

綠建築與居住環境評估指標之研究

-- 建築室內環境保健控制綜合指標之研究

摘 要

隨著人類科技文明的迅速發展，與人口數的急遽增加，都市集中的現象愈形顯著。在有限的土地資源上，都市住宅的高層化、高密度化、資訊化以及人工新建材的大量引進等已無法避免，再加上地球大環境因人為破壞而日益惡劣，複雜與低品質的住居環境將嚴重影響到居住者的健康。舉凡室內音環境、光照度與空氣環境之良窳、熱舒適度之狀態、綠化植栽之增益與電磁環境之危害等，皆會影響居室人員健康之權益，在構築健康建築環境體系之前提下，多方位綜合評估各成分因子對室內保健環境之影響層面是有其必要性的。

本研究根據相關文獻歸納、分析等方法，先行研擬出生活噪音、生活振動、光照度、熱舒適度、室內空氣品質與電磁環境等「建築室內環境保健控制」綜合評估之指標群及其個別之評估項目，透過專家學者之諮詢及「分析層級程序法，AHP」，在考量指標群與

個別項目的獨立性與決策者一致性檢定的原則下，賦予指標群與個別項目之權重，並研擬建築室內環境保健控制評估指標。

後續工作項目，本研究將以上述階段性成果為基礎，研擬各評估指標所需之測試方法、儀器設備與指標基準。並利用負面決策因子評估法提供個案室內物理環境品質改善先後順序上的參考依據，配合前期相關研究所提供的診斷流程，做出適當的改善對策，以提高室內環境保健控制品質。基於本研究案之時效性與人力、實驗設備之配置限制，本階段之研究將以辦公建築與住宅類案例作為上述綜合指標試操作之樣本，以確立研究方法之可行性。

目 錄

(第一部份：評估指標之建立)

第一章	緒論	
1-1	研究目的與動機.....	1
1-2	研究架構與流程.....	2
1-3	預期成果.....	4
第二章	健康舒適的室內環境	
2-1	健康舒適的室內環境—多方位評估系統之建立	5
2-2	健康舒適的室內音環境	
2-2-1	建築室內音環境概論	7
2-2-2	建築室內音環境指標	7
2-3	健康舒適的室內光環境	
2-3-1	建築室內光環境概論	14
2-3-2	建築室內光環境指標	15
2-4	健康舒適的室內溫熱環境	
2-4-1	建築室內溫熱環境概論	20
2-4-2	建築室內溫熱環境指標	23
2-5	健康舒適的室內空氣環境	
2-5-1	建築室內空氣環境概論	24
2-5-2	建築室內空氣環境指標	27
2-6	健康舒適的室內振動環境	

2-6-1	建築室內振動環境概論	28
2-6-2	建築室內振動環境指標	30
2-7	健康舒適的室內電磁環境	
2-7-1	建築室內電磁環境概論	32
2-7-2	建築室內電磁環境指標	34
2-8	其他影響室內環境健康舒適性之因子	
2-8-1	室內水環境與綠環境	37
2-8-2	室內空間環境.....	37
2-9	小結.....	38
第三章	建築室內環境保健控制評估體系之建立	
3-1	評估指標之意義與應用	40
3-2	室內環境保健控制評估指標之意義與應用	46
3-3	室內環境保健控制評估指標與 綠建築評估體系之關連性探討	49
3-4	室內環境保健控制評估層級體系之建立	51
3-5	「分析層級程序法 (AHP Method)」之理論基礎	53
3-6	室內綜合環境保健控制評估指標之相對權重分析	58
3-7	小結.....	62
 (第二部份：評估方法及實施程序)		
第四章	室內綜合環境之評估程序	63
4-1	現場初勘.....	64
4-2	測試計劃之擬定	
4-2-1	背景資料之查核	65

4-2-2	室內綜合環境之現場實測	66
4-2-3	居室人員心理反應之測定	81
4-3	「實測人員工作手冊」之製作	84
4-4	測試結果之彙整.....	85
第五章	室內綜合環境之評估方法	
5-1	室內綜合環境之物理評估基準	
5-1-1	室內音環境之評估基準	91
5-1-2	室內光環境之評估基準	92
5-1-3	室內溫熱環境之評估基準	93
5-1-4	室內空氣環境之評估基準	93
5-1-5	室內非游離性電磁環境之評估基準	99
5-2	室內綜合環境之心理評估基準	100
5-3	室內環境綜合評估指標 $IEI_{(AHP)}$ 之擬議.....	102
5-4	室內環境綜合評估結果之呈現	104
第六章	結論與建議	
6-1	結論.....	111
6-2	未來研究課題之建議	112
參考文獻	113
附錄一	期初、期中、期末審查會評審意見執行現況	115
附錄二	實測人員工作手冊示範例	120

圖 目 錄

圖 1-1	研究流程圖	3
圖 2-2-1	噪音級與時間累積分佈曲線	10
圖 2-4-1	ASHRAE Standard 55a-95 中規範之新有效溫度 ET*	21
圖 2-4-2	PMV-PPD 關係曲線	23
圖 2-5-1	室內空氣污染物質分類	24
圖 2-5-2	建築物室內空氣之主要污染源	25
圖 2-6-1	總合頻率響應	28
圖 2-6-2	人體對於振動感受量之修正	29
圖 2-6-3	對各振動方向進行評估時，各振動軸的定義	30
圖 2-6-4	鉛直方向的振動曝露基準 (1) 疲勞-效率減退邊界	31
圖 2-6-5	水平方向的振動曝露基準 (1) 疲勞-效率減退邊界	31
圖 2-7-1	電波之分域與其發生源	33
圖 3-1-1	指標加權方法之分類	45
圖 3-2-1	相關環境品質評估指標之涵蓋面與屬性	47
圖 3-3-1	室內環境保健控制評估指標於綠建築評估體系之定位	49
圖 3-4-1	室內環境保健控制評估層級體系	52
圖 3-5-1	AHP 法操作流程圖	53
圖 3-5-2	AHP 層級結構圖	54
圖 3-6-1	室內綜合環境因子相對權重之分析	58
圖 3-6-2	室內音環境因子相對權重之分析	59
圖 3-6-3	室內光環境因子相對權重之分析	60
圖 3-6-4	室內溫熱環境因子相對權重之分析	60
圖 4-1	室內綜合環境之評估工作流程	63
圖 4-2-1	本研究建議之室內生活噪音現場測試儀器系統	67
圖 4-2-2	數字型雷射粉塵計之檢出器構造	71
圖 4-2-3	室內空氣 CO、CO ₂ 濃度量測原理	72

圖 4-2-4 「光聲學紅外線光譜分析儀」之偵測原理.....	75
圖 4-2-5 示蹤氣體濃度衰減狀況.....	78
圖 4-2-6 儀器系統連線示意圖.....	80
圖 5-1-1 本研究採用之 PSI _i 值換算程序.....	96

表 目 錄

表 2-2-1 各國噪音評估指標之使用實況.....	8
表 2-2-2 噪音測定值轉化成其他指標之計算式.....	9
表 2-2-3 各類建築型態適用之噪音評估指標與噪音規範值.....	12
表 2-2-4 本研究建議採用之建築室內音環境指標.....	13
表 2-3-1 JIS (Z-9110) 各種場所之照度推薦值.....	15
表 2-3-2 CNS 辦公室之照度標準.....	16
表 2-3-3 各種空間的基準晝光率建議值.....	18
表 2-3-4 本研究建議採用之建築室內光環境指標.....	19
表 2-4-1 本研究採用之建築室內熱環境指標.....	23
表 2-5-1 室內污染源所產生的污染物質.....	26
表 2-5-2 各國室內空氣品質標準或建議值.....	26
表 2-5-3 本研究建議採用之建築室內空氣環境指標.....	27
表 2-6-1 人體對於振動感受量之修正.....	29
表 2-7-1 本研究採用之建築室內極低頻電磁環境指標.....	36
表 2-9-1 室內綜合環境指標完整歸納.....	38
表 2-9-2 「實用版」室內綜合環境評估指標.....	39
表 3-1-1 資料單位轉換方式之比較.....	44
表 3-2-1 環境指標的種類.....	46
表 3-3-1 國際間既有綠建築評估工具 (指標) 之彙整.....	50
表 3-5-1 AHP 法中標稱尺度分佈.....	55
表 3-5-2 AHP 法中階數 n 及其相對的隨機指標 R.I.值.....	57
表 3-6-1 本研究建議之室內綜合環境領域相對評估權重.....	59
表 3-6-3 建築室內環境保健控制 空氣環境指標之擬議.....	61
表 3-6-2 台灣地區氬氣污染相關研究整理.....	61
表 3-7-1 建築室內環境保健控制評估指標.....	62
表 4-1-1 室內綜合環境測試必須先行取得資訊之建議.....	64

表 4-2-1	本研究建議之室內生活噪音現場測試儀器	66
表 4-2-2	本研究建議之室內光環境測試儀器	67
表 4-2-3	本研究建議之室內溫熱環境測試儀器特性	68
表 4-2-4	室內浮游粉塵濃度量測方法的分類	69
表 4-2-5	浮游粉塵濃度量測儀器一覽表	70
表 4-2-6	CO、CO ₂ 濃度量測儀器一覽表	72
表 4-2-7	甲醛及 TVOC 濃度的量測系統比較	74
表 4-2-8	本研究測試儀器之特性	76
表 4-4-1	室內綜合環境評估 背景資料記錄表	85
表 4-4-2	室內綜合環境評估 音環境測試結果記錄	86
表 4-4-3	室內綜合環境評估 光環境測試結果記錄	87
表 4-4-4	室內綜合環境評估 溫熱與空氣環境測試結果記錄	88
表 4-4-5	室內綜合環境評估 非游離性電磁環境測試結果記錄	89
表 4-4-6	室內綜合環境評估 辦公室空間感受調查結果記錄	90
表 5-1-1	各國室內噪音基準與生活實感對應	92
表 5-1-2	室內綜合環境評估音環境評價點	92
表 5-1-3	室內綜合環境評估光環境評價點	93
表 5-1-4	室內綜合環境評估溫熱環境評價點	93
表 5-1-5	各國室內空氣品質標準或規範值	95
表 5-1-6	環保署環境空氣污染物與污染副指標之對照	94
表 5-1-7	PSI 值與人體健康效應之關連性	94
表 5-1-8	CO ₂ 濃度與病態建築症候之關係	96
表 5-1-9	本研究評估 CO ₂ 濃度與 PSI _i 值對應關係	96
表 5-1-10	環境中甲醛濃度與人體生理反應之關係 以及各國相關法規之量值	97
表 5-1-11	本研究評估甲醛濃度與 PSI _i 值對應關係	97
表 5-1-12	不同之 TVOC 濃度之對人體的刺激程度	98
表 5-1-13	WHO 之總揮發性有機化合物 (TVOC) 提案值	98
表 5-1-14	本研究評估 TVOC 濃度與 PSI _i 值對應關係	98

表 5-1-15	室內空氣污染物與室內空氣環境指標 PSI _i 之對照.....	99
表 5-1-16	室內綜合環境評估空氣環境評價點.....	99
表 5-1-17	世界各國現行低頻電場安全標準.....	100
表 5-1-18	世界各國現行低頻磁場安全標準.....	100
表 5-1-19	室內綜合環境評估 電磁環境評價點.....	100
表 5-2-1	室內綜合環境評估 音環境心理評價點.....	101
表 5-2-2	室內綜合環境評估 光環境心理評價點.....	101
表 5-2-3	室內綜合環境評估 溫熱環境心理評價點.....	101
表 5-2-4	室內綜合環境評估 空氣環境心理評價點.....	101
表 5-2-5	辦公空間室內綜合環境評估 空間感受心理評價點.....	102
表 5-4-1	室內音環境評估結果之呈現.....	105
表 5-4-2	室內光環境評估結果之呈現.....	106
表 5-4-3	室內溫熱環境評估結果之呈現.....	107
表 5-4-4	室內空氣環境評估結果之呈現.....	108
表 5-4-5	室內電磁環境評估結果之呈現.....	109
表 5-4-6	室內環境綜合評估結果之呈現.....	110

第一章 緒論

1-1 研究目的與動機

1-2 研究架構與流程

1-3 預期成果

第一章 緒論

1-1 研究目的與動機

隨著人類科技文明的迅速發展，與人口數的急遽增加，都市集中的現象愈形顯著。在有限的土地資源上，都市住宅的高層化、高密度化、資訊化以及人工新建材的大量引進等已無法避免，再加上地球大環境因人為破壞而日益惡劣，複雜與低品質的住居環境將嚴重影響到居住者的健康。根據內政部建築研究所專題研究「辦公建築室內空氣品質之研究」【1】結果顯示，有 40% 受訪者反映在辦公室內經常有病態建築大樓症候群 (Sick Building Syndrome, SBS) 症狀，經實測結果亦顯示有 30% 的辦公室，其室內空氣品質之實測值遠超出美、日之基準值；事隔 4 年後，該所研究案「辦公建築室內空氣品質與空調設備之診斷研究」【2】中亦顯示出，室內二氧化碳、甲醛及總揮發性有機化合物等空氣污染物濃度的實測結果遠超出國外相關保健基準的個案數佔有相當之比率。在問卷調查中亦發現，有八成二的受訪者常有頭痛、疲倦甚至噁心等身體不適狀況；甚至有一成二的受訪者是每天都有身體不適的症狀；而對辦公建築室內空氣品質整體評價不滿意者，也佔了三成八。由此可看出建築室內空氣品質的問題有越嚴重的趨勢；在振動、噪音方面，自民國七十二年五月政府公佈「噪音管制法」以來，在有關單位接受民眾陳情抗議的公害事件中，振動、噪音案件佔有相當高的比例，箇中包含有高分貝環境噪音、近鄰噪音、樓版衝擊噪音、給排水系噪音與振動等【3】；除此之外，舉凡室內光照度之良窳、熱舒適度之狀態、綠化植栽之增益與電磁環境之危害等，皆會影響居室人員健康之權益，在構築健康建築環境體系之前提下，多方位綜合評估各成分因子對室內保健環境之影響層面是有其必要性的。

在政策面的推動上，行政院於第十六次科技顧問會議「資源與

環境」議題中決議：加強室內空氣品質對人體健康之研究、加強節約能源、噪音管制與減少室內空氣污染物等。其目的為確保國人於高經濟成長外更能擁有優質的生活環境，以維護國民之健康權益。國內對於建築室內環境保健領域之現況調查方面已有頗多研究成果，實著有必要進一步建構室內環境保健控制綜合指標，一方面可清楚地描述或討論相關實測資料代表之深層意義，並尋求問題點之解決方案；再者亦可將關鍵指標轉化為日後使用管理之工具。

因此，本研究之目的，即是以居住者的基本健康需求為基礎，試圖在這惡質且多變的室內環境下提出客觀的保健評估體系與指標，以期住居環境之永續經營。

1-2 研究架構與流程

居室人員藉由生理與心理上的六感(視覺、聽覺、嗅覺、味覺、觸覺及心理)分別與周遭環境(光環境、音環境、空氣環境、飲食環境、溫熱環境及社會環境)應對。在探討居住者所在環境對其生理與心理上影響時，亦必須考量各環境因子的綜合效應。就建築室內環境保健控制綜合指標研究之完整體系而言，可分為以下階段進行各細部探究：

(一) 本期研究

本研究將根據相關文獻歸納、分析等方法，先行研擬出生活噪音、生活振動、光照度、熱舒適度、室內空氣品質與電磁環境等「建築室內環境保健控制」綜合評估之指標群及其個別之評估項目，透過專家學者之諮詢及「分析層級程序法，AHP」，在考量指標群與個別項目的獨立性與決策者一致性檢定的原則下，賦予指標群與個別項目之權重，並研擬建築室內環境保健控制評估指標。同時就國內外既有之相關研究成果，研擬各評估指標所需之測試方法、儀器設備與指標基準。

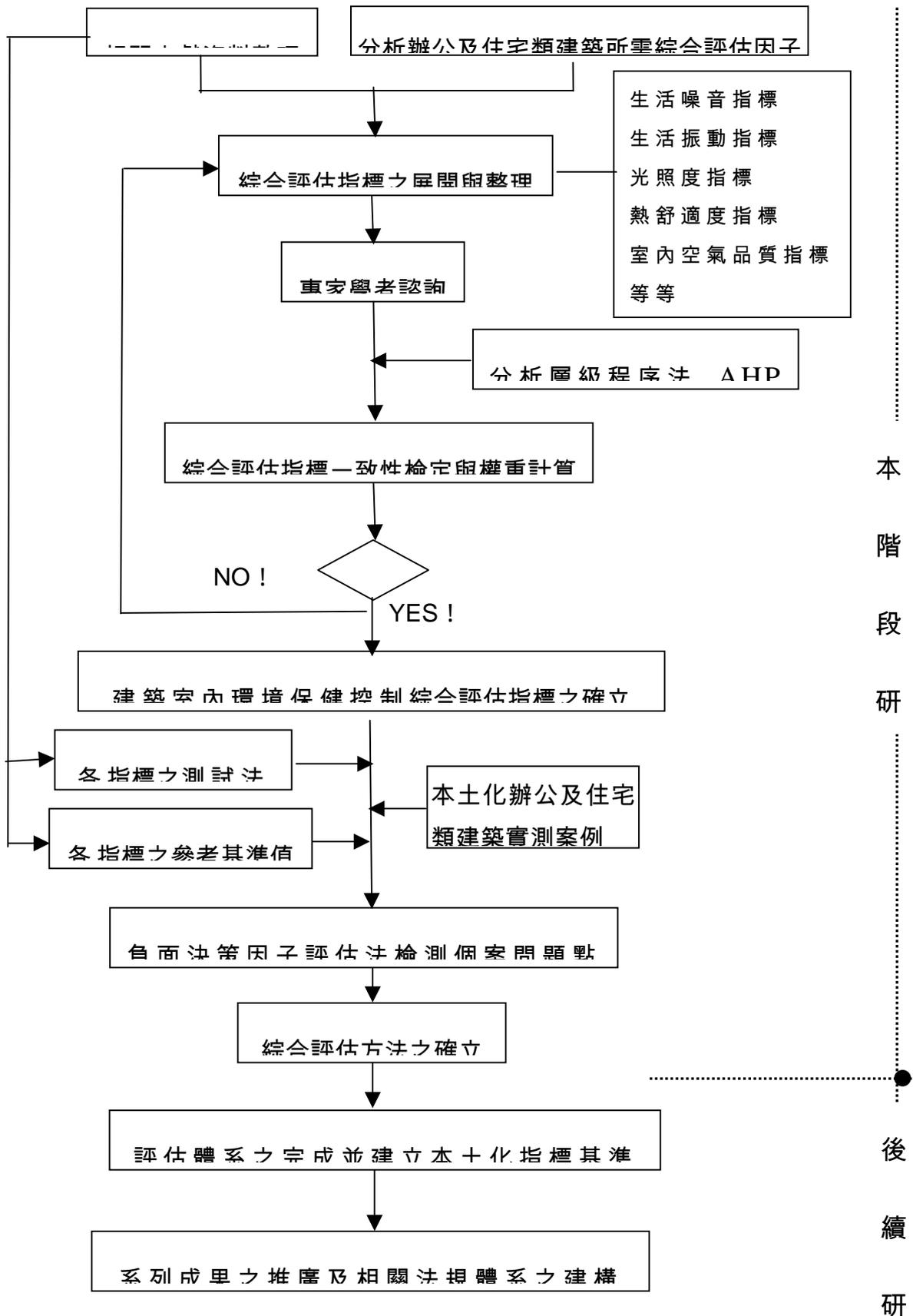
而後，藉由各評估指標之本土性測定數據，可幫助瞭解

國內室內環境保健控制現況與問題點，評估所得的負面決策因子與評估篩選方法可供作個案室內物理環境品質改善先後順序上的參考依據，配合前期相關研究所提供的診斷流程，做出適當的改善對策，則以提高室內環境保健控制品質。

基於本研究案之時效性與人力、實驗設備之配置限制，本階段之研究主題將著眼於室內環境保健控制綜合指標，並以辦公建築與住宅類案例作為上述綜合指標試操作之樣本，以確立研究方法之可行性。

(二) 後續研究建議

至於爾後之整體研究架構，可以本研究之階段性成果為基礎，評估此方法使用於其他用途空間之可行性或應增修訂之內容。接續進行台灣地區不同建築型態與用途空間之指標值現況，並評估建立本土化指標基準。最後，則可將系列成果推廣於社會大眾，並就相關法規體系之建構進行研究。



本階段研

後續研

圖 1-1 流程圖

1-3 預期成果

- 1.藉由主客觀現況測試瞭解國內建築室內環境保健控制現況與問題點。
- 2.藉由「建築室內環境保健控制綜合評估指標」的研提，建立定量評估之參考依據。
- 3.關鍵指標的轉化可提供日後建築物使用管理之工具。
- 4.確認負面決策因子評估法於建築物使用後評估(POE)之可行性。
- 5.本研究之階段性成果可與前期研究「辦公建築室內空氣品質與空調設備之診斷研究」相銜接，結合個案室內環境保健控制問題點與相關診斷方法的提出，謀求室內環境狀態之改善。
- 6.促進建築室內環境保健控制技術之提昇，並作為其他政策目標設定及相關條文增修訂之參考依據。

第二章 健康舒適的室內環境

- 2-1 健康舒適的室內環境—多方位評估系統之建立
- 2-2 健康舒適的室內音環境
- 2-3 健康舒適的室內光環境
- 2-4 健康舒適的室內溫熱環境
- 2-5 健康舒適的室內空氣環境
- 2-6 健康舒適的室內振動環境
- 2-7 健康舒適的室內電磁環境
- 2-8 其他影響室內環境健康舒適性之因子
- 2-9 小結

第二章 健康舒適的室內環境

2-1 健康舒適的室內綜合環境--多方位評估系統之建立

由建築蔽體所形成的室內環境是相當複雜且由許多物理、化學、生物、社會因子所影響、組成的，而居室人員則位居這些因子直接衝擊之第一線。人類許多的生、心理感覺器官會直接感受到這些因子而有所相對的生、心理反應，如自然的（或受人為控制的）室內光照、音響、氣味、溫度、濕度、觸覺、電磁感應、眼睛的刺激物以及上呼吸道的刺激物等。

然而有更多的室內環境因子其對於居室人員的健康具有潛在性的影響，但卻不易被人類的生、心理感覺器官所測知，因此居室人員的健康本質往往被其破壞而不自覺，譬如游離性或非游離性電磁輻射、輻射性物質等。居室人員經常直覺地認為其居住的空間不存在這些物質，因此在長年累月的肆虐破壞下，產生居室人員健康上的病變經常是無法挽救的。

由於生物個體間存在有異質性（bio-diversity），因此暴露於相同室內環境因子的不同居室人員，其感覺器官感受到的衝擊量值也會因人而異。甚至暴露於恆常室內環境因子的居室人員其感受量值也會隨著時間而變動。因此，要給定一個足以讓所有的居室人員感受到滿意程度的室內環境基準是相當困難的。一般而言，影響室內環境的因子大抵上包含有：

1. 可直接影響室內空氣品質（IAQ）者，如：氣味、刺激物、室內、溫度與濕度等。
2. 影響整體室內環境的滿意度者，如：光照、音響、家具與設備、環境振動、個人心理狀態等。

然而，自環境心理學的角度思索之，居室人員社會環境狀態的

良窳亦對於其所接受到的室內環境衝擊程度產生正反面的修正。個人如與所處的社會環境有積極的、正面的互動，則生理、心理感受度則有較大的接受/容忍度 (positive modifying effect)。又如生活周邊飲食、交通、購物的便利程度也會影響居室人員對整體室內環境的感受量。

要特別強調的是：根據文獻報告與研究單位多年來進行的室內環境綜合評估實例，許多對於室內環境的抱怨往往來自不良的室內空氣品質，雖然真正的關鍵因素並不是室內空氣品質的良窳。「病大樓症候群」與「新大樓症候群」是指在二週內，超過百分之二十的該居室人員產生不良的身分病態症狀。這些症狀包括：頭痛、容易疲憊、眼睛刺痛與喉部刺痛等。當這些症狀尚未被確認是由那些特定污染物所引致前，吾人稱此為「病大樓症候群」或「新大樓症候群」。

「病或新大樓症候群」的成因包括：不恰當的換氣 (換氣量的不足、換氣效率的不佳與不良的外氣引入口位置等)、室內污染源(影印機、人員的抽煙等)、外氣污染物 (汽機車排氣污染物等)、室內裝修材與微生物污染源等。上述的污染情況無論是公共場所或居家環境皆可能發生，值得民眾特加注意。

以下就音環境、光環境、熱環境、空氣環境、電磁環境、水環境與綠環境等層面探討其對於室內環境之影響以及相關評估指標之構建。

2-2 舒適的室內音環境

2-2-1 建築室內音環境概論

室內噪音伴隨發生於我們日常生活當中，就其發生源種類繁多且發生時間及發生場所皆具有不特定的性格而言，室內噪音問題確有其特異性之存在。室內噪音除了來自戶外環境高分貝噪音外，亦包括發生於鄰近的居住者相互間之噪音干擾，使得室內噪音問題有了某種微妙的互動關係。近年來在建築學會或音響學會對有關樓板衝擊系噪音、開口部衝擊系噪音及給排水系噪音等生活噪音問題，或者卡拉 OK 等深夜營業噪音的鄰近噪音問題有相當多的研究論文發表，對於生活噪音問題的特異性已逐漸地明瞭。以下就室內噪音問題之特異性作一說明【3】：

- 一、室內噪音是由日常生活行為動作伴隨而生的，是故噪音的發生者與受害者有著比較接近的距離關係，基於此點當事人之間便產生許多的關連性。例如鄰居，自家人等人際關係互動。
- 二、存在於居民的主觀意識中。對室內噪音問題的困擾嚴重程度與噪音音壓級、頻率等物理量間，並非一定是有著成比例的關係。例如居民對音源內容主觀的喜愛嗜好等價值判斷或者因噪音存在的時域，持續時間的長短都影響此一特異性。
- 三、就室內噪音發生源的種類與場所而言，其間關係是多樣化及普遍化的，且噪音的發生者與受害者是錯綜複雜地相互影響著。例如居民往往同時扮演著噪音的發生者與受害者的角色，與所謂工廠噪音問題中之發生者(工廠)而受害者(居民、工人)這種單向的關係有很明顯的差異性。
- 四、以室內噪音發生是不特定的和生活有密切關係這點來說，很難成為法規制定的對象。而且，當抱怨和紛爭表面化時，其長期間內所累積的，往往因人際關係與利害關係等噪音以外的存在因素而使問題深刻化。是故法規或條例等規章多半無法解決其本質的問題。

因此基本上，在面對室內噪音的問題時，必須考慮到其特異性之背景因素--即其問題之嚴重性判斷及解決，尚須就社會的、心理的、經濟的等多種層面來加

以討論。

2-2-2 建築室內音環境指標

室內噪音之評估指標常用的有：NC 曲線、NR 曲線、N 曲線、RC 曲線、及 dB(A)等，但主要應用層面在於評估室內背景噪音。表 2-2-1 所示為日本建築學會所編之「噪音評價法」中，針對世界上四十七個國家之問卷調查所得到的環境噪音評估指標之使用實況。除了表上所列常用的環境噪音評估指標之外，日本 木村翔教授於 1978 年提出全噪音暴露 TNEL (Total Noise Exposure Level)評估指標，並針對使用中的集合住宅進行室內噪音環境之評估。

表 2-1-1 各國噪音評估指標與適用場所

國名	評估指標	適用場所或對象	規定基準
加拿大	Leq24Hours	道路、鐵路	55dB(A)，不限制 55-75dB(A)，必須有隔音設備 75dB(A)以上，不得作為住宅區
丹麥	Leq24Hours Lr	道路	田園住宅區40dB，郊外住宅區45dB，商業區50dB，商工業區55dB
芬蘭	dB(A) Leq	室內噪音*	起居室35dB(A)，戶外住宅區55dB(A)，廚房以外居室40dB(A)
巴西	Leq Lx	都市、工廠	L10、L50 等
匈牙利	Leq8Hours Leq30Min	都市、工廠	稀疏住宅區：白天(06:00-22:00)45dB(A)，夜間35dB(A) 密集住宅區：白天55dB(A)，夜間45dB(A)
荷蘭	Leq	都市各類建築物	起居室、臥室、一流旅館：白天(06:00-22:00)40dB(A)，夜間30dB(A) 宿舍、次等旅館：白天45dB(A)，夜間35dB(A)
意大利	Leq		ISO
挪威	Leq24Hours Lmax	一般環境噪音	住宅區Leq24max50-60dB(A)
南非	Leq L10	一般環境噪音	L10適用於環境噪音
瑞典	NR Leq24Hours	NR定常音 一般環境噪音	住宅區：室內30dB(A)，開窗時55dB(A)
澳大利亞	Lh Lx	工廠噪音 一般環境噪音	早晚夜間各時間帶的算數平均數
英國	L10(6-24)	道路噪音	新建物之戶外70dB(A) 既有建物戶外68dB(A)
瑞士	dB(A) Lx	道路噪音 戶外噪音	住宅區(L50)：白天55dB(A)，夜間45dB(A) 商業區：白天60dB(A)，夜間50dB(A)
美國	Ldn L10	一般環境噪音 道路噪音	依道路車道及都市使用分區另有詳細規定
日本	L50 L5 dB(A)	變動音 工廠噪音 新幹線	依道路車道及都市使用分區另有詳細規定

*芬蘭：室內噪音

由本研究單位所從事的音環境研究系列中，已於 1993 年建立「台灣地區建築室內生活噪音評估模式」，且其適用性已於「建築物室內生活噪音及振動之評估研究【3】」一文中獲得驗證。因此本研究在考量適用於台灣地區的室內噪音評估指標過程中，將以此一本土化評估模式為基礎，結合本研究需考量的指標代表性、指標精密度與實用性的平衡、量測便捷性、經濟性等特性，做再次的指標篩選。

在「台灣地區建築室內生活噪音評估模式」中使用的指標類型可分為三大類，其指標定義與意義簡述如下：

【1】等價噪音評估法

原始資料為每秒兩筆的瞬間噪音音壓級 SPL dB (A)，將其換算成每十分鐘的 $L_{Aeq10min}$ ，以作為其他指標之依據。各轉換後指標之計算方式與代表之意義詳列於表 2-2-2 中。由於等價噪音可由數位噪音計直接顯示，而且能長時間量測，且表示精確，是現在最常被各國採用作為環保法規之評估指標。

表 2-2-2 噪音測定值轉化成其他指標之計算式

指標	計算方式	代表之意義
$L_{Aeq10min}$	$L_{Aeq10min} = 10 \log \left[\left(\sum 10^{SPL/10} \right) / 1200 \right]$	
L_{eq1H}	$L_{eq1H} = 10 \log \left[\left(\sum_1^6 10^{L_{Aeq10min}/10} \right) / 6 \right]$	每小時六次 $L_{Aeq10min}$ 之合成
L_{eq24H}	$L_{eq24H} = 10 \log \left[\left(\sum_1^{24} 10^{L_{eq1H}/10} \right) / 24 \right]$	每日二十四小時 L_{eq1H} 之合成
L_{eqM}	$L_{eqM} = 10 \log \left[\left(\sum_6^7 10^{L_{eq1H}/10} \right) / 2 \right]$	每日清晨六時至八時 L_{eq1H} 之合成
L_{eqD}	$L_{eqD} = 10 \log \left[\left(\sum_8^{18} 10^{L_{eq1H}/10} \right) / 11 \right]$	每日八時至十九時 L_{eq1H} 之合成
L_d	$L_d = 10 \log \left[\left(\sum_7^{21} 10^{L_{eq1H}/10} \right) / 15 \right]$	七時至二十二時 L_{eq1H} 之合成

Ln	$L_n = 10 \log \left[\left(\sum_{22}^6 10^{L_{eq1H/10}} \right) / 9 \right]$	二十二時至隔日七時 L_{eq1H} 之合成
----	--------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------

【2】發生時間累積噪音級 L_x

戶外環境發生之噪音級與其發生時間的累積分佈(Cumulative distribution)，是表示噪音級與時間性最有效的方法，可以顯示在某一地區有多少時間比率發生噪音超過某一噪音級，其評估法為在一定時間間隔測定噪音級的累積數描入如圖 2-2-1 中，如 L_{10} 表示在測定時間中，有 10% 的時間超過之噪音級。一般常用來評估外環境噪音的有 $L_{0.1}$ 、 L_1 、 L_5 、 L_{10} 、 L_{50} 、 L_{90} 與 L_{95} 等。

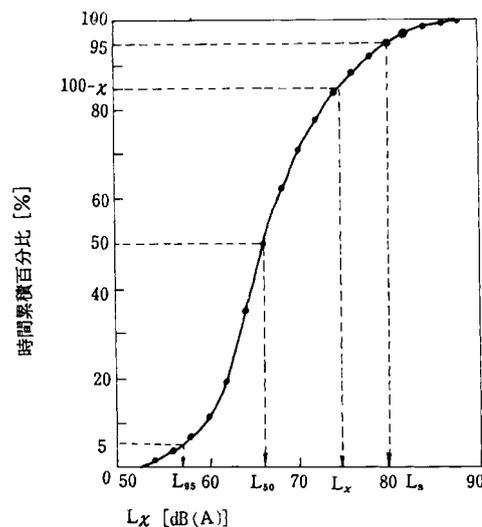


圖 2-2-1 噪音級與時間累積分佈曲線【3】

【3】全噪音暴露評估指標(Total Noise Exposure Level, TNEL)

TNEL 之計算式為針對：1.連續性的衝擊音、2.準穩定音與 3.單發衝擊音等三個類型分別計算其 TNEL 值。其中對腳步聲、跑步、挪動傢俱、椅子的聲音等連續性聲音的衝擊音是從行為發生的開始到結束期間內所持續的時間內讀取其間發生的尖峰級數為 L_a ；而對跳動或開關玄關門、拉門、室內房門等單發衝擊音，是取尖峰級數為 L_a 與發生次數 n ；另對於給排水音是準穩定部分的尖峰級數平均值為

L_a 與背景噪音以上的持續時間 t 讀取出來。各項 $TNEL_{30}$ 之計算方法如下：

(a) 連續性之衝擊聲音(音源項目：腳步聲，跑動，挪動傢俱、椅子的聲音)

$$TNEL_{30} = \overline{L_{a1}} + 10\log\left(\sum_i T_{li}\right) \quad (\text{式 2-1-1})$$

式中

L_{a1} ：衝擊性聲音在每 30 分鐘內之尖峰級數平均值 (dB(A))

T_{li} ：發生衝擊性聲音之持續時間 (包含開始發生之第一個尖峰起至末個尖峰間的發生持續時間) (sec)

$\sum T_{li}$ ：30 分鐘內之 T_{li} 合計發生時間 (sec)

(b) 穩定音(音源項目：給排水管)

$$TNEL_{30} = \overline{L_{a2}} + 10\log\left(\sum_i T_{2i}\right) \quad (\text{式 2-1-2})$$

式中

L_{a2} ：準穩定音在每 30 分鐘內之尖峰級數平均值 (dB(A))

T_{2i} ：準穩定音在背景噪音以上之持續時間 (sec)

$\sum T_{2i}$ ：30 分鐘內 T_{2i} 合計發生時間 (sec)

(c) 單發的衝擊音(音源項目：跳動、玄關門、拉門、室內房門、窗戶之開關)

$$TNEL_{30} = \overline{L_{a3}} + 10\log(T_0 \times N_t) \quad (\text{式 2-1-3})$$

式中

L_{a3} ：衝擊性聲音在每 30 分鐘內之尖峰級數平均值 (dB(A))

T_0 ：衝擊音之標準持續時間 (按跳動為 0.8 秒，玄關門、窗戶的開關為 1 秒，紙門開關為 0.5 秒) (sec)

N_t : 30 分鐘內以上列舉衝擊聲音之次數

對各項音源分別按每 30 分鐘之平均尖峰級數，持續時間與發生次數等換算成能量後，可求得受測試住戶室內各音源項下之全噪音暴露量 $TNEL_{30}$ ，更進一步計算出各個音源之平均全日噪音暴露量 $\overline{TNEL_{30}}$ 。

依上述所求出各音源項之生活噪音評估量 $\overline{TNEL_{30}}$ 與對受測當地居民所作主觀問卷調查結果之各音源困擾度作相對應分析時，因為 $TNEL_{30}$ 在一天 24 小時內作起伏不規則變動，利用來對應於居民之困擾度時，不僅須考慮各音源項 $TNEL_{30}$ 之 24 小時平均值 $\overline{TNEL_{30}}$ ，另應考慮各音源項 $TNEL_{30}$ 之最大值 (Max. $TNEL_{30}$)。因居民主觀反應受其最大值左右，故另以 $\overline{TNEL_{30}}$ 與 Max. $TNEL_{30}$ 之算數平均 $TNEL_{30}'$ 作為和居民主觀困擾度之對應比較檢討。

(d) 依據台灣地區噪音特性對上述時間項 (T) 之修正

在單發衝擊音之時間計算為上下跳動為 0.8 秒，在玄關門及窗戶的開關為 1 秒，紙門為 0.5 秒，作為其標準發生之持續時間再乘以其 30 分鐘內的發生次數而得到 30 分鐘內本項目的持續時間。但是若無法清楚的區分出該音知音源為何時，在時間的取法即產生困擾。

國內之住宅一般裝設有鐵門或鐵捲門，其開關噪音的發生模式及其持續時間很難以 0.5-1 秒來設定。又國內之鋁門窗極為普遍，在推拉開關的時間上也有此困難。

基於上述原因，該模式建議在時間項 (T) 的取法是嘗試以直接在測試記錄紙讀取背景噪音以上的持續時間，而其不足 1 秒者以 1 秒計算。故在 $TNEL_{30}$ 的計算上仍保有其原始精神：

$$TNEL_{30}' = \overline{L_a} + 10\log(\sum T) \quad (\text{式 2-1-4})$$

式中

L_a ：評定音源項目之每 30 分鐘內尖峰級數平均值 (dB(A))

T：背景噪音以上之持續時間 (由第一個尖峰起至末個尖峰為止) (sec) (因應台灣地區噪音發生模式修正)

ΣT ：30 分鐘內之合計時間

據此 $TNEL_{30}$ 修正式，運算評估台灣地區建築室內生活噪音時，藉由實際所得的物理量 L_a 及 T 便可分別計算求出具有代表性的生活噪音評定值【3】。

在「台灣地區建築室內生活噪音評估模式」【3】中建立各類建築型態適用之噪音評估指標與噪音規範值分別表列於表 2-2-3 中：

表 2-2-3 各類建築型態適用之噪音評估指標與噪音規範值【3】

建築類型	評估指標	噪音規範值
A	$TNEL_{30}$	$TNEL_{30}=61$ dB (A)
	$TNEL_{30}'$	$TNEL_{30}'=68$ dB (A)
B	L_{eqM}	$L_{eqM}=58$ dB (A)
	L_{10}	$L_{10}=62$ dB (A)
C	L_{eq24H}	$L_{eq24H}=58$ dB (A)
	L_{10}	$L_{10}=55$ dB (A)
	L_d	$L_d=56$ dB (A)
	L_{50}	$L_{50}=52$ dB (A)
D	L_{eq24H}	$L_{eq24H}=40$ dB (A)
	L_d	$L_d=48$ dB (A)
	L_n	$L_n=47$ dB (A)

註： A：五層以下集合住宅
 B：十二層高層集合住宅
 C：低層連棟透天住宅
 D：鐵路沿線連棟透天住宅

【4】噪音頻譜分析

NC 曲線與 NR 曲線等為評估室內噪音談話干擾的程度，將量測的各頻率音壓級記入評估圖形中，以評定其 NC、NR 值。

然而，為求得評估程序實施時之簡易性與實測分析方法之普及性，研究單位在精密性與實用性間考量之餘將篩選出具有代表性之評估指標，以作為下一階段專家諮詢與「分析層級程序(AHP)法」之權重分析，初步結果如下表 2-2-4 所示：

表 2-2-4 本研究建議採用之建築室內音環境指標

評估項目	物理單位	一般住宅		辦公空間	
		專家版	實用版	專家版	實用版
TNEL ₃₀	dB (A)	⊙		⊙	
TNEL ₃₀ ' (註 1)		⊙	⊙	○ (註 2)	○ (註 2)
L _{eqM}		⊙			
L _{eqD}				⊙	⊙
L _{eq24H}		⊙	⊙	⊙	
L ₁₀		⊙		⊙	
L ₅₀		⊙		⊙	
L _d		⊙		⊙	
L _n		⊙			
NR 曲線		NR 值	⊙	⊙	⊙
NC 曲線	NC 值	⊙		⊙	

註 1：TNEL₃₀' 為依據台灣地區生活噪音特性而對 TNEL₃₀ 所作之修正指標，其內涵及實際應用例詳見「建築物室內生活噪音及振動之評估研究」【3】。

註 2：TNEL₃₀' 之實證過程中，是以一般住宅中居家行為模式為評估對象。雖然辦公空間中，作業人員的行為模式與一般住宅者有相似之處，然則實用上的差異程度仍有待再評估。現階段研究中暫以使用，若有相關研究之呈現，再予以替換修正。

2-3 健康舒適的室內光環境

2-3-1 建築室內光環境概論

良好的室內光照環境是確保人們進行正常工作、學習與生活的必要條件之一，光照環境的好壞與否對視力健康及居室人員工作效率都有直接的影響。光照環境包含了自然採光與照明兩大部分：自然採光即利用太陽的自然光線，即自然光經過建築的開口部對室內照明，但是自然光線通常無法提供均勻而恆久的照度，此外，建築上因為各個用途空間使用目的的不同，對日照的要求與限制也各有所不同，人工的照明設備即變成一不可或缺的依賴工具，藉由人工照明設備得以輔助晝光之不足面使得各個建築空間的光照環境達到使用目的之所需。

現今許多大規模辦公大樓的內週區辦公空間，由於缺乏直接向外之開口部，因此無法利用太陽光進行室內自然採光運用，此空間之光照環境就端賴人工照明之良窳。

將對象看得清楚、容易與舒適的程度稱為明視 (visibility)，而明視之條件是亮度、對比、大小與視物時間等四個條件。亮度是指照在視對象產生光的照度，或因其反射產生的輝度。視對象的背景輝度增大亦即亮度增大，則視力會上昇，但是若輝度達 1000 cd/m^2 以上則視力達界限無法再提高。對比(contrast)是指視對象物與背景輝度之差，通常以式 (式 2-3-1) 及式 (式 2-3-2) 表示，稱輝度對比。

$$\text{若 } L > L_t \quad \text{則 } C = \frac{L - L_t}{L} \quad (\text{式 2-3-1})$$

$$\text{若 } L < L_t \quad \text{則 } C = \frac{L_t - L}{L} \quad (\text{式 2-3-2})$$

式中，C：輝度比

L_t ：對象物輝度比

L：背景輝度比

此物理量雖然無法實際與人的知覺感受量對應，但是若對比增加(即 C 值增加)

則愈容易看見。但是僅有當背景為暗的場合 ($L < L_t$) 且對比極大接近於 1 時，造成視物困難，例如霓虹燈在夜晚的天空為背景下，看來有些眩光即為一例。愈大的物體愈容易看清楚，這是常識所可理解的，但是所謂大小不是絕對的大小而是指視角的大小。因而愈接近物體愈容易看得清楚，但是在明視距離 25cm 以內時則難以對焦，小物體有分辨的界限，因此造成視力的界限。若視物時間僅為短暫時視力將降低，而觀看移動中的物體亦同。視對象在閃爍的場合也會造成視物困難與眼睛疲勞，閃爍頻率在 50 赫茲時將感覺不出其閃爍，交流電源 50、60Hz 時螢光燈之閃爍頻率為 100 與 120 赫茲，觀看靜止物體並無障礙，但觀看移動中的物體時將顯現閃爍的影響【4】。

2-3-2 建築室內光環境指標

【1】照度 (Illuminance)

照度乃指射入受照面之光通量密度，即受照單位面積所受之光通量，單位為勒克司 (Lux)，為檢測光環境「量」之最基本指標。照明設計必須針對照明目的、空間使用別等分別決定其最適宜之照度。照度不夠，可視度不足，會對作業造成干擾；照度太大又會對人眼產生太大刺激易，造成疲勞而影響作業。良好的照明必須使眼睛不易疲勞，不產生眩光，必須有足夠且適當的照度使眼睛容易產生對象物之辨識。由於各個空間的用途不同，工作項目亦有所不同，因此其所需之照度應有所差異。如表 2-3-1 所示為各種場所之照度推薦值。

表 2-3-1 IES (7-0110) 各種場所之照度推薦值【4】

第二章 健康舒適的室內環境

照度級	2000	1000	500	200	100	50	20	10	5~0.5
照度範圍 lx	3000~1500	1500~700	700~300	300~150	150~70	70~30	30~15	15~7	7~0.3
事務所 辦公室	玄關Hall (日夜)	辦公室、 事務所、營 業室、設計 室、製圖室	辦公室、職員室、會 議室、集會室、客 廳、印刷室、電話 交換機室、電算機 控制室、出納、玄關 Hall (夜間)、電 氣室、機械室等之配 電盤	書庫、金庫、教室、 電梯	咖啡廳、休 息室、值夜 室、更衣室 、倉庫、停 車場	緊急電 梯、屋內 車庫			
醫院 保健室	眼科視機能 檢 驗 室 (10000~ 5000lx)	手術室	診察室、處置室、急 診室、分娩室、護士 室、藥局、剖檢室、 病理細菌檢查室	病房、X光室、物 療室、運動房、聽力 診療室、麻醉室、恢 復室、更衣室、藥品 室	停 車 場、 內視鏡檢 驗室、X光透 視室、眼科 暗房、病棟 走廊	動物室、 暗房			深夜病房 及走廊
學 校		製圖室、電 算機室	教室、實習工場、研 究室、閱覽室、書庫 、辦公室、教職員室、 會議室	餐廳、廚房、印刷 室、電話交換機室、 守衛室、廣播室、室 內運動場	走廊、倉庫	車庫、緊 急樓梯	戶外運動 場		夜間道路
住 宅			書房、讀書室	臥房、起居室	客廳	臥房、浴 室	玄關Hall	庭園	集合住宅 綠地
旅 館		櫃檯	停車場、玄關、會 計室、卸貨臺、洗面 鏡、行李寄放處	辦公室、餐廳、廚 房、大廳	娛樂室、客 房、走廊、 樓梯、庭園 重點	緊急樓 梯、走廊	監視室	放映室	觀眾席
餐 廳			集會室、餐桌	玄關、等待室、客 房、廚房、洗臉間	走廊、樓梯				
公 會 共 館		特別展示室	宴會場、圖書閱覽 室、大會議室、玄關	結婚禮堂、餐廳、教 室、集會室、展覽室	沙 龍、大廳、 走廊、樓梯	雜物儲放 場所			
美術館 博物館		金、石雕刻 模型	雕刻、西洋繪畫	工藝品、一般陳列 品、集會室、廁所、 教室	標本室、 餐廳、咖啡 室、走廊	儲藏倉庫	放映室		

如上節所述，除了極端照度以外，照度增加則視力增大視物容易，疲勞感減少。但是，在經濟的觀點，人工照明提高照度將增加照明設備費與電力費，因而推薦的照度值經常已考慮經濟性而決定，若照明費用便宜則推薦照度可提昇。中華民國照明學會參照 JIS (日本工業規格) 以及 IES (北美照明學會)，製定了 CNS 之照度標準，此照度稱標準照度，這些標準照度於人工照明或晝光照明的場合均可適用。表 2-3-2 所示為辦公室之照度標準。

表 2-2-2 CNS 辦公室之照度標準【1】

照度 Lux	場 所 (1)		作 業
2000			○設計， ○製圖， ○打字， ○計算， ○打卡
1500	辦公室(a)(2)，營業所，設計室，製圖室，正門大廳(日間)(3)		
1000			—
750	辦公室(b)，主管室，會議室，印刷室，總機室， 電子計算機室，控制室，診療室， ○電氣機械室之配電盤及計器盤， ○服務台		
500	禮堂，會客室，大廳， 餐廳，廚房，娛樂室， 休息室，警衛室，電梯走道	書庫，會客室，電氣室， 教室，機械室，電梯， 雜務室	
300	—	盥洗室，茶水間，浴室， 走廊，樓梯，廁所	
200	—	—	
150	飲茶室，休息室，值夜室，更衣室，倉庫， 入口(靠車處)	—	
100			
75			
50	安 全 梯		
30			

註(1)：辦公室如做精細工作，且日間因光線之影響而室外明亮，室內黑暗之感覺希望能選擇a之標準。

(2)：為避免日間已適應屋外數萬Lux的自然光，自進入屋內正門大廳時呈現昏暗之情形、正門大廳照度應予提高，正門大廳日間照度可分階段點減調光。

備考：有“○”記號之作業場所，可用局部照明取得該照度。

【2】均齊度 (Uniformity Ratio of Illuminance)

在辦公室或教室等明視作業場所，室內照度分佈希望能達到均勻化。而均勻化的表示指標是「均齊度 (Uniformity Ratio of Illuminance)」，定義為作業面上之最低照度/最高照度 (有些場合是以最低照度/平均照度為定義)。再者，所謂作業面 (working plane) 是指位於樓地板上 75~85cm 之水平面，除去距離周壁 1m 以內之範圍。

辦公室或教室等希望作業面照度分佈的均勻，所以進行全面照明時均齊度應達 1/3 以上。一般在單側開窗的場合，晝光照明之照度分佈要達到均一較為困難，故均齊度要求 1/10 以上；此時若有直射光射入時，產生窗邊過高的照度，使室內照度參差性過大，均齊度差，而且會產生眩光的現象，則必須藉助人工補助照明，均勻室內照度之均齊度。

【3】晝光率 (Daylight Factor)

由於室內的照度隨著自然光的變動而不同，故難以照度標準判定建築物之自然採光優劣。因此以室內某一點之照度對應於當時室外全天空照度比值之百分率，即「晝光率 (Daylight Factor)」來判定較為合理。基準晝光率亦以建築物之作業性質、作業時間的長短、經濟條件來考慮。表 2-3-3 為各種空間的基準晝光率建議值與對應設計用全天空照度之晝光照度。由表可知採光良好之空間，其晝光照度在良好天候下可達標準規定，但若天候陰暗時就必須藉助人工補助照明才行。

表 2-2-2 各種室內照明之標準照度及建議值 (lx)

作業或室之種類	基本 晝光率 %	按左列晝光率時之照度 lx			
		明亮日	普通	暗日	昏暗日
修理鐘錶、依晝光之手術室	10	3000	1500	500	200
長時間之縫紉、精密繪圖、精密工作	5	1400	700	250	100
短時間之縫紉、長時間之閱讀、繪圖、打字、齒科診所	3	900	450	150	60
閱讀、辦公、一般診療室、普通教室	2	600	300	100	40
會議、會客室、講堂、體育館(最低)、一般病房	1.5	450	225	75	30
短時間之閱讀、美術館展覽廊、圖書館書庫、車庫	1	300	150	50	20
旅館大廳、住宅餐廳、一般起居室、電影院休息室、教堂座席	0.7	210	105	35	14
一般走廊、樓梯、小型貨物倉庫	0.5	150	75	25	10
大型貨物倉庫、住宅儲藏間、壁櫥	0.2	60	30	10	4

【4】其他

依據 Moon & Spencer 之提案，良好的照明要素可分為下述要件：

- (a) 照度：照度需充足
- (b) 均齊度：照度分佈需均勻無斑點產生
- (c) 正反射：無眩光
- (d) 陰影：要適當影產生愉悅效果之個體立體感
- (e) 光譜分佈：光色良，放射熱少
- (f) 心裡的效果：適當的空間氣氛
- (g) 美的效果：燈具形式配置佳
- (h) 經濟：效率高，易維護

評估室內光環境除了要瞭解居室人員對光之物理感受量外(量的方

面), 光環境與其心理層面之互動關係(質的方面) 亦需列入考量。因此, 除了前述室內作業面照度、均齊度與晝光率外, 室內光環境之輝度 (luminance)、眩光 (glare)、光源之色溫度 (color temperature) 與演色性 (color rendering)、窗光之手影與光幕反射、燈具的效率以及室內色彩計畫等皆需一併列入綜合考量。

然而, 為求得評估程序實施時之簡易性與實測分析方法之普及性, 研究單位在精密性與實用性間考量之餘將篩選出具有代表性之評估指標, 以作為下一階段專家諮詢與「分析層級程序(AHP)法」之權重分析, 初步結果如下表 2-3-4 所示:

表 2-3-4 本研究建議採用之建築室內光環境指標

評估項目	物理單位	專家版	實用版
作業面平均照度	lx	◎	◎
作業面人工光源平均照度	lx	◎	
作業面均齊度	無因次	◎	◎
作業面人工光源均齊度	無因次	◎	
晝光率	無因次	◎	◎
窗面輝度	cd/m ²	◎	
窗深方向之垂直面照度	Lx	◎	
燈具之不快眩光指標	無因次	◎	◎
光源之色溫度	K	◎	
光源之演色評價數	Ra	◎	

2-4 健康舒適的室內熱環境

2-4-1 建築室內熱環境概論

在一般環境下，人體有兩種重要的熱來源：

- (1) 內生的代謝熱：人體細胞、組織、器官內進行化學作用的副產品，量值視人體的活動量而有所不同，成年人休閒時代謝熱為 300 BTU/Hr，大量活動時可達 2400-3000 BTU/Hr。
- (2) 外來的環境熱：人體所處環境可影響體熱與環境間進行熱交換之因素有溫度、溼度、空氣流速等。

而人體內生的代謝熱可藉由(1)傳導、(2)對流、(3)蒸發、(4)輻射與周遭環境進行熱交換，其機制分別為：傳導對流熱交換：皮膚，呼吸道；蒸發對流熱交換：藉水份的蒸發而由人體表面散失，其和溼度有關；輻射熱交換：藉電磁波。人體對熱的生理反應分別是血液流動加速與出汗。正常狀態下，人體內生的代謝熱、人體內部的儲熱、蒸發熱交換、對流熱交換以及輻射熱交換將達到所謂「熱平衡狀態」，若人體發生熱平衡不良時導致的疾病有：

- (1) 熱衰竭 (Heat Exhaust)：大腦皮質血液供應不足而致的一種虛脫狀態。
- (2) 失水：水份大量流失所引起。
- (3) 熱痙攣 (Heat Clamp)：體內鹽份大量流失，引起隨意肌的抽筋樣痙攣。

(4) 中暑 (Heat Stroke, Heat collapse) : 體內體溫調節機轉的嚴重失能而無法維持恰當熱平衡。

(5) 白內障 : 高溫環境導致慢性的職業病白內障 , 一般在高溫環境作業下應配戴含金屬氧化物的玻璃護罩。

為有效地綜合評估人體對周遭熱環境之感受程度 , 以及此熱濕感覺量與空間環境物理量的關係 , 許多學者以定量的方式探討環境物理量 (如 : 溫度、濕度與風速等) 與人體舒適度的關連 , 其中較具代表性的有 :

(1) 新有效溫度 (ET*或 SET)

ET*是普通坐姿 , 著衣量 0.6 clo , 風速在 0.25m/sec 以下之平穩氣流狀態下 , 人體的冷熱感。在 1971 年由 Gagge 等人提出 , 後經美國冷凍空調工程協會 (ASHRAE) 修正後採用為室內熱環境評估之指標 ASHRAE Standard 55a-95 , 且廣為大眾所使用 , 詳見圖 2-4-1。在此評估系統下可看出 : 不同季節中 , 一般民眾感覺舒適狀態時 , 其對應之環境溫度、濕度與風速。

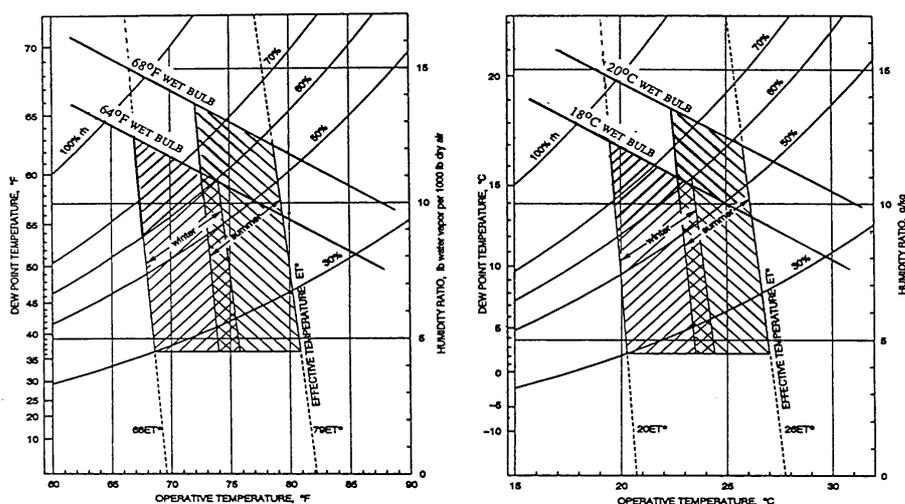


圖 2-4-1 ASHRAE Standard 55a-95 中規範之新有效溫度 ET* 【5】

(2) PMV-PPD 評價法

影響人體溫熱舒適度的決定因子十分複雜，不但有生理因素更包括心理因素。丹麥學者 P.O. Fanger 乃將 1300 左右的測試人選，安置於「人工控制熱環境實驗室」中進行實測，將其心理量依氣溫、濕度、氣流、著衣量及工作強度等物理量進行統計分析，以找尋舒適與不快之範圍，以便進一步建立 PMV 與 PPD 之評估指標。【6】

以下就概要地介紹此兩評估指標【6】：

- (a) PMV 指標：PMV 原文為 Predicted Mean Vote，意謂「表決的平均預測值」，是運用統計方法得出人的感覺與環境等六個量的定量函數關係，其關係式如下所示：

$$\begin{aligned}
 PMV &= f(M, W, Pa, ta, fcl, MRT, hc, tcl) \\
 &= (0.303 \exp(-0.036M) + 0.028) \times \{ (M - W) \\
 &\quad - 3.05[5.73 - 0.007(M - W) - Pa] - 0.42[(M - W) - 58.15] \\
 &\quad - 0.0173M(5.87 - Pa) + 0.0014M(34 - ta) \\
 &\quad - 3.96^{-8} \times fcl \times [(tcl + 273)^4 - (MRT + 273)^4] \\
 &\quad - fcl \times hc \times (tcl - ta) \}
 \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned}
 tcl &= 35.7 - 0.0275(M - W) - 0.155 \times lcl \times \{ 3.96^{-8} \times fcl \\
 &\quad \times [(tcl + 273)^4 - (MRT + 273)^4] - fcl \times hc \times (tcl - ta) \} \\
 hc &= 2.38 \times (tcl - ta)^{0.25}, \text{ 當 } 2.38 \times (tcl - ta)^{0.25} 12.1 > \sqrt{V} \\
 &= 12.1\sqrt{V}, \text{ 當 } 2.38 \times (tcl - ta)^{0.25} < 12.1\sqrt{V} \\
 fcl &= 1.00 + 0.2lcl, \text{ 當 } lcl < 0.5clo \\
 &= 1.05 + 0.1lcl, \text{ 當 } lcl > 0.5clo
 \end{aligned}$$

PMV：預測平均回答率

PPD：預測不滿意度〔%〕

M：代謝量〔W/m²〕

W：外部工作〔W/m²〕(對大部分的代謝量均可設為0)

lcl：衣服的熱阻〔clo〕, (1.0clo=0.155 m² K/W)

fcl：著衣時表面積 (Acl) / 裸體時表面積 (Ad)

ta：空氣溫度〔°C〕

Pa：水蒸氣分壓〔kpa〕

MRT：平均輻射溫度〔°C〕

h_c : 對流熱傳遞率 [W/ (m² K)]

V : 風速 [m/s]

t_{cl} : 衣服表面溫度 [°C]

(b) PPD 指標 : 原文為 Predicted Percentage Dissatisfied , 意為「預測不滿意百分比」, 為人們不滿意度之評估指標。其數學關係式如下所示 :

$$PPD = 100 - 95 \exp \left[- \left(0.03353 PMV^4 + 0.2179 PMV^4 \right) \right]$$

然後, 把 PMV 值按人的熱感覺分成很熱、熱、稍熱、舒適、稍冷、冷、很冷七個等級, 並通過大量試驗獲得感到不滿意等級的熱感覺人數佔全部人數的百分比 PPD, 畫出 PMV-PPD 曲線 (如下圖 2-4-2 所示)。

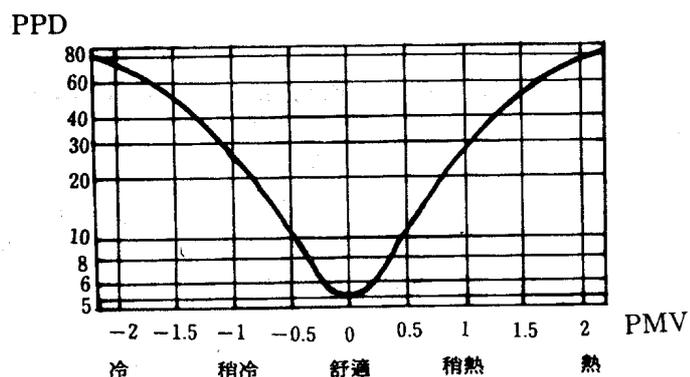


圖 2-4-2 PMV-PPD 關係曲線

使用 PMV-PPD 曲線, 可以獲得不同著裝, 從事不同工作的人在不同熱環境中的熱感覺。國際標準化組織 ISO 7730 (12-15-1994) 已規定 PMV : -0.5~0.5 範圍內為室內熱舒適指標。

2-4-2 建築室內熱環境指標

經由分析國際上在計量熱舒適狀態方面採用的物理量項目與單位, 可知其考量因子大抵上為環境溫度、濕度、風速等。因此, 本研究將採用之建築室內

熱環境指標整理如下表 2-4-1 所示：

表 2-4-1 本研究採用之建築室內熱環境指標

評估項目	物理單位	專家版	實用版
室內環境溫度	°C	◎	◎
室內環境濕度	%	◎	◎
室內環境風速	m/s	◎	◎
PMV	無因次	◎	◎
作業位置垂直向溫度差	°C	◎	
日射量	w/m ²	◎	
室外溫度	°C	◎	
室外濕度	%	◎	
室外風速	m/s	◎	

2-5 健康舒適的室內空氣環境

2-5-1 建築室內空氣環境概論

建築物內之空氣品質 (Indoor Air Quality, IAQ), 主要視空氣中污染物種類與濃度而定。依污染物排放型態來看, 可分為「氣狀污染物」及「浮游粒狀污染物」兩大類型。一般而言, 氣狀污染物可分為無機性氣體與有機性氣體, 無機性氣體如硫、氮、碳...等可在空氣中氧化而產生光霧化學反應。有機性氣體則包含碳氫化合物、醇類、酮類、酯類等, 易造成局部性空氣污染。粒狀污染物則包含了「固體微粒」及「液體微粒」, 固體微粒可分為「生物粒子」及「非生物粒子」。其分類如下圖 2-5-1 所示【1】:

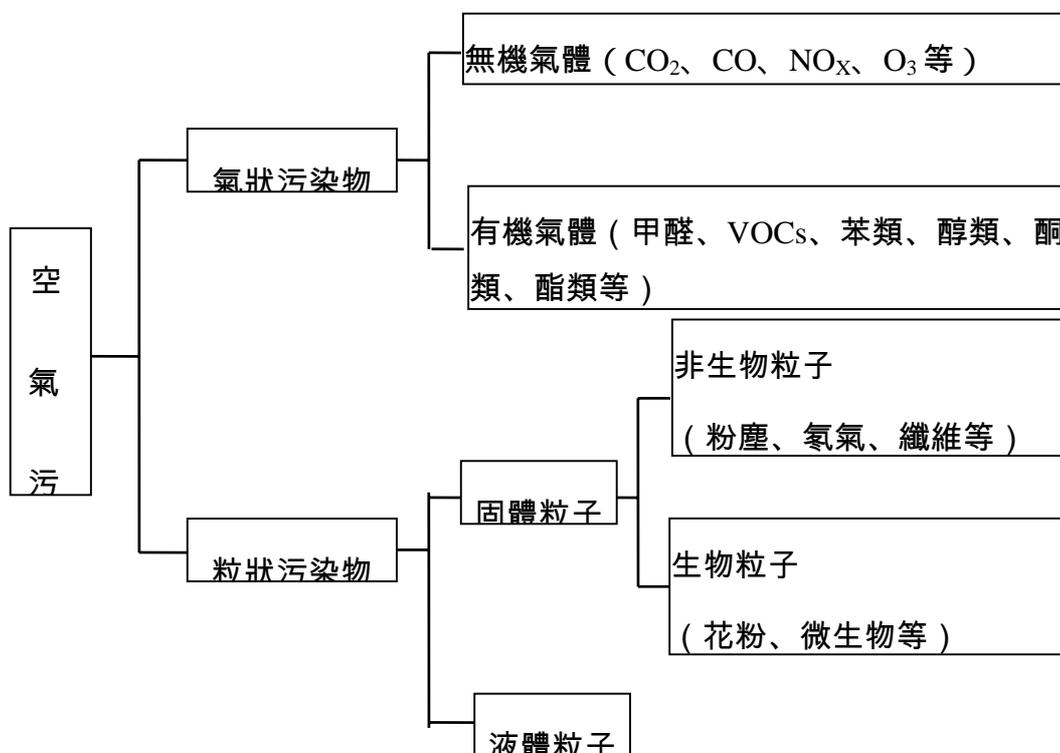


圖 2-5-1 室內空氣污染物質分類【江哲銘, 1994】

近來由於建築型態、建築材料、空調系統之發展，以及室內活動型態之改變，導致許多室內空氣污染物的發生。例如：抽煙引起之二手煙中含有呼吸性微粒 (respirable particulate)、一氧化碳及揮發性有機物質 (volatile organic compounds, VOCs)；建築材料及傢具可能排放甲醛及揮發性有機物質；事務機器如影印機可能排放揮發性二氧化碳與有機物質；經由空調系統可能排放生物性氣膠(bio-aerosols)及造成室外空氣污染物進入；廚房活動可能排放一氧化碳及二氧化氮)。凡此種種皆使得室內空氣品質之調查評估研究成為刻不容緩的課題。依據美國職業安全衛生協會 (NOISH) 室內空氣品質問題的調查歸納，室內主要污染物的來源有外氣、室內人員、空調系統、建築材料、事務器具與用品及室內有機物質等六大來源，而室內污染物所佔的比例高達 17% ，如下圖 2-5-2 所示，說明了室內污染的嚴重性。

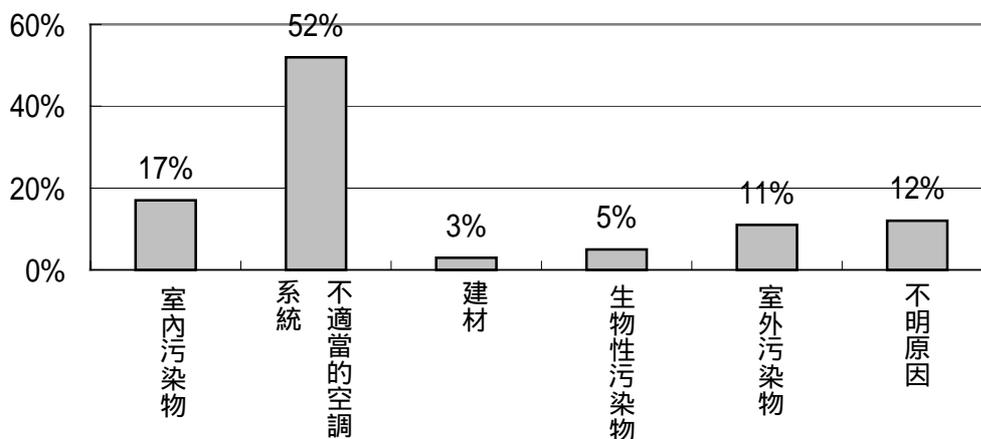


圖 2-5-2 建築物室內空氣之主要污染源

室內空氣污染物產生後，可能因其他環境因子如空調系統換氣功能不足、溫濕度之影響，而於室內累積以致危害人體健康。因此空調設計與運作狀況亦是影響室內空氣品質要項之一。空調系統一般包括加熱器、冷卻水塔、抽風扇、過濾器與管線，而空調設計與運作良窳又與溫度、濕度、空氣交換速率有關，進而影響空氣品質如 O_2/CO_2 比率、粉塵濃度高低、揮發性有機物質、生物性氣膠、過敏原成分、濃度等，許多研究也証實室內空氣品質與空調設計之相關性。

在生物性因子方面，空氣中之真菌、細菌及內毒素等在早期僅在若干特殊職業環境中受到注意，具其健康效應之探討主要集中在氣喘及過敏相關疾病。而近來在文獻回顧上則顯示陸續有學者開始研究其在一般建築內之濃度分佈差異，及其與病態建築症候群與病態建築之相關。流行病學資料顯示，病態建築內之生物性空氣污染物濃度，例如細菌內毒素濃度在病態建築室內空氣內顯著地高於正常建築，而空氣中微生物及相關懸浮微粒雖未能被確定為引起病態建築症候群之唯一因素，但是，症狀盛行率與空氣中真菌及濃度卻有顯著的正相關。

各室內污染源所產生的污染物質列舉如下表 2-5-1 所示。

表 2-5-1 室內污染源所產生的污染物質【1】

第二章 健康舒適的室內環境

來源類別	主要來源	污染物質 (空氣品質影響因子)
滲入 外氣	汽機車排放廢氣	一氧化碳、粉塵、氮氧化物、硫氧化物、鉛、臭氧
	工廠廢氣	一氧化碳、粉塵、氮氧化物、硫氧化物、光化學性高氧化物
	營建工程	粉塵、細菌、花粉粒、濕氣
室內 人員	人員活動	砂塵、纖維、黴菌、細菌
	人體	二氧化碳、體臭、氨、水蒸氣、頭皮屑、細菌
	香菸	一氧化碳、粉塵、二氧化碳、氨、氮氧化物、碳氫化合物
空調 系統	空調箱 (過濾網)	黴菌、虱蚤類、細菌、臭味
	風管	粉塵、纖維、黴菌、虱蚤類、細菌
建築 材料	室內建築材料	甲醛、石棉纖維、接著劑 (苯類)、油漆、地毯纖維毛絮、黴菌、浮游細菌、壁蝨
	維修保養	溶劑、洗劑、砂塵、臭菌
有機物質	室內有機物質	腐敗食物 (黴菌、臭味)、植物花草 (花粉粒)、潮濕物 (黴菌、臭味)、排泄物 (細菌、臭味)
燃燒器具 與用品	事務用機器	氨、臭氧、溶劑類、粉塵、粉墨粒
	燃燒器具 (瓦斯爐、熱水器等)	一氧化碳、二氧化碳、氮氧化物、碳氫化合物、粉塵、煙粒子、燃燒核
	殺蟲劑類	噴射劑、殺蟲劑、殺菌劑、殺鼠劑、防蠅劑

本研究亦針對美國、歐洲、日本等相關通風法規、室內空氣品質基準標準進行完整之收集並進行相關標準擬定之源由、依據與其可執行範圍之分析。表 2-5-2 所示則為國外通風法規中，有關室內空氣污染物之規定。

表 2-5-2 各國室內空氣品質標準或建議值【7】

國別	懸浮粒子 mg/m ³	二氧化碳 CO ₂ (ppm)	一氧化碳 CO (ppm)	甲醛 HCHO (ppm)	臭氧 O ₃ (ppm)	氬氣 Rn (pCi/l)	管制法令
中華民國	---	5000	50 10 d	---	---	---	勞工安全衛生法 公共場所禁煙辦法
美國 BOCA	PM ₁₀ 0.06 b	---	18 c	---	---	---	NMC SEC. 1603
美國 ASHRAE	---	1000	9 c	0.1 (min)	0.05 c	---	ASHRAE 62R (Draft 1996)
加拿大	PM _{2.5} 0.04 a 0.1 d	3500	25 d 11 b	0.1	0.12	4 (舊建築物) 30 (新建築物)	

日本	PM ₁₀ 0.15	1000	10 d	---	---	---	建築基準法施行令 建物管理法施行令
歐洲	---	---	87.3 (15min) 52.4 (30min) 26.2 d 8.7 c	0.08 (30min)	0.07~0.1 d 0.05~0.06 c	---	CEN prENV 1752 (Draft 1996)

註：a：長期暴露 c：八小時平均值 b：日平均值 d：時平均值

2-5-2 建築室內空氣環境指標

經由分析國內外病態建築之導致因素與國際上室內空氣品質相關法規與規範後，本研究採用之建築室內空氣環境指標整理如下表 2-5-3 所示。由於空氣環境之採樣與分析技術較為複雜，在簡便性與經濟性考量下，本研究擬定了階段性實用空氣環境指標，以作為以下 AHP 法評價之用。

表 2-5-3 本研究建議採用之建築室內空氣環境指標

評估項目		物理單位	專家版	實用版
物理性因子	懸浮微粒 PM _{2.5}	mg/m ³	◎	◎
	懸浮微粒 PM ₁₀	mg/m ³	◎	◎
化學性因子	CO	ppm	◎	◎
	CO ₂	ppm	◎	◎
	甲醛	ppm	◎	◎
	VOCs	ppm	◎	◎
	O ₃	ppm	◎	
	氡氣	pCi/L	◎	◎
生物性因子	細菌	CFU/m ³	◎	
	真菌	CGU/m ³	◎	
	內毒素	EU/m ³	◎	
	過敏原	ng/g dust	◎	
	外氣量	CMS	◎	◎

第二章 健康舒適的室內環境

通風效能	外氣量	CMS	◎	◎
	局部平均空氣齡	sec	◎	◎

2-6 健康舒適的室內振動環境

2-6-1 建築室內振動環境概論

某位置某方向之振動加速度實效值為 a_{rms} (m/s^2) 時，其「振動加速度級」(vibration acceleration level, L_{VA}) (CNS7130, C7144) 【8】定義為：

$$L_{\text{VA}} = 20 \log_{10} \left(\frac{a_{\text{rms}}}{a_{\text{rms0}}} \right) \dots\dots\dots \text{(式 2-6-1)}$$

其單位為分貝 (dB)，在此 a_{rms0} 為基準振動加速度值 10^{-5} (m/s^2) (JIS $a_{\text{rms0}}=10^{-5} \text{m/s}^2$; ISO $a_{\text{rms0}}=10^{-6} \text{m/s}^2$)。此量值單純僅為物理量，而沒有考慮人體對於此振動之感受。而工廠的生產機械、整地或道路建設用的土木機械及各種交通器具等產生的地盤振動除了會影響周邊住宅建物之外，更會對箇中居民產生主觀及心理上的振動感覺，由圖 2-1-1 可清楚看出人體對於不同頻率之振動感覺量與實際振動物理量大小有所偏差，而且水平與垂直振動之感覺偏差程度又有所不同。

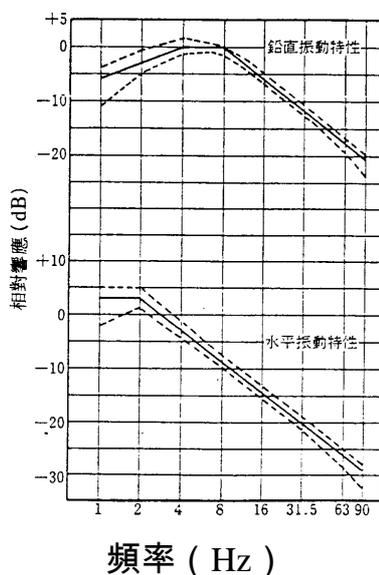


圖 2-6-1 總合頻率響應

因此對於不同頻率之振動應有所修正，關於水平與垂直振動感受量可由下式配合表 2-6-1 或圖 2-6-2 求出：

$$a = \left(\sum a_n^2 10^{c_n/10} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (式 2-6-2)$$

其中 a_n ：頻率為 n (Hz) 時振動加速度之實效值

c_n ：頻率為 n (Hz) 時之相對響應 (可由表 2-6-1 查知)

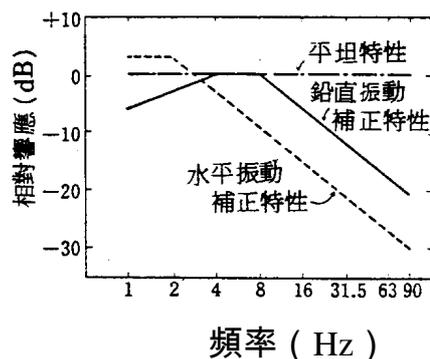


圖 2-6-2 人體對於振動感受量之修正

表 2-6-1 人體對於振動感受量之修正

頻率 (Hz)	垂直振動特性		水平振動特性	
	相對響應 (dB)	許可偏差 (dB)	相對響應 (dB)	許可偏差 (dB)
1	-6	+2 -5	3	+2 -5
2	-3	±2	3	±2
4	0	±1.5	-3	±1.5
6.3	0	±1	-7	±1
8	0	0 -2	-9	±1
16	-6	±1	-15	±1
31.5	-12	±1	-21	±1
63	-18	+1 -2	-27	+1 -2

90	-21	+1	-30	+1
		-3		-3

因此，吾人可重新定義以人體全身為對象，修正因人體感覺的偏差後，作為評價之尺度「振動位準， L_v 」(單位：dB)

$$L_v = 20 \log (a / 10^{-5}) \dots\dots\dots (\text{式 2-6-3})$$

2-6-2 建築室內振動環境評估指標

在國際上常用於評估人體全身振動狀態的基準有 ISO 2631/1-1985、ISO/DIS 2631/2-1985、ISO 2631/3-1985 及 ISO6897-1984 等，在日本方面，其振動管制法的立法依據亦以 ISO 2631/1-1985「全身曝露評估之指針」為基礎，再參酌 ISO 2631/2-1985【9】「人體曝露於建物振動及衝擊之評估」，而於 1986 開始實施。此基準之評估指標是以「傳播到人體全身而頻率範圍為 1~80Hz 的振動」為對象，對全身的振動曝露量進行管制。影響人體振動響應的因素有(1)強度 (intensity)、(2)頻率 (frequency)、(3)方向 (direction) 與 (4)曝露時間 (duration or exposure time)。對各振動方向進行評估時，各振動軸的定義如下圖 2-6-3 所示：

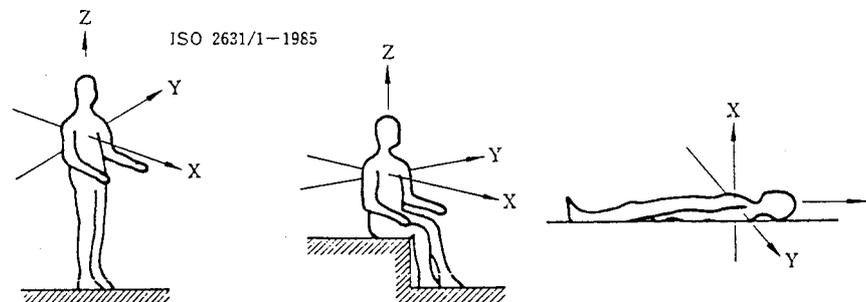


圖 2-6-3 對各振動方向進行評估時，各振動軸的定義

振動評估指標考慮下列三個項目：

1. 疲勞-效率減退邊界

規範在不同曝露時間下，人體各種作業效率下降時振動曝露量之閾值。其以加速度（振動位準）與頻率之關係來表示，如圖 2-6-4 與 2-6-5 所示。由圖亦可看出：人最敏感的振動頻率是 Z 軸的 4~8Hz、X、Y 軸的 2.8Hz 以下。

2. 曝露界限

此為居室人員安全與健康界限之基準，以疲勞-效率減退邊界的兩倍為曝露界限量值。換句話說，曝露界限為疲勞-效率減退邊界的加速度值乘於 2 或振動位準加 6dB 而得之。

3. 舒適性減退邊界

此以容易用餐、讀書、寫字與作業為依據，此基準為疲勞-效率減退邊界的加速度值乘於 1/3.15 或振動位準減 10dB 而得之。

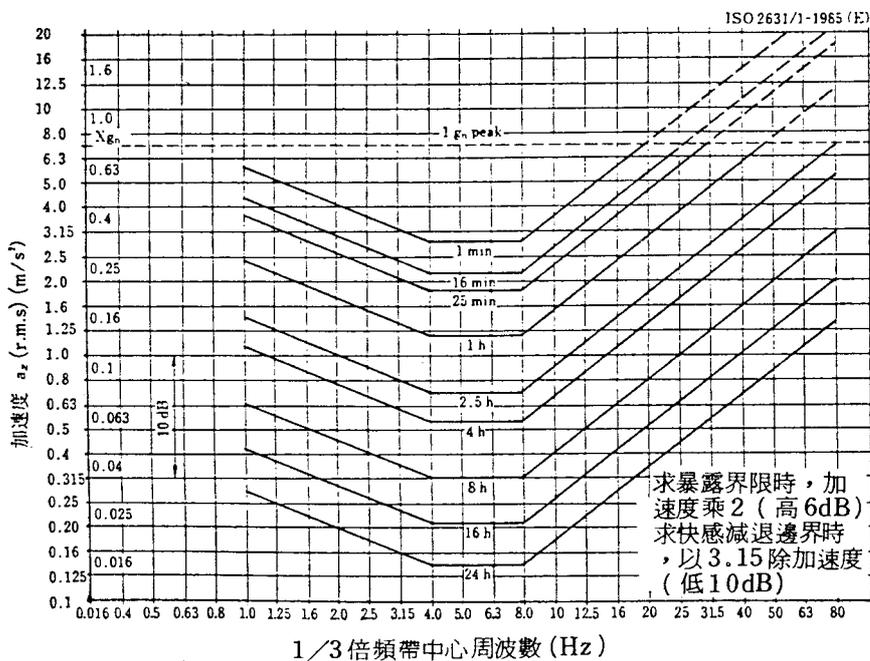


圖 2-6-4 鉛直方向的振動曝露基準 (1) 疲勞-效率減退邊界

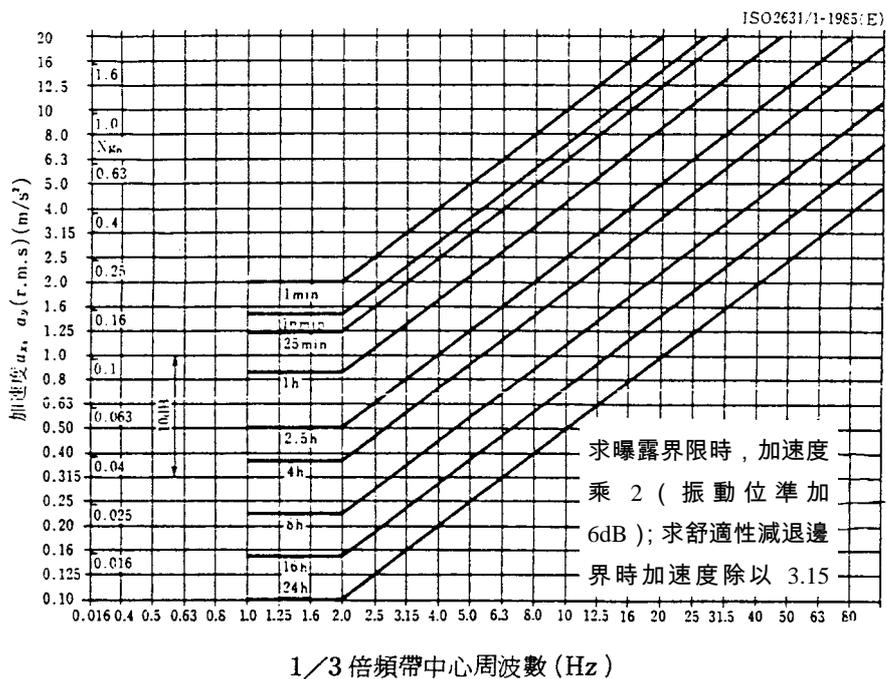


圖 2-6-5 水平方向的振動曝露基準 (1) 疲勞-效率減退邊界

本研究將依一般國際上通用的「全身振動曝露評估指標」為室內環境保健控制振動環境方面的評估指標，其計算方式如式 2-6-3 所示。

2-7 健康舒適的室內電磁環境

2-7-1 建築室內電磁環境概論

本世紀人類的生活方式隨著高階 (high grade) 能源-電力的開發與應用而有大幅度的變化。在工業化的發展過程中，電力能源儼然成為最重要的動力來源。各類電器、通訊和資訊產品等對於人類生活品質的提昇和促進工商發展的貢獻則為有目共睹的事實。然而，持續擴張的開發與應用電力能源亦為人類製造一個幾乎無所不在且日趨複雜的「人為電磁環境」。而深具危害人體健康可能性的電磁生物效應在近年來越來越受到世人的關切。隨著環保意識的提昇，近年來國人對建築室內電磁環境問題的關切度也越來越高。環保團體以及鄰近電力、廣播、電視、電信和雷達傳播等設施的居民抗議陳情事件也日益頻繁。國內目前除台灣電力公司基於業務上的需求會監測其電力設施附近的電磁環境之外，其餘研究幾乎全為公共衛生方面的流行病學基礎研究。有鑑於此，行政院已擬定將「非原子能」相關之各種電磁輻射管制監測與防護權責納入環保署的業務之中，期能發展合宜的防護措施、監測技術與管制辦法。在相關研究文獻方面，由於人為電磁環境造成居室人員電磁生物效應的影響在潛伏多年後方為醫界所懷疑與檢測，因此國外的研究成果相當有限；國內方面，由於尚於研究起步階段，本土化現況資料並不齊全。因此，本研究在構建建築室內電磁環境保健評估體系時，將多方蒐集整理國內外相關文獻資料，以求得最適切之評估指標。

電磁場實分為電場與磁場兩部份，係指：(1)帶電物體之間所發生的電性、磁性作用力 (兩者合稱電磁作用力) 與 (2) 電磁作用力可作用的空間 (場)。而場量則視電荷的運動特性而定：靜止不動的電荷將僅產生場值恆定的「靜電場」；直流電路周邊的空間將存在一穩定的「直流磁場」；若電荷的運動狀態(電流) 隨時間改變時，場源將產生隨時間改變的電場與磁場，在場源區外，此時變的電磁場可因互感而得以向外擴散，形成「電磁輻射」。

電磁輻射的頻譜分佈由 0 赫茲 (Hz) 的直流電一直延伸至 10^{32} 赫茲的宇宙射線，箇中主要輻射形式包含：低頻電磁場 (Extremely Low Frequency Electro-Magnetic Fields, ELF EMF)、無線電波 (Radio Frequency

Electro-Magnetic Waves, RFEM)、微波 (microwave)、紅外線 (Infrared, IR)、可見光 (visible light)、紫外線 (ultraviolet light, UV)、X 光、伽瑪射線、宇宙射線等。圖 2-7-1 所示為常用頻段區分方式、代號及其主要應用。

圖 2-7-1 電波之分域與其發生源

名稱		波長	頻率	發生源	
伽瑪線 X光		未滿 0.001nm		檢測用材料、醫療	
		0.001~10nm		X 光照片、檢測用材料、醫療	
光線	紫外線	10~400nm		滅菌燈	
	可見光	400~780nm		光學儀器	
	紅外線	780nm~0.1mm		紅外線儀器	
電波		次米厘波	0.1~1mm	300~3000GHz	
	EHF	米厘波	1~10mm	30~300GHz	各種雷達
	SHF	微波	1~10cm	3~30GHz	電信事業用微波轉播，航空、船舶、氣象用雷達
	UHF	極超短波	10~100cm	300~3000MHz	電視，電腦，VDT，行動電話，氣象衛星
	VHF	超短波	1~10m	30~300MHz	電視廣播，FM 廣播，國際海上無線電話，呼叫器
	HF	短波	10~100m	3~30MHz	短波廣播，國際廣播，國際通信，警察通信
	MF	中波	100~1000m	300~3000KHz	收音機廣播，船舶、航空通信
	LF	長波	1~10 km	30~300KHz	氣象通報
	VLF	超長波	10~100km	3~30KHz	微波爐
	ELF		100~10 ⁵ km	3~30KHz	家電製品，高壓送電

游離性電磁輻射

非游離性電磁輻射

ULF	超超長波	$10^5 \sim 10^7$ km	0.03~3Hz	
-----	------	---------------------	----------	--

如前所述，電磁場乃帶電物體之間的電磁作用力，而生物體之基本組成即是各種原子、分子與離子等。因此，人體內部即存在有電磁場且能與外環境之電磁場產生交互作用。

量子理論顯示電子於接受或釋放適當頻率的電磁能量之後可改變其能階，其所吸收或釋放的電磁輻射的頻率與能量之間的關係（或轉移前後兩個能階之間的能量的差異）可由波爾方程式計算得知：

$$\Delta E = h\nu \quad (\text{式 2-7-1})$$

式中 $h=6.63 \times 10^{-34}$ (焦耳·秒) 為蒲朗克常數(Planck's constant)，此能量的另一常用單位為「電子伏特 (eV)」兩者的轉換關係為：「1 電子伏特 = 1.6×10^{-19} 焦耳。

當外加電磁輻射所提供的能量足以使電子提昇至傳導帶時，電子即變成不受原子結構束縛的負離子，而少了電子的原子則變成正離子。對生物組織中的水分子以及碳、氫、氧、氮等原子而言，造成此游離現象所需的能量約在 10~25 電子伏特之間，由式 2-7-1 可知，頻率高於約 2.5×10^{15} 赫茲的電磁輻射將可直接游離生物細胞的各種原子和分子，造成危害人體健康的各種病變。這也就是為什麼中/遠紫外線與 X 光等被歸類為「游離性電磁輻射」(ionizing electromagnetic radiation) 並受到管制的原因。

相對地，可見光、紅外線、微波、無線電波以及極低頻電磁場等則無法直接游離生物組織，因而被歸類為「非游離性電磁輻射」(non-ionizing electromagnetic radiation) 且無適當管制法令與管理單位。這些非游離性電磁輻射在工業化的社會中已被廣泛的應用，頗多的醫學研究顯示這些非游離性輻射能對人體產生其它效應。其中部份對人體健康的維護有益者亦已被廣泛地運用到醫學診斷與治療中，如：生理監測和診斷用的心電圖和腦波圖等，然而亦有甚多對人體健康可能產生不良後果的效應存在，這些研究結果透過大眾媒體的報導之後亦引起世人的普遍關心，甚或對存在於環境中的非游離性電磁輻射的安全性感到疑慮與恐懼。

2-7-2 建築室內電磁環境指標

因此，以維護居室人員健康舒適為前提的建築室內保健環境控制系統亦需將此「未明」的電磁輻射列入考量。在游離性輻射方面，根據我國行政院發佈之「游離輻射防護安全標準」中規定：一般人之年有效等效劑量限度為五毫西弗（5 mSv）（0.5 侖目），個別器官或組織之年等效劑量限度為五十毫西弗（5 侖目）。其中等效劑量指的是人體組織之吸收劑量與射質因數之乘積，用於輻射防護之射質因數是由原子能委員會公告之。等效劑量之單位為西弗（一西弗等於一百侖目）。千分之一西弗為毫西弗，百萬分之一西弗為微西弗。近年來輻射污染建築物事件實為國內外罕見之公害事件，由於鋼筋不是輻射管制的項目，正常情形下鋼筋根本不會含有人工放射核種，因此鋼筋輻射污染只能歸為意外事故。根據美國自一九八三年起統計之國外輻射鋼筋案例，多為用於製造量測器或支架設備，與國內使用在建材造屋情形截然不同，故無相關之法規及處理經驗可供引用。而上述「游離輻射防護安全標準」中雖然訂有劑量限度，但其適用範圍僅限於輻射作業場所的一般曝露，不能做為意外事故的處理依據。因此原能會為保障居民健康、維護公共安全，乃制定了「輻射污染建築物事件防範及處理辦法」，就建材偵檢、建築物普查、健康檢查、改善技術等種種方向採取各項必要之處理措施，力求使此一無例可循且迥異於一般公害之特

殊事件，由防範以至善後處理，均能獲得適當的解決之道。由於輻射偵測與防護技術具有相當專業性，因此原能會亦訂定「輻射防護業和輻射偵測業認可及管理要點」，藉由民間力量的參與即早發現已使用輻射污染鋼筋之建築物，並確保其認可之「輻射防護業」及「輻射偵測業」者之偵測品質。目前經原能會認可之「輻射偵測業」，其服務項目僅為對建築物及鋼筋鋼材類進行輻射偵測，並判定其有無異常輻射；「輻射防護業」服務項目除包括偵測業之服務項目外，另含其他輻射防護有關之偵測、評估、放射性物質運送等事項及諮詢。

因此，在本研究案追求室內綜合指標之簡易化與實用化的前提之下，再加上游離輻射曝露量測皆需具專業證照人員的現況下，現階段建議將此游離輻射指標列入後續指標之增修訂研究課題中。

本研究將以普遍存在人類居室空間的極低頻電磁場（非游離性電磁輻射）為考量主體，探討建立相關評估指標之可能性。

極低頻電磁場的場源有自然與人為等兩大類，本研究僅探討人為電磁環境問題。人為電磁場源存在於住家、工作場所與公共場所等，主要的來源為：一般的電力設施（包含發電、輸電、變電與配電設施等）、電氣化交通運輸工具之電力設施以及各種電器（如家電、辦公室自動化設備以及各種電動工具與機器）。其產生的電磁場頻譜分佈主要發生於交流電力的基頻及低階諧波，以國內言，這些頻率包括 60 赫茲（基頻）、120 赫茲與 180 赫茲等。

另一類近年來頗受人矚目的電磁場源為電視機與電腦顯示器所使用的陰極射線管（Cathode-Ray Tube, CRT）。陰極射線管產生的電磁環境是相當複雜

的。在極低頻範圍內，他的電磁場主要包括電力供應線路產生的 60 赫茲場，以及內部垂直與水平掃描線圈產生的週期性磁場(分別是 50-70 赫茲與 15k-30k 赫茲的基頻)(隨著解析度的提昇，新一代顯示器的水平掃描頻率已超過 80k 赫茲);除此之外，陰極射線管亦產生靜電場與 X 光之類的放射線。

由相關文獻之蒐集得知，國際上在極低頻電磁領域的標準量測程序與規範方面，截至目前為止僅有 1987 IEEE 制訂「架空交流輸電線路附近的電磁領域」標準量測程序(ANSI/IEEE Std 644-1987)。而其他場源的電磁環境量測程序僅有建議性規範存在而無公認之標準。本研究以上述 ANSI/IEEE Std 644-1987 及 IEEE 所建議的「單點式住家電力頻率磁場環境的量測程序」，進行文獻上評估指標之整理。

在電磁場安全標準方面，世界各國現行的電磁場安全標準的制定依據可分為電氣生理學與流行病學兩大類。前者以巨觀的輻射劑量對生物組織所產生的效應為其理論基礎，分析過程雖有解析度稍嫌不足的缺點存在，但仍為大多現行安全標準所遵循，依此原理所設定的場強極限較高，而國外量測經驗顯示環境中僅有少數地方的場強會超過這些極限；流行病學採統計分析方法測試其研究所設定的假說成立與否，在這個問題上這些假說大致為各種環境中的它磁場與人類所罹患的某些疾病之間的可能關聯。理論上，這類研究本身並無生物醫學上的依據。在國際上並無公認電磁場安全標準的情況下，有學者建議以 IRPA/INIRC-1990 的暫訂準則作為國內制訂極低頻電磁場安全標準的首要參考。【10，11】

經由分析國際上在「極低頻電磁領域的標準量測程序」與「極低頻電磁場安全標準」方面其採用的物理量項目與單位，可知在極低頻範圍，電場與磁場量測的物理量分別為「電場強度 (electric field intensity)」與「磁通量密度 (magnetic flux density)」，常用的電場強度單位為「伏/公尺」和「仟伏/公尺」；常用的磁通量密度單位為「毫特斯拉」、「微特斯拉」和「毫高斯」，其間的轉換關係為：1 毫特斯拉=1000 微特斯拉=10 高斯=10000 毫高斯。

因此，本研究將採用之建築室內極低頻電磁環境指標整理如下表 2-7-1 所示：

表 2-7-1 本研究採用之建築室內極低頻電磁環境指標

第二章 健康舒適的室內環境

評估項目	適用對象	頻率範圍 (赫茲)	物理單位	專家版	實用版
極低頻電場強度	一般民眾	50/60	「伏/公尺」或 「仟伏/公尺」	◎	◎
極低頻磁通量密度	一般民眾	50/60	「毫特斯拉」、「微特 斯拉」和「毫高斯」	◎	◎

2-8 其他影響室內環境健康舒適性之因子

2-8-1 室內水環境與綠環境

室內水環境影響居室人員健康與舒適的層面，可分為供水與排放水兩方面來探討。在供水側方面，可就水源的出處（自來水、地下水與山泉水等）、管線設備的維護管理程度（清潔公司的委任與清洗頻率等）等方面加以評估。而國內行政院亦針對一般家戶的飲用水品質訂定了「飲用水水質標準」、「飲用水管理條例」與「飲用水設備維護管理辦法」等相關法規，期能維護人們基本的健康飲水權益；在排放水方面，可就蓄水池構造（地上/地下化、透水度、清潔度等）與地下水道接管率等方面考量。

而室內綠環境對人體健康舒適的影響層面仍需要多方探索的，綠色植栽對於人體視覺上的疲勞狀態有舒緩的功用，對於空間色彩的點綴可增進生活或工作的樂趣，但是植物本身所放出的生物性揮發有機物（biogenic VOCs）對於人體的影響仍值得加以研究。

因此，現階段可以鼓勵的方式定性評估室內水與綠環境之現況，實際的定量評估工作則建議列為未來研究課題加以深入探討。

2-8-2 室內空間環境

就一工作空間而言，活動空間的便捷性將影響到居室人員之心理狀態，間接地感應至人體的舒適感。因此許多國際上推動的室內環境使用後評估（POE）體系中，皆將此要因列入定量評價中。如日本建設省建築研究所即推薦下列要項做為個人工作空間環境性能之評估指標：個人工作面積（ m^2 /人）、天花板高度（m）、個人工作桌寬度（m）、椅子之調整機能數、OA 機器台數（台/人）、電話台數（台/人）、會議面積（ m^2 /人）與個人可用儲藏空間（ m^3 /人）等。由於本研究的命題為室內環境保健控制之研究，著重在物理環境與相對應心理層面之評估，因此現階段並不將此空間環境性能列入考量，在未來研究課題中，若有擴大考慮整體空間性能時，則可將此要素依本研究提供之評估邏輯、程序與方法列入指標群中。

2-9 小結

茲將音環境、光環境、熱環境、空氣環境、振動環境與電磁環境等指標歸納整理如表 2-9-1 所示。

表 2-9-1 室內綜合環境指標完整歸納

評估項目	專家版		實用版	
	一般住宅	辦公空間	一般住宅	辦公空間
音環境	TNEL ₃₀	◎	◎	
	TNEL ₃₀ '	◎	◎	◎
	L _{eq} M	◎		
	L _{eq} D		◎	◎
	L _{eq} 24H	◎	◎	◎
	L ₁₀	◎	◎	
	L ₅₀	◎	◎	
	L _d	◎	◎	
	L _n	◎		
	NR 曲線	◎	◎	◎
	NC 曲線	◎	◎	
光環境	作業面平均照度	◎		◎
	作業面人工光源平均照度	◎		
	作業面均齊度	◎		◎
	作業面人工光源均齊度	◎		
	晝光率	◎		◎
	窗面輝度	◎		
	窗深方向之垂直面照度	◎		
	燈具之不閃眩光指標	◎		◎
	光源之色溫度	◎		
	光源之演色評價數	◎		
熱環境	室內環境溫度	◎		◎
	室內環境濕度	◎		◎
	室內環境風速	◎		◎
	PMV	◎		◎
	作業位置垂直向溫度差	◎		
	日射量	◎		
	室外溫度	◎		
	室外濕度	◎		
	室外風速	◎		
	空氣環境	懸浮微粒 PM _{2.5}	◎	
懸浮微粒 PM ₁₀		◎		◎
CO		◎		◎
CO ₂		◎		◎

空氣環境	甲醛	◎	◎
	VOCs	◎	◎
	O ₃	◎	
	氬氣	◎	◎
	細菌	◎	
	真菌	◎	
	內毒素	◎	
	過敏原	◎	
	外氣量	◎	◎
	局部平均空氣齡	◎	◎
振動環境	全身振動曝露評估指標	◎	◎
電磁環境	極低頻電場強度	◎	◎
	極低頻磁通量密度	◎	◎

多方檢討影響室內環境之可能因素後，本研究最後歸納整理出如表 2-9-1 所示室內綜合環境指標群。專家版指標共有 47 種，在掌握室內環境狀態時間與空間上的變動較為精密，對於問題點的判定亦為正確，但考量到實測之經濟性、時效性、居室人員之接受程度與問題之複雜度等，研究單位於箇中摘錄出實用性較高的「實用版」類指標，如表 2-9-2 所示。實用版指標有 23 種，約佔原先擬定精密版指標總數的 49%，對單一空間進行實用版指標測試時，前後約為 3 個工作天既可，所需時間與人事更為精簡。然而，實用版指標群的項目與個數是暫訂性質的，待執行 AHP 法賦予各指標相對權重後，研究單位將依 AHP 法評定結果與專家學者之諮詢建議重新修訂實用版指標群，俾使其更具「普及/實用」性。

表 2-9-2 「實用版」室內綜合環境評估指標

評估項目		實用版	
		一般住宅	辦公空間
音環境	TNEL _{30'}	◎	◎
	L _{eq} (24H/D)	◎	◎
	NR 曲線	◎	◎
光環境	作業面平均照度		◎
	作業面均齊度		◎
	晝光率		◎

	燈具之不快眩光指標	◎
熱環境	室內環境溫度	◎
	室內環境濕度	◎
	室內環境風速	◎
	PMV	◎
空氣環境	懸浮微粒 PM _{2.5}	◎
	懸浮微粒 PM ₁₀	◎
	一氧化碳 CO	◎
	二氧化碳 CO ₂	◎
	甲醛	◎
	VOCs	◎
	氬氣	◎
	外氣量	◎
	局部平均空氣齡	◎
振動環境	全身振動曝露評估指標	◎
電磁環境	極低頻電場強度	◎
	極低頻磁通量密度	◎

第三章 建築室內環境保健控制評估體系之建立

- 3-1 評估指標之意義與應用
- 3-2 室內環境保健控制評估指標之意義與應用
- 3-3 室內環境保健控制評估指標與綠建築評估體系之
關連性探討
- 3-4 室內環境保健控制評估層級體系之建立
- 3-5 「分析層級程序法 (AHP Method)」之理論基礎
- 3-6 室內綜合環境保健控制評估指標之相對權重分析
- 3-7 小結

第三章 室內環境保健控制評估體系之建立

室內環境保健控制評估指標建立之目的，主要是為釐清我國室內建築環境保健控制之現況與問題點，以提供政府有關單位建立定量化室內保健環境之參考依據，作為建築物建成環境及日常使用維護上的管理工具與其他政策擬定之參考。

3-1 評估指標之意義與應用

3-1-1 指標之定義與類型

一般而言，指標並無特定之定義或求法，必須依評估對象之個案特徵給與適當之定位，但基本上它是一種依時間不同而可長期比較測度目標程度之時間數列。從社會指標學來解釋，統計量、指標和指數三個名詞間有其不同之定義：

1. 統計量 (Statistics) : 為一種最為原始而未經整理之測度量，例如某年、某地區、某棟建築物其室內空氣污染物二氧化碳濃度之歷時變化量即是一種統計量。
2. 指 標 (Indicator) : 係將各種統計量經過組合，修正或改善後之數據，其設計目的是希望借此而獲得較穩定之測度量，比如以某測度量之百分比或成長狀況得到之指標，要比單純之統計數值在解釋程度或穩定性上有效。
3. 指 數 (Index) : 是指兩個或兩個以上指標之加權組合，通常其目的在於摘要說明某些為人們所關切之事項；例如消費者物價指數就是合併了經濟中各個部門之物價指標而來。

學者 De Neufville 曾對「指標」下一定義：「指標係指一種建構、收集資料或整合資料而來代表某一概念的程序」。亦即指標是用來描述、討論或操作觀念的工具，它能夠讓我們組合經驗上的觀察，並與觀念本身連接，而賦予它

實質的意義。

換言之，指標建構的意義實依附於概念變數的界定意涵之中。指標不能夠脫離概念架構而獨立存在，否則光有一堆量化的數字而不能表現出其含義，和沒有這一堆數字並沒有差別。因此，建構指標者不僅應該負起經驗資料的衡量責任，同時也要檢視指標所蘊含的概念變項本身，才能幫助我們正確的分析與了解事項【12】。

一般而言，指標依測度之角度、特性或解釋等之不同，可約略分成以下四種類型：

(1) 主觀指標與客觀指標

「主觀指標」乃是基於個人之感受和評價而建立之指標；「客觀指標」則係對於特定情況有關之行為和狀態之說明。例如測度居室人員對於室內噪音之感受程度便是主觀指標，而實際量測、計算室內生活噪音級的大小，便是一種客觀指標。在擬訂指標時，應儘可能使用客觀指標，因為很難利用主觀指標來建立成比率尺度方面之資料，而主觀指標則可用於輔助客觀指標評估結果之論述。

(2) 直接指標與間接指標

指標依據測度之直接與否，可分成直接指標與間接指標。「直接指標」是對於受測對象本身變數之測度，「間接指標」是基於經驗或理論之各項檢定，測定與某項變數有密切關聯之其他變數。由於間接指標很可能受其他因素之影響而失去正確性，所以選擇指標時應優先考慮直接指標。

(3) 敘述性指標與分析性指標

「敘述性指標」意思是指該指標未依據某種理論架構或模式發展產生，純粹從某種標準而直接測得之結果。「分析性指標」是指某項變數之指標能夠明確地在某個理論架構或模式中，找出與其他變數之關聯性，如經濟指標，此指標是從經濟模型中各變數相互關聯之組合關係所得；又如 ISO 7730 所述人體熱舒適指標 PMV 則是由人體熱平衡

數值模型中，綜合環境溫度、濕度、風速等因子推導而得的。

(4) 投入指標與產出指標

投入與產出一般為衡量生產力之兩個變數，而生產力可以定義為：「生產力乃是產出與生產該產出所需因素投入之比率」。所以在評估某事件之成效時常會利用「投入指標」和「產出指標」之比率關係來衡量績效狀況。由於本研究之評估體系中並無投入/產出之行為，因此研究過程中未將此要項列入考量。然而在後續研究建議中，建築構體與空調系統之改善行為(投入)影響室內保健環境之成效(產出)評估是未來相當重要之課題之一。

本研究之目的在於建立室內環境保健控制評估指標，希望以量值化的角度有效地評估國內建築室內環境保健控制之現況與問題點，因此，研究過程中評估指標之擇定原則主要考量到主觀性、直接性與分析性。

3-1-2 指標選擇之參考原則

本研究依據影響室內保健環境之物理性、化學性與生物性因素以及居室人員心理層面之特性，擬訂了十個選擇指標之參考原則來做為遴選室內環境保健控制評估指標之參考原則，此十個原則說明下：

1. 有效性 (validity)

有效性是選擇指標最重要之條件，它代表指標所能反映出某一現象或觀念之程度。評估指標有效性有四種基本方式：

(1) 表面之有效性 (face validity)：此種評估方式是為了瞭解指標之設計方法，評估該指標與實際情況連繫之理論基礎，以評斷該種設計方法是否合理。

(2) 建構之有效性 (construct validity)：比法是觀察此指標之測度方法和其

他變數間之運作關係，在某種變動之下是否與預期相同。

(3) 預測之有效性 (predictive validity) : 此評估法為測定此指標能否正確地預測一些情況，而這些情況則與被測度的現象之間是否存在著因果關係或完全與被測度之現象吻合。

(4) 收斂之有效性 (convergent validity) : 此方式為對相關聯現象間之各種測度方法，在長期是否大致呈一致性之移動。

2. 可靠性 (reliability)

指標之可靠性為該指標在測度時誤差變異量之函數，即是指標之變異總和中不屬於誤差變異之比例，其可能值介於 0 與 1 之間。

3. 穩定性 (stability)

測驗指標穩定性和可靠性，都是對指標加以重覆地測度，但兩者之間有一個主要之不同點，即測驗穩定性時測度與測度之時間間隔必須長些，使得被測期間顯著不穩定有三種可能性：(1) 被測度之成效面確有改變、(2) 測度之過程不可靠、(3) 「測度」對外界之影響力產生之反應。因此指標之變動應源自測度目標的確有變動，且須排除一些無關因素變動之干擾。

4. 反應性 (responsiveness)

成效指標對所測度之成效目標發生變動時，必須能迅速而立即地反應此種現象。指標之反應性如何，要視該指標之測度方法及其對變數直接或間接測度而定，同時也與使用指標之環境有關。例如：微小的空氣污染物濃度變化對人體感知器官的影響不若噪音的敏感性。

5. 資料之可及性 (availability of data)

在選擇成效指標時，雖不能完全遷就有無現有資料可用，但在建立指標之初，必須對這些指標資料來源檢視一下。對於一些並非立即可得之資料而言，其蒐集資料之成本要視下列情況而定：(1) 現有資料是否能經修改後加以運用、(2) 資料蒐集之過程是否能同時測度其他不同之指標。

在進行繁複而敏感性之資料蒐集過程中，宜先檢查可用的及易於測度之資料。由於某些問題對受訪者較敏感，因此很難用調查方法正確得知，如進行建築物使用後評估量測前，研究單位將會對建築體與空調系統進行事前勘驗，該設備管理人員對於日常保養檢修問卷之回答誠實度等。因此在選擇指標或進行指標之調查時應考慮這方面之問題。

6. 尺度性 (scalability)

選擇指標會隨著測度目標之不同而有不同之尺度，例如表示成效指標之期間相對變動下，可能會選用區間或比率尺度來測度，而為給評定之目標間排名或排序時，可能會使用序列尺度。

7. 代表性 (representativeness)

在某些情況下，為減少成效指標之複雜性，會選擇少數之幾個重要指標來代表某些現象，例如：一般實施室內空氣品質簡易評估時，會以室內二氧化碳當作指標污染物。當然，不論如何之結合各種指標以構成綜合指標或選擇代表性之指標，都難免造成訊息之漏失，但重要的是，所選之指標應能涵蓋及衡量與成效有關問題之主要方針和層面，並且要能反應對這些問題之影響性，同時這些選定之代表性指標與未被選取之指標間，應存在高度之相關。

8. 比較性 (comparability)

指標應能表現不同時期之變化程度，以利評估成效是否有所改善之參考。其次是依需要，指標應可提供不同群體間成效之比較程度。

9. 可理解性 (understandability)

一個成效指標，縱使其理論基礎或測度方法只能為專家所了解，但實用須符合簡易性，使得使用者均能理解其含意。拿 GNP 或產值而言，其中之計算可能很複雜，但其意義卻很容易理解。

10. 政策相關性 (policy relevance)

對於具有與政策有重要性關聯之成效指標應予優先考慮。例如：能突顯國內室內保健環境控制之指標，很可能喚醒居室人員關注其周遭生活環境之

意願，對整體國民個人或公共團體注重其居室衛生環境之推廣政策有絕對之相關性，特別是地狹人多的台灣都市環境，許多的流行性疾病往往是公共衛生環境之不良而得以迅速漫散，對於整體國家之競爭力影響是不容忽視的。

3-1-3 指標權重之考量

室內環境保健控制評估指標群已在第二章確定完成，但指標架構中尚有一項權重資料未訂定，本節將針對該權重擬訂之需求性及訂定權重之方法進行分析與探討。

1. 指標權重需求之分析

(1) 權重需求分析

一般社會科學之研究或目標決策之訂定問題，常需借助加權方式來分配各決策變數之權重。由於室內環境保健控制是屬於一個長程性之推動計畫，各時程階段之計畫目標與重點將有所差異，若欲給予各個成效指標適當之權重，應依各階段計畫推動目標之不同而適時地更正該時程之權重、以符合階段性之評估重點。

(2) 加權目的與資料單位之轉換

訂定指標權重之目的是希望經由各指標之權重而將各細項指標之評估結果彙總組成總指標，透過此單一總指標可較輕易地比較各年度或各受評者間（建築/空間個體）之成效高低。由於各項評估指標之單位並不相同，因此在彙總成總指標之前需先將各項指標轉換成共同單位或衡量尺度。一般常用之資料單位轉換方式及其相關資料如表 3-1-1 所示。

表 3-1-1 資料單位轉換方式之比較【12】

轉換方式	方法說明	平均數	顯著性檢定
1. 名目尺度 (nominal scale)	係為了標示目的而指定的數字。尺度彼此間無順序關係，其加減乘除的運算也毫無意義	眾數	卡方 (χ^2) McNemar Cochran Q

2. 順序尺度 (ordinal scale)	表示各事物間的等級或順序，但不表示不同順序或等級間的差異程度	中位數	Mann-Whitney U 檢定 Kruskal-Wallis 檢定 等級相關
3. 區間尺度 (interval scale)	具有一個相同的衡量單位，不僅可表示順序或等級，還可表示不同等級間的距離	算數平均數	z 檢定 t 檢定 變異數分析
4. 比率尺度 (ratio scale)	與前者相似，但前者的零點係自行選定，而比率尺度的零點是唯一的	幾何平均數 調和平均數	z 檢定 t 檢定 變異數分析

2. 加權方法

加權方法中可依加權方式之直接性與計算技巧之不同可分成四大類，包括比對矩陣法、直接加權法、相關矩陣法與資料包絡線分析法等四類，下圖 3-1-1 顯示各加權方法之分類。

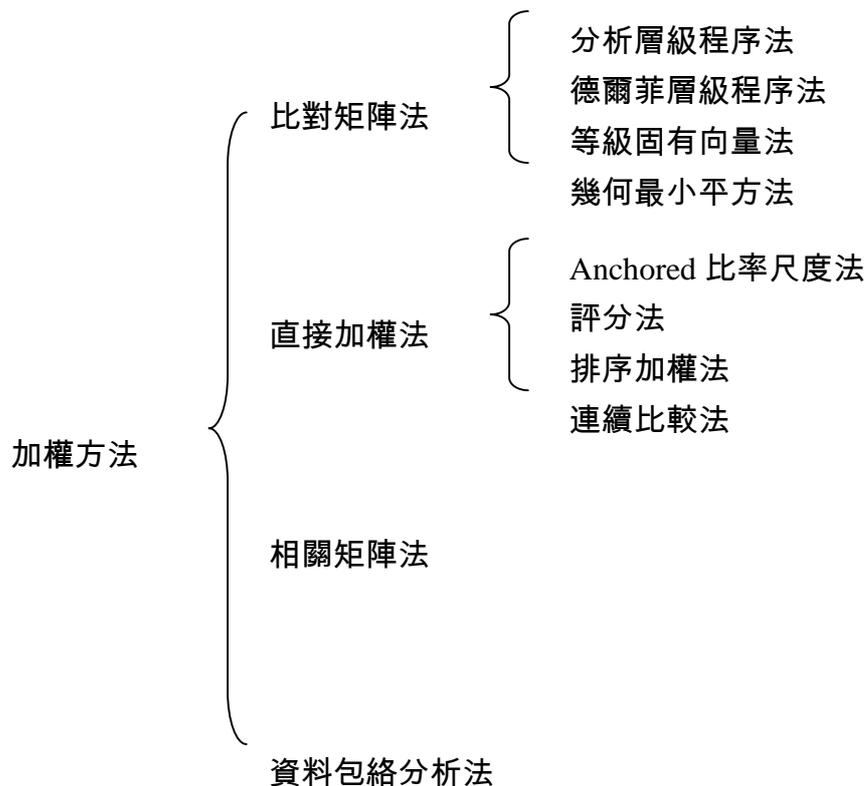


圖 3-1-1 指標加權方法之分類【13】

3-2 室內環境保健控制評估指標之意義與應用

3-2-1 環境指標之意義

環境品質的提升與否，深切地關係到人類對生活品質的追求，由於環境的問題牽涉廣泛，其所涉及的專業知識，已非一般民眾所能瞭解。而環境品質的憂劣卻須賴全體居民的共同體認與支持。如何使民眾由認識環境品質的好壞，進而參與環境問題的討論與解決，可以經由環境品質指標的建立來加以促進。

Thomas (1972) 曾定義，所謂「環境指標 (environmental indices)」乃指可用來判斷環境良窳之標準。環境指標融合了下列四種概念：(1) 保護國民健康與生活環境之「目標值(Goal)」、(2) 法律上依據目標值等制定之「管制標準 (Regulation Standard)、(3) 行政施策之「方針(Guide)」以及 (4) 生活環境品質或影響程度之「判定基準 (Criteria)」

內藤正明 (1992) 則指出，「所謂環境指標，係指以多數的環境狀態變數為對象，依據其特性所抽取出來的少數特性值」。換句話說，環境指標乃是以少數的環境特性變數，取代眾多的環境狀態變數，同時亦能充份地表現出環境品質的真實狀況。

環境指標大致可以分為兩類，第一種環境指標是屬於「現象解析的指標」，主要的功能在於能充份地傳達環境狀態的訊息，其環境狀態變數的獲得必須依賴各種環境監測資料的提供(例如，空氣品質指標所包括的各種污染物：CO、SO₂、NO_x 等)。第二種環境指標是屬於「價值評價的指標」，其評價的主體是一般居民，係利用某些衡量尺度(例如滿意程度等)做為評價環境品質的標準，而能充分表現居民的真實感受與評價。【14】

表 3-2-1 環境指標的種類 【14】

分類	第一種	第二種
	現象解析的指標	價值評價的指標
角色功能	「資訊的傳達」 把握特定對象之現象，易於瞭解與表現的指標	「價值的評價」 利用某些衡量尺度做為評價標準所造成的指標

特性值 $f(x_1, x_2, x_3\dots)$	代表值	評價值
投影 $x_1, x_2, x_3\dots$	「特性函數」 表示狀態變數在某一特定現象變化時的投影	「價值函數」 表示狀態變數在某一特定價值尺度下的投影
事例	1.物價指數 2.PSI 大氣品質綜合指標	1.都市舒適滿意度指標 2.都市環境品質指標

3-2-2 室內環境保健控制評估指標之定位

有關環境品質評估指標的實際應用，以日本研究發展的歷史較久，體系亦較完備。在相關環境品質評估指標的定位方面，內藤正明（1992）曾指出：通常以「社會指標（Social Indicator）」來衡量國民整體生活品質的水準，其涵蓋的範圍較廣，衡量的方式幾乎是以居民的價值判斷為主，相當主觀，屬於多目標的評價函數。而過去所謂的環境指標，係指針對環境污染問題，專門用以衡量對人體健康與生活狀況危害程度的「污染指標」而言，所涵蓋的範圍有限，主要靠科學儀器的偵測和追蹤來掌握相關的環境資訊，較為客觀，屬於個別環境項目的好壞判定。至於今日所謂的「環境指標」其範疇則已超出過去的「污染指標」，除了考量環境污染問題對生理的影響外，也考慮居民的主觀感受與評價結果，是屬於綜合的評價指標，其範圍涵蓋整體自然及都市規模。【14-16】

至於本研究之主題--室內環境保健控制評估指標，其評價範圍介於一般「環境指標」與「污染指標」之間，規模亦界定於建築室內之環境狀態，屬於主、客觀兼具之居室人員生、心理綜合評價，特別的是室內環境保健控制評估指標主要以維繫居室人員生活上的健康權益為主，特別強調舒適與健康環境之追求目標。因此，本指標體系之構建過程中，除了需考量一般污染指標涵蓋之範圍，對於環境品質之心理層面亦需一併考慮。各類指標之涵蓋面與屬性等詳述於圖 3-2-1 中。

項 目	評價基準	判斷屬性	評價方式
-----	------	------	------

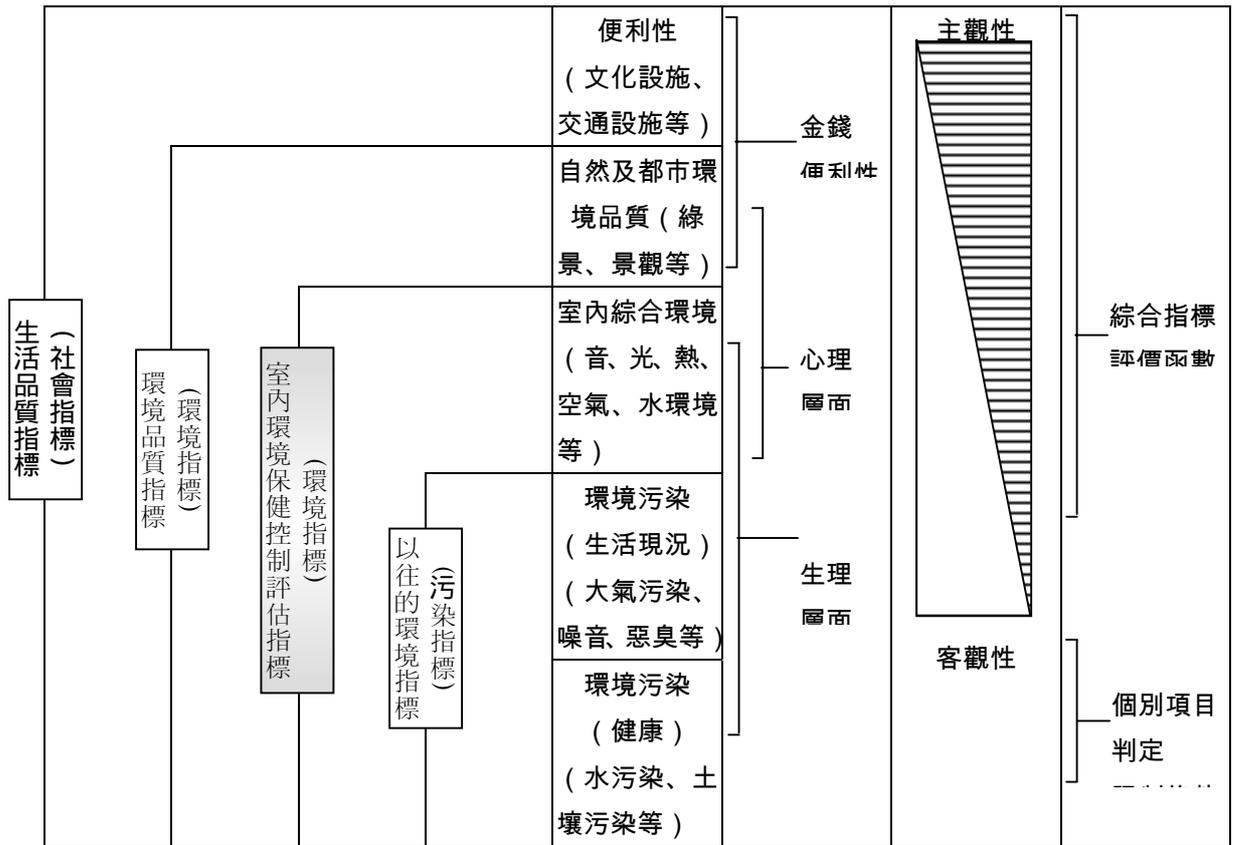


圖 3-2-1 相關環境品質評估指標之涵蓋面與屬性

3-2-2 室內環境保健控制評估指標之效用與目的

有關室內環境保健控制評估指標的具體效用可簡述如下：

(1) 有效率地掌握台灣地區一般室內環境的實際狀態

在完成室內環境保健控制評估體系後，後續的研究工作可以此研究成果為基礎，進行台灣地區建築室內環境普查，此將有助於對一般室內環境實際狀態的掌握。

(2) 地域間的建築室內環境比較

爾後可進行台灣地區北、中、南等不同地理微氣候下，其室內環境狀態之變化。甚至可進行國際間狀態之比較。

(3) 室內環境變化趨勢之掌握

與前述理由相同，室內環境狀態在時間序列上的變化趨勢，亦可更

確切的掌握。

(4) 室內環境改善目標設定的支援

由於綜合化後的室內環境保健控制評估體系，是將自「個別評價」到「整體評價」的程序中邏輯性的思維過程充分地表達出來，因此，當決策者欲設定自「個別目標」到「整體目標」的室內環境目標體系，而後設定目標水準時，室內環境保健控制評估體系就是非常有效的支援工作。而當中所提出的「負面因子決策評估法」更提供決策者，如何自評估指標之量測結果轉換成環境改善策略一項迅速有效的利器。

(5) 各種政策效果與影響的計測

當決策者欲計測各種環境與衛生政策施行的效果與影響，或評估政策施行有效性與計劃達成度時，室內環境保健控制評估指標就成為重要的工具。

(6) 喚醒居民的環境衛生意識

居家與公共環境衛生的維持，除了依靠政府正確的公共衛生政策指導外，居室人員健康意識的覺醒更是成效的最大保證。「價值意識評價指標」的提供，可使居室人員的實質感受與經驗結合，作成直覺且易懂的標準，有助於居民環境意識的促進與交流。

3-3 室內環境保健控制評估指標與綠建築評估體系之關連性探討

就國際間既有綠建築評估工具而言，其評估內容可依尺度 (scale) 分為：全球性議題 (global)、區域性議題 (local) 與室內環境 (indoor environment) 議題等，如圖 3-3-1 所示。【17】

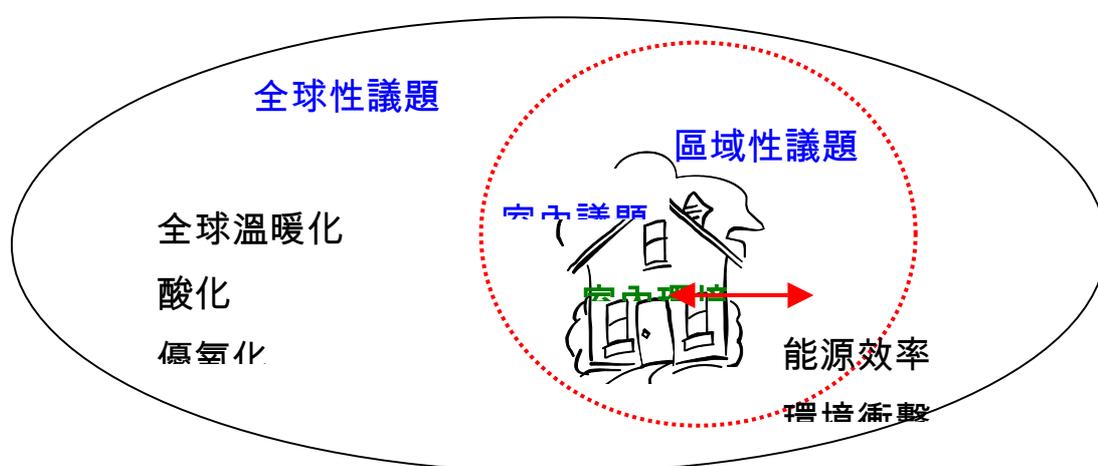


圖 3-3-1 室內環境保健控制評估指標於綠建築評估體系之定位

而由國際間既有綠建築評估工具 (指標) 之彙整研究可看出：室內綜合環境評估指標 (音、光、熱、空氣環境等綜合考量) 已成為世界先進國家綠建築評估體系中不可或缺之一環【16】。

就我國內政部建築研究所進行之相關綠建築標章研究而言，現階段考慮層面在於建築軀殼外部之基地環境，對於影響居室人員健康權益甚具之「建築室內環境」亦應儘速規畫其綠色標章評估體系之研究，以求得本土化綠色建築標章內涵之完整性，並作為「建築

室內環境品質」概念推廣之依據。而我國對於建築室內環境保健控制綜合指標之建構已有階段性成果，建議以此為基礎，接續進行綜合指標納入綠建築評估體系之轉化工作與建築室內環境綠色標章評估體系之研擬。俾使我國的綠建築標章能具備完整考量，同時得以加入國際間綠建築議題之研究團隊並促進國內建築室內環境控制基準之提昇以及喚醒居民的室內環境衛生意識，作為各種政策效果與影響的計測與相關法規體系建構之參考。

表 3-3-1 國際間既有綠建築評估工具 (指標) 之彙整 (結錄部份內容) (本研究整理)

評估工具	應用國別	發展時間	評估指標	與室內環境相關之評估指標	各指標間是否具權重【賦予方法】	註解		
BEES (Building for Environment and Economic Sustainability)	美國 (由 National Institute of Standards and Technology 發展)	1994	<p>【1】環境性能：ISO 14040 (draft standard for LCA)</p> <p>1.全球溫暖化趨勢 (等值 CO₂)</p> <p>2.酸化程度 (等值 H₂)</p> <p>3.優氧化程度 Nitrification Potential (等值磷酸鹽)</p> <p>4.自然資源消耗 (資源可使用年限及庫存量)</p> <p>5.室內空氣品質 (IAQ)(無因次化分數)</p> <p>6.固態廢棄物 (埋填垃圾量)</p> <p>【2】經濟性能：ASTM E917 (standard life cycle costing, LCC)</p>	細部室內空氣品質評估指標群資料 尚於集中	是 【AHP】 (ASTM E1765)	1.結果將【1】及【2】 合併成單一指標 (0.35【1】+0.65【2】) 2.利用建築物生命週期為考量時間軸		
BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)	英國 澳洲/紐西蘭 歐盟 香港 加拿大 (由英國 BRE 發展)	1990	建成環境使用後評估		室內議題		資料收集中	1.以評分方式進行評估工作 2.未考量建築物生命週期
			建築軀殼與系統	操作管理	建築軀殼與系統	操作管理		
	瑞典		<p>【1】全球議題</p> <p>【2】區域性議題</p> <p>【3】室內議題 (Indoor Issue)</p>	<p>1.照明</p> <p>2.空氣品質</p> <p>3.有毒物質</p> <p>4.生物性污染物</p> <p>5.氬氣</p> <p>6.噪音</p>	室內環境			

第三章 室內環境保健控制評估體系之建立

CBE	(由 瑞 典 Centre for Built Environment at the Royal Institute Technology 發 展)	資料 收集 中	<p>【1】 能源的使用</p> <p>【2】 材料的使用</p> <p>【3】 室內環境 (Indoor Environment)</p> <p>【4】 外部環境</p> <p>【5】 生命週期經濟成本</p>	<p>1.室內空氣品質 (VOCs、微生物 PM、靜電場、氣流、氬氣)</p> <p>2.溫熱環境 (溫度、風擊)</p> <p>3.音環境 (空氣音之阻斷、衝擊音 之阻斷、dB(A)、餘響時間)</p> <p>4.光環境 (自然光比率、晝光率、 照度、均齊度、眩光)</p> <p>5.電磁場 (電場、磁場)</p> <p>6.自來水水質</p>	<p>是</p> <p>【AHP】</p> <p>(ASTM E1765)</p>	<p>1.結果以風險評估值 表示</p> <p>2.利用建築物生命週 期為考量時間軸</p>
-----	------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------	--------------------------------------------------------

3-4 室內環境保健控制評估層級體系之建立

面對眾多而複雜的室內環境評估項目（詳見本研究第二章），可以藉由層級分析（Hierarchical Analysis）構建出標的（goal）、目標（objective）與屬性（attribute）的目標階層結構（Objective Hierarchical Structure）。層級分析是人類思維的基本工具，包括（1）確立問題的基本要素、（2）將基本要素歸類以及（3）歸類後不同層級的安排等三個步驟。簡單的層級分析，可透過直線處理方式，由高階分解至低階的前進分解方式（Forward Analysis）或是由低階整合至高階之匯流方式（Backward Analysis）（Saaty,1982）。複雜的層級分析，則須將交互影響的要素以網路結構表示。【15】

至於如何透過層級分析研擬目標階層結構，MacCrimmon（1969）建議可採用下列方法：

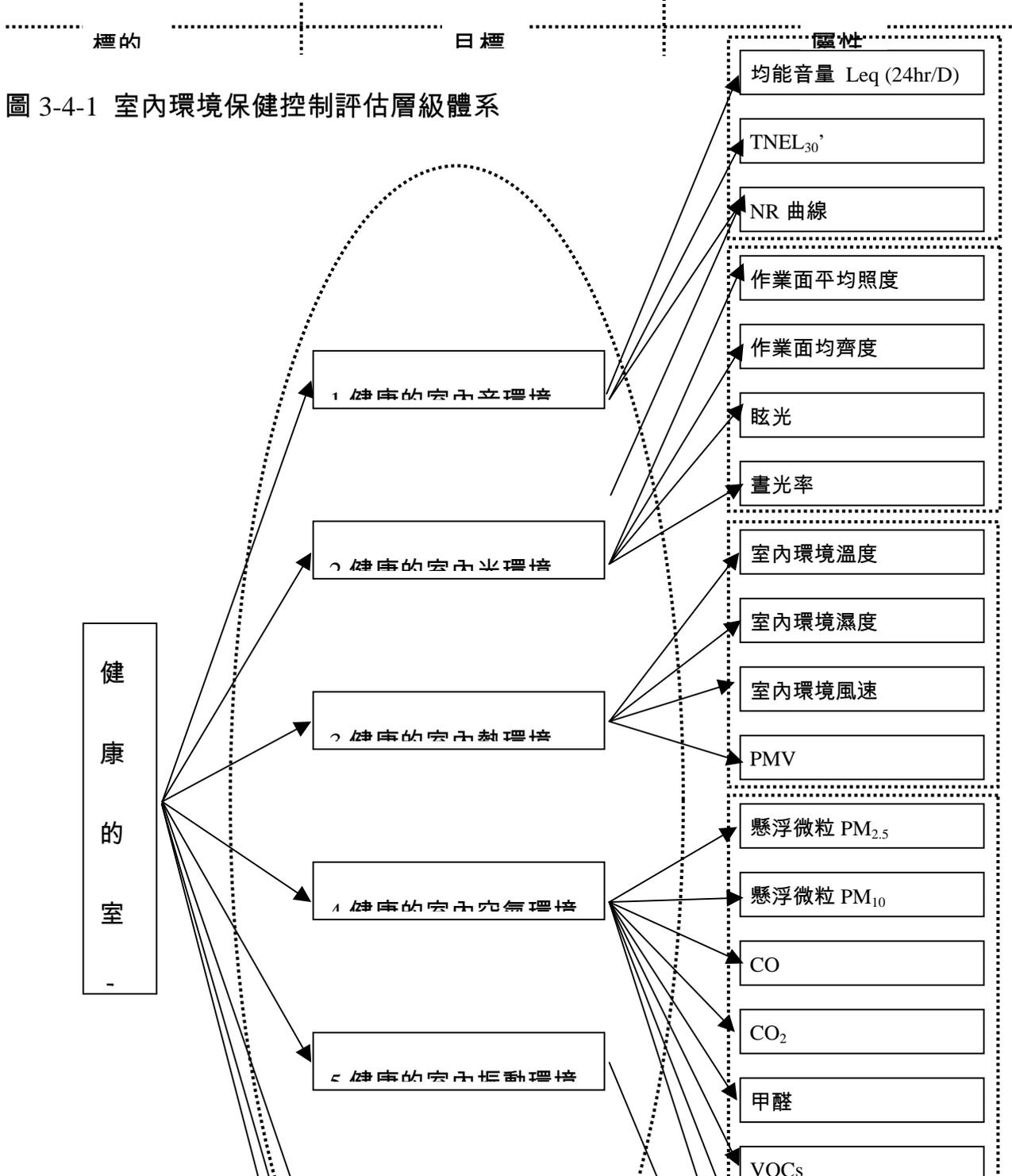
- （1）回顧相關文獻：從相關文獻可以學習到別人處理相關問題的方法。
- （2）系統分析：構建系統模式，使投入產出變數明確化，即可彰顯合適之目標。
- （3）實證分析：從相關問題中，視察別人如何作決策。

目標與屬性之階層結構關係一經建立，它們之間的相互關係就變得明確與穩定，使決策問題具體明朗化，有助於決策者進行決策分析與選擇。此外，根據 Keeney 與 Raiffa（1976）之建議，研擬準則時須符合下列五項原則：

- （1）完備性（Completeness）：須涵蓋決策問題之所有重要特性。
- （2）可操作性（operational）：準則對決策者言必須有意義，且可以公開研究。
- （3）可分解性（Decomposable）：可從高階分解至低階 簡化評估過程。
- （4）無重覆性（Non-redundancy）：避免計算同一績效。
- （5）最小規模性（Minimal Size）：準則不宜過多，以簡化問題，減少評估過程所須的人力時間和成本。

本研究根據前述構建階層結構之一般性原則，除參考國內外相關文獻外，

並利用腦力激盪法 (brain storming method) 的群體決策模式以集思廣益，最後得到室內保健環境的目標階層結構。室內環境包括自然環境與人文環境，其中人文環境又可分為實質環境與非實質環境，由於非實質環境係指人類因文化、政治、經濟、社會等活動的需求上所發展出的活動規章、律令、制度、習慣或觀念而言，不在本研究所探討的環境品質之列，故不予列入考慮。因此在健康室內環境的標的 (goal) 下可以分解得到：(1) 健康的音環境、(2) 健康的光環境、(3) 健康的熱環境、(4) 健康的空氣環境、(5) 健康的電磁環境、(6) 健康的振動環境 (7) 健康的水環境與 (8) 健康的綠環境等八個目標，在目標層次以下再分解為若干屬性，詳見圖 3-4-1。



3-5 「分析層級程序法 (AHP Method)」之理論基礎

分析層級程序法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 為 Thomas L, Saaty 於 1971 年所提出，當時係應用該理論從事埃及國防部的應變計畫問題上，至 1973 年已發展成熟，翌年 (1974 年) 開始廣為各界應用。該方法乃藉由專家意見的彙整與評估，將複雜的決策系統化為簡明的要素階層系統，並以比例尺度 (Ratio Scale) 的評估方式，進行各準則間相對重要程度的成對比較，予以量化後，成立成對比較矩陣。然後再據以求得該矩陣之特徵向量 (Eigen-vector)，此向量代表階層要素的優先度 (Priority)；並得計算出特徵值 (Eigen-value)，用以評定成對比較矩陣一致性的強弱，以為決策資訊取捨與否或評估的指標。茲將 AHP 方法的作業程序以圖 3-5-1 表示之，以助於對 AHP 建立完整概念並了解其重要工作步驟。【12，15】

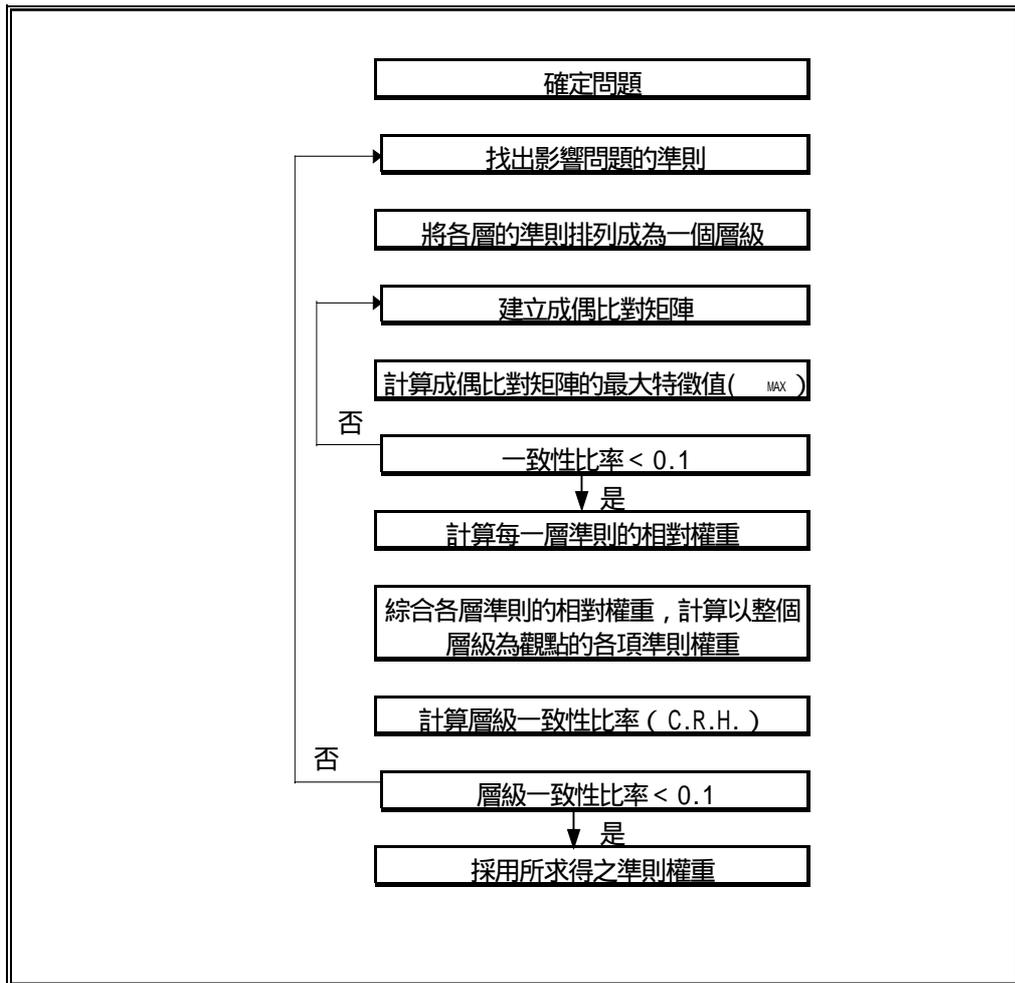


圖3-5-1 AHP法操作流程圖

AHP法的優點在於操作容易，且能綜合擷取專家與決策者的意見，並具數量化的理論基礎，再經一致性的檢定，可顯示各評選專家意見的共識是否有偏誤。而其缺點則為專家人數有所限制，且評選委員人選的取決缺乏一定的標準，造成主觀上難免有些微的偏誤。雖然如此，仍瑕不掩瑜，此法已廣泛地應用於行為科學、資源分配、評估體系建立等相關領域中。

其關鍵解析步驟有六部份：【12】

(1) 選取評估因素

一般操作上可參考相關文獻或利用腦力激盪法 (Group Brainstorming) 及達飛法 (Delphi Method) 等，將影響評估

之因素逐一列出，然後就所列因素，以其獨立性程度及相互關係，劃分層級。本研究之指標選取過程已敘述於本章 3-4 小節。

(2) 建立層級 (hierarchy)

層級是指標系統結構的骨架，用以探討指標間的功能影響程度及其對整體目標的衝擊，層級之多寡，端視問題的分析所需而定。在構建層級關係時，係假設各層級的每一因子間互相獨立，然後將複雜問題分解成為標的、目標、屬性和方案四個層次，如圖 3-5-2 所示。本研究之指標層級如圖 3-4-1 所述。

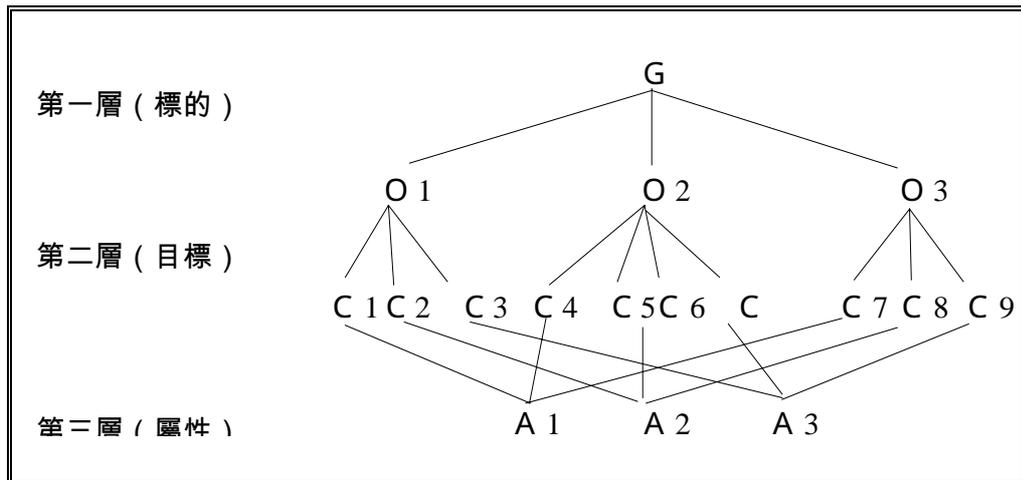


圖 3-5-2 AHP 層級結構圖

(3) 建構「成對比較矩陣」 (Pairwise Comparison Matrix)

分析層級程序法的最大作用在於採標稱尺度 (nominal scale), 執行指標、因子間的成對比較 (Pairwise Comparison)。其標稱尺度基本上是採用五點尺度，配合另外四個介於其區間的尺度，而形成九點尺度的衡量值。各尺度分別賦予1至9的衡量值，其間關係如表3-5-1所示。

表 3-5-1 AHP法中標稱尺度分佈

評估尺度	定義	說明
1	同等重要	兩比較方案的貢獻程度具有同等重要性
3	稍重要	經驗與判斷稍微傾向喜好某一方案
5	頗重要	經驗與判斷強烈傾向喜好某一方案
7	極重要	實際顯示非常強烈傾向喜好某一方案
9	絕對重要	有足夠證據肯定絕對喜好某一方案

假定第 I 個層級有 n 個因素，分別以 e_1 、 e_2 、 e_3 、... e_n 表示，則其成對組合有 $\frac{n(n+1)}{2}$ 種，將上述因素作成對比較後，可將比對結果填入如下表之矩陣主對角線 (其上之衡量值為自身比對，故其值均為 1) 右上角，再將其倒數放入主對角線在下方與該數值對稱之位置上，比對矩陣便完成了。

$$\begin{matrix}
 e_1 & e_1 & e_2 & \dots & e_n \\
 e_2 & \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & & a_{2n} \\ \vdots & & \ddots & \\ \vdots & & & \ddots \\ a_{n1} & a_{n2} & & 1 \end{bmatrix} \\
 \vdots & & & & \\
 e_n & & & &
 \end{matrix}$$

(4) 計算優先向量

優先向量的計算方法在實際運作中有四種不同的方式 (Satty,1980) 分別是 NAR 法 (Normalization of Row Average) 、 NRC 法 (Normalization of the Reciprocal of Column) 、 ANG 法 (Average of Normalized Column) 及 NGM 法 (Normalization of the Geometric Mean of the Row) , 所不同者在於其精確程度。

(5) 計算最大特徵值 (Maximum Eigenvalue)

可利用矩陣運算 , 求得成對比較矩陣之最大特徵值與特徵矩陣 , 以解釋在某個概念主題下 , 其主軸(principal axis) 之特徵。但在實際情況下 , 若不要求絕對的精確度 , 則可利用下述方式求得近似的 λ_{MAX} 值 : 以所求得之優先向量 W 和成偶比對矩陣 A 相乘 , 得一向量 W' , 再將 W' 中之每一元素除以原優先向量 W 之每一元素。最後將所得的數值求取算術平均數 , 即可得到最大特徵值 λ_{MAX} 。其數學式如下 :

$$AW = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{12}} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \vdots \\ W_n \end{bmatrix} = W'$$

$$\lambda_{MAX} = \frac{1}{n} \left(\frac{w_1}{w_1} + \frac{w_2}{w_2} + \dots + \frac{w_n}{w_n} \right)$$

(6) 計算一致性比率 (Consistency Ratio)

一致性比較矩陣之最大特徵值 $\lambda_{MAX}=n$ ，但在實際評估所得之成對比較矩陣卻往往無法達到完全的一致性，因此可以將實際比對矩陣之 a_{ij} 視為一致性矩陣之微量變動值。如此一來，對應於實際比對矩陣之 λ_{MAX} 便會接近 n ；故我們可將 λ_{MAX} 與 n 之差異值充作一致性高低之準則。令 $C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$ ，若 $C.I. \leq 0.1$ ，則表示實際比對矩陣具有令人滿意之一致性。

由隨機產生的倒值矩陣之一致性指標稱為隨機指標 R.I. (random index)，其值隨矩陣階數的增加而增加，階數 n 及其相對的隨機指標 R.I. 值如表 3-5-2 所示：

表 3-5-2 AHP 法中階數 n 及其相對的隨機指標 R.I. 值

n	1	2	3	4	5	6	7	8
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41
n	9	10	11	12	13	14	15	
R.I.	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59	

C.R. 之計算係由 C.I. 除以 R.I. 而得，若 $C.R. \leq 0.1$ ，則其一致性便可視為達到滿意水準。前述討論係就單一比較矩陣之一致性

程度而言；若階層不只一層，則整個層級的一致性可由一致性指數 (C.R.H.) 計算而得 (C.H./R.H.) ，其數學式如下：

$$C.H. = \sum_{j=1}^h \sum_{li=1}^{n_{ij}} w_{ij} u_{i,j+1} ,$$

其中

W_{ij} ：第 i 層中第 j 個因素之合成權重值(composite weight)

$W_{i,j+1}$ ：第 i 層所有第 j+1 個因素之一致性指數

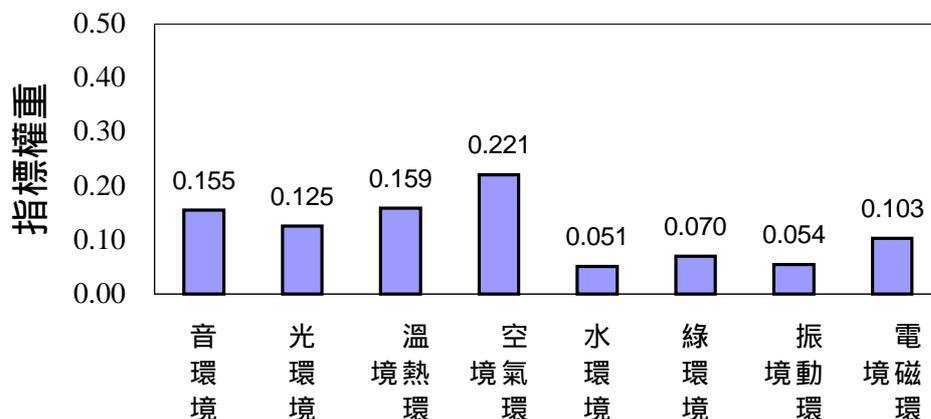
在國外，分析層級程序法 (AHP 法) 已成熟地應用在許多綠建築指標研究的指標擇取與相對權重分析中 (詳見本章 3-3 小節所述)，美國 ASTM 規範亦將本方法列入建築物與建築系統相關投資評估研究上。(ASTM Designation E 1765-95 : Applying Analytical Hierarchy Process (AHP) to Multiattribute Decision Analysis of Investments Related to Buildings and Building Systems) 在國內，本研究首次嘗試將 AHP 法應用於建築環境評估指標的研究上，冀望以其專業化因子權重判定邏輯，提供研究者公正客觀的因子選擇判定，使最終所得的評估因子具有相當的代表性、學術性與實用性等價值。

3-6 室內綜合環境保健控制評估指標之相對權重分析

本章節利用專家諮詢與分析層級程序法 (AHP method) 將本研究初期篩選之「實用版」室內綜合環境評估指標 (詳見表 2-9-2 所示) 進行各領域各因子間的權重分析與再調整，期能整合各領域專家學者之建議，針對本研究追求的目標：指標之實用性與代表性、實測之經濟性與時效性、居室人員之接受程度等，彙整出最終可行之指標群。茲就室內音、光、熱、空氣、電磁等各領域之指標權重分析結果作一說明。

【室內綜合環境】

本研究針對室內綜合環境 (音、光、溫熱、空氣、水、綠、振動與電磁環境)，進行專家諮詢以求得其相對權重，結果如圖 3-6-1 所示。可知其權重排列依序為：空氣環境 (相對權重為 0.221)、溫熱環境 (0.159)、音環境 (0.155)、光環境 (0.125)、電磁環境 (0.103)、綠環境 (0.07)、振動環境 (0.054) 與水環境 (0.051)。進行諮詢時，學者專家們的權重判斷依據為近年來台灣地區室內環境之特徵問題點、考量室內環境人員健康與舒適狀態之必要環境與有待解決之環境因子，因此所得的結果可客觀的表示出近年來台灣地區室內環境品質的已發生問題點 (如：空氣環境、音環境)，或必須加以長期監



控之環境因子 (如：溫熱環境、光環境)，而某些範疇，如電磁環境的問題，雖然其危害性尚未被人類的知識所全然瞭解，但在防範於未然的思考角度上，其權重仍被許多學者專家所注意，此值得吾人加以深思與注意的。

圖 3-6-1 室內綜合環境因子相對權重之分析 (階段性結果)

本研究將暫訂採用上述結果中，權重大於 0.1 的環境領域來作為室內綜合環境評價時的對象環境，共有：空氣環境 (相對權重為 0.221)、溫熱環境 (0.159)、音環境 (0.155)、光環境 (0.125) 與電磁環境 (0.103)，並將上述環境領域依據其各自的相對重要程度重新估算其權重，結果如表 3-6-1 所示。

表 3-6-1 本研究建議之室內綜合環境領域相對評估權重

環境領域	音環境	光環境	溫熱環境	空氣環境	電磁環境
相對權重	0.2	0.16	0.2	0.3	0.14

【室內音環境】

在室內生活音環境的評估上，有許多的國內相關研究提出評估指標之建議。然而在學者專家考慮對象空間的使用特性，以及指標值量測時的簡便性後，得到的指標權重排列依序為： L_{eq} (24H/D) (0.568)、NR 曲線 (0.257) 與 $TN_{EL30'}$ (0.169)，如圖 3-6-2 所示。可看出 L_{eq} 測定上的簡便性能仍得到許多學者專家之認可，因此本研究將採用 L_{eq} (24H/D) 作為室內音環境之評估指標。

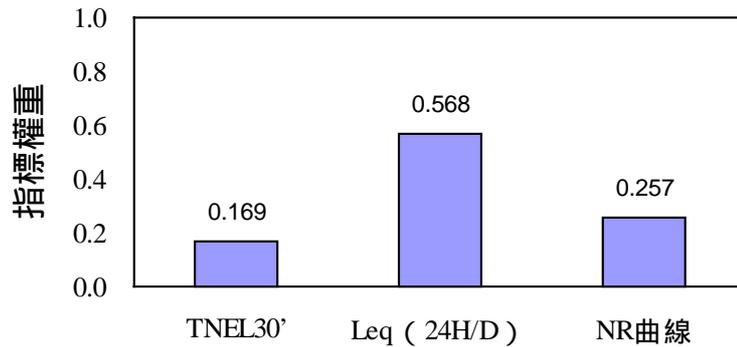


圖 3-6-2 室內音環境因子相對權重之分析 (階段性結果)

【室內光環境】

在室內光環境方面，學者們認為達到適當的作業面平均照度量是確保居室人員健康與舒適效應上，必須優先考量的，也因此其相對權重較高 (0.438)；而一般辦公空間或住宅之生活空間中，經常採用全面照明，在目前既有的研究調查結果中，一般上均齊度的品質現況為尚可，反倒是燈具與採光面直接與間接的不快眩光造成的影響較常為居室人員抱怨，也因此其相對權重亦較高 (0.265)。由於此四種指標所欲達成的室內光環境目標是不同的，因此在室內光環境整體考量上有必要將他們一併列入評估。

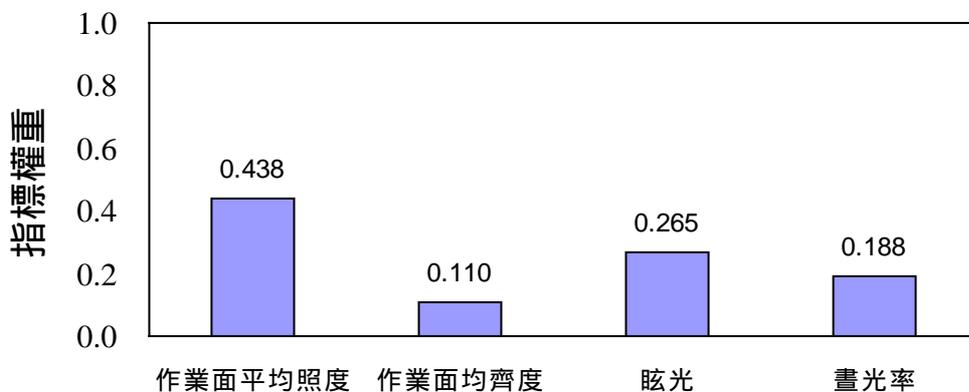
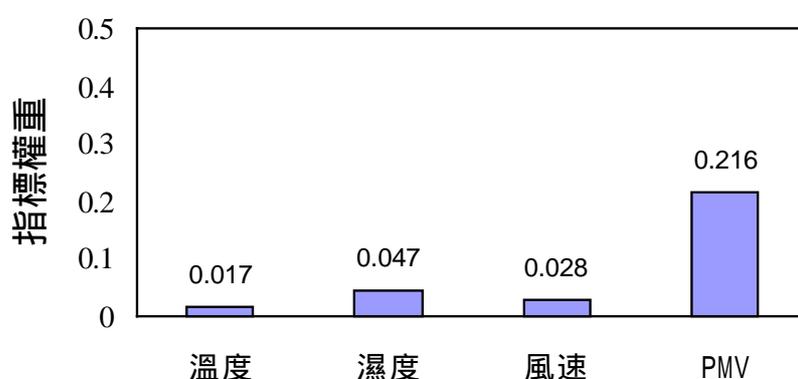


圖 3-6-3 室內光環境因子相對權重之分析 (階段性結果)

【室內溫熱環境】

在評估居室人員溫熱舒適感覺的指標方面，由室內溫熱環境指標的相對權重關係可看出，PMV 指標的適用性遠高於其他三者，這可說明 PMV 指標於評估人員舒適度的可用性與便捷性。然而考量到一般民眾其對於環境溫度、濕度與風速等的感受是直接的，而 PMV 值在學理上是較方便使用，但在一般民眾的理解上是需要多些時間



的解說與取得認同，因此本研究建議將這四種指標一併列入考量，俾使學理上與實用上的評估結果得以兼顧。

圖 3-6-4 室內溫熱環境因子相對權重之分析 (階段性結果)

【室內空氣環境】

在室內空氣污染物的指標擇取上，由於必須考量台灣地區辦公建築與一般住宅空間其室內空氣污染物之出現頻率、個別污染物質本身的毒性危害、指標的代表性與量測之便利性等，因此單純地賦予各指標權重量值是有其困難的。多位諮詢專家建議的室內空氣環境指標如表 3-6-2 所示。與表 2-9-2 所列

「普及版」室內空氣環境評估指標不同的是：在氡氣方面，由學者提供的台灣地區氡氣污染研究中（表 3-6-3 所示）指出，室內氡氣造成的國民平均有效等效劑量為 0.5 毫西弗，恰等於我國行政院發佈之「游離輻射防護安全標準」中規定：一般人之年有效等效劑量限度為五毫西弗（5 mSv）（0.5 侖目），個別器官或組織之年等效劑量限度為五十毫西弗（5 侖目）之法規限制，因此是否將氡氣此個案問題列入綜合評估指標是有待進一步探究的。

表 3-6-3 台灣地區氡氣污染相關研究整理

污染物	研究型態	污染務濃度	年份	樣本數	文獻
氡氣	epi	氡氣平均活度：室內 10Bqm ³ ；室外 4Bqm ³ 。I/O=2.5 室內氡氣每年造成的國民平均有效等效劑量為 0.5 毫西弗，室外氡氣每年造成的國民平均有效等效劑量為 0.035 毫西弗。室內 Gamma 輻射之劑量率為 0.12mu.Gy/hr，造成的年平均有效等效劑量為 0.59 毫西弗。	1994	250	

在外氣量與局部平均空氣齡方面，其代表的意義為室內稀釋與移除空氣污染物之所需，基本上，均需依循我國建築技術規則等相關規定進行自然或機械通風之設計準則，以達成良好的室內換氣狀態。因此學者建議以二氧化碳 CO₂ 的量值來代替外氣量與局部平均空氣齡的量測，作為室內通風狀態之替代指標。

由於考量到各指標皆代表了各自的特徵室內污染源與通風作用，因此本研究建議將表 3-6-2 中所列者一併列入評估考量。

表 3-6-2 建築室內環境保健控制 空氣環境指標之擬議

室內空氣污染物	懸浮微粒 PM ₁₀
	一氧化碳 CO
	二氧化碳 CO ₂
	甲醛
	TVOC

【室內電磁環境】

由於影響室內電磁環境的因子為電場強度與磁通量密度，因此在考量指標之周密性與國際相關法規因子上，本研究建議將兩者一併考量，以綜合考量兩者之影響程度。

3-7 小結

經由實測之經濟性、時效性、居室人員之接受程度與問題之複雜度等的考量，本研究單位初期於「專家版」指標中摘錄出實用性較高的「實用版」類指標(詳見 2-9 小節);而後，再經由上一章節「專家諮詢與分析層級程序法」應用於指標項目之擇取後，本研究將「實用版」室內綜合環境評估指標再次精簡為如表 3-7-1 所示之。而後續章節中，將以此指標群為基礎，探討實際評估程序與方法。

表 3-7-1 建築室內環境保健控制評估指標

評估項目	
音環境	TNEL _{30'}
	作業面平均照度

光環境	作業面均齊度
	眩光
	晝光率
熱環境	室內環境溫度
	室內環境濕度
	室內環境風速
	PMV
空氣環境	懸浮微粒 PM ₁₀
	一氧化碳 CO
	二氧化碳 CO ₂
	甲醛
	TVOC
電磁環境	極低頻電場強度
	極低頻磁通量密度

第四章 室內綜合環境之評估程序

- 4-1 現場初勘
- 4-2 測試計劃之擬定
- 4-3 「實測人員工作手冊」之製作
- 4-4 測試結果之彙整

第四章 室內綜合環境之評估程序

經由前述章節中綜合指標之篩選、專家學者之諮詢與分析層級程序法之相對權重分析後，已確立室內綜合環境指標群之項目。本章節即針對實際評估工作中，進行環境實測與居室人員心理反應測定所需的儀器、方法、策略與測試前置作業所需事項加以說明。整體評估工作之流程如圖 4-1 所示，本章節針對「規劃工作」與「現場調查」細目加以解說，至於「結果分析與呈現」則待下一章節再予說明。

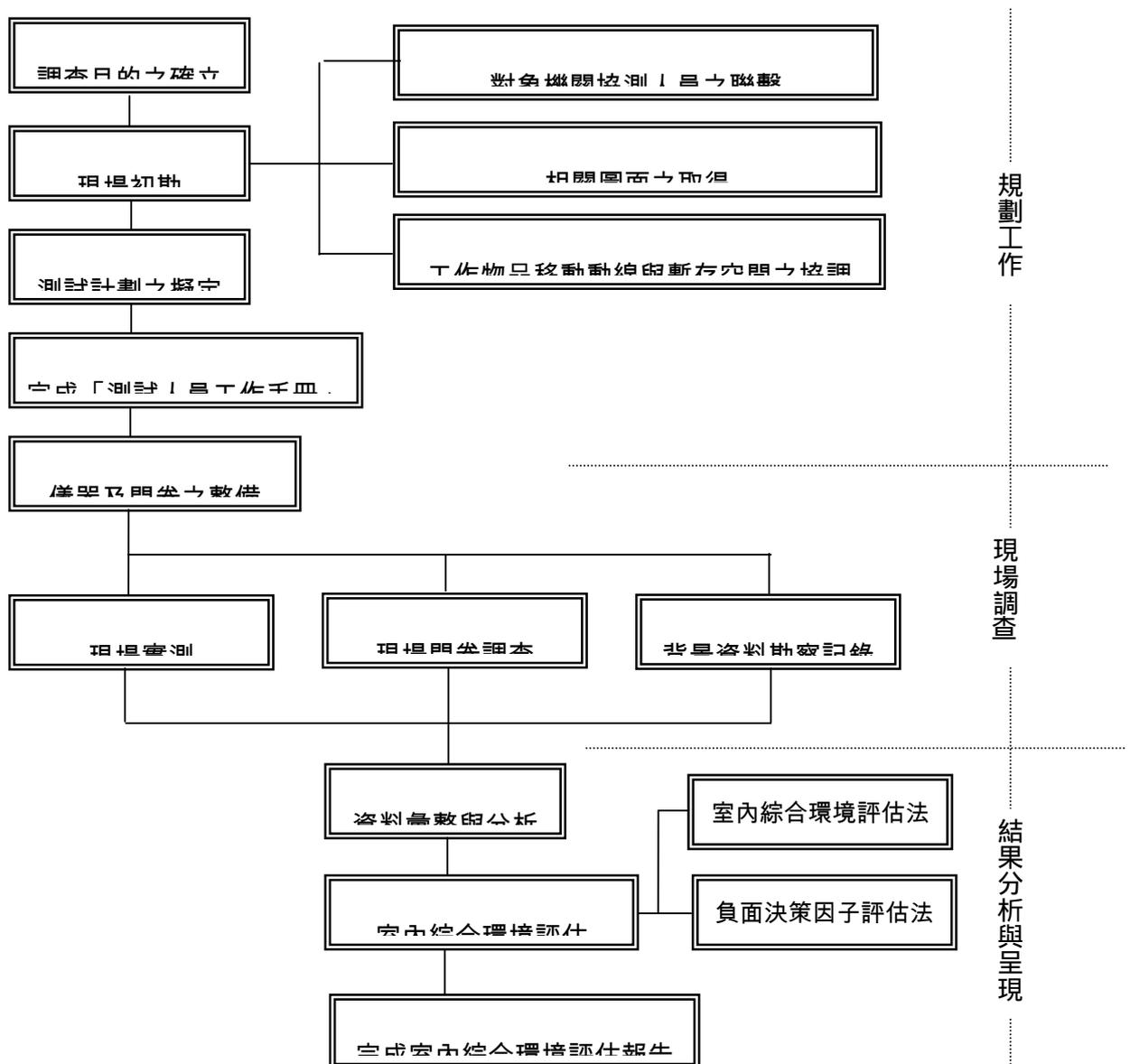


圖 4-1 室內綜合環境之評估工作程序

4-1 現場初勘

此為進行評估工作之第一步，工作的重點則是（1）與對象機關協測人員之聯繫以利安排工作人員實地探勘時間與相關圖面與資料之取得（2）工作人員實地探勘並以照相設備記錄所需之空間影像（3）協調工作物品於對象機關內的移動動線與暫存空間等。至於上述相關圖面與資料之細項則如表 4-1-1 所示。其內容為原則性的建議，實際操作上必須配合當時狀態之所需，彈性調配資訊來源與內容，以利評估工作之順行。相關圖面可依所需之重點，進行簡化後繪製於 4-4 小節的圖表上，以利其他資訊之標註。

表 4-1-1 室內綜合環境測試必須先行取得資訊之建議

A. 工作與生活型態相關之資訊	
1.工作時間	工作時間、上班時間等
2.工作內容	工作內容與型態、室內狀態
3.人員組成	男女人數、調查空間之人員走動情況
B. 建築相關資訊	
1.建築物配置圖	與周邊建築物之關係、基地內建築物之配置、方位、道路之位置與寬度等
2.平面圖	各層空間之位置、門窗之位置、空間的用途等。用來記錄測試空間之測點分佈及相關訊息。
3.立面圖	建築物主要輪廓、高度、窗與其他設備之相對關係
4.室內配置圖	機器、家具、隔間等配置，人員的配置，固定性 OA 設備

	位置(電腦、印表機、傳真機等)。用來記錄測試空間之測點分佈及相關訊息。
5.室內裝修圖	牆壁、地板與天花板等裝修現況
6.空間細部尺寸	
7.建材及家具目錄	
C. 設備相關資訊	
1.設備圖	電器設備、電燈插座、擴音設備、空調設備等
2.設備機器配置圖	空調主機、出風口、回風口、空調昇位圖
3.外部設備圖	於建築物外部設置之機器其噪音等相關資訊

4-2 測試計劃之進行

4-2-1 背景資料之查核

實地探勘之項目包含「背景資料記錄」與「辦公室空間感受調查」兩大主軸。在「背景資料記錄」部份針對建築結構之基本資料、空間人員密度、內部裝修與使用現況、空調系統之細部設備與使用現狀等進行全面性普查；至於「辦公室空間感受調查」部份則特別針對辦公空間之個人工作時，其工作行為之便捷性進行調查。兩方面之資料彙整後將作為下一階段採樣數據之背景參考資料。此實地探勘除了有助於「空間使用人員訪談」與「主觀問卷」結果之再確認外，亦增進了稽查人員對建築構體與空調系統運作現況之瞭解。

以下則是實地探勘中，應注意的觀察重點說明：

- (1) 有些設備會逸散出溶劑性氣態污染物、臭氧 (O_3) (如老舊的複印機等) 或廢熱，而這些設備必須加以記錄 (包括其在空間中的相對位置)。若有必要則可於評估報告書中提議，利用環境工程技術針對不同污燃源進行細部成分鑑定。
- (2) 不當的清潔方式 (如清潔劑稀釋不足等) 有可能在地毯上遺留刺激性揮發物，而這些清潔行為必須加以記錄 (包括清潔頻率、清潔用

品之種類與內含物等)。

- (3) 需觀察或訪談管理單位有無按照時程表對空調系統中濾網或易潮濕部位 (如加濕/除濕器、冷卻盤管等)，進行徹底的清潔工作；其亦需針對潮濕部位進行適當的排水工作。否則過量的真菌孢子會沿著這些部位滋生，並散佈到室內空間中，空間人員也因此產生如花粉熱之過敏症狀，甚至於肺炎等病症。
- (4) 不適當的空調外氣引入口座向將自外環境中引入空氣污染物，這種情形可能發生於交通顛峰時間或室外氣候不佳之際，因此需仔細觀測空調外氣引入口與其他廢氣產生/排出的相對位置。

實際上，有些問題 (如運作不當的空調設備、不良的溫度控制等) 很容易被診斷出其癥結點，因此在進行下一步稽查步驟前，可將這些缺失先行加以改善。但對部份案例而言，也許迄此尚未有任何可疑之處被診斷出，則可利用下一步量測以評估此對象空間之室內環境。

4-2-2 室內綜合環境之現場實測

【室內音環境】

室內噪音振動現場測試方法國內尚無制式規範【3】，本研究之測試條件設定如下：

(1) 室內外狀況

考慮日常生活的實際狀態，室內之傢俱陳設不予移動改變，且大門關閉其餘門窗打開。戶外選定為無雨的氣候下實施。

(2) 測試儀器組合及校正

測試主要儀器項目如表 4-2-1 所示，包括噪音計、波形紀錄器、錄音機、振動測定器以及其他附屬設備。測試儀器組合如圖 4-2-1 所示。在儀器之操作設定方面，噪音計均採 A 加權，Fast 動特性。雙頻波形記錄器之送紙速度選擇為 1 mm/sec。且積分噪音計 NL-11 定在每 10 分鐘讀取 L_{eq} 值一次，設定完畢後對各儀器之精密度作校正並將紀錄紙的刻度校正在 35dB(A)~85dB(A)範圍內。

表 4-2-1 本研究建議之室內生活噪音現場測試儀器【3】

名稱	型號	數量
實時頻譜噪音計	RION NA-23	兩台
精密積分噪音計	RION NL-11	一台
雙頻波形噪音計	RION LR-20	一台

(3) 測試調查實施

在測試儀器組合及校正完畢後，先進行預備測試調查以確保研究得以順利進行，在這個階段準備工作上須對調查人力作一調度，在波形記錄器左右頻各由一位研究員負責監聽，並隨時把判斷出噪音源名稱及持續發生時間即時紀錄

於紙上,另一位研究員則負責做抽樣錄音及頻譜紀錄,每10分鐘Leq值(Leg1/6H)則由儀器自動記錄。

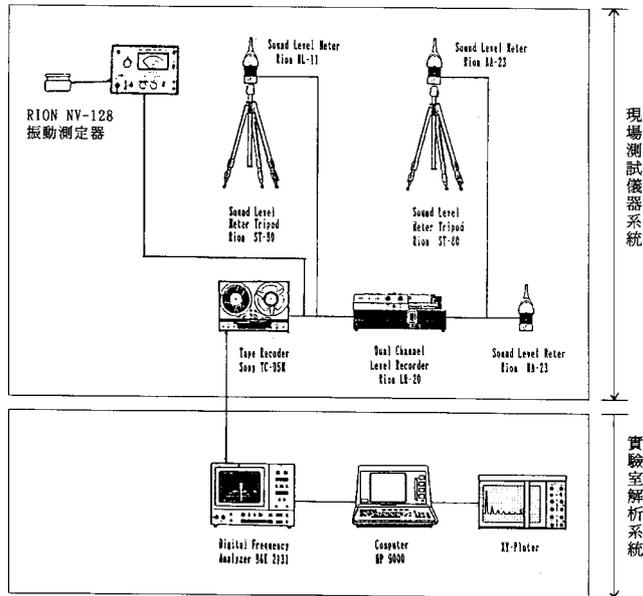


圖 4-2-1 本研究建議之室內生活噪音現場測試儀器系統【3】

【室內光環境】

本研究主要探討室內光環境影響因子與室內照度與均齊度等相關性,故主要仍以量測作業面照度為主,其選用的測試儀器如表 4-2-2 所示。

表 4-2-2 本研究建議之室內光環境測試儀器

量測項目	儀器名稱	量測範圍	誤差
室內作業面照度量測	照度計 MINOLTA T-1 三台	0.01 ~ 9.99 lx 0.1 ~ 99.9 lx 1 ~ 999 lx 10 ~ 9990 lx 100 ~ 99900lx 等五個範圍自動選擇輸出	±2% ±1 digit
室內作業面照度連續量測輸出	照度計 TOPCON 1M-3 三台	0.01 ~ 19.99 lx 1.5 ~ 19.9 lx 150 ~ 1999 lx 1500 ~ 19990 lx 15000 ~ 199900 lx 等五個範圍自動選擇輸出	±2% ±1 digit
室內作業面照度連續量測記錄	數位記錄器 TEAC CR-DRF1	1、2.5、5V 等三個範圍自動選擇輸出	

量測項目主要分為以下兩個項目：

(1) 室內作業面照度量測

主要量測出作業面照度值之大小，便於與 CNS 等規範【18-20】所定之室內作業面照度基準相比較。

(2) 室內作業面照度連續量測

主要針對室內作業面照度進行全程連續監測，便於瞭解實測時程中照度的變動情形。

在實施測定前，必先針對背景條件進行記錄，如：

(1) 照明條件：照明器具之配置與種類。

(2) 測定方法：照度計、測定點與其高度。

(3) 環境條件：測定日期、開始/結束時間、天候與溫度等。

測定結果一般是以求得之水平照度值為基礎，作成連結測定點直線上之照度分佈曲線，或平面上之等照度曲線圖。此外，應標示全測點數、平均照度值及均齊度等。照度測定條件與基準條件不同時，依需要對測定結果註明理由並附記其補正值。

【室內溫熱環境】

於室內溫熱環境評估上，本研究將進行溫度、濕度與氣流風速之連續監測【21-23】，其測得數值可轉換成電壓值輸出，如與數位記錄器連線，就可自動連續記錄各瞬時電壓值。對於此三項因子本研究所採用儀器為量測特性如表 4-2-3 所述。

表 4-2-3 本研究建議之室內溫熱環境測試儀器特性

測定因子	量測原理		量測範圍	量測精度
溫度	電阻式	即時連續量測	-40~115 °C	<±0.3°C
濕度	電容式	即時連續量測	0~100% RH	<±0.1%

【室內空氣環境】

室內空氣污染物濃度量測目的，乃確保室內人員的健康與居住環境衛生品質，而量測的過程是室內空氣品質衛生管理手法之一。室內環境的條件時時在變動，建築物室內空氣品質也隨之變動，為達度量測目的，在量測時應考慮許多事項，其包括了採樣裝置的選擇、合乎靈敏度要求的分析技術、選定適當的量測時間、採樣與分析方法的校正、考慮局部空間量測的必要性、各分析技術相關干擾物質的評估以及考慮人員活動對測試中之污染物濃度的影響等。

室內空氣污染度量測法，在採樣法大略有兩種分類方式：第一種分為「主動法」(需要有排風裝置)、 「被動法」(經擴散或浸透方式由媒介質採集)；第二種可分為(1)「連續式」或「直讀式」以及(2)「積分式」或「截取式」。在分析原理上，則可應用光學、化學、電學、音學或熱力學等。以下將初步探討本研究之室內空氣污染物 - 一氧化碳、二氧化碳、浮游粉塵、甲醛及揮發性有機化合物的量測儀器與方法。【2，24-32】

(1) 懸浮微粒 (Suspended particulate) $PM_{10}/PM_{2.5}$

浮遊在室內空氣中的微粒，原則上是要量測其成份、濃度、粒度，在一般

室內空氣品質評估上僅測其濃度；濃度的表示有兩種，一為重量濃度(mg/m^3)以一定容積空氣中的浮游粉塵質量表示之，一為個數濃度 (個/ml)以一定容積空氣中的浮游粉塵粒子數表示之。表 4-2-4 為浮游粉塵濃度量測方法的分類說明。其中濃度量測可分絕對性表示與相對性表示，分別說明如下。

(1)絕對性表示：捕集浮遊於空氣中之浮游粉塵，直接計測其質量或粒子數表示之濃度。

(2)相對性表示：測定浮遊於空氣中之浮游粉塵粒子數濃度或質量濃度與相對關係下之量，其濃度以直接關係下指數表示，而與其濃度成 1 比 1 (宜為直線關係) 之關係的物理量。

一般之相對濃度計易於操作，且其靈敏度較佳，可在現場迅速量測浮游粉塵之相對濃度，故欲迅速量測平時之浮游粉塵狀態之變動時，仍以相對濃度為主。

表 4-2-4 室內浮游粉塵濃度量測方法的分類

濃度表示方法	絕對量或相對量	量測儀器	
重量濃度表示 (mg/m^3)	絕對濃度量測	低流量空氣取樣器	
		高流量空氣取樣器	
	相對濃度量測	靜電式粉塵取樣器	
		個人取樣器	
		相對濃度計	數字型粉塵計
		相對比較濃度計	勞研濾紙塵埃計
			勞研分光濾紙塵埃計

			壓電結晶振動計
個數濃度表示 (個/ml)	絕對計數量測	勞研式塵埃計 多段式衝擊計 熱沉澱計	
	相對計數量測	微粒子計數器	

表 4-2-5 為室內空氣浮游粉塵濃度量測儀器一覽表，各種量測儀器分別依其構成、對象、量測內容、重量濃度換算、量測範圍、自動連續量測、應答性、消耗品等項目來作說明與評估。從表中可知，以散亂光量測原理的數字型粉塵計是較符合室內空氣品質之量測目的與條件。

譬如其量測對象為 $10\mu\text{ m}$ 以下的粒子，而這是對人體健康危害的粒徑對象；及以相對濃度量測方法可在現場迅速量測粉塵濃度；以及可作為自動連續量測浮游粉塵濃度，而這些條件都是能精確自動量測室內空氣中呈動態變動之浮游粉塵濃度的最佳方法。目前日本環境基準量測法與日本工業規格 JIS 法，在浮游粉塵濃度量測法規定，也是以散亂光法為主。經過上述初步對粉塵濃度量測法之探討，本研究在室內空氣浮游粉塵濃度之量測，將以散亂光法之數字型粉塵計為量測儀器。

散亂光法數字型粉塵計現今有四種機型，如下列：

- (1).數字型粉塵計 P-5 型
- (2).數字型粉塵計 PCD-1 型

(3).數字型粉塵計 AP-63 型

(4).數字型雷射粉塵計

表 4-2-5 浮游粉塵濃度量測儀器一覽表

名稱	構成	對象	量測內容	重量濃 度換算	量測範圍 (mg/m ³)	自動連 續量測	應答	消耗品
低流量重 量法	濾紙、 持有人、 分離器、泵、 天秤、 流量計	10μ m以 下的粒子 全體	重量濃度 (過濾補 集)		0.05 以上	否	低	濾紙、電源
多段式衝 擊器	本體、 玻璃板、 流量計、 泵、顯微鏡	0.5 ~ 100 μ m的粒 子	粒徑分佈 及個數濃 度	否		否	低	玻璃板、 電源
勞研粒子 塵埃計	濾紙、本體、 光度計、泵、 流量計	10μ m以 下的粒子 全體	光學濃度 (透過光)	可	0.01 ~ 0.2	可	中	濾紙、電 源、電池
數字型粉 塵計	本體	10μ m以 下的粒子 全體	相對濃度 (散亂光)	可		可	高	電池
吸塵計 2000	濾紙.本體	10μ m以 下的粒子 全體	光學濃度 (透過光)	可	0.01 ~ 0.2	否	中	濾紙、電源
自動微粒 子計測器	本體.記錄計	0.3 ~ 10μ m的粒子	光學的粒 子徑及個 數濃度	否	0 ~ 10 ⁶ 個 / L	可	高	電源、記錄
水晶壓電 法粉塵計 壓 (電結 晶振動	本體	10μ m以 下的粒子 全體	重量濃度 (電器容 量)	可	0.01 ~ 0.5	否	中	電池

法)								
----	--	--	--	--	--	--	--	--

註：懸浮微粒，粒徑大於 $10\mu\text{m}$ 者，通常只在呼吸道就附著，不會進入肺部深處，但粒徑小於 $10\mu\text{m}$ 者容易進入肺部，甚至抵達肺泡，造成人體肺部產生疾病。

本研究所使用之機型為數字型雷射粉塵計，其檢出器構造大樣如圖 4-2-2 所示。室內空氣經由採氣口引入，雷射二極管光源使前方散亂受光方式($145^\circ \sim 152^\circ$)，計算粉塵的相對濃度；測得之計算數值以 CPM (count per minute) 表示，轉換重量濃度時，則將 $1\text{CPM} = 0.001\text{mg}/\text{m}^3$ 計算之。其量測時間可為 0.1、1、2、5、10 分鐘及任意時間設定。因其測得濃度可轉換成電壓值輸出，如與數位記錄器連線，就可自動連續記錄各瞬時電壓值。故此量測系統就是本研究欲進一步探討與檢測之自動連續量測法儀器組合連線系統架構。

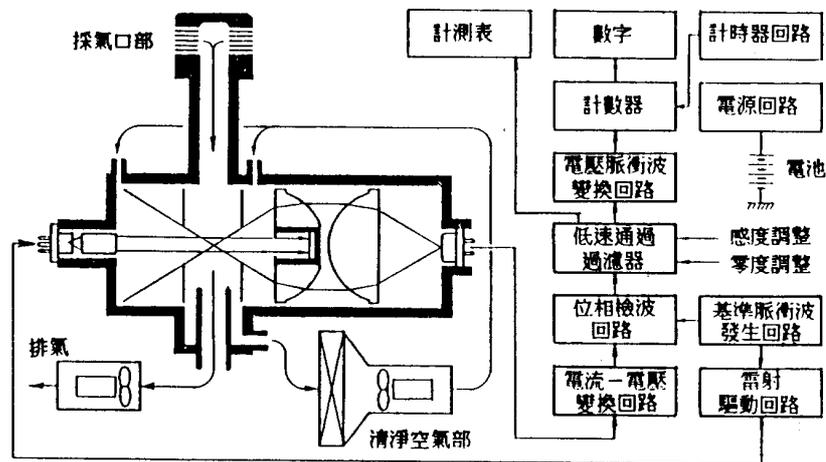


圖 4-2-2 數字型雷射粉塵計之檢出器構造

在 PM_{10} 部份，本研究將依循目前日本環境基準量測法與日本工業規格 JIS

法，在浮游粉塵濃度量測法規定，是以散亂光法為主的數字型粉塵計為量測儀器。其能精確自動量測室內空氣中呈動態變動之浮游粉塵濃度。

在 PM_{2.5} 部份，本研究將以採樣幫浦連接 cyclone 及濾紙採樣匣量測粒徑小於 2.5 μ m 的懸浮微粒並擇點同時以階梯式分徑採樣器(Cascade Impactor)收集室內空氣中懸浮微粒，並量測其成分含量及建立粒徑分布資料。

(2) 一氧化碳/二氧化碳 (CO/CO₂)

室內空氣中一氧化碳及二氧化碳濃度量測，一般以體積相對濃度(ppm)表示之。其濃度量測之量測原理可分為化學分析與物理測定兩大方法，如圖 4-2-3 所示。

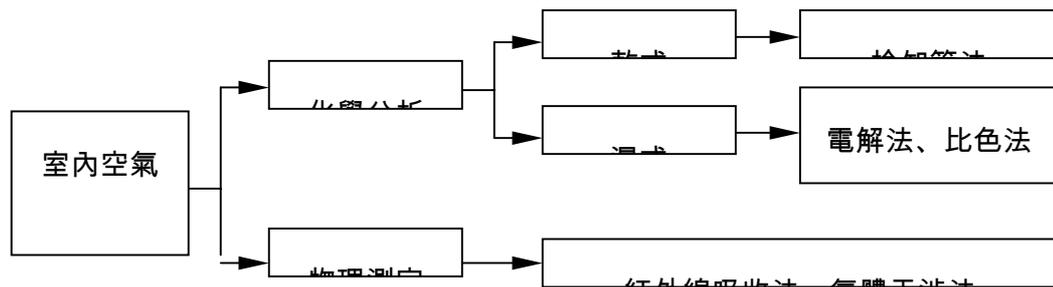


圖 4-2-3 室內空氣 CO、CO₂ 濃度量測原理

表 4-2-6 係以一般室內環境為量測對象，一氧化碳及二氧化碳濃度的量測儀器一覽表，分別依其儀器構成、量測原理、量測範圍、精度、自動連續量測性能、應答性等項目來作說明與評估。從表中可知，紅外線二氧化碳氣體分析器及一氧化碳定電位電解法分析器、紅外線一氧化碳氣體分析器，不但感度良好、精度高、應答速等優點外，且可作為自動連續量測；是比較符合室內空氣

品質之量測目的與室內環境條件。

表 4-2-6 CO、CO₂ 濃度量測儀器一覽表

	名稱	構成	量測原理	量測範圍 (%)	精度	自動連續 測定	應答	備考
一 氧 化 碳 濃 度	氣體檢知管 (比色法)	檢知管 吸引唧筒 (真空法)	化學反應 (呈色)	0.01 ~ 0.001	低	否		檢知管、 流出孔(orifice)
	氣體檢知管 (測長法)	檢知管 吸引唧筒 (真空法)	化學反應	0.002 ~ 0.1	稍低	否		檢知管、 流出孔(orifice)
	紅外線一氧 化碳氣體分 析器	本體 捕氣裝置 標準氣體 記錄計	紅外線選 擇吸收	~ 0.01 ~	高	適	速	電源、 標準氣體、記錄 紙、 除濕計
	定電位電解 法分析器	本體 標準氣體 (記錄計)	電氣化學 反應	~ 0.005	高	適	速	檢出部、 標準氣體、 記錄紙
二 氧 化 碳 濃 度	氣體檢知管	檢知管、 吸引唧筒 (真空法)	化學反應 (中和)	稍低	否	否		檢知管、 流出孔(orifice)
	水氧化銀法 (氫氧化銀)	捕氣瓶 水氧化銀 滴定管 試藥	化學反應 (中和)	0.01 以上	良	否		
	氣體干涉計 (擾流計)	本體 (記錄計)	光干涉的 位置	0.03 ~ 3	稍低 良	否(手動) 可(自動)	良	電源、乾燥劑(記 錄用紙)
	紅外線二氧 化碳氣體分 析器	本體、 補氣裝置、 標準氣體 (記錄器)	紅外線 選擇吸收 (分析)	0.02 以上	高	適	速	電源、 標準氣體、 記錄用紙

註 1 : CO/CO₂ 監測器之校正在靜的校正使用零點氣體(Zero Gas) , 如 N₂ 氣體 ; 在動的校正使用全幅

氣體(Span Gas) , 如 CO₂:1630ppm , CO:76.4ppm

註 2 : CNS A3118 規定之標準量測法有氫氧化銀法、簡易定量法、檢知管法、氣體干涉計法、及紅外線吸收法。

本研究所使用之一氧化碳濃度量測儀器為「定電位電解法」, 二氧化碳濃度量測儀器為「非分散型紅外線吸收法」, 以下分別探討其量測方法與量測原理。

(a) 一氧化碳之定電位電解法 :

其量測方法是將含有 CO 的室內空氣導入定電位電解槽中 , 來使 CO 通過氣體透過性隔膜而擴散吸收於電解槽的電解液中 , 在此電解槽的電極間給於 0.9 ~ 1.5 V 的電位時 , 則會產生下列的電解反應。



由於隨者反應的進行會有與 CO 濃度成比例之電流流動 , 因此這也就是將此電流測出來而求出 CO 濃度的方法。

(b) 二氧化碳之非分散型紅外線吸收法 (NDIR 法) :

其量測原理是在儀器之檢出器中封入測定分子或者具有同樣吸收光譜的氣體 , 來僅將特定波長 (CO₂ 特定紅外線波長為 4.3 μ m) 的光檢出之非分散型紅外線分析計。

其量測方法是將含有 CO₂ 的室內空氣連續導入測定槽中而以強度 I₀ 的紅外線照射時，紅外線會與 CO₂ 濃度成比例的關係被吸收，因此可得到強度為 I_T 之透過光。

此公式為

$$I_T = I_0 \times 10^{-\epsilon C L} \quad \epsilon : \text{吸光係數}$$

L : 吸收槽長

C : 濃度

藉著測定此種透過率（或者透過率逆數的常用對數之吸光度）即可求出室內空氣的 CO₂ 濃度。

本研究採用之機型是把定電位電解法的一氧化碳量測器與非分散型紅外線吸收法的二氧化碳量測器組合成一台，並在內部藏有小型電腦及印表機來控制與記錄。其除了可為 1 分鐘 ~ 15 分鐘平均濃度值的瞬時量測外，亦可將測得濃度變換為電壓值輸出，經由與之連線的數位記錄器接收而自動連續記錄，故可得室內空氣 CO、CO₂ 濃度長時間自動連續量測記錄之實測值。

(3) 甲醛(Formaldehyde)HCHO 與總揮發性有機物質(Total Volatile Organic Compounds) TVOC

甲醛濃度之量測一般以體積相對濃度 (ppm) 表示之，TVOC 濃度主要是

以重量體積濃度 (mg/m^3) 表示。其濃度量測之原理可分為化學分析與物理測定兩大類。表 4-2-7 係以一般室內環境為量測對象，甲醛及 TVOC 濃度的量測系統一覽表，分別依其儀器構成、量測原理、偵測極限、精度、自動連續量測性能、應答性等項目來說明評估。從表中可知以光聲學紅外線光譜分析儀進行甲醛及 TVOC 濃度量測在方便性及精確度均具實用之程度，唯在 TVOC 濃度量測值上包含 CH_4 濃度。

表 4-2-7 甲醛及 TVOC 濃度的量測系統比較

	名稱	構成	量測原理	偵測極限	精度	自動連續測定	應答	備註
甲醛濃度	DNPH 衍生物之 高效能液相層析 系統	採樣裝置 液相層析儀 層析積分儀 層析分離管	液相層析	8.83ppb	稍高			
	光聲學紅外線光 譜分析儀	採樣管 本體	紅外線光學 光聲光譜術	40ppb	高	可	速	
TVOC 濃度	氣相層析質譜分 析儀	採樣及冷凝 裝置 氣相層析儀 質譜儀	火焰離子化 氣相層析					
	光聲學紅外線光 譜分析儀	採樣管 本體	紅外線光學 光聲光譜術	$20\mu\text{ g}/\text{m}^3$	高	可	速	測值中含 CH_4

本研究採用之量測儀器是「多種氣體監測器」，其偵測器體之原理，是利用「光聲學紅外線光譜分析法」(Photoacoustic Infrared Spectroscopy) 的技術

加以偵測：此方法將傳統的「紅外線光學」與「光聲光譜術」相互結合而成。

凡由異原子所組成的氣體分子均會吸收某特定波長之紅外線，再利用薄膜 (diaphragm) 為感測器感測其壓力強度。其感測原理如下所示：

氣體濃度 ~ 吸收紅外線之能力 ~ 壓力 ~ 電容強度 ~ 薄膜感應強度

其偵測原理如圖 4-2-4 所示。「光聲學紅外線光譜分析法」的技術，乃是利用所偵測的氣體會吸收某特定波長的紅外線，而使該氣體的化學鍵有更大的「自由度」，造成氣體壓力的增大，進而壓迫感應薄膜，形成電容的改變，由此可測得氣體濃度的大小。

針對不同的偵測對象 (如甲醛及 TVOC) 則可利用不同的濾片進行過濾，以偵測其濃度。目前使用之甲醛及 TVOC 濾片，均會受產生相近波長之氣體干擾，在甲醛部份因為干擾之氣體在室內的濃度極低或無，故其精確度仍為可

信；而在 TVOC 之測值，目前所量測之測值

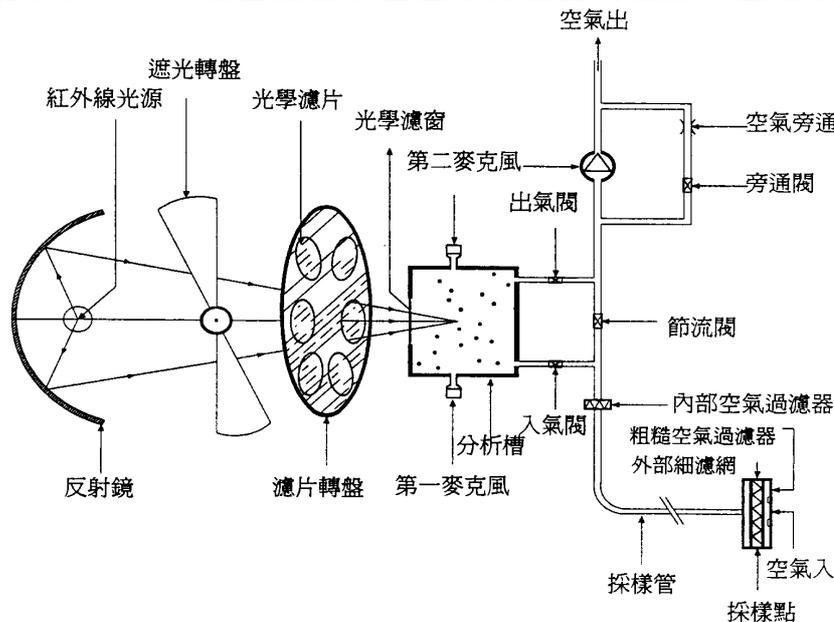


圖 4-2-4 「光聲學紅外線光譜分析儀」之偵測原理

綜理上述，本研究所使用之測定儀器特性如表 4-2-8 所示：特性包括量測原理、量測範圍及量測精度。

表 4-2-8 本研究測試儀器之特性

測定因子	量測原理	量測範圍	量測精度
溫度	熱感應方式	-40~115°C	<±0.3°C
濕度	熱感應方式	0~100%	<±0.1%
風速	熱感應方式	0~30m/s	<±2%
一氧化碳	定電位電解法	~0.1ppm	<±1ppm
二氧化碳	非分散型紅外線吸收法	~10ppm	<±50ppm
粉塵量	散亂光方式 (相對濃度)	0.001~10 mg/m ³	<±10%
甲醛	光聲學紅外線光譜分析法	~0.04ppm	<±1.55%
TVOC	光聲學紅外線光譜分析法	~0.02mg/m ³	<±1.55%

(4) 換氣量與局部平均空氣齡 (Ventilation rate/ local average age of air)

利用示蹤氣體 (tracer gas) 技術量測建築換氣狀態，已被廣泛應用至量測室內

通風效率【33-38】。本研究擬應用前述及之『光聲學紅外線光譜分析法』(Photoacoustic Infrared Spectroscopy) 進行多點量測，所採用之儀器設備如表 3 所述。

上述方法之基礎皆建立於示蹤氣體連續方程式的簡化上：

■在換氣量量測方面

$$V \frac{dC(\tau)}{d\tau} = S(\tau) + Q_v(\tau) \cdot C_{oa} - Q_v(\tau) \cdot C(\tau) \quad (1)$$

- V = 室內有效體積，立方公尺
 $C(\tau)$ = 室內示蹤氣體濃度，立方公尺/立方公尺
 τ = 時間，小時
 $S(\tau)$ = 通入室內之示蹤氣體濃度，立方公尺/立方公尺
 C_{oa} = 外氣中示蹤氣體之濃度，立方公尺/立方公尺
 $Q_v(\tau)$ = 自室外流入室內之氣流，立方公尺/小時

$$\text{上式可改寫為：} Q_v(\tau) = \frac{S(\tau) - V \frac{dC(\tau)}{d\tau}}{(C(\tau) - C_{oa})} \quad (2)$$

將自室外流入室內之氣流 $Q_v(\tau)$ 除以室內有效體積 V 就可以得到室內換氣量

ACH。

A、濃度衰減法

τ_1 = 全部實測時間，小時

$C(0)$ = 時間為 0 時的示蹤氣體初始濃度，立方公尺/

首先釋放少量的示蹤氣體並和室內空氣均勻混合(可藉助大風扇)，接著

$C(\tau)$ = 時間為 τ 時的示蹤氣體濃度，立方公尺/立方

停止示蹤氣體之導入，靜置一段時間後啟動所有實驗條件(如開啟出入風口、

空調設備等) 並進行示蹤氣體濃度之量測。為了確保示蹤氣體可均勻分佈於待測室內空間中，在量測期間大風扇必須一直開著。如此可發現示蹤氣體濃度會與量測時間呈現指數衰減現象 (exponential decay)。將示蹤氣體濃度改以對數形式 ($\ln C(\tau)$) 對時間作圖，可以得到一條直線，此直線的斜率即為室內換氣量 ACH：

$$ACH = \frac{\ln C(0) - \ln C(\tau_1)}{\tau_1} \quad (\text{h}^{-1}) \quad (3)$$

- τ_1 = 全部實測時間，小時
- $C(0)$ = 時間為 0 時的示蹤氣體初始濃度，立方公尺/立方公尺
- $C(\tau_1)$ = 時間為 τ_1 時的示蹤氣體濃度，立方公尺/立方公尺

在前期相關研究【34】中，曾利用本方法就台灣典型住宅臥室空間進行自然通風換氣量之量測，結果如圖 4-2-5 所示。吾人可就圖上示蹤氣體濃度線的斜率計算出該室換氣量值。

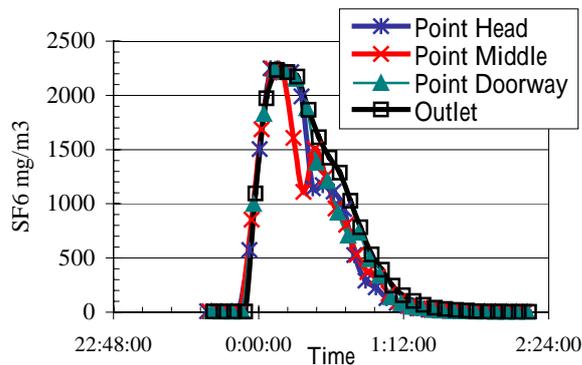


圖 4-2-5 示蹤氣體濃度衰減狀況【34】

B、濃度恆定法

此方法主要應用於單室或複室 (multi-zone) 空間的逐時換氣量量測，特別適用於一般居室空間之分析。使用此方法時，示蹤氣體之釋放點與採樣點之間的配合是十分重要的。本研究採用的氣體監測器具有回饋控制(feedback control) 之作動機能，因此儀器本身可依吾人設定之濃度值自釋放點釋放適當之示蹤氣體，使得採樣點鄰近之示蹤氣體濃度保持恆定。當實驗條件有所變動 (如開啟出入風口、空調設備等) 導致採樣點濃度有所變動時，氣體監測器將自動追蹤釋放示蹤氣體，以使得採樣點鄰近之示蹤氣體濃度再度回歸設定之濃度值。如此簡化連續方程式後可估算室內換氣量 ACH：

$$ACH = \frac{S(\tau)}{V \cdot C(\tau)} \quad (h^{-1}) \quad (4)$$

在示蹤氣體濃度 $c(\tau)$ 恆定的條件下，室內換氣量 ACH 與氣體監測器釋放之示蹤氣體量值 $s(\tau)$ 成正比。由此可看出此方法可翔實記載不同操作行為影響室內換氣量的程度。

C、定速釋放量

使用此方法時，示蹤氣體在量測時間內以定速釋出，如此簡化連續方程式後可估算室內換氣量 ACH，在氣體監測器釋放之示蹤氣體量值 $s(\tau)$ 恆定的條件下，室內換氣量 ACH 與示蹤氣體濃度 $c(\tau)$ 成反比。由此可看出此方法亦可記載不同操作行為影響室內換氣量的程度。

■在室內局部/平均空氣齡量測方面

(一) 衝量注入法

將示蹤氣體釋放點擺設於各出風口之上游，注入少量的示蹤氣體使其與進風充分混合後流入室內，再於觀測點擺置採樣口並量測其濃度變化情形。因此該點之局部平均空氣齡 (local mean age-of-air) $\overline{\tau_p}$ 可由下式計算得知：

$$\overline{\tau_p} = \frac{\int_0^{\infty} \tau C(\tau) d\tau}{\int_0^{\infty} C(\tau) d\tau} \quad (\text{式 5})$$

(二) 濃度成長法

將示蹤氣體釋放點擺設於各出風口之上游，持續注入示蹤氣體並使其與進風充分混合後流入室內，再於觀測點擺置採樣口並量測其濃度成長變化情形。此方法特別適用於示蹤氣體無法均勻分佈的大空間。該點之局部平均空氣齡 $\overline{\tau_p}$ 可由下式計算得知：

$$\overline{\tau_p} = \int_0^{\infty} \left(1 - \frac{C(\tau)}{C(\infty)}\right) d\tau \quad (\text{式 6})$$

(三) 濃度衰減法

此方法之實驗步驟與前述「換氣量量測」時採用的濃度衰減法大致上相同，其差異點在於此時示蹤氣體均勻分佈於待測空間後，無須再使用大風扇使其混合。依各點量測到的示蹤氣體衰減曲線可計算出該點之局部平均空氣齡 $\overline{\tau_p}$ ：

$$\overline{\tau_p} = \frac{\int_0^{\infty} C(\tau) d\tau}{C(0)} \quad (\text{式 7})$$

在實測儀器系統方面，上述各方法所需的設備大致相同，如表 5 所示：

【室內振動環境】

研究單位採用的是美國 PCB 公司製造之剪力型 (shear mode) 高靈敏度振動加速度感測器，其可量測之頻率範圍為 0.15 至 1000Hz；偵測底線 resolution (threshold) 可低至 $0.000005 (m/s^2, pk)$ (即 14dB)，由於感測器具有一內建電晶體訊號放大器，可將來自壓電素材 (ceramic piezoelectric material) 的微小反應電流先行放大，再經纜線等輸出至訊號處理單元，因此其 voltage sensitivity 高達 10 v/g；電源供應暨訊號中繼處理單元 (line powered signal conditioner) 則供應感測器內建訊號放大器所需之電流，亦為訊號輸出處理單元；數位記錄器 (data recorder) 為具八個記錄頻道之同步記錄器，其頻率範圍可達 5000 Hz；最後再將訊號接入快速傅利葉轉換分析儀 (FFT analyzer) 中進行頻譜分析，其頻率範圍為 1 至 20000 Hz，動態解析範圍為 80 dB。解析結果將依國際標準 ISO-2631/1-1985 加以評估各軸 (X、Y、Z) 振動量的大小、總加權加速度 (Weighted Acceleration Sum, WAS) 及容許曝露時間。【8，39】

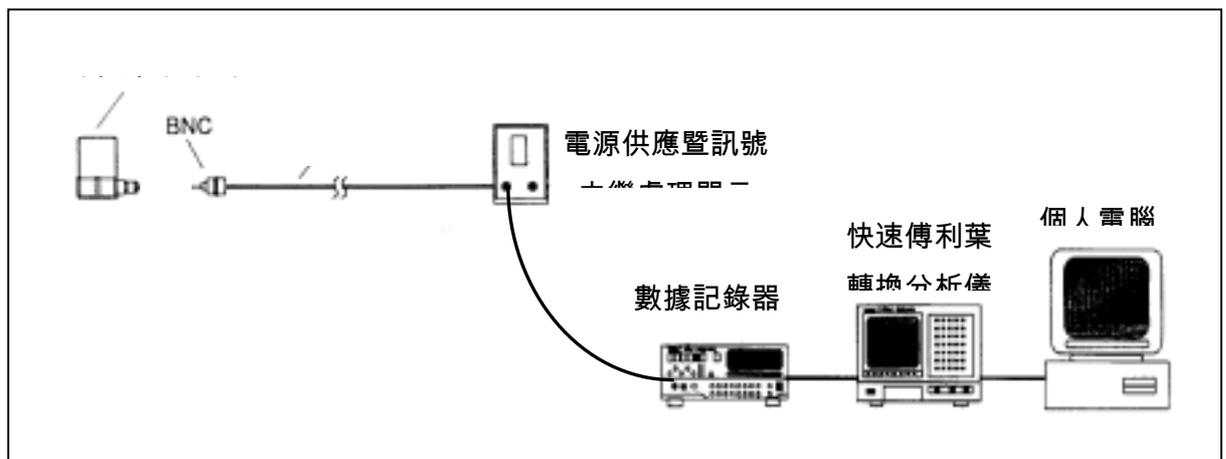


圖 4-2-6 儀器系統連線示意圖【8】

【室內電磁環境】

評估時將以平行平板式單軸電場感測器進行室內電場環境量測；利用單軸與三軸式感測線圈進行室內磁場環境量測。在量測程序方面，將參考 IEEE Magnetic Field Task Force 於 1993 制訂之建議性量測程序【40】以及國內相關

學者之研究成果。量測頻率方面，則以交流電力頻率（國內為 60 Hz）及其低階諧波頻率（如 120 Hz、180 Hz 與 240 Hz 等）為主。最後再以 IRPA/INIRC-1990 的暫訂基準作為評估參考依據。

本研究將利用上述各種實測評估方法，針對都會區辦公大樓以及公寓大廈一般居室空間進行室內環境綜合指標之現場實測，並利用指標值調查結果建立都會區辦公大樓以及公寓大廈一般居室空間室內環境品質之現況，作為室內環境改善目標設定的支援。在實際操作的過程中，同時評估此室內環境綜合指標現場檢測之適切性，以回饋本所建築室內環境健康效行綜合指標應用之需。爾後，並將成果研擬成推廣策略，藉此提昇一般居民的室內環境衛生意識。

4-2-3 居室人員心理反應之測定

為求得建築室內綜合環境現況之定量評價，本研究採用兩種方式：1.現場室內綜合環境因子實測 2.實測案例室內人員主觀問卷調查。進行現場實測做為評估室內環境品質的依據，並以問卷調查做為旁證，來進行定量化評估。在現場實測部份，本研究乃採取上述自動連續量測法進行測定與應用評估。在問卷調查部份，主要是做為現場實測有效性之背景資料，以及測試案例中室內人員主觀反應之調查。問卷內容主要分為基本資料調查、室內音環境、光環境、溫熱環境、空氣環境與使用空間評價等，茲分別敘述如下：

【個人基本資料調查】

01.年齡：20 歲以下 21~30 歲 31~40 歲 41~50 歲

51~60 歲 61~70 歲 70 歲以上

02.性別：男 女

03.職稱：主管職員其他.....

04.您平均每日在辦公室的時間為：

0-2 小時 2-4 小時 4-6 小時 6-8 小時 8 小時以上

05.您在目前的辦公室工作時間已達：

第四章 室內綜合環境之評估程序

0-2 年 2-4 年 4-6 年 6-8 年 8 年以上

06.有否抽煙 不抽煙 每日 10 支以下 每日 10~20 支
每日 20 支以上

07.身體對冷熱環境之感受：

怕冷的 怕熱的 怕冷且怕熱的 無此感受

08.身體的出汗狀態：

易出汗 尚可 不易出汗

09.您對煙味介意嗎？

非常介意 介意 稍微介意 不介意

10.您現在的身體狀況如何？（請在下列線上標註）

良好-----不佳

【空間感受調查】

01.您對此空間的直覺感受如何：

相當差 稍微不佳 普通 良好 非常好

02.您覺得此空間具有親切感的特徵嗎？

完全沒有 沒有 普通 良好 非常好

03.您覺得在此空間作業時方便嗎？

非常不方便 不方便 普通 方便 很方便

04.您覺得在此空間作業時，會有突然災害發生的疑慮嗎？

有這疑慮 稍有疑慮 沒有這疑慮

【室內音環境感受】

01.您覺得這空間的噪音環境如何？

很吵雜 稍微吵雜 普通 安靜 很安靜

02.您介意室內的噪音發生嗎？

很介意 稍微介意 普通 不介意 沒感覺

03.對於上一題中，回答很介意或稍微介意者請回答此問題：

請圈選這空間中常出現的噪音源：

交通噪音： 飛機 汽車 火車 機車 地下鐵 其他_____

市區噪音： 工場 商店 擴音器噪音 其他_____

室內噪音： 電話 傳真 OA 機器 門窗的開關 說話聲 人員走動 廣播

建築體開口部的風切聲 隔壁空間傳來的聲音 其他_____

設備噪音： 空調出風口風聲 電梯聲 給排水噪音 其他_____

其他_____ (請儘可能描述其聲音狀態)

04.這噪音對您工作上會不會造成影響？

有影響 普通 沒影響

05.對於上一題中，回答有影響或普通者請回答此問題：

這噪音對您的工作上造成哪方面的影響：(請圈選)

靜不下來 思考受到妨礙 與他人對話時受到妨礙 無法聽到電話聲

其他_____

06.在室內講話時會不會有回音？

有很大的回音 稍微有回音 普通 沒有回音 完全沒有回音

07.內部廣播時(如一般訊息或避難逃生廣播)您聽的到嗎？

完全聽不到 聽不太到 普通 聽的到 聽得很清楚

【室內光環境感受】

01.您覺得室內的亮度如何？

不適當 普通 適當

02.您介意室內亮度的不均勻嗎？

很介意 稍微介意 普通 不介意 沒感覺

03.您覺得作業面上的亮度如何？

不適當 普通 適當

04.您介意作業面上亮度的不均勻嗎？

很介意 稍微介意 普通 不介意 沒感覺

05.作業時，您有感覺到刺眼的眩光嗎？

很嚴重 普通- 完全沒有

06.OA 器具的螢幕畫面是否有看不清楚的現象？

相當不清楚 稍微不清楚 普通 清楚 相當清楚

07.人工照明時，物體是否看起來有不自然的現象？

有 普通 沒有

【室內溫熱環境感受】

01.您的作業姿勢如何？

坐著比較多 站坐各一半 站著比較多 常在戶外工作

02.您覺得室內溫度如何？

太低 稍低 適中 稍高 太高

03.您覺得室內濕度如何？

太乾燥 稍乾燥 適中 稍潮濕 太潮濕

04.您覺得周遭空氣流動的速度如何？

非常弱 稍弱 適中 稍強 非常強

05.您感覺的到輻射熱嗎？（如太陽或高熱功率燈泡照射時，身體不需接觸到熱源

即可感覺到高溫的狀態，這就是輻射熱的一種）

感覺的到 感覺不明顯 完全感覺不到

06.您能感覺到頭部與腿部鄰近空氣的溫度差異嗎

感覺的到 感覺不明顯 完全感覺不到

07.綜合以上的問題，您感覺環境的溫熱狀態如何？

相當不舒適 不舒適 普通 舒適 非常舒適

08.在這空間時，您最常的穿著服飾為何？

上半身：

下半身：

鞋子：

【室內空氣環境感受】

01.您對室內空氣新鮮度之滿意程度如何？

不滿意 尚可 很滿意

02.您認為這空間內的落塵量如何？

很少 尚可 很多

03.您在這空間內是否常有頭痛、喉嚨痛、疲倦、身體不適等感覺？

每天有 經常有 偶爾有 很少有 沒有

04.當您出現第 3 題之症狀時，您認為是下列哪一項所引起：

噪音 光線不當 溫度不適 空氣污染 其他_____

05.您對整體室內空氣品質之滿意程度如何？

不滿意 尚可 很滿意

4-3 實測人員工作手冊之製作

測試工作進行前，應將工作人員負責事項及相關資訊製作成一工作手冊，以作為遵循之依據與相互間配合事項之提示。手冊的內容應包含人員名單、工作分組、時間、地點、個人工作時間表、測試內容及時程表、儀器整備狀態、其他配件、測點分佈示意圖、識別證、注意事項等。詳細內容可參閱附錄二之示範例。

4-4 測試結果之彙整

表 4-4-1 室內綜合環境評估 背景資料記錄表 P1 

對象建築物名稱		調查員	
測試時間 年 月 日		建築物地址	
天候 		空間內部所進行工作內容	
建築物周邊狀況 (環境、建築物、交通)			
建築物規模		地上 樓, 地下 樓	
建築物構造		RC SRC SC 磚構 木構 (其他)	
建築物完工年代		年 月 日 (建築物屋齡 年)	
測試空間建築物所屬樓層 第 樓		測試空間形狀	
測試空間樓地板面積 m ²		測試空間天花板高度 m	
測試空間室容積 m ³		測試空間平均使用人數 人	
空調設備之運轉		有	
空調設備之形式		中央 AHU FCU 箱型機 窗型機 (其他)	
空調外氣引入		有 (入風口面積 m ² , 風速 m/s) 無	
空調出風口狀態		乾淨 尚可 骯髒	
天花板水漬		有 無	
室內裝修			
天花板		無 木質 明架石膏 明架礦纖 (其他)	
隔間		無 木質 石膏板 布面 OA 半隔板 (其他)	
牆面		水泥漆 壁紙 木質美耐板 (其他)	
地板		PVC 地磚 地毯 磨石子 (其他)	
家具		木製 OA (其他)	

平面圖 (包含室內家具/設備擺放與測點分佈)

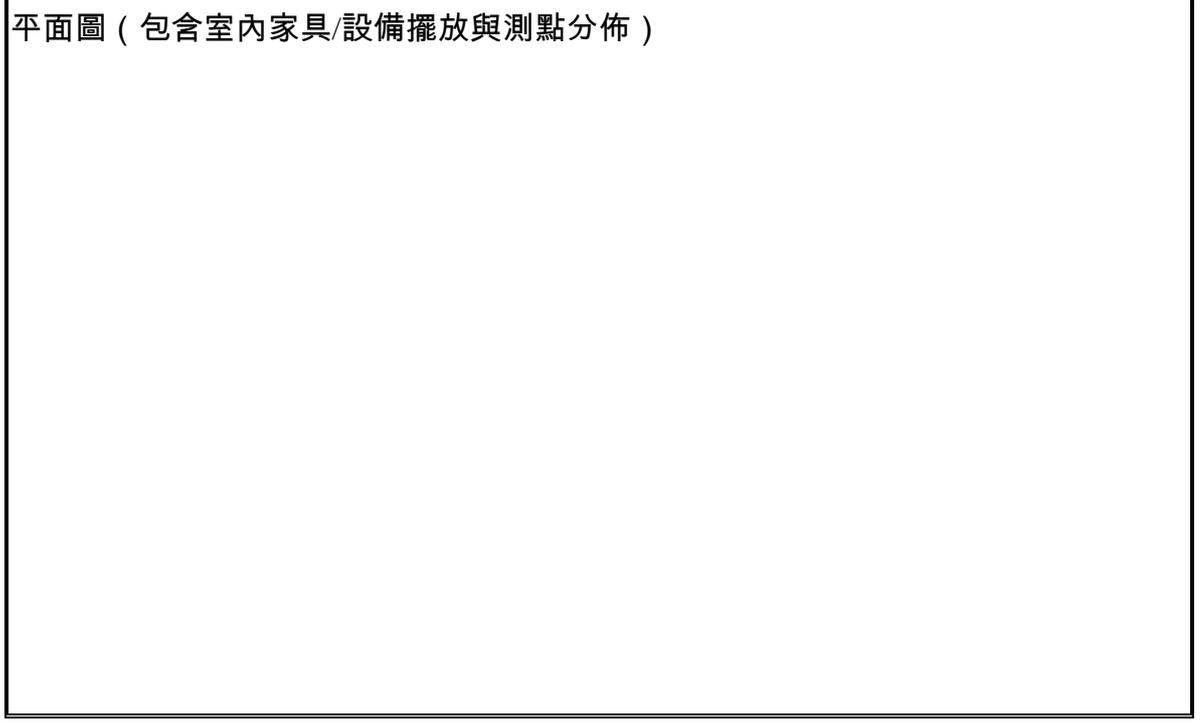


表 4-4-2 室內綜合環境評估 音環境測試結果記錄 P2 ♪

測試空間名稱	調查員
測試時間 年 月 日	空間內部所進行工作內容
空間屬性與測定指標	住宅類 ($L_{eq}24H$) 一般辦公空間 ($L_{eq}D$)

測點位置 (NO.)	
等價噪音級之平均值 (dB A)	
電話機數目 (台)	
測試範圍平均人數 (人)	
備註	

測點位置 (NO.)	
等價噪音級之平均值 (dB A)	
電話機數目 (台)	
測試範圍平均人數 (人)	
備註	

測點位置 (NO.)	
等價噪音級之平均值 (dB A)	
電話機數目 (台)	
測試範圍平均人數 (人)	
備註	

本空間等價平均值 (上述測點之平均值)

(共 個測點位置)

等價噪音級之平均值 (dB A)	
電話機平均數目 (台)	
測試範圍平均人數 (人)	
備註	

表 4-4-3 室內綜合環境評估 光環境測試結果記錄 P3

測試空間名稱	調查員
測試時間 年 月 日	空間內部所進行工作內容

測點位置 (NO.)													
作業 面 照 度	含自然光	測定點	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均	均齊度
		照度 Lux											
		狀況											
	人工光源	測定點	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均	均齊度
		照度 Lux											
		狀況											
照明器具之輝度分類		NO.	輝度分類	NO.	輝度分類	NO.	輝度分類	NO.	輝度分類	NO.	輝度分類	NO.	輝度分類

測點位置 (NO.)													
作業 面 照 度	含自然光	測定點	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均	均齊度
		照度 Lux											
		狀況											
	人工光源	測定點	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均	均齊度
		照度 Lux											
		狀況											
照明器具之輝度分類		NO.	輝度分類	NO.	輝度分類	NO.	輝度分類	NO.	輝度分類	NO.	輝度分類	NO.	輝度分類

測點位置 (NO.)													
作業 面 照 度	含自然光	測定點	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均	均齊度
		照度 Lux											
		狀況											
	人工光源	測定點	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均	均齊度
		照度 Lux											
		狀況											
照明器具之輝度分類		NO.	輝度分類	NO.	輝度分類	NO.	輝度分類	NO.	輝度分類	NO.	輝度分類	NO.	輝度分類

--	--	--	--	--	--	--	--	--

本空間等價平均值 (上述測點之平均值)

(共 個測點位置)

作業面照度	含自然光	平均照度 (Lux)	均齊度
	人工光源	平均照度 (Lux)	均齊度
照明器具之輝度分類			

表 4-4-4 室內綜合環境評估 溫熱與空氣環境測試結果記錄 P4

測試空間名稱	調查員
測試時間 年 月 日	空間內部所進行工作內容

測點位置 (NO.)			
平均溫度 (°C)			
平均濕度 (%)			
平均風速 (m/s)			
換算為 PMV 值			
PM ₁₀ 濃度 (ppm)			
CO 濃度 (ppm)			
CO ₂ 濃度 (ppm)			
HCHO 濃度 (ppm)			
TVOC 濃度 (mg/m ³)			
換算為 PSi 值			
狀況 記錄	空調設備之啟動		
	門窗之開啟狀態		
	測試範圍平均人數 (人)		
	吸煙狀況	有 無	有 無 有 無

本空間等價平均值 (上述測點之平均值) (共 個測點位置)

平均溫度 (°C)	
平均濕度 (%)	
平均風速 (m/s)	
換算為 PMV 值	
PM ₁₀ 濃度 (ppm)	
CO 濃度 (ppm)	
CO ₂ 濃度 (ppm)	
HCHO 濃度 (ppm)	
TVOC 濃度 (mg/m ³)	
換算為 PSi 值	

表 4-4-5 室內綜合環境評估 非游離性電磁環境測試結果記錄 P5 ✓

測試空間名稱	調查員									
測試時間 年 月 日	空間內部所進行工作內容									

測點位置 (NO.)										
測定點	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
電場強度 (仟伏/公尺)										
磁通量密度 (微特斯拉)										

測點位置 (NO.)										
測定點	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
電場強度 (仟伏/公尺)										
磁通量密度 (微特斯拉)										

測點位置 (NO.)										
測定點	1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均
電場強度 (仟伏/公尺)										
磁通量密度 (微特斯拉)										

本空間等價平均值 (上述測點之平均值) (共 個測點位置)

電場強度 (仟伏/公尺)	
磁通量密度 (微特斯拉)	

表 4-4-6 室內綜合環境評估 辦公室空間感受調查結果記錄 P6 冊

測試空間名稱	調查員
測試時間 年 月 日	空間內部所進行工作內容

測定項目	測定法		測定結果	備註
	資料 調查	現場 調查		
01.個人工作面積			m ² /人	
02.會議面積			m ² /人	
03.天花板高度			m	
04.儲藏空間			m ³ m	儲藏容積 等價長度
05.個人工作桌寬度			m	
06.椅子之調整機能數				
07.平均人數			人	
08.OA 機器台數			台	
09.電話台數			台	
10.照相或攝影記錄				
11.狀況記錄				

註：本表適用於辦公空間。

第五章 室內綜合環境之評估方法

5-1 室內綜合環境之物理評估基準

5-2 室內綜合環境之心理評估基準

5-3 室內環境綜合評估指標 $IEI_{(AHP)}$ 之擬議

5-4 室內環境綜合評估結果之呈現

第五章 室內綜合環境之評估方法

5-1 室內綜合環境之物理評估基準

彙整對象空間之測試結果後，吾人必須將此結果轉換成一般民眾容易理解之數據，以作為不同空間與環境品質政策實行前後之相互比較。通則上最容易接受的數據呈現方式是「分數」，因此，本小節嘗試探索各國相關室內環境基準，並提出本研究相關環境評價點 (scoring) 之擬議。

5-1-1 音環境之評估基準

各國集合住宅室內噪音評估指標與基準節錄如表5-1-1所示。在評估指標方面，大多數以dB(A)為評估指標。在基準值的訂定方式上，除了單純以一數值或範圍訂定之外，日本建築學會依需求的音環境品質不同，做三個不同等級(特級、一級與二級)的推薦值，以特級的30dB(A)為最低並依等級遞增5dB(A)；英國對於都市、郊區與鄉村的起居室有不同之基準值，以都市的50dB(A)高，其次為郊區的45dB(A)與鄉村的40dB(A)，另外對於都市中的臥室的基準值35dB(A)則較起居室的基準值50dB(A)低15dB(A)；而學者Beranek提出的室內噪音基準則介於

35dB(A)與40dB(A)之間。若與心理感覺比較，多數基準值落在應該注意與感到噪音之間，只有最嚴格的30dB(A)為感到非常靜，而最寬鬆的50dB(A)則心理感覺為不可忽視噪音。

由研究單位歷年來從事的住宅室內生活音環境實測資料顯示，台灣地區一般室內生活噪音量值($L_{eq}24H$)約在 55~65dB(A)之間(佔所有實測個案 75%)，這些量值與國外最寬鬆的法規基準(50 dB(A))比較，為相當不理想。因此站在提昇國人生活品質的觀點上，本研究建議將此國外最寬鬆的法規基準列為音環境評價及格點(第 3 等級，亦即為 60 分的意義)，而以 5dB 的方式級增/減。在辦公室音環境評估方面，由於國內並無相關法規規定，測試案例亦不充足，因此本研究暫行以國外相關研究之建議級等為基礎。本研究建議之音環境評價點如表 5-1-2 所示。

表5-1-1 各國室內噪音基準與生活實感對應【3】

dB(A)		20	25	30	35	40	45	50	55	60	
NC ~ NR		10 ~ 15	15 ~ 20	20 ~ 25	25 ~ 30	30 ~ 35	35 ~ 40	40 ~ 45	45 ~ 50	50 ~ 55	
影響程度		無音感-----非常靜----應該注意-----感到噪音-----無法忽視噪音									
日本建築 學 會	特級										
	一級										
	二級										

Beranek				
英國	都市 起居室			
	都市 臥室			
	郊區 起居室			
	鄉村 起居室			

表 5-1-2 室內綜合環境評估音環境評價點

音環境評價點		20	40	60	80	100
住宅類	$L_{eq}24H$	$>55\geq$	$>50\geq$	$>45\geq$	$>40\geq$	
一般辦公空間	$L_{eq}D$	$>59\geq$	$>56\geq$	$>53\geq$	$>50\geq$	

5-1-2 光環境之評估基準

在室內綜合環境評估光環境評價點的擇定上，由於我國國家標準 CNS12112 Z1044 「照度標準」中已有相關的規定（請參考表 2-3-2），因此在一般辦公空間作業面平均照度的評價上，將以 750 Lux 為評價及格點，並以相對較高之照度級等（1000 與 1500 Lux）賦予較高品質之評價；在住宅（起居室/臥室）方面，則參考國外相關標準 JIS（Z-9110）「各種場所之照度推薦值」並以 150 Lux 為評價及格點；至於室內均齊度則是暫時參照國外相關研究文獻予以區分評價點；在晝光率方面，本研究參酌日本建築學會所推薦之基準晝光率，以一般起居室之晝光率推薦值 0.7% 為及格點；在不快眩光指標方面，由於其評價過程相當複雜且不便，因此考量因人工照明產生不快眩光的情況時，建議將光源或照明器具的輝度予以評估，以使不快眩光保持在一定容許界線內【41】。上述本研究建議之光環境評價點如表 5-1-3 所示。

表 5-1-3 室內綜合環境評估光環境評價點

光環境評價點		20	40	60	80	100
住宅平均照度 (lx)		<70≤ <150≤		<300≤ <500≤		
辦公空間作業面平均照度 (lx)		<500≤ <750≤		<1000≤ <1500≤		
均齊度		<0.5≤ <0.6≤		<0.7≤ <0.8≤		
晝光率 (%)		<0.5≤ <0.7≤		<1≤ <2≤		
照明器具	無 VDT	G3	/	G2	/	G1, G0
	有 VDT	V3		V2		V1
	有 VDT 但分類不明	G3, G2		G1		G0

5-1-3 溫熱環境之評估基準

參考 ASHRAE Standard 55a-95 中以空氣線圖 (Psychrometric Chart) 表示的夏/冬季溫熱環境舒適區域 (請參考圖 2-4-1)，本研究建議將冷房期舒適溫度範圍定位在 24~26°C 之間 (第 5 等級，亦即為滿分的意義)，相同地在暖房期間則是 22~24°C 之規範內，至於自然通風情形下，則將舒適溫度區調整為 23~25°C 之間。而較本舒適區間高與低的溫度環境則逐次給予較低的評價點；至於相對濕度與氣流速度之評價方式則是參考國外相關法規 (日本建築基準法與大樓衛生管理法等)；PMV 方面則是參照國際標準 ISO 7730 (12-15-1994)。上述本研究建議之溫熱環境評價點如表 5-1-4 所示。

表 5-1-4 室內綜合環境評估溫熱環境評價點

溫熱環境評價點		20	40	60	80	100
溫度 (°C)	冷房期	>29≥	>28≥	>27≥	>26≥	
		<21≤	<22≤	<23≤	<24≤	
	自然通風	>28≥	>27≥	>26≥	>25≥	
		<20≤	<21≤	<22≤	<23≤	
	暖房期	>27≥	>26≥	>25≥	>24≥	
		<19≤	<20≤	<21≤	<22≤	
相對濕度 (%)		>85≥	>75≥	>65≥	>55≥	
		<15≤	<25≤	<35≤	<45≤	
氣流速度 (m/s)		>0.45≥	>0.35≥	>0.25≥	>0.15≥	
PMV 值		>2≥	>1.5≥	>1≥	>0.5≥	
		<-2≤	<-1.5≤	<-1≤	<-0.5≤	

5-1-4 空氣環境之評估基準

現今許多國家對外氣環境都訂有管制標準，但對室內空氣品質之管制卻不一定有法令及基準值來加以規範。面對日益惡化的室內空氣品質及層出不窮的「病大樓症候群」，美國冷凍空調協會與歐洲標準協會等已於 1996 年分別提出增修訂之通風法規，冀望藉由更完備的法規訂定來保障人員之健康權益。目前我國台灣地區有關室內空氣品質的規定，均是指工廠等產業現場之工業衛生基準，對於一般集合住宅、辦公室等人員密集之場所，則尚未在建築法規、衛生法規或環保法規中有所規範。故建築物室內空氣品質不良時，相關主管單位面臨無法令可管制或告發來促使業者改善，以保障室內人員健康的基本權益，以及確保生活品質。表 5-1-5 乃彙整國內外包括 WHO、US EPA、ASHARE 62R、加拿大、日本、歐洲等國之相關室內空氣品質基準。

目前外氣環境之空氣品質是以空氣污染指標值 PSI 作綜合評估，而 PSI 值是依據 PM₁₀、CO、SO₂、NO₂、O₃ 等五項污染物之測值以折線方程式換

算出各項之副指標值，再以各副指標值之最大值作為空氣污染指標值(PSI)，上述空氣污染物與污染副指標之對照如表 5-1-6 所示。

表 5-1-6 環保署環境空氣污染物與污染副指標之對照

PSI 值	PM ₁₀	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂
	24 小時平均值 單位：μg/m ³	24 小時平均值 單位：ppb	8 小時平均之最大值 單位：ppm	小時之最大值 單位：ppb	小時之最大值 單位：ppb
50	50	30	4.5	60	--
100	150	140	9	120	--
200	350	300	15	200	600
300	420	600	30	400	1200
400	500	800	40	500	1600
500	600	1000	50	600	2000

指標值在 100 以下者，表示該測點當日空氣品質符合美國環保署環境

空氣品質標準中短期（24小時或更短）平均值，指標在100以上時，依據美國環保署之研究顯示，身體狀況不佳而較敏感者會使其症狀更加惡化。PSI值與人體健康效應之關連性如表5-1-7所示。

表5-1-7 PSI值與人體健康效應之關連性

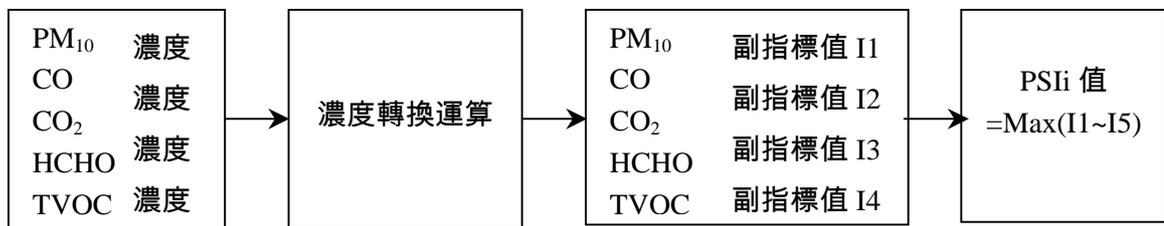
空氣污染指標值 (PSI)	0~50	51~100	101~199	200~299	300~
	良好	普通	不良	非常不良	有害

表 5-1-5 各國室內空氣品質標準或規範值 (本研究整理)

國別	懸浮粒子 mg/m ³	二氧化碳 CO ₂ (ppm)	一氧化碳 CO (ppm)	二氧化氮 NO ₂ (ppm)	二氧化硫 SO ₂ (ppm)	甲醛 HCHO (ppm)	臭氧 O ₃ (ppm)	氡氣 Rn (pCi/l)	管制法令
中華民國	-	5000	50	-	-	-	-	-	勞工安全衛生法
	-	-	10 d	-	-	-	-	-	公共場所禁煙辦法
美國 BOCA	PM ₁₀ 0.06 b	-	18 c	0.1 g	0.03 g	-	-	-	NMC SEC. 1603
美國 ASHRAE	-	1000	9 c	0.1 g	0.03 g	0.1 (min)	0.05 a	4	ASHRAE 62R (Draft 1996)
加拿大	PM _{2.5} 0.04 a	3500	25 d	0.25 d	0.38 (5min) 0.019	0.1	0.12	4 (舊建築物)	住所室內
	0.1 d		11 b	0.05				30 (新建築物)	空氣品質規範
日本	PM ₁₀ 0.15	1000	10 d	-	-	-	-	-	建築基準法施行令 建物管理法施行令
	0.15		10 d	0.21 d	0.13 d	0.08 e	0.05 c	150 Bq/m ³	HASS 102
新加坡	PM ₁₀ 0.15 f	1000 c	9 c	-	-	0.1 c	0.05 c	-	辦公室室內 空氣品質規範
	-		-	26.2 d 8.7 c	0.15 d 0.07 b 0.04 g	0.32 d 0.14 b 0.03 g	0.08 d	-	200 Bq/m ³ g 室內空氣品質 暫行規範
歐洲	-	-	87.3 (15min) 52.4 e 26.2 d 8.7 c	-	-	0.08 e	0.07~0.1 d 0.05~0.06 c	-	CEN prENV 1752 (Draft 1996)

註： a 長期暴露，b 日平均值，c 8 小時平均值，d 時平均值，e 30 分平均值，f 最大值，g 年平均值

本研究擬應用外氣綜合評估之精神，提出「室內空氣環境指標PSI_i」，探討其運用在建築室內空氣品質評估之可行性。以下就本研究使用之指標「PSI_i」作綱要說明：本研究之值是依據五項測定因子的濃度，換算成副指標值，再以各副指標值之最大值作為室內空氣污染指標值（如圖5-1-1所示）。其中CO與PM₁₀依外氣評估折線方程式加以換算出各該項之副指標值；至於因子CO₂，因為在外氣環境評估上並無考慮此項因子，所以並無轉換PSI值的折線方程式。本研究擬依表5-1-8之CO₂濃度與病態建築症候關係，加以轉換換算其對應PSI_i值，其對應計算值如表5-1-9所示。



註：CO與PM₁₀依外氣折線方程式換算成PSI_i副指標值
 CO₂依表5-1-9換算成PSI_i副指標值
 HCHO依表5-1-11換算成PSI_i副指標值
 TVOC依表5-1-14換算成PSI_i副指標值

圖5-1-1 本研究採用之PSI_i值換算程序

表5-1-8 CO₂濃度與病態建築症候之關係

濃度	病態建築症候之關係
< 600 ppm	偶爾抱怨頭痛、昏睡、悶熱 以上之抱怨頻繁
600 ~ 1000 ppm	
> 1000 ppm	

表5-1-9 本研究評估CO₂濃度與PSI_i值對應關係

CO ₂ 濃度	PSI _i 指標值	室內空氣品質分類標準
--------------------	----------------------	------------

< 600 ppm 600 ~ 1000 ppm 1000 ppm	< 50 50 ~ 100 > 101	良好 (good) 普通 (moderate) 不良 (unhealthful)
-----------------------------------------	---------------------------	------------------------------------------------

甲醛 (亦稱蟻酸, Formaldehyde) 可做為木料的防腐、絕緣用。室內的家具、地板、木架、箱櫃的材料, 如三夾板或木塊以及座墊都含有甲醛, 隨時會自木料中逸散而出。它是一種刺激性毒物, 對黏膜有刺激作用。刺激眼、鼻、喉部時, 可造成結膜炎、鼻炎、喉炎等及咳嗽、疲倦、起疹及過敏等現象, 更嚴重者有致癌之可能。購買木料時, 應注意該木料是否達到「曝氣」標準, 最好在工事動工前幾個月前就買好材料, 放在車庫或室外曝氣; 在室內方面, 應保持乾燥及通風良好, 以免累積過多甲醛。現代建築室內之壁紙、地毯、家具、門板、隔間板等之化學膠合劑, 都含有大量的甲醛, 揮發之後成為室內一種重要的氣體污染物。表 5-1-10 即為環境中甲醛濃度與人體生理反應之關係以及各國相關法規之量值比較。

表 5-1-10 環境中甲醛濃度與人體生理反應之關係以及各國相關法規之量值 (本研究整理)

ACGIH, 1991		0.1~0.3	0.8	1~2	2~3	4~5	10~20	50~100
		最低觸發刺激量	臭味	微量刺激性	眼鼻喉部刺激	黏膜刺激不自主流淚	具撕裂感的嚴重燒灼感, 咳嗽, 僅能容忍幾分鐘	5~10 分鐘內產生嚴重傷害
WHO	0.08 (30min)							
日本	0.08 (30min)							
香港		0.1(8hr)						

新加坡		0.1(8hr)					
美	NIOSH	0.016(8hr)					
	OSHA (工業)		0.75(8hr)	2(15min)			
	ACGIH (工業)			1(8hr) 2(15min)	3(ceiling)		
加拿大		0.1(8hr)					
德	MAK (工業)		0.5(8hr)				

(單位 ppm)

本研究參酌表 5-1-10 與專家學者之建議，先行擬定空氣環境中甲醛濃度與 PSIi 值對應關係，結果如表 5-1-11 所示。

表5-1-11 本研究評估甲醛濃度與PSIi值對應關係

甲醛濃度(8Hr)	PSIi 指標值	室內空氣品質分類標準
< 0.016 ppm	< 50	良好 (good)
0.016 ~ 0.1 ppm	50 ~ 100	普通 (moderate)
0.1 ~ 1.0 ppm	101 ~199	不良 (unhealthful)
> 1.0 ppm	> 200	非常不良(very unhealthful)

揮發性有機化合物 (VOC_S) 在室內空氣中被確認出者多達數百種，常見的亦有數十種，其包含了脂肪類及芳香類的碳水化合物 (aliphatic and aromatic-hydrocarbons)、氯鹽碳水化合物(chlorinated hydrocabons) 與所有的酮類(ketones)及醛類(aldehydes)(Johansson , 1978 ; Jarke , 1981)。以氣體色譜分析法可求得揮發性有機物的總量，特稱之為「TVOC」(Seifert , 1990)。舉凡油漆、清潔劑、噴霧罐劑、殺蟲劑、香煙等內均含有高濃度的 VOC_S。依據歐美相關研

究顯示證實：VOC_s 除造成室內人員有感官刺激、頭昏、頭痛等症狀外，有些物質更有致癌的相關性。表 5-1-12 即為不同之 TVOC 濃度對人體的刺激程度。

表 5-1-12 不同之 TVOC 濃度之對人體的刺激程度

TVOC 濃度 (mg/m ³)	刺激與不快感	暴露範圍
<0.20	沒有刺激與不快感	舒適範圍
0.20~3.0	有產生刺激及不快感的可能性	多要素暴露範圍
3.0~25	有產生頭痛的可能性	不快感範圍
>25	產生頭痛有可能是受到神經毒素的影響	發現毒性

表 5-1-13 WHO 之總揮發性有機化合物 (TVOC) 提案值

WHO 制訂之提案值	VOC 的化學分類	濃度 (mg/m ³)
	烷類	0.1
	芳香族碳化氫	0.5
	烯類	0.03
	氟氯化物	0.03
	酯類	0.02
	醛酮類 (甲醛除外)	0.02
	其他	0.05
	總計 (TVOC)	0.3

本研究參酌表 5-1-12 (不同之 TVOC 濃度之對人體的刺激程度)、表 5-1-13 (WHO 之總揮發性有機化合物 (TVOC) 提案值) 與專家學者之建議，

先行擬定空氣環境中 TVOC 濃度與 PSIi 值對應關係，結果如表 5-1-14 所示。

表5-1-14 本研究評估TVOC濃度與PSIi值對應關係

TVOC 濃度(8Hr) (mg/m ³)	PSIi 指標值	室內空氣品質分類標準
< 0.1	< 50	良好 (good)
0.1 ~ 0.3	50 ~ 100	普通 (moderate)
0.3 ~ 3.0	101 ~199	不良 (unhealthful)
> 3.0	> 200	非常不良(very unhealthful)

綜合表 5-1-9、5-1-11 與 5-1-14 所述室內空氣污染物濃度(CO₂、甲醛與 TVOC) 與 PSIi 值對應關係之擬議，以及我國環保署公告之環境空氣污染物 (PM₁₀ 與 CO) 與污染副指標之對照後，吾人可得室內空氣污染物 (PM₁₀、CO、CO₂、甲醛與 TVOC) 與室內空氣環境指標 PSIi 之關係，如表 5-1-15 所示，這些量值是本研究根據既有空氣污染物毒理學文獻與現行國際間室內空氣品質規定所擬定之階段性成果。

表5-1-15 室內空氣污染物與室內空氣環境指標PSIi之對照

PSIi 值		PM ₁₀	CO	CO ₂	甲醛	TVOC
		24小時 平均值	8小時平均 之最大值	8小時平均值	8小時平均值	8小時平均值
		單位： μg/m ³	單位：ppm	單位：ppm	單位：ppm	單位： mg/m ³
50	良好	50	4.5	600	0.016	0.1
100	普通	150	9	1000	0.1	0.3
200	不良	350	15		1.0	3.0
300	非常不良	420	30			
400	有害	500	40			
500		600	50			

在室內綜合環境評估空氣環境評價點的擇定上，本研究參照室內空氣環境指標 PSI_i 之擬定精神，以 $PSI_i=100$ 為評價及格點（60分）。本研究建議之空氣環境評價點如表 5-1-16 所示。

表 5-1-16 室內綜合環境評估空氣環境評價點

空氣環境評價點	20	40	60	80	100
室內空氣環境指標 PSI_i	$>200 \geq$	$>100 \geq$	$>50 \geq$	$>25 \geq$	

5-1-5 非游離性電磁環境之評估基準

由國內外學術單位從事高週波、電磁波、紫外線等非屬原子能游離輻射對環境影響之相關研究可知：在有關電磁波對人體健康影響之生物效應的資訊上，世界各國在研究電磁波對人體健康影響方面至今尚無定論，而世界衛生組織（WHO）之國際電磁場研究小組亦從去年開始（維持五年）積極加強電磁場與健康方面的研究。因此本研究以行政院環保署推薦的國際防護組織（IRPA）於1990年公布 50/60HZ 之電磁波暴露極限準則之規定為基礎，並參酌現今世界各國的電磁場安全標準，如表 5-1-17 與表 5-1-18 所示，研擬室內非游離性電磁環境評價點如表 5-1-19 所示。

表 5-1-17 世界各國現行低頻電場安全標準（本研究整理）

標準名稱	適用對象	頻率範圍 (Hz)	電場強度 (仟伏/公尺)					曝露時間 (小時)
			5	10	15	20	25	
IRPA-1990 (國際性準則)	一般 民眾	50-60	----- ----- ----- ----- -----					全天性
世界衛生組織 WHO			----- ----- ----- ----- -----					幾小時/天
英國 NRPB-1992			----- ----- ----- ----- -----					間接性
歐洲 prENV 50155-1, 1995			----- ----- ----- ----- -----					
美國 ACGIH			----- ----- ----- ----- -----					
			----- ----- ----- ----- -----					

表 5-1-18 世界各國現行低頻磁場安全標準 (本研究整理)

標準名稱	適用對象	頻率範圍 (Hz)	磁通量密度 (微特斯拉)					曝露時間 (小時)
			500	1000	1500	2000	2500	
IRPA-1990 (國際性準則)	般民眾	50-60	[Bar chart showing magnetic flux density limits for IRPA-1990]					全天性
			[Bar chart showing magnetic flux density limits]					幾小時/天
英國 NRPB-1992			[Bar chart showing magnetic flux density limits]					24
歐洲 prENV 50155-1, 1995			[Bar chart showing magnetic flux density limits]					
美國 ACGIH			[Bar chart showing magnetic flux density limits]					

(註 : 1 毫特斯拉=1000 微特斯拉=10 高斯=10000 毫高斯)

表 5-1-19 室內綜合環境評估 電磁環境評價點

非游離性電磁環境評價點	20	40	60	80	100
電場強度 (仟伏/公尺)	>25≥	>19≥	>12≥	>5≥	
磁通量密度 (微特斯拉)	>1600≥	>1100≥	>600≥	>100≥	

5-2 室內綜合環境之心理評估基準

本研究建議之室內綜合環境評估方法分為兩大部份。前一小節內容說明的是室內綜合環境物理評估方法，主要以室內物理因子實測配合擬議之評價方法來作為評估之依據；而本小節說明的是居室人員心理感受程度之評估方法，主要以實測當時居室人員所填寫的問卷結果為評估資料的來源。希望能配合物理因子之實測結果，公正客觀地評估室內環境之實際狀態。以下則依序介紹室內音環境、

光環境、溫熱環境、空氣環境與辦公室用空間感受評價方法。

【室內音環境心理評價基準】

表 5-2-1 室內綜合環境評估 音環境心理評價點

評價點數	20	40	60	80	100
問卷題號					
1.噪音的程度	很吵雜	稍微吵雜	普通	安靜	很安靜
4.噪音對工作之影響	有影響		普通		沒影響
6.回音的產生	有很大的回音	稍微有回音	普通	沒有回音	完全沒有回音
7.內部廣播	完全聽不到	聽不太到	普通	聽的到	聽得很清楚

【室內光環境心理評價基準】

表 5-2-2 室內綜合環境評估 光環境心理評價點

評價點數	20	40	60	80	100
問卷題號					
1.室內亮度	不適當		普通		適當
3.作業面亮度	不適當		普通		適當
5.刺眼的眩光	很嚴重		普通		完全沒有

【室內溫熱環境心理評價基準】

表 5-2-3 室內綜合環境評估 溫熱環境心理評價點

評價點數	20	40	60	80	100
問卷題號					
2.溫度	太低	稍低	適中	稍高	太高
3.濕度	太乾燥	稍乾燥	適中	稍潮濕	太潮濕
4.風速	非常弱	稍弱	適中	稍強	非常強

7. 溫熱環境舒適度	相當不舒適	不舒適	普通	舒適	非常舒適
------------	-------	-----	----	----	------

【室內空氣環境心理評價基準】

表 5-2-4 室內綜合環境評估 空氣環境心理評價點

問卷題號	評價點數	20	40	60	80	100
1. 空氣新鮮度		不滿意		尚可		很滿意
2. 空間落塵量		很少		尚可		很多
5. 室內空氣品質之滿意程度		不滿意		尚可		很滿意

【辦公室空間感受之評估基準】

表 5-2-5 辦公空間室內綜合環境評估 空間感受心理評價點

空間感受評價點	20	40	60	80	100
個人工作面積 (m ² /人)	<4≤	<8≤	<10≤	<14≤	
天花板高度 (m)	<2.4≤	<2.5≤	<2.7≤	<2.8≤	
個人工作桌寬度 (m)	<1.0≤	<1.2≤	<1.4≤	<1.6≤	
椅子之調整機能數	<2≤	<4≤	<6≤	<8≤	
OA 機器台數 (台/人)	<0.2≤	<0.4≤	<0.6≤	<0.8≤	
電話台數 (台/人)	<0.3≤	<0.5≤	<0.7≤	<1.0≤	
會議面積 (m ² /人)	<0.3≤	<0.5≤	<0.8≤	<1.0≤	
儲藏空間 (m ³ /人)	<0.2≤	<0.4≤	<0.6≤	<0.8≤	

註：此項評估主要應用於評估辦公空間個人工作便利性，並不適用於住宅類評估事宜。

5-3 室內環境綜合評估指標 IEI_(AHP) 之擬議

在完成室內綜合環境物理評估與心裡評估後，吾人考量的是如何以容易讓

一般民眾理解且符合專業邏輯的方式來呈現對象空間其室內綜合環境之實際狀態。因此，本研究嘗試以一般常見評價方式，也就是以 100 分為滿分，60 分為及格狀態來擬定評價方法。一般而言，整體分數若在 60 分之上，代表該空間之室內環境大抵上符合國內外相關環境標準之規定；若有低於 60 分者，代表該環境因子有待加強，而民眾可由本研究提供之雷達圖示直覺地來瞭解，哪一種環境因子需加以留意、改善。各環境因子的得分可由表 5-1-2、表 5-1-3、表 5-1-4、表 5-1-16 與表 5-1-19 直接查表得知，再分別乘上各自的相對權重(表 3-6-1) 後，加總成為「室內環境綜合評估指標 $IEI_{(AHP)}$ 」(Indoor Environment Index_(AHP))。由於環境因子權重的決定方式有許多種，本研究各環境因子間的權重量值是由專家學者執行 AHP 法後得到的，因此以下標(AHP)來代表其意義。

本研究擬議之室內環境綜合評估指標 $IEI_{(AHP)}$ 計算步驟如下所示：

- (1) 利用第四章提供之「室內綜合環境之評估程序」，針對欲評估之對象空間進行現場實測與居室人員心理感受問卷，並將結果記錄在 4-4 小節提供之記錄紙上。
- (2) 將所需的物理環境量測數據轉錄於表 5-1-2、表 5-1-3、表 5-1-4、表 5-1-16 與表 5-1-19 之物理環境評價表上；將所需的心理問卷結果登錄於表 5-2-1 至表 5-2-4 中，以求得環境心理評價點。本研究參酌 Gadeau 於 1997 年對於室內空氣環境提出的評估指標理論，以及室內環境暴露風險之概念後建議：對任一要素 X 而言，求出箇中組成的環境因子得分 S_{xi} 後，若

任一因子 X_i 其評價分數皆大於 60 時，則將各成分因子進行算術平均

$$S_x = \frac{1}{n} \sum S_{xi} ;$$

否則(換言之，有任一因子低於 60 分)，將以最劣狀態(worst condition) 為其環境因素之分數 $S_x = \min(S_{xi})$ ，以避免平均後模糊掉該環境之問題點。

【計算範例】

考量下列兩種量測結果，若 A 空間其溫熱環境量測結果如下：

溫熱環境評價點		20	40	60	80	100	
溫度(°C)	冷房期	>29≥	>28≥	>27≥	27	>26≥	
		<21≤	<22≤	<23≤		<24≤	
	自然通風	>28≥	>27≥	>26≥		>25≥	
		<20≤	<21≤	<22≤		<23≤	
	暖房期	>27≥	>26≥	>25≥		>24≥	
		<19≤	<20≤	<21≤		<22≤	
相對濕度(%)	>85≥	>75≥	>65≥		>55≥	50	
	<15≤	<25≤	<35≤		<45≤		
氣流速度(m/s)		>0.45≥	>0.35≥	>0.25≥		>0.15≥	0.1
PMV 值	>2≥	>1.5≥	>1≥		>0.5≥	0.29	
	<-2≤	<-1.5≤	<-1≤		<-0.5≤		

因為 A 空間的溫度、相對濕度、氣流流速與 PMV 評價分數皆高於 60 分，因此溫熱環境評價點為 (80+100+100+100) /4=95 分。

反之，若 B 空間的溫熱環境量測結果如下：

溫熱環境評價點		20	40	60	80	100
溫度(°C)	冷房期	>29≥	29	>28≥	>27≥	>26≥
		<21≤		<22≤	<23≤	<24≤
	自然通風	>28≥		>27≥	>26≥	>25≥
		<20≤		<21≤	<22≤	<23≤
	暖房期	>27≥		>26≥	>25≥	>24≥
		<19≤		<20≤	<21≤	<22≤
相對濕度(%)	>85≥		>75≥	>65≥	>55≥	50
	<15≤		<25≤	<35≤	<45≤	
氣流速度(m/s)		>0.45≥	>0.35≥	>0.25≥	0.2	>0.15≥
		>2≥	>1.5≥	>1≥	0.77	>0.5≥

PMV 值	>2≥	>1.5≥	>1≥	0.77	>0.5≥
-------	-----	-------	-----	------	-------

因為 B 空間溫熱環境因子之溫度項得分為 40 分 (低於 60 分), 所以溫熱環境評價點為此最劣分數 40 分。

(3) 利用 AHP 法所獲得的因子間相對權重 W_x , 將上述各環境要素進行加權計算。

環境要素 X	音環境	光環境	溫熱環境	空氣環境	電磁環境
評價分數 S_x	S1	S2	S3	S4	S5
相對權重 W_x	0.2	0.16	0.2	0.3	0.14

(4) $IEI_{(AHP)}$ (Indoor Environmental Index) 之擬議 :

$$IEI_{(AHP)} = \sum S_x W_x = 0.2 S_1 + 0.16 S_2 + 0.2 S_3 + 0.3 S_4 + 0.14 S_5$$

(5) 應用於不同建築類型 (構造、規模、設備與機能等) 時, IEI 內含因子種類與相對權重則需再修訂。

5-4 室內環境綜合評估結果之呈現

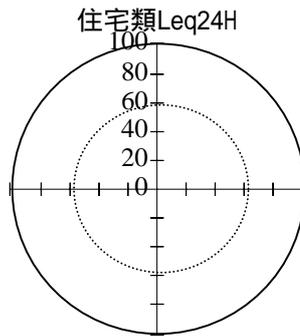
經過室內物理環境與居室人員心理感受評估後, 吾人應將評估結果以簡單易懂的方式呈現, 俾使使用者能對其所處之室內環境有更貼切之體認。本研究建議分別以分數評價與雷達圖方式呈現對象空間之室內綜合環境狀態, 除了可整體展現室內綜合環境之物理與心理評價外, 亦能由雷達圖看出個別環境因子之優劣點。如表 5-4-1 至表 5-4-6 所示。

表 5-4-1 室內音環境評估結果之呈現

室內綜合環境評估結果	音 環 境 
------------	-------------------------------------------------------------------------------------------

a.物理評估

評估因子	評價點
住宅類 $L_{eq}24H$	



b.心理評估

評估因子	評價點
噪音的程度	
噪音對工作之影響	
回音的產生	

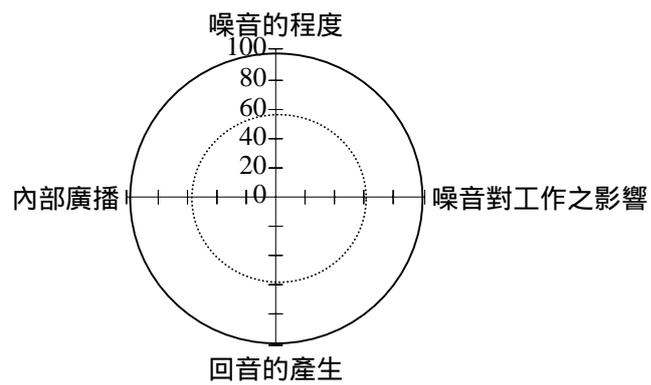
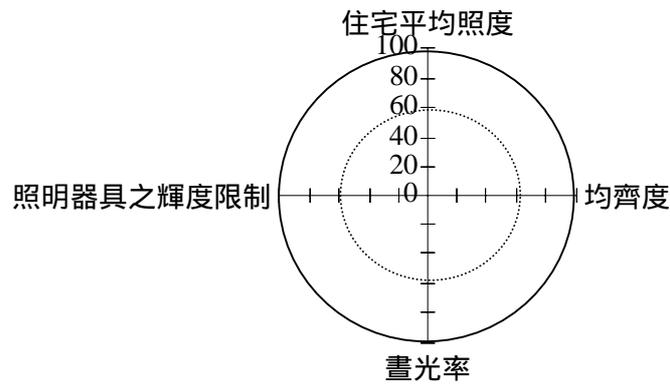


表 5-4-2 室內光環境評估結果之呈現

室內綜合環境評估結果	光 環 境 
------------	-------------------------------------------------------------------------------------------

a. 物理評估

評估因子	評價點
住宅平均照度 (lx)	
辦公空間作業面平均照度 (lx)	
均齊度	
晝光率 (%)	



b. 心理評估

評估因子	評價點
室內亮度	
作業面亮度	

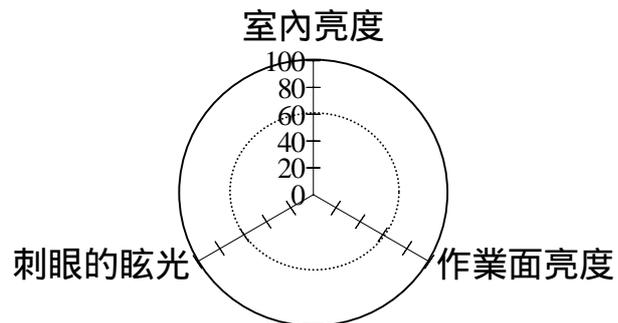
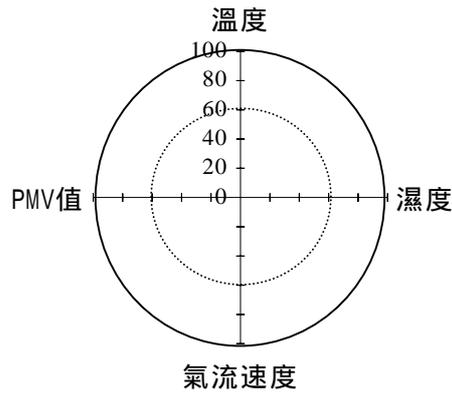


表 5-4-3 室內溫熱環境評估結果之呈現

室內綜合環境評估結果	溫熱環境 
------------	------------------------------------------------------------------------------------------

a. 物理評估

評估因子	評價點
溫度	
濕度	
氣流速度	



b. 心理評估

評估因子	評價點
溫度	
濕度	
氣速速度	

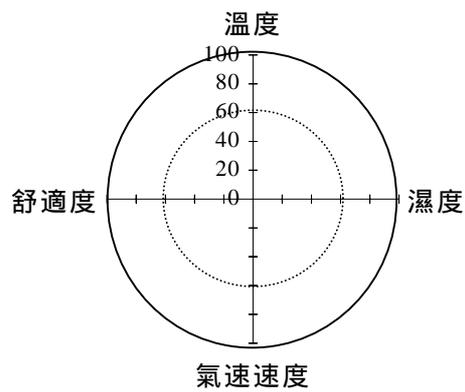


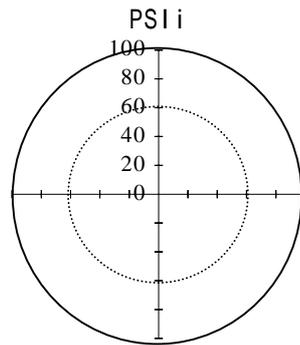
表 5-4-4 室內空氣環境評估結果之呈現

室內綜合環境評估結果	空氣環境 
------------	------------------------------------------------------------------------------------------

a. 物理評估

評估因子	評價點
室內空氣環境指標 PSi _i	

室內空氣環境指標



b. 心理評估

評估因子	評價點
空氣新鮮度	
空間落塵量	
室內空氣品質之滿意程度	

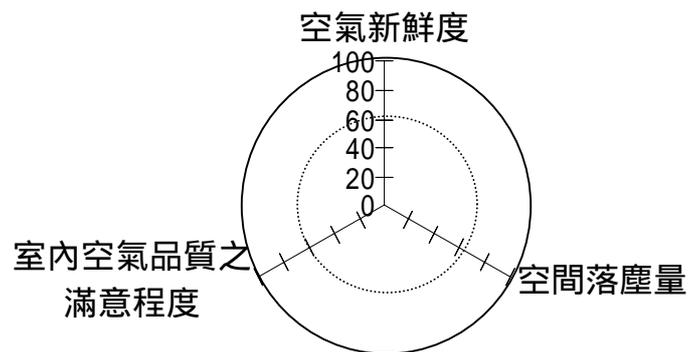


表 5-4-5 室內電磁環境評估結果之呈現

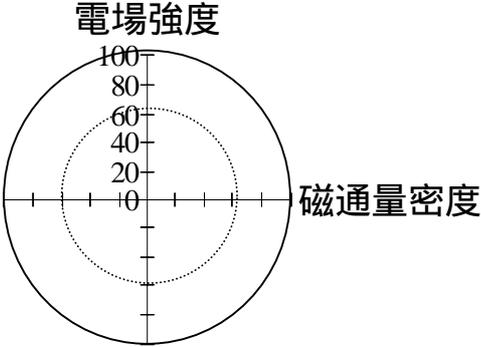
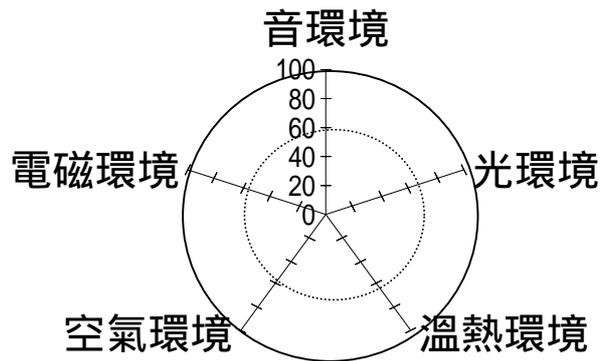
室內綜合環境評估結果	電磁環境 ✓						
<p>a. 物理評估</p> <table border="1" data-bbox="466 595 1173 770"> <thead> <tr> <th data-bbox="466 595 963 656">評估因子</th> <th data-bbox="963 595 1173 656">評價點</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="466 656 963 714">電場強度</td> <td data-bbox="963 656 1173 714"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="466 714 963 770">磁通量密度</td> <td data-bbox="963 714 1173 770"></td> </tr> </tbody> </table> 		評估因子	評價點	電場強度		磁通量密度	
評估因子	評價點						
電場強度							
磁通量密度							

表 5-4-6 室內環境綜合評估結果之呈現

室內環境綜合評估結果

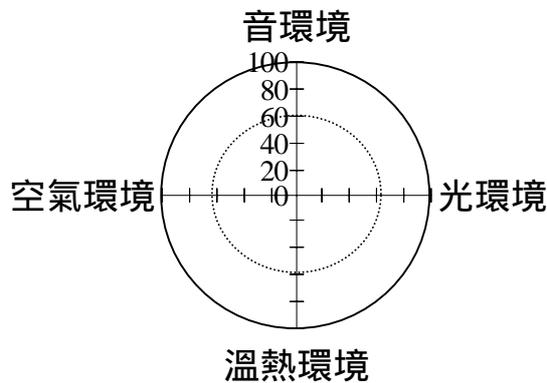
a. 物理評估

評估因子	評價點
音環境	
光環境	
溫熱環境	
空氣環境	



b. 心理評估

評估因子	評價點
音環境	
光環境	
溫熱環境	



第六章 結論與建議

6-1 結論

6-2 未來研究課題之建議

第六章 結論與建議

6-1 結論

本研究在構築健康與舒適的室內環境前提下，多方位探討影響室內狀態之環境因子，並在實測之經濟性、時效性、居室人員之接受程度與問題之複雜度等的考量下，先行歸納出實用性較高的「實用版」室內綜合指標，而後，再將專家諮詢與分析層級程序法應用於這些指標項目之篩選。最後，本研究將上述「實用版」指標再次精簡為研究之預期成果：「建築室內環境保健控制評估指標」。希望在指標選取過程中，能客觀地考量每一個可能的影響因素，並藉由跨領域的研究團隊力量，精選出符合實用性與代表性的室內環境評估指標。在研究報告書的內容中，亦以此指標群為基礎，說明實際評估之建議程序與方法，期能更提昇整體評估方法之可行性。綜合研究過程中面臨之問題點與學者專家之建議，可得到下列結論：

- 1.經由本研究歸納整理、專家諮詢與分析層級程序法的篩選後，最後擇定的建築室內環境保健控制評估指標分別是：音環境（ L_{eq} ）、光環境（作業面平均照度、作業面均齊度、眩光、晝光率）、熱環境（溫度、濕度、風速、PMV）、空氣環境（懸浮微粒 PM_{10} 、一氧化碳CO、二氧化碳 CO_2 、甲醛、VOCs）、電磁環境（極低頻電場強度、極低頻磁通量密度）
- 2.室內綜合環境之權重排列依序為：

環境領域	音環境	光環境	溫熱環境	空氣環境	電磁環境
相對權重	0.2	0.16	0.2	0.3	0.14

- 3.結合上述兩者與本研究建議之環境因子評價方式，吾人可計量出室內環境綜合評估指標 $IEI_{(AHP)}$ (Indoor Environmental Index)：

$$\underline{IEI_{(AHP)} = \sum Sx Wx}$$

- 4.本研所得之建築室內環境保健控制評估指標可經由轉化後作為綠建築室內環境評估之工具。

6-2 未來研究課題之建議

- 1.以本研究為基礎，將評估體系推展至其他用途空間之可行性研究或應增修訂之內容。
- 2.進行台灣地區不同建築型態與用途空間之指標值現況量測，並評估建立本土化指標基準之可行性。
- 3.進行建築室內環境保健綜合指標應用與推廣策略之研究，將系列成果推廣於社會大眾，並就相關法規體系之增修訂進行研究。
- 4.以本研究為基礎，進行建築室內環境綠色標章評估體系之研擬。

■ 參考文獻

■ 附錄一 期初、期中、期末審查會評審意見執行現況

■ 附錄二 實測人員工作手冊示範例

參考文獻

- 01.江哲銘等，1993，辦公建築室內空氣品質 (CO₂、CO、PM₁₀) 之研究，內政部建築研究所籌備處。
- 02.江哲銘等，1998，辦公建築室內空氣品質與空調設備之診斷研究，內政部建築研究所。
- 03.江哲銘，1994，建築物室內生活噪音及振動之評估研究，中華民國建築學會建築學報第十期。
- 04.周鼎金，1996，建築物理，茂榮圖書有限公司。
- 05.ASHRAE Standard 55a, 1995, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.
- 06.ISO 7730, 1994, Moderate thermal environments-Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.
- 07.江哲銘等，1997，建築技術規則有關通風條文增修訂之研究，內政部建築研究所。
- 08.江哲銘等，1998，中小企業創新育成中心南科園區技術研發大樓振動環境評估研究，經濟部中小企業處委託。
- 09.ISO 2631/1, 1985, Evaluation of human exposure to whole-body vibration - Part I: General requirement, International Standards Organization.
- 10.Joyce McCann, Leeka Kheifets, and Charles Rafferty, 1998, Cancer Risk Assessment of Extremely Low Frequency Electric and Magnetic Field: A Critical Review of Methodology, Environmental Health Perspectives, Vol. 106, No. 11, Nov.
- 11.孫育義等，非游離輻射之研究，環保署委託研究。
- 12.鄧振源、曾國雄 (1989)，層級分析法 (AHP) 的內涵特性與應用 (上、下)，中國統計學報，第 27 卷 6、7 期。
- 13.黃俊英著，1995，多變量分析，中國經濟企業研究所。
- 14.內藤正明，1986，環境指標--應用例，日本環境廳國立公害研究所。
- 15.曾國雄，1992，都會區環境品質及其改善策略之研究--多評準則決策之應用，國科會專題研究。
- 16.日本計畫行政學會編，1995，「環境指標」展開，學陽書房
- 17.Green Building Challenge'98 Conference Proceedings, Oct.26-28, 1998, Vancouver, Canada.
- 18.CNS 5065 C 3069，1988，照度測定法，中國國家標準。
- 19.CNS 5064 C 3068，1979，輝度測定法，中國國家標準。
- 20.日本建築學會，1985，晝光照明計劃，彰國社

21. Che-Ming Chiang, Po-Cheng Chou, Wen-An Wang, Nien-Tsu Chao, 1996, A Study of the Impacts of Outdoor Air and Living Behavior Patterns on Indoor Air Quality - Case Studies of Apartments in Taiwan, The 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, pp735-740, Nagoya, Japan.
22. 江哲銘等, 1993, 住宅室內空氣環境使用後評估, 中華民國建築學會學術研究成果發表會論文集。
23. B&K INNOVA, 1996, Thermal Comfort.
24. 蘇慧貞、江哲銘等, 1998, 室內空氣品質標準草案及管制策略探討(正在執行中), 行政院環保署。
25. 蘇慧貞、江哲銘等, 1998, 室內環境氣膠評估和室內空氣品質研訂: 工業及科技園區公共建築之室內空氣品質調查與室內空氣品質訂定之相關性(正在執行中), 行政院環保署。
26. SMACNA, 1996, Indoor Air Quality, 2nd edition.
27. Miksch R. R., 1989, A new "passive bubbler" personal monitor employing knudsen diffusion: II. Application to the measures of formaldehyde, American Industrial Hygiene Conference.
28. ASTM Designation: D 5014-89, 1989 Standard test method for measurement of formaldehyde in indoor air (passive sampler methodology).
29. Kruger U., etc., Field studies of the indoor air quality by photoacoustic spectroscopy, Environ. Int., Vol.21, No. 6, pp.791-801
30. Cohen M. A., Ryan P. B., 1990, Yanagisawa Y. and Katharine S., The validation of a passive sampler for indoor and outdoor concentration of volatile organic compounds, J. AWMA, 40: 993-997.
31. 蔡德明、吳義林、李俊璋。相對濕度與風速對揮發性有機物被動式採樣器之影響。十三屆空氣污染控制技術研討會論文集。1996年11月23,24日。
32. Bayer C. W. and Black M. S, Thermal desorption/gas chromatographic/mass spectrometric analysis of volatile organic compounds in the offices of smokers and nonsmokers, Biomed. Environ Mass spectrometry, 1987, 14: 363-367
33. Awbi H. B., 1991, Ventilation of building, Chapman & Hall Inc.
34. 江哲銘, 1997, 住宅室內空氣年齡指標與換氣效率性能檢測法評估研究, 國科會研究報告(NSC 86-2621-E-006-003)
35. 江哲銘, 1998, 住宅室內通風效率實測評估法研究, 國科會研究計劃(正在執行中)(NSC 88-2211-E-006-047)
36. Liddament M. W., 1995, AIVC Guide to Ventilation, Air Infiltration Review, Vol 1, No. 1, Dec.
37. AIVC, 1996, A Guide to Energy Efficient Ventilation.
38. 藤井雅則, 1997, 辦公大樓中的室內空氣品質, 空氣調和衛生工學, 第12卷, 第1號, p.47~60.

- 39.何先聰，1992，全身振動的測量評估及對職業危害之探討，行政院衛生署。
- 40.IEEE Magnetic Fields Task Force Report, 1995, A protocol for spot measurements of residential power frequency magnetic fields, IEEE Trans. Power Delivery.
- 41.日本建設省建築研究所，1994，室內環境評價法。
- 42.ASHRAE Handbook，1989, Fundamental Volume，American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineering, Inc. Atlanta, GA.
- 43.ASHRAE Standard 62, 1989, Ventilation for Acceptable Air Quality.
- 44.Berglund, B. et al, 1992, Effect of Indoor Pollution on Human Health，Indoor Air (1992) .
- 45.Awbi H. B., 1991, Ventilation of building, Chapman & Hall Inc.

附錄一、期初審查會評審意見執行現況

評 審 意 見	執 行 現 況
一、本研究計畫之目的在提出客觀的保健評估體系與指標，其評估過程複雜而嚴謹，惟所研訂之指標意義，應簡單而容易瞭解。	本研究已朝此方向進行
二、計畫書工作項目偏重於辦公建築室內環境保健控制之研究，請將住宅建築亦納入研究。	本研究將嘗試以辦公建築與住宅類案例為綜合指標試操作之樣本，以確立研究方法之可行性。
三、建議增列室內裝飾材料對人體之影響，如部分花崗石材顯示有輻射反應等。	同意將此列入研究中
四、土木材防火劑及防腐劑對人體是否有害，請列入考量。	已將防火劑、防腐劑等塗料其所逸散之甲醛與總有機揮發物 VOCs 列入「分析層級程序法，AHP」之評估項目（屬性層）中
五、研究中有關健康衛生相關範圍，建議增加公共衛生或醫學領域之專家參與研究。	已聘請多位公共衛生或環境醫學領域專家參與研究。
六、本研究十分合乎國內永續發展的需要且屬新提議，對於指標之建立，應以追求正確性為目標，建議分年計畫逐步確認。	研究單位將據此提議後續之研究課題。亦即針對台灣地區不同建築類別與空間用途等進行室內環境保健控制現況普查，以掌握本土化建築保健環境之問題點。
七、提列指標中，音環境之生活噪音為 $Leq(24hr)$ ，建議改用 TNEL	
八、室內空氣品質指標中的化學性因子太多，建議著重於較常出現之因子，如 VOCs。及 CO_2 等	本研究已將各專家補充之指標一併列入室內環境保健控制指標群中，再進行專家諮詢與「分析層級程序（AHP）法」以評估其相對間的權重。作為下一階段室內環境保健控制指標選擇之依據。
九、通風效率指標中，外氣量與化學性因子如 CO_2 等為互相關連，而非獨立因子，建議刪除只採用局部平均空氣量即可。	
十、建議將輻射暴露納入考量。	
十一、光照度之部分建議考量自然採光因子。	
十二、建議以較適宜評估對人體健康之 $PM_{2.5}$ 代替 PM_{10}	

十三、環境因子所牽涉之項目及參數相當多，請就國內狀況，分析資料取得性、實測方法之成本及難易性，在精密性與實用性間做平衡之考量。	在指標的擇定上，本研究將依照專家之建議，多方考量其他因素，俾使研究成果除有學術基礎外更具實用與便捷性。
十四、有關建立綜合指標時，應用之數據及各分項數據之權重關係，請加強確認其信賴度。	

期中審查會評審意見執行現況

評 審 意 見	執 行 現 況
建議將輻射暴露納入考量。	在本研究案追求室內綜合指標簡易化與實用化的前提之下，再加上游離輻射曝露量測皆需具專業證照人員的現況下，現階段建議將此游離性輻射指標列入後續指標之增修訂研究課題中。
光照度之部分建議考量自然採光因子。	已將自然採光指標「日照時數」列入「分析層級程序法，AHP」之評估項目（屬性層）中
建議將造成氣喘原因之塵蟎及寄生於地毯中的細菌納入檢討。	考量到實測之經濟性、時效性、居室人員之接受程度與問題之複雜度等，並參酌學者之諮詢建議，現階段暫緩將生物性氣膠列入評估範圍，而建議列入後續指標之增修訂研究課題中。
建議納入因建築物各種衛生器具設置之存水灣產生的臭氣，及獨棟建築物的污水處理設施產生的臭氣對室內環境之影響。	已將產生臭氣之指標污染物甲醛與總有機揮發物 VOCs 列入「分析層級程序法，AHP」之評估項目（屬性層）中
建議將排氣管之通氣系統產生的噪音納入考量。	已將用來評估給排水噪音的指標 TNEL ₃₀ '列入「分析層級程序法，AHP」之評估項目（屬性層）中
建議研擬對花崗石管制之建議。	已將花崗石、土壤等天然輻射污染源氡氣 Rn 列入「分析層級程序法，AHP」之評估項目（屬性層）中
應將理論性指標與用途性指標分開說明，以利本研究之實際運用。	本研究針對不同室內環境領域提出 47 種「精密版」指標，在掌握室內環境狀態時間

<p>指標所涵蓋之因子繁多，應予以簡化以利使用者瞭解與應用。</p>	<p>與空間上的變動上較為精密，對於問題點的判定亦為正確。但考量到實測之經濟性、時效性、居室人員之接受程度與問題之複雜度等，研究單位於箇中摘錄出實用性較高的「普及版」類指標。此普及版指標群的項目與個數是暫訂性質的，待執行 AHP 法賦予各指標相對權重後，研究單位將依 AHP 法評定結果與專家學者之諮詢建議重新修訂普及版指標群，俾使其更具「普及/實用」性。</p>
<p>評估指標分精密版與普及版，請說明區分基準及代表意義。</p>	
<p>本研究以 AHP 法進行專家諮詢，請說明對於不易感受如 CO、CO₂、輻射等因子，以何種標準或方法進行諮詢。</p>	<p>在進行室內空氣指標權重分析時，諮詢專家必須考慮對象空間其室內空氣污染物之出現頻率、危害性、指標性與量測之便利性等，而不僅就毒理學角度單純考量其危害。再者，AHP 法學理上是為有偏好性多目標規劃，其綜合擷取專家與決策者的意見，再經一致性的檢定後，顯示出各評選專家意見的最適共識，因此調查對象必須為富有該領域經驗之專家。</p>
<p>本研究以 AHP 法進行指標之權重評估，但對於空氣環境因子，建議以實驗資料為評估根據，以提高精確性。</p>	
<p>本研究採 AHP 法專家諮詢，對於專家之意見是否會受限本身專業在認知上過度主觀，而影響因子的權重。建議納入一般民眾意見之採樣，比較分析權重之影響。</p>	
<p>有關綜合評估指標 IEI 之擬定，請補充說明研究中採用「雷達圖」方式，對於 IEI 取 Max 值或取權重累加之推理邏輯。</p>	<p>詳見研究案報告書第五章</p>
<p>建議根據實際案例作模擬評估研究。</p>	<p>本研究已朝此方向進行</p>
<p>擬定階段性研究計劃，以利落實推廣。</p>	<p>同意將「推廣策略之研擬」此課題列入後續研究之建議中</p>
<p>建議斟酌考量對於建立評估指標之推廣方法，及針對現行建築法規研提相關建議方案。</p>	
<p>除了針對各項因子之相對權重評估外，建議就不同建築類別或構造形式，提出簡易之評估指標。</p>	<p>不同建築類別、構造形式等空間所需具代表性的指標項目是有所不同的。囿於研究時間之限制，本研究嘗試以辦公建築與住宅類案例為綜合指標試操作之樣本。而對於其他建築類別、構造形式等空間所需指標群之探</p>

	討，則建議納入下年度後續研究中。
請說明本研究評估中層級體系中，未將水環境、綠環境及空間環境納入之原因。	為文書處理上的錯誤，已作更正
建議未來在期中、期末報告時，應說明執行進度及投入人力經費。	同意辦理

期末審查會評審意見執行現況

評 審 意 見	執 行 現 況
<p>本計劃能將複雜的室內環境需求整合出五項環境，並得出其個別之權重，以便下一步進行 IEI 綜合評估指標值之訂定。</p>	<p>感謝諸位評審對本研究之肯定</p>
<p>本報告相當完整地把有關健康建築環境的評估指標，透過嚴謹的研究方法與多年之研究成果累積，歸納了整體的評估體系，不但內容豐富敘述嚴謹，同時也是與國內的一項創新工程，對於國內建築領域的貢獻非常值得肯定與尊敬。</p>	
<p>本計劃之研究成果甚為具體與詳盡。</p>	
<p>本計畫研究過程中，需要各方面專家很客觀地填寫問卷，但實質面上卻無法去檢證是否為真正的專家，是否很客觀？</p>	<p>在各因子權重之判別上，本研究利用 AHP 法提供之一致性檢定來判定每一位諮詢專家之權重吻合程度；在諮詢專家之選擇上，則以當前各環境領域之專家為對象。</p>
<p>室內環境各子指標中有互為相關性者，何以不是獨立性？如 PMV 事實上已包括溫度、濕度、風速及輻射溫度。</p>	<p>詳見本文 3-6</p>
<p>二級因子中部份互相關聯，非獨立因子，故建議在未來研究中將測試項目再簡化。</p>	
<p>未來指標值訂定之研究應有該單項指標之下限值規定，而非只是綜合指標。</p>	<p>本研究針對單向指標皆賦予個別分數，而後再以權重加總而為單一指標，詳見本文第五章</p>
<p>本研究 PM₁₀ 及 CO 引用室外大氣 PSI 與污染濃度之關係，然而居民一日當中處在室內的曝露時間約為 90%，室內之空氣品質標準應更嚴格，直接引用室外是否適用？</p>	<p>這些量值是本研究根據既有空氣污染物毒理學文獻與現行國際間室內空氣品質規定所擬定之階段性評量基準，已知我國環保署現進行室內空氣品質標準之草案擬定，待其成果呈現後，將比較修正本文之評估基準以為適用</p>

CO ₂ 、甲醛與 TVOC 均只有部份 PSI _i 與濃度關係，在此評量方法上，此三項之最嚴重 PSI _i 都不超過 200，且 CO ₂ 不超過 100，如此評量結果將產生偏差，亦即 PM ₁₀ 及 CO 成為主導之項目。	PSI _i 值超過 200 者，本研究將其列為最劣等之分數（20 分），因此 CO ₂ 、甲醛與 TVOC 均只有部份 PSI _i 與濃度關係
PSI _i 100 者，給予評價點 100 分，所代表的是符合室內品質標準，而室內空氣品質較佳者，則無法區分。	PSI _i 100 者，本研究建議給予評價點為 60 分，所代表的是符合一般國際間室內品質標準，詳見本文 5-1-4

空氣環境評價以 PSI _i 值轉換，此與其他音、光、電磁環境過程不同。其他音、光、電磁環境直接以量值與分數的關係來評價。	同意朝此方向研修
評價指標之時間尺度應就不同用途空間而有所不同。	本研究以一般住宅與辦公空間為研究對象，因此評價時間亦以其一般活動時段為主
後續相關研究可就單棟建築物多個室內空間時，計算此建築體之綜合指標值	已將諸位評審之建議課題列入後續「推廣策略之研擬」中
經詳讀報告中所建立之指標內容，事實上涉及相當專業之建築物理化學及心理知識領域，作為建築參考規範相當具有價值。但是，為了順利作為政策推廣和法規訂定的依據與原則，可能有必要更進一步深入淺出的簡化指標內容或平易近人的簡圖說明，以減少推行上的阻力，建議作為後續研究之參考。	
不同之建築類型，對於報告中所建立之評估系統指標會有不同之要求與基準，建議指標系統能明確建立對應統一之建築類型分類，以方便對照查核。	
二級因子中如 PM ₁₀ ，當 PM ₁₀ 值已超過國內外之標準，因其已影響健康，故於後續研究中建議考慮在綜合指標中作負面因子之考量。	
建議於未來研究，考慮其實施上之難易度。	

附錄二 測試手冊示範例

一、 測試人員名單及工作清單

1. 測試人員名單

- 總領隊：江哲銘教授、王文安教授

- 組員：周伯丞、賴啟銘、李彥頤、涂玉峰、王秀芳

- 籌備工作：
 1. 儀器整備 --- 伯丞、啟銘、玉峰
 2. 任務編組計畫 --- 伯丞、啟銘、玉峰
 3. 測試資料解析 --- 伯丞、玉峰
 4. 時程表 --- 伯丞、啟銘、玉峰

- 測試分組：
 1. 黃色系儀器組 --- 伯丞 + 彥頤
 2. 綠色系儀器組 --- 伯丞 + 玉峰
 3. 紅色系儀器組 --- 啟銘 + 秀芳

2. 時間

86年11月12日至11月15日

3. 地點

國泰敦南商業大樓十三樓之辦公室
及其相關空調設備室等

4. 測試工作人員之時間表

	11/13 (四)	11/14 (五)	11/15 (六)
伯丞	✓	✓	✓
啟銘		✓	✓

彥頤	✓	✓	✓
玉峰	✓	✓	✓
秀芳	✓		
人數總計	4	4	4

5. 工作清單

執行人員	工作項目	備註
全體人員	測試 (3 組儀器) 中控室與機械室之確定、查看	
伯丞	建研所環控組辦公室與會議室之測繪與量測點之決定 空調管理現況之調查 (現況記錄、手冊、管理員訪談) 實際風管配置與圖面之比較 攝影指導	
啟銘	實際風管配置與圖面之比較 探針式風速計之量測、記錄工作 相關圖面之再收集	
彥頤	攝影 (配合伯丞) 探針式風速計之量測、記錄工作	
玉峰	建研所環控組辦公室與會議室之測繪與量測點之決定 空調管理現況之調查 (現況記錄、手冊、管理員訪談) 實際風管配置與圖面之比較 探針式風速計之量測、記錄工作 相關圖面之再收集 使用者問卷訪談	
秀芳	空調管理現況之調查 (現況記錄、手冊、管理員訪談) 探針式風速計之量測、記錄工作 使用者問卷訪談	

工作項目	11/13	11/14
建研所環控組辦公室與會議室之測繪與量測點之決定	—	—
空調管理現況之調查 (現況記錄、手冊、管理員訪談)	伯丞 玉峰、秀芳	伯丞、玉峰
實際風管配置與圖面之比較	伯丞、玉峰	—

探針式風速計之量測、記錄工作	彥頤、玉峰 秀芳	彥頤、玉峰
相關圖面之再收集	玉峰	啟銘、玉峰
使用者問卷訪談	秀芳、玉峰	—

二、 測試內容及時程表

日期	時間	工作項目	地點	參與人員
11/12 Wed	將儀器設備置於敦南商業大樓十三樓辦公室			
11/13 Thu	07:30~08:00	儀器設備設定	環控組辦公室	伯丞 彥頤 玉峰 秀芳
	08:00	溫熱環境與室內污染物濃度同步自動連續記錄測試 開始	環控組辦公室	
	12:00	測試人員於此二個時間點進入測試空間，檢查測試儀器之運轉狀態		
	17:00	（連續測試中） 進行相關研究與調查 （詳見工作清單 p.2）		
11/14 Fri	08:00	連續測試 結束	會議室	伯丞 啟銘 彥頤 玉峰
	09:00~10:00	儀器設備設定		
	10:00	溫熱環境與室內污染物濃度同步自動連續記錄測試 開始		
	14:00	測試人員於此二個時間點進入測試空間，檢查測試儀器之運轉狀態		
	17:00	（連續測試中） 進行相關研究與調查		
11/15 Sat	10:00	連續測試 結束	儀器組裝室 至停車空間 由台北至台南	
	10:00~11:30	儀器設備拆卸、打包		
	11:30~12:00	儀器設備運送		
	12:00~	任務結束，人員及儀器撤回		

二、 測試計畫

1. 測試主題

本研究以實例探討分析建築物綜合環境評估指標之實況，採行下列兩種方式：

- 1.) 利用儀器設備進行現場實測。
- 2.) 實測案例居室人員主觀問卷調查

以現場實測作為評估室內綜合環境之依據，以問卷調查作為旁證，來進行定量化評估。

2. 測試方法

主題	測定因子	實測儀器	測試狀態
溫熱環境	溫度	連續監測儀	24 小時同步自動連續記錄測定，以室內作業面測點（人員坐姿之呼吸帶）測定值來評估室內空氣品質現況
	濕度		
	風速		
空氣環境	粉塵量	B&K 1302	
	一氧化碳		
	二氧化碳		
	甲醛		
	TVOCs		
空調出回風狀態	風速	探針式熱線風速計	判定空調出、回風口之實際使用狀態

3. 測試對象

測試對象	樓層	測試空間
國泰敦南商業大樓	13 樓	辦公室、會議室、相關空調設備室

4. 測試儀器

■ 連續監測儀

Package	內含儀器	規格	數量	備註
Data Logger	主機	台	1	
	電源線	條	1	
	Log-in Box	盒	1	
CO/CO ₂ meter	主機	台	1	
	Sensor	條	1	
粉塵計	主機	台	1	
風速計	主機	台	1	
	Sensor	條	1	
	電源線	條	1	
	BNC Cable	條	1	
溫、濕度計	主機	台	1	
	Sensor	條	1	
	電源線	條	1	
	BNC Cable	條	2	
配件箱	CO/CO ₂ 電源線	條	1	
	CO/CO ₂ BNC Cable	條	1	
	粉塵計電源線	條	1	
	粉塵計 BNC Cable	條	1	
	粉塵計延長管	條	1	
	粉塵計吸入口	個	1	

每一個 Package 又以綠、黃、紅等三種色彩作為色彩計畫

■ 通風量測定

Package	內含儀器	規格	數量	備註
B&K 1302	主機	台	1	
	氣體樣本吸入管	條	1	
	吸入管過濾頭	個	1	
	電源線	條	1	
	RS232 Cable	條	1	
	KEYPRO	個	1	
筆記型電腦	主機	台	1	
	電源線	條	1	

■ 探針式熱線風速計

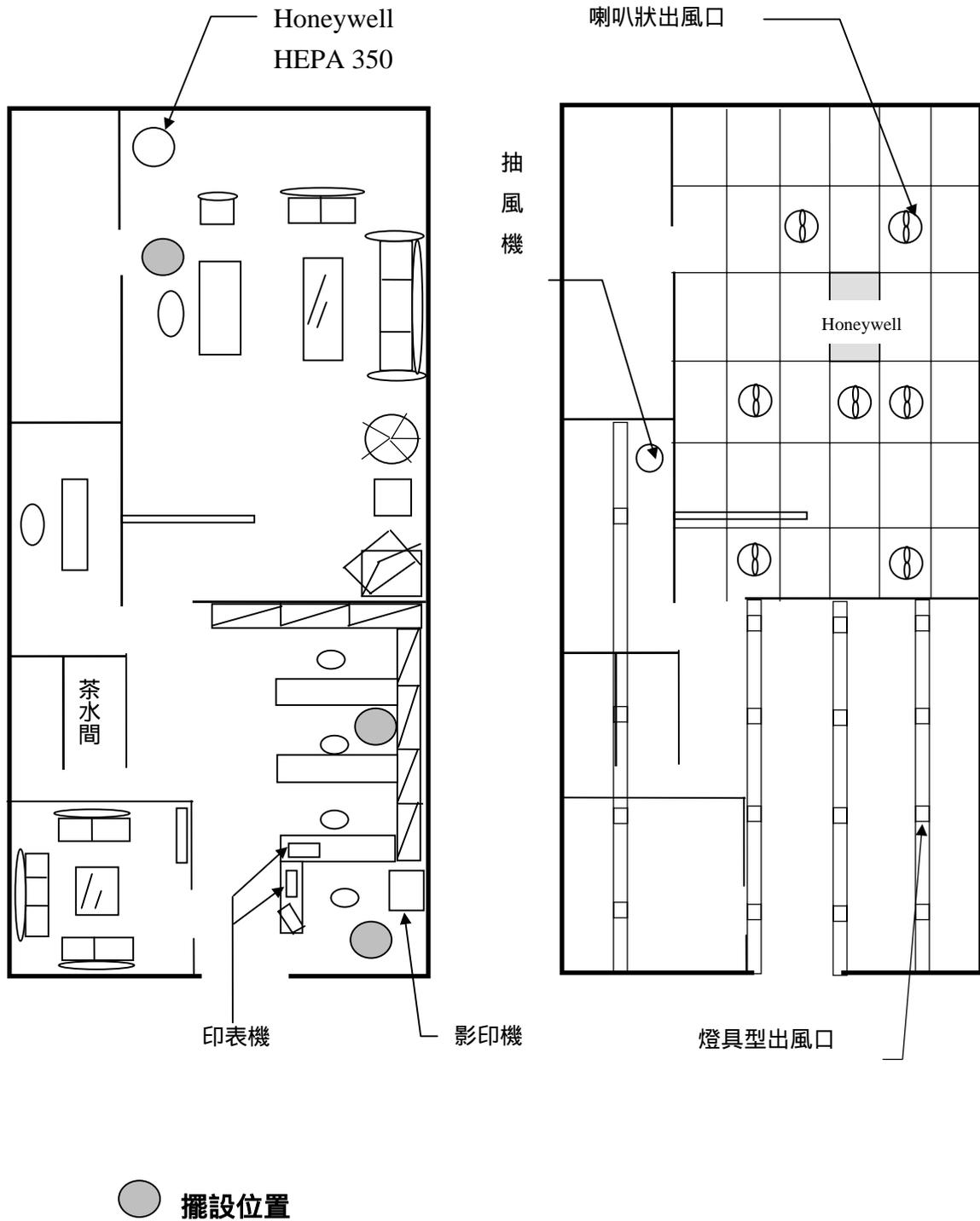
Package	內含儀器	規格	數量	備註
探針式 熱線風速計 (Portable)	主機	台	1	
	探針	組	1	
	電源(電池)			

■ 其他配件

配件名稱	用途	規格	數量	備註
儀器擺設架		組	3	
Sensor 保護箱		個	3	
照相機		台	1	
膠卷底片		捲	1	
磁片	數據記錄	片	24	測試通過
相關平面圖	利用測試空檔 check 相關圖面	張		
問卷	亦請參加會議者填寫	張	50	
人員進出記錄紙	測試空間之人員密度	張	12	為支援項目
記載備忘錄 (紙、筆、色筆)	測試日記	本		測試人員用
識別證		張	6	
電源延長線	纜線式電源檯	座	3	
	二孔延長線	條	5	
	可轉動式延長線插座	個	6	
有色絕緣膠帶	儀器做色彩計畫用	捲	3	綠黃紅三色
工具	螺絲起子、鉸手、扁嘴 鉗、皮尺等	套	2	
安裝五金	螺絲、膠帶、黏膠等			

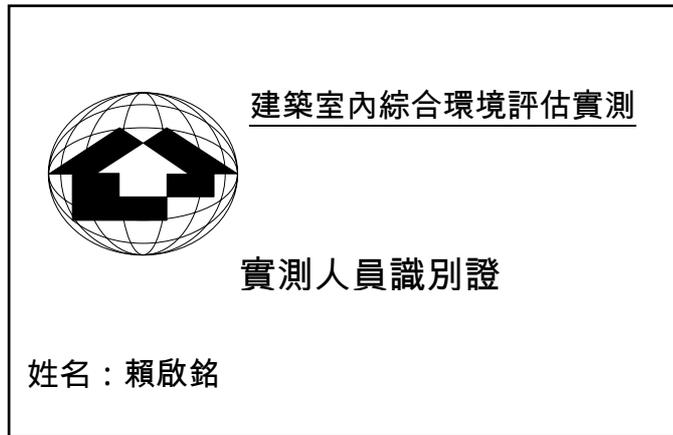
--	--	--	--	--

5. 測試儀器擺設位置



6. 測試之注意事項

■ 測試人員識別證圖例



■ 需要支援項目

地點	支援項目	時間	目的
敦南商業大樓	停車位	11/11 (二) 18:30~20:30	為方便移動搬運儀器
		11/15 (六) 10:00~12:00	
	組裝儀器室	11/15 (六) 10:00~11:30	工作小組組裝、設定、 暫存 拆卸及打包儀器
	測試空間人員 進出記錄	11/13 (四) 09:00~17:00	記錄測試空間使用人 數以作為診斷評估之 基礎資料
		11/14 (五) 14:00~17:00	
	協調測試人員 進入測試空間 之許可	11/13 (四) 12:00 及 17:00	測試人員於此二個時 間點進入測試空間檢 查測試儀器之運轉狀 態
11/14 (五) 14:00 及 17:00			

三、 測試人員生活須知

1. 經費估算

個人往返交通費：

住宿費：

膳雜費：

租車費：

2. 住宿

地點：

電話：

3. 相關聯絡電話