秀傳醫療社團法人秀傳紀念醫院

醫療大樓長時間連續監測結果

暨室內換氣量需求評估與改善建議報告

主辦單位：彰化縣環境保護局

執行單位：社團法人中華民國工業安全衛生協會

中華民國 104 年 11 月　印製

壹、前言

自室內空氣品質管理法公告以來，醫療機構之室內空氣品質相較於其他類型場所備受重視，出入醫療場所者多半為醫護人員及病患，若室內空氣品質不佳可能導致醫療品質降低或病情加劇，而秀傳醫療社團法人秀傳紀念醫院為彰化地區較具歷史與規模之區域醫院，與同樣位於彰化市中心的彰化基督教醫院共同維繫北彰化地區的醫療供給，每日出入之看診人數居高不下，彰化縣環境保護局於近三年針對該院進行室內空氣品質巡檢工作，測定之結果皆有二氧化碳濃度較高之情形，顯示場所空調換氣量已不足以負荷場所之人數，故本次室內換氣量評估地點即挑選秀傳醫療社團法人秀傳紀念醫院之醫療大樓，評估方法包含透過長時間連續監測及各區域污染物逐時檢測了解場所內污染物之濃度及變化情形，並蒐集場所之空調設備特性進行換氣量需求評估，最後針對評估結果給予相對應之改善建議，詳細內容見本報告後續章節。

貳、監測方法與結果

一、監測儀器

本次長時間連續監測使用儀器為紐西蘭廠商 aeroQUAL 型號 Series 500 IAQ Survey 多功能室內空氣品質氣體偵測器，搭配可偵測二氧化碳、一氧化碳的感測器，偵測器外觀如圖 1，另該主機及感測器功能規格說明如表 1：

圖 1　aeroQUAL series 500 搭配感測器 MS1

(一) 主機功能及規格

表 1　aeroQUAL series 500 多功能室內空氣品質氣體偵測器規格

項目名稱	規格說明
溫度感應器偵測範圍	-40~124℃
濕度感應器偵測範圍	0~100% RH
資料儲存功能	可記憶約 8000 筆數據
統計功能	最小值、最大值及平均值
操作溫度範圍	-10~45℃
相對濕度範圍	0~95% RH

(二) 感測器規格

本次使用感測器為 MS1 感測器詳細規格如表 2，其中 CO2 偵測原理與行政院環境保護署公告認可之室內二氧化碳採樣方法相同，皆為非分散性紅外線法(NDIR,Non-dispersive Infrared)，且該儀器已於 103 年 3 月 31 日完成出廠校正,校正記錄包含零點校正及全幅校正(如附件一)，故選用此儀器進行本次長時間監測工作。

表 2　MS1 感測器規格

感測器編號	偵測氣體種類	偵測原理	最小偵測極限 (ppm)	範圍 (ppm)	解析度 (ppm)	精度	反應時間 (sec)
MS1	CO_2	NDIR	10	0-2000	1	<± 10ppm + 5%	60
	CO	GSE	0.2	0-100	0.1	<±10%	30

二、各區域逐時檢測

為了解醫療大樓內公共空間之室內空氣品質變化狀況，工作團隊將秀傳醫院醫療大樓之一、二樓，依照空間配置劃分為 15 個測定區域，並於 104 年 8 月 7 日自上午 7 時起至下午 5 時止，以 **aeroQUAL series 500** 偵測儀每一個小時進行各區檢測，詳細之測定結果紀錄彙整(如附件二)。

從本次逐時檢測結果可發現，場所之溫度、濕度及一氧化碳濃度變化不大且皆未超過法定濃度標準，惟二氧化碳超過法令濃度。自上午 9 時起，醫療大樓一樓各區域及二樓部分區域之二氧化碳濃度即超過 1,000 ppm，其中一樓濃度最高的位置為急診病房區，濃度最高之時間為上午 10 時，瞬間平均濃度達到 1,560ppm，當日測定平均濃度為 1,194ppm；而二樓濃度最高的位置為心臟科候診區，濃度最高之時間為上午 9 時，瞬間平均濃度達到 1,335ppm，當日測定平均濃度為 1,050ppm，詳細之濃度變化如圖 2、圖 3 所示。

根據工作團隊執行現場調查所蒐集之資料指出，104 年 8 月 7 日當日之總看診人數約 2,300 人，且各量測區域之瞬時人數皆以上午時段較多，故大部分區域二氧化碳濃度皆以早上時段較高，造成此現象應與看診民眾多集中於上午且院內換氣量不足，導致由看診民眾持續產生之二氧化碳因無法有效排出室內空間而累積於室內，故建議於上

午看診時段加強外氣供給量。

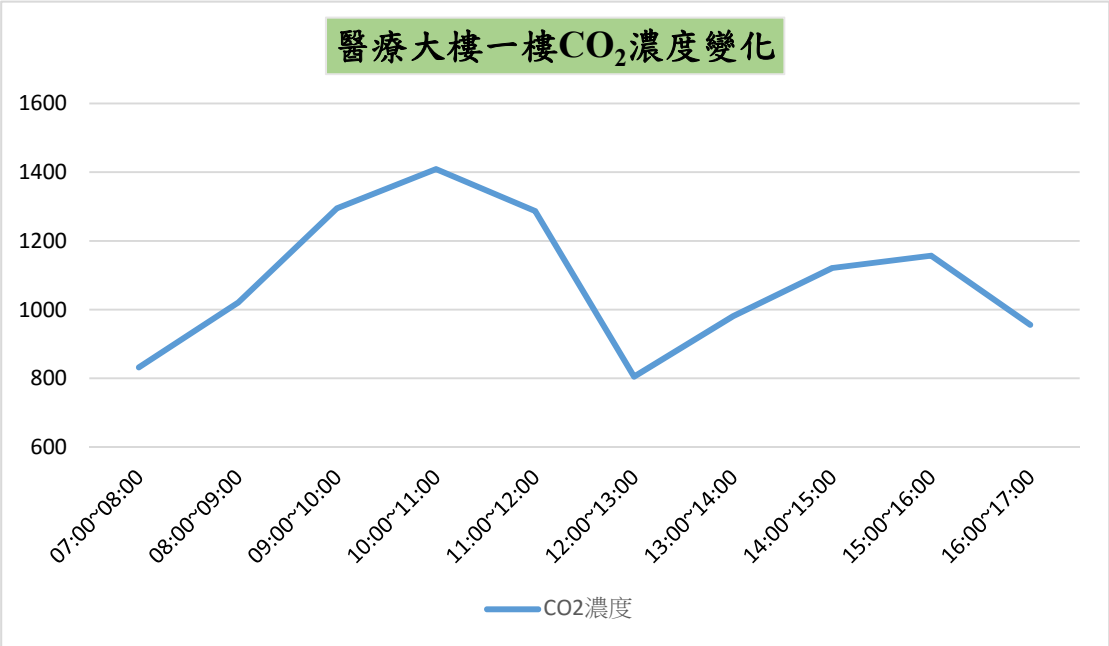

圖 2　醫療大樓一樓 CO_2 濃度變化圖

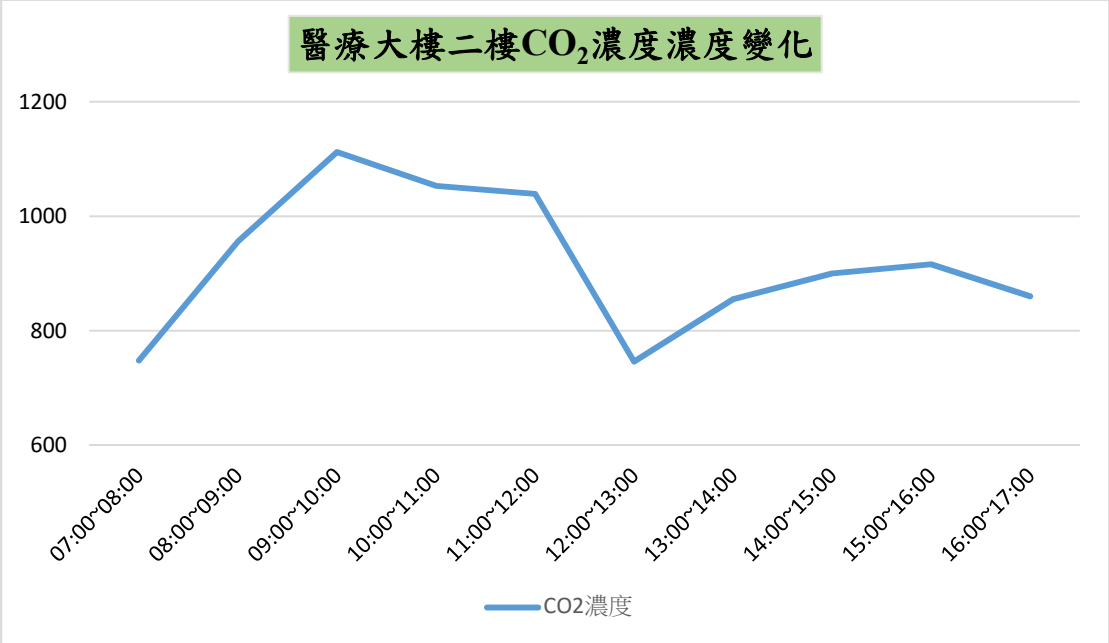

圖 3　醫療大樓二樓 CO_2 濃度變化圖

三、長時間連續監測

除進行場所內各區域之逐時測定外，為更加了解場所室內之二氧化碳濃度變化趨勢，遂進行連續三天之長時監監測工作，由逐時測定結果可看出醫療大樓一樓大部分區域之二氧化碳平均濃度皆大於二樓，但醫療大樓一樓各區域包含急診動線且人員走動頻繁，不便長時間擺放監測儀器，故本次監測位置挑選逐時測定結果中醫療大樓二樓濃度最高之心臟科候診區外走廊，監測日期自 104 年 8 月 12 日至 8 月 14 日連續三日不間斷，監測方法為透過將偵測儀 **aeroQUAL series 500** 連接電腦(如圖 4)，但為確保測定儀器及過程之穩定性及安全性，於監測過程中將儀器置於可上鎖之鐵櫃內，並僅將氣體測定管由鐵櫃之孔隙拉出以利監測(如圖 5)。

圖 4　長時間連續監測示意圖

圖 5　長時間連續監測現場圖

監測儀器記錄方式設定為 **aeroQUAL series 500** 最短之記錄間隔每一分鐘記錄一筆數據，而測定數據之彙整與分析方法為將儀器之即時偵測結果透過原廠紀錄軟體匯出成為 Excel 檔(如附件三)，由於本次連續監測結果仍以二氧化碳之測定值變化較大，其餘監測項目包含一氧化碳、溫度及溼度等之數據變化皆較穩定，故僅針對二氧化碳濃度之變化進行分析，並同時將數據以折線圖方式呈現以利分析，分析內容如下：

(一)每日二氧化碳濃度變化：

由圖 6 可看出 8 月 12 日之各小時平均二氧化碳濃度變化，該日上午時段之二氧化碳濃度值明顯高於其他時段，根據現場調查該日看診人數約為 2,548 人，推斷大部分民眾之看診時間皆於上午 8 時至 10 時之間，導致上午時段之二氧化碳濃度快速爬升至 1,300ppm 以上，於上午 11 時候逐漸下降，至下午及夜間門診時段之測定平均濃度皆低於 1,000ppm，並於夜間看診時段結束後下降至 800ppm 以下；而該日看診時段上午 8 時至晚上 9 時之平均濃度值為 974.3 ppm。

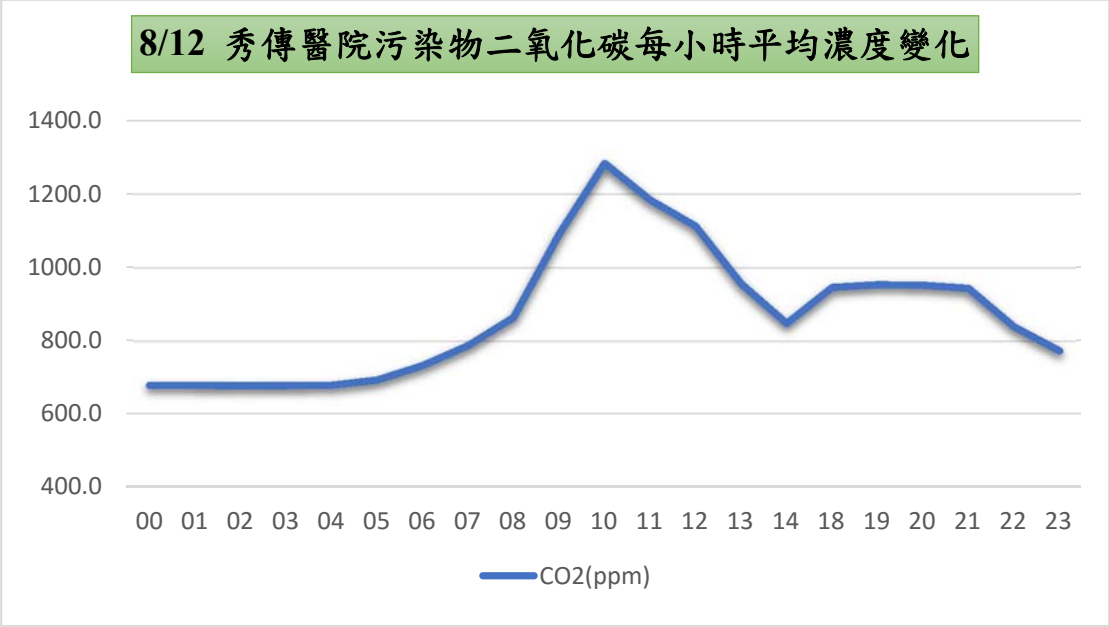

圖 6　8 月 12 日監測二氧化碳濃度變化圖

由圖 7 可看出 8 月 13 日之各小時平均二氧化碳濃度變化，該日之二氧化碳濃度同樣為上午時段高於其他時段，但最大濃度未超過 1,200ppm，調查當日看診人數約為 2,264 人左右，但中午休息時段之濃度並未下降至 1,000ppm 以下，且於下午看診時段又有略為升高之情形，此現象應為當日看診人數較平均分散於白天時段，且以早上時段之看診民眾佔較多數所致；而至晚間看診時段二氧化碳濃度逐漸下降至 900ppm 左右，至晚間 9 時結束夜間看診過後才逐漸下降至 700ppm 以下；而該日看診時段上午 8 時至晚上 9 時之平均濃度值為 1014.3 ppm。

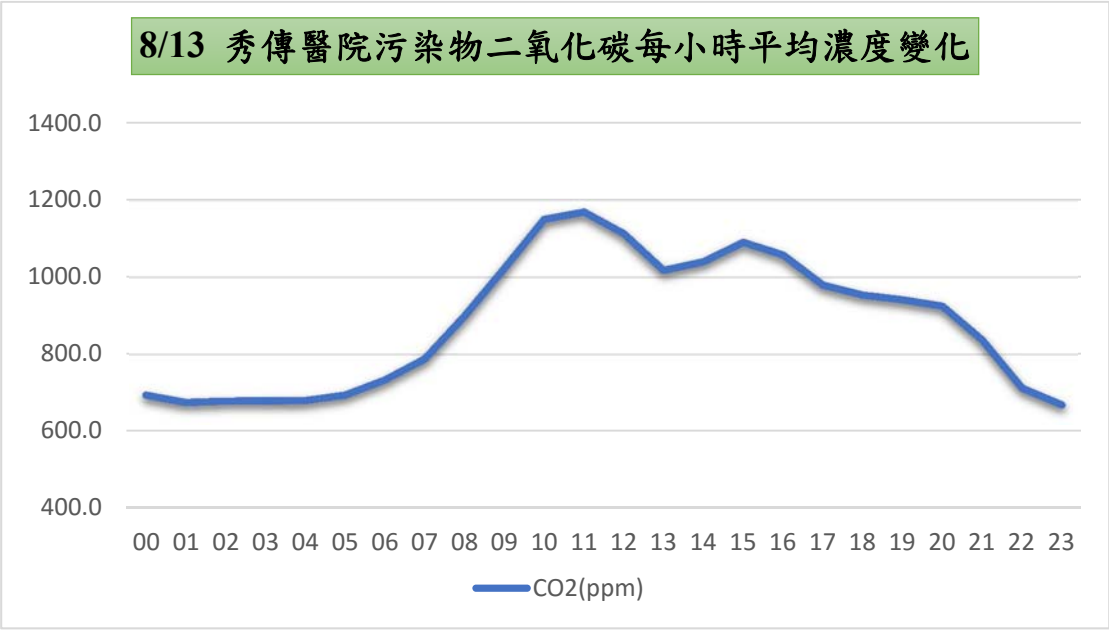

圖 7　8 月 13 日監測二氧化碳濃度變化圖

由圖 8 可看出 8 月 14 日之各小時平均二氧化碳濃度變化，該日之二氧化碳濃度與前兩日同樣皆為上午時段高於其他時段，由圖形變化趨勢來看，該日之間測結果與 8 月 12 日較接近，但各休診時段之濃度下降情形較為明顯，且最大濃度未超過 1,200ppm，調查當日看診人數約為 2,036 人左右，推斷大部分民眾之看診時間與監測首日同樣集中於上午 8 時至 10 時之間，至下午及夜間門診時段之測定平均濃度皆低於 1,000ppm，最後於夜間看診時段結束後逐漸下降至 700 ppm 以下；而該日看診時段上午 8 時至晚上 9 時之平均濃度值為 922.7 ppm。

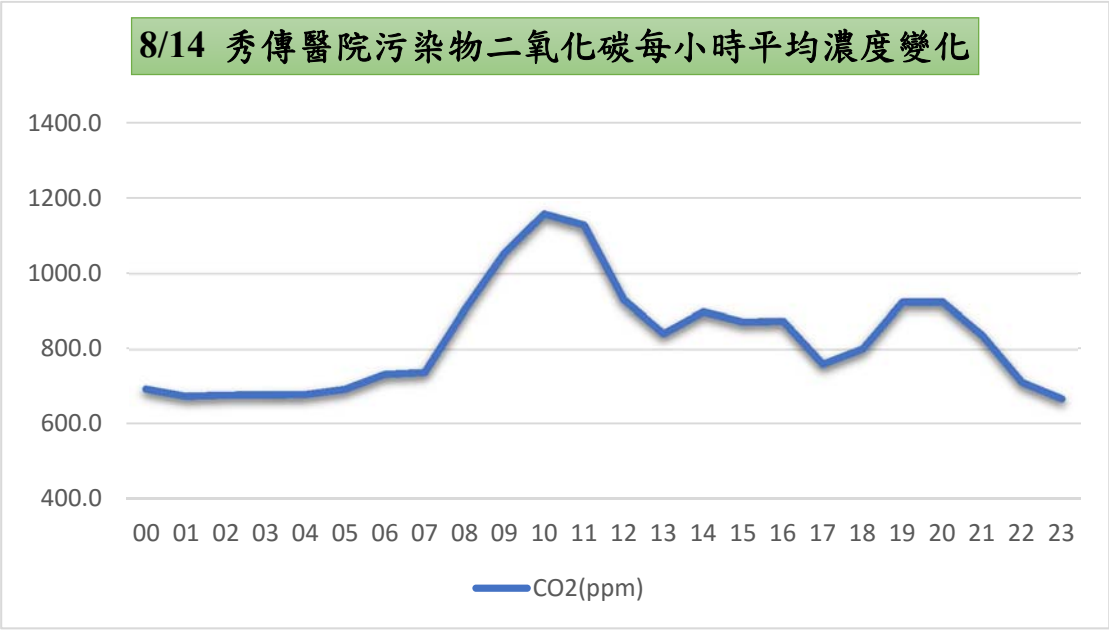

圖 8　8 月 14 日監測二氧化碳濃度變化圖

(二)場所連續監測 3 日之二氧化碳濃度變化：

由圖 9 可看出本次連續三日監測之二氧化碳濃度變化情形，此次監測每日之二氧化碳濃度皆自上午 6 時上班時段起開始持續上升，至看診時段後逐漸上升超過 1,000ppm，於中午休息時段稍有下降，隨後又於下午或晚間看診時段回升至 1,000ppm，最後於晚間 10 時結束看診後逐漸下降至穩定濃度持續至隔日，本次連續監測整體濃度變化趨勢與 8 月 7 日之逐時測定結果大致上相符，由此結果可更加確定秀傳醫院醫療大樓每日之大部分看診人數皆集中於上午 8 時至 12 時之間，並可以 8 月 7 日之逐時測定結果進行換氣量之計算。

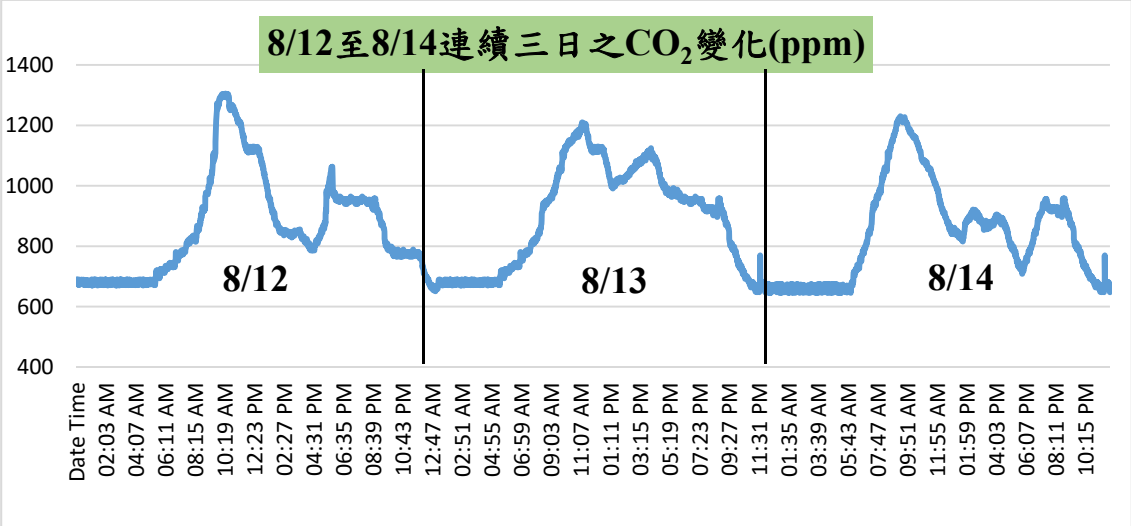

圖 9　長時間連續監測二氧化碳濃度變化圖

四、以標準檢測方法進行比對

為確保以此二氧化碳巡檢儀器測定之結果具有代表性，於本次換氣量評估工作中亦委託台灣檢驗科技股份有限公司於 104 年 8 月 6 日依室內空氣品質法相關規定執行稽查檢測，測定時間為 8 月 6 日上午 10 時至下午 6 時連續 8 小時，測定地點同樣為醫療大樓二樓之心臟科候診區外走廊，稽查檢測之現場照片詳見圖 10。

圖 10　稽查檢測現場圖

本次稽查檢測雖未自上午 8 時開放看診即開始測定，但從測定結果之二氧化碳濃度變化仍可看出，上午時段之濃度明顯大於下午時段，且上午時段之平均濃度皆超過 1,000 ppm，本次稽查檢測之二氧化碳濃度值彙整如表 3，而二氧化碳濃度變化趨勢詳見圖 11。

表 3　稽查檢測結果二氧化碳濃度彙整表

量測時間	實際濃度(ppm)
10:00~11:00	1160
11:00~12:00	1049
12:00~13:00	846
13:00~14:00	765
14:00~15:00	885
15:00~16:00	868
16:00~17:00	858
17:00~18:00	762

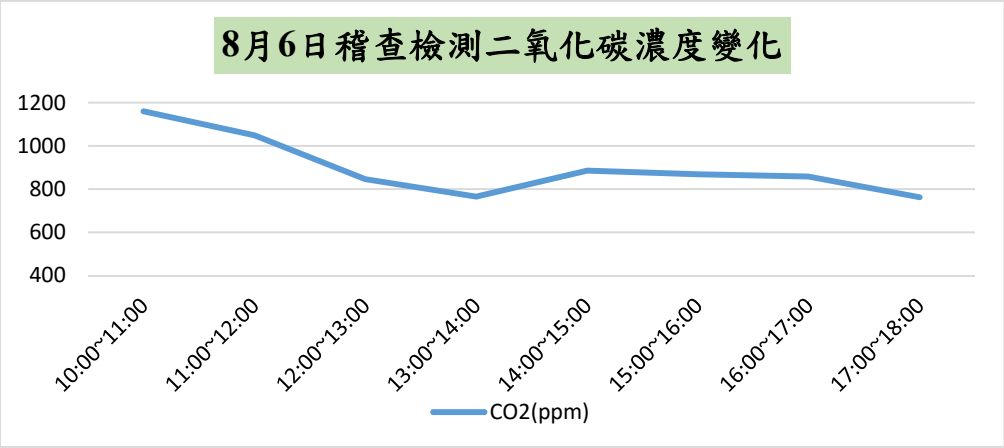

圖 11　稽查檢測結果二氧化碳濃度變化圖

根據本次評估工作執行的各種監測可得知，秀傳醫院醫療大樓之二氧化碳濃度較有變化之時段多為看診時段，非看診時段之濃度值皆趨近平穩，故挑選本次監測工作中以逐時測定所得到之結果進行後續換氣量計算與改善建議。

另外，於本次評估工作中可發現，不論透過行政院環境保護署公

告之標準檢測方法或以巡檢儀器進行測定，所得到的二氧化碳變化趨勢大致相近，因此可建議未來場所如欲瞭解室內二氧化碳濃度變化趨勢，可考慮購置具連續監測功能之巡檢儀器，以降低評估工作成本。

參、場所理論換氣量計算與改善建議

根據基礎通風理論，場所室內所需之通風量與污染物之濃度以及產生率有關，假設室內空間之 CO_2 濃度成均勻分布，依據均勻混合模式（well-mixing model）室內有害物的濃度變化可以下列公式呈現：

$$V\frac{dC}{dt} = QC_0 - QC_1 + G$$

$$C_1 = C_0 + \frac{G}{Q}$$

$$Q = \frac{G}{C_1 - C_0}$$

其中 C_0 為場所戶外之 CO_2 平均濃度、C_1 為場所理想之 CO_2 濃度值、Q 為場所之外氣供給量、G 為室內之 CO_2 產生率、V 為場所室內體積、dC/dt 為污染物濃度變化率，最後導出之公式如下：

$$Q(\frac{m^3}{min}) = \frac{G\left(\frac{m^3}{min}\right) * 10^6}{C_1\ (ppm) - C_0(ppm)}$$

醫療機構室內二氧化碳主要產生來源即為看診民眾及醫護人員，根據本次現場調查秀傳醫院醫療大樓一、二樓共有約 300 名工作人員，假設各樓層於看診時段各有 150 名醫護及工作人員，並將 8 月 7 日醫療大樓一、二樓逐時量測之二氧化碳濃度與人數進行彙整，結果如表 4 及表 5 所示。

表 4　醫療大樓一樓量測濃度與人數彙整表

量測時間	實際濃度(ppm)	醫護人員與看診民眾人數
07:00~08:00	832	39+150
08:00~09:00	1020	112+150
09:00~10:00	1295	160+150
10:00~11:00	1409	136+150
11:00~12:00	1287	117+150
12:00~13:00	805	72+150
13:00~14:00	981	60+150
14:00~15:00	1121	72+150
15:00~16:00	1157	79+150
16:00~17:00	956	58+150

表 5　醫療大樓二樓量測濃度與人數彙整表

量測時間	實際濃度(ppm)	醫護人員與看診民眾人數
07:00~08:00	748	12+150
08:00~09:00	956	62+150
09:00~10:00	1112	92+150
10:00~11:00	1053	89+150
11:00~12:00	1039	55+150
12:00~13:00	746	18+150
13:00~14:00	855	71+150
14:00~15:00	900	76+150
15:00~16:00	916	62+150
16:00~17:00	860	19+150

將各樓層之人數與二氧化碳量測濃度進行相關性比較(如圖 12 及 13 所示),透過 XY 分布圖進行線性比較,可看出本次於醫療大樓一、二樓所測得之人數與二氧化碳濃度大致相關,根據此結果可推斷,二氧化碳之產生率 G 應與場所內之人數有關。

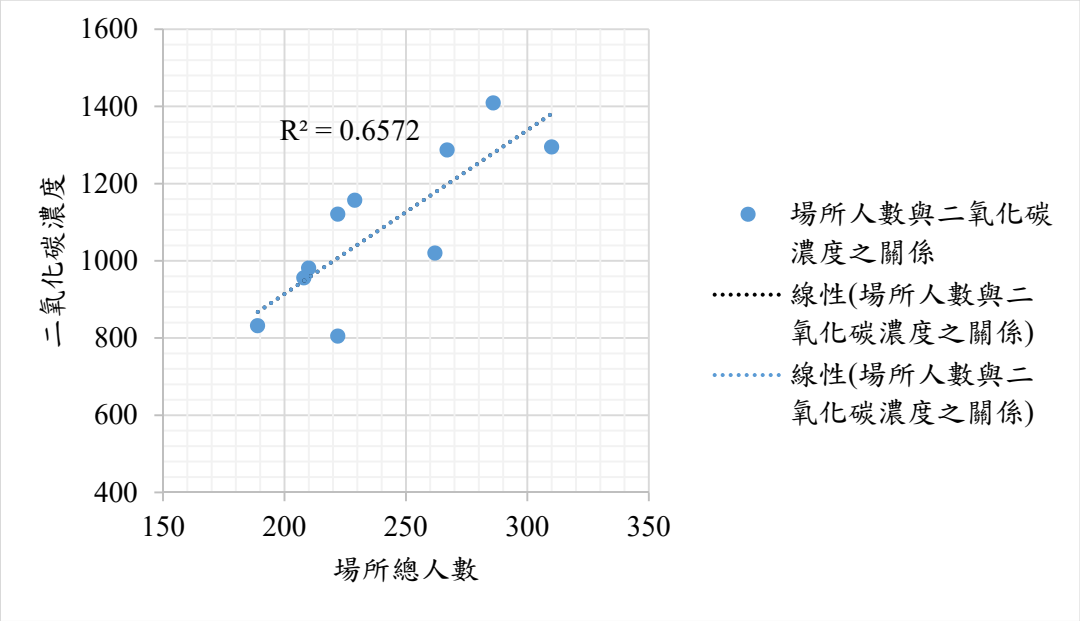

圖 12　醫療大樓一樓人數與二氧化碳濃度之關係

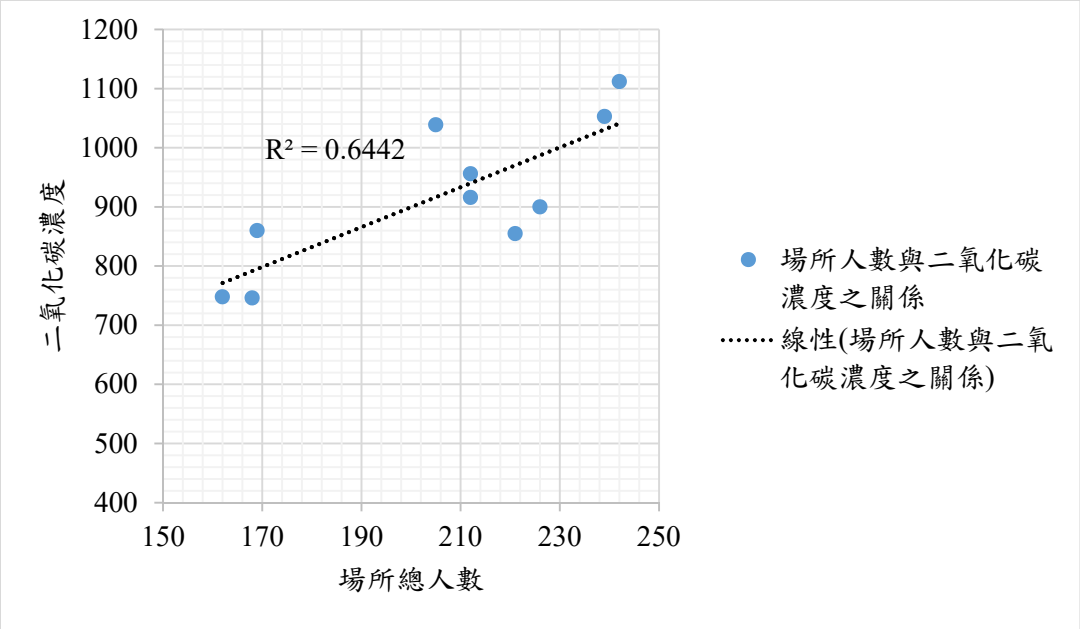

圖 13　醫療大樓二樓人數與二氧化碳濃度之關係

在得知場所之二氧化碳發生率與人數有關後，即可進行場所內所需換氣量之計算，根據美國冷凍空調協會(ASHRAE)所制定之規範，成人於辦公場所每分鐘產生之二氧化碳濃度為每分鐘 200mL，相當於 0.0002 m^3/min，假設場所每個人的二氧化碳產生率相同，可將前段所推導出之理論換氣量計算公式轉換如下：

$$Q(\frac{m^3}{min}) = \frac{人數 \times 0.0002\left(\frac{m^3}{min \times 人}\right) * 10^6}{C_1\ (ppm) - C_0 (ppm)}$$

依本次逐時測定結果，上午 7 時至下午 5 時之外氣二氧化碳平均濃度 C_0 為 607 ppm，若假設場所理想之 CO_2 濃度值 C_1 為 1,000 ppm，以上述公式計算出機療大樓醫、二樓各時段之理論換氣量彙整如表 6 及表 7 所示。

表 6　醫療大樓一樓理論換氣量計算表

量測時間	實際濃度 (ppm)	現場總人數	推算後所需換氣量(m^3/min) $Q_{理論} = \frac{人數 \times 0.0002 \times 10^6}{C_1 - C_0}$
07:00~08:00	832	189	96.2
08:00~09:00	1020	262	133.3
09:00~10:00	1295	310	157.8
10:00~11:00	1409	286	145.5
11:00~12:00	1287	267	135.9
12:00~13:00	805	222	113.0
13:00~14:00	981	210	106.9

量測時間	實際濃度 (ppm)	現場總人數	推算後所需換氣量(m^3/min) $Q_{理論}=\frac{人數\times0.0002\times10^6}{C_1-C_0}$
14:00~15:00	1121	222	113.0
15:00~16:00	1157	229	116.5
16:00~17:00	956	208	105.9

註：深色欄位為理論換氣量大於空調箱送風量之時段

表 7　醫療大樓二樓理論換氣量計算表

量測時間	實際濃度 (ppm)	現場總人數	推算後所需換氣量(m^3/min) $Q_{理論}=\frac{人數\times0.0002\times10^6}{C_1-C_0}$
07:00~08:00	748	162	82.4
08:00~09:00	956	212	107.9
09:00~10:00	1112	242	123.2
10:00~11:00	1053	239	121.6
11:00~12:00	1039	205	104.3
12:00~13:00	746	168	85.5
13:00~14:00	855	221	112.5
14:00~15:00	900	226	115.0
15:00~16:00	916	212	107.9
16:00~17:00	860	169	86.0

註：深色欄位為理論換氣量大於空調箱送風量之時段

依本次現場調查結果，目前秀傳醫院醫療大樓 1 樓及 2 樓各配有一座最大送風量為 3380 CFM(相當約 96 m^3/min)之預冷型空調箱，即每分鐘可負荷 188 人所產生之二氧化碳，假設各樓層空調箱引入之外氣平均送入場所各區域、且每日看診時段之常態人數及變化與本次量

測結果大致相同，根據表 5 及表 6 之計算結果，醫療大樓一樓自上午 8 時過後所需之換氣量即超過原有空調箱之送風量；二樓則為上午 8 時至 12 時與下午 1 時至 4 時等時段所需之換氣量超過原有空調箱之送風量，在不增加空調設備的前提下，建議可優進行門診時間之調整或自看診人數進行控管。

若須採取增加空調設備執行改善，根據各時段換氣量需求之計算結果，一樓最大之理論外氣需求量約為 158 CMM，在假設各空調系統皆能平均將外氣送至場所各區域的前提下，建議可加裝一座 60 CMM 之變頻式空調箱，搭配原有之 96 CMM 空調箱使用；至於二樓部分則同樣建議加裝一座 40 至 60 CMM 之變頻式空調箱，搭配原有之 96 CMM 空調箱使用。並建議加裝二氧化碳自動監控設備搭配新增設之變頻空調箱使用，視場所二氧化碳濃度調整變頻空調箱之風量。

肆、結論與建議

目前國內之醫療機構大多使用具有外氣引入功能之預冷型空調箱作為場所主要新鮮空氣供給來源，隨著冷凍空調技術的進步，市面上已有許多效能卓越的空調設備，透過各種室內空氣品質測定方式進行場所換氣量需求評估，單以此種評估方式來進行室內空氣品質改善，挑選外氣量越高的空調設備越能達到改善效果。

但隨著節能減碳的觀念日漸抬頭，為避免持續開啟外氣空調箱造成能源浪費，可透過管理措施進行時段性開啟外氣空調設備，或安裝變頻裝置視情況調整空調負載量；甚至可裝設室內空氣品質自動監測設備持續監控場所內二氧化碳濃度，配合自動控制系統調整外氣空調箱之效能，減少不必要之能源消耗並同時達到室內空氣品質改善，雖然執行各項設備改善皆需耗費成本，但透過適當管理及操作可降低能源成本之耗損，進而達到場所永續經營之成效。