

# 休息賣場便利商店之照明節能設計驗證與分析

胡志堅<sup>1\*</sup> 蕭大誠<sup>2</sup> 鄭忠志<sup>1</sup> 吳孝原<sup>1</sup> 趙念慈<sup>1</sup>

## 摘要

本研究採用新營服務區北站便利商店光環境分析結果為基礎，做為室內照明環境設計參考依據，實際建置一便利商店照明環境感控系统並驗證其節能效益。該便利商店照明環境體驗設計將室內照明環境區分為工作照明與環境照明兩類，設計內容包括：(1)提供白天、午后、及夜間三種照明情境；(2)熟食區重點照明建置；(3)採平行貨架照明為配置原則；以及(4)整合自然晝光動態調節人工光源等。所建置之照明感控系统，透過智慧電表讀表系統進行長期照明用電的量測與分析，發現本案相較於一般型態便利商店具有明顯的照明節電效果。

**關鍵詞：**建築節能、照明系統、晝光利用、感測器、便利商店

## 1. 前言

面對全球減碳議題的持續發酵，伴隨著資訊科技導入而產生的工作與生活變化，建築物的智慧化與綠化將是不可逆的發展趨勢。智慧建築乃是智慧化居住空間的重要載體，智慧建築之目的在於盡量滿足使用者的舒適性、操作者的方便性、設備的節能性、管理的高效性與資訊化的服務性。現行政府推行之智慧建築標章亦強調「健康舒適指標」及「節能管理指標」的重要性，認為長時間待在室內的生活工作型態，已成為大多數現代人生活的模式，而鼓勵建築空間應善盡利用自然採光、以及各式的照明節能設計(溫琇玲等，2011)。

近年來有研究將便利商店區分成三大建築型態(室內型、沿街型、獨棟型)，並採用六種評估類別(冷凍冷藏、空調冷氣、照明燈具、建築空間、電力管理、使用管理)進行節能成效分析，以期建立分級認證制度(郭柏巖等，

2013)。其中，照明節能設計方法頗多，例如：白天利用自然採光減少照明電力，裝設分區開關、個別開關、時序控制器、晝光感知器、熱感開關、中央管控系統、或照明控制系統等，以提升室內光環境品質及節能效益。便利商店光環境規劃與節能管理的目的，在於提升建築設施使用效率，達到二氧化碳減量，減緩全球暖化趨勢。對於業主而言，具有減少能源費用支出，降低營運成本的優點。因此，符合消費者生理與作息特質的消費與購物空間，須仰賴更健康、更舒適的室內照明環境，不僅維持品質同時兼顧節能。

本研究導入各項節能技術，採用高效率的照明設備，並建置能源監控功能於便利商店之各照明系統中。便利商店之靠窗區採用雙層玻璃夾百葉的自然採光開口設計，善用自然日光並減少熱輻射進入室內；商品貨架區強調突顯商品特色並吸引消費者目光，其照明設計著重於光源品質、均齊度、以及穩定性；商店內

<sup>1</sup>工研院綠能所智慧節能系統技術組研究員

<sup>2</sup>全家便利商店營業開發本部協理

\*通訊作者, 電話: 03-5917300, E-mail: chihjianhu@itri.org.tw

收到日期: 2014年04月11日

修正日期: 2014年05月23日

接受日期: 2014年06月27日

刻意營造多種環境照明情境，創造消費者因時間、地域的不同而產生購物深刻體驗(趙念慈等，2013)。照明系統建置根據自然晝光在特定建築環境的照明特性，整合LED照明燈具光源、環境晝光感知器、照明控制系統、照明迴路分區、以及照明情境與時段規劃等設計，以滿足便利商店店鋪空間光環境需求。整體設計除了達成室內光環境品質要求外，更兼顧健康、舒適、與節約能源的優質環境。

關於照明相關研究的實驗設計，部分研究採用田口方法(Taguchi method)探討各因素水準對照明品質與變異的影響，以找出最佳設計參數水準的組合，使特定區域照明的效果對變異來源不具敏感性，提升照明設計的品質。例如，關於道路照明設計可針對燈桿高度、燈桿間距、懸挑長度、以及燈具仰角等照明評價指標的組合，透過田口方法對各因素影響程度進行定量分析，促使道路照明設計更為精細化(袁征，2014)。液晶顯示器(LCD)背光照明設計，針對背光反射器(reflector)、輻射樣式(radiation pattern)、反射器光學性能(optical property of reflector)、以及顏色混合區的長度(length of color mixing zone)等因素，利用田口方法找出發光效率(efficiency)最高、以及色差(color difference)最小的較佳組合(Lin *et al.*, 2009)。另外，也有照明相關研究認為採用模擬軟體有助於分析建築空間光環境的特性，透過模型的建構得以協助燈具的設計、光源安排配置、以及掌握自然採光的應用時機等，甚至可以精準地估算空間裡各個位置的多種照明參數(Shikder, 2009)。若於燈具設備建置前，透過前期模擬分析將可以減少非必要能源的浪費(Ali *et al.*, 2009) (Estes *et al.*, 2004)。因此，大多數的照明設計分析為了精確掌握建築物所在地理位置與自然光的可利用時機，經常採取數值模擬的方式計算一年四季太陽光的方位角、天候狀態與建築物的相對位置關係、人工燈具光源輸出量與受光空間的關係、燈具位置與受光空間的關係等；在預設照明品質目標前提下，透

過調整不同照明設計參數的變化，反覆模擬修正後往往可以更真實且準確地呈現自然晝光利用與人工光源整合等建築照明設計的成效(Soori & Vishwas, 2013)。

雖然田口方法能夠在既有資源下，以較低的成本來評估各參數因子對產出的影響，用以改善設計標的，可廣泛應用在參數最佳化之工程問題(Taguchi & Clausing, 1990) (Yang *et al.*, 1998) (葉怡成及吳沛儒，2009)。然而本研究標的之便利商店，其照明設計除了必須考量一年四季陽光方位角與天候狀態的動態變化與人工光源的相對關係外，同時照明設計亦須符合業主原有的設備與商品陳列架擺設位置、設計風格、及其企業識別符號等。基於照明品質、時效性、與視覺呈現等考量，本研究針對臺南新營服務區北站便利商店的光環境特性與需求，建構空間模型以幾何光學模擬分析光環境特性，進行照明情境設計，並採用DIALux模擬軟體驗證光環境設計參數；根據設計規格實地整合分區照明系統、建置感控機制，確認各區照明系統功能的正確性，並評估其節能效益；最後，提出本研究的結論與建議。將上述研究步驟表示如圖1。其主要目的，在於明確分析該建築空間的採光特色與後置照明系統的配置是否完善、有效率、避免照明設備實際建置後的缺陷；進一步，實地構建照明系統於店家，並查證照明設備運作機制與功能是否均達效果，逐一驗證與預期效能的一致性。

## 2. 便利商店光環境分析與需求設計

高速公路服務區對於長途旅客而言，主要目的在於解除行車疲勞、紓解如廁等必要需求，隨著時代改變進而發展成多元休憩、休閒購物、與遊樂的場所(劉宗泓，2004)。本設計案例針對新營服務區北區服務站便利商店進行光環境系統設計，服務區配置如圖2，綠色區塊為本研究標的便利商店座落位置與範圍，該便

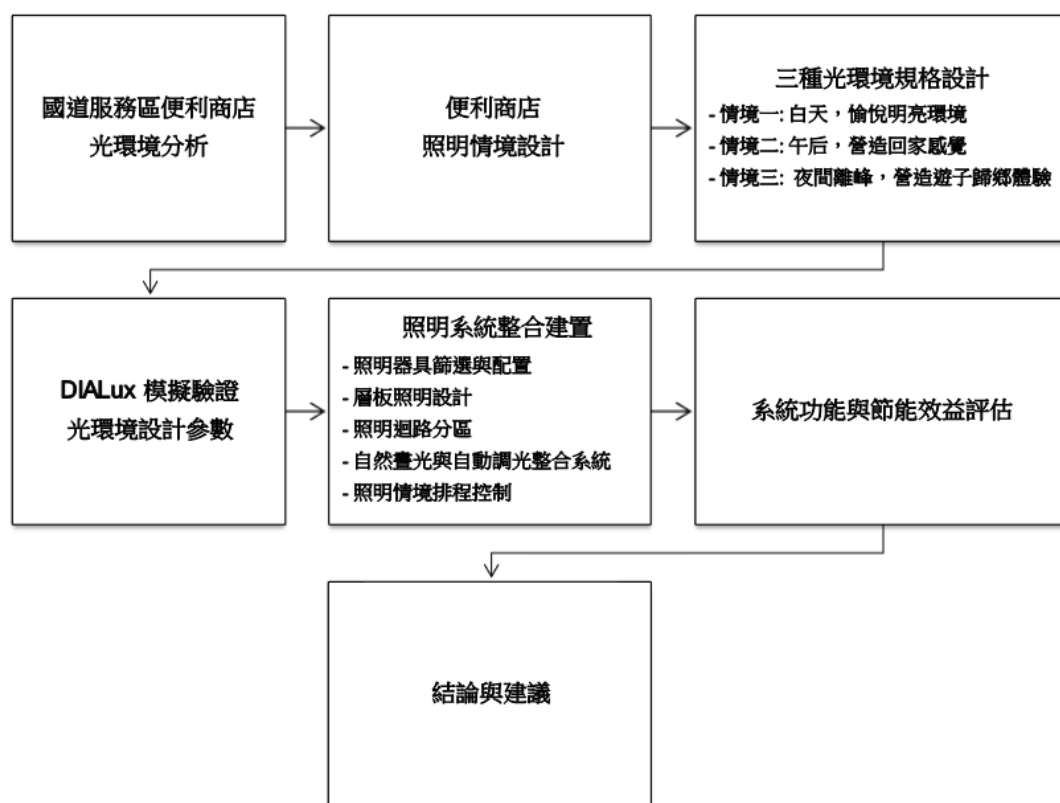


圖1 研究步驟

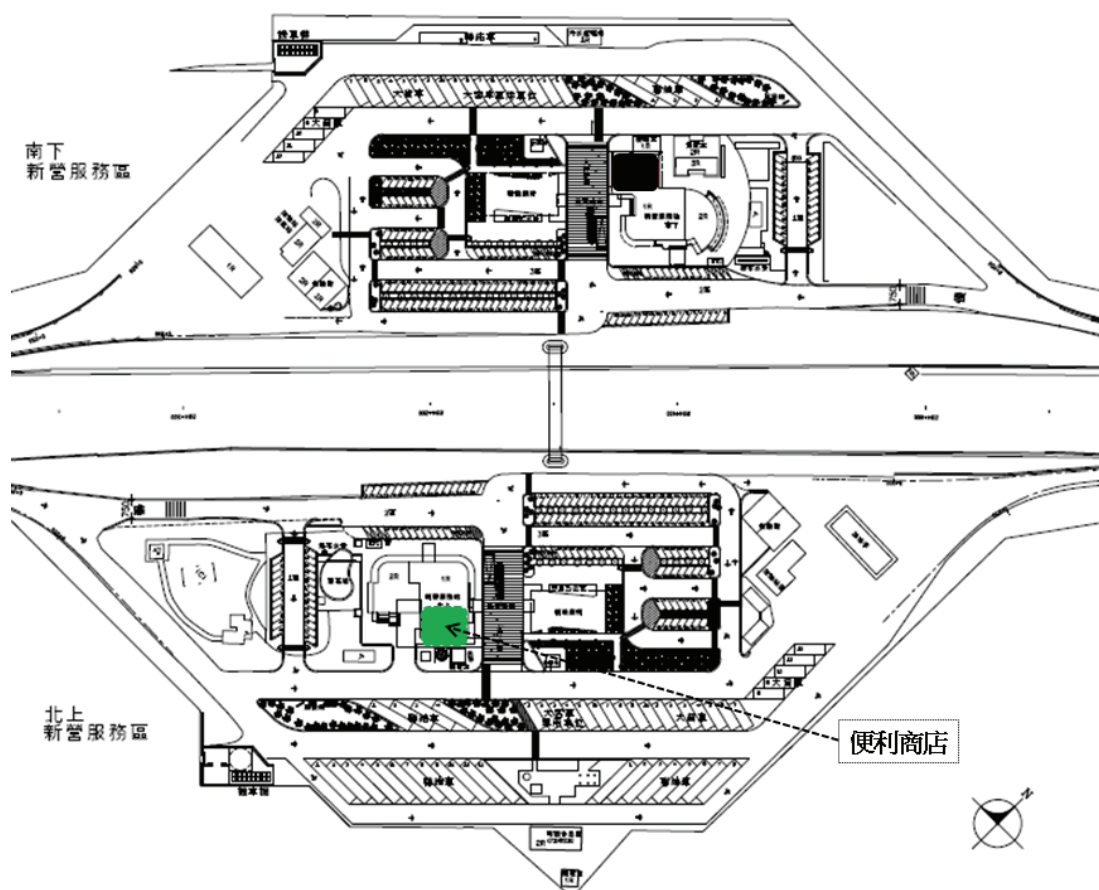


圖2 新營服務區便利商店座落位置與範圍



利商店坐標位置位於北緯23.23度、東經120.31度，座向為東偏北45度。新營服務區位於國道1號284k+200一帶，依高速公路兩側區分為南下、北上兩部分，兩區之間可由人行陸橋相互貫通連接。服務區設有服務台、旅客休憩大廳、停車場、公廁、加油站等，北區另設有駕駛人休息室等公共設施。北區服務站便利商店面積約170平方公尺，天花板離地面淨高約2.15公尺。

近期許多便利商店為了營造門市氣氛，常於賣場內部四周及休息座位區增加暖色系層板燈，顧客對於間接照明的效果相較於傳統式的嵌入式燈具其認同接受度與視覺效果都有較佳的評價(洪晨滄，2013)。有研究顯示，大多數人於從事會客、團聚、休閒娛樂等行為活動時，較滿意於色溫在3,300-5,000°k之間的搭配組合；在此模式下會讓人產生柔和的、溫暖的等心理感受，以及舒適的、輕鬆的、以及愉悅地等聯想與情緒反應(李厚強，2002)。而在辦公空間，大部分的人偏好色溫4,000 K至7,000 K的照明環境，相較於其他色溫，當色溫為4,000 K時人所承受之壓力最小，且最感到舒適(王昱婷，2012)。然而在不同照度實驗下，顯示大部分的人在色溫6,000 K左右的光源對於閱讀的辨識度有不錯的表現，而且舒適感是最好的(劉彥夫，2009)。光源色溫能夠塑造室內空間光環境的氛圍，較低色溫的暖色光源讓人具有輕鬆、溫馨感受；較高色溫而偏冷色的光源令人覺得精神振奮、清爽。照明環境在整個空間的氣氛營造(atmospheric lighting)扮演舉足輕重的地位，良好的光環境必須營造舒適的光線，來滿足消費者生理和心理需求，增加其舒適感。除此之外，傳遞正確的商品特徵、價值及資訊，透過創新服務提升顧客購買商品期間的認知價值，將能吸引顧客增加再次消費的頻率(Lin *et al.*, 2013)。藉由商品照明設計，將使得商品呈現不同的樣貌，塑造獨特服務或品牌的店鋪風格(specific store experience)，因而吸引不同性別、年齡及不同所得族群顧客(Quarti

*et al.*, 2014)。因此，光源的多樣設計除了作為商品照明目的外，也具有營造視覺焦點，吸引消費者目光的功能，同時應考量不同的光源應用設計之下其特定的照明能源消耗(lighting energy consumption)特性，以利於未來照明節能態樣(lighting use patterns)的設計參考(Yun *et al.*, 2012)。

本研究針對便利商店提供三種照明情境設計，希望藉由提供合宜的光環境，使消費者沈浸在一個舒適、愉悅的購物情境中，藉由照明情境設計吸引顧客消費，達到差異化經營的目的。針對便利商店照明情境設計，包括利用層板燈色溫變化、離峰時段減少情境照明用電等機制，營造情境效果；靠窗區採自然光整合人工光調節機制，達到視覺穿透與節能效果；並強化熱食區重點照明，聚焦消費者目光於熱食商品並引導消費動線。將三種照明情境設計，以及其照明控制排程色溫變化分別表示如圖3。分別將此三種照明情境設計的控制排程，說明如下：

- 情境一：白天(夏天早上6點到下午3點)，室內天花板層板燈以6,000 K白光洗亮四周牆面，搭配天花板輕鋼架隔柵燈6,000 K白光，營造白天明亮愉悅的購物體驗，冷色光有助於白天醒覺的感受，代表充滿活力的一天的開始。靠窗區利用遮陽採光百葉調整自然光利用，隨自然光多寡，進行人工光調光控制，維持與非靠窗區同樣的地面環境照度(Ambient Lighting)在400-450 lx範圍，以保持室內照度均齊度在3:1的舒適範圍。
- 情境二：午后(下午3點以後到晚間10點)，室內天花板層板燈轉換為3,000 K暖白光，搭配熱食區4,000 K暖色溫，營造下班後放鬆心情購買晚餐的回家感受。
- 情境三：夜間10點以後到清晨6點之前的夜間離峰時間，顧客人潮較少，許多便利商店為節省電費逐漸會關閉非必要照明(洪晨滄，2013)。本研究依此概念將部分層板燈熄燈以減少照明用電，但仍維持熱食區暖色

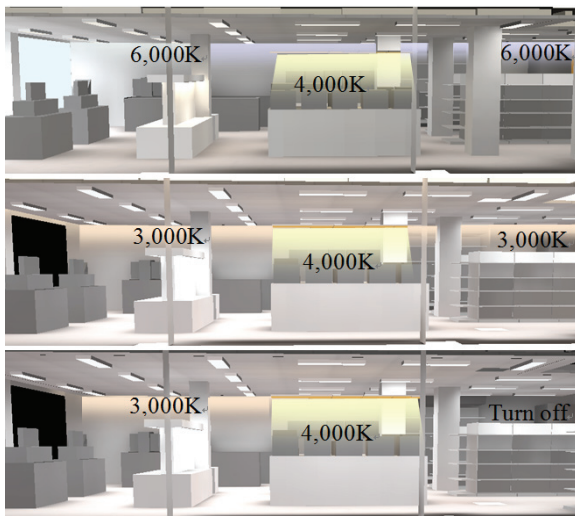


圖3 便利商店情境設計(上圖：白天情境；中圖：午后情境；下圖：夜間情境)

溫的重點照明，讓夜間未歸遊子有熱騰騰食物滿足他們空虛的胃。熱食區照明設計配置圖與熱食區3D造型圖，分別表示如圖4、圖5所示。

一般便利商店照明大多只考慮均齊明亮的效果，不當設計下往往造成離地板面高1.2公尺的照度幾乎達1,000 lx以上，不僅易產生刺眼眩光、缺乏空間光環境的層次感，而且造成單位

照明密度過高且不當消耗能源等缺點。因此，本研究採用環境照明(Ambient Lighting)及工作照明(Task Lighting)分別設計的概念，適當調節光環境的照明分布。例如，封閉式冰櫃、開放式冰櫃、臥式冰櫃等均已LED燈條輔助照明，鮮食中島櫃內也裝設有明亮的照明器具。因此本研究僅需針對櫃體外的室內空間提供環境照明評估，分析其合適照度量及照度比等照明品質相關參數，將分析結果說明如下，並整理光環境設計規格如表1。

#### ● 環境照明(Ambient Lighting)：便利商店設計

照度參考國家照度標準CNS12112商店、百貨其他類照明標準訂定。店面環境照度300-500 lx及店面重點照明部分500-750 lx，其他環境背景照度如牆面、天花板照度則設定在與地面照度值的1/2~1/3之間。環境照明主要由天花板輕鋼架LED隔柵燈提供天花板照度100-150 lx、地面照度300-500 lx及牆面照度150-200 lx，符合非工作區照度要求。

#### ● 工作照明(Task Lighting)：針對照亮熱食區

的情境設計需求及櫃檯區結帳工作需求，分別訂定工作照度須達500-750 lx，除符合工

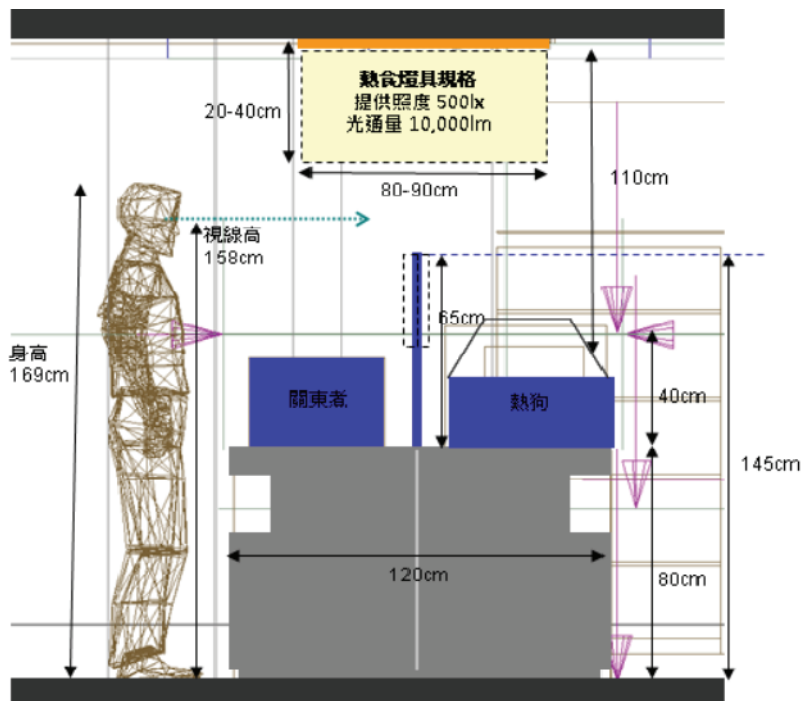


圖4 熱食區照明設計配置圖

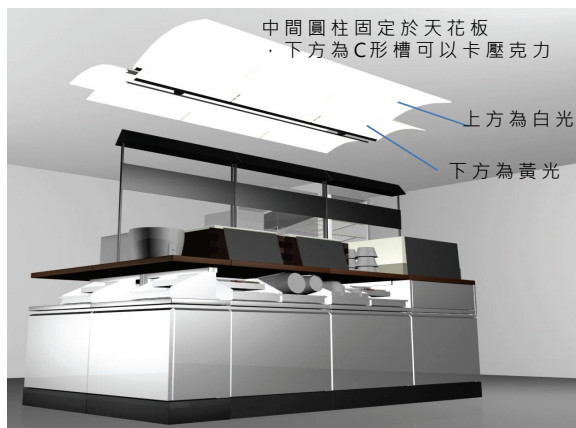


圖5 熱食區照明3D造型圖

作區照度要求外，也希望熱食區色溫的情境塑造及流線造型燈具可以達到吸引顧客的目的。

- 自然光利用：便利商店座向為東偏北45度，依據該地緯度日照軌跡夏至日中午12點前、春/秋分早11點30分以前，及冬至日早上9點以前陽光會透過落地窗進入室內，因此該時段須藉由調整遮陽百葉角度以避免過多輻射熱進入室內增加空調負荷。非遮陽時段則可調整遮陽百葉角度為水平，以利自然光引入提供室內照明，但由於天花板高度只有2.15公尺，有效採光深度約為4.0公尺深，因此自然光利用設計上，靠窗區採用可隨自然光多寡進行人工光調光的照明燈具，以維持與非靠窗區同樣的地面環境照度(Ambient Lighting)在300-500 lx，使照明均齊度維持在0.4以上的舒適範圍。

本研究使用DIALux作為光環境設計與照明控制機制的規格模擬驗證工具(Shikder, 2009)。數值模擬條件設定包括：全區天花板燈具均使用4尺2燈T5 LED隔柵燈，靠窗區天花板燈具則採用4尺2燈T5 LED隔柵可調光燈具整合晝光感知器(Daylight Sensor)以利用自然晝光，其自動感知調光照度設置點(Set-point)為500 lx，天花燈具安排以平行窗面與平行貨架為配置原則；層板燈採用4尺T5 LED燈管；熱食區造型燈具為LED平板燈，色溫為4,000K。依前述新營服務區北站便利商店坐標位置，設置落地窗座向為東偏北45度，窗外出簷之遮蔽角65度。室內材質反射率根據北美照明協會(IESNA)建議，室內天花板反射率0.7、牆壁反射率0.5、地板反射率0.3、家俱反射率0.3-0.5。採用春分3/21/2013天候，日間陰天狀態(Overcast)上午9:00進行自然光及人工光混合照度模擬。

模擬結果如表2所示，其中靠窗區及其他區域地面平均照度達410 lx-785 lx，離地高1.2公尺之平均照度678 lx-801 lx，顯示在陰天狀態下自然晝光仍能夠提供靠窗區充足照度，全區皆符合地面照度300-500 lx、離地高1.2公尺之照度500-750 lx之設計標準。情境一，櫃檯區後方牆面因自然光的照射達388 lx，地板與背景牆面照度比為1：1.3，靠窗區天花板照度達422 lx，櫃台區工作面照度可經由自然光與人工光照明結合後提供，照度743 lx，均齊度0.75；情境二，櫃檯區牆面照度168 lx，晚間地板與背景

表1 光環境設計規格

情境設定	光環境規格	色溫
情境一 白天，愉悅明亮環境	環境照度 ● 離地高1.2公尺照度500-750 lx ● 地面照度300-500 lx ● 牆面照度150-200 lx ● 天花板照度100-150 lx	● 天花板燈：色溫6,000 K輕鋼架LED燈，窗邊區隨自然光多寡調整人工照明輸出 ● 層板燈：色溫6,000 K LED燈條 ● 熱食燈：色溫4,000 K側邊LED燈，結合自擴散導光燈罩
情境二 午后，營造回家感覺	● 地面與牆面的照度比 < 3 : 1 工作照度	● 天花板燈：色溫6,000 K輕鋼架LED燈 ● 層板燈：色溫3,000 K LED燈條(情境三僅開啟櫃檯區層板燈)
情境三 夜間離峰，營造遊子歸鄉體驗	● 櫃台區/中島區照度500-750 lx ● 演色性Ra > 80 ● 均齊度 > 0.4	● 熱食燈：色溫4,000 K側邊LED燈，結合自擴散導光燈罩



表2 光環境模擬結果與照明控制策略

情境	燈具型式	模擬結果	靠窗區 (雙層玻璃夾百葉) 遮陽操作策略	照明控制策略
情境一 白天，愉悅 明亮環境	靠窗區 ● 天花板：4尺 2燈T5 LED隔 柵可調光燈 具整合晝光感 知器(daylight sensor)	環境照度 靠窗區 ● 地面785 lx、離地高1.2公 尺801 lx、牆面388 lx、 天花板422 lx  其他區域 ● 地面489 lx、離地高1.2公 尺784 lx、牆面388 lx ● 地面／牆面照度比 ~1.3  工作照度 ● 櫃台照度743 lx ● 均齊度0.75	使用百葉遮陽時 段： ● 夏至 上午11:00 前 ● 春／秋分 上午 09:30前 ● 冬至 上午08:30 前	● 靠窗區照明控制 系統依自然光變 化調整人工照明 輸出，維持設置 點(Set-point)照度 ● 6,000 K之LED層 板燈啟動
情境二 午后，營造 回家感覺	其他區域 ● 天花板：4尺 2燈T5 LED隔 柵燈 ● 層板燈：LED 燈條3,000 K 以及6,000 K ● 熱食區：LED 燈罩4,000 K	環境照度 ● 離地高1.2公尺716 lx、地 面447 lx、牆面168 lx、 天花板111 lx ● 地面／牆面照度比 ~2.7  工作照度 ● 櫃台照度618 lx ● 均齊度0.79	無需使用百葉遮陽	● 靠窗區照明控制 系統依自然光變 化調整人工照明 輸出，維持設置 點(Set-point)照度 ● 3,000 K之LED層 板燈啟動
情境三 夜間離峰， 營造遊子歸 鄉體驗		環境照度 ● 地面410 lx、離地高1.2公 尺678 lx、牆面159 lx、 天花板106 lx ● 地面／牆面照度比 ~2.6  工作照度 ● 櫃台照度614 lx ● 均齊度0.79		● 靠窗區照明控制 系統依自然光變 化調整人工照明 輸出，維持設置 點(Set-point)照度 ● 僅啟動櫃檯區 3,000 K之LED層 板燈，其他區域 層板燈關閉

牆面照度比為1：2.7，靠窗區天花板照度為111 lx，櫃台區工作照度618 lx，均齊度達0.79；情境三，櫃檯區牆面照度159 lx，地板與背景牆面照度比為1：2.6，靠窗區天花板照度為106 lx，顯示天花板照度受層板燈影響甚微，適宜之燈具配置可維持櫃台區工作照度614 lx，均齊度達0.79；熱食區照明，當將燈具設計具有10,000 lm光通量時，可使燈下110 cm處之桌面照度達823 lx，周邊地面照度提高至419 lx。整體模擬結果，工作照明及環境照明設定目標，皆符合表1定義之光環境設計規格。

### 3. 照明系統整合建置

針對便利商店光環境照明系統整合建置，主要包括照明器具篩選與配置、層板照明設計、照明迴路分區、自然晝光與自動調光整合系統、以及照明情境排程控制等五部分。分別敘述如下：

- 照明器具篩選與配置：該光環境空間包括有貨架照明、櫃檯工作區照明、靠窗區晝光利用與自動調光照明、以及層板燈情境照明等機制，應用上頗為多元。同時考量光環境

設計規格、及業主維護的便利性，篩選合適的照明器具極為重要。照明燈具應著重於發光效率、光源均齊度、照度、以及演色性等照明品質，因此貨架區上方天花板照明燈具選用四呎兩管T5型式的LED燈具，以平行窗面與平行貨架為配置原則；靠窗區自然晝光利用與自動調光整合照明部分，則結合四呎兩管T5型式的可調光LED燈具、環境晝光感應器、以及自動調光系統等。在AC 220V/60Hz電壓供給下，實測四呎兩管T5型式色溫6,000 K的LED燈具，所得之平均消耗電流約0.218 A，平均消耗功率約47.8 Watts，功率因素PF為0.97。牆邊層板燈照明著重色溫情境變換調控，選取6,000 K與3,000 K色溫之T5 LED燈管，以四呎燈管為主，兩呎燈管為輔；當AC 220V/60Hz電壓供給下，調光信號輸入為最大(直流信號

10V)時，四呎T5 LED層板燈管之滿載消耗電流約0.13 A，6,000 K與3,000 K色溫之T5 LED燈管的調光特性並無顯著差異，其調光特性顯示於圖6。

●層板照明設計：層板燈營造白天、午后、與夜間離峰三種情境。按情境依序將層板燈色溫設定為6,000 K、3,000 K、3,000 K。設計上需考慮反射於牆面之照度的光源均齊度，為了避免工程設計與安裝上的階梯光影及明暗不均等問題，將燈管配置規劃如圖7所示。同一色溫之燈管串聯排列交叉配置時，兩管間距應盡量縮小，以避免階梯光影效果；平行併排之兩種色溫共四管燈管，應集中在18 cm以內；且同一色溫之燈管平行放置時，燈頭部分須交叉重疊配置，避免於牆面產生明顯不均勻的階梯光影。將層板燈照明效果顯示如圖8所示。

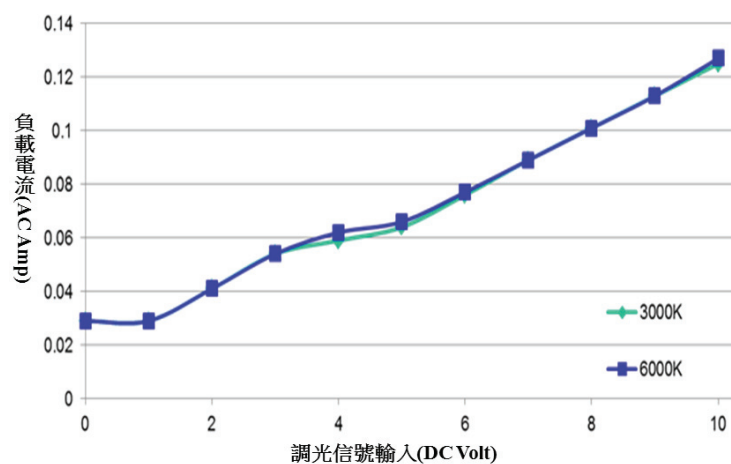


圖6 四呎單管T5型式燈具調光特性

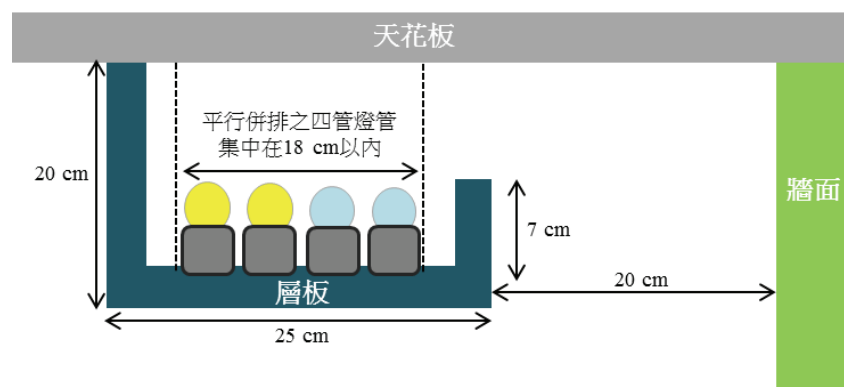


圖7 層板燈與層板之配置





圖8 層板燈照明效果

- 照明迴路分區：為兼顧優質與節能的光環境，設計原則乃依活動提供適宜照度，並將工作照明(Task Lighting)與環境照明(Ambient Lighting)區分設計(Hu *et al.*, 2012) (Martirano, 2011)。照明迴路分區設計將多組照明燈具區分為不同迴路，按各區的照度與色溫需求調配各迴路的啟閉，以此進行照明分區並調節各區位的照度與色溫。圖9為照明迴路配

置平面圖，共將室內分成七個獨立照明迴路。

- 自然晝光與自動調光整合系統：許多研究顯示若可適度引導自然晝光於室內將提升視覺舒適性(visual comfort)、且有益於使用者的身心健康(Galasiu & Veitch, 2006) (Chow *et al.*, 2013) (Li, 2010)；透過照明控制機制整合環境感知器，即時動態調節人工光源於特定照明應用，不僅可以減少照明用電，亦能營造舒適且豐富的光環境(胡志堅等，2013) (Choi & Mistrick, 1998) (Roisin *et al.*, 2008)。本研究將環境光源感知器(Daylight Sensor)整合於照明迴路，以準確掌握自然晝光進入室內的強弱，藉感知器回送信號給自動調光系統進行光源調控，控制器會按設定值(Set-point)自動啟動／調整燈具的輸出照度，以節約照明用電。系統能依天候與周圍環境照度決定該照明迴路的啟閉或調節負載的輸出大小，若是周遭的環境照度值低於設定的照度值，便會自動將燈光點亮或調整燈具的輸出亮度。圖10顯示靠窗區能夠有效引導自然晝光，並經由自動調光系統調節人工光源。

- 照明情境排程控制：便利商店內共設置七個

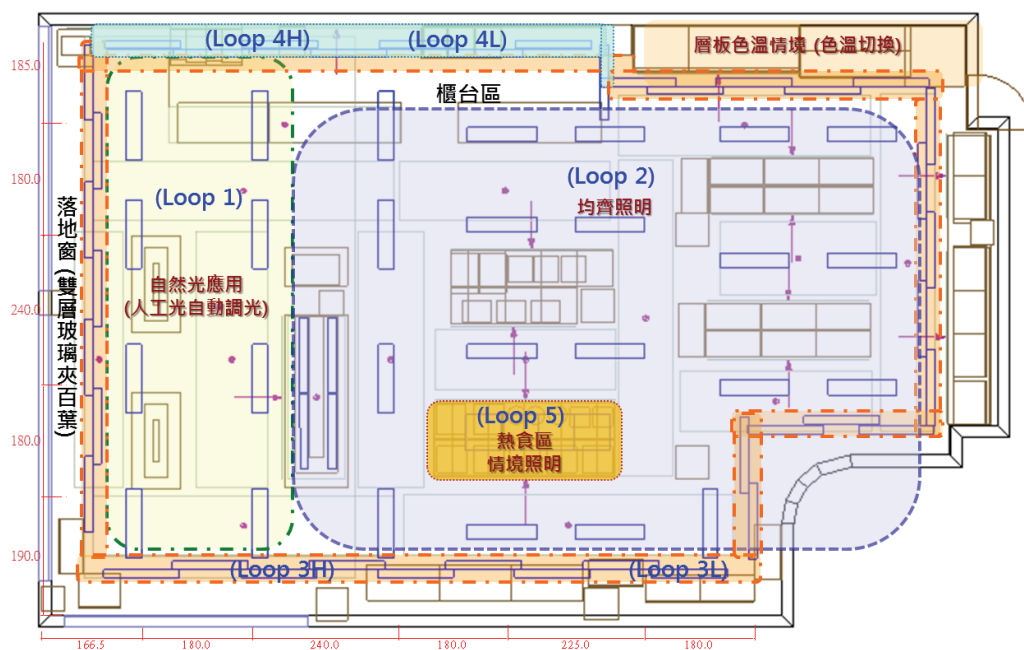


圖9 照明迴路配置平面圖



圖10 靠窗區引導自然晝光整合自動調光系統

迴路以因應三種情境設計，照明迴路配置顯示於圖9。窗邊因自然光的導入需要與自動調光系統整合而獨設一區，賣場區分為兩迴路以對應熱食區的視覺焦點設置以及其他貨架區，其餘迴路則是用於層板燈的色溫控制。透過照明情境排程機制，可依季節、營業尖峰/離峰時間、以及特定照明需求規劃照明情境(Hu *et al.*, 2012) (Martirano, 2011)。如白天時，靠近窗邊的照明群組可以自動啟閉或調弱照明燈具的輸出，以晝光來輔助照明；深夜離峰時，強調櫃檯區的照度，僅安排櫃檯區層板燈照明輸出，關閉非必要的層板燈。將各設計情境的分區排程控制說明於表3，圖11顯示三種情境照明的運作狀況及其實際效果。



圖11 三種情境照明的運作

## 4. 系統功能與節能效益評估

新營服務區北站便利商店之照明用電為單相二線式AC 220 Volt，交流60 Hz。為了量測記錄各照明迴路之電力參數、累積耗電、及即時功率等用電狀況，作為分析使用。本文案例採用Archmeter生產之PA33精巧型單相

表3 照明情境分區排程

情境設定	迴路控制機制與信號	照明呈現	層板燈照明迴路啟閉控制時段	照明迴路啟閉狀態
情境一 白天，愉悅明亮環境	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 可程式定時器</li> <li>● LED調光器</li> <li>● 數位電表</li> <li>● 自然晝光與自動調光整合系統</li> <li>● LED調光信號線(0-10V)</li> <li>● RS485信號線</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 靠窗區隨自然光多寡調整照明輸出(色溫6,000 K)</li> <li>● 層板燈：色溫6,000 K</li> </ul>	06:00 - 15:00	(Loop 3H): ON (Loop 4H): ON (Loop 3L): OFF (Loop 4L): OFF
情境二 午后，營造回家感覺		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 靠窗區隨自然光多寡調整照明輸出(色溫6,000 K)</li> <li>● 層板燈：色溫3,000 K</li> </ul>	15:00 - 22:00	(Loop 3H): OFF (Loop 4H): OFF (Loop 3L): ON (Loop 4L): ON
情境三 夜間離峰，遊子歸鄉體驗		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 靠窗區隨自然光多寡調整照明輸出(色溫6,000 K)</li> <li>● 層板燈：色溫3,000 K</li> </ul>	22:00 - 06:00	(Loop 3H): OFF (Loop 4H): OFF (Loop 3L): OFF (Loop 4L): ON

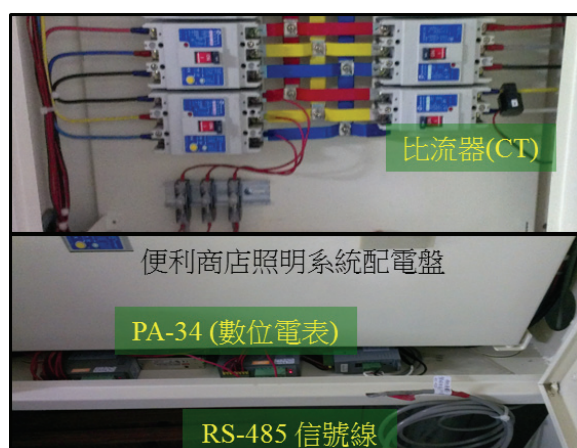


圖12 照明系統配電盤與數位電表安裝

數位電表，該設備具基本電力參數量測、監測記錄及通訊功能，採用外接開口式比流器 (Current Transformer, CT)、RS485通訊界面、以及Modbus標準通訊協定；Wh精度為0.5% (pf = 1)，量測範圍CTΦ10(60)A。實際配置於便利商店照明系統配電盤的數位電表與比流器等設備如圖12所示。

為了驗證系統的實際運作功能，根據便利商店12/08/2013當日全時段各個照明迴路的

用電紀錄加以彙整，並將結果表示如圖13。由圖中可以明顯觀察出，當夜間時主要的照明用電量依序為戶外廣告招牌燈、均齊照明區、全區黃光層板燈、靠窗自動調光區、熱食情境照明區、以及櫃台黃光層板燈。當深夜離峰時段(PM10:00 ~ AM 06:00)時，全區黃光層板燈依系統規劃自動熄燈不再耗電，僅留櫃台黃光層板燈繼續運行。當白天時(AM 06:00 ~ PM 03:00)，系統自動關閉全區黃光層板燈及櫃台黃光層板燈，並啟動全區白光層板燈及櫃台白光層板燈；因此，此時段主要的照明用電量依序為全區白光層板燈、均齊照明區、櫃台白光層板燈、熱食情境照明區、以及靠窗自動調光區。戶外廣告招牌燈的用電量狀態亦明顯反映出開啟時間為晚上六點一直到隔天早上六點。由於當天氣候為晴天，靠窗自動調光區的節電效果亦明顯反映於上午八點至下午五點之間，表示該區域得以有效利用自然晝光並動態調節人工光源輸出達到節能效果。

圖14為靠窗自動調光區的全日用電分析圖，縱軸表示單位小時的用電量(kWh)，橫軸

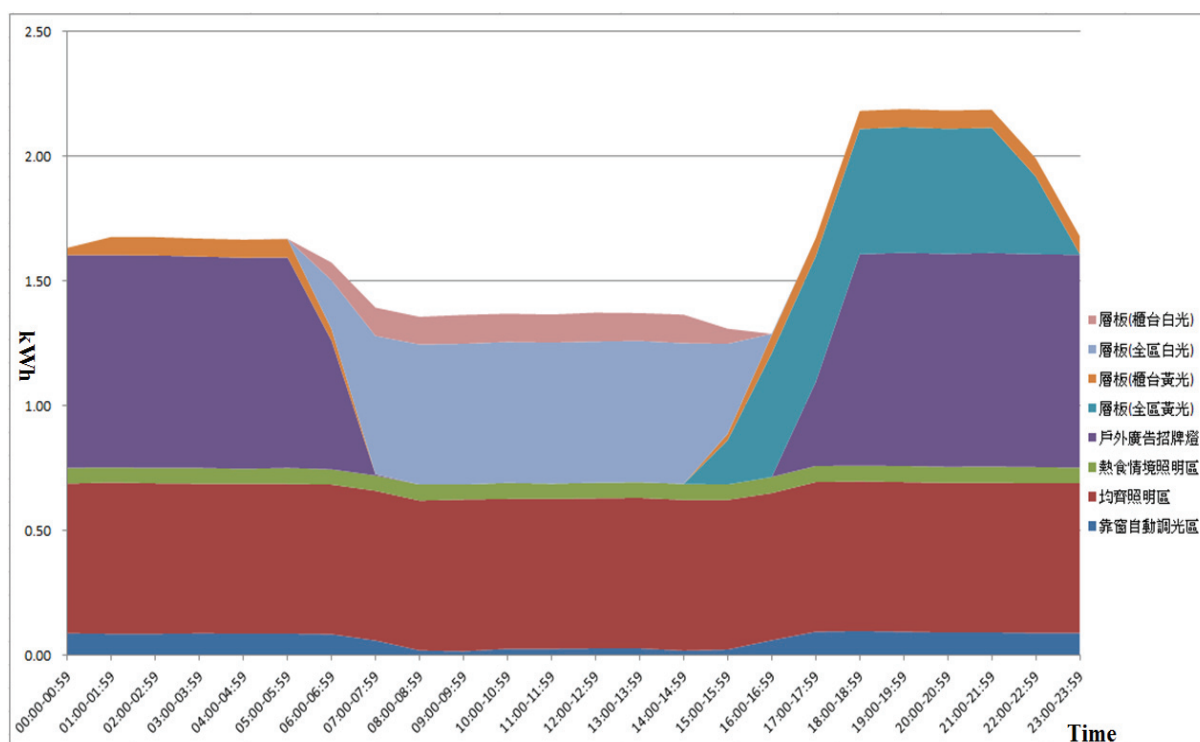


圖13 全日照明迴路店分布(Dec-08-2013-晴)



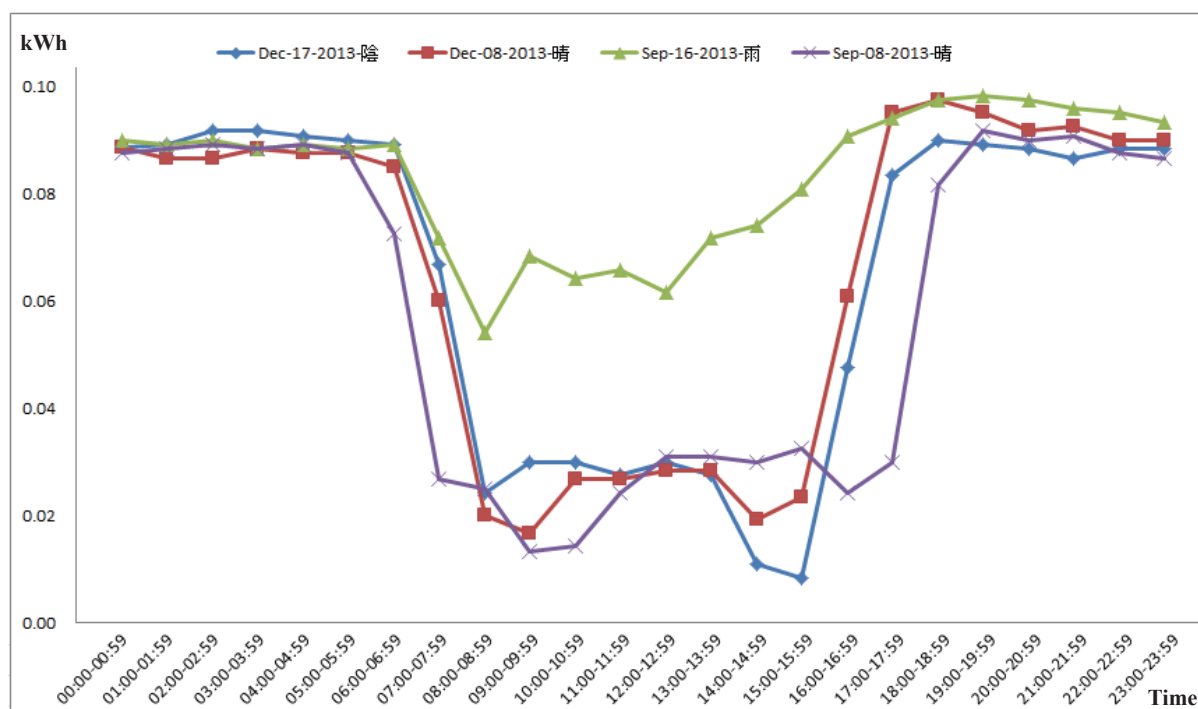


圖14 靠窗自動調光區全日用電分析

表示為時間以每一小時為一單位。當晚間五點過後到隔日早上八點以前，因為缺少自然光，所以該區的用電不受天候影響，每小時平均用電約0.09 kWh；然而在日間時段(AM 08:00 ~ PM 05:00)，由於自然晝光的有效利用，因此該區每小時平均用電可以維持在0.04 kWh以下。例如，Sep-08-2013、以及Dec-08-2013兩日的天候皆為晴天，其每小時平均用電甚至可維持在0.02 kWh左右；Dec-17-2013當日為上午陰天，下午逐漸轉晴，因此每小時平均用電可維持在0.03 kWh以下；另外，即使天候狀況為雨天(Sep-16-2013)，其每小時平均用電亦可維持在0.07 kWh左右。整體而言，該區透過落地窗(雙層玻璃夾百葉)引入自然光並結合自動調光燈具系統的設計，相較於無光源調節機制的照明設計，平均每日約可減少25%的用電量。

關於層板燈照明的平均(月)用電分析，如圖15所示。全區黃光層板燈以及櫃台黃光層板燈之月平均用電約占全部層板情境照明的43%，明顯低於全區白光層板燈及櫃台白光層板燈之總用電(57%)；主要原因在於白光層板

燈與天花板格柵燈之光源色溫皆為6,000 K，因此白光層板燈需調高照度值使得反射於牆面的光源明顯高於天花板格柵燈所反射於牆面的照度，得以營造出愉悅明亮環境的效果。然而黃光層板燈色溫(3,000K)明顯與天花板格柵燈色溫(6,000 K)不同，因此相對於白光層板燈僅需提供較少的照明輸出即可達到色溫情境效果。

若採用便利商店業主的原始照明系統設計圖做為本案照明能耗評估基準，其原始天花板格柵燈具設計採用4尺2燈T5螢光燈管，室內環商場層板燈使用T5螢光燈管，該設計之照明密度平均達 $19.7 \text{ W/m}^2$ ，半年(Sep-2013 ~ Feb-2014)總用電量約為10,042度電(kWh)，估算方式如表4。相對之下，評估業主原始照明設計基準，若在相同照明水準下，將螢光燈改為LED燈具，並搭配貨架陳列方式重新配置燈具相對位置(如圖9)，其因改善燈具位置及提升光源發光效率，預估半年(Sep-2013 ~ Feb-2014)總用電量約為9,088度電(kWh)，應可節省大約9.5%的照明用電。本文所提出之優質節能照明情境設計的估算基準表示如表5，除了採用LED燈具、



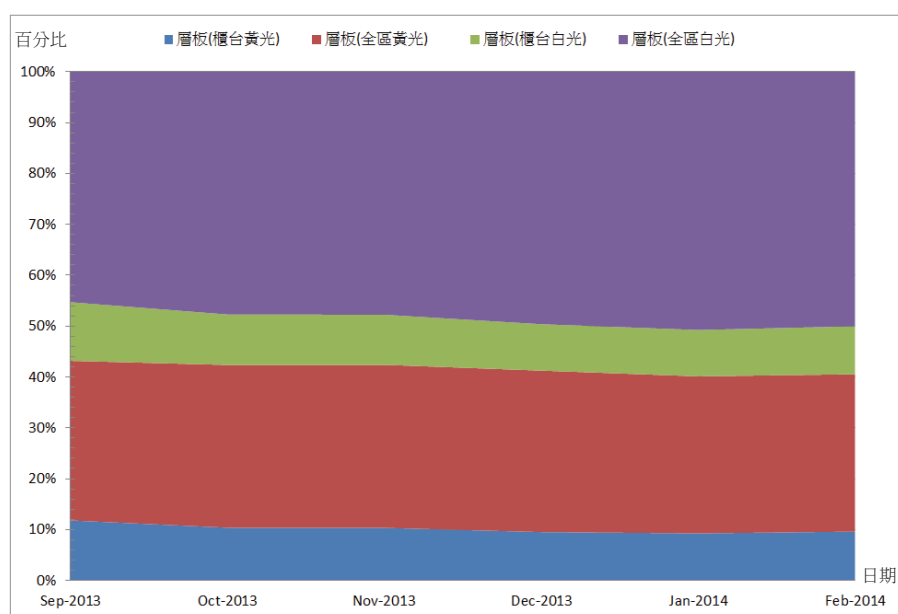


圖15 層板燈照明平均(月)用電分析

表4 業主原始照明設計預估基準(總耗電量：10,042 kWh)

燈具位置	燈具規格	耗電預估			
	型式	單位 消耗功率 (W)	使用 數量 (盞)	每日平均使用 時數預估 (小時)	Sep-2013 ~ Feb-2014 預估累計耗電量 (kWh)
靠窗區	4尺2燈T5螢光燈具	65	6	24	1,694
人口緩衝區	4尺2燈T5螢光燈具	65	6	24	1,694
櫃台區	4尺2燈T5螢光燈具	65	4	24	1,129
貨架區	4尺2燈T5螢光燈具	65	7	24	1,977
層板燈	T5螢光燈條 (色溫3,000 K)	35	35	16	3,548

表5 優質節能照明情境設計預估基準(總耗電量：9,088 kWh)

燈具位置	燈具規格	耗電預估			
	型式	單位 消耗功率 (W)	使用 數量 (盞)	每日平均 使用時數 預估(小時)	Sep-2013 ~ Feb-2014 預估累計耗電量 (kWh)
靠窗自然調光區	4尺2燈T5 LED調光隔柵燈具	48	8	12	834
均齊照明區	4尺2燈T5 LED隔柵燈具	48	19	24	3,962
熱食情境照明區	LED燈條	14	20	24	1,216
層板情境照明 (層板燈全區白光)	4尺LED T5燈管(色溫6,000 K)	24	31	9	1,212
	2尺LED T5燈管(色溫6,000 K)	12	4	9	78
層板情境照明 (層板燈櫃台白光)	4尺LED T5燈管(色溫6,000 K)	24	7	9	274
	2尺LED T5燈管(色溫6,000 K)	12	1	9	20
層板情境照明 (層板燈全區黃光)	4尺LED T5燈管(色溫3,000 K)	24	31	7	943
	2尺LED T5燈管(色溫3,000 K)	12	4	7	61
層板情境照明 (層板燈櫃台黃光)	4尺LED T5燈管(色溫3,000 K)	24	7	15	456
	2尺LED T5燈管(色溫3,000 K)	12	1	15	33

搭配貨架陳列配置燈具位置之外，更進一步導入自然光整合自動調光燈具系統、以及離峰時段層板燈啟閉控制等，相較於業者原始照明設計基準將具有明顯的節電效益。

當完成建置此便利商店光環境體驗設計(如圖9、表3)之後，透過數位電表紀錄半年(Sep-2013 ~ Feb-2014)各照明迴路之用電量。分析照明用電資料後，得知期間總用電量約為5,045度電(kWh)，各照明迴路用電量比率分別為：均齊照明51% (2,554 kWh)、層板情境照明38% (1,931 kWh)、靠窗自動調光區6% (297 kWh)、以及熱食情境照明5% (263 kWh)，將其整理成一照明分區用電比率圓餅圖，如圖16所示。整體照明用電量明顯較優質節能照明情境設計基準預估值(表5)低約4,043 kWh，主要原因包括有：(1) 期初所有燈具耗電量皆採用滿載功率估算，然而現場照明系統安裝完成後，為了符合光環境設計規格(表1)，各迴路皆因應實際光環境狀態調整相關燈具光源輸出量，因此大部分燈具並非滿載輸出；(2) 均齊照明區及層板情境照明設置有調光器，為了調節其光源輸出使該區符合離地高1.2公尺照度500-750 lx、地面照度300-500 lx、牆面照度150-200 lx、以及地面與牆面的照度比須小於3：1等規格，因而減少耗電量約35%；(3) 靠窗自動調光區為動態調節人工光源(LED燈)輸出，如上述分析其具有約25%的節能效益，另依設計需求調整其照度設置點(Set-point)以符合光環境設計規格，因此能源耗損較預估基準低；(4) 熱食情境照明區，

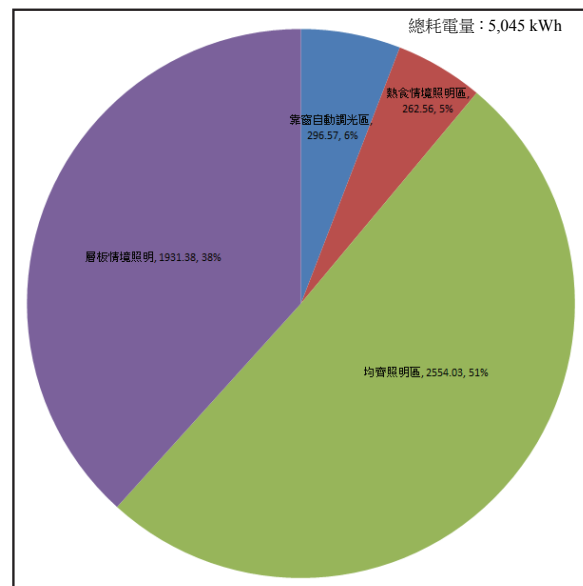


圖16 照明分區用電比率(Sep-2013 ~ Feb-2014)

其燈具設計採側邊LED發光源，利用自擴散導光材料特性引導光源集中於弧形燈罩表面，使得燈罩表面輝度非常高；因此在實際建置過程中，發覺即使調降大量側邊LED的光源輸出，亦呈現出不錯的照明效果且符合光環境設計規格，使得該區耗電量可遠低於預估基準。將上述各照明分區能耗預估差異原由彙整如表6。

整體而言，針對這半年期間實際量測的照明總用電量在不考慮功率因素變因條件下，相較於優質節能照明情境設計的耗電量預估基準值約低44%  $\{[(\text{優質節能照明情境設計預估基準耗電量} - \text{實際照明耗電量}) / \text{優質節能照明情境設計 預估基準耗電量}] = [(9,088 \text{ kWh} - 5,045 \text{ kWh}) / 9,088 \text{ kWh} =$

表6 照明分區能耗預估差異原由說明

區域	說明
均齊照明區	設置調光器調節光源輸出同時降低耗電量，使其符合離地高1.2公尺照度500-750 lx、地面照度300-500 lx等規格
層板情境照明	設置調光器調節光源輸出並降低耗電量，以維持牆面照度150-200 lx、地面與牆面的照度比小於3：1等條件
靠窗自動調光區	利用自然晝光動態調節人工光源輸出，維持照度設置點(Set-point)，減少非必要人工光源輸出
熱食情境照明區	透過自擴散導光材料特性引導側邊LED光源集中於燈罩表面，大量提升燈罩表面輝度，減少側邊LED光源輸出降低能耗

44.4%]}，而相較於業主原始照明設計的耗電量預估基準值則減少約49%的照明用電量 $\{[(\text{業主原始照明設計預估基準耗電預估基準耗電量} - \text{實際照明耗電量}) / \text{業主原始照明設計預估基準耗電量}] = [(10,045 \text{ kWh} - 5,045 \text{ kWh}) / 10,045 \text{ kWh} = 49.6\%]\}$ 。

## 5. 結論與建議

良好的商店照明除提供消費者優質照明環境體驗外，更可以達到差異化經營的目的，藉以吸引更多顧客消費。新營服務區北站便利商店光環境設計以環境體驗為主軸，照明設計結合自然光利用，依隨著多種消費時段的照明情境變化而主動營造商場的動態光環境，連結一般消費者在優質購物環境中的身心體驗；同時也降低照明用電量，滿足了業主減少營運成本的需求。連鎖便利商店在營運上，除了考慮照明品質外，將更著重於光環境設計的可複製性。因此，在光環境設計上，照明組件的選用應以安全、安裝簡便、可彈性擴充、以及價格平實的商品化產品為主；同時需考慮以最少種類的燈具與燈管的使用為設計原則，以符合業主可易於長期自主維護與管理的需求。

彙整評估結果相較於業主原始照明設計的耗電量預估基準值減少約49%的照明用電量，顯示：(1) 透過分析照明燈具的功能與能耗等特性，並篩選合適的照明燈具，有助於評估燈具的陳列位置，提升照明品質，降低能耗；(2) 因應便利商店照明環境，採自然晝光利用與即時動態自動調光系統的整合，除了增加光環境的豐富性，尚能減少電力使用；(3) 採用多迴路照明分區設計，可提供多元照明情境外，亦有助於瞭解不同型態的照明能耗特性。

本文主要針對國道高速公路服務區便利商店的照明環境特性進行設計，該光環境類似於獨棟型態或路口單邊騎樓型態建築，較適用於郊區或許多觀光地區的便利商店，至於都會區常見的附屬建築型態之便利商店常坐落於高樓

大廈中，其光環境可能與本案例有所差異。若為了適配於更多便利商店的照明情境設計，尚須進一步分析各種類型的建築空間，將其光環境特性、情境設計、以及實驗參數等，進行分析、歸納與分類，如此將能更廣泛應用於不同型態便利商店的照明建置。

本文針對店家在不同時段與空間搭配照明環境的調節，可以有效降低能耗，但消費者能否接受各種照明情境之變化，尚未進一步評估分析。展望未來，應可考慮整合數值模擬與田口方法於多種因子評估，考慮建築空間、照明情境變化與消費者感受度的關聯性，瞭解如何在完善顧客滿意度前提下可以更有效節能。

## 誌謝

本研究成果承蒙「經濟部業界能源科技專案」支持，謹此致謝。

## 參考文獻

1. 王昱婷(2012)，探討LED眩光程度與色溫對於辦公室人員的影響，私立元智大學工業工程與管理學系碩士論文。
2. 李厚強(2002)，人工光源之照度及色溫對視覺感知影響與照明方式調查研究-以住宅客廳為例，私立中原大學室內設計研究所碩士學位論文。
3. 洪晨滄(2013)，台灣便利商店設備耗能推估之研究，私立朝陽科技大學建築系建築及都市設計碩士班碩士論文。
4. 胡志堅，鄭忠志，吳孝原，趙念慈(2013)，適用單邊採光辦公空間之光源融合感控系統分析與建置，第八屆智慧生活科技研討會，台灣台中，pp. 28-34。
5. 袁征(2014)，基於田口方法的道路照明精細化設計，照明工程學報，25(1): pp. 62-66。
6. 葉怡成，吳沛儒(2009)，基於類神經網路與交叉驗證法之田口方法，品質學報，16(4):

- 261-279。
7. 郭柏巖, 傅任淇, 卓鎮顯(2013), 綠色便利商店能源分級認證之研究, 台灣建築學會「建築學報」, 第84期: pp.17-39。
  8. 溫琇玲(2011), 智慧建築解說與評估手冊 2011年版, 內政部建築研究所。
  9. 張謙允, 陳鴻昌, 黎品成(2009), 白光LED燈具之室內照明視知覺偏好, 科技學刊, 第18卷科技類第一期: pp. 59-72。
  10. 趙念慈, 蕭大誠, 鄭忠志, 胡志堅, 吳孝原(2013), 智慧綠環境改造推動-以便利商店光環境體驗設計為例, 電機月刊, 2013年12月號: pp. 132-147。
  11. 劉宗泓(2004), 高速公路服務區小客車停車需求之研究, 私立逢甲大學交通工程與管理學系研究所碩士論文。
  12. 劉彥夫(2009), 桌上型人工光源之色溫與演色性對視覺績效及視覺疲勞影響之研究, 私立大同大學工業設計研究所碩士論文。
  13. Ali, N. A. M., Fadzil, S. F. S., & Mallya, B. L. (2009). Improved illumination levels and energy savings by uplamping technology for office buildings. In Computer Science and Information Technology-Spring Conference, 2009. IACSITSC'09. International Association of (pp. 598-603). IEEE.
  14. Archmeter, <http://www.archmeter.com>
  15. Choi, A. S., & Mistrick, R. G. (1998). Analysis of daylight responsive dimming system performance. Building and Environment, 34(3), 231-243.
  16. Chow, S. K., Li, D. H., Lee, E. W., & Lam, J. C. (2013). Analysis and prediction of daylighting and energy performance in atrium spaces using daylight-linked lighting controls. Applied Energy, 112, 1016-1024.
  17. Dialux, <http://www.dial.de/DIAL/cn/dialux/download.html>
  18. Estes Jr, J. M., Schreppler, S., & Newsom, T. (2004). Daylighting prediction software: comparative analysis and application. Energy Systems Laboratory, Texas A&M University.
  19. Galasiu, A. D., & Veitch, J. A. (2006). Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review. Energy and Buildings, 38(7), 728-742.
  20. Hu, C. J., Cheng, C. C., Wu, H. Y., & Chao, N. T. (2012). A Study of the Lighting Control System for a Daylit Office. In Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology (No. 67). World Academy of Science, Engineering and Technology.
  21. Li, D. H. (2010). A review of daylight illuminance determinations and energy implications. Applied energy, 87(7), 2109-2118.
  22. Lin, C. F., Wu, C. C., Yang, P. H., & Kuo, T. Y. (2009). Application of Taguchi method in light-emitting diode backlight design for wide color gamut displays. Journal of display technology, 5(8), 323-330.
  23. Lin, C. Y., Marshall, D., & Dawson, J. (2013). How Does Perceived Convenience Retailer Innovativeness Create Value for the Customer?. International Journal of Business and Economics, 12(2), 171-179.
  24. Martirano, L. (2011, September). A smart lighting control to save energy. In Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS), 2011 IEEE 6th International Conference on (Vol. 1, pp. 132-138). IEEE.
  25. Quartier, K., Vanrie, J., & Van Cleempoel, K. (2014). As real as it gets: What role does lighting have on consumer's perception of atmosphere, emotions and behaviour? Journal of Environmental Psychology.
  26. Roisin, B., Bodart, M., Deneyer, A., & D'herdt,



- P. (2008). Lighting energy savings in offices using different control systems and their real consumption. *Energy and Buildings*, 40(4), 514-523.
27. Shikder, S. (2009). Evaluation of four artificial lighting simulation tools with virtual building reference. In *Proceedings of the 2009 Summer Computer Simulation Conference* (pp. 430-437). Society for Modeling & Simulation International.
28. Soori, P. K., & Vishwas, M. (2013). Lighting control strategy for energy efficient office lighting system design. *Energy and Buildings*, 66, 329-337.
29. Taguchi, G., & Clausing, D. (1990). Robust quality. *Harvard Business Review*, 68(1), 65-75.
30. Yang, W. H., & Tarng, Y. S. (1998). Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, 84(1), 122-129.
31. Yun, G. Y., Kim, H., & Kim, J. T. (2012). Effects of occupancy and lighting use patterns on lighting energy consumption. *Energy and Buildings*, 46, 152-158.

## Energy Saving Analysis of Lighting System for Convenient Store

Chih-Jian Hu<sup>1\*</sup> David Hsiao<sup>2</sup> Chung-Chih Cheng<sup>1</sup>  
Hsiao-Yuan Wu<sup>1</sup> Nien-Tzu Chao<sup>1</sup>

### ABSTRACT

This study selects convenient store, as the design target for environmental renovation of smart green buildings. This study investigates the lighting environments of two types of activity zones- working and non-working, in the convenient store. The environmental experience design is accomplished by introducing natural resources with passive designs and integrating with artificial environment. There are four experience design issues on lighting environment. They are (1) to provide three scenarios- daylight, warm night, homecoming, with wall illumination, (2) to make the hot food zone a focal point, (3) to align ceiling luminaire layout parallel to shelf, (4) to introduce daylight and integrate with artificial lighting. Through the in-situ measurements, it has been found that the energy efficiency of lighting of the convenient store can be significantly increased.

**Keywords:** Building energy saving, Lighting system, Daylight use, Sensor, Convenient store

---

<sup>1</sup> Researcher, Green Energy and Environment Research Laboratories, ITRI

<sup>2</sup> Director, Operation and Development Division, Family Mart

\* Corresponding Author, Phone: 886-3-5917300, E-mail: chihjianhu@itri.org.tw

Received Date: April 11, 2014

Revised Date: May 23, 2014

Accepted Date: June 27, 2014