

台灣地區電力事業效能提升及燃料替代 對產業關聯之影響分析

張翊峰* 余元傑** 吳嘉榮*** 張家鳳**** 李沛鈴***

*嘉南藥理科技大學觀光事業管理系

**嘉南藥理科技大學通識教育中心

***嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

****嘉南藥理科技大學生態工程技術研發中心

摘 要

本研究為探討電力事業中二氧化碳排放趨勢，以投入產出分析法及模糊目標規劃法搭配IPCC法，推估1996~2006年間整體產業各能源CO₂排放量。重點為次級能源電力與CO₂間的關聯性，並依據我國長期開發方案之資料，推估我國2007~2015年間CO₂排放量，並進一步建構投入產出模糊規劃模式，擬定未來電力事業可行的CO₂減量方案，其中包括發電機組燃料替代與電力效率提高兩種，並且分析減量方案中產業CO₂與GDP兩者間的關係。本研究所獲得之模式基本方案為經濟成長率3.51%及CO₂排放量368,207千公噸，生產毛額結構以其它服務業佔總額最高(43.53%)，其次為商品買賣業(13.53%)、倉儲通信業(9.10%)、電機業(7.09%)、陸上運輸及運輸服務(3.32%)，上述這五項產業為支持國內經濟的重要產業；CO₂排放量最高的前五個產業及部門包括路上運輸及運輸服務(19.32%)、住宅部門(12.36%)、石化原料業(11.62%)、鋼鐵業(7.72%)及商品買賣業(5.13%)。二氧化碳減量方案中，電力機組燃料替代模擬結果顯示燃煤發電機組改為燃氣發電機組或零排放替代能源時，皆能有效降低CO₂的排放量，且能使產業GDP年平均成長率上昇；另一方面電力效率提高模擬結果顯示亦有助於CO₂減量及GDP年平均成長率上昇，但當電力效率提高為20%時，整體產業之經濟成長率已達到極限值為最可行方案。本研究成果可提供相關單位規劃電力事業中二氧化碳減量的參考。

關鍵字：投入產出分析法、模糊目標規劃法、電力事業、二氧化碳減量

前 言

在全球溫室氣體(Green House Gas, GHG)中CO₂是最主要的溫升氣體，其排放量約佔總量的60%以上，故目前多數國家最主要的GHG減量目標為CO₂減量工作，其中更以電力事業中的火力發電機所排放的GHG量最多，約高達總GHG排放量的三分之一。因此如何妥善規劃CO₂減量工作，是我們現在及未來所必須關注的課題。本研究目的為電力事業之火力發電機組在執行CO₂減量時又能同時兼顧經濟發展，使經濟成長、能源需求、及環境保護三方面取得平衡點，且依各層面問題期程長短之特性排序之，避免單純滿足環境面GHG減量的要求，而犧牲經濟面與能源面的發展。能源政策的制訂應取決短期性經濟面與長期性環境面排定策略，本研究擬建立投入產出模糊目標規劃模式，探討二氧化碳排放與電力機組之間相互關係，並進一步模擬因應方案對經濟、能源及CO₂減量之最可行解，以提供相關單位規劃電力政策時之參考。

研究方法

本研究結合投入產出分析(Input-Output Structural Decomposition Analysis)及模糊目標規劃(Goal Programming)建構系統模式，包含目標函數設定與限制式的建立，據以分析國內產業未來能源、經濟與CO₂排放情景。模式的假設為決策者在決策具偏好但目標不明確狀況下，以Yang於1991年所建立的模糊目標規劃求得模式之基本解，並模擬CO₂減量策略包括電力機組燃料替代及電力效率提高等方案，探討各方案的整體產業產值、能源用量與結構及CO₂的減量潛力。研擬的基礎為未來能源供給具有彈性下，當CO₂排放目標最小化時，能源最終需求則受到限制，於是本研究進一步擬定未來國內生產毛額(Gross Domestic Product, GDP)與CO₂排放在模糊目標下彼此間關聯性，且須符合目標年之產業關聯結構，以擬定出目標年之GDP最大化與CO₂排放最小化。本研究以(Yang, 1991)模糊目標規劃為基礎改寫成以下數學式：

$$\text{Max } \alpha$$

S.T.

- 目標限制式(Goal Constraint)

1. 國內生產毛額目標

$$\left[\sum_{i=1}^{34} V_i X_i - (GDP_{goal} - d_g) \right] / d_g \geq \alpha \quad i = 1 \sim 34 \text{ 產業} \dots \dots \dots \text{(式1.1)}$$

2. 二氧化碳排放目標

$$\left[(CO_{2,goal} + d_c) - \sum_{j=1}^4 \left(\sum_{i=1}^{34} P_{ij} E_{ij} X_i \right) \right] / d_c \geq \alpha \quad j = \text{煤品、油品、天然氣及電力} \dots \text{(式1.2)}$$

- 功能限制式(Functional Constraint)

3.能源供給上限

$$\sum_{i=1}^{34} E_{ij}X_i \leq \overline{E}_j \quad \dots\dots\dots(式1.3)$$

4.能源供給下限

$$\sum_{i=1}^{34} E_{ij}X_i \leq \underline{E}_j \quad \dots\dots\dots(式1.4)$$

5.產業最終需求下限

$$(I - D)X \geq Y \quad \dots\dots\dots(式1.5)$$

6.總產值生產上限

$$X_i \leq \overline{X}_i \quad \dots\dots\dots(式1.6)$$

7.非負限制式

$$X_i \geq 0 \quad \dots\dots\dots(式1.7)$$

式中， α 指模糊運算子； V_i 指i產業的附加價值率； X_i 指i產業目標年的國內生產總值(10^6 元)； GDP_{goal} (決策變數)指目標年的國內生產毛額目標(10^6 元)； d_g 指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_2 排放目標時，產值較原預定產值目標的損失值； CO_2_{goal} 指目標年的二氧化碳排放目標(公噸)； d_c 指目標年二氧化碳排放目標的忍恕值，為當規劃達到目標年的產值成長目標時， CO_2 較原預定排放目標的增加量； P_{ij} 指i產業j能源的二氧化碳排放係數(公噸/ 10^7 Kcal)； E_{ij} 指i產業的j能源投入係數(10^7 Kcal/ 10^6 元)； \overline{E}_j 指j能源目標年的供給上限(10^7 Kcal)； \underline{E}_j 指能源目標年的供給下限(10^7 Kcal)； I 指單位矩陣(34×34)； D 指國產品投入係數矩陣(34×34)； X 指產業總產值向量(34×1)， 10^6 元； Y 指產業目標年的最終需求下限值向量(34×1)， 10^6 元； \overline{x}_i 指目標年i產業生產總值的上限值(10^6 元)。

資料來源及處理

一、產業及能源分類

產業分類的資料主要依據行政院主計處編印的2004年「臺灣地區產業關聯表161部門」；而各產業能源消費資料，主要依據2006年「台灣能源平衡表」。為使分析的產業及環境資料與能源平衡表的產業分類能取得一致，需先將產業依性質加以合併調整，合併的依據乃參考行政院主計處的「中華民國行業標準分類」，將產業關聯表原本的161部門，參照能源平衡表的分類，歸納為34個產業作為產業分析的基礎。各產業能源消費資料依據台灣能源平衡表分為煤及其產品、原油及產品、天然氣、電力四大類來探討。

二、CO₂排放估算

本研究在燃料排放係數方面引用聯合國政府間氣候變遷小組(the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)參考值，而能源使用量則採用各產業的能源最終消費，以推算各產業CO₂排放量，如此修正可相較於由能源供給面之推算，更可直接反應台灣地區各產業的燃料性質與能源結構，並確切的推算CO₂排放量。其中燃料種類，包括自產煤、進口燃料煤、燃料油、天然氣等共27種燃料，能源消費之CO₂排放以2006年版之台灣地區能源平衡表為依據；非能源消費之CO₂排放按台灣地區能源平衡表分類。此外電力投入部份的CO₂排放量依各產業用電量比例平均分配給各產業，作為產業電力的CO₂排放量。

三、二氧化碳減量方案模擬

本研究所模擬的CO₂減量方案，是以我國長期負載預測及長期電源開發規劃摘要本為基礎所模擬，主要分為電力機組燃料替代與電力效率提高方案。由於國內目前在發電方式上，水力發電已經逐漸飽和，而核能由於廢料及安全性等問題仍有疑慮，目前電源供給仍以火力發電為主，因此本研究即針對火力機組作模擬，分別如下：

1. 電力機組燃料替代方案：

- (1) 方案一：彰工火力第一號機、彰工火力第二號機、新增燃煤火力#1及新增燃煤火力#2在燃煤燃料替代皆改為燃氣時的分析。
- (2) 方案二：林口新火力第一號機、林口新火力第二號機、彰工火力第一號機、彰工火力第二號機、新增燃煤火力#1、新增燃煤火力#2在燃煤燃料替代皆改為燃氣時的分析。
- (3) 方案三：為彰工火力第一號機、彰工火力第二號機、新增燃煤火力#1及新增燃煤火力#2在燃煤燃料替代皆改為零排放替代能源(例如再生能源，如太陽能、風力等)時的分析。

2. 電力效率提高方案：

電力效率提高模擬方案包括效率提高5%、10%、15%、20%、25%時CO₂與GDP值兩者間變化關係，以及模擬的1~34產業其生產毛額結構、年成長率、能源耗量結構，以及CO₂排放結構的變動分析。

結果與討論

一、CO₂排放分析

表1為1996年至2015年各火力發電方式之CO₂排放分析，顯示至2015年台灣地區CO₂排放量以燃煤機組的80.5%最高，相較於1996年有大幅提高趨勢，CO₂排放量次高為燃氣的17.3%，最低為燃油的2.2%，總CO₂排放量由1996年的73,370千公噸增加至2015年的183,491千公噸(包含汽電共生廠)，而整體火力電廠之CO₂電力排放係數則因高碳能源大量使用由0.51公斤/度提高至0.56公斤/度。

二、模式基本方案

表2顯示經基本方案模擬，至2015年台灣地區經濟成長率為3.51%，能源消費量為109,577×10¹⁰Kcal，能源消費結構以油品為最大宗，佔總消費額的63.5%，其次為電力24.3%、煤品9.3%，而天然氣僅佔3.0%，但與2004年相較，成長幅度最大者為天然氣，成長幅度高達136.6%，其次則

為油品的97.8%、電力85.7%及煤品52.6%；CO₂排放量為368,207千公噸，CO₂排放結構配比以電力51.0%最高，其次為油品38.3%、煤品8.7%及天然氣2.0%，其中電力的CO₂排放配比相較電力佔總能源配比大幅增加，主要由於電力業在未來燃煤機組比例偏高，使CO₂排放係數惡化所致。

表1 1996年及2015年台灣地區火力發電廠CO₂排放分析表

年代	燃煤CO ₂ (千公噸)	百分比 (%)	燃油CO ₂ (千公噸)	百分比 (%)	燃氣CO ₂ (千公噸)	百分比 (%)	總CO ₂ (千公噸)	總發電量 (百萬度)	電力排放係數 (公斤/度)
1996	49,593	68.5	19,254	26.6	3,524	4.9	72,370	141,340	0.51
2015	147,778	80.5	4,000	2.2	31,713	17.3	183,491	183,491	0.56

表2 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 ¹⁰ Kcal)	10,210	69,541	3,233	26,593	109,577
配比(%)	9.3%	63.5%	3.0%	24.3%	100.0%
增加幅度(%)*	52.6%	97.8%	136.6%	85.7%	90.4%
CO ₂ 排放量(千公噸)	32,033	141,187	7,305	187,679	368,207
配比(%)	8.7%	38.3%	2.0%	51.0%	100.0%
增加幅度(%)*	47.4%	80.3%	136.4%	72.4%	73.7%

GDP年平均成長率為3.51%。

註：*增加幅度為與2004年比較。

表3為基本方案的產業模擬結果，生產毛額結構以其它服務業佔總額最高(43.53%)，其次為商品買賣業(13.53%)、倉儲通信業(9.10%)、電機業(7.09%)及陸上運輸及運輸服務(3.32%)，上述這五項產業為支持國內經濟的重要產業，而毛額年平均成長率最高為倉儲通信、石化原料業、煤製品業、電力供應業與自來水及煤氣供應業，上述這些產業皆為國家未來經濟發展的重點產業，而皮革及其製品年平均成長率則呈現微幅衰退，顯示這個產業在未來發展將受到限制。以能源結構而言，消費量超過總量10%的產業包括石化原料業與路上運輸及運輸服務業。此外CO₂排放量最高的前三個產業包括路上運輸及運輸服務(19.32%)、石化原料業(11.62%)及鋼鐵業(7.72%)，必須為未來重點實施CO₂減量工作。其中石化原料業由於使用大量碳固定化比率甚高的烯烴及芳香烴，故使CO₂排放配比相較能源配比大幅下降，而就產業觀之，陸上運輸及運輸服務的能源及CO₂配比皆超過總量的10%，但生產毛額僅有3.32%，顯示以CO₂減量的觀點，這項產業為未來台灣地區因應氣候變化公約時重要的探討對象。

表3 基本方案各產業模擬結果分析

	生產毛額 (百萬元)	毛額結構	年成長率	能源耗量 (10 ⁷ Kcal)	能源結構	CO ₂ 排放量 (公噸)	排放結構
1.農林漁牧業	201,974	1.32%	0.47%	1,281,637	1.17%	4,816,387	1.31%
2.能源礦業	83,967	0.55%	3.21%	111,037	0.10%	552,932	0.15%
3.食品煙酒業	139,434	0.91%	0.36%	694,120	0.63%	3,360,914	0.91%
4.紡織及成衣服飾業	120,377	0.78%	0.46%	1,968,536	1.80%	9,006,714	2.45%
5.皮革及其製品	6,682	0.04%	-0.66%	59,486	0.05%	281,448	0.08%
6.木竹製品	17,608	0.11%	0.00%	45,746	0.04%	296,781	0.08%
7.造紙業	53,393	0.35%	1.93%	1,006,126	0.92%	4,896,456	1.33%
8.印刷業	101,904	0.66%	2.91%	77,177	0.07%	489,345	0.13%
9.油氣煉製業	300,432	1.96%	4.38%	4,799,827	4.38%	14,371,621	3.90%
10.煤製品業	16,822	0.11%	8.25%	116,821	0.11%	687,200	0.19%
11.石化原料業	179,428	1.17%	8.52%	31,735,335	28.96%	42,774,491	11.62%
12.塑膠原料業	62,007	0.40%	2.17%	1,604,190	1.46%	7,113,703	1.93%
13.人造纖維	23,615	0.15%	0.61%	1,540,775	1.41%	8,052,673	2.19%
14.塑膠製品	119,166	0.78%	1.17%	191,192	0.17%	959,851	0.26%
15.橡膠製品	29,265	0.19%	1.44%	545,406	0.50%	3,329,586	0.90%
16.其它化工原料	50,668	0.33%	2.36%	1,436,264	1.31%	5,474,838	1.49%
17.化學製品	85,708	0.56%	1.92%	1,106,697	1.01%	4,476,891	1.22%
18.水泥業	28,768	0.19%	1.71%	2,064,623	1.88%	8,674,542	2.36%
19.其它非金屬礦物製品	73,888	0.48%	1.57%	1,164,964	1.06%	4,480,714	1.22%
20.鋼鐵業	324,156	2.11%	5.44%	8,030,880	7.33%	28,415,888	7.72%
21.非鐵金屬業	26,709	0.17%	2.39%	297,745	0.27%	1,360,831	0.37%
22.金屬製品業	153,458	1.00%	1.52%	736,748	0.67%	4,471,570	1.21%
23.機械業	181,105	1.18%	1.84%	186,030	0.17%	1,216,906	0.33%
24.電機業	1,087,510	7.09%	2.11%	2,699,179	2.46%	17,856,708	4.85%
25.運輸工具	190,873	1.24%	1.20%	318,733	0.29%	1,719,596	0.47%
26.雜項製品	77,981	0.51%	0.58%	305,426	0.28%	1,329,132	0.36%
27.電力供應業	391,840	2.55%	8.08%	2,192,583	2.00%	15,046,006	4.09%
28.自來水及煤氣供應業	61,651	0.40%	7.42%	346,815	0.32%	2,379,120	0.65%
29.營造工程	335,948	2.19%	1.71%	159,153	0.15%	719,674	0.20%
30.陸上運輸及運輸服務	509,044	3.32%	6.82%	24,202,579	22.09%	71,137,006	19.32%
31.其它運輸	157,070	1.02%	2.10%	3,297,789	3.01%	10,395,693	2.82%
32.倉儲通信業	1,395,896	9.10%	15.35%	921,068	0.84%	6,019,613	1.63%
33.商品買賣	2,075,030	13.53%	2.20%	3,239,182	2.96%	18,880,222	5.13%
34.其它服務業	6,677,010	43.53%	2.98%	3,064,971	2.80%	17,675,708	4.80%
1-34產業合計	15,340,388	100.00%	3.51%	101,548,842	92.67%	322,720,760	87.64%
35.住宅部門				8,030,586	7.33%	45,495,765	12.36%
全國合計	15,340,388	100.00%	3.51%	109,579,428	100.00%	368,216,526	100.00%

三、CO₂減量方案分析

表4為電力機組燃料替代方案結果統計，利用各發電機組電力排放強度差異性，因而估算出燃料替代模擬方案一~三之CO₂排放減少量以及其電力排放係數，方案一中燃料替代後CO₂減少量為8,353千公噸；方案二減少12,529千公噸、方案三減少16,667千公噸，方案一電力排放係數為0.54(公斤/度)、方案二為0.52(公斤/度)、方案三為0.51(公斤/度)。

表4 電力機組燃料替代方案之結果統計

項目	原CO ₂ 總排放量 (千公噸)	燃料替代後CO ₂ 減少量(千公噸)	後來CO ₂ 排放量 (千公噸)	總發電量 (百萬度)	電力排放係數 (公斤/度)
方案一	183,491	8,353	175,138	326,168	0.54
方案二	183,491	12,529	170,962	326,168	0.52
方案三	183,491	16,667	181,824	326,168	0.51

表5 電力機組燃料替代方案之能源及CO₂排放量結果分析

項目		煤品	油品	天然氣	電力	總量
方案一	能源消費量(10 ¹⁰ Kcal)	10,209	70,692	3,233	26,593	110,729
	配比(%)	9.2%	63.8%	2.9%	24.0%	100.0%
	與基本方案比較	0.00%	1.66%	0.00%	0.00%	1.05%
	CO ₂ 排放量(千公噸)	32,032	144,567	7,305	184,024	367,930
	配比(%)	8.7%	39.3%	2.0%	50.0%	100.0%
	與基本方案比較	0.00%	2.39%	0.000%	-1.95%	-0.08%
方案二	能源消費量(10 ¹⁰ Kcal)	10,207	72,765	3,233	26,593	112,800
	配比(%)	9.0%	64.5%	2.9%	23.6%	100.0%
	與基本方案比較	-0.03%	4.64%	0.00%	0.00%	2.94%
	CO ₂ 排放量(千公噸)	32,026	150,650	7,305	177,452	367,435
	配比(%)	8.7%	41.0%	2.0%	48.3%	100.0%
	與基本方案比較	-0.02%	6.70%	0.000%	-5.45%	-0.21%
方案三	能源消費量(10 ¹⁰ Kcal)	10,206	73,831	3,233	26,594	113,865
	配比(%)	9.0%	64.8%	2.8%	23.4%	100.0%
	與基本方案比較	-0.04%	6.17%	0.00%	0.00%	3.91%
	CO ₂ 排放量(千公噸)	32,023	153,778	7,305	174,073	367,181
	配比(%)	8.7%	41.9%	2.0%	47.4%	100.0%
	與基本方案比較	-0.03%	8.92%	0.000%	-7.25%	-0.28%

註：方案一、方案二、方案GDP年平均成長率為3.534%、3.521%、3.544%。

進而續以模擬出方案一~三之能源與CO₂排放量關係與產業結構變化結果。表5顯示方案一跟二燃煤機組改燃氣機組可使產業總CO₂排放量與本研究所模擬之基本方案相較減少0.08%及0.21%，且其產業模擬結果可使GDP年平均成長率分別提高至3.521%及3.534%；方案三燃煤機組改成零排放

替代能源可使產業總CO₂排放量比基本方案減少0.28%，產業模擬結果可使GDP年平均成長率提高至3.544%。表6及表7顯示重要產業燃料替代方案結果分析，方案一至方案三中產業生產毛額變動量前三產業為陸上運輸及運輸服務、商品買賣、運輸工具；而產業生產毛額變動量後三產業為其它服務業、營造工程、其它非金屬礦物製品。CO₂排放變動量只有陸上運輸及運輸服務呈現成長趨勢；而產業CO₂排放變動量後三產業為石化原料業、電機業、商品買賣。

表6 重要產業燃料替代方案之生產毛額分析

主要生產毛額增加產業	項目	生產毛額	主要生產毛額減少產業	項目	生產毛額
運輸工具	基本方案	190,873	其它非金屬礦物製品	基本方案	73,888
	方案一	191,056		方案一	73,853
	方案二	191,383		方案二	73,834
	方案三	191,552		方案三	73,829
陸上運輸及運輸服務	基本方案	509,044	營造工程	基本方案	335,948
	方案一	533,300		方案一	335,912
	方案二	576,959		方案二	335,846
	方案三	599,411		方案三	335,812
商品買賣	基本方案	2,075,030	其它服務業	基本方案	6,677,010
	方案一	2,075,727		方案一	6,665,854
	方案二	2,076,958		方案二	6,645,707
	方案三	2,077,589		方案三	6,635,340

表7 重要產業燃料替代方案之CO₂排放量分析

主要CO ₂ 排放增加產業	項目	CO ₂ 排放量	主要CO ₂ 排放減少產業	項目	CO ₂ 排放量
陸上運輸及運輸服務	基本方案	71,137,006	電機業	基本方案	17,856,708
				方案一	17,433,830
				方案二	16,674,255
				方案三	16,283,815
	方案一	74,521,536	商品買賣	基本方案	18,880,222
				方案一	18,485,547
				方案二	17,775,713
	方案二	80,612,322	石油原料業	基本方案	42,774,491
				方案一	42,282,761
	方案三	83,744,021	石油原料業	方案二	41,399,459
				方案三	40,945,383

電力效率提高方案結果分析，如表8所示當電力效率提高5%、10%、15%、20%、25%時，可使產業CO₂排放量與基本方案相較減少0.15%、0.31%、0.46%、0.67%、2.7%，且GDP年平均成長率分別增加3.53%、3.55%、3.56%、3.58%、3.58%。其中當效率提高至25%時，雖然產業CO₂排放量有減少，但GDP年平均成長率卻跟效率提高20%時一樣，顯示當效率至20%時，整體產業之經濟成長率已達到極限值。表9、10顯示重要產業電力效率提高方案結果分析，產業生產毛額變動量前三產業為陸上運輸及運輸服務、商品買賣、運輸工具；生產毛額變動量後三產業為其他服務業、營建工程、鋼鐵業。當電力效率提高至25%時，產業生產毛額變動量與效率提高20%時相同，可知變動量已達極限值。產業CO₂排放變動量只有陸上運輸及運輸服務呈現成長趨勢；而產業CO₂排放變動量後三產業為石化原料業、電機業、商品買賣。

表8 電力效率之能源及CO₂排放量結果分析

		煤品	油品	天然氣	電力	總量
效率提高 5%	能源消費量(10 ¹⁰ Kcal)	10,208	71,901	3,233	26,593	111,937
	配比(%)	9.1%	64.2%	2.9%	23.8%	100.0%
	與基本方案比較	-0.01%	3.39%	0.00%	0.00%	2.15%
	CO ₂ 排放量(千公噸)	32,029	148,113	7,305	180,192	367,641
	配比(%)	8.7%	40.3%	2.0%	49.0%	100.0%
	與基本方案比較	-0.01%	4.91%	0.00%	-3.99%	-0.15%
效率提高 10%	能源消費量(10 ¹⁰ Kcal)	10,205	74,264	3,233	26,594	114,297
	配比(%)	8.9%	65.0%	2.8%	23.3%	100.0%
	與基本方案比較	-0.04%	6.79%	0.00%	0.00%	4.31%
	CO ₂ 排放量(千公噸)	32,022	155,049	7,305	172,700	367,078
	配比(%)	8.7%	42.2%	2.0%	47.0%	100.0%
	與基本方案比較	-0.04%	9.82%	0.00%	-7.98%	-0.31%
效率提高 15%	能源消費量(10 ¹⁰ Kcal)	10,202	76,628	3,233	26,594	116,658
	配比(%)	8.7%	65.7%	2.8%	22.8%	100.0%
	與基本方案比較	-0.07%	10.19%	0.00%	0.00%	6.46%
	CO ₂ 排放量(千公噸)	32,014	161,984	7,305	165,209	366,514
	配比(%)	8.7%	44.2%	2.0%	45.1%	100.0%
	與基本方案比較	-0.06%	14.73%	0.000%	-11.97%	-0.46%
效率提高 20%	能源消費量(10 ¹⁰ Kcal)	10,204	79,132	3,233	26,451	119,021
	配比(%)	8.6%	66.5%	2.7%	22.2%	100.0%
	與基本方案比較	-0.06%	13.79%	0.00%	-0.53%	8.62%
	CO ₂ 排放量(千公噸)	32,011	169,484	7,306	156,921	365,724
	配比(%)	8.8%	46.3%	2.0%	42.9%	100.0%
	與基本方案比較	-0.07%	20.04%	0.008%	-16.39%	-0.67%
效率提高 25%	能源消費量(10 ¹⁰ Kcal)	10,204	79,132	3,233	26,451	119,021
	配比(%)	8.6%	66.5%	2.7%	22.2%	100.0%
	與基本方案比較	-0.06%	13.79%	0.00%	-0.53%	8.62%
	CO ₂ 排放量(千公噸)	32,011	169,484	7,306	149,478	358,281
	配比(%)	8.9%	47.3%	2.0%	41.7%	100.0%
	與基本方案比較	-0.07%	20.04%	0.008%	-20.35%	-2.70%

註：效率提高5%、10%、15%、20%、25%

GDP年平均成長率3.53%、3.55%、3.56%、3.58%、3.58%。

表9 重要產業電力效率之生產毛額分析

主要生產毛額增加產業	項目	生產毛額	主要生產毛額減少產業	項目	生產毛額
運輸工具	基本方案	190,873	鋼鐵業	基本方案	324,156
	效率提高 5 %	191,247		效率提高 5 %	191,247
	效率提高10 %	191,620		效率提高10 %	323,915
	效率提高15 %	191,994		效率提高15 %	323,740
	效率提高20 %	192,420		效率提高20 %	324,156
	效率提高25 %	192,420		效率提高25 %	324,156
陸上運輸及運輸服務	基本方案	509,044	營造工程	基本方案	335,948
	效率提高 5 %	558,753		效率提高 5 %	335,873
	效率提高10 %	608,535		效率提高10 %	335,798
	效率提高15 %	658,319		效率提高15 %	335,723
	效率提高20 %	712,567		效率提高20 %	335,568
	效率提高25 %	712,567		效率提高25 %	335,568
商品買賣	基本方案	2,075,030	其它服務業	基本方案	6,677,010
	效率提高 5 %	2,076,446		效率提高 5 %	6,654,114
	效率提高10 %	2,077,845		效率提高10 %	6,631,127
	效率提高15 %	2,079,244		效率提高15 %	6,608,140
	效率提高20 %	2,080,059		效率提高20 %	6,604,125
	效率提高25 %	2,080,059		效率提高25 %	6,604,125

表10 重要產業電力效率之CO₂排放量分析

主要CO ₂ 排放增加產業	項目	CO ₂ 排放量	主要CO ₂ 排放減少產業	項目	CO ₂ 排放量
陸上運輸及運輸服務	基本方案	71,137,006	商品買賣	基本方案	18,880,222
				效率提高 5 %	18,071,731
	效率提高 5 %	78,072,576		效率提高10 %	17,261,965
				效率提高15 %	16,451,098
				效率提高20 %	15,634,737
				效率提高25 %	14,811,925
	效率提高10 %	85,016,534	電機業	基本方案	17,856,708
				效率提高 5 %	16,990,885
				效率提高10 %	16,125,148
	效率提高15 %	91,958,778		效率提高15 %	15,259,512
				效率提高20 %	14,393,768
	效率提高25 %	13,529,098			
效率提高20 %	99,522,581	石化原料業	基本方案	42,774,491	
			效率提高 5 %	41,767,672	
效率提高25 %	99,508,572		效率提高10 %	40,760,853	
			效率提高15 %	39,754,034	
			效率提高20 %	38,652,933	
			效率提高25 %	37,648,564	

結論與建議

本研究擴充投入產出分析法應用領域於分析臺灣地區過去產業能源CO₂排放變動趨勢，在能源CO₂排放方面以各產業實際推估的27種能源的CO₂排放量，作為各產業煤品、油品及天然氣CO₂排放係數的推算基礎；電力CO₂排放方面，以台灣地區目標年預估的電力事業機組及燃料用量推估CO₂排放量，再推得目標年的電力排放係數。並且將電力事業燃料規劃當作減量的一個標的，以電力事業燃料替代方式發展三種模擬模式以及電力效率提高方式發展五種模擬模式，探討CO₂削減策略中電力業對產業及經濟的影響。此外對於研究研擬過程中，未考量到成本因素以及各產業能源耗用所引發環境層面的問題如空氣污染、廢棄物等，未來則可將模式擴及至環境層面的考量並將成本因素納入決策項目，使整體減量模擬架構更佳完善。

參考文獻

1. Leontief, W., "Quantitative input-output relations on the economic system of the United States", The Review of Economics and Statistics, Vol. XVIII, 1986.
2. Miller, R. E. and Blair, P. D., Input- Output Analysis Foundation and Extension, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliff, New Jersey, 1985.
3. Hannan, E. L., "Lineal programming with multiple fuzzy goal", Fuzzy Sets and Systems 6, pp. 235-248, 1981.
4. Lai, Y. J. and Hwang, C. L., Fuzzy multiple objective decision making: methods and applications, Springer-Verlag, Berlin, 1994.
5. Narasimhan, R., "Goal programming in a fuzzy environment", Decision Sciences 11, pp. 325-338, 1980.
6. Tiwari, R. N., Dharmar, S. and Rao, J. R., "Fuzzy goal programming - an additive model", Fuzzy Sets and Systems 24, pp. 27-34, 1987.
7. Yang, T., Ignizio, J. P. and Kim, H. J., "Fuzzy programming with nonlinear membership functions: piecewise linear approximation", Fuzzy Sets and Systems 41, pp. 39-53, 1991.
8. 張伯豪, "我國開放發電市場自由化對二氧化碳排放之衝擊評估"。碩士論文, 國立中興大學資源管理研究所, 2000。
9. 張乃斌, "環境系統分析原理(下冊)"。頁8-1~50, 台北, 茂昌, 2002。
10. 行政院主計處, "臺灣地區產業關聯表161部門", 2004。
11. 經濟部能源委員會, "臺灣能源平衡表", 2006。
12. 經濟部能源局, "95年長期負載預測與電源開發規劃", 2007。

ABSTRACT

A Study of Inter-industry Linkage Effects on Efficient Advance and Alternative Fuel of Electricity Industry in Taiwan

Yih-Feng Chang*, Yuan-Chieh Yu**, Jia-Rong Wu**, Chia-Feng Chang**** and Pei-Ling Li***

**Department of Tourism Management,*

***The Center for General Education,*

****Department of Environmental Engineering and Science,*

*****Research and Development Center of Ecological Engineering and Technology,
Chia-Nan University of Pharmacy and Science,
Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.*

ABSTRACT

The purpose of this study is to explore the trend of CO₂ emission in the electricity industry. An input-output analysis and fuzzy goal programming along with the IPCC method are employed to estimate the volume of CO₂ emission produced from power sources in the electricity industry from 1996 to 2006, focusing on the correlation between derived energy and carbon dioxide. The potential volume of CO₂ emission in Taiwan between the years 2007 and 2015 is also estimated according to the information on the government's long-term development program. Furthermore, the input-output approach and fuzzy goal programming model is constructed to draft future CO₂ reduction program for the electric power industry. The program includes fuel substitute of dynamotors and the promotion of electrical efficiency; at the same time, analysis is made on the correlation between carbon dioxide and GDP in this CO₂ reduction program.

The follow factors are substituted into the input-output approach and fuzzy goal programming model constructed in this study. It is carried out that the basic result from the model is economic growth rate 3.51%, CO₂ emission 368,207 thousand metric tons and basic simulated result of industry modules. The "other industries" takes the major part of GDP (43.53%), followed by trade business (13.53%), storage and communication (9.10%), electronic engineering (7.09%), and land transportation and its related services (3.32%). These five are fairly important industries that support Taiwan's economy. It is found that the top five industries (or departments) that contribute the CO₂ emission are land transportation and its related services (19.32%), the department of housing (12.36%), the petrochemical material industry (11.62%), the steel industry (7.72%) and the trade business (5.13%).

In the CO₂ emission reduction programming, simulated result obtained when operating dynamotors with alternative fuel indicates that when replacing fuel dynamotors with gas dynamotors or zero-emission alternative fuels, the volume of CO₂ emission can be decreased efficiently; meanwhile, the average growth of annual GDP increases. Another according to the simulated result of raising electrical efficiency can be decreased the volume of CO₂ emission and the average growth of annual GDP increases, too. But when the electrical efficiency raises by 20%, the economic growth of the entire industry reaches its limit value to the most workable program. In this study can be provided to related departments for reference to further map up the reduction of CO₂ emissions in electricity industry.

Key words: Input-output analysis, Fuzzy goal programming, Electricity industry, CO₂ reduction