

綜論

法規換氣率要求下二氧化碳累積情形探討

陳春萬 吳至涵 杜宗明 陳俊璋

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

摘要

依據職業安全衛生法要求，事業單位必須提供勞工足夠之新鮮空氣。本研究模擬在此規定下二氧化碳累積情形，藉此評估工作場所新鮮空氣換氣量規定下二氧化碳濃度累積狀況，並探討應用二氧化碳監測數據進行新鮮空氣換氣量管理之可行性。研究透過程式模擬方式，假設均勻混合模式理論，計算不同換氣率、作業人數下二氧化碳累積情形，探討在法規新鮮空氣換氣量要求下二氧化碳濃度變化情形，並探討應用二氧化碳監測數據來管理工作場所換氣量要求。

模擬結果與實驗室暴露腔實際監測數據非常接近，此程式模擬了法規通風量要求下工作場所二氧化碳濃度變化情形，研究發現法規最基本要求下二氧化碳平衡濃度、4小時最高濃度、2小時平均濃度及4小時平均濃度均可能超過1,000ppm。換氣量及每小時空氣換氣率(Air Change Per Hour, ACH)都會影響工作場所二氧化碳累積情形，法規已將此二項因素納入考慮，只是依據模擬結果來看，若要達到室內空氣品質要求1,000ppm，應考慮增加空間或換氣量要求。另一方面，二氧化碳監測結果常被應用於通風換氣效果與室內空氣品質評估，因此應該一併考慮二氧化碳監測與通風換氣量評估此二項法規要求項目，建議透過例行性之二氧化碳監測數據來評估勞工作業環境實態，若是二氧化碳平均濃度低於1,000ppm，應該已符合法規對於通風換氣量之要求，若超過1,000ppm，事業單位應進一步釐清可能通風換氣狀況，並尋求解決方案。

關鍵字：二氧化碳、作業環境監測、新鮮空氣換氣率

民國 104 年 9 月 4 日投稿，民國 105 年 1 月 12 日修改，民國 105 年 3 月 2 日接受。
通訊作者：陳春萬，勞動部勞動及職業安全衛生研究所，22143 新北市汐止區橫科路407巷99號，
電子郵件信箱：wann@mail.ilosh.gov.tw。

前言

為預防有害物危害，職業衛生一般採取【認知→評估→控制】循環來思考，首先認知危害因子及其進入人體途徑，接著進行風險程度評估，最後依據現況尋求可行的控制與防護措施，並進行有效性評估。有效之控制與防護必須要有正確的認知與評估來支持，才能善用資源對症下藥，並提出適當的改善方案；若缺乏認知評估支持，控制與防護措施就可能失當。

職業安全衛生法要求雇主應在合理可行範圍內，採取必要之預防設備或措施，使勞工免於發生職業災害，也就是雇主應依據實際狀況及危害預防原則來採取必要之措施。除此之外，職業安全衛生法也依據過去職業災害之經驗與國際上相關規定，要求特定設備、作業或處置有害物等狀況，採取指導性規範，要求事業單位必須設置符合規定之必要安全衛生設備及措施[1]。

就有害物預防而言，法規有原則性之規範，要求採取通識措施、評估風險等級、採取分級管理措施及環境監測等，例如職業安全衛生法（以下簡稱職安法）第5及10-12條、危害性化學品評估及分級管理辦法[2]、危害性化學品標示及通識規則[3]等。職安法要求只要有特定作業或處置特定有害物就必須採取特定措施，例如職安法第6條、職業安全衛生設施規則[4]、有機溶劑中毒預防規則[5]等規定，常依據過去經驗設定，但限於法規條文，有時候無法清楚說明相關原則或學理，如依規定事業單位必須提供勞工足夠之新鮮空氣，初步可看出符合勞工人數多、工作場所空間小則需要較多新鮮空氣之原則。

提供新鮮空氣為整體換氣的主要功用之

一，目的在於避免有害物累積於工作場所，也就是透過氣流將有害物排出或將其稀釋。

因此國內外作業場所通風標準中都訂有最少通風量要求，如我國職業安全衛生設施規則即對作業場所通風量，依作業場所之氣積與人員數目有所規範，以期有害物濃度低於容許濃度標準。我國「職業安全衛生設施規則」第312條即規定勞工工作場所機械通風設備換氣標準如表1[4]：

表1 職業安全衛生設施規則對於工作場所機械通風設備換氣標準

工作場所每一勞工所佔立方公尺數	每分鐘每一勞工所需之新鮮空氣之立方公尺數
未滿 5.7	0.6 以上
5.7 以上未滿 14.2	0.4 以上
14.2 以上未滿 28.3	0.3 以上
28.3 以上	0.14 以上

若是事業單位要遵守此規定，應該提出數據來證明已採取適當措施提供足夠之新鮮空氣，可是實際量測工作場所新鮮空氣換氣量需要特定之技術，一般建議採用追蹤氣體方式進行[6]，因為外界空氣可透過建築物開口或細縫處滲漏進入室內或透過通風系統導入室內，滲漏部分量測技術較困難。而量測通風系統導入風量若是沒有迴風，設計較為單純，但室內空調一般狀況都是設計迴風，因此所提出之新鮮空氣換氣量之量測結果常常受到質疑而使事業單位及檢查機構感到相當困擾。過去採用追蹤氣體技術與進氣量量測所求得之換氣率差距為2-4倍[7,8]。若是能有一個指標來表示新鮮空氣換氣量，當指標低於特定數值時，表示工作場所換氣量足夠；若是無法達到此指標，事業單位才進一步評估新鮮空氣換氣量是否合法規要求。研究透過程式模擬方式，假設均勻混合模式理論，計算不同換氣率、作業人數下二

氧化碳累積情形，探討在法規新鮮空氣換氣量要求下二氧化碳濃度變化情形，並應用二氧化碳監測數據來管理工作場所換氣量之可行性。另外，亦模擬表1規定狀況下二氧化碳最高濃度、平衡濃度、平均濃度等狀況，探討可能之應用情形。

研究方法

本研究計算危害物濃度變化，乃利用質量平衡原理來計算。在特定空間內危害物累積率為危害物進入率加上危害物生成率並扣除危害物排出率得到之值。假設測試空間內氣體完全混合（假設為均勻混合，complete mixing），以質量守恆方程式(mass balance equation)可得公式1：

$$V \frac{dC}{dt} + QC - QC_{in} = G \dots\dots\dots (1)$$

- 其中 V：室內有效體積(m³)
- C：空間內危害物瞬時濃度
- C_{in}：進入空間之危害物濃度
- Q：換氣量(m³/s)
- G：危害物產生量(m³/s)
- t：時間(s)

當變化時間夠短，危害物濃度變化不大，假設達到最終平衡，也就是dC/dt=0，導得公式2可依此計算危害物濃度C：

$$C = C_{in} + \frac{G}{Q} \dots\dots\dots (2)$$

由公式2可知，欲將室內有害物濃度控制在一定的濃度C之下，整體換氣設備所提供的必要換氣量必須為公式3：

$$Q = \frac{G}{C - C_{in}} \dots\dots\dots (3)$$

要能將有害物排除到室外，根據均勻混合理論模式，自外界引進的新鮮空氣流量愈多，

有害物產生量就愈少；空間體積越大，有害物累積愈慢，平衡濃度也愈低。

表1為根據公式3，令G為每小時每人呼出之二氧化碳量、C為特定二氧化碳濃度上限（可能是1,000ppm）、C_{in}為新鮮空氣中之二氧化碳濃度計算而得。

研究透過程式進行電腦模擬，假設工作場所只有勞工會產生二氧化碳、均勻混合模式理論，計算不同換氣率、作業人數下二氧化碳變化情形。研究利用公式1進行二氧化碳濃度變化情形之模擬，假設一秒鐘內濃度變化不大，依據前一秒濃度加上因危害物產生而增加之濃度計算當時濃度，依序計算濃度變化情形。

過去為了瞭解CO₂長時間下累積情形，本所時利用CO₂鋼瓶產生CO₂並控制CO₂流量為131.6 ml/min及控制不同流量的空氣，通入長0.91公尺(m)，寬0.79m，高0.60m，體積0.431立方公尺(m³)大小的模擬實驗箱，進行長時間CO₂監測，透過連續監測數據了解環境因素對CO₂濃度之影響，實驗條件及監測結果如表2[7]。

表2 實驗條件與CO₂監測數據整理[7]

換氣代號	空氣流量 (m ³ /min)	二氧化碳 初始濃度(ppm)	二氧化碳 平衡濃度(ppm)
A30	33.5	475	4,525
A40	44.5	473	3,560
A50	54.5	467	2,970

本研究利用過去的監測數據來驗證模擬濃度變化趨勢是否與實驗數據符合。模擬時計算每秒之二氧化碳濃度，而實驗數據係每秒鐘一筆數據，因此將該分鐘內每筆數據平均當作是該分鐘之濃度，依此原則計算特定時間內二氧化碳濃度之變化。

研究為了模擬法規中對於新鮮空氣量之要求，必須假設工作場所勞工產生二氧化碳量，

Dougan and Damiano[6]提到一般人每人每分鐘產生二氧化碳量與作業型態有關，一般辦公作業約0.3公升、睡覺約0.2公升、靜坐約0.25公升、走動約0.55公升、輕度工作0.6公升、重度工作1.05公升，為確認此數據是否適用一般東方人，研究時將於一體適能測試腔內，使用量測儀器連續監測人員在午睡、研讀資料與每分鐘原地踏步（約105步）等三種狀況下測試腔內二氧化碳濃度變化情形。測試腔內體積7.69立方公尺，腔內利用電風扇協助混合腔內氣體，測試儀器及方法參考陳等人之研究[7]，利用二氧化碳自然下降趨勢及追蹤氣體公式計算[8]換氣率為每小時 0.017 ± 0.003 次，受測人員為一人，性別為男性50歲中等身材，且每種狀況各進行8重複性測試，求得每分鐘二氧化碳產生量，午睡時 0.24 ± 0.003 公升、研讀資料時 0.28 ± 0.005 公升、每分鐘原地踏步（約105步）時 0.70 ± 0.03 公升。研究數據基本上與Dougan and Damiano所提數據類似，午睡時較接近靜坐，原地踏步比輕工作負荷還大。一般工作場所若處置有機溶劑或鉛粉塵等有害物質時，若採用整體換氣當作控制措施，換氣率高於表1規定[9,10]。表1適用範圍為不含特殊有害物質之工作場所，一般會是辦公區域，因此模擬每人每分鐘二氧化碳產生量參數將參考Dougan and Damiano所提每分鐘0.3公升進行設定。

結果與討論

1. 模擬結果與實驗數據比較

依據表2條件模擬結果如圖1，模擬結果趨勢與實驗相同，只是最後平衡濃度低於實際量測數據，二者數據整理於表3。因模擬依據公式1計算，最後平衡濃度也如公式2計算所得，表3中模擬平衡濃度確實如公式2計算所得，模

擬結果非常接近實驗結果，實驗與模擬平衡濃度比值約1.03至1.04，也就是有3-4%之誤差，推測該誤差應是模擬時假設完全均勻混合而實驗並未完全混合所產生。

表3 實驗與模擬結果比較

換氣代號	空氣流量 (m ³ /min)	二氧化碳濃度(ppm)			
		實驗初始	實驗平衡	模擬平衡	平衡濃度比值 (實驗/模擬)
A30	33.5	475	4,525	4,386	1.032
A40	44.5	473	3,560	3,428	1.039
A50	54.5	467	2,970	2,881	1.031

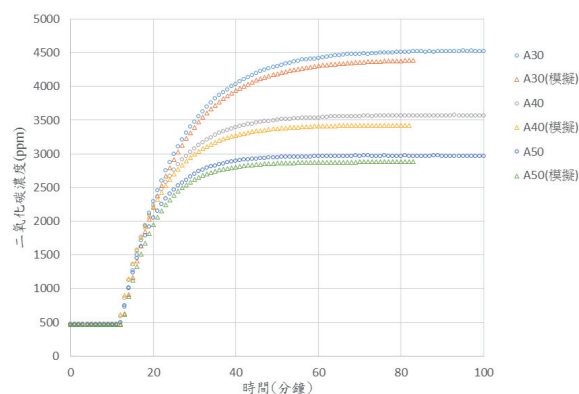


圖1 模擬實驗箱二氧化碳濃度變化實際測試與電腦模擬圖

2. 模擬法規上通風換氣要求

依據模擬程式對於法規之規定進行模擬，模擬條件剛好符合表1之規定，模擬條件設定如表4。條件a1每人空間低於5.7立方公尺，模擬時取3立方公尺並未達規定下限。模擬時設定外界二氧化碳濃度為400ppm，依據公式2可計算最終平衡濃度整理於表4，分別增加500、750、1,000、2,143ppm，而模擬二氧化碳隨時間變化情形如圖2（只表示半天工作4小時），條件a1與a2很快就達到平衡，條件a3也幾乎平衡，但條件a4仍在上升，與每小時換氣量越高愈快達到平衡現象符合。假設達到最終平衡濃

度99%時為平衡狀態，所需時間整理於表4，條件a1約24分鐘，條件a4須要929分鐘才達到平衡，一般工作時間8小時來看，條件a4一天工作後仍未達到平衡。

危害物暴露濃度管理一般設定為一段時間之平均濃度，因此模擬時計算2小時及4小時之平均濃度，結果整理於表4，條件a1及a2濃度上升很快，2小時平均濃度很接近4小時平均濃度，但條件a3及條件a4都仍在上升中，因此2小時平均濃度與4小時平均濃度與平衡濃度仍有相當程度上的差距。

此四種模擬條件下平均濃度似乎差距不大，若是工作場所連續工作2小時或4小時後休息一次，二氧化碳有機會因勞工離開而降低，那麼工作場所平均二氧化碳濃度預期可保持於特定濃度。當然若是設定目標為1,000ppm，條件a2-a4都無法符合設定目標[7,11]。

表4 法規基本換氣率要求之模擬條件與結果

模擬條件	參考法規之條件			模擬條件			模擬結果		
	工作場所每一勞工所佔立方公尺數	每分鐘每一勞工所需之新鮮空氣之立方公尺數	勞工所佔立方公尺數	新鮮空氣之立方公尺數	每小時換氣量	平衡濃度 ppm	達平衡狀態所需時間 分鐘	2小時平均濃度 ppm	4小時後平均濃度 ppm
條件a1	未滿 5.7	0.6 以上	3	0.6	12.0	900	24	879	890
條件a2	5.7 以上 未滿 14.2	0.4 以上	5.7	0.4	4.2	1,150	67	1,061	1,106
條件a3	14.2 以上 未滿 28.3	0.3 以上	14.2	0.3	1.3	1,400	217	1,037	1,205
條件a4	28.3 以上	0.14 以上	28.3	0.14	0.3	2,543	929	932	1,293

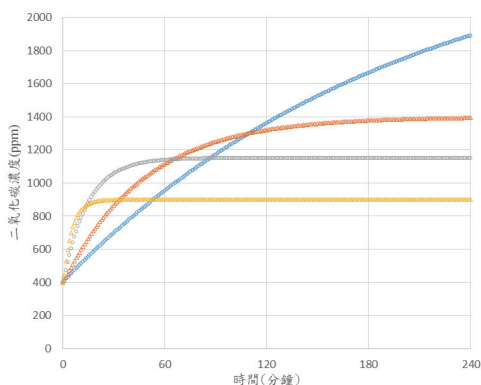


圖2 電腦模擬法規基本換氣率規範下二氧化碳濃度變化情形

表4模擬條件為最基本之要求，研究探討增加勞工所占空間及增加換氣量，只增加空間之模擬結果如圖3，模擬條件為勞工所占空間為最大時之二氧化碳濃度變化，模擬條件及結果如表5，其中每一勞工所占空間最大設定為60立方公尺，模擬結果符合公式2，勞工所占空間增加不會影響平衡濃度。圖3與圖2比較，增加空間延緩達到平衡之時間，雖然2.5小時後條件b2-b4二氧化碳濃度都會高於1,000 ppm，但就平均濃度來看，2小時平均4種條件皆仍不會超過，而4小時平均僅條件b3超過1,000ppm，條件b3約3.5小時後平均濃度才超過1,000ppm，若能依此進行環境管理，那麼空氣中二氧化碳應可維持在1000ppm以下。

表5 法規空間寬鬆要求下模擬條件與結果

模擬條件	參考法規之條件			模擬條件			模擬結果		
	工作場所每一勞工所佔立方公尺數	每分鐘每一勞工所需之新鮮空氣之立方公尺數	勞工所佔立方公尺數	新鮮空氣之立方公尺數	每小時換氣量	平衡濃度 ppm	達平衡狀態所需時間 分鐘	2小時平均濃度 ppm	4小時後平均濃度 ppm
條件b1	未滿 5.7	0.6 以上	5.7	0.6	6.3	900	45	842	861
條件b2	5.7 以上 未滿 14.2	0.4 以上	14.2	0.4	1.7	1,150	163	858	938
條件b3	14.2 以上 未滿 28.3	0.3 以上	28.3	0.3	0.6	1,400	428	839	1,041
條件b4	28.3 以上	0.14 以上	60	0.14	0.1	2,543	1,972	676	904

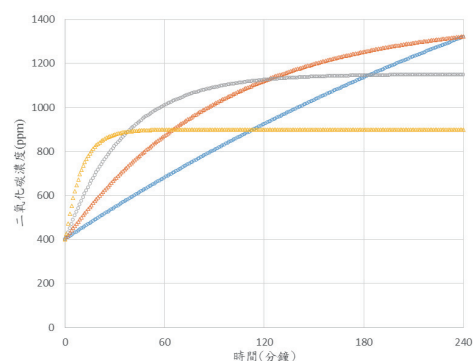


圖3 電腦模擬法規空間要求下二氧化碳濃度變化情形

若是將表4模擬條件增加一倍之通風量，模擬條件及結果如表6，趨勢如圖4，增加通風量可降低平衡濃度，也可加快達到平衡時間。雖模擬條件c1-c3二氧化碳累積不超過1,000 ppm，但是模擬條件c4則超過。

表6 法規加倍換氣量下之模擬條件與結果

模擬條件	參考法規之條件			模擬條件			模擬結果		
	工作場所每一勞工所佔立方公尺數	每分鐘每一勞工所需之新鮮空氣之立方公尺數	勞工所佔立方公尺數	新鮮空氣之立方公尺數	每小時換氣量	平衡濃度 ppm	達平衡狀態所需時間 分鐘	2小時平均濃度 ppm	4小時後平均濃度 ppm
條件c1	未滿 5.7	0.6 以上	3	1.2	24.0	650	12	642	645
條件c2	5.7 以上未滿 14.2	0.4 以上	5.7	0.8	8.4	775	34	742	753
條件c3	14.2 以上未滿 28.3	0.3 以上	14.2	0.6	2.5	900	109	802	851
條件c4	28.3 以上	0.14 以上	28.3	0.28	0.6	1,471	464	849	1,066

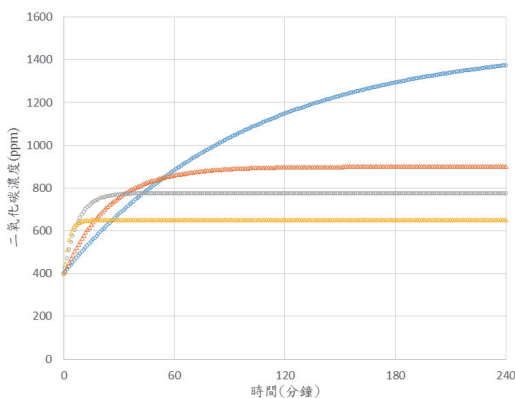


圖4 電腦模擬法規加倍換氣量下之二氧化碳濃度變化情形

3. 通風換氣規定之探討

(1) 通風換氣規定項目探討

常見的評估通風換氣效能的方法有換氣量(Q)及每小時換氣率(ACH)，換氣量為單位時間內進到空間內的換氣體積；每小時換氣率為每一小時空氣置換相當於空間容積大小的次數，在ACH中忽略每位勞工所佔的空間大小，依據公式2可知每人之新鮮空氣量才是影響平衡之關鍵，研究設定

ACH為2之狀況下，每人所佔空間分別為5、10、20、40下進行模擬，模擬條件及結果如表7，二氧化碳濃度變化趨勢如圖5。4種模擬條件ACH都相同，因此上升趨勢都類似，達到平衡時間都相同，不過因為新鮮空氣量不同，因此平衡濃度也不相同。

表7 每小時2次換氣量及每人所佔空間不同下模擬條件與結果（空間a）

模擬條件	模擬條件			模擬結果			
	勞工所佔立方公尺數	每分鐘需求新鮮空氣之立方公尺數	每小時換氣量 (ACH)	平衡濃度 ppm	達平衡狀態所需時間 分鐘	2小時平均濃度 ppm	4小時後平均濃度 ppm
空間5a	5	0.166667	2	2,200	136	1,603	1,776
空間10a	10	0.333333	2	1,300	136	1,001	1,088
空間20a	20	0.666667	2	850	136	743	796
空間40a	40	1.333333	2	625	136	572	598

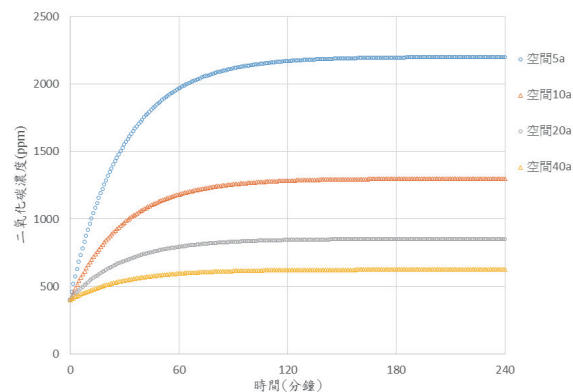


圖5 電腦模擬每小時2次換氣量及每人所佔空間不同下二氧化碳濃度變化情形（空間a）

對於室內空間需要多少換氣量，另外一種常見規定為每人所需新鮮空氣量，例如過去通風一般建議為避免室內人員體味互相影響，每人每分鐘需要15立方公尺的新鮮空氣（約每分鐘0.426立方公尺）[6]，依據公式2可知每人換氣量相同，平衡濃度也將相同，不過若是每人所佔空間增加，預期上升幅度會減緩。研究設定每人每分鐘換氣量為0.166667立方公尺（當每人空間為5立方公尺時，ACH=1），每人所

佔空間分別為5、10、20、40下進行模擬，模擬條件及結果如表8，二氧化碳濃度變化趨勢如圖6。模擬結果如預期，平衡濃度相同而達到平衡，時間會因空間增大而延後。採用ACH與換氣量來規範室內通風換氣需求，就模擬結果來看，規定都有所限制，可適用特定目的，若應用於其他目的應該適當檢討，例如一般室內場所都假設人員長時間停留，為求降低最後平衡濃度，應該增加換氣量，而為求能快速將有害物排除，應該增加ACH，工作場所內勞工工作一段時間後應有適當休息[12]，而且工作場所人員常有進出，二氧化碳為變動狀況，因此也要考慮平均濃度，法規已有考慮換氣量與ACH二項因素之類似規定。

表8 每小時2次換氣率及每人所佔空間不同下模擬條件與結果（空間b）

模擬條件	模擬條件			模擬結果			
	勞工所佔立方公尺數	每分鐘需求新鮮空氣之立方公尺數	每小時換氣量(ACH)	平衡濃度 ppm	達平衡狀態所需時間分鐘	2小時後平均濃度 ppm	4小時後平均濃度 ppm
空間5b	5	0.166667	2	2,200	136	1,603	1,776
空間10b	10	0.166667	1	2,200	274	1,231	1,437
空間20b	20	0.166667	0.5	2,200	550	1,069	1,427
空間40b	40	0.166667	0.25	2,200	1,104	787	1,066

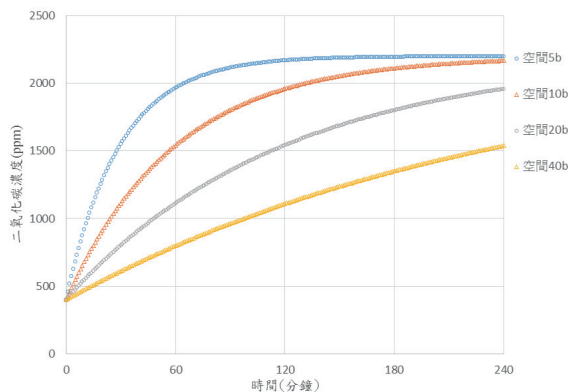


圖6 電腦模擬每小時2次換氣率及每人所佔空間不同下二氧化碳濃度變化情形（空間b）

(2) 通風換氣要求強度探討

法規已考慮換氣量與ACH二項因素，只是設定相關數值時，當時社會仍未形成室內空氣品質之共識[11]，因此就模擬結果來看，如表4最基本換氣量要求下，一般作業場所半天的工作時間內二氧化碳平均濃度都超過1,000ppm，因此若為符合現階段一般對於室內空氣品質之要求，法規設定應該適當調整，例如增加一倍空間（表5）或增加一倍換氣量（表6），由模擬結果來看仍有部分條件會超過1,000 ppm，但已較接近社會之期盼，不然調整時對於特定條件下可再加強。

當然通風換氣量規定並非只有表1之規定，若是參考建築技術規則102條有關機械通風設備之通風量規定[13]，辦公室每平方米樓地板面積須達每小時10立方公尺通風量，假設樓高2.5公尺，那麼ACH為4，而會議室則規定ACH為6，電影院等更高達30。雖然建築技術規則規定可能高估通風量需求，不過若事業單位能遵守該規定，也能符合職業安全衛生設施規則規定（設施規則另有規定經常性工作場所每位勞工最少需要10立方公尺空間，因此表1第一項規定應屬會議室等非例行性工作場所）。

(3) 應用二氧化碳監測管理勞工作業環境實態

事業單位依法規定期對於設有中央空調之室內作業場所應進行二氧化碳監測[14]，對於監測結果之應用除了常見之評估勞工暴露狀況外，也應考慮應用於掌握勞工作業環境實態，二氧化碳監測結果最常被應用於通風換氣效果與室內空氣品質評估[15]，若超過特定濃度，勞工作業環境實態可能就有問題，事業單位應再進一

步釐清可能解決方案。

二氧化碳監測相較於通風換氣測定與室內空氣品質評估技術門檻較為不高[7]，而且法規規定必須進行[14]，事業單位可擴大應用監測結果來管理勞工作業環境實態，特定濃度可參考一般認定之1,000ppm[11]。就模擬結果來看，若提供適當之通風換氣，工作場所二氧化碳平均濃度應該不會超過1,000ppm。另外一方面來看，若是二氧化碳平均濃度低於1,000ppm，代表例行性工作場所通風換氣應已符合法規之要求，當然對於勞工聚集之會議室等臨時性工作場所、法規要求較高，事業單位可設定更嚴格之要求（例如：900ppm），但以過去實際監測數據來看，類似會議室教室等場所反而是二氧化碳最常累積之場所[8]，應該特別注意類似場所之通風換氣管理。

當然模擬假設為均勻混合模式，實際工作場所通風換氣不可能如此，過去曾有研究使用二氧化碳衰減之追蹤氣體方式研究換氣率，實際量測換氣率與實驗室進排氣口位置、空間內部阻隔有關，在26.75立方公尺之中型模擬實驗空間內測試結果發現，換氣率越高、阻隔越大，混合效果越不好，在完全無阻擋下依據通風量計算之ACH為6，而透過追蹤氣體方式推估之ACH僅4.4，而通風量設計ACH為12時，追蹤氣體推估ACH僅6.3[16]，也就是因為混合因素造成換氣效果僅為設計之74%及53%。該研究也指出室內若有障礙物，那麼影響換氣效果更大。另一研究指出辦公大樓監測二氧化碳濃度大部分都低於1,000ppm，有效換氣率平均約為50.5%，範圍在35-65%之間[17]。可知模擬係理想

狀況，實際二氧化碳累積將更為嚴重，因此若是工作場所二氧化碳濃度低於1,000ppm，可預期換氣率應已超過模擬之條件，也就是符合法規之規定，實際工作場所仍可應用二氧化碳監測數據來管理勞工作業實態。

結論與建議

研究利用逐步計算之電腦程式模擬工作場所二氧化碳濃度變化情形與實際二氧化碳模擬實驗結果非常接近。依此程式模擬了法規通風量要求下工作場所二氧化碳濃度變化情形，研究發現法規最基本之要求下二氧化碳平衡濃度、4小時最高濃度、2小時平均濃度及4小時平均濃度均可能超過1,000ppm。工作場所勞工工作一段時間必須有適當休息，不該只關注最後二氧化碳平衡濃度。因此除了考慮換氣量外，ACH也會影響工作場所通風換氣效果，對此法規已考慮此二項因素。依據模擬結果來看，若要達到最近社會對於室內空氣品質之要求1,000ppm來看，可考慮增加空間及換氣量要求。

文獻上二氧化碳監測結果常被應用於通風換氣效果與室內空氣品質評估，實務上可一併考慮二氧化碳監測與通風換氣量評估二項法規要求項目，實際操作二氧化碳監測相較於通風換氣測定與室內空氣品質評估技術門檻較為不高，因此可透過例行性之二氧化碳監測數據來評估勞工作業環境實態。由於室內空氣品質法規定室內二氧化碳濃度不能超過1,000ppm，由於室內空氣品質法與民眾生活息息相關，所以給民眾既定印象就是二氧化碳濃度不能超過1,000ppm，好像超過1,000ppm就對人體有危害，就本研究模擬結果來看，若是二氧化碳平均濃度低於社會上一般認知之1,000ppm要求，

應該已符合法規對於通風換氣量之要求。若是超過1,000ppm，事業單位應進一步釐清可能通風換氣狀況，並尋求解決方案。

致謝

本計畫(ILOSH103-H308)參與人員除本所陳研究員春萬、陳助理研究員俊瑋、杜助理研究員宗明外，另包括長榮大學戴教授聿彤及其研究團隊合作執行，謹此敬表謝忱。

參考文獻

- [1] 勞動部。職業安全衛生法；2013。
- [2] 勞動部。危害性化學品評估及分級管理辦法；2014。
- [3] 勞動部。危害性化學品標示及通識規則；2014。
- [4] 勞動部。職業安全衛生設施規則；2014。
- [5] 勞動部。有機溶劑中毒預防規則；2014。
- [6] Dougan DS, Damiano L. CO₂-Based Demand Control Ventilation—Do Risks Outweigh Potential Rewards? ASHRAE Journal 2004; 46: 47-53.
- [7] 陳春萬、吳至涵、杜宗明、陳俊瑋：作業環境二氧化碳監測結果應用探討。勞動及職業安全衛生研究季刊2015; 2: 137-49。
- [8] 陳春萬、鍾基強。整體換氣指標與換氣率ACH關係之研究。勞動部勞動及職業安全衛生研究所研究報告IOSH98-H310。初版，台灣省新北市，勞動部勞動及職業安全衛生研究所（原勞委會勞工安全衛生研究所）；1999。
- [9] 勞動部。鉛中毒預防規則。勞動部；2014。
- [10] 勞動部。有機溶劑中毒預防規則。勞動部；2014。
- [11] 行政院環保署。室內空氣品質管理法。行政院環保署；2011。
- [12] 勞動部。勞動基準法。勞動部；2015。
- [13] 內政部。建築技術規則。內政部；2014。
- [14] 勞動部。勞工作業環境監測實施辦法。勞動部；2014。
- [15] ASTM. D6245-12 Standard Guide for Using Indoor Carbon Dioxide Concentrations to Evaluate Indoor Air Quality and Ventilation. ASTM International, West Conshohocken, PA; 2012.
- [16] 陳春萬、謝書榮：職場整體換氣性能規範之探討。勞動部勞動及職業安全衛生研究所研究報告IOSH97-H307。初版，台灣省新北市，勞動部勞動及職業安全衛生研究所（原勞委會勞工安全衛生研究所）；1999。
- [17] 李彥頤：辦公空間室內空氣品質管制策略之研究。國立成功大學建築學系博士論文；2004。

Commentary

The Carbon Dioxides Concentrations in Different Air Change Rates under Regulations

Chun-Wan Chen Chu-Ha Wu Tsung-Ming Tu Chun-Wei Chen

Institute of Labor, Occupational Safety and Health, Ministry of Labor

Abstract

According to Enforcement Rules of the Occupational Safety and Health Act, employer have an obligation to provide sufficient fresh air in the workplace. This study simulated the accumulation of carbon dioxide (CO₂) under the current rule and discussed the feasibility of fresh air exchange management. This study assumed the well-mixed models to simulate the accumulation of CO₂ with different air exchange rates at workplace. The concentration of CO₂ could be managed under regulation by monitoring data. We found that simulation results were similar to monitoring data from chamber experiment. Both of the average concentrations of CO₂ in the two and four hour and the maximum concentration in four hour could exceed the regulated concentration of 1,000 ppm. The CO₂ concentration would be affected by the ventilation volume and air exchange rate. Although the current regulation had considered these factors, we should increase the ventilation volume to reach the requirement of indoor air quality. We can also assess the consequences of ventilation and indoor air quality by CO₂ monitoring data. In addition, regulation should consider CO₂ monitoring data and ventilation effect at the same time. We suggests that employer should check and improve the ventilation devices when the concentration of CO₂ exceed 1,000 ppm. Employers can also assess the working environment through CO₂ measurement concentration periodically.

Keywords: Carbon dioxide (CO₂), Exposure assessment, Exchange rate of fresh air

Accepted 2 March , 2016

Correspondence to: Chun-Wan Chen, Institute of Labor, Occupational Safety And Health, Ministry of Labors, No,99, Lane 407, Hengke Rd., Sijhih District, New Taipei City 22143, Taiwan(R.O.C.), Email address: wann@mail.ilosh.gov.tw