

室內設備噪音對建築空間音環境影響之 試驗研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 110 年 12 月

室內設備噪音對建築空間音環境影響之 試驗研究

研 究 人 員：林招焯副研究員

內政部建築研究所自行研究期末報告

中華民國 110 年 12 月

目次

目次

表次.....	II
圖次.....	III
ABSTRACT.....	VIII
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究目的.....	1
第二章 文獻回顧.....	5
第一節 國內音環境現況.....	5
第二節 室內設備噪音類型與特性.....	9
第三節 國內外相關研究文獻.....	14
第三章 心理聲學參數與室內設備噪音量測方法.....	23
第一節 心理聲學參數與人耳聽覺.....	23
第二節 設備噪音源量測 ISO 標準方法與規範.....	27
第三節 國內設備噪音源音源特性量測相關實驗室.....	37
第四章 實驗量測系統與環境驗證.....	40
第一節 實驗量測設施環境.....	40
第二節 量測系統說明.....	43
第三節 試驗環境聲場量測驗證.....	46
第五章 實驗結果與討論.....	49
第一節 室內設備量測實驗規劃.....	49
第二節 室內設備量測實驗結果.....	50
第三節 室內設備噪音對建築室內空間聲場之整體影響分析.....	60
第六章 結論與建議.....	66
附錄一.....	68
參考書目.....	76

表次

表 2-1 工廠(場)噪音管制標準值 (Leq).....	8
表 2-2 娛樂場所、營業場所噪音管制標準值 (Leq).....	9
表 2-3 營建工程噪音管制標準值(Leq).....	9
表 2-4 風扇基礎聲功率 $LW(B)$ 數值表.....	12
表 2-5 室內生活噪音分類.....	17
表 2-6 真空吸塵器之四周不同量測面之平均聲功率位準.....	19
表 2-7 隔音性能與居住者音環境品質滿意度調查結果.....	21
表 3-1 國內聲音品質與響度及噪音源特性量測相關實驗室(具 TAF 認證)...	37
表 5- 1 室內設備分析實驗試件規格(大型建築室內設備).....	50
表 5- 2 各類室內設備噪音源之響度分析結果.....	58
表 5- 3 各類生活行為噪音源之響度值.....	59
表 5- 4 除濕機設備聲功率量測頻譜數值.....	63
表 5- 5 除濕機對室內空間聲場影響計算後聲功率頻譜數值.....	63
表 5- 6 吸塵器設備聲功率量測頻譜數值.....	64
表 5- 7 吸塵器對室內空間聲場影響計算後聲功率頻譜數值.....	64
表 5- 8 吹風機設備聲功率量測頻譜數值.....	64
表 5- 9 吹風機對室內空間聲場影響計算後聲功率頻譜數值.....	64
表 5- 10 電腦主機設備聲功率量測頻譜數值.....	65
表 5- 11 電腦主機機對室內空間聲場影響計算後聲功率頻譜數值.....	65

圖次

圖 2-1 建築技術規則設計施工編防音條文隔音基準.....	6
圖 2-2 烘乾機之噪音四周虛擬平面聲功率量測結果圖.....	20
圖 3-1 人耳聽覺音域.....	23
圖 3-2 白噪音對單頻音之遮蔽現象.....	24
圖 3-3 臨界頻寬與人耳聽覺之頻率特徵.....	25
圖 3-4 臨界頻率與 Hz 間之關係圖.....	26
圖 3-5 人耳聽覺等響度曲線圖.....	27
圖 3-6 Zwicker method 之概念(單頻).....	28
圖 3-7 穩態聲源(stationary sound)ISO 532-1 聲源響度計算方法流程圖.....	30
圖 3-8 穩態聲源(stationary sound) 之對量測聲壓修正加權值 ΔL	31
圖 3-9 ISO 532-1 模擬人耳聽覺之傳輸特徵聲壓修正項 α_0 數值.....	32
圖 3-10 ISO 532-1 擴散聲場實驗之 ΔL_{DF} 參數修正值.....	33
圖 3-11 ISO 532-1 聽覺臨界頻寬 ΔL_{CB} 修正參數值.....	34
圖 3-12 頻帶計算資料(1/3 倍頻單位:Hz)與臨界頻寬(單位:Bark)對應數值.....	35
圖 3-13 隨時間變化之聲源(time-varying sounds)聲源 ISO 532-1 響度計算方法 流程圖.....	36
圖 4-1 本所音響實驗室 A1 全無響室.....	41
圖 4-2 本所音響實驗室多頻道頻譜分析儀.....	43
圖 4-3 本所音響實驗室 B&K Type 4190 free field 自由音場麥克風.....	43
圖 4-4 本所音響實驗室 B&K Pulse 9.0 控制軟體.....	44
圖 4-5 實驗量測流程圖.....	45
圖 4-6 響度分析程式介面.....	46
圖 4-7 無響室聲場實驗配置驗證.....	47
圖 4-8 ISO 3382 自由聲場(free field)偏差量規定.....	48

圖 5- 1 分離式空調及其聲音頻譜量測結果.....	51
圖 5- 2 窗型空調及其聲音頻譜量測結果.....	52
圖 5- 3 抽水馬達及其聲音頻譜量測結果.....	52
圖 5- 4 廚房排煙機及其聲音頻譜量測結果.....	53
圖 5- 5 浴廁暖風乾燥機及其聲音頻譜量測結果.....	54
圖 5- 6 洗衣機-脫水行程及其聲音頻譜量測結果.....	55
圖 5- 7 洗衣機-洗衣行程及其聲音頻譜量測結果.....	56
圖 5- 8 空氣清淨機及其聲音頻譜量測結果.....	57
圖 5- 9 除濕機及其聲音頻譜量測結果.....	57
圖 5- 10 管路排水噪音及其聲音頻譜量測結果.....	58
圖 5- 11 室內聲場模擬案例之室內空間配置示意圖.....	62

摘要

關鍵詞: 建築室內設備噪音、建築聲學、自由聲場

一、研究緣起

內政部於 105 年 6 月號令修正建築設計施工編防音條文。建築防音規定之隔音基準採「規格式」及「性能式」並行方式，目前建築防音機制規定建築構件(牆面、樓板等)單獨建築構件之隔音降噪性能，惟缺乏噪音源對居住者聲音感受之影響評估，及噪音源對室內聲場影響結果研究。另有關噪音源之方向性及居住者感受等問題缺少相關實驗研究，僅就設備噪音聲功率進行量測評估應用性尚不足。

本研究目的為依據 ISO 532-1(Acoustics - Methods for calculating loudness --- Part 1: Zwicker method)國際標準，進行有關心理聲學參數(響度)之實驗檢測項目技術開發。進行室內設備噪音源之心理聲學參數、方向性、頻譜特性及其對室內空間聲場之影響分析研究。及建立本所 ISO 532-1 量測實驗系統與實驗程序，以拓展本所建築音環境研究實驗技術及能量。

二、研究方法與過程

本研究為室內設備噪音對建築空間音環境影響之試驗研究，目的包含(1) 完成 ISO532-1 聲音品質量測試技術開發，建立心理聲學參數量測方法技術，以開發新檢測項目。(2)於無響室進行室內設備噪音源(生活資訊或家電產品)聲場實測以分析其方向性、頻譜特性等。並採 ISO532-1 方法進行心理聲學參數量測分析，以評估設備噪音對居住者感受之影響。(3)由室內設備噪音試驗量測結果，採理論模式分析不同室內設備噪音對建築室內空間聲場之整體影響，以供實務參考應用。以拓展本所研究實驗技術及能量。

三、重要發現

研究參考 ISO532-1 規範量測性能需求項目，參考規範規定方式，進行量測系統規劃工作，除進行室內設備噪音與人耳聽覺等相關研究文獻蒐集及檢測規範研究外；包含完成量測系統規劃、實驗量測系統規劃及相關實驗量測原理研究、並完成自由聲場之試驗環境聲場量測驗證等項目。後續分別完成冷氣空調、抽水馬達、廚房排煙機、浴廁排風機、洗衣機等多項建築設備噪音特性實測，除量測其設備噪音之頻譜特性外，並採 ISO532-1 方法進行心理聲學參數響度計算分析等工作，以評估設備噪音對居住者感受之影響，相關成果可供室內設備噪音對建築

室內空間聲場之影響研究應用。

四、主要建議事項

建議一

(國內建材聲學實驗數據累積與實驗研究)：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

內政部於105年6月號令修正建築設計施工編防音條文。建築防音規定之隔音基準採「規格式」及「性能式」並行方式。由於前述建築防音規定之施行，目前國內建築業界對於建築樓板衝擊音隔音構造、建築空氣音隔音構造之設計研發經驗日漸成熟精進，另因法規有關樓板衝擊音列舉式構造中具相關橡膠緩衝材動態剛性性能規定，故近期國內產業界對於橡膠緩衝材之隔音技術亦投入研究，此優質正向循環可提升國內建築音環境品質。但由室內環境聲場理論與機制可知，除了隔音材料外，室內材料吸音特性及噪音聲源特性等2大要素，亦對室內聲場具有重要之影響，本所建築音響實驗室具完整之建築聲學相關研究設施，故未來可規劃持續進行國內相關建材之聲學特性實驗研究(包含空氣音隔音、吸音、衝擊音隔音性能等) 累積本土之建材實驗性能數據，及進行國內建築設備噪音源特性研究，由音源特性、傳播過程至接收端防制等流程，建立完整研究基礎，相關成果未來可供國內業界應用與提升產業界產品研發參考，提升國內建築樓板衝擊音防治技術。

建議二

(國內建築室內環境聲場組合性能研究)：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

國內都市具大量集合住宅之居住特性，住宅密集都市中家戶比鄰而居情況相當普遍，與國外地廣人稀之居住環境不盡相同，室內音環境與建築防治與研究相當重要且具實務應用性。因應國內建築技術規則防音規定施行，國內建築產業界對於

室內設備噪音對建築空間音環境影響之試驗研究

建築隔音與防制技術需求亦逐年擴增，除建築材料特性之外，未來可擴展於室內聲學聲場之研究，採運用現有之國內建築材料實測性能資料，納入國內實際之室內居住環境邊界條件進行室內聲場理論分析模擬，以評估建築設備噪音源對室內音環境之影響。

ABSTRACT

Keywords: Building equipment noise, architectural acoustics, free field

The Ministry of the Interior issued an order in June 2016 to amend the sound-proof regulations for building design and construction. The sound insulation standards of building soundproof regulations adopt the parallel method of “standard type” and “performance type”. The current soundproofing mechanism of buildings stipulates the sound insulation and noise reduction performance of individual building components (walls, floors, etc.), but lacks noise sources to sound the occupants. Evaluation of the impact of perception, and research on the effect of noise sources on the indoor sound field. In addition, there is a lack of relevant experimental research on the directionality of noise sources and the perception of occupants, and the applicability of measuring and evaluating equipment noise sound power is not enough.

The purpose of this research is to develop the technical development of experimental testing items related to psychoacoustic parameters (loudness) in accordance with ISO 532-1 (Acoustics-Methods for calculating loudness ---Part 1: Zwicker method) international standard. Analyze and study the psychoacoustic parameters, directivity, frequency spectrum characteristics of indoor equipment noise sources and their influence on the indoor space sound field. And to establish our ISO 532-1 measurement experiment system and experiment procedures to expand our laboratory technology and energy for building sound environment research.

This research is an experimental study on the impact of indoor equipment noise on the sound environment of the building space. The purpose includes (1) completing the development of ISO532-1 sound quality measurement test technology, establishing psychoacoustic parameter measurement methods and technologies to develop new testing items. (2) In an anechoic room, conduct actual measurement of the sound field of indoor equipment noise sources (life information or home appliances) to analyze its directivity, spectral characteristics, etc. The ISO532-1 method is used to measure and analyze the psychoacoustic parameters to evaluate the impact of equipment noise on the occupants' perception. (3) Based on the results of the indoor equipment noise test, the theoretical model is used to analyze the overall impact of different indoor equipment noise on the indoor space sound field of the building for practical reference applications.

In order to expand our research experimental technology and energy. The research refers to the ISO532-1 standard measurement performance requirement project, and refers to the standard stipulation method to carry out the measurement system planning work. In addition to the research literature collection and testing standard research related to indoor equipment noise and human hearing, the measurement system planning is currently completed. Experimental measurement system planning and related experimental measurement principles research, and complete the free sound field test environment sound field measurement verification projects. Subsequent work will be carried out on actual equipment noise characteristics measurement and analysis and loudness calculations, etc., for the future research and application of the effect of indoor equipment noise on the indoor space sound field of buildings, for practical reference applications

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

國內隨著經濟成長與社會發展，社會結構逐漸由人力密集之農業化社會轉變為以資本技術密集為主之工業化社會，由於上述之社會結構之改變，生活之方式與工作機會亦逐漸向都市集中，形成目前我國都市人口居住環境密集化及集中化，而因應居住之需求，在都市中住宅類型以公寓大廈及連棟式住宅為主，隨著居住環境都市化及密集化，集合住宅中居住環境易形成鄰近住戶間噪音干擾居家安寧。因應前述國內密集之居住特性，對於各類型生活噪音之防治與研究相當重要，除原有之外部噪音源(鐵公路交通、航空等:氣傳音隔音)，生活噪音源(如電器、跑跳走動等:固體音隔音)之影響與研究亦為不可或缺之部份，對應不同類型之噪音來源需採用相對應之措施來防護解決，才能對建築整體音環境有完整之改善防治手段。

為提升居住環境音環境品質，本所研訂建築隔音性能基準及增修訂條文(草案)，並經內政部於 105 年 6 月號令修正建築設計施工編防音條文。建築防音規定之隔音基準採「規格式」及「性能式」並行方式。於建築設計施工編防音條文中已對居住音環境品質困擾最大之空氣音及樓板衝擊音作相關隔音性能規定，其中於樓板衝擊音隔音規格式構造中，橡膠緩衝材需出具動態剛性檢測實驗報告，由建築師簽證確認其符合法定規格。目前建築防音機制規定建築構件(牆面、樓板等)單獨建築構件之隔音降噪性能，惟缺乏噪音源對居住者聲音感受之影響評估，及噪音源對室內聲場影響結果研究。因應國內民眾對於提升居住音環境品質及創新材料技術研發需求，本年度進行室內設備噪音對室內音環境品質之研究，及建立本所設備噪音相關實驗設備系統與作業程序，以拓展本所建築音環境研究實驗技術及能量。

第二節 研究目的

住宅室內噪音源之構成因素多，包含戶外噪音透過建築之牆面、窗戶開口部及樓板衝擊等傳播進入室內之噪音，加上室內設備所發出之噪音，即構成住宅環

境噪音。先前相關研究主要為建築構件(牆面、樓板等)單獨建築構件之隔音降噪性能，惟缺乏噪音源對居住者聲音感受之影響評估，及噪音源對室內聲場影響結果研究，有關噪音源之方向性及居住者感受等問題缺少相關實驗研究，僅就設備噪音聲功率進行量測評估應用性尚不足。依據本所「創新循環綠建築環境科技計畫(3/4)」及實驗產能創生計畫(4.5 實驗產能創生計畫之推動具體措施)，並考量擴充本所實驗研究能量，本年度擬進行室內設備噪音源之心理聲學參數、方向性、頻譜特性及其對室內空間聲場之影響分析研究，及依據 ISO 532-1(Acoustics - Methods for calculating loudness ---Part 1: Zwicker method)國際標準，進行有關心理聲學參數(響度)之實驗檢測項目技術開發，以拓展本所建築音環境研究實驗技術及能量。

本所性能實驗中心音響實驗室為國內具有符合 ISO 10140 國際標準及 CNS 15160 之建築音響實驗室，相關實驗項目包含隔音(R4/R5)、吸音(R6)、樓板衝擊音(R2/R3)及消音箱等項目，各項目符合 TAF 認證可進行實驗測試，自啟用以來累積相當數量之符合 ISO/CNS 測試標準檢測成果，館內共有 9 間實驗室，分別為 6 間迴響室以及 3 間全(半)無響室，本實驗室所提供之樓板隔音性能檢測、門(窗)及牆類建材隔音性能檢測及吸音材吸音性能檢測等項目已取得多項 TAF 認證及內政部建築新技術新工法新設備及新材料隔音性能試驗機構指定認可，可提供各項建築音響性能試驗，並配合我國綠建材標章制度之推動，整合國內綠建材產品檢測技術服務，作為產學研合作研發平台。近年來國內建築技術規則之修訂與法規之更新，於新修訂之技術規則 46-6 條中已列舉樓板橡膠緩衝材相關構造，與橡膠類緩衝材之動態剛性檢測內容，因應法規修訂業界對樓板緩衝材料性能驗證及創新材料技術研發需求，本所性能實驗中心於去(109)年 5 月 28 日向 TAF 辦理動態剛性試驗增列異動申請，TAF 於 9 月 11 日辦理現場評鑑，並於 109 年 12 月 9 日順利通過 TAF 認證(認證規範:CNS 16022；ISO 9052-1)。

第三節 研究方法及步驟

本研究首先進行樓板緩衝材動態剛性相關文獻蒐集探討與研究，後續進行量測項目調查分析，蒐集建築設備噪音試驗檢測方法規範，接下來進行量測方法開發，最後進行系統驗證與結果分析彙整及報告撰寫。

所採用之研究方法包括以下項目，研究流程如圖 1.1。

1. 文獻回顧：彙整國內外建築室內設備噪音之相關實驗規範、檢測技術及標準文獻。
2. 量測方法建立：參考 ISO 532-1 規範量測性能需求，規劃相關實驗量測系統，建構本所室內設備噪音源量測實驗系統與方法。
3. 實驗分析：進行量測系統驗證，供研究與實驗檢測應用
4. 結果分析：建立實驗標準操作程序，供研究與實驗檢測應用。

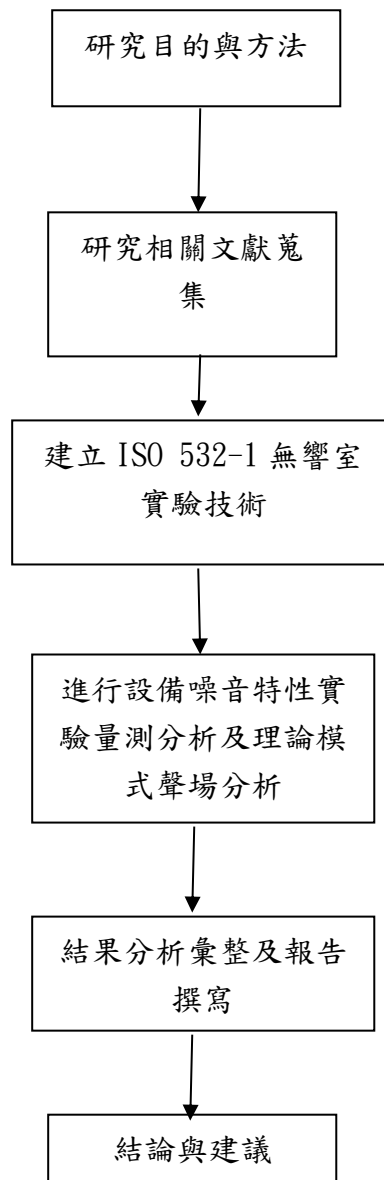


圖1-1 研究流程圖

(資料來源:本研究整理)

表 1-1 預定工作項目進度表

月 工作項目	第 1 個 月	第 2 個 月	第 3 個 月	第 4 個 月	第 5 個 月	第 6 個 月	第 7 個 月	第 8 個 月	第 9 個 月	第 10 個 月	備 註
文獻蒐集分析	██████████										
相關實驗設施 調整校正		██████████									
實驗規劃與 ISO 532-1 方 法建立與測試			██████████								
設備噪音特性 實驗量測與結 果分析				██████████							
期中報告						██████████					
室內空間聲場 之整體影響理 論分析					██████████						
期末報告撰寫 及修正								██████████			
成果報告										██████████	
預定進度 (累積數)	10%	20%	25%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	100%	

(資料來源: 本研究整理)

第二章 文獻回顧

本章首先針對國內目前建築物音環境相關之法規、噪音管制基準等做一簡要的文獻蒐集與回顧探討，後續對樓板衝擊音隔音及緩衝材之特性、動態剛性之基本介紹與其影響因子等做介紹說明。

第一節 國內音環境現況

由於台灣國土地形特性為平原少而以山脈居多，可供居住之土地面積較少，目前人口主要集中居住於西部之平原，屬於密集之居住環境。另外由於近年來經濟發展與交通建設推展，人口亦呈現都市化集中居住之情況，因前述之居住環境特性，國內之音環境降噪技術之發展相當重要，政府也陸續於近年內針對建築音環境之相關法規做修訂，以提升國內建築音環境之水準與國民居住品質。有關環境噪音之干擾目前約可分為戶外環境噪音與室內噪音兩大類。

一、建築音環境相關之法規

於建築法規修訂部分，因國內建築技術規則內容中有關於防音部分之條文已長時間未修訂，隔音基準與設計較為老舊無法跟上現況需求，為因應我國居住都市化與密集化之環境，建築物密集常造成住戶間生活噪音相互干擾，影響生活作息、睡眠品質及工作效率，本所98~99 年完成國內住宅音環境現況調查與診斷機制之研究，針對國內住宅案例進行音環境現場量測及診斷評估，初步累積國內基礎資料，並研訂診斷管理機制，該研究依據前期研究之成果基礎擴大調查對象，選定具代表性之住宅及學校案例進行音環境現況調查，並透過實測量化統計之彙整，作為建築隔音性能基準及法制化之依據，研訂建築隔音增修訂條文(草案)，函請內政部營建署辦理法制化作業，經內政部公布修正「建築技術規則」建築設計施工編防音條文，除建築設計施工編第46條之6有關分戶樓板隔音規定自110年1月1日施行外，其餘修正條文自105年7月1日施行。防音法規隔音基準採「列舉式」及「性能式」並行方式，「列舉式」可供業界直接參考選用，「性能式」則

需檢附經中央主管機關認可，具有「內政部建築新技術、新工法、新設備及新材料認可通知書」基準證明，法規規範內容與對應檢測項目如圖2.1

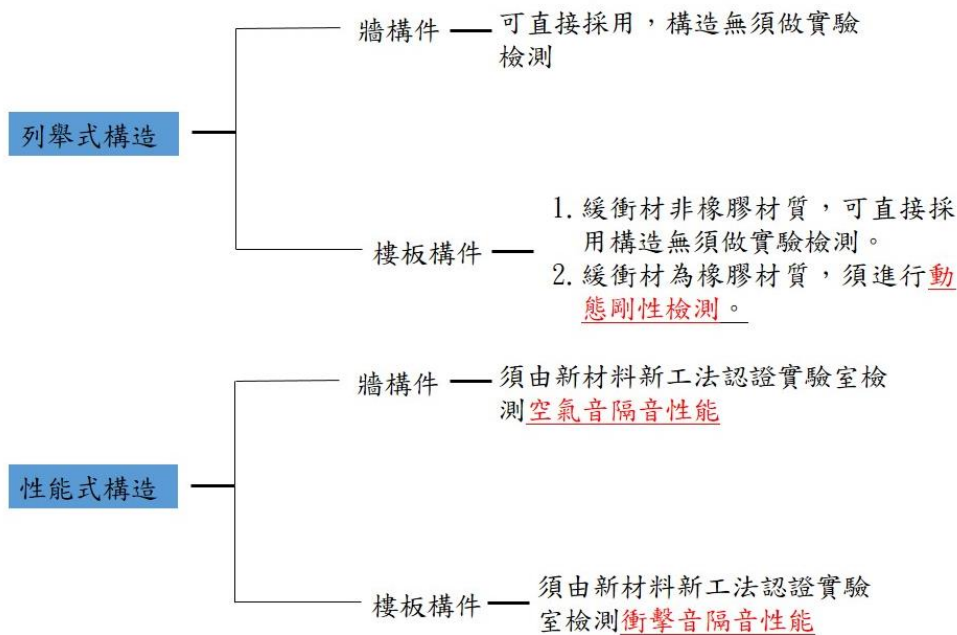


圖 2-1 建築技術規則設計施工編防音條文隔音基準

(資料來源: 本研究整理)

新建或增建建築物的分戶牆、分間牆、分戶樓板及昇降機道、機房與居室相鄰的牆及樓板，均應依建築技術規則新規定進行隔音設計。

另於國內音環境調查研究與建材隔音性能驗證，本所並於民國93年建置國內首座符合ISO國際標準之建築音響實驗室，本所音響實驗室主要建置目的是進行建築物門、窗、牆壁等構件的隔音性能研究，隔音材與吸音材之性能檢定相關的實驗，樓板衝擊音隔音性能實驗研究，及建築設備機器噪音源聲功率與頻率特性研究。同時可針對建築相關防音法規、規範與標準，進行本土化實驗研究，提供相關主管機關研修法規、規範與標準之參據，並將實驗研究之具體數據，提供給建築業界、消費者，以提高建築及居住之品質。94~97年間辦理「建築音響性能測試ISO標準CNS化之可行性研究」等，提出17項CNS聲學性能量測與評定標準草案，送請經濟部標準檢驗局完成法制作業，並成為隔音法規基準之引用標準。相關之修訂CNS標準因採與ISO國際標準同步，大幅更新國內建築材料隔音、吸

音、樓板衝擊音等實驗檢測與現場量測標準，使國內具備與國際接軌之實驗檢測規範。

二、環保署噪音管制法

目前國內環保署為維護環境安寧及生活品質，訂有噪音管制法，該法係針對活動、機具、機動車輛、陸上運輸系統及航空器等對象做出一定的規範及噪音量限制，是以管制噪音來源為出發點。以下針對噪音管制法之內容作簡單之回顧與說明

(一)噪音管制區

在噪音管制法中，授權直轄市及各縣市主管機關依照轄區內情況劃設噪音管制區，並對工廠、娛樂場所、營業場所、營建工程、擴音設施等噪音源訂出噪音管制音量及測定標準，其中並包含風力發電機組噪音之管制，量測技術則以採現場量測為主，主要量測參數為均能音量 L_{eq} 值，頻率範圍主要採20~20k Hz之範圍，由於均能音量指特定時段內聲音能量之平均值，此參數係與量測之時間段相關。於此法規中，對於時間之管制值可分為日間(上午7:00至下午7:00)，晚間(下午7:00至晚上11:00)及夜間(晚上11:00至隔日上午7:00)等3個時段，依不同之時段於各類管制區(1至4類)訂出不同之噪音標準值，並對於量測之方式、距離、位置及背景噪音修正等有明確之規範。

(二)對於機動車輛及民用航空器之管制

於機動車輛及航空器部分，係採另訂機動車輛噪音管制標準方式，針對原地噪音、加速噪音等訂定噪音標準，並規定於新車時需辦理相關審驗，而使用中之車輛則採主管機關不定期於停車場(站)、路旁、柴油車動力計排煙檢測站或其他適當地點，對車輛噪音情形辦理檢驗

(三)對於陸上運輸系統之管制

於陸上運輸系統部分，目前環保署針對快速道路、高速公路、鐵路及大眾捷運系統等陸上運輸系統內，車輛行駛所發出之聲音進行管制，並訂有陸上運輸系統噪音管制標準，於道路、及軌道系統採用一小時所測得之均能音量 $L_{eq,1h}$ 平均值

作為量測參數，並將管制時段區分為早(上午5~7時)、晚(晚上8~10時)及日間(上午7時~晚上8時)、夜間(晚上10時~翌日上午5時)等時段進行管制，音量單位採用dB(A)為單位，依不同之時段於各類管制區(1至4類)訂出不同之噪音標準值。

(四)民用航空噪音

針對民用機場、塔台所轄軍民合用機場產生之航空噪音及其他交通噪音，採用環境音量標準為管制規定，並經直轄市、縣(市)主管機關監測，超過環境音量標準者，營運或管理單位應訂定噪音改善計畫，並據以改善該區域之噪音，如果無法改善達到標準則改採補助計畫。並規定於經中央主管機關公告之航空站，應設置自動監測設備，連續監測其所在機場周圍地區飛航噪音狀況。另直轄市、縣(市)主管機關應針對各級航空噪音防制區內之學校、圖書館及醫療機構之防音建材，有作相關之性能規定，其性能採新建完成後可使室內航空噪音日夜音量低於五十五分貝。

由以上說明可知，噪音管制法已對不同管制區域與時段作出各類噪音管制規定，並針對交通、運輸或航空運具等主要之噪音源訂出管制標準。另該署亦依噪音管制法第九條第二項，於「噪音管制標準」中訂出詳細之噪音管制數值、量測儀器與方法規定、及相關評定方法等內容。其中針對第一至四類管制區域之工廠、娛樂場所、擴音設施噪音等之日間、夜間及晚間不同時段做相應之量化噪音數值規定(如表2-1)至表(2-3)。

表 2- 1 工廠（場）噪音管制標準值 (Leq)

頻率 音量 管制區	20 Hz至200 Hz			20 Hz至20 kHz		
	日間	夜間	晚間	日間	夜間	晚間
第一類	39	39	36	50	45	40
第二類	39	39	36	57	52	47
第三類	44	44	41	67	57	52
第四類	47	47	44	80	70	65

(資料來源:環保署)

表 2-2 娛樂場所、營業場所噪音管制標準值 (Leq)

頻率 音量 管制區	20 Hz至200 Hz			20 Hz至20 kHz		
	日間	夜間	晚間	日間	夜間	晚間
第一類	32	32	27	55	50	40
第二類	37	32	27	57	52	47
第三類	37	37	32	67	57	52
第四類	40	40	35	80	70	65

(資料來源:環保署)

表 2-3 營建工程噪音管制標準值(Leq)

頻率 音量 管制區	20 Hz至200 Hz			20 Hz至20 kHz		
	日間	夜間	晚間	日間	夜間	晚間
第一類	44	44	39	67	47	47
第二類	44	44	39	67	57	47
第三類	46	46	41	72	67	62
第四類	49	49	44	80	70	65

(資料來源:環保署)

第二節 室內設備噪音類型與特性

本節將就目前室內常見之設備噪音源之特性做簡要之介紹，室內設備因其構造與運作方式之特性，其噪音聲源具有一定之特徵及特色，以下首先針對噪音源之特色及傳播衰減機制做簡單介紹，後續並針對室內設備噪音源之聲源特性做說明。

一、噪音源傳播之機制

噪音源由來主要為設備運轉或使用所致，室內設備之運轉如扇葉、馬達之轉

動或幫浦之運作，其震動與風切流場等波動之形成聲源而透過空氣介質進行傳播，藉由此震動而形成室內設備噪音源，此聲源則會將聲音能量化為空氣音震動而傳播至接收者耳中而形成室內設備噪音。

(一)噪音聲源之傳播與衰減特性

各類之室內設備噪音源皆為以聲波方式於空間中傳播，故首先要對聲音在空間中傳播之特性有所了解，對於一平面波聲源，其聲強可以寫為

$$I(x) = \frac{p^2}{\rho c} = \frac{p_0^2}{\rho c} e^{-2\alpha x} = I_0 e^{-2\alpha x} = I_0 e^{-mx} \quad (2-1)$$

其中 I_0 為在距離聲源 $x=0$ 處之聲強，而參數 $m=2\alpha$ 稱為能量衰減系數 (energy attenuation coefficient)，其中 α 為介質之衰減系數 $\alpha = \frac{2\pi^2 f^2 \tau}{c}$ ， $\tau = 0.2ns$ 為單原子氣體介質之 relaxation time 其數值相當小。當為任一型態之聲源時因聲波傳播具有方向性，則引入方向參數 (directivity factor) Q ，其定義為沿空間中某一軸向之聲場傳播能量與聲場整體能量之比值， $Q = \frac{4\pi r^2 I}{W}$ ；另定義聲音之方向指標 (directivity index) DI 為 $DI = 10 \log_{10}^{(Q)}$ ，可由空間中聲強之關係將 (2-1) 式改寫為

$$I = \frac{QW_0}{4\pi r^2} e^{-2\alpha r} = \frac{p^2}{\rho_0 c} \quad (2-2)$$

如在式中引入參考聲壓 P_{ref} ，並將此式整理後取對數後可將上式改寫為聲壓位準之表示法

$$L_p = L_w + DI - 20 \log_{10}^{(r)} + 10 \log_{10}^{(e^{-mr})} - 10 \log_{10}^{\left(\frac{4\pi p_{ref}^2}{\rho_0 c W_{ref}}\right)} \quad (2-2)$$

假設當環境溫度為 $27^\circ C$ 時，將空氣阻抗 $\rho_0 c$ 、 $p_{ref} = 20 \times 10^{-6} Pa$ 、及 $w_{ref} = 10^{-12} W/m^2$ 代入後可將上面公式簡化為

$$L_p = L_w + DI - 20 \log_{10}^{(r)} - 4.343mr - 10.9 \quad (2-3)$$

而當聲音之傳播為在室內空間時，由於室內邊界條件會影響室內聲場，故聲音之傳播需要考慮邊界環境之因素，由 R. F. Barron 可知在室內聲場時聲壓位準 L_p 之關係為

$$L_p = L_w + 10 \log_{10} \left(\frac{4}{R} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right) + 10 \log_{10} \left(\frac{\rho_0 c W_{ref}}{p_{ref}^2} \right) \quad (2-4)$$

上式中參數R為室常數(room constant)，與空間之體積、表面之吸音特性及表面

積有關，可寫為 $R = \frac{S_0 \left[\bar{\alpha} + \left(\frac{4mV}{S_0} \right) \right]}{1 - \bar{\alpha} - \left(\frac{4mV}{S_0} \right)}$ ，左式中V為室內之體積， $\bar{\alpha}$ 為該室內空間之平均

吸音係數，而 S_0 為此室內空間之表面積。而當溫度為27°C時，利用空氣阻抗

$\rho_0 c$ 、 $p_{ref} = 20 \times 10^{-6} \text{Pa}$ 、及 $w_{ref} = 10^{-12} \text{W/m}^2$ 等介質參數，可將式(2-4)之最

後一項參數整理為 $\frac{\rho_0 c W_{ref}}{p_{ref}^2} = 1.0215$ 。

(二)室內設備音源之類型與特性

室內設備噪音類型眾多，形成之原因亦相當複雜，但生活中常見之各類設備之運作機制則不脫離機械式與電動式2大類，機械式包含為了能對空氣或流體加速或提供風量之風扇類設施，而電動設備雖然眾多類型，但其驅動皆倚靠電動馬達作為動力來源。另外日常生活建築設備中亦常見供水或排水之需求，其驅動力來源則為各類型之泵，也為主要之設備噪音源之一，以下就針對前述之設備噪音源特性與其簡要量化估算做簡單介紹

一、風扇類噪音與特徵

(一)有關室內設備中常見之空氣循環或通風換氣用設備為風扇設備，由於風扇之類型不同其噪音效應與特徵亦有差異，依據Graham等人之研究分類約可分為離心式與軸流式風扇2大類，其中離心式(centrifugal fans)風機運轉時，氣流由葉輪中心被吸入，葉輪使氣流帶有離心慣性，沿葉輪方向放射流出，順著螺旋外殼被導出風機，此類稱為離心式。常見於各種工業使用、廚房油煙，依葉輪造型設計，大略分為又可離心式-翼型扇葉、離心式-葉輪前傾(FCB)、離心徑向式、離心式-葉輪後傾(BCB)及管狀離心式等類型。另外還有軸流式、彎管軸流式及無管風扇式(Propeller fan)等類型。依據研究風扇類噪音來源約可分為扇葉旋轉時因空氣渦流發出部分及扇葉因固定頻率旋轉切過風扇導流段開口形成之聲源2大部分，依據Graham等人研究任意頻帶風扇噪音之聲功率估算可採下面公式

$$L_W = L_W(B) + 10\log_{10}\left(\frac{Q}{Q_0}\right) + 20\log_{10}\left(\frac{P}{P_0}\right) + B_T \quad (2-5)$$

其中 $L_W(B)$ 為風扇之基礎聲功率，如表2-4所示

表 2-4 風扇基礎聲功率 $L_W(B)$ 數值表

風扇型式	扇葉旋轉聲功率 B_T dB	頻帶中心頻率(Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
離心式									
—翼型扇葉	3	35	35	34	32	31	26	18	10
—BCB	3	35	35	34	32	31	26	18	10
—離心徑向式	5—8	48	45	45	43	38	33	30	29
—FCB	2	40	38	38	34	28	24	21	15
—管狀離心式	4—6	46	43	43	38	37	32	28	25
軸流式									
—彎管軸流式	6—8	44	42	46	44	42	40	37	30
—無管風扇式	5—7	51	48	49	47	45	45	43	31

(資料來源:Graham *et.al.*)

二、電動馬達噪音與特徵

在室內設備中經常有相關設備採用電動方式設計，元件中常有電動馬達，故

電動馬達係為室內設備中主要之噪音來源。單一馬達之噪音困擾度似乎不大，但通常生活中設備經常會有多個馬達集中配置於某處之情形，為能於實務上對室內設備噪音能進行簡易且較快速評估，且利於工程上之應用，須對主要之電動馬達噪音源特徵能有所了解，始易於後續之噪音防制作業。

由相關之研究可知道電動馬達之噪音成因約可為馬達運轉時冷卻風扇產生之噪音、轉子旋轉時透過馬達本體開槽所形成之噪音、馬達運轉時因電磁場而形成之電磁音、電磁場因為電流強弱改變而形成之噪音及因為內部有旋轉機構發生不平衡而出現之機械噪音。由R. F. Barron等文獻可知馬達噪音強弱主要與馬達之馬力及轉速等2個因素有關，依據構造形式之不同如為防滴式(drip-proof motor)電動機，其冷卻方式為由風扇帶動周邊空氣循環冷卻，其A加權生功率噪音位準為

$$L_W(A) = 65 \text{ dBA} \quad (\text{當hp} < 7 \text{ hp})$$

$$\text{而 } L_W(A) = 20 \log_{10}^{(hp)} + 15 \log_{10}^{(n_r)} - 3 \quad (\text{當hp} \geq 7 \text{ hp}) \quad (2-6)$$

其中hp 為馬力值，而 n_r 為馬達之轉數(rpm)

若構造型式為封閉式電動機(Totally enclosed fan-cooled motor；TEFC)，則其A加權生功率噪音位準為

$$L_W(A) = 78 \text{ dBA} \quad (\text{當hp} < 5 \text{ hp})$$

$$\text{而 } L_W(A) = 20 \log_{10}^{(hp)} + 15 \log_{10}^{(n_r)} + 13 \quad (\text{當hp} \geq 5 \text{ hp}) \quad (2-7)$$

三、抽水機噪音與特徵

抽/輸水用泵為建築中常見之設備，主要用於用水之輸送或加壓等用途，在此類之噪音源主要由泵運作時內部之水流衝擊與本體之機械運轉2大因素所致，根據Heitner等人研究，包含流體之穴蝕效應、流體中壓力瞬間變化、或流體衝擊機械等皆會生成相關噪音，而這些噪音除了抽送水泵本體震動透過周邊空氣介質傳播外，也會透過所連接之管路或相關支撐傳播。

依據相關研究抽輸送水泵之空氣傳播噪音聲功率與其馬力、轉數與機械型式

相關，可以下式進行估算。當輸送水泵轉速大於1600rpm時

$$L_w = K_0 + 10 \log_{10}^{(hp)} \quad (2-8)$$

式中hp為輸送水泵之馬力。而輸送水泵之型式修正係數如下

$K_0=98$ dB 當輸送水泵之型式為離心式泵(centrifugal pump);

$K_0=103$ dB 當輸送水泵之型式為螺桿式泵(screw pump);

$K_0=108$ dB 當輸送水泵之型式為往復式泵(reciprocating pump);

而當輸送水泵轉速低於1600rpm時，輸送水泵之型式修正係數如下

$K_0=93$ dB 當輸送水泵之型式為離心式泵(centrifugal pump);

$K_0=98$ dB 當輸送水泵之型式為螺桿式泵(screw pump);

$K_0=103$ dB 當輸送水泵之型式為往復式泵(reciprocating pump);

第三節 國內外相關研究文獻

一、國內相關研究

有關室內設備噪音之議題除牽涉到噪音源自身機制與特性外，也涉及建築室內音環境之影響，相關牽涉因子項目多且包含了音源、傳播路徑、與空間邊界條件等；於聲音科學部分也涉及了隔音、吸音、音源特徵、聲波傳播及反射機制等。本議題雖所涉及之因素複雜且橫跨不同聲學專業，但因對建築室內音環境具直接之影響效應，國內亦有相關研究。

於建築設備部分，本所於98年時進行「醫院建築與室內設備噪音與空間規劃關聯性之研究」，研究中調查了台灣中部幾個綜合醫院(獨棟或棟群建築物、使用單一大廳為條件)的噪音危害情形。完成醫院噪音量測調查、檢驗設備噪音干擾分析及檢驗空間配置分析檢討，其中有關於醫院MRI與CT檢驗設備之操作室及走廊空間之噪音與震動測量，利用表面散射係數理論推測各空間之放射面積與空間吸音力比值(S/A)，比較各醫院在兩處空間之建材吸音設計的多寡；此結果與噪音量大小趨勢吻合。散射係數之調查可成為未來檢驗室建材選擇之參考。依據調查所得數據可以有以下幾點結論：

- (一) 檢驗室建築結構之音響放射面積及吸音力比率與噪音量具正比關係。音響放射面積(S)與吸音量 (A)比建議應該在 100 (500Hz 時)以下。以利達成控制室與等候空間於 NC-50 以下之操作噪音量。
- (二) 結構於樓板與牆連結位置，應設計於外側牆與地板間非固定端之防振隔音結構。
- (三) 完全輕隔間並未能阻止振動量傳遞，建議須要有 RC 牆共用。
- (四) 控制室之噪音量在 10 所醫院中僅 4 所具 NC-50 以下之噪音標準。而超出標準值之頻率範圍以 1~2kHz 範圍為最甚。

孫毅成等人針對高層集合住宅中間設備層噪音與振動對住戶影響作相關研究，研究針對高層集合住宅中間設備之補助幫浦、消防幫浦、自灑幫浦及連結幫浦在運轉時產生噪音對旁邊及上下樓層鄰戶之干擾，研究結果顯示消防幫浦、自灑幫浦及連結幫浦在鄰戶干擾部分量測聲量為 39~48 dB(A)，超過 Beranek 所提出之公寓建議值。至於補助幫浦機房上方鄰戶噪音量為 49.2 dB(A)，亦超過 Beranek 所提出之公寓建議值。同時若以 Beranek 所提出之臥室建議值 35~39 dB(A)為標準，則依據 4 種幫浦機房鄰戶之量測果皆無法符合。同時發現此 4 種幫浦之噪音均在 100~250 Hz 之噪音量影響較大。以本所於 106 年進行「無響室聲場性能驗證與應用之研究」，完成吹風機、不斷電系統、吸塵器等日常生活產品聲功率量測，由量測結果資訊產品之電腦主機及筆記型電腦，頻率 100 至 400 Hz 之聲功率數值有明顯之峰值；不斷電系統在頻率 2000 Hz 處、玩具雷射槍噪音頻率在 160 Hz、800 Hz 及 3150Hz 各有一個主成分波；手持式頭髮吹風機在冷風(慢速) 切換至熱風(快速) 情境頻率 100 至 400 Hz 提高之數值較其它頻率高。

於國內住宅音環境調查部分，本所於 104 年委託進行「住宅音環境現況調查與診斷機制之研究」，研究中完成國內住宅音環境現況調查，經問卷調查結果其中外部噪音來源中以營造、工業噪音對連棟及集合住宅住戶困擾度最高。鄰戶噪音以樓板衝擊音對集合住宅住戶造成之干擾度最高。而經問卷調查後發現連棟住宅對於居住環境整體寧靜滿意度平均數為 3.53，集合住宅寧靜滿意度平均數為

3.15，顯示連棟住宅之寧靜滿意度較集合住宅高。黃士賓等人則對住宅室內生活噪音源及居民反應進行調查，其住宅室內噪音源主要包含人們一般生活行為噪音(娛樂、洗澡、洗衣等)、操作音響資訊器材、具噪音振動性質設備(空調、家電、給排水設施)及室內裝修工程噪音等4大類，由此大項再細分成30項。研究中將室內生活噪音源之主要頻率區分為63~250Hz為低頻、315~1250Hz為中頻、1600Hz以上為高頻。結果顯示，(一)低頻噪音包括瓦斯熱水器聲、上廁所(沖水聲)、洗衣機聲、音響聲(卡拉OK)、電冰箱聲、腳步聲(爬梯)、作飯的聲音(切菜聲)、洗餐具等水流聲。(二)中頻噪音包括門鈴對講機聲、電視機聲、喊叫聲、排油煙機聲、大人說話聲、樂器演奏聲(鋼琴聲)、樂器演奏聲(小提琴聲)、吸塵器聲、電動鐵捲門開關聲。(三)高頻噪音包括洗澡(潑水聲)、盥洗(放水聲)、電腦週邊(列表機聲)、娛樂嗜好聲(打麻將)、不銹鋼門開關聲、瓦斯開關聲、作飯的聲音(炒菜聲)、電話聲、鬧鐘聲。王偉輝教授研究團隊亦對臺灣集合式住宅建築物內聲音品質及近鄰噪音改善方法進行相關研究，針對集合式住宅建築內之噪音源可分為人們生活行為噪音、彈奏樂器及電器與設備運轉聲，經仔細調查發覺，若在建築設計施工之初，或在設備安裝之時，即予妥善管理防範可容易解決。另針對人們在建築物內生活環境中，所遭受戶外、鄰戶及家庭居家行為之噪音源做系統之歸納，於室內噪音源部分主要分為居住者行為活動噪音及操作音響資訊機具、運作振動性機器設備及建材受自然現象產生之聲音，並列舉相關實際之噪音案例，如表2-5所示

表 2-5 室內生活噪音分類

分類		實例
生活行為噪音	人們活動行為	<ol style="list-style-type: none"> 1. 大人說話聲、喊叫聲、小孩、嬰兒哭鬧聲、吵架爭執聲 2. 遊戲玩耍聲、娛樂嗜好聲（打麻將、桌球等球類活動聲） 3. 小孩跳動、跑動、腳步聲、物體掉落等樓版衝擊噪音 4. 開關門、窗聲、搬動傢俱的聲音（椅子、桌子、床櫃等）、傢俱開關聲（拉出抽屜、衣櫥櫃等）
	個人生活行為	<ol style="list-style-type: none"> 1. 盥洗（潑水聲、漱口聲等）、洗澡放水聲、淋浴等 2. 給排水聲、SPA、如廁沖水聲 3. 文書作業的聲音（書寫、翻書本、文具使用等）
	一般家事行為	<ol style="list-style-type: none"> 1. 伴隨做飯的切菜聲、煮沸聲、廚具碰撞聲等 2. 廚房給排水聲（洗菜、餐具等水流聲） 3. 洗衣服、擰乾衣物、拍打衣物或棉被的聲音
運作音響資訊器具所產生噪音		<ol style="list-style-type: none"> 1. 樂器演奏所發出的聲音（如鋼琴、小提琴等） 2. 音響視聽器材所發出的聲音（如電視、音響、收錄音機等） 3. 資訊情報機具所發出的聲音（如電話、電鈴對講機、鐘錶）
運作振動性機器設備所產生噪音		<ol style="list-style-type: none"> 1. 空氣調節設備（窗型冷氣機、冷卻水塔、除濕機等）、通風換氣設備（抽風機、抽油煙機、電風扇等）

	2. 家事用機具（電冰箱、洗衣機、烘乾機、縫紉機、吸塵機等）所發出的聲音 3. 給排水設施振動的聲音（如水龍頭、水管、抽水幫浦等）
--	--

(資料來源: 王偉輝等)

建築中由於生活設施之排水、排污等實際需求，常於建築構造中佈設各類型之管線，於國內歷年之研究調查中亦常指出管路噪音為生活中常見之噪音影響因子來源，本所於102年進行「建築給排水設備及管路噪音現場量測標準研訂之研究」，研究中針對管路與排水系統依據ISO 16032量測規範方法進行現場噪音量測，研究中並整理管路噪音之機制如下表所示

表2-6 住宅給排水設備及管路噪音發生來源及機制

發生設備	發生源	產生機制
給排水設備	水龍頭、沖水閥等設備之噪音	給排水設備供水時，因水壓而產生噪音 給水設備出水口因給水管路水流壓力，與設備振動易透過建築物構造體，經牆板或樓板等建築物結構體傳遞至相鄰或其它空間。
	便器沖水及虹吸現象之噪音	便器設備運作時，因排水及排水過程中之水流而產生噪音，且當便器排水快排盡時，水流與空間產生之虹吸現象而發出噪音。
	設備與水面之噪音	給排水設備如水龍頭、淋浴間蓮蓬頭等，出水口因水流與洗面盆、浴缸或地面撞擊產生噪音，傳遞至相鄰或其它空間。
給水系統	管路振動之噪音	給排水設備如水龍頭、沖洗閥等設備運作時，給水管路內水流與管壁撞擊產生振動噪音。
	管路內水流之噪音	給排水設備如水龍頭、沖洗閥等設備運作時，給水管路內水流經過管路與管內空氣撞擊產生噪音。
	水錘現象之噪音	給排水設備如水龍頭、沖洗閥等設備關閉時，突然截斷出水口的流水並破壞給水管路內水流的平穩性，對管壁產生衝擊形成振動，經牆板或樓板等建築物結構體傳遞至相鄰或其它空間。

排水系統	管路內水流之噪音	給排水設備排水時，水流進入排水橫支管引起流體與空氣及管壁撞擊產生噪音。
	相通管路傳遞之噪音	給排水管路因水流經過產生之噪音，因管路通氣孔使相通管路噪音傳遞至其它空間。
	管路膨脹及收縮之噪音	當水流經排水橫支管與直立管交接處，水流撞擊直立管後下降過程中，形成紊流急遽變化，使直立管中空氣壓縮及膨脹，並在撞擊直立管同時產生噪音。

(資料來源: 建築給排水設備及管路噪音現場量測標準研訂之研究)

於排水系統噪音類型中可包括管路內流體衝擊產生之噪音、管路膨脹之噪音、及管路中氣體碰撞產生之噪音；另於給排水設備部分，於水龍頭、沖水閥等設備會於給水時因水壓力而產生供水噪音，及便器因沖水及虹吸現象產生相關噪音。住宅給排水設備及管路噪音現況調查結果顯示，便器設備運作時因水流與管路空氣產生虹吸現象，故較其它設備產生較大之噪音值；本研究評估分析結果顯示，給排水設備產生之噪音以便器設備為最高，其次為水龍頭設備，較無法達到國外住宅噪音基準要求，而給排水管路噪音較設備產生之噪音低，而便器設備配屬之排水管路，因較大之水流量，於排水管路內與管壁撞擊產生噪音，部分案例無法達到國外住宅噪音基準要求。

二、國外相關研究

國外針對室內設備噪音部分亦有多項相關研究，包含S. Fatima 等人之研究團隊針對室內常用之電器設備噪音源，選用包含真空吸塵器、居家型乾衣機等於無響室內進行精密之噪音量測，其量測方式採用於噪音源四周及上方共規劃5個量測面，每個量測面之測點採用網格式9點，並採用聲強探棒方式進行聲場量測，採用之量測頻率31.5~8000 Hz，並由所測得之結果續採用纖維吸音材進行噪音改善，其中於真空吸塵器量測之平均聲功率為67.3 dBA，其中於四周不同量測面所測得之平均聲功率位準如表2-6 所示

表 2-7 真空吸塵器之四周不同量測面之平均聲功率位準

量測面	平均聲功率位準
Top(上表面)	66.5
Left(左側)	50.1
Right(右側)	45.5
Front(前側)	51.8
Back(後側)	55.2

(資料來源: S. Fatima *et al.*)

由上面之量測結果可看出真空吸塵器主要之噪音能量傳播係主要由上方所傳遞，如要做此設備之相關噪音降噪改善措施，應首先於上表面佈設相關吸音材料或施作減音措施。另於家中常見的烘乾機部分，研究中採用相同量測方式進行烘乾機之噪音四周虛擬平面聲場量測，並做成各平面之聲場功率量測結果，如圖2-2

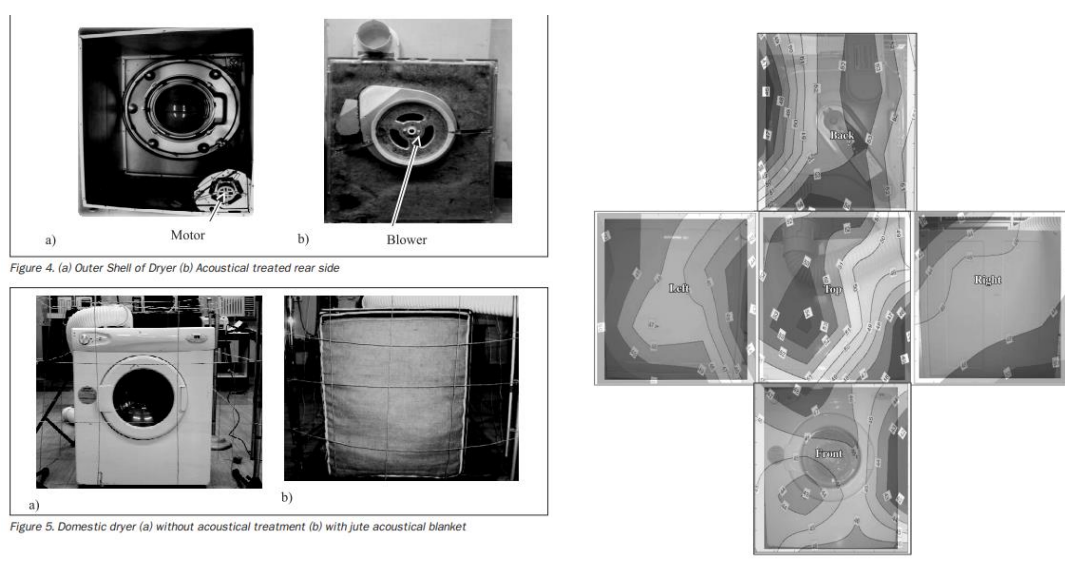


圖 2-2 烘乾機之噪音四周虛擬平面聲功率量測結果圖

(資料來源: S. Fatima *et al.*)

由上述聲功率量測結果，搭配實際之機器構造，可觀察出烘乾機之噪音來源主要位於馬達區域及帶動皮帶齒輪區域。

J. H. Rindel等人研究住宅隔音性能與居住者對音環境品質感知之關係，研究主要就設備噪音、空氣音隔音及樓板衝擊音等3類常見之住宅噪音透過現場調查及居住者訪談，研究居住者對音環境品質之感知與噪音量化數值間關係，研究

中把居住者感知分為P(不好)、F(普通)及G(優良)三種類，且 $P+F+G=100\%$ 。研究顯示感受為F者約30%，而P與G則變化較大，介於0~70%。藉由調查分析之量化結果，研究團隊利用線性迴歸分析後，建立噪音源與居住者對建築音環境優劣感知之關係，研究經過分析後發現無論是室內設備噪音源、空氣音噪音源或是樓板衝擊音噪音源，居住者對聲音環境之滿意度-噪音源數值間變化率皆呈現4% per dB之一致性斜率變化。另外研究團隊並就建築分間牆空氣音隔音性能、樓板衝擊音隔音性能及建築設備(包含送水、電熱空調)現場量測之A加權噪音數值，藉由調查結果歸納出隔音性能與居住者音環境品質滿意度之關係，摘錄如表2-7所示

表 2-8 隔音性能與居住者音環境品質滿意度調查結果

類型	居住者滿意度(G=80%)	居住者滿意度(P=20% G=50%)	居住者滿意度(P=50% G=20%)	居住者滿意度(P=50% G=20%)	備註
建築設備 噪音A加權 值 $L_{A_{max}}$	25 dB	32 dB	39 dB	—	電熱空調 噪音
	31 dB	41 dB	51 dB	—	送水設備 噪音
空氣音隔 音性能 R_{w}^{-}	62 dB	56 dB	47 dB	—	Langdon研 究結果
	—	56 dB	47 dB		Weber研 究結果
樓板衝擊 音性能 $L_{n,w}^{-}$	50 dB	57 dB	64 dB	—	

(資料來源: J. H. Rindel *et al.*)

研究團隊定義居住環境聲音品質為可接受(acceptable)之情況為居住者滿意度 (P=20% G=50%)之情形，由上表結果可知此情況時電熱空調噪音A加權值 $L_{A_{max}}$

為32 dB及41 dB、牆面空氣音隔音性能 R_{w} 為56 dB、樓板衝擊音隔音性能 $L_{n,w}$ 為57 dB，相關居住音環境品質研究結果，可提供訂定建築隔音基準之參據。

第三章 心理聲學參數與室內設備噪音量測方法

前章已對建築設備噪音與居住者感受之關係及對設備噪音相關研究內容介紹。因噪音之傳播接收者為需借助人耳之聽覺感知轉換後，才會轉化為實際之聽覺感受，本節將就人耳之聽覺特性及做介紹，包含人耳聽覺之特徵與遮蔽效應及相關之心理聲學參數如響度、粗糙度等作簡單介紹；另續就ISO532-1之響度量測標準方法與實驗檢測原理做介紹。

第一節 心理聲學參數與人耳聽覺

人對噪音之感知係透過人耳接收相關噪音能量後轉化為實際之聽覺，惟人耳之聽覺特性與常用之聲場量測麥克風等科學儀器不同，如將人耳視為一個可用於接收聲音之麥克風，則其特性則為非線性之特徵，以下就其特色做簡單介紹

一、人耳聽覺之音域

人耳之聽覺在低頻與高頻區域之反應不同，人耳對於低頻區域之聲音反應較不敏感，而針對2 KHz~5 KHz頻率區域內之聲音則特別敏感，人耳之聽覺音域表示如圖3-1所示

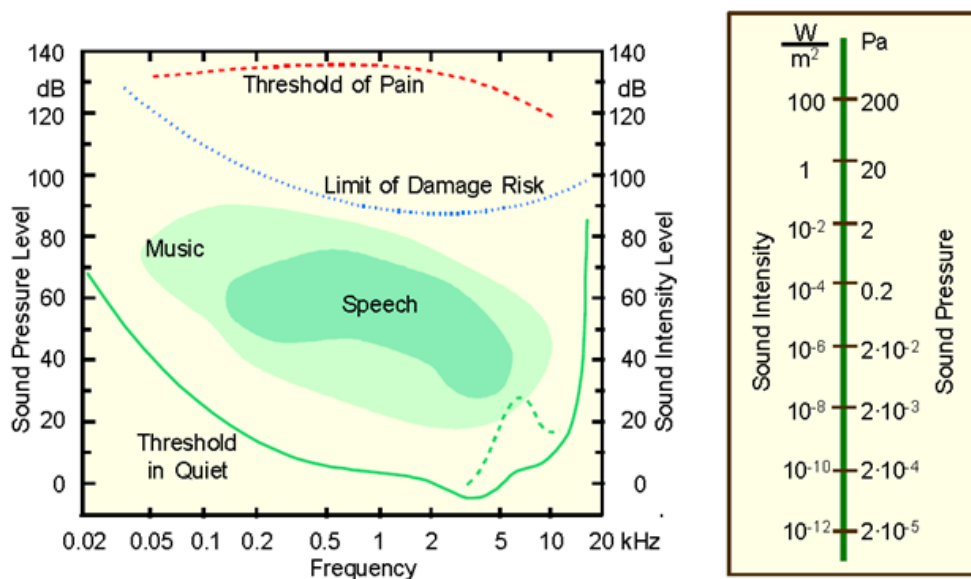


圖 3-1 人耳聽覺音域

(資料來源: Brüel & Kjær)

由上圖中，中央淺綠色及深綠色範圍為平常語言及音樂之常見範圍，約分布在5Hz至10 kHz區間，聲壓位準值為20至80 dB之區域，而其而下方之曲線為人聽力之下限值，由此線可看出人耳聽力分別於低頻約200 Hz以下區域聽覺相當不敏感，及於高頻10 kHz以上亦呈現不靈敏之情形，對於介於200 Hz至10 KHz間之聲音則相較之下感知較敏銳，可看出人耳整體聽覺感知於不同頻率呈現非線性之分布。

二、遮蔽現象

人耳對於某一頻率之聲音識別能力會隨者背景噪音之聲壓位準大小不同及頻率不同而造成不同之識別能力，由相關之研究指出，當背景噪音類型為白噪音 (white noise)時，人耳聽覺對單一頻率音之識別，於500 Hz以上呈現一個10 dB之斜率上升，亦即越高頻率之區域則單頻音識別越不易，呈現白噪音之遮蔽現象，各單頻音遮蔽現象頻譜圖可參閱下圖所示

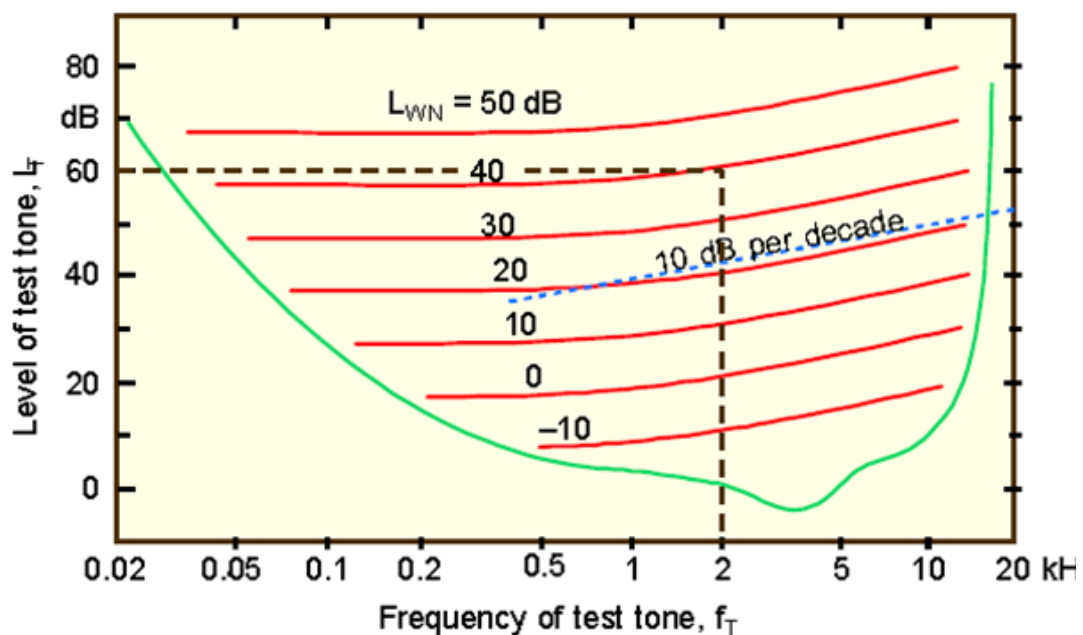


圖 3-2 白噪音對單頻音之遮蔽現象

(資料來源: Brüel & Kjær)

三、臨界頻寬(Critical Bandwidth)

由前面之說明可知人耳之聽覺特徵具非線性特性，而於頻率特性上實驗量測上為能模擬實際人之聽覺，引入了臨界頻寬(Critical Bandwidth)參數，其頻率特徵如下圖所示

臨界頻寬與頻率函數的關係

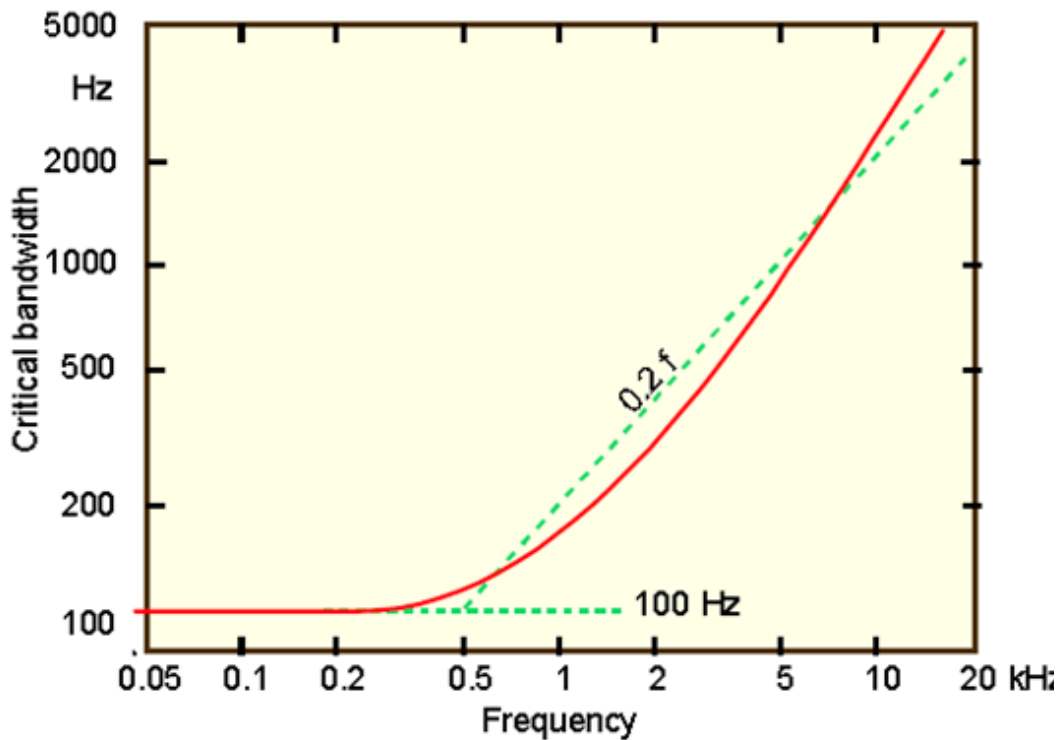


圖 3-3 臨界頻寬與人耳聽覺之頻率特徵

(資料來源: Brüel & Kjær)

為能逼近人耳之聽覺效應臨界頻寬將0至20 kHz區域以24個頻帶來切分，並以500 Hz為分界，500 Hz以上之頻帶寬約為中心頻率之20%(0.2f)，而500 Hz以下之頻帶寬則固定為100 Hz。上圖中紅色實線部分係人耳實際之聽覺頻率函數，而綠色虛線為臨界頻寬之頻率函數，可看出兩者曲線呈現接近之情形，因此臨界頻寬可用於模擬分析人耳對頻率感受之非線性行為。臨界頻寬之單位為Bark，與傳統常見之Hz不同，以人耳聽覺範圍約可分為1-24 Bark，臨界頻率與Hz間之對應關係如下圖所示

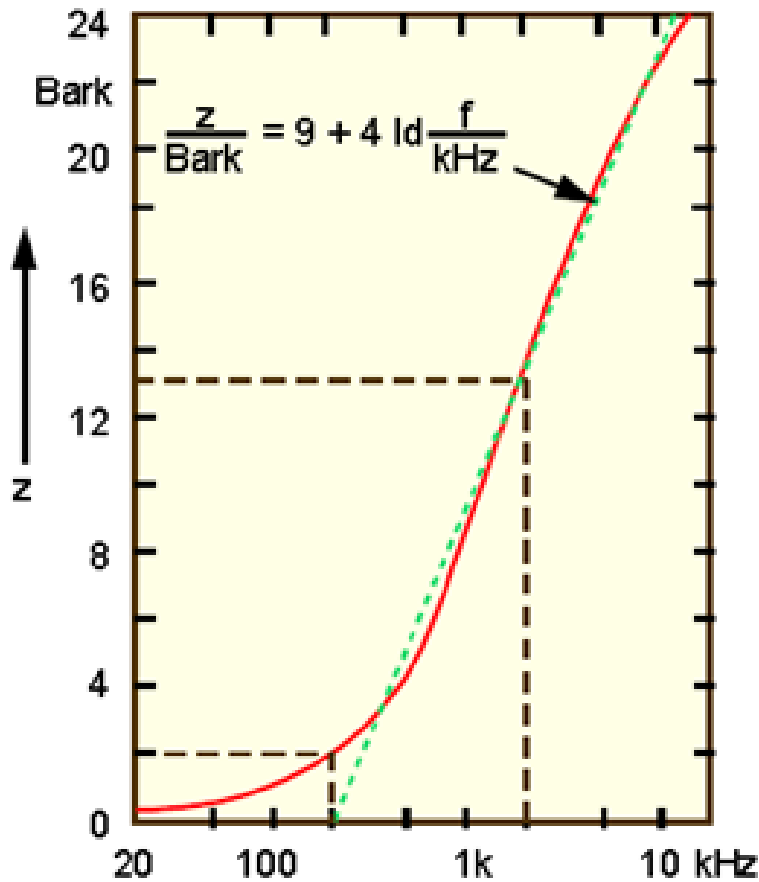


圖 3-4 臨界頻率與 Hz 間之關係圖

(資料來源: Brüel & Kjær)

另外亦可採用公式換算方式，Bark與Hz換算式子為

$$\text{Bark} = 13 \arctan(0.00076f) + 3.5 \arctan\left(\left(\frac{f}{7500}\right)^2\right)$$

。人耳聽覺不使用傳統的頻率單位Hz而常採用臨界頻寬Bark進行分析，係因為可近似人耳聽覺於高頻音解析度小(人耳相同數量之聽覺細胞在高頻帶負責的頻寬較低頻帶大)，而對低頻解析度較高之非線性特徵，使分析結果能與實際之聽覺感受相符。

四、等響度曲線

由前所述，人耳之聽覺特性因為非線性，對於低頻及高頻區域之聲音反應較差，而對中頻區段之聲音反應較靈敏，故為定義人聽覺對聲音主觀大小之感受，聲學上以參數響度(Loudness)作為衡量之參數，並依照聽覺感知繪製出於各

頻率帶之等響度曲線，如下圖所示

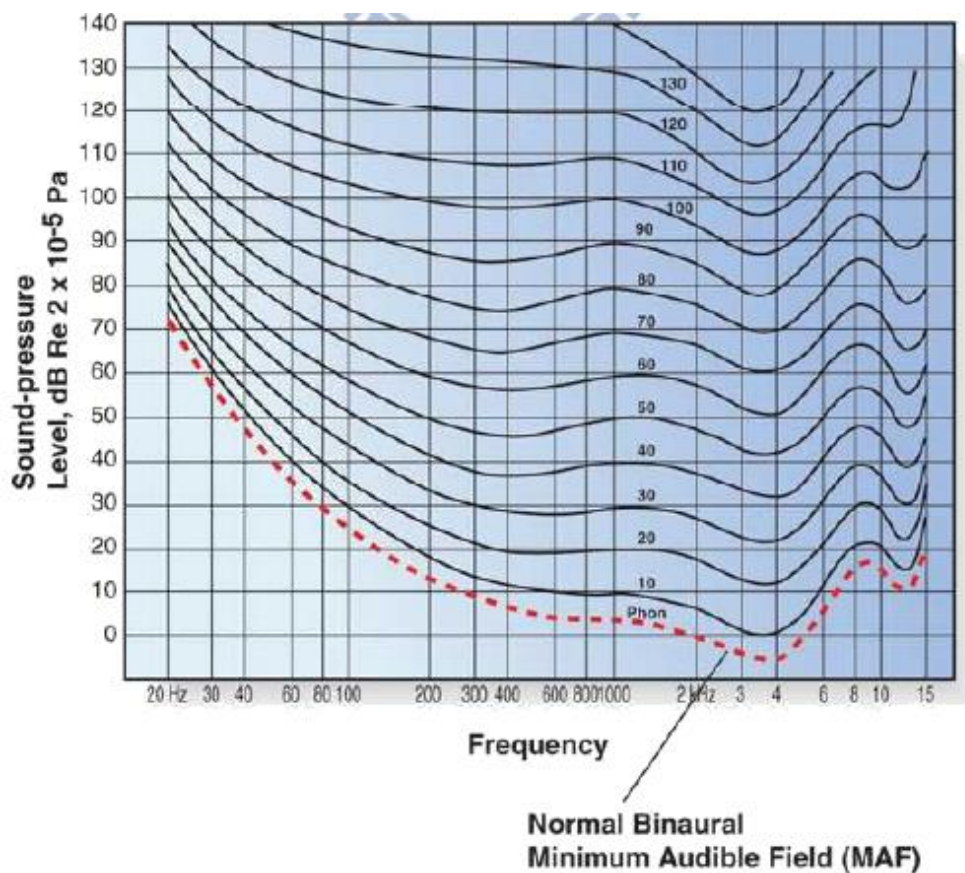


圖 3-5 人耳聽覺等響度曲線圖

(資料來源:劉知琬等)

上圖中，曲線上之10、20、30等數字即為人耳所聽到之各響度數值，亦即表示人耳於不同頻率段之敏感度，由曲線中可看出人耳聽覺對中頻段500 Hz至6 kHz區域最為敏感，另外由圖中比較等響度曲線圖可知，對人聽覺來說1k Hz 10 dB聲壓級的聲音，與20 Hz 75 dB 聽起來同樣響，但其能量差距千倍(頻率差距只為50倍)，由此可看出聽覺於不同之頻率其感知差異。

第二節 設備噪音源量測 ISO 標準方法與規範

由前面介紹響度為測量人耳感知之聲音品質之量化參數，其可模擬人耳之聽覺非線性特性，接下來介紹其參數之定義及相關之量測規範與方法。

一、響度值之計算方式

響度為人耳對聲音強弱大小之主觀感受，且與聲壓位準、頻率等有非線性之正相關關係，計算公式為

$$L = \int_0^{24\text{Bark}} N' dz \quad (3-1)$$

上式中參數 N' 為臨界頻帶之特徵響度(specific loudness)，單位為sone/Bark。前式之物理意義採用了能模擬聽覺特性之臨界頻寬Bark為單位，來度量人耳感知到之聲音能量；且臨界頻寬範圍為0~24 Bark範圍。影響計算之響度結果因素除頻率、聲壓位準大小外，聲音之頻寬及持續時間(duration)亦會對結果有所影響。

二、響度之量測方法概念

本研究採用ISO 532-1 (ISO 532-1 Acoustics- Methods for calculating loudness- Part 1: Zwicker method)之響度量測方法，本方法屬於ISO國際標準方法，同時亦為聲音響度量測上常用之方法，此方法之概念如下圖所示

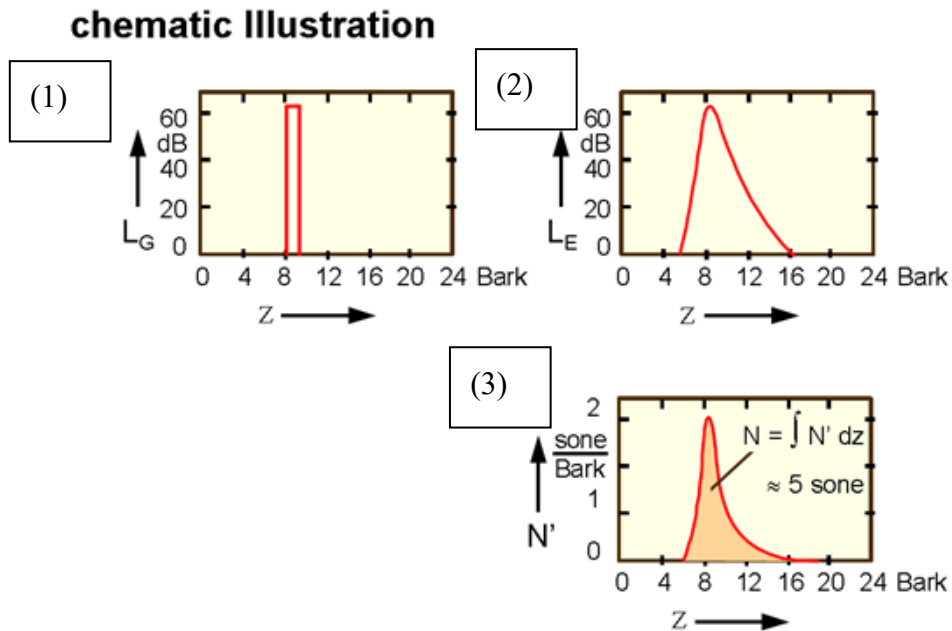


圖 3- 6Zwicker method 之概念(單頻)

(資料來源: Brüel & Kjær)

上圖中，噪音源發出一個 $f=1000\text{ Hz}$ ， 60 dB 之聲音，首先以量測儀器進行聲場

量測，小圖(1)即以分析儀+麥克風所量測之聲場聲壓位準原始結果，而於圖(2)則以Zwicker method中所提出之濾波器及訊號處理方式，將量測所得之原始資料以此方式進行加權處理後，以模擬人耳聽覺對聲音感知之非線性反應，可顯現出人耳聽覺之特徵，小圖(3)為原始量測資料採Zwicker method進行處理後之特徵響度 N^{\prime} 圖形結果，將特徵響度 N^{\prime} 於各臨界頻帶積分加總後，可得到此噪音音源之響度值 $N=5$ sone。

三、ISO 532-1方法概述

ISO 532-1 (ISO 532-1 Acoustics- Methods for calculating loudness- Part 1:Zwicker method)之響度量測方法內容主要分為穩態聲源(stationary sound)及隨時間變化之聲源(time-varying sounds)2類，簡要說明如下

(一)基本參數定義

首先就本方法中所使用到之名詞概念做摘要說明

1.聲音頻譜(sound spectrum)

為時間域所量測之訊號轉換後為頻率函數，一般聲音頻譜表示方式為採此函數之大小(magnitude)，但有時亦以相位(phase)表示。

2.臨界頻寬濾波器(critical band auditory filter)

為能模擬人聽覺系統對聲音頻帶之解析特徵之濾波器。

3.臨界頻寬位準(Critical band level) L_{CB}

即量測之結果聲壓位準數值其頻率域採用臨界頻寬為單位。

4.響度(loudness)

響度為一般聽力正常之人所感知之聲音強度大小(magnitude of sound)，其與聲音之特性、所處之周邊邊界條件等有相關。響度之單位為sone。

5.特徵響度 N^{\prime} (specific loudness)

特徵響度為將計算所得響度採用臨界頻寬為單位，於某一所要探討之頻率帶寬內表示，單位為sones/Bark。

6. 響度位準 (loudness level)

響度位準之基準為1000Hz之sin正向入射平面波，由聽覺正常之人感知之聲壓位準值。任意音源之響度位準係指由人聽覺感知之聲音大小與前述基準一樣時為其響度位準。

(二) 穩態聲源 (stationary sound) 量測方法

穩態聲源係指聲音之大小不隨著時間而變化，而於時間裡其大小為定值。於ISO 532-1第5.2節說明穩態聲源之量測計算方法，本方法內容可分為三大步驟，包含量測數值前處理以近似人耳聽覺之低頻反應、聲壓數值加權運算模擬人耳聽覺效應、及將量測資料進行臨界頻寬化算及響度計算等3部分，方法詳細之流程如圖3-7。以下簡單說明如下

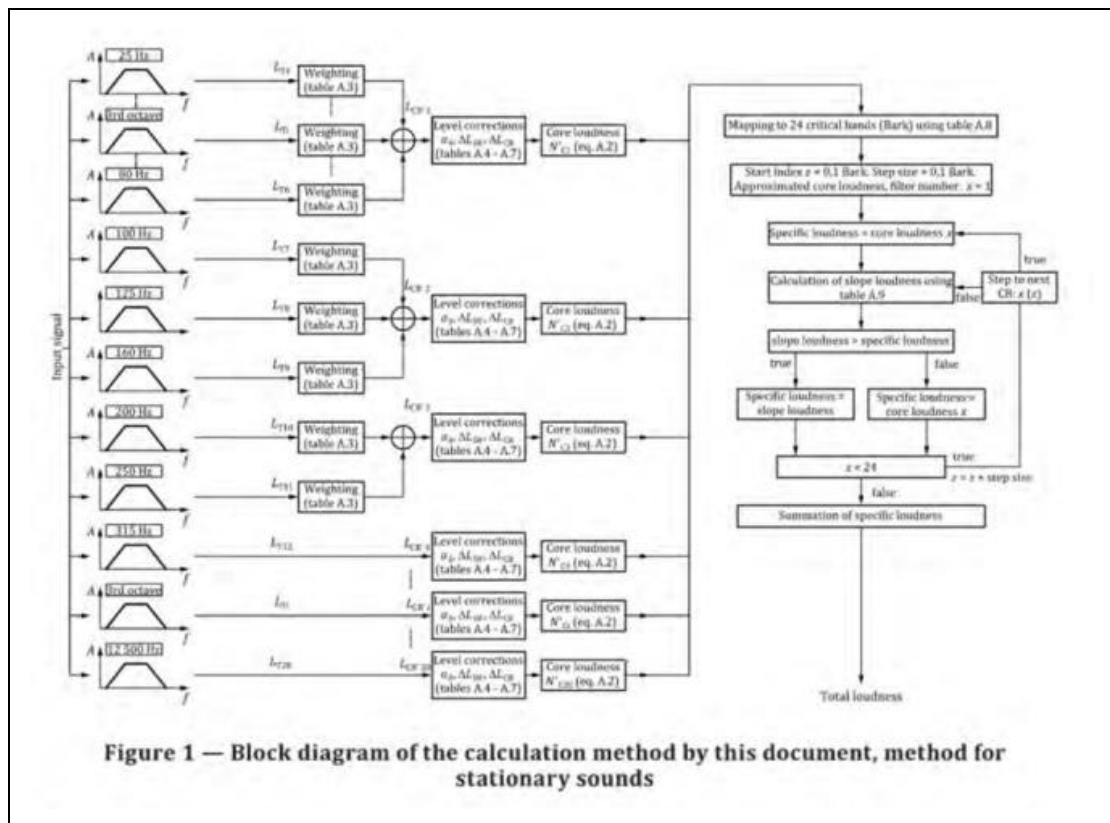


Figure 1 — Block diagram of the calculation method by this document, method for stationary sounds

圖 3-7 穩態聲源(stationary sound)ISO 532-1 聲源響度計算方法流程圖

(資料來源: ISO 532-1: 2017)

1. 本方法係先對噪音聲源以一般之量測分析方式，採1/3倍頻量得之聲源聲壓位

準數值。經由前面之各項修正後，接續將各頻帶之聲壓位準數值轉換為臨界頻寬數值 L_{CB} 值。其中於頻率300 Hz以下之1/3倍頻區域，為模擬臨界頻寬，規範採將20~90 Hz區間、90-180 Hz、及180-280 Hz等3區間做聲場之power summation後，分別整合為 L_{CB1} 、 L_{CB2} 、及 L_{CB3} 等3個臨界頻寬之頻帶。由前面說明人耳聽覺效應為非線性，為模擬聽覺感知效應以此量測資料為基準，首先須進行人耳低頻部分之調整，由於人耳聽覺對於300 Hz以下聲波之敏感度較低，首先針對此部分進行加權修正，依據ISO 532-1規定，採用ISO 532-1 Table A.3之加權值 ΔL 對量測聲壓原始結果 L_T 進行修正，修正頻率範圍為25~250 Hz，修正值如下圖所示

Table A.3 — Weighting of one-third-octave-band sound pressure levels, L_T , for centre frequencies, f_T , below 300 Hz; corrections, ΔL , in decibels

Range	$L_T + \Delta L$	f_T, Hz										
		25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
I	$\leq 45 \text{ dB}$	-32	-24	-16	-10	-5	0	-7	-3	0	-2	0
II	$\leq 55 \text{ dB}$	-29	-22	-15	-10	-4	0	-7	-2	0	-2	0
III	$\leq 65 \text{ dB}$	-27	-19	-14	-9	-4	0	-6	-2	0	-2	0
IV	$\leq 71 \text{ dB}$	-25	-17	-12	-9	-3	0	-5	-2	0	-2	0
V	$\leq 80 \text{ dB}$	-23	-16	-11	-7	-3	0	-4	-1	0	-1	0
VI	$\leq 90 \text{ dB}$	-20	-14	-10	-6	-3	0	-4	-1	0	-1	0
VII	$\leq 100 \text{ dB}$	-18	-12	-9	-6	-2	0	-3	-1	0	-1	0
VIII	$\leq 120 \text{ dB}$	-15	-10	-8	-4	-2	0	-3	-1	0	-1	0

In order to illustrate the use of Table A.3, the following example is given.

圖 3- 8 穩態聲源(stationary sound) 之對量測聲壓修正加權值 ΔL

(資料來源: ISO 532-1: 2017)

2. 接下來為能模擬人耳聽覺之傳輸特徵(ear's transmission characteristics)，ISO 532-1方法引入修正項 a_0 對個頻帶聲音之量測值進行修正，使用ISO 532-1 Table A.4之參數修正值如下圖所示

f_T Hz	a_0 dB
25,0	0,0
31,5	
40,0	
50,0	
63,0	
80,0	
100,0	0,0
125,0	
160,0	
200,0	0,0
250,0	
315,0	0,0
400,0	0,0
500,0	0,0
630,0	0,0
800,0	0,0
1 000,0	0,0
1 250,0	0,0
1 600,0	-0,5
2 000,0	-1,6
2 500,0	-3,2
3 150,0	-5,4
4 000,0	-5,6
5 000,0	-4,0
6 300,0	-1,5
8 000,0	2,0
10 000,0	5,0
12 500,0	12,0

圖 3- 9ISO 532-1 模擬人耳聽覺之傳輸特徵聲壓修正項 a_0 數值

(資料來源: ISO 532-1: 2017)

- 各量測值完成人耳聽覺之傳輸特徵聲壓修正項 a_0 後，續進行量測時周邊環境場之修正，如為於擴散聲場進行實驗時，則需參考ISO 532-1之Table A.5進行 ΔL_{DF} 參數修正， ΔL_{DF} 參數值如下所示

f_T Hz	ΔL_{DF} dB
25,0	0,0
31,5	
40,0	
50,0	
63,0	
80,0	
100,0	0,0
125,0	
160,0	
200,0	0,5
250,0	
315,0	0,9
400,0	1,2
500,0	1,6
630,0	2,3
800,0	2,8
1 000,0	3,0
1 250,0	2,0
1 600,0	0,0
2 000,0	-1,4
2 500,0	-2,0
3 150,0	-1,9
4 000,0	-1,0
5 000,0	0,5
6 300,0	3,0
8 000,0	4,0
10 000,0	4,3
12 500,0	4,0

圖 3- 10 ISO 532-1 擴散聲場實驗之 ΔL_{DF} 參數修正值

(資料來源: ISO 532-1: 2017)

另外於頻率300 Hz以上區域則可採1/3倍頻之頻帶來近似臨界頻寬，分別為 L_{CB4} 至 L_{CB20} 。

當前面之聲場數值(尚未進行人耳聽覺之傳輸特徵聲壓修正項 a_0 修正)超過ISO 532-1之Table A.6之人聽覺臨界頻寬之門檻值 L_{TQ} (如下所示)時，需使用ISO 532-1之Table A.7減去數值 ΔL_{CB} (如下所示)修正。

f_T Hz	ΔL_{CB} dB
25,0	-0,25
31,5	
40,0	
50,0	
63,0	
80,0	-0,60
100,0	
125,0	
160,0	
200,0	-0,80
250,0	
315,0	-0,80
400,0	-0,50
500,0	0,00
630,0	0,50
800,0	1,10
1 000,0	1,50
1 250,0	1,70
1 600,0	1,80
2 000,0	1,80
2 500,0	1,70
3 150,0	1,60
4 000,0	1,40
5 000,0	1,20
6 300,0	0,80
8 000,0	0,50
10 000,0	0,00
12 500,0	-0,50

圖 3- 11 ISO 532-1 聽覺臨界頻寬 ΔL_{CB} 修正參數值

(資料來源: ISO 532-1: 2017)

4. 計算核心響度(core loudness)

量測之聲壓數據經前述之模擬人耳聽覺之參數修正後，接下來進行將1/3倍頻之量測資料轉換至臨界頻寬，首先採用ISO 532-1之公式A.2進行core loudness N_c 轉換，轉換公式如下

$$\text{室內設備噪音對建築空間音環境影響之試驗研究} \quad \left(0.1(L_{CB}-L_{TQ}) \right)^{0.25} - 1 \quad (3-1)$$

式中參數 $s=0.2$ ， L_{TQ} 為環境臨界頻寬之聽覺門檻值(數值參考ISO 531-1之

Table A.6)、 L_{CB} 為臨界頻寬之聲場數值。將各頻帶之 N_c 求得後，依據ISO 532-

1之table A.8可將1/3倍頻之各頻帶計算資料(單位:Hz)，對應到臨界頻寬(單位:Bark)，其對應關係如下圖所示

f_c Hz	Approximated critical band number dB	Critical band number Bark
25,0	1	0,9
31,5		
40,0		
50,0		
63,0		
80,0		
100,0	2	1,8
125,0		
160,0		
200,0	3	2,8
250,0		
315,0	4	3,5
400,0	5	4,4
500,0	6	5,4
630,0	7	6,6
800,0	8	7,9
1 000,0	9	9,2
1 250,0	10	10,6
1 600,0	11	12,3
2 000,0	12	13,8
2 500,0	13	15,2
3 150,0	14	16,7
4 000,0	15	18,1
5 000,0	16	19,3
6 300,0	17	20,6
8 000,0	18	21,8
10 000,0	19	22,7
12 500,0	20	23,6
—	21	24,0

NOTE: Approximated critical bands 1-20 contain their individual core loudness. Approximated critical band 21 is empty, only slope loudness is taken into account.

圖 3- 12 頻帶計算資料(1/3 倍頻單位:Hz)與臨界頻寬(單位:Bark)對應數值
(資料來源: ISO 532-1: 2017)

接下來依ISO 532-1中之規定，採遞迴方式(由 $z=0.1$ Bark至 $z=24$ Bark，每個step的間距為0.1 Bark)使用ISO 532-1 Table A.9求取slope loudness，當所得到之slope loudness值大於原specific loudness值時，此時specific loudness值無須調整為slope loudness，而當slope loudness值小於原specific loudness值時，specific loudness為原core loudness值。此步驟之目的為考量不同相鄰頻帶間之聽覺遮蔽效應。

5. 計算響度值

依序將臨界頻寬中各頻帶數值以上述流程完成計算後，將所有之特徵響度(specific loudness)總和相加後，即可求得噪音源之響度值。

(三) 噪音源為隨時間變化之聲源(time-varying sounds)時之量測方法

6. 當噪音源為具有隨時間變化之特性時，響度之計算流程如下圖所示，內容仍

與前面介紹之穩態聲源之計算方法相同，惟差別在於求出各頻帶之 N_c 核心響度(core loudness)後需引入一個計算流程block NL，此流程目的為模擬人聽覺系統隨時間之聽覺衰減效應(方法中規定訊號取樣頻率為48 kHz)

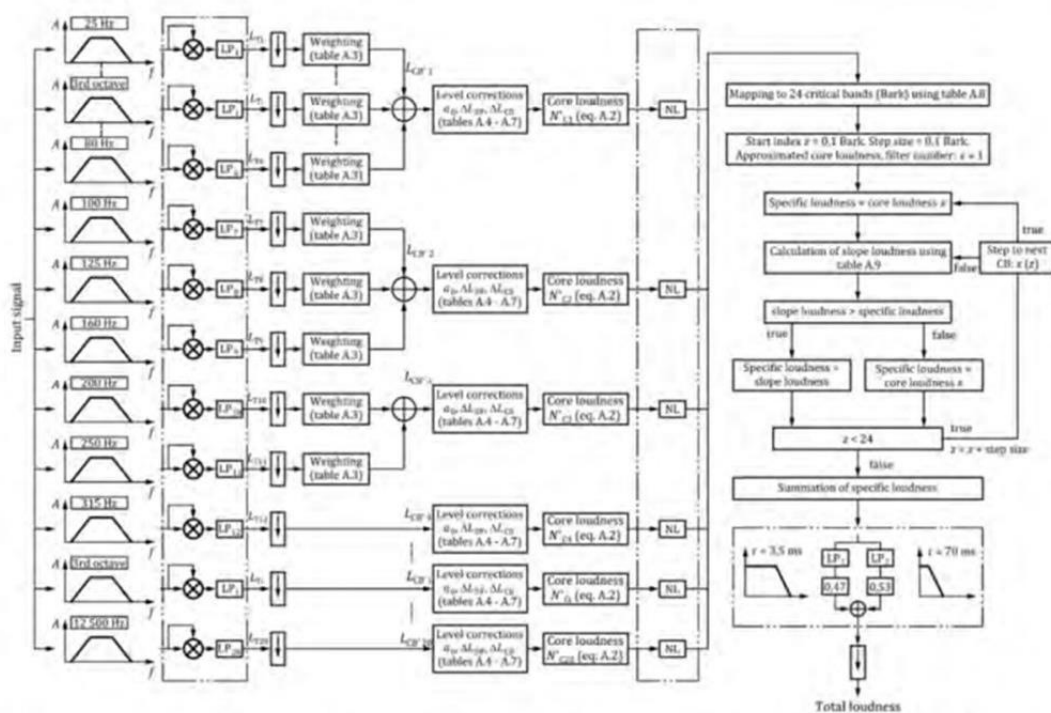


圖 3- 13 隨時間變化之聲源(time-varying sounds)聲源 ISO 532-1 響度計算方法流程圖

(資料來源: ISO 532-1: 2017)

其計算方式則於得出各頻帶特徵響度(specific loudness)數值步驟之後，將各頻帶數值以ISO 532-1於附錄A.4中提供相關計算程式進行計算，以完成聽覺衰減效應，詳細之程式內容可參閱ISO 532-1附錄E。另與穩態聲源之計算方法不同處在於完成所有各頻帶之特徵響度總和後，為考慮人聽覺對脈衝聲響(Short impulse)之暫留效應(即如有聲音其時間長度為10 ms，則其由人聽覺感知到之大小相當於為時間長度為100 ms聲音之一半)，需採低通濾波器(low-pass filter)進行訊號處理(ISO 532-1於附錄A.4中提供相關計算程式進行計算詳細之內容可參考規範附錄)，此

處分別以係數0.47、0.53之2個低通濾波器進行訊號處理後，最後再進行整合加總，總和之響度值即為隨時間變化之聲源之響度值。

(四)計算程式

為利於使用者容易使用ISO 532-1於附錄中A提供計算程式原始碼，並於ISO網站上提供可執行之程式供使用者下載使用，其中包含穩態聲源(stationary sound)及隨時間變化之聲源(time-varying sounds)2類之計算程式。並提供數個範例音源供量測測試使用。

第三節 國內設備噪音源音源特性量測相關實驗室

目前國內有關設備噪音源及聲學性質相關量測已有少數實驗室與量測案例，主要應用產業以資訊電子業、及機械領域之車輛噪音等領域，調查國內取得TAF認證實驗室主要為財團法人車測中心等，目前相關之試驗內容如下表所示。

表 3- 1 國內聲音品質與響度及噪音源特性量測相關實驗室(具 TAF 認證)

項次	實驗室名稱	相關之試驗內容	試驗規範	備註
1	神雲科技股份有限公司-音質測試實驗室(公司主要生產，工作站、伺服器、工業用電腦、銷售點管理系統、個人電腦主機板)	資訊電腦及視聽電子電器電信儀器設備	A 001 響度級測試 ISO 532-1 (0.1 to 65) sone	TAF

2	財團法人車輛研究測試中心-機動車輛噪音檢測實驗室	車輛噪音(無響室-靜態及戶外-動態)	A 001 噪音 UN Regulation No. 117 Annex 3 (60 to 120) dB(A)	TAF
3	財團法人電子檢驗中心	A 001 聲壓測試、A 001 聲功率測試(工程級)、A 001 聲功率測試(精密級)	ISO 11201 ISO 9296 ISO 7779 ISO 3744 ISO 3745	TAF
4	貝爾聲學科技股份有限公司	A 001 聲功率測試、A 001 聲壓測試	ISO 7779 ISO 3744 ECMA 74 ISO 9296 ISO 9295	TAF
5	華碩電腦股份有限公司-環境暨可靠度實驗室	A 001 聲壓測試、A 001 聲功率測試	ISO 7779; ECMA 74、 ISO 7779; ISO 9296; ISO 3744	TAF

(資料來源: 本研究整理)

由於無響室可提供完整無干擾之聲場量測環境, 前述國內各實驗室之標準規範實驗內容主要仍以聲壓及聲功率量測為主, 但詳細試驗規範之差異則因產業之不同而使用ISO、ECMA、UN Regulation等不同種類之標準。

有關聲音響度量測部分目前國內實驗室1家取得ISO 532-1之TAF認證，為電腦資訊業，取得認證之實驗室尚不多。而ISO 532系列規範內容主要進行聲音響度之量測，涉及人之聽覺效應轉換，其量測方法中尚有ISO 532-2:2017 Acoustics — Methods for calculating loudness — Part 2: Moore-Glasberg method其他類型之方法，相關內容可進行後續研究方法分析比較。考量目前有關噪音源聲場特性及聲音品質量測於研究初始階段，另不同產業間工程領域上慣用之試驗規範不同，評估目前尚無將ISO標準CNS化之立即性需求。

第四章 實驗量測系統與環境驗證

本節將就本所音響實驗室現有儀器設施，進行相關規劃及所須增購之相關量測設備整合內容，與相關量測系統作介紹，分為量測環境與系統作說明介紹。

第一節 實驗量測設施環境

由前面之介紹可知，為進行噪音源相關聲音特性之量測與研究，必須於一可排除背景噪音干擾之實驗環境進行相關量測，於聲學實驗中常使用全無響室、或半無響室之量測環境。本所性能實驗中心音響實驗室已建置有A1全無響室及A2半無響室2間實驗艙可進行相關量測，故本研究規劃於相關實驗艙進行聲音響度實驗，以下針對量測環境做簡要說明

一、量測環境(全、半無響室)說明

本所建築音響實驗館是國內首座符合ISO標準之音響實驗室，館內共有九間實驗室，分別為6間餘響室以及3間全(半)無響室。音響館建置之主要目的乃為提昇國內建材音響性能的檢測技術，進行符合國內環境的防音建材研發。同時提出針對音響相關之建築法規或國家標準等規範之修訂建議，供相關主管機關研擬修訂規範之參考。

(一)A1全無響室

儀器：自由麥克風及腳架20組、20頻道Pulse分析儀1套、94dB麥克風校正器、標準音源1套、麥克風球型支架1組。

設備：內容積為1072m³(11.4m*9.7m*9.7m)、截止頻率為63Hz、操作頻寬為63~10kHz、減振系統共振頻率為2.1Hz、背景噪音等級為NR-5)，吸音楔長度1.3m，0.5t固定式天車一台。

服務內容：1.設備聲壓與聲功率位準測試

2.發音源方向性調查

3.隔音設備降噪效果

4.心理聲學研究

(二)A2半無響室

儀器：隨機麥克風1組、10頻道Pulse分析儀1套、94dB麥克風校正器、標準音源1套、五軸自動測試架1組。

設備：內容積為516m³(10m*8.6m*6.0m)、截止頻率為100Hz、操作頻寬為100~10kHz、減振系統共振頻率為2.3Hz、背景噪音等級為NR-5)，吸音楔長度0.7m，聲壓位準測試桌1座。

服務內容：1.設備聲壓與聲功率位準測試

2.發音源方向性調查

3.隔音設備降噪效果

4.心理聲學研究



圖 5- 1 本所音響實驗室 A1 全無響室

(資料來源: 本研究整理)

二、量測設備

由於本所性能實驗中心音響實驗室已購置有丹麥B&K之訊號分析儀、麥克風、聲音校正器等設備以供現有之聲壓法隔音、樓板衝擊音隔音實驗使用，相關

之設備亦可整合運用於聲音響度量測，以下就響度實驗所需使用之儀器設備做說明

(一) 多頻道分析儀：

分析儀與電腦連接作訊號處理，分析實驗室內麥克風量測所得之音壓位準進行傅立葉運算。該分析儀共有具有一組訊號產生器，可產生White與Pink訊號，以及8頻道之LEMO及BNC式接頭。

(二) 標準音源：

作為校正無響室環境修正因子所使用。比較由無響室或半無響室量測所得之標準音源聲功率位準值與儀器出廠校正報告中，由兩者數據之差值，修正實驗環境校正參數，以求得更精準之實驗數據。

(三) 麥克風：

實驗室現場收音之用，無響室採用自由場麥克風，餘響室採用隨機麥克風，尾端接前置放大器搭配成一組使用。所接收之訊號傳輸至分析儀，由電腦軟體分析麥克風接收之音譜訊號。

(四) 校正器：

B&K Type 4231，校正器規格符合IEC 942 Class 1以及ANSI S1.40-1984之規範，準確度在 $\pm 0.2\text{dB}$ ，可產生 $1\text{kHz}\pm 0.1\%$ 的頻率，以及94dB與114 dB之聲壓位準。

做為麥克風音壓感應校正使用，先開啟電腦校正軟體，然後將麥克風放置進中央圓孔中，並按下校正器電源，由電腦軟體自動將麥克風校正，將麥克風增益調整至最佳狀態。



圖 5- 2 本所音響實驗室多頻道頻譜分析儀

(資料來源: 本研究整理)

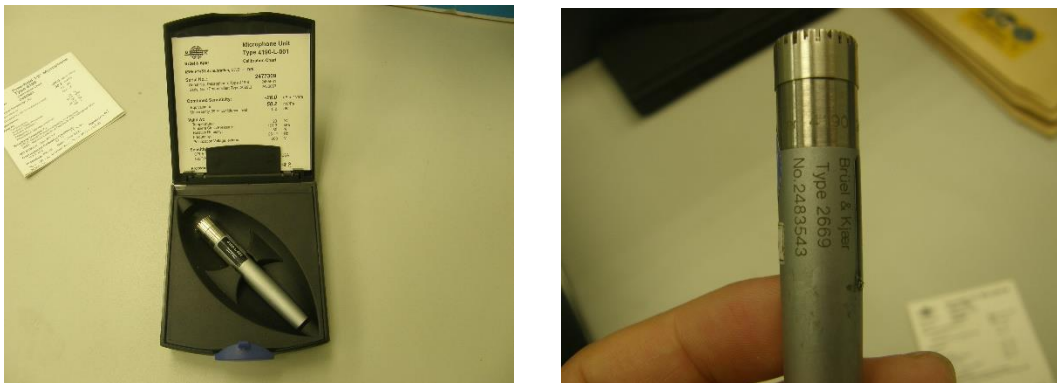


圖 5- 3 本所音響實驗室 B&K Type 4190 free field 自由音場麥克風

(資料來源: 本研究整理)

第二節 量測系統說明

由於本研究預計採ISO 532-1標準進行聲源之響度量測分析，為避免背景噪音之干擾目前規劃於音響實驗室全無響室內進行，相關實驗系統規劃說明如下

一、量測系統

本項實驗之量測階段過程可分為聲源設置、聲場量測、頻譜分析儀訊號處理及量測結果蒐集等，於聲源設置可於A1全無響室或A2半無響室內放置聲源，於A1無響室因地板亦為吸音面，故採用支架架設平台以供聲源置放。而於A2半無

響室則因地面為剛性平面，可供量測時置放聲源使用，如當量測聲源屬於重型或體積較大時，因A2具剛性面特性則需使用A2無響室進行量測為較方便。聲場量測階段時則須注意與聲源或量測對象保持一定距離，避免於聲源近場進行量測（因近場之聲場非穩定聲場，聲壓數值非正確數值），故需於遠場位置量測始可得正確之數值。本項實驗因於無響室內量測，須搭配專用之自由音場麥克風、實驗室B&K Pulse 9.0控制軟體進行(如下圖所示)、及頻譜分析儀進行訊號量測與接收分析，完成原始數據量測。

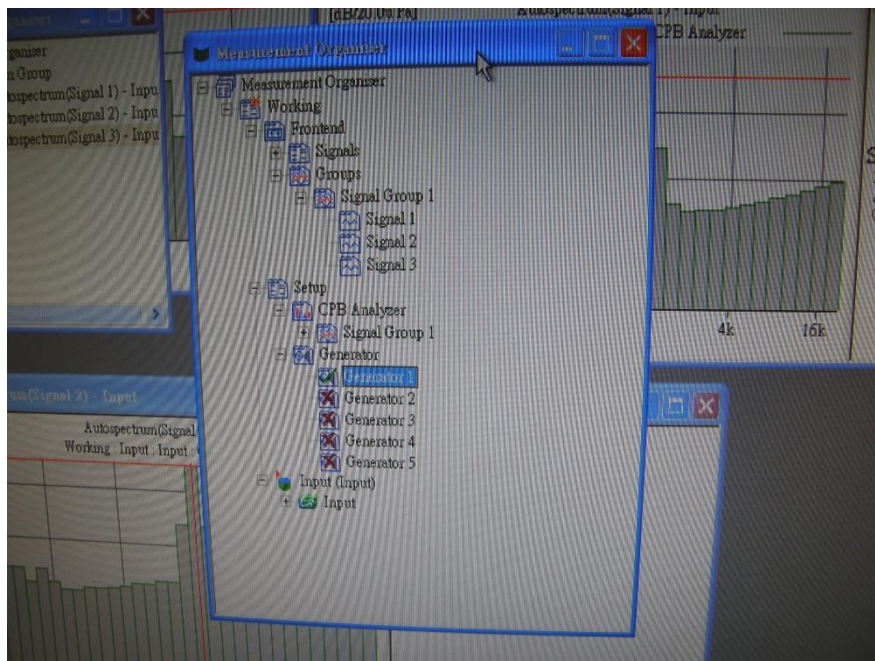


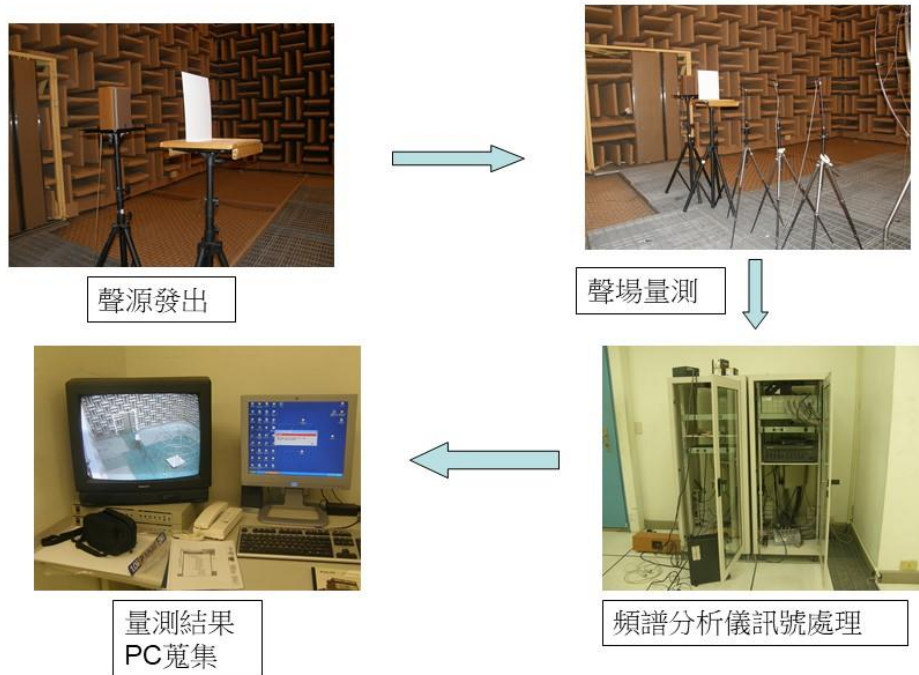
圖 5- 4 本所音響實驗室 B&K Pulse 9.0 控制軟體

(資料來源: 本研究整理)

量測完成後由PULSE軟體與頻譜分析儀進行快速傅立葉轉換(FFT)將量測所得時間域訊號轉換至頻率域，進而可得到聲源或噪音源之1/3倍頻頻率域量測結果。

二、量測流程

本項實驗量測部分約可分為4步驟，流程整理後如下圖所示



4

圖 5- 5 實驗量測流程圖

(資料來源: 本研究整理)

完成實驗量測獲得噪音源之1/3倍頻結果後，接續進行響度分析，響度分析依照 ISO 532-1於附錄中A提供計算程式原始碼，下載使用ISO網站上提供之程式，其中包含穩態聲源(stationary sound)及隨時間變化之聲源(time-varying sounds)2類之計算程式。此計算程式可提供圖形介面(GUI)以便利使用者使用，其畫面如下所示

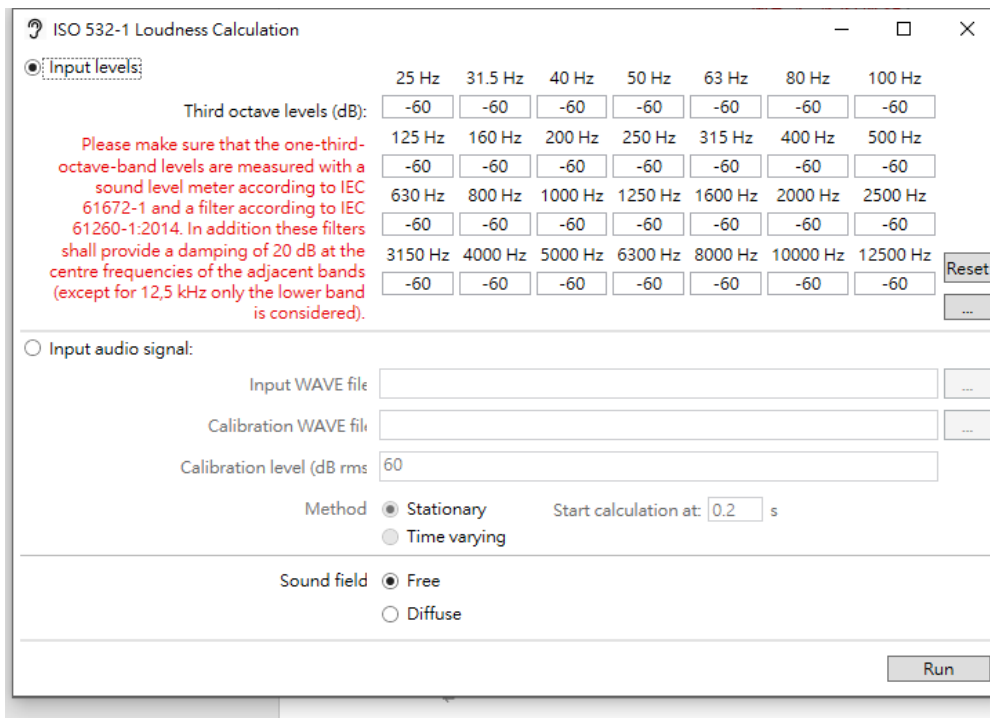


圖 5- 6 響度分析程式介面

(資料來源: ISO 532-1)

程式中需輸入前面所量測之1/3倍頻之各頻帶量測聲壓位準數值以供計算響度。本程式之噪音量測輸入方式另也可採用錄音WAVE檔，而WAVE檔需要包含由1個Channel之錄音結果，而程式可支援訊號取樣頻率為32 kHz、44.1 kHz、及48 kHz等取樣頻率；且須為原始正確之聲壓位準值而未經過正規化(normalized)之數值。對於穩態音源其訊號之時間長度 T 為 $0.0s \leq T \leq 1.0s$ ，以避免轉換為1/3倍頻資料之誤差產生

第三節 試驗環境聲場量測驗證

本研究量測系統設定於無響室之自由音場進行量測，為確保量測環境之空間聲場特性，故於量測前進行聲場聲場衰減量、偏差量及音源遠場之實驗驗證，簡述如下：

一、噪音源遠場距離與量測點位之關係

由於量測之設備聲源有可能體積或重量較大型，實務上須於A2半無響室進行相關量測，為因應量測需求，本研究設計一先期實驗進行聲場量測點位配置之檢討，

量測之聲源採用近似點聲源之無方向性12面體聲源(B&K 4296)，並聲源與地板間使用柔性軟墊來減少發聲時震動影響，採用不同距離與高度進行聲場量測，如下圖所示

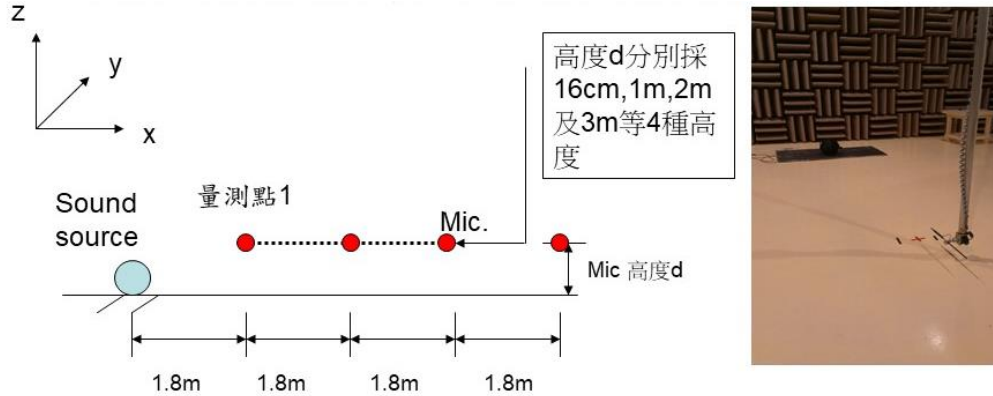


圖 5- 7 無響室聲場實驗配置驗證

(資料來源: 本研究整理)

經選擇不同聲源距離(點位1~4，距離聲源為1.8、3.6、5.4及7.2m)，及變化不同麥克風高度d量測後之聲場結果如下

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	mic16cm	mic1.16m	mic2m	mic3m		平均值(dB)		誤差量(dB)			
量測點1	85.75	78.5	75.15	78.9		79.575		6.175	-1.075	-4.425	-0.675
量測點2	78.5	76.4	72.1	74		75.25		3.25	1.15	-3.15	-1.25
量測點3	75.76	73.9	74.9	73		74.39		1.37	-0.49	0.51	-1.39
量測點4	71.54	72.9	73.3	72.3		72.51		-0.97	0.39	0.79	-0.21

由量測結果，可觀察出於點位3之後，若由平均值來看以量測點3(距離約15倍波長)以後於各不同z高度量測值接近,各別量測值與平均值間誤差值在1.5 dB範圍內,小於ISO 3382之聲源偏差量規定,故推斷此時聲源偏差已經消失而此距離可視為遠場。比較量測點3(距離約15倍波長)與量測點4間之各別量測值,相互間數值變化不大,實際行為與平面波沒有衰減機制之假設情況接近。相關結果可供後續音源響度量測點位之實驗設定參考

二、自由音場聲場偏差量檢討

依據 ISO 3382 之規定，自由聲場之偏差量如下所示

A.3.1 Source

The source shall be as omni-directional as possible. Table A.1 below lists the maximum acceptable deviations from omni-directionality when averaged over "gliding" 30° arcs in a free sound field. In case a turntable cannot be used, measurements per 5° should be performed followed by "gliding" averages, each covering six neighbour points. The reference value shall be determined from 360° energetic average in the measurement plane. The minimum distance between source and microphone shall be 1,5 m.

Table A.1 — Maximum allowed directional deviations of the source in decibels for excitation with octave bands of pink noise and measured in a free field

Frequency, Hz	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Maximum deviation, dB	± 1	± 1	± 1	± 3	± 5	± 6

圖 5- 8 ISO 3382 自由聲場(free field)偏差量規定

(資料來源:ISO 3382)

進行偏差量量測分析後，可發現在量測點3,4處之實測值與平均值誤差在1.5 dB內，小於ISO 3382之偏差量規定，故此量測距離可視為遠場且聲場近似平面波。依據上述之結果，可知量測位置選擇採距離聲源10倍波長以上(若空間尺寸上允許則採15倍尤佳)，可視聲源為平面波之聲場，相關結果可供後續實驗量測時依此準則進行量測點位選擇使用。

第五章 實驗結果與討論

本研究目前已完成建築設備噪音特性、分類、及相關實驗檢測方法之相關文獻、分析原理機制之彙整分析，並就國內音環境現況、相關與環境噪音相關法規及建築技術規則防音法規等做相關簡介。因響度等參數涉及人耳聽覺特性，相關之常用單位、評估係數等皆與慣用之系統參數不同，同時人耳聽覺有其獨特之聲學特性，故另就心理聲學參數與室內設備噪音量測方法做相關介紹。至於實驗量測部分則依ISO532-1響度檢測規範，針對其檢測方法內容、測試方法細節及緣由做相關規範內容說明，後續並完成ISO 532-1量測設備之系統規劃，建置完成量測方法平台，及進行自由聲場之聲場驗證實驗，以檢討評估自由聲場中之量測位置及點位與聲源之距離，以供後續量測運用參考。

第一節 室內設備量測實驗規劃

本研究主要目的為針對生活資訊或家電產品等室內設備噪音源進行聲場實測分析其方向性、頻譜特性等。並採ISO532-1方法進行心理聲學參數量測分析，以評估設備噪音對居住者感受之影響。目前居家常見之室內設備包含冷氣空調(分離式或窗型)、抽水馬達、排煙機、浴廁排風機及跑步機等體積大且不易移動之設備，及掃地機、除濕機、吹風機等體積小輕量之設備，考量室內設備或家電產品之體積特性，本研究規劃不同之量測方式如下

一、不易移動之大型建築室內設備

本項包含冷氣空調(分離式或窗型)、抽水馬達、排煙機、浴廁排風機及跑步機等，因應其不可移動之特性，響度部分採用於現場進行噪音錄製實際音源後，由錄製之WAV檔案搭配進ISO 532-1之GUI程式進行聲源響度分析；另外噪音源頻譜特性部分則利用此錄製之WAV檔案，於無響室內採喇叭收音重現後，搭配B&K Type 4190 free field自由音場麥克風進行音源頻譜特性量測分析。

二、小型輕量可移動室內設備

小型輕量可移動之設備如掃地機、除濕機、吹風機等體積小輕量之設備，因其體積小型易於移動，可直接設置於音響實驗室進行聲場量測，故響度與音源部分皆可於無響室內量測。

第二節 室內設備量測實驗結果

本節說明室內設備噪音源之頻譜特性與響度之實驗量測結果，分析方式採用進行用於現場進行噪音錄製實際音源後，由錄製之WAV檔案搭配進ISO 532-1之GUI程式進行聲源響度分析，並噪音源頻譜特性部分則利用此錄製之WAV檔案，於無響室內採喇叭收音重現後，搭配B&K Type 4190 free field自由音場麥克風進行音源頻譜特性量測分析。本次實驗之大型室內設備規格如表5-1所示

表 5- 1 室內設備分析實驗試件規格(大型建築室內設備)

項次	設備	規格
1	冷氣空調-分離式	2.2 kW(0.9 - 2.9) Kw(冷房能力)。室內機噪音值(冷房能力高)46 dB(A)
2	冷氣空調-窗型	2.3kw
3	抽水馬達	1/2 Hp 流量70l/min
4	廚房排煙機	350 w(高速)
5	浴廁暖風乾燥機	1.4kw；循環風量:160 m3/h
6	洗衣機	16kg；輸入功率410w

(資料來源: 本研究整理)

一、不易移動之大型建築室內設備

(一) 冷氣空調-分離式

此實驗分析對象為安裝於牆上之分離式空調室內機(如圖5-9)，於開啟空調待

運轉穩定後以B&K Type 2250手持式噪音分析儀進行音源錄音，並依照實驗程序進行音源響度及音源頻譜特性分析。經分析後分離式冷氣空調室內機響度值 $N=5.25$ sone，轉換後之響度位準值為 $L_N=63.9$ phone。而將該音源於無響室內播放後進行量測及頻譜分析，其頻率特徵如圖5-9所示

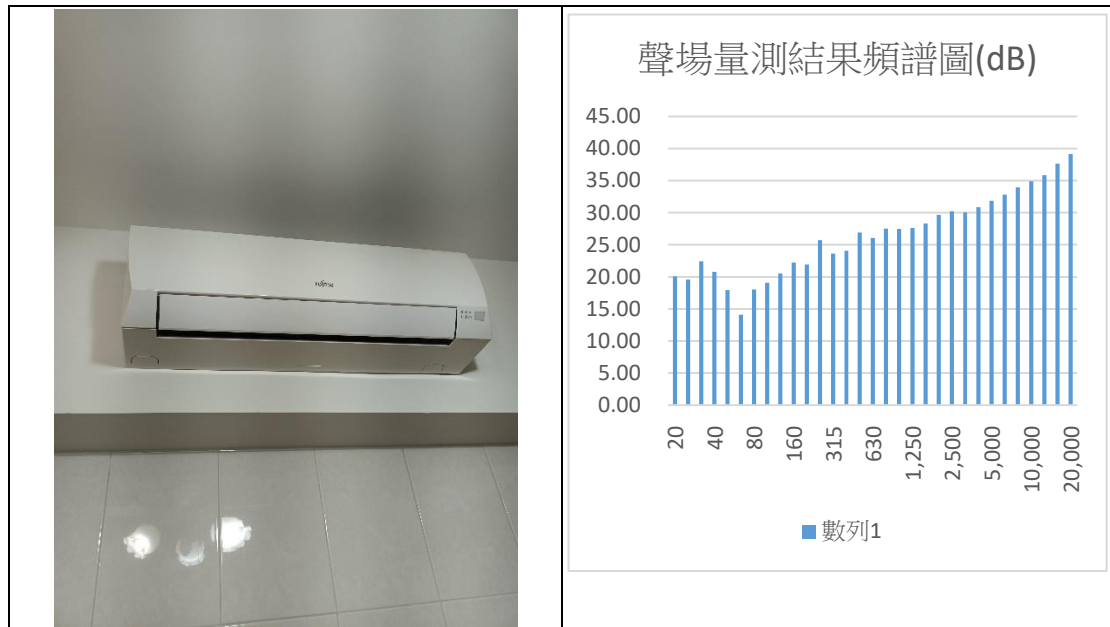


圖 5- 9 分離式空調及其聲音頻譜量測結果

(資料來源: 本研究整理)

(二) 冷氣空調- 窗型

實驗分析對象為安裝於牆上之窗型空調機(如圖5-10)，於開啟空調待運轉穩定後以B&K Type 2250手持式噪音分析儀進行音源錄音，並依照實驗程序進行音源響度及音源頻譜特性分析。經分析後分離式冷氣空調室內機響度值 $N=3.78$ sone，轉換後之響度位準值為 $L_N=59.2$ phone。而將該音源於無響室內播放後進行量測及頻譜分析，其頻率特徵如圖所示

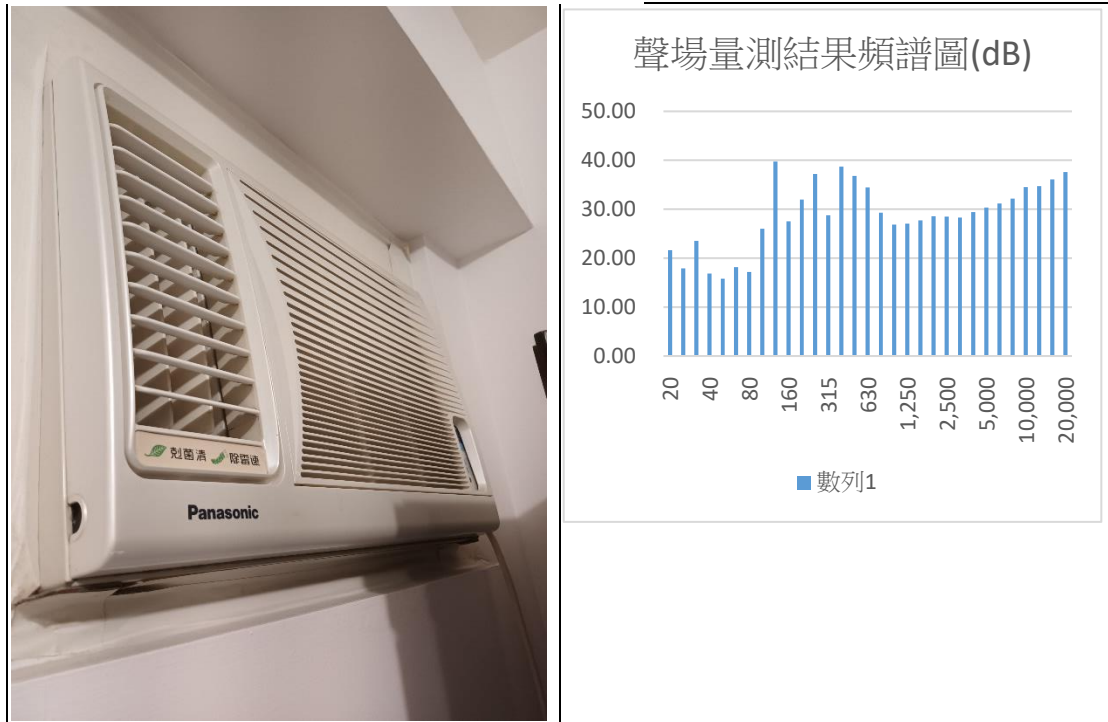


圖 5- 10 窗型空調及其聲音頻譜量測結果

(資料來源: 本研究整理)

(三) 抽水馬達

實驗分析對象為抽水馬達(如圖5-11)，於馬達抽水運轉時以B&K Type 2250手持式噪音分析儀進行音源錄音，並依照實驗程序進行音源響度及音源頻譜特性分析。經分析後抽水馬達響度值 $N=4.6$ sone，轉換後之響度位準值為 $L_N=62$ phone。而將此音源於無響室內播放後進行量測及頻譜分析，其頻率特徵如圖所示

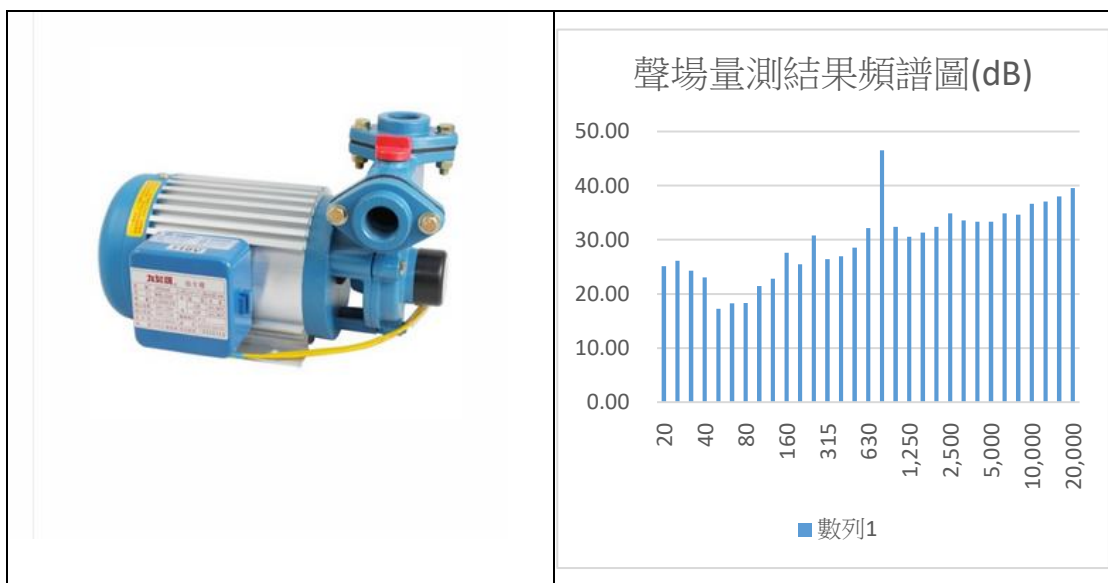


圖 5- 11 抽水馬達及其聲音頻譜量測結果

(資料來源: <https://www.evergushpump.com.tw>及本研究整理)

(四) 廚房排煙機

實驗分析對象為廚房排煙機(如圖5-12)，於廚房排煙機運轉時以B&K Type 2250手持式噪音分析儀進行音源錄音，並依照實驗程序進行音源響度及音源頻譜特性分析。經分析後廚房排煙機響度值 $N=22.89$ sone，轉換後之響度位準值為 $L_N=85.2$ phone。而將此音源於無響室內播放後進行量測及頻譜分析，其頻率特徵如圖所示

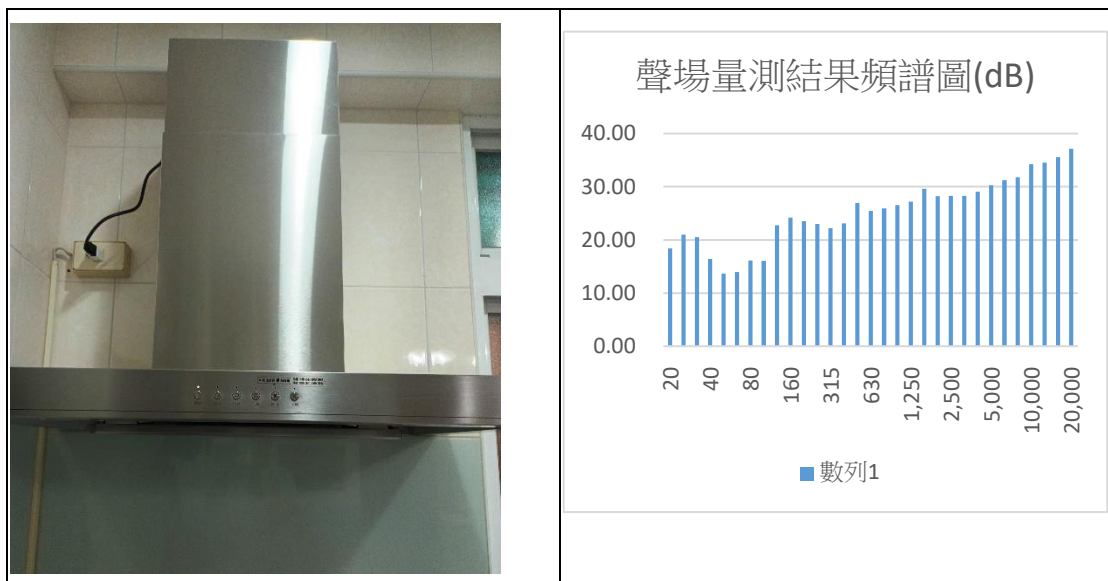


圖 5- 12 廚房排煙機及其聲音頻譜量測結果

(資料來源: 本研究整理)

(五) 浴廁暖風乾燥機

實驗分析對象為浴廁暖風乾燥機(如圖5-13)，於浴廁暖風乾燥機運轉時以B&K Type 2250手持式噪音分析儀進行音源錄音，並依照實驗程序進行音源響度及音源頻譜特性分析。經分析後浴廁暖風乾燥機響度值 $N=5.69$ sone，轉換後之響度位準值為 $L_N=65.1$ phone(假設量測環境為Diffuse field)。而將此音源於無響室內播放後進行量測及頻譜分析，其頻率特徵如圖所示

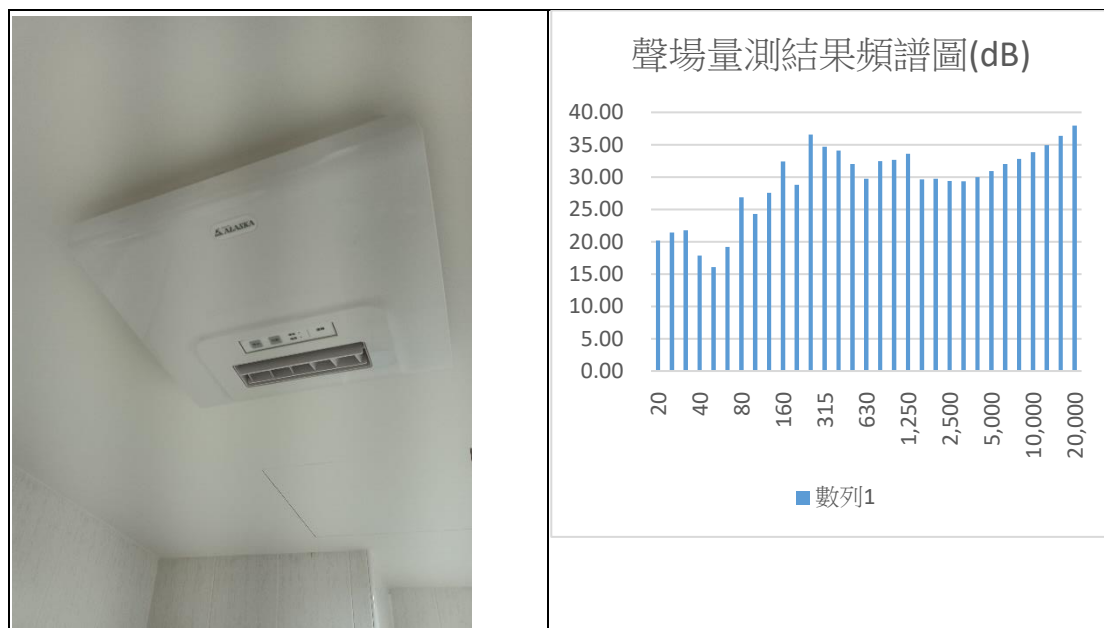


圖 5- 13 浴廁暖風乾燥機及其聲音頻譜量測結果

(資料來源: 本研究整理)

(六)洗衣機-脫水行程

實驗分析對象為洗衣機(如圖5-14)，於洗衣機運轉(於脫水運作行程)時以B&K Type 2250手持式噪音分析儀進行音源錄音，並依照實驗程序進行音源響度及音源頻譜特性分析。經分析後洗衣機-脫水行程響度值 $N=3.98$ sone，轉換後之響度位準值為 $L_N=59.9$ phone。而將此音源於無響室內播放後進行量測及頻譜分析，其頻率特徵如圖所示



圖 5- 14 洗衣機-脫水行程及其聲音頻譜量測結果

(資料來源: 本研究整理)

(七)洗衣機-洗衣行程

實驗分析對象為洗衣機(如圖5-15)，於洗衣機運轉(於洗衣運作行程)時以B&K Type 2250手持式噪音分析儀進行音源錄音，並依照實驗程序進行音源響度及音源頻譜特性分析。經分析後洗衣機-洗衣行程響度值 $N=7.51$ sone，轉換後之響度位準值為 $L_N=69.1$ phone。而將此音源於無響室內播放後進行量測及頻譜分析，其頻率特徵如圖所示

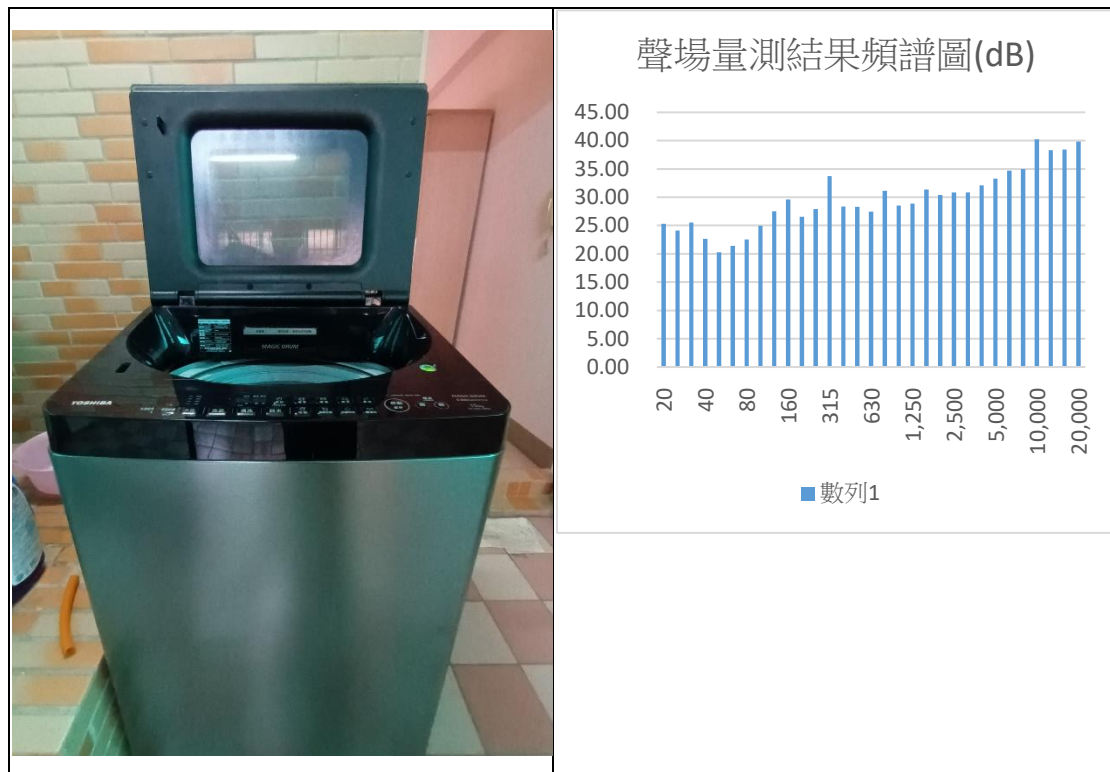


圖 5- 15 洗衣機-洗衣行程及其聲音頻譜量測結果

(資料來源: 本研究整理)

二、小型輕量可移動室內設備

(一) 空氣清淨機

實驗分析對象為空氣清淨機(如圖5-16)，於空氣清淨機運轉時於本所音響實驗室 A2半無響室依照實驗程序進行音源響度及音源頻譜特性分析。經分析後空氣清淨機響度值 $N=6.01$ sone，轉換後之響度位準值為 $L_N=65.9$ phone。而將此音源於無響室內播放後進行量測及頻譜分析，其頻率特徵如圖所示

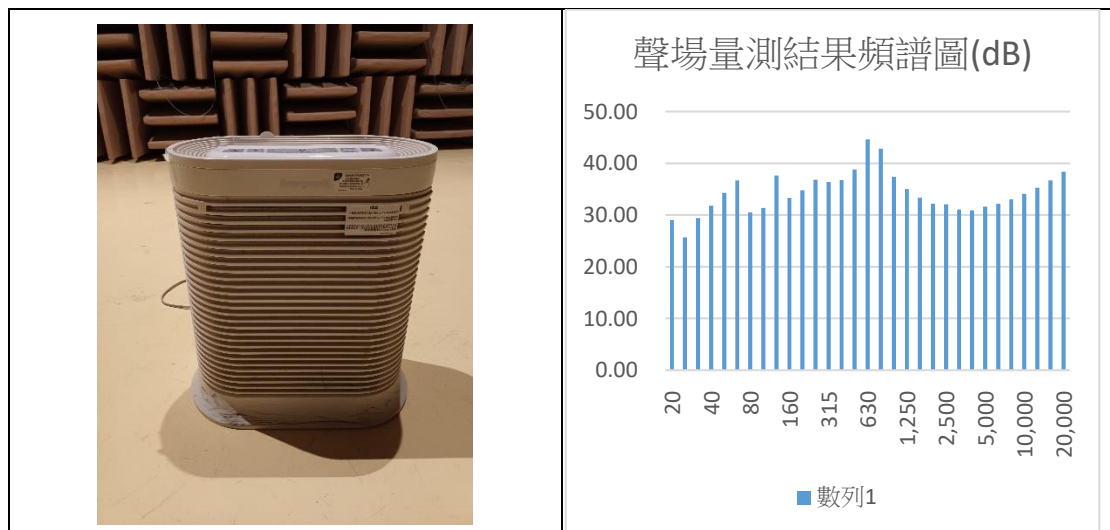


圖 5- 16 空氣清淨機及其聲音頻譜量測結果

(資料來源: 本研究整理)

(二) 除濕機

實驗分析對象為除濕機(如圖5-17)，於除濕機運轉時本所音響實驗室A2半無響室依照實驗程序進行音源響度及音源頻譜特性分析，並依照實驗程序進行音源響度及音源頻譜特性分析。經分析後除濕機響度值 $N=6.18$ sone，轉換後之響度位準值為 $L_N=66.3$ phone。而將此音源於無響室內播放後進行量測及頻譜分析，其頻率特徵如圖所示

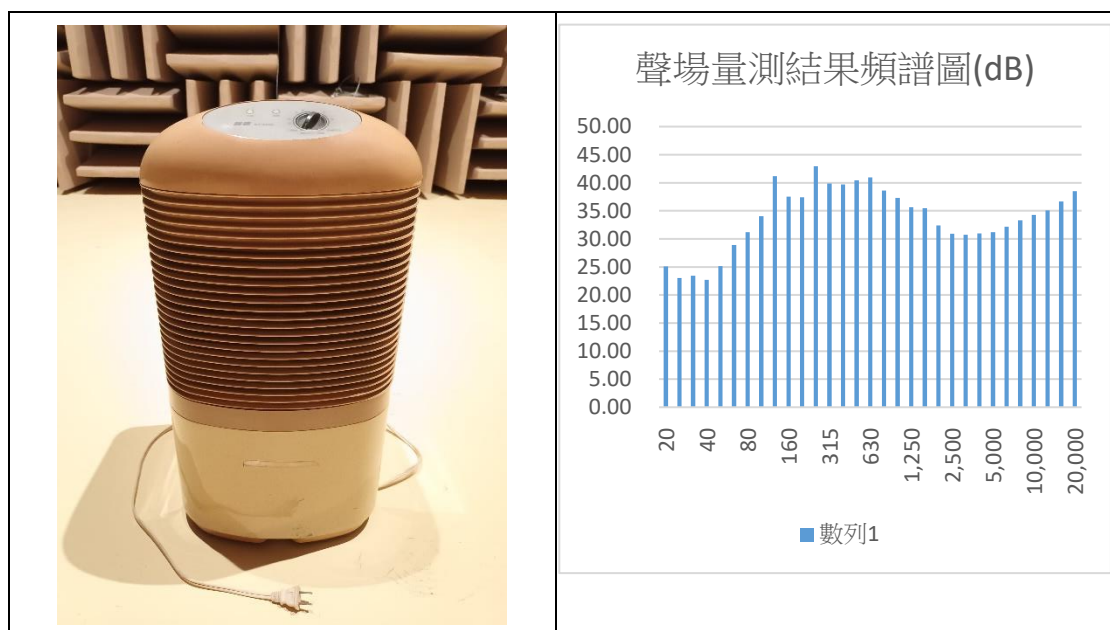


圖 5- 17 除濕機及其聲音頻譜量測結果

(資料來源: 本研究整理)

三、生活相關噪音

(一) 管路排水噪音

實驗分析對象為浴廁管路排水情況(如圖5-18)，於排水管路排水時以B&K Type 2250手持式噪音分析儀於管路排水口進行音源錄音，並依照實驗程序進行音源響度及音源頻譜特性分析。經分析後管路排水噪音響度值 $N=10.44$ sone，轉換後之響度位準值為 $L_N=73.8$ phone。而將此音源於無響室內播放後進行量測及頻譜分析，其頻率特徵如圖所示



圖 5- 18 管路排水噪音及其聲音頻譜量測結果
(資料來源: 本研究整理)

將上述之量測分析結果最後整理如下表

表 5- 2 各類室內設備噪音源之響度分析結果

項次	音源類型	響度值(sones)	響度位準(phone)	備註
1	冷氣空調-分離式	5.25	63.9	假設周邊環境為 Diffuse field
2	冷氣空調-窗型	3.78	59.2	假設周邊環境為 Free field
3	抽水馬達	4.6	62	假設周邊環境為 Free field
4	廚房排煙機	22.89	85.2	假設周邊環境為 Free field
5	浴廁排風機	5.69	65.1	假設周邊環境

				為Free field
6	洗衣機-脫水行程	3.98	59.9	假設周邊環境 為Free field
7	洗衣機-洗衣行程	7.51	69.1	假設周邊環境 為Free field
8	空氣清淨機	6.01	65.9	周邊環境為 Free field
9	除濕機	6.18	66.3	周邊環境為 Free field
10	生活噪音-管路排水音	10.44	73.8	周邊環境為 Free field

(資料來源:本研究整理)

(二) 其他生活噪音源之響度結果

此部分之聲源量測資料係採用ISO 532-1之Annex B.5所提供之音源檔案，以ISO 532-1附錄之計算程式進行響度計算，其聲源多樣化包含鐵鎚衝擊、搖動硬幣及電動打字機等生活行為所製造之各類聲響，其計算後之響度N及響度位準 L_N 數值如表5-3所示

表 5- 3 各類生活行為噪音源之響度值

項次	音源類型	響度值(sones)	響 度 位 準 (phone)	備註
1	汽車室內噪音值 (時速40 km/hr)	8.14	70.3	假設周邊環 境為 Diffuse field
2	機槍6連發之槍 聲	7.82	69.7	假設周邊環境 為Free field

3	鐵鎚衝擊之響聲	8.13	70.2	假設周邊環境為Free field
4	門扇慢速開閉產生之聲音	9.33	72.2	假設周邊環境為Free field
5	搖動硬幣聲響	6.10	66.1	假設周邊環境為Free field
6	工廠加工機械自動沖錘運作聲音	8.13	70.2	假設周邊環境為Free field
7	電動打字機	9.52	72.5	假設周邊環境為Free field
8	啄木鳥敲打樹木聲響	7.52	69.1	假設周邊環境為Free field

(資料來源: ISO 532-1、本研究整理)

第三節 室內設備噪音對建築室內空間聲場之整體影響分析

目前本研究已完成量測系統規劃、實驗量測系統規劃及相關實驗量測原理研究、並完成自由聲場之試驗環境聲場量測驗證與建立實驗操作程序。進行各項建築設備噪音特性實測與響度計算分析等工作。由於室內設備之噪音源對室內空間之聲場具有相當之影響，接下來本研究續採理論分析方式結合以往實測之室內設備噪音源數值結果，進行室內設備噪音源對建築室內聲場之影響分析。

一、建築室內空間聲場理論機制

建築空間之室內聲場可分為直接音聲場 (Direct sound field) 及迴響 (或反射音) 聲場 (Reverberant sound field) 2 大類型，直接音聲場即為聲音係由聲源發出未經過反射之聲音能量場，迴響 (或反射音) 聲場則為經過反射之聲波所形成之能量場，而整體室內空間聲場能量即為直接音聲場+迴響 (或反射音)

聲場之總和。假設聲源為點聲源，使用波動方程式可得到直接音聲場之聲場能量密度 D_D 為下式所示

$$D_D = \frac{I_D}{c} = \frac{QW}{4\pi r^2 c} \quad (5-1)$$

上式中 Q 為聲源之方向性因子， W 為聲功率， r 為空間位置與聲源距離， c 為介質之聲速。另外於迴響（或反射音）聲場部分，利用空間中輸入聲音能量等於該空間之邊界吸收量方式，若室內空間之平均吸音係數為 $\bar{\alpha}$ ，內部之總表面積為 S_0 則可得到迴響（或反射音）聲場之能量密度

$$D_R = \frac{4W(1-\bar{\alpha})}{c\bar{\alpha}S_0} = \frac{4W}{cR} \quad (5-2)$$

式中參數 $R = \frac{S_0}{1-\bar{\alpha}}$ 為室常數（Room constant）其與室內空間之面積及吸音係數有關。故由前面之結果利用室內空間之聲音能量平衡狀態時，室內聲場能量密度關係式為

$$D = D_R + D_D = \frac{4W}{cR} + \frac{QW}{4\pi r^2 c} = \frac{W}{c} \left(\frac{4}{R} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right) = \frac{p^2}{\rho_0 c^2} \quad (5-3)$$

由上式，可得到室內空間聲場之穩態(steady-state)聲壓方程式為

$$p^2 = \rho_0 c W \left(\frac{4}{R} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right) \quad (5-4)$$

若引入聲壓及聲功率之參考量 p_{ref} 、 W_{ref} ，可將上式改寫為以聲壓位準之表示方式為

$$L_p = L_W + 10 \log_{10} \left(\frac{4}{R} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right) + 0.1 \quad (5-5)$$

二、實際之案例分析

接下來本研究採用上述之室內聲場理論，並運用本研究實驗量測之室內設備相關聲源結果，進行室內設備噪音源對空間聲場之影響分析，為簡化分析本研究假設一室內房間空間尺寸為 6.2 m*6 m*3.1 m，如下圖所示。並假設室內空間中共有 6 人。以下以此情況來計算室內穩態之聲場數值(f=500 Hz)

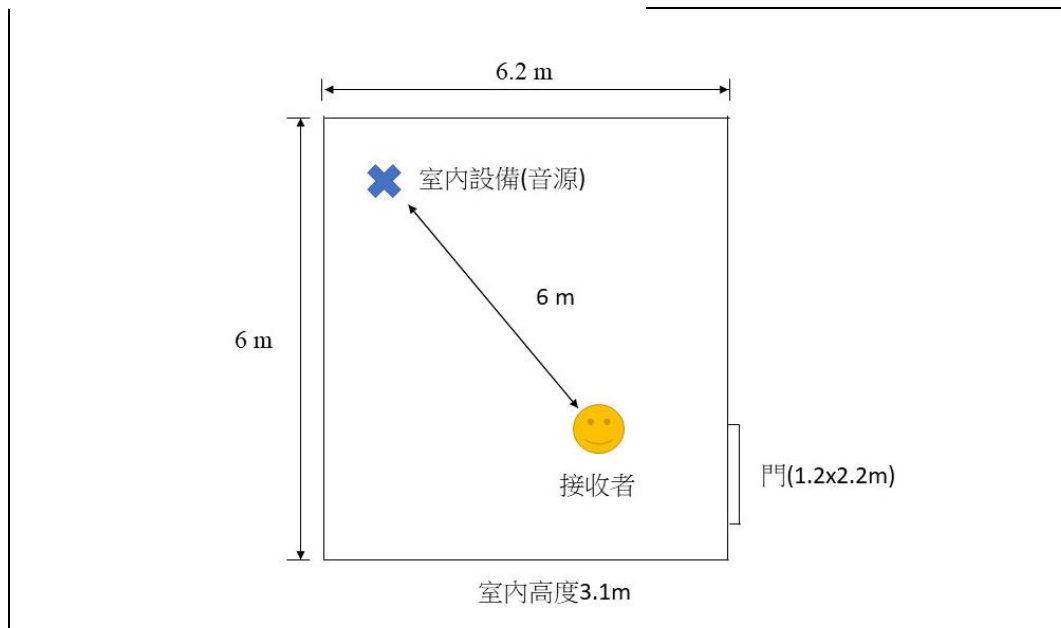


圖 5- 19 室內聲場模擬案例之室內空間配置示意圖

(資料來源: 本研究整理)

(1)上面空間中四周之牆面設定為普通之RC牆面表面以牆面補土粉光處理，吸音係數為 $\alpha_1=0.06$ ，則此部分之面積 s_1 計算後為 73 m^2

(2)門扇

門扇部分吸音係數為 $\alpha_2=0.05$ ，門部分之面積 s_2 計算後為 $=1.2*2.2=2.64 \text{ m}^2$

(3)天花板

天花板假設為佈設一般常用之吸音天花板，吸音係數為 $\alpha_3=0.55$ ，天花板之面積 s_3 計算後為 $=6.2*6=37.2 \text{ m}^2$

(4)地板

地板假設為於原混凝土硬質樓板上披覆地毯類之材料，吸音係數為 $\alpha_4=0.21$ ，地板之面積 s_4 計算後為 $=6.2*6=37.2 \text{ m}^2$

(5)室內人員

室內人員為6人，假設每個人面積為 0.44m^2 ，則人員之面積為 2.64 m^2

經計算後此室內空間之總面積為 150.04 m^2 ，另外採用各項面積依照比例平均計

算，可得到平均之吸音係數為 $\bar{\alpha}=0.2361$ 。另由 $R = \frac{\bar{\alpha} S_0}{1 - \bar{\alpha}}$ 可計算出室常數為

$R = \frac{150.04 * 0.2361}{(1 - 0.2361)} = 46.372 \text{ m}^2$ ，另在頻率 $f=500 \text{ Hz}$ 時該聲源之聲功率 $L_W = 60 \text{ dB}$ ，將

以上各參數代入式(5-5)中，可得到在頻率 $f=500$ Hz時，因該聲源所引致之聲場之

$$\text{聲壓位準數值為 } L_p = 60 + 10 \log_{10} \left[\frac{4}{46.372} + \frac{4}{(4\pi)(6)^2} \right] + 0.1 = 49.9 \text{ dB}。$$

二、室內設備對室內聲場之影響評估

接下來本研究分別採用(1)除濕機、(2)吹風機、(3)吸塵器、(4)電腦主機等多項室內設備，依據前述之室內空間環境設定及理論模式，進行各項室內設備之量化影響評估計算，以了解實際室內設備對居住空間之聲場影響。

(一) 除濕機

本研究引用本所106年「無響室聲場性能驗證與應用之研究」之除濕機聲源於無響室聲功率量測頻譜資料為基礎，本項設備之額定功率為500 W，於本所性能實驗中心無響室聲功率依照ISO 3745量測結果為 $L_W=65.5$ dB，量測所得之各頻帶頻譜聲功率數值如下

表 5- 4 除濕機設備聲功率量測頻譜數值

頻率(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_W (dB)	49.5	61.9	51.8	45.8	48	47.2

(資料來源: 無響室聲場性能驗證與應用之研究)

將上列量測聲源數值代入理論計算後可得到於該室內空間中，因除濕機聲源所引致之聲場各頻帶之聲壓位準數值如下表

表 5- 5 除濕機對室內空間聲場影響計算後聲功率頻譜數值

頻率(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_p (dB)	39.38	51.78	41.68	35.68	37.88	37.08

(資料來源: 本研究整理)

經由將各頻帶之數值加總後，可得到除濕機聲源對室內聲場之影響(接收者位置所收到之聲壓位準)為 $L_{PT}=52.76$ dB。

(二) 吸塵器

吸塵器設備之額定功率為1000 W，於本所性能實驗中心無響室聲功率依照ISO 3745量測結果為 $L_W=95.3$ dB，量測所得之各頻帶頻譜聲功率數值如下

表 5- 6 吸塵器設備聲功率量測頻譜數值

頻率(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_W (dB)	65.9	74.8	78.8	81.3	82.8	81.8

(資料來源: 無響室聲場性能驗證與應用之研究)

將上列量測聲源數值代入理論計算後可得到於該室內空間中, 因吸塵器聲源所引致之聲場各頻帶之聲壓位準數值如下表

表 5- 7 吸塵器對室內空間聲場影響計算後聲功率頻譜數值

頻率(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_P (dB)	55.78	64.68	68.68	71.18	72.68	71.68

(資料來源: 本研究整理)

經由將各頻帶之數值加總後, 可得到吸塵器聲源對室內聲場之影響(接收者位置所收到之聲壓位準)為 $L_{PT}=77.56$ dB。

(三)吹風機

吹風機設備之額定功率為750 W, 於本所性能實驗中心無響室聲功率依照ISO 3745量測結果為 $L_W=80.3$ dB, 量測所得之各頻帶頻譜聲功率數值如下

表 5- 8 吹風機設備聲功率量測頻譜數值

頻率(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_W (dB)	48	52.2	61.6	69.3	73.6	65

(資料來源: 無響室聲場性能驗證與應用之研究)

將上列量測聲源數值代入理論計算後可得到於該室內空間中, 因吹風機聲源所引致之聲場各頻帶之聲壓位準數值如下表

表 5- 9 吹風機對室內空間聲場影響計算後聲功率頻譜數值

頻率(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_P (dB)	37.88	42.08	51.48	59.18	63.48	54.88

(資料來源: 本研究整理)

經由將各頻帶之數值加總後, 可得到吹風機聲源對室內聲場之影響(接收者位置所收到之聲壓位準)為 $L_{PT}=65.47$ dB。

(四)電腦主機

電腦主機設備之額定功率為650 W(包含3組風扇)，於本所性能實驗中心無響室聲功率依照ISO 3745量測結果為 $L_W=50.2$ dB，量測所得之各頻帶頻譜聲功率數值如下

表 5- 10 電腦主機設備聲功率量測頻譜數值

頻率(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_W (dB)	47	41.3	33.3	23	22.5	17.5

(資料來源: 無響室聲場性能驗證與應用之研究)

將上列量測聲源數值代入理論計算後可得到於該室內空間中，因電腦主機聲源所引致之聲場各頻帶之聲壓位準數值如下表

表 5- 11 電腦主機機對室內空間聲場影響計算後聲功率頻譜數值

頻率(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_p (dB)	36.88	31.18	23.18	12.88	12.38	7.38

(資料來源: 本研究整理)

經由將各頻帶之數值加總後，可得到電腦主機聲源對室內聲場之影響(接收者位置所收到之聲壓位準)為 $L_{PT}=38.09$ dB。

第六章 結論與建議

第一節 結論

本研究完成量測系統規劃、實驗量測系統規劃及相關實驗量測原理研究、並完成試驗環境之自由聲場量測驗證等項目。以前項成果為基礎，分別進行冷氣空調、抽水馬達、廚房排煙機、浴廁排風機、洗衣機等多項建築設備噪音特性實測，除量測其設備噪音之頻譜特性外，並採ISO532-1方法進行心理聲學參數響度計算分析等工作，以評估設備噪音對居住者感受之影響，相關成果可供室內設備噪音對建築室內空間聲場之影響研究應用，並擴增本所建築音環境實驗檢測技術及設施能量，提升國內音環境品質。

由於室內設備之噪音源對室內空間之聲場具有相當之影響，接下來本研究續結合實測之室內設備噪音源數值結果採理論分析方式進行除濕機、吹風機、吸塵器、電腦主機等多項室內設備音源對室內聲場之影響分析，依據前述之室內空間環境設定及理論模式，進行各項室內設備之量化影響評估計算，採理論模式分析不同室內設備噪音對建築室內空間聲場之整體影響，以供實務參考應用。

第二節 建議

建議一

(國內建材聲學實驗數據累積與實驗研究)：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

內政部於105年6月號令修正建築設計施工編防音條文。建築防音規定之隔音基準採「規格式」及「性能式」並行方式。由於前述建築防音規定之施行，目前國內建築業界對於建築樓板衝擊音隔音構造、建築空氣音隔音構造之設計研發經驗日漸成熟精進，另因法規有關樓板衝擊音列舉式構造中具相關橡膠緩衝材動態剛性性能規定，故近期國內產業界對於橡膠緩衝材之隔音技術亦投入研究，此優質正

向循環可提升國內建築音環境品質。但由室內環境聲場理論與機制可知，除了隔音材料外，室內材料吸音特性及噪音聲源特性等2大要素，亦對室內聲場具有重要之影響，本所建築音響實驗室具完整之建築聲學相關研究設施，故未來可規劃持續進行國內相關建材之聲學特性實驗研究(包含空氣音隔音、吸音、衝擊音隔音性能等) 累積本土之建材實驗性能數據，及進行國內建築設備噪音源特性研究，由音源特性、傳播過程至接收端防制等流程，建立完整研究基礎，相關成果未來可供國內業界應用與提升產業界產品研發參考，提升國內建築樓板衝擊音防治技術。

建議二

(國內建築室內環境聲場組合性能研究)：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

國內都市具大量集合住宅之居住特性，住宅密集都市中家戶比鄰而居情況相當普遍，與國外地廣人稀之居住環境不盡相同，室內音環境與建築防治與研究相當重要且具實務應用性。因應國內建築技術規則防音規定施行，國內建築產業界對於建築隔音與防制技術需求亦逐年擴增，除建築材料特性之外，未來可擴展於室內聲學聲場之研究，採運用現有之國內建築材料實測性能資料，納入國內實際之室內居住環境邊界條件進行室內聲場理論分析模擬，以評估建築設備噪音源對室內音環境之影響。

附錄一

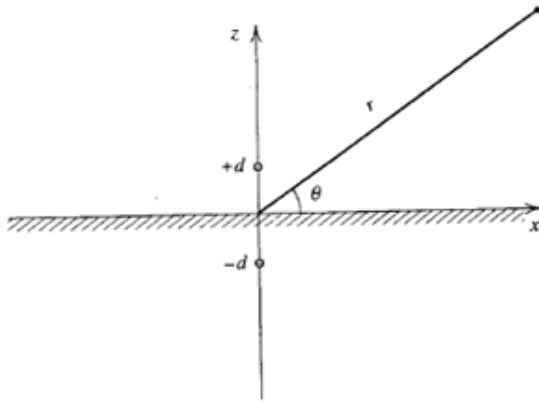
有關自由聲場聲源特性說明

1. 聲源配置方式對聲場分佈之影響:

當聲源置放於剛性平面時，此聲源與剛性邊界將會形成image聲源(虛擬聲源)，且所造成之聲場理論近似公式為

$$p(r, \theta, t) \approx \frac{2A}{r} \cos(kd \sin(\theta)) e^{j(\omega t - kr)}$$

其聲場分布與聲源波數 k ，聲源與剛性邊界(rigid boundary) 距離 d 有關(空間座標如下圖所示)



(資料來源: L. E. Kinsler, "Fundamentals of Acoustics", John Wiley & Sons, Inc)

2. 不同之 kd 值之聲場之分佈情形:

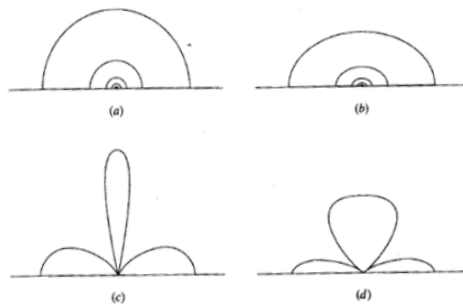
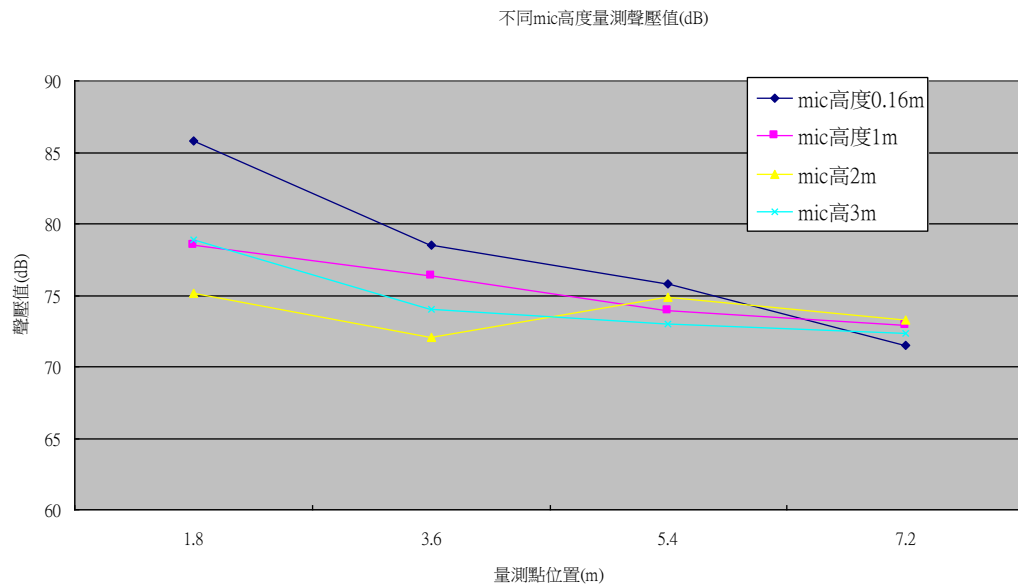


Figure 6.8.2 Contours of equal pressure amplitude for a source of spherical waves with wave number k at a distance d from a planar rigid surface. (a) $kd = 0.40$. (b) $kd = 0.80$. (c) $kd = 1.60$. (d) $kd = 3.20$.

(資料來源: L. E. Kinsler, "Fundamentals of Acoustics", John Wiley & Sons, Inc)

3. 噪音源遠場距離與量測點位之關係:

不同之麥克風高度，聲場量測結果如下(分別採不同量測高度、及與聲源距離為變數進行量測)



(1)若由平均值來看以量測點3(距離約15倍波長)以後於各不同z高度量測值接近,各別量測值與平均值間誤差值在1.5 dB範圍內,小於ISO 3382之聲源偏差量規定,故推斷此時聲源偏差已經消失而此距離可視為遠場。

(2)在最低點位置上(mic高16cm)之量測結果來看,在量測點3,4處之實測值與平均值誤差在1.5 dB內,小於ISO 3382之偏差量規定,故此量測距離可視為遠場且聲場近似平面波聲場。

附錄二

期中審查意見回覆與辦理情形說明

項次	審查委員或出席代表	期中審查意見	意見回覆
1	江教授哲銘	報告書 P.17 之室內設備噪音源傳播測試，主要以聲強法 (Sound Intensity) 以排除其他次要噪音雜訊。因此設備與結構體接觸之固體傳音雜訊相對可予忽略。	感謝委員意見，已修正單位
		報告書 P.20 有關室內設備噪音源類型檢討內容，建議考量納入給水(栓)、排水(管)噪音之可行性。	感謝委員意見，已做補充修正如報告 P.25
		報告 P.43 第四章標題建議修正為「實驗室量測系統與環境驗證」。	感謝委員意見，已做相關修正。
2	林教授芳銘	本研究完成國內外相關文獻蒐集分析並依據 ISO 532-1 標準建立試驗方法及程序，成果值得肯定。	感謝委員肯定。
		建議進行 A1 無響室與 A2 半無響室設備噪音試驗之量測環境條件及適用性探討。	感謝委員意見，已做相關補充
		後續設備噪音量測分析案例，建議考量採用具代表性之常用試驗設備。	感謝委員意見，已參考意見辦理
3	溫經理俊清	期中報告已針對國內音環境現況做相關說明及建築設備噪音特性(分類)、檢測方法之蒐集，內容充實完整，值得肯定。後續建議針對設備噪音特性實驗量測分析及理論模式聲場分析驗證，以作為	感謝委員肯定，相關內容詳第五章。

		提升國內音環境品質之參考。	
4	陳副教授振誠	本研究以 ISO 532-1 標準及量測方法探討室內設備噪音對室內空間音環境及人員之影響，甚為重要。特別是因疫情影響而改異地與遠距辦公，相關研究皆有指出其室內環境噪音問題成為重要且長時間影響健康舒適之課題。	感謝委員肯定
		研究以室內常見之設備噪音為對象，包括風扇、馬達、抽水機等相關生活設備產生之不同頻率噪音，建議宜界定測試設備之實際聲場量測範圍，以聚焦人員聽覺對噪音頻率感受區域。	感謝委員意見，已完成噪音源影響量化分析
		本研究進度與內容符合期中工作項目，於完成各類型之室內設備音源實驗後，建議可進一步思考不同複數設備產生噪音之問題。	感謝委員意見，納入未來研究規劃
5	陳委員瑞鈴	本研究是繼去年緩衝材之動態剛性檢測試驗研究後，接續探討提升建研所性能實驗室中心音響實驗室實驗能量之研究，甚表肯定。	感謝委員意見與肯定。
		無響室及半無響室係以測試大型家用設備或電器產品為主，若干生產生活及家事用電器(白色家電)的廠商亦建置有音響實驗室，用以測試或研發自家產品使用，因此為了解未來試驗對象或範圍，宜先進行市場需求調查，以資確認。	感謝委員意見，已就各試驗結果整體檢討修正，請參閱報告第三章第三節。
		後續是否辦理 ISO 532-1 之 CNS 化研究，宜提出建議。	感謝委員意見，已就各試驗結果整體檢討修正，請參閱報告第三章

			第三節。
6	經濟部標準檢驗局	本研究相關研究成果未來如有涉及國家標準法制化之需求，可先與本局聯繫配合依相關規定辦理。	感謝委員意見。
7	台灣省建築材料商業同業公會聯合會	目前因嚴重特殊傳染性肺炎(COVID-19)關係，因應疫情國內外多採遠距線上工作方式，故室內設備噪音對工作與生活干擾議題，具相關研究應用價值。建議可就室內設備噪音源之影響進行分類分級，以利讀者參考。	感謝委員意見，納入參考，相關分析內容參考第五章。
8	財團法人台灣建築中心	報告書 P.53 之專有名詞如 Image 聲源、Rigid boundary 等，建議增加中文說明，以利理解。	謝謝相關意見，已做相關補充修正。
		報告書 P.54 之圖形曲線是否具有距離及高度 2 變數因子？請補充說明。	謝謝相關意見，已做相關補充修正。
9	主席	本研究在 ISO532-1 聲音品質量測技術開發部分，建議後續將申請第三公正單位認證納入規劃考量，以提供業界更完整檢測與驗證。	感謝主席意見，納入參考。

期末審查意見回覆

項次	審查委員或出席代表	期中審查意見	意見回覆
1	江教授哲銘	本研究依據 ISO532-1 國際標準，於無響室進行室內設備噪音之聲場量測，實測分析其方向性及頻譜特性等，並進行心理聲學參數分析以評估設備噪音對建築物居住者之實質感受，有其重大之貢獻。	感謝委員意見
		經完成實測及理論模式分析比較，相關成果將有助於瞭解室內設備噪音之頻譜物理特性；另研究進行心理聲學參數響度計算分析成果，可利居住者感受之調控應用，本研究之階段性成果具體務實，給予肯定。	感謝委員意見
2	林教授芳銘	本研究已完成 ISO 532-1 聲音品質量測試技術開發，建立心理聲學參數量測方法，成果值得肯定。	感謝委員肯定。
		建議探討設備噪音量測環境差異對量測結果之影響。另後續可持續探討以錄製聲源與實際設備聲源於無響室量測時量測結果之差異，以供量測應用	感謝委員意見，納入後續研究參考。
		有關 ISO 532-1 2017 年版，請再確認內容更新情況納入研究成果中	感謝委員意見，已參考意見辦理
3	溫經理俊清	研究報告已說明室內設備噪音特性及現況，研究成果有利提升國內音環境，值得肯定	感謝委員肯定。
		針對期中審查意見，已在本報告第五章對設備噪音特性	感謝委員意見

		量測分析，內容包含不易移動之室內設備(冷氣空調、抽水馬達、排煙機、乾燥機、洗衣機)、小型移動設備(清淨機、除濕機)及排水噪音作分析，可作為提升國內音環境品質之參考	
4	陳委員瑞鈴	本研究已完成設備噪音相關量測系統及作業程序規劃，並依 ISO 532-1 完成心理聲學參數之試驗檢測項目技術開發，符合預期成果需求，予以肯定	感謝委員肯定
		有關音響館建置目的及主要功能，應不只侷限建材之試驗檢測研發，請調整涵蓋建築相關設施、設備、構材及材料在內，報告及各種對外文件均請檢視修正	感謝委員意見，依意見檢視修正。
		麥克風與噪音源距離，如何推算與波長之關係式請敘明，報告之聲學專業用詞用語，請修正與 CNS 一致	感謝委員意見，檢視修正
		本研究業已獲致暫緩進行 ISO 532-1 進行 CNS 化之結論，故設備噪音源特性研究可改列中長期工作事項，而為提升音響館實驗能量，可選擇生活噪音與民眾息息相關之噪音源設備(如馬桶、水龍頭等)，運用半無響室與廠商合作進行產品測試研發	感謝委員意見，納入後續研究參考。
		音響館近年來大量累積之本土建材、構件實驗性能數據甚具價值，宜彙整歸納分析為各類資料庫，作為檢視建築法「規格式」規定增(修)訂之參考依據	感謝委員意見，納入後續研究參考。
5	李教授孟杰	本研究參考 ISO 532-1 之標	感謝委員意見與肯定。

		準，開發新檢測項目立意良好，建議可增加探討頻率與音壓間對於環境材質的衝擊與對人體的影響(如低頻衝擊音對固定構件的影響與音壓間關係)	
		第五章第二節之圖 5-9~圖 5-18 採用多項室內設備進行量測，並以 dB 與頻率紀錄，但表 5-2 與表 5-3 採用響度為單位，建議可於該表內同時呈現 dB(考量音源的影響，建議採用加權轉換呈現)，以利比較	感謝委員意見，已就各試驗結果整體檢討修正，請參閱報告第三章第三節。
6	中華民國全國建築師公會	本案研究成果符合相關需求，請依與會委員代表所提意見修正成果報告	感謝委員意見。
7	台灣省建築材料商業同業公會聯合會	本研究建立之聲音品質檢測技術，建議補充說明其應用範圍	感謝委員意見，納入參考，相關分析內容參考第五章。
		目前聲音品質量測採用 ISO 532-1 標準與現有之 CNS 聲學標準同屬 ISO 系列國際標準，有利於未來 ISO 標準 CNS 化之可能性	
8	財團法人台灣建築中心	本案研究成果符合預期	謝謝相關意見，已做相關補充修正。
9	主席	目前實驗中心之實驗項目除須持續提升精進技術外，也需思考現有設施如何與其他領域結合應用，以利未來尋求跨域合作之可能	感謝主席意見，納入參考。
		有關 ISO 532-1 標準之年版更新，請查明更新採用最新標準內容	感謝主席意見，參採納入修正

參考書目

1. ISO 532-1(1989) Acoustics – Methods for calculating loudness-- Part 1: Zwicker method.
2. R. F. Barron, *Industrial Noise Control and Acoustics*, Marcel Dekker, Inc., New York, Chap. 8, 330-405 (2003)
3. L. E. Kinsler, A. R. Frey, A. B. Coppens, J. V. Sanders, *Fundamentals of Acoustics*, John Wiley & Sons, Inc., New York, Chap. 10, 283-287 (1999)
4. S. Fatima *et al.*, Noise control of home appliances-the green way, *Noise & Vibration Worldwide*, 2012
5. Carl Hopkins, *Sound insulation*, Butterworth-Heinemann, 2007
6. 「醫院建築與室內設備噪音與空間規劃關聯性之研究」,內政部建築研究所協同研究報告,98年。
7. 陳啟中,建築設備概論,詹氏書局,2000年12月。
8. Brüel & Kjær, *Sound Quality Metrics*, ABRI, 2021
9. 「無響室聲場性能驗證與應用之研究」,內政部建築研究所自行研究報告,106年。
10. 「住宅音環境現況調查與診斷機制之研究」,內政部建築研究所委託研究報告,104年。
11. 建築防音法規解說指引(2021年版),內政部建築研究所,109年。
12. 陳金文,建築音響學及其應用,科技圖書,2003年7月。
13. 王偉輝,臺灣集合式住宅建築物內聲音品質及近鄰噪音改善方法芻議, 103年。