

台灣地區電力事業與產業經濟之關連分析 - 投入產出 模糊目標模式之應用

張翊峰* 錢紀銘** 林健榮** 王書斌**

*嘉南藥理科技大學環境資源管理系

**嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

摘要

本研究依據能委會及台電公司預測台灣地區電力供需情勢，探討2010年前核一廠提前除役及核四廠不運轉，發電量由目標年燃氣複循環機組增加容量因素作為因應措施，並進一步以投入產出模糊目標規劃模型，模擬台灣地區於2010年時，此因應方案對產業經濟、能源使用與二氧化碳的衝擊分析，期裨益未來相關單位為因應推動非核家園行動方案，統籌規劃電力事業供需及產業發展的參考。

本研究結果顯示，電力部門之排放量由2001年的89,728千公噸增加至2010年的104,698千公噸（不含汽電廠排放），而整體火力電廠之CO₂排放係數則因這段期間低碳能源大量使用，由0.841公斤/度下降至0.787公斤/度，顯示這期間低碳能源使用使電力能源清潔度增加。但若於2010年將國內燃氣機組容量因素由原先的0.392增加至0.631，即可彌補因核一除役及核四不運轉時之缺電量。而經過模式模擬，本案之年平均經濟成長率為2.36%，較原方案2.57%為低，原因為電價上揚將對產業經濟產生衝擊，但影響不大。由於電力已成為國內產業未來能源消費的主流，就溫升減量觀點，將與產業發展存有甚高的互動影響關係，故未來台灣邁向非核家園的同時，應積極提高無碳能源（再生能源）及高效率能源發電（汽電共生、複循環機組）的配比，如此可有效減緩產業發展過程中對CO₂減量目標的衝擊。

關鍵詞：投入產出模糊目標規劃、電力事業、產業經濟、非核家園

前言

溫室氣體的減量為目前國際間重要的環保議題，而減量的過程無法避免將對產業經濟及能源的選擇產生不利的影響，由於台灣地區目前正值產業轉型時期，對電力依存度日益增加，故電力事業面對未來CO₂減量工作及減量過程中對產業部門的影響評估亦刻不容緩。目前非核家園為未來台灣

地區電力政策之主軸，但由於電力為產業生產過程中一項投入要素，其需求與產業發展具有相當大的關聯性，故如何評量電力事業之溫室氣體減量對產業經濟及能源安全的影響是一重要之課題。

而為避免日後台灣地區推動非核家園對溫室氣體減量管制策略造成巨大衝擊，本研究研擬以目標年燃氣複循環機組增加全年發電時數以因應可能的核一廠提前除役及核四廠完工不運轉所產生之缺電損失，並進一步以投入產出模糊目標規劃模型，模擬台灣地區於2010年時因應方案對經濟、能源及二氧化碳減量之互動影響，以提供決策單位規劃電力政策時之參考。

研究方法

根據台灣電力公司所規劃之長期電源開發方案9106甲案得知，由於燃氣火力機組基於成本考量，屬於中、尖載電源，故只有在基載電源（在台灣以燃煤電廠及核電廠為主）運轉滿載或發電調配等情形下方會運作，故容量因素在多僅介於0.3~0.4之間。故此，若考量天然氣發電的單位度數CO₂排放量較低的情形下，則可適度增加燃氣電力之運轉時數，用以彌補未來因應非核家園中核一廠及核四廠的電量損失；另一方面，若燃氣機組使用高效率的複循環機組，降低廢熱耗率，則可進一步有效降低CO₂排放，故本研究以式(1)推估未來新設燃氣機組的容量因素以彌補核一廠提前除役及停建核四機組的缺電量，再進一步以模式評估此項方案對產業經濟、能源及CO₂排放的衝擊。

新設之燃氣容量因素_I

$$= (\text{核能缺電量}_I + \text{原燃氣機組發電量}_I) \div (\text{燃氣裝置容量}_I \times \text{全年運轉時數}) \quad (1)$$

式中，I代表模擬的年代，2010年。

而由於燃氣火力電廠發電時數的增加，將使電力的CO₂排放係數增加，故耗電產業用電量增加將不利CO₂減量目標之達成，為模擬此一狀況所產生之衝擊，本研究結合投入產出及模糊目標規畫方法⁽¹⁻⁸⁾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CO₂排放情景，並據以模擬電力部門CO₂排放增加之影響；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CO₂兩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CO₂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.

一、目標限制式(goal constraint)

1. 國內生產毛額目標

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

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)

二、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，

α : 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

GDP_{goal} : 目標年的國內生產毛額目標(10^6 元)，此處以年平均成長率3.8%估算。

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_2 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)，此處以各產業最大節能潛力(按經濟成長規模再節約30%之能源)下，估算國內產業之 CO_2 排放量。

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_2 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(34×34)

D : 國產品投入係數矩陣(34×34)

- X : 產業總產值向量(34×1), 10^6 元
Y : 產業目標年的最終需求下限值向量(34×1), 10^6 元
 \bar{x} : 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、產業能源資料

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CO₂排放最小化目標時，當時的能源供給量作為極大或極小值。

四、產業各能源的CO₂排放估算

各產業各種能源的CO₂排放量遵循IPCC準則予以估算。其中，2010年各產業電力之CO₂排放係數為將電力事業的CO₂排放量按產業用電比例平均分散給各產業，故電力排放係數（單位熱值的CO₂排放量）的改變將會對產業結構產生影響，電力排放係數越高，則在CO₂排放限制下，將不利高耗電產業的發展，而高耗電產業在未來持續擴張，以台灣地區目前水力發電漸趨飽和、核能發電飽受爭議及新能源開發緩慢情形下，將促使火力發電機組擴增而使CO₂排放量增加，故以溫室效應觀點而言，產業發展及電力供需間存有甚高的互動影響關係。

五、非核家園因應分案模擬

本研究方案的模擬，乃依據能委會及台灣電力公司9106案為基礎，假定未來台灣地區電力政策因非核家園之推動，於2010年前核一廠提前除役及核四廠完工不運轉，發電量則由目標年燃氣複循環機組增加容量因素作為因應措施，如此除產業的電力CO₂排放係數變動外，並計算由於燃料替代造成發電成本的變動而所需調升電力價格的上漲幅度，電力價格變動對其他要素需求量（資本、勞力、物料）的影響及能源需求的變化為引用梁啟源(1987)利用二次對數生產函數法所估計的各產業投入模型的交叉彈性係數計算而得。

結果與討論

一、電力供需及CO₂排放分析

表1為台灣地區目前電力供需及容量因素分析，表中顯示至2010年台灣地區發電量以燃煤火力發電的38.2%最高，但相較2001年配比有下降趨勢，發電量次高是核能發電的26.7%，這兩種發電方式電量即佔全國發電量的65%，遠大於裝置容量的比重，主要原因在於燃煤火力及核電廠因發電成本較低，皆屬於台灣地區之基載電源，容量因素皆超過八成所致。另一方面天然氣火力發電裝置容量在未來十年大幅增加，發電量配比亦從2001年的12.4%增加至22.1%，但由於成本較高，為中、尖載電源，容量因素相較其他火力機組為低，至2010年僅0.392，顯示可供增加之實際發電時數有很大增長空間。此外，為因應世界石油供需情勢，燃油發電比例大幅下降，而水力及再生能源發電比例仍低，至2010年僅有4.0%，顯示國內需加強再生能源等清淨能源技術之研究，以符合現代世界潮流。

表1 台灣地區電力需求及容量因素分析表

年代	煤裝置 容量(千瓩)	發電量 (百萬度)	百分比 (%)	容量 因素	油裝置 容量(千瓩)	發電量 (百萬度)	百分比 (%)	容量 因素	氣裝置 容量(千瓩)	發電量 (百萬度)	百分比 (%)	容量 因素
2001	9900	67300	42.6%	0.809	4637	19802	12.5%	0.508	6031	19624	12.4%	0.387
2010	11597	80404	38.2%	0.825	3635	6007	2.9%	0.197	14151	46539	22.1%	0.392
年代	核能裝置 容量(千瓩)	發電量 (百萬度)	百分比 (%)	容量 因素	水力+再生 容量(千瓩)	發電量 (百萬度)	百分比 (%)	容量 因素	總發電量 (千瓩)	總發電量 (百萬度)	百分比 (%)	總容量 因素
2001	5144	34094	21.6%	0.786	4424	9142	5.8%	0.245	30136	158058	100%	0.622
2010	7844	56269	26.7%	0.851	5118	8466	4.0%	0.196	42346	210584	100%	0.590

註：1.資料根據台電長期電源9106甲案推估而得

2.核四廠一、二號機分別為2005年7月及2006年7月商轉，2011年核一廠除役（減少1272千瓩）

表2則顯示各火力發電方式之CO₂排放分析，顯示依據現行9106甲案中電力部門之排放量由2001年的89728千公噸增加至2010年的104698千公噸(不含汽電廠排放)，而整體火力電廠之CO₂排放係數則因這段期間低碳能源大量使用，由0.841公斤/度下降至0.787公斤/度，顯示這期間低碳能源使用使電力能源清潔度增加。

表2 2001年及2010年台灣地區火力發電廠CO₂排放分析表

年代	燃煤火力發電廠					燃油火力發電廠				
	燃煤 發電量 (百萬度)	CO ₂ 排放 係數(公噸 /10 ⁷ kcal)	燃煤CO ₂ (千公噸)	燃煤 CO ₂ (%)	燃煤電廠 熱耗率 (Kcal/度)	燃油 發電量 (百萬度)	CO ₂ 排放 係數(公噸 /10 ⁷ kcal)	燃油CO ₂ (千公噸)	燃油CO ₂ (%)	燃油電廠 熱耗率 (Kcal/度)
2001	67,300	3.881	64,775	72.19%	2,480	19,802	3.206	15,408	17.17%	2,427
2010	80,404	3.881	77,388	73.92%	2,480	6,007	3.206	4,674	4.46%	2,427
年代	燃LNG複循環火力發電廠					火力發電廠				
	燃LNG 發電量 (百萬度)	CO ₂ 排放 係數(公噸 /10 ⁷ kcal)	燃氣CO ₂ (千公噸)	燃氣 CO ₂ (%)	燃LNG電廠 熱耗率 (Kcal/度)	發電量 (百萬度)	CO ₂ 排放 係數 (公斤/度)	總CO ₂ 排放 (千公噸)	總CO ₂ 排放 (%)	火力電廠 熱耗率 (Kcal/度)
2001	19,624	2.325	9,545	10.64%	2,092	106,726	0.841	89,728	100%	2,373
2010	46,539	2.325	22,636	21.62%	2,092	132,950	0.787	104,698	100%	2,373

註：不含汽電共生排放量。

二、模式基本方案

表3顯示經基本方案模擬，在兼顧經濟成長及CO₂減量目標下，至2010年台灣地區平均經濟成長率為2.57%，產業的能源消費量為72,497×10¹⁰ Kcal，能源消費結構仍以油品為最大宗，佔總消費額的57.0%，其次為電力的23.2%，煤品的14.2%，而天然氣僅佔5.6%，但與2001年相較，成長幅度最大者為天然氣，成長幅度為30.5%，其次則為油品的24.9%，電力11.3%及煤品8.4%。產業的CO₂排放量在2010年為228,740千公噸，與2001年相較成長幅度為10.7%，排放配比中油品為40.9%，電力39.9%，煤品16.2%及天然氣2.9%。

表3 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)	10,278	41,314	4,063	16,843	72,497
配比(%)	14.2%	57.0%	5.6%	23.2%	100%
增加幅度(%)*	8.4%	24.9%	30.5%	11.3%	19.2%
CO ₂ 排放量(千公噸)	37,160	93,543	6,697	91,340	228,740
配比(%)	16.2%	40.9%	2.9%	39.9%	100%
增加幅度(%)*	8.6%	20.6%	29.3%	1.8%	10.7%

註：*增加幅度為與2001年比較。基本方案經濟年平均成長率為2.57%。

三、非核家園因應方案分析

本研究擬定的方案為國內推動非核家園，行動方案為在2010年前核四完工但不進行運轉且核一廠提前除役情況下，在目標年供電量保持不變下，以提高國內燃氣複循環機組容量因素以為因應措施，其評估結果如表4所示，其中在2010年核四不運轉之缺電量為20124百萬度，核一廠提前除役缺電量為9481百萬度，但若於2010年將國內燃氣機組容量因素由原先的0.392增加至0.631，則可增加供電量為29680百萬度，即可彌補因核一除役及核四不運轉時之缺電量，不過如此估計將新增燃料成本約247億元，而因為增加液化天然氣5996百萬m³，故新方案之火力電廠CO₂排放係數為0.882（公斤/度），高於原預估2010年的0.787（公斤/度），由此顯示將不利CO₂減量行動之推動。

表4 因應核一提前除役及核四廠停建評估方案

年代	核四機組不運轉		核一廠提前除役		燃氣機組加大容量因素				評估結果			
	裝置容量(千瓩)	缺電量(百萬度)	裝置容量(千瓩)	缺電量(百萬度)	燃氣裝置容量(千瓩)	原容量因素	新容量因素	新增發電量(百萬度)	發電量變化(%)	增加成本(億元)	增加燃氣(百萬m ³)	CO ₂ 增量(千公噸)
2010	2,700	20,124	1,272	9,481	14,151	0.392	0.631	29,680	0.04%	246.98	5,996	12,592

註：1.增加成本不包括核四不運轉之損失，此處是以台灣電力公司民國87年度統計資料中，燃氣複循環機組每度燃料成本為1.67元，核能機組發電成本每度0.84元計算所得。

2.新方案之火力電廠CO₂排放係數為0.882（公斤/度）。

此外，進一步將上述新增之燃料成本換算為電價之上揚百分比，並將新的電力CO₂排放係數帶入本研究建立之投入產出模糊規劃模式重新模擬，結果如表5所示，產業能源消費量則及CO₂排放量相較基本方案分別增加1.0%及1.5%，其中在電力消費部分因電價上揚產生其他能源的替代效

應，其中產業耗電量較原方案降低4.4%，而耗煤量及耗油量則分別增加2.9%及2.7%，而在CO₂排放方面，由於電力的排放係數增加，故即使耗電量降低，但排放量仍較原方案增加3.7%，而本案之年平均經濟成長率為2.36%，顯示非核家園推動，若核一廠提前除役及核四完工不運轉，所造成之電價上揚將對產業經濟產生衝擊，不過影響不大。

表5 非核家園評估方案模擬結果分析

	煤 品	油 品	天然氣	電 力	總 量
能源消費量(10 ¹⁰ Kcal)	10575	42416	4098	16108	73197
配比(%)	14.4%	57.9%	5.6%	22.0%	100%
與基本方案比較	2.9%	2.7%	0.9%	-4.4%	1.0%
CO ₂ 排放量(千公噸)	38166	92721	6639	94674	232201
配比(%)	16.4%	39.9%	2.9%	40.8%	100%
與基本方案比較	2.7%	-0.9%	-0.9%	3.7%	1.5%

註：本方案經濟年平均成長率為2.36%。

結論及建議

本研究依據能委會及台電公司預測台灣地區電力供需情勢，探討2010年前核一廠提前除役及核四廠不運轉，發電量由目標年燃氣複循環機組增加容量因素作為因應措施，本研究結果顯示，電力部門之排放量由2001年的89728千公噸增加至2010年的104698千公噸（不含汽電廠排放），而整體火力電廠之CO₂排放係數則因這段期間低碳能源大量使用，由0.841公斤/度下降至0.787公斤/度，顯示這期間低碳能源使用使電力能源清潔度增加。但若於2010年將國內燃氣機組容量因素由原先的0.392增加至0.631，即可彌補因核一除役及核四不運轉時之缺電量。而經過模式模擬，產業能源消費量則及CO₂排放量相較基本方案分別增加1.0%及1.5%，電力消費部分因電價上揚產生其他能源的替代效應，其中產業耗電量較基本方案方案降低4.4%，而在CO₂排放方面，電力排放量則較原方案增加3.7%，本案之年平均經濟成長率為2.36%，較原方案2.57%為低，原因為電價上揚將對產業經濟產生衝擊，不過影響不大。此外，由於電力已成為國內產業未來能源消費的主流，就溫升減量觀點，將與產業發展存有甚高的互動影響關係，故未來台灣邁向非核家園同時，應積極抑制電力事業的CO₂排放係數，包括積極提高火力機組的天然氣發電時數，並提高無碳能源（再生能源）及高效率能源發電（汽電共生、複循環機組）的配比，如此可有效減緩產業發展過程中對CO₂減量目標的衝擊。

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. 台灣電力公司，台灣長期電源發展方案9106甲案，台灣電力公司，2003。
 9. 張翊峰，"產業能源及二氧化碳減量關聯模式建立及其應用"，博士論文，國立成功大學環境工程研究所，台南，1997。
 10. 張乃斌，環境系統分析原理，茂昌出版社，台南，2002。
 11. 趙世平，"RAS法與RP法在預測產業需求之應用"，碩士論文，中央大學產業經濟研究所，1987。
 12. 經濟部能源委員會，台灣地區能源政策白皮書，經濟部能源委員會，2001。
 13. 經濟部產業發展諮詢委員會，產業發展白皮書，經濟部產業發展諮詢委員會，1994。

ABSTRACT

Linkage Effects between Power Supply Sector and Industrial Economic by I-O Fuzzy Goal Programming

Yih-Feng Chang*, Jih-Ming Chyan**, Chien-Jung Lin** and Shu-Pin Wang**

**Department of Environmental Resource and Management,
Chia-Nan University of Pharmacy and Science,
Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.*

***Department of Environmental Engineering and Science,
Chia-Nan University of Pharmacy and Science,
Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.*

ABSTRACT

Due to the policy of non-nuclear nation, Taiwan has to deal with the challenge of the close of first and fourth nuclear power plant. The alternatives will inevitably increase the capacity of fossil fuel power plant. In the present study, the I-O fuzzy goal programming model was employed to analyze the effects on the industrial economics, energy consumption, and CO₂ emission in 2010. The results can be regarded as an important reference for the long-term planning of power and industrial development.

According the simulation results, it indicated that CO₂ emission would increase from 89,728 kt in 2001 to 104,698 kt in 2010. However, the emission factor decreased from 0.841 kg/deg to 0.787 kg/deg due to the mass usage of low carbon content energy. To complement the power lack resulted from the shutdown of first and fourth nuclear power plant, the capacity factors of gas turbine must be increased from 0.392 to 0.631. In the meantime, the power cost would be raised and the annual average economic growth rate became 2.36% instead of the original proposal, 2.57%. It was obvious that there existed a close connection between industrial development and power supply. To accomplish the dream of non-nuclear homeland, it suggested promoting the power ratio from regeneration resources and high efficient power plant. This strategy also lowered the impact on the reduction goal in CO₂ emission during the process of industrial development.

Key words: Input-output fuzzy goal programming, Power supply industry, Industrial economic, Nuclear-free homeland