

逢甲大學學生報告 ePaper

報告題名：

住宅空間室內聲場客觀物理評估

Objective physical assessment of indoor sound fields in residential spaces

作者：路斐然、林慶豐

系級：建築專業學院研究所

學號：M1000903、M1108496

開課老師：林葳

課程名稱：室內健康環境實務與應用

開課系所：建築專業學院研究所

開課學年：112 學年度 第 1 學期

中文摘要

研究動機源於對居住環境品質的重視，特別是對於噪音控制和視聽空間的關注，現有的研究文獻已多次指出噪音干擾對於生活品質會產生負面影響，因此透過噪音控制裝修統包工程，創造一個安靜且高品質的居家環境。研究本身更貼近現代人的實際需求，以量測數據為依據，旨在評估吸音材料對室內空間品質的影響，主要測量項目為：餘響時間量測、背景噪音量測、建築構造隔音性能量測，透過將實際量測值與估計值(電腦模擬及公式計算)進行比較，結果可以得出室內裝潢和吸音材料的應用，有助於達成預期的餘響時間目標，而隔音性能的評估顯示大門在低頻段具有優越的表現，但在中高頻段存在一定挑戰。本次研究結果為未來後續相關計畫提供方向性參考數據，對居住空間的改善帶來更實質且可行的解決方案。

關鍵字：餘響時間、背景噪音、建築構造隔音性能、住宅空間聲場

。

Abstract

The research motivation stems from the emphasis on the quality of living environments, particularly focusing on noise control and audio-visual space. Existing literature has repeatedly pointed out the negative impact of noise interference on life quality. Therefore, through noise control refurbishment integrated engineering, the aim is to create a quiet and high-quality home environment. The research itself is closer to the actual needs of modern people, based on measurement data, aiming to evaluate the impact of sound-absorbing materials on indoor space quality. The main measurement items include reverberation time measurement, background noise measurement, and building structure sound insulation performance measurement. By comparing actual measured values with estimated values (computer simulation and formula calculation), the results can demonstrate the application of interior decoration and sound-absorbing materials, which help achieve the expected reverberation time goals. The evaluation of sound insulation performance shows that the door exhibits superior performance in the low-frequency range but faces certain challenges in the mid-to-high frequency range. The findings of this study provide directional reference data for future related projects, bringing more substantial and feasible solutions for improving living spaces.

Keyword : Reverberation time, background noise, building structure sound insulation performance, residential space acoustic field.

目 次

中文摘要.....	1
Abstract.....	2
一、 研究目的.....	4
1.1 研究背景與動機.....	4
1.2 研究位置周邊環境.....	4
1.3 使用之吸音材料範圍.....	4
1.4 使用之吸音材料選擇.....	5
二、 建築聲學量測項目.....	6
2.1 建築聲學量測項目.....	6
2.2 餘響時間公式及軟體預測值.....	7
三、 量測過程與成果.....	10
3.1 餘響時間實際值數據及分析.....	10
3.2 背景噪音實際量測數據.....	12
3.3 建築構造隔音性能量測.....	14
四、 結論與建議.....	15
五、 參考文獻.....	18

一、 研究目的

1.1 研究背景與動機

研究背景源於對住戶居住空間聽感的追求，特別是對於噪音控制和視聽空間品質的關注，現有的研究文獻已多次指出噪音干擾對於生活品質會產生不良影響，包括睡眠品質下降、工作效率減弱及整體心理健康受到威脅，因此透過噪音控制裝修統包工程，旨在創造一個安靜且高品質的居家環境，滿足對居住品質的更高期望。研究本身更貼近現代人的實際需求，為後續相關計畫提供方向性參考數據，為居住空間的改善帶來更實質且可行的解決方案。

1.2 研究位置周邊環境

本研究對象位於台北市內湖區的居民住宅 7 樓(後以研究對象代稱)，周邊環境的主要噪音源包括：

1. 交通噪音：附近道路上的車輛行駛聲、交叉口的交通流動聲。
2. 機場附近噪音：內湖區鄰近松山機場，因此可能會受到飛機起降和飛行過程中產生的噪音干擾。
3. 建築噪音：來自於附近的施工活動或其他建築設施的運作聲。

這些噪音源共同構成了研究對象的周邊聲音環境。

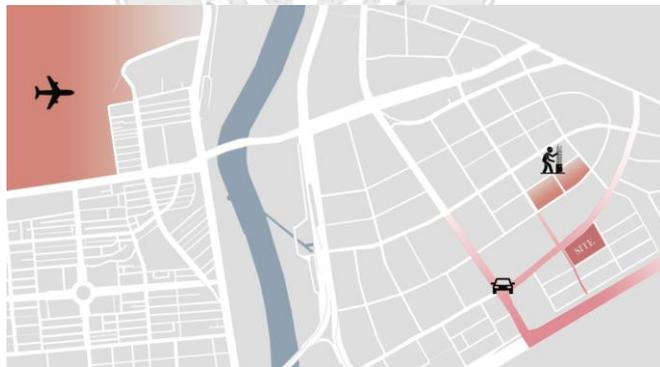


圖 1.2.1 周邊環境噪音源

1.3 使用之吸音材料範圍

本次研究對象的室內配置如圖 1.3.1，主要聆聽空間為客廳與餐廳區域，在選擇吸音材料和裝置位置時考慮實際需求如下：

1. 吸音材料的選擇：
 - 確保選擇的吸音材料具有良好的吸音性能，並且符合國立臺灣海洋大學音響實驗室建築標準和安全規定(附錄一、二)，選用 15mm 木質微孔吸音板和 9mm 矽酸鈣微孔吸音板，以實現對聲音的高效吸收，進一步提升了整體室內空間的聲學性能，創建一個適合語音和樂音清晰度的環境。
 - 考慮材料的外觀和耐用性，以確保其在長期使用中仍然有效且不損壞。

2. 裝置位置的規劃：

- 在進行天花板和牆面的吸音板裝置時，考慮房間的布局和家具擺放，確保吸音效果均勻分佈。
- 將吸音材料裝置在可能產生回音和共振的區域。



圖 1.3.1 研究對象平面圖

1.4 使用之吸音材料選擇

(一) 15mm 木質微孔吸音板：

15mm 木質微孔吸音板如圖 1.3.2，裝置在牆面及部分櫃體表面，有助於降低室內的反射，從而減緩噪音的擴散，吸音板的具體位置和配置如圖 1.3.3。

(二) 9mm 矽酸鈣微孔吸音板：

9mm 矽酸鈣微孔吸音板如圖 1.3.4，裝置在天花板，具體位置如圖 1.3.5。

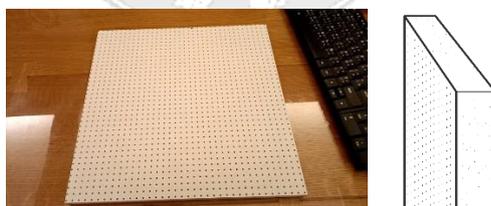


圖 1.3.2 15mm 木質微孔吸音板

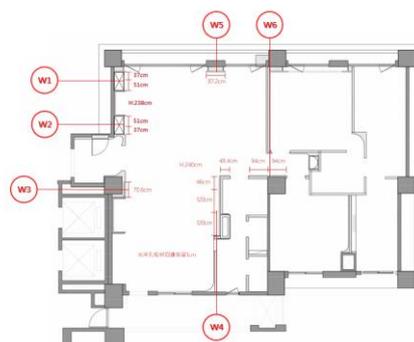


圖 1.3.3 15mm 木質微孔吸音板牆面具體位置

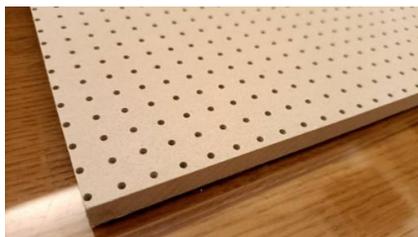


圖 1.3.4 9mm 矽酸鈣微孔吸音板

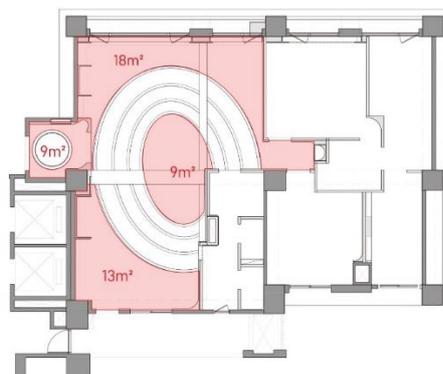


圖 1.3.5 9mm 矽酸鈣微孔吸音板天花板裝置位置

二、 建築聲學量測項目

2.1 建築聲學量測項目

加入吸音材料後，透過量測數據為依據，旨在評估室內聲學環境的改變，這些數據提供了客觀的信息，用以判斷吸音材料的效果，以及對室內空間品質的影響，建築聲學性能量測項目如下：

(一) 餘響時間量測：

- 定義：指聲音在一個封閉空間中消散的速度。其可以評估室內的聲學特性，包括吸音材料的效果。數據紀錄為
- 測量方法：量測儀器為一組揚聲器系統，參照 ISO 3382 量測規範，透過脈衝訊號產生，將擊發之聲能所發送測試訊號，使用 1/2" 量測專用麥克風，並將接收到之訊號傳回工作站運算，餘響時間以 T30(指聲音在室內空間中消散至初始聲壓的 30 分之一所需的時間。)之準確度為量測系統與脈衝響應的判讀依據，如圖 2.1.1。



圖 2.1.1 餘響時間量測工具

(二) 背景噪音量測：

- 定義：指在一個特定空間中存在的雜音和環境噪音。
- 測量方法：參照中央標準局 CNS 7183 噪音級測定方法，本案使用 B&K 2250 實時分析儀(噪音計)進行量測與倍頻段 NC 值(噪音等級)結果，如圖 2.1.2。

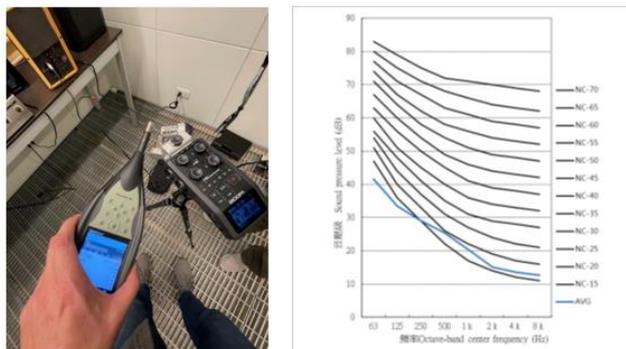


圖 2.1.2 實時分析儀(噪音計)及背景噪音 NC 值分佈

(三) 建築構造隔音性能量測：

- 定義：建築材料和構造對外界聲音的阻隔效果。
- 測量方法：建築物構建之隔音性能現場量測，以 B&K 2250 實時分析儀(噪音計)及單一揚聲器量測，測試聲源為粉紅噪音，如圖 2.1.3。



圖 2.1.3 實時分析儀(噪音計)及單一揚聲器量測

在後續的驗收階段，透過上述量測項目，我們藉由數據的獲得和分析，確保吸音材料實際效能是否達到預期值，更是對居住空間是否成為一個語音及樂音清晰的聆聽空間的客觀評估。

2.2 餘響時間公式及軟體預測值

在研究對象中，為了達到餘響時間的性能設計目標，施工後實現小於 0.75 秒的餘響時間，以創造一個更佳的聆聽空間。在施工前採用了公式計算和軟體預測的方法，以推估和預測餘響時間的理論值，計算範圍包括：

1. 公式計算範圍面積：

- 天花板上的 9mm 吸音板，面積為 49m²，如圖 2.2.1。
- 牆壁上的 15mm 吸音板，面積為 21m²，如圖 2.2.2。

2. Odeon 軟體預測範圍：

建立現場的三維建模匯入到 Odeon 做聲場模擬、設置材料和聲源、執行模擬並分析結果，測點位置為一個聲源點(S1)模擬電視和喇叭的發聲位置，及三個收音點(R1-R3)模擬人在該空間聽到的聲音效果。R1、R2 設置在主要聆聽區；R3 設置在臥室，並模擬開門狀態捕捉到在不同區域的聲音差異，如圖 2.2.3。

3. 本次研究餘響時間 (T30) 以 500Hz 和 1000Hz 的頻率進行數據分析，原因如下：

- 常見頻率範圍：500Hz 和 1000Hz 是常見的中低頻範圍，這些頻率的聲音在室內空間中通常具有較高的能量。
- 人耳敏感度：人耳對於 500Hz 和 1000Hz 的頻率較為敏感，聽覺感知可能產生較大的影響。
- 聲音特性：500Hz 和 1000Hz 的聲音通常是語音和許多樂器的主要成分，因此測量這些頻率下的餘響時間可以提供對於室內環境的語音清晰度和樂音品質的重要資訊。

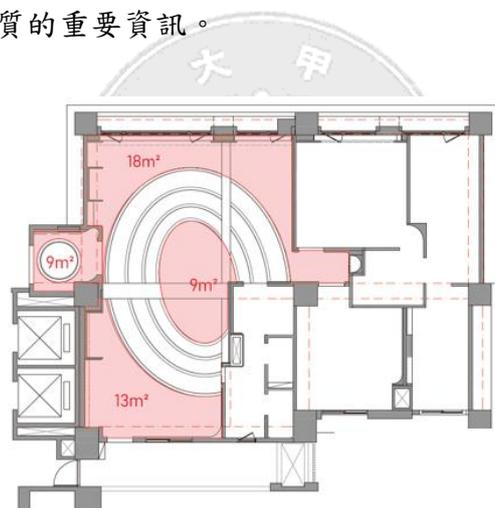


圖 2.2.1 天花板隔音材面積合計：49m²



圖 2.2.2 牆壁隔音材面積合計：21m²

住宅空間室內聲場客觀物理評估

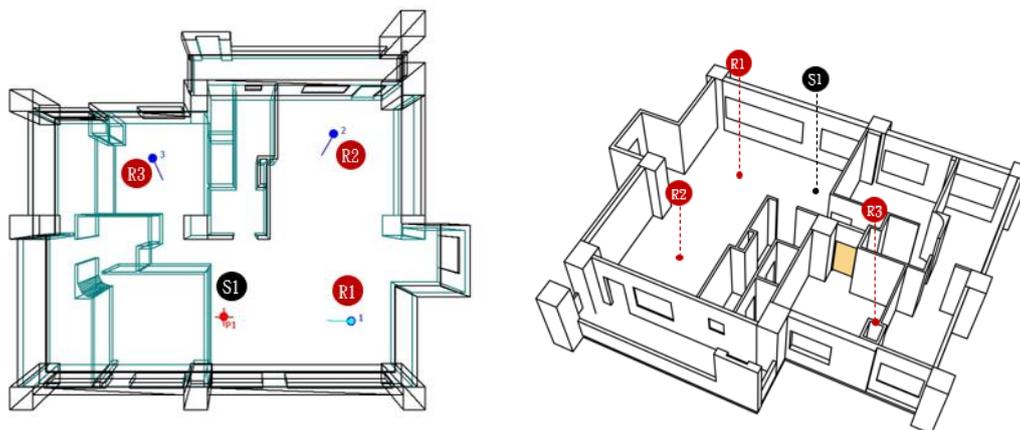


圖 2.2.3 Odeon 測點位置分佈

(一) 公式預測值數據：

表 3.1.1 餘響時間公式預測平均值數據

測點	500Hz	1000Hz	平均(Hz)
RT 預測值(公式)	0.47	0.49	0.48

位置	Room volume 材料名稱	0.48 T60 Sabine 0.37 T60 Eyring 189.8 m ³						面積(m ²)
		125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	
擴散牆	1) 條狀裝修牆面(擴散材)	0.16	0.14	0.12	0.10	0.10	0.20	0.0
吸音牆1	2) 條狀沖孔吸音牆面(擴散材+岩棉)	0.23	0.39	0.57	0.67	0.67	0.41	0.0
吸音牆1	3) 15mm木微孔板MDF吸音牆體(0.5mm維孔)	0.65	0.76	1.02	0.84	0.65	0.57	21.0
吸音天花	4) 9mm矽酸鈣維孔吸音板(2mm維孔)	0.42	0.75	0.76	0.78	0.45	0.20	49.0
空席座椅	5) 座椅(中度布面軟墊_空席)	0.17	0.23	0.30	0.34	0.32	0.27	0.0
家具	6) 餐廚家具貼皮(美耐板)	0.15	0.15	0.12	0.12	0.16	0.17	35.0
南向玻璃	7) 膠合帷幕玻璃	0.06	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	22.0
地板	8) PVC耐磨地坪(木作地坪/石英地板)	0.15	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07	6.6
南向背強	9) 木作背牆	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.16	6.6
北向面牆	10) 鋼製防火門(木貼皮)	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.02	2.0
牆面	11) 混凝土牆(乳膠漆)	0.15	0.12	0.10	0.08	0.07	0.06	8.0
$S_i \times \alpha_i$	擴散牆	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
$S_i \times \alpha_i$	吸音牆1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
$S_i \times \alpha_i$	吸音牆1	13.65	15.96	21.42	17.64	13.65	11.97	
$S_i \times \alpha_i$	吸音天花	20.58	36.75	37.24	38.22	22.05	9.80	
$S_i \times \alpha_i$	空席座椅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
$S_i \times \alpha_i$	家具	5.25	5.25	4.20	4.20	5.60	5.95	
$S_i \times \alpha_i$	南向玻璃	1.32	0.66	0.44	0.44	0.44	0.44	
$S_i \times \alpha_i$	地板	0.99	0.73	0.66	0.46	0.40	0.46	
$S_i \times \alpha_i$	南向背強	0.99	0.99	0.92	0.92	0.92	1.06	
$S_i \times \alpha_i$	北向面牆	0.08	0.08	0.08	0.10	0.06	0.04	
$S_i \times \alpha_i$	牆面	0.30	0.24	0.20	0.16	0.14	0.12	
空氣吸音		0.00	0.00	0.00	0.00	1.71	4.18	
$\Sigma S_i \times \alpha_i$		43.16	60.66	65.16	62.15	43.26	29.84	
ΣS								150.2
α		0.29	0.40	0.43	0.41	0.29	0.20	
修正		0.34	0.52	0.57	0.53	0.34	0.22	
T60 Sabine		0.71	0.50	0.47	0.49	0.71	1.02	
T60 Eyring		0.60	0.39	0.36	0.38	0.60	0.92	

圖 2.2.4 餘響時間公式預測值數據

(二) 軟體預測值數據：

表 3.1.2 餘響時間 Odeon 預測平均值數據

測點	500Hz	1000Hz	平均(Hz)
RT 預測值(Odeon)	0.44	0.43	0.44

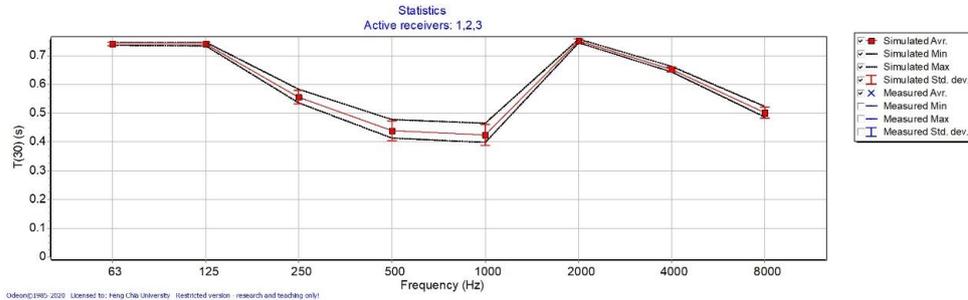


圖 2.2.5 餘響時間 Odeon 預測值數據

三、量測過程與成果

3.1 餘響時間實際值數據及分析

餘響時間測量中測點分佈為一個聲源點 (S1) 和三個收音點 (R1、R2、R3)，每個測點高度為 120 公分，並對每個點進行 30 秒的持續測量，以便獲得更全面的聲學數據，如圖 3.1.1。



圖 3.1.1 餘響時間實際值測點分佈

表 3.1.1 餘響時間實際值(量測)數據

測點	500Hz	1000Hz
SIR1	0.42	0.46
SIR2	0.41	0.46
SIR3	0.44	0.50
平均	0.42	0.47

測點	500Hz	1000Hz	平均(Hz)
RT 實際值(量測)	0.42	0.47	0.45

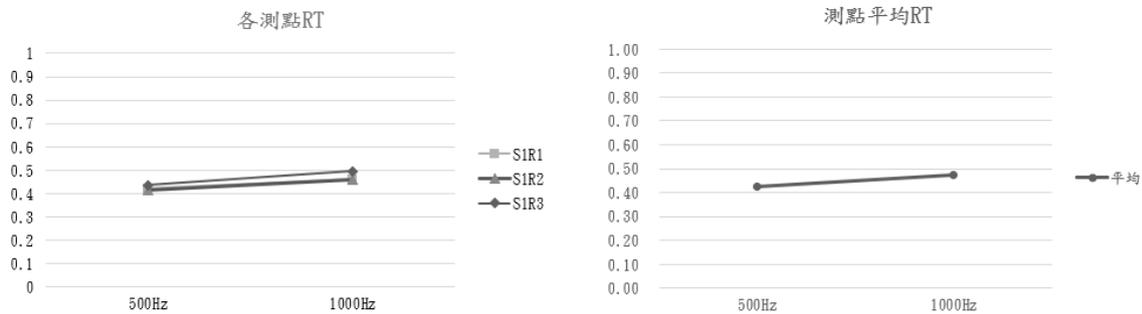


圖 3.1.2 餘響時間實際值(量測)數據圖

透過對量測到的點位在 500Hz 和 1000Hz 的餘響時間進行平均，得到的整體平均餘響時間為 0.45 秒，將這些結果整理成分析圖，可以觀察到 R2 和 R3 測點的餘響時間相對較短。這種現象可能的原因是 R2、R3 測點分別位於玄關和餐廳走道，這些區域的容積較小且周邊有牆體結構，這種空間特性可能形成一個良好的反射面，有助於聲音的反射和傳播，進而縮短餘響時間。

餘響時間 0.45 秒在圖 3.2.4 中可以看到對應的聲場特性為錄音室，是非常寧靜的狀態，並將一個測量值及兩個預測值做比較如表 3.2.2，其三個數值都是比較接近的，這表示所得的測量值與透過預測方法得到的值相符，也意味著整體的數據都已達到設計目標，顯示此空間具有良好的語音清晰度。

表 3.1.2 餘響時間預測值及實際值表較

測點	500Hz	1000Hz	平均(Hz)
RT 實際值(量測)	0.42	0.47	0.45
RT 預測值(公式)	0.47	0.49	0.48
RT 預測值(Odeon)	0.44	0.43	0.44

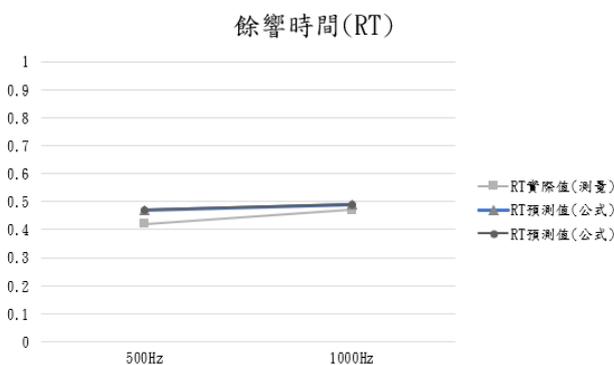


圖 3.1.3 餘響時間對應之聲場特性

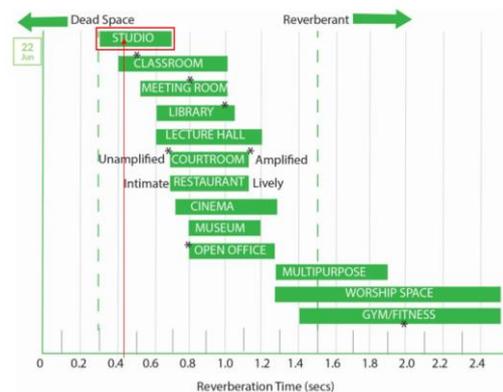


圖 3.1.4 餘響時間對應之聲場特性

3.2 背景噪音實際量測數據

背景噪音測量中測點分佈為一個聲源點 (S1) 和四個收音點 (R1、R2、R3、R4)，每個測點高度為 120 公分，並對每個點進行 30 秒的持續測量，提供我們對於室內環境中的背景噪音分佈的數據收集，如圖 3.2.1，數據分析針對主要聆聽空間客廳與餐廳區域(R1-R3)，R4 為衛浴空間不做討論。



圖 3.2.1 背景噪音實際值測點分佈

在背景噪音實際測量中時段為日間，主要收集數據包括以下情境的背景噪音：

1. 開窗狀態：了解外部環境噪音對室內的影響。
2. 關窗狀態（有開空調）：評估空調運作對背景噪音的影響。
3. 關窗狀態（沒有開空調）：提供在自然通風狀態下的背景噪音參考。

透過三種不同狀態的測量，可以獲得不同條件下的背景噪音數據，進而了解各種因素對室內聲環境的影響，有助於設計和優化室內聲學環境。

表 3.2.1 開窗量測值

情境	dB (A)
開窗量測值	49.4

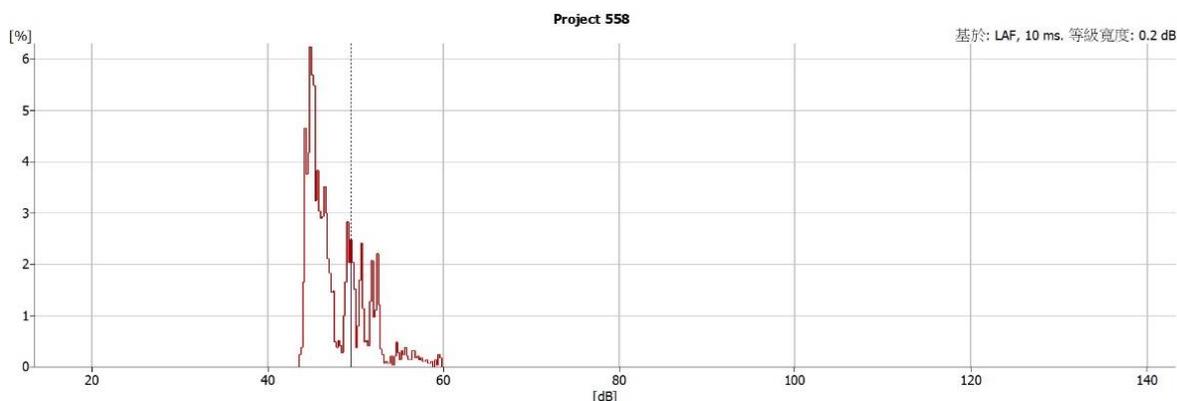


圖 3.2.2 背景噪音開窗量測值

根據噪音管制區劃定作業準則的相關條款，研究對象被劃定為第二類噪音管制區，其在下午時段的日間，法定的噪音標準為 60 分貝 (Leq)，而實際測得的噪音水平為 49.4 分貝(dB (A))，遠低於法定規範，這一測量結果顯示出，材料的吸音效果對於降低室內噪音水平有著明顯的積極影響，創造了一個更加寧靜的生活環境。

表 3.2.2 關窗狀態量測值

情境	dB
關窗狀態 (有開空調)	55.5
關窗狀態 (沒有開空調)	52.3

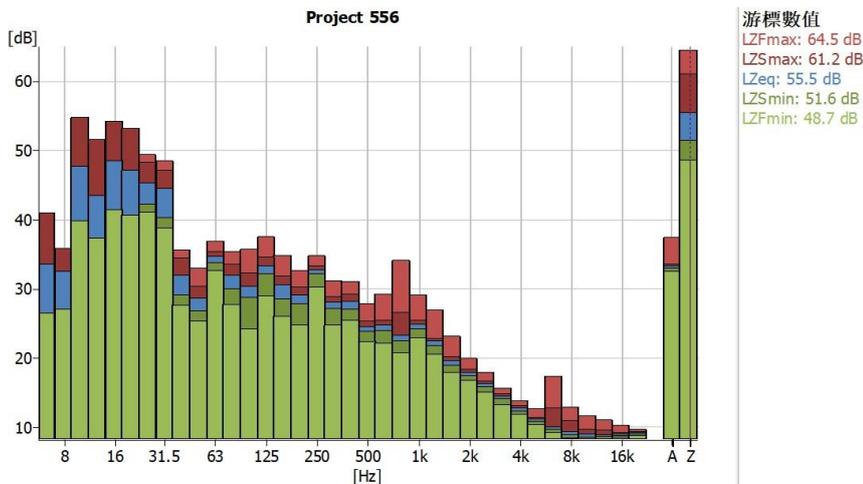


圖 3.2.3 關窗狀態 (有開空調) 數據

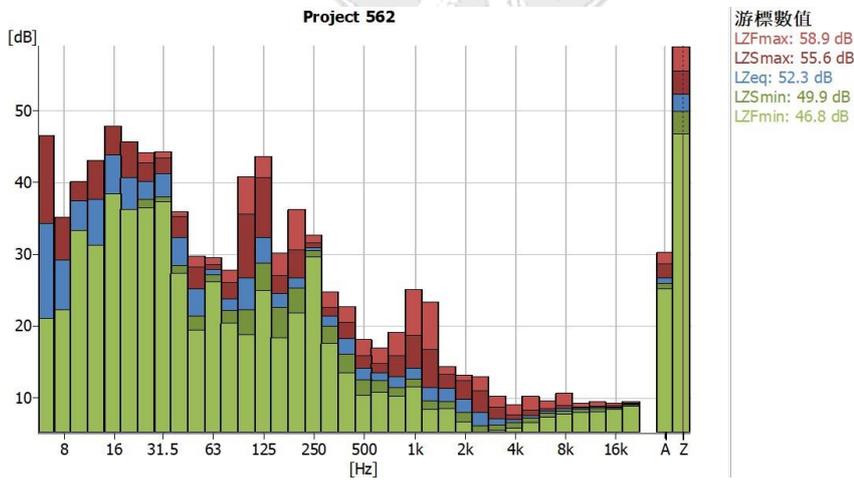


圖 3.2.4 關窗狀態 (沒有開空調) 數據

在關窗狀態下，沒有開啟空調的噪音為 52.3(dB)(圖 3.2.4)，而有開啟空調的噪音為 55(dB) (圖 3.2.3)，根據測量結果，可以明確得出在相同的環境條件下，沒有開啟空調的狀態比有開啟空調時更為安靜，整體而言此空間在關窗狀態下呈現非常安靜的特性，為未來相似環境的設計和改善提供有益的參考。

3.3 建築構造隔音性能量測

在本次研究對象中，專注於討論玄關大門與梯廳的隔音性能，測點的分佈包括門的內外各設置三個測點(R1-R6)，及一個聲源點(S1)，每個測點的高度均為120公分，並且進行了30秒的持續測量。

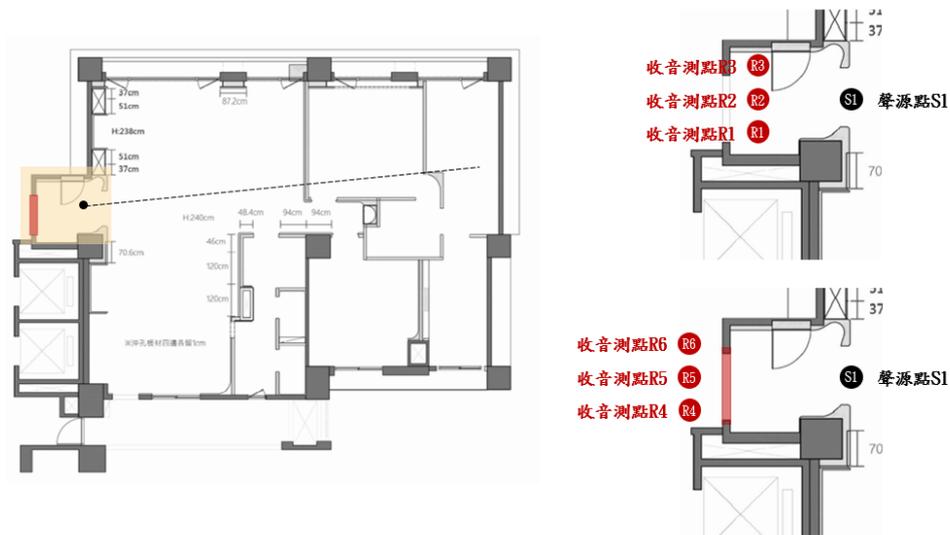


圖 3.3.1 建築構造隔音性能實際值測點分佈

在隔音性能量測中，大門的實際平均隔音值為 35(Db)，在圖 3.3.2 中，橘色線條代表標準值，可以觀察到低頻段由於質量守恆原則，較厚重的大門隔音係數較高，因此在圖中隔音量在標準值之上；中高频段則顯示無足夠的遮擋，相應的數值在標準線之下，而一般表演廳的隔音值約為 45(dB)左右，因此量測到的 35(dB)相對較低。

圖 3.3.2 中，藍色線表示經修正後的收音測試結果，大部分情況下呈現正比向上的趨勢，然而數據圖顯示在中頻段有幾處數值較低的情況，這可能是由於大門結構存在縫隙，使得在該頻段聲音能夠透過縫隙漏出，從而影響隔音效果。

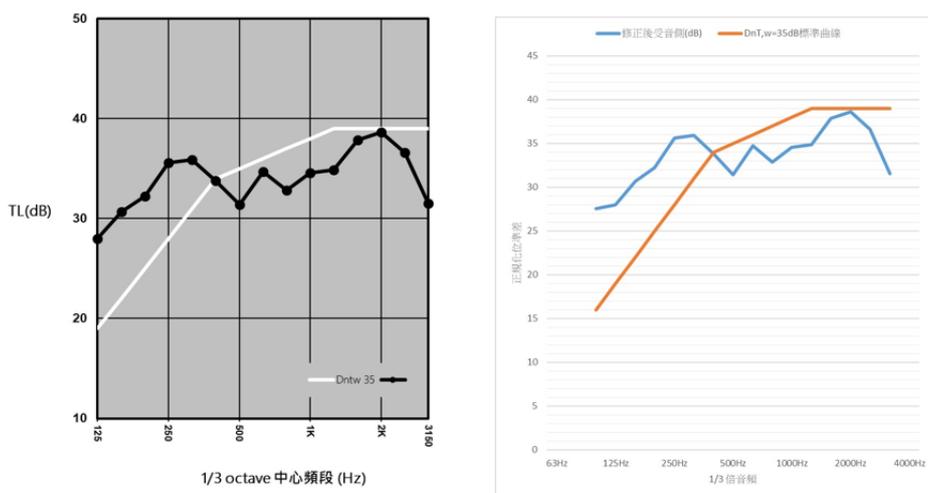


圖 3.3.2 建築構造隔音性能實際值數據

四、 結論與建議

基於對餘響時間、背景噪音以及隔音性能的詳盡量測和分析，可以得出以下結論與建議：

(一) 結論：

1. 餘響時間：

- 目標達成：根據餘響時間量測結果，可以確認室內裝潢和吸音材料的應用有助於達成預期的餘響時間目標。
- 舒適空間：餘響時間的控制使得居住空間更具舒適感，避免了過度的反射和混亂的聲音。

2. 背景噪音：

- 降噪效果：加入吸音材料後的數據顯示對周邊噪音的降低，進一步提高了居住空間的品質。
- 窗戶狀態影響：記錄了不同窗戶狀態下的噪音數據，有助於了解窗戶的隔音效果。

3. 隔音性能：

- 優勢與不足：顯示大門在低頻段具有優越的表現，但在中高頻段存在挑戰。

(二) 建議：

1. 進一步密封縫隙：

針對大門中高頻段的隔音不足，建議進一步密封縫隙，使用適當的密封材料填補縫隙，提高整體隔音效果。

2. 優化窗戶隔音：

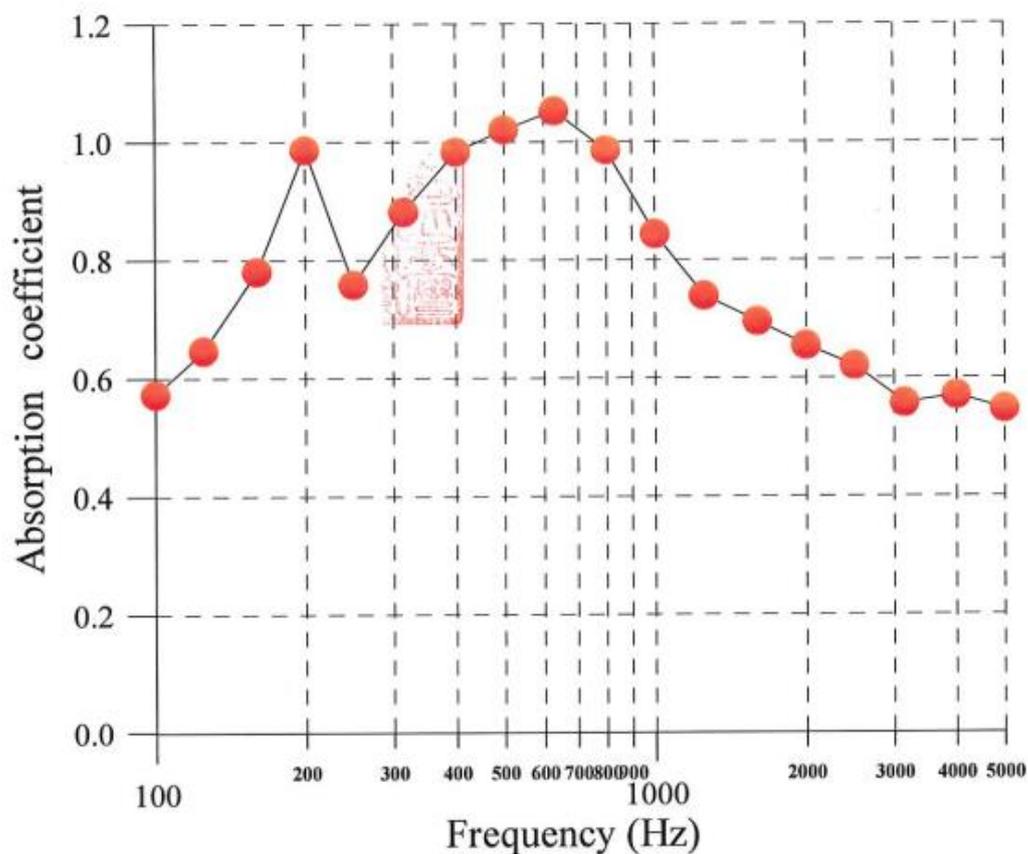
因本次研究對象的窗戶為開發商統一的氣密窗，而窗戶是影響噪音的一個重要因素，建議考慮使用更具隔音性能的窗戶或進行額外的窗戶隔音處理。

3. 定期檢測：

建議定期進行聲學性能檢測，以確保各項參數在時間推移中的穩定性，並隨時調整和改進。

這些建議旨在綜合改進居住空間的聲學環境，提供一個更為舒適和安靜的居住體驗，在實施這些建議前，建議進一步深入的分析和檢測，以確保改進方案的有效性。

附錄一 - 15mm 吸音板測試報告



迴響時間如下：

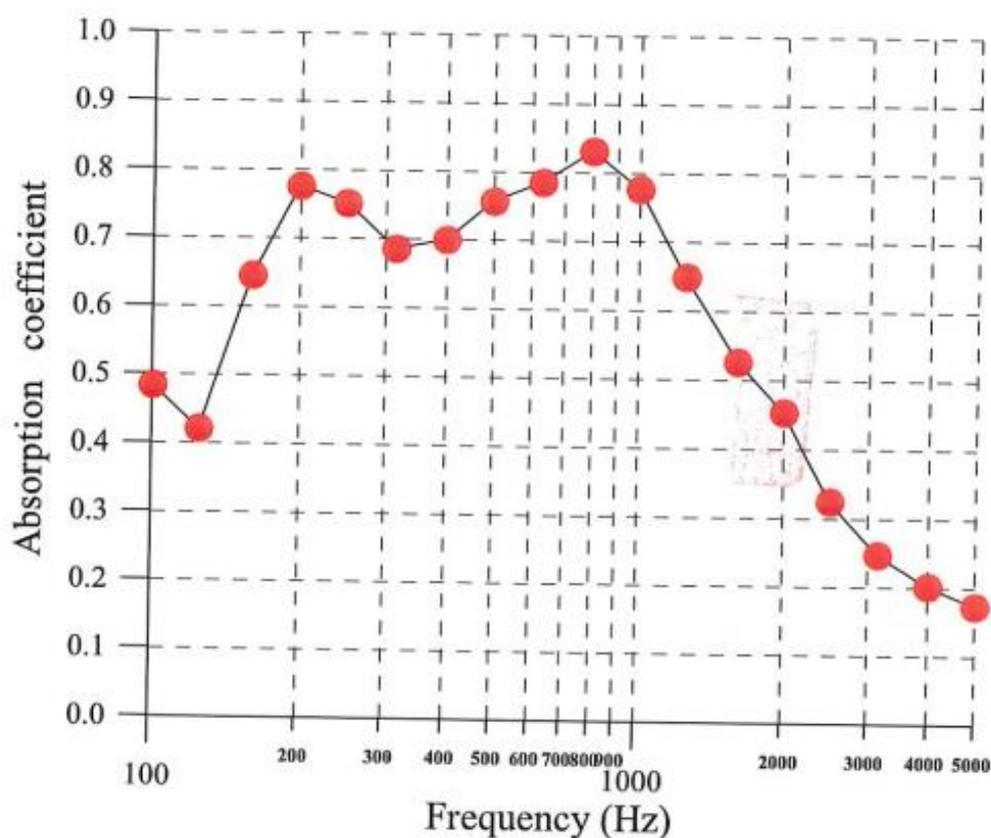
頻率(Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
T ₁ (s)	4.10	3.71	3.18	2.54	3.06	2.65	2.39	2.26	2.15
T ₂ (s)	21.53	21.69	22.08	18.65	15.47	13.65	12.72	11.14	9.73
頻率(Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
T ₁ (s)	2.21	2.45	2.60	2.60	2.63	2.56	2.54	2.33	2.00
T ₂ (s)	8.97	8.55	7.74	6.88	6.45	5.64	4.97	4.30	3.20

1/3 倍頻帶成分之吸音係數如下：

頻率(Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
吸音係數	0.57	0.65	0.78	0.99	0.76	0.88	0.98	1.02	1.05
頻率(Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
吸音係數	0.99	0.84	0.74	0.70	0.65	0.62	0.56	0.57	0.55

資料來源：國立臺灣海洋大學音響實驗室建築標準和安全規定

附錄一 - 9mm 吸音板測試報告



迴響時間(有試品迴響時間 $T_1(s)$, 無試品迴響時間 $T_2(s)$)如下：

頻率(Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
$T_1(s)$	4.47	4.88	3.50	2.87	2.83	2.95	2.81	2.61	2.44
$T_2(s)$	23.20	20.93	22.46	17.24	13.67	12.10	10.51	10.03	8.57
頻率(Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
$T_1(s)$	2.32	2.39	2.63	2.86	2.99	3.28	3.36	3.17	2.73
$T_2(s)$	8.33	7.77	7.25	6.55	6.05	5.44	4.87	4.16	3.31

1/3 倍頻帶成分之吸音係數如下：

頻率(Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630
吸音係數	0.48	0.42	0.64	0.78	0.75	0.69	0.70	0.76	0.78
頻率(Hz)	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
吸音係數	0.83	0.78	0.65	0.53	0.45	0.32	0.25	0.20	0.17

資料來源：國立臺灣海洋大學音響實驗室建築標準和安全規定

五、參考文獻

1. Leo Beranek(2007)。《音樂廳和歌劇院》。李文枝。科技圖書。
2. World Health Organization, Environmental noise guidelines for the European re-gion, ed., World Health Organization. Regional Office for Europe (2018).
3. H. Tong, F. Aletta, A. Mitchell, T. Oberman, J. Kang, Increases in noise complaints during the COVID-19 lockdown in Spring 2020: A case study in Greater London, UK, Sci. Total Environ. 785 (2021).
4. 環境保護署(民國 109 年 08 月 05 日)。噪音管制區劃定作業準則。全國法規資料庫。
<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawHistory.aspx?pcode=O0030016>

