

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

應用眼球追蹤系統探討不同室內音環境對閱讀品質影響
之研究

Study on the influence of different indoor sound environments on
reading quality by using eye tracking system

指導教授：馮俊豪 博士
林芳銘 博士

Adviser: Dr. Chun-Hao Feng
Dr. Fang-Ming Lin

研究生：林育綱
Graduate student: Yu-Kang Lin

中華民國 112 年 07 月 3 日
July 3, 2023

摘要

學號：M11019008

論文題目：應用眼球追蹤系統探討不同室內音環境對閱讀品質影響之研究

總頁數：88

學校名稱：國立屏東科技大學 系（所）別：木材科學與設計系

畢業時間及摘要別：一百一十一學年度第二學期碩士學位論文摘要

研究生：林育綱 指導教授：林芳銘、馮俊豪 博士

論文摘要內容：

因應聯合國永續發展目標，創造宜居且健康之城市為未來之重要趨勢，然而居住環境之噪音可能使居住者對環境之幸福感下降，並且可能會導致心理之負面影響，相關研究也指出噪音對於閱讀之干擾，故本研究應用眼球追蹤系統探討不同音環境下對閱讀品質之影響，透過評估 31 名受試者於無噪音環境、施工噪音、白噪音、樓板衝擊音及悅音等五種音環境下之眼球運動變化，探討不同音源對閱讀造成之干擾，同步以心理感受進行比較，以瞭解不同音環境對於人之影響。研究結果顯示，與無噪音環境相比，噪音環境皆會造成總凝視時間提高，而在施工噪音及樓板衝擊音導致之負面心理下受試者會產生較高之平均跳視幅度，與無噪音環境相比分別增加 4.674 及 11.23 度，且與無噪音環境相比，噪音及悅音之出現，受試者之閱讀效率有明顯下降，上述之結果也表示音環境改變對於閱讀所造成之影響，且也證實眼球追蹤系統應用上之有效性，然而本次研究僅以不同音環境作為探討因子，因此後續可針對不同之噪音源、聲壓位準等進行更多面向之研究。

關鍵字：眼球追蹤系統、悅音、噪音、閱讀表現

Abstract

Student ID: M11019008

Title of thesis: Study on the influence of different indoor sound environments on reading quality by using eye tracking system

Total pages: 88

Name of Institute: Department of Wood Science and Design, National Pingtung University of Science and Technology

Graduate date: July, 2023

Degree Conferred: Master

Name of Student: Yu-Kang Lin

The contents of abstract in thesis:

Creating livable and healthy cities in response to the United Nations' Sustainable Development Goals is an important trend for the future. However, noise in residential environments can decrease residents' sense of well-being and potentially lead to negative psychological effects. Previous studies have also indicated that noise can interfere with reading. Therefore, this study utilized an eye-tracking system to investigate the impact of different sound environments on reading quality. By evaluating the eye movements of 31 participants in five different sound environments (no noise, construction noise, white noise, floor impact noise, and pleasant sound), the study aimed to explore the interference caused by different sound sources on reading. Psychological perceptions were simultaneously compared to understand the effects of different sound environments on individuals.

The results of the study showed that compared to the no-noise environment, all noise environments increased the total fixation time. Participants exposed to construction noise and floor impact noise experienced higher average saccade amplitudes under negative psychological effects, with increases of 4.674 and

11.23 degrees, respectively, compared to the no-noise environment. Furthermore, the presence of noise and pleasant sound significantly decreased participants' reading efficiency compared to the no-noise environment. These findings indicate the impact of changes in sound environments on reading and confirm the effectiveness of using eye-tracking systems. However, this study only focused on different sound environments as the exploration factor. Therefore, future research can investigate different noise sources, sound pressure levels, and other aspects.

Keywords: Eye tracking system, Music, Noise, Reading performance



謝誌

終於到了要寫謝誌的時候，想當初我只是因為在學校附近開店，才留下來繼續升學，沒想到讀了碩士後卻變得沒有時間繼續經營而結束營業。這兩年也算留下了很多的回憶，像是第一次的研討會發表，甚至是人生第一次划龍舟，而這也要感謝進入木設後認識的大家，接下來幾段就讓我好好感謝吧！

首先非常感謝我的指導教授 林芳銘、馮俊豪老師，在當初不嫌棄非相關科系的我，讓我加入聲學研究室這個大家族，雖然我專業知識不足，但還是會很仔細的指導我，幫助我在碩班時期大大小小的報告，也謝謝俊豪老師在我第一次研討會的陪伴，還有結束後的鹿港半日遊，讓我稍稍的走出分手的陰霾，真的很感謝兩位老師！還有感謝大學時的指導教授 梁佑慎老師，即使我跑到木設還會讓我回去參加園產聚餐，在當初選指導教授時也給我了一些建議，還有其實我都會偷偷跑回園產實驗室蹭統計軟體跟水果吃，也一併感謝老師了。也謝謝 吳東霖老師都會一起打籃球，雖然後來老師都一直找事躲掉，還有謝謝同在 3 樓的 林錦盛老師及 陳建男老師，常常都會陪我亂聊，還有謝謝所有在我研究所修業期間指導過我的老師們。

再來要謝謝我的聲學研究室小夥伴們，謝謝瑄瀝、亭君學姊在我剛進研究室時給了我很多學術上的指導，謝謝欣愉學姊總是會陪我聊天，不管是多麼不重要的小事都還是會跟我聊，還會跟我一起實現很多異想天開的想法，謝謝雅芸姐在中午聚餐時都能分享很多的職場、生活經驗，謝謝浩庭從加入研究室以來就一起加入天馬行空行列，一起當冰淇淋富翁，也謝謝阿哲老師、裕鈞學長、可葳、政豪在研究室的幫忙與陪伴。

接下來要來感謝我的朋友們了，首先謝謝我高中時就認識的正雄（泓瀚），雖然你真的很常嘴我，但真的很感謝你讓我能夠很快地融入木設，也謝謝你的 5 天家具丙證照班，真的可以開班授課了。還有動畜系的懿絃，雖然我們只有高一同班但很神奇的可以一直聯繫，雖然你嘴的比上面那位還兇但我知道你人還是很好的，在我開店的時候明明一直說很累很忙但還是會留下來陪我，讓我在沒客人的時候可以有人陪。再來是我農園

系的損友傷心小狗泰興，你真的算是我最常談心的朋友了，感覺我有一堆把柄在你手上了，很感謝你在我每次分手時的陪伴，尤其是真的分了的那次，雖然我一忙就沒在理你了，但你真的很讚我一通電話基本都可以找到你。還有于庭，雖然你應該不會看到，但也謝謝你，不管是大學時期的我或是老闆階段的我又或是碩士菜鳥的時候都有你的陪伴。也謝謝賴桑、小米學姊、蕓心學姊、信元學長、宥威學姊、智文學姊、傳益、冠廷、昕恬、明儒、晉豪、詩凱、佩汝，還有很多很多的人，謝謝你們讓我的碩士生涯過得很開心。

最後的一段我要獻給我的家人，當初我提出想讀碩士的想法沒有直接反對，反而是叫我要想清楚再決定，在我沒有經濟來源時還用很隱晦的方式提供我金錢支援，讓我能夠無後顧之憂地讀書，也謝謝姊姊們沒有太過計較我沒有工作繼續讀書的想法，還有給予我陪伴的女友欣瑜，謝謝你體諒我很常因為在忙碩士的東西而忽視了你，這本論文獻給幫助過我的所有人。

國立屏東科技大學 木材科學與設計系 林育綱 謹誌於
綠建材聲學性能實驗室
中華民國 112 年 7 月

目錄

摘要	I
ABSTRACT	II
謝誌	IV
目錄	VI
圖目錄	VIII
表目錄	XII
壹、 緒論	1
一、 研究動機與目的	1
二、 研究範圍	4
貳、 文獻探討	5
一、 噪音及相關法規標準	5
二、 音環境對生心理之影響	7
三、 眼球追蹤系統	12
四、 心理感受評價方法	20
參、 研究方法	24
一、 實驗條件設定	27
二、 眼球追蹤系統分析	29
三、 語意分析法之設定	32

四、 閱讀表現之量測.....	33
五、 實驗操作流程.....	34
六、 資料分析.....	35
肆、 結果與討論.....	36
一、 不同音環境對眼球運動之影響.....	36
二、 不同音環境下對閱讀表現之影響.....	52
三、 不同音環境對人體心理感受之反應.....	61
四、 不同因子間之綜合評估.....	64
伍、 結論與建議.....	69
一、 結論.....	69
二、 建議.....	70
陸、 參考文獻.....	71
附錄.....	81

圖目錄

圖 1 WELL 健康建築標準	
Fig. 1 WELL healthy building standard	1
圖 2 研究範圍	
Fig. 2 Scope of the study	4
圖 3 噪音陳情案件處理歷年統計（行政院環境保護署，2021）	
Fig. 3 Statistics on handling noise complaint cases over the years	5
圖 4 眼球構造(Liu <i>et al.</i> , 2022)	
Fig. 4 eye structure(Liu <i>et al.</i> , 2022)	13
圖 5 眼球運動分類	
Fig. 5 Classification of eye movements.....	14
圖 6 眼球追蹤系統介紹	
Fig. 6 Introduction to Eye Tracking System.....	16
圖 7 感興趣區間示意圖(Chevet <i>et al.</i> , 2022)	
Fig. 7 Schematic diagram of the AOI(Chevet <i>et al.</i> , 2022)	17
圖 8 手提袋產品圖片上之感興趣區間(Ho, 2014)	
Fig. 8 AOI on product images of handbags (Ho, 2014).....	18
圖 9 語意分析法尺度示意圖	
Fig. 9 Schematic diagram of the scale of semantic differential method.....	22

圖 10 研究流程圖	
Fig. 10 Flow chart for research work.....	24
圖 11 本研究實驗環境場域	
Fig. 11 The experimental environment field of this study.....	27
圖 12 Tobii pro glasses 2 介紹	
Fig. 12 Introduction of Tobii glasses 2	30
圖 13 相關軟體介紹	
Fig. 13 Related software introduction	31
圖 14 實驗流程圖	
Fig. 14 Experiment flow chart.....	35
圖 15 不同音環境對總凝視時間比值之影響	
Fig. 15 The effects of different sound environments on the ratio of total duration of fixation	37
圖 16 不同音環境對平均凝視時間之影響	
Fig. 16 The effect of different sound environments on average duration of ..	38
圖 17 不同音環境對凝視次數比值之影響	
Fig. 17 The effects of different sound environments on the ratio of number of fixations	39
圖 18 不同音環境對平均跳視幅度之影響	
Fig. 18 The effect of different sound environments on the average amplitude of saccades	40

圖 19 不同音環境對平均跳視速度之影響	
Fig. 19 Effects of different sound environments on the average peak velocity of saccades	41
圖 20 不同音環境下閱讀之凝視軌跡圖	
Fig. 20 Effects of different sound environments on the gaze plot	42
圖 21 平均凝視時間與凝視次數比值之相關性	
Fig. 21 The correlation between the average duration of fixation and the ratio of number of fixations	43
圖 22 不同音環境對閱讀效率之影響	
Fig. 22 Effects of different sound environments on the reading efficiency....	52
圖 23 不同音環境對閱讀理解之影響	
Fig. 23 Effects of different sound environments on the reading comprehension	53
圖 24 閱讀效率與閱讀理解之相關性	
Fig. 24 The correlation between reading efficiency and reading comprehension	54
圖 25 不同音環境對心理感受之影響	
Fig. 25 Effects of different sound environments on the psychological feelings	61
圖 26 總凝視時間比值與閱讀理解之相關性	
Fig. 26 The correlation between the ratio of total duration of fixation and reading comprehension	64

圖 27 平均跳視速度與閱讀效率之相關性

Fig. 27 The correlation between the average peak velocity of saccades and reading efficiency 65

圖 28 平均跳視幅度與心理感受之相關性

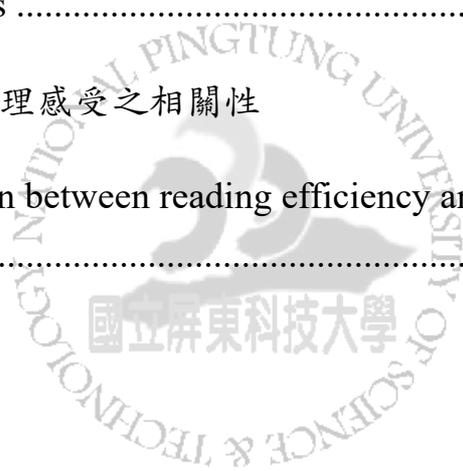
Fig. 28 The correlation between the average amplitude of saccades and psychological feelings 66

圖 29 平均跳視速度與心理感受之相關性

Fig. 29 The correlation between the average peak velocity of saccades and psychological feelings 67

圖 30 閱讀效率與心理感受之相關性

Fig. 30 The correlation between reading efficiency and psychological feelings 68



表目錄

表 1 噪音管制區分類

Table 1. Classification of noise control areas 6

表 2 一般地區音量標準值

Table 2. General area volume standard value 6

表 3 受試者(n = 31)之特徵統計

Table 3. Characteristic Statistics of Subjects (n = 31) 26

表 4 實驗空間氣候條件設定

Table 4. Experimental Space Climate Conditions Setting 28

表 5 實驗儀器 (一)

Table 5. Experimental Instruments (1) 28

表 6 實驗儀器 (二)

Table 6. Experimental Instruments (2) 29

表 7 閱讀文章說明

Table 7. read article description 34

表 8 受試者學歷差異與不同音環境下眼球運動之相關性分析

Table 8. The correlation analysis of subjects' educational differences and eye movements in different sound environments 45

表 9 受試者科系差異與不同音環境下眼球運動之相關性分析

Table 9. The correlation analysis of subjects' major differences and eye

movements in different sound environments..... 47

表 10 受試者性別差異與不同音環境下眼球運動之相關性分析

Table 10. The correlation analysis of subjects' gender differences and eye movements in different sound environments..... 49

表 11 受試者噪音敏感度差異與不同音環境下眼球運動之相關性分析

Table 11. The correlation analysis of subjects' noise sensitivity differences and eye movements in different sound environments 51

表 12 受試者學歷差異與不同音環境下閱讀表現之相關性分析

Table 12. The correlation analysis between the subjects' educational differences and reading performance in different sound environments..... 57

表 13 受試者科系差異與不同音環境下閱讀表現之相關性分析

Table 13. The correlation analysis between the subjects' major differences and reading performance in different sound environments 58

表 14 受試者性別差異與不同音環境下閱讀表現之相關性分析

Table 14. The correlation analysis between the subjects' gender differences and reading performance in different sound environments 59

表 15 受試者噪音敏感度差異與不同音環境下閱讀表現之相關性分析

Table 15. The correlation analysis between the subjects' noise sensitivity differences and reading performance in different sound environments..... 60

表 16 受試者背景條件差異與不同音環境下心理感受之相關性分析

Table 16. The correlation analysis between the subjects' background condition differences and reading performance in different sound environments..... 63

壹、 緒論

一、 研究動機與目的

(一)研究背景與動機

聯合國於 2015 年提出之「2030 永續發展目標」(Sustainable Development Goals, SDGs)，旨在使世界能夠更加宜居，且確保人類的生活健康及福祉等，WELL 健康建築標準是以室內環境提升人體健康與福祉為主的認證標準，其涵蓋了十大概念，包括空氣、水、營養、光、運動、熱舒適、聲環境、材料、精神、社區，而相關研究指出人的一天中有將近 9 成的時間是在建築物中度過(Klepeis *et al.*, 2001)，也因此居住環境的品質為亟需重視之課題。



圖 1 WELL 健康建築標準

Fig. 1 WELL healthy building standard

根據中華民國內政部統計處於 111 年 12 月 21 日發布之資料顯示，臺灣之人口密度為世界第 8 名，且為千萬以上人口之國家中排名第二，人口密度為 651.5 人/平方公里，也因此臺灣之住宅環境主要以社區大樓為主，內政部統計月報中顯示核發建築物使用執照中，21 層以上之建築物棟數從 82 年的 61 棟增加至 110 年的 180 棟，然而目前國內建築的牆體結構無法完全隔絕噪音的出現，聲音仍會從大門縫隙、窗戶或是通過樓板震動等傳播而來，而鄰居談話聲、交通噪音及樓板衝擊音等噪音源的出現會影響人們日常生活，依各地方政府環境保護局提供之噪音陳情案件處理次數中顯示，噪音投訴案件從 94 年的 38,699 件翻倍至 109 年的 78,967

件，其中以第二類及第三類管制區的案件數最多，也是主要以住宅為主的噪音管制區，也因此需要更深入瞭解噪音對人們造成之影響。

噪音即為使聽者不悅之聲音，其對人們的影響已在國內外多篇研究中被證實，噪音會促進交感神經及內分泌系統的活力，從而導致體內激素的分泌異常，且即使低分貝之噪音仍然會造成影響(Babisch, 2002)，相關研究也指出噪音的出現會干擾人的睡眠情形，較差的睡眠可能會影響心情，使得煩惱及不悅的情緒產生，而長期高強度的噪音會促使聽力損失，且造成心率、皮膚電導度及呼吸速率等生理參數的異常變化，長期處於噪音環境更會導致心血管疾病等慢性疾病的產生，研究也指出高噪音與死亡率提升之間的相關性(Khomenko *et al.*, 2010)，而噪音對人們的影響不僅限於生理及心理，其也會表現於學習、注意力及思考等認知發展上，相關研究也指出汽車駕駛因長期處於高噪音環境而導致分心之情形，且學童於噪音環境下學習也會使得閱讀表現下降。

人眼是獲取外界資訊的主要來源，透過眼球追蹤系統使研究者能夠記錄人們的視線軌跡等，並瞭解人類思考等認知處理的過程，眼球追蹤系統已被用於商業行銷、教育等多個領域，其也被應用於判斷閱讀之表現，如學習者學習第二外語時之眼球運動等。

目前國內外鮮少有研究探討噪音與眼球運動之間的關聯性，因此本研究欲應用眼球追蹤系統探討不同音環境對人體反應之影響，本研究之聲音來源取自居住環境常見之施工噪音及樓板衝擊音，而為更清楚瞭解噪音之影響，加入白噪音及悅音進行對比，並以取得之眼球運動數值與閱讀表現及心理感受進行綜合分析比較，藉此評估眼球追蹤系統應用上之有效性。

(二)研究目的

近年來國內外針對噪音影響人體之議題已有多篇研究進行證實，包含生理量及心理量，而噪音對閱讀理解、注意力及思考等的影響較少有研究進行著墨，也因此本研究透過設定五種音環境讓受試者進行閱讀，以眼球追蹤系統記錄閱讀時之眼球反應，分析其量化之數值，以確立眼球追蹤系統應用之可行性，並透過觀察閱讀速度及閱讀理解以探討受試者受干擾程度，同時掌握受試者心理感受評價，綜合探討不同因子間之相互關係，以瞭解不同音環境對人體之影響，故本研究之研究目的如下：

1. 確立眼球追蹤系統應用於音環境改變之可行性

本研究為建立眼球追蹤系統應用於建築聲學之可行性，透過讓受試者於無噪音環境、施工噪音、白噪音、樓板衝擊音及悅音下配戴眼球追蹤系統進行閱讀，以取得量化之眼球運動數值，藉由比較不同音環境下產生之差異，並配合文獻分析之方法確立眼球追蹤系統於建築聲學應用上之有效性。

2. 評估持續性噪音對閱讀文章之干擾程度

相關研究已指出噪音會對人的認知處理產生影響，因此本研究藉由讓受試者於不同音環境下閱讀文章，並通過閱讀總花費時間及讀後閱讀測驗之正確率，評估在無噪音環境、噪音環境及悅音環境下對受試者閱讀表現之影響，並與眼球追蹤系統之數據進行綜合分析比較，以驗證眼球運動與閱讀表現之關聯性。

3. 探討不同音環境下對人體心理感受評價之影響

本研究為探討不同音環境下對受試者心理量之影響，透過語意分析法之方式評估受試者之心理感受，以輕鬆感、舒適感、覺醒程度、疲倦感、困擾感等感受進行評估，並與眼球追蹤系統記錄之量化數值進行相關性分析，以探討心情之變化對眼球運動之影響。

二、 研究範圍

本研究旨在探討不同音環境對人體之影響，主要以悅音及噪音作為主要方向進行探討，因此室內氣候條件因子參考相關文獻及法規調整至適合受試者閱讀之環境，本研究針對受試者於無噪音環境、施工噪音、白噪音、樓板衝擊音及悅音等五種音環境下心理感受評價、眼球運動及閱讀表現之影響程度進行探討，並綜合分析不同因子間之相互作用及影響，以確立眼球追蹤系統應用之可行性，並可作為未來相關研究應用之參考，本研究之範圍如圖 2 所示。

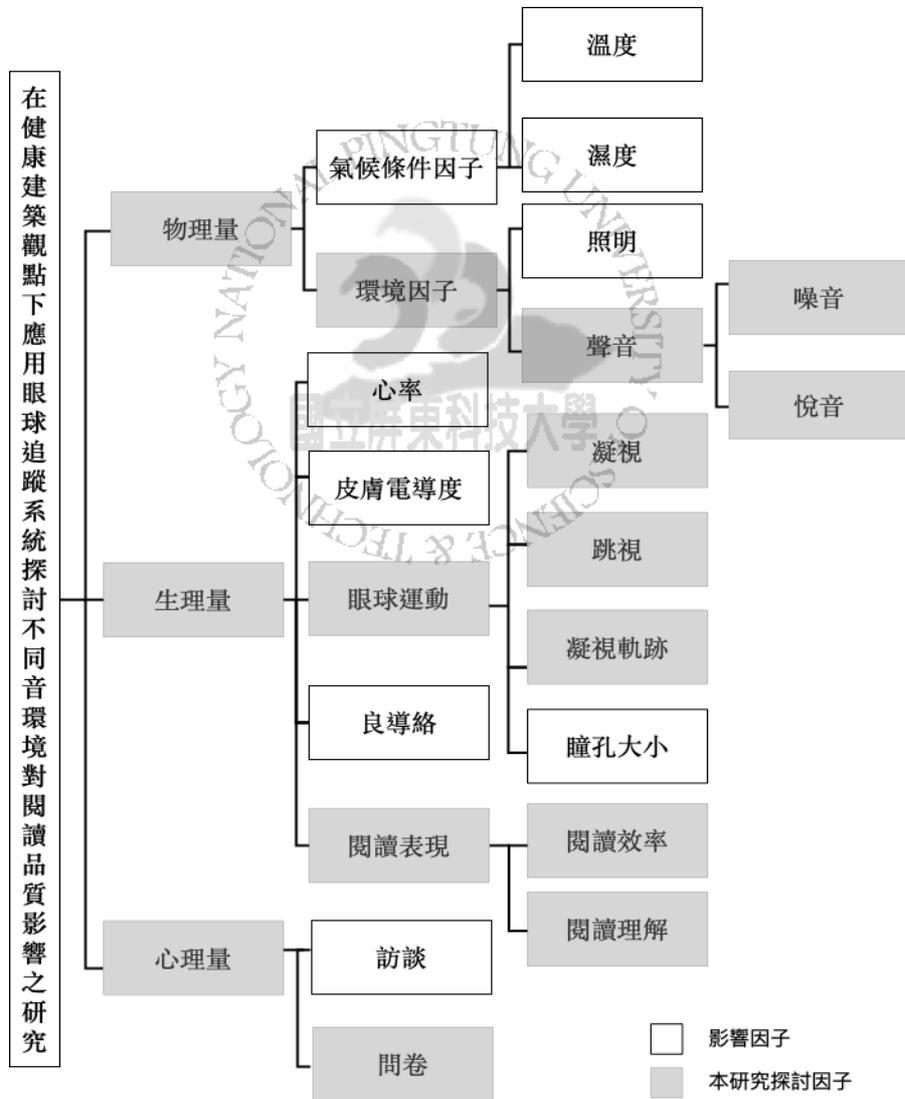


圖 2 研究範圍

Fig. 2 Scope of the study

貳、 文獻探討

一、 噪音及相關法規標準

聲音是一種壓力波，聲波之強弱變化或是頻率可能使得聽者有不同之感受，根據教育部重編國語辭典修訂本之釋義，噪音為聲波頻率及強弱變化雜亂無規律，且會使聽者不悅之聲音，黃士賓 (2006)之研究指出噪音可分為室外及室內噪音，室外噪音如交通噪音、航空噪音及營業噪音等，而室內噪音包括一般生活行為噪音（說話聲、家事行為等）、操作音響資訊機器噪音（樂器演奏、電話等）、具噪音振動性質之設備（空調設備、抽水幫浦等）及室內裝修工事噪音（修理器材及傢俱等），隨著國人生活水準提高，對於居住環境之品質要求逐漸增加，如圖 3 根據行政院環境保護署環境保護統計年報之噪音陳情案件處理統計所示，於民國 94 年起至 109 年，噪音之陳情案件處理數總計從 38699 件增加至 78967 件，這也說明噪音對於一般民眾之煩擾，已成為嚴重之社會問題，因此為了國人之健康居住環境，噪音為亟需進行管制之公害。

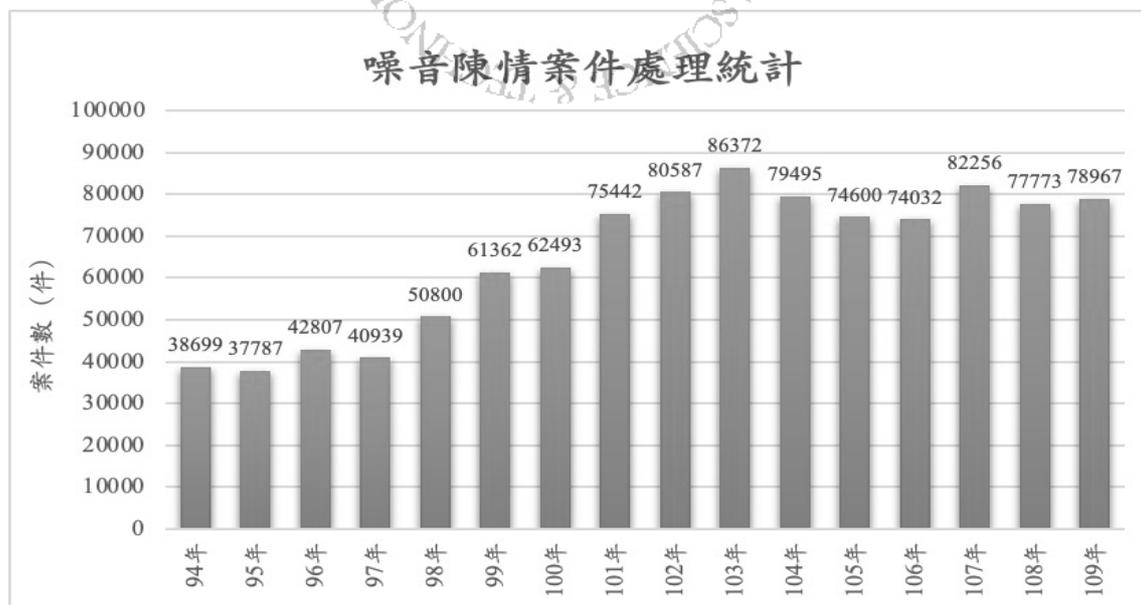


圖 3 噪音陳情案件處理歷年統計（行政院環境保護署，2021）

Fig. 3 Statistics on handling noise complaint cases over the years

國內目前針對噪音之問題以噪音管制法第七條第一項規定訂定噪音管制區劃定作業準則，依據噪音管制區劃定作業準則第 2 條，噪音管制區依土地使用現況、行政區域、地形地物及人口分布劃分成四類，如表 1 所示，並依噪音管制區劃定作業準則第 6 條，照時段及管制區設定不同之音量標準，如表 2 所示，其音量單位皆為 dB(A)，即指 A 加權之測量值。

表 1 噪音管制區分類

Table 1. Classification of noise control areas

第一類管制區	環境亟需安寧之地區。
第二類管制區	供住宅使用為主且需要安寧之地區。
第三類管制區	以住宅使用為主，但混合商業或工業等使用，且需維護其住宅安寧之地區。
第四類管制區	供工業或交通使用為主，且需防止噪音影響附近住宅安寧之地區。

表 2 一般地區音量標準值

Table 2. General area volume standard value

管制區	均能音量(Leq)		
	日間	晚間	夜間
第一類	55	50	45
第二類	60	55	50
第三類	65	60	55
第四類	75	70	65

日間：第一、二類噪音管制區指上午六時至晚上八時；第三、四類噪音管制區指上午七時至晚上八時。

晚間：第一、二類噪音管制區指晚上八時至晚上十時；第三、四類噪音管制區指晚上八時至晚上十一時。

夜間：第一、二類噪音管制區指晚上十時至翌日上午六時；第三、四類噪音管制區指晚上十一時至翌日上午七時。

二、音環境對生心理之影響

聲音之類型可能會影響聽者對於該聲音之感受，Liu *et al.* (2017)之研究以不同之噪音類型（工廠噪音、古典音樂、流行音樂）及強度（45dBA、65dBA、85dBA）進行實驗，要求參與實驗之 10 名受試者執行閱讀任務，並於閱讀後施做 10 題閱讀理解測試，該研究之實驗結果指出噪音類型($F_{2,243} = 64.527$)、噪音強度($F_{2,243} = 136.787$)對於閱讀皆造成影響，在噪音類型上，古典音樂(7.27 題)下閱讀文章之表現優於流行樂(6.46 題)及工廠噪音(6.23 題)，至於噪音強度，45dBA(7.34 題)之閱讀表現優於 65dBA(6.82 題)及 85dBA(5.79 題)，該研究證實了不同類型及強度之聲音會產生不同之影響，故於本節中彙整國內外之相關文獻，以分析聲音類型對人體生理、心理及閱讀理解等之影響。

(一)悅音對人體之影響

音樂是一種將許多不同的元素進行組合而成的聲音，包括音高、音色及節奏等，為和諧悅耳的聲音，包括大自然發出的聲音如空氣、水及樹葉等，抑或是樂器發出的聲音如鋼琴、小提琴及吉他等，音樂可以影響生理指數如心律、心壓等，Mojtabavi *et al.* (2020)對 29 篇文獻共 1368 名受試者做系統評價，透過評估心率變異性(heart rate variability, HRV)以了解音樂對人體的情緒反應，心率變異率可以作為判斷壓力或放鬆狀態的指標，該研究結果指出在 29 篇文獻中只有三篇的研究表明音樂與心率變異性沒有顯著關係，其餘文獻在 95%的信賴水準下皆有顯著關係，而音樂對於心率變異性的影響是由於自主神經系統(Autonomic Nervous System, ANS)功能的作用，自主神經系統可分為交感神經系統(Sympathetic Nervous System, SNS)及副交感神經系統(Parasympathetic Nervous System, PNS)，副交感神經系統其作用主要為休息及消化，並促進放鬆觸發乙醯膽鹼的釋放(Mojtabavi *et al.*, 2020)，迷走神經(Vagus Nerve)為副交感神經系統的主要神經(Brodal, 2004)，該神經能夠導致身體的放鬆反應，從而導致心率變異性的增加，而此也與幸福感相關；音樂除了可以改變生理指數外，也可以改變情緒反應，Tseng *et al.* (2022)之研究中對 20 名流動護理師(circulating nurses, CNs)及 16 名麻醉護理師(nurse anesthetists, NAs)進行實

驗，實驗中分別以無噪音（僅工作本身噪音）及流行歌、廣播及音樂（莫札特交響曲第 40 和 41 號“Jupiter”）搭配低(55-60 dB)及高(65-70 dB)兩種聲壓位準探討護理師工作過程中焦慮、心理負荷等之影響，該研究分別以主觀工作量評估技術(Subjective Workload Assessment Technique, SWAT questionnaire)評估心理工作量及以狀態-特質焦慮量表-狀態(State-Trait Anxiety Inventory-State, STAI-S)評估護理人員的情緒反應，研究結果顯示，在噪音環境下的心理工作量及焦慮感受最高，而在莫札特音樂環境下的心理工作量及焦慮感受最低，CNs 的心理工作量在莫札特音樂環境下比噪音下降低了 5.09 分，而 NAs 下降了 6.18 分，CNs 的焦慮感受在莫札特音樂環境下比噪音下下降了 6.58 分，NAs 下降了 5.76 分，而這也可以指出播放音樂可以緩解情緒，而此結論也與 Nargiz Koşucu and Şelimen (2022) 之研究結果呼應，該研究對 214 名患者進行實驗，以評估音樂對冠狀動脈搭橋手術(Coronary Artery Bypass Graft Surgery, CABG)患者焦慮感受之有效性，其研究結果指出播放音樂的實驗組的平均焦慮評分顯著低於對照組，而此也與副交感神經系統的激活有關。

音樂可以透過喚醒情緒影響人的認知能力，Lencioni *et al.* (2022) 之研究以會喚起中性情緒或恐懼情緒的音樂對 10 名帕金森症(Parkinson)的患者及 11 名健康的老年人進行視覺空間記憶表現的測試，其研究結果指出引起恐懼的音樂會造成視覺空間學習表現的下降，而此表明了情緒的狀態會影響學習表現，而在 Madjar *et al.* (2020) 之研究中對注意力不足過動症(attention-deficit/hyperactivity disorder, ADHD)的兒童進行實驗，在無背景音樂、無歌詞的平靜音樂、有歌詞的平靜音樂及有歌詞有節奏的音樂等四種情況下完成閱讀任務，該研究結果指出受者的閱讀理解得分分別為無歌詞的平靜音樂的 3.85 分、有歌詞的平靜音樂為 4.07 分、有歌詞有節奏的音樂為 3.60 分，皆高於無背景音樂的 2.90 分，而在三種背景音樂皆與無背景音樂有顯著差異，表明音樂可以提升閱讀理解的能力。

(二)白噪音對人體之影響

白噪音是一種隨機過程，所有頻率上的能量皆相等，白噪音的「白」意指所有頻率都具有與白光頻譜類似的強度(Sejdić & Lipsitz, 2013)，

Umbas *et al.* (2021)之研究評估白噪音對 12 名學生睡眠品質的影響，該研究以匹茲堡睡眠品質指數問卷(Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI)作為睡眠品質的評估方式，研究結果指出經過白噪音刺激後睡眠品質提升，於白噪音刺激後改善了 24.8%的人的睡眠品質，而 PSQI 問卷的評分也有顯著下降，從白噪音刺激前的 8.50 分降至 6.50 分，而這可能是因為白噪音可以通過掩蓋周圍的聲音而減少背景噪音對人的影響(Stanchina *et al.*, 2005)，Angwin *et al.* (2017)之研究調查白噪音對人新詞學習之影響，其對 80 名受試者進行學習任務的實驗，研究結果顯示白噪音的存在比起安靜的環境可以導致更好的單詞學習表現，此結果也與同作者於 2019 年的研究結果相符，該研究調查 69 名受試者在上下文中學習新詞的表現，並針對識別任務、注意力進行評估，研究結果指出在立即識別任務中，白噪音刺激的組別顯著的高於安靜環境的組別(白噪音=0.67，安靜=0.55)，而這可能是因為白噪音通過感知系統增強了內部的神經噪音，從而提高了認知功能，而白噪音提高認知功能的表現也可以從 Söderlund *et al.* (2016)的研究中發現，該研究對 20 名注意力不足過動症的兒童以 80dB 的白噪音進行實驗，包括單詞記憶、視覺空間工作記憶及口頭 2-back 工作記憶，而白噪音刺激的 ADHD 兒童在單詞記憶、視覺空間工作記憶皆得到改善，在單詞記憶的任務中比起無噪音的組別提升了 1.40 分，而無噪音組別的視覺空間工作記憶為 22.15 分，經白噪音刺激的組別為 33.45 分，而這也表明白噪音對於認知處理的影響。

白噪音對認知處理及注意力的改善可能是因為隨機共振(stochastic resonance, SR)現象引起，當大腦信號傳遞太弱時，隨機共振就會產生並透過增強聲音來放大信號，隨機共振增強了傳輸的信噪比(signal-to-noise ratio, SNR)(Pickens *et al.*, 2019)，而對每個人而言，合理程度的噪音對人有益，過多過少都會造成影響，信噪比與輸入的噪音的關係呈現倒 U 型函數，而隨機共振的表現沿著此倒 U 型函數提高或減弱表現(Manjarrez *et al.*, 2002)，而從 Othman *et al.* (2019)的研究也證實了隨機共振對於工作記憶的影響。白噪音對學習的影響也取決於多巴胺，多巴胺皮質神經支配(Dopamine cortical innervation)的發展與認知能力之間存在密切關係，多巴胺可以調節大腦注意力、認知的功能，而低多巴胺會造成個人的低注意力，因此可以通過外部噪音提高多巴胺的水平來改善注意力低下的問題

(Nicoullon & Coquerel, 2003; Sikström & Söderlund, 2007)。

(三) 噪音對人體之影響

1. 噪音對生心理反應之影響

噪音污染是與空氣污染及水污染並列的世界三大環境問題，噪音的存在對人產生一定程度的健康風險，相關研究已指出噪音會造成心理壓力的增加，並造成煩躁之感受，Kim *et al.* (2022) 之研究探討人在衝擊音下之煩擾度變化，該研究結果指出衝擊音之持續時間、次數及聲壓位準等會影響受試者之主觀感受，煩擾度會隨著衝擊音持續時間、次數及聲壓位準之增加而增加，除了煩躁之感受外噪音也會影響睡眠，導致睡眠中斷之情形(Elmenhorst *et al.*, 2012; Sanok *et al.*, 2022)，強烈的噪音曝露更可能會損害耳朵的毛細胞，並破壞初級聽覺神經元的樹突造成聽力損失，聽力損失一般分為兩種分別是暫時性的聽力損失(temporary threshold shift, TTS)及永久性的聽力損失(permanent threshold shift, PTS)，暫時性的聽力損失會隨著時間逐漸恢復，然而長期的曝露下可能造成永久性的聽力損失，便無法治療(Abdulla, 1998)，因此長期處於高度噪音環境的工人具有較高的風險，楊新明 (2016) 對 89 名鋼鐵工廠的員工進行實驗，研究結果指出聽力損失會隨著受試者年資的提高而有顯著的影響，也證實了長期處於高噪音會導致聽力損失，而處於高度噪音的環境下同時也會對心血管系統造成不良影響，噪音與心血管系統的關聯性是由於慢性壓力，慢性壓力會導致神經系統的活化和兒茶酚胺(catecholamines)、可體松(cortisone)、血管收縮素(angiotensin-II)含量的提高，可能會造成人體的血壓升高、血糖含量增加，而這些現象都與高血壓、動脈硬化及心肌梗塞有關(Babisch, 2003)，Khosravipour *et al.* (2021)之研究對火力發電廠的男員工進行噪音曝露下甲狀腺素含量的變化，甲狀腺素的含量也與心血管疾病的發生有關，應此該研究調查受試者的促甲狀腺激素(Thyroid-stimulating hormone, TSH)、甲狀腺素(Thyroxine, T4)、三碘甲狀腺原氨酸(Triiodothyronine, T3)的含量變化，研究結果指出曝露於噪音下會導致受試者的甲狀腺分泌異常，而這有可能是因為噪音的曝露導致下視丘的興奮影響甲狀腺的功能，而這也與噪音曝露下皮質醇的分泌有關，Jeon and Oh (2022)之研究也證

實了其關聯性，其對 20 名受試者進行道路交通噪音的測試，分別測試在噪音下的心電圖及皮質醇，研究結果指出在實驗的三種音壓級(50、60 及 70db)下心電圖及皮質醇皆有顯著之變化，心率會在噪音曝露的當下有顯著增加而後平穩，而皮質醇也會因為噪音的影響而高於或低於正常的皮質醇分泌，Yang *et al.* (2022)之研究也可以指出噪音曝露下導致的血糖含量改變，該研究對 536 名煙草廠的工人進行實驗，研究結果發現即使是低噪音曝露也會造成血糖含量提高，在 Belojevic *et al.* (2008)的研究中也有相似的結論，該研究對 328 名學齡前兒童進行實驗，調查道路交通噪音對兒童血壓和心率的影響，發現曝露於噪音下的兒童相比處於安靜環境的兒童有更高的心率及高血壓患病率。

2. 噪音對認知處理之影響

注意力是認知的重要組成，幫助人類在大量訊息中進行選擇(Knudsen, 2007)，然而相關研究指出噪音會導致注意力下降，Sanz *et al.* (1993)之研究探討噪音對學生注意力之影響，該研究總共對兩所學校之一年級、三年級及五年級學生進行實驗，其中一所學校所處環境具有較高分貝之交通噪音，而另一所相對安靜，研究結果指出學校位在安靜環境下之學生在注意力測試中得分皆高於學校位在高分貝交通噪音環境下之學生，且處於安靜環境下之三年級學生的注意力測試顯著高於處於嘈雜環境的學生($p < 0.04$)，林彥汝 (2014)之研究也證實噪音對於注意力之負面影響，該研究探討 30 名受試者於不同聲壓位準(50 dB(A)、70dB(A)、90dB(A))及不同頻率(低頻、中頻、中高頻、高頻)下對注意力之影響，研究結果顯示在不同聲壓位準及頻率之噪音曝露後其注意力得分與噪音曝露前相比皆有下降之趨勢，且間斷性或連續性噪音也會造成注意力得分之下降，而注意力的下降可能會導致分心、效率降低，進而導致任務執行困難，Golmohammadi *et al.* (2020) 之研究針對職場噪音曝露對注意力及短期記憶之影響進行實驗，31 名受試者分別在五種噪音條件(安靜條件:54 dB(A)、封閉辦公室 64 dB(A)、開放式辦公室 68 dB(A)、控制室 73 dB(A)和工業工作場所 80 dB(A)) 下進行工作記憶及注意力等兩項測驗，研究結果指出工作記憶受聲壓位準影響，在較高分貝之條件下進行測驗錯誤率會上升，且與安靜條件相比其他四種條件下皆具有較低的注意力得分，該研究

證實注意力下降與低工作表現之關聯性，除此之外注意力下降也會影響閱讀表現，Stansfeld *et al.* (2005)之研究研究針對噪音對兒童認知之影響進行一項跨國研究，其模擬道路及飛機噪音評估 2844 名兒童之學習表現，研究結果顯示曝露於飛機噪音下會促使閱讀理解得分下降，並且在不同國家間的表現皆呈現一致之結果，而 Haines *et al.* (2001)之研究也證實長期處於飛機噪音下與較差的閱讀理解相關，顯示噪音對學習表現負面之影響。

三、 眼球追蹤系統

(一) 眼球運動

1. 眼球運動原理

眼睛為人類五感之一，是獲取外界訊息最主要的來源（郭俊霆等人，2019）。眼睛由眼球壁及透明內容物所構成，眼球壁的外膜是由角膜 (cornea) 和鞏膜 (sclera) 組成，而虹膜 (iris) 位於血管膜 (tunica vasculosa) 上，其中心位置之圓孔即為瞳孔 (pupil)，其功能為調節進入眼睛的光線量，內膜組成份為視網膜 (retina)，其含有大量感光細胞 (photoreceptor cells)；透明內容物包含水樣液 (aqueous humor)、晶體 (lens) 及玻璃體 (vitreous) (Liu *et al.*, 2022)。

其中，視網膜是最為重要之組織，視網膜是一層薄薄的神經組織，能將光轉化為電訊號 (Bertalmío, 2020)，其具有兩種不同類型的光受體分別處理亮度及顏色，亮度由視桿細胞 (rod cell) 負責，大多位於視網膜之外部區域，顏色由視錐細胞 (cone cell) 負責，主要位於中央部位 (Lamkin-Kennard & Popovic, 2019)。

中央窩 (fovea) 是視網膜中主要感受影像的組織，為眼睛中光受體密度最大的部位，因此為了能夠獲得更清楚的畫面，眼球需要不停的轉動使物體能夠投射在中央小窩上，也就是所謂的眼球運動 (林景鴻，2011)。

眼球運動是透過動眼神經 (oculomotor nerve)、滑車神經 (Trochlear nerve) 和外展神經 (abducens nerve) 進行控制，而他們控制位於眼球外圍的

肌肉（眼動神經控制上直肌、下直肌、內直肌及下斜肌；滑車神經控制上斜肌；外展神經控制外直肌）以產生各種的眼球運動(Lal & Truong, 2019)。

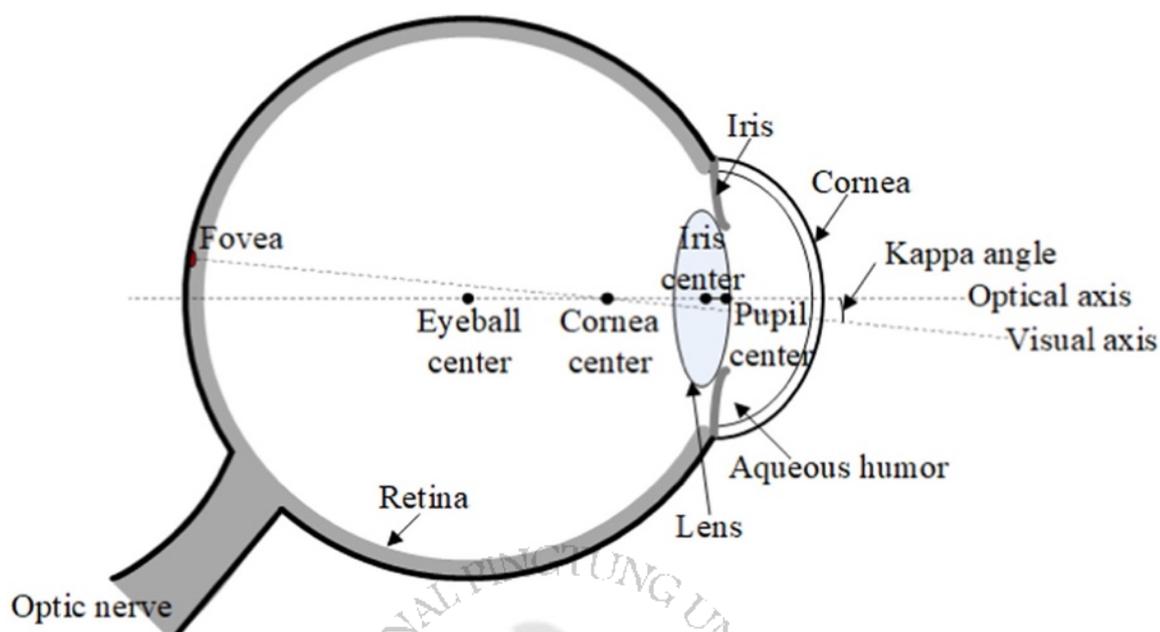


圖 4 眼球構造(Liu *et al.*, 2022)

Fig. 4 eye structure(Liu *et al.*, 2022)

2. 眼球運動參數

眼球運動並非是隨機運動，其與人類的認知系統是緊密結合的，透過眼球運動可以幫助我們了解感興趣的目標，人的眼睛提供了人類的注意力和複雜的訊息處理過程，例如可以通過注視時間長短來判斷注意力的集中與否。一般眼球運動可以區分為凝視保持(gaze holding)及凝視轉移(gaze shifting)，凝視保持為非自主眼球運動，包含平緩追蹤(smooth pursuit)、前庭-動眼反射(vestibular-ocular reflex, VOR)、輻輳作用(vergence)、視動反射(optokinetic reflex, OKR)、及注視(fixation)，而凝視轉移為自主眼球運動，包含跳視(saccade) (Lal & Truong, 2019)，如圖 6 所示。

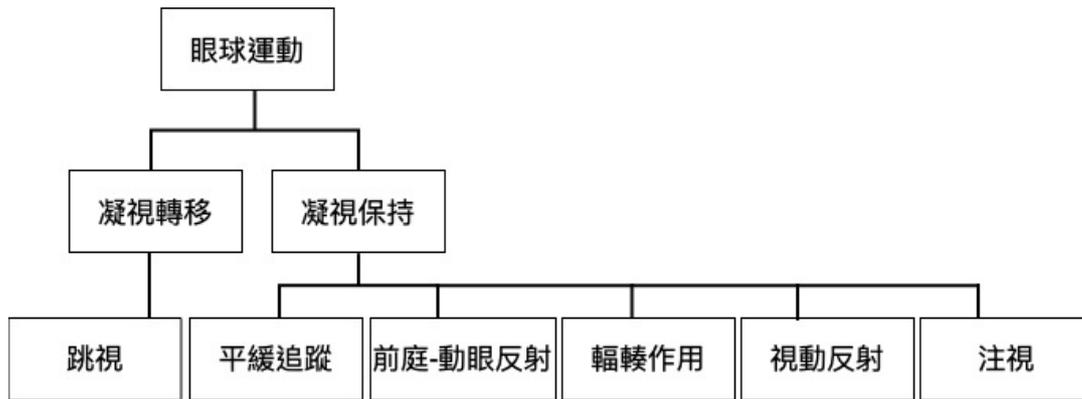


圖 5 眼球運動分類

Fig. 5 Classification of eye movements

- (1) 跳視(Saccade)：跳視是最快速的眼球運動，即眼睛從一個注視點到另一個注視點的移動方式，速度範圍約在 400 到 900 °/s，跳視的距離依作業的類型而有所差異，閱讀英文時約為 7-9 個英文字母，而閱讀中文時平均為 2.5 至 3.3 個單字 (陳學志等人，2010)，跳視可以通過迅速的運動來幫助目標聚焦在中央小窩上，跳視是主動的眼球運動，可以是自主的 (有意識地看書)、反射性的 (朝突然出現的聲音方向望去) (Lal & Truong, 2019)。
- (2) 平緩追蹤(Smooth Pursuit)：平緩追蹤是眼球跟隨著移動的物體，使物體的畫面能夠維持在中央小窩上 (林景鴻，2011)，平緩追蹤可以以 40 °/s 的速度跟隨移動的物體，然而當以較高的速度移動可能會引起跳視的產生(Lal & Truong, 2019)。
- (3) 前庭-動眼反射(Vestibulo-Ocular Reflex, VOR)：當環顧四周時，頭部會隨著眼睛一起移動，為了使物體能夠維持在中央小窩上，頭部及眼球運動應該要協調運作，由於頭部慣性的原因，導致頭部運動較眼球運動來的延遲，因此眼球產生校正的機制，此種校正是通過與頭部運動幅度相等但方向相反的方式進行補償性眼球運動，然而前庭動眼反射僅在較小的跳視幅度發生，當跳視的幅度較大，頭部與眼睛需同方向移動，則需要抑制前庭動眼反射(Lal & Truong, 2019)。
- (4) 視動震盪(Optokinetic Nystagmus, OKN)：視動震盪是眼睛的來回震動，當頭部運動的幅度太大且太快時，視動反應會取代前庭動眼反射，而路徑類似於平滑追蹤，例如坐在行駛的火車上看著車外的樹時，眼睛

會跟著樹平滑移動，直到他消失在視線外後，又經過跳視引導至下一棵樹，重複此循環會引起眼球震盪，其方向與樹木的運動方向相反，以保持視線的穩定(Lal & Truong, 2019)。

- (5) 凝視(Fixation)：凝視為注視靜止物體的眼球運動，然而凝視並非完全靜止不動，仍會伴隨震顫(tremor)及微跳視(microsaccade)等眼球運動，原因是為了使物體的畫面能夠精準投射在中央小窩上(林景鴻, 2011)，眼球在凝視的過程下才能進行認知處理(陳學志等人, 2010)。
- (6) 輻輳作用(Vergence)：輻輳作用的目的是在於使大腦獲得立體的知覺(陳學志等人, 2010)，眼球在進行移動時通常都會往同一方向，然而當眼睛聚焦在很近的物體上時眼球會向內聚集，聚焦在很遠的物體時眼球則會向外發散。

(二) 眼球追蹤系統之原理

眼球追蹤系統是一套可用於記錄人們視線軌跡的儀器，可藉由觀察眼球運動，量化訊息供後續相關應用(吳家豪, 2016)。眼球追蹤系統依據設計原理的不同可以將其分為侵入式眼球追蹤系統及非侵入式眼球追蹤系統，而侵入式眼球追蹤系統較早被發明出來，世界上第一台眼球追蹤系統為 Edmund Huey 於 1908 年製作的，透過將裝置連結到受試者眼睛或是頭部，並運用電極配置與電位差判斷出受試者的眼球運動(姚子健, 2021)，但因為是侵入式的設計，會觸碰到受試者使其產生不適之感受，因此後來逐漸改用非侵入式眼球追蹤系統取代傳統侵入式眼球追蹤系統。

第一台的非侵入式眼球追蹤系統為 Guy Thomas Buswell 於 1922 年所發明(唐唯傑, 2016)，非侵入式眼球追蹤系統為非接觸式儀器故不會觸碰到受試者，降低儀器產生之不適感，其依使用方式可大致分為桌上型及穿戴型，非侵入式眼球追蹤系統主要是藉由眼球構造的不同進行眼球運動的判讀，以瞳孔中心及角膜反射點作為主要計算的方式，原理是因為瞳孔及角膜對於近紅外線的反射率不同，故眼球追蹤系統本身會發射出近紅外線，當近紅外線打在瞳孔時，因為其反射率低不會將近紅外線反射，而角膜幾乎能將近紅外線完全反射，再藉由儀器透過瞳孔及角膜的反射角度進行眼球位置的計算，即可了解眼球視線的落點，在通過與其他反射的

位置進行整合即可得到如視線軌跡、跳視距離等的數值（林景鴻，2011；吳家豪，2016；姚子健，2021），眼球追蹤系統使用之近紅外線大多數波長皆在 880 nm，人眼並無法辨別，故不會有影響視線之影響存在，本研究使用的儀器為 tobii glasses 2，係採用瞳孔角膜反射技術(Pupil Centre Corneal Reflection, PCCR)的改進版本，近紅外線在受試者瞳孔及角膜上產生反射圖案，並利用兩個圖像傳感器捕捉眼睛的畫面及反射圖案，然後透過演算法來估算眼球在空間的位置及注視點，如圖 7 所示。

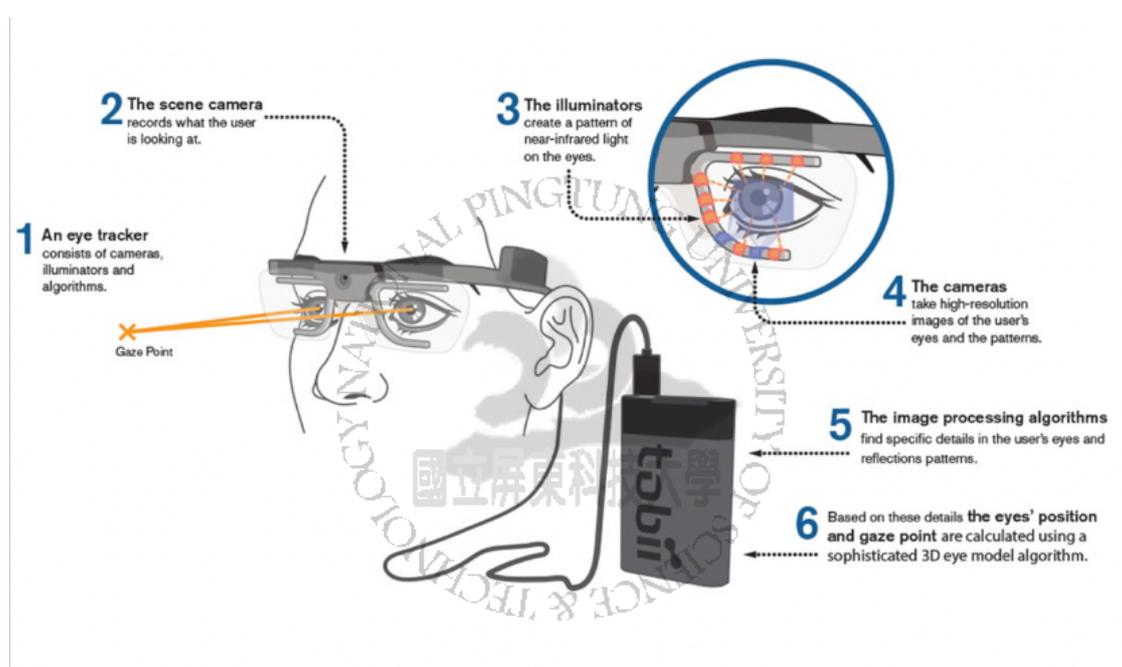


圖 6 眼球追蹤系統介紹

Fig. 6 Introduction to Eye Tracking System

(三) 相關應用

眼睛是連結大腦與外界資訊的橋樑，透過眼睛的視線等可以瞭解人的認知等的過程，眼球追蹤系統是透過發射光源並以鏡頭捕捉眼球產生的反射，藉此計算出眼球的動向（郭俊霆等人，2019），而透過感興趣區間 (Area of Interest, AOI) 之設定，可以瞭解受試者在實驗中的注意力分佈，且由於改興趣區間的劃分具有彈性，因此可根據實驗之需求，而更改感興趣區間的設定（姚子健，2021），感興趣區間示意圖如圖 8 所示。本小節

彙整眼球追蹤系統之相關應用，將其依類型區分為以下三類進行說明。

Position of the AOIs used for the intra-paragraph condition:

Une fois l'eau d'érable récoltée, il est nécessaire de passer à une seconde étape : l'évaporation. C'est uniquement après l'évaporation que l'eau
AOI 1
devient plus consistante et donne naissance au sirop d'érable. On fait bouillir l'eau d'érable dans un évaporateur, souvent appelé champion.

AOI 2
Pour obtenir un litre de sirop, il est nécessaire de collecter entre 35 et 40 litres d'eau d'érable, il y a donc beaucoup de perte par évaporation.

L'évaporateur était traditionnellement chauffé au bois, mais dans certaines installations modernes on utilise du charbon ou de l'électricité.

Dans la pratique industrielle, un filtrage permet une première étape de concentration pour une dépense énergétique moindre.

Position of the AOI used for the inter-paragraph condition:

AOI 3
Une fois l'eau d'érable récoltée, il est nécessaire de passer à une seconde étape : l'évaporation. C'est uniquement après l'évaporation que l'eau
devient plus consistante et donne naissance au sirop d'érable. On fait bouillir l'eau d'érable dans un évaporateur, souvent appelé champion.

Pour obtenir un litre de sirop, il est nécessaire de collecter entre 35 et 40 litres d'eau d'érable, il y a donc beaucoup de perte par évaporation.

圖 7 感興趣區間示意圖(Chevet *et al.*, 2022)

Fig. 7 Schematic diagram of the AOI(Chevet *et al.*, 2022)

1. 應用眼球追蹤系統探討商業行銷之相關研究

消費者在購物過程中會透過瀏覽商品資訊或商品照等來做出購物決定，而透過眼球追蹤系統的使用可以幫助賣家瞭解消費者在購物時、觀看廣告等的視覺行為，並針對此結果做出改進以提升銷量，Lombard (2022) 之研究以眼球追蹤系統評估 307 名受試者對於牛肉價格標籤上資訊的偏好，其以凝視百分比(Percentage fixated)評估受試者在標籤上最關注的部分，研究結果指出最受到受試者關注的是包裝價格(51%)，其次為屠宰場名稱(44%)和肉的分類(42%)，而最不受到受試者關注的分別為條碼(7%)、包裝日期(16%)及保存期限(21%)，此結果呈現了受試者關注的資訊，提供商家更改價格標籤的依據；Benn *et al.* (2015) 之研究也以凝視百分比作為判斷依據，其以眼球追蹤系統探討 40 名受試者在網路購物時的行為，研究結果指出受試者在尋找產品時主要是透過點選分類的方式前往產品頁面，有 53.17%的凝視是在點選分類上發生的，其次是透過搜索的方式前往產品頁面，有 30.83%的凝視是在搜索產品上發生，該研究也證實眼球

追蹤系統在量化瀏覽行為的可行性；Ho (2014) 之研究透過眼球追蹤系統分析33名女性受試者在觀看74張隨機的手提袋產品圖片時之關注項目，其在手提袋產品圖片上各部件畫上感興趣區間，如圖9，研究以首次凝視 (first fixation, LFF)表示受試者在各個感興趣區間受吸引的順序，受試者的首次凝視顯示主體的部分比其他部分能夠更快地吸引注意力，而從首次凝視時間(The duration of first fixation, DFF)中可以看出主體(131.42 毫秒)及特色區域(141.42 毫秒)為受試者關注度最高的兩個部分，而通過該研究可以瞭解受試者觀察手提袋的方式，並給予視覺藝術或網頁設計師設計時的參考。

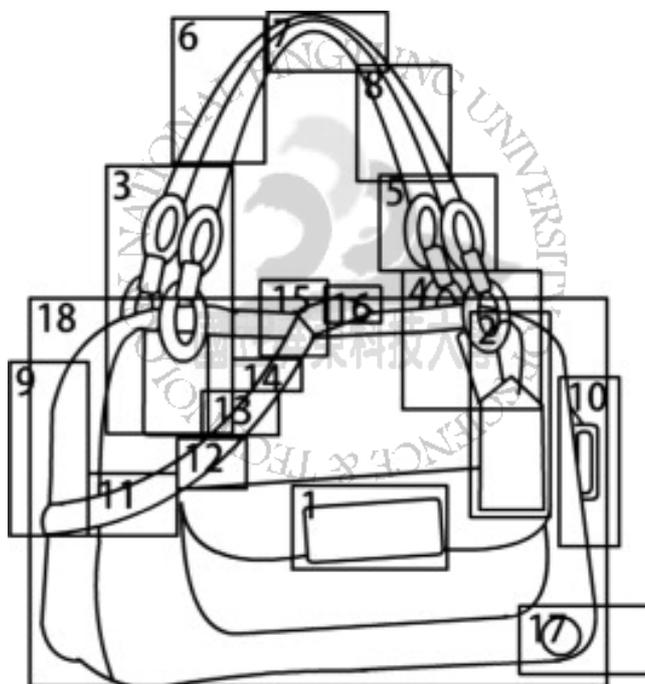


圖 8 手提袋產品圖片上之感興趣區間(Ho, 2014)

Fig. 8 AOI on product images of handbags (Ho, 2014)

2. 應用眼球追蹤系統探討人體疲勞之相關研究

眼睛作為接受外界資訊最主要來源，其參與人類在執行任務等的過程，與大腦活動的變化密切相關，相關文獻指出眼球追蹤系統用於評估疲勞、分心等的眼球運動變化，Le *et al.* (2020)之研究透過眼球追蹤系統評估 9

名受試者在模擬駕駛任務時認知干擾的有無對於駕駛者分心的影響，透過前庭-動眼反射和視動反射結合的模組中顯示與無精神負荷的情況相比，具有精神負荷下的眼球運動變得異常，此結果也反映出駕駛員認知分心之情形；Li *et al.* (2020)之研究為評估機械操作人員之精神疲勞，以眼球追蹤系統作為客觀方法，評估 6 名受試者在模擬挖土機時的精神狀態，研究結果指出隨著精神疲勞等級（1 級最低，3 級最高）的提升凝視分佈、瞳孔直徑及眨眼率會隨之發生改變，當精神疲勞等級為 1 級時，凝視分佈(Gaze Distribution, GD)均值為 0.598，瞳孔直徑(Pupil Diameter, PD) 均值為 0.568，眨眼率(Blink Rate, BR) 均值為 0.451，而當精神疲勞等級提升至 3 級時，凝視分佈均值降低至 0.448，瞳孔直徑均值降低至 0.424，而眨眼率均值上升至 0.859，該研究應證了眼球追蹤系統應用於評估精神疲勞之可行性，Bitkina *et al.* (2021) 之研究也表明凝視點、瞳孔直徑等與駕駛者身心狀況的關聯性，該研究指出一個人的情緒與瞳孔直徑及眼球肌肉有關，因此當精神負荷較大時可能會引起強烈的眼球反應。

3. 應用眼球追蹤系統探討閱讀能力之相關研究

閱讀為生活中極為重要的一項能力，學習、工作等都離不開閱讀的範疇，目前國內外眼球追蹤系統已被應用在語言學習、閱讀理解、字體差異及個體差異等(Loberg *et al.*, 2019; Minakata & Beier, 2021; Parker *et al.*, 2019; Yi & DeKeyser, 2022)，透過眼球追蹤系統可以觀察到閱讀時人類眼球的運動，其顯示出閱讀者在獲得訊息的差異，除此之外眼球運動也可以反映出個體內在的心智運作或情緒變化等（唐大崙、張文瑜，2007）。

眼球運動之參數如凝視時間、凝視次數等已在多篇探討閱讀表現之研究中被應用，Huang *et al.* (2022)之研究探討首次凝視時間(first fixation duration, FFD)與閱讀理解、工作記憶之間的關係，其評估 48 名受試者在學習不熟悉第二語言時之表現，研究結果指出受試者面對不熟悉單字時的首次凝視時間與閱讀理解呈現負相關($r = -0.3737, p = .0329$)，而首次凝視時間也與工作記憶得分呈現負相關($r = -0.6723, p = .0001$)，亦即當受試者面對不熟悉單字時所花費時間越少（首次凝視時間越低）其閱讀表現越好；De Luca *et al.* (1999) 之研究評估患有閱讀障礙之受試者與健康之對

照組閱讀時之眼球運動差異，研究結果指出患有閱讀障礙之受試者在閱讀短文時向右跳視次數（16.6 次）明顯多於健康之對照組（7.4 次），且患有閱讀障礙之受試者向右跳視幅度（ 1.2° ）也小於對照組（ 2.7° ），這可能是由於正常讀者經常會跳過較短的詞語而患有閱讀障礙之讀者很少有此種行為；Tiffin-Richards and Schroeder (2015) 之研究以眼球追蹤系統評估了兒童與成年人在閱讀過程之眼球運動，研究結果指出兒童在每一句的凝視次數（16.91 次）高於成年人（7.14 次），且凝視時間（333 毫秒）也比成年人（210 毫秒）更長，也表示成年人相比兒童有較好的閱讀表現；林景鴻 (2011) 之研究以凝視時間及跳視次數評估不同照明環境下對工作效率（數學運算能力、注意力得分）之影響，研究結果指出凝視時間與數學運算能力具有相關性，當得分越高時凝視時間越低，反之當得分越低時其凝視時間越高，而跳視次數與注意力也具有一致性表現，當注意力得分越高時有較高的跳視次數。

四、 心理感受評價方法

(一)環境因子與心理感受反應之關係

人類的感知同時受到多種環境因素的刺激，包括溫度、光線、空氣及音環境等，而這些環境因素會造成人類生心理不同程度的影響(Sun *et al.*, 2020)，Frontczak *et al.* (2012)之研究指出室內環境因子（聲學、熱條件以及空氣質量等）是決定舒適度的最重要參數，Tang *et al.* (2022) 之研究也證實室內環境對於居住者的影響，該研究評估 48 名受試者於不同室內環境條件下之感覺及滿意度，研究結果指出受試者對於不同熱環境（ 25°C 、 27°C 、 29°C ）之滿意度會隨溫度提升而下降，而在不同聲環境（40 dB、45 dB、50 dB）中受試者對環境的滿意度也會隨聲壓位準上升而下降，綜合上述研究，確立外界的環境刺激會影響人類之心理感受，本研究係探討於五種不同音環境（無噪音環境、施工噪音、白噪音、樓板衝擊音及悅音）下閱讀，並利用心理感受評價方式，以瞭解音環境改變對人體心理感受之影響。

(二)心理感受評價方法

為探討音環境改變對心理感受造成之影響，本研究彙整國內外相關研究以瞭解不同之心理感受評價方法。Yang *et al.* (2023) 之研究為探討建築噪音對工人造成之影響，故其使用五點李克特量表 (Likert Scale) (1=從不~5=經常) 評估工人情緒，Ayoko *et al.* (2023) 之研究為探討辦公室噪音對員工噪音之影響，故其以 7 點量表 (1=完全沒有~7=非常) 評估員工之負面影響，劉建志 (2012) 之研究為探討室內噪音對心理感受造成之影響，故其以語意分析法(semantic differential method)進行心理感受之評價，本研究經評估國內外相關研究，以語意分析法作為本研究之心理感受評價方法，因其能給予受試者較為明確之判斷依據，故以下彙整語意分析法相關之研究，針對優點、操作步驟等進行說明。

語意分析法為 Charles Egerton Osgood 教授在 1957 年 *The Measurement of Meaning* 一書中提到的概念，以李克特量表作為基礎的評價方法，其定量測量主觀意義之方法是藉由讓受試者在具有兩個相反意義的描述性形容詞對中選擇並評分，描述性形容詞對的選擇對於語意分析法的準確性至關重要，並非所有形容詞對皆會使受試者產生一致地理解，故語義較難理解、不常使用之形容詞或是無法找到相反意義之形容詞不適合使用在語意分析法中，透過合理的形容詞對選擇可以促進受者在不同對象中的比較(Ma *et al.*, 2018)，以下進行語意分析法之優點、操作步驟及原則說明。

1. 優點

本研究彙整國內外相關文獻研究，列出以下語意分析法應用上之優點：

- (1) 實驗進行容易，參與者也易理解操作方法。
- (2) 評價方法客觀，具有較高的可信度及有效性。
- (3) 提供一套用於量化主觀評估（如：情緒）的方法。
- (4) 只需使用兩極化形容詞進行評價，無需使用過多詞彙及語句。

2. 操作步驟

本研究依林景鴻 (2011)、Ma *et al.* (2018)之研究，將語意分析法之操作步驟分為以下流程進行：

(1) 確立研究主題並設定探討因子

依據欲探討之項目進行研究主題的訂定，如本研究主題為探討不同音環境下對閱讀期間心理感受之影響，針對主題選擇欲探討因子，本研究之探討因子為不同聲音條件，包括噪音及悅音對人體感知之影響。

(2) 選擇受試者

依據要研究之主題，訂定目標之受試者，可以透過非概率抽樣方式取得受試者進行研究。

(3) 搜集形容詞對

依據設定之研究主題及探討因子，選擇與之相關之形容詞對，如愉悅/生氣。

(4) 設定評估表

決定形容詞區間所需要區分的尺度，尺度以奇數為主，可區分為 5 點、7 點、9 點及 11 點，以 5 等級距之尺度為例，中央設定為 0 表示普通，而往右為正向形容詞，分別以 1、2 標示，往左則為負面形容詞，以 -1、-2 表示，如圖 9 所示。

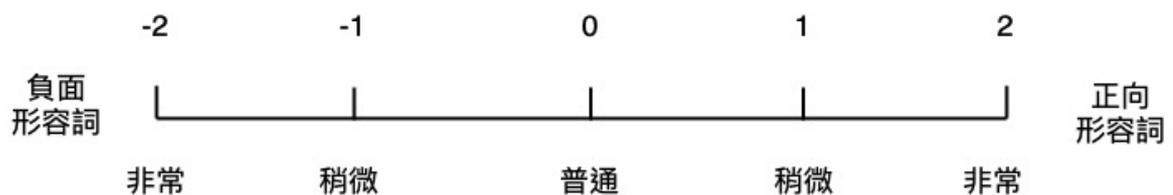


圖 9 語意分析法尺度示意圖

Fig. 9 Schematic diagram of the scale of semantic differential method

(5) 開始實驗

實驗開始，並於設定之時間進行心理評價問卷的填寫。

3. 原則

本研究彙整國內外相關文獻研究，列出以下操作原則：

- (1) 每個探討因子均須個別填寫一份完整問卷，如本研究評估受試者於五種音環境下之心理感受，一種音環境需填寫一份問卷，故共需五份。
- (2) 依各因子下之直接感受進行填寫，無需過多考慮。
- (3) 填寫問卷過程勿與他人進行討論，以避免造成干擾。



參、 研究方法

本研究探討不同室內音環境對人體反應之影響，針對此主題進行更深入探討研究之項目，搜集相關文獻並設定實驗之條件，詳細之研究流程及步驟如圖 10 所示。

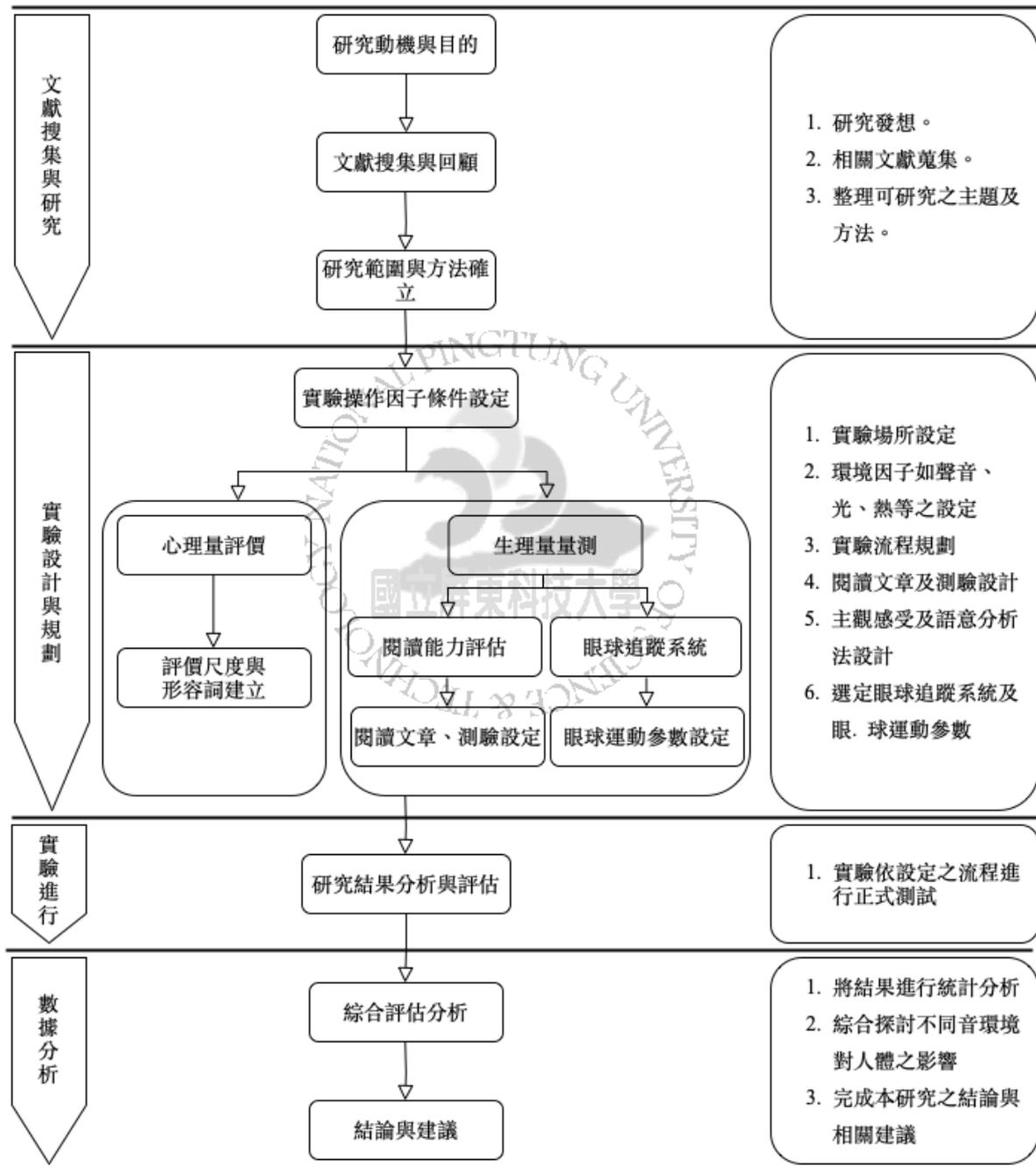


圖 10 研究流程圖

Fig. 10 Flow chart for research work

本研究共招募 31 名年齡範圍在 20-25 歲之男女進行實驗，選定條件為無聽力、視力及心血管相關疾病，且本研究欲評估受試者閱讀之能力表現因此受試者須無閱讀障礙等影響閱讀之相關疾病，受試者皆為屏東科技大學之大專生及研究生，均以中文作為母語使用，本研究依據受試者於基本資料表（附錄一）中填寫之性別、年齡、學歷、系所、居住環境、住宅類型及噪音敏感度進行分類，如表 3 所示。實驗中使用之閱讀文本及閱讀理解測驗皆為食材之料理知識及製作流程，故系所之區分以是否為食品、餐飲相關科系進行區分，其他系所如木材科學與設計系、生物機電工程系及車輛工程系等皆分類在非相關科系。

受試者於實驗開始前須先填寫噪音敏感度量表（附錄二），噪音敏感度之評估參考 Jeong and Lee (2018) 之研究，噪音敏感度量表取得之得分用以區分受試者之噪音敏感度，本研究將其分為敏感及不敏感，區分方式以受試者得分之平均值作為判斷，本次研究之噪音敏感度得分平均值為 71.45，故得分大於 71.45 定義為噪音敏感，反之小於 71.45 定義為不敏感。

本研究已申請通過國立成功大學人類研究倫理審查委員會審查，案件編號為 111-486（附錄三），並根據受試者知情同意，在實驗前均告知受試者實驗之目的、步驟、流程、可能風險及實驗中搜集數據之利用方式等，徵得受試者之同意，並簽署實驗研究參與同意書（附錄四），而依據人類研究倫理審查計畫書之內容，本研究之結果呈現不會透露出參與者之姓名、學號等可辨識出個人之資訊，且所搜集之紙本資料、個人資訊及實驗數據皆會保存於研究室及研究室提供之硬碟，該硬碟內之資料會保存至研究結束後 3 年，期滿後將資料銷毀刪除，期間此次研究所搜集之資訊及數據僅研究執行人員及指導老師可使用，故不會有除上述人員外之其他人進行利用。

表 3 受試者(n = 31)之特徵統計

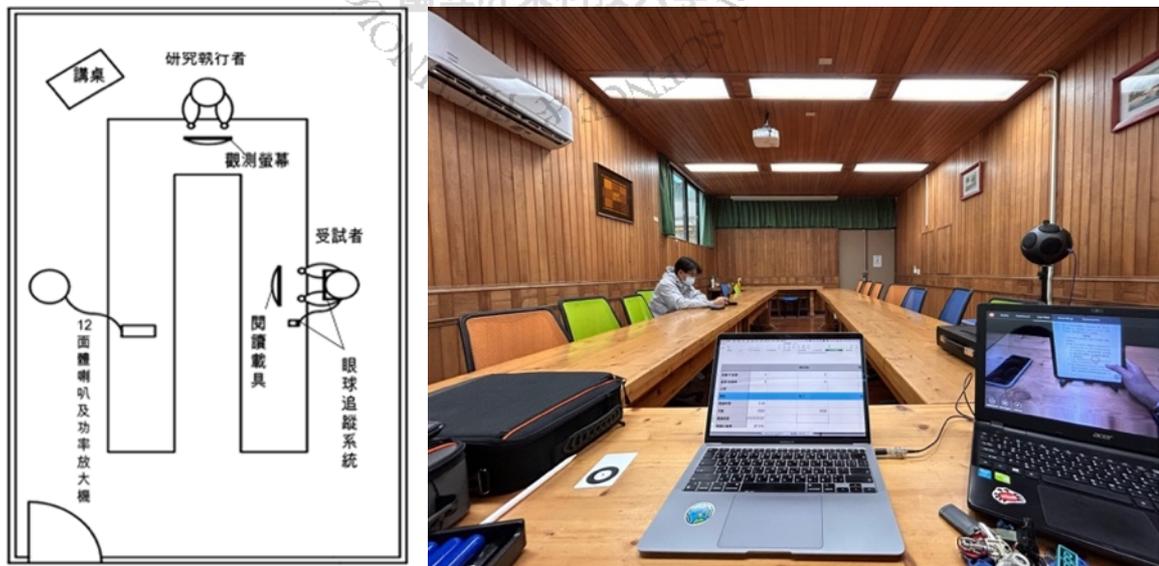
Table 3. Characteristic Statistics of Subjects (n = 31)

	項目	人數(n)	百分比(%)
性別	男	16	51.61
	女	15	48.39
	合計	31	100
年齡	20	6	19.35
	21	6	19.35
	22	5	16.13
	23	4	12.90
	24	5	16.13
	25	5	16.13
	合計	31	100
學歷	研究生	11	35.48
	大專生	20	64.52
	合計	31	100
系所	相關科系	10	35.48
	非相關科系	21	64.52
	合計	31	100
居住環境	都市	19	61.29
	鄉下	12	38.71
	合計	31	100
住宅類型	大樓	16	51.61
	透天	15	48.39
	合計	31	100
噪音敏感度	高	16	51.61
	低	15	48.39
	合計	31	100

一、 實驗條件設定

本研究選擇本校木材科學與設計系 RE149 教室進行實驗，該空間之室容積為 128.7 m^3 ，為提供良好之實驗環境，確保受試者處於舒適狀態下進行閱讀，故於實驗進行過程中調控該空間之氣候條件，室內溫度上透過冷氣設備將空間溫度設定在 25 ± 1 度，而在濕度控制上參考 Jin *et al.* (2017) 的研究，將濕度限制在 70% 以下，桌面照度經測量均值在 700 Lx，如表 4 所示。

本研究旨在評估不同音環境對於人體反應的影響，故實驗中分別設定不同之背景音環境，包括無噪音環境、白色噪音、施工噪音、樓板衝擊音以及悅音環境，無噪音環境即為背景音環境，以 BSWA 308 Sound Level Meters (BSWA Technology Co., Ltd.) 進行聲壓位準測量，測得之均值為 $50 \pm 5 \text{ dB(A)}$ ，除無噪音環境（背景環境）外，其餘音環境條件以 12 面體喇叭搭配功率放大機進行播放，均能音量控制在 $70 \pm 5 \text{ dB(A)}$ 之範圍內。本研究實驗環境條件設定如圖 11 所示，相關儀器使用如表 5、6 所示。



a. 實驗儀器設備配置位置

b. 執行人員監測

圖 11 本研究實驗環境場域

Fig. 11 The experimental environment field of this study

表 4 實驗空間氣候條件設定

Table 4. Experimental Space Climate Conditions Setting

項目	條件
溫度	25±1 度
濕度	70%以下
照度	700 Lx

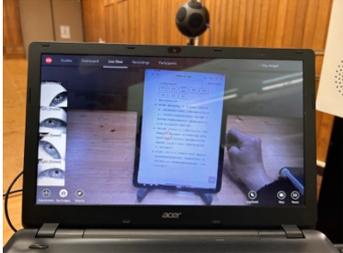
表 5 實驗儀器 (一)

Table 5. Experimental Instruments (1)

實驗儀器	廠牌	說明	儀器照片
照度計	Konica Minolta	桌面照度測量。	
分貝計	BSWA	量測環境背景噪音 及實驗音量測定。	
眼球追蹤系統	Tobii	記錄受試者閱讀時 之眼球運動。	
閱讀螢幕	Apple	作為受試者閱讀文 章之使用。	

表 6 實驗儀器 (二)

Table 6. Experimental Instruments (2)

實驗儀器	廠牌	說明	儀器照片
筆記型電腦(1)	acer	操作眼球追蹤系統之校正、紀錄等。	
筆記型電腦(2)	Apple	用以填寫基本資料表及問卷等資料。	
12 面體喇叭	SINUS	播放本研究設定之聲音。	
功率放大機	SINUS	調整音訊之聲壓位準，並將其傳至 12 面體喇叭。	

二、 眼球追蹤系統分析

本研究欲藉由眼球追蹤系統觀察紀錄並分析受試者在不同音環境條件下閱讀文章之眼球運動軌跡與動態行為，故本小節分別說明眼球追蹤系統之設備、操作流程及眼球運動參數。

(一) 眼球追蹤系統之設備

本研究所使用之設備為 Tobii pro glasses 2，如圖 12，為穿戴型非侵入式眼球追蹤系統，採用瞳孔角膜反射技術，透過紅外線在受試者瞳孔及角膜上產生反射圖案，並利用兩個圖像傳感器捕捉眼睛的畫面及反射圖案，接著藉由演算方式來獲取眼球的相對位置，實驗過程中之採樣率設定為 50 Hz。

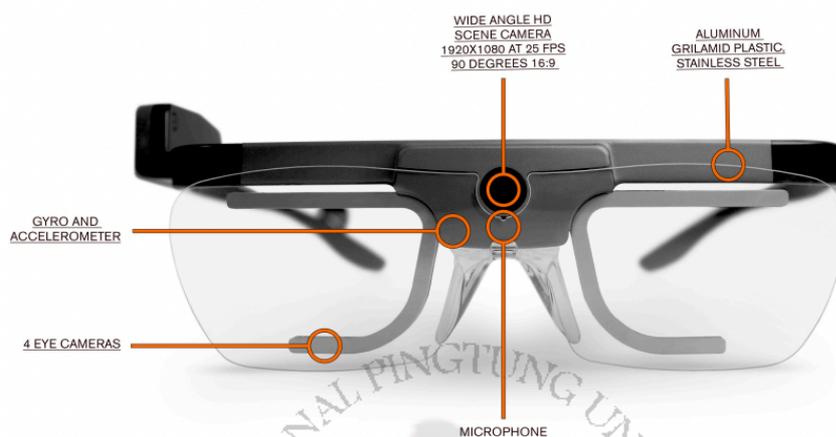


圖 12 Tobii pro glasses 2 介紹

Fig. 12 Introduction of Tobii glasses 2

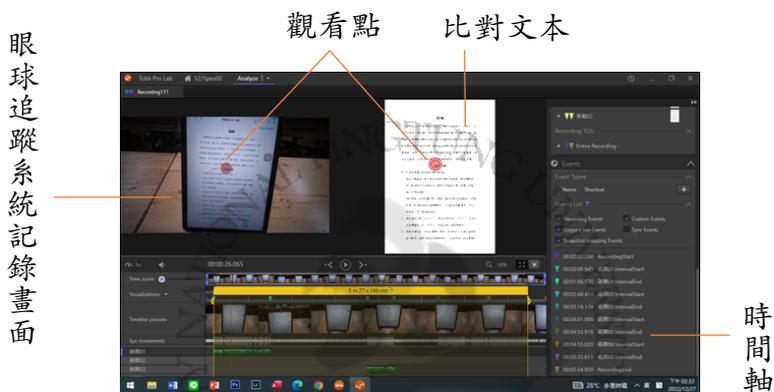
(二) 眼球追蹤系統之實驗流程

實驗流程為受試者就位後，由研究執行人員協助受試者穿戴眼球追蹤系統，並將連結之接受器放置於不干擾實驗進行之位置，完成上述動作後將眼球追蹤系統與電腦設備連線，確認無誤後以 Tobii pro glasses controller 軟體進行設備之校正及操作，Tobii pro glasses 2 為 1 點式校准，需於距離受試者 80 至 120 公分之距離使用搭配之校正卡，進行校正之動作。

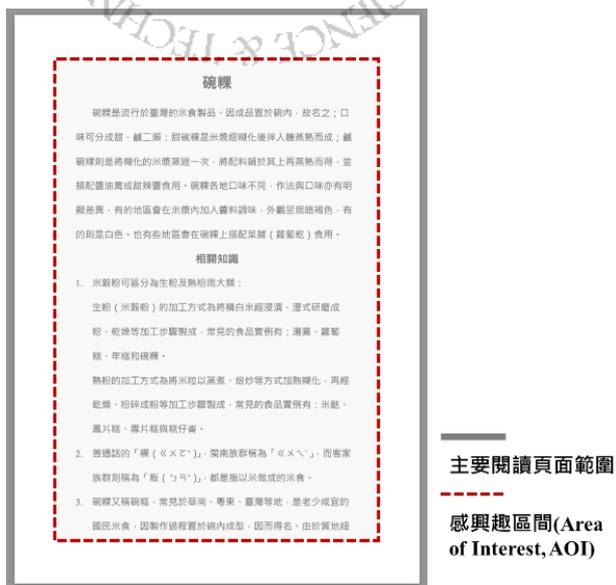
實驗開始後眼球追蹤系統會搜集受試者在閱讀過程中之所有眼球運動，在結束後透過 Tobii pro lab 軟體針對眼球追蹤系統記錄之畫面進行觀看點的比對，並根據劃分之感興趣區間計算凝視、跳視等之眼球運動參數，實驗相關軟體畫面介紹如圖 13 所示。



a. Tobii pro glasses controller 畫面介紹



b. Tobii pro lab 畫面介紹



c. 本研究感興趣區間範圍設定

圖 13 相關軟體介紹

Fig. 13 Related software introduction

(三) 眼球運動參數

本研究主要以眼球追蹤系統評估受試者於不同音環境下閱讀之影響，眼球運動有多項參數可用於判斷音環境改變對閱讀產生之影響，本研究經彙整國內外相關文獻，以以下幾項作為本次研究所使用之評價指標，詳細說明如下所述：

1. 總凝視時間比值：在感興趣區間內的凝視時間總和，在本研究中取總凝視時間與閱讀文章過程所花費時間進行相除而獲得之比值，如公式 1。
2. 平均凝視時間：在感興趣區間內的總凝視時間除以凝視次數的值，單位以毫秒(Milliseconds, ms)表示。
3. 凝視次數比值：在感興趣區間內發生的凝視次數，在本研究中將凝視次數除以總字數，取得平均比值，如公式 2。
4. 平均跳視幅度：在感興趣區間內所有跳視的平均幅度，單位以度(Degrees)表示。
5. 平均跳視速度：在感興趣區間內所有跳視的平均峰值速度，單位以度/秒(Degrees/second)表示。
6. 眼球運動軌跡圖：凝視軌跡圖將凝視點的順序及位置標注在圖上，點的大小表示凝視持續的時間。

$$\text{總凝視時間比值} = \frac{\text{總凝視時間}}{\text{總閱讀時間}} \quad (1)$$

$$\text{凝視次數比值} = \frac{\text{凝視次數}}{\text{文章字數}} \quad (2)$$

三、 語意分析法之設定

在文獻探討中已針對語意分析法之優缺點及操作步驟等進行相關文獻蒐集，故本小節主要以訂定用於評價之形容詞對及尺度劃分作為主要項目，本研究欲探討音環境改變對於受試者心理感受之影響，因此藉由語意分析法以問卷方式瞭解受試者之心理評價，並可作為與閱讀效率、眼球運動等分析比較之依據。

本研究應用之評價形容詞對主要參考吳建志 (2006)之研究,訂定六種形容詞對,分別為舒適程度、輕鬆感、心情愉悅程度、覺醒程度、困擾感及疲倦感等六項,說明如下,尺度劃分上以 5 階段作為本次研究之評價尺度,即中間為 0,向右為 1、2,向左為-1、-2,本研究之心理問卷如附錄五所示。

1. 舒適感：為評估在不同音環境下閱讀文章的舒適感，所採用的形容詞分別為感覺舒適及感覺不舒適。
2. 輕鬆感：為評估在不同音環境下閱讀文章的輕鬆感，所採用的形容詞分別為感覺放鬆及感覺緊張。
3. 愉悅感：為評估在不同音環境下閱讀文章的心情程度，所採用的形容詞分別為感覺愉悅及感覺生氣。
4. 覺醒程度：為評估在不同音環境下閱讀文章的覺醒程度，所採用的形容詞分別為感覺清醒的及感覺昏睡的。
5. 困擾感：為評估在不同音環境下閱讀文章的困擾感，所採用的形容詞分別為感覺很困擾及感覺不困擾。
6. 疲倦感：為評估在不同音環境下閱讀文章的疲倦感，所採用的形容詞分別為感覺有精神及感覺疲倦的。

四、 閱讀表現之量測

本研究欲瞭解受試者在不同音環境下閱讀對於其閱讀表現之影響，因此本研究以文章閱讀方式進行實驗，且以 iPad 作為閱讀載具，文章來源選自台科大圖書出版之食品加工實習（上）、（下）兩冊，共五篇如表 7 所示，文章字體設定為 word 14 號黑色，中文字型為標楷體，英文為 Times New Roman，行距採單行間距，閱讀測驗之題目為上述文章之課後測驗，題目共八題，全部皆為選擇題。

本研究分別評估受試者之閱讀效率及閱讀理解，在閱讀效率上參考劉建志 (2012)之研究，以實際作業量與花費時間進行相除，獲得之值即為閱讀效率，如公式 3，並以此作為受試者之閱讀效率，而在閱讀理解上參考 Liu *et al.* (2017) 之研究，以閱讀文章後施作閱讀測驗，來判斷其閱讀理解，如公式 4。

$$\text{閱讀效率} = \frac{\text{文章字數}}{\text{總閱讀時間}} \quad (3)$$

$$\text{閱讀理解(\%)} = \frac{\text{正答題目數}}{\text{題目數}} \times 100\% \quad (4)$$

表 7 閱讀文章說明

Table 7. read article description

標題	文章一	文章二	文章三	文章四	文章五
頁數	6 頁				
字數	2384	2032	1999	2345	2202

五、 實驗操作流程

本研究為探討不同音環境下之人體反應，故招募之受試者在實驗進行前均需要有充足之睡眠以避免過度疲勞，且勿有酗酒等行為導致影響實驗之結果。

實驗開始前之準備階段，受試者進入實驗空間並就定位後，先填寫個人基本資料表及噪音敏感度量表，並於研究執行人員說明完實驗相關事宜後簽署實驗研究參與同意書，即可進入眼球追蹤系統之校正，校正後即可進行實驗。

實驗開始後依照圖 14 所示，依順序分別在無噪音環境、白色噪音、施工噪音、樓板衝擊音以及悅音環境等五種不同音環境下閱讀一篇文章，閱讀後填寫主觀心理評價問卷及施作閱讀測驗，完成後休息 10 分鐘，再接續下一篇測試。

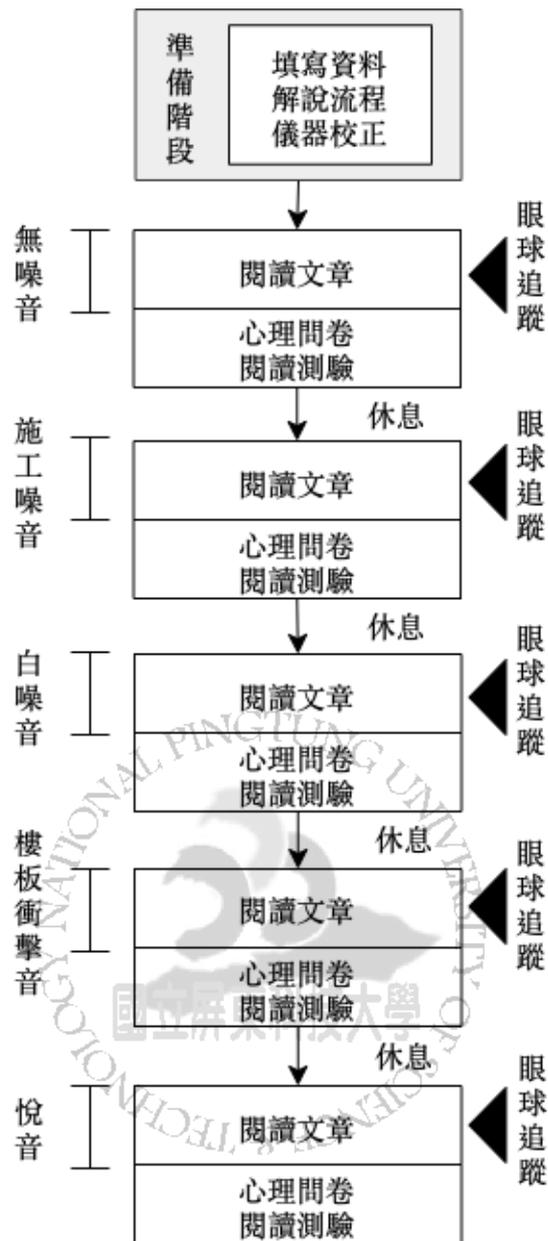


圖 14 實驗流程圖

Fig. 14 Experiment flow chart

六、 資料分析

本研究以重複試驗雙因子變異數分析(Two-way ANOVA)用於分析受試者背景條件差異和不同音環境對人體反應之影響，並瞭解兩者之間是否有交互作用產生。

肆、 結果與討論

本章節主要為探討受試者處於不同室內音環境下閱讀對生理、心理及閱讀表現之影響，故以音環境改變作為實驗變因，分為無噪音環境、施工噪音、白噪音、樓板衝擊音及悅音環境等五種組別進行實驗，每一組別分別配戴眼球追蹤系統進行閱讀，於文章閱讀完後施作閱讀理解測驗，並填寫心理感受量表，結束後休息 10 分鐘，再進行下一組實驗。本次實驗對象皆為目前就讀於本校之研究生及大專生，總共 31 名受試者（16 位男性 15 位女性）。

本章節總共分為四節進行討論，首先於第一節評估受試者於不同音環境下閱讀對眼球運動之影響，並探討其應用於建築聲學之可行性，其次於第二節評估音環境改變對閱讀表現之干擾，接著於第三節探討心理感受之變化，最後則針對生理、心理及閱讀表現等之影響進行綜合分析，並探討其關連性。

一、 不同音環境對眼球運動之影響

(一)不同音環境對眼球運動之影響

本小節主要探討受試者於不同音環境下閱讀對眼球運動之影響，透過評估眼球運動之變化，瞭解音環境改變對受試者之影響，故本研究針對總凝視時間比值、平均凝視時間、凝視次數比值、平均跳視幅度、平均跳視速度及凝視軌跡圖等六項眼球運動參數進行評估，並藉由相關研究分析以確立眼球追蹤系統應用於建築聲學上之有效性，本研究之實驗結果如下所述：

總凝視時間為不同凝視點花費時間的總和，林景鴻 (2011) 指出受試者眼球之凝視時間受訊息量所影響，當處理之訊息量越大或複雜度較高時，其凝視時間會隨之增加，反之若凝視時間較短則代表訊息處理之能力較好，因此本研究欲以總凝視時間用以判斷不同音環境下是否會影響受試者之訊息處理能力。

從圖 15 之實驗結果中顯示噪音環境（施工噪音、白噪音、樓板衝擊音）下之總凝視時間大於無噪音環境及悅音環境，無噪音環境及悅音環境下具有最短之總凝視時間，其比值皆為 0.909，其次為施工噪音，其比值為 0.913，而白噪音與樓板衝擊音皆具有最長之總凝視時間，兩者之比值皆為 0.919，也說明處於噪音環境下會對受試者訊息處理能力造成影響，而導致總凝視時間比值之增加。

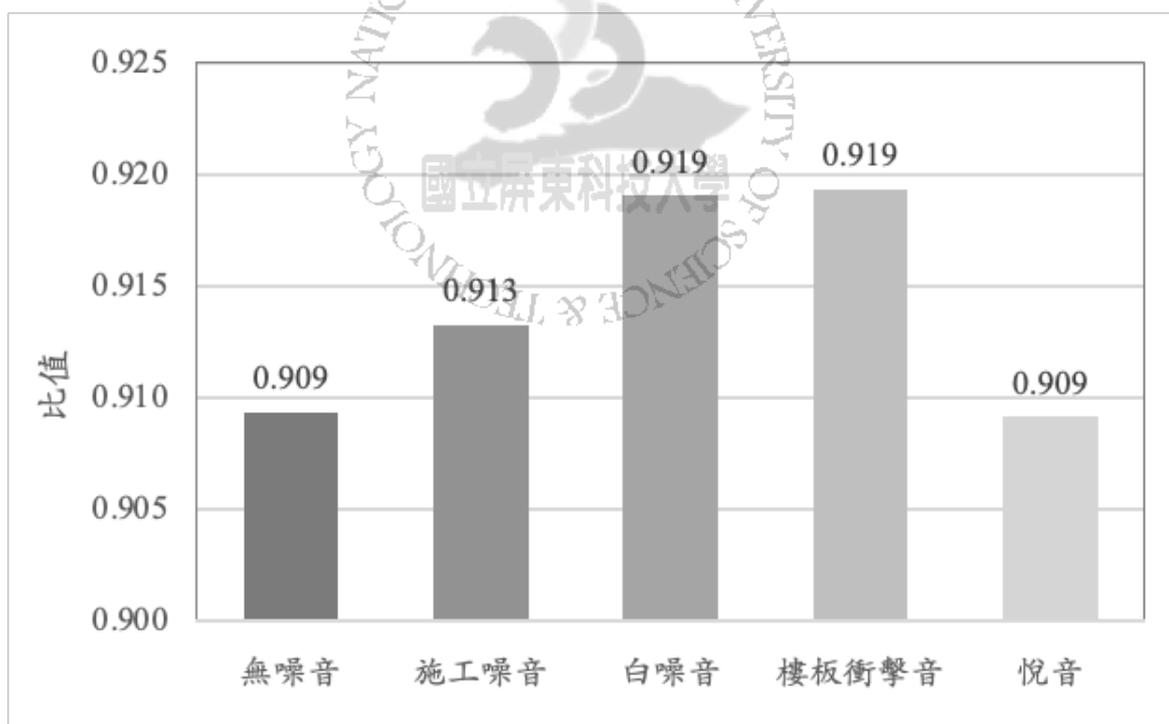


圖 15 不同音環境對總凝視時間比值之影響

Fig. 15 The effects of different sound environments on the ratio of total duration of fixation

平均凝視時間為總凝視時間除以凝視次數之值，通常較長的凝視時間代表其閱讀能力較差，而隨著閱讀能力的提升或年齡增長而有降低之趨勢(Blythe *et al.*, 2011;Huestegge *et al.*, 2009)，故本研究欲以平均凝視時間評估不同音環境下對於閱讀之影響。

從圖 16 之實驗結果中顯示出與圖 15 之總凝視時間相似之趨勢，與無噪音環境相比噪音環境（施工噪音、白噪音、樓板衝擊音）下皆具有較高之平均凝視時間，無噪音環境具有最短之平均凝視時間為 0.820 毫秒，其次為施工噪音之 0.827 毫秒，接續為樓板衝擊音及悅音環境，兩者之平均凝視時間皆為 0.832 毫秒，而處於白噪音下閱讀具有最長之平均凝視時間，為 0.835 毫秒，從上述結果中可證實噪音的出現會影響受試者之閱讀表現，而導致較長的平均凝視時間。

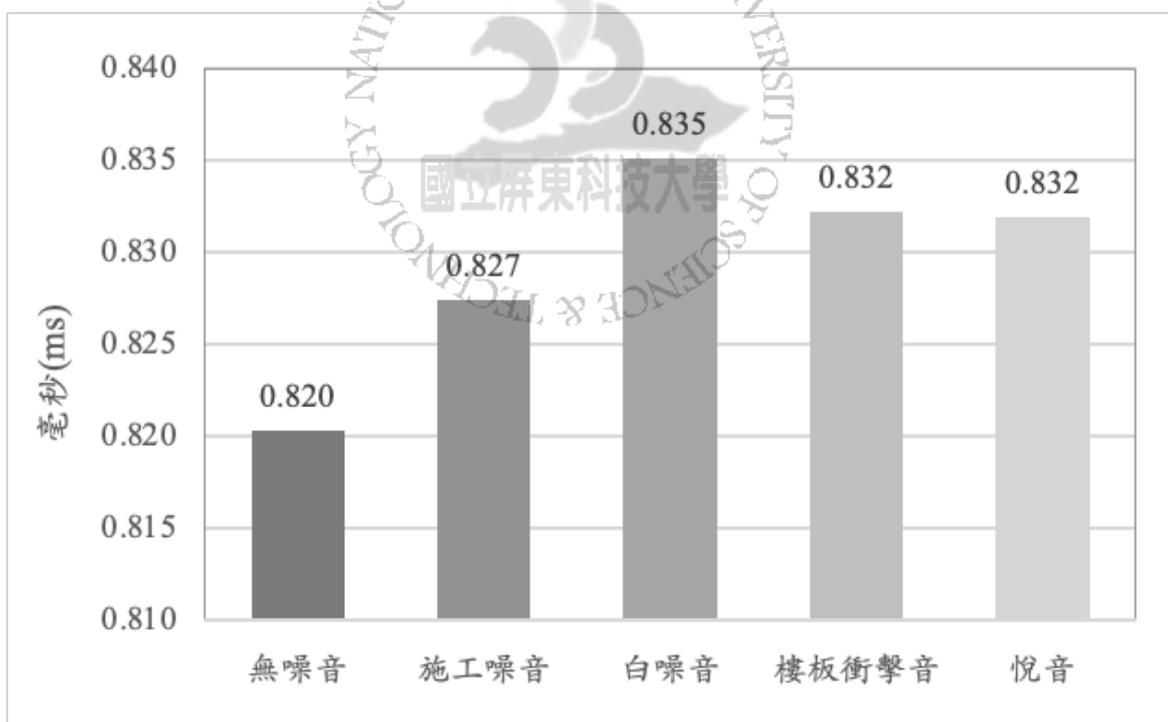


圖 16 不同音環境對平均凝視時間之影響

Fig. 16 The effect of different sound environments on average duration of fixation

凝視次數比值為閱讀過程中之凝視次數與總字數相除獲得之比值，其與閱讀流暢度相關，當閱讀能力越差其在每個句子上之凝視次數會越多，而隨著閱讀能力提升，凝視次數會減少(Loberg *et al.*, 2019)，本研究以凝視次數比值用於評估不同音環境對於受試者在閱讀過程中閱讀流暢度之影響。

從圖 17 之實驗結果中顯示，在無噪音環境及悅音環境下閱讀之凝視次數比值低於處在噪音環境之中，無噪音環境具有最低的凝視次數比值，為 0.147，其次為悅音環境，其凝視次數比值為 0.165，而不同噪音類型上以施工噪音之凝視次數比值最低，為 0.169，其次為白噪音，為 0.173，而樓板衝擊音為本研究中對閱讀影響最大的噪音類型，其凝視次數比值為 0.180，從上述研究結果中可得知噪音會影響閱讀流暢度，導致較高的凝視次數比值產生，且其中以樓板衝擊音對於閱讀之影響最大。

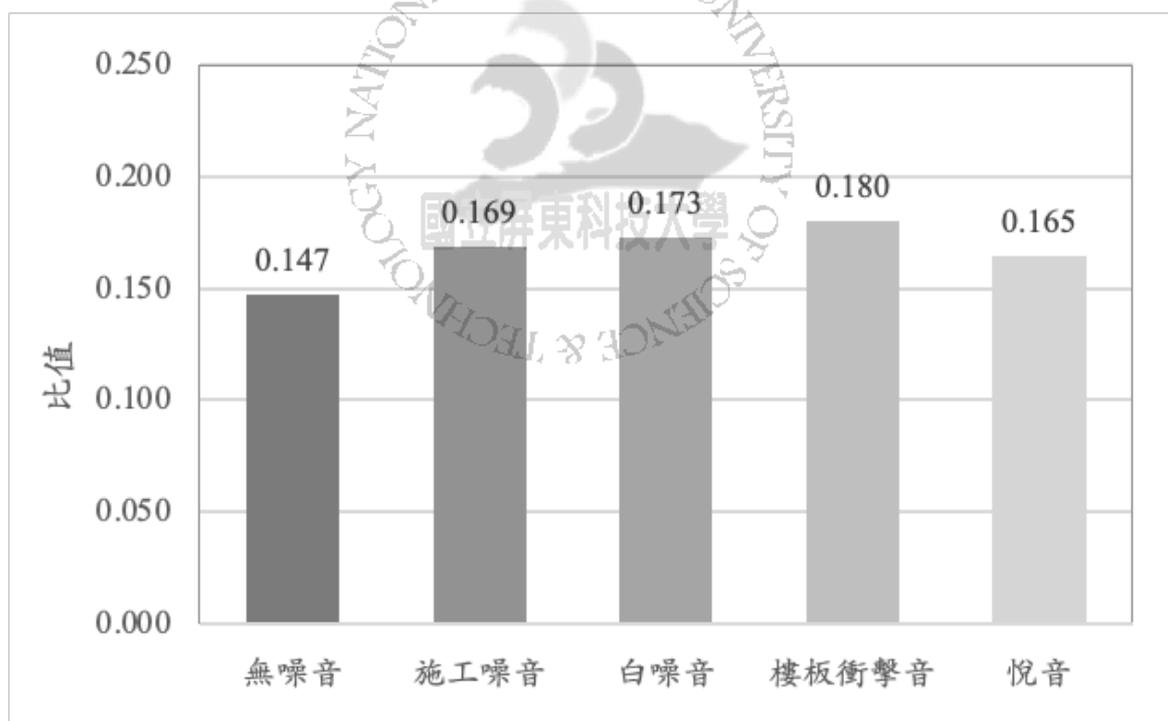


圖 17 不同音環境對凝視次數比值之影響

Fig. 17 The effects of different sound environments on the ratio of number of fixations

平均跳視幅度為閱讀過程中眼睛跳視的平均幅度，隨著閱讀能力的提升眼睛跳視的距離會越長 (Vernet *et al.*, 2023) ，即能看到更多訊息，本研究以平均跳視幅度評估受試者於不同音環境下閱讀對於閱讀能力之影響。

從圖 18 之實驗結果中顯示，樓板衝擊音具有最高之平均跳視幅度，其值為 7.505 度，其次為施工噪音，其平均跳視幅度為 7.025 度，接續為無噪音環境，其平均跳視幅度為 6.852 度，而悅音環境下之平均跳視幅度為 6.788 度，處在白噪音環境下閱讀有最低之平均跳視幅度，為 6.787 度，從上述結果中可看出除白噪音以外之噪音環境（施工噪音、樓板衝擊音）皆具有較高之平均跳視幅度，而無噪音環境、悅音環境及白噪音之平均跳視幅度較低。

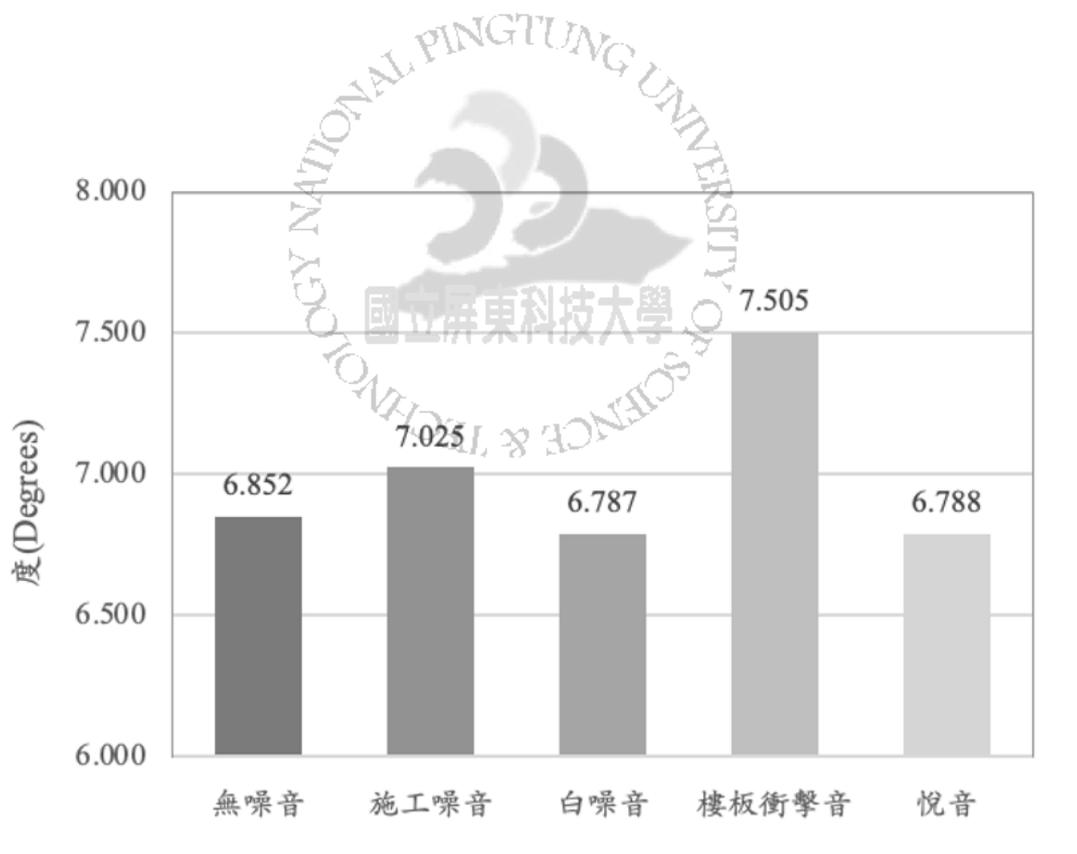


圖 18 不同音環境對平均跳視幅度之影響

Fig. 18 The effect of different sound environments on the average amplitude of saccades

平均跳視速度為所有跳視的平均峰值速度，眼球跳視速度與注意力的控制有關，當對注意力的要求增加則跳視速度會下降(Bachurina & Arsalidou, 2022)，Di Stasi *et al.* (2010) 的研究指出跳視速度會隨著任務複雜度及心理工作量的增加而降低，故本研究以平均跳視速度評估不同音環境下閱讀對於注意力等之影響。

圖 19 之實驗結果與圖 18 呈現相似之趨勢，結果顯示，處於樓板衝擊音下具有最高之平均跳視速度，為 193.950 度/秒，其次為施工噪音，為 187.394 度/秒，接續為無噪音環境之平均跳視速度，其值為 182.720 度/秒，悅音環境為 180.281 度/秒，而處在白噪音環境下閱讀具有最低之平均跳視速度，為 178.362 度/秒，從上述結果中可看出除白噪音以外之噪音環境（施工噪音、樓板衝擊音）皆具有較高之平均跳視速度，而無噪音環境、悅音環境及白噪音平均跳視速度較低。

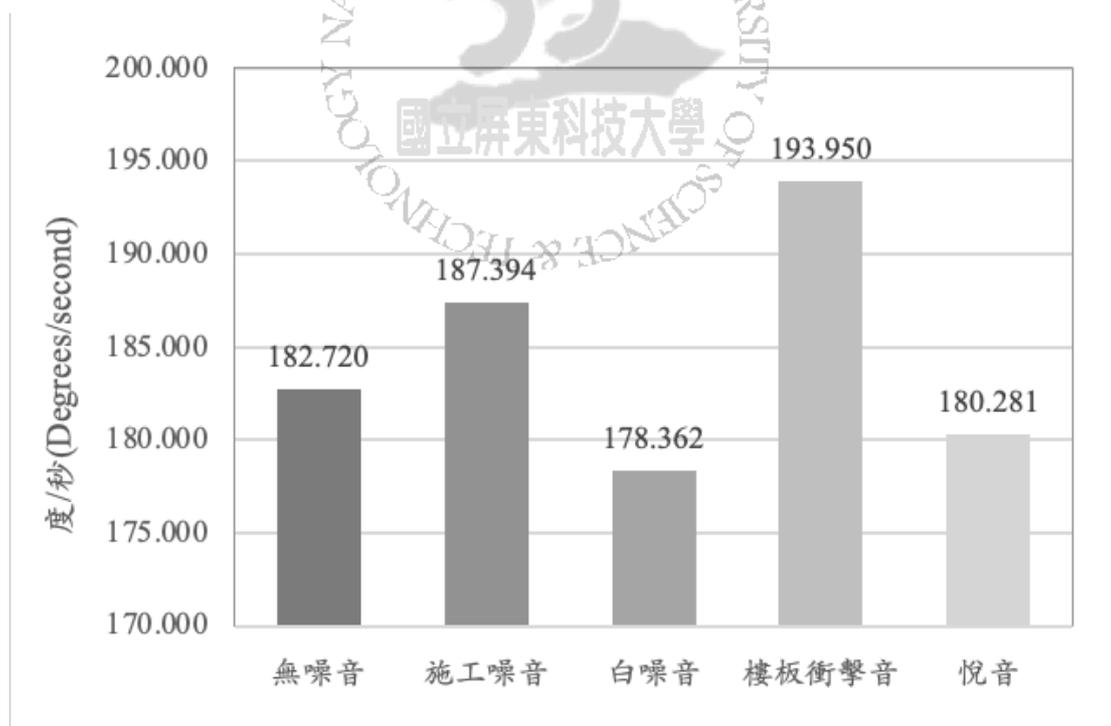


圖 19 不同音環境對平均跳視速度之影響

Fig. 19 Effects of different sound environments on the average peak velocity of saccades

圖 20 為不同音環境之凝視軌跡圖，從結果中可看出不同音環境下圓點大小之差異，圓點大小表示每一凝視點之凝視時間長短，白噪音、樓板衝擊音及悅音環境下顯示之圓點與無噪音環境及施工噪音相比更大，表示其受到之干擾較大，導致凝視時間之增加，且與圖 16 之平均凝視時間顯示出相同之結果，而無噪音環境下之圓點普遍偏小，也說明在閱讀上受到之干擾較小，因此凝視時間也較短。

從各圖中圓點顯示之軌跡可看出受試者在閱讀時普遍以左右移動方式閱讀，傅遠喻 (2013) 之研究也表示人在閱讀時習慣由左至右，從上到下，而在施工噪音下閱讀顯示出較多上下移動之閱讀軌跡，可能表示受試者受到噪音之干擾而導致需要回顧先前看過的内容。

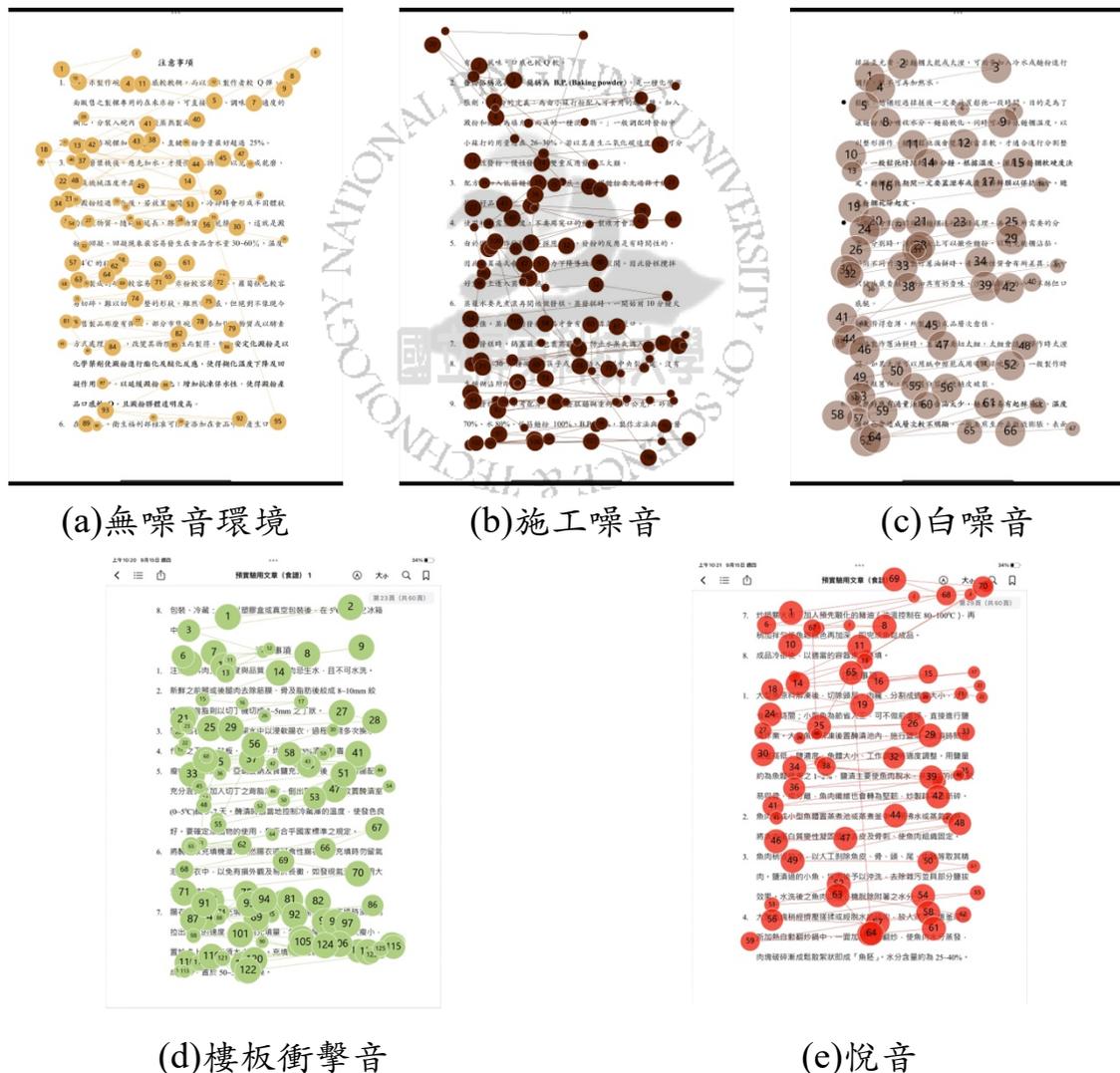


圖 20 不同音環境下閱讀之凝視軌跡圖

Fig. 20 Effects of different sound environments on the gaze plot

平均凝視時間與凝視次數比值皆為判斷閱讀能力之眼球運動參數，為瞭解兩者之關聯性，故本研究以組合圖之方式進行比較探討，從圖 21 之結果顯示，無噪音環境下有最短之平均凝視時間及最少之凝視次數比值，分別為 0.820 毫秒及 0.147，而白噪音具有最長之平均凝視時間，為 0.835 毫秒，而其凝視次數比值僅次於樓板衝擊音，為 0.173，綜上結果所述，雖平均凝視時間與凝視次數比值並沒有完全一致之表現，但各個音環境下大致呈現正相關，即當平均凝視時間較短時有較少之凝視次數比值。

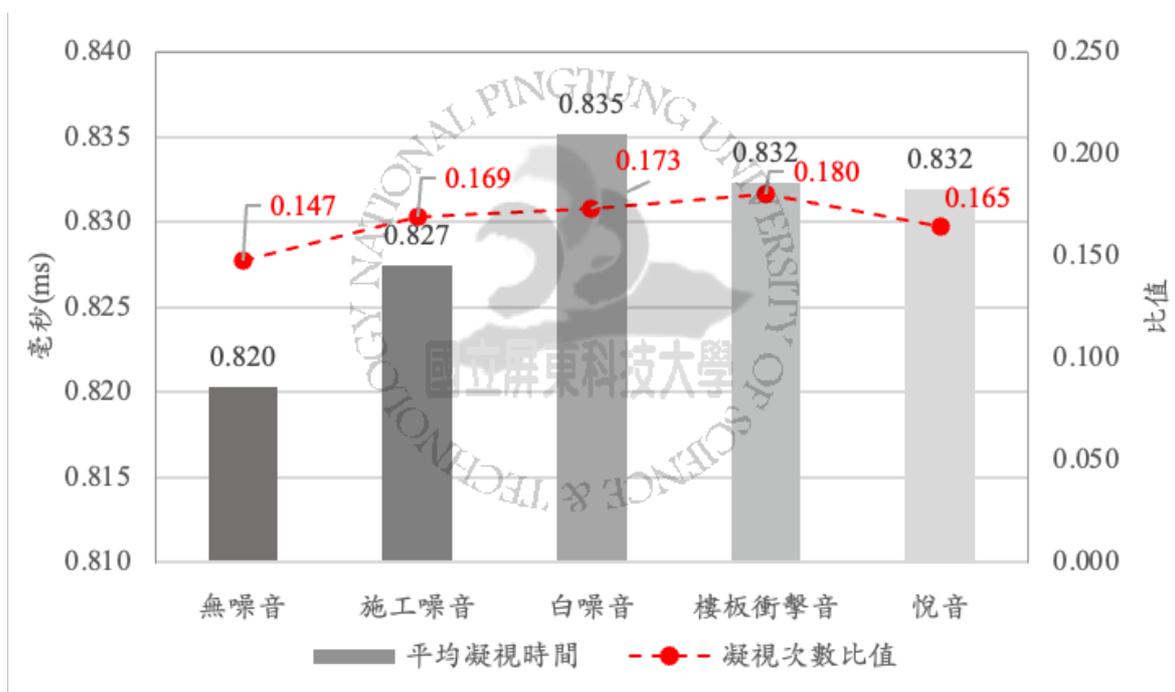


圖 21 平均凝視時間與凝視次數比值之相關性

Fig. 21 The correlation between the average duration of fixation and the ratio of number of fixations

(二)不同音環境在受試者背景條件差異下對眼球運動之影響

受試者之背景條件差異會使其對噪音之感受度不同(Beheshti *et al.*, 2019; Moghadam *et al.*, 2021)，本小節為探討不同音環境與受試者背景條件差異對眼球運動之影響，故將受試者依照基本資料表之資料進行區分，以瞭解學歷、性別、科系及噪音敏感度等差異是否會影響受試者在不同音環境下之眼球運動，實驗對象依照受試者背景條件之差異各取 10 名，共挑選 20 名受試者，並以雙因子變異數分析進行分析，實驗結果如下所述：

表 8 之結果所示，受試者之學歷差異對總凝視時間比值達到顯著差異($p=0.028$, <0.05)，而不同音環境對於總凝視時間比值並無顯著差異($p=0.415$)，而學歷之差異與不同音環境在總凝視時間比值下並沒有交互作用產生($p=0.974$)。

受試者之學歷差異對於平均凝視時間並無顯著差異($p=0.052$)，且不同音環境對於平均凝視時間亦無顯著差異($p=0.928$)，而學歷之差異與不同音環境在平均凝視時間下並沒有交互作用產生($p=0.177$)。

受試者之學歷差異對於凝視次數比值並無顯著差異($p=0.078$)，且不同音環境對於凝視次數比值亦無顯著差異($p=0.738$)，而學歷之差異與不同音環境在凝視次數比值下並沒有交互作用產生($p=0.984$)。

受試者之學歷差異對於平均跳視幅度並無顯著差異($p=0.066$)，且不同音環境對於平均跳視幅度亦無顯著差異($p=0.234$)，而學歷之差異與不同音環境在平均跳視幅度下並沒有交互作用產生($p=0.580$)。

受試者之學歷差異對於平均跳視速度並無顯著差異($p=0.129$)，且不同音環境對於平均跳視速度亦無顯著差異($p=0.270$)，而學歷之差異與不同音環境在平均跳視速度下並沒有交互作用產生($p=0.877$)。

綜上結果所述，在各項眼球運動參數中，僅有總凝視時間受學歷所影響，表示研究生在訊息處理能力上是優於大專生，而學歷與不同音環境在所有眼球參數中皆不會產生交互作用。

表 8 受試者學歷差異與不同音環境下眼球運動之相關性分析

Table 8. The correlation analysis of subjects' educational differences and eye movements in different sound environments

	總凝視時間比 值	平均凝視時 間	凝視次數比 值	平均跳視幅 度	平均跳視速 度
M*NE	0.896	0.769	0.152	6.937	185.003
M*SN	0.906	0.791	0.179	7.948	199.662
M*WN	0.911	0.686	0.180	6.845	172.717
M*FI	0.918	0.878	0.158	7.841	204.445
M*ME	0.902	0.863	0.163	6.749	178.739
B*NE	0.909	0.853	0.133	6.584	173.810
B*SN	0.925	0.864	0.153	6.225	176.572
B*WN	0.941	1.032	0.147	6.450	173.265
B*FI	0.932	0.865	0.147	7.494	187.672
B*ME	0.923	0.870	0.145	6.506	172.237
顯著性					
學歷	0.028*	0.052	0.078	0.066	0.129
音環境	0.415	0.928	0.738	0.234	0.270
交互作用	0.974	0.177	0.984	0.580	0.877

* = $p < 0.05$

M = 研究生；B = 大專生

NE = 無噪音環境；SN = 施工噪音；WN = 白噪音；FI = 樓板衝擊音；ME = 悅音環境

表 9 之結果所示，受試者之科系差異對總凝視時間比值並無顯著差異 ($p=0.332$)，且不同音環境對於總凝視時間比值亦無顯著差異 ($p=0.384$)，而科系之差異與不同音環境在總凝視時間比值下並沒有交互作用產生 ($p=0.917$)。

受試者之科系差異對於平均凝視時間並無顯著差異 ($p=0.266$)，且不同音環境對於平均凝視時間亦無顯著差異 ($p=0.949$)，而科系之差異與不同音環境在平均凝視時間下並沒有交互作用產生 ($p=0.436$)。

受試者之科系差異對於凝視次數比值並無顯著差異 ($p=0.739$)，且不同音環境對於凝視次數比值亦無顯著差異 ($p=0.775$)，而科系之差異與不同音環境在凝視次數比值下並沒有交互作用產生 ($p=0.971$)。

受試者之科系差異對於平均跳視幅度並無顯著差異 ($p=0.948$)，且不同音環境對於平均跳視幅度並無顯著差異 ($p=0.196$)，而科系之差異與不同音環境在平均跳視幅度下並沒有交互作用產生 ($p=0.771$)。

受試者之科系差異對於平均跳視速度達到顯著差異 ($p=0.044$, <0.05)，而不同音環境對於平均跳視速度亦無顯著差異 ($p=0.154$)，而科系之差異與不同音環境在平均跳視速度下並沒有交互作用產生 ($p=0.946$)。

綜上結果所述，在各項眼球運動參數中，僅有平均跳視速度受科系所影響，表示相關科系對於閱讀熟悉領域時能夠有較好的閱讀表現，有更高的平均跳視速度產生，而科系之差異與不同音環境在所有眼球參數中皆不會產生交互作用。

表 9 受試者科系差異與不同音環境下眼球運動之相關性分析

Table 9. The correlation analysis of subjects' major differences and eye movements in different sound environments

	總凝視時間 比值	平均凝視時 間	凝視次數比 值	平均跳視幅 度	平均跳視速 度
R*NE	0.909	0.813	0.134	6.691	181.132
R*SN	0.916	0.823	0.158	6.720	183.583
R*WN	0.931	0.850	0.158	6.552	180.06
R*FI	0.922	0.734	0.152	7.648	194.197
R*ME	0.913	0.804	0.157	6.676	179.170
IR*NE	0.890	0.780	0.148	6.924	174.532
IR*SN	0.915	0.824	0.161	6.537	169.931
IR*WN	0.915	0.848	0.166	6.985	175.041
IR*FI	0.921	0.986	0.155	7.184	185.214
IR*ME	0.911	0.881	0.147	6.580	174.369
顯著性					
科系	0.332	0.266	0.739	0.948	0.044*
音環境	0.384	0.949	0.775	0.196	0.154
交互作用	0.917	0.436	0.971	0.771	0.946

* = $p < 0.05$

R = 相關科系；IR = 不相關科系

NE = 無噪音環境；SN = 施工噪音；WN = 白噪音；FI = 樓板衝擊音；ME = 悅音環境

表 10 之結果所示，受試者之性別差異對總凝視時間比值並無顯著差異($p=0.841$)，且不同音環境對於總凝視時間比值亦無顯著差異($p=0.090$)，而性別之差異與不同音環境在總凝視時間比值下並沒有交互作用產生($p=0.085$)。

受試者之性別差異對於平均凝視時間並無顯著差異($p=0.421$)，且不同音環境對於平均凝視時間亦無顯著差異($p=0.848$)，而性別之差異與不同音環境在平均凝視時間下並沒有交互作用產生($p=0.951$)。

受試者之性別差異對於凝視次數比值並無顯著差異($p=0.179$)，且不同音環境對於凝視次數比值亦無顯著差異($p=0.687$)，而性別之差異與不同音環境在凝視次數比值下並沒有交互作用產生($p=0.982$)。

受試者之性別差異對於平均跳視幅度並無顯著差異($p=0.647$)，且不同音環境對於平均跳視幅度亦無顯著差異($p=0.421$)，而性別之差異與不同音環境在平均跳視幅度下並沒有交互作用產生($p=0.363$)。

受試者之性別差異對於平均跳視速度並無顯著差異($p=0.323$)，且不同音環境對於平均跳視速度亦無顯著差異($p=0.405$)，而性別之差異與不同音環境在平均跳視速度下並沒有交互作用產生($p=0.719$)。

綜上結果所述，在本研究設定之環境中性別並不會造成眼球運動上之差異，而性別不同與不同音環境在所有眼球參數中皆不會產生交互作用。

表 10 受試者性別差異與不同音環境下眼球運動之相關性分析

Table 10. The correlation analysis of subjects' gender differences and eye movements in different sound environments

	總凝視時間比 值	平均凝視時 間	凝視次數比 值	平均跳視幅 度	平均跳視速 度
Mn*NE	0.908	0.896	0.133	6.787	185.145
Mn*SN	0.942	0.928	0.148	7.185	194.811
Mn*WN	0.933	0.917	0.145	6.134	172.726
Mn *FI	0.920	0.929	0.161	8.011	210.649
Mn*ME	0.913	0.917	0.145	6.689	181.008
Wm *NE	0.895	0.812	0.154	7.249	180.116
Wm *SN	0.910	0.861	0.165	6.916	183.745
Wm *WN	0.926	0.852	0.174	7.316	178.777
Wm *FI	0.962	0.949	0.189	7.213	184.434
Wm*ME	0.931	0.915	0.149	6.846	179.867
顯著性					
性別	0.841	0.421	0.179	0.647	0.323
音環境	0.090	0.848	0.687	0.421	0.405
交互作用	0.085	0.951	0.982	0.363	0.719

* = $p < 0.05$

Mn = 男性 ; Wm = 女性

NE = 無噪音環境 ; SN = 施工噪音 ; WN = 白噪音 ; FI = 樓板衝擊音 ; ME = 悅音環境

表 11 之結果所示，受試者之噪音敏感度差異對總凝視時間比值並無顯著差異($p=0.223$)，且不同音環境對於總凝視時間比值亦無顯著差異($p=0.128$)，而噪音敏感度之差異與不同音環境在總凝視時間比值下並沒有交互作用產生($p=0.769$)。

受試者之噪音敏感度差異對於平均凝視時間並無顯著差異($p=0.876$)，且不同音環境對於平均凝視時間亦無顯著差異($p=0.944$)，而噪音敏感度之差異與不同音環境在平均凝視時間下並沒有交互作用產生($p=0.780$)。

受試者之噪音敏感度差異對於凝視次數比值並無顯著差異($p=0.481$)，且不同音環境對於凝視次數比值亦無顯著差異($p=0.662$)，而噪音敏感度之差異與不同音環境在凝視次數比值下並沒有交互作用產生($p=0.807$)。

受試者之噪音敏感度差異對於平均跳視幅度並無顯著差異($p=0.312$)，且不同音環境對於平均跳視幅度亦無顯著差異($p=0.476$)，而噪音敏感度之差異與不同音環境在平均跳視幅度下並沒有交互作用產生($p=0.865$)。

受試者之噪音敏感度差異對於平均跳視速度並無顯著差異($p=0.594$)，且不同音環境對於平均跳視速度亦無顯著差異($p=0.435$)，而噪音敏感度之差異與不同音環境在平均跳視速度下並沒有交互作用產生($p=0.948$)。

綜上結果所述，受試者之噪音敏感與否並不會造成眼球運動上之差異，而噪音敏感度與不同音環境在所有眼球參數中皆不會產生交互作用。

表 11 受試者噪音敏感度差異與不同音環境下眼球運動之相關性分析
 Table 11. The correlation analysis of subjects' noise sensitivity differences and eye movements in different sound environments

	總凝視時間 比值	平均凝視時 間	凝視次數比 值	平均跳視幅 度	平均跳視速 度
S*NE	0.899	0.913	0.132	6.703	180.361
S*SN	0.912	0.927	0.149	6.587	180.355
S*WN	0.928	0.963	0.163	6.670	177.874
S*FI	0.929	0.935	0.157	7.588	196.573
S*ME	0.924	0.844	0.160	6.805	177.502
IS*NE	0.905	0.852	0.149	7.076	183.259
IS*SN	0.941	0.882	0.167	7.562	196.838
IS*WN	0.927	0.897	0.157	6.945	175.468
IS*FI	0.952	0.954	0.194	7.604	197.666
IS*ME	0.924	0.957	0.145	6.783	179.830
顯著性					
噪音敏感度	0.223	0.876	0.481	0.312	0.594
音環境	0.128	0.944	0.662	0.476	0.435
交互作用	0.769	0.780	0.807	0.865	0.948

* = $p < 0.05$

S = 噪音敏感；IS = 噪音不敏感

NE = 無噪音環境；SN = 施工噪音；WN = 白噪音；FI = 樓板衝擊音；ME = 悅音環境

二、 不同音環境下對閱讀表現之影響

(一)不同音環境對閱讀表現之影響

本小節主要探討受試者於不同音環境下閱讀對閱讀表現之影響，透過評估閱讀效率及閱讀理解之變化，以瞭解音環境改變對閱讀之影響，本研究之結果如下所述：

圖 22 表示本次研究中受試者在不同音環境下閱讀之閱讀效率，受試者處於無噪音環境下閱讀具有最高之閱讀效率為 8.683 字/秒，其次為處於樓板衝擊音下，其閱讀效率為 7.665 字/秒，處於施工噪音下閱讀之閱讀效率為 7.627 字/秒，接續為悅音環境下閱讀，為 7.448 字/秒，而處於白噪音下閱讀具有最低之閱讀效率為 7.400 字/秒。

綜上結果所述，無噪音環境下閱讀具有最高之閱讀效率，而不論是悅音或是噪音，當有額外的聲音出現後會干擾受試者閱讀，並導致閱讀效率的下降。

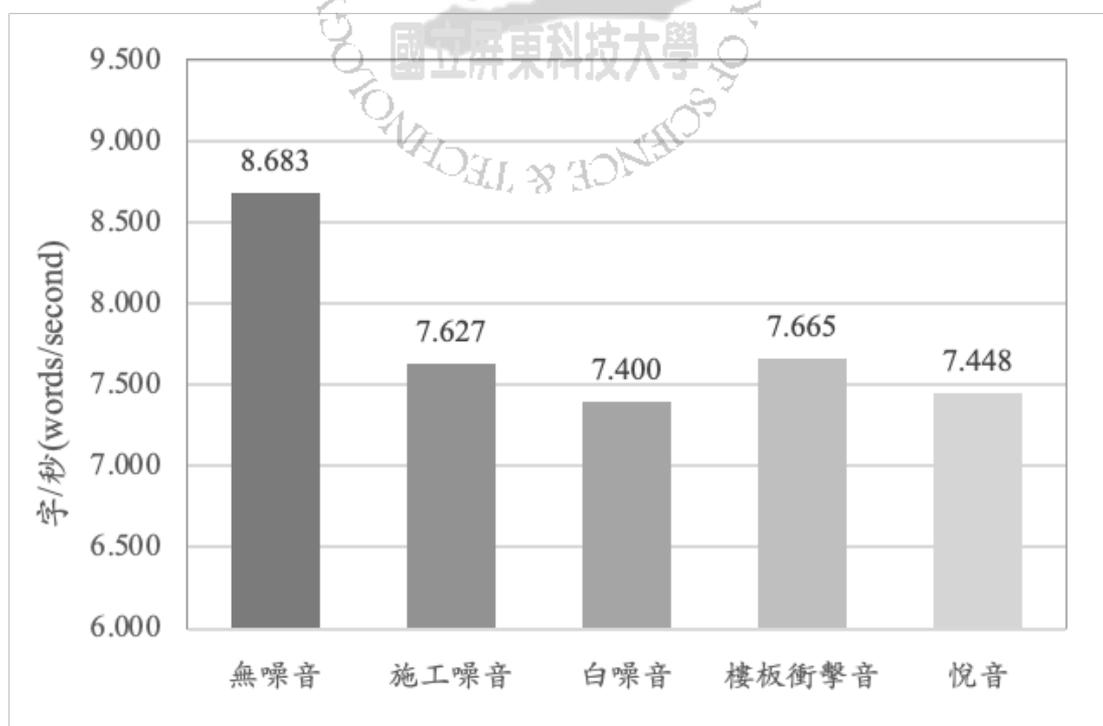


圖 22 不同音環境對閱讀效率之影響

Fig. 22 Effects of different sound environments on the reading efficiency

圖 23 表示本次研究中受試者在不同音環境下閱讀之閱讀理解，受試者處於無噪音環境與白噪音環境下閱讀具有最高的閱讀理解，其答題正確率皆為 79.435%，其次為處於施工噪音下閱讀，其答題正確率為 77.419%，接續為處於樓板衝擊音下閱讀，其答題正確率為 75.403%，而處於悅音環境下閱讀具有最低之答題正確率，為 62.500%。

綜上結果所述，在無噪音環境、施工噪音、白噪音及樓板衝擊音等四種音環境下閱讀對於閱讀理解影響幅度較小，僅有在悅音環境下之閱讀理解有較明顯之下降，結果也表示在不同音環境下閱讀對於文意理解之影響較低。

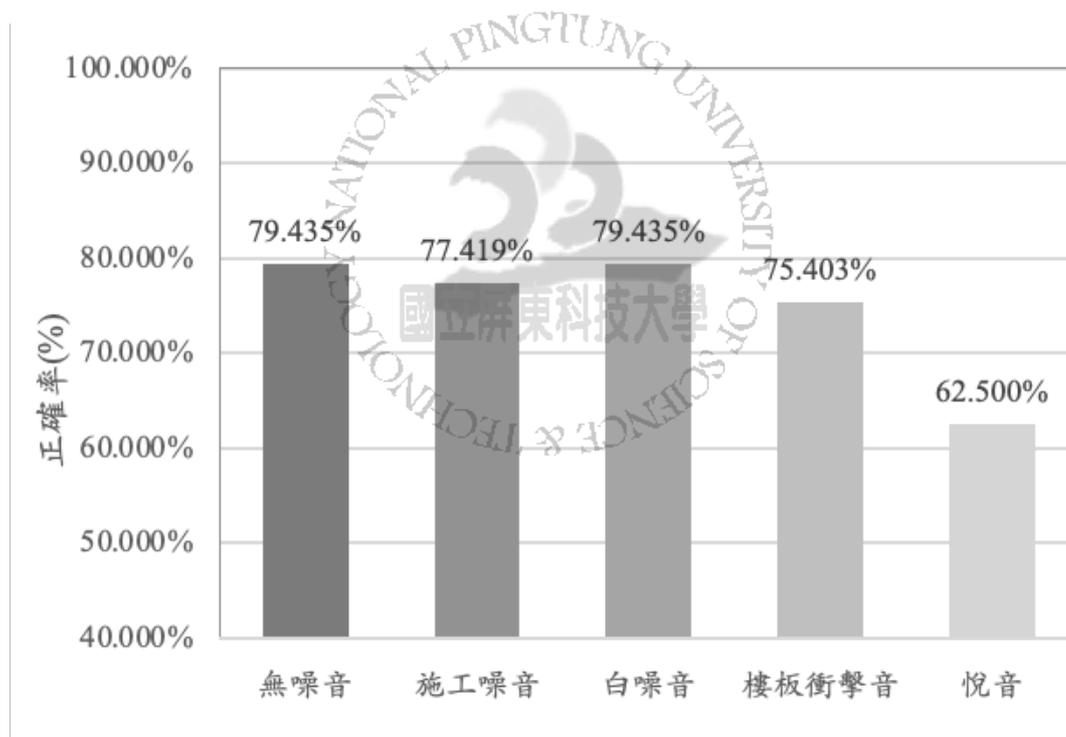


圖 23 不同音環境對閱讀理解之影響

Fig. 23 Effects of different sound environments on the reading comprehension

本研究為瞭解閱讀效率與閱讀理解之關聯性，故以組合圖方式進行比較探討，從圖 24 之結果顯示，無噪音環境具有最高之閱讀效率及最好之閱讀理解表現，分別為 8.683 字/秒及 79.435%，而除悅音外其他音環境下之閱讀效率雖然較差，但閱讀理解表現卻與無噪音環境相似，綜上所述，閱讀效率與閱讀理解之間並未具有相關性，而本研究認為此原因可能是由於受試者受到聲音干擾，而需要花較多時間理解，故效率較低但卻不影響文意理解。

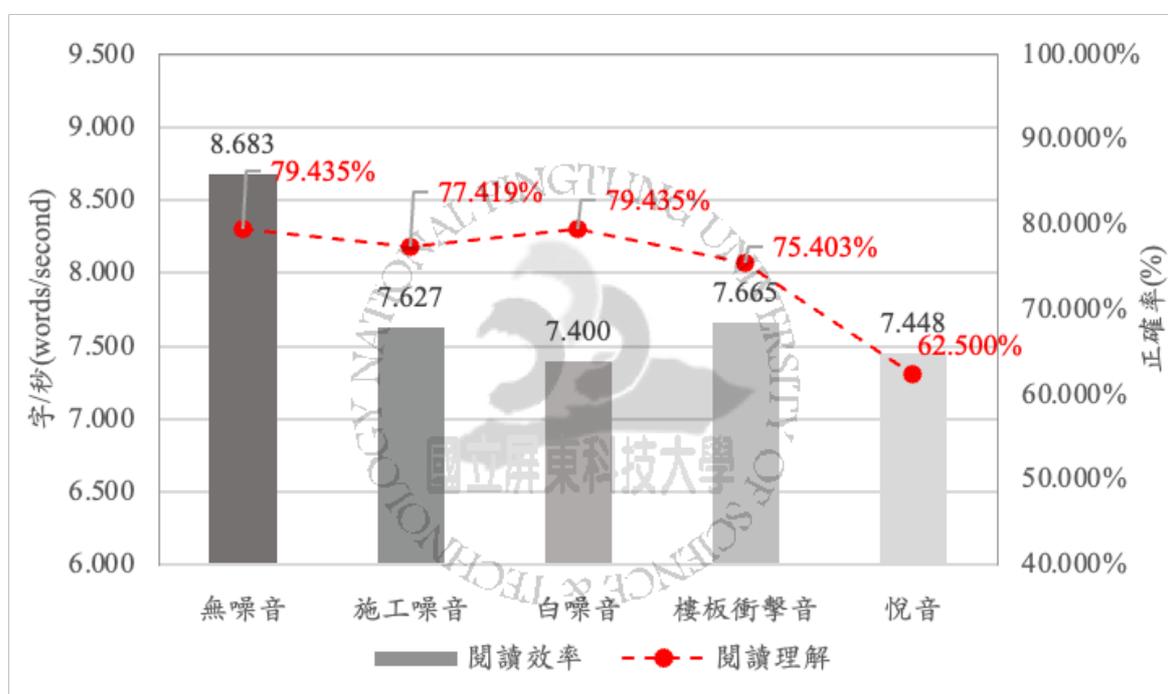


圖 24 閱讀效率與閱讀理解之相關性

Fig. 24 The correlation between reading efficiency and reading comprehension

(二)不同音環境在受試者差異下對閱讀表現之影響

本小節為探討不同音環境與受試者背景條件差異對閱讀表現之影響，分別評估學歷、性別、科系及噪音敏感度等差異對於閱讀表現之影響，並分析不同音環境與閱讀表現差異之相關性，最後再探討不同背景條件及不同音環境間之交互作用對閱讀表現之影響，實驗結果如下所述：

表 12 之結果所示，受試者之學歷差異對閱讀效率並無顯著差異($p=0.137$)，且不同音環境對於閱讀效率亦無顯著差異($p=0.121$)，而學歷之差異與不同音環境在閱讀效率下並沒有交互作用產生($p=0.936$)。

受試者之學歷差異對於閱讀理解並無顯著差異($p=0.860$)，而不同音環境對於閱讀理解達到顯著差異($p=0.000$ ， <0.05)，而學歷之差異與不同音環境在閱讀理解下並沒有交互作用產生($p=0.186$)。

綜上結果所述，學歷之差異並不會影響閱讀表現，而學歷與不同音環境在閱讀表現中不會產生交互作用。

表 13 之結果所示，受試者之科系差異對閱讀效率達到顯著差異($p=0.012$ ， <0.05)，且不同音環境對於閱讀效率也具有顯著差異($p=0.030$ ， <0.05)，而科系之差異與不同音環境在閱讀效率下並沒有交互作用產生($p=0.775$)。

受試者之科系差異對於閱讀理解達到顯著差異($p=0.001$ ， <0.05)，且不同音環境對於閱讀理解也具有顯著差異($p=0.000$ ， <0.05)，而科系之差異與不同音環境在閱讀理解下並沒有交互作用產生($p=0.676$)。

綜上結果所述，相關科系不管在閱讀效率或閱讀理解上皆優於非相關科系，也說明閱讀文本熟悉度會影響學習之表現，而科系與不同音環境在閱讀表現中不會產生交互作用。

表 14 之結果所示，受試者之性別差異對閱讀效率達到顯著差異($p=0.004$ ， <0.05)，且不同音環境對於閱讀效率也具有顯著差異($p=0.049$ ， <0.05)，而性別之差異與不同音環境在閱讀效率下並沒有交互作用產生

($p=0.855$)。

受試者之性別差異對於閱讀理解並無顯著差異($p=0.757$)，而不同音環境對於閱讀理解達到顯著差異($p=0.001, <0.05$)，而性別之差異與不同音環境在閱讀理解下並沒有交互作用產生($p=0.647$)。

綜上結果所述，不同性別在閱讀效率上具有顯著差異，表示在本研究結果中男性在閱讀效率上顯著優於女性，而性別差異與不同音環境在閱讀表現中不會產生交互作用。

表 15 之結果所示，受試者之噪音敏感度差異對閱讀效率並無顯著差異($p=0.837$)，且不同音環境對於閱讀效率亦無顯著差異($p=0.090$)，而噪音敏感度之差異與不同音環境在閱讀效率下並沒有交互作用產生($p=0.989$)。

受試者之噪音敏感度差異對於閱讀理解並無顯著差異($p=0.114$)，而不同音環境對於閱讀理解達到顯著差異($p=0.000, <0.05$)，而噪音敏感度之差異與不同音環境在閱讀理解下並沒有交互作用產生($p=0.396$)。

綜上結果所述，噪音敏感度並不會影響閱讀之表現，而噪音敏感度之差異與不同音環境在閱讀表現中不會產生交互作用。

表 12 受試者學歷差異與不同音環境下閱讀表現之相關性分析

Table 12. The correlation analysis between the subjects' educational differences and reading performance in different sound environments

	閱讀效率	閱讀理解
M*NE	9.208	0.788
M*SN	8.085	0.825
M*WN	8.108	0.800
M*FI	8.450	0.731
M*ME	7.920	0.669
B*NE	9.213	0.850
B*SN	7.216	0.750
B*WN	7.103	0.850
B*FI	7.431	0.775
B*ME	7.501	0.563
顯著性		
學歷	0.137	0.860
音環境	0.121	0.000*
交互作用	0.936	0.186

* = $p < 0.05$

M = 研究生 ; B = 大專生

NE = 無噪音環境 ; SN = 施工噪音 ; WN = 白噪音 ; FI = 樓板衝擊音 ; ME = 悅音環境

表 13 受試者科系差異與不同音環境下閱讀表現之相關性分析

Table 13. The correlation analysis between the subjects' major differences and reading performance in different sound environments

	閱讀效率	閱讀理解
R*NE	9.925	0.875
R*SN	8.712	0.825
R*WN	8.260	0.875
R*FI	8.253	0.794
R*ME	7.855	0.606
IR*NE	8.717	0.775
IR*SN	7.419	0.700
IR*WN	6.889	0.738
IR*FI	7.498	0.681
IR*ME	7.801	0.594
相關性		
科系	0.012*	0.001*
音環境	0.030*	0.000*
科系*音環境	0.775	0.676

* = $p < 0.05$

R = 相關科系 ; IR = 不相關科系

NE = 無噪音環境 ; SN = 施工噪音 ; WN = 白噪音 ; FI = 樓板衝擊音 ; ME = 悅音環境

表 14 受試者性別差異與不同音環境下閱讀表現之相關性分析

Table 14. The correlation analysis between the subjects' gender differences and reading performance in different sound environments

	閱讀效率	閱讀理解
Mn*NE	9.233	0.838
Mn*SN	8.116	0.813
Mn*WN	8.116	0.763
Mn *FI	7.804	0.731
Mn*ME	8.007	0.638
Wm *NE	8.539	0.825
Wm *SN	6.956	0.763
Wm *WN	6.081	0.850
Wm *FI	6.893	0.781
Wm*ME	9.955	0.613
相關性		
性別	0.004*	0.757
音環境	0.049*	0.001*
性別*音環境	0.855	0.647

* = $p < 0.05$

Mn = 男性 ; Wm = 女性

NE = 無噪音環境 ; SN = 施工噪音 ; WN = 白噪音 ; FI = 樓板衝擊音 ; ME = 悅音環境

表 15 受試者噪音敏感度差異與不同音環境下閱讀表現之相關性分析
 Table 15. The correlation analysis between the subjects' noise sensitivity differences and reading performance in different sound environments

	閱讀效率	閱讀理解
S*NE	8.666	0.813
S*SN	7.156	0.800
S*WN	6.960	0.850
S*FI	7.305	0.781
S*ME	7.586	0.619
IS*NE	8.776	0.780
IS*SN	7.562	0.863
IS*WN	7.159	0.788
IS*FI	7.278	0.825
IS*ME	7.318	0.744
相關性		
噪音敏感度	0.837	0.114
音環境	0.090	0.000*
噪音敏感度*音環境	0.989	0.396

* = $p < 0.05$

S = 噪音敏感；IS = 噪音不敏感

NE = 無噪音環境；SN = 施工噪音；WN = 白噪音；FI = 樓板衝擊音；ME = 悅音環境

三、 不同音環境對人體心理感受之反應

(一)不同音環境對心理感受之影響

本小節主要以語意分析法之得分進行綜合討論，欲透過語意分析法瞭解不同音環境下心理感受之變化，以舒適程度、輕鬆感、心情愉悅程度、覺醒程度、困擾感及疲倦感等六對成對形容詞進行評價，並以雷達圖之方式呈現，實驗之結果如下所述：

圖 25 為受試者之心理感受平均值，從實驗結果中顯示，無噪音環境及悅音環境下之心理感受與噪音環境相比皆較為正面，當所處音環境改為施工噪音、白噪音及樓板衝擊音時除覺醒程度及疲倦感等兩者外其餘評估指標逐漸偏向負面之評價，表明處於噪音環境會使人產生不悅之心理感受，而此結果與吳建志 (2006) 之結果相同，而處於悅音環境時覺醒程度及疲倦感接較為負面，呈現較疲勞及昏睡之評價，Bloch *et al.* (2010) 之研究指出音樂會促使受試者放鬆並導致睡眠，故可能是此原因導致。

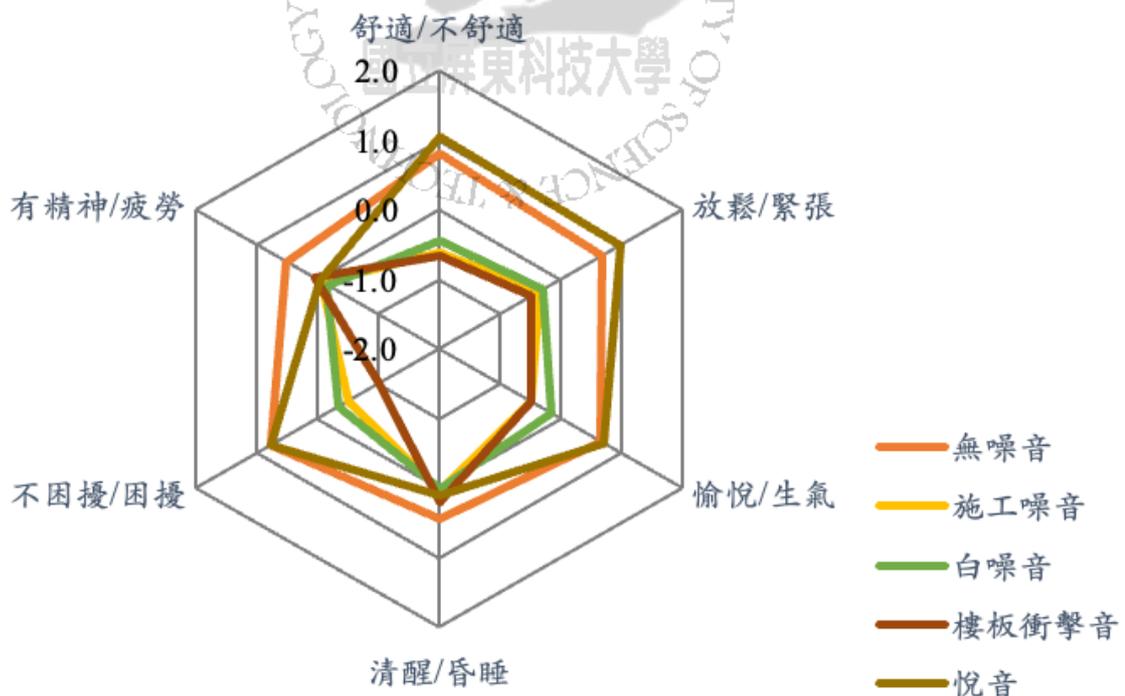


圖 25 不同音環境對心理感受之影響

Fig. 25 Effects of different sound environments on the psychological feelings

(二)不同音環境在受試者差異下對心理感受之影響

本小節為探討不同音環境與受試者背景條件差異對心理感受之影響，首先評估受試者背景條件差異對心理感受評價之影響，其次分析音環境改變下心理感受之變化，最後評估受試者背景條件差異與音環境改變之交互作用與心理感受變化之相關性，實驗結果如下所述：

表 16 之結果所示，受試者之學歷差異對心理感受並無顯著差異($p=0.386$)，而不同音環境對於心理感受達到顯著差異($p=0.000, <0.05$)，而學歷之差異與不同音環境在心理感受下並沒有交互作用產生($p=0.671$)。

受試者之科系差異對心理感受並無顯著差異($p=0.822$)，而不同音環境對於心理感受達到顯著差異($p=0.000, <0.05$)，而科系之差異與不同音環境在心理感受下並沒有交互作用產生($p=0.279$)。

受試者之性別差異對心理感受達到顯著差異($p=0.044, <0.05$)，且不同音環境對於心理感受也具有顯著差異($p=0.000, <0.05$)，而性別之差異與不同音環境在心理感受下並沒有交互作用產生($p=0.469$)。

受試者之噪音敏感度差異對心理感受達到顯著差異($p=0.017, <0.05$)，且不同音環境對於心理感受也具有顯著差異($p=0.000, <0.05$)，而噪音敏感度之差異與不同音環境在心理感受下有交互作用產生($p=0.006, <0.05$)。

綜上結果所述，在不同背景條件下僅有性別與噪音敏感度會影響心理感受，在本研究結果中不同性別以男性較女性有更負面之感受，而在噪音敏感與否中，對於噪音較敏感的族群在噪音環境下較不敏感族群有更負面之感受，而除噪音敏感度外其他背景條件皆無交互作用。

表 16 受試者背景條件差異與不同音環境下心理感受之相關性分析

Table 16. The correlation analysis between the subjects' background condition differences and reading performance in different sound environments

學歷		科系		性別		噪音敏感度	
背景條件*音環境							
M*NE	0.550	R*NE	0.367	Mn*NE	0.300	S*NE	1.100
M*SN	-0.500	R*SN	-0.267	Mn*SN	-0.483	S*SN	-0.383
M*WN	-0.433	R*WN	-0.183	Mn*WN	-0.350	S*WN	-0.400
M*FI	-0.650	R*FI	-0.342	Mn*FI	-0.542	S*FI	-0.408
M*ME	0.792	R*ME	0.600	Mn*ME	0.600	S*ME	0.583
B*NE	0.733	IR*NE	0.833	Wm*NE	0.933	IS*NE	0.117
B*SN	-0.300	IR*SN	-0.417	Wm*SN	-0.200	IS*SN	-0.467
B*WN	-0.483	IR*WN	-0.433	Wm*WN	-0.267	IS*WN	-0.383
B*FI	-0.317	IR*FI	-0.492	Wm*FI	-0.417	IS*FI	-0.517
B*ME	0.633	IR*ME	0.600	Wm*ME	0.642	IS*ME	0.575
顯著性							
學歷	0.386	科系	0.822	性別	0.044*	噪音敏感度	0.017*
音環境	0.000*	音環境	0.000*	音環境	0.000*	音環境	0.000*
交互作用	0.671	交互作用	0.279	交互作用	0.469	交互作用	0.006*
* = p < 0.05							
M = 研究生 ; B = 大專生 ; R = 相關科系 ; IR = 不相關科系 ;							
Mn = 男性 ; Wm = 女性 ; S = 噪音敏感 ; IS = 噪音不敏感							
NE = 無噪音環境 ; SN = 施工噪音 ; WN = 白噪音 ; FI = 樓板衝擊音 ; ME = 悅音環境							

四、 不同因子間之綜合評估

(一)不同音環境對眼球運動與閱讀表現之影響

本小節主要以總凝視時間、平均跳視速度與閱讀表現進行交叉比較，透過組合圖之方式進行探討，以瞭解眼球運動與閱讀表現之間的相關性，本研究之實驗結果如下所述：

總凝視時間與閱讀時訊息處理能力有關 (林景鴻, 2011)，故本研究透過與閱讀理解進行分析比對，以瞭解總凝視時間比值與閱讀理解得分之相關性，圖 26 之實驗結果顯示，無噪音環境及悅音環境有最短之總凝視時間比值，皆為 0.909，而兩者的閱讀理解得分分別為 79.44% 及 62.50%，並未一致，而施工噪音、白噪音及樓板衝擊音三者之總凝視時間比值上與無噪音環境相比分別高出 0.04、0.10 及 0.10，而在閱讀理解得分上除白噪音與無噪音環境相同外，施工噪音與樓板衝擊音與無噪音環境相比分別下降了 2.02 及 4.04%，綜上所述，總凝視時間比值之長短與閱讀理解得分並未呈現一致性。

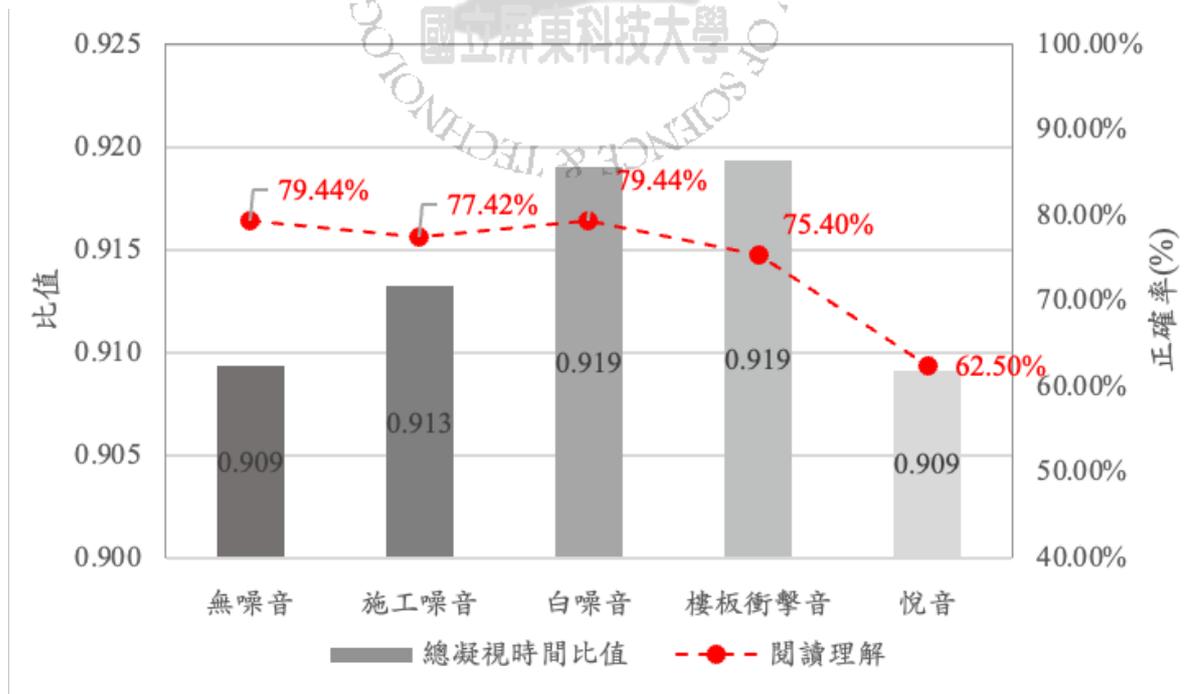


圖 26 總凝視時間比值與閱讀理解之相關性

Fig. 26 The correlation between the ratio of total duration of fixation and reading comprehension

平均跳視速度越大表示其眼睛移動之速度越快，故本研究透過與閱讀效率進行比對，以瞭解平均跳視速度與閱讀效率之相關性，圖 27 之實驗結果顯示，除無噪音環境外，其餘音環境下之平均跳視速度與閱讀效率皆呈現一致之變化，閱讀效率會隨著平均跳視速度增加而隨之提升，在五種音環境中無噪音環境具有最高之閱讀效率，為 8.683 字/秒，而其平均跳視速度為 182.720 度/秒，其次為樓板衝擊音，其閱讀效率為 7.665 字/秒，平均跳視速度為 193.950 度/秒，再者為施工噪音，其閱讀效率為 7.627 字/秒，平均跳視速度為 187.394 度/秒，而後為悅音環境，其閱讀效率為 7.448 字/秒，平均跳視速度為 180.281 度/秒，最後為白噪音，其閱讀效率為 7.400 字/秒，平均跳視速度為 178.362 度/秒，綜上所述，在本研究結果中除無噪音環境外平均跳視速度與閱讀效率具有一致性，當平均跳視速度越大則閱讀效率越好，反之閱讀效率越差，而無噪音環境平均跳視速度不是最大卻有最高之閱讀效率之原因可能為其凝視次數比值及平均凝視時間與其他音環境相比較低，受到干擾較少因此能夠更快速完成閱讀任務。

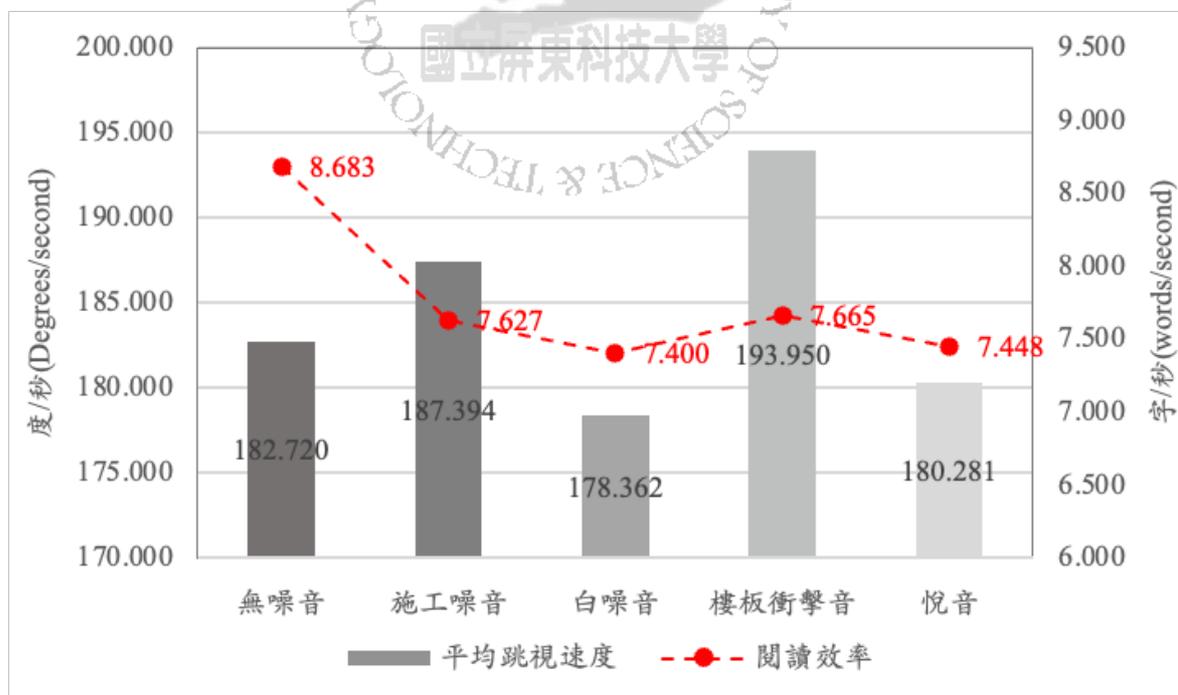


圖 27 平均跳視速度與閱讀效率之相關性

Fig. 27 The correlation between the average peak velocity of saccades and reading efficiency

(二)不同音環境對眼球運動與心理感受之影響

本小節主要以平均跳視幅度、平均跳視速度與心理感受進行比較，透過組合圖之方式探討兩者間之相關性，以瞭解心理感受變化對於眼球運動之影響，心理感受以語意分析法之得分加總後平均表示，得分越高即感受越正面，反之則表示負面之情緒，本研究之實驗結果如下所述：

從圖 28 之實驗結果顯示，平均跳視幅度與心理感受呈現負相關，即當心理感受得分越低則平均跳視幅度越高，反之心理感受得分越高則平均跳視幅度越低，在本研究設定之音環境中，樓板衝擊音具有最低之心理感受得分，為-0.441 分，且其平均跳視幅度為 7.505 度亦為所有音環境中最高，其次為施工噪音，其心理感受得分為-0.333 分，平均跳視幅度為 7.025 度，再者為白噪音，其心理感受得分為-0.237 分，平均跳視幅度為 6.787 度，而無噪音環境及悅音有較正向之心理感受，分別為 0.645 及 0.608 分，平均跳視幅度分別為 6.852 及 6.788 度，綜上所述，心理感受變化會影響平均跳視幅度之長短，也證實受試者在施工噪音及樓板衝擊音下平均跳視幅度較長之原因可能是由於負面之情緒所導致。

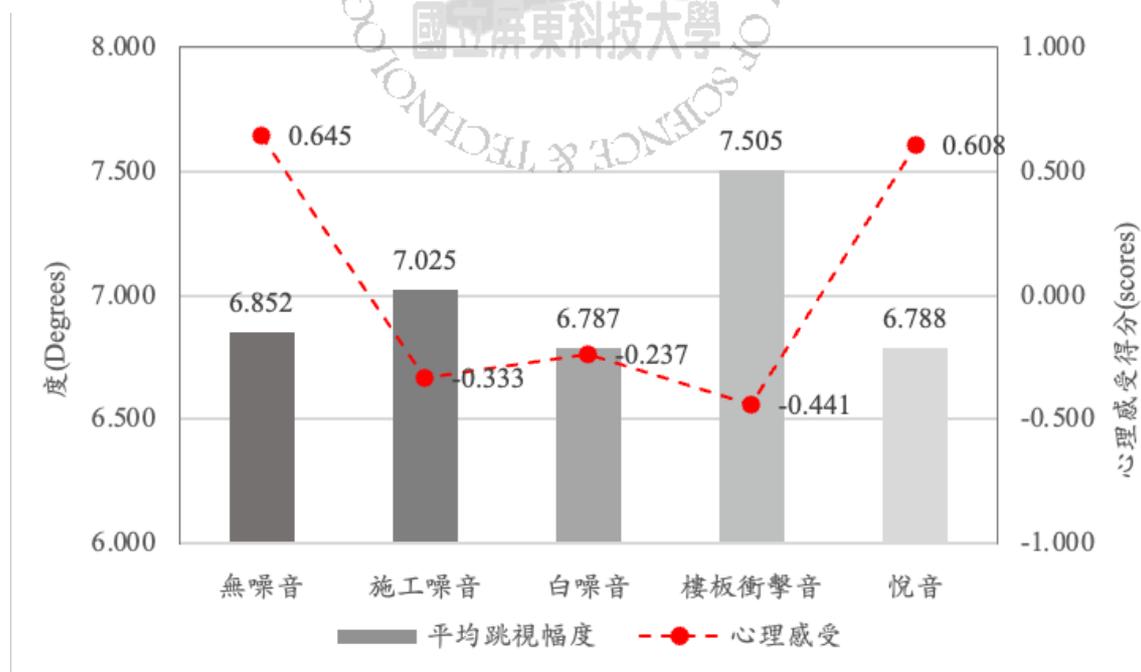


圖 28 平均跳視幅度與心理感受之相關性

Fig. 28 The correlation between the average amplitude of saccades and psychological feelings

圖 29 之結果顯示出與圖 28 相似之趨勢，平均跳視速度與平均跳視幅度皆與心理感受呈現負相關，結果顯示心理感受得分由高至低分別為無噪音環境、悅音環境、白噪音、施工噪音及樓板衝擊音，而平均跳視速度分別為 182.720、180.281、178.362、187.394、193.950 度/秒，綜上結果所述，心理感受偏向負面之情況可能會導致更高之平均跳視速度，也證實本研究中噪音環境中出現較高平均跳視速度之原因可能是負面心理感受所導致。

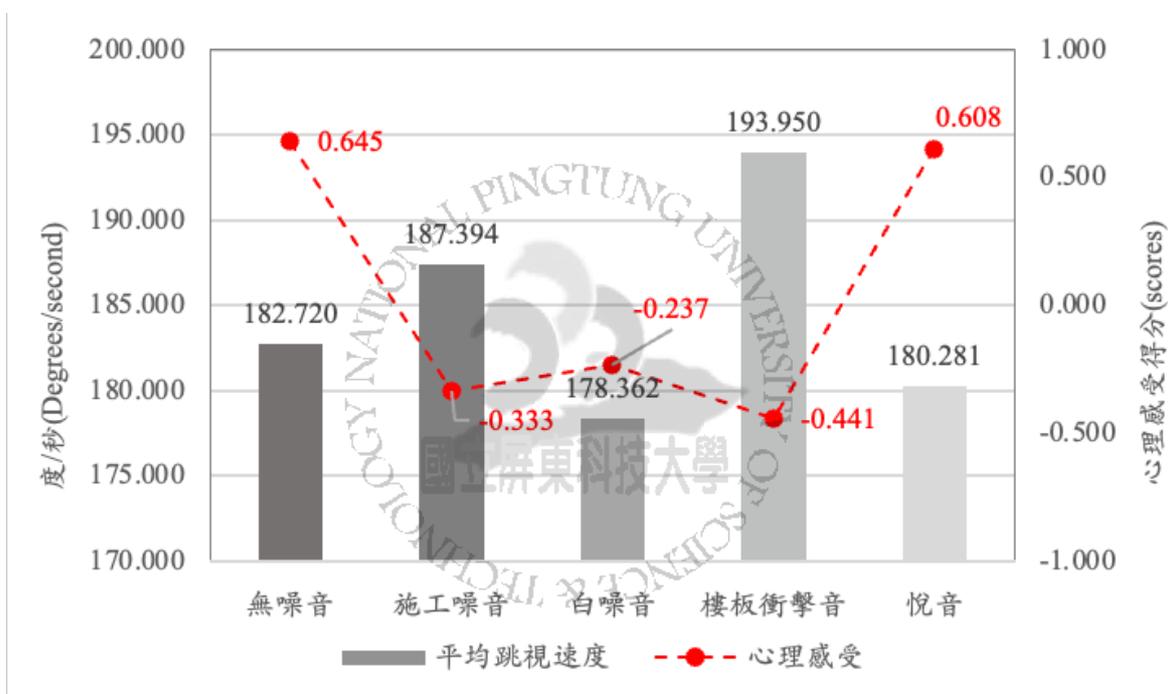


圖 29 平均跳視速度與心理感受之相關性

Fig. 29 The correlation between the average peak velocity of saccades and psychological feelings

(三)不同音環境對閱讀表現與心理感受之影響

本小節主要以閱讀效率與心理感受進行交叉比較，透過組合圖之方式探討兩者間之相關性，以瞭解心理感受變化對閱讀表現之影響，本研究之實驗結果如下所述：

從圖 30 之實驗結果顯示，五種音環境下之心理感受得分由高至低分別為無噪音環境 (0.645 分)、悅音環境 (0.608 分)、白噪音 (-0.237 分)、施工噪音 (-0.333 分) 及樓板衝擊音 (-0.441 分)，而閱讀效率由高至低分別為無噪音環境 (8.645 字/秒)、樓板衝擊音 (7.665 字/秒)、施工噪音 (7.627 字/秒)、悅音環境 (7.448 字/秒) 及白噪音 (7.400 字/秒)，綜上所述，閱讀效率與心理感受並未呈現一致性之表現，故本研究認為閱讀效率並不會隨著心理感受變化而改變，

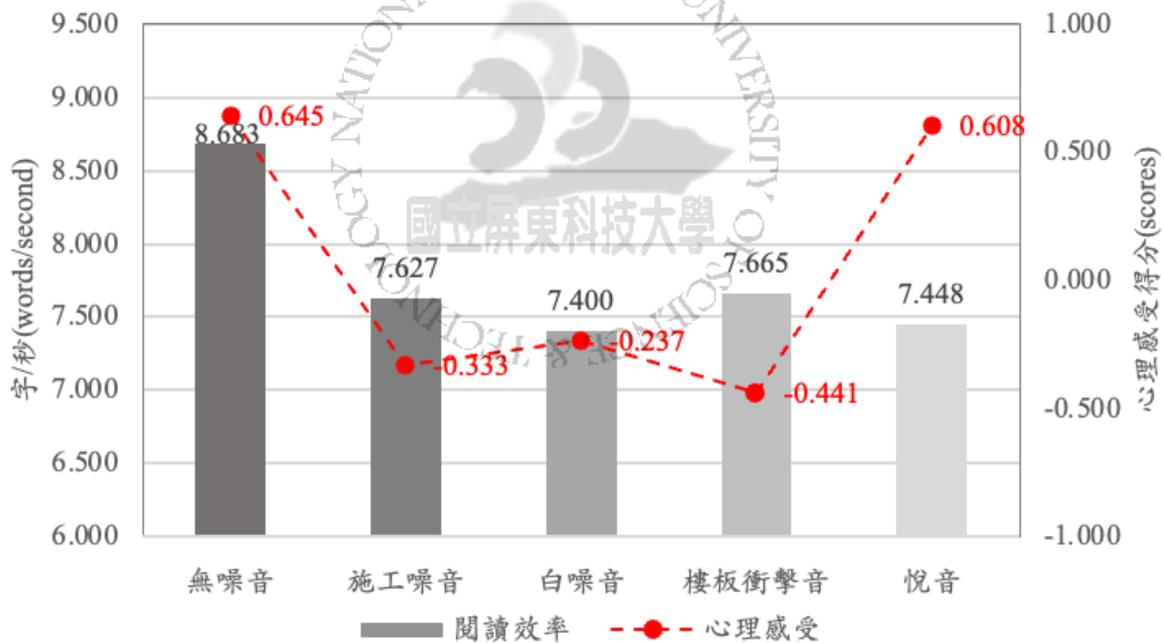


圖 30 閱讀效率與心理感受之相關性

Fig. 30 The correlation between reading efficiency and psychological feelings

伍、 結論與建議

一、 結論

近年來健康建築觀點逐漸為眾人所知，然而居住環境之噪音可能導致居住者之負面感受及生理影響，目前研究大多以噪音對心率、血壓等生理量之影響為主，鮮少針對噪音對閱讀表現影響進行探討，故本研究應用眼球追蹤系統探討音環境改變對閱讀表現之影響，並瞭解眼球追蹤系統用於建築聲學上之有效性，且透過與閱讀表現進行比較，瞭解受試者閱讀時受干擾程度，並同步以心理感受評價比較，以瞭解不同因子間之交互作用。

故本研究經實驗分析後歸納以下具體結論：

1. 本研究以五種音環境對人體之影響進行研究，結果顯示不論是噪音或悅音環境皆會造成眼球運動及閱讀表現之變化，其中以白噪音及樓板衝擊音對眼球運動之影響最大，在總凝視時間比值上皆增加了0.010，因此可確立眼球追蹤系統應用於建築聲學之有效性，而在閱讀效率上不論是噪音或悅音環境皆有下降之趨勢，這也表明音環境改變對閱讀造成之干擾。
2. 為瞭解受試者之背景條件差異對結果所產生之影響，本研究分別評估學歷、科系、性別及噪音敏感度等對眼球運動、閱讀表現及心理感受之影響，於本研究中，不同之背景條件對於眼球運動較無差異，但科系及性別對於閱讀效率有顯著之影響，且性別及噪音敏感度對於心理感受亦有顯著之改變，故可瞭解受試者背景條件差異會造成閱讀表現及心理感受之變化。
3. 本研究以組合圖方式針對眼球運動、閱讀表現及心理感受間之交互關係進行比較探討，結果指出樓板衝擊音及施工噪音會使受試者有負面之心理感受產生，並會導致更大的平均跳視幅度及更快的平均跳視速度，而平均跳視幅度及平均跳視速度上升與更高之閱讀效率有關，因此可得知不同因子間會相互影響。

二、 建議

1. 本研究以眼球追蹤系統探討不同音環境下之眼球運動，透過實驗分析之方式確立了眼球追蹤系統應用上之有效性，且已知不同音環境下眼球運動皆會產生不同程度之影響，包括噪音下使得總凝視時間比值、平均凝視時間及凝視次數比值之上升，然而噪音之聲壓位準、頻率等亦是對生心理造成影響之重要因子，本研究僅以 70 dB(A) 之不同噪音及悅音進行實驗，故建議後續學者可針對聲音之特性等進行更多方面之探討，以多方面掌握噪音等對於眼球運動之影響程度。
2. 受試者之不同背景條件會使得其對於噪音之感受度有所差異，本研究之結果已知性別等會影響結果，而由於本研究受試者取樣之緣故，有些因子無法進行探討，包括年齡差異等，故可於後續研究中更廣泛針對受試者之背景條件差異進行分析。



陸、 參考文獻

1. 行政院環境保護署 (2021) 中華民國環境保護統計年報。中華民國環境保護統計年報，2-64。
2. 吳建志 (2006) 室內噪音對人體反應影響之研究--以良導絡與心理感知之實驗分析， P3-11。國立成功大學。台南市。
<https://hdl.handle.net/11296/97echw>。
3. 吳家豪 (2016) 應用於穿戴式即時眼動儀的雙模式瞳孔與虹膜視線追蹤系統。國立中興大學。台中市。
<https://hdl.handle.net/11296/yrh362>。
4. 林彥汝 (2014) 噪音暴露對非聽覺影響之研究。中山醫學大學。台中市。
<https://hdl.handle.net/11296/8x625t>。
5. 林景鴻 (2011) 應用眼球追蹤系統探討不同照明方式下 VDT 作業對工作效率影響之研究。國立成功大學。台南市。
<https://hdl.handle.net/11296/rzvqvm>。
6. 姚子健 (2021) 眼動軌跡分析閱覽歷程-以國立自然科學博物館之教育展版為例。國立臺中教育大學。台中市。
<https://hdl.handle.net/11296/75b765>。
7. 唐大崙、張文瑜 (2007) 利用眼動追蹤法探索傳播研究。中華傳播學刊，12 期。
8. 唐唯傑 (2016) 具頭動補償功能之頭戴式眼動儀系統。國立臺灣師範大學。台北市。
<https://hdl.handle.net/11296/8zcu5q>。
9. 郭俊霆、郭德瑜和蘇美琳 (2019) 眼動儀研究與應用。亞東學報(39)，127-134。
10. 陳學志、賴惠德和邱發忠 (2010) 眼球追蹤技術在學習與教育上的應用。教育科學研究期刊，55(4)，39-68。
11. 傅遠喻 (2013) 以眼動“觀”點探討網頁圖片編排對於使用者經驗之影響。國立中山大學。高雄市。
<https://hdl.handle.net/11296/yh7gz7>。
12. 黃士賓 (2006) 住宅室內生活噪音源及居民反應之調查。建築學報(56)，165-182。

13. 楊新明 (2016) 鋼鐵製造業噪音曝露對勞工生理反應之研析。嘉南藥理大學。台南市。 <https://hdl.handle.net/11296/7j58x6>。
14. 劉建志 (2012) 調控室內音響環境對人體反應影響之研究。國立成功大學。台南市。 <https://hdl.handle.net/11296/vfa4q6>。
15. Abdulla, S. (1998). Noise-induced hearing loss: the future is hear. *Molecular Medicine Today*, 4(7), 284-285.
16. Alvarsson, J. J., Wiens, S., & Nilsson, M. E. (2010). Stress Recovery during Exposure to Nature Sound and Environmental Noise. *International journal of environmental research and public health*, 7(3), 1036-1046.
17. Angwin, A. J., Wilson, W. J., Arnott, W. L., Signorini, A., Barry, R. J., & Copland, D. A. (2017). White noise enhances new-word learning in healthy adults. *Scientific reports*, 7(1), 1-6.
18. Angwin, A. J., Wilson, W. J., Copland, D. A., Barry, R. J., Myatt, G., & Arnott, W. L. (2018). The impact of auditory white noise on semantic priming. *Brain and Language*, 180, 1-7.
19. Angwin, A. J., Wilson, W. J., Ripollés, P., Rodriguez-Fornells, A., Arnott, W. L., Barry, R. J., Cheng, B. B., Garden, K., & Copland, D. A. (2019). White noise facilitates new-word learning from context. *Brain and Language*, 199, 104699.
20. Annerstedt, M., Jönsson, P., Wallergård, M., Johansson, G., Karlson, B., Grahn, P., Hansen, Å. M., & Währborg, P. (2013). Inducing physiological stress recovery with sounds of nature in a virtual reality forest — Results from a pilot study. *Physiology & Behavior*, 118, 240-250.
21. Ayoko, O. B., Ashkanasy, N. M., Li, Y., Dorris, A., & Jehn, K. A. (2023). An experience sampling study of employees' reactions to noise in the open-plan office. *Journal of Business Research*, 155, 113445.
22. Babisch, W. (2002). The noise/stress concept, risk assessment and research needs. *Noise and health*, 4(16), 1.
23. Babisch, W. (2003). Stress hormones in the research on cardiovascular effects of noise. *Noise and health*, 5(18), 1.
24. Bachurina, V., & Arsalidou, M. (2022). Multiple levels of mental

- attentional demand modulate peak saccade velocity and blink rate. *Heliyon*, 8(1), e08826.
25. Beheshti, M. H., Taban, E., Samaei, S. E., Faridan, M., Khajehnasiri, F., Khaveh, L. T., Jebeli, M. B., Mehri, A., & Tajpoor, A. (2019). The influence of personality traits and gender on noise annoyance in laboratory studies. *Personality and Individual Differences*, 148, 95-100.
 26. Belojevic, G., Jakovljevic, B., Stojanov, V., Paunovic, K., & Ilic, J. (2008). Urban road-traffic noise and blood pressure and heart rate in preschool children. *Environment international*, 34(2), 226-231.
 27. Benn, Y., Webb, T. L., Chang, B. P. I., & Reidy, J. (2015). What information do consumers consider, and how do they look for it, when shopping for groceries online? *Appetite*, 89, 265-273.
 28. Bertalmío, M. (2020). Chapter 2 - The biological basis of vision: the retina. In M. Bertalmío (Ed.), *Vision Models for High Dynamic Range and Wide Colour Gamut Imaging* (pp. 11-46). Academic Press.
 29. Bitkina, O. V., Park, J., & Kim, H. K. (2021). The ability of eye-tracking metrics to classify and predict the perceived driving workload. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 86, 103193.
 30. Bloch, B., Reshef, A., Vadas, L., Haliba, Y., Ziv, N., Kremer, I., & Haimov, I. (2010). The effects of music relaxation on sleep quality and emotional measures in people living with schizophrenia. *Journal of music therapy*, 47(1), 27-52.
 31. Blythe, H. I., Häikiö, T., Bertam, R., Liversedge, S. P., & Hyönä, J. (2011). Reading disappearing text: Why do children refixate words? *Vision Research*, 51(1), 84-92.
 32. Brodal, P. (2004). *The central nervous system: structure and function*. oxford university Press.
 33. Chevet, G., Baccino, T., Marlot, L., Vinter, A., & Drai-Zerbib, V. (2022). Effects of interruption on eye movements and comprehension during reading on digital devices. *Learning and Instruction*, 80, 101565.

34. De Luca, M., Di Pace, E., Judica, A., Spinelli, D., & Zoccolotti, P. (1999). Eye movement patterns in linguistic and non-linguistic tasks in developmental surface dyslexia. *Neuropsychologia*, 37(12), 1407-1420.
35. Di Stasi, L. L., Renner, R., Staehr, P., Helmert, J. R., Velichkovsky, B. M., Cañas, J. J., Catena, A., & Pannasch, S. (2010). Saccadic peak velocity sensitivity to variations in mental workload. *Aviation, space, and environmental medicine*, 81(4), 413-417.
36. Ebben, M. R., Yan, P., & Krieger, A. C. (2021). The effects of white noise on sleep and duration in individuals living in a high noise environment in New York City. *Sleep Medicine*, 83, 256-259. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sleep.2021.03.031>
37. Elmenhorst, E.-M., Pennig, S., Rolny, V., Quehl, J., Mueller, U., Maaß, H., & Basner, M. (2012). Examining nocturnal railway noise and aircraft noise in the field: Sleep, psychomotor performance, and annoyance. *Science of the Total Environment*, 424, 48-56.
38. Flodin, S., Hagberg, E., Persson, E., Sandbacka, L., Sikström, S., & Söderlund, G. (2012). Lateralization effects of auditory white noise on verbal and visuo-spatial memory performance. *Fonetik*,
39. Frontczak, M., Andersen, R. V., & Wargocki, P. (2012). Questionnaire survey on factors influencing comfort with indoor environmental quality in Danish housing. *Building and Environment*, 50, 56-64.
40. Golmohammadi, R., Darvishi, E., Faradmal, J., Poorolajal, J., & Aliabadi, M. (2020). Attention and short-term memory during occupational noise exposure considering task difficulty. *Applied Acoustics*, 158, 107065.
41. Haines, M. M., Stansfeld, S. A., Job, R. F. S., Berglund, B., & Head, J. (2001). A follow-up study of effects of chronic aircraft noise exposure on child stress responses and cognition. *International Journal of Epidemiology*, 30(4), 839-845.
42. Helps, S. K., Bamford, S., Sonuga-Barke, E. J., & Söderlund, G. B. (2014). Different effects of adding white noise on cognitive performance of sub-, normal and super-attentive school children. *PloS one*, 9(11), e112768.

43. Hjortebjerg, D., Andersen, A. M., Christensen, J. S., Ketznel, M., Raaschou-Nielsen, O., Sunyer, J., Julvez, J., Forn, J., & Sørensen, M. (2016). Exposure to Road Traffic Noise and Behavioral Problems in 7-Year-Old Children: A Cohort Study. *Environ Health Perspect*, 124(2), 228-234.
44. Ho, H.-F. (2014). The effects of controlling visual attention to handbags for women in online shops: Evidence from eye movements. *Computers in Human Behavior*, 30, 146-152.
45. Huang, L., Ouyang, J., & Jiang, J. (2022). The relationship of word processing with L2 reading comprehension and working memory: Insights from eye-tracking. *Learning and Individual Differences*, 95, 102143.
46. Huestegge, L., Radach, R., Corbic, D., & Huestegge, S. M. (2009). Oculomotor and linguistic determinants of reading development: A longitudinal study. *Vision Research*, 49(24), 2948-2959.
47. Jeon, K., & Oh, J.-S. (2022). Study on quantification of stress according to sound pressure level of road noise: Case of salivary cortisol and heart rate. *Applied Acoustics*, 192, 108695.
48. Jeong, J., & Lee, S. (2018). A study on the annoyance and disturbance of floor impact noise according to noise sensitivity based on questionnaire survey. *The Journal of the Acoustical Society of Korea*, 37(6), 428-436.
49. Jin, L., Zhang, Y., & Zhang, Z. (2017). Human responses to high humidity in elevated temperatures for people in hot-humid climates. *Building and Environment*, 114, 257-266.
50. Kallinen, K. (2002). Reading news from a pocket computer in a distracting environment: effects of the tempo of background music. *Computers in Human Behavior*, 18(5), 537-551.
51. Ke, J., Zhang, M., Luo, X., & Chen, J. (2021). Monitoring distraction of construction workers caused by noise using a wearable Electroencephalography (EEG) device. *Automation in Construction*, 125, 103598.
52. Khomenko, S., Cirach, M., Barrera-Gómez, J., Pereira-Barboza, E., Jungman, T., Mueller, N., Foraster, M., Tonne, C., Thondoo, M., &

- Jephcote, C. (2022). Impact of road traffic noise on annoyance and preventable mortality in European cities: A health impact assessment. *Environment international*, 162, 107160.
53. Khosravipour, M., Ghanbari Kakavandi, M., Nadri, F., & Gharagozlou, F. (2021). The long-term effects of exposure to noise on the levels of thyroid hormones: A four-year repeated measures study. *Science of the Total Environment*, 792, 148315.
54. Kim, S., Kim, J., Lee, S., Song, H., Song, M., & Ryu, J. (2022). Effect of temporal pattern of impact sound on annoyance: Children's impact sounds on the floor. *Building and Environment*, 208, 108609.
55. Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P., Behar, J. V., Hern, S. C., & Engelmann, W. H. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 11(3), 231-252.
56. Knudsen, E. I. (2007). Fundamental Components of Attention. *Annual Review of Neuroscience*, 30(1), 57-78.
57. Lal, V., & Truong, D. (2019). Eye movement abnormalities in movement disorders. *Clinical Parkinsonism & Related Disorders*, 1, 54-63.
58. Lamkin-Kennard, K. A., & Popovic, M. B. (2019). 4 - Sensors: Natural and Synthetic Sensors. In M. B. Popovic (Ed.), *Biomechatronics* (pp. 81-107). Academic Press.
59. Le, A. S., Suzuki, T., & Aoki, H. (2020). Evaluating driver cognitive distraction by eye tracking: From simulator to driving. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 4, 100087.
60. Lencioni, T., Ponte, C., Cosentino, C., Mezzarobba, S., Carpinella, I., Ferrarin, M., Avanzino, L., Lagravinese, G., & Pelosin, E. (2022). The effect of music-induced emotion on visual-spatial learning in people with Parkinson's disease: A pilot study. *Parkinsonism & related disorders*, 94, 120-123.

61. Li, J., Li, H., Umer, W., Wang, H., Xing, X., Zhao, S., & Hou, J. (2020). Identification and classification of construction equipment operators' mental fatigue using wearable eye-tracking technology. *Automation in Construction*, 109, 103000.
62. Liu, J., Chi, J., Yang, H., & Yin, X. (2022). In the eye of the beholder: A survey of gaze tracking techniques. *Pattern Recognition*, 132, 108944.
63. Liu, T., Lin, C.-C., Huang, K.-C., & Chen, Y.-C. (2017). Effects of noise type, noise intensity, and illumination intensity on reading performance. *Applied Acoustics*, 120, 70-74.
64. Loberg, O., Hautala, J., Hämäläinen, J. A., & Leppänen, P. H. T. (2019). Influence of reading skill and word length on fixation-related brain activity in school-aged children during natural reading. *Vision Research*, 165, 109-122.
65. Lombard, W. A. (2022). Comparison of the importance of beef price labelling aspects: An eye-tracking approach. *Heliyon*, 8(7), e09783.
66. Ma, K. W., Wong, H. M., & Mak, C. M. (2018). A systematic review of human perceptual dimensions of sound: Meta-analysis of semantic differential method applications to indoor and outdoor sounds. *Building and Environment*, 133, 123-150.
67. Madjar, N., Gazoli, R., Manor, I., & Shoval, G. (2020). Contrasting effects of music on reading comprehension in preadolescents with and without ADHD. *Psychiatry Research*, 291, 113207.
68. Manjarrez, E., Diez-Martinez, O., Mendez, I., & Flores, A. (2002). Stochastic resonance in human electroencephalographic activity elicited by mechanical tactile stimuli. *Neuroscience letters*, 324(3), 213-216.
69. Minakata, K., & Beier, S. (2021). The effect of font width on eye movements during reading. *Applied Ergonomics*, 97, 103523.
70. Moghadam, S. M. K., Alimohammadi, I., Taheri, E., Rahimi, J., Bostanpira, F., Rahmani, N., Abedi, K. a.-D., & Ebrahimi, H. (2021). Modeling effect of five big personality traits on noise sensitivity and annoyance. *Applied Acoustics*, 172, 107655.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107655>

71. Mojtabavi, H., Saghazadeh, A., Valenti, V. E., & Rezaei, N. (2020). Can music influence cardiac autonomic system? A systematic review and narrative synthesis to evaluate its impact on heart rate variability. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 39, 101162.
72. Nargiz Koşucu, S., & Şelimen, D. (2022). Effects of Music and Preoperative Education on Coronary Artery Bypass Graft Surgery Patients' Anxiety. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*.
73. Nater, U. M., Abbruzzese, E., Krebs, M., & Ehlert, U. (2006). Sex differences in emotional and psychophysiological responses to musical stimuli. *International Journal of Psychophysiology*, 62(2), 300-308.
74. Nieoullon, A., & Coquerel, A. (2003). Dopamine: a key regulator to adapt action, emotion, motivation and cognition. *Current opinion in neurology*, 16, S3-S9.
75. Othman, E., Yusoff, A. N., Mohamad, M., Manan, H. A., Giampietro, V., Abd Hamid, A. I., Dzulkifli, M. A., Osman, S. S., & Burhanuddin, W. I. D. W. (2019). Low intensity white noise improves performance in auditory working memory task: An fMRI study. *Heliyon*, 5(9), e02444.
76. Parker, A. J., Slattery, T. J., & Kirkby, J. A. (2019). Return-sweep saccades during reading in adults and children. *Vision Research*, 155, 35-43.
77. Pickens, T. A., Khan, S. P., & Berlau, D. J. (2019). White noise as a possible therapeutic option for children with ADHD. *Complementary Therapies in Medicine*, 42, 151-155.
78. Sanok, S., Berger, M., Müller, U., Schmid, M., Weidenfeld, S., Elmenhorst, E.-M., & Aeschbach, D. (2022). Road traffic noise impacts sleep continuity in suburban residents: Exposure-response quantification of noise-induced awakenings from vehicle pass-bys at night. *Science of the Total Environment*, 817, 152594.
79. Sanz, S. A., García, A. M., & García, A. (1993). Road traffic noise around schools: a risk for pupil's performance? *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 65(3), 205-207.

80. Sejdić, E., & Lipsitz, L. A. (2013). Necessity of noise in physiology and medicine. *Computer methods and programs in biomedicine*, 111(2), 459-470.
81. Sikström, S., & Söderlund, G. (2007). Stimulus-dependent dopamine release in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Psychological review*, 114(4), 1047.
82. Söderlund, G. B., Björk, C., & Gustafsson, P. (2016). Comparing auditory noise treatment with stimulant medication on cognitive task performance in children with attention deficit hyperactivity disorder: results from a pilot study. *Frontiers in psychology*, 7, 1331.
83. Stanchina, M. L., Abu-Hijleh, M., Chaudhry, B. K., Carlisle, C. C., & Millman, R. P. (2005). The influence of white noise on sleep in subjects exposed to ICU noise. *Sleep Medicine*, 6(5), 423-428.
84. Stansfeld, S. A., Berglund, B., Clark, C., Lopez-Barrio, I., Fischer, P., Öhrström, E., Haines, M. M., Head, J., Hygge, S., van Kamp, I., & Berry, B. F. (2005). Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *The Lancet*, 365(9475), 1942-1949.
85. Sun, X., Wu, H., & Wu, Y. (2020). Investigation of the relationships among temperature, illuminance and sound level, typical physiological parameters and human perceptions. *Building and Environment*, 183, 107193.
86. Tang, H., Ding, Y., Liu, X., & Singer, B. C. (2022). Investigating the influence of environmental information on perceived indoor environmental quality: An exploratory study. *Journal of Building Engineering*, 48, 103933.
87. Tiffin-Richards, S. P., & Schroeder, S. (2015). Word length and frequency effects on children's eye movements during silent reading. *Vision Research*, 113, 33-43.
88. Tseng, L.-P., Chuang, M.-T., & Liu, Y.-C. (2022). Effects of noise and music on situation awareness, anxiety, and the mental workload of nurses during operations. *Applied Ergonomics*, 99, 103633.
89. Umbas, J. C. G., Bintang, A. K., Aulina, S., Bahar, A., & Akbar, M. (2021). The effect of white noise on high school students' sleep quality at Unit B

- of Rajawali Girls Dormitory Makassar. *Medicina Clínica Práctica*, 4, 100209.
90. Vernet, M., Bellocchi, S., Danna, J., Massendari, D., Jover, M., Chaix, Y., & Ducrot, S. (2023). The determinants of saccade targeting strategy in neurodevelopmental disorders: The influence of suboptimal reading experience. *Vision Research*, 204, 108162.
91. Yang, J., Ye, G., Zhang, Z., Liu, X., & Liu, Y. (2023). Linking construction noise to worker safety behavior: The role of negative emotion and regulatory focus. *Safety Science*, 162, 106093.
92. Yang, L., Dai, X., Wu, L., Xu, T., Chen, Z., Min, Z., Liao, Y., Ni, L., Yao, Y., & Yi, G. (2022). Stress hormone biosynthesis-based genes and lifestyle moderated the association of noise exposure with blood pressure in a cohort of Chinese tobacco factory workers: A cross-sectional analysis. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 239, 113868.
93. Yi, W., & DeKeyser, R. (2022). Incidental learning of semantically transparent and opaque Chinese compounds from reading: An eye-tracking approach. *System*, 107, 102825.

附錄

附錄一 基本資料表

代號：_____（由執行人員填寫）
性別：男 <input type="checkbox"/> 女 <input type="checkbox"/>
年齡：_____歲
系所：_____
學歷：研究生 <input type="checkbox"/> 大專生 <input type="checkbox"/>
居住環境：都市 <input type="checkbox"/> 鄉下 <input type="checkbox"/>
住宅類型：大樓 <input type="checkbox"/> 透天 <input type="checkbox"/>
是否有聽力異常：是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>
是否有視力問題：是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>
是否有心臟疾病：是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>
是否有閱讀障礙：是 <input type="checkbox"/> 否 <input type="checkbox"/>
日期：_____年_____月_____日

附錄二 噪音敏感度量表

編號	題目	是	否
1	我願意住在吵鬧的路邊		
2	我很悲觀		
3	在播音樂時不應該影響到別人		
4	在電影院時對別人的聲音很在意		
5	我很容易被噪音吵醒		
6	如果讀書的地方很吵我會搬到安靜的地方		
7	我會因為鄰居的吵鬧感到煩躁		
8	我習慣處在噪音的環境		
9	突發性的噪音會使我很緊張		
10	當要集中精神時連喜歡的音樂都會有影響		
11	我不在乎鄰居的腳步聲或是講話聲		
12	不管周圍發生什麼事我都善於集中注意力		
13	我想獨處時外面傳出的聲音會妨礙到我		
14	我不在乎圖書館別人的竊竊私語		
15	偶爾會想在完全安靜的地方		
16	摩托車的聲音很吵		
17	在吵鬧的地方休息很痛苦		
18	對於吵到我睡覺或工作的人會感到很生氣		
19	我不介意住在隔音很差的房間		
20	我對噪音很敏感		

附錄三 人類研究倫理審查委員會審查通過證明



國立成功大學人類研究倫理審查委員會

National Cheng Kung University Human Research Ethics Committee

網址：<http://rec.chass.ncku.edu.tw/> E-mail：em51020@email.ncku.edu.tw

70101台南市大學路1號光復校區雲平大樓東棟北側4樓

電話：886-6-2757575-51020, 886-6-2756831

審查通過證明

成大倫審會(簡)字第 111-486-2 號

案件編號：111-486

計畫名稱：應用眼球追蹤系統探討不同音環境下人體反應之研究

計畫主持人：林育綱

指導教授：馮俊豪

計畫執行機構：國立屏東科技大學

核准日期：111年09月28日

有效期限：112年06月30日

結案報告繳交截止日期：112年06月30日



國立成功大學人類研究倫理審查委員會

主任委員

郭書琴

中華民國 1 1 1 年 0 9 月 2 8 日

實驗研究參與同意書

計畫名稱：應用眼球追蹤系統探討不同音環境下人體反應之研究

計畫主持人姓名：林育綱

指導教授：馮俊豪

計畫執行機構：屏東科技大學木材科學與設計系

計畫經費補助單位：屏東科技大學聲學實驗室

實驗地點：屏東科技大學木材科學與設計系館

■**這個實驗在做什麼：**本研究目的是為了瞭解在不同音環境下對人體反應的影響，分別在施工噪音、白噪音、樓板衝擊音、悅音及無噪音環境下進行測試，測試內容包括心理量、閱讀能力及眼球運動，此次實驗目的為學術研究，並非身體檢測或醫學診斷，而研究不包括專利申請或其他商業應用，且無此規劃。

■**研究參與者的特徵簡述：**年齡範圍約在 20-25 歲間的男女，成員包括學士及碩士

■**可能的風險與傷害賠償：**

本研究使用穿戴式眼球追蹤系統，因為戴眼鏡會影響到眼球追蹤系統的判讀，所以要使用儀器搭配之鏡片，但因為此鏡片的度數是以 50 度作為間隔，可能會與真實之近視度數有差異，導致眼睛痠痛、頭暈之狀況產生，若有此種感覺，可直接告知實驗執行人員，執行人員就會立刻停止實驗；在實驗進行中會使用樓板衝擊音、施工噪音、白色噪音及悅音作為噪音源，若此噪音源對聽力等造成影響，產生耳鳴、頭暈等問題，請告知實驗執行人員暫停實驗。

如依本研究所訂實驗內容及流程進行，而發生不良反應或傷害，我們將釐清責任歸屬後，由屏科大聲學實驗室負損害賠償，且提供必要協助，但本研究參與同意書上所記載的可預期不良反應且無法預防，不予賠償。除前項賠償外，本研究不提供其他形式之補償，若您不願意接受，請勿參加研究。

■**研究補償：**

為了感謝並補償您參與實驗所花費的時間與精神，如果您全程參與實驗，我們將提供您 200 元。如果您中途退出實驗，我們會提供 100 元車馬費。

■**我們如何處理您的實驗資料：**

實驗所獲得的資料（或數據）只有研究團隊人員可以使用。未來亦採整體數據分析及發表，不會揭露個人實驗結果，且實驗資料將保存於實驗室之硬碟，並於 3 年後銷毀，本研究預計結束時間為民國 112 年 6 月 30 日，故資料將保存至民國 115 年 6 月 29 日後銷毀。

■您一定要參與這個實驗嗎：

您可自由選擇是否參與實驗，本研究會完全尊重您的意見，不用擔心因為選擇不參加本研究，導致您的人際關係或權益有任何受損，實驗過程中可隨時終止，不需要做任何賠償。

■聯絡資訊

若想詢問實驗有關的問題，請與本團隊執行人員 林育綱，聯絡電話是 0965632551，email 為 tub0937673261@gmail.com。

本研究由屏東科技大學委託國立成功大學人類研究倫理審查委員會倫理審查通過，若想諮詢參與研究的權益或提出申訴，請聯絡該委員會，電話：06-275-7575 轉 51020，email：em51020@email.ncku.edu.tw。

如果您同意參與這項實驗，請確認以下事項：

- 我已經了解研究內容及參與者權益；
- 我知道如果我不想參與實驗，我可以不要參與；且如果我半途不想繼續參與實驗，可以不需要提供任何理由；
- 如果我有和參與這項實驗相關的問題，我知道研究團隊的聯絡資訊。

若您退出實驗，有關您參加實驗所蒐集到的資料如何處理？

- 請刪除，不要列入這項實驗的後續資料分析。
- 無須刪除，可列入這項實驗的後續資料分析。

我們很樂意在未來研究出版時，提供您摘要報告。

- 我有興趣，請寄至（電子信箱或地址）：_____。
- 不用了，謝謝。

請選擇您參加實驗所蒐集到的資料未來以下列哪種方式使用：

- 我不同意繼續提供研究團隊其他研究使用，本次研究結束請刪除。
- 我同意在無法辨識我身份的情況下繼續提供研究團隊使用。
- 未來每次使用都必須徵求我的同意。

※若未去連結之研究材料，逾越原應以書面同意的使用範圍時，研究團隊需將變更使用之規劃，提交國立成功大學人類研究倫理審查委員會審查通過，並完成告知，或於必要時重新取得您的同意。

研究參與者簽名處

您的簽名：_____ 聯絡電話：_____

日期：_____

研究團隊簽名處

本團隊已經向研究參與者仔細說明這項實驗的目的、過程、可能的益處、潛在傷害或不舒服、補償資訊、以及可隨時終止或退出的權益。

本同意書一式兩份，將由雙方各自留存，以利日後的聯繫用途。

計畫主持人/共同主持人/實驗執行人員簽名：_____

日期：_____

-----附件（請依據研究需要檢附文件以供參考）-----

實驗流程說明單

本實驗需要長時間集中注意力，請在指定實驗時間前 24 小時盡可能避免從事對於生理指標會造成干擾的活動，例如：服藥或熬夜等。

步驟一：填寫問卷

為了能夠了解您的健康狀況及對噪音的忍受度，將請您填寫問卷，以確保符合參與資格：

- 沒有被診斷為聽力障礙
- 沒有視力問題（如斜視、近視度數超過 500 度以上）
- 沒有閱讀障礙
- 沒有心臟疾病或相關家族疾病史

步驟二：使用眼球追蹤系統記錄閱讀下眼球運動

您會在屏科大木材科學與設計系 RE149 進行實驗。本研究使用之儀器為 Tobii Glasses 2（如圖 1），為穿戴型眼球追蹤系統，不會對眼球造成損害。

在開始實驗前，請您將眼鏡配戴到舒適的位置，若有近視請告知度數並由實驗執行人員幫助配戴鏡片，並將 sensor 放置在不影響坐姿及閱讀之位置，開始前會先進行儀器校正，請於校正時使眼球凝視校正卡（如圖 2），當儀器校正後即開始實驗，實驗開始後，請勿觸碰眼鏡，並依照平常閱讀的習慣閱讀文章即可，但頭部盡量保持不動，避免眼球追蹤系統搜集不到數據，在閱讀完後請您舉手告知實驗執行人員，以終止實驗。

步驟三：填寫閱讀測驗及心理量問卷

於實驗結束後，請依指示填寫心理量問卷，並施作閱讀測驗，皆填寫完畢後可先做休息，10 分鐘後更換音源並再重複步驟二。

實驗步驟如下：配戴眼球追蹤系統⇒在不同噪音環境下分別閱讀一篇文章，噪音源分別為無噪音環境、樓板衝擊音、施工噪音、白色噪音及大自然的聲音⇒整個實驗過程會根據受試者閱讀能力差

異約 3-10 分鐘⇒填寫閱讀測驗及心理量問卷⇒休息 10 分鐘⇒換下個噪音源



圖 1、眼球追蹤系統



圖 2、校正卡



圖 3、實驗流程圖

附錄五 心理感受評價問卷

1. 在目前之音環境下閱讀舒適程度如何？

非常不舒適 不舒適 適中 舒適 非常舒適

-2 -1 0 1 2

2. 在目前之音環境下閱讀輕鬆感受如何？

非常緊張 緊張 適中 放鬆 非常舒適

-2 -1 0 1 2

3. 在目前之音環境下閱讀心情愉悅感受如何？

非常不悅 不悅 適中 愉悅 非常愉悅

-2 -1 0 1 2

4. 在目前之音環境下閱讀覺醒程度如何？

非常昏睡 昏睡的 適中 清醒的 非常清醒

-2 -1 0 1 2

5. 在目前之音環境下閱讀困擾程度如何？

非常困擾 困擾的 適中 不困擾 完全不困擾

-2 -1 0 1 2

6. 在目前之音環境下閱讀疲倦程度如何？

非常疲倦 疲倦的 適中 有精神 非常有精神

-2 -1 0 1 2