

LED 燈取代白熾燈之研究 Studying to LED spots replace incandescent

李春旺¹、曾瑜珊²
Shun-Wang Lee¹, Yu-Shan Tseng²

¹ 國立成功大學工業設計研究所
¹ Department of Industrial Design,
National Cheng Kung University
E-mail: P38001122@mail.ncku.com.tw

² 高鳳數位內容學院流行工藝設計學系
² Department of Techno-Craft Design,
Kao Fong College of Digital Contents
E-mail: yushan@kfcdc.edu.tw

摘要

LED(Light Emitting Diodes)是目前最具潛力的節能光源，未來將全面性取代傳統白熾燈與其他光源，LED 照明雖節能省電，但在技術上需提升發光效率、解決散熱問題與 LED 光源成本上較傳統光源為高的劣勢。如何使 LED 燈泡全面取代目前傳統燈泡且應用在日常生活，是急迫的問題。然 LED 燈泡取代傳統燈泡可行性與提升發光效率是很值得探討的重要課題。

LED 燈泡與傳統燈泡節能差異性的比較分析，以光通量而言，8W LED 燈相當於 40W 白熾燈能量。其三著手設計一款 LED 燈泡，來提升目前 LED 燈泡發光效率低的現象。本設計模型經測試結果，其發光效率提升至 56.4 Lm/W，消耗功率為 7.45W。本研究為確保產品的實用性，經由委外測試驗證結果，並符合預期的目標，以作為 LED 燈泡開發流程中的參考依據。

關鍵詞:發光二極體、傳統白熾燈泡、光通量、發光效率

Abstract

LED (Light Emitting Diodes) is currently the most potential energy-saving light source, In the future it will be comprehensive to replace traditional incandescent bulbs and other light sources into the mainstream trend. Although LED lighting is saving energy but technically required to improve luminous efficiency and solve the heat problem with the LED light source for the cost than traditional high disadvantage. It is a important problem how to make LED bulbs replace the current traditional bulbs used in daily life. It is an important issue LED bulbs instead of traditional light bulbs to enhance the feasibility and efficiency.

The other the traditional light bulbs with energy saving LED bulbs differences compare analysis. In luminous issue, 8W LED bulb equivalent to 40W incandescent lamp. Another study to design a style LED bulbs, It improve the phenomenon of current low efficiency. This model has been tested and the results, the luminous efficiency is 56.4 Lm / W and power consumption is 7.45W. To ensure product availability by outsourcing test verification results and up to the desired objectives. It is worthy reference in the development process as LED light bulbs.

Keyword : LED, Traditional Incandescent, Luminous Flux, Luminous Efficiency

1、前言

在 21 世紀的今天，環保意識的抬頭與節能產品的興起，在全球大量使用石化能源，因造成全球暖化現象與氣候變遷。鑑此，節能減碳風潮成為各國努力的目標，因而展開一系列的節能減碳行動。此行動大致可從開源、節流兩個方面來看。LED 為發光二極體其基本特性為：1. 屬冷光源 2. 體積小 3. 耗電少 4. 效率高 5. 反應時間快 6. 產品壽命較其他光源長 7. 不含有害環境的汞。未來全面取代目前市面上的白熾燈泡與日光燈，成為下世紀照明光源的主流，如何取代耗能源的傳統白熾燈，是急待解決的問題。LED 照明燈具來替代一般傳統白熾燈泡節能效果可行性與差異性是日前很值得探討的重要課題。

1.1 研究背景

LED 最大的效益是可以節約能源，減少污染。目前白光 LED 較傳統白熾燈泡發光效率高出一倍以上，未來更可提高到十倍以上。以日本為例，假如 100%白熾燈泡被白光 LED 取代，每年將可減少 1~2 座發電廠發電量。在環保節能的趨勢下，小小的 LED 燈泡是近年來發展逐漸成熟的新一代光源，而其壽命長達近 5 萬小時。

白熾燈泡使用能源效率低的關係，以及節能減碳趨勢，世界各國訂立法規規定傳統的白熾燈泡將陸續淘汰。鑒於以上之因素，了解 LED 照明燈泡與傳統白熾燈泡節能的差異性因素，將有助於整體的節能減碳量，因此本研究會以設計 1 款式 LED 節能燈泡與傳統白熾燈泡做節能差異性比較，讓日後消費者購買相關 LED 產品時，有更深一層瞭解。

1.2 研究目的

當前 LED 節能燈泡與傳統白熾燈泡節能差異性，如何提升燈泡發光效率及在 LED 照明設計需考慮到因素，在透過實驗量測與委外量測驗證，以達到預期節能的效益。

1. 探討市面販售 LED 燈泡 (9~10 瓦投射燈) 與傳統燈泡電力消耗與電費比較分析。
2. 設計一 LED 燈泡 (7~9 瓦投射燈) 提升發光效率和降低電費成本。

1.3 研究範圍與限制

由於目前傳統白熾燈泡與 LED 燈泡種類繁多，本研究需限制各類別燈泡對於節能差異性加以限制，限制條件如以下要點：

1. 傳統白熾燈泡產品以目前 40 瓦燈泡為對象。
2. 在 LED 燈泡產品系列，以目前所販售 9~10 瓦 LED 燈泡為對象。
3. LED 燈泡產品以採用暖白光 (2500K~3200K) 為主。
4. 本研究模型設計是以提升發光效率為目的，燈泡壽命不略為考慮因素。

1.4 研究方法

首先以 40 W 傳統白熾燈泡耗電量進行文獻資料搜集分析，在與 9~10 瓦 LED 燈泡進行發光效率與耗電量比較分析。統合其參考數據，作為設計另一款 LED 產品 (7~10 W 燈泡)，來驗證該設計方案，對節能效率是否提升，作為設計相關產品之依據。

二、參考文獻

2.1 LED 照明與各國 LED 政策實施

由於照明技術的進展與節能減碳的考量，因此從照明用電量方面來進行節能減碳就顯得相對重要，各國實施各項政策禁用最耗能的白熾燈的時程 (表 2.1)。而 LED 照明由於技術快速進展，加上 LED 照明本身的節能減碳效益，被視為從照明上節能減碳的光源之一。以下將從各個面向來探討本研究之標的 LED 照明，了解目前 LED 照明發展趨勢。

(表 2.1) 已發表禁用白熾燈國家時程

國 家	公布時間	規 劃
澳大利亞	2007.02	2012 年全面禁用。
加拿大	2007.04	2012 年全面禁用。
英國	2007.09	2012 年全面禁用。
歐盟	2007.03	2009 年逐步禁用。
台灣	2007.11	2012 年全面禁用。
美國	2007.12	2012 年逐步禁用。

(資料來源:PIDA, 2007)

2.2 LED相關術語

1. 色溫：用來形容光源的顏色，它的單位是 Kelvins，縮寫為K（絕對溫度的單位）來表示。
2. 演色指數（Color Rendering Index）：簡稱CRI，數值顯示出光源對於被照射物演示其真實顏色的能力。
3. 光通量F（Luminous flux）：光源體單位時間內發出所有之光量；單位：流明(Lm)。
4. 照度E（Illuminance）：被照物面的光通量密度；單位：勒克斯(Lux，Lm/m²)。
5. 光束角(Beam Angle): 光束在兩方向發光強度最大值50% 所涵蓋的角度。
6. 佈光角(Field Angle): 光束在兩方向發光強度最大值10% 所涵蓋的角度。
7. 發光效率：每消耗1瓦特電力所產生光的總量。常用的量測單位是流明/瓦(Lm/W)。
8. 總功耗：功率因數乘以輸入功耗(輸入功耗：輸入電壓乘以輸入電流)。
9. 消耗電功率: 是每一小時會用掉多少瓦特，是以瓦特數(Watt)來計算，簡稱W。
10. 用電量(度): 一度相當1,000瓦(W)電器使用一小時【消耗功率(W)*使用小時(H)】÷1000。

2.3 白光LED與其它光源的比較

表2.3，為各類光源的比較資料，從中可發現LED光源在使用壽命上與環保特性上皆較其他光源為佳，為良好的替代光源選擇。

表2.3 各類光源比較

光源	LED燈	省電燈泡	白熾燈
壽命(小時)	40000	6000~13000	1000
光效率 Lm/W	48~65.2 (暖白光) 74.7~82.6 (冷白光)	62.3~67.5	15

資料來源：李芷氫，工研院IEK（2010）

2.4 發光效率計算

LED與傳統光源做比較，從LED製造商提供的規格數據取得LED的光通量(Lm)假設是144lm、工作電流(mA)假設是200mA、工作電壓(V)假設是12V。用光通量除以工作電流與工作電壓的乘積，可以得到起始發光效率：






$$\frac{144 \text{ Lm}}{(200 \text{ mA} \times 12 \text{ V})} = 60 \text{ Lm/W}$$

三、研究步驟

3.1 傳統白熾燈泡產品特性分析

收集目前所販售(Osram、中電、philips等)傳統白熾燈泡的樣式與規格說明(表3.1)，收集A-E共5種型式產品。在瓦數方面都以40瓦為對象，其演色性(CRI)為100，因各廠家的不同，以至於在燈泡光通量有所差異，然產品分析依據各產品光通量的差異，在進一步演算出各產品的發光效率(Lm/W)的數值，得結果顯示在傳統白熾燈泡其發光效率平均值約為10左右，此數據將提供後續階段研究參考使用。

表3.1 傳統白熾燈泡規格表

項目	圖片	功率(W)	光通量(Lm)	光效率(Lm/W)
A		40	400	10.0
B		40	415	10.3
C		40	400	10.0
D		40	410	10.2
E		40	430	10.7

(資料來源:各廠商網頁)

3.2 LED投射燈產品特性分析

本分析收集市面上所販售LED節能燈泡的樣式與規格說明(表3.2)，此產品分析也收集了A1~E1共5種型式產品。在額定功率方面都以9~10瓦為對象，其演色性(CRI)為大於70，色溫以暖白光(2700K~3300K)，因各產品的不同，以至於在燈泡光通量上亦有所差異，然依據各產品光通量的差異性，演算各產品的發光效率值，得其結果顯示出，一般的LED節能燈泡發光效率平均值約為40左右。

項目	圖片	功率 (W)	光通量 (Lm)	光效率 (Lm/W)
A1		10	320	32.0
B1		10	400	40.0
C1		9.2	320	34.7
D1		9.9	300	33.3
E1		10	450	45.0

(資料來源:各廠商網頁)

3.3 傳統白熾燈與LED燈節能差異性分析

針對傳統白熾燈泡與LED燈具節能差異性分析，本研究分二個觀點來探討：

1. 各燈具發光效率的比較。
2. 使用各燈具電費之比較。

3.3-1. 各燈具發光效率的比較

由表3.3分析可知，設光通量為定值(417 Lm)，其結果顯示LED燈泡發光效率(暖白光)為白熾燈泡4倍，在替代性方面10瓦LED燈泡可替代40瓦白

熾燈泡，這對日後使用LED燈泡時提供一重要參考依據。

表3.3

產品別	消耗功率	光通量平均值	發光效率 (Lm/W)	比較
白熾燈	40W	417 (Lm) A~H取最大值前4項	10.4	發光效率約LED 0.25 倍
LED燈	9~10W	423 (Lm) A1~H1取最大值前4項	42.3	發光效率約白熾燈 4 倍

3.3-2. 使用各燈具電費之比較

由上述分析得知，10W LED燈等同40W白熾燈泡光通量。在節能效益部分，本研究進一步的分析，將針對各燈具所使用的時間與及所需消耗的電量，在某一時段使用下(表3.3-1)，其各燈具電費作一比較分析。(表3.3-2)結果顯示，在各燈具連續使用(30天)狀況下，10W LED燈泡比40W白熾燈泡在電費方面可節省45.36元。此研究分析會隨各燈具使用數量多寡與時段用電量價格高低的差異，而有所差異。

表3.3-1

▼民國97年10月1日起實施之電費表

分類		夏月 (6月1日至9月30日)	非夏月 (夏月以外時間)
非營業用	110度以下部分	每度 2.10	2.10
	111~330度部分	每度 3.02	2.68
	331~500度部分	每度 4.05	3.27
	501~700度部分	每度 4.51	3.55
	701度以上部分	每度 5.10	3.97
營業用	330度以下部分	每度 3.76	3.02
	331~500度部分	每度 4.05	3.27
	501~700度部分	每度 4.51	3.55
	701度以上部分	每度 5.10	3.97

資料來源:(台灣電力公司)

表3.3-2

燈具類別	瓦數 (W)	用電量 (度)	價格 (元)	總電費 (元)
白熾燈	40W	28.8	2.1	60.48
LED 燈	10W	7.2	2.1	15.12
差異	10 瓦 LED 燈泡等同 40W 白熾燈泡光通量。	LED 燈泡每月用電量比白熾燈泡減少 21.6 度。	以 110 度以下電費計算。	LED 燈泡每月電費可節省 45.36 元。

四、研究設計

4.1 研究發展

本研究在草圖繪製共有三個替代方案(圖 4.1 草圖方案)，然主要考慮到如何提升發光效率，有良好的散熱機構，相對將提升發光效能，本研究設計一方面也考慮到產品的加工性與製作成本，將採用鋁擠型素材來增加散熱效果，達成初步構想。

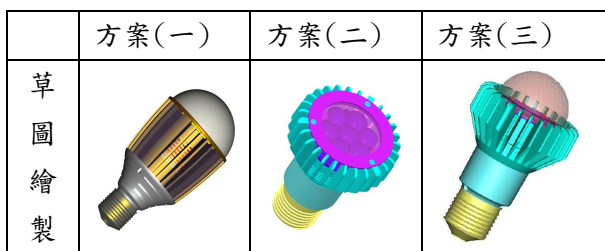


圖4.1 草圖方案

4.2 模型製作

LED 燈泡模型製作，需結合電子、光學、機構等部分。總目標為發光效率須提升到 50 Lm/W。然在電子部分由專業人員從事設計工作，光學部分購買現有廣角透鏡(二次光學)，本模型製作擇一(方案二)從事機構上的製作與組裝，最主來驗證此設計方案(二)是否可達成此一目標，表4.2 為各設計限制部分簡述：

表4.2

項目	設計限制(1)	設計限制(2)	設計限制(3)
電子	消耗功率設定為 7~10 W	電源為全電壓 110~235 V	發光效率至少提升 50 Lm/W
光學	Chip 色溫為暖白光 採用廣角透鏡	透鏡材質需為壓克力	發光效率至少提升 50 Lm/W
機構	採用鋁擠型素材(6063)	採用 E26 燈頭機構	發光效率至少提升 50 Lm/W

4.3 模型性能實驗測試

本研究模型性能實驗測試，只針對方案(二)進行電子性能、光學性能、機構性能(溫度量測)等方面作一測試。在電性方面(表4.3)符合當初設計目標，整個燈泡總耗功率為 7.45 W。因機構件材質為鋁擠型(6063)燈杯，具有導熱性佳，其周圍溫度約 58.3°C。至於光學性能本模型使用日亞 LED 晶片與廣角二次光學透鏡，量測到 LED 燈泡整體總光通量約(含二次光學透鏡)為 430 流明值。本研究模型設計(方案二)整體實驗測試顯示結果符合原先設計目標。

表4.3

Parameters	Condition	Units
Vo LED	Vin=110V Ac Io Led=300 mA	V Ac
Io LED	Vin=110V Ac Io Led=300 mA	V
Power Factor	Vin=110V Ac Iin =126 mA	mA
Efficiency	Vin=110V Ac Iin =124 mA	PF

LED燈泡消耗功率(W)：

$$110(V) * 0.124(I) * 0.546 = 7.45 W$$

4.3 方案(二)與各燈具節能差異性分析

模型方案(二)總體設計與製作，經由實驗量測得(表4.3)。在方案(二)消耗功率為7.45W比原LED燈泡功率低(10W)，光通量430 Lm比原有燈泡423 Lm增加，然發光效率方面為57.7 Lm/W較原先42.3 Lm/W提升，相對在連續點燈30天，總電費用只需11.26元較白熾燈泡60.48元節省。方案(二)在設計上具有參考依據。

產品別	消耗功率	光通量(Lm)	發光效率(Lm/W)	總電費(連續操作1個月)
白熾燈	40W	417	10.4	60.48元
LED燈	9~10W	423	42.3	15.12元
方案(二)	7.45W	430	57.7	11.26元

五、研究結論與建議

藉由此節能意識的潮流，本研究經過分析後，針對LED燈泡產品進行發光效率再提升設計，其方案(二)模型再與一般傳統燈泡和目前LED燈泡進行比較探討，而得以下結論如下：

1. 由節能觀點本設計方案，燈泡發光效率提升至56.4(Lm/W)，優於市面販售LED燈泡42.3(Lm/W)。
2. 依據研究量測結果顯示7~10W LED燈泡，可替代40W 傳統白熾燈泡。
3. 在消耗功率本設計只消耗7.45W，優於市面10W LED燈泡。
4. 單顆使用電源成本每月只需11.26元，價格低於10W LED燈泡15.12元，更優於白熾燈泡60.48元。
5. 綜合以上論述，當使用LED節能燈泡顆數越多，節能效益越大。

六、參考文獻

1. 林玉梅、王蘭亭，「LED照明光源與傳統照明差異性之研究-以燈泡造型為主」，照明學刊，第廿八卷第二期，第32~33頁，民國100年06月。
2. 麗光科技股份有限公司<http://www.bltc.com.tw/>
3. LEDinside 網<http://www.ledinside.com.tw/>
4. 國立成功大學LED照明科技研究中心
<http://led.ee.ncku.edu.tw/>
5. 馮慧平，蔡習訓，王浩偉，林志豪，鄭東昇，「高亮度LED照明導光陣列透鏡設計之研究」，明志科技大學機電工程研究所。
6. 黃雅琳，2010，「掌握全球LED照明發展動向及契機」，拓璞產業研究所。
7. 劉世忠，「發光二極體產業概況」，產經資訊，2007。
8. 台灣綠色基金會，2007，「照明系統Q&A節能技術手冊」。
9. 王先知，2007，迎接新世代之綠色照明光源及材料，工業材料雜誌。
10. 蔡慶龍，1998，結合節能與環保的「綠色照明」，Energy。
11. Light Guide Techniques Using LED Lamps, Application Brief I-003.12. Shan-Ching Chiu, Yen-Lan Chiu, "LED LAMP", United States Patent, US 20080068837A1.
13. Y. C. Hsu, Y. K. Lin, M. H. Chen, C. C. Tsai, J. H. Kuang, S. B. Huang, H. L. Hu, Y. I. Su, and W. H. Cheng(2008) Failure mechanisms Associated with lens shape of high-power LED modules in aging test, *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 55, no. 2, pp. 689.
14. N. Narendran, Y. Gu, J.P. Freyssinier, H. Yu, L.Deng(2004) Solid-state lighting : failure analysis of white LEDs. *Journal of Crystal Growth*, vol.268, p449-456.