

新型熱泵系統改善室內環境之效益分析-以老人之家為例

宋文沛(Wen-Pei Sung)

國立勤益科技大學特聘教授

*陳淑容(Shu-Jung Chen)

國立勤益科技大學景觀研究所碩士生

科技部計畫編號：MOST 103-2625-M-167-001

摘要

根據統計，人們在一生中將會有90%的時間處於居家住宅、辦公室等的室內環境，因此受室內空氣污染物影響的機率比室外高出許多，所以室內空氣污染物被認為是危害人體健康的主要來源。室內空氣品質的好壞，不僅影響人體對環境施適度之感受，也對人體健康造成不同層面的影響。本研究，針對老人之家住民進行問卷調查，確實探討住民對居住空間之需求；再藉由老人之家老舊電熱鍋爐系統改善計畫，提出新型技術引用電熱鍋爐系統之熱源及冷源，改善照護空間內之溫濕度，藉以提升老人居住環境之舒適度。問卷結果顯示：住民對於夏季高溫高濕環境，不滿意程度高，新增設之熱泵熱水系統改善工程，運用新型技術適當引用熱泵熱水系統所產生之熱源及冷源以改善室內環境舒適度。本技術確實可以改善高濕及高溫環境，經實驗驗證可知，夏季室內空間之相對濕度由平均92.5%降為平均60%，溫度降低3°C。

關鍵詞：室內溫度、室內濕度、舒適度、熱泵熱水系統

Energy-Saving Efficiency of New Heat Pump to Improve the Indoor Environment for Aging Care House

Abstract

Human spent almost 90% life time in indoor environment of their house or office based on statistical analysis. Therefore, health of human being is affected by the indoor air quality more than outdoor air quality. Thus, pollutant of indoor air is considered as the main source to damage human health. Indoor air quality is not only impact human's environment feeling, but also affect health of people. A questionnaire survey is conducted for resident who lives in the aged care house to explore the

residents demand for residential space. Then, in order to improve the comfort of living environment for the elderly, a new technical system is proposed to apply the heat sources and cold sources to improve the indoor temperature and indoor humidity of residential space of aged care house by means of old heating boiler system improvement program. Questionnaire results reveal that the residents are not satisfied with high temperature and high humidity environment in summer. Application of new technologies from new heat pump of hot water system refers to the heat source and cold source to improve the comfort of indoor environment. This proposed technology can transform high moisture and high temperature environments. The test results show that the average relative humidity of indoor space is reduced from 92.5% to 60%, the indoor temperature is lowered 3 °C.

Keywords : Indoor temperature, indoor humidity, comfort degree, heat pump

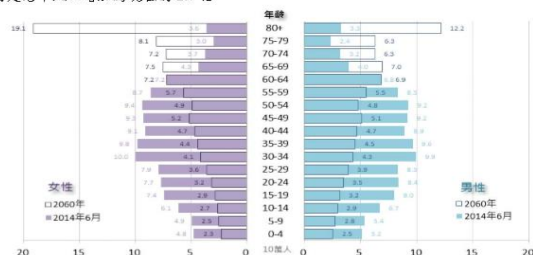
一、前言

近年，許多主要國家受到結婚率下滑、生育率降低、醫療技術進步與生活水準提升等因素影響，導致人口結構呈現高齡化現象。台灣亦不例外，早在1993 年高齡人口（65 歲以上）所佔比例達到7%以上，已符合聯合國世界衛生組織所訂高齡化社會指標。相較於其他主要國家，雖台灣人口高齡化程度較低，但根據行政院經濟建設委員會估計，未來台灣高齡化速度將會加速，由2006 年的10%上升為2051年的37%。

台灣地區人口結構變化及人口老化現象日趨嚴重，依據內政部人口統計資料顯示：1951 年時，台灣地區65 歲以上人口，僅佔總人口數之2.5%；2012 年台灣地區65 歲以上人口，已達佔總人口89.0%，顯示台灣地區老人人口正快速成長（內政部統計處，2012）。再根據行政院經建會於2012年度推估，於2060年時，65 歲以上老年人口數，將大幅增加為2012年之2.9倍，其中，又以85歲以上老年人口增加最多。推估80歲以上人口占老年人口比率，將由2012年的25.4%，至2060 年大幅上升為41.4%（如表1所示），此已經達到國際慣例及聯合國等國際機構所稱的高齡社會(Aged Society)。

表1：台灣預估老人人口年齡結構變化趨勢(資料來源：行政院主計總處)

6月底我國65歲以上人口占總人口12%，預估2060年將達41%
 一、根據國發會人口中推計估算，我國將於10年內進入人口負成長，預估2060年人口僅1,818萬人，與今(2014)年6月底相較減少逾500萬人；同時人口結構亦將產生巨幅變動，幼年人口(0-14歲)與工作年齡人口(15-64歲)均大量減少為現在的一半左右，取而代之的是老年人口增加為現在的2.7倍。



目前台灣有長期照顧及安養機構10471家,護理之家471家以及榮民之家16家,負責收容與照顧年長者。根據行政院核定「我國長期照顧十年計畫」及「友善關懷老人服務方案第二期計畫」,強調長期照顧機構服務以及友善關懷老人服務之理念。因此,如何使老齡人口可以達到老有所養的照護目標,如何運用相關科技於長期照顧機構創造舒適及節能的環境,提供給年長者活力老化的空間,攸關高齡人口的照護品質。而台灣夏季高溫高濕,冬季則有來自西伯利亞的大陸冷高壓影響氣候,影響到相關老人福利機構及長期照護機構之照護環境品質。本研究運用改善老人福利機構及長期照護機構之熱水熱源系統,使之可於夏季提供冷源,冬季提供暖源,以創造出優質的照護空間環境,並達到節能之效益。以確保於該類型機構的照護空間品質,藉以創造出優質之室內環境舒適空間,提供在該類型機構接受照護的年長者能有穩定而舒適健康的照顧品質。本研究針對中部地區某老人之家,進行現況實地實驗以及問卷調查,探究居住年長者對於居住空間環境的滿意程度與需求,再針對老舊電熱鍋爐系統改善,運用新型技術引進新鍋爐系統的熱源及冷源,以改善照護空間內之溫濕度,以提升照護空間之生活品質。實驗結果顯示,本技術確實可以於夏季達到改善照護空間內之溫濕度的效益,已提升照護空間內之舒適度。

二、溫濕度及氣候對於照護環境之影響

相對溼度是量測空氣中之含水量,這是空氣中水氣壓之含量和飽和狀況下(100%濕度)水氣壓含量比。台灣相對濕度經常在70%~80%間,夏天讓人感覺相當的悶熱,當濕度高時,表示空氣中已含有許多水分子,因而會減少吸收水份的能力,高濕度會限制汗水蒸發及散熱;相反的,低濕度將有助於汗水蒸發散熱;氣溫適中時,濕度對人體的影響並不顯著。但是Serra(1995)的研究報告得知當氣溫較高或較低時,其波動對人體的熱平衡和溫熱感就變得非常重要,由於高溫高濕影響人體汗液的蒸發,身體的熱平衡受到破壞,因此人體會感到悶熱不適,隨著溫度的升高,這種情況將更趨明顯,當相對濕度在50%時,感到舒適,若濕度值越高,則表示會越來越熱,反之,則越來越冷如圖1所示。

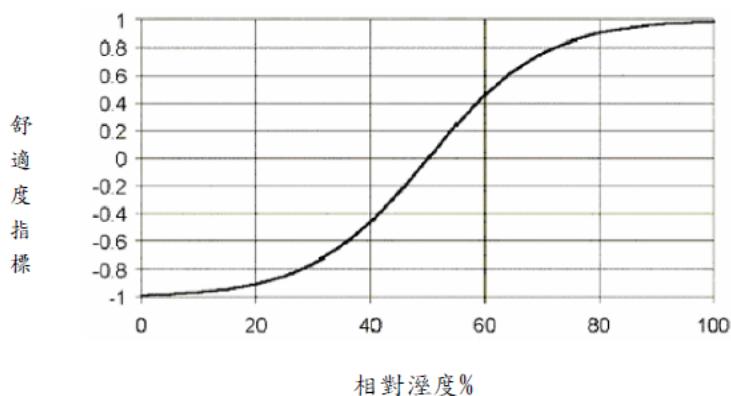


圖1:相對濕度與舒適度之關係(資料來源(Serra, 1995))

依據IAQ室內空氣品質控制程序,室內污染物必須藉由引入新鮮外氣,加以

稀釋擴散，增加通風，調整人員對溫熱環境的不滿意度。根據ASHRAE(1997)報告，以紊流強度0%的曲線為例，在室溫20°C的低溫環境中，室內風速約須大於0.22 m/s，室內有15%人員不滿意；在室溫26°C時，室內風速約需達0.48 m/s以上，方可達到相同的不滿意率，如圖2所示。鐘基強等(1998)研究，利用室內空調進排氣口的配置對熱舒適性的探討，認為進排氣口設計，應力求進氣能流經大部份人員的活動區域，避免產生短路效應，多重進氣、排氣口更有助於增進空調的改善熱舒適性的效果，將冷氣進氣口的高度配置高於排氣口，可藉助冷空氣沉降，達到更佳熱舒適性效果。

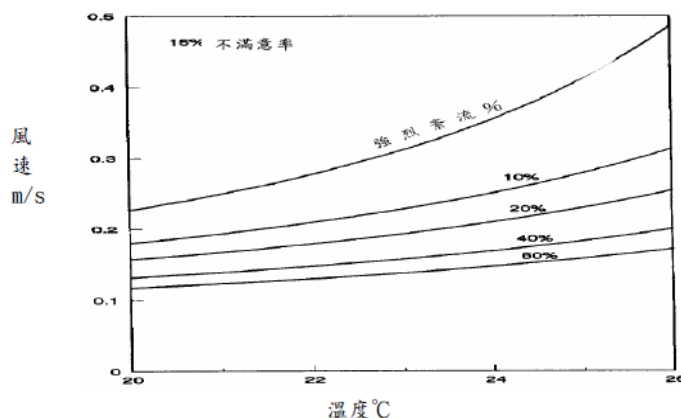


圖2:風速與室內溫度之關係(資料來源(ASHRAE,1997))

2-1 氣候對高齡者影響

自古以來，人們就注意到天氣和氣候能影響人的健康。人類開始觀察天氣與健康，早在2000年前我國《黃帝內經素問》就闡述了天氣、氣候對人體健康與疾病的影響及其變化規律，當氣候變化大的時候就會引起疾病，甚至可使原有病情加重乃至死亡。銀髮族在老化的過程中有一些主要的變化：(1)需要花費更多的時間與體力才能恢復原來的體能與情緒狀態；(2)高血壓的情形普遍，心臟瓣膜也較缺乏彈性，血管也會縮小；(3)呼吸系統效能減低；(4)性功能的表現會受到文化與社會因素的影響；(5)感官功能會衰退；(6)平衡力會衰退；(7)記憶力會減退；(8)在心理層面的發展以Erikson的發展理論為主，主題是自我統整：絕望(ego integrity vs. despair) (邱珍琬，2001)，Erikson認為統整與絕望是老年期的發展危機(Erikson,)。在身體上的變化主要為各部機能之退化，包括有基礎代謝率降低;視力及聽力減退;對嗅、味、痛及震動感覺的敏感度減低;反而對溫度變化的感受性增加;並易引起消化排泄的問題;此外還有牙齒脫落;頭髮變白或掉落;皮膚變乾、變薄及易起皺紋，且顏色加深;肌肉沒有彈性;骨質疏鬆導至骨骼改變;心臟及腎臟功能也減退;大腦神經細胞喪失等(Gallo, Reichel, & Andersen, 1995)。高齡者人為氣候變化的高危險群，原因是因高齡者感受能力差，對高溫的判斷不敏感。本來中暑的最早症狀是大量出汗、心煩、口渴、疲倦，繼之體溫升高、頭暈、嘔吐、下肢肌肉痙攣。但是，有些高齡者因感受能力遲鈍，尚未察覺到中暑初期症狀時，就已出現了虛脫，甚至昏迷。此時體溫的升

高超過了人體散熱的能力，腦細胞受累並可能永久受損，短時間內可能危及生命。許多高齡者慢性病症對氣象變化都非常敏感。

2-2 照護空間環境現況

依據 IAQ 室內空氣品質控制程序，室內污染物必須藉由引入新鮮外氣，加以稀釋擴散，增加通風，調整人員對溫熱環境的不滿意度。Serra(1995)的研究報告得知當氣溫較高或較低時，其波動對人體的熱平衡和溫熱感就變得非常重要，濕度高低影響人體皮膚表面水份蒸發速度快慢，亦關係到人體的熱量代謝和水鹽代謝的速率；當空氣所含有的水汽量越少時，人體的水分便能釋放至空氣中，反之亦然。相對濕度在 75~80% 以上為高濕，小於 30% 為低濕，最適宜人體的相對濕度為 40~60% (Lowry, 2001)。氣溫本身也會影響空氣中的水含量，溫度越高所能含容的水汽量越多。濕度高低影響體溫散熱的速度，而產生舒適與否的感覺。高溫時濕熱的空氣會阻礙汗水的蒸發，增加中暑的機會。

本研究運用室內舒適度儀，偵測室內溫度與濕度變化，實測之歷時紀錄，如圖 3 所示。結果顯示，夏季室內相對濕度達到 92.5%，溫度自早上十點到下午四點平均溫度為 31°C，會讓高齡者感到不舒適。然則，長期調查結果顯示：中區某老人之家，於夏季室內高溫均達 30°C 以上。由於相關經費限制以及節能之要求，無法以設備來改善室內空間的熱環境。因此，夏季時，許多老人家選擇在室外樹蔭或廊道旁乘涼，原因是室外比室內舒適，這樣的情景，不符合我們給老人家生活品質的期待。

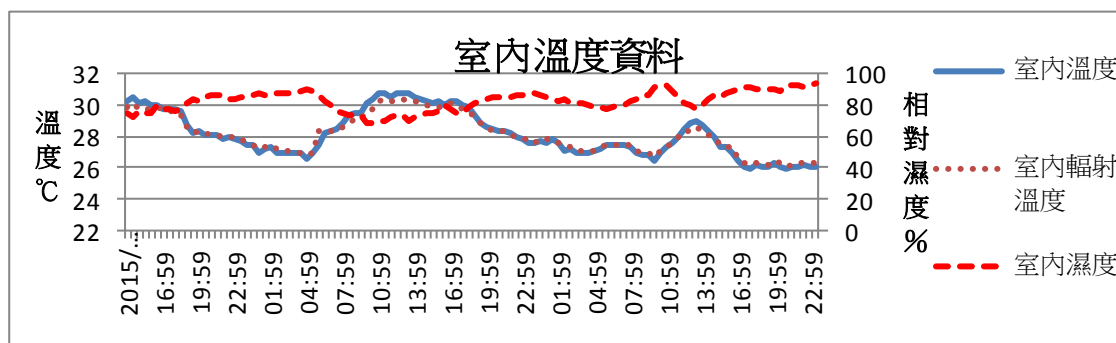


圖 3:改善前室內的熱環境

三、研究設計

氣候由許多要素組合而成，要了解氣候對健康的影響，不能從單一因素如氣溫來討論對人體舒適與否。例如有時氣溫就不見得很高，但是仍然感覺氣候造成身體的不舒適，其原因是什麼？影響人體舒適或不舒適的氣候要素相當多，主要的是輻射、氣溫、氣壓、溼度和風速。其中輻射與氣溫有密切關係，氣壓又影響到風速，氣溫也與氣壓和溼度有關 (Munn, 1970)。正因為所有要素之間關係錯綜複雜，彼此影響，所以氣候學者設計了不少氣候感覺指數，來表示人體對氣候

感覺舒適或不舒適的程度。

若實際環境溫度為 32°C (89.6°F)，相對溼度為20%，則不舒適指數為76；若實際環境溫度為 25°C (77°F)，相對溼度為90%，其不舒適指數亦為76。不舒適指數等於76，是代表我們皮膚感覺到的溫度為 76°F ，相當於 24.5°C 。由此可知，我們身體感覺的溫度與實際環境溫度不一樣。不同的相對溼度下，人體感覺的溫度與環境的實際溫度有其差異性，圖4 (姜善鑫，1987)。

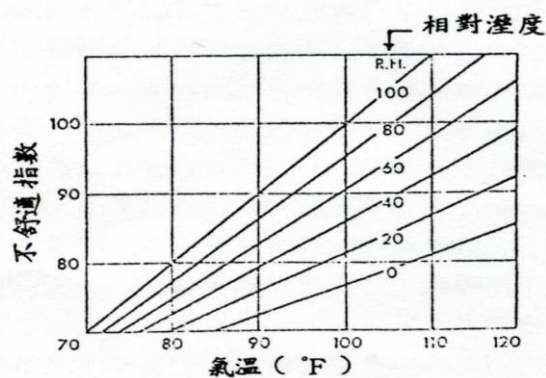


圖4: 不舒適指數圖(資料來源：姜善鑫 (1987))

根據調查研究結果，不舒適指數反應身體感覺的溫度，不舒適指數在70以下，沒有人感覺不舒服；不舒適指數大於80，大部分人感覺不舒服；若不舒適指數大於85，這時所有的人都會感覺到熱的壓迫應力，表2 (姜善鑫，1987)。

表2: 不舒適指數與身體感覺對照表

不舒適指數	身體感覺
<70	沒有人感覺不舒服
70~75	少部分人感覺不舒服
75	50%感覺不舒服
80	大部分人感覺不舒服
>85	感覺熱的壓迫應力
>85	U.S. 停止上班上課
92	世界紀錄 (Yuma, Arizona, U.S., 1957)

資料來源：姜善鑫 (1987)

本研究運用問卷調查，實際探討某老人之家庭住戶們，對於照護空間之環境變化知覺，包括：舒適度與熱感知溫度、濕度。同時，將依據此問卷結果，針對老舊熱泵熱水系統改善工程，提出新型技術藉以改善照護空間之環境。

3-1、研究對象與問卷設計

本研究主要針對某老人之家，居住老人進行室內熱舒適的問卷調查，探討熱舒適知覺對於其戶內外行為的影響。問卷調查內容包括老人之家居住老人對戶內外環境的熱舒適行為認知(溫度、濕度等)、採用Likert七點尺度，問卷基本資料，包含性別、年齡、教育程度、職業等，詳細調查方式。

本研究問卷之設計，乃根據相關文獻探討、專家學者意見及研究需要而定。問卷設計分為二大部分，第一部分受訪者為某老人之家，居住老人之基本資料，包含性別、年齡、職業及教育程度等。第二部分問卷調查量表包含戶內外環境變

化知覺(舒適度與熱感知(溫度))、分別採用李克特 (Likert)式七點尺度計分，依「非常同意」、「同意」、「稍微同意」、「普通」、「稍不同意」、「不同意」、「非常不同意」的七個連續選項，每題分別給予7至1分，由某老人之家居住老人依其實際感受程度予以勾選，得分越高，表示某老人之家居住老人對環境變化知覺(舒適度與熱感知溫度、濕度)、認同程度越高，反之則認同程度越低。

3-2問卷資料分析方法

本研究使用Excel及SPSS 20.0為問卷調查資料之分析工具，所採用的統計分析方法為描述性統計分析(Descriptive statistics analysis)：

描述性統計是一套用以整理、描述、解釋資料的統計技術與方法，有助於數量龐大的資料呈現與解釋。本研究之描述性統計包含受測者的基本資料與實測數據兩大項，前項包含性別、年齡、職業及教育程度等之次數分配狀況，後項包含空氣溫度、相對濕度、黑球溫度、風速、表面溫度等資料之最大值、最小值、平均值、標準差及排序的資料呈現。

依據美國氣象學會1995年出版之氣象詞彙定義：不舒適指數(Discomfort Index)是以溫度與相對濕度為因子，計算在不同溫度及相對濕度值中，皮膚感覺空氣中濕度的指數；不舒適指數又名溫溼指數 (temperature-humidity index)、氣候壓力指數 (the weather stress index) 等。其公式為：

$$D.I. = T - 0.55 (1 - 100R.H.) (T - 58) \quad (1)$$

式中：

T 是氣溫 (°F)， $R.H.$ 是相對溼度 (AMS, 1995)。

四、研究結果

4-1問卷資料分析

本研究針對受訪者，進行住民對老人之家環境熱舒適變化知覺之問卷，共發放60份問卷，回收有效問卷40份。調查之基本資料，包含性別、年齡、教育程度、職業等。本問卷調查研究樣本之相關統計變項分析結果，如表3所示。分析結果如下：在性別方面，男性佔45%，女性佔55%，女性樣本比例略高於男性；在年齡方面，71-75歲的族群佔35%，76-80歲佔42%，另外為81歲以上佔22%；在學歷方面，以國初中及高中(職)學歷居多佔65%；在職業方面，以從事商業佔35%及家管佔20%者較多，其餘依序為工人佔15%、警察佔10%、公教人員佔7.5%、農林漁牧佔2.5%、服務業佔2.5%、其他佔5.0%；居住在老人之家的時間，以居住達三年以上佔47.5%最多，其次是居住時間二年佔27.5%，居住時間一年佔25.0%。

經問卷調查資料發現，教育程度會影響老人對環境舒適度的要求，教育程度較高之老人，會希望相關單位透過增設設備與設施改善環境，以達到更舒適的居住環境與空間；然而教育程度較低的老人家，則對於居住現況滿意度高。

表3:居住樣本之基本資料統計分析結果

變項	項目	人數	百分比(%)	
性別	男	18	45.0	
	女	22	55.0	
年齡	71-75 歲	14	35.0	
	76-80 歲	17	42.0	
	81 歲以上	9	22.0	
	國小以下	8	20.0	
教育程度	國(初)中	15	37.5	
	高中(職)	11	27.5	
	大學	2	5.0	
	無	4	10.0	
	農林漁牧	1	2.5	
職業	商	14	35.0	
	工	6	15.0	
	服務業	1	2.5	
	家管	8	20.0	
	警察	4	10.0	
	軍	1	2.5	
	公教	3	7.5	
	其他	2	5.0	
	居住時間	一年	10	25.0
		二年	11	27.5
三年		19	47.5	
以前居住地區	彰化縣	12	30.0	
	台中市	18	45.0	
	南投	8	20.0	
	北部	1	2.5	
	其他	1	2.5	

資料來源：本研究整理

由問卷之構面分析結果，如表 4 所示，瞭解高齡居住者，對於居住環境體會的差異。從不同構面來探討分析結果：對於居住環境通風男生跟女生均顯示是滿意，其次是空氣品質及溫度，然而對居住環境之濕度及氣候，則顯示並不滿意。

表 4:高齡者對於環境影響體會有所不同

構面	性別	平均值	標準差	排序
田中老人之家居住環境通風如何	男生	6.06	0.41	1
	女生	6.00	0.30	1
自覺田中老人之家居住環境空氣品質如何	男生	5.89	0.96	3
	女生	6.00	0.30	1
您自覺田中老人之家居住環境溫度如何	男生	5.94	0.53	2
	女生	5.86	0.35	3
您自覺田中老人之家居住環境濕度如何	男生	5.44	1.14	8
	女生	5.64	0.65	5
您自覺田中老人之家氣候如何	男生	5.61	0.77	7
	女生	5.91	0.42	2
您自覺田中老人之家舒適度如何	男生	5.78	0.64	5
	女生	5.59	0.59	6

資料來源：本研究整理

4-2 改善技術與方法

熱泵的工作原理：熱泵是把環境中的熱空氣吸進來燒熱水，而把製熱過程所產生的冷空氣排出去。冷媒原本是冷的，透過蒸發器吸收了空氣中大量的熱氣，變成高溫的冷媒，再經過壓縮機的壓縮，變成高溫高壓的冷媒，再流過熱交換器，把熱量傳給冷水，冷水就被燒成熱水了，高溫高壓的冷媒把熱傳給冷水後，又回復成低溫低壓的冷媒，就這樣反覆循環的工作，把冷水加熱成熱水。因此，天氣

溫度越高，燒熱水速度越快，熱泵越省電。熱泵與冷氣的差別：原理相同，用途相反，熱泵要製熱排冷，冷氣要製冷排熱。本研究運用內政部建築研究所補助改善老舊設備之計畫，進行相關設備之改善，改善之照片，如照片 1 所示。



照片 1:新型熱泵系統安裝

本研究之相關設備，已通過 TAB 測試，並藉由經安裝於室內之熱源及冷源交換系統，以改善照護空間之室內溫度與濕度環境。本研究主要藉由室內安裝熱泵系統設備，將熱空氣吸進來利用來改善室內濕度溫度。本次實驗天氣與改善錢之天氣型態是典型的台灣夏季氣候，實驗結果如圖 5 所示。由此實驗之歷時資料可知，室內溫度，於最熱情況下降低 3°C，已符合舒適的溫度範圍，相對濕度值，則降低至 55%~65%，已在符合舒適範圍內。不同的相對濕度下，人體感覺的溫度與環境的實際溫度有其差異性，高溫高濕影響人體汗液的蒸發，身體的熱平衡受到破壞，因此人體會感到悶熱不適，隨著溫度的升高，這種情況將更趨明顯，當相對濕度在 40~60%時，感到舒適，若濕度值越高，則表示會越來越熱，反之，則越來越冷。由本實驗結果，可知熱泵系統對於室內環境確實具有改善之效益。

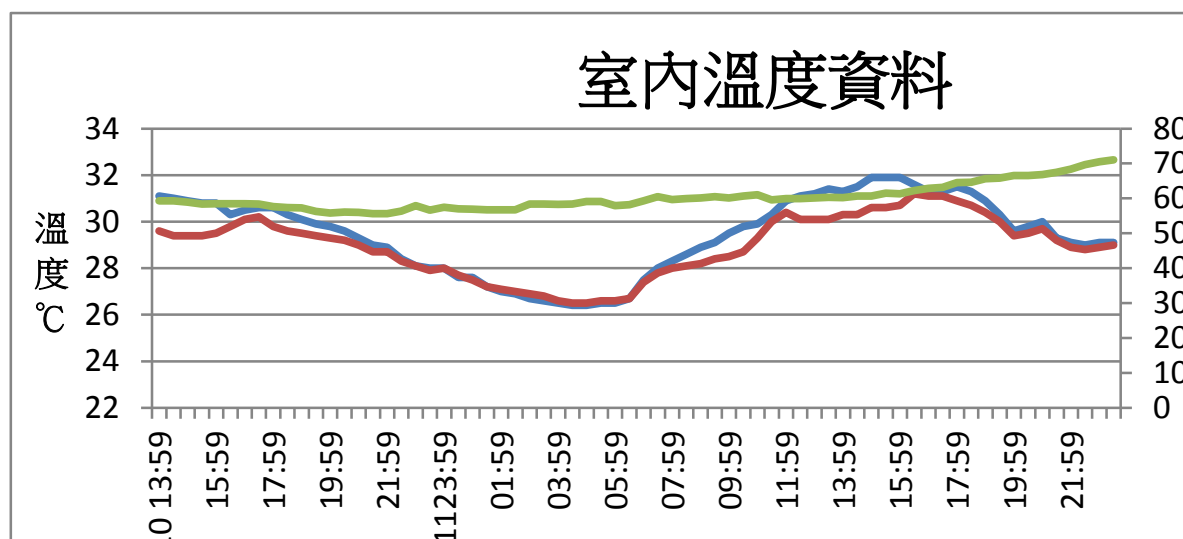


圖 5:改善後之室內的熱環境

五、結論

人體舒適度是測量人體置身於大自然或在室外環境當中的舒適程度，身體熱能舒適程度屬高度主觀的感覺，除取決於個人對冷熱的喜惡，也綜合了身體內在及外在熱能儲存量多寡及現在的環境條件下的溫度感受，其基本考量因素為生理狀況與外界環境的感觀刺激。

現今社會中，社會大眾多能關心高齡者的教養與福利，卻由於不甚了解高齡者的身心特質與特殊需求，高齡化，是社會中擋不住的趨勢。人口高齡化，意味著退休後的老年生活在每個人人生中所佔的比重大幅提高；子女和老年父母相處、或照顧老人的時間也延長了許多。老年人為氣候變化的高危險群，希望透過設備，能使舊有設備達到更好的效益，並有效改善老人之家的熱環境條件，原因是因老年人感受能力差隨著氣象氣候境變化，體內某些變化也相對劇烈，所以希望可以提供一個穩定的熱環境。

參考文獻

ASHRAE, ASHRAE, Thermal Comfort, ASHRAE handbook Fundamental, ASHRAE(1997).

林敏哲，1993〈老人生活空間開發規劃座談會〉，《空間》，50期，

姜善鑫（1987）。「氣候與健康」，科學月刊，18(4)。

內政部「中華民國人口統計年刊」

朝陽科技大學 環境工程與管理系 熱舒適度之探討 蘇俊榮