

辦公室照明節能改善探討

蔡子健^{1*} 郭玉萍² 許超閔³

摘要

商業辦公大樓是白天照明用量最大的場所，若能提升商辦大樓用電效率，方可有效舒緩日間用電尖峰之壓力，但對一般商辦大樓規劃與維護人員而言，並未能具有足夠能力進行空間照明節能與最適化規劃，常常發生為達節能效益而忽略了照明品質或舒適度，雖然獲得節電效益，但往往喪失了工作效率或舒適度。因此，照明光環境探討擬依照不同場域需求建立高效率照明指引，協助非照明專業人員，可較便利地達到節能規劃目的，並且提高該空間使用人員的接受度。本研究結果希望利用案例分享，進行老舊辦公室現況分析，並利用DIALux模擬軟體進行3D建模，找出最佳化的辦公室照明環境。

關鍵詞：辦公室照明、節能減碳、照明舒適度、眩光

1. 前言

國際上對於辦公室照明有許多相關規範與建議，如何設計一個良好的辦公室照明環境。另外在辦公室中經常需使用到的電腦螢幕VDT (Visual Display Terminals)，如何使用與放置可以降低光幕反射與眩光產生，都是值得探討的問題。

隨著科技進步，照明產品效率不斷提升，本論文著重於如何降低照明用電來節約能源，並對國內辦公室現況進行調查，提供相關辦公室照明資訊，整理數據分析，希望能提升未來辦公室環境照明品質，創造優質與節能的光環境。

2. 辦公室照明影響因素

2.1 眩光

在國際規範IESNA RP-1-2004中，針對辦公室照明進行的探討，並提出了許多建議，像是辦公室若有過大的亮度變化可能會產生問題，必須盡可能降低直接和反射眩光及有陰影問題的發生，如何避免直接眩光、反射眩光與陰影問題，以下提供幾點建議。

1. 直接眩光：眼睛觀察方向靠近光源處，產生不舒適和干擾，設計師必須考慮降低相對光源或發光面亮度。直接眩光較常發生在開放式燈具或光源。
2. 反射眩光：通常是光源投射於高反光的材質，如玻璃、鏡子、高度拋光木材，或從VDT屏幕反射光線。當無法避免光澤表面反射時，使用低亮度光源或間接照明可降低反射的強度。在電腦上VDT屏幕可加裝抗反射過濾器，可降低反射眩光，但相對也可能降低VDT屏幕的對比度。
3. 陰影：辦公室環境陰影過多可能會分散注意

¹ 工業技術研究院綠能與環境研究所固態照明系統研究室副研究員

² 工研院綠能所固態照明系統研究室資深工程師

³ 工研院綠能所固態照明系統研究室副工程師

*通訊作者, 電話: 03-5913149, E-mail: TzuChien@itri.org.tw

收到日期: 2017年03月20日

修正日期: 2017年05月23日

接受日期: 2017年05月31日

力，並導致辦公桌上過高的亮度比例。陰影的發生有可能是燈具間隔太遠或燈具出光角度過窄，也可能是辦公室屏風擋住一部分光線；利用間接照明可減少陰影產生。辦公室牆面：明亮的牆面有利於增加工作場所照明空間與感覺，亮色系辦公家具也可幫助提升環境亮度，反之太深色的辦公家具則無法有效提升辦公室照明環境(Office Lighting, IESNA RP-1-2004)。

4. 色溫與演色性在辦公室照明中也是必須注意的照明項目之一，暖色系或冷色系對於人體的感知是有關係的，心理層面有可能間接影響工作任務績效，但平常工作並無太大影響。光源演色性建議70以上；但若工作與顏色有密切相關者，建議演色性宜大於85。此外照明設備也要注意光源閃爍問題，這有可

能是電源供應器所造成，閃爍會使人頭痛無法專心工作。另外對於節電問題也有許多不錯的建議，例如利用窗戶或天窗讓晝光進入辦公室可給人放鬆的心情，也減少了照明用電量，若能結合晝光並加入控制系統降低照明用電會是最理想的(李聰男，2010)。

5. 調光與照明控制系統：在會議室、大廳…等，經常有人聚集的場地，可利用調光與照明控制系統提供不同用途需求與感受。相關照度建議如表1所示，依照不同工作內容給予適合的照度環境，一般在使用電腦打字作業VDT的人，建議照明不應該超過500 lx。

眩光也是影響辦公室照明常見的因素之一，下圖1(a)為辦公室只用直接照明，因此容易產生反射眩光，圖1(b)為辦公室使用間接照明幾乎消除了反射眩光的發生。可見直接照明

表1 視覺任務照度建議

簡易的視覺任務照度建議	
公眾場所	30 lx
可分辨所在位置	50 lx
可進行簡單辨識工作	100 lx
常見的視覺任務照度建議	
大尺寸、高對比度的視覺性工作	300 lx
小尺寸、高對比度或大尺寸、低對比度的視覺性工作	500 lx
小尺寸、低對比度的視覺性工作	1,000 lx
特殊的視覺任務照度建議	
具專業性非常低對比度，須高於一般水平的視覺性工作	3,000–10,000 lx

資料來源：本研究整理

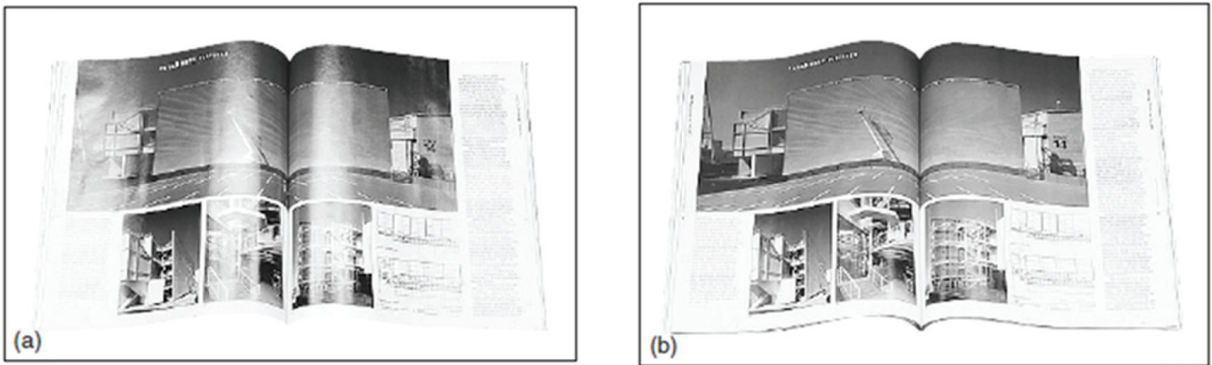


圖1 直接照明與間接照明對於反射眩光的比較
(圖片來源：IESNA RP-1-2004)

在閱讀中經常發生反射眩光如圖2所示。關於直接與間接照明可參考圖3所示，(a)直接照明；(b)間接照明；(c)直接/間接照明。

在辦公室工作，若使用桌燈來輔助閱讀或是需在工作桌上的相關視覺工作如圖4所示，建議在桌燈加入防眩光濾片，提高光分布均勻性，可以降低產生反射眩光的發生。此外有部分桌燈採用蝙蝠翼型的配光，這樣的光大部分由桌燈側面射出如圖5所示，若可搭配菱鏡或光

學擴散片可拓寬光分布，增強均勻度。

為降低光幕反射可將工作燈放置在側方，調整至如圖6所示光源投射至鏡子箭頭指示的最佳化角度，如此也可調整光源角度避免手的遮影。若工作需站立或經常走動，桌燈需要將照明照射到需求的範圍，所以經常會使用可轉向式的桌燈來滿足照明需求。

一般辦公室家具的選擇或是牆壁油漆的顏色及潔淨度等…，也會間接影響辦公室的照明

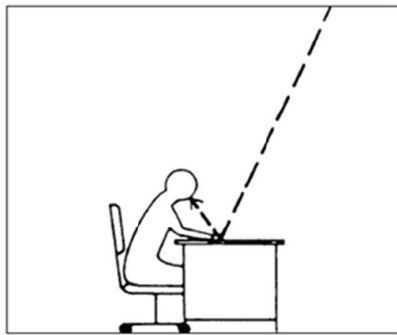


圖2 直接照明在閱讀時容易產生反射眩光
(圖片來源：IESNA RP-1-2004)

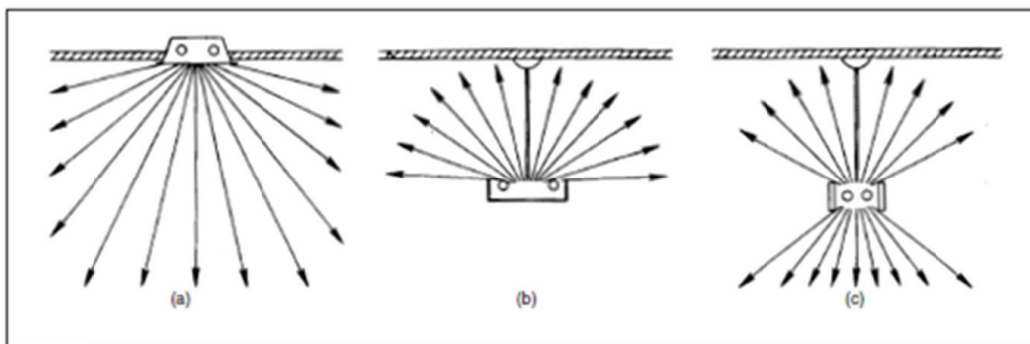


圖3 直接/間接照明示意圖
(圖片來源：IESNA RP-1-2004)



圖4 桌燈加入防眩光濾片降低反射眩光發生
(圖片來源：IESNA RP-1-2004)

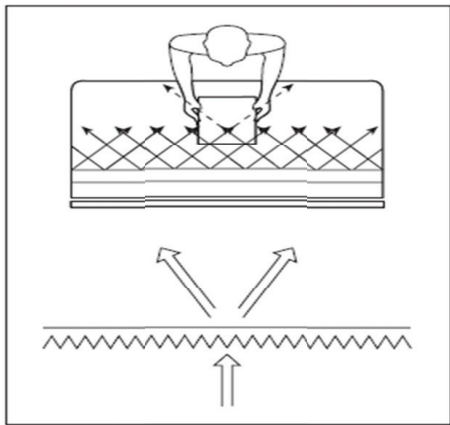


圖5 側發光桌燈光源射出方式
(圖片來源：IESNA RP-1-2004)

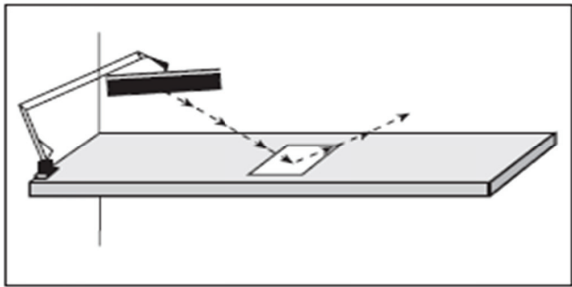


圖6 可調角度桌燈
(圖片來源：IESNA RP-1-2004)

效率，表2與圖7所示，為適用於辦公室家具環境下的反射率建議。

辦公室視覺舒適概率(VCP)，是美國評價不舒適眩光採用的指標。在給定的觀看位置和觀看方向上，以感覺有不舒適眩光干擾的百分比來評定照明系統的質量等級。在一般工作環境中，VCP>70，通常就不會出現不舒適眩光。此外辦公室照明影響心理感受，例如環境是否寬敞(有挑高或寬敞的空間)、放鬆的情境(員工休息室、接待室或餐廳，使用非均勻照明加強

表2 辦公室家具環境的反射率建議

辦公室家具環境的反射率建議	
辦公室家具	25-45%
天花板	80%以上
隔板	40-70%
牆面	50-70%
地板	20-40%

資料來源：本研究整理

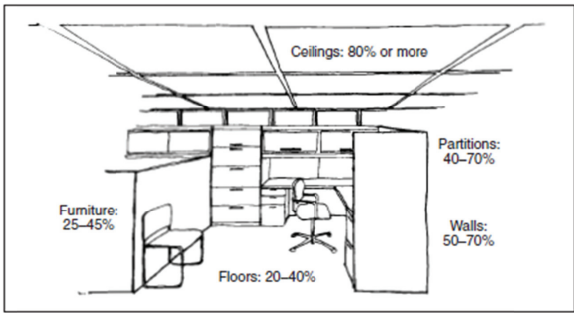


圖7 辦公室家具環境的反射率建議

輕鬆氛圍的印象)、視覺清晰度(明亮均勻的照明環境)、愉悅(強化愉悅的印象如牆上懸掛圖像的重點照明)，在照明系統裡這四個特徵已經證明會影響主觀的重要印象。

2.2 照明控制

對於辦公室照明節能建議可以與設計師或工程部門討論，協議一份照明節能計畫，大部分造成照明能源浪費的原因有幾個，如：低效率燈具、燈具髒污、缺少自動識別控制、低反射的照明環境、燈具太多以致於照度偏高。或者可以增設手動照明控制與自動照明控制器：

- 1. 手動照明控制有幾點建議：
 - (1) 每個員工座位有獨立自己的照明開關。每個工作區域有獨立的照明開關。
 - (2) 相鄰的燈具應進行分組，並有不同開關。
 - (3) 燈具密度高的區域應將燈具分組裝設不同開關。
 - (4) 靠近窗戶或有晝光的燈具應具有獨立開關。
 - 2. 自動照明控制有幾點建議：
 - (1) 定時器關閉所有或部分依預定時間關閉的照明裝置。
 - (2) 紅外線感測器，可設定15-30分鐘無人狀態時，自動關閉燈具。
 - (3) 日光補償裝置是在環境照度變暗時，燈具可自動調光增量補償。
 - (4) 照明管理系統利用編譯程式管理照明系統。
- 以自動照明控制為例，燈具開關集成設計

如圖8所示，利用自動控制器可以搭配調光裝置來實現節約能源。曲線為日光與相對光照，白天可依照照度需求燈具全關或開一盞；到了晚上，則可將燈具全開，補足照度需求。

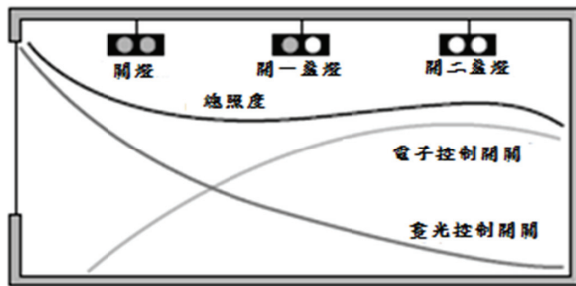


圖8 燈具開關集成設計
(圖片來源：IESNA RP-1-2004)

3. 對於辦公室其他相關空間的建議如下：

- (1) 私人辦公室：大多數私人辦公室空間較小，因此很容易有照度過量的情況發生，對於直接或反射眩光的考量很多是因為不規則視角造成，因此必須加以考慮是否有玻璃、天窗等…。
- (2) 會議室：因為功能性較廣，從休閒到簡報會議，因此規劃人員必須提供一個靈活性高的照明系統。
- (3) 透過控制系統可調整切換模式或可調光來改變照度。
- (4) 周圍燈光洗牆照明具有調光功能可提升視覺上的吸引效果。
- (5) 視頻會議室：有兩大目標，第一個是可以當成典型的會議室使用，第二個在視頻會議是因為必須雙方有所互動，照明設計必須適合於攝影機拍攝環境，應注意攝影機呈現出來的環境和與拍攝與會者整體清晰度。
- (6) 接待區：此區域通常給予訪客等待，或是雙方面談接洽用，有可能需要筆記紀錄或是查看，因此照明必須給予足夠的閱讀照度。另外接待區應是一個寧靜的氣氛，沒有直接眩光。在牆壁上，可使用重點照明來呈現企業形象，或是吸引關注的雕塑或海報等…。

- (7) 廁所：提供均勻的照度是必須的，燈具或照明設備建議盡量靠近鏡子，給予充分的光線照亮臉部。
- (8) 公共區域：如電梯、走道、樓梯等....，須考量安全與緊急狀態照明是否足夠，平時若人員進出較少，可搭配節能設備，如紅外線感測等…。
- (9) 入口大廳：此區照明因注意從外到內照度的變化，另外大廳中大部分結構為牆壁，可利用燈具投射到牆壁高反射來提供大廳照明，由於大廳可能有晝光進入，必須注意大廳明暗的變化，所以大廳使用調光或開關控制是必要的。
- (10) 樓梯：樓梯踏板需有足夠的照明或指示燈，樓梯照明燈具必須是容易維護更換的，因為在樓梯處架設維修梯子是不容易且危險的。
- (11) 走廊：走廊的照度至少為周圍平均照度的五分之一照度以上。
- (12) 電梯口：這區歸類為休閒觀光區，因為電梯門檻須提醒使用人注意，因此建議此區使用高照度照明，提供使用者辨識門縫或門檻與電梯之間間隙。
- (13) 電梯：電梯空間很小，且大部分為與陌生人共享照明，因此照明設計須給予人感到舒適，無需太高的照度。

2.3 照明用電密度

全球積極推動建築物照明用電管制，近年國際較具成效的照明節能措施是根據用途別訂定照明用電密度(Lighting Power Density, LPD)，此作法係從環境空間的角度訂定照明用電標準，促使以更低的空間耗電量提供相同空間照明需求，降低照明用電密度意味著促進大眾採用高效率照明產品、系統，及注重照明設計規劃與應用節能技術，達到減低用電量，但仍能滿足空間照明的需求，並降低無謂的照明浪費。

目前國際上已有美國、日本、英國、澳

洲、新加坡、香港等先進國家建立照明用電密度管制基準，其管理規範與指標架構，除日本與美國有顯著的不同外，新加坡、香港等國之規範大致以美國ASHRAE 90.1規範系統為基本架構，計算公式為照明區域內的照明用電量除以照明區域面積，單位W/m²。定義建築面積各不同區域的LPD指標，其中辦公室(Office)LPD為9.7 W/m²。

3. 國內辦公室照明現況分析

國內辦公室照明規範主要以中華民國國家標準為主，CNS 12112室內工作場所照明(101年1月31日修訂版)標準中，第5節提列對於不同空間及活動所需之推薦照明要求，包含：(1)室內區域作業空間和活動種類、(2)維持照度、(3)統一眩光等級限制、(4)平均最低演色指數，其中針對辦公室部分如表3所示。

目前國內辦公大樓最常使用的燈具為T-BAR式螢光燈具，其光源使用T8型20 W、40 W或T5型14 W、28 W型式居多，如圖9所示，此燈具適合輕鋼架天花板安裝，可隨著辦公室隔間任意排列，故最為普遍使用。另外亦有為了安裝方便，直接使用開放式吸頂燈具。

大部分國內的辦公室照明現況還是使用傳統電感式T9或T8照明燈具，尚未更換較為節能的照明燈具，雖已有少部分開始更換較為省電的T5燈具或LED燈具，但僅只在少部分的辦公區域。另外辦公桌面照度根據CNS 12112室內



圖9 國內某公家單位照明燈具使用現況
資料來源：本研究攝製

工作場所照明建議(101年1月31日修訂版)辦公室照度值約為200-750 Lux，大部分的辦公區均有符合，但LPD指數大多數高於9.7 W/m²，對於節能部分尚有很大進步空間，若能改為LED燈具搭配控制系統與照明設計規劃，對於提升優質光環境與節能應有很大幫助。

3.1 辦公室照明改善

如何改善辦公室照明環境，以工業技術研究院執行綠色低碳院區為例，辦公室現況如圖10所示(以3.5*3.6平方公尺的辦公室空間為例，現況使用14W*4燈4盞，工作面平均照度630 Lx，照明用電密度LPD為18.63 W/m²)。照明改善步驟如表4。

DIALux模擬照明最佳化改善前如圖12與照明改善後如圖13所示，根據模擬分析結果調整燈具配置，達到空間最適與省能照明如圖15所

表3 辦公室區域維持照度、眩光限制及平均演色指數一覽表

室內、作業或活動種類	維持照度(lux)	眩光限制(UGR)	平均演色指數(Ra)
(1) 文件處理、影印、計算等	300	19	80
(2) 書寫、打字、閱讀、資訊處理	500	19	80
(3) 工程製圖	750	16	80
(4) CAD工作站	500	19	80
(5) 討論、會議室	500	19	80
(6) 接待櫃台	300	22	80
(7) 檔案室	200	25	80

資料來源：本研究整理



圖10 工業技術研究院辦公室照明燈具使用現況
資料來源：本研究攝製

表4 辦公室照明改善步驟

1.	丈量欲改善之辦公室空間尺寸。
2.	確認現場燈具使用型號並取得燈具IES檔，燈具在天花板上的擺放位置，並將其燈具天花板位置記錄下來，如圖11所示，包含空調出風或回風口位置，以利照明軟體模擬時使用。
3.	使用照度計量測工作面照度值，建議量測時將螢幕或檯燈關閉，避免影響照度量測值。
4.	丈量辦公室工作桌尺寸與擺放位置以利匯入軟體模擬使用。
5.	將所有量測與空間資料匯入DIALux模擬分析，並將將欲使用的燈具IES檔匯入DIALux模擬，如圖12與13所示。
6.	將過亮或過暗的工作面進行位置調整，或增減燈具，依造工作內容需求調整桌面所需照度，如圖14所示。
7.	計算用電密度LPD (Lighting Power Density)，若已符合桌面照度，但LPD計算結果偏高，建議更換高效率燈具如LED燈具或T5燈具…等。

資料來源：本研究整理

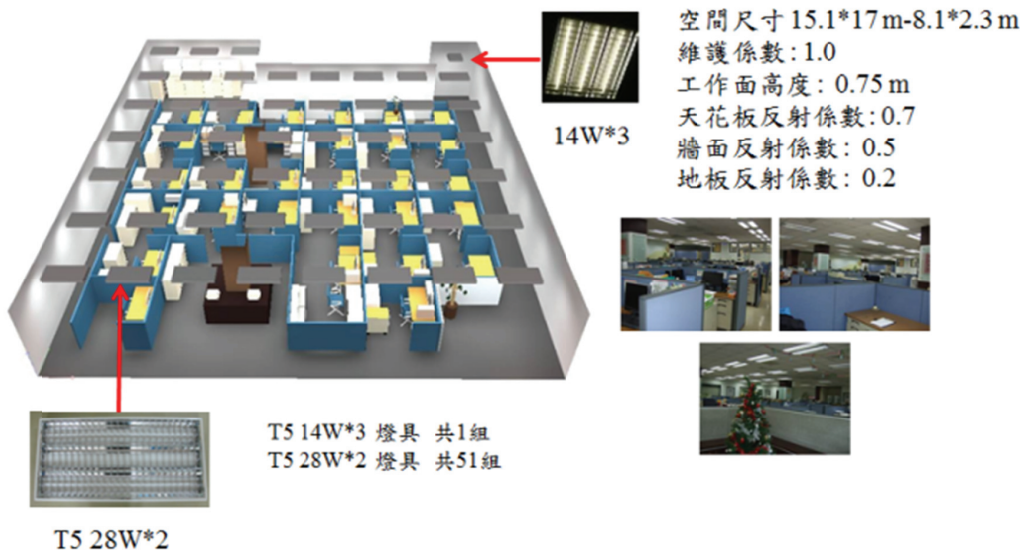


圖11 燈具天花板位置記錄匯入DIALux
(註：T5 28W*2乃拔燈管3燈改2燈，燈具型式依舊為3燈型式)
資料來源：本研究攝製

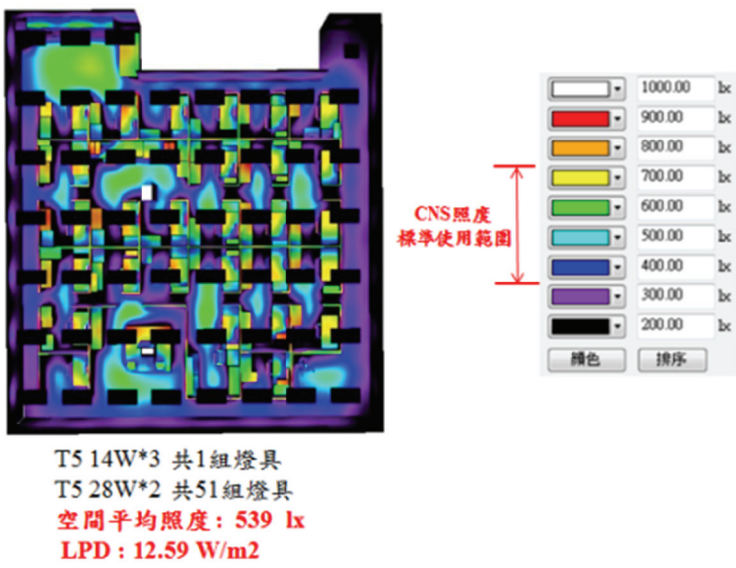


圖12 DIALux模擬分析最佳化範例(改善前)
資料來源：本研究攝製

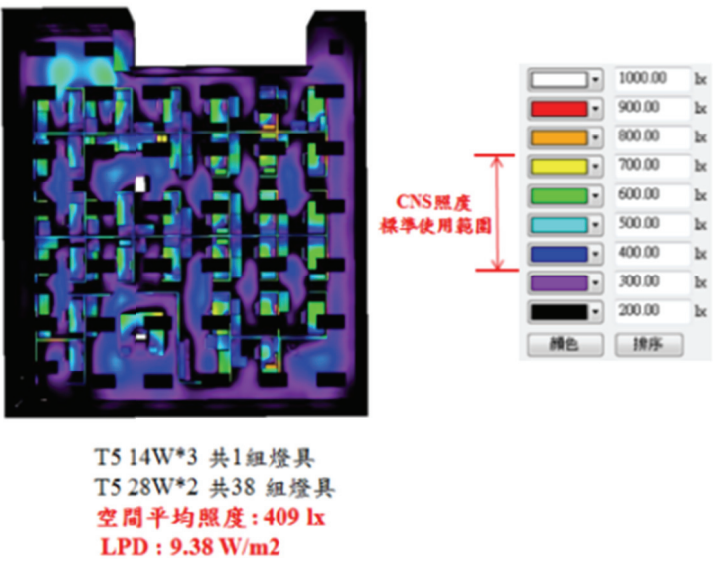


圖13 DIALux模擬分析最佳化範例(改善後)
資料來源：本研究攝製

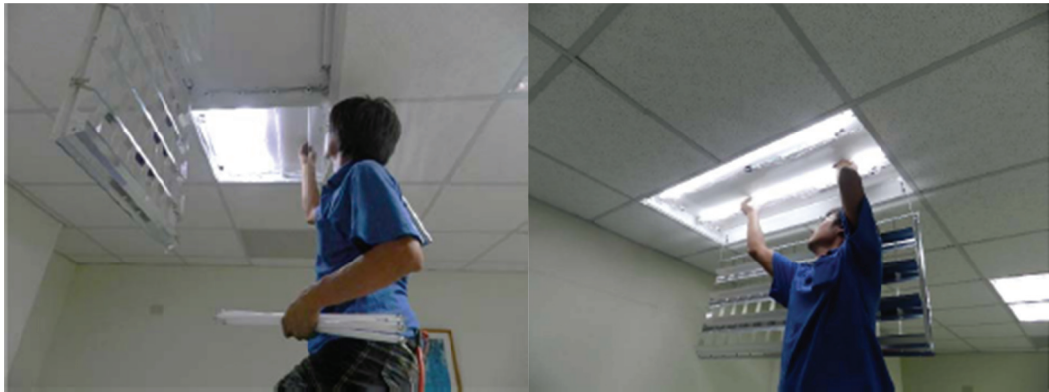


圖14 根據模擬結果進行光源調整
資料來源：本研究攝製



圖15 最佳化照明調整改善後
資料來源：本研究攝製

到省能效益並兼具辦公室照明舒適度。

辦公室照明不僅在於要求明亮，也必須照顧到上班族的生理與心理感受。經過最佳化的照明設計與模擬，使辦公室或會議室等上班場域，不僅得到合適的明亮度，也可因場所與時間的不同需求，營造出不同的工作氣氛，提高工作效率(邱玉玲，2011)。

良好的辦公室照明有利於員工的視覺舒適，並有助於幫助健康產生安全感，若能加以重視，勢必也可間接影響員工、客戶或訪客的心理感受。

若以3.5*3.6平方公尺的辦公室空間為例，現況使用14 W*4燈4盞，工作面平均照度630 Lx，照明用電密度LPD為18.63 W/m²；經過DIALux模擬分析，以減少燈管數調整燈具配置為優先考量，將燈具減為14W*2燈4盞，工作面平均照度降至545 lx，照明用電密度LPD降為10.26 W/m²，如此可維持應有的工作面照度，又降低LPD。

另外在工研院中興院區綠能所64館如圖16所示，舊有T9與T5燈具，原本每年基礎照明總電量為173,858度/年，換置為可調光T5與LED燈具如圖17所示，加上照明中央控制系統如圖18所示與個人辦公座位設立獨立燈具控制器，以每日使用10小時，一年以250工作天為評估基礎，用電量為131,693度/年，每年可節電42,165度/年(約25%)。



圖16 工研院綠能所64館舊有照明設計
資料來源：本研究攝製



圖17 工研院綠能所64館現況照明設計
資料來源：本研究攝製

3.2 辦公室照明改善成本估算

若以T5或LED平板燈來替換T8螢光燈管，若共計更換8盞燈具，並以每度電3.3元來計算，回收年限如表5。LED平板燈直下式與側發

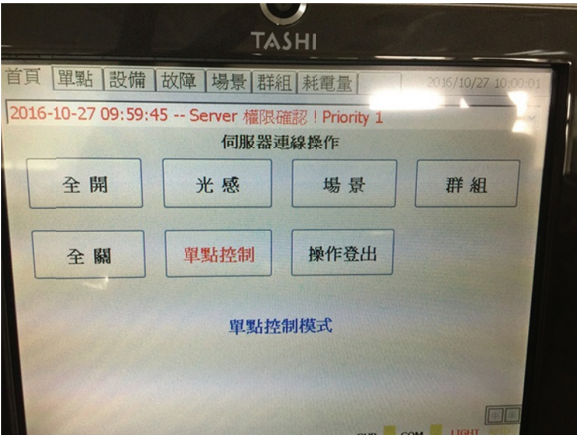


圖18 工研院開發照明中央控制系統
資料來源：本研究攝製

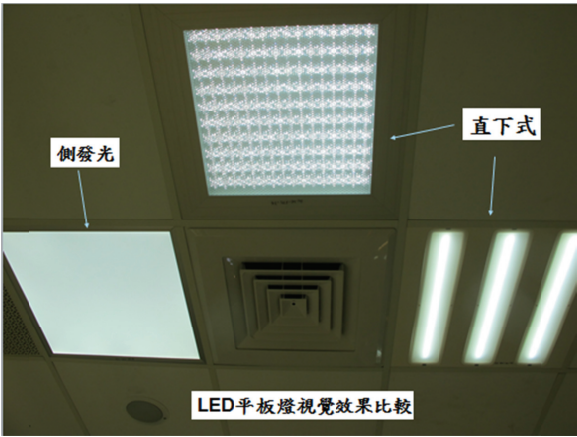


圖19 直下式與側發光LED平板燈
資料來源：本研究攝製

表5 以T5或LED平板燈取代T8成本計算

	T8 40W*4	T5 28W*3	LED側發光	LED直下2盞
發光效率	80 Lm/W	90 Lm/W	90 Lm/W	95 Lm/W
單價(含工)		1,800元	3,000元	4,000元
功率(W)	184	96	67.4	78
節電率(%)		47.8%	63.4%	57.6%
年耗電(度)	414	216	151.65	175.50
年電費(元)	1,366.2	712.8	500.45	579.15
回收年數(年)		2.75	3.47	5.08

資料來源：本研究整理

方光視覺比較如圖19所示。直下式LED需2盞才足夠達成相同亮度，若以直下式燈具取代需以兩盞成本計算。

由自動化控制，可以避免忘記關燈或少人出入的區域的照明浪費。

4. 結 論

本研究將老舊辦公室，利用3D建模並盡可能不增加成本下，模擬既有燈具以增減燈管方式或調整燈具擺放位置，找出符合CNS12112室內工作場所照明建議與降低LPD為訴求，設計一套最佳化辦公室照明環境。辦公室照明關係員工在作業時的安全與工作效率，若能兼具照明節能，會是一件兩全其美的設計。在提升光環境品質的同時，納入節能照明設計是降低能源消耗與降低碳排放量的良好策略。利用現代科技的智慧照明控制與人因照明，將人工方式改

誌 謝

本論文感謝能源局專案計畫「LED照明與系統節能研發計畫」在經費上之支持與協助，使本論文能順利完成產出。

參考文獻

李聰男，2010。“室內照明節能屬性評量研究-以辦公室為例”，9-14。
邱玉玲，2011。“室內照明最佳化燈具配光曲線之數值求解”，49-71。
IESNA RP-1-2004 Office Lighting.

Discussing to Improve Energy-Savings of Office Lighting

Tzu-Chien Tsai^{1*} Yu-Ping Kuo² Chao-Ming Hsu³

ABSTRACT

In general, lighting usage rates of commercial building places occupy a largest amount than the one of the others in the daytime. If the performance rate of lighting system can be much higher in commercial buildings, the load peak state of electric power distribution shall be able to get relievable during the day. However, planers and maintenance staffs in commercial buildings have no enough ability to make a comprehensive saving energy program in lighting. Furthermore, they usually ignore the quality and comfort level of lighting to achieve much higher energy efficiency. Use DIALux find the best solution. Thus, this project act in accordance with the need of the different field to establish high efficiency lighting guidelines in order to assist non-professional people in lighting field, and not only easily to come of the energy-saving purpose but also to improve the acceptance of user.

Keywords: Office lighting, energy-saving and carbon reduction, lighting comfort, glare

¹ Associate Researcher, Solid-State Lighting Sys. Dept., Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute.

² Senior Engineer, Solid-State Lighting Sys. Dept., GEL, ITRI.

³ Associate Engineer, Solid-State Lighting Sys. Dept., GEL, ITRI.

*Corresponding Author, Phone: +886-3-5913149, E-mail: TzuChien@itri.org.tw

Received Date: March 20, 2017

Revised Date: May 23, 2017

Accepted Date: May 31, 2017