

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 電力事業之環境與產業經濟關連效應及發展策略研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-041-010-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：嘉南藥理科技大學環境工程衛生系

計畫主持人：張翊峰

共同主持人：錢紀銘，林素貞

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 92 年 10 月 28 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 電力事業之環境與產業經濟關連效應及發展策略研究

### Linkage Effects of Environment and Industry Economy and Development Strategies of Electricity Supply Industry

計畫編號：NSC 91-2211-E-041-010

執行期限：91 年 08 月 01 日至 92 年 07 月 31 日

主持人：張翊峰 嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

共同主持人：林素貞 成功大學環境工程系

錢紀銘 嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

計畫參與人員：林惠美 嘉南藥理科技大學環工所研究生

洪春守 嘉南藥理科技大學環工所研究生

#### 一、中文摘要

電力是現代經濟發展不可或缺的原動力，由於其具有傳輸迅速、操作方便及高度精密的可控性，又加熱溫度可達一般燃料燃燒的三倍以上等優點，故逐漸取代傳統的化石能源為產業發展不可或缺的投入要素，根據台灣地區能源政策顯示電力需求比例將由 2000 年的 39.2% 增加至 2020 年的 47.2%，故二十一世紀可稱為一個電力經濟時代，故如何統籌電力事業、產業發展及環境保護為一相當值得研究的課題。

由於電力在轉換過程對環境造成相當層面的負面影響，故當產業需求電力越高時，對環境品質的影響越大。本研究主要目的為藉由地理資訊系統建立電力事業（包括火力、核能、水力及再生能源）能源及環境相關的決策支援模式，並結合投入產出分析及數學規劃模式建構台灣地區電力污染減量評估模式，以評析電源結構調整及污染減量方案與產業經濟的互動影響分析。本研究於上年度重點於完成建構電力事業能源相關之決策支援系統，本年度重點為建構電力事業減量評估模式與產業經濟之關連影響，並評量電力事業不同發展策略之敏感度分析，研究成果裨益相關單位決策之參考。

**關鍵詞：**產業、電力與環境，投入產出分析，產業關連，乘數分析，地理資訊系統，污染減量評估模式

#### Abstract

Electricity is the major power for present economical and industrial activities. Electricity activities, including stages of production, transformation, transport and end use, have important impacts on the environment such as acid precipitation and global climate. According to the current Taiwan's energy policy, the size of the electricity demand share tends to increase from 39.2% in 2000 to 47.2% in 2020. Therefore, it is important to analyze the integrative research of the electricity demand, industrial structure and environmental quality, and to achieve mutual gains in the effect of electricity, economic and environment.

This purpose of this study is to establish an integrated methodology and evaluation system for integrating electricity related industry and environment polices. The dynamic model will be further development to simulate alternative and strategies of changing the structure and pollutants reduction of the electricity sector for better economic and environmental bases. It is scheduled for a two-year research period. The effort of the last year is focused on establishing a decision-making support system to analyze the coupling effects of industrial economy, electricity demand and environmental effect by geographic information analysis model in Taiwan. The aim of this year is to analyze the structure change and pollutants reduction of the

electricity sector can diversify the profile of industrial structure, and also affect the environmental quality throughout different simulated strategies. Results of this study can be value for Taiwan to strengthen industry and electricity structure, to enhance environmental quality in the future.

**Keywords:** Industry 、 electricity and environment, Input-output analysis, Industrial linkage analysis, Multipliers analysis, Geographic information System, Estimation Model of Pollution Reduction

## 二、緣由與目的

為防制氣候變遷，溫室效應已為目前國際間最受重視的環保議題，由於能源耗用所產生之二氧化碳為最主要的人為溫室氣體，且根據台灣地區目前規劃能源政策，2020年電力佔最終能源需求將高達47.2%，已取代油品的36%，為最主要的能源消費需求。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，而電力轉換過程所排放的污染物對環境品質亦有不利的影響，另一方面，因應國際環保公約的要求或發電設施取得不易等諸多因素，亦會促使相關政策主管機關以經濟手段（如污染稅及碳稅等）提高用電價格抑制用電需求，從而增加耗電產業的生產成本，就產業關聯觀點將使產業結構發生變化而改變經濟情勢，故電力需求、環境品質與產業經濟三者之間有密切的關係。本研究主要目的為建立電力事業能源相關的地理資訊決策支援系統，調查現有各電廠（以火力機組及核能電廠為主要研究對象）的基本資料，包括鍋爐形式、廠熱耗率、燃料耗量及環保措施等基本資料。並針對各電廠（包括規劃中的新設電廠等）特性建立各電廠電力產出量、容量因素、污染排放係數及污染排放量等資料庫。而由於燃氣火力電廠發電時數的增加，將使電力的CO<sub>2</sub>排放係數增加，故耗電產業用電量增加將不利CO<sub>2</sub>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建構系統模型，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，並據以模擬電力部門CO<sub>2</sub>排放增加之影響，並評析未來電力供給及需求情勢，與能源主管單位所規劃的電力政策作比對分析，以提供未來台灣地區電力供需結構及產業發展之參考。

## 三、結果與討論

### 1.基本資料庫建立及現行供電方案探討

本研究目前所獲致研究成果首先為以地理資訊系統建立各電廠（以火力機組及核能電廠為主要研究對象）的基本資料，所得之結果如圖1所示，而根據此資料庫系統，進一步評估台灣地區未來目前電力供需及容量因素分析，表1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2則顯示各火力發電方式之CO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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。

### 2.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CO<sub>2</sub>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72,497×10<sup>10</sup> 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 CO<sub>2</sub> 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%。

### 3. 非核家園方案模擬

本研究所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 m<sup>3</sup>，故新方案之火力電廠 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 減量行動之推動。

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 CO<sub>2</sub> 排放係數帶入本研究所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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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。

## 四、自評

本計畫研究為持續 90 年度國科會專題研究計畫「電力事業污染減量與產業結構之互動分析」進行之後續研究分析，本年度完成的工作項目包括建構以地理資訊系統為決策介面的支援系統，包括火力、核能、水力以及再生能源的能源供給、污染排放及環境保護的知識庫圖層，進一步作能源設施的地理空間資訊分析。再者建立產業規劃預測模型，預測各產業於目標年之產業結構、產值、需電量及污染排放資料，以整合台灣地區電力事業地理空間決策支援系統以及產業規劃預測模型，建構電力事業污染減量與產業經濟之評估模式。而為配合國內非核家園之實施，進一步研擬電力事業評估方案，並納入減量成本進行交叉分析。

本計畫所預期完成之具體研究成果及效益包括：電力業之能源與環境相關之地理資訊系統所建立之知識庫圖層，資料格式為與環境保護署相同之作業系統，有助於擬定電力事業污染減量對環境影響時之參考。而產業規劃預測模型及地理決策資訊系統之結合，有益於未來評估區域產業發展與電力需求及環境品質間的關係，可作為規劃產業發展及控制環境品質時之參考，模式並可評估電力事業結構調整與污染減量規劃與產業經濟之互動影響，對國內電力事業及產業升級規劃具有參考價值。此外對於參與之碩士班研究生及相關工作人員可訓練其獨立思考與群體合作之能力，並有助於培養能源與環境規劃人才之養成。上述之研究成果已發表於國內之學術研討會及期刊，將持續投稿於國外刊物，且完成碩士人才之培訓，整體而言，本項補助計畫所得之成果可堪稱豐碩。

## 五、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)。

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 <sub>2</sub> 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%。

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 <sub>2</sub> 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%。



廠別	裝置總量 (千瓦)	座數	每座容量 (千瓦)	併聯日期	商轉日期
台中火力發電廠5	4,400,000	1	550,000	# 4 民國81.5	民國81.10
台中火力發電廠6	4,400,000	1	550,000	# 5 民國84.6	民國85.3
台中火力發電廠7	4,400,000	1	550,000	# 6 民國84.11	民國85.5
台中火力發電廠8	4,400,000	1	550,000	# 7 民國85.5	民國85.10
台中火力發電廠9	4,400,000	1	550,000	# 8 民國86.3	民國86.6
興達火力發電廠1	2,100,000	1	500,000	# 1 民國71.5	民國71.9
興達火力發電廠2	2,100,000	1	500,000	# 2 民國72.5	民國72.7
興達火力發電廠3	2,100,000	1	550,000	# 3 民國74.3	民國74.6
興達火力發電廠4	2,100,000	1	550,000	# 4 民國75.2	民國75.4
興達火力發電廠5 (汽輪)	863,500	1	172,700	# 1	民國87.4
興達火力發電廠6 (汽輪)	863,500	1	172,700	# 2	民國87.5
興達火力發電廠7 (汽輪)	863,500	1	172,700	# 3	民國87.6
興達火力發電廠8 (汽輪)	863,500	1	172,700	# 4	民國87.8
興達火力發電廠9 (汽輪)	863,500	1	172,700	# 5	民國88.1
興達火力發電廠10 (氣渦)	1,362,450	2	90,830	# 2-1 - # 3-1	民國86.4
興達火力發電廠11 (氣渦)	1,362,450	4	90,830	# 1-1 - # 1-2 - # 2-	民國86.5
興達火力發電廠12 (氣渦)	1,362,450	6	90,830	# 1-3 - # 2-3 - # 3-	民國86.6
興達火力發電廠13 (氣渦)	1,362,450	3	90,830	# 5-1 ~ # 5-3	民國86.8
林口火力發電廠3 (氣渦)	485,000	3	50,000	# 1,2,4 民國64.6~7	民國65.2
林口火力發電廠4 (氣渦)	485,000	1	35,000	# 3	
林口火力發電廠5 (氣渦)	485,000	2	150,000	# 3-1 民國87.8 # 3-2	民國87.11
通霄火力發電廠11 (氣渦)	49,200	4	12,300	# 5~8 民國57.3~7	民國69.6
台中火力發電廠10 (氣渦)	280,000	4	70,000	# 1~4 民國79.7	民國79.8

[1]

圖 1 台灣地區電廠地理資訊系統建置示意圖

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 2001 年及 2010 年台灣地區火力發電廠 CO<sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 排放係數 (公噸/10 <sup>7</sup> kcal)	燃煤 CO <sub>2</sub> (千公噸)	燃煤 CO <sub>2</sub> (%)	燃煤電廠廠熱 耗率(Kcal/度)	燃油發電量 (百萬度)	CO <sub>2</sub> 排放係數 (公噸/10 <sup>7</sup> kcal)	燃油 CO <sub>2</sub> (千公噸)	燃油 CO <sub>2</sub> (%)	燃油電廠廠熱 耗率(Kcal/度)
200	67,300	3.881	64,775	72.19%	2,480	19,802	3.206	15,408	17.17%	2,427
201	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 (百萬度)	CO <sub>2</sub> 排放係數 (公噸/10 <sup>7</sup> kcal)	燃氣 CO <sub>2</sub> (千公噸)	燃氣 CO <sub>2</sub> (%)	燃 LNG 電廠廠熱 耗率(Kcal/度)	發電量 (百萬度)	CO <sub>2</sub> 排放係數 (公斤/度)	總 CO <sub>2</sub> 排放 (千公噸)	總 CO <sub>2</sub> 排放 (%)	火力電廠廠熱 耗率(Kcal/度)
200	19,624	2.325	9,545	10.64%	2,092	106,726	0.841	89,728	100%	2,373
201	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。

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 <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> 增量 (千公噸)
2010 年	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 CO<sub>2</sub> 排放係數為 0.882(公斤/度)