

易構住宅室內環境性能之驗證研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 100 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)

(國科會 GRB 編號)

PG10001-0187

易構住宅室內環境性能之驗證研究

受委託者：國立台灣科技大學

研究主持人：林怡均教授

協同主持人：鄭明淵教授

研究助理：張又文、林志龍、林敬哲

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 100 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

表次	III
圖次	VI
摘要	XIII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究目的	2
第三節 研究內容	2
第四節 研究進度	3
第二章 文獻探討	5
第三章 驗證與規劃易構住宅室內節能監控資料與環境調控機制	21
第一節 RFID 感測器量測點位置探討	21
第二節 易構住宅室內環境性能驗證	30
第三節 太陽輻射對室內環境性能影響	169
第四章 維護易構住宅室內環境調控設備	189
第一節 環控記錄設備維護	189
第二節 能源記錄設備維護	190
第三節 溫濕度記錄器設備維護	193
第四節 地中管系統維護	193
第五章 結論與建議	197

第一節 結論	197
第二節 建議	199
參考文獻	201
附錄一 審查會議記錄與意見回覆	203
一、 委託研究計畫採購評選委員會會議記錄與意見回覆	203
二、 期中審期會議記錄與意見回覆	207
三、 期末審查會議記錄與意見回覆	217
附錄二 勘查智慧電錶	226
附錄三 智慧電錶及斷路器安裝	228
附錄四 印尼學者參訪	231

表次

表 2-1 自然通風設計建築案例.....	9
表 2-2 地中管應用案例.....	14
表 3-1 設備耗能分類表.....	21
表 3-2 地中管系統量測點分布位置.....	23
表 3-3 地中管豎井(2)資料總表.....	24
表 3-4 DICKSON TK550 維修紀錄表.....	30
表 3-5 室內無居住者時系統開啟條件表(T 為溫度°C).....	31
表 3-6 根據易構住宅當地條件所設計之開啟機制表(TIN 表室內溫度).....	32
表 3-7 地中管系統與室內空調設備之搭配機制.....	33
表 3-8 開啟單一及兩種環控設備之實驗列表.....	37
表 3-9 2010/09/28 1F 客廳遮陽板使用機制表.....	40
表 3-10 2010/09/28 EAG HOUSE 1F 客廳遮陽板使用基本耗電量.....	41
表 3-11 2010/10/02 1F 客廳遮陽板使用機制表.....	44
表 3-12 2010/10/02 EAG HOUSE 1F 客廳遮陽板使用基本耗電量.....	44
表 3-13 2010 年四季變化與太陽照射角度.....	45
表 3-14 2010/12/13 1F 客廳遮陽板使用機制表.....	49
表 3-15 2010/12/13 EAG HOUSE 使用 1F 客廳遮陽板基本耗電量.....	49
表 3-16 2011/01/01 1F 客廳遮陽板使用機制表.....	51
表 3-17 2011/01/01 EAG HOUSE 使用 1F 客廳遮陽板基本耗電量.....	52
表 3-18 2011/04/10 1F 客廳遮陽板使用機制表.....	54
表 3-19 2011/04/10 EAG HOUSE 使用 1F 客廳遮陽板基本耗電量.....	55
表 3-20 2011/04/24 1F 客廳遮陽板使用機制表.....	57
表 3-21 2011/04/24 EAG HOUSE 使用 1F 客廳遮陽板基本耗電量.....	57
表 3-22 2011/07/18 1F 客廳遮陽板使用機制表.....	59
表 3-23 2011/07/18 EAG HOUSE 使用 1F 客廳遮陽板基本耗電量.....	60
表 3-24 2011/09/03 1F 客廳遮陽板使用機制表.....	62
表 3-25 2011/09/03 EAG HOUSE 使用 1F 客廳遮陽板基本耗電量.....	62
表 3-26 2010/10/10 1F 客廳窗戶開啟機制表.....	64
表 3-27 2010/10/10 EAG HOUSE 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量.....	65
表 3-28 2010/11/27 1F 客廳窗戶開啟機制表.....	67
表 3-29 2010/11/27 EAG HOUSE 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量.....	67
表 3-30 2010/12/05 1F 客廳窗戶開啟機制表.....	70
表 3-31 2010/12/05 EAG HOUSE 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量.....	70
表 3-32 2010/12/12 1F 客廳窗戶開啟機制表.....	72
表 3-33 2010/12/12 EAG HOUSE 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量.....	73
表 3-34 2011/03/21 1F 客廳窗戶開啟機制表.....	75
表 3-35 2011/03/21 EAG HOUSE 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量.....	76

表 3-36	2011/04/02 1F 客廳窗戶開啟機制表.....	78
表 3-37	2011/04/02 EAG HOUSE 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量.....	78
表 3-38	2011/07/24 1F 客廳窗戶開啟機制表.....	80
表 3-39	2011/07/24 EAG HOUSE 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量.....	81
表 3-40	2011/07/31 1F 客廳窗戶開啟機制表.....	83
表 3-41	2011/07/31 EAG HOUSE 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量.....	83
表 3-42	2011/11/07 1F 客廳地中管風扇開啟機制表.....	86
表 3-43	2010/11/07 EAG HOUSE 1F 客廳地中管風扇開啟基本耗電量.....	86
表 3-44	2010/11/24 1F 客廳地中管風扇開啟機制表.....	91
表 3-45	2010/11/24 EAG HOUSE 1F 客廳地中管風扇開啟基本耗電量.....	91
表 3-46	2010/12/16 1F 客廳地中管風扇開啟機制表.....	95
表 3-47	2010/12/16 EAG HOUSE 1F 客廳地中管風扇開啟基本耗電量.....	96
表 3-48	2010/12/25 1F 客廳地中管風扇開啟機制表.....	100
表 3-49	2010/12/25 EAG HOUSE 開啟 1F 客廳地中管風扇基本耗電量.....	101
表 3-50	2011/03/05 1F 客廳地中管風扇開啟機制表.....	105
表 3-51	2011/03/05 EAG HOUSE 開啟 1F 客廳地中管風扇基本耗電量.....	105
表 3-52	2011/03/09 1F 客廳地中管風扇開啟機制表.....	109
表 3-53	2011/03/09 EAG HOUSE 開啟 1F 客廳地中管風扇基本耗電量.....	110
表 3-54	2011/08/24 1F 客廳地中管風扇開啟機制表.....	114
表 3-55	2011/08/24 EAG HOUSE 開啟 1F 客廳地中管風扇基本耗電量.....	115
表 3-56	2011/08/31 1F 客廳地中管風扇開啟機制表.....	119
表 3-57	2011/08/31 EAG HOUSE 開啟 1F 客廳地中管風扇基本耗電量.....	120
表 3-58	2010/10/11 梯間太陽煙囪風扇開啟機制表.....	125
表 3-59	2010/10/11 EAG HOUSE 梯間太陽煙囪風扇開啟基本耗電量.....	125
表 3-60	2010/11/28 梯間太陽煙囪風扇開啟機制表.....	128
表 3-61	2010/11/28 EAG HOUSE 梯間太陽煙囪風扇開啟基本耗電量.....	129
表 3-62	2010/12/04 梯間太陽煙囪風扇開啟機制表.....	131
表 3-63	2010/12/04 EAG HOUSE 梯間太陽煙囪風扇開啟基本耗電量.....	132
表 3-64	2011/03/19 梯間太陽煙囪風扇開啟機制表.....	135
表 3-65	2011/03/19 EAG HOUSE 梯間太陽煙囪風扇開啟基本耗電量.....	135
表 3-66	2011/04/09 太陽煙囪梯間風扇開啟機制表.....	138
表 3-67	2011/04/09 EAG HOUSE 梯間太陽煙囪風扇開啟基本耗電量.....	138
表 3-68	2011/08/29 太陽煙囪風扇(梯間)開啟機制表.....	141
表 3-69	2011/08/29 EAG HOUSE 太陽煙囪風扇(梯間)開啟基本耗電量.....	141
表 3-70	2011/09/04 太陽煙囪風扇(梯間)開啟機制表.....	144
表 3-71	2011/09/04 EAG HOUSE 太陽煙囪風扇(梯間)開啟基本耗電量.....	144
表 3-72	2011/07/02 1F 客廳空調開啟機制表.....	147
表 3-73	2011/07/02 EAG HOUSE 開啟 1F 客廳空調基本耗電量.....	148
表 3-74	2011/07/09 1F 客廳空調開啟機制表.....	150

表 3-75	2011/07/09 EAG House 開啟 1F 客廳空調基本耗電量.....	151
表 3-76	2011/08/28 1F 客廳地中管風扇與地中管壓縮機開啟機制表.....	154
表 3-77	2011/08/28 EAG House 開啟 1F 客廳地中管風扇與地中管壓縮機基本耗電量	155
表 3-78	2011/08/30 1F 客廳地中管風扇與地中管壓縮機開啟機制表.....	159
表 3-79	2011/08/30 EAG House 開啟 1F 客廳地中管風扇與地中管壓縮機基本耗電量	160
表 3-80	太陽輻射資料總表	173
表 4-1	數位電錶勘查前結果	190
表 4-2	數位電錶勘查後結果	191
表 4-3	DICKSION TK550 維修紀錄	193

圖次

圖 1-1 易構住宅實體展示屋	2
圖 2-1 ENERGYPLUS 模擬目標建築物立體圖	6
圖 2-2 TROMBE WALL 與太陽煙囪結合之設置圖	7
圖 2-3 實地量測建築之時實體照片	8
圖 2-4 辛巴威東門中心實體照片	9
圖 2-5 白蟻窩示意圖	10
圖 2-6 英國倫敦, 保得利大廈實體照片	10
圖 2-7 英國倫敦, SSEES 實體照片	11
圖 2-8 英國倫敦 SSEES, 由中央天井向下俯瞰	12
圖 2-9 台灣國立成功大學綠色魔法學校	12
圖 2-10 台灣國立成功大學綠色魔法學校外觀模型圖	13
圖 2-11 加拿大 EARTH RANGERS CENTRE 實照	15
圖 2-12 加拿大 EARTH RANGERS CENTRE 地中管俯瞰圖	15
圖 2-13 法國 LA TOUR DE SALVAGNY, 小學實照	16
圖 2-14 法國 LA TOUR DE SALVAGNY, 小學地中管施工情形	16
圖 2-15 法國 LA TOUR DE SALVAGNY, 小學的通風系統, 左圖為教室地板出風口位置, 右圖為通風處理中心	17
圖 2-16 德國 DARMSTADT, 被動式建築實照	17
圖 2-17 德國 DARMSTADT, 被動式建築省能機制	18
圖 2-18 英國 LUTON, BUTTERFIELD 辦事處的實照	19
圖 2-19 英國 LUTON, BUTTERFIELD 辦事處的窗戶, 上下部分為可以獨立旋轉的窗戶與百葉窗簾	19
圖 2-20 英國 LUTON, BUTTERFIELD 辦事處的地中管施工情形, 管長共 900 M, 埋於地下 2 M, 溫度約保持在 13°C	20
圖 3-1 地中管 SENSOR 設置位置自由體圖	22
圖 3-2 地中管豎井(2)垂直溫度分佈 (2010.9.11)	24
圖 3-3 地中管豎井(2)垂直濕度分佈 (2010.9.11)	25
圖 3-4 地中管豎井(2)垂直溫度分佈 (2010.9.13)	25
圖 3-5 地中管豎井(2)垂直濕度分佈 (2010.9.13)	26
圖 3-6 地中管豎井(2)垂直溫度分佈, 平均輻射量為 214 W/M ² (2010.10.10)	27
圖 3-7 地中管豎井(2)垂直濕度分佈 (2010.10.10)	27
圖 3-8 地中管豎井(2)垂直溫度分佈, 平均輻射量為 301 W/M ² (2010.10.11)	28
圖 3-9 地中管豎井(2)垂直濕度分佈 (2010.10.11)	28
圖 3-10 地中管豎井(2)垂直溫度分佈, 平均輻射量為 472 W/M ² (2010.10.12)	29
圖 3-11 地中管豎井(2)垂直濕度分佈 (2010.10.12)	29
圖 3-12 室內無居住者時, 以室內溫度為開啟條件圖	33
圖 3-13 室內無居住者時, 以室外溫度為開啟條件圖	34
圖 3-14 室內有居住者時, 以室內溫度為開啟條件圖	34
圖 3-15 室內有居住者時, 以室外溫度為開啟條件圖	35

圖 3-16	易構住宅建設地點與志清國小相對位置圖, 星形為志清國小、黑色圓點為易構住宅	35
圖 3-17	易構住宅建設地點與台灣大學大氣系相對位置圖, 正方形為台灣大學大氣系、黑色圓點為易構住宅	36
圖 3-18	易構住宅 1 樓平面圖	38
圖 3-19	易構住宅 2 樓平面圖	38
圖 3-20	易構住宅 3 樓平面圖	39
圖 3-21	易構住宅 4 樓平面圖	39
圖 3-22	2010 年 9 月 28 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射量強度圖	41
圖 3-23	2010 年 9 月 28 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	42
圖 3-24	2010 年 10 月 2 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射量強度圖	46
圖 3-25	2010 年 10 月 2 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	46
圖 3-26	2010 年春分 12:00 的太陽位置圖, θ 為太陽方位角、 ψ 為太陽仰角	47
圖 3-27	2010 年夏至 12:00 的太陽位置圖, θ 為太陽方位角、 ψ 為太陽仰角	47
圖 3-28	2010 年秋分 12:00 的太陽位置圖, θ 為太陽方位角、 ψ 為太陽仰角	48
圖 3-29	2010 年冬至 12:00 的太陽位置圖, θ 為太陽方位角、 ψ 為太陽仰角	48
圖 3-30	2010 年 12 月 13 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射量強度圖	50
圖 3-31	2010 年 12 月 13 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	50
圖 3-32	2011 年 1 月 1 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射量強度圖	53
圖 3-33	2011 年 1 月 1 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	53
圖 3-34	2011 年 4 月 10 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射量強度圖	55
圖 3-35	2011 年 4 月 10 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	56
圖 3-36	2011 年 4 月 24 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射量強度圖	58
圖 3-37	2011 年 4 月 24 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	58
圖 3-38	2011 年 7 月 18 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射強度圖	60
圖 3-39	2011 年 7 月 18 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2 樓	61
圖 3-40	2011 年 9 月 3 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射強度圖	63
圖 3-41	2011 年 9 月 3 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2 樓	63
圖 3-42	2010 年 10 月 10 日(開啟 1F 客廳窗戶):太陽輻射量強度圖	65
圖 3-43	2010 年 10 月 10 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	66
圖 3-44	2010 年 11 月 27 日(開啟 1F 客廳窗戶):太陽輻射量強度圖	68
圖 3-45	2010 年 11 月 27 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	68
圖 3-46	2010 年 12 月 5 日(開啟 1F 客廳窗戶):太陽輻射量強度圖	71
圖 3-47	2010 年 12 月 5 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	71
圖 3-48	2010 年 12 月 12 日(開啟 1F 客廳窗戶):太陽輻射量強度圖	74
圖 3-49	2010 年 12 月 12 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	74
圖 3-50	2011 年 3 月 21 日(開啟 1F 客廳窗戶):太陽輻射量強度圖	76
圖 3-51	2011 年 3 月 21 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	77
圖 3-52	2011 年 4 月 2 日(開啟 1F 客廳窗戶):太陽輻射量強度圖	79
圖 3-53	2011 年 4 月 2 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	79

圖 3-54	2011 年 7 月 24 日(客廳使用自然通風):太陽輻射量強度圖.....	81
圖 3-55	2011 年 7 月 24 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖.....	82
圖 3-56	2011 年 7 月 31 日(客廳使用自然通風):太陽輻射量強度圖.....	84
圖 3-57	2011 年 7 月 31 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖.....	84
圖 3-58	2010 年 11 月 7 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖.....	87
圖 3-59	2010 年 11 月 7 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖.....	87
圖 3-60	2010 年 11 月 7 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖.....	88
圖 3-61	2010 年 11 月 7 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖.....	88
圖 3-62	2010 年 11 月 7 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準.....	89
圖 3-63	2010 年 11 月 7 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管風扇每小時平均能源消耗圖.....	89
圖 3-64	2010 年 11 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖.....	92
圖 3-65	2010 年 11 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖.....	92
圖 3-66	2010 年 11 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖.....	93
圖 3-67	2010 年 11 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖.....	93
圖 3-68	2010 年 11 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準.....	94
圖 3-69	2010 年 12 月 16 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖.....	96
圖 3-70	2010 年 12 月 16 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖.....	97
圖 3-71	2010 年 12 月 16 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖.....	97
圖 3-72	2010 年 12 月 16 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖.....	98
圖 3-73	2010 年 12 月 16 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準.....	98
圖 3-74	2010 年 12 月 16 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管風扇每小時平均能源消耗圖.....	99
圖 3-75	2010 年 12 月 25 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖.....	101
圖 3-76	2010 年 12 月 25 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖.....	102
圖 3-77	2010 年 12 月 25 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖.....	102
圖 3-78	2010 年 12 月 25 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖.....	103
圖 3-79	2010 年 12 月 25 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準.....	103
圖 3-80	2011 年 3 月 5 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖.....	106
圖 3-81	2011 年 3 月 5 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖.....	106
圖 3-82	2011 年 3 月 5 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖.....	107
圖 3-83	2011 年 3 月 5 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖.....	107

圖 3-84	2011 年 3 月 5 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準	108
圖 3-85	2011 年 3 月 9 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖	110
圖 3-86	2011 年 3 月 9 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	111
圖 3-87	2011 年 3 月 9 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖	111
圖 3-88	2011 年 3 月 9 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖	112
圖 3-89	2011 年 3 月 9 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準	112
圖 3-90	2011 年 3 月 9 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管風扇每小時平均能源消耗圖	113
圖 3-91	2011 年 08 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖	115
圖 3-92	2011 年 08 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	116
圖 3-93	2011 年 08 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖	116
圖 3-94	2011 年 08 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖	117
圖 3-95	2011 年 08 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準	117
圖 3-96	2011 年 08 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管風扇每小時平均能源消耗圖	118
圖 3-97	2011 年 08 月 31 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖	120
圖 3-98	2011 年 08 月 31 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	121
圖 3-99	2011 年 08 月 31 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖	121
圖 3-100	2011 年 08 月 31 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖	122
圖 3-101	2011 年 08 月 31 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準	122
圖 3-102	2011 年 08 月 31 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管風扇每小時平均能源消耗圖	123
圖 3-103	2010 年 10 月 11 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽輻射量強度圖	126
圖 3-104	2010 年 10 月 11 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	126
圖 3-105	太陽煙囪室內 RFID 量測點相對位置圖	127
圖 3-106	2010 年 10 月 11 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽煙囪室內垂直高度溫度變化圖	127
圖 3-107	2010 年 11 月 28 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽輻射量強度圖	129
圖 3-108	2010 年 11 月 28 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	130
圖 3-109	2010 年 11 月 28 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽煙囪室內垂直高度溫度變化圖	130
圖 3-110	2010 年 12 月 4 日(開啟太陽煙囪風扇(梯間)):太陽輻射量強度圖	132
圖 3-111	2010 年 12 月 4 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	133
圖 3-112	2010 年 12 月 4 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽煙囪室內垂直高度溫度變化圖	133
圖 3-113	2011 年 3 月 19 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽輻射量強度圖	136

圖 3-114	2011 年 3 月 19 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	136
圖 3-115	2011 年 3 月 19 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽煙囪室內垂直高度溫度變化圖.....	137
圖 3-116	2011 年 4 月 9 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽輻射量強度圖.....	139
圖 3-117	2011 年 4 月 9 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	139
圖 3-118	2011 年 4 月 9 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽煙囪室內垂直高度溫度變化圖.....	140
圖 3-119	2011 年 8 月 29 日(開啟太陽煙囪風扇):太陽輻射強度圖.....	142
圖 3-120	2011 年 8 月 29 日(開啟太陽煙囪風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	142
圖 3-121	2010 年 8 月 29 日(開啟太陽煙囪風扇):太陽煙囪室內垂直高度變化圖.....	143
圖 3-122	2011 年 9 月 4 日(開啟太陽煙囪風扇):太陽輻射強度圖.....	145
圖 3-123	2011 年 9 月 4 日(開啟太陽煙囪風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	145
圖 3-124	2011 年 9 月 4 日(開啟太陽煙囪風扇):太陽煙囪室內垂直高度變化圖.....	146
圖 3-125	2011 年 07 月 02 日(開啟 1F 客廳空調):太陽輻射量強度圖	148
圖 3-126	2011 年 07 月 02 日(開啟 1F 客廳空調):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	149
圖 3-127	2011 年 07 月 02 日(開啟 1F 客廳空調):1F 客廳空調每小時能源消耗圖	149
圖 3-128	2011 年 07 月 09 日(開啟 1F 客廳空調):太陽輻射量強度圖	151
圖 3-129	2011 年 07 月 09 日(開啟 1F 客廳空調):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	152
圖 3-130	2011 年 07 月 09 日(開啟 1F 客廳空調):1F 客廳空調每小時能源消耗圖	152
圖 3-131	2011 年 08 月 28 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):太陽輻射量強度圖.....	155
圖 3-132	2011 年 08 月 28 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	156
圖 3-133	2011 年 08 月 28 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):地中管系統內空氣變化圖.....	156
圖 3-134	2011 年 08 月 28 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):地中管系統豎井(2)內溫度分布圖	157
圖 3-135	2011 年 08 月 28 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):地中管系統內不同位置圖的溫差圖,以地中管入風口溫度為基準	157
圖 3-136	2011 年 08 月 28 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):地中管風扇與地中管壓縮機每小時能源消耗圖	158
圖 3-137	2011 年 08 月 30 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):太陽輻射量強度圖.....	160
圖 3-138	2011 年 08 月 30 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖	161
圖 3-139	2011 年 08 月 30 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):地中管系統內空氣變化圖.....	161
圖 3-140	2011 年 08 月 30 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):地中管系統豎井(2)內溫度分布圖	162
圖 3-141	2011 年 08 月 30 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):地中管系統內不同位置圖的溫差	

圖	，以地中管入風口溫度為基準	162
圖 3-142	2011 年 08 月 30 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機)：地中管風扇與地中管壓縮機每小時能源消耗圖	163
圖 3-143	(使用 1F 客廳遮陽板):不同季節的能源消耗和南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房平均溫差比較圖	164
圖 3-144	(開啟梯間太陽煙囪風扇):不同季節的能源消耗和南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房平均溫差比較圖	165
圖 3-145	(開啟 1F 客廳窗戶):不同季節的能源消耗和南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房平均溫差比較圖	166
圖 3-146	(開啟 1F 客廳地中管風扇):不同季節的能源消耗和南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房平均溫差比較圖	167
圖 3-147	易構住宅二樓北側房間(西)熱電偶架設圖	170
圖 3-148	易構住宅二樓北側房間(西)，房間中央為熱像儀放置點，綠點為 RFID 感測器放置點，黃色為熱電偶放置點，藍色代表玻璃。	171
圖 3-149	2010 年 11 月 09 日太陽輻射量強度圖，平均太陽輻射為 299 W/M^2	174
圖 3-150	二樓北側房間(西)，西面玻璃與鋁框溫度變化(2010.11.09)	174
圖 3-151	二樓北側房間(西)，南面玻璃與鋁框溫度變化(2010.11.09)	175
圖 3-152	二樓北側房間(西)，南面玻璃與相同高度牆壁溫度變化(2010.11.09)	175
圖 3-153	TMOTE SKY 量測二樓北側房間(西) 溫、濕度變化(2010.11.09).....	176
圖 3-154	2010 年 11 月 10 日太陽輻射量強度圖，平均太陽輻射為 369 W/M^2	177
圖 3-155	二樓北側房間(西)，西面玻璃與鋁框溫度變化(2010.11.10)	177
圖 3-156	二樓北側房間(西)，南面玻璃與鋁框溫度變化(2010.11.10)	178
圖 3-157	二樓北側房間(西)，南面玻璃與相同高度牆壁溫度變化(2010.11.10)	178
圖 3-158	TMOTE SKY 量測二樓北側房間(西) 溫、濕度變化(2010.11.10).....	179
圖 3-159	2010 年 11 月 11 日太陽輻射量強度圖，平均太陽輻射為 359 W/M^2	180
圖 3-160	二樓北側房間(西)，西面玻璃與鋁框溫度變化(2010.11.11)	181
圖 3-161	二樓北側房間(西)，南面玻璃與鋁框溫度變化(2010.11.11)	181
圖 3-162	二樓北側房間(西)，南面玻璃與相同高度牆壁溫度變化(2010.11.11)	182
圖 3-163	TMOTE SKY 量測二樓北側房間(西) 溫、濕度變化(2010.11.11).....	182
圖 3-164	二樓北側房間(西)，南面玻璃、鋁框與牆壁的熱像儀量測溫度分佈，放射率為 1 (2010.11.10)	184
圖 3-165	二樓北側房間(西)，西面玻璃、鋁框與牆壁的熱像儀量測溫度分佈，放射率為 1 (2010.11.10)	185
圖 3-166	二樓北側房間(西)，西面牆熱像儀量測溫度減去熱電偶量測溫度的溫差(2010.11.10)	186
圖 3-167	二樓北側房間(西)，南面牆熱像儀量測溫度減去熱電偶量測溫度的溫差(2010.11.10)	186
圖 4-1	地中管風扇開關	189
圖 4-2	新增一個電流感測器	192
圖 4-3	斷路器的安裝	192
圖 4-4	管壁機器人實體照片	194
圖 4-5	管壁機器人-兩輪馬達調速值與其對應速度曲線	195

圖 4-6 地中管管內實照.....195
圖 4-7 管壁機器人目前可以抵達的位置.....196

摘要

關鍵詞:地中管、太陽煙囪風扇、自然通風、易構住宅

一、 研究緣起

21 世紀以來，由於人們過度揮霍地球資源，導致全球化能源危機之外，更造成全球環境的破壞與氣候的變遷，使得環境問題逐漸受到國際間的關注。而隨著節能減碳浪潮席捲全世界，綠建築的概念與落實逐漸成為設計的新的主流趨勢，內政部研究所於 96~100 年執行本部優先推動「無線射頻辨識(RFID)於建築產業之應用計畫」，提出可循環再生使用的永續化建材、電子化管理取代人力、環保節能功能的建築綠建築設計以及營建自動化等理念的整合之策略，建構出實體易構住宅展示屋。透過此示範屋之興建，將開放式與環保節能的理念結合，尋求落實本土開放式建築與永續發展性的可能性。最終期望可以根據本土氣候條件，建議最佳的室內環境控制節能方案、提升易構住宅的相關環控系統的應用功能，並推廣於其他本土建築。

二、 研究方法與過程

藉由實地量測建築物「易構住宅」的方式，探討易構住宅室內環境表現，和室外環境以及各種主、被動式環控設備的關聯。本研究利用溫、濕度感測記錄器量測室外新鮮空氣進入地中管後的溫度變化，和使用無線傳輸溫、濕度感測器監測易構住宅室內環境溫、濕度變化，以及利用數位電錶記錄易構住宅各種主動、被動式環控設備的耗電量變化。

三、 重要發現

研究結果顯示，在太陽輻射大於 $480\text{W}/\text{m}^2$ 的情況下，使用遮陽板可以讓易構住宅室內溫度下降約 1°C 。在使用自然通風機制時，因為室外環境與室內環境相連結的關係，易構住宅室內環境溫度變化情況主要隨著室外環境溫度波動而變化。實驗研究結果顯示，當外界環境溫度高於室內溫度時，使用太陽煙囪風扇可以使室內環境達到降溫的效果，但建議搭配自然通風和地中管風扇開啟入風口，會使降溫效果更顯著。在夏季使用室內空調機制時，可以使易構住宅平均室內環境溫度下降約 6°C ，但是需要消耗較多的電量，平均約為 0.46kW 。

研究結果顯現出地中管豎井內的溫度隨著深度愈深溫度愈為穩定。在地下 1.6m 至地下 3.2m 處，春季(3~5 月)溫度大約為 20°C、夏季約為 25°C、秋季約為 25°C、冬季約為 24°C。而在過去的文獻中顯示，地中管在夏季能提供預冷的效果；在冬季有預熱的效果。此外，實地量測結果顯示，在冬季(12~2 月)開啟地中管風扇，可以使易構住宅環境溫度提高約 2 至 3°C，地中管風扇能源消耗功率約 0.23kW。

四、 主要建議事項

建議一

地中管系統增設感測器及加快排氣與維護:立即可行建議

主辦機關:內政部建築研究所

協辦機關:內政部建築研究所

夏季時，由於地中管末端，進入室內環境的垂直豎井段，溫度會有上升的現象，導致室內降溫的效果並不顯著。建議能在地中管末段的垂直豎井段，多加裝感測器，以量測溫度在此豎井段的變化。以及建議能加快地中管末端，進入室內環境垂直豎井段的排氣，可以減少土壤對空氣的熱交換。另外地中管內部的清潔，必須能夠定時監測與維護，以確保地中管系統所提供的圍新鮮空氣。

建議二

探討智慧化熱環控策略與傳統熱環控策略的優、缺點:中長期建議

主辦機關:內政部建築研究所

協辦機關:內政部建築研究所

依據既有研究成果而針對易構住宅當地條件所設計之開啟機制表，進行配置及架設智慧化控制系統。以比較智慧化熱環控與傳統熱環控策略在耗能及溫度變化的差異。

Abstract

Keyword: Earth tube, Solar chimney fan, Natural ventilation, EAG House

Background and motivation

In 21st century, people overspend the earth's resources. These circumstances result in global energy crisis. The worst of all, it causes global environment damage and global climate change. Environmental problems have gradually been making international attention. With the carbon reduction wave sweeping across the world, the concept of green building design and implementation has become the main trend of the World. Ministry of the Interior Institute give priority to promote the "Radio Frequency Identification (RFID) applications in the construction industry's plan," in 96 ~ 100 years. It proposed to the sustainable use of recycled building materials, electronic management to replace the human, environmental protection, Green building design of energy saving and construction building automation concept of integration of strategy. All of these advantages are constructed in a physical structure housing called EAG house. Through this demonstration building, It will combine the feature of open building with the concept of environmental protection and energy saving. And it seek to implement the possibilities of the open architecture and sustainable development. We eventually expect that we can use the local climatic conditions to suggest the best energy saving programs of indoor environmental and promote MEG house applications of environmental control system functions. And it can be popularized in other local buildings.

Method and procedure

This research presents characteristics of thermal environment and energy consumption of EAG House in the spring, fall and winter seasons by experimental field measurements. EAG House is equipped with shading, natural ventilation, earth tube system, solar chimney fans and air conditioning system. The thesis shows the influences of environmental control strategies

on indoor thermal environment and energy consumption. This research uses three types of sensors; variations of air temperature in the earth tube were measured by the sensors with recorders; variations of indoor air temperature were measured by wireless RFID sensors; variations of power consumption of indoor environmental control equipment were measured by digital meters.

Important findings

If the solar radiation is bigger than $480\text{W}/\text{m}^2$, the result of using shading can reduce the indoor environment temperature about 1°C . Under the circumstance of using natural ventilation, the variation of the indoor environmental temperature depends on the outdoor environmental temperature because of the interaction between the indoor and the outdoor environment. The result of experiment by using solar chimney fan under the outdoor environment temperature is bigger than the indoor environment temperature can condition reduce the indoor environment temperature. If we combine the natural ventilation or the earth tube fan with the solar chimney fan, it will be more effectively. Using the air conditioning system can cool the average indoor environment temperature about 6°C , but it needs consume more electricivity energy power, about 0.46kW .

The research result of the air temperature in the earth tube vertical shaft is varies with its depth. In the Spring, Summer, Fall and Winter, the temperature of the earth tube at the deeper position is more stable. The temperature at the earth tube is about 20°C in Spring, about 25°C in Summer, about 25°C in Fall, and about 24°C in Winter from 1.6 to 3.2 meter deep underground. According to the literature, the earth tube can precool the air temperature in Summer and preheat the air temperature in Winter. The field measurement result of using earth tube fan in Winter can increase the indoor environment temperature about 2 to 3°C and the power consumption is 0.23kW .

Main suggestion item

This project comes to the immediate and long-term strategies.

For immediate strategy:

1. Add more sensors and increase the speed of exhaust in the end of earth tube

In Summer, due to the earth tube end into the indoor environment of the vertical shaft section, the phenomena shows that the temperature will rise. It causes the indoor cooling effect is insignificant. We suggest that we can add more sensors to measure temperature changes in this vertical section of the shaft. And also we can increase the speed of exhaust in the end of earth tube into the indoor environment of the vertical section because it can reduce the heat exchange of air in soil.

For long-term strategy:

1. Investigate what the advantages and disadvantages are between intelligent control strategy of thermal environment and traditional control strategy of thermal environment

Base on existing results of research , we can set up a intelligent control system by using the table of local conditions we designed. To compare the energy consumption and difference of temperature change between intelligent control strategy of thermal environment and traditional control strategy of thermal environment.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

21 世紀以來，由於人們過度揮霍地球資源，導致全球化石能源危機之外，更造成全球環境的破壞與氣候的變遷，使得環境問題逐漸受到國際間的關注。自 1972 年聯合國斯德哥爾摩會議，首次引起世人對環境污染的高度重視以來，全球開始注重生態環境汙染，1992 年在巴西里約熱內盧所召開聯合國環境與發展會議(地球高峰會議)，成立「永續發展委員會」，將永續發展理念規畫為具體行動方案，並在往後數年間世界各國陸續簽署了多項國際的環境公約。由此可知，環境保育與地球永續發展的概念已成為全球舉世關注的話題。

同時，綜觀台灣本身，由於自產能源相當有限，其國內所供應的能源皆高度仰賴進口貿易，若不積極尋找與開發替代能源，將導致能源危機對台灣產生一巨大衝擊，因此，「如何使台灣朝向永續化」更是台灣未來發展趨勢所不可或缺的重要一環。

再者，節能減碳浪潮席捲全世界，綠建築的概念與落實逐漸成為建築設計新的主流趨勢，台灣更於 1999 年針對本土化的綠建築制定一套評估法規-EEWH，其間不斷經過各方學者專家修訂與完善，並在 2003 由內政部建築研究所發行-「綠建築解說與評估手冊」，手冊中明確列出九大評估指標系統，為台灣目前綠色建築評估的主軸。

在此一連串永續發展政策推動下，內政部建築研究所於 96~99 年執行本部優先推動「無線射頻辨識(RFID)於建築產業之應用計畫」項下，提出可循環再生使用的永續化建材、電子化管理取代人力、環保節能功能的綠建築設計以及營建自動化等理念整合之策略，建構出實體易構住宅展示屋，如圖 1-1 所示。透過此一示範屋之興建，將開放式建築與環保節能的理念結合，驗證無線射頻辨識(RFID)在建築物生命週期各階段之可能應用，尋求落實本土開放式建築與永續發展的可行性方案。

為了強調此開放式易構住宅永續化發展方面之特性，本計畫將針對易構住宅之環保節能部分，作進一步的深入探討，最終期望可以根據本土氣候條件建議最佳的室內環境控制節能方案、提昇易構住宅的相關環控系統的應用功能，並且推廣應用於其他的本土建築物。

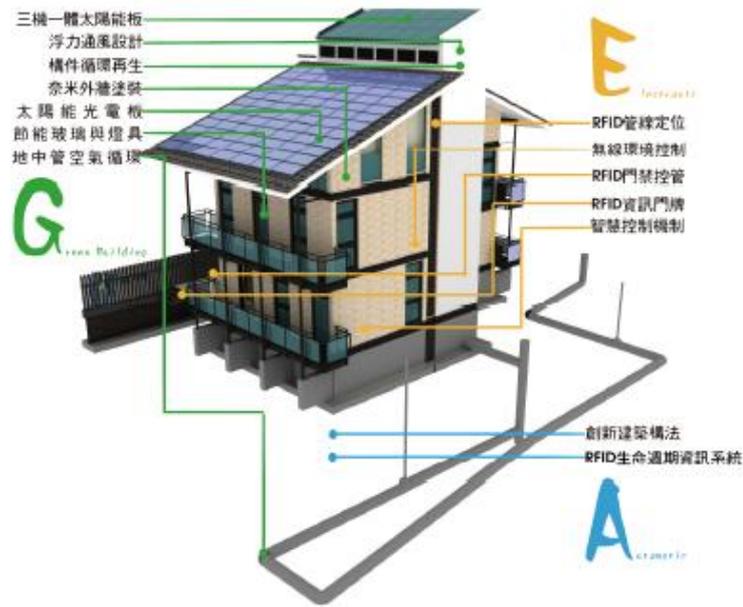


圖 1-1 易構住宅實體展示屋
(資料來源：本研究整理)

第二節 研究目的

建築研究所於 96~99 年執行本部優先推動「無線射頻辨識(RFID)於建築產業之應用計畫」項下，提出可循環再生使用的永續化建材、電子化管理取代人力、環保節能功能的綠建築設計以及營建自動化等理念整合之策略，建構出實體易構住宅實體展示屋。本研究計畫目的將延續及拓展原來計畫中的環保節能特色，進行易構住宅室內溫熱環境性能的實地驗證研究，並且提出可以實際應用的節能環控策略。

本研究將廣續易構住宅展示屋既有的研發成果，進行實體屋內之溫熱環境性能表現的實體測試、驗證之研究作業；建築參數實地量測系統結合數位自動化家居設備，經由歷史紀錄資料以及居住者的反應能夠尋求建築的最佳操作模式。

第三節 研究內容

目前易構住宅展示屋的環境控制系統，不論是中央控制主機或是量測感應器，都有相當高度的擴充及發展空間。研究工作內容首先應深入探討室內溫熱環境表現，與建築物

耗能需求以及各種主、被動式環控系統設備的關聯，其次由相關研究文獻得知，太陽輻射對於室內環境性能有顯著的影響，故引進熱影像技術，借此探討太陽輻射對於室內熱環境的影響並分析其實驗結果。

期望透過開放式建築的理念，結合本土創新及再利用的材料及構件，環保節能、感測控制等高科技設備研究，進行易構住宅展示屋之溫熱環境性能實體量測，提出具體驗證數據，並根據本土氣候條件建議最佳的室內溫熱環境控制節能方案、提昇易構住宅的相關環控系統的應用功能，並且推廣應用於其他的本土建築物，帶動建築與營建領域可實際應用之跨領域研發。

第四節 研究進度

工作項目		月次											
		100年 2月	100年 3月	100年 4月	100年 5月	100年 6月	100年 7月	100年 8月	100年 9月	100年 10月	100年 11月	100年 12月	
(一) 驗證與規劃易構住宅室內節能監控資料與環境調控機制	1. RFID 感測器量測點位置探討及測驗												
	2. 易構住宅室內環境性能量測												
	3. 太陽輻射對室內環境性能影響												
(二) 維護易構住宅室內環境調控設備	地中管管路系統維護												
(三) 修正自動化智慧型溫度調控控制系統	修正自動化智慧型溫度調控系統												
預定進度(累積數)		9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	100	

(資料來源：本研究整理)

第二章 文獻探討

蔡[1]主要探討於目標建築物(易構住宅)中，利用 EnergyPlus 模擬分析採用地中管、外遮陽板或自然通風之方式，其室內之溫度與相對濕度分佈情形，如圖 2-1 所示。主要觀察並比較目標建築物在標準氣象年資料下，於不同季節氣候條件狀況模擬加入適當的操作系統，以及使用此三組系統和此三組系統各種可能組合所產生的效能。蔡[1]中所模擬最佳化初步設計條件如下所述，其中 T_i 表示室內環境溫度、 T_o 表示室外環境溫度：

地中管在 T_i 介於 $0^{\circ}\text{C} \sim 15.5^{\circ}\text{C}$ 或 $26.5^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ 時啟動、

自然通風在 T_o 介於 $15.5^{\circ}\text{C} \sim 26.5^{\circ}\text{C}$ 時啟動、

外遮陽板在太陽輻射量大於 $280\text{W}/\text{m}^2$ 或 T_o 小於 15°C 時啟動。

根據模擬結果顯示，此三種系統的最佳使用條件的初步結論為：

(一) 地中管風扇和自然通風不宜同時使用。

(二) 地中管搭配外遮陽板的使用會較容易讓室內達到舒適環境。

(三) 依據地中管和自然通風不能同時使用的緣故，在室內溫度介於某個溫度範圍時，則啟動自然通風，相反則啟動地中管，當溫度範圍越小的時候，模擬結果所得到的室內舒適小時數會越高，但相對的，地中管所使用的風扇所消耗能量也會越多以及能夠得知經過最佳化設計過後，室內依舊有著不舒適的環境，也能夠透過主動式系統加以輔助，例如冷、暖氣機，使室內成為舒適的環境。

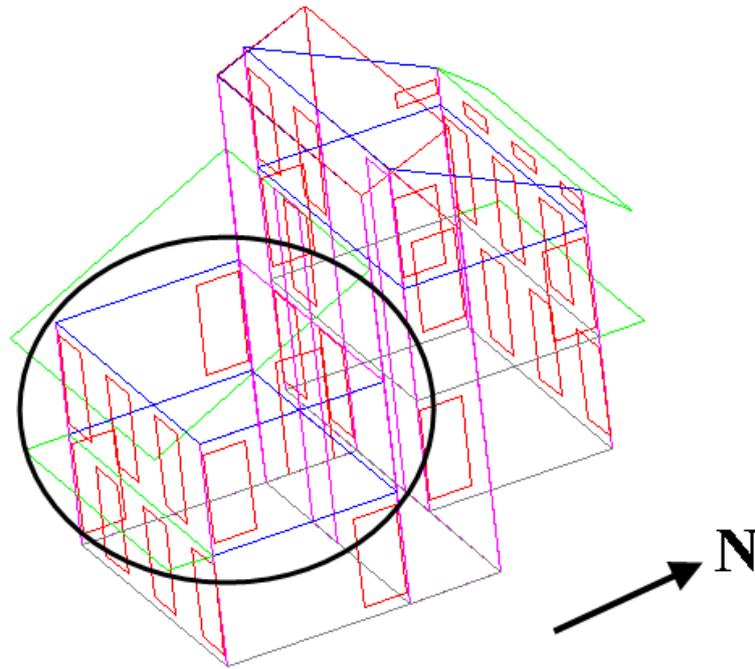


圖 2- 1 EnergyPlus 模擬目標建築物立體圖

(資料來源：蔡[1])

王[2]使用計算流體力學軟體 Flovent，研究探討太陽煙囪與 Trombe Wall 對於一棟三層樓自然通風設計建築(易構住宅)，室內浮力通風效率的影響，如圖 2-2 所示，其中紅色線條為 Trombe wall 設置於太陽煙囪部份。此研究探討在不同牆壁邊界條件下，改變外界環境變數，以及太陽煙囪玻璃透射率與 Trombe Wall 等建築物理參數的影響，研究工作模擬上述參數變化時，對於室內浮力通風的影響以及分析室內通風效率的變化因素。

研究結果顯示，在牆壁材質為玻璃纖維時，室內通風的能量來源主要由牆壁對於太陽輻射吸收的熱能，並將所儲存的熱能傳導至室內居住空間，導致太陽煙囪會低於牆壁所產生的浮力效應。

太陽煙囪裝設 Trombe wall 後無法有效提高室內通風；改變不同太陽煙囪玻璃透射率也無法使太陽煙囪的浮力效應高於牆壁。太陽入射角方面，對於建築相同的入射角與高度角，室內環境並不會有明顯的變化。由於北側房間為非對稱與太陽煙囪在西面有開口，使下午四點時北側與太陽煙囪會接收較多輻射量，讓室內環境產生較大的影響，中午十二點，因高度角較高會使牆壁接收較少輻射量，導致室內通風效率較低。

在牆壁材質為絕熱材質時，室內通風驅動力的來源主要為太陽煙囪，太陽煙囪裝設 Trombe wall 能夠使室內通風效率增加，Trombe wall 材料為高比熱與高密度時能夠有較高

的效率；在太陽煙囪透射率方面，太陽煙囪在高透射率以及高吸收率時，能有較大的通風效率，不同煙囪玻璃性質對於室內溫度並無明顯改變，只有在太陽煙囪的頂部溫度會因透射率與吸收率的不同而產生變化。

在太陽入射角方面，當牆壁為絕熱材質時，室內通風主要驅動力來源為太陽煙囪頂部，在不同的太陽入射角與相同的高度角對於室內通風量並無明顯的影響。太陽入射角為正南方時，由於太陽煙囪玻璃接收以及透射較多輻射量，室內通風量與太陽煙囪頂部溫度較高，三種參數對於太陽煙囪的中性層無太大的影響。

牆壁材質為玻璃纖維時，由於加熱牆壁的浮力效應高於太陽煙囪產生的效應，以致只有不同太陽入射角會影響室內環境；在牆壁為絕熱材質時，室內通風的驅動力主要以太陽煙囪產生的浮力效應為主，在改變不同建築物理參數與環境參數時，對室內環境皆會產生相當的影響。

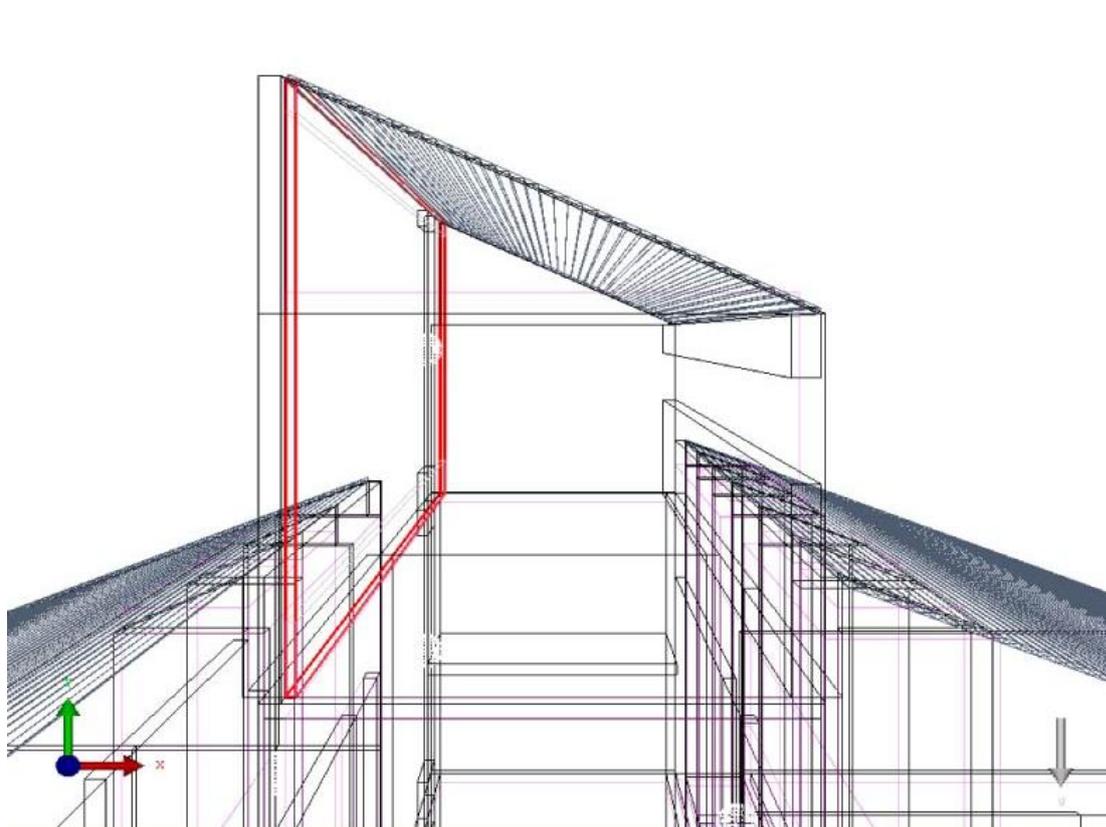


圖 2-2 Trombe wall 與太陽煙囪結合之設置圖

(資料來源：王[2])

甯[3]探討兩棟相同外型但不同玻璃材質之節能實驗屋，一棟使用普通玻璃，另一棟則使用台灣科技大學自製研發，結合自潔、隔熱與發電，三機一體的太陽能光電玻璃，

如圖 2-3 所示。

研究結果顯示光電玻璃可以有效隔絕內、外部輻射熱，使屋內維持熱舒適的環境。研究使用建築能源模擬軟體 DesignBuilder，根據實際量測天氣資料修改通常使用的標準氣象年資料，模擬實體建築物在本地當時氣候條件下室內熱環境的表現，兩棟節能實驗屋在相同氣候條件下，各季節的室內環境實驗測量與模擬結果之相互比較，並分析其誤差原因與補償方式，並期望此模擬軟體及補償方式可提供之後室內建築環境模擬更準確的預估。

實際量測與模擬結果比較分析發現，溫度模擬結果在秋、冬、春季會與實際量測結果有明顯的差異，研究結果顯示差異的因素應該與輻射溫度有關，可能因為外界環境溫度的下降導致室內外溫度差異變大，致使輻射熱傳效應增大，本研究根據輻射熱傳衍生出補償方式，方法一為利用太陽輻射溫度與環境空氣溫度的差異補償在電腦模擬結果上，方法二為利用室內屋頂玻璃表面溫度與室內溫度的差異所造成的輻射熱傳效應，補償到模擬結果上，由研究結果得知，方法二能較有效地算出實驗量測的室內溫度，此方式可與電腦模擬軟體相互應用在其它大面積玻璃建築物室內熱環境之研究。

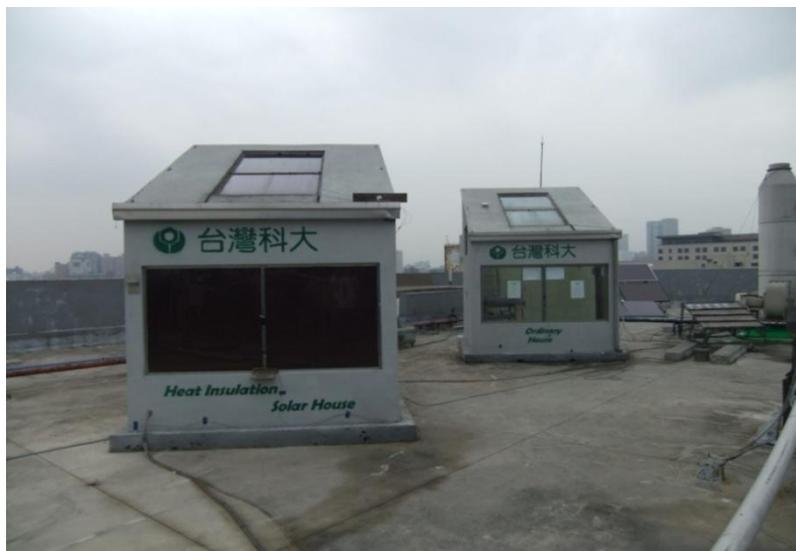


圖 2-3 實地量測建築之時實體照片

(資料來源：甯[3])

目前在許多國家已有針對自然通風設計的建築物，整理如表 2-1 所示。在辛巴威 (Zimbabwe) 有一棟以仿生學建造的 10 層樓建築物，東門中心 (Eastgate Centre, 1996)，如圖 2-4 所示，建築師 Mick Pearce 設計的靈感來自能夠自行冷卻的白蟻窩，白蟻將微風從蟻窩底部引進圖 2-5，其運作原理與煙囪非常相似，當空氣溫度上升時，空氣因浮力向上

升，和下方的蟻穴產生壓差，外部的空氣自然流入巢內形成通風。由於東門中心不需要空調系統或暖氣，省去其安裝的空間，使投資成本降低 350 萬美元，與相同規模的建築物相比，只需要 10% 的能源即可維持東門中心的通風。

表 2-1 自然通風設計建築案例

地點	建築物	特色
辛巴威	東門中心	仿生學, 浮力通風
英國倫敦	保得利大廈	浮力通風, 無動力的空調系統
英國倫敦	斯拉夫與東歐研究學院	使用向下的氣流形成通風
台灣台南	綠色魔法學校	浮力通風

(資料來源：吳[7])



圖 2-4 辛巴威東門中心實體照片
(資料來源：吳[7])

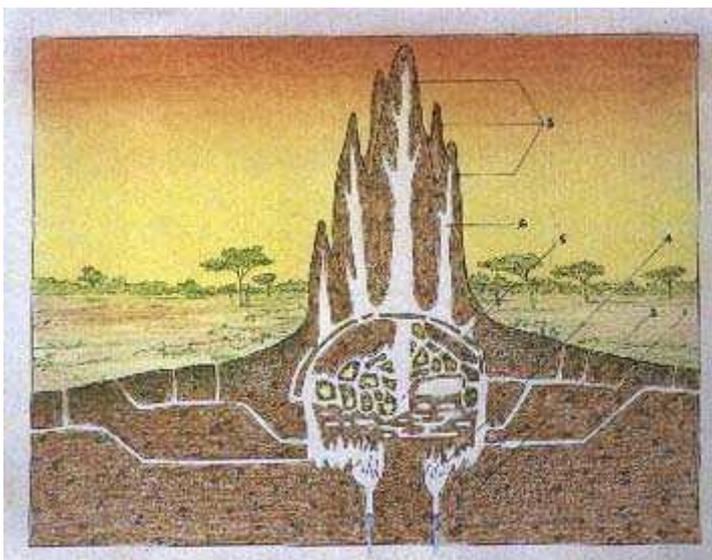


圖 2-5 白蟻窩示意圖
(資料來源：吳[7])

英國倫敦的保得利大廈(Portcullis House,2001)仿效東門中心，其獨特的煙囪設計為無動力的空調系統，利用自然通風系統將室內空氣排出，達到換氣效果。圖 2-6 為保得利大廈實體照片。



圖 2-6 英國倫敦，保得利大廈實體照片
(資料來源：吳[7])

英國倫敦大學(University College London, UCL)的斯拉夫與東歐研究學院(School

of Slavonic and East European Studies,SSEES)如圖 2-7 所示，SSEES 沒有使用空調設備，全年自然通風，在較低的樓層開通風口，夏季高溫炎熱時，新鮮空氣由中央天井圖 2-8 預冷後進入室內，與室內空氣混和後自然上升由煙囪排出。SSEES 是世界第一個使用向下的氣流形成通風的被動式建築物，藉由監測室內溫度與二氧化碳濃度，控制窗戶與通風口的開啟與關閉，可以在使用最小能源下保持舒適溫度，在受熱島效應(heat island effect)影響的城市中，這是一個非常有效的通風方式[9]。



圖 2-7 英國倫敦, SSEES 實體照片
(資料來源：吳[7])



圖 2-8 英國倫敦 SSEES, 由中央天井向下俯瞰
(資料來源：吳[7])

在國內，台南成功大學 2010 年在其校區建造綠色魔法學校圖 2-9，又名孫運璿綠建築科技大樓，其外觀模型如圖 2-10 所示，結合風力、太陽能發電以及屋頂綠化設計與環保建材，並利用煙囪效應形成浮力通風。其煙囪內部塗成黑色，加上烤漆鋼板，並且在向陽面的牆壁以玻璃取代，藉此增加通風效果， 預估綠色魔法學校可以比一般住宅節省 70% 的能源。



圖 2-9 台灣國立成功大學綠色魔法學校
(資料來源：吳[7])

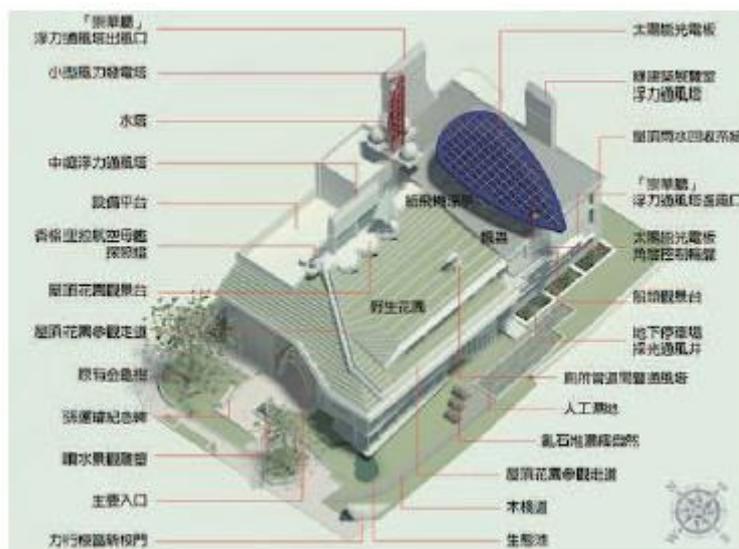


圖 2-10 台灣國立成功大學綠色魔法學校外觀模型圖
(資料來源：吳[7])

地中管為一根或數根由金屬或塑膠製成並深埋在地底下的長管，開放式的地中管設備系統，其長管開口兩端分別在室外與室內，室外開口以機械設備或誘導式設計抽取室外環境空氣，使之進入管內通過土壤，利用土壤溫度終年穩定的特性，使空氣在地底進行熱交換。在國內，相同的概念曾經由楊[10]在 1995 年提出中華民國專利的申請。由 Bansal et al.[11, 12]的研究顯示，夏天時，熱空氣流經地中管與管周圍的土壤進行熱交換而損失部分熱能，因此空氣以較室外環境溫度低的溫度進入室內；而在冬天時，冷空氣流經地中管與土壤進行熱交換，由土壤中獲得熱能，因此空氣以較室外環境溫度高的溫度進入室內，能夠達到調節室內溫度的功用。

Paepe & Janssens[13]以理論模型計算，公式推導發現地中管的長度和熱交換性能與壓降成正比；管徑愈小，熱交換性能愈高，同時壓降也愈大；平行埋藏的地中管，管數愈多時，可以同時減少壓降與提高熱交換性能。設計地中管時，應該在可接受的壓降條件下，最佳化地組合地中管的管長、直徑與地中管熱交換效應。

由於地中管只需要少量的能源或是不需要能源即可作用，在能源高度需求的國家，地中管是一個很好的節約能源方案。蔡[1]研究易構住宅採用自然通風搭配地中管與外遮陽板的熱環境表現，分析 8 種可能的組合，並提出最佳化的初步設計，以較低的能源達到預定的舒適條件。

Sawhney, Buddhi & Thanu[14]研究在旅館房間使用循環式的地中管空調系統，地中管

系統包括地下風機室、地下檢驗室與地中管。地中管由風機室送風口開始，經過檢驗室到達目標建築物，再由目標建築物的回風口接地中管回到風機室。研究顯示該系統可以提供維持一舒適熱環境的條件，性能係數(COP)達 3.35。

目前在許多國家已有地中管應用的相關理論研究以及實驗，整理如表 2-2 所示。加拿大致力推動環保建築物的慈善機構-Earth Rangers[15]，認為孩童有權力與意願改變世界，更有繼承健康地球的權利，並透過教育與實際行動來教導孩童環保的重要性，激發孩童的熱情與建立更美好的未來。Earth Rangers Centre 圖 2-11 建立於 2004 年，是加拿大能源效益與永續發展的里程碑，透過新科技的開發來降低對環境的影響，包括水資源重複利用(污水處理廠)、輻射管加熱與冷卻、地中管、自然採光與太陽光電板，圖 2-12 是 Earth Rangers Centre 地中管的實照，利用地中管搭配置換式通風讓室內維持良好的空氣品質與熱舒適度。

表 2-2 地中管應用案例

地點	建築物	特色
加拿大	Earth Rangers Centre	地中管, 自然採光, 太陽光電板
法國	Primary School in La Tour de Salvagny	地中管, 自然通風, 太陽光電板
德國	Kranichstein Passive House in Darmstadt	絕熱設計, Low-e 玻璃, 地中管
英國	Butterfield in Luton	地中管, 空氣處理裝置

(資料來源：吳[7])



圖 2-11 加拿大 Earth Rangers Centre 實照
(資料來源：吳[7])



圖 2-12 加拿大 Earth Rangers Centre 地中管俯瞰圖
(資料來源：吳[7])

法國圖爾德薩爾瓦尼塔(La Tour de Salvagny) 的小學[16]，如圖 2-13 所示，為一間節能的學校，利用地中管、自然通風、太陽光電板以及環保建築材料達到節能的目的。地中管施工情形如圖 2-14，在地底下埋入 23 根直徑為 0.2 m，長度為 25 m 的塑膠(聚乙

烯)水管，總體積流率最高可達 $8000 \text{ m}^3/\text{h}$ ，管內的空氣流速為 3 m/s 。一般標準建設的小學每年耗能約 $183 \text{ kWh}/\text{m}^2$ ，研究報告顯示這間小學每年耗能可降為 $128 \text{ kWh}/\text{m}^2$ ，一年大約可以節省 30% 的能源。其通風系統是一個簡單的強制空氣流動系統，如圖 2-15 所示，由地中管與通風處理中心提供預熱或預冷的空氣進入室內，使室內達到預定的舒適溫度，同時高通風率可以確保良好的空氣品質，室內通風搭配動態探測器控制，在無人的房間不會啟動通風機制。



圖 2-13 法國 La Tour de Salvagny, 小學實照
(資料來源：吳[7])



圖 2-14 法國 La Tour de Salvagny, 小學地中管施工情形
(資料來源：吳[7])



圖 2-15 法國 La Tour de Salvagny, 小學的通風系統, 左圖為教室地板出風口位置, 右圖為通風處理中心
(資料來源：吳[7])

位於德國黑森州南部的達姆施塔特(Darmstadt)[17], 於 1991 年建造了一棟被動式建築如圖 2-16, 省能機制如圖 2-17 所示, 屋頂、外牆與地板的絕熱設計, 加上三窗格玻璃(Triple pane glazing)、地中管與熱回收通風(Heat recovery ventilation), 在寒冷的冬季由地中管與熱回收通風系統提供新鮮空氣。由於空氣進氣口的位置靠近房間的天花板, 空氣在進入生活空間前已經與房間的空氣混和, 保持空氣以高於 18°C 的溫度進入房間, 即使窗戶緊閉, 也可以保持室內空氣品質良好。根據研究顯示省能可達 88%, 尤其在加熱方面更為明顯。

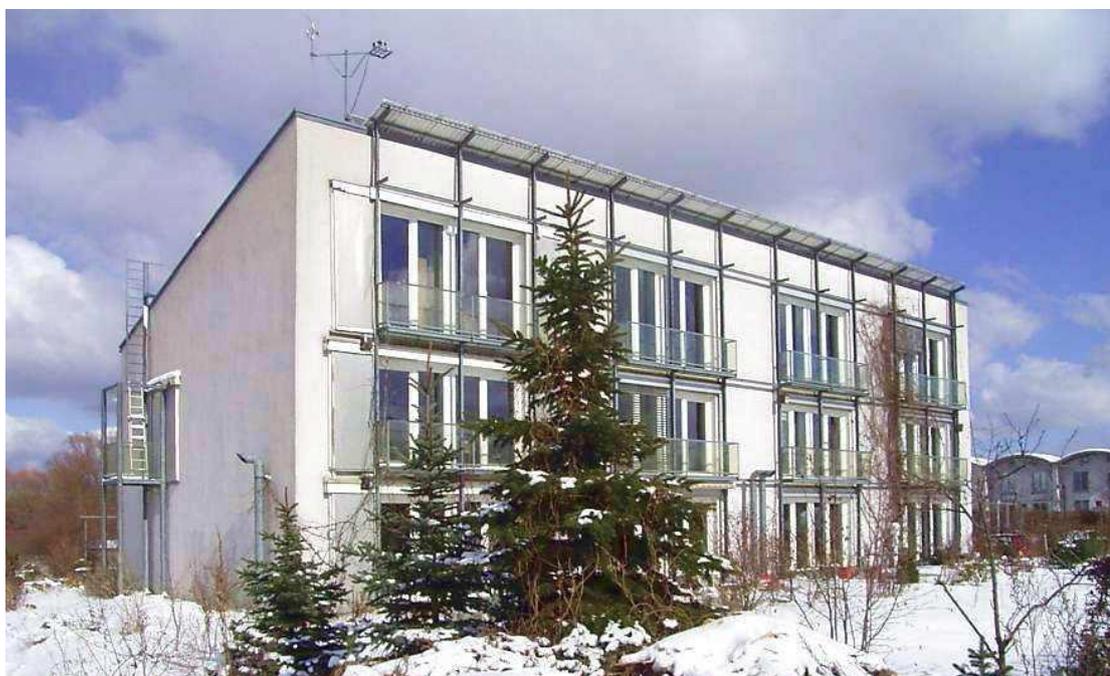


圖 2-16 德國 Darmstadt, 被動式建築實照
(資料來源：吳[7])

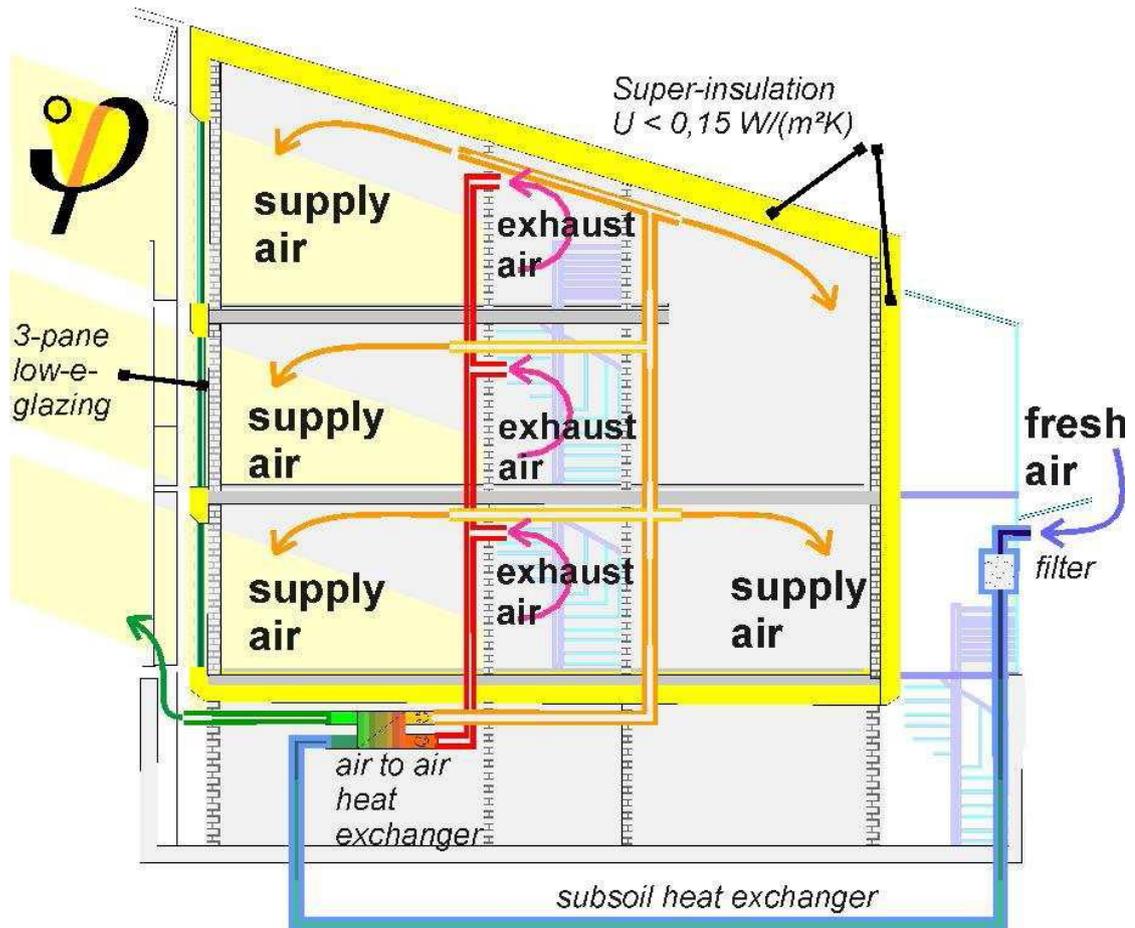


圖 2-17 德國 Darmstadt, 被動式建築省能機制
(資料來源：吳[7])

盧頓(Luton)，英國英格蘭東部區域貝德福德郡最大的鎮，鎮裡的巴特非爾(Butterfield)企業科技園區有一棟節能的辦事處，如圖 2-18 所示[18]，利用地中管終年常溫的特性，搭配空氣處理裝置(Air-handling units)、小風扇、窗戶與百葉窗簾改善室內環境圖 2-19，達到節能的效果。地中管為全長 900 m、直徑 0.9 m 的混凝土排水管(Concrete drain)，帶肋的構造如圖 2-20 所示，可以使管內為紊流，增加熱傳效果，混凝土的多孔性質可以有效控制濕度，入風口在戶外的圓形凸出處，並且使用金屬網防止動物進入，在地中管兩端可以進行檢查與維修。一般的風機盤管(Fan-coil)空調系統在加熱、通風與機械冷卻方面每年消耗 225kWh/m^2 ，而這棟辦事處可以降到每年消耗 45kWh/m^2 ，若再加上熱輪(Thermal wheel)可望降到僅 28kWh/m^2 。



圖 2- 18 英國 Luton, Butterfield 辦事處的實照
(資料來源：吳[7])



圖 2- 19 英國 Luton, Butterfield 辦事處的窗戶，上下部分為可以獨立旋轉的窗戶與百葉窗
簾
(資料來源：吳[7])



圖 2- 20 英國 Luton, Butterfield 辦事處的地中管施工情形，管長共 900 m，埋於地下 2 m，
溫度約保持在 13°C
(資料來源：吳[7])

第三章 驗證與規劃易構住宅室內節能監控資料與環境調控機制

本章節探討在易構住宅內使用不同的環境控設備，並利用所佈置的感測器(Sensor)進行易構住宅內相關參數之實地測量，藉此觀察室內環境性能的變化情形以及建築物所消耗的能源。在節能監控資料方面，因溫度、濕度與用電量皆為改變室內舒適重要因素，因此將以室內溫度、濕度與用電量作為主要監控的參數。易構住宅內的環境控制設備，依其耗能程度可分為被動式、主動式以及主動式(高耗能)等類別，如表 3-1 所示。

表 3-1 設備耗能分類表

耗能性	設備
被動式	自然通風、遮陽板
主動式	太陽煙囪風扇(梯間)、地中管(風扇)
主動式(高耗能)	室內空調設備、地中管(壓縮機)

(資料來源：本研究整理)

第一節 RFID 感測器量測點位置探討

根據根據 99 年度研究結果[4]得知，易構住宅實驗屋(EAG House)內安裝了 RFID 感測器(Tmote Sky)，並於 2009 年 11 月中旬上機使用，目的為觀察易構住宅各房間的溫度與濕度變化。由於 Tmote Sky 初步測試較不穩定，完整的數據擷取從 2010 年 1 月開始，期間有部分新增或移除量測點，以調整量測點位置的最佳化，記錄室內熱環境 RFID 感測器的編號及位置將於本章第二節中說明，以及呈現詳細的實驗記錄。2010 年 9 月份另外新增地中管之 DICKSON TK550 記錄器量測點，目的為觀察戶外新鮮空氣進入地中管，與土壤進行熱交換後的溫、濕度變化與地中管豎井垂直溫、濕度分佈。

因此，本計畫主要藉由溫、溼度感測器之數據接收並同時探討易構住宅內各項節能設備搭配應用下之情境設定模擬，以實地量測並評估易構住宅之環境節能效益，及對後續研究做進一步之參數分析。

壹、地中管內溫、溼度量測點

地中管管內量測使用 DICKSON TK550 記錄器，每 4 分鐘記錄一次數據，擺放位置如圖 3-1 和表 3-2 所示，綠色代表 Tmote Sky 感測器，藍色代表 DICKSON TK550 記錄器。在入風口、豎井(1)上下與出風口放置 DICKSON TK550 感測器；其中在豎井(2)，由豎井口至地中管管道共 6 顆，每顆間距 0.8 m，藉以觀察戶外新鮮空氣進入地中管後的溫濕度變化與地中管豎井垂直溫濕度分佈。

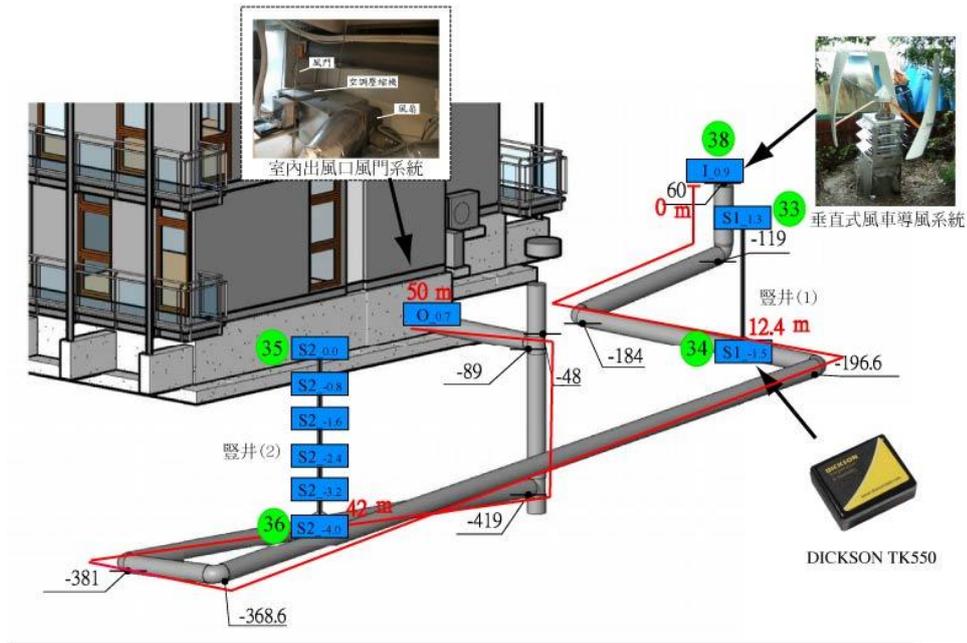


圖 3-1 地中管 sensor 設置位置自由體圖
(資料來源：本研究整理)

表 3-2 地中管系統量測點分布位置

N O.	位置	高度(m)	ID
1	2	0	S2 _{-0.0}
2	2	-0.8	S2 _{-0.8}
3	2	-1.6	S2 _{-1.6}
4	2	-2.4	S2 _{-2.4}
5	2	-3.2	S2 _{-3.2}
6	2	-4	S2 _{-4.0}
7	0	+0.9	I _{0.9}
8	1	+1.3	S1 _{1.3}
9	1	-1.5	S1 _{-1.5}
10	3	+0.7	O _{0.7}
附 註	1.0-地中管入風口、1-豎井一、2-豎井二、3-室內地中管壓縮機前		
	2. 高度方面，以地平線為基準，向上為正、向下為負		

(資料來源：本研究整理)

貳、地中管量測成果

戶外空氣由入風口進入地中管管內，向地下沿伸盤旋 50 m，最深達 4.2 m，中間經過 2 個豎井，最後導入室內出風口。豎井(2)的資料總表如表 3-3 所示，圖 3-2 與圖 3-3 為 99 年 9 月 11 日 DICKSON TK550 記錄器在豎井(2)量測到的垂直溫度與濕度分佈，圖 3-2 顯示記錄器 2 至 6 深度愈深，溫度愈低；圖 3-3 顯示豎井口與地中管管道濕度較低，記錄器 4 與 5 相對濕度接近 100%。

表 3-3 地中管豎井(2)資料總表

實驗日期	實驗資料
2010.9.11	垂直溫度分佈圖、垂直濕度分佈圖
2010.9.13	垂直溫度分佈圖、垂直濕度分佈圖
2010.10.10	垂直溫度及平均輻射溫度圖、垂直濕度分佈圖
2010.10.11	垂直溫度及平均輻射溫度圖、垂直濕度分佈圖
2010.10.12	垂直溫度及平均輻射溫度圖、垂直濕度分佈圖

(資料來源：本研究整理)

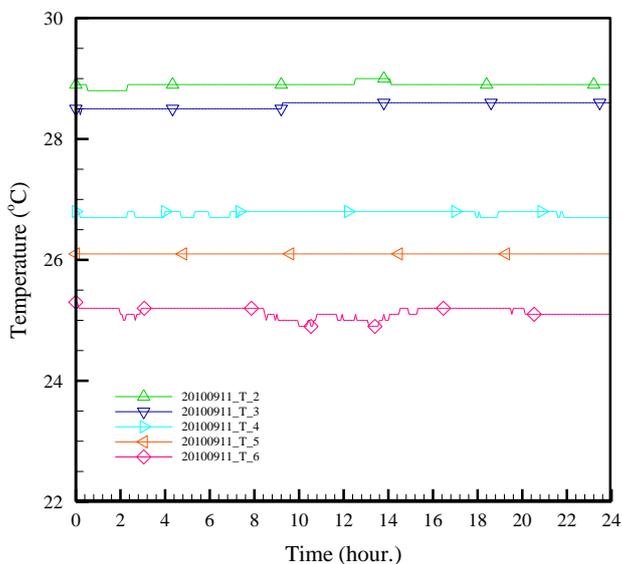


圖 3-2 地中管豎井(2)垂直溫度分佈 (2010.9.11)

(資料來源：本研究整理)

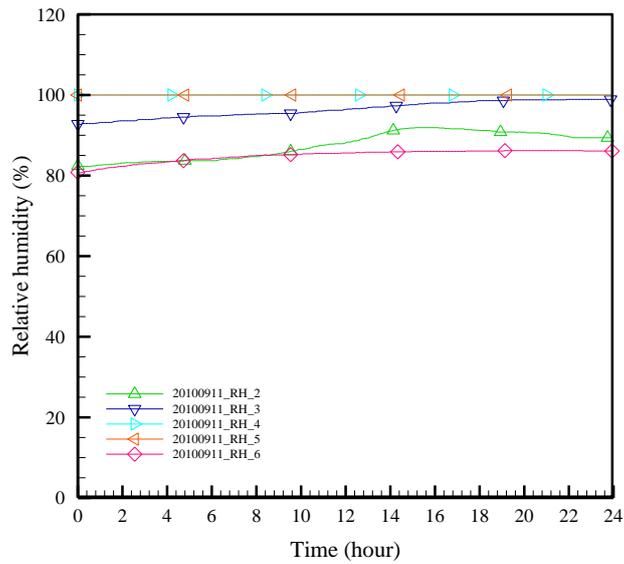


圖 3-3 地中管豎井(2)垂直濕度分佈 (2010.9.11)

(資料來源：本研究整理)

而圖 3-4 與圖 3-5 為 99 年 9 月 13 日的垂直溫度與濕度分佈，當天早上 8 點至下午 6 點開啟地中管風扇，圖 3-4 看出記錄器 6 受地中管風扇影響，戶外空氣進入地中管內的熱交換時間降低，溫度上升至 27.9°C，圖中的尖點是將記錄器暫時取出造成的。另外，圖 3-5 中顯示，開啟地中管風扇時濕度明顯降低，這是因為溫度上升以及戶外濕度本來就比較低之原因。

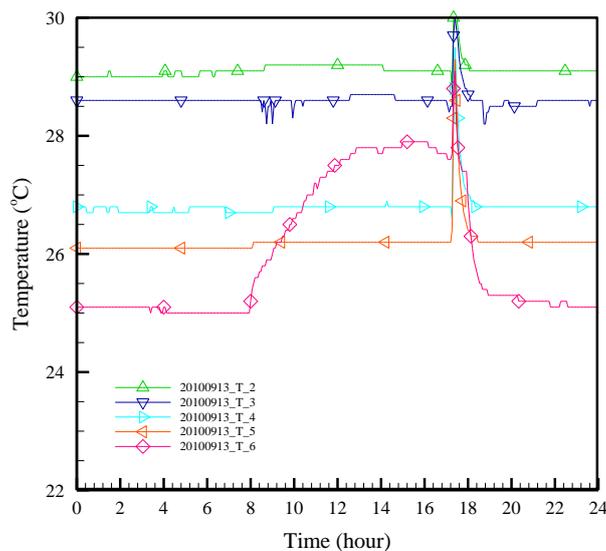


圖 3-4 地中管豎井(2)垂直溫度分佈 (2010.9.13)

(資料來源：本研究整理)

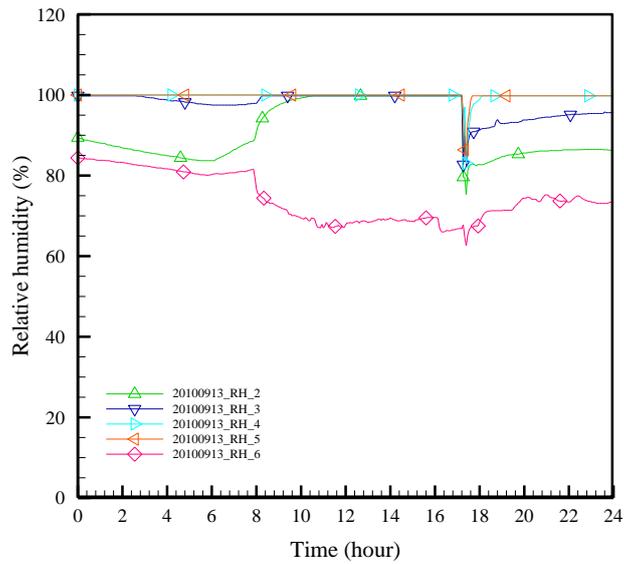


圖 3-5 地中管豎井(2)垂直濕度分佈 (2010.9.13)
(資料來源：本研究整理)

圖 3-6 至圖 3-11 為 2011 年 10 月 10 日至 12 日地中管豎井(2)的垂直溫度與濕度分佈，由於台大氣象站資料中斷，太陽輻射取志清國小氣象站資料。這三天的平均太陽輻射分別為 214、301 與 472 W/m²，在溫度分佈圖中可以觀察到豎井口與地中管管道的記錄器 1 與 6 易受太陽輻射熱與環境溫度影響，豎井中間的記錄器 2 至 5 並沒有太大的變化。在濕度方面，豎井口可能不夠密合，導致記錄器 1 的濕度變化幅度較大，記錄器 2 與 3 也稍微受到影響，較深的記錄器 4 與 5 相對濕度都維持在 90% 以上。

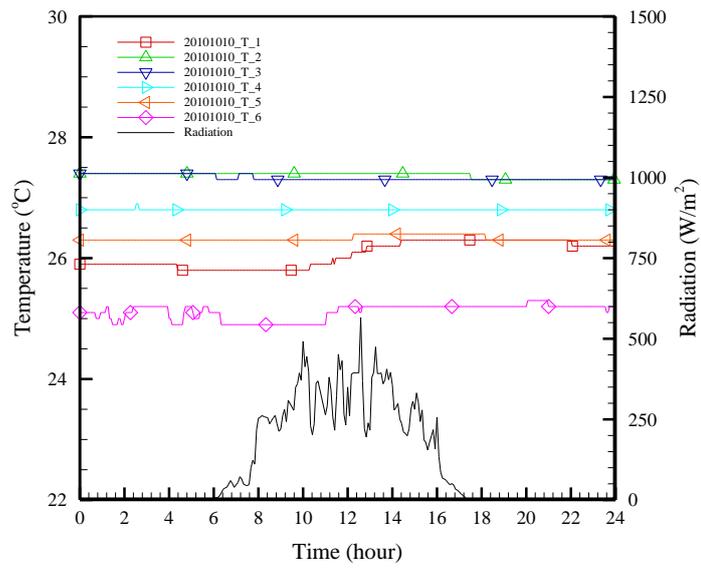


圖 3-6 地中管豎井(2)垂直溫度分佈，平均輻射量為 214 W/m^2 (2010.10.10)
(資料來源：本研究整理)

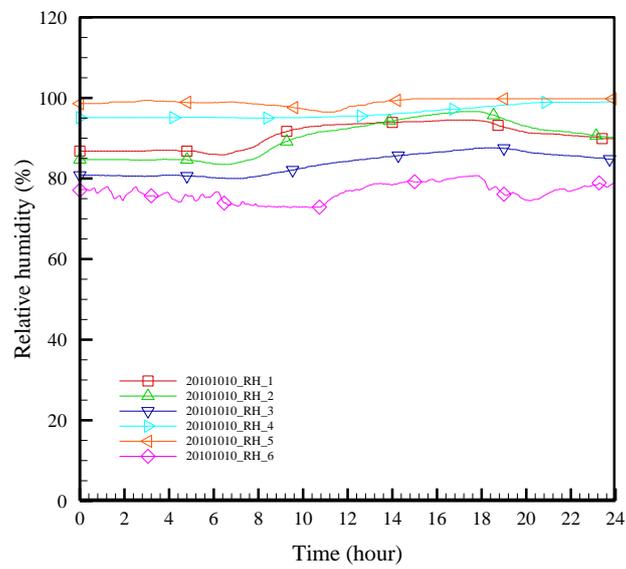


圖 3-7 地中管豎井(2)垂直濕度分佈 (2010.10.10)
(資料來源：本研究整理)

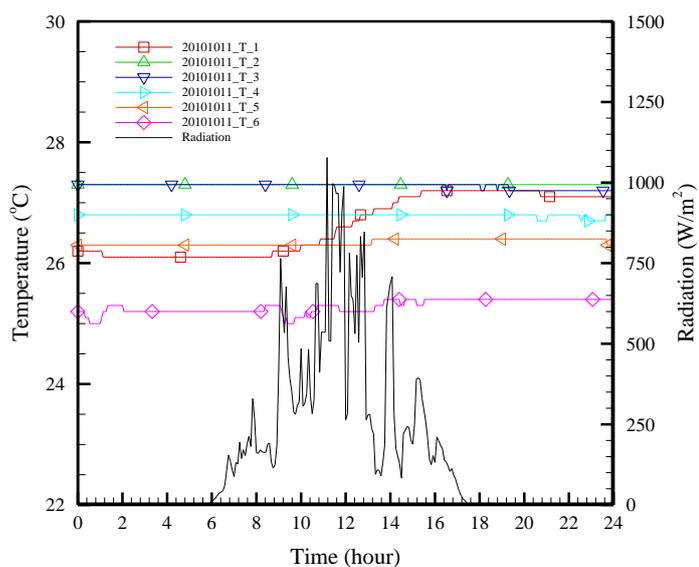


圖 3-8 地中管豎井(2)垂直溫度分佈，平均輻射量為 301 W/m^2 (2010.10.11)
(資料來源：本研究整理)

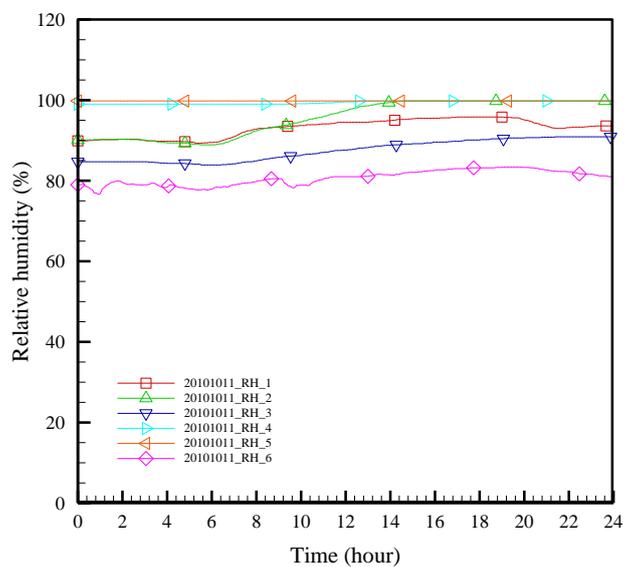


圖 3-9 地中管豎井(2)垂直濕度分佈 (2010.10.11)
(資料來源：本研究整理)

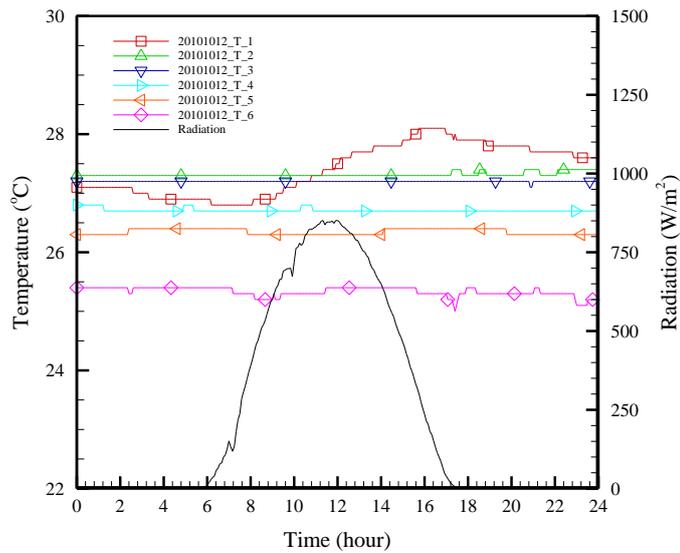


圖 3-10 地中管豎井(2)垂直溫度分佈，平均輻射量為 472 W/m^2 (2010.10.12)

(資料來源：本研究整理)

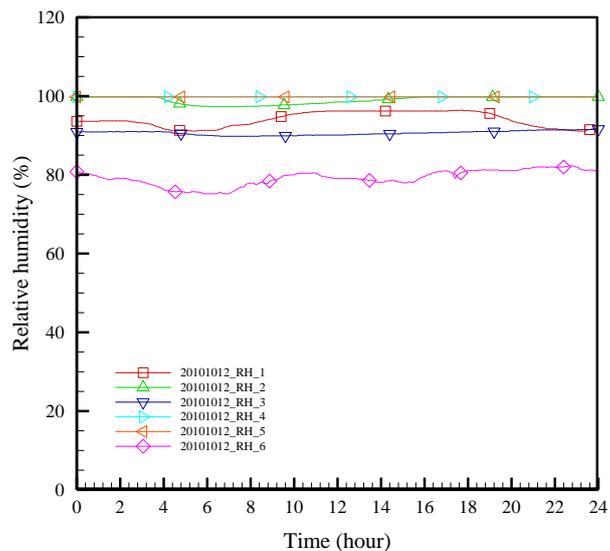


圖 3-11 地中管豎井(2)垂直濕度分佈 (2010.10.12)

(資料來源：本研究整理)

參、 小結

- ◆ 新增之地中管 RFID 量測點在豎井下的 Sensor 34 與 Sensor 36 推測是因距離之關係，資料沒有傳遞至資料庫；而豎井上 Sensor 33、Sensor 35 與入風口 Sensor 38 的資料間隔亦太大，顯示資料傳遞的成功率低，已經將地中管量測系統皆改成 DICKSON TK550 記錄器，增加數據接收之準確性。

- ◆ 在地下 1.6 m 至地下 3.2 m 處，溫度間隔在 1°C 之內，顯示地中管在地下 1.6 m 以下溫度較不受大氣環境影響，根據地中管豎井垂直溫度分布，土壤溫度在秋季約為 25°C。

表 3-4 DICKSON TK550 維修紀錄表

送修日期	紀錄器 ID	原因	回送時間	備註
6/21	S2_-3.2	無法讀取記錄值	2011.7.26	更換主機
	S2_0.0	工作電壓顯示異常	2011.7.26	更換主板
7/1	S1_1.3	無法讀取記錄值	2011.8.2	更換主板
9/15	S2_-2.4	無法讀取記錄值		

(資料來源：本研究整理)

第二節 易構住宅室內環境性能驗證

壹、研究內容概述

根據 98 年度研究報告[5]所提出的智慧型溫度調控系統設備開啟機制表，如表 3-5、表 3-6、表 3-7 與圖 3-12、圖 3-13、圖 3-14、圖 3-15，依照此理論設備開啟機制表，在不同的氣候條件下，使用不同的單一環境控制設備，並記錄開啟單一環控設備後，其室內環境性能的變化情形。

為了更準確比較開啟單一環境控制設備與未開啟單一環境控制設備之室內環境性能變化，提出一對造組與實驗組的概念，實驗組為易構住宅內 1F 客廳，對照組為易構住宅內 2F 主臥房，選擇 2F 主臥房做為對照組的因素有以下二點，一者為 2F 主臥房的空間的大小或裝潢設計(窗戶的類型)皆與 1F 客廳相似，另一者為 2F 主臥房與 1F 客廳同位於建築物的南側面，並且其兩者所擁有的建築設備一樣。

本研究採用位於台北市文山區志清國民小學，所設置的校園氣象觀測站(臺北市文山區景福街 21 巷 5 號)量測到的氣象資料做為室外環境溫度參考依據，其相對位置如圖 3-16 所示，易構住宅與志清國小校園氣象觀測站兩者相對距離約 400 公尺。利用志清國小氣象觀測站所量測參數包括溫度、相對濕度、雨量、風速、太陽輻射等資料，和本研

究工作實際量測室內環境資料搭配，進行室內環境性能比較。

為了避免志清國小的校園氣象觀察站，因為儀器因素造成量測資料缺失，所以同時採用台灣大學大氣科學系所設置氣象觀測站（臺北市羅斯福路四段一號）的量測氣象資料做為輔助參考依據，其相對位置如圖 3-17 所示，易構住宅與台灣大學大氣系的氣象觀測站兩者相對距離約 4 公里。

另外，根據中央氣象局日出日沒時刻表，可以知道太陽約在早上 5~6 點至下午 5~6 點左右這段時間出現，但在日出時刻與日落時刻，太陽尚未完全出現和消失，為了確保太陽輻射能完全呈現與消失，故將環境控制設備的開啟時間訂為早上八點到晚上六點這段時間。

表 3-5 室內無居住者時系統開啟條件表(T 為溫度 $^{\circ}\text{C}$)

	室內溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	室外溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	太陽輻射 (W/m^2)	RH (%)
1.自然通風 (需全符合開啟條件)		15.5~26.5		$\text{RH} \leq 90$
2.遮陽板		<15.5	>280	
3.地中管(風門)	0~15.5 26.5~40			

(資料來源：本研究整理)

表 3-6 根據易構住宅當地條件所設計之開啟機制表(Tin 表室內溫度)

易構住宅室內環控設備	A. 室內溫度 (°C)	B. 室外溫度 (°C)	C. 太陽輻射 (W/m ²)	D. RH (%)	E. CO2 (ppm)	備註
1.遮陽板		<15	>280			
2.自然通風		>15		RH ≤ 90		
(B 和 D 需同時符合)					ppm ≥ 1000	ppm ≤ 700 停止 自然通風
3.地中管風門	當開啟地中管風扇或地中管壓縮機時關閉，其餘時間則開啟					
4.梯間太陽煙囪風扇	>15	當符合 2 或 5(當 Tin<15°C 時則關)時開啟；以及使用 6 時則關				
5.地中管風扇	0~15 25~28					15°C ≤ Earth tube ≤25°C
6.室內空調設備	>28	RH >90				

(資料來源：本研究整理)

表 3-7 地中管系統與室內空調設備之搭配機制

易構住宅室內環控設備		客廳	餐廳	主臥室	開啟條件
客廳空調		✓			$T_{in} > 28^{\circ}\text{C}$ (Signal 1)
餐廳空調			✓		$T_{in} > 28^{\circ}\text{C}$ (Signal 1)
主臥室空調				✓	$T_{in} > 28^{\circ}\text{C}$ (Signal 1)
地中管	地中管風扇 & 地中管壓縮機				Signals ≥ 2 (室內空調預設全關)

(資料來源：本研究整理)

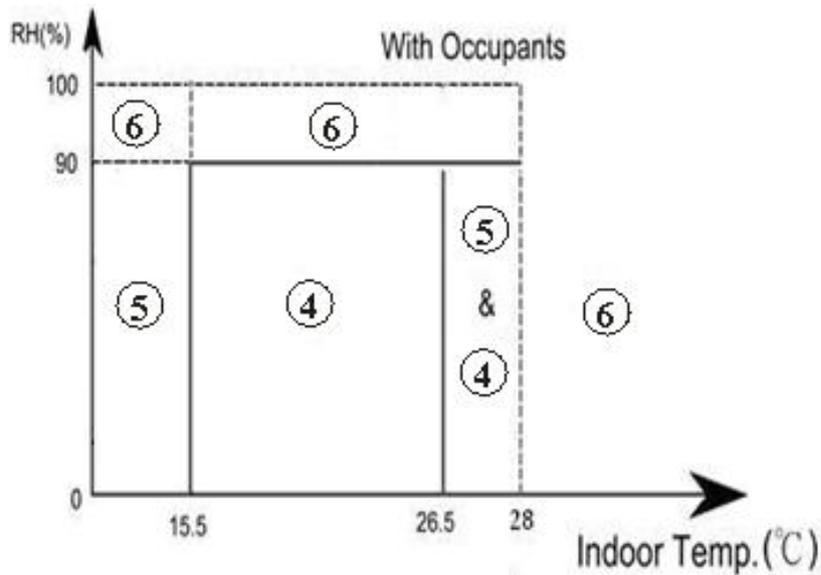


圖 3-12 室內無居住者時，以室內溫度為開啟條件圖

(資料來源：本研究整理)

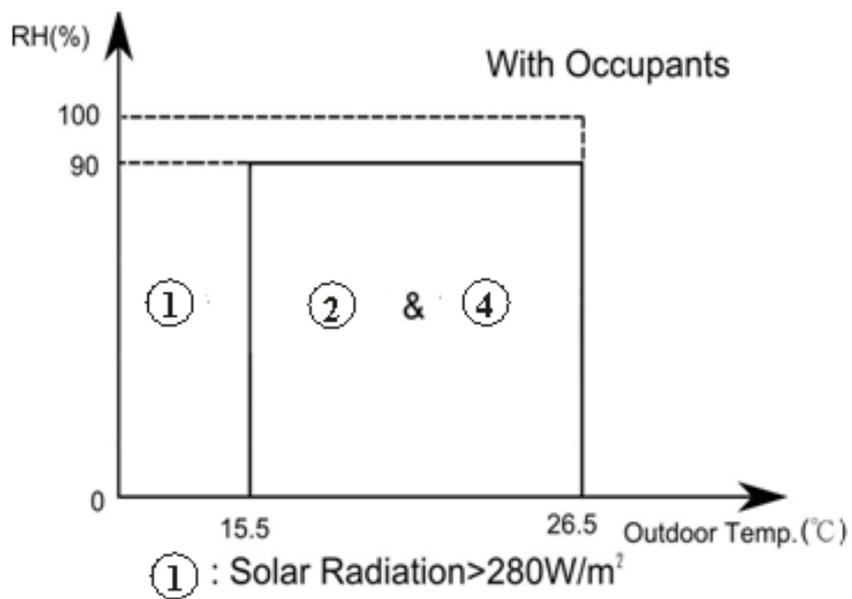


圖 3-13 室內無居住者時，以室外溫度為開啟條件圖

(資料來源：本研究整理)

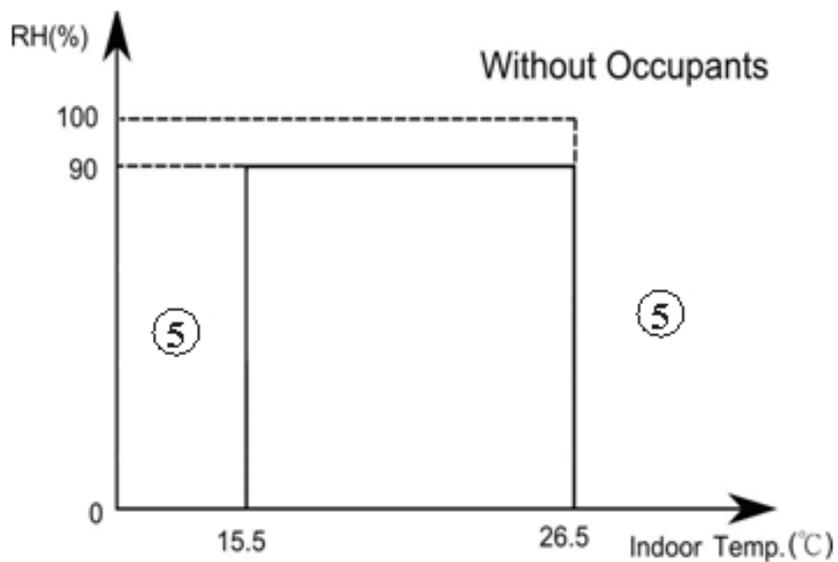


圖 3-14 室內有居住者時，以室內溫度為開啟條件圖

(資料來源：本研究整理)

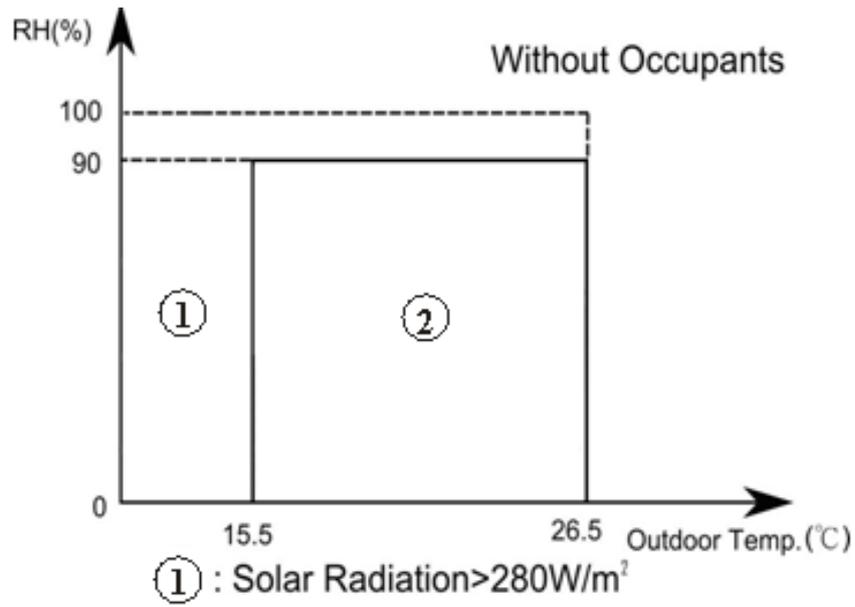


圖 3-15 室內有居住者時，以室外溫度為開啟條件圖

(資料來源：本研究整理)

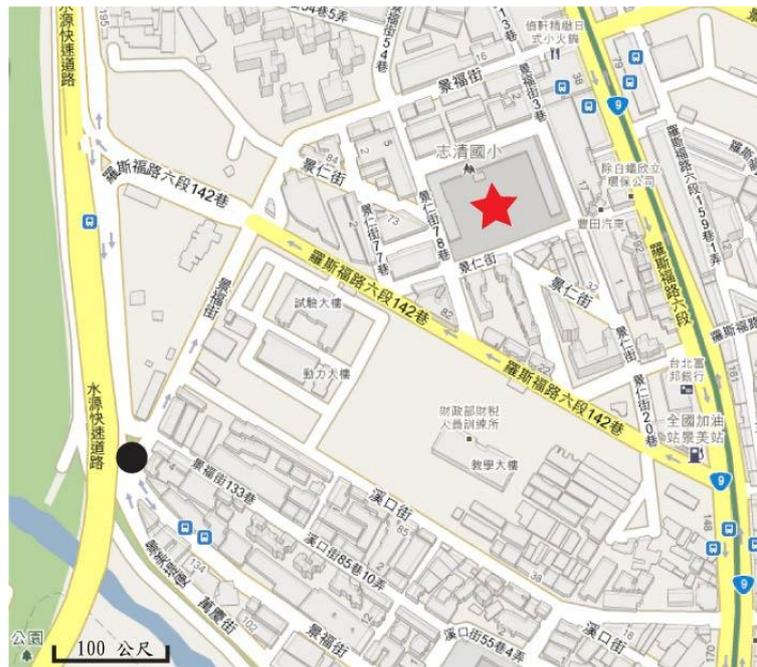


圖 3-16 易構住宅建設地點與志清國小相對位置圖，星形為志清國小、黑色圓點為易構

住宅

(資料來源：本研究整理)



圖 3-17 易構住宅建設地點與台灣大學大氣系相對位置圖，正方形為台灣大學大氣系、黑色圓點為易構住宅
(資料來源：本研究整理)

貳、量測成果

本研究實地量測日期從2010年09月到2011年05月，探討在不同的氣候條件下，依據易構住宅當地氣候條件所設計之環控設備開啟機制表，開啟單一環控設備後，易構住宅室內環境性能變化與建築物耗能需求，以及與各種主、被動式環控系統設備的關聯，實驗日期如表3-8所示，實驗位置為易構住宅南側1F客廳、南側2F主臥房和梯間太陽煙囪。易構住宅室內量測點分布如圖3-18至圖3-21，圈起的數字代表對應的RFID感測器編號與位置。

此外，本研究所定義春夏秋冬的時間，主要是以春分、夏至、秋分、冬至做為區分，將春季定為3月至5月、夏季為6月至8月、秋季為9月至11月、冬季為12月至2月。並且，為了讓環控機制的實驗組與對照組有較為一致的空間條件，自2011年1月15日，將1F走道封閉，使南側1F客廳和南側2F主臥房分別成為一獨立密閉空間。另外，自2011年08月05日，電表有重新配裝一組電流感測器，導致夏季實驗中空調、地中管風扇及地中管壓縮

機的電表讀值與之前實驗讀值有所差異。

表 3-8 開啟單一及兩種環控設備之實驗列表

項 目		秋季 (2010/09~11)	冬季 (2010/12~201102)	春季 (2011/03~05)	夏季 (2011/06~09)
使用 單一 設備	1. 遮陽板	09/28、10/02	01/01、12/13	04/10、04/24	07/18、09/03
	2. 自然通風	10/10、11/27	12/05、12/12	03/21、04/02	07/24、07/31
	3. 梯間太陽 煙囪風扇	10/11、11/28	12/04	03/19、04/09	08/29、09/04
	4. 地中管風 扇	11/07、11/24	12/16、12/25、	03/05、03/09	08/24、08/31
	5. 空調				07/02、07/09
開啟 兩種 設備	6. 地中管壓 縮機 + 地中 管風扇				08/28、08/30

註1: 為了讓環控機制的實驗組與對照組有較為一致的空間條件, 自2011年1月15日, 將1F走道封閉, 使南側1F客廳和南側2F主臥房分別成為一獨立密閉空間。

註2: 2010年9月11日, 增設地中管豎井(2), 6顆Dickson TK550。

註3: 2010年10月30日, 增設增設地中管入風口, 豎井(1)和室內壓縮機供風處, 共4顆Dickson TK550

(資料來源: 本研究整理)

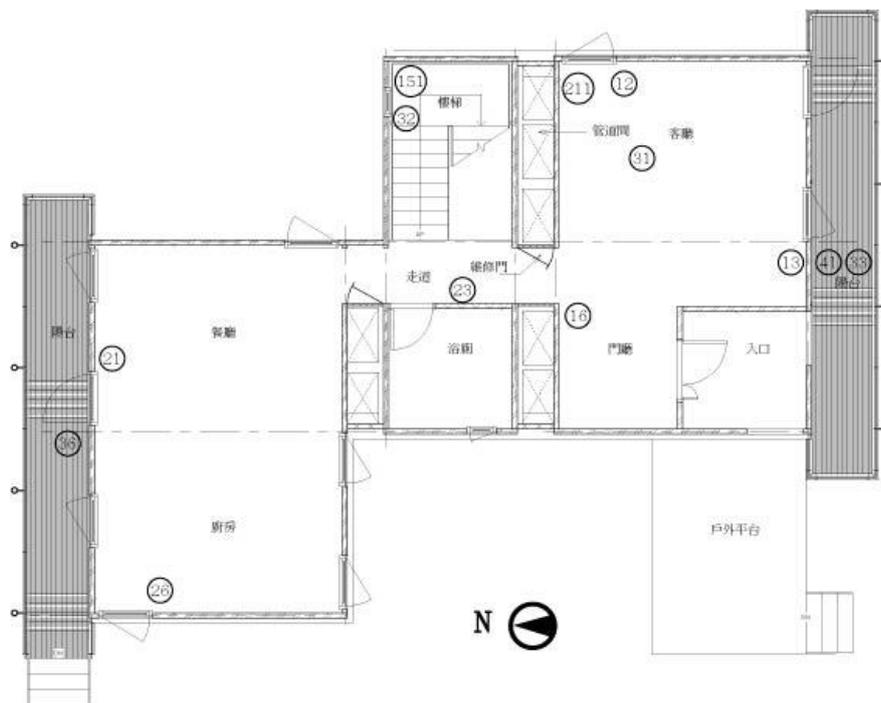


圖 3-18 易構住宅 1 樓平面圖
(資料來源：本研究整理)

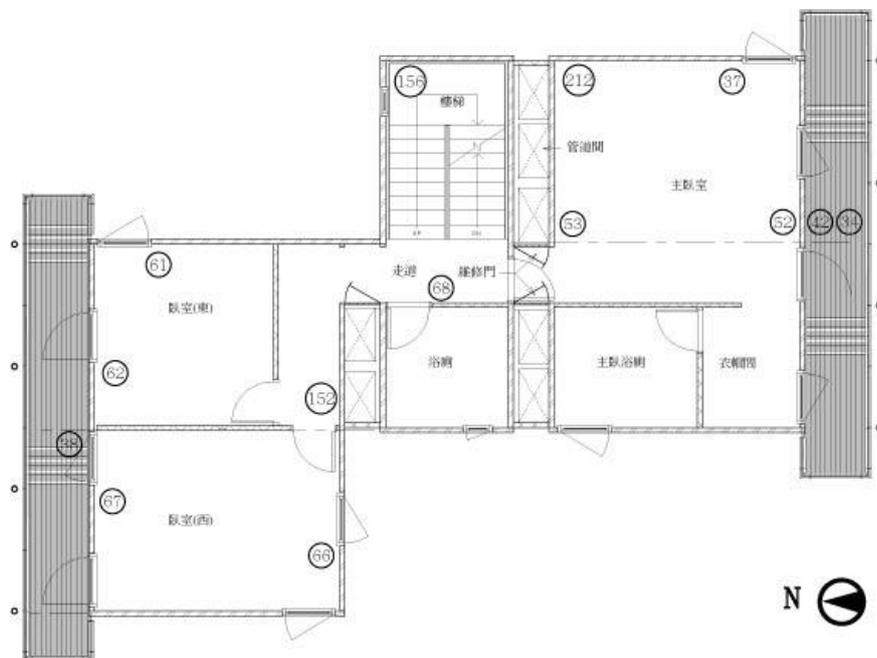


圖 3-19 易構住宅 2 樓平面圖
(資料來源：本研究整理)



圖 3-20 易構住宅 3 樓平面圖

(資料來源：本研究整理)

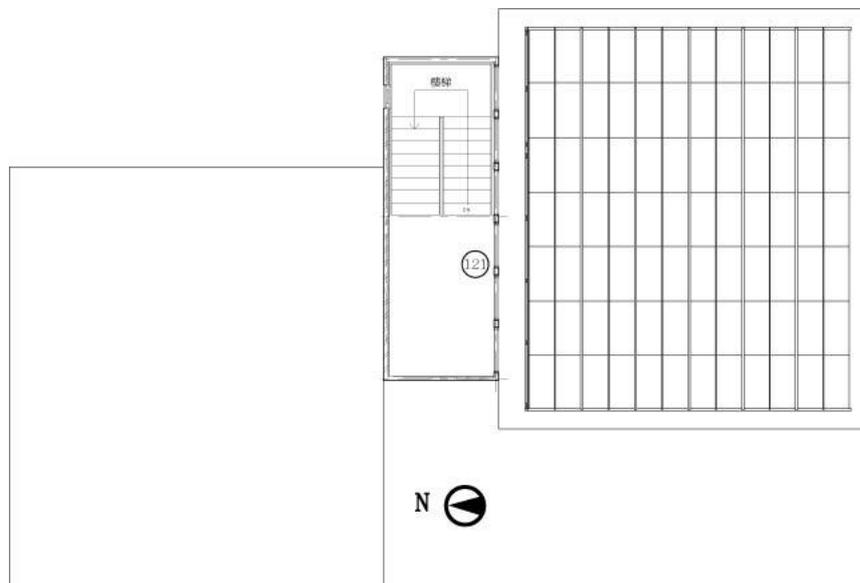


圖 3-21 易構住宅 4 樓平面圖

(資料來源：本研究整理)

1. 遮陽板

➤ 秋季

實驗日期:2010年9月28日，開啟時間:08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-9和表3-10所示。

當天太陽輻射強度如圖3-22，最大太陽輻射量約為895.00 W/m²發生於11:50，平均輻射量為494.25 W/m²。

易構住宅南側1F客廳與南側2F主臥房室內溫度變化結果如圖3-23，圖中可以知道，在使用1F客廳遮陽板這段時間內，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距-0.72°C ~ -0.08°C，平均溫差值約-0.44°C，最大溫差發生於9:00左右。

建築物耗能需求方面，由表3-10可以知道，由於使用的環控設備是1F客廳遮陽板，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3-9 2010/09/28 1F 客廳遮陽板使用機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2010/9/28
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳遮陽板(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	09/28 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-10 2010/09/28 EAG House 1F 客廳遮陽板使用基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.73	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	-0.010	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

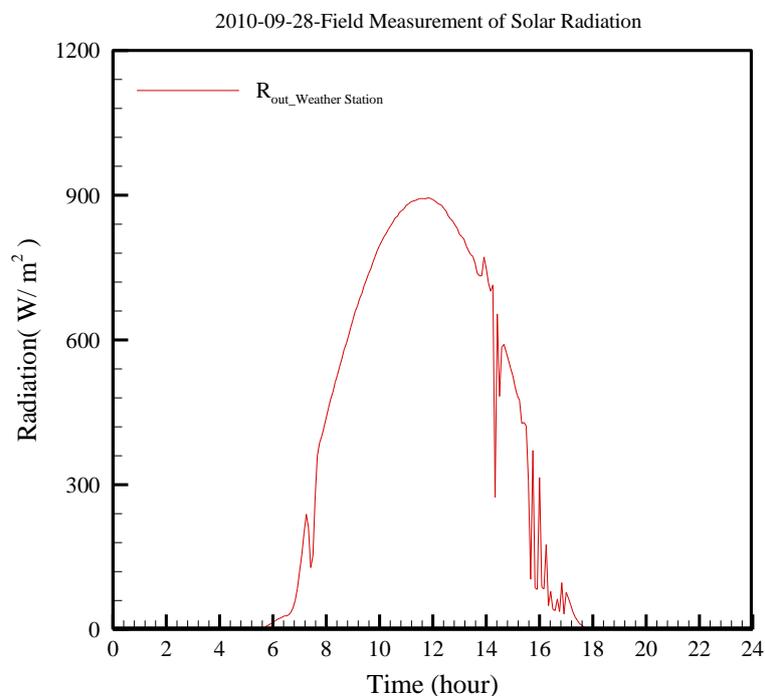


圖 3-22 2010 年 9 月 28 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

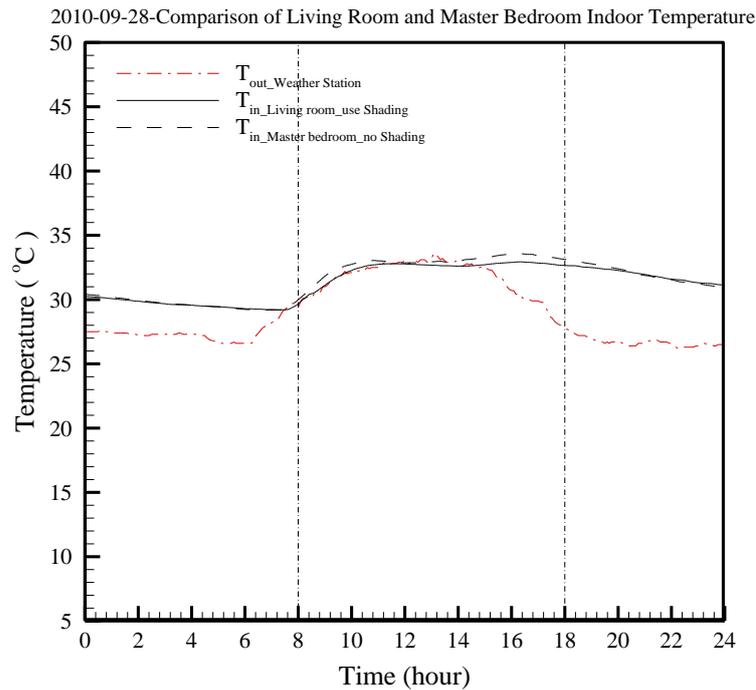


圖 3-23 2010 年 9 月 28 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

實驗日期: 2010年10月2日，開啟時間:08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-11和表3-12所示。

當天太陽輻射強度如圖3-24，最大太陽輻射量約為1034.00 W/m²發生於12:40，平均輻射量為425.20 W/m²。

易構住宅南側1F客廳與南側2F主臥房室內溫度變化結果如圖3-25，圖中可以知道，在使用1F客廳遮陽板這段時間內，08:00 ~ 11:04 2F主臥房室內環境溫度較1F客廳高，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距-0.80°C ~ 0.00°C，平均溫差值約-0.45°C，最大溫差發生於9:00；而11:04 ~ 18:00 則是1F客廳室內環境溫度較2F主臥房高，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距-0.10°C ~ 0.34°C，平均溫差值約0.12°C，最大溫差發生於12:30左右。

此外由圖3-25可以發現，在11:04以後，雖然使用1F客廳的遮陽板，但1F客廳室內環境溫度還是高於2F主臥房室內環境溫度，推測是因為秋季因素，使得太陽照射角度相對於夏季向南偏，因此造成太陽由易構住宅南側面窗戶照射進來，以及1F客廳位置比2F主

臥房的位置要來的低，易受到較多的太陽輻射照射。

根據美國海軍天文台(United States Naval Observatory，簡稱SNO)得知[6]，由於地球自轉軸傾斜 23.5° ，因此，當地球在公轉軌道上的位置產生移動時(四季變化)，地球上的同一地點由於地軸的傾斜，所得到的太陽入射角度，便會隨著地球與太陽的相對位置而改變，進而產生直斜射的變化。

2010年四季變化(以春分、夏至、秋分、冬至表示四季)與太陽照射角度關係，如表3-13和圖3-26到圖3-29所示。

建築物耗能需求方面，由表3-12可以知道，由於使用的環控設備是1F客廳遮陽板，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3- 11 2010/10/02 1F 客廳遮陽板使用機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2010/10/2
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳遮陽板(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	10/02 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3- 12 2010/10/02 EAG House 1F 客廳遮陽板使用基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.73	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	-0.010	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

表 3-13 2010 年四季變化與太陽照射角度

日期	春分(03/21)		夏至(06/22)		秋分(09/24)		冬至(12/22)	
	Altitude (ϕ)	Azimuth (θ)						
	(度)	(度)	(度)	(度)	(度)	(度)	(度)	(度)
05:00			-2.7	62.5	-11.5	84.9	-8.9	111.8
06:00	-1.2	89.4	9.8	68.6	2.4	91.3	3.6	117.9
07:00	12.5	95.8	22.6	73.7	15.7	97.9	15.1	125.4
08:00	25.8	102.9	35.8	78.2	28.9	105.4	25.4	135
09:00	38.8	111.9	49.2	82.5	41.7	115.1	34	147.5
10:00	50.8	124.6	62.7	87	53.2	129.5	39.7	163.1
11:00	60.5	145.1	76.3	93.5	61.8	152.6	41.5	181.1
12:00	65.1	176.8	88.4	180.7	64.5	185.7	39.2	198.9
13:00	61.9	210.1	76.2	266.5	59.5	216.2	33.1	214.2
14:00	52.8	232.5	62.6	273	49.6	235.9	24.3	226.3
15:00	41.1	246.4	49.1	277.5	37.5	248.3	13.7	235.6
16:00	28.2	255.8	35.7	281.8	24.6	257.1	2.3	242.9
17:00	14.9	263.2	22.6	286.3	11.2	264.2	-10.4	248.9
18:00	1.6	269.7	9.8	291.4	-2.5	270.6		
19:00			-2.7	297.5				

(資料來源：本研究整理)

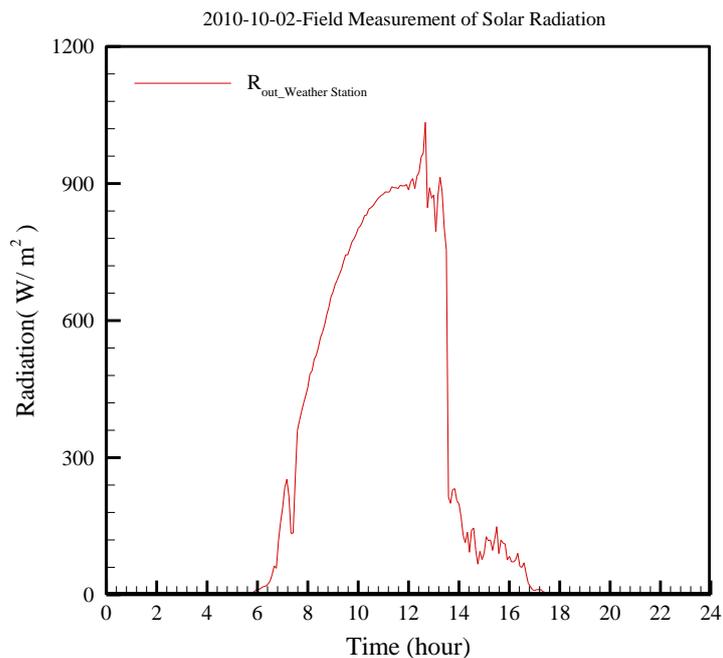


圖 3-24 2010 年 10 月 2 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射量強度圖
(資料來源：本研究整理)

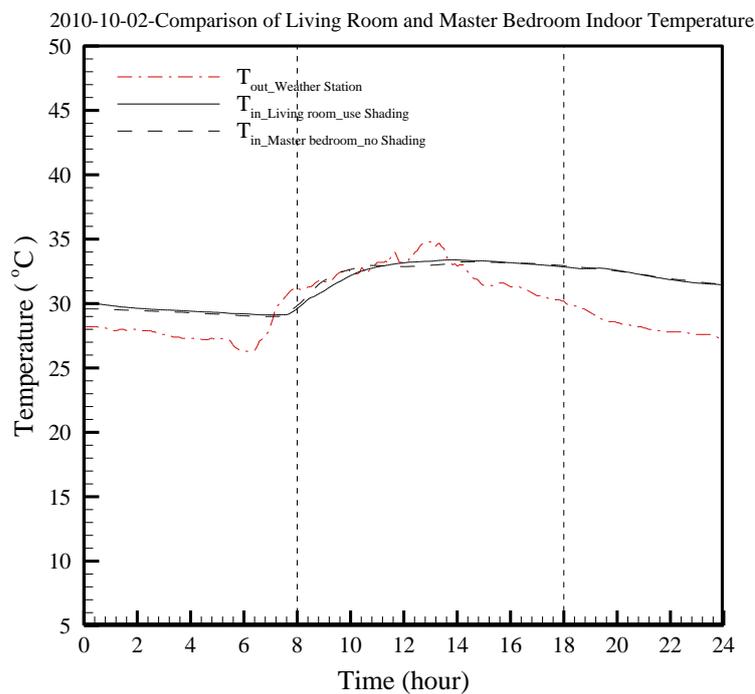


圖 3-25 2010 年 10 月 2 日(使用 1F 客廳遮陽板): 南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖
(資料來源：本研究整理)

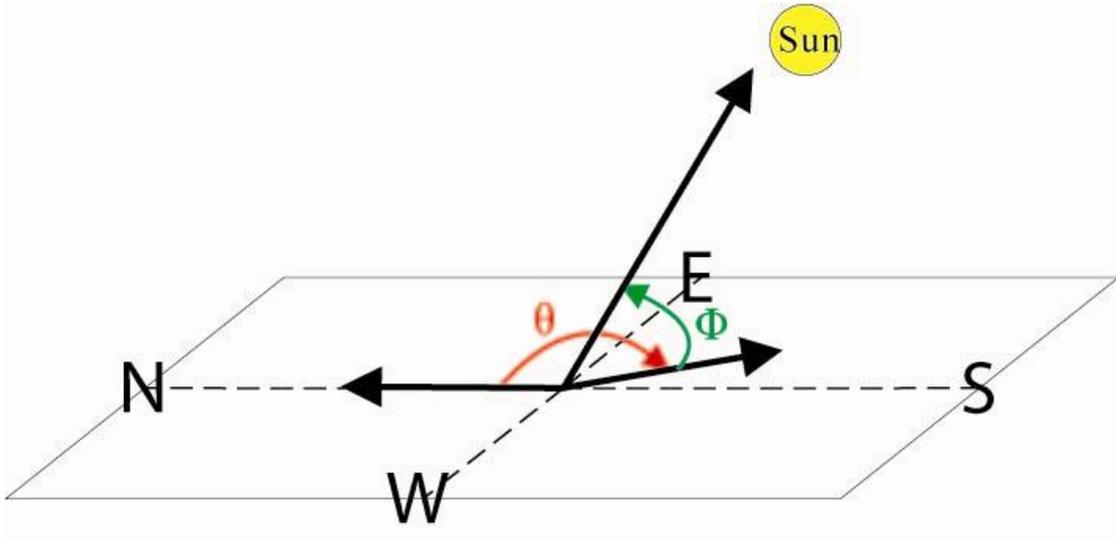


圖 3-26 2010 年春分 12:00 的太陽位置圖， θ 為太陽方位角、 ϕ 為太陽仰角
(資料來源：本研究整理)

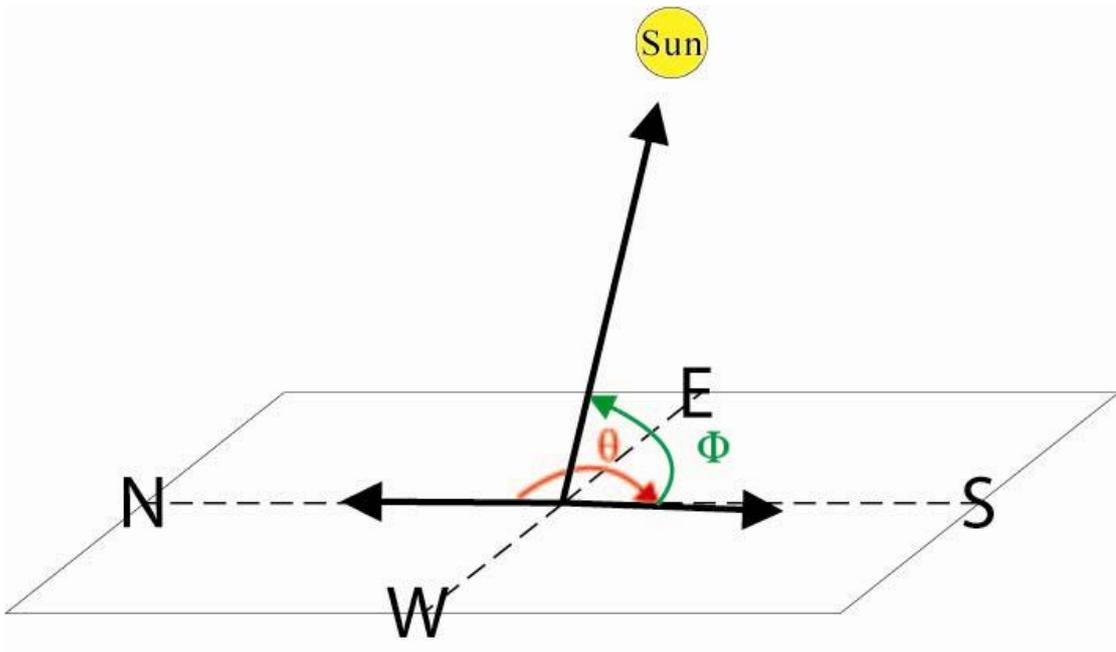


圖 3-27 2010 年夏至 12:00 的太陽位置圖， θ 為太陽方位角、 ϕ 為太陽仰角
(資料來源：本研究整理)

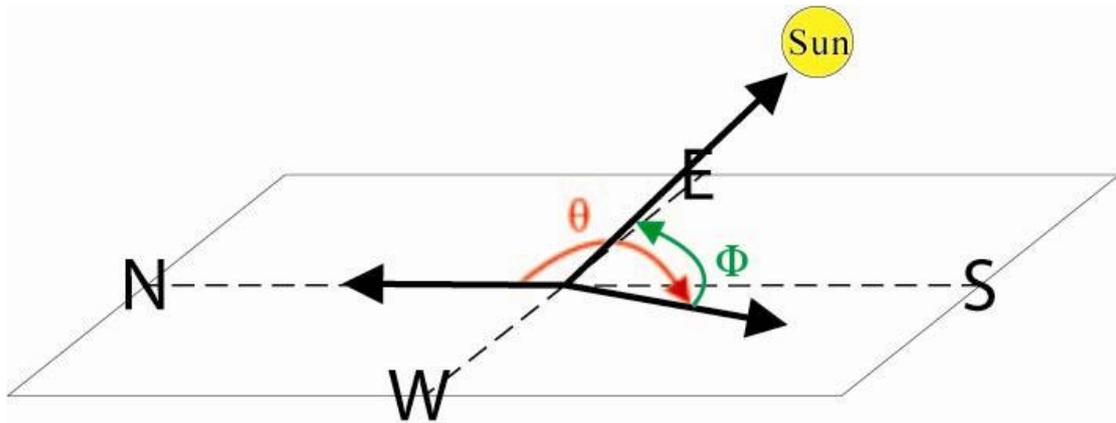


圖 3-28 2010 年秋分 12:00 的太陽位置圖， θ 為太陽方位角、 ϕ 為太陽仰角
(資料來源：本研究整理)

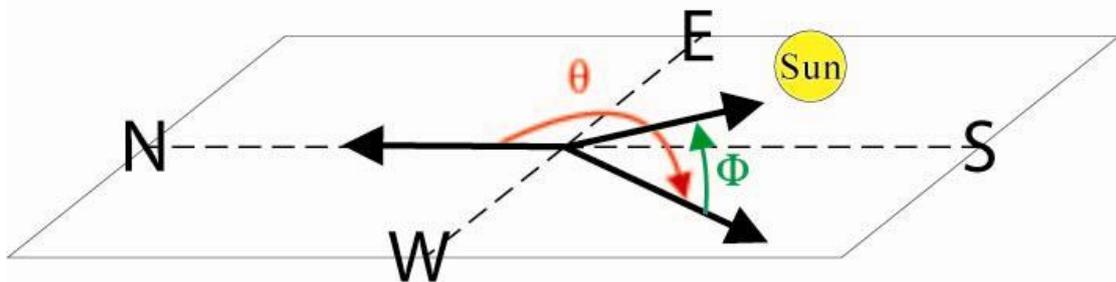


圖 3-29 2010 年冬至 12:00 的太陽位置圖， θ 為太陽方位角、 ϕ 為太陽仰角
(資料來源：本研究整理)

➤ 冬季

實驗日期:2010年12月13日，開啟時間:08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-14和表3-15所示。

當天太陽輻射強度如圖3-30，最大太陽輻射量約為 570.10 W/m^2 發生於11:54，平均輻射量為 259.62 W/m^2 。

易構住宅南側1F客廳與南側2F主臥房室內溫度變化結果如圖3-31，圖中可以知道，在使用1F客廳遮陽板這段時間內，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距 $-0.19^\circ\text{C} \sim 0.37^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 0.04°C ，最大溫差發生於8:00左右。

建築物耗能需求方面，由表3-15可以知道，由於使用的環控設備是1F客廳遮陽板，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3-14 2010/12/13 1F 客廳遮陽板使用機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2010/12/13
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳遮陽板(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	12/13 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-15 2010/12/13 EAG House 使用 1F 客廳遮陽板基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差 (度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

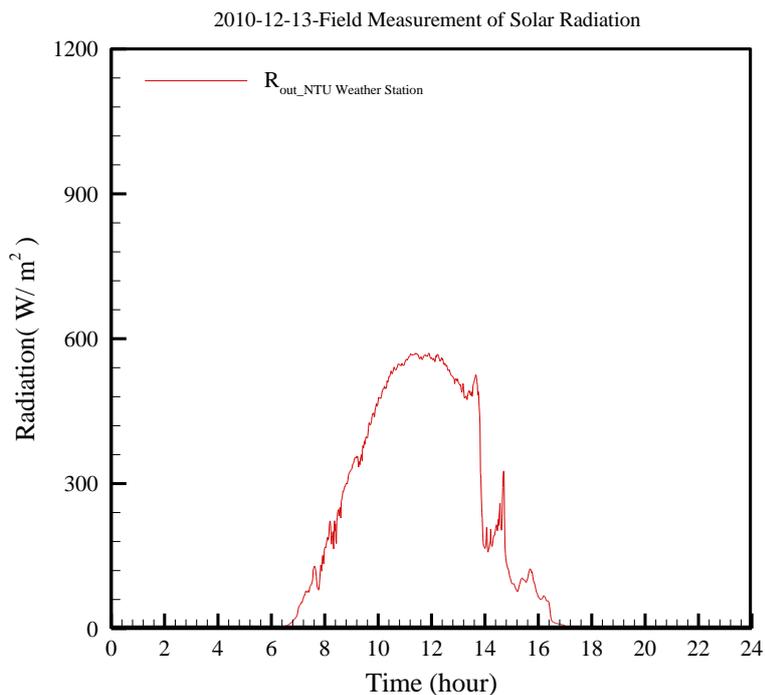


圖 3-30 2010 年 12 月 13 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射量強度圖
(資料來源：本研究整理)

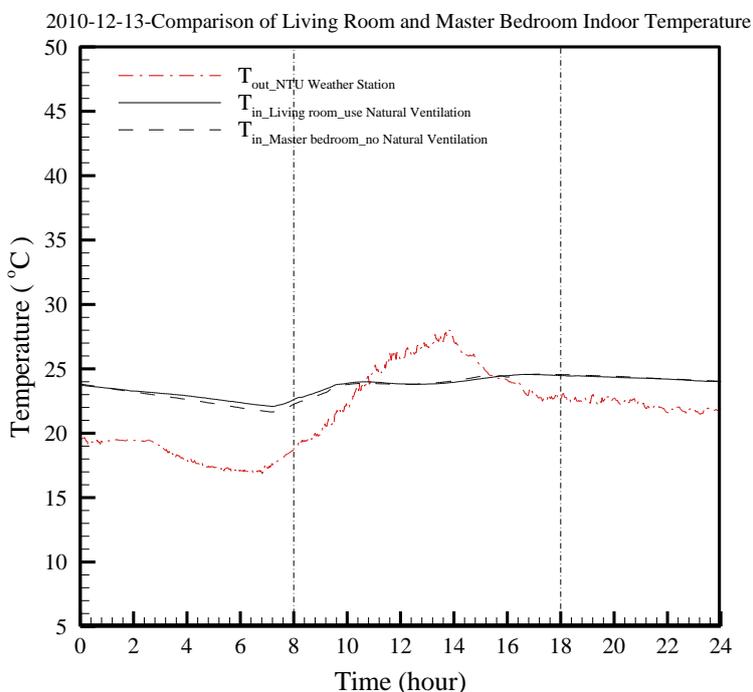


圖 3-31 2010 年 12 月 13 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化
圖

(資料來源：本研究整理)

實驗日期:2011年1月1日，開啟時間:08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-16和表3-17所示。

當天太陽輻射強度如圖3-32，最大太陽輻射量約為991.00 W/m²發生於11:45，平均輻射量為167.90 W/m²。

易構住宅南側1F客廳與南側2F主臥房室內溫度變化結果如圖3-33，圖中可以知道，在使用1F客廳遮陽板這段時間內，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距-0.07°C ~ 0.68°C，平均溫差值約0.32°C，最大溫差發生於17:24左右。

建築物耗能需求方面，由表3-17可以知道，由於使用的環控設備是1F客廳遮陽板，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3- 16 2011/01/01 1F 客廳遮陽板使用機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/1/1
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳遮陽板(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	01/01 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-17 2011/01/01 EAG House 使用 1F 客廳遮陽板基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	0.23	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	0.002	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

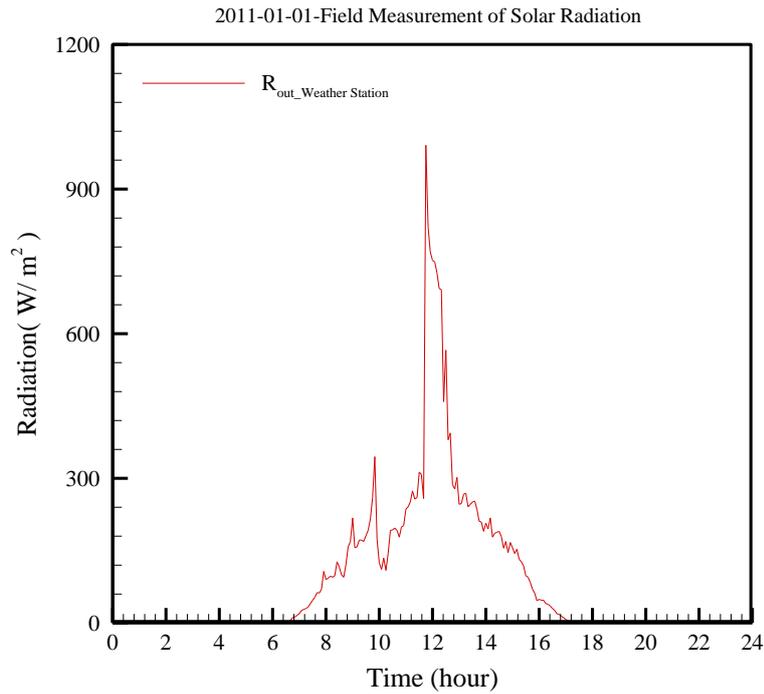


圖 3-32 2011 年 1 月 1 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射量強度圖
(資料來源：本研究整理)

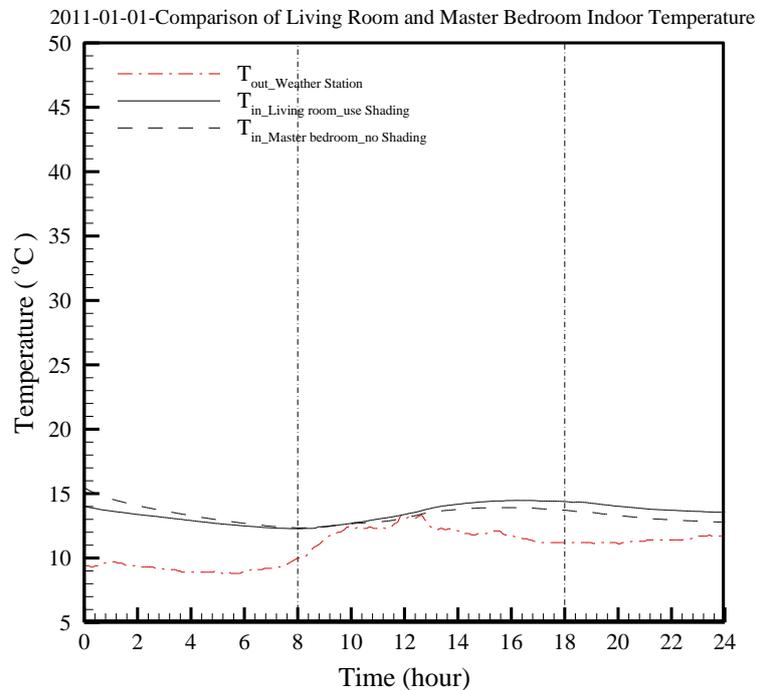


圖 3-33 2011 年 1 月 1 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度
變化圖

(資料來源：本研究整理)

➤ 春季

為了讓環控機制的實驗組與對照組有較為一致的空間條件，自 2011 年 1 月 15 日，將 1F 走道封閉，使南側 1F 客廳和南側 2F 主臥房分別成為一獨立密閉空間。故春季遮陽板的隔間條件與秋季和冬季不同。

實驗日期:2011年4月10日，開啟時間:08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-18和表3-19所示。

當天太陽輻射強度如圖3-34，最大太陽輻射量約為844.00 W/m²發生於11:40，平均輻射量為438.87 W/m²。

易構住宅南側1F客廳與南側2F主臥房室內溫度變化結果如圖3-35，圖中可以知道，在使用1F客廳遮陽板這段時間內，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距-0.64°C ~ -0.07°C，平均溫差值約-0.49°C，最大溫差發生於15:57左右。

建築物耗能需求方面，由表3-19可以知道，由於使用的環控設備是1F客廳遮陽板，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3- 18 2011/04/10 1F 客廳遮陽板使用機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/4/10
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳遮陽板(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	04/10 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-19 2011/04/10 EAG House 使用 1F 客廳遮陽板基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

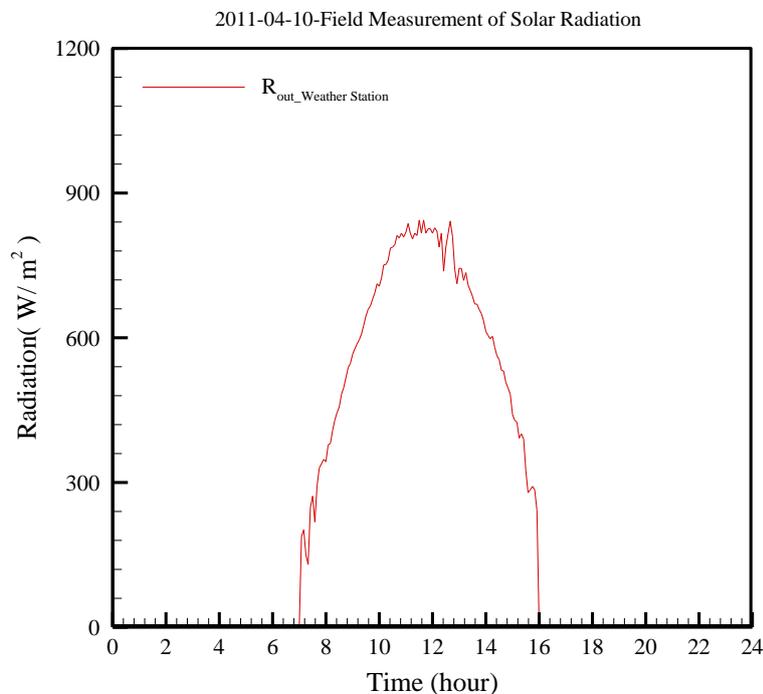


圖 3-34 2011 年 4 月 10 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

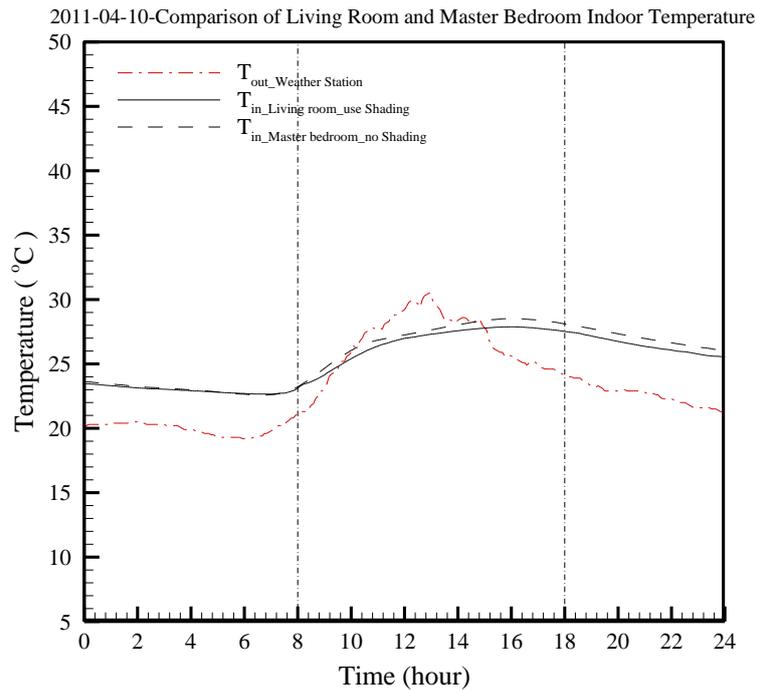


圖 3-35 2011 年 4 月 10 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

實驗日期:2011年4月24日，開啟時間:08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-20和表3-21所示。

當天太陽輻射強度如圖3-36，最大太陽輻射量約為 988.00 W/m^2 發生於11:35，平均輻射量為 556.34 W/m^2 。

易構住宅南側1F客廳與南側2F主臥房室內溫度變化結果如圖3-37，圖中可以知道，在使用1F客廳遮陽板這段時間內，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距 $-0.94^\circ\text{C} \sim 0.02^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 -0.48°C ，最大溫差發生於16:58左右。

建築物耗能需求方面，由表3-21可以知道，由於使用的環控設備是1F客廳遮陽板，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3-20 2011/04/24 1F 客廳遮陽板使用機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/4/24
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳遮陽板(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	04/24 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-21 2011/04/24 EAG House 使用 1F 客廳遮陽板基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

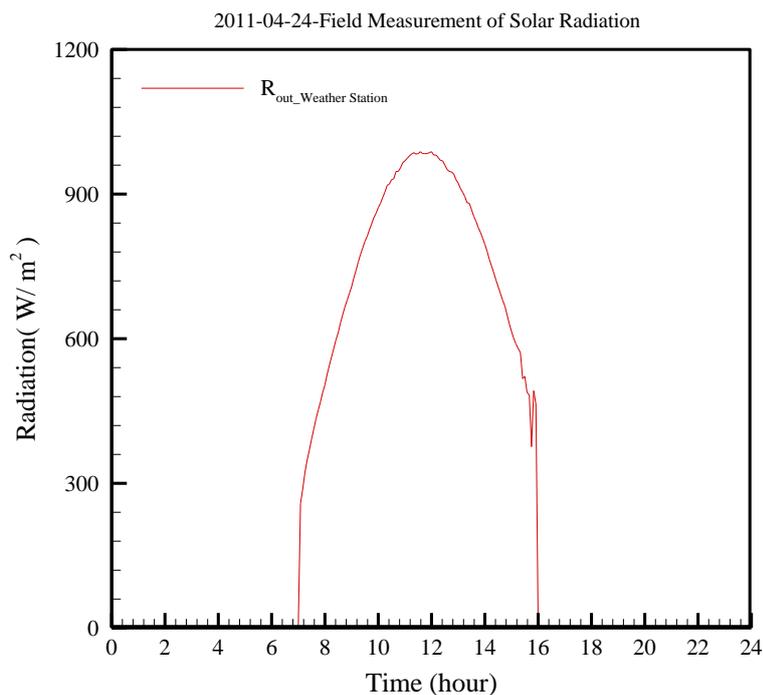


圖 3-36 2011 年 4 月 24 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射量強度圖
(資料來源：本研究整理)

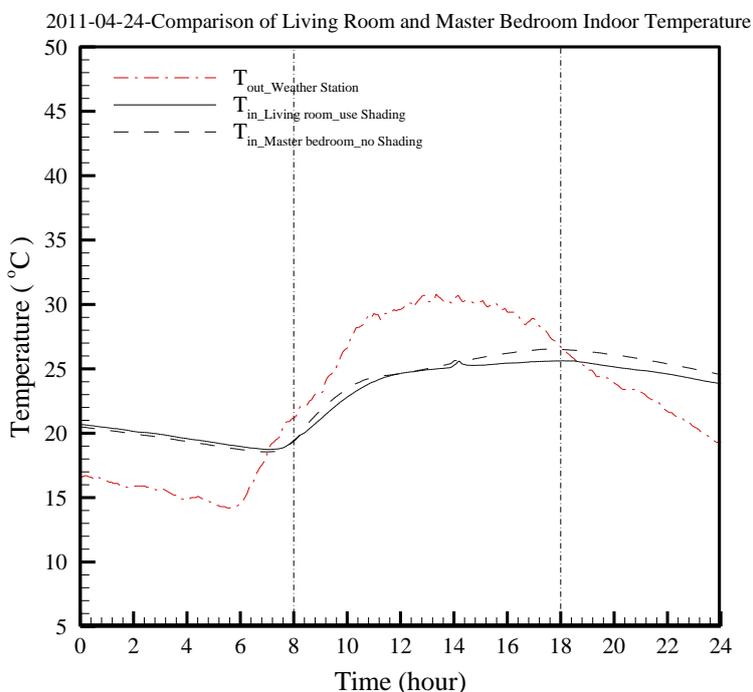


圖 3-37 2011 年 4 月 24 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

➤ 夏季

實驗日期:2011年7月18日，開啟時間:8:00~18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-22和表3-23所示

當天太陽輻射強度如圖3-38，最大太陽輻射量約為1234 W/m²發生於10:50，平均輻射量為271.50W/m²。

易構住宅南側1F客廳與南側主臥房室內溫度變化結果如圖3-39，圖中可以知道，在使用1F客廳遮陽板這段時間內，1F客廳與主臥房兩者溫度差距-0.38°C~-0.01°C，平均溫差值約-0.25°C，最大溫差發生於9:00左右。

建築物耗能需求方面，由表3-23可以知道，由於使用的環控設備是1F客廳遮陽板，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3-22 2011/07/18 1F 客廳遮陽板使用機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/7/18
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳遮陽板(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	07/18 15:30~16:30 下雨

(資料來源:本研究整理)

表 3-23 2011/07/18 EAG House 使用 1F 客廳遮陽板基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.759	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.019	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源:本研究整理)

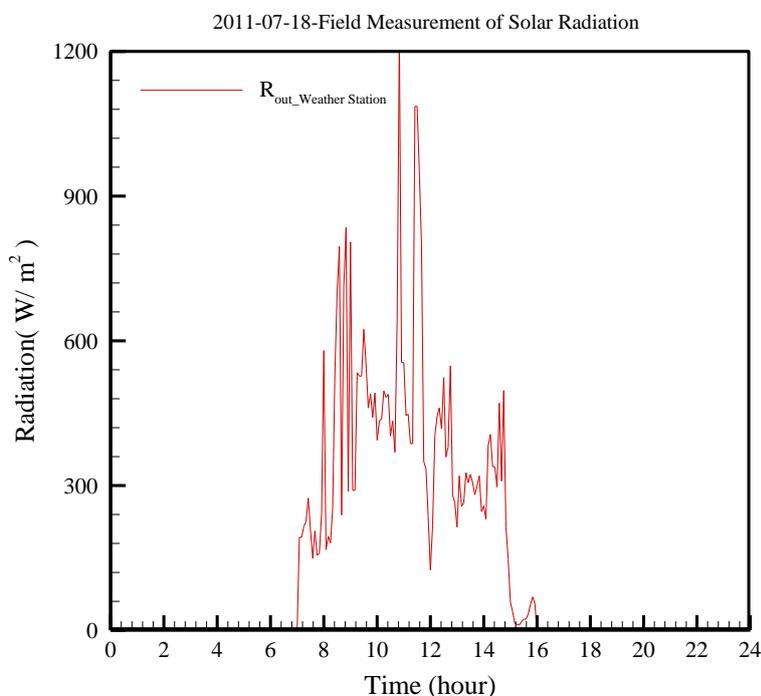


圖 3-38 2011 年 7 月 18 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射強度圖

(資料來源:本研究整理)

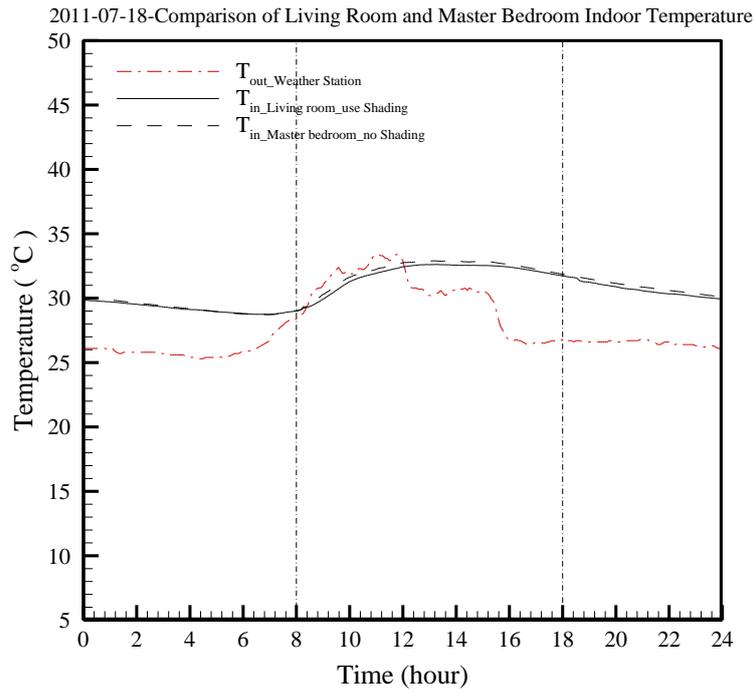


圖 3-39 2011 年 7 月 18 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2 樓
主臥房室內溫度變化圖

(資料來源:本研究整理)

實驗日期:2011年9月3日,開啟時間:8:00~18:00,開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-24和表3-25所示

當天太陽輻射強度如圖3-40,最大太陽輻射量約為 1004 W/m^2 發生於12:05,平均輻射量為 481.22 W/m^2 。

易構住宅南側1F客廳與南側主臥房室內溫度變化結果如圖3-41,圖中可以知道,在使用1F客廳遮陽板這段時間內,1F客廳與主臥房兩者溫度差距 $-0.46^\circ\text{C} \sim -0.04^\circ\text{C}$,平均溫差值約 -0.28°C ,最大溫差發生於17:00左右。

建築物耗能需求方面,由表 3-25可以知道,由於使用的環控設備是1F客廳遮陽板,為被動式設備,不需要消耗任何能源。

表 3-24 2011/09/03 1F 客廳遮陽板使用機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/9/3
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳遮陽板(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	09/03 當天無下雨

(資料來源:本研究整理)

表 3-25 2011/09/03 EAG House 使用 1F 客廳遮陽板基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.735	0.288	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.288	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	-0.005	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源:本研究整理)

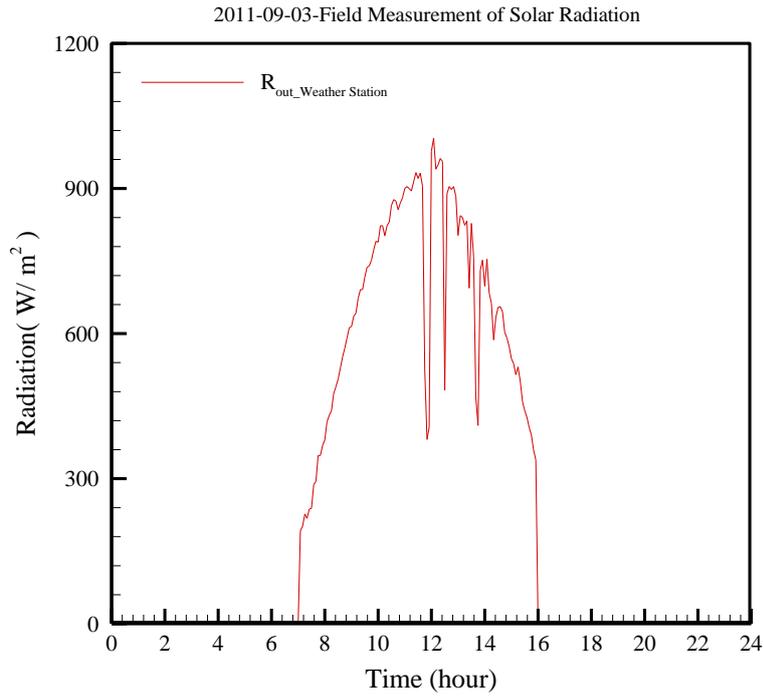


圖 3-40 2011 年 9 月 3 日(使用 1F 客廳遮陽板):太陽輻射強度圖

(資料來源:本研究整理)

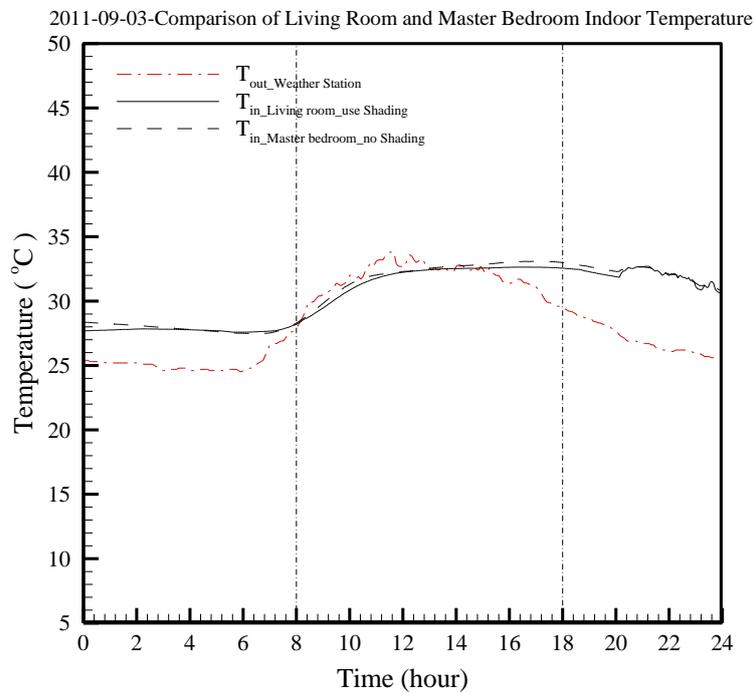


圖 3-41 2011 年 9 月 3 日(使用 1F 客廳遮陽板):南側 1F 客廳與南側 2 樓

主臥房室內溫度變化圖

(資料來源:本研究整理)

2. 自然通風

➤ 秋季

實驗日期:2010年10月10日，開啟時間:08:00~18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-26和表3-27所示。

當天太陽輻射強度如圖3-42，最大太陽輻射量約為566.00 W/m²發生於12:35，平均輻射量為216.72 W/m²。

易構住宅南側1F客廳與南側2F主臥房室內溫度變化結果如圖3-43，圖中可以知道，在開啟1F客廳窗戶這段時間內，因上午時段室外環境溫度較高，導致1F客廳室內環境溫度也隨之上升，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距0.01°C~0.52°C，平均溫差值約0.31°C，最大溫差發生於08:30左右，但約在14:00過後，因室外環境溫度下降因素，導致1F客廳室內環境溫度也隨之下降，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距-1.40°C~-0.02°C，平均溫差值約-0.59°C，最大溫差發生於17:30左右。

建築物耗能需求方面，由表3-27可以知道，由於開啟的環控設備是1F客廳窗戶，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3-26 2010/10/10 1F 客廳窗戶開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2010/10/10
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳窗戶(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	02:00~03:00 下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-27 2010/10/10 EAG House 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

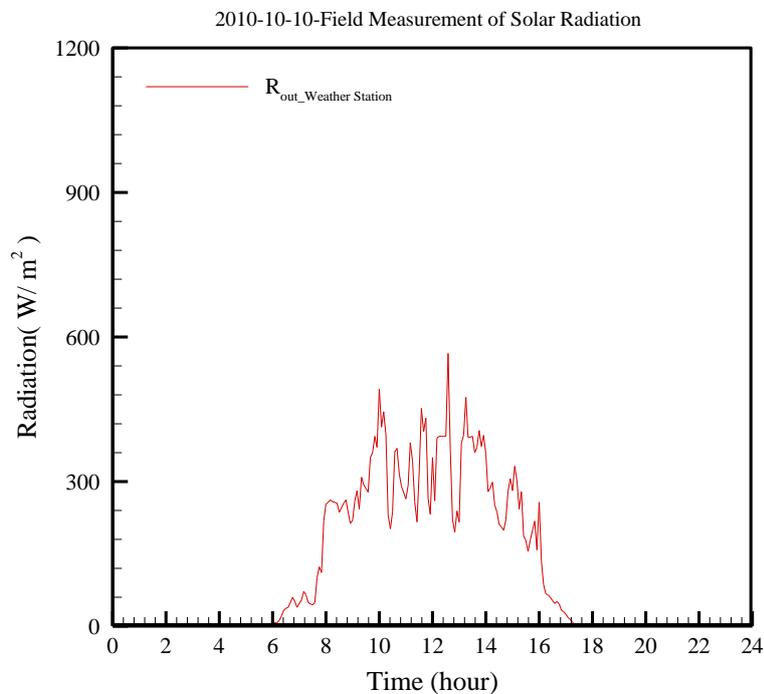


圖 3-42 2010 年 10 月 10 日(開啟 1F 客廳窗戶):太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

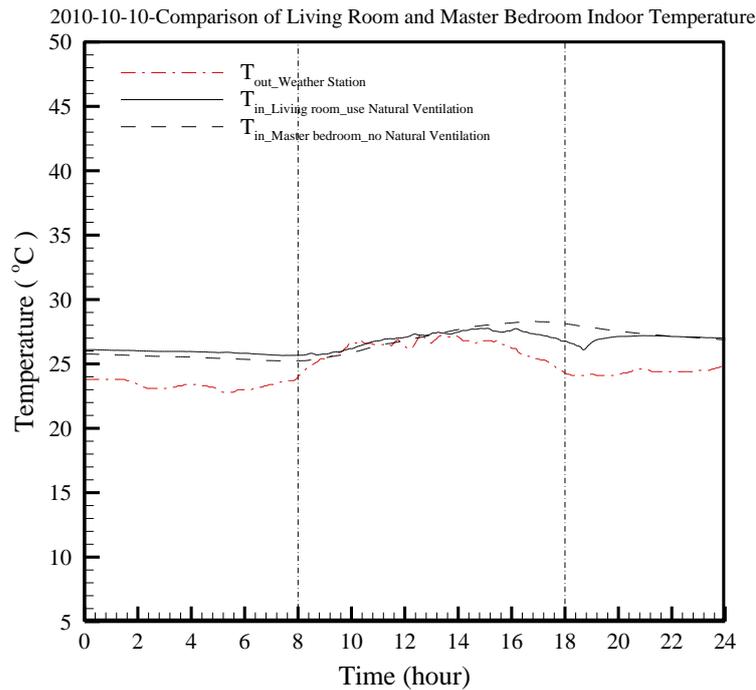


圖 3-43 2010 年 10 月 10 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

實驗日期:2010年11月27日，開啟時間:08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-28和表3-29所示。

當天太陽輻射強度如圖3-44，最大太陽輻射量約為 807.00 W/m^2 發生於10:45，平均輻射量為 321.89 W/m^2 。

易構住宅南側1F客廳與南側2F主臥房室內溫度變化結果如圖3-45，圖中可以知道，在開啟1F客廳窗戶這段時間內，因上午時段室外環境溫度較高，導致1F客廳室內環境溫度也隨之上升，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距 $0.01^\circ\text{C} \sim 0.48^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 0.30°C ，最大溫差發生於11:30左右，但約在14:00過後，因室外環境溫度下降因素，導致1F客廳室內環境溫度也隨之下降，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距 $-1.53^\circ\text{C} \sim -0.03^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 -0.89°C ，最大溫差發生於17:30左右。

建築物耗能需求方面，由表3-29可以知道，由於開啟的環控設備是1F客廳窗戶，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3-28 2010/11/27 1F 客廳窗戶開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2010/11/27
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳窗戶(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	11/27 當天沒下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-29 2010/11/27 EAG House 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

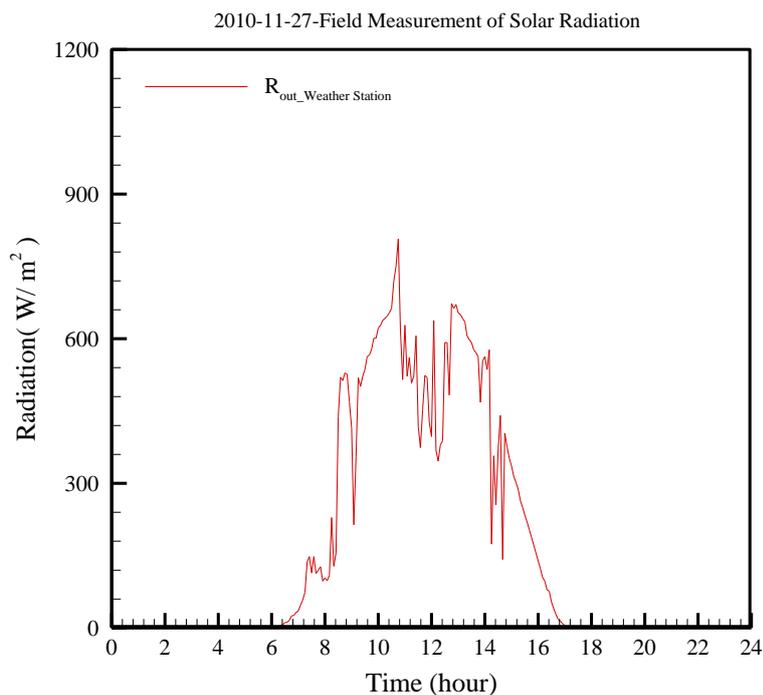


圖 3-44 2010 年 11 月 27 日(開啟 1F 客廳窗戶):太陽輻射量強度圖
(資料來源：本研究整理)

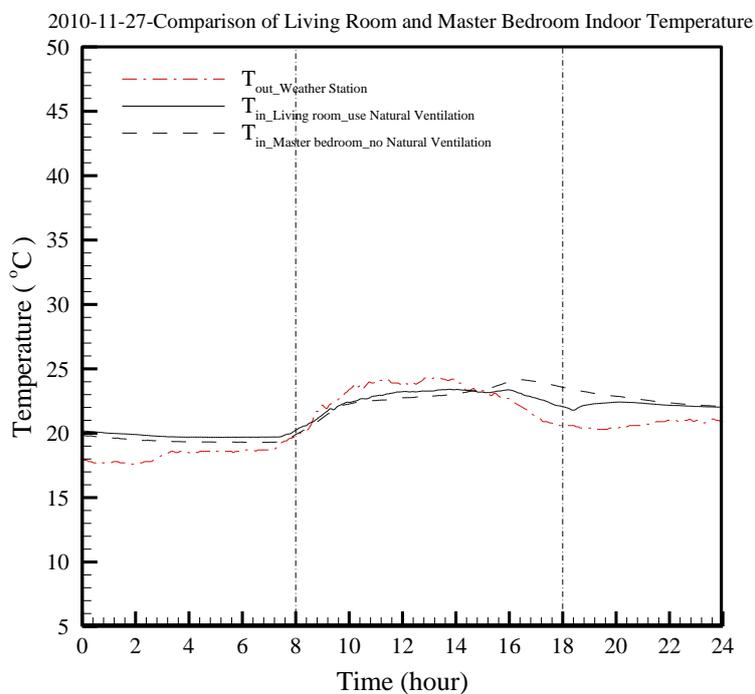


圖 3-45 2010 年 11 月 27 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度
變化圖

(資料來源：本研究整理)

➤ 冬季

實驗日期:2010年12月5日，開啟時間:08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-30和表3-31所示。

當天太陽輻射強度如圖3-46，最大太陽輻射量約為767.00 W/m²發生於11:39，平均輻射量為188.62 W/m²。

易構住宅南側1F客廳與南側2F主臥房室內溫度變化結果如圖3-47，圖中可以知道，在開啟1F客廳窗戶這段時間內，室內環境溫度變化可以區分為08:00 ~ 10:21、10:25 ~ 15:22和15:25 ~ 18:00三部分。

在08:00 ~ 10:21內，因室外環境溫度較低，導致1F客廳室內環境溫度降低，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距-0.36°C ~ -0.01°C，平均溫差值約-0.20°C，最大溫差發生於08:39左右；而10:25 ~ 15:22內，因室外環境溫度較高，導致1F客廳室內環境溫度也隨之上升，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距0.01°C ~ 0.39°C，平均溫差值約0.22°C，最大溫差發生於13:28左右；最後在15:25 ~ 18:00內，因室外環境溫度下降因素，導致1F客廳室內環境溫度也隨之下降，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距-0.78°C ~ -0.03°C，平均溫差值約-0.42°C，最大溫差發生於18:00左右。

建築物耗能需求方面，由表3-31可以知道，由於開啟的環控設備是1F客廳窗戶，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3-30 2010/12/05 1F 客廳窗戶開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2010/12/5
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳窗戶(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	12/05 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-31 2010/12/05 EAG House 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

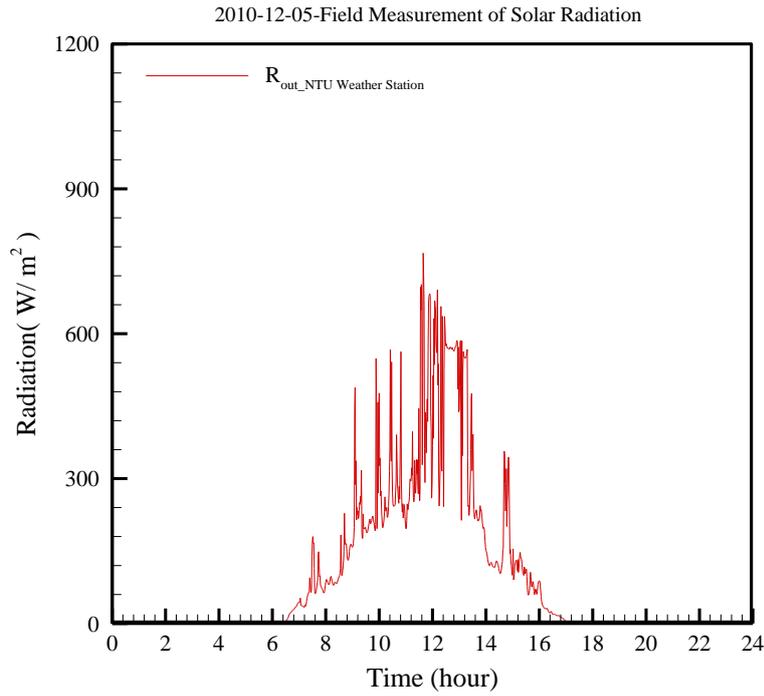


圖 3-46 2010 年 12 月 5 日(開啟 1F 客廳窗戶):太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

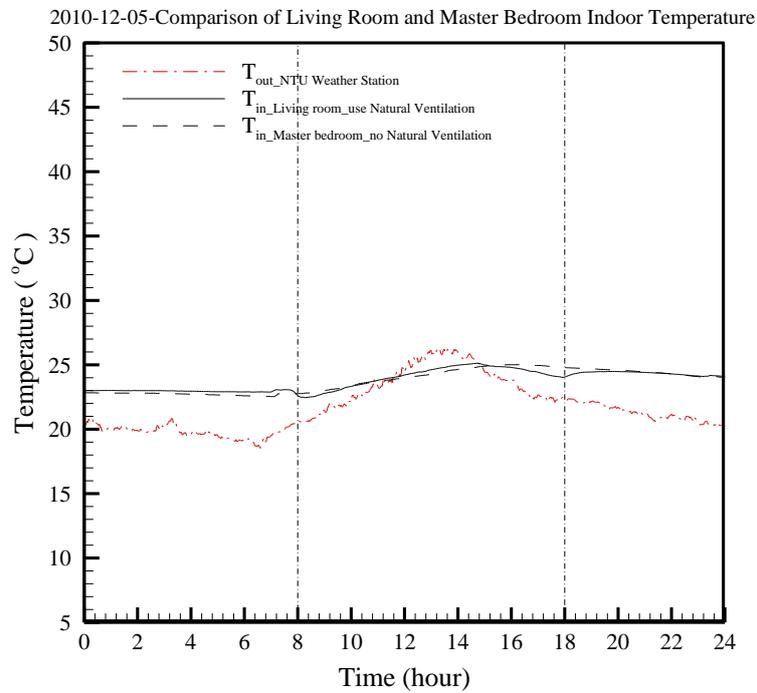


圖 3-47 2010 年 12 月 5 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

實驗日期:2010年12月12日，開啟時間:08:00~18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-32和表3-33所示。

當天太陽輻射強度如圖3-48，最大太陽輻射量約為590.80 W/m²發生於11:35，平均輻射量為299.93 W/m²。

易構住宅南側1F客廳與南側2F主臥房室內溫度變化結果如圖3-49，圖中可以知道，在開啟1F客廳窗戶這段時間內，因上午時段室外環境溫度較高，導致1F客廳室內環境溫度也隨之上升，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距0.00°C ~ 0.96°C，平均溫差值約0.49°C，最大溫差發生於10:28左右，但約在14:13過後，因室外環境溫度下降因素，導致1F客廳室內環境溫度也隨之下降，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距-2.49°C ~ -0.01°C，平均溫差值約-0.94°C，最大溫差發生於18:00左右。

建築物耗能需求方面，由表3-33可以知道，由於開啟的環控設備是1F客廳窗戶，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3- 32 2010/12/12 1F 客廳窗戶開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2010/12/12
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳窗戶(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	12/12 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-33 2010/12/12 EAG House 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

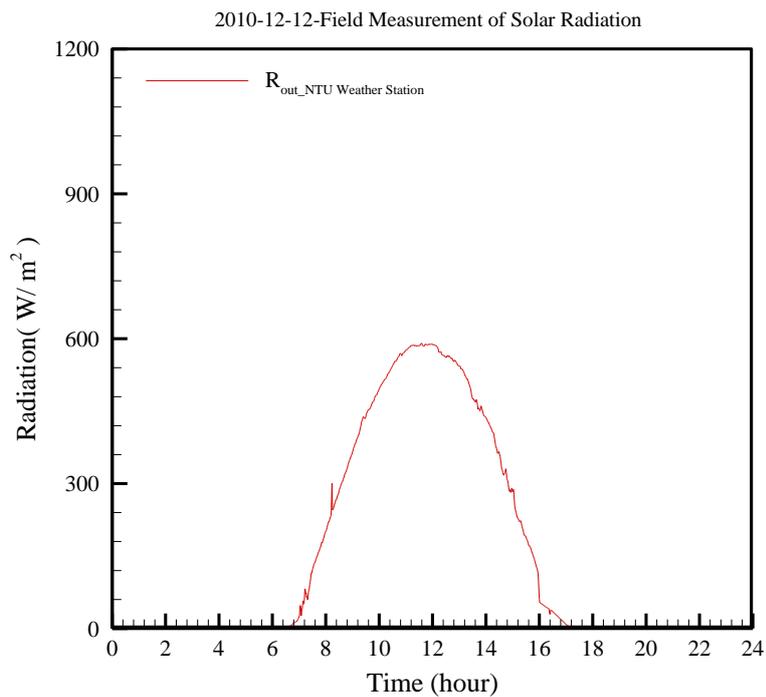


圖 3-48 2010 年 12 月 12 日(開啟 1F 客廳窗戶):太陽輻射量強度圖
(資料來源：本研究整理)

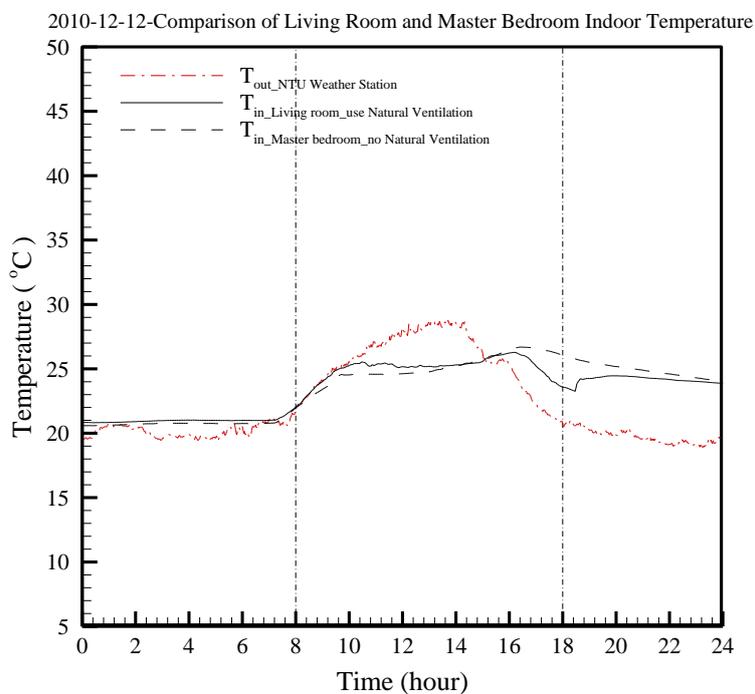


圖 3-49 2010 年 12 月 12 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度
變化圖

(資料來源：本研究整理)

➤ 春季

為了讓環控機制的實驗組與對照組有較為一致的空間條件，自 2011 年 1 月 15 日，將 1F 走道封閉，使南側 1F 客廳和南側 2F 主臥房分別成為一獨立密閉空間。故春季自然通風的隔間條件與秋季和冬季不同。

實驗日期:2011年3月21日，開啟時間:08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-34和表3-35所示。

當天太陽輻射強度如圖3-50，最大太陽輻射量約為844.00 W/m²發生於10:50，平均輻射量為166.48 W/m²。

易構住宅南側1F客廳與南側2F主臥房室內溫度變化結果如圖3-51，圖中可以知道，在開啟1F客廳窗戶這段時間內，因上午時段室外環境溫度較高，導致1F客廳室內環境溫度也隨之上升，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距-0.60°C ~ 0.03°C，平均溫差值約-0.31°C，最大溫差發生於08:24左右，但約在13:37過後，因室外環境溫度下降因素，導致1F客廳室內環境溫度也隨之下降，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距-1.99°C ~ 0.00°C，平均溫差值約-1.02°C，最大溫差發生於17:35左右。

建築物耗能需求方面，由表 3-35 可以知道，由於開啟的環控設備是 1F 客廳窗戶，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3-34 2011/03/21 1F 客廳窗戶開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/3/21
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳窗戶(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	03/21 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3- 35 2011/03/21 EAG House 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

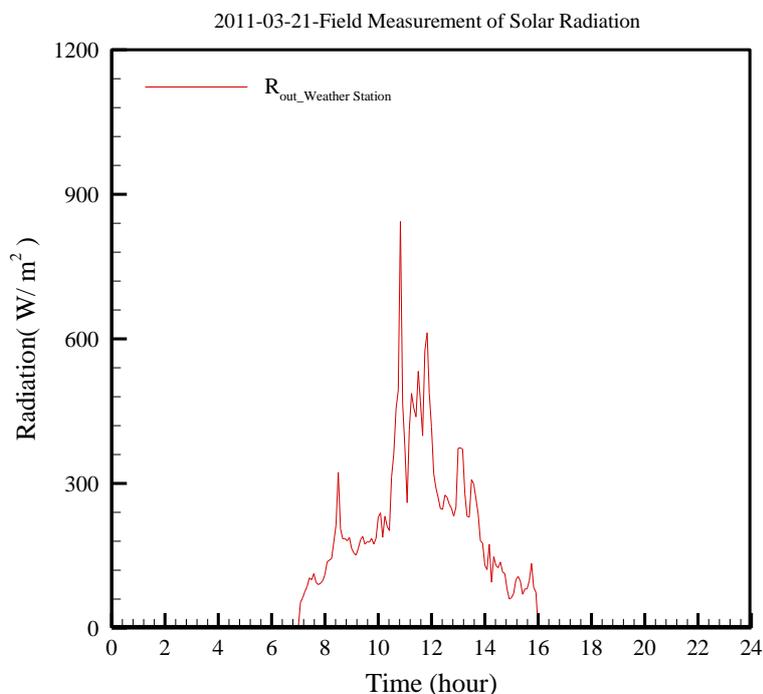


圖 3- 50 2011 年 3 月 21 日(開啟 1F 客廳窗戶):太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

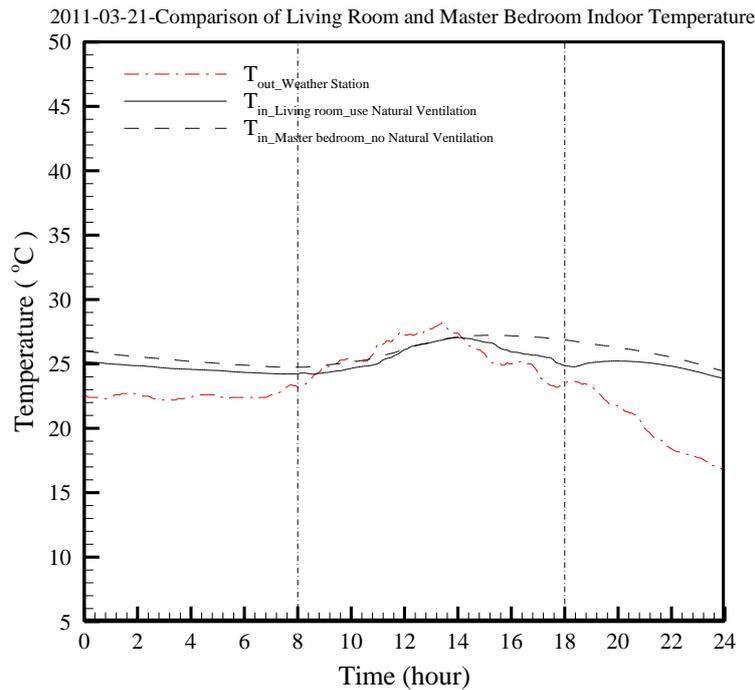


圖 3-51 2011 年 3 月 21 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

實驗日期:2011年4月2日，開啟時間:08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-36和表3-37所示。

當天太陽輻射強度如圖3-52，最大太陽輻射量約為 926.00 W/m^2 發生於11:40，平均輻射量為 448.75 W/m^2 。

易構住宅南側1F客廳與南側2F主臥房室內溫度變化結果如圖3-53，圖中可以知道，在開啟1F客廳窗戶這段時間內，因上午時段室外環境溫度較高，導致1F客廳室內環境溫度也隨之上升，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距 $-0.67^\circ\text{C} \sim -0.38^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 -0.17°C ，最大溫差發生於10:00左右，但約在14:00過後，因室外環境溫度下降因素，導致1F客廳室內環境溫度也隨之下降，1F客廳與2F主臥房兩者溫度差距 $-2.08^\circ\text{C} \sim -0.01^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 -0.90°C ，最大溫差發生於18:00左右。

建築物耗能需求方面，由表3-37可以知道，由於開啟的環控設備是1F客廳窗戶，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3-36 2011/04/02 1F 客廳窗戶開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/4/2
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳窗戶(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	04/02 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-37 2011/04/02 EAG House 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差 (度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

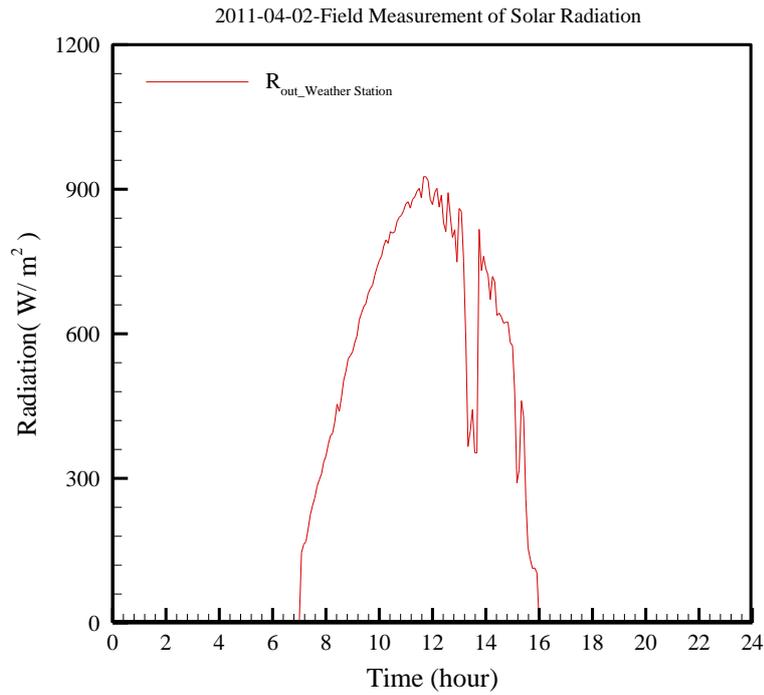


圖 3-52 2011 年 4 月 2 日(開啟 1F 客廳窗戶):太陽輻射量強度圖
(資料來源：本研究整理)

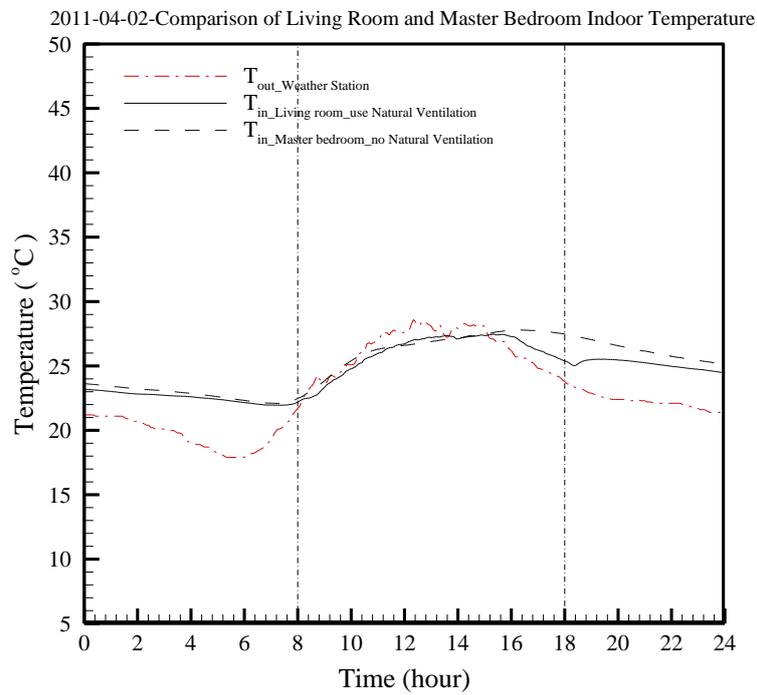


圖 3-53 2011 年 4 月 2 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

➤ 夏季

實驗日期:2011年7月24日，開啟時間:8:00~18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表3-38和表3-39所示

當天太陽輻射強度如圖3-54，最大太陽輻射量約為1027 W/m²發生於11:35，平均輻射量為 508.63W/m²。

易構住宅南側1F客廳與南側主臥房室內溫度變化結果如圖3-55，圖中可以知道，在開啟1F客廳窗戶這段時間內，1F客廳與主臥房兩者溫度差距-1.99°C~-0.30°C，平均溫差值約-0.74°C，最大溫差發生於18:00左右。

建築物耗能需求方面，由表3-39可以知道，由於使用的環控設備是1F客廳遮陽板，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3- 38 2011/07/24 1F 客廳窗戶開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/7/24
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳窗戶(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	07/24 當天無下雨

(資料來源:本研究整理)

表 3-39 2011/07/24 EAG House 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源:本研究整理)

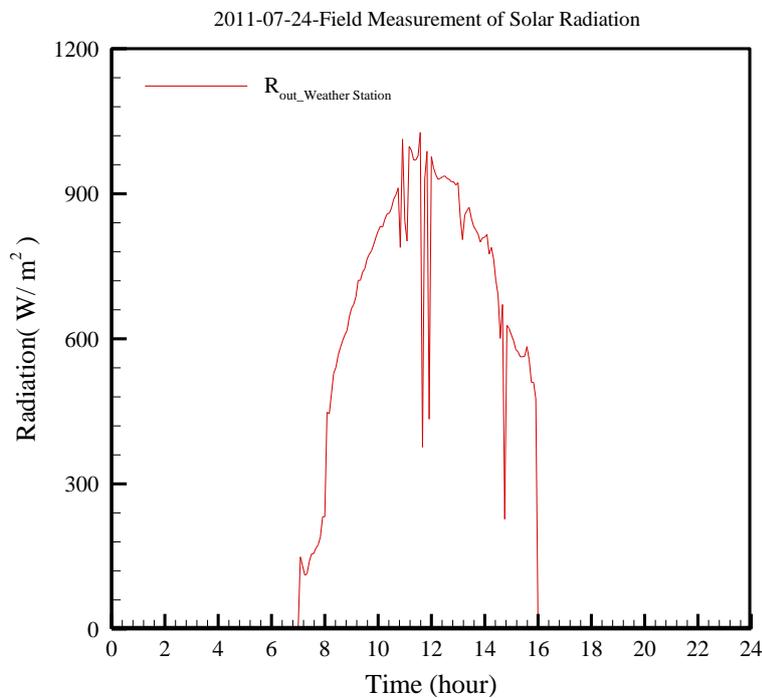


圖 3-54 2011 年 7 月 24 日(客廳使用自然通風):太陽輻射量強度圖

(資料來源:本研究整理)

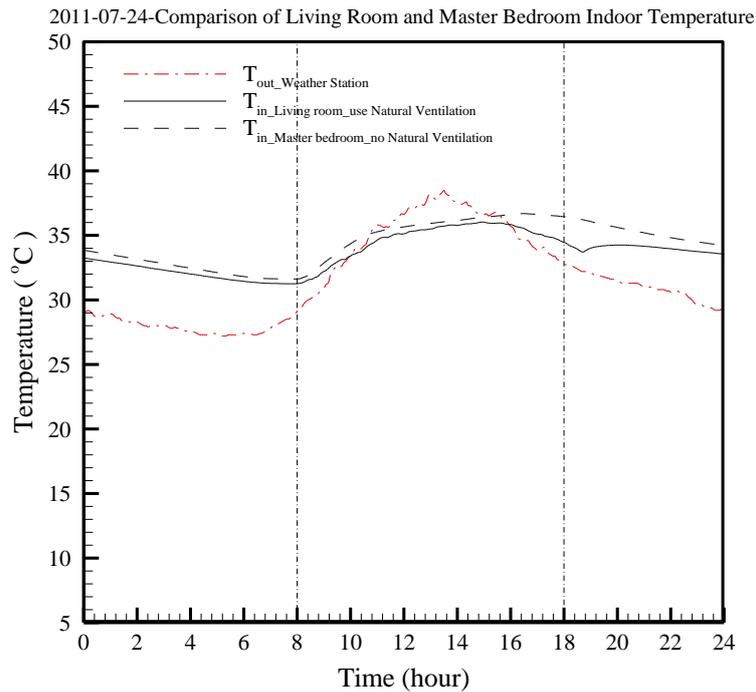


圖 3-55 2011 年 7 月 24 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源:本研究整理)

實驗日期:2011年7月31日，開啟時間:8:00~18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-40和表3-41所示

當天太陽輻射強度如圖3-56，最大太陽輻射量約為1060 W/m²發生於10:45，平均輻射量為472.35W/m²。

易構住宅南側1F客廳與南側主臥房室內溫度變化結果如圖3-57，圖中可以知道，在開啟1F客廳窗戶這段時間內，1F客廳與主臥房兩者溫度差距-1.69°C~-0.44°C，平均溫差值約-1.07°C，最大溫差發生於18:00左右。

建築物耗能需求方面，由表3-41可以知道，由於使用的環控設備是1F客廳遮陽板，為被動式設備，不需要消耗任何能源。

表 3-40 2011/07/31 1F 客廳窗戶開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/7/31
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳窗戶(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	07/31 當天無下雨

(資料來源:本研究整理)

表 3-41 2011/07/31 EAG House 1F 客廳窗戶開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源:本研究整理)

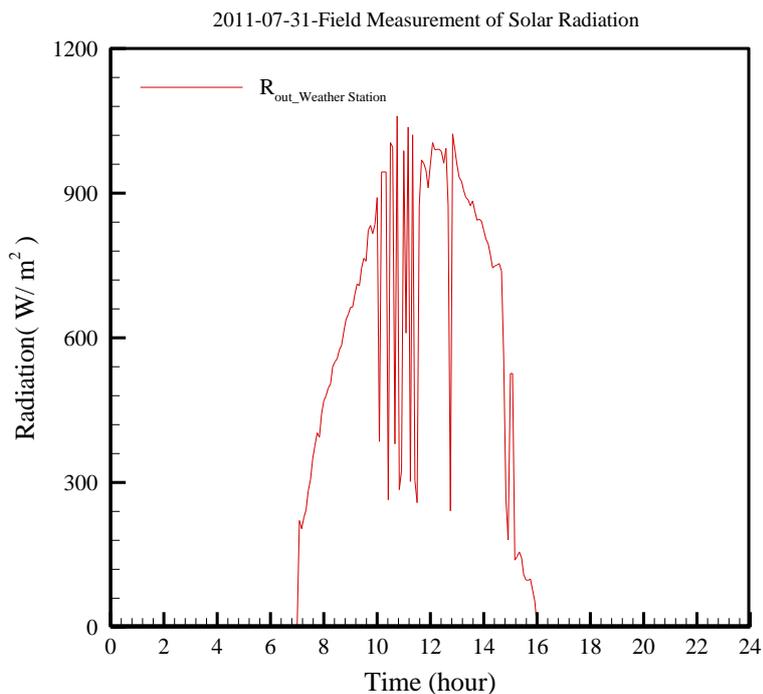


圖 3-56 2011 年 7 月 31 日(客廳使用自然通風):太陽輻射量強度圖
(資料來源:本研究整理)

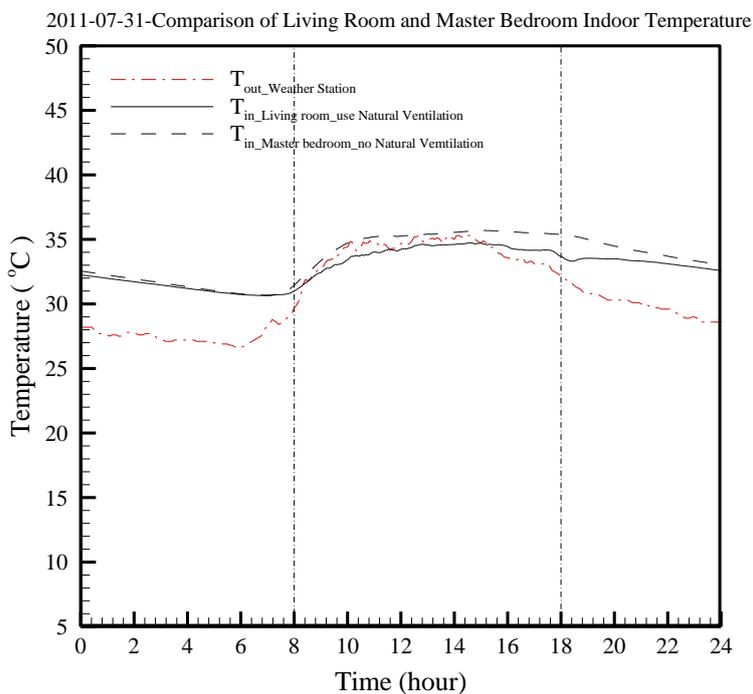


圖 3-57 2011 年 7 月 31 日(開啟 1F 客廳窗戶):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度
變化圖

(資料來源:本研究整理)

3. 地中管風扇

➤ 秋季

實驗日期：2010年11月7日，開啟時間：08:00~18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-42 和表 3-43 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-58，最大太陽輻射量約為 357.00 W/m^2 發生於 11:15，平均輻射量為 73.57 W/m^2 。

易構住宅南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-59，圖中可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，戶外新鮮空氣透過地底下穩定的土壤溫度進行熱交換，提供給室內平均約 23.40°C 的通風效果，雖然地中管系統提供的通風溫度高於室外環境溫度，但相對於室內環境溫度是比較低溫的，故可視為一冷源，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距 $0.36^\circ\text{C} \sim 1.12^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 0.63°C ，最大溫差發生於 11:30 左右，關於 1F 客廳室內環境溫度於 10:00~12:00 有上升現象，是由於那段時間內有實驗團隊人員進行電腦方面運作成。

地中管系統內的空氣溫度變化和豎井(2)垂直溫度分佈如圖 3-60 和圖 3-61 所示。圖 3-60 中可以知道，當戶外空氣以平均約 22.06°C 溫度進入地中管系統，流經豎井(1)時，因行走的距離過短，尚未與土壤進行完全的熱交換，此時戶外空氣平均溫度上升到約 22.23°C ；在豎井(2)時，因為與地底下土壤溫度進行熱交換後，戶外空氣平均溫度上升到約 23.12°C ，而在最後導入室內出風口過程中，因受到周圍土壤溫度加熱影響，故以 23.40°C 的平均溫度吹入室內。

而圖 3-61 中可以看到，當土壤深度越深時，則土壤溫度越高也越穩定，地下 1.6 m ~ 3.2 m 土壤溫度，因距離地面有一段距離，較不受外界大氣環境溫度影響，溫度維持在約 $25.00^\circ\text{C} \sim 26.00^\circ\text{C}$ ，反之，在地下 1.6 m 以上的土壤溫度，因易受大氣環境溫度影響，土壤溫度會隨著外界大氣環境溫度改變而有所變化。

為了更加清楚知道開啟地中管風扇的效能，以地中管入風處量測的空氣溫度為基準，將地中管管內不同位置所量測數據整理，擷取數據時間為 08:00~18:00，如圖 3-62 所示。

建築物耗能需求方面，由表 3-43 可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，

由於使用的環控設備是 1F 客廳地中管風扇，為主動式設備，需要消耗約 2.340 度電，地中管風扇運行時功率變化情形如圖 3-63。

表 3- 42 2011/11/07 1F 客廳地中管風扇開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2010/11/7
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳地中管風扇(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	1. 05:00 ~ 13:00 下雨
	2. 15:00 ~ 16:00 下雨
	3. 17:00 ~ 18:00 下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3- 43 2010/11/07 EAG House 1F 客廳地中管風扇開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	2.568	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	2.340	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

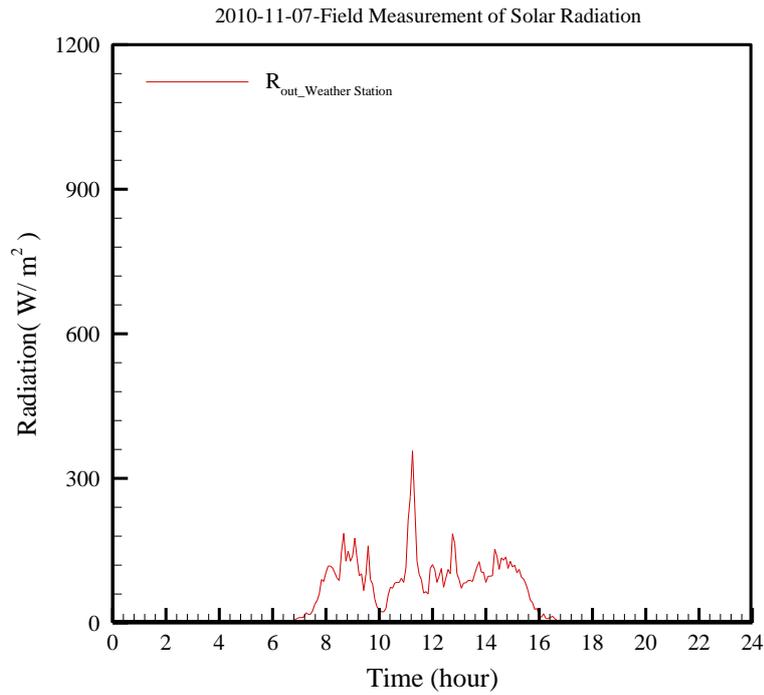


圖 3-58 2010 年 11 月 7 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖
(資料來源：本研究整理)

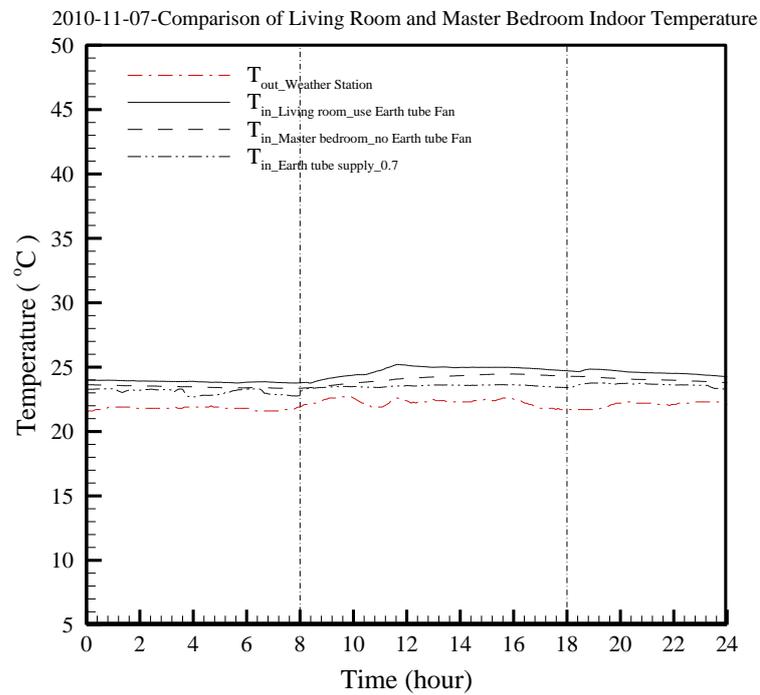


圖 3-59 2010 年 11 月 7 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖
(資料來源：本研究整理)

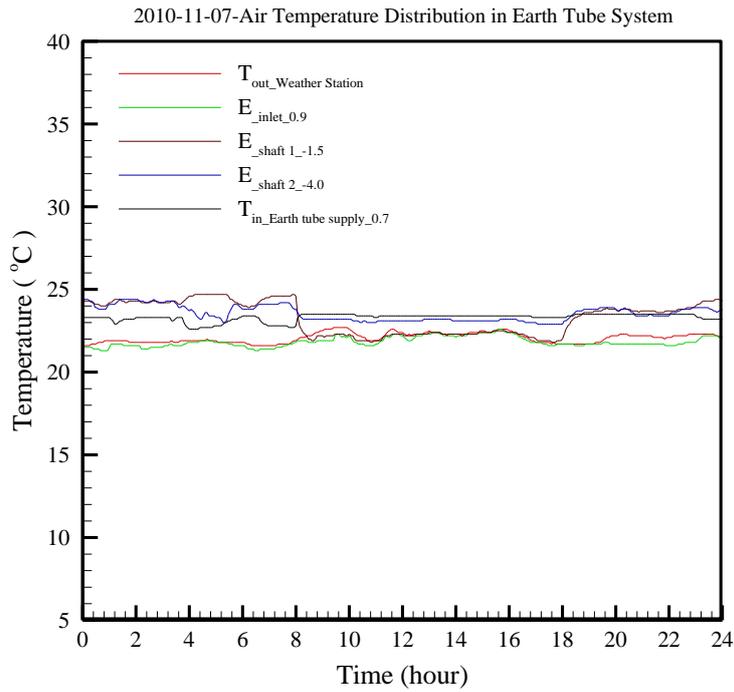


圖 3-60 2010 年 11 月 7 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖
(資料來源：本研究整理)

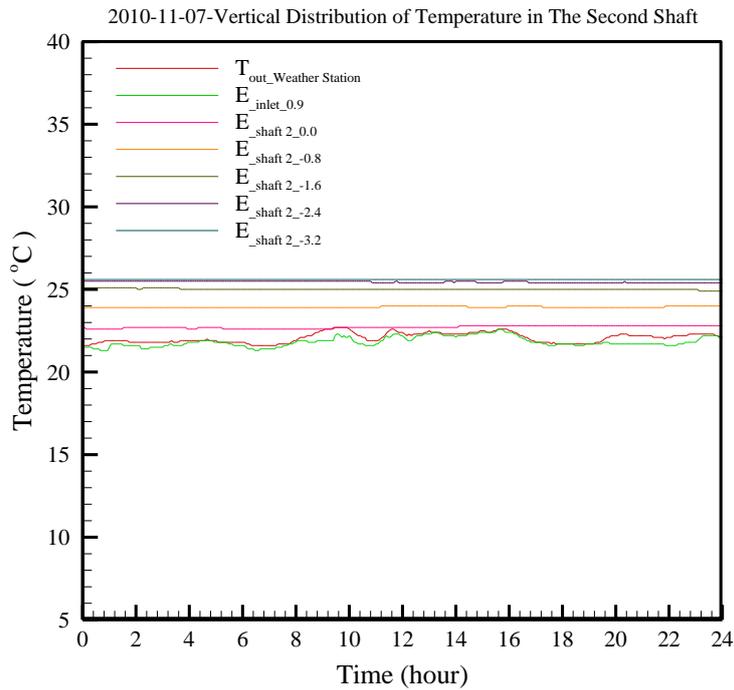


圖 3-61 2010 年 11 月 7 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖
(資料來源：本研究整理)

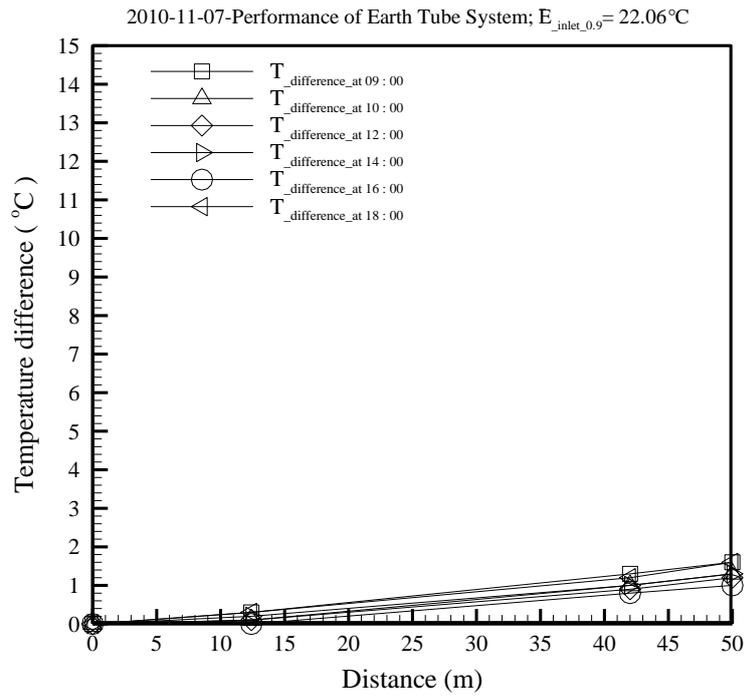


圖 3- 62 2010 年 11 月 7 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準
(資料來源：本研究整理)

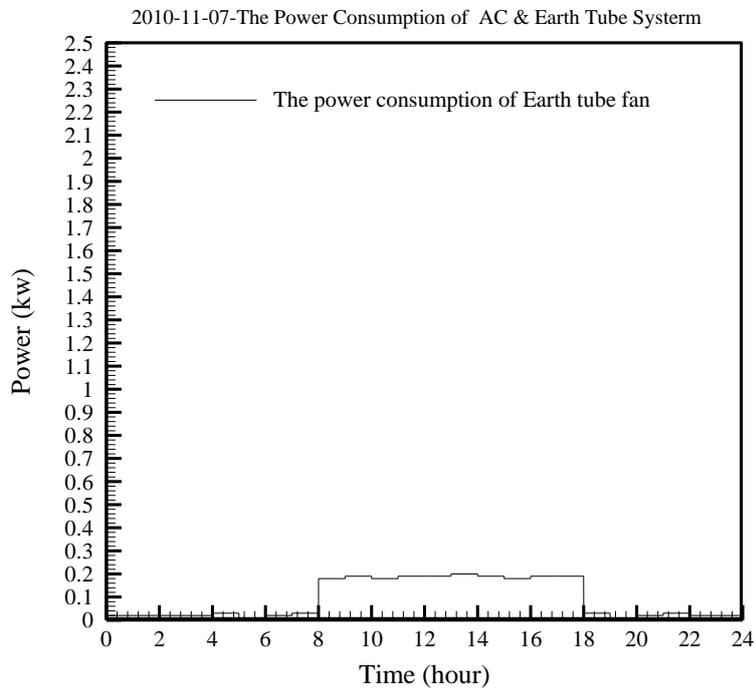


圖 3- 63 2010 年 11 月 7 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管風扇每小時平均能源消耗圖
(資料來源：本研究整理)

實驗日期：2010年11月24日，開啟時間：08:00~18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-44 和表 3-45 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-64，最大太陽輻射量約為 877.00 W/m^2 發生於 11:00，平均輻射量為 264.83 W/m^2 。

易構住宅南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-65，圖中可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，戶外新鮮空氣透過地底下穩定的土壤溫度進行熱交換，提供給室內平均約 22.30°C 的通風效果，雖然地中管系統提供的通風溫度高於室外環境溫度，但相對於室內環境溫度是比較低溫的，故可視為一冷源，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距 $0.54^\circ\text{C} \sim 1.38^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 1.04°C ，最大溫差發生於 09:00 左右，關於 1F 客廳和 2F 主臥房室內環境溫度於 08:00~10:00 有上升現象，是由於那段時間內受到太陽輻射造成。

地中管系統內的空氣溫度變化和豎井(2)垂直溫度分佈如圖 3-66 和圖 3-67 所示。圖 3-66 中可以知道，當戶外空氣以平均約 21.83°C 溫度進入地中管系統，流經豎井(1)時，因行走的距離過短，尚未與土壤進行完全的熱交換，此時戶外空氣平均溫度上升到約 21.61°C ；在豎井(2)時，因為與地底下土壤溫度進行熱交換後，戶外空氣平均溫度上升到約 22.28°C ，而在最後導入室內出風口過程中，因受到周圍土壤溫度加熱影響，故以 22.56°C 的平均溫度吹入室內。

而圖 3-67 中可以看到，當土壤深度越深時，則土壤溫度越高也越穩定，地下 1.6 m~3.2 m 土壤溫度，因距離地面有一段距離，較不受外界大氣環境溫度影響，溫度維持在約 $24.00^\circ\text{C} \sim 25.00^\circ\text{C}$ ，反之，在地下 1.6 m 以上的土壤溫度，因易受大氣環境溫度影響，土壤溫度會隨著外界大氣環境溫度改變而有所變化。

為了更加清楚知道開啟地中管風扇的效能，以地中管入風處量測的空氣溫度為基準，將地中管管內不同位置所量測數據整理，擷取數據時間為 08:00~18:00，如圖 3-68 所示。

建築物耗能需求方面，由表 3-45 可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，由於使用的環控設備是 1F 客廳地中管風扇，為主動式設備，需要消耗約 2.340 度電。

表 3-44 2010/11/24 1F 客廳地中管風扇開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2010/11/24
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳地中管風扇(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	11/24 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-45 2010/11/24 EAG House 1F 客廳地中管風扇開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	2.568	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	2.340	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

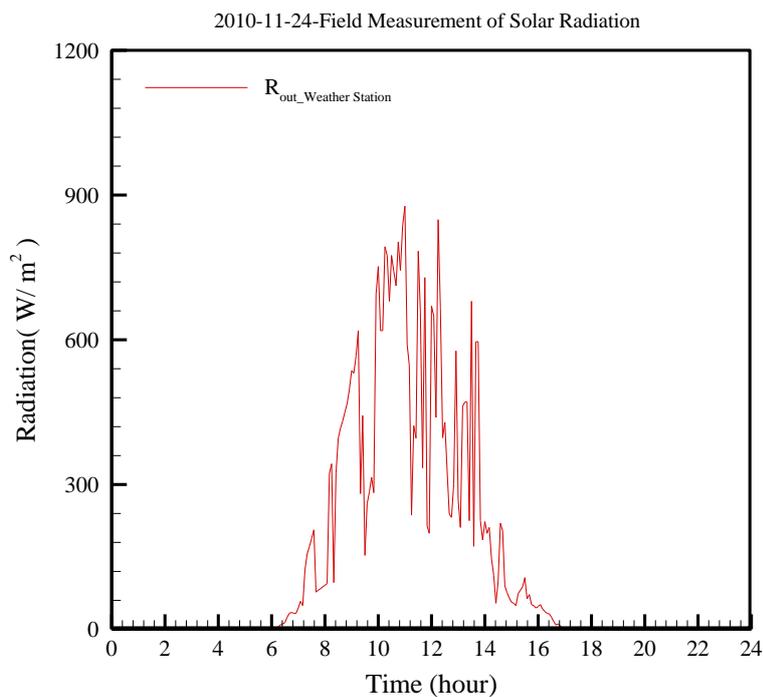


圖 3- 64 2010 年 11 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖
(資料來源：本研究整理)

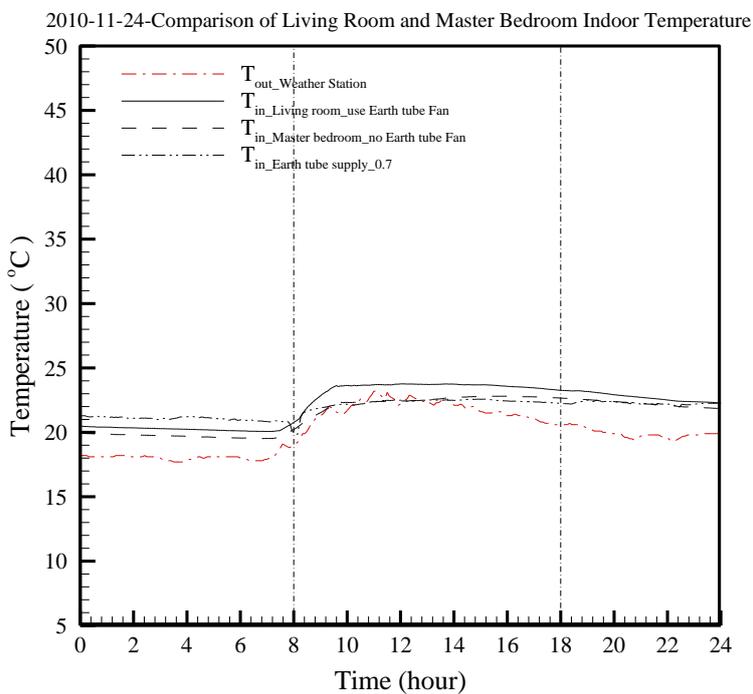


圖 3- 65 2010 年 11 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室
內溫度變化圖
(資料來源：本研究整理)

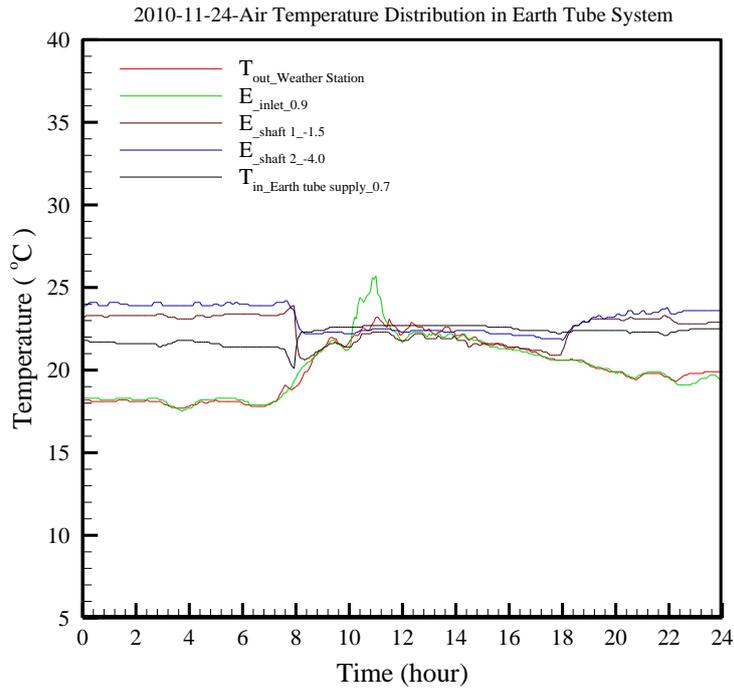


圖 3-66 2010 年 11 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖
(資料來源：本研究整理)

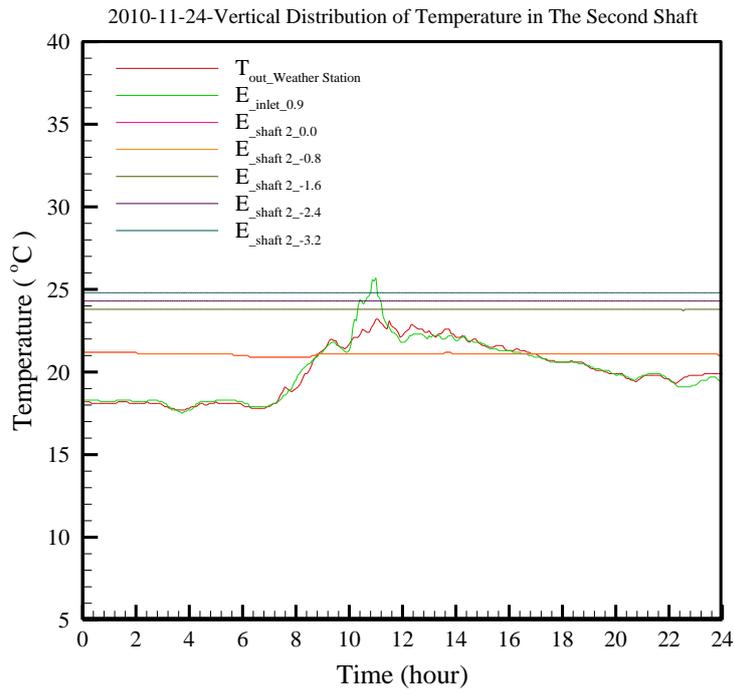


圖 3-67 2010 年 11 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖
(資料來源：本研究整理)

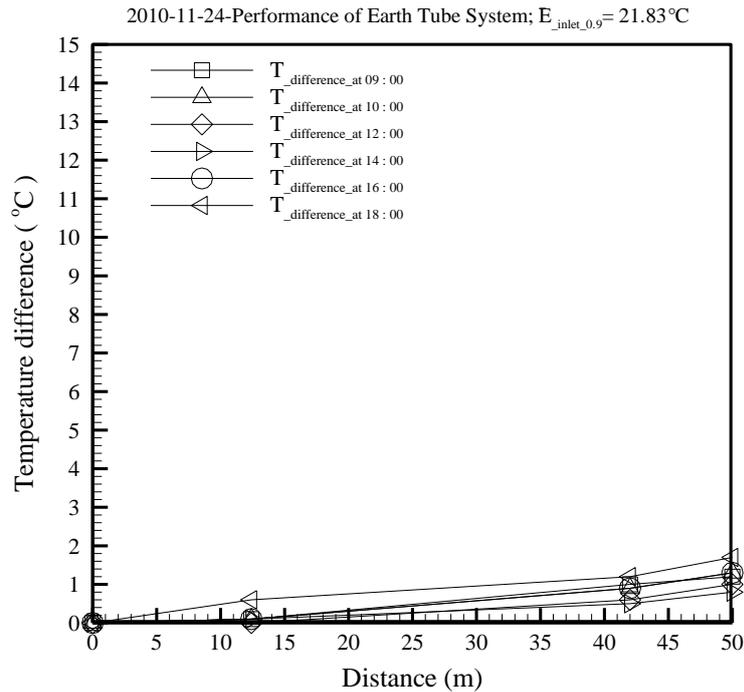


圖 3-68 2010 年 11 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準
(資料來源：本研究整理)

➤ 冬季

實驗日期：2010 年 12 月 16 日，開啟時間：08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-46 和表 3-47 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-69，最大太陽輻射量約為 162.00 W/m^2 發生於 09:55，平均輻射量為 39.70 W/m^2 。

易構住宅南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-70，圖中可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，戶外新鮮空氣透過地底下穩定的土壤溫度進行熱交換，提供給室內平均約 21.53°C 的通風效果，由於地中管系統提供的通風溫度遠高於室外環境溫度以及室內環境溫度，故可視為一熱源，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距 $0.66^{\circ}\text{C} \sim 1.97^{\circ}\text{C}$ ，平均溫差值約 1.64°C ，最大溫差發生於 13:21 左右，關於 1F 客廳室內環境溫度於 12:00 左右有上下起伏現象，是由於易構住宅管理人員進出造成。

地中管系統內的空氣溫度變化和豎井(2)垂直溫度分佈如圖 3-71 和圖 3-72 所示。圖

3-71 中可以知道，當戶外空氣以平均約 10.86°C 溫度進入地中管系統，流經豎井(1)時，因行走的距離過短，尚未與土壤進行完全的熱交換，此時戶外空氣平均溫度上升到約 16.50°C；在豎井(2)時，因為與地底下土壤溫度進行完全熱交換後，戶外空氣平均溫度上升到約 21.28°C，而在最後導入室內出風口過程中，因受到周圍土壤溫度加熱影響，故以 21.53°C 的平均溫度吹入室內。

而圖 3-72 中可以看到，當土壤深度越深時，則土壤溫度越高也越穩定，地下 1.6 m ~ 3.2 m 土壤溫度，因距離地面有一段距離，較不受外界大氣環境溫度影響，溫度維持在約 22.00°C ~ 24.00°C，反之，在地下 1.6 m 以上的土壤溫度，因易受大氣環境溫度影響，土壤溫度會隨著外界大氣環境溫度改變而有所變化。

為了更加清楚知道開啟地中管風扇的效能，以地中管入風處量測的空氣溫度為基準，將地中管管內不同位置所量測數據整理，擷取數據時間為 08:00 ~ 18:00，如圖 3-73 所示。

建築物耗能需求方面，由表 3-47 可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，由於使用的環控設備是 1F 客廳地中管風扇，為主動式設備，需要消耗約 2.448 度電，地中管風扇運行時功率變化情形如圖 3-74。

表 3-46 2010/12/16 1F 客廳地中管風扇開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2010/12/16
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳地中管風扇(地中管風門關閉)
開啟時間	08:00~18:00
附註	12/16 整天下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-47 2010/12/16 EAG House 1F 客廳地中管風扇開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	2.676	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	2.448	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

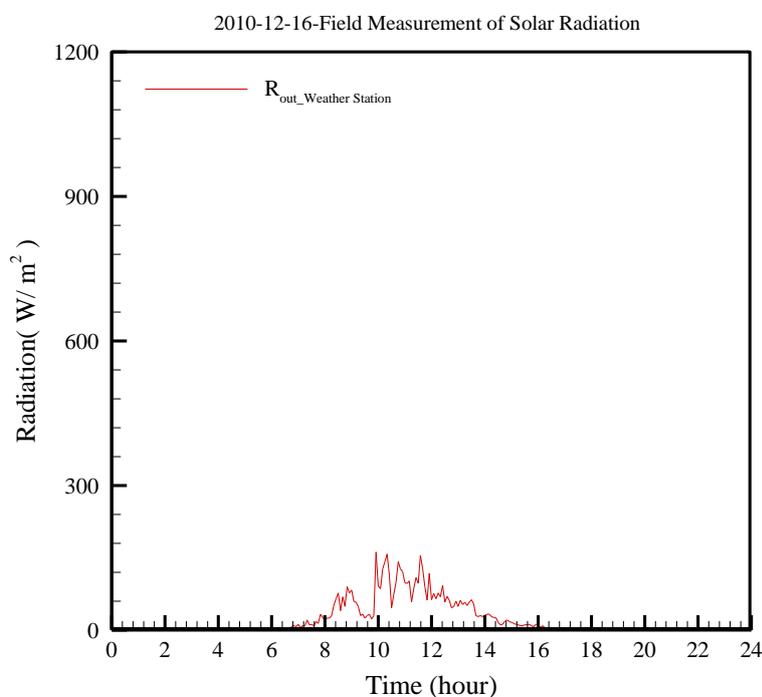


圖 3-69 2010 年 12 月 16 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

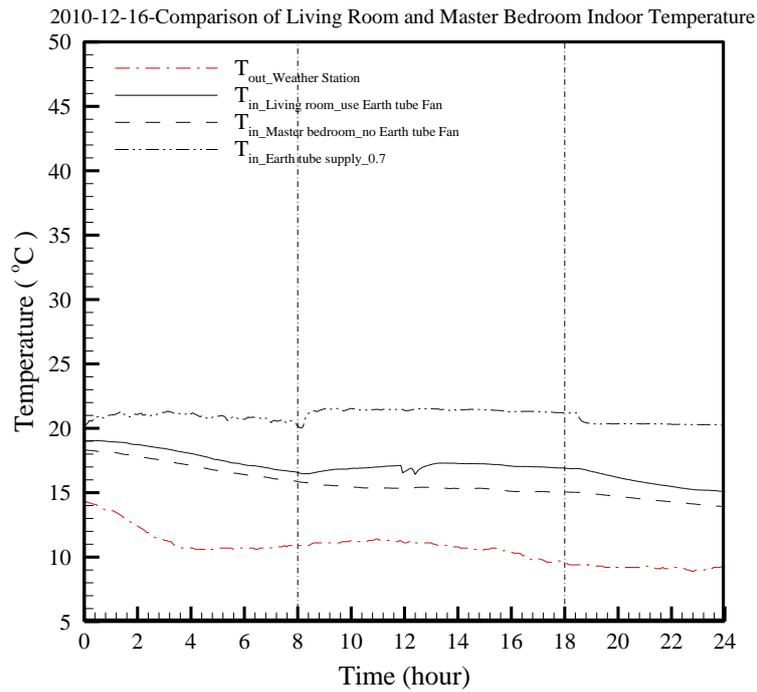


圖 3-70 2010 年 12 月 16 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

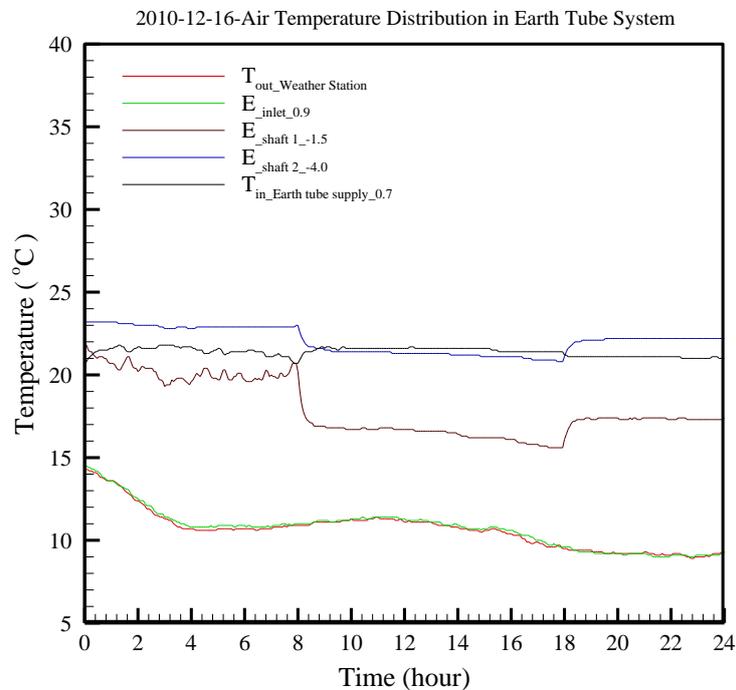


圖 3-71 2010 年 12 月 16 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

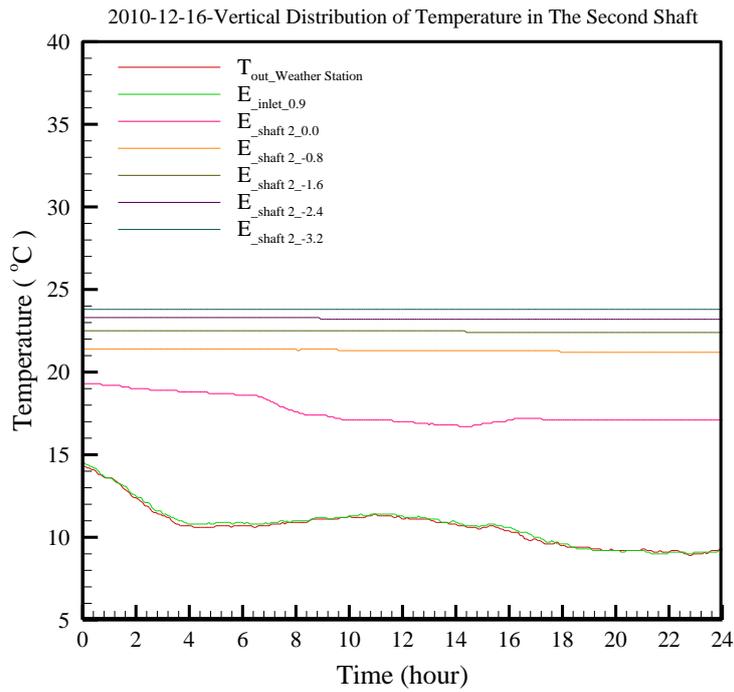


圖 3-72 2010 年 12 月 16 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖

(資料來源：本研究整理)

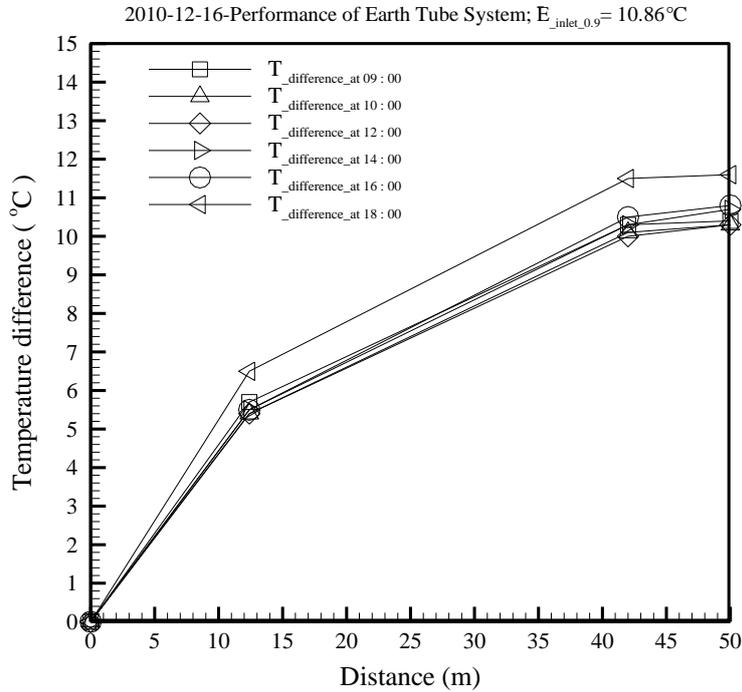


圖 3-73 2010 年 12 月 16 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準

(資料來源：本研究整理)

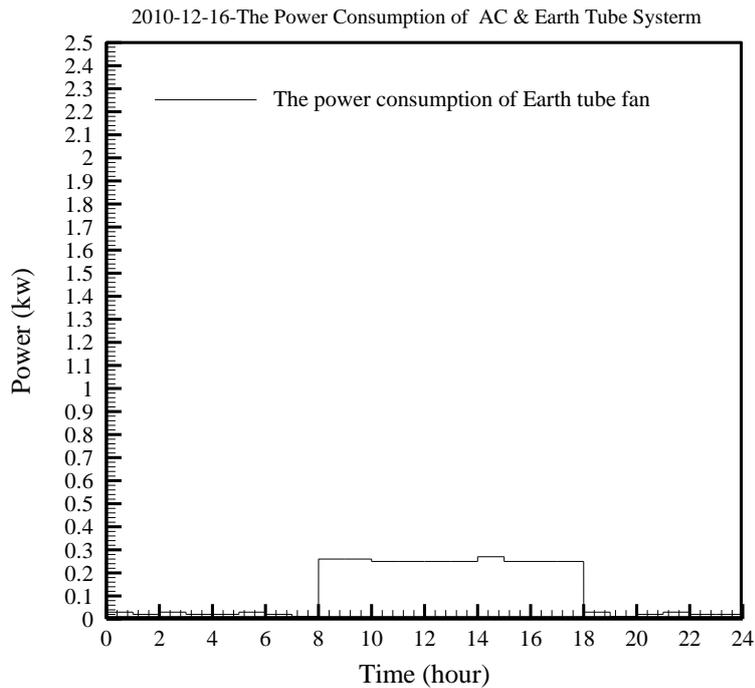


圖 3-74 2010 年 12 月 16 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管風扇每小時平均能源消耗圖

(資料來源：本研究整理)

實驗日期：2010 年 12 月 25 日，開啟時間：08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-48 和表 3-49 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-75，最大太陽輻射量約為 229.00 W/m^2 發生於 11:40，平均輻射量為 46.70 W/m^2 。

易構住宅南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-76，圖中可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，戶外新鮮空氣透過地底下穩定的土壤溫度進行熱交換，提供給室內平均約 22.54°C 的通風效果，由於地中管系統提供的通風溫度遠高於室外環境溫度以及室內環境溫度，故可視為一熱源，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距 $0.46^\circ\text{C} \sim 1.78^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 1.47°C ，最大溫差發生於 17:32 左右。

地中管系統內的空氣溫度變化和豎井(2)垂直溫度分佈如圖 3-77 和圖 3-78 所示。圖 3-77 中可以知道，當戶外空氣以平均約 14.01°C 溫度進入地中管系統，流經豎井(1)時，因行走的距離過短，尚未與土壤進行完全的熱交換，此時戶外空氣平均溫度上升到約 17.25°C ；在豎井(2)時，因為與地底下土壤溫度進行完全熱交換後，戶外空氣平均溫度上升到約 21.43°C ，而在最後導入室內出風口過程中，因受到周圍土壤溫度加熱影響，故以

22.54°C 的平均溫度吹入室內。

而圖 3-78 中可以看到，當土壤深度越深時，則土壤溫度越高也越穩定，地下 1.6 m ~ 3.2 m 土壤溫度，因距離地面有一段距離，較不受外界大氣環境溫度影響，溫度維持在約 22.00°C ~ 24.00°C，反之，在地下 1.6 m 以上的土壤溫度，因易受大氣環境溫度影響，土壤溫度會隨著外界大氣環境溫度改變而有所變化。

為了更加清楚知道開啟地中管風扇的效能，以地中管入風處量測的空氣溫度為基準，將地中管管內不同位置所量測數據整理，擷取數據時間為 08:00 ~ 18:00，如圖 3-79 所示。

建築物耗能需求方面，由表 3-49 可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，由於使用的環控設備是 1F 客廳地中管風扇，為主動式設備，需要消耗約 2.280 度電。

表 3-48 2010/12/25 1F 客廳地中管風扇開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2010/12/25
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳地中管風扇(地中管風門關閉)
開啟時間	08:00~18:00
附註	12/25 整天下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-49 2010/12/25 EAG House 開啟 1F 客廳地中管風扇基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	2.508	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	2.280	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

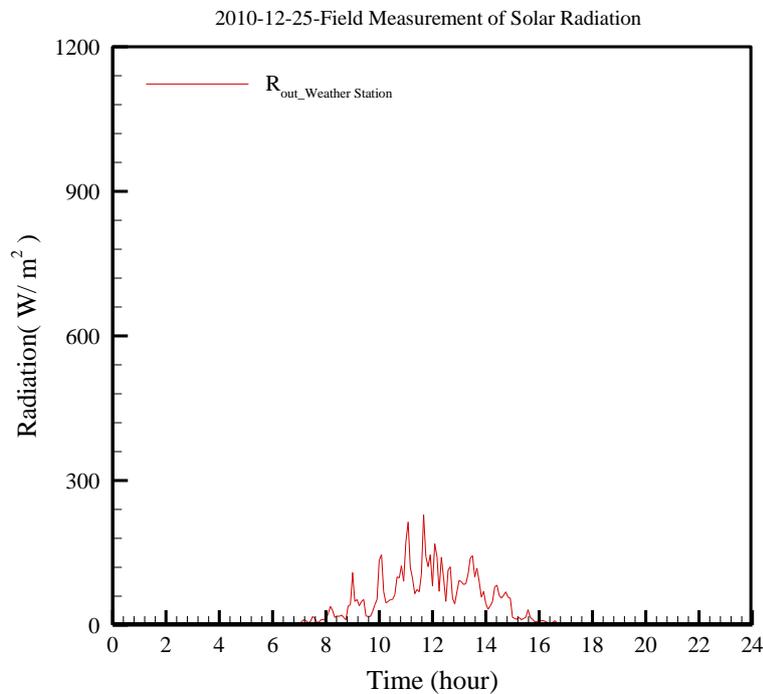


圖 3-75 2010 年 12 月 25 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

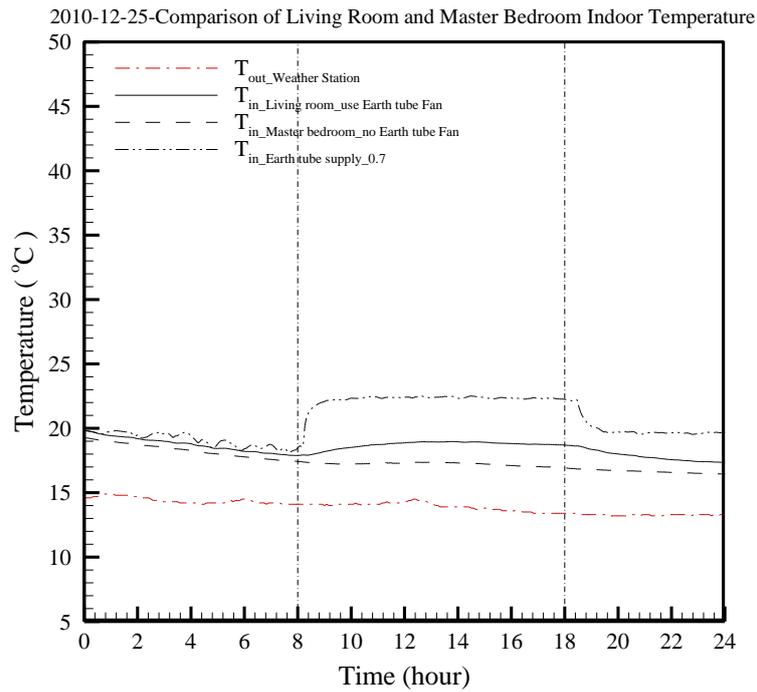


圖 3-76 2010 年 12 月 25 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

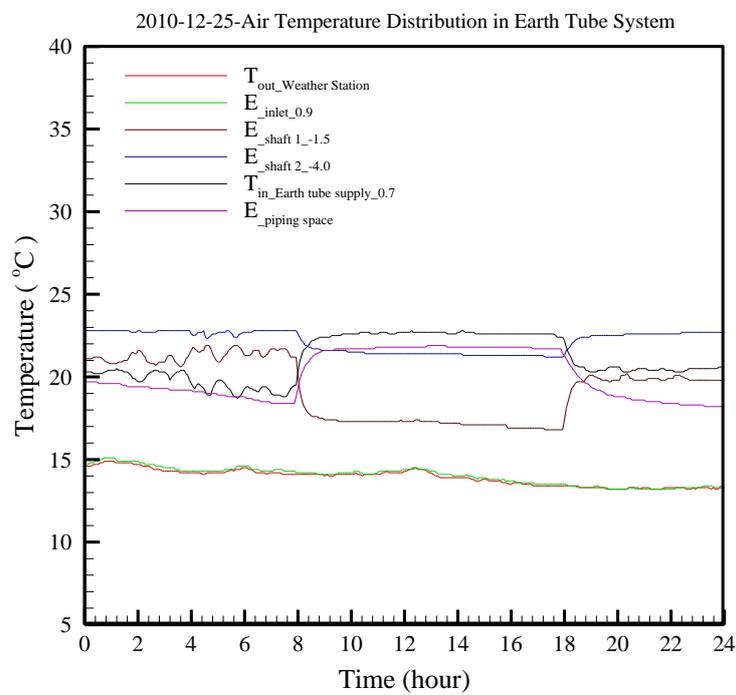


圖 3-77 2010 年 12 月 25 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

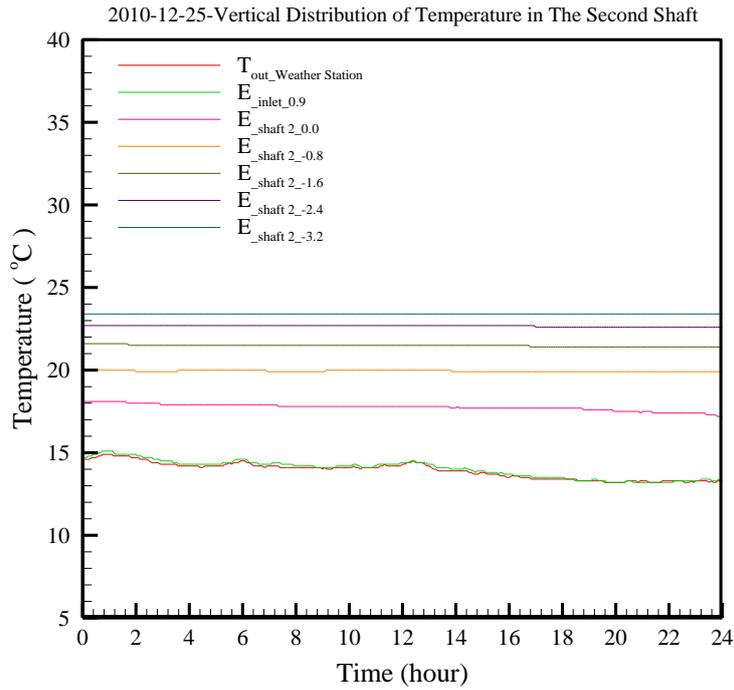


圖 3-78 2010 年 12 月 25 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖

(資料來源：本研究整理)

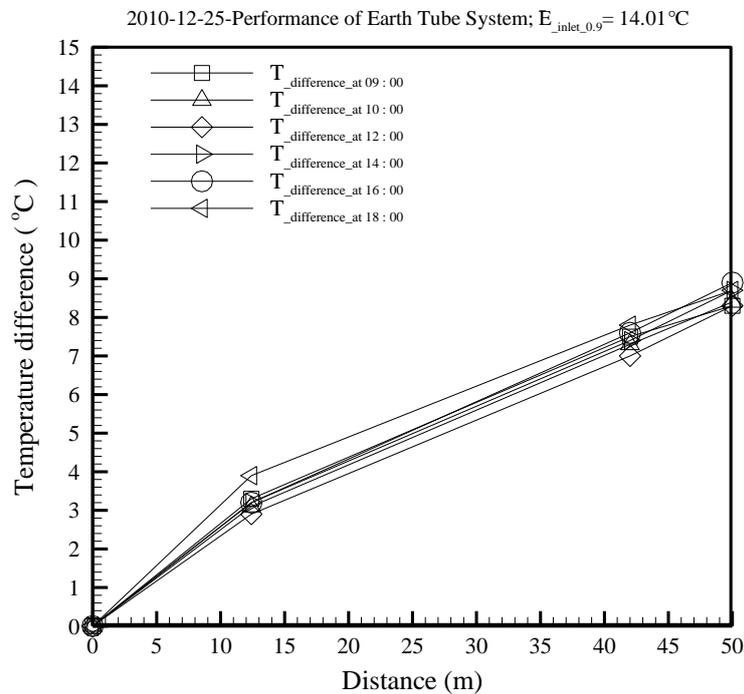


圖 3-79 2010 年 12 月 25 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準

(資料來源：本研究整理)

➤ 春季

為了讓環控機制的實驗組與對照組有較為一致的空間條件，自 2011 年 1 月 15 日，將 1F 走道封閉，使南側 1F 客廳和南側 2F 主臥房分別成為一獨立密閉空間。故春季地中管風扇的隔間條件與秋季和冬季不同。

實驗日期：2011 年 3 月 5 日，開啟時間：08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-50 和表 3-51 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-80，最大太陽輻射量約為 902.00 W/m^2 發生於 10:55，平均輻射量為 145.00 W/m^2 。

易構住宅南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-81，圖中可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，戶外新鮮空氣透過地底下穩定的土壤溫度進行熱交換，提供給室內平均約 21.27°C 的通風效果，由於地中管系統提供的通風溫度遠高於室外環境溫度以及室內環境溫度，故可視為一熱源，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距 $0.50^\circ\text{C} \sim 2.73^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 1.96°C ，最大溫差發生於 13:00 左右。

地中管系統內的空氣溫度變化和豎井(2)垂直溫度分佈如圖 3-82 和圖 3-83 所示。圖 3-82 中可以知道，當戶外空氣以平均約 19.56°C 溫度進入地中管系統，流經豎井(1)時，因行走的距離過短，尚未與土壤進行完全的熱交換，此時戶外空氣平均溫度下降到約 18.87°C ；在豎井(2)時，因為與地底下土壤溫度進行完全熱交換後，戶外空氣平均溫度下降到約 19.49°C ，而在最後導入室內出風口過程中，因受到周圍土壤溫度加熱影響，故以 21.27°C 的平均溫度吹入室內。

而圖 3-83 中可以看到，當土壤深度越深時，則土壤溫度越高也越穩定，地下 1.6 m ~ 3.2 m 土壤溫度，因距離地面有一段距離，較不受外界大氣環境溫度影響，溫度維持在約 $18.00^\circ\text{C} \sim 20.00^\circ\text{C}$ ，反之，在地下 1.6 m 以上的土壤溫度，因易受大氣環境溫度影響，土壤溫度會隨著外界大氣環境溫度改變而有所變化。

為了更加清楚知道開啟地中管風扇的效能，以地中管入風處量測的空氣溫度為基準，將地中管管內不同位置所量測數據整理，擷取數據時間為 08:00 ~ 18:00，如圖 3-84 所示。

建築物耗能需求方面，由表 3-51 可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，

由於使用的環控設備是 1F 客廳地中管風扇，為主動式設備，需要消耗約 2.316 度電。

表 3-50 2011/03/05 1F 客廳地中管風扇開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/3/5
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳地中管風扇(地中管風門關閉)
開啟時間	08:00~18:00
附註	03/05 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-51 2011/03/05 EAG House 開啟 1F 客廳地中管風扇基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.73	2.544	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	-0.010	2.316	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

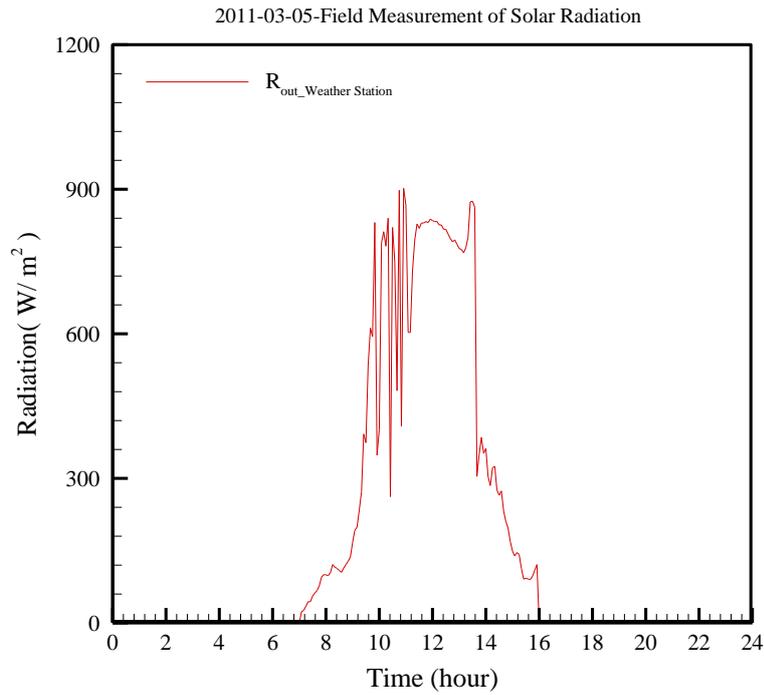


圖 3-80 2011 年 3 月 5 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖
(資料來源：本研究整理)

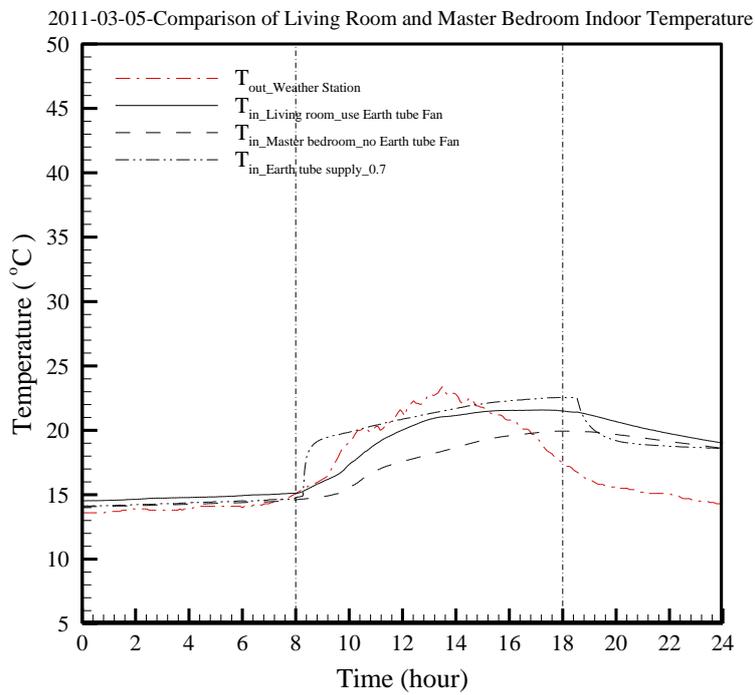


圖 3-81 2011 年 3 月 5 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內
溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

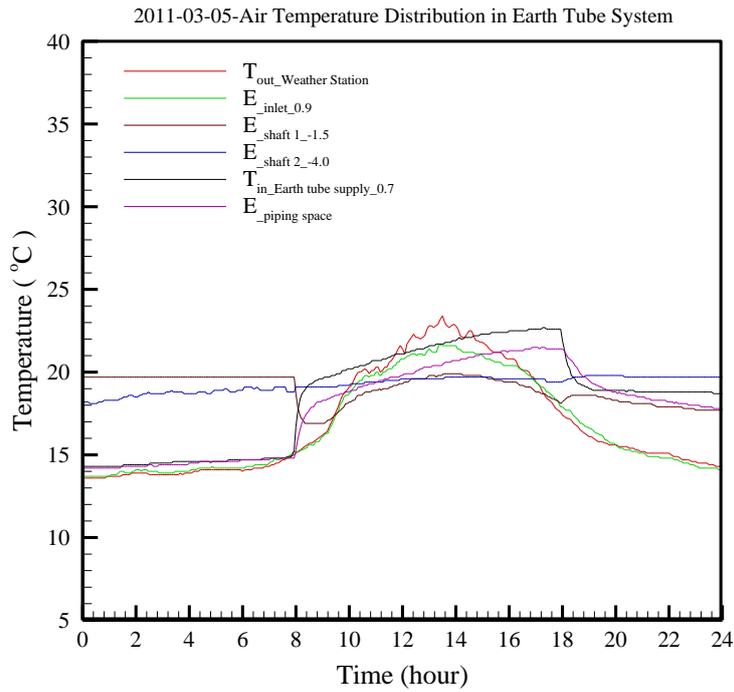


圖 3-82 2011 年 3 月 5 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

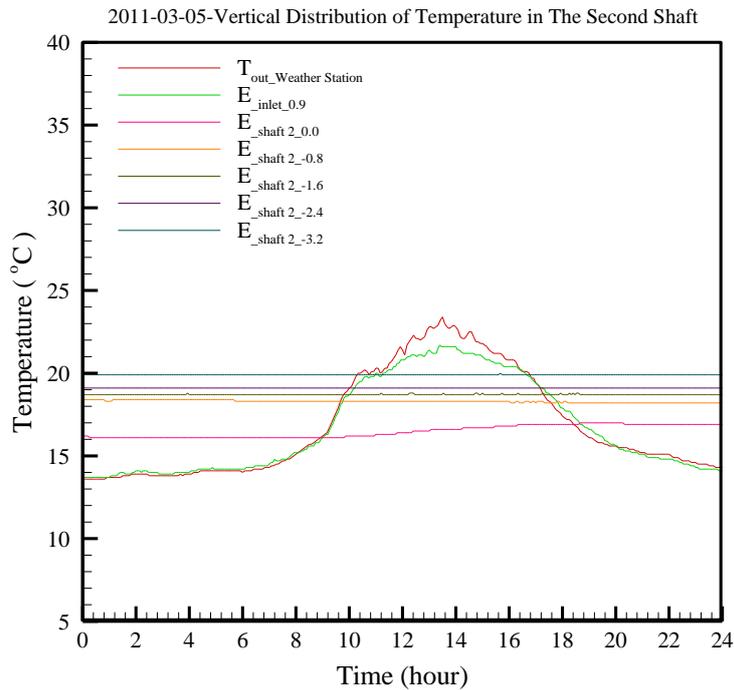


圖 3-83 2011 年 3 月 5 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布

圖

(資料來源：本研究整理)

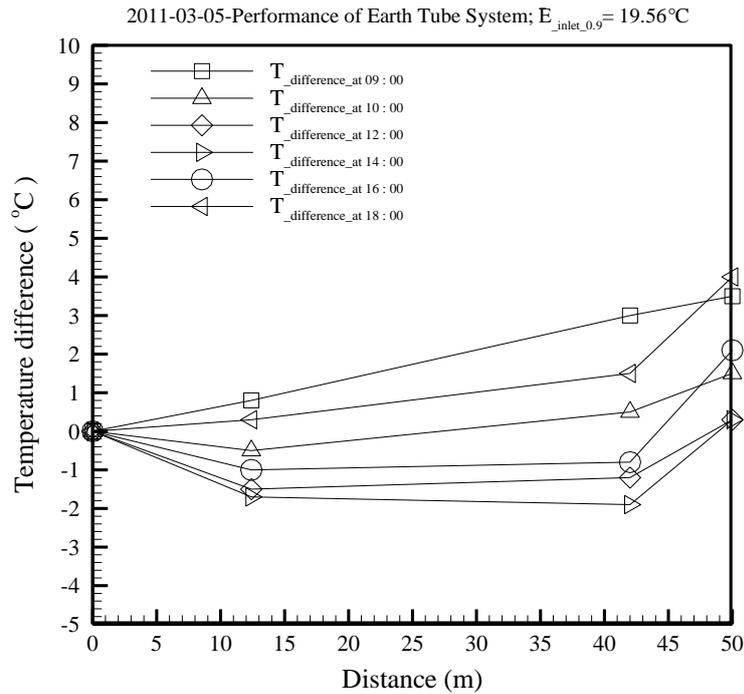


圖 3-84 2011 年 3 月 5 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準
(資料來源：本研究整理)

實驗日期：2011 年 3 月 9 日，開啟時間：08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-52 和表 3-53 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-85，最大太陽輻射量約為 997.00 W/m² 發生於 11:25，平均輻射量為 276.75 W/m²。

易構住宅南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-86，圖中可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，戶外新鮮空氣透過地底下穩定的土壤溫度進行熱交換，提供給室內平均約 21.91°C 的通風效果，由於地中管系統提供的通風溫度遠高於室外環境溫度以及室內環境溫度，故可視為一熱源，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距 0.31°C ~ 2.04°C，平均溫差值約 1.47°C，最大溫差發生於 12:08 左右。

地中管系統內的空氣溫度變化和豎井(2)垂直溫度分佈如圖 3-87 和圖 3-88 所示。圖 3-87 中可以知道，當戶外空氣以平均約 19.48°C 溫度進入地中管系統，流經豎井(1)時，因行走的距離過短，尚未與土壤進行完全的熱交換，此時戶外空氣平均溫度下降到約

18.75°C；在豎井(2)時，因為與地底下土壤溫度進行完全熱交換後，戶外空氣平均溫度上升到約 19.55°C，而在最後導入室內出風口過程中，因受到周圍土壤溫度加熱影響，故以 21.91°C 的平均溫度吹入室內。

而圖 3-88 中可以看到，當土壤深度越深時，則土壤溫度越高也越穩定，地下 1.6 m ~ 3.2 m 土壤溫度，因距離地面有一段距離，較不受外界大氣環境溫度影響，溫度維持在約 18.00°C ~ 20.00°C，反之，在地下 1.6 m 以上的土壤溫度，因易受大氣環境溫度影響，土壤溫度會隨著外界大氣環境溫度改變而有所變化。

為了更加清楚知道開啟地中管風扇的效能，以地中管入風處量測的空氣溫度為基準，將地中管管內不同位置所量測數據整理，擷取數據時間為 08:00 ~ 18:00，如圖 3-89 所示。

建築物耗能需求方面，由表 3-53 可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，由於使用的環控設備是 1F 客廳地中管風扇，為主動式設備，需要消耗約 2.316 度電，地中管風扇運行時功率變化情形如圖 3-90。

表 3-52 2011/03/09 1F 客廳地中管風扇開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/3/9
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳地中管風扇(地中管風門關閉)
開啟時間	08:00~18:00
附註	03/09 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3- 53 2011/03/09 EAG House 開啟 1F 客廳地中管風扇基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	2.544	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	2.316	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

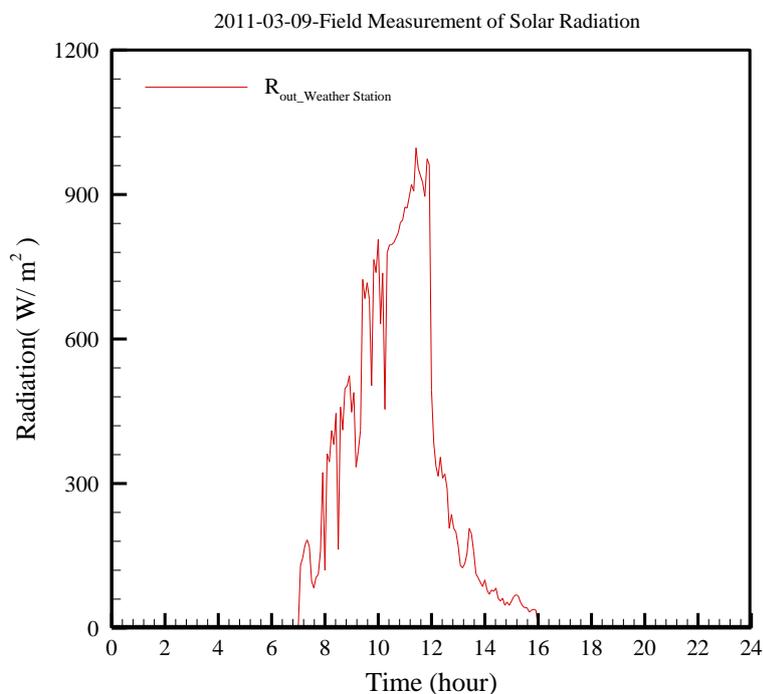


圖 3- 85 2011 年 3 月 9 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

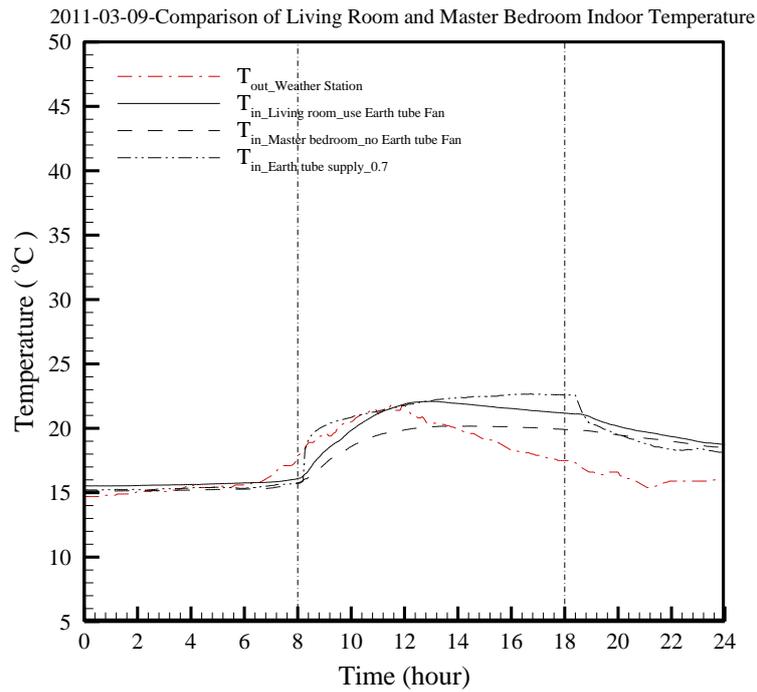


圖 3- 86 2011 年 3 月 9 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

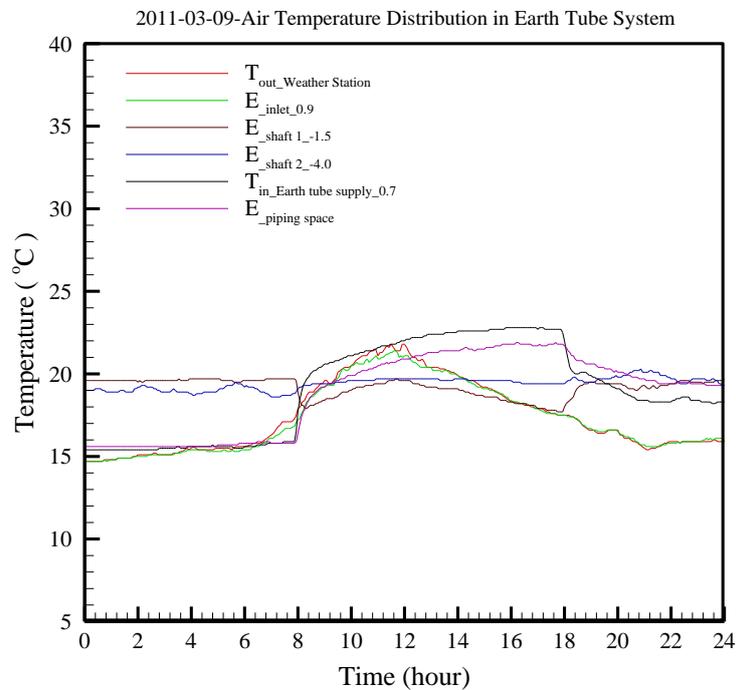


圖 3- 87 2011 年 3 月 9 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

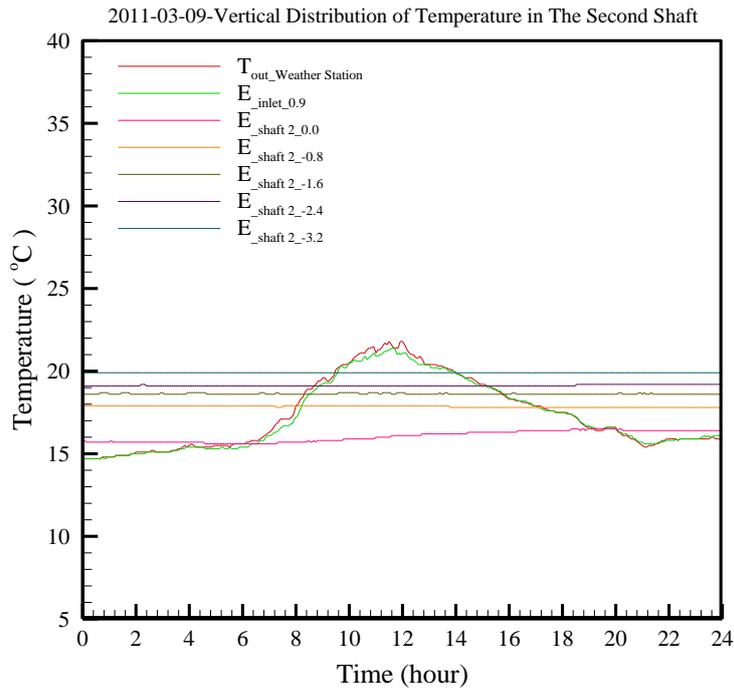


圖 3-88 2011 年 3 月 9 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖

(資料來源：本研究整理)

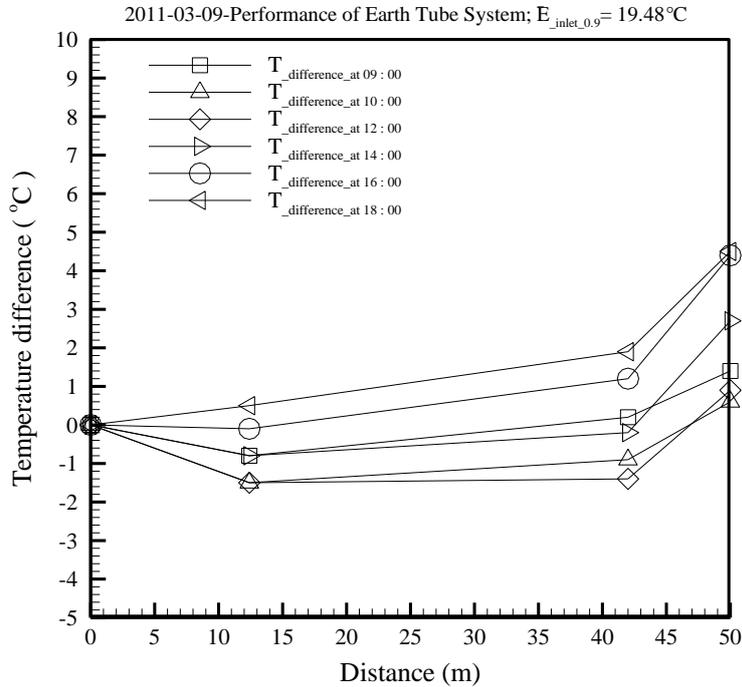


圖 3-89 2011 年 3 月 9 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準

(資料來源：本研究整理)

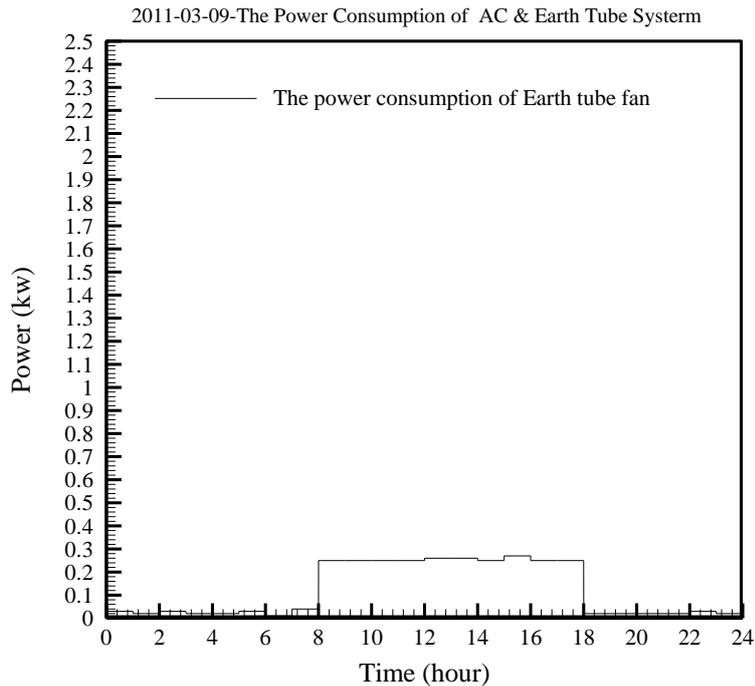


圖 3-90 2011 年 3 月 9 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管風扇每小時平均能源消耗圖
(資料來源：本研究整理)

➤ 夏季

為了讓環控機制的實驗組與對照組有較為一致的空間條件，自 2011 年 1 月 15 日，將 1F 走道封閉，使南側 1F 客廳和南側 2F 主臥房分別成為一獨立密閉空間。故夏季地中管風扇的隔間條件與秋季和冬季不同。自 2011 年 08 月 05 日，電表有重新配裝一組電流感測器，導致夏季實驗中地中管風扇的電表讀值與之前實驗讀值有所差異。

實驗日期：2011 年 08 月 24 日，開啟時間：08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-54 和表 3-55 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-91，最大太陽輻射量約為 1063.00 W/m^2 發生於 11:50，平均輻射量為 239.68 W/m^2 。

易構住宅南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-92，圖中可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，戶外新鮮空氣透過地底下穩定的土壤溫度進行熱交換，提供給室內平均約 32.37°C 的通風效果，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距 $-0.41^\circ\text{C} \sim -0.12^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 -0.12°C ，最大溫差發生於 17:00 左右。

地中管系統內的空氣溫度變化和豎井(2)垂直溫度分佈如圖 3-93 和圖 3-94 所示。圖 3-93 中可以知道，當戶外空氣以平均約 30.48°C 溫度進入地中管系統，流經豎井(1)時，因行走的距離過短，尚未與土壤進行完全的熱交換，此時戶外空氣平均溫度下降到約 28.89°C；在豎井(2)時，因為與地底下土壤溫度進行完全熱交換後，戶外空氣平均溫度下降到約 24.73°C，而在最後導入室內出風口過程中，因受到周圍土壤溫度加熱影響，故以 32.39°C 的平均溫度吹入室內。

而圖 3-94 中可以看到，當土壤深度越深時，則土壤溫度越高也越穩定，地下 1.6 m 土壤溫度，因距離地面有一段距離，較不受外界大氣環境溫度影響，溫度維持在約 27.00~28.00°C，反之，在地下 1.6 m 以上的土壤溫度，因易受大氣環境溫度影響，土壤溫度會隨著外界大氣環境溫度改變而有所變化。

為了更加清楚知道開啟地中管風扇的效能，以地中管入風處量測的空氣溫度為基準，將地中管管內不同位置所量測數據整理，擷取數據時間為 08:00~18:00，如圖 3-95 所示。建築物耗能需求方面，由表 3-55 可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，由於使用的環控設備是 1F 客廳地中管風扇，為主動式設備，需要消耗約 6.792 度電，地中管風扇運行時功率變化情形如圖 3-96。

表 3-54 2011/08/24 1F 客廳地中管風扇開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/8/24
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳地中管風扇(地中管風門關閉)
開啟時間	08:00~18:00
附註	08/24 當日無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-55 2011/08/24 EAG House 開啟 1F 客廳地中管風扇基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	7.02	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差 (度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	6.792	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

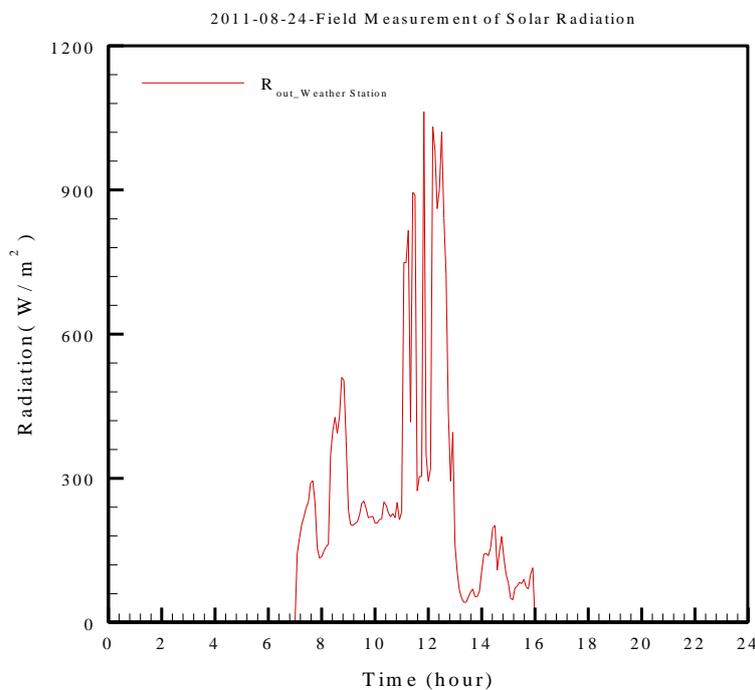


圖 3-91 2011 年 08 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

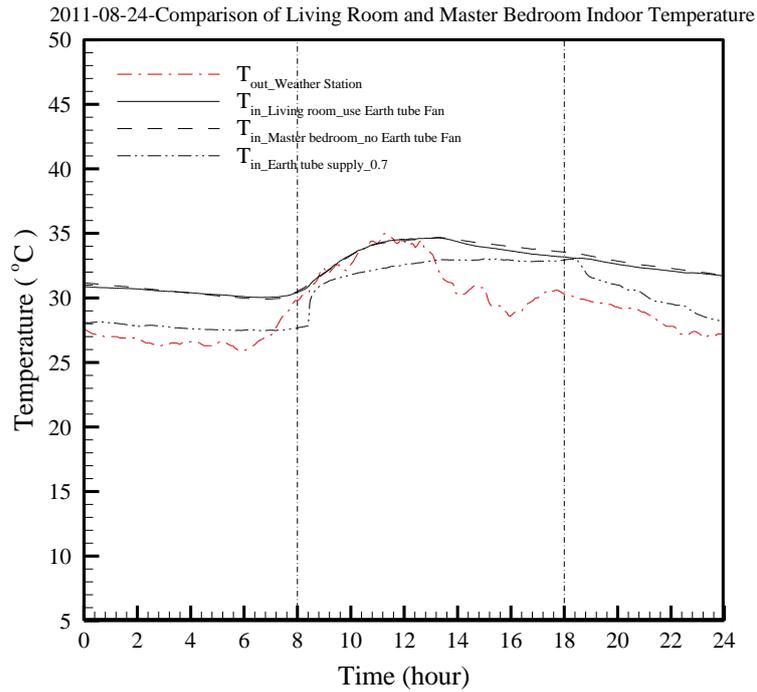


圖 3-92 2011 年 08 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

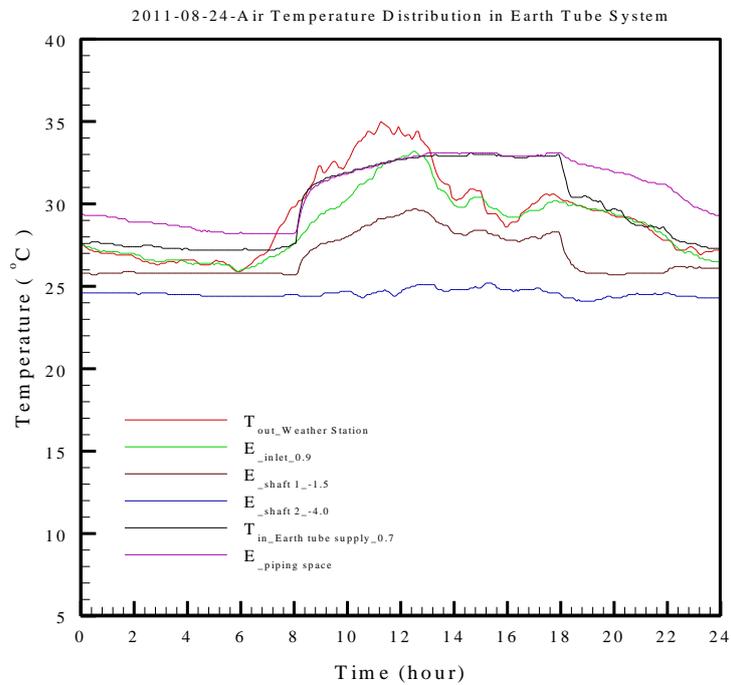


圖 3-93 2011 年 08 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

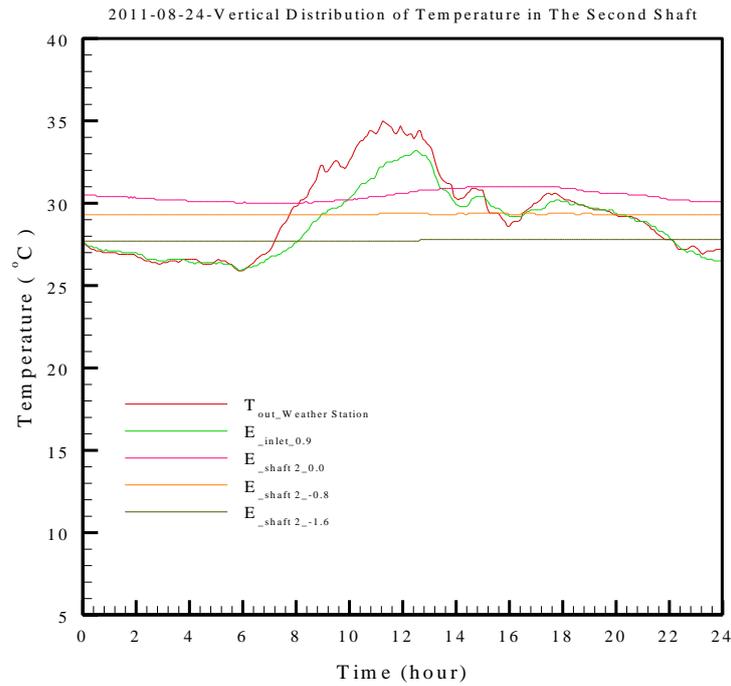


圖 3-94 2011 年 08 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖

(資料來源：本研究整理)

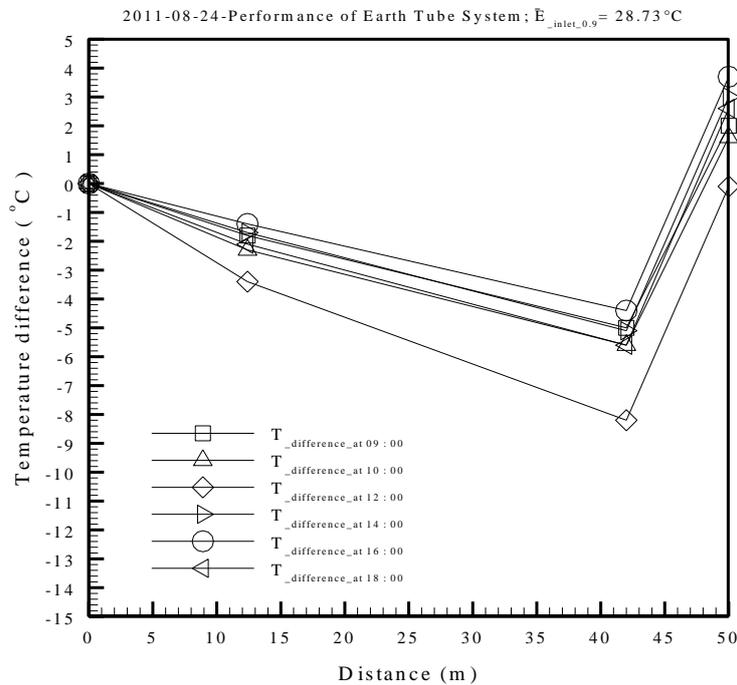


圖 3-95 2011 年 08 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準

(資料來源：本研究整理)

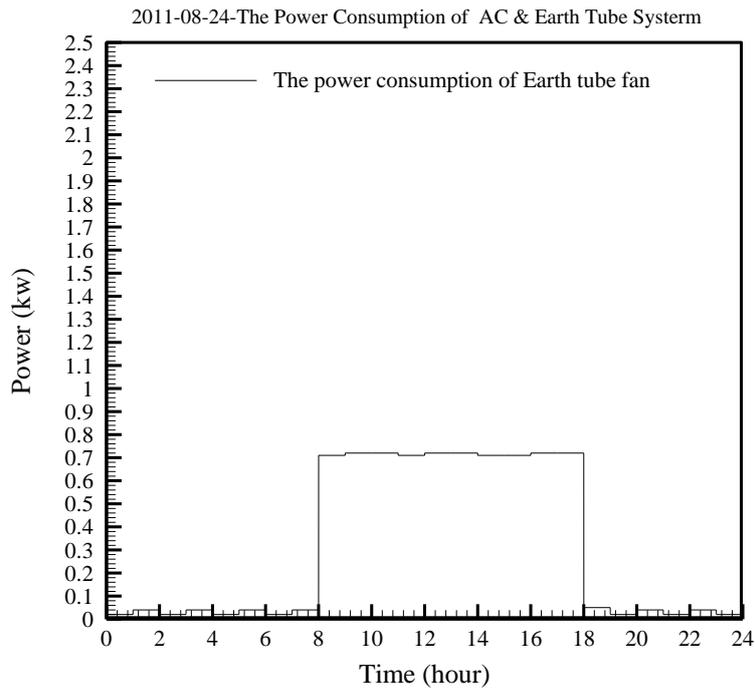


圖 3-96 2011 年 08 月 24 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管風扇每小時平均能源消耗圖

(資料來源：本研究整理)

實驗日期：2011 年 08 月 31 日，開啟時間：08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-56 和表 3-57 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-97，最大太陽輻射量約為 765.00 W/m^2 發生於 11:45，平均輻射量為 282.27 W/m^2 。

易構住宅南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-98，圖中可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，戶外新鮮空氣透過地底下穩定的土壤溫度進行熱交換，提供給室內平均約 31.73°C 的通風效果，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距 $-0.31^\circ\text{C} \sim 0.44^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 0.2°C ，最大溫差發生於 08:00 左右。

地中管系統內的空氣溫度變化和豎井(2)垂直溫度分佈如圖 3-99 和圖 3-100 所示。圖 3-99 中可以知道，當戶外空氣以平均約 30.48°C 溫度進入地中管系統，流經豎井(1)時，因行走的距離過短，尚未與土壤進行完全的熱交換，此時戶外空氣平均溫度下降到約 29.66°C ；在豎井(2)時，因為與地底下土壤溫度進行完全熱交換後，戶外空氣平均溫度下

降到約 27.83°C，而在最後導入室內出風口過程中，因受到周圍土壤溫度加熱影響，故以 31.73°C 的平均溫度吹入室內。

而圖 3-100 中可以看到，當土壤深度越深時，則土壤溫度越高也越穩定，地下 1.6 m 土壤溫度，因距離地面有一段距離，較不受外界大氣環境溫度影響，溫度維持在約 27.00 ~28.00°C，反之，在地下 1.6 m 以上的土壤溫度，因易受大氣環境溫度影響，土壤溫度會隨著外界大氣環境溫度改變而有所變化。

為了更加清楚知道開啟地中管風扇的效能，以地中管入風處量測的空氣溫度為基準，將地中管管內不同位置所量測數據整理，擷取數據時間為 08:00 ~18:00，如圖 3-101 所示。

建築物耗能需求方面，由表 3-57 可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇這段時間內，由於使用的環控設備是 1F 客廳地中管風扇，為主動式設備，需要消耗約 6.720 度電，地中管風扇運行時功率變化情形如圖 3-102。

表 3-56 2011/08/31 1F 客廳地中管風扇開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/8/31
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳地中管風扇(地中管風門關閉)
開啟時間	08:00~18:00
附註	2011/8/31 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-57 2011/08/31 EAG House 開啟 1F 客廳地中管風扇基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	6.948	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差 (度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	6.720	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

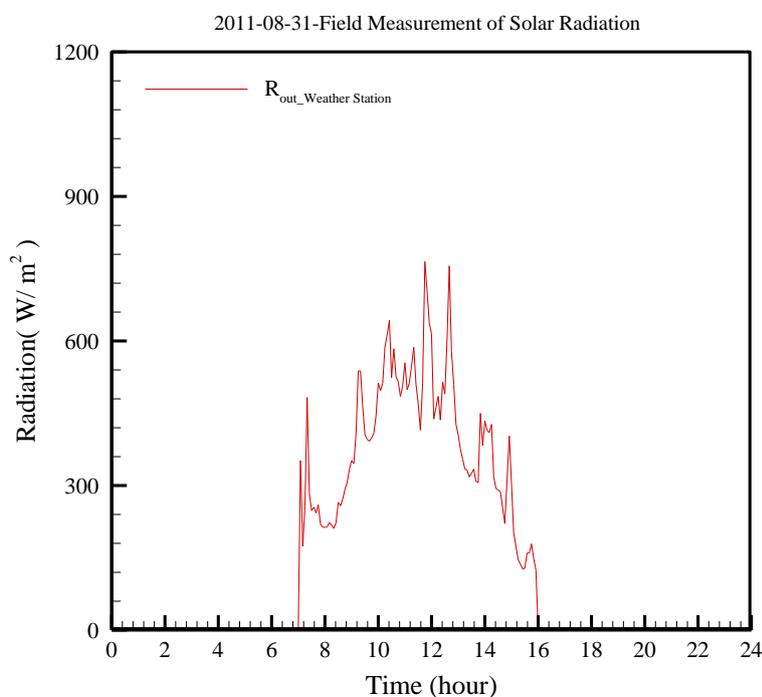


圖 3-97 2011 年 08 月 31 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

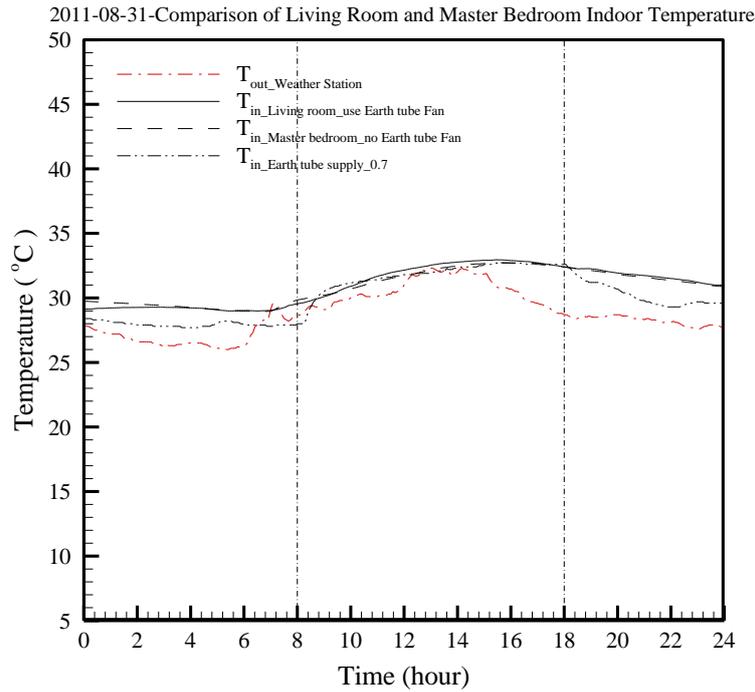


圖 3-98 2011 年 08 月 31 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

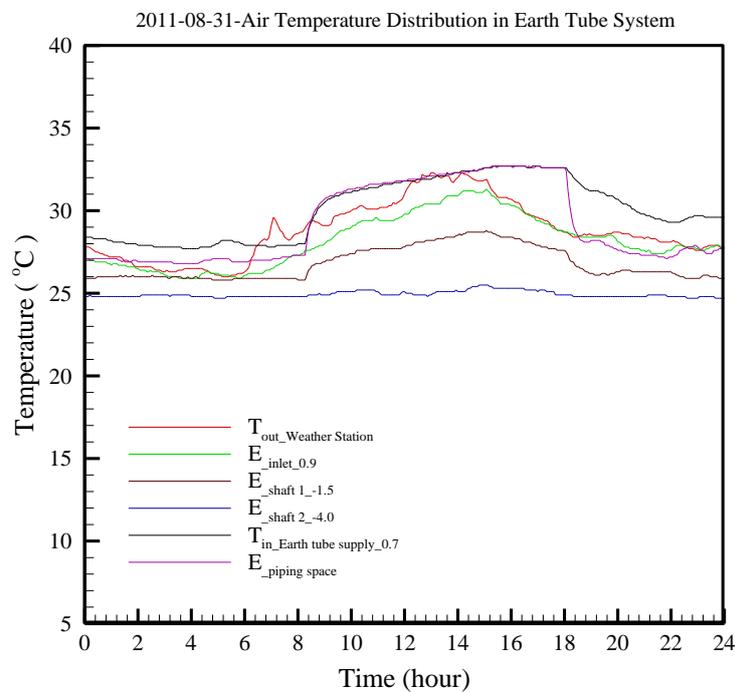


圖 3-99 2011 年 08 月 31 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內空氣溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

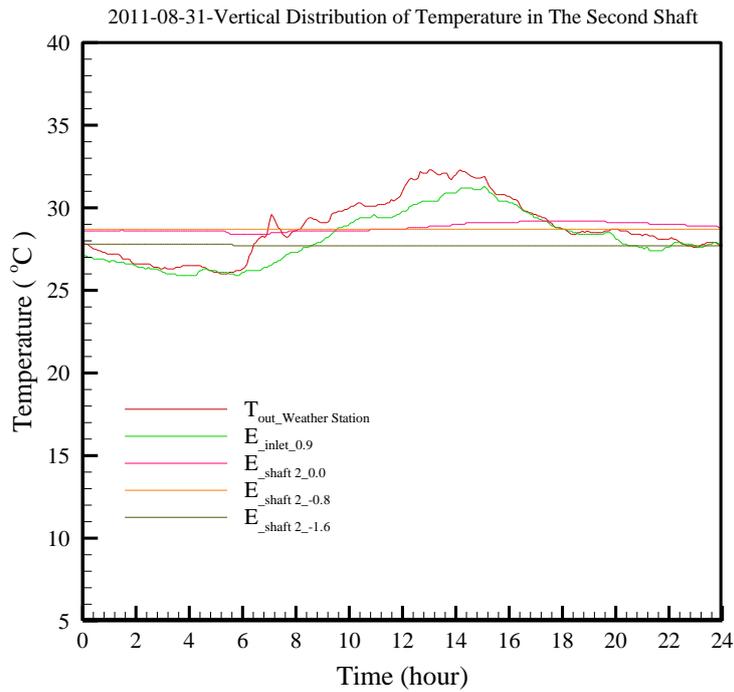


圖 3-100 2011 年 08 月 31 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統豎井(2)內垂直溫度分布圖

(資料來源：本研究整理)

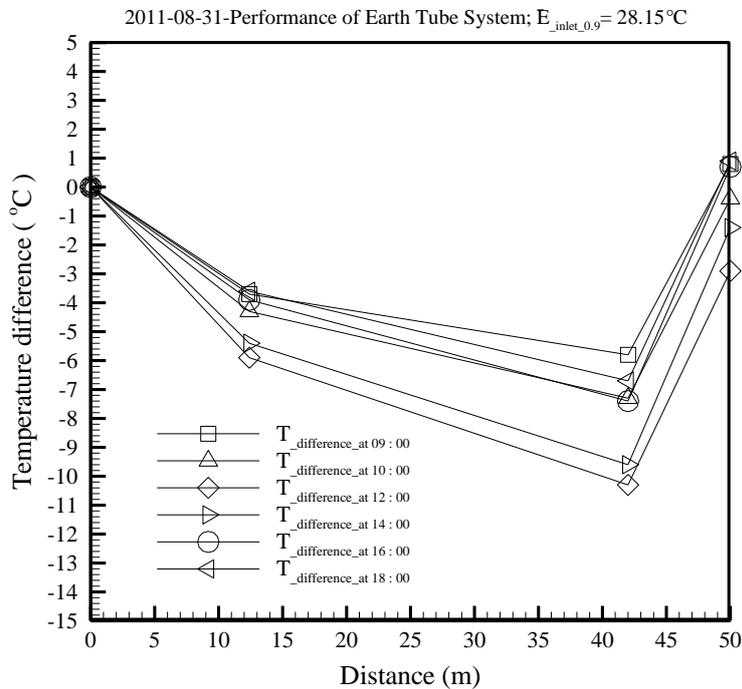


圖 3-101 2011 年 08 月 31 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管系統內不同位置的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準

(資料來源：本研究整理)

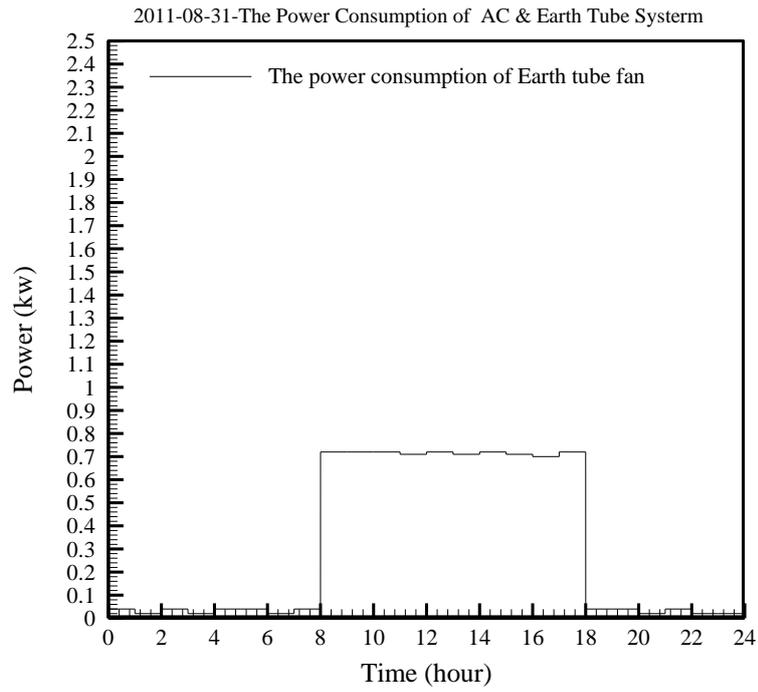


圖 3-102 2011 年 08 月 31 日(開啟 1F 客廳地中管風扇):地中管風扇每小時平均能源消耗

圖

(資料來源：本研究整理)

4. 梯間太陽煙囪風扇

➤ 秋季

實驗日期：2010 年 10 月 11 日，開啟時間：08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-58 和表 3-59 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-103，最大太陽輻射量約為 1078.00 W/m^2 發生於 11:10，平均輻射量為 300.74 W/m^2 。

易構住宅 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-104，圖中可以知道，在開啟梯間太陽煙囪風扇這段時間內，1F 客廳與 2F 主臥房兩者的環境溫度差異卻與無開啟任何機制的情形一樣，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距 $-0.1^\circ\text{C} \sim 0.69^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 0.30°C ，最大溫差發生於 13:00 左右。

此外，由太陽煙囪所設置 RFID 量測點，其相對位置如圖 3-105，可知在開啟梯間太陽煙囪風扇後，太陽煙囪內的垂直溫度變化如圖 3-106 所示，其中 Sensor 121、156 故障無法量測。圖中可以看到，除了 Sensor 158 因靠近頂樓受到太陽輻射影響，量測到溫度較為偏高以外，其餘不同位置量測點所量測到溫度變化曲線並未互相重合，表示太陽煙囪內的自然對流效果並不明顯。

建築物耗能需求方面，由表 3-59 可以知道，在開啟梯間太陽煙囪風扇這段時間內，由於使用的環控設備是梯間太陽煙囪風扇，為主動式設備，需要消耗約 1.328 度電。

表 3-58 2010/10/11 梯間太陽煙囪風扇開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2010/10/11
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	梯間太陽煙囪風扇(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	13:00~14:00 下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-59 2010/10/11 EAG House 梯間太陽煙囪風扇開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	4.068	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	1.328	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

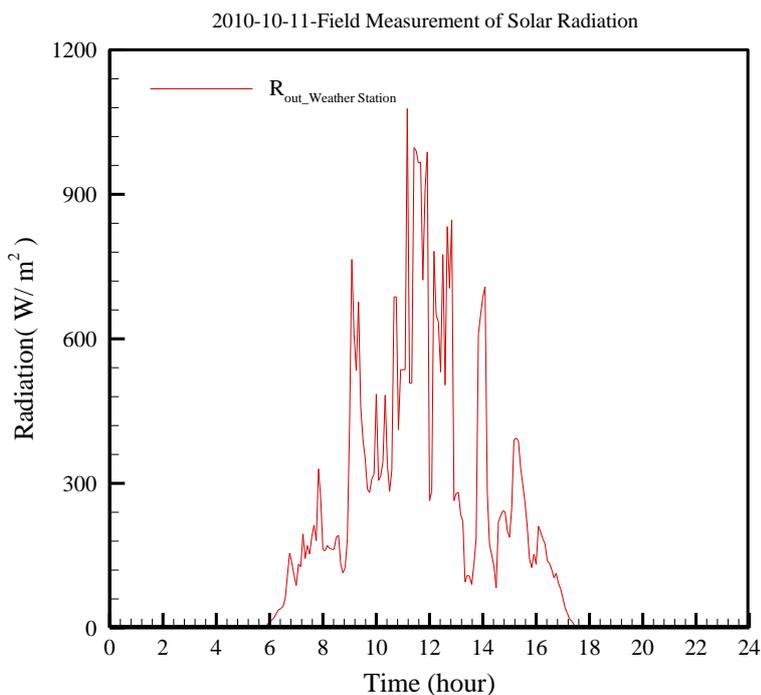


圖 3- 103 2010 年 10 月 11 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽輻射量強度圖
(資料來源：本研究整理)

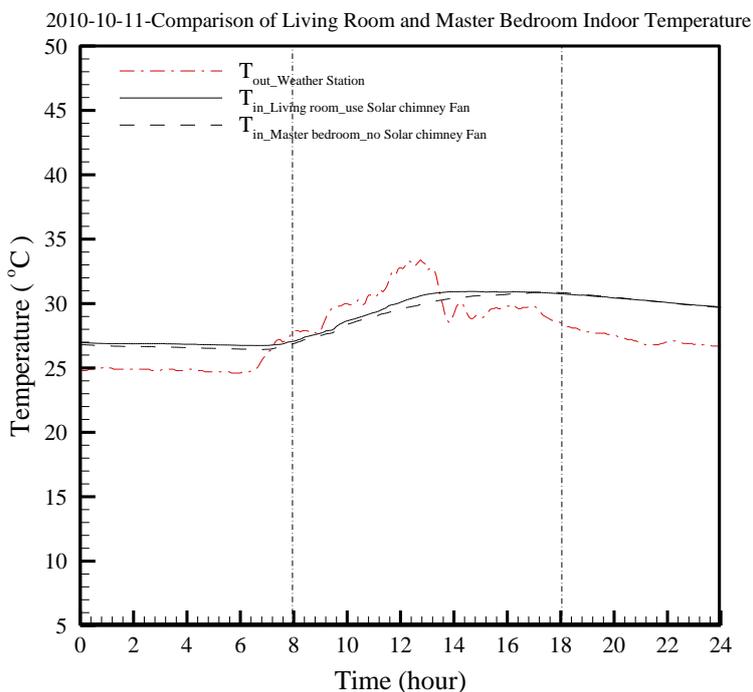


圖 3- 104 2010 年 10 月 11 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室
內溫度變化圖
(資料來源：本研究整理)



圖 3-105 太陽煙囪室內 RFID 量測點相對位置圖

(資料來源：本研究整理)

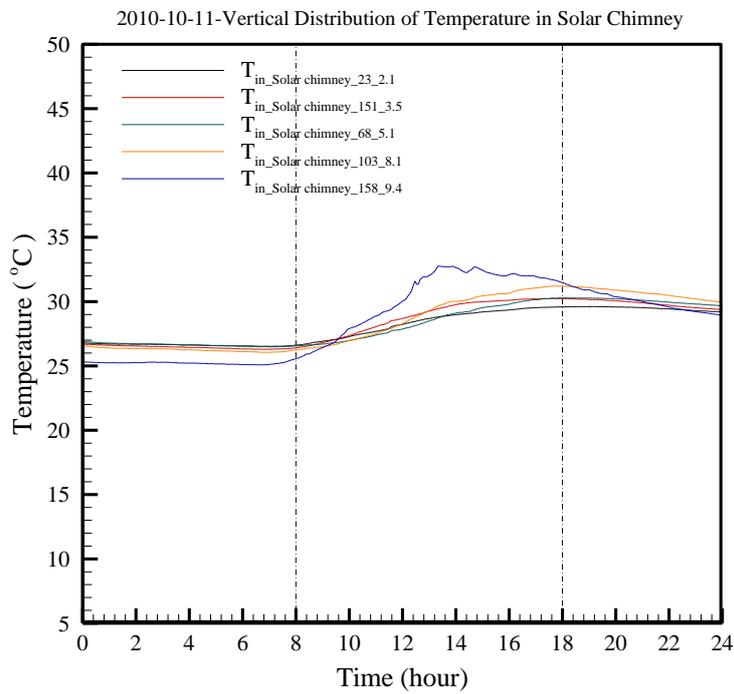


圖 3-106 2010 年 10 月 11 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽煙囪室內垂直高度溫度變化

圖

(資料來源：本研究整理)

實驗日期：2010 年 11 月 28 日，開啟時間：08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-60 和表 3-61 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-107，最大太陽輻射量約為 786.00 W/m² 發生於 09:35，平均輻射量為 211.41 W/m²。

易構住宅南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-108，圖中可以知道，在開啟梯間太陽煙囪風扇這段時間內，1F 客廳與 2F 主臥房兩者的環境溫度差異卻與無開啟任何機制的情形一樣，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距 0.09°C ~ 0.60°C，平均溫差值約 0.31°C，最大溫差發生於 09:00 左右。

此外，由太陽煙囪所設置 RFID 量測點，可知在開啟梯間太陽煙囪風扇後，太陽煙囪內的垂直溫度變化如圖 3-109 所示，圖中可以看到，除了 Sensor 158 因靠近頂樓受到太陽輻射影響，量測到溫度較為偏高以外，其餘不同位置量測點所量測到溫度變化曲線並未互相重合，表示太陽煙囪內的自然對流效果並不明顯。

建築物耗能需求方面，由表 3-61 可以知道，在開啟梯間太陽煙囪風扇這段時間內，由於使用的環控設備是梯間太陽煙囪風扇，為主動式設備，需要消耗約 1.484 度電。

表 3-60 2010/11/28 梯間太陽煙囪風扇開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2010/11/28
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	梯間太陽煙囪風扇(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	11/28 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-61 2010/11/28 EAG House 梯間太陽煙囪風扇開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	4.224	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差 (度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	1.484	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

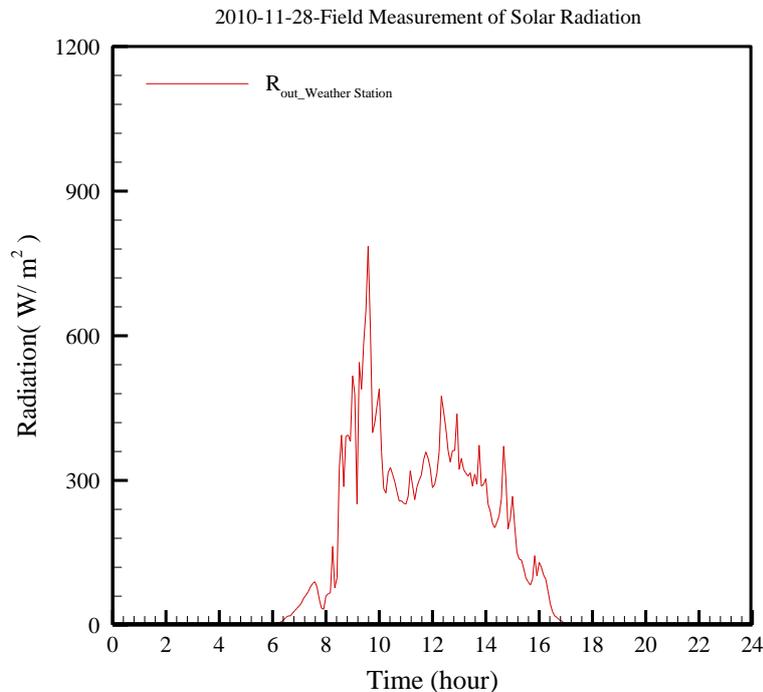


圖 3-107 2010 年 11 月 28 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

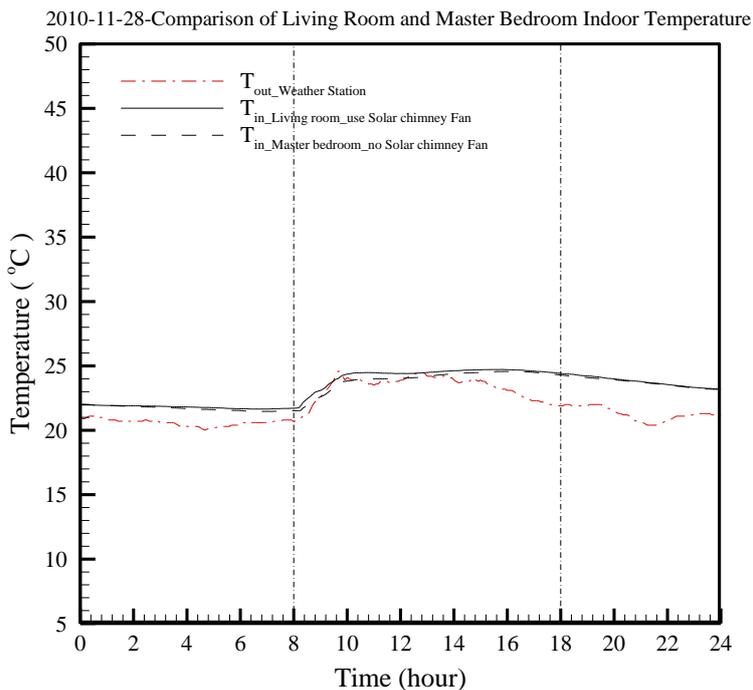


圖 3- 108 2010 年 11 月 28 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

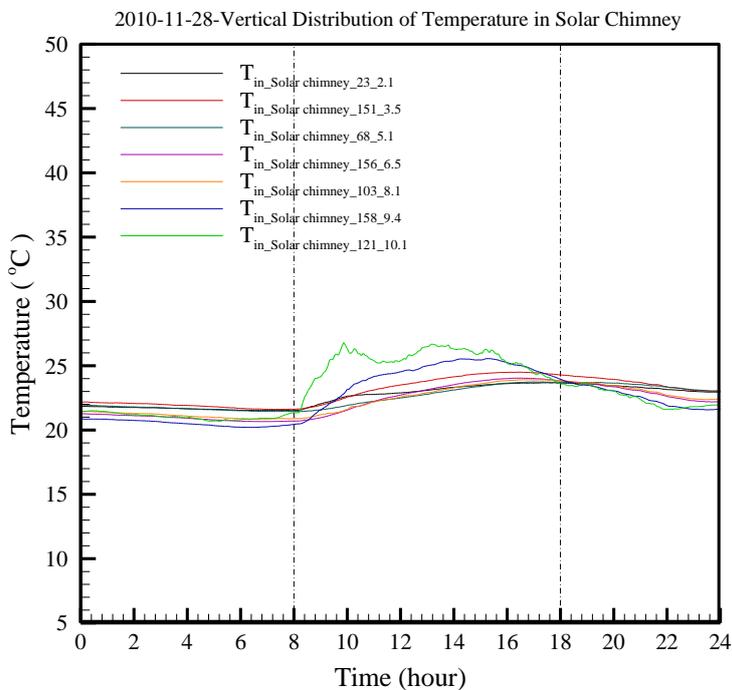


圖 3- 109 2010 年 11 月 28 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽煙囪室內垂直高度溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

➤ 冬季

實驗日期：2010年12月4日，開啟時間：08:00~18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-62 和表 3-63 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-110，最大太陽輻射量約為 761.00 W/m^2 發生於 12:50，平均輻射量為 225.31 W/m^2 。

易構住宅南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-111，圖中可以知道，在開啟梯間太陽煙囪風扇這段時間內，1F 客廳與 2F 主臥房兩者的環境溫度差異卻與無開啟任何機制的情形一樣，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距 $0.31^\circ\text{C} \sim 0.62^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 0.45°C ，最大溫差發生於 10:23 左右。

此外，由太陽煙囪所設置 RFID 量測點，可知在開啟梯間太陽煙囪風扇後，太陽煙囪內的垂直溫度變化如圖 3-112 所示，圖中可以看到，除了 Sensor 121 和 Sensor 158 因靠近頂樓受到太陽輻射影響，量測到溫度較為偏高以外，其餘不同位置量測點所量測到溫度變化曲線並未互相重合，表示太陽煙囪內的自然對流效果並不明顯。

建築物耗能需求方面，由表 3-63 可以知道，在開啟梯間太陽煙囪風扇這段時間內，由於使用的環控設備是梯間太陽煙囪風扇，為主動式設備，需要消耗約 1.508 度電。

表 3-62 2010/12/04 梯間太陽煙囪風扇開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2010/12/4
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	梯間太陽煙囪風扇 (地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	12/04 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3- 63 2010/12/04 EAG House 梯間太陽煙囪風扇開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	4.248	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	1.508	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

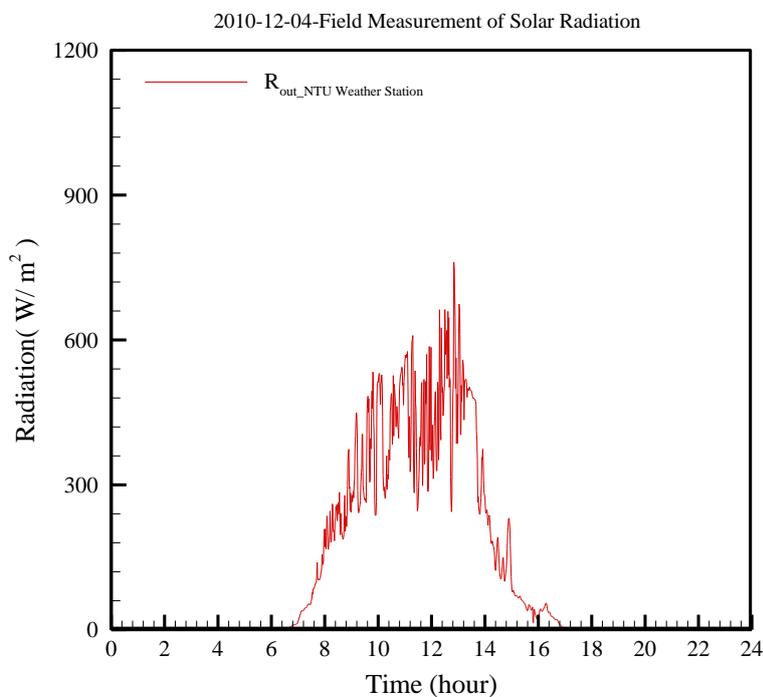


圖 3- 110 2010 年 12 月 4 日(開啟太陽煙囪風扇(梯間)):太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

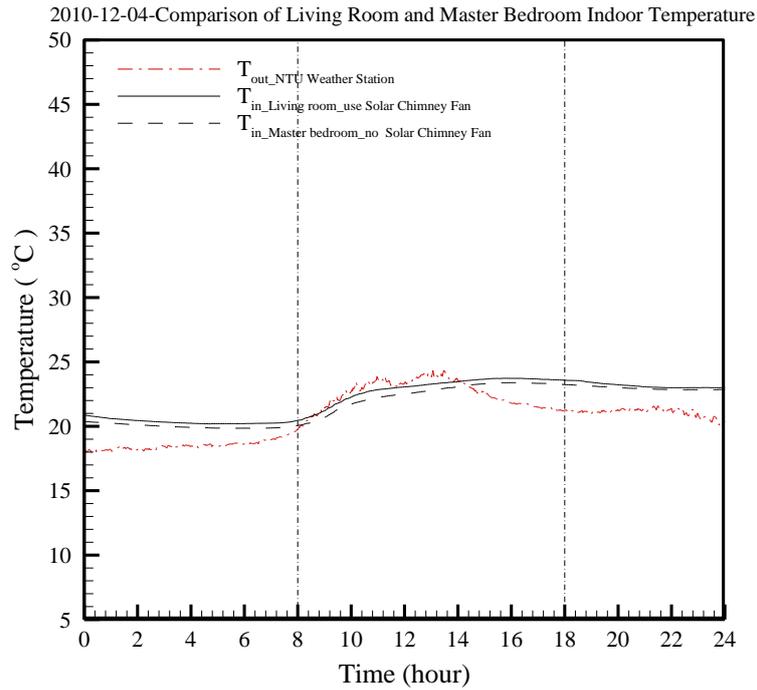


圖 3- 111 2010 年 12 月 4 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

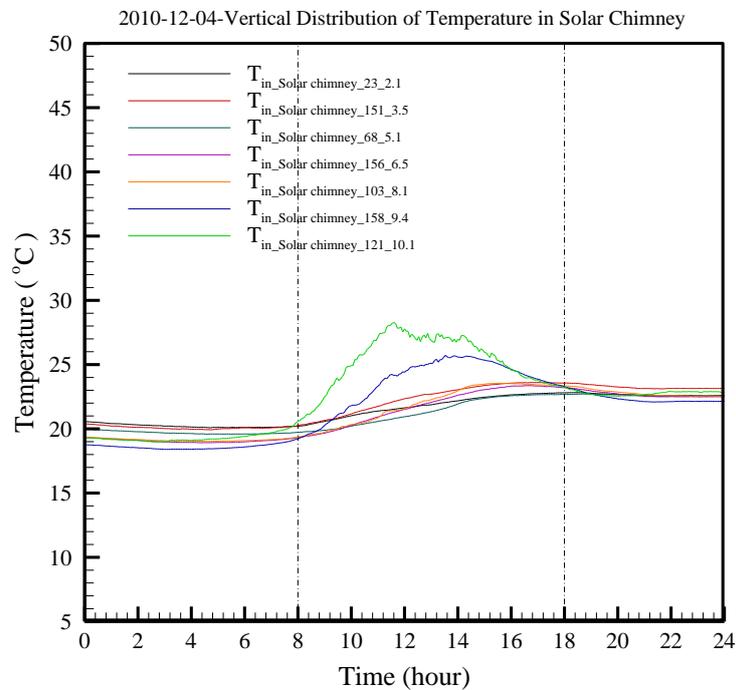


圖 3- 112 2010 年 12 月 4 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽煙囪室內垂直高度溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

➤ 春季

為了讓環控機制的實驗組與對照組有較為一致的空間條件，自 2011 年 1 月 15 日，將 1F 走道封閉，使南側 1F 客廳和南側 2F 主臥房分別成為一獨立密閉空間。故春季梯間太陽煙囪風扇的隔間條件與秋季和冬季不同。

實驗日期：2011 年 3 月 19 日，開啟時間：08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-64 和表 3-65 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-113，最大太陽輻射量約為 534.00 W/m^2 發生於 11:15，平均輻射量為 145.01 W/m^2 。

易構住宅南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-114，圖中可以知道，在開啟梯間太陽煙囪風扇這段時間內，1F 客廳與 2F 主臥房兩者的環境溫度差異卻與無開啟任何機制的情形一樣，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距 $-0.01^\circ\text{C} \sim 0.30^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 0.13°C ，最大溫差發生於 08:49 左右。

此外，由太陽煙囪所設置 RFID 量測點，可知在開啟梯間太陽煙囪風扇後，太陽煙囪內的垂直溫度變化如圖 3-115 所示，圖中可以看到，除了 Sensor 121 和 Sensor 158 因靠近頂樓受到太陽輻射影響，量測到溫度較為偏高以外，其餘不同位置量測點所量測到溫度變化曲線皆互相重合，此現象是由於 1F 走道封閉與每層樓的房間房門皆關閉的因素，使得通風空間範圍變小，因而導致太陽煙囪內的自然對流效果特別明顯。

建築物耗能需求方面，由表 3-65 可以知道，在開啟梯間太陽煙囪風扇這段時間內，由於使用的環控設備是梯間太陽煙囪風扇，為主動式設備，需要消耗約 1.500 度電。

表 3- 64 2011/03/19 梯間太陽煙囪風扇開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/3/19
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	太陽煙囪風扇(梯間)(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	06:00 ~ 07:00 下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3- 65 2011/03/19 EAG House 梯間太陽煙囪風扇開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	4.24	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差(度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	1.500	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

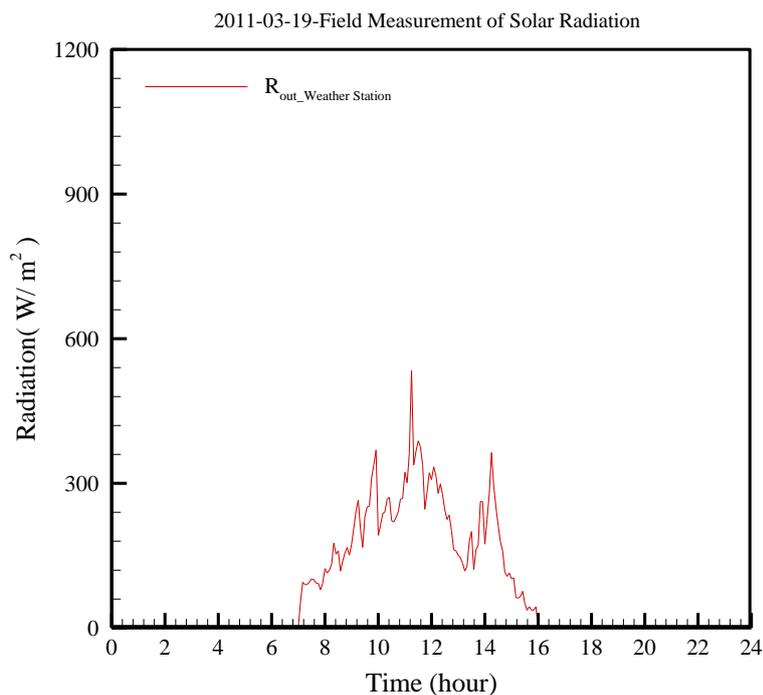


圖 3- 113 2011 年 3 月 19 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽輻射量強度圖
(資料來源：本研究整理)

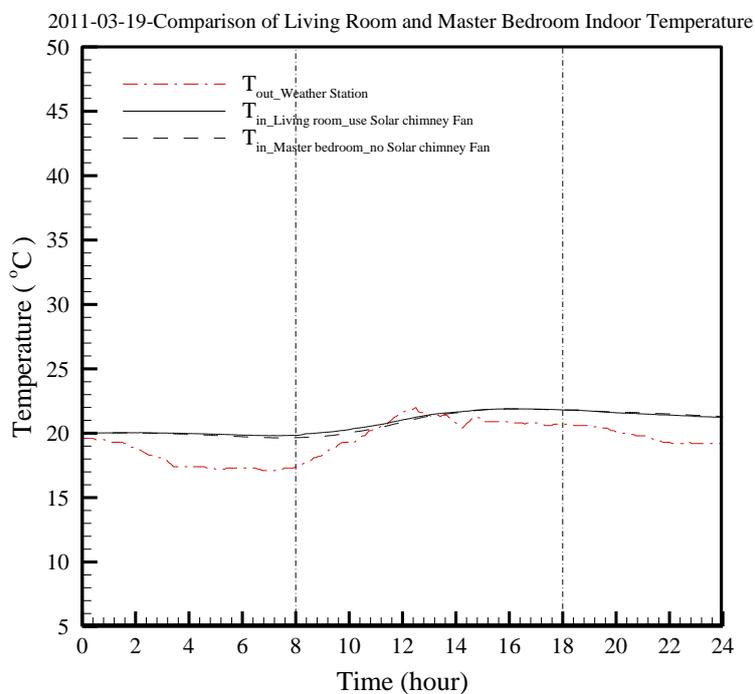


圖 3- 114 2011 年 3 月 19 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內
溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

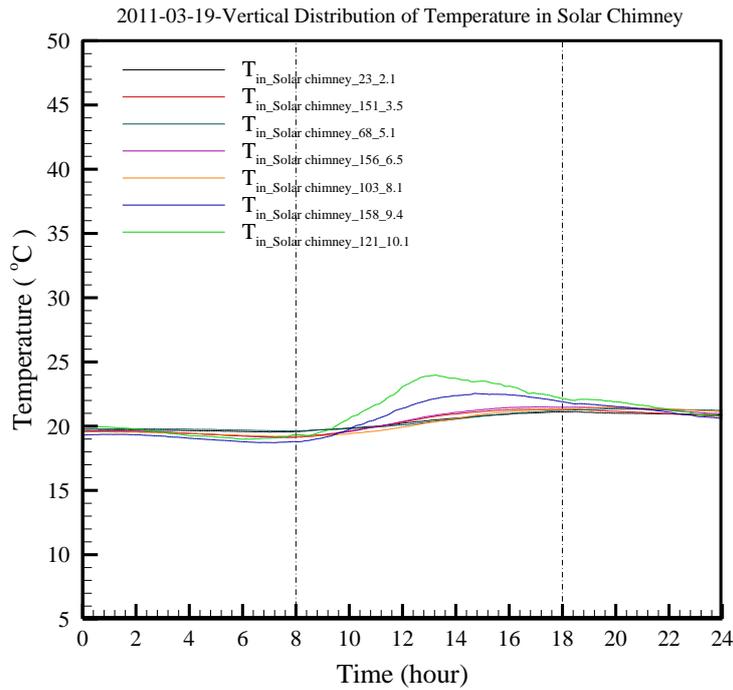


圖 3-115 2011 年 3 月 19 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽煙囪室內垂直高度溫度變化圖
(資料來源：本研究整理)

實驗日期：2011 年 4 月 9 日，開啟時間：08:00 ~ 18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-66 和表 3-67 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-116，最大太陽輻射量約為 895.00 W/m^2 發生於 12:05，平均輻射量為 445.70 W/m^2 。

易構住宅南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-117，圖中可以知道，在開啟梯間太陽煙囪風扇這段時間內，1F 客廳與 2F 主臥房兩者的環境溫度差異卻與無開啟任何機制的情形一樣，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距 $-0.54^\circ\text{C} \sim 0.32^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 -0.12°C ，最大溫差發生於 17:28 左右。

此外，由太陽煙囪所設置 RFID 量測點，可知在開啟梯間太陽煙囪風扇後，太陽煙囪內的垂直溫度變化如圖 3-118 所示，圖中可以看到，除了 Sensor 121 和 Sensor 158 因靠近頂樓受到太陽輻射影響，量測到溫度較為偏高以外，其餘不同位置量測點所量測到溫度變化曲線皆互相重合，此現象是由於 1F 走道封閉與每層樓的房間房門皆關閉的因素，使得通風空間範圍變小，因而導致太陽煙囪內的自然對流效果特別明顯。

建築物耗能需求方面，由表 3-67 可以知道，在開啟梯間太陽煙囪風扇這段時間內，由於使用的環控設備是梯間太陽煙囪風扇，為主動式設備，需要消耗約 1.496 度電。

表 3-66 2011/04/09 太陽煙囪梯間風扇開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/4/9
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	太陽煙囪風扇(梯間)(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	04/09 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-67 2011/04/09 EAG House 梯間太陽煙囪風扇開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	4.236	0.228	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差 (度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	1.496	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

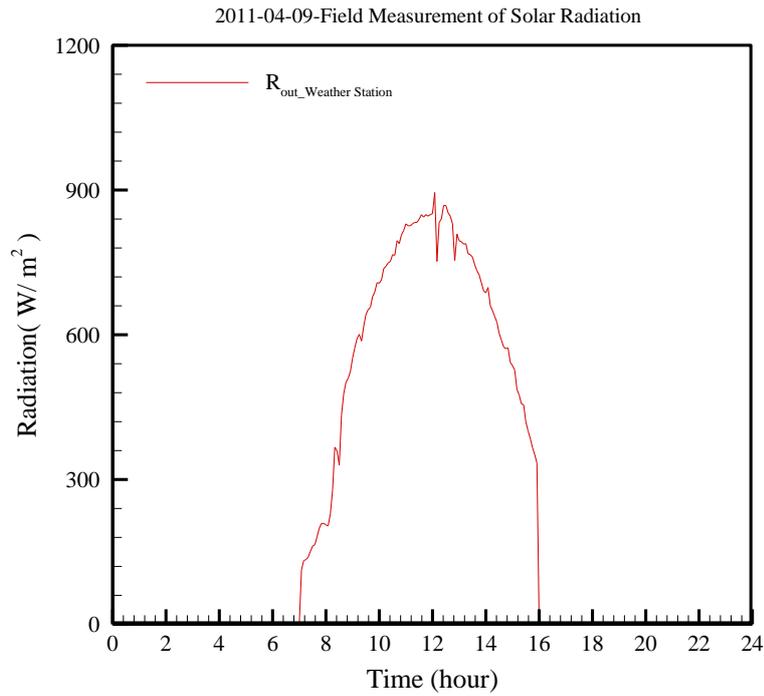


圖 3-116 2011 年 4 月 9 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽輻射量強度圖
(資料來源：本研究整理)

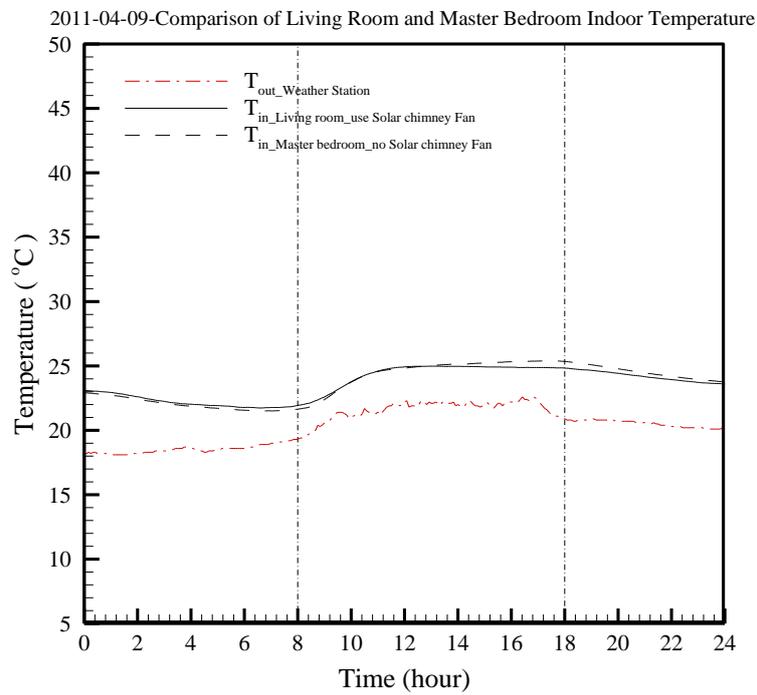


圖 3-117 2011 年 4 月 9 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內
溫度變化圖
(資料來源：本研究整理)

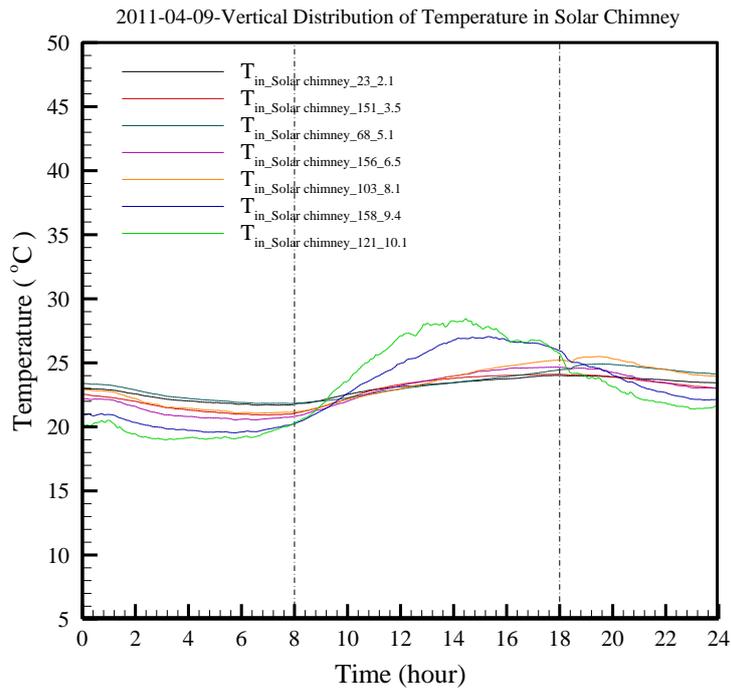


圖 3-118 2011 年 4 月 9 日(開啟梯間太陽煙囪風扇):太陽煙囪室內垂直高度溫度變化圖
(資料來源：本研究整理)

➤ 夏季

實驗日期:2011 年 8 月 29 日，開啟時間:8:00~18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-68 和表 3-69 所示

當天太陽輻射強度如圖 3-119，最大太陽輻射量約為 772 W/m^2 發生於 12:10，平均輻射量為 211.77 W/m^2 。

易構住宅南側 1F 客廳與南側主臥房室內溫度變化結果如圖 3-120，圖中可以知道，在開啟梯間太陽煙囪風扇這段時間內，1F 客廳與主臥房兩者溫度差距 $-0.01^\circ\text{C} \sim 0.17^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 0.08°C ，最大溫差發生於 11:20 左右。

此外，由太陽煙囪所設置 RFID 量測點，可知再開啟太陽煙囪風扇過後，太陽煙囪內的垂直溫度變化如圖 3-121 所示，圖中可以看到，除了 Sensor121 和 Sensor158 因靠近頂樓受到太陽輻射影響，量測到溫度較為偏高以外，其餘不同位置的量測點所量測到的溫度變化曲線皆互相重何，此現象是由於走道封閉與每層樓的房間房門皆關閉的因素，使得通風空間範圍變小，因而導致太陽煙煙囪內的自然對流效果特別明顯。

建築物耗能需求方面，由表 3-69 可知，在開啟梯間太陽煙囪風扇這段時間內，由於

使用的環控設備是梯間太陽煙囪風扇，為主動式設備，需要消耗約 1.424 度電。

表 3-68 2011/08/29 太陽煙囪風扇(梯間)開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/8/29
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	太陽煙囪風扇(梯間)(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	08/29 8:00-11:00 有下雨

(資料來源:本研究整理)

表 3-69 2011/08/29 EAG House 太陽煙囪風扇(梯間)開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	4.164	0.288	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.288	0.180
基本耗電量標準差 (度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	1.424	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源:本研究整理)

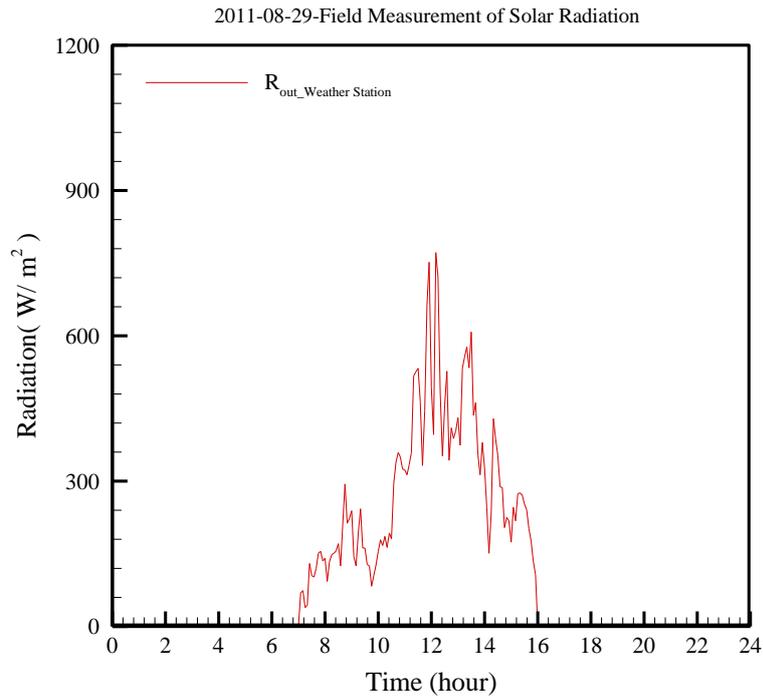


圖 3-119 2011 年 8 月 29 日(開啟太陽煙囪風扇):太陽輻射強度圖
(資料來源:本研究整理)

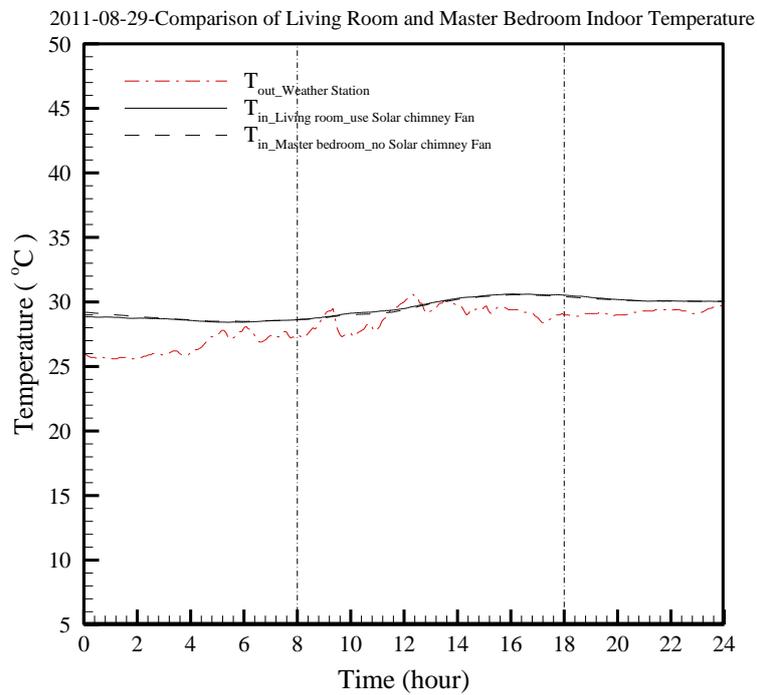


圖 3-120 2011 年 8 月 29 日(開啟太陽煙囪風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源:本研究整理)

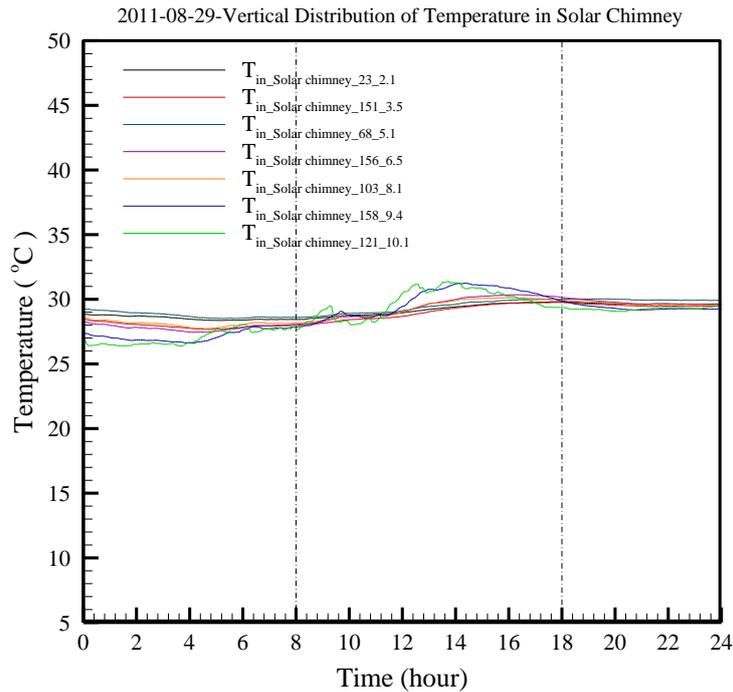


圖 3-121 2010 年 8 月 29 日(開啟太陽煙囪風扇):太陽煙囪室內垂直高度變化圖

(資料來源:本研究整理)

實驗日期:2011 年 9 月 4 日, 開啟時間:8:00~18:00, 開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-70 和表 3-71 所示

當天太陽輻射強度如圖 3-122, 最大太陽輻射量約為 981 W/m^2 發生於 12:40, 平均輻射量為 422.96 W/m^2 。

易構住宅南側 1F 客廳與南側主臥房室內溫度變化結果如圖 3-123, 圖中可以知道, 在開啟梯間太陽煙囪風扇這段時間內, 1F 客廳與主臥房兩者溫度差距 $-0.93^\circ\text{C} \sim 0.09^\circ\text{C}$, 平均溫差值約 -0.49°C , 最大溫差發生於 17:36 左右。

此外, 由太陽煙囪所設置 RFID 量測點, 可知再開啟太陽煙囪風扇過後, 太陽煙囪內的垂直溫度變化如圖 3-124 所示, 圖中可以看到, 除了 Sensor121 和 Sensor158 因靠近頂樓受到太陽輻射影響, 量測到溫度較為偏高以外, 其餘不同位置的量測點所量測到的溫度變化曲線皆互相重何, 此現象是由於走道封閉與每層樓的房間房門皆關閉的因素, 使得通風空間範圍變小, 因而導致太陽煙煙囪內的自然對流效果特別明顯。

建築物耗能需求方面, 由表 3-71 可知, 在開啟梯間太陽煙囪風扇這段時間內, 由

於使用的環控設備是梯間太陽煙囪風扇，為主動式設備，需要消耗約 1.725 度電。

表 3- 70 2011/09/04 太陽煙囪風扇(梯間)開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/9/4
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	太陽煙囪風扇(梯間)(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	09/04 當天無下雨

(資料來源:本研究整理)

表 3- 71 2011/09/04 EAG House 太陽煙囪風扇(梯間)開啟基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	4.465	0.228	0.180
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差 (度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	1.725	0.000	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源:本研究整理)

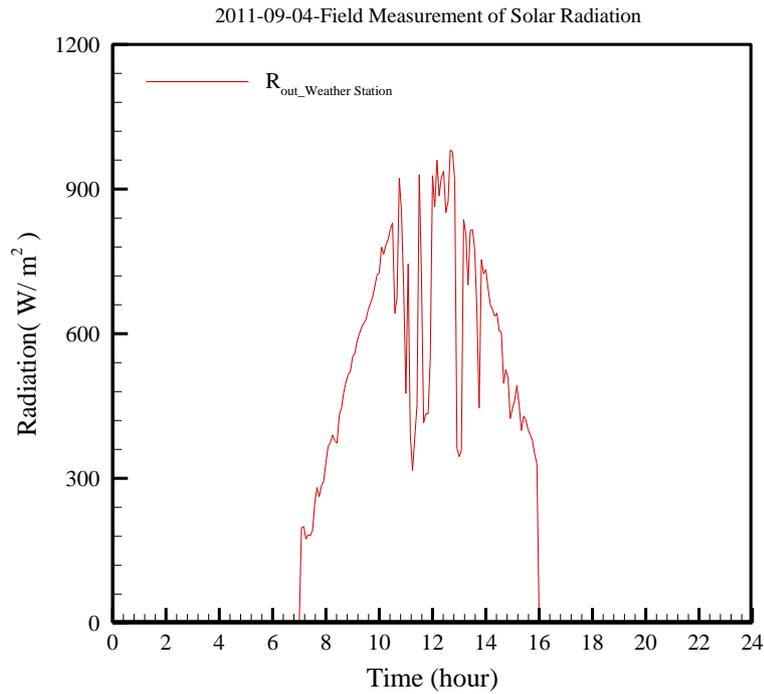


圖 3-122 2011 年 9 月 4 日(開啟太陽煙囪風扇):太陽輻射強度圖
(資料來源:本研究整理)

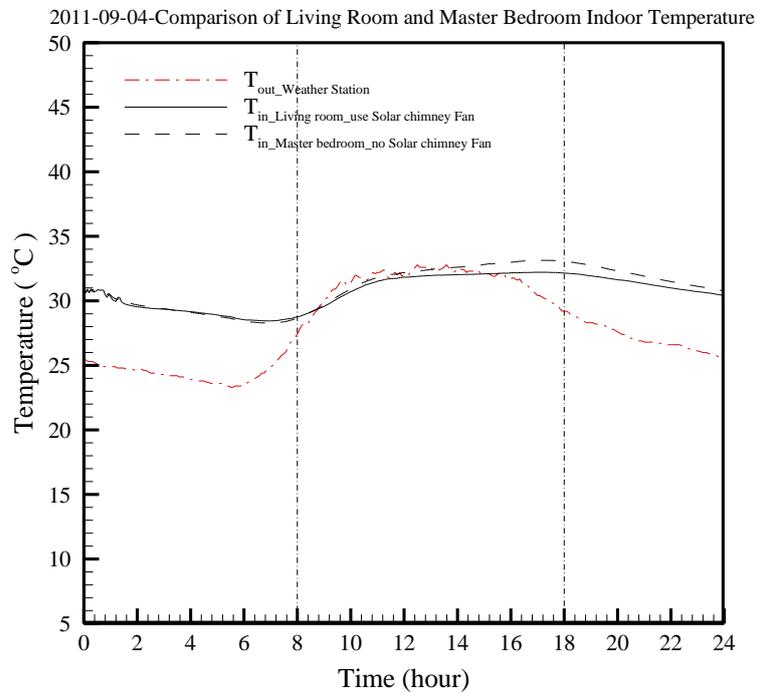


圖 3-123 2011 年 9 月 4 日(開啟太陽煙囪風扇):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度
變化圖
(資料來源:本研究整理)

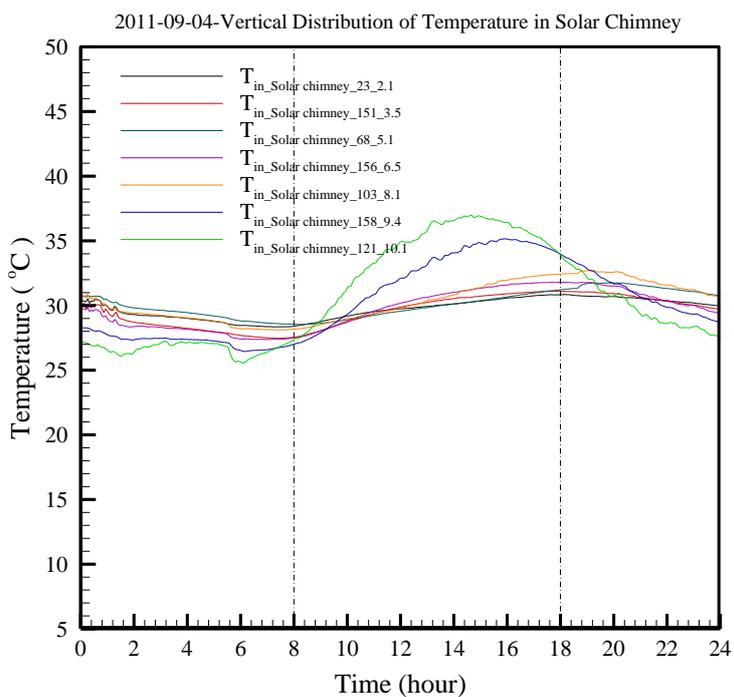


圖 3-124 2011 年 9 月 4 日(開啟太陽煙囪風扇):太陽煙囪室內垂直高度變化圖

(資料來源:本研究整理)

5. 空調

➤ 夏季

實驗日期:2011年07月02日，開啟時間:08:00~18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-72 和表 3-73 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-125，最大太陽輻射量約為 1023.00 W/m^2 發生於 10:55，平均輻射量為 256.43 W/m^2 。

易構住宅南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-126，圖中可以知道，在使用 1F 客廳空調這段時間內，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距 $-6.89^\circ\text{C} \sim -1.38^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約 -5.77°C ，最大溫差發生於 16:20 左右。另外，在使用 1F 客廳空調時間內，最高溫為 28.75°C 發生於 08:00 左右，此時 2F 主臥房室內量測溫度為 30.12°C ；1F 客廳室內量測最低溫為 25.86°C 發生於 17:40，此時 2F 主臥房內量測溫度為 32.70°C 。

建築物耗能需求方面，由表 3-73 可以知道，在開啟環控設備的期間，由於使用的環控設備是空調，為主動式設備，需要消耗約 4.344 度電，空調運行時功率變化情形如圖 3-127，由圖中可知在空調開啟時需要較大的能量來啟動設備，故在 08:00~09:00 之耗電量比其餘有開啟環控設備時間的耗電量高出約 0.27 度電。

表 3-72 2011/07/02 1F 客廳空調開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/7/2
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳空調(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	7/2 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-73 2011/07/02 EAG House 開啟 1F 客廳空調基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	4.572	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差 (度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	4.344	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

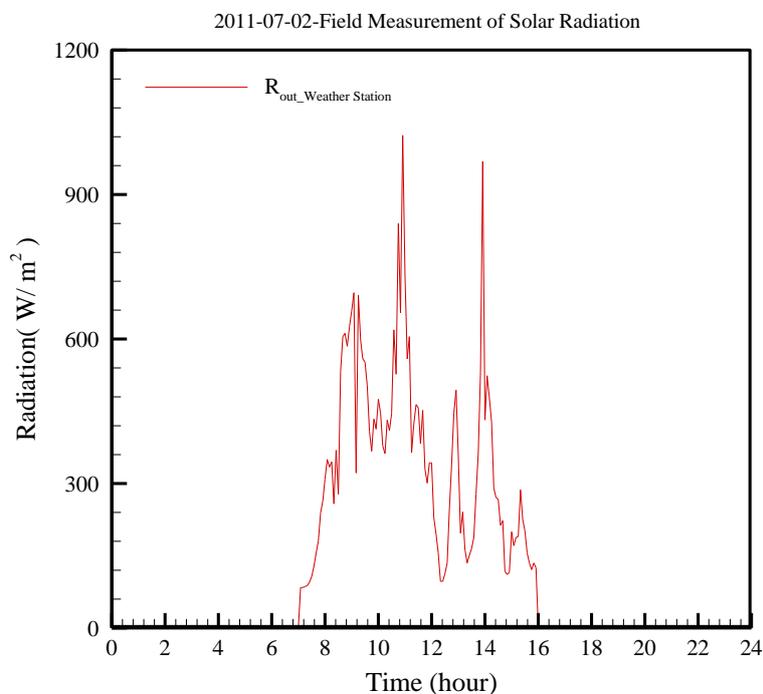


圖 3-125 2011 年 07 月 02 日(開啟 1F 客廳空調)：太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

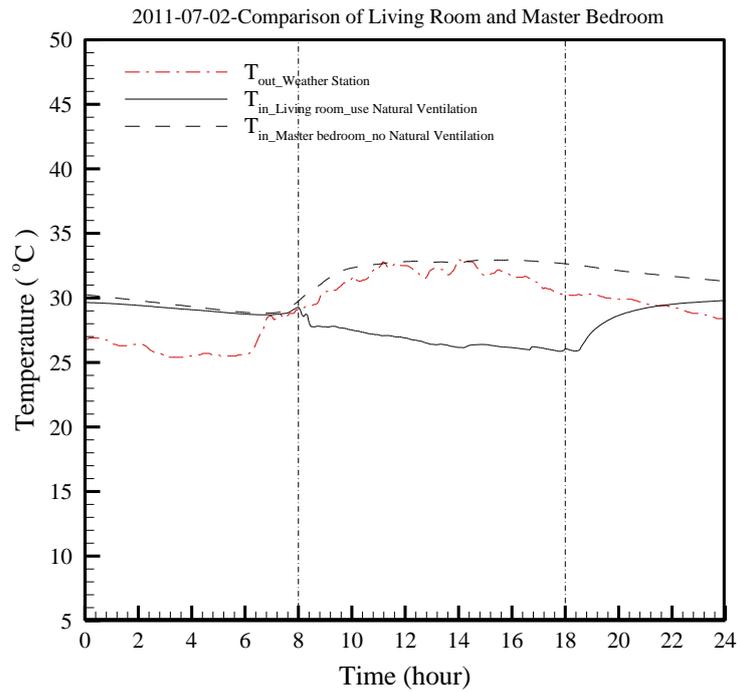


圖 3-126 2011 年 07 月 02 日(開啟 1F 客廳空調):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源:本研究整理)

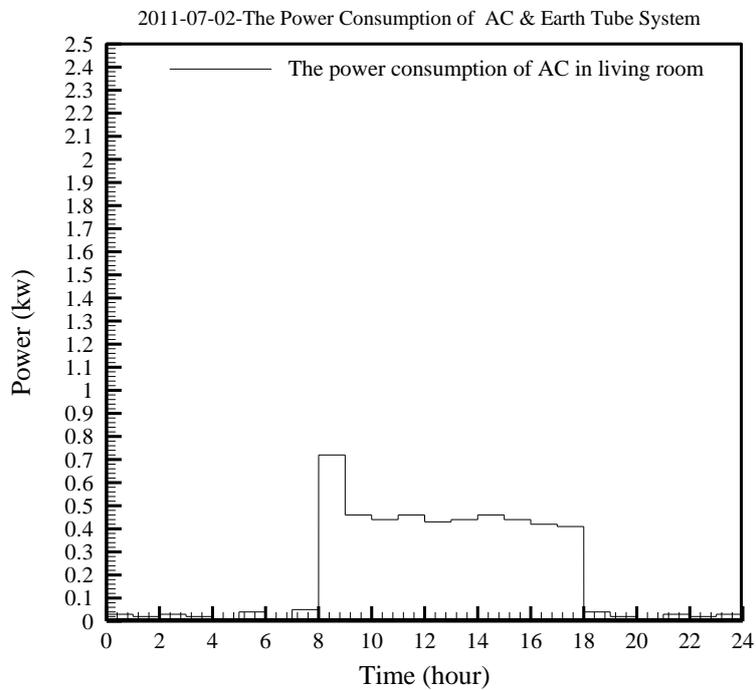


圖 3-127 2011 年 07 月 02 日(開啟 1F 客廳空調):1F 客廳空調每小時能源消耗圖

(資料來源:本研究整理)

實驗日期:2011年07月09日，開啟時間:08:00~18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-74 和表 3-75 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-128，最大太陽輻射量約為 970.00 W/m² 發生於 11:50，平均輻射量為 364.57W/m²。

易構住宅南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-129，圖中可以知道，在 2F 南側主臥房的溫度隨著室外氣溫升高而提升，而與開空調的 1F 客廳溫差亦增加，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫度差距-7.87°C~-0.77°C，平均溫差值約-6.88°C，最大溫差發生於 13:50 左右。另外，在使用 1F 客廳空調時間內，最高溫為 31.44°C 發生於 08:10 左右，此時 2F 主臥房室內量測溫度為 32.21°C；1F 客廳室內量測最低溫為 26.00°C 發生於 18:00，此時 2F 主臥房內量測溫度為 33.67°C。

建築物耗能需求方面，由表 3-75 可以知道，在開啟環控設備的期間，由於使用的環控設備是空調，為主動式設備，需要消耗約 5.628 度電，空調運行時功率變化情形如圖 3-130，由圖中可知在空調開啟時需要較大的能量來啟動設備，故在 08:00~09:00 之耗電量比其餘有開啟環控設備時間的耗電量高出約 0.71 度電。

表 3-74 2011/07/09 1F 客廳空調開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/7/9
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳空調(地中管風門開啟)
開啟時間	08:00~18:00
附註	7/9 當天無下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-75 2011/07/09 EAG House 開啟 1F 客廳空調基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.74	5.856	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差 (度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	0.000	5.628	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

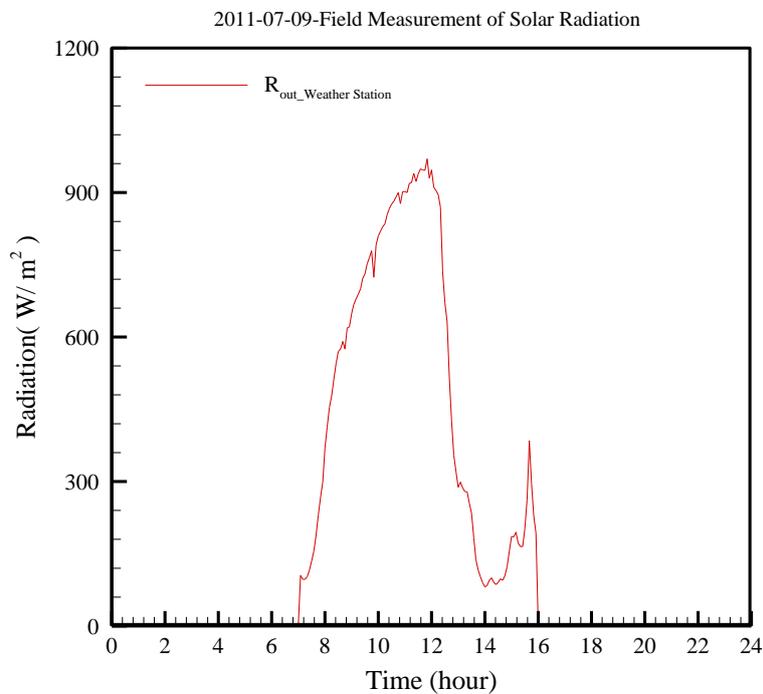


圖 3-128 2011 年 07 月 09 日(開啟 1F 客廳空調)：太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

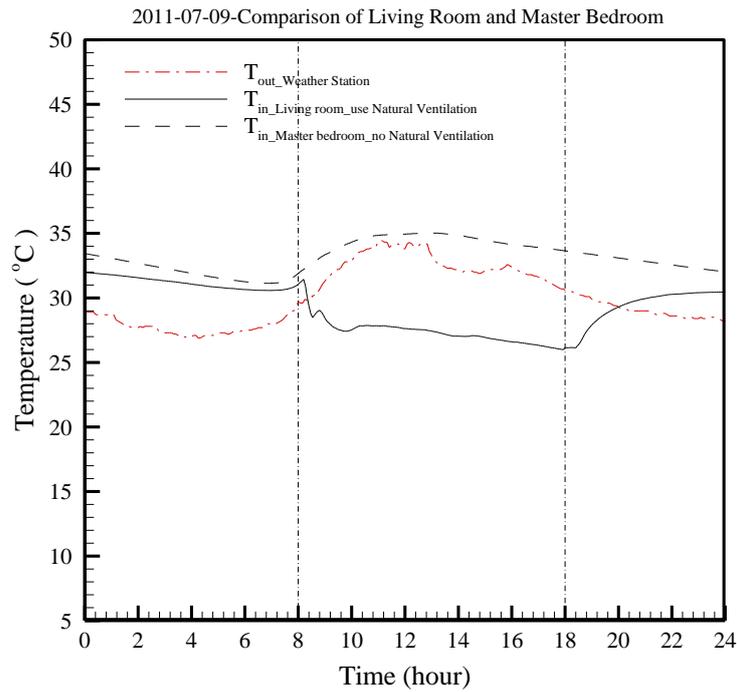


圖 3-129 2011 年 07 月 09 日(開啟 1F 客廳空調): 南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源: 本研究整理)

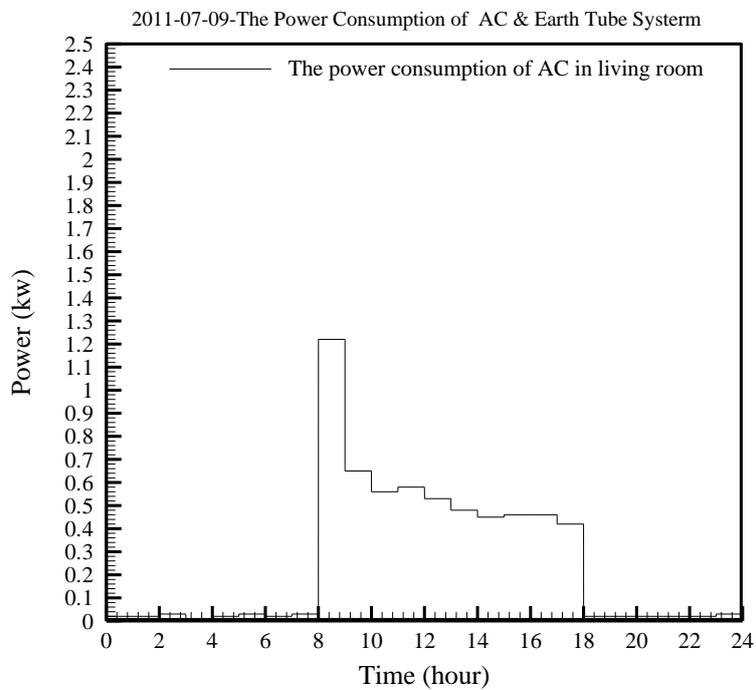


圖 3-130 2011 年 07 月 09 日(開啟 1F 客廳空調): 1F 客廳空調每小時能源消耗圖

(資料來源: 本研究整理)

6. 地中管壓縮機

➤ 夏季

實驗日期：2011年08月28日，開啟時間：08:00~18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-76 和表 3-77 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-131，最大太陽輻射量約為 1071.00W/m^2 發生於 11:30，平均輻射量為 176.24W/m^2 。

易構住宅南側 1F 與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-132，由圖中可知，再開啟 1F 客廳地中管風扇和地中管壓縮機這段時間內，戶外新鮮空氣透過地底下穩定的土壤溫度進行熱交換，以及地中管壓縮機的冷卻效果，提供給室內平均約 21.76°C 得通風效果，地中管系統提供的通風溫度低於室內環境溫度，故可視為一冷源，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫差距 $-4.29^\circ\text{C} \sim -0.42^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約為 -3.16°C ，最大溫差發生於 17:45 左右。另外，在開啟環控設備之期間內，客廳之最高溫為 30.90°C ，發生於 09:50 左右，此時的主臥房溫度為 33.41°C 。客廳之最低溫為 26.10°C ，發生於 18:00，此時的主臥房溫度為 30.36°C 。而 13:00 溫度開始下降是由於當時有下雨所造成。

地中管系統內的空氣溫度變化和豎井(2)垂直溫度分佈如圖 3-133 和 圖 3-134 所示。圖 3-133 中可以知道，當戶外空氣以平均約 28.49°C 溫度進入地中管系統，流經豎井(1)時，因行走的距離過短，尚未與土壤進行完全的熱交換，此時戶外空氣平均溫度降低到約 27.15°C ；在豎井(2)時，因為與地底下土壤溫度進行熱交換後，戶外空氣平均溫度降低到約 24.89°C ，而在最後導入室內出風口時，因受到壓縮機冷卻效果影響，故以 21.76°C 的平均溫度吹入室內。

而圖 3-134 中可以看到，當土壤深度越深時，則土壤溫度越高也越穩定，地下 1.6 m 土壤溫度，因距離地面有一段距離，較不受外界大氣環境溫度影響，溫度維持在約 28.00°C ，反之，在地下 1.6 m 以上的土壤溫度，因易受大氣環境溫度影響，土壤溫度會隨著外界大氣環境溫度改變而有所變化。

為了更加清楚知道開啟地中管風扇和地中管壓縮機的效能，以地中管入風處量測的空氣溫度為基準，將地中管管內不同位置所量測數據整理，擷取數據時間為 09:00~18:00，

如圖 3-135 所示。

建築物耗能需求方面，由表 3-77 可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇和地中管壓縮機這段時間內，由於開啟的環控設備為 1F 客廳地中管風扇和地中壓縮機，皆為主動式設備，需要消耗約 18.91 度電，環控設備運行時功率變化情形如圖 3-136。

表 3-76 2011/08/28 1F 客廳地中管風扇與地中管壓縮機開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/8/28
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳地中管風扇與地中管壓縮機(地中管風門關閉)
開啟時間	08:00~18:00
附註	13:00 ~ 16:00 下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-77 2011/08/28 EAG House 開啟 1F 客廳地中管風扇與地中管壓縮機基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.532	19.14	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差 (度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	-0.208	18.912	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

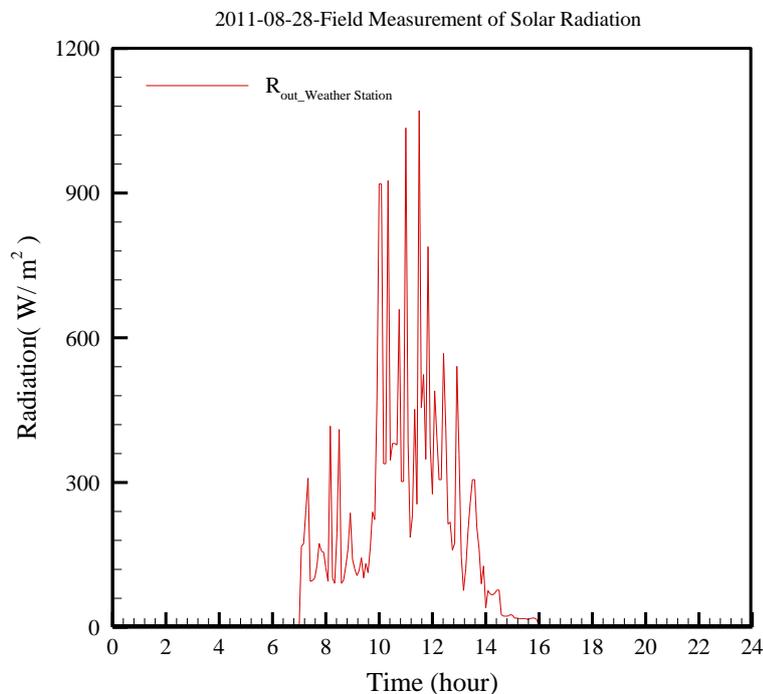


圖 3-131 2011 年 08 月 28 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機)：太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

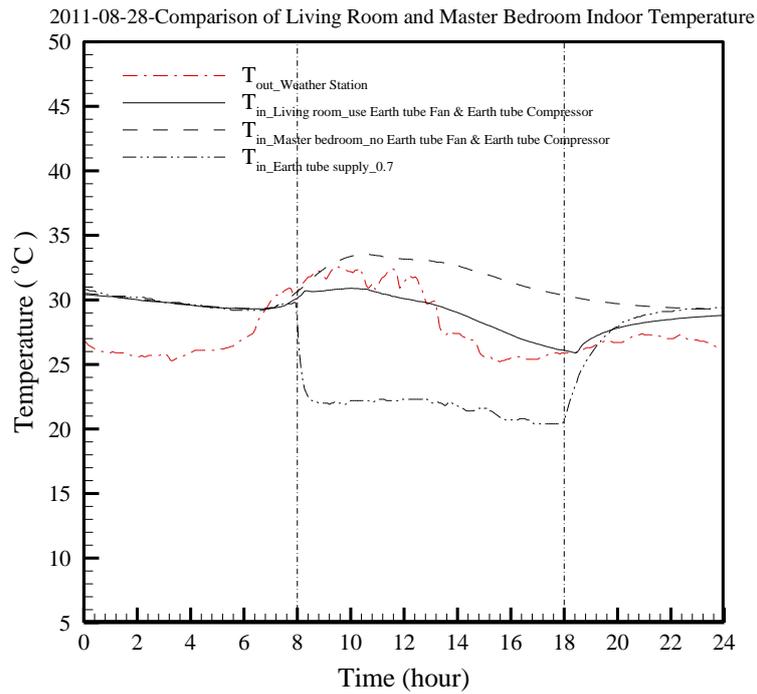


圖 3-132 2011 年 08 月 28 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

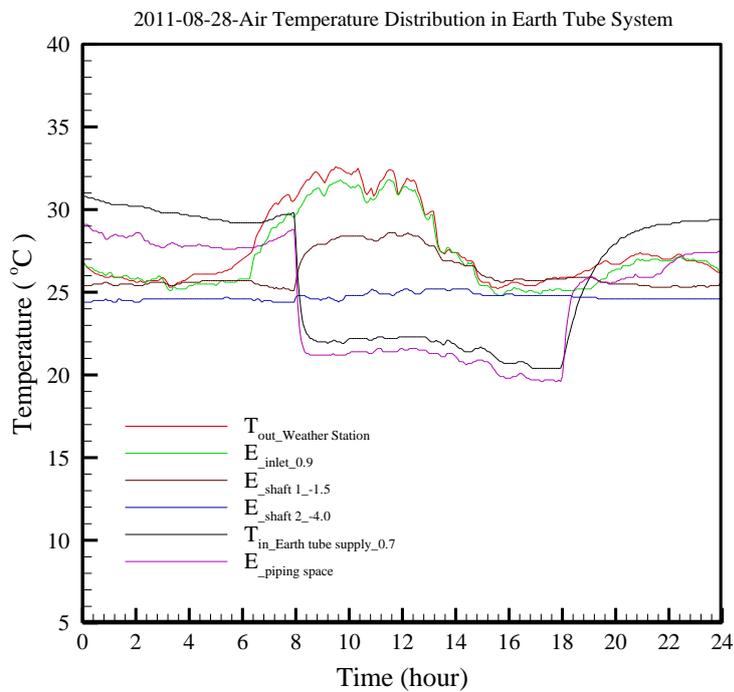


圖 3-133 2011 年 08 月 28 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):地中管系統內空氣變化圖

(資料來源：本研究整理)

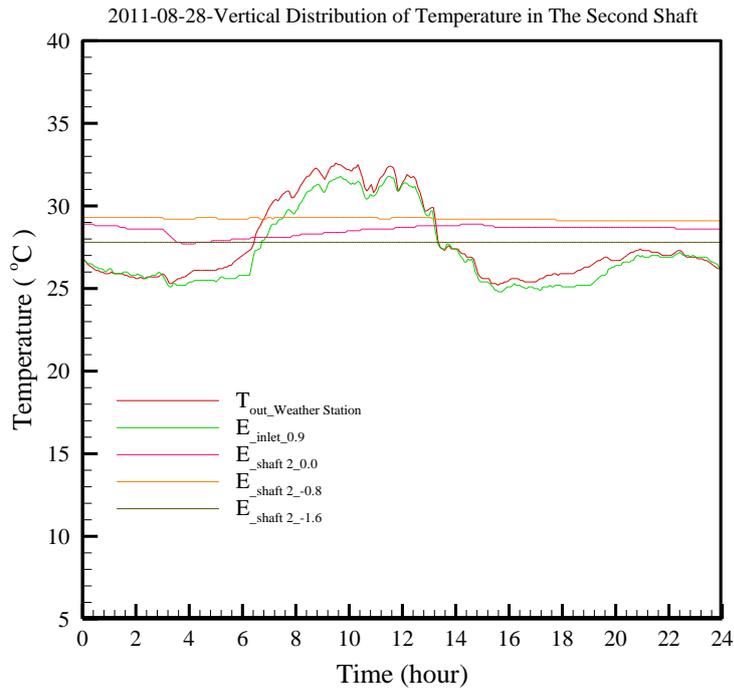


圖 3-134 2011 年 08 月 28 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機)：地中管系統豎井(2)內溫度分布圖

(資料來源：本研究整理)

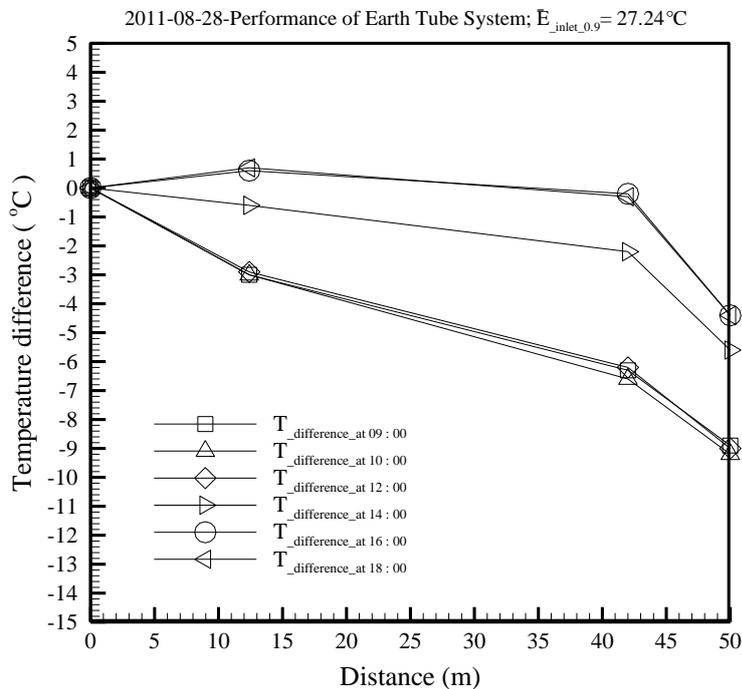


圖 3-135 2011 年 08 月 28 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機)：地中管系統內不同位置圖的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準

(資料來源：本研究整理)

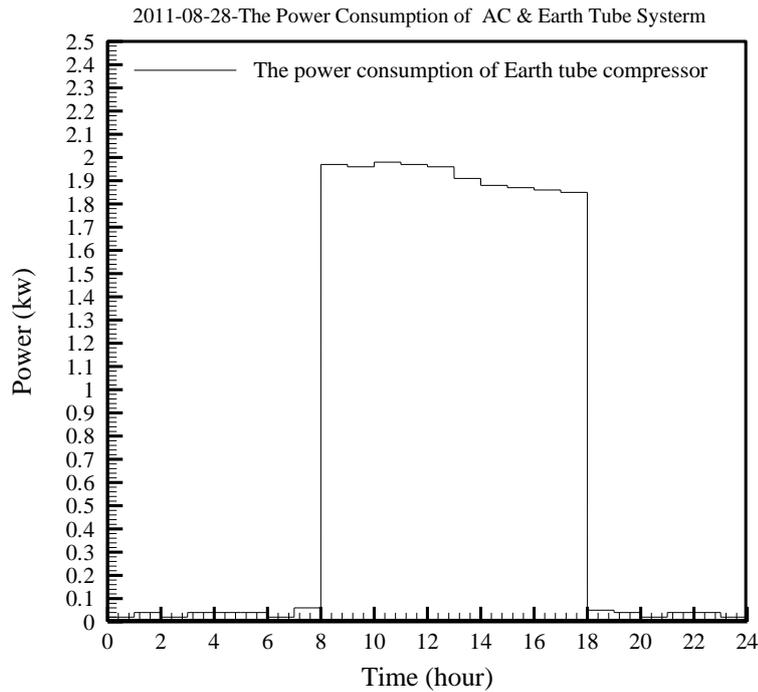


圖 3-136 2011 年 08 月 28 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機)：地中管風扇與地中管壓縮機每小時能源消耗圖
(資料來源：本研究整理)

實驗日期：2011 年 08 月 30 日，開啟時間：08:00~18:00，開啟環控設備條件與建築物耗能需求如表 3-78 和表 3-79 所示。

當天太陽輻射強度如圖 3-137，最大太陽輻射量約為 $1215.00\text{W}/\text{m}^2$ 發生於 11:30，平均輻射量為 $239.06\text{W}/\text{m}^2$ 。

易構住宅南側 1F 與南側 2F 主臥房室內溫度變化結果如圖 3-138，由圖中可知，再開啟 1F 客廳地中管風扇和地中管壓縮機這段時間內，戶外新鮮空氣透過地底下穩定的土壤溫度進行熱交換，以及地中管壓縮機的冷卻效果,提供給室內平均約 21.76°C 得通風效果，地中管系統提供的通風溫度低於室內環境溫度，故可視為一冷源，1F 客廳與 2F 主臥房兩者溫差距 $-4.71^\circ\text{C} \sim -0.69^\circ\text{C}$ ，平均溫差值約為 -3.51°C ，最大溫差發生於 17:55 左右。另外，在開啟環控設備之期間內，客廳之最高溫為 30.84°C ，發生於 08:20 左右，此時的主臥房溫度為 30.98°C 。客廳之最低溫為 26.48°C ，發生於 18:00，此時的主臥房溫度為 31.23°C 。

地中管系統內的空氣溫度變化和豎井(2)垂直溫度分佈如圖 3-139 和圖 3-140 所示。

圖 3-139 中可以知道，當戶外空氣以平均約 29.36°C 溫度進入地中管系統，流經豎井(1)時，因行走的距離過短，尚未與土壤進行完全的熱交換，此時戶外空氣平均溫度降低到約 27.67°C；在豎井(2)時，因為與地底下土壤溫度進行熱交換後，戶外空氣平均溫度降低到約 25.26°C，而在最後導入室內出風口時，因受到壓縮機冷卻效果影響，故以 21.29°C 的平均溫度吹入室內。

而圖 3-140 中可以看到，當土壤深度越深時，則土壤溫度越高也越穩定，地下 1.6 m 土壤溫度，因距離地面有一段距離，較不受外界大氣環境溫度影響，溫度維持在約 27.80°C，反之，在地下 1.6 m 以上的土壤溫度，因易受大氣環境溫度影響，土壤溫度會隨著外界大氣環境溫度改變而有所變化。

為了更加清楚知道開啟地中管風扇和地中管壓縮機的效能，以地中管入風處量測的空氣溫度為基準，將地中管管內不同位置所量測數據整理，擷取數據時間為 09:00 ~ 18:00，如圖 3-141 所示。

建築物耗能需求方面，由表 3-79 可以知道，在開啟 1F 客廳地中管風扇和地中管壓縮機這段時間內，由於開啟的環控設備為 1F 客廳地中管風扇和地中壓縮機，皆為主動式設備，需要消耗約 18.91 度電，環控設備運行時功率變化情形如圖 3-142。

表 3-78 2011/08/30 1F 客廳地中管風扇與地中管壓縮機開啟機制表

項目	環境控制設備使用狀態
測試日期	2011/8/30
測試時間	00:00~24:00
開啟設備	1F 客廳地中管風扇與地中管壓縮機(地中管風門關閉)
開啟時間	08:00~18:00
附註	16:00 ~ 18:00 下雨

(資料來源：本研究整理)

表 3-79 2011/08/30 EAG House 開啟 1F 客廳地中管風扇與地中管壓縮機基本耗電量

數位電表	太陽能 (1)	LED (2)	AC (3)	地中管(4)
總耗電量(度)	N/A	2.496	18.996	0.18
基本耗電量(度)	N/A	2.740	0.228	0.180
基本耗電量標準差 (度)	N/A	±0.027	±0.004	±0.006
實際耗電量	N/A	-0.244	18.768	0.000
附註	1.太陽能:表示 EAG House 的太陽能光電板產電並提供給建研所的產電量			
	2.LED:表示室內插座與照明的耗電量			
	3.AC(air-condition):表示地中管的風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量			
	4.地中管:表示地中管內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量			

(資料來源：本研究整理)

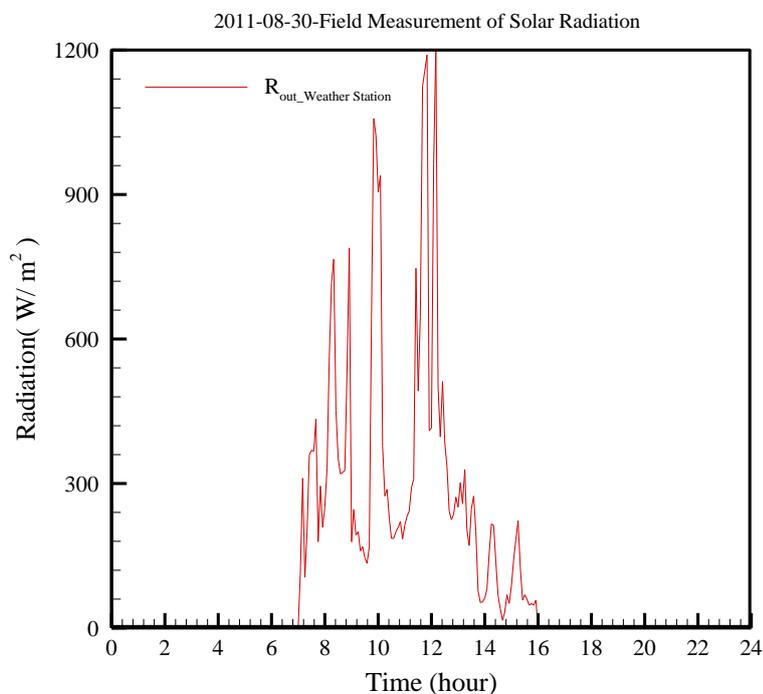


圖 3-137 2011 年 08 月 30 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機)：太陽輻射量強度圖

(資料來源：本研究整理)

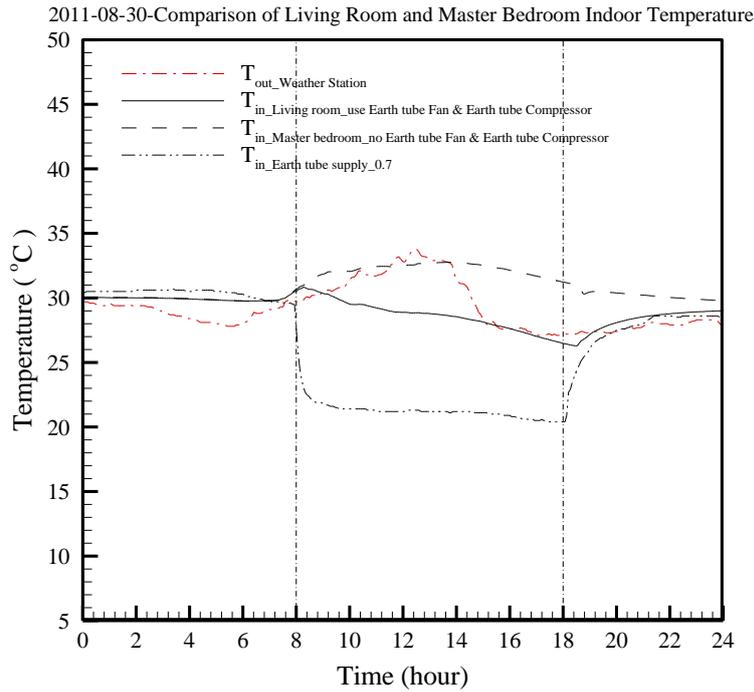


圖 3-138 2011 年 08 月 30 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房室內溫度變化圖

(資料來源：本研究整理)

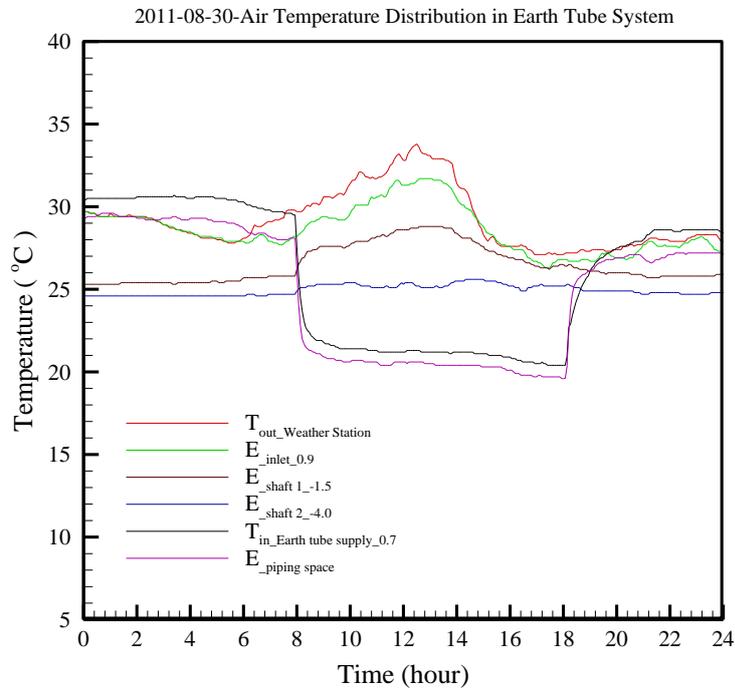


圖 3-139 2011 年 08 月 30 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機):地中管系統內空氣變化圖

(資料來源：本研究整理)

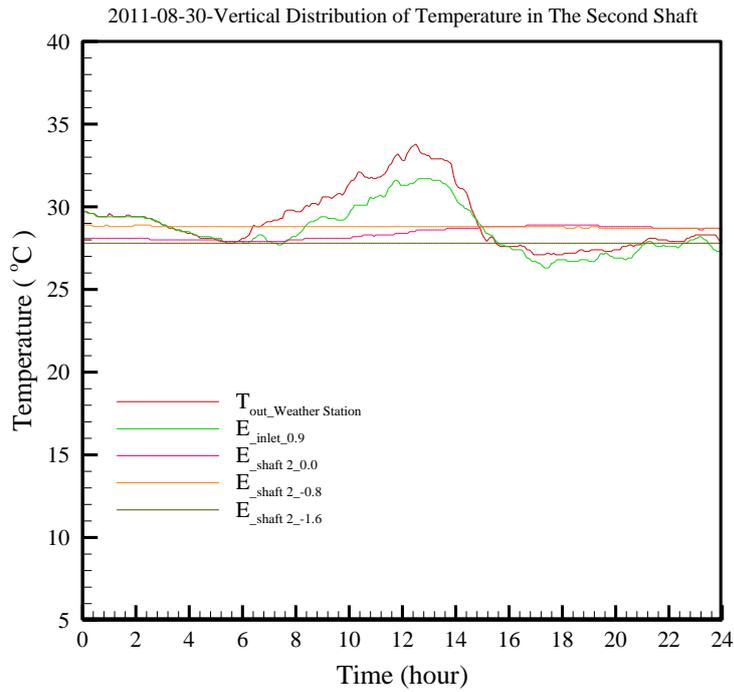


圖 3-140 2011 年 08 月 30 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機)：地中管系統豎井(2)內溫度分布圖

(資料來源：本研究整理)

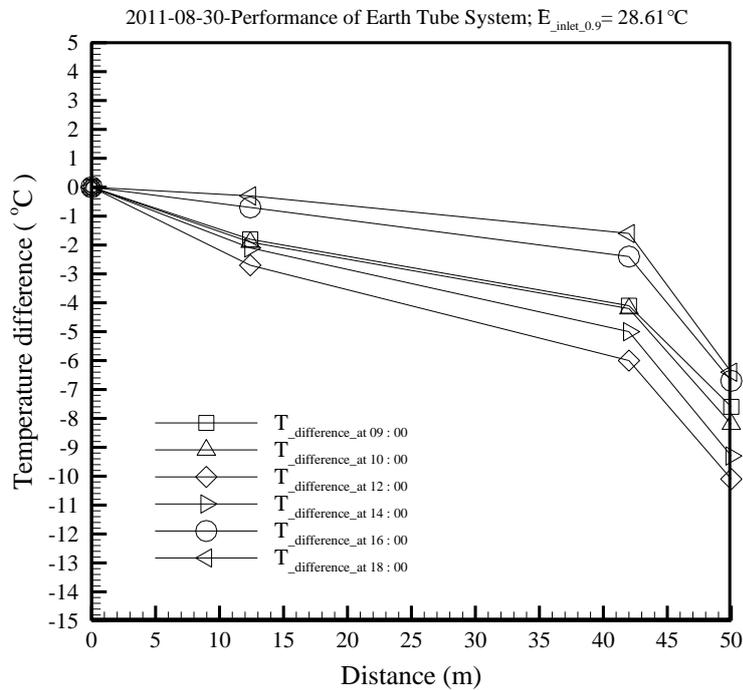


圖 3-141 2011 年 08 月 30 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機)：地中管系統內不同位置圖的溫差圖，以地中管入風口溫度為基準

(資料來源：本研究整理)

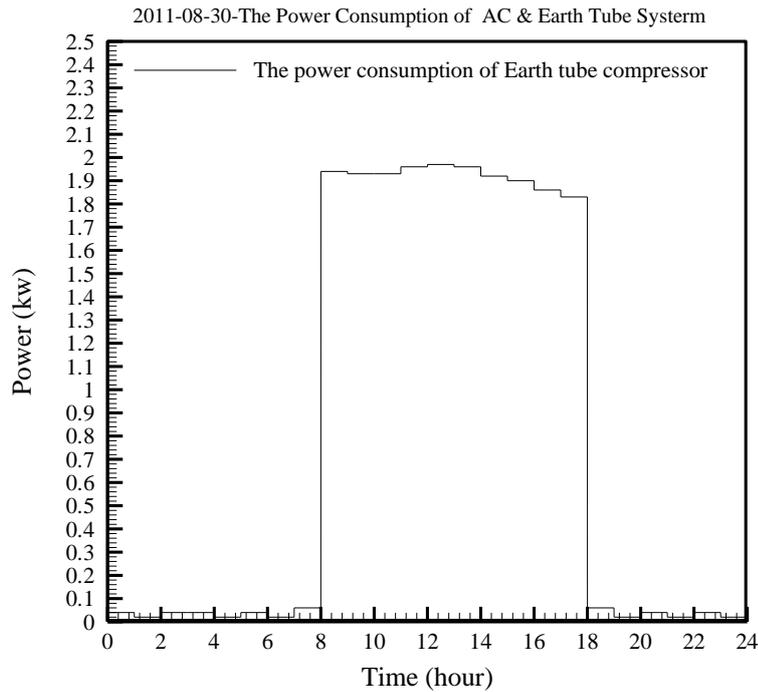


圖 3-142 2011 年 08 月 30 日(開啟地中管風扇與地中管壓縮機)：地中管風扇與地中管壓縮機每小時能源消耗圖
(資料來源：本研究整理)

參、能源消耗與室內溫差之關係

室內環境溫差的部分則以二樓主臥室為參考基準，目的為觀察一樓客廳室內溫度在使用不同環控設備所造成的影響。縱軸溫差的表示方式為一樓客廳的平均溫度減掉二樓主臥房的平均溫度；橫軸的表示方式為環控設備的平均功率。

由於 2011 年 8 月 5 日電錶有重新配裝過，更動的部分如附錄中記載，因此造成夏季地中管風扇實驗所需的耗電量讀值與秋、冬和春季有所差異，所以地中管風扇夏季的實驗資料，在這邊不納入比較。

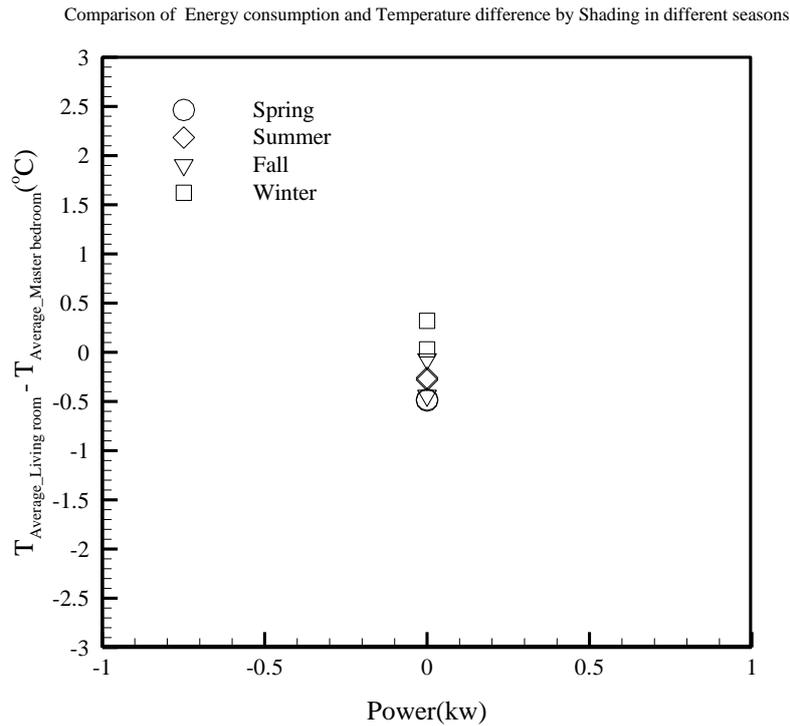


圖 3- 143 (使用 1F 客廳遮陽板):不同季節的能源消耗和南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房平均溫差比較圖

(資料來源:本研究整理)

易構住宅不同季節的能源消耗和南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房平均溫差比較結果如圖 3-143，圖中可以知道，在使用 1F 客廳遮陽板時，春、夏和秋季的室內環境溫度呈現下降的現象，最大下降溫差發生於春季，平均最大溫差值約-0.49°C;冬季時，室內環境溫度則會呈現上升的現象，平均最大上升溫差值約 0.32°C。

建築物的耗能方面，由於使用的環控設備是 1F 客廳遮陽板，為被動式設備，所以四季耗能皆相同，不需要消耗任何能源。

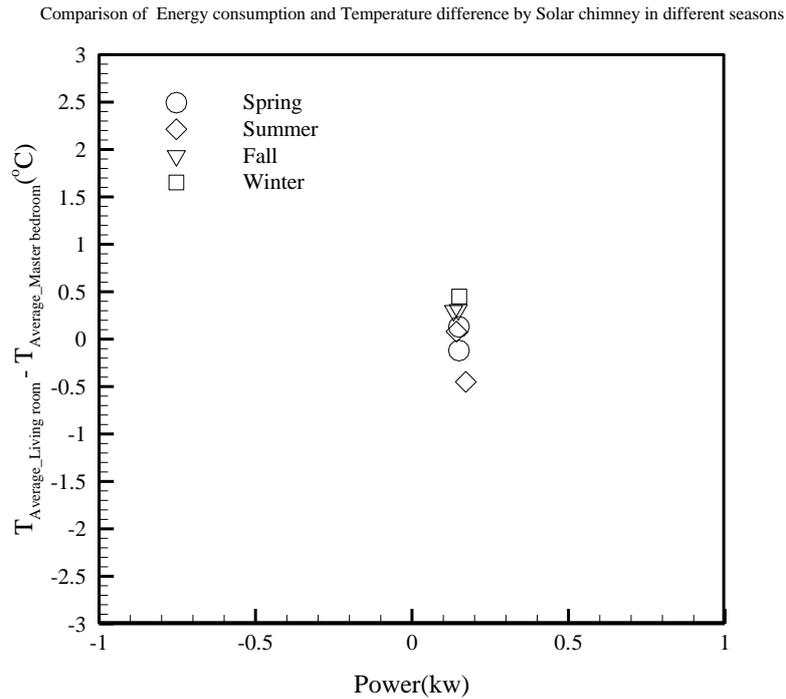


圖 3-144 (開啟梯間太陽煙囪風扇):不同季節的能源消耗和南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房平均溫差比較圖

(資料來源:本研究整理)

易構住宅不同季節的能源消耗和南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房平均溫差比較結果如圖 3-144，圖中可以知道，在開啟梯間太陽煙囪風扇時，春季和夏季的室內環境溫差都出現正值和負值的現象，其中以夏季環境溫度下降的幅度最為明顯。平均最大負溫差值約為 -0.45°C ；秋季和冬季室內環境溫差則呈正值，最大正溫差發生於冬季，平均最大正溫差值約 0.45°C 。

建築物的耗能方面，由於使用的環控設備是梯間太陽煙囪風扇，為主動式設備，所以四季平均每小時的耗能約在 $0.13\text{kw}\sim 0.17\text{kw}$ ，平均每小時耗能最大值約為 0.17kw ，發生於夏季。

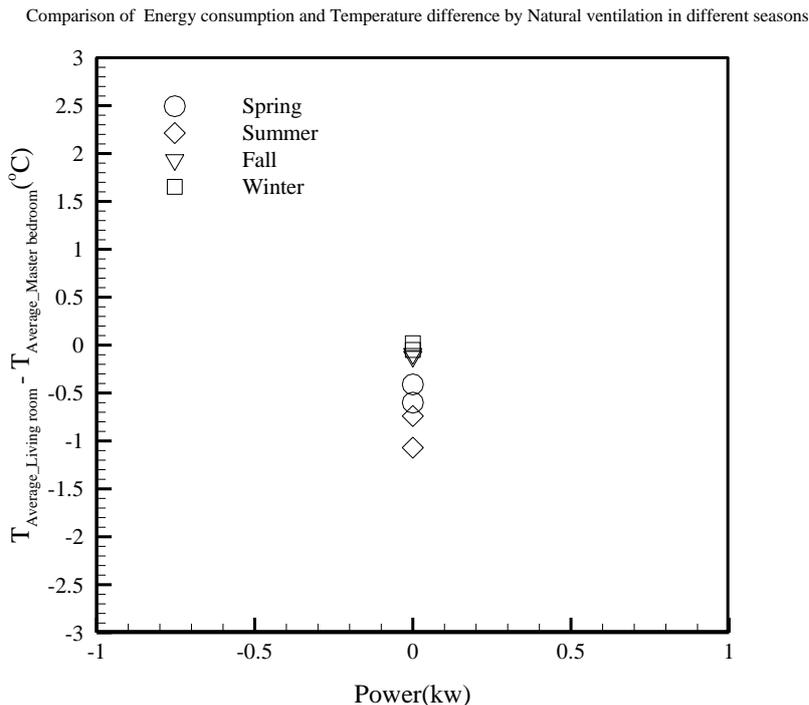


圖 3- 145 (開啟 1F 客廳窗戶):不同季節的能源消耗和南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房平均溫差比較圖

(資料來源:本研究整理)

易構住宅不同季節的能源消耗和南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房平均溫差比較結果如圖 3-145，圖中可以知道，在開啟 1F 客廳自然通風時，春季和夏季的室內環境溫差呈現負值。最大負溫差發生於夏季，平均最大負溫差值約-1.07°C。秋季、冬季室內環境溫度趨近於接近的狀況；而春季、夏季溫差的幅度較為明顯。

建築物的耗能方面，由於使用的環控設備是 1F 客廳窗戶，為被動式設備，所以四季耗能皆相同，不需要消耗任何能源。

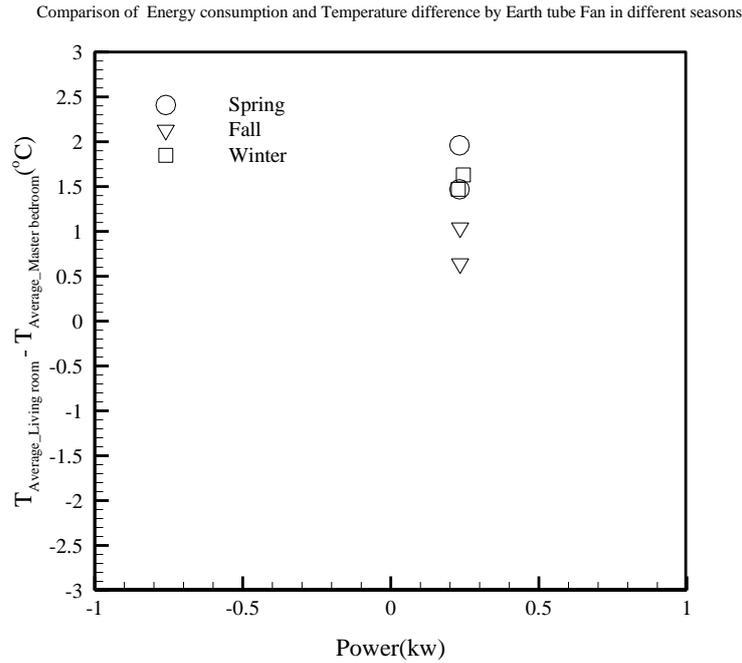


圖 3-146 (開啟 1F 客廳地中管風扇):不同季節的能源消耗和南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房平均溫差比較圖
(資料來源:本研究整理)

易構住宅不同季節的能源消耗和南側 1F 客廳與南側 2F 主臥房平均溫差比較結果如圖 3-146，圖中可以知道，在開啟客廳地中管風扇時，春、秋和冬季的室內環境溫差呈現正的趨勢。最大負溫差發生於春季，平均最大正溫差值約 1.96°C。

建築物的耗能方面，由於使用的環控設備是 1F 客廳地中管風扇，為主動式設備，所以三季平均每小時的耗能約在 0.23kw~0.25kw，平均每小時耗能最大值約為 0.25kw，發生於冬季。

肆、小結

根據上述的量測分析結果，將研究的發現以條列方式呈現，如下所述：

- ◆ 在太陽輻射量大的情況下，使用遮陽板會使易構住宅室內環境溫度下降約一度；而當室外環境溫度較低時($T \leq 15^{\circ}\text{C}$)，使用遮陽板來防止易構住宅室內散熱的效果有限。
- ◆ 在使用自然通風的情況下，因室內環境與室外環境相連結的關係，易構住宅室內環境溫度變化情況主要取決於室外環境溫度。在使用自然通風的情況下，室內環境和室外環境相連結的關係，易構住宅室內溫度的變化會受到室外溫度直接的影響。而當外界環境溫度較高且太陽輻射較強時，由於建築物吸收較多的輻射，使建築物呈現被加溫的狀況，而一樓客廳中的熱量則會藉由自然通風的方式被帶走，故達到降溫的效果。冬季則是輻射量較少，外環境溫度較低，所以自然通風所造成的溫差效果較不明顯。
- ◆ 易構住宅地中管系統利用地底土壤溫度終年穩定的特性，使戶外空氣在地底進行熱交換，在春(3~5 月份)，夏(6~8 月份)，秋(9~10 月份)，冬(12~2 月份)四季分別有預冷和預熱的效果。根據量測結果，秋季(9~10 月份)開啟地中管系統，可以使戶外空氣到室內地中管出風口處的空氣溫度，預熱約 1 至 2°C ，如圖 3-68 所示；冬季(12~2 月份)開啟地中管系統，可以使戶外空氣到室內地中管出風口處的空氣溫度，預熱約 9 至 10°C ，如圖 3-73 所示；春季(3~5 月份)開啟地中管系統，可以使戶外空氣到室內地中管出風口處的空氣溫度，預冷約 1 至 2°C ，如圖 3-89 所示；夏季(6~8 月份)開啟地中管系統，可以使戶外空氣到室內地中管出風口處的空氣溫度，預冷約 9 至 10°C ，如圖 3-101 所示。春季和夏季地中管系統的預冷效果，只有從地中管入風口至豎井(2)處較顯著；而豎井(2)到室內地中管出風口處，其溫度變化則呈現升溫的狀態。
- ◆ 根據地中管豎井垂直溫度分布，在地下 1.6 m 至地下 3.2 m 處，溫度差在 1°C 之內，顯示地中管在地下 1.6 m 以下溫度較不受大氣環境影響，且土壤溫度由秋季至春季逐漸下降，土壤溫度分別為春季約 20°C 、夏季約 25°C 、秋季約 25°C 、冬季 24°C 。
- ◆ 在地中管風扇實驗中，由於春季、夏季的隔間條件與秋季、冬季有些許差異，因此將春季、夏季與秋季、冬季分別討論，可以發現冬季的室內環境溫差值大於秋季；春季

的室內環境溫差值大於夏季。

- ◆ 在夏季時，當外界環境溫度較高時，太陽煙囪的熱浮力效果比較強烈，一樓客廳受到熱浮力通風的影響，導致降溫的效果。而冬季則是與夏季呈現相反的結果。春、秋季因為介於冬、夏季節之間的轉換期，所以有正溫差及負溫差的情況。但由於建築物通風入口沒有開啟，通風率相對較低，建議可以配合自然通風或地中管風扇開啟入風口，會使通風效果更良好。
- ◆ 在夏季開啟室內空調機制時，可以使易構住宅室內環境平均溫度下降約 6°C ，如圖 3-126、圖 3-129，但由於使用是高耗能的室內空調環控設備，故會消耗較多電量。
- ◆ 當夏季同時開啟地中管風扇和地中管壓縮機時，可以使易構住宅室內環境平均溫度下降約 3°C ，但由於地中管風扇和地中管壓縮機皆為主動式設備，故會消耗較多電量。

第三節 太陽輻射對室內環境性能影響

壹、研究內容概述

由相關研究文獻得知[7]，太陽輻射對於室內環境性能變化有其相連性，故為了瞭解太陽輻射如何影響室內環境性能，在易構住宅二樓北側房間(西)使用熱像儀進行表面溫度量測，搭配熱電偶與 RFID 感測器量測房間玻璃立面垂直溫度分佈與環境溫度變化，觀察太陽輻射對室內環境溫度的影響

由於所有物體的溫度都在 0 K 以上，且放射紅外線能量，物體的溫度愈高，分子的運動就愈激烈，放射出的紅外線能量也愈強，放射的頻譜分佈與物體的性質和溫度有關。熱像儀的量測原理是利用輻射熱測定器(microbolometer, image sensor)與光學成像物鏡，接受物體的紅外線能量分佈圖形，反映到紅外線探測器的光敏元件上，由探測器將物體放射的紅外線轉換為電子訊號，進行感光成像並顯示在螢幕上。

實地量測區域在易構住宅二樓北側房間(西)，房間內有編號 66 與編號 67 兩支 RFID 感測器。熱像儀架設第一點位置向西面拍攝，距西面與南面牆壁分別為 3 m 與 0.56 m，離地板 1.32 m 高；架設第二點位置向南面拍攝，距西面與南面牆壁分別為 1.9 m 與 3 m，

離地板 1.32 m 高，並在地板貼上膠帶做記號，確保移動熱像儀時可以快速定位。為了加強分析太陽輻射對房間溫度場的影響，在受到西曬的玻璃立面與牆壁上增設 20 個熱電偶量測點，如圖 3-147 所示。儀器架設示意圖如圖 3-148 所示。

熱像儀拍攝天氣選擇為連續晴天，拍攝時間以白天為主，從上午 5 點至下午 19 點，每次整點拍攝一次，共 15 次，輔以熱電偶與 RFID 感測器全天量測；氣象資料以國立台灣大學氣象站為參考依據。RFID 感測器每 4 分鐘記錄一筆資料，熱電偶每秒一筆。

熱像儀拍攝時先由第一點位置水平向西面拍攝，再向右轉 15° 拍攝，然後將熱像儀轉回；接著水平向上 10° 拍攝，再向右轉 15° 拍攝；熱像儀再轉回，水平向上 20° 拍攝，再向右轉 15° 拍攝；熱像儀轉回後再水平向下 10° 拍攝，再向右轉 15° 拍攝；熱像儀再轉回，水平向下 20° 拍攝，再向右轉 15° 拍攝。同樣的步驟在第二點位置向南面拍攝，但多拍攝一次右轉 30° ，所以西面牆有 10 張圖，南面牆有 15 張圖，一回拍攝時間在 5 分鐘內完成。



圖 3-147 易構住宅二樓北側房間(西)熱電偶架設圖

(資料來源：本研究整理)

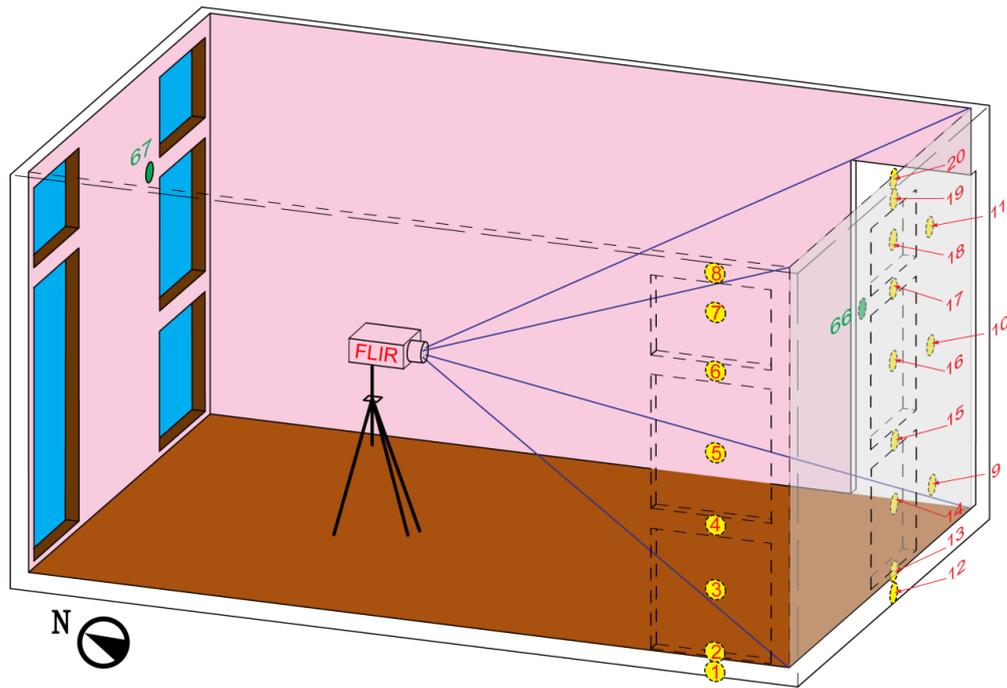


圖 3-148 易構住宅二樓北側房間(西)，房間中央為熱像儀放置點，綠點為 RFID 感測器放置點，黃色為熱電偶放置點，藍色代表玻璃。

(資料來源：本研究整理)

貳、量測成果

1. 溫、濕度變化

秋季實驗取 11 月 9 日至 11 月 11 日連續三日晴天數據如表 3-80 所示，太陽輻射為參考台大氣象站資料。11 月 9 日太陽輻射量如圖 3-149 所示，平均太陽輻射為 299 W/m^2 ；房間玻璃立面的溫度如圖 3-150 與圖 3-151 所示。由玻璃立面的溫度曲線圖可知，11 月 09 日玻璃立面最低溫為 17.2°C ，日出後溫度逐漸上升，上午 11 點後，由於太陽角的關係，南玻璃立面受到直接太陽輻射影響，玻璃溫度與鋁框溫度快速升高；西玻璃立面則是 12 點後才受到直接太陽輻射影響。太陽西曬在下午 16 點左右結束，比夏季提早 1 小時，16 點後溫度快速下降，到夜晚甚至低於 20°C 。

圖 3-152 為 11 月 9 日南面玻璃與相同高度牆壁溫度變化圖，由圖可以看出牆壁溫度由 0 點一直下降至清晨 7 點(18.5°C)，雖然日出時間為 6 點左右，但是到了 7 點，牆壁的吸熱量才等於放熱量，之後溫度逐漸上升，太陽輻射在上午 11 點後之接照射到南面牆壁，

使牆壁與玻璃溫度加速上升，牆壁溫度上升到下午 16 點西曬結束後開始降溫。

圖 3-153 為 11 月 9 日室內與室外溫、濕度變化圖，由圖可以看出，在 0 點至 6 點時，室內溫度比室外溫度高 2 至 3°C，日出後室外溫度上升，7 點之後超越室內空氣溫度；中午受太陽直接照射影響，室內溫度持續上升，超越室外溫度；下午 16 點西曬結束後，室外與室內溫度開始降溫，溫差維持在 2 至 3°C。

比較圖 3-150、圖 3-151、圖 3-152 與圖 3-153，凌晨 0 點至 6 點時，南玻璃立面溫度比室內溫度低約 0.5°C；西玻璃立面較接近室外溫度，比室內溫度低約 1.5°C；在太陽直接照射時，玻璃立面溫度超過室內溫度 7°C 以上。南面牆壁溫度與室內空氣溫度接近，且因為感測器高度的關係，Tmote Sky (No.66)的溫度會比熱電偶(No.9 與 10)高一點。

表 3-80 太陽輻射資料總表

實驗日期	實驗資料
2010.11.9	<p style="text-align: center;">太陽輻射量強度圖</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西), 西面玻璃與鋁框溫度變化</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西), 南面玻璃與鋁框溫度變化</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西), 南面玻璃與相同高度牆壁溫度變化</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西) 溫、濕度變化</p>
2010.11.10	<p style="text-align: center;">太陽輻射量強度圖</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西), 西面玻璃與鋁框溫度變化</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西), 南面玻璃與鋁框溫度變化</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西), 南面玻璃與相同高度牆壁溫度變化</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西) 溫、濕度變化</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西), 南面玻璃、鋁框與牆壁的熱像儀量測溫度分佈</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西), 西面玻璃、鋁框與牆壁的熱像儀量測溫度分佈</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西), 西面牆熱像儀量測溫度減去熱電偶量測溫度的溫差</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西), 南面牆熱像儀量測溫度減去熱電偶量測溫度的溫差</p>
2010.11.11	<p style="text-align: center;">太陽輻射量強度圖</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西), 西面玻璃與鋁框溫度變化</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西), 南面玻璃與鋁框溫度變化</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西), 南面玻璃與相同高度牆壁溫度變化</p> <p style="text-align: center;">二樓北側房間(西) 溫、濕度變化</p>

(資料來源：本研究整理)

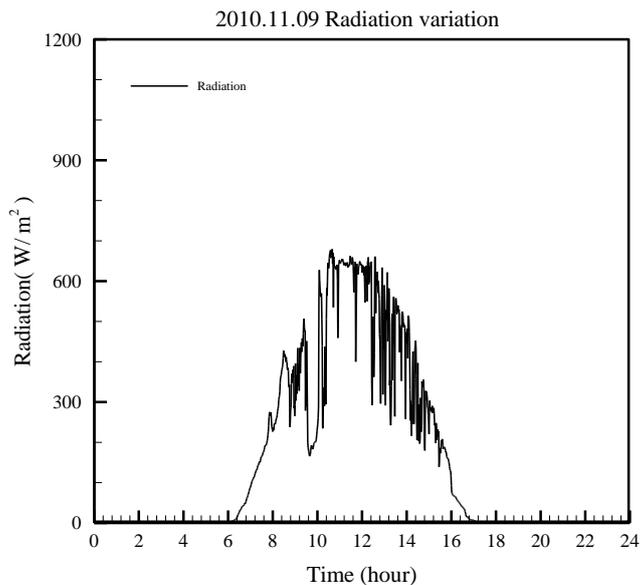


圖 3-149 2010 年 11 月 09 日太陽輻射量強度圖，平均太陽輻射為 299 W/m²
(資料來源：本研究整理)

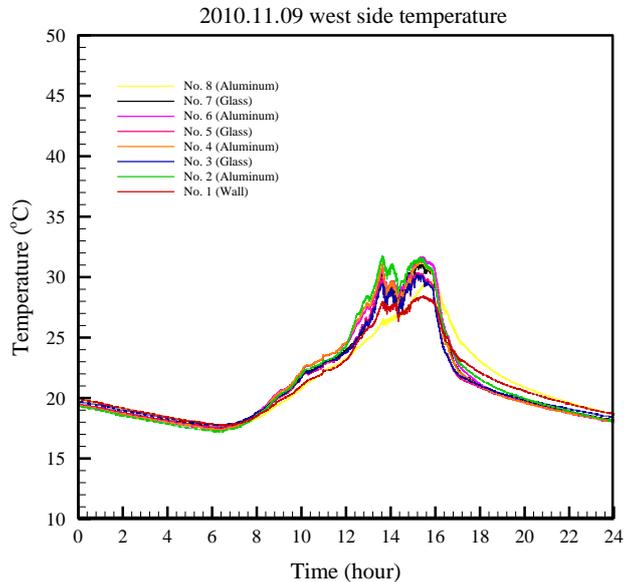


圖 3-150 二樓北側房間(西)，西面玻璃與鋁框溫度變化(2010.11.09)
(資料來源：本研究整理)

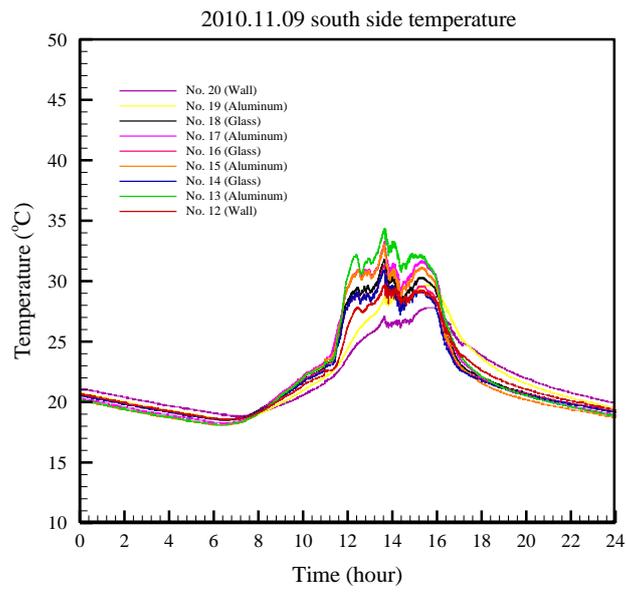


圖 3- 151 二樓北側房間(西), 南面玻璃與鋁框溫度變化(2010.11.09)

(資料來源：本研究整理)

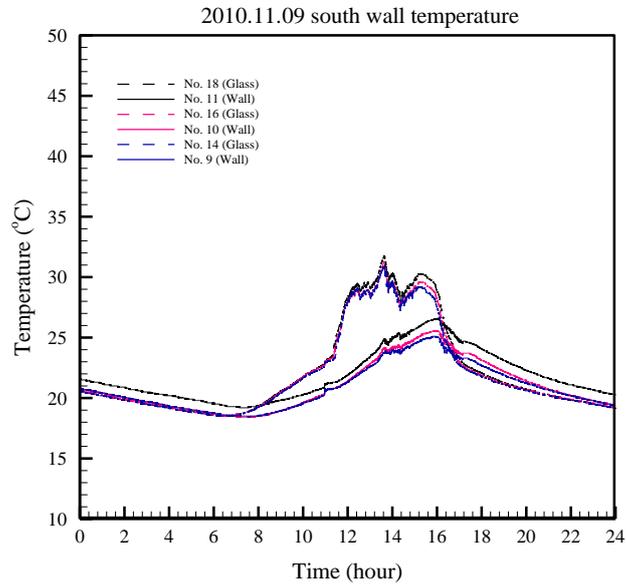


圖 3- 152 二樓北側房間(西), 南面玻璃與相同高度牆壁溫度變化(2010.11.09)

(資料來源：本研究整理)

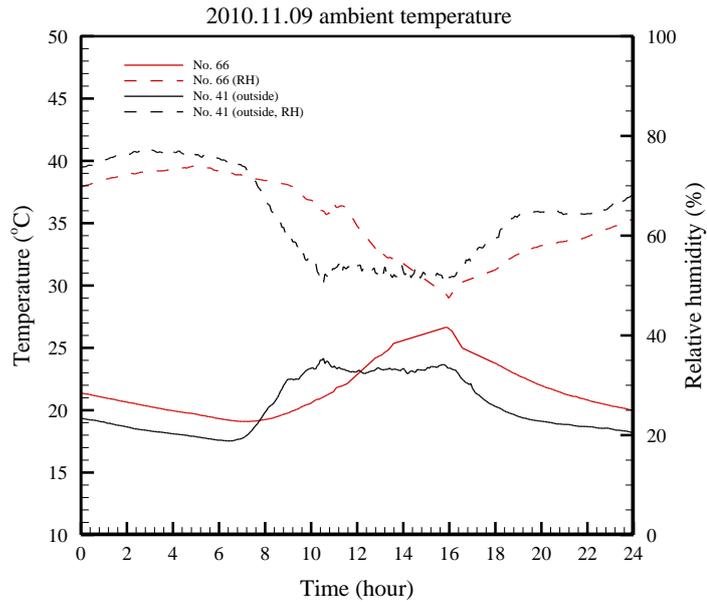


圖 3- 153 Tmote Sky 量測二樓北側房間(西) 溫、濕度變化(2010.11.09)

(資料來源：本研究整理)

11 月 10 日太陽輻射量如圖 3-154 所示，平均太陽輻射為 369 W/m^2 ；房間玻璃立面的溫度如圖 3-155 與圖 3-156 所示。由玻璃立面的溫度曲線圖可知，11 月 10 日玻璃立面溫度最低只有 16.6°C 。日出後溫度逐漸上升，上午 11 點後，南玻璃立面受到直接太陽輻射影響，玻璃溫度與鋁框溫度快速升高；西玻璃立面則是 12 點後才受到直接太陽輻射影響。由於 11 月 10 日雲層較 11 月 9 日稀少，玻璃立面溫度上升幅度較大，太陽西曬在下午 16 點左右結束，16 點後溫度快速下降，到夜晚溫度為 20.2°C 。

圖 3-157 為 11 月 10 日南面玻璃與相同高度牆壁溫度變化圖，由圖可以看出牆壁溫度在 7 點後逐漸上升，太陽輻射在上午 11 點後之接照射到南面牆壁，由於當天雲層稀少，太陽輻射幾乎沒有被遮蔽，牆壁與玻璃溫度快速上升，溫度曲線皆有明顯的轉折點，牆壁溫度上升到下午 16 點西曬結束後開始降溫，24 點時溫度比 0 點高了 2°C 。

圖 3-158 為 11 月 10 日室內與室外溫、濕度變化圖，由圖可以看出，在 0 點至 7 點時，室內溫度比室外溫度高 2 至 3°C ，與 11 月 9 日比較，11 月 10 日溫度下降 2 至 3°C ；中午受太陽直接照射影響，室內溫度超越室外溫度，且南面牆壁(No.66)溫度高於北面牆壁(No.67)；下午 16 點西曬結束後，室外與室內溫度開始降溫。

比較圖 3-155、圖 3-156、圖 3-157 與圖 3-158，在沒有太陽輻射影響下，西玻璃立面與南玻璃立面溫度比室內溫度低約 1°C，西玻璃立面較接近室外溫度；在太陽直接照射時，玻璃立面溫度超過室內溫度 7°C 以上。南面牆壁溫度與室內空氣溫度接近，且因為感測器高度的關係，Tmote Sky (No.66)的溫度會比熱電偶(No.9 與 10)高一點。

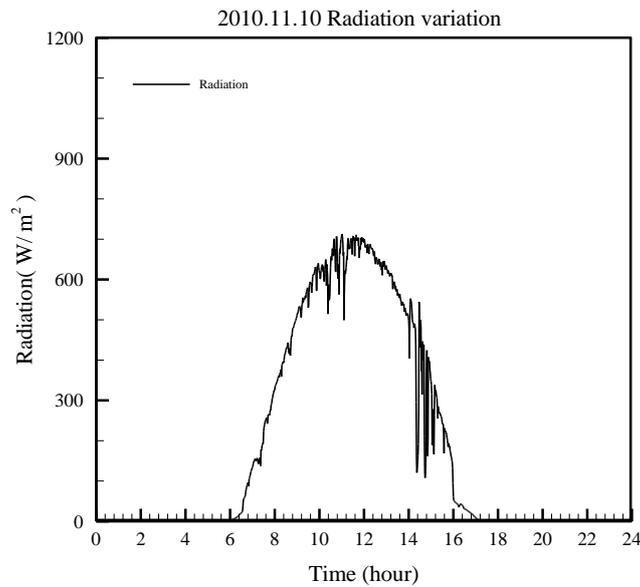


圖 3- 154 2010 年 11 月 10 日太陽輻射量強度圖，平均太陽輻射為 369 W/m²
(資料來源：本研究整理)

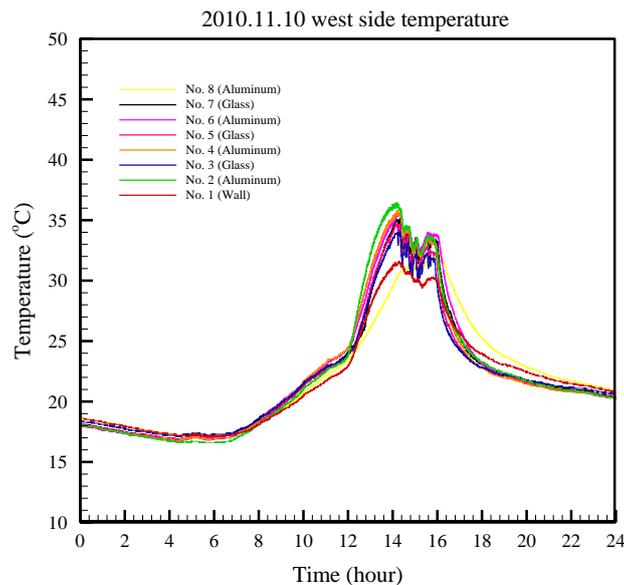


圖 3- 155 二樓北側房間(西)，西面玻璃與鋁框溫度變化(2010.11.10)
(資料來源：本研究整理)

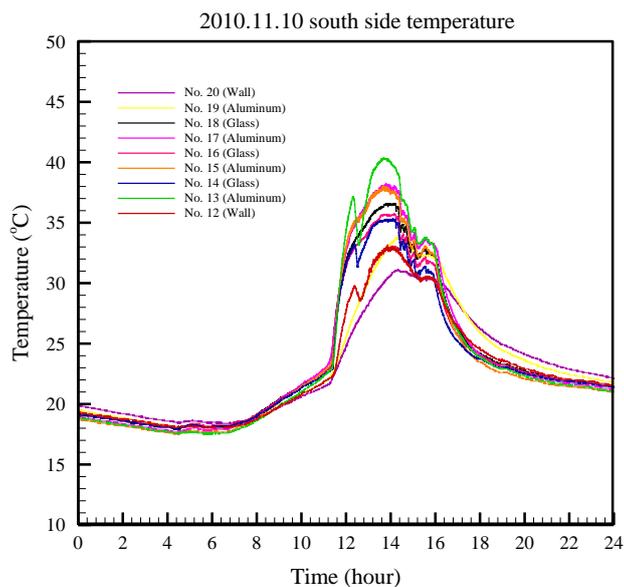


圖 3- 156 二樓北側房間(西), 南面玻璃與鋁框溫度變化(2010.11.10)
(資料來源：本研究整理)

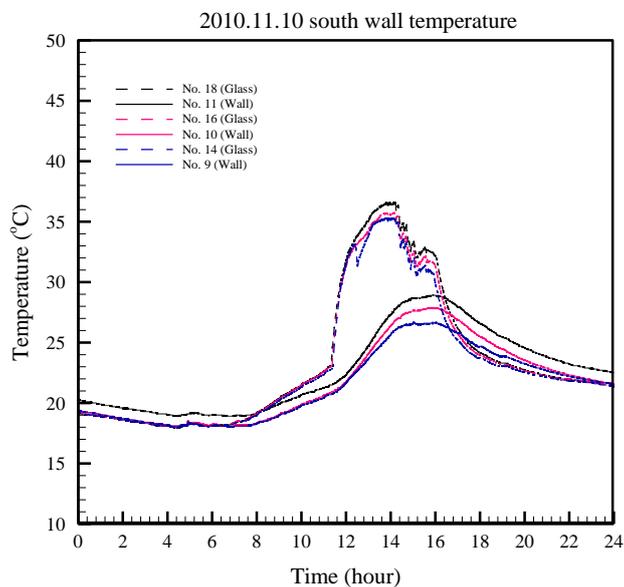


圖 3- 157 二樓北側房間(西), 南面玻璃與相同高度牆壁溫度變化(2010.11.10)
(資料來源：本研究整理)

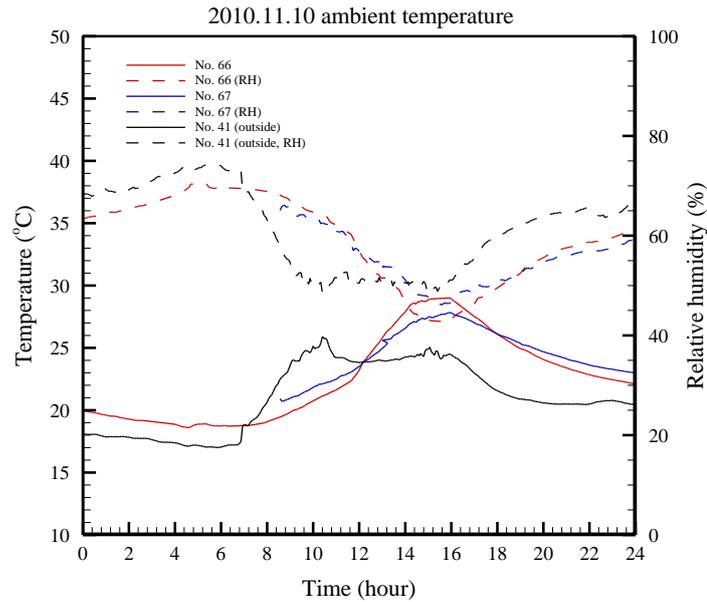


圖 3- 158 Tmote Sky 量測二樓北側房間(西) 溫、濕度變化(2010.11.10)

(資料來源：本研究整理)

11月11日太陽輻射量如圖 3-159 所示，平均太陽輻射為 359 W/m^2 ；房間玻璃立面的溫度如圖 3-160 與圖 3-161 所示。11月11日接續前一天的好天氣，由於建築物蓄熱，玻璃立面整體溫度上升 2 至 3°C 。由玻璃立面的溫度曲線圖可知，11月11日玻璃立面最低溫為 19°C 。日出後溫度逐漸上升，上午 11 點後，由於太陽角的關係，南玻璃立面受到直接太陽輻射影響，玻璃溫度與鋁框溫度快速升高；西玻璃立面則是 12 點後才受到直接太陽輻射影響。太陽西曬在下午 16 點左右結束，16 點後溫度快速下降，到夜晚溫度為 22°C 。

圖 3-162 為 11 月 11 日南面玻璃與相同高度牆壁溫度變化圖，接續前一天的好天氣，由於建築物蓄熱，11 月 11 日的玻璃與牆壁溫度整體向上提升 2°C 左右。牆壁溫度在 7 點後逐漸上升，太陽輻射在上午 11 點後之接照射到南面牆壁，由於當天雲層稀少，太陽輻射幾乎沒有被遮蔽，牆壁與玻璃溫度快速上升，溫度曲線皆有明顯的轉折點，且溫度分層明顯，牆壁溫度上升到下午 16 點西曬結束後開始降溫，24 點時溫度比 0 點高了 2°C 。

圖 3-163 為 11 月 11 日室內與室外溫、濕度變化圖，由圖可以看出，在 0 點至 7 點這段時間內，室外溫度維持在 20°C 左右，室內溫度反而一直下降，7 點之後室外溫度超

越室內溫度；中午受太陽直接照射影響，室內溫度超越室外溫度，且南面牆壁(No.66)溫度高於北面牆壁(No.67)，最大溫差達 2°C ；下午 16 點西曬結束後，室外與室內溫度開始降溫。

比較圖 3-160、圖 3-161、圖 3-162 與圖 3-163，在 7 點之前，西與南玻璃立面溫度比室內溫度低 2°C 左右，8 點之後兩者溫度接近，中午受太陽直接照射後，西與南玻璃立面溫度超過室內溫度，最大差距有 7°C 以上，日落後西與南玻璃立面溫度再度低於室內溫度。南面牆壁溫度略低於室內溫度 1°C ，在受太陽直接照射時溫差變大，溫度分層明顯。

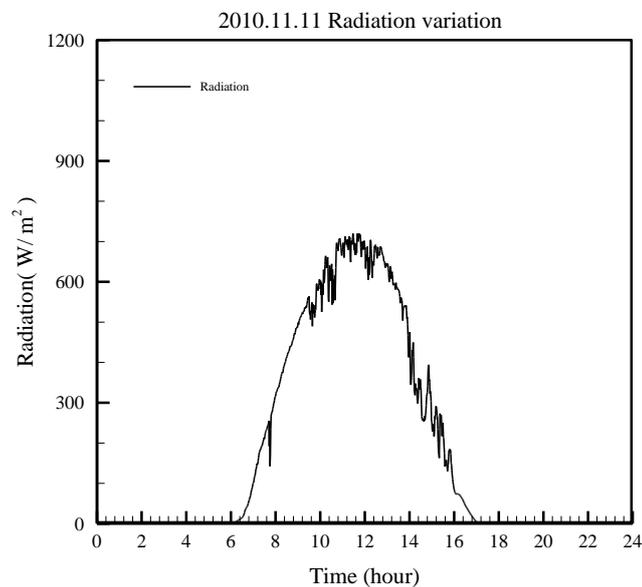


圖 3-159 2010 年 11 月 11 日太陽輻射量強度圖，平均太陽輻射為 359 W/m^2

(資料來源：本研究整理)

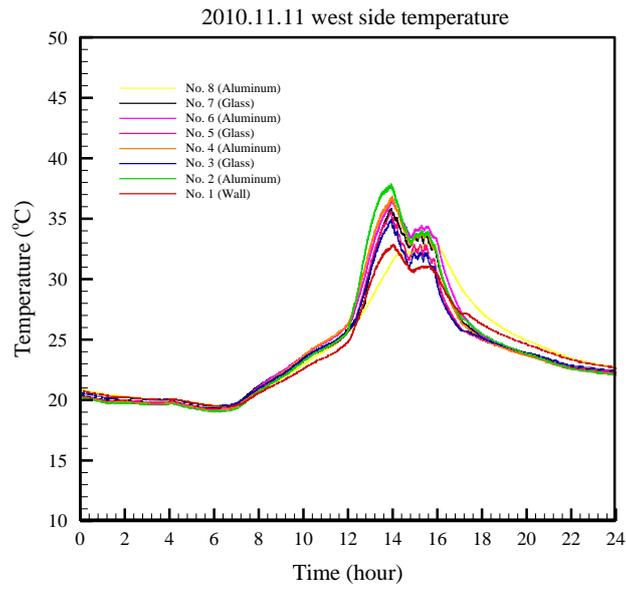


圖 3- 160 二樓北側房間(西), 西面玻璃與鋁框溫度變化(2010.11.11)

(資料來源：本研究整理)

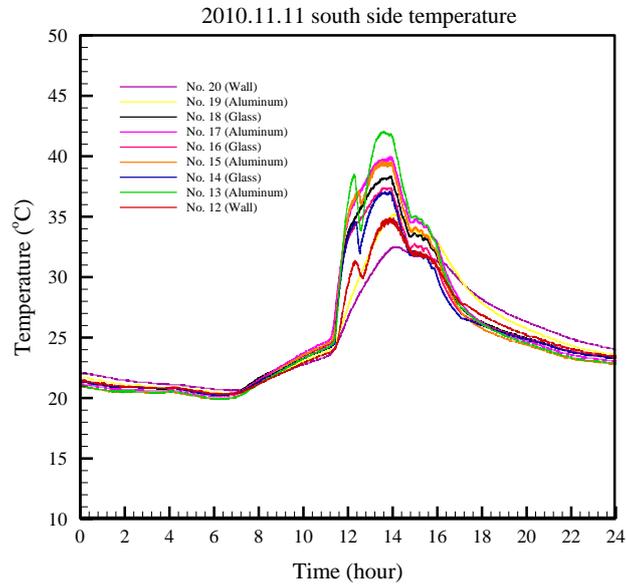


圖 3- 161 二樓北側房間(西), 南面玻璃與鋁框溫度變化(2010.11.11)

(資料來源：本研究整理)

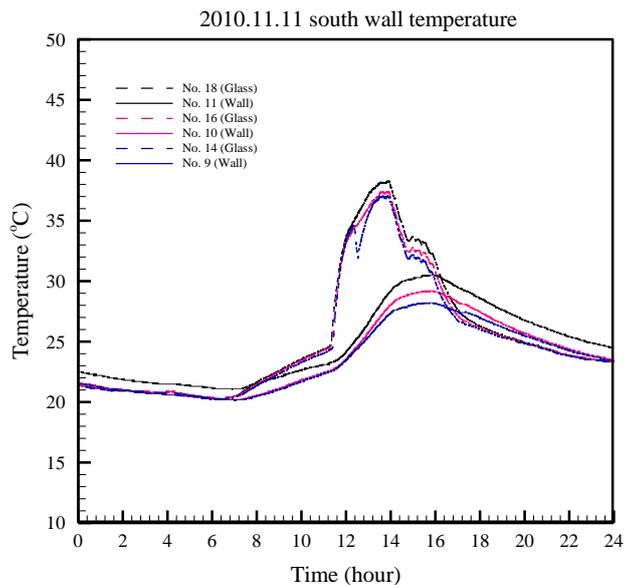


圖 3- 162 二樓北側房間(西), 南面玻璃與相同高度牆壁溫度變化(2010.11.11)
(資料來源：本研究整理)

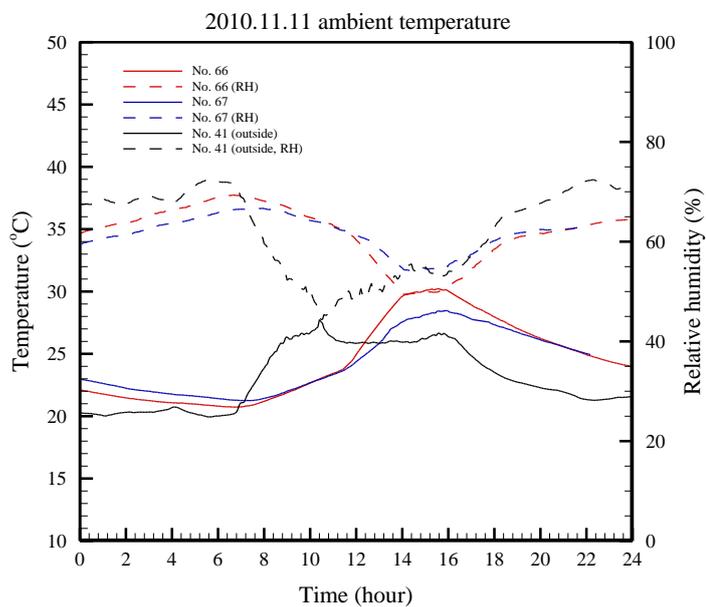


圖 3- 163 Tmote Sky 量測二樓北側房間(西) 溫、濕度變化(2010.11.11)
(資料來源：本研究整理)

2. 表面溫度分析

圖 3-164 與圖 3-165 為 11 月 10 日拍攝易構住宅二樓北側房間(西)南面牆與西面牆的熱像圖。由熱像圖可知清晨 5 點時，南玻璃立面溫度略大於西玻璃立面，牆壁溫度大於玻璃溫度大於鋁框溫度；7 點日出後，牆壁、玻璃與鋁框溫度變化不大，只有些微的上升；到了 10 點，西玻璃立面溫度大於南玻璃立面，鋁框溫度最高，其次為玻璃，牆壁溫度最小；由於太陽角的關係，在中午 12 點時，太陽由南玻璃立面照射進房間，鋁框溫度明顯上升，此時南牆面溫度大於西牆面，鋁框溫度超過 40°C；下午 13 點時太陽西曬照射到西面牆，到下午 14 點時玻璃立面達到當日最高溫。太陽西曬至 16 點過後結束，溫度逐漸下降，到下午 17 點時，由於鋁框與玻璃放熱較快，此時的牆壁溫度大於玻璃溫度大於鋁框溫度。

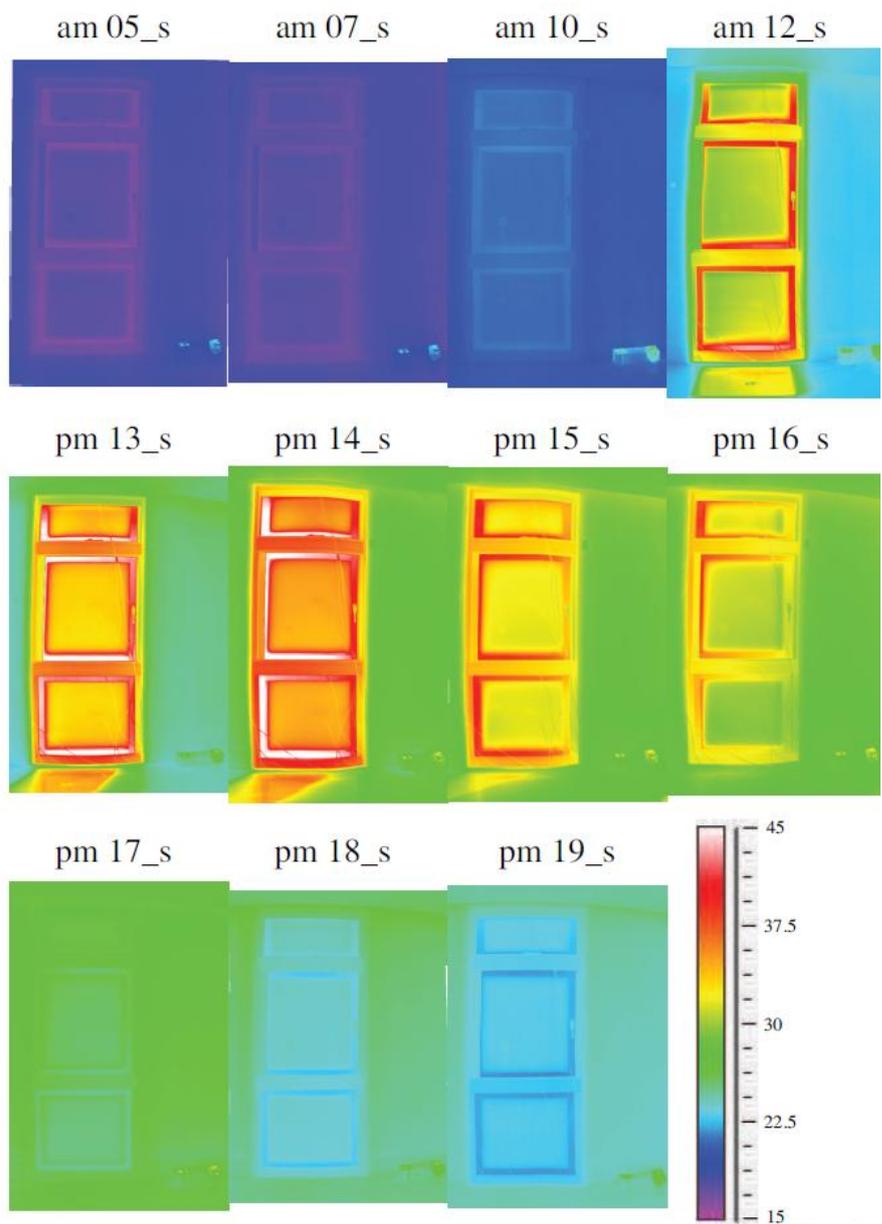


圖 3-164 二樓北側房間(西), 南面玻璃、鋁框與牆壁的熱像儀量測溫度分佈, 放射率為 1 (2010.11.10)
(資料來源：本研究整理)

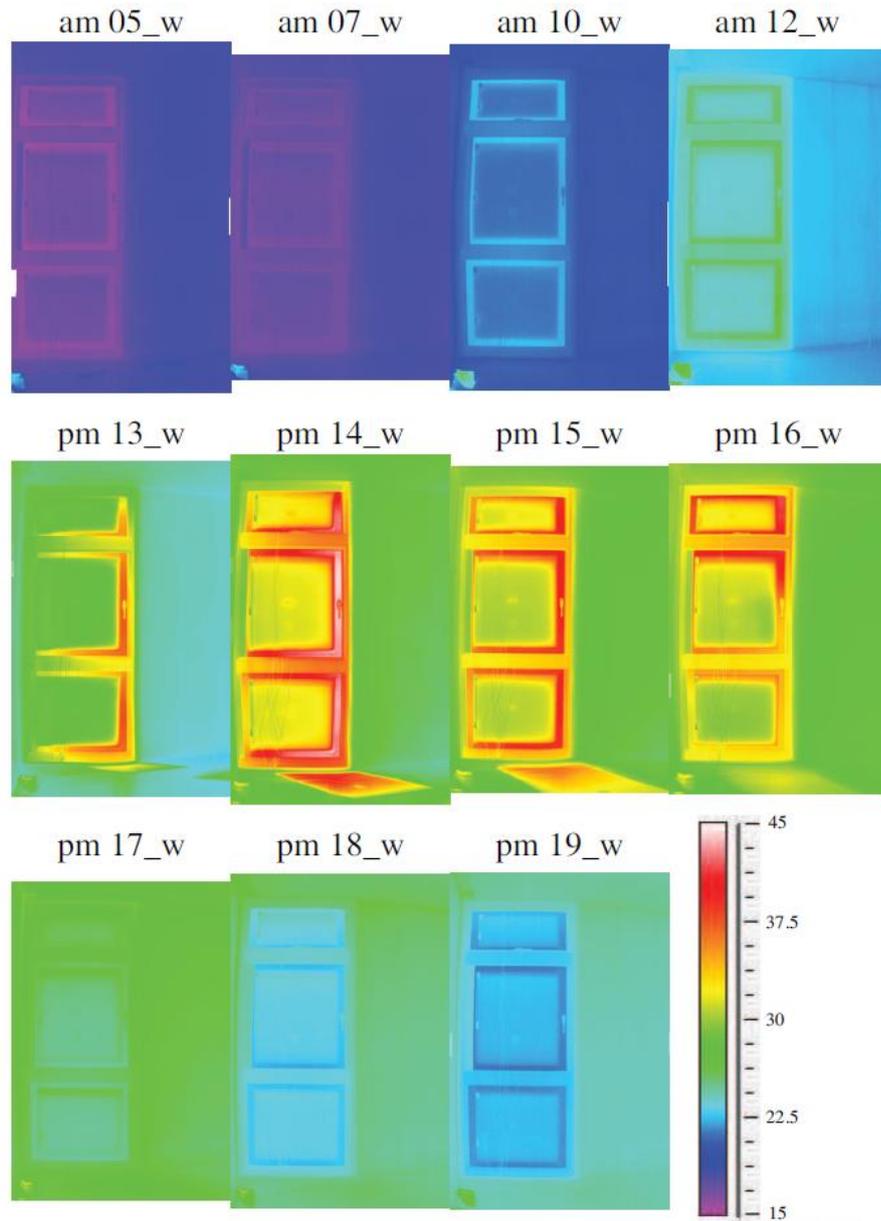


圖 3- 165 二樓北側房間(西), 西面玻璃、鋁框與牆壁的熱像儀量測溫度分佈,

放射率為 1 (2010.11.10)

(資料來源：本研究整理)

3. 熱像儀和熱電偶比較

11 月 10 日熱像儀溫度對應到熱電偶量測點的溫度，兩者的差值如圖 3-166 與圖 3-167 所示，誤差在 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 之內，以熱電偶的溫度為參考基準，大部分的值落在 0 至-1 mm之間，顯示熱像儀的量測值幾乎比熱電偶低，推測是因為 11 月份室內環境溫度較低，熱像儀受環境溫度與其他周遭物體放射的紅外線影響，導致拍攝的溫度值較低，秋季則有相反的效應。由圖 3-157 可知，11 月 10 日大多時間的房間溫度都在 25°C 以下。

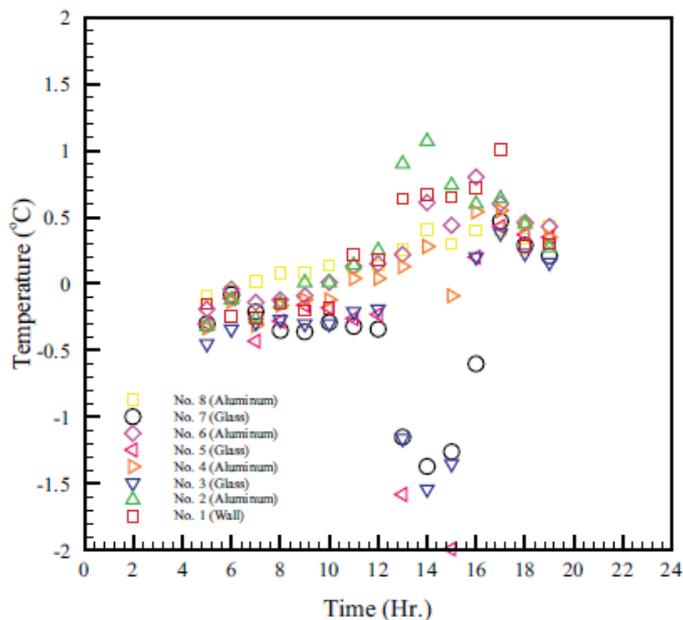


圖 3-166 二樓北側房間(西), 西面牆熱像儀量測溫度減去熱電偶量測溫度的溫差
(2010.11.10)

(資料來源：本研究整理)

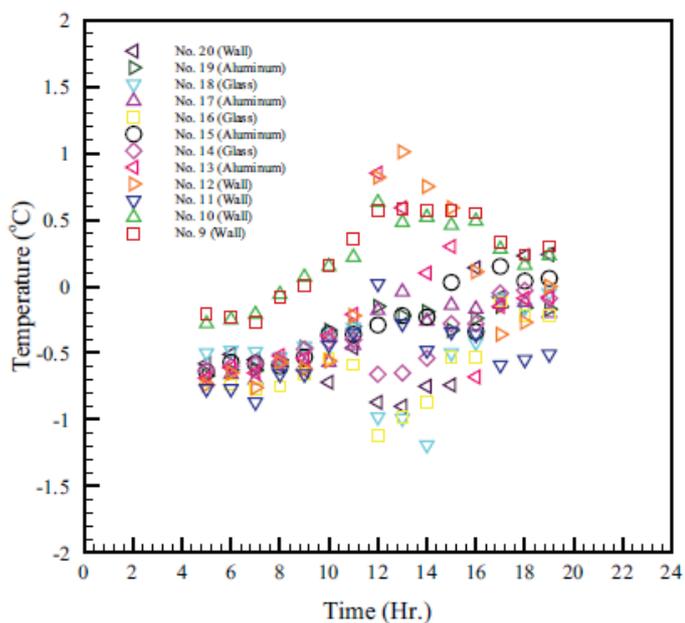


圖 3-167 二樓北側房間(西), 南面牆熱像儀量測溫度減去熱電偶量測溫度的溫差
(2010.11.10)

(資料來源：本研究整理)

參、小結

根據上述的量測分析結果，將研究的發現以條列方式呈現，如下所述：

- ◆ 11 月份玻璃立面最高溫發生在下午 13 點至 15 點。白天時，南玻璃立面大於西玻璃立面，表示南牆面受太陽輻射影響較大。比較室內空氣溫度與牆壁溫度，室內空氣溫度很少低於牆壁溫度，所以室內溫度上升，牆壁提供的熱量影響很小，大部分是由玻璃立面的傳導、太陽的輻射熱與空氣的對流。
- ◆ 根據 11 月份拍攝的熱像圖，11 月份太陽角角度變小，太陽輻射在接近中午 12 點時由南玻璃立面進入室內，到了下午 14 點，太陽輻射同時由南與西玻璃立面進入室內。
- ◆ 由熱像儀量測結果與室內環境空氣量測溫度比較得知，白天易構住宅東面受太陽輻射影響，室內空氣由於自然對流的影響溫度上升，玻璃立面在中午受太陽直接照射影響，鋁框與玻璃溫度都接近 45°C，尤其下午太陽西曬時，玻璃立面與室內空氣皆溫度達到最高。
- ◆ 由室內與室外溫度變化圖可知，Tmote Sky 無線傳輸溫、濕度感測器穩定性不足，數據會有傳遞失敗的情形發生，且電池更換頻率高，一周需更換一次，才能維持感測器的運作。

第四章 維護易構住宅室內環境調控設備

本章節探討易構住宅內所有設備的維護狀況，其中維護的設備包含環控設備(地中管風扇開關)、能源記錄設備(智慧電錶)、溫濕度記錄設備(DICKSION TK550 記錄器)及地中管系統(採用管壁機器人進行維護)。

第一節 環控記錄設備維護

壹、地中管風扇開關

由於地中管設備連接至智慧化控制系統，當易構住宅因斷電或智慧化系統故障，導致自動監測模式被設定為常開的模式，地中管風扇的手動開關(如圖 4-1)無法正常的開啟和關閉，造成風扇保持在開啟的狀態下。



圖 4-1 地中管風扇開關
(資料來源：本研究整理)

第二節 能源記錄設備維護

壹、智慧電錶

由於在地中管壓縮機的實驗中，發現智慧電錶數值異常，於是進行智慧電錶的勘察，
 勘查前與勘查後的結果列於下表 4-1 與表 4-2，結果發現量測地中管風扇、壓縮機和室內
 空調設備的智慧電錶，只有兩個電流感測器(CT)，並無法完整呈現開啟地中管機制時的
 電錶讀值，於是新增一組電流感測器(CT)及斷路的安裝。如圖 4-2 及圖 4-3。

表 4-1 數位電錶勘查前結果

	太陽能	LED	地中管	AC	Solar 1	Solar 2
量測內容	易購住宅提供建築研究所的產電量	易購住宅室內插座與照明的耗電量	易購住宅室內地中管之風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量	易購住宅地中管系統內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量	易購住宅屋頂台科大研發三機一體太陽光電板的產電量	易購住宅屋頂一般的太陽能光電板的產電量
數量	1	1	1	1	1	1
單位	度 (kWh)	度 (kWh)	度 (kWh)	度 (kWh)	度 (kWh)	度 (kWh)
位置	易購住宅南側一樓玄關	易購住宅南側一樓玄關	易購住宅南側一樓玄關	易購住宅南側一樓玄關	易購住宅南側 3 樓戶外平台	易購住宅南側 3 樓戶外平台

(資料來源：本研究整理)

表 4-2 數位電錶勘查後結果

	太陽能	LED	地中管	AC	Solar 1	Solar 2
控制電盤	總電錶	1LR PANEL 2LR PANEL 3LR PANEL 排風機 地中管水 泵 SPARE	冷氣空調 壓縮機 地中管風 扇	AS3F	三機一 體太陽 能發電 玻璃	一般發 電玻璃
線路配置	正常	正常	僅配置 2 個 CT	C-CT	單相迴 路 一個 CT	單相迴 路一個 CT
結果	應為總電壓 表，包含 LED、地中管 及 AC 電錶。		因為只有 兩個 CT， 所以正確 值只有 1F 客廳冷氣 和 2F 東西 側臥房冷 氣。			
備註	雖然為總 錶，但由於經 過變壓器的 關係，因此總 電錶值和其 他三錶的總 和未必會相 等。		其他設備 皆有量測 值，但由 於相位不 相同，量 到的數值 皆不完整			
	有設置 RESET 鍵於電錶下 側，可用來重 啟網卡					

(資料來源：本研究整理)



圖 4-2 新增一個電流感測器
(資料來源：本研究整理)



圖 4-3 斷路器的安裝
(資料來源：本研究整理)

第三節 溫濕度記錄器設備維護

壹、DICKSON TK550 記錄器

本研究所使用的溫濕度記錄器為 DICKSION TK550，用來量測地中管內溫度與濕度變化的設備，但由於地中管內受天氣變化的影響，導致地中管內有時濕度高達 80~90%，造成 DICKSON TK550 記錄器內部電子元件有故障的情形發生。以下將 DICKSION TK550 記錄器的維修紀錄，製作成表 4-3 呈現如下：

表 4-3 DICKSION TK550 維修紀錄

送修日期	記錄器ID	原因	回送日期	備註
2011.06.21	S2_-3.2	無法讀取記錄值	2011.07.26	更換主機
	S2_0.0	工作電壓顯示異常	2011.07.26	更換主板
2011.07.01	S1_1.3	無法讀取記錄值	2011.08.02	更換主板
2011.09.05	S2_-2.4	無法讀取記錄值	2011.10.27	更換新的TK550

(資料來源：本研究整理)

第四節 地中管系統維護

壹、管壁機器人

為了觀察與維護地中管內部環境，使用管壁機器人如圖 4-4 所示，而詳細的管壁機器人操作方式如下：

第一步驟:車體接線部分：接上 AC 電源線、422 纜線、銅線、兩條影像線。

第二步驟:電腦端接影像部分：影像擷取卡與電腦相接、影像擷取卡黃色頭與影像線相接(要錄影才必須接)、另一條影像線接螢幕顯示卡並接上 12V 電瓶。

第三步驟:電腦接 RS232 部分：電腦端接上 USB 線、USB 線在接上 RS232 to USB 轉接器、RS232 to USB 轉接器在接上 MOXA 422 轉接器。

第四步驟:人機部份：在電腦端開啟 RCV 資料夾，在點選管壁 RCV，開啟後在 RS232 Setting-1 底下，連接電腦 COM PORT，選定後按下開始鍵。

第五步驟:人機部份：在來切換到 Remote 。Control 底下的 Control ，在車體最原始馬達兩輪速度是 46。

第六步驟:人機部份：若是要調速度，則切換到 Configure 底下的 Motor Configure ，調速前請按一下 Reset ，這時就可輸入 Motor1(0~80) 和 Motor2 (0~90) ，再依序按下 Motor1 底下的 Send 、 Motor2 底下的 Send 。

第七步驟人機部份：調速完後，再切換到 Remote Control 控制車體。

此外，管壁機器人特別設計的輪子可以適用在平地與內徑 40 cm 的地中管行駛，且可以連續穿越 90 度彎管，行駛速度最快達 20 cm/sec，圖 4-5 附上管壁機器人的兩輪馬達調速值與其對應的速度關係；在管壁機器人上方安裝前後兩個小型攝影機，可以傳回即時影像並錄影，用以檢查地中管管內情況；管壁機器人前端搭載機械手臂，可以掃除或夾取質輕的物體。圖 4-6 為利用管壁機器人拍攝的地中管管內實照，圖中可以看出管內有部分露水凝結與一些小石塊。



圖 4-4 管壁機器人實體照片
(資料來源：本研究整理)

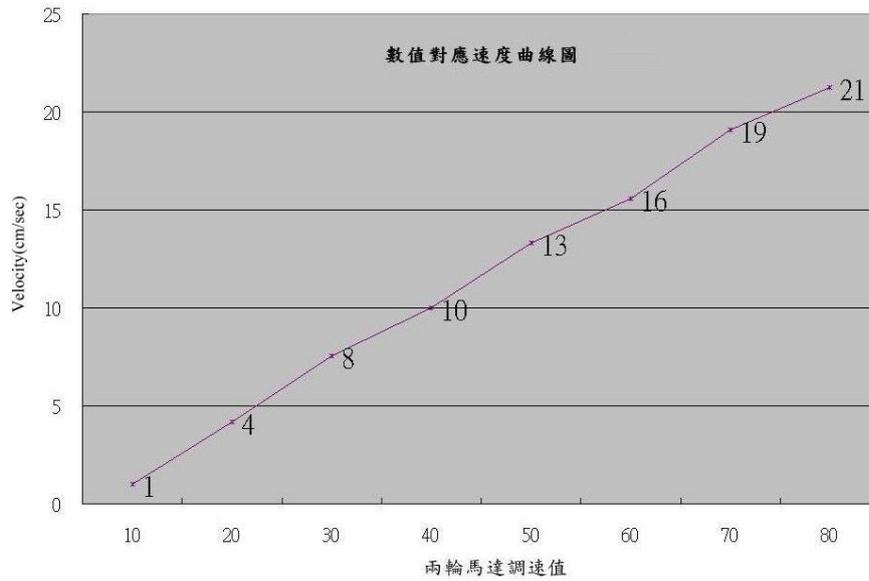


圖 4-5 管壁機器人-兩輪馬達調速值與其對應速度曲線
(資料來源：本研究整理)



圖 4-6 地中管管內實照
(資料來源：本研究整理)

但由於管壁機器人的馬力不足，以至於在地中管內行走時，經過 2 次接近 90 度的轉彎處，便無力再拖曳電纜線前進，其次，由圖 4-6 可知電纜線在地中管內拖曳時，會受

到管內的小時頭或泥沙等阻礙，無形中又增加管壁機器人行時的摩擦力。管壁機器人目前可以抵達的位置如圖 4-8。

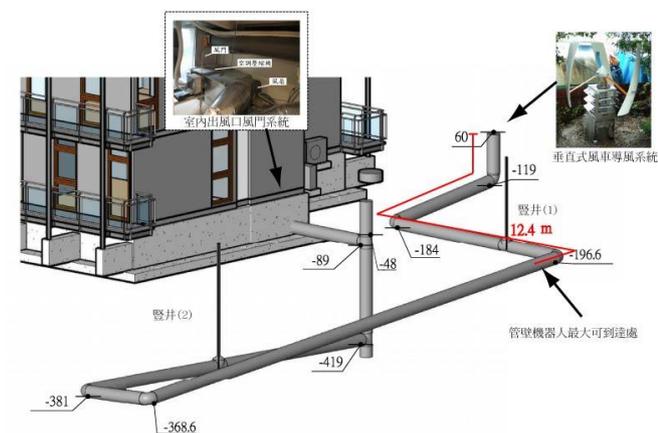


圖 4-7 管壁機器人目前可以抵達的位置
(資料來源：本研究整理)

第五章 結論與建議

第一節 結論

1. 原本新增的地中管量測點，在豎井下的 Sensor 34 與 Sensor 36 推測是因為距離之關係，資料沒有傳遞至資料庫；而豎井上 Sensor 33，Sensor 35 與入風口 Sensor 38 的資料顯示紀錄時間的間隔亦太大，表示資料傳遞的成功率低。已經將地中管量測系統皆改成 DICKSON TK550 記錄器，避免資料遺失以及增加數據接收之準確性。
2. 在太陽輻射量大於 $480\text{W}/\text{m}^2$ 的情況下，使用遮陽板可以讓易構住宅室內環境溫度下降約一度；而當室外環境溫度較低時($T \leq 15^\circ\text{C}$)，使用遮陽板降低易構住宅室內冷輻射的效果較為有限。
3. 在使用自然通風的情況下，因室內環境與室外環境相連結的關係，易構住宅室內環境溫度變化情況主要隨著室外環境溫度波動而變化。
4. 在地下 1.6 m 至地下 3.2 m 處，溫度變化在 1°C 之內，顯示地中管在地下 1.6 m 以下的溫度較不受大氣環境影響，且土壤溫度顯示隨著季節而變化，變化的趨勢則是由夏季向春季逐漸下降。根據地中管豎井垂直溫度分布，土壤在地下 1.6 m 至地下 3.2 m 處的平均溫度分別為：春季約 20°C 、夏季約 25°C 、秋季約 25°C 、冬季 24°C 。當室外環境較低時($\leq 20^\circ\text{C}$)，開啟 1F 客廳地中管風扇，可使室內環境比室外環境溫度提高 $2\sim 3^\circ\text{C}$ ，地中管能源消耗功率約 0.23 kW 。
5. 易構住宅地中管系統利用地底土壤溫度終年穩定的特性，使戶外空氣在地底進行熱交換根據量測結果。秋季開啟地中管系統，可以使戶外空氣到室內地中管出風口處的空氣溫度，預熱約 1 至 2°C ；冬季開啟地中管系統，可以使戶外空氣到室內地中管出風口處的空氣溫度，預熱約 9 至 10°C ；春季開啟地中管系統，可以使戶外空氣到室內地中管出風口處的空氣溫度，預冷約 1 至 2°C ；夏季開啟地中管系統，可以使戶外空氣到室內地中管出風口處的空氣溫度，預冷約 9 至 10°C 。春季和夏季地中管系統的預冷效果，只有從地中管入風口至豎井(2)處較顯著；而豎井(2)到室內地中管出風口處，其溫度變化則呈現升溫的狀態。

6. 當外界環境溫度高於室內溫度時，使用太陽煙囪風扇可以使室內環境達到降溫的效果，但建議搭配自然通風和地中管風扇開啟入風口，會使降溫效果更顯著。
7. 開啟室內空調的機制時，可以使易構住宅室內平均溫度下降約 6°C ，但同時也會消耗較多的功率，平均約 0.48 kW
8. 11 月份玻璃立面最高溫發生在下午 13 點至 15 點。白天時，南面玻璃立面大於西面玻璃立面，表示南牆面受太陽輻射影響較大。比較室內空氣溫度與牆壁溫度時發現室內空氣溫度很少低於牆壁溫度，所以室內溫度上升，牆壁提供的熱量影響較小，大部分是由玻璃立面的傳導以及太陽透過玻璃立面的輻射熱與空氣的對流。
9. 根據 11 月份拍攝的熱像圖，由於 11 月份太陽天頂角的角度變小，太陽輻射在接近中午 12 點時由南玻璃立面進入室內，到了下午 14 點，太陽輻射同時由南與西玻璃立面進入室內。
10. 由熱像儀量測結果與室內環境空氣量測溫度比較得知，白天易構住宅東面受太陽輻射影響，室內空氣由於自然對流的影響溫度上升，玻璃立面在中午時受太陽直接照射影響，鋁框與玻璃溫度都接近 45°C ，尤其下午太陽西曬時，玻璃立面與室內空氣的溫度皆達到最高。
11. 由室內與室外溫度變化圖可知，Tmote Sky 無線傳輸溫、濕度感測器穩定性有時並不夠可靠，數據會有傳遞失敗的情形發生，而且電池更換頻率較高，一周需更換一次，才能維持感測器的正常運作。

第二節 建議

建議一

地中管系統增設感測器及加快排氣與維護:立即可行建議

主辦機關:內政部建築研究所

協辦機關:內政部建築研究所

夏季時，由於地中管末端，進入室內環境的垂直豎井段，溫度會有上升的現象，導致室內降溫的效果並不顯著。建議能在地中管末段的垂直豎井段，多加裝感測器，以量測溫度在此豎井段的變化。以及建議能加快地中管末端，進入室內環境垂直豎井段的排氣，可以減少土壤對空氣的熱交換。另外地中管內部的清潔，必須能夠定時監測與維護，以確保地中管系統所提供的圍新鮮空氣。

建議二

探討智慧化熱環控策略與傳統熱環控策略的優、缺點:中長期建議

主辦機關:內政部建築研究所

協辦機關:內政部建築研究所

依據既有研究成果而針對易構住宅當地條件所設計之開啟機制表，進行配置及架設智慧化控制系統。以比較智慧化熱環控與傳統熱環控策略在耗能及溫度變化的差異。

參考文獻

1. 蔡佳嵐, 2008, 「應用地中管、外遮陽板和自然通風於 MEGA House 之熱環境探討」, 國立台灣科技大學營建工程所碩士論文。
2. 王智勇, 2009, 「研究運用太陽煙囪以及 Trombe Wall 於自然通風設計建築」, 國立台灣科技大學機械工程所碩士論文。
3. 甯立言, 2010, 「兩個不同材質大面積玻璃建築室內熱環境之實驗測量與模擬分析研究」, 國立台灣科技大學機械工程所碩士論文。
4. “無線射頻辨識(RFID)於建築生命週期之應用 (4/4), 期末報告。” (2010) 內政部建築研究所。
5. “無線射頻辨識(RFID)於建築生命週期之應用 (3/4), 期末報告。” (2009) 內政部建築研究所。
6. 美國海軍天文台, <http://www.usno.navy.mil/USNO/astronomical-applications/data-services/alt-az-world/?searchterm=Azimuth>
7. 吳瑞文, 2011, 「研究利用地溫調節通風溫度及熱輻射對於建築熱環境表現的影響」, 國立台灣科技大學機械工程所碩士論文。
8. 張又文, 2011, 「研究不同環控機制應用於易構住宅之室內熱環境即能源消耗表現」, 國立台灣科技大學機械工程所碩士論文。
9. S. D. Fitzgerald & A. W. Woods, 2004, Natural ventilation of a room with vents at multiple levels. *Building and Environment* 39, 505-521.
10. 楊泰和, 1995, 藉自然蓄溫母體直接調溫與供氣系統。中華民國專利公報 257833。
11. V. Bansal, R. Misra, G. D. Agrawal & J. Mathur, 2010, Performance analysis of earth-pipe-air heat exchanger for summercooling. *Energy and Environment* 42, 645-648.
12. V. Bansal, R. Misra, G. D. Agrawal & J. Mathur, 2009, Performance analysis of earth-pipe-air heat exchanger for winter heating. *Energy and Environment* 41, 1151-1154.

13. M. De Paepe & A. Janssens, 2003, Thermo-hydraulic design of earth-air heat exchangers. *Energy and Buildings* 35, 389-397.
14. R. L. Sawhney, D. Buddhi & N. M. Thanu, 1999, An experimental study of summer performance of a recirculation type underground air pipe air conditioning system. *Building and Environment* 34, 189-196.
15. <http://earthrangers.org/en-us/OurPrograms/Building/Overview.aspx>, Earth Ranger Centre.
16. <http://www.sara-project.net/>, Primary School in La Tour de Salvagny.
17. http://www.passivhaustagung.de/Kran/First Passive_House Kranichstein en.html, Kranichstein Passive House
18. <http://www.bsdlive.co.uk>, Building Sustainable Design

附錄一 審查會議記錄與意見回覆

一、 委託研究計畫採購評選委員會會議記錄與意見回覆

內政部建築研究所 100 年度「易構住宅室內環境性能之驗證研究」 委託研究計畫採購評選委員會會議紀錄

一、時 間：99 年 12 月 21 日（星期二）下午 2 時正

二、地 點：本所簡報室（台北縣新店市北新路三段 200 號 13 樓）

三、主 席：李召集人玉生

記錄：林谷陶

四、出席及請假委員：（如簽到單）

出席：李委員玉生、林委員建宏、呂委員文弘、林委員芳銘
蕭委員炎泉、鍾委員松晉

請假：徐委員文志

五、列席人員：張專門委員秋藤（請假）、陳主任春足（請假）、陳主任南雄（請假）

六、主持人報告：本委託研究案共聘委員 7 人，目前會場中出席之外聘專家學者委員 3 人及本所委員 3 人，合計 6 人，超過委員總額二分之一，外聘之專家學者委員人數，亦超過出席委員人數之三分之一，宣布會議正式開始。

七、主辦單位報告：

- (一)本委託研究計畫自今(99)年 11 月 16 日公告招標訊息，並於今(99)年 12 月 6 日下午 5 時截止投標收件，計有 1 家廠商投標；經 99 年 12 月 7 日資格審查，資格合於規定之投標廠商共計 1 家，為國立臺灣科技大學。
- (二)本案於 99 年 12 月 20 日下午 4 時整，召開工作小組初審會議，經審查投標廠商所送之服務建議書規格，符合招標及投標規定，相關會議紀錄與意見請委員參考。
- (三)本案評選須知之「評選作業流程」、「評選項目及權重」、「優勝廠商評定方式」等要項，請委員確認。

決定：出席評選委員均同意依原公告之評選須知規定辦理。

八、投標受評廠商簡報：略。

九、委員發言重點與投標受評廠商回應（依發言順序）：

委員	審查委員意見	廠商回應
呂委員文弘	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案受評廠商所送服務建議書似與投標文件規定格式不符，建議如取得標案，應參照規定格式調整。 2. 建築耗能與使用行為有關，同時有人或無人使用空間的負荷亦有差異，如何對應探討，請考量納入研究評估。 3. 本案所列耗能驗證是以實際量測數值驗證電腦模擬之結果，雖為一般研究模擬驗證的流程，惟本案研究內容，係以易構住宅為量測標的，非以軟體開發之驗證為主，恐不適用前揭流程，請審酌；如軟體模擬驗證為重要成果，建議納為契約之預期成果項目之一。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將依照服務建議書規定之格式加以修改。 2. 將在實際測量驗證時列入考量。 3. 驗證的參考基準值將以測量的數據為主，模擬的數據為輔，之前模擬軟體所使用的假設邊界條件將改變為實際量測時的環境邊界條件，以比較模擬結果與實際測量之間的差距。
鍾委員松晉	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案研究內容是否建立對照組？是否考慮人的因素？ 2. 模擬軟體有效性為何，請予說明。 3. 本案模擬之邊界條件控制不易，如何因應？ 4. 「易構住宅」的定義建議說明清楚 5. 「室內環境性能」以機械設備來控制與一般住宅不同（一般住宅自然通風是必須的），如何模擬因應？ 6. 「能源消耗」如果摻雜人員進住，可能不準，但是沒有人員進住，又如何模擬人的效應為一大難題，如何因應，請加強說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究案將對照不同的開啟機制，在不同的開啟機制下比較室內環境以及能源消耗之間的關係。是，開啟機制分為有人及沒人。 2. 需要經由實驗測量驗證分析瞭解。 3. 將盡可能地趨近實際的邊界條件。 4. EAG 將在服務建議書中再作說明。 5. 將在模擬軟體中調整對應的參數。 6. 目前環境的測量不論有、無人員，仍以測量室內的熱環境表現為基準以及對應的能源消耗。

<p>蕭委員炎泉</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究目的中，提及尋求建築的最佳操作模式，請補充說明其涵蓋範圍。 2. 文中有以顏色來區別圖說內容，但卻以黑白列印，讀者無法辨識，請改進。 3. 說明地中管材質、功能與設置。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 尋求在熱舒適的範圍內最小的能源消耗量。 2. 將加以改進。 3. 易構住宅地中管的材質為PVC，根據過去文獻顯示，地中管材質不影響管內空氣溫度；地中管在夏季有預冷的功能，在冬季有預熱的功能。
<p>林委員芳銘</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究內容如何對應預期成果中所提列之結合本土創新及再利用材料構件與節能感測控制設備之整合應用，請補充因應說明。 2. 室內環境性能項目內容宜再界定清楚，"換氣"部分是否有考慮？ 3. 熱舒適與節能效益之評估基準與驗證機制宜再明確。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 應該為本土氣候條件與節能感測控制設備之整合應用。 2. 在易構住宅客廳與主臥房內皆有量測二氧化碳的感測器；在之前的計畫中，對室內換氣量有做過模擬計算。 3. 將再作改進。
<p>林委員建宏</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案為委託研究案，期程1年，而非服務建議書封面所載專業服務案，亦非1/4。 2. 第10頁共出現20次「太陽煙囪」，名詞出處為何？請予註明。 3. 室內環境性能範圍廣泛，包括音、光、熱、氣等，本研究似僅著重於節能(熱)控制，請予補充界定。 4. 本研究成果未來在住家使用上，可提供那些具體應用技術？請說明補充。 5. 地中管在亞熱帶氣候地區使用其適用性如何？有否使用限制及注意事項，如防水、防黴、及防生物(鼠、蛇)等？請補充說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將加以改進。 2. 之前的研究文獻已有太陽煙囪的介紹與說明，在這為引用過去文獻的成果。 3. 將包括熱量與氣流。 4. 研究的目的是瞭解室內的環控機制，希望在一般住家也可以達到節能的效果。 5. 目前地中管的角色定義為除濕與冷卻，夏季功能。防生物的設施已經安裝完成。
<p>李委員玉生</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本案擬使用志清國小及台大氣象氣象站資料，是否符合當地氣候需求，請說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 研究團隊比較過台大氣象站與志清國小氣象站，並沒有太大差異，而且在之前的計畫並沒有規畫氣象站的設置。

十、 討論事項：無。

十一、 臨時動議：無。

十二、會議結論：

- (一) 本案投標受評廠商國立臺灣科技大學，經評選結果平均分數為 78.7 分，並符合評選須知第四點第(一)款「投標廠商之得分，須有過半數評選委員評定達七十分(含)以上者方列入名次之排定」之規定，取得議價資格。
- (二) 請主辦單位將評選結果簽報機關首長或其授權人員核定，並請廠商於得標後，配合採購評選委員意見修正計畫書內容，俾以納入契約文件中。

十三、散 會：下午 3 時 30 分。

二、 期中審期會議記錄與意見回覆

本所 100 年委託研究計畫「易構住宅室內環境性能之驗證研究」、「開放式建築住宅室內整建之碳足跡評估研究」及「建築立面更新健診與評估系統之研究」等

3 案期中審查會議紀錄

一、時間：100 年 7 月 8 日(星期五)下午 2 時 30 分正

二、地點：本所簡報室

三、主席：陳副所長瑞鈴

記錄：鄒本駒、盧珽瑞

四、出席人員：詳簽到簿

五、主席致詞：(略)

六、研究計畫主持人簡報：(略)

七、出(列)席人員發言要點：

(一) 易構住宅室內環境性能之驗證研究

石建築師正義：

1. 第 5 頁提到地中管和自然通風不宜同時使用，但在第 42 頁的表 3-19、第 47 頁的表 3-23 顯示均有同時使用，建議報告中能說明同時使用的動機。
2. 第 17 頁提及要進行 1F 客廳與 2F 主臥房之對照比較，但在第 101 頁小結中未提出比較結果分析，建議將來加以補充。
3. 第 118 頁太陽輻射對室內環境性能影響的小結稍嫌簡略，建議提出易構住宅室內環境之效益或易構住宅設計效果的印證結果。

林博士世堂：

1. 請修正第 3 頁與第 6 頁的錯字，例如「購」，請修正為「構」。
2. 圖 3.2 至圖 3.98，其 X 軸多為一天的時間範圍，建議將「分」改以「小時」為單位來表示，俾易於瞭解一天的變化。
3. 溫度變化受到每日及每季日照的影響，建議增加季變化之共同比較。
4. 第 106 頁以後，圖 3.102 至圖 3.115，在 900 分鐘處都有發生轉折點，是否有特殊原因或者有儀器量測誤差。

楊教授詩弘：

5. 本研究屬多年延續性的驗證計畫，故建議研究團隊就各年預定完成的目標與成果，以及與本年度工作計畫之接續等關聯性，作更清楚的交代。
6. 室內環境影響因子涵蓋音、光、熱、氣、水、微生物等條件，建議研究團隊初期應清楚界定其

範圍。

7. 本研究應考量到性能驗證最終是否應牽涉與相關對照組的比較。
8. 本研究的重要貢獻除了在於釐清性能的量化程度之外，其工具的試用亦為可供後續研究之基礎。
9. 易構住宅性能測定方式的標準化之可行性宜納入考量。

中華民國全國建築師公會（陳建築師俊芳）：

1. 有關遮陽板的啟閉時機，建議夏季當窗戶直接受日照時關閉，冬季時則以室內外溫差為關閉時機。例如當冬季夜晚室外溫度低於室內時，則關閉保暖。
2. 本研究能否驗證外遮陽板關閉時，對於間接輻射之遮擋效果如何。
3. 報告書第 27 頁，施測 1F 客廳由於遮陽板設於東側，故於上午關閉時可遮擋東面日照；下午由於外牆受直接日射，而 2F 主臥室則有屋簷遮擋，故下午室溫會較主臥室高。
4. 地中管之運用甚為重要，建議能呈現夏、冬兩季，管中溫濕度與外氣溫濕度之差異性與運用時機，春、秋二季應可關閉不使用。

台灣省建築材料商業同業公會聯合會（王總幹事榮吉）：

1. 易構住宅含 RFID 設備之展示屋，對節能、環保、循環再生已達預期成果與效益。
2. 易構住宅的材料、構件、設備與組裝，均具有推廣模具規格化、標準化的優勢與條件，請內政部建築研究所、經濟部標準檢驗局、及相關業者能研究制訂產業標準化驗證基準。

鄭教授紹材（書面資料）：

1. 計畫主持人長時間投入量測與分析工作，不論對地中管、遮陽板、太陽煙囪、RFID 等，研究精神令人敬佩，也符合進度。
2. 在計畫名稱、研究目的或預期成果都有提及驗證與交叉比較，建議補充電腦模擬分析的結果，有比較基礎後對於量測成果或調控機制，應可更清楚。
3. 在第四章有使用管壁機器人，具有可在管中錄影、掃除輕質物體等功能，但是否屬本計畫範圍，建請考量。

陳副所長瑞鈴：

1. 本案預期成果與題目的意思不甚符合，易構住宅環境性能的驗證，對溫度的量測應探討建築物內人體所感受到的溫度，而非建築物本體構件的溫度，除非研究它與室內溫度的關連性。
2. 易構住宅係指容易建構的住宅，所使用的每項建築組件均有其身份證號，其節能設計部分有一定的操作程序，地中管與空調系統的使用也有其適當的時機，屋頂上還有三合一的太陽能板等，因此本案有許多要考量的因素，建議本研究對室內環境驗證部分應確實探討各項因素，以符合預期成果。

研究單位回應：

4. 地中管系統不能與自然通風使用，係因同時使用時兩種通風方式易使室內環境變化複雜。期末報告會將地中管系統更改為地中管風扇。另第 101 頁小結係為 1F 客廳與 2F 主臥房間之比較後之結果。

5. 期末報告書中將補充太陽輻射與室內環境溫度的關係。至於溫度變化圖中所示在 900 分鐘處都有發生轉折點，此乃易構住宅下午太陽西曬時所產生之正常現象。
6. 本研究主要探討熱與氣兩種環境影響因子。至於性能驗證是否應找對照組作比較，因為對照組與實驗組須具相同環境條件下，但考慮易構住宅目前只有一棟，故以易構住宅室內的 1F 客廳與 2F 主臥房作為對照組與實驗組的關係。
7. 目前的研究主要在於易構住宅室內環境性能的探討，關於易構住宅之材料、構件等的推廣，屆時將再與委託單位商討。

(二) 開放式建築住宅室內整建之碳足跡評估研究

石建築師正義：

1. 關於第 26 頁「日常使用」之定義，由於整建整體來說應包括修繕部分。日常使用有無包括漏水修繕部分？建議在第 91 頁的案例模擬中納入修繕部分。
2. 第 52 頁施工過程中，實際施工時工人除了照明外也可能會使用到如收音機、工業用風扇、冷氣之類的電器用品，建議將該等項目也納入式(8)中作評估。
3. 同頁公式(8)、(9)是否有疏漏第 82 頁的碳排放轉換係數「電力碳排放數據原單位」？

林博士世堂：

1. 本研究天花板之部分採用開架、明架等式的系統天花，但住宅似乎不適用此類工法，請再檢討。
2. 關於地板部分，目前高架地板只有木地板，而磁磚似乎也沒有用在高架地板，可否換成如拋光石英磚之類工法。

楊教授詩弘：

1. 整建的定義宜再界定清楚，而居住者的變更僅涉及格局變化，經常性的物理劣化是否應納入研究範圍。由於碳足跡的定義須相當嚴謹，套用在建築上要完整探討是不容易的，是否應改為探討建築的生命週期會更好。
2. 研究報告書中所示原單位數據之來源應交代更清楚。
3. 開放式建築之優越性為可以對應不斷的變動更換，就題目上需討論為何選用開放式建築作為碳足跡評估。另有關於開放式建築的案例，一些集合式住宅為準開放式住宅，是否也納入案例探討？本計畫採用案例的代表性及選擇該案例之理由為何？

台灣省建築材料商業同業公會聯合會（王總幹事榮吉）：

1. 本研究將整建生命週期從原料取得、建材生產、運輸、施工、使用、拆除等分成六大階段，將建築分成牆面、地坪、天花板、管線、裝修等部位，對建築整建碳足跡之評估及落實推動開放式建築之運用，具研究之意義。惟相對於建築整建過程之碳足跡評估，加強建材生產方面的碳足跡是否會更好？
2. 本研究為了比較開放式與傳統式建築整建之碳排放量，依室內裝修變更頻率高低，設定了 A(頂客族)、B(一般家庭)、及 C(租賃型住宅) 等三種情境，鑑於高雄地區目前正加強觀光產業的推動，是否可考量一下開放式建築的轉用性，將觀光旅館列為第四種情境。

鄭教授紹材(書面資料)：

1. 本計畫之「開放式建築住宅」在國內案例不多，要探討室內整建階段自有其難度。建議計畫主持人在採用案例模擬與情境設定時宜謹慎，避免模糊了研究目的與預期成果的達成。
2. 本文參考了很多文獻資料，殊屬珍貴，惟建議應考量清晰度。

陳副所長瑞鈴：

1. 本研究計畫的題目與其預期成果的關聯性有待強化。類似的計畫在國外係由一大群研究團隊分成好幾個年度共同進行，本計畫題目太大，以現有的研究團隊規模及期程，執行不易，爾後計畫課題的研擬，承辦組應詳加檢討其可行性。
2. 碳排放的數據，可以運用既有的研究資料，似無法於短期內另行研訂。另有關室內裝修種類，在實際執行時應如何作比對？

研究單位回應：

1. 本研究遵照委員意見，將修繕階段也納入作為評估模組考量之一部分。另於施工用電計算項目中也將考量將現場工人使用之非必要性電力(如冷氣、電扇、收音機等電器用品)納入，並對於報告書中的疏漏部分，加以補充。
2. 根據本研究調查瞭解，國內一些廠商仍有在住宅部分使用系統天花工法並且施作的相當精美漂亮。關於地板部分，不一定全面性施作高架地板，只要於用水空間部分施作即可，且根據訪談廠商得知，以目前高架地板施作技術既使鋪設磁磚也並無問題。
3. 本研究也了解到碳足跡的定義應當是相當嚴謹的，但目前世界各國對於營建產業相關活動的碳足跡計算方式尚無完整具體定義(目前僅瑞典及日本兩國有將「傢俱」此一建築類產品放入碳足跡評估指引中)，因建築相關行為(含整建)不同於一般工業製品，不但其生命週期過程相當複雜，多變的使用者生活型態亦影響使用階段之碳排負荷，而建築物本身亦是由成千上萬的建材設備(皆為工業製品)所組成，因此其碳足跡定義的複雜程度可想而知。然而本計畫希望在研究期限的一年當中，儘可能針對營建產業中的住宅整建專案碳足跡之定義作出個雛形，並參考環保署所制定之產品與碳足跡計算指引中之邊界條件一一進行檢討對應，進而探討住宅整建專案之具體評估方式。至於報告書中所檢附的設計圖為本研究調查傳統整建工法相關耗能及碳排時之調查對象，並非開放式建築。因目前國內鮮有開放式建築之案例，因此有關開放式建築案例的討論，將在後續案例模擬時依本研究所設定之開放式建築工法及系統條件進行模擬演算並與傳統工法進行比較分析。
4. 有關室內裝修種類於實際執行時如何比對部分，本研究後續將透過建築整建的六大系統部件，配合六階段生命週期評估項目，以實際案例之模擬來比較傳統與開放式作法在環境負荷面上之不同，更希望能找出真正適合開放式建築的居住使用類型，因而特別依據變動頻率之高低設定三種不同使用情境劇本，分別探討其碳足跡之變化程度，並希望能依評估結果釐清開放式建築的適用性，協助政府針對一般大眾進行推廣。另外本研究也將確實引用國內既有研究成果的數據，作為研究之基礎。
5. 感謝各委員所給予之建議與指正，本研究計畫尚有努力空間，透過委員的指正將使本計畫更趨完善，本案問題較大的部分應當是碳足跡作為題目範圍過大，對此將會透過已完成之評估模組、案例模擬盡力作出住宅整建專案碳足跡定義的雛形，並使其確實可用，以改善題目上碳足

跡定義過大的問題。也希望能夠將開放式建築的好處透過調查及模擬比對的方式告訴大眾，以利於推廣，此乃本研究最大之期許。

(三) 建築立面更新健診與評估系統之研究

陳副所長瑞鈴：

1. 本案之研究內容，應包括建築立面更新相關之法令制度檢討，如建築立面更新、公共安全檢查及公寓大廈管理等。
2. 本案後續之期末審查會議，應邀請國內建築立面更新之相關機關出席。

石建築師正義：

1. 診斷是將未顯示危險的狀況判斷出來，本案報告書 p.43 4.2.1 膨脹=剝離；但剝離≠膨脹，可能會影響 D.E.R 的評估結果。以本研究方式，對"剝離"狀況的診斷較為困難，因此有必要採用紅外線+超音波再進行一次診斷。
2. 本案報告書 p.2 之 1.2 節 第 1 點，調查與歸納立面磁磚損壞原因建議在期末前請加強彙整。

林博士世堂：

1. 建築立面健診的範圍，包含污染、白華、龜裂、磁磚剝落等，本案後續要採用打音診斷法進行研究，但是打音法似乎只能針對"膨空"、"磁磚接著"較有成效，所以怕有遺憾。
2. 磁磚劣化不等同建築立面劣化，本研究請明確定義為磁磚剝落。
3. 本案所調查資料很多，相當可貴，但建議加入磁磚剝落之介面。
4. 本案報告書 p.68、p.69 之"Extant"為錯字，請修正為 Extent。
5. 本案報告書 p.41 之橋"樑"，請修正為橋"梁"。
6. 本案報告書 p.33 之 3.3.2 節，磁磚材質之分類方式是否適當？請再確認。
7. 本案報告書 p.23 之 0.4 N/mm^2 ，此部分 CNS13611、CNS13612 亦有規定，請再確認。
8. 本案報告書 p.19 第五行，結"購"體檢查，請修正為結"構"體檢查。
9. 破壞之因果是因"膨空"開裂才造成磁磚剝落或純粹是磁磚黏著力不夠因此剝落，請確認其成因。

楊教授詩弘：

1. 現階段成果達成預期目標，值得肯定。
2. 打音診斷雖在實務上屬常用檢查方法，然而國內外缺乏 SOP 的情況下，恐較難以訂定相關標準。
3. 評估工具的應用性及未來用途，宜於報告書中說明。

中華民國建築技術學會（莊建築師金生）：

1. 建議加強分析磁磚掉落原因。
2. 建議歸納各磁磚外牆之安全期限。
3. 建議加入其他外牆種類：如帷幕牆（SS）、噴漆外牆等更新。

中華民國全國建築師公會（陳建築師俊芳）：

1. 報告書表 1，建議於營建署欄增列「建築物使用類組及變更使用辦法」。
2. 本會建議對於屋齡 20 年以上之建築物，其臨接街道或避難通道之外牆，宜強制提交勘查報告書。

3. 本案報告書 p.34 之圖 23，磁磚劣化以剝落、髒污、凸起等現象最多，建議補充劣化原因（黏著劑、磁磚規格、材質...）
4. 本案報告書 p.35 之圖 24，磁磚劣化部位，除圖中所列內容外，是否與方位亦有相關？
5. 建議本案報告書 p.49，建築物高度之分級修改為：
0： $\leq 1\text{m}$
1： $>1\text{m}\sim 2\text{m}$
2： $>2\text{m}\sim 6\text{m}$
3： $>6\text{m}\sim 12\text{m}$
4： $>12\text{m}$
6. 建議報告書應提及優先使用綠建材標章或第一類環保標章之磁磚接著劑、填縫劑（膠）等。
7. 東西向外牆受直接日射之部位，若原有外牆隔熱性能不佳，是否可考慮隔熱性能之提升？

台灣省建築材料商業同業公會聯合會（王榮吉總幹事）：

1. 建議研究團隊之研究成果，可具體貢獻於營建署建築風貌環境整建示範計畫，供營建署評估外牆補助排序參考。
2. 建議研究團隊舉辦專家學者座談會時，可邀請磁磚黏著劑之廠商參與，並提供寶貴意見。
 3. 建議研究團隊可於未來後續研究中，加入建築物外牆普查，以利降低因外牆磁磚剝落而造成建築物公共安全的疑慮。

鄭教授紹材（書面資料）：

1. 在狀況指標 CI 公式中，a 表示重要性參數，目前私人使用建築物取 1，公有建築物或私有供公眾使用建築物取 2；當公有建築物若滋生外牆磁磚剝落，可能衍生國賠問題，有否必要做特殊考量。
2. 在評估表中，可否再增加一欄位，註記 a 值。

研究單位回應：

1. 本研究主要在提供一完整外牆磁磚的健診方法，並透過若干案例之實驗結果，藉以初步訂定其劣化標準。
2. 本研究之外牆磁磚健診，包括「膨空」、「髒污」、「龜裂」等外牆磁磚劣化病狀；研究團隊後續將會設計某些情境進行試驗分析，以符合外牆磁磚健診之目的。
3. 本研究係以外牆磁磚作為研究主軸，其它不同外牆種類，研究團隊將建議相關單位作後續研究。

八、業務單位報告：

林組長建宏：

1. 後續期末報告請依本所既定規定格式編排報告書，並請採雙面列印，應附錄之文件，例如：期初（採購評審會議）及期中審查意見回應表、專家座談會議紀錄...等，均請詳附。
2. 期末報告之研究建議事項，應明確且具體可行，並請與本所承辦人員討論之後再擬定合適之主辦機關。

九、會議結論：

- (一) 請詳實記錄與會專家學者及出席代表之意見，供研究團隊參採，並於期末報告作適當回應，如期如質完成研究計畫。
- (二) 本次會議 3 案期中報告，經審查結果原則通過，請各計畫主持人掌握研究時程及進度，並依規定辦理第二期研究經費之核撥。

十、散會(下午 4 時 50 分)

期中審查會議意見回覆

委員	審查委員意見	廠商回應
石委員 正義	<p>4. P. 5 提到地中管和自然通風不宜同時使用，但在 P. 42 之表 3-19、P. 47 之表 3-23 顯示均同時使用。建議報告中能說明同時使用的動機。</p> <p>5. P. 17 提及要進行 1F 客廳與 2F 主臥房之對照比較，但在 P. 101 小結中未提出比較結果分析，建議將來加以補充。</p> <p>6. P. 118 太陽輻射對室內環境性能影響的小結稍嫌平實，建議提出易構住宅室內環境之效益或易構住宅設計效果的印證結果。</p>	<p>8. P. 5 所提到地中管系統不能與自然通風使用，是指地中管風扇與自然通風不宜同使用，因為同時使用兩種通風方式易使內環境變化複雜。期末報告會將 P. 5 中的地中管統更改為地中管風扇。</p> <p>9. P. 101 小結為 1F 客廳與 2F 主臥房間之比較後之結果。</p> <p>10. 將加以改進。</p>
林委員 世堂	<p>7. P. 3、6 之錯字，購→構。</p> <p>8. 圖 3.2-98，X 軸大都為一日之資料，建議改為每日時間較易為瞭解一日之變化。</p> <p>9. 溫度變化受到每日及每季日照之影響，建議增加季變化之共同比較。</p> <p>10. P. 106 以後，圖 3.102-115，在 900 分鐘處都有發生轉折點，是否有特殊原因或者儀器量測誤差。</p>	<p>1. 將加以改進。</p> <p>2. 將加以改進。</p> <p>3. 會在未來期末報告書中補充太陽輻射與室內環境溫度的關係。</p> <p>4. 此為易構住宅下午太陽西曬時所產生之正常現象。</p>
楊委員 詩弘	<p>10. 本研究屬多年延續性之驗證計畫。故建議執行團隊就各年完成目標、成果與本年度工作計畫之接續等關聯作更清楚之交代。</p> <p>11. 室內環境影響因子涵蓋音、</p>	<p>1. 將加以改進。</p> <p>2. 本研究主要探討熱與氣兩種環境影響因子，屆時會在與建研所長官先進商討此計畫主題。</p> <p>3. 因為對照組與實驗組須具相同</p>

	<p>光、熱、氣、水、微生物等條件，建議研究團隊在初始界定清楚其範圍。</p> <p>12. 性能驗證最終是否牽涉與相關對照組的比較。</p> <p>13. 本研究之重要貢獻除釐清性能的量化程度之外，其工具的試用亦為可供後續研究之基礎。</p> <p>14. 測定方式標準化之可行性宜納入考量。</p>	<p>環境條件下，但因考慮易構住宅目前只有一棟，故以易構住宅室內的 1F 客廳與 2F 主臥房作為對照組與實驗組的關係。</p> <p>4. 將在期末報告列入補充。</p> <p>5. 將在期末報告列入補充。</p>
<p>全國建築師公會</p>	<p>5. 遮陽板之啟閉方式，建議夏季當窗戶直接受日照時關閉、冬季時則以室內外溫差為關閉時機，例如當冬季夜晚室外溫度低於室內時，則關閉保暖。</p> <p>6. 能否驗證外遮陽板關閉時，對於間接輻射之遮擋效果如何。</p> <p>7. 報告書 P.27，施測 1F 客廳由於遮陽板設於東側，故於上午關閉時可遮擋東面日照，下午由於外牆受直接日射，而 2F 主臥室有屋簷遮擋，故下午室溫會較主臥室高。</p> <p>8. 地中管之運用甚為重要，建議能呈現夏、冬兩季，管中溫濕度與外氣溫濕度之差異性與運用時機，春、秋二季應可關閉不使用。</p>	<p>1. 將加以改進。</p> <p>2. 於 P.101 小結中呈現外遮陽板關閉時，對於間接輻射之遮擋效果。</p> <p>3. 將列入考慮。</p> <p>4. 將再作改進。</p>
<p>王委員榮吉</p>	<p>3. 易構住宅 RFID 展示屋，對節能、環保、循環再生已達預期成果與效益。</p> <p>4. 易構住宅之材料、構件、設備與組裝，均具有推廣模塊規格化、標準化的優勢與條件。請內政部建築研究所、經濟部標準檢驗局、業者能研究制訂產業標準化基準。</p>	<p>2. 目前的研究主要在於易構住宅室內環境性能得探討，關於易構住宅之材料、構件等推廣，屆時會再與建研所長官先進商討。</p>

<p>陳主席 瑞鈴</p>	<ol style="list-style-type: none"> 3. 預期成果與題目的定義不符合。 4. 是否可以考慮三機一體太陽能發電玻璃之隔熱效果。 5. 期末報告提出具體可行的建議。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究主要探討熱與氣兩種環境影響因子，會再與建研所長官先進商討恰當的計畫主題。 2. 將加以改進。 3. 將加以改進。
<p>林組長 建宏</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告格式須採用雙面印刷。 2. 期末報告需附專家座談會議紀錄。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將依照委託研究案之格式呈現。 2. 將遵照辦理。

三、 期末審查會議記錄與意見回覆

內政部建築研究所

100 年度委託研究案「易構住宅室內環境性能之驗證研究」、「開放式建築住宅室內整建之碳足跡評估研究」及「RFID 技術在開放式住宅整建系統之應用研究」等 3 案期末審查會議紀錄

一、時間：100 年 11 月 11 日(星期五)下午 2 時 30 分

二、地點：本所簡報室

三、主席：林組長建宏

記錄：鄒本駒、盧珽瑞

四、出席人員：詳簽到簿

五、主席致詞：(略)

六、研究計畫主持人簡報：(略)

七、出(列)席人員發言要點：

(一) 易構住宅室內環境性能之驗證研究

江教授哲銘：

1. 室內環境性能完整內涵應含聲、光、熱(溫、濕、熱)、氣(HCH、VaCs、CO、CO₂)等四大項。本計畫前言範圍部分需增加說明，並界定本計畫僅(暫時)限定在溫、濕、熱之部分項目。
2. 題目或可增加 2 字，為室內「溫熱」環境性能之驗證。

周教授鼎金：

1. 圖 3-6 (P.15) 的平均「輻射溫度」應為平均「輻射量」(W/m²)。
2. 表 3-10 (P.30)、表 3-12 (P.33) 等處，LED 總耗電量與基本耗電量，2.73 與 2.740 之差異，請檢討說明之。
3. 在採用 LED 照明，是否有照度標準之設定，其開關之機制為何？
4. 結論 7 (P.184)，平均耗電量約 0.48Kw，應更正為 0.48kWh。

張教授建智：

1. 報告書的字體過小，格式也不符合建研所規定，請重新編排。另 P.7~P.10 的頁次編排有誤，請更正。
2. 文獻探討建議加入國外相關資料。
3. 文中有部分繕打錯誤處，請加以修正。
4. 表 3-2 (P.11) 欄名 ID 所指為何，請註明。

5. 本研究請加入建議事項，以利後續研究之規劃。
6. 小結 (P.159) 中所述「在太陽輻射量大的情況下」，而其輻射量之大如何定義，請加以說明。

康教授仕仲：

1. 「第4章維護易構住宅室內環境調控設備」的僅有兩頁的描述，宜再補充內容。
2. 統計資料及量測資料甚寶貴，建議以”表”的方式呈現，以利長期追蹤分析。
3. P.183 至 P.191 的頁眉均為”第六章參考文獻”請更正。
4. 有關地中管部分，夏天降溫效果較冬天升溫效果差，建議是否可以提出提升地中管夏天降溫效率之方法及建議。

中華民國全國建築師公會（張建築師矩墉）：

1. 台北地區地下水位較高，對地中管的應用與維護上有無需注意之處？實際上有否應用價值（以目前的建築案例）？
2. 以地中管系統的成本言，究竟有無推廣之必要？例如推估夏季降低 1°C 須投入多少；冬季提升 1°C 須投入多少，或許該系統在北歐等嚴寒帶地區才適用。

台灣省建築材料商業同業公會聯合會（王總幹事榮吉）：

1. 本計畫係針對永續創新與環保節能的材料、設備之研究，可改善既有建築模式，而開放式建築與易構住宅的結合將可帶動建築跨領域研發的實際應用。

林組長建宏：

1. 地中管是否適合於亞熱帶，請研究團隊對於其適用性提出具體建議，以為後續推廣與否的取捨之參考。
2. 請對易構住宅現有的裝置加以檢討，作為後續改善之建議。
3. 易構住宅可否進行動態展示，請提供近期及未來相關的研究方向之建議。

研究單位回應：

1. 在國外(印度)文獻中，肯定地中管在應用上，有達到冬暖夏涼的效果。雖然從目前的實驗結果看來，夏天降溫的效果並不顯著，但倘若能找出地中管在最後進入室內時，溫度上升的原因，則將能使效果有所提升。
2. 成果報告中對於易構住宅將建議加快地中管末端進入室內環境垂直豎井段的排氣，以減少土壤對空氣的熱交換；另推測在地中管末端，進入室內環境垂直豎井段可能有不明熱源(可能是地中管風扇的散熱)導致溫度上升，將建議在末端豎井段，多加裝感測器，以觀察溫度變化。。
3. 表 3-10 及表 3-12 等處，四季耗電量為總耗電量與基本耗電量之差值。基本耗電量為未開啟實驗設備時，室內環境電量的平均值，而基本耗電量標準差則在正負 0.027 間，所以實際耗電量為負 0.01 是在合理範圍內。
4. 在基本耗電量表中的 LED 數位電錶，僅代表室內插座與燈具照明的耗電量，並無實驗

開關機制。

5. 有關委員的其他意見，本研究將於成果報告中檢討修正，並於報告書中作更詳細回應。

(二) 開放式建築住宅室內整建之碳足跡評估研究

江教授哲銘：

1. 本計畫報告書的結論應以預期成果 4 大項之內容，正面敘述其實質內容，整理出可資運用的項目。
2. 關於開放式建築住宅室內整建之範圍，請再更明確化。
3. 整建流程是否要討論既存(舊有)部分之拆除(或移除)時的 CO₂ 排放量？
4. 碳足跡的標示已刻不容緩，構件碳足跡的第三公正機構之認證應未雨綢繆。

周教授鼎金：

1. 燈泡、機具功率為 Kw，不需除以時間，請修正。
2. 表 5-1(p.158)，傳統式架構與開放式架構在管線之設定項目有誤，請更正之。
3. 建議將設備管線老化或容量擴充等之更新修復，所涉及的構造裝修材減碳量納入後續研究。

張教授建智：

1. 文章內參考文獻請依一般慣例格式，照順序編排。
2. 建議第二章文獻回顧中第六節移至第一節，第五節移至第二節。
3. 目次中附錄一之名稱，重複標示，請更正；p.5 倒數第 2 行誤繕，比「造」請修正為比「照」。
4. 圖 2-6 (p.17) 及圖 2-8 (p.18) 之圖表種類，請更正為「表」；表 3-1 (p.41) 及表 3-4 (p.48) 模糊，為求清晰需重新繕打。
5. p.57 箱體單元的系統家具 1 項之文字字體不符合規定，請更正。
6. p.34~p.70 的頁次編排有誤，請修正。
7. 第六章結論與建議，請以條列式方式說明之。

康教授仕仲：

1. 章節與標題名稱不一致，例如 3-1 隔間牆體實 (p.80) 應屬為第四章，請修正；另請檢視其他章節也有類似錯誤，請一併修正。
2. 公式或算式應獨立列出，並加入標號及目錄，以符合報告書格式之慣例，例如 p.107 最後一行的算式，應獨立成段。
3. 圖之框線應移除，如 p.174 及 p.175 的外框宜刪除。
4. 建議是否能提出具體鼓勵開放式建築之政策。

中華民國全國建築師公會 (張建築師矩墉)：

1. 報告書中案例的 3 個情境，在實際上應是換房子而非換裝修。
2. 開放式工法的排碳量一定很少，但是否有統計過其成本與傳統的差異，並選擇有那些

項目較適合現今就可立即運用推廣的。

3. 建築物水區的改變是最困難的，有些部分如管道間幾乎是不能改變的，其他如馬桶的變動性也很低，尤其是結構體本身並不具備 SI 系統時。
4. 綠色整修若無誘因，在推廣上的動力可能不大。

台灣省建築材料商業同業公會聯合會（王總幹事榮吉）：

1. 開放式建築是否關係到住宅裝修的碳足跡，而其減碳功效又如何，對於其評估請列舉相關案例。
2. 有關建築物裝修工程的碳足跡資料目前仍缺乏，如能納入資料庫，仍可達成研究成果的目的之一。

研究單位回應：

1. 關於頁碼編排等錯誤可能為印刷時印刷廠產生之錯誤，本研究團隊將會於成果報告時改進。
2. 關於委員所提到的裝修更新所造成的拆除與修繕部分，本研究皆有考慮進去，包含於「初始化」階段內，本研究將會於內文中以文字多加敘述改進。
3. 至於涵蓋層面較廣的委員意見本研究將會作詳細討論，並加以改善後一併於成果報告中修正提出。

（三）RFID 技術在開放式住宅整建系統之應用研究

江教授哲銘：

1. 結論應以預期(4大項)成果之分項，正面敘述其實質內容。
2. BIM 可加入管線系統之呈現。
3. 將來住戶自己增減建築物內部分項目、構件時如何對應？

周教授鼎金：

1. 建議說明 RFID 技術在此系統應用特色與效益為何，以利參考了解。
2. 第七章結論與建議應修改；第八章為工作進度表，建議修正。

張教授建智：

1. 文章內參考文獻，依一般慣例格式，請依照順序編排。
2. p.128，圖 6-18 清晰度不足；p.136，第八章研究進度及預期完成之工作項目請加以刪除。
3. 本研究為一應用型計畫，建議未來可加強推廣部分。
4. 本研究內容豐富，研究內容與預期成果相符合，研究成果具參考價值。

康教授仕仲：

1. 報告完整、研究嚴謹，值得肯定。
2. 建議對未來研究方向和題目提出建議。

3. 案例詳細成果應在報告書多些說明。

中華民國全國建築師公會（張建築師矩墉）：

1. 建材市場因使用端非規格化，所以其供應的材料體系為一個頗為複雜的供應鏈，而非單純的供需行為，也不是單純使用 BIM 系統就可以解決，目前 BIM 系統並無法呈現現場的實際情形（現場的誤差調整、各類材料的施作介面及收頭都有特殊性）。

台灣省建築材料商業同業公會聯合會（王總幹事榮吉）：

1. 本研究對開放住宅整建系統之相關構件、材料之製造行銷、管理機制之建立及建議，對本研究之應用有相當之助益。
2. 國內 RFID 無線射頻技術及系統相關構件、材料生命週期之使用標準與整建應用，應列為後續研究項目。

研究單位回應：

1. 關於報告書前後的一個收斂，以及最後結論結合預期成果的部分、移除第八章、參考文獻進行重新編碼、提高圖 6-18 解析度、將期末簡報內容放入報告書等問題，將會一一作修正。
2. 關於委員提到管線部份，由於研究團隊目前只作一個初步的案例探討，確實沒有對管線作一個很詳盡的呈現，但事實上在整建流程有考慮到繪製管線 BIM 這部分；另外住戶使用的部分，研究團隊會再進行討論。
3. 有委員提到 RFID 對於民眾的效益，這是一個很好的問題，例如在施工時要施作一面牆，施工人員可以透過 RFID 讀取，而知道這面牆預期的壽命有多長...等資訊，若未來需要做交易，這可能是滿理想的一個工具。
4. 另外在裝修部分常常會遇到一個問題是管線定位的問題，在所內之前有研究關於透過 RFID 找到管線位置，這些都是對民眾一些滿好的效益。
5. 有委員提到推廣應用的部分，研究團隊會再對這項建議進行討論。
6. 有委員提供有關建材為非常複雜市場這方面實務的意見，不過本研究團隊的研究範圍，係限制在開放式建築，開放式建築的理想是以類似積木的方式組成，若以積木的方式進行研究似乎就沒有那麼的複雜，研究團隊目前是以上述的範圍限制來進行探討，不過還是非常感謝委員提供的寶貴意見。

八、會議結論：

- （一）請業務單位詳實記錄與會專家學者及出席代表之意見，供研究團隊參採，並於成果報告中作詳細回應。另期初（採購評審會議）、期中審查、期末審查及專家座談會等之紀錄，也均請詳附於報告書。

- (二) 請務必依照本部規定格式撰寫成果報告書，請承辦同仁協助檢視，無誤後才交付印製。
- (三) 結論中請敘明本研究重要成果，至於建議主辦及協辦單位，請研究團隊與業務單位討論後確定。
- (四) 本次會議 3 案期末報告經審查結果，原則通過。請儘速完成修正，如期送交成果報告書，並依規定辦理第 3 期研究經費之核撥。

九、散會(下午 4 時 50 分)

期末審查會議意見回覆

委員	審查委員意見	廠商回應
全國建築師公會	<p>11. 台北地區地下水位較高，對地中管的應用與維護上有無需注意處？有否實際上應用價值？（以目前的建築例子）</p> <p>12. 完全以地中管系統的成本，是否有期推廣之必要？ 例如：推估降低夏季 1°C 須投入多少，冬季提升 1°C 須投入多少，或許這系統真正是適用在北歐等嚴寒帶地區。</p>	<p>11. a. 必須考慮管道材質，避免地中管有漏水的可能。 b. 由於地下水位較高，可能會改變原本土壤溫度。但目前尚未考慮地下水問題，且並無實際量測地下水高度，未來可以將地下水列入考量因素。</p> <p>12. 在國外(印度)文獻中，肯定地中管在應用上，有達到冬暖夏涼的效果。雖然從目前的實驗結果看來，夏天的降溫效果並不顯著，但倘若能找出地中管在最後進入室內時，溫度上升的原因，則將能使效果有所提升。</p>
張委員 建智	<p>7. 字體過小及格式，不符合建研所之規定，請加以重新編排，以及 P. 7~P. 10 頁次編排有誤。</p> <p>8. 建議文獻探討可否加入國外相關資料。</p> <p>9. 文中有部分繕打錯誤處，請加以修正。</p> <p>10. P. 11 表 3-2 中 ID 為何，請註明。</p> <p>11. 本研究請加入建議事項，以利後續之研究工作。</p> <p>12. P. 159 小結中，在太陽輻射量大的情況下，如何定義輻射量大，可否加以說明。</p>	<p>13. 將加以改進。</p> <p>14. 將列入補充。</p> <p>15. 將加以改進。</p> <p>16. P. 11 表 3-2 中之 ID 為地中管各 sensor 放置之位置，請參照 P. 10 中圖 3-1 可對照其具體位置。</p> <p>17. 建議可以在地中管末端，進入室內環境的垂直豎井段，多加裝感測器，以量測溫度在此豎井段的變化。</p> <p>18. 由遮陽板在春季和秋季時，開啟機制的客廳與未開啟機制的主臥房溫差最大，約下降 0.45 度，平均輻射量約為 480W/m²。平均值所取的時間區間為上午 6 點至下午 6 點，故定義太陽輻射量大之界定值為 480W/m²。</p>

<p>康委員 任仲</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 第四章維護設備僅有兩頁的描述，宜補充說明。 2. 統計資料及量測資料甚寶貴，建議以”表”的方式呈現，以利長期追蹤分析。 3. 自 P.183 至 P.191，上標都為”第六章參考文獻”宜改正。 4. 是否能提出提升地中管夏天降溫效率之方法及建議。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將加以改進。 2. 由於數據資料眾多，用表的方式呈現，將導致資料不易觀察比較。 3. 將加以改進。 4. a. 建議能加快地中管末端，進入室內環境垂直豎井段的排氣，可以減少土壤對空氣的熱交換。 b. 推測在地中管末端，進入室內環境垂直豎井段有不明熱源(可能是地中管風扇的散熱)導致溫度上升，建議在末端豎井段，多加裝感測器，以觀察溫度變化。
<p>江委員 哲銘</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 室內環境性能完整內涵應含聲、光、熱(溫、濕、熱)、氣(HCH、VaCs、CO、CO₂)等四大項。本計畫，前研範圍部分需增加說明，並界定本計畫僅(暫時)限定在溫、濕、熱之部分項目。 2. 或者題目可增加二字:室內溫熱環境性能之驗證。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將加以改進。 2. 將加以改進
<p>周委員 鼎金</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. P.15 平均輻射溫度應為平均輻射量(W/m²)。 2. P.30、表3-10、表3-12等處，LED 總耗電量與基本耗電量，2.73 與 2.74 之差異，請檢討說明之。 3. 在採用 LED 照明，是否有照度標準之設定，其開關之機制為何。 4. P.184 結論 7，平均耗電量約 0.48Kw，應更正為 0.48kWh。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將加以改進。 2. P.30 表3-10及表3-12等處，實際耗電量為總耗電量與基本耗電量的差值。而基本耗電量為未開啟實驗設備時，室內環境電量的平均值，而基本耗電量標準差在正負 0.027 間，所以實際耗電量為負 0.01，在合理的範圍內。 3. 在基本耗電量表中的 LED 數位電錶，僅代表室內插座與燈具照明的耗電量，並無實驗開關機制。 4. 將加以改進。

<p>王委員 榮吉</p>	<p>1. 本研究針對改善既有建築物之永續創新的材料、設備之研發及環保節能，開放式建築在易構住宅的應用可帶動建築領域的實際應用成果。</p>	<p>1. 謝謝委員指教</p>
-------------------	--	------------------

附錄二 勘查智慧電錶

檢測前結果

2011年7月13日

	太陽能	LED	地中管	AC	Solar 1	Solar 2
量測內容	易構住宅提供建築研究所的產電量	易構住宅室內插座與照明的耗電量	易構住宅室內地中管之風扇、壓縮機與室內空調設備的耗電量	易構住宅地中管系統內之抽水馬達與灑水馬達的耗電量	易構住宅屋頂台科大研發三機一體太陽光電板的產電量	易構住宅屋頂一般的太陽能光電板的產電量
數量	1	1	1	1	1	1
單位	度 (kWh)	度 (kWh)	度 (kWh)	度 (kWh)	度 (kWh)	度 (kWh)
位置	易構住宅南側一樓玄關	易構住宅南側一樓玄關	易構住宅南側一樓玄關	易構住宅南側一樓玄關	易構住宅南側3樓戶外平台	易構住宅南側3樓戶外平台

檢測後結果

	太陽能	LED	地中管	AC	Solar 1	Solar 2
控制電盤	總電錶	1LR PANEL 2LR PANEL 3LR PANEL 排風機 地中管水 泵 SPARE	冷氣空調 壓縮機 地中管風 扇	AS3F	三機一 體太陽 能發電 玻璃	一般發 電玻璃
線路配置	正常	正常	僅配置 2個CT	C-CT	單相迴 路 一個CT	單相迴 路一個 CT
結果	應為總電壓表，包含 LED、地中管及AC電 錶。		因為只有 兩個CT，所 以正確值 只有1F客 廳冷氣和 2F東西側 臥房冷氣。			
備註	雖然為總錶，但由於 經過變壓器的關係， 因此總電錶值和其他 三錶的總和未必會相 等。		其他設備 皆有量測 值，但由於 相位不相 同，量到的 數值皆不 完整			
	有設置RESET鍵於電 錶下側，可用來重啟 網卡					

※若要量測三相設備，則數位電錶須配置三個電流感測器(CT)

若量測單項設備，則數位電錶僅需使用一個電流感測器(CT)

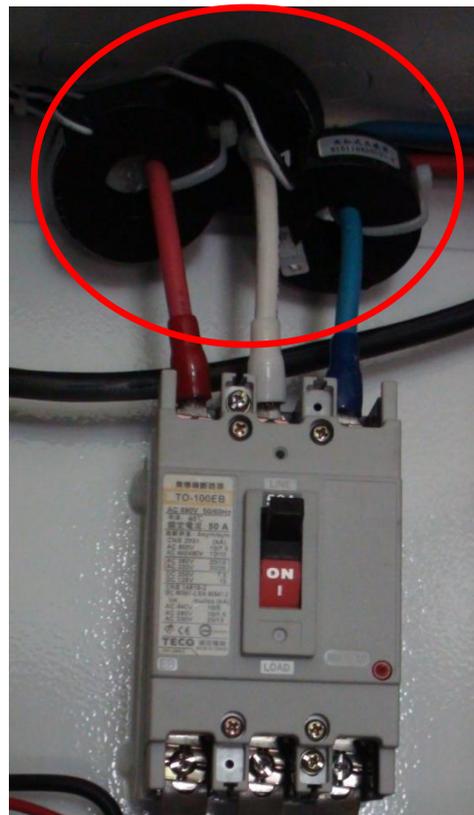
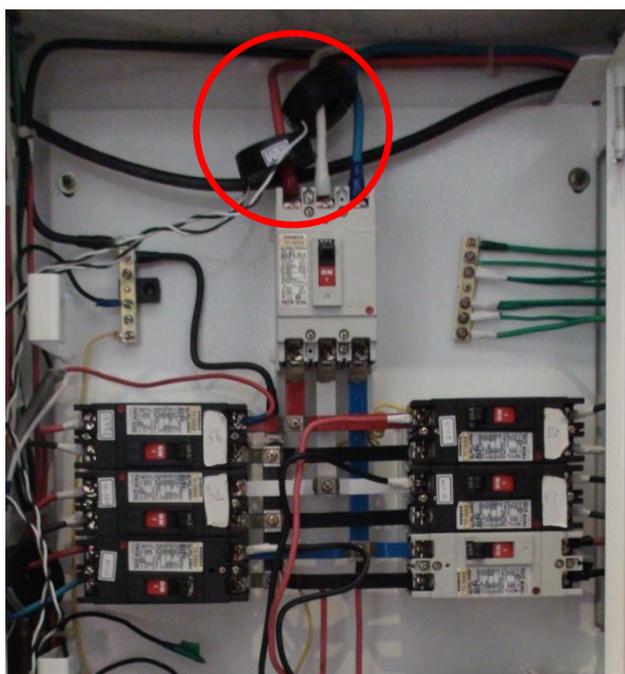
附錄三 智慧電錶及斷路器安裝

日期：2011 年 08 月 05 日

- 註： 1. 2011 年 8 月 2 日_資料庫電錶值無法正常讀取
- 2. 2011 年 8 月 22 日_資料庫電錶值恢復正常運作



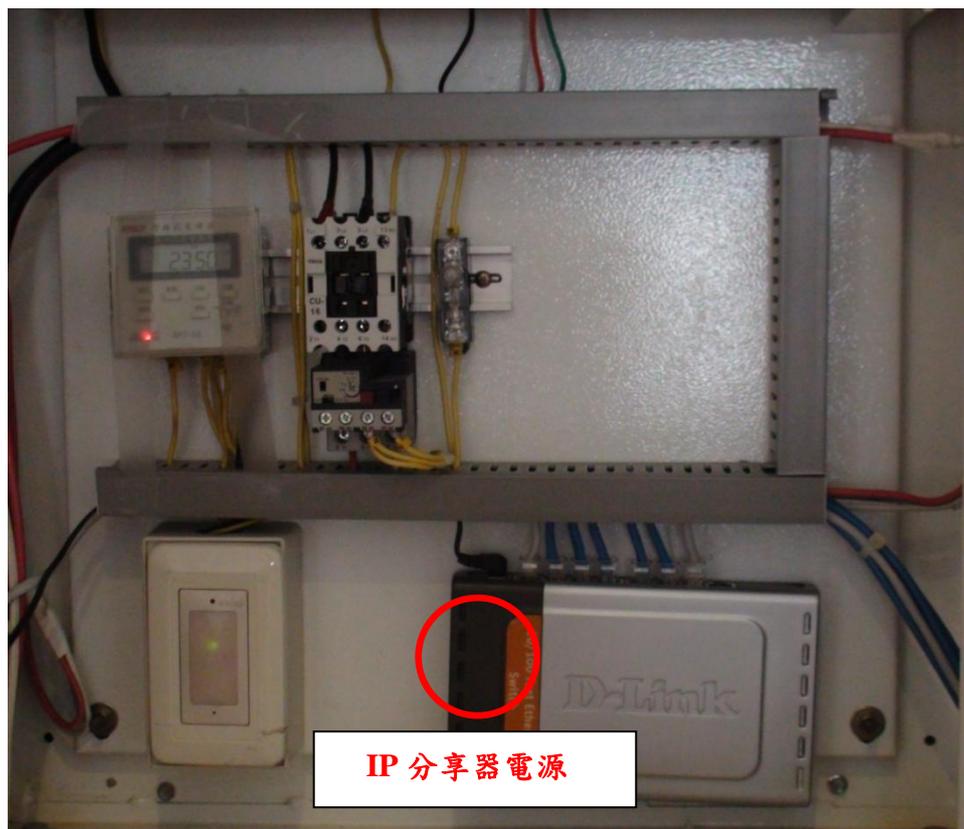
原本地中管電錶連接的電盤只有兩個 CT 在感測，必須要有三個 CT 才能測量到準確的電壓電流值。監測到的值包含：室內空調冷氣、地中管風扇、地中管壓縮機。



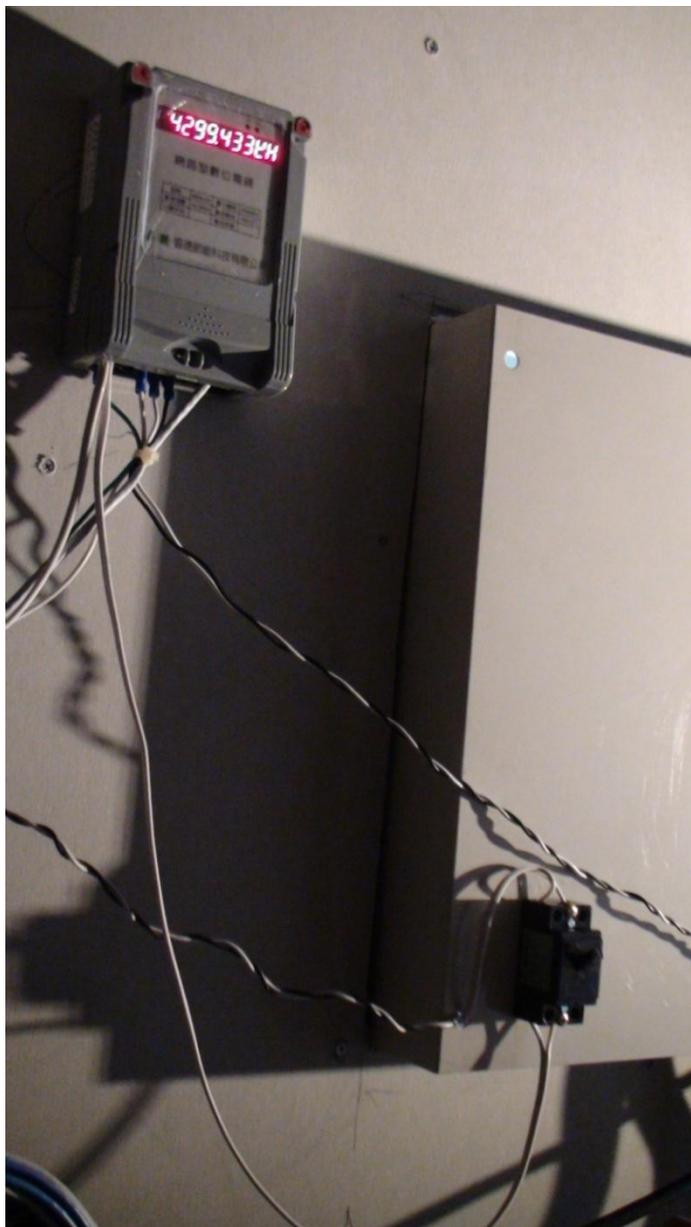
斷路器：可直接斷掉四個電錶(太陽能、LED、地中管、AC)的工作電壓，停止電錶的功能如：燈號顯示、資料記錄…等，但不影響量測電壓設備的運作。量測電壓是由總電源開關所控制，一旦關閉的話，EAG House 整棟的電力將會斷掉。

※如果遇到電錶顯示數據有問題時，可以試著關閉斷路器電源，讓電錶斷電再重新啟動，來排除電錶本身所發生的錯誤。

上述方法若還是無法使電錶正常使用的話，再試著把 IP 分享器的電源關掉讓網路重啟，排除掉網路傳輸的問題。若還是沒辦法正常使用的話，就只好關閉總電源，讓所有設備的電源全部關閉，再重啟。



二樓太陽能電錶也一併裝設斷路器，裝置在二樓走道間電錶右下角處。
此斷路器直接斷開二樓兩個電錶的工作電壓。



附錄四 印尼學者參訪

參訪時間:2011年7月28日(星期四)下午:13:00

參訪地點:易構住宅

出席人員:印尼學者 Jooned Hendrarsakti, Ph.D of Department of Mechanical Engineering, Bandung Institute of Technology, Indonesia、國立台灣科技大學機械系林怡均教授、其它相關人員



印尼學者蒞臨參訪



導覽人員於易構住宅客廳做介紹



印尼學者參觀於一樓餐廳



印尼學者聆聽一樓餐廳介紹



印尼學者於一樓餐廳進行意見交換



印尼學者聆聽屋頂太陽煙囪風扇介紹

易構住宅室內環境性能之驗證研究

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三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：林怡均、鄭明淵

出版年月：100 年 12 月

版次：第一版

ISBN：978-986-03-0672-9