2011 年臺灣國際科學展覽會

優勝作品專輯

編號：110004

作品名稱

以瑞利準則探討數位顯示之觀賞距離

得獎獎項

二等獎

美國正選代表:美國第 62 屆國際科技展覽會

作者姓名：陳又榕

就讀學校：國立高雄師範大學附屬高級中學

指導教師：傅楸善、簡聿成

關鍵字：瑞利準則、LED 數位顯示

作者簡介

大家好！ 我是又榕，在充滿陽光與活力的高雄長大，喜歡音樂、閱讀及戶外活動，更喜歡學習新事物。高一時因為一項作業，偶然間參加了科展，也因此引起對科學研究的興趣。

科學使人類的生活更加的便利，但也漸漸扼殺了整個環境，因此，節能減碳及成了目前最重要的課題之一，科學研究也成了解決問題的重要根本，希望未來有機會做更多的研究。

以瑞利準則探討數位顯示之觀賞距離

摘　要

本研究希望在數位顯示方面做些改進，利用電腦運算使戶外大型 LED 看板所使用之能源降到最低，以達到節能減碳。

本研究分為兩個部份:

第一部份:以瑞利準則探討亮點間距與觀賞距離之關係。

實驗中，以 Photoshop 繪圖模仿 LED 燈泡之排列，分析兩亮點之大小、距離與觀測距離的關係來設定點之尺寸，再進一步分析三原色點之觀測距離、比例及三原色點之佈點方式對混色效果之關係，並以瑞利準則判斷之。

得到公式如下：

$$\frac{\text{自己所繪之點大小}}{\text{點恰可分辨之最近距離}} = \frac{\text{LED 燈之間隔}}{\text{點恰可分辨之最近距離}} = \frac{0.8mm}{1m}$$

第二部份:數位顯示—LED。

利用第一部份所得知的公式發現：在某一觀賞距離時，有最佳的影像品質且有最少的用電量。較近時，則影像品質降低；而較遠時，影像品質已無法提昇，而多餘的用電量則可經由實驗省去。藉由本次實驗結果，可利用所編寫之程式計算出在某一距離下最適合之燈泡尺寸及所省之電量，以達到節能減碳的效果。

Study on the Distance to View the Digital Display by Rayleigh Criterion

Abstract

In this research, we would like to improve digital display by reducing digital display electricity by calculating viewing distance on LED (Light Emitting Diode) board.

This research includes two parts.

Part one: To discuss the distance to view the LED by Rayleigh Criterion.

In this experiment, we use Photoshop to imitate the arrangement of LED. We analyze the size and distance between two bright spots and design the size of spots by the relation to the viewing distance. Furthermore, we analyze the viewing distance, ratio of color light, and how to spread the LED dots considering color mixing. Next, we use Rayleigh criterion to discuss the result.

Part two: Digital display-LED.

Use the formula from part one and calculate the number of LED dots on LED board and the viewing distance to the board to save electricity and achieve greener environment. If we follow the formula from part one, we can have the optimum image quality and least power consumption at our proposed optimum viewing distance. At closer distance, the image quality deteriorates. At farther distance, the image quality stays the same, but we will waste power consumption.

目錄

作者簡介……ii

中文摘要……iii

英文摘要……iv

壹、研究動機……1

貳、研究目的……1

參、研究設備與器材……2

肆、研究過程與結果討論……3

一、以瑞利準則探討亮點間與觀賞距離之距離。……3

(一) 分析兩亮點之大小、距離與觀測距離之關係。……3

(二) 分析三原色點之比例及觀測距離對混色效果之關係……16

(三) 分析對三原色點之佈點方式對混色效果之關係。……50

二、數位顯示－以 LED 為例。……56

伍、結論……71

陸、未來展望……73

柒、參考資料……74

以瑞利準則探討數位顯示之觀賞距離

Study on the Distance to View the Digital Display by Rayleigh Criterion

壹、 研究動機

現今科技日新月異，路上隨處可見大型 LED 看板，逐漸取代一般燈泡，而隨著環保意識逐漸高漲，節能減碳是基本工作。LED 是目前最省能且使用壽命長的燈源之一，希望藉由此實驗利用視覺效果來減少燈泡使用，並改良現今之 LED 看板軟體，以達節能減碳。

貳、 研究目的

本研究希望以瑞利準則探討數位顯示之觀賞距離，從分析兩亮點之大小、距離與觀測距離的關係到分析三原色點之比例及觀測距離對混色效果之關係為本實驗所討論之問題，在利用其結果套入數位顯示－LED 中，以達節能減碳之效果。

本研究的研究問題為：

一、以瑞利準則探討亮點間與觀賞距離之距離

(一) 分析兩亮點之大小、距離與觀測距離之關係

(二) 分析三原色點之比例及觀測距離對混色效果之關係

(三) 分析對三原色點之佈點方式對混色效果之關係

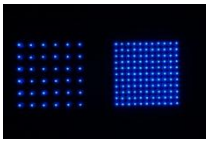
二、數位顯示－以 LED 為例

(1) 面於不同距離之顯示效果

(2) 文字於不同距離之顯示效果

(3) 編寫簡易程式

參、 研究設備與器材

項次	品名	實物照片
1	數位相機（FUJIFILM S3 PRO 單眼數位相機）	
2	SR-UL1R 超低輝度分光放射計一台	
3	測光表（KONICA MINOLTA AUTO METER VF）	
4	可攜式多光源觀測光箱	
5	DIY LED	
6	Photoshop	

肆、 研究過程與結果討論

一、以瑞利準則探討亮點間與觀賞距離之距離

（一）分析兩亮點之大小、距離與觀測距離之關係

1. 文獻探討：

瑞利準則（Rayleigh criterion）表示了一個光學儀器對兩個點光源的角分辨度（Angular resolution）。

繞射限制了透鏡的分辨度，透鏡的口徑可以視為單狹縫的二維版本，經過狹縫的光波干涉，形成所謂的愛里繞射圖樣，這引致圖象模糊。

圓孔繞射的光強可寫成：

$$I(\theta) = I_o\left[\frac{2J_1(kR\sin\theta)}{kR\sin\theta}\right]$$

其中 R 是圓孔半徑

$k = 2\pi / \lambda$，λ 是光波長

$J_1(x)$ 是貝塞爾函數

$J_1(x) = 0$ 的最小正實數解是 $x = 3.83$

$I(\theta) = 0$ 的最小正實數解就是 $\theta \approx \sin\theta = 1.220\frac{\lambda}{2R}$

這表示了若透鏡和兩個物件之間的夾角少於 θ，透鏡的觀察者便無法分辨出有兩個物件。

總而言之，瑞利準則原理與兩個點光源解析度有相關，當一亮點的光斑極大值必須落在另一亮點的極小值上，才能恰可分辨出相異的兩亮點。

2.研究過程：

※繪圖：使用 PHOTOSHOP 繪圖，以寬度(W) 5 英寸，高度(H) 7 英寸，解析度(R) 300 像素/英寸(ppi)，色彩模式(M)為 RGB、8 位元之白色的背景內容(C)為底色。實驗時，以背景為黑色，減少觀測時之干擾。在黑色背景上訂出標準線後，以不同大小之小點作圖，其 RGB 的灰階(GL)調配不同色彩。為符合瑞利準則，令圓點間相切，完成此圖。

※實驗分析：完成此圖後，以布面之相片沖洗，並以不同距離(100cm、150cm 及 200cm)作觀察、拍攝。為客觀起見，以數位相機(Canon EOS 5D Mark II)當作測量標準，並參照測光表將相機調整至以下條件：光圈(f) 8、快門 1/60s，並以焦距 50mm 之鏡頭於閃光燈(外加燈罩)照射下拍攝所製作的圖片模仿人眼所見；另再將拍成的照片在電腦上放大(zoom in)，觀察白點混合的狀況，以便使用 Photoshop 來分析。

※實驗數據的分析(鑑別條件)：

＊兩光源與狹縫之夾角 θ，　$\theta = \dfrac{d}{\ell}$

＊最小鑑別角：兩光源恰可鑑別時對狹縫的夾角。　$\theta_R \approx \dfrac{\Delta y}{L} = \dfrac{\lambda}{a}$

$$\text{而}\begin{cases} \theta > \theta_R \implies \text{兩光源可鑑別} \\ \theta = \theta_R \implies \text{兩光源恰可鑑別} \\ \theta < \theta_R \implies \text{兩光源不可鑑別} \end{cases}$$

當兩者之間的距離減小時，其繞射圖像逐漸重疊，當兩者接近至某一程度時，其在光屏上的圖像，已疊合至無從分辨(如圖 2、圖 3、圖 4)。

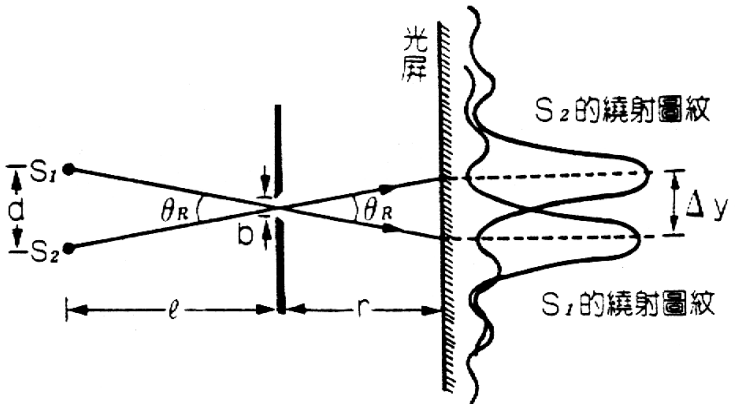


圖 1 繞射原理

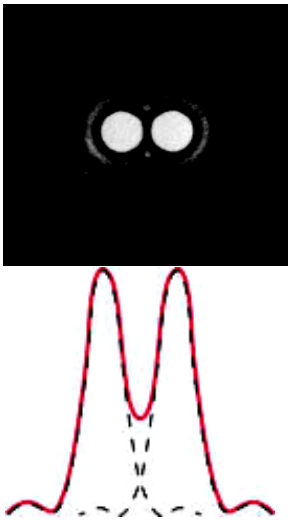


圖 2 可分辨

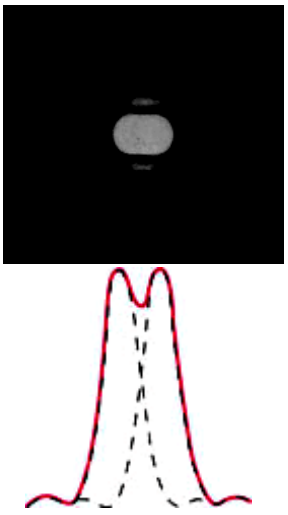


圖 3 恰可分辨

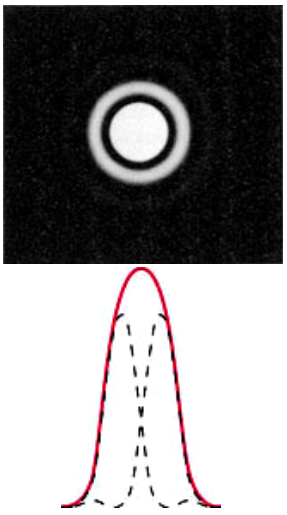


圖 4 不可分辨

(1) 找出最大兩點能混合成一大點時,在不同距離處(A 組:100cm B 組:150cm C 組:200cm) 人眼所見之不同效果。

(2) 找出最大點所組成的面在不同距離處(A 組:100cm B 組:150cm C 組:200cm)，人眼所見能混合成一大點。

(3) 改變圓點與圓點之間之距離，以三小圓白點為一組來做討論。

(4) 改變圓點與圓點之間之距離，以四小圓白點為一組來做討論。

表 1　各組別之距離

組別	A 組	B 組	C 組
拍攝(cm)	100	150	200

表 2　px 與白點直徑 D(mm)之對照

px	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	
D	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5	0.3	

註: 四捨五入至小數第一位

2. 研究結果：

(1) 找出最大兩點能混合成一大點時，在不同距離處(A:100cm B:150cm C:200cm) 人眼所見之不同效果。

圖 5 依研究過程所繪出不同尺寸之相切白點

表 3　兩圓點之相切點的 RGB 值之比

	10px	12px	14px	16px	18px	20px
R	254	241	231	225	218	211
G	254	241	231	225	218	211
B	254	241	231	225	218	211

RGB 單位：灰階(GL)

A 組：距離 100cm

圖 6 距離 100cm 所拍之照片

表 4 兩圓點之相切點的 RGB 值之比

	10px	12px	14px	16px	18px	20px
R	254	244	241	243	241	234
G	254	250	255	244	235	238
B	253	255	251	238	242	239

RGB 單位：灰階(GL)

B 組：距離 150cm

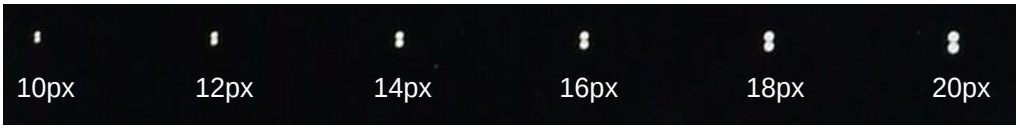


圖 7 距離 150cm 所拍之照片

表 5 兩圓點之相切點的 RGB 值之比

	10px	12px	14px	16px	18px	20px
R	255	254	244	243	232	234
G	255	255	250	246	232	234
B	253	255	236	255	240	242

RGB 單位：灰階(GL)

C 組：距離 200cm

圖 8 距離 200cm 所拍之照片

表 6 兩圓點之相切點的 RGB 值之比

	10px	12px	14px	16px	18px	20px
R	255	244	245	243	230	234
G	255	247	247	252	232	236
B	255	238	244	251	244	231

RGB 單位：灰階(GL)

由以上三組相機模仿人眼之 RGB 值發現:當距離 150cm 及 200cm 時，RGB 的灰階(GL)值近 255 時，越易混合成一點。

由步驟一雖然可證實於 10px 之小白圓點可於人眼距離 100cm、12px 之小白圓點可於人眼距離 150cm、14px 之小白圓點可於人眼距離 200cm 時合成為一白點，但為了符合一般 LED 面板顯示的條件，因此，試著以面的方式測量之。

(2) 找出最大點所組成的面在不同距離處(A:100cm B:150cm C:200cm)，人眼所見能混合成一大點。

由圖 10 的放大圖(右方)於 PHOTOSHOP 中，測量各點之 RGB 灰階值，發現在 14px 時，白點與白點之間最黑的部分為 GL_R:127、GL_G:127、GL_B:127，大約為白點 255 的一半，以此方法代替瑞利準則(Rayleigh criterion)找到構圖的基本條件。

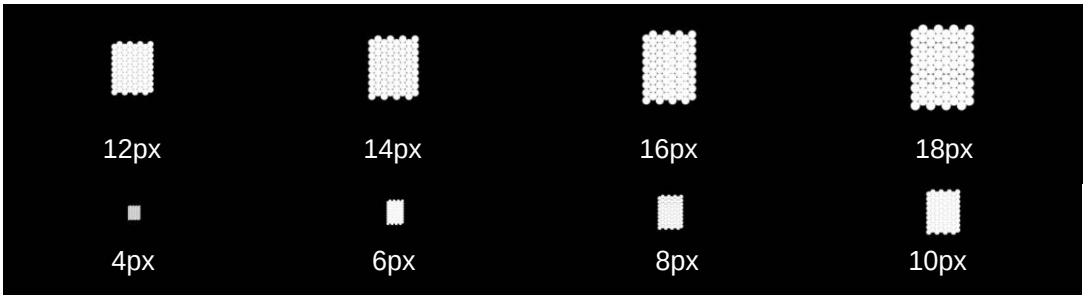


圖 9 依研究過程所繪出不同尺寸之相切白點所組成的面

表 7　圓點所組成之面 RGB 值之比

	4px	6px	8px	10px	12px	14px	16px	18px
R	243	253	234	244	184	177	185	150
G	243	253	234	244	184	177	185	150
B	243	253	234	244	184	177	185	150

RGB 單位：灰階(GL)

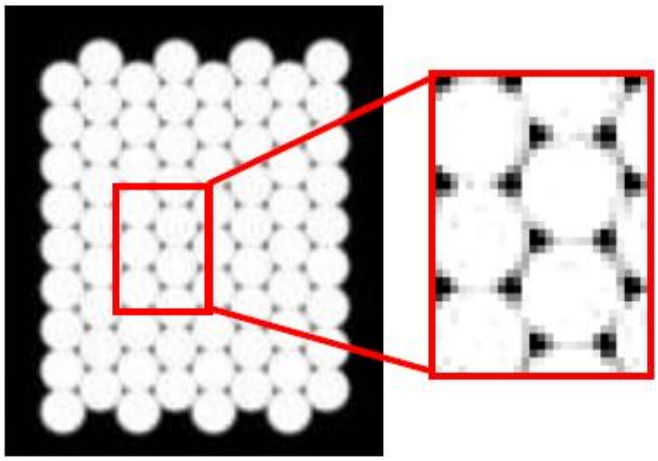


圖 10　18px 之相切白色小圓點所組成的面

A 組：距離 100cm

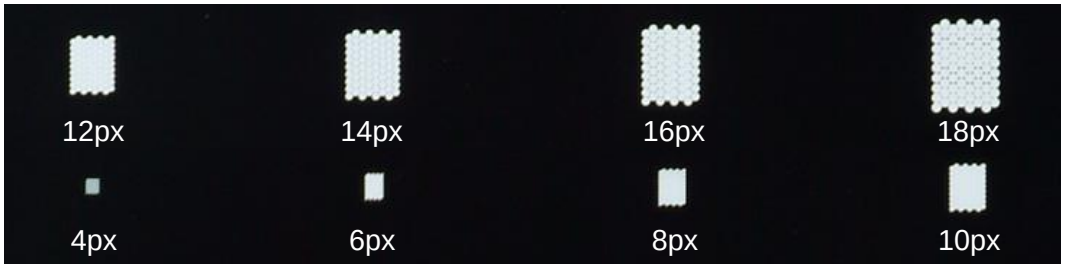


圖 11 距離 100cm 所拍之照片

表 8 圓點所組成之面 RGB 值之比

	4px	6px	8px	10px	12px	14px	16px	18px
R	180	242	242	221	226	224	223	221
G	192	246	247	230	237	234	234	232
B	190	232	250	237	241	236	238	236

RGB 單位：灰階(GL)

B 組：距離 150cm

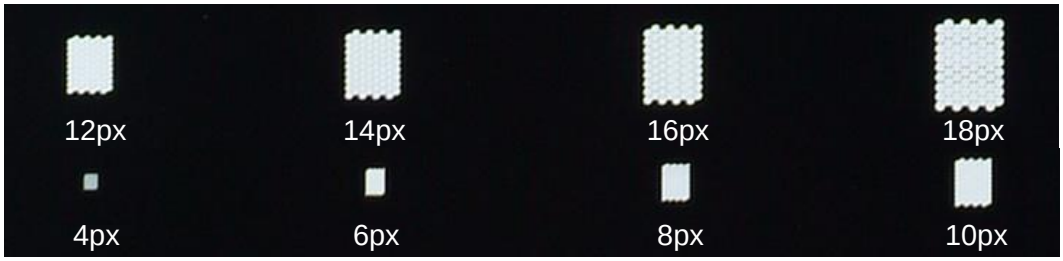


圖 12 距離 150cm 所拍之照片

表 9 圓點所組成之面 RGB 值之比

	4px	6px	8px	10px	12px	14px	16px	18px
R	171	222	223	220	230	235	233	227
G	189	231	232	231	241	243	243	232
B	199	238	237	235	245	245	247	235

RGB 單位：灰階(GL)

C 組：距離 200cm

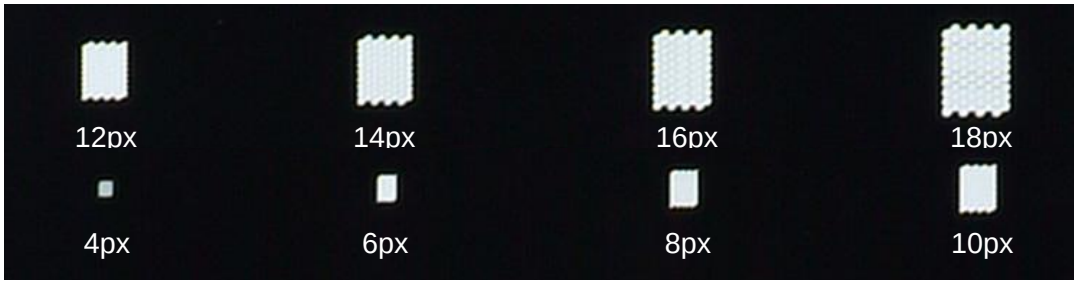


圖 13 距離 200cm 所拍之照片

表 10 圓點所組成之面 RGB 值之比

	4px	6px	8px	10px	12px	14px	16px	18px
R	178	204	220	219	226	232	233	235
G	199	199	234	230	233	242	240	246
B	200	203	237	234	239	243	245	247

RGB 單位：灰階(GL)

由以上三組相機模仿人眼之 RGB 值發現:當距離越遠時，越接近 RGB 的灰階(GL)值近 255 的圓點越大，而 RGB 的灰階(GL)值開始降低時的圓點大小也較大。

電腦模擬時，18px 為不可分辨圓點顆粒之最大值，分別於 100cm、150cm、200cm 拍攝時，6px、8px、14px 即可視為白平面。

(3) 改變圓點與圓點之間之距離，以三小圓白點為一組來做討論。

圖 14 三小圓點為一組之點距離

表 11　各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

	16px	14px	12px	10px	8px	6px
R	61	72	126	191	199	222
G	61	72	126	191	199	222
B	61	72	126	191	199	222

RGB 單位：灰階(GL)

A 組：距離 100cm

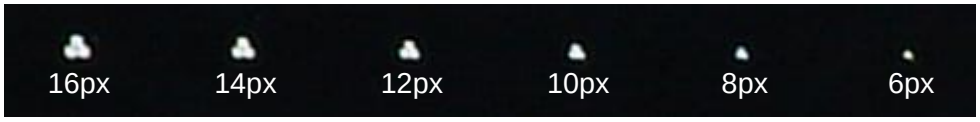


圖 15　三點排列下距離 100cm 所拍之照片

表 12　各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

	16px	14px	12px	10px	8px	6px
R	228	240	245	251	254	253
G	223	237	240	243	255	252
B	219	244	247	240	255	247

RGB 單位：灰階(GL)

B 組：距離 150cm

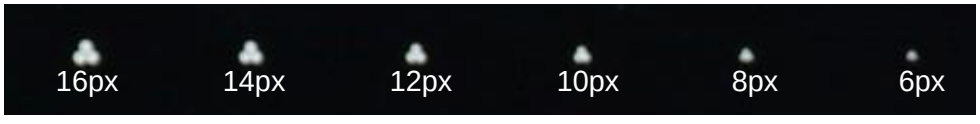


圖 16 三點排列下距離 150cm 所拍之照片

表 13　各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

	16px	14px	12px	10px	8px	6px
R	202	216	211	206	202	177
G	210	218	218	212	211	190
B	213	224	224	219	226	198

RGB 單位：灰階(GL)

C 組：距離 200cm

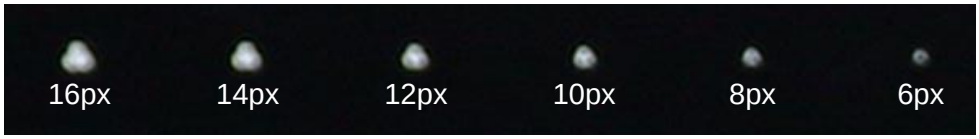


圖 17 三點排列下距離 200cm 所拍之照片

表 14　各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

	16px	14px	12px	10px	8px	6px
R	224	223	204	192	139	109
G	230	231	204	204	156	114
B	242	244	230	220	174	113

RGB 單位：灰階(GL)

由以上三組相機模仿人眼之 RGB 值發現在不同距離下所混合成一點的圓點大小相異，分別於 100cm、150cm、200cm 拍攝時，6px、14px、16px 即混合成一點。

(4) 改變圓點與圓點之間之距離，以四小圓白點為一組來做討論。

圖 18 四小圓點為一組之點距離

表 15　各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

	16px	14px	12px	10px	8px	6px	6px
R	224	223	204	192	139	109	109
G	230	231	204	204	156	114	114
B	242	244	230	220	174	113	113

RGB 單位：灰階(GL)

A 組：距離 100cm

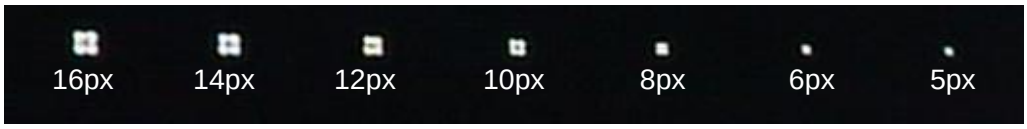


圖 19 四點排列下距離 100cm 所拍之照片

表 16　各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

	16px	14px	12px	10px	8px	6px	5px
R	167	173	215	220	253	251	255
G	172	177	215	220	255	253	255
B	166	188	209	222	250	253	248

RGB 單位：灰階(GL)

B 組：距離 150cm

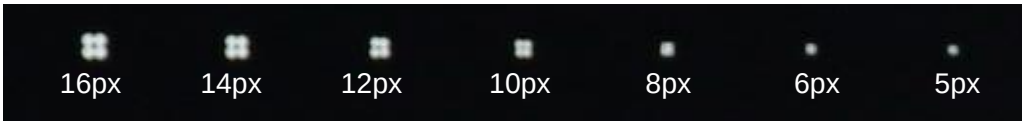


圖 20 四點排列下距離 150cm 所拍之照片

表 17　各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

	16px	14px	12px	10px	8px	6px	5px
R	155	174	172	192	201	180	172
G	166	186	186	199	211	184	181
B	152	172	187	207	203	188	196

RGB 單位：灰階(GL)

C 組：距離 200cm

圖 21 四點排列下距離 200cm 所拍之照片

表 18 各大小圓點之點與點之間量測最黑部分之 RGB 值之比

	16px	14px	12px	10px	8px	6px	5px
R	200	225	225	224	181	103	98
G	21	233	235	228	190	119	103
B	219	235	244	237	207	135	123

RGB 單位：灰階(GL)

由以上三組相機模仿人眼之 RGB 值發現在不同距離下所混合成一點的圓點大小相異，分別於 100cm、150cm、200cm 拍攝時，5px、8px、10px 及混成一點。

第一大項〝(一)分析兩亮點之大小、距離與觀測距離的關係〞在套用瑞利準則（Rayleigh criterion）後決定：當分析彩色三點(為三點時)RGB 時採用 10px 之圓點大小，當分析彩色三點 RGB 時(為四點時)採用 5px 之圓點大小。

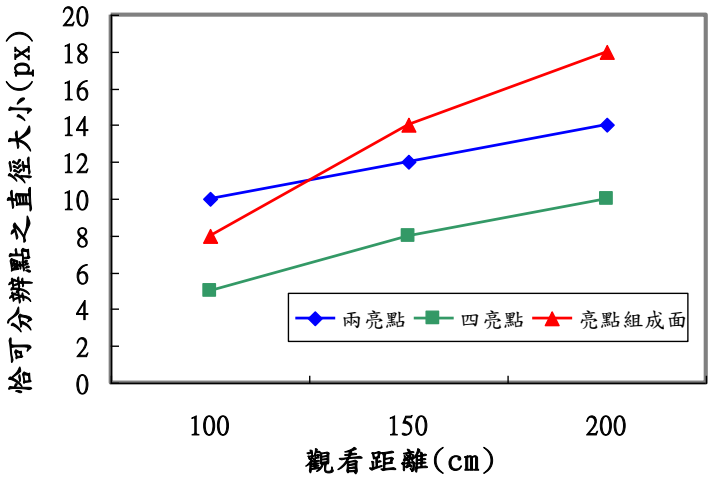


圖 22 實際拍攝距離與恰可分辨直徑大小之關係

（二）分析三原色點之比例及觀測距離對混色效果之關係

1.文獻探討：CIE-XYZ 光譜三刺激值

CIE-XYZ 光譜三刺激值是由 CIE-RGB 光譜三刺激值經過光譜色度坐標之間的轉換得到的，記為 $\bar{x}(\lambda)$、$\bar{y}(\lambda)$、$\bar{z}(\lambda)$。為了直觀的表示顏色的亮度，CIE 規定 $\bar{y}(\lambda)=V(\lambda)$，因此，不僅表達待配色（等能光譜色）中綠原色的數量，而且還表示待配色色光的亮度，用於計算顏色的亮度特性。由於 $\bar{y}(\lambda)$ 符合明視光譜光視效率函數，所以 CIE-XYZ 光譜三刺激值 $\bar{x}(\lambda)$、$\bar{y}(\lambda)$、$\bar{z}(\lambda)$ 又稱為"CIE 1931 標準色度觀察者光譜三刺激值"，簡稱"CIE 標準色度觀察者"，在物體色色度值的計算中代表人眼的顏色視覺特徵參數。由色度坐標的定義知:

$$x(\lambda)=\bar{x}(\lambda)/[\bar{x}(\lambda)+\bar{y}(\lambda)+\bar{z}(\lambda)]$$

$$y(\lambda)=\bar{y}(\lambda)/[\bar{x}(\lambda)+\bar{y}(\lambda)+\bar{z}(\lambda)]$$

$$z(\lambda)=\bar{z}(\lambda)/[\bar{x}(\lambda)+\bar{y}(\lambda)+\bar{z}(\lambda)]$$

且 $x(\lambda)+y(\lambda)+z(\lambda)=1$

又因為規定 $\bar{y}(\lambda)=V(\lambda)$

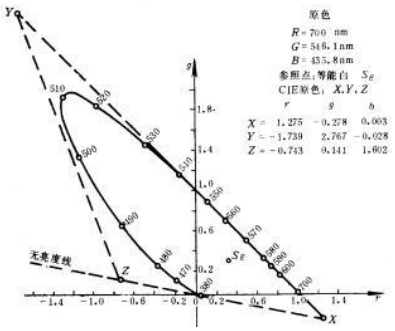


圖 23 CIE rg 色度圖

所以光譜三刺激值的計算公式為：

$$\bar{x}(\lambda)=x(\lambda)V(\lambda)/y(\lambda)$$

$$\bar{y}(\lambda)=V(\lambda)\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$\bar{z}(\lambda)=z(\lambda)V(\lambda)/y(\lambda)$$

計算結果如圖 25 所示。

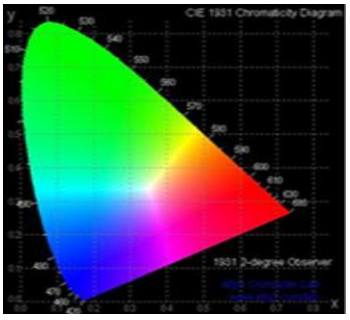


圖 24　CIE1931 色彩之分佈圖

2.研究過程：

※繪圖：使用 PHOTOSHOP 繪圖，以寬度(W) 5 英寸，高度(H) 7 英寸，解析度(R) 300 像素/英寸(ppi)，色彩模式(M)為 RGB、8 位元之白色的背景內容(C)為底色。實驗時，以背景為黑色，減少觀測時之干擾。在黑色背景上訂出標準線後，以紅色、綠色、藍色小圓點，改變其 RGB 的灰階(GL)之比例，完成此圖。

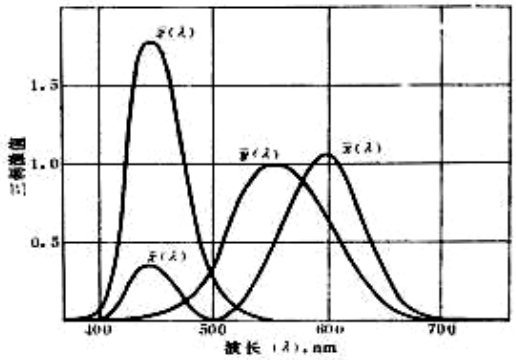


圖 25 光譜三刺激值

※選擇繪圖時點得直徑大小：由〝(一)分析兩亮點之大小、距離與觀測距離的關係〞得知:若改變點與點之間之距離會影響圓點之大小，因此，此實驗於三圓點為一組時，紅色、綠色、藍色小圓點為 10px；於四圓點為一組時，紅色、綠色、藍色、白色小圓點為 5px，以確保其混色效果。

※選擇繪圖條件：由於改變比例時，雖為同一比例，但卻會因 RGB 的灰階(GL)而導致不同的效果，影響亮度，因此，在選擇 RGB 值時，會依比例最大者調至接近於 RGB 的灰階(GL)為 255。

以一般在平面顯示器中最常見的比值(即 GL_R：GL_G：GL_B =3：7：1)舉例說明(如圖 26、圖 27)，此時，選用圖 26 為標準。

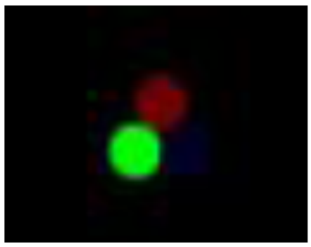


圖 26 GL_R：GL_G：GL_B =108：252：36

圖 27　GL_R：GL_G：GL_B =60:140:20

※實驗：實驗中，使用 Photoshop 測量其 RGB 的灰階(GL)以及使用可攜式多光源觀測光箱中三種不同光源(A 光源、D65 燈管、近色溫 4000k 之一般燈管)為光源，拍攝在不同距離(100cm、150cm、200cm、250cm、300cm 及 350cm)下之變化。為了實驗的精確度及顧慮到點與點之間之距離，分為三小圓點(紅色、綠色、藍色)為一組及四小圓點(紅色、綠色、藍色、白色)為一組兩項實驗。

※分析：以 SR-UL1R 超低輝度分光放射計測量色座標 (xy Chromaticity Diagram, Colorimety)及頻譜(Spectral Radiance Diagram, Spectral Radiance(ABS))紀錄並分析。

表 19　各組別之距離

組別	A 組	B 組	C 組	D 組	E 組	F 組
拍攝(cm)	100	150	200	250	300	350

3.研究結果：

(1)三小圓點(紅色、綠色、藍色)為一組

三小圓點(紅色、綠色、藍色)為一組，使三色混合成紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫色等十三色，以之比較，再組成一個面觀察。

完成此圖後，以相機模仿人眼以不同距離作觀察、拍攝後再以 Photoshop 之 RGB 值作分析處理。

下圖 28 為 Photoshop 所繪之圖。

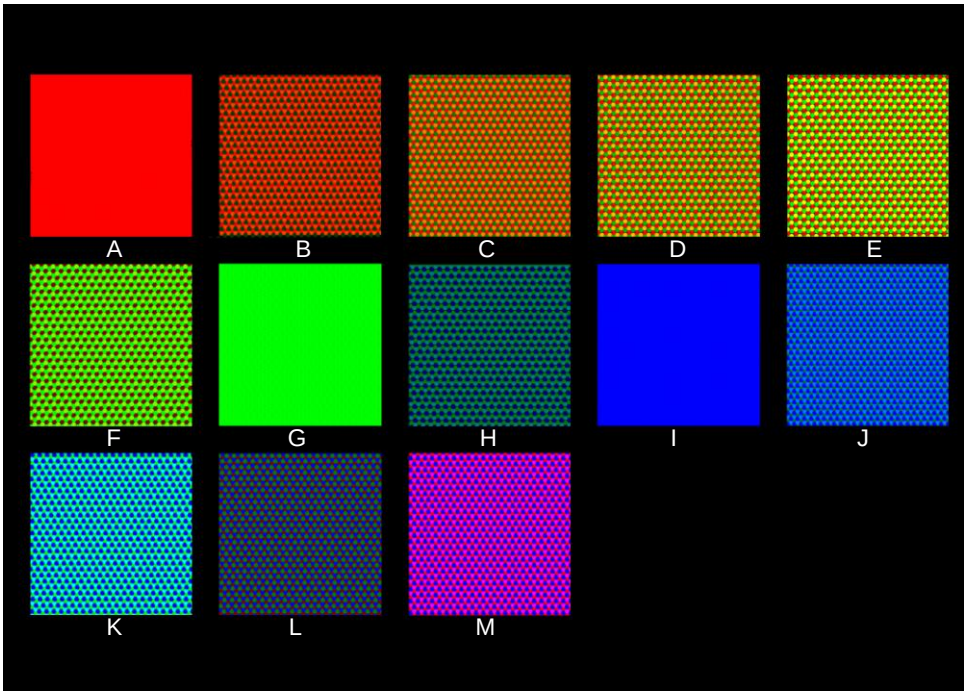


圖 28 不同色塊設計圖

表 20 三小圓點組成面之 RGB 數值

	A	B	C	D	E
R	255	255	255	255	255
G	0	64	128	192	255
B	0	0	0	0	0
	F	G	H	I	J
R	128	0	0	0	0
G	255	255	125	0	128
B	0	0	125	255	255
	K	L	M		
R	0	128	255		
G	255	128	0		
B	255	255	255		

RGB 單位：灰階(GL)

A 組：距離 100cm

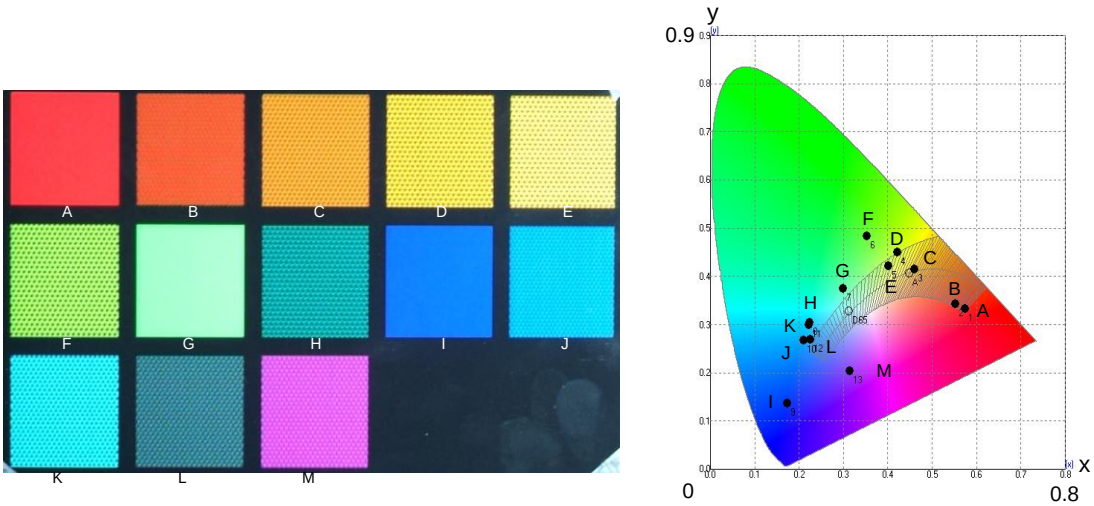


圖 29 三色點組成面之 RGB 數值(a)距離 100cm 所拍之照片 (b)色座標

表 21 三色點組成面之 RGB 數值(100cm)

	A	B	C	D	E
R	255	250	247	255	253
G	65	94	178	255	252
B	78	56	57	111	169
	F	G	H	I	J
R	125	172	4	16	1
G	203	255	188	136	210
B	67	211	188	255	253
	K	L	M		
R	48	63	236		
G	254	147	108		
B	250	173	255		

RGB 單位：灰階(GL)

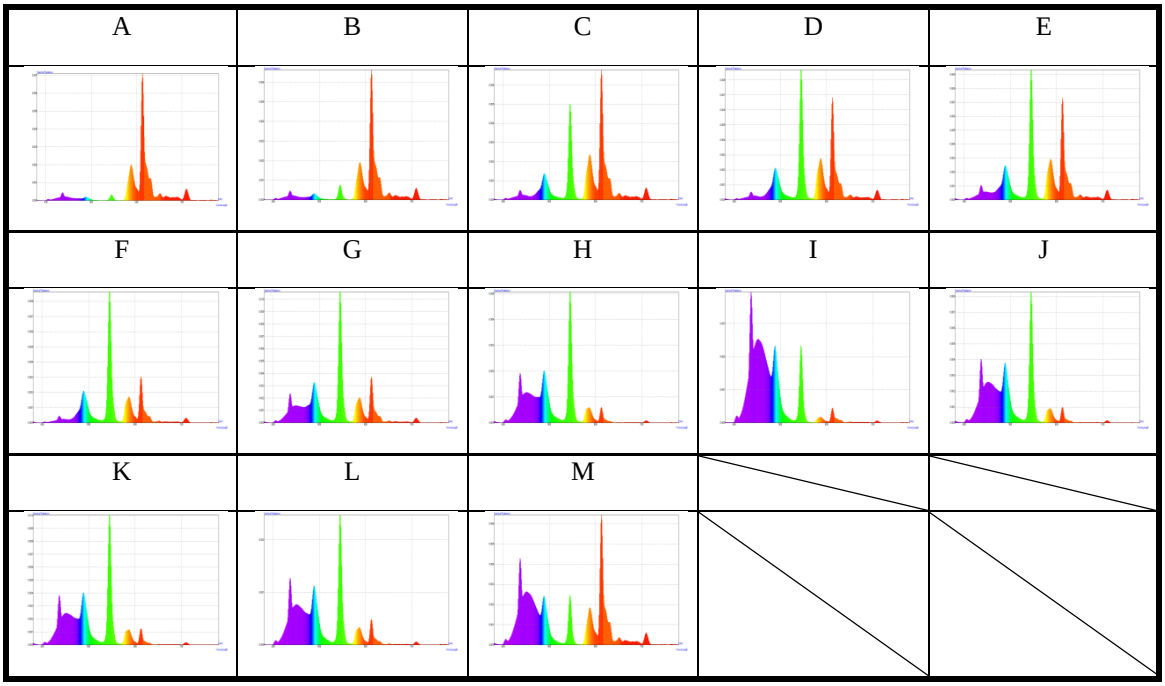


圖 30　三色點組成面之頻譜　橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度

B 組：距離 150cm

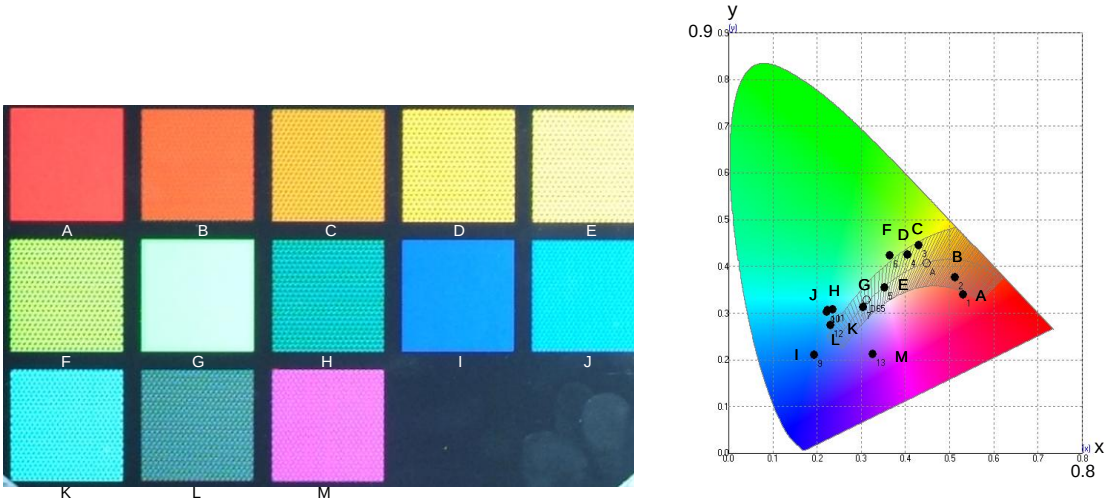


圖 31 三色點組成面之 RGB 數值(a)距離 150cm 所拍之照片　(b)色座標

表 22 三色點組成面之 RGB 數值(150cm)

	A	B	C	D	E
R	255	255	241	253	243
G	78	123	190	255	242
B	97	75	63	141	185
	F	G	H	I	J
R	187	212	6	16	12
G	239	255	203	167	247
B	131	246	209	255	251
	K	L	M		
R	87	84	252		
G	253	176	137		
B	253	199	255		

RGB 單位：灰階(GL)

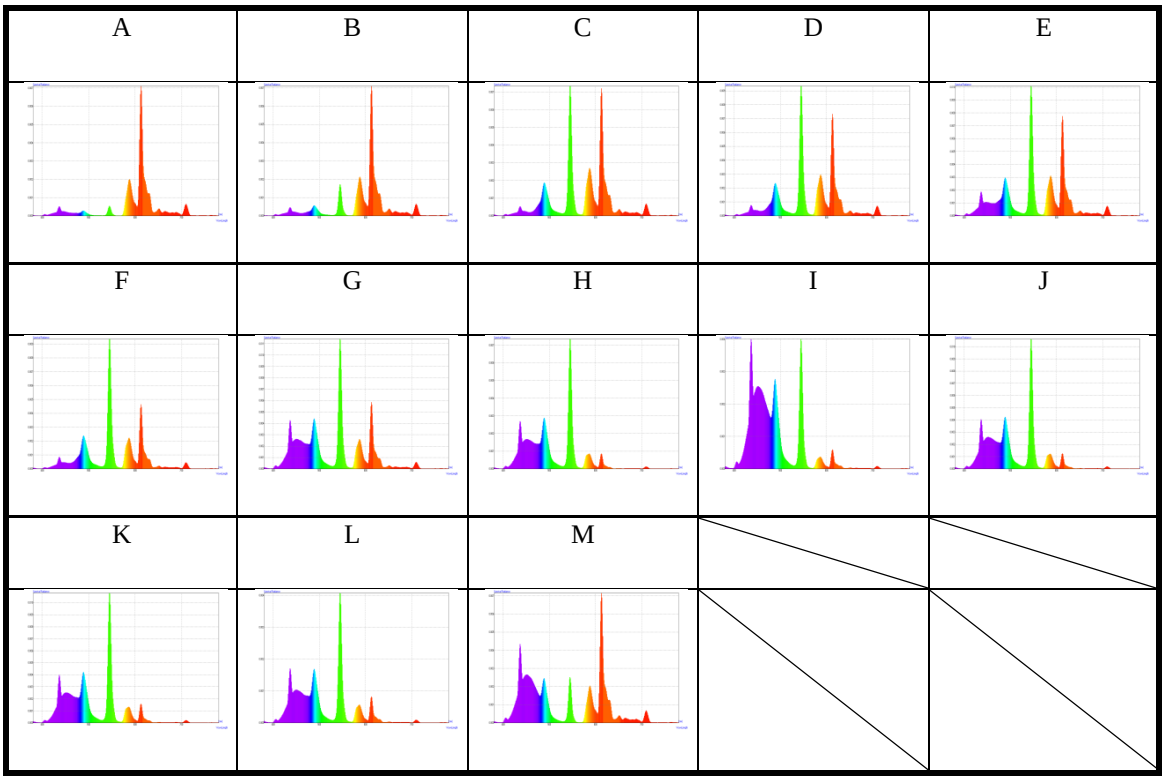


圖 32　三色點組成面之頻譜　　橫軸：波長(nm)　縱軸：光強度

C 組：距離 200cm

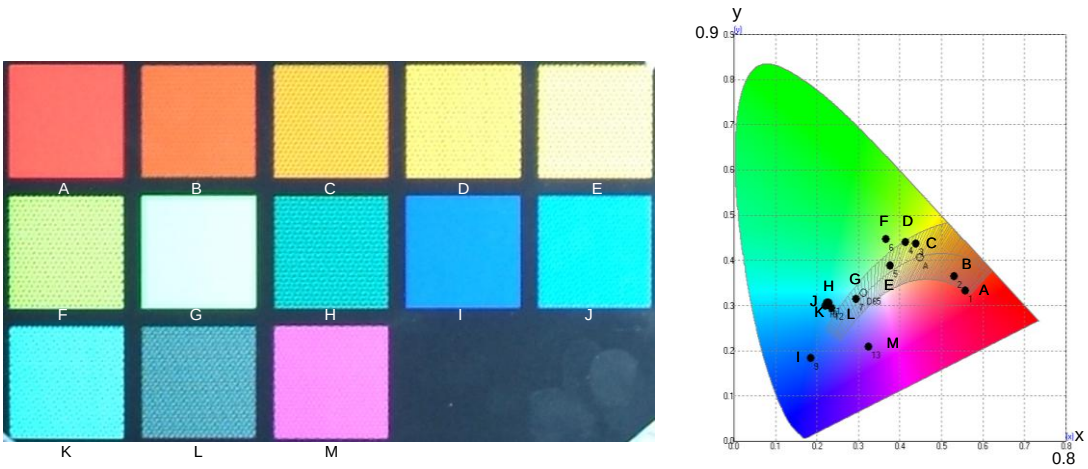


圖 33 三色點組成面之 RGB 數值(a)距離 200cm 所拍之照片　(b)色座標

表 23 三色點組成面之 RGB 數值(200cm)

	A	B	C	D	E
R	255	254	255	255	252
G	119	139	227	253	252
B	111	84	101	166	216
	F	G	H	I	J
R	226	226	0	22	22
G	255	255	205	183	254
B	186	254	209	255	255
	K	L	M		
R	91	83	254		
G	253	176	160		
B	255	194	254		

RGB 單位：灰階(GL)

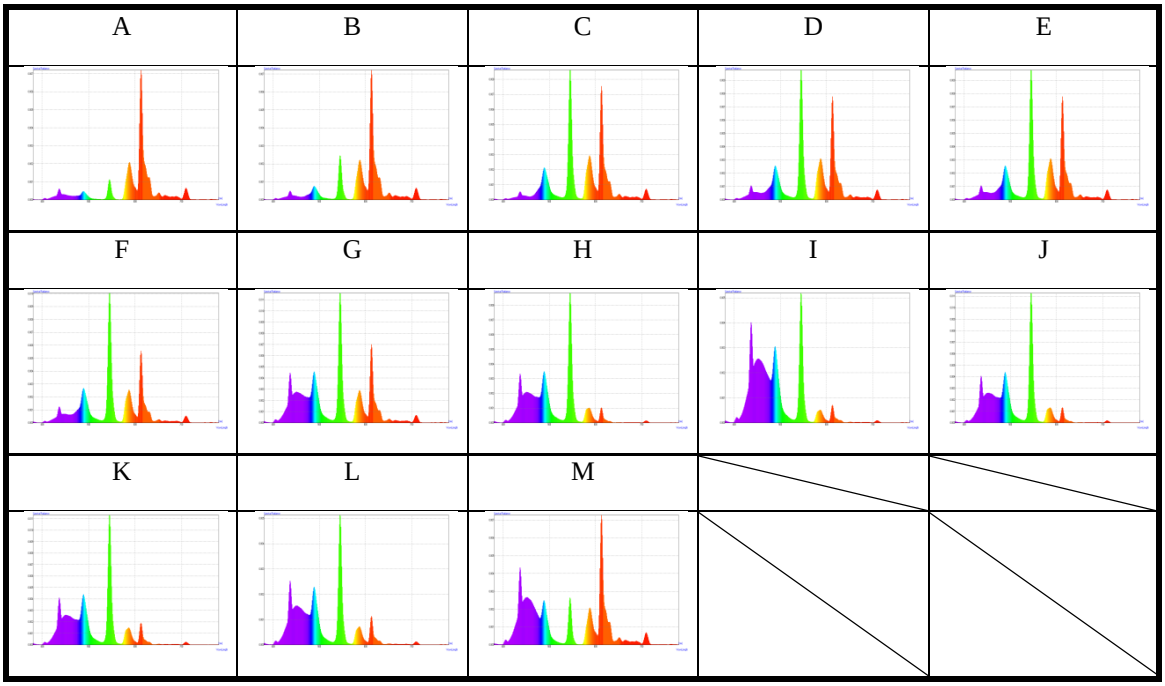


圖 34 三色點組成面之頻譜 橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度

D 組：距離 250cm

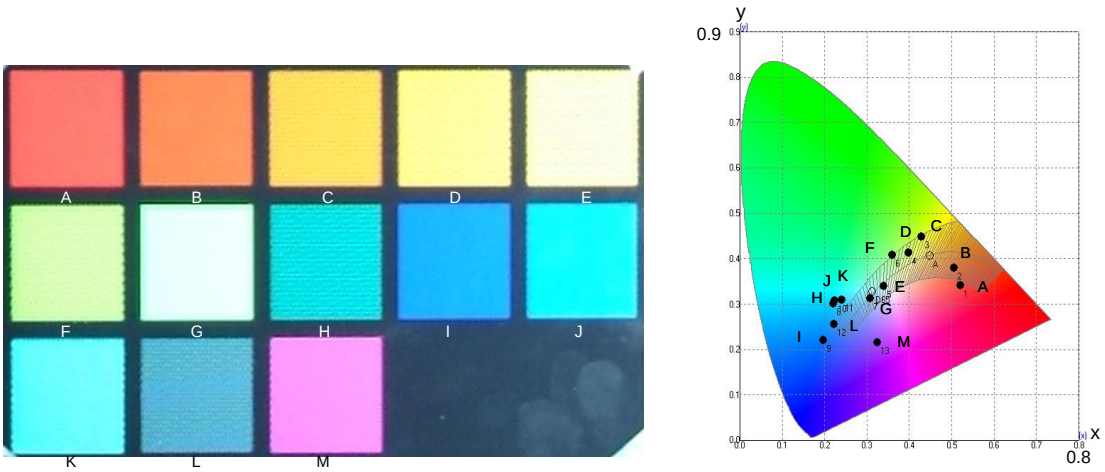


圖 35 三色點組成面之 RGB 數值(a)距離 250cm 所拍之照片　(b)色座標

表 24 三色點組成面之 RGB 數值(250cm)

	A	B	C	D	E
R	254	255	255	254	254
G	121	151	230	255	255
B	112	98	101	159	231
	F	G	H	I	J
R	217	236	7	25	20
G	253	254	236	188	254
B	181	254	242	255	253
	K	L	M		
R	107	87	254		
G	255	184	157		
B	255	227	254		

RGB 單位：灰階(GL)

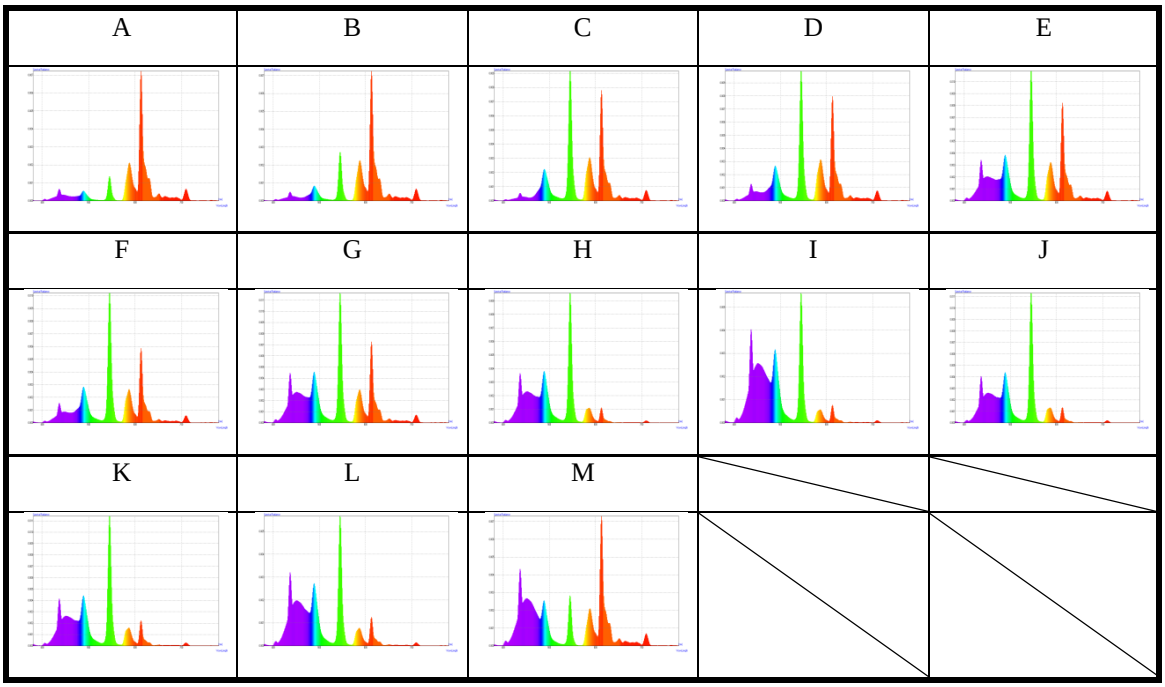
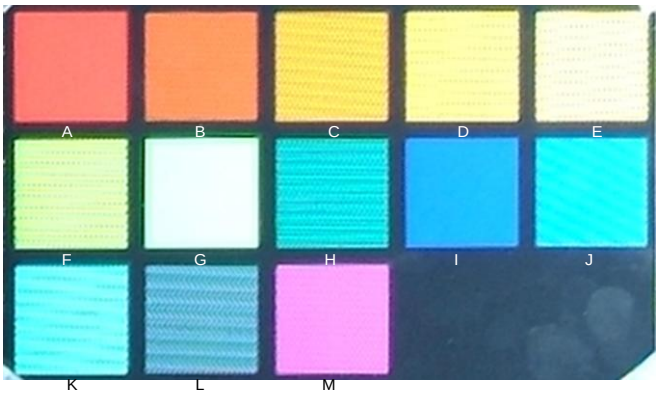


圖 36　三色點組成面之頻譜　　橫軸：波長(nm)　縱軸：光強度

E 組：距離 300cm



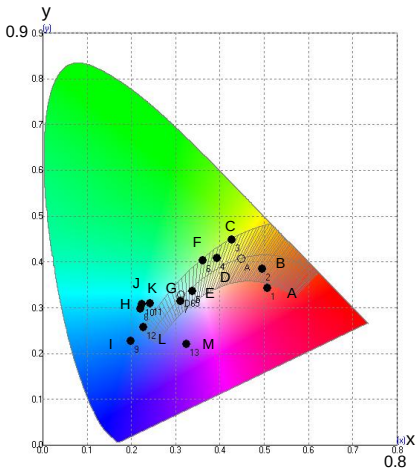


圖 37 三色點組成面之 RGB 數值(a)距離 300cm 所拍之照片　(b)色座標

表 25 三色點組成面之 RGB 數值(300cm)

	A	B	C	D	E
R	255	255	252	254	253
G	131	154	227	255	255
B	119	100	100	175	234
	F	G	H	I	J
R	255	237	3	22	21
G	255	255	232	185	255
B	191	255	237	254	255
	K	L	M		
R	115	97	255		
G	255	190	159		
B	255	234	255		

RGB 單位：灰階(GL)

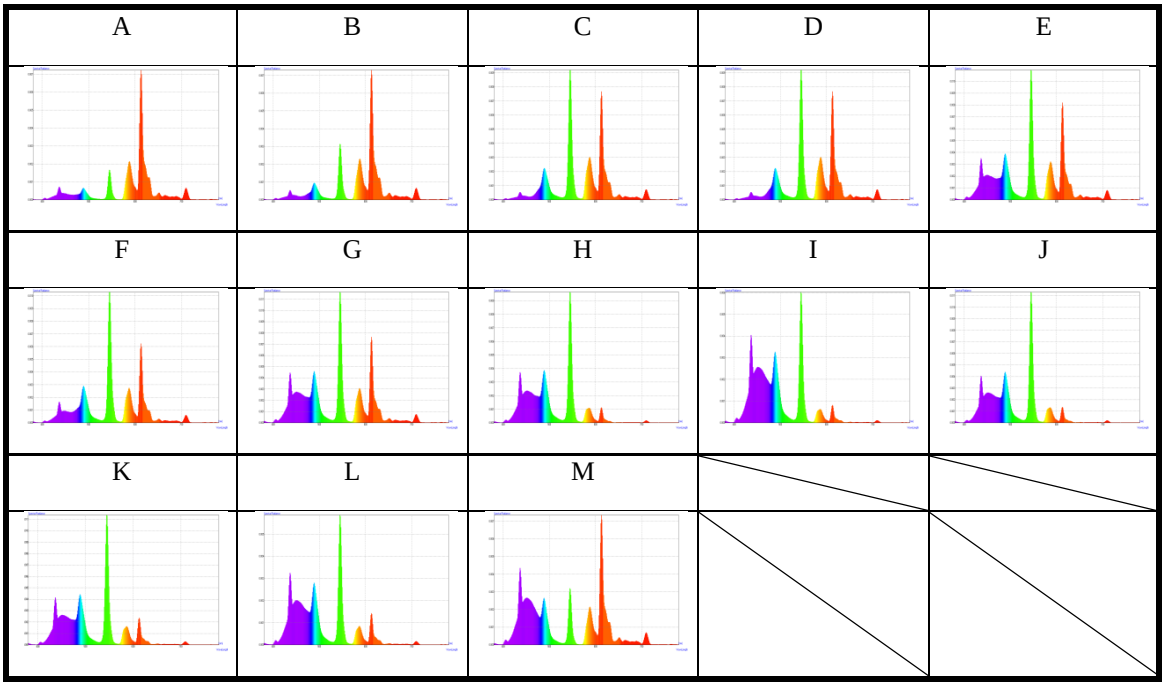


圖 38　三色點組成面之頻譜　　橫軸：波長(nm)　縱軸：光強度

F 組：距離 350cm

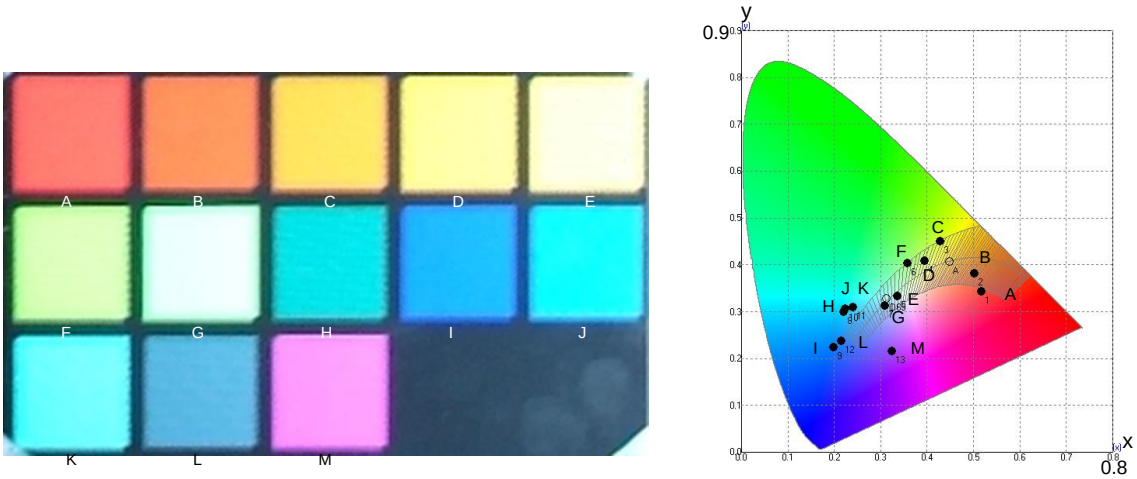


圖 39 三色點組成面之 RGB 數值(a)距離 350cm 所拍之照片　(b)色座標

表 26 三色點組成面之 RGB 數值(350cm)

	A	B	C	D	E
R	254	255	255	255	253
G	126	152	229	255	255
B	115	94	93	175	234
	F	G	H	I	J
R	255	237	3	22	21
G	255	255	232	185	255
B	191	255	237	254	255
	K	L	M		
R	115	97	255		
G	255	190	159		
B	255	234	255		

RGB 單位：灰階(GL)

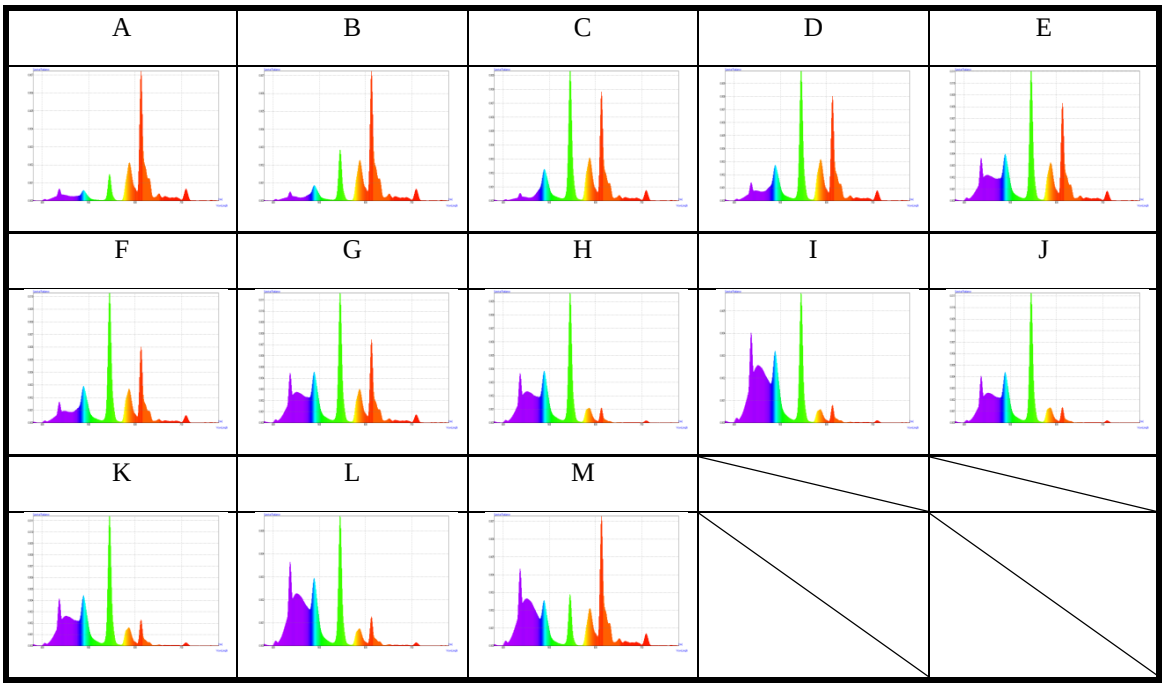
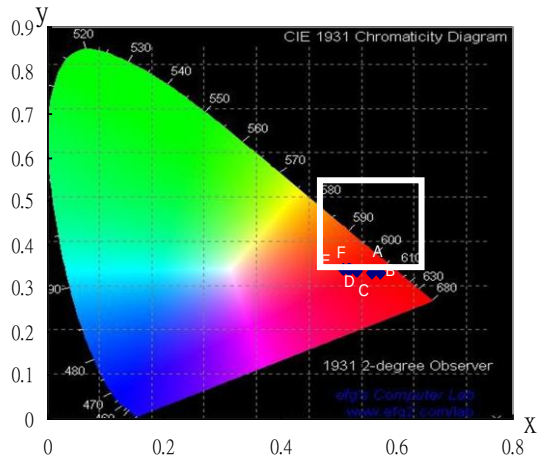
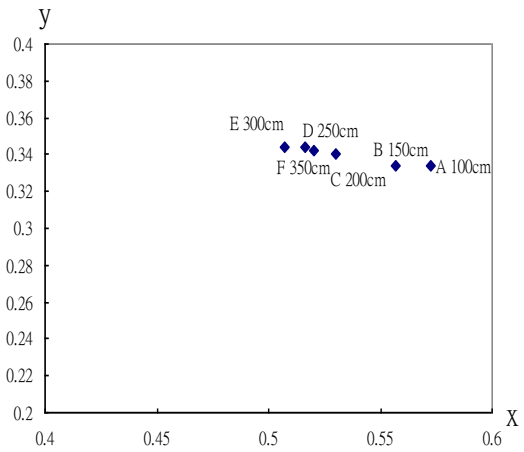
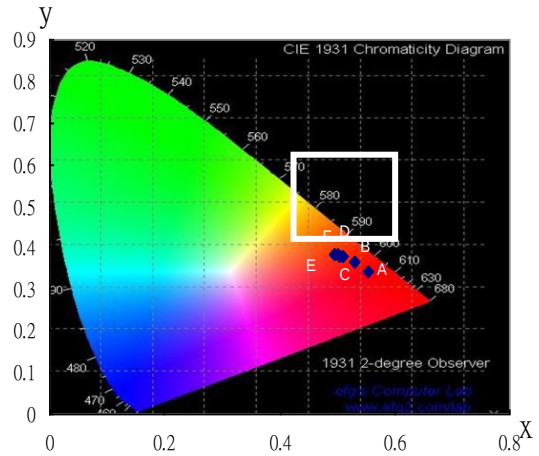
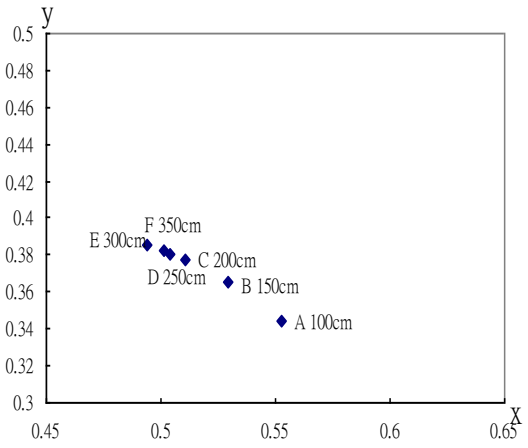
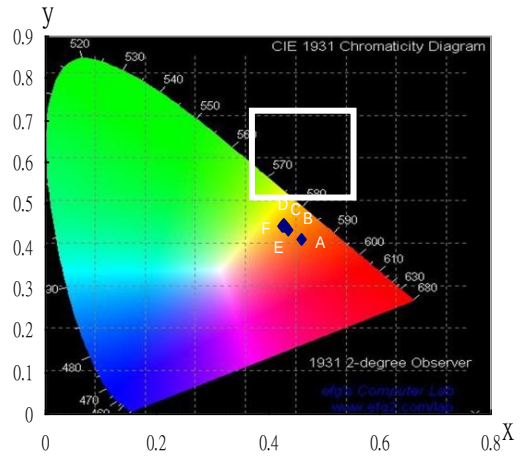
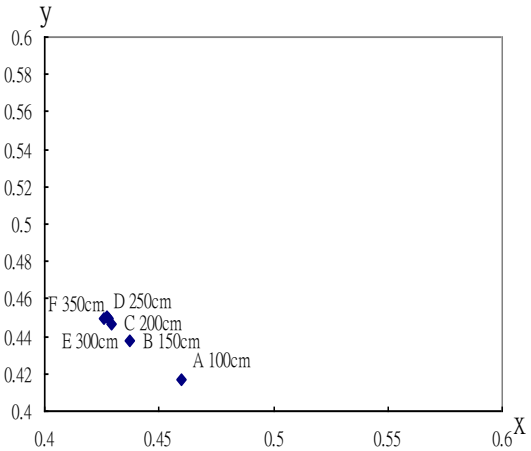


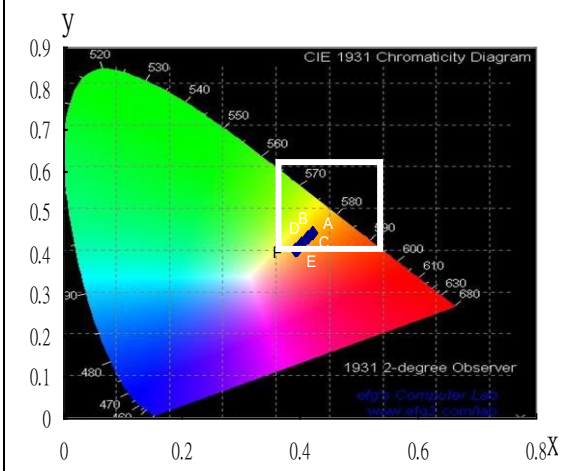
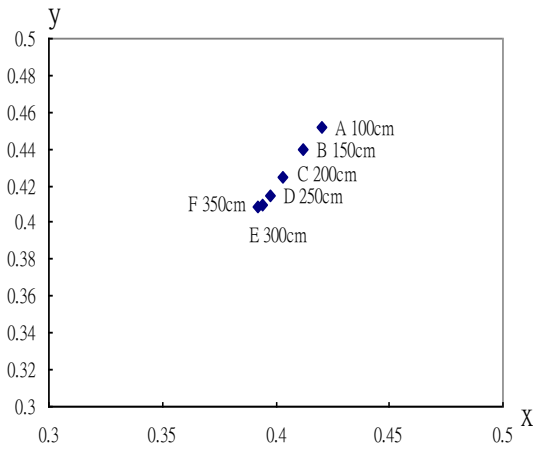
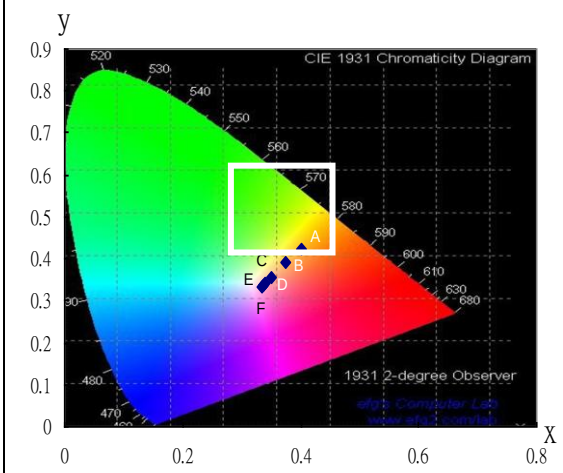
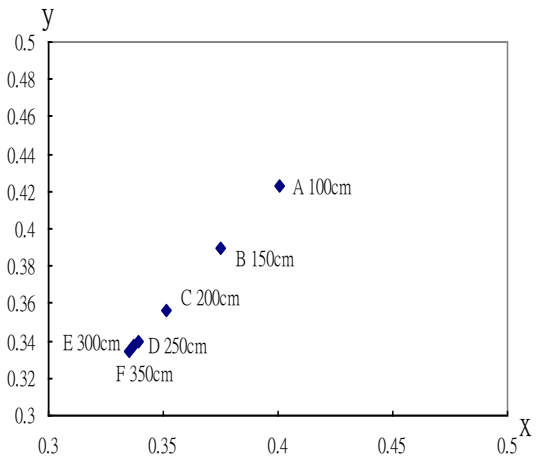
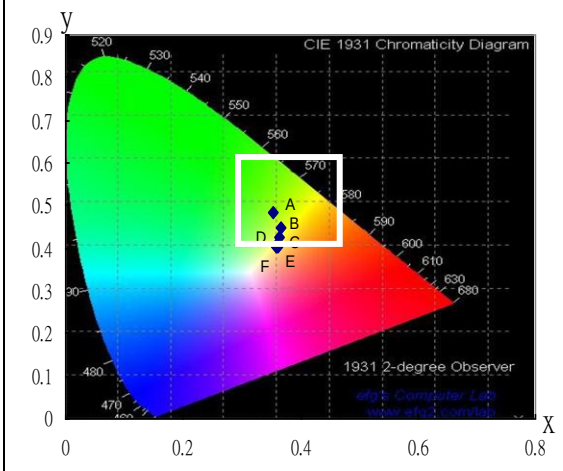
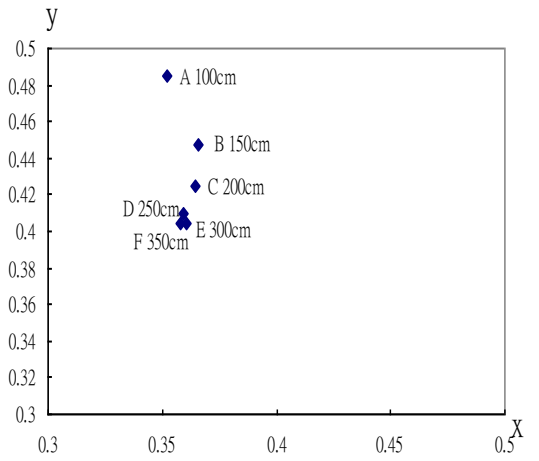
圖 40　三色點組成面之頻譜　　橫軸：波長(nm)　縱軸：光強度

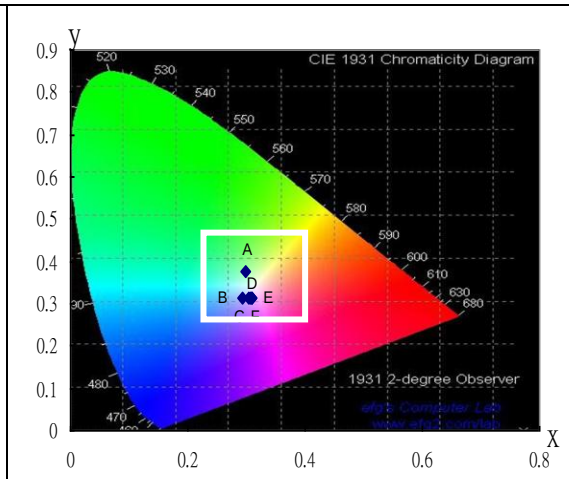
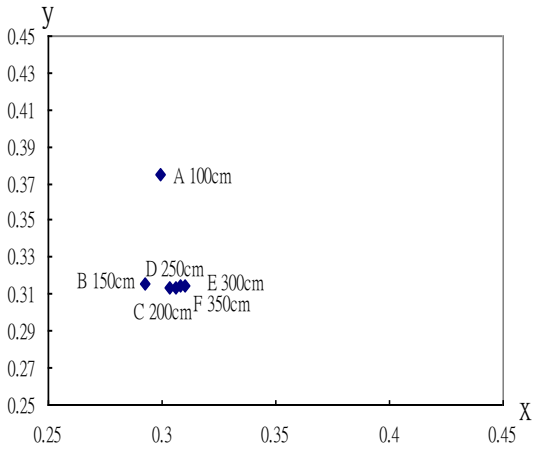
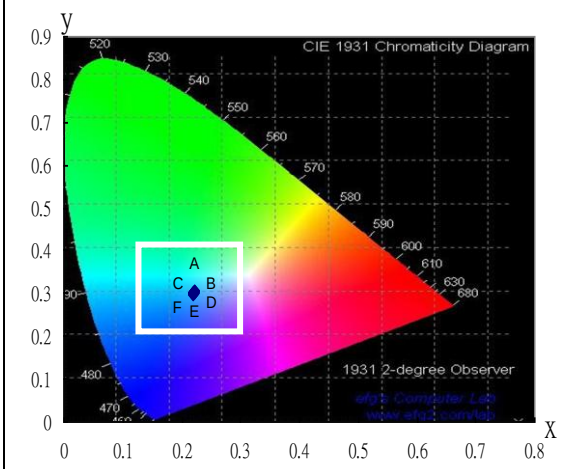
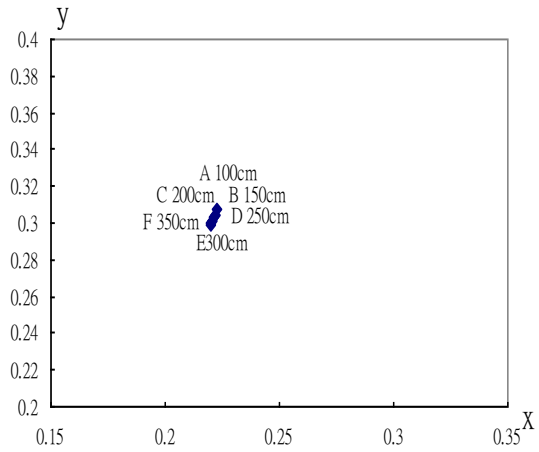
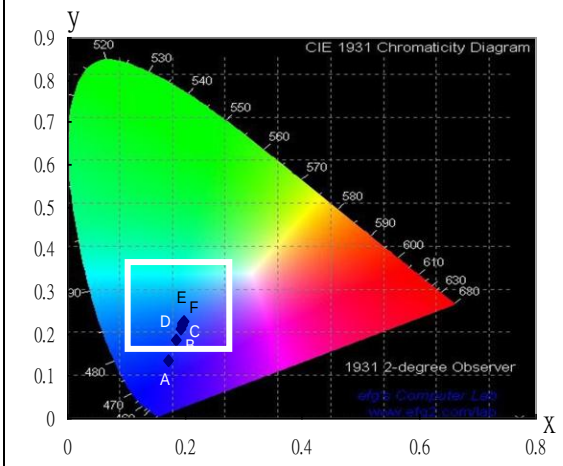
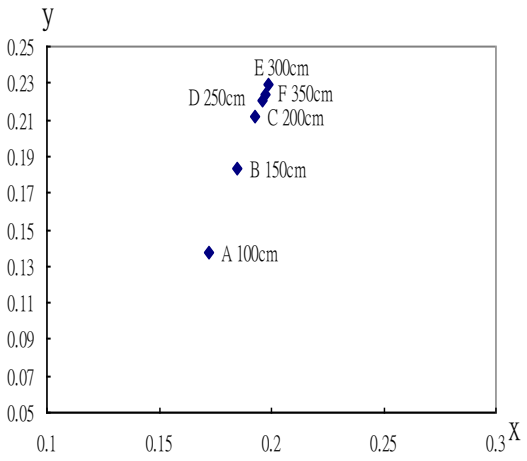
對於同一種色塊，將上述不同距離所量測之頻譜，經由計算將之轉換成色座標後，會發現不同距離的確會產生不同的變化，如下表 27。隨著距離遠近，有越來越亮的趨勢，色飽和度越來越低，不同顏色也有不同的色彩表現。

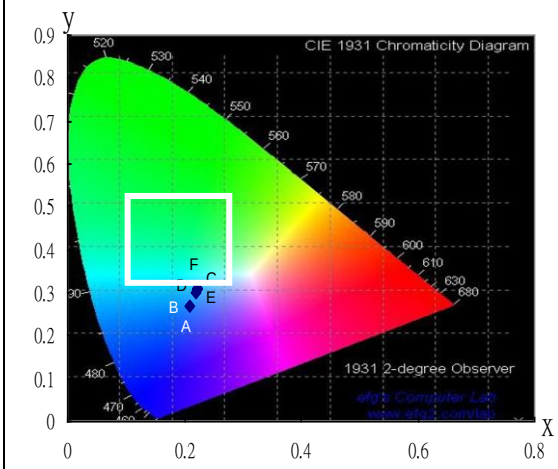
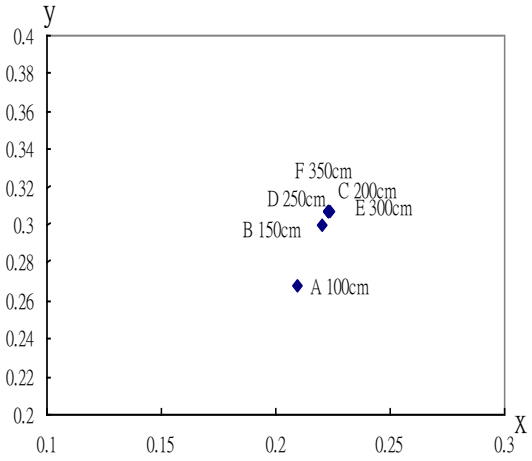
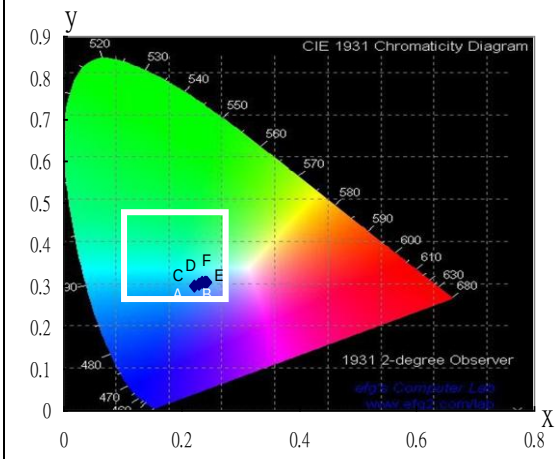
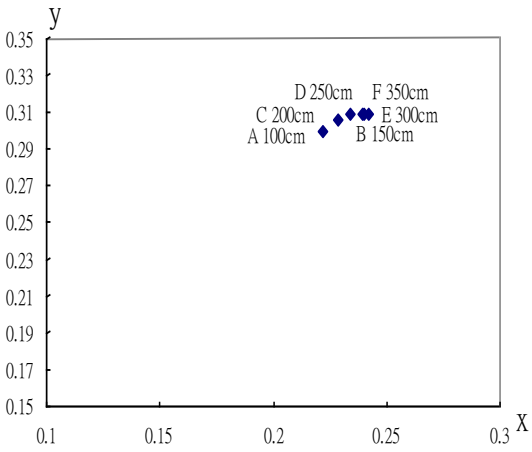
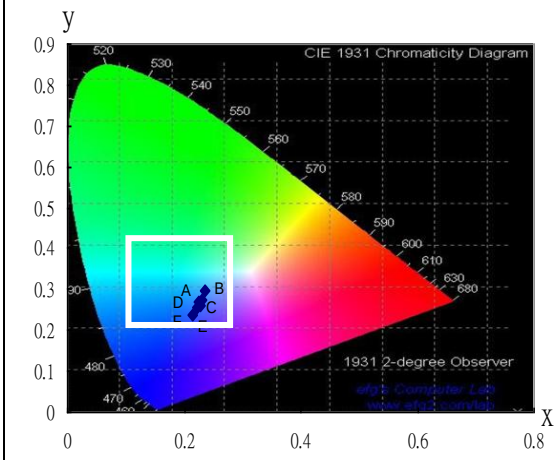
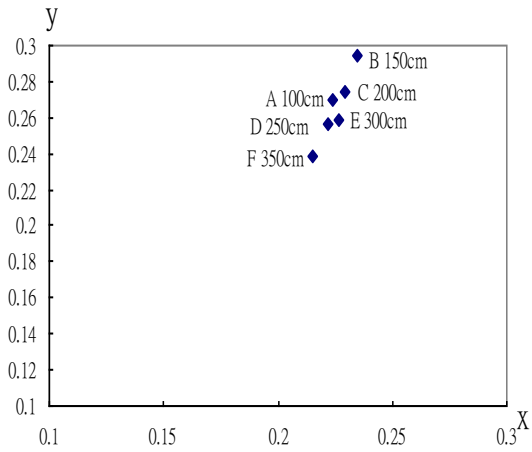
對於不同觀測距離下的色彩變化，從 RGB 灰階值、頻譜圖與色座標皆可看出不同的差異:於 1 公尺，點為 10px 大小時，恰可分辨，而距離 2.5 公尺後在色座標圖中所表示的位置越來越密，顏色差異變得更不明顯，亦即接近混色的最終結果。

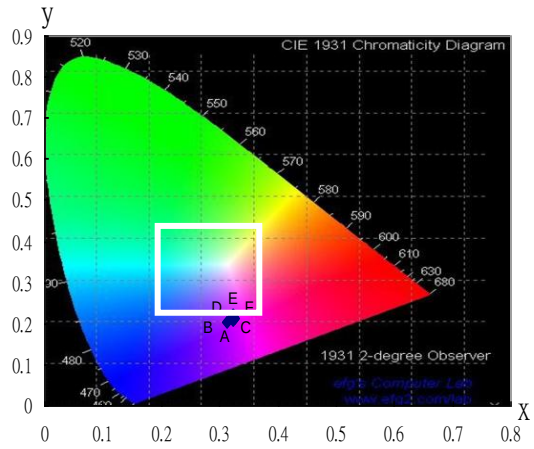
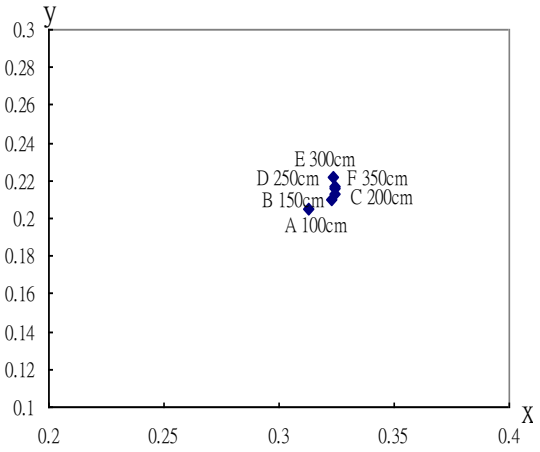
表 27　此實驗中不同色塊之色座標圖

	色座標圖	局部放大圖
A		
B		
C		

D	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer y x A B C D E	 A 100cm B 150cm C 200cm D 250cm E 300cm F 350cm y x
E	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer y x A B C D E F	 A 100cm B 150cm C 200cm D 250cm E 300cm F 350cm y x
F	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer y x A B D E F	 A 100cm B 150cm C 200cm D 250cm E 300cm F 350cm y x

G	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer A D B E	 A 100cm B 150cm D 250cm E 300cm C 200cm F 350cm
H	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer A C B D F E	 A 100cm C 200cm B 150cm F 350cm D 250cm E300cm
I	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer E F D C A	 E 300cm D 250cm F 350cm C 200cm B 150cm A 100cm

J	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer F C D E B A	 F 350cm C 200cm D 250cm E 300cm B 150cm A 100cm
K	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer	 D 250cm F 350cm C 200cm E 300cm A 100cm B 150cm
L	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer	 B 150cm A 100cm C 200cm D 250cm E 300cm F 350cm

M		

此實驗所設計的 13 色中，由色座標可看出：

距離越遠，改變越來越少：A、B、C、E、F、G、I、J

改變較少或等量改變：D、H、K、L、M

，亦即顏色會隨著〝距離越遠，改變越少〞的顏色作變化，例如：距離越遠，E、F 及 I 就應放少一點以維持 LED 面板顯示之平衡，另外，由圖中亦可看出若距離越遠，越容易偏 E、F 及 I 顏色，因此，在 LED 顯示時，若考慮觀看者的觀察距離，就應隨著距離改變色點的比例多寡或排列。

(2)四小圓點 (紅色、綠色、藍色、白色) 為一組

此時，利用四小圓點(紅色、綠色、藍色、白色)為一組，使三色混合成紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫色等十三色，在加上 RGB 的灰階(GL)值皆為 255 的白色，以之比較，再組成一個面觀察。

完成此圖後，以相機模仿人眼以不同距離作觀察、拍攝後再以 Photoshop 之 RGB 值作分析處理。

下圖 41 為 Photoshop 所繪之圖。

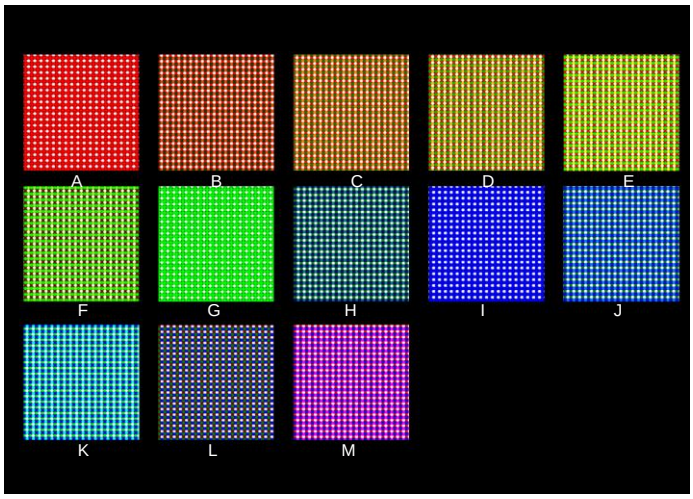


圖 41 不同色塊設計圖

表 28 四小圓點組成面之 RGB 數值

		A	B	C	D	E
R		255	255	255	255	255
G		0	64	128	192	255
B		0	0	0	0	0
W	GL_R	255	255	255	255	255
	GL_G	255	255	255	255	255
	GL_B	255	255	255	255	255
		F	G	H	I	J
R		128	0	0	0	0
G		255	255	125	0	128
B		0	0	125	255	255
W	GL_R	255	255	255	255	255
	GL_G	255	255	255	255	255
	GL_B	255	255	255	255	255
		K	L	M		
R		0	128	255		
G		255	128	0		
B		255	255	255		
W	GL_R	255	255	255		
	GL_G	255	255	255		
	GL_B	255	255	255		

RGB 單位：灰階(GL)

A 組：距離 100cm

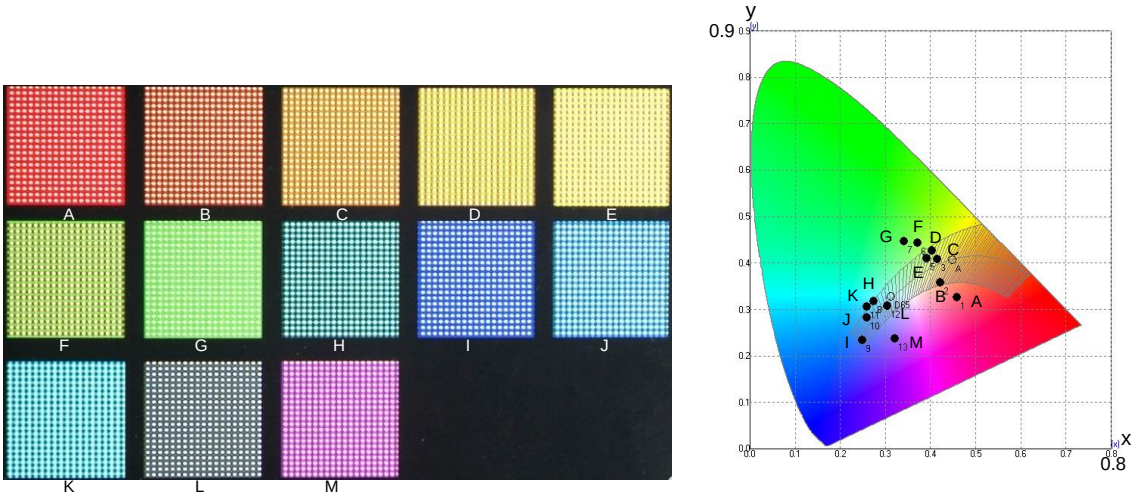


圖 42 四色點組成面之 RGB 數值(a)距離 100cm 所拍之照片　(b)色座標

表 29 四色點組成面之 RGB 數值(100cm)

	A	B	C	D	E
R	213	216	248	255	255
G	54	121	212	252	255
B	48	93	138	157	182
	F	G	H	I	J
R	253	151	31	68	119
G	253	234	110	101	193
B	199	130	114	206	232
	K	L	M		
R	0	91	173		
G	89	107	82		
B	100	97	178		

RGB 單位：灰階(GL)

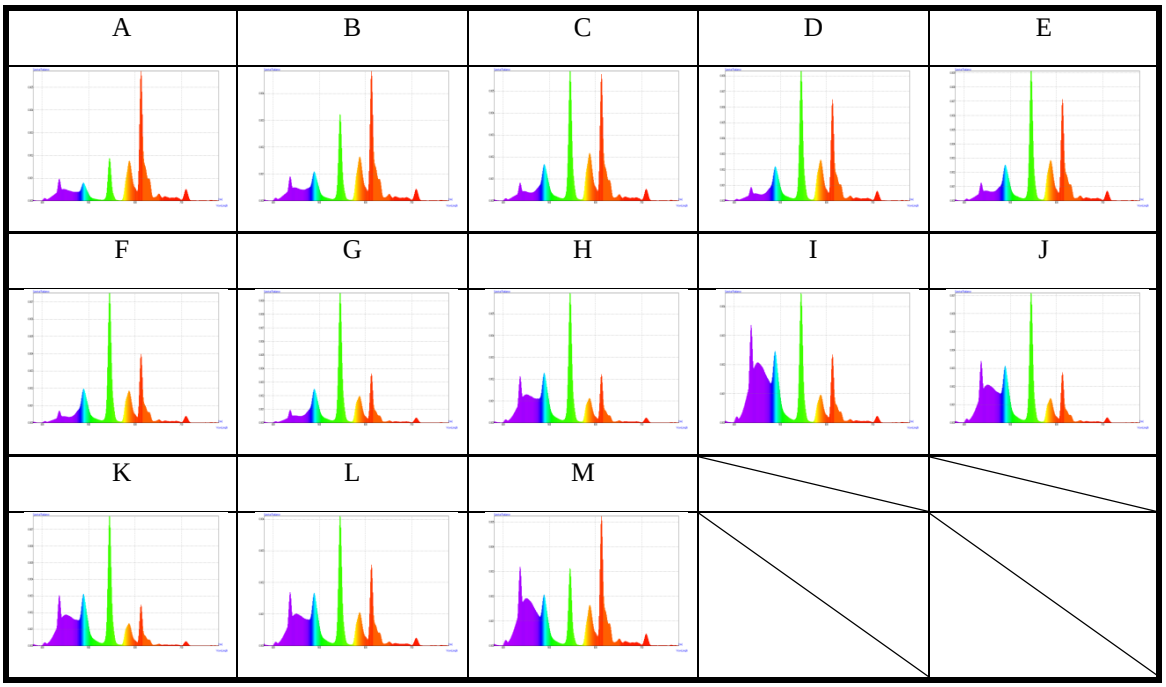
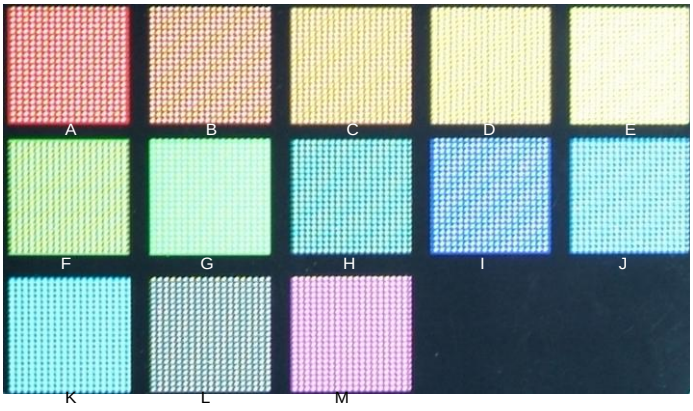


圖 43　四色點組成面之頻譜　　橫軸：波長(nm)　縱軸：光強度

B 組：距離 150cm



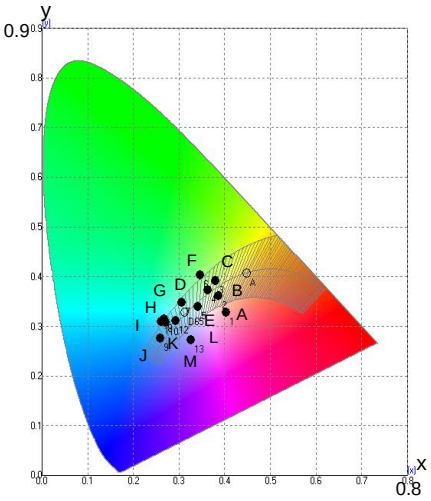


圖 44 四色點組成面之 RGB 數值(a)距離 150cm 所拍之照片　(b)色座標

表 30 四色點組成面之 RGB 數值(150cm)

	A	B	C	D	E
R	251	168	223	249	255
G	176	121	207	246	254
B	173	113	173	201	236
	F	G	H	I	J
R	191	183	195	159	114
G	238	240	255	241	187
B	186	199	255	255	194
	K	L	M		
R	85	128	228		
G	168	168	174		
B	170	168	234		

RGB 單位：灰階(GL)

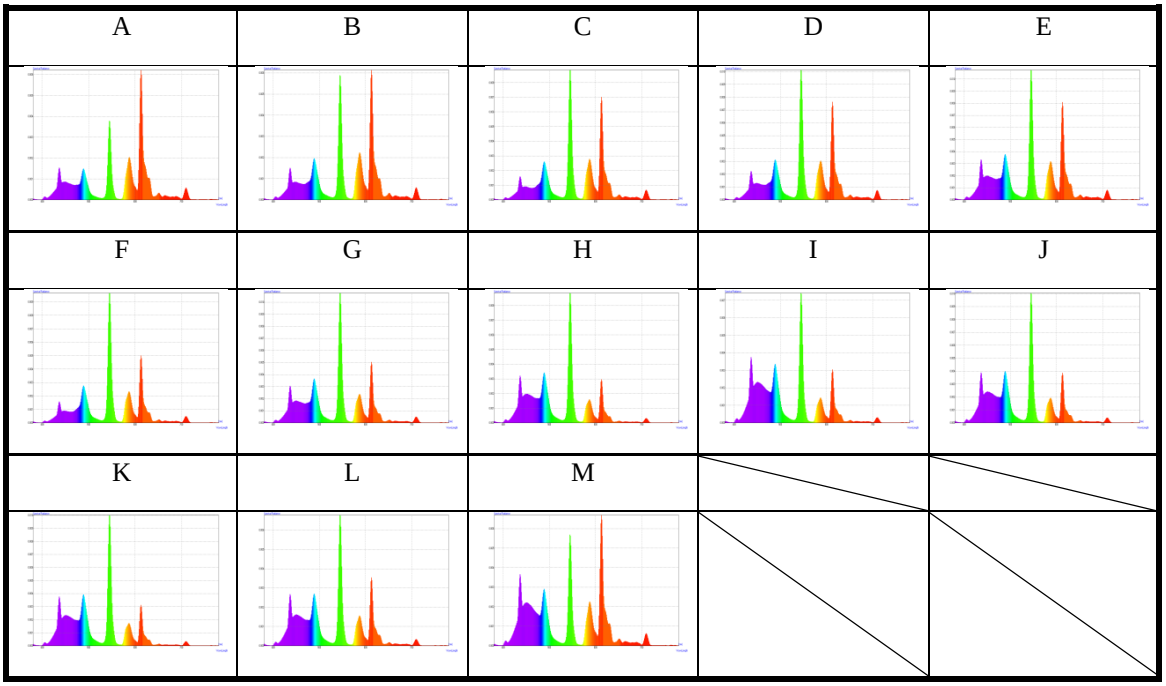


圖 45　四色點組成面之頻譜　　橫軸：波長(nm)　縱軸：光強度

C 組：距離 200cm

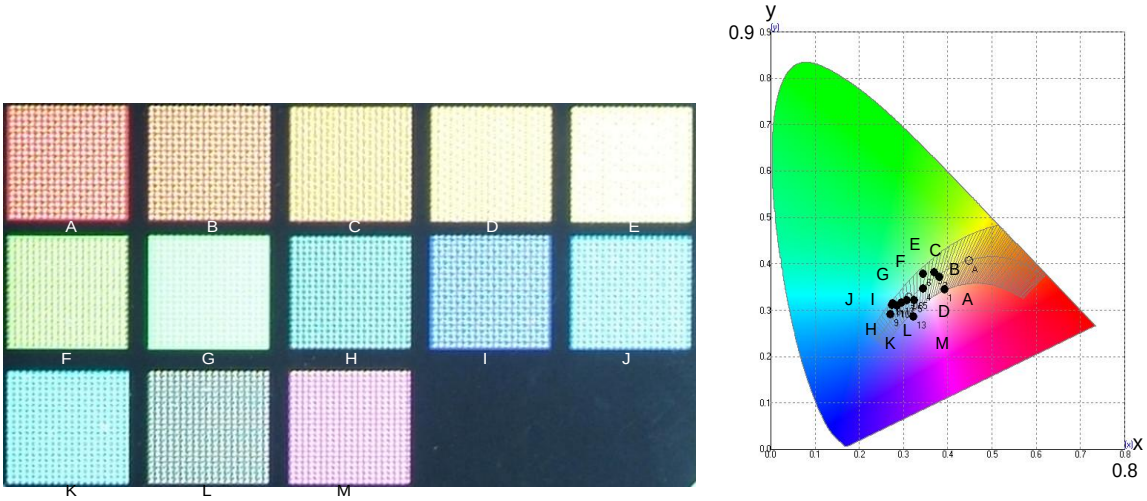


圖 46 四色點組成面之 RGB 數值(a)距離 200cm 所拍之照片　(b)色座標

表 31 四色點組成面之 RGB 數值(200cm)

	A	B	C	D	E
R	247	232	255	255	255
G	194	196	254	255	255
B	178	164	206	231	248
	F	G	H	I	J
R	255	233	175	192	212
G	255	254	239	246	254
B	215	245	241	255	252
	K	L	M		
R	191	178	190		
G	255	209	159		
B	254	203	193		

RGB 單位：灰階(GL)

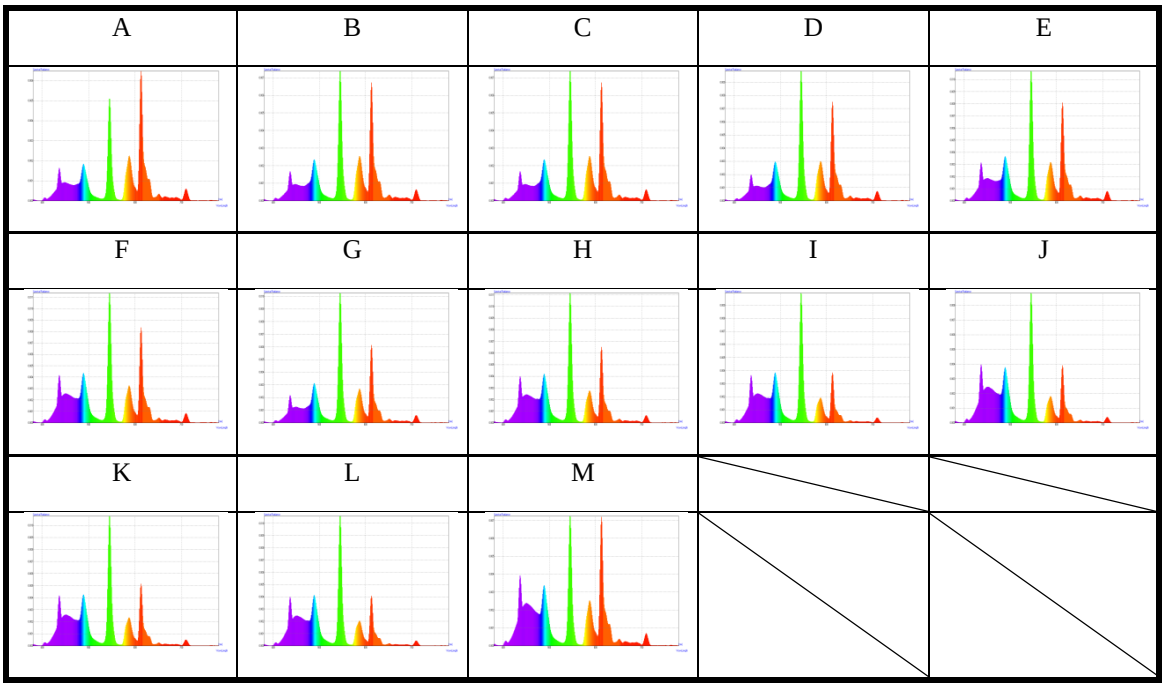
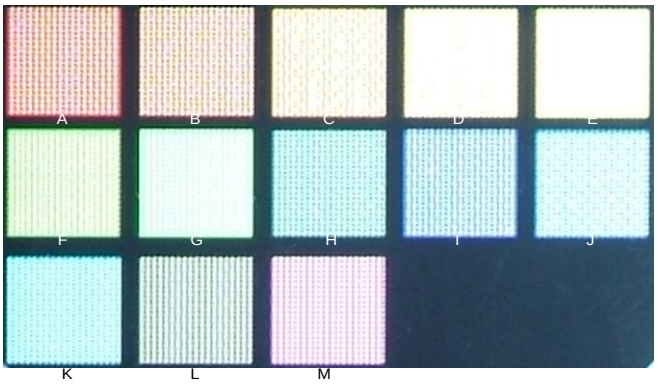


圖 47　四色點組成面之頻譜　　橫軸：波長(nm)　縱軸：光強度

D 組：距離 250cm



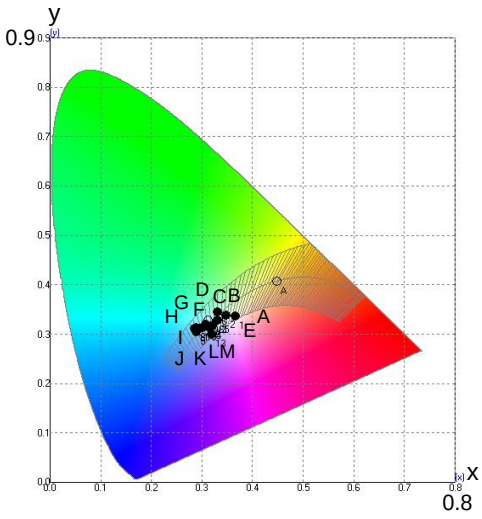


圖 48 四色點組成面之 RGB 數值(a)距離 250cm 所拍之照片　(b)色座標

表 32 四色點組成面之 RGB 數值(250cm)

	A	B	C	D	E
R	252	255	245	254	255
G	248	242	242	255	255
B	239	239	237	250	255
	F	G	H	I	J
R	240	244	224	177	220
G	255	254	255	219	250
B	232	253	255	231	250
	K	L	M		
R	211	223	250		
G	255	251	236		
B	255	251	251		

RGB 單位：灰階(GL)

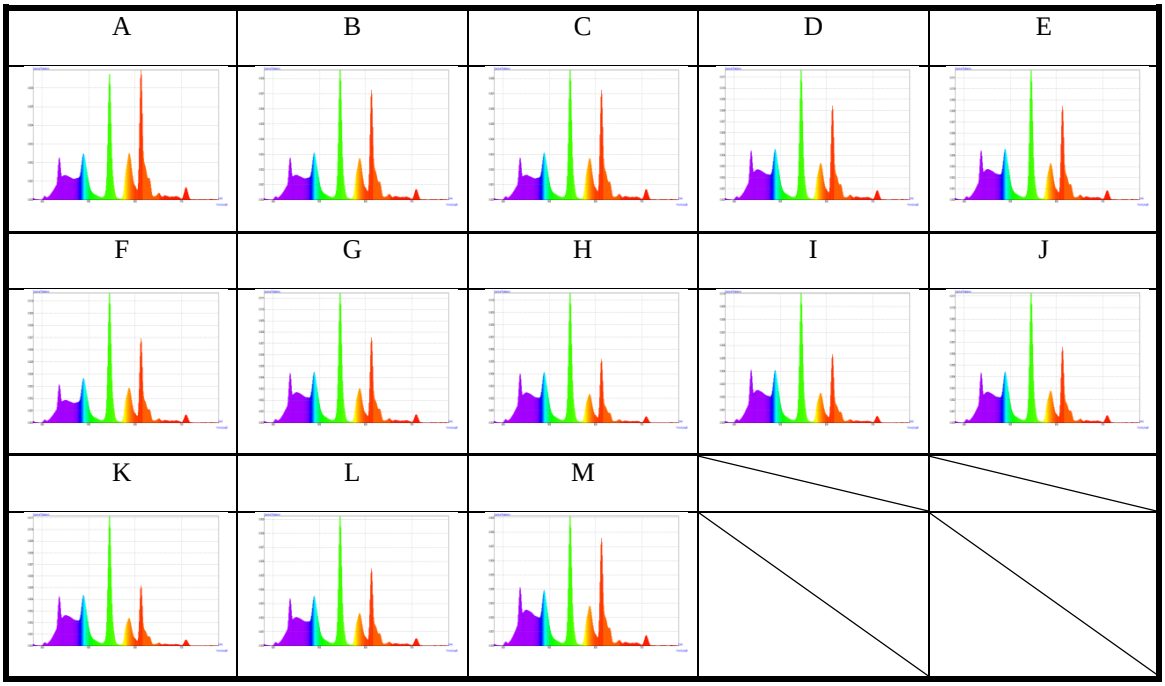


圖 49 四色點組成面之頻譜　　橫軸：波長(nm)　縱軸：光強度

E 組：距離 300cm

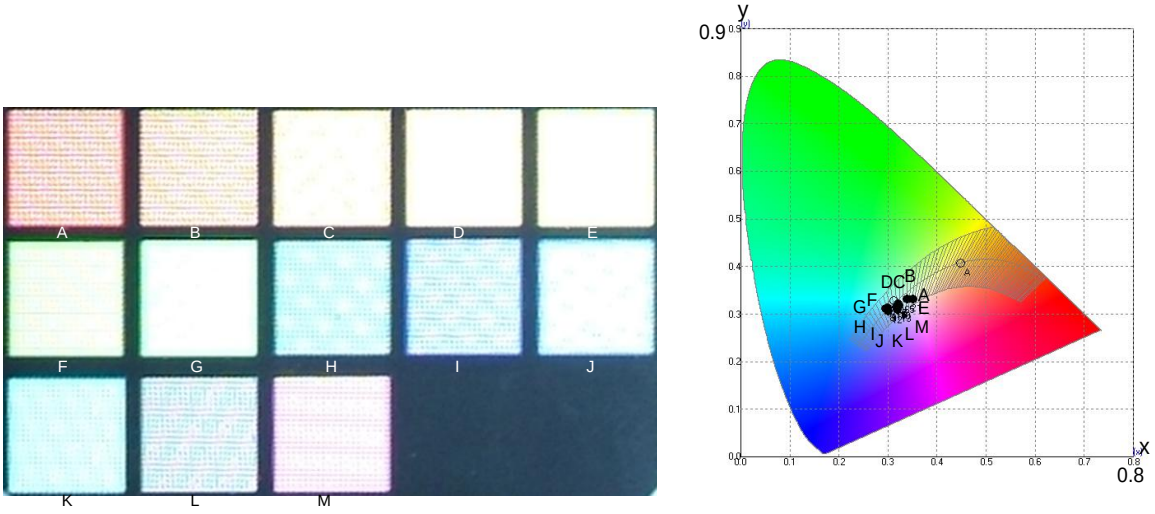


圖 50 四色點組成面之 RGB 數值(a)距離 300cm 所拍之照片　(b)色座標

表 33 四色點組成面之 RGB 數值(300cm)

	A	B	C	D	E
R	253	255	255	255	255
G	237	252	255	255	255
B	224	251	253	255	255
	F	G	H	I	J
R	245	255	203	238	255
G	255	255	249	254	255
B	250	255	247	254	255
	K	L	M		
R	233	210	245		
G	254	228	241		
B	255	240	242		

RGB 單位：灰階(GL)

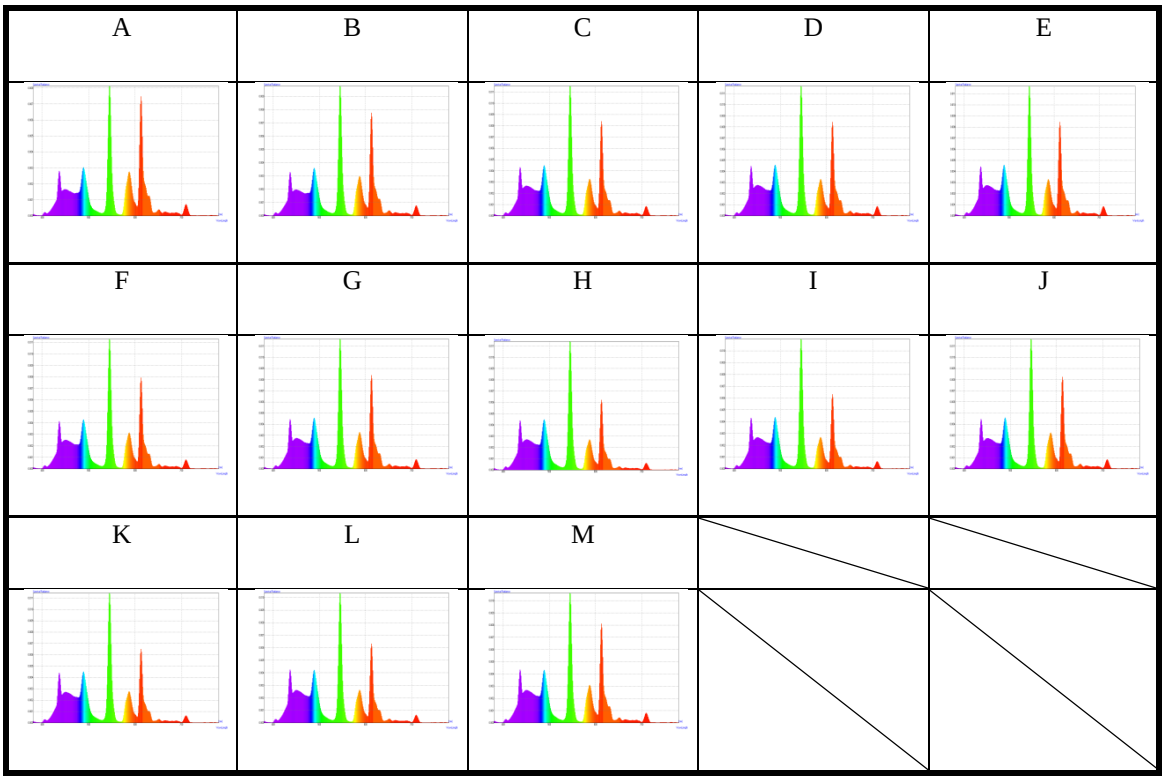
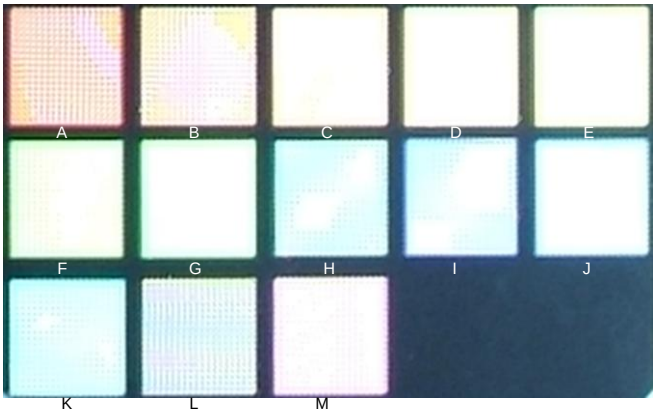


圖 51 四色點組成面之頻譜　　橫軸：波長(nm) 縱軸：光強度

F 組：距離 350cm



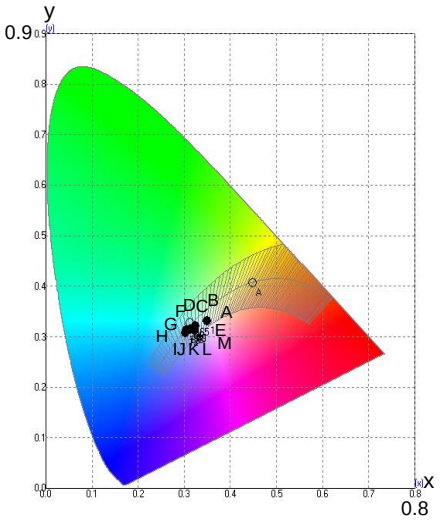


圖 52 四色點組成面之 RGB 數值(a)距離 350cm 所拍之照片　(b)色座標

表 34 四色點組成面之 RGB 數值(350cm)

	A	B	C	D	E
R	255	242	255	255	255
G	236	230	255	255	255
B	221	242	253	255	255
	F	G	H	I	J
R	255	255	249	255	255
G	255	255	255	255	255
B	255	255	255	255	255
	K	L	M		
R	236	231	254		
G	254	252	254		
B	254	253	254		

RGB 單位：灰階(GL)

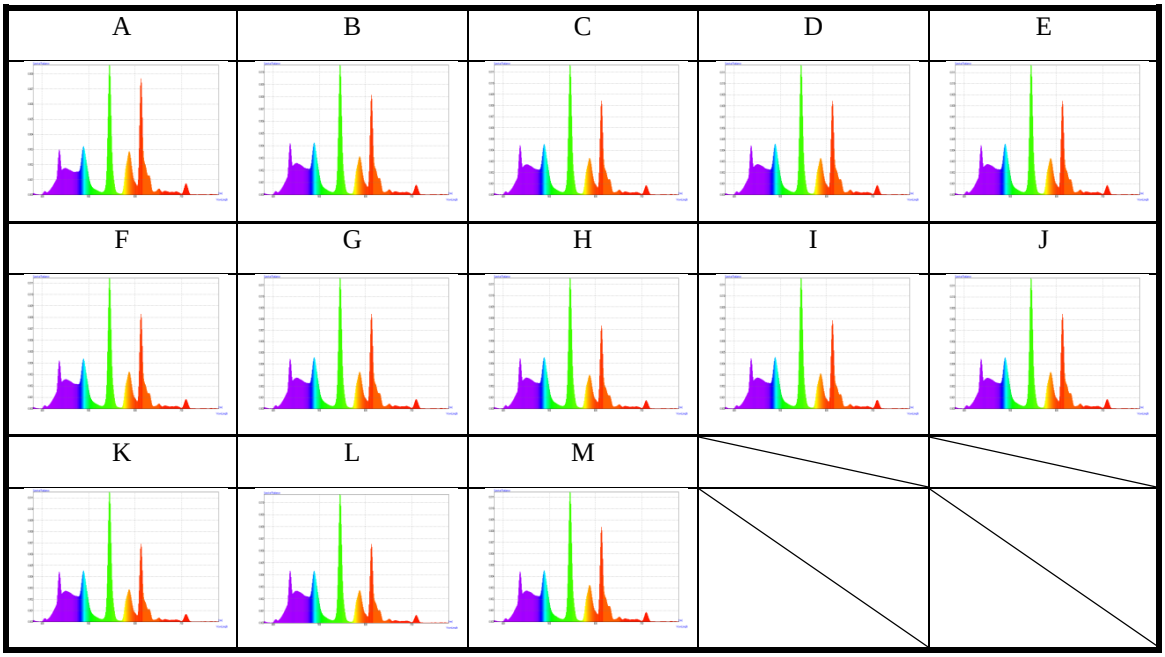
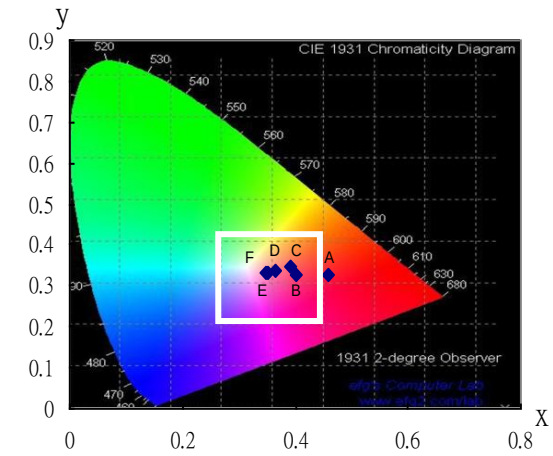
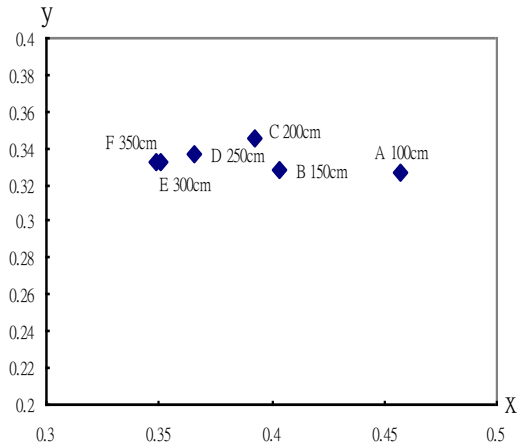
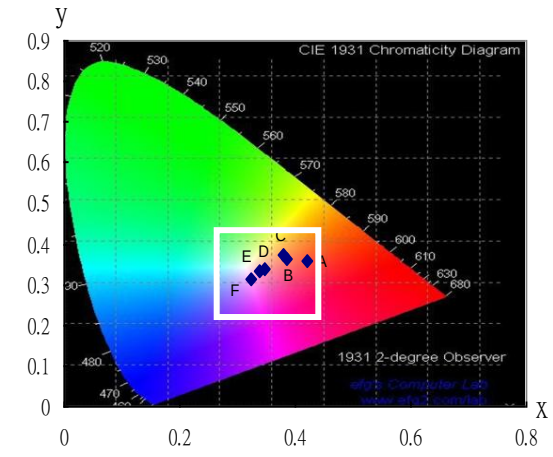
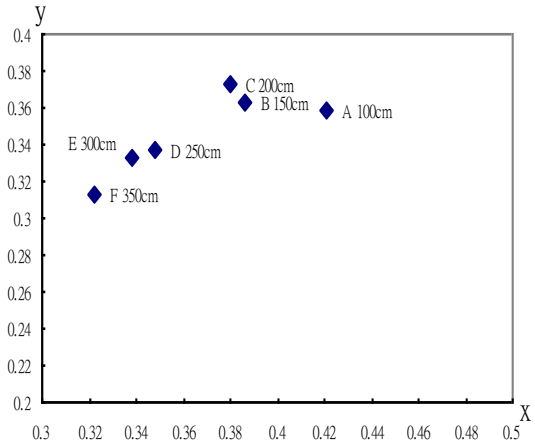


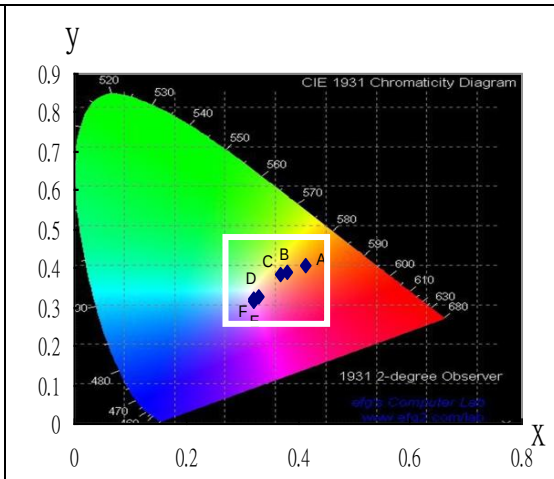
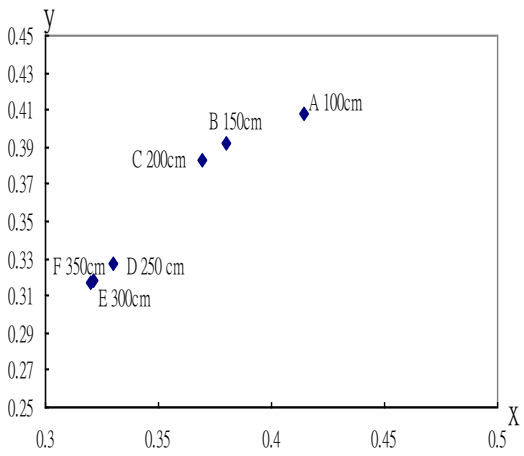
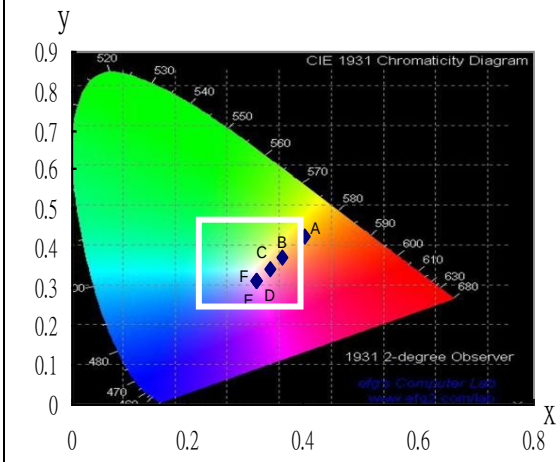
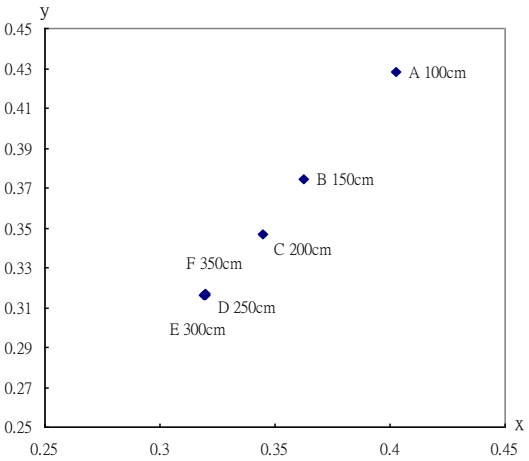
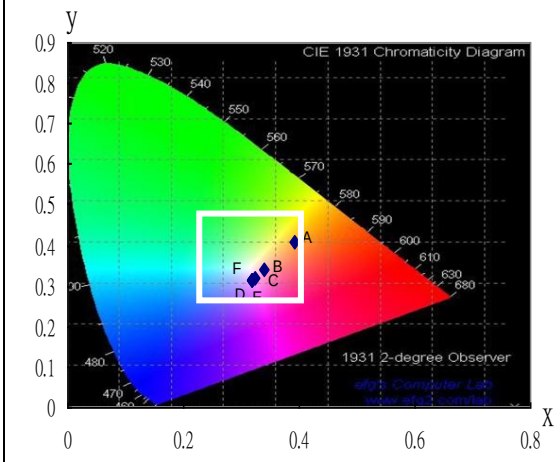
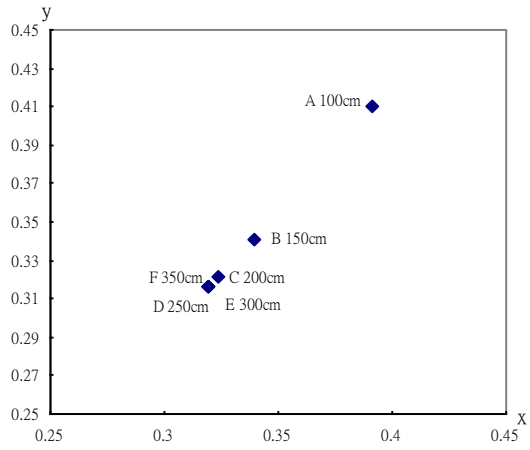
圖 53 四色點組成面之頻譜　　橫軸：波長(nm)　縱軸：光強度

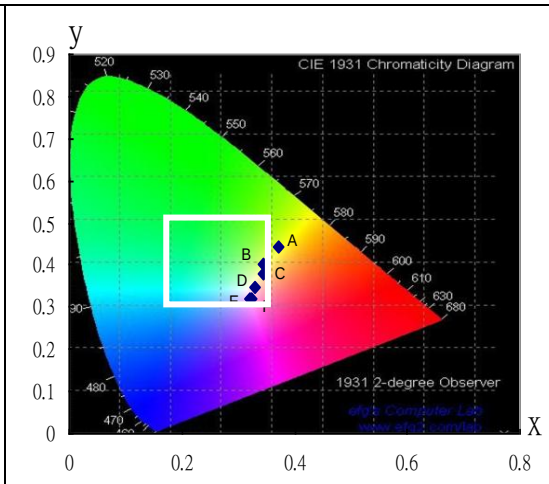
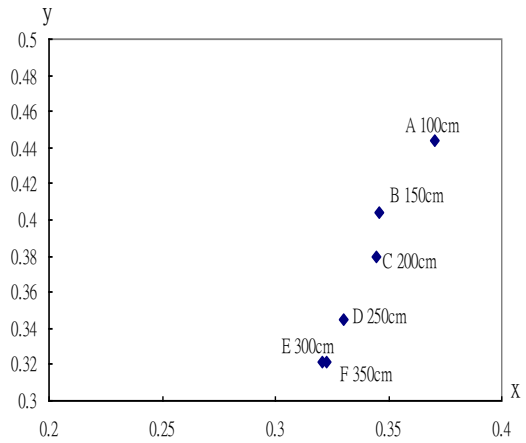
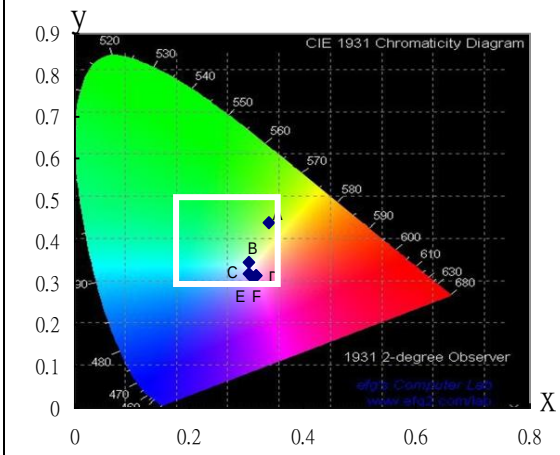
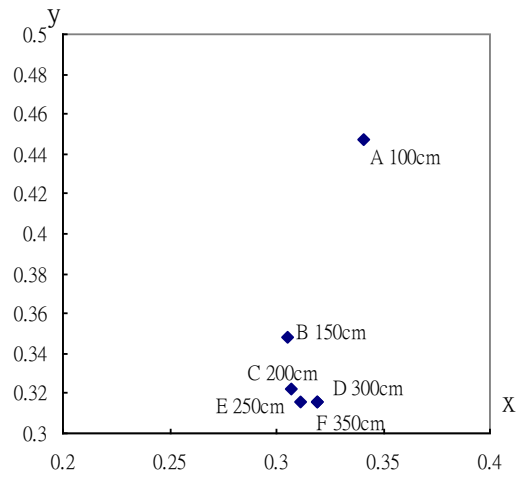
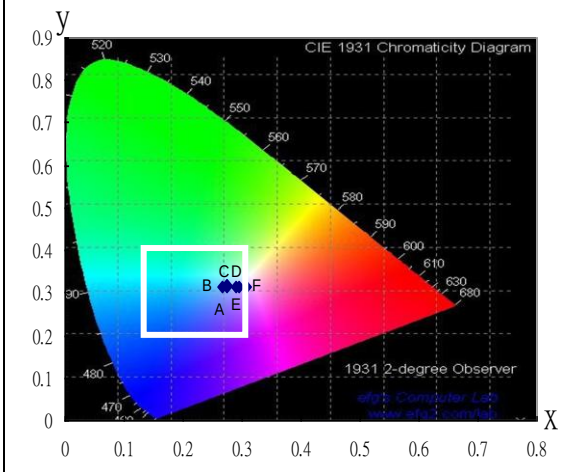
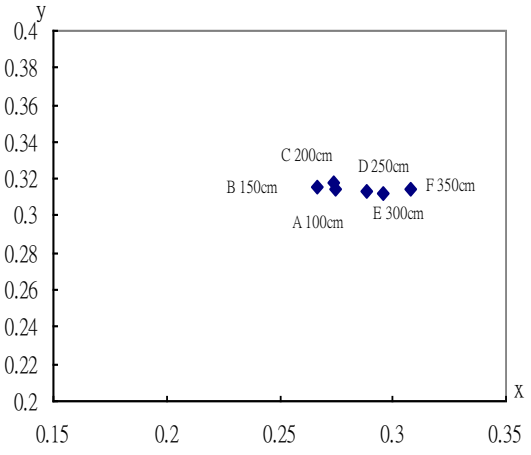
對於同一種色塊，將上述不同距離所量測之頻譜，經由計算將之轉換成色座標後，會發現不同距離的確會產生不同的變化，尤其是四小圓點為一點因為白色的加入，導致變化越不明顯，如下表 35。隨著距離遠近，有越來越亮的趨勢，色飽和度越來越低，不同顏色也有不同的色彩表現。

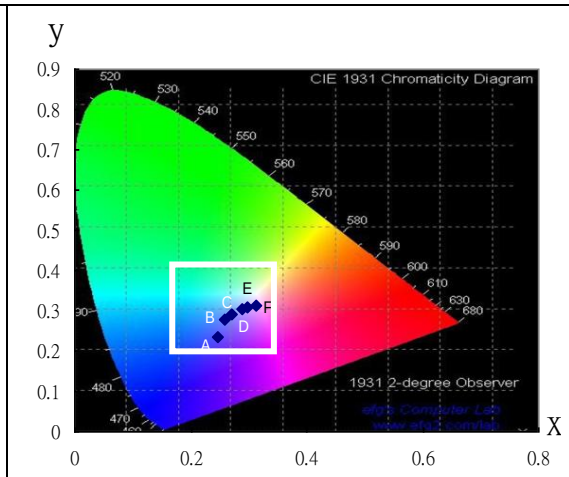
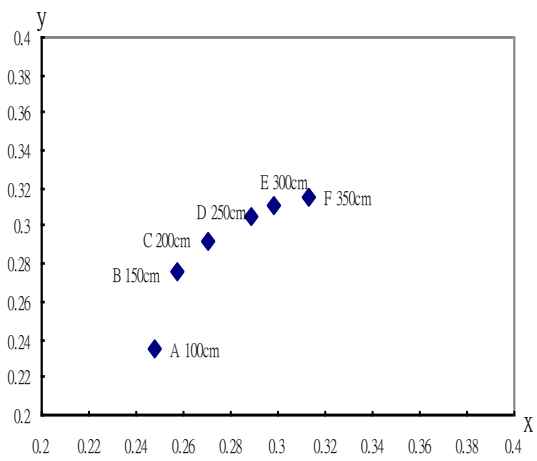
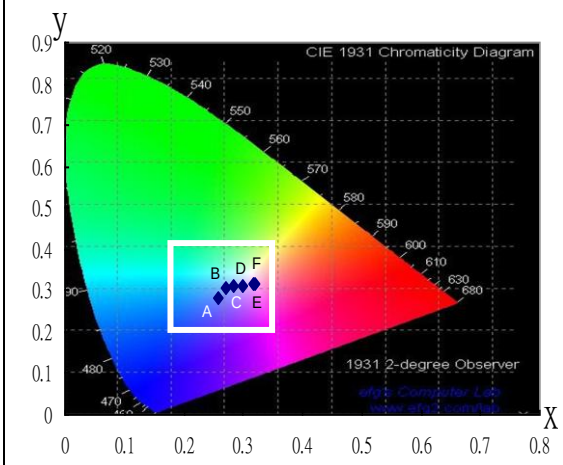
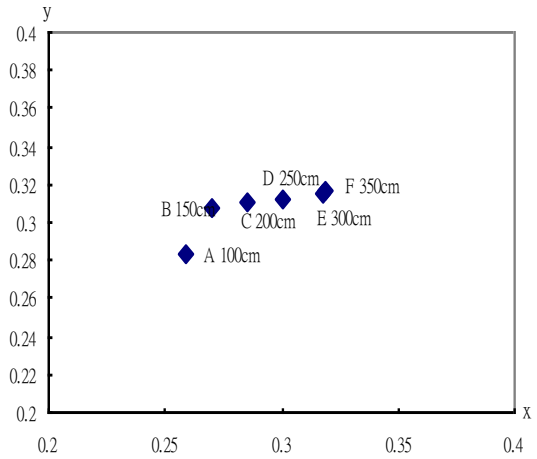
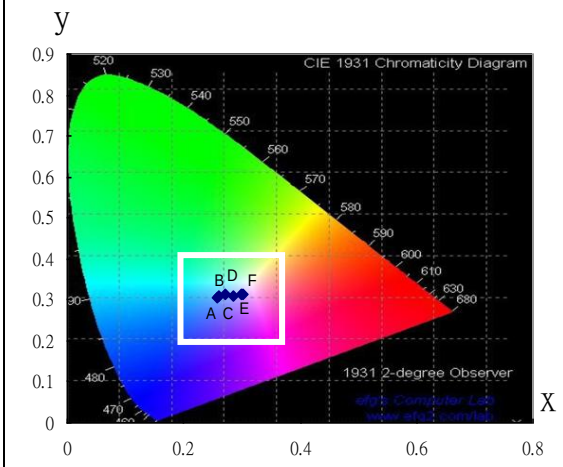
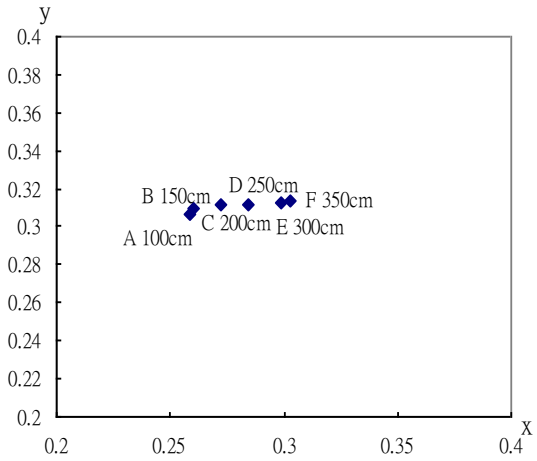
對於不同觀測距離下的色彩變化，從 RGB 灰階值、頻譜圖與色座標皆可看出不同的差異:於 1 公尺，點為 10px 大小時，恰可分辨，而距離 2.5 公尺後在色座標圖中所表示的位置越來越密，顏色差異變得更不明顯，亦即接近混色的最終結果。

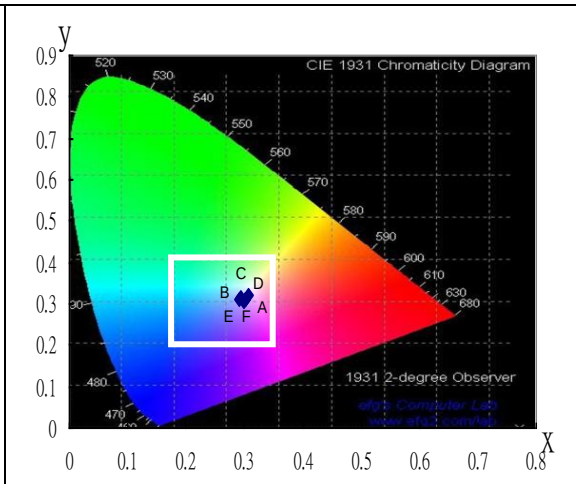
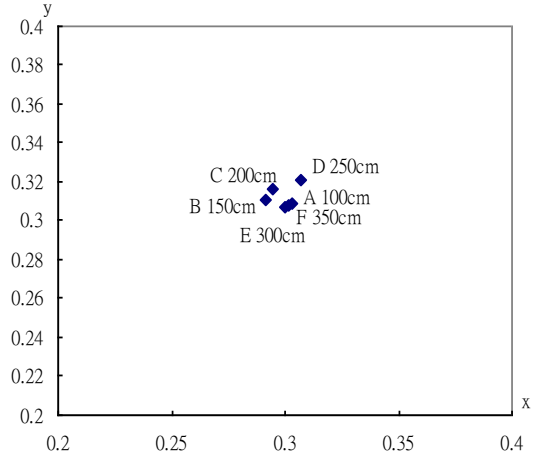
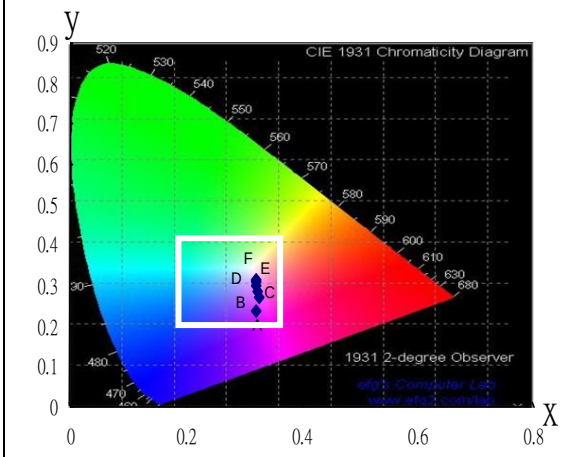
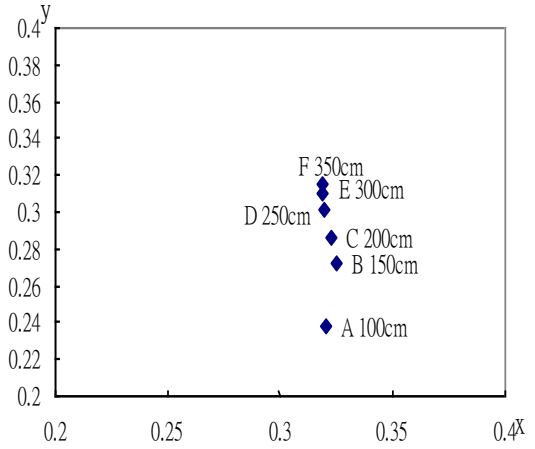
表 35 此實驗中不同色塊之色座標圖

	色座標圖	局部放大圖
A		
B		

C	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer A B C D F E x y	 A 100cm B 150cm C 200cm D 250 cm E 300cm F 350cm x y
D	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer A B C D F E x y	 A 100cm B 150cm C 200cm D 250cm E 300cm F 350cm x y
E	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer A B C D F E x y	 A 100cm B 150cm C 200cm D 250cm E 300cm F 350cm x y

F	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer A B C D E F x y	 A 100cm B 150cm C 200cm D 250cm E 300cm F 350cm x y
G	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer A B C D E F x y	 A 100cm B 150cm C 200cm D 300cm E 250cm F 350cm x y
H	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer A B C D E F x y	 C 200cm D 250cm B 150cm F 350cm A 100cm E 300cm x y

I	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer A B C D E F	 A 100cm B 150cm C 200cm D 250cm E 300cm F 350cm
J	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer A B C D E F	 A 100cm B 150cm C 200cm D 250cm E 300cm F 350cm
K	 CIE 1931 Chromaticity Diagram 1931 2-degree Observer A B C D E F	 A 100cm B 150cm C 200cm D 250cm E 300cm F 350cm

L		
M		

此實驗所設計的 13 色中，由色座標可看出：

距離越遠，改變越來越少：A、C、D、E、F、G、J、M

改變較少或等量改變：B、H、I、K、L

，亦即顏色會隨著〝距離越遠，改變越少〞的顏色作變化，例如：距離越遠，D、E 及 F 就應放得越少以維持 LED 面板顯示之平衡，因此，LED 顯示時，若考慮觀看者的觀察距離，就應隨著距離改變色點的比例多寡或排列。另外，由此次實驗發現，若比較前一實驗，此實驗之整體變化量較少，因此，若要維持 LED 顯示色彩對距離的穩定度，可用四小圓點為一組來顯示。

由上述兩實驗比較發現 C、D、E、F、G、M 無論在三點或四點時皆距離越遠，改變越少；而 H、K、L 則無論在三點或四點時皆距離越遠，改變較少，幾乎無變化，因此，若不考慮顏色的使用，要使 LED 顯示較不因距離而影響其原色，則可多利用 H、K、L 三色，而不用 C、D、E、F、G、M。

（三）分析對三原色點之佈點方式對混色效果之關係

1.研究過程：

※ 繪圖：使用 PHOTOSHOP 繪圖，以寬度(W) 5 英寸，高度(H) 7 英寸，解析度(R) 300 像素/英寸(ppi)，色彩模式(M)為 RGB、8 位元之白色的背景內容(C)為底色。實驗時，以背景為黑色，減少觀測時之干擾。

在黑色背景上訂出標準線後，以紅色、綠色、藍色小圓點，固定其 RGB 的灰階(GL)之比例，改變其佈點方式，完成此圖。

※選擇繪圖時點得直徑大小：由〝(一)分析兩亮點之大小、距離與觀測距離的關係〞得知:若改變點與點之間之距離會影響圓點之大小，因此，此實驗選擇紅色、綠色小圓點為 10px，以確保其混色效果。

※實驗分析：完成此圖後，以布面之相片沖洗，並以不同距離作觀察、拍攝，並使用 Photoshop 測量其 RGB 的灰階值(GL)來分析。

表 36　各組別之距離

組別	A 組	B 組	C 組	D 組	E 組	F 組
拍攝(cm)	100	150	200	250	300	350

2.研究結果：

本實驗以對比較明顯的紅色及綠色的 10px 小點實驗不同排列方式，如圖 54，再以不同距離(A:100cm B:150cm C:200cm D:250cm E:300cm 及 F:350cm)作觀察、拍攝。

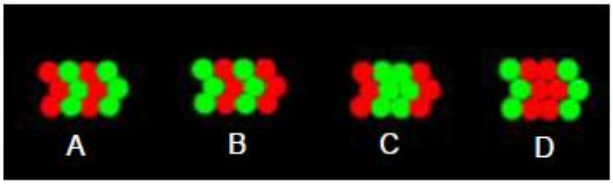


圖 54 10px 小點不同排列方式

此圖中 A、B、C、D 組有不同的三點為一組的組合，各組中有 12 組不同的 RGB 值，因此，在此取平均值，例如 A 之 12 組不同的 RGB 值(如表 40)。

表 37　10px 小點不同排列方式之 RGB 數值

R	203	99	203	26	214	26
G	4	143	4	165	25	165
B	0	0	0	0	0	0
R	185	96	96	126	203	24
G	29	140	123	78	20	173
B	0	0	0	0	0	0

RGB 單位：灰階(GL)

下表為 A、B、C、D 組之 RGB 值。(平均後四捨五入)

表 38 10px 小點不同排列方式

	A	B	C	D
R	125	109	91	141
G	89	86	132	79
B	0	0	0	0

RGB 單位：灰階(GL)

A 組：距離 100cm

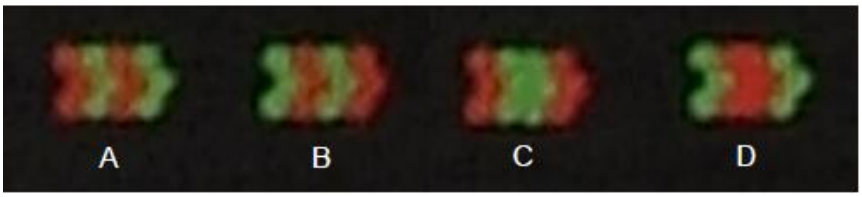


圖 55 距離 100cm 所拍之照片

表 39　10px 小點不同排列方式(100cm)

	A	B	C	D
R	124	123	94	142
G	115	71	138	54
B	60	31	61	30

RGB 單位：灰階(GL)

B 組：距離 150cm

圖 56 距離 150cm 所拍之照片

表 40　10px 小點不同排列方式(150cm)

	A	B	C	D
R	126	105	97	135
G	105	79	123	43
B	58	30	58	20

RGB 單位：灰階(GL)

C 組：距離 200cm

圖 57 距離 200cm 所拍之照片

表 41 10px 小點不同排列方式(200cm)

	A	B	C	D
R	139	112	104	135
G	107	89	121	69
B	67	48	67	43

RGB 單位：灰階(GL)

D 組：距離 250cm

圖 58 距離 250cm 所拍之照片

表 42 10px 小點不同排列方式(250cm)

	A	B	C	D
R	138	117	109	108
G	102	104	111	99
B	76	91	71	67

RGB 單位：灰階(GL)

E 組：距離 300cm

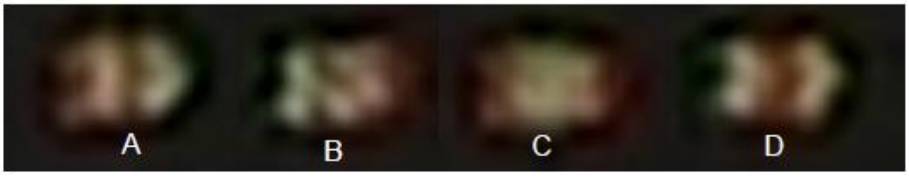


圖 59 距離 300cm 所拍之照片

表 43　10px 小點不同排列方式(300cm)

	A	B	C	D
R	128	124	119	127
G	105	113	109	93
B	74	85	74	66

RGB 單位：灰階(GL)

F 組：距離 350cm

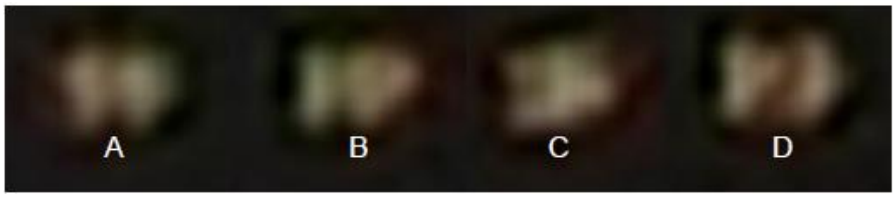


圖 60 距離 350cm 所拍之照片

表 44　10px 小點不同排列方式(350cm)

	A	B	C	D
R	122	115	125	114
G	108	109	122	90
B	82	75	91	66

RGB 單位：灰階(GL)

由以上實驗可發現佈點方式其實是有差異的，即使距離不同亦有不同的 RGB 值，但，A 組與 B 組的 RGB 值是差不多的，但 C 組有綠色點的集中，因此，G 值較高，而 D 組因有紅色點集中，R 值較高，是相同的結果。

由此實驗得知，盡管所用之色點有相同的比例、數量，但會有不同的呈現，這樣一來，只要有排列上的差異，各色點多寡是可以被替換的。

結合一、以瑞利準則探討亮點間與觀賞距離之距離之(一)分析兩亮點之大小、距離與觀測距離之關係、(二)分析三原色點之比例及觀測距離對混色效果之關係及(三)分析對三原色點之觀測距離對混色效果之關係，即可利用色點重新排列，而使某些較不易因距離而變化的顏色取代容易因距離而改變的色彩，使 LED 顯示能在不同距離下維持持相似的色彩表現。

二、數位顯示－以 LED 為例

1.文獻探討：

LED 是發光二極體(Light Emitting Diode, LED)的簡稱，也被稱作發光二極管，它不但能夠高效率地直接將電能轉化為光能，是一種可以將電能轉化為光能的電子零件，並同時具備二極體的特性，也就是具備一正極一負極，只有從正極通電才是會發光，故一般給予直流電時，LED 會穩定地發光，但如果接上交流電，LED 會呈現閃爍的型態，閃亮的頻率依據輸入交流電的頻率而定。LED 的發光原理是外加電壓，讓電子與電洞在半導體內結合後，將能量以光的形式釋放(如圖 61)。

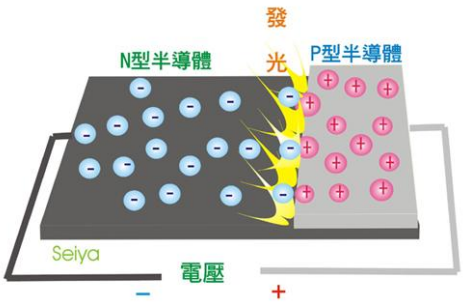


圖 61 LED 發光原理

LED 較傳統光源的照明優勢

(1)有許多小型且不同尺寸可供設計選擇。

(2)可承受高衝擊力。

(3)低的功率損失。

(4)亮度衰減較緩慢。

(5)極長的使用壽命，約 5 萬至 10 萬小時。

(6)提供高功率使用與高亮度產品。

(7)白色照明光源。

(8)低耗電量。

(9)全系列發光顏色皆有生產(由藍色 460nm 至 暗紅色 660nm)。

(10)利用紅、綠、藍 3 原色晶片封裝技術製作單顆全彩機種(three in one)。

LED 優點

(1)超亮點,顏色純,可做出具有資訊之光源,如紅綠燈,汽車用燈,指標用燈。

(2)冷光,發熱度低,不會損壞燈座安全性高。

(3)壽命超長,可連續使用 50000 小時以上比傳統鎢絲燈壽命高出 5~10 倍。

(4)省電,低消耗功率,新環保燈泡。

(5)反應速度快只要 1uS(微秒),不須暖燈可提高安全度。

一般的 **20 瓦日光燈**約可產生 52-117 燭光不等的亮度，依照燈管品質與色溫等因素有諸多互異。而每支 20 瓦的日光燈若使用傳統日光燈具點亮，約可消耗 **43-87 瓦**不等的電量；若使用電子安定器點亮，約可消耗掉 23-43 瓦不等的用電量。LED 燈則不用安定器點亮，就可達到高效果。

如果以 **LED** 來比對的話，使用串聯與不加裝限流電阻、變壓器等裝置，直接適應於 110V 或 220V 用電電壓之 LED，約可在 52-117 燭光的照度內，消耗掉 **17.3-48.8 瓦特**，比起大部分的日光燈省電可達**五倍之多**。

LED 之所以被稱為世紀新光源，原因在於 LED 具備點光源與固態光源的特性，能夠節省能源、高耐震、壽命長、體積小響應快速、並且色彩飽和度高。

2.研究過程：

本實驗分為兩部分，一為面於不同距離之顯示效果，比擬 LED 大型看板；另一方面，文字於不同距離之顯示效果，比擬字幕機及跑馬燈。

※本實驗所選擇之 LED 規格：每一燈泡為 20mA、3V 之 LED DIY 之版面。

※實驗：使 LED 版面上呈現欲顯示之圖樣，於不同距離進行拍攝。為了使觀看效果之尺寸相當以利比較，因此，利用距離與版面之邊長平方成反比之原理調整所需之版面大小。

※數位相機拍攝條件：使用 FUJIFILM S3 PRO 單眼數位相機，標準鏡頭 50mm，光圈 8，快門 1/60s。

※拍攝距離選擇：利用一、以瑞利準則探討亮點間與觀賞距離之距離之結果：

$$\frac{\text{自己所繪之點大小}}{\text{點恰可分辨之最近距離}} = \frac{\text{LED 燈之間隔}}{\text{點恰可分辨之最近距離}} = \frac{0.8mm}{1m}$$

(1)面於不同距離之顯示效果

此部份分為 a、b、c 三組討論，於實驗時調整因不同距離而導致的尺寸問題，使之於同一位置上看到尺寸相同，各組皆有不同之距離與不同尺寸之比較其亮度、燈泡數不同所呈現之效果，並計算出所節省之電源。

a 組分為三組(1,2 及 3)：

1 點與點之間距離 1.2cm，並於距離 LED 版 15m 處拍攝。

2 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 15m 處拍攝。

3 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 7.5m 處拍攝。

b 組分為三組(4,5 及 6)：

4 點與點之間距離 1.2cm，並於距離 LED 版 13.5m 處拍攝。

5 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 13.5m 處拍攝。

6 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 6m 處拍攝。

c 組分為三組(7,8 及 9)：

7 點與點之間距離 1.2cm，並於距離 LED 版 16.5m 處拍攝。

8 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 16.5m 處拍攝。

9 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 9m 處拍攝。

(2)文字於不同距離之顯示效果

此部份分為 a、b、c、d、e、f 六組討論，分別對英文字母 C、G、H、N、U、V 做討論，討論時分為三組較相似之字母形狀，於實驗時調整因不同距離而導致的尺寸問題，使之於同一位置上看到尺寸相同，各組皆有不同之距離與不同尺寸之比較其亮度、燈泡數不同所呈現之效果，並計算出所節省之電源。

第一組(C 字與 G 字)

a 組分為三組(a_1,a_2 及 a_3)：

a_1 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 15m 處拍攝。

a_2 點與點之間距離 1.2cm，並於距離 LED 版 15m 處拍攝。

a_3 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 7.5m 處拍攝。

b 組分為三組(b_1,b_2 及 b_3)：

b_1 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 13.5m 處拍攝。

b_2 點與點之間距離 1.2cm，並於距離 LED 版 13.5m 處拍攝。

b_3 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 6m 處拍攝。

第二組(H 字與 N 字)

c 組分為三組(c_1,c_2 及 c_3)：

c_1 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 16.5m 處拍攝。

c_2 點與點之間距離 1.2cm，並於距離 LED 版 16.5m 處拍攝。

c_3 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 9m 處拍攝。

d 組分為三組(d_1,d_2 及 d_3)：

d_1 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 16.5m 處拍攝。

d_2 點與點之間距離 1.2cm，並於距離 LED 版 16.5m 處拍攝。

d_3 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 9m 處拍攝。

第三組(U 字與 V 字)

e 組分為三組(e_1,e_2 及 e_3)：

e_1 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 16.5m 處拍攝。

e_2 點與點之間距離 1.2cm，並於距離 LED 版 16.5m 處拍攝。

e_3 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 9m 處拍攝。

f 組分為三組(f_1,f_2 及 f_3)：

f_1 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 16.5m 處拍攝。

f_2 點與點之間距離 1.2cm，並於距離 LED 版 16.5m 處拍攝。

f_3 點與點之間距離 0.6cm，並於距離 LED 版 9m 處拍攝。

(3) 編寫簡易程式：利用以上結果編寫簡易程式方便計算出在某一距離下最適合之燈泡尺寸及所省之電量。

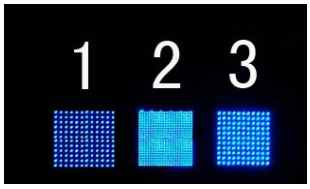
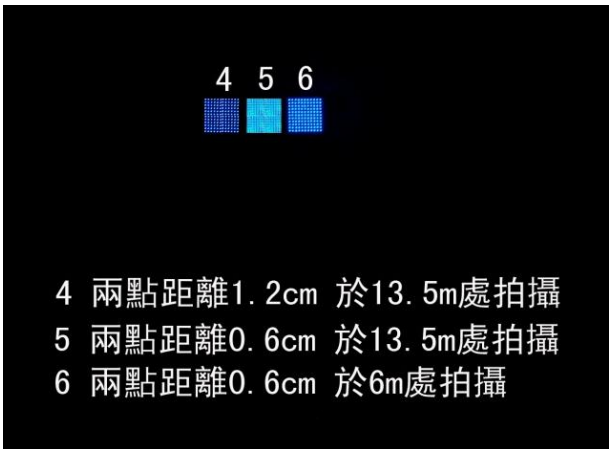
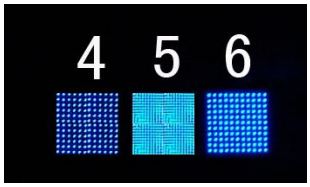
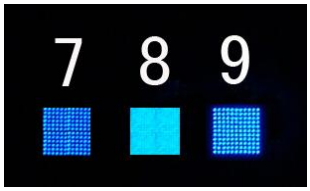
3.研究結果：

(1)面於不同距離之顯示效果

此部份分為 a、b、c 三組討論，各組皆有不同之距離與不同尺寸之

比較其亮度、燈泡數不同所呈現之效果，並計算出所節省之電源。

表 45 此部分實驗之結果

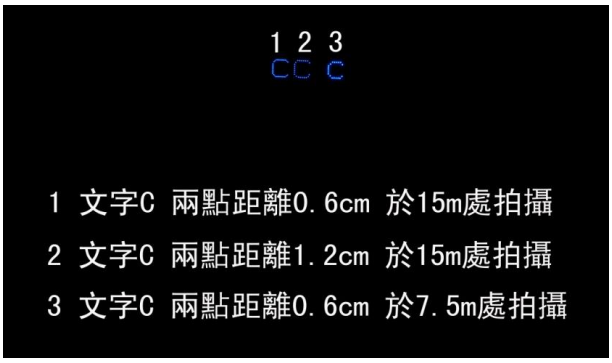
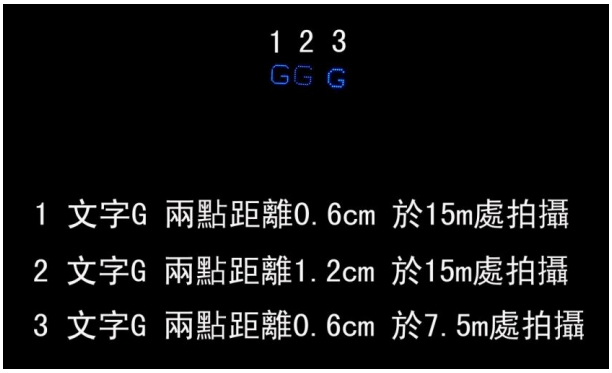
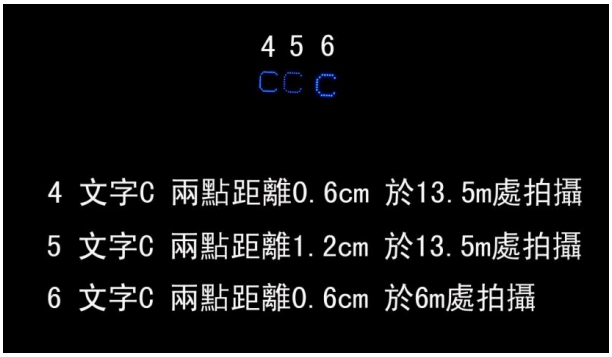
	各組之比較	左圖之局部放大圖
a		
b		
c		

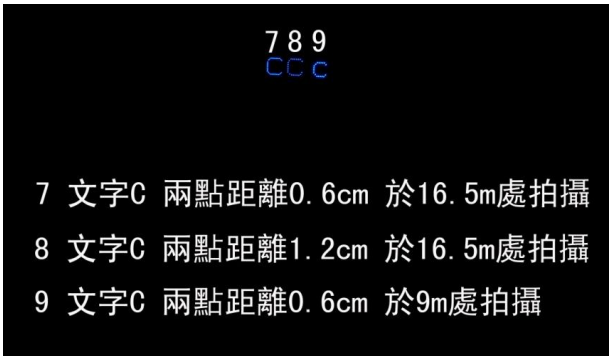
(2)文字於不同距離之顯示效果

此部份分為 a、b、c、d、e、f 六組討論，分別對英文字母 C、G、H、N、U、V 做討論，討論時分為三組較相似之字母形狀，各組皆有不同之距離與不同尺寸之比較其亮度、燈泡數不同所呈現之效果，並計算出所節省之電源。

第一組：(C 字與 G 字)

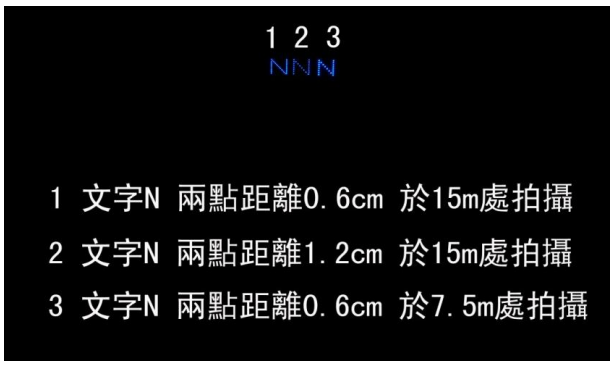
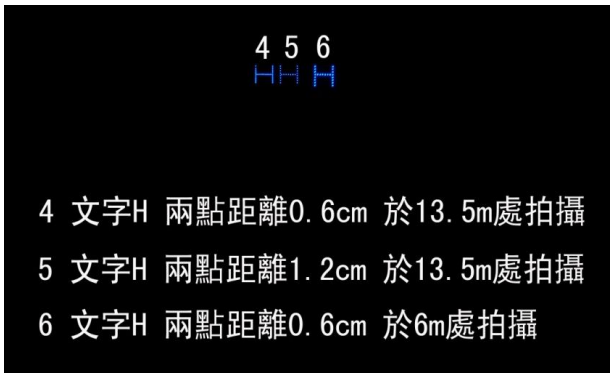
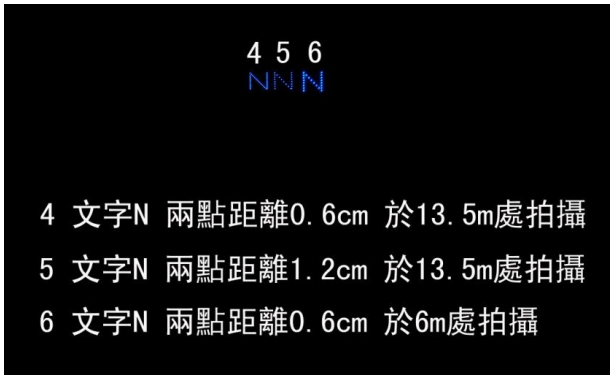
表 46 此部分實驗之結果(C 字與 G 字比較)

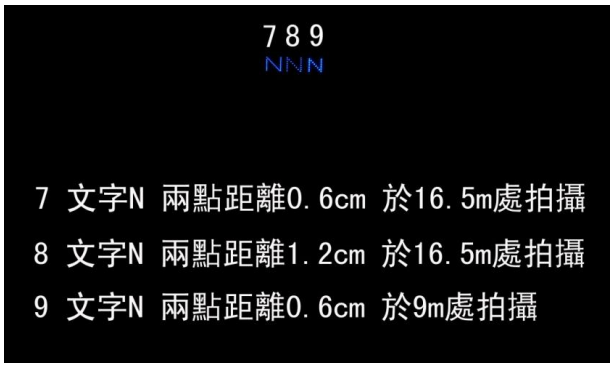
	各組之比較	左圖之局部放大圖
a_1		
b_1		
a_2		

b_2		
a_3		
b_3		

第二組：(H 字與 N 字)

表 47 此部分實驗之結果(H 字與 N 字比較)

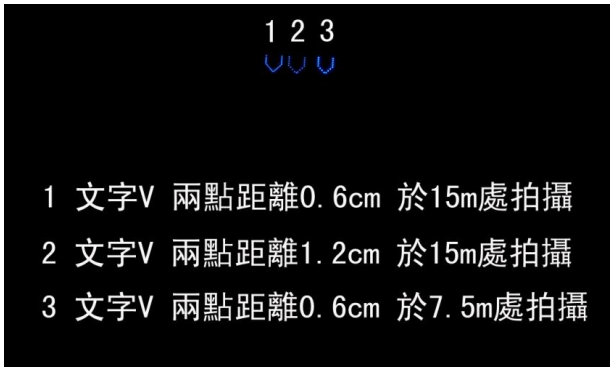
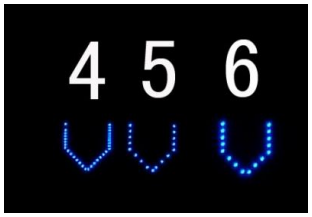
	各組之比較	左圖之局部放大圖
c_1		
d_1		
c_2		
d_2		

c_3		
d_3		

第三組：(U 字與 V 字)

表 48 此部分實驗之結果(U 字與 V 字比較)

	各組之比較	左圖之局部放大圖
e_1		

f_1	 1 2 3 1 文字V 兩點距離0.6cm 於15m處拍攝 2 文字V 兩點距離1.2cm 於15m處拍攝 3 文字V 兩點距離0.6cm 於7.5m處拍攝	1 2 3
e_2	4 5 6 4 文字U 兩點距離0.6cm 於13.5m處拍攝 5 文字U 兩點距離1.2cm 於13.5m處拍攝 6 文字U 兩點距離0.6cm 於6m處拍攝	4 5 6
f_2	8 4 5 6 4 文字V 兩點距離0.6cm 於13.5m處拍攝 5 文字V 兩點距離1.2cm 於13.5m處拍攝 6 文字V 兩點距離0.6cm 於6m處拍攝	 4 5 6
e_3	7 8 9 7 文字U 兩點距離0.6cm 於16.5m處拍攝 8 文字U 兩點距離1.2cm 於16.5m處拍攝 9 文字U 兩點距離0.6cm 於9m處拍攝	7 8 9

f_3		

由(1)面於不同距離之顯示效果、(2)文字於不同距離之顯示效果可得知兩實驗有共通的結果：

① 〝兩點距離 0.6cm，於 7.5m 處拍攝〞與〝兩點距離 1.2cm，於 15m 處拍攝〞有相似的影像品質且用電量相同；而〝兩點距離 0.6cm，於 15m 處拍攝〞與〝兩點距離 1.2cm，於 15m 處拍攝〞有相似的影像品質但燈泡數卻差了 4 倍之多，用電量則可省下 20 倍。

② 〝兩點距離 0.6cm，於 6m 處拍攝〞與〝兩點距離 1.2cm，於 13.5m 處拍攝〞，用電量相同但影像品質卻是後者較優於前者；而〝兩點距離 0.6cm，於 13.5m 處拍攝〞與〝兩點距離 1.2cm，於 13.5m 處拍攝〞有相似的影像品質但燈泡數卻差了4倍之多，用電量則可省下20倍。

③ 〝兩點距離 0.6cm，於 9m 處拍攝〞與〝兩點距離 1.2cm，於 16.5m 處拍攝〞，用電量相同但影像品質卻是後者較優於前者；而〝兩點距離 0.6cm，於 16.5m 處拍攝〞與〝兩點距離 1.2cm，於 16.5m 處拍攝〞有相似的影像品質但燈泡數卻差了4倍之多，用電量則可省下20倍。

(3)利用以上結果：可編寫出以下程式方便計算出在某一距離下最適合之燈泡尺寸及所省之電量。(舉字母 A 為例)

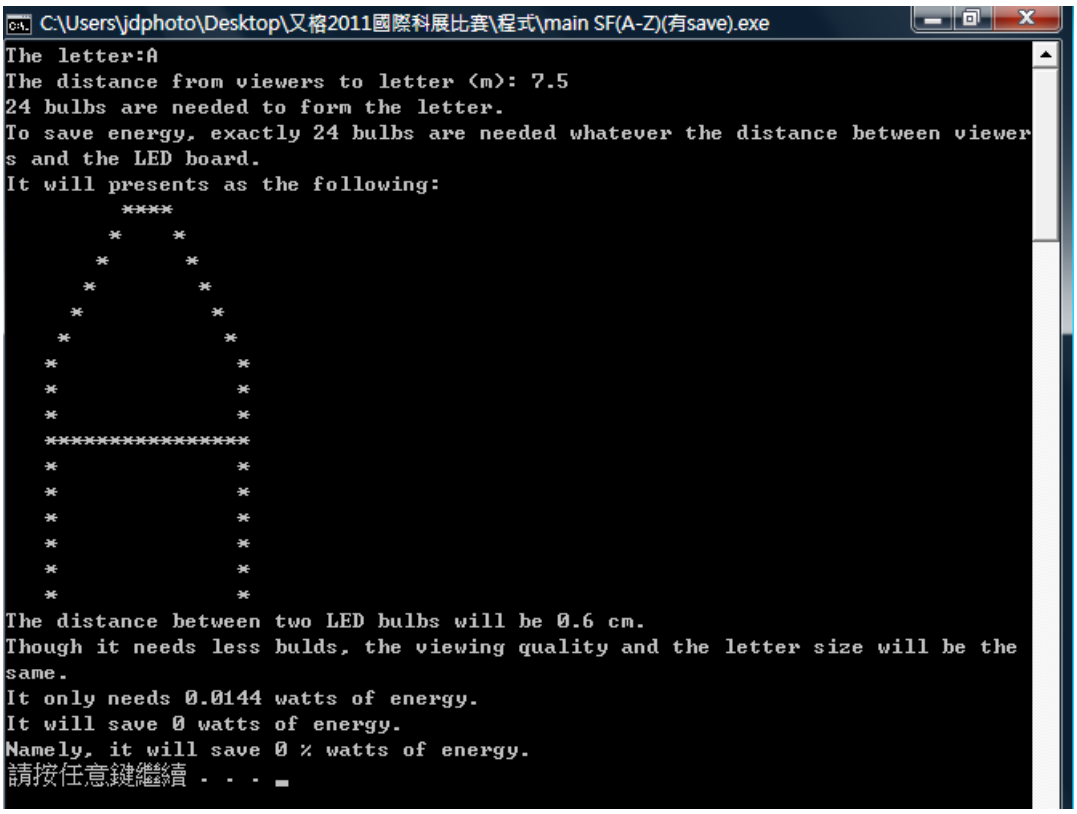


圖 62 利用 C++所編寫之簡易程式所執行之結果

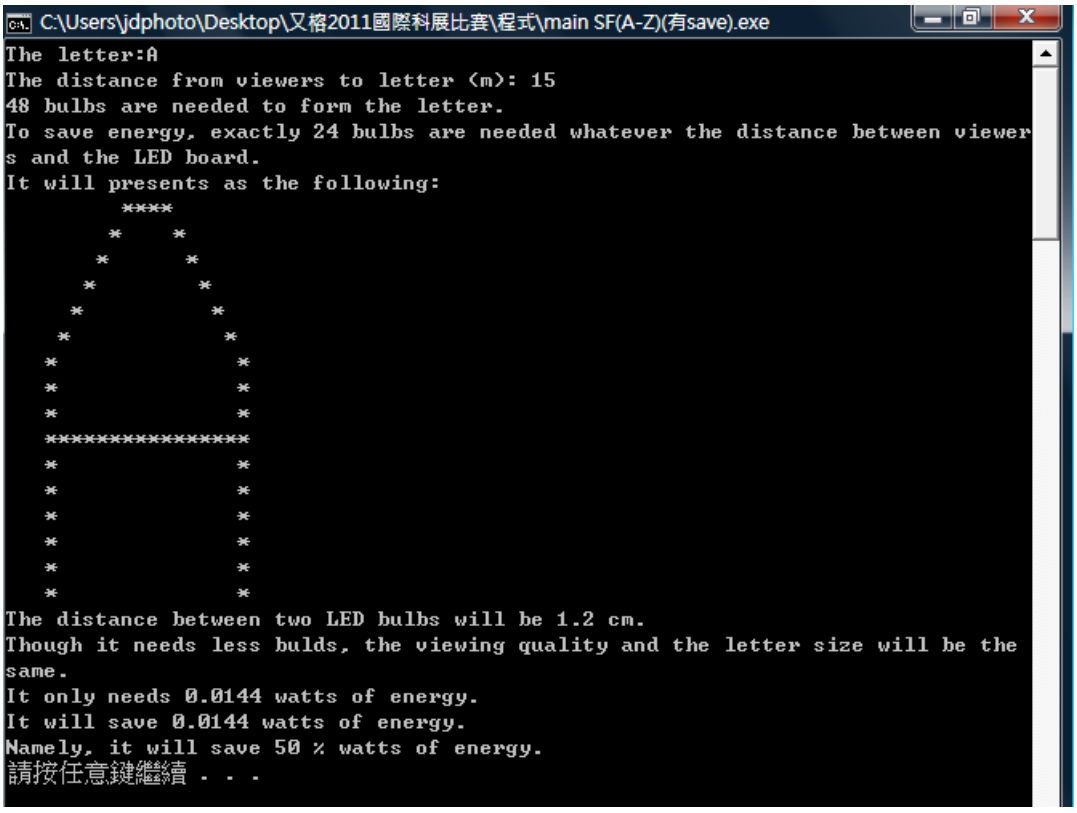


圖 63 利用 C++所編寫之簡易程式所執行之結果

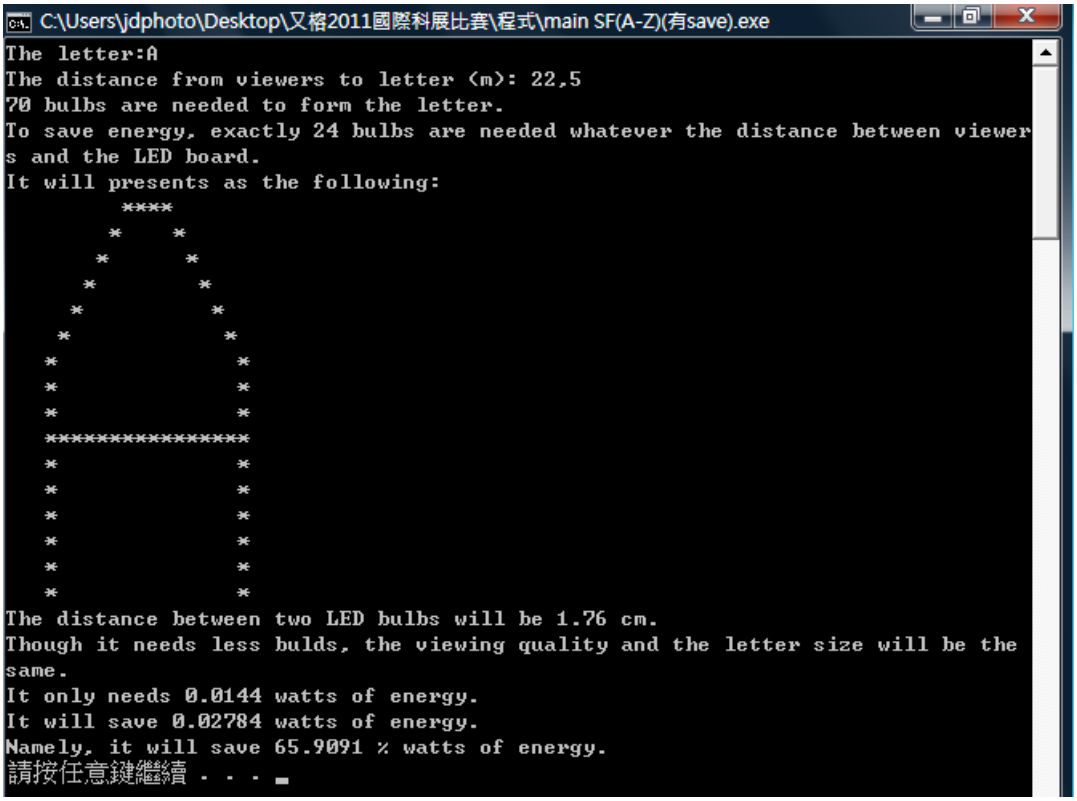


圖 64 利用 C++所編寫之簡易程式所執行之結果

由圖 62、圖 63 及圖 64，LED 板上字母 A 分別在距離 7.5m、15m 及 22.5m 處觀看原本分別需要 24、48 及 72 顆燈泡來組成，而為省電皆只需 24 顆燈泡，若太少則無法形成字型；只要改變燈泡間距離，縱使距離遠近不同，亦可保留字型大小，更能減少過多之能源消耗，由此三範例，皆只需 0.0144 watts 之能量，即可節省 0、0.0144 及 0.02784 watts 之能量，也就是能節省 0%、50%及 65.9%，以便節能。

根據不同距離與所節省之能量可得到以下公式，而可繪出圖 65。

計算公式:y=(1-7.5/x)*100%

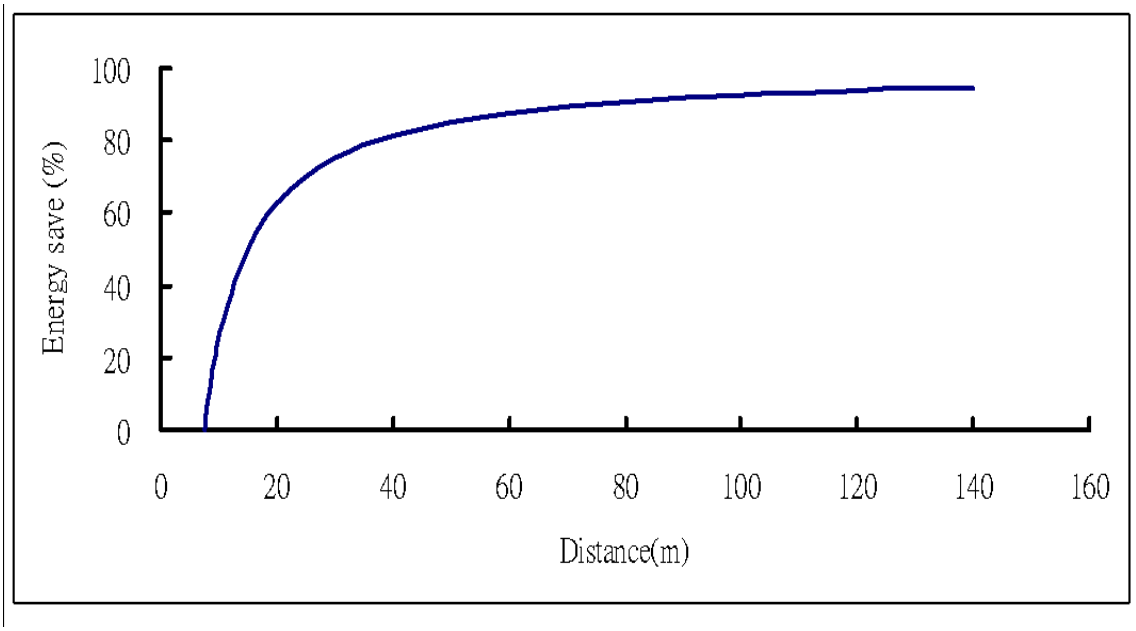


圖 65 不同觀賞距離所節省之能量

從圖 65 的曲線可發現隨著距離越遠，所節省的能源有所不同，改變相同的距離，一開始所省能源差別較多，距離越遠所省能源越少。

伍、 結論

一、以瑞利準則探討亮點間與觀賞距離之距離

(一) 分析兩亮點之大小、距離與觀測距離之關係

由電腦模擬到用照片模擬人眼所見，都有不同的感覺。由實驗中三組相機模仿人眼之 RGB 值發現:當距離 150cm 及 200cm 時，越易混合成一點(RGB 的灰階(GL)值近 255 時)，也就是，當距離越大兩點恰可混合時的點越大。

電腦模擬時，18px 為不可分辨圓點顆粒之最大值，而於 6px 時可視為白平面；距離 100cm 時，8px 時視為白平面；距離 150cm 時，14px 時視為白平面；距離 200cm 時，18px 時視為白平面。由此可見，面與點相同，皆是當距離越大兩點恰可混合時的點越大。

(二) 分析三原色點之比例及觀測距離對混色效果之關係

利用 10px 大小之不同顏色的圓點實驗發現：比例的不同所混出來的顏色也不同。對於不同觀測距離下的色彩變化，從 RGB 灰階值、頻譜圖與色座標皆可看出不同的差異：於 1 公尺，點為 10px 大小時，恰可分辨，而距離 2.5 公尺後在色座標圖中所表示的位置越來越密，顏色差異變得更不明顯，亦即接近混色的最終結果。

(三) 分析對三原色點之佈點方式對混色效果之關係

利用 10px 大小之不同顏色的圓點實驗發現：不同的佈點方式所混出來的顏色，由 RGB 的灰階(GL)值來看不盡相同。距離不同亦有不同的 RGB 值。

由此實驗得知，盡管所用之色點有相同的比例、數量，但會有不同的呈現，這樣一來，只要有排列上的差異，各色點多寡是可以被替換的。

由第一部分實驗可計算出：

$$\frac{\text{自己所繪之點大小}}{\text{點恰可分辨之最近距離}} = \frac{\text{LED 燈之間隔}}{\text{點恰可分辨之最近距離}} = \frac{0.8mm}{1m}$$

二、數位顯示－以 LED 為例

若使用第一部分所計算之公式則發現：不論遠近，有相似的影像品質且有相同的用電量；而其他組實驗則是，若有相同的影像品質，卻因不同距離所需要不同燈泡數，多餘的用電量無法提升影像品質。藉由本次實驗結果，可利用所編寫之程式計算出在某一距離下最適合之燈泡尺寸及所省之電量。

陸、 未來展望與建議

在此研究中，色彩會因觀測距離、色點距離、大小、排列不同而有所差異，因此，將 LED 看板可利用所研究出之條件經再電腦調整，減少 LED 燈泡的使用相信能減低因觀測距離而導致之顏色誤差，而能達到節能減碳。

目前市面上已有兩種方式呈現不同色彩，一是為了呈現某色彩而調整不同比例的燈泡個數，如圖 66；另一是調整各燈泡之亮度，如圖 67。希望未來更深入研究 LED 不同色彩的效果，更能直接對 LED 看板進行電腦控制的調整。

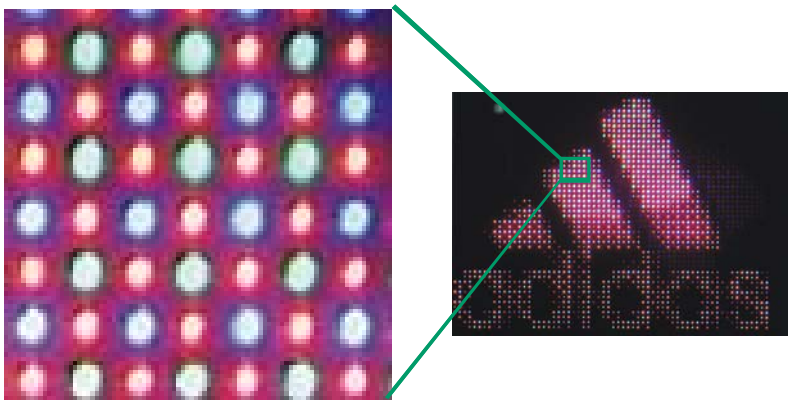


圖 66 為了呈現粉紅色，而提高紅色燈泡於此 LED 看板的個數

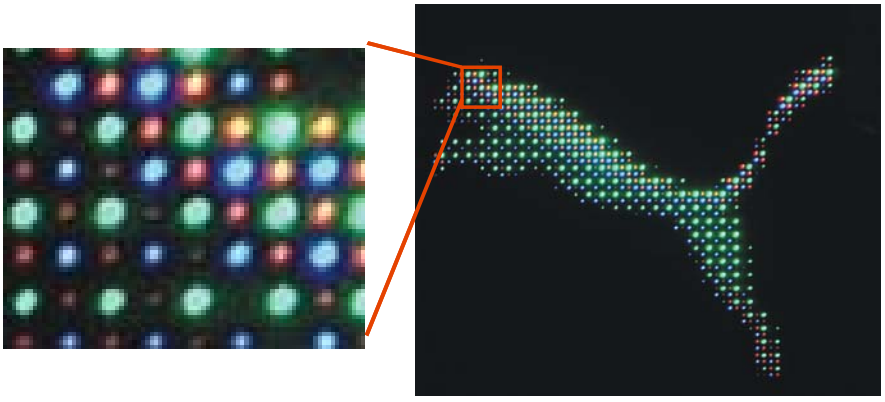


圖 67 為了呈現綠色，而提高綠色燈泡於此 LED 看板的亮度

柒、 參考資料

參考書籍：

1、世界藝術百科，初版，台北市，佳慶文化事業有限公司出版，p.111 至 p.112。

2、Joseph T. Jaynes, Rip Noël 著，胡為君譯，數位攝影精技，台北市，p.4-2，2006 年 5 月出版。

3、Fundamentals of physics extented 5th，Halliday，page.939

參考網站：

1、http://www.ledinside.com.tw/what_is_led（8 January 2010）甚麼是 LED？LED 產業網

2、http://en.wikipedia.org/wiki/Angular_resolution（18 October 2010） Angular resolution

3、http://en.wikipedia.org/wiki/Dither （28 October 2010） Dither

4、http://en.wikipedia.org/wiki/ICAM_(Color_Appearance_Model) （9 September 2010） ICAM(Color Appearance Model)

5、http://en.wikipedia.org/wiki/Just-noticeable_difference （23 August 2010） Just-noticeable difference

6、http://en.wikipedia.org/wiki/Moir%C3%A9_pattern（24 October 2010） Moiré pattern

7、http://en.wikipedia.org/wiki/Morphing （12 October 2010） Morphing

8、http://www.led-shop.com.tw/page38.htm (2006) LED 原理

9、http://www.ledcase.com/light-1.htm (2010) LED 發展使及材料簡介

10、http://www.ledcase.com/light-2.htm (2010) LED 發光原理

11、http://www.elight.com.tw/led-new5.html 省電比較

評語

1. 研究題目頗具創意。

2. 數據分析完整。

3. Presentation 完整。

4. 若能有更完整的運用情境將更佳。

Maintaining Viewing Quality with Lower Number of LEDs

Research Paper

Project ID: CS017

Finalist: Yu-Jung Chen

2011 Intel International Science and Engineering Fair

Table of Contents

Abstract ····· 1

Introduction ····· 2

Fundamental Property ····· 3

Algorithm ····· 7

Results ····· 12

Conclusions ····· 16

References ····· 16

Maintaining Viewing Quality with Lower Number of LEDs

Abstract

The purpose of this research is to reduce light emitting diode (LED) needed on display panels while maintaining satisfactory viewing quality. In general, viewing distances, LED sizes and LED panels (packing density) all contributed to the perceived viewing quality. A LED display is said to have good perceived viewing quality if the individual LEDs are indistinguishable while the display as a whole is not overly bright.

Rayleigh criterion defines the angular resolution of an optic system, including the human eyes. In short, Rayleigh criterion defines when two neighboring LEDs can become indistinguishable if viewed at a distance. Therefore, relationship between viewing distances, LED placements and LED panels can be experimentally determined.

Experiments were carried out to test the LED display viewing quality when viewed at various distances using different sized LEDs and LED panels. It was determined that having more LEDs does not necessarily lead to better viewing quality. Based on the experimental results and Rayleigh criterion, a computational model was derived implemented. Given the parameters for a given LED panel setup, the number of LED savings that is achievable is computed. Furthermore, the actual LEDs to be turned on and off to achieve the saving are also determined.

Introduction

The purpose of this project is to save energy consumption by reducing the number of light emitting diodes (LED) needed on display panels while maintaining satisfactory viewing quality. An LED display is said to have good perceived viewing quality if the individual LEDs are indistinguishable. Based on the Rayleigh criterion, LED placement formulation is derived, and computer algorithm is implemented to simulate the results under different viewing conditions. Experimental results show that between 40% to 80% of LEDs can be reduced without sacrificing viewing quality.

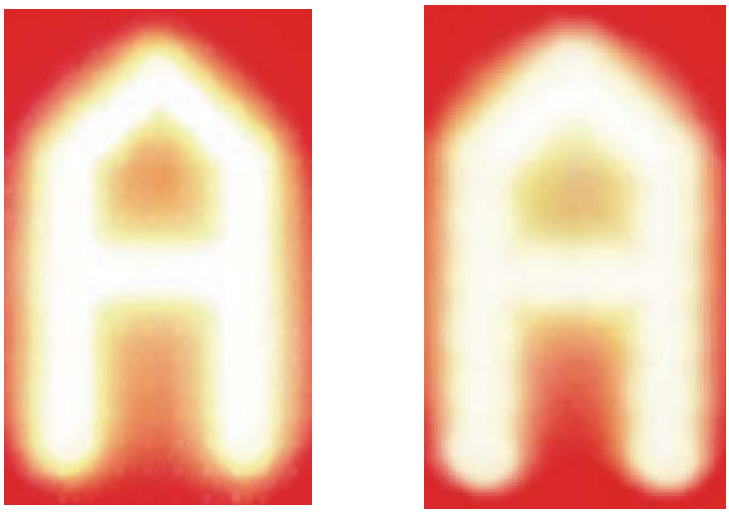


Fig. 1 Original display (left) with 32 LEDs and proposed display (right) with only 19 LEDs.

Fundamental Property

Rayleigh Criterion

Rayleigh criterion defines the angular resolution of an optic system. Resolving power is the ability of an imaging device to separate points of an object which are located at a small angular distance. The minimum resolvable distance (i.e., resolution) is the minimum distance between distinguishable objects in an image. Rayleigh criterion defines when two neighboring LEDs can become indistinguishable if viewed at a distance.

The diffraction:

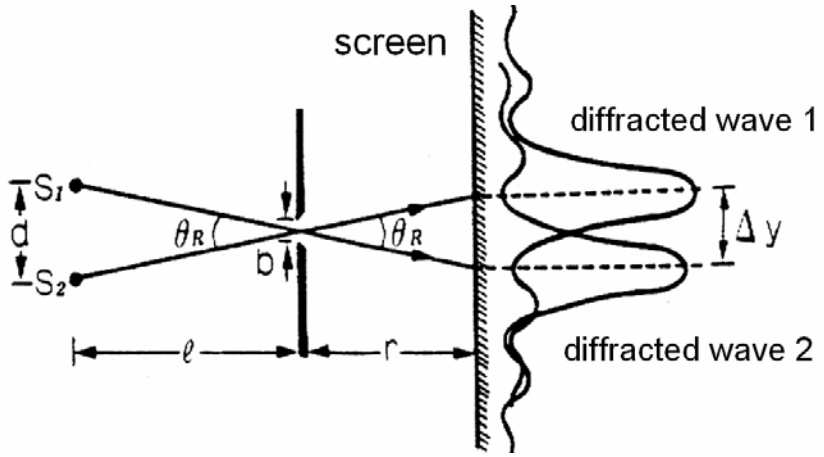


Fig. 2 The schematic of the diffraction.

∗ The angle θ between two light sources and slit.

$$\theta = \frac{d}{\lambda}$$

∗ Identification of the minimum angle: when the two light sources can be identified just the angle of the slit.

$$\theta_R \approx \frac{\Delta y}{L} = \frac{\lambda}{a} \qquad \begin{cases} \theta > \theta_R \Rightarrow \text{Distinguishable} \\ \theta = \theta_R \Rightarrow \text{Just distinguishable} \\ \theta < \theta_R \Rightarrow \text{Indistinguishable} \end{cases}$$

When viewing two neighboring LEDs at a distance, the diffraction images gradually overlap as the viewing distance increases. Fig. 3 shows the diffraction images when the two LEDs are clearly separable, just inseparable, and overlapped, respectively.

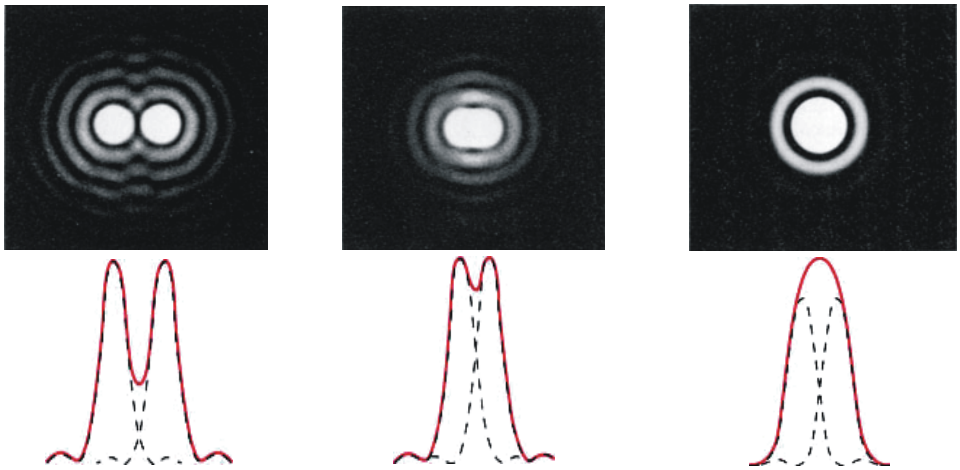


Fig. 3 Clearly visible, just inseparable, and overlapped

Formula from Rayleigh Criterion:

$$\sin\theta = 1.220\frac{\lambda}{D}$$

where

θ is the angular resolution in radians.
λ is the wavelength of light.
D is the diameter of the lens' aperture.

Computation Model and Formulation

Let θ denote the angular resolution in radians.
Let w denote the distance in cm between two spots.
Let L denote the viewing distance in meter.
Let λ denote the wavelength of light.
Let D denote the diameter of the lens' aperture.

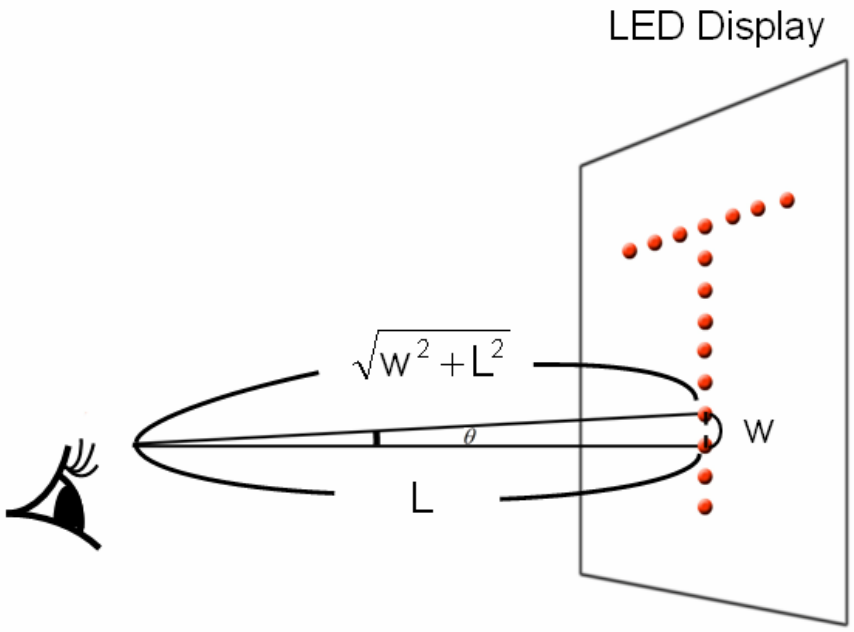


Fig. 4 The relationship between viewing distance and the distance between two spots.

Then by Rayleigh Criterion

$$\sin\theta = 1.220\frac{\lambda}{D}$$

$$\Rightarrow \frac{w}{\sqrt{w^2 + L^2}} = 1.220\frac{\lambda}{D}$$

$$\Rightarrow w^2 = (1.220\frac{\lambda}{D})^2(L^2 + w^2)$$

$$\Rightarrow \left[1 - (1.220\frac{\lambda}{D})^2\right]w^2 = (1.220\frac{\lambda}{D})^2 L^2$$

$$\Rightarrow w = \sqrt{\frac{(1.220\frac{\lambda}{D})^2 L^2}{1 - (1.220\frac{\lambda}{D})^2}}$$

Mean wavelength of natural light λ= 570nm
The pupil diameter D = 3mm

$$w = 2.318\times10^{-4}\times L$$

If two LEDs are viewed at a distance L meters away, then by Rayleigh Criterion they are indistinguishable if placed within w.

Algorithm

Algorithm

```
/* label each ON LED as ON/EDGE/CORNER point. */
for row := 1 to m do
   for col := 1 to n do
     if (LED(row, col)==ON) then
      /* Current ON LED is CORNER if one vertical and one horizontal */
       /* neighbor LED are OFF.*/
       if ((LED(row, col-1)==OFF) or LED(row,col+1)==OFF)) and
         (LED(row-1, col)==OFF) or LED(row+1, col)==OFF)) then
         mark LED(row, col) = CORNER
       /* Current ON LED is EDGE if one of four N/S/E/W neighbor */
       /* LED is OFF. */
        else if ((LED(row, col-1)==OFF) or LED(row,col+1)==OFF) or
                 (LED(row-1, col)==OFF) or LED(row+1, col)==OFF)) then
          mark LED(row, col) = EDGE

/* Reducing the LEDs.*/
for row := 1 to m do
   for col := 1 to n do
      if (LED(row, col) != OFF) then
         woffset := 2.318x10-4 * L
         for i := -woffset to woffset do
            for j := -woffset to woffset do
         /* CORNER will never be turned off.*/
         /* EDGE can only be turned off if too close to a ORNER/ */
         /* EDGE LED.*/
         /* ON can only be turned off if too close to a ORNER/ */
         /* EDGE /ON LED.*/
         if (LED(row+i, col+j)!=CORNER) then
           if (LED(row, col)==CORNER) then
              mark LED(row+i, col+j) = OFF
           else if (LED(row, col)==EDGE) then
              mark LED (row+i, col+j) = OFF
```

The following pictures shows how did we mark CORNER/ EDGE/ ON:

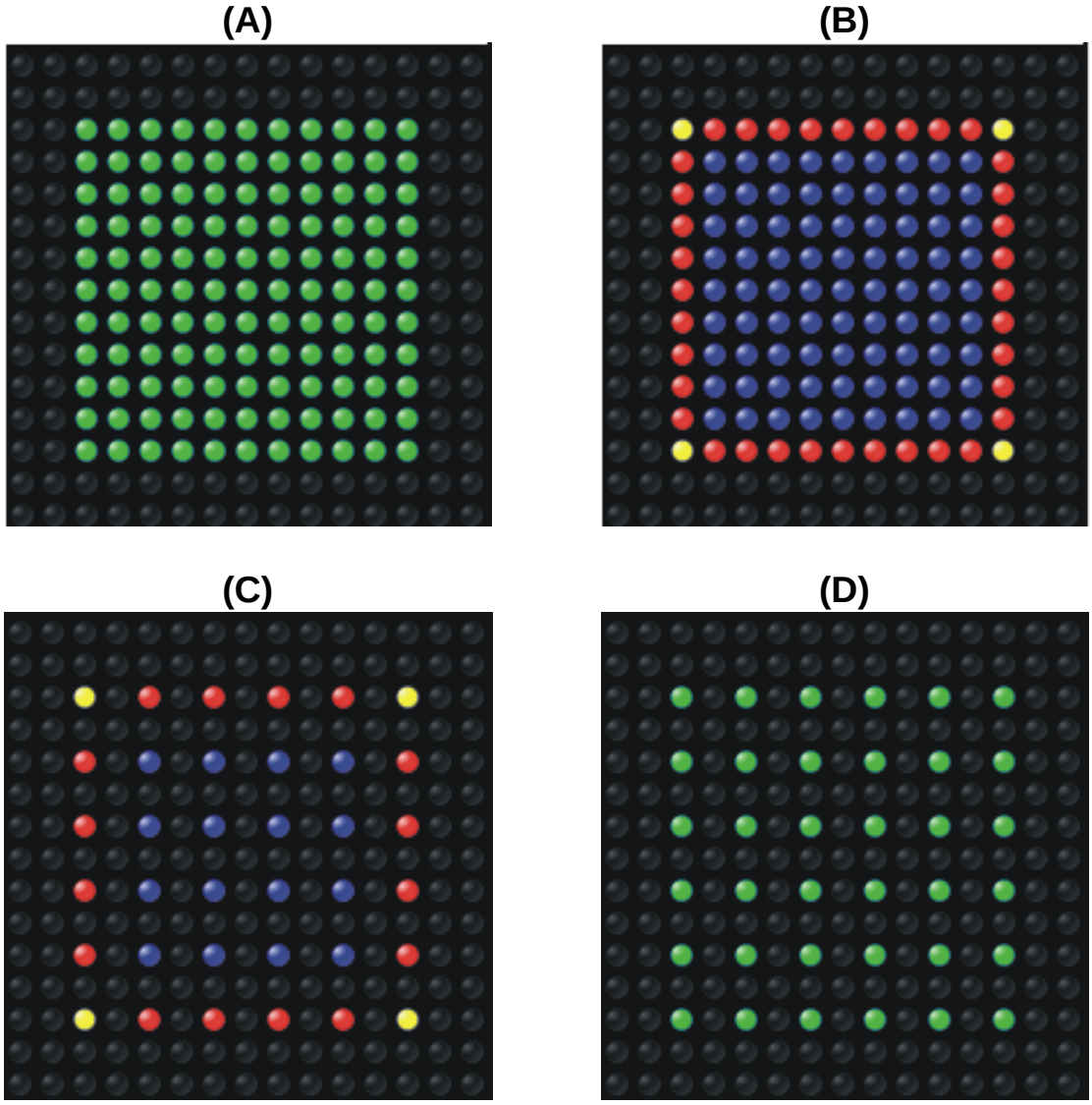
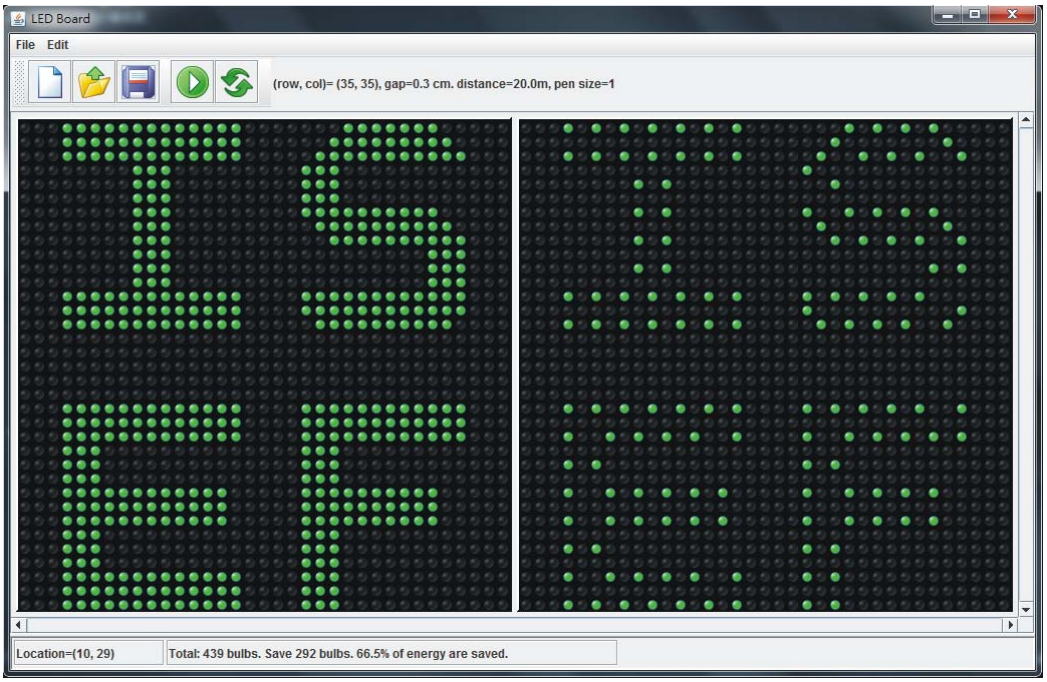


Fig.5
(A) Original LED display.
(B) CORNER LEDs in yellow, EDGE LEDs in Red,other ON LEDs in blue.
(C) CORNER, EDGE, and ON LEDs after reduction.
(D) Reduced LED display.

Algorithm Characteristics

- Time complexity is O (mn)
- Shape Preserving
  Panel size: 35×35 LEDs, L= 20m,
  0.3cm between two neighboring LEDs

Original Simulated Result



439 LEDs 147 LEDs

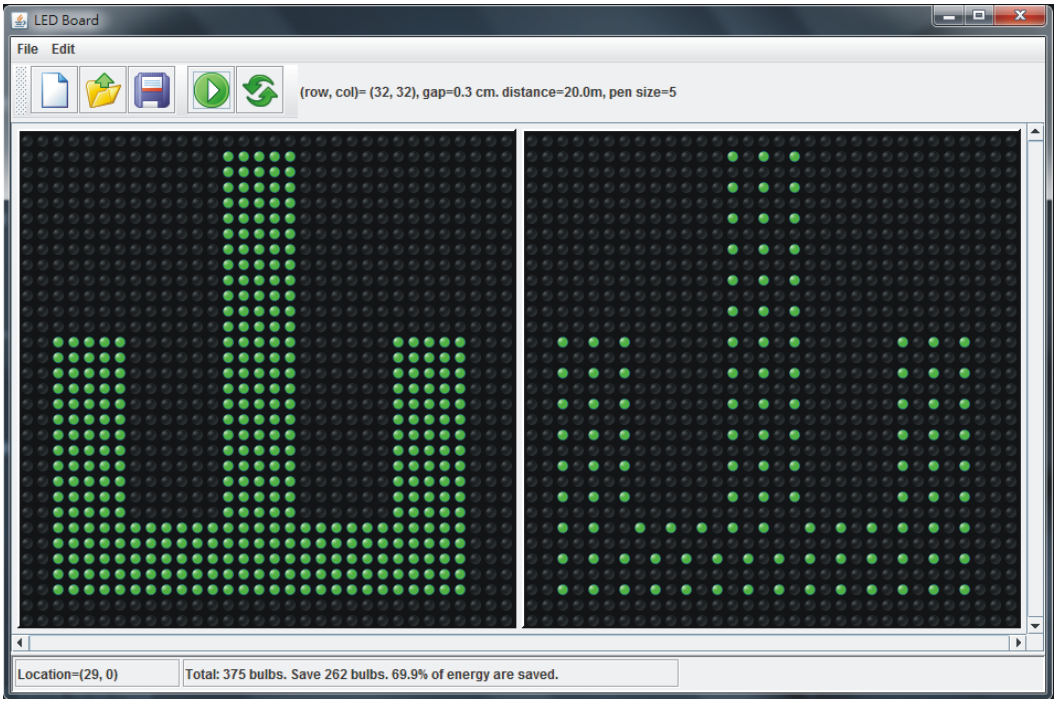
Actual LED

Before After

66.5% saving

● Size Preserving
Panel size: 32×32 LEDs, L= 20m,
0.3cm between two neighboring LEDs
＊ In Chinese, it means "mountain".

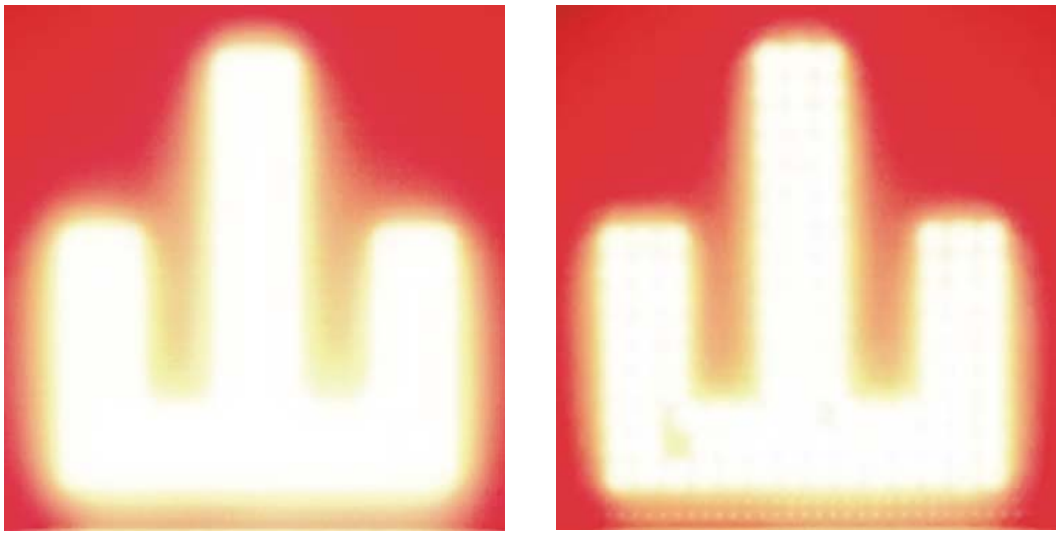
Original Simulated Result



375 LEDs 113 LEDs

Actual LED

Before After



69.9% saving

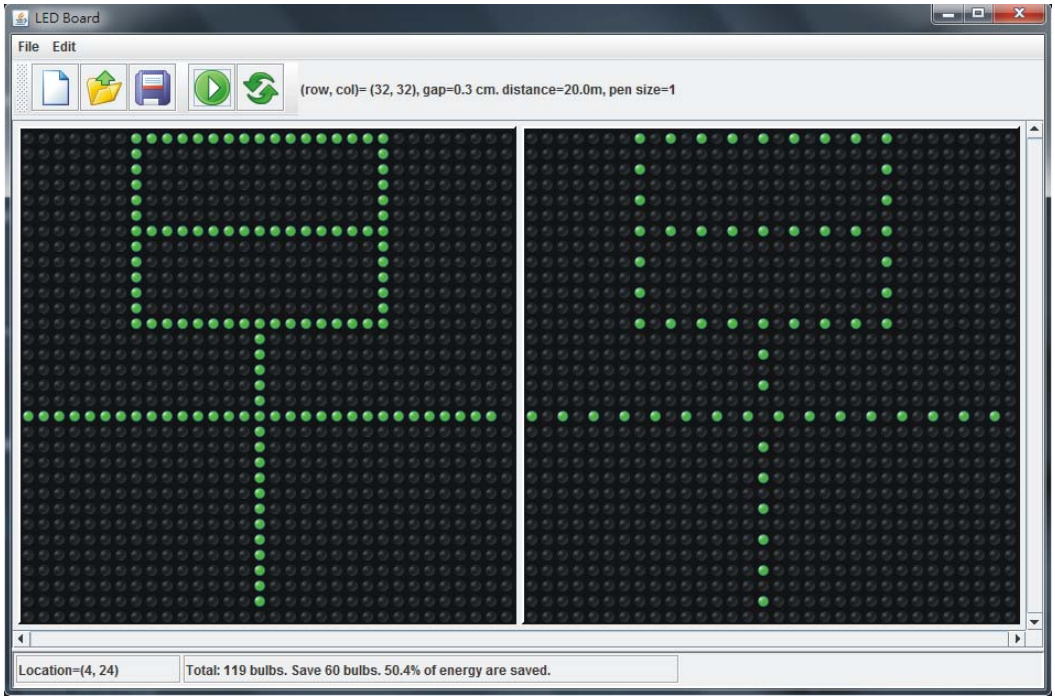
● Robust

Panel size: 32×32 LEDs, L= 20m,

0.3cm between two neighboring LEDs

＊ In Chinese, it means "morning".

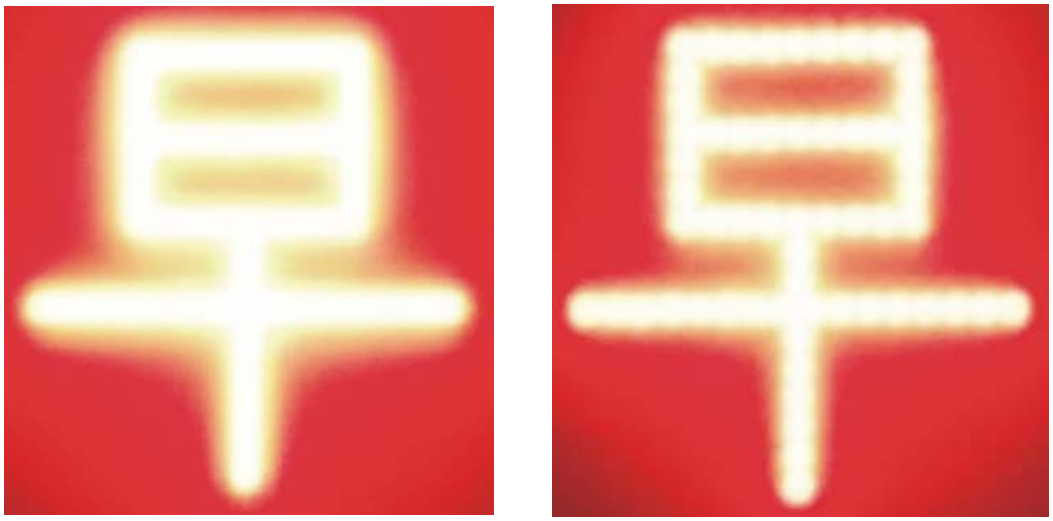
Original Simulated Result



119 LEDs 59 LEDs

Actual LED

Before After

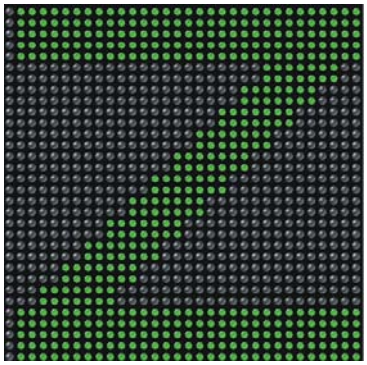
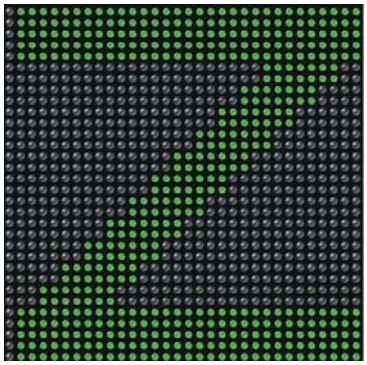
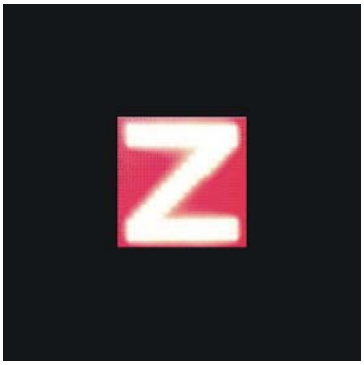
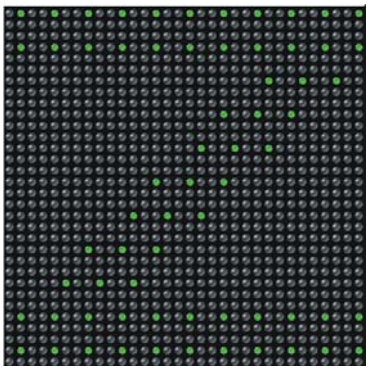


50.8% saving

Results

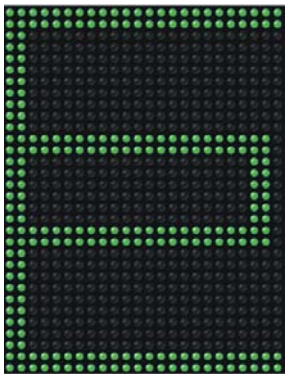
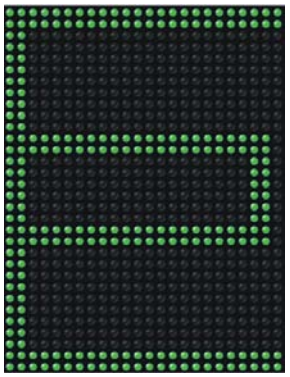
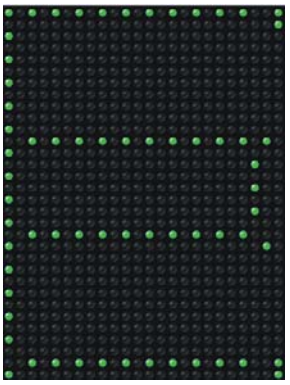
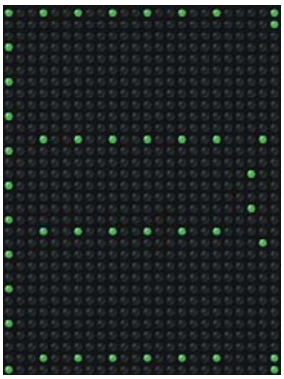
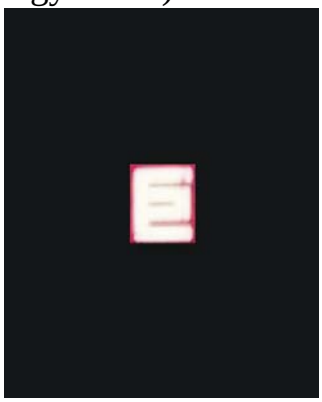
English Text

Panel: 32×32 LEDs, 0.3cm between two neighboring LEDs

	Simulation	Actual LED Panel
Original		
	464 LEDs	
10m away		
	464 LEDs (0% of energy saved)	
20m away		
	127 LEDs (72.6% of energy saved)	
30m away		
	64 LEDs (86.2% of energy saved)	

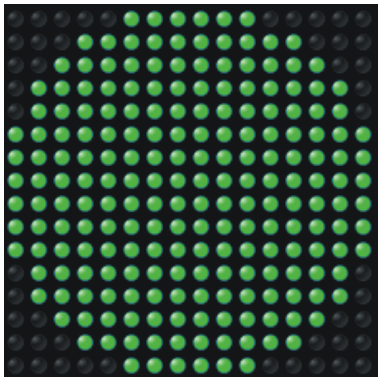
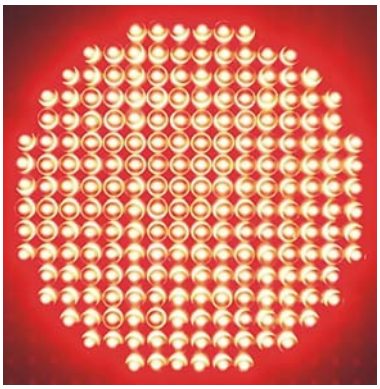
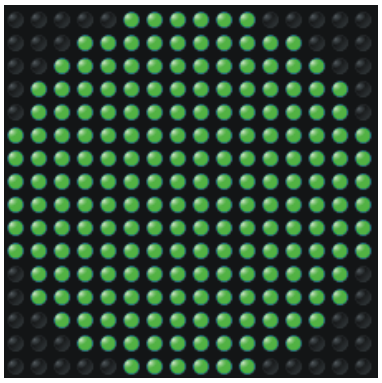
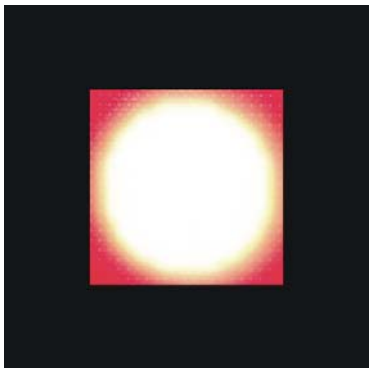
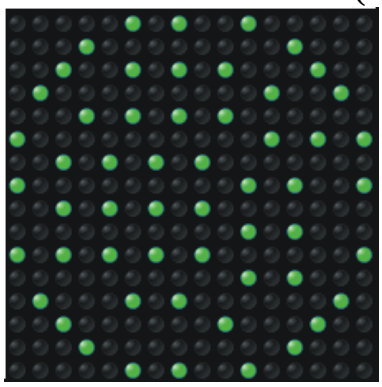
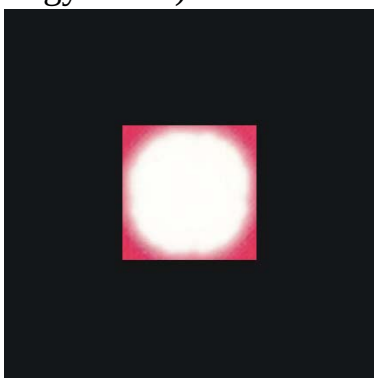
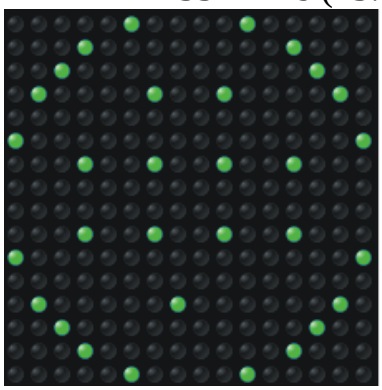
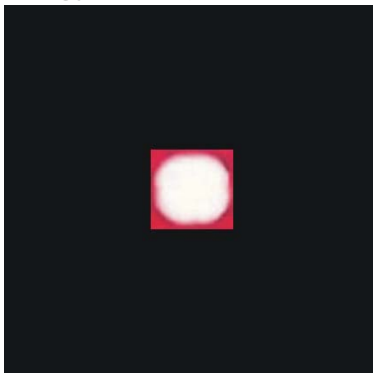
Chinese Character ＊ In Chinese, it means "giant".

Panel: 32×24 LEDs, 0.3cm between two neighboring LEDs

	Simulation	Actual LED Panel
Original		
	248 LEDs	
10m away		
	248 LEDs (0% of energy saved)	
20m away		
	65 LEDs (73.8% of energy saved)	
30m away		
	43 LEDs (82.7% of energy saved)	

Solid Pattern

Panel: 16×16 LEDs, 0.3cm between two neighboring LEDs

	Simulation	Actual LED Panel
Original		
	208 LEDs	
10m away		
	208 LEDs (0% of energy saved)	
20m away		
	55 LEDs (73.6% of energy saved)	
30m away		
	31 LEDs (85.1% of energy saved)	

Conducted some experiments to see what the limits are on LED reductions. Fig. 6 shows the results in terms of viewing distance vs. LED reduction percentage.

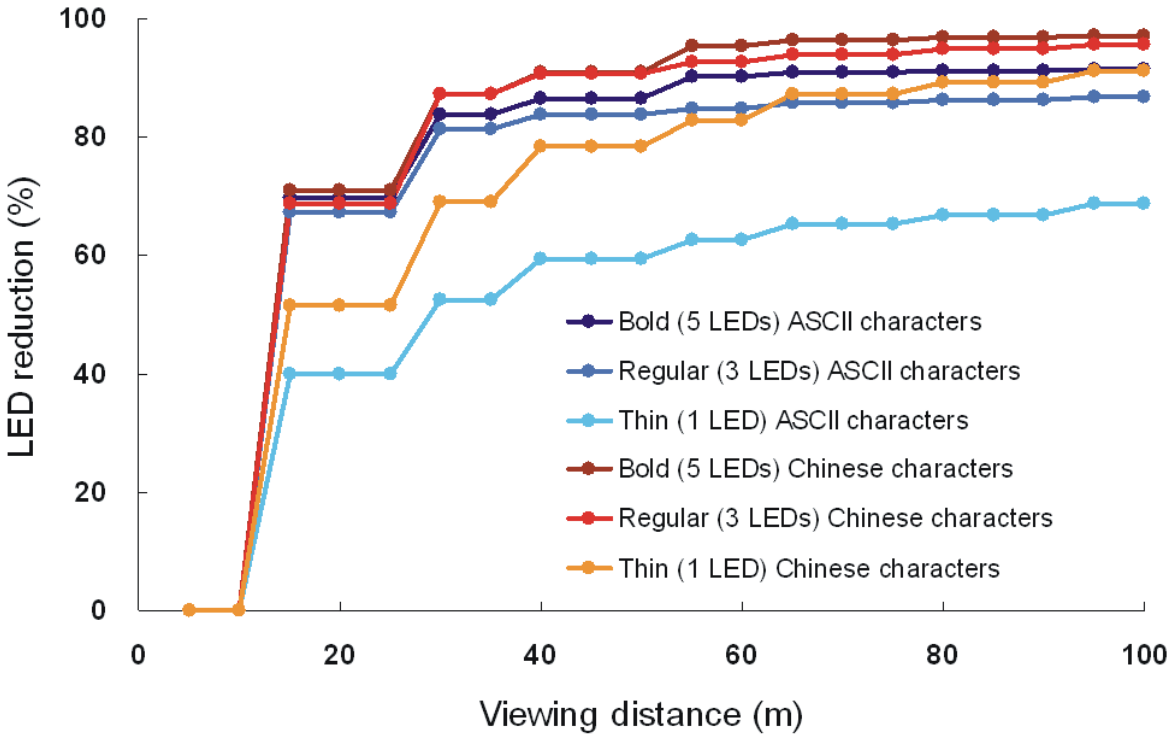


Fig. 6 Percentage saving at different viewing distances. Each experiment contains 30 test cases.

- At 32x32 LEDs, the display becomes to small to be discernible at 40m.
- No saving is possible if viewed within 10m. 40% or more saving is achieved when viewed at 15m or farther away.
- As expected, greater saving is achieved with thicker fonts.

Conclusions

1. Based on Raleigh Criterion, when viewing LED displays at a distance, fewer number of LEDs are actually needed while maintaining the same viewing experience (text shapes and sizes).
2. Through experimentations, on the average 40% ~ 80% LED savings can be achieved for text (both English and Chinese) displays. Furthermore, the saving increases proportionally with font sizes.

References

[1] M. Born and E. Wolf, Principles of Optics: Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light, Seventh (Expanded) Edition, 1999.

[2] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, Fundamentals of Physics, 7th Ed., Wiley, Hoboken, NJ, 2004.

[3] Wikipedia, “Just-Noticeable Difference,” http://en.wikipedia.org/wiki/Just-noticeable_difference, 2011.

[4] Koodyz Technology, “LED Theory,” http://www.led-shop.com.tw/page38.htm, 2011.