

整合照度需求與照明節能之照明功率密度基準及簡易圖表法—以辦公空間為例

謝明燁* 易昌廷**

關鍵字：照明，照度，節能，反射率，照明功率密度

摘要

一般評估照明節能的指標並無法同步評估空間的照度值，而照度的事前評估通常需要電腦模擬。對於非專業人士來說，要能在事前掌握光源種類及配置數量有其困難。本研究擬探討可兼顧照度標準與照明節能的把關機制，藉由調整照明功率密度基準，間接把照度標準的評估納入，即用一個係數同時檢討照度標準與照明節能。本研究以電腦模擬的方式，探討了光源種類、光源瓦數大小、室內表面反射率、天花板高度、辦公桌隔板之有無等因子，對全般照明型式辦公空間之作業面平均照度及照明用電密度的影響。本研究發現，在所探討的三種光源之中，LED 最為節能，T5 次之，T8 最耗能。同樣種類的光源中，瓦數較大者較為節能。天花、牆面、地板之反射率減少 20%時照明功率密度須提高 2~6%、1~4%、4~8%。天花高度每升高 0.3m，照明功率密度須提高 2%~3%。辦公桌加裝隔板後，照明功率密度須提高 12~19%。本研究一併提出了以查表方式快速掌握照明功率密度的圖表法，任何非專業人士均可以查詢圖表的方式，立即掌握空間所需之照明功率密度概略值。使用者僅需決定照度值及擬採用的光源瓦數，即可以簡單算數立刻求出空間所需燈具數量。依照此數量平均分配燈具位置，即可確保完成後的作業面照度值符合原先的設定值。為兼顧照度標準與照明節能，本研究建議辦公空間以 500lx 做為作業面的平均照度，以 8~9W/m² 做為照明功率密度的基準。

A New Lighting Power Density Standard and Chart Method for Integrating the Illumination Standard and Energy Saving—Using Offices as an Example

Mingyeh Hsieh* Changting Yi**

KEYWORDS: Lighting, Illuminance, Energy-saving, Reflectance, Lighting Power Density

ABSTRACT

Generally, the indicators for evaluating lighting energy saving cannot simultaneously evaluate the illuminance value, and the pre-evaluation of illuminance usually requires computer simulation. For non-professionals, it is difficult to grasp the type and number of configurations of light sources beforehand. This study intends to explore a mechanism that can take into account both illuminance and energy saving. This study found that among the three light sources discussed, LED is the most energy-efficient, followed by T5, and T8 is the most energy consuming. When the reflectivity of ceiling, wall and floor reduced by 20%, the lighting power density must increase by 2-6%, 1-4% and 4-8%. When the ceiling height increases by 0.3m, the lighting power density must increase by 2% to 3%. Partitions make the lighting power density increase by 12-19%. This research also proposes a chart method for quickly grasping the lighting power density. Users only need to determine the illuminance and the wattage of lights, and the number of lamps required can be calculated immediately by simple calculations. This study recommends 8-9W/m² as the benchmark for the lighting power density.

收件日期：2020.08.10；接受日期：2021.06.13

*中原大學建築學系教授（通訊作者 Email:hsiehmingyeh@cycu.edu.tw）

Professor, Department of Architecture, Chung Yuan Christian University, Taiwan

**中原大學建築研究所碩士班研究生

Master Student, Department of Architecture, Chung Yuan Christian University, Taiwan

DOI:10.3966/101632122021060116002

一、研究背景與目的

「明視性」是人們在室內進行各種視覺行為時所必須滿足的重要目標，我國的 CNS 或日本的 JIS 對於各種用途的室內空間均有建議的照度標準。根據此標準，空間中與明視性有關的照明品質可獲得基本的控制。然而，照度的量測需要儀器，精密的照度計價格不菲，一般人不易取得。此外，照度的量測通常是在完工之後，在設計階段，許多業主、使用者甚至設計者多半是憑著直覺或經驗來決定空間裡照明燈具的總光源數量、單一光源之瓦數及裝設位置。採用此種方式時，因事前難以預測完工後的作業面照度值，設計者或業主所規劃配置的燈具數量可能過多可能過少，光源也可能過亮可能過暗，照度標準所規範的照度值，在真實現場不易確實把關，容易造成照度過高的眩光問題與照明耗能，也容易造成照度不足而影響使用者視覺作業的遂行。雖然目前已有電腦模擬軟體可在設計階段進行照度值的預估，但整個電腦建模與軟體操作所需的能力，只有少數專業者具備，一般業主及使用者難以自行在事前進行預估。

人工照明的耗電量約佔建築物能源消耗的二成，僅次於空調耗能。因此，建築空間的照明除了滿足照度標準及其它與照明品質有關的條件之外，降低照明的能源消耗，對我國乃至全球的節能減碳目標，具有重大的貢獻。照明節能大致上可由「使用高效率光源」、「適宜的燈具設置方式」及「合理的照明功率密度」等三面向共同達成。我國綠建築評估指標（EEWH）的「日常節能指標」裡的「照明系統節能」，已將上述三面向納入評估。其中，EEWH 在照明系統節能之 IDR（主要作業空間照明功率密度加權係數）計算裡有「主要作業空間照明功率密度基準 LPD_{cj}」的基準係數，此係數透過每平方公尺的燈具瓦數（W/m²）與各空間之 LPD_{cj} 基準係數進行比較，以反映每個空間的照明耗能情形。W/m² 低於基準，表示耗電量少，照明系統較為節能；W/m² 高於基準，表示耗電量高，照明系統較為耗能。由於每種光源的效率（lm/W）皆不同，同樣 15W/m² 的空間，不同光源效率的燈具，

流明數（lm）大不相同，所產生的照度也不同。近年來，因科技的進步，光源的效率（lm/W）不斷提高，尤其是 LED 光源的效率改變更是明顯。在 W/m² 不變的情況下，採用較高效率的光源可以使整體的流明數提升，作業面照度值提高。換言之，採用高效率光源可能會使得空間裡的照度高於照度標準，而產生了一種隱性浪費。使用高效率光源時，若能減少空間裡的照明光源瓦數，使照度回復到照度標準附近，不但可減少照度過高所容易導致的眩光問題，也可因減少了光源瓦數而減少照明用電量，同時滿足了明視性與照明節能等兩大目標。

由於上述 EEWH 的照明節能評估，並無法同步評估設計方案完工後的照度值，因此，本研究擬探討可兼顧並平衡「照度需求」與「照明節能」的把關機制，在現有綠建築評估方法的框架下，藉由調整照明功率密度基準 LPD_{cj}，間接把照度標準的評估納入，即用一個係數同時檢討照度值與照明節能。此外，本研究成果也可供一般業主或使用者，藉由簡單的圖表查詢方式，根據建築空間的面積、擬採用的光源種類、自行設定的作業面照度等資料，迅速估算出空間所需的光源總瓦數。再根據擬採用的單一光源的瓦數大小，換算出光源數量。依照此數量安裝燈具後，將使空間之作業面平均照度達到原先擬定的照度水準，不致過亮或過暗，兼顧照度需求及照明節能。

二、研究方法

為使「照度」與「照明功率密度」這兩個係數連動，電腦模擬是一個有效率的方法。今日的照明設計界已能運用電腦模擬軟體規劃室內空間、燈具，並計算出不同高度作業面的照度值。在現有常見的照明模擬軟體中，德國光學燈具廠商聯合開發的燈光照明計算軟體 DIALux 在人性化、照明計算及數據的呈現上，整體有較高的評價，在業界被廣泛地使用。由於燈具的配光曲線等各種數據皆是由各廠牌燈具廠商所提供，因此數據相當可靠。楊東政曾比較了 DIALux 的模擬數據與實驗場實測數據，結果顯示，兩者在統計上的相關係數達 0.8 以上，證明了 DIALux 可做為照

明數值的模擬工具（楊東政，2012）。許多研究均以 DIALux 做為研究用的照明模擬工具（周鼎金等，2018；趙又輝及郭柏巖，2013）。

本研究擬以 DIALux 軟體進行電腦模擬，模擬條件包括光源種類、光源瓦數大小、室內表面的反射率、燈具配置模式、天花板高度、辦公桌隔板之有無等變因，根據各種排列組合條件下的作業面照度及照明功率密度，彙整出照明功率建議值。

三、模擬條件設定

3.1 辦公空間

本研究參考《建築設計資料集成》來設定辦公空間的平面配置與格局。本研究所設定的辦公空間為一長 19.2m、寬 12.8m、天花板高 2.8m 的矩形空間。空間的面積為 245.76m²，座位數共 54 個，換算的每人樓地板面積為 4.55m²，符合《建築設計資料集成》之「一般事務」的密度（日本建築學會，1997）。辦公桌高度為 0.72m，故本研究的水平作業面高度也比照設定為 0.72m。辦公空間一側為落地窗，其餘牆面皆無開窗。為避免變動較大的晝光之影響，本研究以無晝光環境為假想條件，不考慮晝光之因素。家具除辦公桌椅外，尚有幾組高櫃與矮櫃（圖 1）。辦公桌周圍若有隔板，會影響光線的行進方向，因此本研究模擬

了「有隔板」與「無隔板」等兩種類型。隔板最上緣為地板上方 1.2m 高，厚度 0.25m，反射率為 45%（圖 2）。因天花板高度會影響光源與作業面之間的距離，而此距離又會直接影響照度值，故本研究根據一般常用的尺寸，設定了 2.8m、3.1m、3.3m 等三種天花板高度來探討。

3.2 光源

本研究在照明型式上以目前國內辦公空間最常見的全般照明為探討對象。光源也以最常見的 T8T-Bar 燈（直管型螢光燈）、T5T-Bar 燈（直管型螢光燈）及 LED（LED 平板燈）等三種為研究對象。每種光源又再設定大小兩種不同尺寸（瓦數）來探討。T8T-Bar 燈共有 18W*3 的類型（一根燈管 18W，三根組成一盞燈具）與 36W*3 的類型（一根燈管 36W，三根組成一盞燈具）；T5T-Bar 燈共有 14W*3 的類型（一根燈管 14W，三根組成一盞燈具）與 28W*3 的類型（一根燈管 28W，三根組成一盞燈具）；LED 平板燈共有 32W 與 54W 等兩種。上述光源的技術資料如表 1 及圖 3 所示。LED 32W 的品牌為 NVC，其餘五種光源的品牌為 PAK，表 1 與圖 3 皆引用自 DIALux 軟體裡燈具廠商所匯入之資料與數據。燈具維護係數一律設定為 0.8。

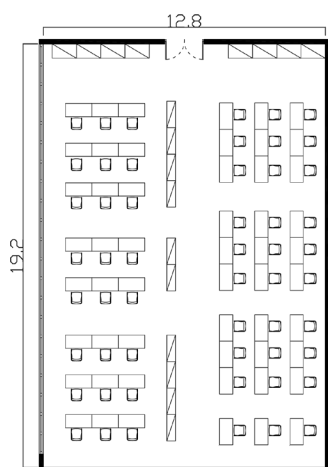


圖 1 本研究設定之辦公空間

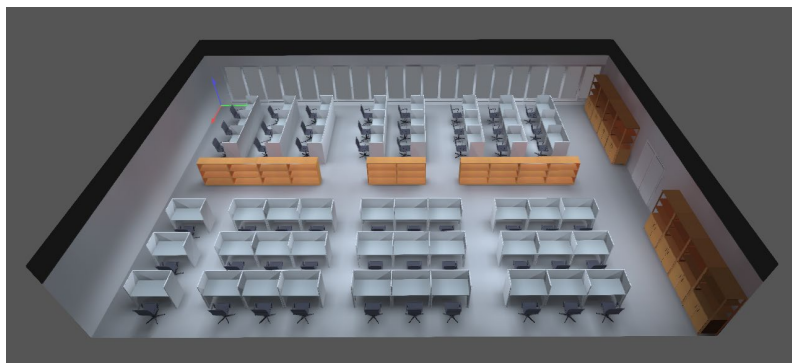
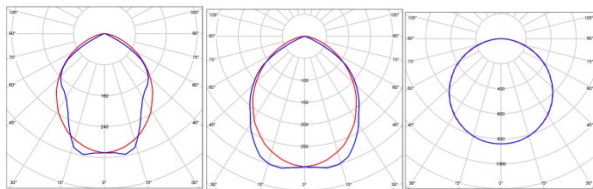


圖 2 有隔板之辦公空間

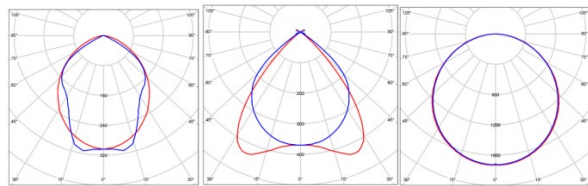
表 1 各光源之技術資料

光源	瓦數	色溫度 (K)	演色性	光源光通量 (lm)	燈具光通量 (lm)	長*寬 (m)
T8	18W*3	6500	85	3750	2428	0.6*0.6
T5	14W*3	6500	88	3600	2417	0.6*0.6
LED	32W	5700	80	--	2500	0.6*0.6
T8	36W*3	6500	85	9150	5846	1.2*0.6
T5	28W*3	6500	88	7800	5598	1.2*0.6
LED	54W	6000	92	--	5121	1.2*0.6

(資料來源：廠商提供之資料)



T818W*3T514W*3LED32W



T836W*3T528W*3LED54W

圖 3 各光源之配光曲線

(資料來源：廠商提供之資料)

由於本研究探討的是全般照明的型式，因此燈具配置的大原則是盡可能使座位區的燈具均勻配置，以獲得均勻的照度分佈。T8 之 18W*3 有 A、B、C 三種配置；T5 之 14W*3 有 A、B、C 三種配置；LED 之 32W 有 A、B、C 三種配置；T8 之 36W*3 有 D、E、F 三種配置；T5 之 28W*3 有 D、E、F 三種配置。LED 之 54W，因光通量與 T8 之 36W*3 及 T5 之 28W*3 差距過大，故另改以 G、H、I 等三種燈具密度較高的配置方式呈現。A~I 的九種配置方式如圖 4 所示。

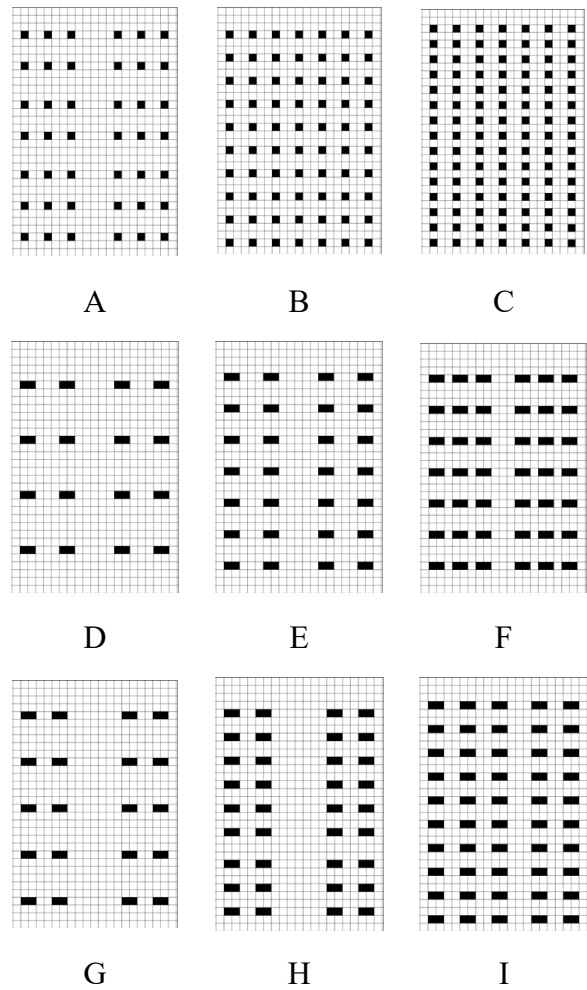


圖 4 燈具配置平面示意 (黑色表燈具)

3.3 室內表面反射率

在室內天花板、牆面、地板及辦公桌作業面的反射率設定上，本研究參考內政部建築研究所的研究報告 (陳瑞鈴及周鼎金，2007) 所提出的辦公室環境反射率建議 (表 2)，將天花板設定為 70% 及 90% 等兩種，牆面 50% 與 70% 等兩種，地板 20% 與 40% 等兩種，辦公桌作業面則設定為 26%。

表 2 辦公室空間環境反射率之建議

項目	建議之反射率範圍 (%)
天花	70~90
牆面	50~70
地板	20~40
作業面	25~50

(資料來源：陳瑞鈴及周鼎金，2007)

3.4 實驗計畫

由於本研究共有光源種類、室內表面的反射率、燈具配置模式、天花板高度、辦公桌隔板之有無等多種變因，每種變因又有多種不同條件，全部的排列組合數過於龐大，因此，本研究分成兩階段進行。

第一階段以光源種類、大小瓦數燈具（含燈具配置模式）及室內表面反射率為操縱變因，其餘為固定變因，如天花板高度固定為 2.8m，辦公桌椅固定採無隔板配置。光源種類共三種（T8、T5 與 LED），分別各有兩種瓦數大小（尺寸），燈具配置模式各搭配三種（小瓦數搭配 ABC；大瓦數搭配 DEF；LED 之 54W 燈具則搭配 GHI），室內表面反射率共有八種（天花板兩種*牆面兩種*地板兩種）。

第二階段以光源種類、燈具配置模式、天花板高度、辦公桌隔板之有無等項目為操縱變因，其餘為固定變因。例如，室內表面反射率根據表 2 內政部建築研究所的建議範圍（陳瑞鈴及周鼎金，2007）取中間值，固定為天花板 80%、牆面 60%與地板 30%，辦公桌作業面則仍舊固定為 26%。光源種類與第一階段相同共三種（T8、T5 與 LED），分別各有兩種瓦數大小（尺寸），燈具配置模式各搭配三種（小瓦數搭配 ABC；大瓦數搭配 DEF 或 GHI），天花板高度共有三種（2.8m、3.1m 與 3.3m），隔板有無共兩種（有隔板、無隔板）。

四、研究結果

4.1 第一階段

4.1.1 長寬 0.6m*0.6m 的燈具（小瓦數燈具）

首先，T8（18W*3）、T5（14W*3）與 LED（32W）等三種光源的小瓦數條件（長 0.6m*寬 0.6m）各搭配 A、B、C 三種配置時，依據八種不同的室內表面反射率條件，可分別繪製出圖 5~12 之照度與照明功率密度的關係圖。以圖 5 為例，在無隔板、天花高 2.8m、小瓦數燈具（0.6m*0.6m），且天花反射率 70%、牆面反射率 50%、地板反射率 20%的條件，三種光源環境下的照明功率密度（W/m²）與整個空間作業面的平

均照度（lx）可繪製成線性的關係圖。橫軸表照度（lx），縱軸表照明功率密度（W/m²）。

根據我國 CNS12112 的規範，300lx、500lx 與 750lx 是辦公空間最常使用的照度水準。其中，文件處理、影印、計算等作業的維持照度為 300lx；書寫、打字、閱讀資訊處理、CAD、討論、會議等作業為 500lx；工程製圖是 750lx。若在圖 5~12 表示照度的橫軸上將 300lx、500lx、750lx 等三個照度值的位置繪製垂直直線，其與三條斜線的交點即代表三種光源要達到該作業面照度值所需要的照明功率密度（W/m²）。以圖 5 為例，作業面照度要達到 500lx，T8（18W*3）需要 15.00W/m²，T5（14W*3）需要 11.70W/m²，LED（32W）僅需 9.06W/m²。若要達到 750lx，T8（18W*3）需要 22.68W/m²，T5（14W*3）需要 17.67W/m²，LED（32W）僅需 13.68W/m²。此結果顯示，三種光源中 LED 最為省能，T8 最為耗能。在圖 5~圖 12 等八種不同室內表面反射率的情況下，皆可看到類似的結果，即 T8 所需的照明功率密度最高，T5 次之，LED 最低。圖 5~圖 12 的詳細數據可彙整如表 3。以 500lx 為作業面照度目標值時，T8 的照明功率密度介於 13.32~15.00W/m² 之間；T5 介於 10.38~11.7W/m² 之間；LED 介於 7.97~9.06W/m² 之間。三種光源的照明功率密度範圍彼此不重疊，顯示了雖然室內表面反射率愈高，照明功率密度愈低，但光源種類所造成的照明功率密度差異遠較室內表面反射率的影響來得大。

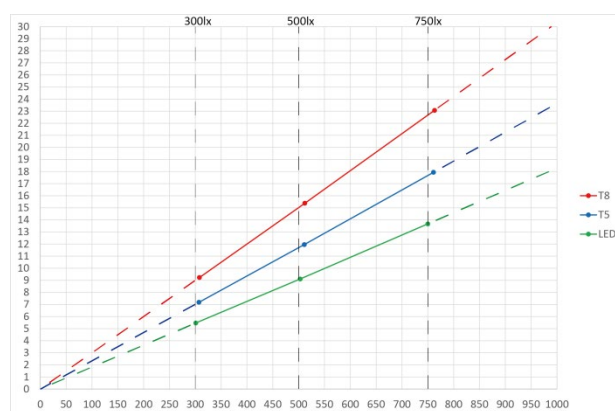


圖 5 照度與照明功率密度的關係（無隔板/天花高 2.8m/小瓦數/天花 70%-牆面 50%-地板 20%）

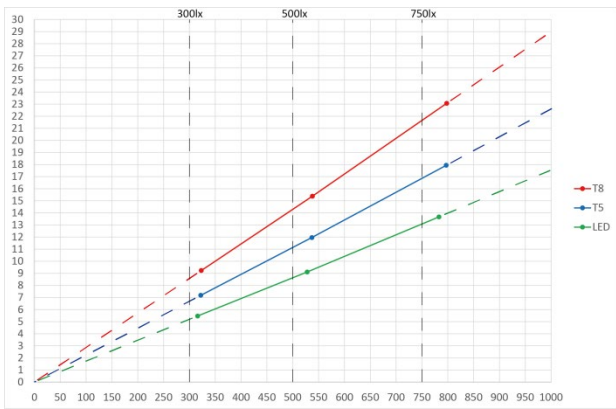


圖 6 照度與照明功率密度的關係 (無隔板/天花高 2.8m/小瓦數/天花 70%-牆面 50%-地板 40%)

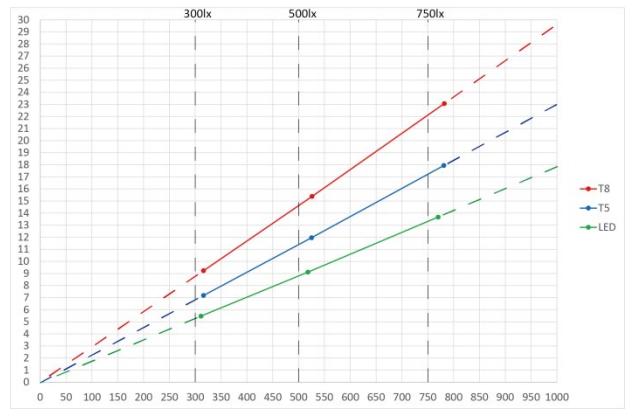


圖 9 照度與照明功率密度的關係 (無隔板/天花高 2.8m/小瓦數/天花板 90%-牆面 50%-地板 20%)

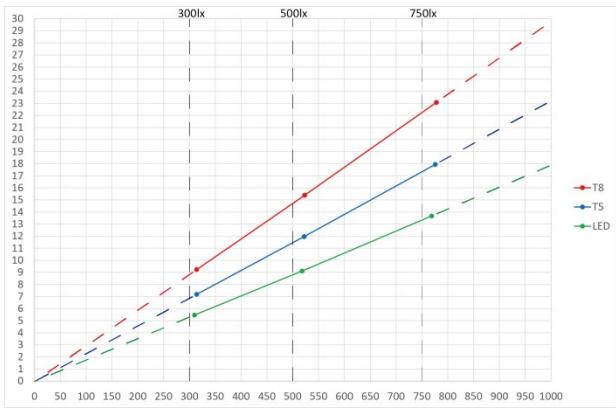


圖 7 照度與照明功率密度的關係 (無隔板/天花高 2.8m/小瓦數/天花 70%-牆面 70%-地板 20%)

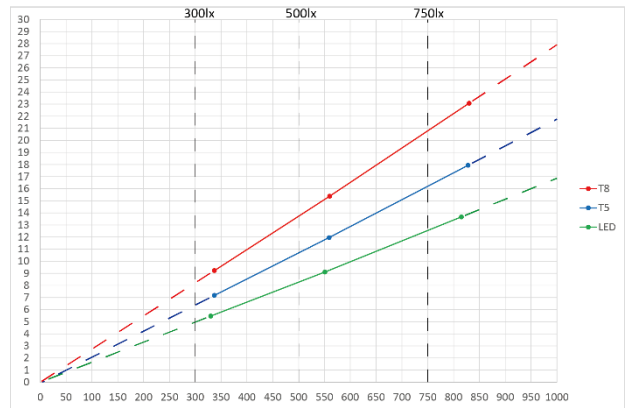


圖 10 照度與照明功率密度的關係 (無隔板/天花高 2.8m/小瓦數/天花板 90%-牆面 50%-地板 40%)

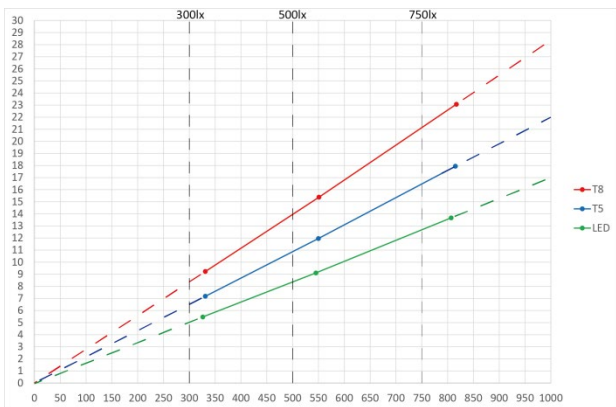


圖 8 照度與照明功率密度的關係 (無隔板/天花高 2.8m/小瓦數/天花 70%-牆面 70%-地板 40%)

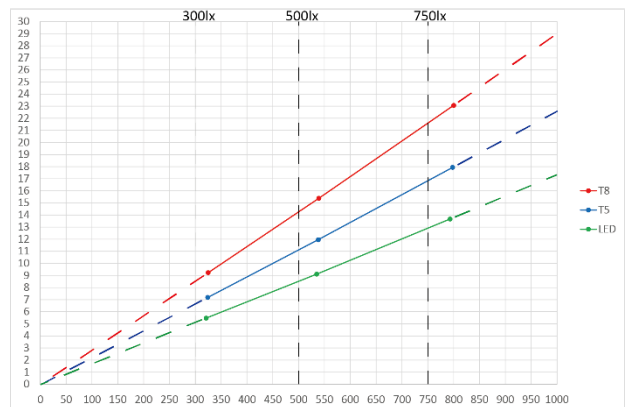


圖 11 照度與照明功率密度的關係 (無隔板/天花高 2.8m/小瓦數/天花 90%-牆面 70%-地板 20%)

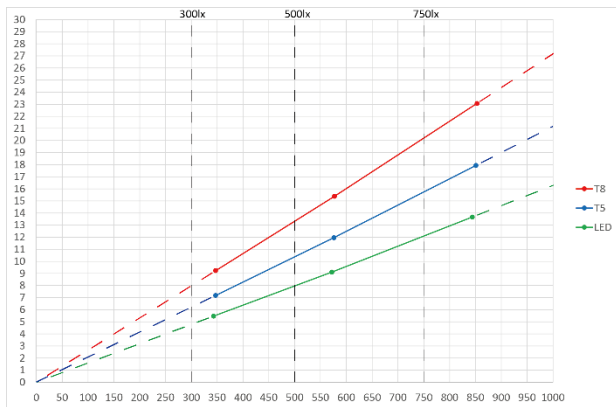


圖 12 照度與照明功率密度的關係 (無隔板/天花高 2.8m/小瓦數/天花 90%-牆面 70%-地板 40%)

表 3 小瓦數燈具各照度水準與照明功率密度之對應

光源	反射率 (天花-牆面-地板)	300lx (W/m ²)	500lx (W/m ²)	750lx (W/m ²)
T8	70%-50%-20%	9.00	15.00	22.68
T5		7.02	11.70	17.67
LED		5.46	9.06	13.68
T8	70%-50%-40%	8.58	14.28	21.64
T5		6.69	11.14	16.86
LED		5.19	8.63	13.08
T8	70%-70%-20%	8.82	14.6	22.22
T5		6.86	11.46	17.32
LED		5.30	8.80	13.34
T8	70%-70%-40%	8.36	13.96	21.12
T5		6.50	10.88	16.47
LED		5.04	8.36	12.68
T8	90%-50%-20%	8.76	14.62	22.11
T5		6.81	11.39	17.22
LED		5.27	8.77	13.31
T8	90%-50%-40%	8.21	13.72	20.80
T5		6.38	10.69	16.20
LED		4.97	8.27	12.55
T8	90%-70%-20%	8.51	14.26	21.60
T5		6.64	11.12	16.84
LED		5.12	8.52	12.91
T8	90%-70%-40%	7.97	13.32	20.21
T5		6.19	10.38	15.74
LED		4.79	7.97	12.10

4.1.2 長寬 1.2m*0.6m 的燈具 (大瓦數燈具)

如同 4.1.1，長寬 1.2m*0.6m 的大瓦數燈具也可依據八種不同的室內表面反射率條件，將結果整理成圖 13~20 之照度與照明功率密度關係圖。各環境下之 300lx、500lx 與 750lx 的作業面平均照度所對應的照明功率密度可整理如表 4。

由表 4 可知，在其他條件相同的狀況下，LED 光源的照明功率密度最低，T8 最高。換句話說，三種光源中，LED (54W) 最為省能，T5 (28W*3) 次之，而 T8 (36W*3) 最為耗能。此結果雖與小瓦數燈具的情況 (表 3) 相同，但在大瓦數燈具時，T5 與 LED 之間的差異較小瓦數燈具時小，圖 13~20 的藍線 (T5) 與綠線 (LED) 較圖 5~12 更為接近。

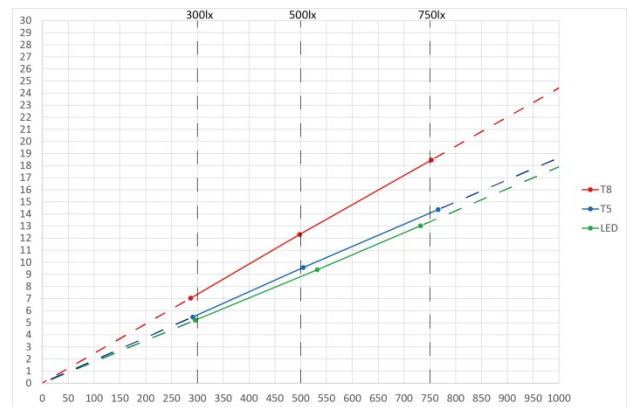


圖 13 照度與照明功率密度的關係 (無隔板/天花高 2.8m/大瓦數/天花 70%-牆面 50%-地板 20%)

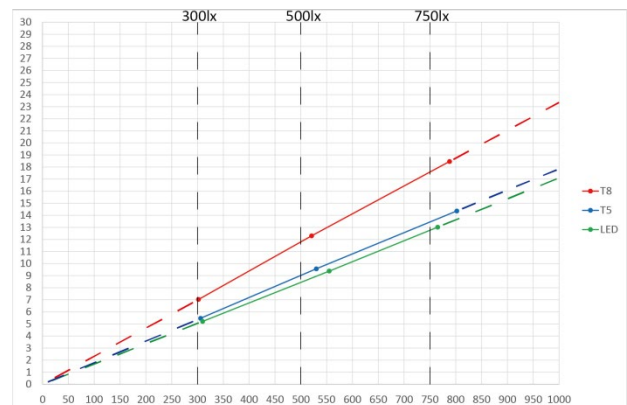


圖 14 照度與照明功率密度的關係 (無隔板/天花高 2.8m/大瓦數/天花 70%-牆面 50%-地板 40%)

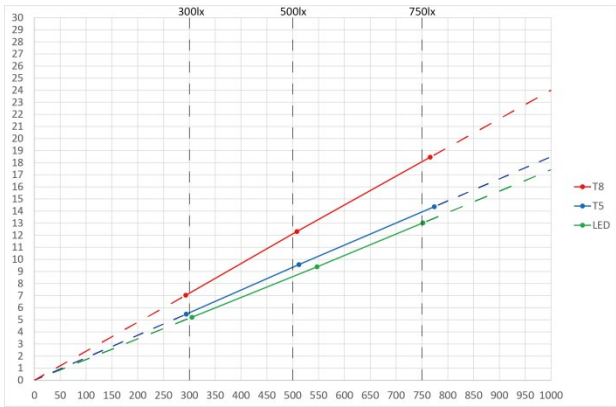


圖 15 照度與照明功率密度的關係（無隔板/天花高 2.8m/大瓦數/天花 70%-牆面 70%-地板 20%）

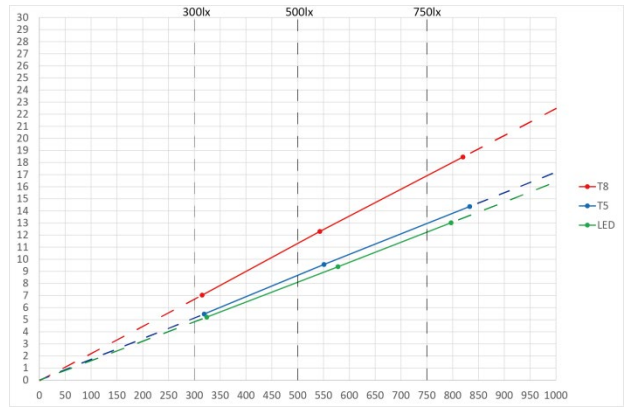


圖 18 照度與照明功率密度的關係（無隔板/天花高 2.8m/大瓦數/天花 90%-牆面 50%-地板 40%）

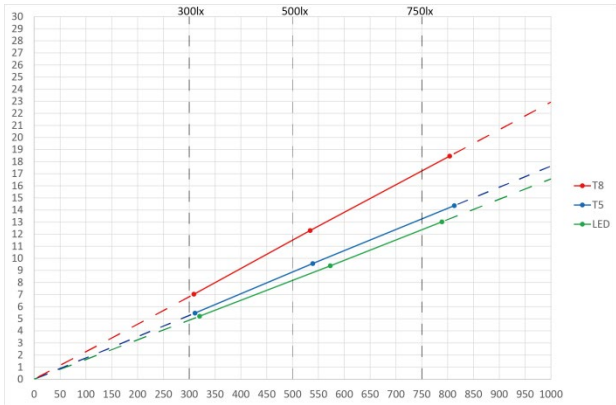


圖 16 照度與照明功率密度的關係（無隔板/天花高 2.8m/大瓦數/天花 70%-牆面 70%-地板 40%）

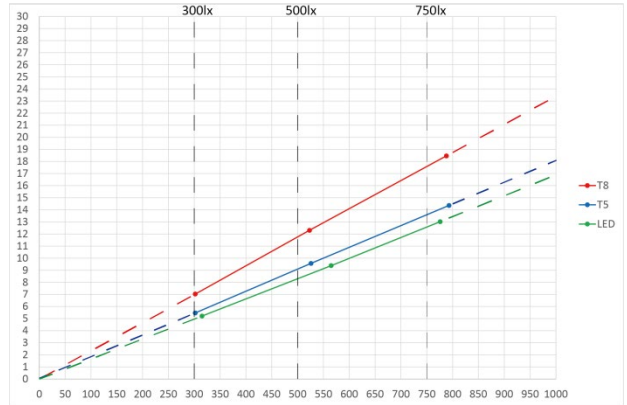


圖 19 照度與照明功率密度的關係（無隔板/天花高 2.8m/大瓦數/天花 90%-牆面 70%-地板 20%）

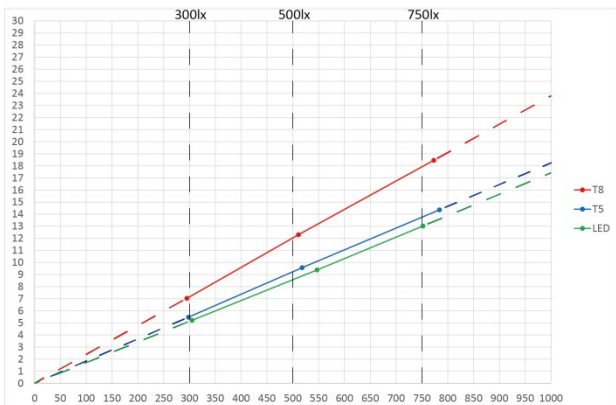


圖 17 照度與照明功率密度的關係（無隔板/天花高 2.8m/大瓦數/天花 90%-牆面 50%-地板 20%）

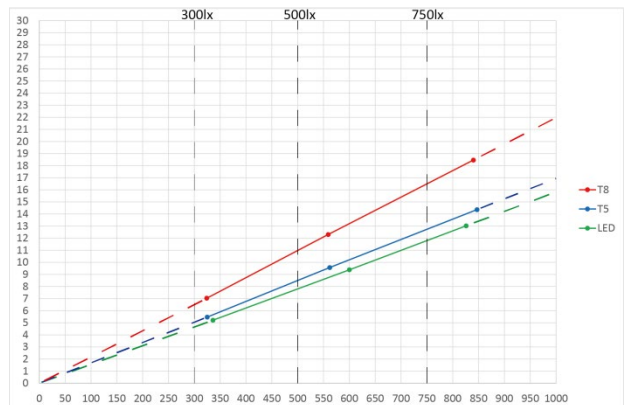


圖 20 照度與照明功率密度的關係（無隔板/天花高 2.8m/大瓦數/天花 90%-牆面 70%-地板 40%）

當以 500lx 為作業面照度目標值時，T8 的照明功率密度介於 10.98~12.36W/m² 之間；T5 介於 8.51~9.47W/m² 之間；LED 介於 7.8~8.82W/m² 之間。T5 與LED的範圍出現重疊，顯示LED雖較T5更為省能，但差異較小，可透過調整室內表面反射率彌補。T8 與其它兩種光源的照明功率密度範圍不重疊，顯示 T8 的耗能情況，即使選擇室內表面反射率較高的環境，差距也無法追回。

表 4 大瓦數燈具各照度水準與照明功率密度之對應

光 源	反射率 (天花-牆面-地板)	300lx (W/m ²)	500lx (W/m ²)	750lx (W/m ²)
T8		7.36	12.36	18.40
T5	70%-50%-20%	5.64	9.47	14.06
LED		5.28	8.82	13.35
T8		6.98	11.80	17.59
T5	70%-50%-40%	5.36	9.02	13.45
LED		5.03	8.45	12.76
T8		7.20	12.11	18.08
T5	70%-70%-20%	5.58	9.35	13.93
LED		5.12	8.57	12.98
T8		6.82	11.51	17.23
T5	70%-70%-40%	5.27	8.87	13.26
LED		4.88	8.18	12.36
T8		7.15	12.04	17.92
T5	90%-50%-20%	5.51	9.23	13.75
LED		5.12	8.57	12.98
T8		6.68	11.31	16.91
T5	90%-50%-40%	5.14	8.67	12.96
LED		4.81	8.10	12.24
T8		6.98	11.76	17.58
T5	90%-70%-20%	5.44	9.10	13.59
LED		4.96	8.29	12.57
T8		6.49	10.98	16.49
T5	90%-70%-40%	5.04	8.51	12.74
LED		4.64	7.80	11.80

4.1.3 大小瓦數燈具之差異

為能更清楚地比較採用大瓦數與小瓦數光源的照明功率密度差異，可將表 3 的各條件照明功率密度減去表 4 的數值。表 5 為小瓦數減去大瓦數之照明功率密度結果。由此結果可知，三種光源與八種室內表面反射率的情況都一致呈現了幾個現象。首先，隨著照度目標值的增加，大小瓦數在照明功率密度的數值差異也愈來愈大。差距最大的是 T8 光源，在 300lx 時差距約 1.48~1.64W/m²，但在 750lx 時差距已擴大至 3.72~4.28W/m²。T5 的差距在 300lx 時約 1.15~1.38W/m²，在 750lx 時擴大至 3.00~3.61W/m²。差距最小的是 LED，最大值僅 0.36W/m²。此所謂的大小瓦數燈具，背後實質上是光源效率 (lm/W) 的影響。一般認為，直管型螢光燈的瓦數愈大，長度愈長，效率通常也愈高。本研究所採用的 T8 與 T5 燈管，均符合了此現象，1.2m 長的 T8 和 T5 燈管，其照明功率密度均較 0.6m 長的相同光源更低。上述結果反映了，對於 T8 或 T5 光源，在總瓦數相同的條件下，若選用大瓦數的光源取代數個小瓦數的光源，達到相同的照度水準所需的照明功率密度較低，較為省能。但對於 LED 光源而言，由本研究的模擬結果來看，大小瓦數對能源消耗的影響不大，故可依據空間設計需要而選用適宜的燈具大小。

表 5 大小瓦數之照明功率密度差

光 源	反射率 (天花-牆面-地板)	300lx (W/m ²)	500lx (W/m ²)	750lx (W/m ²)
T8		1.64	2.64	4.28
T5	70%-50%-20%	1.38	2.23	3.61
LED		0.18	0.24	0.33
T8		1.6	2.48	4.05
T5	70%-50%-40%	1.33	2.12	3.41
LED		0.16	0.18	0.32
T8		1.62	2.49	4.14
T5	70%-70%-20%	1.28	2.11	3.39
LED		0.18	0.23	0.36

T8		1.54	2.45	3.89
T5	70%-70%-40%	1.23	2.01	3.21
LED		0.16	0.18	0.32
T8		1.61	2.58	4.19
T5	90%-50%-20%	1.30	2.16	3.47
LED		0.15	0.20	0.33
T8		1.53	2.41	3.89
T5	90%-50%-40%	1.24	2.02	3.24
LED		0.16	0.17	0.31
T8		1.53	2.50	4.02
T5	90%-70%-20%	1.20	2.02	3.25
LED		0.16	0.23	0.34
T8		1.48	2.34	3.72
T5	90%-70%-40%	1.15	1.87	3.00
LED		0.15	0.17	0.30

4.1.4 室內表面反射率之影響

表 6 是八種不同室內表面反射率的條件，依天花、牆面與地板等部位別的反光率，分別減少 20% 時的照明功率密度差異平均值。由結果可知，地板反射率對照明功率密度的影響最大，天花次之，牆面的影響最小。天花反射率減少 20% 時照明功率密度須提高約 2~6%；牆面反射率減少 20% 時照明功率密度須提高約 1~4%；地板反射率減少 20% 時照明功率密度須提高約 4~8%。

表 6 反射率降低時之照明功率密度上升值(單位 W/m²)

光源	反射率	小瓦數燈具			大瓦數燈具		
		300lx	500lx	750lx	300lx	500lx	750lx
T8	天花	0.33	0.48	0.74	0.27	0.42	0.60
T5	天花	0.26	0.40	0.58	0.18	0.30	0.42
LED	減 20%	0.21	0.33	0.48	0.20	0.32	0.47
T8	牆面	0.22	0.37	0.52	0.17	0.29	0.36
T5	牆面	0.18	0.27	0.40	0.08	0.14	0.18

LED	減 20%	0.16	0.27	0.40	0.16	0.28	0.41
T8	地板	0.49	0.80	1.21	0.43	0.67	0.94
T5	地板	0.39	0.65	0.95	0.34	0.52	0.73
LED	減 20%	0.29	0.48	0.71	0.28	0.43	0.68

4.2 第二階段

4.2.1 天花高度之影響

本研究在第二階段探討天花高度方面，共設定了三種天花高度（2.8m、3.1m 與 3.3m）及兩種大小瓦數燈具所組合而成的六種條件。所有條件的室內表面反射率皆固定為天花 80%、牆面 60% 與地板 30%，辦公桌為無隔板形式。反射率 80、60%、30% 的設定是依據表 2 反射率建議範圍（天花 70~90%、牆面 50~70% 與地板 20~40%）取中間值。各種條件下的照明功率密度模擬結果可彙整如表 7。由表 7 可發現，天花高度由 2.8m 提高到 3.1m 再提高到 3.3m 時，照明功率密度雖隨之升高，但幅度有限。天花高度每升高 0.3m，照明功率密度須提高約 2%~3%；天花高度每升高 0.5m，照明功率密度須提高約 3~5%。

表 7 不同天花高度之照明功率密度(單位 W/m²)

光源	天花高	小瓦數燈具			大瓦數燈具		
		300lx	500lx	750lx	300lx	500lx	750lx
T8	2.8m	8.51	14.24	21.57	6.95	11.73	17.53
T5		6.64	11.10	16.81	5.38	9.04	13.48
LED		5.14	8.55	12.96	4.98	8.35	12.64
T8	3.1m	8.71	14.52	21.99	7.12	12.01	17.87
T5		6.79	11.33	17.14	5.47	9.20	13.69
LED		5.26	8.75	13.27	5.12	8.58	12.96
T8	3.3m	8.86	14.71	22.25	7.23	12.18	18.13
T5		6.91	11.48	17.35	5.54	9.31	13.84
LED		5.37	8.88	13.47	5.21	8.72	13.18

4.2.2 隔板有無之影響

在隔板有無的檢討上，本研究設定了四種排列組合進行比較。此四種條件分別是有隔板之小瓦數燈具、無隔板之小瓦數燈具、有隔板之大瓦數燈具與無隔板之大瓦數燈具。四種條件的天花高度固定為 2.8m，反射率固定為天花 80%、牆面 60%與地板 30%，原因同 4.2.1。由表 8 可發現，加裝隔板後，照明功率密度全部都提高，增加的幅度介於 12~19%之間。圖 21 是 T8 之 18W*3 燈具搭配圖 4 的燈具配置 B 所得到的等照度圖，左圖是無隔板時，平均照度為 540lx，右圖是有隔板時，平均照度為 472lx。由圖 21 可知，隔板阻擋了某些方向的光線，導致整體照度下降。有隔板的環境若要維持與無隔板相同水準的照度，必須提高照明功率密度，因此有隔板較無隔板更為耗能。

表 8 隔板有無之照明功率密度 (單位 W/m²)

光源	隔板有無	小瓦數燈具			大瓦數燈具		
		300lx	500lx	750lx	300lx	500lx	750lx
T8	有	9.81	16.33	24.72	8.04	13.48	20.11
T5	隔	7.66	12.75	19.27	6.11	10.19	15.16
LED	板	6.01	10.01	15.16	5.87	9.88	14.82
T8	無	8.51	14.24	21.57	6.95	11.73	17.53
T5	隔	6.64	11.10	16.81	5.38	9.04	13.48
LED	板	5.14	8.55	12.96	4.98	8.35	12.64

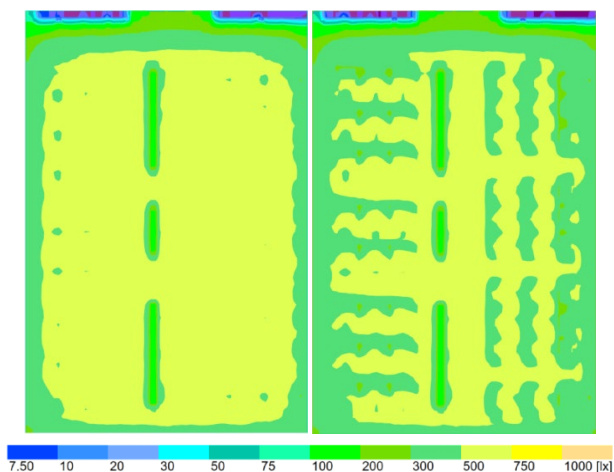


圖 21 有無隔板之等照度圖比較
 (左：無隔板，右：有隔板)

4.3 照度與照明功率密度對照圖

由 4.1 與 4.2 的分析可知，在本研究所探討的所有變因之中，光源種類與大小瓦數燈具 (光源效率) 是影響照明功率密度最主要的變因。為了清楚呈現照度與照明功率的數值對應關係，首先，本研究將表 3 與表 4 的八種室內表面反射率環境下的照明功率密度，依據三種光源與兩種瓦數加以彙整求出平均值。本研究雖僅模擬 300lx、500lx 與 750lx 等三種照度水準，但因圖 5~20 均顯示，同一種光源、瓦數下的照度與照明功率密度的關係均呈現極為規律的線性關係，透過線性關係線的延伸，可將照度與照明功率密度的預測線擴大至更廣的照度範圍。

圖 22 是依據上述步驟所彙整出的照度與照明功率密度對應圖。設計者、業主或使用者可先決定空間作業面的目標照度值，再根據照度值查詢此對應圖，即可快速得知空間適當的照明功率密度。求出照明功率密度後，只要再乘上空間面積，即可求出空間需要的光源總瓦數。再根據擬採用燈具的單一光源瓦數值，而換算出需要多少盞燈具。以面積 200m² 的辦公室為例，使用者若設定作業面照度值為 500lx，且擬採用長寬 1.2m*0.6m 之 T5T-Bar 燈 (28W*3 一組)，查詢圖 22 可知，對應的照明功率密度為 9W/m²。200m²*9W/m²=1800W，表示全部需要 1800W 的光源，因燈具一盞為 28W*3=84W，故 1800W/84W=21.4 盞。換句話說，使用者只要平均配置 T5 之 28W*3 一組的燈具共 22 盞，即可使完工後的作業面平均照度值在 500lx 左右。如此一來，既可確保完工後的作業面照度水準，也可避免燈具數量過多或不足的問題，照度需求與照明節能可一次兼顧。此外，此方法具有簡單方便的優點，不需要電腦模擬，即可在事前做一個照明設計的概估。

圖 22 是以天花高度 2.8m、辦公桌無隔板的條件設定所獲得的對應關係。本研究在 4.2.1 發現，天花高度每增高 0.3m，照明功率密度需提高 2~3%，每增高 0.5m 需提高 3~5%。因此對於天花高度超過 2.8m 的室內空間，以圖 22 求出的照明功率密度必須

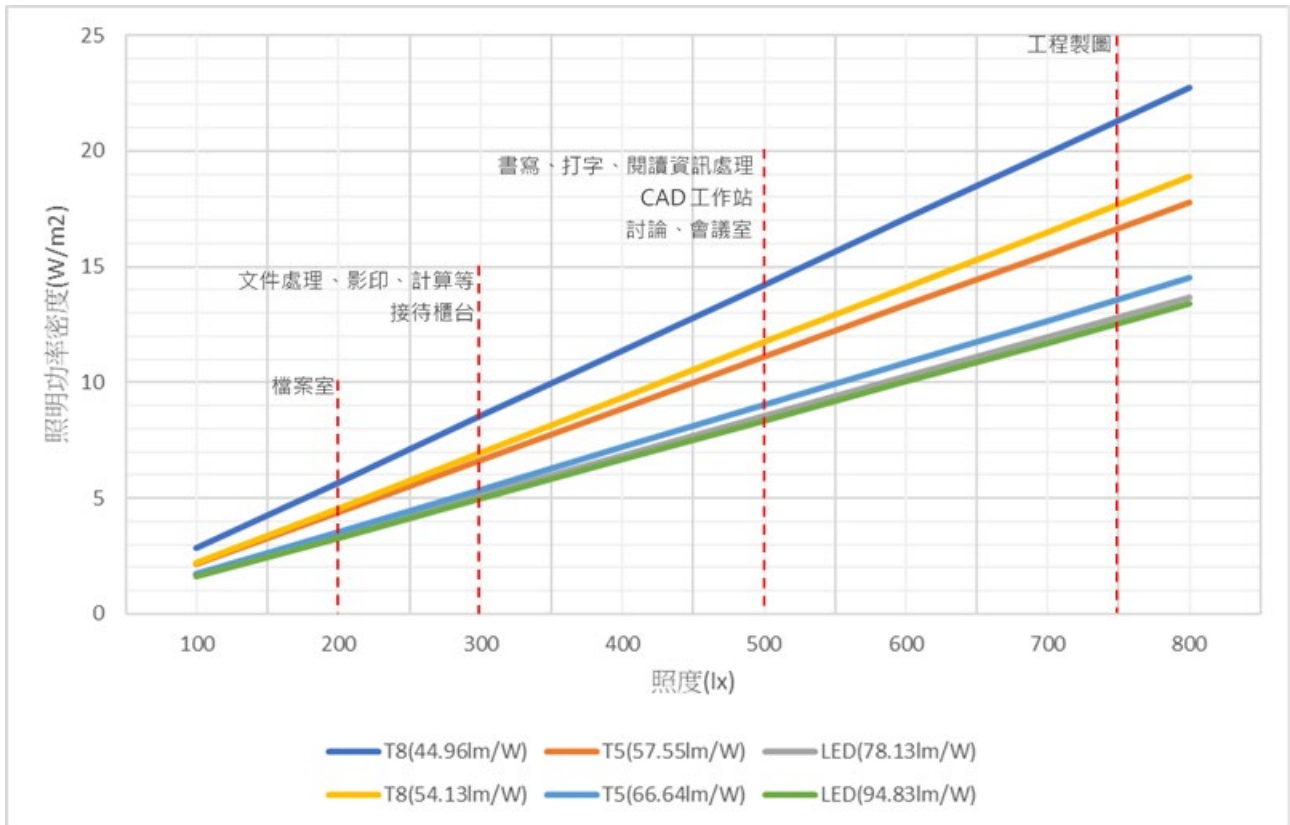


圖 22 各種燈具之作業面平均照度與照明功率密度對應

再根據上述原則，以每 0.3m 增加 2~3% 或每 0.5m 增加 3~5% 的方式修正照明功率密度。另外，4.2.2 的結果顯示，辦公桌有隔板時，照明功率密度須提高 12~19%，因此，所規劃的辦公空間有隔板時，必須再進行上述修正，提高照明功率密度值。

五、討論

5.1 照度需求與照明節能的平衡

日本 2011 年「311 大地震」造成電力嚴重短缺，為順利度過缺電時期，日本政府與民間企業紛紛響應了建築的節電措施。因照明用電約佔建築物總用電量的二成，因此該措施也包括了室內照明的節能措施。日本有研究調查比較了「正常時期」（311 大地震前）與「節電時期」（311 大地震後）的辦公室桌面照度值的差異，以及辦公人員的主觀感受。在 2010 年的「正常時期」，五成的企業將桌面照度設定在 1000lx 以上，二成的企業的照度設定在 750lx。而到了 2011 年的「節

電時期」，五成企業將照度設定在 500lx，二成企業設定在 300lx (Iwatani, et al., 2014)。換言之，2011 年的節電措施，辦公室的照度設定值幾乎減為正常時期的 1/2。若先把焦點放在「正常時期」的辦公室照度，正常時期的日本辦公室幾乎七成的照度都高於 750lx，甚至其中絕大部分高於 1000lx。日本的照度標準是訂定在 JIS 日本工業規格裡，JIS 對辦公室桌面照度的建議值與我國 CNS 類似，都是 300~750lx，然而實際上卻有五成企業設定在超標的 1000lx，也有二成企業設定在 JIS 建議範圍上限的 750lx。此種現象正說明了真實建築空間的照度超標情況十分普遍，也暗示著照明超量設計及隱性照明耗能問題的存在。

311 大地震的節電措施，「照度減半」的影響又是如何呢？在接受調查的 584 名辦公人員當中，25% 的辦公人員認為照度減半對他們的辦公造成了妨礙，剩餘 75% 的辦公人員並不認為有影響 (Iwatani, et al., 2014)。2011 年「節電時期」，五成企業將照度降至 500lx，二成企業甚至降至 300lx，儘管 500lx 是照度

標準的中間值，300lx 是最低值，但七成五的辦公人員並不覺得受到影響。以環境效率的觀點來看，降低照度雖然使照明品質些微降低，但因節省了一半的照明耗能，整體的環境效率仍有提升。從另一個角度看，很可能也是因為「正常時期」的照度設定值原本就過高(1000lx 與 750lx)，因此照度減半後(500lx 與 300lx)，才算回到正常水準，因此才能滿足 75%的使用者。另一方面，當詢問「節電時期」照度減半對工作效率的影響時，全體受訪者的回覆顯示，辦公效率平均降低了 6.6%(Iwatani, et al., 2014)，降低幅度十分有限。

日本另一篇研究同樣調查了 311 大地震前後，「正常時期」與「節電時期」的辦公室照明實際狀況，也同樣對辦公人員進行了問卷調查。調查結果指出，「正常時期」桌面照度控制在 750lx~1000lx 的佔最多數，但「節電時期」的照度設定值則以 300lx~500lx 佔最多數(Mochizuki, et al., 2013)。此結果與前述的研究結果(Iwatani, et al., 2014)幾乎一致，節電時期的照度幾乎減為正常時期的 1/2。問卷調查的結果也顯示，絕大多數的辦公人員認為，節電時期的照度降低對工作沒有妨礙，習慣了就好(Mochizuki, et al., 2013)。

此外，國內有研究發現，作業面照度 1500lx 的視覺工作效率與疲勞度都比 780lx 差 (Hsieh, 2015a；謝明燁, 2015b)。也有研究以「環境效率」觀點探討了不同照明功率密度下，工作者進行五種類共 60 分鐘的視覺作業在工作前、工作後、休息 20 分鐘後及休息 40 分鐘後的正負向情緒變化及工作績效差異。結果發現，大部分的情緒表現在照明用電密度 8W/m² 或 16W/m² 都無顯著差異。16W/m² 提升了一倍的環境負荷，卻維持相同的環境品質，環境效率只有 8W/m² 的 1/2。若換算成照度值來說明，當直接照明桌上照度 420lx 與 386lx 提高至 894lx 與 818lx 時，疲勞與舒適度反而產生負面效果。在工作績效方面，用巨觀的角度來看，當用電密度提高一倍時(由 8W/m² 提升至 16W/m²)，五種作業中只有一項的工作績效有 7~8%的提升，其餘四種作業的績效，在較高照度與較低照度下的表現差異皆不超過 5%。此結果似乎暗示著，直接照明的桌上照度大約在 400lx~600lx 左右，

可以得到較佳的情緒表現，照度在 300lx 以下，或超過 800lx 時，在疲勞與舒適度上將產生反效果。該研究由情緒與工作績效的觀點歸納出，合適的桌上照度應控制在 400lx~600lx 左右，過低將使環境品質下降，過高將徒增環境負荷，兩種情況都將使環境效率降低。因此，該研究建議，為使環境效率最大化，桌上照度可控制在 400~600lx 左右，在此照度水準下，搭配採用高效率燈具以降低照明用電密度(謝明燁及李冠慧, 2017)。

上述所有研究均說明了，現有的建築空間時常有照度過高的問題，而視覺作業可接受的照度範圍實際上是具有彈性的。照度需求與照明功率密度(照明節能)應取得平衡。

5.2 照明功率密度基準

圖 22 顯示，六條斜線根據斜率大致可以區分為三大類。代表 LED 54W、LED 32W 及 T528W*3 的三條線在圖上十分靠近，T514W*3 及 T836W*3 兩者十分接近，T818W*3 則自成一類。LED 54W、LED 32W 及 T528W*3 是屬於照明功率密度較低的燈具，照明效率最高，節能效果最佳。T514W*3 及 T836W*3 的照明功率密度次之，照明效率中等，節能效果中等。而 T818W*3 的照明功率密度最高，照明效率最差，節能效果最差。根據圖 22，對應六種燈具在 300lx、500lx 與 750lx 等目標照度值下的照明功率密度，可彙整如表 9，六種燈具可依上述的分類方式分成「高效率」、「中效率」與「低效率」等三種。此分類結果若對照表 1 之六種燈具之燈具效率(lm/W)可發現，燈具效率的高低排序恰好與表 9 各照度之照明功率密度高低完全一致。這樣的發現說明了，未來在應用上，對於非本研究所探討的六種燈具，使用者仍可根據擬採用燈具的燈具效率數值，在圖 22 上利用內插法，找到大致對應的照明功率密度值。

圖 22 的簡易圖表法及表 9 的數據雖可提供設計者、業主或使用者快速查出照明功率密度，再根據 4.3 所說的流程簡單估算出空間裡的燈具數量。然而，若論到照明功率密度的基準值建議，則必須考慮目標照

度值及燈具種類才行。若彙整 5.1 所提的國內外文獻，再加上照明節能的考量，以 500lx 做為目標照度值應不失為一個折衷的方案。一方面，500lx 位於辦公室常用照度 300lx、500lx 與 750lx 之中間值，一方面，500lx 也符合 5.1 之國內外文獻的看法。而在 500lx 所對應的多種燈具中，站在照明節能的觀點，採用高效率燈具是最佳選擇。由表 9 可知，照度 500lx 搭配高效率燈具的照明功率密度約為 8~9W/m²，因此，辦公空間的照明功率密度基準若設定在 8~9W/m² 範圍，將可同時兼顧辦公空間的作業面照度，也可確保高效率燈具的使用。

表 9 各種燈具所對應之照明功率密度及節能效果

效 率	光源/瓦數	燈具效 率 (lm/W)	照明功率密度(W/m ²)		
			300lx 對應值	500lx 對應值	750lx 對應 值
高	LED (54W)	94.83	4.98	8.35	12.56
	LED (32W)	78.13	5.14	8.55	12.80
	T5 (28W*3)	66.64	5.37	9.03	13.60
中	T5 (14W*3)	57.55	6.64	11.10	16.67
	T8 (36W*3)	54.13	6.96	11.73	17.70
低	T8(18W*3)	44.96	8.53	14.22	21.33

我國綠建築評估手冊中對於辦公空間之照明功率密度基準值也有規範。現行的 2015 年版其基準值為 15W/m² (內政部建築研究所，2014)，高於本研究推導出之 500lx 對應值 (8~9W/m²)。若對照圖 22，15W/m² 搭配低效率燈具時，平均照度約 525lx；搭配中效率燈具時，平均照度提高至 650lx；搭配高效率燈具時，平均照度再提高至 850lx。2021 年起適用的 2019 年版手冊，照明功率密度基準值已修改為 10W/m² (內政部建築研究所，2019)，與本研究所建議的 8~9 W/m² 已十分接近。10W/m² 分別對應圖 22 之低、中、高效率燈具的平均照度值為 350lx、450lx、550lx。美國冷凍空調協會 (ANSI/ASHRAE/IES Standard, ASHRAE) 於 2016 年訂定之辦公室照明用電

密度標準為 8.5W/m² (周鼎金、周澤亞及林鈺琪等，2018)，與本研究的 8~9W/m² 幾乎一致。

圖 22 也一併彙整了 CNS12112 之辦公室各種行為與情境及其所對應的照度基準。200lx 適合檔案室，300lx 適合文件處理、影印、計算等工作及接待櫃台，500lx 適合書寫、打字、閱讀資訊處理、CAD 工作站、討論、會議室，750lx 則適合工程製圖。日本 JIS 於 2011 年 311 大地震後對辦公室的照度標準做了修訂。雖然建議照度與上述 CNS12112 一致，但新增了建議照度範圍，目的是引導辦公室照度往建議範圍的下限值靠近以達到照明節能的目標。根據修訂後的日本 JISZ9110：2011，檔案室的建議照度為 200lx，但建議照度範圍則放寬至 150~300lx；文件處理、影印、計算等工作及接待櫃台的建議照度為 300lx，建議照度範圍則是 200~500lx；書寫、打字、閱讀資訊處理、CAD 工作站、討論、會議室的建議照度為 500lx，建議範圍為 300~750lx；工程製圖的建議照度為 750lx，建議範圍則是 500~1000lx。設計者或使用者可根據上述 CNS 與 JIS 所建議的辦公室各行為類別的照度值，再搭配本研所得到的圖 22，求出相對應的照明功率密度基準值。

周釗彬曾對台北辦公空間的照明功率密度進行了調查，結果發現，辦公室平均照明功率密度為 20.92W/m²，最大值甚至高達 44.36W/m² (周釗彬，2002)。內政部建築研究所也曾對國內辦公空間進行實測，結果顯示照明功率密度平均值為 18.39W/m²，最大值為 42.91W/m² (陳瑞鈴及周鼎金，2007)。兩研究的實測結果均顯示實際案例的照明功率密度偏高。此現象的可能原因有二，一是兩研究為十數年前之研究，當時的光源與燈具效率均不如目前的水準；另一個可能原因則是照明的超量設計。

六、結論

本研究以整合照度需求與照明節能的觀點，透過電腦模擬的方式，探討了光源種類、光源瓦數大小、室內表面反射率、天花板高度、辦公桌隔板之有無等變因，對全般照明型式辦公空間之作業面平均照度及

照明功率密度的影響。此外，透過交叉比對作業面平均照度與照明功率密度的數值，也得到了各種光源種類、光源瓦數大小的條件下，作業面平均照度與照明功率密度的線性對應關係。本研究的結論可彙整如下：

- (1) 光源種類及光源瓦數大小（即光源與燈具效率）是影響辦公空間作業面平均照度與照明功率密度高低的最關鍵因子。
- (2) 燈具尺寸 $0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$ 的條件下，以 500lx 為作業面照度目標值時，T8 的照明功率密度介於 $13.32 \sim 15.00\text{W}/\text{m}^2$ 之間；T5 介於 $10.38 \sim 11.7\text{W}/\text{m}^2$ 之間；LED 介於 $7.97 \sim 9.06\text{W}/\text{m}^2$ 之間。燈具尺寸 $1.2\text{m} \times 0.6\text{m}$ 的條件下，以 500lx 為作業面照度目標值時，T8 的照明功率密度介於 $10.98 \sim 12.36\text{W}/\text{m}^2$ 之間；T5 介於 $8.51 \sim 9.47\text{W}/\text{m}^2$ 之間；LED 介於 $7.8 \sim 8.82\text{W}/\text{m}^2$ 之間。整體而言，LED 最為節能，T5 次之，T8 最耗能。對於 T5 與 T8 光源，尺寸較大者（瓦數較大者）較為節能。此趨勢與各光源的效率值（ lm/W ）排序一致。 lm/W 高的光源能以更小的照明功率密度達成目標照度值。然而，對於 LED 光源而言，尺寸/瓦數大小或光源效率對照明功率密度的影響並不大。
- (3) 室內表面反射率對照明功率密度的影響方面，天花反射率減少 20% 時照明功率密度須提高約 2~6%；牆面反射率減少 20% 時照明功率密度須提高約 1~4%；地板反射率減少 20% 時照明功率密度須提高約 4~8%。有研究建議，天花、牆面與地板的反射率應控制在 70-90%、50-70% 及 20-40% 範圍(陳瑞鈴及周鼎金, 2007)。本研究結果顯示，地板的反射率對照明功率密度的影響最大，其次是天花，再其次是牆面。但不論是哪一個部位，選擇淺色系、明度較高的表面材料均有助於照明節能。
- (4) 天花高度對照明功率密度的影響方面，天花高度每升高 0.3m ，照明功率密度須提高約 2%~3%；天花高度每升高 0.5m ，照明功率密度須提高約 3~5%。天花愈高，所需之照明功率密度就愈高，

因此，若因設計上的考量必須使辦公室有較高的天花，為了避免不必要的照明耗能，應避免選擇 T-Bar 燈、嵌燈或吸頂燈等與天花同高之燈具，而改為選擇垂吊式燈具，以縮短光源至辦公桌面之間的垂直距離，減少距離衰減問題。

- (5) 隔板之有無對照明功率密度的影響方面，加裝離地板高 1.2m 的隔板後，照明功率密度須提高 12~19%。本研究所採用的 1.2m 高隔板為目前市面上隔板高度中較為折衷者，若在設計上採用更高高度的隔板，將使桌面的陰影更為嚴重。因此，採用愈高的隔板，辦公室整體照明功率密度基準值愈須提高以維持所需之桌面照度，而此舉將增加照明能源之無謂浪費。
- (6) 本研究提出了以圖表查詢方式快速掌握照明功率密度的圖表法(圖 22)。業主、使用者或任何非專業人士均可以查詢圖 22 的方式，立即掌握空間所需之照明功率密度的概略值。以面積 200m^2 的辦公室為例，使用者若希望作業面照度值為 500lx ，且擬採用長寬 $1.2\text{m} \times 0.6\text{m}$ 之 T5 T-Bar 燈，查詢圖 22 可知，對應的照明功率密度為 $9\text{W}/\text{m}^2$ 。 $200\text{m}^2 \times 9\text{W}/\text{m}^2 = 1800\text{W}$ ，表示空間全體需要 1800W 的光源。因燈具一盞為 $28\text{W} \times 3 = 84\text{W}$ ，故 $1800\text{W}/84\text{W} = 21.4$ 盞。使用者只要平均配置 T5 之 $28\text{W} \times 3$ 一組的燈具共 22 盞，即可使完工後的作業面平均照度值在 500lx 左右。完全不需繁複的計算或電腦模擬，直觀、方便又快速。
- (7) 本研究根據圖 22 彙整出了 300lx 、 500lx 及 750lx 等三種辦公室常用照度水準所對應之照明功率密度對照表(表 9)。表中的照明功率密度可兼顧照度標準與照明節能，不致使照度過高或過低。此外，根據國內外各文獻有關照度標準的討論，本研究在兼顧照度標準與照明節能的前提下，建議辦公空間以 500lx 做為作業面的平均照度，以 $8 \sim 9\text{W}/\text{m}^2$ 做為照明功率密度的基準。

目前為止，不論國內外，照明節能的策略主要包括了合理的照明功率密度、高效率光源及燈具、照明控制技術(晝光感知點滅、紅外線偵測點等技術)等

三大方向。照明控制技術一項因成本較高，設計的複雜度也高，普及率仍十分有限。因此，現階段對大多數的建築物而言，照明節能必須仰賴合理的照明功率密度、高效率光源及燈具等兩種手法來達成。本研究在這樣的脈絡下，以照度標準為基礎來推算出合理的照明功率密度。同時，納入討論的對象不但均屬近年坊間的主流，也涵蓋了多種光源效率與燈具種類。

本研究彙整了多種因子所建立的照明功率密度簡算機制，搭配上圖 22 的簡易圖表法，不論是業主、設計者或使用人，皆能方便快速地根據空間的條件與需求決定出適合於空間用途的照明功率密度基準，並換算出燈具的瓦數與設置數量，使空間的照明環境同時兼顧明視性與節能性。

DIALux 燈具資料庫來自各廠商所提供的實驗室測試結果，具有相當的可靠性。然而，不可避免地，DIALux 在模擬過程中可能會因簡化了某些真實空間裡存在的複雜因素，而使模擬數值產生些微誤差。

參考文獻

- 內政部建築研究所 (2014)。綠建築評估手冊--基本型 2015 年版。新北市：內政部建築研究所。
- 內政部建築研究所 (2019)。綠建築評估手冊--基本型 2019 年版。新北市：內政部建築研究所。
- 日本建築學會 (1997)。最新精簡版建築設計資料集成。台北市：詹氏書局出版社。
- 周釗彬 (2002)。建築與室內裝修階段照明系統節能方式之差異性研究—以台北市辦公空間為例。未出版之碩士論文。中原大學室內設計研究所，桃園市。
- 周鼎金，周澤亞，林鈺琪，謝惠羽 (2018)。亮度評估模型應用於辦公室 TAL 照明之空間明亮感與節能研究。建築學報，(104)，53-71。
- 陳瑞鈴，周鼎金 (2007)。辦公室照明設計節能參考手冊之研究。內政部建築研究所協同研究報告。新北市：內政部建築研究所。
- 楊東政 (2012)。學校一般教室於不同教學模態之光環境改善設計模擬研究。未出版之碩士論文，樹德

- 科技大學建築與室內設計研究所，高雄市。
- 趙又嬋，郭柏巖 (2013)。社區戶外照明節能與綠色照明之研究。建築學報，(84)，41-53。
- 謝明燁 (2015b)。照明因子對工作績效的影響—以四種照明情境為例。建築學報，(94)，23-37。
- 謝明燁，李冠慧 (2017)。以環境效率觀點探討照明型式與色溫度對工作者情緒與工作績效之影響—以 20~28 歲年輕族群為例。建築學報，(102)，1-18。
- Hsieh, M. (2015a). Effects of illuminance distribution, color temperature and illuminance level on positive and negative moods. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 14(3), 709-716.
- Iwatani, Y., Tanabe, S., Tsushima, S., Nishihara, N., Hiraoka, M., Komoda, H., & Tabuchi, S. (2014). Effect of power saving measures on comfort, productivity and energy conservation - Research on the field survey of office buildings under power saving after the Great East Japan Earthquake. *J. Environm Eng., AIJ*, (79), 901-908.
- Mochizuki, E., Yoshizawa, N., Iwata, T., Munakata, J., Hirate, K., & Akashi, Y. (2013). The impact of power-saving measures on office lighting in 2011 -The current status of lighting conditions in office environments under power-saving policies enacted in the aftermath of the Great East Japan Earthquake part 1. *J. Environm Eng., AIJ*, (78), 9-16.

REFERENCES in English

- Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior (2014). *Green Building Evaluation Manual - Basicversion- 2015 Edition*. New Taipei City: Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior.
- Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior (2019). *Green Building Evaluation Manual -Basicversion - 2019 Edition*. New Taipei City: Architecture and Building Research Institute,

- Ministry of the Interior.
- Architecture Institute of Japan (1997). *Compilation of Architectural Design*. Taipei: CHAN'S ARCH-PUBLISHING CO., LTD
- Chao, Y., & Kuo, P. (2013). Outdoor Lighting and Energy Conservation with Green Lights Program in Residential Community. *Journal of Architecture*, (84), 41-53.
- Chen, R., & Chou, D. (2007). *A Study of Energy Saving Manual for Office Lighting*. Research Project Report. New Taipei City: Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior.
- Chou, C. (2002). *A Study of the Differences in Energy Savings in Taipei Office Lighting in Architectural Building and Interior Decorating*. Unpublished master's thesis. Department of Interior Design, Chung Yuan Christian University, Taoyuan.
- Chou, D., Chou, T., Lin, Y., & Hsieh, H. (2018). Luminance evaluation model applied to office TAL lighting for space brightness evaluation and energy saving. *Journal of Architecture*, (104), 53-71.
- Hsieh, M. (2015a). Effects of illuminance distribution, color temperature and illuminance level on positive and negative moods. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 14(3), 709-716.
- Hsieh, M. (2015b). Effects of illumination factors on task performance – Using four situations as an example. *Journal of Architecture*, (94), 23-37.
- Hsieh, M., & Li, G. (2017). Effects of illumination types and color temperatures on office worker's moods and task performance from the viewpoint of eco-efficiency -A case of subjects at the age of 20-28. *Journal of Architecture*, (102), 1-18.
- Iwatani, Y., Tanabe, S., Tsushima, S., Nishihara, N., Hiraoka, M., Komoda, H., & Tabuchi, S. (2014). Effect of power saving measures on comfort, productivity and energy conservation - Research on the field survey of office buildings under power saving after the Great East Japan Earthquake. *J. Environm Eng., AIJ*, (79), 901-908.
- Mochizuki, E., Yoshizawa, N., Iwata, T., Munakata, J., Hirate, K., & Akashi, Y. (2013). The impact of power-saving measures on office lighting in 2011 –The current status of lighting conditions in office environments under power-saving policies enacted in the aftermath of the Great East Japan Earthquake part 1. *J. Environm Eng., AIJ*, (78), 9-16.
- Yang, T. (2012). *A Study on the Numerical Simulations of Room Lighting Design for the Improvement in the Various Teaching Circumstances of a General School Classroom*. Unpublished master's thesis. Graduate School of Architecture and Interior, Shu-Te University, Kaohsiung.