

揮發性有機物減量策略對空氣品質改善成效

張良輝¹ 蔡俊鴻² 鄭福田³ 林文川⁴ 魏憶琳⁵

雲林科技大學環境與安全衛生工程系教授¹ 國立成功大學環境工程系教授²

台灣大學環境工程研究所教授³ 祥威環境科技股份有限公司經理⁴

財團法人中技社環境技術發展中心專案經理⁵

摘要

近年來臭氧逐漸成為台灣地區導致空氣品質不良之主要原因，管制其前趨物揮發性有機氣體乃為重要策略。目前固定源揮發性有機物之管制仍僅限於汽車製造業、石化業等 6 項行業，因此，加強推動固定源揮發性有機空氣污染物管制乃為有效改善臭氧問題之核心工作。

本研究蒐集國外相關管制策略，並以美國加州南岸空氣品質管理局(AQMD)之空氣品質管理經驗為主軸，依據國內之固定污染源排放特性為基礎，比較評估適用之管制策略，並依現有成熟之控制技術進行減量空間探討，併同考量成本有效性、行政可行性提出管制策略推動期程建議，進而規劃國內整體揮發性有機物之管制架構及短、中長程管制策略之建構。此外，為能有效達成國家環境保護計畫所定之階段性空氣品質改善目標，而建立空氣品質模擬模式，配合重要策略搭配模式模擬，驗證探討污染物濃度時空分佈情形及減量成效之敏感性，預估目標年空氣品質不良日之降低幅度，藉由模式與策略之搭配，了解政策推動之成效，以達保護民眾健康之目的。

研究結果顯示，台灣地區在民國 100 年前應優先以揮發性有機物為主要管制標的，併同高臭氧潛勢物種之檢討，加強點源、逸散源及重要面源之減量，以達成改善臭氧目標；民國 100 年後配合技術發展擴大至有害空氣污染物(HAPs)之管制。本研究配合污染特性及國內外法規管制趨勢及現有 VOCs 處理技術共提出 13 項法規之增修訂、11 項管制策略和 3 項面源管制內容，依據技術可行性、排放減量潛勢、成本有效性及行政可行性等四項指標規劃三層推動優先序，並初估所有政策施行後總計會有 20.6 萬公噸減量，依此減量進行空氣品質之模擬，可分別使北部 中部 雲嘉南及高屏空品區之臭氧平均濃度改善比例為 3.7% 6.7% 7.4% 及 11.2%。進一步針對空氣品質不良日較高之雲嘉南及高屏解析 PSI>100 之比例，預計雲嘉南地區平均降幅可從 89 年之 1.17%降至 0.78%，而高屏地區則由 4.54%降至 2.42%，對台灣地區之空氣品質有極大之助益。

關鍵字: 揮發性有機物、管制策略、空氣品質模擬、減量技術

一、前言

台灣地區近年來臭氧已逐漸取代懸浮微粒成為導致空氣品質不良之主要原因，而臭氧係由氮氧化物(NO_x)、揮發性有機氣體(VOCs)經光化學反應所衍生之二次污染物，由於 NO_x 大多已趨有效控制，而目前在固定源 VOCs 之管制上，仍僅限於汽車製造業、石化業、半導體業、PU 合成皮、乾洗業及加油站等 6 項行業別排放標準之管制規範，相較國外針對臭氧問題所提出之揮發性有機物管制策略則稍嫌不足，因此，加強推動固定源揮發性有機空氣污染物之管制乃為有效改善地區臭氧問題之核心工作。

美國南加州空氣品質管理局(SCAQMD)^[1] 針對臭氧管制提出多項管制措施，並配合減量目標及技術發展狀況定時檢討調整策略之適用性及管制效益。此外，在 SCAQMD 管制法規中已納入多項行業之 VOCs 排放管制，詳表 1 之整理，故參考國外之管制經驗，從法規訂定及策略研擬著手，配合國內污染源之排放特性，建立台灣地區未來 VOCs 之管制架構，有效達到國家環境保護計畫所定之階段性空氣品質改善目標。

表 1 SCAQMD 針對行業 VOCs 管制之彙整^[2]

條文	內容(修訂年份)	SCAQMD 管制方式							
		源頭 管制	排放 濃度	削減 率	排放 量	設備 要求	操作 規定	監測 要求	紀錄
1102	使用四氯乙烯溶劑以外之乾洗業(2000)								
1102.1	使用石油系溶劑之乾洗系統(1994)								
1103	藥物和化妝品製造(1999)								
1104	平板木材塗裝(1999)								
1106	船舶塗裝操作(1995)								
1106.1	遊艇塗裝操作(1999)								
1107	金屬零件加工或產品之塗裝(2001)								
1108	Cutback瀝青(1985)(一種液態石油產品)								
1108.1	乳化瀝青(1983)								
1110.2	使用氣、液燃料之引擎排放規定(1997)								
1113	建築塗裝使用規定(2001)								
1115	汽車裝配生產之塗裝規定(1995)								
1116.1	儲槽輕質有機液之操作(1978)								
1122	溶劑類脫脂劑之管理(2001)								
1124	航太裝配及製造操作規定(2001)								
1125	金屬容器、線圈之塗裝操作(1995)								
1126	磁性線圈塗裝操作(1995)								
1128	紙、纖維、膠片之塗裝操作(1996)								
1130	文藝方面印製作業(1999)								
1130.1	網版印刷操作(1996)								
1131	食品製造之程序操作(2000)								
1132	高排放噴槍污染源之排放控制(2001)								
1138	餐飲操作之排放控制(1997)								
1140	研磨料之爆裂破碎(1985)								

1141	樹脂製造之排放控制(2000)								
1141.1	塗料及油墨製造(2000)								
1141.2	界面活性劑製造(2002)								
1142	海運儲槽操作管理 (1991)								
1145	塑膠、橡膠和玻璃塗裝(1997)								
1148	熱油回收井規定(1982)								
1149	脫脂劑儲存槽(1995)								
1151	機動車輛及設備之非裝配線塗裝操作(1998)								
1153	烘焙業之排放管制(1995)								
1162	聚合樹脂操作(2001)								
1166	土壤復育之VOCs排放規定(2001)								
1168	製程接著劑使用規定(2000)								
1171	溶劑清洗操作(1999)								
1173	揮發性有機物逸散排放 (1994)								
1174	來自木炭燒烤之VOCs控制(1990)								
1176	廢水處理系統(含污水坑、廢水分離池等)規定(1996)								
1178	石油工廠儲槽之排放減量(2001)								
1179	公共廢水處理廠操作(1992)								

參考資料：

本研究針對目前排放清單之掌握情形及國內外管制現況資料蒐集研析，進行法規增修訂作業，並以技術可行性為基礎，進行排放潛勢較大行業之策略研擬，並同時考量政策推動之衝擊，訂出推動優先序指標，藉以評估各策略之推動期程，健全短、中、長程之管制架構。此外，依法規草案研訂之管制要求及策略評估減量標的進行排放量試算，再運用空氣品質模式進行未來空氣品質改善成效之模擬作業，以協助環保署檢視國家環境品質目標之達成性，進一步維護國民生活品質及健康，本研究之各項作業成果說明如后。

二、管制對象篩選

依據目前排放清單（TEDS5.1）掌握之排放量分析，參見圖 1^[3]，現有管制法規之 6 行業約佔固定源 VOCs 年排放總量 72 萬公噸的 15%，而其他排放量之分配情形依序為面源佔 23%、塑橡膠加工佔 20%、表面塗裝佔 15%及電子產業佔 8%，另有其他非特定分類之排放量約佔 17%。本研究根據排放量大小、後續行業之發展性及過去已執行過之調查輔導經驗，優先將光電及膠帶等 8 項行業納入法規草案研擬對象，另外主要 VOCs 排放行業則列入本研究管制策略研訂範疇，管制對象篩選結果如表 2 所示。

表 2 管制對象篩選結果

法規增新訂			管制策略研訂	
既有法規修訂 (5 項)	草案修訂 (4 項)	新增草案 (4 項)	點源管制策略(11 項)	面源管制策略 (3 項)

PU 合成皮、石化、汽車表面塗裝、半導體、乾洗	膠帶、光電、印刷電路板、建築塗裝	光碟業、機車表面塗裝、凹版印刷、凸版印刷	鋼鐵業之軋造/煉焦/燒結、平版印刷、銅箔基板/乾膜光阻、木竹/紙類/金屬製品表面塗裝、PVC 皮、塑膠、橡膠	農業溶劑、消費商品、露天燃燒
-------------------------	------------------	----------------------	--	----------------

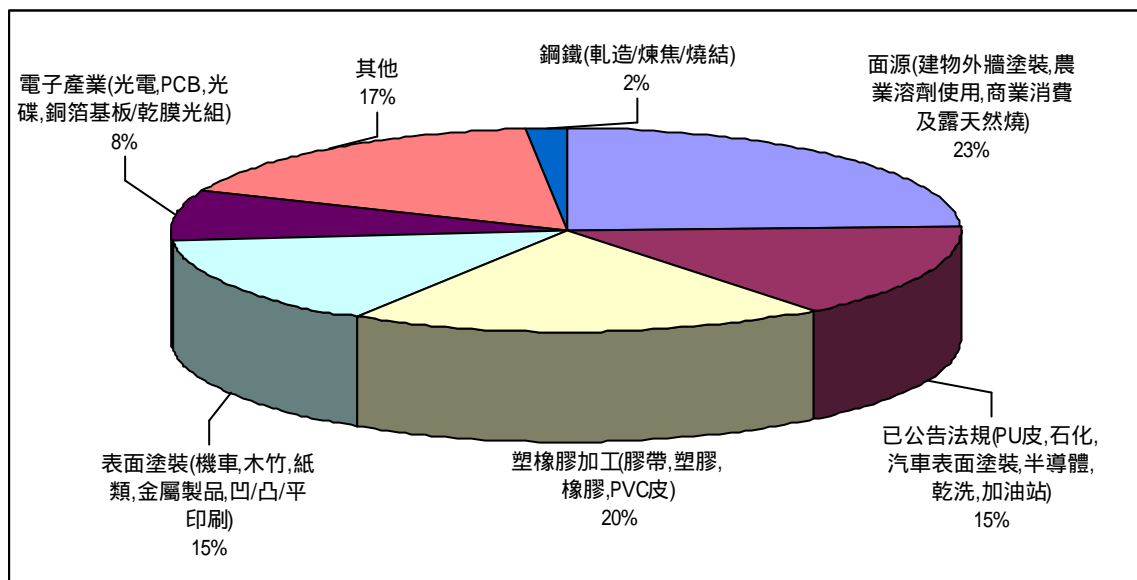


圖 1 TEDS5.1 排放清單排放比例圖^[3]

三、相關管制研訂資料蒐集

(一)管制架構

配合「國家環境保護計畫」之期程，以民國 100 年為分界訂定近中程與長程之 VOCs 改善目標，將民國 100 年前達成目標列為近中程目標(第一、二期, Stage I、II)，以 VOCs 排放減量，達成臭氧污染改善為主；民國 100 年後為長程規劃(第三期, Stage III)，管制乃以保護人民健康，降低 VOCs 所致健康影響為終極目標。整體 VOCs 管制主軸於第一二期時以揮發性有機污染物排放減量為規劃重點，主要將非甲烷碳氫化合物(NMHC)列為標的污染物，以達成 VOCs 排放減量為管制策略發展主軸，適時考量不同 VOCs 成份之臭氧生成潛勢，將標的污染物導向個別 VOCs 物種，以進一步獲得更佳臭氧污染改善成效。第三期目標則以降低揮發性有機物對人體健康影響為軸心，主要管制污染物對象將以揮發性有害空氣污染物為重點，並發展以揮發性 HAPs 為管制架構，採取環境濃度標準或健康危害衝擊作為管制方式。

本研究優先規劃近中程階段之管制策略，考量工廠(場)之煙囪排放、廠內逸散等不同排放來源污染特性及資料建置完備性及管制技術難易，分為管道排放、逸散排放及擴大至面源排放等類型來研擬管制對策，針對第一期(Stage I)管制架構乃採技術基準(technology based)為主；採最佳可行控制技術(BACT)精神為管制主軸，一定規模以上排放源管制需符合該行業(製程)「最佳可行控制技術」管制標準，以較佳控制技術效率達成減量目標；未達要求規模者或逸散源，則依其特性訂定適切技術要求或濃度限值，並以「合理可行控制技術」(RACT)為基準。此外，建議增修訂「固定污染源揮發性有機物排放標準」做為所有污染源一般性管制基

準，要求排放源達到一定標準以下使得排放。針對第二期(Stage II)納入高臭氧潛勢物種管制，並擴大至面源，將消費商品、溶劑使用、露天燃燒...等列入排放量調查及減量管制範圍內。

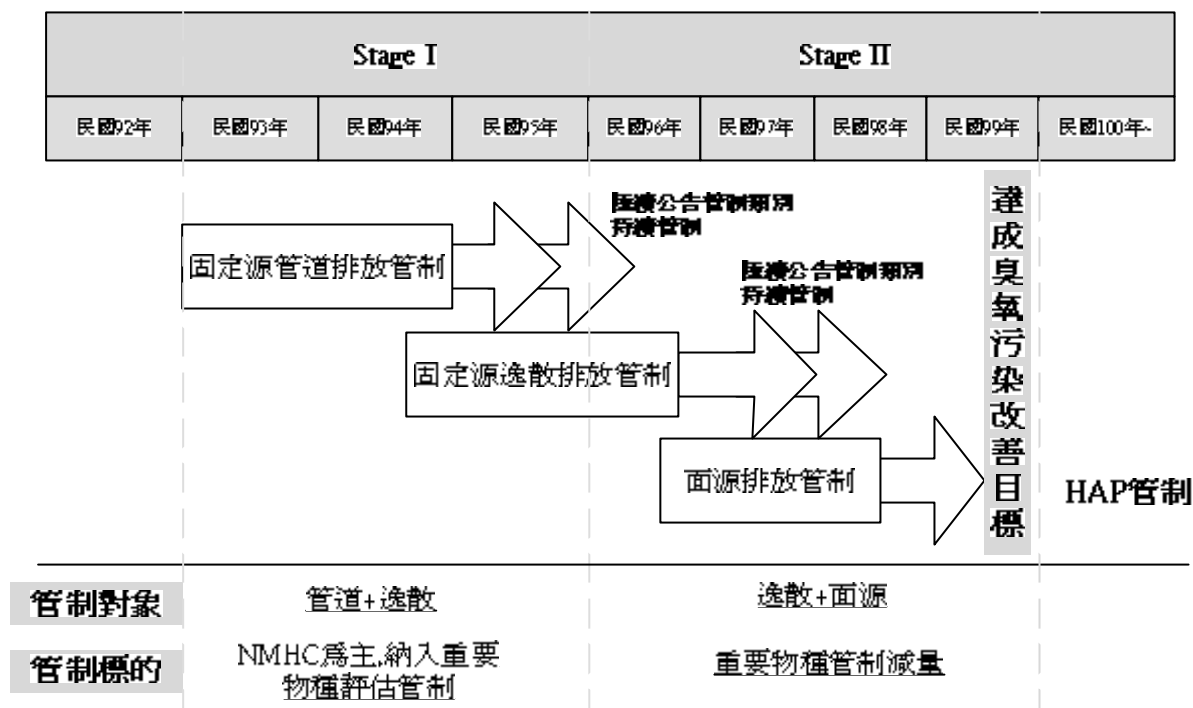


圖 2 台灣地區固定源揮發性有機空氣污染物管制策略主軸示意圖。

(二)VOCs 管制方式

參考國外之 VOCs 管制方式依據管制對象及管制要求進行整理，如表 3 所示，由於 VOCs 之逸散特質，以致在管制方式上較傳統污染物多元化，除濃度外，常見以收集效率搭配控制效率或排放總量之型式作為末端排放之管制要求，少部分強調乾淨製程，以源頭管制為出發點使用低揮發性物料，或加強操作型式管制以低逸散方式進行生產。

表 3 VOCs 管制方式之彙整

以管制對象為區分方式	以管制要求為區分方式
(一)特定行業：例：以行業為管制對象，如半導體業等。	(一)排放濃度：例：以排放濃度值為管制要求，單位如 ppm 等。
(二)特定製程：例：以製程為管制對象，如塗裝操作等。	(二)排放總量：例：以排放總量值為管制要求，單位如 g/sec 等。
(三)特定設備：例：以設備為管制對象，如儲槽等。	(三)控制效率：例：以控制設備之處理效率或削減率為管制要求，單位如%等。
(四)特定物質（使用／產生）：例：以所使用或產生之物質為管制對象，如溶劑等。	(四)物料溶劑含量限制：例：以所管制之物料品質為管制要求，如每單位溶劑用量之 VOCs 含量不得超過限值等。
	(五)控制技術：例：以規定使用某些成熟控制技術為管制要求，如規定使用 BACT 等。
	(六)操作或設置規範：例：以特定之操作或設置規範為管制要求，如定期檢查或防止滲漏措施等。

(三)VOCs 污染防制技術

配合現有一般揮發性有機廢氣之處理技術進行管制策略之研訂，目前常見之控制型式主要可分為焚化法、吸附法、吸收法、生物處理法及回收法（或冷凝法）等 5 大類型，工廠為符合某種排放水準可依實際廢氣之進氣量大小、濃度高低及廢氣內之成分進行控制技術之評選使用，一般常見防制技術之比較說明如表 4 之整理^[41]。

表 4 各種揮發性有機廢氣控制技術之比較^[41]

	能源回收效率 (%)	VOC 去除效率 (%)	適用濃度	適用風量 (cmm)	溫度範圍 ()
直燃法	50-70	95-99	1,000	30-14,000	650-10,000
觸媒焚化	70	90-98	50-1,000	30-3,000	300-400
RTO	65-97	95-99	100-1,000	<7,000	800-1,000
RCO	93	95-99	50-1,000	-	300-400
固定床活性碳吸附	-	90-95	100-5,000	5-1,700	38-49
流體化床吸附	-	>95	300	50-1,500	常溫
轉輪濃縮+焚化	65	90-95	1-600	2,300	常溫-300
濕式洗滌	-	-	1,000-5,000	60-3,000	常溫以上
生物處理	-	70-80	10-200	50-1,000	20-40
冷凝回收	-	50-95	>5,000	10-1,600	露點以下

四、法規增修訂及策略研擬

(一)作業流程

本研究如前述針對揮發性有機物排放量清單解析具減量潛勢之固定污染源類別，並分別參考國外相關管制規範、國內已推動管制措施、污染源特徵、控制技術現況、成本有效性等，規劃訂定各項法規及控制對策，作業執行重點說明下：

- 1.法規及控制對策適用對象資訊蒐集：首先明確定義管制對象，並以 TEDS 5.1 資料作為篩選依據，利用活動強度調查、美國 SCC 排放係數比對引用、檢測數據更新等方式補強排放清單，作為各項研訂工作基礎資料。
- 2.國外法規管制趨勢分析：蒐集選定行業(製程)國外相關並法規/規範進行分析，主要對象包括美國聯邦政府與各州政府(如加州、德州)法規；此外，亦透過管道詢問歐洲國家及日本相關揮發性有機物管制法規。藉由解析國外法規管制發展與國內法規比較，研析選定行業法規訂定趨勢。
- 3.控制技術資訊彙整：蒐集主要先進國家(美國、歐洲、日本等)選定行業(製程)控制技術要求及可行控制技術，並調查國內業者主要採行控制技術，以瞭解目前國內控制技術水準及可行技術選擇彈性。
- 4.RACT/BACT 資料彙整：對選定行業(製程)國內外控制技術應用及所達成減量進行評析，瞭解訂定合理可行控制技術(RACT)及最佳可行控制技術(BACT)背景及適用條件，並評析此項技術應用於台灣之可能性。

5.成本有效性評估：估算所選定行業(製程)減量投資成本，計算揮發性有機物單位減量成本。本項工作乃挑選各行業不同規模工廠 3~5 家進行個案分析，並以「單位減量成本 = 額外附加成本÷排放減量」公式計算得到單位減量成本(萬元/公噸)，做為對策推動優先排序之初步參考。

6.排放減量潛勢分析：針對選定行業適用管制之污染源，解析其採用 BACT 後之排放減量。

(二)研訂標準內容

歸納各行業法規策略之研訂方向，大體可分為三種，一是標準採分階段加嚴模式，使業者提早因應準備，二是為避免管制面過大衝擊，以行業規模方式分階段納管，三是同時考量技術成熟性，擴大管制對象並加嚴管制標準，本研究已完成之法規及管制策略方案及標準限值整理如表 5 所示，除濃度、處理效率及單位小時排放量限值外，主要納入收集效率之考量，要求製程應有一定比例之逸散管理，逐步降低逸散排放情形。

表 5 各行業研擬管制說明及限值草案彙整表

管制行業		管制研訂摘要說明	各階段管制限值 ^註
既存法規修訂	石化業	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 廢氣燃塔紀錄、成分分析要求 ➢ 擴大儲槽及裝載操作管制範圍 ➢ 擴大元件檢測範圍及加嚴元件管制標準 ➢ 納入廢水場管制 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 符合條件之儲槽、裝載操作及廢水處理場需採密閉收集並處理至 90%/85% 或 300/200ppm ➢ 元件洩漏濃度 5000/10000ppm
	PU 合成皮製造業 ^{註 A}	配合推廣乾淨製程生產，將標準改以排放係數方式管制	既設：190 g/m ² (96 年：120) 新設：65 g/m ²
	汽車表面塗裝	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 乾燥室配合控制技術提升，加嚴排放標準 ➢ 塗裝作業配合噴塗技術改良，調降排放係數 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 乾燥室：90% 且 60 mg/Nm³ ➢ 塗裝作業：110 g/m²
	乾洗業	考量民眾陳情降低管制對象門檻，溶劑年用量 1000 降至 800 公升，乾洗機容量 18 公斤降至 16 公斤	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 石油系：85% ➢ 四氯乙烯：300ppm
	半導體業	修正半導體定義及增加總量標準外之個別管道排放要求	(1)90% 或 0.6 kg/hr
管制草案研訂	膠帶業 ^{註 B}	改善逸散嚴重情形，要求密閉或半密閉收集，並符合總廠或單一管道之削減率或單位時間排放量要求	(1) 80% 或 15 kg/hr (2)擴大管制對象
	光電業 ^{註 A}	要求生產製程需採密閉排氣系統並需擇一標準符合(削減量或單位時間排放量)	(1)80% 或 0.6 kg/hr (2)90% 或 0.6 kg/hr
	印刷電路板業	參考歐盟 ^[5] 之濃度管制標準及依據模式模擬 AAGL 值訂定排放量限值，提升控制設備之有效操作	(1) 90% 或 0.6 kg/hr
	光碟製造業 ^{註 A}	射出成型、塗佈及印刷三污染單元之 VOCs 需密閉收集並符合削減率或單位時間排放量要求	(1)80% 或 0.6 kg/hr (2)90% 或 0.6 kg/hr
	凹版印刷業	要求一訂比例之收集並依據模式模擬 AAGL 值訂定排放量限值 ^[6]	(1)90% 或 0.6 kg/hr (要求收集率 80% 以上)
	凸版印刷業	依據模式模擬 AAGL 值訂定排放量限值	(1)90% 或 0.6 kg/hr (收集率

管制行業		管制研訂摘要說明	各階段管制限值 ^註
			80%以上)
	機車表面塗裝	依據實廠產品及使用溶劑用量擬以單位產量之 VOCs 排放量進行管制	850 克/輛
	建物塗裝 ^{註 A}	依據生產技術及美國歐盟管制方式，檢討建物塗料之 VOCs 含量限值	(1)油性:450g/L 水性:250 g/L (2)油性:400g/L 水性:200 g/L
管制對策	金屬軋造程序	軋鋼作業採低揮發性軋延油、集氣蒐集至烘烤爐燃燒	(1) 90% (收集率 40%以上)
	煉焦程序	焦炭製造煉焦爐團逸散集氣控制改善	--
	燒結程序	初級熔煉/燒結程序加裝廢氣逸散控制	(1)95%
	木竹製品表面塗裝業 ^{註 C}	參考美、歐管制使用乾淨塗裝技術，以 BACT 技術要求排放標準 ^[7]	(1)95% (2)物料管制採高固型份塗料
	紙類表面塗裝業 ^{註 C}	參考美國 AP-42 之紙類品表面塗裝處理程序之直接焚化效率要求 ^[8]	(1)95% (2)物料管制採高固型份塗料
	平版印刷業	參考 SCAQMD rule 1128 及 rule 1130 要求，優先以濃度及收集效率進行管制 ^[9]	(1) 50ppm (收集率 60%以上)
	電子零組件(銅箔基板/乾膜光阻)	參考美國 AP-42(4.2.2.7)之逸散源計算說明，要求含浸及加熱設備應有效收集及處理 ^[10]	(1)95%(收集率 85%)
	金屬製成品表面塗裝業 ^{註 C}	參考美國聯邦(40CFR Part 60)大型器具及飲料罐表面塗裝標準之排放係數，換算為收集及處理效率管制 ^[11]	(1)85%(收集率 80%) (2)90%(收集率 90%)
	PVC 皮製造業 ^{註 C}	參考美國聯邦(40CFR Part 60,Subpart VVV)之收集及處理效率進行管制 ^[12]	(1)95%(收集率 80%)
	塑膠產品加工業 ^{註 C}	要求一定比例之逸散源進行收集並進行管末處理	(1)90%(收集率 30%) (2)90%(收集率 50%)
	橡膠製造業 ^{註 C}	要求一定比例之逸散源進行收集並進行管末處理	(1)90%(收集率 30%) (2)90%(收集率 50%)
面源管制	農業溶劑使用	鼓勵以固態農藥取代液態農藥，推動弱勢作物部份廢耕	--
	農業廢棄物露天燃燒	鼓勵回收再利用、堆肥及集中清運處理等方式	--
	消費商品	優先列管 15 類產品，全國消費商品排放減量達 30%	--

註：(1)表示一階段管制標準。(2)表示二階段管制標準

註 A：相同管制對象，分階段加嚴標準。註 B：擴大管制對象，相同管制標準。註 C：擴大管制對象並加嚴管制標準

五、管制推動優先序規劃

由於不同考量因子會影響減量目標之達成性，亦會有產業衝擊之問題考量，此外在 80/20 之原則下，應以有限資源發揮最大之管制功效，故本研究參考「空氣污染總量管制建置及衝擊評估計畫」^[13]之成果，優先選定成本有效性、排放減量潛勢、技術可行性、行政可行性

等 4 項指標作為管制推動優先序評估依據，計量原則詳表 6 所示。依據表 6 進行各項法規及管制策略之優先序指標計算，初步排定分為三個優先序層級如表 7 所示。若考量整體推動之衝擊性，依據表 7 結果，可在 95 年前鎖定第一優先對象之法規推動作業，在 98 年前持續法規作業，並加強第二優先之策略減量及法制化工作，至 100 年前完成相關管制推動作業。

表 6 四項評估指標權重及評分尺度

評估指標		說明	權重	評分尺度
技術可行性		減量措施所利用相關技術成熟度/商業化與否	30.8%	5分：國內已有相同製程採行 4分：國內公告BACT 3分：國外公告RACT 2分：國外公告BACT 1分：研究開發階段
排放減量潛勢		減量措施可消減污染物總量(公噸/年)	26.6%	5分：>10,000公噸/年 4分：5,000~10,000公噸/年 3分：1,000~5,000公噸/年 2分：100~1,000公噸/年 1分：<100公噸/年
成本有效性		減量措施所利用相關技術成熟度/商業化與否	23.4%	5分：<6萬元/公噸 4分：6~12萬元/公噸 3分：12~18萬元/公噸 2分：18~24萬元/公噸 1分：>24萬元/公噸
行政可行性	執行難易	配合推動所需之相關行政作業	9.6%	5分：排放限值稽核容易，配套執行措施完整 4分：排放限值稽核容易，配套執行措施需加強 3分：排放限值需搭配管制規範，但配套措施完整 2分：同時要求排放限值與管制規範，配套執行措施待建制 1分：同時要求排放限值與管制規範，且需建制配套措施與涉及不同權責單位
	納管家數	管制對象之數量衝擊及工作量評估	9.6%	5分：<25家 4分：25~50家 3分：50~75家 2分：75~100家 1分：>100家

表 7 推動優先序規劃結果

優先序	法規對象	管制策略對象	分數區間
第一優先	PU皮、石化、膠帶、光電、半導體、光碟	--	4~3.7
第二優先	汽車表面塗裝、凹板印刷、凸板印刷、印刷電路板	金屬製品表面塗裝、塑膠產品加工業、鋼鐵燒結程序、平板印刷、木竹製品表面塗裝、鋼鐵煉焦程序	3.7~3
第三優先	建物外牆塗裝、機車表面塗裝、乾洗	紙類表面塗裝、電子零組件、橡膠製造、金屬軋造	3~2.5

面源不納入優先序評估

六、減量及管制成效模擬

(一)減量空間

本研究以 TEDS5.1 為計算基準，依據前述研訂不同階段之管制標準值，換算為平均效率，假設現有控制設備能妥善操作符合規定標準值者，不列入減量空間試算，倘若資料無管道排放量者，依所使用之有機溶劑用量或依國外 SCC 係數以單位產品排放量進行逸散量之估算，並納入收集及處理效率考量，再分別計算各項措施之減量。依據法規推動所致減量約 10.9 萬公噸，而管制策略部分則預計第一階段會有 5.7 萬公噸，第二階段則降低部分對策之管制門檻，預計會增加 3.9 萬噸減量，合計所有政策之減量達 20.6 萬公噸。

表 8 各項法規策略減量

優先序	法規對象	階段一	階段二	管制策略	階段一	階段二
第一優先	PU 皮 石化 膠帶 光電 半導體 光碟	1,940 4,071 23,340 1,520 50 1,100	4,850 0 1,410 190 0 165	--	--	--
第二優先	汽車表面塗裝 凹板印刷 凸板印刷 印刷電路板	160 31,055 8,640 22,360	0 0 0 0	金屬製品表面塗裝 塑膠產品加工業 鋼鐵燒結程序 平板印刷 木竹製品表面塗裝 鋼鐵煉焦程序 PVC 皮製造業	15,239 10,347 8,790 880 5,800 8,790 2,580	2,334 23,860 0 0 3,920 0 3,920
第三優先	建物外牆塗裝 機車表面塗裝 乾洗	4,005 70 2,805	1,580 0 0	紙類表面塗裝 電子零組件 橡膠製造 金屬軋造	180 2,524 1,654 335	4,345 0 1,130 0
總計		101,116	8,195	總計	57,119	39,509

(二)管制成效模擬

為了解減量對空氣品質之改善成效，以台灣空氣品質模式(Taiwan Air Quality Model, TAQM)做為 VOCs 減量成效及臭氧改善成效評估工具。執行方式係依污染源基準年為模擬基礎，納入主要空品區之氣象資料並經過一定程序之模式驗證^[14]，比較基準案例與減量案例模擬結果，進行 VOCs 控制對策對臭氧改善之綜合評估。本研究建立尖峰濃度最大改善量、每日尖峰濃度平均改善量等改善成效指標，各空品區模擬結果如表 9 所示，其中仍以高屏及雲嘉南地區之改善幅度最大，為進一步評估 PSI>100 比例降低情形，利用濃度累積頻率所建立之曲線方程式，換算改善後濃度對高屏及雲嘉南地區 PSI>100 比例之變化情形，預計雲嘉南地區平均降幅可從 89 年之 1.17%降至 0.78%，而高屏地區則由 4.54%降至 2.42%，對台灣地區之空氣品質有極大之助益。

表 9 100 年各縣市空品區臭氧空氣品質改善分析結果

縣市別	O ₃ 尖峰濃度最大改善量(ppb)	O ₃ 尖峰濃度最大改善比例(%)	O ₃ 尖峰濃度平均改善量(ppb)	O ₃ 尖峰濃度平均改善比例(%)
基隆縣	0.1	0.3	-0.2	-0.8
台北縣	3.4	6.2	1.2	3.0
台北市	3.1	5.8	0.9	2.4
桃園縣	6.9	10.5	3.0	7.0
北部空品區	4.0	7.0	1.5	3.7
台中縣	5.2	7.7	3.5	6.5
台中市	4.4	6.9	3.1	6.0
彰化縣	3.9	8.8	2.4	6.8
南投縣	9.0	9.6	5.5	7.8
中部空品區	5.9	8.4	3.8	6.7
雲林縣	6.8	8.4	4.2	6.8
嘉義縣	6.9	7.4	4.4	6.1
嘉義市	9.1	8.6	7.6	8.4
台南縣	8.8	8.1	7.0	7.3
台南市	11.6	10.5	8.0	8.4
雲嘉南空品區	8.4	8.6	5.9	7.4
高雄縣	12.9	12.9	9.3	11.4
高雄市	14.4	15.1	8.9	10.7
屏東縣	15.6	16.5	7.8	11.4
高屏空品區	14.0	14.4	8.8	11.2

模擬排放量背景：依據前述減量結果及政府預計之移動源減量進行模擬

七、結論與建議

根據本研究 13 法規之增修訂及 11 項策略之研擬預估有 17.4 萬公噸之減量，配合成本有效性、排放減量潛勢、技術可行性、行政可行性等 4 項指標可採分階段方式推動，研究顯示 PU 皮、石化、膠帶、光電、半導體及光碟等行業之法規公告作業可列為第一階段工作，預期有 3.9 萬公噸之減量(佔總減量 22%)，第二階段除陸續新增 4 項行業法規外，加上研訂之金屬製品表面塗裝、塑膠產品加工業、鋼鐵燒結程序、平板印刷、木竹製品表面塗裝、鋼鐵煉焦程序及 PVC 皮製造業等 7 項策略，總計可有 14.8 萬公噸(佔總減量 72%)，後續尚有 3 項法規及 4 項策略，預計有 1.9 萬公噸之減量，在配合面源管制政策之推動，使得 VOCs 之排放源皆能有效控制。

由於現有法規對 VOCs 之減量仍有限，故應儘速針對行業研訂相關管制規定，並同時加強減量輔導作業，針對本研究所提出之行業對象提升污染物收集效率及處理技術水平，降低製程中 VOCs 之逸散。依據本研究之模擬，顯示若能推動所研擬之法規及管制策略，則與 100 年空氣品質改善目標比較，可達成預期改善目標，故配合時程加快 VOCs 管制步伐，辦理相關行政法治化作業，以有效反應減量，達到空氣品質改善目標。

八、參考文獻

- 1 <http://www.aqmd.gov/rules/rulesreg.html>。
- 2 行政院環保署，固定污染源許可及總量管制之整合、推動及執行計畫(2002)。
- 3 行政院環保署，台灣地區排放量資料庫(2000)。
- 4 國科會，半導體產業產生有害空氣污染物處理技術(1999)
- 5 EC Council Directive 1999/13/EC, The limitation of emissions of volatile organic compounds due to the use of organic solvents in certain activities and installations(1999)
- 6 SCAQMD, South Coast Air Quality Management District–RULE 1130。
- 7 US. EPA , 40 CFR Parts 9 and 63 : Final Standards for Hazardous Air Pollutant Emissions From Wood Furniture Manufacturing Operations : Final Rule。
- 8 US EPA , MACT Finalized for Paper and Other Web Coating Facilities(2002)。
- 9 SCAQMD, South Coast Air Quality Management District–RULE 1128/ RULE 1130。
- 10 AP-42 , Polymeric Coating Of Supporting Substrates(1995)。
- 11 US EPA , National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants (NESHAP) for Source Category – Surface Coating of Metal Cans。
- 12 40 CFR Part 60 , Subpart VVV -- Standards of Performance for Polymeric Coating of Supporting Substrates Facilities。
- 13 行政院環保署，空氣污染總量管制建置及衝擊評估計畫(2001)。
- 14 行政院環保署，空氣品質模式支援中心運作及建立(二)(2002)。

The Assessment of Control Measures and Technology in Volatile Organic Compounds (VOCs) Reduction for Air Quality Improvement

Abstract

Lately these years, ozone has gradually replaced by particulate matters (PM) and become the main reason resulting in bad air quality. Ozone, in terms of its chemistry background, is a secondary pollutant derived from photochemical reaction from both nitrogen oxides (NO_x) and volatile organic compounds (VOCs). Most NO_x emissions have already been controlled. However, in controlling of the stationary source emissions of VOCs, all the control measures presented now are only limited to emissions standards in six specially designated industry types, including auto manufacture industry, petroleum and chemical industry, semiconductor industry, PU and resin industry, dry cleaning industry, and gas stations. These are not enough if comparing those regulated VOCs control measures from other countries. Therefore, the most important strategy to improve the air quality of ozone at this moment is to significantly enhance and expand VOCs stationary source controls.

To strengthen the VOC controls in Taiwan, this project firstly collected and reviewed the VOCs-related control measures from other countries. Based on the air quality management experience from South Coast Air Quality Management District (SCAQMD) and complied with the local manufacturer characteristics of stationary sources in Taiwan, the project then assessed appropriate control measures, estimated the amount of reduction by adopting currently available control technology, considered their cost-effectiveness and administrative feasibility, and finally provided summarized suggestion and control measures stage by stage in VOCs controls in Taiwan. Lastly, the project brought up the frameworks with various control measures under short-term, mid-term, and long-term structures. Furthermore, aimed at improving the public health and achieving the goals set by National Environmental Protection Plan in different stages, the project also built models to simulate the air quality in different time and regions, to associate with the selected control measures, to examine their distribution of pollutant concentration and their reduction sensitivities when employing the proposed control measures, and to forecast the range of air quality improvement in different target years.

This project finally drew a conclusion from the results that suggest EPA to take VOCs as the first priority among all regulated air pollutant. To eliminate ozone, VOCs, as well as reviewing all high ozone potential pollutant, should have further reduction in point source, area source, and line source pollution. And then after year 2011, with mature control technologies, EPA can expand its control targets to hazardous air pollutants (HAPs). The project provides and summarizes 13 revised regulations, 11 control measures, and 3 area source control strategies in light of researching on pollution characters, the trends of worldwide regulations, and current control technologies. According to the feasibility on control technologies, the emission reduction potential, the cost-effectiveness, and the administrative feasibility, this project draws up a gradually reduction plan in 3 phases for the future. The VOCs emissions reduction is estimated to be 206,000 tons through accomplishing all planned policies. Also, after examining by air quality computer modeling and simulation, the air quality is estimated to have 3.7%, 6.7%, 7.4%, and 11.2% improvement on ozone average concentration in North, Central, Yun-Chia-Nan, Kao-Ping Air Quality District respectively. Regarding the air quality improvement on PSI, there will be declined from 1.17% to 0.78% in Yun-Chia-Nan Air Quality District and from 4.54 to 2.42 in Kao-Ping Air Quality District. Obviously, all these results show a great air quality improvement by accomplishing the entire proposed plan.

Key words: volatile organic compounds control measures, air quality modeling and simulation, reduction technology