

台灣地區石油化學產業能源消費與二氧化碳關聯分析

張翊峰^{1*} 李孫榮² 張家鳳³ 王志賓²

¹嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所

²嘉南藥理科技大學環境工程與科學系

³嘉南藥理科技大學生態工程技術研發中心

摘要

本文利用投入產出分析、乘數分析、及脫鉤指標分析，探討民國71年至97年，石油化學產業之產業關聯對能源消費及CO₂排放量之乘數效應，得知石油化學產業的產業經濟與能源效益及CO₂排放特性。最後，利用脫鉤指標分析石油化學產業能源消費結構與GDP值之相互關係。

結果顯示產業關聯部分，以化學材料製造業、化學製品製造業及油氣煉製業占總關聯效果較大，代表產業對於帶動整體經濟及支持整體產業貢獻頗大。能源乘數部分，化學材料製造業和橡膠及塑膠製品製造業之能源乘數平均為 22.78×10⁷kcal/百萬元、11.46×10⁷kcal/百萬元，佔整體產業排名前列，為典型的高耗能產業。CO₂ 乘數部分，化學材料製造業、化學製品製造業、油氣煉製業、橡膠及塑膠製品製造業之平均值分別為 52.46、22.40、20.90、36.55 公噸/百萬元，約佔整體產業七分之一強，顯示石油化學產業供獻 CO₂ 排放量頗大。脫鉤指標部分，石油化學產業為高耗能且高污染之產業，近幾年脫鉤指標呈現惡化趨勢，顯示其能源使用效益並無明顯改善。綜合上述，石油化學產業整體應積極推動 CO₂ 減量措施及實行方法，建議使用再生能源及提升能源使用效率，為石油化學產業未來永續發展之參考。

關鍵詞：石油化學產業，產業關聯，乘數分析，脫鉤指標

*通訊作者：嘉南藥理科技大學溫泉產業研究所

Tel: +886-6-2664911 轉 6151

Fax: +886-6-2662101

E-mail: yihfeng@mail.chna.edu.tw

壹、前言

世界各國因工業活動發展迅速，導致環境污染日漸嚴重，也間接地影響地球而延伸出全球氣候變遷問題，因此，全球開始重視溫室氣體減量之方法與對策。近年來聯合國積極召開相關環境保護議題及相關配套措施，並持續研究及探討，為的就是要使溫室效應問題能夠得以減緩。台灣地區面對環境變遷問題亦提出解決方法與執行目標和對策，並將節能減碳活動意念推廣至全國人民。台灣地區目前是以全國能源會議為執行目標，其執行原則是為邁向永續能源發展願景、低碳能源發展方向、能源安全重新定位、部門效率全面提升、能源價格合理化

原則、能源科技發展策略(經濟部，2009)。

台灣石化工業自中油第一套輕油裂解廠 1968 年啓動開始，發展至今已四十餘年(薛仲男，2005)。一般石油化學產業分為上游、中游及下游三部份，分別生產基本原料、中間原料及下游應用加工製品，產業關聯相當緊密(洪春守，2004)。根據本研究初步的統計，石油化學產業的能源消費量由 71 年 5.30 百萬×10⁷kcal 至 97 年 27.36 百萬×10⁷kcal，共成長了 5.16 倍，年成長率為 6.51%。CO₂ 排放量由 71 年 9.71 百萬公噸上升至 97 年 48.89 百萬公噸，共成長了 5.04 倍，年成長率為



6.42%。以 97 年為例，石油化學產業 CO₂ 排放量共佔整體產業的 18.10%，超過總產業六分之一強，可見其 CO₂ 排放量也相當可觀。

貳、研究方法

本研究以台灣地區石油化學產業為研究對象，以投入產出分析(Input-output Analysis)、乘數分析(Multiplier Analysis)與脫鉤指標分析(Decoupling Indicators)等方式進行分析。

一、投入產出分析

投入產出法之基本架構，主要可分為技術交易矩陣(Xij)、原始投入矩陣(Oj)、最終需求矩陣(Fi)、總投入(Xj)或總產出(Xi)矩陣及總需求矩陣。先定義投入係數(Input Coefficient)為 $a_{ij}=x_{ij}/X_j$ 代表 j 產業每單位產值(元)，所需直接向 i 產業購買的投入額，則可得關係式 $[W_i]+[F_i]=[P_i]+[X_i]=[T_i]$ 以矩陣表示則為 $X=(I-A)^{-1}(F-P)=B(F-P)$ ，其中，X 為 nx 1 的總產出向量；A 為 nxn 的技術矩陣；F 為 nx1 的最終需求向量；P 為 nx1 的輸入向量；I 為 nxn 的單位矩陣； $B=[b_{ij}]$ 為 nxn 的 $(I-A)^{-1}$ 矩陣； $(I-A)^{-1}$ 為里昂提夫逆矩陣(Leontief Inverse Matrix)矩陣中的原素 b_{ij} 表示生產第 j 產業一單位最終需求(元)時，對 i 產業的總需求影響，此值包含直接需求與間接需求所引起的波及效果，故其每一係數(b_{ij})均大於其對應的直接投入係數(a_{ij})。本研究僅考慮國內生產的產品所造成能源消耗與污染排放之影響故將其簡化為 $X=(I-D)^{-1}Fd$ ，其中，D 為 nxn 的國產品投入係數矩陣；Fd 為 nx1 的不含進口品的最終需求向。

在投入產出分析中，當某一產業增產時，對其他產業產生雙重的影響；其中一個影響為當此產業增產時，可促進使此種產業作為原料投入的其他產業生產部門的增產，此種生產與其產品被用成中間需求原料使用的部門間關係稱為向前關聯(Forward Linkage)；另一個影響為當某一產業增產時，由於其中間需求增加，將帶動相關原料供應產業的增產，此種生產與原料供應部門間關係稱為向後關聯(Backward Linkage)(林素貞等人，1997；鄭尹菀，2001)。以里昂提夫逆矩陣而言，當所有產

業的最終需求變動一單位時 i 產業供給各產業直接

及間接的變動量為 $FL_i = \sum_{j=1}^n b_{ij}$ ，代 i 產業的向前

關聯度。另一方面當 j 產業之最終需求增加或減少一單位時，各產業所需直接及間接配合生產的變

動量為 $BL_j = \sum_{i=1}^n b_{ij}$ ，代表 j 產業的向後關聯度；

若進一步將產業向前關聯及向後關聯予以標準

化，可得到感應度 $U_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{1 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}}$ 及影響度

$U_j = \frac{\sum_{i=1}^n b_{ij}}{1 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij}}$ 。其中， $U_i > 1$ 表示此產業的感

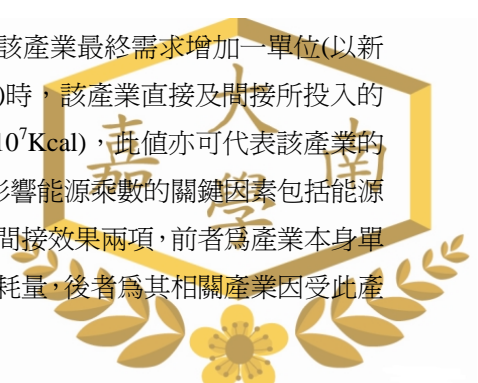
應度(Sensibility of Dispersion)大於所有產業感應度之平均值，感應度高的產業表示其向前關聯程度大，多為中上游的產業或勞務業，為支持整體經濟體系生產活動不可缺乏之產業。 $U_j > 1$ 表示此產業的影響度(Power of Dispersion)大於所有產業影響度之平均值，影響度大的產業表示向後關聯程序較大，多為中間投入率較高的產業，具有引導與帶動其他產業發展的貢獻。

二、乘數分析

產業在發展過程中除了會造成自身的直接能源消費，亦會帶動相關產業的發展，因而造成間接能源消費及污染物的排放。利用乘數分析將能較完整顯示出該產業發展對於能源需求及污染物排放的實際效應。本研究在乘數分析方面以探討能源乘數及污染乘數為主。

(一)能源乘數

能源乘數為該產業最終需求增加一單位(以新台幣一佰萬元計)時，該產業直接及間接所投入的能源量(單位為 10⁷Kcal)，此值亦可代表該產業的能源使用效益。影響能源乘數的關鍵因素包括能源直接係數及乘數間接效果兩項，前者為產業本身單位產值的能源消耗量，後者為其相關產業因受此產



業帶動增產，所誘發投入的能量。以下就能源乘數的算法簡述如下： $M_E = E(I-D)^{-1}$ 其中 E 為產業能源消費直接係數(10^7 Kcal/新台幣佰萬元)，其為 $1 \times n$ 階之矩陣； M_E 產業能源乘數，包括直接與間接效果(10^7 Kcal/新台幣佰萬元)，其為 $1 \times n$ 階之矩陣； $(I-D)^{-1}$ 為 $n \times n$ 李昂提夫逆矩陣，不包含進口品，其中矩陣中對角線上之元素必大於 1。

(二) 污染乘數

污染乘數為該產業最終需求增加一單位(以新台幣一佰萬元計)時，該產業直接及間接能源消費所造成之污染物排放量總和。影響污染乘數的主要因素包括污染直接排放係數及乘數間接效果兩項，前者為產業本身單位產值能源消費所造成的污染排放量，後者為其相關產業因受此產業帶動增產，而投入更多的原料及能源所產生的污染排放。本研究在此討論的污染物種類為 CO_2 排放量。以下就污染乘數的算法簡述如下： $M_P = P(I-D)^{-1}$ 其中 P 產業能源消費所造成之污染直接排放係數，在此討論之污染物 CO_2 (公噸/新台幣佰萬元)，其為 $1 \times n$ 階矩陣； M_P 為產業污染乘數，包括直接與間接效果(公噸/新台幣佰萬元)，其為 $1 \times n$ 階矩陣； $(I-D)^{-1}$ 為 $n \times n$ 李昂提夫逆矩陣，不包含進口品，其中矩陣中對角線上之元素必大於 1。

三、脫鉤指標分析法

本研究主要是應用 OECD(2002)及 Tapio(2005) 進行石油化學產業的數據例如：能源消費、 CO_2 排放量、經濟成長情況等資料分析。

(一) OECD 脫鉤指標

根據脫鉤指標可認定環境負荷與經濟成長為絕對脫鉤(Absolute Decoupling)，或是相對脫鉤(Relative Decoupling)，前者是指當環境壓力變數之成長率為穩定或遞減，而經濟驅動力之成長率為遞增時；後者是指環境壓力變數之成長率雖為正值，但其幅度小於經濟成長率。OECD(2002)對於相關之經濟與環境方面的相關性，已建立一系列脫鉤指標系統。其比較基準可分為整體經濟與部門別之比較，其整體經濟脫鉤指標系統包括人均 CO_2 排放量、 CO_2 密集度、人均溫室氣體排放量、溫室氣體密集度等，部門別的脫鉤指標系統則包括能源部門

的 CO_2 密集度、電力部門的每度電 CO_2 排放量及住商部門之單位面積 CO_2 排放量等。為了能判別 OECD 脫鉤指標的變化情形，利用環境負荷指標數值(EP)與經濟驅動力指標數值(DF)的比值，在選定某年為基準年(指數為 100)，建立相關之脫鉤指數

$$DCI = \frac{(EP/DF)_t}{(EP/DF)_{t_0}} \quad \text{與脫鉤因子}$$

$$DCF = 1 - \frac{(EP/DF)_t}{(EP/DF)_{t_0}}, \quad \text{其中 } t_0 \text{ 與 } t$$

分別代表基準年與 t 年，再觀察脫鉤因子的變化情形，可判別出二者為絕對脫鉤(脫鉤因子為正，且值接近於 1)，或是相對脫鉤(脫鉤因子亦為正，但其值接近於 0)，亦或是無脫鉤現象(脫鉤因子為零或負值)(李堅明，2005)。

(二) Tapio 脫鉤指標

Tapio(2005) 利用脫鉤彈性(Decoupling Elasticity)的觀念，將脫鉤指標再細分為連結、脫鉤或負脫鉤三種狀態，再依據不同彈性值，再進一步細分為弱脫鉤、強脫鉤、弱負脫鉤、強負脫鉤、擴張負脫鉤、擴張連結、衰退脫鉤與衰退連結等八大分類。為了可明確看出變數間的脫鉤關係，Tapio 將脫鉤彈性係數 DE 定義為環境壓力 EP 變動率(%) 除以經濟驅動力 ED 變動率(%)，

$$DE = \frac{\left[\frac{(EP_t - EP_{t-1})}{EP_{t-1}} \right]}{\left[\frac{(ED_t - ED_{t-1})}{ED_{t-1}} \right]} \quad \text{。該指標}$$

之優點在於將環境壓力指標與經濟驅動力的各種可能組合給予合理定位。本研究則是使用 Tapio 脫鉤彈性係數，探討能源消費、 CO_2 排放與 GDP 之關係。

四、資料來源與處理

由於能源資料及經濟資料對產業部門的分類不一致，因此本研究參考行政院主計處(2009)所編制之「中華民國行業標準分類」，將產業關聯表的分類合併成 35 個部門，其中石油化學產業共含化學材料製造業、化學製品製造業、油氣煉製業、橡



膠及塑膠製品業等 4 個產業。

(一)產業經濟資料

主要來自行政院主計處(1993, 1998, 2003, 2008, 2010)所編制之「台灣地區產業關聯表」中「生產者價格交易表」及「國產品交易表」, 本研究引用之產業關聯表包括 1991 與 1994 年之 150 部門、1996 與 1999 年之 160 部門、2001 年之 162 部門以及 2004 年 166 部門。

(二)能源投入資料

本研究中所引用之能源投入資料主要來自經濟部能委會(2010)所編印之 1982 至 2008 年「台灣能源平衡表(新版)」中之「熱值單位」部份, 並依石油化學產業 4 個產業進一步加以合併分析。

(三)CO₂ 排放資料

本研究係依能源平衡表(2010), 以 IPCC 法推估國內石油化學產業民國 71 至 97 年間的 CO₂ 排放量 = $\sum_k \{[(\text{能源使用量 } k \times \text{碳排放係數}) \times (1 - \text{碳固定量 } k)] \times \text{碳氧化率 } K \times 44 / 12\}$ 。其中, K 表示燃料種類, 包括自產煤、進口燃料煤、燃料油、天然氣等共二十餘種燃料。

參、結果與討論

一、產業關聯效果

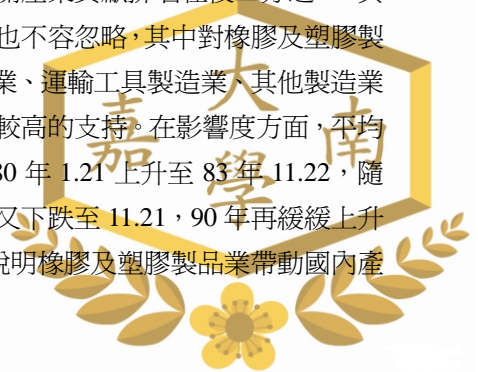
(一)化學材料製造業：80 年向前關聯效果為 6.71, 隨後逐年下跌, 至 90 年降至 6.44, 而 93 年起開始上升, 至 95 年時提升至 9.73, 歷年來感應度介於 2.59~3.18 之間變化, 位居 35 個產業中排序第 1、2, 顯示其支持下游相關產業發展扮演相當重要的角色, 其支持的產業主要是化學材料製造業、橡膠及塑膠製品業、紡織及成衣業及化學製品製造業。向後關聯效果由 80 年 3.21 逐漸下滑至 85 年 3.13, 降低了 2.5%, 其影響度均高於平均值, 顯示化學材料製造業對於帶動國內上游相關產業之發展及支持下游相關產業之重要, 其帶動的產業主要是化學材料製造業、油氣煉製業、電力供應業、批發及零售貿易業。整體而言, 從總關聯效果來看, 化學材料製造業位居 1、2 名, 說明化學材料製造業的重要性, 對我國經濟成長具有高度的貢獻, 也顯示

化學材料製造業對國內經濟貢獻在石油化學產業五個產業最高。

(二)化學製品製造業：80 年至 90 年間歷年來向前關聯效果有下跌趨勢, 由 2.25 降至 2.16, 平均感應度約在 0.88 左右, 可見塑膠製品業在 80 年至 95 年間, 對支持相關產業發展之效果低於整體產業平均值, 主要支持相關產業為化學製品製造業、造紙業、印刷業及金屬製品製造業等。就影響度而言, 歷年來均保持在 35 個產業平均值以上, 表示對帶動相關產業的發展具有重要貢獻, 可知我國化學製品製造業對下游相關產業的帶動與影響力大多維持於一定地位, 主要帶動之產業有化學製品製造業、化學材料製造業、批發及零售貿易業等。就總關聯效果來看, 在整體產業 80 年排序第 14, 95 年排序第 10, 中間有下跌情形而近期有上升情形, 但是其變動效果並不大。

(三)油氣煉製業：歷年來的向前關聯效果在 2.99 至 6.66 之間, 而感應度介於 1.25 至 2.16 之間, 遠高於整體產業平均水準, 在 35 個產業排名第 3~8 名, 可見油氣煉製業對支持上游相關產業發展的貢獻僅低於化學製品製造業, 主要支持產業有油氣煉製業、燃氣及自來水業、路上運輸及化學材料製造業等; 至於向後關聯效果歷年來維持在 2.06~3.39 之間, 其影響度除了 95 年外, 其餘約在 0.9 左右, 顯然油氣煉製業對帶動下游相關產業發展之影響性也不大, 主要帶動之產業為油氣煉製業、電力供應業、其他服務業。整體而言, 油氣煉製業的向前關聯效果比向後關聯效果, 所影響之產業要大, 對於帶動整體產業而言, 效果較化學材料製造業小, 但又大於化學製品製造業及橡膠及塑膠製品業, 為屬於中間影響產業。

(四)橡膠及塑膠製品業：80 年至 95 年的向前關聯效果在 1.93~2.27 之間變動, 其感應度平均值低於 1.0, 排序介於 13~20 間, 表示在 35 個產業裡, 其支持國內下游相關產業貢獻排名在後三分之一, 其影響雖然不大但也不容忽略, 其中對橡膠及塑膠製品業、皮革製造業、運輸工具製造業、其他製造業等四個產業具有較高的支持。在影響度方面, 平均值高於 1.0, 從 80 年 1.21 上升至 83 年 11.22, 隨後 85 年及 88 年又下跌至 11.21, 90 年再緩緩上升至 95 年 1.32, 說明橡膠及塑膠製品業帶動國內產



業發展，佔有越來越重要的地位，主要帶動的產業橡膠及塑膠製品業、化學材料製造業、批發及零售貿易業等。整體而言，橡膠及塑膠製品業對國家之經濟發展是佔為重要之產業，在 35 個產業由 80 年排序 11，85 年時有下降至 21，然而至 95 年又回到排序 11。

二、能源消費量

72 年至 91 年的能源消費量以化學材料製造業最多，消費量由 71 年 5.30 百萬 $\times 10^7$ kcal 上升至 97 年 27.36 百萬 $\times 10^7$ kcal，共成長了 5.16 倍，年成長率 8.15%，相當驚人。其次油氣煉製業，71 年消費量 1.58 百萬 $\times 10^7$ kcal 上升至 97 年 2.61 百萬 $\times 10^7$ kcal，成長了 2.09 倍，年成長率 1.95%。第三名橡膠及塑膠製品業，71 年消費量 0.55 百萬 $\times 10^7$ kcal 上升至 97 年 0.73 百萬 $\times 10^7$ kcal，成長了 1.33 倍，年成長率 1.05%，化學製品製造業由 71 年消費量 0.10 百萬 $\times 10^7$ kcal 至 97 年 0.44 百萬 $\times 10^7$ kcal，成長了 4.4 倍，年成長率 6.04%。整體而言，在 26 年期間石油化學產業的能源消費量由 71 年 5.30 百萬 $\times 10^7$ kcal 至 97 年 27.36 百萬 $\times 10^7$ kcal，共成長了 5.16 倍，年成長率為 6.51%。

三、CO₂排放量

71 年至 97 年以排放量來說明，其中化學材料製造業排放量最多，成長也最為驚人，由 71 年 4.39 百萬公噸快速上升至 97 年 36.45 百萬公噸，一共成長了 8.30 倍，年成長率 8.48%。其次油氣煉製業，由 71 年排放 2.87 百萬公噸上升至 97 年 5.25 百萬公噸，共成長了 0.78 倍，年成長率 2.35%。第三名橡膠及塑膠製品業，71 年排放量 2.00 百萬公噸上升至 97 年 4.76 百萬公噸，成長了 2.38 倍，年成長率 3.39%，化學製品製造業 71 年排放量 0.44 百萬公噸上升至 97 年 2.44 百萬公噸，成長了 5.55 倍，年成長率 6.77%。以整體而言，在 26 年期間石油化學產業的 CO₂ 排放量由 71 年 9.71 百萬公噸上升至 97 年 48.89 百萬公噸，年成長率為 6.42%。以 97 年為例，石油化學產業 CO₂ 排放量共佔整體產業的 18.10%，五個產業合計超過六分之一強，可見其 CO₂ 排放量也相當可觀。

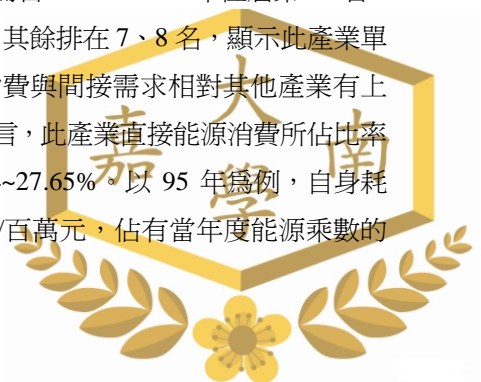
四、能源乘數分析

(一)化學材料製造業：80 年至 95 年化學材料製造業能源乘數介於 20.36~26.27 $\times 10^7$ kcal/百萬元之間，歷年來上下變動幅度不大，但排名卻有上升情形，說明此產業及帶動產業的能源節約效率不如其他產業。從直接效果來看，從 80 年 62.44% 下降至 95 年 58.51%，表示此產業的能源消費有改善情形。就間接效果而言，歷年來均在四成上下，明顯地化學材料製造業向前、後關聯效果頗高，以 95 年為例，自身耗能 12.00 $\times 10^7$ kcal/百萬元，佔有當年度能源乘數的 58.51%，其他能源乘數較大者為陸上運輸業、水泥業、煤製品業及航空運輸業。

(二)化學製品製造業：80 年至 95 年化學製品製造業能源乘數介於 5.32~6.26 $\times 10^7$ kcal/百萬元之間，歷年來上下變動幅度不大，排名亦也相同，大多維持於 11~13 間，說明此產業及帶動產業的能源節約效率皆無改變。從直接效果來看，80 年 33.13% 下降至 95 年 25.03%，表示此產業的能源消費有改善情形。就間接效果而言，歷年來均在六至七成間，明顯地化學材料製造業向前關聯效果頗高，以 95 年為例，自身耗能 1.47 $\times 10^7$ kcal/百萬元，佔有當年度能源乘數的 25.03%。

(三)油氣煉製業：80 年至 95 年間能源乘數介於 3.64~14.91 $\times 10^7$ kcal/百萬元之間，可見本身能源消費與帶動相關產業能源使用頗大，就排序而言，80~88 年間排名位於 6~8 間，隨後下降至 11~13 名，而 95 年降至 18 名，顯示此產業已由高耗能產業轉向低耗能產業。而能源之耗用，歷年來自身佔有 50% 以上，以 95 年為例，自身耗能 3.08 $\times 10^7$ kcal/百萬元，佔有當年度能源乘數的 84.46%。

(四)橡膠及塑膠製品業：80 年至 95 年能源乘數介於 8.13~29.59 $\times 10^7$ kcal/百萬元之間，歷年來上下變化不大。就排序而言，80、83、88 年位居第 11 名，85 年位居 2 名，其餘排在 7、8 名，顯示此產業單位產值之能源消費與間接需求相對其他產業有上升趨勢。整體而言，此產業直接能源消費所佔比率不高，介於 6.64~27.65%。以 95 年為例，自身耗能 1.61 $\times 10^7$ kcal/百萬元，佔有當年度能源乘數的 18.36%。



五、CO₂乘數分析

(一)化學材料製造業：80年至95年除了95年為78.64公噸/百萬元比較高外，其餘80年至93年之間，介於44.76公噸/百萬元至54.92公噸/百萬元之間，變化很小，表示這十四年期間，化學材料製造業能源消費量非常穩定。88年則因雲林麥寮六輕成立，帶動了石化原料業蓬勃發展，使CO₂乘數快速成長達到54.92公噸/百萬元，歷年來在35個產業中排序由80年第5名躍升為95年第4名。從直接排放係數數據，顯示石化原料業的能源密集度在88年有惡化趨勢，能源消費量與CO₂排放量互為因果，極為明顯。由於此產業向後關聯度歷年來有逐漸下降趨勢，使得間接效果方面，亦有有逐漸上揚趨勢，故影響此產業CO₂直接排放係數逐漸下降，顯示出近年來對於CO₂排放有改善趨勢。

(二)化學製品製造業：除了95年為27.29公噸/百萬元外，其餘80年至93年間介於20.82公噸/百萬元至23.04公噸/百萬元之間，歷年變化不大，表示化學製品製造業能源消費量穩定。就直接效果觀察而言，化學製品製造業自身CO₂排放有下降情形發生，80年佔有46.72%，95年到31.86%在在說明化學製品製造業的能源密集度有明顯改善情形。

(三)油氣煉製業：上下起伏變化很大，在民國80年為25.00公噸/百萬元，在35個產業排名第12名，85年上升為33.20公噸/百萬元，排序9，88年下降為20.83公噸/百萬元，90年、93年、95年分別為15.12、11.28及12.57公噸/百萬元，95年排序下降至第26名。而直接排放係數，80年22.34公噸/百萬元，95年9.73公噸/百萬元，顯示塑膠原料業的能源密集度有惡化傾向情形。在間接效果方面，顯示上游相關產業的關聯度80年至85年有上升趨勢，但88年受石化原料業快速成長影響，使得總排放強度上揚速率頗快。

(四)橡膠及塑膠製品業：歷年來CO₂乘數介於25.52~81.91公噸/百萬元上下變動，而以85、95年變化較大，其餘各年變化反而較小，顯示該產業的發展不甚穩定。從直接效果與間接效果觀察，橡膠製品業自身所引發CO₂排放比率有逐漸下滑趨

勢，顯示該產業改善能源效率逐漸進步；相對地，由上游相關產業所引發CO₂排放比率有往上揚情形，也顯示該產業對支持相關產業之發展，有越來越大的貢獻。

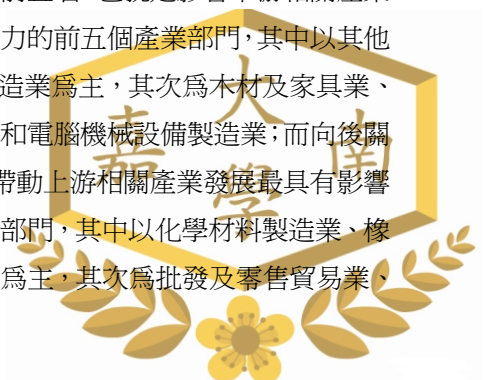
六、產業關聯

(一)化學材料製造業：80年至95年是影響下游相關產業發展最具有影響力的前五個產業部門，其中以橡膠及塑膠製品業、紡織及成衣業為主，其次為化學製品製造業、其他服務業和皮革製品業；而向後關聯前五名，亦指帶動上游相關產業發展最具有影響力的前五個產業部門，其中以油氣煉製業、電力供應業為主，其次為批發及零售貿易業、其他服務業和金融保險及不動產業。

(二)化學製品製造業：80年至95年化學製品製造業向前關聯前五名，也就是影響下游相關產業發展最具有影響力的前五個產業部門，其中以橡膠及塑膠製品業、印刷業為主，其次為造紙業、木材及家具業和金屬製品製造業；而向後關聯前五名，亦指帶動上游相關產業發展最具有影響力的前五個產業部門，其中以化學材料製造業、其他服務業為主，其次為批發及零售貿易業、金融保險及不動產業和油氣煉製業。

(三)油氣煉製業：80年至95年油氣煉製業向前關聯前五名，也就是影響下游相關產業發展最具有影響力的前五個產業部門，其中以陸上運輸業、燃氣及自來水業為主，其次為礦業與土石採取業、電力供應業和航空運輸業；而向後關聯前五名，亦指帶動上游相關產業發展最具有影響力的前五個產業部門，其中以電力供應業、化學材料製造業為主，其次為礦業與土石採取業、其他服務業和批發及零售貿易業。

(四)橡膠及塑膠製品業：80年至95年橡膠及塑膠製品業向前關聯前五名，也就是影響下游相關產業發展最具有影響力的前五個產業部門，其中以其他製造業、皮革製品業為主，其次為木材及家具業、運輸工具製造業和電腦機械設備製造業；而向後關聯前五名，亦指帶動上游相關產業發展最具有影響力的前五個產業部門，其中以化學材料製造業、橡膠及塑膠製品業為主，其次為批發及零售貿易業，



金融保險及不動產業和其他服務業。

七、OECD 脫鉤指標

(一)化學材料製造業：歷年來整體脫鉤情況仍然保持不錯狀況；95 年後其脫鉤狀態皆為無脫鉤狀態，其原因為經濟成長率低於能源消費成長率，導致脫鉤因子呈負值，顯示近三年來化學材料製造業其能源使用效益有惡化趨勢。

(二)化學製品製造業：歷年來整體脫鉤情況，除每間隔 2 至 3 年，其脫鉤狀態有轉為惡化情形，其原因為經濟成長率低於能源消費成長率，導致脫鉤因子呈負值，顯示化學製品製造業其能源使用效益並無明顯改善情況。

(三)油氣煉製業：歷年來整體脫鉤狀態，除 72 至 75 年間，其脫鉤狀態有轉為惡化情形，其原因為經濟成長率低於能源消費成長率，導致脫鉤因子呈負值，但大部分皆都維持相對脫鉤狀態，顯示出油氣煉製業能源使用效益維持一定水準。

(四)橡膠及塑膠製品業：歷年來整體脫鉤狀態，除 79 至 82、86 至 89、93 至 95 年間，其脫鉤狀態有轉為惡化情形，其原因為經濟成長率低於能源消費成長率，導致脫鉤因子呈負值，但大部分皆都維持相對脫鉤狀態，顯示出橡膠及塑膠製品業能源使用效益漸漸有惡化趨勢發生。

八、Tapio 脫鉤指標

(一)化學材料製造業：學材料製造業歷年能源消費與 GDP 之脫鉤脫鉤彈性分佈趨勢，除了大部份都落在擴張連結、弱脫鉤、擴張負脫鉤及強脫鉤狀態，少數幾年脫鉤彈性落在弱負脫鉤和衰退脫鉤狀態。大部分脫鉤狀態皆位於標準偏差值，其餘歷年脫鉤彈性數值皆位於該圓圈外，則顯示歷年脫鉤彈性分佈趨勢，處於表現較差之情況。

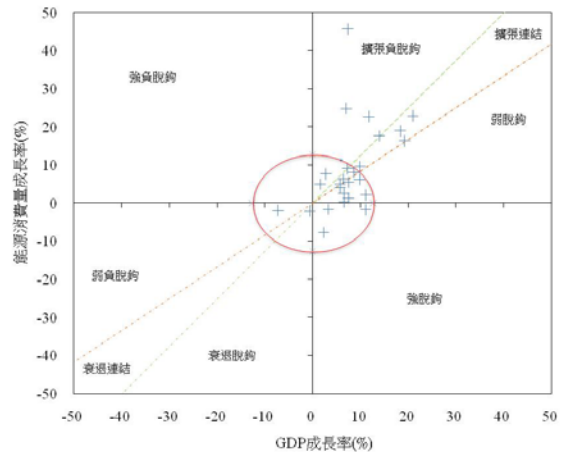


圖 1 化學材料製造業脫鉤指標分佈圖

(二)化學製品製造業：能源消費量成長率的範圍介於 -16.59~36.39 間；GDP 成長率範圍介於 -8.66~29.53 間，脫鉤彈性係數則介於 -4.73~4.06 間，脫鉤狀態則分佈於擴張負脫鉤、擴張連結、弱脫鉤、強脫鉤、衰退脫鉤、衰退連結和弱負脫鉤等七種脫鉤狀態。除了大部份都落在擴張連結、弱脫鉤及擴張負脫鉤狀態，少數幾年脫鉤彈性落在強脫鉤、弱負脫鉤、衰退連結和衰退脫鉤狀態。約三分之二脫鉤狀態皆位於標準偏差值，其餘歷年脫鉤彈性數值皆位於該圓圈外，則顯示該年脫鉤彈性分佈趨勢，處於表現較差之情況。

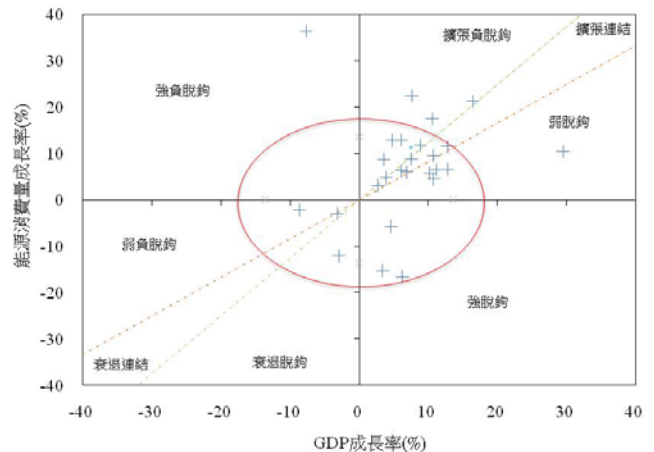


圖 2 化學製品製造業脫鉤指標分佈圖

(三)油氣煉製業：能源消費量成長率的範圍介於 -12.07~14.48 間；GDP 成長率範圍介於 -11.45~15.19 間，脫鉤彈性係數則介於 -10.32~3.58 間，脫鉤狀態則分佈於擴張負脫鉤、擴張連結、弱脫鉤、強脫鉤、衰退脫鉤及強負脫鉤等六種脫鉤狀態。歷年能源消費與 GDP 之脫鉤脫鉤彈性分佈趨勢，除了大



部份都落在擴張連結、弱脫鉤、擴張負脫鉤及強脫鉤狀態，少數幾年脫鉤彈性落在強負脫鉤及衰退脫鉤狀態。約二分之一脫鉤狀態皆位於標準偏差值，則顯示該年脫鉤彈性分佈趨勢，處於表現較差之情況。

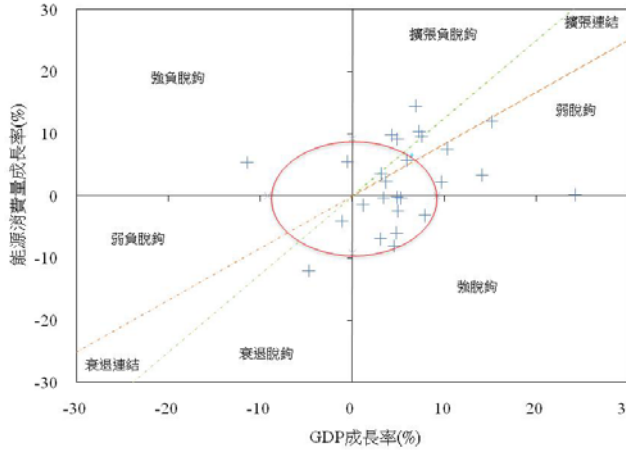


圖 3 油氣煉製業脫鉤指標分佈圖

(四)橡膠及塑膠製品業：能源消費量成長率的範圍介於-40.65~51.37 間；GDP 成長率範圍介於-51.81~49.10 間，脫鉤彈性係數則介於-13.32~4.21 間，脫鉤狀態則分佈於擴張負脫鉤、擴張連結、弱脫鉤、強脫鉤、弱負脫鉤及強負脫鉤等六種脫鉤狀態。除了大部份都落在擴張連結、弱脫鉤、擴張負脫鉤及強脫鉤狀態，少數幾年脫鉤彈性落在弱負脫鉤、強負脫鉤、衰退脫鉤狀態。約七分之六脫鉤狀態皆位於標準偏差值，則顯示該年脫鉤彈性分佈趨勢，處於表現較差之情況。

肆、結論與建議

一、產業關聯效果：以化學材料製造業、化學製品製造業及油氣煉製業占整體總關聯效果較大，歷年來化學材料製造業總關聯程度在全國 35 個產業排名第 1 或第 2 名，顯示該產業帶動及支持其他產業發展貢獻頗大。化學製品製造業歷年來向前關聯度與向後關聯度排名相近，顯示其帶動上游、支持下游產業發展影響力相同。油氣煉製業 80 及 88 至 95 年總關聯效果維持在 3 至 7 名，83 年略降至第 13，85 年更下降至 20，顯示其貢獻上下游相關產業發展也不容忽視。橡膠及塑膠製品製造業除 85 年間，總關聯度排序在 21 名，其餘各年維持於 11 至 15 名，顯示支持其他產業發展佔整體產業中

間部分。

二、能源乘數分析：由能源乘數分析結果顯示化學材料製造業、油氣煉製業之能源乘數自 80 至 95 年一直高居整體產業中排序前 10 名，歷年來平均值分別為 22.78×107kcal/百萬元及 11.46×107kcal/百萬元，在 35 個產業排名第 3 及第 8 名，說明這三者均為典型的高耗能產業，而化學製品製造業之能源乘數歷年來平均值為 5.88×107kcal/百萬元，在整體產業分居 12 名，五個產業共佔 35 產業能源乘數接近四分之一弱，可見石化產業耗用能源非常可觀。

三、CO₂ 乘數分析：80 年至 95 年來化學材料製造業、化學製品製造業、油氣煉製業、橡膠及塑膠製品製造業之平均值分別為 52.46、22.4、20.90、36.55 公噸/百萬元，佔 35 個整體產業約七分之一強，顯示石油化學產業供獻 CO₂ 排放量頗大。

四、脫鉤指標分析：OECD 脫鉤指標，石油化學產業歷年來無脫鉤狀態與相對脫鉤狀態所佔比率約為 2 比 3，無脫鉤狀態所佔比例超過二分之一，結果顯示石油化學產業仍為高耗能且高污染之產業，近幾年脫鉤指標呈現惡化趨勢，顯示其能源使用效益並無明顯改善。Tapio 脫鉤指標，石油化學產業歷年來脫鉤彈性變化變動範圍較大，分佈區域約為六種狀態，其中擴張負脫鉤、擴張連結、弱脫鉤及強脫鉤出現比率較多。整體而言，脫鉤彈性質其分佈大多還是落於標準偏差值外，結果顯示仍屬於不理想狀態，應針對其標準偏差值外優先進行改善。

由上可知能源使用量多及污染密集度較高產業，未來則以供應國內需求及提高競爭力為基本原則，不宜大幅增加生產規模，產業需要加強研發能力，選擇優良產品開發，提高產業的關聯效果。此外，持續改善能源密集度、以提高產品附加價值，減少二氧化碳排放量及相關能源污染物，為石化工業未來永續發展之關鍵，此外，可由政府機關給予相關能源及污染之資訊諮詢及技術服務。對於新興產業的發展則以鼓勵高附加價值、低耗能、低污染及高產業關聯效果為前提。



參考文獻

1. 行政院(2009), 98 年全國能源會議規劃報告, 經濟部能源局。
2. 薛仲男(2005), 我國石化業現況與展望, 產經資訊, 25, 39-46。
3. 洪春守(2004), 臺灣地區石油化學工業發展趨勢與二氧化碳排放關聯分析, 碩士論文, 嘉南藥理科技大學。
4. 林素貞、張子見、李正豐、張翊峰、王丹平(1997), 產業經濟、能源與環境效應關聯分析及評估(I), 國科會研究計劃, NSC 85-2212-E006-106。
5. 鄭尹菀(2001), 台灣地區塑膠製品業產業經濟與二氧化碳排放關聯分析, 碩士論文, 國立成功大學環境工程學系。
6. OECD(2002), Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth, OECD, Paris.
7. Tapio, P.(2005), Towards a Theory of Decoupling: Degrees of Decoupling in the EU and the Case of Road Traffic in Finland between 1970 and 2001, *Transport Policy*, Vol.12, 137-151.
8. 李堅明、孫一菱、莊敏芳(2005), 台灣二氧化碳排放脫鉤指標建立與評估, 兩岸環境保護與永續發展研討會, 台北。
9. 行政院主計處(2009), 中華民國行業標準分類系統表, 行政院主計處, 台北。
10. 行政院主計處(1993), 1989 年台灣地區產業關聯表(123 部門), 行政院主計處, 台北。
11. 行政院主計處(1998), 1994 年台灣地區產業關聯表(150 部門), 行政院主計處, 台北。
12. 行政院主計處(2003), 1999 年台灣地區產業關聯表(160 部門), 行政院主計處, 台北。
13. 行政院主計處(2008), 2004 年台灣地區產業關聯表(161 部門), 行政院主計處, 台北。
14. 行政院主計處(2010), 2006 年台灣地區產業關聯表(166 部門), 行政院主計處, 台北。
15. 經濟部能源委員會(2010), 台灣地區能源平衡表-熱值單位(新版), 經濟部能源委員會, 台北。



Relational Analysis between Energy Consumption and CO₂ Emission of Petroleum Chemical Industry in Taiwan

Yih Feng Chang^{1*} Suen Zone Lee² Chia Feng Chan³ Zhi Bin Wang²

¹ Department of Hot Spring Industry,

² Department of Environmental Engineering and Science,

³ Research and Development Center of Ecological Engineering and Technology,
Chia-Nan University of Pharmacy and Science,
Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.

Abstract

This study applied input-output analysis, multiplier analysis, energy structural analysis and decoupling analysis to analyze the multiplier effect of CO₂ emission in petroleum chemical industry from 1982 to 2008. The object is to study and analyze the industrial economy, energy efficiency and the emission identity of CO₂ in the Petroleum chemical industry. The study is concluded by executing the decoupling analysis to analyze the relationship between the energy consumption and GDP.

Based on the input-output analysis, high relative effects were confirmed in chemical material manufacturing, chemical products manufacturing and oil & gas refining industry. This indicated that these industries contributed a lot more significantly regarding economic and supporting roles for the whole industry system. The energy multiplier analysis showed that the average values of chemical material manufacturing and rubber & plastic products manufacturing were 22.78×10^7 kcal/million NT and 11.46×10^7 kcal/million NT, respectively. These were located at the front ranking of whole industries belonging to high energy consuming industries. The carbon dioxide emission in multipliers analysis showed that the average value of the chemical material manufacturing, chemical products manufacturing, oil & gas refining industry, rubber & plastic products manufacturing were 52.46 ton/million NT, 22.40 ton/million NT, 20.90 ton/million NT, and 36.55 ton/million NT, respectively. Furthermore, decoupling analysis illustrated that the petroleum chemical industry were highly energy consuming and produces high level of pollutant. This industry tends to deteriorate gradually which indicates that the energy efficiency of petroleum chemical industry is unlikely to improve. Therefore, petroleum chemical industries are required to deeply devote their effort in conduction CO₂ emission-reduction policy and use renewable energy to increase efficient energy usage. Finally, the result of this research could contribute as the guidance for the sustainable development of petroleum chemical industry in their further applications.

Key words: Petroleum Chemical Industry, Input-output Analysis, Multiplier Analysis, Decoupling Analysis

*Correspondence: Department of Hot Spring Industry, Chia-Nan University of Pharmacy and Science,
Tainan, Taiwan 71710, R.O.C.
Tel: +886-6-2664911 ext. 6151
Fax: +886-6-2662101
E-mail: yihfeng@mail.chna.edu.tw

