

噪音劑量與暫時性聽力損失之關係探討

The Dose-Response Relationship with
Noise-Induced Temporary Threshold Shift (NITTS)

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

八十二年度研究計畫

噪音劑量與暫時性聽力損失之關係探討

主計主持人：黃乾全 國立台灣師範大學衛生教育研究所教授
協同主持人：吳聰能 行政院衛生署檢疫總所所長
研 究 員：董貞吟 國立台灣師範大學衛生教育學系講師
研 究 助 理：姜曉芳 中國醫藥學院公共衛生碩士

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所
國立臺灣師範大學 衛生教育研究所^{編印}

中華民國八十二年六月

噪音劑量與暫時性聽力損失之關係探討

摘 要

本研究係採取實驗室設計來比較美國職業安全衛生署 (OSHA) 和國際標準組織 (ISO) 不同噪音曝露進階何者較能預測國人聽覺特性。本研究所選取之研究對象為 31 位聽力正常之大學生，使其重複曝露於 80-95 dB SPL 工廠噪音。每次曝露時間為 30 分鐘，並且於曝露前先測其聽覺閾值，作為基線值。再於每次曝露後 2 分鐘始測其聽覺閾值 (即 TTS_2)。另外，在恢復時間方面 (recovery time)，是測 95dB 音量 30 分鐘曝露後 2、20、40、60、80 分鐘，觀察聽力恢復的情形。

在結果可看出 OSHA 和 ISO 隨音壓位準的增加，聽力在高頻 (4000, 6000 Hz) 損失有逐漸增加，且呈現 V 字型，4000Hz 為最低點。在恢復時間方面，語音頻恢復較快，聽力在 4、6kHz 恢復較慢，曝露後 2 分鐘聽力損失達到最大，80 分鐘時才恢復至基線值。

依據 Reed-Muench method 計算 EDGET8 50 值，做為曝露音量預測聽力損失系統所需之理論發展與實驗數據。由本研究可知在 OSHA 標準聽力在 4000Hz 只要 83.8 dB 就有一半的人暫時性聽力損失 10dB 或以上。所以短期高噪音的曝露也是不可忽視的影響。

在曝露前聽力和曝露噪音後產生的 TTS_2 做相關，可發現是呈現負相關，表示先前聽力較佳，在曝露噪音後產生較大的聽力損失。

本研究計算出 critical level 為 77.9 dB SPL，其實並非要高噪音量才會造成聽力損失，最好能在 critical level 應實施勞工聽力保護教育，並能盡量避免噪音曝露。

在 3 分貝和 5 分貝減半率的比較方面，本研究結果是比較符合 3 分貝減半率 (ISO 標準)，聽力傷害是與所接受聲音能量的作用成比例。本研究能量加倍時，聽力損失是呈現比例性增加，但因本研究噪音曝露是短期與實際工廠勞工長期

曝露不符，而且 TTS₂並不能完全代表 PTS，再加上人道因素在噪音曝露的強度，時間有所限制，所以需更進一步研究才可定論。

The Dose-response relationship with Noise-Induced temporary threshold shift(NITTS)

Abstract

The 3 dB Rule and 5dB Rule were evaluated for different sound pressure levels of noise. The noise utilized in this study was exposed to 30 min broadband noise with four intensity levels in 5 dB Rule(80,85,90,95 dB)and 3 dB Rule(84,87,90,93 dB). Audiograms were taken on 31 normal healthy men before and after 2 min exposure to noise(TTS₂). Recovery from temporary threshold shift(TTS) was measured at various time (2, 20, 40, 60, 80 min) after a 30 min exposure to a broadband noise at 95 dB.

The result were as follow. With increasing sound pressured level noise, the hearing loss increased in the high frequency range. The hearing loss revealed a V-shaped cure at 4 kHz. The recovery of TTS was faster in the low and speech frequency range(0.5, 1, 2 kHz), whereas that in the high frequency range recovers much more slowly.

The negative correlation was found between the pre-exposure threshold level and TTS₂.

The Reed-Muench method was used to calculate ED₅₀ of noise exposure. The hearing loss equal to or more than 10 dB were defined as noise-induced TTS. ED₅₀ was 83.81 dB SPL in 4kHz of 5 dB Rule.

Comparing the prediction of hearing loss by using two rules (3 dB Rule and 5 dB Rule), Our results tended to support the 3dB Rule. The Hearing loss increased proportionlly to the noise enrgy.

The critical level and ED₅₀ of the study were calculated to be 77.9 and 83.8 dB

SPL in 4 kHz respectively. However, the current labor safety regulation in Taiwan allowed workers exposed to 90 dBA for an 8-hour TWA. Furthermore a hearing conservation program would not be conducted unless the noise exposed was higher than 85 dBA. Therefore, baseed on the study result, we suggest the action level should be 83 dBA, or less for the ED₅₀ of noise of noise exposure level.

目 錄

摘 要

第一章 緒 論.....	1
第一節 前 言.....	1
第二節 研究目的.....	1
第二章 文獻探討.....	3
第一節 OSHA 和 ISO 的標準.....	3
第二節 噪音性聽力損失的解剖與生理學原理.....	4
第三節 影響聽力的因素.....	5
第四節 噪音作業所引起之聽力損失.....	5
第五節 噪音性聽力損失之評估.....	5
第六節 人類暫時性聽力閾值改變.....	7
第三章 研究材料與方法.....	10
第一節 研究對象.....	10
第二節 研究材料.....	10
第三節 實施步驟.....	11
第四節 資料處理與分析.....	11
第四章 結果與討論.....	12
第一節 單一頻率評估.....	13
第二節 多頻綜合評估方法.....	16
第三節 暫時性聽力損失恢復時間.....	17
第四節 噪音劑量引起暫時性聽力損失之 ED_{50}	21
第五節 曝露前聽力與暫時性聽力損失 (TTS_2) 之相關.....	26
第六節 ISO 和 OSHA 標準之比較.....	28
第五章 結論與建議.....	31
第六章 參考文獻.....	33
第七章 附錄.....	36

第一章 緒 論

第一節 前 言

在美國粗略估計有二千八百萬人遭聽力損失之苦。而這些受聽力損失傷害中，又大約有一千萬人可歸因於噪音曝露所引起的傷害，短暫時間內極大的音量，例如爆炸或槍聲，會造成立即嚴重及永久性聽力損失；長期曝露於較低強度但仍具危險性聲音時，這種情形通常會在工作場所或某些休閒活動時遭遇到，而會引起聽覺敏感性上會有漸進性的傷害，最初受害者是不知不覺的。為了保障勞工聽覺安全，幾乎各國都訂有相關法令及標準。而我國也訂定噪音曝露容許標準。關於噪音之曝露標準，各國之規定未盡相同，例如美國職業安全衛生署 (OSHA) 規定，勞工每日 8 小時曝露不得超過 90dBA，噪音每增加 5dBA 時，容許曝露時間應減半，即減半率 (halving rate) $q=5\text{dB}$ 。我國、加拿大、比利時、意大利等亦採用相同的標準。而英國、澳洲、丹麥、8 小時曝露仍為 90dBA，但採用國際標準組織 (ISO) $q=3\text{dB}$ 的較嚴標準，而這標準是以等能理論 (equal energy theory)，而噪音每增加 3dB，其容許曝露時間應減半、如此一來 4 小時之噪音許可而有 93dB 及 95dB 兩種標準，所以本研究以 TTS_2 、Recovery TTS time 為指標，比較 OSHA 和 ISO 標準，探討何者更能為我國勞工聽覺保護之所需，以進一步提供工業衛生法令的參考。

第二節 研究目的

- 一、採用 ISO 標準 (3 分貝原則) 和 OSHA (5 分貝原則) 標準，以不同的音壓位準 (Sound pressure level)，探討 TTS_2 、Recovery TTS time 的關係。
- 二、探討噪音的曝露量與 Recovery TTS time 的關係；及 TTS_2 和 Recovery TTS time 相關。
- 三、依據 Reed-Muench method 計算 ED_{50} (Effective dose)。
- 四、建立 500、1000、2000、4000、6000Hz 之 Recovery TTS time 參考性資料。

五、建立 Dose-response relationship，以評估 ISO 和 OSHA 標準何者較能預測國人聽覺特性，以進一步提供工業衛生法令的參考。

第二章 文獻探討

第一節 OSHA 和 ISO 標準

Ward (1)指出可用預測和評估噪音曝露後所產生聽力損失，較常被應用有以下兩種模式：

一、美國職業安全衛生署之等值音量 (The OSHA Equivalent Level)

所謂等值 (Equivalent)是指導致相同的聽力傷害危險度 (Equal Hearing Damage Risk)而言，依美國 OSHA 之標準，90dBA 8小時的曝露，與95dBA 4小時的曝露其聽力的傷害危險度是一樣的，也就是5dB減半率；美國之噪音管制標準，對穩定性之噪音以90 dBA，8小時為管制原則，其最高值不超過115dBA，噪音每增加5分貝時，其容許時間需予減半，即減半率 (Halving Rate) $q=5\text{ dB}$ 。(2)

二、國際標準組織之等能理論

等能理論是由Eldred等人1955年(3)發展出，假設噪音曝露與聽力損失有明顯的相關，只要暴露相同能量，產生聽覺危害度是相同。

美國空軍研究小組提及聽力損失是可歸因於噪音能量，總能量理論如以下的假設：(4)

- 1.等量的A權聲音能量會產生等量的聽力傷害。
- 2.聽力傷害是與所接受聲音能量的作用成比例，雖然這種作用可能不是線性。

3.3分貝減半率 (3dB Rule)是假設聽力損失正比於所接受之聲音能量，故每增加3分貝（（能量加倍），容許曝露時間減半，在1981年被ISO所應用，而成為國際標準組織之等能理論。

OSHA 和 ISO 標準的研究，較常用動物實驗，Henderson 等人(5)以 gerbils 曝露不同噪音量及時間。第一組是曝露 120 dB SPL 1小時，126 dB SPL 15分鐘，126dB SPL 3.75分鐘；第二組是曝露 120 dB SPL 15分鐘，126 dB SPL 3.75分鐘，126dB SPL 56秒。其結果為聽力損失一定，噪音增加1.5-3dB時，曝露時間減

半。

Ward(1)採用動物實驗研究等能理論，噪音曝露採用150天82 dB，15天92dB，1.5天102dB和0.15天112 dB，0.015天120 dB，而採用損害的毛細胞(DOHC, Destroyed outerhair cell)和永久性聽力損失(PTS)為指標，而在以損害的毛細胞與噪音曝露能量是呈現直線，永久性聽力損失與噪音曝露能量呈現直線但變異性較大；將橫軸以dB SPL，縱軸分別以DOHC和PTS製成圖，而噪音每增加1 dB SPL時，PTS就增加1 dB，毛細胞損失(DOHC)就增加0.5 log單位，其斜率分別是1 dB PTS/dB SPL，0.5 log unit DOHC/dB SPL。

第二節 噪音性聽力損失的解剖與生理學原理

噪音引起之聽力損失有兩種，一種暫時性聽閾改變(Temporary threshold shift)，其意為當人耳曝露足以產生影響的聲音，將呈現出聲音之敏感度喪失的情形，意即對聲音之聽閾提高，若去除噪音，則聽力將回歸至原先之程度，所以此偏移是暫時的不致引起永久損壞，若聽力回不到原先之程度，則將發生永久的損壞，就稱為永久性聽力損失(Permanent threshold shift)。(1)

Naka and Masutani(6)以Guinea pigs當聲音曝露，觀察內耳血管變化，結果發現耳蝸側壁(Cochlear lateral wall)和螺旋蝸旋軸板(Spiral lamia)的血管收縮，因聲音導致形態學的改變。而有關暫時性聽力閾值改變的結構變化不會被完全建立，可能在感覺細胞內(毛細胞)有精密的細胞內變化與神經隆起，也有可能其它可逆性反應，包括血管變化、代謝衰竭、及毛細胞內化學變化。也有實體纖毛(Stereocilia；毛細胞頂端的毛管囊)硬度局部降低的證據，那是可能復原的。這種實體纖毛硬度降低可能導致聲音能量結合至毛細胞，而使效果降低因而改變了聽覺的敏感度。

在動物實驗中，反覆地曝露於會引起暫時性聽力閾值改變的聲音能量，可能會逐漸地引起永久性噪音聽力損失。在這類型的聽覺傷害中，可能造成耳蝸血流，而每次曝露都會散在性地傷及少許的毛細胞。隨著連續的曝露受損的毛細胞的數量增加。雖然內耳的大部分結構都會受過量聲音曝露所傷害，但感覺細胞最易受到傷害的。實體纖毛的傷害常是最早的變化，特別是根部結構的變化，該根部正常時是將實體纖毛固定頂端的功能。一旦遭受破壞，感覺細胞不會被置換或再生。更且，一旦失去了足夠的毛細胞，則該區域的神經纖維也將退化。隨著耳蝸神經纖維的退化，在中樞神經纖維也將有相當程度退化產生。

這些神經變化導致的噪音性聽力損失的內涵尚未明朗。

第三節 影響聽力的因素

一般說較強力與較長期間噪音曝露會引起較嚴重的聽力損失，但個人敏感性差異存在。工業勞工之聽力損失病因學模式有兩項主要成分，其一是職業性，而另一是非職業性的因素。非職業性的因素包括年齡、工作場所外噪音的曝露、外傷、耳疾與聽覺毒性藥物。與工作有關的因素包括職業性噪音曝露、全身振動、職業病與毒性藥物(7、8、9)。

除了這些因素外尚有很多文獻研究可能影響一個人的噪音性聽力損失的感受性，Gerhardt (10)研究耳道的體積和耳道的長度與最大頻率的 TTS 有明顯的相關。

Rodriguez and Gerhardt (11)當曝露在寬頻噪音時，產生最大量的 TTS 與外耳共鳴頻率有明顯的相關，除了耳道與中耳的特性外，藥物及以往的噪音曝露也都會有影響。氨基糖類抗生素治療 (aminoglycoside antibiotic therapy) 與聽力損失有關。這些包括 neomycin, Kanamycin, streptomycin, viomycin 及 dihydrostreptomycin 等抗生素(12)。

Zelman (13)吸菸與聽力損失間一些假設性相關也曾被提出，由於尼古丁 (nicotine) 降低了耳蝸血液供應量，因血管痙攣而動脈硬化而使血管窄化了。Young 等人(14)；Fechter 等人(15)認為吸煙會導致聽力損失的主要原因是由於一氧化碳的原因。

Barrenas and Lindgren (16)認為眼珠黑色素多的較不易形成 TTS，而黑色素少的易形成 TTS，然而這結果是未確定。

第四節 噪音作業所引起之聽力損失

噪音被認為對人體有害，至少有兩千五百多年了，長期曝露高噪音量的環境下，一直被認為是職業性聽力損失之主因。而由文獻顯示出各國因噪音而導致職業性聽力損失與職業性曝露的關係，已不容致疑。在美國至少有一百萬製造業勞工因職業造成聽力損失（聽覺頻率在 1、2、3kHz 有平均超過 25dB 損失）；而有五十萬勞工聽覺頻率 1、2、3kHz 有超過 40dB 損失。(17)

依 Coles and Kningt (18)對柴油發動機試驗的勞工之噪音曝露研究報告中指出

:在最大噪音位準為 106dB 的強烈噪音下連續平均工作 3.5 年的勞工，其一耳在 3、4、6kHz 頻率範圍內平均聽力損失約 45 至 60dB。Schneider (18) 在研究化學工廠的不同單位員工之噪音曝露情形報告書中指出：作業員工在噪音曝露的時間有 10 % 以上均逾規定標準音量 (90 dB) 者，每工作一年，在 2、3、4kHz 頻率範圍內聽閾 (hearing threshold) 約發生 1dB 的永久性聽力損失。

Chadwich (18) 對 12 位曝露於燃氣輪機噪音 (gas-turbine engine noise) 的男生工作者進行調查，結果發現：當噪音高達 113dB 時，工作剛滿兩年的勞工，其低音頻聽力損失約為 10dB；在 2 至 4kHz 約為 20dB。Martin 等人（在研究空勤人員聽力與工作年資的關係時，發現並無證據顯示目前仍在職人員之聽力損失與工作年資有顯著的相關，僅在 25-34 歲年齡組和 44-54 歲年齡組有較高之相關。根據 Callo 的研究，工業噪音的長期曝露下，在頻率 3、4 和 6kHz 的聽力損失，大多發生在最初的 15 年；而 500、1000 和 2000Hz 等頻率下聽力損失與噪音的曝露時間，都較接近直線關係。Massoud 等人 (18) 認為鐵工廠噪音（背景噪音是 92-94dB(A)），衝擊性噪音 120-135dB(A) 造成聽覺 6kHz 最大影響，而且也會影響到低頻的 0.25-1kHz。

Kamal (19) 等人採用鐵工廠敲打工人，工廠內背景噪音是 90-94dB(A)，而衝擊性噪音的範圍是 112-139 dB(A)，且 20-50 次 / 分。而發現聽力最大損失是在 6kHz，TTS 是工作少於 8 年有明顯的較高。

第五節 噪音性聽力損失之評估

聽力損失是測量不同頻率的聽覺閾值。純音聽力測驗法 (Pure tone Audiometry) 常被應用於工業上的聽力保護計劃，以判斷是否提供充分的保護措施防止有害音量之危害。純音聽力測驗計是現代聽力測驗不可缺少，可發出不同頻率和強度的純音，在頻率 125-8000Hz 選七個頻率，先發出足夠大的聲音讓受試者聽的到，然後逐漸減弱其強度，找出受試者的聽力閾值 (Threshold)。

臨床上聽力計的 0 是測驗許多正常人的耳朵之後得到的結果，所以也是一般人在某頻率所能聽到的最弱的純音，所以聽力檢查計上也會有負值出現。如果一個人可聽到 -10 分貝的聲音，表示他在這個頻率聽力比一般人要好，相同的，如果聽力閾值在 25 分貝以下，則認為聽力仍是正常的，只是比不上正常人。事實上，人類聽力最敏銳的頻率是 1kHz 附近的聲音，所以聽力測驗時是以頻率 1kHz 開始做。

第六節 人類暫時性聽力閾值變化

從 1966 年 Kryter 等人⁽²⁰⁾研究噪音對聽力的危害，這是一個劃時代的開始，而以後對人體的研究是傾向工廠勞工是採用永久性聽力損失 (PTS)，而實驗室是發展以暫時性閾值改變 (TTS) 為主。在工業的一些調查研究，針對工業環境的噪音曝露與聽力值 (hearing levels) 的相關，雖然這是很重要的，但因調查的複雜性，很多因素不易控制，還有其他原因引起的聽力損失，及很多不一致的研究模式，使得不易評估噪音所引起的危害影響 (damaging effects)。而實驗室的研究，但因人道立場，噪音量不能引起人類永久性傷害，故噪音量之人體實驗主要是引起暫時性聽力損失。

Ward 等人認為測量 TTS_2 是必要的，因 TTS_2 是判定噪音的安全量；而噪音引起的 TTS_2 若不超過 10dB 表示則表安全的⁽²⁰⁾。Chaturvedi⁽²¹⁾研究不同頻率的噪音對聽力的影響是採用 TTS_2 為指標。其實 TTS_2 是最常被應用為聽力的指標，但也有研究認為 TTS_2 不是很好的指標。Dancer 等人⁽²²⁾研究製造武器的工廠發現曝露高強度的間歇性噪音時， TTS_2 並不是很好的指標，因會產生延遲的 TTS (delayed TTS) 又稱 Rebound recovery function。Melnick⁽²³⁾，回顧一些文獻而認為當曝露的噪音是高頻，高強度的間歇性噪音 TTS_2 並不是很好的指標，因恢復時間會延長。Laroche 指出曝露衝擊性噪音 30-50 分鐘，至少要 4-5 小時恢復完全⁽²⁴⁾。

Wu⁽²⁵⁾採用 20 位年輕人，在曝露 117-128dB(A) 的起飛航空器噪音，曝露 20 分鐘。結果顯示噪音引起暫時性聽力損失超過 13dB，而最大暫時性聽力損失是在 4kHz。在低頻和語音頻在 30 分鐘後就恢復完全，而高頻恢復相當慢，在 24 小時後都未恢復正常。並認為穩定性寬頻噪音所引起聽力損失是呈現 V 字形圖形，4kHz 是 V-shaped curve 的最低點。

有的研究是針對同樣的研究對象且採用重複量測實驗 (test-retest session) 以研究每次實驗的 TTS 的相關及組內的差異，TTS 的組內差異，其組內標準差範圍是 4.3-9.5dB⁽²⁶⁾。Mustain and Shoeny⁽²⁷⁾採用 10 位研究對象，曝露 110 dB SPL 3 分鐘，採用重複實驗，而發現每次實驗 TTS 的相關 R 值為 0.66。Lindgren 等人採用 16 位研究對象，採重複曝露 105 dB SPL (1/3 octave band) 10 分鐘，並重複 10 次，而且每次實驗都間隔一天以上，以避免重複實驗的干擾。其結果組內 TTS 差異其標準差範圍是 3.8-7.9dB，而在重複實驗可用第一次與第二次聽力閾

值(Hearing thresholds level)，及1與3、1與4、1與5、1與6、7、8、9、10次的R值做一平均，其R值範圍是0.61-0.89。在TTS的相關其R值為0.16-0.68。由此可知在同樣的研究對象，同樣情境噪音，每次實驗結果也不盡相同，更不用說不同噪音量，不同噪音頻率，不同研究對象，及各種干擾其結果變異就更大。而Lindgren除了做每次實驗的相關性外，也將曝露前和曝露後聽力做相關，而發現曝露前聽力與曝露噪音後的TTS做相關，其相關係數分別為負相關(25)。

在人體實驗常用暫時性聽力損失(TTS)為指標，而不用永久性聽力損失(PTS)，因在人體試驗若採用噪音引起PTS這是道德上所不允許。而TTS是否能代表PTS，尚有其不確定性，所以也必須要探討造成PTS的感受性與造成TTS感受性是否相關，是否可用TTS預測PTS。在Temkin(26)研究發現一個工作天曝露後測量TTS，易造成TTS的人，有傾向有較高的聽力損失。Richartz, Kraak研究TTS和PTS的相關發現曝露4小時產生的TTS與曝露一年(相同的噪音量)產生的PTS有很好的相關(27)。

Melnick(28)指出已經有很多研究顯示10年曝露噪音產生聽力損失可用單一工作天曝露後2分鐘測得的暫時性聽力損失來預測。但Jerger and Carhart認為TTS的恢復時間比用TTS更能預測PTS(29)。雖然暫時性聽力損失與永久聽力損失有其相關性，但其關係並未強到足以使用暫時性聽力損失去預測永久性聽力損失(30)。

Chaturved(31)是研究噪音的頻譜對聽力的影響，採用131位聽力正常的自願者，隨機分配到不同噪音頻譜各組，噪音曝露4天，每天30分鐘，採用TTS₂為指標，結果顯示寬頻噪音(broadband noise)最大聽力損失量是在4kHz，在不同頻譜噪音對TTS₂的影響可發現在同樣能量的噪音1/3OBW(Octave bandwith)噪音產生的TTS₂是要高於1OBW噪音所產生的TTS₂。噪音的能量若集中在中頻時較會影響語音頻；噪音在單一頻(2和4 kHz)和噪音在1/3 OBW (at4kHz)產生TTS₂是要高於寬頻噪音。

在左右耳研究方面，Grenner(32) guinea-pigs在PTS發現是呈現正相關。Pirila(30,31)指出流行病學研究調查曾指出左耳聽力比右耳劣的人數比例60-70%，右耳比左耳劣的人數比例為30-40%；在他的研究選用28位沒有射擊經驗的年輕人，並雙耳曝露寬頻噪音8小時，用4kHz為指標，並排除左右耳非對稱的因素(Left-right asymmetry)其結果發現左右耳的TTS₁(at 4kHz)有呈現明顯的正相關，且發現左耳聽力差於右耳；在曝露前的基準聽力值與曝露後產生的

TTS1(at 4kHz)呈現負相關，左耳的 TTS1 在 4kHz 與曝露前的相關為 -0.87，右耳的 TTS1 在 4kHz 與曝露前的相關為 -0.54，並發現左耳的相關性要比右耳好。除了此篇外 Prosser ③， Chung ③都指出曝露前聽力與曝露後產生的 TTS 是呈現負相關，表示曝露前聽力較差時，曝露噪音後產生的 TTS 較少。

第三章 研究材料與方法

第一節 研究對象

本研究採自願參加，選取年齡在 20-30 歲之大學在學男生，經聽力檢查正常者，且沒有耳聾疾病史，樣本數為 31 人。研究對象採用大學生的原因是因為勞工之聽正常與否稍有差異不能做為研究對象。所以本研究採用聽力正常之大學生。

第二節 研究材料

1. 音量計 (Rion NA-20 型 Sound Level Meter)：用於實驗現場之噪音位準測定。
2. 防風罩 (Rion WS-03 型 Wind Screen)：錄製工廠噪音時使用，置於收音麥克風之上，以減少大氣流動對聲音接收之影響。
3. 錄音機 (Sony TC-D5 型 Stereo Cassette Recorder)：錄製工廠噪音時使用。
4. 二氧化鉻錄音帶 (Magnax Grant Master-II Cassettetape)：錄製工廠噪音用。
5. 錄放音機 (TEAC R-61D 型)：播放實驗噪音用。
6. 頻率分析器 (Rion SA-59A 型 1/3 Octave Frequency Analyzer)：分析噪音頻譜變化。
7. 擴音器 (Rion SS-02 型 loud speaker)：播放實驗噪音用。
8. 變壓器 (TEAC PA-2 型 AC Adapter)：播放實驗噪音用。
9. 噪音發生器 (RION SF-05 型 Noise field generator)：播放實驗噪音用。
10. 聽力檢查器：Rion AA-61 型個人聽力檢查器：聽力檢查用。
11. 噪音位準分析器 (Rion SV-73 型 Noise Level Analyzer)：用於噪音位準測試。

實驗噪音頻譜分析圖 (附錄圖 1)

實驗儀器連接設計及測試位置 (附錄圖 2)