

公寓大廈地下停車場空氣品質之研究

林建隆^{1,*} 賴榮平¹ 謝宏仁² 林厚順¹

目標：公寓大廈地下停車場多為密閉型空間，導致污染物無法自然排出，造成空氣品質不良。因此，本研究以公寓大廈地下停車場為調查對象，探討空氣品質之現況及問題點，並且解析其空氣品質影響因素。**方法：**本研究針對台灣南部地區16棟(39個地下樓層)公寓大廈地下停車場進行污染物(CO、CO₂、NO_x、PM₁₀)量測及住戶問卷調查，並針對可能影響因素進行現況調查後，再利用SPSS統計軟體進行相關性檢定。**結果：**氣狀污染物濃度越往下樓層越高，尖峰時段每往下一層樓CO濃度提升2.1 ppm、CO₂濃度提升21.0 ppm、NO_x濃度提升59.9 ppb，其中CO尖峰最大平均濃度26.1 ppm；NO_x尖峰最大平均濃度為743 ppb。有關滿意度調查顯示，住戶對地下停車場的綜合不滿意度為27%，其中以通風狀況不滿意度最高(37%)。**結論：**在公寓大廈地下室停車場污染物中以NO_x(平均濃度超過250 ppb為14棟(87.5%))最為嚴重。另外，案例抽排風系統之效能不佳(平均效能下降至原設計值49%)，造成地下停車場污染物無法有效排出。(台灣衛誌 2008；27(6)：478-495)

關鍵詞：公寓大廈，地下停車場，空氣品質

前 言

台灣地區人口多數集居於都市，使得居住型態往高層化、聚集化發展，大量興建公寓大廈以符合人們居住的需要，同時為了解決住戶停車問題，大規模闢建地下室做為停車使用。然而，地下停車場多為密閉性空間，導致汽機車排放之廢氣不易排出，進而造成空氣品質的不良。

根據賴榮平[1]調查發現，所有公共空間中住戶最希望改善的項目為地下停車場通風不良(27.1%)。另外，其量測CO濃度發現，更有案例地下二層CO平均濃度高達22 ppm，相較我國環保署空氣品質CO小時平均標準

值9 ppm高出許多。而部份公寓大廈為解決公共空間不足的問題，將局部地下停車場空間挪做社區管理站、守衛室或其他用途使用，並與地下停車場直接連接並無設置獨立的通風系統，而這些空間的使用者長時間處在空氣品質不佳的環境，嚴重危及其身體健康。然而，目前地下停車場空氣品質尚未有詳細法令進行規範，僅以設計通風量大小規定($\geq 25M^3/hr$ ，內政部營建署—建築技術規則)，但國外相關研究[2]調查結果顯示地下停車場實際有效通風量大小卻遠低於設計值，無法將空氣污染物有效的排出。另外，國內針對住宅室內空氣品質相關研究，仍以居室空間為主，而對於公共空間中的地下停車場之相關研究較為匱乏。因此，本研究以公寓大廈地下停車場為對象，藉由住戶主觀問卷調查、空氣污染物現場量測及抽排風系統現況調查等三方面，以瞭解地下停車場空氣品質現況問題。本研究目的包括下列四項：1.瞭解公寓大廈住戶對於地下停車場空氣品質之主觀感受；2.探討公寓大廈地下停

¹ 成功大學建築學系

² 宜蘭大學建築與永續規劃研究所

* 通訊作者：林建隆

聯絡地址：台南市大學路1號

E-mail: lc11108@yahoo.com.tw

投稿日期：97年7月25日

接受日期：97年11月28日

車場空氣品質現況問題；3.探討目前地下停車場之抽排風系統現況效能與問題點；4.瞭解公寓大廈地下停車場空氣品質的影響因素。

材料與方法

一、調查項目

影響室內空氣品質污染物包含有CO、CO₂、HCHO、TVOC、細菌、真菌、PM_{2.5}、PM₁₀、O₃等[3]，而本研究考量地下停車場主要功能為提供汽機車出入與停車使用，其污染源以汽機車排放之廢氣為主。根據岳峻岷[4]指出以汽油為燃料之汽機車在運轉時，所排出之主要有毒氣體成分為CO、CO₂、NO_x等三項氣狀污染物。另外，室內環境中的懸浮微粒，會吸附汽機車排放之有毒物質如苯並芘(Benzo (a) Pyrene, BAP)、多環芳香化合物(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs)等致癌性氣體，根據國際放射保護委員會(International Radiological Protection Commission)發展的肺

沈積模式，粒徑小於10 μm之微粒，以PM₁₀表示，幾乎會沉積於肺泡以及氣管部，而粒徑小於2.5 μm之微粒，沈積在肺部之效率更高[5]。本研究考量小於粒徑10 μm之微粒，即會直接危害人體呼吸機能，且參考日本建築物環境衛生管理規則在室內空氣品質管制的六個項目中，亦以PM₁₀濃度為評估標準(其餘項目為溫度、濕度、CO₂、CO及氣流)。另外，我國環保署「空氣污染法施行細則」(2003)，也以PM₁₀濃度做為空氣中的懸浮微粒之評估指標。故本研究選定公寓大廈地下停車場空氣品質量測項目為CO、CO₂、NO_x、粉塵(PM₁₀)等四項空氣污染物，並量測溫度、濕度等二項溫熱環境因子作為環境背景資料。

本研究為瞭解公寓大廈地下停車場室氣品質的影響因素，根據室內空氣品質「質量平衡模型」理論基礎及彙整國內外相關文獻[6-15]，歸納出地下停車場空氣品質可能影響因素包括：1.空間構造因素；2.抽排風系統因素；3.使用者因素等三方面進行現況調查，如表一所示。

表一 公寓大廈地下停車場空氣品質調查內容

調查項目	調查內容	評估方法				
		問卷調查	現況調查	現場量測		
基本資料	調查案例資料	建築概要	位置、屋齡、地上及地下樓層數	◎		
		抽排風系統概要	系統類別(機械/自然)、形式(風管式/誘導式)、風機、風管的日常維護狀況		◎	
	問卷受訪者資料	受訪者概要	年齡、性別、家庭人口組成	◎		
		地下停車場使用概要	進出地下室時段、使用車輛種類及數量	◎		
空氣污染 物及溫濕 環境	滿意度	溫度、濕度、通風、身體不適、綜合評價	◎			
	空氣污染物	氣狀污染物	一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO ₂)、氮氧化物(NO _x)			◎
		粒狀污染物	粉塵(PM ₁₀)			◎
	溫濕環境	溫度(°C)、濕度(%)				◎
影響因素	空間構造因素	室容積	樓層高度、面積、容積			◎
		開口部面積	車道出入口、天井			◎
		裝修材料	地坪、牆面、天花板			◎
	抽排風系統因素	系統效能	設計排風量、現況實際排風量			◎
		系統配置	進風、排風口位置			◎
	使用者因素	使用概要	停車型式、汽機車停車數量			◎
		進出頻率	尖峰時段進出車輛種類、次數			◎

二、調查對象

本研究因考量地域性關係選定台灣南部地區公寓大廈地下停車場為調查對象，在人力與儀器的適當調度下，共針對16個案例進行調查，依調查時間之先後次序來編號，分別為案例A~P。而調查案例平均屋齡為9.4年(標準差1.9)，39個地下樓層(B1層有11例；B2層有15例；B3層有9例；B4層有3例；B5層有1例)。其中僅案例O的B3、B4層設有天井，調查案例基本資料如附錄一所示。另外，本研究調查範圍以公寓大廈地下停車場為主，排除非供停車使用之空間。

三、問卷調查

本研究針對量測之16個案例進行住戶主觀問卷調查(附錄二)，考量地下停車場空氣品質問卷內容多為心理感知性問題，若無研究員協助住戶作答，住戶可能無法充份瞭解題意，容易造成填寫人厭煩或偏離題意，進而影響問卷之正確性，故本研究採用詢問式問卷調查，在於住戶填寫問卷時，由研究員協助說明填寫。問卷內容主要可分為：1.受訪者基本資料；2.地下停車場使用情況(進出時段)；3.地下停車場空氣品質滿意度。

本研究共訪談16棟公寓大廈，為達問卷的可信賴度，每棟有效問卷以30份為原則，共計480份有效問卷，其採樣原則為休假日時於該社區中庭廣場進行抽樣，首先詢問其是否有車輛停至該社區地下停車場且需經常前往使用為問卷填答對象。其中受訪者之男女性比例相當(44%，56%)，年齡分佈以31~40歲最高(45%)，其次為41~50歲(31%)；在每戶居住人數統計方面，以每戶居住三人為最高(39%)，其次為二人(25%)及四人(23%)；在每戶地下停車場停放車輛方面，機車每戶平均0.62台，汽車每戶平均0.77台。

四、現場量測

(一) 量測儀器

本研究在溫濕度量測部份，使用電子式溫濕度計。在空氣污染物量測部份，分

別使用電化學原理量測CO濃度(CO單一氣體偵測器，型號：GAXT-M；偵測範圍：0-1000 ppm；精確度：1 ppm)；紅外線原理量測CO₂濃度(CO₂氣體分析儀，型號：TESTO-535；偵測範圍：0-10000ppm；精確度：0.1 ppm)；化學激光法量測NO_x濃度(NO_x氣體分析儀，型號：ML8840；偵測範圍：0-1000 ppm；精確度：0.001 ppm (1 ppb))；而量測粒狀污染物粉塵(PM₁₀)濃度，則使用NIOSH重量量測法之粉塵計量儀(型號：EPAM-5000；採樣範圍：0.001-20 mg/m³；精確度：± 0.003 mg/m³)。在抽排風效能方面，採用風速計(型號：KANOMAX-6111；採樣範圍：0-50 m/s；精確度：± 0.1m/s)。且所有儀器在進行量測前均有進行儀器校正動作。

(二) 量測方法

在量測時間方面，考量一般住戶上下班時間為早上9點上班、下午5點下班，早上上班前2個小時及下班後2個小時為尖峰時段。岳峻岷[2]指出，地下停車場一天中CO濃度於早上8點為尖峰時段。另外，本研究問卷調查結果顯示，住戶以早上7點到9點為地下室停車場使用頻率最高、中午11點到下午1點為最低。故本研究量測時間選定以早上7點到9點為尖峰量測時間，中午11點到下午1點為離峰量測時間。

在測點選擇方面，本研究考量公寓大廈地下停車場使用情形，一般為無隔間狀態且無室內傢俱配置等影響，空氣污染物阻隔性較低，故以地下停車場10 m×10 m均佈其測點，實測測點數如附錄一所示。再輔以其他重要測點如車道出入口、電梯與樓梯間出入口、空間四個角落點等進行尖離峰的量測。

在量測高度方面，根據江哲銘[16]「住居空間物理環境基準之研究」中將空氣污染度量測測點高度訂以一般人口鼻呼吸為準。然而本研究考量空氣污染度量測的最終目的是在於瞭解其對人體的傷害，故將測點高度設定為一般人口鼻呼吸高度1.5公尺。

依據上述量測方法，本研究於週一至週五的尖、離峰時段，將四項空氣污染物及二項溫熱環境之量測儀器置於1.5m高的特製台

車上，單一樓層地下停車場尖離峰各測點依序量測，量測間隔為30秒讀一次值，單點至少量測十次以上求取其平均值，合計以單一樓層至少尖離峰各二個小時(一天)為原則重覆量測，單層面積較大的樓層(案例A、B、E、G、M、O、P)，則每樓層分為二~三個連續上班日進行量測，所得各點的量測值取其算術平均值，做為空氣污染物平均濃度值及溫熱環境平均值。本研究實際進行量測期間為民國96年1月~3月，共計三個月量測16個案例，39個地下層停車場，共計本研究實際量測64個上班日。

五、抽排風系統現況調查

地下停車場抽排風系統設置的目的在於增加地下停車場空氣交換率(Air Exchange Rate)，進而影響空氣品質，如CO、CO₂、NO_x比率及粉塵濃度的高低等[17,18]。因此，抽排風系統現況效能之優劣，直接影響到整體地下停車場空氣品質好壞。故本研究針對16個案例地下停車場的109台排風機現況效能進行調查分析，並藉由現況調查及社區管理委員會主委訪談，以瞭解公寓大廈地下停車場抽排風系統現況之問題點。

在排風機效能分析方面，本研究以排風機之原始設計排風量與現況量測排風量相除所得之數值，稱為排風機現況效能。在現況排風量量測部份，本研究考量國內CNS並無相關規範，而ISO5802建議須於管道系統中選擇適當截面進行多點量測以求取其平均，然而國內地下停車場排風管較無設置維修蓋板可供量測，導致現況選取適當截面量測相當困難。因此，本研究採取排風口量測，首先利用風速計將排風口分為九等分區域進行九點量測並求取其平均值，再乘於排氣口有效通風面積，即得該排氣口之排風量，最後再將各排風口之排風量加總即為地下停車場該層的現況排風量。

結 果

一、問卷調查結果

(一) 地下停車場使用情形

從住戶「進」、「出」地下停車場問卷調查結果顯示，住戶於平常日(週一~週五)，開車或騎車「出」地下停車場的時間以7~9點為最頻繁佔56.7%，其次為9~11點佔26.8%，15~17點佔14.4%；而「進」地下停車場的時間以下午17~19點為最頻繁所佔比率為41.6%，其次為早上7~9點佔29.0%，19~21點佔22.8%。

(二) 地下停車場空氣品質滿意度

由於影響地下停車場空氣品質之污染物相當複雜，且人體一般無法立刻察覺，只有感到頭暈、疲倦、身體不適等症狀時，才為人體所感知。因此本問卷不直接針對空氣污染物量測項目進行滿意度調查，而以調查住戶對於地下停車場的溫度、濕度、粉塵、通風狀況等項目的滿意度。

滿意度調查結果，如表二所示。住戶不滿意度最高的分別為地下停車場通風狀況及綜合感受，其中又以通風狀況最被垢病(不滿意度37%)。然而，通風不滿意度較高的案例A、B、C、E、G、M等六個案例中，其中案例A、E、G、M等四個案例其排風效能均低於原設計值的一半，又以案例A 17%為最低，而案例B、C地下一層的抽排風系統則全部故障停用，且案例B、C、E、G、M分別為空氣污染物量測結果較高的五個案例。此外，綜合感受不滿意度為住戶反應第二高的(27%)，其中前五名分別為案例B、C、E、G、M，此結果與空氣污染物量測結果之前五名一致。

在住戶進出地下停車場是否有頭暈、疲倦、身體不適應等感受方面，19%受訪者對於地下停車場空氣品質產生身體不適感。

二、現場量測結果

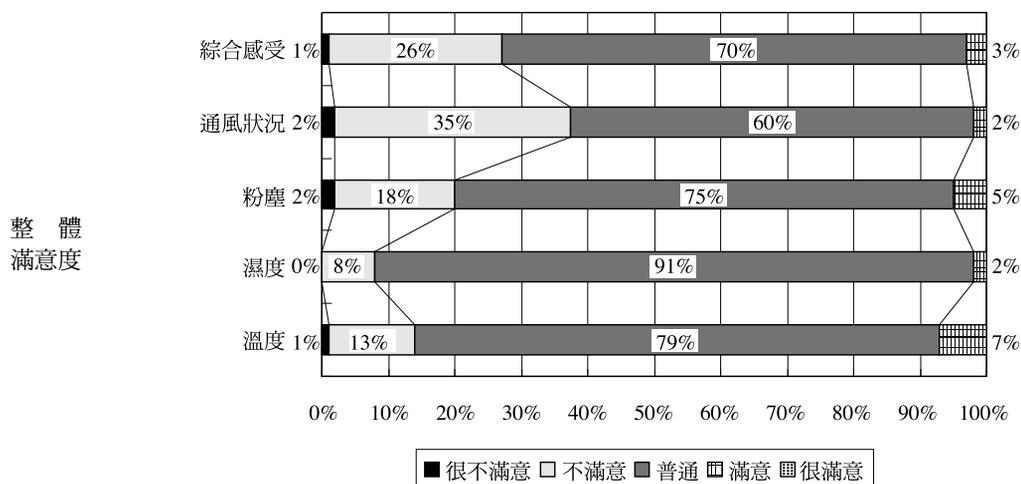
(一) 地下停車場溫濕環境量測結果

1. 溫度

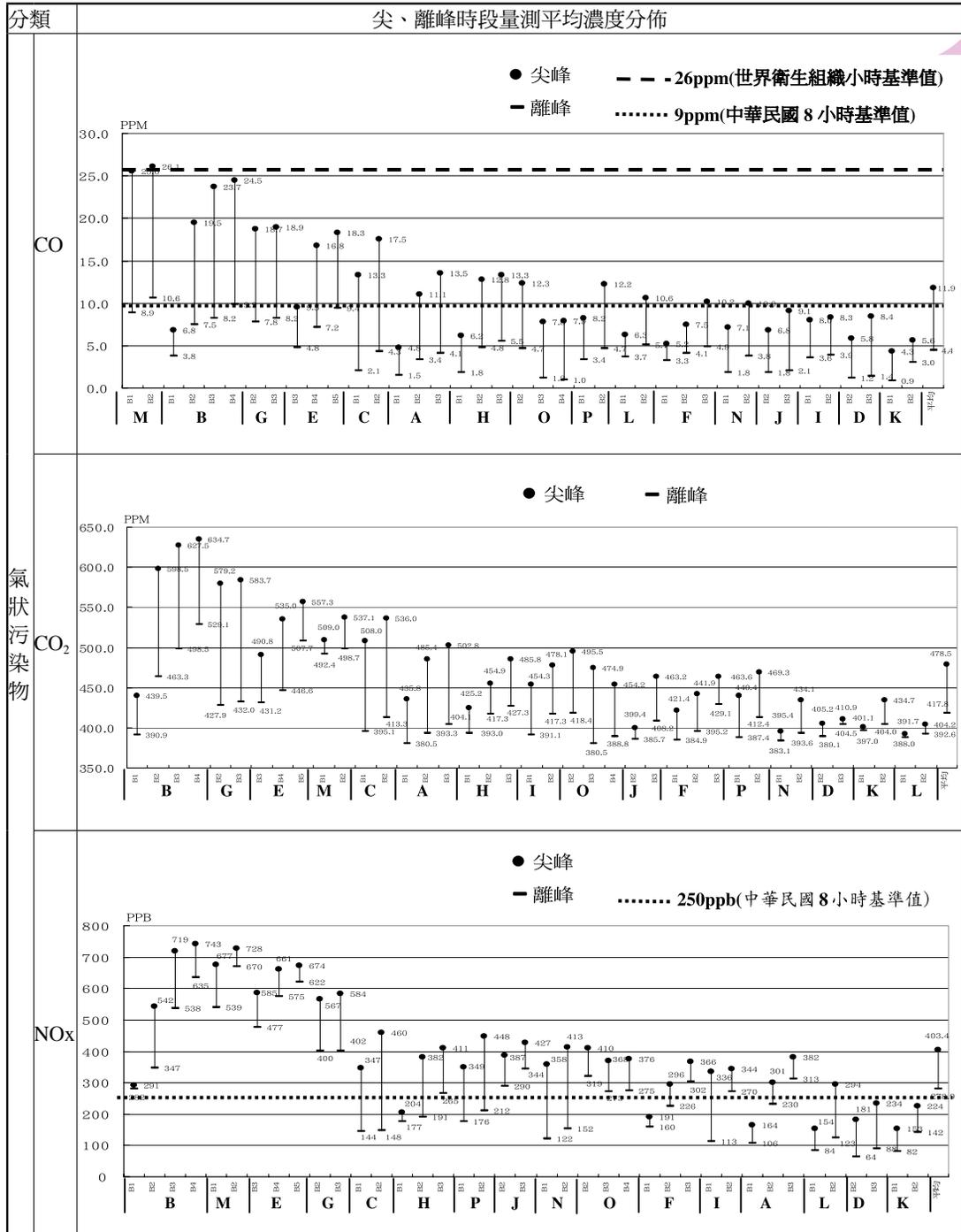
調查案例於尖峰時段受到汽機車排放廢氣，且不易排除的影響，造成越往下樓層溫度越高，平均每往下一樓層增加0.51°C；離峰時段，進出地下停車場車輛少，外氣受到太陽的加溫，平均外氣溫度高於地下樓層

表二 住戶對地下停車場各案例平均滿意度與整體滿意度

分類	溫度*	濕氣*	粉塵*	通風狀況*	綜合感受*	身體適應**
案例A	-0.23	-0.07	-0.23	-0.57	-0.20	-1.10
案例B	0.13	0.07	0.43	-0.50	-0.37	-1.03
案例C	-0.13	-0.07	-0.10	-0.53	-0.37	-0.83
案例D	0.20	0.07	-0.13	-0.27	-0.10	-0.93
案例E	-0.17	-0.07	-0.23	-0.57	-0.53	-0.83
各 案 例 平 均 滿 意 度	案例F -0.10	-0.07	-0.53	-0.13	-0.17	-0.87
案例G	-0.17	-0.03	-0.67	-0.57	-0.33	-0.87
案例H	-0.17	-0.03	-0.13	-0.23	-0.13	-0.90
案例I	-0.17	-0.13	0.17	-0.20	-0.13	-1.00
案例J	-0.03	-0.13	-0.07	-0.37	-0.17	-1.07
案例K	-0.10	-0.07	-0.17	-0.23	-0.20	-1.03
案例L	-0.07	-0.03	-0.03	-0.33	-0.20	-0.97
案例M	-0.17	-0.13	-0.27	-0.67	-0.57	-0.70
案例N	0.17	-0.03	-0.07	-0.30	-0.07	-0.90
案例O	0.00	-0.07	-0.33	-0.27	-0.13	-1.03
案例P	-0.23	-0.17	-0.27	-0.30	-0.27	-0.97
平均	-0.08	-0.06	-0.16	-0.38	-0.25	-0.94



註：1.*很不滿意(-2)；不滿意(-1)；普通(0)；滿意(1)；很滿意(2)。
 2.**沒有(0)；稍微感到不適(-1)；不舒服(-2)；很不舒服(-3)。
 3.■表示住戶對於地下停車場平均滿意度持負面觀感(<0)。
 4.“粗體”表示住戶對於地下停車場平均滿意度<-0.5。
 5.“粗斜體”表示住戶對於地下停車場感到身體適應之間卷平均值<-1。



註：排序原則是依案例中最大值的層樓為標準，再進行各案例的最大值比較(大至小排序)而得。

圖一 各案例尖、離峰時段空氣污染物平均濃度分佈

0.76°C，且平均每往下一層樓增加0.39°C。此為調查期間1-3月冬季時期的現象，受到冬季外氣溫度較低影響，因此有越往下樓層溫度越高現象。

2. 濕度

調查案例於尖峰時段與離峰時段之濕度，受到地下停車場通風不良影響，尖、離峰時段地下樓層相對濕度差平均高於地面層外氣濕度3.22%與3.01%。尖峰時段平均每下一樓層濕度值增加2.49%；離峰時段平均每下一樓層濕度值增加2.83%。

(二) 地下停車場空氣污染物濃度量測結果

本研究針對公寓大廈地下停車場量測CO、CO₂、NO_x等三項氣狀污染物，以及粒狀物染物(PM₁₀)，共計量測16棟(39個地下樓層)公寓大廈地下停車場，其中B1為11例、B2為15例、B3為9例、B4為3例、B5為1例，量測所得結果如圖一所示。

1. 氣狀污染物平均濃度

(1) CO平均濃度

車輛於燃燒不完全時會產生CO氣體的排放。根據調查結果顯示，案例尖峰時段CO平均濃度介於4.3~26.1 ppm之間，其中以案例M之CO平均濃度最高(26.1 ppm)，超過世界衛生組織1小時基準值(26 ppm)。而超過9 ppm(中華民國8小時基準值)的案例有12個，其樓層分佈B1樓層佔18.1%(2/11)、B2樓層佔66.6%(10/15)、B3樓層佔55.5%(5/9)、B4樓層佔66.6%(2/3)、B5樓層佔100%(1/1)。案例離峰時段CO平均濃度介於0.9~10.6 ppm之間，其中僅有案例M超過10 ppm。所有調查案例尖峰與離峰時段CO平均濃度均有明顯變化，其濃度從尖峰時段至離峰時段下降差距從3.0~16.1 ppm，平均下降7.7 ppm。而在樓層分佈方面，案例O於B3、B4樓層設有通風採光天井，使得B3、B4樓層CO平均濃度小於B2樓層外，其餘案例樓層越往下CO平均濃度越高。在排除案例O及排風機故障率超過50%的案例B、C之B1樓層與案例D之B2樓層外，尖峰時段每往下一層樓CO平均濃度增加2.1 ppm(樓層樣本數33, $p < 0.001$)、離峰時段每往下一層樓CO平均濃度增加1.4 ppm(樓層樣本數33, p

< 0.001)。根據案例分析結果顯示，通風換氣不良是CO濃度較高的主因。

(2) CO₂平均濃度

調查案例中尖峰時段CO₂平均濃度介於391.7~634.7 ppm之間，離峰時段CO₂平均濃度值介於380.5~529.1 ppm之間均未超過1000 ppm(世界衛生組織8小時基準值)。而所有調查案例尖峰與離峰時段CO₂平均濃度均有明顯變化，其濃度從尖峰時段至離峰時段下降差距從0.7~158.1 ppm，平均下降71.5 ppm。除案例O外，其餘案例樓層越往下CO₂平均濃度越高。在排除案例O及排風機故障率超過50%的案例B、C之B1樓層與案例D之B2樓層外，尖峰時段每往下一層樓CO₂濃度增加21.0 ppm(樓層樣本數33, $p < 0.001$)，離峰時段每往下一層樓CO₂平均濃度增加25.0 ppm(樓層樣本數33, $p < 0.001$)。本調查案例呈顯著特性，無論尖峰或離峰時段，CO₂平均濃度地下層數越深，其濃度越增加，但尖/離峰時段樓層別濃度增加值之差異性不大。

(3) NO_x平均濃度

地下停車場的廢氣除了CO、CO₂外，NO_x亦為重要的因子。調查案例中尖峰時段NO_x平均濃度介於153~743 ppb之間，超過250 ppb(中華民國空氣環境品質1小時基準值)的案例有14個，其中B1樓層佔54.5%(6/11)、B2樓層佔86.6%(13/15)、B3樓層佔88.8%(8/9)、B4樓層佔100%(3/3)、B5樓層佔100%(1/1)。而離峰時段NO_x平均濃度值介於64~670 ppb之間，超過250 ppb的案例有10個，其中B1樓層佔18.1%(2/11)、B2樓層佔40.0%(6/15)、B3樓層佔88.8%(8/9)、B4樓層佔100%(3/3)、B5樓層佔100%(1/1)。

尖峰與離峰時段各案例NO_x平均濃度均有明顯的變化，其濃度從尖峰時段至離峰時段下降差距從77.0 ppb至257.7 ppb，平均下降132.6 ppb。調查案例中M、E、G、B四案例之平均濃度大於500 ppb，其中案例B中NO_x平均濃度更高達743 ppb。在樓層分佈方面，除案例O外，其餘案例為樓層越往下NO_x平均濃度越高。在排除案例O及排風

機故障率超過50%的案例B、C之B1樓層與案例D之B2樓層外，尖峰時段每往下一層樓NO_x平均濃度增加均59.9 ppb (樓層樣本數33, p<0.001)、離峰時段每往下一層樓NO_x平均濃度增加62.2 ppb (樓層樣本數33, p<0.001)。本次調查案例中，關於NO_x平均濃度的差異特性與CO、CO₂皆相同，隨著地下層數越深，其氣狀污染物濃度越增加，但尖/離峰時段樓層別濃度增加值之差異性不大。

2. 粒狀污染物(PM₁₀)平均濃度

調查案例中尖峰、離峰時段量測所得之PM₁₀平均濃度，除案例F及J的B3樓層平均濃度較高外，其餘案例之PM₁₀平均濃度均偏低。尖峰時段PM₁₀平均濃度介於0.001~0.130 mg/m³之間，離峰時段PM₁₀平均濃度值介於0.001~0.013 ppm之間。探究案例PM₁₀平均濃度均偏低之可能原因為：(1)汽油為燃料之車輛排放廢氣主要成分為氣狀污染物，而非粉塵[4]。此部份觀點，於尤新來、顏昭文“汽車學—汽油引擎篇”[19]一書中提及汽油引擎排放廢氣成份包含汽油成份中的碳(C)、氫(H)和大氣中的氧(O₂)及氮(N₂)在高溫高壓下，經由燃燒反應所產生，因此其廢氣主要成份為CO₂、CO、H₂O、O₂、H₂、N₂、NO_x。另外，我國環保署[20]相關研究報告指出，交通工具之粒狀污染物的排放主要由使用柴油引擎之車輛排放，因此在「交通工具空氣污染物排放標準」中，針對使用柴油引擎車輛規範其粒狀污染物排放量(第五條)，而未對使用汽油之車輛進行規定(第四條)。然而，本研究以公寓大廈地下停車場為研究對象，其停放車輛以住戶使用的一般小型轎車為主，其多數使用汽油為燃料。導致量測所得之PM₁₀濃度偏低；(2)地下室多為密閉空間，自然風鮮少進入，且地下停車場抽排風系統效能不佳(下降至原設計值之49%)，造成地下停車場之氣流較未有所擾動，使得粉塵顆粒應多數沈積地面處，而本研究以人口鼻呼吸處為量測高度(150 cm)，導致其量測所得PM₁₀濃度較低。

案例F地下停車場受到瀝青地坪改修，現場殘留打除水泥粉刷的灰塵，汽機車經

過揚塵嚴重(B1：尖峰0.104 mg/m³，離峰0.011 mg/m³；B2：尖峰0.114 mg/m³，離峰0.010 mg/m³；B3：尖峰0.053 mg/m³，離峰0.008 mg/m³)。案例J的B2樓層(尖峰0.130 mg/m³，離峰0.013 mg/m³)，因現場環境髒亂，牆面壁癌嚴重及堆積建築材料等雜物，汽機車經過揚塵嚴重。因此，PM₁₀平均濃度較高的案例均為既存環境因素所造成的。調查案例中樓層越往下，污染物PM₁₀濃度並無明顯變大，顯示地下停車場粒狀污染物PM₁₀平均濃度高低，並無與調查案例之氣狀污染物平均濃度越往下樓層濃度越大之趨勢。

(三) 地下停車場污染物濃度分佈情形

1. 氣狀污染物(CO、CO₂、NO_x)濃度分佈情形

(1) 車道出入口氣狀污染物濃度分佈

在連接地面層車道出入口氣狀污染物濃度方面，因其出入口靠近地面樓層，可直接引入新鮮外氣稀釋氣狀污染物濃度，因此車道出入口氣狀污染物濃度均低於該層平均值，以CO濃度為例，量測有B1樓層的11個案例中，其該層尖峰時段CO平均濃度為8.7 ppm，而車道出入口量測之CO平均濃度為5.0 ppm，低於該層平均濃度42.6%。

連接地面層以外樓層的車道出入口，其氣狀污染物濃度高低與車道設計方式相關。其中案例A、B、D、E、G、H、I、J、P等9個案例，車道設計方式為複雜的環狀車道，地面層空氣不易引入，但車流量大，容易蓄積污染物，故車道出入口氣狀污染物濃度高於該層平均值，其中CO濃度大於該層平均濃度9.3%，CO₂大於該層平均濃度3.5%，NO_x大於該層平均濃度2.9%。而案例C、F、K、L、M、N、O車道設計方式為車輛直接進入各層地下室，且案例L、O車道出入口旁設有挑空天井，使得樓層間空氣充份對流，稀釋該層車道出入口氣狀污染物濃度，故車道出入口氣狀污染物濃度低於該層平均值，其中CO濃度小於該層平均濃度26.1%，CO₂小於該層平均濃度3.7%，NO_x小於該層平均濃度5.1%。

(2) 樓梯、電梯間出入口氣狀污染物濃度分佈

在樓梯、電梯間出入口氣狀污染物濃度方面，各案例地下室樓梯、電梯間設置磁卡管制或防火門，除有門禁管制功能外，並有效與停車空間隔離，使得氣狀污染物不易進入，並且垂直動線的電梯開閉動作適時引入外氣，故所量測樓梯、電梯間污染物濃度均低於該層平均值，其中CO濃度小於該層平均濃度17.7%，CO₂小於該層平均濃度3.7%，NO_x小於該層平均濃度6.1%。

(3) 空間角落四點氣狀污染物濃度分佈

量測結果顯示，因為角落空間空氣流通性較差造成污染物容易蓄積，因此各案例空間角落四點污染物濃度均高於該層平均值。其中角落四點CO濃度大於該層平均濃度5.3%，CO₂大於該層平均濃度4.2%，NO_x大於該層平均濃度2.6%。

2. 粒狀污染物(PM₁₀)濃度分佈情形

在粒狀污染物(PM₁₀)濃度分佈方面，本研究選擇PM₁₀濃度較高的案例F、J進行探討。其結果發現，因汽機車經過造成揚塵，故車道口粉塵濃度較高於該層平均值(6.2%)。在樓梯、電梯間部份，設有門禁系統區隔地下停車空間，故樓梯、電梯間粉塵濃度低於該層平均值(10.9%)。在空間角落部份，角落受車輛行使所造成的揚塵影響性較小，導致空間角落粉塵濃度低於該層平均

值(26.4%)。

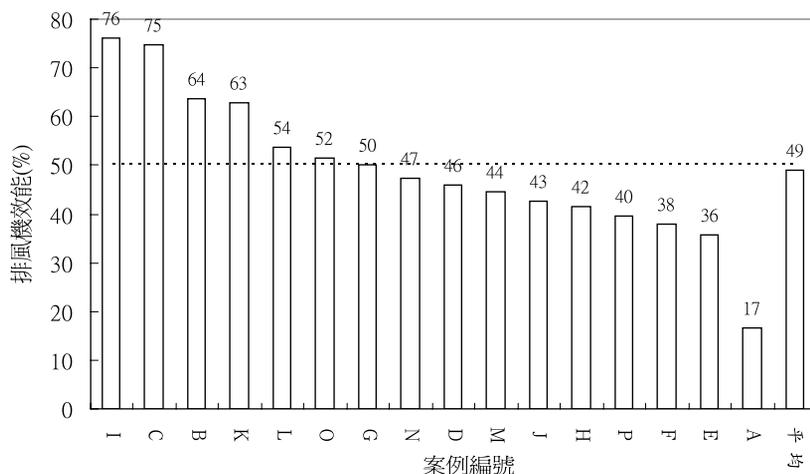
三、抽排風系統現況調查

本研究調查16個案例共109台排風機，其中有17台故障維修中(15.6%)，以B1樓層故障率最高(30.7%)。而且案例B、C之B1樓層、案例D之B2樓層所有排風機均故障停用狀態，該樓層都僅能依靠自然通風。

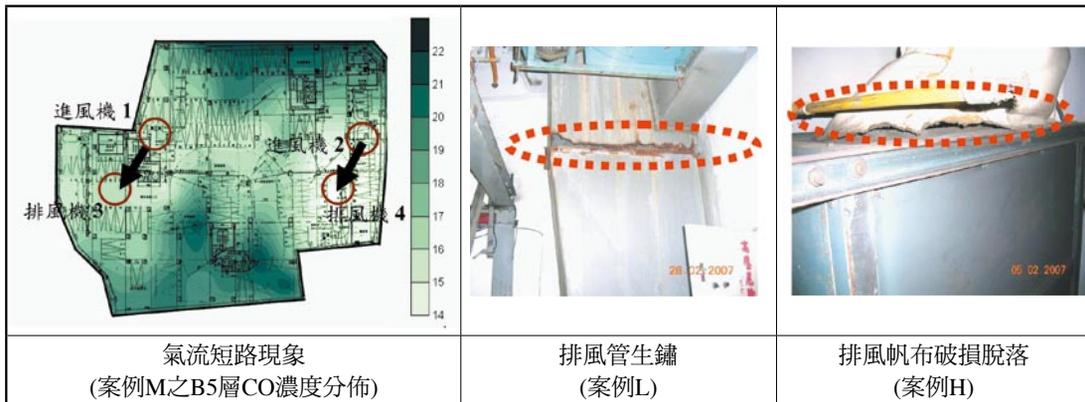
在排風機效能方面，各案例整體平均排風效能僅達原設計值的49%，案例A、E、F、P、H、J、M、D、N等九個案例均不到原設計值的50%，其中案例A由於排風機皮帶年久失修，導致排風機的效能降低為原設計值17%為最低，出風口與回風口風量甚小，如圖二所示。而在九個案例中，採用風管排風佔7個，設置誘導機佔2個。

根據上述排風機調查顯示，普遍效能不高，導致地下停車場空氣污染物無法有效的排出。本研究根據現況調查及社區管理委員會主委訪談發現案例抽排風系統現況主要有以下三個問題點，如圖三所示。

1. 進風口、排風口配置不當：部份案例進風口與排風口設計配置不當，造成氣流短路現象。其中案例M之進風機1、2所進入的新鮮外氣直接由排風機3、4排出，室內空



圖二 各案例平均排風機效能



圖三 案例抽排風系統現況問題

氣污染物無法充分被新鮮空氣稀釋。

2. 風管及帆布接頭破損：部份案例因為地面層出風口雨遮設計不良常常造成雨水順著排風管流下，並且未設置適當的清潔口、管內常常積水，導致年久生鏽而破損。另外，部份案例排風機的帆布接頭破損脫落，其原因有1.風機啟動振動量大，造成帆布接頭脫落；2.帆布接頭年久老化脆化而破損。
3. 抽排風系統缺乏維護更新：社區管委會疏於進行地下停車場抽排風系統的日常維護及損壞的修復，導致109台排風機中有17台故障維修。其中又以B1樓層損壞率最高，因為B1外氣引入較佳，系統損壞時住戶抱怨程度較低，導致較不積極進行維護更新動作。另外，本研究訪談各案例社區管理委員會，均無針對地下停車場抽排風系統實施定期的維護保養機制。

四、地下停車場空氣品質影響因素分析

本研究利用SPSS統計軟體運算量測之各項空氣污染物平均濃度與相關影響因素進行統計相關性檢定，其主要目的在於瞭解地下停車場空氣品質與外在因素之影響程度。另外，本研究考量粒狀污染物(PM₁₀)量測所得之平均濃度均偏低，除特殊案例外(案例F、J)，其量測結果差異性不大，並無隨著外在因素所影響，故此部份僅針對氣狀污染

物進行統計相關性檢定。地下停車場空氣品質影響因素眾多，本研究彙整國內外相關文獻後，將其歸納為空間構造因素、抽排風系統因素及使用者因素等。在空間構造因素方面，以地下停車場的容積及開口率二項進行相關性檢定，其中開口率部份，考量調查案例中僅有案例O設有天井，為使統計樣本一致性，故將此案例排除在相關性檢定樣本內，僅將車道出入口開口率做為檢定項目。在抽排風系統因素方面，利用量測所得的各案例換氣量除以室容積，所得「換氣次數」進行相關性檢定。在使用者因素方面，主要針對該時段汽機車分別進出地下停車場數量進行相關性檢定。另外，本研究為考量各樓層污染物平均濃度的差異性，因此除了整體檢定外亦針對各樓層分別檢定。

(一) 污染物平均濃度與影響因素之相關性

各案例量測所得CO、CO₂及NO_x的污染物平均濃度與各因素之相關性檢定結果矩陣，如表三所示。顯示地下停車場氣狀污染物CO、CO₂、NO_x平均濃度與容積、開口率、汽車進出數量及換氣次數等因素呈現顯著相關性(p<0.05)。

此外，從上表的相關性分析結果，氣狀污染物平均濃度與影響因素之相關性可歸納成以下五項結論：

1. 地下停車場室容積越大，室內氣狀污染物平均濃度則越高。

表三 污染物平均濃度與影響因素之相關性檢定結果矩陣

影響因素	空間構造因素		使用者因素		抽排風系統	
	容積(M ³)	開口率 (M ² /M ³)	汽車進/出數量(輛)	機車進/出數量(輛)	換氣次數 (次/2hr)	
Pearson相關	CO	0.376*	-0.529*	0.392*	0.097	-0.281*
	CO ₂	0.298*	-0.408*	0.358*	-0.068	-0.299*
	NO _x	0.306*	-0.450*	0.407*	-0.075	-0.259*
顯著性p<0.05	CO	0.009*	0.000*	0.007*	0.278	0.041*
	CO ₂	0.033*	0.005*	0.013*	0.340	0.032*
	NO _x	0.029*	0.002*	0.005*	0.325	0.050*

註：1. 本研究檢討之「換氣次數」係指尖峰二小時的實測換氣量(m³/2hr)除以室內容積(m³)的值。

2. 開口率計算考量本研究僅案例O設有水平向開口(天井)，而將其排除於相關性檢定樣本內。故本研究之開口率係指垂直開口面積之和(車道開口、開高窗等)與室容積之比值。

3. *p<0.05。

2. 汽車進出數量越大，室內氣狀污染物平均濃度則越高。
3. 機車進出數量與室內氣狀污染物平均濃度關係性不高。
4. 地下停車場開口率越大，室內氣狀污染物平均濃度則越低。
5. 地下停車場換氣次數越多，室內氣狀污染物平均濃度則越低。

這五項結論中，第2、4、5項均合乎理論判斷，唯室容積大小及機車進出數量與理論較有差異。本研究探究其原因，在室容積大小部份，一方面為各案例地下室樓層高度大致均為3公尺，因此面積大小決定了容積大小，然而面積越大的地下停車場停車數量越多，且其車輛進出所需行駛的距離更遠，導致其所排放氣狀污染物越多，另一方面為面積越大的地下停車場抽排風設備配置上常容易有死角的產生，造成氣狀污染物不易排出。在機車進出數量部份，因機車停車場通常設置於自然通風較良好的地方(較靠地面層之樓層)，因此氣狀污染物平均濃度不太受機車進出數量之影響，此結果與B1樓層的汽車進出數量及室內氣狀污染物平均濃度關係性檢定結果(如CO濃度 $p=0.055 > 0.05$)顯著性不高一致，顯示越靠地面層之樓層，自然通風能有效的把氣狀污染物排出。

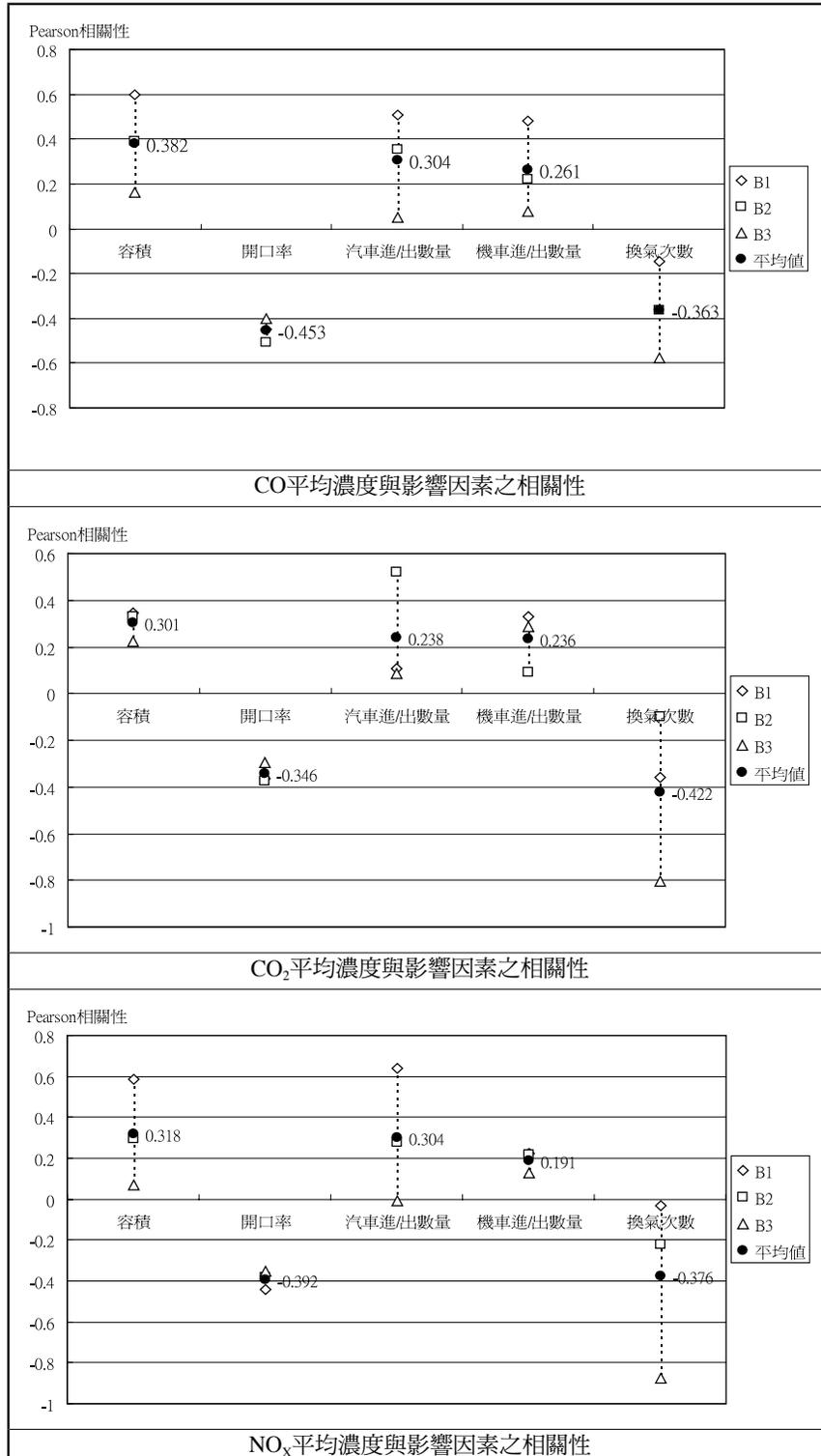
(二) 樓層別污染物平均濃度與影響因素之相關性

調查案例中污染物平均濃度隨樓層越往下其濃度越大，本研究為瞭解不同樓層污染物濃度與其影響因素相關性為何，因此分別針對B1 (11個案例)、B2 (15個案例)及B3 (9個案例)進行相關性檢定，考量B4 (3個案例)及B5 (1個案例)樣本數太少，故不進行相關性檢定分析。

各樓層別相關性檢定分析結果發現，地下停車場各樓層氣狀污染物CO、CO₂、NO_x平均濃度與影響因素之相關性分佈趨勢一致，如圖四所示。其中氣狀污染物平均濃度與容積、汽車進出數量及機車進出數量等因素呈現正相關性，且都呈現隨樓層數越低相關性越低的趨勢，顯示越往低樓層氣狀污染物平均濃度越不易受這三個因素所影響，其原因為越往低樓層氣狀污染物濃度越不易排除，導致濃度越高，高濃度下受容積變化或車輛進出所產生的污染物影響性就會變小。此外，氣狀污染物平均濃度與開口率及換氣次數等二因素呈現負相關性。

討 論

本研究以台灣南部地區16棟公寓大廈為對象，利用問卷調查、現場量測及抽排風系統現況調查等方法，以瞭解公寓大廈地下停



圖四 樓層別氣狀污染物平均濃度與影響因素之相關性分析

車場住戶主觀感受、空氣品質現況問題及抽排風現況效能，最後再利用統計相關性分析，探討地下停車場空氣品質影響因素，本研究所得結論說明如下：

- 一、公寓大廈住戶對於地下停車場的通風狀況不滿意度最高(37%)，其次為綜合不滿意度(27%)。另外，住戶反應在地下停車場會感受到身體不適的比例為19%。此結果顯示，住戶對於地下停車場的通風不佳最為垢病，其與本研究之抽排風系統現況效能不佳的調查結果吻合。因此，建議地下停車場應優先加強改善其通風性能。
- 二、公寓大廈地下停車場污染物平均濃度，有越往下樓層濃度越高的趨勢，顯示地下停車場越往下樓層其空氣污染物越容易堆積，不易排出。尖峰時段每往下一層樓CO濃度增加2.1 ppm、CO₂濃度增加21.0 ppm、NO_x濃度增加59.9 ppb。在污染物濃度嚴重程度方面，以NO_x最為嚴重，(尖峰時段超過一小時基準值佔87.5% (14/16))。PM₁₀濃度高的案例，皆出現於環境骯髒雜亂的地下停車場。此外，根據案例污染物調查結果顯示，地下停車場設置適當的開口或天井能有效的降低其濃度。
- 三、公寓大廈地下室停車場抽排風系統效能不佳，16個案例109台排風機中有17台故障維修，其中以B1樓層故障率最高(30.7%)，並且各案例排風機效率平均下降至原設計值的49%，嚴重低於設計通風量規定值(≥25M³/hr)，導致空氣污染物無法有效的排出。
- 四、地下停車場氣狀污染物平均濃度高低與室容積、車輛進出呈正相關，且有隨樓層數越低相關性越低的趨勢，顯示越往低樓層氣狀污染物濃度受其它因素之影響性變高；與開口率、換氣次數呈負相關，且有隨樓層數越低相關性越高的趨勢，顯示越低樓層可藉由適當的通風型式，有效改善其空氣品質。

- 五、本研究根據現況調查分析，初步建議公寓大廈地下停車場空氣品質的改善方式可由以下二方面說明：(1)在設計階段：建議於地下停車場設置適當的開口或天井，能有效引入自然通風，排除空氣污染物濃度。而車道設計部份應儘量採用直通式，避免使用複雜的環狀車道。樓梯、電梯出入口應設置門禁管制，以有效的隔離空氣污染物。另外，在抽排風系統部份應適當配置進風口與排風口，避免造成氣流短路現象；(2)在日常使用階段：建議公寓大廈管理委員會能落實抽排風系統定期維護機制，其中應包含進風口、風管、接頭、抽排風機及排風口等處是否有破損、損壞或阻礙物等，以提高抽排風系統效能，改善地下停車場空氣品質。

參考文獻

1. 賴榮平、黃士賓、謝宏仁：永續發展下既有公寓大廈改造策略之研究—總計畫暨子計畫三：永續發展下既有公寓大廈設備系統改造策略之研究(1)。台北：行政院國家科學委員會，2006。
2. Krarti M, Ayari A. New design method for enclosed garage ventilation rate. IEQ strateg 2005;18:5-6。
3. 行政院衛生署：室內空氣品質資訊網。http://www.indoorair.org.tw/page4-1.htm。引用2008/11/20。
4. 岳峻岷：地下車庫中誘導通風方式的數值模擬。哈爾濱商業大學學報 2003；19：603。
5. 李彥頤：辦公空間室內空氣品質管制策略之研究。台南：成功大學建築學系博士論文，2004。
6. 陳慶煒：都市地區停車設施對週邊空氣品質影響之研究。台北：台北科技大學建築與都市設計研究所碩士論文，2005；21-37。
7. 蔡俊鴻：高雄市地下街商場空氣品質與通風調查之研究。台南：成功大學環境工程學系碩士論文，1988；19。
8. 宮崎竹二：地下駐車場における空氣汚染。日本：日本建築学会大会學術講演梗概集41373，1996；745-6。
9. 吉野一：多層階地下駐車場の換氣性状の検討。日本：技術書院，2002。
10. 鄭懋雄：辦公空間通風效果與污染物濃度之研究：以台灣商業辦公大樓為例。台南：成功大學建築研究所碩士論文，2001。

11. 和田拓也：地下駐車場の空気環境制御に関する研究(その2)汚染質濃度と車両出入台数の関係。日本：日本建築学会大会学術講演梗概集41414・1999；827-8。
12. 有光孝仁：地下駐車場の換気性状・換気効率に関する研究(その1)空気齢測定による検討。日本：日本建築学会大会学術講演梗概集41285・1999；569-70。
13. 田所祐人：地下駐車場の換気性状・換気効率に関する研究(その2)数値解析による流れ場・拡散場の検討。日本：日本建築学会大会学術講演梗概集41286・1999；571-2。
14. 柳宇：オフィス内空気汚染対策。日本：技術書院，2001。
15. Papakonstantinou K. Air quality in an underground garage-computational and experimental investigation of ventilation effectiveness. *Energ Build* 2003;**35**:933-40。
16. 江哲銘、林俊興：住居環境物理環境基準之研究一室內環境品質量測法初探。台北：中華民國建築學會第四屆建築學術發表會，1991；99-104。
17. Nordstrom K, Norback D, Akseleson. A Effect of air humidification on the sick building syndrome and perceived indoor air quality in hospitals: a four month longitudinal. *Occup Environ Med* 1994;**51**:683-8。
18. Boeniger MF. Use of ozone generating devices to improve indoor air quality. *Am Ind Hyg Assoc J* 1995;**56**:590-8。
19. 尤新來、顏昭文：汽車學—汽油引擎篇。台北：全華科技，2003。
20. 行政院環保署：88年機動車輛排放空氣污染物及噪音管制彙編。台北：行政院環保署，1999。

附錄一 調查案例基本資料

案 例	案例基本資料				空間構造因素				裝修材料				抽排風系統因素			使用者因素		測 點 數			
	建築概要		室容積		開口部面積		地坪		牆面		天花板		系統類別		形式	停車型式	停車數量(輛)				
	位置	屋齡 (年)	地上 樓層數	地下 樓層	面積 (M ²)	樓層高 (M)	容積 (M ³)	車道出入口 數量	出入口1 (M ²)	出入口2 (M ²)	天井 (M ²)	地坪	牆面	天花板					進風	排風	
A	台南市 安平區	11	17	B1	3753	3.7	13886	2	16.5	16.5	-	粉刷	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面	0	657	43
				B2	7728	3.3	25116	2	10.8	13.4	-	瀝青	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面	192	46	69
				B3	7728	3.3	25116	2	12.9	12.9	-	瀝青	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面	194	25	69
B	台南市 中西區	9	25	B1	3232	4.5	14544	1	32.8	-	-	PU	油漆	油漆	自然進風	機械排風	誘導式	平面	63	23	35
				B2	3232	3.0	9696	1	18.6	-	-	PU	油漆	油漆	自然進風	機械排風	誘導式	平面	84	45	35
				B3	3232	3.0	9696	1	18.6	-	-	PU	油漆	油漆	自然進風	機械排風	誘導式	平面	84	53	35
				B4	3232	3.0	9696	1	18.6	-	-	PU	油漆	油漆	自然進風	機械排風	誘導式	平面	84	37	35
C	台南市 東區	10	8	B1	1096	3.8	4165	1	16.5	-	-	粉刷	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面	0	164	16
				B2	3185	4.3	13696	1	21.0	-	-	粉刷	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面/機械	107	0	37
D	台南縣 永康市	11	10	B2	2571	4.0	10284	2	11.6	8.4	-	粉刷	粉刷	粉刷	自然進風	機械排風	誘導式	平面	38	204	30
				B3	2571	3.7	9513	2	10.5	10.5	-	粉刷	粉刷	粉刷	自然進風	機械排風	誘導式	平面	76	0	30
				B3	4331	3.0	12993	1	23.2	-	-	粉刷	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面	88	35	48
E	台南市 東區	9	22	B4	4331	3.0	12993	1	23.2	-	-	粉刷	油漆	油漆	機械進風	機械排風	風管式	平面	95	32	48
				B5	4331	3.0	12993	1	23.2	-	-	粉刷	油漆	油漆	機械進風	機械排風	風管式	平面	81	44	48
				B1	1131	4.0	4524	1	15.1	-	-	瀝青	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面	20	50	18
F	台南市 南區	9	13	B2	1131	3.0	3393	1	11.8	-	-	瀝青	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面	23	23	18
				B3	1131	3.0	3393	1	11.8	-	-	瀝青	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面/機械	49	0	18
				B2	3517	3.2	11254	1	19.2	-	-	粉刷	粉刷	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面	78	76	40
G	台南市 東區	8	14	B3	3517	4.2	14771	1	24.0	-	-	粉刷	粉刷	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面/機械	45	12	40
				B1	1347	3.0	4041	1	18.0	-	-	粉刷	粉刷	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面	19	140	21
				B2	1347	3.0	4041	1	16.5	-	-	粉刷	粉刷	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面	37	0	21
H	台南市 安平區	9	17	B3	1347	3.0	4041	1	16.5	-	-	粉刷	粉刷	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面	40	0	21
				B1	609	3.1	1888	1	10.9	-	-	瀝青	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面	12	0	15
				B2	609	4.2	2558	1	15.1	-	-	瀝青	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	機械	24	20	15
I	台南市 安平區	10	14	B2	1640	4.1	6790	1	22.2	-	-	粉刷	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面/機械	26	102	20
				B2	1640	3.0	4920	1	12.9	-	-	粉刷	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面	42	0	20
				B3	1640	3.0	4920	1	12.9	-	-	粉刷	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面	42	0	20
J	台南市 東區	10	16	B2	1640	3.0	4920	1	12.9	-	-	粉刷	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面	42	0	20
				B2	1640	3.0	4920	1	12.9	-	-	粉刷	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面	42	0	20
				B3	1640	3.0	4920	1	12.9	-	-	粉刷	油漆	油漆	自然進風	機械排風	風管式	平面	42	0	20

附錄一 調查案例基本資料(續)

案 例	案例基本資料				空間構造因素				裝修材料				抽排風系統因素				使用者因素		測 點 數		
	位 置	建築概要		地下 樓層數	面積 (M ²)	室容積		開口部面積		地坪	牆面		天花板	系統類別		形式	停車型式	汽車位		機車位	
		屋 齡 (年)	地 上 樓 層 數			樓 層 高 (M)	容 積 (M ³)	車 道 出 入 口 數 量	出 入 口 1		出 入 口 2	天 井 (M ²)		地 坪	牆 面						天 花 板
K	台南市 安平區	9	21	B1	1661	4.0	6644	1	31.9	-	-	粉刷	油漆	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面/機械	61	0	21
				B2	1661	3.0	4983	1	15.9	-	-	粉刷	油漆	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面	48	0	21
L	台南市 東區	5	16	B1	1206	4.2	5029	1	21.0	-	-	粉刷	油漆	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	機械	15	156	16
				B2	1206	4.2	5077	1	16.0	-	-	粉刷	油漆	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面/機械	50	0	16
M	台南市 安平區	9	14	B1	7280	3.1	22568	1	26.2	-	-	粉刷	油漆	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面	172	145	71
				B2	7280	3.2	23442	1	18.1	-	-	粉刷	油漆	粉刷	自然進風	機械排風	誘導式	平面	168	115	71
N	台南市 安平區	8	13	B1	1289	3.9	5001	1	23.4	-	-	瀝青	油漆	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面	57	10	22
				B2	1289	3.2	4073	1	16.6	-	-	瀝青	油漆	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面	48	0	22
O	台南市 中西區	10	14	B2	7239	5.8	42059	1	18.7	-	-	瀝青	粉刷	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面	121	260	70
				B3	4106	3.5	14207	1	34.7	-	-	瀝青	粉刷	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面	115	40	50
P	高雄市 左營區	14	26	B4	4106	3.0	12318	2	9.4	9.4	54	粉刷	粉刷	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面	105	30	50
				B1	3998	2.9	11434	1	15.9	-	-	粉刷	粉刷	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面	74	140	45
				B2	3998	2.9	11434	1	15.9	-	-	粉刷	粉刷	粉刷	自然進風	機械排風	風管式	平面	96	130	45

附錄二 公寓大廈地下停車場空氣品質問卷調查表

問卷編號：_____ 填答日期： 年 月 日

各位住戶，您好
 感謝您百忙抽空填寫本份問卷。此為成功大學建築研究所，針對既有公寓大廈地下室空氣品質，調查各住戶使用現況滿意度。你的寶貴意見，將對地下室空氣品質的提昇有很大的幫助。本問卷僅供學術研究使用，佔用您寶貴時間，謝謝您的協助。

※填寫說明：請於□內打勾，或在_____內填寫數字或文字說明

■住戶基本資料

- 01. 填寫人性別 男 女
- 02. 年齡：20歲以下 21-30歲 31-40歲 41-50歲 51-60歲 61歲以上
- 03. 貴府居住人數：_____人
- 04. 貴府汽機車數量：汽車_____輛、機車_____輛
- 05. 請問您的汽車停放於地下_____層_____輛(地下_____層_____輛)或其他_____。
- 06. 請問您的機車停放於地下_____層_____輛(地下_____層_____輛)或其他_____。

■住戶使用情形調查

01. 請問您平常，開車或騎機車『出』地下室停車場，為哪些時段？

夜晚			白天					夜晚			
1-3	3-5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-15	15-17	17-19	19-21	21-23	23-1

02. 請問您平常，開車或騎機車『進』地下室停車場，為哪些時段？

夜晚			白天					夜晚			
1-3	3-5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-15	15-17	17-19	19-21	21-23	23-1

■住戶使用滿意度調查

- 01. 您認為對地下室停車場的溫度滿意程度如何？
很不滿意 不滿意 普通 滿意 很滿意
- 02. 您認為對地下室停車場的濕氣滿意程度如何？
很不滿意 不滿意 普通 滿意 很滿意
- 03. 您認為對地下室停車場的粉塵滿意程度如何？
很不滿意 不滿意 普通 滿意 很滿意
- 04. 您認為地下室停車場通風狀況是否滿意？
很不滿意 不滿意 普通 滿意 很滿意
- 05. 您進出地下室停車場是否有頭暈、疲倦、身體不適等感受？
很不舒服 不舒服 還好 稍微感到不適 沒有
- 06. 您對於地下室停車場空氣品質綜合感受為何？(可複選)
很不滿意 不滿意 普通 滿意 很滿意

Air quality in underground parking lots of condominium buildings

CHIEN-LUNG LIN^{1,*}, RONG-PING LAI¹, HUNG-REN HSIEH², HOU-SHUN LIN¹

Objectives: Most underground parking lots for condominium buildings are closed spaces. The pollutants cannot be discharged naturally, resulting in poor air quality. This study investigated the air quality and pollution problems affecting the underground parking lots of condominium buildings, and analyzed the factors affecting air quality. **Methods:** Measurements of the pollutants CO, CO₂, NO_x, and PM₁₀ were taken from the underground parking lots of 16 condominium buildings (39 floors) in southern Taiwan, a household questionnaire was given to users of these underground parking lots, and the status of probable affecting factors was investigated. A statistical analysis of the data was conducted with SPSS. **Results:** There was a higher concentration of gaseous pollutants at the lower floors. During peak traffic time, for every floor that was lower, the CO concentration increased by 2.1 ppm, the CO₂ concentration increased by 21.0 ppm, and the NO_x concentration increased by 59.9 ppb. The maximal average peak CO concentration was 26.1 ppm; and that of NO_x was 743 ppb. A satisfaction survey showed that the overall dissatisfaction rate of residents toward the underground parking lot was 27%, with the ventilation earning the highest dissatisfaction rate (37%). **Conclusions:** Among the pollutants present in the underground parking lots of condominium buildings, NO_x (average concentration exceeding 250 ppb in 14 tested buildings (87.5%)) was the most severe. In addition, it was found that inferior performance of the air ventilation system in the buildings (average efficiency dropped to 49% of the original design value) led to the failure of effective discharging of underground parking lot pollutants. (*Taiwan J Public Health*. 2008;27(6):478-495)

Key Words: *condominium Buildings, underground parking lots, air quality*

¹ Department of Architecture, National Cheng Kung University, No.1, University Road, Tainan, Taiwan, R.O.C.

² Graduate Institute of Architecture and Sustainable Planning, National I Lan University, Yilan, Taiwan, R.O.C.

* Correspondence author. E-mail: lcl1108@yahoo.com.tw

Received: Jul 25, 2008 Accepted: Nov 28, 2008