



交通部臺灣區國道高速公路局

國道照明應用 LED 路燈可行性評估

差異性評估報告



中興工程顧問股份有限公司

中華民國 101 年 11 月 13 日



國道照明應用LED路燈可行性評估 差異性評估報告

目 錄

第一章	計畫概述	1-1
1.1	計畫起源	1-1
1.2	照明專有名詞解釋	1-2
1.3	工作範圍與對象	1-4
1.4	高速公路之現況及需求	1-4
1.5	工作項目及工作流程	1-7
1.6	工作方法	1-9
1.7	預期工作成果	1-9
第二章	國內外 LED 路燈資料蒐集比較分析	2-1
2.1	LED 應用於道路照明之特性說明	2-1
2.1.1	光源特性	2-4
2.1.2	散熱裝置	2-10
2.1.3	配光裝置	2-11
2.1.4	電氣特性	2-19
2.1.5	機械結構性	2-22
2.2	LED 路燈與傳統路燈性能比較	2-23
2.3	國內外 LED 路燈資料蒐集評估	2-25
2.4	LED 路燈規格差異說明及分析	2-26
第三章	LED 路燈之產品標準規範比較研究	3-1
3.1	國內外 LED 路燈相關標準及準則	3-1
3.1.1	台灣 LED 路燈相關標準	3-2
3.1.2	美國 LED 路燈相關標準	3-3



3.1.3	日本 LED 路燈相關標準	3-5
3.1.4	韓國 LED 路燈相關標準	3-6
3.1.5	中國 LED 路燈相關標準	3-6
3.1.6	歐盟 Zhaga LED 發展	3-7
3.1.7	各國 LED 路燈標準比較	3-10
3.2	國內 LED 路燈標準分析	3-19
3.3	國內外 LED 路燈相關技術規範	3-21
3.3.1	台灣 LED 路燈技術規範	3-21
3.3.2	中國大陸 LED 路燈技術規範	3-28
3.4	國外 LED 路燈案例	3-29
3.5	國內 LED 路燈案例分析	3-30
 第四章 可行性初步評估		4-1
4.1	LED 路燈道路/隧道照明模擬計算分析	4-1
4.1.1	維護係數研討	4-1
4.1.2	道路照明模擬分析說明	4-4
4.1.3	隧道照明模擬分析說明	4-14
4.1.4	高速公路典型隧道照明現況	4-14
4.1.5	隧道照明模擬分析及結果探討	4-19
4.1.6	隧道 LED 燈具建議	4-18
4.2	LED 路燈應用於高速公路之分析	4-22
4.2.1	LED 路燈耗能設施現況	4-22
4.2.2	我國經濟效益分析模型之建立	4-23
 第五章 現勘及規範建議		5-1
5.1	評估設置地點條件	5-1
5.1.1	現勘說明	5-1
5.1.2	訪談紀錄瞭解	5-2

第六章 現階段考量及未來趨勢 6-1

6.1	現階段考量	6-1
6.1.1	模組化的方式	6-1
6.1.2	燈具備品購置問題	6-2
6.1.3	規格未統一化及互換性問題	6-2
6.1.4	清洗維護問題	6-3
6.1.5	智慧照明系統的考量	6-3
6.2	未來趨勢	6-3
6.2.1	LED 光源發光效率的趨勢	6-4
6.2.2	LED 光源色溫及演色性的趨勢	6-5
6.2.3	散熱裝置的趨勢	6-5
6.2.4	配光裝置的趨勢	6-6
6.3	規範建議	6-7

第七章 後續作業說明及結論 7-1

7.1	後續作業說明	7-1
7.1.1	燈具採購方案	7-1
7.1.2	後續量測說明	7-1
7.2	結論	7-2

圖目錄

圖 1.4-1	主線道雙向六車道標準斷面圖	1-5
圖 1.4-2	主線道雙向八車道標準斷面圖	1-5
圖 1.4-3	匝道標準斷面圖	1-6
圖 1.5-1	本評估計畫工作流程	1-8
圖 2.1-1	傳統隧道燈具	2-3
圖 2.1-2	LED 隧道燈具.....	2-3
圖 2.1.1-1	光源發光特性比較	2-4
圖 2.1.1-2	LED 晶粒配光曲線圖	2-4
圖 2.1.1-3	LED 光源發光影響條件	2-5
圖 2.1.1-4	LED 光源工作溫度(Tj)與輸出流明曲線圖	2-5
圖 2.1.1-5	高壓鈉氣燈泡平均壽命曲線圖	2-6
圖 2.1.1-6	LED 光源工作溫度與壽命曲線圖	2-8
圖 2.1.1-7	LED 光源光束維持率與平均壽命曲線圖	2-8
圖 2.1.1-8	光衰壽命 L_{70} 外插法表示圖.....	2-9
圖 2.1.2-1	LED 路燈散熱機構.....	2-10
圖 2.1.3-1	反射板 LED 路燈 1.....	2-12
圖 2.1.3-2	反射板 LED 路燈 2.....	2-13
圖 2.1.3-3	透鏡方式二次光學之配光曲線(對稱式).....	2-14
圖 2.1.3-4	透鏡方式二次光學之配光曲線(偏心式).....	2-14
圖 2.1.3-5	一次光學之配光黃圈	2-14
圖 2.1.3-6	初始與 6000 小時 LED 光源色溫差異比較圖	2-16
圖 2.1.3-7	反應時間與背景亮度曲線圖	2-17
圖 2.1.3-8	大功率白光 LED 封裝結構	2-18
圖 2.1.4-1	LED 路燈系統各部份失效率統計	2-20
圖 2.1.4-2	LED 常見驅動電路模式	2-21
圖 2.1.4-3	LED V-I 特性曲線	2-22
圖 3.1.6-1	熱電阻對應的熱功率	3-9
圖 3.1.6-2	導熱模型	3-9
圖 3.1.6-3	LED 燈具模組和散熱器的示意圖	3-10

圖 3.1.7-1	IES 對於道路照明燈具配光型式示意圖	3-12
圖 3.4-1	各燈具評比	3-30
圖 4.1.1-1	LED 光源工作溫度與光流明輸出關係	4-3
圖 4.1.4-1	新店隧道照明安裝示意圖	4-15
圖 4.1.4-2	新店隧道燈具平面示意圖	4-16
圖 4.1.4-3	蘭潭隧道燈具安裝剖面圖	4-17
圖 4.1.4-4	蘭潭隧道燈具安裝平面示意圖	4-17
圖 4.1.4-5	雪山隧道燈具安裝剖面圖	4-18
圖 4.1.4-6	雪山隧道燈具安裝平面示意圖	4-19
圖 4.1.5-1	新店隧道 LED 燈平面配置示意圖	4-20
圖 4.1.5-2	蘭潭隧道 LED 燈具平面配置圖	4-21
圖 4.2.1-1	台灣路燈光源型態分佈	4-23
圖 4.2.1-2	台灣 LED 路燈累積裝置量	4-23
圖 4.2.3-1	新店隧道示意圖	4-33
圖 6.1.1-1	LED 路燈燈具 1.....	6-2
圖 6.1.2-1	LED 路燈燈具 2.....	6-2
圖 6.2.1-1	LED 發光效率趨勢圖	6-4
圖 6.2.2-1	LED 演色性與色溫發光效率的影響	6-5
圖 6.2.3-1	LED 路燈.....	6-6
圖 6.2.4-1	LED 隧道燈具.....	6-6

表目錄

表 1.4-1	主幹線道現況	1-5
表 1.4-2	匝道現況	1-6
表 2.1-1	LED 燈具與傳統高壓鈉氣燈具差異性	2-2
表 2.1.1-1	LED 光源工作溫度與 L70 壽命關係表	2-8
表 2.1.2-1	LED 燈具散熱方式	2-10
表 2.1.3-1	LED 路燈光學特色	2-11
表 2.1.3-2	LED 路燈平均色溫	2-18
表 2.2-1	傳統高壓鈉氣燈與 LED 燈的比較	2-24
表 2.4-1	各廠商規格差異	2-28
表 3.1.1-1	臺灣 LED 照明標準訂定期程表	3-2
表 3.1.2-1	美國固態照明之產品性能及量測標準	3-4
表 3.1.3-1	日本 LED 照明相關規格	3-6
表 3.1.5-1	中國新發布的 LED 國家標準	3-7
表 3.1.6-1	LED 道路照明產品初始相關色溫	3-8
表 3.1.6-2	演色性分類	3-8
表 3.1.6-3	光通量分類	3-8
表 3.1.7-1	TRL 配光定義	3-13
表 3.1.7-2	LRL 標準定義	3-13
表 3.1.7-3	各國 LED 路燈標準比較	3-16
表 3.2-1	LED 光源特性表	3-20
表 3.3.1-1	LED 路燈性能規範表	3-23
表 3.3.1-2	抽驗項目及數量	3-25
表 3.3.1-3	額定功率 70W~100W 之 LED 路燈電源供應器規格	3-26
表 3.3.1-4	全臺設置 LED 路燈計畫評比項目及配分	3-27
表 3.3.2-1	LED 道路照明產品初始光效要求	3-28
表 3.3.2-2	LED 道路照明產品初始相關色溫	3-29
表 4.1.1-1	一般道路照明衰減係數分類(IESNA PR-08-00)	4-1
表 4.1.1-2	戶外高壓鈉氣燈泡衰減及殘存係數(CIE 154-2003)	4-1

表 4.1.1-3	戶外燈具維護(燈具污物衰減)係數(CIE 154-2003).....	4-2
表 4.1.2-1	主幹線六車道模擬分析(250W HPS)	4-7
表 4.1.2-2	主幹六車道模擬分析(400W HPS)	4-8
表 4.1.2-3	主幹八車道模擬分析(400W HPS)	4-9
表 4.1.2-4	主幹道模擬分析統計	4-10
表 4.1.2-5	匝道模擬分析(150W HPS)	4-11
表 4.1.2-6	匝道模擬分析統計	4-12
表 4.1.2-7	主幹線雙向六車道對稱排列(配光分析)	4-12
表 4.1.2-8	匝道單向雙車道單邊排列(配光分析)	4-13
表 4.1.5-1	新店隧道 LED 燈具模擬分析結果	4-19
表 4.1.5-2	新店隧道 LED 燈具模擬分析結果	4-20
表 4.1.5-3	蘭潭隧道 LED 燈具模擬分析結果	4-21
表 4.1.5-4	北宜高隧道 LED 燈具模擬分析結果	4-22
表 4.2.3-1	2012 主幹線道高壓鈉氣路燈與 LED 路燈經濟效益分析 ...	4-25
表 4.2.3-2	2015 年主幹線道高壓鈉氣路燈與 LED 路燈經濟效益分析	4-28
表 4.2.3-3	2012 匝道高壓鈉氣路燈與 LED 路燈經濟效益分析	4-30
表 4.2.3-4	2015 年匝道高壓鈉氣路燈與 LED 路燈經濟效益分析	4-31
表 4.2.3-5	2012 年隧道高壓鈉氣燈與 LED 路燈經濟效益分析	4-33
表 4.2.3-6	2015 年隧道高壓鈉氣燈與 LED 隧道燈經濟效益分析	4-34
表 5.1.2-1	高壓鈉氣燈具養護維修調查表	5-3
表 5.1.2-2	高壓鈉氣燈具養護維修調查表	5-4
表 5.1.2-3	高壓鈉氣燈具養護維修調查表 (擇主要燈具規格之數處代表路段養護情形填寫).....	5-5
表 6.3-1	LED 路燈主要規範建議表(透鏡方式).....	6-8
表 6.3-2	LED 路燈主要規範建議表(反射板方式).....	6-9
表 6.3-3	90W~125W 之 LED 路燈電源供應器規格.....	6-10

附件 公文處理情形



第一章 計畫概述

1.1 計畫起源

隨著能源的不斷消耗，資源的日益匱乏，溫室效應對人類的危害日趨顯著，大氣環境對地球的污染越來越嚴重，國際上要求節能降耗的呼聲越來越高，當今節約能源成為各國工作的重點之一。而目前我國戶外道路照明約占整個照明用電量的 30%，且由於人車通行所需之路燈數量龐大且使用時間長、耗能高導致碳大量排放，因此國道、高速公路、一般道路照明設施最值得優先推動節能政策。

道路照明的根本目的在於提供用路人良好的視覺環境，指引他們行進，以便提高交通效率，降低夜間的交通事故和犯罪，同時幫助行人看清周圍環境，辨別方向。隨著社會經濟的發展和人民生活水準的不斷提高，人們在夜間到戶外休閒、購物、觀光等活動越來越多，良好的道路照明也起到豐富生活、繁榮經濟和提升城市形象的作用。

按照照明的觀點，道路可分為四大類：汽車專用道路、一般街道、商業街及人行道。通常所講的道路照明，乃指汽車專用道路照明。在道路照明的諸多目的中，為機動車駕駛員提供安全舒適的視覺條件是第一順位的。

現有國內道路照明所採用的光源有水銀燈泡、高壓鈉氣燈泡(HPS)、複金屬燈泡、低壓鈉氣燈泡、無極燈管及 LED 光源等，在目前比較成熟的路燈光源中，以水銀燈泡與高壓鈉氣燈泡運用較廣，而在高速公路上，均採用光效率相對較高的高壓鈉氣燈泡，一般可達 110lm/W 以上。而隨著 LED 光源光效率不斷提升，且具有能耗低、壽命長、演色性佳及易操控等優勢，勢必將成為未來採用的替代光源。

在廣泛的使用 LED 產品之前，必須審慎的評估，包括瞭解 LED 產品的功能性、穩定性、環保性及維護性等，以達到兼顧安全、節能的政策目標。而本計畫將針對 LED 路燈應用於國道照明做可行性評估，並研訂應用於國道道路照明之 LED 路燈規範，使得未來在採購 LED 路燈時，能夠在符合規範下皆適合於國道道路照明。



1.2 照明專有名詞解釋

1. 光度(Luminous intensity)(或光強度) I ，單位：燭光(Candela, cd)。
由點光源在一立體角內所發射出來之光束為一流明時，則該光源之光度為 1 燭光。
2. 光束(Luminous flux)(或光通量) Φ ，單位：流明(Lumen, lm)。
一流明係由點光源以 1 燭光均等光強度放射光線至一公尺等距離之半球表面一平方公尺面積內之輻射通量。
3. 照度(Illuminance) E ，單位：勒克斯(Lux, Lx)。
被照體單位面積上所受之光通量。
4. 輝度(Luminance) L ，單位：燭光/平方公尺(cd/m², nt)。
由光源或反光面上之任一點朝觀測方向發射或反射之單位面積上之光度值。
5. 總均勻度(Overall uniformity)，兩燈桿間最小照度與平均照度之比值。
6. 光源效率(Efficacy of the light source) η ，單位：Lumen/ watt。
光源之全光束與輸入電力之比值。
7. 照明率(Coefficient of utilization) C_u 。
指實際到達受光面內之光束數與燈具光源所輸出之全光束數之比值。
8. 維護係數(Maintenance Factor) MF 。
由於光源之光強度逐漸減退以及燈具等表面之污染，設計時所應考慮之寬容度。燈具維護係數的變動，係視其清洗的時間間隔、空氣污染量、燈具的燈室密封的品質和材料的年限而定。其數值可由燈具設置的現場測量出。燈泡(光源)流明維護率的變化係與燈泡(光源)類型和瓦數有關，其數值通常可從燈泡(光源)製造商取得。
9. 道路照明用電密度(Unit Power Density) UPD ，單位：W/m²。
指道路上每一平方公尺之單位面積與安裝燈具所消耗功率之比值。
10. 眩光(Glare)



視野內產生人眼無法適應之光亮感覺，可能引起厭惡、不舒服甚或喪失明視度。

11. 演色性(Color rendering index)

原始的定義為與日光照射下比較起來，色彩的逼真程度。但是因為日光在晴天以及陰天的差異大，無法做客觀的比較。所以之後演色性的定義改成以白熾燈泡的演色性為 100%作為基準，來判斷相對演色性評價係數(Ra)，評價係數越高，光源的表現越接近自然光。

12. 燈具光效率(luminaire efficiency)

燈具光效率(又稱燈具光輸出比)是用來評估燈具之能源效率的一項重要標準，其值是將裝有光源的燈具所發出之光通量除以所裝光源本身所發出光通量所得之商值。



1.3 工作範圍與對象

本計畫主要的對象為採用 LED 燈具，以平行置換方式汰換傳統燈具。主要的工作範圍包含蒐集資料、可行性評估、現場量測及研訂規範等。

在蒐集資料上，由於本計畫採平行置換方式，故主要分成既設及 LED 產品資料蒐集。在既設資料上，主要包含蒐集既設高速公路主線道、交流道、服務區、辦公區等地區之傳統路燈相關使用規範、路燈配置情況及現有高速公路路燈的養護狀況。在 LED 產品資料，主要包括國內外 LED 路燈市售產品資訊，整理符合平行置換之路燈設計標準與燈具重要特性，如機械結構性、電氣特性、光學特性、防塵防水、耐風、防鹽害及防雷擊能力等產品規格資訊及現有市面上的參考標準、法規與規範等。

在可行性評估上，主要探討 LED 燈具與既有傳統燈具差異性及優缺點，參考 LED 燈具現有標準及規範，考量現有市售 LED 燈具產品，並依照未來技術趨勢、維護及備品的便利性、安全因素及可靠度的觀點，研擬現階段 LED 路燈規範及選定 LED 燈具現場試辦評估地點，並協助業主試辦 LED 路燈發包作業。

在現場量測上，將依照所選定 LED 燈具現場試辦評估地點，做平均照度、平均輝度、均勻度及色溫的量測。

在研訂規範上，將依照現場量測所得的相關資料，並參照當時 LED 燈具產品技術，研訂高速公路將來採購時，所需的工程技術規範。

1.4 高速公路之現況及需求

目前現有高速公路(以中山高速公路為例)路燈設置概況，主要分為主線道、匝道，說明如下：

1. 主線道部分：分為雙向六車道、八車道，其歸納整理如表 1.4-1。

- (1) 雙向六車道，車道寬 3.65 公尺，單邊每隔 40 公尺裝設一盞 250W 之高壓鈉氣路燈，桿高 12 公尺，懸臂長 2.74 公尺，仰角 5 度，路燈採雙邊交錯、對稱排列，如圖 1.4-1。
- (2) 雙向六車道，車道寬 3.65 公尺，單邊每隔 60 公尺裝設一盞 400W 之高壓鈉氣路燈，桿高 12 公尺，懸臂長 2.74 公尺，仰角 5 度，路燈採雙邊交錯、對稱排列，如圖 1.4-1。



- (3) 雙向八車道，車道寬 3.65 公尺，單邊每隔 50 公尺裝設一盞 400W 之高壓鈉氣路燈，桿高 12 公尺，懸臂長 2.74 公尺，仰角 5 度，路燈採雙邊交錯、對稱排列，如圖 1.4-2。

表 1.4-1 主線道現況

主線道	雙向六車道		雙向八車道
車道寬	3.65 公尺		
桿高	12 公尺		
懸臂長	2.74 公尺		
仰角	5 度		
燈具排列方式	雙邊交錯、對稱排列		
單邊燈具間隔	40 公尺	60 公尺	50 公尺
燈具消耗功率	250W HPS	400W HPS	400W HPS

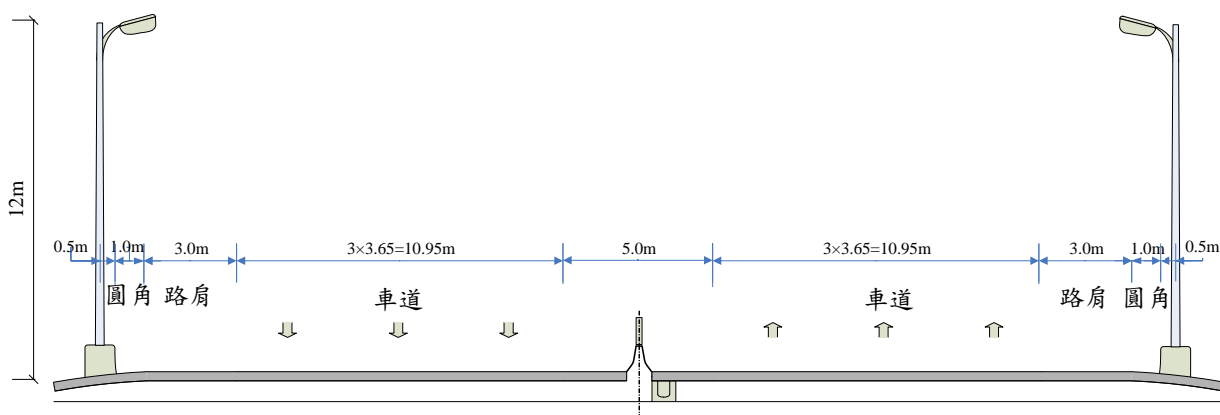


圖 1.4-1 主線道雙向六車道標準斷面圖

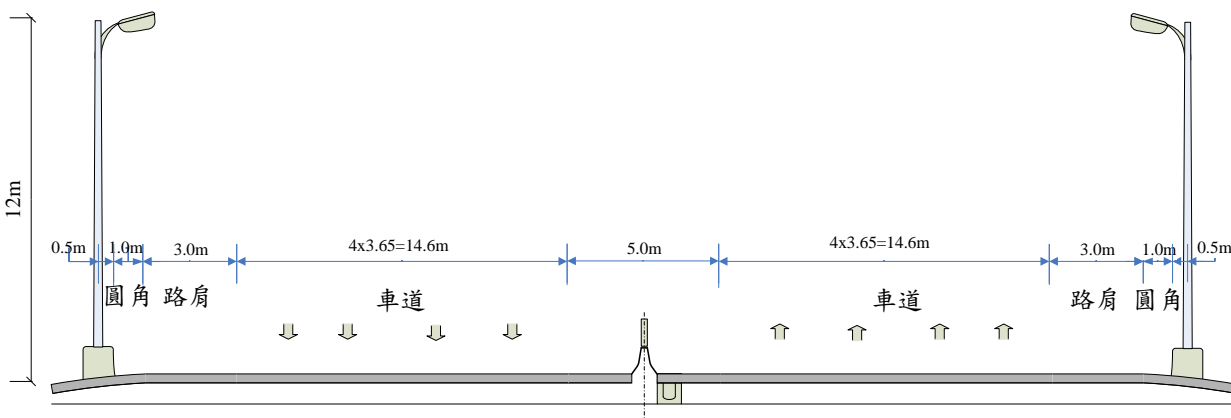


圖 1.4-2 主線道雙向八車道標準斷面圖



2. 匝道部分：分為單向單車道、單向雙車道，其歸納整理如表 1.4-2 標準斷面圖可參考圖 1.4-3。

- (1) 單向單車道，車道寬 4.5 公尺，單邊每隔 35 公尺裝設一盞 150W 之高壓鈉氣路燈，桿高 10 公尺，懸臂長 2.74 公尺，仰角 5 度，路燈採單邊排列。
- (2) 單向雙車道，車道寬 3.75 公尺，單邊每隔 30 公尺裝設一盞 150W 之高壓鈉氣路燈，桿高 10 公尺，懸臂長 2.74 公尺，仰角 5 度，路燈採單邊排列。

表 1.4-2 匝道現況

匝道	單向單車道	單向雙車道
車道寬	4.5 公尺	3.75 公尺
桿高	10 公尺	
懸臂長	2.74 公尺	
仰角	5 度	
燈具排列方式	單邊排列	
單邊燈具間隔	35 公尺	30 公尺
燈具消耗功率	150W HPS	150W HPS

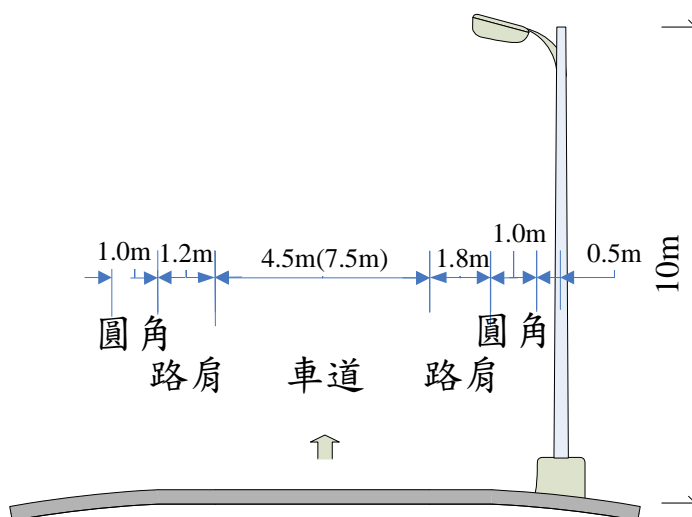


圖 1.4-3 匝道標準斷面圖

對於本計畫照度需求，將依據國道新建工程局之「國道公路照明設計準則」規定，高速公路之照明標準平均照度需 15 Lux(約 1cd/m^2) 以上，最低照度與平均照度比必須大於 1：3，眩光限制 (T.I.) $\leq 15\%$ 。



1.5 工作項目及工作流程

1. 本計畫之工作內容與項目包括：
 - (1) 蒐集高公局現有傳統路燈規範及配置方式原則
 - (2) 蒐集國內、外 LED 路燈之相關標準、規範。
 - (3) 蒐集國內 LED 路燈市售產品資訊、配光曲線，並整理其中符合路燈設計之重要特性。
 - (4) 依所蒐集的資料，做 LED 與傳統燈具差異性評估分析。
 - (5) 制定 LED 路燈規範，其主要內容包含：型式、構造、性能(含配光、溫升、輸入電流及耗能等)及檢驗。
 - (6) 擬訂試辦計畫進行 LED 路燈安裝工程，協助業主於採購期間必要之技術諮詢及後續驗收作業。
 - (7) 辦理 LED 路燈試辦計畫之各項成效量測作業，並進行成效評估。
2. 本評估計畫工作流程如圖 1.5-1 所示。

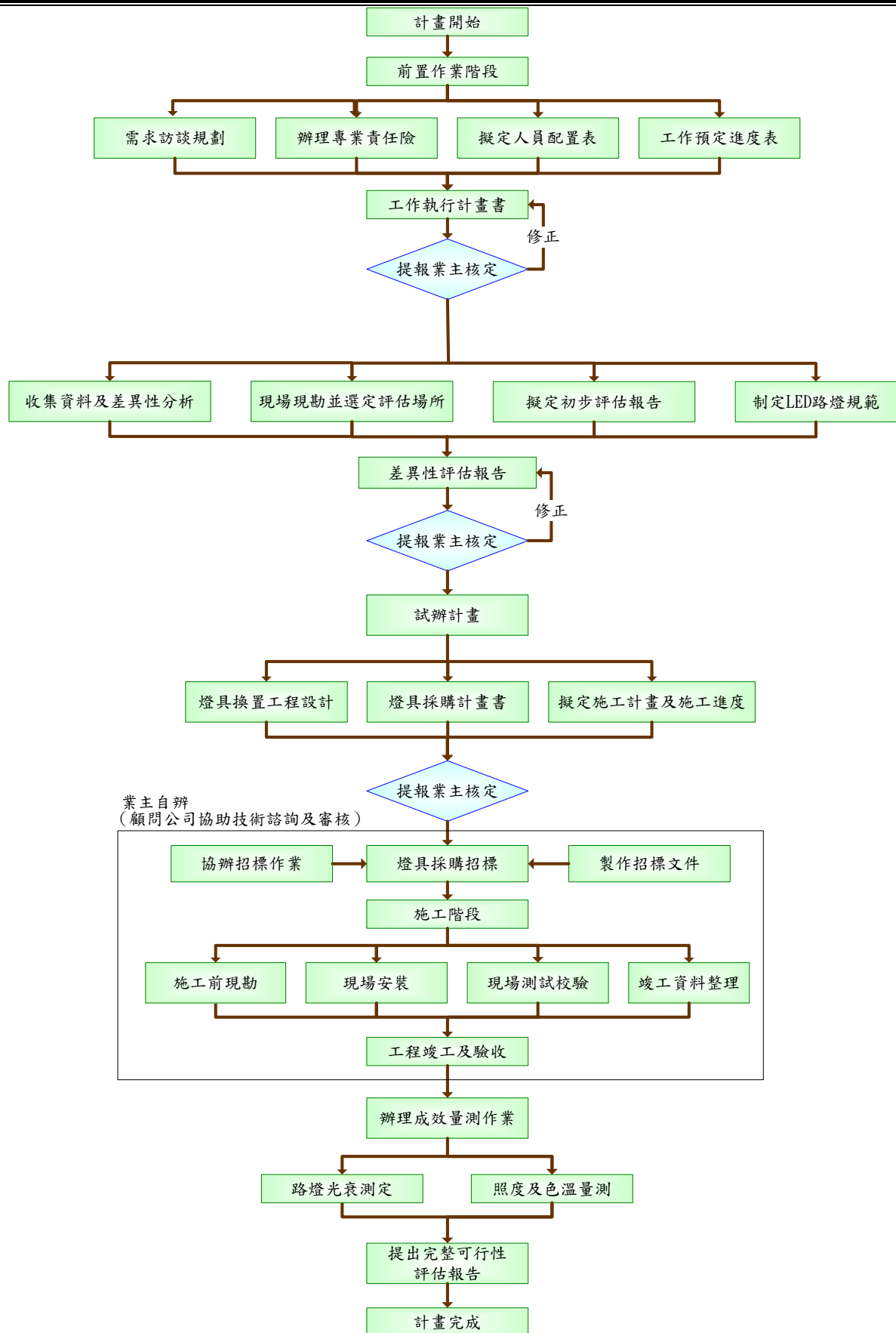


圖 1.5-1 本評估計畫工作流程



1.6 工作方法

1. 蒐集國內、外 LED 燈具之相關規範、標準及國道高速公路局(以下簡稱 貴局)所管轄高速公路主線道、交流道、服務區與辦公區設置路燈之概況及規範，並研提 貴局應用於高速公路主線道、交流道、服務區與辦公區以平行置換方式，更換設置 LED 路燈之評估及建議。
2. 蒐集國內 LED 路燈市售產品資訊，整理符合前項路燈設計標準之情形與燈具重要特性，如機械結構性、電氣特性、光學特性、耐風及防鹽害等產品規格資訊。
3. 將蒐集來之國內外 LED 路燈配光曲線資料，並採用電腦分析套入 貴局所提供之高速公路主線道及匝道條件，以評估置換後可達到原平均照度、T.I.眩光值及均勻度之要求，再執行平行置換 LED 燈具後，並與傳統路燈比較做差異性分析。
4. 訪談 貴局路燈養護同仁有關維護困難或建議應納入評估事項，再綜合前兩項成果，進行高速公路主線道、交流道、隧道、服務區與辦公區應用 LED 路燈之可行性初步評估。
5. 依據前項初步評估結果，就可行部分擬訂試辦計畫(含後續成效評估)，並進行燈具置換之相關設計，研提 LED 路燈換裝(約 30 盞燈具)之工程採購計畫書。而 LED 燈具裝設地點由本公司提出建議位置並會同 貴局相關單位討論後擇定。
6. 辦理 貴局 LED 路燈試辦計畫之各項成效量測作業，量測期間為裝設後完工起算 3 年內，量測頻率每季 1 次，量測項目包括燈具光衰、照度\輝度(含平均照度\輝度、最小照度\輝度、最大照度\輝度及均勻度、色溫)等項目，並依照量測數據進行成效評估，提出完整的可行性評估報告及參照當時市場 LED 路燈效能，修訂 LED 路燈規範。

1.7 預期工作成果

本評估計畫預期研究成果如下：

1. 蒐集國內、外 LED 路燈市售產品資訊，並分析傳統路燈與 LED 路燈產品優劣性，以瞭解 LED 路燈產品日後發展趨勢。
2. 蒐集國內、外道路照明相關規範，並提出應用於國道 LED 路燈照明規範之研訂。



3. 完成國道應用 LED 路燈照明之可行性評估報告。



第二章 國內外 LED 路燈資料蒐集比較分析

2.1 LED 應用於道路照明之特性說明

本章主要針對 LED 燈具與傳統高壓鈉氣燈具的差別，除對於產品的經濟效益及道路使用的安全性與舒適性考量外，對於將來 LED 燈具散熱機構的維護、清洗問題，產品模組化的換裝問題及產品未規格化的採購問題，燈具加裝透鏡所產生的色散問題及長期使用所產生的色偏問題，來說明其間的差異性，藉以評估，將來在替換上所遇到安裝維護保養及便利性的問題。

LED 燈具照明技術涵蓋光電半導體、LED 晶片封裝、光學設計、熱學、燈具系統整合、電子驅動控制、美學、耐候、人體視覺現象等，是非常複雜的跨領域整合科技。先就其與傳統高壓鈉氣燈具差異性，如表 2.1-1 可發現，無論在光源、散熱裝置、配光裝置、電特性及燈具機械結構性上，均有很大的差異。尤其是在燈具配光裝置上，以現有高速公路上隧道照明所採用的燈具為例，一般採用的主要光源為 T5 或 T8 日光燈管或高壓鈉氣燈泡，基本上配光方式均採用反射板方式，來處理其配光形式，如圖 2.1-1 所示，但因 LED 光源特性，造成配光裝置的多樣性與傳統光源採用同一方式配光，明顯不同，如圖 2.1-2 所示，由於其配光裝置的差異性很大，恐會造成將來在燈具維護上的困擾，依照其特性上的差異，說明如下，對於所衍生出來的問題，將在後續說明。



表 2.1-1 LED 燈具與傳統高壓鈉氣燈具差異性

	高壓鈉氣燈具	LED 燈具
光源	<p>單顆。</p> <p>360 度發光，各方向光強度一樣。</p> <p>流明數、色溫不受溫度影響。</p> <p>色溫及演色性大多固定(一般為 2200K 及 CRI 25)</p> <p>規格化產品。</p>	<p>多顆。</p> <p>指向性發光(一般為 120 度發光角)，各方向光強度大小不一樣(一般發光角為中心光強度的一半)。</p> <p>流明數、色溫受溫度影響較大，在使用期間，容易產生色偏情況。</p> <p>色溫及演色性，可藉由螢光粉改變，故選擇性(一般為 2700K~6500K, CRI 65~85)較多。</p> <p>光源各家產品均有規格化，但流明數誤差大(一般相同產品，有$\pm 7\%$誤差)。</p>
散熱裝置	無	<p>設置散熱裝置包含散熱機構(一般採自然鰭片散熱、風扇強制散熱、迴路熱管散熱)及導熱機構(一般為導熱膏或導熱片，具有均熱及將 LED 熱源導引至散熱機構功能)</p>
配光裝置	<p>導光方式，一般採用反射罩。</p> <p>交通工程手冊之燈具配光之光強度分佈採用 IESNA 規定</p>	<p>分光方式，一般採用分光反射板、凸透鏡及調整投射角度加遮光板三種方式。</p> <p>凸透鏡具有分光分色特性，故一般會產生色散問題。</p> <p>CNS 15233 燈具配光之光強度限制水平角 $65^{\circ} \sim 95^{\circ}$ 在垂直角 70°、65°、60° 之光通量，與 IESNA 規定不同</p>
電氣特性	<p>安定器(規格化)包含啟動裝置，供應方式採交流變交流方式，構造簡單，但操控性差。依其名稱、型式、類別、適用光源之種類與大小額定電壓及額定頻率、防塵防水等級稱之。</p>	<p>電源供應器(無一致性規格)，供應方式採交流變直流方式，有定電壓型、定電流型及 PWM(脈衝寬度調變)型等三種方式，一般採定電流型、需調光採 PWM 型是基本需求。</p> <p>由於構造較安定器複雜，且多為電子產品，故對於雷擊保護及交流變直流方式對於諧波問題均須注意，此外戶外環境使用環境差異大，產品失效比例高。</p>
燈具機械結構性	CNS 9118 之「一般構造」規定	<p>收集市售產品分析比較，採自然鰭片散熱外型受限，對於燈具風阻係數，必定受影響，耐風問題需考量。</p>



來源:THORN

(a)日光燈管隧道燈(b)高壓鈉氣隧道燈

圖 2.1-1 傳統隧道燈具



來源:THORN、GE、PHILIPS

(a)調整投射角度加遮光板方式 (b)分光反射板方式 (c) 凸透鏡方式

圖 2.1-2 LED 隧道燈具



2.1.1 光源特性

1. 發光特性

LED 路燈與傳統路燈，在光源特性上，最大的差異，來自於發光特性上，由圖 2.1.1-1 所示，傳統光源在發光角度上為 360 度，且其各方向光強度均一致，而 LED 光源，一般為指向性光源，也就是發光角度與強度均會不同，例如現有 LED 光源，一般發光形式採用朗伯型，依圖 2.1.1-2 所示，也就是發光角度為 120 度時，在 60 度角光強度為中心光強度(0 度)的一半。

另外 LED 光源受溫度影響很大，而傳統高壓鈉氣燈泡不受周溫影響，依圖 2.1.1-4 所示，一般約 60°C 溫差，有 13% 的光衰。



(a)傳統光源

(b)LED 光源

圖 2.1.1-1 光源發光特性比較

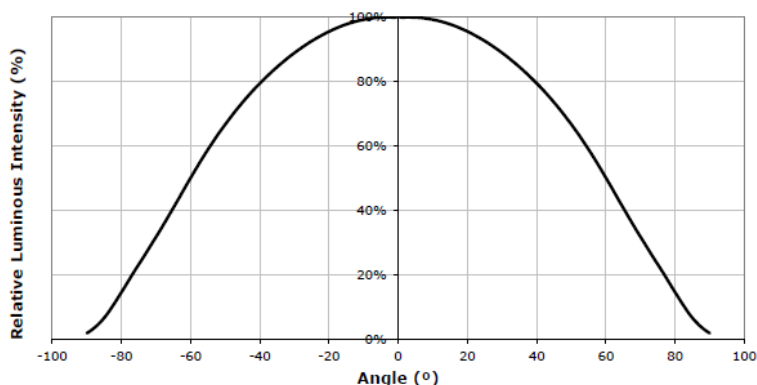


圖 2.1.1-2 LED 晶粒配光曲線圖



2. 輸出流明影響條件

傳統高壓鈉氣燈泡輸出流明與功率成正比，不受周溫的影響，而依圖 2.1.1-3 所示，LED 光源輸出流明受工作電流及熱(也就是工作溫度)的影響，圖 2.1.1-4 所示，一般約 60°C 溫差，有 13% 的光衰。

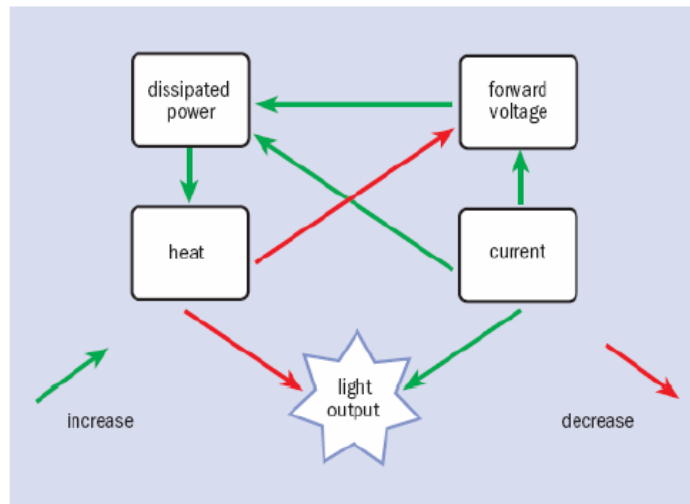


圖 2.1.1-3 LED 光源發光影響條件

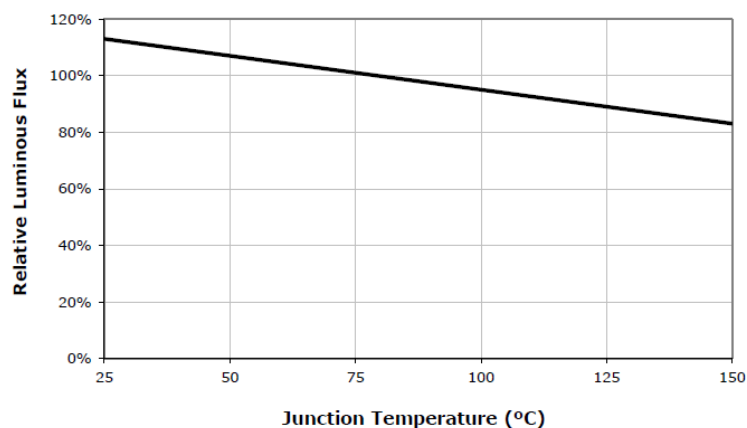


圖 2.1.1-4 LED 光源工作溫度(Tj)與輸出流明曲線圖

3. 光源數量

一般在傳統路燈，單一燈具，只具有一個光源，而 LED 路燈，由於光源瓦數小，通常需要多顆晶粒組成，故單一燈具具有多顆光源組合而成。

4. 演色性及色溫

高壓鈉氣燈泡發光原理是採用激發鈉分子成高蒸氣壓，而獲

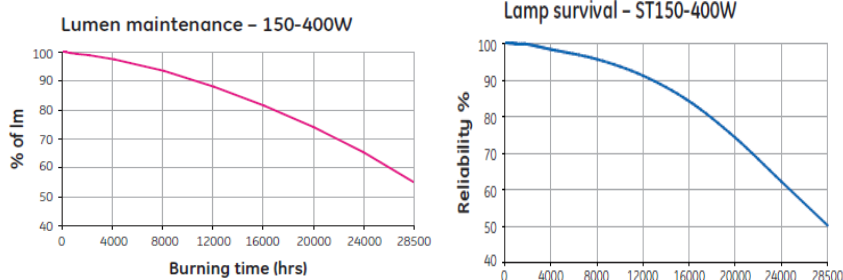


得可視有效光流明值，由於是直接發光，故通常演色性及色溫較無變化，一般色溫約為 2200K，呈現黃橙色，演色性非常差，CRI 約 25 左右。而現有 LED 燈光源，大多使用發出藍光光色的二極體，藉由其表面黃色螢光粉塗層，因其補色關係，產生白色光源。由於其發光方式可藉由螢光粉成份不同，改變其色溫及演色性，故選擇性(一般為 2700K~6500K，CRI 65~85)較多。但一般 LED 光源色溫越低及演色性越高，輸出流明數相對會降低。

5. 壽命(hr)

一般所謂的壽命，分成平均壽命及經濟壽命(使用生命週期)兩種，而傳統燈泡平均壽命主要由兩個方式來決定，均以點亮 11 小時 45 分鐘，熄滅 15 分方式，每 12 小時為週期連續點燈，一個是光束維持率降至初光束的 50% 為止，另一個是抽樣燈泡 50% 不亮為止，那一個先到即為燈泡之平均壽命。依圖 2.1.1-5，傳統高壓鈉氣燈泡平均壽命曲線圖，在點燈 28500 小時，殘存率到達 50% 時，光束維持率約 55%，故依其定義此燈泡平均壽命為 28500 小時。

由於平均壽命，在實際使用上，非常不經濟，如以光束維持率 50% 計算，初期點燈時，路面實際照度高達需照度兩倍以上，且在點燈後期，損壞率偏高，故一般工程上，以光束維持率 90%，定為其經濟壽命，依圖 2.1.1-5，其經濟壽命約 12000 小時。



來源: GE

(a)光束維持率曲線 (b)殘存率曲線

圖 2.1.1-5 高壓鈉氣燈泡平均壽命曲線圖

目前 LED 光源壽命在認定上，有兩個問題點，第一個其壽命受工作溫度(T_j)及工作電流影響，第二個由於壽命長，無法評估其殘存率及其光束維持率。

由於一般 LED 光源受工作溫度影響很大，除輸出流明的影

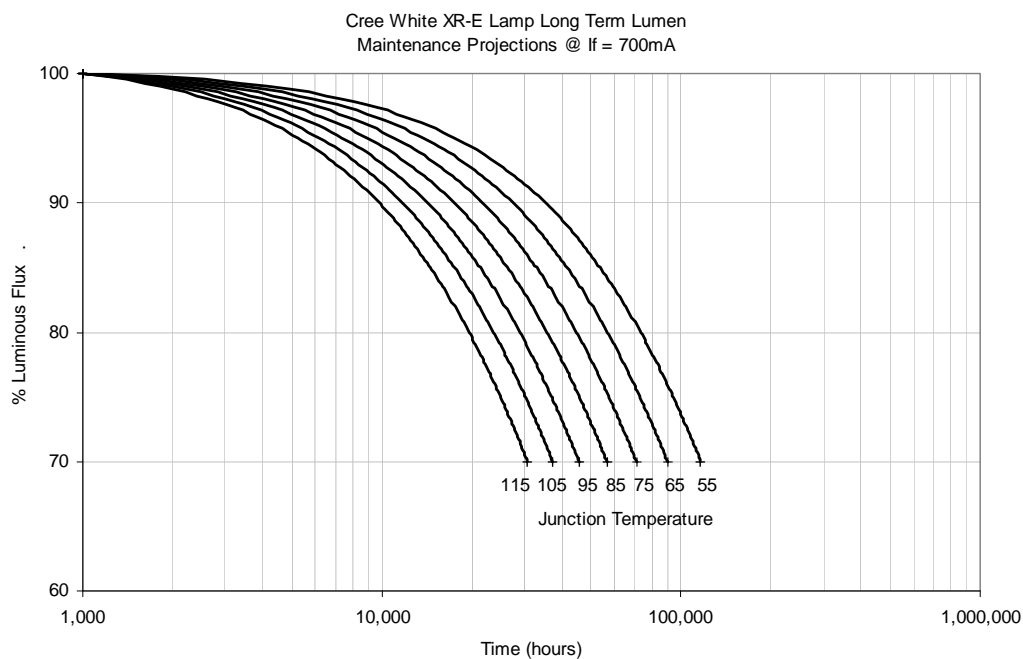


響外，對於壽命也有影響，依圖 2.1.1-6 及表 2.1.1-1 可知，工作溫度約上升 30°C，壽命減少一半。

現有一般 LED 光源壽命係依據光衰(Lumen Maintenance)來推算的，在一定之電流及溫度下，以某一固定時間量測其光衰情形，然而要測試多少時間才足夠呢？依圖 2.1.1-7，可發現一般 LED 光源，如以 1000 小時作為初始流明的情況，當在 5000 小時後，甚至比初始流明還高，故依 IES LM-80-08 標準，這也是現有大部份 LED 晶粒廠商推估 LED 光源壽命的方法，也就是計算壽命，非實際實測值。

其方式是以在工作電流下，一般分別有 0.35A，0.7A 及 1A，周溫為 55°C 及 85°C，另外由 LED 廠商自行決定（如 Philips 訂為 120°C），並依據美國能源之星至少以 6000 小時為量測時間，採用外插法推算光衰 70% 作為其計算壽命值，一般以 $L_{70}(6K)$ 來表示此條件下計算出來之壽命，其 6,000 小時光衰若為 94.1，表示 $L_{70}(6K)=35,000$ 小時，6,000 小時光衰 91.8 表示 $L_{70}(6K)=25,000$ 小時，如圖 2.1.1-8 所示，其 6,000 小時光衰可能僅有 1%（依據其 10,000 小時光衰 1.8%），其 L_{70} 達 148,000 小時。

由以上的說明可發現，採用推估值方式，年限越大，可能和實際壽命誤差越大，故依據美國能源局針對 IES LM-80-08，使用壽命認定問題，另訂一個 TM-21 規定，原則採用 LED 光源測試時間做計算推估外，但其平均壽命，不得大於測量時間的 6 倍，如圖 2.1.1-8 所示，依據其 10,000 小時光衰 1.8% 計算，其 L_{70} 達 148,000 小時，超過測量時間 6 倍，故依 TM-21 規定，其 LED 光源計算壽命，應為 60,000 小時，非 148,000 小時，使用此方式可彌補計算的誤差。另依據傳統燈泡以光束維持率 90% 作為其經濟壽命，故在評估 LED 光源之經濟壽命，也依此方式計算。

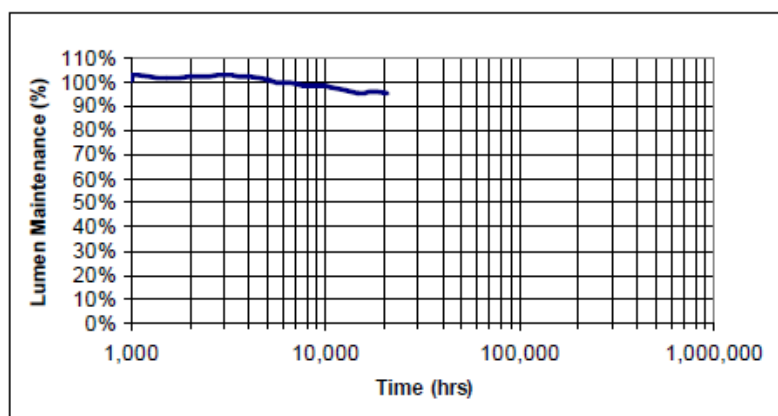


來源:美國 CREE

圖 2.1.1-6 LED 光源工作溫度與壽命曲線圖

表 2.1.1-1 LED 光源工作溫度與 L70 壽命關係表

工作溫度 $T_j(^{\circ}\text{C})$	55	65	75	85	95	105	115
L70(小時)	116,455	90,141	70,927	56,515	45,591	37,198	30,671



XLamp 7090: Cool White
@ 700 mA (~ 3 W)

來源: CREE

圖 2.1.1-7 LED 光源光束維持率與平均壽命曲線圖

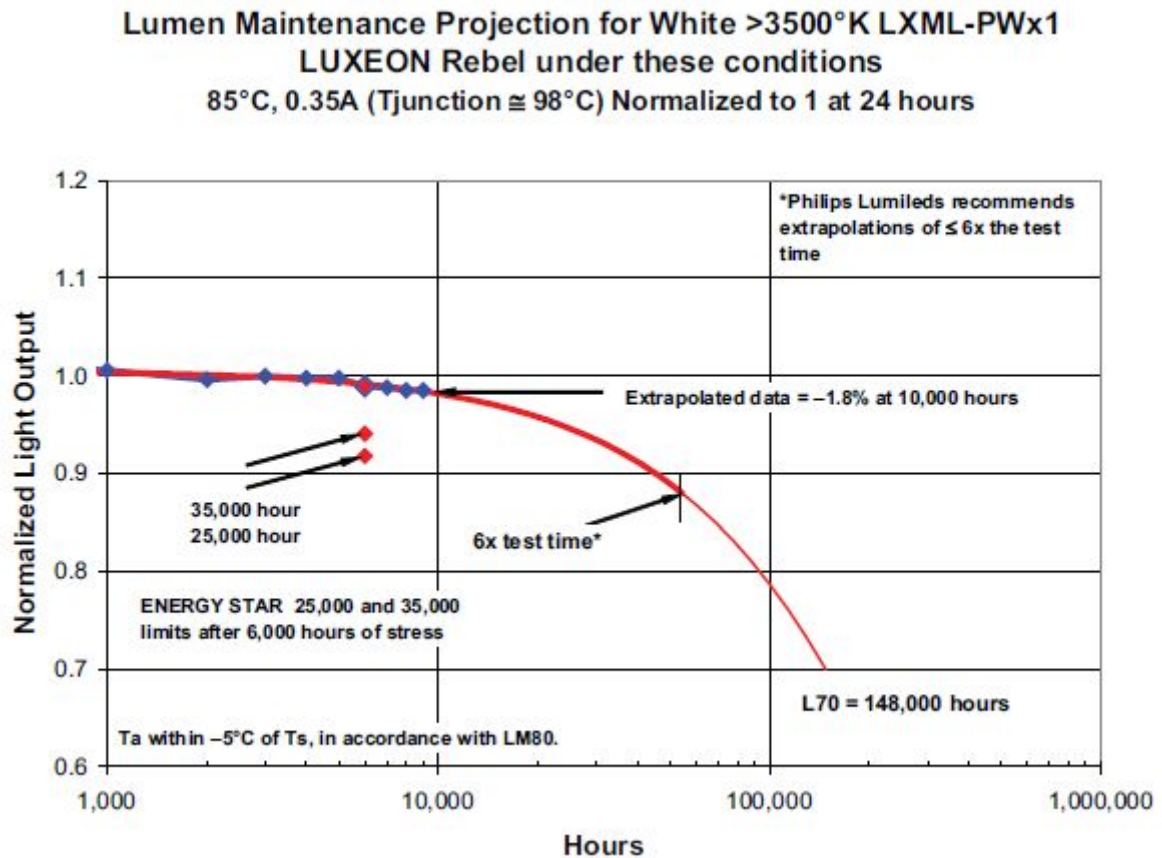


圖 2.1.1-8 光衰壽命 L₇₀ 外插法表示圖

來源：Philips 白皮書“Evaluating the Lifetime Behavior of LED Systems”需維護之設備



2.1.2 散熱裝置

LED 路燈所採用的 LED 光源，由於輸出流明受工作溫度影響很大，故通常會加裝散熱裝置來降低工作溫度與傳統路燈有很大的不同。目前 LED 路燈燈具的散熱方式主要有：自然對流散熱、加裝風扇強制散熱、熱管熱交換等，表 2.1.2-1 為三種方式之比較。

表 2.1.2-1 LED 燈具散熱方式

散熱方式	自然對流	加裝風扇	熱管熱交換
機械結構	中	簡單	複雜
可靠度	高	低	中
散熱效果	佳	佳	佳



(a)加裝風扇



(b)熱管熱交換



(c)自然對流圖

加裝風扇強制散熱方式系統雖簡單，散熱效果較佳，但當風扇無法運作時，立即會造成過熱現象，而造成 LED 路燈損壞，故一般會加裝溫控開關，當燈具內溫度過高時，立即跳脫電源，以保護光機模組。另由於加裝風扇強制散熱方式必須靠進出風口，才能將熱源帶出燈具外，而高速公路車流量較大，故車輛所排放煙塵，必定會進入燈具內，造成燈具效能下降，且將來維護上多一個機構外，在清洗上也是一大問題。

熱管熱交換散熱方式，使用的散熱設備為迴路熱管 (LHP)，係內含化學液體的封閉循環銅管與玻璃管，液體就會週而復始地在 LHP 中進行降溫。而其缺點為冷凝管中所含的低比熱化學液體經過長時間加熱及降溫後，容易產生不可循環之化學變化，而冷凝效果衰退後，銅管內液體溫度升高，使得 LHP 在高熱能下進行循環動作，進而導致散熱效果下降，造成 LED 光源效能下降，甚至進而損壞。另外，冷凝管使用之材料為玻璃，與銅管連接後極為脆弱，因台灣處於環太平洋地震帶上，若裝設前、後產生輕微碰撞或是發生地震；燈具內部散熱系統極易受到損傷。而一旦散熱系統損壞，就會導致 LED



晶片整組燒毀，相對使得維護費用大幅提高。

自然對流散熱方式，屬被動散熱機構，也就是除了一般清洗外不需要加以維護，其散熱面位於上面以及體型受限制較小等有利於空氣自然對流散熱的優點，其缺點為為了增加散熱面積，通常採鰭片式散熱機構，而高速公路車流量較大，故車輛所排放煙塵，容易在散熱機構積塵，造成燈具效能下降，清洗上也是一大問題，不過未來由於 LED 光源發光效率不斷提升，相對熱源將減少，現在已有廠家出現不用鰭片方式的自然對流散熱方式，在燈具外殼構造上已接近傳統路燈，所以 LED 路燈將來應該是朝向自然對流散熱方式發展。

2.1.3 配光裝置

由於傳統路燈採用大瓦數點光源，故一般透過高反射率之純鋁板做成，安裝於光源背後，以達到想要之任何形狀之配光曲線，目前 LED 燈具採用 LED 光源係為平面形狀，且為具指向性小瓦數點光源，與傳統光源為橢圓或管狀有相當大之差別，故配光方式可採用分光反射板、凸透鏡及調整投射角度加遮光板三種方式。此三種方式，主要藉由光學透鏡或反射板進行二次光學設計來達到燈具所需要的照明效果，但是兩者皆會吸收部分的光，造成降低燈具效率。以下將摘要說明該兩者之區分與應用。

目前市售 LED 路燈種類眾多，對於光學設計形式以凸透鏡式居多，針對其功能特色概略說明如表 2.1.3.-1 所述。

另外由於 LED 所採用的光源及配光裝置，所衍生出來的色偏及色散問題，一併加以討論。

表 2.1.3-1 LED 路燈光學特色

LED 路燈光學形式	反射板	凸透鏡
設計理論	反射定律	折射定律
燈具成本	較高	較低
燈具光束角	設計難度高	設計難度中
配光曲線	光形較不穩定	光形較穩定
光學元件壽命	長	易產生黃化
色散(黃圈)現象	較不易產生	易產生

1. 反射板

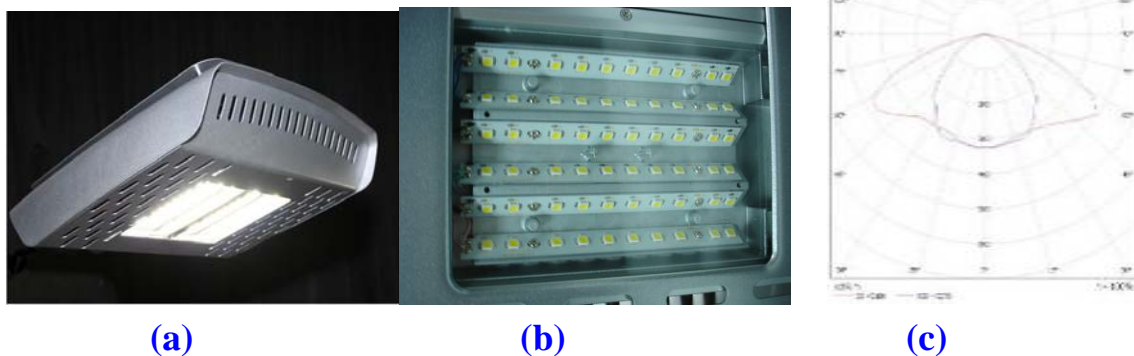
LED 光源發光強度隨角度而不同，故反射板 LED 路燈之光束控制方式，明顯與傳統路燈不同，一般採用的方式有兩種，一



種是調整投射角度及加裝遮光板方式，圖 2.1.3-1，此方式藉由 LED 光源指向性的特點，依照所需發光角度及配光做光源位置角度的調整，由於採直接投射方式，故通常具有較低的配光損失，然而針對雜散光的抑制卻有一定難度，故其邊緣光型通常呈現圓滑弧線，且對於橫向配光，則受制於光源本身配光的影響，通常很難將光形做偏心處理。

另一種採用分光方式處理，圖 2.1.3-2，該燈具針對路面輝度均勻之概念而開發反射式光機模組，將 LED 光源分成多個光機模組，依照所需配光，自由組合成多種配光形態，且能有效控制遮光部分，然此種方式對於廠家需有一定的道路照明概念及配光設計能力，是比較複雜的方式。

由圖 2.1.3-1 及圖 2.1.3-2 之配光曲線可發現，由於反射板方式配光是採用多光源組合而成，對於配光光形明顯有齒狀發生，故將來對於廠家在 LED 光源的選用及散熱機構的均熱能力均是一大考驗，否則容易在使用一段時間後，因各光源光衰不同，易造成光形的改變。



來源: TREND

(a)燈具外形 (b)光學結構(c)配光曲線

圖 2.1.3-1 反射板 LED 路燈 1



來源: GE

(a)燈具外形 (b)光學結構(c)配光曲線

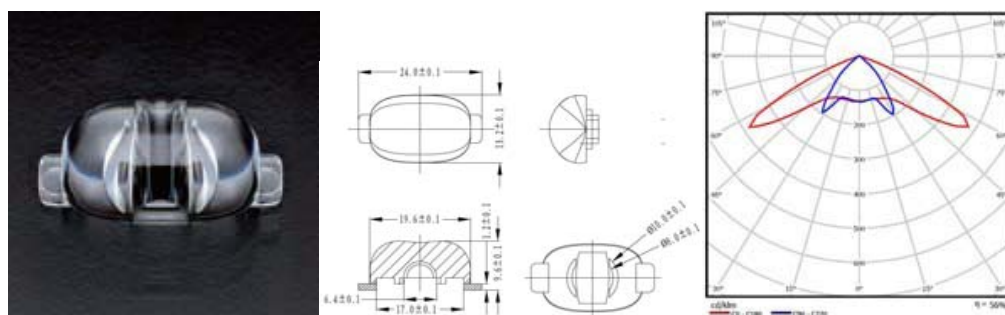
圖 2.1.3-2 反射板 LED 路燈 2

2. 凸透鏡

一般凸透鏡 LED 路燈透過二次光學透鏡，針對每個小瓦數 LED 光源作分光處理，由於每個點光源非常小，故可精確控制光束出射方向，其配光曲線之邊緣光型通常可呈現較為明確之曲線，尤其是對稱型配光方式，如圖 2.1.3-3，一般技術性相對較反射板方便，且由於是針對每個光源做配光處理，對於 LED 光源光衰所造成光形的改變影響較小，因此現有國內廠家均採用此方式，然而對於一般路燈，均裝設於路側，在較寬的道路或高速公路上，在橫向配光上需做偏心處理，而在縱向配光需做大角度展開，故在配光設計上往往會顧此失彼，由圖 2.1.3-4，很明顯看出對於非對稱能力較反射板弱。

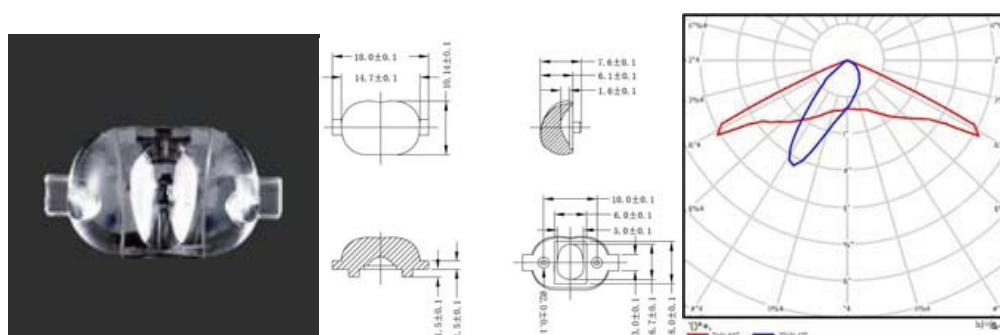
以市售透鏡大多採用 PMMA(壓克力)材質加工製成，其耐熱性為元件壽命之一大考量，故經常造成透鏡黃化現象，使得燈具出光率大幅衰減，嚴重影響道路照明效果，為改善此問題改以 PC(polycarbonate)材質取代，提高其耐熱性；此外，倘若選擇品質不佳的 LED 晶粒，其於一次光學封裝加工即產生黃圈現象，如圖 2.1.3-5 所示，左圖較右圖有較明顯黃圈，在二次光學的應用匹配不當時，該現象將會更加顯著。

由於配光光源小，往往只要透鏡或光源稍微偏離一下，就會造成光形的改變，故對於廠商生產品質就非常重要。



來源: LEDLINK

圖 2.1.3-3 透鏡方式二次光學之配光曲線(對稱式)



來源: LEDLINK

圖 2.1.3-4 透鏡方式二次光學之配光曲線(偏心式)



圖 2.1.3-5 一次光學之配光黃圈

3. 色偏與色散

LED 燈具由於採用的光源及配光方式，所衍生出來的色偏及色散問題，對於道路使用者來說，會產生或多或少的影響，由於這在傳統燈具上，無此兩項問題，故一般現有國內及國外標準，均很少規定，不過對於色偏問題，最近已有在 IESNA LM-79 及 LM-80 有所規定，對於色散的問題均未限制。



以下針對色偏及色散問題，將加以說明：

(1) 色偏

LED 光源封裝用的螢光粉是決定白光品質最重要的材料，螢光粉塗敷方式，亦是可能造成色散問題等。螢光粉的選擇必須滿足兩個條件：一是互補性，即螢光粉材料本身的發射光譜，必須能與晶片的發射光譜混合成白光。螢光粉發光特性直接影響 LED 的色溫 and 演色性，通過調節螢光粉含量和塗層厚度，可以調節色溫，而螢光粉濃度增加會降低發光效率，且隨著螢光粉塗層厚度加大，藍色發光峰值下降，黃光增加，色溫降低；另一個是匹配性，由於螢光粉的轉換效率與波長有關，故螢光粉的激發波長必須與所用晶片的發射波長相匹配，這樣才能獲得較高的光轉換效率。（一般要求螢光粉轉換效率大於 95 %，10 萬小時後光轉換效率衰減小於 15 %）。此外，溫度對螢光粉的性能影響很大。隨著溫度上升，螢光粉量子效率降低，出光減少，輻射波長也會發生變化，從而引起 LED 色溫上升。

此即表示色溫會隨著時間及工作溫度有變化，依據工研院綠能與環境研究所 2011 年 5 月所提之研究報告，其初始與 6000 小時之色溫變化不同廠家差異甚大，相差範圍從 30 到 1500K 之間；如圖 2.1.3-6 所示，這是 LED 目前現有之缺點。然依據經濟部 2011 年產業技術白皮書所述，未來 LED 採用多晶片矽基光源技術，除了有效快速導熱特性，對於色偏的封裝技術障礙亦得於解決。

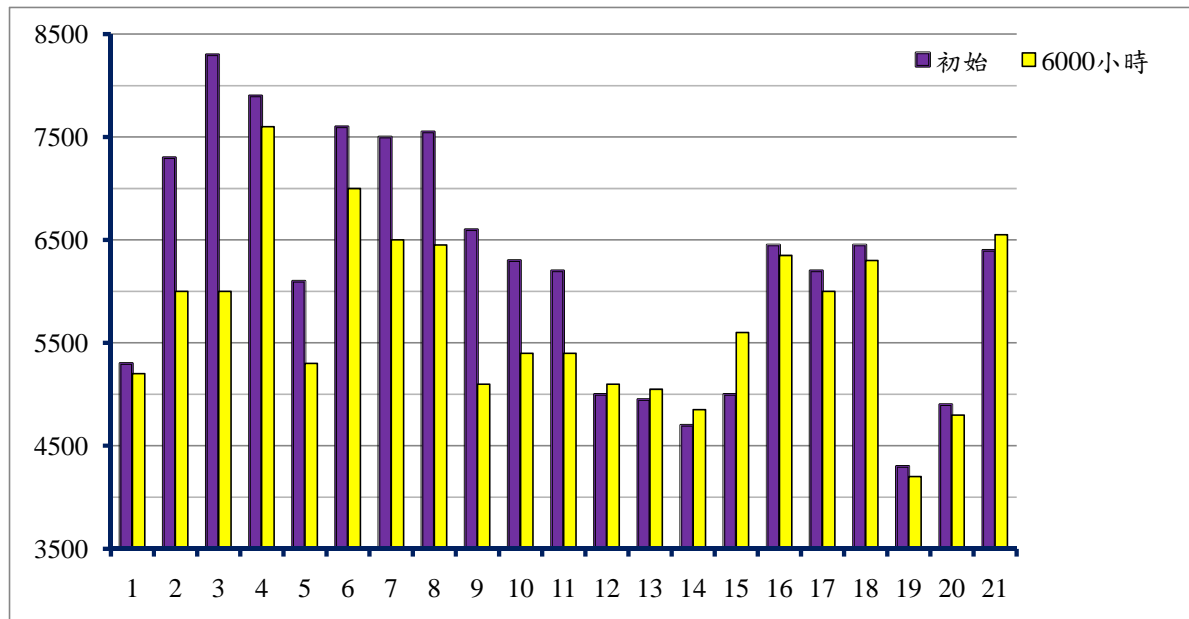


圖 2.1.3-6 初始與 6000 小時 LED 光源色溫差異比較圖

而 LED 光源之色溫量測，一般依 IES LM-79 採積分球法量測，對於色偏的要求依 IES LM-80 主要依據在一定工作溫度下，依所使用的壽命的測量時間，不得大於一規定值。

但實際組裝成燈具後，如採用透鏡方式，其色溫將再上升約 200~300K 左右，而整燈具在積分球量測色溫有其困難度，目前較少如此採用，故以光源來要求所要之色溫會產生盲點，因此若要準確於招標時提出色溫要求，於日後量測時會有很大落差，因此建議燈具色溫規範依據 CNS 15233 所定義之中色溫(4000~5000K)，以 4500K 標準要求在 $4503 \pm 243K$ ，對於色偏的要求，原則可要求光源須符合 IES LM-80 標準外，對於 LED 光源在燈具內之工作溫度加以限定，以使色偏能夠在一定範圍內。

(2) 色散

在光學中，對於不同的波長，介質的折射率 $n(\lambda)$ 也不同，這會造成當白色光源進入不同介質時，不同光譜的光線會產生不同折射路徑，將會導致各方向各角度，會有色溫不一致現象，這種現象就稱為光的色散。一般波長越小，折射率越大：藍色光折射率大，紅色光折射率小，LED 燈具光學型式採凸鏡設計，因光線經過一、二次光學凸鏡折射會產生色散問題。

依照工研院「符合節能目標之道路設施安全標準評估與



應用」之研究報告指出反應時間與色溫和背景亮度有相對的關係，由圖 2.1.3-7 可知在背景亮度同為 1 cd/m² 的路面上，LED 光源之反應時間約 400ms，而高壓鈉氣燈光源之反應時間約 430ms，即 LED 光源之反應速度優於高壓鈉氣燈光源，另人眼對照明光源的色溫約在 4000K-5000K 時反應時間最短，即反應速度變快，色溫太高反而太刺眼，使反應時間變長，即反應速度變慢，因此可選色溫約在 4000K-5000K 之 LED 光源，使駕駛人反應速度變快。

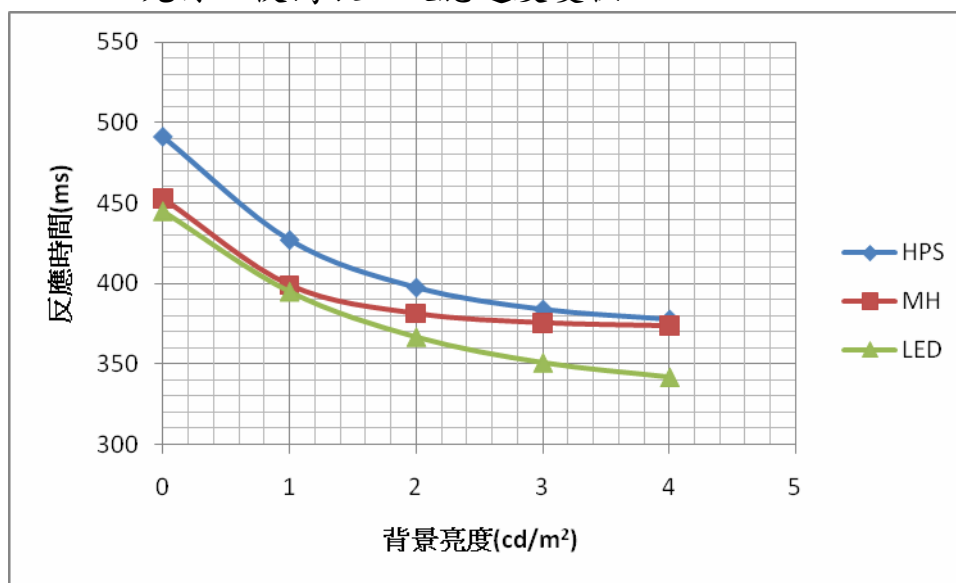


圖 2.1.3-7 反應時間與背景亮度曲線圖

依其評估，色溫的不同會造成駕駛者反應時間的影響，故對於 LED 路燈所產生的色散問題，造成路面產生不同的色溫，勢必會對駕駛者，產生或多或少的影響，故對於 LED 燈具的色溫量測方式及其照射路面範圍色溫要求應加以限定為宜。

對於 LED 路燈色溫量測方式，由於 LED 路燈採用透鏡方式時，採單點測試時，會因測量位置不同，而有不同色溫，且無法有效得到色溫要求，若採用一般量測 LED 晶粒色溫的積分球法，除因 LED 燈具體積較大測量較困難外，對於色溫均勻性，無法得知。依照工研院報告指出如表 2.1.3-2 燈下平均 15 點或燈下平均 35 點之量測方式與積分球法所得之的平均色溫差異不大外，也可了解色溫均勻度，故可採用平均量測方式來量測 LED 路燈色溫及其均勻性。

色溫的測定可依照 CIE-140 照度的測定之建議，在測量



照度同時，測量其相對色溫值。

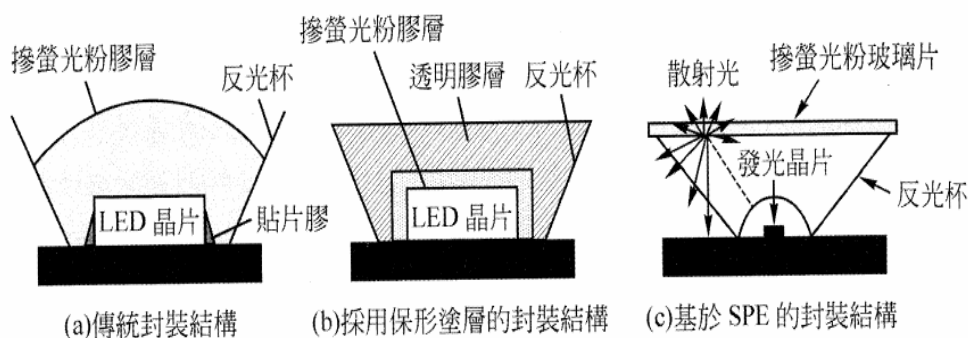
另對於 LED 隧道燈具在取代隧道基本照明之傳統燈具，在白天、傍晚及夜間三階段時，由於佈設間距與燈具安裝高度比較一般路燈小，故產生之色溫問題影響範圍較小，但在深夜階段，佈設間距與燈具安裝高度比增加一倍，產生之色溫問題影響較大，對於深夜階段須重新考量燈具配置及控制方式。

表 2.1.3-2 LED 路燈平均色溫

燈下平均(15 點)	6525K
燈下平均(35 點)	6499K
積分球	6480K

註：燈下平均 15 點之最大色溫(CCT_{Max})為 6813K，最小色溫(CCT_{Min})為 6325K，差值為 508K
來源：工研院報告

傳統的螢光粉塗敷方式是將螢光粉與灌封膠混合，然後點塗在晶片上，如圖 2.1.3-8(a)。由於無法對螢光粉的塗敷厚度和形狀進行精確控制，導致出射光色彩不一致，出現偏藍光或者偏黃光。而基於噴塗方法的保形塗層（conformal coating）技術可實現螢光粉的均勻塗覆，保障光色的均勻性，如圖 2.1.3-8(b)所示。但當螢光粉直接塗覆在晶片表面時，由於光散射的存在，出光效率較低。



來源：劉如熹，“白光發光二極體製作技術”，全華，2008

圖 2.1.3-8 大功率白光 LED 封裝結構

另外一種方式為通過在晶片表面佈置一個聚焦透鏡，並將含螢光粉的玻璃片置於距晶片一定位置，不僅提高元件可靠性，而且大大提高光效（60 % ），封裝結構如圖 2.1.3-8(c) 所示。

由以上說明可知，一般反射板受色散影響，來至於光源



本身，故影響較小，而透鏡除光源外，還有透鏡本身，由於現有的法規並未對此項有所規定及限制，但依圖 2.1.3-7 可知，色溫確實會造成駕駛者的影響，故建議對於色散問題，現階段將不予規定，將藉由色溫測量方式，量測色散問題，並於本案量測週期完成後，依量測記錄及當時法規做更詳細規定。

2.1.4 電氣特性

對於電氣特性上，由於傳統高壓鈉氣燈泡，採用安定器（規格化）包含啟動裝置，供應方式通常採用交流變交流方式，也就是安定器一次側以交流市電供電，經由安定器二次側以交流電壓供給高壓鈉氣燈泡，相當於一個變壓器，具有穩定功率之功能，構造簡單，但操控性差。而 LED 光源，採用電源供應器，供應方式採交流變直流方式，也就是電源供應器二次側以直流電壓供應 LED 光源，相當於一個整流器，有定電壓型、定電流型及 PWM(脈衝寬度調變)型等三種方式，一般採定電流型、需調光採 PWM 型是基本需求。由於構造較安定器複雜，且多為電子產品，故對於一般基本電氣特性外，對於雷擊保護及交流變直流方式對於諧波問題均須注意。

1. 消耗功率

對於耗能來說，一般傳統燈具與 LED 燈具，除了在供應方式不同外，在計算方式，有一個很大的不同，例如在傳統燈具標示 150W 高壓鈉氣燈具，而 LED 燈具標示 150W LED 燈具，同樣是 150W，在傳統燈具是單指光源功率，並不包含安定器耗能，而 LED 路燈卻是包含電源供應器耗能。

故同理，在發光效率上，傳統燈具也是指光源發光效率，但 LED 燈具卻是燈具發光效率，需特別注意其標示方式的不同。例如一款被標稱具有 95 lm/W 的 LED 路燈，依照傳統燈具標示可能高達 130 lm/W 以上。

以現有 LED 燈具標示方式而言，可清楚知道此盞燈具的總消耗功率，但以燈具光流明輸出作為其發光效率，則其燈具效能好壞卻無法得知，由於 LED 燈具之燈具光效率不僅僅受使用光源的光效的影響，還受到燈具設計，散熱機構選擇，驅動電路效率等方面的影響，因而光源光效等因素反映燈具的能效水準。在



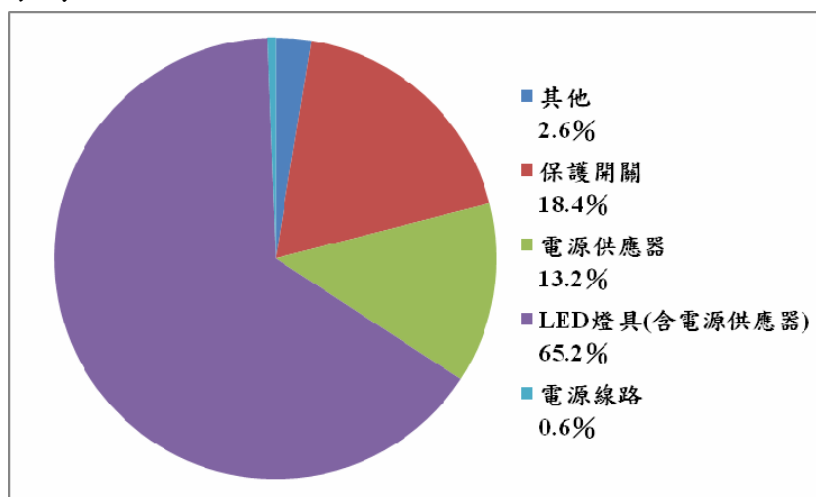
同樣燈具光效 95 lm/W 的兩盞 LED 路燈，一個採用 120 lm/W 的光源，明顯比一個採用 130 lm/W 的光源之燈具效能要好，但依照現有標示方式是一樣的等級，故將來在規範上，可從訂定燈具效率或光源效率上加以限制。

2. 功率因數

LED 光源在低頻的條件下屬於非線性電阻負載，故 LED 燈具功率因數主要是由電源供應器決定，而電源供應器本身皆有功率因數校正的功能，一般可達到 0.9 以上，然而由於將來 LED 燈具可能走向具有智能控制功能，燈具功率並非全在全載下操作，對於其他操作的功率，也可依需求加以限定。

3. 電源供應器規格與防雷擊保護

從照明學刊 99 年 9 月中得知，由工研院發表關於「LED 路燈失效分析與可靠度設計考量」論文，其中統計了 LED 路燈各部份失效率，如圖 2.1.4-1 所示，其中確認是電源供應器失效的部份佔 13.2%，而部份 LED 路燈電源供應器是設計安裝在燈具內，因為僅以通報換修燈具，無法確切統計是否為 LED 燈具失效或電源供應器失效，這部份佔了 65.2%，以經驗判斷此項失效應包含一部份電源供應器失效，所以電源供應器的可靠度為一重要發展方向。



來源：照明學刊-LED 路燈失效分析與可靠度設計考量

圖 2.1.4-1 LED 路燈系統各部份失效率統計

依據報告內容指出，電源供應器在雷雨季失效機率最高，影響電源供應器壽命可能原因為雷擊突波及內部元件之品質，以目前廠商大部份突波吸收器皆符合 CNS 14876-5 (IEC61000-4-5)



位準 4 所規定之 4kV，位準 4 以上為位準 x 係為開放值，因失效率偏高，參考 ANSI C62.41 (UL1449) 以提高突波之測試位準為 6KV 等級，故建議 LED 電源供應器突波等級需提升 Line to Ground 至 6KV (含)以上來降低失效情形，將來亦可於前端電源開關箱加裝突波耐壓保護以增進整體設備保護。

對於 LED 燈具，電源供應器一般有定電壓型、定電流型及 PWM(脈衝寬度調變)型等三種方式。圖 2.1.4-2 為 LED 常見之驅動電路模式，藉由圖 2.1.4-3 之 LED V-I 特性曲線可知，若採用電壓調控 LED，當電壓源產生微幅變動時，將使得其順向偏壓電流產生大幅度的變化；反之，若以電流作為主要調控參數時，其順向偏壓較不易產生劇烈震幅，故大多數的 LED 驅動電路皆是以提供穩定之電流源為主要目的，也就是定電流型。

然而由於採用 LED 燈具，除具有環保及節能的效益外，最重要的還有易操控的功能，也就是調光功能，現有 CNS 10779 標準，已因應將來調光技術，修訂其標準內容，針對在不同條件下，例如深夜車流量較少時，可調整道路輝度值，而一般電源供應器，採用 PWM 型，相對於電流型具有較好的調光功能，但其單價上偏高。另對於諧波問題，在傳統高壓鈉氣燈泡所採用的安定器類似變壓器，一般會產生第三次諧波，屬零序諧波，對電力系統中性線造成影響，對負載平衡不產生影響，而 LED 燈具之電源供應器，因有整流功能，故一般會產生第五及第七諧波，尤其是第五諧波，屬負序諧波，對負載平衡產生影響，故必須加以限制。

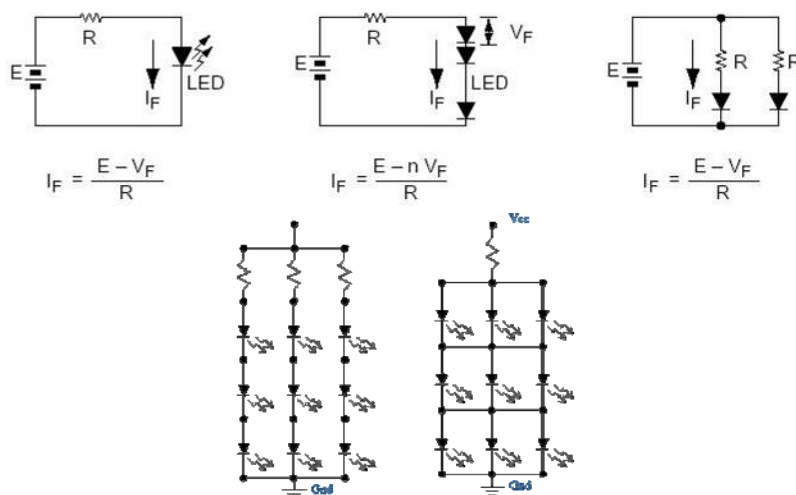


圖 2.1.4-2 LED 常見驅動電路模式

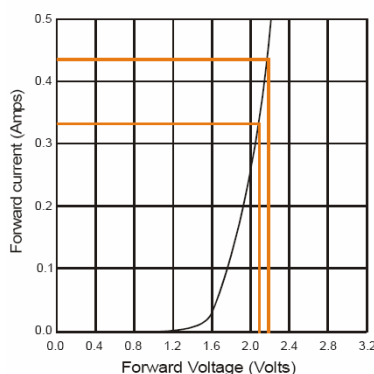


圖 2.1.4-3 LED V-I 特性曲線

目前電源供應器電路瓦數分布雜亂無章，每家公司規格不一，縱使有調光功能，但替換性低，無法因應不同功率光源模組的相容需求，產品穩定性不夠，故障後之替換相容方便性不如傳統燈泡，當然造成消費者裹足不前，行政院於 100.12 通過「經濟景氣因應方案」之「助產業」策略項下「全臺設置 LED 路燈技術規範」措施，補助二十幾億元擴大節能產品之普及應用，上述規範已訂定 70~100W 之 LED 路燈高壓電源供應器規格，其主要目的是取代 8 公尺以下之水銀路燈，和高速公路使用瓦數、桿高等相關條件不同，因此電源供應器規格無法引用。

高壓電源供應器其優點為電源轉換效率比低壓電源供應器稍高一點，高壓電源供應器其零組件所需耐壓高其壽命相對減少，絕緣保護之距離較大設計難度高，而低壓電源供應器其特性和高壓電源供應器相反，因此市面上電源供應器規格仍以低壓電源供應器為主流，其安全性及可靠度較佳，建議電源供應器規格採用低壓設計。

2.1.5 機械結構性

LED 燈具在機械結構上與傳統燈具，最大的不同，來自於大部分 LED 燈具外殼具有散熱功能，故除傳統燈具一般的基本要求外，須特別注意，因具有散熱功能，所產生的不一樣的要求例如耐風、防塵防水保護、防鹽害及振動試驗等。

1. 防塵防水保護

LED 路燈裝置在戶外，所以需要良好的防塵防水(IP)等級，但是好的防塵防水等級勢必會影響燈具散熱，形成兩難局面，除了考量散熱裝置外，大多數道路燈具的使用場合，空中的灰塵量



是較大的，其內部散熱器的縫隙內就會塞滿灰塵，使散熱器效果大打折扣，最後還會使 LED 因工作溫度過高而使用壽命明顯縮短，以 CNS 15233 5.12 節規定，控制室須符合 IP54、發光室須符合 IP65，比傳統高壓鈉氣燈 IP54 要求高，未來燈具清洗周期於未來試辦計畫再予探討。

2. 防鹽害

於 CNS 15233 並未訂 LED 路燈防鹽害標準，可依據 CNS 8886 10.1 節中性鹽水噴霧試驗法，使用鹽水噴霧試驗機將氯化鈉溶液，以霧狀噴於電鍍被覆膜上之一種腐蝕試驗方法，目的在決定燈具裝置或元件忍受鹽霧環境之能力。

3. 振動試驗

依照 CNS 15233 6.13 節之測試使 LED 路燈朝 3 個相互垂直之方向（X、Y、Z）振動，每個軸向 12 分鐘，總計 36 分鐘，依正弦波頻率每分鐘 300 次至 1,200 次、每週期 3 分鐘、全振幅 2mm，循環實施對數掃描後，檢查燈具不得有變形、鬆扣、脫落、龜裂等現象。

4. 耐風

由於本計畫採平行置換方式，對於燈具置換上，需考量符合原有燈桿結構，由於耐風能力受燈具重量及受風面積影響，由於採自然散熱方式，所產生的鰭片會造成受風面積增加，故須加以考量。

2.2 LED 路燈與傳統路燈性能比較

對於一般性能比較上，主要針對光特性及電特性上，尤其是 LED 受溫度的影響，所造成將來無論在設計上或維護上的困擾，由於溫度的改變，所造成的光源的輸出光流明值的下降，同時也造成使用壽命縮減，依其特性，LED 路燈與傳統路燈可由表 2.2-1 來做兩者比較。



表 2.2-1 傳統高壓鈉氣燈與 LED 燈的比較

項目		HPS (150W)	LED (90~125W)
光學特性	光源流明(lm)	約 15000	約 7800~11400
	光源流明數/瓦(lm/W)	約 100	90~130
	燈具流明數/瓦(lm/W)	約 72	60~105
	眩光	燈具分為遮隔型、半遮隔型及無遮隔型作限制	
	演色性(Ra)	23~50 (差)	65~85 (佳)
	色溫	2,000~2,500K	2,700~6,500K
	光源平均壽命終止前之光束維持率(%)	50	70 (CNS 15247, IES LM-80)
	配光特性	依交通部交通工程手冊第 7.2.1 節規定	CNS 15233 表 4 規定
	光源光束維持率 90%之壽命(hr)	12, 000	22, 000
	燈罩規格	在正常使用狀態下應不燃燒、不易變形 (CNS 9118-C4366)	—
	反射板規格	高純鋁反射板 (僅在規範規定)	高純鋁反射板
	凸透鏡規格	-	PC, PMMA
電氣特性	消耗功率	約 168W (含安定器)	90~125W (±10%) (含電源供應器)
	功率因數	0.9 (依高速公路規範)	0.9 以上 (CNS 15233 5.2 節規定)
	安定器規格	CNS 2729 CNS 927 CNS 1375	—
	電源供應器規格	—	CNS 15174
	防雷擊保護	CNS 14335 IEC 60598-1	須有電壓突波保護能力，符合 CNS 14676-5 位準 4 規定
機械結構性	需維護之設備	燈泡 安定器	LED 光源 (芯片) 電源供應器 散熱機構
	散熱方式(光源)	無	自然對流散熱 加裝風扇強制散熱 熱管熱交換
	溫度衝擊性	玻璃燈罩及照明燈罩、燈泡等部分進行試驗不得發生龜裂、變形或破損現象	LED 路燈須能在-5℃至 50℃之溫度下，於試驗過程中穩定發光



	防塵防水保護	路燈規定燃燒室(反射罩內)之 IP 等級，目前為 IP54 以上 (CNS 9118-C4366)	發光室須符合 IP65 控制室須符合 IP54 (CNS 15233 5.12 節規定)
	防鹽害	使用耐蝕性材質，並防止劣化及腐蝕之方法處理 (CNS 9118-C4366)	—
	振動試驗	對預期之震動、衝擊等狀況不發生使光源接觸不良及脫落現象 (CNS 9118-C4366)	進行試驗不得有變形、鬆脫、脫落或龜裂等現象 (CNS 15233 6.13 節規定)

2.3 國內外 LED 路燈資料蒐集評估

本差異性評估報告首要須蒐集國、內外 LED 路燈規範及調查國內外 LED 路燈產品，其目的在於檢討各廠商製造 LED 路燈之差異性。

藉此分析結果，整理可應用於高速公路照明之 LED 路燈產品，同時兼顧安全、法規與維護之要求，將於後續章節依各廠牌 LED 路燈之配光曲線利用電腦軟體模擬在主幹道及匝道之照度水準，統計其結果，並於各表後說明差異比較。



2.4 LED 路燈規格差異說明及分析

目前所蒐集到的國內外各廠家 LED 路燈資料，規格整理如下表 2.4-1，詳細差異評估整理分析如下：

1. 燈具光效率：燈具光效率範圍大約都在 75 lm/W (光源光效率 120 lm/W) 以上，依 CNS15233 規範所規定，大部分廠家燈具光效率已達到 CNS15233 標準第一級，僅玉晶、新強、誠盟、慶盟、鑫源盛之燈具光效率較低未達 75 lm/W。
2. 燈具瓦數：本次調查以約 90W~210W 之 LED 路燈為主。
3. 功率因數：功率因數皆高於或等於 0.9，建議以 CNS 15233 之規範，功率因數訂為 0.9(含)以上。
4. 色溫：中盟、Philips、新強、誠盟為高色溫，億光、佰鴻、威晶為低色溫，其餘約在 4000K~5000K 屬於中色溫，初期試辦建議選用符合 CNS 15233 之中色溫之燈具，目前所蒐集到的國內外各廠家是可滿足本案需求。
5. 光源壽命：皆在 50,000Hr，日本共立可高達 90000Hr，壽命之推估可依照 IES LM-80 及 TM-21 推估 L_{70} 之壽命，光源壽命須達 50,000Hr。
6. 演色性：Ra 值普遍高於 70，除佰鴻、玉晶、晶鼎 Ra 值為 65，故建議 Ra 值需在 70 以上。
7. 輸入電壓：皆適用於單相 220V 之配電方式，對於 LED 路燈電磁雜訊可依 CNS 15233 之規定試驗方式進行試驗。
8. 材質：燈體材質大多為鋁擠型，建議燈具須通過以 CNS 15233 防塵防水試驗及震動試驗，防鹽害須通過 CNS 8886 鹽水噴霧試驗，至於燈具重量與風阻係數可由結構技師來評估燈桿結構是否足夠。
9. 突波耐壓：皆可達 CNS15233 規範所規定之 4KV，係參照 CNS14676-5 (IEC61000-4-5) 位準 4，位準 4 以上為位準 x 係為開放值，因失效率偏高，參考 ANSI C62.41 (UL1449) 以提高突波之測試位準為 6KV 等級，可達 6KV (含以上) 有億光、Philips、GE、光林、台達及 TSMC，因目前燈具受突波損害問題較大，故



建議選用之突波耐壓須為 6KV。

- 10 光學特性：大部分廠商採用光學透鏡方式作為二次光學之配光曲線製作，僅有 GE、慶盟和共立採用反射板方式製作。
11. 散熱方式：主要以自然對流的方式，陽傑及鑫源盛採不同方式散熱，目前 LED 路燈燈具的散熱方式主要有自然對流散熱、加裝風扇強制散熱、熱管熱交換等，市面上已有燈具廠商利用外殼散熱，不需加裝散熱鰭片散熱減少粉塵附著，和傳統路燈以外殼散熱方式一致，將有利於以後維修養護，建議 LED 燈具採用自然對流散熱。
12. 養護方式：皆可達到 CNS15233 規範之 IP65，可以水柱清洗。
13. 維修方式：燈具維修方式除中盟、億光(SL-Dolphin)、佰鴻、玉晶、GE、新強、陽傑及 TSMC 採用螺絲拆裝外，其餘皆採快速鎖扣設計；光源及電源維修方式玉晶、晶鼎、慶盟、陽傑、及 TSMC 外，其餘皆採模組化設計。

表 2.4-1 各廠商規格差異

	中盟(AOP)	億光	佰鴻	玉晶(GSEO)	元瑞	飛利浦(Philips)	晶鼎	新強	威晶	台達	光林	GE	誠盟	慶盟	陽傑	鑫源盛	TSMC	共立
流明輸出	7800-15100	8550-28500	12750-13000	10800-13500	20000	9426-17469	10203-17400	8500	13000	9500	8780-18000	9400	17000	6000	7850	10000	9000	11000
燈具光效率 (lm/W)	84	95-100	85-100	70-85	90	90	100-105	60	-	-	90-98	79	70	70	78	70	90	99
光學特性:凸透鏡	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	-	√	-	√	√	√	-
光學特性:反射板	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	√	-	-	-	√
光源壽命(hr)	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	90000
色溫 (K)	5200	3000-5000	2700-6500	4000-5000	4800	6500-6800	5000	6500	2900	5000	4000-6000	4000	6500	4100-4300	5000	5000-6500	5000	5000
演色性	70	70-90	65	60-65	70	80	65	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
功率因數	0.95	0.95	0.9-0.95	0.95	0.95	0.95-0.98	0.92	0.95	0.95	0.95	0.92	0.9	0.9	0.9	0.9	0.92	0.95	0.94
突波耐壓:4KV	√	-	√	√	√	-	√	√	√	-	-	-	√	√	√	√	-	√
突波耐壓:其他	-	10KV	-	-	-	6KV	-	-	-	6KV	10KV	6KV-10KV	-	-	-	-	8kV	-
散熱方式:自然對流	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	-	-	√	√
散熱方式:加裝風扇	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-
散熱方式:熱管熱交換	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√	-	-	-
散熱方式:其它	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
材質(燈體:鋁擠型)	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	-	√	√	√	√	-
材質(燈體:鋁合金)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	√
材質(燈體:其他)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ASA	-	-	-	-	-
防護等級	IP65	IP67	IP66	IP65	IP66	IP65	IP66	IP65	IP66	IP65	IP65	IP65	IP66	IP65	IP65	IP65	IP66	IP65
養護方式:水柱	-	√	-	√	-	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	-	√
光源及電源維修方式:模組式	√	√	√	電源不行 光源不行	√	√	電源不行 光源可以	√	√	√	√	√	√	電源可以 光源不行	電源可以 光源不行	√	電源不行 光源可以	√
燈具維修方式:快速鎖扣	-	√	-	-	√	√	√	-	√	√	√	-	√	√	-	√	-	√
燈具維修方式:螺絲拆裝	√	(SL-Dolphin)	√	√	-	-	-	√	-	-	-	√	-	-	√	-	√	-



第三章 LED 路燈之產品標準規範比較研究

3.1 國內外 LED 路燈相關標準及準則

為瞭解各國對新型 LED 燈具發展推動概況，並作為本評估報告建議之依據，茲將各國針對 LED 安全、測光及模組標準列出如下：

國際標準：CIE 127

測光標準

美國：IES Application Guide，UL 8750，LM-79，LM-80

測光、安全標準

韓國：KS C 7655

LED 模塊供電轉換器的安全及性能要求事項

日本：JIS C8105、C8152、C8153、C8154，JEL311、JEL 811

測光方式、LED 燈性能及安全性

台灣：CNS 15247、15248、15249、15250

光學與電性量測方法

歐洲：歐盟 Zhaga

推動 LED 光引擎介面標準化-由 ABL、庫伯照明、歐司朗、松下、飛利浦、施萊德、東芝、TRILUX 和奧德堡集團組成。

而目前各國道路照明針對 LED 路燈規範標準彙整整理如下：

台灣：CNS15233 C4504 發光二極體道路照明燈具

國科會科學工業區 LED 路燈技術規範

韓國：KS C 7655 LED 模塊供電轉換器的安全及性能要求事項

美國：美國能源局（DOE）尚在研擬

日本：制定中

中國：GB/T 24907-2010 道路照明用 LED 燈性能要求



歐洲：尚無標準

3.1.1 台灣 LED 路燈相關標準

國內針對 LED 路燈國家標準，於 2008 年底公佈第一套 CNS15233「發光二極體道路照明燈具」標準，由於 LED 路燈技術發展快速，為了更切合其技術發展變化及實際在道路上的應用需求，並於 2012 年 7 月公告第二次修訂版。

對於 LED 路燈光源相關量測性能標準，以於 2009 年底經濟部標準檢驗局相繼公告國家標準及草案，正待經濟部標準局進行審查程序後再公告，如表 3.1.1-1 所示。

對於 LED 隧道燈具，並未在訂定期程內

表 3.1.1-1 臺灣 LED 照明標準訂定期程表

送審日期	產業聯盟制訂標準名稱	進行時程	國家標準制訂名稱
2008/08/29	發光二極體道路照明燈具標準草案	2012/07/26 修訂公告	CNS15233 發光二極體道路照明燈具
2008/08/29	LED 元件與模組一般壽命試驗標準草案	2009/1/22 公告	CNS15247 照明用發光二極體元件與模組之一般壽命試驗方法
2008/08/29	LED 熱阻量側標準草案	2009/1/22 公告	CNS15248 發光二極體元件之熱阻量測方法
2008/08/29	LED 元件光學與電性量測標準草案	2009/1/22 公告	CNS15249 發光二極體元件之光學與電性量測方法
2008/08/29	LED 模組光學與電性量測標準草案	2009/1/22 公告	CNS15250 發光二極體模組之光學與電性量測方法
2009/02/23	發光二極體元件之環境試驗及耐久性試驗方法標準草案	2012/01/31 公告	CNS15529 發光二極體元件之環境及耐久性試驗法
2009/02/23	發光二極體晶粒之光學與電性量測方法標準草案	2011/9/29 公告	CNS15489 發光二極體晶粒之光學與電性量測方法
2009/02/23	發光二極體系統光學量測標準草案	2011/9/29 公告	CNS15490 發光二極體光源系統之量測法
2009/09/11	發光二極體模具之熱阻	2011/10/19 公告	CNS15498 發光二極體



	量測方法標準草案		模組之熱阻量測法
2009/09/11	發光二極體系統之電源量測方法標準草案	目前尚在制訂中	尚未編定草案號碼 發光二極體之電源量測法（暫訂）
2009/09/11	發光二極體元件之 ESD 測試方法標準草案	2012/01/31 公告	CNS15532 發光二極體之靜電放電試驗法
2009/09/11	發光二極體晶粒之品質試驗方法標準草案	2012/01/31 公告	CNS15531 發光二極體晶粒之品質試驗法
2009/09/11	發光二極體系統之環境試驗方法標準草案	2012/01/31 公告	CNS15530 發光二極體系統之環境試驗法
2009/09/11	發光二極體元件與模組之加速壽命試驗方法標準草案	2011/10/25 公告	CNS15510 發光二極體元件及模組之加速壽命評估法
2009/09/11	發光二極體晶粒之加速壽命試驗方法標準草案	2011/10/25 公告	CNS15509 發光二極體晶粒之加速壽命評估法

資料來源：經濟部標準檢驗局

對應上述陸續公告完成的 LED 國家標準，已有多達 11 家通過財團法人全國認證基金會（Taiwan Accreditation Foundation，TAF）所認可之實驗室，受理各廠商之 LED 路燈產品送驗業務，並產生相關檢驗報告。

CNS 15233 發光二極體道路照明燈具國家標準也在 2009 年 3 月增列為正字標記。目前正式公告認可的四家法人試驗室為：財團法人金屬工業研究發展中心區域研發服務處（中區）電氣安全實驗室、財團法人台灣大電力研究試驗中心照明實驗室、財團法人工業技術研究院量測技術發展中心光電測試實驗室及財團法人台灣電子檢驗中心，授予執行標準檢驗局正字標記廠商抽樣檢驗的業務，國內廠家已有玉晶光電、和碩聯合科技、采鈺科技、浩然科技、誠加科技、億光電子及鑫源盛科技等七家符合正字標記。

3.1.2 美國 LED 路燈相關標準

美國對於 LED 量測標準主要是著眼於未來固態照明市場之發展及應用，其主導單位為美國能源局（DOE）。由於美國政府認為現有傳統照明之量測標準並不適用於新光源，加以節能環保政策的推動，美國對於導入節能之固態照明產品的態度也相對開放，因此近年來在推動 LED 光源量測標準十分積極。

日前由美國政府號召重要之相關單位，檢測現階段之 LED 量測



標準及方法，並找出不足之處，搭配能源之星（Energy Star）提出的固態照明燈具規範，分別針對不同之相對應的工業測試標準，陸續推出相關的量測標準和方式，如固態照明之安規、產品壽命、光學量測、色度（Chromaticity）、電源供應（Power Supply）等，如表 3.1.2-1 所示。

表 3.1.2-1 美國固態照明之產品性能及量測標準

ANSI	C78.377-2008	Specification for the Chromaticity of Solid State Lighting Products – SSL 製品的色度
	NEMA SSL 1-2010	Electronic Drivers for LED Devices, Arrays, or Systems
	NEMA SSL 3-2011	High-Power White LED Binning for General Illumination
	C82.77-2002	Harmonic Emission Limits – Related Power Quality Requirements for Lighting
IESNA	TM-16-05	IESNA Technical Memorandum on Light Emitting Diode (LED) Sources and Systems
	RP-16-10	Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering Addendumt
	LM-79-08	IESNA Approved Method for the Electrical and Photometric Measurements of Solid-State Lighting Products - 照明計測與計算方法相關標準(光通量、消費電力、發光效率、色溫等量測)
	LM-80-08	IESNA Approved Method for Measuring Lumen Depreciation of LED Light Sources – LED 光源光通維持率測定方法 (白色固態照明元件、Module 的壽命測試)
	TM-21-11	Lumen Depreciation Estimation Method LED Light Sources
	LM-XX1	Method for the Measurements of High-Power LEDs (制訂中)
	LM-82-12	LED Characterization of Light Engines and Integrated LED Lamps
	IES Application Guide	Guideline for the Application of General Illumination (“White”) Light-Emitting Diode (LED) Technologies
UL	8750	LED 照明設備美國安全規格 (LED 封裝完成狀態下，控制迴路、電源之安全規格)
	1598	Luminaires
	153	Portable Electric Luminaires
	1012	Power Units Other Than Class 2
	1310	Class 2 Power Units



	1574	Track Lighting Systems
	2108	Low Voltage Lighting Systems
	60950-1	Information Technology Equipment-Safety-Part 1:General Requirements
NFPA	70-2005	National Electrical Code
FCC	47 CFR Part 15	Radio Frequency Devices

除了上述的標準之外，美國能源局亦於 2007 年 9 月下旬正式對外提出能源之星固態照明燈具標準之規範「Energy Star Program Requirements for Solid State Lighting Luminaries」，根據規範將燈具發光效率分為兩階段，第一階段最高光效需達到 35lm/W；第二階段則必須達到 70lm/W 水準，其照明燈具泛指住商用一般照明燈具，如廚櫃燈、檯燈、嵌燈、戶外步道燈、戶外洗牆燈等，此標準已於 2008 年 9 月正式生效之外，亦於 2009 年 12 月公佈整體 LED 燈具的標準。

另外，美國能源局又於 2009 年 7 月通過 LED 產品標準「Energy Star Criteria for integral LED lamps」，針對使用 LED 光源的燈具做更明確規範，也針對 LED 替換市場，明確規範包括不同燈座規格的 LED 燈具效率必須等於或高於 Energy Star 規範中的白熾燈規格，並規定 LED 光源平均壽命至少要有 6000 小時測試時間等要求；而此項標準也以明訂於 INSNA LM-80-08 標準中。

美國的方向主要先由 LED 光源模組及一般商用燈具為主。針對本計畫所需的 LED 路燈及隧道燈具，由於 LED 光源發光效率還在提升階段尚未成熟，對於 LED 路燈及隧道燈具採用的 LED 光引擎及光源特性，最近 2012 年 6 月才公佈，故僅有在 2011 年 4 月公佈其 LED 路燈規範草案，相對與其他國家方向明顯不同。

3.1.3 日本 LED 路燈相關標準

目前日本在白光 LED 制訂的相關標準包括有測光方法、裝置性能及模組安全性等方面，如表 3.1.3-1 所示；在指示用及顯示器 LED 規格化的標準方面，則 JEITA 推出相關之規範。日本 LED 照明相關規格如表 3.1.3-1 所示。對於用在交通安全上之所需的 LED 路燈及隧道燈具，也明顯較慎重。



表 3.1.3-1 日本 LED 照明相關規格

測光方法	LED 單體	JIS C 8152 照明用白色發光 LED 的測光方法
安全規定	LED 控制裝置	JIS C 8147-2-13 Lamp 控制裝置第-2-13 部：直流或交流電源 LED Module 用控制裝置的要求事項
	LED Module 燈泡型 LED 除外	JIS C 8154 一般照明用 LED Module 安全樣式
	燈泡型 LED	JIS C 8156 (制訂中) 一般照明用燈泡型 LED Lamp 安全樣式 (電源電壓超過 50V)
	LED Module	JEL811 2005 照明用白光 LED 模組的安全性要求事項
性能規定	LED 控制裝置	JIS C 8153 LED Module 用控制裝置-性能要求事項
	LED Module 燈泡型 LED 除外	JIS C 8155 一般照明用 LED Module-性能要求事項
	燈泡型 LED	JIS C 8157 (制訂中) 一般照明用燈泡型 LED Lamp 安全樣式 (電源電壓超過 50V)
	燈泡型 LED	Guide-800 燈泡型 LED 性能標示等指針 (Guide line)
製品規格		JIS C xxx (制訂中)
		JEL 600 光源製品之正確使用方法標示方法
		JEL 800 燈泡型 LED 燈之形式賦予方法
		JEL 801 附 L 形 Pin 燈頭 GX16t-5 直管型 LED 燈泡系統 (一般照明用)
		JEL 907 燈泡類之燈頭、燈座及其標準尺寸(Gauge)

3.1.4 韓國 LED 路燈相關標準

南韓政府對於 LED 產品不遺餘力，在 2009 年提出 LED 路燈的 KS C 7658 LED(駕駛人)路燈及(行人)保安燈的安全、效能等相關規定標準，該標準將「安全性要求」與「性能要求」放在同一個標準中，有別於其他標準將其分開訂定與國內 LED 路燈標準非常類似。

3.1.5 中國 LED 路燈相關標準

在 2009 年底陸續發布 LED 國家標準，如表 3.1.5-1 所示，主要是針對各 LED 照明模組、燈具上作規範。對於 LED 路燈標準，共分成兩部分，第一部分是 GB/T 24827-2009 道路與街路照明燈具性能要求標準，主要將路燈燈具，依照美國 IES 標準進行配光分類，



並依照防塵防水等級、功率因數要求、燈具效率及發光效率等性能需求，進行對路燈燈具需求的分類。另一部分是 GB/T 24907-2010 道路照明用 LED 燈性能要求標準，主要針對 LED 路燈燈具電特性的要求。另對於電源供應器、連接裝置等均分別有相關標準。

依其標準很明顯參照 CIE 標準，將燈具以模組化的概念分別訂定，此方式對於介面需求須嚴格訂定，才能將各模組元件，組合成整體需求。

表 3.1.5-1 中國新發布的 LED 國家標準

GB 為中國國家標準，屬強制性

GB/T 為推薦規格，屬非強制性

序號	標準號	標準名稱	發布日期	實施日期
1	GB/T 24825-2009	LED 模組用直流或交流電子控制裝置性能要求	2009/12/15	2010/5/1
2	GB/T 24826-2009	普通照明用 LED 和 LED 模組術語和定義	2009/12/15	2010/5/1
3	GB/T 24827-2009	道路與街路照明燈具性能要求	2009/12/15	2010/5/1
4	GB 19510 14-2009	燈的控制裝置第 14 部份：LED 模組用直流或交流電子控制裝置的特殊要求	2009/10/15	2010/12/1
5	GB 19651 3-2008	雜類燈座第 2-2 部分：LED 模組用連接器的等殊要求	2009/12/30	2010/4/1
6	GB/T 24907-2010	道路照明用 LED 燈性能要求	2010/6/30	2011/2/1

來源：中國半導體照明網

3.1.6 歐盟 Zhaga LED 路燈標準化

1. 由國際照明產業成員發起成立 Zhaga 聯盟，旨在推動 LED 光引擎介面標準化。
2. Zhaga 規範包含光引擎的各種屬性，物理特性、光度、電氣和熱特性等，提升光引擎的相容性。
3. 相關色溫 (CCT) 的平面發光 LED 光引擎的路燈，應符合規定 [ANSI C78.377]。色溫可以選擇不同的類型。如表 3.1.6-1



表 3.1.6-1 LED 道路照明產品初始相關色溫

色溫分類根據 [ANSI C78.377]
3000K
4000K
5000K
5700K

4. 演色性(CRI)的值根據不同的應用可以選擇不同的類型，決定演色性的方法可依照 CIE13.3，演色性分類如表 3.1.6-2。

表 3.1.6-2 演色性分類

CRI 分類	CRI 數值範圍
60	$60 < \text{CRI} < 80$
80	> 80

5. 光通量如表 3.1.6-3，建議最大值代表街道照明的建議。相對部分光通量被定義在 CIE52。此外，建議 LED 光引擎的路燈具有發光強度分佈是盡可能接近到朗伯強度分佈 (Lambertian intensity distribution)。

表 3.1.6-3 光通量分類

分類	光通量(lm)		
	最小值	最大值	建議最大值
C011	990	1320	1220
C025	2250	3000	2750
C040	3600	4800	4400
C060	5400	7200	6600
C080	7200	9600	8800
C100	9000	12000	11000

6. 燈具應包含的散熱功能，使產生的熱量由 LED 模組被傳導至周圍環境，製造廠商需標明每個安裝位置或熱阻的最大值。適合的熱阻可以從熱電阻對應熱功率，如下圖所示。

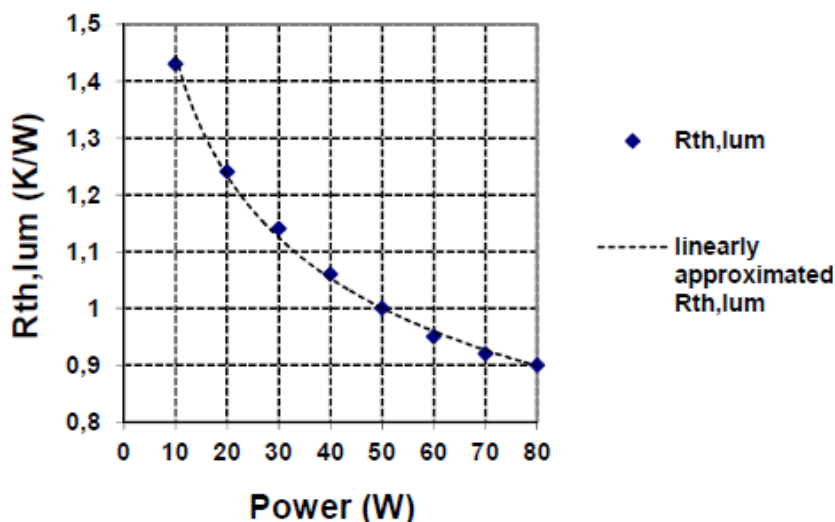


圖 3.1.6-1 熱電阻對應的熱功率

7. 圖 3.1.6-2 說明了導熱的模型和 LED 燈具之間的介面模組。一般情況下 LED 模組的底部對燈具的散熱片，有足夠的接觸面積。為了提高導熱性，可以應用熱界面材料。LED 模組生成的熱量，總熱功率 $P_{th} = P_{th, rear} + P_{th, front}$ ，主要部分(= $P_{th, rear}$)經由表面來傳導熱。而 $P_{th, front}$ 部分則是透過輻射及對流來轉移熱，這部分是比較次要的。熱功率主要是由 LED 的發光表面 (LES) 產生出的，也有一些額外的電子控制會增加總熱功率 P_{th} 。

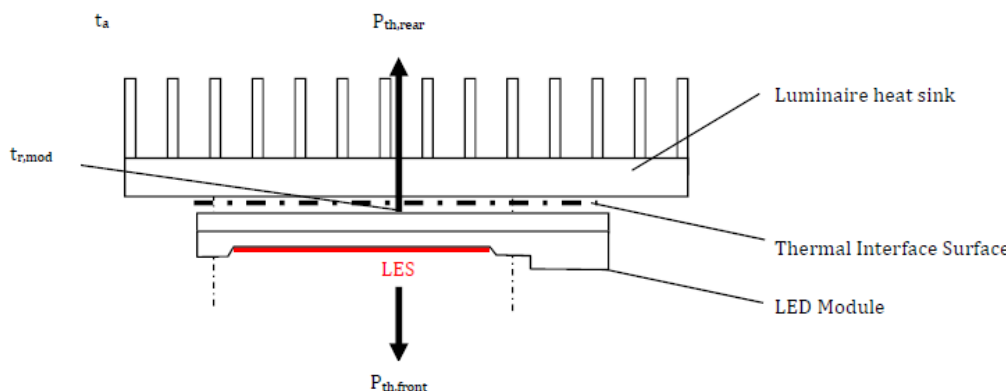


圖 3.1.6-2 導熱模型

8. Zhaga 有一系列的文獻，它定義各種 LED 光引擎 (LLE) 和燈具之間的界面。LED 燈具一般來說是從 LED 模組將熱量引導出來和維持 LED 模組溫度的水平，來達到 LLE 製造商規定的性能和壽命，如圖 3.1.6-3 所示。

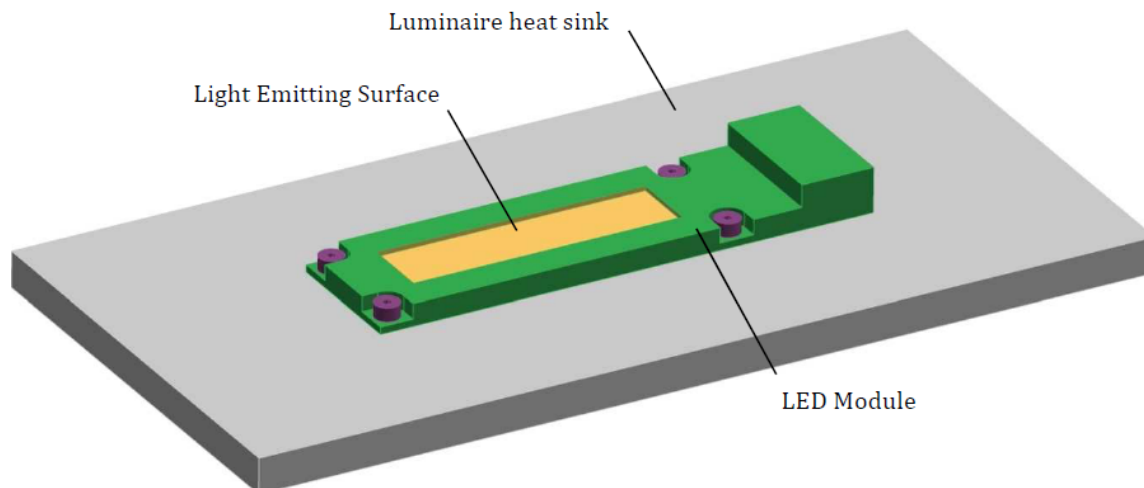


圖 3.1.6-3 LED 燈具模組和散熱器的示意圖

9. Zhaga 將機械界面的技術依照[ISO128]的定義，固定孔孔徑尺寸由燈具製造商所建議，連接控制裝置的電纜長度和 LED 模組應在 30 至 60mm。電纜的直徑連接控制裝置和 LED 模組應為 5mm \pm 2mm。本規範定義了三種發光表面(Light Emitting Surface,LES)尺寸，以下是 LED 模組尺寸規格：

LES 尺寸第 1 類：30mmx 7.5mm

LES 尺寸第 2 類：42mmx 10.5mm

LES 尺寸第 3 類：60mm \times 15mm

- 10.平面發光 LED 光引擎的路燈，具有獨立的控制設備由一個或多個 LED 模組和其對應的電子控制設備(ECG)組成。ECG 的驅動主要由主電源，如果要在某一電壓範圍內的操作是可以允許的（如 200 V - 277 V），製造廠商必須在 LED 光引擎文件中定義一個主要工作點，關於 LED 光引擎的絕緣規範則是引用 IEC 60598，其他關於 LED 路燈的電氣規範目前還在制定中。

3.1.7 各國 LED 路燈標準比較

各國 LED 路燈標準比較，如表 3.1.7-3 所示，針對各國 LED 主要項目作比較、分析後提出建議，主要項目如下所示：

1. 功率因數

CNS 15233、韓國(KS C 7658)標準及美國 LED 路燈草案規定，功率因數皆應在 0.9 以上，中國國家標準(GB/T 24907-2010)規定功率因數實測值不低於標稱值的 0.05，功率因數則依 GB/T 24827-2009 標準規定依其分類及電源供應器屬性在 0.85~0.95 之



間，因此本項目可沿用 CNS 15233 之規定。

2. 色溫

CNS 15233、韓國(KS C 7658) 標準及美國 LED 路燈草案規定，色溫範圍皆同均採 Energy Star SSL 要求，另韓國標準有對演色性要求為 $CRI \geq 60$ ，而中國國家標準(GB/T 24907-2010)，色溫範圍從 2700K~6500K 共六個等級，故色溫可沿用 CNS 15233 之規定，由於演色性高低會直接影響到 LED 光源輸出流明，故應明定，依現有 LED 晶粒廠技術，至少 $CRI \geq 70$ 。

3. 配光特性

CNS 15233 標準、中國國家標準(GB/T 24907-2010)及美國 LED 路燈草案皆有將燈具配光型式作分類，而韓國(KS C 7658)標準則以 LED 燈具設置高度、車道、交通流量大或路線複雜、混凝土路面及燈具排列方式訂定，

CNS 15233 針對 LED 路燈之燈具型式，原則參照 CNS 9118 標準而來，分為眩光限制與配光型式兩類。

CNS 15233 配光型式依據配光角度及光強度要求，將配光形式分成二方向型及全周型兩大類，再依照配光角度及光強度限制各再細分四型及三型。

而中國國家標準及 IES 標準燈具依據眩光限制分為全遮隔型、遮隔型、半遮隔型、與無遮隔型。CNS 規定其垂直角 $80^\circ \sim 90^\circ$ / 水平角 90° 之光強度限制條件，而 IES 標準規定垂直角 $80^\circ \sim 90^\circ$ ，水平角均須符合之光強度限制條件，如表 3.1.7-3 配光特性欄所示。對於配光形式採分類方式，如圖 3.1.7-1 及表 3.1.7-1 與表 3.1.7-2，TRL 照明準標準定義可分為 short (短)、medium (中)、long (長) 三型，LRL 則分為 Type I - Type V 五型。

CNS 15233 配光型式係針對燈具水平角 $65^\circ \sim 95^\circ$ 光軸向並針對其垂直角 $60^\circ \sim 90^\circ$ 之範圍給予光強度數值要求，並未針對其配光曲線之光型有所嚴格定義，且國道高速公路之道路寬度較一般平面道路寬，且燈具安裝位置垂直距離均在車道外，CNS 15233 對於水平角 0° 軸向之光強並無明確要求，恐造成採購燈具於車道方向($C0^\circ$)照射範圍不足；反觀 IES 標準係以燈具最大光強角照射距離與半光強角投影範圍決定其配光型式，針對不同的道路條



件應選用合適且符合標準之燈具配光形式。

就國道目前路燈設計工程案例而言，建議採用 IES 標準(同交通部工程手冊第 7.2.1 節規定)，對路燈規格之採購會有較明確之定義，且可達成優良照明品質之道路照明設計。對於匝道路段依 IES 標準建議採用具備 IES Type II-Short 或 Type II-Medium 配光之燈具，針對主線路段則建議選購具有 IES Type II-Medium 或 Type III-Medium 光型之燈具。

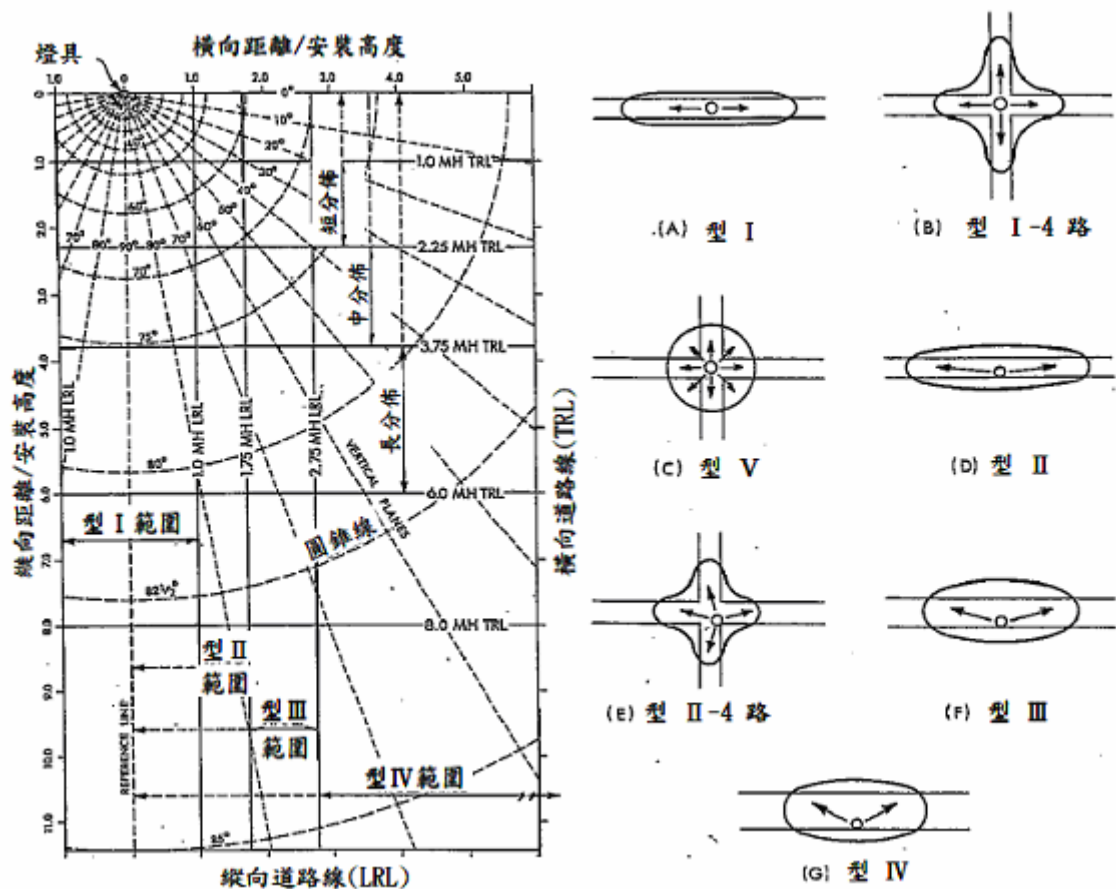


圖 3.1.7-1 IES 對於道路照明燈具配光型式示意圖



表 3.1.7-1 TRL 配光定義

	最大光強投射距離(MH)	角度換算 degree
Short	1.0 - 2.25	45°~66°
Medium	2.25 - 3.75	66°~75°
Long	3.75 - 6.0	75°~80.5°

表 3.1.7-2 LRL 標準定義

	房屋側(MH)	街道側(MH)	角度換算 degree
Type I	< 1.0	< 1.0	-45°~45°
Type II	-	1-1.75	45°~60.3°
Type III	-	1.75-2.75	60.3°~70°
Type IV	-	> 2.75	>70°
Type V	< 1.0	< 1.0	<45°

註： MH 為安裝高度

4. 發光效率

CNS 15233 標準所規定初始發光效率，分成三等級，而韓國(KS C 7658)標準則以額定光束的 95%以上為初始光束，光束維持率為初始光束測定值的 90%以上，並依照 LED 光源特性，以不同色溫訂定不同發光效率，中國國家標準(GB/T 24907-2010)，也依 4000K 色溫作為分界，訂定不同發光效率需求。相較於 CNS 15233 標準，並未對 LED 光源對於色溫特性有所區別，對於將來工程設計上規範的訂定，應特別注意。

美國 LED 路燈草案規定遮蔽型高輸出(>23,500lm)路燈照射於路面之最小初始流明輸出 48 lm/W，主要讓燈具廠商須自行推估其條件，能夠提供好的燈具效率及照明效率，進而設計路燈，此方式相對較嚴格和其它各國訂法不同。

5. 光束維持率

CNS 15233 標準之點燈 3000 小時後之光束維持率不低於 92



％，其規定較南韓要求高，由於對傳統燈具來說，此項應該是要要求光源的條件，非燈具的條件，故除國內及和南韓外，均未有此項規定，依現有國內標準光束維持率不低於 92％，實際上以 LED 光源經濟壽命 22000 小時，訂在光束維持率不低於 90％，是有所疑慮，故基於國內現實條件，可依據能源局節能標章規定點燈 3000 小時後之光束維持率不低於 95％，將此標準提高。

6. 點滅試驗

CNS 15233 標準之點滅試驗規定開關 8000 次後能正常操作，比中國國家標準(GB/T 24907-2010) 開關 5000 次嚴謹，而韓國(KS C 7658)標準規定開關次數應是額定壽命小時數的一半和 CNS 相近，另美國 LED 路燈草案無此規定，此項目仍可沿用 CNS 15233 標準。

7. LED 晶粒壽命

CNS 15233 標準及韓國(KS C 7658)標準均無 LED 晶粒壽命規定，而中國國家標準(GB/T 24907-2010)規定平均壽命不低於 20000 小時，其要求並不高，此項目可參考美國 LED 路燈草案依 IESNA LM-80-08，這也是大部份 LED 燈具廠商用之壽命計算方式，以 6000 小時為量測時間，採用外插法推算光衰 70％作為壽命，因此引用 IES LM-80 之規定相對嚴謹與國際化。

8. 安全要求

CNS 15357 標準之安全要求以 IEC 62031(一般照明用 LED 模組-安全相關規定)、IEC 61347-2-13(LED 模組用 AC/DC 電源驅動裝置的具體要求)、IEC 60598-1(燈具-第 1 部：一般規定與測試)及 IEC 60598-2-3(燈具-第 2-3 部：路燈相關具體要求及測試)，除美國外其它國國家標準皆以參照 IEC 標準制定，美國 UL 標準使用較區域性，而 IEC 標準較國際化且我國國家標準一向參照 IEC 標準制定，為維持其一慣性此項目仍沿用 CNS 15233 之規定。

9. 防護等級

CNS 15233 標準之防護等級以 IEC 60529(以外殼密封的保護等級分類 (IP 編碼))訂定發光室 IP65 及控制室 IP54，其它國國家標準亦以參照 IEC 標準制定，另美國 LED 路燈草案無此規定，此項目可沿用 CNS 15233 之規定。



10. 電氣特性

CNS 14335 標準之電氣特性以 IEC 62384(LED 模組用 DC/AC 電源控制器效能相關規定)、IEC 61000 (電磁相容性)及 CISPR 15(電磁相容性(EMC)- 照明器具, 或類似器具的電磁波測定方法、及其最高限值), 除美國外其它國國家標準皆以參照 IEC 標準制定, 美國 UL 標準使用較區域性, 而 IEC 標準較國際化且我國國家標準一向參照 IEC 標準製定, 為維持其一慣性此項目仍沿用 CNS 15233 之規定。

表 3.1.7-3 各國 LED 路燈標準比較

項目	CNS (CNS 15233 C4504)						中國國家標準 (GB/T 24907-2010)			韓國標準 (KS C 7658)			美國 LED 路燈草案					
功率因數	0.9 以上，功率因數測試值在標示 95%以上						功率因數依 A~C 三類(電子式整流器)，除 A 類為 0.95 外，其餘為 0.9，實測值不低於標稱值的 0.05			功率因數應在 0.9 以上 (5W 以下是 0.85 以上)			功率因數應在 0.9 以上					
色溫	相對色溫類別						燈光的顏色標準色度座標應符合 GB/T 10682 規定的目標值要求 色度座標中心額定值			表 4 LED 燈具的光學特性基準			表 1. 容許色溫及 Duv (深紫外光) (引用 NEMA C78.377)					
	色溫		色溫範圍 (K)		色溫類別													
	2700 K		2725±145		低色溫													
	3000 K		3045±175															
	3500 K		3465±245															
	4000 K		3985±275		中色溫													
	4500 K		4503±243															
	5000 K		5028±283															
	5700 K		5665±355		高色溫													
	6500 K		6530± 510															
配光特性	單位:cd/klm						符合 CJJ45 規定 (城市道路照明設計標準)			表 2-LED 燈具類別及其條件代碼			表 5 TRL (transverse roadway lines 橫向車行道) 配光定義					
	燈具型式		垂直角 90°	垂直角 80°	垂直角 70°	垂直角 65°	垂直角 60°	1. 截光型燈具 cut-off luminaire			類別			條件	代碼			
			水平角 90°	水平角 90°	水平角 65°~95°	水平角 65°~95°	水平角 65°~95°	燈具的最大光強方向與燈具向下垂直軸夾角在 0°~65°之間，90°角和 80°角方向上的光強最大允許值分別為 10cd/1000lm 和 30cd/1000lm 的燈具。且不管光源光通量的大小，其在 90°角方向上的光強最大值不得超過 1000cd。			LED 路燈燈具			設置高度	Rd8, Rd10, Rd12			
	二方向型	遮隔型	10 以下	30 以下	-		180 以上	2. 半截光型燈具 semi-cut-off luminaire			車線			1,2,3,4				
		半遮隔 A 型	30 以下	120 以下	-	170 以上	-	燈具的最大光強方向與燈具向下垂直軸夾角在 0°~75°之間，90°角和 80°角方向上的光強最大允許值分別為 50cd/1000lm 和 100cd/1000lm 的燈具。且不管光源光通量的大小，其在 90°角方向上的光強最大值不得超過 1000cd。			道路照明等級			M1,M2,M3,M4,M5				
		半遮隔 B 型	60 以下	150 以下	-	150 以上	-	3. 非截光型燈具 non-cut-off luminaire			路面等級			R1,R2,R3,R4				
		無遮隔型	120 以下	-	150 以上		-	燈具的最大光強方向不受限制，90°角方向上的光強最大值不得超過 1000cd 的燈具。			燈具排列			O,B,S				
	全周型	遮隔型	10 以下	30 以下	-	-	-				LED 保安燈燈具			設置高度	S4,S5,S6			
		半遮隔型	60 以下	150 以下	-	-	-				道路種類			H,B				
		無遮隔型	-	-	-	-	-				人潮密度			D0, D1				
										備註:			表 6 LRL (longitudinal roadway lines 縱向車行道) 配光定義					
										1: Rd 標示的類別是路燈，S 是保安燈，數字則代表設置高度 (公尺)			房屋側(MH)			街道側(MH)	角度(degree)	
										2 :道路照明等級參考 CIE 115 2010 Table 1			Type I			<1.0	<1.0	-45°~45°
										3:路面等級參考 CIE 66			Type II			-	1-1.75	45°~60.3°
										4 :道路種類中 H(House)代表住宅區、B(Business)代表商業區			Type III			-	1.75-2.75	60.3°~70°
										5: 燈具排列中 O(one side)代表一側，B(both side)面對面兩側，S(staggered layout)表示無規則			Type IV			-	>2.75	>70°
										6:人潮密度/通行人多寡 D(Density)，D0 代表人潮多的鬧區，D1 代表非鬧區			Type V			<1.0	<1.0	<45°
										7:代碼舉例 Rd8-2M2-R1-0 解說：LED 燈具設置在高度 8 公尺，雙線車道，交通流量大或路線複雜，混凝土路面，燈具呈單邊排列								

項目	CNS (CNS 15233 C4504)	中國國家標準 (GB/T 24907-2010)	韓國標準 (KS C 7658)	美國 LED 路燈草案																																																		
		單位:cd/klm <table><tr><td>燈具型式</td><td>垂直角 90°</td><td>垂直角 80°</td><td>最大光強方向與燈具垂直軸夾角</td></tr><tr><td>截光型</td><td>10 以下</td><td>30 以下</td><td>0°～65°</td></tr><tr><td>半截光型</td><td>50 以下</td><td>100 以下</td><td>0°～75°</td></tr><tr><td>非截光型</td><td>未做限制</td><td>未做限制</td><td>未做限制</td></tr></table>	燈具型式	垂直角 90°	垂直角 80°	最大光強方向與燈具垂直軸夾角	截光型	10 以下	30 以下	0°～65°	半截光型	50 以下	100 以下	0°～75°	非截光型	未做限制	未做限制	未做限制	.S4-H-D0 解說：LED 保安燈設置在 4 公尺高度，住宅區、人潮多的鬧區 8:符合的代碼應全部列示，道路照明等級，路面等級，道路種類及人潮密度等採最高值標示	單位:cd/klm <table><tr><td>燈具型式</td><td>垂直角 90°</td><td>垂直角 80°</td></tr><tr><td>遮蔽型</td><td>25 以下</td><td>30 以下</td></tr><tr><td>半遮蔽型</td><td>50 以下</td><td>200 以下</td></tr><tr><td>無遮蔽型</td><td>未做限制</td><td>未做限制</td></tr></table>	燈具型式	垂直角 90°	垂直角 80°	遮蔽型	25 以下	30 以下	半遮蔽型	50 以下	200 以下	無遮蔽型	未做限制	未做限制																						
燈具型式	垂直角 90°	垂直角 80°	最大光強方向與燈具垂直軸夾角																																																			
截光型	10 以下	30 以下	0°～65°																																																			
半截光型	50 以下	100 以下	0°～75°																																																			
非截光型	未做限制	未做限制	未做限制																																																			
燈具型式	垂直角 90°	垂直角 80°																																																				
遮蔽型	25 以下	30 以下																																																				
半遮蔽型	50 以下	200 以下																																																				
無遮蔽型	未做限制	未做限制																																																				
發光效率	<table><tr><td colspan="3">表 5 LED 路燈之效率等級要求</td></tr><tr><td rowspan="2">等級</td><td colspan="2">發光效率（lm/W）</td></tr><tr><td>初始</td><td>3000 小時</td></tr><tr><td>1</td><td>75 以上</td><td>67 以上</td></tr><tr><td>2</td><td>60 以上</td><td>54 以上</td></tr><tr><td>3</td><td>45 以上</td><td>40 以上</td></tr></table>	表 5 LED 路燈之效率等級要求			等級	發光效率（lm/W）		初始	3000 小時	1	75 以上	67 以上	2	60 以上	54 以上	3	45 以上	40 以上	燈的初始光效 單位為流明每瓦 <table><tr><td>等級</td><td>顏色：RR/RZ（>4000K）</td><td>顏色：RL/RB/RN/RD（≤4000K）</td></tr><tr><td>1</td><td>75</td><td>70</td></tr><tr><td>2</td><td>60</td><td>55</td></tr><tr><td>3</td><td>50</td><td>45</td></tr></table>	等級	顏色：RR/RZ（>4000K）	顏色：RL/RB/RN/RD（≤4000K）	1	75	70	2	60	55	3	50	45	初始特性 LED 燈具施以額定電壓經過 100 小時，測量其光束、演色性、色溫、發光效率等 (參考表 4 LED 燈具的光學特性基準)	<table><tr><td colspan="4">遮蔽 光擴散區域小於在燈桿後方1.5倍之燈桿安裝高度（房屋側）</td><td colspan="3">非遮蔽 光擴散區域大於在燈桿後方1.5倍之燈桿安裝高度（房屋側）</td></tr><tr><td>初始燈具輸出</td><td>低輸出 < 7,500 流明</td><td>中輸出</td><td>高輸出 > 23,500 流明</td><td>低輸出 < 10,500 流明</td><td>中輸出</td><td>高輸出 > 33,000流明</td></tr><tr><td>最小初始合適目標效率（lm/W）</td><td>30</td><td>38</td><td>48</td><td>38</td><td>49</td><td>62</td></tr></table>	遮蔽 光擴散區域小於在燈桿後方1.5倍之燈桿安裝高度（房屋側）				非遮蔽 光擴散區域大於在燈桿後方1.5倍之燈桿安裝高度（房屋側）			初始燈具輸出	低輸出 < 7,500 流明	中輸出	高輸出 > 23,500 流明	低輸出 < 10,500 流明	中輸出	高輸出 > 33,000流明	最小初始合適目標效率（lm/W）	30	38	48	38	49	62
表 5 LED 路燈之效率等級要求																																																						
等級	發光效率（lm/W）																																																					
	初始	3000 小時																																																				
1	75 以上	67 以上																																																				
2	60 以上	54 以上																																																				
3	45 以上	40 以上																																																				
等級	顏色：RR/RZ（>4000K）	顏色：RL/RB/RN/RD（≤4000K）																																																				
1	75	70																																																				
2	60	55																																																				
3	50	45																																																				
遮蔽 光擴散區域小於在燈桿後方1.5倍之燈桿安裝高度（房屋側）				非遮蔽 光擴散區域大於在燈桿後方1.5倍之燈桿安裝高度（房屋側）																																																		
初始燈具輸出	低輸出 < 7,500 流明	中輸出	高輸出 > 23,500 流明	低輸出 < 10,500 流明	中輸出	高輸出 > 33,000流明																																																
最小初始合適目標效率（lm/W）	30	38	48	38	49	62																																																
光束維持率	LED 路燈完成枯化點燈 1000 小時後，在室內自然無風及 20℃ 至 27℃ 之環境溫度下持續點燈，於 3000 小時後之光束維持率不低於 92%，且其發光效率須符合表 5 之值	點燈 3000 小時，其光通維持率不低於 90%， 點燈 6000 小時，其光通維持率不低於 85%	LED 燈具施以額定電壓經過 2000 小時（包括初始特性測量 100 小時時間）老化之後進行光束測試，光束維持率應在表 4 所示範圍	-																																																		
點滅試驗	LED 路燈於輸入端子間施加額定輸入頻率之額定輸入電壓，以點燈 30 秒，熄燈 30 秒之週期，持續進行 8000 次	燈在施加額定輸入電壓下，以 60 秒點燈，以 60 秒關燈條件下，應能通過 5000 次開關試驗	LED 燈具施以額定電壓開 30 秒開，30 秒關為一單位次，將此連串動作反覆實施，次數應是額定壽命小時數的一半	無																																																		
LED 晶粒壽命	無	平均壽命應不低於 20000 小時	無	IES LM-80(LED 光源光通維持率測定方法)以 6000 小時為量測時間，採用外插法推算光衰 70%作為壽命，一般以 L70(6K)來表示此條件下計算出來之壽命																																																		

項目	CNS (CNS 15233 C4504)	中國國家標準 (GB/T 24907-2010)	韓國標準 (KS C 7658)	美國 LED 路燈草案
安全 要求	一般照明用 LED 模組之安全性 CNS 15357(IEC 62031) 控制裝置之安全性 IEC 61347-1 及 IEC 61347-2-13 燈具安全通則 CNS 14335(IEC 60598-1) 燈具－第 2－3 部：道路及街道照明用燈具之安全規定 CNS 14335-2-3(IEC 60598-2-3)	普通照明用 LED 模塊之安全要求 GB 24819(IEC 62031)	一般照明用 LED 模組安全相關規定 KS C IEC 62031 LED 模組用 AC/DC 電源驅動裝置的 具體要求 KS C IEC 61347-2-13 燈具-第 1 部：一般規定與測試 KS C IEC 60598-1 燈具-第 2-3 部：路燈相關具體要求及 測試 KS C IEC 60598-2-3	用於燈具產品的發光二極體光源安全通則 UL8750
防護 等級	燈具安全通則 CNS 14335(IEC 60529) 發光室須符合 IP65,控制室須符合 IP54	外殼防護等級(IP 代碼)GB 4208(IEC 60529) 燈的防護等級應達到 IP65	以外殼密封的保護等級分類（IP 編碼 ）KS C IEC 60529 防護等級 IP65	無
電氣 特性	燈具安全通則 CNS 14335(IEC 62384) 電磁相容性-測試與量測技術-第 5 部：突波免役力測試 CNS 14676-5(IEC 61000) 電磁雜訊試驗 CNS 14115	電磁兼容-限制諧波電流發射限制 GB 17625.1(IEC 61000) 電氣照明和類似設備的無線電干擾 特性的限制和量測方法 GB 17743(CISPR 15) 一般照明用設備電磁兼容抗擾度要 求 GB 18595(IEC61547)	LED 模組用 DC/AC 電源控制器效能 相關規定 KS C IEC 62384 電磁相容性 KS C IEC 61000 電磁相容性(EMC)- 照明器具，或類似 器具的電磁波測定方法、及 其最高限值 KS C CISPR 15	用於燈具產品的發光二極體光源安全通則UL8750符合本規格要求的發光二極體光源，可作為符合下列標準要求的燈具產品的照明，產品適用於600V 以下的電源分支，並在於依照美國國家電工法規（ANSI/NFPA 70）內所列的非危險的環境下使用。 突波保護器標準 UL 1449(ANSI/IEEE C62.11)



3.2 國內 LED 路燈標準分析

國內 LED 路燈規範，原則均採用 CNS 15233 標準為主要藍本，而 CNS 15233 標準，除依照光源特性加入其特性要求外，對於路燈一般基本要求如配光光形、防護等級等，均依照 CNS 9118「道路照明燈具」標準。

然而對於 LED 燈具，依第二章節與傳統燈具差異性及上節分析，可看出以下幾點問題，將會作為規範訂定參考：

1. 配光形式較不嚴謹

CNS 15233 標準對於配光形式較不嚴謹，選擇合適道路燈具搭配適宜的燈桿高度，對於提升整體道路照明品質是不可或缺的因素。

由上節說明可明顯看出，IES 對於配光僅針對光形分類，並未有光強度需求，而 CNS 標準對於配光確有光強度需求，依所收集到的 LED 路燈資料顯示，由於國內廠家依照國內標準，對於高速公路的道路照明條件，反造成照明效率的浪費，其配光曲線大多都不符合高速公路需求。故在訂定規範時，依國內標準無法有效取得所需配光，故建議採用 IES 標準來訂定所需光型，除定義較清楚外，也能夠取得所需光形。

2. 光束維持率測試時間問題

現有 CNS15233 標準，採用枯化時間 1000 小時，做為初始流明，再以點燈 3000 小時候，做為燈具壽命測試標準，依所收集到的 LED 路燈資料顯示，有多家廠家光束維持率超過 100%，也就是越來越亮，依上章節差異性分析可知，LED 晶粒，大約在 5000 小時候，才會光衰情況出現，但如果採用 IESNA LM-80 標準至少 6000 小時曠日費時，在工程上無法執行，由於 LED 光源光衰主要依其工作溫度(T_j)而定，以往 LED 晶粒在光流明表示上，均採用工作溫度(T_j)在 25°C 的情況下，然而實際在 LED 燈具內，工作溫度往往在 70°C 左右，在考量周溫及環境汙染影響，工作溫度往往可能高達 85°C 左右，故現有 LED 晶粒廠，已依照 IESNA LM-80 標準，陸續在技術型錄上，增加 LED 晶粒在工作溫度在 85°C 的光輸出流明，以切合實際狀況，依表 3.2-1 可看出，工作溫度在 85°C 的光輸出流明與在 25°C 的情況下，相差 13% 左右，



對於壽命的影響，且依第二章差異性分析可看出，約每溫差 30 °C，壽命減半，故對於 LED 燈具的使用壽命(經濟壽命)，可藉由光源的使用壽命再加上工作溫度規定進去，才算完整。

表 3.2-1 LED 光源特性表

Color	CCT Range		Base Order Codes Min. Luminous Flux @ 350 mA			Calculated Minimum Luminous Flux (lm)* @ 85 °C			Order Code
	Min.	Max.	Group	Flux (lm) @ 85 °C	Flux (lm) @ 25 °C*	700 mA	1.0 A	1.5 A	
Cool White	5000 K	8300 K	R3	122	138	223	297	402	XPGBWT-L1-0000-00F51
			R4	130	147	237	316	429	XPGBWT-L1-0000-00G51
			R5	139	158	254	338	458	XPGBWT-L1-0000-00H51
Outdoor White	3200 K	5300 K	R2	114	129	208	277	376	XPGBWT-01-0000-00EC2
			R3	122	138	223	297	402	XPGBWT-01-0000-00FC2
			R4	130	147	237	316	429	XPGBWT-01-0000-00GC2
Neutral White	3700 K	5300 K	Q5	107	121	195	260	353	XPGBWT-L1-0000-00DE4
			R2	114	129	208	277	376	XPGBWT-L1-0000-00EE4
			R3	122	138	223	297	402	XPGBWT-L1-0000-00FE4
80-CRI White	2600 K	4300 K	Q4	100	113	182	243	330	XPGBWT-H1-0000-00CE7
			Q5	107	121	195	260	353	XPGBWT-H1-0000-00DE7
			R2	114	129	208	277	376	XPGBWT-H1-0000-00EE7
Warm White	2600 K	3700 K	Q4	100	113	182	243	330	XPGBWT-L1-0000-00CE7
			Q5	107	121	195	260	353	XPGBWT-L1-0000-00DE7
			R2	114	129	208	277	376	XPGBWT-L1-0000-00EE7
			R3	122	138	223	297	402	XPGBWT-L1-0000-00FE7

資料來源:美國 CREE XP-G2



3.3 國內外 LED 路燈相關技術規範

3.3.1 台灣 LED 路燈技術規範

1. 國科會科學工業園區 LED 路燈技術規範

- (1) 燈具初始發光效率須達每瓦 75 流明以上(1000 小時之測試數值)，且 3000 小時後每瓦仍維持 67 流明以上。
- (2) LED 路燈之 3000 小時輸出光通量需維持在 95% 以上。
- (3) 光衰量：取其光衰量之平均值，光衰量定義為每處平均照度之減少比率，必須符合如下規格
 - a. 驗收合格日起 1 年不得大於 10%。
 - b. 驗收合格日起 3 年不得大於 20%。
- (4) 色溫：須符合 CNS 15233 6.2 基本試驗方法，其色溫不得高於 5700K 等級。
- (5) 所有固定配件為鍍鋅、不銹鋼或耐蝕材質。
- (6) 燈具重量不得大於 15 公斤，功率不得大於 150 瓦。
- (7) LED 路燈需通過 17 級風之風洞測試，正向與側向個別吹試 2 小時。
- (8) 電源控制系統（電源供應器）：使用壽命（MTBF）30000 小時。

2. 內政部機場捷運 A7 站區 LED 路燈技術規範

- (1) LED 燈泡：輸入電壓為 1 ϕ 220V 60Hz，燈具型式為二方向半遮蔽型及遮蔽型，LED 路燈之光度特性需符合 CNS15233-C4504 之規定，防塵防水須為 IP65 等級(含)以上。初始發光效率須符合 CNS 15233 第一等級要求，每瓦達 75 流明(含)以上，即光通量應為 11250 流明(含)以上，瓦特數需為 150W(含)以下。
- (2) 電源供應器：LED 之電源模組必須符合 CNS15174-C4499 之相關規定。
- (3) 燈具認證：LED 照明燈具須通過「財團法人全國認證基金會」（TAF）認證之電性與光性認可項目之實驗室檢測，檢測結果須符合 CNS 15233 發光二極體道路照明燈具之規定，檢測



項目如下列(但不限於)各項：

- a. 安全性。
- b. 基本特性。
- c. 配光特性及發光效率。
- d. 電壓變動特性。
- e. 溫度循環。
- f. 點滅。
- g. 耐久性。
- h. 耐濕點滅。
- i. 突波保護。
- j. 光束維持率。
- k. 電磁雜訊。
- l. 防塵防水。
- m. 振動試驗。

3. 經濟部工業局彰化濱海工業區開發工程鹿港西一區第二期公共設施工程 LED 路燈技術規範

- (1) 燈具採遮蔽型，其(垂直角 90° ，水平角 90°)和(垂直角 80° ，水平角 90°)時之光度資料(Photometric Data)特性需符合 CNS15233-C4504 之規定；光通量應為 9000 流明(含)以上，瓦特數需為 150W(含)以下。本體應由鋁合金或壓鑄鋁處理製成，需符合 IP65 或更佳之防塵防水能力。
- (2) 燈具由外罩(Housing)、面框(Frame)、PC 或透光玻璃燈罩、發光二極體、接線端子台、內部引線等主要部份及其它配件組合為一個完整體。燈具附耐撞擊之 PC 或抗熱玻璃燈罩和電源供應單元之完整組合(其主要零件包括電源供應器和控制線路裝置)，輸入電壓為 1ϕ 220V 60Hz。燈具之金屬相關配件均採不銹鋼製品。
- (3) 燈柱內引線至燈具之導線應採用 3/C 3.5mm² VV 電纜。
- (4) LED 之電源模組必須符合 CNS15174-C4499 之相關規定。
- (5) 承包商於文件及器材送審時須提供 LED 照明燈具通過「財團法人全國認證基金會」(TAF) 認證之實驗室出具符合 CNS 15233 標準各項檢測合格報告書(須符合 CNS 15233 相關規定)。



4. 經濟部能源局全臺設置 LED 路燈技術規範(2012)

- (1) 適用範圍：全臺設置 LED 路燈計畫道路裝設之 LED 路燈。
- (2) 參考標準：
 - a. CNS 15233 發光二極體道路照明燈具
 - b. 內政部營建署市區道路照明規範
- (3) LED 路燈須通過「CNS 15233 發光二極體道路照明燈具」國家標準，並符合本技術規範之相關要求。
- (4) 投標廠商須出具財團法人全國認證基金會(TAF)認證之發光二極體(LED)道路照明燈具檢測項目實驗室之 LED 路燈測試報告，測試報告須由同一家實驗室出具完整之報告。實驗室名單如附件一。測試報告中須清楚載明廠牌、型號與產地，包含(1)晶粒;(2)LED 元件;(3)電源供應器;(4)散熱器及(5)燈具，以及燈具外觀及其重要結構或零組件之彩色照片(含 LED 元件及電源供應器)，照片尺寸需為 4" x6" 以上。
- (5) LED 路燈性能要求須符合表 3.3.1-1 規定。

表 3.3.1-1 LED 路燈性能規範表

汰換水銀燈 光源額定功率	設置 LED 路燈額定功率	額定 色溫	額定初始 發光效率	其他
200W(含)以下	$\leq 100W$	中色溫 低色溫	85 lm/W	防塵防水：IP65(含)以上 模擬照度均勻度 ≥ 0.33 模擬平均照度 $\geq 10\text{ lx}$ 或 依採購單位指定之道路照 明需求(維護係數 0.7)
200W 以上	$\leq 150W$			

註：(1)色溫分類依 CNS15233(修訂公布日期 99.11.12)。

(2)初始發光效率為燈具經過 1000 小時枯化點燈後所測得之發光效率值。

(3)照度均勻度=最低照度/平均照度(照度均勻度計算至小數點後第二位數，小數點後第三位數即四捨五入)。

(4)平均照度值計算至小數點第一位，小數點後第二位即四捨五入。

(5)燈具之發光室與控制室(電源供應器)須符合上表 IP 等級。

(6)道路照明需求請參考附件二

- (6) 投標廠商之測試報告須併同出具道路模擬報告，模擬報告中須顯示各參數之設定情形。



(7) 模擬報告參數設定

- a. 照度均勻度模擬應以 DIALUX 4.8 版以上軟體，並由檢測機構於燈具檢驗後實施，並將模擬報告結果併於燈具檢測報告內，同時檢具該燈具之 IES 檔以供驗證。
- b. 模擬報告應包含報告日期、照明器具表、測光結果、照度曲線資料表、等照度圖(照度)及參數設定情形，並須包含平均照度及照度均勻度值。
- c. 道路設置參數
 - (a)LED 燈具維護係數：0.7
 - (b)道路寬度：6 米及 8 米(燈具功率 $\leq 100\text{W}$ 時)；
8 米及 10 米(燈具功率 $\leq 150\text{W}$ 時)
 - (c)線道數量：2
 - (d)兩支燈桿之間的距離：4 倍安裝高度
 - (e)柏油均勻度潮濕車道：W3
 - (g)照度種類：ME4a
 - (h)網格點：20x12
- d. 燈具設置參數
 - (a)燈具安裝高度：6 米及 8 米(燈具功率 $\leq 100\text{W}$ 時)；
8 米及 10 米(燈具功率 $\leq 150\text{W}$ 時)
 - (b)與工作面距離：6 米及 8 米(燈具功率 $\leq 100\text{W}$ 時)；
8 米及 10 米(燈具功率 $\leq 150\text{W}$ 時)
 - (c)每一支燈桿上的燈具數量：1
 - (d)兩支燈桿之間的距離：4 倍安裝高度
 - (e)縱向位移：0 米
 - (f)燈桿與燈具的距離：2 米
 - (g)燈具傾斜度：製造廠商自訂角度($\leq 15^\circ$)
 - (h)燈桿與道路邊緣之間的距離：0.5 米
 - (i)燈具排列方式：單側排列

- (8) LED 路燈抽驗盞數，採購數量於 1,000 盞以下抽 3 盞，超過 1,000 盞，每多 1,000 盞加抽 1 盞；每一採購案之抽驗數量最少不得低於 3 盞，最多 10 盞。採購單位可指定經 TAF 認可之實驗室進行測試，抽驗項目至少須包含基本電性、發光效率、功率因數、防水防塵(IP) 及突波保護等項目，抽驗項目及數量須依表 3.3.1-2 之規定。測試方法依 CNS15233 之規定，但無須進行 1,000 小時之枯化點燈，測試結果必須全數



符合 CNS 15233 規定。若 0 小時測試結果為不符合規定(包含基本電性、發光效率、功率因數)，須將燈具再送財團法人工業技術研究院或財團法人臺灣大電力研究試驗中心或財團法人金屬工業研究發展中心實驗室，進行枯化點燈 1,000 小時之複測，並以 1,000 小時枯化點燈之測試結果進行判定。實驗室須將抽驗結果再次進行道路模擬，併入抽驗報告中。

表 3.3.1-2 抽驗項目及數量

採購數量 \ 項目	基本電性、發光效率 功率因數、模擬報告	防塵防水 (IP)	突波保護
1,000 盞以下	1 盞	1 盞	1 盞
1,001~2,000 盞	2 盞	1 盞	1 盞
2,001~3,000 盞	3 盞	1 盞	1 盞
3,001~4,000 盞	4 盞	1 盞	1 盞
4,001~5,000 盞	5 盞	1 盞	1 盞
5,001~6,000 盞	6 盞	1 盞	1 盞
6,001~7,000 盞	7 盞	1 盞	1 盞
7,001 盞以上	6 盞	2 盞	2 盞

- (9) 額定功率 70W~100W 之 LED 路燈，所使用之電源供應器須滿足表 3.3.1-3 規格要求，且電源供應器須具獨立外殼設計。額定功率不在 70W~100W 之 LED 路燈則不受此限制。投標廠商須檢附 TAF 或國際認可之第三公正試驗室之試驗合格報告，試驗項目包含電源供應器之安規、電磁干擾與防塵防水。
- (10) 投標廠商須提供 LED 路燈所使用電源供應器之廠牌、型號及詳細規格書(參考表 3.3.1-3 之項目)。
- (11) 投標廠商須提供燈具零組件無侵犯智慧財產權之聲明(須蓋公司大小章)。
- (12) 燈具須保固五年(含)以上。



表 3.3.1-3 額定功率 70W~100W 之 LED 路燈電源供應器規格

項目		規格
輸入 Input	額定電壓 Rated Voltage	110~277 Vac
	額定頻率 Rated Frequency	50/60 Hz
	功率因數 PF	>0.92 @ 220Vac at 70% load & full load
	效率 Efficiency	> 90% @ 220Vac at full load
輸出 Output	額定輸出電流 Current Rating	700 mA \pm 5 %
	輸出電壓 Voltage Rating	\leq 140V
	電源電壓調整率 Line Regulation	\pm 3 % @ full load
	輸出漣波電流 Ripple current	\pm 20 % @ 220Vac at full load
	可調光 Dimmable	Optional
保護 Protection	短路保護 SCP	Yes
	過壓保護 OVP	Yes
	過溫保護 OTP	Yes
使用條件 Environment	操作溫度 Operation temperature	-20 ~ 50 °C
	操作濕度 Operation Humidity	10 ~ 90 %
	儲存溫度 Storage temperature	-40 ~ 80 °C
	儲存濕度 Storage Humidity	10 ~ 90 %
安規與電磁 雜訊 Safety & EMC	安規 Safety Standards	IEC/EN 61347-1 IEC/EN 61347-2-13
	電磁干擾 EMI	CISPR 15 (IEC/EN 55015) 或 CNS14115 (2008 版)
	諧波 Harmonics	IEC/EN 61000-3-2 class C
防塵防水 Ingress Protection		IP65
保固 Warranty		5 年



表 3.3.1-4 全臺設置 LED 路燈計畫評比項目及配分

項 目	內 容	配 分	備 註
節能效率	發光效率 (lm/W)	20	燈具規格為中低色溫，發光效率至少 85 lm/W，越高越好。
性能品質	3000 小時光束維持率	7	最低值為 92%，其數值越高越好。
	模擬照度均勻度	8	最小值為 0.33，其數值越高越好。
產業效益	燈具與零組件供應	25	依晶粒、LED 元件、電源供應器、散熱器等零組件供應情形，從「促成產業就業機會、提升產值、增進產業鏈整合、開拓產業全球能見度」等構面，進行「產業效益」評分。
成本效益	價格分析合理性	20	依投標廠商提供之費用編列說明、細項價格分析、保固年限、完修服務速度等資料內容進行評比。
履約能力	工作團隊架構與能力 (如：聯合承攬、專業營建管理等)	10	依投標廠商提供之工作團隊組成（資本額、債信能力、成員經歷、主要人力分配）、廠商簡報與答詢、進度掌控、LED 路燈設置實績、執行 ESCO 經驗等資料內容進行評比。
	其他(如契約工作以外之承諾服務事項或廠商回饋)	10	如投標廠商承諾之延長保固年限、智慧監控、燈具造型與環境協調等項目進行評比。
總	分	100	



3.3.2 中國大陸 LED 路燈技術規範

1. LB/T 002-2010 半導體照明試點示範工程（LED 路燈技術規範）。

本技術規範主要針對半導體照明試點示範工程的道路照明，規定了 LED 道路照明產品的技術要求，其中包括產品的規格分類、初始光通量、初始光效和光通維持率等基本光學性能指標，電氣安全要求及天線電磁干擾特性等。茲摘要介紹如下：

(1) 規格

按照額定光通量，LED 道路照明產品可劃分為 3000lm、5400lm、9000lm 和 14000lm 四種規格。

(2) 初始光通量要求

LED 道路照明產品的初始光通量不低於額定光通量的 90%，不高於額定光通量的 120%。

(3) 初始光效要求

LED 道路照明產品的初始光效率不低於表 3.3.2-1 的指定值。

表 3.3.2-1 LED 道路照明產品初始光效要求

產品類型	初始光效率不低於(lm/W)			
	額定相關色溫 ≤3300K	3300K < 額定相關色溫 ≤ 6500K		
		能效等級 A	能效等級 B	能效等級 C
LED 道路明產品	80	95	90	85

(4) 光通維持率要求

LED 道路照明產品的 3000h 光通維持率不低於 96%，6000h 光通維持率不低於 92%，10000h 光通維持率不低於 86%。

(5) 初始相關色溫，詳表 3.3.2-2。



表 3.3.2-2 LED 道路照明產品初始相關色溫

額定相關色溫	初始相關色溫	Duv(深紫外光)及其容差
2700K	2725 ± 145	0.000 ± 0.006
3000K	3045 ± 175	0.000 ± 0.006
3500K	3465 ± 245	0.000 ± 0.006
4000K	3985 ± 275	0.001 ± 0.006
4500K	4503 ± 243	0.001 ± 0.006
5000K	5028 ± 283	0.002 ± 0.006
5700K	5665 ± 355	0.002 ± 0.006
6500K	6530 ± 510	0.003 ± 0.006

(6) 初始顯色性要求

LED 道路照明產品的初始演色性 Ra 的值應 ≥ 65 。同一批次的 LED 道路照明產品顯色指數應保持一致，偏差不大於 ± 2 ，3000 小時內顯色指數變化波動範圍不大於 ± 3 。

(7) 配光曲線要求

LED 道路照明產品應按照 GB/T 9468-2008 進行分布光度測試，且配光曲線應達到（城市道路照明設計標準）CJJ45-2006 照明設計要求。

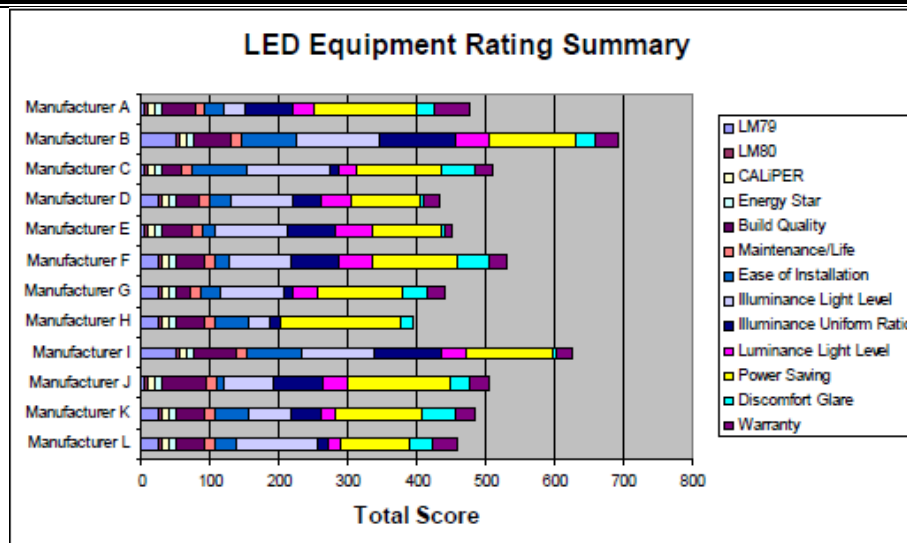
(8) 功率因數

LED 道路照明產品的實測功率不應大於額定功率的 110%，功率因數應不低於 0.95。

3.4 國外 LED 路燈案例

根據美國洛杉磯市街道照明局 2009 年 6 月 LED Equipment Evaluation Pilot Project-Phase I 報告中，提供了評估各廠商提供之 LED 燈具優劣之方法，經由不同之項目進行分別評分，如 LM-79、LM-80、能源之星規範、建造品質、維護壽命、容易安裝、均勻度、節能、眩光…等，最後總分於前幾名為較優質之燈具廠商，如圖 3.4-1 所示，可知 B 廠商可提供最好的燈具。

其中最值得注意的，這份報告利用了兩個標準來評價 LED 燈具，分別為 LM-79 和 LM-80，此項目可做為制定本案 LED 路燈規範之參考。



資料來源: City of Los Angeles Bureau of Street Lighting

圖 3.4-1 各燈具評比

3.5 國內 LED 路燈案例分析

國內 LED 路燈規範，原則均採用 CNS 15233 標準為主要藍本，再依地域性需求，而加入相關規定。

而最近較具規模也較完整的案例為經濟部能源局於今年所提出的全臺設置 LED 路燈技術規範，本規範主要目的是以平行置換路燈燈具方式，原則以 100W LED 路燈取代傳統 200W(參考表 3.3.1-1)水銀燈泡的路燈，該規範除以 CNS15233 標準為藍本外，並針對照度模擬計算方式及照度要求做詳細定義，並針對電源供應器做統一規格化的規定，還有對燈具各項元件，須清楚載明廠牌、型號與產地並附彩色照片，包含(1)晶粒;(2)LED 元件;(3)電源供應器;(4)散熱器及(5)燈具，另發包方式須用最有利標方式發包。

然而對於該規範，可看出以下幾點問題，可供本案參考：

1. 對於配光形式並未限定，由於 CNS 15233 標準，對於配光形式，較不嚴謹，故改以照度模擬方式來替代，另雖有路面反射係數定義，卻無輝度要求，本案將會針對配光形式加以要求。
2. 對於電源供應器，主要針對額定功率 70W~100W 去做統一規格的限定，該規格中，主要一個重點和以往方式不同，是採用以輸出額定電流 700mA 為定值，輸出電壓為調整值，也就是輸出電壓為一個範圍值($\leq 140V$)，和以往定電壓 24V 或 48V 不同。

由於此項方式的訂定，主要在訂定初期，考量電源供應器與燈具



可能採分離方式，原低壓方式(24V 或 48V)較不利於分離方式且高電壓方式($\leq 140V$) 通常效率較高，但最後卻未限定是否採用分離方式，但電源供應器須具有獨立外殼。該規定，在小瓦數時，看起來好像還可以，但在高速公路，將來可能要 200W 以上 LED 路燈，而該規格則需定成輸出電壓 $\leq 280V$ ，甚至比輸入電壓還高，尤其將來如需做智能控制時，由於 LED 晶粒輸出流明與其工作電流成比例關係，如以電壓作調控，反而會造成困擾，故本案建議採定電壓為原則。

3. 對於年光衰量，並未再做限定，且並未對 LED 晶粒做要求，改以保固 5 年方式處理，由於 CNS 15233 標準對 LED 路燈，針對燈具做枯化點燈 1000 小時後當成燈具的初始流明，及再做 3000 小時點燈測試來做光衰測試比較，共 4000 小時測試，依據所收集資料，有部分廠家，該測試報告燈具在 4000 小時點燈後，輸出流明甚至比初始流明高出 7% 左右，由於此為 LED 晶粒特性問題，並非燈具造成，故顯然無法有效測出該燈具實際狀況，依據 IESNA LM-80 標準，測試時間需 6000 小時以上，LED 晶粒才會到達穩定衰減，故本案建議需針對 LED 晶粒特性加以限定。
4. 由於該規範在最有利標的架構下，依表 3.3.1-4 可發現，評比項目，對於產業效益，佔有很大的比例，故很明顯規範的規格，會盡量以國內產品為主，所依照的標準盡量採用國內標準，對於國外較嚴格的標準，國內多數廠家無法執行或增加檢測成本及時間之項目，均沒有採用。
5. 由於能源局所針對的對象為一般地方道路，對於高速公路還是有所不同，故本案將會針對高速公路特性，將於第六章做更詳細的建議。



第四章 可行性初步評估

4.1 LED 路燈道路/隧道照明模擬計算分析

本節將蒐集到的國內外 LED 路燈產品之配光曲線，利用專業軟體 DIALux 來進行分析，詳細分析資料於附件中整理。

4.1.1 維護系數研討

在照度模擬計算中，有一個「維護係數」的重要參數，在傳統道路照明計算中，大部分均採用 0.65 為其參考數值，然而 LED 路燈受溫度影響，對於維護係數是否可沿用，或有新的參考值，將做初步檢討，以作為下節照度模擬參考依據。

依 IESNA RP-08-00 標準，一般導致道路照明衰減係數共分為維護係數(可恢復光損失因數)與設備係數(不可恢復光損失因數)兩大類，維護係數主要是依據光源的更換或燈具的清洗即可恢復的係數，而設備係數主要依據需燈具更換或設備性能所造成，一般該係數大多須廠家提供才可知，屬不可恢復的係數，依其屬性又各分成三項及六項，如表 4.1.1-1。另根據 CIE 154-2003 戶外照明系統維護，針對維護係數有較明確數值可供參考，如表 4.1.1-2 及表 4.1.1-3。

表 4.1.1-1 一般道路照明衰減係數分類(IESNA RP-08-00)

維護係數(可恢復光損失因數)	設備係數(不可恢復光損失因數)
光源流明衰減係數 燈具污物衰減係數 光源燒盡(壞)係數(光源殘存係數)	燈具周溫 散熱因素 輸入電壓因素 安定器與光源匹配因素 設備操作因素(包含安定器因素、光源 點燈位置/角度及配光能力) 燈具表面衰減因素

表 4.1.1-2 戶外高壓鈉氣燈泡衰減及殘存係數(CIE 154-2003)

高壓鈉氣燈	運作時間(千小時)				
	4	6	8	10	12
光源流明衰減係數	0.98	0.97	0.94	0.91	0.9
光源殘存係數	0.98	0.96	0.94	0.92	0.89



表 4.1.1-3 戶外燈具維護(燈具污物衰減)係數(CIE 154-2003)

燈具防塵等級	環境污染程度	維護清洗週期(年)				
		1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
IP5X	高	0.89	0.87	0.84	0.80	0.76
	中	0.90	0.88	0.86	0.84	0.82
	低	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88
IP6X	高	0.91	0.90	0.88	0.85	0.83
	中	0.92	0.91	0.89	0.88	0.87
	低	0.93	0.92	0.91	0.90	0.90

現有高速公路採用高壓鈉氣燈泡之路燈，由於採燈泡損壞時須立即更換，可將光源燒盡係數設為 1 外，其維護係數應包含光源流明衰減係數、燈具污物衰減係數及燈具表面衰減係數等三部分，公式為維護係數(MF)=光源流明衰減係數(LLD)×燈具灰塵衰減係數(LDD)×燈具表面衰減係數(LCD)。

依高公局養護手冊規定，高壓鈉氣燈泡，在使用 12000 小時須做更換，燈泡損壞時須立即更換，燈具以一年清洗一次，燈具防塵等級為 IP5X，以維護係數 0.65 預估，參照表 4.1.1-2 及表 4.1.1-3 可知，燈具表面衰減係數為 $0.65/0.9/0.89=0.81$ ，約 0.8 左右，由於一般燈具表面衰減係數大多來至於反射板的反射能力減弱及燈罩透光能力衰減所致，故通常須詢問廠家，一般如採用國外產品，均可使用年限達 20 年，而一般國內廠 10 年內就須更換，如以使用年限 20 年計算，約每年平均衰減 1%。

對於傳統高壓鈉氣燈泡，不太受周溫影響，故在衰減係數上均不考量溫度的影響，但 LED 路燈，如圖 4.1.1 所示，由於光流明輸出，受工作溫度(Tj)影響很大，依表 4.1.1-1 可知，一般 LED 光源所謂光流明輸出，是指工作溫度在 25℃時，如以 IESNA LM-80-08 所規定的 85℃計算，光損失約 13%左右，故在 LED 路燈須將溫度影響納入考量。

LED 路燈對於溫度的影響，共分成兩部分，一個是周溫(不可恢復光損失)，一般在實驗室測量時，通常周溫以 25℃為測量基準，但實際上台灣夏日晚上周溫超過 30℃是非常常見，故以上升 5℃計算，

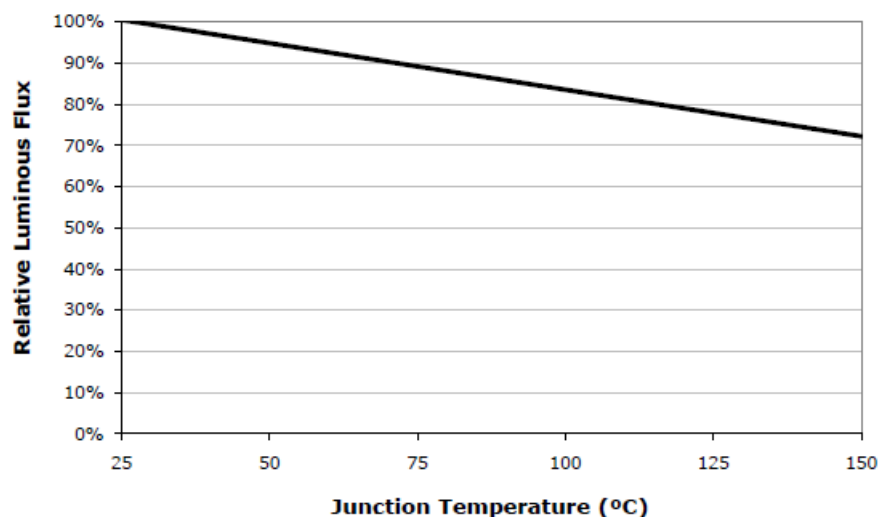


約有 1% 光損失。

另一部分為散熱機構的影響，以自然散熱方式為例，環境汙染除會對燈具產生影響外，對散熱機構也會造成燈具污物衰減及燈具表面衰減等兩項的影響。對於該兩項的影響，通常須由廠家提供，但由於 LED 路燈，屬還在發展階段，故現有廠家通常都無此資料。

一般現有 LED 路燈廠家在設計時，大多以工作溫度 70℃ 來設計，而 LED 光源以 IESNA LM-80-08 規定，如採用 85℃ 作為壽命依據，則可做為燈具污物衰減參考，扣除第一部分周溫影響的 5℃，則 LED 光源可容忍 10℃ 溫升，故約以 2% 光損失計。

另如採透鏡方式，通常以透光率衰減及霧度來做為使用年限，但使用壽命受環境影響很大，一般光透鏡透光衰減係數，約每 10 年衰減 6%(採用較優的 PC 材質)，如以光束維持率 90%，LED 路燈採用 IP6X 來認定，使用年限 20 年，如需維護係數為 0.65，則散熱機構在使用年限終止時仍須維持 $0.65/0.9/0.91/.99/.98/0.88=0.93$ 的散熱能力。故在本計畫採維護係數 0.65 先作為照度模擬數值，並藉由後續三年現場量測，來做為後續的判斷分析。



來源：美國 GREE

圖 4.1.1-1 LED 光源工作溫度與光流明輸出關係

未來在使用 LED 路燈時，由於 LED 光源發光效率不斷提升，雖然散熱裝置可能越來越小，但對於環境汙染所造成的光衰仍應注意，故於試辦 LED 路燈三年量測評估案中，以維護係數值為 0.65 為準，擬每年清洗一次方式，來衡量將來實際大量安裝時，所需清洗週期。



現有一般量測光衰，大多採用燈具直下量測照度來判定，由於此方式量測的數值為環境汙染對燈具外罩或透鏡及散熱裝置所造成的雙重影響，對於散熱裝置散熱能力降低多少，無法得知，目前有多家廠家針對此問題，會在燈具上提供所謂 Tc 點溫度量測點，藉以了解，此燈具內部 LED 光源之工作溫度(Tj)，以了解散熱裝置狀況，然而目前燈具整體溫度量測尚無標準，溫度量測方式建議採用熱電偶溫度感測器由 Tc 點引接至燈桿手孔處以方便量測，量測時間為每季一次，每季定時量測照度及 Tc 點等數值，以判斷是否燈具本身積塵太多，導致散熱不易而影響光衰，因此可透過本案收集相關資料作為將來訂定清潔週期之參考，以提高燈具壽命。

4.1.2 道路照明模擬分析說明

現有高速公路道路照明標準，仍以平均照度做為其要求標準，以中山高速公路為例，路燈設置概況，主要分為主線道、匝道(詳 1.4 節所示)，依據上述標準路段，利用目前蒐集之配光曲線資料 (IES 檔)，以維護係數 0.65 做照度模擬分析，並以國工局「國道公路照明設計準則」規定做為適用依據，其規定如下：

- (1) 平均照度：15 Lux 以上
- (2) 平均輝度：1 cd/m² 以上 (平均輝度受路面材質及光線投射角度而不同)
- (3) 最低照度與平均照度比必須大於 1：3
- (4) 眩光限制 (T.I.) $\leq 15\%$

然而一般駕駛者在道路路面實際感受到的亮度是輝度而非照度，在正常情況下，應該以輝度概念來考量較為適宜，但實際在工程上，由於輝度與路面材質及其燈具與道路及駕駛者的相對位置有關，且受到環境因素影響很高，故一般在實際工程上執行輝度的量測有其困難度。

本案建議對於輝度要求，可採電腦模擬方式來作為規範要求，依其電腦模擬的輝度及相對應的照度，來作為將來現場照度量測標準。

本案輝度模擬分析，對於現有高速公路瀝青混凝土路面反射係數，將以 CIE 144-2001 版之 R3 表，作為路面反射係數標準，另輝度標準，將參照 CNS 10779 標準之 M3 照明等級，藉以分析所需之配光型式。



本案對於照度模擬分析，將針對高速公路主線道及匝道來進行模擬，由於匝道與主線道對於所須配光型式明顯不同，故將分別說明如下：

1. 照度模擬分析說明

(1) 主線道

主線道照度模擬分析，依表 4.1.2-1~4.1.2-3 所示，主要以現有高速公路傳統路燈配置，以所收集到的 LED 路燈作平行置換時，其平均照度、均勻度及 T.I.眩光值的分析結果。

主線道各廠商共提供 21 種配光曲線，模擬結果詳附件 II，其統計可得到表 4.1.2-4，在主線雙向六車道燈距 40 公尺，有 5 家廠家之 5 個配光符合，以平均照度 15LUX 分析至少約需 17500 流明以上才足夠，在主線雙向六車道燈距 60 公尺及主線雙向八車道燈距 50 公尺，雖未有廠家符合，但依其分析，均勻度及 T.I.眩光值大多都符合，故以平均照度 15LUX 分析，主線雙向六車道燈距 60 公尺至少約需 26000 流明以上，主線雙向八車道燈距 50 公尺至少約需 30000 流明以上才足夠。

(2) 匝道

匝道照度模擬分析，依表 4.1.2-5 所示，主要以現有高速公路傳統路燈配置，以所收集到的 LED 路燈作平行置換時，其平均照度、均勻度及 T.I.眩光值的分析結果。

匝道各廠商共提供 19 種配光曲線，模擬結果詳附件 II，其統計可得到表 4.1.2-6，在匝道單向單車道及雙車道，有 4 家廠家之 4 個配光符合，以平均照度 15LUX 分析至少約需 8500 流明以上才足夠。

以傳統路燈為例，匝道 150W 路燈燈具輸出流明約需 9000lm 左右，而主線道 250W 及 400W 路燈燈具輸出流明各需約 18000lm 及 30000lm，就照度模擬結果分析，就輸出流明數而言，大概符合需求。

2. 輝度模擬與配光分析

由上節照度模擬分析時可發現，照明率差異很大，主要來自於燈具配光型式的差異，由於一般駕駛者實際感受到的路面亮度是輝度而非照度，故將以輝度概念來考量，來做為將來規範的參



考。

對於配光形態，在國內標準或準則，並無明顯定義，只有在「交通工程手冊」有較明確分類，而該手冊係參考 IESNA RP-08-00 標準，故將依 IES 標準，作為分析藍本，國內有許多 LED 路燈廠家也參照該標準。

依 IES 標準，匝道大概屬於 TYPE I-SHORT 或 TYPE II-MEDIUM 類型，主線雙向六車道燈距 40 公尺及主線雙向八車道燈距 50 公尺，大概屬於 TYPE II-SHORT 或 TYPE II-MEDIUM 類型，而主線雙向六車道燈距 60 公尺，屬於 TYPE II-MEDIUM 類型。由於匝道與主線道明顯不同，將分開說明如下：

(1) 主線道

主線道採用雙向六車道對稱式排列來分析，依表 4.1.2-7 可發現，如以照明效率 0.5 以上，配光大概屬於 TYPE II-SHORT、TYPE I-SHORT 或 TYPE II-MEDIUM 類型，然而進一步以節能及獲得更高輝度作為考量，在輝度均勻度(≥ 0.4)符合的條件下，效能比在 3% 以上，只剩下 TYPE II-MEDIUM 類型，主線道將建議配光光形，須符合 IES 標準之 TYPE II-MEDIUM 類型。

(2) 匝道

匝道採用單向雙車道單邊排列來分析，依表 4.1.2-8 可發現，如以照明效率 0.5 以上，配光大概屬於 TYPE I-SHORT 或 TYPE II-MEDIUM 類型，在輝度均勻度(≥ 0.4)符合的條件下，效能比在 3% 以上，只剩下 TYPE II-MEDIUM 類型，但由於只有一家符合，且為國外產品，另較接近符合廠家，配光大概屬於 TYPE I-SHORT 類型，但須較大的燈具仰角，由於國內廠家大多僅有照度配光概念，並無輝度配光概念，且匝道線行大多屬彎區道路，燈桿間隔會再縮短，故建議現階段先採 TYPE I-SHORT 類型或 TYPE II-MEDIUM 類型，將來依實際三年量測紀錄再來做更詳細分析。

依表 4.1.2-7 及 4.1.2-8 所示，當在照度模擬符合的情況下，再模擬輝度時，由於配光型式的不恰當，造成不符合條件或效能下降，依傳統路燈換算，在符合照明標準的情況下，效能要 3% 以上，才能達到既安全又節能的條件。

表 4.1.2-1 主幹線六車道模擬分析(250W HPS)

模擬分析統計(規範要求：平均照度>15lx，最小照度/平均照度>1:3,TI≤15%)					主線雙向六車道對稱設置 (250W HPS)			主線雙向六車道交錯設置 (250W HPS)		
廠商名稱	燈具型號	流明輸出(lm)	燈具光效率（lm/W）	燈具實耗功率(W)	平均照度	均勻度	TI(%)	平均照度	均勻度	TI(%)
中盟(AOP)	MS-52SA5D-UH	12,630	84.2	150	9.81	0.820	3	9.81	0.816	2
中盟(AOP)	MS-52MA5D-UH	12,602	84.0	150	9.94	0.626	12	9.95	0.635	12
中盟(AOP)	MS-52MA6D-UH	15,122	84.0	180	12	0.626	13	12	0.635	13
億光	SL-Dolphin-AI	14,250	95.0	150	9.93	0.529	11	9.93	0.535	11
億光	SL-Dolphin-Tr	14,250	95.0	150	10	0.499	3	10	0.498	3
億光	SL-Dolphin-Ve	14,250	95.0	150	8.41	0.557	9	8.42	0.564	9
億光	SL-Knight2-AI	19,000	95.0	200	13	0.529	11	13	0.535	11
億光	SL-Knight2-Tr	19,000	95.0	200	15	0.650	4	15	0.661	3
億光	SL-Knight2-Ve	19,000	95.0	200	11	0.557	10	11	0.564	10
佰鴻	BWLR-150X	13182	86.8	151.9	9.13	0.545	7	9.13	0.557	7
玉晶(GSEO)	G015C-072	13503	72.6	186	10	0.512	2	10	0.473	2
元瑞	TSSL220SE	20575	93.0	221.2	17	0.414	10	17	0.425	10
飛利浦(Philips)	GreenVision BRP362 LED123/CW 150W 220-240V WB	12748	87.7	145.4	10	0.596	8	10	0.572	8
飛利浦(Philips)	GreenVision BRP362 LED169/CW 210W 220-240V WB	17469	87.0	200.7	15	0.635	8	15	0.637	8
飛利浦(Philips)	Essential Line BBP110 160xLED-HP/CW DM 220-240V	14898	78.0	190.9	12	0.754	10	12	0.735	10
晶鼎	KS0207-7LE168-N50-M1B-H00-0	17493	105.5	165.8	13	0.478	4	13	0.530	4
晶鼎	KS0104-LE168-N50-M1AB	17400	105.1	165.5	12	0.696	5	12	0.711	5
晶鼎	KS0207-H00-N50-1C(20)	19900	103.6	192	15	0.646	3	15	0.633	3
威晶	K2HW6-150A1	13000	86.7	150	8.32	0.811	5	8.32	0.839	6
光林	GC2-200W	18000	90.0	200	15	0.654	13	15	0.652	13
鑫源盛	S01151F	10500	70	150	7.14	0.205	2	7.14	0.185	2
誠盟	200W	17000	85.0	200	13	0.812	15	13	0.771	15

差異說明: 1.中盟: 均勻度及 TI 皆符合規範內，照度不足主要是因為流明輸出較低，經實際測試，若 MS-52MA6D-UH 不改變配光曲線的情況下，須達到 19,000 lm 方可達到照度需求。

2.億光: 億光提供不同燈具，且各燈具可搭配不同配光曲線，目前有一盞適合之配光曲線達到六主線雙向六車道之需求，但燈桿仰角必須設計 15 度。

3.佰鴻: 均勻度及 TI 皆符合規範內，照度不足主要是因為流明輸出較低，經實際測試，若不改變配光曲線的情況下，須達到 21,600 lm 方可達到照度需求。

4.玉晶: 均勻度及 TI 皆符合規範內，照度不足主要是因為流明輸出較低，經實際測試，若不改變配光曲線的情況下，須達到 20,200 lm 方可達到照度需求。

5.元瑞: 此配光曲線可達到主線雙向六車道之需求。

6.飛利浦: 目前有一盞適合之配光曲線達到六主線雙向六車道之需求，但燈桿仰角必須設計 15 度。

7.晶鼎: 與億光亦同，提供同款燈具，並搭配不同配光曲線，目前已有 19,000 lm 以上之產品，並可達到主線雙向六車道之需求。

8.威晶: 雖然有 13000lm，但其照度尚有一段差距，須改變其流明值與配光曲線方可達較佳效益。

9.光林: 此配光曲線可達到主線雙向六車道之需求，但燈桿仰角必須設計 0 度。

10.鑫源盛: 因設計之配光曲線較不適合用於高速公路之車道，以致照度及均勻度皆達不到規範。

11.誠盟: 均勻度及 TI 皆符合規範內，照度不足主要是因為流明輸出較低，經實際測試，若不改變配光曲線的情況下，須達到 19,600 lm 方可達到照度需求。

表 4.1.2-2 主幹線六車道模擬分析(400W HPS)

模擬分析統計(規範要求：平均照度>15lx，最小照度/平均照度>1:3,TI≤15%)					主線雙向六車道對稱設置 (400W HPS)			主線雙向六車道交錯設置 (400W HPS)		
廠商名稱	燈具型號	流明輸出(lm)	燈具光效率（lm/W）	燈具實耗功率(W)	平均照度	均勻度	TI(%)	平均照度	均勻度	TI(%)
中盟(AOP)	MS-52SA5D-UH	12,630	84.2	150	6.54	0.213	4	6.54	0.206	3
中盟(AOP)	MS-52MA5D-UH	12,602	84.0	150	6.64	0.518	16	6.64	0.508	16
中盟(AOP)	MS-52MA6D-UH	15,122	84.0	180	7.96	0.518	17	7.96	0.508	17
億光	SL-Dolphin-AI	14,250	95.0	150	6.62	0.370	13	6.63	0.403	13
億光	SL-Dolphin-Tr	14,250	95.0	150	6.84	0.135	4	6.84	0.143	3
億光	SL-Dolphin-Ve	14,250	95.0	150	5.61	0.512	12	5.61	0.509	12
億光	SL-Knight2-AI	19,000	95.0	200	8.84	0.370	13	8.84	0.403	13
億光	SL-Knight2-Tr	19,000	95.0	200	9.75	0.172	5	9.75	0.152	4
億光	SL-Knight2-Ve	19,000	95.0	200	7.50	0.512	12	7.50	0.509	13
佰鴻	BWLR-150X	13182	86.8	151.9	6.09	0.365	9	6.09	0.381	9
玉晶(GSEO)	G015C-072	13503	72.6	186	6.87	0.105	2	6.87	0.157	2
元瑞	TSSL220SE	20575	93.0	221.2	12	0.303	14	12	0.288	14
飛利浦(Philips)	GreenVision BRP362 LED123/CW 150W 220-240V WB	12748	87.7	145.4	6.78	0.396	11	6.78	0.402	12
飛利浦(Philips)	GreenVision BRP362 LED169/CW 210W 220-240V WB	17469	87.0	200.7	9.88	0.352	11	9.88	0.360	11
飛利浦(Philips)	Essential Line BBP110 160xLED-HP/CW DM 220-240V	14898	78.0	190.9	7.96	0.471	13	7.95	0.472	13
晶鼎	KS0207-7LE168-N50-M1B-H00-0	17493	105.5	165.8	8.92	0.207	6	8.92	0.221	6
晶鼎	KS0104-LE168-N50-M1AB	17400	105.1	165.5	8.10	0.287	7	8.10	0.285	7
晶鼎	KS0207-H00-N50-1C(20)	19900	103.6	192	10	0.184	4	10	0.174	4
威晶	K2HW6-150A1	13000	86.7	150	5.55	0.396	7	5.55	0.367	7
光林	GC2-200W	18000	90.0	200	10	0.507	18	10	0.544	18
誠盟	200W	17000	85.0	200	8.83	0.509	17	8.83	0.499	17

差異說明：
1.以目前分析結果來看 LED 尚無法達到取代 400W HPS，除了調整配光設計，LED 至少須達到約 26,000lm 以上，才能達到平行置換的目的。

表 4.1.2-3 主幹八車道模擬分析(400W HPS)

模擬分析統計(規範要求：平均照度>15lx，最小照度/平均照度>1:3,TI≤15%)					主線雙向八車道對稱設置 (400W HPS)			主線雙向八車道交錯設置 (400W HPS)		
廠商名稱	燈具型號	流明輸出(lm)	燈具光效率（lm/W）	燈具實耗功率(W)	平均照度	均勻度	TI(%)	平均照度	均勻度	TI(%)
中盟(AOP)	MS-52SA5D-UH	12,630	84.2	150	6.41	0.522	3	6.41	0.529	2
中盟(AOP)	MS-52MA5D-UH	12,602	84.0	150	6.75	0.343	16	6.75	0.352	14
中盟(AOP)	MS-52MA6D-UH	15,122	84.0	180	8.1	0.343	17	8.1	0.352	14
億光	SL-Dolphin-AI	14,250	95.0	150	6.71	0.478	13	6.71	0.475	13
億光	SL-Dolphin-Tr	14,250	95.0	150	6.60	0.316	4	6.60	0.317	3
億光	SL-Dolphin-Ve	14,250	95.0	150	5.45	0.403	12	5.46	0.421	11
億光	SL-Knight2-AI	19,000	95.0	200	8.95	0.478	14	8.95	0.475	13
億光	SL-Knight2-Tr	19,000	95.0	200	9.68	0.314	5	9.68	0.343	3
億光	SL-Knight2-Ve	19,000	95.0	200	7.28	0.403	13	7.28	0.421	12
佰鴻	BWLR-150X	13182	86.8	151.9	5.88	0.341	9	5.87	0.356	8
玉晶(GSEO)	G015C-072	13503	72.6	186	6.57	0.323	2	6.50	0.329	2
元瑞	TSSL220SE	20575	93.0	221.2	11	0.108	14	11	0.092	13
飛利浦(Philips)	GreenVision BRP362 LED123/CW 150W 220-240V WB	12748	87.7	145.4	6.55	0.313	12	6.56	0.306	10
飛利浦(Philips)	GreenVision BRP362 LED169/CW 210W 220-240V WB	17469	87.0	200.7	9.98	0.529	11	9.98	0.535	10
飛利浦(Philips)	Essential Line BBP110 160xLED-HP/CW DM 220-240V	14898	78.0	190.9	7.78	0.515	14	7.79	0.508	14
晶鼎	KS0207-7LE168-N50-M1B-H00-0	17493	105.5	165.8	8.71	0.338	6	8.71	0.395	5
晶鼎	KS0104-LE168-N50-M1AB	17400	105.1	165.5	8.06	0.532	7	8.06	0.546	6
晶鼎	KS0207-H00-N50-1C(20)	19900	103.6	192	9.83	0.348	4	9.83	0.314	3
威晶	K2HW6-150A1	13000	86.7	150	5.59	0.695	7	5.6	0.707	6
光林	GC2-200W	18000	90.0	200	10	0.412	18	10	0.490	18
誠盟	200W	17000	85.0	200	8.90	0.699	18	8.90	0.648	17

差異說明:

1.以目前分析結果來看 LED 尚無法達到取代 400W HPS，除了調整配光設計，LED 至少須達到約 30,000lm 以上，才能達到平行置換的目的。



表 4.1.2-4 主幹道模擬分析統計

LED 燈具光通量	12000lm~19900lm(約 150W~210W)					
概況	主線道					
車道型態	雙向六車道 (250W HPS)		雙向六車道 (400W HPS)		雙向八車道 (400W HPS)	
燈具設置方式	對稱	交錯	對稱	交錯	對稱	交錯
符合規範要求家數	5/22	5/22	0/21	0/21	0/21	0/21

表 4.1.2-5 匝道模擬分析(150W HPS)

模擬分析統計					匝道單向單車道 (150W HPS)			匝道單向雙車道 (150W HPS)		
廠商名稱	燈具型號	流明輸出(lm)	燈具光效率（lm/W）	燈具實耗功率(W)	照度	均勻度	TI	照度	均勻度	TI
中盟(AOP)	MS-51MA3D-UH	7,800	86.6	90.0	8.92	0.572	10	8.98	0.585	11
億光	SL-Dolphin-AI	9,450	105	90.0	7.31	0.498	9	8.55	0.546	10
億光	SL-Dolphin-Tr	9,450	105	90.0	11	0.448	1	12	0.584	2
億光	SL-Dolphin-Ve	9,450	105	90.0	9.33	0.774	7	9.49	0.632	7
億光	SL-Dolphin-AI	11,400	95	120.0	8.81	0.498	9	10	0.546	10
億光	SL-Dolphin-Tr	11,400	95	120.0	14	0.448	2	14	0.584	2
億光	SL-Dolphin-Ve	11,400	95	120.0	11	0.774	7	11	0.632	8
玉晶(GSEO)	G023B-120-00	10,800	88.5	122	21	0.838	3	21	0.477	3
飛利浦(Philips)	GreenVision BRP361 LED92/NW 115W 220-240V MB	9,429.6	88.5	106.5	13	0.682	8	13	0.663	9
晶鼎	K1H4-168H-N50-1B-000	10,397	102.4	101.5	12	0.473	3	13	0.521	3
新強	NAV080W	8,640	88.2	98.0	9.10	0.447	5	9.66	0.473	5
威晶	K1HW5-130A1	10,700	85.6	125	8.99	0.795	5	9.92	0.858	5
台達	Delta-ASAP Z axis RADIANT Intensity SLDA10N9K2TT(V12_1M_100W)	9,500	95	100	18	0.710	2	17	0.367	3
GE	ERS2-GXBX540	9,498	80.5	118	14	0.470	9	15	0.493	10
陽傑	SL-100-S2	7,955	78.8	100.9	8.16	0.607	8	8.9	0.678	9
慶盟	NS-SL2-250C	6,015	73.3	82.1	6.25	0.421	6	7.96	0.460	5
光林	GC1-40H-MV-CW-1S-GY	8,781	89.6	98	15	0.705	11	15	0.542	12
光林	GC2-120(1S+2M)	10,861	110.8	98	18	0.591	3	16	0.318	4
佰鴻	BWLR-120X	13,000	104	125	13	0.588	7	13	0.539	8

差異說明:

- 1.中盟:均勻度及 TI 皆符合規範內，照度不足主要是因為流明輸出較低，經實際測試，若不改變配光曲線的情況下，須達到 13,200 lm 方可達到照度需求。
- 2.億光:億光提供不同燈具，且各燈具可搭配不同配光曲線，皆無法達到匝道之需求，經實際測試，若 SL-Dolphin-Tr 不改變配光曲線的情況下，須達到 12,300 lm 方可達到照度需求。
- 3.玉晶: 此配光曲線適合匝道條件，皆可達到照度需求，但燈桿仰角必須設計 15 度。
- 4.飛利浦: 均勻度及 TI 皆符合規範內，照度不足主要是因為流明輸出較低，經實際測試，若不改變配光曲線的情況下，須達到 11,000 lm 方可達到照度需求。
- 5.晶鼎: 均勻度及 TI 皆符合規範內，照度不足主要是因為流明輸出較低，經實際測試，若不改變配光曲線的情況下，須達 13,000 lm 以上之產品，方可達到照度需求。
- 6.新強: 均勻度及 TI 皆符合規範內，照度不足主要是因為流明輸出較低，經實際測試，若不改變配光曲線的情況下，須達 14,300 lm 以上之產品，方可達到照度需求。
- 6.威晶: 均勻度及 TI 皆符合規範內，照度不足主要是因為流明輸出較低，經實際測試，若不改變配光曲線的情況下，須達 16,200 lm 以上之產品，方可達到照度之需求。
- 7.台達: 此配光曲線適合匝道條件，皆可達到照度需求，但燈桿仰角必須設計 15 度。
8. GE: 單向雙車道已可符合要求，但燈桿仰角必須設計 0 度。單向單車道的均勻度及 TI 皆符合規範內，照度不足主要是因為流明輸出較低，經實際測試，若不改變配光曲線的情況下，須達到 10,200 lm 方可達到照度需求。
- 10.陽傑: 均勻度及 TI 皆符合規範內，照度不足主要是因為流明輸出較低，經實際測試，若不改變配光曲線的情況下，須達 14,600 lm 以上之產品，方可達到照度需求。
- 11.慶盟: 均勻度及 TI 皆符合規範內，照度不足主要是因為流明輸出較低，經實際測試，若不改變配光曲線的情況下，須達 14,400 lm 以上之產品，方可達到照度需求。
- 12.光林: 光林提供兩種配光曲線，目前有一盞適合之配光曲線來達到匝道之需求，但燈桿仰角必須設計 15 度。
- 13.佰鴻: 均勻度及 TI 皆符合規範內，照度不足主要是因為流明輸出較低，經實際測試，若不改變配光曲線的情況下，須達 15,000 lm 以上之產品，方可達到照度需求。



表 4.1.2-6 匝道模擬分析統計

LED 燈具瓦數	90W ~ 125W	
概況	匝道	
車道型態	單向單車道	單向雙車道
燈具設置方式	單邊	單邊
符合規範要求	4/19	4/19

表 4.1.2-7 主幹線雙向六車道對稱排列(配光分析)

廠商名稱	燈具型號	流明輸出(lm)	IES 配光特性	平均照度(lx)	照明效率	平均輝度(nit)	輝度均勻度	照輝度換算比	效能比
中盟	MS-52SA5D-UH	12,630	SC2	9.81	0.52	0.48	0.5	20.4	2.6
中盟	MS-52MA5D-UH	12,602	MC2	9.94	0.53	0.57	0.5	17.4	3.0
中盟	MS-52MA6D-UH	15,122	MC2	12	0.53	0.68	0.5	17.6	3.0
億光	SL-Dolphin-AI	14,250	MS2	9.93	0.47	0.58	0.7	17.1	2.7
億光	SL-Dolphin-Tr	14,250	SC1	10	0.47	0.47	0.4	21.3	2.2
億光	SL-Dolphin-Ve	14,250	SS2	8.41	0.40	0.52	0.4	16.2	2.5
億光	SL-Knight2-AI	19,000	MS2	13	0.46	0.77	0.7	16.9	2.7
億光	SL-Knight2-Tr	19,000	SC1	15	0.53	0.68	0.5	22.1	2.4
億光	SL-Knight2-Ve	19,000	SS2	11	0.39	0.69	0.4	15.9	2.4
佰鴻	BWLR-150X	13182	SC2	9.13	0.47	0.48	0.4	19.0	2.5
玉晶	G015C-072	13503	SC1	10	0.50	0.52	0.3	19.2	2.6
元瑞	TSSL220SE	20575	SC1	17	0.56	1.0	0.3	17.0	3.3
飛利浦	BRP362 LED123	12748	MC2	10	0.53	0.55	0.4	18.2	2.9
飛利浦	BRP362 LED169	17469	MC2	15	0.58	0.8	0.7	18.8	3.1
飛利浦	BBP110 160Xled	14898	MC2	12	0.54	0.73	0.5	16.4	3.3
晶鼎	KS0207-7LE168	17493	SC2	13	0.50	0.6	0.6	21.7	2.3
晶鼎	KS0104-LE168	17400	SC2	12	0.46	0.6	0.6	20.0	2.3
晶鼎	KS0207-H00	19900	SC2	15	0.51	0.72	0.5	20.8	2.4
威晶	K2HW6-150A1	13000	SC2	8.32	0.43	0.46	0.6	18.1	2.4
光林	GC2-200W	18000	MC2	15	0.56	0.99	0.5	15.2	3.7
鑫源盛	S01151F	10500	SC1	7.14	0.46	0.34	0.1	21.0	2.2
誠盟	200W	17000	SS3	13	0.52	0.84	0.6	15.5	3.3

註:IES 配光特性:MC2 表中分佈、遮隔型及 TYPE II, 相關說明, 詳第 3.1.7 節。



表 4.1.2-8 匝道單向雙車道單邊排列(配光分析)

廠商名稱	燈具型號	流明輸出(lm)	IES 配光特性	平均照度(lx)	照明效率	平均輝度(nit)	輝度均勻度	照輝度換算比	效能比(%)
中盟	MS-51MA3D-UH	7,800	MC1	8.98	0.40	0.53	0.4	16.9	2.4
億光	SL-Dolphin-AI	9,450	MS2	8.55	0.31	0.58	0.6	14.7	2.1
億光	SL-Dolphin-Tr	9,450	SC1	12	0.44	0.56	0.5	21.4	2.1
億光	SL-Dolphin-Ve	9,450	SS2	9.49	0.35	0.64	0.6	14.8	2.3
億光	SL-Dolphin-AI	11,400	MS2	10	0.30	0.7	0.6	14.3	2.1
億光	SL-Dolphin-Tr	11,400	SC1	14	0.43	0.67	0.5	20.9	2.0
億光	SL-Dolphin-Ve	11,400	SS2	11	0.33	0.77	0.4	14.3	2.3
玉晶	G023B-120-00	10,800	SC1	21	0.67	1.3	0.3	16.2	4.2
飛利浦	BRP361 LED92	9,429.6	MC1	13	0.48	0.84	0.4	15.5	3.1
晶鼎	K1H4-168H	10,397	SC2	13	0.43	0.63	0.6	20.6	2.1
新強	NAV080W	8,640	SC1	9.66	0.39	0.51	0.5	18.9	2.0
威晶	K1HW5-130A1	10,700	SC2	9.92	0.32	0.61	0.5	16.3	2.0
台達	SLDA10N9K2TT	9,500	SC1	17	0.62	1.1	0.2	15.5	4.0
GE	ERS2-GXBX540	9,498	MS2	15	0.55	0.95	0.4	15.8	3.5
陽傑	SL-100-S2	7,955	SS2	8.9	0.39	0.62	0.4	14.4	2.7
慶盟	NS-SL2-250C	6,015	SC2	7.96	0.46	0.44	0.7	18.1	2.5
光林	GC1-40H	8,781	SC1	15	0.59	1.11	0.3	13.5	4.4
光林	GC2-120	10,861	SC1	16	0.51	0.93	0.2	17.2	3.0
佰鴻	BWLR-120X	13,000	SC1	13	0.35	0.85	0.4	15.3	2.3

註:IES 配光特性:MC2 表中分佈、遮隔型及 TYPE II, 相關說明, 詳第 3.1.7 節。



4.1.3 隧道照明模擬分析說明

LED 光源發光效率不斷提升當中，LED 燈具技術也逐漸在改善當中，已有部分廠家已開始研發 LED 隧道燈具，而隧道燈必須具有 24 小時長時間點燈特性及依時間不同而有不同的照明要求等特性，若能善用 LED 燈具的易操控特性，應可節省相當可觀的電費，故針對傳統隧道燈具探討採用 LED 隧道燈具平行置換之可行性。

首先探討隧道燈要採用平行置換的困難處：

1. 各隧道環境條件皆不同，須個別檢討

有關隧道照明的設計，除與車流量、車速、隧道長短有關外，對於隧道洞口外的輝度測量值關係最密切。隧道照明共分成加強區、內部區及出口區照明，而加強區照明又分成境界區及漸變區。對於加強區燈具配光特性，共分成對稱式及逆照式，燈具擺設方式也有壁掛式及隧道頂吊掛式，基本區又分成日光燈的連續式及高壓鈉氣燈的間隔式，故燈具排列的方式及燈具之間的間距皆有差異，要配合燈具的配光特性，針對各隧道的照明做分析瞭解，才能達到平行置換的條件。

另加強區照明為節約能源，在條件允許下，一般採用逆照式照明 (Counter Beam)，但其配光曲線較特殊，目前尚無 LED 燈具可作出此類型之配光曲線，且加強區照明，平均輝度要求相對高，現有傳統隧道燈具，均採 400W 高壓鈉氣燈泡，以現有 LED 隧道燈具上無法取代，故加強照明區現階段無法以 LED 燈具作取代高壓鈉氣燈具來達到節能之目標。

2. 供電回路壓降須重新檢核

由於前項因素均會影響燈具的回路負載，故在供電回路上也須重新檢核回路壓降。

依其上述原因，本次將以隧道照明基本區，探討採用 LED 隧道燈置換之可行性。

4.1.4 高速公路典型隧道照明現況

以下我們以三個典型隧道來說明隧道照明現況，以供後續不同

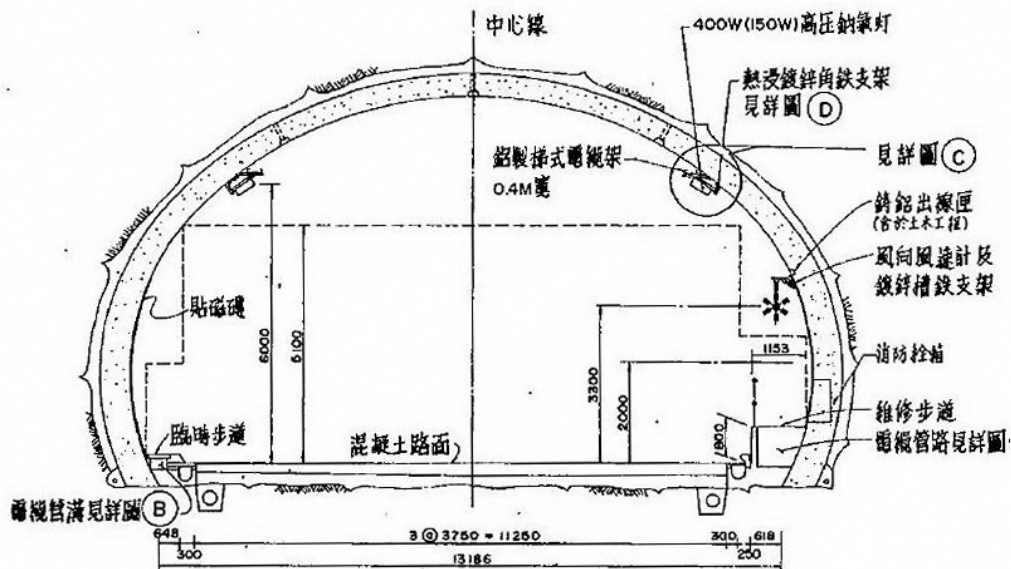


狀況之置換建議。

1. 北二高隧道群

隧道基本區照明燈具採非對稱式高壓鈉氣隧道燈具，係以三角架固定在隧道壁後再將燈具固定在三角架上。以新店隧道的設計條件為例，其隧道示意圖詳圖 4.1.4-1 及 4.1.4-2。

- (1) 北上(西向) - 1.222 km、南下(東向) - 1.185 km
- (2) 基本照明所需輝度值 6 cd/m^2 。
- (3) 250W HPS（非對稱型）燈具對稱式排列
- (4) 燈具間隔 12m。
- (5) 瀝青路面(R3)
- (6) 安裝高度 6m
- (7) 三車道，每車道 3.75m
- (8) 維護係數 0.6



註:原設計為混凝土路面，現為瀝青路面。

圖 4.1.4-1 新店隧道照明安裝示意圖



南二高蘭潭隧道基本區隧道燈具安裝方式為隧道頂吊掛方式，其燈具不同於北二高，其係安裝於電纜架下方，同時設置有 150W HPS（緊急用）及 250W HPS（基本內部區照明），相關燈具安裝之剖面圖及平面配置圖如圖 4.1.4-3 及圖 4.1.4-4 所示。其隧道安裝條件說明如下：

- (1) 北上南下各約 1.2km。
- (2) 基本照明所需輝度值 10cd/m^2 。
- (3) 150W HPS+250W HPS（對稱型）燈具對稱式排列。
- (4) 間隔 11.5m。
- (5) 剛性水泥路面。
- (6) 安裝高度 5.35m。
- (7) 三車道，每車道 3.75m。
- (8) 維護係數 0.65。

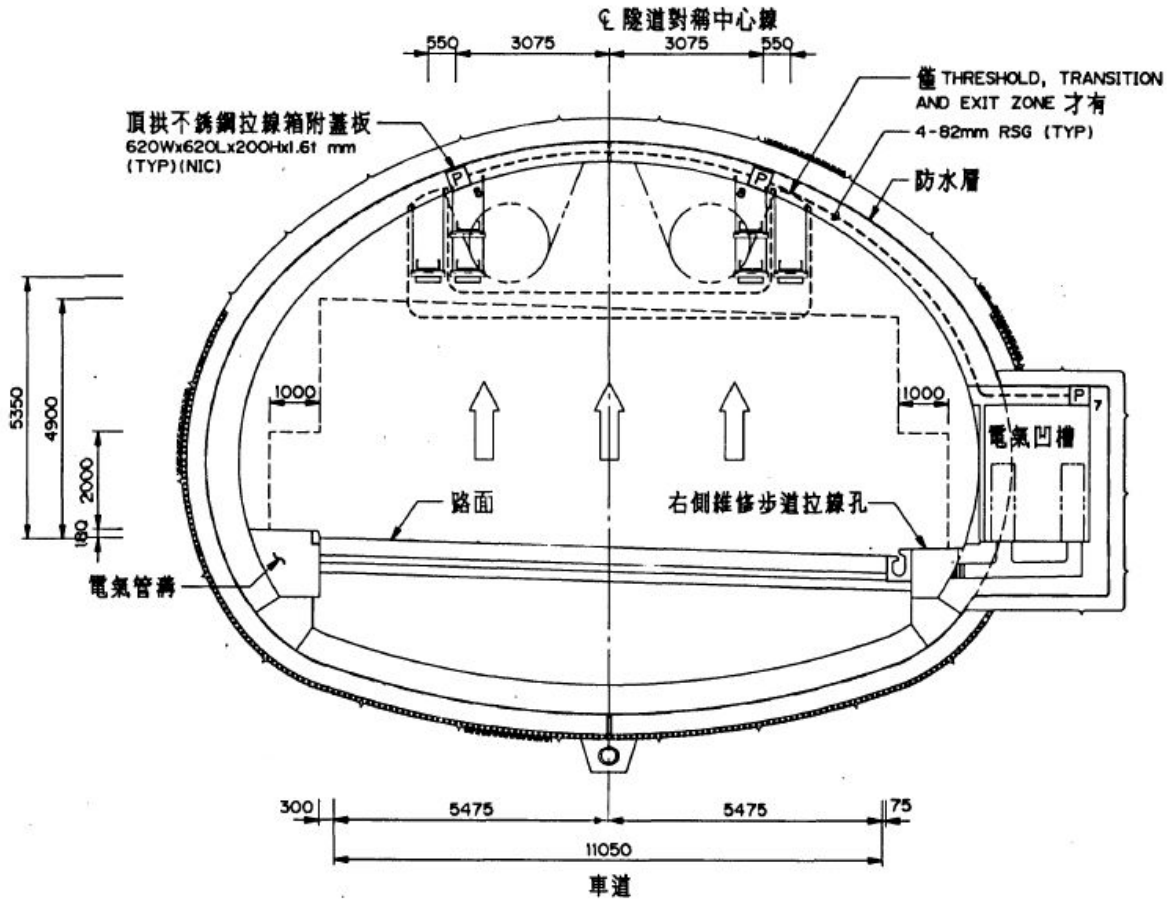


圖 4.1.4-3 蘭潭隧道燈具安裝剖面圖

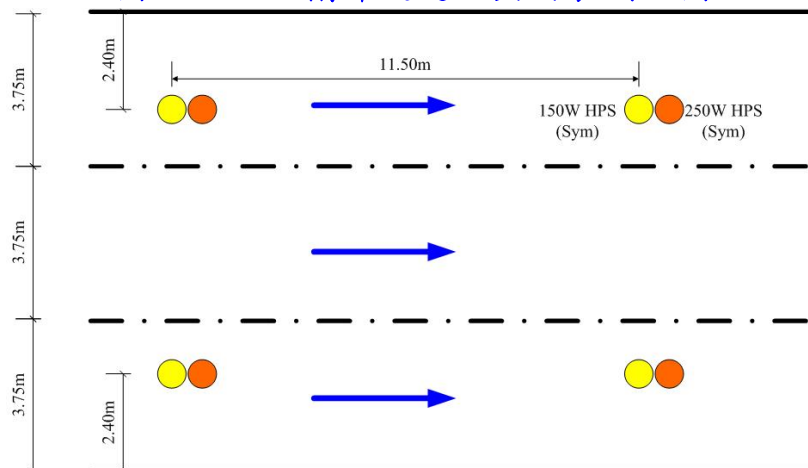


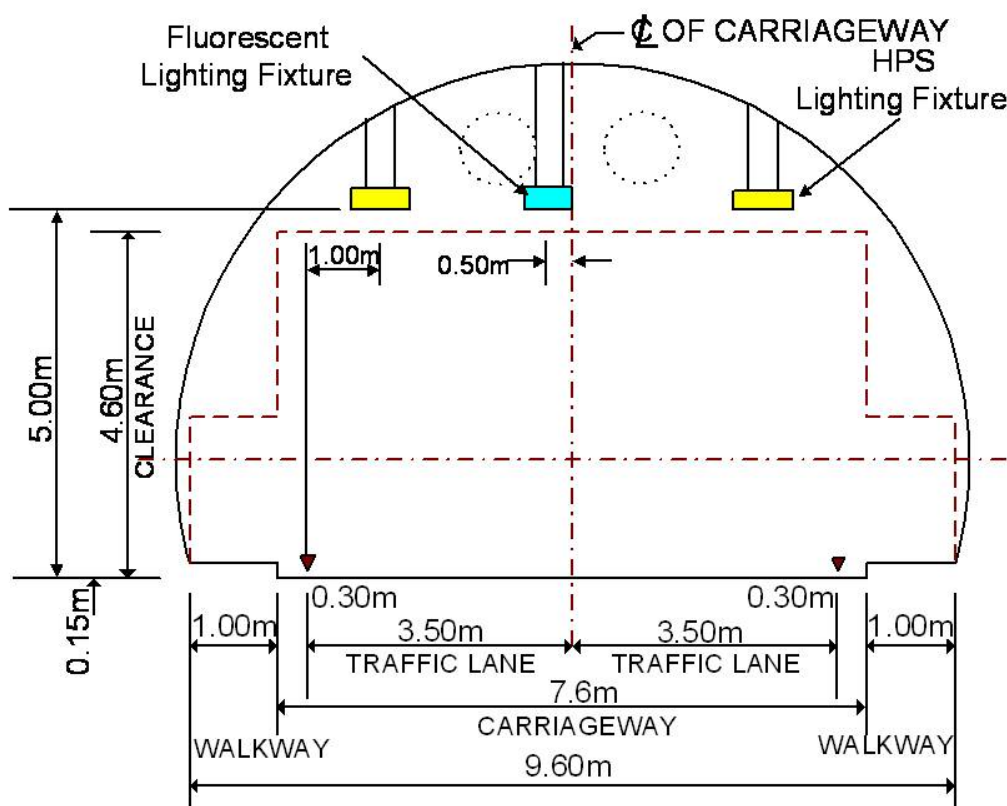
圖 4.1.4-4 蘭潭隧道燈具安裝平面示意圖

3. 北宜高隧道群

北宜高速公路雪山隧道基本區照明，隧道燈具安裝方式採單排近中央直線佈置，其亦安裝於電纜架下方，燈具為 40W×2 之日光燈具，相關燈具安裝之剖面圖及平面配置圖如圖 4.1.4-5 及圖 4.1.4-6 所示。其安裝條件說明如下：



- (1) 雪山隧道南北約 12.9km。
- (2) 基本照明所需輝度值 6cd/m^2 。
- (3) 40W×2 FL（對稱型）中央直線排列。
- (4) 間隔 1.9m。
- (5) 瀝青路面(R3)。
- (6) 安裝高度 5.0m。
- (7) 二車道，每車道 3.5m。
- (8) 維護係數 0.65。



Tunnel Lighting Installation Section

圖 4.1.4-5 雪山隧道燈具安裝剖面圖

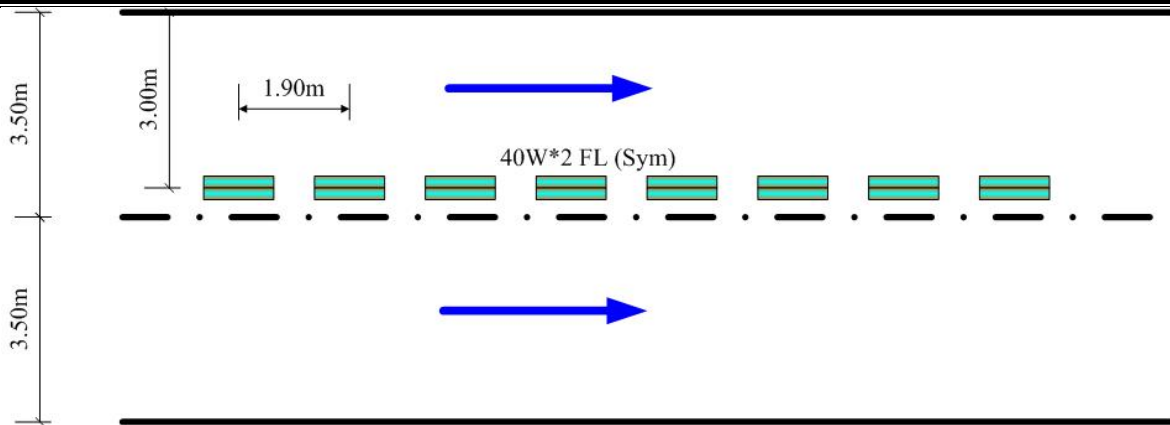


圖 4.1.4-6 雪山隧道燈具安裝平面示意圖

4.1.5 隧道照明模擬分析及結果探討

相關隧道基本區照明詳細模擬計算分析如附件二所示，以下就附件Ⅲ結果說明如下：

1. 北二高隧道群

此隧道模擬分析燈具採用國外目前較成熟的荷蘭 P 廠商、日本 K 廠商及台灣 A 廠商之 LED 隧道燈具，採用瓦數為 99W 及 80W，若以原安裝位置不變的情況下，其計算分析結果如表 4.1.5-1 所示。

表 4.1.5-1 新店隧道 LED 燈具模擬分析結果

隧道 LED 燈瓦數	P 廠商(99W)	K 廠商(99W)	A 廠商(80W)
平均輝度 $L_{av}(cd/m^2)$	2.84	2.8	2.5
總均勻度 U_0	0.783	0.562	0.776
縱向均勻度 U_l	>0.91	>0.88	>0.81

依據分析結果可觀察出，目前 LED 隧道燈的效能，還無法達到以平行置換的方式取代 250W 隧道高壓鈉氣燈具，且距離平均輝度 $6.0cd/m^2$ 要求，還有些差距。若隧道要採用 LED 隧道燈具，以目前只有縮短間距一途。

如縮短燈具間距，則由原來 12m 間距縮短為 5.5m，原來橫



向位置不變（離邊側各 0.8m）如圖 4.1.5-1 所示，此種方法勢必增加纜線拆除及重新安裝費用，且工期亦會加長。相關模擬分析結果如表 4.1.5-2 所示。

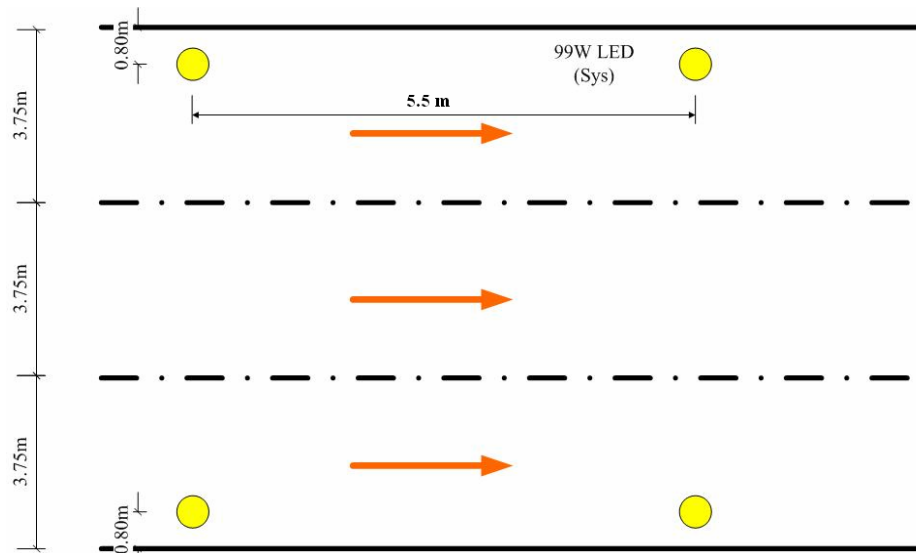


圖 4.1.5-1 新店隧道 LED 燈平面配置示意圖

表 4.1.5-2 新店隧道 LED 隧道燈具模擬分析結果

隧道 LED 燈 瓦特數	P 廠商(99W)	K 廠商(99W)	A 廠商(80W)
	雙盞 5.5m 間距	雙盞 5.5m 間距	雙盞 5.5m 間距
平均輝度 L_{av} (cd/m^2)	6.2	6.11	5.46
總均勻度 U_0	0.808	0.588	0.785
縱向均勻度 U_1	>0.97	>0.97	>0.96

至於如採平行置換方式，依其表 4.1.5-1 所示，總均勻度及縱向均勻度均符合設計需求，故只要將隧道燈具輸出流明增加至 18500lm，即會超過 $6 cd/m^2$ ，由於目前尚未有此類燈具訊息，故未作實質上之模擬計算分析，但未來燈具效率之提升，應是指日可待的。

依據上述方式，以增加流明數較合宜，以避免過度的更換設備，造成交維所帶來之不方便及減少不必要之設備費用支出。

2. 南二高蘭潭隧道

此部份亦採用 99W LED 燈具作模擬計算分析，佈置方式若



為雙盞集中須縮短燈具間隔，另可建議採用縮短間隔單盞佈置之方式如圖 4.1.5-2 所示，台灣 A 廠商配光曲線較不適合，故此以 P 廠商及 K 廠商為主，其分析結果如表 4.1.5-3 所示，均可符合原設計要求。

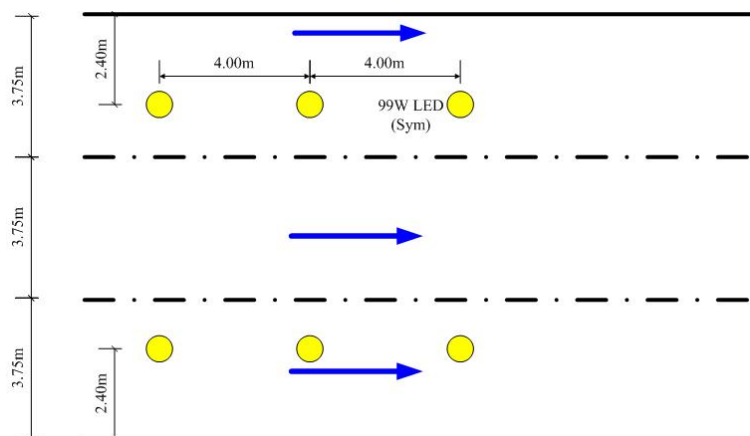


圖 4.1.5-2 蘭潭隧道 LED 燈具平面配置圖

表 4.1.5-3 蘭潭隧道 LED 隧道燈具模擬分析結果

隧道 LED 燈 瓦特數	P 廠商(99W)		K 廠商(99W)	
	雙盞 8.0m 間距	單盞 4.0m 間距	雙盞 8.0m 間距	單盞 4.0m 間距
平均輝度 L_{av} (cd/m^2)	10.53	10.53	10.40	10.38
總均勻度 U_0	0.664	0.666	0.497	0.524
縱均勻度 U_1	>0.96	>0.98	>0.86	>0.92

3. 北宜高隧道群

此部份分析建議以 70W 或 75W 之 LED 隧道燈具作為模擬分析，其他瓦特之 LED 隧道燈具，經計算分析較難符合 $L_{av} \geq 6.0$ cd/m^2 ， $u_0 \geq 0.4$ ，及 $u_1 > 0.6$ 之 CIE 規定。經分析結果如表 4.1.5-4 所示，從表之結果得知，要採平行置換，P 廠商燈具無法達到，雖然僅差 0.19 cd/m^2 ，其即可達 6 cd/m^2 之平均輝度要求，而日本共立燈具則無此問題，故同樣如北二高隧道群之燈具效率問題，只要能改善燈具光效率，則平行置換確實可行。



表 4.1.5-4 北宜高隧道 LED 燈具模擬分析結果

隧道 LED 燈 瓦特數	P 廠商(70W)	K 廠商(75W)
平均輝度 $L_{av}(cd/m^2)$	5.81	7.02
總均勻度 U_0	0.669	0.625
縱均勻度 U_l	>0.95	>0.95

4.1.6 隧道 LED 燈具建議

目前國內新設隧道大多採用高壓鈉氣隧道燈具及日光燈隧道燈具作為隧道內基本照明，為了達到隧道內所需平均輝度標準，其控制方式採用迴路點滅方式設計。而若採用 LED 燈則控制方式將變成電壓、電流數位調控，而不再使用點滅方式控制，故平行置換後控制回路也將重新設計，此部分會增加相當大的成本。經上述分析，隧道照明若要採用 LED 隧道燈具，且以平行置換方式進行，以現有 LED 隧道燈具條件，並非所有隧道皆可更換，係在有些條件下方可執行。雖然北二高條件類似，但燈具採用 17° 及 22° 傾斜角安裝，或雪山隧道之中央直線排列之方式等特殊條件情況下，要將 LED 隧道燈具直接平行置換，其有待發光效率之提升後方可採用。

4.2 LED 路燈應用於高速公路之分析

4.2.1 LED 路燈耗能設施現況

LED 路燈具有環保、節能與省電的優勢，過去數年小區域試驗計畫也證明 LED 路燈的可行性。另外，也因近年來 LED 路燈單價下滑，投資回收年限也快速縮短，使得近年來逐漸被採用，但由於 LED 路燈相較於其他傳統光源路燈單價仍偏高，因此 2009 年市場佔有率不到 1%，2010 年由於能源局相關經費補助設置，預估市場佔有率將提高累計至 1.3%。

依照工研院資料顯示，目前國內 LED 路燈於 2007 年開始小量試點，因此 2007 年內 LED 路燈累積裝置量僅 2000 多盞，規模不大。2009 年在經濟部能源局補助下，全台 47 個鄉鎮申請補助換裝 5,300 盞 LED 路燈，加上經濟部工業局等補助推廣，在 2010 年國內 LED 路燈累積裝置數量達 24,500 盞。2011 年經濟部能源局 1 億多經費補助更換高效率路燈，再加上工業局與國科會補助推廣下，於 2011 年



LED 路燈累計裝置量將達 39,500 盞，行政院於 2011 年 12 月通過「經濟景氣因應方案」之「助產業」策略下「全臺設置 LED 路燈」措施，經由節能績效保證模式(ESCO)進行 LED 路燈節能示範系統之設立，汰換二百瓦以上之水銀路燈，其經費高達二十多億元。圖 4.2.1-1 為目前國內路燈光源型態分佈，圖 4.2.1-2 為台灣 LED 路燈累積裝置量。

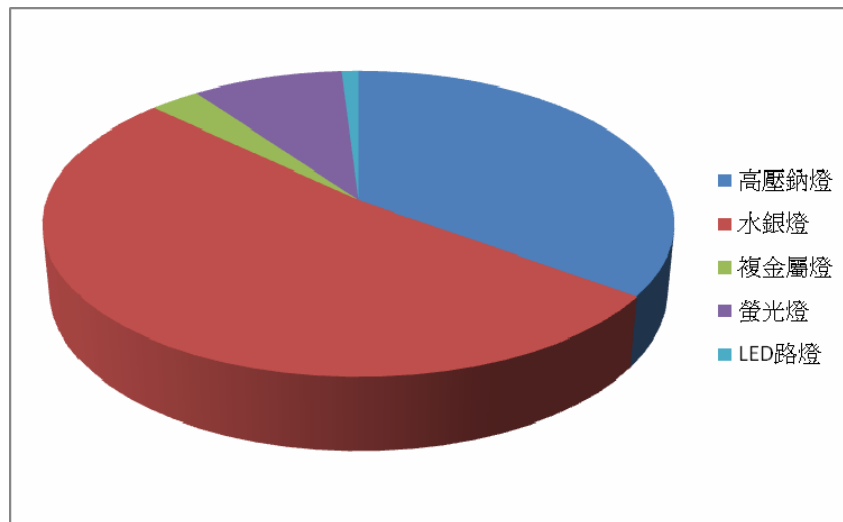


圖 4.2.1-1 台灣路燈光源型態分佈

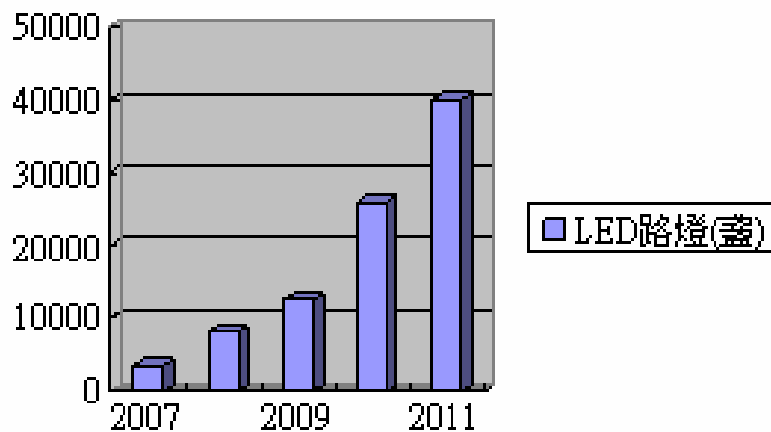


圖 4.2.1-2 台灣 LED 路燈累積裝置量

4.2.2 我國經濟效益分析模型之建立

本計劃對於有關經濟效益評估方式，主要以平行置換方式，依照燈具安裝時所需工程費，並以將來養護單位所需之相關養護費用及電費，依照經濟、環保節能方向來分析，不包含配電系統及土木工程費相關費用。另針對本計劃後續三年量測作業及 LED 光源發光效率還在提升當中，故加入三年後預估之經濟效益分析方案，以作為將來



評估其效益之用。

1. 蒐集各國 LED 路燈有關經濟評估方式，主要項目包含：

- (1) 初始成本：LED 路燈產品的售價(含燈具本身、電源、開關等零件)，價格來源由各家產品製造商所提供之售價取一平均合理值。
- (2) 電力成本：依據經濟部 101 年 5 月 9 日經能字第 10104603410 號函。電價以第一階段(實施期間: 101 年 6 月 10 日~101 年 12 月 9 日)計算，一般路燈採用『公用路燈包燈適用電價表』計算(按電價 50%計收)，100W 以下，每盞路燈每月 98.94 元。超出 100W，每超出 100W 每盞路燈每月加收 79.88 元，而 LED 路燈每瓦每月為 0.77 元。隧道採用表燈電價，每度約 3.2 元計算。
- (3) 維護成本：包含耗材更換成本(含 LED 光源、驅動器等)、清洗燈具、人工更換成本、車具成本(進行維護更換時所需協助交通工具之運輸成本)。
- (4) 廢棄處理成本：光源設施廢棄後，為了降低對環境的災害，所必須負擔的處理成本；依環保署公告資料顯示自 101 年 1 月 1 日起燈管(泡)每公斤處理費用 31 元。
- (5) 減碳量：依據經濟部能源局公佈之 99 年電力排放係數 0.612kg/KWh。

綜合上述五點，本評估報告 LED 路燈之成本效益經濟模型，將採用初始成本+電力成本+維護成本+廢棄處理成本四個項目做計算，另外將節省的耗電量換算成減碳量，已達到經濟效益、節能減碳之目的。以下針對主線道、匝道及隧道三種類型做經濟效益評估。

主線道道路條件：

目前調查之燈具因只有雙向六車道能達到規範要求，故經濟效益評估以雙向六車道為主，以一公里計算，每 40 公尺一盞路燈，單邊共計 26 盞，兩邊共計 52 盞，進行經濟效益評估，如表 4.2.2-1 所示。



表 4.2.2-1 2012 年主線道高壓鈉氣路燈與 LED 路燈經濟效益分析

燈具型式 項目	HPS (約 250W)	LED (約 200W)
A.投資方案		
投資週期(年)	10.0	10.0
初始成本(含安裝)(元/盞)	8,000.0	35,000.0
設置數量	52.0	52.0
總投資額(元)	416,000.0	1,820,000.0
LED 增加總成本		1,404,000
B.電力成本		
燈具功率消耗(W/盞)	276.0	200.0
每年使用時間(小時)	4,380.0	4,380.0
單盞燈具耗電量(kWh/年)	1,208.9	876.0
單盞燈具每年電費(台幣/年)	1,552.2	924.0
每年總電費(台幣/年)	80,714.4	48,048.0
(1)LED 每年節省電費(台幣/年)		32,666
C.維護費用		
光源壽命(Hr) (90% 流明維持率)	12,000.0	22,000.0
光源壽命(年)	2.7	5.0
光源(10 年)維修次數	3.0	1.0
光源更換材料成本(台幣/次)	420.0	8,500.0
安定器或電源(10 年)維修次數	0.0	1.0
安定器或電源更換材料成本(台幣/次)	4,200.0	8,500.0
維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000.0	1,000.0
清洗費用，包含人工及交維費用(台幣/次,盞)	1,150.0	1,150.0
10 年內清洗次數	10.0	10.0
10 年內清洗成本(台幣/次,盞)	11,500.0	11,500.0
10 年內每盞燈具維護成本(台幣)	15,760.0	30,500.0
10 年內燈具維護總成本(台幣)	819,520.0	1,586,000.0
10 年內每年維護成本(台幣)	81,952.0	158,600.0
(2)10 年內每年 LED 維護增加成本(台幣/年)		-76,648
D.廢棄處理成本		
10 年內光源廢棄頻率(次)	3.0	1.0



10 年內光源廢棄總量(Kg)	23.4	9.4
光源廢棄成本(元/Kg)	31.0	31.0
10 年內每年光源廢棄總成本(台幣)	72.5	29.1
(3)10 年內每年 LED 光源廢棄節省成本		44
E.經濟效益比較		
(1)+(2)+(3)LED 每年節省成本總費用(台幣/年)		-43,938
二氧化碳減碳量(噸/年)		10.594
投資回收所需時間(年)		無法回收

2. 細項計算說明與結果分析：

以下皆以 200W LED 路燈及 250W 高壓鈉氣路燈來做計算說明，由表 4.2.2-1 可知 2012 年主線道之 LED 路燈投資無法回收。

(1) 初始成本

此部份參考臺灣銀行採購之契約單價為主，250W 高壓鈉氣路燈燈具，每盞燈具初始成本約為 8,000 元。200W LED 路燈燈具，每盞燈具初始成本約為 35,000 元。因此整體初始成本差異為 $(35,000 - 8,000) \times 52 = 1,404,000$ 元。

(2) 電力成本

路燈每日平均以點燈 12 小時計，每年使用時間為 4380 小時，高壓鈉氣路燈電力成本採用『公用路燈包燈適用電價表』電價計收(按電價 50%計收)，100W 以下，每盞路燈每月 98.94 元。超出 100W，每超出 100W 每盞路燈每月加收 79.88 元，主幹線採用 250W 高壓鈉氣路燈，故每盞每月電費為 $(98.94 + 79.88 \times 2) = 258.7$ 元，每盞每年電費為 $258.7 \times 12 \times 0.5 = 1,552.2$ 元。LED 路燈每瓦每月 0.77 元，採用 200W LED 路燈，每盞每月電費為 $0.77 \times 200 = 154$ 元，每盞每年電費為 $154 \times 12 \times 0.5 = 924$ 元。故整體每年電費差異為 $(1,552.2 - 924) \times 52 = 32,666$ 元。匝道採用 150W 高壓鈉氣路燈，每盞每月電費為 $(98.94 + 79.88 \times 1) = 178.82$ 元，每盞每年電費為 $178.82 \times 12 \times 0.5 = 1,072.9$ 元。匝道採用 100W LED 路燈，每月電費為 $0.77 \times 100 = 77$ 元，每盞每年電費為 $77 \times 12 \times 0.5 = 462$ 元。故整體每年電費差異為 $(1,072.9 - 462) \times 35 = 21,382$ 元。



(3) 維護費用

經實際與各區工程處訪談調查後得知，為了安全考量，高壓鈉氣路燈在光衰達到 90% 時即更換光源，光源壽命約 12,000 小時，故光源每 10 年維護 3 次，每次燈泡更換 420 元，人工及交通成本 1000 元；安定器每 10 年維護 0 次，器具 4200 元，人工及交通成本 1000 元，每盞燈具每次清洗費用 1150 元，10 年每盞清洗 10 次共 11,500 元，因此每盞燈具 10 年內總維護成本為 $(420 \times 3 + 1000 \times 3) + 11,500 = 15,760.0$ 元，52 盞燈具每年總維護費用為 81,952.0 元。

同理推估 LED 路燈維護費用，若以相同 90% 光衰條件下，光源壽命約 22,000 小時，故 LED 路燈光源每 10 年維護 1 次，每次光源模組更換 8,500 元，人工及交通成本 1000 元；經與業界訪談得知電源供應器壽命約為 3~5 年，電源供應器每 10 年約維護 1 次，費用 8,500 元，人工及交通成本 1000 元，每盞燈具 10 年內總維護成本為 $(8500 \times 1 + 1000 \times 1) + (8500 \times 1 + 1000 \times 1) + 11,500 = 30,500$ 元，52 盞燈具每年總維護成本為 158,600 元。

(4) 廢棄處理成本

高壓鈉氣路燈燈泡 150 公克，10 年內廢棄頻率 3 次，每次總廢棄重量 $150 \times 52 = 7800$ 公克 = 7.8 公斤，10 年內 3 次為 $3 \times 7.8 = 23.4$ 公斤；因此 10 年的廢棄處理費用為 $23.4 \times 31 = 725.4$ 元。LED 路燈光源模組 180 公克，每次總廢棄重量 $180 \times 52 = 9360$ 公克 = 9.36 公斤，因此 10 年內廢棄頻率 1 次，因此 10 年的廢棄處理費用為 $9.36 \times 31 = 290.2$ 元。

(5) 二氧化碳減碳量

單盞 250W 高壓鈉氣路燈含電子安定器耗電量共 276W，假設每天點燈 12 小時，一整年下來共點 $12 \times 365 = 4380$ 小時，因此總高壓鈉氣路燈一整年的耗電量為 $276 \times 4380 \div 1000 \times 52 = 62861.8 \text{KWh}$ 。單盞 200W LED 路燈含電源供應器耗電量共 200W，假設每天點燈 12 小時，一整年下來共點 $12 \times 365 = 4380$ 小時，因此總 LED 路燈一整年的耗電量為 $200 \times 4380 \div 1000 \times 52 = 45552.0 \text{KWh}$ 。故整體二氧化碳減碳量 $(62861.8 - 45552.0) \times 0.612 \text{kg/KWh} = 10.594$ 噸。



針對 2015 年高壓鈉氣路燈與 LED 路燈經濟效益，可由表 4.2.2-2 所示。

表 4.2.2-2 2015 年主幹線道高壓鈉氣路燈與 LED 路燈經濟效益分析

燈具型式 項目	HPS (約 250W)	LED (約 140W)
A.投資方案		
投資週期(年)	10.0	10.0
初始成本(含安裝)(元/盞)	6,000.0	17,000.0
設置數量	52.0	52.0
總投資額(元)	312,000.0	884,000.0
LED 增加總成本		572,000
B.電力成本		
燈具功率消耗(W/盞)	276.0	140.0
每年使用時間(小時)	4,380.0	4,380.0
單盞燈具耗電量(kWh/年)	1,208.9	613.2
單盞燈具每年電費(台幣/年)	1,552.2	646.8
每年總電費(台幣/年)	80,714.4	33,633.6
(1)LED 每年節省電費(台幣/年)		47,081
C.維護費用		
光源壽命(Hr) (90% 流明維持率)	12,000.0	35,200.0
光源壽命(年)	2.7	8.0
光源(10 年)維修次數	3.0	1.0
光源更換材料成本(台幣/次)	420.0	3,400.0
安定器或電源(10 年)維修次數	0.0	1.0
安定器或電源更換材料成本(台幣/次)	4,200.0	3,400.0
維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000.0	1,000.0
清洗費用，包含人工及交維費用(台幣/次,盞)	1,150.0	1,150.0
10 年內清洗次數	10.0	10.0
10 年內清洗成本(台幣/次,盞)	11,500.0	11,500.0
10 年內每盞燈具維護成本(台幣)	15,760.0	20,300.0
10 年內燈具維護總成本(台幣)	819,520.0	1,055,600.0
10 年內每年維護成本(台幣)	81,952.0	105,560.0
(2)10 年內每年 LED 維護增加成本(台幣/年)		-23,608



D.廢棄處理成本		
10 年內光源廢棄頻率(次)	3.0	1.0
10 年內光源廢棄總量(Kg)	23.4	9.4
光源廢棄成本(元/Kg)	31.0	31.0
10 年內每年光源廢棄總成本(台幣)	72.5	29.0
(3)10 年內每年 LED 光源廢棄節省成本		44
E.經濟效益比較		
(1)+(2)+(3)LED 每年節省成本總費用(台幣/年)		23,516
二氧化碳減碳量(噸/年)		18.957
投資回收所需時間(年)		24.3

以 LED 燈具價格趨勢來看，燈具本體價格基本上變化不大，而光學、組裝、驅動器、機械與散熱及 LED 封裝等元件成本在 2015 年約比 2012 年降低 60%，2015 年燈具光效率將達到 135lm/W，推估約 LED140W，其價格約 17,000 元。

其餘計算方式與表 4.2.2-1 相同，在此不再贅述，由表 4.2.2-2 可知 2015 年主線道之 LED 路燈投資約 24.3 年可回收。

匝道部份以單向雙車道作為分析模型。以一公里計算，每 30 公尺一盞路燈，單邊共計 35 盞。經濟效益評估，如表 4.2.2-3 所示。

匝道部份以目前之蒐集之資料以 100W LED 路燈可取代約 150W 的高壓鈉氣路燈，其餘計算方式與主線道相同，以表 4.2.2-3 來看目前無法回收成本。

由表 4.2.2-4 所示，推估約 70W 的 LED 路燈在 2015 年後回收成本所需之時間為 7.6 年即可回收。



表 4.2.2-3 2012 年匝道高壓鈉氣路燈與 LED 路燈經濟效益分析

燈具型式 項目	HPS (150W)	LED (100W)
A.投資方案		
投資週期(年)	10.0	10.0
初始成本(含安裝)(元/盞)	8,000.0	18,000.0
設置數量	35.0	35.0
總投資額(元)	280,000.0	630,000.0
LED 增加總成本		350,000
B.電力成本		
燈具功率消耗(W/盞)	168.0	100.0
每年使用時間(小時)	4,380.0	4,380.0
單盞燈具耗電量(kWh/年)	735.8	438.0
單盞燈具每年電費(台幣/年)	1,072.9	462.0
每年總電費(台幣/年)	37,552.2	16,170.0
(1)LED 每年節省電費(台幣/年)		21,382
C.維護費用		
光源壽命(Hr) (90% 流明維持率)	12,000.0	22,000.0
光源壽命(年)	2.7	5.0
光源(10 年)維修次數	3.0	1.0
光源更換材料成本(台幣/次)	350.0	5,000.0
安定器或電源(10 年)維修次數	0.0	1.0
安定器或電源更換材料成本(台幣/次)	4,200.0	5,000.0
維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000.0	1,000.0
清洗費用，包含人工及交維費用(台幣/次,盞)	1,150.0	1,150.0
10 年內清洗次數	10.0	10.0
10 年內清洗成本(台幣/次,盞)	1,1500.0	1,1500.0
10 年內每盞燈具維護成本(台幣)	15,550.0	23,500.0
10 年內燈具維護總成本(台幣)	544,250.0	822,500.0
10 年內每年維護成本(台幣)	54,425.0	82,250.0
(2)10 年內每年 LED 維護增加成本(台幣/年)		-27,825
D.廢棄處理成本		
10 年內光源廢棄頻率(次)	3.0	1.0



10 年內光源廢棄總量(Kg)	15.8	6.3
光源廢棄成本(元/Kg)	31.0	31.0
10 年內每年光源廢棄總成本(台幣)	48.8	19.5
(3)10 年內每年 LED 光源廢棄節省成本		29
E.經濟效益比較		
(1)+(2)+(3)LED 每年節省成本總費用(台幣/年)		-6,414
二氧化碳減碳量(噸/年)		6.38
投資回收所需時間(年)		無法回收

表 4.2.2-4 2015 年匝道高壓鈉氣路燈與 LED 路燈經濟效益分析

燈具型式 項目	HPS (150W)	LED (約 70W)
A.投資方案		
投資週期(年)	10.0	10.0
初始成本(含安裝)(元/盞)	6,000.0	10,200.0
設置數量	35.0	35.0
總投資額(元)	210,000.0	357,000.0
LED 增加總成本		147,000.0
B.電力成本		
燈具功率消耗(W/盞)	168.0	70.0
每年使用時間(小時)	4,380.0	4,380.0
單盞燈具耗電量(kWh/年)	735.8	306.6
單盞燈具每年電費(台幣/年)	1,072.9	323.4
每年總電費(台幣/年)	37,552.2	11,319.0
(1)LED 每年節省電費(台幣/年)		26,233
C.維護費用		
光源壽命(Hr) (90% 流明維持率)	12,000.0	35,200.0
光源壽命(年)	2.7	8.0
光源(10 年)維修次數	3.0	1.0
光源更換材料成本(台幣/次)	350.0	2,000.0
安定器或電源(10 年)維修次數	0.0	1.0
安定器或電源更換材料成本(台幣/次)	4,200.0	2,000.0
維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000.0	1,000.0
清洗費用，包含人工及交維費用(台幣/次,盞)	1,150.0	1,150.0



10 年內清洗次數	10.0	10.0
10 年內清洗成本(台幣/次,盞)	1,1500.0	1,1500.0
10 年內每盞燈具維護成本(台幣)	15,550.0	17,500.0
10 年內燈具維護總成本(台幣)	544,250.0	612,500.0
10 年內每年維護成本(台幣)	54,425.0	61,250.0
(2)10 年內每年 LED 維護增加成本(台幣/年)		-6,825
D.廢棄處理成本		
10 年內光源廢棄頻率(次)	3.0	1.0
10 年內光源廢棄總量(Kg)	15.8	6.3
光源廢棄成本(元/Kg)	31.0	31.0
10 年內每年光源廢棄總成本(台幣)	48.8	19.5
(3)10 年內每年 LED 光源廢棄節省成本		29
E.經濟效益比較		
(1)+(2)+(3)LED 每年節省成本總費用(台幣/年)		19,437
二氧化碳減碳量(噸/年)		9.194
投資回收所需時間(年)		7.6

隧道道路條件因各隧道地理條件皆不同，隧道內之設計值皆不相同，此以國道 3 號-新店隧道來做經濟評估探討，因為該隧道採用高壓鈉氣燈泡(HPS)，且以壁掛式設置，基本照明所需輝度值 6 cd/m^2 ，單邊每隔 12 公尺裝設一盞 250W 高壓鈉氣隧道燈具，燈具採雙邊對稱排列，圖 4.2.2-1 所示，以一公里計算，每 12 公尺一盞隧道燈具，單邊共計 84 盞，兩邊共計 168 盞。LED 隧道燈以飛利浦 LED 8600lm(約 99W)隧道燈為例，LED 隧道燈的效能，還無法達到與 250W 高壓鈉氣燈(HPS)來平行置換，若要達到相同輝度值，須每 5.5m 設置一盞，故須設置 364 盞，隧道照明與道路照明之條件有所不同，隧道燈每日開啟時間為 24 小時，故每年須使用 8760 小時，表 4.2.2-5 為高壓鈉氣燈與 LED 隧道燈之經濟效益評估。

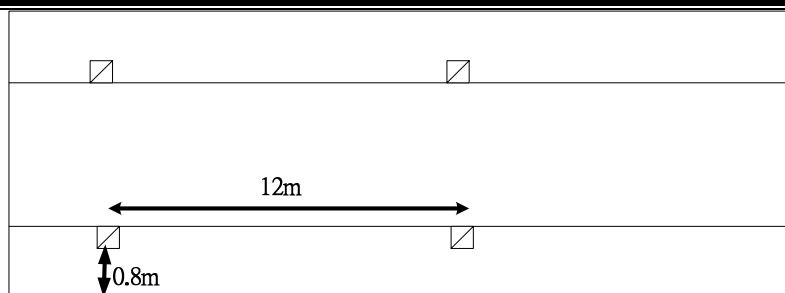


圖 4.2.2-1 新店隧道示意圖

表 4.2.2-5 2012 年隧道高壓鈉氣燈與 LED 路燈經濟效益分析

燈具型式 項目	HPS (約 250W)	LED (約 99W)
A.投資方案		
投資週期(年)	10.0	10.0
初始成本(含安裝)(元/盞)	25,000.0	30,000.0
設置數量	168.0	364.0
總投資額(元)	4,200,000.0	10,920,000.0
增加總成本		6,720,000
B.電力成本		
燈具功率消耗(W/盞)	276.0	99.0
每年使用時間(小時)	8,760.0	8,760.0
單盞燈具耗電量(kWh/年)	2,417.8	867.2
單盞燈具每年電費(台幣/年)	7,736.8	2,775.2
每年總電費(台幣/年)	1,299,787.8	1,010,161.2
(1)每年節省電費(台幣/年)		289,627
C.維護費用		
光源壽命(Hr) (90% 流明維持率)	12,000.0	22,000.0
光源壽命(年)	1.4	2.5
投資週期(10 年)維修次數	7.0	3.0
光源更換材料成本(台幣/次)	1,000.0	7,500.0
安定器或電源(10 年)維修次數	0.0	1.0
電源更換材料成本(台幣/次)	4,500.0	7,500.0
維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000.0	1,000.0
清洗費用，包含人工及交維費用(台幣/次,盞)	1,150.0	1,150.0
10 年內清洗次數	10.0	10.0



10 年內清洗成本(台幣/次,盞)	1,1500.0	1,1500.0
10 年內每盞燈具維護成本(台幣)	25,500.0	45,500.0
10 年內燈具維護總成本(台幣)	4,284,000.0	16,562,000.0
10 年內每年維護成本(台幣)	428,400.0	1,656,200.0
(2)10 年內每年維護節省費用(台幣/年)		-1,227,800
D.廢棄處理成本		
10 年內光源廢棄頻率(次)	7.0	3.0
10 年內光源廢棄總量(Kg)	176.4	196.6
光源廢棄成本(元/Kg)	31.0	31.0
10 年內每年光源廢棄總成本(台幣)	546.8	609.5
(3)10 年內每年光源廢棄節省成本		-62
E.經濟效益比較		
(1)+(2)+(3)每年節省成本總費用(台幣/年)		-938,236
二氧化碳減碳量(噸/年)		55.391
投資回收所需時間(年)		無法回收

2015 年高壓鈉氣燈以 LED 99W 取代，此時 LED 已提高至 13400lm，但尚無法採用平行置換之方式，要達到相同輝度值，須每 8.5m 設置一盞，故所需之設置數量為 236 盞，由表 4.2.2-6 得知，成本回收時間大約為 4.4 年。

表 4.2.2-6 2015 年隧道高壓鈉氣燈與 LED 隧道燈經濟效益分析

燈具型式 項目	HPS (約 250W)	LED (約 99W)
A.投資方案		
投資週期(年)	10.0	10.0
初始成本(含安裝)(元/盞)	20,000.0	24,000.0
設置數量	168.0	236.0
總投資額(元)	3,360,000.0	5,664,000.0
增加總成本		2,304,000.0
B.電力成本		
燈具功率消耗(W/盞)	276.0	99.0
每年使用時間(小時)	8,760.0	8,760.0
單盞燈具耗電量(kWh/年)	2,417.8	867.2
單盞燈具每年電費(台幣/年)	7,736.8	2,775.2



每年總電費(台幣/年)	1,299,787.8	654,939.6
(1)每年節省電費(台幣/年)		644,848
C.維護費用		
光源壽命(Hr) (90% 流明維持率)	12,000.0	35,200.0
光源壽命(年)	1.4	4.0
投資週期(10 年)維修次數	7.0	2.0
光源更換材料成本(台幣/次)	1,000.0	3,000.0
安定器或電源(10 年)維修次數	0.0	1.0
電源更換材料成本(台幣/次)	4,500.0	3,000.0
維護人工及交通成本(台幣/次)	1,000.0	1,000.0
清洗費用，包含人工及交維費用(台幣/次,盞)	1,150.0	1,150.0
10 年內清洗次數	10.0	10.0
10 年內清洗成本(台幣/次,盞)	11,500.0	11,500.0
10 年內每盞燈具維護成本(台幣)	25,500.0	23,500.0
10 年內燈具維護總成本(台幣)	4,284,000.0	5,546,000.0
10 年內每年維護成本(台幣)	428,400.0	554,600.0
(2)10 年內每年維護節省費用(台幣/年)		-126,200.0
D.廢棄處理成本		
10 年內光源廢棄頻率(次)	7.0	2.0
10 年內光源廢棄總量(Kg)	176.4	85
光源廢棄成本(元/Kg)	31.0	31.0
10 年內每年光源廢棄總成本(台幣)	546.8	263.5
(3)10 年內每年光源廢棄節省成本		283
E.經濟效益比較		
(1)+(2)+(3)每年節省成本總費用(台幣/年)		518,932
二氧化碳減碳量(噸/年)		123.33
投資回收所需時間(年)		4.4

由上述之主幹線道、匝道及隧道三種類型之道路，以目前來做經濟效益評估，因設置成本、光源更換及電源更換成本還太高，皆無法達成回收成本之目的，但以 2015 年之趨勢來看，LED 的光效率及成本大幅降低，已能達到成本回收，並達到節能減碳之目的。



第五章 現勘及規範建議

5.1 評估設置地點條件

評估設置地點時應考量安全性、維護性、便利性及設置範圍等，說明如下：

1. 主線道、交流道：選擇主線道為評估地點時，需考量到交通量大道路封閉不易及將來 LED 路燈換裝後成效量測等安全性問題，但現場環境對燈具的影響較能正確反應。
2. 服務區、辦公區：服務區、辦公區交通複雜性低，日後封路所耗費之人力成本較小，由於來往之車輛行駛車速較慢，成效量測之安全性較高，但現場環境對燈具所產生的影響較無法正確反應。

由第四章的可行性評估可知，現階段 LED 路燈以匝道設置條件作評估較為適合，另因應 LED 路燈三年量測評估，須平行換置 LED 路燈共 30 盞，評估採 3 款不同燈具，每款各 10 盞，於直線路段評估以服務區或工務段之車道為主，每款燈具 8 盞，共換置 24 盞，另於交流道之匝道處，每款 2 盞，共換置 6 盞，以量測 LED 路燈三年光衰情況。

5.1.1 現勘說明

依據照度模擬分析結果，於匝道處以 120W 以下 LED 路燈取代 150 W 高壓鈉氣燈，國道交通繁忙難以現地試辦，只能以匝道現有路寬、車道數、路燈桿高、路燈桿距等既有條件，選擇條件接近之地點，試辦 LED 路燈三年量測評估。

為辦理高速公路之養護及管理，目前設有北區、中區及南區工程處。北區工程處設 5 個工務段（內湖、中壢、木柵、關西、頭城）、4 個服務區（中壢、湖口、關西、石碇）；中區工程處設 4 個工務段（苗栗、斗南、大甲、南投）、5 個服務區（泰安、西螺、西湖、清水、南投）；南區工程處設 4 個工務段（新營、岡山、白河、屏東）、4 個服務區（古坑、東山、關廟、仁德），現勘以上接近匝道條件之地點，以做為試辦 LED 路燈三年量測評估。

依據 CIE140-2000 道路照明計算 7.2.3.3 規定，計算照度應計算



至五倍燈桿高度之距離，因此直線路燈至少需有 4 盞，由照度公式得知照度和燈桿間距平方成反比，若以桿高 10M 燈桿間距 30M，計算第 5 盞路燈僅影響照度到小數點第三位以下，可忽略不計。

依據照度模擬分析結果，原則以匝道單向二車道的路燈設置條件作為將來試辦的條件，並考量所採用的燈具能夠在現場環境相當的條件下進行相關作業，以了解產品的差異性為原則，依地理環境及訪查可做評估試辦地點，建議設置地點以中區工程處範圍為原則，並以工務段為優先考量。

5.1.2 訪談紀錄瞭解

本案除對 LED 路燈設置試辦地點作調查外，並對於現有傳統路燈之養護維修資料、既有 LED 路燈及路燈安裝調查也有所蒐集。經訪談各工程處提供養護維修調查表可得知燈具使用年限國產燈具約 4 年，外國燈具約 10 年，150W、250W、400W 高壓鈉氣燈光源壽命 17,000~24,000 小時，平均燈泡維修週期國產燈泡約 2 年，外國燈泡約 5 年，另安定器維修週期國產安定器約 2 年，外國安定器約 10 年。

因路燈皆為橢圓流線形，經訪談維護保養清潔週期及方式，目前以下雨天自然清洗方式及每年一次，因各工程處費用有差異，取其平均值，故路燈維修工資約 770 元/盞，其交維費用約 380 元/盞，養護維修調查表如表 5.1.2-1、表 5.1.2-2，表 5.1.3-2 所示。

高公局國道照明應用 LED 路燈評估

表 5.1.2-1 高壓鈉氣燈具養護維修調查表

養護單位：國道高速公路局中區工程處

日期：100.11.14

各區段路燈維修 (包含主線段、交流 道、匝道、服務區、 工務段等)	燈具 型號 (非 燈源)	高壓鈉 氣燈瓦 數	光源壽命 (小時)	燈具使用 年限(年)	燈具價格 (元)	平均燈泡 維修週期 (年)	燈泡 價格(元)	安定器 維修週期 (年)	安定器 價格 (元)	維修工 資 (元/ 盞)	交維 費用 (元/ 盞)	維護保養 清潔週期 及方式
頭份交流道	—	400	17,000~20,000	10	約 5,000~4,800,	約 2~3	約 500~700,	約 2~3	約 700~ 900	約 1,300 ~1,500	約 700 ~800	損壞後維 修及下雨 天自然清 洗
頭份匝道	—	150										
苗栗交流道	—	400										
苗栗匝道	—	150										
大雅交流道主線	—	400										
大雅交流道匝(環) 道	—	150										
台中交流道主線	—	400										
台中交流道匝(環) 道	—	150										
西濱交流道	—	150										
國 4 中港系統	—	400										
竹南交流道	—	150										
國 3 170~176K 主線	—	400										
草屯交流道主線	—	400										
草屯交流道匝道	—	250										
中興系統交流道主線	—	400										
中興系統交流道匝道	—	250										



高公局國道照明應用 LED 路燈評估

表 5.1.2-2 高壓鈉氣燈具養護維修調查表

養護單位:南工處

日期: 100/11/09

各區段路燈維修 (包含主線段、交 流道、匝道、 服務區、工務段等)	燈具型 號 (非燈 源)	高壓鈉 氣燈 瓦數	光源壽 命 (小 時)	燈具使用年限 (年)	燈具價格 (元)	平均燈泡 維修週期 (年)	燈泡 價格(元)	安定器 維修週期 (年)	安定器 價格(元)	維修工 資 (元/ 盞)	交維費 用 (元/ 盞)	維護保養 清潔週期 及方式
工務段轄區	旭光	250	24000	4	3200	2	200	2	650	600	130	
工務段轄區	旭光	400	24000	4	3600	2	300	2	800	600	130	
工務段轄區	奇異	250	24000	10	6500	5	350	10	3800	600	130	
工務段轄區	奇異	400	24000	10	7600	5	450	10	4700	600	130	
工務段轄區	飛利浦	400	24000	10	7600	5	450	10	4700	600	130	

高公局國道照明應用 LED 路燈評估

表 5.1.2-3 高壓鈉氣燈具養護維修調查表(擇主要燈具規格之數處代表路段養護情形填寫)

養護單位:北工處

日期:100/11/09

各區段路燈維修 (包含主線段、交流道、匝道、服務區、工務段等)	燈具型號 (非燈源)	高壓鈉 氣燈 瓦數	光源壽命 (小時)	燈具 使用 年限 (年)	燈具價格(元)	平均燈泡 維修週期 (年)	燈泡 價格(元)	安定器 維修週 期(年)	安定器 價格(元)	維修工 資 (元/ 盞)	交維費 用 (元/ 盞)	維護保養 清潔週期 及方式
國道 1 號 0K-12K	M4AR25S3M1GMN 32	250 W	20000	8	8000	1	350	1	4000	400	500	擦拭刷洗 1 年/次
國道 1 號 35K-40+850	MDRL25S3M12RM S32	250 W	20000	8	8000	1	350	1	4500	400	500	擦拭刷洗 1 年/次
汐五高架	RLGT-25S2X072025 F0	250 W	20000	8	9000	1	350	1	3000	400	500	擦拭刷洗 1 年/次
台二己	奇異 250W	250W	12000	20 年 以上	8000	2-3	380	5-10	4200	600	186	1 年/次
基金交流道	不知名 250W	250W	12000	20 年 以上	8000	2-3	380	5-10	4200	600	186	1 年/次
汐止系統	奇異/法國 250W/1000W	250W/1 000W	12000	20 年 以上	8000	2-3	380	5-10	4200	600	186	1 年/次
南深/環東	奇異 250W	250W	12000	20 年 以上	8000	2-3	380	5-10	4200	600	186	1 年/次
木柵/國三甲	奇異 250W	250W	12000	20 年 以上	8000	2-3	380	5-10	4200	600	186	1 年/次
國三主線	奇異 250W	250W	12000	20 年 以上	8000	2-3	380	5-10	4200	600	186	1 年/次

各區段路燈維修 (包含主線段、交流道、匝道、服務區、工務段等)	燈具型號 (非燈源)	高壓鈉 氣燈 瓦數	光源壽命 (小時)	燈具 使用 年限 (年)	燈具價 格(元)	平均燈泡 維修週期 (年)	燈泡 價格(元)	安定器 維修週 期(年)	安定器 價格(元)	維修工 資 (元/ 盞)	交維費 用 (元/ 盞)	維護保養 清潔週期 及方式
新店交流道	奇異 250W	150W	12000	20 年 以上	8000	2-3	380	5-10	4200	600	186	1 年/次
安坑交流道	奇異 250W	150W	12000	20 年 以上	8000	2-3	380	5-10	4200	600	186	1 年/次
中和交流道	奇異 250W	150W	12000	20 年 以上	8000	2-3	380	5-10	4200	600	186	1 年/次
瑪東交流道	奇異 250W	250W	12000	20 年 以上	8000	2-3	380	5-10	4200	600	186	1 年/次



第六章 現階段考量及未來趨勢

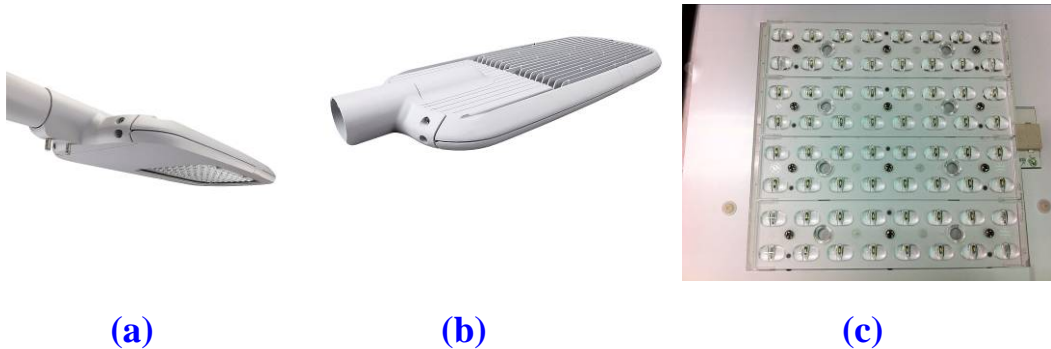
6.1 現階段考量

LED 燈具具有節能、環保(無汞)及易操控等優點，單就 LED 晶粒光流明輸出而言，已可做到 140lm/W，已經超過傳統高壓鈉氣燈泡的 120lm/W，且在本計畫分析同時，各家廠家已有低色溫 95 lm/W，甚至 100 lm/W 以上燈具正在送測當中，然而 LED 燈具除了發光效率的提升外，是否就足以取代傳統燈具，由第二章的差異性分析，可明白並非如此，對於現階段模組化的方式、燈具備品購置問題、規格未統一化及互換性問題、養護的問題及甚至智慧照明系統的考量，均會對取代產生影響，針對這些問題，說明如下。

6.1.1 模組化的方式

一般 LED 燈具模組化的方式，採用 LED 光源模組、散熱裝置、電源供應器、配光裝置、燈具外殼及外罩等，各裝置組合而成，由於採用的配光方式及散熱方式不同，往往會造成組合的方式不同，例如較常採用的方式為自然散熱透鏡方式，有的散熱裝置與燈具外殼一體成形，有的是分離式，透鏡方式有的是與光源模組合，有的是採分離式安裝在光源模組上，甚至為了提高燈具效率將透鏡當成外罩方式處理，大多數廠家均是以製造上的考量，並非針對路燈燈具作考量，不僅產品的可靠度下降，將來使用者在維護上均會產生非常大的困擾。例如由圖 6.1.1-1 及圖 6.1.1-2 為例，為國際上大廠，燈具 1 配光裝置採透鏡與光源模組分離方式，散熱機構採用與外殼一體成形方式，而燈具 2 配光裝置採反射板式與光源模組及散熱機構組合而成。

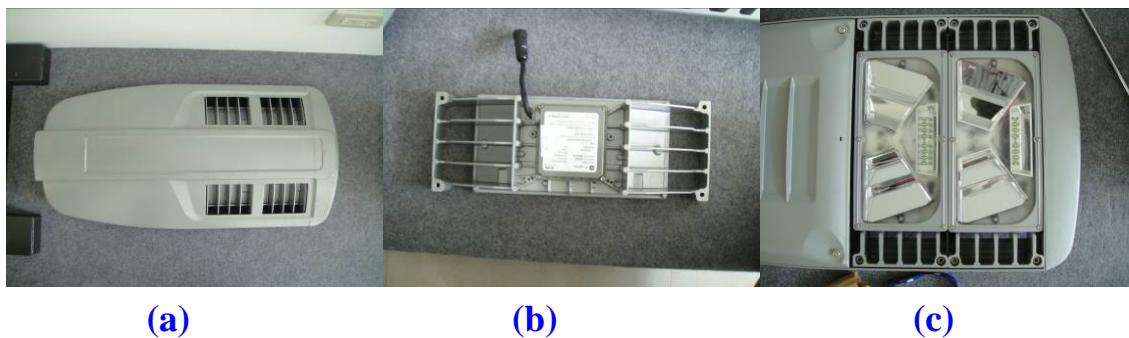
此兩種燈具在將來換修上，如燈具 1 具有換光源的便利性，但是對於光源與散熱機構緊密度，會產生導熱不足問題，且在惡劣環境下換裝，容易造成光源與散熱機構積塵，而影響燈具散熱能力，進而造成發光效率下降，另外對於透鏡採用一片式，由於怕變形影響配光，採用多顆螺絲，造成拆裝不方便。燈具 2，採光引擎方式，也就是將光源模組、配光裝置及散熱裝置組合成一體，在拆裝上非常便利，且散熱機構採用直立式配置於光源模組左右側，非國內較常採用的光源模組背後，此方式明顯較不易積塵，但此方式在光引擎部分可靠度需要很高，否則換裝一次光引擎單價偏高。



來源: philips

(a)燈具外形 (b)散熱機構(c)透鏡式光源模組

圖 6.1.1-1 LED 路燈燈具 1



來源: GE

(a)燈具外形 (b)散熱機構(c)反射板式光源模組

圖 6.1.1-2 LED 路燈燈具 2

6.1.2 燈具備品購置問題

現有 LED 燈具所採用的晶粒，約 95lm/W(100lm/顆，在工作電壓 3V)左右，但現有最高 LED 晶片產品，最高高達 142 lm/W(150lm/顆，在工作電壓 3V)左右，且預計在 2015 年，會有 200lm/W 以上商品出現，屆時 LED 產品才會到達成熟穩定的階段，現有 LED 產品雖看似較節能，但可能遇到馬上被淘汰的命運，以 THORN、GE 及 PHILIPS 為例，一年前產品，現均已停產，將來在燈具採購上會面臨無燈具可換的問題。

6.1.3 規格未統一化及互換性問題

現有傳統燈具，對於光源規格均有詳細規定，故在採用上，除輸出



光流明值及壽命略有出入外，可任意採用任何一家燈管產品，雖會對產品產生匹配上的影響，但安裝在任何一家燈具上，不受原廠限制。

然而 LED 燈具產品現未規格化，一但採用 LED 產品，除原來廠家外，一般其他廠家無法更換，除非換燈具。

故現階段如購置 LED 燈具，將無法於工程契約訂定互換及相容性等規格，且由於各廠家燈具內相關組件無法互換及相容，在將來保固期滿養護階段，養護單位恐受限於原廠家及產品之存續與價格問題，造成在採購上的困擾及能否符合採購法令要求疑慮。

6.1.4 清洗維護問題

一般現有傳統燈具在清洗上，採用擦拭燈罩方式，對於燈殼均未做清洗動作，而現有 LED 隧道燈，由於結構上的差異，燈殼除做為保護外，還做為散熱用途，依現有大多數產品，均採用鰭片方式，由於在高速公路車流量大，尤其在隧道內一般煙塵很大，鰭片方式容易積塵，而使 LED 燈具發光效率打折，故勢必對整體 LED 燈具做清洗動作。散熱鰭片多採外露方式配置，除易積塵外，積塵對隧道燈具產生腐蝕作用，進而產生散熱機構能力降低，造成 LED 光源輸出光流明數下降，故對於 LED 燈具燈殼設計須加此特殊考量。

在維護上一般傳統燈具，有各自獨立零件，可依光源、安定器、電容器或啟動器做各別更換，而 LED 燈具尚未模組化確立，通常除電源供應器外，以現有廠商方式，均需整組燈具更換，較不經濟。

6.1.5 智慧照明系統的考量

LED 燈具之所以是未來的趨勢，最重要的是易操控，依現有條件雖未成熟，但依國內現有政策，例如國家標準在 CNS 10779 汽車及行人通行用道路照明標準，已將調適照明系統(adaptive lighting system)納入標準，使得夜間照明水準，不再是單一數值，可依交通量及交通速率等相關條件作照明水準的調整，朝更節能的方向考量，並於 101 年 10 月對於智慧照明系統標準提出功能系統、廣域網路介面、場域網路介面、場域網路設計指引及照明設備等 5 部分草案，將來勢必要朝該方向考量。

6.2 未來趨勢

LED 燈具就光源發光效率來說已超過高壓鈉氣燈泡，然而以目前所有資料顯示，發光效率還有提升空間，這代表 LED 光源尚未到達成熟穩定期，故相關配光裝置、散熱裝置會隨著 LED 光源效率而改變，導致現有 LED 燈具生命週期非常短，也唯有穩定的光源，才會有標準及規格化



產品，在工程上才能大量採用。

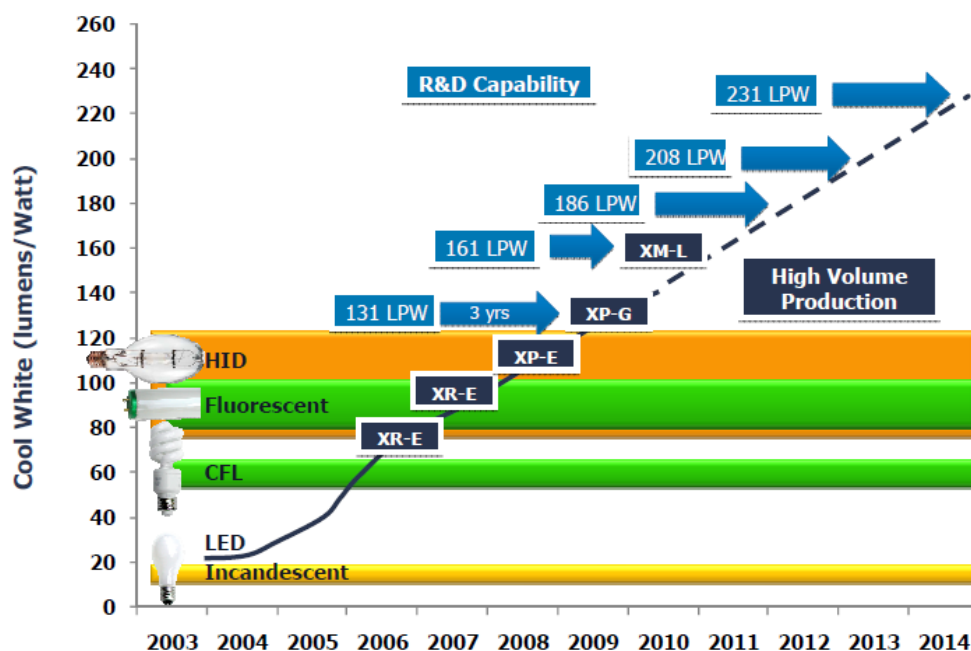
對於未來的趨勢，將以應用端(也就是使用單位)針對在工程規範會產生直接影響之因素，來作為考量的方向。

6.2.1 LED 光源發光效率的趨勢

LED 光源發光效率，由圖 6.2.1-1 所示，在 2009 年已超過高壓鈉氣燈泡，相關燈具產品，約在 1~2 年後出現，而現有 LED 光源已到 161lm/W(在 25°C)，而在實驗室已有 231lm/W(在 25°C)，預計在 2014 年量產，相關商品化產品約在 2016 年出現，屆時 LED 光源發光效率將趨向穩定，相關配光裝置及散熱裝置才會有穩定可靠產品出現。由於依照現有市售產品，LED 燈具廠家大部分採用的 LED 光源發光效率均在 131 lm/W(在 25°C)左右，依據未來趨勢，發光效率約還有 75%提升，以現有技術水準，燈具效率約有 180 lm/W 以上的 LED 燈具出現。

本章節將針對將來 LED 燈具散熱機構的維護、清洗問題，產品模組化的換裝問題及產品未規格化的採購問題，燈具加裝透鏡所產生的色散問題及長期使用所產生的色偏問題，以現階段來做考量，做為後續作業的參考，另對於 LED 燈具為未來趨勢，從光源發光效率來研判穩定成熟 LED 燈具產品，以做為修訂規範參考。

Lighting Class LED Efficacy & Light Output



來源: CREE

圖 6.2.1-1 LED 發光效率趨勢圖



6.2.2 LED 光源色溫及演色性的趨勢

傳統燈具在採用高壓鈉氣燈泡時，由於其發光特性對於演色性及色溫均只有單一選擇，故對於以往規範要求上，均未對演色性及色溫提出要求。然而 LED 光源，由於可藉由螢光粉的調配，產生所需的色溫及演色性，將來勢必對 CRI 及色溫有所要求，但由於斯托克偏移效應(Stokes Shift Efficacy)的損失，在要求演色性的同時，發光效率會隨著色溫而下降。如圖 6.1.2-2(a)所示，一般在要求 CRI 的同時，對於色溫 6500K、5000K 及 4000K，每一階色溫均會對發光效率產生 6~10% 的損失，然而對於室內要求，可能需要 CRI 80 以上的需求，對於屋外道路照明，由於取代的是傳統高壓鈉氣燈泡，對於 CRI 的要求並不是那麼高，在演色性適度的要求下，如圖 6.1.2-2(b)所示，可同時在各階色溫，達到一樣的發光效率，尤其是本計劃建議在色溫在 4000K 左右，以現有廠商提供的資料顯示，在色溫 6500K 比色溫 4000K 均會高 10% 以上的發光效率，故對於未來 LED 光源產品，不再只是對發光流明數的要求，對於演色性的要求，勢必要考量。

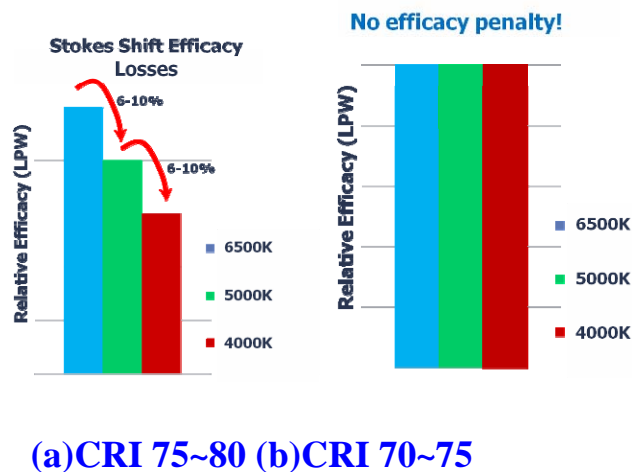


圖 6.1.2-2 LED 演色性與色溫發光效率的影響

6.2.3 散熱裝置的趨勢

國內現有 LED 路燈在散熱裝置上，有分成主動式(風扇強制散熱及迴路熱管散熱)及被動式(自然鰭片散熱)兩種散熱方式，雖然主動式有著高效率的散熱能力，然而對於維護保養及可靠度上，無法有效應用在高速公路上，並且由於 LED 光源發光效率不斷的提升當中，依物質不滅定律轉化成無效熱量相對減少，散熱機構也相對減少很多，基本上當 LED 路燈發光效率在 130lm/W 以上，對於自然鰭片散熱，已變得相對縮小，甚至外觀看不出來，如圖 6.2.3-1 所示，由於鰭片方式，在維護保養及清洗上，有相當的困難度，且對於耐風係數有一定程度的影響，造成燈桿



結構上的負擔，對於將來路燈外觀，將會與傳統路燈趨向一致，提高 LED 路燈在使用上的可靠度。

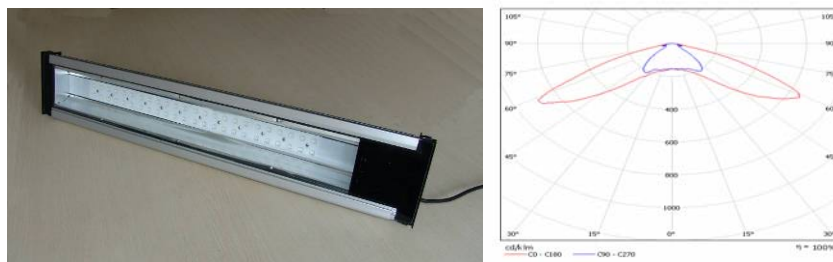


來源: THORN

圖 6.2.3-1 LED 路燈

6.2.4 配光裝置的趨勢

一般在國內隧道照明設計上，基本區為考量舒適性，均採用日光燈管方式，然而對於隧道燈具短邊，因光源安裝問題，將無法做有效配光，故往往採連續式照明較恰當，而 LED 燈具由於光源特性，採用的配光裝置，變得多樣化，然而對於單採用透鏡或反射板，都有其優劣點，如圖 6.2.4-1 所示，採用透鏡加上反射板組合方式，使得有效改善傳統日光燈管短邊無配光方式，除有效控制大角度及小角度配光外，對於透過透鏡及反射板組合，將縱向及橫向光束做有效運用，使得無論對路燈或隧道燈配光特性，均可利用組合方式達到有效利用，而非傳統單一方式。



(a)

(b)

來源: THORN

(a)燈具外形(透鏡+反光板) (b)配光曲線

圖 6.2.4-1 LED 隧道燈具

由以上章節所述，無論在現階段考量或未來趨勢上，現階段如想採購到符合道路使用的產品，不太困難，但由於上述原因，造成使用單位，在養護上的困擾外，在採購上也會遇到由於 LED 燈具隨著 LED 光源的成長，而有不同樣的設計考量，可能現階段是正確的設計，到下階段反而成為累贅，例如散熱裝置，就是一個明顯例子，現有 LED 燈具，隨著發光



效率的提升，散熱裝置勢必要有調整。而配光裝置，由於相同瓦數提供更高的流明數，導致提供較寬的道路需求，配光型式，勢必要有所變更，故對於現階段在後續作業，因應這些問題，將在下章節提出建議方式，以作為後續作業考量。

6.3 規範建議

本計畫除對 LED 路燈與傳統路燈做差異性評估報告外，主要提供高速公路日後採購 LED 路燈之參考依據，將依據現況、未來趨勢作為考量依據。對於配光裝置依現有兩種方式分別建議採購 LED 道路燈具規範如下表 6.3-1~6.3-2 所示，電源供應器規格如下表 6.3-3 所示，由於現有凸透鏡廠家，為了提高燈具輸出流明，均以透鏡當成燈罩方式處理，故先行以現況做建議規範，再以後續量測時，以清洗方式了解其耐候性，再做為後續修訂規範依據。



表 6.3-1 匝道 LED 路燈主要規範建議表(透鏡方式)

項目	現行採購建議 (試辦計畫)	2015 年後 採購建議	驗證方式	法規依據建議
光學特性	燈具功率	匝道 100±5% W	依照將來燈具實際規格訂定	型錄及 CNS 15233 試驗報告
	燈具流明數	匝道 8500lm 以上	匝道 8500lm 以上	CNS 15233 試驗報告
	燈具 發光效率	85 lm/W 以上	120 lm/W 以上	CNS 15233 試驗報告
	光源效率	120 lm/W 以上	160 lm/W 以上 @85℃	IES LM-79 測試報告
	眩光 (TI)	15% (含) 以下	15% (含) 以下	送審時照明軟體計算 為依據
	演色性(Ra)	70%以上	70%以上	IES LM-79 測試報告
	色溫	4500K (4503±243)	4500K (4503±243)	CNS 15233 試驗報告 及驗收時量測
	燈具外殼規格	鋁質	鋁質	型錄
	二次 光學	PC 材質凸透鏡	PC 材質凸透鏡	型錄
	配光特性	匝道: Type I-S 或 Type II-M	匝道: Type I-S 或 Type II-M	IES 標準
	平均 照度	15lux(含)以上	15lux(含)以上	送審時照明軟體計算 及驗收時量測
	均勻度(最小照 度/平均照度)	0.333 (含) 以上	0.333 (含) 以上	送審時照明軟體計算 及驗收時量測
電氣特性	功率 因數	0.9 (含) 以上	0.9 (含) 以上	CNS 15233 試驗報告
	防電擊保護	Line to Ground 6kV/3kA	Line to Ground 6kV/3kA	CNS 15233 或 ANSI 62.41 試驗報告
機械結構性	計算壽命(hr)	L ₉₀ (22,000 hr) @85℃, 1A、 0.7A、0.35A	L ₉₀ (25,000 hr) @85℃, 1A、 0.7A、0.35A	IES LM-80,L ₇₀ 測試報告
	散熱方式	自然對流	自然對流	型錄, 樣品審查
	工作 溫度	-5℃~50℃	-5℃~50℃	CNS 15233
	防塵防水 保護	IP65	IP65	CNS 14335 及 CNS 14165
	防鹽害	中性鹽水噴霧 試驗 240 小時 符合 RN=10	中性鹽水噴霧試 驗 240 小時 符合 RN=10	CNS 9118 試驗報告
	振動 試驗	進行試驗後不得變形鬆脫、 脫落或龜裂	進行試驗後不得 變形鬆脫、脫落 或龜裂	CNS 15233 試驗報告



表 6.3-2 匝道 LED 路燈主要規範建議表(反射板方式)

項目	現行採購建議 (試辦計畫)	2015 年後 採購建議	驗證方式	法規依據建議
光學特性	燈具功率	匝道 115±5% W	依照將來燈具實際規格訂定	型錄及 CNS 15233 試驗報告
	燈具流明數	匝道 9200lm 以上	匝道 8500lm 以上	CNS 15233 試驗報告
	燈具發光效率	80 lm/W 以上	120 lm/W 以上	CNS 15233 試驗報告
	光源效率	110 lm/W 以上	160 lm/W 以上 @85°C	IES LM-79 測試報告
	眩光 (TI)	15% (含) 以下	15% (含) 以下	送審時照明軟體計算為依據
	演色性(Ra)	70%以上	70%以上	IES LM-79 測試報告
	色溫	4500K (4503±243)	4500K (4503±243)	CNS 15233 試驗報告及驗收時量測
	燈具外殼規格	鋁質	鋁質	型錄
	二次光學	高純鋁反射板	高純鋁反射板	型錄
	配光特性	匝道: Type II-S 或 Type II-M	匝道: Type II-S 或 Type II-M	IES 標準
	平均照度	15lux(含)以上	15lux(含)以上	送審時照明軟體計算及驗收時量測
	均勻度(最小照度/平均照度)	0.333 (含) 以上	0.333 (含) 以上	送審時照明軟體計算及驗收時量測
電氣特性	功率因數	0.9 (含) 以上	0.9 (含) 以上	CNS 15233 試驗報告
	防電擊保護	Line to Ground 6kV/3kA	Line to Ground 6kV/3kA	CNS 15233 或 ANSI 62.41 試驗報告
機械結構性	計算壽命(hr)	L90 (22,000 hr) @85°C, 1A、0.7A、0.35A	L90 (25,000 hr) @85°C, 1A、0.7A、0.35A	IES LM-80,L70 測試報告
	散熱方式	自然對流	自然對流	型錄, 樣品審查
	工作溫度	-5°C~50°C	-5°C~50°C	CNS 15233
	燈罩	PC 材質或強化玻璃	PC 材質或強化玻璃	
	防塵防水保護	IP65	IP65	CNS 14335 及 CNS 14165
	防鹽害	中性鹽水噴霧試驗 240 小時 符合 RN=10	中性鹽水噴霧試驗 240 小時 符合 RN=10	CNS 9118 試驗報告
	振動試驗	進行試驗後不得變形鬆脫、脫落或龜裂	進行試驗後不得變形鬆脫、脫落或龜裂	CNS 15233 試驗報告



表 6.3-3 90W~125W 之 LED 路燈電源供應器規格

項目		規格
輸入 Input	額定電壓	220 Vac
	額定頻率	60 Hz
	功率因數	>0.9 @ 220Vac at full load
	效率	> 90% @ 220Vac at full load
輸出 Output	額定電流	$\leq 3.4\text{A}$
	直流電壓	$\leq 36\text{V}$
	電壓調整範圍	$\pm 10\%$ 額定值
	電流調整範圍	60% ~ 90 % 額定值
保護 Protection	短路保護	Yes
	過壓保護	Yes
	過溫保護	Yes
使用條件 Environment	操作溫度	-20 ~ 50 °C
	操作濕度	10 ~ 90 %
	儲存溫度	-40 ~ 80 °C
	儲存濕度	10 ~ 90 %
安規與電磁雜訊 Safety & EMC	安規	IEC/EN 61347-1 IEC/EN 61347-2-13
	電磁干擾	CISPR 15 (IEC/EN 55015) 或 CNS14115 (2008 版)
	諧波	IEC/EN 61000-3-2 class C
防塵防水 Ingress Protection		IP65
保固 Warranty		5 年



第七章 後續作業說明及結論

7.1 後續作業說明

本計畫除做差異性評估報告外，另須配合試辦 LED 路燈工程，制定相關規範及現場量測作業，並於量測作業完成後，依量測數據提出完整的評估報告及修訂規範。依前幾章分析評估結果，對於後續作業建議如下。

7.1.1 燈具採購方案

本計畫在制定相關規範，主要用在將來高速公路大量採購使用，且考量將來維護性及便利性，在規範的訂定上，朝向以最低標較為適合。

故對於 LED 路燈或隧道燈在收集資料上，採用已有相關 CNS 測試報告為主要對象，可用一般工程細設流程方式處理，但對於光效及性能較優的產品(或是國外產品)，由於無測試報告，反而無法採購，尤其由於 LED 光源效率不斷提升，造成燈具產品汰換速度很快，甚至有些剛收集到的產品，馬上面臨到淘汰的命運。故以現有的採購方式，非常困難採購到所需燈具，故建議採用以高速公路的需求為依歸，不以現有市場上現有產品來作為制定規範，先行發包，如有廠家符合規範，則將辦理後續作業，如無廠家符合，可依需求詢問廠家是否有意願可免費提供方式，再採用除燈具外的負責安裝及測試的工程標方式處理，以達到本計畫精神。

7.1.2 後續量測說明

擬初期試辦地點為中區工程處所轄範圍內，以工務段為優先考量，共 1~3 處，原則需 3 種不同產品 LED 路燈燈具，共換置或設置 24 盞，並於試辦地點鄰近主線道或匝道，共換置 6 盞，合計換置 30 盞，對於不符合建議燈桿及基礎需重新施作，燈桿間距原則為 30M，統一桿距條件，以利量測資料之比較分析，量測期間為裝設後 3 年內，量測頻率每季 1 次，量測項目包括色溫、照度及輝度（含平均值、最小值、最大值及均勻度）等項目，並進行光衰、色偏及色散變化情形評估，然後再提出完整的評估報告及修訂規範。

另對於量測上，對於裝設於主線道或匝道燈具，可依現有 貴單位養護流程，進行實際清洗養護及拆裝，藉以瞭解，將來維護問題。

對於隧道燈具，經收集到資料顯示，國內廠家幾乎所採用的隧道燈



具，大多都是拿既有 LED 路燈、投光燈或停車場燈改裝而成，並未考量到隧道環境問題，然如有廠家願意提供燈具，可建議安裝於隧道避車彎上為原則。

7.2 結論

LED 燈具所具有的優異特性，除了節能、環保及易操控外，並可依照環境特性，提供不同的演色性及色溫需求，也就是適切的地點提供適宜的光源及燈具，這是傳統光源所無法提供的，由於更具多樣性，對於規範的需求需更精準，尤其是在工程上，需大量的採購使用，所需要的是具有穩定成熟的產品，所考量的是養護清洗及換修的方便性、採購上的便利性、產品可靠性等，而不僅僅是發光效率而已，以傳統光源為例，現有市場上發光效率最高的為低壓鈉光燈泡，發光效率是高壓鈉氣燈泡的 1.5 倍，但現有市場在大量的使用上，以高速公路為例，道路照明幾乎採用高壓鈉氣燈泡，而非低壓鈉光燈泡，可見其重要性。

然而以現有 LED 光源雖未到達成熟穩定程度，相關配件如配光裝置及散熱裝置，也無法規格化及標準化，以現階段雖無法大量使用在道路照明上，但由於與傳統燈具，有著差異性，仍可藉由小量試辦計畫中，獲得將來在養護上的一些相關資料，以利將來市場能夠整合出一個穩定成熟產品，應用在道路照明上，這也是本計畫最主要的宗旨。