

發光二極體燈具設計

Design of Light Emitting Diodes Lamp

洪茂峰、林世雄、邱馨慧、項嵩仁、姜志輝

Mau-Phon Houg, Shi-Xiong Lin, Hsin-Hui Chiu, Tony Hsiang, Chih-Hui Chinag

本文已成功地將不同散角之 LED 光源建立於光學軟體中，並設計垂直與倒 V 兩種方向之反光模組來達到所需之場形。燈具設計模擬與實作之最佳化結果為散角 140° 之 LED 光源，其與垂直反光板夾角為 70° ，模擬與實作倒 V 反光板角度為 (1, 18) 與 (1, 15)。所得之發光效率為 44.87 lm/W ，燈具轉換效率為 59.1%，模擬與實作之配光曲線圖相關係數高於 98.3%。並針對實作路燈進行真實照度模擬，在平均照度為 16 lx 、平均輝度為 0.78 cd/m^2 、整體均齊度為 0.5、縱向均齊度為 0.7 及門檻增量值為 4，對照國際照明委員會 (CIE) 標準，此設計之 LED 路燈可應用於次要道路照明。

In this thesis, we use the optical simulation software to design the LED lighting lamps that correspond to national legislation in this essay and then achieve solid-state lighting. It is successful to utilize different diffusion angle of LED to build in optical simulation software. Besides, design of both directions on vertical and Λ -shaped lighting reflection modules to attain the patterns that we need in this essay. The LED simulation and fabrication optimum view angle of designed lamps is 140° , with the angle 70° of vertical reflection board and the angle (1, 18) and (1, 15) of Λ -shaped reflection board. In addition, the data of Luminous Intensity Distribution Curve correspond to the lamp characters of Bureau of Energy, Ministry of Economic Affairs. The Correlation of simulation and real works is higher than 98.3% at the luminous efficiency 44.87 lm/W , with the conversion efficiency up to 59.1%. For the real works of street lightings, the values of Overall Uniformity, Longitudinal Uniformity, and Threshold Increment are 0.5, 0.7, and 4 respectively when performing the real illumination simulation at average illumination 16 lx and average luminance 0.78 cd/m^2 . Compare to standards of CIE (Commission International de l'Eclairage), this design can be applied for the lighting of minor roads.

一、前言

路燈是城市發展中不可或缺的工程，也是交通建設上重要工程之一。根據國立台灣大學新能源中心的估算，以 100 瓦 LED 路燈取代亮度相近的 400 W 水銀燈，每天開燈 12 小時約可省下 3.6 度

電，一天可省下接近 10 元，一年可省下 3,400 元，國內路燈總計達 135 萬盞，一年可省下電費約 45 億元。而水銀燈約兩年就會更換一次，LED 燈的壽命至少是它的三倍以上，省下成本更驚人⁽¹⁾。進一步實際比較 LED 與傳統光源，白光 LED 較傳統光源壽命高五倍以上，無汞污染之環保問題，故

白光 LED 確實擁有節能與環保的優勢。隨著 LED 亮度提高，將逐步取代傳統的一般照明，這就是高亮度 LED 照明技術⁽²⁾。

另外，在道路照明上使用 LED 光源替代傳統光源，可以達到節能的目的。以光學設計角度來說，由於 LED 光指向性高，需藉由反光板將光適當的分散，以最少數目的 LED 元件達到滿足空間使用之亮度，也就是以最少功率消耗得到適合的光源，並且根據路燈燈具規範與道路規範來設計光學。傳統路燈光源發出的光是無指向性的，幾乎所有相位角皆有光源發出，所以在二次光學設計上可以利用一弧形反光面將各方位的光集中往前放射，但 LED 發出的光有強烈的指向性，它的開角大多僅有 130 多度左右，依各家廠商不同而不一，所以在做二次光學的設計上有別於一般傳統光源。利用光學模擬軟體，依據不同 LED 開角設計不同的導光模組，使得路燈燈具能符合經濟部能源局燈具規範，再利用真實照度模擬軟體，讓所設計之路燈光源合乎國際照明委員會 (CIE) 訂定的標準。

二、現有道路照明規範

根據內政部營建署出版的市區道路工程規劃及設計規範之研究，將市區道路分為快速道路、主要道路、次要道路及服務道路等四種⁽³⁾。此外，路燈燈具配光、路燈配置、路燈高度與間隔之規範如下。

1. 路燈燈具配光形式

影響道路照明效果最為直接的因素，就是燈具配光性能的好壞，所以在道路照明的選擇上占有極重要的地位。其燈具依照眩光最大寬度所涵蓋的角度大小，可分為遮隔型 (cut-off)、半遮隔型 (A) (semi cut-off-A)、半遮隔型 (B) (semi cut-off-B) 及無遮隔型 (non cut-off) 等四種型式⁽⁴⁾。

依我國對於燈具配光型式的選擇，可知道路照明設計燈具型式以遮隔式燈具為第一考量，以半遮隔式為輔，如此選擇是因為遮隔式與半遮隔式燈具對於水平光線有所限制，較不容易產生眩光而造成干擾。

2. 路燈配置

燈具的配置型式會明顯地影響路面的輝度分布，而輝度的分布與燈具的配光及路面的反射率等因素有關連，因此在安裝燈具時，會以燈具之間的間距來決定燈具的高度，以保持道路表面輝度分布的均勻，目前道路照明的路燈配置有下列四種⁽⁵⁾。

(1) 單側排列

單側排列 (single-sided) 是將所有燈具都安裝在道路的另一側，此種配置方式只適合於車道寬度與燈具安裝高度相仿、或小於安裝高度、抑或較狹窄之道路，如圖 1(a) 所示。

(2) 交錯排列

燈具交錯排列 (staggered) 在道路的兩側，並限制用於路寬等於或小於安裝高度 1.5 倍之路面，本配置方式通常用於路寬在 15—20 公尺左右之道路，此排列方式可能造成駕駛者的錯亂，但也較具變化，不致太過於單調，較適合不甚寬廣之一般道路，但不適合用於道路彎曲處，如圖 1(b) 所示。

(3) 相對排列

相對排列 (opposite) 適用於寬大之道路，通常均為路寬超過安裝高度 1.5 倍之道路，一般兩線道

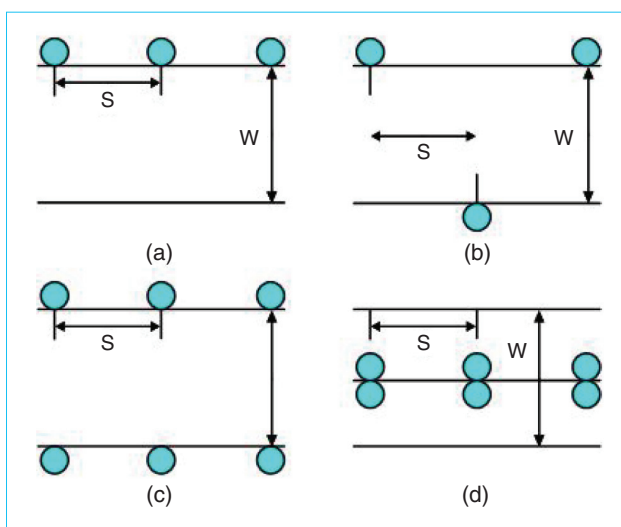
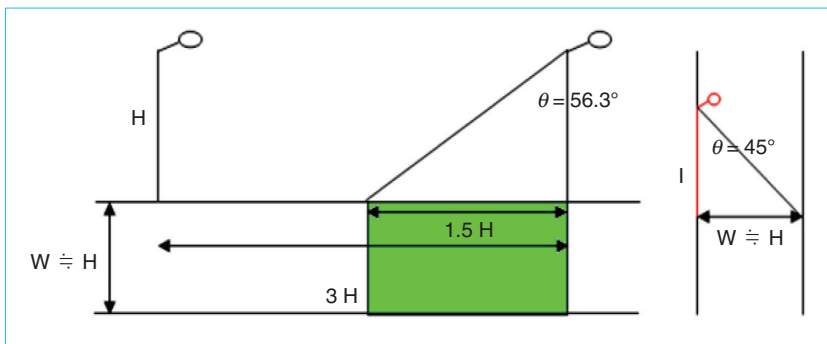


圖 1. (a) 單側排列、(b) 交錯排列、(c) 相對排列、(d) 中央排列。

圖 2.
路燈照明範圍示意圖。



或以上通常都是用相對排列，如圖 1(c) 所示。

(4) 中央排列

燈具設於道路中央分離帶處，中央排列 (twin-central) 配置方式之車道寬度以不超過燈具之安裝高度為宜。優點是一桿雙燈，可節省管線及燈桿的投資；缺點是慢車道如闕為停車位，人行道側會成為照明死角，而且當管線故障，整段路燈失去照明。此配置方式適用於中央分隔島在 2 公尺以上之道路，如圖 1(d) 所示。

3. 路燈高度與間隔

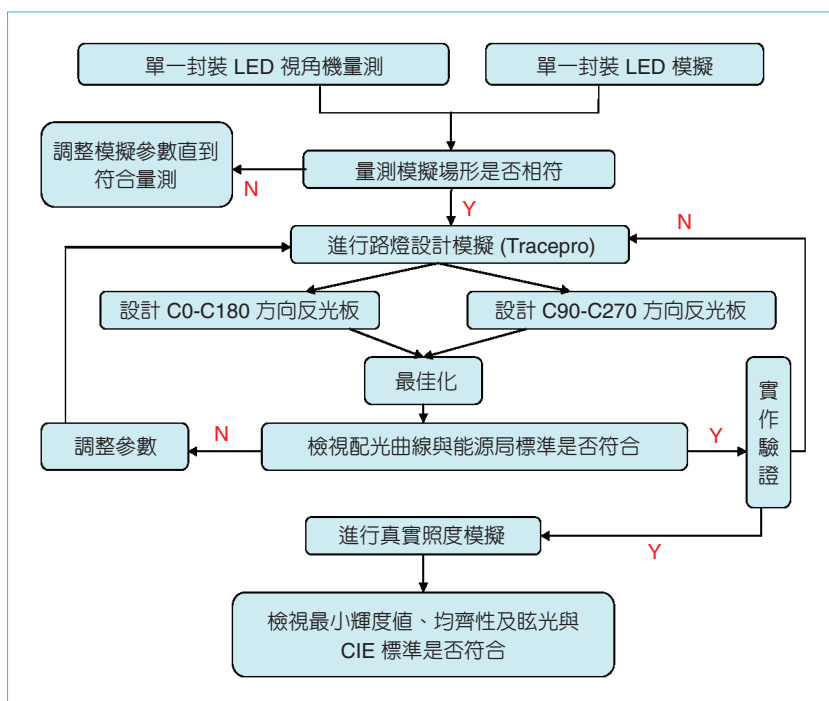
為了路面最高照度與最低照度之間不過於懸

殊，路燈高度 (H)、燈桿間隔 (S) 與路寬 (W) 之間應保持某種範圍內的關係。燈具之仰角較大者，高度可以較矮，但應斟酌路寬情形作調整，國內燈具仰角多在 5° – 15° 。另外，根據路燈高度與間隔關係，可以透過簡單的計算如圖 2 所示，即可得知路燈 C0-C180 的方向 (平行車道方向) 單邊開角為 56.3° ，C90-C270 的方向 (垂直車道方向) 為 45° ，綠色範圍為半邊路燈所要負責的照明範圍。

三、設計構想

於本文中之設計構想如圖 3 之流程圖所示，其各流程之細節將在下一單元說明之。

圖 3.
發光二極體燈具設計構想之流程圖。



四、LED 路燈設計

1. 單一封装 LED 模擬

在固態照明的應用設計中，經常藉由模擬軟體來進行二次光學的設計，因此 LED 光源模組扮演著重要的地位。LED 光源模組要正確，單一封装 LED 光源建立極為重要，而配光曲線為最重要的參數。在進行光學模擬時，利用 TracePro 光學模擬軟體建立 LED 光源模組，視此光源為一 Lambertian surface (即發光強度在各方向滿足餘弦分布)，此方法模擬的強度分布圖會與實驗量測的數據有極大誤差，為了改善此問題，我們利用所提到量測配光曲線的視角機得到此 LED 之強度分布，帶回模擬軟體中重新模擬。在此引入一個判斷曲線相似度的係數，也就是兩曲線的相關係數 (normalized correlation coefficient, NCC) ⁽⁶⁻⁸⁾：

$$NCC = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2\right) \left(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \bar{B})^2\right)}}$$

依照此式定義，當 NCC 值愈接近 1 時，表示兩曲線愈相似。經過上述的模擬修正，模擬與實驗量測之強度分布曲線相似度皆高於 99.4%，如圖 4 為散角 140° 單一封装 LED 量測與模擬之強度分布。

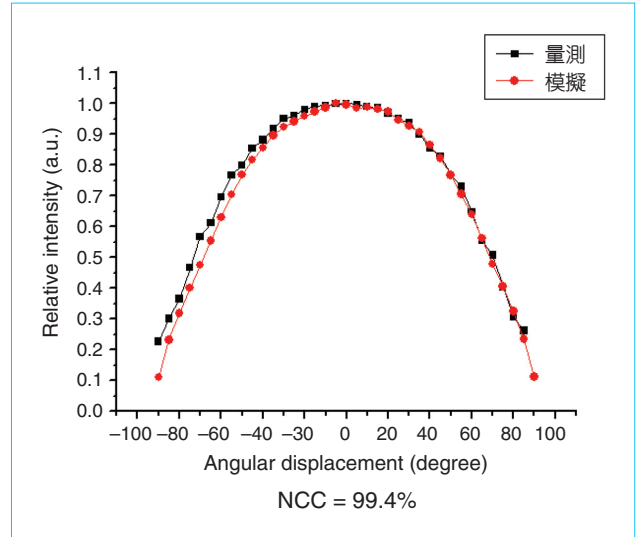


圖 4. 散角 140° 單一封装 LED 量測與模擬強度分布。

2. LED 路燈場形模擬

(1) 無反光模組模擬與結果

首先針對 LED 的場形作模擬，所使用的 LED 模組為一電路板上包含 112 單一封装 LED 光源，電路板表面材質反射係數為 0.8，吸收係數為 0.2，在電路板上層放上一穿透率為 0.91 之玻璃，經由圖 5(a) 模擬可確知，無反光板模組之燈具無法有效將光線導向所需之方向。此外，從光源應用於無反光模組之配光曲線圖如圖 5(b)，可以清楚的看到場形因散角 (最佳化之燈具模組為散角 140°) 小至

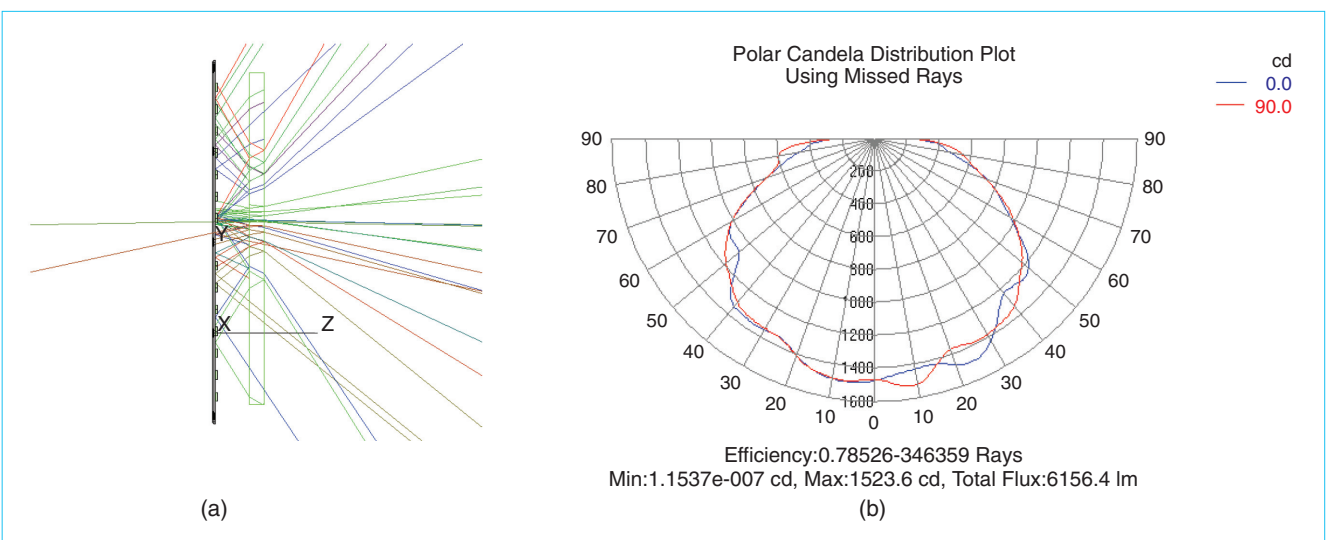


圖 5. (a) 無反光模組之光軌跡圖，(b) 散角 140° LED 光源應用於無反光模組之配光曲線圖。

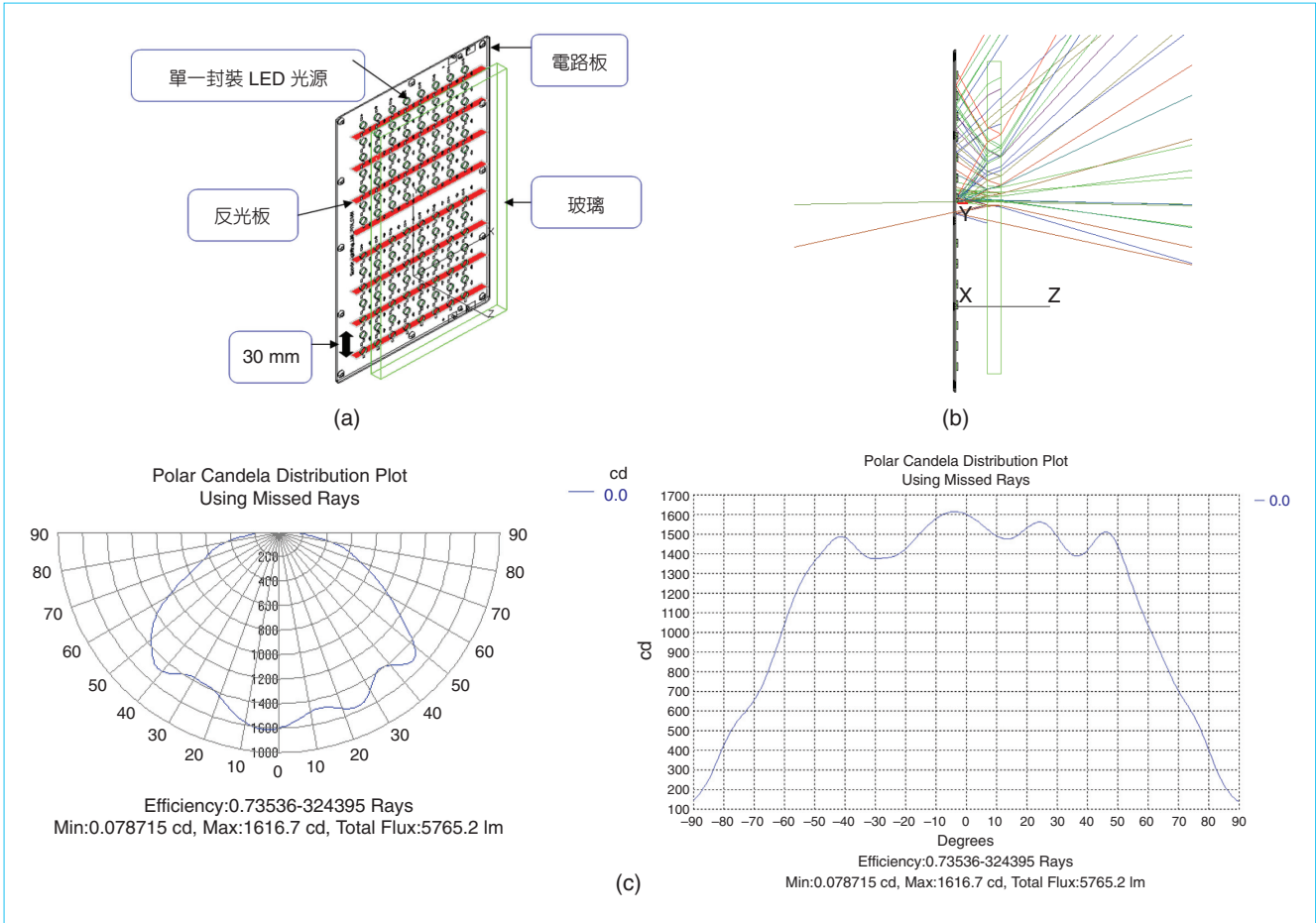


圖 6.(a) 模擬裝置垂直反光模組燈具結構圖，(b) 垂直反光模組之光軌跡圖，(c) 反光板與 LED 光源出光面夾角角度 70° 之模擬配光曲線圖。

大而呈現圓形至橢圓形。燈具照射到應用面在 CO-C180 方向 (平行車道方向)，開角較理想的狀態是單邊 56.3 度，而在 C90-C270 方向 (垂直車道方向)，理想狀態為 45 度，但是模擬出來的結果，LED 光源散角改變對場形的變化幫助並不顯著，在 CO-C180 方向路燈照明會有指向性過高、C90-C270 方向光的使用率太過低的現象，因此針對這些缺點，對兩個方向作不同的設計。

(2) 垂直反光模組模擬與結果

為了改善 CO-C180 方向開角不理想的狀態，我們藉由在 LED 模組和玻璃中間放置垂直反光模組結構如圖 6(a) 所示，期望光源可以經由垂直反光模組反射，讓部分正向光的光源反射從側邊發散，達到所需的開角角度。由圖 6(b) 光線軌跡可以清楚看到，經由反光模組作用後，其原本均勻發

散的出光，部分光線會藉由反光模組反射，導致模組下方光線聚集到上方改變出光角度，可以有效改善指向性過高之現象。而圖 6(c) 為最佳角度之反光板與 LED 光源出光面夾角之模擬配光曲線圖。

(3) 倒 V 反光模組模擬與結果

經由垂直反光模組改善 CO-C180 方向之開角問題後，接著為了改善 C90-C270 方向之光使用率，藉由在垂直反光模組另一個方向加上倒 V 結構如圖 7(a) 所示，讓垂直車道方向的光能侷限在路寬的範圍內。經由圖 7(b) 模擬可確知，倒 V 反光板有效侷限光的範圍。另外，在此模擬中藉由改變角度來調整 C90-C270 方向場形的變化，其中以倒 V 反光板角度 (1, 15) 為最佳化角度，如圖 7(c) 之模擬配光曲線圖所示。

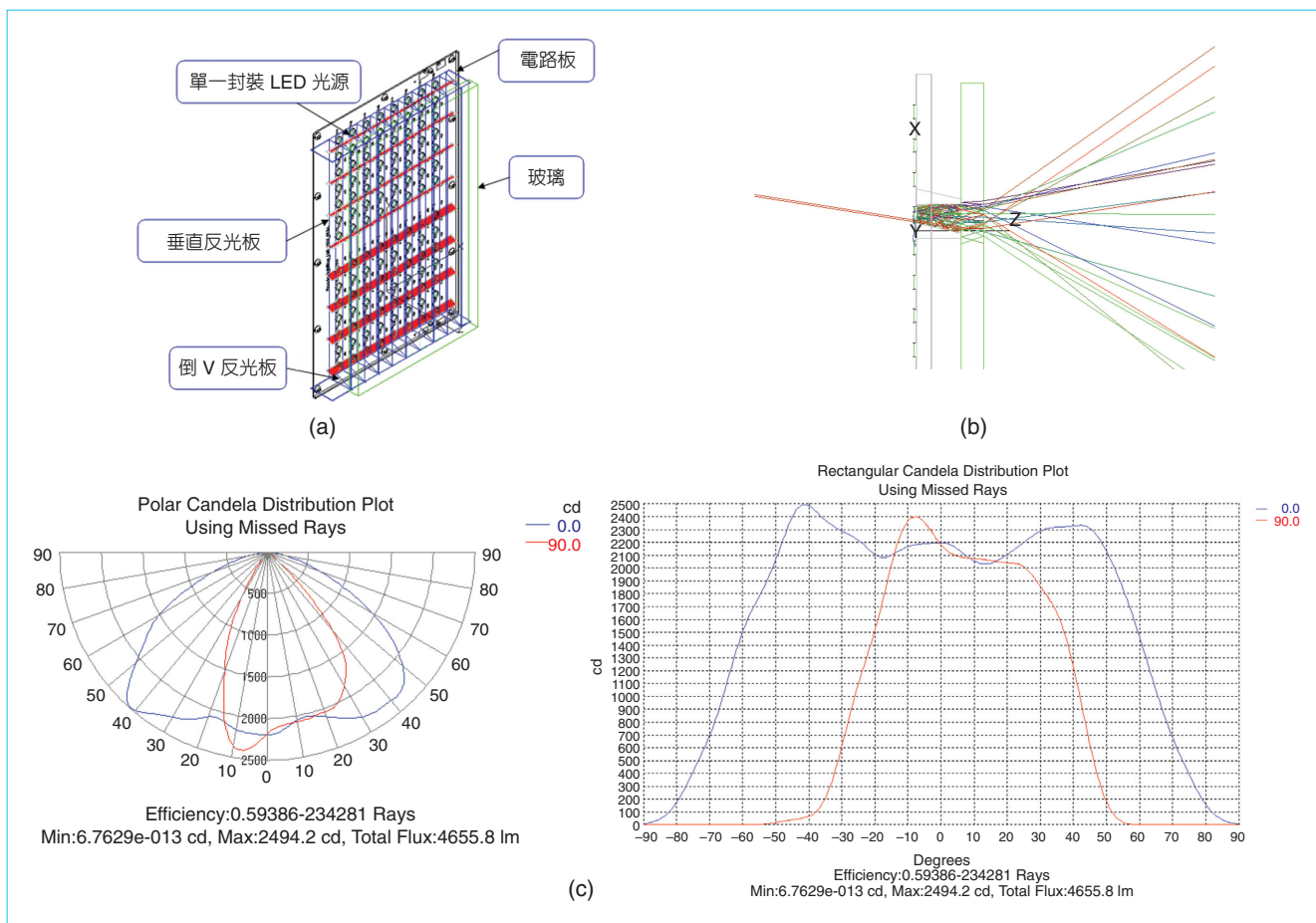


圖 7. (a) 模擬裝置反光模組與倒 V 反光模組燈具結構圖，(b) 倒 V 反光模組之光軌跡圖，(c) 倒 V 反光板角度 (1, 18) 之模擬配光曲線圖。

3. LED 路燈實作與量測

由於考量實際製作上的問題，所以在實作部分是散角 140° 之 LED 光源，其與垂直反光板夾角為 70° ，倒 V 反光板角度為 (1, 18)，實作燈具模組如圖 8(a) 所示。接著量測之配光曲線圖 C0-C180 方向、C90-C270 方向，如圖 8(b) 與圖 8(c) 所示，當我們將模擬與實作之配光曲線圖繪製於同張圖歸一化後，比較如圖 9(a) 與圖 9(b)，依據前述所提之相關係數計算，在 C0-C180 方向模擬與實作 $NCC = 99.5\%$ ，C90-C270 方向模擬與實作 $NCC = 98.3\%$ ，由此可知配光曲線近似吻合。

4. LED 路燈真實照度模擬

在此模擬中，燈具排列設定如圖 10 所示。筆者將實作結果之相關數據匯入真實照度模擬，依據

上述設定可以得到如下之結果。

(1) 偽色表現圖

如圖 11(a) 可以觀察出路燈在道路之照度分布情況。

(2) 照度圖

在此把所設定之道路分割成 10×6 之網格，計算出各點之照度，而利用此 60 個網格計算出照度相關數據，如圖 11(b) 分別為等照度圖及點照度圖。

(3) 輝度圖

在此把所設定之道路分割成 10×6 之網格，依據不同觀察者的位置，在圖 11(c) 為觀察者位於 $(-60 \text{ m}, 2 \text{ m}, 1.5 \text{ m})$ 所觀測之相關輝度數據與所

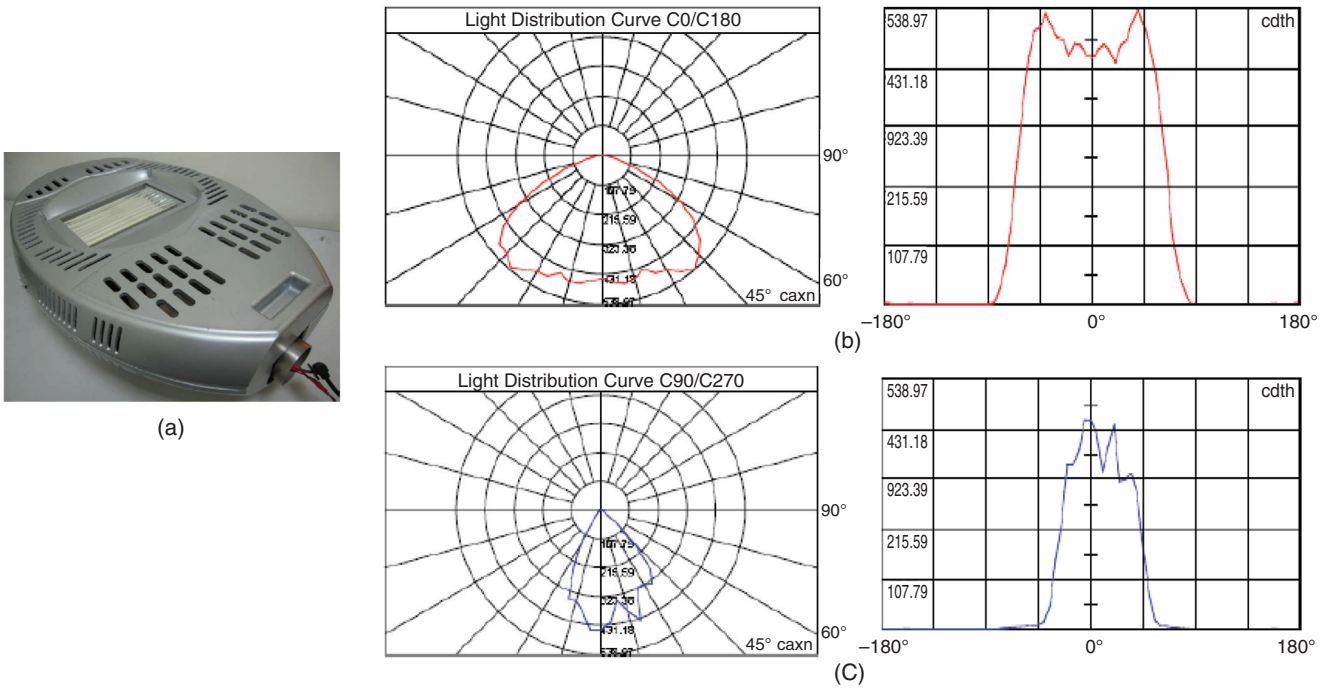


圖 8. (a) 燈具模組實做之照片，(b) 量測之配光曲線圖 C0-C180 方向，(c) 量測之配光曲線圖 C90-C270 方向。

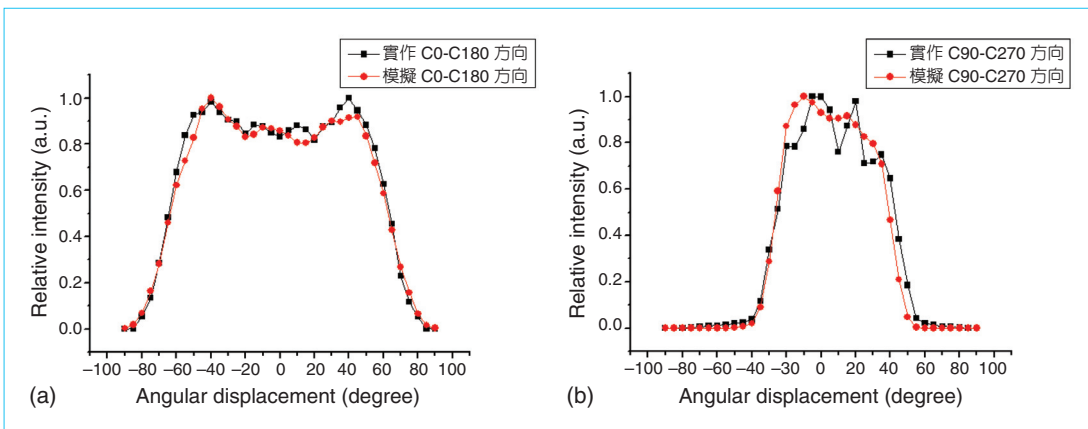


圖 9. (a) C0-C180 方向模擬與實做之歸一化配光曲線圖，(b) C90-C270 方向模擬與實做之歸一化配光曲線圖。

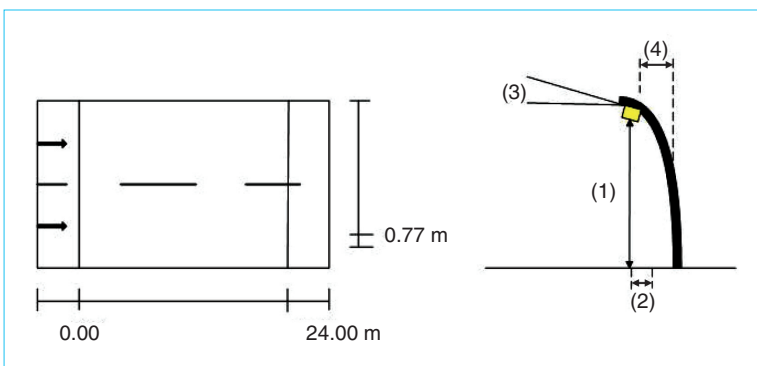


圖 10. 燈具排列設定圖示。

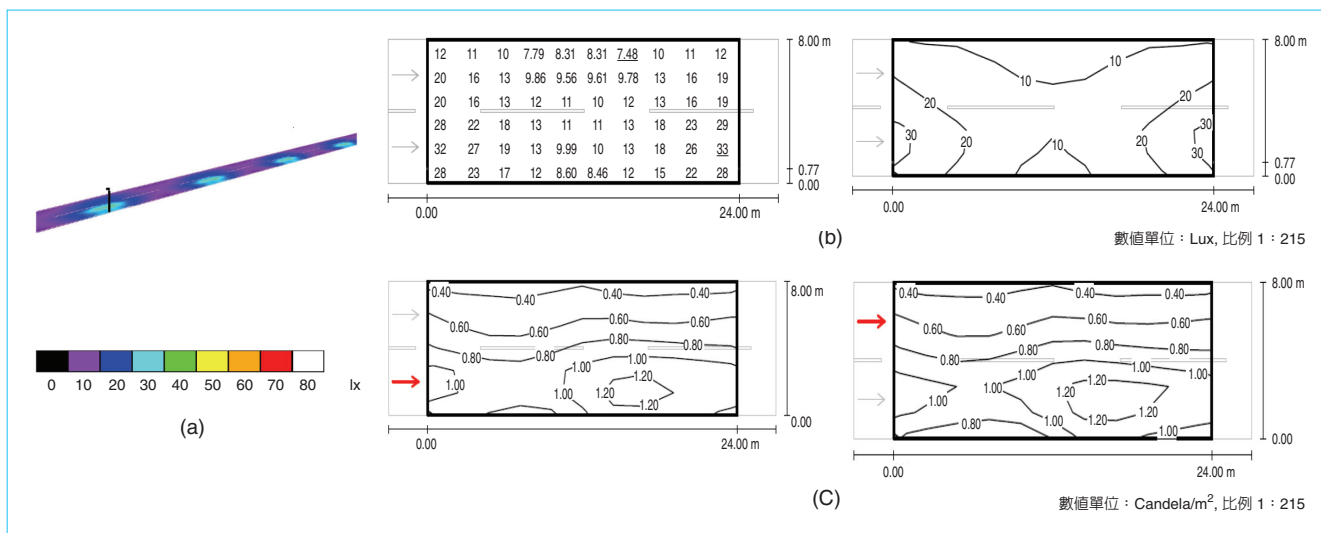


圖 11. (a) 偽色表現圖，(b) 真實照度模擬之等照度圖、點照度圖；(c) 真實照度模擬之等輝度圖 (-60 m、2 m、1.5 m)、(-60 m、6 m、1.5 m)。

設定道路等級之比較及等輝度圖，而圖 11(c) 為觀察者位於 (-60 m、6 m、1.5 m) 所觀測之相關輝度數據與所設定道路等級之比較及等輝度圖。根據模擬設定之道路等級，位於不同位置之觀察者所觀測之輝度皆滿足此道路設定。

五、結論

根據路燈與高度以及間隔關係簡單計算，在 C0-C180 方向是平行車道方向的光，理想的單邊開角為 56.32 度，C90-C270 方向是垂直車道方向的光，理想光線分布為 45 度。在 C0-C180 方向藉由設計與 LED 光源出光面不同夾角之垂直反光模組來達到所需之場形，而在 C90-C270 方向藉由設計不同角度之倒 V 反光模組來達到所需之光線分布。經由模擬結果，可找到最佳化之燈具模組為散角 140° 之 LED 光源，其與垂直反光板夾角為 70°，倒 V 反光板角度為 (1, 18)，在 C0-C180 方向左右開角為 46° 及 44°，在 C90-C270 方向左右光線分布為 24° 及 42°，燈具轉換效率為 59.4%，而在配光曲線圖數據化部分，鉛直角 90° 水平角 90° 為 0 (cd/klm)、鉛直角 80° 水平角 90° 為 0 (cd/klm) 及鉛直角 60° 水平角 65°-95° 為 218 以上 (cd/klm) 皆符合能源局所訂定之燈具配光特性。

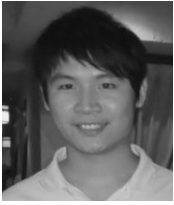
參考文獻

1. 黃秉鈞, 高亮度 LED 照明時代來臨推動能源節約 (2008).
2. 陳俊源, 發光二極體 (LED) 光源特性於產品設計之應用研究-以燈具產品為例, 實踐大學工業產品學系碩士論文 (2005).
3. 內政部營建署, 市區道路工程規劃及設計規範之研究 (2001).
4. 李碩重, 照明設計學, 全華圖書股份有限公司, 02400 (2007).
5. 許招墉, 照明設計, 全華科技圖書股份有限公司, 03611 (1999).
6. 簡璋廷, 高功率發光二極體應用於導光元件之研究, 國立中央大學光電科學研究所碩士論文 (2006).
7. C. C. Sun, T. X. Lee, S. H. Ma, Y. L. Lee, and S. M. Huang, *Opt. Lett.*, **31**, 2193 (2006).
8. 林昭穎, 發光二極體導光機構之研究, 國立中央大學光電研究所碩士論文 (2002).



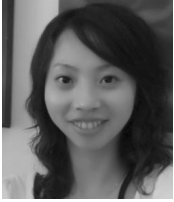
洪茂峰先生為國立成功大學電機工程博士，現任國立成功大學電機工程研究所特聘教授。

Mau-Phon Houng received his Ph.D. in electrical engineering from National Cheng Kung University. He is currently a distinguished professor of the Institute of Electrical Engineering at National Cheng Kung University.



林世雄先生為國立成功大學微電子工程研究所博士班學生。

Shi-Xiong Lin is a Ph.D. student of the Institute of Microelectronics at National Cheng Kung University.



邱馨慧小姐為國立成功大學微電子工程碩士，現任台灣積體電路製造股份有限公司工程師。

Hsin-Hui Chiu received her M.S. in microelectronics from National Cheng Kung University. She is currently an engineer of Taiwan Semiconductor Manufacturing Company Limited.



項嵩仁先生為國立成功大學電機工程研究所碩士，現任誠盟電科技股份有限公司處長。

Tony Hsiang received her M.S. in electrical engineering from National Cheng Kung University. He is currently the director of Chance More Electronics Technology Company Limited.



姜志輝先生為國立台灣科技大學電子工程研究所博士，現任誠盟電科技股份有限公司副理。

Chih-Hui Chinag received his Ph.D. in electronic engineering from National Taiwan University of Science and Technology. He is currently the director of Chance More Electronics Technology Company Limited.