

LED 燈泡與傳統燈泡節能差異性之研究

The Study of Traditional Light Bulbs with LED Bulbs Differences in Energy Saving

李春旺

Chun-Wang Lee

國立成功大學工業設計學系博士班 博士生

高鳳數位內容學院流行工藝設計系 講師

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，成為主流趨勢。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。

有鑑於此，本研究先針對消費者對 LED 節能產品認知性分析相關文獻探討，瞭解使用者對節能燈泡的認知概況。其二進行 LED 燈泡與傳統燈泡節能差異性的比較分析，以光通量而言，10W LED 燈泡相當於 40W 白熾燈能量。其三著手設計一款式 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。

關鍵字：發光二極體、傳統燈泡、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.

For this reason, this study first LED energy-saving products for the consumer cognitive analysis of the reference analysis to understand the user's cognitive profile of energy-saving light bulbs. The other the traditional light bulbs with energy saving LED bulbs differences compare analysis. In luminous issue, 10W LED bulb equivalent to 40W incandescent lamp. Another this 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. In order to ensure product availability by outsourcing testing verification results and up to the desired objectives. It is worthy reference in the development process as LED light bulbs.

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



一、前言

自從十九世紀愛迪生發明燈泡，人類的文明從此被點亮，在活動時間得以延長，從白天至夜間的活動都不脫離光源與照明。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。在節流方面，各國政府制定各式的法律政策來規定能源的使用，並扶植節能產業的發展（如：LED照明）。

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，成為本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.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。在節能減碳產品中，由於照明在台灣整個電力能源使用上約占了15~20%左右，假如台灣照明全面的以LED照明取代，根據《2010年能源產業技術白皮書》約可降低四成的照明用電量。且台灣發展LED產業距今已30多年，目前正是政府大力扶植的產業之一。再者因為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。

2.研究目的

本研究探討當前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，在透過實驗室測與委外量測驗證，以達到預期節能的效益。

- (1)探討目前市面所販售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)設計一款LED燈泡(7~10瓦投射燈)提升發光效率和降低電費成本。
- (3)透過委外測量，驗證本設計模型可行性

3.研究範圍與限制

目前市面所販售燈泡為對象，以傳統白熾燈泡與LED燈泡為研究範圍，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。

4.研究方法

本研究採「量性」研究及相關文獻問卷調查為研究方法。首先以40 W傳統白熾燈泡造型與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)，經研究實驗測試與委外測試(建研所)，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、文獻探討

1. LED照明與各國LED政策實施

據國際能源總署（The International Energy Agency, IEA, 2006）的報告顯示全球照明的使用電量約占世界總用電量的19%，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。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，2020年減少20%GHG排放量
英國	2007.09	2010年逐步禁用，2012年全面禁用
歐盟	2007.03	2009年逐步禁用，2020年減少20%GHG排放量
台灣	2007.11	2010年逐步禁用，2012年全面禁用
美國	2007.12	通過新能源法案，2012年逐步禁用

(資料來源:PIDA，2007)

2. LED 簡介

發光二極體（Light Emitting Diode, LED），是一種發光元件，由半導體材料所製成。LED 是利用電能直接轉化為光能的原理，在半導體內正負極2個端子施加電壓，當電流通過，使電子與電洞相結合時，剩餘能量便以光的形式釋放。依其使用的材料的不同，其能階高低使光子能量產生不同波長的光，其波長介於400-780nm。見圖1、圖2

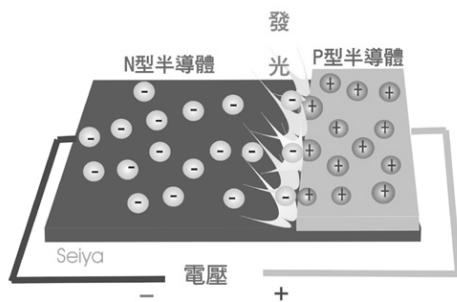


圖1 LED發光原理

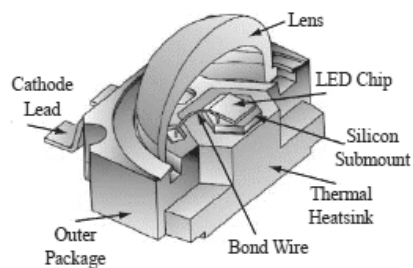


圖2 Lumileds LED結構示意圖

3. 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) 光強度I (Luminous flux)：光源體在單位立體角所發出之光通量；單位：燭光(cd, lm/sr)。



- (5) 照度E (Illuminance)：被照物面的光通量密度；單位：勒克斯(Lux，Lm/m²)。
- (6) 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。
- (7) 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。
- (8) 配光曲線:光源在空間中各個方向的光強度空間分佈情形
- (9) 發光效率：光源每消耗1瓦特電力所產生光的總量。通常我們常用的量測單位是流明/瓦(Lm/W)。
- (10) 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)。
- (11) 消耗電功率:是每一小時會用掉多少瓦特，單位是以瓦特數(Watt)來計算，簡稱W。
- (12) 用電量(度): 一度相當1,000瓦(W)電器使用一小時，公式為【消耗電功率(W)*使用小時(H)】÷1000。

4. 白光LED與其它光源的比較

各國因為節能減碳政策的關係，開始在禁止白熾燈泡的生產。歐盟從2009年起逐步禁用白熾燈泡，澳洲與加拿大於2012年前全面禁用，我國也宣布在2010年逐步禁用白熾燈，並在2012全面禁止販售。LED照明因為其各種優勢，在未來被視為各國取代省電燈泡和白熾燈的替代光源。(表2) 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 各類光源比較

光 源	LED燈	省電燈泡	白熾燈泡
壽命 (小時)	40,000	6,000~13,000	1,000
發光效率 (Lm/W)	48~65.2 (暖白光) 74.7~82.6 (冷白光)	62.3~67.5	15
有無含汞	無	有	有

資料來源：李芷氫，工研院IEK (2010)

5. 燈具發光效率計算

我們習慣性會拿 LED 與傳統光源做比較。我們可以先從 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 與熱接點溫度(Tj)。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：

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

三、研究步驟

1. 消費者對LED 節能產品認知性分析

本研究依據照明學刊問卷調查之參考文獻，針對南科上班族25歲以上、相關行業與非相關行業為問卷調查訪問對象。問卷調查時間為98年12月中下旬，共計訪問了30位園區人員，回收問卷為30份。其參考文獻資料分析(表3)與(表4)如下：



表3 LED照明設備認知統計表

項 目		5	10	15	20	25	30
1.同意照明設備的慎選在節能減碳上，扮演著重要角色	不同意	8					
	同意						22
2.使用過LED相關產品？	是						21
	否	9					
3.了解LED是一種節能的光源？	了解						18
	不了解			12			
4.如果將傳統燈泡換上LED燈泡能省電你願意更換嗎？	願意						15
	不願意						15
5.購買過LED燈泡嗎？	是						11
	否						19

表4 購買燈泡產品考慮因素統計表

項 目	5	10	15	20	25	30
造型			9			
價格			11			
功能			8			
光源	2					
顏色	0					

2. 傳統白熾燈泡產品特性分析

本分析收集目前市面上所販售(Osram、中電、philips等)傳統白熾燈泡的樣式與規格說明(表5)，收集A~H共8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5 傳統白熾燈泡的樣式與規格說明表

項 目	圖 片	演色性 (CRI)	光通量 (Lm)	額定功率 (W)	發光效率 (Lm/W)
A		100	400	40.0	10.0
B		100	415	40.0	10.3
C		100	400	40.0	10.0
D		100	410	40.0	10.2
E		100	430	40.0	10.7
F		100	415	40.0	10.3
G		100	400	40.0	10.0
H		100	385	40.0	9.6

(資料來源:各廠商網頁)



3. LED投射燈具產品特性分析

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6)，此產品分析也收集了A1~H1共8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。

表6 市面上所販售LED節能燈泡的樣式與規格

項目	圖 片	演色性 (CRI)	色溫 (K)	光通量 (Lm)	額定功率 (W)	發光效率 (Lm/W)
A1		>70	3000	320	10.0	32.0
B1		>70	3000	400	10.0	40.0
C1		>70	3000	320	9.2	34.7
D1		>70	3000	300	9.0	33.3
E1		>70	3300	450	10.0	45.0
F1		>70	3000	450	9.0	50.0
G1		>70	3000	340	10.0	34.0
H1		>70	2700	395	9.0	43.8

(資料來源:各廠商網頁)

4. 傳統白熾燈與LED燈節能差異性分析

(1)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:

- a. 各燈具發光效率的比較。
- b. 使用各燈具電費之比較。

(2)各燈具發光效率的比較

由表7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7 燈具發光效率的比較

產品別	消耗功率	光通量(平均值)	發光效率(Lm/W)	比 較
白熾燈泡	40W	417 (Lm) A~H取最大值前4項	10.4	發光效率約LED 0.25 倍
LED燈泡	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)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9)，其各燈具電費作一比較分析。(表8)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不同，而有所差異。

表8 各燈具電費之比較

燈具類別	瓦數(W)	使用數量(pcs)	使用時數(30天)	用電量(度)	每度價格(元)	總電費(元)
白熾燈泡	40W	1	720(H)	28.8	2.1	60.48
LED燈泡	10W	1	720(H)	7.2	2.1	15.12
差異比較	10瓦LED燈泡等同40W白熾燈泡光通量。	各燈具使用數量，決定節能差異大小。	使用狀況為每天點亮24小時。	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。

表9

▼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)

四、研究設計

消費者對購買燈泡產品考慮因素，在產品的價格與外形所占的比例較高。此階段將依據一般市場上所販售的LED燈泡(表6)設計另一款式產品，主要目的為提高LED燈泡發光效率，為了提高LED燈泡散熱問題與產品壽命，在機構上都以散熱片的外觀設計，以達到本研究預期的的效益。

1.草圖發展

本研究在草圖繪製共有五個替代方案(圖2)，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。



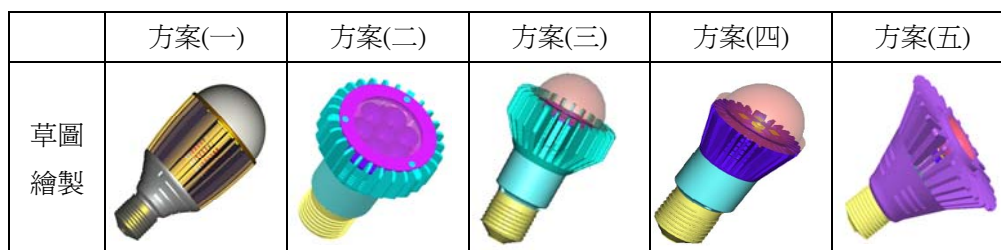


圖2 草圖方案

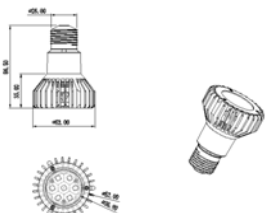
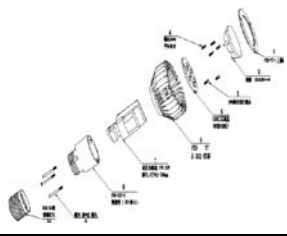


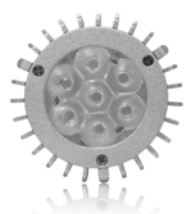

2.模型製作

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11為各設計階段部分簡述：

表10

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

表11

項目		
機構設計		
模型製作		
產品呈現		



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。在電性方面符合當初設計目標，整個燈泡總耗功率為7.45 W。在溫度測量方面，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440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12 電性測試

Parameters	Condition	Min	Typ	Max	Units	Result	Remark
Vin		85		265	V Ac	OK	
Vo LED	Vin=110V Ac Io Led=300 mA	19.3	20.2	20.6	V	OK	
Io LED	Vin=110V Ac Io Led=300 mA		301.7		mA	OK	
Power Factor	Vin=110V Ac Iin =126 mA			0.546	PF	OK	
Efficiency	Vin=110V Ac Iin =124 mA		81.5		%	OK	Total: 7.45W

備註: 輸入電壓 = 110 V 輸入電流 = 0.124 A

$$\begin{aligned}
 \text{LED燈泡消耗功率(W)} &= \text{輸入功耗(輸入電壓} \times \text{輸入電流)} \times \text{功率因素(PF)} \\
 &= 110(\text{V}) \times 0.124(\text{I}) \times 0.546 \\
 &= 7.45
 \end{aligned}$$

表13 機構件溫度量測

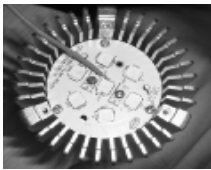
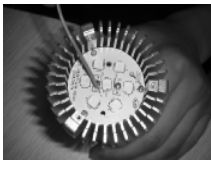


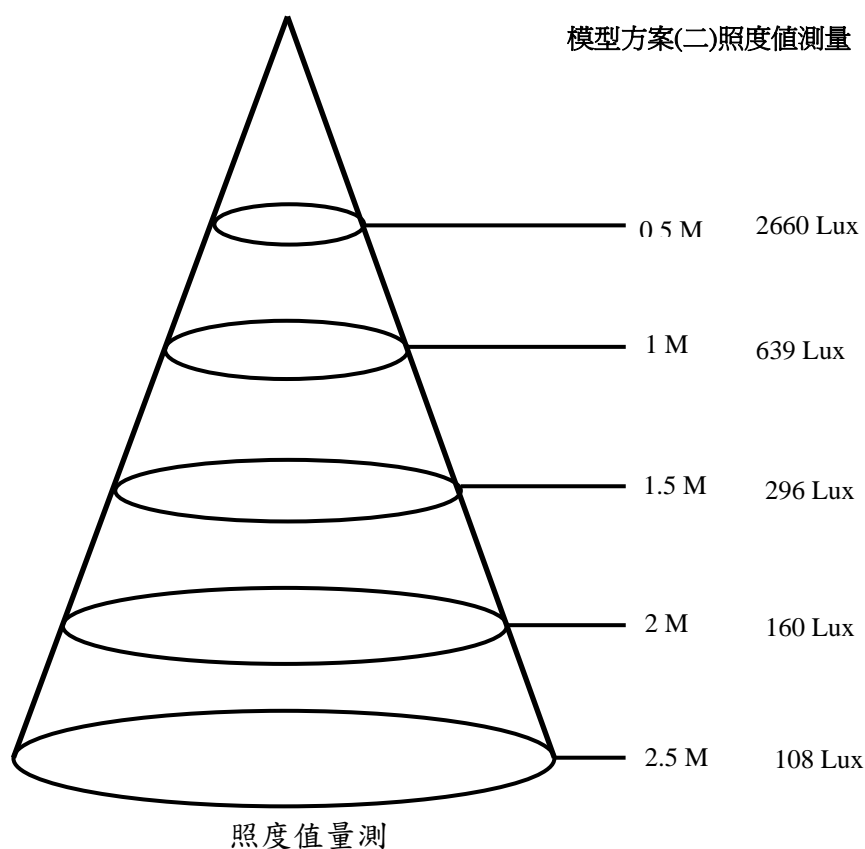
Part	Condition	TEST ponit	Max	room	Units	Result
LED	Vin=110V Ac		73.7	30.3	°C	OK
LED Aluminium Board	Vin=110V Ac		71.2	30.3	°C	OK
Aluminium CAP	Vin=110V Ac		58.3	30.2	°C	OK



表14 光學特性量測

Part Number	Color	Beam Angle 2θ $1/2^\circ$	Luminous Flux (Lamp)	Illumination(Lux) / Spot Diameter		
				100 cm	150 cm	200cm
	Warm White 2500~3200K	55	420	539	296	160



4.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15。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。

表15


產 品 別	消耗功率	光通量(平均值)	發光效率(Lm/W)	總電費(連續操作1個月)
白熾燈泡	40W	417 (Lm)	10.4	60.48 元
LED燈泡	9~10W	423 (Lm)	42.3	15.12 元
方案(二)	7.45W	420 (Lm)	56.4	11.26 元



5. 委外量測驗證(建研所)

本研究方案(二)為確保設計上的可行性，此階段將LED燈泡模型委外量測，經由內政部建築研究所量測相關電性特性、光學特性得結果如表16。試驗報告內容顯示，在本研究模型方案(二)光通量約為416 Lm、消耗功率為7.51W、光束角約58°。可推算出燈泡發光效率為55.4 Lm/W，以上的測量數據進階驗證此設計案可行性。

表16

 內政部建築研究所 性能實驗中心 Performance Experiment Center Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior 試驗報告	
5. Luminaire Data	
配光曲線量測系統使用程式	cone measurement $\Delta G=2.0^\circ$ 、 $\Delta C=2.5^\circ$
輸入電源電壓	109.98 V
輸入電源電流	0.129 A
輸入電源頻率	60 HZ
輸入功率	7.51 W
燈具光輸出	416.07 Lm
最大光強度	424.6 cd
最大光強度所在位置	(G、C) = 14° , 137.5°
G角 80° 時最大光強度	5.4 cd
G角 90° 時最大光強度	3.1 cd
光束角(1) 〔平面最大光度的50%展開角度〕	水平 28.8° +29.5° =58.3°
光束角(2) 〔平面最大光度的50%展開角度〕	垂直 29.9° +29.0° =58.9°
佈光角(1) 〔平面最大光度的10%展開角度〕	水平 44.3° +44.6° =88.9°
佈光角(2) 〔平面最大光度的10%展開角度〕	垂直 45.0° +44.2° =89.2°

五、研究結論與建議

1. 研究結論

本研究藉文獻資料，獲知一般消費者對LED 節能產品的認知，經文獻內容的分析近半數的購買者有意願將傳統燈泡換上LED節能燈泡。藉由此節能意識的潮流，本研究針經過分析後，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。

2.研究建議

目前全球各國提倡節能減碳措施，然台灣對LED節能燈泡使用率不高，因對LED 節能不夠瞭解與產品價格過高、政府政策推廣為主要因素。現今產業界力求技術上的突破與創新以因應未來市場需求，期待政府給予民間多項節能省電優惠方案，鼓勵社會大眾使用與倡導LED節能認知。如廣泛的使用LED產品，相對產品價格會隨著用量而成本降低，進而達到節能減碳的真正意義。

六、參考文獻

1. LEDinside 產業網 <http://www.ledinside.com.tw/>
2. Light Guide Techniques Using LED Lamps, Application Brief I-003.
3. 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.
4. Shan-Ching Chiu, Yen-Lan Chiu, “LED LAMP”, United States Patent, US 20080068837A1.
5. 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.
6. 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》。
7. 台灣綠色基金會，2007，《照明系統Q&A節能技術手冊》。
8. 李芷毓，2010，《工研院IEK》。
9. 林玉梅、王蘭亭，2011，“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。
10. 國立成功大學LED照明科技研究中心 <http://led.ee.ncku.edu.tw/>
11. 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，碩士論文。
12. 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。
13. 劉世忠，2007，“發光二極體產業概況”，《產經資訊》。
14. 蔡慶龍，1998，“結合節能與環保的「綠色照明」”，《Energy》。
15. 麗光科技股份有限公司 <http://www.bltc.com.tw/>

