

室內環境氣密性能現場檢測技術與方法之研究

內政部建築研究所委託研究報告
(110年度)

室內環境氣密性能現場檢測技術與方法之研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 110 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

11015G0012

PG11003-0006

室內環境氣密性能現場檢測技術與方法之研究

受委託者：財團法人成大研究發展基金會

研究主持人：李訓谷組長

協同主持人：陳震宇副教授

研究助理：劉名宸、林詩頻

研究期程：中華民國110年2月26日至110年12月31日

研究經費：新臺幣99萬5仟元整

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 110 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	IX
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究方法	6
第三節 研究流程與進度	11
第四節 預期成果及效益	13
第二章 門窗氣密性與隔音性檢測方法之分析	15
第一節 門窗氣密性檢測方法	15
第二節 門窗隔音性檢測方法	36
第三節 窗戶隔音性與氣密性之關聯性	44
第三章 窗戶氣密性現場檢測方法之建立	51
第一節 門窗氣密性現場檢測方法	51
第二節 門窗氣密性現場檢測方法專利與技術移轉 規劃.....	57
第四章 門窗氣密性現場檢測技術之可行性與應用性評估	61
第一節 市售窗戶氣密性調查	61
第二節 現場窗戶氣密性檢測	64
第三節 門窗氣密性與隔音性之關聯性建立	66
第四節 門窗氣密性現場檢測應用評估	67

第五章 結論與建議	77
第一節 結論	77
第二節 建議	79
附錄一 審查意見及廠商回應一覽表	81
附錄二 期中審查意見回覆	83
附錄三 期末簡報審查	89
附錄四 第一次專家會議-電話訪視調查	93
附錄五 第二次專家會議	97
附錄六 第三次專家會議	103
附錄七 專利初稿-門(窗)氣密性檢測系統	105
附錄八 論文投稿	115
參考書目	117

表次

表 2.1	門窗氣密性檢測方法之比較.....	34
表 3.1	門窗現場氣密性檢測結果紀錄表.....	56
表 4.1	市售窗戶氣密性調查.....	61
表 4.2	現場窗戶氣密性檢測數據.....	64
表 4.3	電梯門間隙寬度量測.....	71
表 4.4	電梯門洩漏量量測結果.....	72

圖次

圖 1.1	住宅典型洩漏途徑位置	3
圖 1.2	高層建築洩漏途徑示意圖	4
圖 1.3	PULSE 暫態氣密性檢測系統	7
圖 1.4	聲學實驗室之窗戶隔音性能檢測	8
圖 2.1	門窗氣密性試驗設備示意圖	16
圖 2.2	CNS 11527 A3236 氣密性等級線	17
圖 2.3	LabVIEW 儀控軟體	22
圖 2.4	遮煙設備整體外觀	24
圖 2.5	加壓循環部構成	24
圖 2.6	測試艙構成	25
圖 2.7	壓差計	26
圖 2.8	壓差量測點及熱電偶	26
圖 2.9	爐壓及爐溫控制面板	26
圖 2.10	爐溫用燃燒機	27
圖 2.11	煙洩漏量量測裝置	27
圖 2.12	門窗氣密性現場試驗方法示意圖	30
圖 2.13	建築用門現場遮煙性能測試安裝相對位置示意圖	31
圖 2.14	建築用門現場遮煙性能測試裝置示意圖 ...	32
圖 2.15	建築構件空氣音隔音性能測試示意圖	38
圖 2.16	揚聲器法示意圖	42

圖 2.17 聲波法和穩態壓差法的現場對比量測示意圖	45
圖 2.18 4 Pa 壓差下的窗戶氣密性與隔音性之相關性	46
圖 2.19 利用聲波法量測建築物氣密性的實驗裝置	46
圖 2.20 聲源位置以及聲波測點	47
圖 2.21 穩態壓差法(a)與聲波法(b)測量窗氣密性之現場實測比對	48
圖 2.22 聲波法和穩態壓差法現場量測窗戶氣密性與隔音性之示意圖	49
圖 2.23 三種實驗條件之現況	49
圖 2.24 氣密性與隔音性之相關性	50
圖 3.1 門窗氣密性現場檢測設備示意圖	53
圖 3.2 門窗氣密性現場檢測標準作業程序	54
圖 4.1 窗戶隔音性與氣密性之關聯性	66
圖 4.2 防火門失效調查結果	67
圖 4.3 電梯門氣密性檢測之組裝圖	69
圖 4.4 電梯門框架實際組立圖	69
圖 4.5 電梯門遮煙測試罩示意圖	70
圖 4.6 電梯門遮煙性能間隙量測標註	71
圖 4.7 遮煙捲簾示意圖	73
圖 4.8 遮煙捲簾實際組立圖	73

圖 4.9 遮煙捲簾洩漏量之比較 74

圖 4.10 脈衝法與鼓風門法在建築物洩漏量之比較
..... 75

摘要

關鍵字：窗戶、氣密性、隔音性、現場測試

一、研究緣起

根據相關文獻統計資料顯示整體建築外殼氣密性的分佈，除了牆壁構造外，窗戶造成建築物洩漏的比例相當大。因此，建築門窗的氣密性對室內環境與建築能耗具有相當大的影響；加上近年來室外空氣污染影響室內空氣品質與隨著建築節能減碳的需求日益增加，使得建築氣密窗在台灣社會被廣泛的使用。然而，根據109年建研所辦理「既有建築物室內環境氣密性能之調查研究」之成果顯示，台灣建築的氣密性受窗戶種類影響相當大，而窗戶的隔音性能與氣密性之間也存在著顯著關聯性。

因此，為了調適氣候與環境變遷對建築室內環境造成的問題，本研究將進一步探討窗戶氣密性對室內環境之影響，並針對實際安裝對於隔音、氣密性能的現況，提出現場檢測技術與方法。本研究目的在於目前我國並無窗戶之氣密性能現場檢測方法，導致無法了解窗戶現場安裝後之氣密性能與產品氣密性能的差異。因此本研究之目的為開發窗戶氣密性能現場檢測技術與工具。

二、研究方法與過程

本研究計畫主要建立門窗氣密性能之現場檢測技術，除了文獻分析、收集市面上門窗氣密性現況調查、窗戶現場氣密與隔音性能劣化之原因探討之外，並在研究各種門窗氣密性能檢測方法後，採用最合適的方法建立窗戶氣密性現場檢測方法，並進一步完成窗戶隔音性能與氣密性能之關聯性研究以及氣密性現場檢測技術之應用評估。因此本研究計畫採用文獻調查分析法、專家諮詢法以及全尺度實驗法以達成計畫之目標。

三、重要發現

1. 本研究根據門窗氣密性測試方法文獻分析結果，選定目前具備世界趨勢、操作簡單的脈衝式建築氣密性檢測技術作為現場檢測標準之依據。並且透過研究團隊從英國所獲得之建築物氣密性檢測技術教與設備加上參考美國建築製造商協會(AAMA)的新設門窗產品現場測試之志願性規範 AAMA 502-08 以及英國氣密測試與量測協會(ATTMA)之技術報告 ATTMA TSL1 內之規範，訂定「門窗氣密性現場檢測方法」。
2. 本計畫從美國、歐盟與台灣專利資料庫完成「門窗氣密性現場檢測方法」之專利檢索。發現本研究發展之技術內容具有產業利用性、新穎性及進步性之三要件，進行專利申請之可專利性高。本計畫「門窗氣密性現場檢測方法」之產出業已完成「門(窗)氣密性檢測系統」台灣新型專利申請文件，並且規劃在專利申請通過後進行技術移轉。
3. 本研究共收集 8 種廠牌 25 樑窗戶之氣密性數據。依據 CNS 11527 所量測之實驗結果顯示 25 樑窗戶的氣密性均屬 2 等級。再者，從營建署建築工程施工規範中相關之工程規範文獻探討中，發現目前窗戶的品質保證大多使用產品抽樣送驗的型式，對於工法對於產品品質之保證並無相關之規範，本計畫所產出之「門窗氣密性現場檢測技術」之開發對於門窗品質保證有相對地幫助。
4. 本研究實驗結果顯示在台灣常用隔音性能超過 30dB 的窗戶上，其氣密性與隔音性存在著線性的關聯性。本研究開發之「窗戶氣密性現場檢測技術」量測現場窗戶的氣密性來驗證窗戶的隔音性具有鑑別性。窗戶氣密性現場檢測技術」可作為判定不同性能氣密窗之驗收工具。後續可朝向增加實驗數據來定義以氣密性驗證窗戶隔音性的驗收基準。
5. 本研究評估「窗戶氣密性現場檢測技術」應用於有氣密性要求的場域或設備上發現，「窗戶氣密性現場檢測技術」可作為防火門、電梯門、遮煙捲

簾洩漏量性能的產品品質管理工具，以及應用在現場安裝完成之防火門、電梯門、遮煙捲簾的遮煙性能驗收之用。

四、主要建議事項

建議一

「門(窗)氣密性檢測系統」專利之技術移轉：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

建議本研究計畫所產出之「門(窗)氣密性檢測系統」新型專利，可依據「政府科學技術研究發展成果歸屬及運用辦法」相關規定，以非專屬授權方式授權於私立學校、私立研究機關(構)、法人、團體、公司等，並應於中華民國(指臺灣、澎湖、金門、馬祖及其他附屬島嶼)境內，進行本技術之使用。

建議二

將「門窗氣密性現場檢測技術」函送各工程主辦單位納入門窗產品現場性能驗收作業參考：中長期建議

主辦機關：行政院公共工程委員會

協辦機關：中華民國全國建築師公會、內政部建築研究所

本研究發現現場窗戶氣密性能與實驗室檢測數據有一定程度之落差。為了提升建築物建造之品質，建議研議將「門窗氣密性現場檢測技術」納入公共工程技術資料庫或相關施工規範中，作為未來竣工後監造單位、設計單位等竣工查驗方法之一。

英文摘要

Keyword : Air Tightness Performance, Energy Saving, Indoor Environment Quality

Building airtightness has a relatively higher impact on building energy consumption in subtropical countries such as Taiwan. Therefore, building airtightness, which has long been adopted in the west as an important indicator and regulatory requirement for building performance in energy saving and indoor air quality, has gradually gained more attention in Taiwan due to the increasing demand for low carbon buildings in the context of the denuclearisation move in Taiwan. It also has become more relevant as the outdoor air pollution increasingly impacts the indoor air quality.

In order to understand how the building airtightness impacts the cooling energy consumption of dwellings and indoor air quality in Taiwan, the airtightness profile of Taiwanese dwellings needs to be understood as a starting point in this project. We conducted a practical literature review on the current state of the art in relation to the incumbent methodology and efforts that have been made over the last few decades in the research and development of air tightness testing methods. We found that the Pulse building air tightness measuring technique developed by the University of Nottingham is suitable to be the In-situ tool for measuring the air tightness performance of a building or window. Then, 10 compartments were selected in Taiwan for measuring the airtightness by the Pulse technique. The experimental results indicated that the sound insulation performance of window has a significant effect on the air leakage of a compartment.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

壹、研究緣起

根據相關文獻統計資料顯示整體建築外殼氣密性的分佈，除了牆壁構造外，窗戶造成建築物洩漏的比例相當大。因此，建築門窗的氣密性對室內環境與建築能耗具有相當大的影響；加上近年來室外空氣污染影響室內空氣品質與隨著建築節能減碳的需求日益增加，使得建築氣密窗在台灣社會被廣泛的使用。然而，根據109年建研所辦理「既有建築物室內環境氣密性能之調查研究」之成果顯示，台灣建築的氣密性受窗戶種類影響相當大，而窗戶的隔音性能與氣密性之間也存在著顯著關聯性。

因此，為了調適氣候與環境變遷對建築室內環境造成的問題，本研究將進一步探討窗戶氣密性對室內環境之影響，並針對實際安裝對於隔音、氣密性能的現況，提出現場檢測技術與方法。

本研究目的在於目前我國並無窗戶之氣密性能現場檢測方法，導致無法了解窗戶現場安裝後之氣密性能與產品氣密性能的差異。因此本研究之目的為開發窗戶氣密性能現場檢測技術與工具。下列三點為研究重點：

1. 完成窗戶氣密性能現場檢測技術與專利。
2. 透過全尺度實驗驗證窗戶隔音性能與氣密性能之關聯性，進而將本計畫開發之技術應用在窗戶隔音性能現場驗證上。
3. 本計畫發展之技術不僅可應用在建築物之氣密性驗證上與窗戶隔音性能現場檢測應用上，也將進一步驗證可應用在需要氣密要求的特殊場所例如：電梯門洩漏量檢測、遮煙設備現場遮煙性能驗證上。

貳、研究背景

氣密性(airtightness)是一種建築度量單位，用以描述建築外殼的密封程度。氣密性是影響建築物空氣洩漏的基本建築性質，通常用“洩漏量(air leakage)”來量化。洩漏量(air leakage)”是指通過建築物外殼結構中的裂縫，縫隙和不定開口的空氣流動量。洩漏路徑通常位於牆壁與地板，天花板，窗戶/門框和其他牆壁相接的接縫處，以及機械、電氣和管道系統貫穿部的位置，例如風管，衛生給排水管道和電信匯流排。根據美國冷凍空調協會ASHRAE (2009)之統計資料顯示整體建築外殼氣密性的分佈，牆壁佔35%，樓地板佔18%，機械通風系統的貫穿部佔18%以及窗戶佔15%。英國BRE曾對35棟房屋的洩漏原因進行了研究，其結果顯示整個房屋的空氣洩漏有16%是經由可開啟的門窗間的縫隙，13%是閣樓艙口，窗戶/門框和永久通風口，71%是由於建築外殼結構中的縫隙和裂縫造成的。Sherman總結了不同類型建築物中的關鍵洩漏途徑，洩漏的位置受建築物的幾何形狀和構造方法影響。

圖 1.1顯示了在供暖季節典型的住宅建築中通過洩漏途徑的空氣流動情形。由於煙囪效應，溫暖的室內空氣傾向於通過房屋高層的洩漏路徑向外移動，通常稱為“向外洩露(exfiltration)”，而室外冷空氣則通過位於房屋較低層的洩漏路徑滲透。通常稱為“向內滲透(infiltration)”。在需要空調季節中，由於室內和室外之間的溫度差反向，因此流向也相反，但它會根據室外的風況而變化。

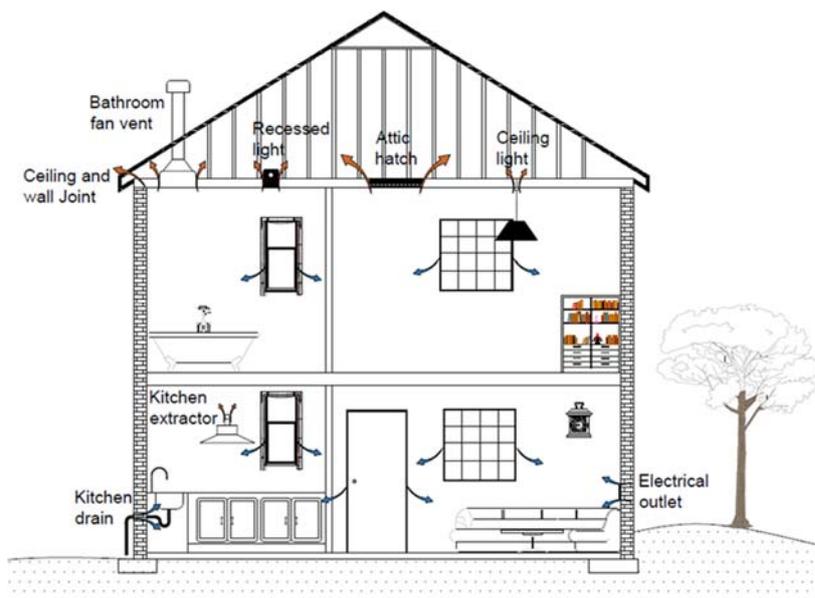


圖 1.1 住宅典型洩漏途徑位置
(資料來源：ATTMA, 2010)

建築物的氣流控制對於建築性能（諸如：壽命、空氣品質、熱舒適、節能）是重要的參數。一般高層建築的空氣流動模式如圖 1.2所示。高層建築的空氣流通驅動力一般可以區分為自然風、豎井效益以及機械通風三種。建築氣密性主要是因為壓力差或是浮力效應致使自然風通過建築物外殼結構中的裂縫，縫隙和不定開口，因此建築氣密洩漏量與自然通風之造成的通風量不同。

在建研所109年之「既有建築物室內環境氣密性能之調查研究」協辦研究計畫中，研究團隊收集世界各國有關建築物氣密性之建築法規以及各國綠建築標章中有關建築物氣密性要求標準，也比較了鄰近國家及氣候相近國家在建築氣密性的法規要求，研究發現緯度較高的溫帶國家針對建築物氣密性均有建築法規之規範，另外中東國家，也在近年來因為氣候變遷與都市發展的雙重衝擊下，將氣密性納入建築法規中。至於東南亞國家的建築法規則是對於建築氣密性無強制規定，僅針對窗戶的氣密性有所規範，或在該國的綠建築標章中有建築氣密性的評分項目。

再者，「既有建築物室內環境氣密性能之調查研究」協辦研究計畫中針對既有建築物氣密性調查結果發現門窗的種類是影響住宅居室氣密性的主要因素，屋齡較大的居室因為配置較差氣密性能的窗戶，導致其氣密性較差。在屋齡較大的老舊建築但置換為氣密窗的案例，其居室的氣密性相對會提升。再者，台灣建築多為RC構造，牆壁造成的洩漏量相當低。外牆的洩漏處大多是分離式冷氣冷煤管線或是其他管線造成的貫穿部。至於辦公室建築除了窗戶的氣密性外，懸吊式天花板、高架地板或是輕質隔間牆與牆壁交縫處也是影響氣密性的因素。研究團隊進一步以全尺度實驗探討建築氣密性能與室內環境、建築節能之相關性，研究結果顯示建築物氣密性對於室內音環境有顯著之關聯性，窗戶的隔音性能越好，其氣密性也較佳。至於建築氣密性對建築能耗之影響實驗結果驗證在玻璃太陽輻射熱得為主要的空調熱負荷之條件下，建築氣密所造成的洩漏風熱得對空調耗能的影響不若溫帶國家中建築氣密對暖房能耗之影響如此顯著。

第二節 研究方法

本研究使用文獻分析法、專家諮詢法及實尺寸實驗驗證法之方式，建立整體門窗的現場氣密性能檢測方法，接著對目前台灣既有建築之氣密性現況進行系統性檢測，並進一步探討隔音窗的隔音性與氣密性之關聯性，完成本研究之目標。

壹、文獻分析法

本研究計畫將依照計畫之研究議題，蒐集包含國內外門窗氣密性能檢測以及減少窗戶氣密性之設計工法與設計案例等相關文獻資料，作為進一步本研究計畫在建立氣密性能現場檢測技術與實驗設計規劃階段之基礎參考。希望藉由收集文獻的分析與比對能夠明白國際間與本研究議題相關之發展方向與現況，作為本研究計畫報告與投稿論文撰寫之文獻回顧資料庫。

貳、專家諮詢法

1. 本研究團隊將以專家諮詢研究方法定期召開專家座談會，邀請相關學者以及產業界、工會專家進行意見溝通交流，並針對研究內容進行審議，提出應修正及增刪之意見，作為充實、加強本研究計畫內容之參考。相關專家座談會與工作會議之安排如下：
2. 針對「降低窗戶現場氣密性能之原因及預防策略」部分，研究團隊預計邀請相關門窗廠商、專業建築師、門窗同業公協會代表等進行討論。
3. 針對「窗戶氣密性能現場檢測方法」部分，研究團隊預計邀請標檢局代表、風雨測試實驗室代表、相關專家學者等進行討論。
4. 針對「窗戶氣密性與隔音性之關聯性」部分，研究團隊預計邀請專業建築師、門窗同業公協會、音響測試實驗室代表、相關專家學者等進行討論。
5. 工作會議：研究團隊將透過視訊方式每月定期與英國諾丁漢大學研究團

隊成員進行建築氣密性量測技術之交流、研究成果發表之內容研擬、研究計畫執行成效、進度及所遭遇之問題。

參、實尺寸實驗驗證法

本研究計畫將採用PULSE暫態氣密性檢測技術。PULSE系統用於測量低壓下建築物氣密性，量測過程僅在短時間內（通常為1.5秒）從空氣罐釋放一定量的壓縮空氣到測試建築物，藉著監測建築物和空氣罐中的壓力變化來建立建築物壓力和洩漏之間的相關性。本研究首先將設計原始PULSE系統，使其具備可以在現場量測窗戶氣密性能之功能，接著以實尺寸實驗驗證本計畫開發之系統之適用性與精確度。實尺寸實驗共分為：窗戶隔音性與氣密性關聯性以及氣密性現場檢測技術應用評估兩部分，兩大實驗項目之內容如下所述：

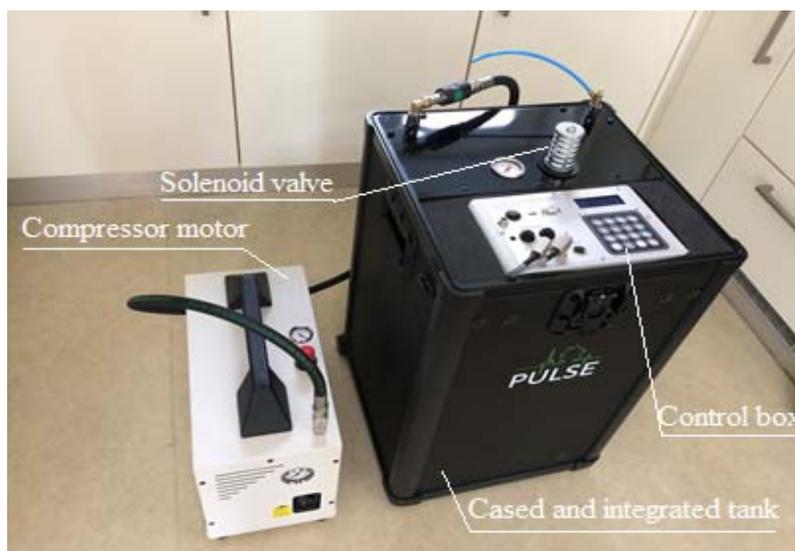


圖 1.3 PULSE 暫態氣密性檢測系統
(資料來源：本研究製作)

1. 窗戶隔音性與氣密性關聯性：本項工作之目的在於確認以PULSE系統為基礎所開發之窗戶氣密性能現場檢測技術之適用性與精確度。
 - (1) 本研究首先配合建研所風雨風洞實驗室與性能實驗中心聲學實驗室之實驗排程，量測受測窗戶之氣密性，並且與聲學實驗室所量測得隔音性能進行比較分析，建立窗戶氣密性與隔音性之間的關聯

性。本計畫預計進行10組的風雨風洞實驗室與聲學實驗室窗戶氣密性與隔音性檢測實驗數據分析與評估。

- (2) 接著本研究團隊預計與配合建設公司合作，以「窗戶氣密性能現場檢測技術」量測10組實際案場安裝窗戶後之氣密性，接著進一步比對由門窗公司提供之實驗室氣密性與現場量測數據之差異，並且獲得現場窗戶氣密性與隔音性之關聯性，也進一步比對現場之關聯性與聲學實驗室獲得之關聯性的差異性。



圖 1.4 聲學實驗室之窗戶隔音性能檢測
(資料來源：本研究製作)

2. 氣密性現場檢測技術應用評估：為了擴大本計畫開發之「窗戶氣密性能現場檢測技術」之應用範圍，本研究計畫在實尺寸實驗的第二部分工作項目是將「窗戶氣密性能現場檢測技術」應用在有氣密性要求的場域或設備上，本研究經過先期的廠商訪談與市場調查後，決定應用在電梯門與遮煙捲簾上。相關之需求與規劃如下所述：

- (1) 電梯門：我國電梯門（升降機乘場門）標準在2018年制定公布，此新版的電梯門耐火性能試驗除了習知的遮焰性與阻熱性外，增加電梯門洩漏

量量測查證。故相關電梯業者對於111年開始實施新版CNS試驗法上必須針對電梯門洩漏量進行探討。故本計畫預計與配合電梯廠商合作，以「窗戶氣密性能現場檢測技術」進行1組電梯門洩漏量測試，評估此法應用在電梯門之可行性。

- (2) 遮煙捲簾：目前營建署新技術、新工法、新材料或新設備任課制度對於遮煙捲簾之遮煙性能判定係採用CNS 15038 A3403「建築用門遮煙性試驗法」。CNS 15038為實驗室條件建構之測試方法，對於遮煙門扇之現場性能查核難以採用CNS 15038標準進行。內政部建築研究所於109年有公布「建築用門現場遮煙性能測試指引」中採用類似穩態鼓風門法之技術量測10Pa、25Pa條件下的洩漏量。然而此方法本身仍有量測準備時間與各種壓力條件下之量測準確度的限制，故本計畫擬與配合廠商合作，以本計畫開發之暫態「窗戶氣密性能現場檢測技術」評估量測遮煙捲簾遮煙性能之可行性。

肆、研究採用方法之原因

雖然我國有外牆構件空氣音隔音之現場量測方法(CNS 15160-5)，但是此方法受限於場地與實際背景噪音現況，導致此方法無法被廣泛使用在量測窗戶的現場隔音性能上，加上國內目前尚無建築物或窗戶之氣密性能現場試驗技術，因此建立窗戶氣密性與空氣音隔音之間的關聯性是本計畫之目的。根據上述的初期文獻分析，研究團隊發現現場氣密性能試驗技術可分區為穩態與暫態量測法。在考量量測複雜度、量測時間、量測精確度等因素下，加上脈衝(PULSE)暫態量測方法已成為英國建築物氣密性能測試認可方法，研究團隊決定採用最先進的脈衝(PULSE)暫態量測方法作為本研究計畫之研究方法。研究團隊在107年已經透過科技部計畫經費購買諾丁翰大學所開發的PULSE量測設備，在109年建研所協辦計畫中已具備脈衝(PULSE)暫態量測方法量測居室氣密性之能

力。故在計畫期限與經費之考量下，採用脈衝(PULSE)暫態量測方法將可達成計畫內容之需求與符合預期效益。

伍、預計可能遭遇之困難及解決途徑

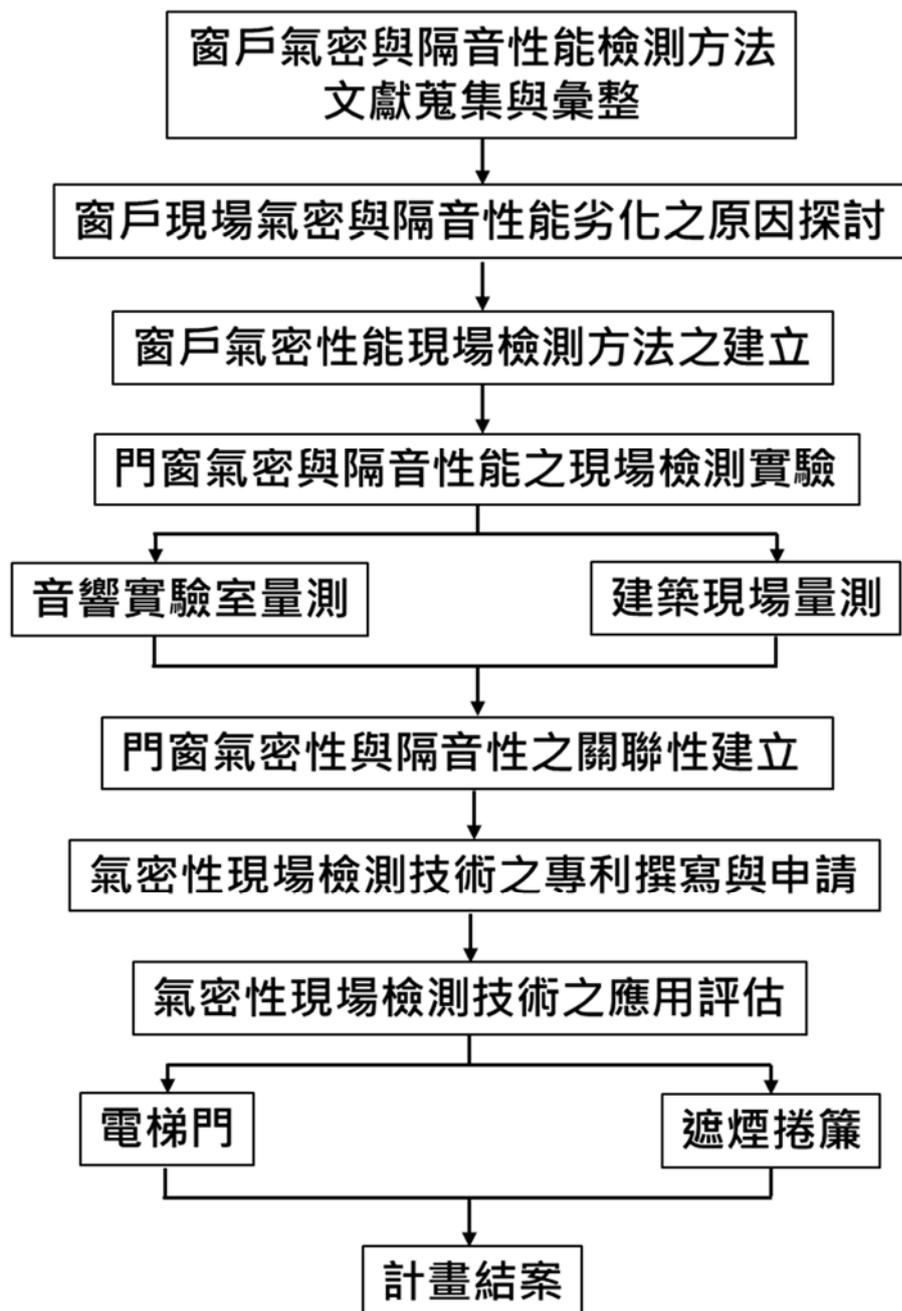
目前研究團隊已擁有脈衝(PULSE)暫態建築氣密性能量測設備，並已經進行相關人員教育訓練與測試。不過脈衝(PULSE)暫態建築氣密性能量測設備是否可直接應用在窗戶氣密性能之現場量測上，後續仍要進行相關設備配件的整合與操作調整。因此，研究團隊將會完成脈衝(PULSE)暫態門窗氣密性能現場量測方法之精確度後，方提出相關專利與進行後續實驗項目。

陸、重要儀器之配合使用情形

本研究計畫預計工作項目之一必須利用建研所風雨風洞實驗室與音響實驗室進行試驗，故本研究計畫將在計畫期限內充份配合建研所風雨風洞實驗室與音響實驗室之實驗排程，彈性調配實驗時間，進場佈置試體與量測設備，以進行相關之試驗。

第三節 研究流程與進度

壹、研究流程



貳、研究進度

月 工作項目	第 1 個 月	第 2 個 月	第 3 個 月	第 4 個 月	第 5 個 月	第 6 個 月	第 7 個 月	第 8 個 月	第 9 個 月	第 10 個 月	第 11 個 月	備 註
窗戶氣密與隔 音性能檢測方 法文獻蒐集與 彙整	■	■										
窗戶現場氣密 與隔音性能劣 化之原因探討	■	■										
第一次專家會 議			■									
窗戶氣密性能 現場檢測方法 之建立				■	■							
期中審查						■						
第二次專家會 議						■						
門窗氣密性與 隔音性之關聯 性建立						■						
氣密性現場檢 測技術之專利 撰寫與申請					■	■	■					
氣密性現場檢 測技術之應用 評估					■	■	■	■	■	■		
第三次專家會 議											■	
期末審查										■		
研究成果提出											■	
預 定 進 度 (累 積 數)	10	20	30	40	50	60	70	75	80	90	100	

第四節 預期成果及效益

壹、預期成果

1. 完成市售窗戶之氣密性能檢測方法相關資料蒐集分析，作為修訂窗戶氣密性能國家標準之參考依據。
2. 提出降低窗戶現場氣密性能之原因及預防策略。
3. 完成窗戶氣密性與隔音性之關聯性數據庫，並提出窗戶氣密性能現場檢測方法(草案)。
4. 完成窗戶氣密性能現場檢測相關專利文件與申請(1件)，並提出專利技術授權方式之建議。
5. 完成一篇國際研討會論文之投稿。

貳、效益

1. 短期：本研究所完成之建築氣密性能現場檢測技術，能夠驗證窗戶的氣密效果，不僅能與國際接軌，且可藉此完善國內相關建築室內環境試驗之標準。
2. 中長期：由研究成果申請之窗戶氣密性能現場檢測專利，未來可以透過技術移轉，擴大建研所研發成果之效益，並且提升業者開發創新具氣密性能窗戶或建築之產品或工法的研發能力。

參、本研究計畫之重要性

本研究計畫對於技術創新與產業推廣之重要性分述如下：

1. 技術創新：

本研究計畫在學術之主要貢獻為發展創新的窗戶氣密性能之現場檢測技術，可同時檢測現地窗戶之氣密性能與空氣音隔音性能。再者，本計畫研究團隊為台灣與英國團隊交流之國際平台，可透過本計畫之執行，深化國際學術交流。

2. 產業推廣：

藉由本研究計畫所獲得的研究成果：窗戶氣密性能之現場檢測技術，可透過技術移轉形式將相關技術移轉到業界，創造出建築物氣密性能與窗戶隔音性能之檢測項目。再者，本項技術可進一步以產學合作形式應用在建築物建造與完工階段或是有氣密性能要求的設備開發之測試，進而提升建築工法之工程品質以及開發出高性能的產品。

肆、對於參與之工作人員預期可獲之訓練

本研究計畫參與人員可以透過技術開發與性能驗證評估，讓參與人員精進室內環境提升之理論；並可學習如何將研究結果發展延伸為專利之過程。研究計畫提供了一個將理論及實務結合之整合性研究機會，對於參與人員往後不論是從事業界實務或學術研究均有相當大的助益。

第二章 門窗氣密性與隔音性檢測方法之分析

第一節 門窗氣密性檢測方法

窗戶洩漏是指空氣經由窗框周圍的縫隙通過窗框進入室內的流量。窗戶的洩漏主要是窗戶上的室內外壓力差造成的。但是，窗框與周圍建築外牆之間的縫隙也是造成窗戶洩漏的可能原因；但這部分的洩漏量取決於建築工法，並不屬於窗戶本身的特徵。

目前最常用在量測建築物外殼與門窗組件的氣密性檢測方法為風扇加壓法。此法是利用外加風扇讓建築物或門窗組件的室內外側產生壓力差，此時風扇的加壓風量與室內外壓力差之間存在著線性的關係。

$Q = C(\Delta p)^n$ ，其中： Q 為風扇的加壓風量、 Δp 為室內外壓力差、 C 與 n 為常數。參數 n 的值通常介於 0.5 和 1 之間。參數 n 與裂縫的特性和壓力差有關，在正常寬度的縫隙， n 值為 0.5；而在縫隙寬度接近於 0 時， n 值會趨近於 1。參數 C 又稱為幾何因子， C 值會隨著縫隙數量或長度的增加而增加。

因此，當不同型態的建築物或門窗組件之參數被確認後，建築物與門窗組件的洩漏量就可以由上式所決定。最後把建築物與門窗組件的洩漏量除以建築物或門窗組件的平面面積即可獲得其氣密性。

從理論上講，門窗的測量可以透過加壓至一定壓力的壓力差下通過裂縫，孔洞和縫隙測量穿過門窗的空氣流量來實現。通常，這是在一定範圍的壓力差中完成的，可以使用風扇或鼓風機等設備將空氣吹入門窗或從門窗中抽出空氣來建立壓力差。然後，在門窗上獲得的壓差與通過鼓風機的相應空氣流量之間的相關性，再將其用於上述數學經驗公式來描述門窗氣密性的特徵。因此，門窗氣密性量測是窗戶特徵的一個重要測試項目。目前全世界許多國家均有門窗氣密性的量測標準，也對門窗的氣密性有產品標準的規定。

壹、CNS 11527 A3236：門窗氣密性試驗法

CNS 11527 A3236 門窗氣密性試驗法公佈於 75 年 4 月 15 日，最新的修訂時間為 93 年 1 月 9 日。CNS 11527 A3236 引用自日本 JIS A 1516 門窗氣密性試驗方法，兩者之內容幾乎相同。相異點只在於 JIS 有氣密箱的設備；而 CNS 則無。CNS 11527 氣密性測試最主要是測試窗戶與窗框連接部分，在壓力下進氣量的狀況，對一平方公尺的測試窗戶施加 1、3、5、10、15、20、30、50、60 kgf/m² 等不同壓力，再收集一小時內其洩漏的空氣量以判別該窗之氣密等級。在 CNS 11527 中規定窗戶氣密性能標準，是依據窗戶試體在規定的加壓線圖下所測得之通氣量，依性能要求判定為 2 等級線、8 等級線、30 等級線或 120 等級線之氣密性標準。

氣密性等級係以圖 2.2 所示之等級線表示之。所換算之通氣量，於各壓力差，在等級線之下時，即讀為該等級線之等級。各等級線之計算公式如下：

$$q = \alpha \Delta P^{1/n}$$

其中：q 為通氣量(m³/h-m²)、 $\alpha=2, 8, 30, 120$ 、 ΔP 為壓力差、 $n=1$

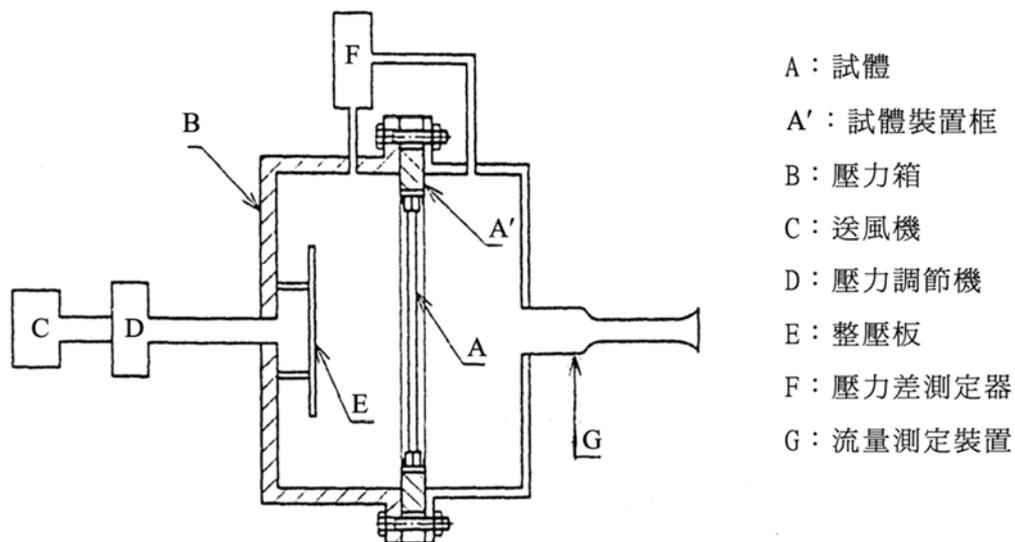


圖 2.1 門窗氣密性試驗設備示意圖
(資料來源：CNS 11527 A3236, 2004)

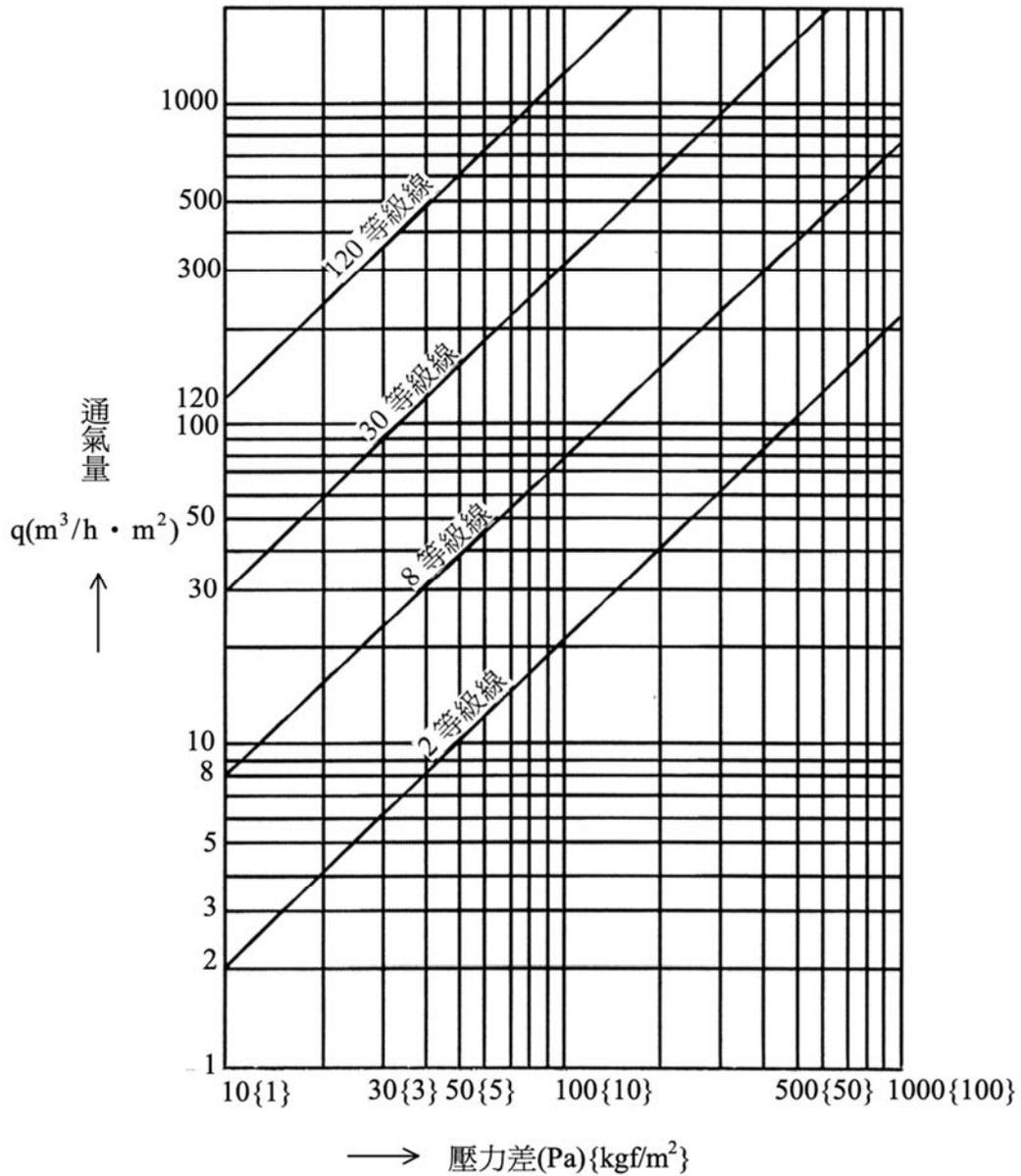


圖 2.2 CNS 11527 A3236 氣密性等級線
(資料來源：CNS 11527 A3236, 2004)

以下為內政部建築研究所風雨風洞實驗室之門窗氣密試驗作業程序書。

1. 適用範圍

本項試驗適用於利用門窗風雨試驗試艙，在指定壓力差下，且於試體室內、外溫度及濕度相同之條件下測定試體空氣漏氣量。(依規範定義氣密性能係指相對於指定壓力差下，每單位面積單位時間內之漏氣量，單位為 $(\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2)$ 。

2. 試驗依據

2.1 本試驗依據 CNS 11527—“門窗氣密性試驗法”。

2.2 用語釋義

- (1) 壓力差：門窗之室外側壓力與室內側壓力之差。門窗之室外側壓力較室內側壓力高時為正壓，低時為負壓。
- (2) 通氣量：在壓力差下通過門窗之空氣量。
- (3) 通氣面積：用作計算通氣量之門窗面積。

3. 試驗方法

將試體置入測試艙，試體安裝時須保持正確的水平及垂直度，且與測試艙之間不產生空隙，並須無扭曲或彎曲以密貼緊固於測試艙。然後對測試艙供給空氣以產生正的壓力差，在維持指定壓力差下，量測試體洩漏的空氣流量。

4. 試驗裝置

- 4.1 門窗風雨試驗試艙：可測試寬 3m* 高 3m 門窗。
- 4.2 供氣系統：2 馬力鼓風機，型號 RB-022 數量 1 組，由變頻器控制。
- 4.3 空氣流量計：量測範圍為 0~3000 L/min。
- 4.4 大氣壓力傳感器：可量測大氣壓力及溫溼度。
- 4.5 壓力差量測器：低壓傳感器量測範圍為 $\pm 1246\text{Pa}$ 。
- 4.6 LabVIEW 控制程式：所有設備以 LabVIEW 軟體設計中控 (NATIONAL INSTRUMENTS 版本 6.1)，螢幕如圖一。

5. 注意事項

操作人員務須經過訓練及本實驗室認可，熟悉作業程序始可操作本試驗。

- 5.1 操作人員務須經過訓練及本實驗室認可，熟悉作業程序始可操作本試驗。
- 5.2 試驗前須檢查電線是否有破損。
- 5.3 設備、儀器及量測單元異常，應依異常處理程序辦理。

5.4 採取適當之防範措施，以保護觀察者之安全。

6. 試驗步驟

6.1 試體要求

6.1.1 試體：須為組立成使用狀態之完成品。

6.1.2 試體裝置框：能依試體使用狀態正確安裝，且能耐試驗壓力之充分剛性者。惟若能將試體直接安裝於測試艙時，得不用裝置框。

6.1.3 試體用玻璃：試體有用到玻璃時，以預定實際使用之玻璃為準。若無特定玻璃厚度時，採用規範所規定中厚度最小之玻璃。

6.2 試體安裝步驟

6.2.1 試體安裝時須保持正確的水平及垂直度，且與測試艙之間不產生空隙，並須無扭曲或彎曲以密貼緊固於測試艙。安裝試體時，裝置框與測試艙儘可能緊密，使空氣不致洩漏。

6.3 試驗前查核

6.3.1 試驗前應進行儀器、設備、量測單元之外觀檢查，以目視判斷是否污損、破壞。

6.3.2 檢查附屬儀器、設備、工具是否齊全。

6.3.3 填寫「MKL-J-003-01 儀控室設備使用記錄表」。

6.4 試驗前準備，可參閱「風雨試驗開(關)機程序表(小風艙)」。

6.4.1 空氣壓縮機底部螺絲鎖緊，以防止供氣洩漏。

6.4.2 開啟電源供應箱(1)之 380V、220V、空氣乾燥機、空氣壓縮機開關。

6.4.3 開啟電源供應箱(A)之 380V、小鼓風機、艙內照明燈具。

6.4.4 風雨儀控室打開電腦，並將開關箱電源切至 ON，使設備與 LabVIEW 系統連線。

6.5 試驗開始

- 6.5.1 預壓:試驗前,先施加較試驗壓力 P_{max} (1)大 10%之壓力差保持 3 秒以上,施加 3 次,其壓力差須為 $500\text{Pa}\{50\text{kgf/m}^2\}$ 以上,變化壓力差時間 為 1 秒以上。
- 6.5.2 確認開閉:將門窗反覆開閉 5 次,然後扣鎖。
- 6.5.3 首先在試體之測試艙內側用塑膠布將開窗之周邊及縫隙封住,並封艙門,將試艙門關閉並確認門把已旋緊避免艙壓外漏,先測試試艙漏氣量。
- 6.5.4 開啟 Dcon-utility 程式確認 LabVIEW 程式與艙體設備已連線。
- 6.5.5 電腦桌面點選 LabVIEW 自動手動,執行正風壓試驗將圖一 A 所示按鈕指向正壓。
- 6.5.6 選定鼓風機之大小,選取 2 號小台鼓風機使其從 OFF 變為 ON 的狀態,如圖一 B 所示。
- 6.5.7 切換儀控面板成低壓鈕,如圖一 C。
- 6.5.8 如圖一 D 處將其控制鈕調為自動狀態,並在 E 處輸入壓力起始值。(執行正風壓試驗時 E 處的壓力輸入值應輸入正號或無符號)。
- 6.5.9 上述步驟備妥後,即將啟動開始執行程式,在圖一 F 處按下箭頭鈕表示開始執行儀控程式,此時系統已開始運作。
- 6.5.10 測試艙逐漸加壓,在正壓下各階段保持最低 10 秒以上,升壓至試驗所要求之最高壓。在試驗之壓力差階段取 10、30、50、100、200、300、400、500 及 600Pa, P_{max} 超過 600Pa 時,以不超過 100Pa 之範圍內增加壓力。各瞬間值之記錄可按圖一 G 處 Record 鈕即可將空氣流量及壓力差記憶入電腦中。
- 6.5.11 通氣量之計算:通氣量分別以各加壓階段之通氣面積每 m^2 ,每小時之流量表示,並以下列公式換算為基準狀態值。
通氣面積之換算公式: $q = Q/A \times (P_1 T_0 / P_0 T_1)$ 。

式中， q = 換算為基準狀態之通氣量($m^3/h\cdot m^2$)

Q = 所測定之流量(m^3/h)

A = 通氣面積(m^2)

P_0 = 1013(hPa)

P_1 = 測試艙之氣壓(hPa)

T_0 = 273+20=293(K)

T_1 = 測定空氣溫度(K)

6.5.12 卸下試體之塑膠布，並封艙門，將試艙門關閉並確認門把已旋緊
避免艙壓外漏，重複步驟 6.5.9-11 項，得出另一個 q 值。將同
壓力 6.5.12 之 q 值減掉 6.5.11 之 q 值，得到真正之 q 值。

6.5.13 依所求得通氣量之結果，以縱軸作通氣量，橫軸作壓力差之兩對
數座標圖表示。

6.5.14 結束時應將壓力釋放，此時應先將圖一 D 處改為手動，再將 E
處壓力值輸入 0，尤應注意當艙體內壓力逐漸減少至接近 0 後
才將程式關閉，圖一 H 處圓點即為關閉鈕。

6.6 試驗結束，可參閱「風雨試驗開(關)機程序表(小風艙)」。

6.6.1 關閉電源供應箱(A)之 380V、小鼓風機、艙內照明燈具。

6.6.2 關閉電源供應箱(1)之 380V、220V、空氣乾燥機、空氣壓縮機開
關。

6.6.3 風雨儀控室，開關箱電源切至 OFF，使設備能與 LabVIEW 系統
不連線。

6.6.4 空氣壓縮機底部螺絲放鬆。

6.7 結果判定

6.7.1 依所繪出之通氣量線圖，所有點位均在某一等級線下即為該等級。

6.7.2 若委託者另有要求，則依其要求測試。

6.8 撰寫報告書

6.8.1 報告書格式請參考「門窗風雨試驗測試報告」。

6.8.2 報告書可包括下列事項 (1)試體之名稱、形式，使用在試體之玻璃，試體圖面及必要之尺度與試驗結果。(2)試驗機構名稱，報告簽署人姓名及日期。

7.緊急情況處理

本試驗所需壓力差不大，正常情形並不致發生玻璃破裂;但若操作錯誤或壓力過大則可能有危險性，故於試驗中盡量不可有人員停留在負壓側。若有操作錯誤發生壓力過大情形時，須迅速洩壓將壓力降至零。

8.附件:無。

9.參考文獻

- 一、 CNS 11527/A3236 門窗氣密性試驗法 93 年 1 月 9 日 中央標準局。
- 二、 CNS 3092/A2044 鋁合金製窗 94 年 7 月 12 日 中央標準局。
- 三、 CNS 7184/A2101 鋼製門 86 年 5 月 27 日 中央標準局。

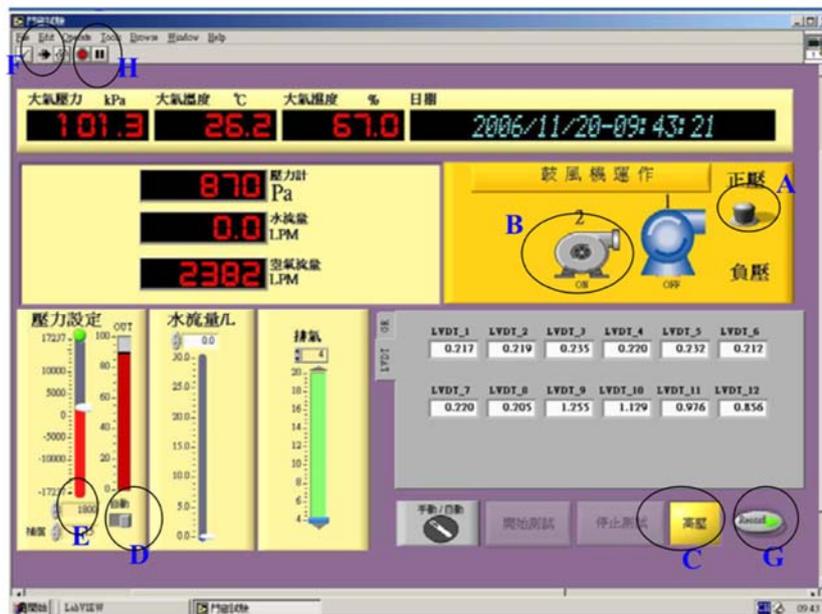


圖 2.3 LabVIEW 儀控軟體
(資料來源：蔡宜中、鄒本駒，2014)

貳、CNS 15038：建築用門遮煙性試驗法

火災發生所生成的濃煙常為人員致命的主要因素，如能將濃煙阻絕在某區域內，可有效降低避難人員的傷亡。再者，建築物昇降機平時扮演各樓層人員與貨物之垂直聯繫動線，惟火災時昇降機道可能造成火災延燒擴大與濃煙流竄之路徑。故內政部於 2007 年 3 月 1 日發布之建築技術規則建築設計施工編第 97 條、第 203 條及第 242 條，及 2011 年 2 月 25 日發布之同編第 79 條之 2 修正條文，定有防火設備或門應具有遮煙性能之規定，以延緩火災產生之煙害透過昇降機道、管道間、安全梯間侵入其他樓層，影響人員逃生避難。營建署自 2014 年 7 月 1 日起申請建造執照、室內裝修或變更使用執照之案件，如檢討涉及昇降機道、管道間之維修門、進入室內安全梯之防火門之規定，應適用遮煙性能之規定。

上開條文所涉遮煙性能規定發布時，中華民國國家標準已有「CNS 15038 建築用門遮煙性試驗法」可供執行試驗。內政部建築研究所為台灣最早建置建築用門遮煙性能量測裝置來驗證建築用門窗、昇降機層門的遮煙性能，並參考文獻有關昇降機層門或建築用門/防火門的煙洩漏量要求來建立適當的判定標準。有關 CNS 1503 所規定之遮煙性能量測實驗設備共分為加壓循環部（含熱風供應）、測試艙、溫度和壓力控制裝置、煙洩漏量量測裝置等四大部分，設備整體外觀如圖 2.4 所示，各部分之功能說明如下：



圖 2.4 遮煙設備整體外觀
(資料來源：內政部建築研究所網頁，2021)

1. 加壓循環部 (含熱風供應): 加壓循環部係由加壓艙、循環風車與循環風管所構成, 如圖 2.5。加壓循環部之主要作用係以循環風車將空氣壓入加壓艙內, 使在試體兩測形成壓力差, 達到試驗要求之壓力差值 (10Pa { 1kgf/m^2 }、 25Pa { 2.5kgf/m^2 }及 50Pa { 5kgf/m^2 }), 或者是更高之壓力差。



圖 2.5 加壓循環部構成
(資料來源：蘇鴻奇、王天志，2010)

2. 測試艙：測試艙係由氣密箱體、耐火材料、吸引風罩和吸引管、吸引風車與小型台車所構成，如圖 2.6。當進行 CNS 15038 建築用門遮煙性試驗時，測試艙與加壓艙壓力差應 10Pa {1kgf/m²}、25Pa {2.5kgf/m²} 及 50Pa {5kgf/m²}。試驗時經由試體洩漏的空氣量可由此艙體收集後量測。



圖 2.6 測試艙構成

(資料來源：蘇鴻奇、王天志，2010)

3. 溫度和壓力控制裝置：溫度和壓力控制裝置係由熱電偶、差壓發信器、差壓調節器、差壓流量計、流量演算計、資料收集裝置與控制盤所構成。設備需符合 CNS 15038 建築用門遮煙性試驗法中室溫與中溫（200°C）溫度控制之規定，及可穩定提供試體兩側空氣壓力差為 10Pa、25Pa 及

50Pa 之壓差控制。遮煙試驗裝置之整體控制系統，如圖 2-7~2-10 所示。



圖 2.7 壓差計

(資料來源：蘇鴻奇、王天志，2010)



圖 2.8 壓差量測點及熱電偶

(資料來源：蘇鴻奇、王天志，2010)



(a) 爐壓

(b) 爐溫

圖 2.9 爐壓及爐溫控制面板

(資料來源：蘇鴻奇、王天志，2010)



圖 2.10 爐溫用燃燒機
(資料來源：蘇鴻奇、王天志，2010)

4. 煙洩漏量測裝置：本裝置主要由三根不同管徑的吸引管、切換閥門，及分別搭配不同流量範圍的流量計所組成，如圖 2.11。三根不同管徑吸引管分別為 2”4”及 8””。試驗時，吸引風車吸引測試艙內的洩漏空氣，依據試體洩漏量大小切換選用適當的吸引管，吸引的洩漏空氣流經流量計得到洩漏流量。



圖 2.11 煙洩漏量測裝置
(資料來源：蘇鴻奇、王天志，2010)

一、環境艙之洩漏量測試

1. 進行壓力測試前，任何門組件間及周邊接合處之所有縫隙均須加以填封，以量測測試艙之洩漏量，並記錄之。
2. 測試艙應在室溫及中溫與壓力條件下每年進行 1 次以上之洩漏量測試，測試結果需符合 CNS 15038 第 3.1 節之規定。

二、門組件之洩漏量測試

1. 門組件兩面均須受測。中溫試驗需 2 組門組件各測試一面。
2. 試驗程序
 - (1) 量測試驗場所知大氣壓力、溫度與相對濕度
 - (2) 開啟加壓系統並記錄流量，依艙體內外壓差分別為 10、25、50Pa 之設定進行洩漏量量測，各種不同壓差條件下之讀值讀取時間至少持續 2 分鐘，每 10 秒間隔量測一次，並計算 2 分鐘內之平均洩漏量，將各種條件下之平均洩漏量，分別計算為標準狀態之洩漏量。
 - (3) 測試環境需持續維持穩定 3 分鐘以上後，方可進行門組件之洩漏量量測。
3. 加熱程序
 - (1) 中溫試驗時，平均溫度應於 20 分鐘達 160°C，之後應在總時間 30 分鐘維持 200 度。艙內每隻熱電偶所量測溫度應為 200±40 °C。
 - (2) 於加熱開始 35 分鐘後封可進行總洩漏量之量測

參、ASTM E783-02(2018)：門窗氣密性現場試驗法

ASTM E783-02(2018)：Standard Test Method for Field Measurement of Air Leakage Through Installed Exterior Windows and Doors 是提供用於量測已完成安裝的門窗空氣洩漏率的現場測試方法程序。

ASTME783 所規定之實驗設備如下圖所示，共分為測試艙、氣體供應系統、壓力量測系統、流量量測系統等四大部分，各部分之功能說明如下：

測試艙：由塑膠或或是適合的材料密封在受測試件框架上形成一個艙室之空間。測試艙上必須有一個送風口使得氣體供應系統可向艙室內供應空氣。送風口的位置應設在進入空氣不直接撞擊測試件的位置。另外，測試艙必須安裝靜壓壓力計以量測測試艙與室外環境之壓力差。

氣體供應系統：為一台可控制風量的鼓風機、排氣扇或可逆鼓風機用以提供在規定的試驗壓差條件下所需的空氣流量。氣體供應系統系統被要求在規定的測試壓差下提供持續且穩定流量的空氣，以使得獲得流量量測系統紀錄空氣流量讀數。

壓力量測系統：測量試驗室靜壓之裝置，量測系統之精準度為設定值的 2% 或是設定值的正負 2.5Pa 的範圍。

流量量測系統：一種測量進入試驗室或通過試樣的空氣流量的裝置。流量量測系統之量測誤差為 5%，當空氣流量等於或大於 $9.44 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ (2 ft³/min)；量測誤差為 10% 當空氣流量小於 $9.44 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ (2 ft³/min)。

1. 設備安裝：

- (1) 將測試艙安裝在待測試件的周邊以覆蓋整個試件。儘可能將測試艙接縫處的接頭、裂縫或開口以膠帶或其他方式密封這些開口以防止在測試過程中發生無法預期的洩漏。
- (2) 可以為測試艙上架設合適的支撐，以防止測試艙接觸或阻礙試件上任何可能發生洩漏的位置。
- (3) 密封測試艙上與壓力量測系統、流量量測系統連接處，以防止測試艙內的空氣經由這街連結處洩漏。

2. 校正階段：流量量測系統必須依照 ASTM 規定之標準進行校正。所有的量測儀器必須每六個月劑型校正一次，校正的精確度以 ASTM E783 之規定為主。

3. 量測階段

- (1) 調整進入測試艙的氣流，使得測試艙的量測壓力差值等於規定的壓差條件。當測試條件穩定後，記錄流量量測系統的空氣流量和測試壓差值。
- (2) 量測與記錄接近試件暴露環境面的環境溫度、濕度與壓力，並且量測與記錄接近試件暴露環境面附近的風速與風向。

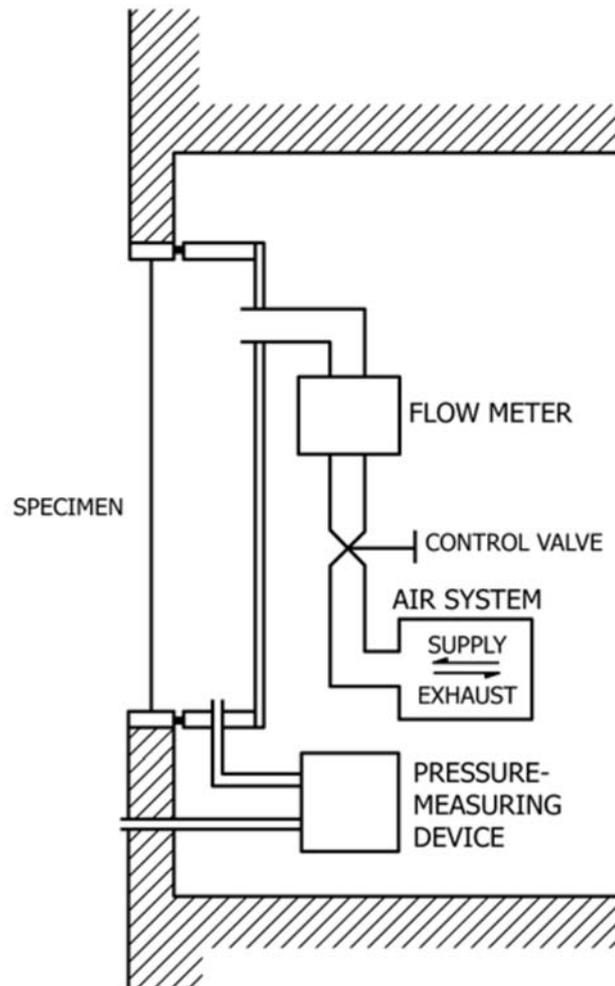


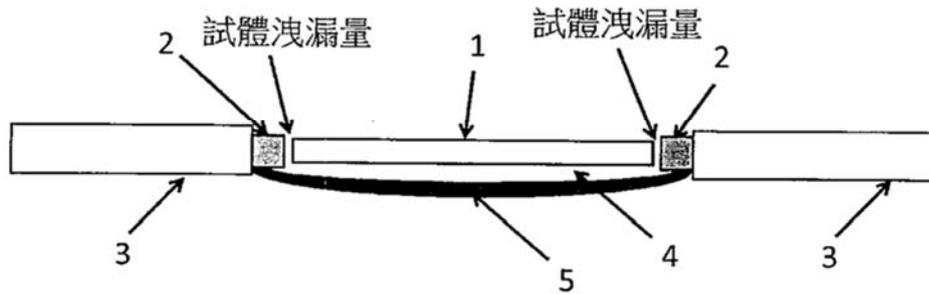
圖 2.12 門窗氣密性現場試驗方法示意圖
(資料來源：ASTM E783-02，2018)

肆、建築用門現場遮煙性能測試

遮煙門扇之現場性能查核方式，在建築物施工現場難以依據 CNS 15038 之實驗室檢測方法建構，故內政部建築研究所於 106 年補助財團法人台灣建築中心進行「建築用門遮煙性能現場試驗方法研發之應用」研究，並於 107 年進行建築物工地現場驗證後，撰寫「建築用門現場遮煙性能測試指引」，以提供相關查核

機構進行現場查驗作業之參考依據。建築用門遮煙性能現場試驗方法係參考臺灣科技大學林慶元教授所發表之專利技術（如 1：門扇、2：門樘、3：牆面、4：測試艙、5：不透氣材料

圖 2.13 所示）。



1：門扇、2：門樘、3：牆面、4：測試艙、5：不透氣材料

圖 2.13 建築用門現場遮煙性能測試安裝相對位置示意圖
(資料來源：林慶元等人, 2008)

本試驗裝置組成如圖 2-14 所示，相關設備之說明如下：

1. 測試艙(可使用塑膠布、膠帶或磁鐵等)

測試艙密封時，於室溫環境下，測試艙需裝設：

(1) 能提供在門兩面壓力差至 55 Pa 以上之加壓系統及供氣 55m³/h 以上之供氣系統。

(2) 供應測試之氣源設施，應足以使兩門面間之壓力差保持均勻。

2. 壓力量測裝置

(1) 量測門組件兩門面間之靜壓力差所需壓力量測裝置，其量測範圍須達 55Pa、精確度為±5Pa，或儀器量測值之 10%，以二者較小值為標準，大氣壓力量測之精確度為±5%。

(2) 測試艙內所安裝壓力量測裝置於艙體內距試體中心之表面前方(100±10)mm 處。

3. 洩漏量測試設備

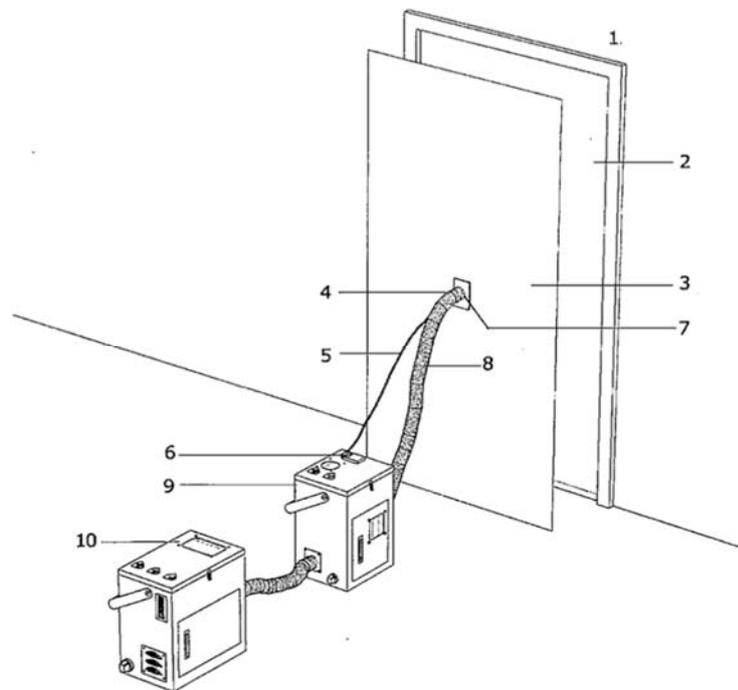
須能量測 55m³/h 以上之洩漏量，其精確度需在 1m³/h 以內。

4. 溫度量測裝置

量測裝置應置於測試艙 1m 範圍內，能量測溫度至 25±15°C，精確度需在±5%以內。

5. 相對溼度量測裝置

量測裝置應置於測試艙 1m 範圍內，能量測相對濕度為 40%~90%。精確度需在±5%以內。



1. 牆壁
2. 門
3. 不透氣材質
4. 壓差測試孔
5. 壓力軟管
6. 壓差計
7. 進氣接頭
8. 送風管
9. 流量計
10. 鼓風機

圖 2.14 建築用門現場遮煙性能測試裝置示意圖
(資料來源：「建築用門現場遮煙性能測試指引」, 2020)

檢測前測試：首先依序進行環境溫溼度測試及功能操作測試後，再進行門組件之洩漏量試驗程序，完成檢測前的測試，確保正式檢測時得以獲得正確的數據。

1. 環境溫溼度測試

環境溫度須為 $(25\pm 15)^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度為40%~90%。所有組件均為不親水性材質(例如金屬、玻璃等)者，則不受上述測試環境之限制。

2. 功能操作測試

(1)每一門扇均須先進行5次以上開啟與關閉之功能操作(推開門應開啟至 30°)。

(2)若使用自動關門器，需確認自動關門器可正常操作已關閉門組件。

(3)完成功能操作測試後將門扇自然關閉，並取出鑰匙後，始可進行洩漏量測試。

3. 門組件之洩漏量測試

(1)試體須於自動關閉下進行測試。

(2)無特殊情況下，門組件以推開側為受測面至少進行一次測試(非推開式防火門由驗證人員判斷受測面)。

測試流程

(1)量測檢測環境之大氣壓力 Pa、溫度 Ta 及相對溼度 Mw。

(2)每一試體均須先進行5次以上開啟與關閉之功能操作(推開門應開啟至 30°)。

(3)安裝測試艙。

(4)安裝壓插管與送氣管於測試艙上，並連接至壓差計及流量計。

(5)先確認壓差計及流量計確實歸零後，再開啟鼓風機。

(6)檢測環境需持續維持3分鐘以上後，方可進行門之洩漏量測試。

(7)依壓差分別為10-25-50 Pa之設定，進行洩漏量量測，各種不同壓差條件下之讀值讀取時間應該至少持續兩分鐘，每30秒間隔測量一次，並計算2分鐘內之平均洩漏量(50Pa之壓差條件洩漏量計算並非強制要求)。

(8)將檢測設備全部移除，恢復試體原狀後，即完成全套檢測。

伍、門窗氣密性試驗法之小結

根據本研究之文獻分析，門窗氣密性能與建築用門遮煙性能均有實驗室與現場的檢測標準。此四種檢測標準之特性整理如表 2-1。實驗室檢測方法普遍存在試件安裝時間過長以及試件面積必須符合實驗設備之限制，因此實驗室檢測方法僅用在產品認證或綠建材標章申請上。而現場測試方法雖然具有檢測時間短、試件大小不受限制之優點，但是現場影響氣密性或遮煙性之環境條件將是導致現場量測誤差過大的主因。在臺灣，目前除了門窗氣密性之現場檢測方法外，均有相對應之 CNS 國家標準或是內政部之相關測試指引與規範。表 2-1 整理結果亦凸顯本研究計畫之研究目的：建立「門窗氣密性現場檢測方法」之重要性。

表 2.1 門窗氣密性檢測方法之比較

項目	CNS 11527	CNS 15038	ASTM E783	建築用門現場遮煙性能測試
發行機構	標檢局	標檢局	ASTM	建研所
測試場所	實驗室	實驗室	現場	現場
量測溫度	常溫	常溫/200 °C	常溫	常溫
量測壓力	10~60Pa	10/25/50Pa	10-100Pa	10/25/50Pa
裝設時間	>12 小時	>12 小時	2 小時	30 分鐘
實驗時間	2 小時	2 小時	10~15 分鐘	30 分鐘
試件面積	3m*3m	3m*3m	可以隨試件大小擴充	可以隨試件大小擴充
用途	門窗氣密性能檢測	建築用門遮煙性能	門窗氣密性能檢測	建築用門遮煙性能

(資料來源：本研究製作)

根據本計畫與相關建設公司、建築師與窗戶廠商之電話訪視結果顯示，目前台灣業界並未要求門窗安裝後需要進行其氣密性與隔音性之現場檢測，以驗證氣密性與隔音性是否滿足產品規範。現場測試方法的評定基準最常被爭論之處為：是否應該要求門窗的現場氣密性能水平與認證期間在實驗室所獲得的氣密性能水平相同。因為門窗在被製造、運輸和安裝時會有多重變因影響著門窗的氣密性

能。一般而言，現場安裝後的門窗氣密性能較實驗室量測的氣密性能差，根據美國 AAMA 502 之規定：新安裝的門窗產品現場測試的洩漏量驗收標準可以是認證實驗室測試值的 1.5 倍。

至於，在建築用門現場遮煙性能測試的應用上，目前僅有內政部營建署在建築新技術新工法新設備及新材料認可項目中的建築用門遮煙性能評定原則上，允許尺寸超過 3m×3m 者評定機構可以依據現場遮煙性能測試方式進行之檢測報告進行評定。內政部建築研究所在 109 年所出版之「建築用門現場遮煙性能測試指引」未來將作為建築用門遮煙性能之後市場查核機制之檢測方法。

第二節 門窗隔音性檢測方法

壹、CNS 15160-3：聲學-建築物及建築構件之隔音量測-建築構件空氣音隔音之實驗室量測

我國現行 CNS 15160 建築聲學系列標準係參照原 ISO 140 系列標準制訂，CNS 15160-3：聲學-建築物及建築構件之隔音量測-建築構件空氣音隔音之實驗室量測相對應 ISO 10140 系列：Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements。建材隔音性能之實驗方法採用音壓法(Sound Pressure method)為歷史最悠久的實驗方法之一，CNS15160-3 與 ISO 10140 Part 3 均採用音壓法作為建築物及建築構件之隔音量測法。

本研究以內政部建築研究所音響實驗室之音壓法隔音試驗標準作業程序說明 CNS 15160-3 之量測要求與規定：

音響實驗室由左右相鄰兩間實驗室組合而成，主要功能為量測內牆、外牆、隔音門、隔音窗、新隔音素材之隔音等級。R4(聲源室)/R5(接收室)迴響室之截止頻率均為 100 Hz、操作頻寬 100~5kHz 之聲壓位準，量測標準差介於 0.5~1.5 dB，最大隔音量為 $R'_{max}-77$ 。在空調及照明設備啟動條件下，R4/R5 背景噪音為 NR-5、14.4 dB(A)及 NR-10、15 dB(A)。

一、試驗儀器

1. 麥克風

- (1) 無指向性麥克風(B&K 4943)及麥克風前置放大器*10(B&K 2669)
- (2) 訊號線*10
- (3) 麥克風夾持器及三腳架*10(R4、R5 各 5 隻)

2. 音源

- (1) 無指向性音源系統*1(B&K 4296, sn/2390944)

- (2) 指向性音源系統*1 (JBL, SR-X series, sn/SR-4735-04794)
- (3) 音源功率放大器*1 (Crown CTs-1200, sn/005961)

3. 其他

- (1) 頻道分析儀*1 (Pulse-3560E, sn/2411726)
- (2) 麥克風校正器*1 (B&K 4231, sn/2402631)
- (3) 電腦操控系統*1(HP Compaq d330uT, sn/SGH-41002DD)
- (4) 中英文版之音壓法隔音量測試軟體*1(B&K 7842-TW-001)

二、試驗設備

1. 空調：實驗前一個小時須將空調打開，並將實驗室內之溫、濕度變動控制符合 ISO 3741 第 5.5 節規定之範圍。實驗室內空調設備設定方式，請參考建築音響實驗室空調操作手冊。

2. 測試件安裝：

音壓法實驗室可進行隔音門、隔音窗以及隔音牆等建材之隔音性能測試，試驗方式係將測試件安裝於自動測試架框架之開口上，試件測試開口面積依照 CNS 15160-3 規定，測試件之開口面積，牆體應約為 10m^2 ，樓板介於 10 到 20m^2 間，牆與樓板之短邊長度皆不得少於 2.3m ；門及類似的構件，面積小於 10m^2 較為合適；窗的尺寸最好為 $1250\text{mm}\times 1500\text{mm}$ ，但仍視建築實際情況而定。本實驗室之框架淨空間尺寸為 $3.0\text{m}\times 3.5\text{m}$ (高 \times 寬)，各測試件之送件尺寸說明如下：

- (1) 門：測試架開口尺寸為 $1\times 2.2\text{m}$ ， 2.2 平方公尺。
- (2) 窗：測試架開口尺寸為 $1.5\times 1.5\text{m}$ ， 2.25 平方公尺。
- (3) 牆：測試架開口尺寸為 $3\times 3.5\text{m}$ ， 10.5 平方公尺。

送件廠商必須依實際之安裝施工，測試件與框架間之隔音施工方式須自行負責。

三、試驗步驟

CNS 15160-3 之量測是在實驗室進行，其側向傳播路徑(flanking paths)受到抑制。作業程序係將試件安裝於自動測試架後，將試件置於音源室及受音室兩迴響室間，以充氣橡膠圈將測試件與實驗艙之間隙密封以隔絕外部之傳音，實驗量測順序依測試規範先量測兩迴響室之背景噪音，其次量測個別之聲壓位準，最後量測受音室之迴響時間。由受音室之迴響時間應用沙賓公式計算受音室等價吸音面積;再利用兩室聲壓位準差及試件面積及受音室等價吸音面積求算隔音指標。

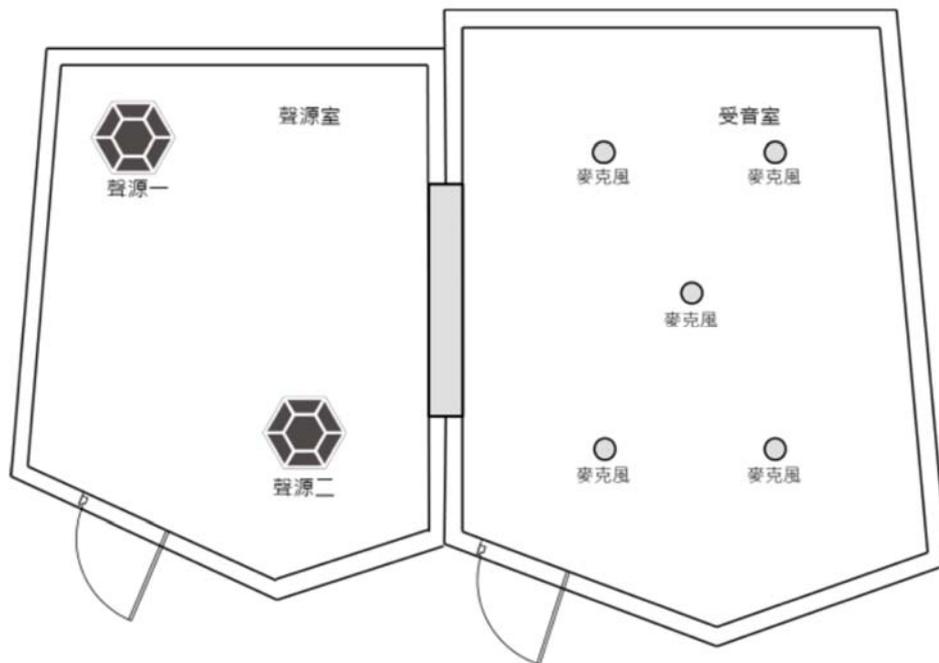


圖 2.15 建築構件空氣音隔音性能測試示意圖
(資料來源：林芳銘、林錦盛, 2018)

1. 聲源室內聲場之產生

在聲源室內產生之聲音，於應量測之頻率範圍內，須保持穩定且具有連續頻譜。若使用濾波器(filter)，其帶寬(bandwidth)須至少為 $1/3$ 倍頻帶。若使用寬頻帶 (broad-band)噪音，得調整頻譜，以確保受音室內高頻適當之訊噪比(建議使用白色噪音(white noise))。兩種情況下室內聲音頻譜在緊臨之 $1/3$ 倍頻帶間之位準差不得大於 6 dB。

聲源功率須使受音室內之聲壓位準比任何頻帶背景值至少高 15 dB。

放置揚聲器音箱於能使聲場儘量擴散之位置，並與試體保持一定距離，以使直接入射試體之聲音不致成為主要之部分，因為室內聲場受聲源之類型及位置影響極大。

2. 平均聲壓位準之量測

(1) 一般規定

平均聲壓位準之量測得使用移動不同位置之單一微音器、使用排列固定之微音器、連續移動微音器或擺動(swinging)微音器，以取得平均聲壓位準。不同微音器位置之聲壓位準，須採用對所有聲源位置作用下之能量平均。

(2) 微音器位置

每個實驗室至少須使用 5 個微音器位置，並均勻分布於實驗室最大之允許空間內(參照附錄 C 關於微音器位置之規定)。下列間隔距離為最小值，但儘可能大於最小值：

任一微音器間之距離為 0.7 m

任一微音器位置與室邊界或擴散器間之距離為 0.7 m

任一微音器位置與聲源間之距離為 1.0 m

任一微音器位置與試體間之距離為 1.0 m

當使用移動式微音器時，其掃過之半徑應至少為 1 m。為涵蓋大部分可供量測之室內空間，橫向移動之平面須傾斜，且不位於室內任一表面 10° 內之面，移動持續時間不少於 15 秒。

(3) 平均時間

在每個單獨微音器位置，中心頻率 400 Hz 以下之每一頻帶，其平均時間至少須為 6 秒。對於更高頻帶之中心頻率，平均時間允許減少至不少於 4 秒。在使用移動微音器時，平均時間應包含橫向移動之時間總數且不得少於 30 秒。

3. 量測之頻率範圍

- (1) 聲壓位準須使用 1/3 倍頻帶濾波器進行量測，應至少具有之 100、125、160、200、250、315、400、500、630、800、1000、1250、1600、2000、2500、3150、4000、5000Hz 中心頻率。
- (2) 若需要低頻範圍之附加資訊，則使用具有中心頻率：50、63、80Hz 之 1/3 倍頻帶濾波器。

貳、CNS 15160-5 聲學—建築物及建築構件之隔音量測法—外牆構件及外牆空氣音隔音之現場量測方法

我國現行 CNS 15160-5 外牆構件及外牆空氣音隔音之現場量測方法標準係參照原 ISO16283-3(2016) 標準制訂。

CNS 15160-5 中建議使用構件揚聲器法評估外牆構件視隔音指標。所需要的設備規定如下說明：

1. 一般規定

- (1) 微音器最大直徑不得大於 13mm。
- (2) 聲壓位準量測設備應符合 CNS 7129 或 CNS 13583 定義 0 型或 1 型之規定
- (3) 整個量測系統須使用 CNS 13331 準確度 1 級或更高等級之音壓校正器進行校正。1/3 倍頻帶濾波器及倍頻帶濾波器須符合 IEC 61260 之相關規定。
- (4) 迴響時間量測設備須符合 CNS 9056 之相關規定。

2. 揚聲器

揚聲器於自由聲場之方向性，應使量測各頻帶及各位位置之聲壓位準差值小於 5 dB，此項量測係一個試體方向、尺度均相同之假想平面上進行。

備考：若此揚聲器法應用於大型試體，亦即試體任一尺度超過 5m 時，則 10dB 之差值仍可受，但須於測試報告中說明。

以揚聲器噪音進行量測之測試原理與程序說明如下：

1. 一般規定

構件整體揚聲器噪音量測法說明如下：

構件揚聲器法(element loudspeaker method)測得之視隔音指標，在特定情況下得與實驗室量測之外牆構件隔音指標相互比較。

整體揚聲器法(global loudspeaker method)用以評估整個外牆，甚至特定情況下整個建築物之空氣音隔音。但其結果不得與實驗室量測結果相比較。

2. 原理

揚聲器置於建築物外 1 處或多處位置，與外牆面距離為 d ，聲音入射角為 $(45\pm 5)^\circ$ (參照圖 2-16)。

測定試體表面(採構件法時)或外牆面 2m (採整體法時)平均聲壓位準，並測定受音室平均聲壓位準後，即得計算視隔音指標 R'_{45° 或位準差 $D_{1s,2m}$ 。

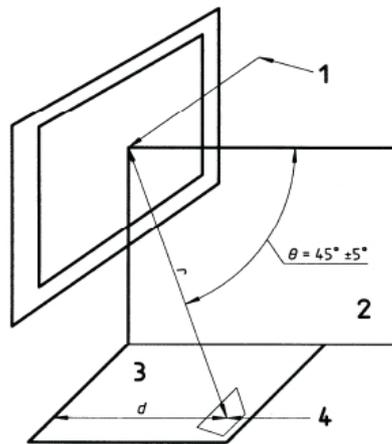
3. 聲場之產生

產生之聲場須保持穩定，且於應量測之頻率範圍內具有連續頻譜。若以 1/3 倍頻帶進行量測，頻帶之中心頻率至少為 100Hz~3150Hz，50Hz~5000Hz 尤佳。若以倍頻帶量測，頻帶之中心頻率至少為 125Hz~2000Hz，63Hz~4000Hz 尤佳。此外，在同一倍頻帶內之個別 1/3 倍頻帶間，其聲功率位準差在 125Hz 倍頻帶中不得大於 6 dB，在 250Hz 倍頻帶不得大於 5 dB，在更高中心頻率則不得大於 4 dB，在所有頻帶量測範圍內，聲源聲功率位準需夠高，以使受音室內之聲壓位準高於背景噪音位準至少 6 dB。

4. 揚聲器位置

為使試體之聲壓位準變化降至最低，應慎選揚聲器位置並確定其至外牆面之距離 d 。聲源最好放置於地上，或置於離地面盡可能高之位置。

構件揚聲器法中聲源至試體中心之距離 r 至少應為 5m($d>3.5m$)；整體揚聲器法則至少應為 7m($d>5m$)。聲音入射角應為 $(45\pm 5)^\circ$ 。



圖例：

- 1 外牆法線
- 2 垂直面
- 3 水平面
- 4 揚聲器

圖 2.16 揚聲器法示意圖
(資料來源：CNS 15160-5, 2018)

5. 受音室之量測

(1) 一般規定

受音室平均聲壓位準之量測得使用移動不同位置之單一微音器、排列固定之微音器、連續移動微音器或擺動微音器，以取得平均聲壓位準。不同微音器位置之聲壓位準應依能量對所有聲源位置加以平均。此外亦須測定背景噪音位準 L_b 。

(2) 微音器位置

每個房間至少需使用 5 個微音器位置以獲得各聲場之平均聲壓位準，這些位置應均勻分布於各室最大允許量測空間內。

最小間隔距離如下，但儘可能大於下列數值：

- 任一微音器間之距離為 0.7m；
- 任一微音器位置與室邊界或室內物體間之距離為 0.5m；
- 任一微音器位置與聲源間之距離為 1.0m。

當使用移動式微音器時，其掃過之半徑應至少為 0.7m。為涵蓋大部分可供量測之室內空間，橫向移動之平面需傾斜，且不應位於室內任一表面 10°內之平面，移動持續時間不少於 15 秒。

第三節 窗戶隔音性與氣密性之關聯性

使用聲波來追蹤空氣的洩漏並不是一種新的想法與技術。在 ASTM E1186 標準中即涵蓋著以聲波檢測來表示空氣洩漏的概念。因此，已經有許多的文獻發表利用聲波法應用在量測現場窗戶氣密性的研究成果。聲波法最初的研究重點主要是集中在尋找建築洩漏的位置而不是建築物氣密性的量測。但是，自從 1980 年代早期，探索建築物氣密性與聲波傳播關係的研究工作就已經開始。這是通過實驗探索空氣和聲波的傳播機制原理來建立兩者之間的關聯性。聲波法實驗測試是將一個聲源放置在建築構件（窗戶）的內部或者外部，然後釋放一定頻率的聲波，並用超聲波計量測在建築構件（窗戶）兩側的聲波強度，最後建築構件（窗戶）的氣密性可以通過實測資料建立的聲波傳播損失-空氣滲透率的經驗公式來確定。雖然早期的這些相關研究都沒有很重要的突破也無法成為建築物構件氣密性量測的標準方法，但是，比如適合做聲源法測試的最佳聲波源頻率為 2000 赫茲等研究結果奠基了聲波法的應用領域。

在最近的研究工作中，Hassan 對聲波法應用於估測建築構件氣密性的實驗工作進行分析比較指出：由於沒有和傳統的穩態壓差法進行測量比較，因而其準確度還不得而知。Iordache 和 Catalina 開展了對既有建築物進行現場氣密性實測研究，分別使用聲波法和穩態壓差法對窗戶的聲波傳播損失和空氣滲透率進行了量測，其現場實驗裝置如圖 2.17 所示。另外，於其對比的穩態壓差法（鼓風門）是通過測量房間的在窗戶密封和非密封狀態下的空氣滲透率來計算出來的。

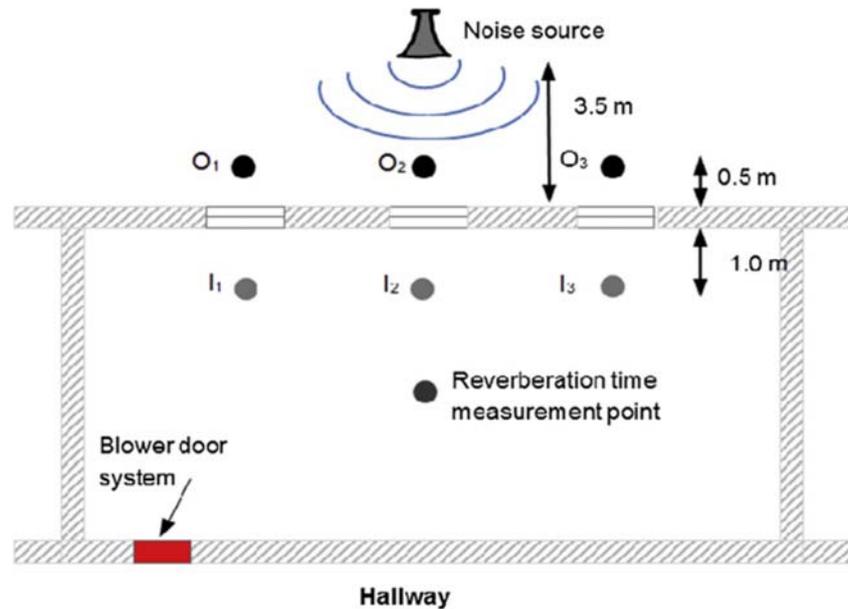


圖 2.17 聲波法和穩態壓差法的現場對比量測示意圖
(資料來源：Iordache, Catalina, 2012)

該研究透過對比鼓風門和聲波法的現場量測，建立了空氣洩漏量和聲波傳播損失的經驗公式（如圖 2.18）。該經驗公式顯示聲波傳播損失和空氣洩漏量呈反比關係：

$$ACH_4 = -0.0462\Delta L_p^2 + 2.5413\Delta L_p - 33.29$$

ACH_4 是在 4 Pa 壓差下的窗戶的換氣次數(h^{-1})，換氣次數是根據被測窗戶所在房間的體積來計算的； ΔL_p 是聲波衰減值，dB；在 27-34 分貝之間的聲波衰減值，該範圍適用於推測大部分建築結構下的窗戶在關閉情況下的氣密性。

Varshney 在實驗室內搭建的用於量測建築構件空氣滲透率的實驗平臺，圖 2-19 所示的實驗平臺室由兩個測試室組成，分別模擬室外和室內測試條件。由不同材料製作的測試隔間牆可以安裝在兩個測試室之間，隔間牆心位置含有不同的孔縫組合。測試過程中，兩個超聲波計分別安裝在兩個測試室內，並且與測試隔間牆保持一定的距離。然後超聲波計用在 32-8000 赫茲區段的信號對在聲壓水準進行量測。對應的被測量聲壓值在 30-130 分貝之間，測量精度是 ± 1.4 分貝。

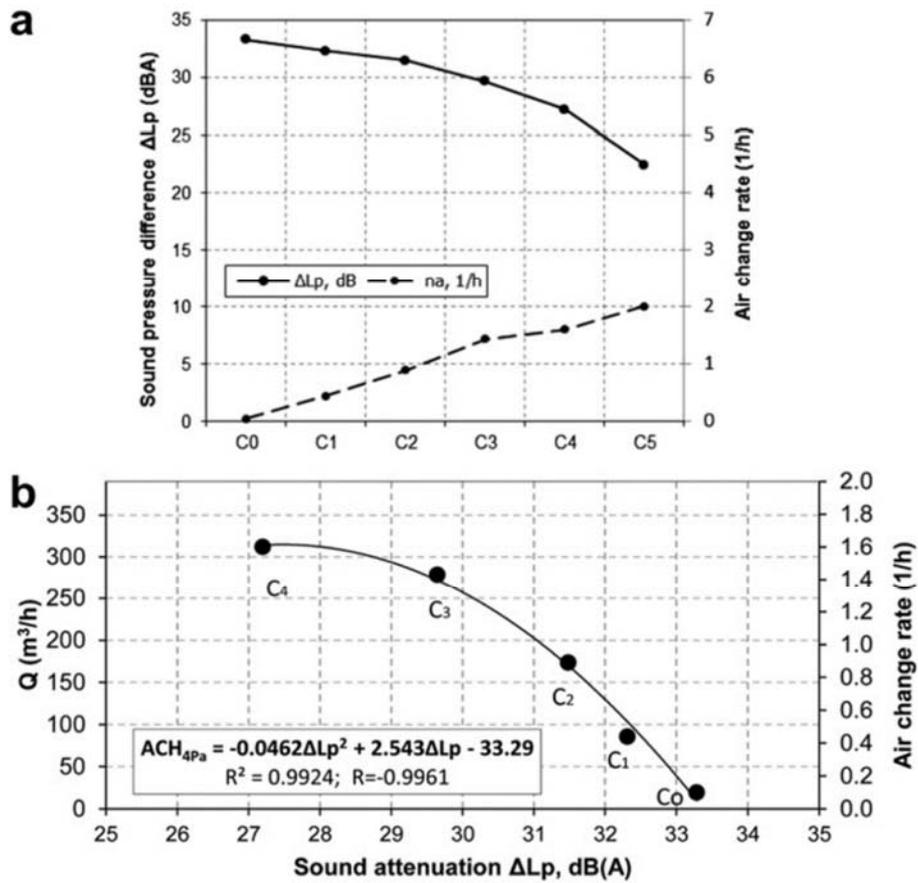


圖 2.18 4 Pa 壓差下的窗戶氣密性與隔音性之相關性
 (資料來源：Iordache, Catalina, 2012)

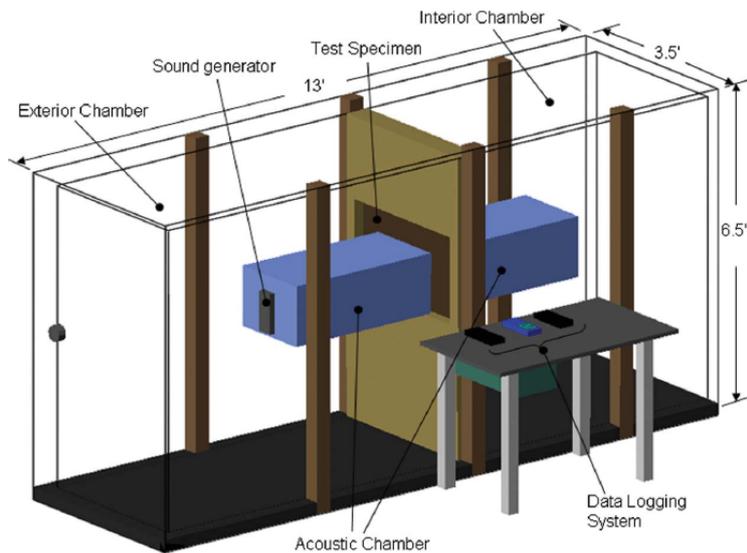


圖 2.19 利用聲波法量測建築物氣密性的實驗裝置
 (資料來源：Varshney, 2013)

再者，作者將該聲波測量法跟鼓風門法進行了現場實測比對，也發現了他們之間存在著高度的相關性，故認為聲波法具有量測建築物構件空氣氣密性的應用潛力。

Sanam 用聲波法和壓差法對既有建築的鋁合金窗戶氣密性進行了現場量測研究，其實驗裝置如圖 2.20 所示。窗戶的穩態壓差法的測量是按照 ASTM E 783-02 標準進行。

聲壓值的每一個測量值是基於 20 秒的平均值，然後窗戶兩側的聲壓值是由三個測量點的平均值來決定，如圖 2.21 所示。

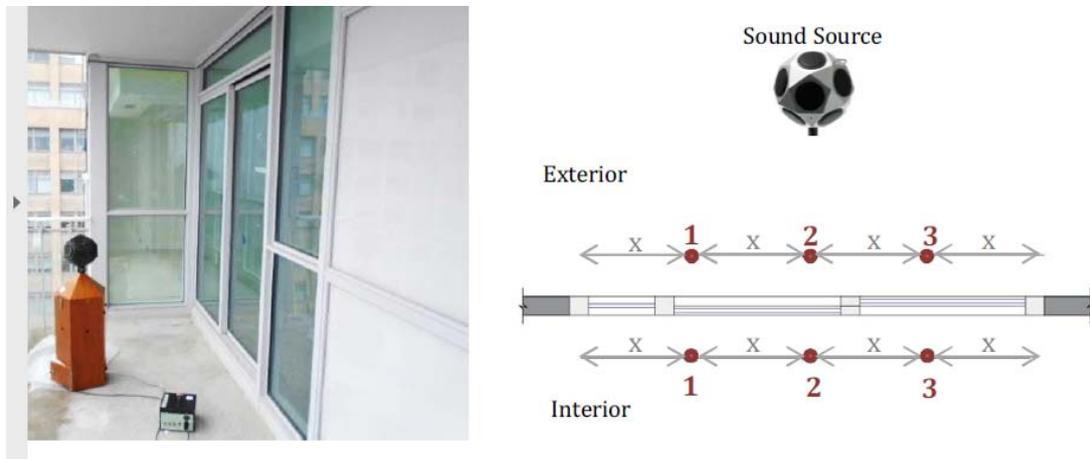


圖 2.20 聲源位置以及聲波測點
(資料來源：Sanam, 2018)



圖 2.21 穩態壓差法(a)與聲波法(b)測量窗氣密性之現場實測比對
(資料來源：Sanam, 2018)

通過對七個窗戶的測量和對比，Sanam 得出了二者的線性關係

$$ALR_{75} = -0.1432\Delta L_p + 5.55$$

ALR_{75} 是窗戶在 75Pa 壓差下的空氣洩露量，(L/s)； ΔL_p 是聲波衰減值。

但是聲波測量法也有一些應用限制和缺點，譬如，對牆體結構，漏口特徵以及漏氣水準都有一定的要求。因此，該方法不適合測量建築物的整體氣密性而是更適用於測量建築構件的空氣滲透率。

Catalina, Iordache, Iordache 三人在 2020 年發表了最新的窗戶隔音性與氣密性之關聯性研究成果於著名的 SCI 期刊：Energy and Buildings 上。Catalina, Iordache, Iordache 以穩態壓差法與聲波法量測單層與雙層木框窗戶之氣密性與隔音性，該研究之實驗配置如圖 2.22 所示。Catalina, Iordache, Iordache 量測六種窗

戶洩漏條件：完全密封、半密封、正常關閉、小面積開口、中面積開口、大面積開口（如圖 2.23 所示）之氣密性與隔音性，並且透過數學模式找出空氣與聲波在窗戶接縫處的傳遞機制，進而預測出窗戶氣密性與隔音性之關聯公式。

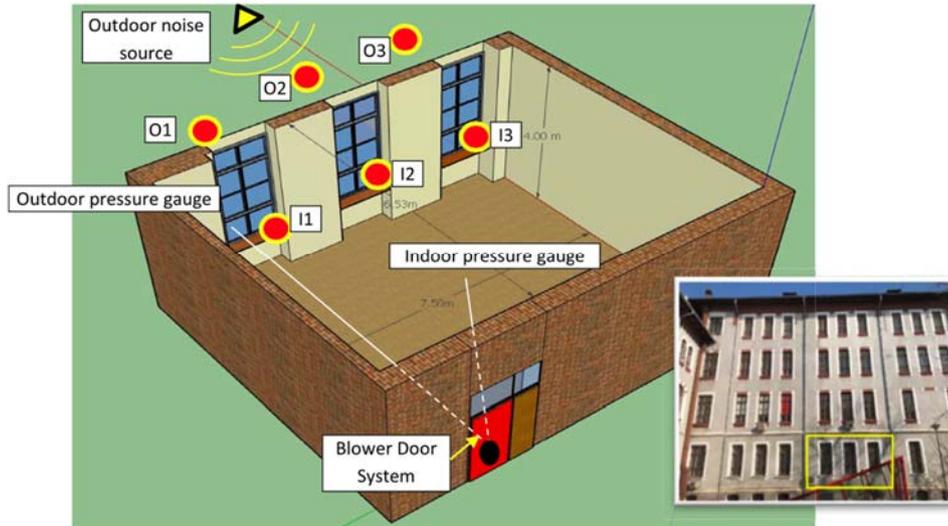


圖 2.22 聲波法和穩態壓差法現場量測窗戶氣密性與隔音性之示意圖
(資料來源：Catalina, Iordache, Iordache, 2020)



圖 2.23 三種實驗條件之現況
(資料來源：Catalina, Iordache, Iordache, 2020)

實驗結果顯示，當窗戶的洩漏量越大，其隔音性就越差。窗戶氣密性與隔音性之相關公式為反比遞減函數。兩種不同型式窗戶的現象均一致。

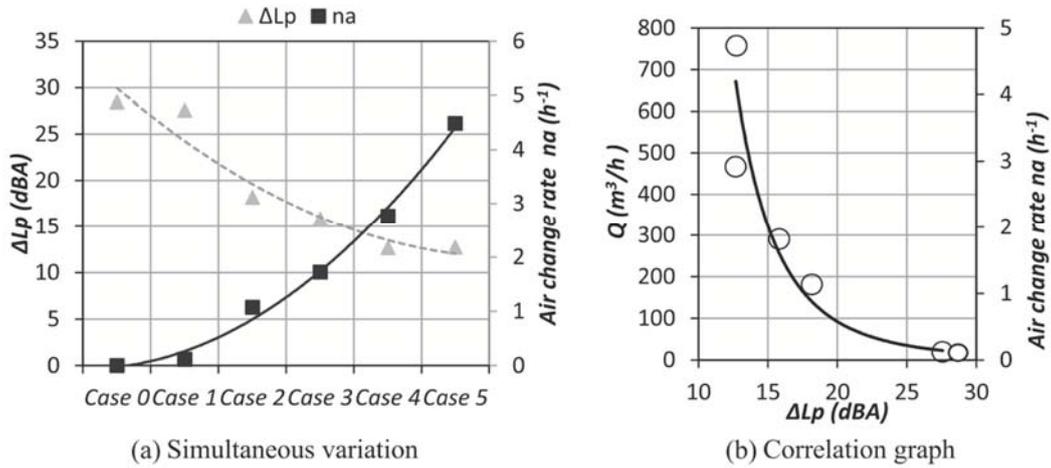


圖 2.24 氣密性與隔音性之相關性
(資料來源：Catalina, Iordache, Iordache, 2020)

本節之文獻收集與分析獲得本研究計畫的重要研究依據與基礎，此重點在於門窗的氣密性與隔音性存在著顯著的關聯性，過去的文獻已經漸漸獲得此相關性的定量公式，並且開始發展利用音源法來量測門窗的隔音性可以推測門窗的氣密性；或是量測門窗的氣密性可以推測出門窗的隔音性之創新量測技術。

第三章 窗戶氣密性現場檢測方法之建立

經第二章之門窗氣密性與遮煙性能檢測方法之文獻比較分析，傳統的穩態風扇加壓法雖然可以應用在現場的氣密性檢測上，但是在實際操作時間仍耗時，且僅能測量壓力差10Pa以上的洩漏量，不符合實際條件，也無法直接應用在建築物能耗模擬時的窗戶滲透風量之輸入。聲波法是最新的檢測技術，也是所有檢測方法中檢測時間最短與成本最低的，但是目前仍未成熟，需要進一步的完整驗證方能納入國際標準中。因此，本研究決定採用諾丁翰大學所開發的PULSE建築物氣密性檢測技術。研究團隊透過過去從英國PULSE建築物氣密性檢測技術所獲得之教育訓練加上參考美國建築製造商協會(American Architectural Manufacturers Association)的新設門窗產品現場測試之志願性規範 AAMA 502-08以及英國氣密測試與量測協會(The Air Tightness Testing & Measurement Association)之技術報告 ATTMA TSL1內之規範，訂定「門窗氣密性現場檢測方法」。

第一節 門窗氣密性現場檢測方法

壹、用語及定義

1. 門扇組件(Door or Window Assembly)：由固定之結構（如門樑、窗樑）、門扇或窗扇、附屬五金配件等所構成之組合。
2. 氣密(Airtightness)：一種建築度量單位，用以描述建築外殼的密封程度。
3. 空氣洩漏率(Air Leakage)：因為室內外壓力差造成空氣通過門窗組件中的裂縫，縫隙和不定開口之質量流率。
4. 額定洩漏率：在某特定壓力差的條件下，單位時間通過門窗組件之空氣洩漏率。
5. 試體：試體之構造、附屬五金配件，其裝配、支撐構造應依業者之施

工規範安裝，在門窗樑與門窗扇部分應含適當的淨空間。

6. 測試艙：門窗外殼包覆的密閉空間。

貳、檢測原理

門窗氣密性現場檢測方法採用暫態脈衝法量測安裝在現場門窗的空氣洩漏率。暫態脈衝法是將壓力脈衝施加到測試艙內並測量測試艙體積中的壓力響應。通常通過從壓縮空氣罐中釋放壓縮空氣一小段時間（通常為1-2秒）來獲得脈衝，使測試艙內的壓力瞬間提高，並且透過監測測試艙及空氣瓶內的壓力變化來確定門窗的空氣洩漏率。通常40升空氣接收器（120-400 bar /升）的壓力範圍為3至10 bar，只需要0.004%的體積變化就可產生約4Pa的脈衝壓力。

參、檢測裝置

試驗裝置之組成共包含測試艙、PULSE主機、壓力量測裝置、環境量測裝置等四部份，試驗裝置之組成如圖 3.1 門窗氣密性現場檢測設備示意圖所示，各部位之說明如下：

1. 測試艙：

- (1) 測試艙必須是塑膠布、木製平板等不會在測試期間因脈衝空氣衝擊艙體造成體積改變或變形之不透氣材料。
- (2) 測試艙必須可以與試體外框緊密連接，不會產生縫隙，造成空氣從測試艙與試體交接處洩漏之情形發生。
- (3) 測試艙必須裝設與PULSE主機之供氣導管連接之連接孔，請連接孔四周可以使用法蘭或是接著劑減少縫隙產生之機率。

2. PULSE主機：

- (1) PULSE主機為提供脈衝壓縮空氣之裝置。
- (2) PULSE主機之規格必須符合CIBSE TM23:2019之規格。
- (3) PULSE主機必須裝設長度大於1m的供氣導管以連接測試艙。

3. 壓力量測裝置：

- (1) 量測門窗組件室內外之壓力差之量測裝置，其量測範圍需達到10Pa以上，精確度必須為5%以內。
 - (2) 壓力量測裝置必須裝置於距艙體表面10cm以內之處。
4. 環境量測裝置：環境量測裝置用以量測測試空間之溫度與相對濕度。環境量測裝置必須裝設在距離測試艙1m範圍內。

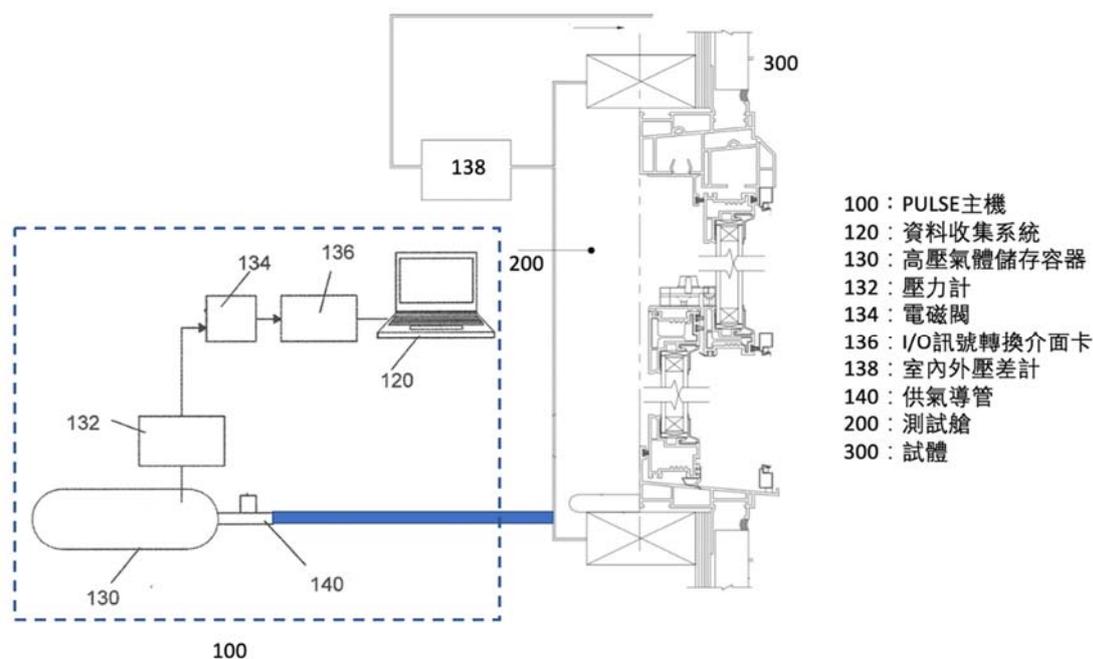


圖 3.1 門窗氣密性現場檢測設備示意圖
(資料來源：本研究整理)

肆、試驗前準備程序

門窗氣密性現場檢測標準作業程序如圖 3.2 所示，區分為試驗前準備程序與伍、試驗標準作業程序兩部分。首先依序進行環境溫溼度測試，再進行門窗組件功能操作測試，確保正式試驗時得以獲得正確的數據。

1. 環境溫溼度測試

環境溫度須為 $(25 \pm 15)^\circ\text{C}$ ，相對濕度為 40%~90%。所有組件均為不透水性材質(例如金屬、玻璃等)者，則不受上述測試環境之限制。

2. 門窗組件功能操作測試

(1)每一門窗均須先進行 5 次以上開啟與關閉之功能操作。

(2)完成門窗功能操作測試後將門窗自然關閉，始可進行洩漏量測試。

3.量測測試艙與試體之尺寸參數

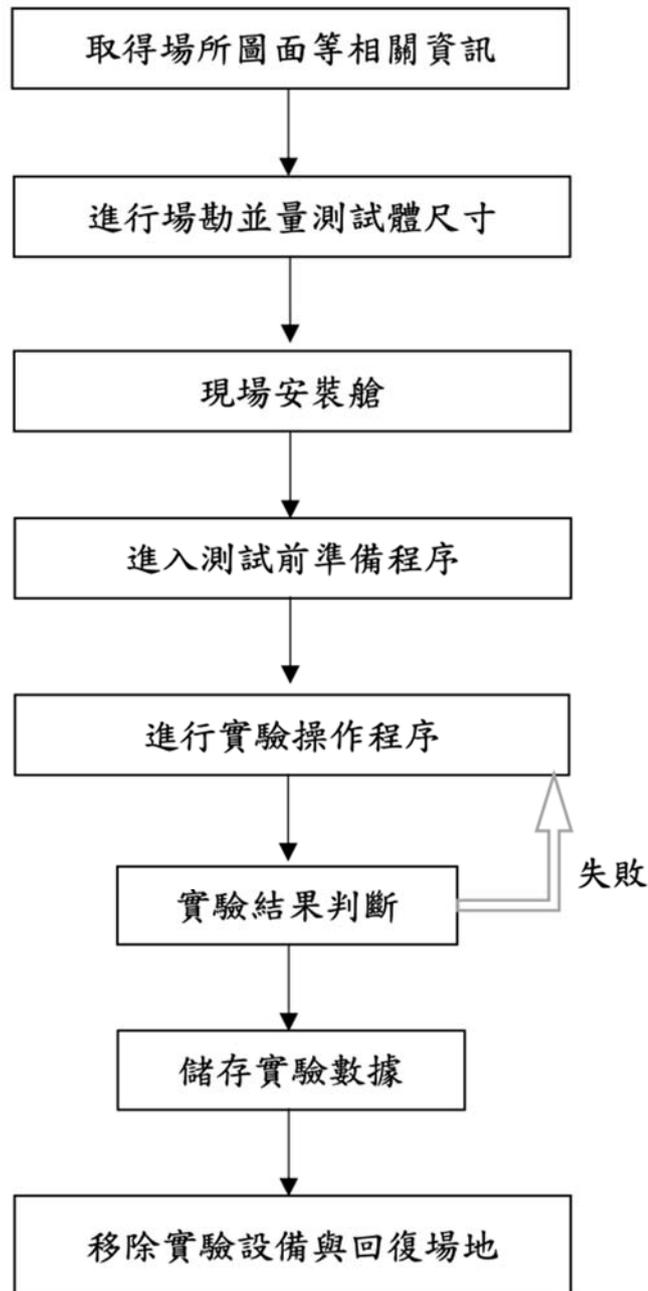


圖 3.2 門窗氣密性現場檢測標準作業程序
(資料來源：本研究整理)

伍、試驗標準作業程序

1. 安裝測試艙：測試艙的安裝必須確保測試艙與試體完全接合無縫隙存在，必要時可以使用接著劑（例如：矽利康）或膠布固定測試艙與試體之間的接合處，甚至可以使用支撐結構固定測試艙與試體周圍之牆壁上。
2. 將供氣導管兩端固定於 PULSE 主機與測試艙上，並連接至壓差計。務必先確認壓差計及 PULSE 主機確實歸零。
3. 檢測環境需持續維持 5 分鐘以上後，方可進行下一步驟。
4. PULSE 主機安裝
 - (1) PULSE 主機會在整個測試艙空間內產生瞬時壓力差，故 PULSE 主機放置位置至少與測試艙有 1 米的間隙，否則可能導致測試不準確。
 - (2) PULSE 主機的 control 箱也應盡可能遠離主箱體，以防止空氣釋放影響其中的傳感器。control 箱之 control 電纜長至少需要 4 米。
 - (3) 氣瓶充氣：PULSE 裝置需先安裝一個快速連接的充氣端口連接器。要開始充氣，使用隨附的空氣軟管通過充氣端口連接器將壓縮機連接到主氣瓶充氣口。當氣瓶達到充滿時，壓縮機將自動關閉。關閉隔離閥並在測試前關閉壓縮機，以確保壓縮機在測試期間不會開始為氣瓶重新充氣。如果發生這種情況，請將測試視為無效，然後重新測試。
5. 啟動 PULSE 主機，進行試驗量測
 - (1) 啟動測試時，首先通過觀察屏幕上的氣瓶壓力進氣或通過觀察主箱體頂部的機械氣瓶壓力表來確保氣瓶充滿足夠高的壓力。
 - (2) 開始 PULSE 裝置的測試，主要有三個階段：
 - 2 秒背景壓力採樣階段：在此期間沒有空氣釋放，設備獲取氣壓讀數。
 - 1.5 秒的空氣釋放階段：在此期間會感覺到噪音和空氣脈衝。

1.5 秒背景壓力採樣：在此期間系統記錄外部和內部氣壓。

(3) 測試完成，結果和反饋顯示在屏幕上。

6. 結果輸入與存檔

7. 測試紀錄及結果報告內容之填寫：測試紀錄表單如表 3.1所示。

8. 將檢測設備移除，恢復試體原狀，即完成試驗程序。

表 3.1 門窗現場氣密性檢測結果紀錄表

日期		時間	
製造廠商		地址	
委託單位		地址	
測試單位		報告簽署人	
試驗地點		測試者	
試件編號		試件描述	
環境溫度		環境溼度	
試驗結果紀錄			
時間	試體面積 (m ²)	測試施加氣壓 (Pa)	空氣洩漏量 (m ³ /s)
時 分			
時 分			

(資料來源：本研究製作)

第二節 門窗氣密性現場檢測方法專利與技術移轉規劃

為了完成本研究計畫之工作項目之一：門窗氣密性現場檢測方法專利撰寫與申請，研究團隊首先針對台灣、歐美專利進行專利檢索。透過可專利性檢索（Patentability Search）來確認本研究提出之門窗氣密性現場檢測方法的構想是否具有可專利性。

在台灣專利庫檢索部分，以經濟部之中華民國專利資訊檢索系統進行查詢，輸入的關鍵詞為（建築）、（門）、（窗戶）、（氣密）、（遮煙）進行交叉檢索，檢索年份為 2000~2021 年。

檢索結果發現，與本計畫欲申請之門窗氣密性檢測方法相關之專利僅有 2 個專利。

- (1) I400439，具人機介面之風雨試驗機及其操作方法，發明人：賴欽銘，公告日：2013/07/01，專利狀態：核准。
- (2) 氣密測試設備，發明人：林慶元、鄭孟昌，公告日：2006/12/21，專利狀態：消滅。

專利：具人機介面之風雨試驗機及其操作方法，是發明一套全自動的人機介面安裝在習知的門窗水密、氣密性能檢測的風雨試驗機上。而專利編號：M303374 氣密測試設備的專利，雖然專利狀態為消滅，但此專利是內政部建築研究所發行的「建築用門現場遮煙性能測試指引」之基礎，屬於靜態風扇加壓法之延伸應用。

在美國專利資料庫(US)檢索部分，在美國專利及商標局（United States Patent and Trademark Office）搜尋網頁中輸入的關鍵詞為(air leakage) OR (air tightness) AND (Field Testing) AND (G01M)，其中 G01M 專利分類號代表機器或結構部件之靜或動平衡的測試，檢索年份為 2000~2021 年。

檢索結果共有 22 個專利被檢索，與本計畫欲申請之門窗氣密性檢測方法相關之專利僅有 3 個專利。

- (1) 20170205328 ， SYSTEM AND METHOD FOR MEASURING PERMEABILITY OF A MATERIAL，發明人：Tatley; Ronald D., Schneider; Thomas J. ，申請人：Building Envelope Analysis, LLC，公告日：2017/07/20，專利狀態：核准。
- (2) 20170122834 ， Determining Air Leakage ，發明人：Cooper; Edward, Etheridge; David, Zu ;Yingqing ，申請人： University of Nottingham ，公告日：2017/05/04，專利狀態：核准。
- (3) 20170073962 ， METHODS FOR SEALING, DETECTION AND MARKING LEAKS IN STRUCTURAL ENCLOSURES，發明人：Modera; Mark; Harrington; Curtis; Dichter; Nelson ，申請人：The Regents of the University of CALIFORNIA，公告日：2017/03/16，專利狀態：核准。

專利：SYSTEM AND METHOD FOR MEASURING PERMEABILITY OF A MATERIAL 是利用靜態風扇加壓法之發明，專利：METHODS FOR SEALING, DETECTION AND MARKING LEAKS IN STRUCTURAL ENCLOSURES 則是利用追蹤氣體法利用釋放追蹤氣體去偵測建築物結構體的洩漏處，無法量測建築物的洩漏量。專利：Determining Air Leakage，是本研究所採用之脈衝加壓法的發明基礎。

在歐盟(EP)與世界智慧財產權組織(WO)之專利資料庫檢索部分，在相關搜尋網頁中輸入的關鍵詞為(Building) AND (air leakage) OR (air tightness) AND (Field Testing) AND (G01M)，其中 G01M 專利分類號代表機器或結構部件之靜或動平衡的測試，檢索年份為 2000~2021 年。

檢索結果共有 14 個專利被檢索，與本計畫欲申請之門窗氣密性檢測方法相關之專利僅有 3 個專利。

(1)EP3161446B1, IMPROVEMENTS IN AND RELATING TO DETERMINING AIR LEAKAGE, 發明人：Cooper; Edward, Etheridge; David, Zu ;Yingqing，申請人：University of Nottingham，公告日：2021/05/12，專利狀態：核准。

(2)EP3256834B1, ETHOD AND SYSTEM FOR TESTING AIRTIGHTNESS OF A BUILDING ENVELOPE, 發明人：PHAFF, Johan Cornelis (NL); BORSBOOM, Wouter Antonius (NL); KNOLL, Bastiaan (NL)，申請人：Nederlandse Organisatie voor toegepast- natuurwetenschappelijk onderzoek TNO (NL)，公告日：2019/05/22，專利狀態：核准。

(3)WO9635107A1，METHOD AND APPARATUS FOR TESTING THE EFFECTIVENESS OF AN AIR BARRIER INSTALLATION, 發明人：KNIGHT, KEVIN, DUDLEY;KNIGHT, GRAHAM, ANDREW;KNIGHT, COLIN, DUDLEY，申請人：RETRO-SPECS LTD. (CA)，公告日：1996/11/07，專利狀態：核准。

根據上述之專利檢索結果，發現本研究以研究團隊開發之門窗氣密性現場檢測方法具有產業利用性、新穎性及進步性之三要件，進行專利申請之可專利性高。本研究團隊委託南一國際智慧財產權事務所進行相關專利之撰寫，經過數次的討論，本次專利之申請名稱為「門(窗)氣密性檢測系統」，預計申請台灣新型專利，申請人為內政部建築研究所。本項專利共包含三種實施例架構示意圖，在創作實施例中確能達到所預期之使用功效，又其所揭露之具體技術手段，不僅未曾見諸於同類產品中，亦未曾公開於申請前。專利內容請參考本報告書附錄。

第四章 門窗氣密性現場檢測技術之可行性與應用性評估

第一節 市售窗戶氣密性調查

本研究截至期中報告共收集 8 種廠牌 25 樞窗戶之氣密性數據，整理如表 4-1 所示。所有 25 樞窗戶之氣密性數據皆由 TAF 認證實驗室（內政部建築研究所風雨風洞實驗室、兆立科技、南亞塑膠）依據 CNS 11527 所量測獲得。此 25 樞窗戶區分為塑鋼窗、鋁窗、不鏽鋼窗三種窗框種類，依照開窗類型共有橫拉、推開、固定以及複合型等四種。表 4-1 顯示 25 樞窗戶的氣密性均屬 2 等級（有關 CNS 11527 A3236 氣密性等級線請參照圖 2-2 之說明）。一般而言，窗戶的氣密性是固定窗最佳、其次為推開窗、接著才是橫拉窗。以表 4.1 的塑鋼窗而言，推開窗的洩漏量小於橫拉窗的洩漏量，此結果與習知的觀念一致，代表推開窗的氣密性優於橫拉窗。然而對於表 4-1 其他金屬窗而言，固定窗有洩漏量產生，甚至大於橫拉窗的洩漏量之案例，其原因根據現場實驗人員經驗推論應為現場安裝工法造成固定窗窗框與試體框之間的空隙所造成，玻璃與窗框之間均有矽利康膠填充，無洩漏發生之可能性。從收集的 25 樞窗戶數據可了解目前台灣建築最常採用的窗戶形式為橫拉式或是橫拉加開天固定式。此類型態的窗戶無論是雙扇、四扇、上下開天固定等形式，其氣密性均達到 2 級，屬於技術成熟之產品。

表 4.1 市售窗戶氣密性調查

窗戶編號	窗戶型態	窗戶尺寸 (mm*mm)	壓力 (Pa)	洩漏量 (m ³ /h-m ²)	氣密等級
1	推開塑鋼窗	1500*1500	10/30/50/100	0.0/2.1/3.0/5.2	2
2	推開塑鋼窗	1500*1500	10/30/50/100	0.0/0.6/0.8/1.3	2
3	橫拉塑鋼窗	1500*1500	10/30/50/100	0.9/2.0/2.7/3.5	2
4	橫拉塑鋼窗	1000*1000	10/30/50/100	0.9/3.7/4.5/8.2	2

室內環境氣密性能現場檢測技術與方法之研究

5	推開上開天固定 塑鋼窗	1950*1890	10/30/50/100	0.4/0.85/1.6/2.6	2
6	橫拉上開天固定 塑鋼窗	1950*1890	10/30/50/100	1.2/2.5/3.1/4.5	2
7	固定鋁窗	1850*1950	10/30/50/100	0.5/1.4/2.3/4.1	2
8	固定不銹鋼窗	1200*1400	10/30/50/100	1.2/2.3/3.0/4.3	2
9	推開鋁窗	900*1535	10/30/50/100	1.6/2.7/3.8/5.3	2
10	推開鋁窗	1200*1535	10/30/50/100	0.6/1.6/2.1/3.4	2
11	橫拉鋁窗	1850*1950	10/30/50/100	0.3/0.7/1.0/1.6	2
12	橫拉鋁窗	1050*1210	10/30/50/100	1.7/3.4/4.6/6.4	2
13	橫拉鋁窗	2000*1450	10/30/50/100	0.9/1.8/2.3/3.4	2
14	橫拉鋁窗	1500*1500	10/30/50/100	0.2/0.8/1.6/2.4	2
15	四扇橫拉鋁窗	2350*1950	10/30/50/100	0.6/1.1/1.5/2.1	2
16	四扇橫拉鋁窗	2600*2400	10/30/50/100	0.5/1.1/1.4/2.0	2
17	四扇橫拉鋁窗	3460*1950	10/30/50/100	0.5/1.1/1.5/2.2	2
18	橫拉上開天固定 鋁窗	1970*2200	10/30/50/100	0.7/1.4/1.9/2.6	2
19	橫拉中固定鋁窗	3460*1950	10/30/50/100	0.8/1.7/2.3/3.4	2
20	橫拉下開天固定 鋁窗	1500*1620	10/30/50/100	1.3/2.6/3.5/5.5	2
21	橫拉下開天固定 鋁窗	1800*1700	10/30/50/100	0.7/1.4/1.8/2.6	2
22	橫拉下開天固定 鋁窗	1600*1700	10/30/50/100	0.8/1.6/2.1/3.0	2
23	橫拉下開天固定 鋁窗	1400*1800	10/30/50/100	0.8/1.6/2.2/3.3	2
24	橫拉下開天固定 鋁窗	1400*1800	10/30/50/100	0.9/2.0/2.7/3.9	2
25	橫拉上下開天固 定鋁窗	1665*2682.5	10/30/50/100	0.8/1.6/2.2/3.2	2

(資料來源：本研究製作)

再者，本研究收集營建署建築工程施工規範中第 08 章節，有關窗戶產品規範：08520 鋁窗、08550 木窗、08569 塑鋼窗中，在品質保證之要求上，通常有下列之規定：

1. 產品之材料及其配件、必要之五金品質應符合品質保證之規定。
2. 提送原製造廠商出具之出廠證明文件及保證書正本。
3. 所有門(窗)成品出廠應貼黏製造、檢驗標籤
4. 鋁窗：產品之鋁料及金屬料來源應檢附輻射線檢驗報告。
5. 鋁窗：承包商將產品運抵工地前應作抽樣試驗，須符合中國國家標準，依 CNS 鋁窗性能檢驗法進行各種試驗。
6. 木窗：木窗扇安裝前需作破壞抽驗其暗料，其規定如下：數量不足 100 扇者最少取 1 扇；100~1000 扇，至少取 2 扇；1001~2000 扇，至少取 4 扇；2001 扇以上，每增加 1000 扇(不足 1000 扇者，以 1000 扇計)增取 1 扇。若有未按圖說或本章規定施作者，則該批窗扇 全部不得使用。一切損失由施工廠商自行負責。
7. 木窗：竣工前後及保固期內，凡發現因使用材質不良或施作不良，以致成品有脫榫、開裂、變形或其他缺失時，施工廠商應負責拆去不良材質更換、重作，另因而損及其他處所而需補修之工料費用亦概由施工廠商承擔。
8. 木窗：所使用之實木料，於每批進場後須抽樣，送請木種鑑定。

從相關之工程規範發現目前窗戶的品質保證大多使用產品抽樣送驗的型式，對於工法對於產品品質之保證並無相關之規範。

第二節 現場窗戶氣密性檢測

本研究團隊與配合建設公司合作，利用本研究開發之「窗戶氣密性現場檢測技術」量測 10 組實際案場安裝窗戶後之氣密性，接著進一步比對實驗室氣密性與現場量測數據之差異。本研究共選取橫拉鋁窗、T-2 等級(30dB)橫拉氣密窗、綠建材(35dB)橫拉氣密窗三種台灣建築物常用之窗戶型態，分別依據第三章所建立之標準作業程序量測每一樞窗戶之洩漏量。現場檢測壓力差之設定值為標準值（4 Pa），窗戶洩漏量以 CNS 11527 標示的窗戶洩漏量(m³/hr-m²)表示之。

表 4.2 現場窗戶氣密性檢測結果與 CNS 11527 實驗室檢測數據可發現如下之結果：

1. 現場量測的低壓力差(4 Pa)窗戶洩漏量均大於 CNS 11527 實驗室在 10 Pa 條件下之窗戶洩漏量。此結果代表在現場安裝的窗戶氣密條件差於在實驗室安裝的氣密條件。
2. 橫拉鋁窗、T-2 等級(30dB)橫拉氣密窗、綠建材(35dB)橫拉氣密窗三種窗戶的氣密性有明顯之差異，橫拉鋁窗的總洩漏量大於 2 m³/hr-m²，T-2 等級(30dB)橫拉氣密窗的總洩漏量約在 1~1.5 m³/hr-m² 區間，綠建材(35dB)橫拉氣密窗的總洩漏量小於 1 m³/hr-m²。

表 4.2 現場窗戶氣密性檢測數據

編號	窗戶型態	面積 (m ²)	現場洩漏量 @4 Pa (m ³ /hr-m ²)	實驗室 洩漏量 10/30/50/100Pa
#1	橫拉鋁窗	2.5 m ²	1.9380	1.7/3.4/4.6/6.4
#2	橫拉鋁窗	1.83 m ²	2.3030	1.7/3.4/4.6/6.4
#3	橫拉鋁窗	1.70 m ²	2.1770	1.7/3.4/4.6/6.4

#4	T-2 等級(30dB) 橫拉氣密窗	2.1 m ²	1.1140	0.9/1.8/2.3/3.4
#5	T-2 等級(30dB) 橫拉氣密窗	2.1 m ²	1.3470	0.9/1.8/2.3/3.4
#6	T-2 等級(30dB) 橫拉氣密窗	2.7 m ²	1.1733	0.9/1.8/2.3/3.4
#7	T-2 等級(30dB) 橫拉氣密窗	2.7 m ²	1.4033	0.9/1.8/2.3/3.4
#8	綠建材(35dB) 橫拉氣密窗	5.4 m ²	0.6690	0.3/0.7/1.0/1.6
#9	綠建材(35dB) 橫拉氣密窗	8.7 m ²	0.6830	0.3/0.7/1.0/1.6
#10	綠建材(35dB) 橫拉氣密窗	3.8 m ²	0.7270	0.3/0.7/1.0/1.6

(資料來源：本研究製作)

第三節 門窗氣密性與隔音性之關聯性建立

為了進一步了解本研究開發之「窗戶氣密性現場檢測技術」應用在窗戶氣密性與隔音性現場驗證之可行性，本研究配合建研所性能實驗中心聲學實驗室之實驗，探討窗戶氣密性與隔音性能之間的關聯性。

圖 4-1 為 8 組窗戶隔音性與氣密性之量測結果。窗戶種類選取目前市面上常用的符合綠建材標章(35dB)以及日本 T2 等級(30dB)兩種，為了瞭解洩漏空氣對於窗戶隔音性的影響，窗戶洩漏量以單位面積每小時的總洩漏量為單位。實驗結果顯示，隔音性能窗戶超過 35dB 的氣密性能與 T2 隔音等級(30dB)窗戶的氣密性能有明顯的差異。8 組實驗數據的回歸統計是呈現高度線性關係 ($R^2=0.8312$)，此結果可以補充文獻(Catalina, Iordache, Iordache, 2020)中對於高隔音性能窗戶與氣密性的數據。

再者，從圖 4.1 的實驗結果可以確認採用本研究開發之「窗戶氣密性現場檢測技術」量測現場窗戶的氣密性來驗證窗戶的隔音性具有鑑別性。至於以現場窗戶的氣密性來驗證窗戶隔音性的評定基準為何，需要更多的實驗數據佐證。

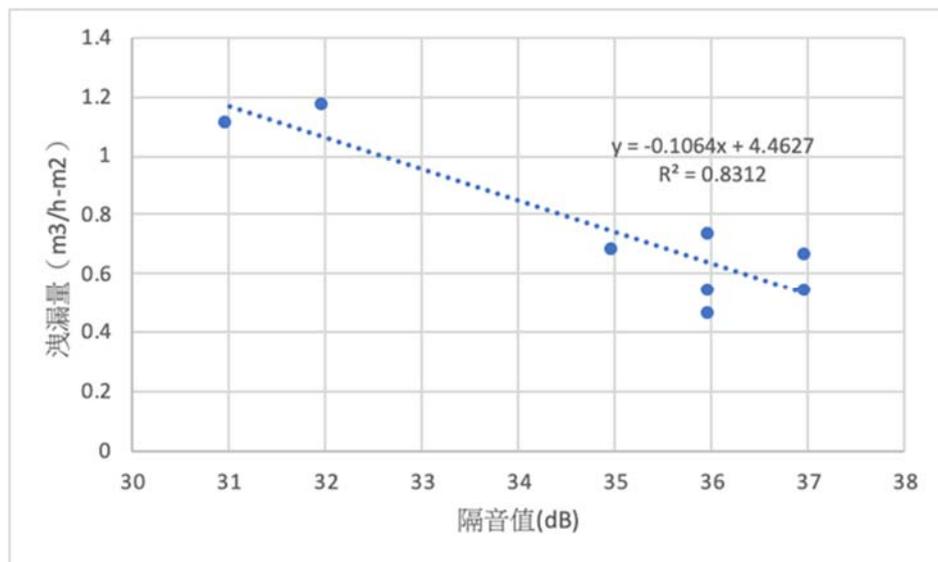


圖 4.1 窗戶隔音性與氣密性之關聯性
(資料來源：本研究製作)

第四節 門窗氣密性現場檢測應用評估

為了驗證本計畫開發之「窗戶氣密性現場檢測技術」之應用範圍，本研究之工作項目是評估「窗戶氣密性現場檢測技術」應用於有氣密性要求的場域或設備上。本研究首先由文獻收集中發現，英國防火門調查計畫(Fire Door Inspection Scheme, 2020)的調查結果顯示造成防火門安全問題的主要原因為煙氣密封問題以及間隙過大。再者經過先期的廠商訪談與市場調查後，決定以應用在防火氣密遮煙上最具應用潛力。故本計畫選定電梯門與遮煙捲簾為研究對象。進行相關可行性評估，其執行成果如下所述：

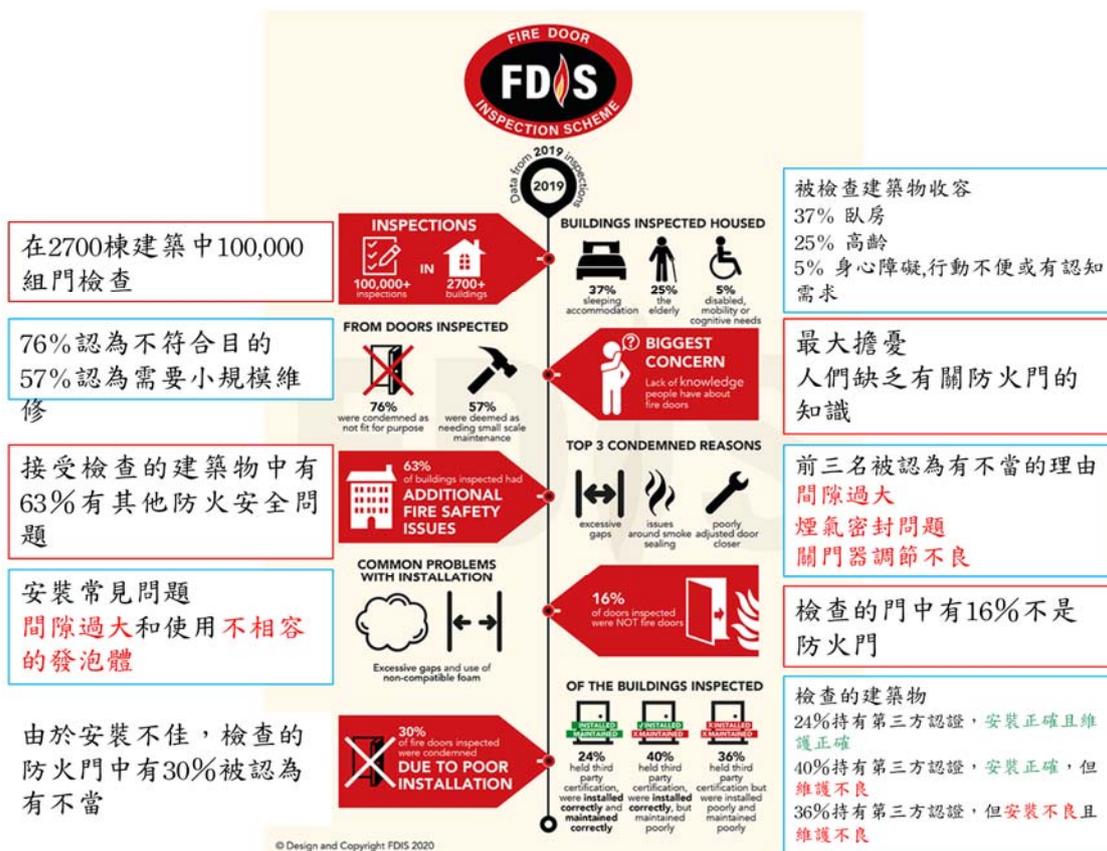


圖 4.2 防火門失效調查結果
(資料來源：本研究製作)

壹、電梯門

我國電梯門（升降機乘場門）標準：CNS 11227-2 在 2018 年制定公布，此新版的電梯門耐火性能試驗除了習知的遮焰性與阻熱性外，增加電梯門洩漏量量測查證。故相關電梯業者對於 111 年開始實施新版 CNS 試驗法上必須針對電梯門洩漏量進行探討，目前並未有實驗室通過符合 CNS 11227-2 標測試準的認證許可。故大部分的電梯廠商仍以 CNS 15038 作為遮煙性能的測試標準依據。由於 CNS 15038 須在實驗室內進行，試體尺寸的限制為 3m*3m，對於大尺寸的門扇，營建署的建築新技術、新工法、新設備及新材料評定規則規定，大尺寸門扇需要採用現場檢測的方式進行驗證。故本計畫與宏偉電梯合作，以本研究開發之窗戶氣密性現場檢測技術進行 1 組電梯門洩漏量測試，並且利用內政部防火實驗中心的建築用門遮煙性能量測裝置進行 CNS 15038 遮煙性能實驗，最後比較分析兩者之間的差異，評估窗戶氣密性現場檢測技術應用在電梯門遮煙性能驗證之可行性。

圖 4.3 為合作電梯廠商所提供之電梯門組裝圖。受限於試驗框架的尺寸 (3m*3m)，雙扇開啟電梯門扇的尺寸為 2.6 公尺，下門檻長度為 4.09 公尺。電梯門組裝在框架之實際情形如圖 4.4 所示。

再者，依照現場的實驗操作空間，本項測試將評估兩種類型測試方法對於實驗結果之影響。CNS 15038 測試艙為直接採用建築用門遮煙性能量測裝置的室外側測試艙，第二種為本研究設計的遮煙測試罩，如圖 4.5 所示，直接安裝在電梯門的組裝框架上。

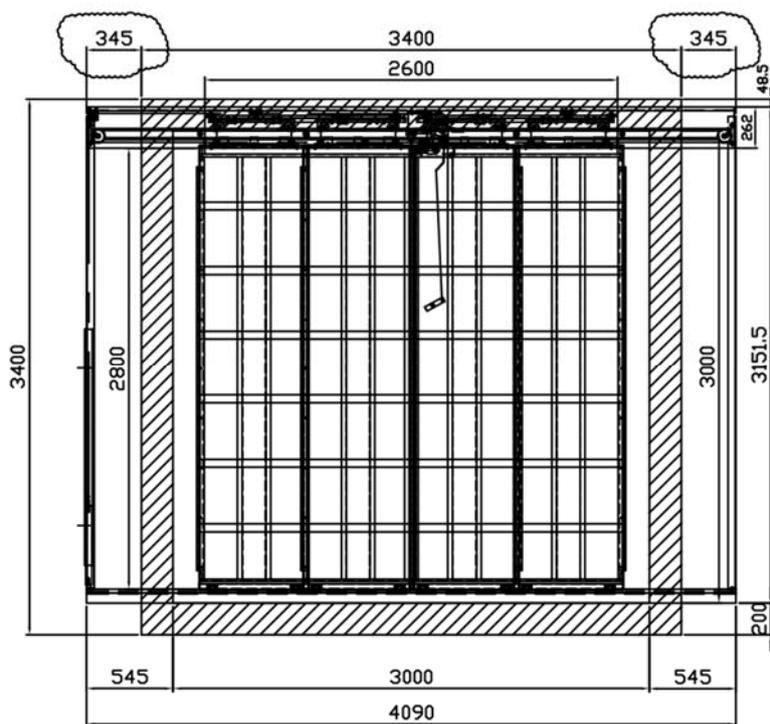


圖 4.3 電梯門氣密性檢測之組裝圖
(資料來源：本研究製作)



圖 4.4 電梯門框架實際組立圖
(資料來源：本研究製作)

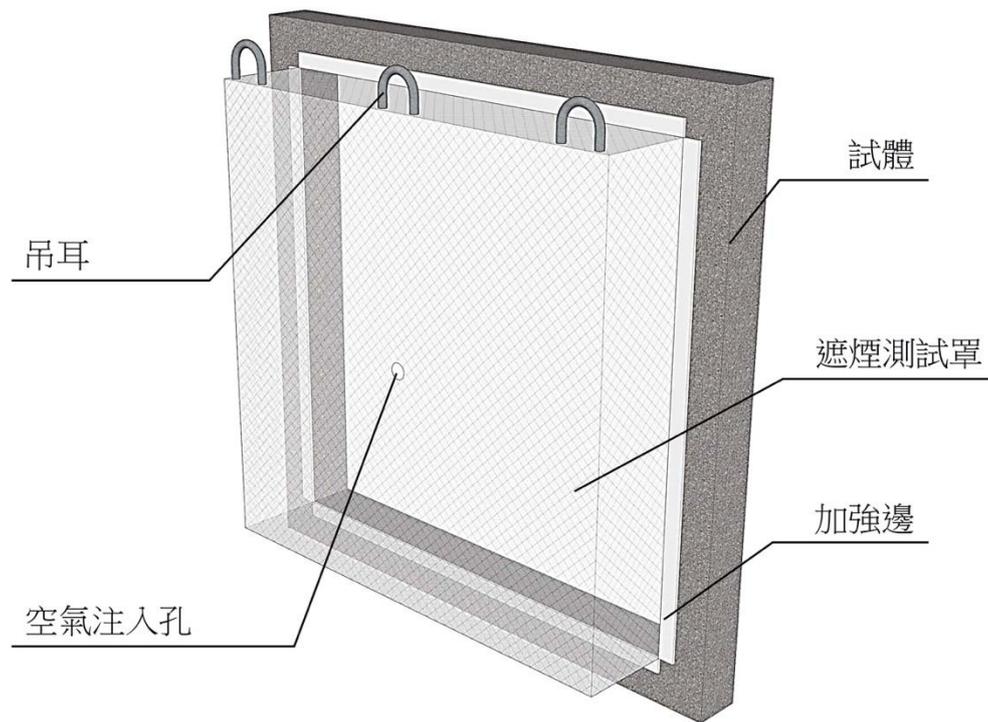


圖 4.5 電梯門遮煙測試罩示意圖
(資料來源：本研究製作)

由於 CNS 11227-2 第 12.1 節規定門開口寬度每單位長度(m)的洩漏量需小於 $3 \text{ m}^3/\text{min}\cdot\text{m}$ ，在電梯門的洩漏量量測上，先針對電梯門可能的洩漏處進行間隙寬度量測，接著探討各處間隙的洩漏量。針對電梯門共規劃上門框縫隙(D)、下門檻縫隙(E)、慢速門交界(A)、快速門與慢速門交界(B)與快速門與門側框(C)等 5 處間隙處。

表 4.3 為 5 處電梯門潛在洩漏之間隙寬度量測，每個間隙寬度量測 3 次。由表 4.3 電梯門間隙寬度量測之量測結果可知，下門檻的間隙寬度最大，其次為快速門與慢速門交界處的間隙。

表 4.4 為兩種測試方法所量測的電梯門洩漏量。本研究首先利用「窗戶氣密性現場檢測技術」量測測試罩之背景洩漏量，其值為 $3.813 \text{ m}^3/\text{h}$ ；接著依序量測上述 5 處間隙處的洩漏量。量測結果發現洩漏量與間隙寬度並非呈現正比關係，乃是因為電梯門洩漏處的結構以及防護構件（如：遮焰板、補強鐵、固

定件等)均會影響空氣洩漏的途徑,造成洩漏量的減少。本研究接著將安裝在實驗門框的電梯門試體放置在內政部建築研究所防火實驗中心的建築用門遮煙性能量測裝置進行 CNS 15038 遮煙性能實驗,實驗條件為 25 Pa。實驗結果顯示以 25 Pa 條件測試上門框縫隙(D)與下門檻縫隙(E)的洩漏量均高於 10 pa(氣密性現場檢測法)的結果,但是兩種量測方法之結果比值分別為 1.33 與 1.43。此結果代表利用暫態氣密性現場檢測法檢測電梯門的洩漏量,可以作為電梯門業者初步檢測電梯門遮煙性能,可以節省時間與實驗成本。然而,本研究在此部分的測試樣本數太少,需要進一步與相關廠商合作,方能獲得量化的數據,以作為電梯門初期或是現場安裝後驗證其遮煙性能的工具。

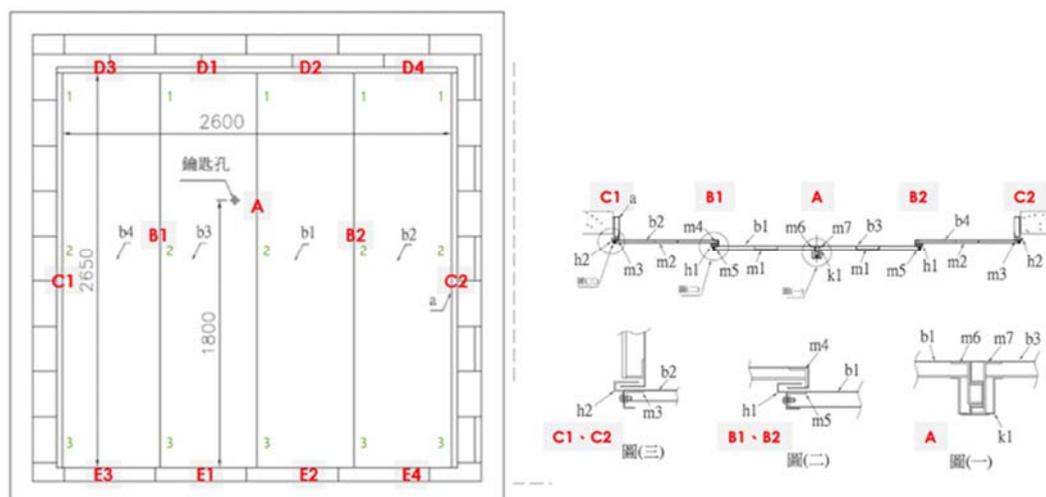


圖 4.6 電梯門遮煙性能間隙量測標註
(資料來源：本研究製作)

表 4.3 電梯門間隙寬度量測

次數	#1	#2	#3		#1	#2	#3
D1	3	3	3	E1	8	8	7
D2	3	3	3	E2	6	5	5
D3	7	8	6	E3	8	7	7
D4	3	4	4	E4	5	6	6
B1	5.4	6.5	6	C1	4.5	4.5	4
B2	6.1	6	5.3	C2	1.7	1	0.3
A	3.5	3.1	3				

(資料來源：本研究製作)

表 4.4 電梯門洩漏量量測結果

實驗編號	暫態脈衝法 (10 Pa)	CNS 15038 (25 Pa)	比值
全封閉(測試罩洩漏量)	3.81	NA	
上門框縫隙(D)	8.54	11.37	1.33
下門檻縫隙(E)	16.04	22.96	1.43
慢速門交界(A)	11.98	NA	--
快速門與慢速門交界(B)	8.06	NA	--
快速門與門側框(C)	19.22	NA	--

(資料來源：本研究製作)

貳、遮煙捲簾

目前營建署新技術、新工法、新材料或新設備評定制度對於遮煙捲簾之遮煙性能判定係採用 CNS 15038 A3403「建築用門遮煙性試驗法」。CNS 15038 為實驗室條件建構之測試方法，對於遮煙門扇之現場性能查核難以採用 CNS 15038 標準進行。內政部建築研究所於 109 年有公布「建築用門現場遮煙性能測試指引」中採用類似穩態鼓風門法之技術量測 10Pa、25Pa 條件下的洩漏量。然而此方法本身仍有量測準備時間與各種壓力條件下之量測準確度的限制，故本計畫以開發之暫態「窗戶氣密性能現場檢測技術」評估量測遮煙捲簾遮煙性能之可行性。

圖 4.7 與圖 4.8 為配合廠商所提供測試之遮煙捲簾系統示意圖與組立圖。遮煙捲簾試體已經過成大防火中心之 CNS 15038 標準測試。故可以透過本計畫之測試驗證不同測試方法之間的異同。

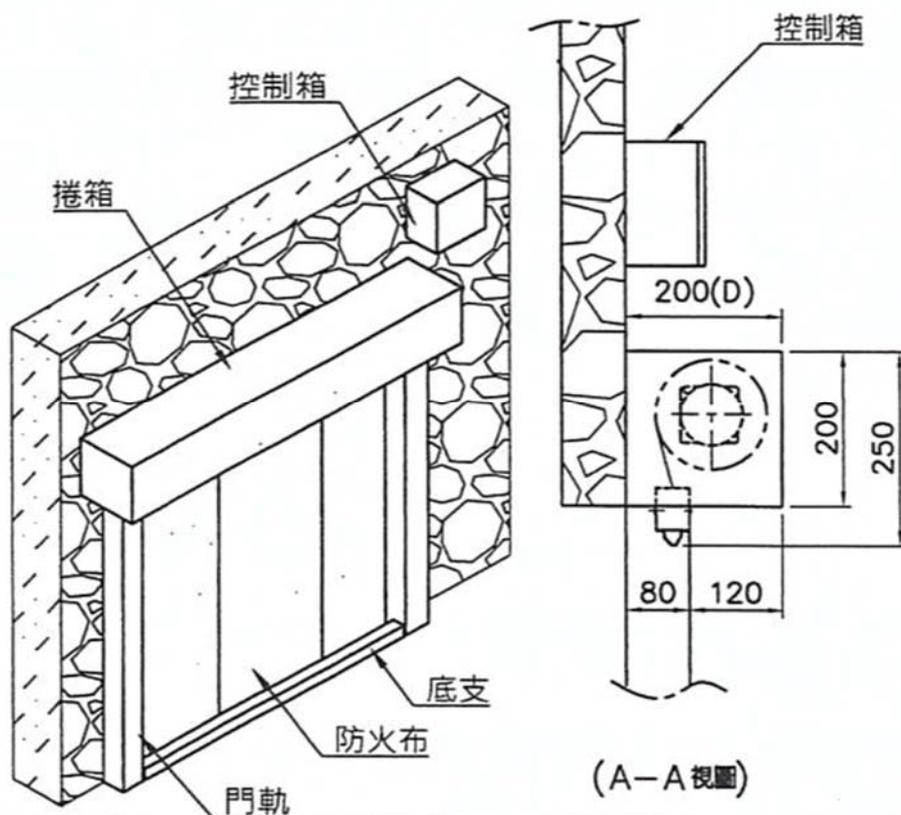


圖 4.7 遮煙捲簾示意圖
(資料來源：本研究製作)



圖 4.8 遮煙捲簾實際組立圖
(資料來源：本研究製作)

遮煙捲簾試體依「CNS 15038 建築用門遮煙性試驗法」標準測試後符合建築用遮煙性能之判定基準。馬達側與非馬達側在 25Pa 的洩漏量小於 25m³/h 基準值。以本研究所開發之暫態「窗戶氣密性現場檢測技術」測試遮煙捲簾試體的洩漏量，在壓力差約為 4Pa 的條件下，洩漏量會小於 CNS 15038 方法在 10、25、50Pa 的洩漏量。整合兩者實驗數據於圖 4.9 顯示遮煙捲簾在不同壓力差的洩漏量關係與整棟建築物洩漏量文獻之結果（圖 4-10）相符。圖 4.9 與圖 4.10 對於洩漏量與壓力差之間的關係式是不同的，整棟建築物之洩漏量與壓力差的 0.6454 次方成正比，而遮煙捲簾的洩漏量與壓力差的 0.3616 次方成正比。兩者之間的差異在於會造成洩漏處的處理方式不同，遮煙捲簾主要在防止濃煙藉由遮煙捲簾的縫隙竄出，故洩漏量與壓力差成正比的次方數小於傳統的建築物。亦即，在相同壓力差下，遮煙捲簾的洩漏量會低於整棟建築物。

此結果顯示本研究所開發之暫態「窗戶氣密性現場檢測技術」可以作為遮煙捲簾洩漏量性能的產品品質管理工具，應用在現場安裝完成之遮煙捲簾的遮煙性能驗收之用。

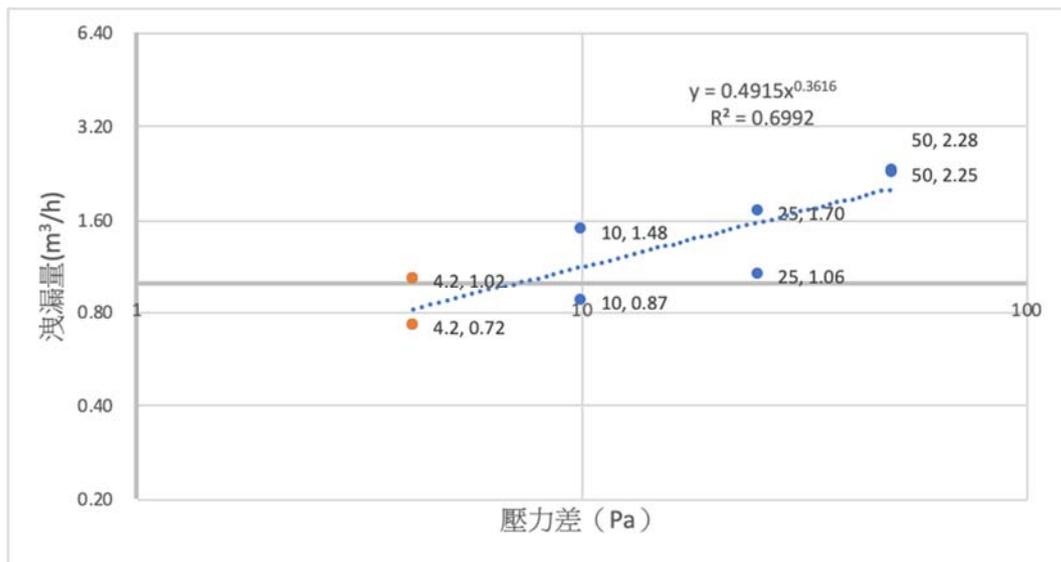


圖 4.9 遮煙捲簾洩漏量之比較
(資料來源：本研究製作)

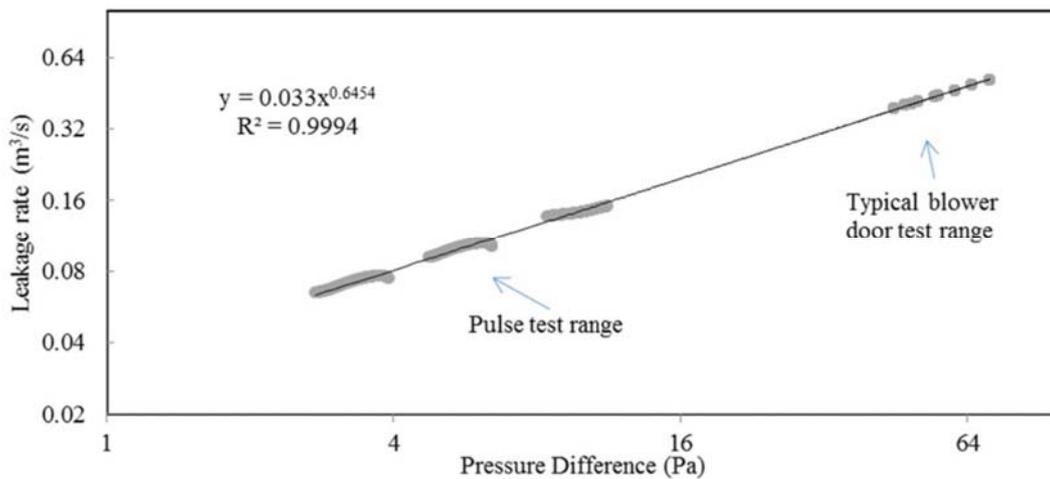


圖 4.10 脈衝法與鼓風門法在建築物洩漏量之比較
(資料來源：本研究製作)

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究計畫依循計畫目標與進度規劃，透過台灣與英國團隊之交流合作，逐步達成門窗氣密性現場檢測技術建立與應用開發之目標。完成之工作項目與成果如下：

1. 門窗氣密性檢測之文獻分析與探討：本研究團隊與英國諾丁漢大學研究團隊合作，廣泛收集各種門窗氣密性能檢測方法之學術發表文獻以及世界各國在建築物氣密性與隔音性之研究與標準規範，統整門窗氣密性與隔音性檢測方法之比較表以及建築物氣密性與隔音性之關聯性。
2. 建立門窗氣密性現場檢測標準方法：本研究根據門窗氣密性測試方法文獻分析結果，選定目前具備世界趨勢、操作簡單的脈衝式建築氣密性檢測技術作為現場檢測標準之依據。目前已經有許多國家（例如：英國、法國、瑞士等）的建築氣密性法規將暫態脈衝法納入許可測試方法中。本研究透過過去從英國所獲得之 PULSE 建築物氣密性檢測技術教育訓練與設備加上參考美國建築製造商協會(AAMA)的新設門窗產品現場測試之志願性規範 AAMA 502-08 以及英國氣密測試與量測協會(ATTMA)之技術報告 ATTMA TSL1 內之規範，訂定「門窗氣密性現場檢測方法」標準作業程序。
3. 完成「門窗氣密性現場檢測方法」之專利檢索、專利撰寫：本計畫從美國、歐盟與台灣專利資料庫完成「門窗氣密性現場檢測方法」之專利檢索。發現本研究發展之技術內容具有產業利用性、新穎性及進步性之三要件，進行專利申請之可專利性高。本計畫「門窗氣密性現場檢測方法」之產出業已完成「門(窗)氣密性檢測系統」台灣新型專利申請文件，並且

規劃在專利申請通過後進行技術移轉。

4. 市售窗戶氣密性調查與品質保證現況分析：本研究共收集 8 種廠牌 25 樘窗戶之氣密性數據。依據 CNS 11527 所量測之實驗結果顯示 25 樘窗戶的氣密性均屬 2 等級。再者，從營建署建築工程施工規範中相關之工程規範文獻探討中，發現目前窗戶的品質保證大多使用產品抽樣送驗的型式，對於工法對於產品品質之保證並無相關之規範，本計畫所產出之「門窗氣密性現場檢測技術」之開發對於門窗品質保證有相對地幫助。
5. 門窗氣密性與隔音性之關聯性：本研究開發之「窗戶氣密性現場檢測技術」量測現場窗戶的氣密性來驗證窗戶的隔音性具有鑑別性。窗戶氣密性現場檢測技術」可作為判定不同性能氣密窗之驗收工具。後續可朝向增加實驗數據來定義以氣密性驗證窗戶隔音性的驗收基準。
6. 門窗氣密性現場檢測應用評估：本研究評估「窗戶氣密性現場檢測技術」應用於有氣密性要求的場域或設備上發現，「窗戶氣密性現場檢測技術」可作為防火門、電梯門、遮煙捲簾洩漏量性能的產品品質管理工具，以及應用在現場安裝完成之防火門、電梯門、遮煙捲簾的遮煙性能驗收之用。

第二節 建議

本研究計畫以建立門窗氣密性能現場檢測技術為主要目標，藉由本研究收集世界各國相關專利與文獻，並加上現地調查與實驗佐證，擬定實際確切的專利技術與發展方向。為擴大本研究產出後續實質成果，提出下列建議：

建議一

「門(窗)氣密性檢測系統」專利之技術移轉：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

建議本研究計畫所產出之「門(窗)氣密性檢測系統」新型專利，可依據「政府科學技術研究發展成果歸屬及運用辦法」相關規定，以非專屬授權方式授權於私立學校、私立研究機關（構）、法人、團體、公司等，並應於中華民國（指臺灣、澎湖、金門、馬祖及其他附屬島嶼）境內，進行本技術之使用。

建議二

將「門窗氣密性現場檢測技術」函送各工程主辦單位納入門窗產品現場性能驗收作業參考：中長期建議

主辦機關：行政院公共工程委員會

協辦機關：中華民國全國建築師公會、內政部建築研究所

本研究發現現場窗戶氣密性能與實驗室檢測數據有一定程度之落差。為了提升建築物建造之品質，建議研議將「門窗氣密性現場檢測技術」納入公共工程技術資料庫或相關施工規範中，作為未來竣工後監造單位、設計單位等竣工查驗方法之一。

附錄一 審查意見及廠商回應一覽表

內政部建築研究所 110年度「室內環境氣密性能現場檢測技術與方法之研究」委託研究計畫案
審查意見及廠商回應一覽表

委員	審查委員意見(依發言順序)	廠商回應
1	<ol style="list-style-type: none"> 1. 隔音性能確實與氣密性有關係，但其關係是否能夠呈現數值性的關係，是否能在本計畫中確認，有待商榷。 2. 追蹤氣體與脈衝法的關聯性是比較能夠做為結論，以脈衝法來做簡易測試法讓現場可以比較可行。 3. 本研究並無專任研究人員，如何做實驗，實驗條件的確保是很大的挑戰。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員意見，根據相關文獻顯示窗戶的隔音性與氣密性為正相關。而各類型窗戶的隔音與氣密性之相關性將在本研究計畫中驗證。 2. 感謝委員意見。 3. 考量本案預算僅能編列兩位兼任助理，惟計畫執行期間將由研究團隊其他助理與學生支援，俾達到研究之預期成果。
2	窗戶構件影響氣密之因素，如玻璃厚度材質、窗框厚度材質、塞縫方式等，建議說明採用 PULES 暫態氣密性檢測方法影響窗戶隔音性如前述因素外，另空間尺寸、空間形狀亦會影響隔音性能，請說明本次研究是否有考量相關因素？	本研究主要探討窗戶氣密性與空氣音隔音性能之關聯性。因此，影響窗戶空氣音隔音性能之因素（例如：玻璃厚度材質、塞縫方式、窗戶尺寸與形狀等）均會考量。
3	本案室內環境氣密性能現場檢測技術與方法，其實影響氣密性能包括：(1) 窗戶之安裝(施工品質)，(2) 窗台和窗框之密合度，(3) 氣密窗、雙層窗戶、中空玻璃等均影響氣密性能現場檢測，有何相關建議研究，作為業者及政府制定法案之依據。因窗戶對氣密性影響最大。	本研究預計完成之建築氣密性能現場檢測技術，應用驗證窗戶的氣密效果，不僅能與國際接軌，另可藉此完善國內相關建築室內環境試驗之標準。再者，此技術不僅應用在建築物之氣密性驗證與窗戶隔音性能現場檢測，亦進一步驗證於需要氣密要求的特殊場所例如：電梯門洩漏量檢測、遮煙設備現地遮煙性能驗證。
4	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案案名顯示似乎以整棟建築物之氣密性為研究主體，但從試驗方法似又以窗戶為主要研究對象。 2. 本案擬採用聲波法測量氣密性能，可結合探討隔音性能，係參考英國規範。另國內實驗室的門窗風雨試驗以壓力差測試氣密性能，而美國 ASTM 已有類似的現場氣密性能方法，建 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案研究目的為探討門窗氣密性與隔音性之關聯性，並且建立窗戶氣密與隔音性能之現場檢測技術。 2. 本研究將與建研所風雨風洞實驗室討論，進行實驗室內的門窗風雨試驗，再將兩者加以比較，作為日後推廣之參考。 3. 研究團隊將透過召開專家會議，諮詢業界需求與意願，以

	<p>議可將兩者加以比較，作為日後推廣之參考。</p> <p>3. 本研究目標擬建立技術申請專利，建議應考量業界需求與意願，未來方能落實技術移轉。</p>	<p>落實研究計畫產出結果之技術移轉。</p>
<p>5</p>	<p>1. 針對「窗戶氣密性能現場檢測方法」，專利申請資料(草案)部分，建議補充說明潛在應用對象或市場需求為何？並後續能研提本項專利應用推廣之建議，以提高授權之可能性。</p> <p>2. 窗戶之氣密及隔音性能與種類、主要材料及附屬配件、構造、工法有關，去(109)年已進行既有建築物窗戶氣密性能調查，本年預計進行另 10 組案場探討，建議補充說明不同年度規劃之差異性。</p>	<p>1. 本研究產出之專利潛在市場需求包含氣密窗製造商、遮煙捲簾製造商、特殊氣體滅火設備廠商、建築室內環境之顧問廠商等，未來將可用以診斷建築物或設備之氣密性。</p> <p>2. 109 年計畫著重在既有建築物居室之氣密性檢測，研究結果顯示窗戶對建築物居室之氣密性影響最為顯著，因此，本年度計畫著重在單一窗戶的氣密性與隔音性現場檢測技術之開發。</p>

廠商簽章：



業務單位審查簽章：林俊臣



附錄二 期中審查意見回覆

內政部建築研究所

110 年度「室內環境氣密性能現場檢測技術與方法之研究」

委託研究計畫案

期中審查意見回復表

會議日期：110 年 7 月 6 日(星期二)下午 2 時 30 分

會議地點：本次會議採視訊會議

主持人：內政部建築研究所 王副所長安強

項次	審查委員意見	執行單位回應
1	<p>江教授哲銘：</p> <ol style="list-style-type: none"> 本研究經文獻收集與分析，推導獲得氣密性能與隔音性能之顯著性關聯，包括：(1)利用音源法量測門窗之隔音性能可推導門窗之氣密性及(2)可轉換成「創新量測技術」。 本研究已初步建立「窗戶氣密性能現場檢測方法」，及研擬「窗戶氣密性能現場檢測方法專利」內容。 期中報告已符合本計畫之預期進度與成果，值得肯定。 	<p>感謝委員肯定。</p>
2	<p>林教授葳：</p> <ol style="list-style-type: none"> 本研究議題具高度研究與實務貢獻之參考，符合預期成果需求。 研究目的為開發氣密窗戶之現場檢測技術與工具，相關成果可提升應用研究與產業技術增值，檢測技術可應用在特殊場所之構件，如電梯門洩漏量測、遮煙設備量測或是緊急排風閘門等性能檢測，及未來現場(On-site)窗戶氣密性之客觀參考基礎。 前期研究中窗戶氣密性與隔音性能間具有正相關之分布(洩漏量 2.79-0.86 與隔音量 28-35dB)。另實驗室測量值較現場量測氣密性(Airtightness)較佳，應為取決是否掌握現場安裝工法包括洩漏量(air leakage)、構建連 	<ol style="list-style-type: none"> 感謝委員肯定。 感謝委員寶貴意見。現場安裝工法包括洩漏量(air leakage)、構建連接(connection)與洩漏途徑(leakage path)等因素影響窗戶氣密性能，將補充說明於報告書中。 感謝委員寶貴意見。不同環境之因子複合影響氣密性，研究團隊已收集相關文獻之研究報告，將補充於報告書中。 感謝委員寶貴意見。研究團隊將比較分析相關量測方法與儀器設備是否與國際標準 ISO 對接等項目，並且補充說明於期末報告書中。

	<p>接(connection)與洩漏途徑(leakage path)等因素，請補充說明。</p> <p>4. 現場門窗安裝除考量本身構件之氣密性(膠條)參數外，對於評估指標參數中，是否有存在不同環境之因子複合影響，如氣流場、壓力場、溫度場、或是建築物幾何形狀與開口部大小等因素。另外對隔音性能頻率域影響、低頻邊界效應、高頻空氣吸音以及噪音來源等因素，都需納入考量。</p> <p>5. 本研究主要探討窗戶現場量測之規範與設備儀器(PULSE 暫態法_美國 AAMA 與英國 ATTMA TSL1)使用標準，建議在期末報告中比較分析相關量測方法與儀器設備是否與國際標準 ISO 對接，同時說明國內(CNS11527 門窗氣密性試驗法_CNS1503 建築用門遮煙性試驗)與國外(ASTM_門窗氣密性現場量測值≥ 1.5 倍測實驗室測試標準)標準之差異，以利後續參考。</p>	
3	<p>陳委員瑞鈴：</p> <p>1. 建築物及門窗組件之洩漏量、氣密性數據、及與氣密等級判(評)定之關聯性，宜多加闡述說明。如表 4-1 之氣密性數據，似與上段說明文字有關各類窗戶氣密性優劣，並未完全一致。</p> <p>2. 專利檢索除美國與我國外，建議增加英國部分，以資周延。</p> <p>3. 窗戶氣密性與隔音性之關聯數據庫為預期成果之一，宜儘速研析建立。</p> <p>4. 門窗氣密性現場檢測設定有溫濕度限制，但相關檢測裝置，未包括溫濕度調控設備，實際檢測時如何處理?請補充說明。</p>	<p>1. 感謝委員寶貴意見。建築物及門窗組件之洩漏量、氣密性數據、及與氣密等級判(評)定之關聯性將補充說明於報告書中。相關文字與名詞使用亦修正統一。</p> <p>2. 感謝委員寶貴意見。補充英國與歐盟之專利檢索。</p> <p>3. 感謝委員寶貴意見。窗戶氣密性與隔音性之關聯數據庫於計畫中儘速完成。</p> <p>4. 感謝委員寶貴意見。溫濕度確實會影響門窗氣密性現場檢測結果，相關限制與使用說明，將增訂補充於期末報告中。</p>
4	<p>張建築師矩堉：</p> <p>1. 報告書 P.13 預期成果 1 提及目前國家標準只有實驗室的檢測方法，故本研究之內容是要新增現場試驗的方法嗎?相關必要性請補充。</p>	<p>1. 感謝委員寶貴意見。研究內容之相關必要性將補充說明於報告書。</p> <p>2. 感謝委員寶貴意見。門窗氣密性與建築節能關聯之論述將補充說明。</p> <p>3. 感謝委員寶貴意見。委員所提需補充</p>

	<p>2. 門窗氣密性與建築節能關聯主要存在於全空調型的空間，若只是採間歇式空調時，關聯性就不見得大。因為台灣的分離式空調有設置外氣引進者比例並不高，氣密性高反而會減少新鮮外氣的引入。</p> <p>3. 氣密性現場試驗須將門窗周邊密閉再加壓(P.30 圖 2-12)，必須有足夠大的反力構件令其維持密封，這種構件可能厚重不利搬遷至現場，請補充說明於試體尺寸、出入路徑、場域上有無限制要求。</p> <p>4. 報告書 P.35 第一段最後 1 行「一般而言，現場安裝後的門窗氣密性能通常較實驗室量測的氣密性能差，根據美國 AAMA 502 之規定：新安裝的門窗產品現場測試的氣密性能驗收標準，可以是認證實驗室測試值的 1.5 倍。」，是否有誤？請予釐清。</p> <p>5. 報告書 P.59 中文字「另外從固定窗的洩漏量大於橫拉窗的洩漏量，可初步推論現場安裝的工法對於窗戶洩漏量之影響顯著。」尚待確認。因即使是固定窗也要比較門窗尺寸大小、是否有分割、分割檯料的固定方式、固定位置、玻璃厚度、玻璃嵌入深度、填縫材的種類及施打厚度方式，都有可能影響，請再補充說明。</p>	<p>與修正之部分將釐清與補充說明。</p>
<p>5</p>	<p>徐副董事長文志：</p> <p>1. 本案預期建立窗戶氣密性能現場檢測之新型專利，並透過技轉擴大研究成果效益，可提升業界開發創新之工法及產品將有甚大助益，給予肯定。</p> <p>2. 一般工程驗收時對於窗戶安裝後之施工品質是否符合設計規範，除現場查驗、檢查出廠證明及實驗室測試報告外，並未要求廠商提供氣密性與隔音性之現場量測報告，係因為目前國內尚未建立現場量測方法可供使用。本</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員寶貴意見。窗戶氣密性現場測試值與實驗室值之差異，將進一步探討。</p> <p>3. 感謝委員寶貴意見。窗戶類型與氣密性之關聯性，將進一步探討與說明。</p>

	<p>計畫能發展出現場量測方法，將有助於釐清設計者、施工者、材料商之品質責任，未來也可能開創出氣密性現場量測產業，值得業界期待。</p> <p>3. 報告書 P. 35 中窗戶氣密性現場測試值均較實驗室值差，依美國 AAMA 502 有 1.5 倍之規定，本研究團隊也可建議國內現場量測值與實驗室量測之預估差異值，以供參考。</p> <p>4. 報告書 P. 59 之市售窗戶氣密調查，其中鋁門窗之氣密性以橫拉窗為最佳，似與建研所 99 年研究報告「鋁窗風雨試驗相關性能之比較分析研究」報告有所差異，建議再予說明。</p>	
6	<p>鄭教授政利：</p> <p>1. 本研究內容主要在建立門窗氣密性能之檢測方法，而計畫標題為室內環境氣密性能現場檢測，二者有相當之落差，建請審慎檢討確認，或明確界定研究範圍與內容，以使計畫主題與內容合理對應。</p> <p>2. 研究目標關於門窗氣密性現場檢測技術申請專利，固然有其重要性，然而應與國家標準 CNS 之測試方法與認證機制連結，建請納入研究目標探討為宜。</p> <p>3. 門窗氣密性與隔音性能雖然高度相關，惟本計畫就試驗方法為主要檢討內容，建議應明確釐清納入隔音性能檢測之目的與必要性。</p>	<p>1. 感謝委員寶貴意見。研究範圍與內容將明確界定於報告書。</p> <p>2. 感謝委員寶貴意見。本研究計畫開發之技術與國家標準 CNS 之測試方法與認證機制連結部分，將納入在計畫中探討。</p> <p>3. 感謝委員寶貴意見。隔音性能檢測之目的與必要性補充說明於報告書中。</p>
7	<p>邵教授文政(書面意見)：</p> <p>1. 目前已蒐集彙整市售窗戶之氣密性能，並建構現場檢測技術與方法，進度符合預期成果。</p> <p>2. 現場窗戶空間之實驗模組數量尚請團隊確認，並補充於後續研究內容中。</p> <p>3. 建議應檢視探討氣密窗成品構成組件之品質與誤差量，對氣密性之影響；另於現場量測之變因控制不易，如何</p>	<p>1. 感謝委員肯定。</p> <p>2. 感謝委員寶貴意見。現場窗戶空間之實驗模組與實驗結果將補充說明於報告書中。</p>

	<p>確保聲波與壓差損失係為窗戶元件影響，而非施工與不同牆體介面之問題，尚需詳細研究，請補充說明。</p>	
8	<p>陳教授秀玲(書面意見)：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書 P.21 之 6.7.1 有些數據點不在同一級線，如何判斷其分級。 2. 報告書 P.34 表 2.1 為非常重要的整理產出，其中遮煙性能測試為現行規範或是本計畫預定開發工作內容，應說明清楚，如為前者，應具體呈現規範名稱。 3. 報告書第四章目前仍無較明確結果，但如何推論出“初步推論安裝工法對於窗戶洩漏影響顯著”，應具體實證提出說明。 4. 未來工作具體進度與內容應再詳述，如做多少樣，多少場次實測等。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員寶貴意見。有關窗戶氣密級別之判定內容，將補充說明於報告書。 2. 感謝委員寶貴意見。相關規範名稱將補充說明於報告書中。 3. 感謝委員寶貴意見。本研究計畫將在執行期間增加相關研究數據與意見，獲得具體實證。 4. 感謝委員寶貴意見。實驗次數與內容將補充說明於報告書。
9	<p>中華民國全國建築師公會(林國財建築師)：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書 P.23-P.27 所附照片資料來源為 2010 年，研究團隊可否尋找較新照片或設備予以更新，以反應目前量測裝置現況。 2. 報告書 P.59 表 4-1 市售窗戶氣密性能調查等級欄均為 2，建議將等級對照表納入，才能完整了解等級之差異性。 3. 國內因缺工問題嚴重，大環境迫使預鑄工法逐漸發展，建議研究團隊可擇一此類案件進行研究。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員寶貴意見。報告書 P.23-P.27 之照片將更新。 2. 感謝委員寶貴意見。等級對照表將納入於報告書中。 3. 感謝委員寶貴意見。預鑄工法之氣密性將納入計畫中探討。
10	<p>社團法人台灣永續綠營建聯盟(楊秘書長明俊)：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本案為延續性計畫，今年研究主題窗戶氣密性能現場檢測與方法，研究成果並將申請專利及技術轉移，擴大研發成果，值得肯定。 2. 現場檢測因施工環境、安裝技術等變數多，將影響各地實測值結果。依此報告指出，美國 AAMA 502 規定新安 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員寶貴意見。報告書 P.59 誤繕部分將修正。

	<p>裝門窗現場測試氣密性驗收時，為實驗室值 1.5 倍，這也是全球唯一訂出數據(但非官方規定)。臺灣人口密集、都市交通繁忙，現場實測值與實驗值一定差異性大，訂定現場檢測標準需謹慎評估，以免被引用而發生可能之消費糾紛。</p> <p>3. 報告書 P.59 第 7 行中有關鋁窗氣密性之說明內容中，氣密最差為橫拉窗應為誤繕，是否應修正為推開窗? 建請檢視修正。</p>	
11	<p>羅組長時麒： 本研究為延續性計畫，請儘速研提專利申請資料(草案)初稿，俾利後續討論及修正。</p>	<p>感謝委員寶貴意見。專利申請資料(草案)初稿將儘速完成。</p>
12	<p>主席(王副所長安強)： 1. 窗戶氣密性與隔音性能之關聯性，請補充說明其關聯統計分析方法。 2. 本案現場量測氣密性技術發展將申請專利，而申請專利之後，請考量氣密性量測的產業需求必要性，評估考量後續技轉廠商之可能性。另本案研究成果未來具有擴展至電梯門及遮煙捲簾防火性能應用之潛力，值得肯定。</p>	<p>感謝委員肯定與寶貴意見。窗戶氣密性與隔音性能之關聯性統計分析方法將補充說明於報告書中。</p>

附錄三 期末簡報審查

內政部建築研究所

110 年度「室內環境氣密性能現場檢測技術與方法之研究」

委託研究計畫案

期末簡報審查意見回覆表

- 一、會議日期：110 年 10 月 26 日上午 9 時 30 分
 二、會議地點：採實體與視訊併行會議(實體會議於本所簡報室)
 三、主持人：王副所長安強

項次	審查委員意見	執行單位回覆
審查委員：江教授哲銘		
1	本研究已如期完成預期成果，具實務及學術價值，值得肯定。	感謝委員肯定。
2	本研究已研提窗戶氣密性能國家標準之參考依據，以及門窗氣密性能現場檢測方法專利檢索及專利撰寫。	感謝委員肯定。
3	研究成果顯示，在臺灣常用隔音性能超過 30dB 之窗戶，其氣密性與隔音性存在「線性關聯性」。	感謝委員肯定。
4	本案發現窗戶氣密性能現場檢測技術，可作為防火相關工程之遮煙性能驗收之用。	感謝委員寶貴意見。執行團隊未來將研擬防火相關工程之遮煙性能驗收標準，以擴大本研究之應用範圍與價值。
審查委員：邵副教授文政：		
1	本研究著重「技術創新」及「產業推廣」，研究成果符合預期。	感謝委員肯定。
2	研究寫作上，請修正圖目錄、表目錄及各章節之頁首，另文字誤植處請一併修正。	針對報告中文字說明需加強及誤繕部分，將於成果報告進行補充與修改。

3	未來如應用於實場驗證，仍建議以 LEED 應用之 blower door test 測試方法進一步比對分析，俾了解推廣至產業現場量測之應用性。	針對報告中文字說明需加強及誤繕部分，將於成果報告進行補充與修改。
4	本研究應用限制為 RC 構造，並不適用於木構造等，建議適當章節加註說明。	感謝委員寶貴意見。將在適當章節加註說明應用限制。
審查委員：張建築師矩墉		
1	窗戶大多位於牆面，考量通風需要許多時間是開啟；但為考量颱風來襲情形，需進行窗戶之水密性及風壓性測試。至於氣密性能耗影響證實不高，惟外牆窗戶氣密性能存在氣密性能與隔音的正相關性，所以綠建築標章對氣密性的要求也呈現在室內環境指標的音環境上；另有關門構件的氣密性能需求則有差異，尤其防火區劃的門其防煙功能相對重要，但是門之氣密性工法相對困難，尤其在門扇下方因開關需求要留設與地板的間隙，對氣密性之確保是一大考驗。	感謝委員寶貴意見。門及窗兩者對氣密性能均屬性能重要因素，惟其特性不同，故本研究採分別說明，俾利研究成果應用。門窗兩者的氣密性測試之需求將在後續繼續進行實務探討。
2	一般建築經常使用一檔標準尺寸窗的性能試驗報告，進而類推所有尺寸、窗型的窗戶都具相同性能，其實是存在不確定性，建議能以現場性能試驗補足較妥適，但需考量現場試驗時間及費用狀況。	感謝委員寶貴意見。有關現場檢測之試驗時間及費用狀況將作為後續研究之探討課題。
3	對於現場試驗結果不符的門窗，將如何處理？建議進一步從試驗結果找出問題點，針對該癥結點改善，否則將造成更大之困擾。	感謝委員寶貴意見。有關氣密性缺失之原因與改善對策將作為後續研究之探討課題。
審查委員：徐副董事長文志		
1	有關窗戶材料性能之氣密性、水密性、抗壓性及隔音標準均有明	感謝委員肯定。

	訂，並有實驗室測試方法，本研究透過現場檢測測試可有效驗證其性能，值得肯定。	
2	報告書 P.35 研究顯示窗戶氣密性現場測試及實驗測試值因現場安裝、施工條件及製造運輸等因素呈現結果差異，美國於此部分規範現場檢測洩漏量為 1.5 倍，建議未來臺灣本土相關測試案件達統計量，可計算符合臺灣之相關規範。	感謝委員寶貴意見。委員建議項目將作為後續研究之探討課題。
審查委員：陳教授秀玲(視訊)		
1	現場門窗氣密性能現場檢測屬自主管理，因此如何推廣此檢測技術、目標族群及方案，尚需進一步規劃。	感謝委員寶貴意見。有關現場門窗氣密性能現場檢測技術之推廣應用，執行團隊在後續將朝向該技術之深耕與永續發展規劃。
2	報告書 P.65，此研究結果可以補充文獻中對於高隔音性能窗戶與氣密性證據，應非”補充”而是驗證，建議調整。	感謝委員寶貴意見。將修改相關說明。
3	依據美國規範現場檢測洩漏量可以是認證實驗室的 1.5 倍，本研究結果於部分樣品已超過 1.5 倍，建議說明是否為現場分析技術造成之不確定性。	本研究釐清建築氣密性和能耗之相關性，有關現場測試結果不確定性之探討將作為後續研究之探討課題。
審查委員：台灣省建築材料商業同業公會聯合會(王總幹事榮吉)		
1	本研究蒐集分析資料齊全，可作為修訂窗戶氣密性能現場檢測國家標準之參考。	感謝委員肯定。
審查委員：社團法人台灣永續綠營建聯盟(楊秘書長明俊)		
1	本研究為延續性計畫，有良好成效及必要性。	感謝委員肯定。
2	根據研究報告顯示，窗戶氣密性及隔音性能息息相關，此計畫提供門窗氣密性能檢測，將有助於建築物音環境及節能性能同步提升。	感謝委員肯定。

3	<p>高雄城中城大火造成不幸事件，由窗戶氣密性能現場檢測技術可作為防火門等遮煙性能驗收似有其可行性，且可突顯其重要價值，可持續探討。</p>	<p>感謝委員寶貴意見。執行團隊未來將研擬防火相關工程之遮煙性能驗收標準，以擴大本研究之應用範圍與價值。</p>
<p>內政部建築研究所：呂簡任研究員文弘</p>		
1	<p>本案屬委託研究計畫，其研究建議事項需送相關主協辦機關參採，其中有關專利草案後續授權及現場驗收規範部分，尚需明確說明，請審酌調整。</p>	<p>感謝委員寶貴意見。研究建議事項將與所內討論後進行調整。</p>

附錄四 第一次專家會議-電話訪視調查

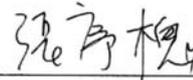
內政部建築研究所

110 年度「室內環境氣密性能現場檢測技術與方法之研究」 委託研究計畫案 電話訪視調查

說明：

根據相關文獻統計資料顯示整體建築外殼氣密性的分佈，除了牆壁構造外，窗戶造成建築物洩漏的比例相當大。因此，建築門窗的氣密性對室內環境與建築能耗具有相當大的影響；加上近年來室外空氣污染影響室內空氣品質與隨著建築節能減碳的需求日益增加，使得建築氣密窗在台灣社會被廣泛的使用。然而，根據 109 年建研所辦理「既有建築物室內環境氣密性能之調查研究」之成果顯示，台灣建築的氣密性受窗戶種類影響相當大，而窗戶的隔音性能與氣密性之間也存在著顯著關聯性。加上目前我國並無窗戶之氣密性能現場檢測方法，導致無法了解窗戶現場安裝後之氣密性能與產品氣密性能的差異。因此本研究之目的為開發窗戶氣密性能現場檢測技術與工具。

受訪者：榮晉開發股份有限公司張序槐執行長 簽名：



訪談者：成大能源科技與科技研究中心李訓谷計畫主持人 簽名：_____

訪談時間：110.05.20

訪談內容

1. 目前台灣營建業或是建設公司對於建案之現場窗戶性能如何驗證？
ANS: 我所參與的案件都是在設計與分包階段要求門窗製造廠商檢附出場規格與驗證報告。在施工階段則是按照相關規範進行抽驗，並依照 CNS 標準送實驗室驗證。建設公司或建築師目前都沒有要求現場性能檢測的方式作為驗收的依據。
2. 就您的專業而言，影響現場窗戶的氣密性與隔音性的因素為何？
ANS: 現場窗戶的氣密性、水密性與隔音性受到窗戶與 RC 牆交界處的影響最大，通常都會使用填縫材料去提升大多氣密性、水密性與隔音性，但是這些材料的性能都會隨屋齡而下降。另外窗戶的氣密條也是一個很重要的因素。我過去在驗收很多公家案場時，都會仔細查看窗戶氣密條的安裝是否適當與確實。
3. 若未來有開發出窗戶的隔音性與氣密性現場量測方法，您認為其可行性與推廣性如何？
ANS: 若學校或是建研所有開發出這樣的檢測技術，我認為對業界的品質保證有非常大的幫助，但是在延伸費用以及現場檢測驗收機制的部分是大部分的業者比較在意的。另外，我認為帷幕牆的現場性能檢測技術也是需要的。

電話訪視調查-張序槐

內政部建築研究所

110 年度「室內環境氣密性能現場檢測技術與方法之研究」 委託研究計畫案 電話訪視調查

說明：

根據相關文獻統計資料顯示整體建築外殼氣密性的分佈，除了牆壁構造外，窗戶造成建築物洩漏的比例相當大。因此，建築門窗的氣密性對室內環境與建築能耗具有相當大的影響；加上近年來室外空氣污染影響室內空氣品質與隨著建築節能減碳的需求日益增加，使得建築氣密窗在臺灣社會被廣泛的使用。然而，根據 109 年建研所辦理「既有建築物室內環境氣密性能之調查研究」之成果顯示，台灣建築的氣密性受窗戶種類影響相當大，而窗戶的隔音性能與氣密性之間也存在著顯著關聯性。加上目前我國並無窗戶之氣密性能現場檢測方法，導致無法了解窗戶現場安裝後之氣密性能與產品氣密性能的差異。因此本研究之目的為開發窗戶氣密性能現場檢測技術與工具。

受訪者：南亞塑二部吳上源組長 簽名：吳上源

訪談者：成大能源科技與科技研究中心李訓谷計畫主持人 簽名：李訓谷

訪談時間：110.05.22

訪談內容

1. 目前窗戶氣密性能檢測的送測單位與窗戶氣密等級：
ANS: 台塑南亞自己有建立 TAF 認證的窗戶性能檢測實驗室，過去也會請經銷商送到內政部建築研究所風雨風洞實驗室量測。目前南亞在市面上的窗戶(W9 系列)都是氣密二等級。
2. 影響窗戶的氣密性與隔音性的因素為何？貴公司的產品如何提升氣密性與隔音性？
ANS: 氣密性大多影響空氣音的隔音。過去南亞採用氣密條以及窗框構造的設計提升窗戶的氣密性。至於窗戶的隔音基本上與材料（例如：玻璃厚度、種類、窗框的構造）有關，南亞過去投入很多資源在內政部建築研究所音響實驗室進行多次實驗，才確認所有的窗戶設計條件，最後都獲得綠建材標章。
3. 窗戶的隔音性與氣密性是否有利用現場量測方法作為驗收之用
ANS: 影響窗戶隔音性能現場量測之變因太多，目前並沒有以現場隔音性能作為驗收標準。至於窗戶氣密性也是沒有現場檢測驗收方法，頂多要求工班能夠按照施工標準程序施工。

電話訪視調查-吳上源

內政部建築研究所

110 年度「室內環境氣密性能現場檢測技術與方法之研究」 委託研究計畫案 電話訪視調查

說明：

根據相關文獻統計資料顯示整體建築外殼氣密性的分佈，除了牆壁構造外，窗戶造成建築物洩漏的比例相當大。因此，建築門窗的氣密性對室內環境與建築能耗具有相當大的影響；加上近年來室外空氣污染影響室內空氣品質與隨著建築節能減碳的需求日益增加，使得建築氣密窗在台灣社會被廣泛的使用。然而，根據 109 年建研所辦理「既有建築物室內環境氣密性能之調查研究」之成果顯示，台灣建築的氣密性受窗戶種類影響相當大，而窗戶的隔音性能與氣密性之間也存在著顯著關聯性。加上目前我國並無窗戶之氣密性能現場檢測方法，導致無法了解窗戶現場安裝後之氣密性能與產品氣密性能的差異。因此本研究之目的為開發窗戶氣密性能現場檢測技術與工具。

受訪者：龍謙建築師事務所謝淳洋建築師 簽名：謝淳洋

訪談者：成大能源科技與科技研究中心李訓谷計畫主持人 簽名：李訓谷

訪談時間：110.05.20

訪談內容

1. 建築師在建案設計時考慮的窗戶性能為何？
ANS: 我在設計時對於窗戶的設計重在建築方位、開口以及節能，所以窗戶會選取玻璃的種類為主，另外隔音氣密窗也是很常用在設計上的，畢竟門窗的設計影響到採光、節能與通風，是設計建案中很重要的一環。
2. 窗戶的隔音性與氣密性是否有利用現場量測方法作為驗收之用？
ANS: 目前業主都沒有要求窗戶完工後需要做隔音性與氣密性的驗收。但是我都會請監工單位在現場確認裝設窗戶的廠牌與型號是否符合我設計的規範，畢竟這部分跟費用有很大的關係。
3. 如果未來有窗戶隔音性與氣密性的現場檢測標準，您的看法如何？
ANS: 我相當贊成有這項的檢測標準，不但可以確保建築師的設計品質，也可以給業主一個保證。但是檢測的收費以及未來是否有第三公正單位進行檢測出具報告，則是我比較在意的一點。

電話訪視調查-謝淳洋

附錄五 第二次專家會議

內政部建築研究所

視訊會議注意事項

為因應新冠肺炎疫情，本所本次會議採視訊會議方式召開，請參加視訊會議人員詳讀本注意事項，以加入視訊會議及完成簽到。

一、 視訊會議室資訊

- (一) 會議號碼：2510 969 7830
- (二) 會議密碼：abri1101001
- (三) 承辦人員將於會議前 30 分鐘先開啟視訊會議，請參加視訊會議人員於會議前 30 分鐘加入會議以進行線上測試，如測試無法連線請立即聯繫本所承辦人員。

二、 選擇登錄方式

(一) 桌上型電腦或筆記型電腦

- 1、 點擊 <https://reurl.cc/V6lngA> [下載] 並執行 webexapp.msi。
- 2、 安裝完成後，點選 [作為訪客使用]。
- 3、 輸入 [單位+姓名] 及 [您的電子郵件地址]，再點選 [以訪客身份繼續]。
- 4、 加入會議方式：在 [輸入會議資訊] 欄位，輸入會議 ID 及會議密碼即可加入會議。
- 5、 加入會議前可先進行測試，測試喇叭及麥克風是否正常，測試無誤後，點選 [開始會議] 即可加入會議。

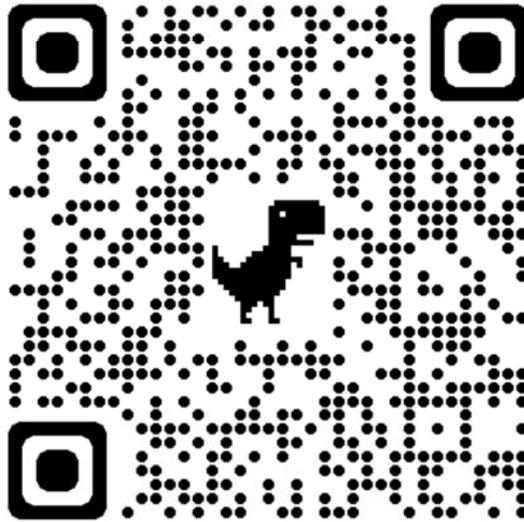
(二) 平板或手機

- 1、 至 App Store 或 Google Play 商店搜尋 Cisco Webex Meeting 下載。
- 2、 開啟 app，[允許] 各項權限後，點選 [加入會議]，輸入 [會議 ID]，並輸入 [單位+姓名]、[您的電子郵件地址] 後點選加入，接著輸入 [會議密碼] 即可加入會議。
- 3、 加入會議後，下方功能列開啟/關閉麥克風、開

啟/關閉視訊、其他設定、離開視訊會議，右上方功能列能查看參與者名單。

三、線上簽到

會議前 15 分鐘將於視訊會議開放線上簽到，請掃描視訊會議顯示之 QR Code 完成線上簽到。



四、會議進行注意事項：

- (一) 請提前登錄以準時加入會議，會議開始 5 分鐘後將無法再登錄視訊會議。
- (二) 連線後系統將預設為關閉麥克風，以免干擾會議進行；會議進行間將由主席依序邀請與會人員開啟麥克風發言，如中途需發言，請按系統畫面下方之揮手功能，待主席邀請後再開麥克風發言。
- (三) 全程請遵循主席指示發言。
- (四) 請於按下麥克風後隔 1 秒再發言，發言

時請將說話速度稍微放慢以避免網速延遲造成漏字。

- (五) 線上會議結束後請自行退出，主席及承辦人員保有會議進行中控管人員進出之權利。



第二次專家座談會/線上會議 視訊畫面截圖

內政部建築研究所
110 年度「室內環境氣密性能現場檢測技術與方法之研究」
委託研究計畫案
專家座談會意見回覆表

四、會議日期：110 年 10 月 1 日下午 2 時 30 分

五、會議地點：本次會議採視訊會議

六、主持人：李教授訓谷

項次	審查委員意見	執行單位回覆
審查委員：江教授哲銘		
1	此案為第二年延續性計畫，預計達成之工作項目大部份已達成，特別是專利的部份，若成功獲證，對於業界未來的發展具有相當大的貢獻，特別是建築師、工地現場、室內設計...等，都具有其參考價值及其引用之功能性。	謝謝委員肯定。
2	增加實測案例，使其研究成果之實證部份更完整。	謝謝委員肯定。
審查委員：徐副董事長文志		
1	社會住宅針對門窗洩漏量、隔音量訂定標準規範，其品質與現地檢測方法具有關聯性，不論是在現場備料、安裝或是由工廠備料再至現場施作，其現地檢測方法應可判定其差異性。	謝謝委員肯定。
審查委員：謝建築師淳洋		
1	工地現場門窗施工經常會有些許的誤差，個人建議將此氣密檢測機制納入門窗施工規範當中，作為未來	謝謝委員建議。

	竣工後監造單位、事務所等竣工查驗之標準。	
2	現行高性能綠建材標章，在窗戶的部份，對於玻璃及窗框較為注重，建議將此氣密性檢測納入高性能綠建材門窗標準中，在實驗室取得驗證報告後，納入門窗的檢驗機制裡，一併檢測。	謝謝委員建議。
審查委員：胡董事長榮哲		
1	目前台灣的建設公司都是在設計與分包階段要求門窗製造廠商檢附出場規格與驗證報告。此研究案所產出的氣密性能現場量測法有助於建設公司在工地現場可進行現地量測，確保門窗氣密性能是否達到標準。	謝謝委員肯定。本計畫於撰寫門窗氣密性現地量測方法草案時，已將此列為考量。
2	對於屋齡較高的建築物，氣密與隔音等性能會因氣密條的安裝適當性與老化程度而有所影響，建議在較老舊的建築物進行量測時，此項需列為考量條件之一。	謝謝委員建議。本計畫技術移轉文件中已將氣密條列為量測條件之一。
內政部建築研究所：羅組長時麒		
1	CNS 修訂，與標檢局先行溝通。	謝謝組長建議。
2	評估實務上之可行性，住宅氣密的強弱，是否影響現有住宅的狀態，是否符合台灣的氣候環境。	此量測方法針對台灣的氣候、溫濕度、風速等進行測試，對現有住宅的狀態並無影響。
3	專利結案前如期提出。	專利草案現已完成撰寫，將於結案前提出專利申請。
4	建築物氣密性應建立評分標準，不應以施工嚴謹度而影響其氣密性。	謝謝組長建議。

附錄六 第三次專家會議

內政部建築研究所

110 年度「室內環境氣密性能現場檢測技術與方法之研究」

委託研究計畫案

第三次專家座談會

七、會議日期：110 年 12 月 14 日上午 10 時 30 分

八、會議地點：本次會議採實體會議，地址：台南市歸仁區中正南路一段 2502 號 成大能策中心)

九、主持人：李教授訓谷

附件

「室內環境氣密性能現場檢測技術方法之研究」

專家諮詢會議

會議議程

一、會議名稱：內政部建築研究所 110 年度「室內環境氣密性能現場檢測技術方法之研究」第三次專家諮詢會議

二、110 年 12 月 14 日(星期二) 上午 10:30

三、開會地點：本次採實體會議，地址：台南市歸仁區中正南路一段 2502 號
(成大歸仁校區)

四、議程：

1. 主席致詞
2. 報告事項
3. 議題討論
4. 臨時動議
5. 會議結論
6. 散會



第三次專家座談會

附錄七 專利初稿-門(窗)氣密性檢測系統

【新型摘要】

【中文新型名稱】

門(窗)氣密性檢測系統

【中文】

本創作係有關於一種門(窗)氣密性檢測系統，包含資料處理單元、供氣導管、測試艙、室內外壓差計；該資料處理單元與室內外壓差計電性連接，供氣導管與測試艙連接，室內外壓差計設於測試艙與室外之間；據此，測試人員只須在資料處理單元輸入門(窗)尺寸，資料處理單元便能依此給予一相對應的測試門(窗)氣密的壓力測試值並由供氣導管將高壓氣體輸入測試艙中，當測試艙內達到該壓力測試值停止繼續供應高壓氣體，並且維持數秒，此時室內外壓差計將偵測所得之測試艙內與室外壓差值回傳資料處理單元，資料處理單元便能依此判斷該門(窗)的氣密性。

【指定代表圖】：第（一）圖。

【代表圖之符號簡單說明】

1:資料處理單元

2:供氣導管

3:測試艙

31:門(窗)

32:密合件

4:室內外壓差計

【新型說明書】

【中文新型名稱】

門(窗)氣密性檢測系統

【技術領域】

【0001】 本創作係有關於一種門(窗)氣密性檢測系統，尤其是指一種針對門(窗)氣密性能的檢測系統。

【先前技術】

【0002】 一般建築物皆安裝有門(窗)，做為進出室內、室外或室內通風、採光之用。又，基於提升屋內居住環境品質，通常會要求安裝的門(窗)必須具備良好的氣密性，一方面隔絕外界噪音，另一方面也能阻隔外界空氣中的細懸浮微粒。

【0003】 因此，為確保安裝之門(窗)符合氣密性的規範，須要對門(窗)的氣密性進行測試，以汰除未符合氣密標準的門(窗)。

【0004】 今，本創作人即是鑒於此，而研創出本創作，提供一種能視待測門(窗)的尺寸自動規劃輸入高壓氣體之壓力值，並藉由偵測壓力差判斷門(窗)的氣密效果的檢測系統。

【新型內容】

【0005】 本創作之主要目的，係提供一種門(窗)氣密性檢測系統，係透過輸入相對氣體壓力測試門(窗)與其框架結構間縫隙之氣密程度，進而汰除氣密效果未達標準之門(窗)。

【0006】 本創作之門(窗)氣密性檢測系統，係由以下技術實現：

【0007】 一種門(窗)氣密性檢測系統，包含一資料處理單元、一供氣導管、一測試艙、一室內外壓差計；所述資料處理單元與所述室內外壓差計電性連接，所述供氣導管與所述測試艙連接，所述供氣導管輸入氣體壓力至所述測試艙中，所述測試艙係由一門(窗)與一密合件密封後所形成的空間，所述室內外壓差計設於所述測試艙與室外之間，用於偵測所述測試艙與所述室外之間的壓力差值，並將所述壓力差值回傳所述資料處理單元；測試人員於所述資料處理單元處輸入門(窗)尺寸，所述資料處理單元輸出一相對應的壓力測試值，並由所述供氣導管將高壓氣體導入所述測試艙中，所述測試艙中的氣壓達到所述壓力測試值後，所述資料處理單元停止所述供氣導管繼續將高壓氣體導入所述測試艙中，於一段時間後，所述室內外壓差計將偵測所得之所述壓力差值回傳所述資料處理單元，由所述資料處理單元根據所述壓力差值判斷該門(窗)的氣密性是否符合標準。

【0008】 如上所述之門(窗)氣密性檢測系統，還包含一高壓氣體儲存單元、一壓力調節器與一壓力監測計；所述資料處理單元與所述壓力調節器、所述壓力監測計電性連接，所述壓力調節器、所述壓力監測計設置在所述高壓氣體儲存單元上，所述壓力調節器用於調節所述高壓氣體儲存單元內部儲存的氣體壓力，所述壓力監測計用於監測所述高壓氣體儲存單元內部的氣體壓力值，所述壓力監測計監測得到之所述氣體壓力值送回所述資料處理單元，所述資料處理單元根據所述氣體壓力值控制所述壓力調節器對所述高壓氣體儲存單元內部壓力進行調節。

【0009】 如上所述之門(窗)氣密性檢測系統，還包含一電磁閥；所述資料處理單元與所述電磁閥電性連接，透過所述資料處理單元控制所述電磁閥啟閉，進而控制所述供氣導管將高壓氣體導入所述測試艙的時機。

【0010】 本創作之優點：

【0011】 透過本創作之門(窗)氣密性檢測系統的設計，測試人員只須在資料處理單元輸入門(窗)尺寸，資料處理單元便能依此給予一相對應的測室門(窗)氣密的壓力測試值，並且於測試艙中輸入高壓氣體，使測試艙中的壓力達到該壓力測試值，接著資料處理單元藉由室內外壓差計回傳的壓差值便能判斷該門(窗)的氣密性是否符合所須規定。

【圖式簡單說明】

【0012】 第一圖：本創作之門(窗)氣密性檢測系統的其一實施例架構示意圖

【0013】 第二圖：本創作之門(窗)氣密性檢測系統的其二實施例架構示意圖

【0014】 第三圖：本創作之門(窗)氣密性檢測系統的其三實施例架構示意圖

【實施方式】

【0015】 為令本創作所運用之技術內容、新型目的及其達成之功效有更完整且清楚的揭露，茲於下詳細說明之，並請一併參閱所揭之圖式及圖號：

【0016】 請參看第一圖，為本創作之門(窗)氣密性檢測系統的其

一實施例。

【0017】在第一圖所示的實施例中，本創作之門(窗)氣密性檢測系統包含一資料處理單元 1、一供氣導管 2、一測試艙 3、一室內外壓差計 4；其中：

【0018】資料處理單元 1 與室內外壓差計 4 電性連接，而供氣導管 2 的一端與測試艙 3 連接，使供氣導管 2 與測試艙 3 內部相連通，令供氣導管 2 將高壓氣體輸入至測試艙 3 中；測試艙 3 係由一門(窗)31 與一密合件 32 密封後所形成的空間，室內外壓差計 4 設於測試艙 3 與室外之間，用於偵測測試艙 3 與室外之間的壓力差值，室內外壓差計 4 會將偵測的壓力差值回傳資料處理單元 1。

【0019】實施測試門(窗)31 的氣密性時，測試人員直接於資料處理單元 1 處輸入待測門(窗)的尺寸，資料處理單元 1 便會根據所輸入的待測門(窗)的尺寸輸出顯示一相對應的壓力測試值，自供氣導管 2 將高壓氣體導入測試艙 3 中，使測試艙 3 中的高壓氣體壓力到達資料處理單元 1 顯示的壓力測試值，在測試艙 3 中的高壓氣體壓力到達壓力測試值之後，供氣導管 2 停止供應高壓氣體，接著，於一段時間後，室內外壓差計 4 再將偵測測試艙 3 內部壓力與室外壓力所得到的壓力差值回傳給資料處理單元 1，資料處理單元 1 便根據該壓力差值判斷該門(窗)的氣密性是否符合標準。

【0020】請參看第二圖，為本創作之門(窗)氣密性檢測系統的其二實施例。

【0021】在第二圖所示的實施例中，本創作之門(窗)氣密性檢測

系統包含一資料處理單元 1、一供氣導管 2、一測試艙 3、一室內外壓差計 4、一高壓氣體儲存單元 5、一壓力調節器 6 與一壓力監測計 7；本實施例係在其一實施例的架構下再增設高壓氣體儲存單元 5、壓力調節器 6 與壓力監測計 7；其中：

【0022】 壓力調節器 6、壓力監測計 7 與資料處理單元 1 電性連接，壓力調節器 6、壓力監測計 7 設置在高壓氣體儲存單元 5 上，壓力調節器 6 係用於調節高壓氣體儲存單元 5 內部儲存的高壓氣體壓力，壓力監測計 7 則用於監測高壓氣體儲存單元 5 內部的高壓氣體壓力值，壓力監測計 7 監測得到的高壓氣體壓力值會送回資料處理單元 1，供資料處理單元 1 根據該高壓氣體壓力值控制壓力調節器 6 對高壓氣體儲存單元 5 內部壓力進行調節。

【0023】 本實施例在實施測試門(窗)31 的氣密性時，測試人員同樣直接於資料處理單元 1 處輸入待測門(窗)的尺寸，資料處理單元 1 便會根據所輸入的待測門(窗)的尺寸輸出顯示一相對應的壓力測試值，此時壓力監測計 7 會偵測高壓氣體儲存單元 5 中的高壓氣體壓力，並將偵測結果回傳資料處理單元 1，資料處理單元 1 判斷該偵測值是否超過壓力測試值，若超過，則資料處理單元 1 便會令壓力調節器 6 對高壓氣體儲存單元 5 進行洩壓；當高壓氣體儲存單元 5 符合設定時，便能經由供氣導管 2 將高壓氣體儲存單元 5 中的高壓氣體導入測試艙 3 中，使測試艙 3 中的高壓氣體壓力到達資料處理單元 1 顯示的壓力測試值，在測試艙 3 中的高壓氣體壓力到達壓力測試值之後，供氣導管 2 停止供應高壓氣

體，接著，於一段時間後，室內外壓差計 4 再將偵測測試艙 3 內部壓力與室外壓力所得到的壓力差值回傳給資料處理單元 1，資料處理單元 1 便根據該壓力差值判斷該門(窗)的氣密性是否符合標準。

【0024】請參看第三圖，為本創作之門(窗)氣密性檢測系統的其三實施例。

【0025】在第三圖所示的實施例中，本創作之門(窗)氣密性檢測系統還包含一電磁閥 8；本實施例係在其二實施例的架構下再增設電磁閥 8，且令高壓氣體儲存單元 5 中的高壓氣體是經由一氣體供應設備 9 所提供；其中：

【0026】令電磁閥 8 設置於供氣導管 2 上，且與資料處理單元 1 電性連接，以透過資料處理單元 1 控制電磁閥 8 啟閉，進而控制供氣導管 2 將高壓氣體導入測試艙 3 的時機。

【0027】本實施例在實施測試門(窗)31 的氣密性時，測試人員同樣直接於資料處理單元 1 處輸入待測門(窗)的尺寸，資料處理單元 1 便會根據所輸入的待測門(窗)的尺寸輸出顯示一相對應的壓力測試值，此時壓力監測計 7 會偵測高壓氣體儲存單元 5 中的高壓氣體壓力，並將偵測結果回傳資料處理單元 1，資料處理單元 1 判斷該偵測值是否超過壓力測試值，若超過，則資料處理單元 1 便會令壓力調節器 6 對高壓氣體儲存單元 5 進行洩壓；當高壓氣體儲存單元 5 符合設定時，資料處理單元 1 便能通知電磁閥 8 打開，以經由供氣導管 2 將高壓氣體儲存單元 5 中的高壓氣體導入測試艙 3 中，使測試艙 3 中的高壓氣體壓力到達資料處理單元 1 顯示的

壓力測試值，在測試艙 3 中的高壓氣體壓力到達壓力測試值之後，資料處理單元 1 再控制電磁閥 8 關閉，使高壓氣體儲存單元 5 無法再通過供氣導管 2 供應高壓氣體至測試艙 3，接著，於一段時間後，室內外壓差計 4 再將偵測測試艙 3 內部壓力與室外壓力所得到的壓力差值回傳給資料處理單元 1，資料處理單元 1 便根據該壓力差值判斷該門(窗)的氣密性是否符合標準。

【0028】 以上所舉者僅係本創作之部份實施例，並非用以限制本創作，致依本創作之創意精神及特徵，稍加變化修飾而成者，亦應包括在本專利範圍之內。

【0029】 綜上所述，本創作實施例確能達到所預期之使用功效，又其所揭露之具體技術手段，不僅未曾見諸於同類產品中，亦未曾公開於申請前，誠已完全符合專利法之規定與要求，爰依法提出新型專利之申請，懇請惠予審查，並賜准專利，則實感德便。

【符號說明】

【0030】 1:資料處理單元

【0031】 2:供氣導管

【0032】 3:測試艙

【0033】 31:門(窗)

【0034】 32:密合件

【0035】 4:室內外壓差計

【0036】 5:高壓氣體儲存單元

【0037】 6:壓力調節器

【0038】 7:壓力監測計

【0039】 8:電磁閥

【0040】 9:氣體供應設備

【新型申請專利範圍】

【請求項1】 一種門(窗)氣密性檢測系統，包含一資料處理單元、一供氣導管、一測試艙、一室內外壓差計；所述資料處理單元與所述室內外壓差計電性連接，所述供氣導管與所述測試艙連接，所述供氣導管輸入氣體壓力至所述測試艙中，所述測試艙係由一門(窗)與一密合件密封後所形成的空間，所述室內外壓差計設於所述測試艙與室外之間偵測所述測試艙與所述室外之間的壓力差值。

【請求項2】 如請求項 1 所述之門(窗)氣密性檢測系統，其中，所述門(窗)氣密性檢測系統還包含一高壓氣體儲存單元、一壓力調節器與一壓力監測計；所述資料處理單元與所述壓力調節器、所述壓力監測計電性連接，所述壓力調節器、所述壓力監測計設置在所述高壓氣體儲存單元上，所述壓力調節器用於調節所述高壓氣體儲存單元內部儲存的氣體壓力，所述壓力監測計用於監測所述高壓氣體儲存單元內部的氣體壓力值，並將所述氣體壓力值送回所述資料處理單元，所述資料處理單元根據所述氣體壓力值控制所述壓力調節器對所述高壓氣體儲存單元內部壓力進行調節。

【請求項3】 如請求項 1 或 2 所述之門(窗)氣密性檢測系統，其中，所述門(窗)氣密性檢測系統還包含一電磁閥；所述資料處理單元與所述電磁閥電性連接，所述資料處理單元控制所述電磁閥啟閉，進而控制所述供氣導管將高壓氣體導入所述測試艙的時機。

附錄八 論文投稿

2021 再生能源與國家安全學術研討會
暨第三十一屆台灣太陽能及新能源學會年會及論壇

在台灣氣候條件下建築物氣密性對空調耗能之影響

徐文志¹、羅時麒²、陳震宇¹、李訓谷^{3,*}

1 國立成功大學建築系

2 內政部建築研究所

3 國立成功大學能源科技與策略研究中心

*Email: sklee1015@gmail.com

摘要

氣密性是影響建築物空氣洩漏的基本建築性質，通常用“洩漏量(air leakage)”來量化。洩漏量是指通過建築物外殼結構中的裂縫、縫隙和不定開口的空氣流動量。洩漏路徑通常位於牆壁與地板，天花板，窗戶/門框和其他牆壁相接的接縫處，以及機械、電氣和管道系統貫穿部的位置。根據美國冷凍空調協會 ASHRAE (2009)之統計資料顯示整體建築外殼氣密性的分佈，牆壁佔 35%，樓地板佔 18%，機械通風系統的貫穿部佔 18% 以及窗戶佔 15%。英國 BRE 曾對 35 棟房屋的洩漏原因進行了研究，其結果顯示整個房屋的空氣洩漏有 16% 是經由可開啟的門窗間的縫隙，13% 是閣樓艙口、窗戶/門框和永久通風口，71% 是由於建築外殼結構中的縫隙和裂縫造成的。

根據冷凍空調熱負荷之計算公式，建築物通風系統或是滲透風(infiltration)對空調負荷之影響與通風量成正比。在計算與滲透相關的建築外殼能耗損失時，需要建築物的空氣滲透率作為重要的參數輸入；直接測量滲透率的測試是複雜且耗時的，因此通常用建築物氣密性的測量代替。根據英國諾丁漢大學 (Zheng X. F., 2018) 統計相關文獻的資料顯示，建築物外殼洩漏造成的建築能耗佔總暖房負荷的 13%-30%，冷房負荷 4-14%；良好的建築氣密性是設計淨零能耗建築必須被考慮的重點。本文之研究目的為探討台灣建築物的氣密性與建築物空調能耗之關聯性。

本研究首先以 EnergyPlus 軟體模擬全尺度實驗屋在不同洩漏量條件下的整年空調耗電量，獲得圖 1 之結果。模擬結果顯示年空調耗電量點量與洩漏量成正比。

本研究接著在全尺度實驗屋中的窗戶與門縫設計可以調整洩漏量的開口，依序調整開口面積為 0.015、0.025、0.035、0.045、0.055、0.06m²，利用 PULSE 暫態氣密量測量法測實驗屋的氣密性，並且進行一天的實驗。空調開啟時間為早上 18 時至下午 18 時，空調設定溫度為 26°C。六種洩漏量之實驗案例的空調耗電量如圖 2 所示。實驗結果發現六個案例的每天空調耗電量為 2.56~3.32kWh 之間。此結果凸顯出全尺度實驗屋主要的空調熱得來自於玻璃的輻射熱得，洩漏量熱得所佔的比例遠低於玻璃輻射熱得。因此在晴天的外氣條件下，空調耗電量主要是受太陽輻射之影響，洩漏面積改變並不會影響太多的空調耗電量，致使建築物外殼洩漏量對於空調耗能的影響不顯示。此實驗結果也驗證了身處亞熱帶國家的台灣，建築外殼氣密性對於空調耗能的影響性不若緯度較高的寒帶國家之建築外殼氣密性對於空調耗能的影響性。

2021 再生能源與國家安全學術研討會
暨第三十一屆台灣太陽能及新能源學會年會及論壇

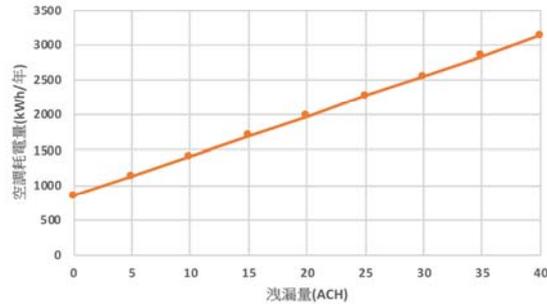


圖 1 建築外殼洩漏量與空調耗能之模擬結果

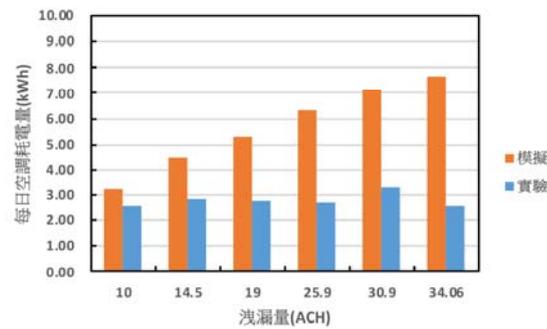


圖 2 建築外殼洩漏量與空調耗能之實驗結果

參考文獻：

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. 2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals. Atlanta: ASHRAE, 2009.

Zheng X. F., Cooper E. W., ZU Y.Q., Gillott M., Tetlow D., Riffat S., Wood C.J., Experimental studies of a pulse pressurisation technique for measuring building airtightness, In: 17th International Conference on Sustainable Energy Technology, 21-23 August 2018, Wuhan, China.

56. Zheng X. F., Cooper E.W., Mazzon J., Wallis I., Wood, C.J., Experimental insights into the airtightness measurement of a house-sized chamber in a sheltered environment using blower door and pulse methods, Building and Environment. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106269>.

關鍵字：建築節能、氣密性、暫態氣密量測法

參考書目

【中文參考文獻】

1. CNS 11527 A3236：「門窗氣密性試驗法」，經濟部中央標準檢驗局，中華民國93年1月9日。
2. CNS 6400 A2081：「聚氯乙稀塑膠窗」，經濟部中央標準檢驗局，中華民國95年7月10日。
3. CNS 3092 A2044：「鋁合金製窗」，經濟部中央標準檢驗局，中華民國94年7月12日。
4. CNS 15038 A3403：「建築用門遮煙性試驗法」，經濟部中央標準檢驗局，中華民國93年1月9日。
5. CNS 15160-3 A3407-3：「聲學－建築物及建築構件之隔音量測－建築構件空氣音隔音之實驗室量測」經濟部中央標準檢驗局，中華民國97年1月4日。
6. CNS 15160-5 A3407-5：「聲學－建築物及建築構件之隔音量測－外牆構件及外牆空氣音隔音之現場量測方法。」經濟部中央標準檢驗局，中華民國98年8月28日。
7. 蔡宜中、鄒本駒，門窗氣密水密抗風壓性能試驗標準作業程序之研究，內政部建築研究所自行研究報告，中華民國95年12月。
8. 楊閔隆，隔音門、窗標準檢測程序之研究，內政部建築研究所自行研究報告，中華民國95年12月。
9. 蘇鴻奇、王天志，昇降機門之遮煙性能驗證研究，內政部建築研究所自行研究報告，中華民國99年12月。
10. 林招焯，國內窗戶隔音性能之比較分析研究，內政部建築研究所自行研究報告，中華民國100年12月。
11. 林芳銘、林錦盛，CNS 建築聲學實驗室量測標準修訂之研究，內政部建築研究所自行研究報告，中華民國107年12月。

12. 鄭元良、李訓谷，既有建築物室內環境氣密性能之調查研究，內政部建築研究所協同研究報告，中華民國109年12月。
13. 建築用門現場遮煙性能測試指引，內政部建築研究所，中華民國109年12月。

【外文參考文獻】

1. Abba A., The history of the blower door, Home Energy Magazine Online November/December 1995, available from:
<http://homeenergy.org/show/article/year/1995/id/1171>
2. American Architectural Manufacturers Association, AAMA 502-08: Voluntary Specification for Field Testing of Newly Installed Fenestration Products, 2008.
3. American Society for Testing and Materials, ASTM E783-02 (2018) : Standard Test Method for Field Measurement of Air Leakage Through Installed Exterior Windows and Doors, 2018.
4. Baracu, T. et al., Consideration of a new extended power law of air infiltration through the building's envelope providing estimations of the leakage area, Energy and Buildings, 2017, Volume 149, pp. 400-423
5. Benedetto G, Brosio E., A relation between transmission loss and air infiltration characteristics in windows, Turin: Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris; 1981. pp. 1-4
6. Brasche, S., Bischof, W., 2005. Daily time spent indoors in German homes-- baseline data for the assessment of indoor exposure of German occupants. Int. J. Hyg. Environ. Health 208, 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2005.03.003>
7. Catalinaab T, Iordachea V., Iordachea F., Correlation between air and sound propagation to determine air permeability of buildings for single/double wood pane windows, Energy and Buildings, 2020, Volume 224,

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110253>.

8. Carey P. S., Etheridge D. W., Leakage measurements using unsteady techniques with particular reference to large buildings, *Building Serv. Eng. Res. Technol.* 2001; 22: 69-82.
9. CIBSE TM23: Testing buildings for air leakage (consultation draft), 2019.
10. Cooper E. W, Etheridge D. W., Measurement of building leakage by unsteady pressurization, AIVC Conference, Prague, 2004
11. Cooper E. W., Zu Y, 2011, A nozzle pulse pressurisation technique for measurement of building leakage at low pressure, In: *Proceedings of the 10th International Conference on Sustainable Energy Technologies*, 4-7 September 2011, Istanbul, Turkey
12. Daisey J.M., W.J. Angell, M.G. Apte Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. *Indoor Air*, 2003, 13, pp. 53-64
13. Delmotte C., Laverge J., Interlaboratory test for the determination of repeatability and reproducibility of buildings airtightness measurements, 32nd AIVC Conference Proceedings. Brussels, Belgium: 12-13 October 2011
14. European Commission, 2003. Communiqué de presse - Indoor air pollution: new EU research reveals higher risks than previously thought.
15. European Parliament and the Council of the European Union. 2012/27/EU, Energy Efficiency Directive, Brussels; 2012.
16. Furbringer, J., Roecker, C. & Roulet, C.-A., 1988, The use of a guarded zone pressurization technique to measure air flow permeabilities of a multizone building, Gent, Belgium, 9th AIVC Conference

17. Gillott M., Loveday D.L., White J., Wood C.J., Chmutina K., Vadodaria K., Improving the airtightness in an existing UK dwelling: the challenges, the measures and their effectiveness, *Building and Environment*, 2016, 95, pp. 227 – 239
18. Guyot, G. et al., Multizone air leakage measurements and interactions with ventilation flows in low-energy homes, *Building and Environment*, 2016, Volume 2016, pp. 52-63
19. Hassan O., An alternative method for evaluating the air tightness of building components, *Building and Environment* 2013, 67, 82-86
20. Howieson, S., Sharpe, T., Farren, P., Building tight - ventilating right? How are new air tightness standards affecting indoor air quality in dwellings?, *Building Services Engineering Research & Technology*, 2014, 35(5), pp. 475-487
21. Iordache V, Catalina T., Acoustic approach for building air permeability estimation, *Building and Environment* 2012, 57:18-27
22. Ji, Y., Duanmu, L., Airtightness field tests of residential buildings in Dailan, China, *Building and Environment*, 2017, Volume 119, pp. 20-30
23. Ji, Y., Duanmu, L., Li, X., 2017, Building Air Leakage Analysis for Individual Apartments in North China, *Building and Environment*, Volume 122, pp. 105-115
24. JIS A 1516: Test Method Of Air Tightness For Windows And Doors, Japanese Standards Association, 1998.
25. Keast D.N., Pei H.S., The use of sound to locate infiltration openings in buildings, *Proceedings ASHRAE/DOE Conference “Thermal performance of the exterior envelopes of buildings”*, Florida, December 3-5. 1979

26. Kraus M., and Kubečková D., Airtightness of Energy Efficient Buildings, GSTF International Journal of Engineering Technology (JET) Vol.2 No.2, 2013.
27. Lowe R. J., Johnston D., Bell M., Airtightness in UK dwellings: a review of some recent measurements, Available from:
https://www.aivc.org/sites/default/files/airbase_10669.pdf
28. Ng Lisa C., Persily Andrew K., Emmerich Steven J., IAQ and energy impacts of ventilation strategies and building envelope airtightness in a big box retail building, *Building and Environment*, 2015, Vol. 92, 627-634.
29. Prignon, M. & Van Moeseke, G., 2017, Factors influencing airtightness and airtightness predictive models: a literature review, *Energy and Buildings*, Volume 146, pp. 87-97
30. Raman G., Chelliah K, Prahash M, Muehleisen R.T., Detection and quantification of building air infiltration using remote acoustic methods, *Inter. Noise 2014*, Melbourne, Australia. 16-19 November, 2014
31. RDH Building Engineering Ltd., *Air Leakage Control in Multi-Unit Residential Buildings: Development of Testing and Measurement Strategies to Quantify Air Leakage in MURBS*, research report, 2013.
32. Remi C.F., Leprince V, 2016, Uncertainties in building pressurisation tests due to steady wind. *Energy and Buildings*, Vol.116, 15th March 2016, pp 656-665
33. Ringger M, Hartmann P., Evaluation of an acoustical method for detecting air leaks, *Air Infiltration Review*, Vol.11, No.1, December 1989
34. Šadauskienė Jolanta, Paukštys Valdas, Šeduikytė Lina and Banionis Karolis, Impact of Air Tightness on the Evaluation of Building Energy Performance in Lithuania, *Energies* 2014, Vol. 7, 4972-4987.

35. Salehi, A., Torres, I., Ramos, A., 2017, Experimental Analysis of Building Airtightness in Traditional Residential Portuguese Buildings, Energy and Buildings, Volume 151, pp. 198-205
36. Sanam P., Exploring acoustical approach for pre-screening of window assemblies airtightness level in an existing building, Master dissertation at Ryerson University, 2018.
37. Sherman M. H., Chan R., Building Airtightness: Research and Practice, Lawrence Berkeley National Laboratory Report (2004), Report No. LBNL-53356.
38. Sherman M., Modera M., Signal attenuation due to cavity leakage, J. Acoust. Soc. Am. 84 (6), December 1988
39. Sherman M., Palmiter L., Uncertainty in fan pressurisation measurements, Airflow Performance Conference, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1995, pp. 266-283, <https://doi.org/10.1520/STP14701S>
40. Sherman M.H., Grimsrud D.T., Infiltration-pressurization correlation: Simplified physical modelling, ASHRAE Trans. 86, II (1980): PP. 778-807.
41. Sinott, D., Dyer, M., 2012, Air-tightness Field Data for Dwellings in Ireland, Building and Environment, Volume 51, pp. 269-275
42. Sonoda T, Peterson F., A sonic method for building air-leakage measurements, Appl Energy 1986;22(3):205-224. 1986, Pages 205-224, vol. 22, no. 3
43. Stephen R. K., Airtightness in UK dwellings. Building Research Establishment (BRE) Information Paper IP/1/00. Watford: HIS BRE Press, 2000.
44. The Air Tightness Testing & Measurement Association, Air Tightness Testing & Measurement Association. "Technical Standard L1. - Measuring Air Permeability of Building Envelopes (Dwellings)." Northampton: ATTMA, October 2010.

45. Varshney K., Rosa J. E., Shapiro I., Scott D., Air-infiltration Measurements in Buildings using Sound Transmission Loss through Small Apertures, *International Journal of Green Energy*, 10:5, 2-493
46. Zheng X. F., Cooper E. W., Mazzon J., Wallis I., Wood C.J., A comparison study of the blower door and novel pulse technique on measuring enclosure airtightness in a controlled environment, in: 38th AIVC conference, Nottingham, United Kingdom, 13-14 September 2017.
47. Zheng X. F., Cooper E. W., ZU Y.Q., Gillott M., Tetlow D., Riffat S., Wood C.J., Experimental studies of a pulse pressurisation technique for measuring building airtightness, In: 17th International Conference on Sustainable Energy Technology, 21-23 August 2018, Wuhan, China.
48. Zheng X. F., Cooper E.W., Mazzon J., Wallis I., Wood, C.J., Experimental insights into the airtightness measurement of a house-sized chamber in a sheltered environment using blower door and pulse methods, *Building and Environment*.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106269>.

室內環境氣密性能現場檢測技術與方法之研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：李訓谷、陳震宇、劉名宸、林詩頻

出版年月：110年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-5456-67-2 (平裝)