

Design of LED Edge-lit Wedge Light Guide Bar for Taillight Applications

Chih-Wei Hsu and Ming-En Hung*

Department of Electrical Engineering, National University of Tainan, Taiwan

Abstract —We introduce an automotive vehicles taillights module, which consists of a wedge light guide bar, lens, and light emitted diode (LED). The LED light is focusing coupled to the edge of the light guide bar by a lens. The wedge light guide bar is designed with a prism structure at the bottom to ensure light rays come out from the top face. The overall light utilization efficiency is improved by the combination of a small divergence light source and a wedge light guide bar. This taillights module is designed by a 3D graphics software Solidworks and analyzed by the ray tracing method. We propose an efficient algorithm to increase the lighting uniformity by modifying the prism structure. The overall light utilization efficiency is 82.16% and the lighting uniformity is substantially increased to 93.45%.

Index Terms — Edge-lit, Light guide bar, Taillights, Light utilization, Uniformity.

*Corresponding author: cwhsu@mail.nutn.edu.tw.
DOI : 10.6159/IJSE.2013.(3-2).05



LED 側光式楔形導光條應用於車尾燈設計

許志維，洪銘恩

國立臺南大學電機工程學系

摘要

本研究在於探討 LED 結合側光式導光條於汽車尾燈的應用，利用透鏡縮小 LED 發光角度，使光進入楔形導光條，並分析其導光特性做結構最佳化，以符合應用於汽車車尾燈裝置。運用 3D 繪圖軟體 Solidworks 設計導光條模型，再利用幾何光學之光線追跡法做分析，依據分析結果修正模型的導光結構，進而改善光利用率與照明均勻性，經過設計後不僅提升整體光利用率達 82.16%，且照明均勻性也大幅提高達 93.45%。

關鍵字：側光式、導光條、車尾燈、光利用率、均勻性。

壹、前言

近幾年來，LED 已普遍應用於指示用燈或部分車用照明，現今汽車配置的車尾燈，多半已由 LED 燈取代早期使用的鹵素燈泡，除了節能環保與高亮度外，LED 的使用壽命也較其他燈具來的長，一般常見的汽車尾燈樣式，大多採用直下式照明[1,2]，由多顆 LED 排列組成，除了成本與耗電量隨著 LED 的增加而增加外，照射面往往造成多亮點，有照明均勻性不佳的情況，須額外透過擴散板或外殼燈罩設計才有機會改善其均勻性，對於做為警示用途的燈具，其亮度並不需要如車頭燈來的亮，是否可以透過光學設計與導光結構，以減少 LED 燈泡的使用數量，並改善均勻性不佳的情況，使其符合車尾燈應用，即本文的研究方向。

提到照明光學設計，除了直下式照明外，另一方式為側光式照明，目前的側光式導光條結構一般都為底部有其三角鋸齒設計[3,4]，透過底部導光結構將光導引至正上方，雖然此方法能有效減少 LED 數量，但其導光結構若沒有經過

特殊設計[5]，光線幾乎集中在較靠近 LED 側，隨著 LED 各角度的出光強度，對應於導光結構反射的強度，造成各區段均勻性不佳的情況。

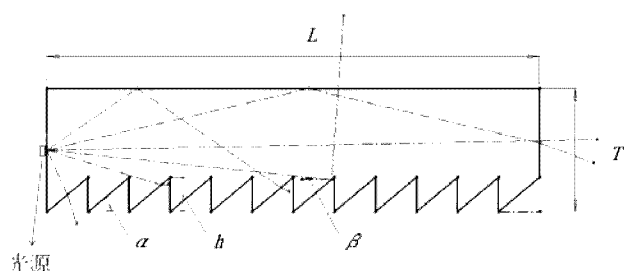
本研究的目的是在於針對側光式照明的方法，利用圓柱透鏡將 LED 光源的發光角度做不同的修改，並依據光線模擬分析與幾何光學概念，設計楔形板外型的導光條，改變底部每個導光結構與光的接觸面大小，以有效提高照明均勻性與光利用率。

貳、架構與設計

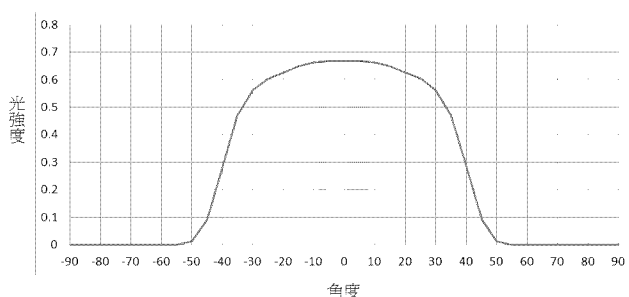
車尾燈的導光條材質為聚甲基丙烯酸酯 (Polymethylmethacrylate，簡稱 PMMA，俗稱壓克力)，其材料折射率為 1.4935，根據幾何光學 Snell's Law 定律，折射率 1.4935 的材料與空氣間兩介質的交界面，其光線在材料內造成全反射 (Total internal reflection) 的臨界角是 42.034 度。圖一為光線傳播示意圖 (L: 150mm, T: 15mm, h: 5.03mm)，其中導光結構 α 角度必須小於 47.966 度，如此光線入射至導光結構端面才有機會達成全反射條件，下列討論傳統矩形導光條在不同 α 角度的差異。當 $\alpha = 40$ 度角的導光結構，光線入射至鋸齒斜面與水平線夾角 β 只要小於 7.97 度，光傳播至導光結構的端面就可造成全反射，以水平線來看，光源小於 0 度角的光為向上的光線，經由傳播至頂部反射至下方導光結構，因此可造成全反射的 β 角度範圍為 ± 7.97 度，一般作為側光式導光的 LED 光源，普遍都採用 Lambertian 發光場型，經由計算顯示，進入導光條的光線可達底部導光結構且全反射之角度 β 範圍為 0.94~ 7.97 度、-6.64~ -7.97 度，如圖二所示只有紅色範圍內的光線才會被導光結構導引至正上方的出光面。當 $\alpha = 45$ 度角之導光結構，其光線入射至導光結構的角度與水平線夾角 β 必須在 ± 2.97 度內才能造成



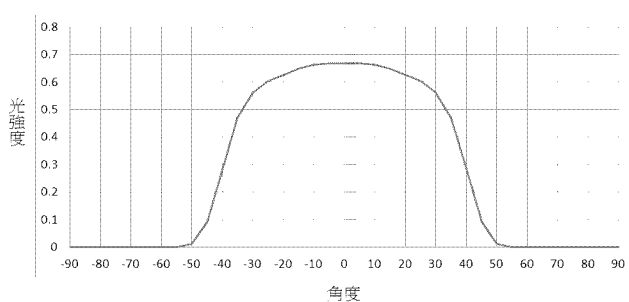
全反射，進入導光條的光線可達底部導光結構且全反射之角度 β 範圍為 $0.94\sim 2.97$ 度，如圖三光場分佈所示只有紅色方框內的光線才會被導光結構導引至正上方的出光面。



圖一 光線傳播示意圖



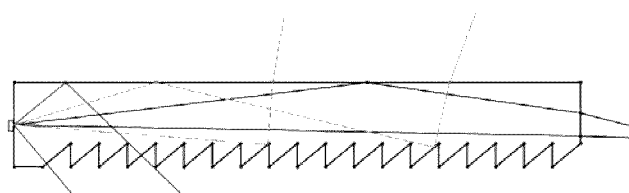
圖二 Lambertian 發光場型之光源進入導光條後之配光曲線與可被全反射並導引至出光面的範圍示意圖($\alpha = 40$ 度)



圖三 Lambertian 發光場型之光源進入導光條後之配光曲線與可被全反射並導引至出光面的範圍示意圖($\alpha = 45$ 度)

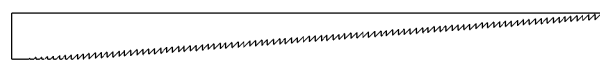
根據上述兩種角度的討論如圖四所示，傳統矩形導光條內的光線傳播，除了少部分可被全反射的角度範圍如綠色線所示，其餘角度的光線皆無法透過底部導光結構導引至正上方出光面，大角度之光線如紅色線所示，因無法達到全反射條

件而從底部導光結構端面散溢出導光條，小角度光線如藍色線所示，在導光條內還未傳播至底部導光結構，就已從尾端離開導光條。

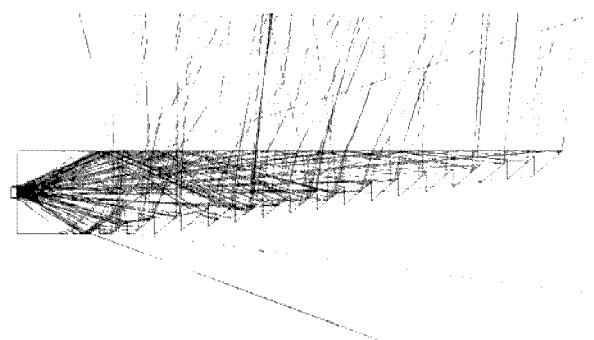


圖四 傳統矩形導光條-光線模擬示意圖

爲了改善光線損失以提高光利用率，故對導光條的外型設計採用楔形板架構[6]，如此將可改善上述光線無法全部入射至導光結構的問題，楔形板外形如圖五所示，楔形導光條光線模擬示意圖如圖六所示，由圖六中可看出除了大角度的光線因無法達到全反射而洩漏出導光條外，已無小角度光源無法入射至導光結構而從尾端離開導光條的情形。



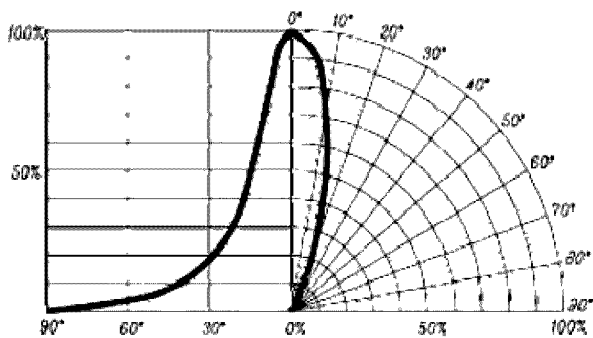
圖五 楔形導光條



圖六 楔形導光條-光線模擬示意圖

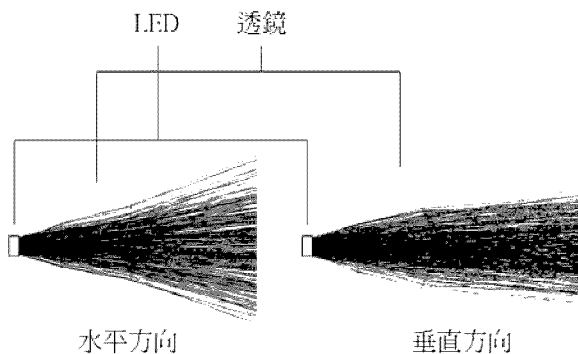
雖然透過楔形板架構已大幅度的改善光利用率，但仍然有部分大角度的光線是無法被利用的問題，爲了進一步提高光利用率，有下列三種方法可以改善：1.縮小導光結構之 α 角度、2.於鋸齒結構底部鍍上一層金屬或加入反射板、3.縮小光源角度，前兩項方法因大角度光線只存在於前段，造成均勻性改善不易的問題，尤其縮小 α 角度後之整體出光面會向右傾斜，故本研究選用較小角

度的光源，並利用透鏡的聚焦特性來改善光源角度，使整體出光角度減小，車尾燈的光源模組是採用 Excellence Optoelectronics Inc.公司的 30 度角出光之 LED[7]，光通量為 5.147 lm，並搭配一平凸圓柱透鏡，其透鏡凸面曲率半徑為 1 cm，LED 燈的配光曲線如圖七所示。

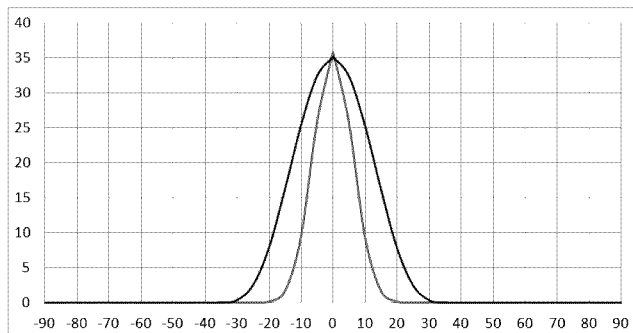


圖七 LED配光曲線

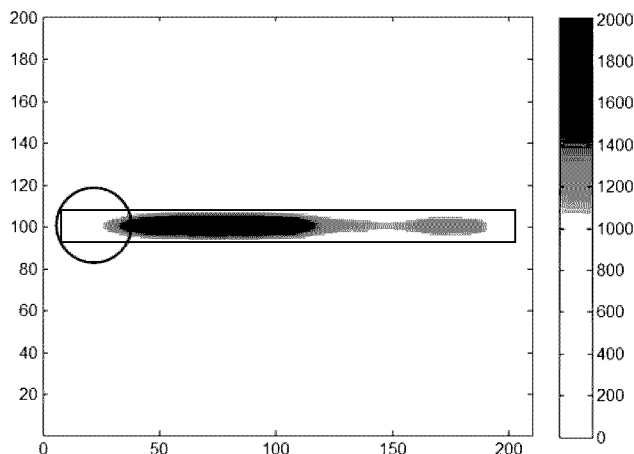
透過設計適當曲率之透鏡，能將 LED 之垂直發光角度縮小至 ± 10 度以內，依據幾何光學的概念，因為導光條材料的折射率較空氣大，光線入射至導光條內更可縮小為 ± 6 度左右，而水平發光角度則維持原來的 30 度，圓柱透鏡光線模擬示意圖如圖八所示，配光曲線圖如圖九所示(藍色線為垂直方向，紅色線為水平方向)，藉由圓柱透鏡可改善垂直方向大角度光線在傳播過程中，因無法達到全反射條件而造成損失，且小角度的光源也有利於研究上的設計，而水平方向的光線不縮小發光角度，則是考慮到光線進入導光條內部在前端區域，因尚未填滿整個導光條，而使整體出光面在位於靠近 LED 端，如圖十所示會成角錐狀，為了減小角錐狀光場區段，故保留原水平發光角度。



圖八 圓柱透鏡光線模擬示意圖

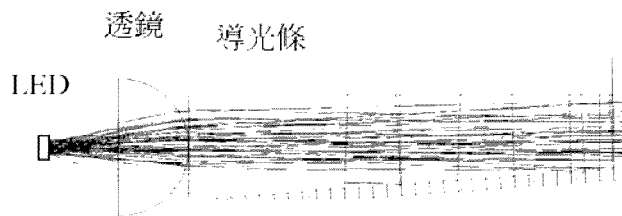


圖九 LED搭配透鏡之配光曲線圖



圖十 前端角錐狀示意光場圖

整體車尾燈設計基本構成要素為 LED 光源、圓柱透鏡與導光條，如圖十一所示，LED 光源發光入射至透鏡縮小發散角度後，光線進入導光條內部，再經由底部導光結構將光線導引至正上方的出光面。

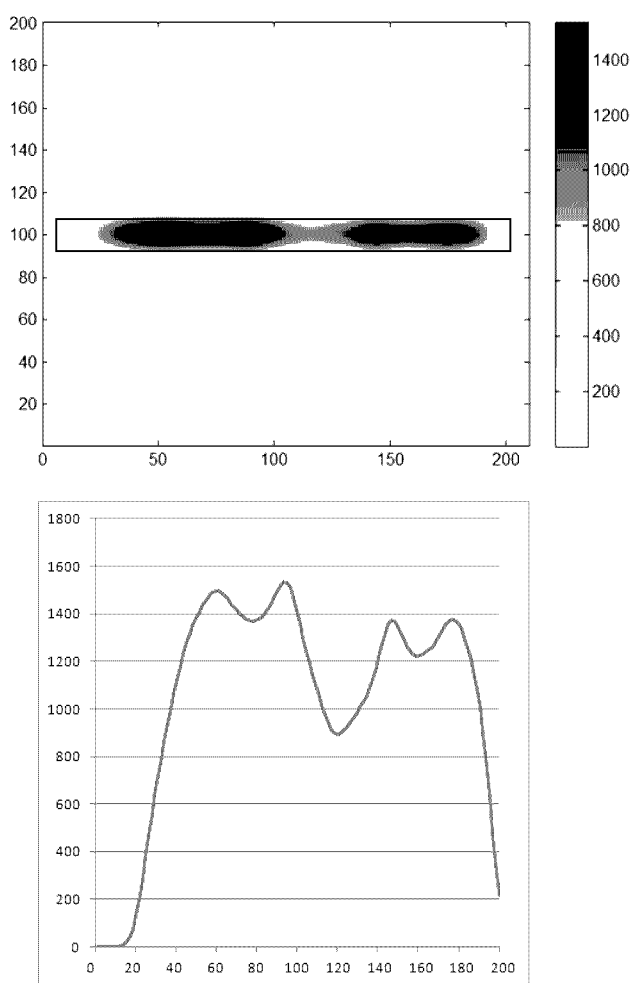


圖十一 架構與光線模擬圖

參、光學模擬與結構最佳化

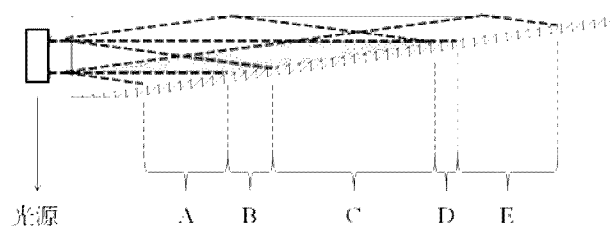


首先利用Solidworks繪製一等分佈三角鋸齒結構的楔形導光條模型，再利用幾何光學之光線追跡法分析整體的出光輻照圖，導光條尺寸為一矩形(長20 cm、寬1.5 cm、高1.5 cm)，底部導光結構則設計為100個，每個鋸齒結構間隔為2 mm，本研究設定底部結構的導光角度為45度角，目的在於使光線因導光結構反射至正上方出光面能較接近於垂直線，若設定為40度角則整體出光面會較偏右方，且已使用透鏡縮小光線角度，40度與45度角的整體光利用率已無太大差別，故選用45度角結構，初步模擬分析結果如圖12所示，LED原始光通量為5.147流明，經由一距離50 cm量測面，模擬車尾燈整體出光，測得之光通量為4.229流明，整體光利用率達82.16%，透過縮小光源發光角度並使用楔形板架構，結果顯示有效提高光利用率。



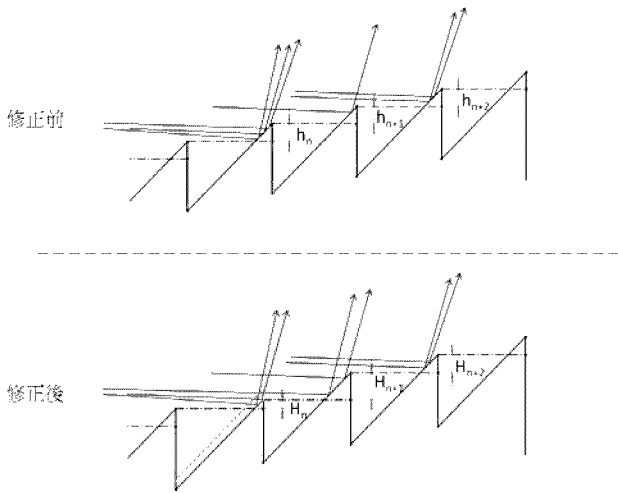
圖十二 光線模擬輻照圖

根據圖十二可看出光線大部分都集中於導光條前端與後端，原因為光源各角度的發光強度均不同，導致各導光結構反射的光強度也不同，如圖13所示由光源發出三種不同角度的光，藍色角度的光為向上偏折光、紅色角度的光為水平光，綠色角度的光為向下偏折光，由圖13可看出整體導光結構的受光面分成五個區段，A段受光面只有綠色角度的光，而B段受光面有綠色與紅色兩個不同角度的光，因而造成如圖12曲線前段會往上遞增，C段受光面則只有紅色角度的光，因該區段無向下偏折光，而造成如圖12曲線中段向下遞減，而D段受光面有紅色與藍色兩個不同角度的光，因增加了向上偏折而後反射向下的光，使得如圖12曲線後段向上遞增，E段受光面則只有藍色角度的光，因該區段無水平光，可由圖十二曲線末端看出漸漸遞減，由此可知各區段所佔光線成份的不同，而造成出光面均勻性不佳之情況，針對這部分均勻性的改善，普遍較常見的解決方法，即改變底部結構排列的疏密[8,9]，光強度較強的區段使各導光鋸齒結構排列較疏，以分散光線數量減少光強度，反之光強度較弱的區段，則使導光鋸齒結構密集排列，以提高整體光強度，透過每個區段的調整，可改善整體均勻性不佳之情況。



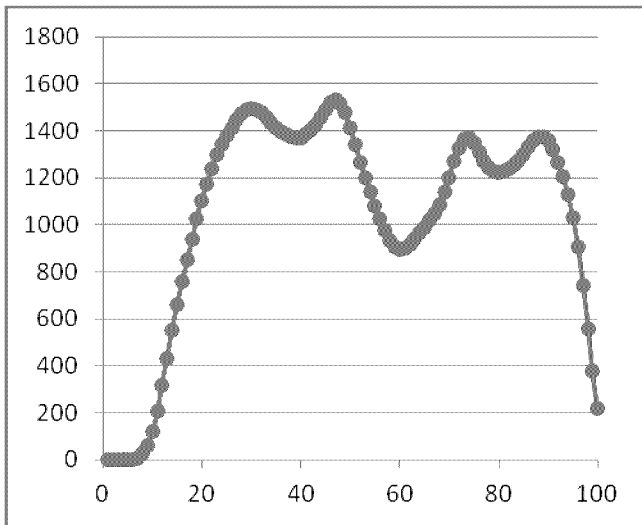
圖十三 不同角度之光線入射導光條示意圖

本研究針對楔形導光條的特性，透過調整每個導光鋸齒的高度，改變每個導光鋸齒的光接觸面，其示意圖如圖十四，對於光強度較強的區段，減少該區段導光鋸齒的高度，隨著光接觸面減少，光強度也隨之減弱，相對的光強度較弱之區段，則提高導光鋸齒高度，透過較大的光接觸面接收更多光線，增加該區段之光強度。



圖十四 調整結構高度改變出光均勻性示意圖

利用光線追跡法所得出的輻照圖匯成數據檔，進而繪製成曲線圖做數值分析，本研究針對 100 個導光鋸齒結構，將模擬的輻照圖分成 100 個點繪製成曲線，如圖十五所示。



圖十五 收光強度曲線圖

透過圖十五收光強度分佈曲線，針對有效的收光面做微幅修正，因頭尾兩端之收光強度明顯偏弱，所以不予修正，由有效收光面計算出整體光強度的平均值，並對每個導光鋸齒結構的高度、各結構對應的接收光強度，與平均收光強度作計算，即可得出導光鋸齒修正後的分佈高度，藉此修正各個光接觸面的大小，以此改善均勻性，數學運算式如(1)式：

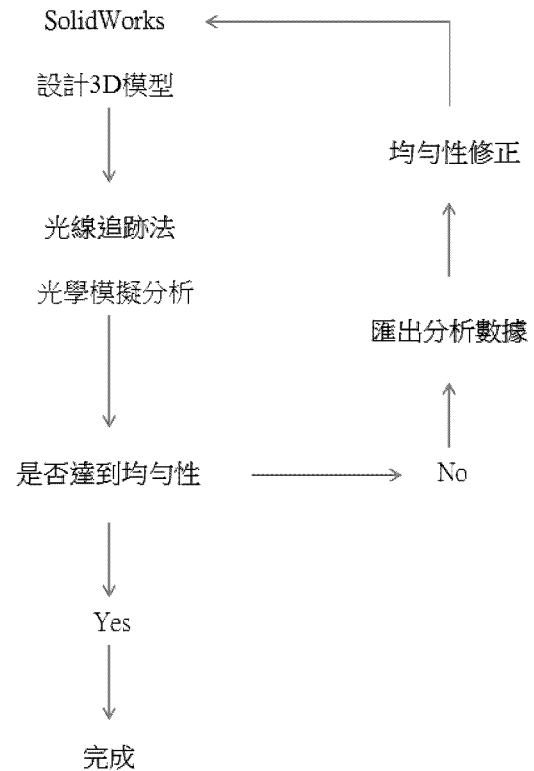
$$g_n = \frac{I_{ave} \times h_n}{I_n} \quad (1)$$

其中 I_{ave} 為平均收光強度、 h_n 為第 n 個修正前的結構高度、 I_n 為第 n 個結構高度所對應的收光強度、 g_n 為第 n 個計算後的結構高度，計算後的結構高度總合會不符合原設計的總高度 1.5 cm，故需一修正數學式如(2)、(3)：

$$\sum_1^{100} h_n = \kappa \sum_1^{100} g_n = 1.5cm \quad (2)$$

$$H_n = \kappa \times g_n \quad (3)$$

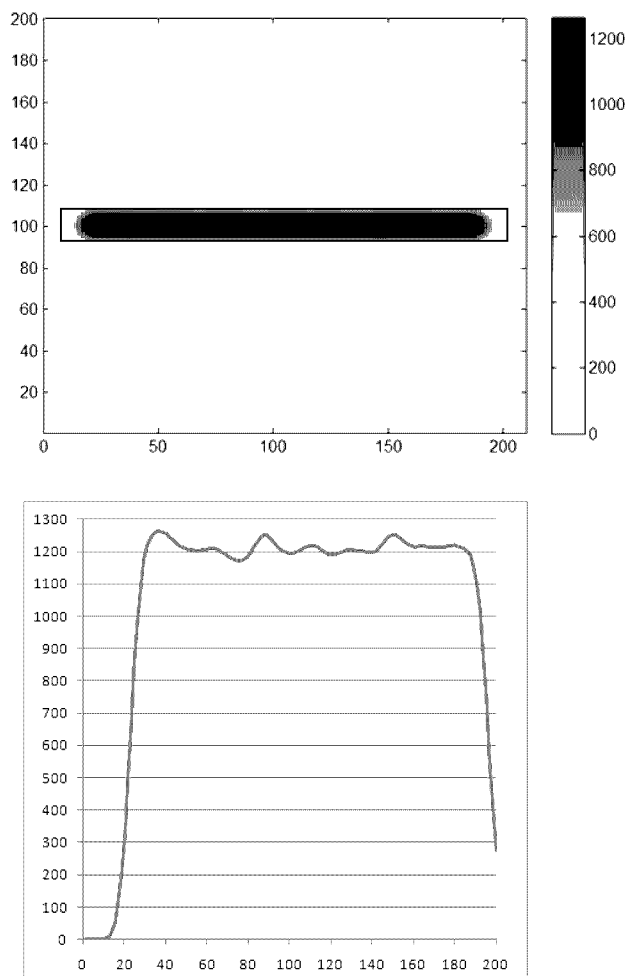
上式 κ 為結構高度的修正量， H_n 為第 n 個經由修正數學式運算後的結構高度，均勻性修正流程如圖十六所示。



圖十六 均勻性修正流程圖

透過三次均勻性修正後的模擬結果如圖十七所示，對照最初未做任何結構調整的輻照圖(圖十二)，其均勻性已大幅提高。





圖十七 均勻性最佳化後之輻照圖

為了測量其均勻性，本研究參考最常使用的九點量測法[10]，對光場輻照圖的有效發光面畫分九個點，量測每個點的光強度，如圖十八所示：



圖十八 九點量測範圍示意圖

對量測到的光強度取最大、最小值，再由均勻性量測公式計算其均勻性，如數學式(4)：

$$Uniformity = (L_{min} / L_{max}) \times 100\% \quad (4)$$

L_{min} 為量測之光強度最小值， L_{max} 為光強度最大值，由均勻性公式可得三次均勻性修正後的數據

如表一所示：

表一 均勻性修正比較表

	均勻性
未修正	23.37 %
第一次修正	76.9 %
第二次修正	91.33 %
第三次修正	93.45 %

肆、結論

本研究利用楔形導光條搭配圓柱透鏡，作為設計汽車車尾燈的主要架構，利用圓柱透鏡改變垂直方向之角度，將大角度的光縮小以減少不必要的損耗，透過改變各導光結構的光接觸面大小，修正並提高了光照的均勻性，因楔形板的結構設計，使得進到導光條內的光線，幾乎都可以被結構反射至出光面，模擬結果證明光利用率可達82.16%，且均勻性達93.45%。

參考文獻

- [1] B. Kim, J. Kim, W. S. Ohm and S. Kang, "Eliminating hotspots in a multi-chip LED array direct backlight system with optimal patterned reflectors for uniform illuminance and minimal system thickness," *Opt. Express*, vol. 18, pp. 8595–8604, Apr. 2010. Doi: 10.1364/OE.18.008595
- [2] R. S. Chang, J. Z. Tsai, T. Y. Li, and S. L. Liao, "LED backlight module by lightguide diffusive component," *J. Display Technol.*, vol. 8, pp. 79–86, Feb. 2012. Doi: 10.1109/JDT.2012.2184077
- [3] B. David, D. Christophe, and M. Julien, "Lighting or signal device with an optical guide for a motor vehicle," U.S. Patent 7 726 854, jun. 2010.
- [4] D. Feng, Y. Yan, X. Yang, G. Jin, and S. Fan, "Novel integrated lightguide plates for liquid crystal display backlight," *J. Opt. Appl. A*, vol. 7, pp. 111–117, 2005. Doi: 10.1088/1464-4258/7/3/003
- [5] J. W. Pan and C. W. Fan, "High luminance hybrid light guide plate for backlight module application," *Opt. Express*, vol. 19, pp. 20079–20087, Sep. 2011. Doi: 10.1364/OE.19.020079
- [6] G. Harbers, S. Bierhuizen, and M. R. Krames, "Performance of high power light-emitting diodes in display applications," *J. Display Technol.*, vol. 3, pp. 98–109, Jun. 2007. Doi: 10.1109/JDT.2007.894384
- [7] [http://www.eoi.com.tw/attfiles/appsheets/EOS-8AxYCR0-KK\(A-TS-075-00-C-00\)\(RY\)\(N7\).pdf](http://www.eoi.com.tw/attfiles/appsheets/EOS-8AxYCR0-KK(A-TS-075-00-C-00)(RY)(N7).pdf)
- [8] 陳嘉豪，LED 側光式彎曲導光條設計於車尾燈應用，國立高雄第一科技大學，碩士論文，2011。
- [9] J. G. Chang, S. P. Ju, S. C. Lee, and J. Y. Hsieh, "Optical design of LED edge-lit backlight based on molecular dynamics method using a random/regular composite distribution," *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.*, vol.11, pp. 125502-125510, Sep. 2009. Doi: 10.1088/1464-4258/11/12/125502
- [10] 王慧綺，SMD 型金屬反射杯 LED 元件在背光模組上之應用，國立中山大學，碩士論文，2009。



BIOGRAPHIES



許志維，助理教授，畢業於國立臺灣大學光電工程學研究所博士，目前任教於國立臺南大學電機工程學系，研究領域為：積體光學、半導體光學、光學設計等。



洪銘恩，目前就讀於國立臺南大學電機工程學系研究所碩士班，研究領域為光學設計與應用。