

# 彩色 LED 顯示器模組發光均勻度檢測與補償機制之研究

## Study of Luminance Uniformity Inspection and Compensation Mechanism for Color Light Emitting Diode Display Module

葉書佑

王凱生

蔡明忠

台灣科技大學 自控所

台灣科技大學 自控所

台灣科技大學 自控所

M9412303@mail.ntust.edu.tw

M9512002@mail.ntust.edu.tw

mjtsai@mail.ntust.edu.tw

### 摘要

發光二極體(Light Emitting Diode)因具有壽命長、高亮度、視角廣，低電壓驅動等的特性，所以 LED 顯示器被廣泛地利用在大型電視牆、指示器、字幕機等的消費性產品上。本研究針對 16X16 的彩色 LED 顯示器模組建立一自動化亮度檢測及補償平台，首先透過彩色輝度計對待測面板模組進行亮度量測，將所量測到的亮度值，經過計算得到一補償查詢表(Compensated Look Up Table, CLUT)。CLUT 內儲存每一像素的補償比例值，而各一像素之 CLUT 利用最小平方誤差法找出一組適合每一灰階之 CLUT。補償前面板的發光均勻度大約在 80%左右，補償後發光均勻度能改善到 95%以上，其均勻度提高了 15%左右。印證了本方法能有效的改善 LED 顯示器發光模組的發光均勻性。

**關鍵字：**發光二極體面板模組、補償查詢表、亮度均勻性

### 壹、前言

發光二極體具有低驅動電壓、高壽命、安全和省電特性。有鑒於高亮度 LED 目前已朝向高功率技術發展，以及藍光 LED 的發展技術成熟，配合可變式資訊系統之電子顯示系統，LED 顯示器已大量的被應用在各種消費性產品上，如：汽機車車燈市場、交通號誌、LED 字幕機、全彩 LED 顯示螢幕。LED 顯示器瑕疵問題大部份是由製程和材料所導致。LED 檢測相關文獻方面，林柏羽[1]提出以網路攝影機來擷取電子產品之 LED 影像，並應用倒傳遞網路模型來分析與檢測 LED 顯示是否正常。其主要特點為採用低成本的 USB 網路攝影機作為 LED 影像擷取裝置，並應用倒傳遞網路模型先將標準的 LED 影像輸入當訓練樣本，訓練完成的網路模型，以用來自動檢測待測 LED 是否正常，達到電子產品 LED 自動化檢測之目的。林宏森[2]以 RGB 三色 LED 取代 CCFL 做為 TFT-LCD 的背光源，由於 LED 會受到溫度變化影響，產生各個不同的亮度和色溫衰減，於是利用光二極體來做回授補償，使其穩定性增加，且利用脈寬調變(PWM)方式來做 RGB 三色順序循環點亮，可降低 LED 的消耗功率。劉憲勳[4]提出一套既快速又準確的 LED 量測方法，藉由類神經網路，將 CCD 拍攝所得到的值，與 Detector 所量到的值，建立一套對應的網路，往後只需以 CCD 拍下照度分佈，

經由網路計算，便可得到近似由 Detector 掃瞄所得的照度分佈值。賴永昌[5] 整合馬達定位及光電特性等介面程式，完成一套高精度、高穩定度之 LED 自動化光電量測系統，做為 LED 出廠前之分級，並可將所得之資料回饋至生產線以修正相關參數，達到製程參數最佳化並提升產品良率之目的。以上所提之檢測方法雖然能夠達到快速和準確的檢測 LED，但大多都是只有針對單顆 LED 做探討，且鮮少討論到電氣驅動和亮度校正的問題。K.Takahashi, S.Nakajima 和 S.Takeuchi[6]針對 LED 顯示器模組(RGB 三色 LED 為一個像素，共 256 個像素)，利用一銀質樹脂做為反射片，大大減低熱對 LED 發光色彩的影響。

當使用一電壓源驅動具多顆 LED 之面板時，可能會因為內阻的不同而導致通過每顆 LED 的電流量不相等，而 LED 的發光強度又正比於順向電流，使得每顆 LED 的發光強度不相等，造成亮度不均勻的現象，而這些內阻的差異往往是因為製程關係所造成。這可以使用定電流 IC 來解決這個問題，定電流 IC 可以抵銷每顆 LED 順向電壓的不同，對每個通道都輸出相同的電流量，因此理論上已經可以將多顆 LED 控制在同一亮度，但實際上仍因為材料上的差異，使得即使每顆 LED 都輸出相同的電流量，實際亮度還是無法精確的相等，這也是本研究所要探討的重點核心之一[7][8]。

## 貳、研究方法

本研究是針對彩色 LED 顯示器模組為研究對象進行亮度檢測及補償，如圖 1 所示，首先會利用一光譜儀觀察 LED 模組之光譜分布狀況，再利用輝度計 BM7 檢測 LED 模組的亮度值，再經由數值運算了解整個模組的亮度分布狀況，建立補償值的 CLUT，使得面板在顯示畫面之前先經過 CLUT 調整亮度，經補償過後的亮度值送至控制 IC 再輸出至顯示面板中，以達到面板亮度均勻的效果。

### (一) 均勻度檢測

在平面顯示器中，顯示螢幕發光的亮度與發光亮度的均勻性(Uniformity)，是相當重要的。如果顯示器的四周與中間的發光亮度不一樣，對於觀看者而言，在視覺上的感受是很難調適的，尤其越大的面板其亮度均勻性會越差，相對就越顯得均勻性的重要性，像是大尺寸 LDC TV 及 LED 廣告看板顯示看板等，因其面板尺寸較大，對均勻性的要求越高。因此如何使顯示器的亮度均勻性提高，一直是業界研究設計的方向。

現行各廠牌公司針對顯示器發光亮度檢測方法，有分為 5 區(sharp)、9 區(HannStar、Philips)、13 區檢測(LG)，而大多都採用美國國家標準協會(ANSI)所制定的 9 區檢測及 13 區檢測。圖 2 為 13 區檢測示意圖，而圖 3 為 LED 模組針對 13 區檢測實際所量測之區域。目前對於檢測顯示器面板的亮度均勻性取樣標準不盡相同，並無統一作法，但檢測取樣的數目越多，則會愈接近整各面板的實際亮度顯示情況。因此本研究針對 16X16 的 LED 面板模組的亮度檢測方法，採用十三區檢測方式，期望以較嚴謹的方式，得到較高的檢測準確度。

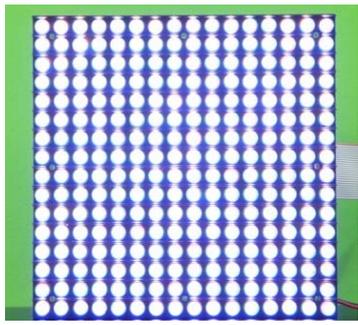


圖 1 LED實驗面板實體圖[9]

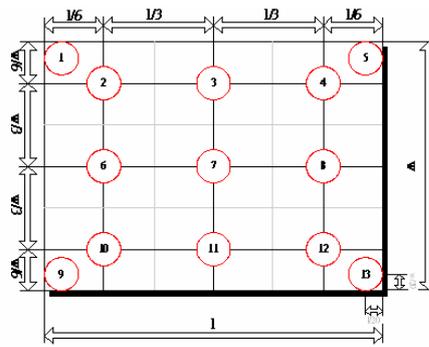


圖 2 13 區檢測示意圖

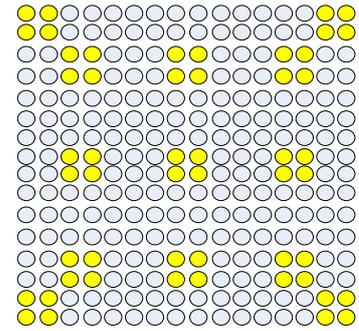


圖 3 LED模組 13 區檢測區示意圖

## (二) 均勻度計算

亮度是觀看者對顯示器收看品質要求其中一項很重要的指標，太亮、太暗或是亮度不平均都會造成觀看者視覺上的不舒適感。對於面板發光亮度之均勻性的計算方式有幾種方式，有些是取中間亮度值與周圍亮度值的比值當為均勻度；也有將測得的最小亮度值除以最大亮度值即為此面板的均勻度。而本研究根據 13 區檢測方法，分別量測每個區域中心點的亮度，再找出亮度最大值、最小值及平均值，即可算出面板發光亮度的均勻性百分比，發光亮度均勻性(Luminance Uniformity)可定義[3]為如式(1)：

$$L_{Uniformity} = \left[ 1 - \frac{(L_{max} - L_{min})}{L_{ave}} \right] \times 100\% \quad (1)$$

這裡Lmax、Lmin、Lave為L[1], L[2], L[3], ....., L[n] 中之最大的亮度值、最小的亮度值、平均亮度值。亮度均勻性百分比越高表示均勻性越佳，面板畫素顯示的越均勻，在人類視覺感受上越舒服。

## (三)補償原理

本研究除了對LED面板模組進行亮度檢測外，也針對亮度較不平均的像素進行亮度補償，以提高模組整體的亮度均勻性。在改善LED面板均勻性的問題之前，必須先討論如何決定LED的亮度。本系統利用輝度計實際量測LED實驗面板模組之亮度與灰階曲線，主要針對LED面板模組之中間區域上中下的LED來進行量測，其量測結果如圖 4 所示，由圖中可發現RGB和白光之灰階值與亮度值的關係呈線性比例，因此我們可利用線性補償方式作亮度均勻性的改善。另外也可由此關係圖發現，在同一種顏色畫面底下，不同位置的pixel在同一灰階值底下所呈現之亮度值大小並不一樣，也就是LED模組亮度不均勻的情況。

本研究所使用之實驗LED面板模組總共有 16X16 個LED[9]，LED驅動之灰階範圍 0~127，因此利用輝度計量測 256 筆亮度值，利用鄰近週遭像素亮度分佈情形，來決定亮度不均勻像素之亮度值。

首先須先設定目標亮度為多少（目標亮度可為最大亮度或是平均亮度），經過運算後，就可找出各個亮度和目標亮度的比例關係K。圖 5 為本系統補償原理示意圖，其中 $X_1, X_2, X_3$ 代表模組中每一顆LED，而 $L_1, L_2, L_3$ 分別代表 $X_1, X_2, X_3$ 的亮度值，假設 $L_2$ 為每顆LED亮度的目標亮度，各顆LED經過各別的比例因子調整過後，調整成和 $L_2$ 一致的亮度值，而達到較佳的亮度均勻性。

$$L_1' = L_1 \times (L_2 / L_1)$$

$$L_3' = L_3 \times (L_2 / L_3)$$

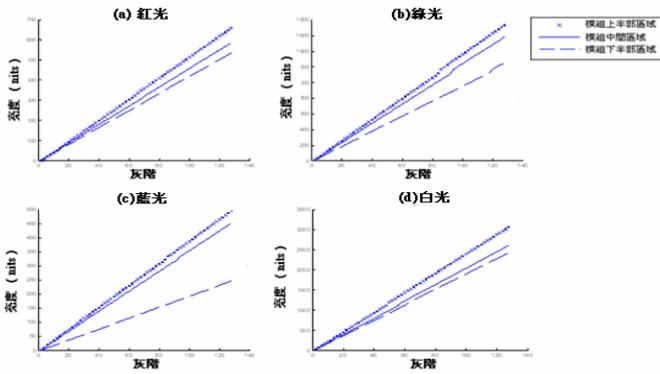


圖 4 LED 面板之 RGBW 亮度與灰階關係曲線

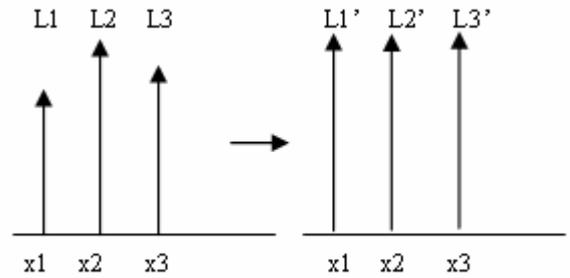


圖 5 亮度補償原理示意圖

查表運算 (Look Up Table) 是使用一個索引的陣列當作新的輝度值補償表；利用鄰近週遭像素的分佈狀況，來決定某一點像素的亮度值，並預先將它建成表，以供未來檢測期望的需求，免去複雜且龐大的運算量。將補償表放置於顯示資料輸入端，依顯示位址找到補償對應表，即可進行亮度均勻補償動作。LED亮度檢測共建立 256 筆資料的CLUT補償表，假設補償後值為 $L'$ ，補償前原始亮度值為 $L$ ，而 $i$ 表示為第 $i$ 個像素，則CLUT補償表裡的每一筆資料可表示為以下式子，其中 $K_i$ 為各像素之亮度和目標亮度的補償比例。

$$L_i' = L_i \times K_i \quad i=0,1,2...255 \quad (2)$$

而本研究之均勻性補償驅動方塊圖如圖 6 所示，乃以定電流驅動及PWM方法達到均勻性補償目的。

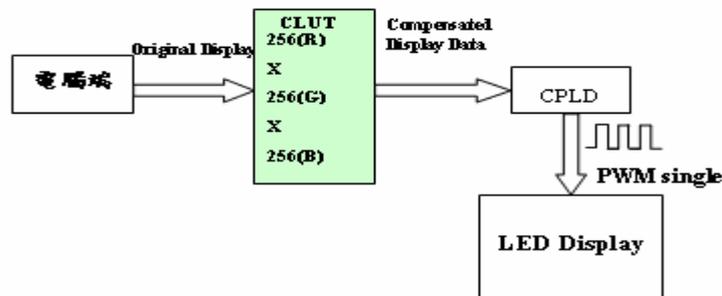


圖 6 均勻性補償驅動方塊圖

## 參、研究成果

本實驗以驅動電路板裝置點亮所需檢測的LED面板模組，控制XY-table步進馬達移動輝度計至面板模組檢測區域，以高精度亮度量測設備輝度計量測模組內各類LED亮度值，以供電腦分析使用，圖7為本研究之系統架構圖與實體圖，其中包含XY步進馬達平台、BM7彩色輝度計、彩色LED面板模組、驅動電路板。而此系統是以Visual Basic 6.0 程式語言開發系統程式，整合BM7與XY-table設備，透過人機介面經由RS232控制系統動作，人機介面主要畫面有硬體設備的參數設定及檢測數據、馬達座標位置顯示，還可即時觀測檢測的區域。

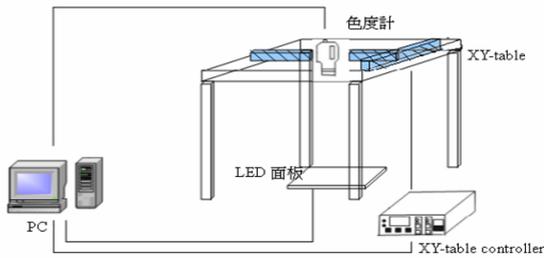


圖 7 系統架構圖

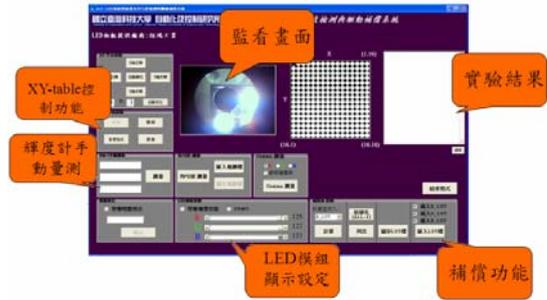
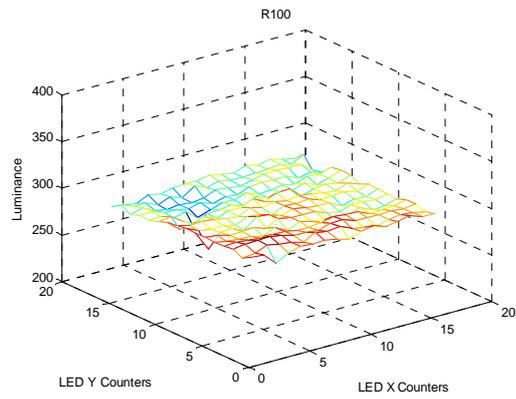
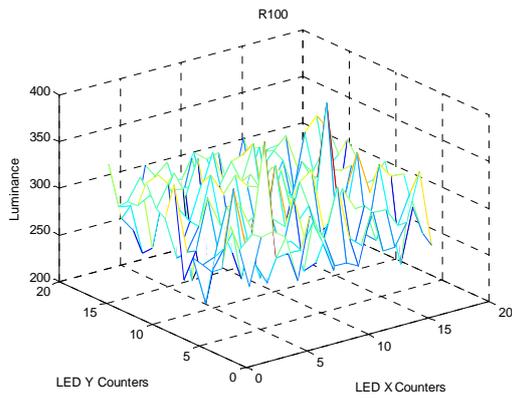


圖 8 系統操作人機介面

本研究針對 16X16 之 LED 面板模組進行亮度檢測與補償，首先使用光譜儀對 LED 作色度量測，再使用輝度計 BM7 進行亮度檢測，並以 XY-table 平台承載輝度計移動到量測位置，達到對整塊 LED 模組進行自動化亮度檢測。在實驗過程中，針對 LED 發光色度檢測，需使用 LED 量測套筒，以防止外在光源對 LED 發光色彩之光譜分布造成影響。針對我們實驗環境光源而言，LED 發光亮度在有環境光影響以及沒有環境光影響下，發光亮度大約相差 10nits，於是針對 LED 亮度檢測實驗，都是在暗室環境下進行並啟動暗點校正，令實驗結果誤差能夠縮小。

### (1) 紅光檢測與補償結果

此實驗主要檢測模組在紅光不同灰階值底下補償前後亮度均勻性情況，而以灰階值 40~100 分別進行檢測，採用十三區檢測並配合均勻性計算公式，式(1)，計算出模組之亮度均勻性。本研究嘗試利用一組補償查詢表來針對紅光的各灰階畫面進行補償，首先找出紅光在灰階 40~100 之個別補償比例值，如  $K_{40} \sim K_{100}$ ，再利用最小平方誤差法找出一組最適合各灰階的補償比例值  $K_R$ 。利用這組補償查詢表針對紅光在各灰階下來進行補償。而紅光灰階 50 在補償前之亮度均勻性為 85.75%，而補償後之亮度均勻性為 98.59%，紅光灰階 100 在補償前之亮度均勻性為 85.77%。而補償後之亮度均勻性為 94.82%。圖 9 為紅光LED在灰階 100 補償前後的亮度分佈圖。



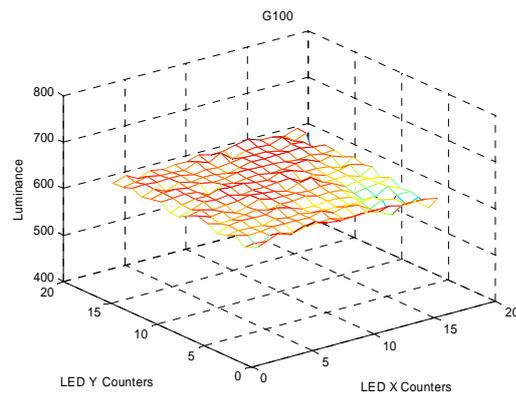
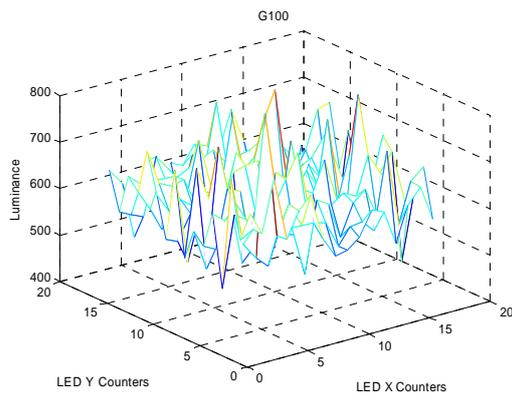
Unit:nits

補償前亮度均勻性：85.77%(13 區)      補償後亮度均勻性：94.82%(13 區)

圖 9 紅光 LED 在灰階 100 補償前後亮度分佈圖

### (2)綠光檢測與補償結果

針對綠光檢測及補償，針對綠光在灰階 40~100 之補償查詢表，利用最小平方誤差法找出一組適合綠光各灰階比例值 $K_G$ ，再利用這組補償查詢表針對綠光在各灰階下來進行補償。綠光灰階 50 在補償前之亮度均勻性為 83.3%，而補償後之亮度均勻性為 97.68%。綠光灰階 100 在補償前之亮度均勻性為 84.35%，而補償後之亮度均勻性為 96.15%。圖 10 為綠光LED在灰階 100 補償前後的亮度分佈圖。



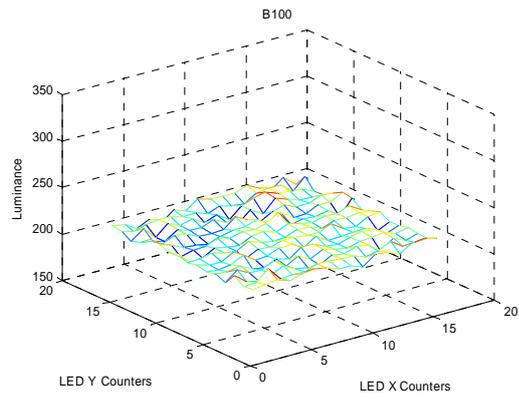
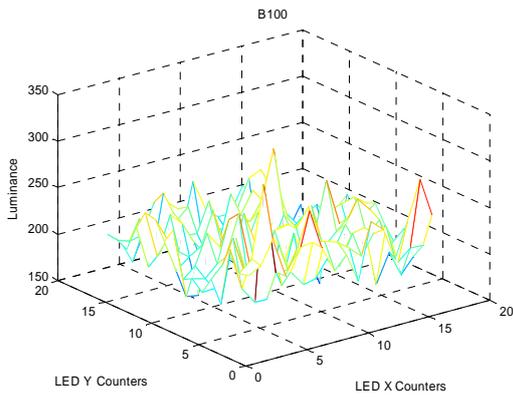
Unit:nits

補償前亮度均勻性：84.35%(13 區)      補償後亮度均勻性：96.15%(13 區)

圖 10 綠光 LED 在灰階 100 補償前後亮度分佈圖

### (3)藍光檢測與補償結果

針對藍光檢測及補償，針對藍光在灰階 40~100 之補償查詢表，利用最小平方誤差法找出一組適合藍光各灰階比例值 $K_B$ ，再利用這組補償查詢表針對藍光在各灰階下來進行補償。藍光灰階 50 在補償前之亮度均勻性為 83.57%，而補償後之亮度均勻性為 96.15%。藍光灰階 100 在補償前之亮度均勻性為 75.82%，而補償後之亮度均勻性為 96.02%。圖 11 為藍光LED在灰階 100 補償前後的亮度分佈圖。



Unit:nits

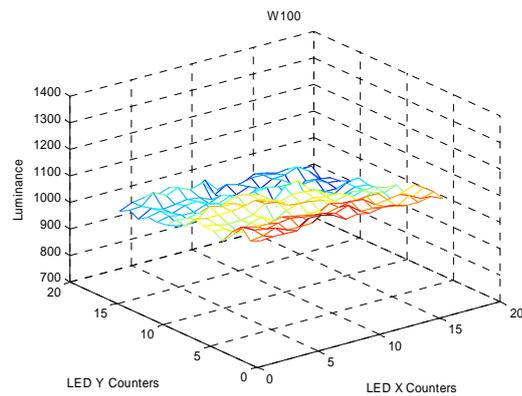
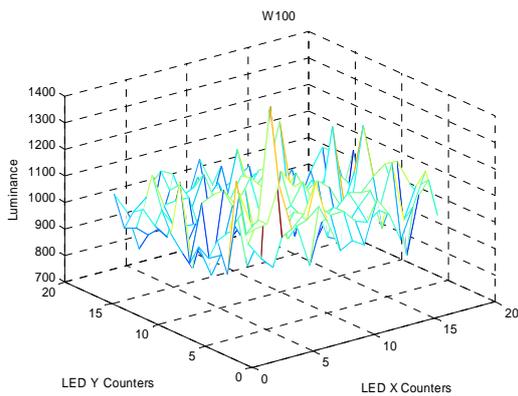
補償前亮度均勻性：75.82%(13 區)

補償後亮度均勻性：96.02%(13 區)

圖 11 藍光 LED 在灰階 100 補償前後亮度分佈圖

#### (4)白光檢測與補償結果

此實驗主要檢測模組在白光不同灰階值下補償前後亮度均勻性情況。由於白光是由 RGB 三色混光所形成的，於是針對白光各灰階之補償表由先前之 RGB 三色各補償查詢表來進行補償。白光灰階 50 在補償前之亮度均勻性為 76.8%，而補償後之亮度均勻性為 88.16%。白光灰階 100 在補償前之亮度均勻性為 74.37%。而補償後之亮度均勻性為 87.72%。圖 12 為白光灰階 100 補償前後的亮度分佈圖



Unit:nits

補償前亮度均勻性：74.37%(13 區)

補償後亮度均勻性：87.72%(13 區)

圖 12 白光灰階 100 補償前後亮度分佈圖

由以上RGB在灰階 100 所量測出來的亮度值作分析，發現模組因為材料或製程關係造成亮度的分佈狀況並不是很均勻，而其亮度均勻性大約維持在 76%~86% 之間，其中以藍光的亮度均勻性表現的最差。而經過CLUT機制補償之後，其亮度均勻性大都可提升至 95%以上。其中白光補償過後的亮度均勻性大約只能提升到 88%左右。

#### 肆、結論

基於人眼檢測的不穩定性與因製程或材料上造成亮度不均的瑕疵，本研究應用輝度計 BM7 及步進馬達驅動 XY-table 開發建立一 PC-Base 自動化檢測及補償系統。由本研究之實驗結果與討論，可歸納出以下幾個結論：

(1) 本研究建立一自動化檢測系統，利用高精度及靈敏度高的輝度計檢測面板的亮度值，其檢測速度最快為 0.5 秒/次，再結合微步進馬達精準定位輝度計位置達到全面性檢測功能。自動化檢測平台可減少人為判斷所造成的誤差，大幅增加後端檢測作業的速度。(2) 本研究針對彩色 LED 顯示器模組的 RGB 亮度均勻性進行檢測，本實驗以三原色 RGB 為補償標準，各別檢測 RGB 面板的亮度值，再依據各灰階之亮度值建立補償查詢表 CLUT，再利用最小平方誤差法找出一組補償表可適合各灰階之亮度，使面板經補償過後可提升其亮度均勻性。由實驗結果得知，未補償前模組的亮度均勻性普遍低於 80%，經過補償之後，其亮度均勻性可提升至 95% 以上，其中白光可提升到 87% 以上。證明本研究提出之補償機制是可行的。

## 伍、誌謝

感謝國科會計畫 NSC 95-2221-E011-192 提供研究補助，以及佰鴻工業股份有限公司提供 LED 面板模組和相關技術上的指導。

## 陸、參考文獻

- [1] 林柏羽，“應用倒傳遞網路於電子產品之 LED 自動化檢測系統”，私立大同大學資訊工程研究所，碩士論文，2004。
- [2] 林宏森，“以 RGB 發光二極體為 LCD 背光源之光學回授補償”，國立中央大學光電科學研究所，碩士論文，2005。
- [3] 周千惠、蔡明忠、阮張榮，“彩色 OLED 亮度檢測及補償機制之研究”，2006 全國 AOI 論壇與展覽，新竹交通大學，Taiwan, Oct. 19, 2006。
- [4] 劉憲勳，“利用類神經網路從 CCD 照相機之照片去獲得發光二極體二維光強度分佈”，國立中央大學光電科學研究所，碩士論文，2004。
- [5] 賴永昌，“LED 光電特性量測系統之開發”，國立屏東科技大學機械工程系，碩士論文，2004。
- [6] K.Takahashi, S.Nakajima,S.Takeuchi “Full Color LED Display Panel Fabricated on a Silicon Microreflector” IEEE., Tenth Annual International Workshop on Micro Electro Mechanical Systems, 1997. MEMS '97, Proceedings, 26-30 ,pp.356 - 359, Jan. 1997.
- [7] Ming-Jong Tsai, S. Y. Yeh, K. S. Wang, Chang-Jung Juan, “Compensation Implementation for Improving Luminance Uniformity of Light Emitting Diode Array Panel” , Proceedings of Asia display 2007, Volume 1, Shanghai, China, pp.293-297, Mar. 12-16, 2007.
- [8] Ming-Jong Tsai, S. Y. Yeh, K. S. Wang, Chang-Jung Juan, “Compensation Controller Design for Improving Luminance Uniformity of Light Emitting Diode Array Module” , Proceedings of 2007 international Display Manufacturing Conference and Exhibition (IDMC' 07), Taipei, Taiwan, July 03-06, 2007.
- [9] <http://www.brtled.com.tw/> 佰鴻工業股份有限公司。