

2020 中華民國營建工程學會第十八屆營建產業永續發展研討會

臺中市逢甲大學周邊區影印店

室內空氣品質之探討

*張宸睿(Chang-Chen Jui)

曾亮(Tseng Liang)

逢甲大學建築專業學院建築學系碩士

逢甲大學建築專業學院建築學系副教授

摘要

臺中市逢甲大學周邊區，因校園周邊需求，造就影印店林立之現況，影印店在狹小空間中擺放了眾多影印裝訂等相關器具，且皆長時間運作使用，而影印店使用空調而關閉門窗，使影印機所逸散汙染物質更容易蓄積於室內空氣中，因此本研究將以逢甲大學周邊區影印店做為主要研究對象，進行現場檢測，探討其室內空氣品質，並以環保署訂定之七項汙染物做為檢測項目(CO、CO₂、O₃、HCHO、TVOC、PM₁₀、PM_{2.5})，瞭解各影印店之汙染特徵，並探討汙染物濃度與空間使用之相關性。

以「臺中市逢甲大學周邊區影印店」檢測結果，發現其室內空氣品質不符合標準者有：(1)CO₂ 最大值 1833ppm(元美影印)，超過標準值約 1.83 倍；(2) HCHO 最大值 0.09ppm(印時代影印)，超過標準值約 1.13 倍；(3)TVOC 最大值 2.53ppm(印時代影印)，超過標準值約 4.52 倍；(4)PM_{2.5} 最大值 0.123mg/g³(印時代影印)，超過標準值約 3.51 倍；(5) PM₁₀ 最大值 0.486mg/g³(印時代影印)，超過標準值約 6.48 倍。另外(1)與使用人數相關性較高者有 CO、CO₂、HCHO、PM_{2.5}，(2)與影印機運作數相關性較高者有 CO、HCHO、PM_{2.5}、PM₁₀。

關鍵字：影印店、室內空氣品質、臺中市、逢甲大學周邊區、氣體汙染物。

Discussion on Indoor Air Quality of Photocopy

Shops in the Surrounding Area of Feng Chia

University in Taichung City

Abstract

In the surrounding area of Feng Chia University in Taichung City, due to the needs of teachers and students on campus and surrounding companies and enterprises, there are

many photocopy shops. The photocopy shops have many photocopying and binding equipment in a small space, and they are all used for a long time. Photocopy shops often use air-conditioning to close doors and windows, making it easier for the pollutants emitted by the photocopier to accumulate in the indoor air. Therefore, this study will take the photocopy shops in the surrounding area of Feng Chia University as the main research object and conduct on-site inspections to explore the indoor air. Air quality, and use the seven pollutants specified by the Environmental Protection Agency as the test items (CO, CO₂, O₃, HCHO, TVOC, PM₁₀, PM_{2.5}), analyze the test results to understand the pollution characteristics of each photocopying shop, and Discuss the correlation between pollutant concentration and space use.

According to the test results of "Photocopying Shops in the Surrounding Area of Feng Chia University, Taichung City", it was found that the indoor air quality did not meet the standard: CO₂ maximum value of 1833ppm (Yuanmei Photocopy), which exceeded the standard value (1000ppm) by about 1.83 times; HCHO maximum value of 0.09 ppm (printing time photocopy), about 1.13 times exceeding the standard value (0.08ppm); TVOC maximum value 2.53ppm (printing time photocopying), about 4.52 times exceeding the standard value (0.56ppm); PM_{2.5} maximum value 0.123mg/g³(It is about 3.51 times higher than the standard value (0.035 mg/g³); the maximum value of PM₁₀ is 0.486mg/g³ (copytime), which exceeds the standard value (0.075 mg/g³) about 6.48 times. CO, CO₂, HCHO, PM_{2.5} are highly correlated with the number of users, and CO, HCHO, PM_{2.5}, PM₁₀ are highly correlated with the number of photocopiers.

Keywords: Photocopying shop, Indoor air quality, Taichung City, The surrounding area of Feng Chia University, Gaseous pollutant.

一、前言

臺中市逢甲大學周邊區，因應校園師生、夜市與周邊公司企業需求，造就影印店林立之現況，影印店在狹小的空間中擺放了眾多影印裝訂等相關器具，且皆長時間運作使用，而因台灣氣候悶熱影印店經常關閉門窗開啟空調，使影印機所逸散之汙染物質更容易蓄積於室內空氣中，其影響的使用者不僅僅只是影印店中的店員，也會影響各個至影印店消費者，因此本研究將以逢甲大學周邊區影印店做為主要研究對象，探討其室內空氣品質，並以環保署訂定之室內九項汙染物質中之七項做為檢測項目，包括 CO、CO₂、O₃、HCHO、TVOC、PM₁₀、PM_{2.5} 七項因子。

本研究之研究目的，以儀器進行影印店室內空氣品質之現場檢測，將檢測結果之數據分析，瞭解影印店中的室內空氣品質(IAQ)與各影印店之汙染特徵，並探討其懸浮微粒、總揮發有機化合物、甲醛、臭氧等汙染物質與空間使用之相關性。以下為本研究之研究流程：

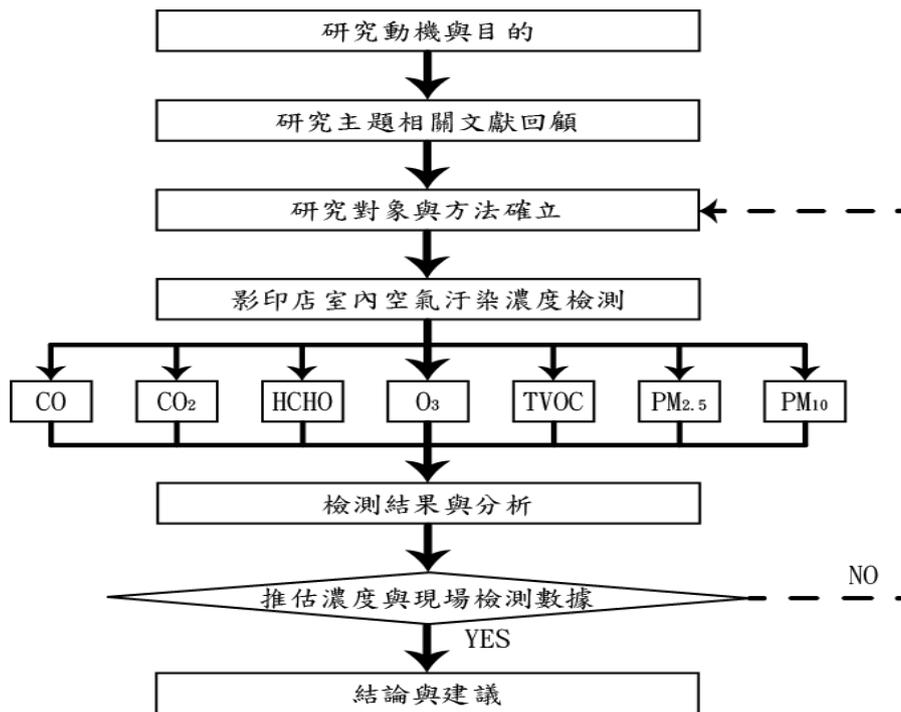


圖 1-1 研究流程圖

二、文獻回顧

本節文獻回顧主要探討：室內空氣品質規範標準、影印店室內空氣品質相關研究論文簡述，說明如下：

2-1 室內空氣品質規範指標

中華民國 101 年 11 月 23 日行政院環境保護署，依據第二條各項室內空氣污染物之室內空氣品質標準規定(如表 2-1)：

表 2-1 室內空氣污染物之室內空氣品質標準表

項目	標準值		單位
二氧化碳(CO ₂)	1000	8 小時值	ppm(體積濃度百萬分之一)
一氧化碳(CO)	9	8 小時值	ppm(體積濃度百萬分之一)
甲醛(HCHO)	0.08	1 小時值	ppm(體積濃度百萬分之一)
臭氧(O ₃)	0.06	8 小時值	ppm(體積濃度百萬分之一)
總揮發性有機化合物(TVOC)	0.56	1 小時值	ppm(體積濃度百萬分之一)
懸浮微粒(PM _{2.5})	35	24 小時值	µg/m ³ (微克/立方公尺)
懸浮微粒(PM ₁₀)	75	24 小時值	µg/m ³ (微克/立方公尺)

2-2 影印店室內空氣品質相關研究論文簡述

(一) 1999，『Assessment of Pollutant Emissions from Dry-Process Photocopiers』，研究作者：S. K. BROWN。

其研究結果發現，影印過程中，最主要產生之污染物為總揮發性有機化合物與懸浮微粒，而臭氧與二氧化氮之排放量較小，影印期間也產生了些許的甲醛，但是

與列印過程無太大相關性。而影印行為中影響汙染物質逸散之主要因素為影印速度與雙面影印，研究結果顯示影印速度越快速，逸散之汙染物質濃度將會大幅升高，而雙面列印也將會大幅增加汙染濃度，研究數據顯示在相同之時間內雙面列印產生之汙染濃度相較於單面列印高出一倍之多。

(二) 2005，『影印店勞工暴露於揮發性有機化合物及微粒之評估』，研究作者：林夢怡，碩士論文：長榮大學職業安全與衛生研究所。

研究結果發現影印店揮發性有機化合物均未高於相關法令。PM_{1.0} 八小時日時量平均介於 0.1 至 0.37mg/m³，PM_{2.5} 八小時日時量平均介於 0.11 至 0.33mg/m³，由於 PM_{2.5} 背景濃度介於 0.05-0.18mg/m³，以此推估影印店 24 小時之 PM_{2.5} 濃度值，將高於美國環保署規定之 24 小時 PM_{2.5} 容許濃度值 0.065 mg/m³。環境影響因子方面結果顯示影印紙張數、影印店體積、每小時空氣換氣次與室外汙染物濃度為主要影響因子室外濃度亦成正相關，室外濃度上升將使室內濃度升高。

(三) 2014，『室內空氣品質及植栽之研究-以逢甲大學忠勤樓 611、行政二館 104, 105 電腦教室為例』，研究作者：吳懷信；碩士論文：逢甲大學建築學系研究所

研究結果顯示，上課人數以 50 人計算，其二氧化碳(CO₂)平均濃度達到 2383ppm，超過標準值 1000ppm。經實測 6 次平均數據，約置入 7 盆白鶴芋後，CO₂ 濃度有改善平均值約 2123ppm，下降約 260ppm。臭氧(O₃)濃度在上課時平均濃度達到 0.163ppm，超過標準值 0.06ppm。實驗數據以正負相關性來分析：屬於高度負相關的有 O₃、細菌，其濃度及菌落數有明顯的降低；屬於中度負相關的有溫度、CO、PM_{2.5}、PM₁₀，其溫度及汙染物濃度偏低；屬低度負相關有溼度 CO₂、HCHO、真菌，其溼度、汙染物濃度及菌落數略降低。

三、檢測計畫

本研究檢測項目包含七項室內空氣汙染物與室內空間可能造成汙染之來源進行紀錄，並分別進行相關性分析。其七項室內空氣汙染物依據室內空氣汙染物質標準規定，包含二氧化碳(CO₂)、一氧化碳(CO)、甲醛(HCHO)、臭氧(O₃)、總揮發性有機化合物(TVOC)、懸浮微粒(PM₁₀)、細懸浮微粒(PM_{2.5})。

3-1 調查範圍與對象

研究範圍以逢甲大學西側為主，實際範圍以西安街、福星路、文華路與逢甲路四條道路間之長方形空間，其範圍面積約 47,040 平方公尺，本研究將以範圍內之兩間影印店作為研究對象，分別為印時代影印輸出社、元美影印中心。(如圖 3-1 所示)。



圖 3-1 檢測範圍及對象示意圖

3-2 檢測方法與檢測時間

本研究以逢甲大學周邊區影印店為檢測地點，進行現場檢測計畫，針對印時代影印輸出社、元美影印中心兩間影印店空間，進行室內空氣品質七項污染物(CO₂、CO、O₃、HCHO、TVOC、PM₁₀、PM_{2.5})進行儀器檢測作業，單次檢測時間為4hrs，每間檢測三日。影印店空間檢測計畫表（如表 3-1）。

表 3-1 逢甲大學周邊區影印店檢測計畫表

影印店	換氣方式	服務人員	檢測天數	檢測時數	材料		空間		設備	
印時代	空調 風扇	1~3 人	3 日	每日 4 hrs , 共計 12 hrs	地坪	木地板	面積	47.7 m ²	電腦	5 台
					牆面	水泥粉刷、油漆	淨高	4.0 m	影印機	8 台
					天花	輕鋼架礦纖板	容積	190.8 m ³	膠裝	2 台
元美	空調 風扇	2~3 人	3 日		地坪	白色地磚	面積	39.4 m ²	電腦	7 台
					牆面	水泥粉刷、油漆	淨高	3.5 m	影印機	13 台
					天花	輕鋼架礦纖板	容積	137.9 m ³	膠裝	1 台

四、檢測結果與分析

4-1 印時代影印輸出社檢測結果與分析

印時代位於文華路上，平均服務人員為兩人，使用者較多且出入頻繁，其空間大小約為 48 平方公尺，其服務多數為大量的海報輸出與文書裝訂。室內空調開啟，因此出入口長期關閉，僅有使用者出入時開啟，因此在影印店空氣換氣率較低(如圖 4-1、4-2、4-3 及表 4-1)。



圖 4-1 印時代影印輸出社空間平面圖

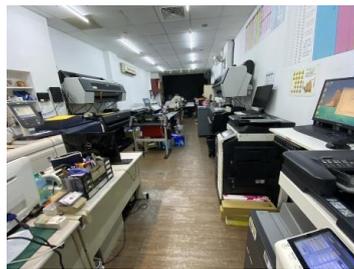


圖 4-2 印時代內部照片



圖 4-3 印時代檢測照片

表 4-1 印時代影印輸出社現場檢測紀錄表

檢測時段	門窗開關	風扇	空調	日照	影印數量	檢測時間	備註
6/23(三) 14:00~18:00	○	●	●	微弱	約 3000 張	4 小時	
6/25(四) 14:00~18:00	○	●	●	微弱	約 3000 張	4 小時	
6/26(五) 14:00~18:00	○	●	●	微弱	約 3500 張	4 小時	

(一) 檢測結果

各項污染濃度值依照現場檢測結果，以最大值超標者作為說明(如表 4-2)：

1. CO₂ 之最大值為 1335PPM(6 月 23 日)，檢測三日均超過標準值(1000PPM)。
2. HCHO 之最大值為 0.09PPM(6 月 23 日)，僅有一日超過標準值(0.08PPM)。
3. TVOC 之最大值為 2.53PPM(6 月 23 日)，僅有一日超過標準值(0.56PPM)。
4. PM_{2.5} 之最大值為 0.123 mg/m³(6 月 23 日)，檢測三日均超過標準值(0.035mg/m³)。
5. PM₁₀ 之最大值為 0.486 mg/m³(6 月 23 日)，檢測三日均超過標準值(0.075 mg/m³)。

表 4-2 印時代影印輸出社檢測濃度最大值、最小值、平均值總表

項目	第一次(6 月 23 日)			第二次(6 月 25 日)			第三次(6 月 26 日)		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
CO (PPM)	3.7	2.5	3.39	3.8	3.1	3.51	3.6	2.7	3.20
CO ₂ (PPM)	*1335	*1223	*1290.4	*1242	*1067	*1162.7	*1240	*1014	*1122.2
HCHO (PPM)	*0.090	0.065	0.0736	0.071	0.060	0.0670	0.054	0.021	0.0397
O ₃ (PPM)	0.002	0	0.0003	0.002	0	0.0004	0.003	0	0.0005
TVOC (PPM)	*2.53	0.33	*0.850	0.33	0.27	0.296	0.34	0.24	0.269
PM _{2.5} (mg/m ³)	*0.123	0.015	*0.0454	*0.072	0.012	0.0252	*0.053	0.019	0.0286
PM ₁₀ (mg/m ³)	*0.486	0.033	*0.1233	*0.340	0.024	0.0706	*0.157	0.036	*0.0842
人數(人)	7	3	5.33	5	3	4	5	2	3.33
影印機(台)	6	2	3.22	4	1	2.11	4	2	2.56

(二) 超標項目分析

本間影印店經檢測結果超標項目有 CO₂、HCHO、TVOC、PM_{2.5}、PM₁₀，其中 HCHO、TVOC 較為特殊，因此針對 HCHO、TVOC 做以下說明：

甲醛(HCHO)依照現場檢測結果，最大值分別為 6 月 23 日:0.09ppm、6 月 25 日:0.071ppm、6 月 26 日:0.054ppm。因 6 月 23 日下午影印店有使用膠裝封膜器具，因此有短時間超標(0.08 ppm)情況(如圖 4-4)。

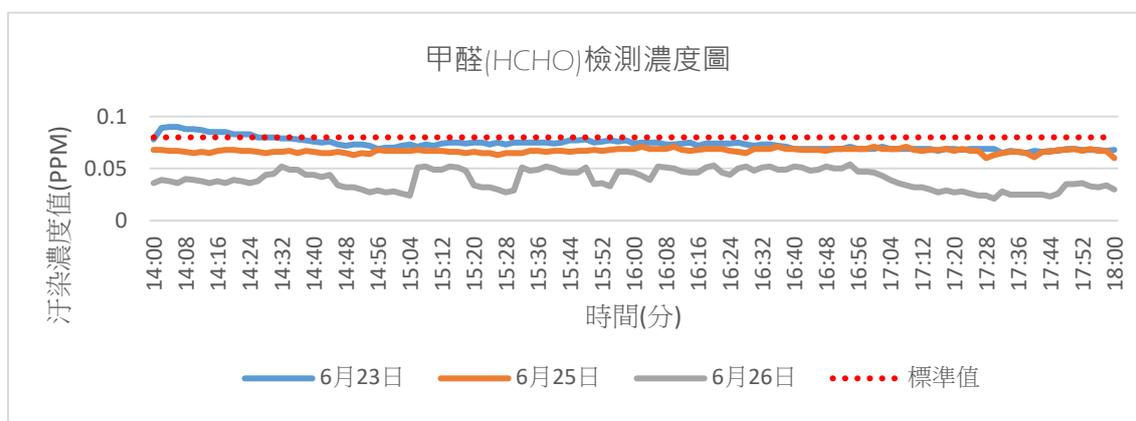


圖 4-4 印時代甲醛(HCHO)檢測濃度圖

揮發性有機化合物(TVOC)依照現場偵測結果，最大值分別為 6 月 23 日:2.53ppm、6 月 25 日:0.33ppm、6 月 26 日:0.34ppm。因 6 月 23 日下午影印店

有使用膠裝封膜器具，因此有短時間超過標準值(0.56 ppm)(如圖 4-5)。

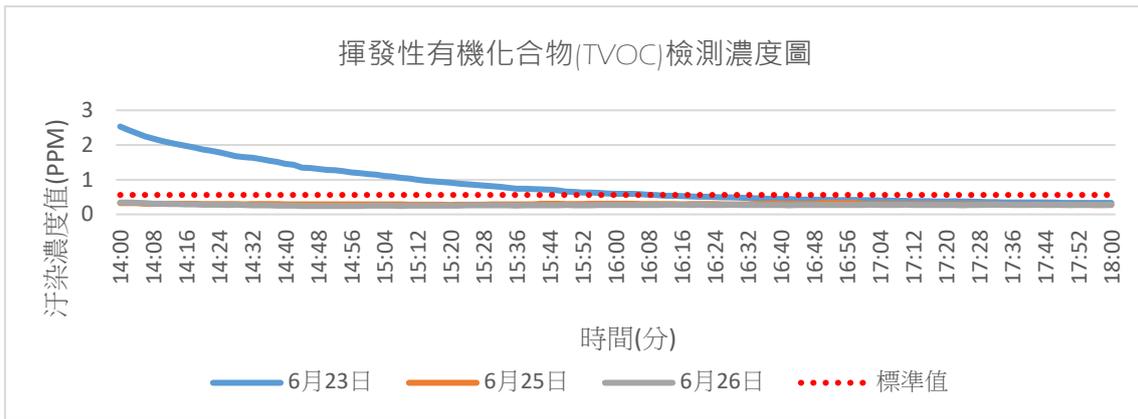


圖 4-5 印時代揮發性有機化合物(TVOC)檢測濃度圖

(三) 變動因子與污染因子相關性分析

以印時代檢測期間之各項變動因子與各項污染物質檢測濃度以線性回歸方程式進行相關性分析，以下為各項變動因子與各污染因子相關性分析表(如表 4-3)：

使用人數之高度相關：CO($R^2=0.9607$)、CO₂($R^2=0.7806$)、HCHO($R^2=0.8461$)、PM_{2.5}($R^2=0.8161$)。影印機運作數量之高度相關：CO($R^2=0.9376$)、HCHO($R^2=0.7940$)、PM_{2.5}($R^2=0.8221$)。

表 4-3 印時代影印輸出社各項變動因子與各污染因子相關性分析表(高度相關性)

	一氧化碳(CO)	甲醛(HCHO)	懸浮微粒(PM _{2.5})
使用人數			
相關性	$R^2=0.9607$	$R^2=0.8461$	$R^2=0.8161$
影印機運作數量			
相關性	$R^2=0.9376$	$R^2=0.7940$	$R^2=0.8221$

4-2 元美影印中心檢測結果與分析

元美影印店位於文華路上，平均服務人員為三人，服務對象主要為學生，使用者較多且出入頻繁，其空間大小約為 39 平方公尺，其裝訂空間與影印空間為不同區域。室內空調開啟，因此出入口長期關閉，因此在影印店空氣換氣率較低(如圖

4-6、4-7、4-8 及表 4-4)。

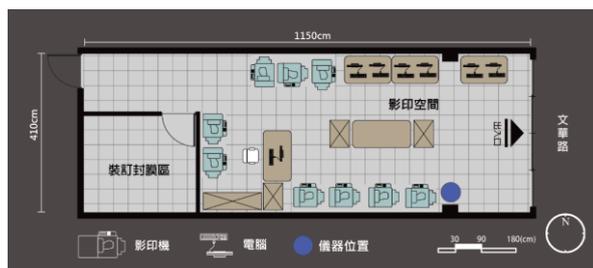


圖 4-6 元美影印空間平面圖



圖 4-7 元美外觀照片

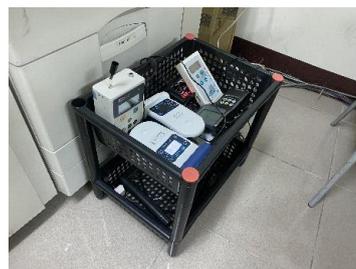


圖 4-8 元美檢測照片

表 4-4 元美影印中心現場檢測紀錄表

檢測時段	門窗開關	風扇	空調	日照	影印數量	檢測時間	備註
7/7(三) 10:00~14:00	○	●	●	微弱	約 3500 張	4 小時	
7/9(四) 10:00~14:00	○	●	●	微弱	約 3000 張	4 小時	
7/10(五) 10:00~14:00	○	●	●	微弱	約 3000 張	4 小時	

(一) 檢測結果

各項汙染濃度值依照現場檢測結果，以最大值超標者作為說明(如表 4-5)：

1. CO₂之最大值為 1833PPM(7 月 7 日)，檢測三日均超過標準值(1000PPM)。
2. PM_{2.5}之最大值為 0.07 mg/m³(7 月 10 日)，檢測三日均超過標準值(0.035mg/m³)。
3. PM₁₀之最大值為 0.134 mg/m³(7 月 10 日)，檢測三日均超過標準值(0.075 mg/m³)。

表 4-5 元美影印中心檢測濃度最大值、最小值、平均值總表

項目	第一次(7月7日)			第二次(7月9日)			第三次(7月10日)		
	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
CO (PPM)	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
CO ₂ (PPM)	*1833	*1269	*1338.8	*1505	*1063	*1305.6	*1352	*1095	*1237.8
HCHO (PPM)	0.042	0.027	0.0338	0.041	0.023	0.0323	0.053	0.024	0.0367
O ₃ (PPM)	0.017	0	0.0027	0.052	0	0.0065	0.029	0	0.0029
TVOC (PPM)	0.49	0.41	0.435	0.46	0.25	0.372	0.45	0.22	0.374
PM _{2.5} (mg/m ³)	*0.047	0.012	0.0260	*0.053	0.014	0.0267	*0.070	0.020	*0.0447
PM ₁₀ (mg/m ³)	*0.106	0.026	0.0534	*0.109	0.029	0.0550	*0.134	0.036	*0.0914
使用人數(人)	5	3	4.22	7	2	4	4	2	2.89
影印機(台)	4	2	2.67	4	2	2.33	5	2	3.67

(二) 超標項目分析

本間影印店經檢測結果超標項目有 CO₂、PM_{2.5}、PM₁₀，其中 CO₂、PM_{2.5} 較為嚴重，因此針對 CO₂、PM_{2.5} 做以下說明：

二氧化碳(CO₂)依照現場檢測結果，最大值分別為 7 月 7 日:1833ppm(使用人數為 5 人)、7 月 9 日:1505ppm(使用人數為 5 人)、7 月 10 日:1352ppm(使用人數為 4

人)。元美影印空間使用人數雖然不高，但門窗關閉室內通風率低，導致汙染物質累積，因此檢測三日之二氧化碳濃度皆超標(1000 ppm) (如圖 4-9)。

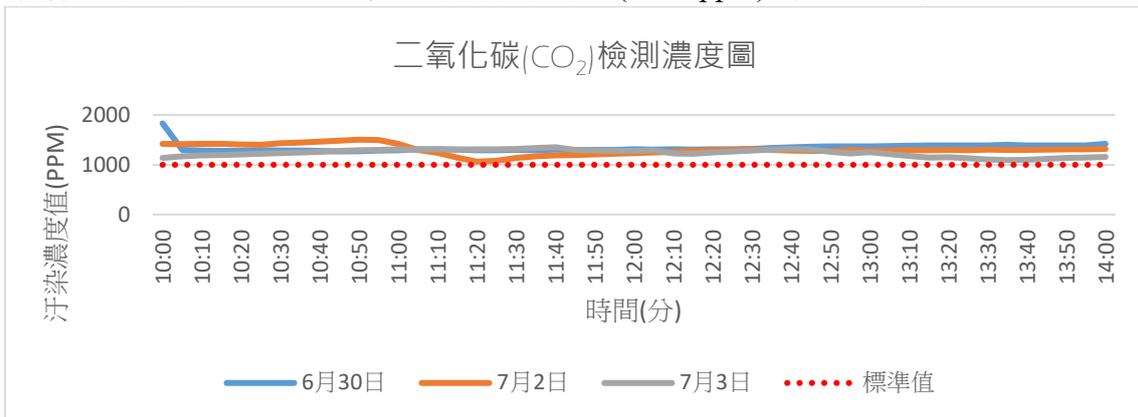


圖 4-9 元美影印二氧化碳(CO₂)檢測濃度圖

懸浮微粒(PM_{2.5})依照現場檢測結果，最大值分別為 7 月 7 日:0.047 mg/m³(使用影印機為 4 台)、7 月 9 日:0.053 mg/m³(使用影印機為 4 台)、7 月 10 日:0.07 mg/m³(使用影印機為 4 台)。店內影印機大多使用碳粉列印，因此檢測三日皆有超標(0.035 mg/m³)情況(如圖 4-10)。

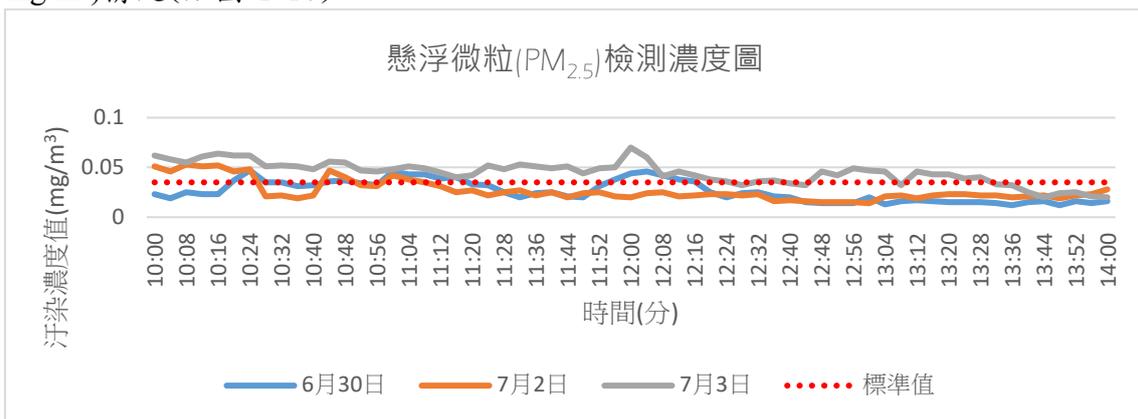


圖 4-10 元美影印懸浮微粒(PM_{2.5})檢測濃度圖

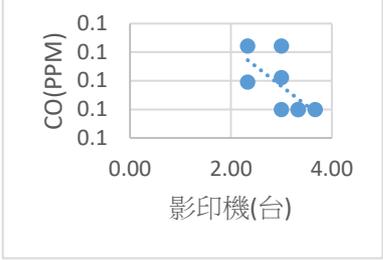
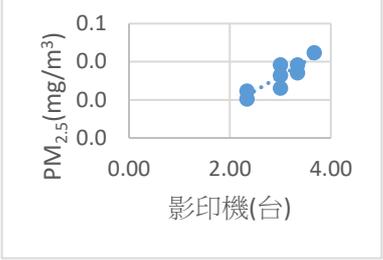
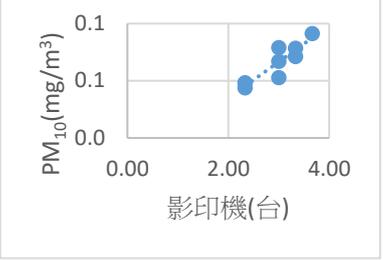
(三) 變動因子與汙染因子相關性分析

以元美影印檢測期間之各項變動因子與各項汙染物質檢測濃度以線性回歸方程式進行相關性分析，以下為各項變動因子與各汙染因子相關性分析表(如表 4-6)：

影印機運作數量之中度相關：CO($R^2=0.4282$)；影印機運作數量之高度相關：PM_{2.5}($R^2=0.7883$)、PM₁₀($R^2=0.7927$)。

表 4-6 元美影印中心各項變動因子與各汙染因子相關性分析表(高度相關性)

	一氧化碳(CO)	懸浮微粒(PM _{2.5})	懸浮微粒(PM ₁₀)
使用人數			

相關性	$R^2=0.1137$	$R^2=0.2497$	$R^2=0.2451$
影印機 運作數 量			
相關性	$R^2=0.4282$	$R^2=0.7883$	$R^2=0.7927$

五、結論

本文經由前言、文獻回顧、檢測計畫、檢測結果與分析階段得出以下結論：

(一)現場檢測超標項目：

1.印時代影印

超標項目 CO_2 、HCHO、TVOC、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} ， CO_2 之最大值為 1335PPM(使用人數 7 人)，HCHO 之最大值為 0.09PPM(有使用膠裝器具)，TVOC 之最大值為 2.53PPM(有使用膠裝器具)， $PM_{2.5}$ 之最大值為 $0.123mg/m^3$ (影印機使用數 6 台)， PM_{10} 之最大值為 $0.486mg/m^3$ (影印機使用數 6 台)。

2.元美影印

超標項目 CO_2 、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} ， CO_2 之最大值為 1833PPM(使用人數 5 人)， $PM_{2.5}$ 之最大值為 $0.07mg/m^3$ (影印機使用數 5 台)， PM_{10} 之最大值為 $0.134mg/m^3$ (影印機使用數 5 台)。

(二)各污染因子與變動因子之相關性

以上分析可見，與使用人數相關性較高者有 $CO(R^2=0.9607)$ 、 $CO_2(R^2=0.7806)$ 、 $HCHO(R^2=0.8461)$ 、 $PM_{2.5}(R^2=0.8161)$ ，與影印機運作數相關性較高者有 $CO(R^2=0.9376)$ 、 $HCHO(R^2=0.7940)$ 、 $PM_{2.5}(R^2=0.8221)$ 、 $PM_{10}(R^2=0.7927)$ 。

參考文獻

1. 林孟怡，「影印店勞工暴露於揮發性有機化合物及微粒之評估」，碩士論文，長榮大學職業安全與衛生研究所，2005。
2. 陳烈銘、韓豐年，「建構我國印刷業環保標章指標與內涵之研究」，中華印刷科技年報，2012。
3. 吳懷信，「室內空氣品質及植栽之研究-以逢甲大學忠勤樓611、行政二館104,105電腦教室為例」，碩士論文，逢甲大學建築系，2014。
4. 許逸群，「室內空氣品質管理法/圖書館空氣品質優化改善」，崑山科技大學永續環境暨先進遙測研究中心，2016。
5. 張宸睿，「臺中市文山環保資訊圖書館室內空氣品質探討」，中華民國設計學會(CIAD)第十六屆空間設計學術論文及設計作品發表研討會，2020。
6. S.K.BROWN, 「Assessment of Pollutant Emissions from Dry-Process Photocopiers」,Printed in Denmark,1999.