

臺灣火力發電健康衝擊外部成本分析

廖孟儀^{1*} 馬鴻文² 李孟穎³ 洪明龍⁴ 李沛濠⁴

摘要

在歐盟能源外部性(ExternE)系列計畫中的CASES計畫顯示，火力發電的健康衝擊為能源外部成本之主要來源，因此本研究針對火力發電階段進行健康衝擊外部成本評估，在方法學上採用衝擊路徑法估算火力發電之健康衝擊與外部成本，評估的污染物包括PM₁₀、SO₂、NO_x、Dioxin、Cd、As、Cr(VI)與Ni等，健康衝擊考量之疾病類別包含慢性致死、限制活動天數(含工作損失天數)、慢性支氣管炎、支氣管擴張、下呼吸道、充血性心臟衰竭、心血管疾病-住院診療、呼吸系統-住院診療與致癌等。比較各機組之健康衝擊單位外部成本，以燃油機組所造成之單位健康衝擊外部成本最高，其次為燃煤機組，再其次為燃氣機組。在污染物的貢獻方面，燃煤機組與燃氣機組以NO_x所造成的外部成本貢獻最大，燃油機組則以SO₂所造成的外部成本貢獻最大；相對於傳統空氣污染物，戴奧辛與重金屬於各機組之外部成本貢獻非常小。本研究並以2025年機組更新後之單位外部成本與2014年發電基準比較，以更新後之燃氣機組為例，研究結果顯示，燃氣機組隨著機組更新發電效率之提升確實能有效地降低外部成本。

關鍵詞：外部成本、健康衝擊、火力發電、衝擊路徑法

1. 前言

環境外部成本為進行相關決策時之重要資訊。自1991年起，歐盟致力於分析各類能源型態的外部成本，其中包含健康衝擊貨幣化之資訊。其研究成果除用於檢視各國電力結構外部成本逐年變化外，亦應用至德國再生能源收購制度的成本效益分析，以及空污排放總量指令的成本效益分析、大型燃燒源指令、歐盟抗酸化策略、各類污染物的管制標準制定等。除了歐盟，亦有克羅埃西亞、泰國、巴西、希臘等研究計算其國家電廠造成之其外部成本。外部成本有諸多用途，根據歐盟 Externalities of

Energy (簡稱ExternE)計畫(ExternE, 2015)針對外部成本之應用提出的五個方向，將其應用於能源方面有以下五點：

- (1) 外部成本可協助做投資相關決策，例如電廠應使用那些技術、或是在何地點蓋電廠較為妥當。
- (2) 協助電廠做技術評估，找出一個技術主要的弱點與優點，透過外部成本之分析可協助我們回答此技術是否需要改善、如何改善，是否需針對此技術進行補貼或針對其相關研究給予支持等問題。
- (3) 外部成本可納入發電的成本與電價訂定的考量，以及協助決定是否徵稅，使消費者商品

¹ 國立臺灣大學環境工程學研究所 博士後研究員

² 國立臺灣大學環境工程學研究所 教授兼所長

³ 財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所 副研究員

⁴ 工研院綠能所 資深研究員

*通訊作者, 電話: 02-33664396, E-mail: lmi@mail2000.com.tw

收到日期: 2015年11月30日

修正日期: 2016年03月25日

接受日期: 2016年04月25日

價格能夠反應其真實成本。

- (4) 協助相關政策措施進行成本效益分析，或是用以檢視已實施的政策措施是否符合效益。當計算出的效益大於成本，該政策措施才有利於社會福祉。
- (5) 可用來比較不同國家相同能源類型的外部成本，或是比較相同能源類型於不同年份的情形，以找出可以改善的空間。

綜合以上所述，外部成本實為提供電力部門決策者於發展降低排放策略及訂定環境與能源政策時一個重要的指標。因此，針對我國進行環境之外部成本分析有相當的必要性。由於歐盟ExternE系列計畫中的CASES (Cost Assessment of Sustainable Energy Systems)計畫顯示火力發電的健康衝擊對能源系統外部成本有相當大之貢獻，而國內造成健康衝擊影響主要也是在火力發電的階段，因此本研究旨在分析火力發電階段之健康衝擊外部成本。

2. 文獻回顧

2.1 國外能源系統外部成本分析

鑑於將環境成本內部化至既有經濟體系為邁向永續發展的重要步驟，歐盟自1991年起即邀集橫跨20多國50個研究單位，參與能源外部性(ExternE)研究計畫，量化不同能源型態其整體能源鏈所衍生的傳統空氣污染物、噪音、工安意外風險等衝擊，並運用各類環境評價方法估算其外部成本。於1999年末，完成各類能源類別的外部成本推估以及於歐盟十五國之應用後，其陸續針對方法學的不足之處，提出能源技術外部性評估之新興因素 (New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies, NewExt) (European Commission, 2003)。2006年起歐盟並針對新興能源技術與社會準則之不足，提出永續導向之新能源外部性分析發展計畫(New Energy Externalities Developments for Sustainability, NEEDS)加以修

正。此工具歷經十餘年的研發，廣泛應用在能源、交通、空氣污染物管制等政策研擬上 (NEEDS, 2009)。

於歐盟相關研究中，涵蓋的污染物包含傳統空氣污染物、重金屬、有機物與放射性物質，並將上列污染物之人體健康、生態品質、氣候變遷、財物損失與生活舒適度之衝擊加以量化；採用衝擊路徑法，以由下而上的方式進行損害成本的估算，從污染排放源開始，循著污染物的擴散流布，藉由劑量反應分析評估對受體的影響程度，最後利用各種貨幣化方式將不同的環境損害轉為得以加總的方式，整合為貨幣化的觀念。ExternE研究團隊依照上述方法估算出各類能源型態之外部成本。評估結果發現，傳統火力電廠的外部成本遠高於其他類別。而再生能源中，若將材料製造階段納入時，太陽光電之外部成本較風力為高。核電的外部成本部分，雖與再生能源相當，但ExternE中未能將用過核燃料處理過程納入評估，可能會低估核電外部成本(Krewitt & Nitschi, 2003)。

「永續導向之新能源外部性分析發展計畫」於2004年至2009年的長期計畫報告中 (NEEDS, 2009)，量化各種發電技術操作所產生的外部成本。NEEDS在研究中使用衝擊路徑法分析外部成本，利用ExternE計畫中的擴散模型，加上暴露反應關係，乘以貨幣化係數呈現其外部成本。評估的發電技術種類有：先進化石燃料(Advanced fossil fuels)、燃料電池(Fuel cells)、風力(Offshore wind)、太陽能光電(Photovoltaic)、聚光太陽能熱發電(Concentrating solar thermal power)、生質能(Biomass)、核能(Nuclear)、海洋能(Ocean energy)及氫電廠(Hydrogen)。先進化石燃料中的電廠種類包括：燃煤電廠(lignite power plant 及 hard coal power plant)及天然氣電廠(natural gas combined cycle power plant)；燃料電池中的電廠種類包括：天然氣燃料電池(fuel cell natural gas)及木氣燃料電池(fuel cell wood gas)。衝擊的類別包含人體健康影響、生物多樣性、莊稼

損失、物質破壞及溫室氣體。

ExternE系列計畫中的CASES (Cost Assessment of Sustainable Energy Systems, 2008) 計畫提供了各能源鏈單位外部成本分析的詳細資訊。此計畫以國家層級計算並彙整歐盟25國與部分非歐盟國家能源生產的外部成本與內部成本。除了能源結構的現況，其亦評估2020年與2030年情境預測下的外部成本。此計畫提供外部成本與內部成本的整體資訊，以利相關政策選項之評估，期使能源使用效率能夠藉此提升，同時也公布各個國家火力發電各類污染物之外部成本(單位: \$/ton)，提供能源供應端與消費端更多資訊以利決策。

2.2 國內能源系統外部成本分析

國內空氣污染物外部成本研究則有台灣電力公司委託中研院經濟研究所梁啟源教授於2004年進行「臺灣空氣污染之社會外部成本與台電公司空污防治成本效益分析」研究(台灣電力公司, 2004)，研究中定義社會外部成本涵蓋人體健康成本、景觀與感覺、清潔費用、農業生產及酸雨防制等五種類型之成本，該研究主要針對計算空氣污染物所造成的健康成本與社會成本進行評估。主要計算方法是以中研院與美國Resource for the future調查資料為基礎，利用Logistic模型估計空氣污染的邊際患病機率，同時並推估為減少呼吸系統生病一天之願付代價，依此方法計算之健康成本為PM₁₀每噸1,028元、NO_x每噸 1,607元、SO_x每噸10,231元。該研究依據歐洲相關研究評估各類空氣污染物之單位社會成本為其單位健康成本的18.2757倍，研究並依據臺灣實際情況調整比例，進而推估臺灣地區空氣污染物單位社會成本為PM₁₀每噸88,212元，NO_x每噸為53,790元、SO_x為每噸45,919元。

有關能源系統的外部成本研究，主要是以台電公司委託臺灣綜合研究院進行『台電核能與火力發電廠外部成本與效益之研究』相關研究較為完整，不過該研究主要涵蓋燃煤電廠以

及核能發電兩種類型之外部成本(台灣電力公司, 2011a)，且僅止於國內發生之程序。其衝擊類別涵蓋健康成本、水污染成本、莊稼損失成本、氣候暖化成本以及儲煤與廢棄物成本。核電方面則是涵蓋正常運轉發電、核燃料國內運輸過程、運轉發電意外事故、運輸交通意外事故等輻射對人體健康成本以及經濟損失。而針對放射性廢料處理階段，該研究參採台電公司核後端處已隨電費徵收0.17元/度的放射性廢棄物處理費用，作為核廢料最終處理的數值。該研究之研究方法參考ExternE提出之評估方法，包含生命週期分析及衝擊路徑法，並以臺中火力電廠以及核能第二發電廠為案例進行評估。依據其評估結果，燃煤火力電廠的外部成本平均值約達每度0.537元，其中溫室氣體排放的影響佔外部成本比例高達94%以上。而核電方面，若未計入廢料處理階段，採用較保守之劑量反應函數時，其外部成本約達每度0.0164元，並以發生意外事故時的民眾健康成本佔比最高。

有關環境政策之社會成本效益評估方面，環保署於2011年委託中經院執行「我國環境政策與開發計畫之社會效益與成本評估」計畫(行政院環保署, 2011)，於該計畫所提出之參考手冊中分別針對『政策』與『開發計畫』兩層級，提出不同的環境外部性評估流程與環境外部成本評價方法之建議。行政院環保署亦於2012年委託中經院執行「環境影響評估與開發計畫的社會效益成本評估之應用及檢討分析」計畫(行政院環保署, 2012)，計畫主要目的在於探討成本效益分析在環境影響評估之應用，並參考國內開發計畫成本效益分析作業相關資料，研提路徑圖(roadmap)，並就國光案例進行數值計算。其於估計國光案例造成之健康衝擊時，採用疾病成本(the cost of illness, 簡稱COI)之方法計算之。疾病成本包含醫療支出與未工作損失。此外，該計畫之前期計畫依照永續能源政策結構與減碳行動為目標，納入再生能源發展條例與能源發展框架作為調整供給電力應

用於評估的流程，同時參考能源密集型產業(鋼鐵與石化)的政策環評調整電力需求。相較於2005年，2020年既定策略之外部成本增加約為2005年的11%，其外部成本不如增加之發電量高；而在2020年積極策略，其外部成本略低於2005年，研究顯示即使經濟成長導致發電量增高，但隨著新機組的加入與再生能源的投入仍可有效降低火力發電的環境外部成本。

3. 研究方法

依據歐盟ExternE系列計畫中的CASES計畫評估，在健康衝擊外部成本方面，火力發電的健康衝擊為能源外部成本之大宗，而國內造成健康衝擊影響主要也是在火力發電的階段，因此本研究針對火力發電階段進行健康衝擊外部成本評估。有關人體健康衝擊受體暴露的評價方法中，以衝擊路徑法(Impact Pathway Approach)可充分反應空氣污染物與人體健康衝擊間之關聯性，而近期歐盟於能源外部性分析以及OECD(經濟合作暨發展組織，Organization for Economic Co-operation and Development)進行傳統空氣污染物分析時，多採用此方法(Scapecchi, 2008)。本研究因此應用衝擊路徑法評估火力電廠發電階段，煙道排放污染物對鄰近居民的健康影響。以下簡述此方法之原理以及評估步驟。本計畫採用衝擊路徑法估算火力發電之健康衝擊與其貨幣化之量值。衝擊路徑法主要步驟可歸納於下列四點：

1. 排放：盤查或推估空氣污染源的排放量。
2. 擴散：運用空氣品質擴散模式，計算污染物在影響範圍內的濃度增減。
3. 衝擊：運用劑量反應函數，闡述受體在污染物暴露量的增減下，其所造成的衝擊(例如人體健康衝擊、各種疾病發生的增減)。
4. 環境外部成本評估：前項所評估之衝擊貨幣化或用其他方式(例如病例數)呈現。

本研究評估之對象為台電公司電力系統中之火力發電，2014年台電/電力系統火力發電約

為1655億度電，在民營電廠發電量的部分，由於台電統計年報欠缺民營電廠購電量之數據，因此民營電廠發電量資料是以民國100年台電統計年報中，2009~2011年民營電廠購電量之平均值計算各電廠比例，並以相同比例計算2014年各機組別民營電廠總發電量而得。台電/電力系統中火力發電主要分為燃煤、燃油與燃氣等三類機組發電，其中發電方式多以燃煤機組發電，佔比為52.7%；其次則為燃氣機組發電，佔比為43.8%；燃油機組發電之佔比為3.5%，整體發電量如表1所示，其中包含規劃中而仍未發電之電廠。

火力發電健康衝擊評估方法透過衝擊路徑法的概念，由下而上的方式進行健康衝擊估算，從污染排放源頭開始，利用大氣擴散模式求得濃度(本研究採用AERMOD大氣擴散模式。AERMOD: AMS/EPA (American Meteorological Society, AMS/United States Environmental Protection Agency, EPA) Regulatory Model)，循著污染物擴散流布，藉由劑量反應分析(dose-response)評估受體受影響程度，最後利用各種貨幣化方式將不同的環境損害加以整合。本研究評估的污染物包括PM₁₀、SO₂、NO_x、Dioxin、Cd、As、Cr(VI)與Ni等。健康衝擊考量之疾病類別包含慢性致死、限制活動天數(含工作損失天數)、慢性支氣管炎、支氣管擴張、下呼吸道、充血性心臟衰竭、心血管疾病-住院診療、呼吸系統-住院診療與致癌等。計算的概念為將各類電廠發電量，乘以電廠空氣污染物的排放係數，求得火力電廠空氣污染物之排放量後，再乘以AERMOD模式計算出之單位擴散濃度。由於一根煙囪所排放之空氣污染物會跨及多個縣市鄉鎮，故會再乘上各鄉鎮之人口密度，以及乘上劑量效應函數斜率因子，即可得到該煙囪對於臺灣各鄉鎮的健康衝擊，最後將健康衝擊乘上各疾病的貨幣化數值得到外部成本。以下針對個別步驟進行詳細說明。

表1 本研究評估之2014年臺灣火力發電廠及發電量

機組	電廠名稱	2014年毛發電量(MWh)	機組	電廠名稱	2014年毛發電量(MWh)
燃煤機組	燃煤汽力機：大林#1~2	0	燃氣機組	燃氣汽力機：大林#5~6	3,353,394
	燃煤汽力機：林口#1~2	2,743,574		燃氣複循環：大潭#1~5	24,721,148
	燃煤汽力機：臺中#1~10	44,971,669		燃氣複循環：南部#1~4	4,450,167
	燃煤汽力機：興達#1~4	16,452,011		燃氣複循環：通霄#1~6	10,672,934
	民營電廠：和平#1~2	9,379,425		燃氣複循環：興達#1~5	11,704,037
	民營電廠：麥寮#1~3	13,727,775		燃氣複循環：大潭#7~10	0
	燃煤汽力機：大林新#1~2	0		燃氣複循環：高原	0
	燃煤汽力機：林口新#1~3	0		燃氣複循環：通霄新#1~5	0
	燃煤汽力機：深澳新#1~2	0		民營電廠：新桃	2,436,035
燃油機組	燃油汽力機：大林#3~4	787,806	民營電廠：海湖#1~2	3,537,075	
	燃油汽力機：協和#1~4	4,945,238	民營電廠：國光	1,919,537	
	氣渦輪：林口#301, #302	2,764	民營電廠：嘉惠	2,240,318	
	氣渦輪：臺中#1~4	4,080	民營電廠：豐德	3,820,027	
			民營電廠：星彰	1,914,761	
			民營電廠：星元	1,709,848	

(資料來源：台灣電力公司，2012；台灣電力公司，2015；本研究彙整，2015)

3.1 排放

本研究以下列概念式估算各發電機組排放各項污染物。

火力電廠空氣污染物排放量(ton/yr) = 火力電廠發電量(kWh/yr) × 電力排放係數(ton/kWh)

各電廠之排放係數主要採用TEDS8.1版

(Taiwan Emission Data System, 國內全國性排放清冊)之排放量(基準年2010年)與2010年發電量求得(表2)。而TEDS 8.1版未包含之污染物排放係數則採用國內外文獻之參數，其中超超臨界燃煤火力機組之污染物排放係數乃參考台灣電力公司大林電廠更新改建計畫環境影響說明書(台灣電力公司，2011b)與美國EPA Factor Information Retrieval (簡稱FIRE)資料庫中之相

表2 各機組之排放係數

機組	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	Cd	As	CrVI	Ni	Dioxin
傳統燃煤機組	3.86E-08	3.56E-07	5.44E-07	3.34E-12	2.36E-11	1.45E-11	5.15E-11	6.35E-17
超超臨界燃煤機組	1.26E-08	2.20E-07	1.82E-07	2.66E-12	1.86E-11	1.14E-11	4.05E-11	5.18E-17
燃油機組	4.87E-08	1.55E-06	7.32E-07	6.61E-13	0.00E+00	0.00E+00	1.08E-12	4.12E-17
傳統燃氣機組	1.77E-09	8.64E-09	2.17E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.34E-12	0.00E+00
新燃氣機組	1.66E-09	7.77E-09	2.08E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.24E-12	0.00E+00

(資料來源：行政院環保署，2010；台灣電力公司，2011b；本研究彙整，2015)

關係數；燃氣發電中新設燃氣複循環機組之排放係數，則是將現有燃氣機組於2010年之排放量總和除以當年度發電量之總和，以此計算出的排放係數視為新設燃氣複循環機組之排放係數。於確認各發電機組之排放係數後，則依據2014年之發電量估算2014年PM₁₀、SO₂、NO_x、Dioxin、Cd、As、Cr、VI與Ni之排放量。

3.2 擴散

AERMOD模式選用

本研究採用美國環保署網站最新公布的優選模式AERMOD，其導入了最新的氣象學概念，並應用最新擴散理論與運算技術，進而提高了模式預測的準確度，為建立於行星邊界層(planetary boundary layer, PBL)的紊流結構、尺度以及觀念等所解析之空氣污染擴散現象(USEPA, 2015)。AERMOD是1991年由美國環保署與美國氣象學會共同成立之法規模式改進委員會(AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committee, AERMIC)發展出為了取代ISCST3的模式。該模式以擴散統計理論為出發點，所模擬的現象包括地面、高空污染源在平坦地形以及複雜地形中的近距離擴散行為。

AERMOD以一種簡單的方式將複雜地形中氣流與延散的最新觀念導入模式中，煙流不是衝撞到地表，就是沿著地形流動，此一方式不但可以滿足理論與簡單兩項要求，同時可以避免在回答法規對於簡單/中等/複雜地形判定時使用者的主觀認定。因此AERMOD取消對於複雜地形的界定要求，所有地形皆以一種連續性及一致性的簡單方式加以處理，並保持穩定層流狀態下分離流線的觀念(USEPA, 2006)。此模式可用於單一或多個污染源在大氣中擴散情況的評估，結合排放源的排放資料，考慮污染源所在當地的氣象、地形條件，以及空氣污染本身的物化性質，就可以模式估計出濃度與沈降量之空間分布。

AERMOD模式執行時需要使用者提供以下三類當地的資料，包括：氣象資料、受體點污染源資料、及污染源排放特性。參數如表3所示。

3.3 衝擊

本計畫簡化衝擊路徑法程序，以下列假設為基礎，藉此可將整個衝擊路徑法的分析程序，由Eqn.1簡化為Eqn.2。

$$I = \int_{\text{area}} \rho(r) f_{er}(r) C(r, Q) dA \quad (\text{Eqn.1})$$

假設一、受體密度 $\rho(r)$ 在整個受影響區域中呈現均勻分布(各鄉鎮)

$$\rho(r) = \rho_{\text{uni}} = \text{Constant}$$

假設二、暴露反應函數 $f_{er}(r)C(r, Q)$ 可以簡化表示成

$$F_{er}(r, C(Q)) = f_{er}(r)C(r, Q)$$

假設三、對於任一個污染源中受體之向量(r)暴露反應斜率函數 $F_{er}(r)$ 為定值

$$F_{er}(r) = f_{er, \text{uni}} = \text{Constant}$$

假設四、污染物濃度來自健康風險評估之污染源排放總量

因此得到每個受暴露的單位面積空氣污染物健康衝擊方程式為：

$$I = \rho_{\text{uni}} f_{er, \text{uni}} C(r) \quad (\text{Eqn.2})$$

Eqn.2中，本研究配合AERMOD大氣擴散模式之網格， ρ_{uni} 為單位受體密度(pers/40,000 m²)； $f_{er, \text{uni}}$ 為暴露反應函數斜率(cases/(pers.yr. µg/m³))； $C(r)$ 為污染物大氣中濃度(µg/m³)； I 為人體健康衝擊(cases/40,000 m²)。

本研究針對劑量效應反應函數(Exposure Response Function Slope, ERF)部分，臺灣雖有部分相關研究數據，但不易換算，且不易連結本研究估算的衝擊項目類別與單位，因此仍使用國外研究結果為評量係數。而Riskpoll為歐盟ExternE系列計畫計算能源電廠空氣污染帶來之健康衝擊與其外部成本時所採用軟體，並且Riskpoll中彙整相關流病研究所包含之疾病品項

表3 AERMOD輸入參數一覽表

參數種類	參數名稱	資料來源
排放源 基本資料	煙囪位址	國立中央大學太空及遙測研究中心之數值地形模型DTM 資料
	煙囪排放參數	實地檢測(包含煙囪排放速率、排放量、煙囪高度、出口溫度、煙囪直徑)
沉降模擬 參數	粒徑分布	Kaupp & Mclachlan (1999&2000)
	粒徑之質量分布	
	微粒密度	
	空氣擴散係數	Carbonell <i>et al.</i> (2010)
	水中擴散係數	
	亨利常數	
	角質層阻力	
氣象資料	紀錄時間	各地氣象局測站地面逐時氣象資料 臺北測站探空資料 花蓮測站探空資料
	風向	
	風速	
	大氣溫度	
	降雨量	
	大氣穩定度	由AERMET (AERMOD Meteorological Preprocessor)運算而得
	混和層高度	
	摩擦速度	
	曼寧-赫夫尺度	
	地面粗糙長度	
受體點地形 資料	受體網格大小	本計畫以每200公尺設定一受體點
	受體點高程	國立中央大學太空及遙測研究中心之數值地形模型DTM(Digital Elevation Model)資料

(資料來源：本研究彙整，2015)

較為齊全。又行政院環保署之「環境政策與開發計畫成本效益分析作業參考手冊」(行政院環保署，2011)中，於評估健康衝擊之外部成本時亦建議使用Riskpoll之健康衝擊函數，因此本計畫主要採用Riskpoll 1.052 version軟體之健康衝擊函數，以估算出暴露在各類污染物下受體所承受的健康衝擊，如表4與表5所示。

3.4 健康衝擊外部成本評估

有關健康衝擊貨幣化之部分，為了對應使用Riskpoll之ERF係數品項，本研究於貨幣化係數亦採用Riskpoll軟體係數，並經當年度匯率轉換調整，數值如表6所示。

4. 結果與討論

4.1 2014年健康衝擊結果與探討

1. 各發電機組健康衝擊

本研究主要是以2014年台電電力系統各類發電機組為研究對象，因超超臨界燃煤發電機組與新燃氣發電機組尚未正式加入發電行列，因此評估2014年乃以傳統燃煤發電機組、燃油發電機組與傳統燃氣發電機組為主。本研究探討各機組於慢性致死、限制活動天數(含工作損失天數)、慢性支氣管炎、支氣管擴張、下呼吸道、充血性心臟衰竭、心血管疾病-住院診療、

表4 空氣污染物劑量效應函數斜率因子ERF Slope

污染物	健康衝擊類別	ERF Slope	單位	資料來源
PM ₁₀	慢性致死	2.88E-04	YOLL (Years of life lost) / (pers.yr.µg/m ³)	Leksell & Rabl, 2001; Rabl, 2001; Spadaro, 2003
PM ₁₀	限制活動天數 (含工作損失天數)	3.95E-02	days/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
PM ₁₀	慢性支氣管炎	2.65E-05	cases/(pers.yr.µg/m ³)	NEEDS, 2009
PM ₁₀	支氣管擴張	2.06E-02	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
PM ₁₀	下呼吸道	3.25E-02	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
PM ₁₀	充血性心臟衰竭	2.59E-06	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
PM ₁₀	心血管疾病-住院診療	6.92E-06	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
PM ₁₀	呼吸系統-住院診療	7.03E-06	cases/(pers.yr.µg/m ³)	NEEDS, 2009
SO _x	慢性致死	4.80E-04	YOLL/(pers.yr.µg/m ³)	Leksell & Rabl, 2001; Rabl, 2001; Spadaro, 2003
SO _x	限制活動天數 (含工作損失天數)	6.60E-02	days/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
SO _x	慢性支氣管炎	1.01E-04	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
SO _x	支氣管擴張	3.44E-02	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
SO _x	下呼吸道	5.42E-02	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
SO _x	充血性心臟衰竭	4.33E-06	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
SO _x	心血管疾病-住院診療	1.15E-05	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
SO _x	呼吸系統-住院診療	4.28E-06	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003

(資料來源：如表中資料來源欄位所示；本研究彙整，2015)

表5 空氣污染物劑量效應函數斜率因子ERF Slope(續)

污染物	健康衝擊類別	ERF Slope	單位	資料來源
NO _x	限制活動天數 (含工作損失天數)	3.95E-02	days/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
NO _x	慢性支氣管炎	5.81E-05	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
NO _x	支氣管擴張	2.06E-02	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
NO _x	下呼吸道	3.25E-02	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
NO _x	充血性心臟衰竭	2.59E-06	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
NO _x	心血管疾病-住院診療	6.92E-06	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
NO _x	呼吸系統-住院診療	2.56E-06	cases/(pers.yr.µg/m ³)	Rabl, 2001; Spadaro, 2003
Cd	致癌	2.57E-05	cancers/(pers.yr.µg/m ³)	Spadaro and Rabl, 2004
As	致癌	6.14E-05	cancers/(pers.yr.µg/m ³)	Spadaro and Rabl, 2004
Cr,VI	致癌	1.71E-05	cancers/(pers.yr.µg/m ³)	Spadaro and Rabl, 2004
Ni	致癌	3.43E-06	cancers/(pers.yr.µg/m ³)	Spadaro and Rabl, 2004
Dioxin	致癌	6.02E-01	cancers/(pers.yr.µg/m ³)	Spadaro and Rabl, 2000

(資料來源：如表中資料來源欄位所示；本研究彙整，2015)

表6 各健康衝擊之單位衝擊成本

健康衝擊類別	單位衝擊成本	單位	資料來源
慢性致死	3,005,760	NTD/YOLL	Spadaro, 2003
限制活動天數(含工作損失天數)	3,452	NTD/day	Spadaro, 2003
慢性支氣管炎	5,291,328	NTD/case	Spadaro, 2003
支氣管擴張	1,250	NTD/case	Spadaro, 2003
下呼吸道	238	NTD/case	Spadaro, 2003
充血性心臟衰竭	101,779	NTD/case	Spadaro, 2003
心血管疾病-住院診療	523,776	NTD/case	Spadaro, 2003
呼吸系統-住院診療	135,110	NTD/case	Spadaro, 2003
致癌	60,570,000	NTD/case	Spadaro and Rabl, 2000

(資料來源：Spadaro, 2003；Spadaro and Rabl, 2000；本研究彙整，2015)

呼吸系統-住院診療與致癌等健康類別之衝擊，屏除慢性致死與限制活動天數(因衝擊單位不同)，各類機組所呈現的健康衝擊類別由高至低的排序是一致的，依序分別為下呼吸道疾病、支氣管擴張、慢性支氣管炎、心血管疾病-住院診療、呼吸系統-住院診療、充血性心臟衰竭與致癌(圖1)，比較各機組所帶來之健康衝擊，以燃煤機組所造成之健康衝擊最高(214,481 cases)，其次為燃油機組(80,203 cases)，再其次為燃氣機組(71,639 cases)，燃煤機組發電量最大，所帶來的健康衝擊也最大，燃氣機組之發電量較燃油機組大，然而燃氣機組之健康衝

擊卻比燃油機組低，究其原因為燃氣機組於各類空氣污染物之排放係數相較於燃油機組低，約為燃油機組之1%~2%，因此使得燃油機組各類污染物排放量皆比燃氣機組高，不過由於燃油機組在燃料成本高與單機裝置容量小的情況下，設計上僅做為緊急狀況，電力供應不足時的備援使用，因此所造成的衝擊不是常態性。

2. 各發電機組之污染物外部成本貢獻

依各電廠排放之PM₁₀、SO₂、NO_x、Cd、As、Cr(VI)、Ni、Dioxin排放量估算各電廠之

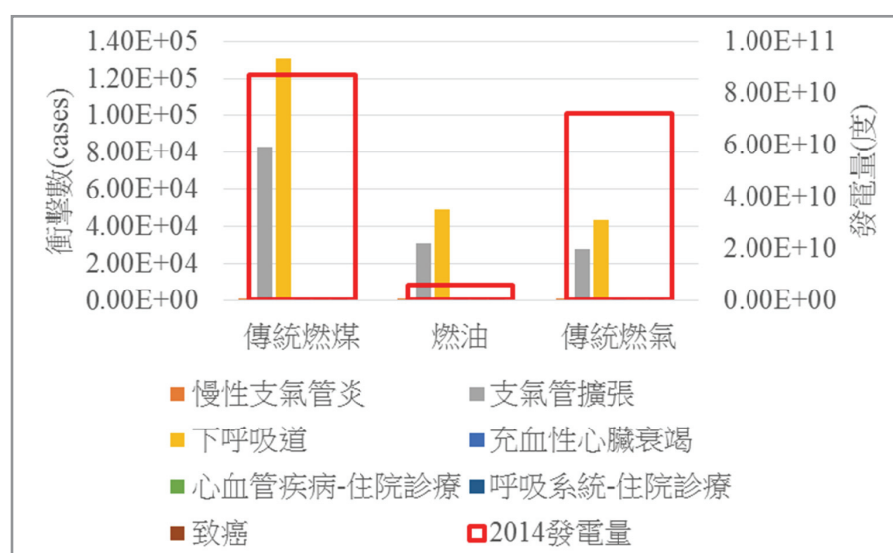


圖1 2014年各發電機組與健康衝擊
(資料來源：本研究分析繪製，2015)

健康衝擊外部成本，並將各污染物所造成之外部成本加總後進行各機組總外部成本之比較，結果顯示燃煤機組健康衝擊總外部成本最高，其次為燃油機組，第三名為燃氣機組；本研究進一步評估各污染物對外部成本所佔的貢獻，結果得知火力電廠健康衝擊外部成本之貢獻物種主要為 SO_2 、 NO_x 與 PM_{10} 等(圖2)，其中，燃煤機組與燃氣機組中， NO_x 所造成的外部成本貢獻最大，分別占該機組外部成本之50.5%與91.5%， NO_x 在燃氣機組中為關鍵之污染物，若能有效控制燃氣機組之 NO_x 排放量，將可大幅降低燃氣機組之外部成本。健康衝擊次高的污

染物為 SO_2 ，分別占該機組外部成本之46.7%與7.5%；在燃煤機組中， NO_x 與 SO_2 對人體健康衝擊外部成本的貢獻比例差距不大，兩者皆為不容忽視的污染物，然而燃氣機組中 SO_2 的健康衝擊外部成本貢獻對於 NO_x 而言則顯得相當輕微。相反地，燃油機組中， SO_2 所造成的外部成本貢獻最大，占該機組外部成本之76.3%，而 NO_x 所占的比例較低，約22.3%，因此控制燃油機組之關鍵污染物為 SO_2 。相對於傳統空氣污染物，戴奧辛與重金屬於各機組之外部成本貢獻非常小。

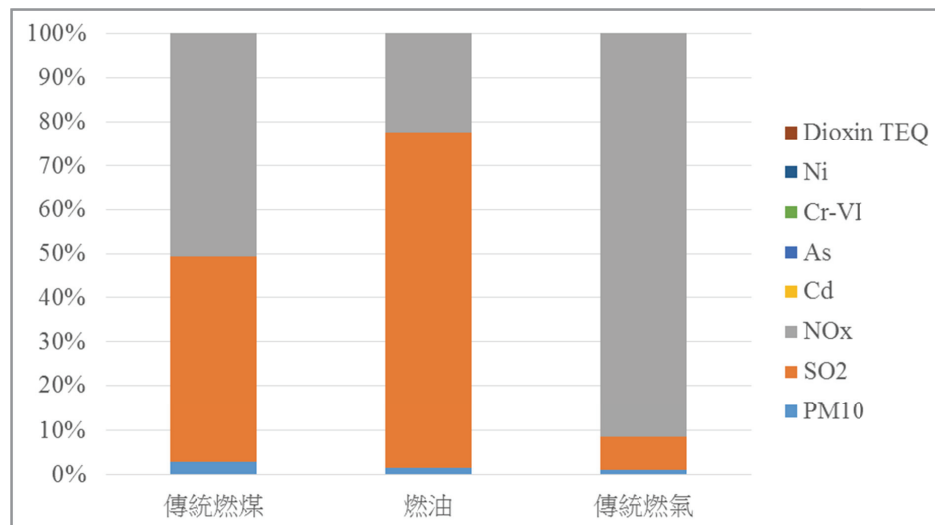


圖2 2014年各污染物對各發電機組健康衝擊外部成本貢獻
(資料來源：本研究分析繪製，2015)

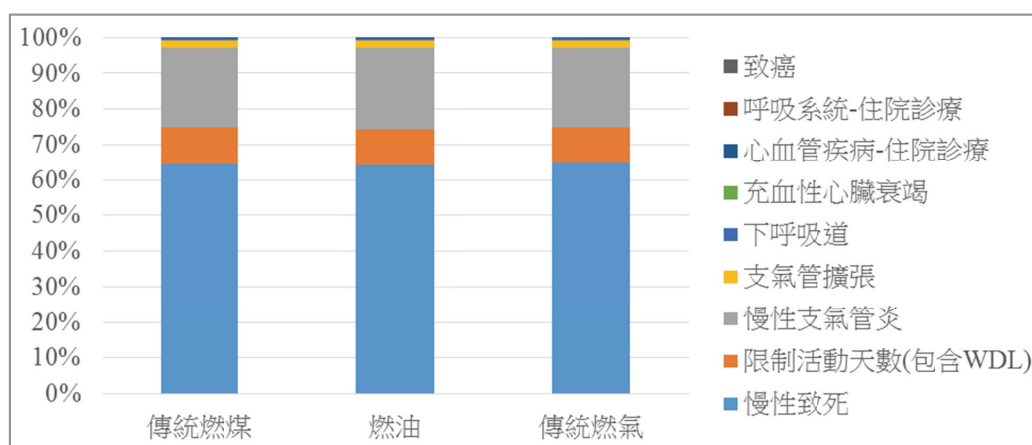


圖3 2014年各發電機組各健康衝擊外部成本比較
(資料來源：本研究分析繪製，2015)

3. 各發電機組健康衝擊外部成本

本研究分別評估各類型機組之慢性致死、限制活動天數、慢性支氣管炎、支氣管擴張、下呼吸道、充血性心臟衰竭、心血管疾病住院診療、呼吸系統住院診療與癌症等健康衝擊外部成本，結果顯示各類型機組健康衝擊外部成本由高至低之排序呈現一致的現象，其中，慢性致死之單位衝擊成本較高，因此在各類別的健康衝擊外部成本中，慢性致死健康衝擊之外部成本最高，第二名為慢性支氣管炎，第三與第四之主要貢獻為限制活動天數與支氣管擴張所造成的外部成本；至於致癌、下呼吸道、心血管疾病-住院診療、呼吸系統-住院診療與充血性心臟衰竭健康衝擊外部成本則相當不顯著。2014年各機組發電量大小依序為傳統燃煤機組>傳統燃氣機組>燃油機組，而各發電機組健康衝擊單位外部成本依序為傳統燃煤機組>燃油機組>傳統燃氣機組，圖3為各發電機組各健康衝擊外部成本之比較。

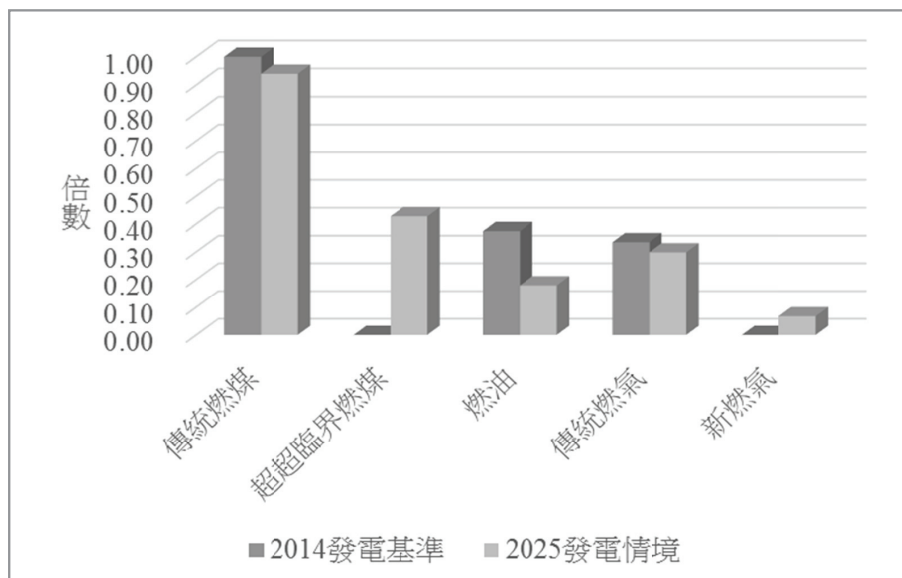
4.2 電廠機組更新之健康衝擊外部成本探討

本節探討電廠機組更新所產生之外部成本變動情形，2014年台電電力系統中火力發電量約為1,655億度，隨著經濟成長，電力需求增加，帶動電力供給量之提升，推估至2025年，火力發電量將達2,322億度，這段期間，燃煤機組仍為主要的發電主力，不過隨著機組效率之提升，傳統燃煤機組發電量的成長速度趨緩，2014年傳統燃煤發電量為873億度電，至2025年，發電量約為876億度，發電量約成長0.5%，燃煤機組將有超超臨界燃煤機組補充所需之發電量，預估2025年，超超臨界燃煤機組之發電量將達362億度電，其增加之發電量為所有機組類別之冠；燃油機組則呈現明顯之下降趨勢，2014年臺灣地區燃油機組的發電量為57億度，至2025年，推估燃油機組的發電量剩下24億度電左右，僅佔該年火力發電機組之1%；

在燃氣機組部分，則增加了相當大之發電量，2014年，燃氣機組發電仍以傳統燃氣機組發電為主，貢獻之發電量為725億度，至2025年，隨著新燃氣機組的加入行列，發電量將提高至1,058億度，增加之發電量達333億度，其中，研議多時的高原電廠亦將於2025年正式加入發電之行列，且於新燃氣機組中貢獻約11.6%之發電量，相當可觀。

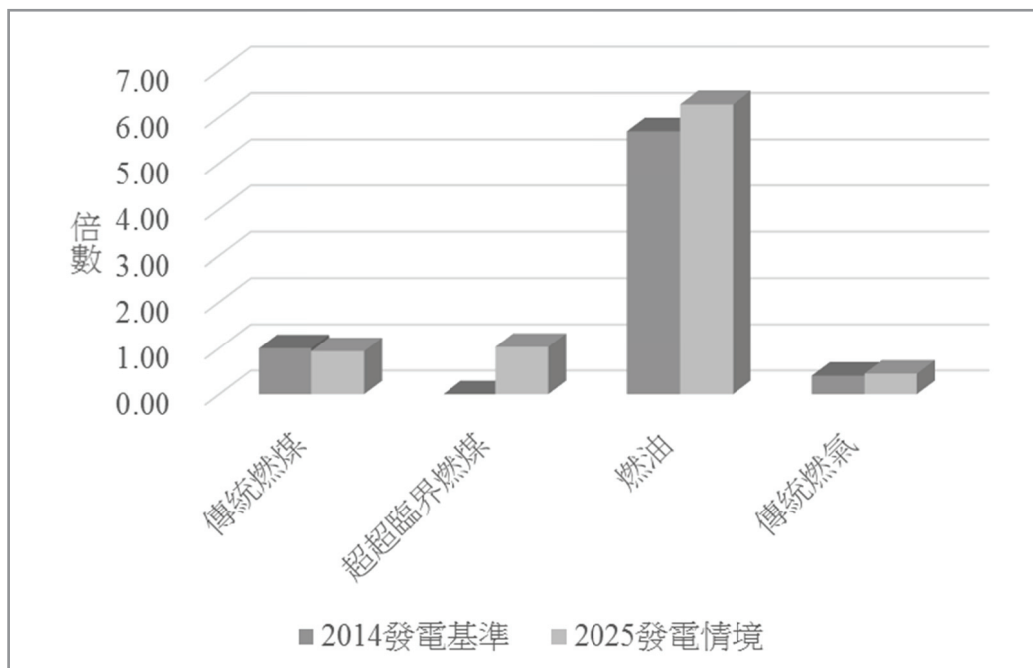
2025年機組更新後之發電量為2014年發電量之1.4倍，在總外部成本部分，本計畫依據國家發展委員會所進行之中華民國人口推計，推估2025年情境下之人口數約23,521(千人)(以中推計估算)，約為2014年的23,419(千人)之1.0044倍，本計畫假設模型中每個擴散濃度之網格皆以此線性比例微幅成長，在此人口數微幅成長之情形下推估2025年之總外部成本。從不同機組來分析，外部成本之貢獻在燃煤機組的部分，2025年除了傳統燃煤發電量較2014年微幅增加外，超超臨界燃煤發電機組也正式加入發電行列，使得燃煤機組發電量較2014年成長1.4倍，燃煤機組之總外部成本也隨之上升，上升幅度約為七成。在傳統燃油機組的部分，2025年燃油機組發電量較2014年明顯下降，發電量約為2014年之四成，發電量下降使得總外部成本亦呈現下降的情形，2025年總外部成本約為2014年之四成七。不過在燃氣機組的部分，2025年燃氣機組發電量約為2014年之1.5倍，但2025年燃氣機組總外部成本僅較2014年成長8%，並未隨著發電量大幅增加。

若以2014年傳統燃煤發電機組之總外部成本為基準值進行相對比較，2014年燃油機組與燃氣機組，以及2025年所有機組之總外部成本皆低於傳統燃煤發電機組，其中又以2025年發電情境下的新燃氣機組所呈現的總外部成本最低(圖4)，傳統燃煤機組在發電量高與污染物排放係數高的情況下，導致其總外部成本偏高；若以單位外部成本來分析，假設仍以2014年燃煤發電機組之單位外部成本為基準值，其他各機組亦以相對值呈現(圖5)，其中新燃氣機組所



註：2014發電基準為2014年傳統燃煤發電機組之總外部成本
2025發電情境為2025年各類發電機組之總外部成本

圖4 2014發電基準與2025發電情境下各發電機組總外部成本
(資料來源：本研究分析繪製，2015)



註：2014發電基準為2014年傳統燃煤發電機組之單位外部成本
2025發電情境為2025年各類發電機組之單位外部成本

圖5 2014發電基準與2025發電情境下各發電機組單位外部成本
(資料來源：本研究分析繪製，2015)

呈現的單位外部成本也是最低。新燃氣機組與傳統燃氣機組比較結果顯示，整體燃氣機組在機組更新後，發電效率提升而外部成本也隨之

降低。燃油機組雖然發電量不高，總外部成本亦不高，但其單位外部成本卻明顯高於各類型傳統與更新的機組，主要原因在於燃油發電機

組的污染物排放係數明顯高於其他機組，若分別比較燃油機組與傳統燃煤機組之PM₁₀、SO₂與NO_x等污染物排放係數，燃油機組之排放係數約為傳統燃煤機組之1.3倍、4.4倍與1.3倍；相對地，新燃氣機組之PM₁₀、SO₂與NO_x排放係數僅為傳統燃煤機組之4.3%、2.2%與38.2%。不過燃油機組屬於備載發電裝置，並非台電日常啟用的基載發電裝置，因此其產生之衝擊並非常態性。在燃煤機組的部分，雖然超超臨界燃煤機組之排放係數低於傳統燃煤機組，但在2025年情境模擬下，其單位外部成本仍較傳統燃煤機組稍高，研判此更新之燃煤機組因座落於高人口密度縣市，各單位擴散網格人口依據推估呈現微幅增加的趨勢，造成暴露人數增加，估算出的健康衝擊增加，所呈現之健康衝擊單位外部成本因而較高。

5. 結論與建議

5.1 結論

本研究採用歐盟ExternE計畫中的衝擊路徑法評估火力發電之健康衝擊外部成本，考量之污染物涵蓋空氣污染物與重金屬，評估2014年發電基準下燃煤發電機組、燃油發電機組與燃氣發電機組健康衝擊外部成本，以單位發電量所產生之健康衝擊外部成本而言，燃油機組最高，其次為燃煤機組，燃氣機組最低；觀察國外研究，在歐盟CASES計畫所呈現的單位外部

成本由高至低分別為燃油機組、燃煤機組與燃氣機組，此結果與本研究評估結果一致(表7)。本研究針對火力的發電階段，採用AERMOD模式結合風險評估，以小尺度考量單位網格的受體暴露情形，透過模式之模擬可以瞭解污染源所在區域受體點承受之污染物暴露濃度，亦可將人體健康衝擊的外部成本計算得更加細緻。AERMOD以一種簡單的方式將複雜地形中氣流與延散之概念導入模式中。臺灣地形複雜，加上各類型火力發電廠的位置大多在臨海地區，許多電廠排放之空氣污染物經大氣擴散後會沉降於海洋，藉由AERMOD模式計算之結果套疊至地理資訊系統之圖層，可以分析擴散沉降於臺灣本島陸地之面積，避免將沉降於海洋的網格納入計算而造成暴露濃度估算錯誤之現象，因此，AERMOD模式結合風險評估之方法適合臺灣地區評估火力電廠健康衝擊外部成本。

國內針對火力電廠發電階段之健康衝擊外部成本之評估尚不多見，目前國內能源開發政策評估說明書中針對電廠之健康衝擊評估項目，主要是以呼吸道疾病、限制活動天數、鬱血性心衰竭為主，而本研究評估之範疇則擴及至慢性致死與致癌等健康衝擊項目，考量之範圍較廣，未來若有相關電廠健康衝擊評估之案例，建議可參考本研究所採用之衝擊項目與分析方法進行評估。火力發電之健康影響除了與電廠本身的發電量和污染物排放係數有關外，也與電廠所在的區位有關，所在區位牽涉到人口密集程度。因此後續若欲改善該區域之人體健康衝擊，建議改善周邊火力電廠之發電形式

表7 臺灣火力發電與歐盟CASES計畫單位外部成本比較 (單位: 新臺幣/度)

單位外部成本	臺灣火力發電	歐盟CASES計畫
衝擊項目	火力發電階段健康衝擊	健康衝擊
燃煤	0.062	0.486
燃油	0.352	0.692
燃氣	0.036	0.164
總單位外部成本	0.061	

(資料來源：Cost Assessment of Sustainable Energy Systems，2008；本研究分析，2015)

與電廠處理設備。

5.2 建議

本研究評估火力發電健康衝擊外部成本分析方法主要是以衝擊評估法加以評估，運用AERMOD模式推估PM₁₀、SO₂、NO_x、Dioxin、Cd、As、Cr(VI)與Ni等污染物之擴散濃度，並具體呈現各污染物於健康衝擊外部成本之貢獻；不過本研究因受限於AERMOD模式僅能模擬原生性PM_{2.5}或PM_{2.5}直接排放，因此未評估PM_{2.5}之擴散濃度及其衝擊。建議未來參考國際間評估衍生性污染物擴散濃度之方法結合AERMOD模式，例如美國協會空氣清淨機構NACAA (National Association of Clean Air Agencies)建議利用混合式質性與量化評估法(hybrid qualitative/quantitative assessment)，將PM_{2.5}一併納入考量。本研究未來應思考如何透過PM_{2.5}前驅物SO₂與NO_x轉換為PM_{2.5}排放量之比例，推估電廠排放PM_{2.5}之擴散濃度。而在健康衝擊函數方面，則受限於許多健康指標缺乏本土化流行病學研究，因而較難取得本土性之健康衝擊函數，且國內提供的健康衝擊函數主要是以 β 值為主，建議未來可參考Riskpoll所呈現之 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 濃度單位來表達衝擊效應的概念，以便進行國際間之健康衝擊比較。

誌 謝

本論文感謝工業技術研究院「台灣能源系統環境外部成本評估與情境分析」計畫之研究補助。

參考文獻

- 台灣電力公司，2004，臺灣地區發電之污染排放及造成之社會外部成本研究—台電公司環保投資成本效益分析及電價調整對經濟之影響，中央研究院經濟所執行台灣電力公司委託研究計畫，計畫編號：TPC-(073)-(92)-(08401)，頁3-1-3-51。
- 台灣電力公司，2011a，台電核能與火力發電廠外部成本與效益之研究期末報告，臺灣綜合研究院執行台灣電力股份有限公司九十八年度委託研究計畫，計畫編號:TPC-054-97006，頁3-1-6-9。
- 台灣電力公司，2011b，大林電廠更新改建計畫環境影響說明書定稿本(上冊)，頁附20-5。
- 台灣電力公司，2012，100年台電統計年報，頁70-71。
- 台灣電力公司，2015，103年台電統計年報，頁70-71。
- 行政院環保署，2010，空氣污染物排放清冊(TEDS) 8.1版。
- 行政院環保署，2011，環境政策與開發計畫成本效益分析作業參考手冊，財團法人中華經濟研究院執行行政院環保署委託計畫，頁3-1-3-10。
- 行政院環保署，2012，環境影響評估與開發計畫的社會效益成本評估之應用及檢討分析期末報告，財團法人中華經濟研究院執行行政院環保署委託計畫，頁52-231。
- Carbonell, L. T., Gacita, M. S., Oliva, J. R., Gareia, L. C., Rivero, N. D., and Ruiz, E. M., 2010. Methodological guide for implementation of the AERMOD system with incomplete local data, Atmospheric Pollution Research, Vol. 1, pp. 102-111.
- Cost Assessment of Sustainable Energy Systems, 2008. Development of a set of full cost estimates of the use of different energy sources and its comparative assessment in EU countries, CASES. European Union.
- European Commission, 2003. External Costs- Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport, Office for Official Publications of the European Communities. ISBN: 92-894-
- 台灣電力公司，2004，臺灣地區發電之污染排放及造成之社會外部成本研究—台電公司環保投資成本效益分析及電價調整對經濟之影響，中央研究院經濟所執行台灣電力公司委託研究計畫，計畫編號：TPC-

- 3353-1, pp. 1-17.
- ExternE, 2015 project website: <http://www.externe.info/>.
- Kaupp, H., and McLachlan, M.S., 1999. Atmospheric particle size distributions of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their implications for wet and dry deposition, *Atmospheric Environment*, Vol. 33, pp. 85-95.
- Kaupp, H., and McLachlan, M.S., 2000. Distribution of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/Fs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) within the full size range of atmospheric particles, *Atmospheric Environment*, Vol. 34, pp. 73-83.
- Krewitt, W. and Nitsch, J., 2003. The German renewable energy sources act -an investment into the future pays off already today, *Renewable Energy*, Vol. 28, pp. 533-542.
- Leksell L. and Rabl A., 2001. Air Pollution and Mortality: Quantification and Valuation of Years of Life Lost, *Risk Analysis*, Vol. 21(5), pp. 843-857.
- NEEDS, 2009. External costs from emerging electricity generation technologies. New Energy Externalities Developments for Sustainability, Project no: 502687, pp. 6-50.
- Rabl A., 2001. Reference database of concentration-response functions for health impacts of air pollution, International Atomic Energy Agency; Vienna.
- Scapecchi, P., 2008. The health costs of inaction with respect to air pollution. OECD Environment Working Papers, No. 2. OECD, Paris, pp. 10-42.
- Spadaro, J.V. and Rabl A., 2000. Air pollution damage estimates:the cost per kg of pollutant, *International Journal of Environmental Technology and Management*, Vol 3, pp. 75-98
- Spadaro, J.V. and Rabl A., 2004. Pathway analysis for population-total health impacts of toxic metal emissions, *Risk Analysis*, Vol 24, pp. 1121-1141.
- Spadaro, J.V., 2003. RISK POLL exposure response functions, <http://www.arirabl.org/software>
- USEPA, 2006. User's guide for the AERMOD terrain preprocessor. USEPA, North Carolina, pp. 1-20.
- USEPA, 2015. AERMOD implementation guide, USEPA, North Carolina, pp. 1-18.

Analysis of External Cost of Health Impact for Taiwan Power Plants

Meng-I Liao^{1*} Hwong-Wen Ma² Meng-Ying Lee³
Ming-Lung Hung⁴ Pei-Hao Li⁴

ABSTRACT

The CASES program originated from Externalities of Energy (ExternE) plan highlights the thermal power generation dominates the main contribution of the external cost of energy. This article focuses on the calculation of health impact external costs caused by the thermal power generation using the Impact Pathway Approach (IPA). The target pollutants emission from the power station consist of PM₁₀, SO₂, NO_x, Dioxin, Cd, As, Cr(VI) and Ni, with concerned health-impact categories of long-term mortality, restricted activity days, chronic bronchitis, bronchodilator, lower respiratory tract disease, congestive heart failure, cardiovascular disease(hospitalization), respiratory system(hospitalization) and carcinogenicity. The result of health impact assessment demonstrates the priority of unit external cost as oil-fired power generation, coal-fired power generation and gas-fired power generation in sequence. In terms of air pollutants, the main contributor of external cost of coal-fired power generation and gas-fired power generation is NO_x, while SO₂ makes the largest contribution of external cost in the oil-fired power generation. On the contrary, dioxin and heavy metals make less contribution of external cost in the thermal power generation. In addition, the comparison of unit external cost of 2014 generation baseline with 2025 context simulation for the different power generators, this paper illustrates that renewing gas-fired power generators facilitates the reduction of unit external cost effectively.

Keywords: external cost, health impact, thermal power generation, Impact Pathway Approach

¹ Postdoctoral Researcher, Graduate Institute of Environmental Engineering, National Taiwan University.

² Professor, Graduate Institute of Environmental Engineering, NTU.

³ Associate Researcher, Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute.

⁴ Senior Researcher, GEL, ITRI.

*Corresponding Author, Phone: +886-2-33664396, E-mail: lmi@mail2000.com.tw

Received Date: November 30, 2015

Revised Date: March 25, 2016

Accepted Date: April 25, 2016