

# 高中教室環境品質對學習效率之影響——以中台灣為例

## Relationship between the Indoor Environment Quality and Learning Performance in High School Classrooms in Central Taiwan

林偉豪<sup>1</sup>、李孟杰<sup>1</sup>、王寧添<sup>2</sup>、梅國威<sup>2</sup>  
Wai-Hou Lam<sup>1</sup>, Meng-Chieh Lee<sup>1</sup>, Ling-Tim Wong<sup>2</sup>, Kok-Wei Mei<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立臺中科技大學室內設計系

<sup>1</sup> Department of Interior Design, National Taichung University of Science and Technology  
E-mail : keilwh@hotmail.com  
E-mail : mcjl@nutc.edu.tw

<sup>2</sup> 國立香港理工大學屋宇設備系

<sup>2</sup> Department of Building Service, The Hong Kong Polytechnic University  
E-mail : beltw@polyu.edu.hk  
E-mail : behorace@polyu.edu.hk  
NSC : 101-2221-E-025-016

### 摘要

高中學生平均每天在教室上課達8小時，教室環境品質之優劣直接影響學生的學習效率。在台灣，為提供白天工作之學生有學習的機會，夜校形態的學校相繼產生。然而，白天與夜晚之室外環境條件差異性大，加上自然通風與空調使用對室內環境品質的影響，因此，本研究將探討各高中教室形態對室內環境品質及學習效率之影響探討。

本研究於2012年9月至11月針對台灣高中教室進行現場調查，並收集9間教室樣本共272位學生。研究發現在自然通風及空調教室中，日、夜校學生之總室內環境品質滿意度均對學習效率具明顯影響性。當中，音環境對日校學生之學習效率影響性最大(自然通風時  $p$  值為 0.01，空調教室時  $p$  值為 0.008)，說明隔音設備為日校教室之重要考慮。照度對夜校學生之學習效率影響最大，因夜校需採用人工照明，照明環境便成為重要考慮因子之一。在夜校空調教室中，室內環境品質與學習效率具高顯著性( $p$  值 $<0.001$ )，說明夜校教室通風換氣的重要性。

**關鍵字詞：**室內環境品質、學習效率、高中教室、學制、自然通風與空調教室

### Abstract

Students' learning performance is directly affected by the indoor environment quality (IEQ) in a classroom. Due to the long learning time (at least 8 hours per day) of high school students in Taiwan, establishing a fine IEQ classroom is an essential issue nowadays. Hence, the purpose of this study is to investigate the relationship between the IEQ and the learning performance of day school students and night school students in high school buildings in Taiwan.

Field surveys and questionnaires were conducted from September 2012 to November 2012 to obtain the objective physical parameters, subjective questionnaire of environmental sensation and self-report of learning performance. A total of 272 high-school students' samples in 9 different classrooms were collected. Aural comfort was the main impact factor to the learning performance of day school students in both natural ventilated and air-conditioned classrooms ( $p=0.01$  in NVs and  $p=0.008$  in ACs). Visual comfort was the main impact factor to the learning performance of night school students in natural ventilation classrooms. However, indoor air quality was the strongest impact factor of night school students in air-conditioned classrooms ( $p<0.001$ ). These results can help providing improvement methods to achieve an optimum environment quality for most students expected.

**Keywords:** IEQ; Learning performance; High school; Natural ventilated and Air-conditioned classroom

## 1. 前言

教室為培育學生知識的場所，台灣高中學生每天在教室環境中上課達 8 小時，在長時間及高密度的環境中上課，容易造成學生的不舒適感，倘若缺乏良好的室內環境設計，除影響人員對環境的滿意度，也間接影響學生學習效率<sup>[1-5]</sup>。在台灣，為提供在職學生讀書的權利，夜校的學制模式相繼產生，而夜校的校園環境通常合併在日校的校園環境，形成兩種學制常在同一間教學環境中。因日校學生長時間在教室上課，容易產生室內的二氧化碳濃度增加<sup>[6]</sup>，若缺乏足夠的通風換氣量，會對夜校學生造成影響；此外，白天與夜晚的室外物理環境有明顯差異，造成日校與夜校對教室環境品質需求之不同。室內環境品質分為熱舒適、室內空氣品質、光環境與音環境四項因子，如圖 1。

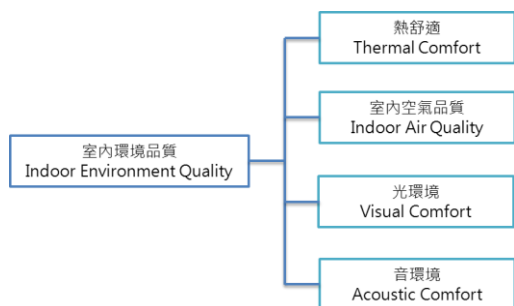


圖 1、室內環境品質因子

國內外已有部分文獻探討綜合室內環境品質對學習效率之影響。然而，各國得到之結果不一，包括 M.C.Lee 等人(音環境)<sup>[1]</sup>、Arianna Astolfi(音環境)<sup>[2]</sup>、S. Murakami 等人(室內空氣品質)<sup>[3][4][5]</sup>。上述結果顯示因外在環境、人種、作業內容等的不同，造成各國研究結果存在差異性，對於室內環境條件之需求也不盡相同，難以把國外之標準運用到台灣。

因此，本研究針對台中地區高中及高職學校之教室及室內人員進行現場調查，目的為探討在各種學制與通風換氣條件下，室內環境品質對學生學習效率之影響性，作為日後環境改善設計之參考。

## 2. 研究方法與步驟

室內環境品質為室內之物理環境情況之評估，然而，人員的不同將會產生對室內環境的不同感受，例如年齡、性別、成長環境等因素的差異，都會造成環境滿意度不盡相同。因此，為了

解台灣高中教室環境品質如何影響學生學習效率，本研究將採用現場調查方法，以得到客觀物理因子、主觀環境感受及自我學習效率評估之數據，並同時進行現場測繪。物理參數將採用逐點測量方法，以探討每位受測者位置之環境條件情況，如圖 2。另外，為探討室內環境如何受外界環境影響，本研究將同時進行室內、外定點測量，作為室內之平均參考值<sup>[7][8][9]</sup>。

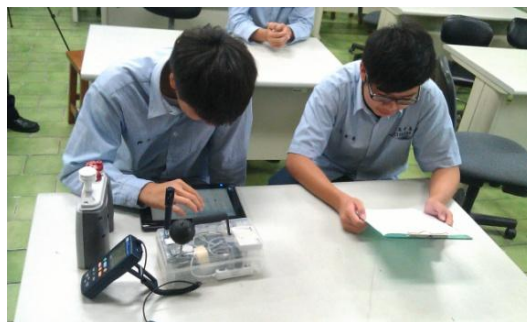


圖 2、逐點測量之情況

根據現場調查收集之數據，找出在不同學制及通風換氣條件下，各項環境品質因子對學習效率之影響強度，可透過公式(1)找出其相關係數，當  $r$  值是正數時，為正相關； $r$  值是負數，則為負相關，並以  $|r| \geq 0.75$  為顯著性相關。

$$r = \frac{\sum \theta_i \delta_i - n\bar{\theta}\bar{\delta}}{\sqrt{[\sum \theta_i^2 - n(\bar{\theta})^2][\sum \delta_i^2 - n(\bar{\delta})^2]}} \quad (1)$$

$r$  為相關係數， $\theta$  為預測感知投票(-3 至+3)， $\delta$  為學習效率百分比。

### 2.1 測量儀器

本研究採用之逐點測量儀器為整合之 IEQ 儀器組，體積相對較小，每 30 秒自動讀取一筆數據。IEQ 儀器組包括下列儀器：溫度計、輻射溫度計、濕度計、風速計、CO<sub>2</sub> 測量儀、噪音計與照度計，加上用於填寫問卷之平板電腦，如圖 3a。室內、外固定點採用之測量儀器組，為 Stazioni per il monitoraggio ambientale 之環境監測工作站 (MW8505)，包括溫度計、濕度計、輻射溫度計、風速計、CO<sub>2</sub> 測量儀及資料記錄器與分析軟體等整合工作站，如圖 3b。儀器置於教室內中心點的儀器，並參考 ASHRAE Standard 62.1<sup>[10]</sup>，高度採坐姿呼吸帶的 110cm，如圖 4。於逐點量測時，定點持續量測環境參數，作為背景參考值。



圖 3a、逐點測量儀器 圖 3b、定點測量儀器

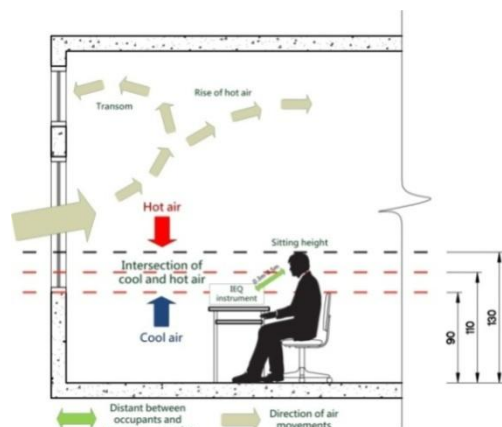


圖 4、逐點測量位置<sup>[10]</sup>

## 2.2 問卷設計

傳統紙筆問卷調查除浪費大量紙張，也會因人為輸入錯誤而產生誤差<sup>[11]</sup>。本研究使用電子問卷調查，以達更準確處理相關數據評估。問卷設計分為四大部分：第一部分為基本資料，包括性別、年齡、著衣量值等等；第二部分為環境主觀感受調查，探討物理條件，溫度、濕度、空氣品質、風速、照度及噪音對於人體主觀感受影響；第三部分為學習效率評估，分為計算能力、閱讀能力、理解能力、寫作能力及總學習能力評估；第四部分為室內環境改善部分，調查學生對於教室環境中，希望改善之項目。問卷設計參照 PMV 方法的七項標準作為量化換算，並將所有選項以質性列於問卷當中，如表 1。

表 1、問卷設計

基本資料								
性別/ 年齡/ 是否靠近窗戶/ 是否受窗影響/ 是否開啟冷氣/ 是否開啟風扇/ 著衣量/								
環境感受								
溫熱	冷	涼	有點涼	舒適	有點熱	溫暖	熱	
濕度	非常乾	乾	有點乾	舒適	有點濕	濕	非常濕	
IAQ	非常悶	悶	有點悶	舒適	有點好	好	非常好	
風速	無風	和風	微風	舒適	輕風量	中強風	強風	

亮度	非常暗	暗	有點暗	舒適	有點亮	亮	非常亮	
噪音	非常嘈	嘈	有點嘈	舒適	有點靜	寧靜	非常靜	
整點	非常差	差	有點差	舒適	稍好	良	非常好	

### 學習效率評估

閱讀	0%	15%	30%	50%	70%	85%	100%	
理解	0%	15%	30%	50%	70%	85%	100%	
計算	0%	15%	30%	50%	70%	85%	100%	
寫作	0%	15%	30%	50%	70%	85%	100%	
整體學習	0%	15%	30%	50%	70%	85%	100%	

## 3. 現場調查與測量

本研究於 2012 年 9 月到 12 月期間，針對台灣中部地區高中及高職教室進行現場調查，共取得 9 間教室樣本及 272 學生樣本。當中，日校教室共 4 間(116 名學生)、夜校教室共 5 間(156 名學生)；空調教室共 5 間、自然通風教室共 4 間。

### 3.1 物理參數調查結果

各教室之資料及室內環境品質參數結果如表 2。根據結果發現，不論日校或夜校，空調教室(ACs)之室內溫度較自然通風教室(NVs)低，當中，夜校教室平均之室內溫度較日校教室低。在空氣環境方面，自然通風教室之室內二氧化碳(CO<sub>2</sub>)濃度遠低於空調教室，代表自然通風能相對降低室內二氧化碳濃度。在光環境方面，夜校因需要開啟人工燈源作為照明器具，因此其室內照度比使用局部人工燈源之日校來得高。在音環境方面，少數空調教室出現噪音稍大之情況(教室 F 和 G)，現場也發現噪音源來自於冷氣機。

表 2、物理參數調查結果

校制	日校				夜校				
	冷氣調控 (AC)		自然通風 (NV)		冷氣調控 (AC)		自然通風 (NV)		
教室	A	B	C	D	E	F	G	H	I
學生人數	46	23	23	24	30	26	34	48	18
面積 (m <sup>2</sup> )	71	68	100	104	111	158	125	77	68
室內氣溫 (°C)	26.7	26.2	28	27.7	25.5	25.2	24.5	27.1	27.4
CO <sub>2</sub> 濃度 (ppm)	3172	1239	910	655	2053	2238	1540	596	1007
照度 (lux)	293	219	221	296	433	557	606	422	279
背景噪音 (dB)	59.5	61.8	62	59.9	72	73.7	72.6	72	61.7

### 3.2 學習效率調查結果

學習效率評估結果如表 3。根據結果顯示，夜校學生對於學習效率自我評估較日校學生高。若深入探討通風換氣條件，發現日校學生在自然通風教室之學習效率比在冷氣教室高；相反地，夜校學生在冷氣教室之學習效率比在自然通風教室高。本研究也發現四項學習效率因子及總學習效率趨勢，均受校制及通風條件影響。

表 3、學習效率調查結果

	日校		夜校	
	空調教室 (ACs)	自然通風教室(NVs)	空調教室 (ACs)	自然通風教室(NVs)
閱讀能力	58	63	67	63
理解能力	58	63	65	63
計算能力	52	61	58	57
寫作能力	65	71	72	67
總體學習能力	64	69	71	68

### 4. 討論與分析

本研究利用線性迴歸方法探討室內環境品質各因子對學習效率之影響，並進一步分析學制(日、夜校)及通風換氣條件(空調與自然通風)對學習效率之影響(圖 5—圖 9)。根據總環境滿意度與學習效率分析結果顯示(圖 5a、5b)，日、校學生在空調教室或自然通風教室中，整體環境滿意度均對學習效率有極大的顯著性(所有  $p$  值均小於 0.05)。

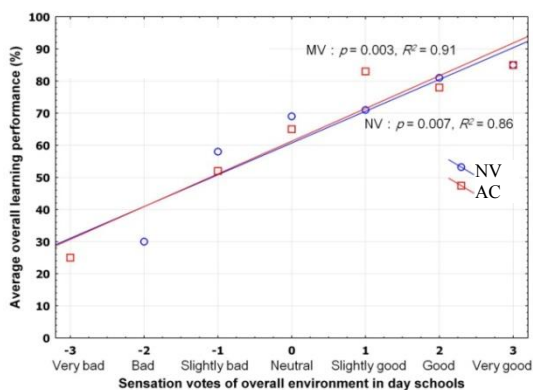


圖 5a、整體環境滿意度與日校學生之學習效率

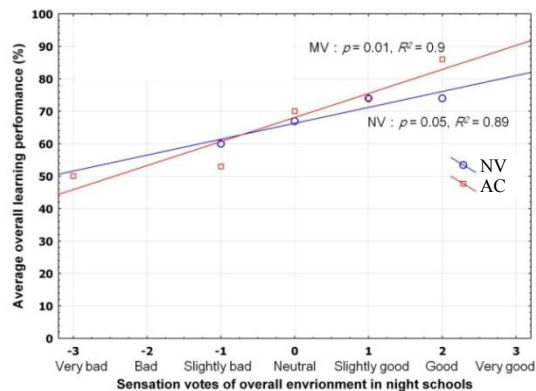


圖 5b、整體環境滿意度與夜校學生之學習效率

根據熱環境與學習效率分析結果顯示(圖 6a、6b)，學生在偏冷或適中之環境有較高之學習效率 ( $PMV=-1,0$ )，但相關性較低。根據空氣環境與學習效率分析結果顯示(圖 7a、7b)，空氣環境對在空調教室之日校學生具有顯著性( $p<0.05$ )，但對自然通風教室之日校學生不具相關性( $p=0.11$ )；在夜校方面，空調教室的空氣環境與夜校學生學習效率具有極大的顯著性( $p<0.001$ )，但對於自然通風教室之學生顯著性較低( $p=0.1$ )。根據光環境與學習效率分析結果顯示(圖 8a、8b)，光環境對日校學生學習效率不具顯著性；相反，光環境與夜校學生之學習效率具顯著性，尤其在空調教室中( $p<0.01$ )。根據音環境與學習效率分析結果顯示(圖 9a、9b)，音環境與日校學生學習效率有極大的顯著性(自然通教室： $p=0.01$ ；空調教室： $p<0.01$ )；在夜校，音環境僅對只對空調教室之學生產生影響。

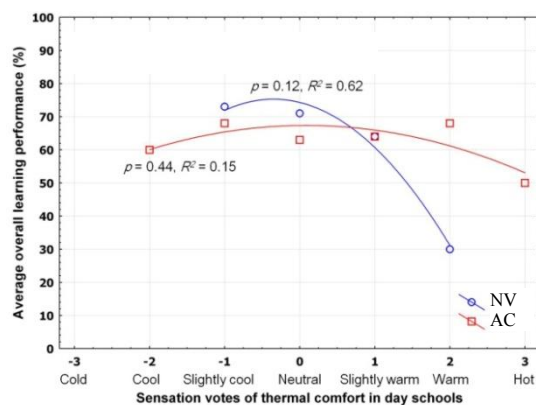


圖 6a、熱環境與日校學生之學習效率

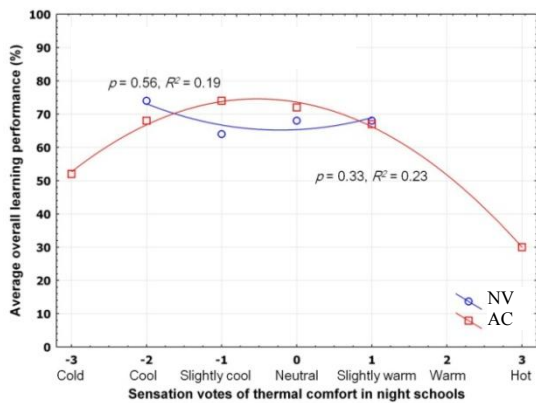


圖 6b、熱環境與夜校學生之學習效率

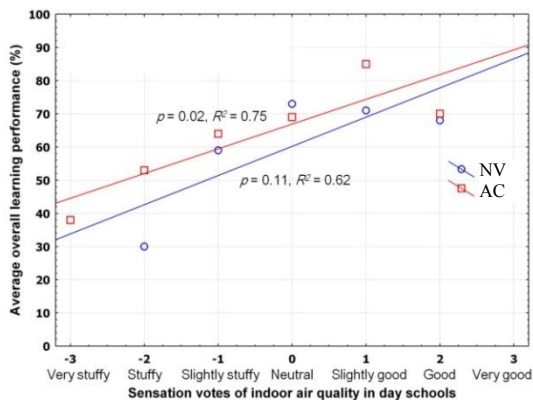


圖 7a、空氣品質與日校學生之學習效率

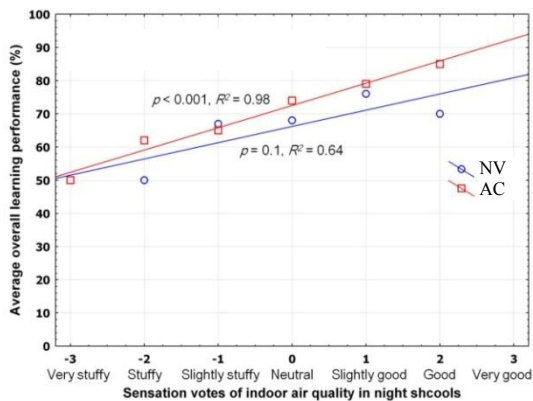


圖 7b、空氣品質與夜校學生之學習效率

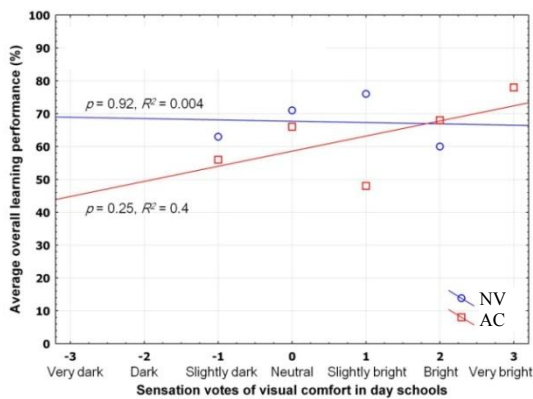


圖 8a、光環境與日校學生之學習效率

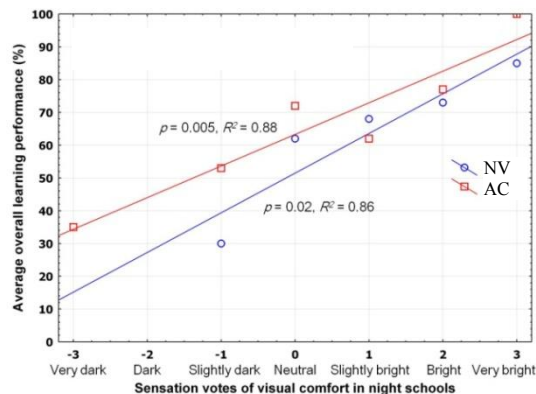


圖 8b、光環境與夜校學生之學習效率

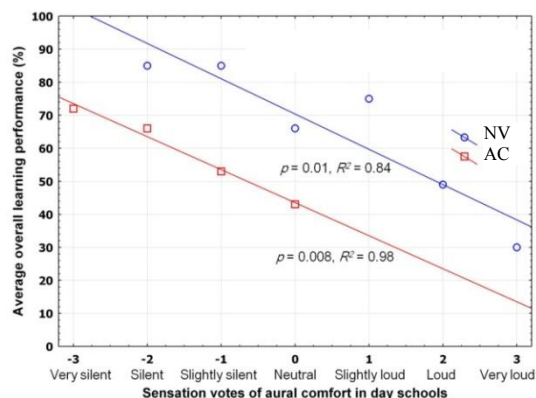


圖 9a、音環境與日校學生之學習效率

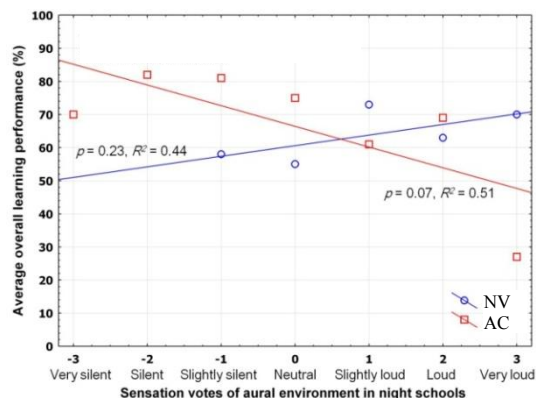


圖 9b、音環境與夜校學生之學習效率

各室內環境品質因子與學習效率之相關係數整理如表 4。在日校，不管空調教室或自然通風教室，音環境均是影響學習效率之最強因子，而其他三項因子影響性較低。在夜校，光環境影響著學生之學習效率，說明夜校環境因多採用人工照明，室內之照明計劃直接影響著人員之環境舒適度；而在夜校的空調教室中，空氣品質為最

強之影響因子( $p$  值 $<0.001$ ), 說明了夜校之學習環境容易受日校之影響, 加上空調開啓時, 窗戶關閉所造成室內通風不佳, 因為對學生之學習效率產生很大影響。

表 4、室內環境品質與學習效率之相關係數

	日校		夜校	
	空調教室 (ACs)	自然通風教室(NVs)	空調教室 (ACs)	自然通風教室(NVs)
熱環境	-0.88	-0.39	-0.44	-0.48
空氣環境	0.79	0.87*	0.8	0.99**
光環境	-0.07	0.63	0.75	0.94**
音環境	-0.92*	-0.99**	0.66	-0.72
整體環境	0.93**	0.95**	0.94*	0.95*

\*\* $p$  值 $<0.01$  (高顯著性) \* $p$  值 $<0.05$  (顯著性)

## 5. 結論

室內環境品質之優劣影響著學生之學習效率, 本研究欲探討室內環境品質對日、夜校學生學習效率之影響, 並分析空調教室與自然通風教室之差異性。

根據現場調查結果發現, 音環境對日校學生之學習效率影響性最大, 因此建議日校多採用隔音材料。在夜校, 光環境影響著學生之學習效率, 因此建議在燈具計劃上應多考量室內照度、均齊度或眩光等問題; 而在空調教室中, 空氣品質為最強影響因子, 因此, 良好的通風換氣條件便成為最重要的考量因素。

## 6. 誌謝

本研究受行政院國家科會委員會之支持, 計畫編號 NSC 101-2221-E-025-016, 使本研究得以順利進行, 特此致上感謝之意。並感謝以下學校提供現場測量: 國立台中高級工業職業學校、國立彰化師範大學附屬高級工業職業學校、青年高中及國立臺中科技大學附設高商進修學校。

## 7. 參考文獻

- 1.M.C.Lee, K.W.Mui, L.T.Wong, E.W.M.Lee and C.T.Cheung. Student learning performance and indoor environmental quality (IEQ) in air-conditioned university teaching rooms. Building and Environment, 49(1)238-244, 2011.
- 2.Astolfi A. and Pellerey F.. Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms. Journal of Acoustical Society of

- America, 123, 1163-173, 2008.
- 3.S. Murakami, T. Kaneko, K. Ito and H. Fukao, 2007, "Study on the Productivity in Classroom (Part 1): Field Survey on Effects of Air Quality/Thermal Environment on Learning Performance", Clima WellBeing Indoors
- 4.K. Ito, S. Murakami, T. Kaneko and H. Fukao, 2007, "Study on the Productivity in Classroom (Part 2): Realistic Simulation Experiment on Effects of Air Quality/Thermal Environment on Learning Performance", Clima WellBeing Indoors
- 5.Ken-ichi KAMEDA, Shuzo MURAKAMI, Kazuhide ITO and Takamasa KANEO, 2007, "Study on the Productivity in Classroom (Part 3): Nationwide Questionnaire Survey on the Effects of IEQ on Learning Performance", Clima WellBeing Indoors
- 6.Chang, F. H., Li, Y. Y., Tsai, C. Y. and Yang, C. R., 2009, "Specific Indoor Environmental Quality Parameters in College Computer Classrooms", Int. J. Environ. Res., 3(4):517-524
- 7.C.F.Chang. The Study of Optimized Temperature Setting of Air-Conditioned Office in Metropolitans in Subtropical Taiwan. National University of Science and Technology, Thesis, 2012.
- 8.M.C. Lee, C.F. Chang, L.T. Wong, K.W. Mui and C.C. Lee. Thermal comfort between natural and mechanical ventilation in subtropical classroom., 11th Asia Pacific Conference on the Built Environment, (APCBE), Jakarta, Indonesia, 2011.
- 9.M.C. Lee and C.F. Chang. Study of energy conservation between natural and mechanical Ventilation in subtropical classroom, International Conference of Multimedia Technology, 7(1), 6036-6040 (IEEE Catalog Number: CFP1153K-PRT, EI), 2011.
10. ASHRAE. ASHRAE Standard 62 Ventilation for acceptable air quality. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 2010.
11. M.C. Lee, L.T. Wong and K.W. Mui. Use of electronic questionnaire surveys for indoor environment quality assessment in classrooms. 10th Asia Pacific Conference on the Built Environment, Green Energy for Environment, Kaohsiung, Taiwan, 2009.