

照明技術經濟研析

鄧警瀚、葛復光、劉家豪、陳中舜

核能研究所-能源經濟及策略研究中心

2013/03

照明技術是人類生活中的關鍵科技，燈泡與燈管是住宅與商業部門常用的兩種照明技術。燈泡可依據不同的發光原理，分成白熾燈泡、省電燈泡、LED 燈泡。白熾燈是利用物體(燈絲)受熱而發出可見光；省電燈泡(安定器內藏型螢光燈泡)是利用低壓水銀蒸氣放電發出紫外光，以激發螢光物質發出可見光；LED 燈泡則是將半導體晶片通電後，電子與電洞之複合產生光子發光。燈管可依外型尺寸分類，常見的燈管有一般 T8 燈管、T5 燈管，以及燈管直徑與 T8 相近的 LED 燈管。各種燈管之尺寸如表 1-7-1 所示。

我國政府規定於 2012 年底全面停止生產白熾燈泡，並以省電燈泡或 LED 燈泡替換。然而市售 LED 燈泡價格昂貴，雖然標榜省電與壽命長的特性，但對消費者而言，償付較高價格使用 LED 燈泡所產生的效益，是否會比省電燈泡大仍具爭議性。燈管方面，現況下以 T5 燈管替換 T8 燈管能否降低成本與減少溫室氣體排放，或應等 LED 燈管技術成熟後，由 T8 燈管直接換成 LED 燈管，也是熱烈討論的議題。此外，當前 LED 照明產品並無一致的檢測標準，產品規格標示差異甚大。

有鑑於此，本研究將比較不同種類燈泡、燈管的技術規格，並分析各種常用

燈泡、燈管的技術效率、成本效益及使用時之 CO₂ 排放。為使分析結果更具說服力，比較基準具備一致性，本研究選擇單一產品製造商進行評估。研究中各燈泡、燈管規格資料來源係參考飛利浦公司(Philips)2011-2012 年照明產品型錄[1]，但在產品售價方面，由於型錄中未標示產品定價，因此價格資料來源包括飛利浦官方網站、pchome 網路購物平台、特力屋購物網、展沂股份有限公司(台灣飛利浦授權經銷商)。以下將分析與探討不同類燈泡、燈管的技術經濟特性。

表 1-7-1 燈管外型規格

		T8	T5	LED
燈管直徑		1.00"	0.625"	1.00"
燈管長度	2ft	590mm	549mm	595mm
	3ft	895mm	849mm	900mm
	4ft	1199mm	1149mm	1200mm

資料來源：飛利浦照明產品型錄（2011-2012）、綠基會照明節能產品應用手冊、核研所整理製表。

一、燈泡產品

本節蒐集飛利浦製造之白熾燈泡¹、省電燈泡²、LED 燈泡³進行技術經濟之研析，比較基準是以該產品標示可取代 40W 白熾燈泡之照明效果，詳細規格比較請參閱表 1-7-1。圖 1-7-1、圖 1-7-2 為燈泡壽命與價格之比較，可發現 LED 燈泡壽命最長且價格也最高，省電燈泡其次。為進一步判斷三種燈泡的使用效益，本研究計算燈泡壽命週期內總流明數(提供之服務)、壽命週期成本(使用成本)、壽

¹採用飛利浦 A55/GLS 40W 型。

²採用飛利浦 Genie 8W 型。

³採用飛利浦 myVision6W 型。

命週期 CO₂ 排放量(汙染)，得知單位時間百萬流明數之成本⁴與 CO₂ 排放量，如圖 4-6-3 所示。提供同樣一單位時間百萬流明之服務時，省電燈泡所需的成本最小，其次為 LED 燈泡。若考慮環境保護議題，提供一單位時間百萬流明之服務時，LED 燈泡的 CO₂ 排放量最低。LED 燈泡因發光效率優勢⁵，耗電量低，因此 CO₂ 排放量可比白熾燈減少約 78.8%，比省電燈泡減少約 19.3%。

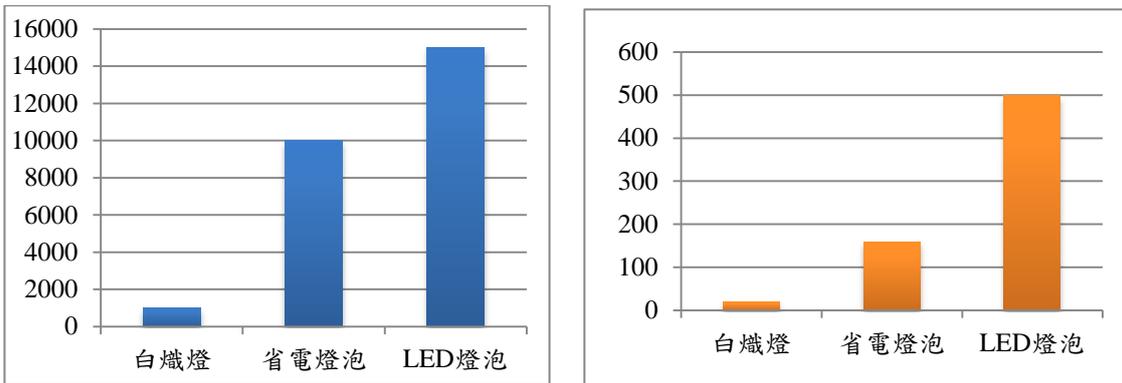


圖 1-7-1：三種飛利浦燈泡壽命(hr) 圖 1-7-2：三種飛利浦燈泡價格(\$)

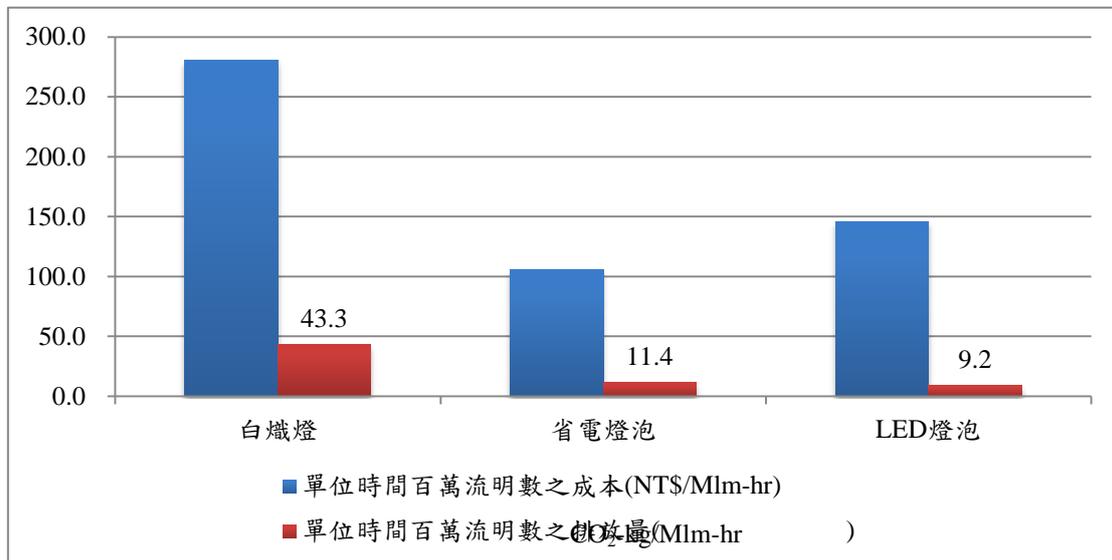


圖 1-7-3：三種飛利浦燈泡技術特性比較

以現階段飛利浦產品規格數據的分析結果，省電燈泡具有成本優勢，LED 則

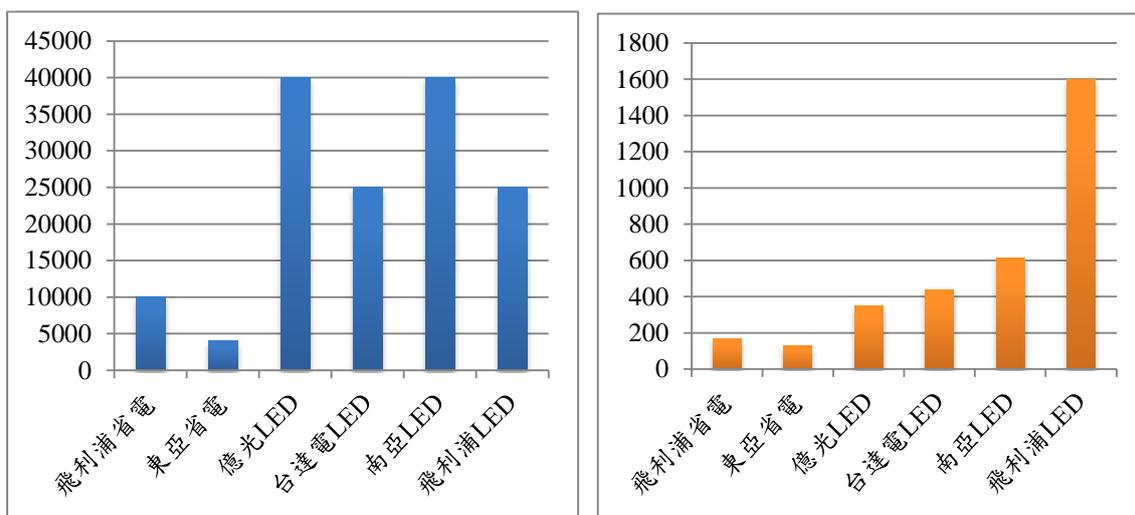
⁴此處成本包含燈泡價格與用電成本(假設電價為台電 101 年電燈平均電價 2.9673 元/度)

⁵參閱附表 1。

具環保優勢。若考慮電價變動或技術進步等因子，研究結果顯示當電價上漲至每度電 12.76 元，或 LED 壽命增加至約 26,134 小時，LED 燈泡的使用成本將與省電燈泡相當，具成本競爭力。

由於前述比較是基於同一廠牌之產品，不同品牌的產品可能存在差異性。此外，LED 技術目前尚未標準化，各家廠商針對自家產品的規格標示差異甚大，如燈泡壽命(圖 1-7-4)⁶，若選擇流明數相近(約 800lm)之 LED 燈泡，億光與南亞的燈泡壽命長達 40,000 小時，台達電子與飛利浦的燈泡壽命則僅有 25,000 小時。這種情形顯示前述結果可能具不確定性。故本研究除分析同一廠牌商品外，另蒐集其他廠牌裡額定流明數相近之省電燈泡與 LED 燈泡資料，進行差異性分析。詳細規格比較請參閱附表 2。

結果顯示在燈泡價格方面(圖 1-7-5)，LED 燈泡皆比省電燈泡昂貴，其中飛利浦產品價格最高。除了壽命與價格差異外，發光效率也不相同，LED 中效率最高者為億光之 101 lm/W，最低者則為飛利浦之 64.4lm/W，如圖 1-7-6。



⁶此處飛利浦 LED 燈泡(805lm)與前述替代 40W 白熾燈之燈泡(350lm)為不相同的兩種產品，所以壽命也不相同。

圖 1-7-4：各種燈泡壽命 (hr)

圖 1-7-5：各種燈泡價格 (NT\$)

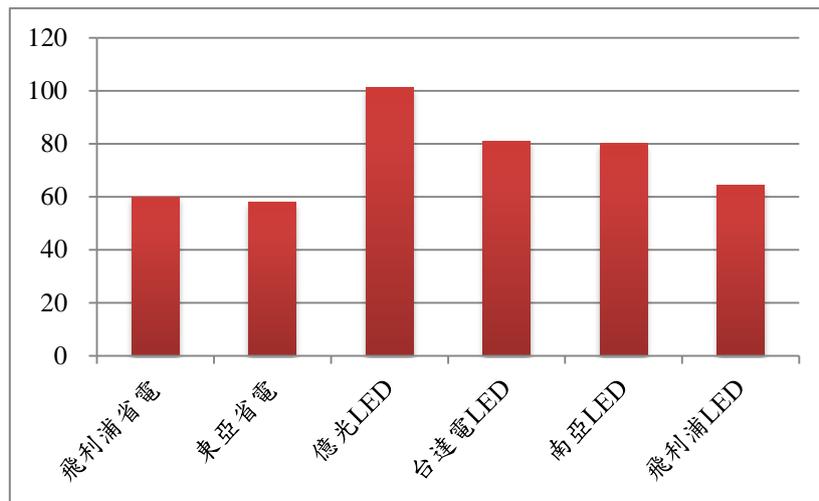


圖 1-7-6：各種燈泡發光效率 (lm/W)

各種燈泡的單位時間百萬流明之成本與 CO₂ 排放量以圖 4-6-7 表示。在成本(單位時間百萬流明之成本)方面，億光、台達電、南亞的 LED 燈泡會比省電燈泡低，飛利浦 LED 則高於省電燈泡。計算結果差異主要來自於燈泡價格、燈泡壽命、發光效率。燈泡價格越高，成本就會越高。飛利浦的 LED 燈泡價格昂貴，相形之下，相近流明數的億光、台達電、南亞的 LED 燈泡便宜許多。LEDinside 網站有針對全球 2012 年 10 月 LED 燈泡售價的調查結果如附表 3 與附表 4，本研究蒐集的 LED 燈泡價格大部分落於該區間之內，唯飛利浦 Philips Ambient LED 12.5W (805 lm)略高於最高點。另一個與成本(單位時間百萬流明之成本)有關的因素為壽命週期，燈泡壽命越長，會使得燈泡價格占壽命週期中每單位流明的成本越低，因此單位發光量總成本會比較低。發光效率則會影響到耗電量，效率越高，提供同樣流明數時，耗電量越低，其中以億光的 101 lm/W 最高，其餘台達電、

南亞的 LED 效率亦高於飛利浦。

單位時間百萬流明之排放量方面，本研究所有 LED 燈泡皆低於省電燈泡。排放量係指用電時產生的 CO₂ 量，該值高低乃因燈泡發光效率差異影響耗電量，發光效率越高，排放量(單位時間百萬流明之排放量)越低。由圖 1-7-7 可知，與飛利浦省電燈泡相比，億光、台達電、南亞、飛利浦之 LED 的 CO₂ 排放量各減少約 40.8%、26%、25.1%、6.9%。若與南亞省電燈泡相比，億光、台達電、南亞、飛利浦之 LED 的 CO₂ 排放量則各減少約 42.7%、28.4%、27.5%、9.9%。

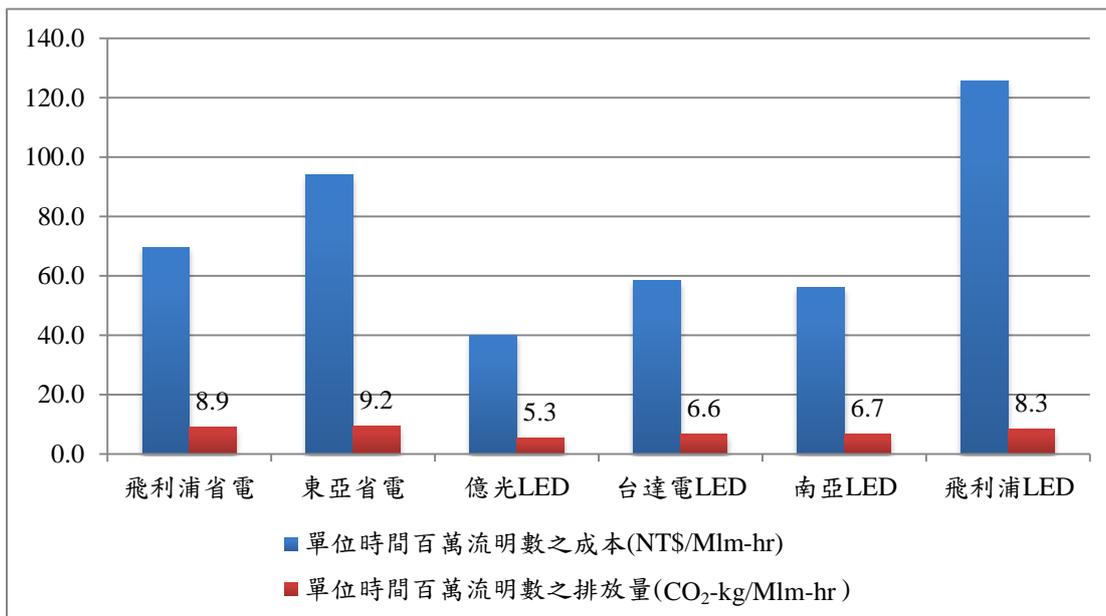


圖 1-7-7：各種燈泡技術特性比較

綜合前述白熾、省電、LED 燈泡分析結果，使用省電或 LED 燈泡替換白熾燈泡皆是好的選項，但就現階段技術發展而言，省電與 LED 兩種燈泡之間並無絕對的優劣勢。以同為飛利浦生產的省電與 LED 燈泡為例，省電燈泡具有低成本的優勢，LED 燈泡則具有節能減碳的優點。

若考慮不同廠牌產品差異性，使用億光、台達電、南亞的 LED 燈泡不僅 CO₂ 排放量低，成本(單位時間百萬流明之成本)亦分別比飛利浦省電燈泡低約 42.5%、16.3%、19.3%；比東亞省電燈泡低約 57.3%、37.9%、40.1%。探究其原因，主要是這些廠牌的 LED 燈泡價格較便宜、壽命較長(億光、南亞)、發光效率較高。其中壽命與發光效率可能會因為不同廠牌的測試儀器或方式不同而有差異。例如 LED 光源具有指向性，一般軸心亮度會隨著角度的變大而逐漸變小，這樣的特性可能會影響廠商的流明數測定結果，進而影響發光效率之計算。

LED 燈泡雖有其優點，但技術仍在發展階段，一些缺點如技術未標準化、光源指向性⁷、色溫隨著溫度及時間的變化而改變、散熱問題，或燈泡壽命的不確定性等，都是消費者選購時需要考慮的因子。假設各廠商產品規格測試的標準具一致性，且燈泡壽命確實如產品所標示，使用億光、台達電、南亞的 LED 燈泡替代省電燈泡不但具成本優勢，且可減少用電量。若單就飛利浦產品的計算結果，LED 除了須克服技術障礙外，亦有成本過高的問題。

二、燈管產品

燈管依發光原理不同可分為螢光燈管與 LED 燈管。商辦場所採用的光源以螢光燈(俗稱日光燈)較為常見，燈管管徑可分為 T8/25.5mm、T5/15.5mm 兩種，以往使用 T8 燈管居多。T5 燈管首次出現於 1995 年，與 T8 燈管相比，其優點包括管徑較小、光源輸出規格種類多、高發光效率、較長的使用壽命與較低的光衰、演色

⁷Otali 目前已推出全周光 LED 燈泡，以特殊導光板設計，增加空間明亮感。

性佳、減少廢棄燈管對環境影響等[3]。LED燈管是將LED晶片安裝於燈管中，發光原理與螢光燈不同，但管徑與T8相近，與T8燈管相比，LED燈管有省電、壽命長、發光效率較高等優點。

T5 與 LED 燈管都具有比 T8 燈管更高的發光效率，因此以該兩種燈管替換 T8 皆可以達到省電的目的，但 T5 與 LED 燈管各有替換成本上的缺點。若以 T5 燈管替換 T8 燈管，因管徑尺寸差異，必須更換燈具，且 T5 燈管需要加裝電子安定器，燈具與電子安定器的價格將墊高替換成本。若以 LED 替換 T8 燈管，雖然無須更換燈具，但燈管成本高且 LED 技術穩定性較差，一樣會使替換成本增加。消費者在現況之下，如何做購買選擇，以下將提供計算結果作為參考。詳細規格比較請參閱附表 5。

由於是研究燈管間的替換關係，因此本研究選擇同為飛利浦製造、長度相近的 T8⁸、T5⁹、LED¹⁰燈管作為比較對象。圖 1-7-8 顯示使用 T5 燈管的燈具成本遠高於 T8 與 LED 燈管，LED 燈管則是價格最高。此外，研究中假設三種燈管都使用 10 年，商業照明每天點燈 12 小時，所得到 10 年總 CO₂ 排放量與總成本結果如圖 1-7-9 與圖 1-7-10。由圖中得知，以當前現況而言，替換長度相近的燈管，LED 燈管流明數會比 T5 燈管少約 31.2%，但使用 LED 燈管的總成本與 CO₂ 排放量則比 T5 燈管低。

⁸採用飛利浦 TLD-18W/54 型。

⁹採用飛利浦 TL5 HE 14W 型。

¹⁰採用飛利浦 MSTR TLED 580mm 10W 型。

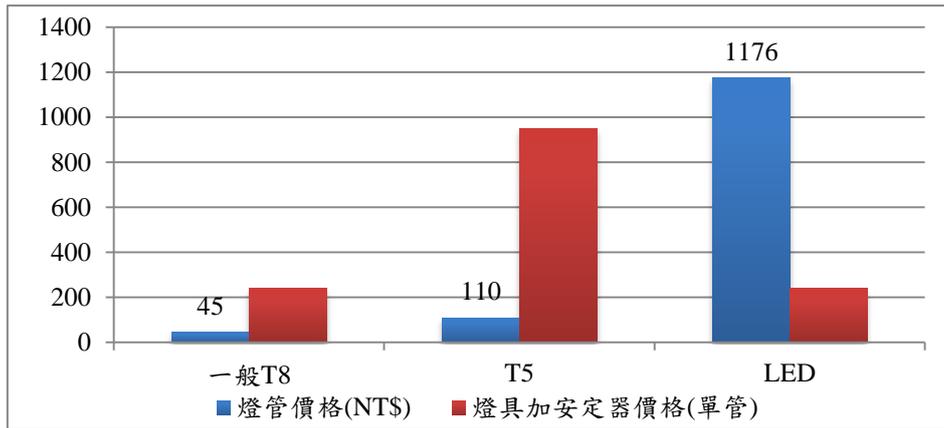


圖 1-7-8：三種燈管與燈具價格比較

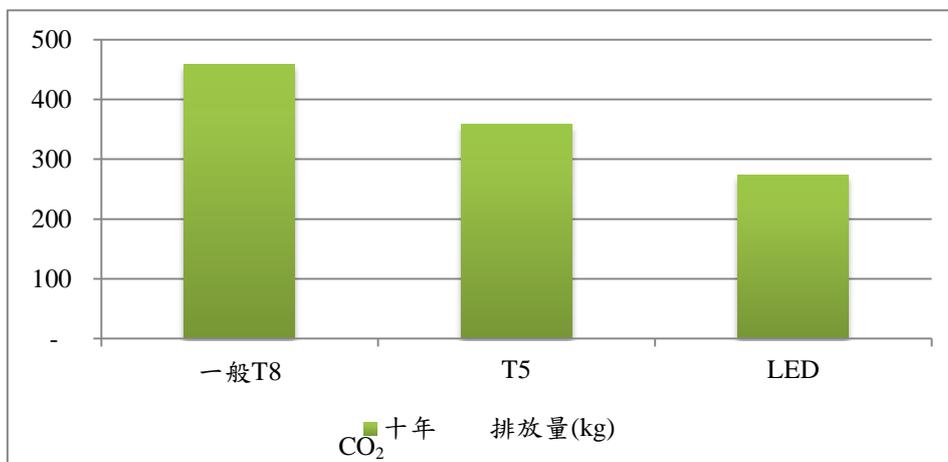


圖 1-7-9：使用三種飛利浦燈管之排放比較

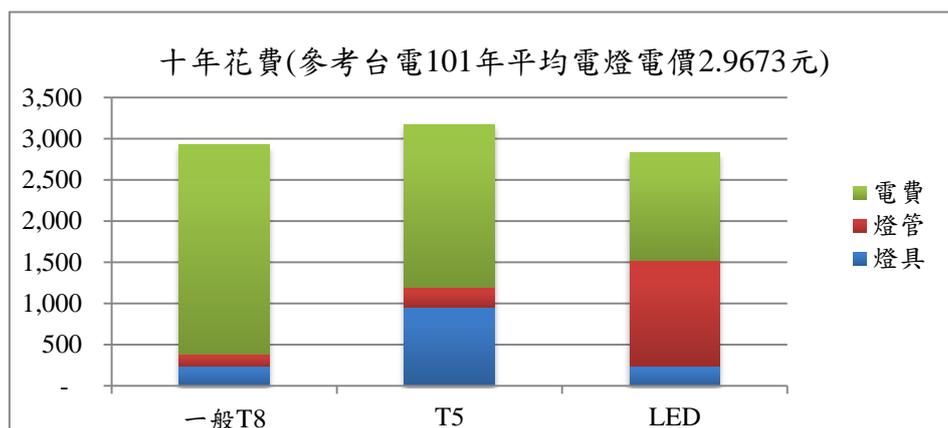


圖 1-7-10：使用三種飛利浦燈管提供 10 年照明之總成本比較¹¹

若將燈管提供的流明數納入考量，即從技術經濟的角度，重新計算上述三種

¹¹燈具成本占 T8、T5、LED 的比例各約 8.2%、30%、8.5%。電費占 T8、T5、LED 的比例各約 86.7%、62%、46%。

燈管的單位時間百萬流明數之成本與 CO₂ 排放量，結果 T5 燈管成本與排放量皆低於 LED 燈管。主要是因為長度約相等的三種燈管，提供的流明數不同，轉換成單位百萬流明數後，會改變相對之成本與排放量大小。LED 燈管提供的流明數比 T5 燈管低，因此經換算後，LED 燈管的單位百萬流明數成本與排放量反而都大於 T5 燈管，不過排放量仍小於 T8 燈管。技術經濟分析顯示，T5 燈管單位時間百萬流明數之成本比 T8 低 5.1%，排放量低 31.6%。LED 燈管單位時間百萬流明數之成本比 T8 高 22.9%，排放量低 24.2%。

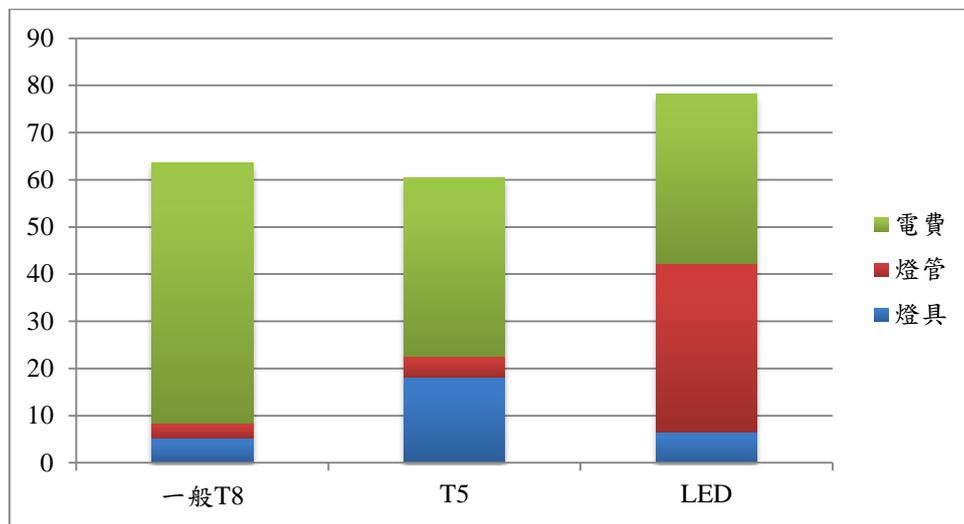


圖 1-7-11：三種飛利浦燈管單位時間百萬流明數之成本(NT\$/Mlm-hr)

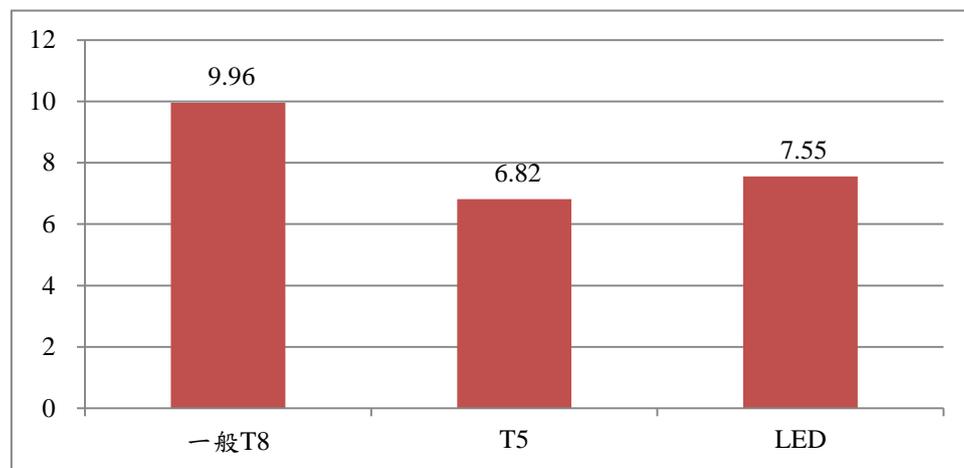


圖 1-7-12：三種飛利浦燈管單位時間百萬流明數之排放量(CO₂-kg/Mlm-hr)

對消費者而言，替換燈管的長度應該是相近的，才不至於需要重新裝潢。計算等長度燈管成本與排放量時，假設使用 10 年、每天點燈 12 小時的情況下，LED 燈管替換 T8 燈管的成本與排放量都較低。但相對的，LED 燈管能提供的流明數亦較低。技術經濟分析的結果而言，目前以 T5 燈管替換 T8 燈管的成本效益並不顯著，儘管 T5 燈管單位時間百萬流明數之成本比 T8 低 5.1%，不過更換為 T5 燈管的過程中，需要更換燈具時的人力與時間成本等，將這些成本算入後，改用 T5 燈管的總成本甚至可能高於繼續使用 T8 燈管。LED 燈管的成本則明顯高於 T8 燈管，不具成本效益。由本節研究結論，消費者目前應該繼續使用原本 T8 燈管，待 T5 燈管或燈具成本降低、LED 燈管技術成熟而價格降低、亦或電價調漲的情況下，再選擇替換 T8 燈管的對象。

三、結論

在節能減碳的趨勢下，照明技術持續進步，技術間的競爭越趨激烈，選擇省電燈泡或 LED 燈泡，是否應該改用 T5 燈管等議題仍無定論。本研究針對燈泡產品分析結果顯示，假設研究中蒐集產品的實際規格正如該產品的標示，目前 LED 燈泡確實比省電燈泡更省電，CO₂ 排放量減少約 6% 至 40%，達到減碳目的。若加入成本因素，消費者應該換用億光、台達電、南亞等台灣廠商製造之 LED 燈泡，成本比省電燈泡低約 19% 至 57%，成本效益優於省電燈泡¹²。飛利浦之 LED

¹²此處成本係指經研究假設、計算過後所得之單位時間百萬流明數之成本。

燈泡則因價格較高，不符合成本效益。燈管產品方面，LED 燈管因技術尚未成熟，不具成本效益。T5 燈具的更換成本高，使得 T5 總成本僅比 T8 低約 5%，而且此差距是假設商業照明每年點燈 4380 小時的情況，若假設住宅照明每年點燈 2000 小時[2]，則 T5 總成本反而比 T8 高約 17%¹³。因此短期間內建議消費者先繼續使用原本 T8 燈管，待 T5 燈具成本降低、LED 燈管技術成熟而價格降低、亦或電價調漲的情況下，再從中選取替換 T8 燈管的對象。

此外，由於國際間目前仍無統一的 LED 檢測標準，可能導致市售產品規格量測標準不一，政府應規定統一檢測標準，讓消費者在選購時，能正確地比較產品的優劣，達到真正符合成本效益又可節能減碳的目標。

四、參考文獻

1. 飛利浦照明產品型錄 2011-2012。
2. 黃孟嬌、劉俊宏、李芷氫(2009)，先進照明產業與技術發展機會探討，工業技術研究產業經濟與趨勢研究中心。
3. 照明系統 Q&A 節能技術手冊，財團法人台灣綠色生產力基金會，2013/01，
<http://www.ecct.org.tw/print/index.htm>
4. 照明節能產品應用手冊，財團法人台灣綠色生產力基金會，2013/01，
<http://www.ecct.org.tw/print/index.htm>
5. LEDinside 網站，2013/01，<http://www.ledinside.com.tw>

¹³此處成本係指經研究假設、計算過後所得之單位時間百萬流明數之成本。

五、附錄

附表 1

燈泡	白熾燈	省電燈泡	LED 燈泡
型號(對應白熾燈 40W)	A55/GLS 40W	Genie 8W	myVision6W
流明(lm)	495	376	350
規格(W)	40	8	6
壽命(hr)	1,000	10,000	15,000
燈泡價格(NT\$)	20 ^[1]	159 ^[2]	499 ^[3]
燈具型號	E27	E27	E27
發光效率(lm/W)	12.4	47	58.3
壽命週期流明總數(lm-hr)	495,000	3,760,000	5,250,000
壽命週期耗電量(kWh)	40	80	90
壽命週期花費 ^[4]	139	396	766
壽命週期 CO ₂ 排放量(kg) ^[5]	21.4	42.9	48.2
單位時間百萬流明數之成本 (NT\$/Mlm-hr)	280.2	105.4	145.9
單位時間百萬流明數之排放量 (CO ₂ -kg/Mlm-hr)	43.3	11.4	9.2

[1]白熾燈泡已停止生產，參考拍賣網站資料。

<http://goods.ruten.com.tw/item/show?21201141737661>

[2]飛利浦官方網站。

<http://www.philips.com.tw/c/energy-saving-light-bulbs/genie-8-w-40-w-e27-warm-white-929689716301/prd/>

[3]飛利浦官方網站。

<http://www.philips.com.tw/c/led-light-bulbs/myvision-6w-40w-e27-warm-white-871829121773200/prd/>

[4]電價參考台電 101 年平均電燈電價 2.9673 元。

[5]CO₂排放量之計算，係以燈泡壽命週期耗電量乘以 100 年能源局公告之電力碳排放係數 0.536 CO₂eq/kWhr。

附表 2

燈泡	飛利浦 省電	東亞省電	億光 LED	台達電 LED	南亞 LED	飛利浦 LED
型號(對應白熾 燈 40W)	Philips Genie 14W (特力屋)	東亞 13W E14 螺旋 省泡 (特力屋)	億光 SL-60A (pchome)	台達電 A6DJ-11AS LLBN (特力屋)	南亞光電 LED 10W (pchome)	Philips Ambient LED 12.5W (特力屋)
流明(lm)	839	754	810	810	800	805
規格(W)	14	13	8	10	10	12.5
壽命(hr)	10,000	4,000	40,000	25,000	40,000	25,000
燈泡價格(NT\$)	169 ^[1]	129 ^[2]	349 ^[3]	439 ^[4]	613 ^[5]	1,599 ^[6]
燈具型號	E27	E27	E27	E27	E27	A19
發光效率(lm/W)	59.9	58.0	101.3	81.0	80.0	64.4
壽命週期流明總 數(lm-hr)	8,390,000	3,016,000	32,400,000	20,250,000	32,000,000	20,125,000
壽命週期耗電量 (kWh)	140	52	320	250	400	312.5
壽命週期花費 ^[7]	584	283	1299	1181	1800	2526
壽命週期 CO ₂ 排 放量(kg) ^[8]	75.0	27.9	171.5	134.0	214.4	167.5
單位時間百萬流 明數之成本 (NT\$/Mlm-hr)	69.7	93.9	40.1	58.3	56.2	125.5
單位時間百萬流 明數之排放量 (CO ₂ -kg/Mlm-hr)	8.9	9.2	5.3	6.6	6.7	8.3

[1] 特力屋購物網。

<http://www.i-house.com.tw/product/detail/id/106049>

[2] 特力屋購物網。

<http://www.i-house.com.tw/product/detail/id/278167>

[3] Pchome 網路購物。

http://shopping.pchome.com.tw/?mod=item&func=exhibit&IT_NO=DEAX1H-A64285579&SR_NO=DEAX4M

[4] 特力屋購物網。 <http://www.i-house.com.tw/product/detail/id/441190>

[5] Pchome 網路購物。

http://shopping.pchome.com.tw/?mod=item&func=exhibit&IT_NO=DEAX28-A64114916&SR_NO=DEAX3T

[6] 特力屋購物網。 <http://www.i-house.com.tw/product/detail/id/429483>

[7] 電價參考台電 101 年平均電燈電價 2.9673 元。

[8]CO₂排放量之計算，係以燈泡壽命週期耗電量乘以100年能源局公告之電力碳排放係數0.536 CO_{2eq}/kWhr。

附表 3

相當於傳統 40W 白熾燈的 LED 燈泡 450-485lm，暖白色，美金，2012 年 10 月					
	高點	低點	平均價	漲跌幅	千流明平均價
日本	25.2	11.8	17.7	-1%	36.6
全球	40.3	8.2	19.2	2%	40.7

1.調查範圍涵蓋美國、英國、韓國、日本。
 2.高點：本期此項目零售價格的最高點。
 3.低點：本期此項目零售價格的最低點。
 4.平均價：本期此項目零售價格的平均值。
 5.千流明平均價：本期此項目平均價的每千流明價格
 6.漲跌幅= (X-Y)/Yx100% X=該項目本期價格 Y=該項目上期價格

資料來源：LEDinside 網站、核研所製表。

附表 4

相當於傳統 60W 白熾燈的 LED 燈泡 800-810lm，暖白色，美金，2012 年 10 月					
	高點	低點	平均價	漲跌幅	千流明平均價
日本	48.0	26.5	34.0	1%	41.1
全球	48.0	15.5	32.0	-2%	39.1

1.調查範圍涵蓋美國、英國、韓國、日本。
 2.高點：本期此項目零售價格的最高點。
 3.低點：本期此項目零售價格的最低點。
 4.平均價：本期此項目零售價格的平均值。
 5.千流明平均價：本期此項目平均價的每千流明價格
 6.漲跌幅= (X-Y)/Yx100% X=該項目本期價格 Y=該項目上期價格

資料來源：LEDinside 網站、核研所製表。

附表 5

燈管	一般 T8	T5	LED
型號(對應螢光燈 20W) ^[1]	TLD-18W/54	TL5 HE 14W	MSTR TLED 580mm 10W 840
流明(lm)	1,050	1,200	825
規格(W)	18	14	10
壽命(hr)	13,000	20,000	40,000
燈管價格(NT\$)	45 ^[2]	110 ^[3]	1,176 ^[4]
燈具加安定器價格(單管) [5]	239 ^[6]	950 ^[7]	239
發光效率(lm/W)	58.3	85.7	82.5
一年時數(hr)	8,760	8,760	8,760
十年時數(hr)	87,600	87,600	87,600
一天開啟 12 小時(利用率) ^[8]	0.5	0.5	0.5
十年發光時數(hr)	43,800	43,800	43,800
十年需要燈管數(支)	3.4	2.2	1.1
十年產生的流明數 (lm-hr)	45,990,000	52,560,000	36,135,000
十年耗電量(kWh) ^[9]	855	668	438
十年花費 ^[10]	2,926	3,174	2,826
十年 CO ₂ 排放量(kg) ^[11]	458.0	358.3	272.9
單位時間百萬流明數之 成本(NT\$/Mlm-hr)	63.6	60.4	78.2
單位時間百萬流明數之 排放量(CO ₂ -kg/Mlm-hr)	9.96	6.82	7.55

[1]選擇燈管長度相近作為比較基礎。

[2] [3]向台灣飛利浦授權經銷商展焯股份有限公司詢價。

[4] Pchome 網路購物。

http://shopping.pchome.com.tw/?mod=item&func=exhibit&IT_NO=CCAC10-A68525624&SR_NO=CCAC10

[5]假設：1.電子安定器比傳統安定器節能 20%。2.燈具與安定器壽命皆為 10 年。

[6]特力屋購物網。<http://www.i-house.com.tw/product/detail/id/234267>

[7]特力屋購物網。<http://www.i-house.com.tw/product/detail/id/166376>

[8]假設商業照明一天開啟 12 小時。

[9]含安定器耗電。

[10]電價參考台電 101 年平均電燈電價 2.9673 元。

[11] CO₂ 排放量之計算，係以燈泡壽命週期耗電量乘以 100 年能源局公告之電力碳排放係數

0.536 CO_{2eq}/kWhr °