

廢氣處理

台灣地區工業部門 SO₂ 與 NO_x 排放 變動趨勢與關鍵因素探討

林素貞*、沈宗桓**、黃瓊儀**、李佳禾***

摘要

本文探討歷年來我國工業部門 SO₂ 及 NO_x 的排放趨勢，並利用迪氏因素剖析影響工業部門各產業 SO₂ 及 NO_x 排放變動的關鍵因素，所選取的因素包括排放係數、能源密集度、產業結構及經濟成長等四項指標。研究結果顯示，歷年來工業部門 SO₂ 排放量佔全國排放量約 38%，年平均下降率約 7.9%。歷年來下降效果頗為顯著。另外，歷年來工業部門 NO_x 排放量約佔全國之 28%，歷年來變動量不大，其排放量與油品及煤品消費量相關。

【關鍵字】1.工業部門 2.因素分析 3.SO₂ 排放量 4.NO_x 排放量 5.排放係數 6.能源密集度 7.產業結構 8.經濟成長因素

*國立成功大學環境工程系暨研究所教授

**國立成功大學環境工程所碩士

***國立成功大學環境工程所研究生

一、前　　言

工業部門在我國經濟發展中扮演重要的角色，而能源消費在工業部門中亦佔相當大的比例，以 2001 年為例，我國工業部門最終能源消費量為 $30,458,866 \times 10^7$ Kcal，約為全國總能源消費的 52.3%。在能源與環境的相關問題中，溫室效應及酸雨問題多年來常為世人所矚目。由於 CO₂ 為引起全球暖化的主要溫室氣體，且與產業製程燃燒所需的化石燃料關係最為密切，其 CO₂ 排放量的關鍵因素已有專文探討(林，盧，2003)，而本文主要的探討對象為台灣地區工業部門各產業消費能源所排放的 SO₂ 及 NOx。由於 SO₂ 及 NOx 為引起酸雨沉降的污染物，而酸雨對環境與人類生活的影響相當廣泛，包括湖泊及河水酸化，導致水域生態、魚類及水棲生物之傷害。另外，土壤酸化會造成土壤貧瘠與森林資源的損失，且酸雨亦會造成建築物及古史蹟之破損，而硫化物對人體呼吸道及視覺皆有不良影響，且 NOx 為造成光化反應的主要先驅物。由此可知，SO₂ 及 NOx 引起之污染與環境影響相當值得重視。工業部門 SO₂ 排放量歷年來約佔全國排放量之 38%，由民國 80 年 222,479 公噸，下降為 89 年 106,102 公噸，主要排放源包括石化原料業、鋼鐵、水泥等基本化工原料及紡織業等。另外，工業部門 NOx 雖不及運輸部門重要，歷年來平均佔全國 NOx 排放量亦有 28% 之比重，歷年來(80-88 年)僅有 1,386 公噸的減量，相對於 SO₂，工業部門 NOx 的減量成效相當有限，實有改善的空間。

二、研究方法

因素分析法的基本原理是將欲分析的主參數，分解為數個關鍵組成因素(component factor)的乘積，藉以探討影響該參數的主要因素，常用的有拉氏指數法(Laspeyres Index)及迪氏指數法(Divisia Index)，兩者差異主要在於基期選擇方式的不同，拉氏為計算固定基準年(base year)的變動量，其優點為各項因素含義明確且計算方便；迪氏採用前後兩期的比值計算變動量，優點為其產生的殘差效果相對於拉氏指數之交叉效果小。

由於因素分析法較不受資料及假設條件的限制，過去已被廣泛應用在能源消費

與 CO_2 排放變動分析，近年來亦有許多研究將其應用在污染物排放量之變動分析。

本研究採用迪氏指標法探討歷年來工業部門 SO_2 及 NOx 污染排放量的變動趨勢及確認影響變動量的關鍵因素，所選用的組成因素包括能源密集度、排放係數、產業結構配比及經濟水準，各項定義如下：

1. 排放係數：指工業部門單位能源消費之污染物排放量，單位為公噸/ 10^7 千卡。
 2. 能源密集度：工業部門單位生產毛額之能源消費量，即單位生產毛額的能源投入量，以 10^7 千卡/百萬元新台幣為單位。
 3. 產業結構配比：以生產毛額產值的配比表示該部門產業生產毛額值佔全國總生產毛額的百分比，可顯示該部門產業在總體產業結構的重要性。
 4. 經濟水準：一般而言，國內總生產毛額會隨經濟水準成長而增加，故以國內總生產毛額作為經濟水準的指標，單位為百萬元新台幣。根據上述說明，各污染物的總排放量可以下列方程式表示：

$$Q_{ipt} = \frac{Q_{ipt}}{E_{it}} \times \frac{E_{it}}{G_{it}} \times \frac{G_{it}}{G_t} \times G_t \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

其中，

Q_{ipt} 為 t 年工業部門 i 產業能源消費排放的 p 種(SO_2 及 NO_2)污染量(公噸)

E_{it} 為 t 年工業部門 i 產業的能源總消費量(10^7 千卡)

G_{it} 為 t 年工業部門 i 產業的國內生產毛額(百萬元新台幣)

G_t 為 t 年之國內生產總毛額(百萬元新台幣)

今定義：

$U_{ipt} = Q_{ipt}/E_{it}$ ，為 t 年工業部門 i 產業能源消費排放之 p 污染物之排放係數(公噸/107 千卡)

$I_{it} = E_{it}/G_{it}$ ，為 t 年工業部門 i 產業之能源密集度(10^7 千卡/百萬元新台幣)

$S_{it} = G_{it}/G_t$ ，為 t 年工業部門 i 產業之產業結構配比

G_t 為 t 年之經濟水準

則上式可寫成

$$Q_{ipt} = U_{ipt} I_{it} S_{it} G_t \dots \quad (2)$$

將上式對時間微分後可得

$$\frac{dQipt}{dt} = \frac{dUipt}{Uipt} \times \frac{Qipt}{dt} + \frac{dIit}{Iit} \times \frac{Qipt}{dt} + \frac{dSit}{Sit} \times \frac{Qipt}{dt} + \frac{dGt}{Gt} \times \frac{Qipt}{dt} \quad \dots\dots\dots (3)$$

再將上式積分後可得污染物排放量變動值

$$\Delta Qipt = \int_0^t d \ln(Uipt) \times Qipt + \int_0^t d \ln(Iit) \times Qipt + \int_0^t d \ln(Sit) \times Qipt + \int_0^t d \ln(Git) \times Qipt \quad \dots\dots\dots (4)$$

以上為一連續式，實際應用時採間斷式如下：

$$\begin{aligned} \Delta Qipt &= \ln\left(\frac{Uipt}{Uipo}\right) \times \left(\frac{Qipt + Qipo}{2}\right) + \ln\left(\frac{Iit}{Iio}\right) \times \left(\frac{Qipt + Qipo}{2}\right) + \\ &\quad \ln\left(\frac{Sit}{Sio}\right) \times \left(\frac{Qipt + Qipo}{2}\right) + \ln\left(\frac{Git}{Gio}\right) \times \left(\frac{Qipt + Qipo}{2}\right) + RD \\ &= DU + DC + DI + DS + DN + RD \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (5)$$

其中，o 表基期，為使殘差項最小，採用變動基期，包括民國 80 年、83 年、85 年及 88 年。DU、DI、DS 及 DG 各表示排放係數、能源密集度、產業結構配比及經濟成長之迪氏指標，RD 為殘差項。

三、資料來源與分析

3.1 產業分類

本研究採用之能源投入及經濟資料對部門的分類並不一致，為便於進行研究，必須加以合併調整，因此乃參考行政院主計處所編制之「中華民國行業標準分類」，將產業關聯表的分類合併成 37 部門，再根據各部門屬性加以合併為工業部門，共含 22 個產業，如表 1 所示。

3.2 能源投入資料

能源投入資料主要來自經濟部能委會所編印之 1991~2001 年「台灣能源平衡表」中之「熱值單位」部份，並依本研究所分類工業部門之 22 產業加以探討。

3.3 SO₂、NO_x 排放資料

本研究所採用之污染物排放資料主要是來自中鼎工程顧問公司所提供之「台灣地區民國 80~89 年各污染源排放量一覽表」，加以整理而得。

3.4 產業經濟資料

主要來自行政院主計處所編製之「台灣地區產業關聯表」中「生產者價格交易表」(不含進口稅淨額)及「國產品交易表」，本研究所引用的產業關聯表包括 1991 及 1994 年的 150 部門表，以及 1996 年及 1999 年之 160 部門，由於目前產經資料編製僅至 1999 年之產業關聯表，故本文探討期間為民國 80 至 88 年。

3.5 幣值調整

依據主計處所編印之「國內生產各產業產值雙面平減表」中產出與中間投入平減指數，並利用雙面平減法，以民國 85 年的幣值為各年的標準進行幣值調整。

四、結果分析

4.1 SO₂ 排放趨勢

圖 1 顯示民國 80 年至 89 年間我國總產業與工業部門能源消費之 SO₂ 排放變動趨勢。由圖可知，我國總能源消費的 SO₂ 排放量歷年呈現減量趨勢，由民國 80 年 518,410 公噸降至民國 89 年 316,062 公噸，年平均下降率約為 5.3%，工業部門之 SO₂ 排放量歷年來皆佔全國總排放量之 37.6%左右，且其排放量亦有逐年下降之趨勢，由民國 80 年 222,479 公噸，降為民國 89 年 106,102 公噸，年降率約為 7.9%。又圖 2 顯示油品排放趨勢與總排放的變動趨勢相近，歷年來油品消費之 SO₂ 排放量約佔工業部門總排放量 68%至 75%之間，可看出工業部門之 SO₂ 排放與油品使用量之相關性相當高，煤品次之，而天然氣消費所排放之 SO₂ 比例小於 5%。

表 1 顯示民國 80 年至 89 年間各產業能源消費排放 SO₂ 之配比，可知歷年來工業部門中 SO₂ 排放比例較高之產業包括石化原料業(23.14%)、鋼鐵業(19.59%)、水泥業(11.31%)、紡織業(7.76%)、基本化工原料業(7.68%)與其他非金屬礦物製品業(7.41%)，其中以石化原料業與鋼鐵業之 SO₂ 排放量最為顯著。由於 SO₂ 排放與油品消費有直接之關係，而石化原料業歷年來因所耗用之油品量為工業部門中最多，以致成為 SO₂ 最主要之排放污染源，鋼鐵業雖然以煤品為主要的能源消費來源，然其油品消費量亦相當可觀，導致該產業之 SO₂ 排放量在整體工業部門中佔有近五分之一的比例。在排放趨勢方面，由表 1 可知各產業 SO₂ 排放量有下降的趨勢，其中

表 1 工業部門各產業能源消費之 SO₂ 排放配比

1991-2000 年工業部門 能源消費 SO ₂ 排放 配比	佔工業部門 排放比例(%)	煤品消費 排放配比 (%)	油品消費 排放配比 (%)	天然氣消費 排放配比(%)	SO ₂ 排放 年平均成長率 (%)
1. 食品煙酒業	2.94	0.01	97.53	2.46	-9.58
2. 紡織及成衣服飾業	7.76	5.91	93.15	0.94	-5.58
3. 皮革及其製品業	0.23	0.00	99.98	0.02	-3.51
4. 木竹製品業	0.08	0.11	99.89	0.00	5.72
5. 造紙業	4.20	40.75	59.16	0.09	-10.68
6. 印刷業	0.07	0.00	100.00	0.00	7.36
7. 石化原料業	23.14	5.06	93.05	1.89	-7.11
8. 基本化工原料業	7.68	2.29	97.71	0.00	-11.53
9. 化學製品業	2.75	0.01	34.01	65.99	-11.92
10. 人造纖維業	2.32	99.92	0.08	0.00	2.11
11. 塑膠原料業	3.19	99.74	0.26	0.00	-3.74
12. 橡膠製品業	0.71	0.62	96.85	2.54	-9.66
13. 塑膠製品業	1.97	0.00	99.15	0.85	-3.44
14. 其他非金屬礦物 製品業	7.41	26.34	50.10	23.56	-13.94
15. 水泥業	11.31	95.54	4.46	0.00	-14.31
16. 鋼鐵業	19.59	83.45	15.27	1.28	-8.63
17. 非鐵金屬業	0.59	1.92	97.90	0.17	-2.71
18. 金屬製品業	0.82	0.00	93.43	6.57	4.92
19. 機械業	0.17	3.88	89.82	6.31	6.12
20. 電機業	1.29	0.00	55.19	44.81	15.69
21. 運輸工具製造業	0.45	0.00	96.20	3.80	-0.61
22. 其他製品業	1.35	0.00	99.89	0.11	-13.26
工業部門	100.00	38.31	56.73	4.96	-7.89

以水泥業、其他非金屬礦物製品業、機械業、化學製品業與基本化工原料業之減量效果最為明顯，導致此減量趨勢的主要原因为油品品質的改善與排放管制成效之故。環保署自民國 83 年 11 月後已先後公告固定污染源各空氣污染物排放標準，隔年亦開始徵收空污費且在 88 年亦公告高含硫率之燃料油使用規定，可知國內針對 SO_2 排放管制日趨嚴格，促使業者在燃料選擇與污染排放控制設備上有明顯的改進，因此雖然整體工業部門油品消費總量增加，但由於油品含硫率降低、硫化物排放係數相對減少，再加上脫硫設備之加強，故造成 SO_2 有明顯的減量效果。

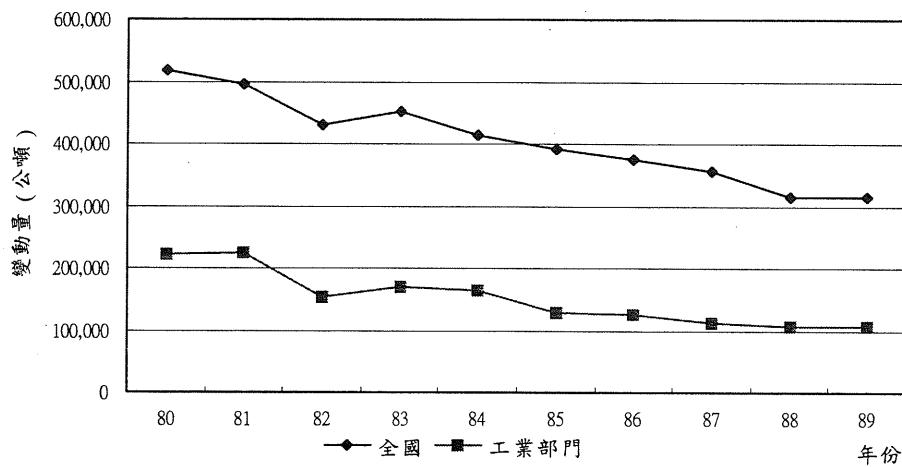
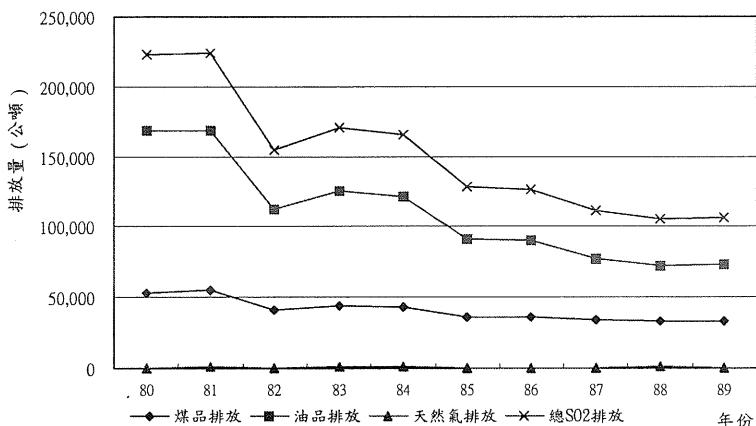


圖 1 全國與工業部門 SO_2 排放變動趨勢圖

圖 2 工業部門歷年各能源類別 SO₂ 排放變動趨勢圖

4.2 SO₂ 變動因素分析

由表 2 及圖 3 的結果可知，民國 80 年至 88 年工業部門之 SO₂ 排放量呈現顯著的下降，總減量效果達 116,764 公噸，其中最重要的減量因素為排放係數的下降，其次為能源密集度及產業結構配比，而唯一的增量因素為經濟成長所帶來的效應，促使減量效果最明顯的產業包括基本化工原料業、其他非金屬礦物製品業及紡織業等，而石化原料業、塑膠原料業及人纖業則有微幅之增量。

就排放係數而言，表 3 顯示工業部門各產業歷年來 SO₂ 的減量效果皆很明顯，總減量達 154,866 公噸，尤其在 80-85 年間，減量效果累計約 120,057 公噸，為總減量之 80%。減量原因主要是由於燃油消費配比下降，且油品含硫率亦降低所致。在民國 80-88 年間 SO₂ 排放係數減量效應最明顯的產業，包括鋼鐵業、基本化工原料業、紡織業、其他非金屬礦物製品業、食品煙酒業及造紙業等。

就能源密集度而言，表 4 可知工業部門各產業歷年來能源密集度的減量效應約為 47,507 公噸，尤其是在民國 80-83 年間，大部分產業的能源密集度下降而引起的 SO₂ 減量效果達 37,824 公噸，爾後減量效應逐漸趨緩，在 85-88 年間僅有 3,606 公

噸之減量。民國 80-83 年間，帶動能源密集度減量效果的主要產業包括基本化工原料業、鋼鐵業、其他製品業、食品煙酒業及水泥業等，而紡織業、其他非金屬礦物製品業及塑膠製品業等則有部份增量效果。民國 83-85 年間，SO₂ 之主要減量的產業包括其他非金屬礦物製品業、鋼鐵業及水泥業，導致 SO₂ 增量的產業主要包括紡織業、其他製品業與人造纖維業等，其中其他製品業之能源密集度效應與 80-83 年間比較有明顯之升高，顯示該產業之能源使用效益有惡化的傾向。民國 85-88 年間，SO₂ 僅有 3,606 公噸之減量，主要的減量來源為基本化工原料業，而增量的產業包括紡織業、鋼鐵業、石化原料業與其他非金屬礦物製品業。

就產業結構配比而言，由表 5 可知歷年來累積的減量效應為 21,722 公噸。民國 80-83 年間，因產業結構配比調整而導致減量效果的主要產業，包括紡織業、造紙業、塑膠製品業、其他製品業及其他非金屬礦物製品業等。民國 83-85 年間，帶動減量效果的產業主要為紡織業、鋼鐵業及食品煙酒業。值得注意的是，與 80-83 年比較，鋼鐵業之效應由增量轉為減量，顯示其產業結構配比逐漸下降；而化學製品業與電機業則是由減量轉為增量效果，顯示在此期間該產業之結構配比有增加的趨勢。民國 85-88 年間，工業部門中各產業多為減量效果，其中以紡織業、其他製品業及塑膠製品業較為明顯，可知工業部門中高 SO₂ 密集之產業結構配比亦呈現下降的趨勢。

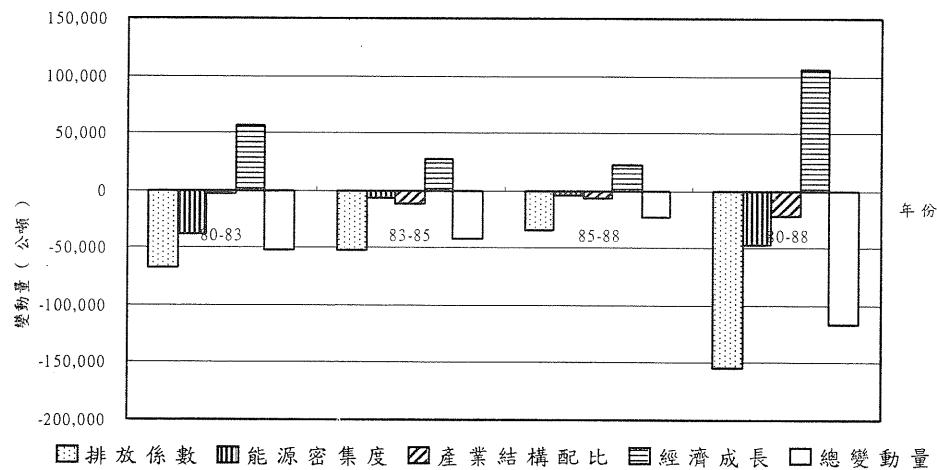
就經濟成長因素而言，表 6 顯示經濟成長是帶動工業部門 SO₂ 排放增量的主要因素，總增量效果達 106,406 公噸，尤其在 80-83 年間有 56,375 公噸之增量效果，其中以鋼鐵業、基本化工原料業、紡織業與其他非金屬礦物製品業歷年來帶動經濟成長之增量效果最為明顯，而食品菸酒業、造紙業與水泥業亦對整體增量有所貢獻。

整體而言，工業部門 SO₂ 排放量受燃油之消費配比及其品質影響較大，故降低燃油消費配比與含硫率是 SO₂ 減量的重要途徑，然隨著燃油配比的降低與提升油品品質所帶動的減量空間亦會相對減少，故未來應加強大排放源之排煙脫硫效率及適當調整產業結構的配比，以進一步降低 SO₂ 之排放量。

表 2 工業部門 SO₂ 排放量變動情形

產業分類 年份	80-83 年	84-85 年	86-88 年	累積效應(80-88 年)
1. 食品煙酒業	-4,909	-3,594	-2,050	-10,553
2. 紡織及成衣服飾業	-7,441	-6,481	-3,023	-16,945
3. 皮革及其製品業	-122	-86	-82	-290
4. 木竹製品業	-38	-77	-54	-169
5. 造紙業	-3,821	-2,687	-2,758	-9,266
6. 印刷業	33	-57	-105	-129
7. 石化原料業	-159	216	2,173	2,230
8. 塑膠原料業	297	114	-215	196
9. 人造纖維業	231	233	41	504
10. 塑膠製品業	-1,222	-1,691	-1,586	-4,499
11. 橡膠製品業	-1,221	-1,153	-443	-2,817
12. 基本化工原料業	-12,480	-6,190	-7,418	-26,088
13. 鋼鐵業	-389	-1,087	-280	-1,756
14. 化學製品業	-2,379	53	-878	-3,205
15. 水泥業	-1,981	-7,299	2,121	-7,159
16. 其他非金屬礦物製品業	-8,158	-10,286	-5,027	-23,471
17. 非鐵金屬業	-114	-145	-642	-901
18. 金屬製品業	-297	-600	-646	-1,543
19. 機械業	-155	-62	-169	-387
20. 電機業	-668	-369	-194	-1,231
21. 運輸工具製造業	-591	-559	-287	-1,437
22. 其他製品業	-6,003	-424	-1,422	-7,849
總 計	-51,587	-42,231	-22,946	-116,764

單位：公噸

圖 3 工業部門 SO_2 排放變動因素分析

4.3 NO_x 排放趨勢

由圖 4 可知民國 80 年至民國 89 年間我國能源消費之 NO_x 總排放量的變動不大，在全國總 NO_x 排放中，工業部門能源消費之 NO_x 排放量雖不及運輸部門，但仍佔有 28% 的比例，為重要之排放源。工業部門歷年來 NO_x 總排放量維持在 120,000 公噸至 140,000 公噸之間，歷年來約僅有 7% 之降幅變化，由圖 5 顯示油品排放與煤品排放為工業部門 NO_x 總排放量的主要來源，尤其以油品排放最為重要，歷年來其變動趨勢與總排放之變動趨勢十分相似，可知工業部門 NO_x 排放與燃油消費量有明顯之相關性。

表 3 工業部門 SO_x 排放量變動之排放係數效果

產業分類 年 份	80-83 年	83-85 年	85-88 年	累積效應(80-88 年)
1.食品煙酒業	-4,607	-3,689	-2,306	-10,601
2.紡織及成衣服飾業	-10,287	-9,822	-6,193	-26,302
3.皮革及其製品業	-297	-303	-242	-842
4.木竹製品業	-99	-88	-57	-245
5.造紙業	-4,722	-3,263	-2,073	-10,058
6.印刷業	-80	-89	-50	-219
7.石化原料業	-123	39	335	252
8.塑膠原料業	-644	169	221	-254
9.人造纖維業	-444	124	179	-141
10.塑膠製品業	-2,751	-2,616	-1,775	-7,142
11.橡膠製品業	-1,115	-892	-512	-2,519
12.基本化工原料業	-11,843	-10,169	-6,525	-28,537
13.鋼鐵業	-12,810	-11,414	-12,531	-36,755
14.化學製品業	-1,057	-1,611	155	-2,512
15.水泥業	-3,042	335	558	-2,148
16.其他非金屬礦物製品業	-7,800	-4,597	-667	-13,064
17.非鐵金屬業	-626	-769	-576	-1,972
18.金屬製品業	-994	-957	-675	-2,626
19.機械業	-111	-161	-112	-383
20.電機業	-780	-662	-482	-1,924
21.運輸工具製造業	-622	-492	-289	-1,402
22.其他製品業	-2,581	-1,698	-1,193	-5,473
總計	-67,434	-52,623	-34,809	-154,866

單位：公噸

表 4 工業部門 SO_x 排放量變動之能源密集度效果

產業分類 年 份	80-83 年	83-85 年	85-88 年	累積效應(80-88 年)
1.食品煙酒業	-2,467	-443	-995	-3,905
2.紡織及成衣服飾業	4,846	4,238	7,236	16,320
3.皮革及其製品業	498	350	377	1,225
4.木竹製品業	47	26	2	75
5.造紙業	1,001	-488	-1,312	-800
6.印刷業	28	-1	-117	-90
7.石化原料業	-350	185	1,919	1,754
8.塑膠原料業	88	-477	-717	-1,106
9.人造纖維業	403	643	-522	524
10.塑膠製品業	2,010	413	274	2,697
11.橡膠製品業	-414	-784	480	-717
12.基本化工原料業	-22,401	-847	-11,538	-34,786
13.鋼鐵業	-16,433	-2,644	3,089	-15,988
14.化學製品業	-254	-812	-728	-1,794
15.水泥業	-2,190	-1,330	-2,205	-5,725
16.其他非金屬礦物製品業	2,242	-5,653	1,398	-2,013
17.非鐵金屬業	-478	489	-262	-250
18.金屬製品業	233	178	109	519
19.機械業	-137	-38	-24	-200
20.電機業	-465	-459	-272	-1,197
21.運輸工具製造業	-241	31	-56	-267
22.其他製品業	-3,390	1,348	258	-1,785
總計	-37,824	-6,077	-3,606	-47,507

單位：公噸

表 5 工業部門 SO_x 排放量變動之產業結構配比效果

產業分類 年 份	80-83 年	83-85 年	85-88 年	累積效應(80-88 年)
1. 食品煙酒業	-1,750	-1,234	36	-2,948
2. 紡織及成衣服飾業	-10,756	-5,334	-7,579	-23,669
3. 皮革及其製品業	-569	-274	-343	-1,187
4. 木竹製品業	-66	-57	-29	-153
5. 造紙業	-3,806	-749	-695	-5,250
6. 印刷業	18	-9	31	41
7. 石化原料業	202	-79	91	214
8. 塑膠原料業	293	16	-115	194
9. 人造纖維業	-115	-830	61	-884
10. 塑膠製品業	-2,766	-718	-1,013	-4,497
11. 橡膠製品業	-683	80	-682	-1,285
12. 基本化工原料業	11,681	43	7,065	18,788
13. 鋼鐵業	9,717	-2,013	142	7,846
14. 化學製品業	-192	735	-170	373
15. 水泥業	207	-455	-659	-907
16. 其他非金屬礦物製品業	-1,949	51	-863	-2,761
17. 非鐵金屬業	382	-239	-113	30
18. 金屬製品業	-360	-278	-425	-1,062
19. 機械業	-58	59	-94	-93
20. 電機業	-50	442	303	695
21. 運輸工具製造業	-249	-338	-96	-682
22. 其他製品業	-2,528	-866	-1,130	-4,524
總計	-3,398	-12,049	-6,276	-21,722

單位：公噸

表 6 工業部門 SO_x 排放量變動之經濟成長效果

產業分類 年 份	80-83 年	83-85 年	85-88 年	累積效應(80-88 年)
1. 食品煙酒業	3,858	1,725	1,197	6,780
2. 紡織及成衣服飾業	8,719	4,395	3,506	16,621
3. 皮革及其製品業	246	141	126	513
4. 木竹製品業	81	42	30	152
5. 造紙業	3,678	1,795	1,285	6,757
6. 印刷業	67	41	26	134
7. 石化原料業	109	76	300	486
8. 塑膠原料業	561	405	396	1,363
9. 人造纖維業	387	297	322	1,006
10. 塑膠製品業	2,284	1,220	913	4,417
11. 橡膠製品業	976	416	266	1,659
12. 基本化工原料業	9,946	4,753	3,479	18,177
13. 鋼鐵業	11,339	5,685	4,252	21,276
14. 化學製品業	1,114	590	462	2,166
15. 水泥業	2,632	1,503	1,426	5,561
16. 其他非金屬礦物製品業	5,525	2,743	2,258	10,526
17. 非鐵金屬業	608	373	300	1,281
18. 金屬製品業	824	454	338	1,616
19. 機械業	150	78	56	284
20. 電機業	622	309	257	1,187
21. 運輸工具製造業	516	229	150	895
22. 其他製品業	2,134	793	620	3,548
總計	56,375	28,065	21,967	106,406

單位：公噸

表 7 顯示歷年來工業部門能源消費的 NO_x 排放量變動趨勢，由此表可看出歷年來工業部門中 NO_x 排放比例較高之產業，包括石化原料業、鋼鐵業、水泥業、紡織業、基本化工原料業與其他非金屬礦物製品業，其中尤以石化原料業與鋼鐵業之 NO_x 排放配比最為顯著，佔整體工業部門約 43.45%，由於石化原料業歷年來為耗油量之大宗，故其 NO_x 排放量主要是由於燃燒油品而產生，鋼鐵業則是以煤品為主要的 NO_x 排放來源。NO_x 排放成長率較高的產業，包括電機業、皮革業、石化原料業、非鐵金屬業及人纖業，除了人造纖維業 NO_x 排放增量是由於煤品消費量增加所導致外，其餘 NO_x 排放增量之產業主要與油品消費量的增加有關；而排放量呈現負成長之產業中以水泥業、其他非金屬礦物製品業、其他製品業與機械業之減量效果最為明顯，其中其他非金屬礦物製品業與其他製品業是由於油品消費減少而導致 NO_x 排放減量，而水泥業則是因為煤品消費量下降所致。

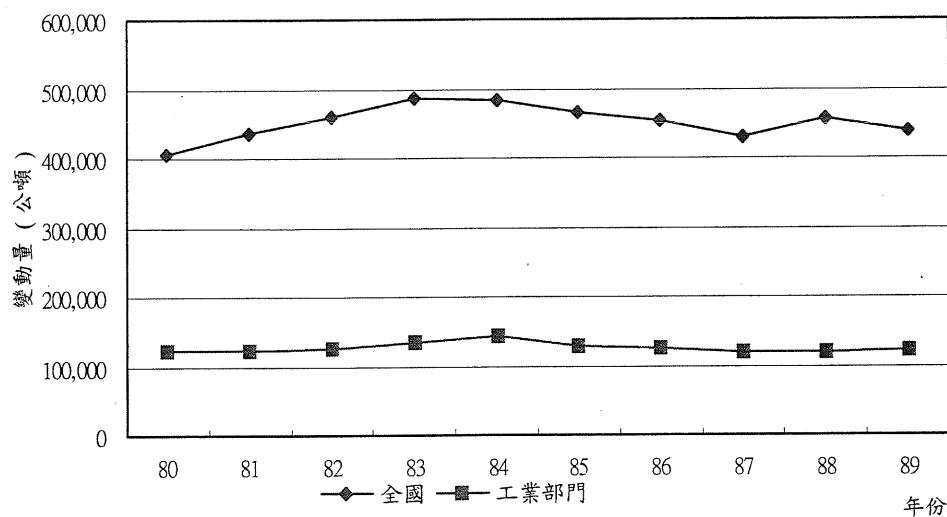
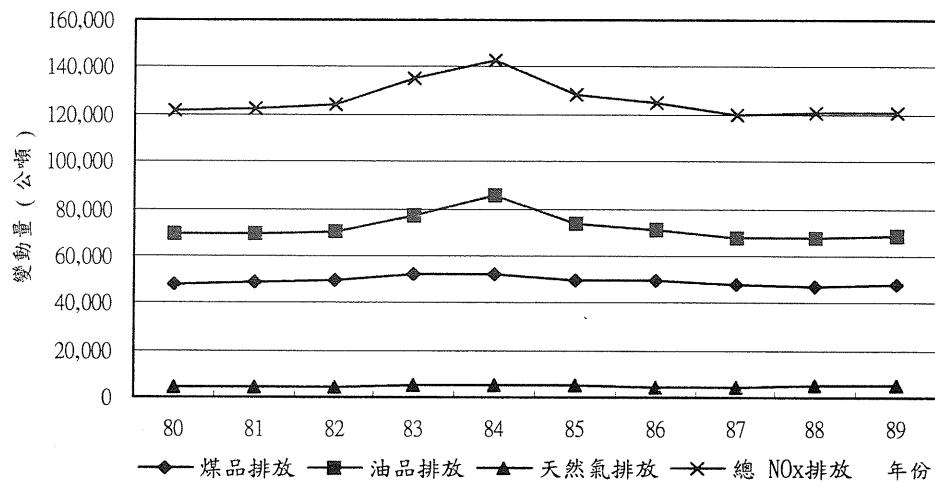


圖 4 全國與工業部門總 NO_x 排放變動趨勢圖

圖 5 工業部門歷年 NO_x 排放趨勢圖表 7 工業部門各產業能源消費之 NO_x 排放配比

1991-2000 年工業部門 能源消費 NO _x 排放配比	佔工業部門 排放比例 (%)	煤品消費 排放配比 (%)	油品消費 排放配比 (%)	天然氣消費 排放配比 (%)	NO _x 排放 年平均成長率 (%)
1. 食品煙酒業	2.86	0.01	97.54	2.45	-1.90
2. 紡織及成衣服飾業	7.82	5.43	93.45	1.12	2.45
3. 皮革及其製品業	0.24	0.00	99.99	0.01	4.69
4. 木竹製品業	0.08	0.10	99.90	0.00	14.71
5. 造紙業	4.10	41.06	58.81	0.13	-3.09
6. 印刷業	0.07	0.00	100.00	0.00	16.48
7. 石化原料業	23.65	5.87	92.17	1.96	0.78
8. 基本化工原料業	7.56	2.17	97.83	0.00	-4.01
9. 化學製品業	2.71	0.00	35.15	64.85	-4.44
10. 人造纖維業	2.42	99.89	0.11	0.00	10.79

表 7 工業部門各產業能源消費之 NO_x 排放配比(續)

1991-2000 年工業部門 能源消費 NO _x 排放配比	佔工業部門 排放比例 (%)	煤品消費 排放配比 (%)	油品消費 排放配比 (%)	天然氣消費 排放配比 (%)	NO _x 排放 年平均成長率 (%)
11.塑膠原料業	3.16	99.63	0.37	0.00	4.44
12.橡膠製品業	0.69	0.43	96.41	3.17	-1.98
13.塑膠製品業	2.00	0.00	98.91	1.09	4.76
14.其他非金屬礦物製品 業	7.12	25.92	50.14	23.94	-6.63
15.水泥業	10.84	95.51	4.49	0.00	-7.03
16.鋼鐵業	19.80	83.55	14.93	1.53	-0.95
17.非鐵金屬業	0.61	1.40	98.36	0.23	5.56
18.金屬製品業	0.87	0.00	92.55	7.45	13.84
19.機械業	0.18	2.71	90.57	6.73	15.14
20.電機業	1.48	0.00	53.31	46.69	25.52
21.運輸工具製造業	0.46	0.00	94.83	5.17	7.84
22.其他製品業	1.28	0.00	99.87	0.13	-5.89
工業部門	100.00	38.23	56.74	5.02	-0.07

4.4 NO_x 變動因素分析

表 8 顯示工業部門各產業歷年來 NO_x 之排放變動情況，在 80-83 年間，工業部門累積之 NO_x 增量效果達 13,286 公噸，其中以其他非金屬礦物製品業、水泥業及紡織業有較明顯之增量效應。民國 83-85 年呈現 6,787 公噸之減量效果，主要由其他非金屬礦物製品業與水泥業之減量所致。民國 85-88 年則進一步有 7,885 公噸之減量效果，減量貢獻來自其他非金屬礦物製品業、基本化工原料業及造紙業，同時期內，石化原料業則因六輕之運轉有明顯之增量。整體而言，累計 80-88 年間工業部門 NO_x 排放變動量有 1,386 公噸之減量效應。另外由圖 6 可知，民國 80-88 年間帶動工業部門 NO_x 排放減量的主要因素為能源密集度與排放係數之改善，而經濟成長因素則為增量的主要因素。

就排放係數而言，由表 9 可知，排放係數歷年來累積之減量效應約為 33,573 公噸，主要是由於民國 83 年以後工業部門排放係數之持續改善，而帶動 NO_x 的減量效應所致。民國 80-83 年間有 310 公噸的增量效應，除了水泥業與塑膠原料業有較明顯之減量效果外，工業部門其餘各產業的排放係數多呈現增量效果，其中以鋼鐵業之增量效果最為顯著。民國 83-85 年間，由於電力 NO_x 排放係數及煤炭配比下降，使得工業部門中各產業之排放係數有明顯的改善，其中以鋼鐵業、紡織業及基本化工原料業之減量最為顯著。民國 85-88 年間，由於能源品質持續改善，帶動了工業部門中排放係數有 20,075 公噸之減量效應，其中以鋼鐵業、紡織業及基本化工原料業之減量效果最為顯著；而水泥業自民國 83 年之後，其排放係數呈現增量效果，主要由於水泥業的煤炭配比增加而導致 NO_x 排放增量。

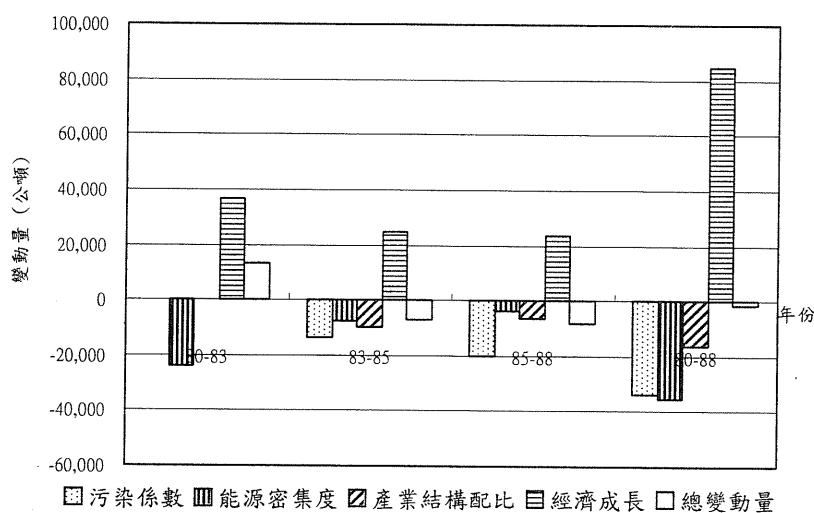
圖 6 工業部門 NO_x 排放變動因素分析

表 8 工業部門 NO_x 排放量變動情形

產業分類	年份	80-83 年	83-85 年	85-88 年	累積效應(80-88 年)
1. 食品煙酒業	121	-778	-834	-1,492	
2. 紡織及成衣服飾業	2,003	73	-22	2,055	
3. 皮革及其製品業	106	83	25	214	
4. 木竹製品業	36	-12	-24	0	
5. 造紙業	118	-143	-1,481	-1,506	
6. 印刷業	62	2	-71	-7	
7. 石化原料業	-271	401	4,027	4,157	
8. 塑膠原料業	698	151	-361	488	
9. 人造纖維業	528	384	100	1,012	
10. 塑膠製品業	934	53	-663	324	
11. 橡膠製品業	27	-385	-180	-537	
12. 基本化工原料業	331	499	-3,814	-2,985	
13. 鋼鐵業	730	-39	-214	477	
14. 化學製品業	-3,041	323	-1,155	-3,874	
15. 水泥業	3,310	-3,652	3,176	2,834	
16. 其他非金屬礦物製品業	8,296	-4,495	-5,024	-1,223	
17. 非鐵金屬業	327	269	-326	270	
18. 金屬製品業	415	35	-276	174	
19. 機械業	0	34	-101	-67	
20. 電機業	94	63	223	380	
21. 運輸工具製造業	51	-159	-134	-241	
22. 其他製品業	-1,588	506	-756	-1,838	
總計	13,286	-6,787	-7,885	-1,386	

單位：公噸

表 9 工業部門 NO_x 排放量變動之排放係數效果

產業分類 年份	80-83 年	83-85 年	85-88 年	累積效應(80-88 年)
1.食品煙酒業	298	-812	-1,042	-1,556
2.紡織及成衣服飾業	583	-2,240	-2,808	-4,465
3.皮革及其製品業	19	-67	-112	-161
4.木竹製品業	6	-19	-26	-40
5.造紙業	-413	-597	-750	-1,761
6.印刷業	5	-19	-23	-37
7.石化原料業	-193	32	424	263
8.塑膠原料業	-1,002	252	434	-315
9.人造纖維業	-692	185	354	-153
10.塑膠製品業	176	-576	-814	-1,214
11.橡膠製品業	86	-193	-236	-342
12.基本化工原料業	713	-2,234	-2,981	-4,502
13.鋼鐵業	5,181	-5,490	-13,077	-13,387
14.化學製品業	90	-704	485	-129
15.水泥業	-4,124	809	1,374	-1,941
16.其他非金屬礦物製品業	-792	-1,042	122	-1,713
17.非鐵金屬業	66	-165	-264	-363
18.金屬製品業	62	-212	-295	-444
19.機械業	24	-36	-47	-59
20.電機業	27	-195	-112	-281
21.運輸工具製造業	39	-107	-133	-200
22.其他製品業	151	-378	-547	-773
總計	310	-13,809	-20,075	-33,573

單位：公噸

就能源密集度而言，由表 10 可知能源密集度歷年來累積減量效果約為 35,388 公噸，尤其在民國 80-83 年間，減量效應達 23,744 公噸，其中以鋼鐵業與基本化工原料業的能源密集度下降所引起的減量貢獻最大。民國 83-85 年間有 7,713 公噸之減量效應，主要減量來自其他非金屬礦物製品業、鋼鐵業與水泥業，而紡織與人纖業的能源密集度則有惡化的傾向，導致增量效應。民國 85-88 年間有 3,931 公噸的減量效果，其中以基本化工原料業與水泥業的減量效果最為明顯，而紡織業、石化原料業與鋼鐵業的能源密集度則有惡化的傾向。

表 10 工業部門 NOx 排放量變動之能源密集度效果

產業分類 年 份	80-83 年	83-85 年	85-88 年	累積效應(80-88 年)
1. 食品/煙酒業	-1,220	-305	-860	-2,385
2. 紡織及成衣服飾業	2,455	2,972	6,373	11,800
3. 皮革及其製品業	249	243	324	816
4. 木竹製品業	24	18	1	43
5. 造紙業	609	-397	-1,338	-1,126
6. 印刷業	14	-1	-98	-85
7. 石化原料業	-718	383	3,662	3,326
8. 塑膠原料業	158	-873	-1,309	-2,024
9. 人造纖維業	729	1,177	-953	953
10. 塑膠製品業	1,003	283	235	1,521
11. 橡膠製品業	-203	-528	410	-321
12. 基本化工原料業	-11,069	-587	-9,886	-21,542
13. 鋼鐵業	-11,305	-2,538	3,317	-10,526
14. 化學製品業	-244	-1,053	-1,168	-2,465
15. 水泥業	-3,615	-2,289	-3,880	-9,784
16. 其他非金屬礦物製品業	1,587	-5,205	1,536	-2,081
17. 非鐵金屬業	-245	341	-222	-127
18. 金屬製品業	119	124	95	337
19. 機械業	-74	-27	-21	-122
20. 電機業	-296	-406	-319	-1,020
21. 運輸工具製造業	-118	21	-48	-145
22. 其他製品業	-1,584	935	219	-430
總計	-23,744	-7,713	-3,931	-35,388

單位：公噸

就產業結構配比而言，由表 11 可知歷年來累積之 NOx 減量效應為 16,444 公噸，主要的減量效應來自紡織業、塑膠製品業、其他製品業與其他非金屬礦物製品業。在民國 80-83 年間，工業部門因產業結構配比改變而導致減量效果並不明顯，僅有 41 公噸減量，其中鋼鐵業與基本化工原料業因產業配比的擴充，固有明顯的增量效應，而紡織業有大幅的減量。民國 83-85 年間，減量效果達 9,971 公噸，其中以紡織業、鋼鐵業及人造纖維業的減量效果較顯著。值得注意的是，鋼鐵業與水

泥業由民國 80-83 年間之增量效果到民國 83-85 年間轉變為減量效果，顯示其產業結構配比的下降造成 NO_x 的減量效應頗為明顯。在民國 85-88 年間減量效應有 6,431 公噸，帶動減量效果之產業包括紡織業、水泥業、其他製品業、其他非金屬礦物製品業、塑膠製品業與造紙業，顯示這些產業的結構配比在此期間有下降趨勢。另外，基本化工原料業由於規模擴充導致明顯的增量效應。

就經濟成長因素而言，由表 12 可知，在民國 80-88 年間，經濟成長帶動工業部門 NO_x 排放增量效果達 84,819 公噸，其中以鋼鐵業、基本化工原料業、紡織業、水泥業與其他非金屬礦物製品業由於經濟成長所帶動之增量效果最為明顯，而造紙業、食品菸酒業與塑膠原料業對整體增量亦有部份貢獻。

表 11 工業部門 NO_x 排放量變動之產業結構配比效果

年份 產業分類	80-83 年	83-85 年	85-88 年	累積效應(80-88 年)
1. 食品煙酒業	-865	-848	31	-1,683
2. 紡織及成衣服飾業	-5,449	-3,741	-6,675	-15,865
3. 皮革及其製品業	-284	-190	-295	-770
4. 木竹製品業	-33	-39	-25	-97
5. 造紙業	-2,318	-610	-708	-3,636
6. 印刷業	9	-6	26	29
7. 石化原料業	415	-164	173	424
8. 塑膠原料業	529	29	-210	349
9. 人造纖維業	-208	-1,520	111	-1,617
10. 塑膠製品業	-1,381	-493	-866	-2,740
11. 橡膠製品業	-336	54	-582	-864
12. 基本化工原料業	5,772	30	6,053	11,855
13. 鋼鐵業	6,684	-1,932	153	4,905
14. 化學製品業	-185	954	-273	496
15. 水泥業	342	-784	-1,159	-1,601
16. 其他非金屬礦物製品業	-1,380	47	-948	-2,282
17. 非鐵金屬業	196	-166	-96	-66
18. 金屬製品業	-183	-193	-370	-746
19. 機械業	-31	42	-83	-72
20. 電機業	-32	390	354	713
21. 運輸工具製造業	-122	-229	-82	-432
22. 其他製品業	-1,181	-602	-960	-2,743
總計	-41	-9,971	-6,431	-16,444

單位：公噸

表 12 工業部門 NOx 排放量變動之經濟成長效果

產業分類 年 份	80-83 年	83-85 年	85-88 年	累積效應(80-88 年)
1. 食品煙酒業	1,908	1,186	1,035	4,129
2. 紡織及成衣服飾業	4,417	3,082	3,088	10,588
3. 皮革及其製品業	123	98	108	329
4. 木竹製品業	40	29	25	94
5. 造紙業	2,240	1,462	1,310	5,012
6. 印刷業	34	28	22	84
7. 石化原料業	223	158	573	954
8. 塑膠原料業	1,014	743	723	2,480
9. 人造纖維業	700	543	589	1,832
10. 塑膠製品業	1,140	838	781	2,759
11. 橡膠製品業	480	280	227	988
12. 基本化工原料業	4,914	3,290	2,981	11,186
13. 鋼鐵業	7,801	5,456	4,566	17,822
14. 化學製品業	1,071	765	742	2,578
15. 水泥業	4,346	2,586	2,509	9,441
16. 其他非金屬礦物製品業	3,912	2,525	2,482	8,919
17. 非鐵金屬業	313	260	255	828
18. 金屬製品業	419	316	294	1,030
19. 機械業	80	56	49	186
20. 電機業	395	273	300	969
21. 運輸工具製造業	253	155	128	536
22. 其他製品業	997	551	527	2,076
總計	36,822	24,681	23,315	84,819

單位：公噸

五、結論與建議

本研究分析顯示，工業部門 SO₂ 排放量約佔全國總排放量之 38%，其排放量歷年來有明顯的下降趨勢，而油品排放之變動趨勢與總排放之趨勢非常類似，可知工業部門之 SO₂ 排放與油品消費量及含硫率有很高的相關性。歷年來工業部門中 SO₂ 排放量較高的產業包括石化原料業、鋼鐵業、水泥業、紡織業、基本化工製品業與

其他非金屬礦物製品業，其中以石化原料業與鋼鐵業之 SO₂ 排放量最為顯著，排放量共佔工業部門的 43%。

在 NO_x 排放方面，歷年來的變動幅度不大，在全國總 NO_x 排放中，工業部門 NO_x 排放的配比雖不及運輸部門重要，但仍佔有約 28% 的比例，且與油品消費量有明顯的相關性。主要的排放產業包括石化原料業、鋼鐵業、水泥業、紡織業、基本化工原料業與其他非金屬礦物製品業等。

在因素分析方面歷年來 SO₂ 排放量呈現顯著的下降，歷年來累積減量的效果達 116,764 公噸，主要的減量貢獻來自基本化工原料業、其他非金屬礦物製品業、紡織業及食品煙酒業。導致最主要的減量因素為排放係數的降低，其次為能源密集度的改善，而產業結構配比的調整亦有 21,722 公噸的減量效果。唯一的增量因素為經濟成長所帶來的效應，累計增量達 106,406 公噸。至於 NO_x 因素分析的結果顯示，歷年來工業部門 NO_x 排放量僅有微幅的下降，總減量約為 1,386 公噸，其中以民國 85-88 年間之降幅最為明顯，主要的減量效果來自其他非金屬礦物製品業及基本化工原料業。帶動工業部門 NO_x 排放減量的主要因素為能源品質改善導致的排放係數降低，其次為產業結構配比，而經濟成長仍為帶動 NO_x 增量的主要因素。

由本文分析結果得知，SO₂ 與 NO_x 排放與燃料品質及能源消費量均有極大的關聯，未來在污染物排放的減量策略上，有下面幾點建議：

1. 在排放係數方面，應持續降低含硫比率，且發電業若配合降低火力發電之煤油配比，則可進一步大幅降低 SO₂ 及 NO_x 之排放量。
2. 在能源密集度方面，加強主要排放源的節能措施與能源使用效率，為持續降低因能源密集度所引發的 SO₂ 及 NO_x 排放的有效辦法，包括引進新節能製程設備、推廣汽電共生、廢熱回收與再利用及能源管理等。
3. 在產業結構配比方面，宜適當擴充產業關聯性高、低 SO₂ 及 NO_x 排放的產業配比，且降低高能源密集、高污染產業之結構配比，以持續加強工業部門 SO₂ 及 NO_x 排放管制之成效。
4. 在經濟成長方面，產業發展應配合整體國家政策，並善用經濟工具與排放管制法規控制產業 SO₂ 及 NO_x 之排放，且不宜持續對高污染產業的投資作政策性之獎勵與優惠，應進一步鼓勵低污染、高附加價值產業與產品之發展。

整體而言，由於民國 83 年加強固定污染源的空氣污染物排放管制，除規範不同燃料的排放標準外，隔年開始徵收空污費，而業界亦採取改善燃料品質及加強污染防治措施，故數年來 SO₂ 排放已得到顯著的減量效果。在 NOx 方面，歷年來工業部門排放量變動不大，僅有 8%之降幅，主要是由於 NOx 排放與燃燒溫度有相當的關聯性，因此若欲降低 NOx 排放量除了改善燃料品質與加強排放管制外，對於製程溫度與鍋爐操作條件需要加以調整控制，以降低 NOx 之排放量。另外，由於煤及燃料油的氮氧化物排放係數皆大於天然氣，可預期的是燃料替換為另一有效之 NOx 減量途徑，故若能降低火力發電中煤及燃料油之比例，增加天然氣之配比，亦可進一步促成 NOx 減量。

參考文獻

- 1.行政院環保署，「臺灣地區民國 81~89 年各污染源管制後排放量總表－細類」。
2. Torvanger, A., "Manufacturing Sector Carbon Dioxide Emissions in Nine OECD Countries ", Energy Economics, Vol.6, pp.168-186, 1991
- 3.Park, S., "Decomposition of Industrial Energy Consumption – An Alternative Method ", Energy Economics, vol.14, no.4, pp.265~270,1992.
- 4.Shrestha, R.M.and G.R. Timilsina, "Factors Affecting CO₂ Intensities of Power Sector in Asia: a Decomposition Analysis", Energy Economics, vol.18, no.4, pp.283~293,1996.
- 5.林素貞，張子見，張翊峰，李正豐，「以因素分析探討臺灣地區產業二氧化碳排放量之變動趨勢與關鍵因素」，能源季刊，第二十六卷第一期，1996。
- 6.Lin Sue J. and Tzu C. Chang, "Decomposition of SO₂, NOx and CO₂ Emissions from Energy Use of Major Economic Sectors in Taiwan", The Energy Journal, vol.17, no.1, pp.1~17,1996.
- 7.Viguier, L, " Emissions of SO₂, NOx and CO₂ in Transition Economics : Emission Inventories and Divisia Index Analysis" , The Energy Journal, 20(2), pp.59-87, 1999.

8. Howarth, R.B., Schipper, Lee et al., "Manufacturing Energy Use in Eight OECD Countries", *Energy Economics*, vol.6, pp.135~142, 1991.
9. Greening, L.A., W.B. Davis, L. Schipper, M. Khrushch, "Comparison of six decomposition methods : Application to aggregate energy intensity for manufacturing in 10 OECD countries", *Energy Economic*, 19(3), pp.375-390, 1997.
10. 經濟部能委會，「臺灣能源平衡表」，台北，2000。
11. 行政院環保署，「台灣地區空氣污染物排放量推估手冊 TEDS4.2 版」，2001。
12. 行政院主計處，「中華民國行業標準分類」，台北，1991。
13. 行政院主計處，「中華民國八十年台灣地區產業關聯表(150 部門)」，1995。
14. 行政院主計處，「中華民國八十三年台灣地區產業關聯表(150 部門)」，1997。
15. 行政院主計處，「中華民國八十五年台灣地區產業關聯表(160 部門)」，2000。
16. 行政院主計處，「中華民國八十八年台灣地區產業關聯表(160 部門)」，2001。
17. 林素貞，盧怡靜，施念青，「公路運輸部門 CO 及 NO_x 排放變動因素分析」，*工業污染防治*，vol.21，No.4，pp.64-77，2002。
18. 林素貞，盧怡靜，「台灣地區工業部門二氧化碳排放趨勢與關鍵因素探討」，*能源季刊*，第三十三卷第四期，pp.31-52，2003。