

# 嘉南藥理科技大學專題研究計畫成果報告

產業結構調整與二氧化碳減量互動關聯分析-以台灣地區為例

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：CNEV-91-30

執行期間：91年1月1日至91年12月31日

計畫主持人：張翊峰

共同主持人：

計畫參與人員：陳貞秀

執行單位：環境工程衛生系

中華民國 92 年 2 月 27 日

## 摘要

本研究以投入產出及模糊目標規劃方法建構系統模型，包括產業經濟、能源及 CO<sub>2</sub> 排放目標函數的設定及限制式的建立，據以評析國內產業未來(2010 年)產業經濟、能源及 CO<sub>2</sub> 排放情景，並模擬產業結構調整對 CO<sub>2</sub> 削減的貢獻量。本研究顯示至 2010 年基本方案之年平均經濟成長率為 3.04%，能源消費結構以油品為最大宗，但與 1990 年相較，成長幅度最大者為天然氣及電力，其中由於電力業在 2010 年燃煤機組比例偏高，使 CO<sub>2</sub> 排放係數惡化，顯示電力業為 CO<sub>2</sub> 減量的重要探討對象。其次，產業模擬結果顯示，其他服務業、商品買賣業、電機業、營造工程及倉儲通信業等產業為支持國內經濟的重要產業，而倉儲通信、石化原料、其他服務、化學製品、電機業及機械業則可能為國家經濟發展的重點產業，而路上運輸及鋼鐵業的能源及 CO<sub>2</sub> 配比皆超過總量的 10%，顯示這兩項產業為未來台灣地區因應氣候變化公約時重要的對象。

本研究所擬定的產業結構調整方案中，10%優化方案的年平均經濟成長率為 3.34%，CO<sub>2</sub> 排放量相較基本方案下降 1.1%；20%優化方案的 GDP 成長率為 3.48%，CO<sub>2</sub> 排放下降約 2.44%；30%優化方案的 GDP 年平均成長率則高達 3.64%，CO<sub>2</sub> 排放量下降 3.7%。本研究結果顯示產業調整的過程確實有利於國內生產毛額的成長，並可有效降低能源消費量及 CO<sub>2</sub> 排放量，故產業升級及結構的調整為重要的 CO<sub>2</sub> 減量手段。

## 一、前言

1997 年 12 月各工業國家於日本京都達成協議，同意於 2008 年至 2012 年承諾期內達到溫室效應氣體的排放量減少到低於 1990 年標準的百分之五這個目標，翌年於阿根廷發佈「布宜諾斯艾利斯行動方案」列出具體執行「京都議定書」之詳細策略，預期未來幾年將討論開發中國量目標已由原先原則性的承諾提高至承擔實質的家的相對義務，顯見國際間在溫室效應氣體的減責任與義務的階段，故此，為避免日後實施溫室氣體減量管制策略對產業界造成巨大衝擊，台灣地區目前正積極針對溫升氣體之減量問題謀求解決之道。由於溫室氣體中二氧化碳排放量約佔總量的 55%，目前為多數國家溫室效應行動方案中的主要減量目標，故規畫減少耗能產業的經濟活動所消耗的化石能源將成為主要的策略之一，故此，面對未來 CO<sub>2</sub> 減量的壓力，規劃台灣地區的產業 CO<sub>2</sub> 減量工作及評估產業部門的減量潛力亦刻不容緩。本研究主要的目的為以投入產出模糊目標規劃模型，模擬台灣地區於 2010 年時，產業

結構調整對經濟成長、節約能源及二氧化碳減量之互動影響，以提供決策單位規劃能源價格因素二氧化碳減量策略的參考。

## 二、研究方法

本研究結合投入產出及模糊目標規畫方法建構系統模型，包括目標函數的設定及限制式的建立，據以評析國內產業未來(2010 年)產業經濟、能源及 CO<sub>2</sub> 排放情景，並模擬產業結構調整對 CO<sub>2</sub> 削減的貢獻量；模式的假設為在決策者有偏好但目標不明確的情形下，利用 Yang 於 1991 年所發展的模型尋求模式的滿意解（基本解）；其次擬定產業結構優化方案，評估對經濟成長、節約能源及二氧化碳減量之互動影響。

本研究規劃的意涵為未來能源供給是具有彈性的，而當二氧化碳排放目標最小化時，能源需求即受到限制，故本研究進一步擬定 GDP 及 CO<sub>2</sub> 兩項在未來模糊目標下彼此競爭，並在符合目標年產業關聯結構的情境，以規劃最適的各產業產值，而決定目標年的最大化國內生產毛額、最小

化的 CO<sub>2</sub> 排放量及能源供給量。模式方程式可依模糊目標規劃理論(Yang, 1991)如下：

$$\text{Max } \alpha$$

S.T.

● 目標限制式(goal constraint)

1. 國內生產毛額目標

$$\left[ \sum_{i=1}^{34} V_i X_i - (\text{GDP}_{\text{goal}} - d_g) \right] / d_g \geq \alpha$$

(i = 1~34 產業)

2. 二氧化碳排放目標

$$\left[ (\text{CO}_2_{\text{goal}} + d_c) - \sum_{j=1}^4 \left( \sum_{i=1}^{34} P_{ij} E_{ij} X_i \right) \right] / d_c \geq \alpha$$

(j = 煤、油、氣及電)

● 功能限制式(functional constraint)

3. 能源供給上限

$$\sum_{i=1}^{34} E_{ij} X_i \leq \bar{E}_j$$

4. 能源供給下限

$$\sum_{i=1}^{34} E_{ij} X_i \leq \underline{E}_j$$

5. 產業最終需求下限

$$(I - D)X \geq Y$$

6. 總產值生產上限

$$X_i \leq \bar{X}_i$$

7. 非負限制式

$$X_i \geq 0$$

式中，

$\alpha$  : 模糊運算子

$V_i$  : i 產業的附加價值率

$X_i$  : i 產業目標年的國內生產總值( $10^6$  元)，決策變數

$\text{GDP}_{\text{goal}}$  : 目標年的國內生產毛額目標( $10^6$  元)

$d_g$  : 目標年國內生產毛額目標的忍恕值 (tolerance)，為當規劃達到目標年的 CO<sub>2</sub> 排放目標時，產值較原預定產值目標的損

失值。

$\text{CO}_2_{\text{goal}}$  : 目標年的二氧化碳排放目標(公噸)

$d_c$  : 目標年二氧化碳排放目標的忍恕值 (tolerance)，為當規劃達到目標年的產值成長目標時，CO<sub>2</sub> 較原預定排放目標的增加量。

$P_{ij}$  : i 產業 j 能源的二氧化碳排放係數(公噸 /  $10^7$  Kcal)

$E_{ij}$  : i 產業的 j 能源投入係數( $10^7$  Kcal /  $10^6$  元)

$\bar{E}_j$  : j 能源目標年的供給上限( $10^7$  Kcal)

$\underline{E}_j$  : 能源目標年的供給下限( $10^7$  Kcal)

I : 單位矩陣( $34 \times 34$ )

D : 國產品投入係數矩陣( $34 \times 34$ )

X : 產業總產值向量( $34 \times 1$ )， $10^6$  元

Y : 產業目標年的最終需求下限值向量 ( $34 \times 1$ )， $10^6$  元

$\bar{X}_i$  : 目標年 i 產業生產總值的上限值( $10^6$  元)

### 三、資料來源及處理

#### (一) 產業及能源分類

產業資料主要依據主計處編印1999年「臺灣地區產業關聯表」；而各產業的能源消費資料來自能委會的「臺灣能源平衡表」。為使產業及環境資料與能源平衡表的產業分類能取得一致，本研究將產業關聯表原有的160部門，參照能源平衡表的分類，歸納為34個產業[8]作為分析的基礎。各產業消費的能源資料，主要依據能源平衡表歸類方式分為煤及其產品、原油及其產品、天然氣及電力四大類來探討。

#### (二) 產業社經資料

模式中產業附加價值率為依據產業關聯表獲得，整體產業的GDP目標則依據經建會的國內生產毛額(2010年)的預測值。國產品投入係數(D)以88年臺灣地區產業關聯表作為基礎，再依據工業局的「產業政策白皮書」及能委會的「台灣地區

整體能源計畫」，針對各個產業年平均成長率所做的預測，以RAS法[8,10]推估2010年的產業投入係數矩陣(D)，代入模糊目標模型中進行模擬。

### (三)能源及 CO<sub>2</sub> 資料

各產業的能源投入係數依能源平衡表，綜合歸併為煤品、油品、天然氣、電力等四項，再除以產業關聯表得到的各產業的生產總值，即可得模式求算各產業的能源投入係數。能源供給上下限訂定取決於當達到GDP最大化目標或CO<sub>2</sub>排放最小化目標時，當時的能源供給量作為極大或極小值。各產業CO<sub>2</sub>的推估則依據IPCC的推估方法為準。

### (四)產業結構優化之處理

本研究優化方案的模擬，乃依據未來產業預估成長率目標變動時，以RAS法重新預測新的產業投入係數矩陣，再依據基本方案求解的程序，求得各產業結構優化方案的基本解，其結果可作為產業結構變動對能源供需及CO<sub>2</sub>排放間的互動影響分析。產業結構方案優化處理的原則為依據1999年高CO<sub>2</sub>係數(定義為單位產值的CO<sub>2</sub>排放量)的產業抑低其規劃成長率，而為彌補抑減產業的總產值損失量，另一方面則增加CO<sub>2</sub>排放效益較佳(低CO<sub>2</sub>密集度及高附加價值率)的產業成長率以達到原有既定的產值成長目標。

本研究所擬定的方案包括：

- (1)10%優化方案：高CO<sub>2</sub>係數的前六位產業年平均成長率目標抑減10%，包括其他化工原料業、路上運輸、水泥、其他非金屬、鋼鐵及油氣煉製等產業。低CO<sub>2</sub>係數的前六位產業包括營造工程、印刷業、運輸工具、電機業、非鐵金屬業及其他服務業年平均成長率目標增加10%。
- (2)20%優化方案：上述產業年成長率目標抑減(增加)20%。
- (3)30%優化方案：上述產業年成長率目標抑減(增加)30%。

## 四、結果與討論

### 1.模式基本方案

表1顯示至2010年平均經濟成長率為3.04%，能源消費量為 $62,755 \times 10^{10}$ Kcal，不含住宅部門為 $44,443 \times 10^{10}$ Kcal，能源消費結構仍以油品為最大宗，佔總消費額的57.4%，其次為電力的21.0%，煤品的16.3%，而天然氣僅佔5.4%，但與1990年相較，成長幅度最大者為天然氣，成長幅度高達140%，其次則為電力的91.8%，油品76.6%及煤品61.5%。CO<sub>2</sub>排放量在2010年為213,573千公噸，與1990年相較成長幅度為86.4%，排放配比中油品為40.5%，電力37.8%，煤品17.6%及天然氣4.1%，其中電力的CO<sub>2</sub>排放配比相較電力佔總能源配比大幅增加，主要由於電力業在2010年燃煤機組比例偏高，使CO<sub>2</sub>排放係數惡化所致。

### 2.優化方案結果分析

本研究所擬定的變動方案包括：(1)10%優化方案，(2)20%優化方案及(3)30%優化方案，各方案GDP的模糊下限及CO<sub>2</sub>排放的模糊上限可依據上節的方法求取，在達到相同CO<sub>2</sub>排放目標情境下，產業優化程度越高，則GDP模糊下限值越高，另一方面，當GDP成長目標維持在經建會預測之年平均成長率時，隨優化程度越高，CO<sub>2</sub>排放量呈現下降的趨勢，顯示在維持一定經濟目標的條件下，產業結構的優化具有明顯的抑減整體產業CO<sub>2</sub>排放量的功效。

在求取上述模糊目標後，將結果逐一代入各個優化模型中，所得的優化方案解如表2~表4所示，其中表2顯示10%優化方案的經濟成長率為3.34%，產業能源消費量及CO<sub>2</sub>排放量相較基本方案下降1.0%；20%優化方案的GDP成長率為3.48%，能源消費量及CO<sub>2</sub>排放較基本方案分別下降2.44%及2.36%；30%優化方案的GDP年平均成長率則高達3.64%，而能源消費量及CO<sub>2</sub>排放量較基本方案分別下降3.69%及3.55%。上述結果顯示本研究的產業優化確實有利國內生產毛額的

成長，並可有效降低能源消費量及 CO<sub>2</sub> 排放量。由個別能源別觀之，隨優化程度上升，煤品的消費量下降幅度越為顯著，其次為天然氣及油品，而電力使用量呈現微幅增加，顯示在優化程序中，對耗電性產業影響並不顯著，甚至有些微替代其他能源消耗產業的趨勢。而以 CO<sub>2</sub> 排放量而言，下降幅度最大者為煤品，其次為油品及天然氣，同樣電力微幅增加；值得注意的是油品的 CO<sub>2</sub> 下降幅度大於能源下降幅度，主因為油品種類複雜，各個產業的油品 CO<sub>2</sub> 排放係數差異頗大，在 CO<sub>2</sub> 排放目標的模擬中，將會針對高油品排放係數產業進行較大幅度的抑減，故優化過程中油品的 CO<sub>2</sub> 減量效果較能源消費減量效果更加明顯。

## 五、結論及建議

本研究顯示至 2010 年平均經濟成長率為 3.04%，能源消費結構以油品為最大宗，但與 1990 年相較，成長幅度最大者為天然氣，其次則為電力，CO<sub>2</sub> 排放量在 2010 年為 213,574 千公噸，與 1990 年相較成長幅度為 86.4%，其中由於電力業

在 2010 年燃煤機組比例偏高，使 CO<sub>2</sub> 排放係數惡化，顯示電力業為 CO<sub>2</sub> 減量的重要探討對象。其次，產業模擬結果顯示，其他服務業、商品買賣業、電機業、營造工程及倉儲通信業等產業為支持國內經濟的重要產業，而倉儲通信、石化原料、其他服務、化學製品、電機業及機械業則可能為國家經濟發展的重點產業，而路上運輸及鋼鐵業的能源及 CO<sub>2</sub> 配比皆超過總量的 10%，顯示這兩項產業為未來台灣地區因應氣候變化公約時重要的對象。

本研究所擬定的產業結構優化方案中，10% 優化方案的經濟成長率為 3.34%，CO<sub>2</sub> 排放量相較基本方案下降 1.0%；20% 優化方案的 GDP 成長率為 3.48%，CO<sub>2</sub> 排放下降約 2.36%；30% 優化方案的 GDP 年平均成長率則高達 3.64%，CO<sub>2</sub> 排放量下降 3.55%。本研究結果顯示產業優化的過程確實有利於國內生產毛額的成長，並可有效降低能源消費量及 CO<sub>2</sub> 排放量，故產業升級及結構的調整為重要的 CO<sub>2</sub> 減量手段。

表 1 基本方案模擬結果分析

	煤品	油品	天然氣	電力	總量
能源消費量(10 <sup>7</sup> Kcal)	10,235,557	35,998,596	3,371,048	13,150,353	62,755,554
配比(%)	16.3%	57.4%	5.4%	21.0%	100.0%
增加幅度(%)*	61.5%	76.6%	139.8%	91.8%	79.4%
與基本方案比較	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
CO <sub>2</sub> 排放量(公噸)	37,558,107	86,432,795	8,835,606	80,747,335	213,573,843
配比(%)	17.6%	40.5%	4.1%	37.8%	100.0%
增加幅度(%)*	62.0%	65.5%	185.8%	123.9%	86.4%
與基本方案比較	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

註：住宅部門的能源消費及 CO<sub>2</sub> 排放量年平均成長率為 3.04%，\*增加幅度為與 1990 年比較。

本方案經濟成長率為 3.04%。

表 2 10%優化方案模擬結果分析

	煤品	油品	天然氣	電力	總量
能源消費量( $10^7$ Kcal)	9,803,155	35,616,625	3,341,284	13,315,458	62,076,522
配比(%)	15.8%	57.4%	5.4%	21.5%	100.0%
增加幅度(%)*	54.6%	74.7%	137.6%	94.2%	77.4%
與基本方案比較	-4.22%	-1.06%	-0.88%	1.26%	-1.08%
CO <sub>2</sub> 排放量(公噸)	36,027,539	84,723,888	8,779,074	81,777,877	211,308,379
配比(%)	17.0%	40.1%	4.2%	38.7%	100.0%
增加幅度(%)*	55.4%	62.2%	184.0%	126.8%	84.4%
與基本方案比較	-4.08%	-1.98%	-0.64%	1.28%	-1.06%

註：住宅部門的能源消費及 CO<sub>2</sub> 排放量年平均成長率與基本方案同，\*增加幅度為與 1990 年比較。

本方案經濟成長率為 3.34%。

表 3 20%優化方案模擬結果分析

	煤品	油品	天然氣	電力	總量
能源消費量( $10^7$ Kcal)	9,434,377	35,126,622	3,300,065	13,365,018	61,226,082
配比(%)	15.4%	57.4%	5.4%	21.8%	100.0%
增加幅度(%)*	48.8%	72.3%	134.7%	95.0%	75.0%
與基本方案比較	-7.83%	-2.42%	-2.11%	1.63%	-2.44%
CO <sub>2</sub> 排放量(公噸)	34,718,721	83,042,532	8,678,274	82,087,218	208,526,745
配比(%)	16.6%	39.8%	4.2%	39.4%	100.0%
增加幅度(%)*	49.7%	59.0%	180.7%	127.6%	82.0%
與基本方案比較	-7.56%	-3.92%	-1.78%	1.66%	-2.36%

註：住宅部門的能源消費及 CO<sub>2</sub> 排放量年平均成長率與基本方案同，\*增加幅度為與 1990 年比較。

本方案經濟成長率為 3.48%。

表 4 30%優化方案模擬結果分析

	煤品	油品	天然氣	電力	總量
能源消費量( $10^7$ Kcal)	9,080,748	34,669,342	3,260,584	13,428,102	60,438,776
配比(%)	15.0%	57.4%	5.4%	22.2%	100.0%
增加幅度(%)*	43.2%	70.1%	131.9%	95.9%	72.8%
與基本方案比較	-11.28%	-3.69%	-3.28%	2.11%	-3.69%
CO <sub>2</sub> 排放量(公噸)	33,464,116	81,468,366	8,582,282	82,480,966	205,995,730
配比(%)	16.2%	39.5%	4.2%	40.0%	100.0%
增加幅度(%)*	44.3%	56.0%	177.6%	128.7%	79.8%
與基本方案比較	-10.90%	-5.74%	-2.87%	2.15%	-3.55%

註：住宅部門的能源消費及 CO<sub>2</sub> 排放量年平均成長率與基本方案同，\*增加幅度為與 1990 年比較。

本方案經濟成長率為 3.64%。