

環境保護

台灣地區產業二氣化碳之變動趨勢分析與減量策略

林素貞* 張子見** 李正豐** 張翊峰***

摘要

本研究探討台灣地區1981-96年間能源相關之CO₂排放量變動趨勢，並利用迪氏指標法，將CO₂排放量變動分解為排放係數、能源密集度、產業結構及經濟成長四個因素。研究結果顯示整體CO₂排放量年平均成長率6.8%，歷年來排放量最高的部門依序為路上運輸、鋼鐵、住宅、水泥及油氣煉製業，而成長率最高的產業依序為其他運輸、塑膠原料、商品買賣、印刷及電機業。因素分析結果顯示經濟成長是促使CO₂排放量增加的最大因素，結構效應為減量的重要因素，而能源密集度改善亦有部份減量效應，排放係數略呈增量效應，但影響較小。

在CO₂減量策略方面，需抑制燃煤發電的配比，大幅擴充燃氣發電的容量，並加強電力需求管理、電廠營運管理及提高輸配電效率，增加低碳或無碳燃料在能源結構的配比。而加強改善主要排放源如路上運輸、鋼鐵、住宅部門、水泥業等之能源使用效率，可獲得較大的減量效果。此外，需加強相關的科技研究與國際合作，以促進資訊與技術交流，提昇能源效率與加速替代能源的研發。而制訂合理的法規與經濟誘因，加強教育宣導，讓產業界及民眾主動參與配合相關措施亦值得重視。

【關鍵字】

1. 產業能源消費(industrial energy consumption)
2. 迪氏指標法(Divisia index)
3. CO₂排放量變動分析(change decomposition of CO₂ emissions)
4. CO₂彈性值(CO₂ elasticity)
5. CO₂減量策略(CO₂ reduction strategies)

* 國立成功大學環境工程研究所教授

** 國立成功大學環境工程研究所博士班研究生

*** 國立成功大學環境工程研究所博士

2 台灣地區產業二氧化碳之變動趨勢分析與減量策略

一、前　　言

自1992年6月聯合國通過「氣候變化綱要公約」，及至1997年12月於日本京都舉行第三次締約國大會，簽署具有歷史意義的國際協定「溫室氣體減量議定書」，各國正積極研擬控制溫室氣體的行動方案與因應策略。由於二氧化碳的排放量約佔溫昇氣體總量的55%，故除了繼蒙特婁公約對氟氯碳化合物之管制外，二氧化碳可能成為未來國際間首要的控制溫昇效應之減量對象。有關CO₂的排放量與化石燃料的關係最為密切，故本研究探討1981至1996年台灣地區各部門能源相關的CO₂排放量，另外由因素分析法將CO₂排放量變動分解為排放係數、能源密集度、產業結構及經濟成長等因素，目的在於探討台灣地區主要產業之能源消費所引起的CO₂排放量與變動趨勢，並研判其排放特性與關鍵因素，且建議削減策略。

二、研究方法

2.1 二氧化碳估算

有關二氧化碳(CO₂)之計算方法，目前相關文獻多以IPCC(IPCC/OECD, 1995)法為準，主要此法為國際認定的CO₂推估方法，可方便作為國際比較及國家削減計畫的基準。本研究重點在於探討台灣地區個別產業之能源消費所引起的CO₂排放量，為實際反應各產業使用化石燃料的CO₂排放量，及避免由初級能源轉換至次級能源產生的統計誤差，本研究在燃料排放係數方面引用IPCC參考值，而能源使用量則採用各產業的能源最終消費，以推估CO₂排放量，如此修正將較直接引用IPCC方法可更確切的推估台灣地區各產業CO₂的排放量。

各產業CO₂排放量的推估，基本上與IPCC方法的步驟相同，摘要如下：

1. 將各燃料原始單位的碳排放係數(carbon emission coefficient)乘以熱值轉換係數，得到各燃料熱值單位的碳排放係數。
2. 扣除碳固定化的比例，再與步驟1相乘，可得未被固定而釋放至大氣的碳量。有碳固定化情況的燃料包括：石油腦、潤滑油、柏油、烯烴類、其他石油品、做為原料使用的天然氣及液化石油氣等。

3. 將步驟2.所得之初步碳排放係數再乘上轉換因子，即乘以各種能源的碳氧化率及將碳轉換成二氧化碳的重量轉換因子，得到各種燃料之實際熱值排放係數。
4. 統計各種化石燃料的使用量(能源最終消費)，並以熱值單位表示。
5. 將步驟3.所求得之排放係數乘以步驟4.整理之燃料消費量，即得CO₂排放量。

綜合以上各步驟，可以下式表示：

$$\text{CO}_2\text{排放量} = \sum_k \{ (\text{能源使用量}_k \times \text{碳排放係數}_k) \times (1 - \text{碳固定量}_k) \} \times \text{碳氧化率}_k \times 44 / 12 \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

其中，K表示燃料種類，包括自產煤、進口燃料煤、燃料油、天然氣等共27種燃料，而各種燃料的排放係數及運算因子請參考參考文獻⁽⁸⁾。

2.2 迪氏指標法

因素分析法乃是將欲分析的主參數，分解為數個關鍵的組成因素，以各組成因素對主參數的貢獻量來探討影響該參數的主要因素。因素分析法中以拉氏指數法(Laspeyres Index)及迪氏指數法(Divisia Index)兩種較為常用。拉氏為固定權數，其優點為各項因素含義明確且計算方便；而迪氏為變動權數，優點為其所產生之殘差效果相對於拉氏指數之交叉效果小，此主要原因為迪氏指數將交叉效果分配到各個組成因素之故。

在能源相關污染物排放變動因素分析之研究方面，Torvanger應用Divisia Index方法⁽¹⁵⁾，將九個OECD國家製造業之CO₂排放密度變動分解成排放係數指數、燃料配比指數、能源密集度指數、各國結構指數及國際結構指數等五個指數之乘積進行分析。Lin and Chang應用迪氏指標法將台灣主要經濟部門能源投入所產生的污染排放量變動分成污染係數、能源配比、能源密集度、結構配比及經濟成長等因素作評析⁽¹³⁾。Shrestha及Timilsina以簡單平均迪氏指標法，分析亞洲12國電力部門的CO₂密集度變動因素⁽¹⁴⁾。Ang及Pandian應用四種迪氏法分析中國、南韓及台灣的CO₂密集度變動，並比較方間結果的差異⁽¹¹⁾。

本文採用簡單平均迪氏指標法探討歷年影響國內34個產業CO₂排放量變動及其關鍵因素，包括能源密集度、排放係數、產業結構配比及經濟成長等。

CO₂的總排放量可以下列方程式表示：

$$Q_{it} = \frac{Q_{it}}{E_{it}} \times \frac{E_{it}}{G_{it}} \times \frac{G_{it}}{G_t} \times G_t \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

三、結果分析

表1結果顯示，1981至1996年期間，台灣地區CO₂排放量最高的五個部門及其平均配比依序為：路上運輸(15.5%)、鋼鐵(12.0%)、住宅部門(10.3%)、水泥(6.2%)及油氣煉製業(5.3%)。整體排放量年平均成長率為6.8%，而成長率最高的五個部門為其他運輸業(17.6%)、塑膠原料業(15.6%)、商品買賣業(12.6%)、印刷業(12.6%)及電機業(11.8%)；而負成長的產業則為能源礦業(-7.6%)及煤製品業(-2.5%)。此外，CO₂彈性值可代表產業CO₂排放強度與經濟比值之指標，彈性值大於1時，表示同時段某產業的CO₂排放成長率相較其生產毛額成長率為高，其值越高代表該產業的CO₂排放對環境的效益越差。由CO₂彈性值顯示，CO₂排放效益較差的產業包括農林漁牧、皮革製品、其他製造等產業；彈性值較小的產業包括木材製品、化學製品、倉儲通信等產業。另外，能源礦業、煤製品業及非鐵金屬業為歷年來CO₂排放量抑減而產值增加的例子。

表1 臺灣地區各產業能源消費之CO₂排放配比及彈性值分析

產業名稱	1981-1996年 CO ₂ 配比	用電排 放配比	燃煤排 放配比	燃油排 放配比	燃氣排 放配比	佔總排 放量配比	CO ₂ 年平 均成長率	1981-1994年 CO ₂ 彈性值 ¹
01.農林漁牧業	21.3%	0.0%	78.6%	0.0%	3.0%	3.2%	16.33	
02.能源礦業	45.8%	16.1%	38.0%	0.1%	0.3%	-7.6%	"-+"	
03.食品及煙酒	42.0%	0.7%	55.5%	1.8%	2.2%	3.6%	1.17	
04.紡織及成衣	50.7%	0.4%	48.7%	0.2%	5.2%	4.3%	3.52	
05.皮革製品業	43.6%	0.0%	56.3%	0.0%	0.1%	6.8%	4.81	
06.木材製品	90.0%	0.1%	9.8%	0.0%	0.3%	0.5%	0.11	
07.造紙業	29.4%	27.9%	42.6%	0.0%	3.0%	4.7%	1.47	
08.印刷業	85.1%	0.0%	14.8%	0.0%	0.1%	12.6%	1.14	
09.油氣煉製業	9.1%	0.0%	78.0%	12.9%	5.3%	3.1%	0.66	
10.煤製品業	51.1%	3.6%	45.3%	0.0%	0.4%	-2.5%	"-+"	
11.石化原料業	0.0%	0.0%	97.2%	4.1%	2.4%	7.6%	0.99	
12.塑膠原料業	28.6%	71.3%	0.0%	0.0%	2.3%	15.6%	2.78	

6 台灣地區產業二氧化碳之變動趨勢分析與減量策略

表1 臺灣地區各產業能源消費之CO₂排放配比及彈性值分析(續)

產業名稱 1981-1996年 CO ₂ 配比	用電排 放配比	燃煤排 放配比	燃油排 放配比	燃氣排 放配比	佔總排 放量配比	CO ₂ 年平 均成長率	1981-1994年 CO ₂ 彈性值 ¹
13.人造纖維	39.4%	60.6%	0.0%	0.0%	2.9%	10.6%	1.68
14.塑膠製品	46.0%	0.0%	53.9%	0.0%	1.8%	3.3%	0.41
15.橡膠製品	41.9%	0.8%	56.9%	0.3%	0.5%	2.4%	0.64
16.其他化工原料	15.2%	11.2%	71.8%	1.8%	3.6%	9.2%	2.19
17.化學製品	44.0%	0.1%	20.2%	35.6%	1.6%	2.7%	0.19
18.水泥業	13.4%	81.3%	5.3%	0.0%	6.2%	2.4%	0.26
19.其他非金屬礦物製品	17.1%	30.1%	40.1%	12.7%	3.6%	3.1%	0.43
20.鋼鐵業	17.8%	70.1%	11.9%	0.3%	12.0%	8.5%	0.76
21.非鐵金屬業	37.8%	4.2%	57.9%	0.0%	0.3%	0.8%	"-/+"
22.金屬製品	77.9%	1.7%	19.8%	0.5%	1.3%	8.8%	2.26
23.機械業	83.6%	5.1%	10.7%	0.5%	0.5%	6.6%	0.71
24.電機業	84.2%	0.1%	10.9%	4.6%	1.6%	11.8%	0.97
25.運輸工具製造業	73.0%	0.2%	26.6%	0.2%	0.5%	8.0%	1.19
26.其它製造業	51.7%	1.9%	43.9%	2.4%	0.6%	7.7%	3.86
27.電力供應業	81.0%	0.0%	18.9%	0.0%	1.9%	11.3%	1.72
28.煤氣及自來水業	98.8%	0.0%	1.1%	0.0%	0.3%	5.8%	1.14
29.營造業	23.1%	0.0%	76.8%	0.0%	0.5%	3.7%	0.4
30.路上運輸及運輸服務	0.2%	0.0%	99.8%	0.0%	15.5%	8.4%	1.16
31.其他運輸	12.2%	0.1%	87.7%	0.0%	1.4%	17.6%	0.83
32.倉儲通信業	82.1%	0.0%	17.8%	0.0%	0.3%	4.3%	0.19
33.商品買賣業	84.3%	0.0%	9.3%	6.2%	3.3%	12.6%	1.74
34.其他服務業	54.2%	2.5%	42.5%	0.7%	5.0%	6.1%	0.32
35.住宅部門	65.4%	0.1%	24.2%	10.2%	10.3%	8.3%	
總計	32.1%	19.5%	45.1%	3.3%	100.0%	6.8%	0.68

註1：CO₂彈性值為同時段CO₂成長率與國內生產額成長率之比值，亦即當產業生產額成長一個百分點時，所排放的CO₂成長率，"-/+"代表CO₂成長率為負而生產額成長為正，其中，由於產業生產額資料為根據產業關聯表，故彈性值分析時段為1981-1994年。

就因素分析而言，由於目前主計處僅編製至民國83的產業關聯表，各產業生產額資料缺乏83年後的數據，故本文分析時段為1981至1994年。表2顯示，34個產業的CO₂排放量，在1981至1994年間共增加75.4百萬公噸，約上升125.4%。歷年來產業CO₂排放量增加最多的前五名產業依序為路上運輸、鋼鐵、商品買賣、塑膠原料及其他化工原料業。

就排放係數而言，表3顯示，排放係數的變動，在1981-86及1989-91年間呈減量效應，但於1986-89年及1991-94年間卻大幅上升，導致累積增量效果達3.2百萬公噸，主要是受電力排放係數及電力、煤品消費配比變動的影響。以1981-84年為例，由於火力發電的配比較低，是減量效果的主要來源，減量效應以用電大宗的紡織、電力供應及鋼鐵業最大。整體而言，排放係數的累積增量效果為3.2百萬公噸，而增量效果最大的來源包括其他服務、化學製品、商品買賣等產業，而減量效果較顯著的則包括鋼鐵、塑膠原料、油氣煉製等產業。

就能源密集度因素來看，表4顯示在1981-86年間有減量效果，1986-91年則呈大幅增量效果，1991年以後才又明顯下降。1981-84年間減量效果主要來自油氣煉製、非金屬礦物及水泥業；1984-86年則主要來自為路上運輸、石化原料及非金屬礦物業。1986-91年間由於CO₂主要排放源如鋼鐵、路上運輸、其他化工原料等產業的能源密集度上升，導致淨增量效應約為14.7百萬噸。1991-94年間除了路上運輸、電力供應、人造纖維等產業呈現較大增量效果外，多數產業的能源密集度有明顯改善，故減量效果顯著。值得注意的是，塑膠原料、紡織及其他化工原料業的能源密集度多呈現上升，故累積的增量效果皆在二百萬公噸以上，未來必需針對這些產業加強能源效率管理及節約能源措施，以減少能源的消費及CO₂的排放。

表5顯示國內產業結構在1981-86年間傾向於CO₂排放量的增加，其後則呈大幅下降，累積減量效果達16.7百萬公噸，其中以紡織、農林漁牧及油氣煉製業是最大的減量來源，而鋼鐵、其他服務及其他運輸則呈現顯著的增量效果。1981~1986年間的增量效果主要來自鋼鐵、油氣煉製及石化原料業；1986-94年間結構效應的減量效果則以紡織、農林漁牧及其他化工原料最顯著。

由表6可知經濟成長為導致歷年來CO₂排放量增加的最重要因素，1981~1994年的累積效應達97.0百萬公噸，其中增量效應名列前五位者依次為路上運輸、鋼鐵、水泥、其他服務及紡織業。

8 台灣地區產業二氣化碳之變動趨勢分析與減量策略

表2 整體產業CO₂排放量變動

產業	年代	單位：公噸					
		1981-1984	1984-1986	1986-1989	1989-1991	1991-1994	1981-1994
01.農林漁牧業		495,746	60,948	469,439	1,455	124,306	1,151,894
02.能源礦業		-57,862	-227,074	-99,402	-51,761	-4,816	-440,914
03.食品煙酒業		-44,646	393,714	496,090	91,121	149,131	1,085,411
04.紡織及成衣服飾業		28,542	738,227	1,167,744	234,575	688,474	2,857,562
05.皮革及其製品業		36,889	9,350	10,622	12,732	31,461	101,054
06.木竹製品業		-46,464	28,575	88,540	-35,908	-22,517	12,226
07.造紙業		-171,756	301,187	895,740	575,513	403,466	2,004,150
08.印刷業		3,395	27,075	36,034	21,381	44,808	132,692
09.油氣煉製業		384,596	644,989	-204,073	-134,145	1,237,404	1,928,771
10.煤製品業		146,351	-208,826	-235,891	83,304	29,273	-185,788
11.石化原料業		941,331	366,466	74,941	120,854	802,068	2,305,660
12.塑膠原料業		287,398	716,642	522,246	813,078	1,659,345	3,998,709
13.人造纖維		-138,969	372,057	1,284,231	637,629	1,276,459	3,431,407
14.塑膠製品業		128,445	641,888	-693,985	199,947	392,064	668,358
15.橡膠製品		46,263	-716	75,995	40,375	14,069	175,986
16.其他化工原料		311,860	398,346	1,942,804	807,594	511,646	3,972,251
17.化學製品		-682,048	-273,428	295,661	190,486	1,022,858	553,530
18.水泥業		-129,559	-13,803	1,424,330	359,283	575,902	2,216,152
19.其他非金屬礦物製品		-227,745	141,615	656,824	178,951	1,380,854	2,130,499
20.鋼鐵業		3,256,001	1,060,927	5,160,419	304,383	2,655,184	12,436,915
21.非鐵金屬業		-325,699	165,267	2,720	13,037	87,073	-57,600
22.金屬製品業		188,347	171,573	371,567	193,919	460,807	1,386,212
23.機械業		48,046	39,152	196,613	-183	115,642	399,270
24.電機業		13,544	331,273	791,479	183,930	560,553	1,880,779
25.運輸工具製造業		-14,485	107,545	254,105	77,070	97,925	522,161
26.雜項製品		-116,343	78,905	174,452	547,139	-183,998	500,155
27.電力供應業		318,666	133,240	700,177	27,217	646,756	1,826,055
28.自來水及煤氣供應業		-7,545	45,809	113,611	21,465	59,497	232,837
29.營造工程		-193,450	37,135	221,646	25,432	230,646	321,410
30.路上運輸及運輸服務		2,075,271	1,348,694	5,236,049	2,675,586	6,041,992	17,377,591
31.其他運輸		547,039	-46,645	185,058	82,933	570,729	1,339,114
32.倉儲通信		-146,968	114,289	77,765	72,882	82,089	200,058
33.商品買賣		28,808	303,260	1,658,409	1,120,288	2,132,518	5,243,284
34.其他服務業		163,015	676,976	1,287,676	663,515	882,104	3,673,286
總計		7,146,013	8,684,634	24,639,637	10,155,078	24,755,773	75,381,136

表3 整體產業CO₂排放量變動排放係數效果

單位:公噸

產業	年代	1981-1984	1984-1986	1986-1989	1989-1991	1991-1994	1981-1994
01.農林漁牧業		-63,884	65,579	185,523	-39,801	49,202	196,619
02.能源礦業		-90,686	-20,869	16,357	165	12,880	-82,153
03.食品煙酒業		-113,082	32,331	220,139	15,664	93,884	248,937
04.紡織及成衣服飾業		-451,899	135,181	647,519	-170,293	3,024	163,532
05.皮革及其製品業		-8,077	5,306	15,022	-1,406	1,623	12,467
06.木竹製品業		-61,965	14,547	69,421	-12,975	3,791	12,820
07.造紙業		-145,877	66,324	233,118	-50,215	1,311	104,659
08.印刷業		-8,752	-2,734	19,705	-5,403	-1,571	1,244
09.油氣煉製業		-134,520	3,963	202,236	-594,953	89,346	-433,928
10.煤製品業		42,106	25,430	154,763	3,358	13,744	239,400
11.石化原料業		99,402	-328,716	38,313	91,934	-48,481	-147,548
12.塑膠原料業		-213,674	-31,889	138,253	-181,753	-172,815	-461,877
13.人造纖維		-260,783	35,117	110,996	-86,024	-30,016	-230,710
14.塑膠製品業		-94,237	25,512	456,108	-48,208	32,097	371,272
15.橡膠製品		-31,185	17,644	52,200	-9,338	10,922	40,243
16.其他化工原料		-181,058	64,832	-49,272	-71,983	67,730	-169,752
17.化學製品		103,514	155,004	248,354	-84,350	676,031	1,098,553
18.水泥業		246,249	47,088	177,336	-53,058	34,575	452,190
19.其他非金屬礦物製品		-37,810	76,934	114,630	-46,625	-10,373	96,757
20.鋼鐵業		-332,649	-936,882	433,208	-68,868	247,319	-657,871
21.非鐵金屬業		-37,835	5,804	7,442	-703	-3,617	-28,909
22.金屬製品業		-106,710	51,612	254,199	-33,600	41,857	207,358
23.機械業		-53,256	17,775	99,983	-10,511	30,032	84,023
24.電機業		-78,565	11,003	223,232	-36,393	127,467	246,743
25.運輸工具製造業		-46,394	8,735	71,601	-15,196	29,707	48,453
26.雜項製品		-71,423	36,608	81,926	-211,311	144,066	-20,134
27.電力供應業		-401,298	147,899	342,918	-37,783	-92,928	-41,192
28.自來水及煤氣供應業		-54,691	12,790	67,015	-14,004	17,846	28,956
29.營造工程		1,949	-340	35,465	9,007	49,348	95,429
30.路上運輸及運輸服務		-16,018	-3,734	-127,715	-28,772	-4,641	-180,880
31.其他運輸		-98,332	7,902	16,841	-2,875	-32,255	-108,719
32.倉儲通信		15,618	-15,473	77,869	-1,193	68,733	145,555
33.商品買賣		-285,055	74,380	517,164	-28,567	272,301	550,222
34.其他服務業		-206,044	69,519	655,890	127,218	694,197	1,340,779
總計		-3,176,921	-125,820	5,807,757	-1,698,814	2,416,336	3,222,539

10 台灣地區產業二氣化碳之變動趨勢分析與減量策略

表4 整體產業CO₂排放量變動能源密集度效果

產業	年代	單位:公噸				
		1981-1984	1984-1986	1986-1989	1989-1991	1991-1994
01.農林漁牧業		316,199	19,748	326,809	-283,426	550,745
02.能源礦業		117,093	-239,420	-94,148	-74,485	-90,711
03.食品煙酒業		-210,287	258,964	59,888	273,010	-471,818
04.紡織及成衣服飾業		-401,812	88,373	546,013	1,440,784	522,775
05.皮革及其製品業		2,682	-34,198	-34,754	86,933	67,625
06.木竹製品業		-30,232	-72,408	-5,545	69,928	-32,473
07.造紙業		-475,075	-466,488	590,739	2,409,365	-1,336,027
08.印刷業		7,815	5,107	-2,207	11,925	-25,456
09.油氣煉製業		-1,609,220	2,083,487	-1,255,805	4,567,146	-4,357,264
10.煤製品業		-177,429	114,328	-427,711	-5,963	-157,362
11.石化原料業		864,812	-922,646	-586,498	819,075	-516,268
12.塑膠原料業		-14,061	767,613	14,744	1,116,204	402,897
13.人造纖維		-287,893	184,141	856,871	228,884	555,152
14.塑膠製品業		-419,800	130,259	-1,606,689	479,979	392,419
15.橡膠製品		41,258	-128,551	8,445	150,677	-194,974
16.其他化工原料		-87,731	20,270	1,471,715	1,347,429	-624,477
17.化學製品		-1,533,290	-569,056	-151,746	432,451	-219,349
18.水泥業		-754,930	-560,935	-313,619	-552,614	-2,362,319
19.其他非金屬礦物製品		-1,067,130	-733,241	133,118	192,672	164,852
20.鋼鐵業		71,606	797,573	3,323,668	-753,654	-6,959,407
21.非鐵金屬業		-458,437	47,780	-136,375	-62,287	-103,800
22.金屬製品業		183,905	-150,162	-253,268	661,645	60,130
23.機械業		52,004	-34,798	-91,175	-21,670	-111,054
24.電機業		-260,367	264,305	-127,365	137,871	-121,515
25.運輸工具製造業		-29,818	110,694	-11,657	-2,065	-90,222
26.雜項製品		-133,067	-35,684	69,440	898,163	-201,689
27.電力供應業		441,961	-106,695	-188,412	-473,607	1,093,535
28.自來水及煤氣供應業		29,573	-21,307	-32,377	79,686	-43,874
29.營造工程		-212,274	15,422	68,510	-10,974	-183,717
30.路上運輸及運輸服務		958,827	-1,741,217	2,738,868	-1,976,544	1,788,579
31.其他運輸		371,215	-381,146	-51,893	-36,593	-108,691
32.倉儲通信		-265,387	94,543	-74,735	-7,055	-198,829
33.商品買賣		19,149	-79,147	406,359	865,130	-249,452
34.其他服務業		-382,280	-93,601	-1,266,717	-1,202,030	-2,494,910
總計		-5,332,421	-1,368,096	3,902,492	10,805,990	-15,656,951
						-7,648,986

表5 整體產業CO₂排放量變動產業結構效果

產業	年代	1981-1984	1984-1986	1986-1989	1989-1991	1991-1994	單位:公噸 1981-1994
01.農林漁牧業		-356,130	-451,581	-893,803	-46,602	-1,609,350	-3,357,465
02.能源礦業		-218,845	-38,024	-102,440	-2,215	8,280	-353,243
03.食品煙酒業		-113,757	-174,254	-406,965	-482,647	-366,181	-1,543,803
04.紡織及成衣服飾業		-36,971	-131,226	-1,455,101	-1,692,992	-1,953,932	-5,270,222
05.皮革及其製品業		19,220	19,851	-5,944	-88,787	-92,681	-148,341
06.木竹製品業		-18,408	46,388	-63,453	-131,713	-101,074	-268,261
07.造紙業		-52,399	368,915	-686,265	-2,171,234	417,439	-2,123,544
08.印刷業		-3,113	18,457	-1,780	3,387	27,125	44,075
09.油氣煉製業		1,018,391	-2,231,040	-654,313	-4,700,253	3,553,355	-3,013,860
10.煤製品業		148,566	-432,841	-55,547	56,896	66,222	-216,703
11.石化原料業		-409,759	1,276,394	-61,136	-1,078,808	359,146	85,838
12.塑膠原料業		357,519	-194,181	-108,686	-380,441	267,536	-58,254
13.人造纖維		94,423	-65,315	-268,752	144,202	-599,285	-694,727
14.塑膠製品業		285,676	206,845	-65,801	-415,160	-675,485	-663,924
15.橡膠製品		-71,731	37,293	-127,893	-165,401	-3,838	-331,570
16.其他化工原料		162,459	-6,289	-316,136	-973,257	-661,690	-1,794,913
17.化學製品		363,426	-35,060	-122,370	-314,294	-75,386	-183,684
18.水泥業		-892,543	-310,616	-102,079	192,288	437,878	-675,072
19.其他非金屬礦物製品		191,059	361,234	-492,836	-378,792	-245,251	-564,586
20.鋼鐵業		1,928,896	-128,804	-1,765,392	-480,648	4,082,362	3,636,414
21.非鐵金屬業		104,440	80,336	52,439	42,975	79,922	360,113
22.金屬製品業		-65,725	130,401	46,115	-596,785	-231,078	-717,072
23.機械業		-29,942	-1,148	54,504	-33,538	-17,917	-28,041
24.電機業		189,408	-69,983	312,595	-124,621	-181,998	125,402
25.運輸工具製造業		1,741	-56,151	69,960	24,139	-79,921	-40,232
26.雜項製品		12,105	32,678	-91,256	-202,850	-440,649	-689,973
27.電力供應業		40,394	-94,623	105,093	317,105	-1,121,066	-753,098
28.自來水及煤氣供應業		-29,011	21,704	-457	-84,163	-47,028	-138,955
29.營造工程		-68,216	-18,756	14,670	-29,717	155,490	53,471
30.路上運輸及運輸服務		-904,970	1,532,726	-1,092,086	2,756,738	-2,870,650	-578,242
31.其他運輸		98,835	178,065	-69,624	-9,725	218,203	415,755
32.倉儲通信		44,118	5,035	-9,648	38,958	60,770	139,231
33.商品買賣		-11,885	87,617	75,050	-123,460	377,658	404,980
34.其他服務業		-71,557	112,025	568,415	1,092,342	499,800	2,201,025
總計		1,705,715	76,073	-7,720,923	-10,039,073	-763,274	-16,741,482

12 台灣地區產業二氣化碳之變動趨勢分析與減量策略

表6 整體產業CO₂排放量變動經濟成長效果

產業	年代	1981-1984	1984-1986	1986-1989	1989-1991	1991-1994	單位:公噸 1981-1994
01.農林漁牧業		600,915	427,205	851,710	371,284	1,133,722	3,384,836
02.能源礦業		134,534	66,697	79,955	24,560	64,735	370,480
03.食品煙酒業		392,478	277,995	624,788	285,103	893,280	2,473,645
04.紡織及成衣服飾業		919,224	647,503	1,433,675	657,104	2,117,214	5,774,720
05.皮革及其製品業		23,437	18,395	36,303	15,998	54,981	149,114
06.木竹製品業		64,043	40,072	88,617	38,822	107,230	338,785
07.造紙業		501,514	332,849	765,111	388,769	1,321,058	3,309,301
08.印刷業		7,447	6,960	20,932	11,540	45,084	91,964
09.油氣煉製業		1,110,130	789,299	1,503,787	593,908	1,956,116	5,953,240
10.煤製品業		133,814	81,955	92,605	29,631	106,687	444,692
11.石化原料業		386,876	342,137	684,267	288,673	1,011,908	2,713,860
12.塑膠原料業		161,344	175,099	481,414	266,200	1,189,442	2,273,499
13.人造纖維		315,175	219,903	617,601	352,508	1,360,099	2,865,286
14.塑膠製品業		356,871	284,785	515,223	183,556	644,250	1,984,685
15.橡膠製品		107,955	72,898	143,364	64,451	201,959	590,627
16.其他化工原料		418,884	320,562	890,810	507,307	1,730,457	3,868,020
17.化學製品		375,068	174,559	322,822	156,939	662,623	1,692,011
18.水泥業		1,271,660	810,660	1,668,540	772,738	2,466,030	6,989,628
19.其他非金屬礦物製品		686,036	436,714	903,863	411,726	1,481,746	3,920,085
20.鋼鐵業		1,588,148	1,330,166	3,243,899	1,607,562	5,290,503	13,060,278
21.非鐵金屬業		66,132	31,347	79,215	33,054	114,988	324,736
22.金屬製品業		177,729	140,152	327,236	162,915	592,243	1,400,275
23.機械業		79,310	57,354	135,661	65,537	214,861	552,723
24.電機業		163,069	129,622	383,017	207,208	739,307	1,622,223
25.運輸工具製造業		59,983	45,293	129,863	70,279	238,498	543,916
26.雜項製品		74,900	45,698	116,577	85,447	313,745	636,368
27.電力供應業		239,885	186,772	450,285	221,503	771,046	1,869,491
28.自來水及煤氣供應業		46,582	32,771	80,715	39,952	132,654	332,675
29.營造工程		80,421	40,860	108,413	57,121	211,844	498,659
30.路上運輸及運輸服務		2,046,029	1,562,596	3,716,981	1,928,944	7,164,881	16,419,431
31.其他運輸		175,321	148,526	290,157	132,156	499,796	1,245,955
32.倉儲通信		54,103	32,611	84,650	42,373	151,617	365,354
33.商品買賣		306,600	221,364	659,836	414,840	1,758,720	3,361,360
34.其他服務業		822,922	590,520	1,336,835	646,633	2,184,218	5,581,127
總計		13,948,539	10,121,902	22,868,725	11,136,342	38,927,542	97,003,051

由以上綜合分析可知，經濟成長是最大的影響因素，其增量效應共達97.0百萬公噸，影響遠大於其他因素。結構效應是較重要的減量因素，累積減量效果共達16.7百萬公噸，其減量效應主要來自1986年至1994年間。能源密集度為次要減量因素，累積減量效應約為7.6百萬公噸。排放係數呈增量效果，但影響較小，約3.2百萬公噸。就排放係數而言，CO₂排放量受電力排放係數影響最大，故降低燃煤、燃油發電配比，大幅擴充燃氣發電的容量，是抑制CO₂成長的重要途徑，而整體產業煤炭消費配比的上升，使排放係數大幅提高，故亦須設法降低其配比。此外，能源密集度的效應相當重要，故節約能源或經由提高產品附加價值的方法降低產業的能源密集度，是CO₂減量的重要管道，尤其以CO₂主要排放源如路上運輸、鋼鐵、水泥及油氣煉製業等為重點，將可獲得較大的減量效果。而就產業結構而言，雖然1986年以來有降低CO₂排放量的趨勢，然而CO₂彈性值較大的產業如油氣煉製、造紙、紡織、塑膠原料、其他化工原料等產業的配比仍有減量空間，是值得進一步評估的CO₂削減策略。

四、結論與建議

台灣地區歷年來CO₂呈現穩定成長的趨勢，1981至1996年平均成長率為6.8%，成長率最高的產業依序為其他運輸、塑膠原料、商品買賣、印刷及電機業；出現排放量抑減現象的產業則有能源礦業及煤製品業。歷年來排放量最高的五個部門依序為路上運輸、鋼鐵、住宅、水泥及油氣煉製業。由因素分析結果顯示，經濟成長是最重要的關鍵因素，若欲維持目前高水準之經濟成長率，則CO₂減量目標將面臨極大的挑戰。在因應「氣候變化綱要公約」的準備上，除表達我國對全球氣候變遷課題的重視與參與誠意外，對於CO₂減量目標不宜主動作太多的承諾，應保持適度的彈性空間，審慎觀察國際局勢的變化及同質性較高的國家(如南韓)之策略，再作妥當因應⁽⁸⁾。

在CO₂減量策略方面，以排放係數而言，台灣地區由於CO₂排放量受電力排放係數影響很大，故需抑制燃煤發電的配比，大幅擴充燃氣發電的容量，而加強電力需求面管理(DSM)、電廠營運管理及提高輸配電效率，皆是降低電力排放係數的重要措施。此外，由於整體產業的煤炭消費配比上升，亦使排放係數大幅提高，需設法

降低其配比，增加低碳或無碳燃料在能源結構的配比。能源密集度在1986-91年間呈現惡化趨勢，導致整體減量效果並不理想，需要加強改善主要排放源如路上運輸、鋼鐵、住宅部門等產業之能源使用效率。另外，產業結構效應自1986年來已有降低CO₂排放量的趨勢，為主要的減量因素，未來對於CO₂排放效益較差的產業如油氣煉製、造紙、紡織、塑膠原料及其他化工原料等產業應仍有改善空間，可進一步列為削減CO₂的對象。

經濟成長與產業發展的相關性極大，而朝向低耗能、低污染及高附加價值的產業發展是目前各國產業政策的趨勢。由於二氧化碳的排放量與化石燃料的關係密切，可能在未來國際間繼氟氯碳化合物後，成為氣候變遷效應之管制對象，故我們需加強相關的科技研究與國際合作，促進資訊與技術交流，提昇能源效率與加速替代能源的研發。此外，制訂合理的法規與經濟誘因，加強教育宣導，讓產業界及民眾主動參與配合相關措施⁽⁸⁾，皆是未來促進二氧化碳減量的重要途徑。

參考文獻

- 1.行政院主計處，中華民國七十年台灣地區產業關聯表(123部門)，行政院主計處，臺北，民國74年。
- 2.行政院主計處，中華民國七十三年台灣地區產業關聯表(123部門)，行政院主計處，臺北，民國75年。
- 3.行政院主計處，中華民國七十五年台灣地區產業關聯表(123部門)，行政院主計處，臺北，民國79年。
- 4.行政院主計處，中華民國七十八年台灣地區產業關聯表(123部門)，行政院主計處，臺北，民國80年a。
- 5.行政院主計處，中華民國行業標準分類，行政院主計處，臺北，民國80年b。
- 6.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)，行政院主計處，臺北，民國84年。
- 7.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)，行政院主計處，臺北，民國85年。

- 8.林素貞，產業能源與環境政策整合分析之研究—產業能源消費與環境污染物之相關性(II)，國科會專題研究報告 NSC-84-2212-E-006 -009，民國84年。
- 9.林素貞，環境、能源與產業經濟之關聯效應及發展策略(I)-期中報告，行政院環保署專題研究報告 NSC-87-EPA-P006-013，民國87年。
- 10.經濟部能源委員會，中華民國八十五年台灣能源平衡表，經濟部能源委員會，臺北，民國86年。
- 11.Ang, B.W. and G. Pandiyan, Decomposition of Energy-induced CO₂ Emissions in Manufacturing, *Energy Economics*, 19 (3), 363-374,1997.
- 12.IPCC/OECD, IPCC Draft Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Final Draft, 1995.
- 13.Lin, S.J. and T.C. Chang , Decomposition of SO₂, NOx and CO₂ Emissions from Energy Use of Major Economic Sectors in Taiwan, *The Energy Journal*,17 (1), 1-17,1996.
- 14.Shrestha, R.M. and G.R. Timilsina, Factors Affecting CO₂ Intensities of Power Sector in Asia: a Divisia Decomposition Analysis, *Energy Economics*, 18 (4), 283-293,1996.
- 15.Torvanger, A., Manufacturing Sector Carbon Dioxide Emissions in Nine OECD Countries, 1973-87, *Energy Economics*, 13 (3), 168-186,1991.