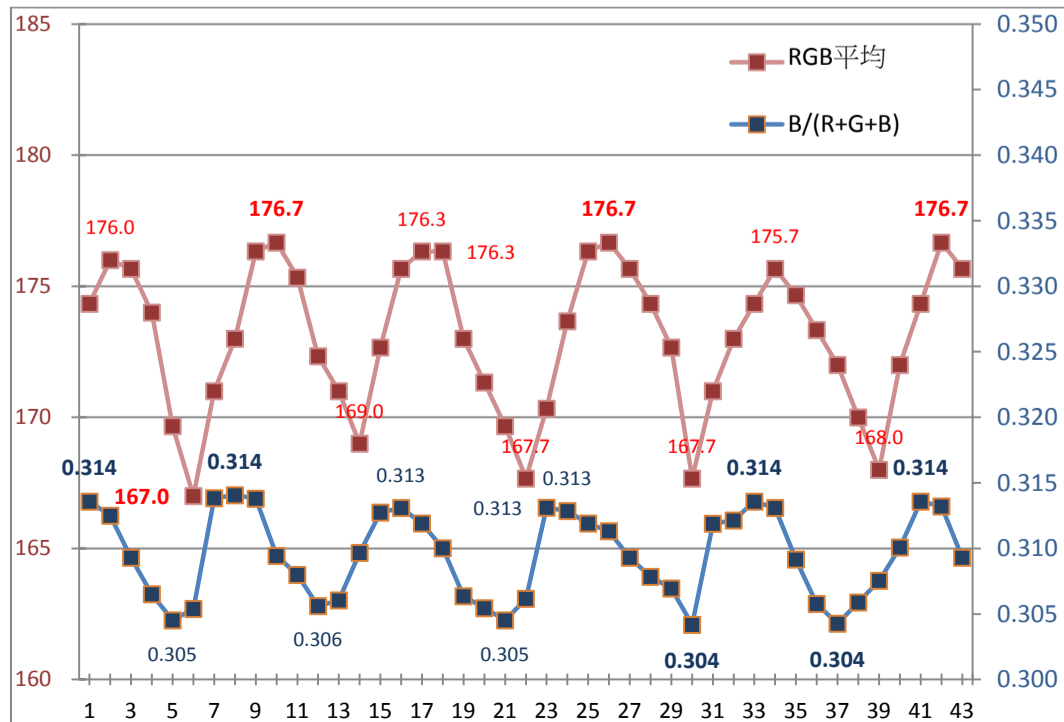
1 秒 ÷ 閃一次的時間 = 每秒閃爍的次數

1 ÷ 1/120 = 120 (次/秒)

除 B 牌 LED 燈泡測不出頻閃的現象外，其他燈泡的閃頻大約都是 120 次/秒，應和使用交流電源有關。



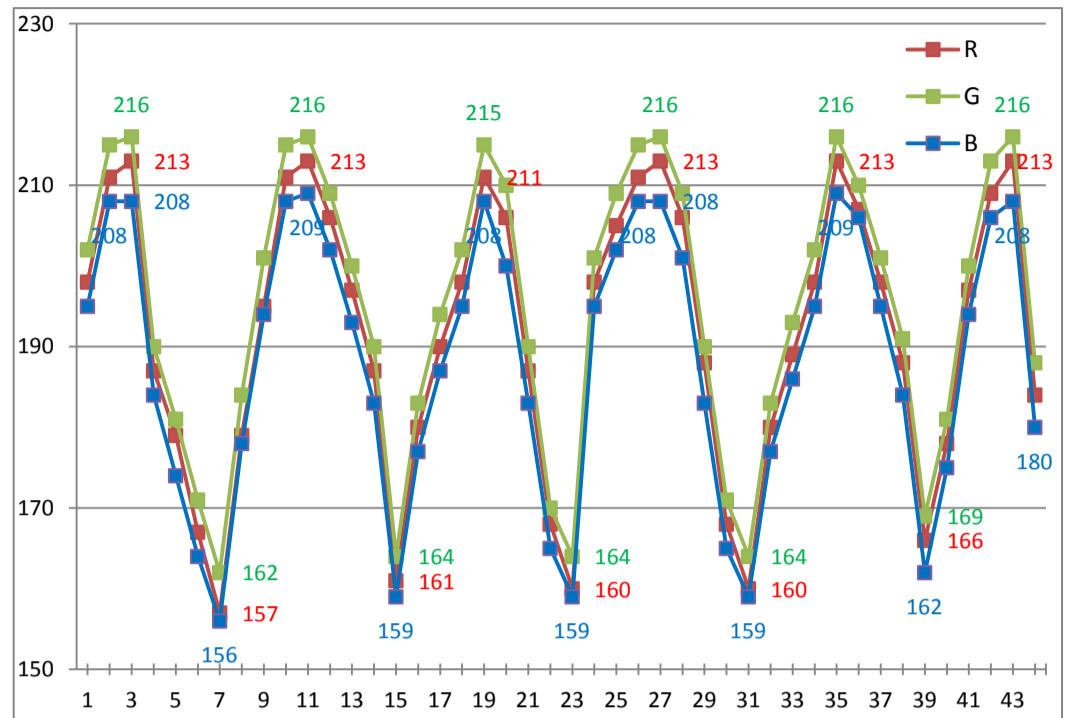
2700K 省電燈泡頻閃測試 RGB 值變化情形



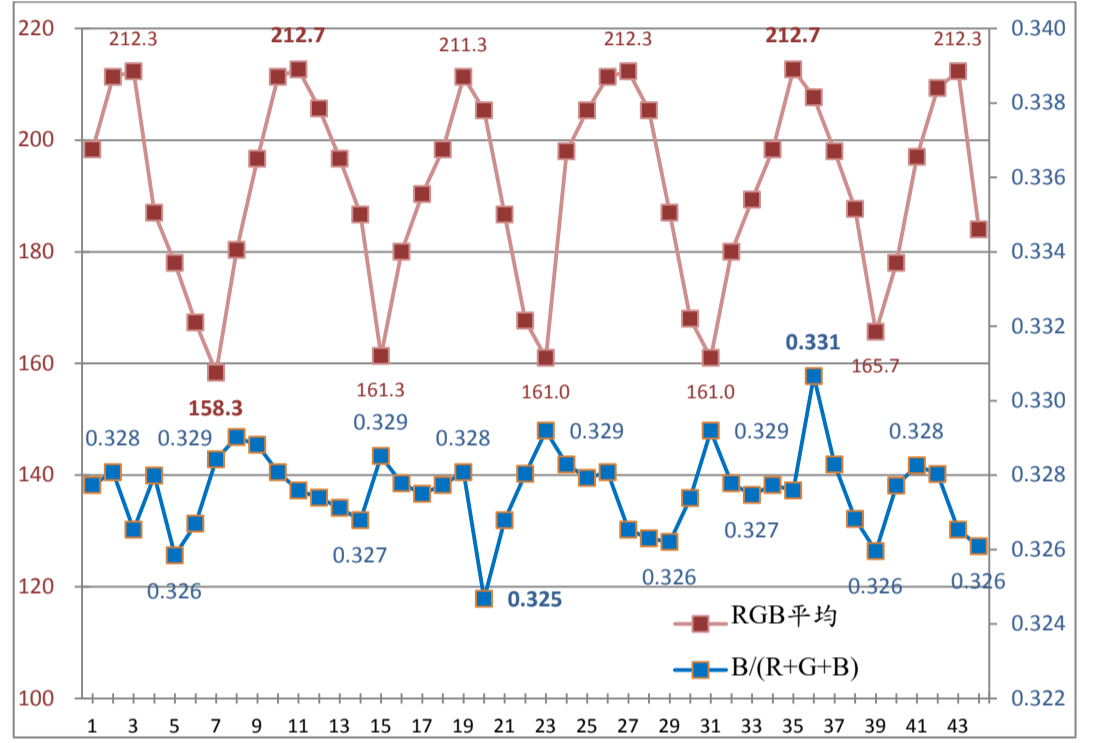
P 牌 2700K 省電燈泡頻閃測試 RGB 平均值、RGB 值比例變化情形

省電燈泡 RGB 值變化情形並不一致，也就是藍光比例也隨時間改變，這是測試光源頻閃的意外發現，原來燈泡的頻閃除了亮度會變化，色溫也有類似「頻閃」的現象。

有趣的是省電燈泡 B 值出現極大值時，下一張照片 (1/960 秒後) R 值就會出現極大值，而 LED 燈泡就沒有 RGB 極大值出現時間有差距的情況，但亮度變化較大。



P 牌 6500K LED 燈泡頻閃測試 RGB 值變化情形



P 牌 6500K LED 燈泡 RGB 平均值、RGB 值比例變化情形

七款燈泡頻閃測試資料 (藍光比例與色溫變化範圍只能參考)

燈泡 品牌型號	RGB 平均		RGB 平均 變化幅度 (%)	轉換進光量		頻閃百分比 (%)	B/(R+G+B)		B/(R+G+B) 變化幅度 (%)	色溫變化範圍 (K)*	閃頻 (次/秒)
	最大值	最小值		最大值	最小值		最大值	最小值			
P 牌 2700K 省電燈泡	176.7	167.0	5.6	35.6	31.5	6.11	0.3141	0.3042	3.20	5500~5100	120.0
P 牌 6500K 省電燈泡	178.7	168.7	5.8	36.5	32.2	6.26	0.3384	0.3262	3.67	6700~6000	120.0
東牌 6500K 省電燈泡	166.0	156.0	6.2	31.1	27.5	6.14	0.3128	0.2949	5.89	5400~4800	123.1
P 牌 3000K LED 燈泡	201.0	146.0	31.7	48.5	24.2	33.43	0.3185	0.3151	1.07	5700~5500	123.1
P 牌 6500K LED 燈泡	212.7	158.3	29.3	57.0	28.3	33.65	0.3377	0.3353	0.71	6700~6500	120.0
B 牌 4000K LED 燈泡	236.0	235.7	0.1				0.3305	0.3296	0.27	6200~6200	
朝牌白熾燈	78.7	65.3	18.6	8.3	6.2	14.48	0.1907	0.1684	12.42	2900~2700	120.0

頻閃幅度 (頻閃百分比) =

(進光量最大值 - 進光量最小值) / (進光量最大值 + 進光量最小值) X 100 %

陸、結論

- 一、校準後的相機可以測量色溫。
- 二、混合光源時，白光比例越高色溫越高，黃白光燈泡比例 2:1 時，可得到 4000K 左右的光源。
- 三、相機測量燈泡色溫、亮度須注意頻閃現象。
- 四、經測試常見三類光源 (LED 燈泡、省電燈泡、白熾燈) 的頻閃 (B 牌燈泡不計)

亮度變化：LED 燈 > 白熾燈 > 省電燈泡

B / (R+G+B) 值變化幅度：白熾燈 > 省電燈泡 > LED 燈

五、未來展望：

好的照明光源要符合以下條件：合適的照度、照度均勻、無紫外線、無頻閃現象、合宜的色溫、高演色性、低眩光，經過努力，我們已經可以測量色溫、照度和頻閃，可供挑選照明光源時參考，希望能繼續找出測量其他條件的方法，已經能測量的條件也希望能找到更準確更方便的測量方式。