

發展防音防護具適配技術

.....

Development of Fit Test Technology for Personal Hearing Protection Device



發展防音防護具適配技術

Development of Fit Test Technology for Personal Hearing Protection Device

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

發展防音防護具適配技術

Development of Fit Test Technology for Personal Hearing Protection Device

研究主持人：李昆哲、莊侑哲

計畫執行單位：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

研究期間：中華民國 107 年 7 月 13 日至 107 年 12 月 7 日

本研究報告公開予各單位參考
惟不代表勞動部政策立場

勞動部勞動及職業安全衛生研究所
中華民國 108 年 6 月

摘要

本研究先以文獻回顧與國際標準蒐集，歸納整理有關防音防護具聲音衰減值之測試與適配性評估方法，並比較其適用條件與優缺點，再調查國內現場高噪音之作業場所並分析其噪音暴露及頻譜特性以及臨場實施勞工個人佩戴防音防護具後之耳內外音壓級測試，期望建立防音防護具適配技術，判斷現場勞工是否符合國內職場噪音容許暴露標準，提供事業單位防音防護具使用之有效性評估方法及依據。

本研究整理相關國際標準共計 21 篇，完成 6 場次的現場訪視與噪音測定，67 人次耳塞適配測試及 7 人次耳罩適配測試的個人衰減評比值評估，發現大部分之耳塞佩戴都可以達到 NRR 的 50% 以上的聲音衰減量；而耳罩佩戴可以達到 NRR 的 75% 以上的聲音衰減量，均符合 OSHA 及 NIOSH 的建議。並於整理、分析個人之防音防護具個人衰減評比值數據後，提供事業單位臨場實施防音防護具測試之建議，達到作業場所噪音暴露改善與工作者聽力保護的目的。同時也彙整相關資料編撰「防音防護具適配技術簡介」，做為未來納入「勞工聽力保護計畫指引」之參考資料。

關鍵詞：防音防護具、聲音衰減值、適配性評估、個人衰減評比值

Abstract

In this study, we analyze how to test the sound attenuation value of the hearing protectors or hearing protection devices (HPDs) and the Fit-Test methods by collecting and reviewing the related international standards and compare the applicable conditions, advantages and disadvantages, respectively. In order to understand the implementation status and problems faced by the hearing conservation program, we also conduct environment monitoring, background noise investigation, and noise recording and analysis of spectral characteristics for the high-noise working type and implement the external sound pressure level test after wearing HPDs. It is expected to establish a HPDs Fit-Test method and to determine whether it meets the noise exposure standards. We can provide the effectiveness evaluation of the hearing protection devices as references for the institutions.

In this study, 21 international standards or national standards were collected and 7 workplaces were selected for working through and noise measurements. We also completed earphones with subjective evaluation for 67 testers and earmuffs with objective evaluation for 7 testers, respectively. At the same time, the HPDs Fit-Test technical notes were developed by the statistics and analysis of personal hearing protection data. In order to workplace noise exposure improvement and worker hearing protection, we provide suggestions for the implementation of the HPDs Fit-Test as references for the institutions.

Keywords: hearing protection devices, sound attenuation value, Fit-Test, personal attenuation rating.

目次

摘 要.....	i
Abstract	ii
目次.....	iii
圖目次.....	iv
表目次.....	v
第一章 計畫概述.....	1
第一節 研究背景.....	1
第二節 研究目的.....	1
第三節 本報告常用之專有名詞及簡寫.....	2
第二章 防音防護具選用及文獻回顧.....	3
第一節 防音防護具基本概念.....	3
第二節 防音防護具選用及佩戴方式.....	5
第三節 防音防護具之性能評估計算方法.....	6
第四節 防音防護具適配性測試.....	8
第五節 文獻回顧.....	20
第三章 研究方法與步驟.....	32
第一節 研究對象.....	32
第二節 研究方法.....	32
第四章 研究結果.....	37
第一節 臨廠訪視之噪音作業場所.....	37
第二節 臨場訪視之防音防護具適配性評估結果.....	38
第五章 結論與建議.....	50
第一節 結論.....	50
第二節 建議.....	51
誌謝.....	52
參考文獻.....	53
附錄一 防音防護具的適配性技術簡介.....	56

圖目次

圖 1 防音防護具適配性評估示意圖	16
圖 2 FitCheck Solo (Michael & Associates)主觀測試法使用之耳機	16
圖 3 VeriPRO (Honeywell 的防音防護具測試裝置)	16
圖 4 3M EARfit 防音防護具適配性評估系統	17
圖 5 SV 102 或 102A+ (Svantek, 適用耳罩型測試)	17
圖 6 耳罩佩戴因為軟墊洩露導致噪音衰減量降低示意圖[36]	23
圖 7 防音防護具衰減量評估時量測位置示意圖[38]	27
圖 8 訪視後防音防護具施測適配性評估流程	33
圖 9 研究流程示意圖	34
圖 10 聽力防護具插入損失評估設備(FitCheck Solo)	35
圖 11 雙頻道噪音劑量計(Svantek SV 102A+)	36
圖 12 本研究調查主要常見使用的耳塞類型	39
圖 13 本研究調查主要常見使用的耳罩類型	47

表目次

表 1 國內外關於防音防護具檢測技術有關之標準.....	10
表 2 防音防護具聲音衰減值 ISO 測試標準比較.....	20
表 3 防音防護具工作場所佩戴時的 NRR 減免值[30][31][32].....	21
表 4 有無經驗受試者的聲音衰減量平均值的相差值[33].....	21
表 5 適配性測試系統(fit-test systems)比較表[35].....	22
表 6 耳罩洩露率引起的噪音衰減降低量表[36].....	23
表 7 依據 ANSI 12.6 的適配性測試的聲音衰減值測試結果[37].....	25
表 8 不同國際標準的 1/3 八音幅頻帶的 MPANLs(相對於 20 μ Pa) [40].....	28
表 9 最大容許環境噪音位準(MPANLs)標準值比較表(500~8000Hz) [40].....	29
表 10 不同的耳機軟墊或耳機包覆組合的最大容許環境噪音位準[41].....	30
表 11 不同耳機類型的 1/3 八音度頻帶平均聲音衰減量[39].....	31
表 12 A 公司耳塞適配測試結果一覽表.....	40
表 13 B 公司耳塞適配測試結果一覽表.....	41
表 14 C 公司耳塞適配測試結果一覽表.....	43
表 15 D 公司耳塞適配測試結果一覽表.....	45
表 16 各類耳罩聲音衰減特性一覽表.....	48
表 17 現場耳罩適配測試結果一覽表(SV 102A+).....	49

第一章 計畫概述

第一節 研究背景

本所現行第四版的勞工聽力保護計畫指引[1]內容的本質與視野，已符合且超越目前國內法令的最低要求，其目的為傳達一個良好的聽力保護計畫應具有的特質，期望可以促使事業單位知曉並推動整合性聽力保護計畫之各項工作以落實自主管理，改善作業環境並且維護勞工聽力的健康。

綜觀噪音危害預防相關法令(包括：勞工作業環境監測實施辦法、勞工健康保護規則、職業安全衛生設施規則、職業安全衛生教育訓練規則等)在我國已有相當完整之模式架構，實務上事業單位要避免勞工因噪音暴露引起聽力損失，執行完整之聽力保護計畫要項應包括[2]：1.噪音作業場所調查與監測；2.噪音工程控制；3.勞工暴露時間管理；4.噪音特別危害健康作業勞工特殊健康(體格)檢查及其管理；5.防音防護具選用與佩戴；6.勞工教育訓練；7.資料建立與保存。

因此，為保護勞工的聽力免於受損，相關單位已制訂完善的聽力保護相關法規，但有研究調查結果發現，本國許多產業之勞工噪音暴露量仍超過噪音暴露工作日八小時日時量平均音壓級 90 dBA 之規定，即使雇主提供防音防護具並要求噪音作業之勞工確實佩戴，卻仍有健康管理分級為第四級管理者，其原因值得進行深入探討，故防音防護具的保護效果評估與適配技術導入乃是本年度研究探討的主題。

第二節 研究目的

本計畫主要研究目的如下：

- 一、 蒐集關於防音防護具適配技術相關文獻。
- 二、 建立佩戴防音防護具之耳內外之音壓量測與評估模式。
- 三、 評估其是否有防護不足等現象，提出防音防護具適配技術簡介，作為未來納入「勞工聽力保護計畫指引」及推廣與應用之參考。
- 四、 改善噪音作業環境、提升勞工健康與就業意願，作為推廣噪音改善模式參考藍圖。

第三節 本報告常用之專有名詞及簡寫

為方便閱讀本研究報告，專有名詞及其簡寫代號整理如下：

- 一、 Hearing Protection Devices (HPDs)：防音防護具。
- 二、 Single Number Rating (SNR)；單一數值評估值。
- 三、 Noise Reduction Rating (NRR)：噪音衰減評比值。
- 四、 Octave Band Method (OB)：八音度頻帶法。
- 五、 Predicted Noise Level Reduction (PNR)：預估噪音減量值。
- 六、 Real Ear Attenuation at Threshold (REAT)：真(人)耳閾值衰減測試法
- 七、 Microphone In Real Ear (MIRE)：耳內微音器或耳內麥克風測試法
- 八、 Acoustical Test Fixtures (ATFs)：聲學測試模型。
- 九、 Field Attenuation Estimation Systems (FAES)：現場衰減估計系統。
- 十、 Personal Attenuation Rating (PAR)：個人衰減評比值。
- 十一、 Loudness Balancing：響度平衡測試法。
- 十二、 Transfer Function of the open Ear (TFOE)：耳朵傳送損失量。
- 十三、 Hearing Threshold Levels (HTL)：聽力閾值音壓級。
- 十四、 Noise Reduction (NR)：噪音衰減量。
- 十五、 Insertion Loss (IL)：插入損失。(備註： $IL=NR+TFOE$)
- 十六、 Maximum Permissible Ambient Noise Levels (MPANLs), 也稱為 Maximum Permissible Ambient Sound Pressure Level 或 Maximum Permissible Background Noise Levels：是指在測試環境各測試頻率(八音幅頻帶或三分之一八音幅頻帶)的慢回應最大容許背景音壓級(LS,max)。
- 十七、 Occlusion Effect：閉塞效應，當耳道口受到阻塞時，對於聲音能量經由骨傳導所造成之影響。

第二章 防音防護具選用及文獻回顧

第一節 防音防護具基本概念

防音防護具亦稱為聽力防護具(Hearing Protectors 或 Hearing Protection Devices, HPDs)，是指覆蓋耳朵或插入外耳道，以避免噪音過度暴露刺激人耳，保護人耳在噪音環境下之聽覺免於受損的裝備。目前在市面上所使用的防音防護具，雖然種類繁多，如果按照基本性能可概分為以下三大類：耳塞(ear plugs)、耳罩(ear muffs)與特殊型防音防護具(special types)。耳塞是用於插入外耳道內，以封閉外耳道入口，降低聲音傳播之音量者。耳罩是由一頭帶(head band)連接左右二端之耳護蓋，耳護蓋內部為吸音材料，並有夾緊彈力可緊壓在左右耳廓上或圍住耳廓四周遮住耳朵，以降低聲音傳播入耳內者。特殊型防音防護具是配合使用者需求設計的客製化產品或特殊設計類型，包括：防音頭盔(acoustic helmet)或通訊用耳罩(communication earmuffs)等[3]。

一、防音防護具各部分使用材料應選擇品質優良之材料，並符合下列之規定[4]：

- (一) 各材質之強度、硬度、彈性均應適當，並選用不易發生變形、龜裂、破損、發黏及其他異常現象之材料。
- (二) 與皮膚接觸部分之材料，應選用對皮膚不會產生刺激、過敏、有毒及腐蝕或其他不良副作用之材料。
- (三) 所有可重複使用之材料，佩戴者以廠商指定之方法清潔後，應不會發生損壞、異常之現象。
- (四) 所有材料零件應做光滑加工處理，無任何足以傷害佩戴者之尖角及毛邊。

二、耳塞應符合下列各項規定[4]：

- (一) 應與外耳道充分密合。
- (二) 使用中應無不舒適感。

(三) 使用中應不易脫落。

三、耳罩應符合下列各項規定[4]：

(一) 耳護蓋應以能覆蓋全部耳朵為原則，並以吸音材料襯裡。

(二) 連接耳護蓋之頭帶長度宜可調整，使用彈簧時應具有適當之彈性，在使用時不得有壓迫、疼痛或不適之感覺。

四、一般防音防護具選用基準[5]考量如下：

(一) 根據佩戴者每日噪音暴露音量的噪音衰減量。

(二) 舒適性(包括氣候的考量)。

(三) 噪音暴露音量變化情形(高變異性時可建議多種防音防護具同時佩戴)。

(四) 使用者的喜好。

(五) 講話溝通的需求。

(六) 聽覺能力。

(七) 與其他安全設備的相容性。

(八) 工人的體能限制。

(九) 其他工作條件(包括佩戴醒目的防音防護具需求)。

(十) 更換或維護保養的問題。

五、加拿大國家標準[6]建議防音防護具選用時，須依據勞工每日噪音暴露音壓級範圍，參考防音防護具建議使用等級進行選擇，而且防音防護具佩戴時應考慮下列事項：

- (一) 每日噪音暴露音壓級。
- (二) 勞工聽覺能力。
- (三) 勞工彼此溝通交談需求。
- (四) 其他個人防護具使用需求。
- (五) 溫度與氣候條件。
- (六) 勞工體能限制與作業活動類型。

六、佩戴耳罩時，使用者舒適性取決於下列因素：

- (一) 防音防護具重量。
- (二) 軟墊壓力。
- (三) 頭帶夾緊力與可調性。
- (四) 軟墊材質類型等因素。

第二節 防音防護具選用及佩戴方式

一、防音防護具之選用

防音防護具之選擇依據可參考以下項目：具有正字標記、聲音衰減值的要求、佩戴者的舒適性與接受性、工作環境、醫療衛生、與頭部安全防護具的配合性等。其中最重要的一個參數就是聲音衰減的功能，如果防音防護具的聲音衰減過低或不足(即防音防護具佩戴後的耳內噪音暴露量仍達 85 dBA 以上)則會導致聽力受損；但是如果防音防護具的聲音衰減過高(即防音防護具佩戴後的耳內噪音暴露量低於 70 dBA 的情形)，則可能會妨害警告信號的聽取，或者妨害交談及造成佩戴時會較不舒服。

二、防音防護具之標準佩戴方法

在佩戴之前，手部和耳塞應該確保是清潔的。並依照下列步驟佩戴，(1)用拇指和

手指慢慢滾動搓揉耳塞，逐漸增加壓力直至耳塞形成非常細的無摺皺條狀。(2)將壓縮的耳塞置入耳道時，用相反的手向外和向上拉住耳朵，使耳塞在耳部膨脹。(3)膨脹後檢查服貼度，觸碰耳塞，應該感覺到只有耳塞的末端。如果您感覺大部分耳塞在耳道外，請取下耳塞並重新佩戴。成功佩戴耳塞後，開始聆聽所處噪音環境，再用雙手蓋住耳朵，無論耳朵是否被覆蓋時，噪音聲量應該聽起來相似。如果發現差異太大，嘗試使用不同尺寸或類型的聽力防護具。

第三節 防音防護具之性能評估計算方法

防音防護具的防音性能評估，經常使用的簡化指標有高、中、低頻指標法(High, Medium, Low；HML 法)、單一數值評估值(Single Number Rating；SNR 法)及防音防護具噪音衰減評比值法(Noise Reduction Rating；NRR 法)、八音度頻帶法(octave band method；OB 法)四種指標[3]。

一、 HML 法：參考 ISO 4869-2(1992)，提供三個數值來計算高頻(H)、中頻(M)與低頻(L)之聲音衰減值[7]。

H、M、L 值的計算方法：

$$1. H_x = 0.25 \sum_{i=1}^4 PNR_{xi} - 0.48 \sum_{i=1}^4 (d_i \cdot PNR_{xi})$$

$$2. M_x = 0.25 \sum_{i=5}^8 PNR_{xi} - 0.16 \sum_{i=5}^8 (d_i \cdot PNR_{xi})$$

$$3. L_x = 0.25 \sum_{i=5}^8 PNR_{xi} - 0.23 \sum_{i=5}^8 (d_i \cdot PNR_{xi})$$

使用 HML 法需同時量測 C 加權下的音壓級(L_C)與 A 加權下的音壓級(L_A)之聲音位準值，當 L_C 與 L_A 差值小於 2dB，則以 H 值與 M 值計算防護具保護後之噪音暴露值：

$$PNR = M - \frac{(H - M)}{8} \cdot (dBC - dBA - 2dB) ;$$

當 L_C 與 L_A 差大於或等於 2dB 時，則以 M 值與 L 值計算防護具保護後之噪音暴露值：

$$PNR = M - \frac{(M-L)}{8} \cdot (dBC - dBA - 2dB)。$$

d_i ：為常數值係由 NIOSH 於 1970 年間收集不同的工廠噪音頻譜，並將其重新整理為 8 種不同頻譜分佈的參考。

- 二、 SNR 法：參考 ISO 4869-2(1992)，為一單一指標之聲音衰減值。其為於 100dB(C) 之粉紅背景噪音下進行測試所得之值[7]。

SNR 值的計算方法：

$$SNR_x = 100dBC - 10\log \sum_{k=1}^8 10^{0.1(LA_{f(k)} - APV_{f(k)})}, dB(A)$$

$A_{f(k)}$ 為依據 IEC 651 中 C 頻率加權對 A 頻率加權的修正值。

$APV_{f(k)}$ (assumed protection value)為防音防護具各頻帶之假設保護值。

- 三、 NRR 法：參考 ANSI S12.6(1984)，為一單一指標之聲音衰減值。其為於八頻帶噪音中每一頻帶能量皆為 100dB(C)之粉紅背景噪音(總能量為 107.9dBC)下進行測試所得之值[8]。

NRR 值的計算方法：

$$NRR = 107.9dBC - 10\log \sum_{k=1}^8 10^{0.1(LA_{f(k)} - APV_{f(k)})} - 3 dB(A)$$

NRR 法是以單一指標值來表示防音防護具的聲音衰減性能，作業現場安全衛生人員選用判斷較為簡易。NRR 值考量佩戴者的個體差異，故將計算之保護平均值減去二個標準差，以確定佩戴此防音防護具有 97%的佩戴者可達 NRR 值的防音性能。NRR 法於計算聲音衰減值時，因考量由 C 權衡電網換算佩戴防音防護具後耳內 A 權衡電網值差異，故將聲音衰減值多減了 3dB。基於保護勞工聽力免於因暴露而受損之考量，事業單位應依作業現場狀況選用標示有測試之聲音衰減值之防音防護具提供給勞工佩戴。

四、 OB 法：參考 ISO 4869-2(1992)，各別計算八音符頻帶的聲音衰減值後，再求得防音防護具的聲音衰減值[7]。

計算方法：

$$L'_A = 10 \log \sum_{k=1}^8 10^{0.1(L_{f(k)} + A_{f(k)} - APV_{f(k)})} \text{dB}(A)$$

L'_A ：佩戴防音防護具後耳朵暴露於噪音的音壓級。(在 A 加權之下)。

$A_{f(k)}$ 為依據 IEC 651 中 C 頻率加權對 A 頻率加權的修正值。

$APV_{f(k)}$ (assumed protection value)為防音防護具各頻帶之假設保護值。

第四節 防音防護具適配性測試

ANSI/ASSE A10.46-2007 標準是最早提出採用個人適配測試(subject fit test)要求的國家標準，當時建議可再進行聽力圖檢查時實施，並無其他適宜的儀器設備開發應用[9]。適配性測試系統(fit-test systems)可以用來幫助噪音作業之勞工了解下列事項：(一)適當選擇防音防護具；(二)更有效地貼合其選擇的防音防護具；(三)學習防音防護具適配的一致性；(四)進行所選用防音防護具的抽查；(五)估計暴露音量的保護程度[10]。

本研究蒐集的國內外關於防音防護具佩戴與檢測技術有關的標準有下表 1 所列 21 種，本研究初步分析各標準之目的、測試概念與要求等內容於表中，且進一步篩選各標準是否有針對防音防護具適配性檢測方法，有適配性方法之建議者，包括：ANSI/ASA S12.42-2010[11]、ANSI/ASA S12.6-2016[12]、AS/NZS 1270:2002[13]、ISO 11904-1:2002[14]、ISO 11904-2:2004[15]、ISO 4869-1:1990[16]、ISO/TS 4869-5:2006[17]、ISO4869-3:2007[18]與 CNS 8454 T2012: 2004[19]。其中屬於真(人)耳閾值衰減測試法(Real-Ear Attenuation at Threshold, REAT)法者，包括：ANSI/ASA S12.6-2016[12]、AS/NZS 1270:2002[13]、ISO 4869-1:1990[16]、ISO/TS 4869-5:2006[17]、與 CNS 8454 T2012: 2004[4]；屬於耳內麥克風測試法(Microphone In Real Ear, MIRE)法者，包括：ANSI/ASA S12.42-2010[11]、ISO 11904-1:2002[14]、與 ISO 11904-2:2004[15]；屬於聲學測試模型(Acoustic Test Fixture, ATF)測試法者有：ISO 4869-3:2007[18]。另外，

ANSI/ASA S12.71:2018[19]美國標準是最新公布有關於防音防護具現場衰減值估計系統(Field Attenuation Estimation Systems, FAESs)的類型、性能特徵、計算 A 權衡衰減量、個人衰減評比值(Personal Attenuation Rating, PAR)、不確定度評估(uncertainty)及使用說明書須包含的訊息內容等。

表 1 國內外關於防音防護具檢測技術有關之標準

編號	標準編號	主題	說明	有無適配性 測試之建議
1	ANSI/ASA S12.42-2010[11]	American National Standard Methods for the Measurement of Insertion Loss of Hearing Protection Devices in Continuous or Impulsive Noise Using Microphone-in-Real-Ear or Acoustic Test Fixture Procedures.	<p>1. 利用耳內麥克風(MIRE)或聲學測試夾具方法(ATF)量測防音防護具於連續或脈衝噪音下之插入損失之方法。</p> <p>(1). MIRE:適用於連續噪音</p> <p>(2). ATF:連續噪音和脈衝噪音，可兩者一起使用</p>	有 屬 MIRE 法
2	ANSI/ASA S12.6-2016[12]	American National Standard Methods for the Measuring the Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors.	<p>1. 測量防音防護具實際衰減的方法。</p> <p>2. 提出兩種適配性評估方法</p> <p>(1). 方法 A:針對有經驗佩戴者之適配性測試</p> <p>(2). 方法 B:針對無經驗佩戴者之適配性測試</p> <p>3. 此標準未涉及用於防音防護具衰減值的計算或評估方法(需參考 ANSI/ ASA S12.68)，亦未規定防音防護具的最低性能值、舒適性或耐磨性之標準。</p> <p>4. 此標準的方法 A 符合 ISO 4869-1：1990，第 1 部分：聲音衰減測量的主觀方法。方法 B 則對應於 ISO / TS 4869-5：2006，第 5 部分：利用沒有經驗的測試對象進行適配性佩戴，計算聲音衰減之方法。</p>	有 屬 REAT 法
3	ANSI/ASA S12.68-2007 (R2017)[20]	American National Standard Methods of Estimating Effective A-Weighted Sound Pressure Levels When Hearing Protectors are Worn.	<p>1. 此標準規定了三種方法，按使用複雜程度和準確性進行，用於估計防音防護具有效 A 權音壓級。</p> <p>2. 包括最簡單之 A 加權 (Noise Level Reduction Statistic for use with A-weighting, NRSA)，更</p>	無

編號	標準編號	主題	說明	有無適配性 測試之建議
準確之 Noise Level Reduction Statistic, Graphical (NRSG), 及最準確的方法是利用 octave-band 真的頻帶方法衰減和噪音測量數據。				
4	AS/NZS 1269.3:2005 (R2016)[21]	Occupational noise management-Hearing protector program.	1.此標準規範制定聽力保護計畫所需之要求， 2.包括行政職責、防音防護具選擇、使用和維護等規範。	無
5	AS/NZS 1270:2002 (R2014)[13]	Acoustics-Hearing protectors.	此標準規定一般聽力保護裝置於設計、材料和性能等之要求，亦提供有關專業聽力保護裝置的物理和聲學測試。	有
6	BS EN 458:2016[22]	Hearing protectors. Recommendations for selection, use, care and maintenance. Guidance document	此標準為聽力防護指引，提供選用、使用、與維護等建議，內容係包括防音防護具之種類、如何選用與使用、與維護等相關行政管理措施。	無
7	BS EN 13819-1:2002[23]	Hearing protectors - Testing - Part 1: Physical test methods	此標準針對耳塞耳罩防護，提供物理測試方法，測試目的為能夠評估產品中規定的聽力保護具的性能標準。	無
8	BS EN 13819-2:2002[24]	Hearing protectors. Testing. Acoustic test methods	此標準針對耳塞耳罩防護，提供聲學測試方法，測試目的為能夠評估產品中規定的聽力保護具的性能標準。	無
9	BS EN 352-1:2002[25]	Hearing protectors. General requirements Part 1: Ear-muffs	此標準針對耳罩式防音防護具，規定了結構、設計、性能、標記和用戶的要求等相關資訊。	無
10	BS EN 352-2:2002[26]	Hearing protectors. General requirements Part 2: Ear-plugs	此標準針對耳塞式防音防護具，規定了結構、設計、性能、標記和用戶的要求等相關資訊。	無
11	BS EN 352-3:2002[27]	Hearing protectors. General requirements Part 3: Ear-muffs attached to an industrial safety helmet	此標準針對工業用安全帽附耳罩式防音防護具，規定了結構、設計、性能、標記和用戶的要求等相關資訊。	無

編號	標準編號	主題	說明	有無適配性 測試之建議
12	CSA Z94.2-14:2014[10]	Hearing Protection Devices - Performance, Selection, Care, and Use.	此標準說明防音防護具之性能、選用、維護與使用等建議。	無，建議依ANSI/ASA S12.6-方法B進行。
13	ISO 11904-1:2002[14]	Acoustics- Determination of sound immission from sound sources placed close to the ear -- Part 1: Technique using a microphone in a real ear (MIRE technique).	<ol style="list-style-type: none"> 1. 從接近耳朵的聲源處測定聲音排放強度，然後利用人耳內麥克風進行測定技術(MIRE)。 2. 利用置入微型或探針式麥克風於人耳道中進行量測音壓位準，受試者暴露於所要評估的聲源中進行。 3. 測試範圍：20 Hz 至 16 kHz 4. 限制：配有插入式耳機類型，可能會出現將麥克風定位在耳道中之問題。 	有 屬 MIRE 法
14	ISO 11904-2:2004[15]	Acoustics- Determination of sound immission from sound sources placed close to the ear - Part 2: Technique using a manikin.	<ol style="list-style-type: none"> 1. 為了再現聲音對成年人之影響，因此使用配有耳機模擬器(包括麥克風)的人體模型進行測量之技術(人體模型技術)。 2. 測試範圍：20 Hz 至 10 kHz 3. 限制：可能無法獲得適當的符合真人耳廓的形狀，且在某些作業情況下，暴露者不可能由人體模型代替。 	有，但以人體模型進行模擬測試，非以真人測試。
15	ISO 4869-1:1990[16]	Acoustics- Hearing protectors - Part 1: Subjective method for the measurement of sound attenuation.	<ol style="list-style-type: none"> 1. 此國際標準規定在聽力閾值(hearing threshold)下測量聽力保護裝置聲音衰減 (sound attenuation)的主要方法。 2. 量測應在下列 8 個測試頻率來執行：63Hz(可需要選用)、125Hz、250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz、4000Hz、8000Hz。 	有 屬 REAT 法

編號	標準編號	主題	說明	有無適配性 測試之建議
16	ISO 4869-2:1994[28]	Acoustics- Hearing protectors - Part 2: Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn.	3. 測試場所需具備擴散音場的條件，須利用揚聲器和衰減器進行測試。	無
17	ISO 4869-3:2007[18]	Acoustics- Hearing protectors - Part 3: Measurement of insertion loss of ear-muff type protectors using an acoustic test fixture.	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主要規定使用 ATF 測量耳罩型聽力防護具的插入損耗方法。 2. 此方法適用於作為型式認可或認證程序部分的性能範圍調查，以及年齡對性能變化的調查。 3. 目的是在確保 ISO4869-1 中主觀衰減測試的耳罩式聽力防護具樣品具有典型的性能。不適用於型式認可的基本測試。 4. 通過此方法所獲得的性能數據不適用於表示耳罩的真耳聲音衰減，也不是用於表示耳罩提供的保護。 	有 屬 ATF 法
18	ISO/TS 4869-5:2006[17]	Acoustics- Hearing protectors - Part 5: Method for estimation of noise reduction using fitting by inexperienced test subjects.	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用沒有經驗的測試對象估計降噪的方法。 2. 此技術規範規定了一種在聽力閾值下測量被動聽力保護裝置降噪的方法。 3. 測試方法的原理是測量聽力保護裝置的差異，閾值之間的差異即是降噪。測量是在給定數量的測試對象上完成兩次，在低聲壓級(接近聽力的 	有 屬 REAT 法

編號	標準編號	主題	說明	有無適配性 測試之建議
19	ISO 9612:2009[2] 91	Acoustics -- Determination of occupational noise exposure -- Engineering method	<p>閾值)下收集，亦代表在較高聲壓下聽力保護裝置的降噪效果水平。</p> <p>4. 量測應在下列 7 個測試頻率來執行：125Hz、250Hz、500Hz、1000Hz、2000Hz、4000Hz、8000Hz。</p> <p>5. 測試場所需具備擴散音場的條件，須利用揚聲器和衰減器進行測試。</p> <p>1. 此國際標準規定了測量勞工於工作環境中之工程噪音的暴露情形和計算噪音暴露水平。</p> <p>2. 此標準使用 A 權音壓等級，但也適用於 C 權音壓等級。</p> <p>3. 建議三種不同的測量策略。</p>	無
20	CNS 8454 T2012: 2004[4]	防音防護具。經濟部標準檢驗局。	<p>用於耳罩、耳塞之遮音性能試驗。需在擴聲音場進行試驗，須利用揚聲器和衰減器進行測試。相關測試規範與 ISO 4869-1 相似。</p>	有 屬 REAT 法
21	ANSI/ASA S12.7:2018[19]	Performance Criteria for Systems that Estimate the Attenuation of Passive Hearing Protectors for Individual Users	<p>本標準是最新公布有關於防音防護具現場衰減值估計系統(FAES)的類型、性能特徵、計算 A 權衡衰減量、個人衰減評比值(PAR)、不確定度評估(uncertainty)及使用說明書須包含的訊息內容等。</p>	有，是應用在被動式防音防護具個人適配性評估的最新標準

目前所採用的防音防護具適配性評估系統，可參考圖 1 所示方式以聲音產生源讓受試者接受防音防護具佩戴前後之測試推估其噪音暴露個人衰減評比值(PAR)，現有之評估系統主要有三大類，說明如下：

- 一、聽力檢查計測試法(audiometers and similar systems)：利用聽力檢查計測試防音防護具佩戴前後的不同頻率純音的聽力閾值(hearing threshold or hearing level)，例如：1. MA 33 (Maico)；2. Oscilla (Inmedico)；3. CAPA (Cotral)；4. ePRO-Meter (Egger)；5. FitCheck Solo (Michael & Associates)，參考圖 2 所示。如果採用音場測試聽力閾值，則必須要求受試者在極安靜的聽力檢查室或半迴響室內，利用聲音播放系統測試，無法在現場施測且成本昂貴。
- 二、響度平衡法(Loudness balancing)：此方法係利用儀器測量佩戴耳塞前後之左右耳間的音壓級差異，例如：VeriPRO (Honeywell)，參考圖 3 所示。本方法量測結果變異大，且常無法使用聲音頻率小於 125 Hz 進行施測，目前常以 500Hz 的窄頻音進行簡易篩檢。
- 三、耳內麥克風評估(MIRE)，例如：1. E-A-Rfit (3M)，參考圖 4 所示；2. CT EarGuard (Ceotronics)；3. Elacin SI-meter (Elcea)；4. SV 102 與 102A+ (Svantek)，參考圖 5 所示。本方法多數是採用擬似的(surrogate)防音防護具，同時進行耳外噪音暴露音壓級與耳內噪音暴露音壓級的測量，由其耳內外噪音暴露音壓級之差值表示該防音防護具之聲音衰減量。

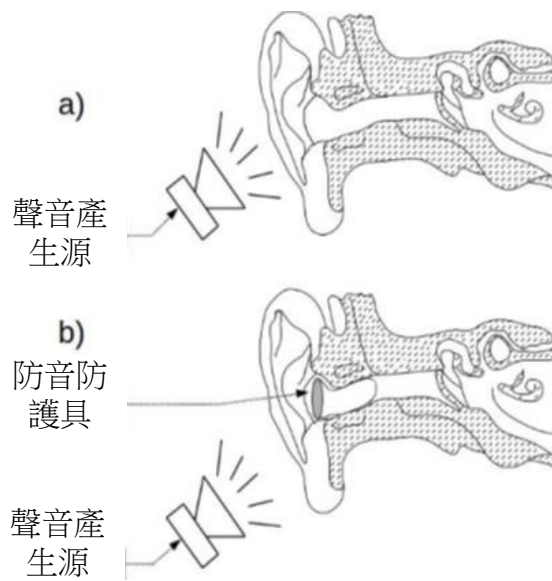


圖 1 防音防護具適配性評估示意圖



圖 2 FitCheck Solo (Michael & Associates)主觀測試法使用之耳機



圖 3 VeriPRO (Honeywell 的防音防護具測試裝置)



圖 4 3M EARfit 防音防護具適配性評估系統



圖 5 SV 102 或 102A+ (Svantek, 適用耳罩型測試)

通常防音防護具的聲音衰減值測試方法有(其比較請參考表 2)：REAT 法、MIRE 法、ATF 測試法。其測試方法特性及應用說明如下：

一、 實際耳閾衰減值(Real Ear Attenuation at Threshold, REAT)法：
(ANSI S12.6: 2016[12]；ISO 4869-1: 1990[16]；ISO/TS 4869-5:
2006[17]；AS/NZS 1270: 2002[13])

在相同的空間與環境條件下，測量受測者所聽到的聲音音壓級，並分別記錄佩戴防音防護具前與後之量測平均數值，其兩數值相差，即為防音防護具所造成的實際耳閾衰減值。

(一) 優點：

1. 所有聲音傳遞途徑都已考量，包括骨傳導音在內。
2. 不須傳輸線、麥克風或其他設備貼附在防音防護具上。
3. 由於暴露之音壓位準接近受試者的聽力閾值，因此進行主觀感覺測試較安全。
4. 受測試人群的頭、耳的形狀與尺寸大小及其行為與佩戴貼合的主觀感覺變異量都納入考量。

(二) 缺點：

1. 不適合應用在增強型防音防護具聲音衰減量測試，例如電子裝置內部噪音或接近界限音壓位準時之測試。
2. 閉塞效應(occlusion effect)會導致低於 500Hz 之聲音衰減值高估達 6dB 的水準，同時受測者生理噪音會導致聲音衰減值高估情形。

二、 耳內麥克風測試(Microphone In Real Ear, MIRE)法：(ANSI S12.42:
2010[11])

MIRE 法為一種評估人體噪音衰減暴露技術，利用微小的麥克風測量人體耳內的真實噪音暴露音壓級，並透過細長的探管，放置於耳內接近真實的收音位置；同時另一個麥克風在耳外收音，接收環境之背景噪音，其兩數值相差即為防音防護具之噪音衰減效能值。

(一) 優點：

1. 適合應用在任何防音防護具現場測試。
2. 量測程序較簡單、易操作及實施。
3. 量測數值容易辨識，即為人體實際之噪音暴露。
4. MIRE 法可以應用在音壓位準暴露範圍較廣之增強型防音防護具測試。

(二) 缺點：

1. 未測試骨傳導音途徑，通常此途徑在 1 kHz 以上聲音的防音防護具對衰減量測試結果相較於 REAT 有導致高估的情形。
2. 因為麥克風及傳輸線可能會造成空氣洩漏而降低防音防護具聲音衰減量。

三、聲學測試裝置(Acoustic Test Fixture, ATF)測試法(ISO 4869-3: 2007[18]；ANSI S12.42: 2010[11])

將欲受測之防音防護具放置於 ATF 上，並由 ATF 裝置的麥克風模擬人耳收音，並量測佩戴耳罩前及佩戴耳罩後的音壓值，測試出來防音防護具之聲音衰減性能又稱為插入損失(insertion loss)。

(一) 優點：

1. 適合應用在中度或高度噪音暴露，或伴隨有高衝擊性噪音暴露時的防音防護具測試。

2. 固定測試系統，因此各種環境與條件變異性小，故重複測試結果一致性較高。
3. 可以應用在大量測試需求或是快速比較測試時，特別是產品的品管控制非常有用。

(二) 缺點：

1. ATF 測試法未考慮最終使用者的耳朵解剖結構變異的影響，因為佩戴貼合程度會導致聲音衰減量測試的結果產生誤差。
2. ATF 測試法未考慮使用者的個人佩戴經驗或解釋說明指導所造成之行為影響。

表 2 防音防護具聲音衰減值 ISO 測試標準比較

標準名稱	測試方法	測試頻率(Hz)	測試結果
ISO 4869-1 (1990, 2018)[16]	人耳佩戴(主觀法，在聽力檢查室測試有無佩戴防音防護具時聽力閾值的差值)	63(可依需要選擇), 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000	聲音衰減值(sound attenuation at the threshold of hearing/sound attenuation value)
ISO 4869-2 (1994, 2018)[28]	人耳佩戴(客觀法，利用麥克風分別測試人耳佩戴防音防護具時耳道外與耳道內音壓級的差值)	63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000	L _C , L _A , (L _C - L _A), HML 值, SNR
ISO 4869-3 (2007)[18]	聲學測試裝置法(客觀法，利用聲學測試裝置 ATF 實施測試)	63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000	插入損失值 (insertion loss, IL)

第五節 文獻回顧

防音防護具防音性能評估法之比較，可以發現測試頻率涵蓋範圍不同外，其所能提供的保護人口百分比或性能等級也有差別，因此在引用時須註明其採用的測試標準外，最好是能從噪音工程控制與縮短噪音暴露時間的行政管理方面著手以降低噪音暴露量；依據美國國家職業安全衛生研究所(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)或美國職業安全衛生署(Occupational Safety and Health Administration,

OSHA)之建議方式，可將實驗室測試所得 NRR 的結果加入減免值之觀念，予以保守估計有效聲音衰減值，估計佩戴防音防護具後的 A 權衡音壓級。然而根據 OSHA 的經驗與發表的科學文獻資料，顯示在實驗室真人耳朵的防音防護具聲音衰減值與在工作場所比較很少能夠達到相同的效果，因此美國 OSHA 強烈建議考量工作條件應採用 50% 的修正係數以進行現場有效聲音衰減量的估計(特別須考量是否採用工程控制措施)，以落實勞工聽力之保護。例如：OSHA 建議將防音防護具的 NRR 值乘以 50%，而 NIOSH 則是建議耳罩的 NRR 值乘以 75%，慢回復型泡綿式耳塞或客製化模壓型耳塞的 NRR 值乘以 50%，所有其他類型耳塞的 NRR 值則乘以 30% 後估計工作場所勞工佩戴之有效聲音衰減量(如表 3 所示)[30][31][32]。

表 3 防音防護具工作場所佩戴時的 NRR 減免值[30][31][32]

防音防護具類型		NRR 減免百分比
OSHA 建議(2005)		50%
NIOSH 建議 (2000, 2003)	耳罩	75%
	慢回復型泡綿式耳塞或客製化模壓型耳塞	50%
	所有其他類型耳塞	30%

德國則在 2005 年至 2007 年進行大規模探討防音防護具聲音衰減值之研究，發現有經驗與無經驗受試者的聲音衰減量平均值的相差值隨測試頻率而有所不同，主要針對低頻率的測試噪音進行修正，其結果如表 4 所示[33]。並提出下列聲音衰減值之建議修正音量：1.可塑型耳塞(formable earplug)：9 dB；2.模壓型耳塞(prefomed earplug)：5 dB；3.頭帶式耳塞(headband earplug)：5 dB；4.耳罩(earmuff)：5 dB；5.具定期功能查驗的客製化耳塞(custom moulded earplug)：3 dB；6.無定期功能查驗的客製化耳塞：6 dB；7.耳塞與耳罩同時使用(combinations of earmuff and earplug)：9 dB。

表 4 有無經驗受試者的聲音衰減量平均值的相差值[33]

測試頻率(Hz)	250	500	1000	2000	4000
耳塞聲音衰減量相差值(dB)	7.7	5.7	3.5	4.8	4.5
耳罩聲音衰減量相差值(dB)	8.6	2.4	0.7	0.0	0.0

防音防護具的主要誤差來源是受試者的反應，約占全部誤差來源的 80%[34]，根

據研究結果，可以發現所有測試頻率的不確定度的測值介於 1.5 至 2.0 dB 之間。至於採用開放或封閉式聽力閾值測試的影響因素有：1.量測系統；2.量測參數(循環次數、測試室特性、振幅尺度)；3.系統是否經過校正；4.受試者反應情形(例如防音防護具貼合程度、佩戴者動機、測試經驗及不同防護具的變異情形等)。

根據 CSA Z94.2-14 在第 13 款中提出現場衰減值估計系統(FAES)技術之應用，其主要是在現場進行個人防音防護具佩戴的效能評估工具，一般也稱為適配性測試系統(fit-test systems)[10]。適配測試所得數據通常稱為個人衰減評比值(PAR)，比在實驗室環境所測得之防音防護具的平均衰減量數據(NRR 或 SNR)能提供更直接的防護效果的估計值，同時也能提供作為員工佩戴防音防護具之教育訓練用途。以上多數利用主觀法應用在耳塞的聲音衰減值的測試，而客觀法則應用在耳罩的聲音衰減值測試。Murphy (2013)比較幾種不同的防音防護具已商業化之適配性測試系統，其比較表請參考表 5[35]。

表 5 適配性測試系統(fit-test systems)比較表[35]

系統名稱	方法	測試頻率(Hz)	測試訊號	以 A 權衡 噪音表示 PAR	附註
3M EARFit Validation System	MIRE	125~8000	寬頻噪音 (Broadband Noise)	直接扣除	提供 20 與 80 百分位的信賴區間值
FitCheck	REAT	125~8000	1/3 Octave Band Noise	直接扣除	
FitCheck Solo	REAT	125~8000 (主要為 500, 1000 與 2000)	1/3 Octave Band Noise	直接扣除	提供 95% 的信賴區間值
INTEGRAFit	REAT	500	音調聲 (Tone)	直接扣除	可能低估高頻率噪音的保護
Safety Meter Fit- Test System	MIRE	125~8000	寬頻噪音	直接扣除 (PAR-7)	直接由 C 權衡噪音音壓級扣除
VeriPRO	Loudness Balance under headphones	250~4000	音調聲交替耳朵(Tone)	直接扣除	

然而當穿戴耳罩有下列五個主要聲音洩露途徑：1.骨骼與組織傳導(bone and tissue conduction)；2.非接觸區域的空氣洩露(non-contact area air leak)；3.耳罩低頻噪音振動傳遞(vibration of earmuff)；4.耳罩外殼穿透傳遞(Ear cup transmission)；5.軟墊穿透傳遞(cushion transmission)。研究發現如果耳罩的軟墊其洩露開口面積百分比大於 1%時，可以導致噪音衰減量明顯降低(如圖 6 示意圖)，經實驗比較八種不同耳罩穿戴條件(A~H)，由表 6 的結果可見洩露開口面積百分比 1.11%會有 4.4 dB 噪音衰減減少量[36]。故採用客觀法測定耳罩內外音壓時需特別注意避免受到耳罩軟墊產生洩露的影響。

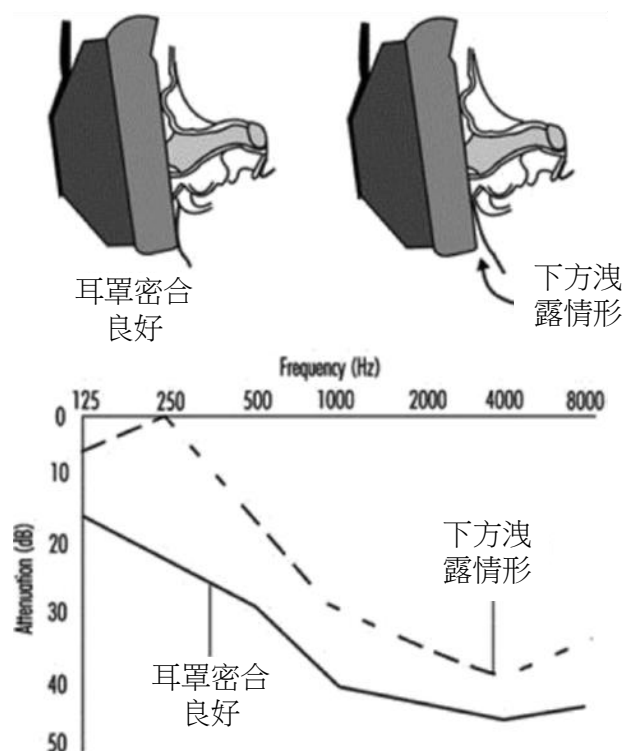


圖 6 耳罩佩戴因為軟墊洩露導致噪音衰減量降低示意圖[36]

表 6 耳罩洩露率引起的噪音衰減降低量表[36]

耳罩穿戴分類	人頭模型			噪音衰減減少量(dB)
	全部接觸面積 (cm ²)	未接觸面積 (cm ²)	洩露開口面積百分比(%)	
A~E	—	—	無洩露	—
F	163	3.0	3/163=1.8%	4.5
G	111	2.0	2/111=1.11%	4.4
H	142	2.8	2.8/142=1.4%	4.7

Byrne 徵求 20 位志願受試者參加研究，利用三種耳塞適配測試系統(NIOSH HPD Well-Fit, Michael & Associates FitCheck, Honeywell Safety Products VeriPRO)佩戴模壓型耳塞(Howard Leight Airsoft)，在四間不同實驗室(NIOSH、Honeywell、Michael & Associates 及 USAARL)各測試頻率(125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz，但是 VeriPRO 無法測試 125 Hz 與 8000 Hz)的聲音衰減量進行比較。發現 Michael & Associates 實驗室具有最大的 A 權衡聲音衰減值及最小的標準偏差；VeriPRO 的 5 個頻率的 A 權衡聲音衰減值(Awt5)與 ANSI 的 7 個頻率的 A 權衡聲音衰減值(Awt7)低估約 3~4 dB 左右，並且從表 7 整理的結果發現，當各特定測試的聲音衰減量的標準偏差較大時，會導致 NRR 顯著變小；如果以 A 權衡衰減值(Awt7)表示時，其平均值都達到 20.5 dBA 以上[37]。

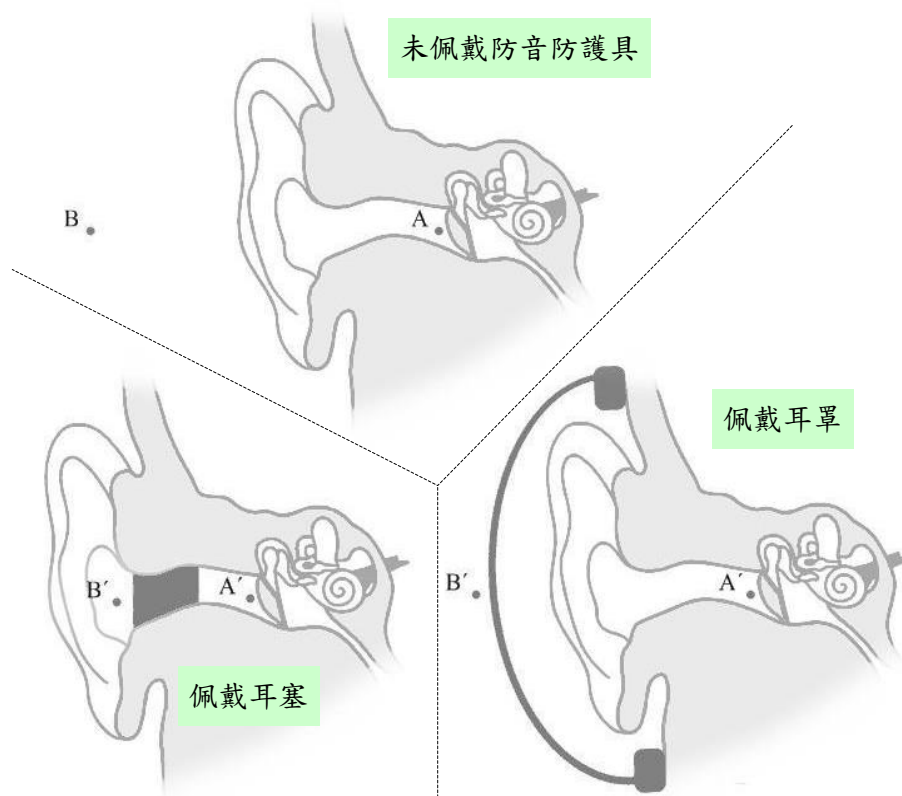
表 7 依據 ANSI 12.6 的適配性測試的聲音衰減值測試結果[37]

實驗測試	統計量	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	8000Hz	A權衡衰減值 (A _{w7} , dB)	NRR (dB)
Howard Leight Airsoft (原廠數據)	Mean(dB)	22.9	24.8	28.9	31.8	35.4	43.1	38.1	—	27
	SD(dB)	1.6	1.7	2.0	2.0	2.7	2.9	3.0	—	
Honeywell (測試數據)	Mean(dB)	21.5	21.0	21.8	22.2	27.3	28.0	33.2	23.4	4.5
	SD(dB)	9.4	9.8	10.8	8.9	7.9	7.3	10.2	7.9	
Michael & Associates (測試數據)	Mean(dB)	28.7	25.2	29.1	27.9	34.0	34.3	42.1	30.1	19.6
	SD(dB)	4.2	4.6	4.9	4.9	3.9	5.7	4.2	3.6	
NIOSH (測試數據)	Mean(dB)	15.8	16.8	18.3	19.7	24.6	24.4	30.2	20.5	-0.5
	SD(dB)	10.7	9.9	11.5	10.2	7.9	10.7	12.6	9.5	
USAARL (測試數據)	Mean(dB)	23.5	22.5	23.4	21.0	30.0	28.1	34.0	23.5	4.9
	SD(dB)	10.3	10.4	11.0	8.8	6.6	7.9	8.3	7.7	

防音防護具衰減量評估時量測位置示意圖如圖 7 所示，當未佩戴防音防護具時的耳內暴露音量為 A ，耳外的噪音暴露音量為 B ，其相差值($A-B$)表示耳朵聲音傳送損失量(Transfer Function of the Open-Ear, TFOE)；當佩戴防音防護具(耳塞或耳罩)後，耳內暴露音量為 A' ，則佩戴防音防護具的外界參考點位置的噪音暴露音量為 B' ，其相差值($B'-A'$)表示防音防護具的噪音衰減量(Noise Reduction, NR)。然而，不論防音防護具是何種類型，利用人耳主觀感覺測試時，在其未佩戴與有佩戴防音防護具時的聲音音壓級差值($A-A'$)即稱為插入損失(Insertion Loss, IL)，相當於測試防音防護具有無佩戴情形下的聽力閾值測值的相差值(REAT)，故 NR 與 IL 兩者在相互比較時，如不進行修正將導致測值有 5~10 dB 的誤差[38]。

由於主觀測試法常受到環境背景噪音影響測試結果，故國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)在 2010 年修正 1989 年的 ISO 8253-1 的標準[39]，並同時取代 1983 年的 ISO 6189 標準，明定穿戴覆蓋式耳機(supra-aural earphone)情形下，以慢回應最大音量測值(LS,max)規定 1/3 八音度頻帶中心頻率的最大容許背景噪音量標準(MPANLs)，另外在 ISO 8253-2 (2009)則訂定進行聽力檢查的測試環境最大容許背景音壓級(Maximum Permissible Ambient Noise Levels, MPANLs)[40]。

不同情況的 1/3 八音度頻帶的 MPANLs(相對於 20 μ Pa)整理如表 8 所示，如採用八音度頻帶評估時請參考表 9 之內容。如果採用不同的耳機軟墊或耳機包覆組合類型的最大容許環境噪音位準(MPANLs)時，則可參考表 10 中 AS/NZS 1296.4 (2014)之規定值進行是否符合要求的判別[41]。由於測聽耳機本身也具有某種程度的聲音衰減效果，測試時必須考量其佩戴後產生的聲音衰減量並決定其最大容許環境噪音位準(MPANLs)，目前 ISO 8253-1 所列之不同耳機類型的 1/3 八音度頻帶平均聲音衰減量如表 11[39]。



$$\begin{aligned}
 IL &= L_A - L_{A'} = REAT \\
 NR &\cong L_{B'} - L_{A'} \\
 TFOE &\cong L_A - L_B \\
 IL &= NR + TFOE
 \end{aligned}$$

A：未佩戴防音防護具時的耳內暴露音量；B：未佩戴防音防護具時耳外的噪音暴露音量

A'：佩戴防音防護具時的耳內暴露音量；B'：佩戴防音防護具時耳外參考點的噪音暴露音量

圖 7 防音防護具衰減量評估時量測位置示意圖[38]

表 8 不同國際標準的 1/3 八音幅頻帶的 MPANL_s(相對於 20μPa) [40]

標準	ISO 8253-2 (2009)		ISO 8253-1 (2010)		ISO 4869-1(2018)		ISO/TS 4869-5(2006)		AS/NZS 1270(2002)
頻率 (Hz)	125-8000 Hz(BC)	250-8000 Hz(BC)	125-8000 Hz(AC)	250-8000 Hz(AC)	500-8000 Hz(AC)	(63~8000Hz)	(63~8000Hz)	(125~8000Hz)	
31.5	55	63	56	66	78	57	—	—	—
40	47	56	52	62	73	43	—	—	—
50	41	49	47	57	68	31	38	—	—
63	35	44	42	52	64	25	32	25	25
80	30	39	38	48	59	21	27	21	21
100	25	35	33	43	55	18	22	18	18
125	20	28	28	39	51	14	17	14	14
160	17	21	23	30	47	11	14	11	11
200	15	15	20	20	42	9	12	9	9
250	13	13	19	19	37	6	10	6	6
315	11	11	18	18	33	4	8	4	4
400	9	9	18	18	24	3	6	3	3
500	8	8	18	18	18	2	5	2	2
630	8	8	18	18	18	1	5	1	1
800	7	7	20	20	20	1	4	1	1
1000	7	7	23	23	23	1	4	1	1
1250	7	7	25	25	25	1	4	1	1
1600	8	8	27	27	27	2	5	2	2
2000	8	8	30	30	30	2	5	2	2
2500	6	6	32	32	32	1	3	1	1
3150	4	4	34	34	34	-1	1	-1	-1
4000	2	2	36	36	36	-4	-1	-4	-4
5000	4	4	35	35	35	-2	1	-2	-2
6300	9	9	34	34	34	3	6	3	3
8000	15	15	33	33	33	10	12	10	10
10000	—	—	—	—	—	20	14	20	20

註：ISO 8253-2(2009)適用在音場聽力檢查計(sound field audiometry)進行氣導音(AC)或骨導音(BC)的聽力閾值測定之最大容許背景噪音音壓位準；ISO 8253-1(2010)適用在使用標準覆蓋式耳機進行氣導音聽力閾值測定之最大容許背景噪音音壓位準。

表 9 最大容許環境噪音音位準(MPANLs)標準值比較表(500~8000Hz) [40]

頻率(Hz)	ANSI 1991	ANSI S3.1(1999)	CAN3-Z107.4-M86*	AS/NZS 1269.4(2014)	ANSI S12.6 (2016)
31.5	—	—	—	—	57
63	—	—	—	—	43
125	47.5	49	34.5	47	29
250	33.5	35	23	33	21
500	19.5	21	21.5	18	16
1000	26.5	26	29.5	20	13
2000	28	34	34.5	27	14
4000	34.5	37	42	34	11
8000	43.5	37	45	33	14

註：本表主要應用在八音幅頻譜分析；*：採用標準覆蓋式耳機加軟墊時的測試結果；單位：dB。

表 10 不同的耳機軟墊或耳機包覆組合的最大容許環境噪音位準[41]

耳機軟墊或耳機包覆組合類 型	八音度頻帶中心頻率(Hz)						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TDH39 或 TDH49 耳機搭配 MX41AR 軟墊(ISO 8253-1)	47	33	18	20	27	34	33
TDH39 或 TDH49 耳機搭配 Amplivox Audiocup 包覆(NAL 1988)	54	36	33	36	31	44	40
TDH39 或 TDH49 耳機搭配 Madsen ME-70 包覆(NAL 1991)	52	42	29	31	31	45	40
TDH39 或 TDH49 耳機搭配 Peltor 包覆(NAL 2000)	46	34	27	29	27	39	37
TDH39 或 TDH49 耳機搭配 Telex/Peltor 包覆(NAL 1991)	58	41	33	34	32	42	43
ER-3A 插入式耳機(NAL 1991)	67	49	32	27	29	41	46
ER-3A 插入式耳機搭配 MSA 766243 高輪廓耳罩(NAL 2013)	79	69	61	49	38	51	54

單位：dB。

表 11 不同耳機類型的 1/3 八音度頻帶平均聲音衰減量[39]

頻率(Hz)	覆蓋式耳機 (supra-aural earphone)	插入式耳機(Etymotic ER-3A)	耳罩式耳機(Sennheiser HDA 200)
31.5	0	33	—
40	0	33	—
50	0	33	—
63	1	33	17
80	1	33	16
100	2	33	15
125	3	33	15
160	4	34	15
200	5	35	16
250	5	36	16
315	5	37	18
400	6	37	20
500	7	38	23
630	9	37	25
800	11	37	27
1000	15	37	29
1250	18	35	30
1600	21	34	31
2000	26	33	32
2500	28	35	37
3150	31	37	41
4000	32	40	46
5000	29	41	45
6300	26	42	45
8000	24	43	44

單位：dB。

第三章 研究方法與步驟

第一節 研究對象

本研究之研究對象為噪音超過九十分貝之作業場所及其作業員工，包含 6 家公司的現場訪視，並且調查個別噪音暴露類型及工作者使用之防音防護具。同時利用具有同步進行頻譜分析功能的精密型噪音計或噪音劑量計，進行作業之噪音背景調查與噪音錄製，並分析頻譜特性。在建立佩戴防音防護具之耳內音壓量測與評估模式，驗證防音防護具適配的正確性後，完成 6 場次的訪視。本研究主要是利用(1) Fit check solo 系統進行耳塞適配性評估，(2) Svan102+雙頻道噪音劑量計系統進行耳罩適配性評估，並完成 74 人次之佩戴防音防護具後之耳內外音壓量測(67 人次耳塞及 7 人次的耳罩)，進行耳內外音壓之量測與分析，並完成防音防護具適配性之綜合評估。

第二節 研究方法

一、 研究流程

- (一) 蒐集國內、外關於防音防護具適配檢測技術的相關文獻：藉由文獻回顧與國際標準，蒐集整理有關防音防護具聲音衰減量測試與適配性評估的方法，比較其適用條件與優缺點。
- (二) 訂定臨廠訪視實施計畫並現場訪視，進行作業環境監測：訂定臨廠訪視實施計畫，其內容至少須包括訪視場次規劃、噪音調查與量測技術之內容與程序、資料記錄表單等項目。透過現場高噪音作業別之作業環境監測與臨場之勞工個人防音防護具測試，進而判斷其是否符合國內職場噪音容許暴露標準或有無過度保護情形。本年度完成至少 6 場因噪音暴露危害而使用個人防音防護具之作業現場訪視，進行作業之噪音背景調查與噪音錄製並分析噪音暴露頻譜特性。主要利用具有頻譜分析功能的精密行噪音計(Svantek SVAN 971)進行噪音測定，包括：A 權衡均能音量(dBA)、C 權衡均能音量(dBC)、Z 權衡均能音量(dBZ)，與 1/3 八音度頻譜分析。
- (三) 防音防護具之耳內外音壓量測：本研究分別針對耳塞及耳罩兩類型防音防護具

進行耳內外音壓量測與評估模式之建立，參考相關量測標準之方式及儀器設備之使用方便性與經濟性，選擇以(1) Fit Check Solo 系統進行耳塞適配性評估(採用 REAT 之評估方式，本研究中亦稱為主觀測試法)，(2) Svantek SVAN 102A+ 雙頻道噪音劑量計系統進行耳罩適配性評估(採用 MIRE 之評估方式，本研究中亦稱為客觀測試法)，完成 67 人次之耳塞佩戴後 PAR 量測及 7 人次之耳罩佩戴後之耳內外音壓量測，並完成防音防護具適配性之綜合評估。

- (四) 整理、統計及分析個人之防音防護具聽力保護數據後提出相關適配評估建議：並依據文獻回顧、相關標準與防音防護具適配性之綜合評估結果，討論防音防護具適配技術之可行性，以及彙整出防音防護具適配技術簡介。

二、研究流程圖

- (一) 本研究規劃臨場訪視後防音防護具施測適配性評估流程如圖 8 所示，其中「耳塞+耳罩」類型之防音防護具適配性評估於本研究中暫時不列入探討。

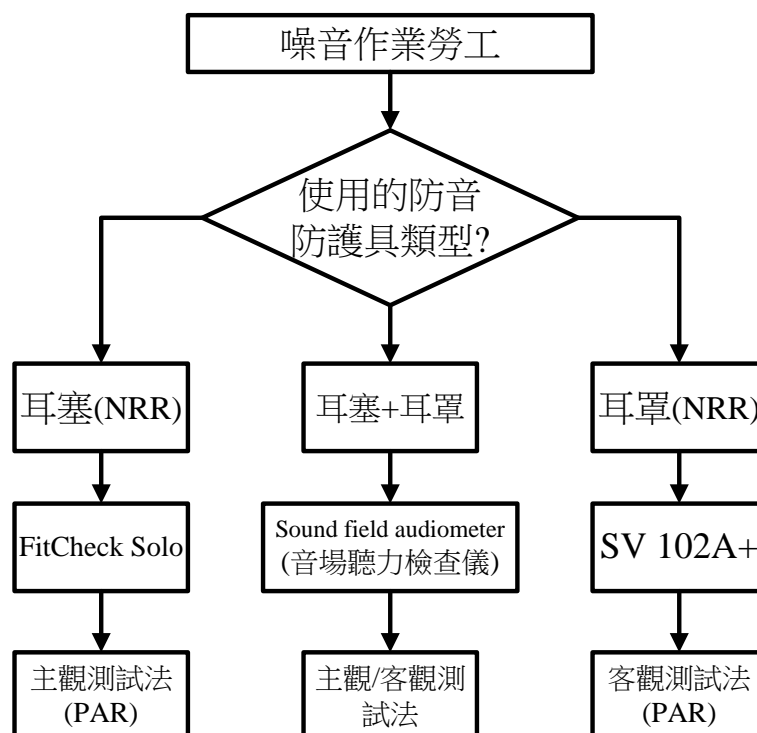


圖 8 訪視後防音防護具施測適配性評估流程

(二) 本年度研究執行流程如圖 9 所示

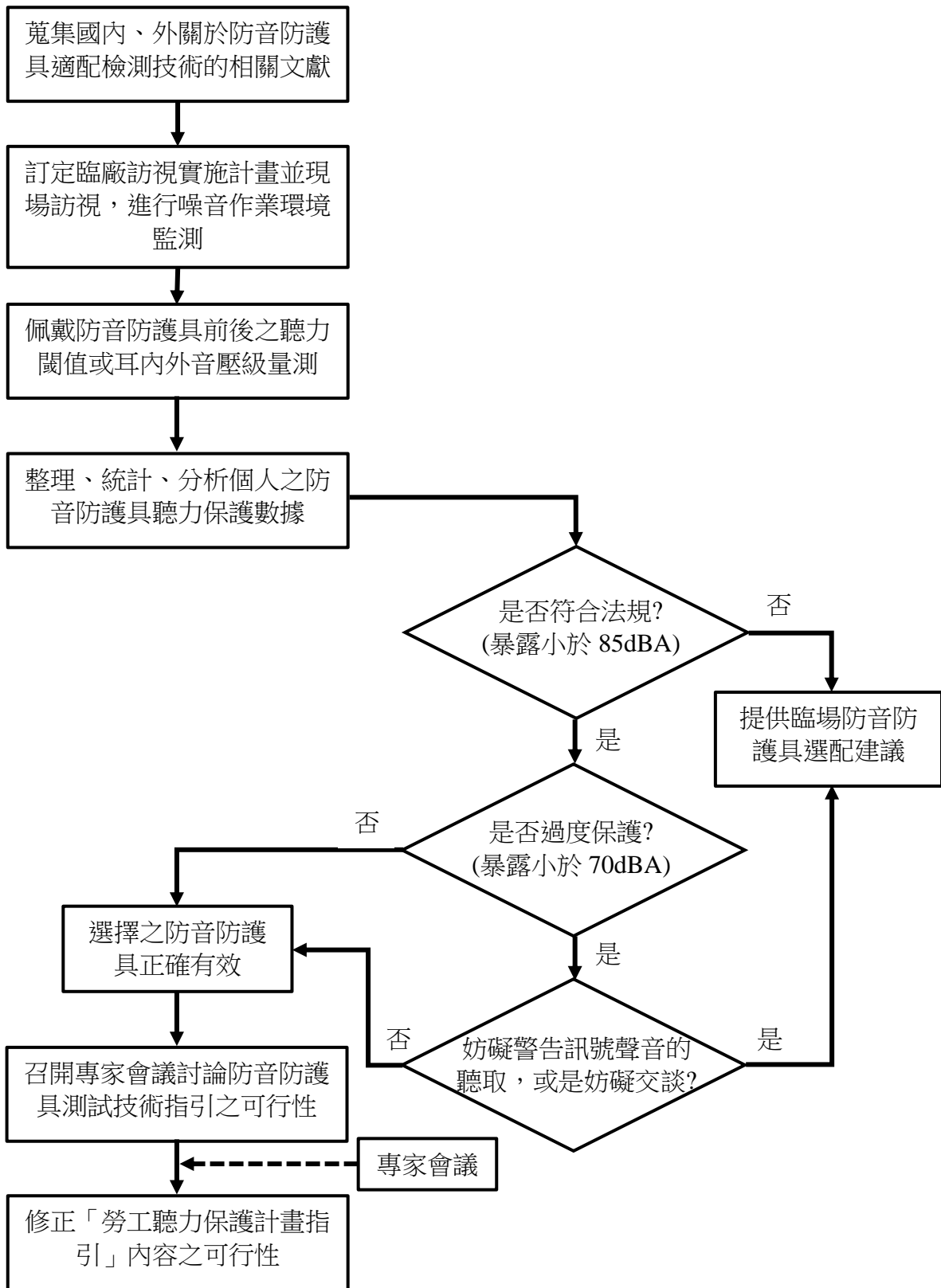


圖 9 研究流程示意圖

三、研究儀器介紹

(一) 聽力防護具插入損失評估設備(FitCheck Solo)，如圖 10。

本研究利用 FitCheck Solo 進行耳塞之適配性評估；首先讓受測人員進行未佩戴耳塞時，各頻率的聽力閾值測試，即為完成各頻率之最低可辨識音壓測試；接著請受測者自行佩戴耳塞(occluded test)後，進行各個頻率的聽力閾值測試。完成後 FitCheck Solo 系統會自行運算 PAR 報表。

PAR 判定合格基準

於受測人員測試前，先瞭解作業環境背景噪音，並假定降低作業環境音量至 85 dB，利用背景噪音值扣除 85 dB 後，其差值即為本研究中預設 PAR 之目標值。若測試後其 PAR \geq 該目標值，則系統判定為合格；反之，則判定為不合格，故每位受測人員之合格基準皆不相同。



圖 10 聽力防護具插入損失評估設備(FitCheck Solo)

(二) 雙頻道噪音劑量計(Svantek SV 102A+)，如圖 11。

本研究利用 Svantek SV 102A+進行耳罩之適配性評估；首先利用音源校正器分別校正耳內麥克風及耳外麥克風；接著讓工作者依序佩戴耳內麥克風及耳罩(須留意耳內麥克風探管位置及耳罩佩戴是否密合)，最後將耳外麥克風固定至工作者衣領或肩膀處，並於作業場所進行耳內外音壓暴露之量測。完成後將量測設備連接至電腦輸出其量測數據，並利用 Svantek SV 102A+系統運算各頻率下及總噪音暴露音壓級即可得到工作者耳內與耳外之暴露音壓值。



圖 11 雙頻道噪音劑量計(Svantek SV 102A+)

第四章 研究結果

第一節 臨廠訪視之噪音作業場所

A 公司為鋼鐵棒材生產製造，有品保、加工、測試與裝配作業，參與人員有設備改善、物料管理、絞直機、研磨及冷抽作業相關高噪音暴露作業，整個廠房採開放式空間設計，噪音暴露音量與型態會隨生產量、棒材直徑及製程的種類有明顯不同，現場訪查的噪音暴露音壓級主要介於 83~107 dBA 之間，屬於變動性噪音，其中，衝擊性噪音是因為棒材撞擊所引起，A 權衡快回應瞬間最大音壓級可高達 125 dBA 以上。現場作業人員佩戴的防音防護具以耳塞為主，僅少數行政管理人員使用耳罩。

B 公司是生產高爾夫球球桿頭為主，主要有噴砂、修整、稱重、檢驗、射蠟、脫蠟、震殼與打陶瓷等不同生產作業區域，每個作業區採隔離規劃，噪音暴露類型與八小時日時量平均音壓級變化大，噴砂作業區的 A 權衡快回應最大暴露音壓級可以高達 110 dBA 以上，屬於間斷性作業，八小時日時量平均音壓級超過 90 dBA 的水準，主要生產作業區噪音暴露的結果均達 85 dBA 以上。防音防護具以泡綿式耳塞為主，僅少數人員使用耳罩。

C 公司為樹脂粉料生產工廠，噪音作業區主要是壓出、粉碎、下料、稱料及生管理等等作業區域，以廠房區分幾個不同作業區域，現場訪查發現其噪音一般不超過 90 dBA，但過去的噪音環境監測結果顯示，量產季節時會超過 90 dBA 的水準，有些高齡噪音作業勞工聽力健檢發現有異常，被判定為管理分級第二級以上。公司主要提供泡綿式耳塞，部分作業人員使用自行購買的耳罩或耳塞進行聽力保護。

D 公司則是沙灘車生產製造工廠，以外銷訂單生產為主，有品保、加工、測試、裝配、行政管理等部門、除了行政管理部門以木質門板或水泥牆板隔間隔離外，整個廠房是採開放式空間設計，經現場訪查發現噪音暴露主要是引擎測試所引起，A 權衡音壓級可高達 110 dBA 的水準，淡季時則廠房的環境噪音約介於 80~85 dBA，今年度四月份的作業環境監測結果顯示引擎檢驗區不合格，個人噪音暴露的八小時日時量平均音壓級均小於 90 dBA。公司發送的耳罩僅以引擎測試區作業人員為主，本研究協助提供 EP-412(ELVEX)模壓型耳塞進行適配性評估。

E 公司為利用超音波銲接機進行車頭燈具加工黏合的製造工廠，實際訪場發現是

屬於間斷性作業，具有低頻噪音與超音波暴露的作業類型，噪音作業環境監測結果都符合規定，八小時日時量平均音壓級($L_{TWA(8)}$)都不超過 87 dBA，但快回應的 A 權衡瞬間最大音壓級可以達到 120 dBA，雇主規定勞工要配合確實佩戴耳塞或耳罩，本研究訪場後認定無須進行勞工個人防音防護具適配性測試。

F 公司則是透過手工具進行表面拋光研磨，噪音作業環境監測的個人噪音劑量計監測結果均未發現有超過 90 dBA 的情形，熱處理區則是 C 權衡音量與 Z 權衡音量會有超過 90 dB 的情形，但 A 權衡音壓級都小於 90 dBA 的作業，經過現場訪視後認定無須進行勞工個人防音防護具適配性測試。

第二節 臨場訪視之防音防護具適配性評估結果

一、耳塞適配性評估結果

依據前述的訪視後防音防護具類型決定施測適配性評估流程，其中耳塞的使用者以 REAT 之原理並利用 FitCheck Solo 系統進行施測，而測試過程必須儘可能在環境背景噪音量小於 55 dBA 的情形下進行(如：會議室內)，測試前先參考其耳塞包裝袋或盒子上所標示之 NRR 值，隨後分別依序實施未佩戴時的 125-8000 Hz 等七個頻率的聽力閾值後，再進行佩戴耳塞後的 125-8000 Hz 等七個頻率的聽力閾值，由測試系統將佩戴前後之聽力閾值進行分析後計算出其 PAR 值，若該 PAR 值 \geq 預設之目標值，系統將判定此防音防護具之保護效果合格，反之 $<$ 該目標值者為不合格；本研究採用的耳塞如圖 12，共計完成 67 人次(分別為 A 公司 12 人次，B 公司 17 人次，C 公司 18 人次，D 公司 20 人次)的耳塞主觀測試數據如表 12~表 15 所示。初步分析發現，耳塞的 PAR 測試除了有佩戴不密合導致測值偏低外，大部分都可以達到 NRR 的 50% 以上的聲音衰減量，經過指導後佩戴的測試結果有明顯改善，顯示具有教導員工正確使用防音防護具的效果。其中測試結果不合格者共有 22 人次，分別為 B 公司 3 人次，C 公司 5 人次，D 公司 14 人次；D 公司之受試者不合格率高達七成($14/20=0.7$)，經查證後，發現 D 公司之受試者均為健康管理分級第二級以上有聽力異常者，顯然主觀測試法需針對聽力正常的噪音作業勞工之測試結果較具有意義。



圖 12 本研究調查主要常見使用的耳塞類型

表 12 A 公司耳塞適配測試結果一覽表

A 公司 編號 工作別	配戴耳塞(Occluded)					未配戴耳塞(Unoccluded)					耳塞 型號	NRR PAR	判定 結果					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz Hz	2 kHz Hz	4 kHz Hz	8 kHz Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz				1 kHz Hz	2 kHz Hz	4 kHz Hz	8 kHz Hz	
A01 2730 office	14.1	14.1	23.3	37.4	36.4	13.3	32.6	3.6	9.4	15.8	25	17.8	-2.4	10.4	3M- 1271	24	13	合格
A02 設備改 善	7.9	23.1	20.7	31.7	26.9	8.8	31.7	0.9	2	4.9	14.4	10.7	-13.6	-1.3	3M- 1271	24	18.2	合格
A03 物料管 理	21	27.9	37.2	40.4	51.3	20.8	23.6	6.5	17.1	18.7	23.2	25.6	2.6	16	3M- 1271	24	14.1	合格
A04 絞直機	16	19.9	25.3	30	28.8	15.5	29.6	-4.6	8.7	8.4	-0.8	-1.8	-11.9	6.5	3M- 1100	29	22.5	合格
A05 研磨	12.1	14.2	23.7	27.6	34.6	36.2	48.6	8	18.8	16.9	19.8	18.4	18.5	23.1	3M- 1271	24	8.4	合格
A06 研磨	18.4	29.1	38.9	42.5	46.2	46.8	46.6	11	16.3	21.7	24.7	22.4	36.1	31.3	3M- 1271	24	14.6	合格
A07 解捲機	16.5	23.9	29.1	38.4	43.1	15.7	31.4	9.3	11	7.8	12.8	9.9	-8.3	-3.7	3M- 1100	29	23.2	合格
A08 絞直機	22.4	20.9	27.5	35.9	43.1	14.8	29.2	9.3	12.1	13.3	23.4	15.9	-6.6	6.4	3M- 1271	24	16.6	合格
A09 冷抽作 業	20.3	34.8	41.9	45.9	45.6	54.2	68.3	-2.5	8	10.4	14.5	14.3	9.1	21.1	3M- 1271	24	33	合格
A10 冷抽作 業	18.8	30.6	48.3	43.1	46.7	37.2	56.1	7.1	13.2	19	22.8	19.1	2.3	6.6	3M- 1271	24	24.7	合格
A11 冷抽作 業	12.8	18.6	16.8	21.9	33	0.8	6.4	7.7	12.6	13.3	15.9	16.2	-9.7	-3.5	3M- 1271	24	8.4	合格
A12 冷抽作 業	13.3	20.4	25.5	35.3	38.4	11.2	28.2	5.8	14.8	16.3	13.4	15.2	-1	6.2	3M- 1271	24	14.1	合格

說明：A 公司的工作別有 2730 office、設備改善、物料管理、絞直機、研磨、解捲機、冷抽作業等，提供的耳塞類型都是 3M

公司生產的 3M-1271 與 3M-1100 兩種類型。

表 13 B 公司耳塞適配測試結果一覽表

B 公司 編號 工作別	配戴耳塞(Occluded)						未配戴耳塞(Unoccluded)						耳塞 型號	NRR PAR	判定 結果			
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz				4 kHz	8 kHz	
B01 噴砂	17.5	28.3	36.7	44	44.5	29.4	58.6	-9	12.9	25.2	28.4	18.6	3.4	32.5	3M-1100	29	18.2	合格
B02 噴砂	12.9	22.2	35.2	36.8	37.3	27.6	47.5	20	21.6	28.3	32.9	22.9	-0.3	25.4	3M-1100	29	7.9	不合格
B03 噴砂	8.3	19.1	28.5	21.2	37.3	17.9	25.8	9.4	7.4	2.1	-1.6	7.9	-20	-4.2	3M-1100	29	20.1	合格
B04 噴砂	20.7	22.8	33.3	46.6	44	41.9	47.4	5.9	10.8	10.9	20.5	12.3	-1.9	10.6	3M-1100	29	25	合格
B05 修整	18.9	30.2	37.1	41	50.6	33.4	43	8.5	12.1	16.5	17.3	12.3	-4.9	8.3	3M-1100	29	25.7	合格
B06 秤重	17.2	21.4	32.8	37.5	38.4	27.5	42.5	6.9	10.4	10.5	18.6	4.5	-9.7	11	3M-1100	29	22.1	合格
B07 檢驗	16.2	29.6	31.7	43.7	49.6	30.4	43.1	5.6	15.6	28.5	38.2	27.7	-0.8	15	3M-1100	29	9.8	合格
B08 檢驗	10.8	10.6	27.6	37.4	25.1	12.9	46.6	10.9	-12.9	11.8	21.8	15.8	-12.3	-5.2	3M-1100	29	13.5	合格
B09 檢驗	18.2	18.1	21.3	27.8	33.2	25.9	30.9	20.9	18.2	18.1	19.6	11.9	1.6	10.6	3M-1100	29	9.3	合格
B10 射腊	18.2	25.2	30.5	40.9	48.8	29.4	45.6	-2	11.7	15.7	21.8	21	0	9.1	3M-1100	29	21.1	合格
B11 射腊	7.8	11.7	13.2	15.5	18.2	17.5	21.1	-2.3	-5.1	3.2	16.7	9.6	7	15.8	3M-1270	24	4.2	不合格

B12	射腊	17.1	21.9	24.7	35.8	45.7	46.1	35.8	1.6	6.7	18.2	18.4	16.4	18.1	40.7	3M-1100	29	2.9	不合格
B13	脱腊	12.6	22.7	31.5	41.6	40.3	22.7	43	8.8	7.4	11.8	18.7	8.9	-6.9	8.9	3M-1100	29	22.7	合格
B14	脱腊	14.6	13.4	18.8	27.1	29	27.6	35.7	6.7	16.8	13.5	16.9	8.9	2.5	9.7	3M-1100	29	9.5	合格
B15	震殼	12.2	20	28.5	20.6	43	30.1	41	8	7	13.3	13.4	7.6	-12.2	-0.1	3M-1100	29	13.6	合格
B16	震殼	15.2	19	26	29.3	35.2	26.3	46.9	4.9	9.2	10.1	19.4	7.8	-4.2	9.2	3M-1100	29	15.7	合格
B17	打陶瓷	13.6	24.9	41.1	52.5	60	57.4	54	3.3	17.5	24.5	0.7	1.5	27.9	52.3	3M-1100	29	9.4	合格

說明：B 公司的工作別有噴砂、修整、秤重、檢驗、射腊、震殼、打陶瓷作業等，提供的耳塞類型主要以 3M-1100 為主，17 位受試

者的耳塞適配測試結果有 3 位不合格。

表 14 C 公司耳塞適配測試結果一覽表

C 公司 編號 工作別	配戴耳塞(Occluded)						未配戴耳塞(Unoccluded)						耳塞 型號	NRR PAR	判定 結果			
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz Hz	2 kHz Hz	4 kHz Hz	8 kHz Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz Hz	2 kHz Hz				4 kHz Hz	8 kHz Hz	
C01 壓出	8.2	13.2	23.8	29.2	47.8	34.8	46.9	1.6	9	6.8	11.6	19.4	11.9	10	3M-1110	29	17.3	合格
C02 壓出	1	12	12	29.6	42.7	33.2	35.2	-2.1	6.7	8.8	19.1	14.1	7.6	6.6	3M-1110	29	11.2	合格
C03 壓出	19.7	25.1	39	43.1	40.2	20.3	48.6	3.1	8.8	16.3	21.5	11.7	6.4	9.4	EP-411	27	18.7	合格
C04 壓出	19.9	14.9	25.5	33.4	37	47.8	41.9	9.8	13	25.1	20.2	16.3	30.2	49.1	3M-1110	29	0.2	不合格
C05 壓出	12.6	23.5	32	37.9	45.1	28.2	47.8	9.8	13	25.1	20.2	16.3	30.2	49.1	EP-411	27	1.9	不合格
C06 壓出	1.1	4.2	0.7	-0.9	4.6	-4.2	2.3	-2	1.7	5.8	7.2	3.7	-13.7	7.2	3M-1110	29	-3.7	不合格
C07 壓出	-6.3	-3.2	2.3	9.4	12	0.3	8.5	-2	1.7	5.8	7.2	3.7	-13.7	7.2	EP-411	27	2.2	不合格
C08 粉碎	8.4	10.4	21	38.4	26.4	-0.1	41.6	-6.2	-4.4	-0.8	20.9	10.3	-4.1	20.3	3M-1110	29	9.4	合格
C09 粉碎	1.8	6.6	10.9	21.6	25.9	2.4	2.3	2.3	6.8	10.9	14	10.2	-12.2	1.6	3M-1110	29	5.1	不合格
C10 粉碎	11	14.6	18.7	27.9	20.9	14.2	36.2	2.3	6.8	10.9	14	10.2	-12.2	1.6	3M-1110	29	12.8	合格
C11 壓出	9.5	15.7	28.7	33.2	36.3	27.7	36.3	9.4	6.3	15.7	17.8	8.5	-9.9	2.7	3M-1110	29	17.1	合格
C12 下料	18	31.3	43.8	44.4	53.9	40.6	63	8.1	11.3	17.3	30.5	27.6	-1.6	23.3	3M-1110	29	20	合格
C13 粉碎	18.5	22.1	32.4	49.8	56.2	34	51.2	3.9	8	17.3	21.4	20.3	12.4	16.7	3M-1110	29	21.9	合格

C14	生產管 理	19.7	16.9	33.5	31.9	34.4	29.2	29.1	2.4	10.5	16.1	13.1	9.2	-8.9	-5.4	EP-411	27	19.3	合格
C15	秤料	13.1	29.5	29.7	35.8	49.3	23.9	38.2	-3.2	4.3	8.7	18.3	11.2	-9.5	3.9	EP-411	27	23.2	合格
C16	生產管 理	9.9	20.7	31.4	32.9	32.5	39.2	33.6	2	4.3	11.2	11.2	5.2	19.1	1.7	3M- 1110	29	21.6	合格
C17	生產管 理	0.8	6.7	13	23.1	35.8	9.9	22.5	-2.9	2.6	6.7	18.3	19.8	-6.2	6.3	3M- 1110	29	9.2	合格
C18	壓出	8.4	20.3	26.1	31.8	41	27.6	41.4	-1.6	5.2	4.9	11.9	9.9	-12.5	5.2	3M- 1110	29	23.5	合格

說明：C 公司的工作別有壓出、粉碎、下料、生產管理、秤料作業等，提供的耳塞類型主要以 3M-1110 為主，以及部分勞工評估使用

EP-411 耳塞的可行性，編號 C04 與 C05，C06 與 C07，以及 C09 與 C10 等屬於三位相同受試者進行重複測試，實際參與受試者共有 15 位，可以發現編號 C04 與 C05 在未佩戴耳塞的測試顯示 1000~8000 Hz 範圍有聽力閾值已超過 25 dBHL，本身為聽力異常者；編號 C06 與 C07 為女性耳道狹窄者，戴用兩種耳塞都不合適，測試結果為不合格；編號 C09 與 C10 第一次測試不合格，經指導佩戴後第二次測試結果為合格。

表 15 D 公司耳塞適配測試結果一覽表

D 公司 編號 工作別	配戴耳塞(Occluded)					未配戴耳塞(Unoccluded)					耳塞 型號		判定 結果					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz Hz	2 kHz Hz	4 kHz Hz	8 kHz Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz Hz	2 kHz Hz		4 kHz Hz	8 kHz Hz	NRR	PAR	
D01 品保	17.3	24.4	44.1	47.1	48.1	46.1	8.7	5.5	14.8	20.6	27.3	19.1	22.6	8.7	EP-412	27.0	20.6	合格
D02 品保	7.5	23.7	30.8	42.9	47.1	48.4	61.0	0.2	6.8	13.5	16.7	17.1	5.5	14.6	EP-412	27.0	24.0	合格
D03 加工	4.7	11.9	13.6	19.3	33.9	43.5	44.9	-13.2	10.9	18.2	20.9	11.7	21.7	26.3	EP-412	27.0	2.2	不合格
D04 加工	7.6	7.9	13.5	20.4	30.2	23.1	26.0	4.4	13.2	13.5	24.1	16.5	33.6	11.6	EP-412	27.0	-5.4	不合格
D05 測試	9.6	14.0	16.8	22.9	39.4	43.1	43.6	6.4	16.4	24.5	28.0	17.7	35.6	39.4	EP-412	27.0	-1.4	不合格
D06 加工	10.9	22.9	29.7	39.2	56.4	24.9	43.9	4.2	6.6	15.5	24.1	19.9	-3.1	14.9	EP-412	27.0	19.4	合格
D07 加工	1.9	9.9	14.0	9.2	27.5	25.6	28.1	-3.8	4.5	10.4	13.6	23.7	14.4	26.3	EP-412	27.0	0.7	不合格
D08 加工	8.6	8.1	12.9	20.2	29.2	28.3	20.7	8.8	11.5	18.3	25.8	13.2	-2.1	6.2	EP-412	27.0	-1.3	不合格
D09 加工	11.3	9.0	12.3	20.0	34.0	23.4	39.3	1.7	1.2	8.6	18.2	25.8	11.1	51.0	EP-412	27.0	-4.0	不合格
D10 加工	13.2	17.5	23.8	24.9	23.3	18.7	8.6	6.3	11.3	20.7	24.9	17.9	14.6	3.3	EP-412	27.0	3.2	不合格
D11 測試	15.2	20.0	32.4	35.9	49.0	38.3	47.4	8.1	10.1	18.9	21.0	22.0	7.5	11.0	EP-412	27.0	18.1	合格
D12 裝配	9.5	13.7	17.6	25.8	48.6	53.5	63.4	14.0	18.2	22.2	27.4	42.9	48.2	49.0	EP-412	27.0	0.9	不合格
D13 裝配	8.8	17.3	28.7	38.0	41.1	29.3	46.4	3.7	14.4	17.4	19.9	11.6	5.3	11.0	EP-412	27.0	15.7	合格
D14 裝配	16.5	22.3	21.5	22.5	36.0	23.3	30.0	15.7	19.4	17.4	25.5	19.6	9.5	26.8	EP-412	27.0	2.6	不合格

D15 裝配	11.7	23.8	28.2	27.4	42.7	17.5	31.5	10.8	26.6	35.9	31.2	32.6	17.8	29.6	EP-412	27.0	-1.8	不合格
D16 裝配	15.2	25.7	46.2	52.0	58.8	50.5	73.7	4.2	10.1	20.8	33.6	37.1	32.7	57.2	EP-412	27.0	18.6	合格
D17 裝配	16.1	25.2	22.7	27.4	41.1	9.3	13.5	4.7	9.0	16.4	23.7	19.8	-2.7	0.2	EP-412	27.0	8.8	不合格
D18 裝配	13.9	21.6	38.3	37.9	42.4	22.0	44.9	11.4	18.7	30.7	34.1	36.2	13.2	42.8	EP-412	27.0	5.1	不合格
D19 裝配	4.8	9.7	18.8	22.8	32.8	8.9	14.2	6.1	9.2	19.9	26.5	27.7	3.3	11.9	EP-412	27.0	0.7	不合格
D20 裝配	12.4	14.6	20.2	26.2	42.5	30.6	52.5	9.2	17.1	23.7	26.8	41.5	27.0	53.5	EP-412	27.0	0.0	不合格

說明：D 公司的工作別有品保、加工、測試、裝配作業等，提供的耳塞類型主要以 EP-412 為主，經查證後，20 位受試者皆為聽力異常，分別為健康管理分級第 2~4 級，故合格比率明顯降低。

二、耳罩適配性評估結果

圖 13 則為本研究使用之耳罩類型，其聲音衰減特性整理如表 16 所示，現場利用 Svantek SV 102A+雙頻道噪音劑量計進行客觀測試法，可以清楚得知耳內與耳外暴露音壓之差異，但由於量測耳內音壓之微型麥克風容易於佩戴耳罩時受到牽動，因此容易導致測試失敗，且僅少數特定作業環境之事業單位有使用耳罩類型之防音防護具，故實際完成測試的人次數共計 7 人次，現場耳罩適配測試結果請參考表 17 之內容，發現其中有 6 人次的耳內麥克風 A 權衡音壓級測值會小於 70 dBA 的情形，如有交談溝通需求或影響警告聲響聽取時，可能會有保護過度之可能性。



圖 13 本研究調查主要常見使用的耳罩類型

表 16 各類耳罩聲音衰減特性一覽表

測試頻率	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	3150Hz	4000 Hz	6300Hz	8000 Hz	NRR
Protector	17.5	23.8	31.4	36.6	33.5		39.5		41.4	32#
Secure3	2.6	3.0	3.1	2.3	2.5		4.0		3.7	
3M-X5A	23.9	30.5	41.1	43.0	38.0	43.1	44.0	41.1	40.3	31
	4.1	2.2	2.8	2.9	2.7	2.9	2.4	2.6	2.2	
3M-X1A	16.0	28.3	27.7	37.6	35.1	42.2	41.4	39.4	39.3	22
	5.2	3.1	3.0	3.5	2.8	2.8	2.6	2.6	3.8	
3M-H7A	15.5	24.5	35.3	40.0	36.9	39.9	37.5	37.7	38.1	27
	3.0	2.0	2.4	2.8	2.6	2.8	3.2	2.7	3.9	
3M-H7B	16.8	23.5	34.8	39.7	36.5	35.8	36.2	40.1	40.1	26
	3.4	2.6	2.1	2.6	2.3	2.2	2.4	2.4	3.0	

: Protector Secure3 為澳洲紐西蘭國家標準 AS/NZS 1270 測試結果 $SLC_{80}=32$ dB，其餘是美規產品，是以 NRR 表示。

表 17 現場耳罩適配測試結果一覽表(SV 102A+)

公司代號	耳罩類型	測定參數	測試頻率(Hz)							L _A (dBA)	L _C (dBC)	L _Z (dB)
			125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz			
		音壓級差值(dB)	12.4	26.7	39.7	43.8	32.4	35.1	26.1	30.8	16.7	5.9
	3M-X5A	耳內音壓級(dB)	51.1	44.8	31.8	31.6	51.1	50.8	58.3	64.1	76.7	88.9
		耳外音壓級(dB)	63.5	71.5	71.5	75.4	83.5	85.9	84.4	94.9	93.4	94.8
		音壓級差值(dB)	0.3	13.5	26.1	32.4	23.9	23.9	20.4	20.5	15	9
	3M-X1A	耳內音壓級(dB)	61	58.4	46.2	42.3	59.2	61.5	63.6	73.9	77.9	85.3
		耳外音壓級(dB)	61.3	71.9	72.3	74.7	83.1	85.4	84	94.4	92.9	94.3
	B 公司	音壓級差值(dB)	7.2	19.4	31.9	34.9	17.6	26.3	25	24	14.3	4.1
	3M-101	耳內音壓級(dB)	54.9	50.5	37.5	42.6	65.3	57.5	56.6	69.7	78	89.3
		耳外音壓級(dB)	62.1	69.9	69.4	77.5	82.9	83.8	81.6	93.7	92.3	93.4
		音壓級差值(dB)	18.3	28.3	43.8	58.6	54.9	49.1	40.1	49.3	30.6	23.6
	Protector Secure 3	耳內音壓級(dB)	69.3	60.3	52.2	51	48.3	43.8	42.8	61.8	80.7	87.5
		耳外音壓級(dB)	87.6	88.6	96	109.6	103.2	92.9	82.9	111.1	111.3	111.1
		音壓級差值(dB)	-1.9	15.6	25.9	27.2	19.2	20.6	12.2	23.2	6.3	0.5
	C 公司	Protector Secure 3	66.7	57.3	51.6	50.4	51.3	40.7	43.8	61.8	80.7	87.5
		耳外音壓級(dB)	64.8	72.9	77.5	77.6	70.5	61.3	56.0	85.0	87.0	88.0
		音壓級差值(dB)	16.1	22.8	38.2	38.8	26.1	30.4	23.2	29.6	16.6	9.1
	3M-101	耳內音壓級(dB)	71.3	64.3	48.5	48.0	55.9	46.8	48.1	65.1	81.4	89.7
		耳外音壓級(dB)	87.4	87.1	86.7	86.8	82.0	77.2	71.3	94.7	98.0	98.8
	D 公司	音壓級差值(dB)	14.5	26.5	40.5	44.6	27.7	35.6	26.9	32.3	18.2	13.6
	3M-X5A	耳內音壓級(dB)	76.2	63.9	51.2	46.9	60.0	43.7	47.6	66.5	83.1	89.0
		耳外音壓級(dB)	90.7	90.4	91.7	91.5	87.7	79.3	74.5	98.8	101.3	102.6

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究已分別建立耳塞及耳罩兩類型防音防護具之耳內外音壓量測與評估模式，用以評估佩帶防音防護具後之防護效能，耳塞類型之防音防護具採用 REAT 方式進行適配性評估(亦稱為主觀測試法)，測量受測者佩戴防音防護具前與後之聽力閾值，進而評估其防音防護具之個人聲音衰減值；而耳罩類型之防音防護具採用 MIRE 方式進行適配性評估(亦稱為客觀測試法)，利用耳內及耳外麥克風進行耳內外音壓暴露之量測，進而評估其防音防護具之個人聲音衰減值。同時也彙整相關資料編撰「防音防護具適配技術簡介」，以做為未來納入「勞工聽力保護計畫指引」之參考資料。

本研究完成 6 場次之高噪音作業場所訪視，並實施 67 人次的耳塞主觀測試法與 7 人次的客觀測試法的適配性評估，扣除聽力損失之受測者後，發現大部分受測者之耳塞聲音衰減值均符合 OSHA 及 NIOSH 的建議，為耳塞之 NRR 值乘以 50%，而耳罩也符合 NIOSH 的建議，為耳罩之 NRR 值乘以 75%；於臨場訪視過程中亦發現，多數事業單位在考量經濟性、便利性及人員接受度等因素後，仍是以使用耳塞類型之防音防護具為主(參考表 12~15)，僅少數特定作業環境之事業單位有使用耳罩類型之防音防護具，而使用耳罩者其佩戴後的暴露 A 權衡音壓級小於 70 dBA 的比例很高(參考表 17)，綜合歸納有下列幾點結論：

- 一、主觀測試法應用在現場進行適配性評估時，由於其測試原理近似於純音聽力檢查，因此需注意其測試環境之背景音，高背景噪音之環境可能會導致測試系統低估聲音衰減值。
- 二、客觀測試法可分別測得佩戴耳罩後之耳內外音壓，具有較直觀且方便之特性，但是耳內麥克風於佩戴時容易受到擾動及接觸到耳道內壁而影響測試結果。
- 三、受試者經過耳塞佩戴方式指導說明，再重新佩戴後之測試結果，確實可提升防音防護具對於佩戴者之防護效能(可增加約 50%~60%)，如此可證實其教育訓練之有效性。
- 四、目前市售的適配性測試系統主要以耳塞及耳罩的個別測試應用為主，而本研究採用之耳塞之適配性測試系統係採用主觀測試方式，故難以在噪音作業

現場執行，僅可於安靜之測試地點提供預估之適配測試結果；而耳罩之適配性測試系統係採用客觀測試方式，可量測佩戴耳罩後之耳內外音壓，故可於噪音作業現場執行。

第二節 建議

藉由彙整相關文獻及現場檢測所分析之結果與結論，提出下列幾點建議供事業單位及未來研究參考：

- 一、主觀測試法可以做為員工防音防護具佩戴及選用之教育訓練工具，此方法可間接評估佩戴該防音防護具後之防護效能，並可用來協助初步評估是否有聽力損失之參考依據，惟需注意其測試之環境背景音。
- 二、由於客觀測試法可直接量測佩戴防音防護具(耳罩)後之耳內外音壓，故於作業現場具有較廣泛之應用可能，建議未來可探討客觀測試法應用於耳塞適配性測試之可行性，並開發其相關量測技術。
- 三、現行標準之客觀測試法係採用微型麥克風外加其延伸耳道探管於外耳道進行佩戴耳罩後之耳內音壓量測，此方式可直接評估佩戴該防音防護具後之防護效能，惟其耳道探管容易碰觸到耳道內壁而影響其量測結果，故亦有相關研究論文提出可不需使用延伸耳道探管之量測方式，建議未來可進一步探討相關之量測方式及應用性。
- 四、建議未來亦可以針對同時佩戴耳塞及耳罩等雙重防音防護具類型進行適配性測試技術之探討，以提供更多元之防音防護具效能評估方式。

誌謝

本案感謝長榮大學莊博士侑哲、中山醫學大學王博士櫻芳等人協助研究，
謹此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] 勞工安全衛生研究所，勞工聽力保護計畫指引(第四版)，民國 102 年。
- [2] 林桂儀、莊侑哲、陳俊六，國內聽力保護計畫實施現況及發展策略研究，勞動部勞動及職業安全衛生研究所，民國 105 年。
- [3] 勞工安全衛生研究所，防護具選用技術手冊-防音防護具（修訂二版），民國 87 年。
- [4] 中華民國國家標準 CNS-8454，防音防護具，民國 93 年 04 月 20 日。
- [5] Alice H. Suter, editors. Workshop on Hearing Protector Devices; 2003 March 27-28; Washington, DC.
- [6] CAN/CSA-Z94.2-02 (R2007), Hearing Protection Devices - Performance, Selection, Care, And Use, 2002.
- [7] ISO 4869-2 Acoustics-Hearing protectors-Part 2: Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn.
- [8] Environmental Protection Agency, 40CFR, ch.1 (7-1-91 edition), part 211-Product noise labeling.
- [9] ANSI/ASSE A10.46, Hearing Loss Prevention for Construction and Demolition Workers, 2007.
- [10] CSA Z94.2-14, Hearing Protection Devices - Performance, Selection, Care, and Use, 2014.
- [11] ANSI/ASA S12.42, American National Standard Methods for the Measurement of Insertion Loss of Hearing Protection Devices in Continuous or Impulsive Noise Using Microphone-in-Real-Ear or Acoustic Test Fixture Procedures, 2010.
- [12] ANSI/ASA S12.6, American National Standard Methods for the Measuring the Real-Ear Attenuation of Hearing Protectors, 2016.
- [13] AS/NZS 1270, Acoustics- Hearing protectors, 2002.
- [14] ISO 11904-1, Acoustics- Determination of sound immission from sound sources placed close to the ear -- Part 1: Technique using a microphone in a real ear (MIRE technique), 2002.
- [15] ISO 11904-2, Acoustics- Determination of sound immission from sound sources placed close to the ear - Part 2: Technique using a manikin, 2004.
- [16] ISO 4869-1, Acoustics- Hearing protectors - Part 1: Subjective method for the measurement of sound attenuation, 1990.

- [17] ISO/TS 4869-5, Acoustics- Hearing protectors - Part 5: Method for estimation of noise reduction using fitting by inexperienced test subjects, 2006.
- [18] ISO 4869-3, Acoustics- Hearing protectors - Part 3: Measurement of insertion loss of ear-muff type protectors using an acoustic test fixture, 2007.
- [19] ANSI/ASA S12.71, Performance Criteria for Systems that Estimate the Attenuation of Passive Hearing Protectors for Individual Users, 2018.
- [20] ANSI/ASA S12.68, American National Standard Methods of Estimating Effective A-Weighted Sound Pressure Levels When Hearing Protectors are Worn, 2007.
- [21] AS/NZS 1269.3, Occupational noise management-Hearing protector program, 2005.
- [22] BS EN 458, Hearing protectors. Recommendations for selection, use, care and maintenance. Guidance document, (2016).
- [23] BS EN 13819-1 Hearing protectors - Testing - Part 1: Physical test methods, 2002.
- [24] BS EN 13819-2, Hearing protectors. Testing. Acoustic test methods, 2002.
- [25] BS EN 352-1, Hearing protectors. General requirements Part 1: Ear-muffs, 2002.
- [26] BS EN 352-2, Hearing protectors. General requirements Part 2: Ear-plugs, 2002.
- [27] BS EN 352-3, Hearing protectors. General requirements Part 3: Ear-muffs attached to an industrial safety helmet, 2002.
- [28] ISO 4869-2, Acoustics- Hearing protectors - Part 2: Estimation of effective A-weighted sound pressure levels when hearing protectors are worn., 1994.
- [29] ISO 9612, Acoustics - Determination of occupational noise exposure - Engineering method, 2009.
- [30] Occupational Safety and Health Administration, Noise and Hearing Conservation Technical Manual, Appendix IV: C. Methods for Estimating HPD Attenuation, 2005.
- [31] National Institute for Occupational Safety and Health, Method for Calculating and Using Noise Reduction Rating-NRR, 2000.
- [32] National Institute for Occupational Safety and Health, Hearing Protector Device Compendium, 2003.
- [33] Dantscher, S., Sickert P., Liedtke M, Sound attenuation of hearing protectors in the real-world – study from 2005 to 2007, 2009.

- [34] Lima, FR., Gerges, SNY., Zmijevski, TRL., Bender, DF, Uncertainty for noise attenuation measurements of hearing protectors by REAT method. XVIII IMEKO WORLD CONGRESS Metrology for a Sustainable Development September, 17 - 22, 2006, Rio de Janeiro, Brazil.
- [35] Murphy, WJ, Comparing Personal Attenuation Ratings for Hearing Protector Fit-test systems. The newsletter of the Council for Accreditation in Occupational Hearing Conservation (CAOHC). 25(3):6-8, 2013.
- [36] Gerges SNY., Gerges RNC., Dias RA, Earmuff noise leakage measurements and evaluation. Archives of Acoustics 40(1):109-115, 2015.
- [37] Byrne, DC., Murphy, WJ., Krieg, EF., Ghent, RM., Michael, KL., Stefanson, EW., Ahroon, WA, Inter-laboratory comparison of three earplug fit-test systems. Journal of Occupational and Environmental Hygiene 14(4):294-305, 2017.
- [38] Ben Scott: The development of a REAT test facility and an evaluation of hearing protector assessment methods: University of Canterbury Christchurch, NZ; 2015.
- [39] ISO 8253-1:2010 Acoustics - Audiometric test methods -- Part 1: Pure-tone air and bone conduction audiometry, 2010.
- [40] ISO 8253-2:2009, Acoustics - Audiometric test methods - Part 2: Sound field audiometry with pure-tone and narrow-band test signals, 2009.
- [41] AS/NZS 1269.4:2014, Occupational noise management Auditory assessment, 2014.

附錄一 防音防護具的適配性技術簡介

防音防護具的種類繁多，按照其基本功能可概分為耳罩、耳塞與特殊型防音防護具三大種類，而各種防護具各有各的聲音衰減性能、方便性及實用性，使用時應視需要的不同加以選擇，首先應考量所處環境因素與作業環境噪音暴露程度，選擇合適之種類，經過正確教導並正確佩戴防音防護具後，再進行勞工佩戴後之聲音衰減效果評估，並依其不同類型之防音防護具提供適配性之檢測，以進行防音防護具佩戴後之聲音衰減效果判斷，確保在提供勞工使用防音防護具時能有最佳的防護效果。如果所佩戴之防音防護具聲音衰減有保護不足時，應考慮選用更高聲音衰減量的防音防護具或以耳塞加耳罩(雙重聽力保護)之穿戴組合；如果所佩戴之防音防護具聲音衰減有保護過度情形，建議選用較低降噪係數的防音防護具。另一方面，也可依據防音防護具的適配性測試結果，進行瞭解勞工佩戴防音防護具之方式是否錯誤，是否確實佩戴，以達保護勞工之目的。

目前所採用的防音防護具適配性評估系統，主要有三大類，說明如下：一、聽力檢查計測試法(audiometers and similar systems)：利用聽力檢查計測試防音防護具佩戴前後的不同頻率純音的聽力閾值。如果採用音場測試聽力閾值，則必須要求受試者在極安靜的聽力檢查室或半迴響室內，利用聲音播放系統測試，無法在現場施測且成本昂貴。二、響度平衡法(Loudness balancing)：此方法係利用儀器測量佩戴耳塞前後之左右耳間的音壓級差異，本方法量測結果變異大，且常無法使用聲音頻率小於 125 Hz 進行施測，目前常以 500 Hz 的窄頻音進行簡易篩檢。三、耳內麥克風評估法(Microphone In Real Ear, MIRE)：本方法多數是採用擬似的(surrogate)防音防護具，同時進行耳外噪音暴露音壓級與耳內噪音暴露音壓級的測量，以其相差值表示該防音防護具之聲音衰減量。或是利用耳內外麥克風同時測定耳罩佩戴後其 A 權衡暴露音壓級的相差值以表示其防護效果。

一、依作業環境選擇適合的防音防護具：

防音防護具的適配性測試之前，應先依作業環境與作業型態不同，選擇適合的防音防護具來保護聽力，一般選擇之考量因素，可參考BS EN 458 (2016)所建議與環境因素有關的防音防護具選用參考(表1)進行選用，並須選用符合標檢局規範之防音防護具。

依作業環境噪音暴露程度(等級)決定防音防護具之使用：

在考量作業環境因素之後，應考量作業環境噪音暴露程度之等級進行防音防護具之選用，建議參考表 1 與表 2 之內容決定適用的防音防護具。

適配性測試方法：

適配性測試數據通常稱為個人衰減評比值(Personal Attenuation Rating, PAR)，會比在實驗室環境所測得之防音防護具的平均衰減量數據(NRR 或 SNR)能提供更直接的個人佩戴後防護效果的估計值，同時也能提供作為噪音作業員工教育訓練之用途。目前所採用的防音防護具適配性測試系統，皆以聲音產生源讓受試者接受防音防護具佩戴前後之測試推估其噪音暴露的個人衰減評比值(PAR)，若使用耳塞加耳罩則需要利用音場聽力檢查儀進行評估，則必須要求受試者在極安靜的聽力檢查室或半迴響室內，利用聲音播放系統測試，無法在現場施測且成本昂貴，須尋求專家協助。因此本簡介依現場實際執行之可行性與可選用儀器之便利性，針對防音防護具之適配性測試方法，以耳罩與耳塞此兩種防音防護具，提出建議，如圖 1 所示，測試方法分別說明如下，而其中「耳塞+耳罩」類型係為了方便後續評估方法之擴充而將其先行列入，於本簡介中並不列入探討。

(一) 耳塞-主觀測試法：

1. 參考儀器：FitCheck Solo 等。
2. 原理：從接近耳朵的擴散音場之產生聲源處測定人耳防音防護具佩戴前後的不同測試頻率的聽力閾值，如圖 2 所示。
3. 方法：受測試人群的頭、耳的形狀與尺寸大小及其行為與佩戴貼合的主觀感覺變異量都納入考量。讓人耳在有無佩戴防音防護具時，不同頻率下之聽力閾值測試結果求得聽力閾值的差值及個人衰減評比值(PAR)。

4. 測試範圍：125~8000 Hz (主要為 500, 1000 與 2000 Hz)
5. 測試結果：以 A 權衡噪音表示 PAR
6. 限制：
 - (1) 當佩戴插入式耳塞或模壓型耳塞類型時，可能會出現耳塞定位在耳道不正確導致防護效果不足之問題。
 - (2) 已有聽力異常之勞工，不建議使用此方法進行測試。
 - (3) 測試環境之背景噪音，須要求小於 55 dBA，若現場噪音達 80 dBA，其測試結果之變異量導致有減少 3~4 dB 之誤差。

(二) 耳罩-客觀測試法：

1. 參考儀器：Svantek SV 102 或 102A+等。
2. 原理：本方法多數是採用擬似的(surrogate)防音防護具，同時進行耳外噪音暴露音壓級與耳內噪音暴露音壓級的測量，以其 A 權衡音壓及側值得相差值表示該防音防護具之聲音衰減量(插入損失或聲音衰減值)，如圖 3 所示。

適配性測試結果：

一般而言，防音防護具佩戴後之噪音暴露音壓級，依據(參考圖 4)音壓級是否介於 70~85 dBA (EN458, 2004)。如果防音防護具的聲音衰減量過低或不足，即防音防護具佩戴後的耳內噪音暴露量仍達 85dBA 以上，則會導致聽力受損；另，防音防護具的聲音衰減過高，即防音防護具佩戴後的耳內噪音暴露量低於 70dBA 的情形，則可能會妨礙警告訊號聲音的聽取，或者妨礙交談，或者造成佩戴時會有不舒服感覺，建議將其納入影響因素評估。

表 1 與環境因素有關的防音防護具選用參考(BS EN 458, 2016)

作業環境與作業 型態	防音防護具類型					
	耳罩	耳塞				
		重複使用型 (Reusable)	拋棄式 (Disposable)	耳機式 (Banded)	模壓塑型 (Custom Moulded)	有線式 (Corded)
高溫場所	—	√	√	√	√	√
高粉塵作業場所	■	—	√	—	■	■
短時間重複暴露	√	—	—	√	—	—
主要噪音源位置	—	√	√	√	√	√
手上有污染物， 如污垢、灰塵、 細菌或銼屑等	√	■	√	■	■	■
移動機械	√	√	√	■	√	—
—：不適用 √：適用 ■：特殊情況，需進行風險評估						

- 備註：1.重複使用型：可重複使用之耳塞，耳塞破損、髒污時才需更換
 2.拋棄式：僅提供一次性使用之耳塞
 3.耳機式：耳塞之間以帶狀(硬質、彈性)材料連接
 4.模壓塑型：為客製化耳塞，可貼合使用者耳道外型
 5.有線式：耳塞之間以軟質線體連接，使其可掛於佩戴者肩頸部，以降低耳塞掉落遺失之風險

表 2 作業環境噪音分級管理

噪音值	危害分級	監測建議	防音防護具	適配性測試
85 dBA ~ 90dBA	低	例行性評估	耳塞/耳罩	—
90 dBA ~ 105dBA	中	頻譜分析	耳塞/耳罩	√
>105 dBA	高	頻譜分析	耳塞加耳罩	√

- ：不適用
 √：適用

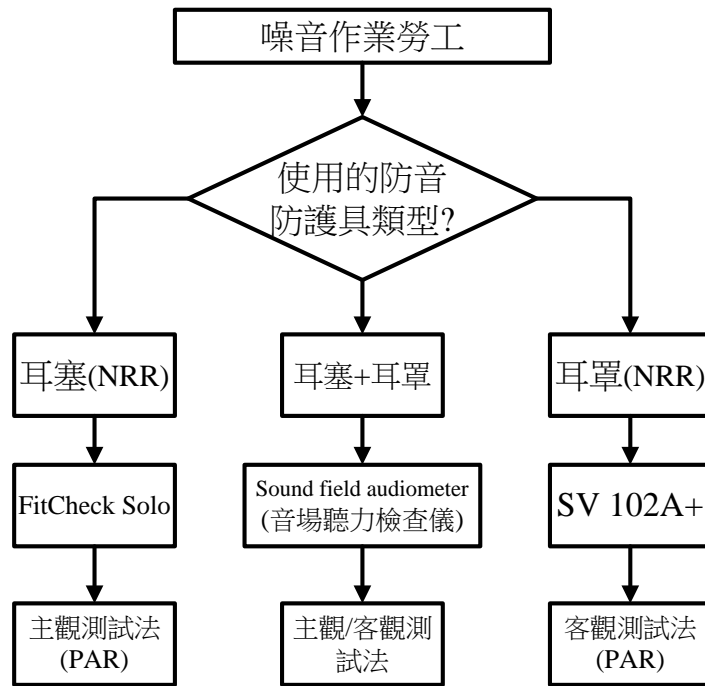


圖 1 防音防護具適配性測試施測流程

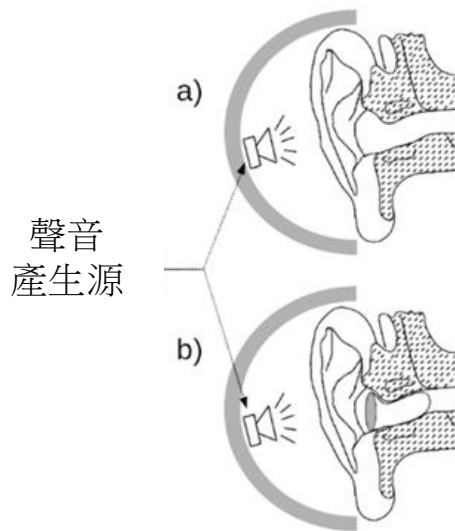
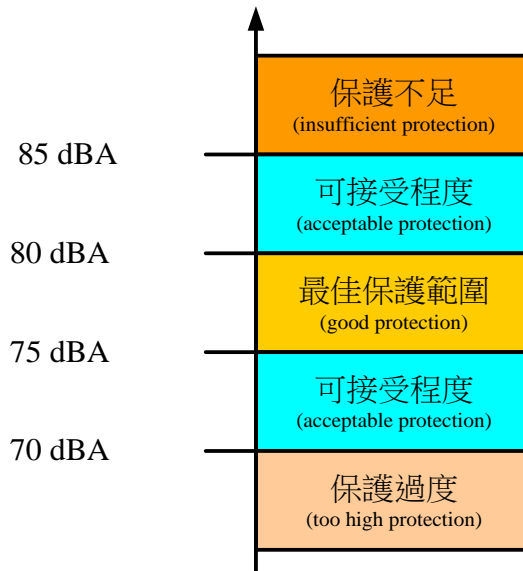


圖 2 防音防護具適配性測試示意圖



圖 3 SV 102 或 102A+ (Svantek, 適用耳罩型測試)

註：L_{action}為法規管制音量(85dBA)



EN 458:2004 Hearing protectors — Provisions for selection, use, care and maintenance — Guidance document

圖 4 以防護具保護人耳後，所受噪音暴露之音壓級來挑選防音防護具之參考(參考資料來源:EN 458:2004 Hearing protectors-Provisions for selection, use, care and maintenance-Guidance document)

國家圖書館出版品預行編目資料

發展防音防護具適配技術 / 李昆哲, 莊侑哲著. -- 1 版. -- 新北市 : 勞動部勞研所, 民 108.06

面 ; 公分

ISBN 978-986-05-9340-2(平裝)

1.勞工衛生 2.職業衛生

412.53

108008746

發展防音防護具適配技術

著(編、譯)者: 李昆哲、莊侑哲

出版機關: 勞動部勞動及職業安全衛生研究所

22143 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號

電話: 02-26607600 <http://www.ilosh.gov.tw/>

出版年月: 中華民國 108 年 6 月

版(刷)次: 1 版 1 刷

定價: 400 元

展售處:

五南文化廣場

台中市區中山路 6 號

電話: 04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話: 02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「研究成果／各年度研究報告」，網址為：
<https://laws.ilosh.gov.tw/ioshcustom/Web/YearlyReserachReports/Default>
- 授權部分引用及教學目的使用之公開播放與口述，並請注意需註明資料來源；有關重製、公開傳輸、全文引用、編輯改作、具有營利目的公開播放行為需取得本所同意或書面授權。

GPN: CBCBJBCEDD2

ISBN: 978-986-05-9340-2

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

INSTITUTE OF LABOR, OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, MINISTRY OF LABOR



地址：新北市汐止區橫科路407巷99號

電話：(02) 26607600

傳真：(02) 26607732

網址：<http://www.ilosh.gov.tw>

ISBN 978-986-05-9340-2



GPN:1010801322

定價：新台幣400元