

國立屏東科技大學木材科學與設計系
Department of Wood Science & Design
National Pingtung University of Science and Technology

碩士學位論文
Master Thesis

辦公家具型態對語音位準降低特性之探討

The Study on the Impact of Office Furniture Types on the Speech
Level Reduction

指導教授：林芳銘 博士
馮俊豪 博士
Adviser: Dr Fang-Ming Lin
Dr Chun-Hao Feng

研究生：邱政豪
Graduate student: Zheng-Hao Qiu

中華民國 113 年 6 月 25 日
June 25, 2024

摘要

近年來資訊園區與商業區快速發展，造就全球辦公家具產量提升，辦公環境根據後疫情時代工作者回歸職場做出相對應的改變，設計靈活的辦公空間成為了趨勢。故本研究根據 ISO 23351-1 (2020)，對辦公家具進行語音位準降低量測，以市售 OA 辦公家具作為研究對象，透過隔間型態改變、隔間增高以及使用吸音材料，探討其不同變因條件對語音位準之影響。研究結果顯示，不同之隔間型態可有效將指向性聲源能量阻隔在辦公家具隔間之中，藉由背板及側板的設計降低噪音對相鄰辦公單元之影響。而辦公家具隔間高度與語音位準降低值呈正相關，且吸音材料之應用亦可減少噪音能量之傳遞。

關鍵字：辦公家具、隔間型態、位準降低值、語音位準降低值



Abstract

In recent years, the rapid development of information parks and commercial districts has led to an increase in global office furniture production. The office environment has made corresponding changes as workers return to the workplace in the post-epidemic era, and designing flexible office spaces has become a trend. Therefore, this study measured the speech level reduction of office furniture according to ISO 23351-1 (2020). Commercially available OA office furniture was used as the research object. Through changing the partition type, increasing the height of the partition and using sound-absorbing materials, the influence of different variable conditions on the pronunciation level. Research results show that different partition types can effectively block directional sound source energy in office furniture partitions, and reduce the impact of noise on adjacent office units through the design of back panels and side panels. The height of office furniture partitions is positively correlated with the reduction in speech level, and the application of sound-absorbing materials can also reduce the transmission of noise energy.

Keywords: Office furniture, Partition type, Level reduction, Speech level reduction

謝誌

在此感謝國立屏東科技大學木材科學與設計系，多元的學習內容讓我就學期間感到既有趣又充實，就讀研究所也給了我全新的感觸，遨遊在文獻探討中，遵循前人留下的腳步是基礎學習的一環，建築聲學更是提起我對知識的渴望。

加入聲學研究室，進一步讓我了解教授與副教授是多麼讓人敬仰的職稱，位於專業領域的佼佼者，芳銘老師是我大學專題的指導老師，而俊豪老師則是我大學班級導師，有幸在兩位師長的輔導下學習與成長是我就讀研究所最佳的選擇，感謝老師們孜孜不倦的分享過去至今的學術經驗，以及成立綠建材技術服務中心聲學實驗室，這兩年來深刻體會到老師們對研究的熱誠以及豐富的聲學知識，也間接讓我想成為如同老師們一樣專業的學者，因此我對未來的展望其中一項是會持續往聲學專業邁進。

誠摯邀請並由衷感謝兩位校外口試委員在口試當天不吝指教，不同的學術見解以及敏銳的觀察再配合資深的經驗，立刻點出本研究的進步空間，能夠在最後的口試階段分享論文給兩位口試委員聽，我感到非常榮幸。

木設系大家庭中存在著一群努力不懈的行政人員，賴桑、小米學姐以及欣愉學姐，感謝你們平時在學校裡的付出，當碰到行政上的問題時可以透過詢問你們來精確的解決問題。木設系的師長們各個身懷絕技，同時也做到薪火相傳，不僅是課堂上的知識，理念上的傳達深得我心，能夠了解到木設系的團結以及師長對學生未來發展的引導。在畢業之際得到的不只是家人朋友的祝福，更是學校與老師的肯定。

同儕間的陪伴與交流是促使進步的動力，研究所的同學包括在職生的加入，課堂交流期間能夠聆聽在職生的經驗分享無比寶貴，應屆就讀的我工作經驗並不豐富，透過同學們對課堂教學的實際案例延伸，讓我好比身處現場學習，各自的見解令學習充滿更多可能性，同時可以了解到業界人士真實的想法。

每週的論文分享促進同學間的邏輯交流，學長姐多一年的論文撰寫經驗可以快速的讓學弟妹進入狀況，論文題目與專業雖然各不相同，但總是能夠交流出屬於自己的見解，因為有發起問題才有進步空間，這就是屬於木設系的學術交流。特別感謝雅芸姐與浴缸網哥對於論文撰寫時的經驗分享以及 Word、Excel 小技巧教學，套用學長姐的思想可以快速跟上腳步。

網哥總是在研究室鑽研羽球、吉他、跳舞、烘焙，多元的興趣間接影響到我的論文撰寫過程，若不是有他熱情的精神，我就不會清楚知道自己專心的上限有多高，感謝你一直以來對研究室的付出以及烤巧克力厚片的技巧，不愧是前小上海的老闆。講到吃就不得不提起佩汝的料理功力持續進步，感謝你早起準備的早餐，讓我早晨精神十足活力滿滿，當然還有自製豆乳雞，宵夜的魅力難以抵擋，感謝兩位的餵食。

明儒儒哥在我就讀碩士期間教會了我許多生存技巧，從論文發想到進度安排，從大局觀見解師長、同學、學弟妹們的互動，對儒哥的感想是佛法無邊以及破戒高僧，順帶一提風調雨順鄭同學也是在我碩士前期穩固邏輯的人生導師。

善博、詩凱、可葳都是老同學了，相信我不用多說感謝的話只需要多請感謝的客，研究期間對於木材加工以及設備安排的幫助，有效的讓我研究前置順利，感謝進行實驗過程中有來幫忙的學弟妹們，浩庭、震宇、家睿、嘉文、胤涵。

最後感謝我的家人與屏東親戚們讓我就讀屏科大學士、碩士六年間能夠有溫暖的避風港，能夠在無憂無慮的環境下學習是我該滿足並且感謝的，感謝大家以及感謝未提及但在學習路上曾經幫助過我的各位。

邱政豪 僅誌於

國立屏東科技大學 木材科學與設計系 綠建材聲學性能實驗室

中華民國一十三年七月

目錄

摘要	I
Abstract	II
謝誌	III
目錄	V
圖目錄	VII
表目錄	IX
壹、緒論	1
一、研究動機與目的	1
二、研究範圍	2
三、辦公家具名詞解釋	3
貳、文獻探討	4
一、辦公空間聲環境之影響	4
二、辦公空間工作環境之影響	6
三、工作者對辦公空間之感受	8
參、研究方法	9
一、量測分析方法	10
二、實驗場地配置	10
三、變因代號	14

四、辦公家具.....	14
五、實驗流程.....	16
六、實驗儀器說明.....	18
七、研究評估指標.....	19
肆、結果與討論.....	21
一、隔間高度變化對位準降低值之影響.....	21
二、不同吸音棉密度與隔間高度變化對位準降低值之影響.....	24
三、辦公家具語音位準降低值.....	35
伍、結論與建議.....	39
一、結論.....	39
二、建議.....	40
參考文獻.....	41
Reference.....	42
附錄 A.....	44
附錄 B.....	45
作者簡介.....	57

圖目錄

圖 1 活動式辦公設計	1
Fig. 1 Activity based working	1
圖 2 全球辦公家具市場規模預測	2
Fig. 2 Global office furniture market overview	2
圖 3 辦公家具類型	3
Fig. 3 Examples of furniture ensembles.....	3
圖 4 遮蔽系統安裝位置影響	4
Fig. 4 Effects of the location of sound masking loudspeakers	4
圖 5 迴響時間及語言清晰度	5
Fig. 5 Reverberation Time and Sound Transmission Index	5
圖 6 工作者對工作場所感受調查	6
Fig. 6 Impact of workplace design on perceived work	6
圖 7 聲音環境影響視覺認知	7
Fig. 7 Visual cognitive performance in office space.....	7
圖 8 研究流程圖	9
Fig. 8 Flow chart for research work	9
圖 9 三種型態測試	12
Fig. 9 Three test types	12
圖 10 辦公家具結構	13
Fig. 10 Office furniture structure	13
圖 11 辦公家具	15
Fig. 11 Office furniture.....	15

圖 12 實驗前置作業	17
Fig. 12 Experiment Preparatory work.....	17
圖 13 實驗步驟.....	17
Fig. 13 Experiment procedure.....	17
圖 14 不同型態隔間增高	23
Fig. 14 Different types of partitions increase in height.....	23
圖 15 有無貼覆吸音棉	26
Fig. 15 With or without sound-absorbing cotton	26
圖 16 有無貼覆 96 K 吸音棉隔間增高 90 cm.....	27
Fig. 16 With or without 96 K sound-absorbing cotton partitions to increase height 90 cm	27
圖 17 不同吸音棉密度隔間增高 60、90 cm.....	30
Fig. 17 The height of the partitions with different sound-absorbing cotton densities increases by 60 or 90 cm.....	30
圖 18 貼覆 48 K 吸音棉隔間增高 90 cm 型態改變後差值.....	33
Fig. 18 Difference types covered with 48 K sound-absorbing cotton and the height after the change of shape by 90 cm.....	33
圖 19 貼覆 96 K 吸音棉隔間增高 90 cm 型態改變後差值.....	34
Fig. 19 Difference types covered with 96 K sound-absorbing cotton and the height after the change of shape by 90 cm.....	34
圖 20 不同吸音棉密度語音位準降低值.....	38
Fig. 20 Different sound-absorbing cotton densities reduce speech level reduction.....	38

表目錄

表 1 安全衛生設施規則.....	8
Table 1 Occupational Safety and Health Act	8
表 2 變因代號.....	14
Table 2 Conditions code.....	14
表 3 實驗儀器.....	18
Table 3 Experimental instruments.....	18
表 4 未加權語音聲功率位準.....	20
Table 4 Unweighted sound power level of genderless speech.....	20
表 5 頻率 A 加權函數.....	20
Table 5 Frequency A weighting function	20
表 6 增高至 90 cm 隔間型態 A 位準降低值.....	22
Table 6 Increased to 90 cm compartment type A level reduction	22
表 7 增高至 90 cm 隔間型態 B 位準降低值.....	22
Table 7 Increased to 90 cm compartment type B level reduction.....	22
表 8 增高至 90 cm 隔間型態 C 位準降低值.....	22
Table 8 Increased to 90 cm compartment type C level reduction.....	22
表 9 位準降低值 96K.....	26
Table 9 Level Reduction 96K.....	26
表 10 位準降低值 90cm.....	29
Table 10 Level Reduction 90 cm	29
表 11 位準降低值 48、96 K 與 90 cm.....	32
Table 11 Level Reduction 48, 96 K and 90 cm.....	32

表 12 大於 5 dB 語音位準降低值	35
Table 12 Greater than 5 dB speech level reduction	35
表 13 辦公家具改善後語音位準降低值	37
Table 13 Speech level reduction after improved office furniture	37



壹、緒論

一、研究動機與目的

辦公室環境與時俱進，ABW(Activity Based Working)活動式辦公設計四大要素如圖 1 所示，設計、感官體驗、行為強化、迭代學習，其中設計以一個辦公空間內提供不同性能辦公區域，例如會議室、個人工作站、沙發共同討論區…等，辦公人員根據工作需求使用，透過感官體驗辦公人員意識專注區域與協作區域不同，使用行為隨著不同區域改變。管理階層對員工收集定性、定量資料作為工作回饋，並經由回饋改善工作空間，確保 ABW 概念實施。

根據統計人們一天當中有九成時間在室內度過，其中工作又占去一半，生活品質提升促使人們逐漸注重環境舒適度、健康與工作效率，室內環境品質 IEQ(Indoor Environment Quality)提及室內環境受多種條件影響，熱舒適性、室內照明、聲環境、室內空氣品質…等。辦公空間聲環境影響取決於辦公區域，專注工作使用高隔間辦公家具保持專注程度與隱私，協作工作使用低隔間辦公家具保持同事間交談流暢，不同辦公區域造成人為辦公噪音程度不同。舒適的辦公空間環境音為 50 dB，環境音達到 50 dB 以上，每增加 10 dB 就會導致 1.9%的生理健康減退，每降低 10 dB 則會導致 5.4%生理健康減退(Srinivasan et al., 2023)。



圖 1 活動式辦公設計

Fig. 1 Activity based working

辦公空間噪音包含打字聲、電話響鈴、人的語音、印表機…等，人的語音干擾程度最高(Tang & Wong, 1998)，間歇性噪音無法被預測因此影響甚大，為了維持舒適的辦公空間環境音，使用不同類型辦公家具改變工作區域內聲場，噪音透過不同隔間型態隔絕聲源。

2023-2035 年全球辦公家具市場規模預測與趨勢亮點如圖 2，估計到 2035 年底，全球辦公家具市場將獲得約 800 億美元的收入，在預測期內複合年增長率約 6%。市場成長主要歸因於商業房地產數量的增加，例如 2018 年出現大量商業建築，資訊科技園區與商業區快速發展也是推動預測期內市場成長的因素。



圖 2 全球辦公家具市場規模預測

Fig. 2 Global office furniture market overview

資料來源：researchnester.com

二、研究範圍

言語溝通頻率約為 500 Hz~2k Hz，過去研究中使用吸音性能建材能有效減緩噪音，利用多孔性吸音原理幫助辦公家具隔間內聲源吸收，噪音隨距離逐漸消散，本研究收音範圍設定至隔間外距離聲源 2 m。綜上所述，本研究依據 ISO 23351-1：2020 辦公家具語音位準降低特性作為量測標準，主要以獨立工作者使用之辦公家具隔間以及其型態作為變因，探討隔間高度增高、貼覆不同密度吸音棉及隔間型態改變對各頻率之影響，實測不同辦公家具語音位準降低值。

三、辦公家具名詞解釋

辦公家具所指商業和企業環境中使用的功能性產品，以提高空間的整體美學價值，同時滿足工作者的需求。可由木材、石材、金屬…等材質製成，單一部件則可分為書桌、座椅、書櫃、隔間板…等，如圖 3 共同組合成會議室、個人工作站、沙發共同討論區。

本研究辦公家具隔間所指辦公桌周圍隔板，隔間增高則為基礎隔板高度，透過材料加工製作出相同造型不同高度隔板。辦公家具隔間型態改變則是製作不同造型隔板，設置至辦公桌周圍作為不同型態。依隔板高度及寬度裁切相同尺寸，貼覆吸音棉為辦公家具隔間內。

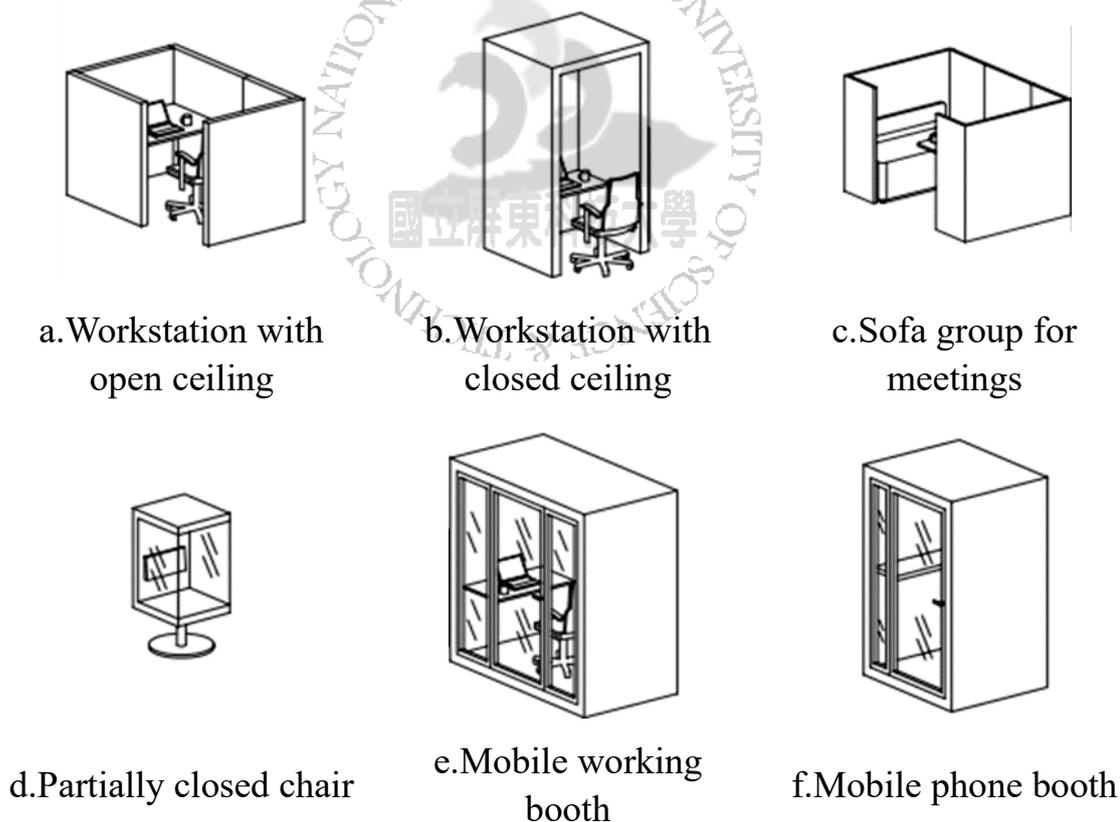


圖 3 辦公家具類型

Fig. 3 Examples of furniture ensembles

資料來源：ISO 23351-1

貳、文獻探討

一、辦公空間聲環境之影響

開放式辦公室的聲學量測從 1970 年至今，辦公空間聲環境改變許多，其中包括更安靜的暖氣、通風與空調系統，增強帷幕玻璃並減少外部噪音，電腦取代打字機與不同的電話鈴聲…等。

根據文獻統計，同事談話和電話響鈴聲被認為是最容易分散注意力的噪音源，為求良好的辦公空間環境音，需要考慮多種因素才能落實，例如：辦公區域規劃、辦公空間吸音材使用、遮蔽系統改變環境音。辦公區域規劃中，個人工作站之間的距離，天花板和牆壁使用吸音材，個人工作站之間安裝隔間，以及使用聲音遮蔽系統都是常見手段，前三項措施主要降低語音產生的聲壓，後者則使用可控制的背景噪音改變辦公環境中帶來間歇性的噪音(Renz et al., 2018)。

如圖 4 所示，辦公聲環境中最佳改善位置可判斷於遮蔽系統聲源擺放位置，位於工作者後方干擾程度高，工作錯誤率隨干擾程度提升，個人工作站受環境音影響，後方噪音可優先列入改善考量。

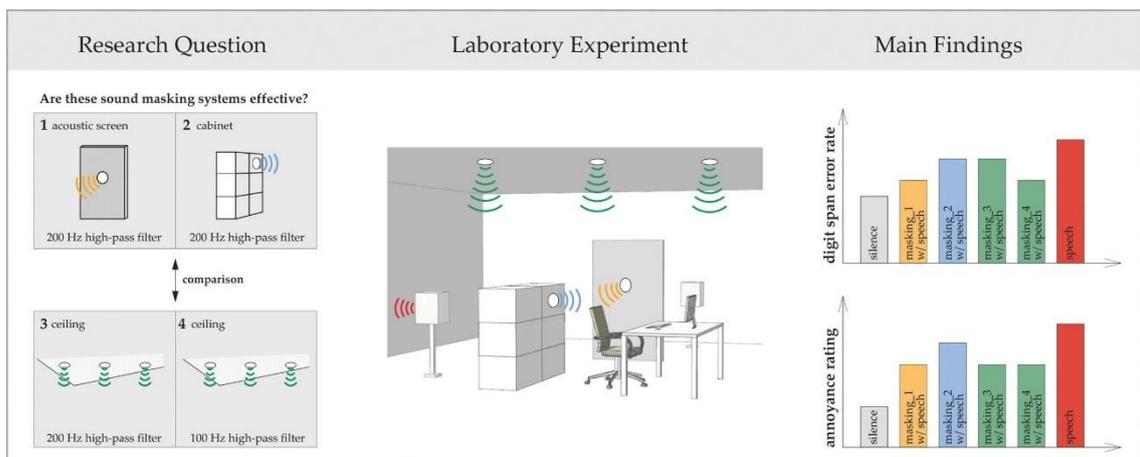
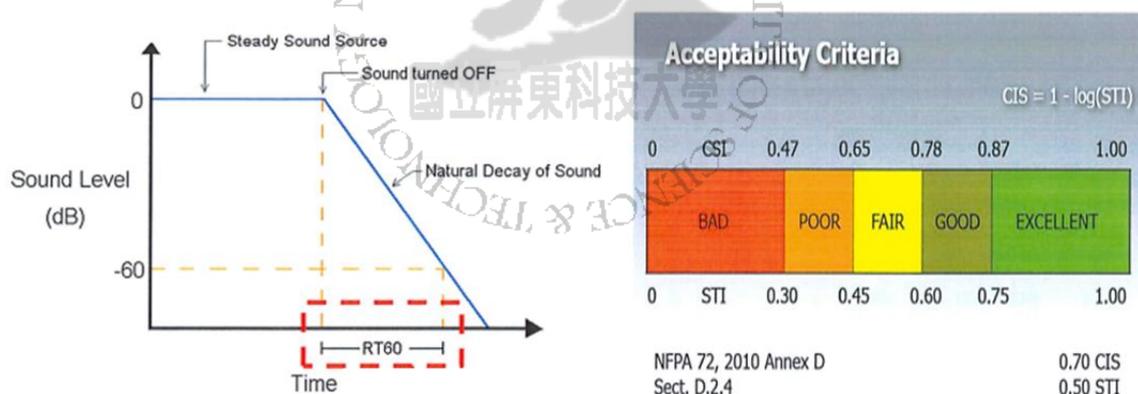


圖 4 遮蔽系統安裝位置影響

Fig. 4 Effects of the location of sound masking loudspeakers

空間的靈活利用使開放式辦公室具有創造性以及不受約束的工作流程，然而開放性會導致辦公隱私問題，語言隱私、聽覺干擾會對工作者滿意度與生產力造成負面影響，研究指出，清晰的對話與不相關的談論聲為工作者腦力負荷增加的主要原因。

語音噪音的傳播是開放式辦公室聲學品質的一個主要面向，依據 ISO 3382 Acoustics — Measurement of room acoustic parameters，提供兩種不同理念的量測結果，第一種方法為量測 A 加權聲壓位準在空間內衰減，第二種方法著重於語音清晰度在空間內衰減。ISO 3382 室內聲學參數量測 A 加權聲壓位準使用無指向性聲源，主要量測辦公室空間內迴響時間，其中辦公空間天花板為首要吸音考量，其次是牆面吸音。噪音負面影響的科學證據愈加成熟，芬蘭新建築法規涉及對開放式辦公室聲學品質要求，頻率 250~2k Hz 最高迴響時間為 0.6 秒，與聲源距離大於 8 m 時，語音清晰度 STI(Sound Transmission Index)最高允許值為 0.5。



a.迴響時間

b.語音清晰度

圖 5 迴響時間及語言清晰度

Fig. 5 Reverberation Time and Sound Transmission Index

二、辦公空間工作環境之影響

近年來，全球數百萬人從辦公室工作轉向在家辦公，引發了人們對在家工作時的生產力、健康行為和幸福感的質疑。使用比較方法和數據驅動的框架來評估家庭和辦公室工作場所，如圖 6 所示，辦公室工作與在家辦公之差異(Srivastava et al., 2024)，其中以舒適度、工作表現、幸福感作為分析主軸，總共收集了 614 份來自美國與加拿大的工作者問卷回饋。結果表明，在辦公室工作對於工作表現有顯著提升，而在家中較能感受到舒適度與幸福感。

工作者普遍認為在辦公室工作的優勢在於辦公家具以及辦公設備使用便利，兩者皆有提升辦公舒適度。工作表現中專注與工作績效差異不大，反而是在辦公室工作心理負擔較大，容易因為壓力而產生焦慮感，以及精神疲倦影響身體疲勞，儘管如此工作動機對於在辦公室工作者還是有較高優勢。與家人或朋友聯繫對於在辦公室工作幸福感提升最高。

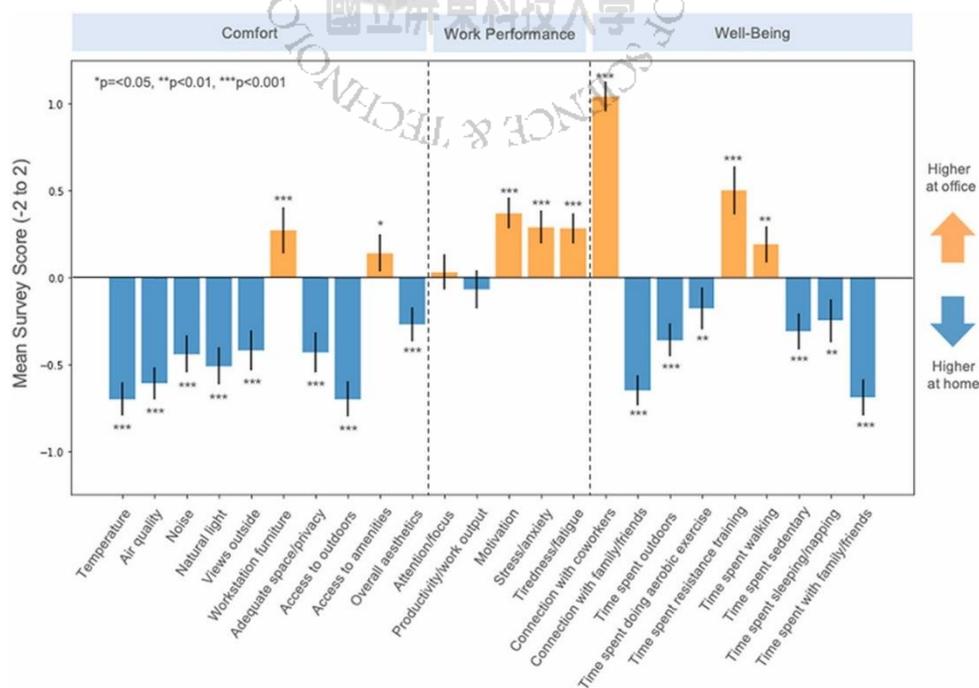


圖 6 工作者對工作場所感受調查

Fig. 6 Impact of workplace design on perceived work

辦公空間聲環境影響工作績效的重要因素，現有研究主要關注聲學環境對單一視覺認知工作績效的影響。這項研究考慮多任務視覺認知工作。選出 41 位受訪者參與不同聲環境下，多任務視覺認知-行為認知實驗，研究了不同聲源類型、聲壓位準和迴響時間對設計辦公室多任務視覺認知表現的影響(Meng et al., 2021)。

結果顯示如圖 7，聲源類型對不同受訪者工作表現的反應時間有顯著影響，一般環境音下反應時間平均值為 2.838 秒，音樂環境音下反應時間平均為 2.560 秒。交通噪音與空調噪音增加會顯著降低記憶精度，交通噪音從 50 dB 增加至 65 dB 時，記憶經度下降 4.42%。語音迴響時間增加有效縮短反應時間，並增加圖形記憶精度，迴響時間由 0.3 秒增加至 1.5 秒，反應時間減少 0.274 秒，圖形記憶精度提高 2.03%。綜上所述，受訪者的個人特質會影響視覺認知工作，因此辦公空間環境設計直接影響辦公室工作者的視覺認知以及工作效率。

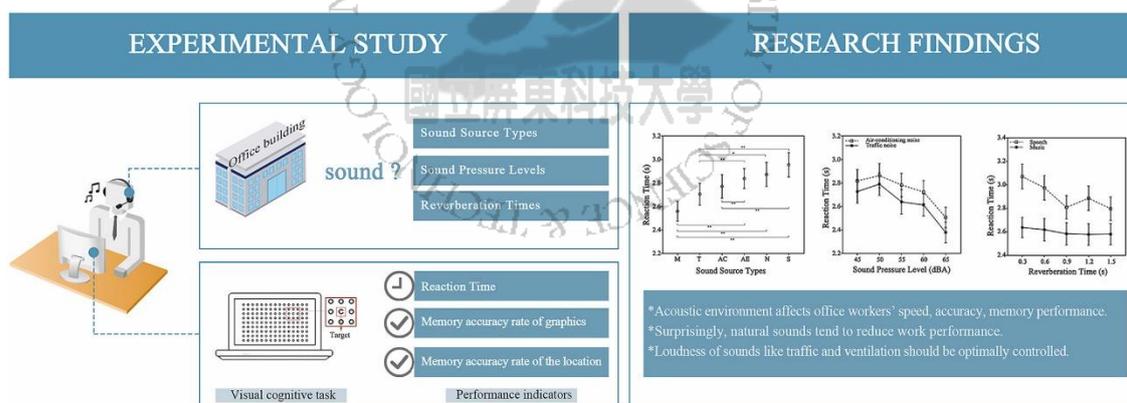


圖 7 聲音環境影響視覺認知

Fig. 7 Visual cognitive performance in office space

三、工作者對辦公空間之感受

現有文獻表明，辦公室環境對工作者履行職責的方式以及舒適度和健康有重大影響，少有研究探討在辦公室待的時間長短所造成的影響。這項研究中使用來自全球 5149 名工作者的資料，調查了在辦公大樓和工作站上花費的時間對室內環境品質(IEQ)與工作績效、舒適度和健康之間關係的影響(Rasheed et al., 2021)。

統計在辦公空間內工作 4~8 小時約佔 65%，超過 8 小時佔 32.4%，其中少於 4 小時僅 2.6%。問卷調查採七分制，各項 IEQ 因素當中，工作者對辦公空間內照明的回饋分數最佳，工作 4~8 小時平均分數 5.16，超過 8 小時平均分數 5.33，少於 4 小時平均分數 5.21，分數皆為中上。

工作者對辦公環境內噪音的回饋分數最差，工作 4~8 小時平均分數 4.39，超過 8 小時平均分數 4.34，少於 4 小時平均分數 4.52，依據分數回饋，工作者對超過 8 小時工作時長噪音滿意度不佳，噪音接受度也隨工作時長成反比。

表 1 安全衛生設施規則

Table 1 Occupational Safety and Health Act

五分貝法則	
工作日容許暴露時間 (小時)	A 加權噪音聲壓位準 dB(A)
8	90
4	95
2	100

音量每增加五分貝，容許暴露時間減半。

資料來源：行政院勞動部職業安全衛生設施規則

參、研究方法

本研究探討辦公家具隔間對辦公環境噪音改善之影響，針對辦公家具量測語音位準降低值，從相關文獻當中擷取有利於隔間聲學性能提升之條件，詳細研究流程及步驟如圖所示。

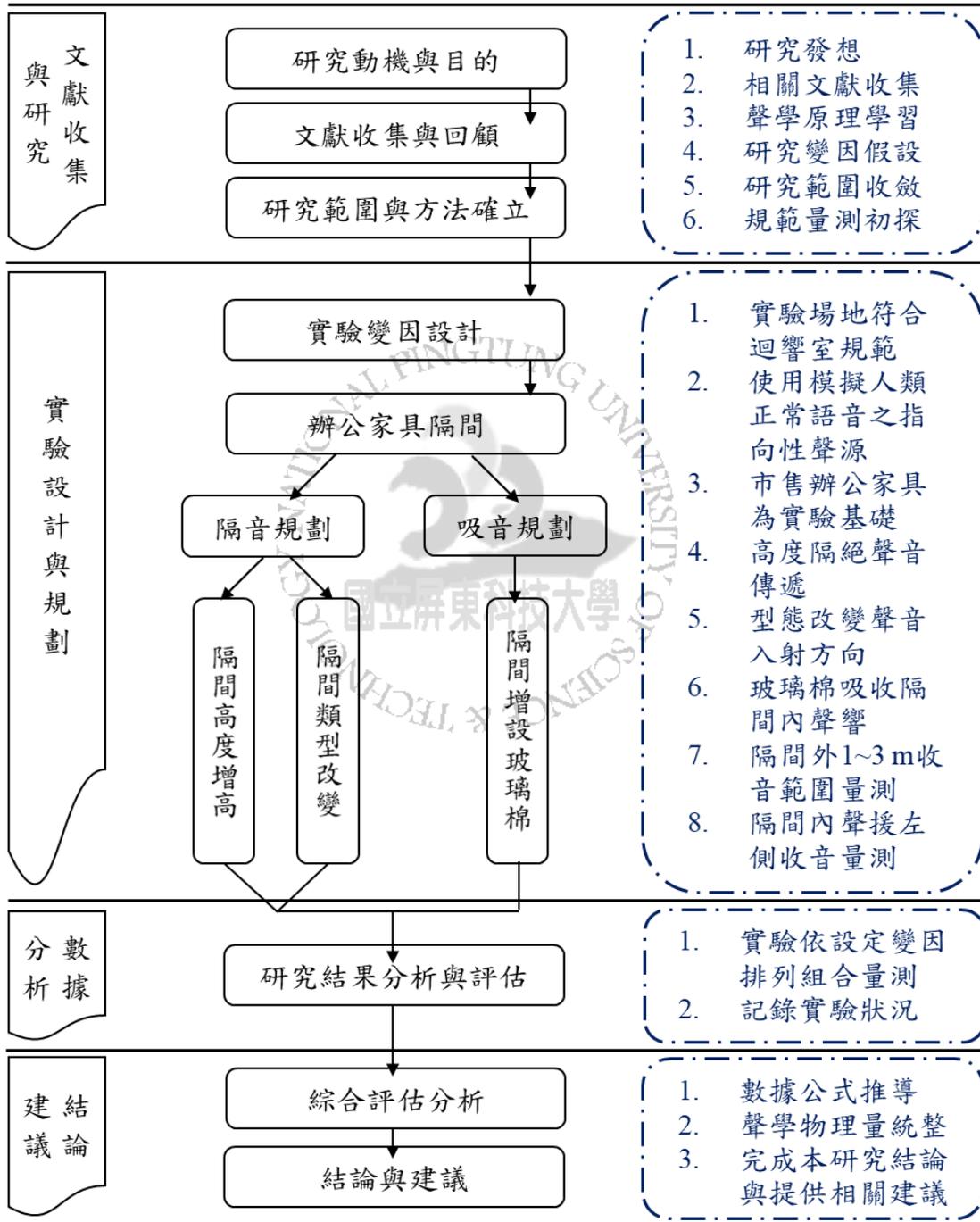


圖 8 研究流程圖

Fig. 8 Flow chart for research work

一、量測分析方法

本研究依照 ISO 23351-1 (2020) Acoustics — Measurement of speech level reduction of furniture ensembles and enclosures — 進行實驗室量測分析方法之實際操作。聲功率位準是在無辦公家具以及有辦公家具兩種情況下量測，從 125 Hz~8k Hz 的 1/1 倍頻帶內測得的聲功率位準差 D_i ，語音位準降低值 $D_{S,A}$ 為單一數值參量，表示在 125 Hz~8k Hz 的整個頻率範圍內，標準語音的 A 加權聲功率位準的相對降低值。

該方法適用於量測辦公家具或封閉式工作亭，量測對象為一個完整的家具組件，使用對象因此可以獲得更好的語言隱私空間。單一組件不列入量測範圍內，例如：桌燈、櫥櫃、書架、椅子、牆面吸音材、天花板吸音材…等。

二、實驗場地配置

實驗場地位於國立屏東科技大學綠建材技術服務中心聲學實驗室，迴響室規模符合 ISO 3741 (2010) Acoustics — Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure — Precision methods for reverberation test rooms 規範標準。

迴響室內避免聲音入射直接被牆面之間以及天花板與地板反射，因此牆面之間互不平行，天花板與地板亦同，量測過程測試件與迴響室邊界、指向性聲源、麥克風距離均大於 1 m，並且依 ISO 3741 規定測試件的大小不超過迴響室容積的 5%，其中指向性聲源使用粉紅噪音作為能量釋放。

(一) 場地配置

如圖 10 所示，參照 ISO 23351-1 配置為實驗變因設計基礎，指向性聲源如同辦公人員語音發聲位置向前方釋放能量，聲源高度設定為辦公人員坐下高度 1.2 m。辦公家具配置於迴響室架構中，距離門口最近牆面鈍角處，實驗進行中更換實驗變因較為安全便利。

(二) 麥克風位置

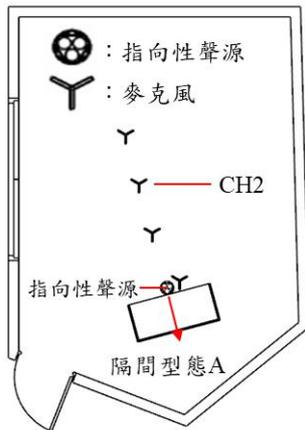
如圖 9 所示，麥克風位於指向性聲源正後方，距離 2 m 處收音。麥克風收音距離根據 ISO 23351-1 規範，距離 1.7 m 量測為標準量測位置，本研究將以隔間外距離聲源 2 m 作為標準結果呈現。

(三) 實驗變因設計

如圖 9 所示，製作三種類型辦公家具隔間套用至 OA 家具，量測辦公家具隔間型態改變，語音降低位準(D_i)與不同頻率降低值的異同以及其顯著差異，同時量測單一類型辦公家具語音降低位準($D_{S,A}$)。

辦公家具變因設置為隔間高度增高 0、30、60、90 cm，隔間內貼覆三種密度吸音棉 24K、48K、96K。隔間型態 A 為 OA 家具原始造型，隔間型態 B 於聲源後方增設背板、隔間型態 C 於聲源後方及左側增設背板及側板。

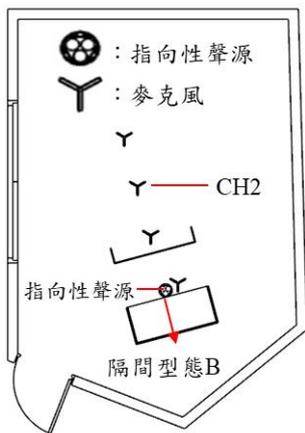
高度變因設置需求為增加視覺隱蔽性以及辦公人員語音隱私，貼覆不同吸音棉吸收隔間內多餘聲能，以改善語言清晰度與辦公人員自身聽覺受損程度，隔間外量測出噪音降低範圍。



a.場地配置圖 A



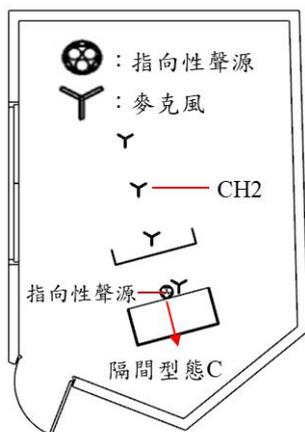
a.型態 A 位準降低測試圖



a.場地配置圖 B



b.型態 B 位準降低測試圖



a.場地配置圖 C



c.型態 C 位準降低測試圖

圖 9 三種型態測試

Fig. 9 Three test types

(四) 辦公家具結構

如圖 10 所示，辦公家具結構主要由三項組件組成，其一於變因設計中提及辦公家具隔間，使用木心板作為隔板材料，吸音材料使用玻璃棉貼覆於隔間內部，兩種材料皆為 OA 家具構造之延伸。

辦公家具隔板由背板、側板、隔板組成，背板及側板隨隔間型態不同增設，隔間無增高條件下，背板及側板高度與原 OA 家具同高，高度為 101 cm 桌面高度為 71 cm，原 OA 家具隔間高度即為 30 cm。

辦公家具隔間高度增高為另外增加木心板構造作為隔板增高。隔間型態 A 隔間增高基礎，設置於原 OA 家具隔間上。隔間型態 B 與隔間型態 C 增高基礎，如上述先設置原 OA 家具同高隔間後，以其作為基礎高度再次增設木心板作為隔間增高。

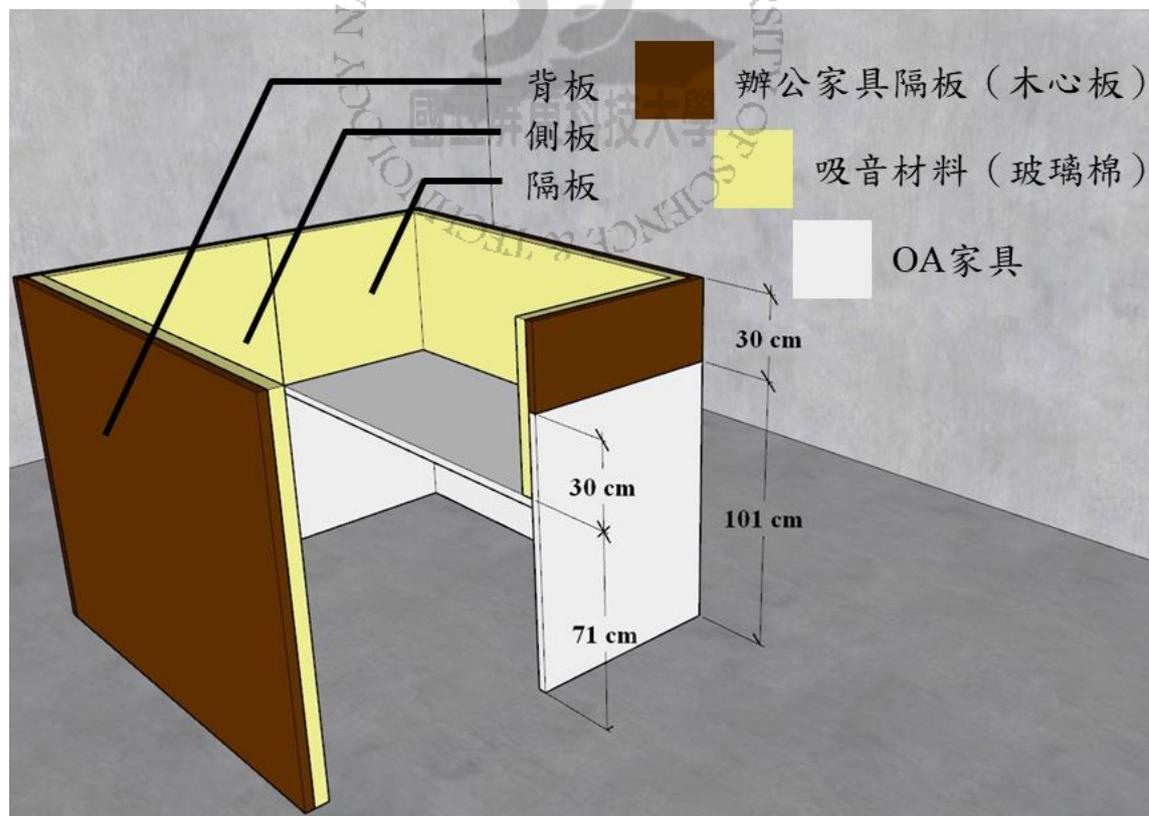


圖 10 辦公家具結構

Fig. 10 Office furniture structure

三、變因代號

辦公家具隔間實驗變因透過排列組合可得出多項結果，組合繁多故使用代號作為簡易辨別辦公家具變因情況，順序決定方式為探討辦公家具語音位準降低值結果之重要一環，第四章結果與討論中會依序解答實驗設計變因之邏輯。

表 2 變因代號

Table 2 Conditions code

變因條件	代號說明
有無貼覆吸音棉	無貼覆吸音棉：N。 有貼覆吸音棉：24K、48K、96K。
辦公家具隔間增高	0 cm、30 cm、60 cm、90 cm
辦公家具隔間型態	A、B、C
麥克風收音位置	距離聲源後方：2 m

例如：N-60B2：無貼覆吸音棉，隔間增高 60 cm，隔間型態 B

四、辦公家具

如圖 11-a 所示，本研究使用市面常見 OA 家具作為辦公家具改善基礎（尺寸：長 166.4 cm*寬 75.2 cm*高 101 cm），隔間增高材料使用木心板架構，OA 家具為隔間型態 A，增設背板為隔間型態 B，增設背板及側板為隔間型態 C。單一類型辦公家具根據 ISO 23351-1 規範量測，透過數據分析出，不同辦公家具隔間型態對辦公空間聲環境之影響。



a.N-00A



b.N-00B



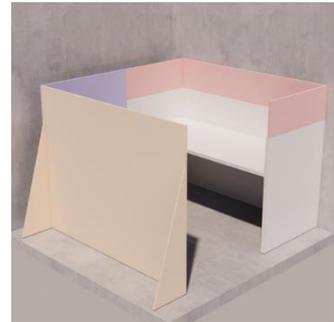
c.N-00C



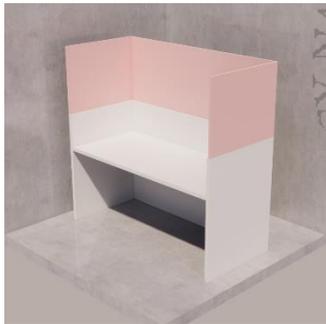
d.N-30A



e.N-30B



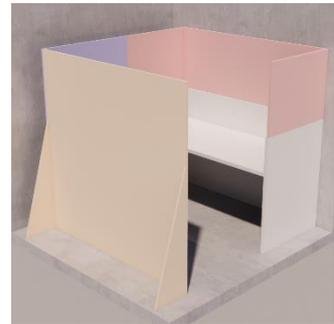
f.N-30C



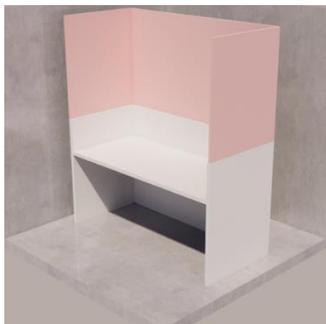
g.N-60A



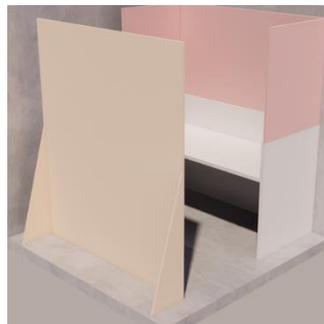
h.N-60B



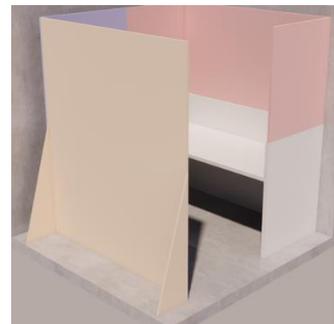
i.N-60C



j.N-90A



k.N-90B



l.N-90C

圖 11 辦公家具

Fig. 11 Office furniture

五、實驗流程

(一) 實驗前置

本研究依照 ISO 23351-1 規範製作辦公家具隔間，不違背天花板開放式之原則，建立不同隔間型態與隔間增高作為實驗變因，實驗材料經 3D 建模，開出所需數量之材料單，隔間使用木心板架構與市售不同密度吸音棉，材料選用操作性高且市面較常使用之建材。

(二) 測試件製作

材料製程依照實驗前置製作材料單，尺寸定長、寬，木心板加工採用國立屏東科技大學木材科學與設計系木材加工廠之圓鋸機裁切，吸音棉加工採用美工刀與鋼尺手工切割，隔間組合為製作高度 30、60 cm 隔間，兩者堆疊組合高度 90 cm 隔間進行量測。此外，吸音棉尺寸亦同，密度 96 K 吸音棉視為板料切割，與 24 K、48 K 吸音棉捲不同。

(三) 實驗進行

辦公家具第一階段量測有貼覆吸音棉之變因，使用其一吸音棉密度作為隔間內部吸音材料，量測順序由隔間增高 0 cm 依序堆疊至隔間增高 90 cm，再次使用不同密度吸音棉作為量測結果，實驗過程隔間型態為全部變因量測結束後更換，隔間型態全數量測完畢即完成第一階段實驗進行。

辦公家具第二階段量測無貼覆吸音棉之變因，其過程同第一階段順序，差異為隔間內無吸音材料，僅依靠木心板作為隔音材料，無須更換吸音棉，場地需將第一階段實驗殘留吸音棉清潔乾淨。

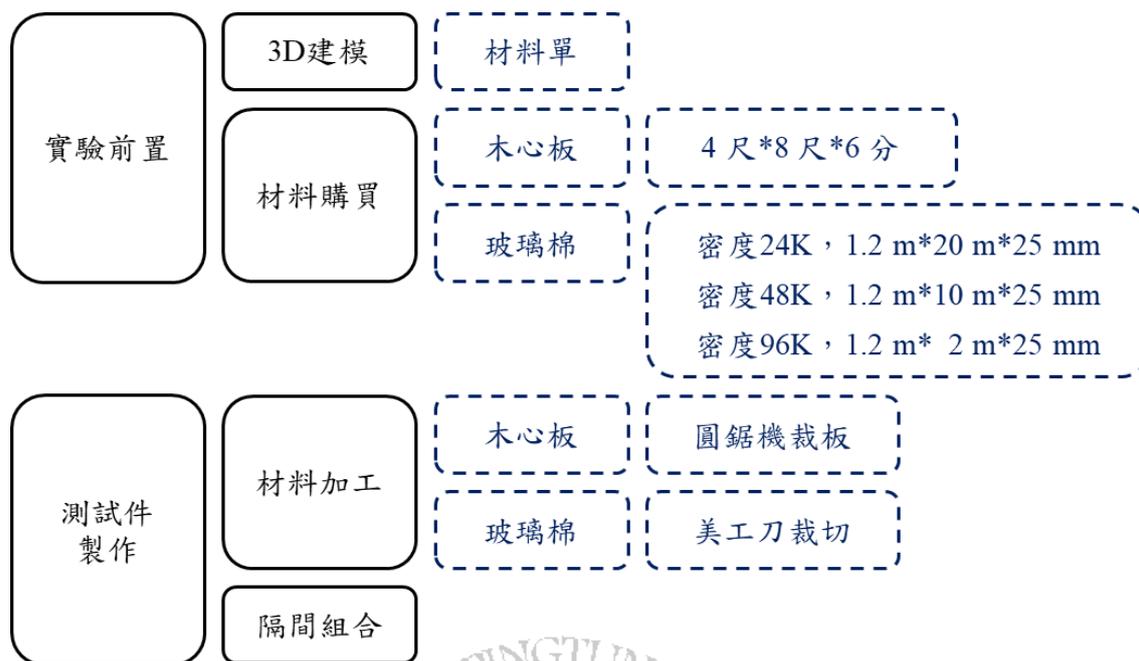


圖 12 實驗前置作業

Fig. 12 Experiment Preparatory work

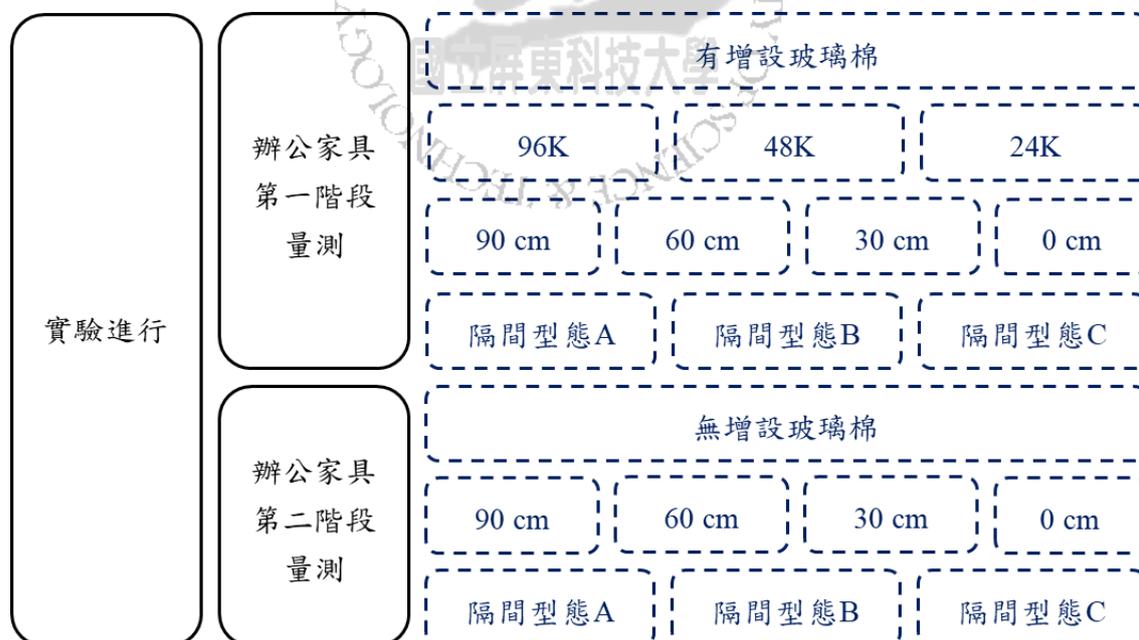


圖 13 實驗步驟

Fig. 13 Experiment procedure

六、實驗儀器說明

表 3 實驗儀器

Table 3 Experimental instruments

實驗儀器	說明	儀器照片	
聲源 釋放 儀器	指向性聲源 (Artificial mouth)	模擬工作者正常發聲之語音位準	
	傳輸線 (Transmission line)	訊號傳輸功能	
	功率放大器 (Amplifier)	調整音訊之聲功率位準，並將其傳至指向性聲源	
收音 儀器	麥克風 (Microphone)	語音位準降低值量測之訊號接收	
	校正器 (Calibrator)	以 1k Hz 94dB 之能量進行麥克風校正	
	頻譜分析儀量測系統 (Real Time Analyzer)	麥克風接收語音之紀錄，以及量測數據之輸出	

七、研究評估指標

(一) 位準降低值 Level Reduction (D_i) (dB)

位準降低值 (D_i) 可以初步計算出各頻率有效降低值之分析量測位準降低值計算如式 (1)：

$$D_i = L_{W,P,1,i} - L_{W,P,2,i} \quad (1)$$

$L_{W,P,1,i}$ ：沒有測試件的情況下，聲源開啟時所釋放的聲功率位準

$L_{W,P,2,i}$ ：有測試件的情況下，聲源開啟時所釋放的聲功率位準

1/1 倍頻帶以 i 表示，P 表示寬頻帶穩定噪音，聲源使用粉紅噪音。

(二) 語音位準降低值 Speech Level Reduction ($D_{S,A}$) (dB)

D_i 為不同頻率位準降低值，用以決定語音位準降低值 $D_{S,A}$ ，聲功率位準 $L_{W,S,1,i}$ 使用表 4 中給出的未加權語音標準聲功率位準，實驗釋放的聲功率位準 $L_{W,S,2,i}$ 由式 (2) 計算：

$$L_{W,S,2,i} = L_{W,S,1,i} - D_i \quad (2)$$

125 Hz~8k Hz 頻率釋放之 A 加權聲功率位準由式 (3) 計算：

$$L_{W,S,A,2} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^7 10^{(L_{W,S,2,i} + A_i)/10} \right] \quad (3)$$

A_i ：1/1 倍頻帶 A 加權(A-weighting)值，參照表 5 代入

語音位準降低值由式 (4) 計算：

$$D_{S,A} = L_{W,S,A,1} - L_{W,S,A,2} \quad (4)$$

$L_{W,S,A,1} = 68.4$ dB 是標準化的聲音 A 加權聲功率位準。A 加權聲功率位準(A-weighted Sound Power Level)，將不同頻率 dB 值，由表 5 取 A 加權的頻率加權函數計算，度量單位仍為 dB (SPL)。

表 4 未加權語音聲功率位準

Table 4 Unweighted sound power level of genderless speech

頻率(Hz)	125	250	500	1k	2k	4k	8k
$L_{W,S,1}$ (dB)	60.9	65.3	69.0	63.0	55.8	49.8	44.5

表 5 頻率 A 加權函數

Table 5 Frequency A weighting function

頻率(Hz)	125	250	500	1k	2k	4k	8k
A 加權 dB(A)	-16.1	-8.6	-3.2	0	1.2	1.0	-1.1
頻率加權函數							

(三) 聲功率位準 Sound Power Level (L_w) (dB)

聲功率為單位時間內聲源量測所產生的能量。噪音量測中，聲功率指聲源釋放所接收到的總聲功率。聲功率位準則是不同頻率中所接收聲功率，聲功率單位為 W 。

聲功率位準以 L_w 或 PWL 表示：

$$PWL = L_w = 10 \log \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

W ：聲功率

W_0 ： $10^{-12}W$

肆、結果與討論

本章結果分析依照 ISO 23351-1 量測標準，辦公家具隔間外距離聲源 2 m 作為討論，主要探討隔間型態、隔間高度、吸音材料使用後，聲學性能改善結果，以及辦公家具單一組件語音位準降低值。其餘麥克風收音點位量測結果紀錄於附錄中。

一、隔間高度變化對位準降低值之影響

無貼覆吸音棉，辦公家具隔間增高至 90 cm，對隔間型態 A、B、C 位準降低值之影響。指向性聲源為線性向正前方釋放能量，辦公家具隔間高於聲源，以隔絕直接音影響辦公環境造成不必要聲響。

如表 6~8 所示，圖 15 為不同型態隔間增高對比圖，辦公家具隔間由原高度之條件增高至 90 cm 時，其位準降低量隨之增加。其中隔間型態 B、C 在頻率 125 Hz 噪音降低量有顯著提升，隔間型態 A 則無顯著差異。隔間型態 B、C 背板設計有利於聲源後方距離 2 m 噪音改善。

N-30A 位準降低量改善不佳，指向性聲源高度為 1.2 m，OA 辦公家具高度為 101 cm，隔間增高 30 cm 後將指向性聲源阻擋，直接音經過反射傳入麥克風收音，隔間型態 B 與隔間型態 C 增設背板改善較佳。

綜上所述，隔間增高對低頻 125 Hz 位準降低量有顯著提升。無貼覆吸音棉吸音情況下，辦公家具隔間增高 30 cm 阻擋直接音造成反射音傳入麥克風收音，無吸音材料吸收過多聲源導致內部能量無法消散，因此噪音改善不佳，不同隔間型態增設背板改善較佳，其中改善效果最佳為隔間型態 C。

表 6 增高至 90 cm 隔間型態 A 位準降低值

Table 6 Increased to 90 cm compartment type A level reduction

Spectrum (Hz)	位準降低值 Level Reduction (D _i)						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
N-00A2	-1.6	0.7	0.7	0.4	0.4	0.1	-0.4
N-30A2	-2.6	0.9	0.6	0.6	0.3	-0.3	-0.4
N-60A2	-0.4	0.8	0.2	0.5	0.3	-0.2	-0.9
N-90A2	0.4	1.4	0.9	1.0	0.4	0.0	0.0

表 7 增高至 90 cm 隔間型態 B 位準降低值

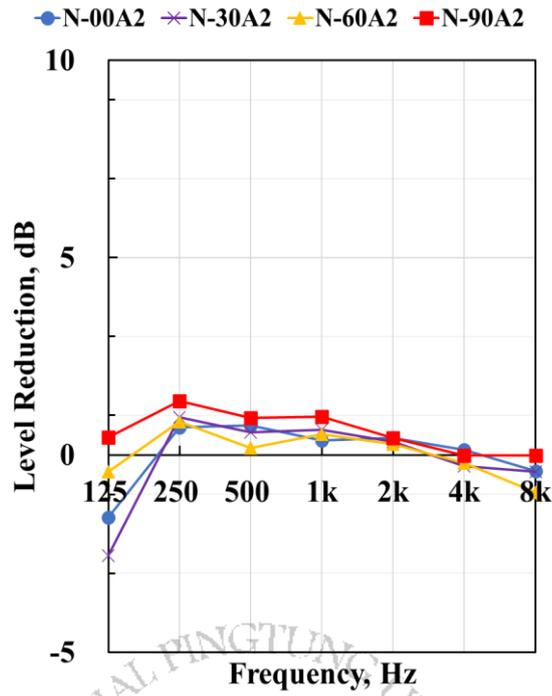
Table 7 Increased to 90 cm compartment type B level reduction

Spectrum (Hz)	位準降低值 Level Reduction (D _i)						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
N-00B2	-1.7	0.2	1.3	0.7	0.7	0.2	-0.1
N-30B2	-2.0	1.5	0.9	0.8	1.0	0.5	-0.2
N-60B2	-0.9	1.3	1.3	0.7	1.2	0.3	-0.2
N-90B2	1.2	1.7	1.1	1.2	1.4	0.7	0.4

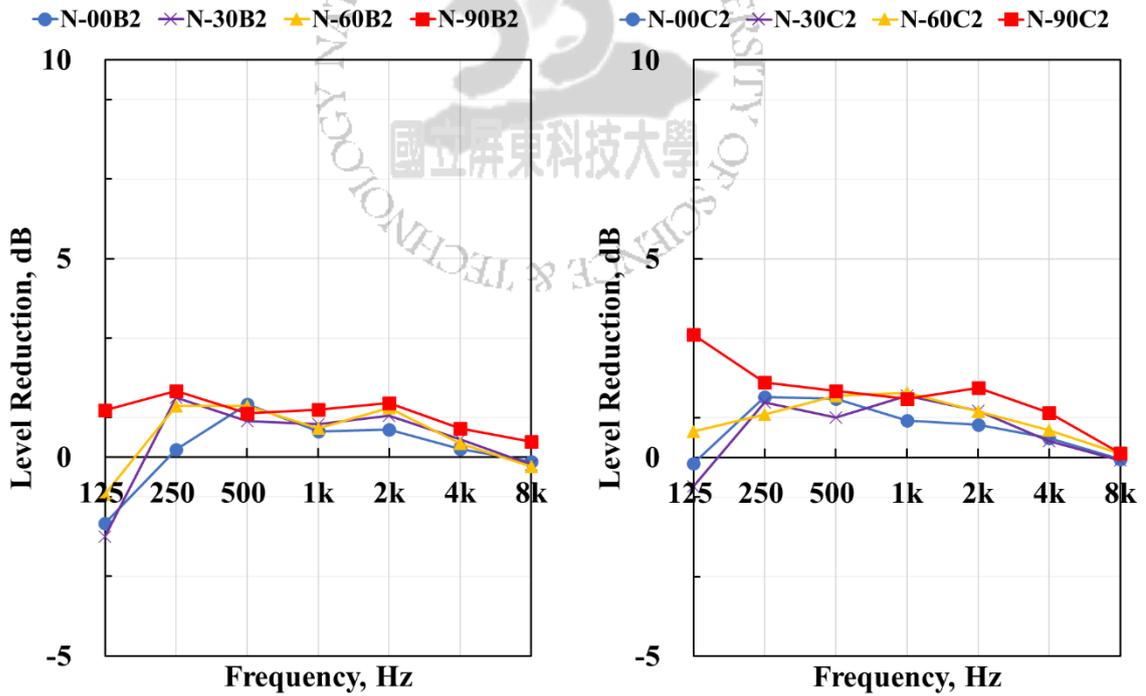
表 8 增高至 90 cm 隔間型態 C 位準降低值

Table 8 Increased to 90 cm compartment type C level reduction

Spectrum (Hz)	位準降低值 Level Reduction (D _i)						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
N-00C2	-0.2	1.5	1.5	0.9	0.8	0.5	-0.1
N-30C2	-0.7	1.4	1.0	1.6	1.2	0.4	-0.1
N-60C2	0.7	1.1	1.6	1.6	1.2	0.7	0.1
N-90C2	3.1	1.9	1.7	1.5	1.8	1.1	0.1



a. 型態 A



b. 型態 B

c. 型態 C

圖 14 不同型態隔間增高

Fig. 14 Different types of partitions increase in height

二、不同吸音棉密度與隔間高度變化對位準降低值之影響

不同吸音棉使用方式對位準降低值之分析，吸音材料作為改善辦公噪音主要變因，量測隔間外距離聲源 2 m，不同吸音綿密度下位準降低值之影響。辦公家具隔間高度增高後，直接影響辦公家具隔間內部吸音面積。隔間型態改變，辦公家具吸音面積與隔間包覆性同時增加。

本節共探討三項辦公家具使用吸音棉後之影響，不同變因條件下對辦公家具改善條件有所差異，有無貼覆吸音棉為第四章第一節之延伸。隔間高度增加屬於隔音材料架構，辦公家具隔間內使用吸音棉為吸音材料架構。

隔間增高對辦公家具位準降低值有正向改善，本節分析中隔間增高變因將以高度 60、90 cm 討論，差值為改善後效果呈現。



(一) 有無貼覆吸音棉隔間增高

有無貼覆吸音棉，辦公家具隔間增高至 90 cm 位準降低值之影響，隔間型態 A、隔間型態 B、隔間型態 C 貼覆 96 K 吸音棉作為吸音材料，量測有貼覆吸音棉與無貼覆吸音棉噪音改善程度之差異，改善後差值如表 9 與圖 16 所示，圖 15 為有無貼覆吸音棉對比圖。

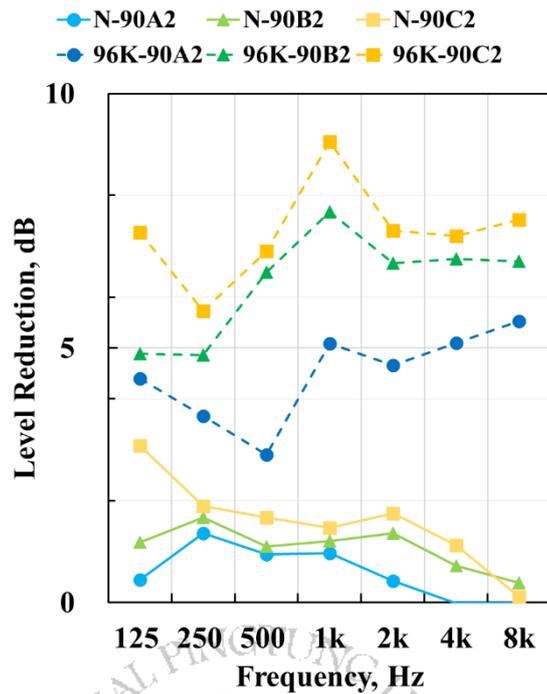
貼覆吸音棉對各頻率位準降低量有顯著提升，其中頻率 1k Hz 噪音降低量最為顯著。不同型態貼覆吸音棉效果有所差異，隔間型態 A 貼覆吸音棉對頻率 4k~8k Hz 噪音降低量改善效果顯著，位準降低值改善後 4k Hz 降低值提升 5.1 dB、8k Hz 降低值提升 5.5 dB。

隔間型態 B 貼覆吸音棉對頻率 1k Hz 及 4k~8k Hz 噪音降低量改善效果顯著，位準降低值改善後 1k Hz 降低值提升 6.5 dB、4k Hz 降低值提升 6.0 dB、8k Hz 降低值提升 6.3 dB。

隔間型態 C 貼覆吸音棉對頻率 1k Hz 及 8k Hz 噪音降低量改善效果顯著，位準降低值改善後 1k Hz 降低值提升 7.6 dB、8k Hz 降低值提升 7.4 dB。

貼覆吸音棉同時隔間增高對各頻率位準降低量有顯著提升，其中頻率 1k Hz 噪音降低量最為顯著，其次為 8k Hz。頻率 125 Hz 因隔間增高與貼覆吸音棉，隨高度提升噪音降低量提升效果愈加顯著。隔間型態 B 與隔間型態 C 增高至 90 cm，頻率 250 Hz 再次提升。

綜上所述，有貼覆吸音棉對於位準降低量有顯著提升，隔間增高後貼覆吸音棉效益更佳，隔間型態 B 與隔間型態 C 貼覆吸音棉位準降低量提升高於隔間型態 A，透過型態改變吸音面積增加，有效增加辦公家具位準降低值提升。



貼覆 96 K 吸音棉

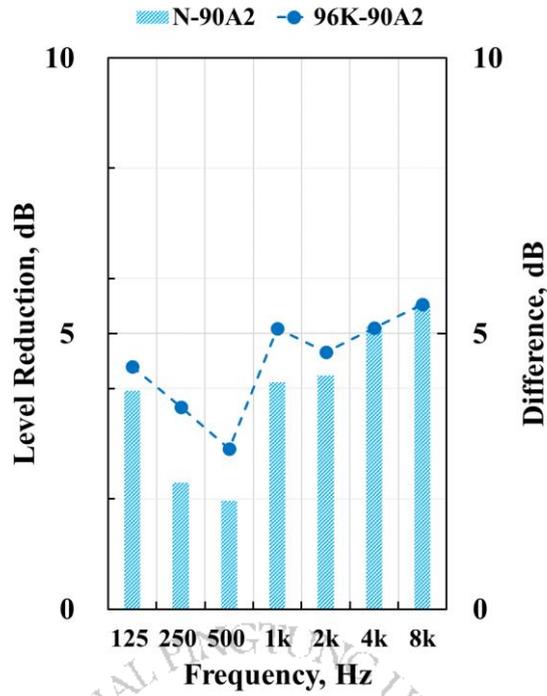
圖 15 有無貼覆吸音棉

Fig. 15 With or without sound-absorbing cotton

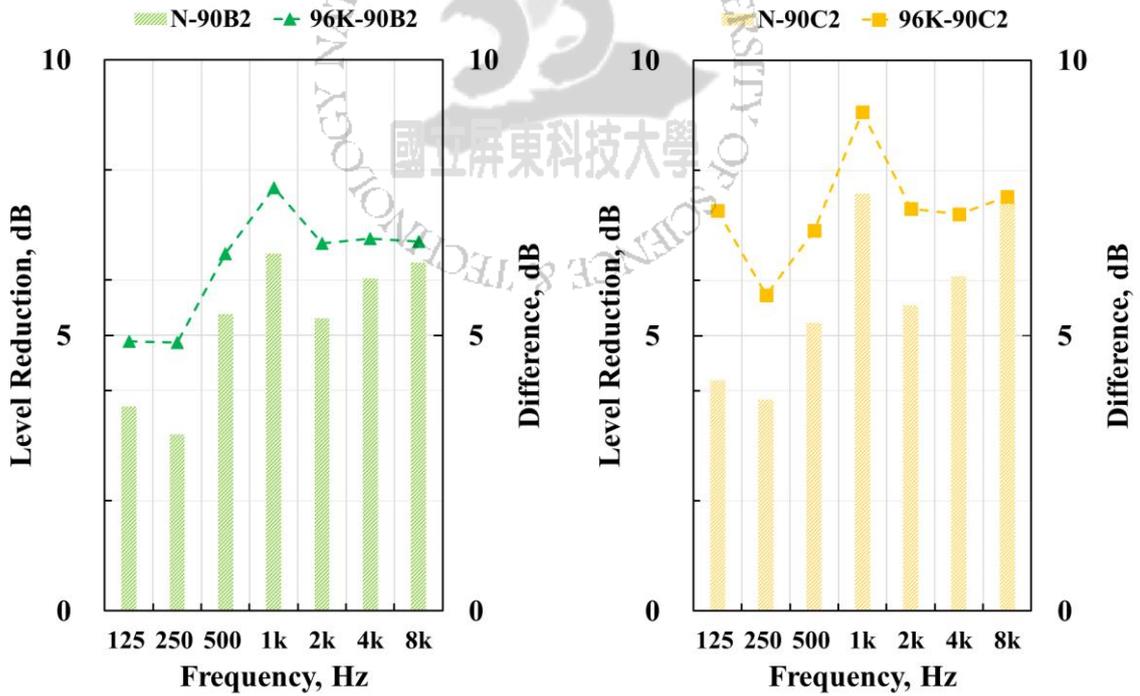
表 9 位準降低值 96K

Table 9 Level Reduction 96K

Spectrum (Hz)	位準降低值 D_i (dB)						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
N-90A2	0.4	1.4	0.9	1.0	0.4	0.0	0.0
96K-90A2	4.4	3.7	2.9	5.1	4.7	5.1	5.5
Difference	4.0	2.3	2.0	4.1	4.2	5.1	5.5
N-90B2	1.2	1.7	1.1	1.2	1.4	0.7	0.4
96K-90B2	4.9	4.9	6.5	7.7	6.7	6.8	6.7
Difference	3.7	3.2	5.4	6.5	5.3	6.0	6.3
N-90C2	3.1	1.9	1.7	1.5	1.8	1.1	0.1
96K-90C2	7.3	5.7	6.9	9.1	7.3	7.2	7.5
Difference	4.2	3.8	5.2	7.6	5.6	6.1	7.4



a. 貼覆 96 K 吸音棉型態 A



b. 貼覆 96 K 吸音棉型態 B

c. 貼覆 96 K 吸音棉型態 C

圖 16 有無貼覆 96 K 吸音棉隔間增高 90 cm

Fig. 16 With or without 96 K sound-absorbing cotton partitions to increase height 90 cm

(二) 不同吸音棉密度隔間增高

貼覆吸音棉同時隔間增高 60、90 cm 效果較佳，圖 17 不同吸音棉密度隔間高度以增高 60、90 cm 作對比，同一種隔間型態比較隔間增高後，使用不同密度吸音棉對位準降低之影響。

辦公家具使用不同吸音棉密度對位準降低量改善甚微，同隔間型態對比，吸音棉密度 96 K 與 48 K 改善效益幾乎相同且優於密度 24 K。不同吸音棉密度用於不同隔間型態對位準降低量有所差異，隔間型態 A 在頻率 1k Hz~8k Hz 噪音降低量較佳，隔間型態 B 在頻率 500 Hz~1k Hz 噪音降低量較佳，隔間型態 C 在頻率 500 Hz~1k Hz 噪音降低量較佳。

辦公家具使用不同吸音棉密度，隔間增高 60 cm 至 90 cm 對位準降低量之影響。隔間型態 A 貼覆密度 96 K 吸音棉與 48 K 吸音棉，在頻率 125 Hz~250 Hz 及 2k Hz~8k Hz 噪音降低量優於貼覆密度 24 K 吸音棉。

隔間型態 B 貼覆密度 96 K 吸音棉在頻率 250 Hz 噪音降低量改善不佳，貼覆密度 96 K 與 48 K 吸音棉在頻率 125 Hz 及 500 Hz~8k Hz 噪音降低量優於貼覆密度 24 K 吸音棉。

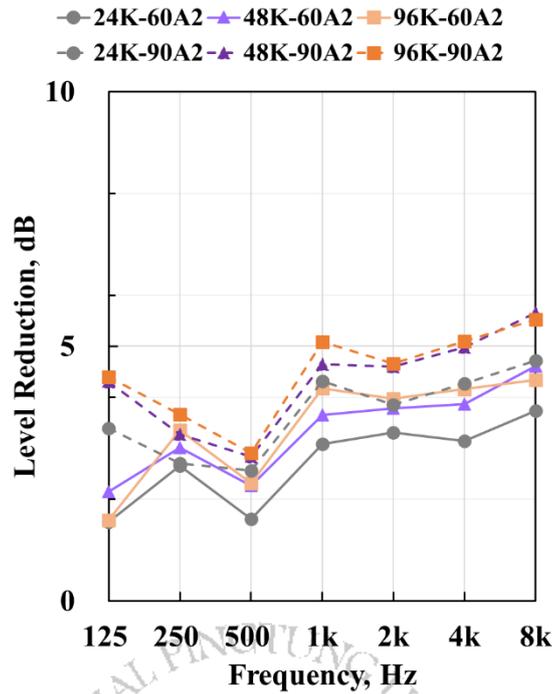
隔間型態 C 貼覆密度 96 K 吸音棉在頻率 250 Hz 噪音降低量改善不佳，貼覆密度 48 K 吸音棉在頻率 125 Hz 噪音降低量改善不佳，貼覆密度 96 K 與 48 K 吸音棉在頻率 500 Hz~8k Hz 噪音降低量優於貼覆密度 24 K 吸音棉。

綜上所述，同隔間型態貼覆不同吸音棉密度差異不大，隔間型態 A 在頻率 500 Hz 噪音降低改善量無顯著差異、隔間型態 B 與隔間型態 C 在頻率 250 Hz 噪音降低改善量無顯著差異。貼覆不同吸音棉密度改善效果，密度 96 K 吸音棉與 48 K 吸音棉效果較佳。表 10 為不同吸音棉密度隔間增高 60、90 cm，同型態各頻率位準降低值。

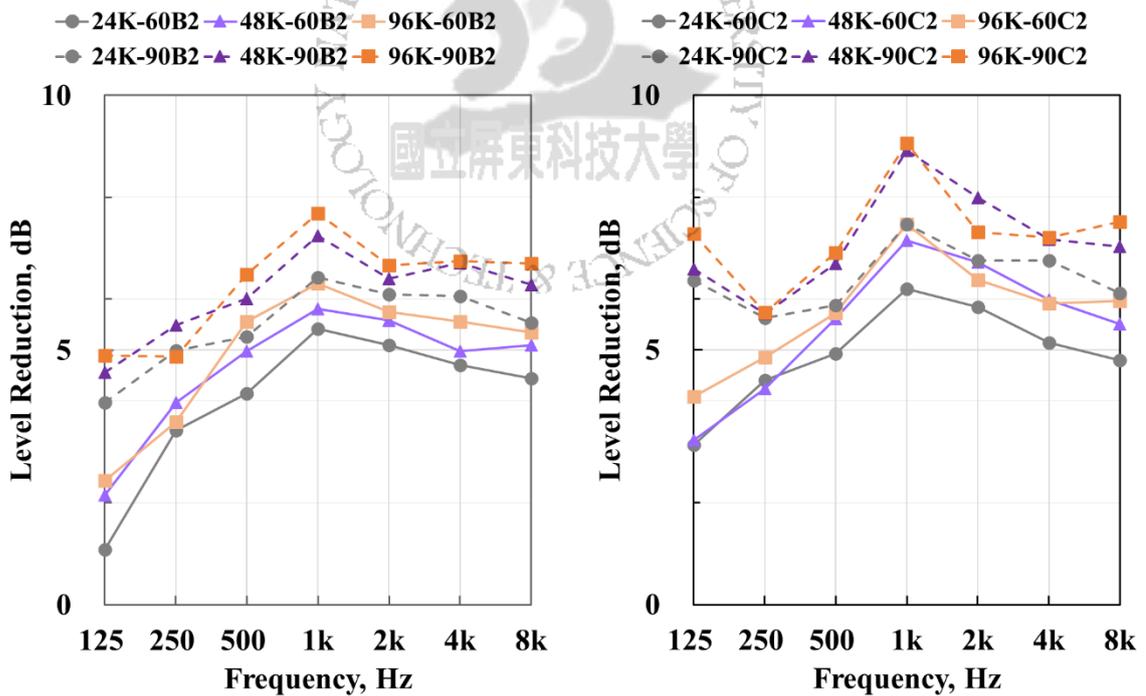
表 10 位準降低值 90cm

Table 10 Level Reduction 90 cm

Spectrum (Hz)	位準降低值 D_i (dB)						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
24K-90A2	3.4	2.7	2.6	4.3	3.9	4.3	4.7
48K-90A2	4.3	3.3	2.8	4.7	4.6	5.0	5.7
96K-90A2	4.4	3.7	2.9	5.1	4.7	5.1	5.5
24K-90B2	4.0	5.0	5.3	6.4	6.1	6.1	5.5
48K-90B2	4.6	5.5	6.0	7.2	6.4	6.7	6.3
96K-90B2	4.9	4.9	6.5	7.7	6.7	6.8	6.7
24K-90C2	6.4	5.6	5.9	7.5	6.7	6.8	6.1
48K-90C2	6.6	5.7	6.7	8.9	8.0	7.2	7.0
96K-90C2	7.3	5.7	6.9	9.1	7.3	7.2	7.5



a. 不同吸音棉密度 A 型態



b. 不同吸音棉密度 B 型態

c. 不同吸音棉密度 C 型態

圖 17 不同吸音棉密度隔間增高 60、90 cm

Fig. 17 The height of the partitions with different sound-absorbing cotton densities increases by 60 or 90 cm

(三) 不同型態貼覆吸音棉隔間增高

不同型態貼覆相同吸音棉密度，隔間增高 90 cm 對位準降低量之影響如表 11 所示。改變辦公家具隔間型態對位準降低量影響效益顯著，如圖 18、19 所示，隔間型態 C 及隔間型態 B 各頻率位準降低量高於隔間型態 A，在頻率 500 Hz 及 1k Hz 噪音改善量顯著。

隔間型態 A 改變為隔間型態 B，貼覆 48 K 吸音棉對頻率 500 Hz 及 1k Hz 噪音降低量改善效果顯著，位準降低值改善後 500 Hz 降低值提升 3.2 dB、1k Hz 降低值提升 2.6 dB。

隔間型態 A 改變為隔間型態 C，貼覆 48 K 吸音棉對頻率 500 Hz 及 1k Hz 噪音降低量改善效果顯著，位準降低值改善後 500 Hz 降低值提升 3.9 dB、1k Hz 降低值提升 4.3 dB。

隔間型態 A 改變為隔間型態 B，貼覆 96 K 吸音棉對頻率 500 Hz 及 1k Hz 噪音降低量改善效果顯著，位準降低值改善後 500 Hz 降低值提升 3.6 dB、1k Hz 降低值提升 2.6 dB。

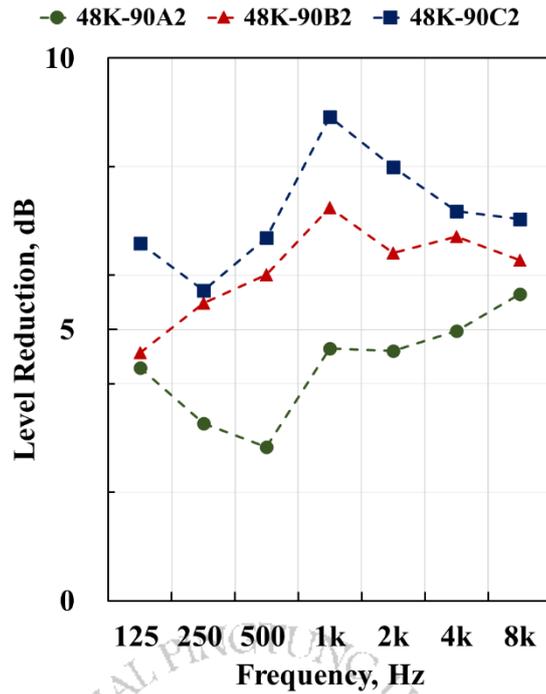
隔間型態 A 改變為隔間型態 C，貼覆 96 K 吸音棉對頻率 500 Hz 及 1k Hz 噪音降低量改善效果顯著，位準降低值改善後 500 Hz 降低值提升 4.0 dB、1k Hz 降低值提升 4.0 dB。

綜上所述，辦公家具使用不同隔間型態對位準降低量有顯著差異。隔間型態改變，對頻率 500 Hz 及 1k Hz 位準降低量提升較為顯著，其中隔間型態 C 位準降低值改善較佳。對比隔間型態 B 改善後降低值提升，隔間型態 C 在頻率 125 Hz 及 8k Hz 有較高提升。

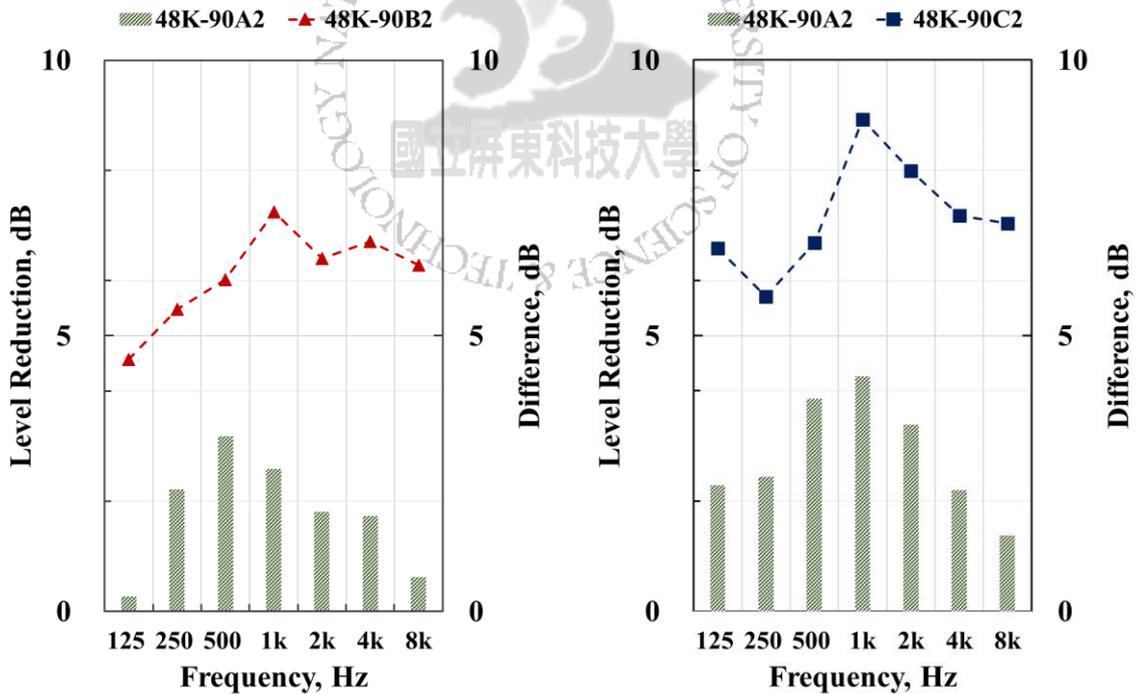
表 11 位準降低值 48、96 K 與 90 cm

Table 11 Level Reduction 48, 96 K and 90 cm

Spectrum (Hz)	位準降低值 D_i (dB)						
	125	250	500	1k	2k	4k	8k
48K-90A2	4.3	3.3	2.8	4.7	4.6	5.0	5.7
48K-90B2	4.6	5.5	6.0	7.2	6.4	6.7	6.3
Difference	0.3	2.2	3.2	2.6	1.8	1.7	0.6
48K-90A2	4.3	3.3	2.8	4.7	4.6	5.0	5.7
48K-90C2	6.6	5.7	6.7	8.9	8.0	7.2	7.0
Difference	2.3	2.4	3.9	4.3	3.4	2.2	1.4
96K-90A2	4.4	3.7	2.9	5.1	4.7	5.1	5.5
96K-90B2	4.9	4.9	6.5	7.7	6.7	6.8	6.7
Difference	0.5	1.2	3.6	2.6	2.0	1.6	1.2
96K-90A2	4.4	3.7	2.9	5.1	4.7	5.1	5.5
96K-90C2	7.3	5.7	6.9	9.1	7.3	7.2	7.5
Difference	2.9	2.1	4.0	4.0	2.6	2.1	2.0



a. 不同型態貼覆 48 K 吸音棉

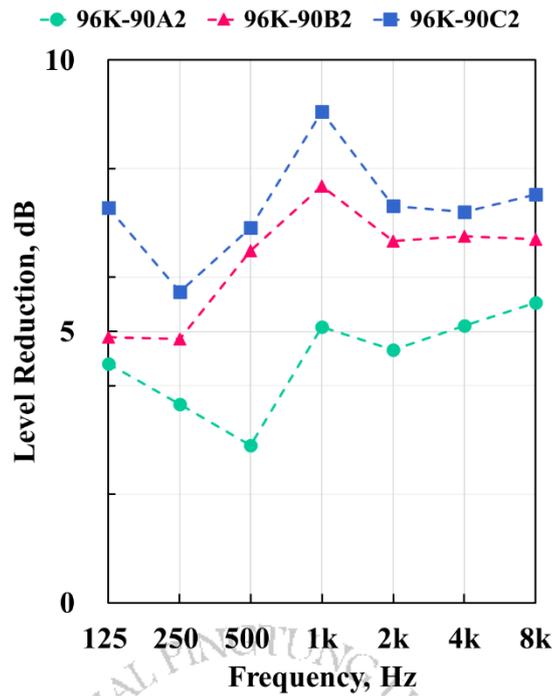


b. 48 K 吸音棉型態 B 差值

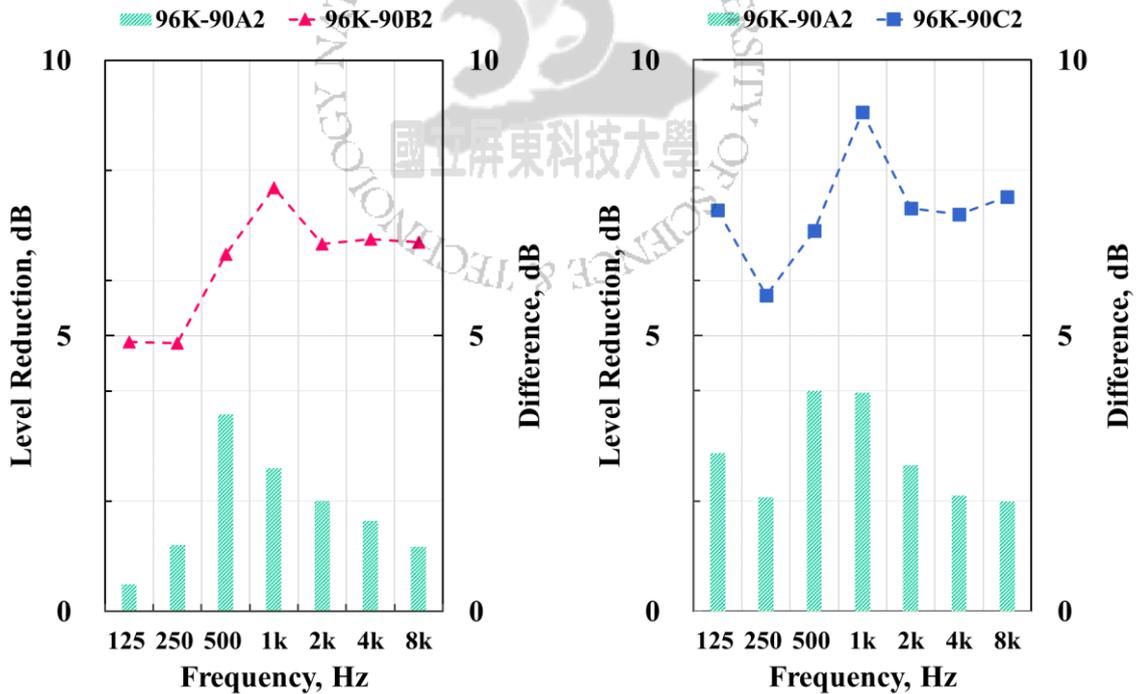
c. 48 K 吸音棉型態 C 差值

圖 18 貼覆 48 K 吸音棉隔間增高 90 cm 型態改變後差值

Fig. 18 Difference types covered with 48 K sound-absorbing cotton and the height after the change of shape by 90 cm



a. 不同型態貼覆 96 K 吸音棉



b. 96 K 吸音棉型態 B 差值

c. 96 K 吸音棉型態 C 差值

圖 19 貼覆 96 K 吸音棉隔間增高 90 cm 型態改變後差值

Fig. 19 Difference types covered with 96 K sound-absorbing cotton and the height after the change of shape by 90 cm

三、辦公家具語音位準降低值

辦公家具語音位準降低值代表家具的性能，決定聲源對隔間外降低分貝程度，綜合各項變因位準降低量計算後得出。其中距離聲源 2 m 為 ISO 23351-1 規範中量測標準，本研究結果將性能較佳之辦公家具作為重點，以 CH2 語音位準降低值呈現。

(一) CH2 語音位準降低值

不同吸音棉密度隔間增高作為排序如表 12 所示。根據 ISO 23351-1 辦公家具語音位準降低值量測結果平均為 0~5 dB。表 12 取語音降低值大於 5 dB 之數據呈現。其中 24 K 吸音棉佔 3 項、48 K 吸音棉佔 4 項、96K 吸音棉佔 5 項，皆為隔間型態 B 與隔間型態 C。

隔間增高至 30 cm 隔間型態 C 貼覆 96 K 吸音棉，語音位準降低值可達 5.1 dB。隔間增高至 90 cm 後隔間型態 B 與隔間型態 C，貼覆不同吸音棉密度，語音位準降低值皆可大於 5 dB，最佳為 96K-90C 位準降低值為 7.4 dB。

隔間型態 A 為原 OA 辦公家具隔間型態，隔間型態改變及隔間增高對語音位準降低量有顯著改善，貼覆不同吸音棉密度隨著隔間型態改變以及隔間增高，對辦公家具語音位準降低值有顯著影響。

表 12 大於 5 dB 語音位準降低值

Table 12 Greater than 5 dB speech level reduction

編號	$D_{S,A}$ (dB)	編號	$D_{S,A}$ (dB)	編號	$D_{S,A}$ (dB)
-	-	-	-	96K-30C	5.1
-	-	48K-60B	5.1	96K-60B	5.6
24K-60C	5.3	48K-60C	6.0	96K-60C	6.1
24K-90B	5.6	48K-90B	6.7	96K-90B	6.7
24K-90C	6.3	48K-90C	7.2	96K-90C	7.4

(二) 辦公家具改善後語音位準降低值

隔間型態改變語音位準降低值提升顯著。對比 OA 家具語音位準降低值改善後結果，如表 13 及圖 20 所示。隔間型態 A 辦公家具改善後語音位準降低值，最佳為 3.1 dB、隔間型態 B 辦公家具改善後語音位準降低值，最佳為 6.1 dB、隔間型態 C 辦公家具改善後語音位準降低值，最佳為 6.8 dB。

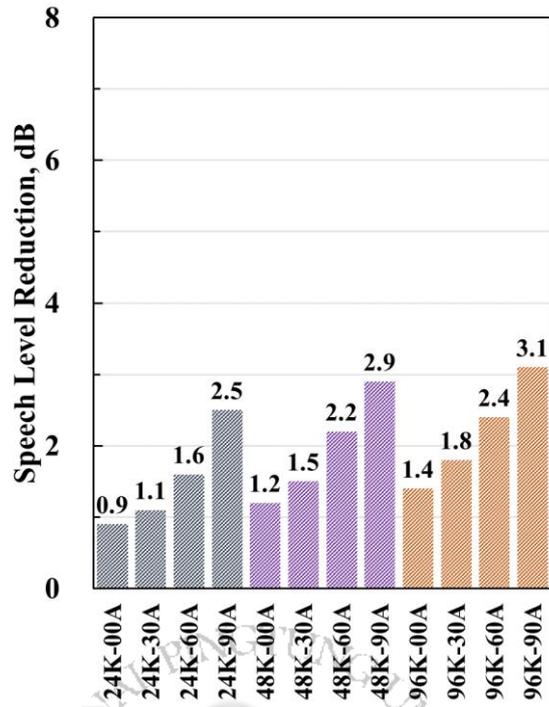
貼覆不同吸音棉密度語音位準降低值提升效果較小。對比 OA 家具語音位準降低值改善後結果，如表 13 及圖 20 所示。以隔間增高 90 cm 隔間型態 C 為例，貼覆 24 K 吸音棉辦公家具改善後語音位準降低值，最佳為 5.7 dB、貼覆 48 K 吸音棉辦公家具改善後語音位準降低值，最佳為 6.6 dB、貼覆 96 K 吸音棉辦公家具改善後語音位準降低值，最佳為 6.8 dB。

綜上所述，語音位準降低值改善利用不同型態作為變因效益優於貼覆不同吸音棉密度之辦公家具。透過隔間型態改變阻擋聲音繞射與反射音傳入麥克風收音，因此隔間型態 C 增設背板以及側板對語音位準降低值有顯著提升。貼覆 96 K 吸音棉與貼覆 48 K 吸音棉語音位準降低值改善後相差 0.2 dB，使用不同密度吸音材料對辦公家具語音位準降低值改善無顯著提升。

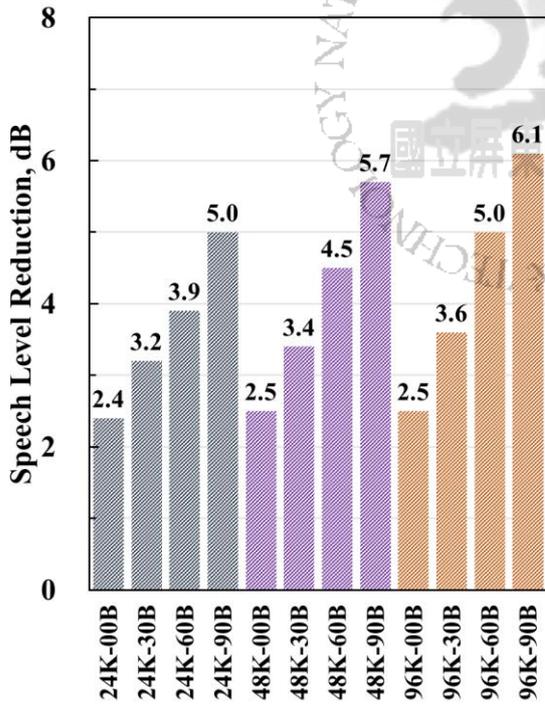
表 13 辦公家具改善後語音位準降低值

Table 13 Speech level reduction after improved office furniture

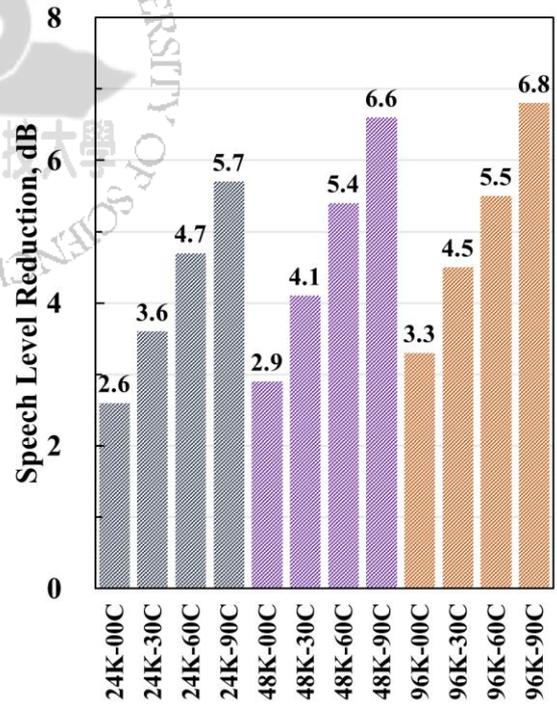
編號	$D_{S,A}$ (dB)	編號	$D_{S,A}$ (dB)	編號	$D_{S,A}$ (dB)
24K-00A	0.9	48K-00A	1.2	96K-00A	1.4
24K-30A	1.1	48K-30A	1.5	96K-30A	1.8
24K-60A	1.6	48K-60A	2.2	96K-60A	2.4
24K-90A	2.5	48K-90A	2.9	96K-90A	3.1
24K-00B	2.4	48K-00B	2.5	96K-00B	2.5
24K-30B	3.2	48K-30B	3.4	96K-30B	3.6
24K-60B	3.9	48K-60B	4.5	96K-60B	5
24K-90B	5	48K-90B	5.7	96K-90B	6.1
24K-00C	2.6	48K-00C	2.9	96K-00C	3.3
24K-30C	3.6	48K-30C	4.1	96K-30C	4.5
24K-60C	4.7	48K-60C	5.4	96K-60C	5.5
24K-90C	5.7	48K-90C	6.6	96K-90C	6.8



a. 不同吸音棉密度 A 型態



b. 不同吸音棉密度 B 型態



c. 不同吸音棉密度 C 型態

圖 20 不同吸音棉密度語音位準降低值

Fig. 20 Different sound-absorbing cotton densities reduce speech level reduction

伍、結論與建議

一、結論

本研究根據 ISO 23351-1 量測規範，對市售辦公家具進行語音位準降低值量測，透過改變隔間型態、隔間增高以及貼覆吸音材料，探討位準降低值與語音位準降低值之改善效益。實驗結果顯示，辦公家具語音位準降低值在本研究各變因條件下，其位準降低值皆有所提升，具體結論如下：

(一) 隔間型態之影響

隔間型態改變直接影響聲音反射方向，不同隔間型態之設計影響聲音繞射，並有效改善語音位準降低值，其中隔間型態 C 因增設背板及側板之設計，將指向性聲源有效阻隔在辦公家具隔間之中。本研究於指向性聲源後方設置麥克風，其背板可有效阻擋指向性聲源第一次反射音，對辦公家具語音位準降低值改善效果顯著。

(二) 隔間增高之影響

辦公家具隔間高度需高於聲源所設置之高度 40 cm 以上，位準降低值才會穩定提升。低頻噪音透過隔間增高其位準降低值有所提升，而不同型態下隔間增高結果亦同，辦公家具隔間框架範圍愈廣，低頻噪音位準降低值提升愈顯著。

(三) 增設吸音材料之影響

辦公家具在貼覆吸音棉條件下可有效改善語音位準降低值。同為使用吸音材料下，貼覆不同密度對位準降低值改善不大，但隨著隔間增高其吸音面積增加，對辦公家具語音位準降低值有所提升。

二、建議

(一) 辦公家具材料改變

本研究辦公家具由隔音材料與吸音材料組成，使用木心板作為辦公家具隔音材料，吸音材料貼覆吸音棉。辦公家具材料改變可由隔音表面材與內裝吸音材料為設計，隔音表面才可使用市面裝修隔間常使用之矽酸鈣板，或是纖維水泥板作為表面材，為求美觀及多元表面可使用貼皮美耐板作為架構。辦公家具隔間內吸音材料可選用木絲水泥板作為吸音材料，纖維屬於多孔性材料有助於達成多孔性吸音原理。辦公家具屬於辦公設備，可設立便於工作之平台或書架來達到整體性能使用。

(二) 麥克風收音點位改變

依據規範距離圓心 1.7 m 做麥克風收音點位變換，或是等比距離延伸收音可以量測指向性聲源影響範圍，過去辦公空間屬於密集式排列，多項點位測試亦可幫助傳統辦公室改善。

參考文獻

- 林芳銘, 陳冠銓, & 葉柏宏. (2014). 框架式面板牆系統構法對於隔音性能影響之研究 [Effects of Construction Method of Light Steel Partition on Sound Insulation Performance]. 空間設計學報(16), 25-34.
- 翁林寶. (2017). 中小型辦公室設計之考慮要素-從辦公行為觀點。中原大學。桃園市。 <https://doi.org/10.6840%2fcycu201700388>
- 陳建文, & 劉濬瑜. (2015). 不織布之吸音性研究 [A Study of Non-woven Acoustic Absorption Properties]. 華岡紡織期刊, 22(4), 189-194.
- 陳格理. (2015). 大學生對閱覽桌隔板的喜好性研究 [College Students' Preferences for Reading Desk Partition Designs in University Libraries]. 圖資與檔案學刊(86), 1-24.
- 曾冠祥. (2017). 辦公桌設計與規劃之個案研究。義守大學。高雄市。 [Article/Detail?docID=U0074-2401201713545900](https://doi.org/10.6840%2fcycu201700388)
- 黃憲政, 翁珮怡, & 張俊彥. (2009). 不同空間阻隔元素對情緒體驗之影響 [The Effect of Emotion Experience from Different Enclosed Elements]. 造園景觀學報, 15(3), 53-71.
- 謝明軒, & 陳昭銘. (2012). 新式辦公室交流空間設計—聚集與表述的空間 [The New Communication Workplace Design-The Space of Aggregation and Presentation]. 東方學報(33), 71-84.
- 顏大翔, 馮俊豪, & 林芳銘. (2023). 台灣杉壁板吸音特性探討 [Sound Absorption Property of Panels Made of Taiwania cryptomerioides]. 空間設計前沿, 2(1), 1-12.
- 顏大翔. (2020). 木質壁板構造吸音特性之探討。國立屏東科技大學。屏東縣。 <https://doi.org/10.6346%2fNPUST202000371>
- 蘇紫茵. (2020). 麥克風陣列結合波束成型理論進行聲源定位及應用聲學攝影機於加工系統之振噪分析。國立臺灣大學。台北市。 <https://doi.org/10.6342%2fNTU202003666>

Reference

- Goins, J., Jellema, J., & Zhang, H. (2010). Architectural enclosure's effect on office worker performance: A comparison of the physical and symbolic attributes of workspace dividers. *Building and Environment*, 45(4), 944-948.
- Jo, H. I., Santika, B. B., Lee, H., & Jeon, J. Y. (2022). Classification of sound environment based on subjective response with speech privacy in open plan offices. *Applied Acoustics*, 189, 108595.
- Keränen, J., & Hongisto, V. (2013). Prediction of the spatial decay of speech in open-plan offices. *Applied Acoustics*, 74(12), 1315-1325.
- Keränen, J., Hakala, J., & Hongisto, V. (2020). Effect of sound absorption and screen height on spatial decay of speech – Experimental study in an open-plan office. *Applied Acoustics*, 166, 107340.
- Lamb, S., & Kwok, K. C. S. (2016). A longitudinal investigation of work environment stressors on the performance and wellbeing of office workers. *Applied Ergonomics*, 52, 104-111.
- Lenne, L., Chevret, P., & Parizet, É. (2021). Measurement uncertainty and unicity of single number quantities describing the spatial decay of speech level in open-plan offices. *Applied Acoustics*, 182, 108269.
- Meng, Q., An, Y., & Yang, D. (2021). Effects of acoustic environment on design work performance based on multitask visual cognitive performance in office space. *Building and Environment*, 205, 108296.
- Pan, J., Chen, S., & Bardhan, R. (2024). Reinventing hybrid office design through a people-centric adaptive approach. *Building and Environment*, 252, 111219.
- Pollard, B., Engelen, L., Held, F., Van Buskirk, J., Spinney, R., & de Dear, R. (2022). Associations between spatial attributes, IEQ exposures and occupant movement behaviour in an open-plan office. *Building and Environment*, 212, 108812.

- Rasheed, E. O., Khoshbakht, M., & Baird, G. (2021). Time spent in the office and workers' productivity, comfort and health: A perception study. *Building and Environment*, 195, 107747.
- Renz, T., Leistner, P., & Liebl, A. (2018). Effects of the location of sound masking loudspeakers on cognitive performance in open-plan offices: Local sound masking is as efficient as conventional sound masking. *Applied Acoustics*, 139, 24-33.
- Srinivasan, K., Currim, F., Lindberg, C. M., Razjouyan, J., Gilligan, B., Lee, H., Canada, K. J., Goebel, N., Mehl, M. R., Lunden, M. M., Heerwagen, J., Najafi, B., Sternberg, E. M., Kampschroer, K., & Ram, S. (2023). Discovery of associative patterns between workplace sound level and physiological wellbeing using wearable devices and empirical Bayes modeling. *npj Digital Medicine*, 6(1), 5.
- Srivastava, C., Murnane, E. L., Billington, S. L., & Samuelson, H. W. (2024). Impact of workplace design on perceived work performance and well-being: Home versus office. *Journal of Environmental Psychology*, 95, 102274.
- Tang, S. K., & Wong, C. T. (1998). Performance of noise indices in office environment dominated by noise from human speech. *Applied Acoustics*, 55(4), 293-305.
- Yadav, M., Cabrera, D., Kim, J., Fels, J., & de Dear, R. (2021). Sound in occupied open-plan offices: Objective metrics with a review of historical perspectives. *Applied Acoustics*, 177, 107943.
- Yadav, M., Cabrera, D., Love, J., Kim, J., Holmes, J., Caldwell, H., & de Dear, R. (2019). Reliability and repeatability of ISO 3382-3 metrics based on repeated acoustic measurements in open-plan offices. *Applied Acoustics*, 150, 138-146.
- Zarei, F., Lee, J., Mackenzie, R., & Le Men, V. (2022). Evaluation of the uniformity of sound-masking systems in an open-plan office. *Applied Acoustics*, 186, 108464.

附錄 A

不含辦公家具在 125 Hz~8k Hz 的頻率範圍內，語音的 A 加權聲功率位準 $L_{W,S,A,1}$ 為 68.4 dB。表 1 在 125 Hz~8k Hz 的頻率範圍內，使用辦公家具時，語音的 A 加權聲功率位準 $L_{W,S,A,2}$ 為 40.0 dB。語音位準降低值 $D_{S,A}$ 為 28.4 dB。

表 A-1 主要測試結果的計算列表

表 A-1 Example of the calculation of the main test results

指數	1/1 倍頻 帶	未加權值		D_i	未加權值		A_i	α 加權值	
		$L_{W,P,1,i}$	$L_{W,P,2,i}$		$L_{W,S,1,i}$	$L_{W,S,2,i}$		$L_{W,S,A,1,i}$	$L_{W,S,A,2,i}$
i	Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
1	125	75.0	64.0	11.0	60.9	49.9	-16.1	44.8	33.8
2	250	85.3	62.0	23.3	65.3	42.0	-8.6	56.7	33.4
3	500	85.9	57.0	28.9	69.0	40.1	-3.2	65.8	36.9
4	1k	86.2	49.0	37.2	63.0	25.8	0.0	63.0	25.8
5	2k	87.7	49.0	38.7	55.8	17.1	1.2	57.0	18.3
6	4k	85.0	50.0	35.0	49.8	14.8	1.0	50.8	15.8
7	8k	85.5	48.3	37.2	44.5	7.3	-1.1	43.4	6.2

附錄 B

編號	24K-60C2	
使用變因	貼覆 24 K 吸音棉，隔間增高 60 cm，型態 C	
Frequency (Hz)	Level reduction (dB)	<p style="text-align: center;">● 24K-60C2</p>
125	3.1	
250	4.4	
500	4.9	
1k	6.2	
2k	5.8	
4k	5.1	
8k	4.8	
$D_{S,A}$ Speech level reduction (dB)	5.3	

編號	24K-90B2																	
使用變因	貼覆 24 K 吸音棉，隔間增高 90 cm，型態 B																	
Frequency (Hz)	Level reduction (dB)	<p>● 24K-90B2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency (Hz)</th> <th>Level Reduction (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>125</td><td>4.0</td></tr> <tr><td>250</td><td>5.0</td></tr> <tr><td>500</td><td>5.3</td></tr> <tr><td>1k</td><td>6.4</td></tr> <tr><td>2k</td><td>6.1</td></tr> <tr><td>4k</td><td>6.1</td></tr> <tr><td>8k</td><td>5.5</td></tr> </tbody> </table>	Frequency (Hz)	Level Reduction (dB)	125	4.0	250	5.0	500	5.3	1k	6.4	2k	6.1	4k	6.1	8k	5.5
Frequency (Hz)	Level Reduction (dB)																	
125	4.0																	
250	5.0																	
500	5.3																	
1k	6.4																	
2k	6.1																	
4k	6.1																	
8k	5.5																	
125	4.0																	
250	5.0																	
500	5.3																	
1k	6.4																	
2k	6.1																	
4k	6.1																	
8k	5.5																	
$D_{S,A}$ Speech level reduction (dB)	5.6																	

編號	24K-90C2																	
使用變因	貼覆 24 K 吸音棉，隔間增高 90 cm，型態 C																	
Frequency (Hz)	Level reduction (dB)	<p>● 24K-90C2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency (Hz)</th> <th>Level Reduction (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>125</td><td>6.4</td></tr> <tr><td>250</td><td>5.6</td></tr> <tr><td>500</td><td>5.9</td></tr> <tr><td>1k</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>2k</td><td>6.7</td></tr> <tr><td>4k</td><td>6.8</td></tr> <tr><td>8k</td><td>6.1</td></tr> </tbody> </table>	Frequency (Hz)	Level Reduction (dB)	125	6.4	250	5.6	500	5.9	1k	7.5	2k	6.7	4k	6.8	8k	6.1
Frequency (Hz)	Level Reduction (dB)																	
125	6.4																	
250	5.6																	
500	5.9																	
1k	7.5																	
2k	6.7																	
4k	6.8																	
8k	6.1																	
125	6.4																	
250	5.6																	
500	5.9																	
1k	7.5																	
2k	6.7																	
4k	6.8																	
8k	6.1																	
$D_{S,A}$ Speech level reduction (dB)	6.3																	

編號	48K-60B2	
使用變因	貼覆 48 K 吸音棉，隔間增高 60 cm，型態 B	
Frequency (Hz)	Level reduction (dB)	<p style="text-align: center;">-▲ 48K-60B2</p>
125	2.2	
250	4.0	
500	5.0	
1k	5.8	
2k	5.6	
4k	5.0	
8k	5.1	
$D_{S,A}$ Speech level reduction (dB)	5.1	

編號	48K-60C2	
使用變因	貼覆 48 K 吸音棉，隔間增高 60 cm，型態 C	
Frequency (Hz)	Level reduction (dB)	<p style="text-align: center;">-▲ 48K-60C2</p>
125	3.2	
250	4.2	
500	5.6	
1k	7.1	
2k	6.7	
4k	6.0	
8k	5.5	
$D_{s,A}$ Speech level reduction (dB)	6.0	

編號	48K-90B2	
使用變因	貼覆 48 K 吸音棉，隔間增高 90 cm，型態 B	
Frequency (Hz)	Level reduction (dB)	<p>Level Reduction, dB</p> <p>Frequency, Hz</p> <p>▲ 48K-90B2</p>
125	4.6	
250	5.5	
500	6.0	
1k	7.2	
2k	6.4	
4k	6.7	
8k	6.3	
$D_{s,A}$ Speech level reduction (dB)	6.7	

編號	48K-90C2	
使用變因	貼覆 48 K 吸音棉，隔間增高 90 cm，型態 C	
Frequency (Hz)	Level reduction (dB)	<p>Level Reduction, dB</p> <p>Frequency, Hz</p> <p>▲ 48K-90C2</p>
125	6.6	
250	5.7	
500	6.7	
1k	8.9	
2k	8.0	
4k	7.2	
8k	7.0	
$D_{s,A}$ Speech level reduction (dB)	7.2	

編號	96K-30C2																	
使用變因	貼覆 96 K 吸音棉，隔間增高 30 cm，型態 C																	
Frequency (Hz)	Level reduction (dB)	<p>▲ 96K-30C2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency (Hz)</th> <th>Level Reduction (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>125</td><td>1.6</td></tr> <tr><td>250</td><td>3.6</td></tr> <tr><td>500</td><td>5.1</td></tr> <tr><td>1k</td><td>5.9</td></tr> <tr><td>2k</td><td>4.8</td></tr> <tr><td>4k</td><td>4.4</td></tr> <tr><td>8k</td><td>4.0</td></tr> </tbody> </table>	Frequency (Hz)	Level Reduction (dB)	125	1.6	250	3.6	500	5.1	1k	5.9	2k	4.8	4k	4.4	8k	4.0
Frequency (Hz)	Level Reduction (dB)																	
125	1.6																	
250	3.6																	
500	5.1																	
1k	5.9																	
2k	4.8																	
4k	4.4																	
8k	4.0																	
125	1.6																	
250	3.6																	
500	5.1																	
1k	5.9																	
2k	4.8																	
4k	4.4																	
8k	4.0																	
$D_{S,A}$ Speech level reduction (dB)	5.1																	

編號	96K-60B2																	
使用變因	貼覆 96 K 吸音棉，隔間增高 30 cm，型態 C																	
Frequency (Hz)	Level reduction (dB)	<p>Legend: ■ 96K-60B2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency (Hz)</th> <th>Level Reduction (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>125</td><td>2.4</td></tr> <tr><td>250</td><td>3.6</td></tr> <tr><td>500</td><td>5.6</td></tr> <tr><td>1k</td><td>6.3</td></tr> <tr><td>2k</td><td>5.7</td></tr> <tr><td>4k</td><td>5.6</td></tr> <tr><td>8k</td><td>5.3</td></tr> </tbody> </table>	Frequency (Hz)	Level Reduction (dB)	125	2.4	250	3.6	500	5.6	1k	6.3	2k	5.7	4k	5.6	8k	5.3
Frequency (Hz)	Level Reduction (dB)																	
125	2.4																	
250	3.6																	
500	5.6																	
1k	6.3																	
2k	5.7																	
4k	5.6																	
8k	5.3																	
125	2.4																	
250	3.6																	
500	5.6																	
1k	6.3																	
2k	5.7																	
4k	5.6																	
8k	5.3																	
$D_{s,A}$ Speech level reduction (dB)	5.6																	

編號	96K-60C2																	
使用變因	貼覆 96 K 吸音棉，隔間增高 30 cm，型態 C																	
Frequency (Hz)	Level reduction (dB)	<p>Legend: ■ 96K-60C2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency (Hz)</th> <th>Level Reduction (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>125</td><td>4.1</td></tr> <tr><td>250</td><td>4.8</td></tr> <tr><td>500</td><td>5.7</td></tr> <tr><td>1k</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>2k</td><td>6.4</td></tr> <tr><td>4k</td><td>5.9</td></tr> <tr><td>8k</td><td>6.0</td></tr> </tbody> </table>	Frequency (Hz)	Level Reduction (dB)	125	4.1	250	4.8	500	5.7	1k	7.5	2k	6.4	4k	5.9	8k	6.0
Frequency (Hz)	Level Reduction (dB)																	
125	4.1																	
250	4.8																	
500	5.7																	
1k	7.5																	
2k	6.4																	
4k	5.9																	
8k	6.0																	
125	4.1																	
250	4.8																	
500	5.7																	
1k	7.5																	
2k	6.4																	
4k	5.9																	
8k	6.0																	
$D_{s,A}$ Speech level reduction (dB)	6.1																	

編號	96K-90B2																	
使用變因	貼覆 96 K 吸音棉，隔間增高 30 cm，型態 C																	
Frequency (Hz)	Level reduction (dB)	<p>Legend: 96K-90B2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency (Hz)</th> <th>Level Reduction (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>125</td><td>4.9</td></tr> <tr><td>250</td><td>4.9</td></tr> <tr><td>500</td><td>6.5</td></tr> <tr><td>1k</td><td>7.7</td></tr> <tr><td>2k</td><td>6.7</td></tr> <tr><td>4k</td><td>6.8</td></tr> <tr><td>8k</td><td>6.7</td></tr> </tbody> </table>	Frequency (Hz)	Level Reduction (dB)	125	4.9	250	4.9	500	6.5	1k	7.7	2k	6.7	4k	6.8	8k	6.7
Frequency (Hz)	Level Reduction (dB)																	
125	4.9																	
250	4.9																	
500	6.5																	
1k	7.7																	
2k	6.7																	
4k	6.8																	
8k	6.7																	
125	4.9																	
250	4.9																	
500	6.5																	
1k	7.7																	
2k	6.7																	
4k	6.8																	
8k	6.7																	
$D_{s,A}$ Speech level reduction (dB)	6.7																	

編號	96K-90C2																	
使用變因	貼覆 96 K 吸音棉，隔間增高 30 cm，型態 C																	
Frequency (Hz)	Level reduction (dB)	<p>Legend: ■ 96K-90C2</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Frequency (Hz)</th> <th>Level Reduction (dB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>125</td><td>7.3</td></tr> <tr><td>250</td><td>5.7</td></tr> <tr><td>500</td><td>6.9</td></tr> <tr><td>1k</td><td>9.1</td></tr> <tr><td>2k</td><td>7.3</td></tr> <tr><td>4k</td><td>7.2</td></tr> <tr><td>8k</td><td>7.5</td></tr> </tbody> </table>	Frequency (Hz)	Level Reduction (dB)	125	7.3	250	5.7	500	6.9	1k	9.1	2k	7.3	4k	7.2	8k	7.5
Frequency (Hz)	Level Reduction (dB)																	
125	7.3																	
250	5.7																	
500	6.9																	
1k	9.1																	
2k	7.3																	
4k	7.2																	
8k	7.5																	
125	7.3																	
250	5.7																	
500	6.9																	
1k	9.1																	
2k	7.3																	
4k	7.2																	
8k	7.5																	
$D_{s,A}$ Speech level reduction (dB)	7.4																	

作者簡介

中文姓名：邱政豪

英文姓名：Zheng-Hao Qiu

電子郵件：zero122899@gmail.com

出生地：屏東

學歷：

2024 年 國立屏東科技大學 木材科學與設計系研究所

2022 年 國立屏東科技大學 木材科學與設計系 畢業

2018 年 嶺東高級中學 建築科 畢業