

94 年度「環保署/國科會空污防制科研合作計畫」

成果完整報告

總計畫：燃料電池產業技術發展對空氣污染減量影響研究

子計畫：固定污染源燃料電池技術發展對空污減量影響研究

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC 94-EPA-Z-005-001

執行期間： 94 年1月1日至94 年12月31日

總計畫主持人：洪哲文 教授

計畫主持人：盧昭暉 副教授

共同主持人：

計畫參與人員：張庭嘉、潘英豪

執行單位：國立中興大學機械工程系

中 華 民 國 95 年 1 月 31 日

中文摘要

本計畫之總計畫的目標為評估國際及國內燃料電池產業技術發展對國內空氣污染減量之影響，本計畫為子計畫二，負責固定式燃料電池技術發展對空污減量影響研究。

未來燃料電池在固定式的應用可以依功率來分成四大類，第一類為中小型的發電廠，做為分散式發電系統或是汽電共生系統；第二類為中小型的電熱產生器，做為獨立的家庭能源系統；第三類為輔助動力系統，做為重型車輛或飛機的輔助電源；第四類為攜帶式電源，做為攜帶式發電機或小型的電器用電池。不同的燃料電池具有不同的應用範圍，AFC適用於特殊用途的小功率燃料電池，PEMFC與DMFC適用於攜帶式電源，SOFC適用於輔助動力系統，PAFC適用於汽電共生與家庭熱電系統，MCFC與SOFC適用於汽電共生與分散式電源。

傳統能源的污染分為兩階段，第一階段為燃料生產，製備，與運輸過程所產生的污染，此即為well to pump的污染。第二階段為燃料使用過程所產生的污染，此即為pump to wheel的污染。燃料電池主要的污染發生在燃料製備與運輸過程，燃料電池的污染排放係數與氫氣產生方式及燃料電池應用方式有關。以光電作用法來產生氫氣的污染減量效果最大，以天然氣重組的減量效果也不錯，以公用電力來電解水反而會增加污染。

本研究考慮五種未來可能被燃料電池取代的傳統能源，分別為中型發電廠，小型發電廠，中型汽電共生廠，小型汽電共生廠，重型柴油車的輔助電源，及家用熱水系統。其中傳統發電廠的污染以台中火力發電廠及金門火力發電廠為代表，汽電共生廠以彰化縣的五家業者為代表，重型柴油車以符合三期標準的柴油車為代表，家用熱水系統以瓦斯熱水器為代表。

與現有系統的污染狀況做比較，若以光電作用法來產生氫氣，在小型發電系統可獲得最大減量效果，一台1MW的燃料電池一年可以減少CO 50.83噸，NO_x 111.66噸，PM₁₀ 4.07噸，SO_x 10.43噸。

關鍵字：燃料電池，固定污染源，發電系統，汽電共生，家庭電熱系統，輔助動力系統。

ABSTRACT

The purpose of this project is to evaluate the impact of the applications of stationary fuel cells on the reduction of air pollutants.

It is expected that the major applications of stationary fuel cells will be in four fields. The first one is medium scale power generation applied in remote area or as the backup system. The second one is combined heat and power system for residential applications. The third one is portable power source for military use or electronic devices, and the fourth one is the auxiliary power unit for heavy-duty vehicles or airplanes. Alkaline fuel cell is suitable for low power special purpose applications. Proton exchange membrane fuel cell and direct methanol fuel cell are suitable for portable applications. Phosphoric acid fuel cell is suitable for cogeneration and domestic CHP. Molten carbonate fuel cell and solid oxide fuel cell are suitable for stationary power generation.

Six possible applications of fuel cell in the future are reviewed in this study, including the medium size steam power plant, the small size steam power plant, the medium size cogeneration, the small size cogeneration, the residential heat and power unit, and the auxiliary power unit for diesel trucks. The emissions generated in these power units with traditional energy source are evaluated. The performance of these units is then compared with the fuel cell of the same capacity.

The pollution of fuel cell is generated mainly during the period of fuel production and transportation. The way to produce hydrogen has the dominant effect on the pollution generation. It is found that photolysis process is the cleanest way and the electrolysis process is the worst way. If hydrogen is produced with the photolysis process, a 1 MW fuel cell would have the reduction effect of CO 50.83 tons, NO_x 111.66 tons, PM 4.07 tons, and SO_x 10,43 tons annually compared with the current status of small-scale power generation applications.

Keywords: fuel cell, stationary pollution, power generation, cogeneration, combined heat and power system.

目錄

中文摘要.....	I
ABSTRACT.....	II
目錄.....	III
表目錄.....	V
圖目錄.....	VI
第一章 前言.....	1
(1.1)、研究背景.....	1
(1.2)、研究目的.....	2
(1.3)、研究方法.....	3
第二章 燃料電池可能的應用.....	5
(2.1)、燃料電池的特性.....	5
(2.1.1). 磷酸型燃料電池(PAFC).....	5
(2.1.2). 熔融碳酸鹽型燃料電池(MCFC).....	5
(2.1.3). 固態氧化物型燃料電池(SOFC).....	5
(2.1.4). 質子交換膜型燃料電池(PEMFC).....	6
(2.1.5). 直接甲醇燃料電池(DMFC).....	6
(2.1.6). 鹼性燃料電池(AFC).....	6
(2.2)、燃料電池的可能應用.....	6
(2.2.1). 中小型發電廠.....	7
(2.2.2). 小型電熱產生器.....	8
(2.2.3). 攜帶型燃料電池.....	9
(2.2.4). 輔助動力系統(APU).....	12
第三章 目前產業的污染.....	14
(3.1)、燃料生產製備的污染.....	14
(3.2)、發電廠的污染.....	15
(3.2.1). 汽輪發電機組.....	15
(3.2.2). 引擎發電機組.....	16
(3.3)、汽電共生的污染.....	17
(3.3.1). 我國汽電共生現況.....	17
(3.3.2). 汽電共生系統的污染排放.....	18
(3.4)、小型電熱產生器的污染.....	19
(3.5)、柴油車的污染.....	21
第四章 燃料電池的污染.....	23
(4.1)、氫氣生產方法.....	23
(4.2)、氫氣製備的污染.....	24
(4.3)、氫氣儲存的污染.....	27
(4.4)、燃料重組器的污染.....	27
(4.5)、燃料電池的污染.....	29
第五章 燃料電池的減量效果.....	32
(5.1)、中型發電系統.....	32
(5.2)、小型發電系統.....	39
(5.3)、中型汽電共生系統.....	45
(5.4)、小型汽電共生系統.....	49

(5.5)、家用熱電系統.....	53
(5.6)、APU.....	59
結論.....	63
參考資料：.....	64

表目錄

表2.1：燃料電池特性.....	6
表2.2：固定式燃料電池使用成本.....	8
表3.1.1：各種燃料在生產與運送過程中所產生的污染.....	14
表3.1.2：燃料生產製備的污染.....	15
表3.2.1：台中火力發電廠的發電量及污染產生量.....	16
表3.2.2：火力發電廠的污染排放量.....	16
表3.2.3：引擎發電機組排放係數.....	17
表3.3.1：汽電共生鍋爐污染防治設備.....	18
表3.3.2：國內汽電廠污染排放現況.....	19
表3.3.3：彰化縣汽電共生廠污染排放狀況.....	19
表3.3.4：汽電共生廠排放係數.....	19
表3.4.1：我國所使用瓦斯的成分.....	20
表3.4.2：家用瓦斯熱水器排放係數.....	21
表3.5.1：我國大客車排放係數.....	22
表3.5.2：重型柴油車排放係數(g/kWh).....	22
表4.2.1：每生產1百萬BTU燃料所產生的污染排放量.....	24
表4.2.2：氫氣生產與運送過程中所產生的污染.....	24
表4.3.1：氫儲存的污染排放量.....	27
表4.5.1：燃料電池的排放係數.....	29
表5.1.1：中型發電系統的污染減量效果.....	33
表5.1.2：以1MW SOFC來取代中型發電系統1年污染減量之效果.....	36
表5.2.1：小型發電系統的污染減量效果.....	39
表5.2.2：以1MW SOFC來取代小型發電系統1年污染減量之效果.....	40
表5.3.1：中型汽電共生系統的污染減量效果.....	45
表5.3.2：以1MW SOFC來取代中型汽電共生系統1年污染減量之效果.....	47
表5.4.1：小型汽電共生系統的污染減量效果.....	49
表5.4.2：以1MW MCFC來取代小型汽電共生系統1年污染減量之效果.....	51
表5.5.1：燃料電池來做為家用熱電系統的污染減量效果.....	53
表5.5.2：以10kW PEMFC來取代家用電熱系統1年污染減量之效果.....	56
表5.6.1：燃料電池來做為APU系統的污染減量效果.....	59
表5.6.2：以10kW SOFC來取代APU系統1年污染減量之效果.....	61

圖目錄

圖2.1.1：大型固定式燃料電池的數量.....	7
圖2.3.1：攜帶型燃料電池的成長情況.....	10
圖2.3.2：Motorola所發表的PDA。.....	10
圖2.3.4：MTI Micro Fuel Cells的充電器。.....	11
圖2.4.1：Delphi的APU.....	12
圖2.4.2：Boeing所開發的APU.....	13
圖4.2.1：不同方式生產氫氣時所產生的CO.....	25
圖4.2.2：不同方式生產氫氣時所產生的NO _x	25
圖4.2.3：不同方式生產氫氣時所產生的PM.....	26
圖4.2.4：不同方式生產氫氣時所產生的SO _x	26
圖4.3.1：重組器在暖機階段的污染排放.....	28
圖4.3.2：重組器的排放係數.....	28
圖4.5.1：以一般工廠天然氣生產氫氣，應用在不同燃料電池時，所產生的CO.....	30
圖4.5.2：以一般工廠天然氣生產氫氣，應用在不同燃料電池時，所產生的NO _x	30
圖4.5.3：以一般工廠天然氣生產氫氣，應用在不同燃料電池時，所產生的PM.....	31
圖4.5.4：以一般工廠天然氣生產氫氣，應用在不同燃料電池時，所產生的SO _x	31
圖5.1.1：中型發電系統CO減量之效果.....	34
圖5.1.2：中型發電系統NO _x 減量之效果.....	34
圖5.1.3：中型發電系統PM ₁₀ 減量之效果.....	35
圖5.1.4：中型發電系統SO _x 減量之效果.....	35
圖5.1.5：以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之CO減量效果.....	37
圖5.1.6：以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之NO _x 減量效果.....	37
圖5.1.7：以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之PM ₁₀ 減量效果.....	38
圖5.1.8：以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之SO _x 減量效果.....	38
圖5.2.1：小型發電系統CO減量之效果.....	41
圖5.2.2：小型發電系統NO _x 減量之效果.....	41
圖5.2.3：小型發電系統PM ₁₀ 減量之效果.....	42
圖5.2.4：小型發電系統SO _x 減量之效果.....	42
圖5.2.5：以1MW SOFC來取代小型發電系統1年之CO減量效果.....	43
圖5.2.6：以1MW SOFC來取代小型發電系統1年之NO _x 減量效果.....	43
圖5.2.7：以1MW SOFC來取代小型發電系統1年之PM ₁₀ 減量效果.....	44
圖5.2.8：以1MW SOFC來取代小型發電系統1年之SO _x 減量效果.....	44
圖5.3.1：中型汽電共生系統NO _x 減量之效果.....	45
圖5.3.2：中型汽電共生系統PM ₁₀ 減量之效果.....	46
圖5.3.3：中型汽電共生系統SO _x 減量之效果.....	46
圖5.3.4：以1MW SOFC來取代中型汽電共生系統1年之NO _x 減量效果.....	47
圖5.3.5：以1MW SOFC來取代中型汽電共生系統1年之PM ₁₀ 減量效果.....	48
圖5.3.6：以1MW SOFC來取代中型汽電共生系統1年之SO _x 減量效果.....	48
圖5.4.1：小型汽電共生系統NO _x 減量之效果.....	49
圖5.4.2：小型汽電共生系統PM ₁₀ 減量之效果.....	50
圖5.4.3：小型汽電共生系統SO _x 減量之效果.....	50
圖5.4.4：以1MW MCFC來取代小型汽電共生系統1年之NO _x 減量效果.....	51
圖5.4.5：以1MW MCFC來取代小型汽電共生系統1年之PM ₁₀ 減量效果.....	52

圖5.4.6：以1MW MCFC來取代小型汽電共生系統1年之SO _x 減量效果.....	52
圖5.5.1：家用電熱系統CO減量之效果.....	54
圖5.5.2：家用電熱系統NO _x 減量之效果.....	54
圖5.5.3：家用電熱系統PM10減量之效果.....	55
圖5.5.4：家用電熱系統SO _x 減量之效果.....	55
圖5.5.5：以10kW PEMFC來取代家用電熱系統1年之CO減量效果.....	56
圖5.5.6：以10kW PEMFC來取代家用電熱系統1年之NO _x 減量效果.....	57
圖5.5.7：以10kW PEMFC來取代家用電熱系統1年之PM10減量效果.....	57
圖5.5.8：以10kW PEMFC來取代家用電熱系統1年之SO _x 減量效果.....	58
圖5.6.1：APU系統CO減量之效果.....	59
圖5.6.2：APU系統NO _x 減量之效果.....	60
圖5.6.3：APU系統PM10減量之效果.....	60
圖5.6.4：以10kW SOFC來取代APU系統1年之CO減量效果.....	61
圖5.6.5：以10kW SOFC來取代APU系統1年之NO _x 減量效果.....	62
圖5.6.6：以10kW SOFC來取代APU系統1年之PM10減量效果.....	62

第一章 前言

(1.1)、研究背景

氫能源科技以其零污染的特色成為21世紀最重要的新興能源，有關氫能源科技發展的研究方興未艾。氫能源科技的應用包括直接燃燒與使用電化學原理的燃料電池兩種，而無論就污染，效率，或應用範圍來看，燃料電池都將成為未來能源科技的重要選項。

氫氣的燃燒技術有三種做法[1]，第一種做法是直接以氫氣為燃料，如傳統的氫氣引擎。但因燃燒溫度高，NO_x排放問題不易解決。第二種做法是將氫氣與傳統汽柴油混核燃燒的複合燃料引擎[2,3,4]，這是以燃料重組器將傳統的汽油，柴油，或生質燃料轉化成氫氣及較低碳數的燃料，可以提高燃燒效率及降低污染排放。第三種做法是將煤炭汽化，利用所產生的氫氣來發電，此即為Integrated Coal Gasification Combined Cycle (IGCC)。

燃料電池是以氫氣與氧氣為燃料，透過質子交換過程產生電能，而整個過程就類似水電解成氫氣與氧氣的逆反應，反應後的副產物只有水和熱能，且運轉過程安靜無聲，其種種優點已勝過目前多數發電裝置。其反應過程可以下列化學方程式表示，

於電池的陽極：
$$\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$$

陰極：
$$1/2 \text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$$

總反應：
$$\text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$$

傳統的熱機是將燃料中的化學能轉換成熱能，然後將熱能轉換成機械能，最後再將機械能轉換成電能。在這層層轉換的過程當中，可用能量不斷損耗，熵不斷增加，其中在熱能轉換成機械能過程當中，受到熱力學第二定律的限制，故熱機的效率不高。燃料電池則是直接將燃料中的化學能轉換成電能，不受到卡諾循環效率的限制，故能量效率高於傳統內燃機。

燃料電池中氫氣的來源可以來自各種碳氫化合物，如甲醇、汽油、天然氣、水電解等。由於燃料電池反應後的副產物只有水和熱能，所以燃料電池不會產生內燃機引擎會排放的污染物，如CO、HC、NO_x及PM等，可說是最乾淨的動力來源。

此外，燃料電池尚具有下列優點：

1. 只要不斷的供給燃料即可連續不斷電
2. 能量效率高於傳統內燃機。
3. 運轉穩定性較傳統內燃機高。
4. 因無機件運轉，發電過程安靜無聲。
5. 模組化設計，規模具彈性。

燃料電池可依電解質及所使用燃料的不同區分為磷酸型〔PAFC〕、固態氧化物型〔SOFC〕、鹼性〔AFC〕、熔融碳酸鹽型〔MCFC〕、質子交換膜型〔PEMFC〕、與直接甲醇型〔DMFC〕燃料電池，每種電池的操作特性與裝置設備皆不相同，相對的在運用領域上也各有獨到之處。目前世界各國對於燃料電池的研究與開發皆已行之有年，如日本東京電力公司(TEPCO)於1991~1997年以磷酸型燃料電池搭建出一座最大發電量11 MW的發電廠，其他如運輸方面的應用也相當積極，各車廠均積極投入研究開發中，目前已有多個車廠推出燃料電池汽車，例如Daimler-Chrysler推出的NECAR，Honda推出的FCX，

Toyota推出的RAV等。

美國布希總統在2002年一月底宣布，在五年內將投入12億美元做為燃料電池車輛之研發，此計畫稱為FreedomCAR (Cooperative Automotive Research)，將更進一步提高車輛的能源效率，降低車輛污染，並減少對進口石油的依賴。此計畫將徹底改變未來車輛相關研究的生態，自傳統的內燃機轉向燃料電池。影響所及，自1993年開始實施的PNGV(Partnership for a New Generation of Vehicles)計畫也重新評估，並修改研究辦方向[5]。

但隨著燃料電池技術的進步，在非車輛使用上的用途逐漸浮現。事實上，目前燃料電池的商機在非車輛用途已超越車輛用途，燃料電池廠商也競相開發各種非車輛用途的產品。例如Siemens-Westinghouse Power Corporation 以發展出220 kW的動力廠，UTC則發展小型家用的電熱系統，Solar Energy Systems 開發出筆記型電腦的攜帶型燃料電池等，都是燃料電池在非車輛用途上的應用。燃料電池目前遭遇之難題只剩技術問題與成本降低，由經濟觀點著眼，各國政府及產業界皆已經或即將投下鉅資進行最後衝刺，主要看上的便是此技術應用其產品商機無限。

在國內方面，燃料電池的研究也早在數年前積極的投入，如工研院能資所早期與台電公司合作，由國外引進研究場型的燃料電池發電機組，至今在PEMFC方面已經可以自行製作各個元件與組裝燃料電池，在學術界方面各大學等皆有燃料電池研究室來針對此一新興能源科技投入研究；產業界方面，如亞太燃料電池公司與光陽機車等公司合作在2000年時推出環保氫電機車。

(1.2)、研究目的

目前燃料電池在生產技術上的困難仍尚未克服，成本仍無法與傳統的能源技術或動力系統競爭，燃料電池的應用仍限制在成本考慮不是主要因素的領域內。但燃料電池相關技術的進步一日千里，在可預見的未來，燃料電池相關產品將逐漸取代現有技術，尤其在能源供應與動力系統方面，成為新的產業。當這些燃料電池相關產品逐漸取代傳統技術時，在空氣污染排放方面一定會產生巨大的變化，因目前主要的空氣污染來源集中在能源供應與動力系統。故雖然燃料電池的時代雖尚未真正來臨，但有必要針對未來燃料電池產業取代傳統產業之後，在空氣污染排放方面所產生的變化做一評估，供環保署擬定未來管制策略的參考。本總計畫之總體目標為評估國際及國內燃料電池產業技術發展對國內空氣污染減量之影響，以做為政府訂定環保能源政策參考，以及學術界未來研究方向與目標。

而以環保署空氣污染管制策略，則分成移動污染源與固定污染源兩種，前者主要指各式車輛，而後者主要指大型發電廠，區域型分散式發電與國內積極發展之家庭用發電與熱水裝置。本總計畫之研究重點再細分為燃料電池在運輸用、固定式、與能源供輸產業技術發展之過去發展、目前現況、與未來趨勢，而最終目的在定性與定量評估其對國內空氣污染減量之影響。

本總計畫的第一個子計畫負責移動污染源方面的評估，本計畫為第二個子計畫，負責固定污染源方面的評估。至於子計畫三則探討燃料電池所需要的燃料，包括氫氣，甲醇，或汽油等，在生產與運送過程中所產生的污染。

(1.3)、研究方法

本計畫主要探討未來燃料電池相關產品逐漸取代現有技術，成為新的產業之後，在空氣污染排放方面所可能產生的影響，本計畫偏重在固定污染源方面的評估。本計畫主要包含四項工作，一是探討燃料電池在非車輛用途上未來可能的應用，及這些應用可能造成的污染；二是探討未來可能被燃料電池所取代的產業，目前的污染排放狀況；三是探討燃料電池在使用過程可能造成的污染；四是探討未來以燃料電池取代目前的產業，可能達到的污染減量效果。以下分別就燃料電池可能的應用，燃料電池可能的污染，目前產業的污染等三項內容進行說明。

(1)、燃料電池的應用

燃料電池主要能提供電源與熱源，燃料電池在非車輛用途及非軍事用途上未來可能的應用主要也在能源，電力，與動力這三個方向。目前可看出未來燃料電池的應用可以依功率來分成三大類，第一類為中小型的發電廠，第二類為中小型的電熱產生器(CHP, Combined Heat and Power Generator)，第三類為小型的電器用電池。本研究將收集相關資料，了解每一類應用的詳細內容，未來可能的規模，及可能被取代的產業，做為推估的依據。

(2)、燃料電池可能的污染

燃料電池是以氫氣與氧氣為燃料，經化學反應後的產物只有水和熱能。原則上燃料電池在操作是沒有污染的，燃料電池主要的污染發生在燃料製備與運輸過程。此外，若使用燃料重組器，將初級燃料轉化成氫氣，則燃料重組的過程也可能產生污染。

燃料電池所用的燃料中，氧氣可直接由空氣中所取得，氫氣的取得則較為有限，不同的應用範圍中，氫氣的取得方式也不一樣。中小型發電廠的氫氣可以自行產生，或用管線輸送。小型電熱產生器的氫氣也可以自行產生，使用燃料重組器，或用管線輸送。電器用電池的氫氣則無法自行產生，必須採用儲氫方式供給。

必需說明的是子計畫三負責探討燃料電池所需要的燃料，包括氫氣，甲醇，或汽油等，在生產與運送過程中所產生的污染。因此本計畫有關燃料電池可能的污染將侷限在中小型發電廠必須自行製備氫氣，以及電器用電池必須儲氫的部份。

(3)、目前產業的污染

這主要是探討可能被燃料電池取代的產業目前的污染排放現況。由於燃料電池的應用分成三大類，本研究將逐一檢討。

燃料電池的中小型發電廠主要取代現有集中式的大型發電廠，本研究將討論現有發電廠的污染，以本土數據為討論依據，如台中火力發電廠的污染排放現況。另外，由於燃料電池的廣泛應用並非馬上可以達成，本研究也將討論未來集中式大型發電廠的可能污染排放，做為比較的依據。

小型電熱產生器主要取代一般家庭電力，熱水，暖氣，冷氣等消耗。由於台灣不需要室內暖氣與壁爐，本研究將集中在能源效率的比較，及瓦斯熱水器的污染探討。

電器用燃料電池主要取代現有的二次電池，包括鉛酸電池，鎳氫電池，鋰離子電池等。這些二次電池在使用過程中並不會造成污染，主要的污染發生在生產製造過程。本研究將不討論。

第二章 燃料電池可能的應用

燃料電池是一種能源直接轉換的裝置，燃料不經過燃燒，而以電化學反應的方式，藉由氫與氧的結合，將化學能直接轉變為電能，也就是一項水電解過程的逆向反應。目前發展中的燃料電池，依電解質的不同可以區分為鹼液型燃料電池（AFC）、磷酸型燃料電池（PAFC）、熔融碳酸鹽型燃料電池（MCFC）、固態氧化物型燃料電池（SOFC）及質子交換膜型燃料電池（PEMFC）等。若依燃料來分類，則可分為氫氧燃料電池、直接甲醇燃料電池、聯氨燃料電池、鋅空氣燃料電池等。

燃料電池具有所謂的「模組性」，可依用電量的大小增減電池組的數量。因此，燃料電池可以因應各種不同的電力需求，廣泛應用在小至數瓦的隨身家電，大至數百萬瓦的發電廠。

(2.1)、燃料電池的特性

適合做為交通工具使用的燃料電池為PEMFC，主要是因為工作溫度低，負載變化快。但在非車輛使用上，燃料電池的選擇就較有彈性，以下說明非車輛使用燃料電池的種類與特性，及目前主要發展狀況。

(2.1.1). 磷酸型燃料電池(PAFC)

PAFC是目前技術較為成熟的燃料電池，以 H_3PO_4 為電解質，其構造與PEMFC很類似，但工作溫度較高，約 $150^{\circ}C\sim 220^{\circ}C$ 。此外，PAFC也可容忍較高的CO濃度，上限約1%。由於工作溫度，PAFC會產生高溫蒸氣，可用於汽電共生系統。目前ONSI(UT與Toshiba合組的公司)已售出多套250 kW的PAFC系統[6]，以天然氣為燃料，先將天然氣重組，產生氫氣。產電的效率為37%，若將所產生的熱量算入，汽電共生效率為73%。PAFC主要的問題是成本過高，高達\$3000/kW。

PAFC的優點是CO容忍度高，工作溫度還在一般材料容許範圍，效率較PEMFC高，可使用汽電共生或複循環。缺點是電解液具腐蝕性，成本高。

(2.1.2). 熔融碳酸鹽型燃料電池(MCFC)

MCFC以熔融的鹼金屬碳酸鹽為電解質，主要成份為 Li_2CO_3 與 K_2CO_3 ，工作溫度約 $600^{\circ}C\sim 700^{\circ}C$ 。可容忍較高的CO濃度，但容易受 H_2S 毒化，容忍上限約1ppm。由於工作溫度高，可在內部直接將天然氣重組，不需要另設重組器。MCFC會產生高溫蒸氣，可用於汽電共生系統。主要用途在大型固定機組及船用機組，MC Power曾開發1.8 MW的MCFC，產電效率達43.7%。

MCFC的優點是CO容忍度高，效率高，可使用汽電共生或複循環。缺點是工作溫度高，功率密度約為 $100 - 200 \text{ mW/cm}^2$ 。

(2.1.3). 固態氧化物型燃料電池(SOFC)

SOFC採用固態電解質，主要成份包括鈮(Yttrium)與鋯(Zirconium)的氧化物，通常為 Y_2O_3 -stabilized ZrO_2 ，工作溫度約 $600^{\circ}C\sim 1000^{\circ}C$ 。效率約為40~50%。目前許多公司都在開發SOFC，發展的目標包括500W的攜帶型動力系統，及MW級的工業用發電系統。

Siemens-Westinghouse曾發展25kW的SOFC系統，以天然氣，柴油，和JP-8為燃料，Ztek則曾發展250 kW的SOFC/燃氣渦輪機的混合動力系統。

(2.1.4). 質子交換膜型燃料電池 (PEMFC)

在PEMFC中，質子交換膜即為其電解液，電池中的液體為水，沒有腐蝕的問題。操作溫度約為60°C~80°C。在10 kW以下的燃料電池以PEMFC的技術最為成熟，主要因為其反應溫度較低，適用於小型的電器設備。目前已應用在巴士、汽車及一般家庭的電力供給上。

(2.1.5). 直接甲醇燃料電池 (DMFC)

直接甲醇燃料電池直接使用液態甲醇為燃料，不需透過重組器重組將甲醇轉化成氫氣，具有低溫操作，結構簡單等優點。其電解質為離子交換膜，甲醇溶液可直接透過陽極進入燃料電池，形成電流輸出功。直接甲醇燃料電池理論能量密度是4780 Whr/L，遠較於目前主流二次電池高，成為可攜式電子產品應用的主流。

(2.1.6). 鹼性燃料電池(AFC)

鹼性燃料電池是發展最早的燃料電池，工作溫度低，60~120°C，效率高，以KOH為電解質，對CO₂的容忍度低，也會受CO，H₂O，CH₄的毒害。必須以純氫與純氧為燃料，最好在封閉的環境中使用，不適合用於車輛上。但製作成本較低，電極材料選擇較多。

表2.1所示為燃料電池特性的整理，由表可看出，AFC為特殊用途的小功率燃料電池，PEMFC與DMFC為中小功率燃料電池，可做為攜帶式電源，PAFC為中功率燃料電池，可做為汽電共生與家庭熱電系統，MCFC與SOFC為中大功率燃料電池，可做為汽電共生與分散式電源。

表2.1：燃料電池特性

	工作溫度	燃料	產電效率	功率範圍	應用
AFC	60~120°C	H ₂	35~55%	<5kW	軍事，太空用途
PEMFC	50~100°C	H ₂	35~45%	5~250kW	車輛，攜帶式電源
PAFC	220°C	H ₂	40%	200 kW	汽電共生
MCFC	650°C	H ₂ ，CO，CH ₄	>50%(52%)	200 kW~MW	汽電共生，發電
SOFC	1000°C	H ₂ ，CO，CH ₄	>50%(63%)	2 kW~MW	汽電共生，發電
DMFC	130°C	CH ₃ OH	30%	1 kW	攜帶式電源

資料來源：本研究整理

(2.2)、燃料電池的可能應用

燃料電池主要能提供電與熱，燃料電池在非車輛用途上未來可能的應用主要也在能源，電力，與動力。目前可看出燃料電池的應用可以依功率來分成四大類，第一類為中小型的發電廠，約100 kW~1MW，做為分散式發電系統或是汽電共生系統。第二類為中小型的電熱產生器(CHP)，約10 kW~100 kW，做為獨立的家庭能源系統。第三類為動力輔助系統(APU，Auxiliary PowerUnit)，約5 kW~100 kW，做為輔助能源系統，主要應用在大型車

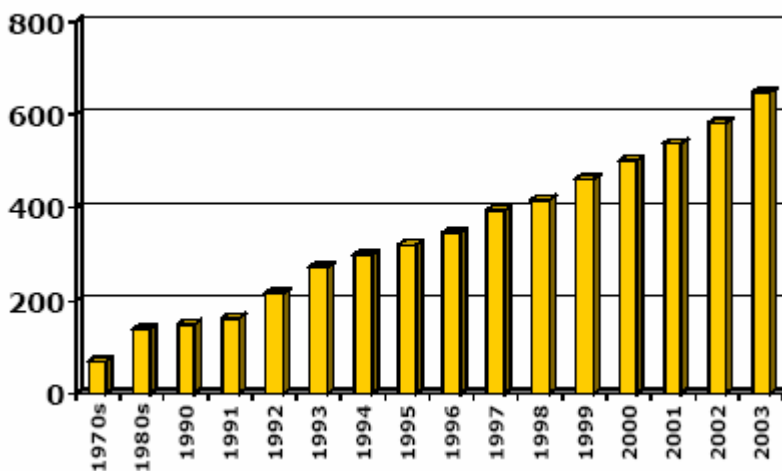
輛或飛機上。第四類為攜帶式電源，約1 kW~10 kW，做為小型攜帶式發電機或小型的電器用電池。以下分別說明這些產品的可能發展。

(2.2.1). 中小型發電廠

這主要是分散式發電系統，或獨立於供電網之外的獨立式發電系統，功率範圍為100 kW~1MW，使用的燃料電池技術包括PAFC、MCFC、及SOFC。由於氫氣供應的限制，未來應以分散式發電系統為主。在一般家庭方面，因國外地域廣大，其電網架設成本較高，電力供應可分為備用電力及主要電力二種。備用電力應用的範圍是一般的都會區，可使用燃料電池作為斷電時的備用電力。主要電力的用戶則多為地處偏遠地區者，因為鋪設電纜的成本過高，故政府鼓勵購買燃料電池，以供其電力使用。

圖2.1.1所示為大型固定式燃料電池使用的情況[7]，由圖可看出大型固定式燃料電池的數量穩定成長，到目前為止，全球至少有650座大型固定式燃料電池在使用。這是指輸出功率在10 kW以上的機組數目，平均輸出功率為200 kW，其中最大的機組為Toshiba 與 UTC Fuel Cells為Tokyo Electric所籌設的PAFC燃料電池，功率為11MW。有關這些固定式燃料電池的現況請參考網站<http://www.fuelcells.org/FCInstallationChart.pdf>

過去的PAFC是大型固定式燃料電池的主流，但最近MCFC的發展有後來居上的趨勢。2003年所安裝的新機組中，MCFC的數量已超過PAFC。MCFC的MCFC與SOFC的工作溫度較高，可與渦輪機整合，效率較高。MCFC最小的機組輸出功率達250 kW。



資料來源：[7]

圖2.1.1：大型固定式燃料電池的數量

中小型固定式燃料電池的投資金額大，進入門檻高。在MCFC燃料電池方面，目前主要的開發廠家包括Ansaldo Fuel Cells，主要產品為100kW~30MW；FuelCell Energy，主要產品為250kW的DFC300A系列；Ishikawajima-Harima Heavy Industries，主要產品為300kW；MTU CFC Solutions，主要產品為250kW HotModule。在PAFC料電池方面，包括Bharat Heavy Electrical Limited，主要產品為50kW；Fuji Electric，主要產品為100kW的FP-

100F系列；UTC Fuel Cells，主要產品為200kW的PC25系列。

在PEMFC燃料電池方面，目前主要的開發廠家包括Ballard Power Systems，主要產品為250kW；General Motors，主要產品為75kW；Hydrogenics，主要產品為25 kW的HyPM；Nuvera Fuel Cells，主要產品為75-300kW；Plug Power，主要產品為10kW。在SOFC燃料電池方面，包括Ceramic Fuel Cells Ltd，主要產品為40kW；J Power，主要產品為150W；Kansai Electric Power，主要產品為1kW；Mitsubishi Heavy Industries，主要產品為50-200kW；Nippon Telegraph & Telephone，主要產品為200kW；Siemens Westinghouse，主要產品為100kW；Ztek，主要產品為150kW。

至於固定式燃料電池的使用成本，由於目前使用中的數量還不是很多，上無法累積夠多的數據。不過Abdelsalam等人整理固定式燃料電池的使用情況[8]，及Brown等人則說明美國DOE發展固定式燃料電池的向況[9]，都有針對固定式燃料電池的使用成本做說明，本研究將其整理如表2.2所示。由表可看PAFC的使用成本差異較大，MCFC與SOFC的使用成本則較接近。至於產電效率的估計也有差異，應與不同機組的效率不同有關。

表2.2：固定式燃料電池使用成本

資料來源	參考文獻[8]			參考文獻[9]		
	產電效率	汽電共生效率	成本(\$/kW)	產電效率	汽電共生效率	成本(\$/kW)
PAFC	40%	80%	2000~3750	37%	73%	1500
MCFC	60%	85%	1000~1500	52%	82%	1300
SOFC	50%	80%	1000~1500	63%	77%	1300
PEMFC	50%	70%	N/A	36%	70%	1300

資料來源：本研究整理

做為備用電力的小型燃料電池發電廠也是相當有前途的應用，目前已有用於行動電話的基地台，將來可能取代電腦的不斷電系統(UPS)，或一般公寓大廈，醫院，工廠的緊急柴油發電機。與中小型燃料電池競爭的對手包括傳統電力，柴油引擎發電機，及微型渦輪機(micro turbine)。

微型渦輪機以天然氣為燃料，發電效率約為25%~30%。以Honeywell Parallon 75 微型渦輪機為例，輸出功率75 kW，發電效率28.5%，NOx排放濃度9 ppm。Capstone微型渦輪機輸出功率28.2 kW，發電效率24.9%，NOx排放濃度9 ppm[10]。若以發電效率來看，微型渦輪機不如燃料電池。但未來的趨勢是結合微型渦輪機與燃料電池，成為燃料電池複循環，例如McDermott Technology與Northern Research and Engineering Corporation合作，開發SOFC燃料電池與微型渦輪機與複循環，以天然氣為燃料，輸出功率761 kW，發電效率可達71.2%[11]。

(2.2.2). 小型電熱產生器

主要是提供家庭所需要的能源，包括電力與熱水，暖氣，冷氣等，功率範圍為10~100 kW，使用的燃料電池技術包括磷酸燃料電池(PAFC)、熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC)、及質子交換膜燃料電池(PEMFC)。這可以取代家庭電力，熱水器消耗。競爭對手包括瓦斯熱水器，柴油引擎發電與廢熱回收，太陽能熱水器等。

一具5~7 kW的燃料電池可產生足夠的電力，供60坪大小的居家所需，另外燃料電池的廢熱亦可供應熱水與暖氣。目前在歐洲有一個CHP的實驗計畫，由EU Joule program所資助[13]，系統容量為200 kW，最大供熱量為260 kW，發電效率37%，熱效率50%。Oosterkamp等人在荷蘭所進行的實驗顯示PEMFC的發電效率為28%，SOFC的發電效率則為32-35%[14]。但若將熱效率列入，則PEMFC與SOFC的總熱電效率都可達90%以上。

小型電熱產生器的市場才剛開始，Ceramic Fuel Cells Limited (CFCL) 與澳洲的能源公司 GippsTAFE 合作開發 micro-CHP，CFCL 也與德國能源公司 EWE 合作開發歐洲市場。

(2.2.3). 攜帶型燃料電池

攜帶型燃料電池的應用主要有三種，第一種為微型燃料電池，做為攜帶型電器用電池，主要提供行動式電器與電腦產品所需的電力。第二種為移動式發電機，主要提供較大功率的暫時性電源，如目前夜市攤販所使用的汽油發電機。第三種則為軍事用途，主要提供野戰單位中單兵作戰所需要的電力。

微型燃料電池主要提供行動式電器與電腦產品所需的電力，包括筆記型電腦，行動電話，錄影機，數位攝影機，個人數位助理等。功率範圍為1~10 kW，使用的燃料電池技術包括直接甲醇燃料電池(DMFC)、及質子交換膜燃料電池(PEMFC)。這主要取代現有的二次電池，包括鉛酸電池，鎳氫電池，鋰離子電池等。

DMFC是微型燃料電池發展的主流，DMFC直接使用甲醇為燃料，不需燃料的前處理程序，這使得DMFC很容易微小化，而成為電子通訊產品電源最佳的選擇。除輕薄短小外，DMFC更具有能量密度高與無污染等優勢，能量密度可達鋰離子電池的10倍，燃料補充的方式可多樣化地發展。

攜帶型燃料電池的發展較晚，1998年以後才開始有產品上市，但近幾年發展很快，每年的成長率都在60~70%。圖2.3.1所示為攜帶型燃料電池的成長情況[12]，由圖可看出2003年以後攜帶型燃料電池的發展非常快。

Cumulative number of systems manufactured

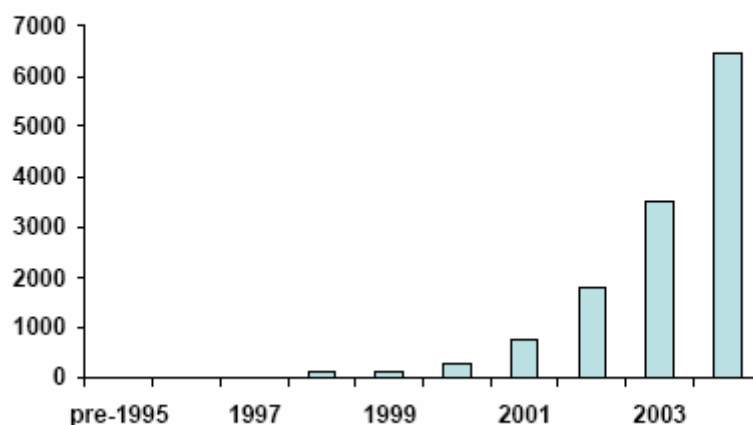


圖2.3.1：攜帶型燃料電池的成長情況

攜帶型燃料電池的發展目前仍以北美，歐洲，與日本三大市場為主。目前主要的開發廠家包括3P-Energy，主要產品為筆記型電腦電源；Angstrom Power，主要產品為攜帶型發電機；Asia Pacific Fuel Cell Technologies，主要產品為攜帶型發電機；Astris Energi，主要產品為軍用裝備；Axane，主要產品為攜帶型發電機；Beijing Fuyuan Century Fuel Cell Power，主要產品包括筆記型電腦(30W)與行動電話(3W)；CEAG，主要產品為行動電話電源；CETI Fuel Cell，主要產品為筆記型電腦電源。

圖2.3.2所示為Motorola所發表的PDA，使用DMFC燃料電池為電源。圖2.3.3所示為Toshiba在2004年所發表的MP3 player，使用DMFC燃料電池為電源，可連續操作20小時。



圖2.3.2：Motorola所發表的PDA。



圖2.3.3：Toshiba的MP3 player。

圖2.3.4所示為MTI Micro Fuel Cells所發展的充電器，使用DMFC燃料電池為電源。可使用於一般電子產品，也具有軍事用途。圖2.3.5所示為Axane在2003年所發表的緊急發電機，輸出功率為2 kW。



圖2.3.4：MTI Micro Fuel Cells的充電器。



圖2.3.5：Axane的緊急發電機。

(2.2.4). 輔助動力系統(APU)

APU 是輔助動力系統，目前主要應用在車輛及飛機上。在車輛的應用方面，APU 與一般燃料電池車輛不同，並不是車輛的主要動力來源，只是做為輔助動力來源，車輛的主要動力來源仍是傳統的汽油引擎或柴油引擎。可能的應用有兩項，一是應用在卡車或軍用車輛上，可提供大貨車做為空調，加熱，電視，電腦等電源，做為引擎熄火後的動力來源，所需功率約 5kW。車輛停駛時，引擎可以熄火，可有效降低車輛污染，並提高能源效率。二是應用在長途巴士，可提供空調及其他電器用品，由於空調負載較大，所需功率估計約 14kW，相當於一具小型引擎。

氫氣的來源可以考慮使用已製備完成的純氫及儲氫系統，也可以使用燃料重組器在車上產生氫氣。目前考慮中的燃料電池包括 SOFC 及 PEMFC，雖然 PEMFC 為車用動力系統燃料電池的主要首選，但在 APU 的應用上，PEMFC 並不是很適合，因為 PEMFC 對氫氣的品質要求比較高，尤其無法容忍 CO。而卡車或軍用車輛的燃料為柴油，柴油的含硫量高，也較不容易重組成高品質的氫氣。但 SOFC 可容忍燃料中較高的 CO 濃度及硫含量，較適合卡車或軍用車輛使用。

Delphi 已與 BMW 合作開發 SOFC 的 APU，供大貨車使用，功率為 5kW，效率 50% 以上，如圖 2.4.1 所示。在 Delphi 的系統中，看出現有的發電機與充電器將被燃料電池所取代。但 APU 做為車輛的輔助動力來源，必須以燃料重組器在車上產生氫氣，會影響整體系統的效率。

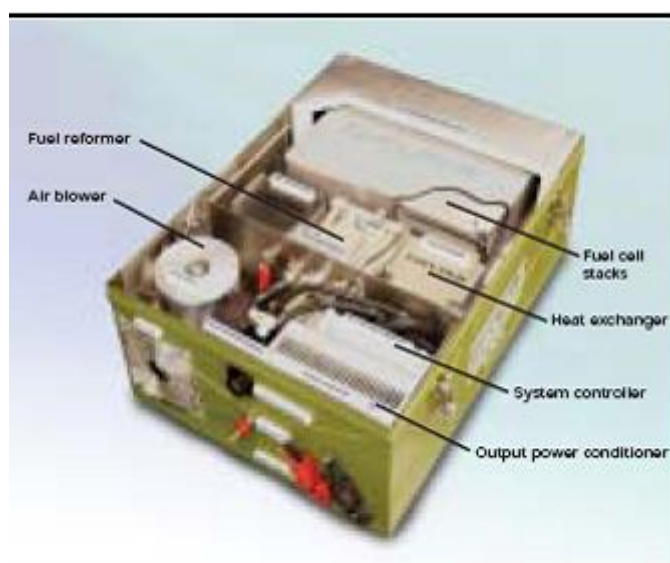


圖2.4.1： Delphi的APU

使用 APU 固然可以減少車輛在惰轉狀態下的污染排放，但不必然會提高能源使用效率，依據 Dobbs 等人的研究[15]，一個 5 kW 的 APU 系統的效率約為 31%，其中燃料電池組的效率為 56%，重組器的效率為 77%。而依據 Stratonova 等人的推估[16]，在大貨車上，一個 4 kW 的 APU 可節省 15~20%的燃料，而在長途巴士上，一個 14 kW 的 APU 則不會節省燃料，但可減少 27%的 NOx 及 1.9%的 PM。

航空用 APU 也獲得相當廣泛的關注，NASA 與 Boeing 合作，開發大型飛機的輔助動力系統，可以降低飛機起飛時所產生的 NOx，減少機場的空氣污染，並提高能源效率。這是一個整合 SOFC 與 Microturbine 的複合動力系統，如圖 2.4.2 所示[17]。以燃料重組器將航空用油轉化成 CO 與 H₂，做為 SOFC 的燃料，Turbine 的排氣做為 SOFC 的助燃劑，而 SOFC 的高溫排氣用來加熱 Turbine 的進氣。整個系統可產生 441 kW 的輸出，做為機艙空調與電源，預期效率可達 60%，遠高於目前以 Turbine 驅動的 APU 的 15%。

航空用 APU 預計 2015 年正式在飛機上使用，未來的目標設定輸出功率為 450 kW，能量密度為 0.5 kW/kg，可直接以 Jet-A 燃料重組使用。目前輸出功率達到 100 kW，能量密度達到 0.02~0.04 kW/kg。

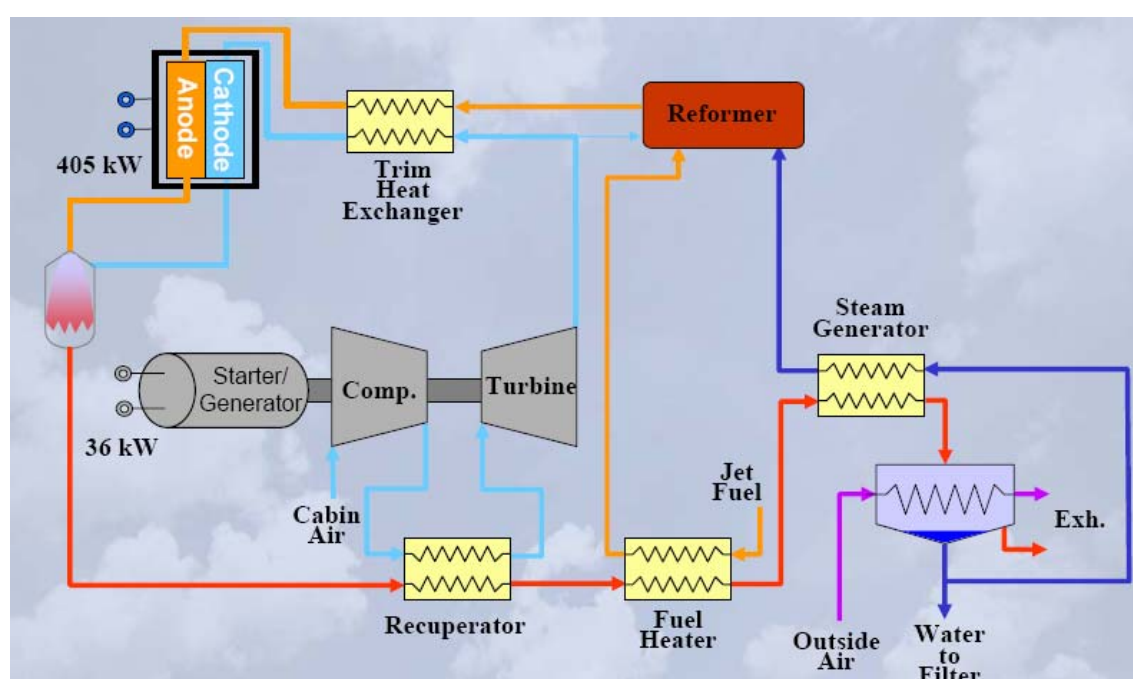


圖2.4.2：Boeing所開發的APU

由於渦輪引擎的燃燒特性，飛機的排氣污染以 NOx 為主，其他的污染物則相當低。依據台北市環保局的調查[18]，2000 年松山機場的 NOx 排放量為 991 公噸，HC 排放量為 66 公噸，CO 排放量為 753 公噸，SOx 排放量為 32 公噸，PM 排放量為 4 公噸。因飛機所造成的污染並不是主要污染源，本計畫並沒有討論航空用 APU 的減量效果。

第三章 目前產業的污染

這主要是探討可能被燃料電池取代的產業目前的污染排放現況。由於燃料電池的應用分成四大類，本研究將逐一檢討。

產業的污染排放又可分為兩階段，第一階段為燃料生產，製備，與運輸過程所產生的污染，此即為一般所稱well to pump的污染。第二階段為燃料使用過程所產生的污染，此即為一般所稱pump to wheel的污染。雖然固定源的用途沒有使用車輪，但本研究仍沿用pump to wheel的名詞。過去有關固定污染源的污染管制都集中在燃料使用過程所產生的污染，但因燃料電池只有第一階段的污染，若要比較燃料電池與目前產業的污染，就必須兩個階段都比較。

(3.1)、燃料生產製備的污染

第一階段的污染與燃料種類有關，與使用方式無關。第二階段的污染與燃料種類，使用方式及污染防治設備的效率有關。本整合型計畫的子計畫三負責探討各種燃料在生產與運送過程中所產生的污染，表3.1.1中有關生產Diesel，CNG，LPG，Methanol，及Gasoline的污染即為該計畫的計算結果，其中包括燃料生產的能源效率，溫室氣體產生量，及管制性污染物的產生量。

表3.1.1：各種燃料在生產與運送過程中所產生的污染

	Diesel	CNG	LPG	MeOH	Gasoline
WTP Efficiency	82.4%	86.2%	90.6%	63.3%	80.8%
CO ₂ (g/mmBTU)	16,418	11,569	7,619	23,593	18,039
CH ₄ (g/mmBTU)	104.946	252.302	115.702	140.727	107.866
N ₂ O(g/mmBTU)	0.285	0.217	0.137	0.407	0.311
GHGs(g/mmBTU)	18,710	16,934	10,091	26,674	20,401
VOC: Total(g/mmBTU)	8.390	2.308	4.183	9.449	16.270
CO: Total(g/mmBTU)	13.632	21.752	7.625	19.710	14.353
NO _x : Total(g/mmBTU)	37.178	44.990	19.326	38.659	38.611
PM ₁₀ : Total(g/mmBTU)	3.040	1.295	0.693	1.920	3.310
SO _x : Total(g/mmBTU)	17.030	11.739	3.968	6.489	18.541
VOC: Urban(g/mmBTU)	2.413	1.166	0.710	1.605	5.621
CO: Urban(g/mmBTU)	3.519	14.830	0.227	1.361	4.013
NO _x : Urban(g/mmBTU)	6.599	29.294	0.706	1.473	7.550
PM ₁₀ : Urban(g/mmBTU)	1.336	0.262	0.027	0.134	1.497
SO _x : Urban(g/mmBTU)	7.138	0.524	0.136	0.202	8.003

資料來源：子計畫三

表3.1.1中各種燃料生產過程所產生的污染量的單位為(g/mmBTU)，代表每生產1百萬Btu燃料所產生的污染量。為方便比較，本文將燃料在生產與運送過程中所產生的污染量

轉換成一致的單位(g/kWh)，代表每生產相當於1度電的燃料所產生的污染量，如表3.1.2所示。表中所示為每生產1kWh燃料所產生的CO、NO_x、PM₁₀、SO_x的排放量。由表可看出生產天然氣所產生的CO、NO_x最高，生產汽油所產生的PM₁₀、SO_x最高。

本整合型計畫的子計畫三並沒有考慮生產與運送煤炭的污染，但煤炭是固定污染源中相當重要的燃料，故本研究另外再加上煤炭的污染。煤炭的污染可分成兩部份，第一部份為開採過程的污染，以TSP為主[19]，第二部份為處理與運輸過程的污染，以NO_x與SO_x為主[20]，其排放係數分別為NO_x 41.7 g/GJ，SO_x 29.2 g/GJ。依據能源局的統計資料[21]，我國自2001年以後就沒有自產煤炭，所有煤炭都仰賴進口。由於我國不生產煤炭，開採過程的污染都不在境內發生，故本研究只考慮處理與運輸過程的污染。本文再將煤炭運送過程中所產生的污染量轉換成一致的單位(g/kWh)，如表3.1.2所示。由表可看出運送煤炭所產生的SO_x遠高於其他燃料，NO_x則與生產天然氣相當。

表3.1.2：燃料生產製備的污染

	Diesel	Natural Gas	LPG	Coal
CO: Total(g/kWh)	0.0466	0.0741	0.0260	
NO _x : Total(g/kWh)	0.1270	0.1535	0.0660	0.150
PM ₁₀ : Total(g/kWh)	0.0104	0.0044	0.0024	
SO _x : Total(g/kWh)	0.0581	0.0401	0.0135	0.105

資料來源：子計畫三，本研究整理

(3.2)、發電廠的污染

燃料電池的中小型發電廠主要取代現有集中式的大型發電廠，本研究將討論現有發電廠的污染，以本土數據為討論依據。

由經濟部能源局所公佈的資料可知，2001年台灣地區的水力發電容量4422千瓩，佔全部發電容量13%，核能發電容量5144千瓩，佔全部發電容量14%，火力發電容量26005千瓩，佔全部發電容量73%。火力發電又包括燃煤機組，燃油機組，燃氣機組，及汽電共生。其中水力發電與核能發電不會產生空氣污染物，只有火力發電會產生空氣污染物。本研究以台電台中火力發電廠的污染排放數據來代表汽輪機火力發電的污染排放情況。另外，在離島地區由於發電量較小，採用引擎發電機組，本研究以金門水頭塔山電廠與夏興電廠的排放數據來代表引擎發電機組的污染排放情況。

(3.2.1). 汽輪發電機組

台中發電廠位於台中港工業區南端，可容納十部燃煤汽輪發電機組，每部機組之額定發電量為550MW，以及四部緊急氣渦輪發電機組，每部機組之額定發電量為72MW，總裝置發電量為5788MW。是台灣地區最大的火力發電廠。採用的污染防治設備包括排煙脫硫設備，以減少排氣中硫氧化物之含量；低氮氧化物燃燒器，減少排氣中氮氧化物之含量；及靜電集塵器，收集鍋爐燃料燃燒後煙氣中之粒狀污染物。

本文用來分析火力發電廠污染排放的資料來源為台電台中火力發電廠九十二年三月份的工作報表及台中縣環保局CEMS的量測結果。其中M03~M08機組均已裝設EP，

FGD，及 SCR 等污染防制設備，各污染物排放量均為經過防制設備之結果。由於 M03 與 M04 為舊機組，M05~M08 則為八十六年裝設之新機組，故污染排放的濃度並不相同。

表 3.2.1 所示為九十二年三月台中火力發電廠的發電量及污染產生量。由表可計算出各機組的污染排放量，如表 3.2.2 所示。由表 3.2.2 可看出台中火力發電廠各機組的粒狀污染物的排放量相當一致，約為 0.02 g/kWh，這是因為各機組都採用靜電集塵器，且靜電集塵器的效率可達 99.83%。SO_x 的排放水準也相當一致，約為 0.35 g/kWh，這是因為各機組都採用排煙脫硫設備 FGD。但 NO_x 的排放水準與 CO 的排放水準則不一致，這與廠房的新舊及污染控制設備有關，在本文中依各機組的發電量加權，可獲得 NO_x 的平均排放量為 0.72 g/kWh，CO 的平均排放量為 0.68 g/kWh。至於 HC，因火力發電廠的排放量相當低，本文假設沒有 HC 排放。

表3.2.1：台中火力發電廠的發電量及污染產生量

機組	M03	M04	M05	M06	M07	M08
發電量(kWh)	404258000	315778000	406761000	405993000	408009000	406767000
煤用量(Ton)	142894.803	112606.824	143955.248	143688.677	145907.963	144437.961
供電時數(hr)	744	602.25	744	744	744	744
PAR(Ton)	9.7836	7.070415	10.96656	9.41904	9.41904	9.41904
SO _x (Ton)	139.41	116.30	129.13	142.20	153.44	148.44
NO _x (Ton)	443.94	322.57	227.77	264.01	260.11	245.92
CO(Ton)	589.51	393.24	95.59	218.61	248.86	114.70

資料來源：本研究整理

表3.2.2：火力發電廠的污染排放量

機組	M03	M04	M05	M06	M07	M08	平均
PAR(g/kWh)	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
SO _x (g/kWh)	0.34	0.37	0.32	0.35	0.38	0.36	0.35
NO _x (g/kWh)	1.10	1.02	0.56	0.65	0.64	0.60	0.72
CO(g/kWh)	1.46	1.25	0.24	0.54	0.61	0.28	0.68

資料來源：本研究整理

本文中依各機組的發電量加權，可獲得 NO_x 的平均排放量為 0.72 g/kWh，CO 的平均排放量為 0.68 g/kWh。至於 HC，因火力發電廠的排放量相當低，本文假設沒有 HC 排放。

(3.2.2). 引擎發電機組

金門縣各公私場所污染物排放量以台電水頭塔山電廠排放總量最大 (2,002.669 噸/

年)，其次為夏興電廠（885.966 噸/年）[22]。由於發電量較小，採用引擎發電機組，2003 年電力供應業排放量如表 3.3.1 所示，而該年度金門縣用電量為 200,932,815 度電[23]，故可計算引擎發電機組的排放係數，如表 3.2.3 所示。

表3.2.3：引擎發電機組排放係數

	PAR	SOx	NOx	CO
排放量(噸/年)	93.7	240.2	2569	167
排放係數(g/kWh)	0.466	1.195	12.785	5.808

由表可看出引擎發電機組的排放係數遠高於汽輪發電機組，尤其是 NOx 更嚴重，這主要有兩個原因：一是金門只供應普通柴油，含硫量達 0.5%以上，二是小型機組的排放標準比較寬鬆，通常都沒有安裝污染控制設備。自 2005 年開始，金門地區已逐步開始供應含硫量 50 ppm 以下的高級柴油，SOx 的問題應可以改善，但 NOx 的問題仍然嚴重。

(3.3)、汽電共生的污染

汽電共生系統是指利用單一燃料與單一系統同時產生電力及蒸汽的一種裝置，包括高壓蒸汽氣鍋爐和蒸汽渦輪發電機組合，燃氣渦輪發電機和廢熱鍋爐的組合，或內燃機和廢熱鍋爐的組合。因為汽電共生系統將本來要排到大氣中的廢熱拿來利用，所以汽電共生系統效率（發電效率及熱用熱能系統效率之和）相當高，甚至可達 90%，不但節約能源，兼可減輕對環境之污染。

荷蘭是目前汽電共生比例最高的國家，佔全國總發電容量的40%，丹麥與芬蘭的比例也相當高。整個歐盟則預計在2010年時，汽電共生比例將達30%。美國的汽電共生容量目前為56,000 MW，約佔全國總發電容量的7%，預計在2010年時，汽電共生比例將達14%。

(3.3.1). 我國汽電共生現況

經濟部自 1988 年提出「汽電共生系統推廣辦法」，推廣設置汽電共生系統，以保證收購電價的方式，鼓勵發展汽電共生廠，我國汽電共生系統裝置容量已由 1989 年的 74 萬瓩，至 2004 年擴大達 723.9 萬瓩，成長將近 10 倍，總家數達 97 家[24]。其中以石化業 13 家所佔比例最高，系統裝置容量佔 45%。而汽電共生裝置容量佔台灣電力系統總裝置容量的比例也由 1989 年的 4.45%達到 2004 年的 22%。與其他國家比較，我國汽電共生系統的比例並不低。

依據「汽電共生系統推廣辦法」，汽電共生系統指設置汽電共生設備，利用燃料或處理廢棄物同時產生有效熱能及電能之系統。汽電共生系統符合有效熱能比率不低於 20%及總熱效率不低於 52%之基準稱合格汽電共生系統。汽電共生有效熱能比率與總熱效率定義如下：

$$\text{有效熱能比率} = \text{有效熱能產出} / (\text{有效熱能產出} + \text{有效電能產出})$$

$$\text{總熱效率} = (\text{有效熱能產出} + \text{有效電能產出}) / \text{燃料熱值}$$

依據 2003 年汽電共生效率查驗的結果，我國汽電共生廠平均熱效率為 56%，有效熱能比率 46%，有效電能效率為 30%。而歐洲對汽電共生總熱能效率的定義為：

(有效電能產出+有效熱能產出的三分之二倍) / 燃料熱值 $\geq 60\%$

依此定義，我國現有汽電共生系統的效率只有 47%，並不合格，顯示我國汽電共生系統的能源使用效率偏低。

我國汽電共生系統主要包括蒸汽鍋爐，柴油引擎，與燃氣渦輪機三種，其中蒸汽鍋爐佔 90%，柴油引擎佔 6.7%，燃氣渦輪機佔 3.9%。蒸汽鍋爐的燃料主要使用煤與重油，佔 67%，天然氣只佔 4%，顯示我國汽電共生系統主要使用高污染性燃料。

(3.3.2). 汽電共生系統的污染排放

我國汽電共生系統主要是蒸汽鍋爐，排放的空氣污染物包括 NO_x，TSP，與 SO_x。主要的污染防治設備如表 3.3.1 所示，在 TSP 方面約有七成汽電廠裝有防治設備，以靜電集塵器所佔比例最高，其他包括旋風集塵器，袋式集塵器，及乾濕洗滌塔等，但仍有 28% 汽電廠裝沒有安裝防治設備。NO_x 方面以 LNB(Low NO_x Burner)與 OFA(Overfire Air) 所佔比例最高，其他包括 SCR，SNCR，及 FGR 等，但仍有 18% 汽電廠裝沒有安裝防治設備。在 SO_x 方面約有六成汽電廠裝有 FGD，但仍有 38% 汽電廠裝沒有安裝防治設備。

表3.3.1：汽電共生鍋爐污染防治設備

(a). TSP 方面

洗滌塔	旋風+袋式	旋風+袋式+靜電	旋風+靜電	袋式+靜電	袋式集塵器	靜電集塵器	無
4%	2%	4%	4%	8%	6%	44%	28%

(b). NO_x 方面

LNB	OFA	Reburn	SCR	SNCR	FGR	其他	無
47%	16%	1%	7%	6%	4%	1%	18%

(c). SO_x 方面

其他	FGD	無
4%	58%	38%

表3.3.2所示為國內汽電廠污染排放現況分析，由圖可看出NO_x煙道排放濃度以 100~200 ppm 為主，SO_x 煙道排放濃度以 0~100 ppm 為主。

本研究以彰化縣的五座汽電共生廠為例來說明污染排放狀況[25]，如表3.3.3所示。這五座汽電共生廠包括兩座粉煤鍋爐，兩座柴油引擎，及一座垃圾焚化廠。表中數值包括發電量，年排放量，及平均排放濃度。其中排放濃度數值後面括號內的數字為排放標準，由表可看出除了 NO_x 較接近排放標準外，PM₁₀ 與 SO_x 都遠低於排放標準。將年排放量除以發電量，即可獲得單位發電量的排放量，即排放係數，如表 3.3.4 所示。本研究將兩座粉煤鍋爐的排放係數合併，也將兩座柴油引擎的排放係數合併，由表可看出 TSP 與 NO_x 的排放係數以柴油引擎最低，粉煤鍋爐次之，垃圾焚化廠最高；SO_x 排放係數則以粉煤鍋爐最低，柴油引擎次之，垃圾焚化廠最高。

我國汽電共生系統以蒸汽鍋爐與柴油引擎為主，本文將汽電共生廠分為三大類，分別

為粉煤鍋爐，柴油引擎，與垃圾焚化廠。但由於垃圾焚化廠的功能特殊，處理垃圾是主要的任務，發電與產汽只是附帶的功能，將來不可能被燃料電池所取代，故本研究在汽電共生部分並不考慮垃圾焚化廠，只考慮蒸汽鍋爐與柴油引擎。其中蒸汽鍋爐的排放係數採用兩座粉煤鍋爐的平均值，柴油引擎則採用兩具柴油引擎汽電共生系統的平均值，如表 3.3.4 括號中的數字所示。由表可看出粉煤鍋爐的粒狀污染物與 NO_x 排放係數約為柴油引擎的 2~3 倍，但柴油引擎的 SO_x 較粉煤鍋爐高。至於 CO 的排放係數，因原始檢測資料中沒有記載，本文不予考慮。

表3.3.2：國內汽電廠污染排放現況

排放濃度 (ppm)	0~50	51~100	101~150	151~200	201~250	251~300	301~350	351~
座數(NO _x)	1	5	16	9	7	2	4	2
座數(SO _x)	22	7	7	2	1	0	0	2

表3.3.3：彰化縣汽電共生廠污染排放狀況

	A	B	C	D	E
機組型式	粉煤濕底式鍋爐	柴油引擎	粉煤乾底式鍋爐	垃圾焚化廠	柴油引擎
發電量(度/年)	2,288,784,000	56,700,000	205,300,000	22,600,000	217,728,000
PAR(噸/年)	195	6.9	47.3	43.0	11.1
SO _x (噸/年)	620	96.8	30.7	143	155
NO _x (噸/年)	1593	18.7	522	353	151
PM ₁₀ (mg/m ³)	14(109)	21(200)	42(140)	5(30)	16(209)
SO _x (ppm)	17(300)	27(500)	11(300)	1(80)	5(500)
NO _x (ppm)	241(250)	108(235)	225(325)	85(180)	76(250)

表3.3.4：汽電共生廠排放係數

	粉煤鍋爐	柴油引擎	垃圾焚化廠
PAR(g/kWh)	0.085~0.230(0.1575)	0.051~0.122(0.0865)	1.903
SO _x (g/kWh)	0.150~0.271(0.2105)	0.712~1.707(1.2095)	6.327
NO _x (g/kWh)	0.696~2.543(1.6195)	0.330~0.694(0.512)	15.62

資料來源：本研究整理

(3.4)、小型電熱產生器的污染

小型電熱產生器主要取代一般家庭電力，熱水，暖氣，冷氣等消耗。由於台灣不需要室內暖氣與壁爐，本研究集中在家庭用瓦斯爐具的污染探討。家庭用瓦斯爐具又可分為瓦斯熱水器與廚房用爐具兩類，其中廚房用爐具包括烤箱、烘燒爐、瓦爐爐等，以烹調食物為主，將來不可能被燃料電池所取代，故本研究在只考慮瓦斯熱水器。

瓦斯熱水器所使用的燃料為瓦斯。目前臺灣各瓦斯公司所供應的瓦斯，均系中國石油

公司所供應的天然氣，僅大臺北區瓦斯公司除供應天然瓦斯外，另供應啓業化工公司所出產的煤炭瓦斯。瓦斯的成分如表3.4.1所示，由表可看出天然氣以甲烷為主，煤炭瓦斯主要成分為甲烷，氫氣，與一氧化碳，液化石油氣則以丙烷與丁烷為主。

表3.4.1：我國所使用瓦斯的成分

成分	瓦斯種類	天然氣	煤炭瓦斯	液化石油氣	
				A	B
甲烷	CH ₄	88.69	27.80	--	--
乙烷	C ₂ H ₆	3.34	--	--	--
丙烷	C ₃ H ₈	0.60	--	30.00	50.00
正丁烷	nC ₄ H ₁₀	0.16	0.89	70.00	50.00
異丁烷	iC ₄ H ₁₀	0.13	--	--	--
乙烯	C ₂ H ₄	--	2.23	--	--
丙烯	C ₃ H ₆	--	1.34	--	--
氫氣	H ₂	--	42.00	--	--
一氧化碳	CO	--	5.09	--	--
二氧化碳	CO ₂	6.78	2.30	--	--
氮氣	N ₂	0.20	13.31	--	--
氧氣	O ₂	0.10	5.04	--	--
比重(空氣=1)	約	0.65	0.51	1.93	1.82
發熱量Kcal/Nm ²	約	9,200	5,000	29,700	28,200

瓦斯的燃燒方法依與混合的方式可分為本生式燃燒法，半本生式燃燒法，紅火式燃燒法，與全一次空氣式燃燒法等四大類。其中本生式燃燒法最為普遍，瓦斯從噴嘴以一定的壓力噴出時，從空氣孔吸入空氣，稱之為一次空氣，此空氣於混合管內與瓦斯充分混合後，再於焰嘴噴出而燃燒，此時再從火焰周圍獲得燃燒所需之空氣，此時之空氣謂之二次空氣。燃燒時的火焰溫度可達1300℃。

有關家庭用瓦斯爐具的污染排放量測過去都偏重在人體暴露量，例如Ng等人評估婦女在烹飪時的NO₂暴露量對於氣喘病發作的影響，量測結果顯示NO₂的濃度為300 μg/m³[26]，而Dennekamp也發現使用瓦斯爐具時，在人體高度位置的NO_x濃度約為2000 ppm[27]。但由於抽油煙機空氣的稀釋效應，人體高度位置的濃度都遠低於燃燒排放濃度，無法做為推估排放濃度的依據。

有關家用瓦斯熱水器的污染排放量澳洲有做過一些推估[28]，1997澳洲LPG消費量為108 PJ(1 PJ = 10¹⁵J)，天然氣消費量為637 PJ，其中30.7% 用於住宅，主要用於熱水器，加熱爐，及烹調用瓦斯爐。這些家用爐具每年產生2245噸的NO_x，由此可推估瓦斯熱水器的NO_x排放係數為9.82 mg/MJ，相當於0.035 g/kWh，如表3.4.2所示，遠低於火力發電廠或汽電共生廠的排放係數。由表可看出本研究只考慮瓦斯熱水器的NO_x排放，並沒有考慮其他的污染，這是因為由表3.4.1可看出瓦斯的成分相當單純，不含硫化物，所以沒有SO_x排放。而氣態燃料與空氣混合良好，燃燒完全，沒有CO與HC排放。瓦斯的燃燒方法主要為預混式的本生燃燒法，也不會有未完全燃燒的碳粒，故沒有PM排放。

表3.4.2：家用瓦斯熱水器排放係數

家用瓦斯熱水器	排放係數
PAR(g/kWh)	0
SOx(g/kWh)	0
NOx(g/kWh)	0.035
CO(g/kWh)	0

資料來源：本研究整理

依據能源局的統計，2003年我國住宅用天然氣消費量為854.7百萬立方公尺，相當於31.1 PJ。若我國的瓦斯熱水器與澳洲相當，則每年產生305噸的NOx。

(3.5)、柴油車的污染

目前APU主要用在大貨車，大客車，以及大型民航機上，本文沒有考慮APU在民航機上的應用，只考慮大貨車與大客車。由於大貨車與大客車都屬於重型柴油車，若使用燃料電池APU，可降低柴油車的污染，故本文先估計目前柴油車的污染排放狀況。

柴油車的污染排放與車輛總數，行駛里程，及排放係數有關，即

$$\text{【污染排放總量=排放係數} \times \text{年行駛里程數} \times \text{車輛總數】}$$

若只考慮單一車輛，則其污染排放與行駛里程及排放係數有關。其中排放係數是指車輛每行駛一公里所排放的污染量(g/km)，與固定污染源的排放係數不同，固定污染源的排放係數是指每輸出一單位功所排放的污染量(g/kW-h)有關。

柴油車的排放係數包括三項，第一項是零里程排放係數，這是指新車剛出廠時，在零公里的污染排放值，代表車廠的技術水準與品管能力。第二項是劣化係數，這是指車輛經正常使用後，污染排放隨里程而增加的幅度，代表車主維護保養的用心程度。第三項是實際路況的修正係數，這是指車輛在實際道路與標準測試路況的差異，代表交通管理狀況。

表3.5.1所示為我國大客車的排放係數，依據盧昭暉等人的研究整理而得[29]。但由於本文比較各種不同污染源時，都採用相同的排放係數單位，為g/kWh，相當於每發一度電所產生的污染物。柴油車的排放係數單位為g/km，相當於每行駛一公里所產生的污染物。必須將排放係數的單位予以統一，才能進行比較。這兩個不同單位間的轉換係數為kWh/km，相當於車輛每行駛1 km引擎所輸出的功，即為引擎負載。此轉換係數之數值與路況及車輛負載有關，美國EPA建議轉換係數的範圍為2.0~3.2 bhp-h/mile，本文採用單一的數值2.68 bhp-h/mile，再將bhp-h/mile轉換成kWh/km，故其數值為1.25 kWh/km。

依此轉換係數，可將大客車的排放係數由g/km轉換成g/kWh。另外，由表3.5.1與表3.5.2可看出不同車齡的柴油車排放係數差異極大，這是因為不同排放標準所造成。考慮未來燃料電池大量使用時，一期與二期的柴油車應都已淘汰，故本文只考慮三期柴油車的排放係數，如表3.5.2所示。

表3.5.1：我國大客車排放係數

實際代表年份	車齡	里程(km)		排放係數(g/km)			
		各年里程	累積里程	HC	CO	NOx	PM
2002	1	46714	46714	0.320	2.761	6.871	0.132
2001	2	46714	93428	0.358	2.943	7.011	0.132
2000	3	46714	140142	0.395	3.126	7.151	0.130
1999	4	46714	186856	0.743	3.321	7.785	0.381
1998	5	46714	233570	1.092	3.515	8.408	0.555
1997	6	46714	280284	1.129	3.697	8.539	0.539
1996	7	46714	326998	1.167	3.879	8.670	0.537
1995	8	46714	373712	1.204	4.061	8.800	0.514
1994	9	46714	420426	1.241	4.244	8.931	0.549
1993	10	46714	467140	2.415	7.232	14.163	0.570
1992	11	46714	513854	3.612	10.282	19.559	0.407
1991	12	46714	560568	3.719	10.572	19.900	1.180
1990	13	46714	607282	3.827	10.861	20.241	1.186
1989	14	46714	653996	3.934	11.151	20.582	1.193
1988	15	46714	700710	4.042	11.440	20.923	1.199
1987	16	46714	747424	4.149	11.730	21.264	1.206
1986	17	46714	794138	4.257	12.020	21.605	1.212
1985	18	46714	840852	4.364	12.309	21.946	1.219
1984	19	46714	887566	4.471	12.599	22.287	1.225
1983	20	46714	934280	4.579	12.889	22.628	1.232

表3.5.2：重型柴油車排放係數(g/kWh)

CO	THC	NOx	PM
1.23	0.31	3.16	0.06

資料來源：本研究整理

第四章 燃料電池的污染

燃料電池是以氫氣與氧氣為燃料，經化學作用後的產物只有水和熱能。原則上燃料電池在操作是沒有污染的，燃料電池主要的污染發生在燃料製備與運輸過程。

燃料電池的燃料來源極廣，只要含有氫原子的石化能源如石油、天然氣、煤炭、沼氣、酒精與甲醇等，通過一個燃料重組器，都可作為燃料電池的能源進料。燃料電池使用的燃料有兩類，第一類是氫氣，大部分的燃料電池都是以氫氣為燃料，第二類是甲醇，直接甲醇式燃料電池(DMFC)以甲醇為燃料。使用氫氣為燃料又可分兩種狀況，第一種以純氫為燃料，必須事先製備氫氣，再以管路輸送，或以鋼瓶儲存；第二種則通過一個燃料重組器，線上將燃料轉換成氫氣。在本文中一共考慮四種燃料製備與運輸過程所產生的污染，第一種為製氫所產生的污染，這主要應用在以純氫為燃料的燃料電池；第二種為製備甲醇或甲烷等燃料所產生的污染，這主要應用在DMFC或使用燃料重組器的燃料電池；第三種為儲氫過程所產生的污染，這主要應用在以純氫為燃料的燃料電池，但需要以鋼瓶儲存的情況。通常固定式燃料電池並不需要以鋼瓶儲存氫氣，可能的應用包括動力輔助系統及攜帶式燃料電池。第四種為燃料重組器將甲醇或甲烷等燃料轉換成氫氣時所產生的污染，這主要應用在使用燃料重組器的燃料電池。

(4.1)、氫氣生產方法

燃料電池的主要燃料是氫氣，氫氣來源可分為石化製氫與非石化製氫。石化製氫包括由煤、石油、天然氣等石化能源，經過重組反應後，所取得的大量氫氣。這部分技術已經相當成熟，也是目前氫氣的主要來源。非石化製氫則是利用太陽能、核能、水力等提供電力，經水電解反應產生氫氣，或以紫外光並藉由適當的觸媒直接光分解水產生氫氣。

非石化製氫主要分為太陽能製氫，生物製氫，及電解製氫。這些製成目前尚非主流，但未來發展潛力相當高。太陽能製氫三種基本方法，即水的電解法(electrolysis)、水的熱化法(thermolysis)（熱能與化學的分解法）與水的光化法(photolysis)。第一種方法要先把太陽能變成電能，第二種方法要把它收集成熱能，第三種方法是太陽能的直接使用。

利用生物轉換來產生太陽能是通過光合作用，將光能轉換成化學能，實際的做法包括將糖類作物、穀物和植物纖維作原料，生產燃料酒精，發展薪炭林，將有機廢物進行分解，產生沼氣，或利用藻類和某些微生物的光合作用，在陽光下分解製氫，提供燃料。

中小型發電廠的氫氣可以自行產生，或用管線輸送。小型電熱產生器的氫氣也可以自行產生，使用燃料重組器，或用管線輸送。電器用電池的氫氣則無法自行產生，必須採用儲氫方式供給。

氫氣主要來源仍是石化燃料，48%來自天然氣，30%來自石油，18%來自煤炭，4%則來自電解水。而目前我國工業上氫氣的來源主要有八種[29]，分別為：純水電解，鹼氣廠鹽水電解副產品，煉油廠原油裂解脫氫製程副產品回收，甲醇蒸氣重組，天然氣蒸氣重組，重油部份氧化，煤炭氯化或水煤氣，及有機生質蒸氣重組。其中以蒸氣重組法佔最大比例。

(4.2)、氫氣製備的污染

本整合型計畫的子計畫三負責探討燃料電池所需要的燃料，包括氫氣，甲醇，或汽油等，在生產與運送過程中所產生的污染。表4.2.1所示為該計畫的計算結果，表中所示為每生產1百萬BTU燃料所產生的CO、NO_x、PM₁₀、SO_x的排放量。由表可看出以一般工廠光電作用之污染量最低，公用電力工廠電解法最差。

表4.2.1：每生產1百萬BTU燃料所產生的污染排放量

	一般工廠 NG	加氫站 NG	一般工廠 光電作用法	天然氣工廠 電解法	核能動力工 廠電解法	氫氣工廠 電解法	公共電力工 廠電解法
Total Energy	1,325,317	1,888,283	1,873,823	4,439,422	1,337,006	1,100,891	3,696,829
CO ₂	144,038	207,786	653	344,291	19,899	0	399,343
CH ₄	215.041	493.157	0.713	901.847	27.160	0.000	516.684
N ₂ O	1.593	2.299	0.015	7.561	0.341	0.000	6.794
GHGs	149,048	218,855	673	365,574	20,575	0	412,299
VOC: Total	2.815	10.393	0.329	12.285	1.654	0.000	30.001
CO: Total	28.814	38.217	1.056	140.065	7.130	0.000	65.781
NO _x : Total	42.263	129.545	7.042	133.585	23.310	0.000	388.309
PM ₁₀ : Total	4.277	16.435	0.171	20.089	2.680	0.000	53.523
SO _x : Total	8.185	184.573	0.848	17.667	31.134	0.000	643.091

本文再將表4.2.1的排放量轉換成排放係數，如表4.2.2所示。這表示以不同方式生產氫氣時，所產生的污染。由表可看出不同生產方式的污染量差異很大，主要是生產氫氣的能源不同所致。一般工廠光電作用是以太陽能來製氫，污染量最低，公用電力工廠電解法是以一般火力發電所產生的電力來製氫，污染量最高。

表4.2.2：氫氣生產與運送過程中所產生的污染

	一般工 廠 NG	加氫站 NG	一般工廠 光電作用法	天然氣工廠 電解法	核能動力工 廠電解法	公共電力工 廠電解法
CO (g/kWh)	0.098	0.130	0.004	0.478	0.024	0.225
NO _x (g/kWh)	0.144	0.442	0.024	0.456	0.080	1.325
PM ₁₀ (g/kWh)	0.0146	0.056	0.0006	0.069	0.009	0.183
SO _x (g/kWh)	0.0279	0.630	0.003	0.060	0.106	2.195

資料來源：子計畫三，本研究整理

圖4.2.1所示為不同方式生產氫氣時所產生的CO，圖4.2.2所示為不同方式生產氫氣時所產生的NO_x，圖4.2.3所示為不同方式生產氫氣時所產生的PM，圖4.2.4所示為不同方式生產氫氣時所產生的SO_x。由圖可看出不同生產方式的污染量差異很大。

氫氣生產與運送過程中CO之污染

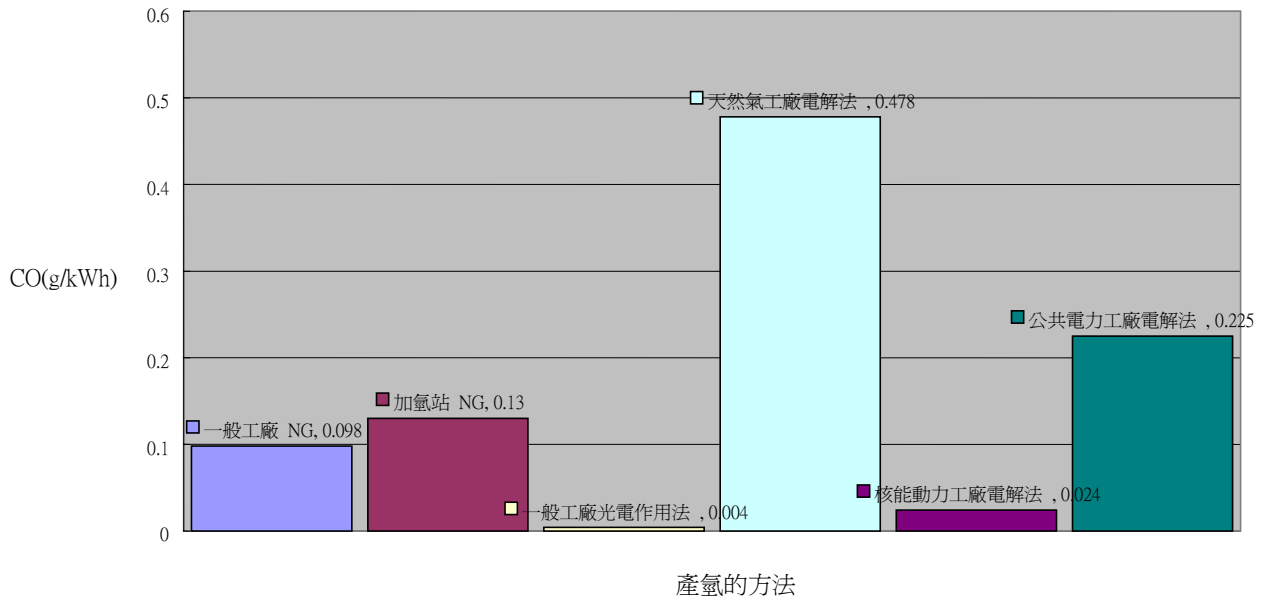


圖4.2.1：不同方式生產氫氣時所產生的CO

氫氣的生產與運送過程中NO_x之污染

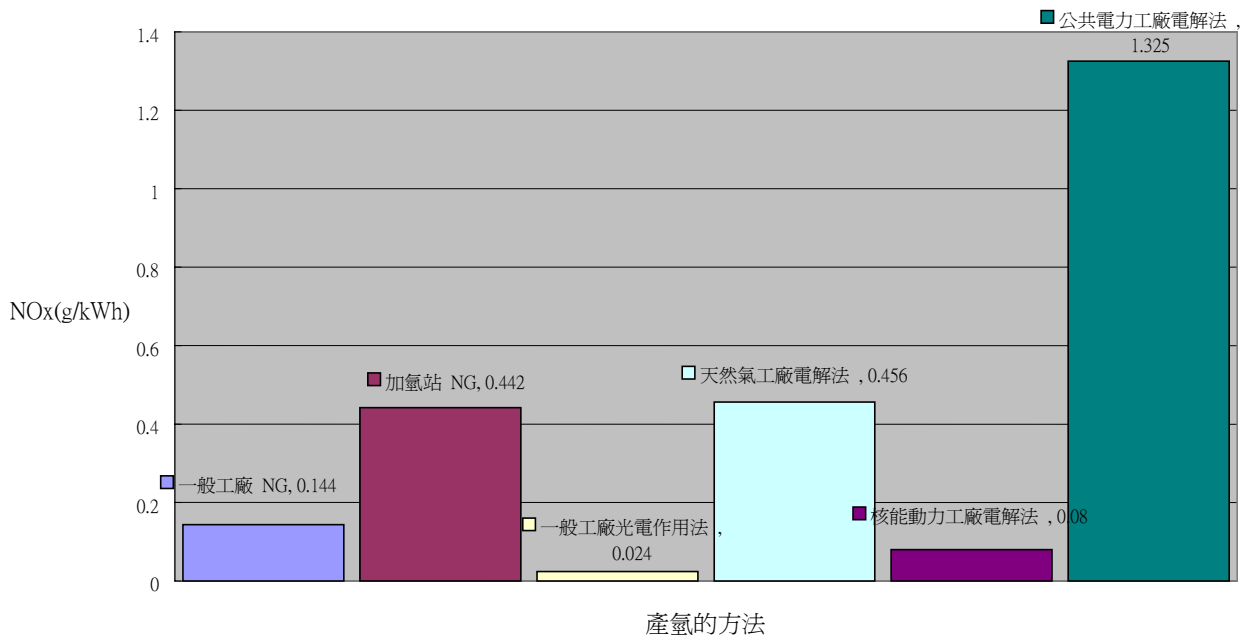


圖4.2.2：不同方式生產氫氣時所產生的NO_x

氫氣生產與運送過程中PM10之污染

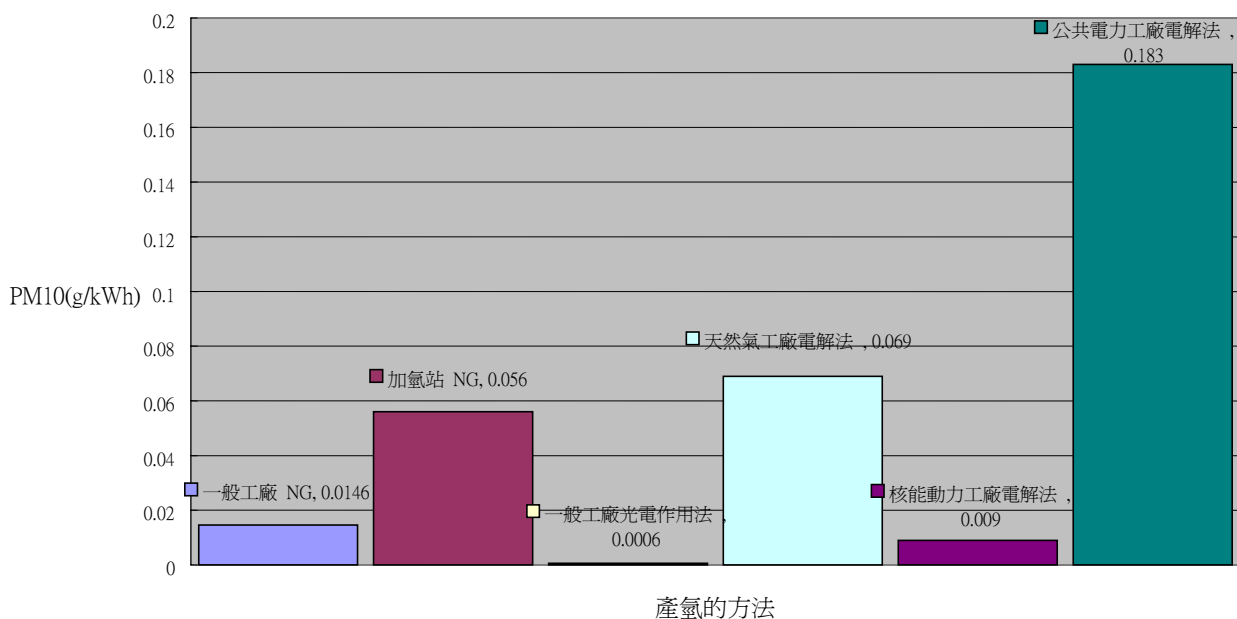


圖4.2.3：不同方式生產氫氣時所產生的PM

氫氣生產與運送過程中SOx之污染

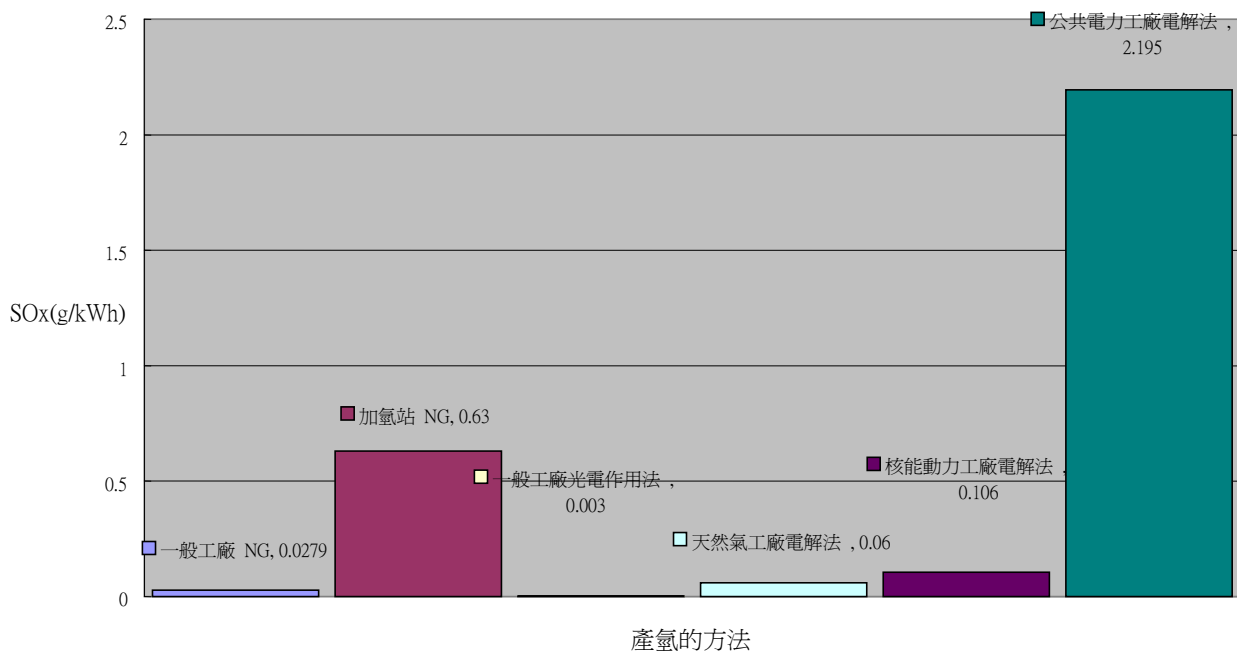


圖4.2.4：不同方式生產氫氣時所產生的SOx

(4.3)、氫氣儲存的污染

通常固定式燃料電池的空間要求不大，有足夠的空間安裝燃料重組器，或可以使用管線提供氫氣，並不需要以鋼瓶儲存氫氣，但車用APU及攜帶式燃料電池就有儲存氫氣的必要。純氫儲存在高壓鋼瓶中，儲存壓力可達3600 psig，要將氫氣自常壓狀態壓縮至3600 psig必須以多級壓縮機來加壓，加壓過程會耗費能量，通常是電能。而使用電能會造成污染，其污染量與發電方式有關。

本文以最簡單的方法來估算加壓所耗費的電能。假設氫氣自1 atm壓縮至246 atm(3600 psig)，分三級來加壓，每一級加壓6.25倍。每一級加壓後都冷卻至300K，每一級壓縮機的效率都是0.85，則將氫氣自1 atm壓縮至246 atm所需的功為(3600 psig)：

$$\begin{aligned} W &= 3 * (h_2 - h_1) \\ &= 3 * c_p * (T_2 - T_1) \\ &= 3 * c_p * (T_1 * (1 + ((P_2/P_1)^{(k-1/k)} - 1)/\eta_c) - T_1) \\ &= 3 * 29 * (300 * (1 + ((6.3)^{(4/1.4)} - 1)/.85) - 300) \\ &= 21128 \text{ kJ/kmole} \\ &= 5.87 \text{ kW-hr/kmole} \end{aligned}$$

即每壓縮1 kmole氫氣約需5.87 kW-hr的電力，而1 kmole氫氣25°C時理論上可以藉由燃料電池產生228590 kJ的能量，相當於63.50 kW-hr的電力，約為壓縮氫氣所需能量的10.8倍，也就是說約有9%的能量損耗在壓縮過程。由表3.2.2所列發電的平均污染量可計算壓縮氫氣的污染產生量，如表4.3.1所示。由表可看出儲氫過程會造成能量消耗，並產生污染。

表4.3.1：氫儲存的污染排放量

	電廠	壓縮	液化
PAR(g/kWh)	0.02	0.002	0.006
SOx(g/kWh)	0.35	0.032	0.099
NOx(g/kWh)	0.72	0.067	0.204
CO(g/kWh)	0.68	0.063	0.193

資料來源：本研究整理

另一種儲存氫氣的方式為液態氫，氫氣在20 K的低溫下會液化。液態氫的能量密度比高壓氫高，約8.5 MJ/L。但將氫氣液化也需要能量，通常是電能，因而造成污染。估計將氫氣液化所需能量約18 kWh/kmole[30]，約為壓縮氫氣的3倍，也就是說約有28%的能量損耗在氫氣液化過程。由表3.2.2所列發電的平均污染量可計算氫氣液化的污染產生量，如表4.3.1所示。由表可看出以液態氫來儲存氫氣所耗費的能量及產生的污染都高於高壓氫。

(4.4)、燃料重組器的污染

燃料電池使用的時候不產生污染，但若以重組器將燃料轉化成氫氣，在轉化過程中則可能產生污染。依據Fable等人的研究[31]，重組器在暖機階段，會產生較高的THC與CO，如圖4.3.1所示。其排放量CO 約為1.5 ng/J，THC約為3 ng/J，但NOx則較低，如圖4.3.2所

示。若依此數據來推估，則重組器的排放係數CO為0.0036 g/kWh，THC為0.0072 g/kWh。由於重組器的排放係數遠低於其他污染，故本文不考慮燃料重組器的污染。

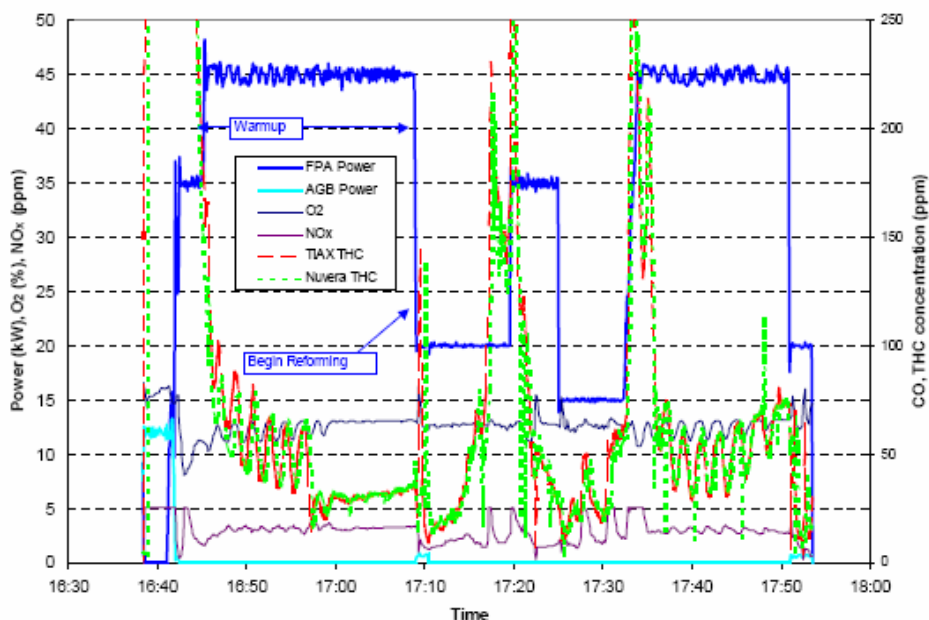


圖4.3.1：重組器在暖機階段的污染排放

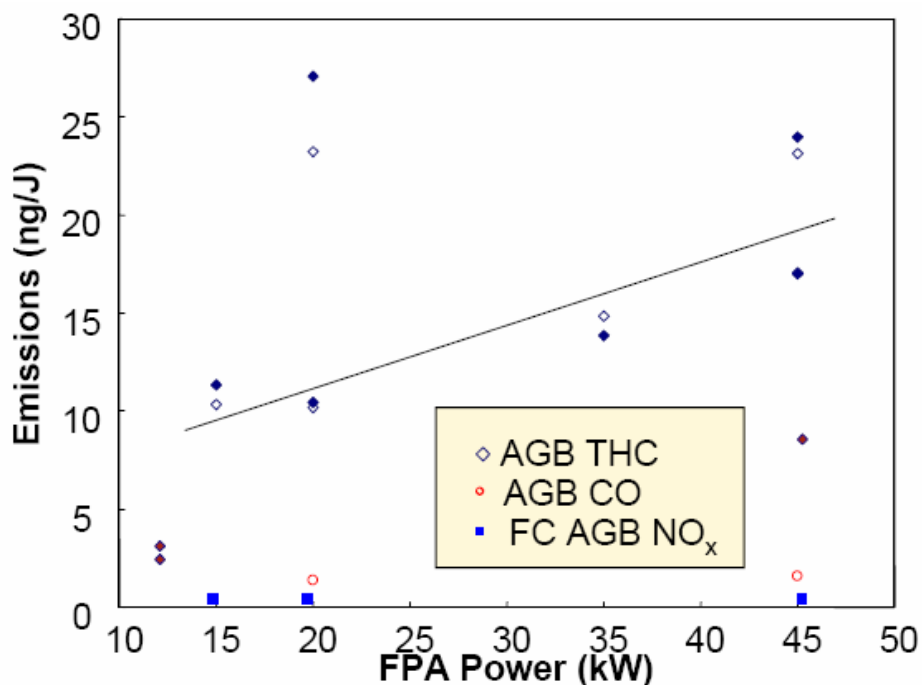


圖4.3.2：重組器的排放係數

(4.5)、燃料電池的污染

表4.2.2所示為氫氣生產與運送過程中所產生的污染，但氫氣使用時，還要乘上燃料電池的效率才能得到最後的輸出電力。本研究以表2.1所示的燃料電池效率來計算，並考慮最佳，最常用，與最差三種情況。最佳是指氫氣生產與運送過程中所產生的污染最少，即一般工廠光電作用法，最差是指氫氣生產與運送過程中所產生的污染最多，即公用電力工廠電解法，而最常用是指目前燃料電池的氫氣生產方法，即一般工廠以天然氣來製氫。本研究將這三種方法所產生的污染除以燃料電池效率，即可得燃料電池的排放係數，如表4.5.1所示。由表可看出公用電力工廠電解法的排放係數遠高於工廠光電作用法，這是因為電解法所需的電力來是來自火力發電，故排放係數高，而目前最常用的製氫法的排放係數則介於最佳與最差兩種情況之間。

表4.5.1：燃料電池的排放係數

燃料電池發電之污染		AFC	PEMFC	PAFC	MCFC	SOFC	DMFC
產電效率		0.45	0.40	0.40	0.52	0.63	0.30
CO (g/kWh)	光電作用法	0.0080	0.0090	0.0090	0.0069	0.0057	0.0120
	一般工廠 NG	0.2185	0.2459	0.2459	0.1891	0.1561	0.3278
	公共電力電解法	0.4989	0.5613	0.5613	0.4317	0.3564	0.7484
NO _x (g/kWh)	光電作用法	0.0534	0.0601	0.0601	0.0462	0.0381	0.0801
	一般工廠 NG	0.3205	0.3606	0.3606	0.2774	0.2290	0.4808
	公共電力電解法	2.9451	3.3132	3.3132	2.5486	2.1036	4.4176
PM10 (g/kWh)	光電作用法	0.0013	0.0015	0.0015	0.0011	0.0009	0.0019
	一般工廠 NG	0.0324	0.0365	0.0365	0.0281	0.0232	0.0487
	公共電力電解法	0.4059	0.4567	0.4567	0.3513	0.2900	0.6089
SO _x (g/kWh)	光電作用法	0.0064	0.0072	0.0072	0.0056	0.0046	0.0096
	一般工廠 NG	0.0621	0.0698	0.0698	0.0537	0.0443	0.0931
	公共電力電解法	4.8774	5.4871	5.4871	4.2209	3.4839	7.3162

資料來源：本研究整理

圖4.5.1所示為以一般工廠天然氣生產氫氣，應用在不同燃料電池時，所產生的CO。由於各種燃料電池的效率差異不大，其CO排放係數的差別也不大，不同的排放係數只是反映出效率的差異。效率越高，則排放係數越低。由圖可看出SOFC的排放係數最低，那是因為SOFC的效率最高。而DMFC排放係數最高，那是因為DMFC的效率最低。

比較圖4.2.1與圖4.5.1可發現，不同生產氫氣方式所產生的污染排放差異遠大於使用不同燃料電池所產生的污染排放差異，也就是說，若使用燃料電池能造成污染減量的話，關鍵不在於使用哪一種燃料電池，而是如何產生氫氣。

圖4.5.2所示為一般工廠天然氣生產氫氣，應用在不同燃料電池時，所產生的NO_x，圖4.5.3所示為一般工廠天然氣生產氫氣，應用在不同燃料電池時，所產生的PM，圖4.5.4所示為一般工廠天然氣生產氫氣，應用在不同燃料電池時，所產生的SO_x。由圖可看出不同

不同燃料電池的污染量差異都不大。

一般工廠NG法產氫用於燃料電池之CO排放係數

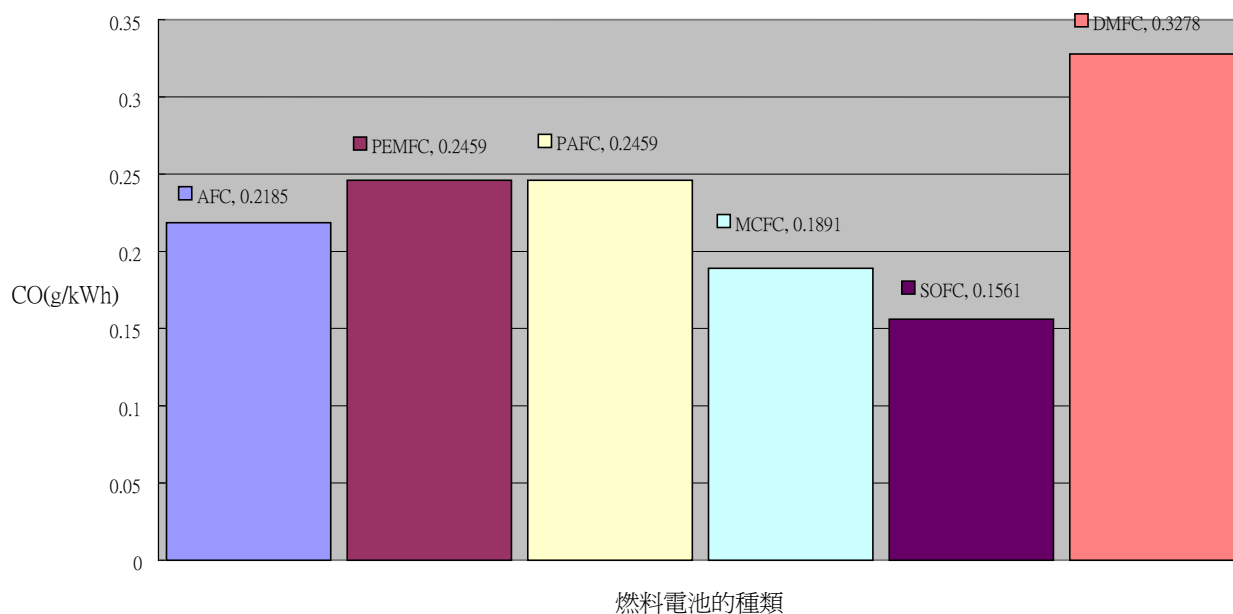


圖4.5.1：以一般工廠天然氣生產氫氣，應用在不同燃料電池時，所產生的CO

一般工廠NG法產氫用於燃料電池之NO_x排放係數

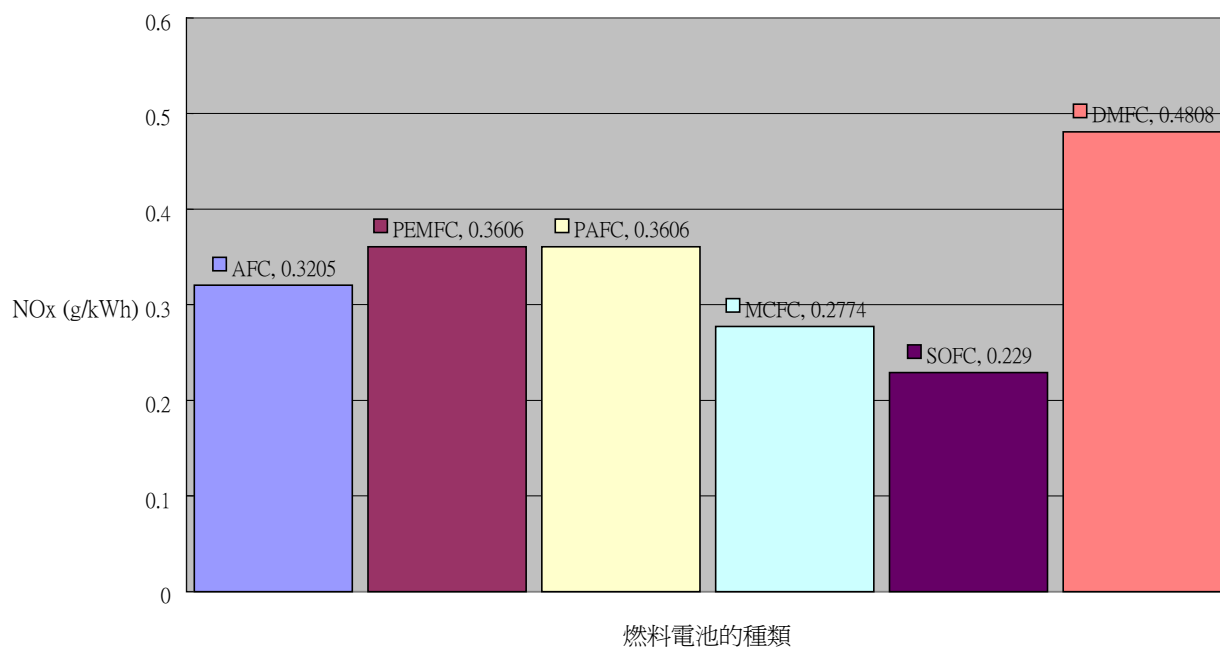


圖4.5.2：以一般工廠天然氣生產氫氣，應用在不同燃料電池時，所產生的NO_x

一般工廠NG法產氫用於燃料電池之PM10排放係數

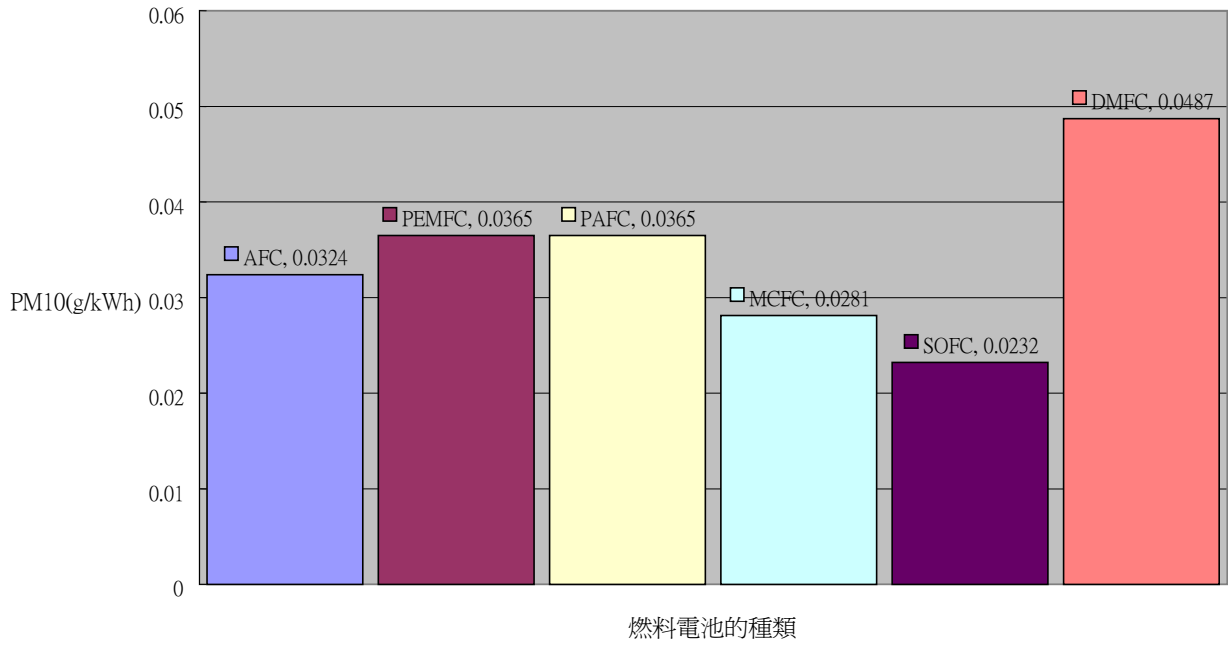


圖4.5.3：以一般工廠天然氣生產氫氣，應用在不同燃料電池時，所產生的PM

一般工廠NG法產氫用於燃料電池之SO_x排放係數

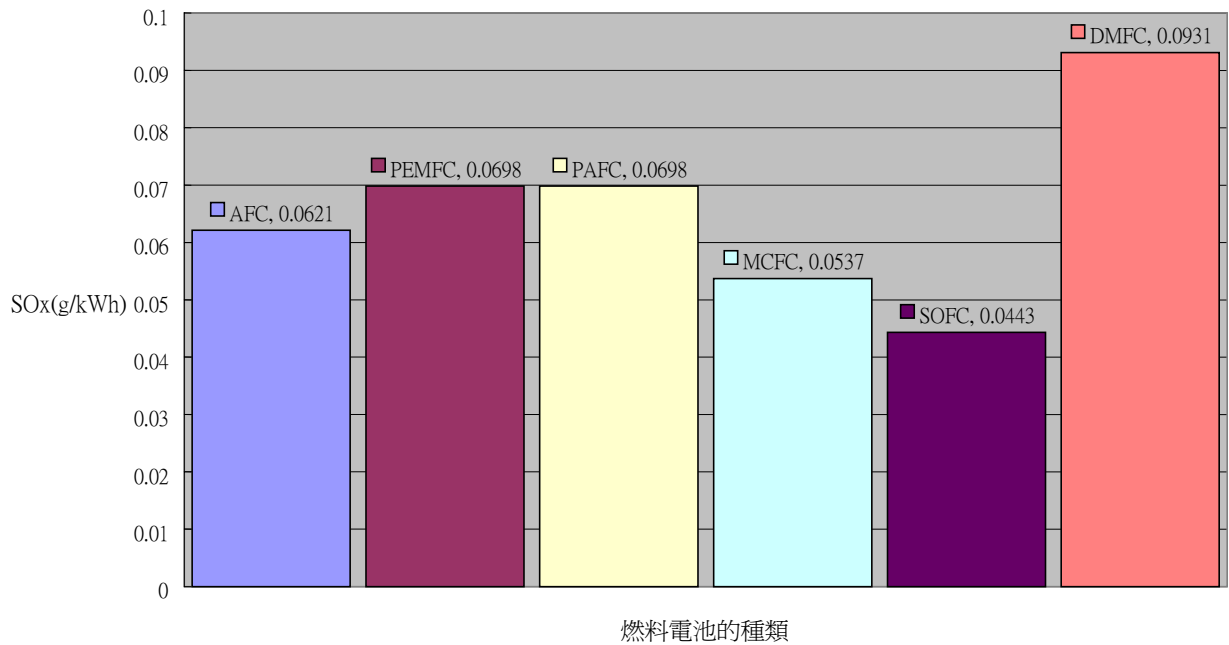


圖4.5.4：以一般工廠天然氣生產氫氣，應用在不同燃料電池時，所產生的SO_x

第五章 燃料電池的減量效果

燃料電池的減量效果是指以燃料電池來取代傳統能源與動力產業時，所能所減少的污染排放。本文分別就中型發電系統，小型發電系統，中型汽電共生系統，小型汽電共生系統，家用熱電系統，與動力輔助系統來進行考慮，這些應用包括了燃料電池將來可能的應用方向。

計算燃料電池的減量效果是以傳統的污染源為基準，減去燃料電池的污染。其中傳統污染源的排放係數在本文第三章中已做過討論，燃料電池的的排放係數則在本文第四章中已做過討論。但燃料電池共有四種污染來源，分別為製氫所產生的污染，製備燃料所產生的污染，儲氫過程所產生的污染，及燃料重組器所產生的污染。由第四章的討論可知燃料重組器所產生的污染相當低，本文不予考慮；儲氫系統只有在車上及攜帶型的燃料電池才有必要，故只有動力輔助系統才必須考慮。至於製氫的污染與製備燃料的污染是所有燃料電池都必須考慮的，在本文中則各別考慮，其中製備燃料的污染稱為well to pump。在以下的分析中，燃料電池的減量效果都分成兩種基準來計算，第一種計算是考慮well to pump的污染，即考慮製備燃料過程的污染與將燃料轉化成氫氣的污染，第二種計算則只考慮將燃料轉化成氫氣的污染。

(5.1)、中型發電系統

中型發電系統的功率範圍為1M~10 MW，主要用途為分散式發電系統，或獨立於供電網之外的獨立式發電系統，適合使用的燃料電池包括PAFC、MCFC、及SOFC。污染減量效果的比較對象是台中火力發電廠，該廠以燃煤為主。表5.1.1為以分散型燃料電池來取代表集中型火力發電廠的污染減量效果，由表可看出氫氣來源是關鍵因素，若以光電作用法來產生氫氣，四種污染物都有很好的減量效果；若以天然氣來產生氫氣，四種污染物也都有很好的減量效果；但若以公共電力電解法來產生氫氣，只有CO會減量，其他三種污染物反而會增加。

中型發電系統的比較對象是台中火力發電廠，該廠以燃煤為主。由表3.1.2可知，煤炭輸運過程中主要產生的污染為NO_x與SO_x，故考慮well to pump的污染時，NO_x與SO_x污的污染減量效果會不一樣。由表5.1.1的計算結果可看出，考慮well to pump的污染可增加NO_x與SO_x污的減量效果約10~20%，可見煤炭輸運過程的污染也相當可觀。

圖5.1.1為中型發電系統CO減量效果的比較，由圖可看出以光電作用法來產生氫氣，三種燃料電池的污染減量效果都差不多，約為0.67 g/kWh；以天然氣來產生氫氣，則以SOFC的污染減量效果較佳，PAFC的污染減量效果較差，但相差不大，約為0.43~0.52 g/kWh；但若以公共電力電解法來產生氫氣，三種燃料電池的污染減量效果差異較大，以SOFC的污染減量效果較佳，PAFC的污染減量效果較差，約為0.11~0.32 g/kWh。

圖5.1.2為中型發電系統NO_x的減量效果，由圖可看出以光電作用法來產生氫氣，或以天然氣來產生氫氣，三種燃料電池的污染減量效果都差不多，其中以光電作用法略佳，約為0.80~0.83 g/kWh，天然氣產氫約為0.50~0.64 g/kWh；但若以公共電力電解法來產生氫氣，三種燃料電池的污染減量效果都是負值，顯示燃料電池不僅沒有污染減量效果，反而增加污染。

圖5.1.3為中型發電系統PM減量效果的比較，由圖可看出只有以光電作用法來產生氫氣可以有PM減量效果，且三種燃料電池的污染減量效果都差不多，約為0.02 g/kWh，以SOFC的污染減量效果較佳，PAFC的污染減量效果較差；以天然氣來產生氫氣，則PM反而略微增加，但若以公共電力電解法來產生氫氣，PM則大幅增加。這是因為目前火力發電廠的靜電集塵器效率都相當高，PM排放問題並不嚴重。

圖5.1.4為中型發電系統SOx的減量效果，由圖可看出以光電作用法來產生氫氣，或以天然氣來產生氫氣，三種燃料電池的污染減量效果都差不多，其中以光電作用法略佳，約為0.45 g/kWh，天然氣產氫約為0.38~0.41 g/kWh；但若以公共電力電解法來產生氫氣，三種燃料電池的污染減量效果都是負值，顯示燃料電池不僅沒有污染減量效果，反而增加污染。

表5.1.1：中型發電系統的污染減量效果

燃料電池的種類		PAFC		MCFC		SOFC	
產電效率		0.4000		0.5200		0.6300	
是否考慮well to pump		不考慮	考慮	不考慮	考慮	不考慮	考慮
CO (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	0.6710	0.6710	0.6731	0.6731	0.6743	0.6743
	一般工廠 NG	0.4341	0.4341	0.4909	0.4909	0.5239	0.5239
	公共電力工廠電解法	0.1187	0.1187	0.2483	0.2483	0.3236	0.3236
NOx (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	0.6599	0.8099	0.6738	0.8238	0.6819	0.8319
	一般工廠 NG	0.3594	0.5094	0.4426	0.5926	0.4910	0.6410
	公共電力工廠電解法	-2.5932	-2.4432	-1.8286	-1.6786	-1.3836	-1.2336
PM10 (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	0.0185	0.0185	0.0189	0.0189	0.0191	0.0191
	一般工廠 NG	-0.0165	-0.0165	-0.0081	-0.0081	-0.0032	-0.0032
	公共電力工廠電解法	-0.4367	-0.4367	-0.3313	-0.3313	-0.2700	-0.2700
SOx (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	0.3428	0.4478	0.3444	0.4494	0.3454	0.4504
	一般工廠 NG	0.2802	0.3852	0.2963	0.4013	0.3057	0.4107
	公共電力工廠電解法	-5.1371	-5.0321	-3.8709	-3.7659	-3.1339	-3.0289

資料來源：本研究整理

一台1MW的燃料電池一年可以發電8.76百萬度，由排放係數即可計算一年所產生的污染減量。與台中火力發電廠比較，若不考慮第一階段的污染，最理想的情況一年可以減少CO 5.91噸，NOx 5.97噸，PM₁₀ 0.17噸，SOx 3.03噸。若考慮第一階段的污染，則可以減少NOx 7.29噸，SOx 3.95噸。如表5.12所示。

中型發電系統CO減量之效果

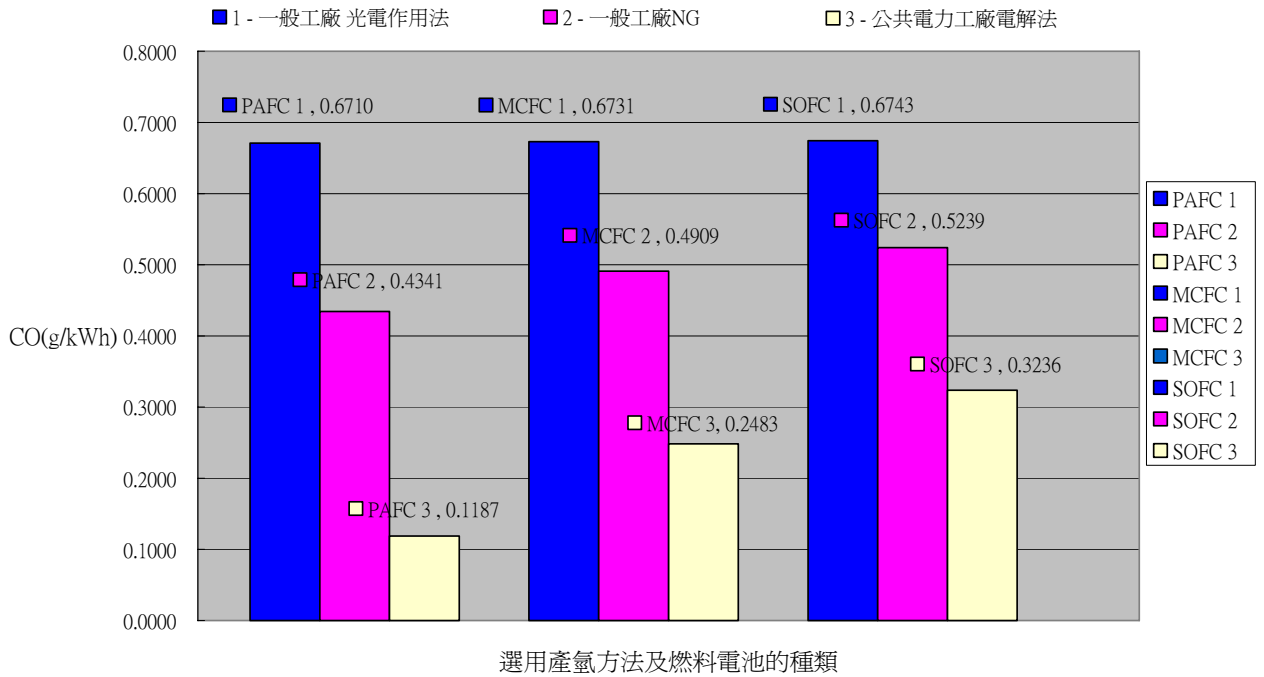


圖5.1.1：中型發電系統CO減量之效果

中型發電系統NOx減量之效果

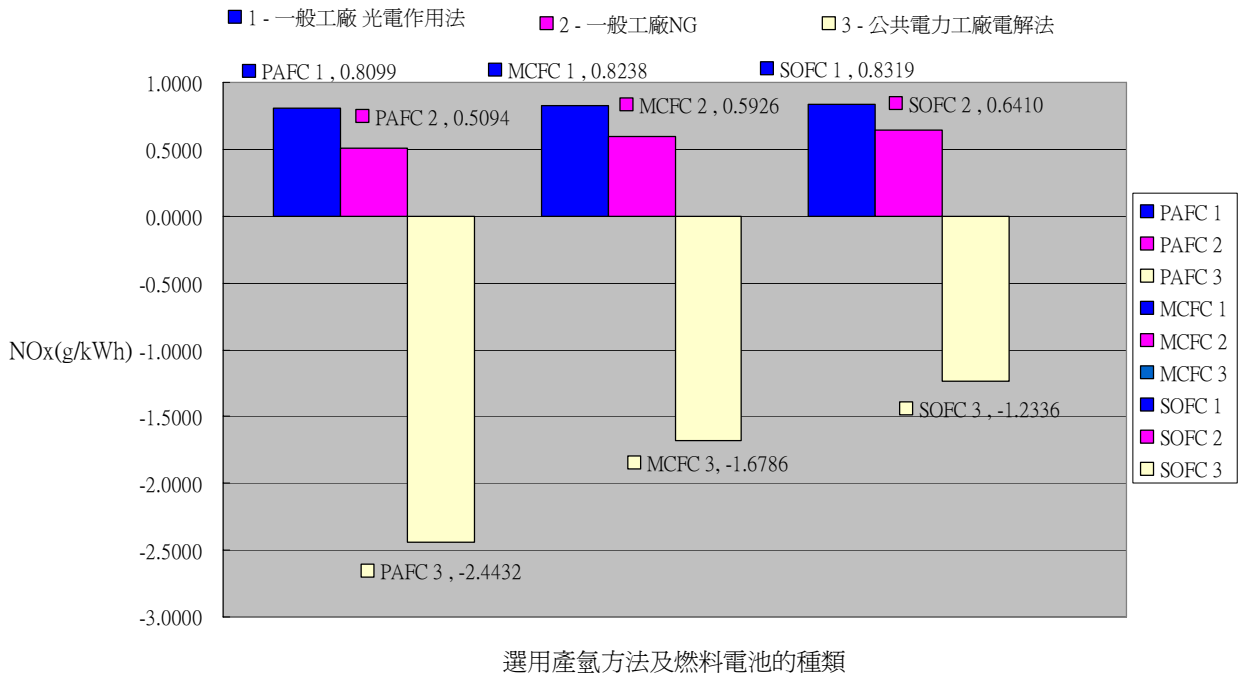


圖5.1.2：中型發電系統NOx減量之效果

中型發電系統PM10減量之效果

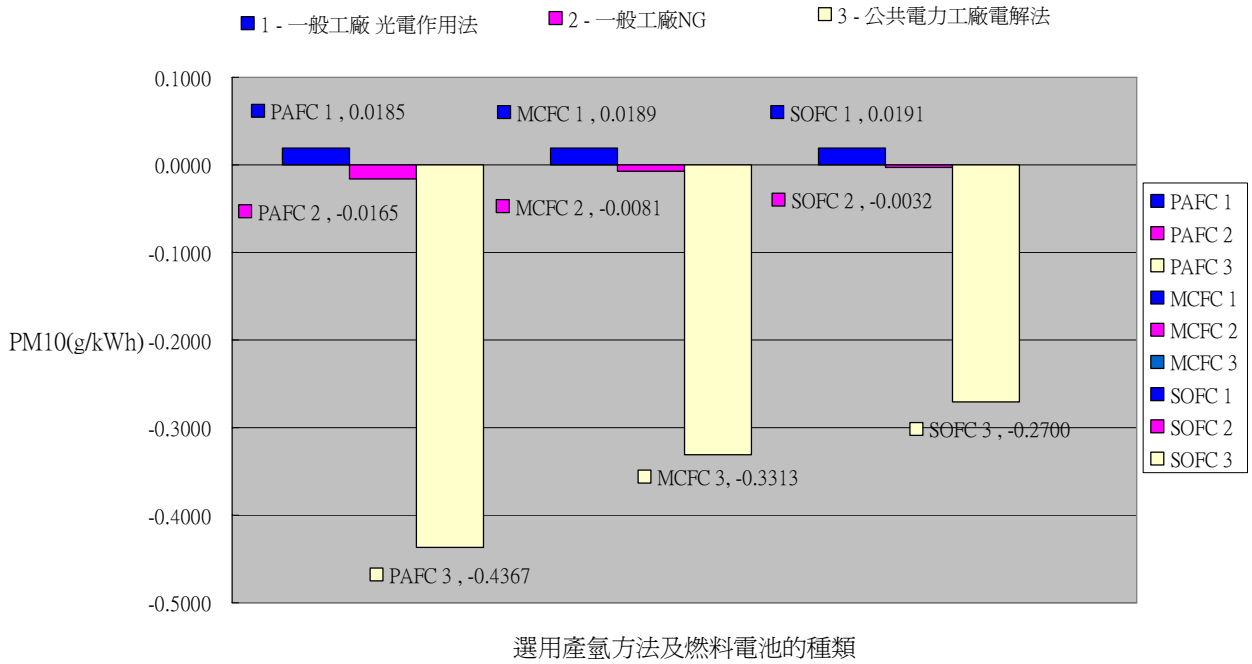


圖5.1.3：中型發電系統PM10減量之效果

中型發電系統SOx減量之效果

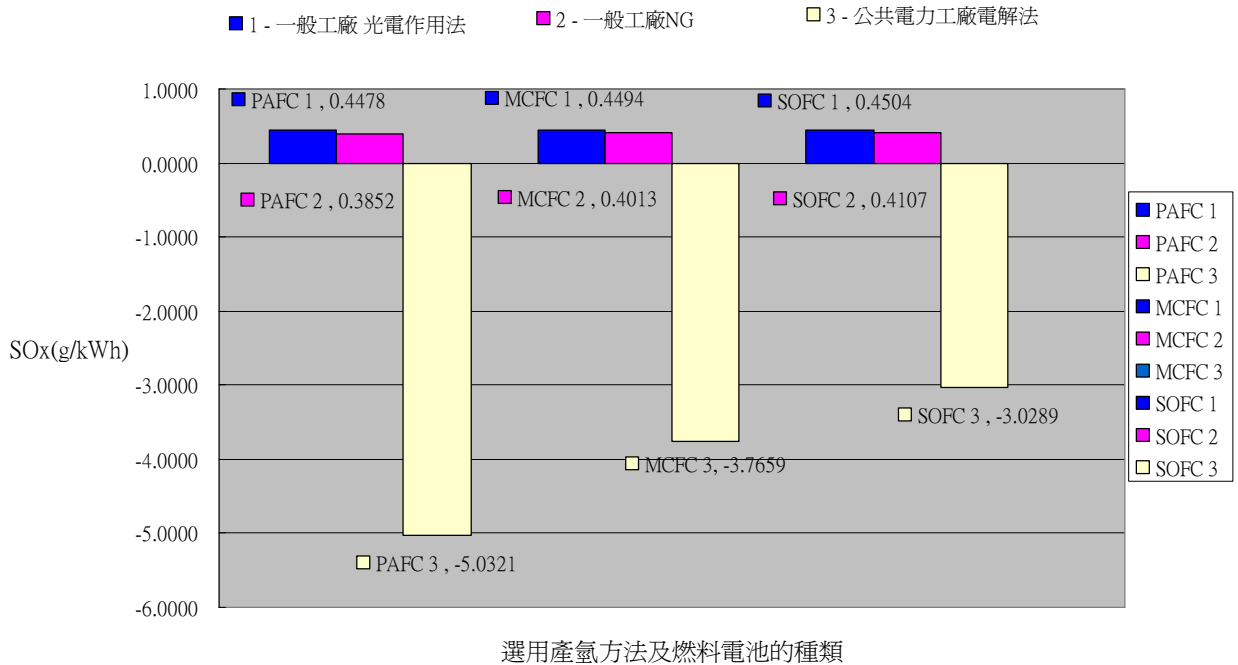


圖5.1.4：中型發電系統SOx減量之效果

表5.1.2：以1MW SOFC來取代中型發電系統1年污染減量之效果

燃料電池的種類		SOFC	
產電效率		0.6300	
是否考慮well to pump		不考慮	考慮
CO (噸/年)	一般工廠 光電作用法	5.9067	5.9067
	一般工廠 NG	4.5894	4.5894
	公共電力工廠電解法	2.8351	2.8351
NOx (噸/年)	一般工廠 光電作用法	5.9730	7.2870
	一般工廠 NG	4.3015	5.6155
	公共電力工廠電解法	-12.1206	-10.8066
PM10 (噸/年)	一般工廠 光電作用法	0.1671	0.1671
	一般工廠 NG	-0.0278	-0.0278
	公共電力工廠電解法	-2.3648	-2.3648
SOx (噸/年)	一般工廠 光電作用法	3.0258	3.9456
	一般工廠 NG	2.6776	3.5974
	公共電力工廠電解法	-27.4529	-26.5331

資料來源：本研究整理

圖5.1.5為以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之CO減量效果，由圖可看出以光電作用法來產生氫氣的減量效果最好，一年可達5.9公噸，以天然氣來產生氫氣，則一年的減量效果可達4.6公噸，但若以公共電力電解法來產生氫氣，一年的減量效果只有2.8公噸。

圖5.1.6為以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之NOx減量效果，由圖可看出以光電作用法與天然氣來產生氫氣才有減量效果，光電作用法一年可達7.3公噸，天然氣的減量效果為5.6公噸，但若以公共電力電解法來產生氫氣，則沒有減量效果。

圖5.1.7為以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之PM減量效果，由圖可看出只有以光電作用法來產生氫氣有減量效果，一年有0.167公噸，以天然氣來產生氫氣，則沒有減量效果，但若以公共電力電解法來產生氫氣，反而會增加污染排放。

圖5.1.8為以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之SOx減量效果，由圖可看出以光電作用法來產生氫氣的減量效果最好，一年可達3.94公噸，以天然氣來產生氫氣，則一年的減量效果可達3.60公噸，但若以公共電力電解法來產生氫氣，反而會增加污染排放。

以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之CO減量效果

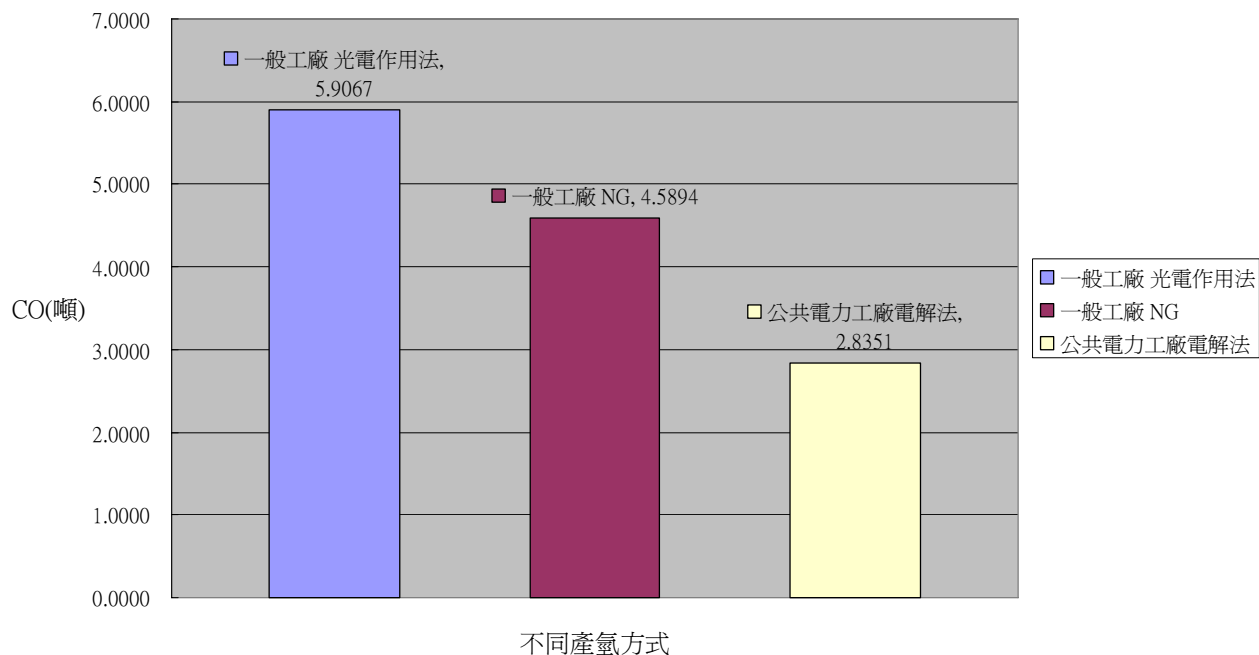


圖5.1.5：以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之CO減量效果

以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之NOx減量效果

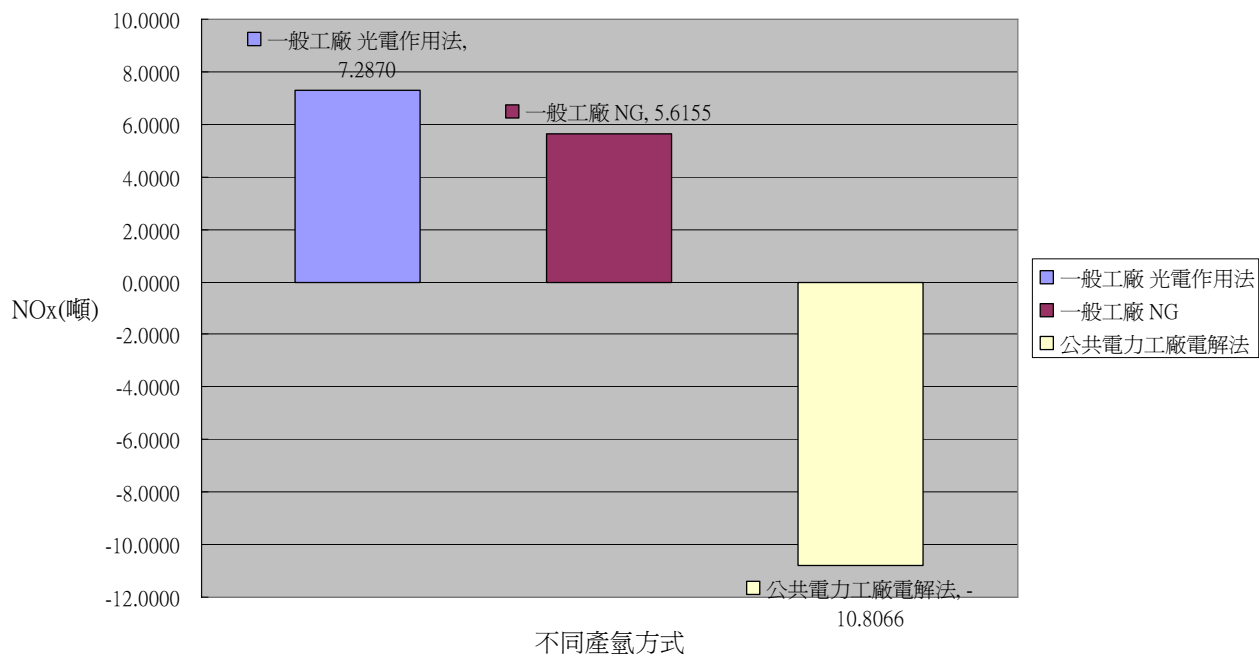


圖5.1.6：以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之NOx減量效果

以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之PM10減量效果

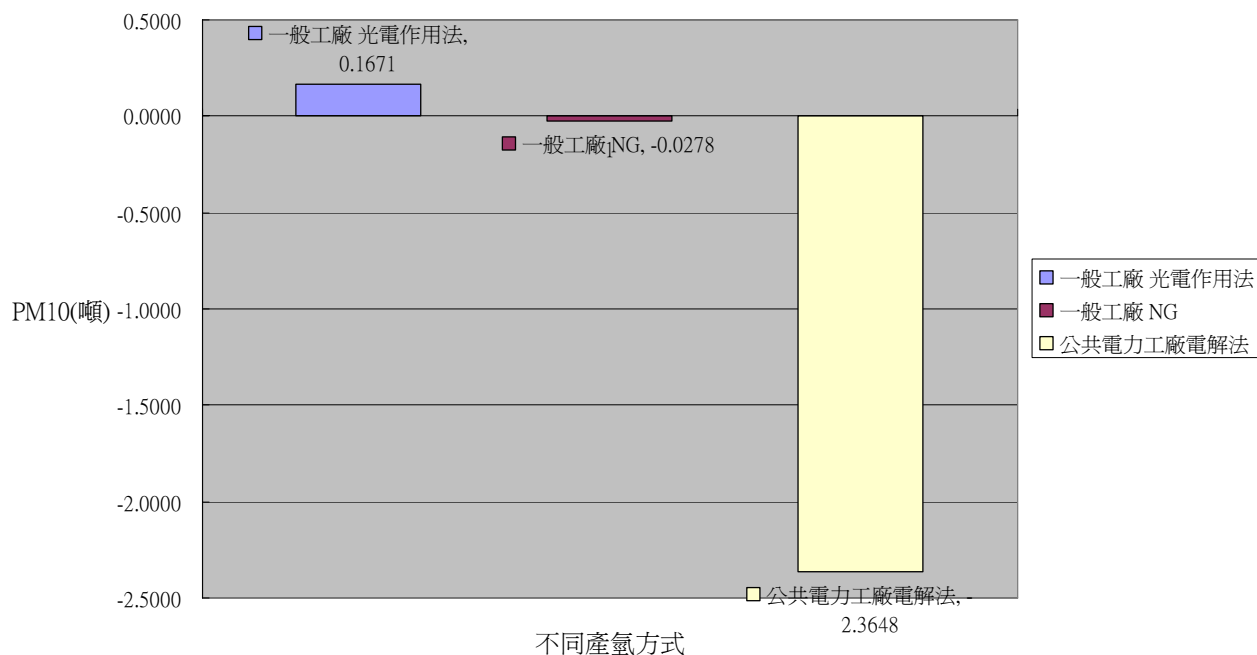


圖5.1.7：以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之PM10減量效果

以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之SOx減量效果

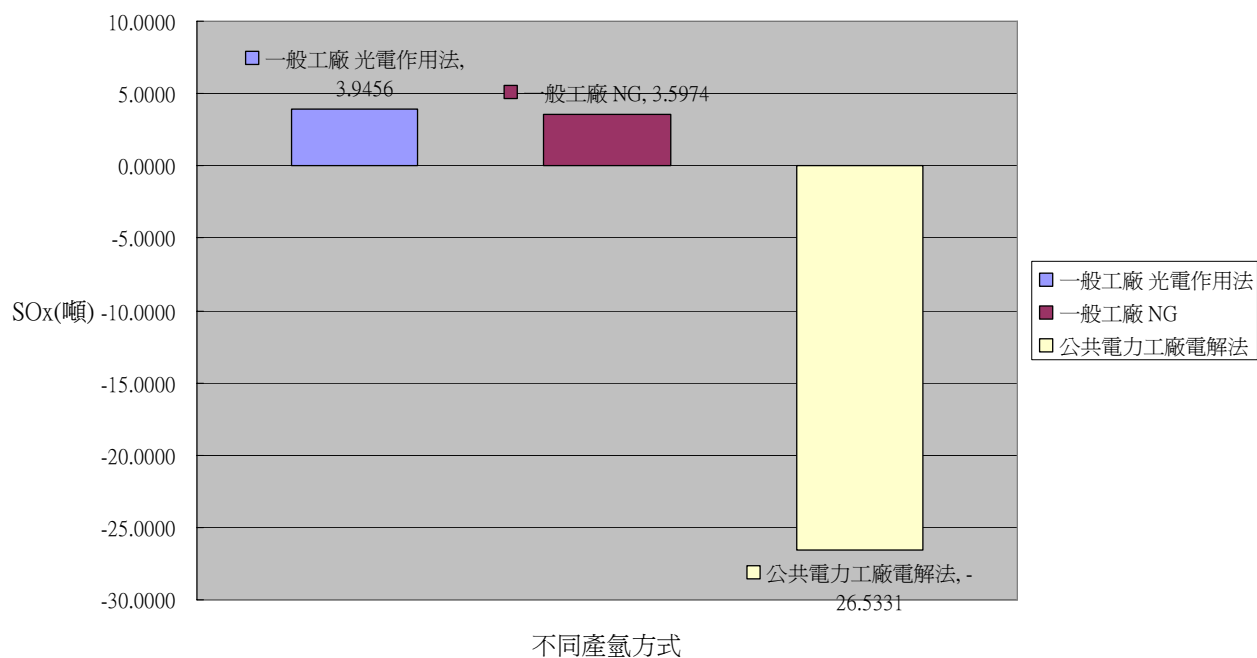


圖5.1.8：以1MW SOFC來取代中型發電系統1年之SOx減量效果

(5.2)、小型發電系統

小型發電系統的功率範圍為100 kW~1 MW，主要用途為離島地區的發電系統，或緊急備用系統，如緊急發電機，或不斷電系統，適合使用的燃料電池包括PAFC、MCFC、及SOFC。污染減量效果的比較對象是金門柴油引擎發電廠，該廠以燃油為主。表5.2.1為以燃料電池來取代集柴油引擎發電廠的污染減量效果，由表可看出四種污染物都有很好的減量效果。

金門柴油引擎發電廠以燃油為主。由表3.1.2可知，柴油在生產過程中主要產生的污染為CO，PM，NO_x與SO_x，故考慮well to pump的污染時，各種污染物的減量效果都會不一樣。由表5.2.1的計算結果可看出，考慮well to pump的污染與不考慮的減量效果相差不大，可見柴油在生產過程的污染相對不重要。

圖5.2.1為小型發電系統CO減量效果的比較，由圖可看出三種燃料電池的污染減量效果都差不多，以光電作用法來產生氫氣的污染減量效果略大，約為5.8 g/kWh；但以天然氣來產生氫氣與以公共電力電解法來產生氫氣也都有不錯的污染減量效果，約為5.3~5.7 g/kWh。這主要是小型發電系統的污染排放量太高，不論用什麼方法來取代，都有很好的減量效果。

圖5.2.2為小型發電系統NO_x的減量效果，也是三種氫氣產生方法都有很好的減量效果，但仍以光電作用法的效果最佳，三種燃料電池的污染減量效果都差不多，約為12.85 g/kWh，天然氣產氫約為12.5 g/kWh；但若以公共電力電解法來產生氫氣，則以SOFC的污染減量效果較好，約為10.8 g/kWh。

表5.2.1：小型發電系統的污染減量效果

燃料電池的種類		PAFC		MCFC		SOFC	
產電效率		0.4000		0.5200		0.6300	
是否考慮well to pump		不考慮	考慮	不考慮	考慮	不考慮	考慮
CO (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	5.7990	5.8455	5.8011	5.8476	5.8023	5.8488
	一般工廠 NG	5.5621	5.6087	5.6189	5.6654	5.6519	5.6984
	公共電力工廠電解法	5.2467	5.2933	5.3763	5.4228	5.4516	5.4982
NO _x (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	12.7249	12.8518	12.7388	12.8657	12.7469	12.8737
	一般工廠 NG	12.4244	12.5513	12.5076	12.6345	12.5560	12.6829
	公共電力工廠電解法	9.4718	9.5987	10.2364	10.3633	10.6814	10.8083
PM10 (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	0.4645	0.4749	0.4649	0.4753	0.4651	0.4755
	一般工廠 NG	0.4295	0.4399	0.4379	0.4483	0.4428	0.4532
	公共電力工廠電解法	0.0093	0.0197	0.1147	0.1251	0.1760	0.1864
SO _x (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	1.1878	1.2459	1.1894	1.2476	1.1904	1.2485
	一般工廠 NG	1.1252	1.1833	1.1413	1.1994	1.1507	1.2088
	公共電力工廠電解法	-4.2921	-4.2340	-3.0259	-2.9677	-2.2889	-2.2308

資料來源：本研究整理

圖5.2.3為小型發電系統PM減量效果的比較，由圖可看出以光電作用法來產生氫氣及以天然氣來產生氫氣都有不錯的污染減量效果，三種燃料電池的污染減量效果都差不多，約為0.44~0.48 g/kWh。但若以公共電力電解法來產生氫氣，則污染減量效果較差，以SOFC較好。

圖5.2.4為小型發電系統SOx的減量效果，則只有以光電作用法來產生氫氣及以天然氣來產生氫氣具有污染減量效果，三種燃料電池的污染減量效果都差不多，約為1.2 g/kWh。但若以公共電力電解法來產生氫氣，則污染反而增加。

一台1MW的燃料電池一年可以發電8.76百萬度，與金門發電廠比較，最理想的情況一年可以減少CO 50.83噸，NOx 111.66噸，PM₁₀ 4.07噸，SOx 10.43噸。若考慮第一階段的污染，則可以減少CO 51.24噸，NOx 112.77噸，PM₁₀ 4.17噸，SOx 10.94噸。如表5.2.2所示。

表5.2.2：以1MW SOFC來取代小型發電系統1年污染減量之效果

燃料電池的種類		SOFC	
產電效率		0.6300	
是否考慮well to pump		不考慮	考慮
CO (噸/年)	一般工廠 光電作用法	50.8280	51.2355
	一般工廠 NG	49.5106	49.9182
	公共電力工廠電解法	47.7563	48.1639
NOx (噸/年)	一般工廠 光電作用法	111.6624	112.7739
	一般工廠 NG	109.9909	111.1025
	公共電力工廠電解法	93.5688	94.6803
PM10 (噸/年)	一般工廠 光電作用法	4.0741	4.1650
	一般工廠 NG	3.8792	3.9701
	公共電力工廠電解法	1.5422	1.6331
SOx (噸/年)	一般工廠 光電作用法	10.4280	10.9371
	一般工廠 NG	10.0798	10.5889
	公共電力工廠電解法	-20.0507	-19.5415

資料來源：本研究整理

圖5.2.5~圖5.2.8所示為以1MW SOFC來取代小型發電系統1年的減量效果，由圖可看出不同氫氣來源的污染減量效果不同。

小型發電系統CO減量之效果

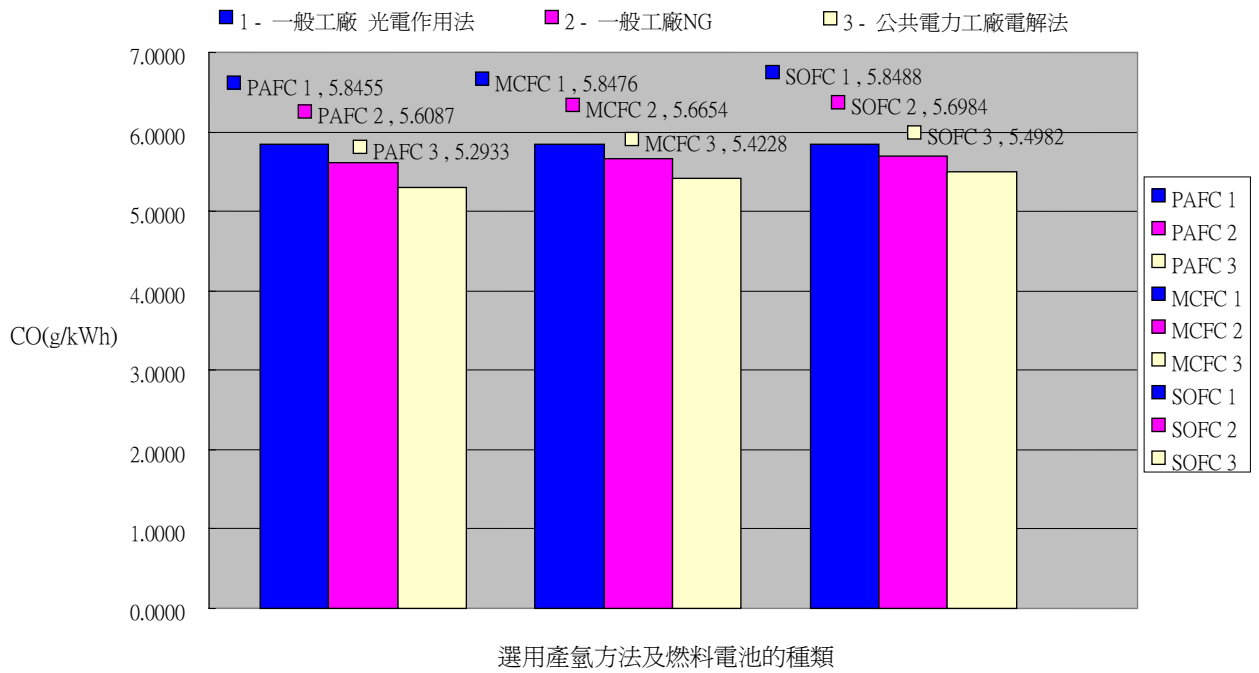


圖5.2.1：小型發電系統CO減量之效果

小型發電系統NO_x減量之效果

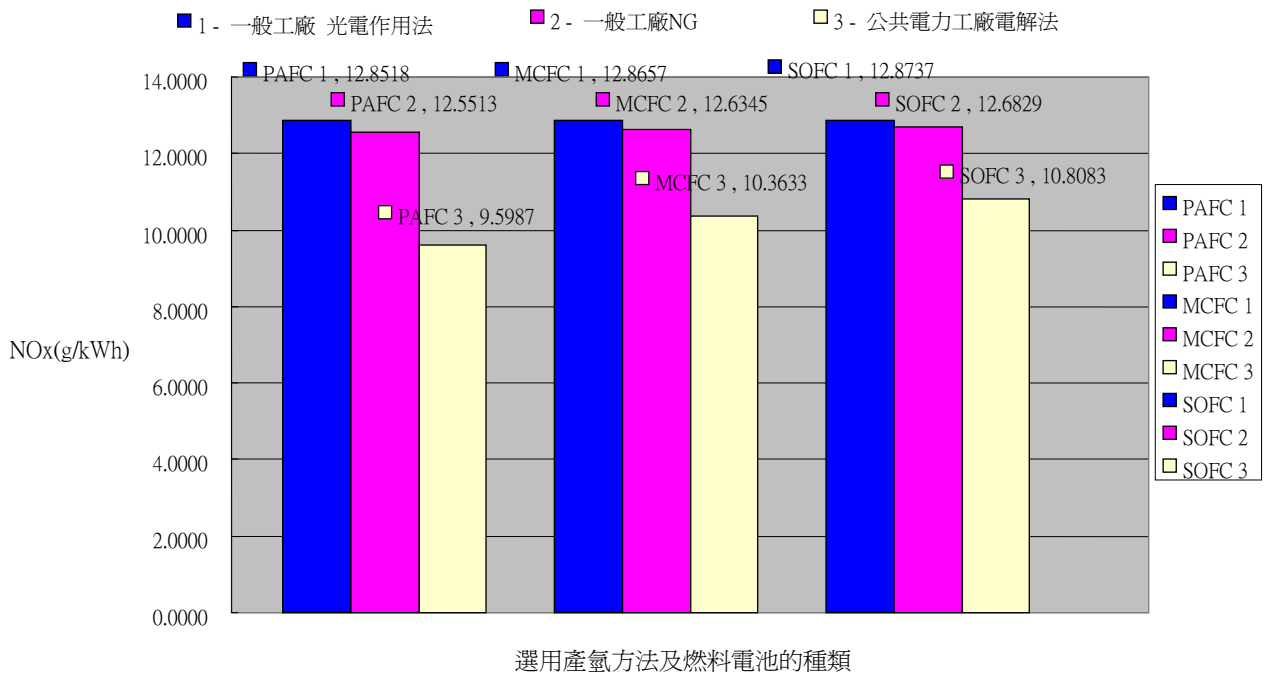


圖5.2.2：小型發電系統NO_x減量之效果

小型發電系統PM10減量之效果

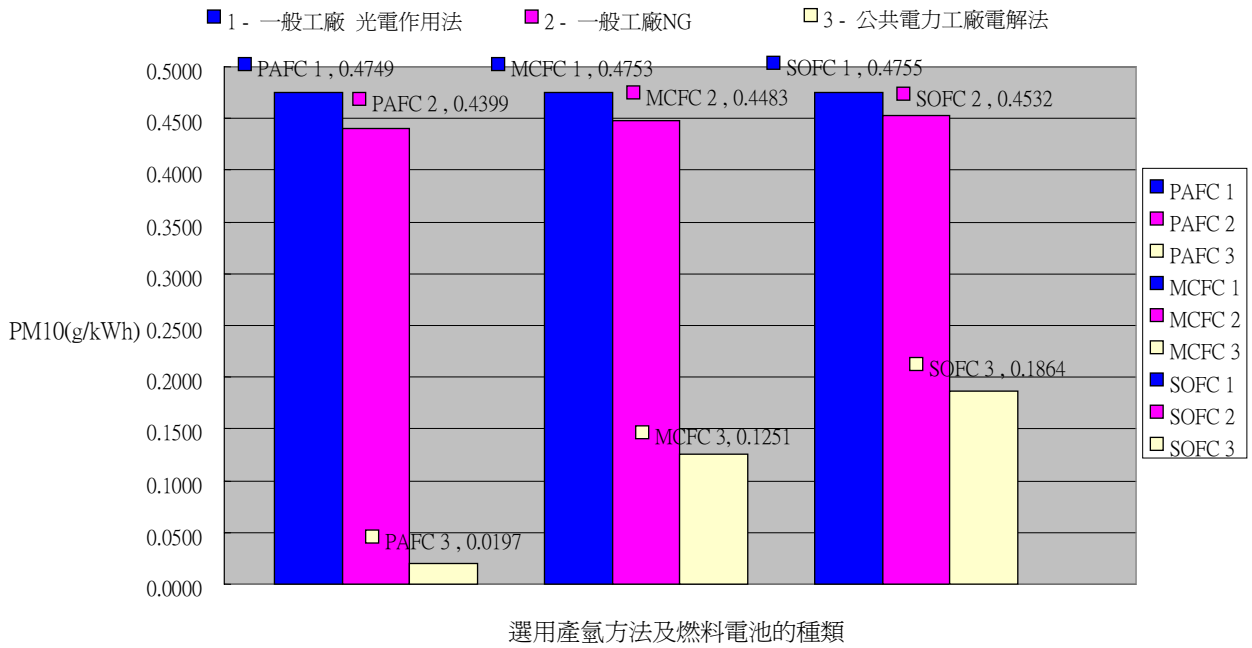


圖5.2.3：小型發電系統PM10減量之效果

小型發電系統SOx減量之效果

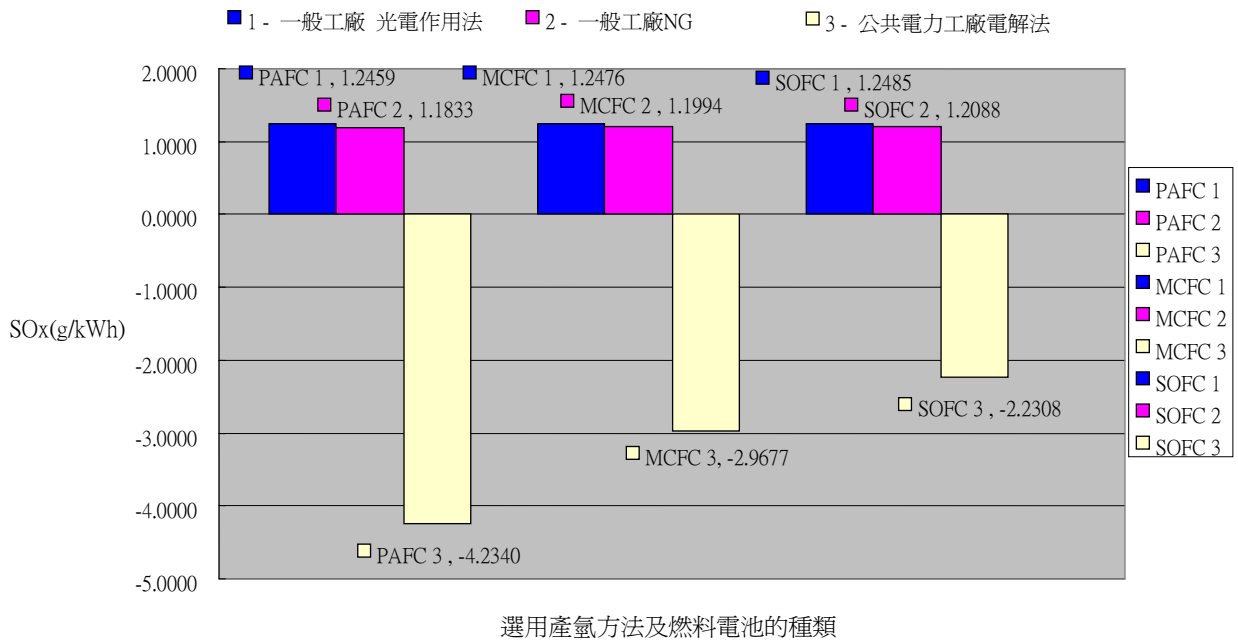


圖5.2.4：小型發電系統SOx減量之效果

以1MW SOFC來取代小型發電系統1年之CO減量效果

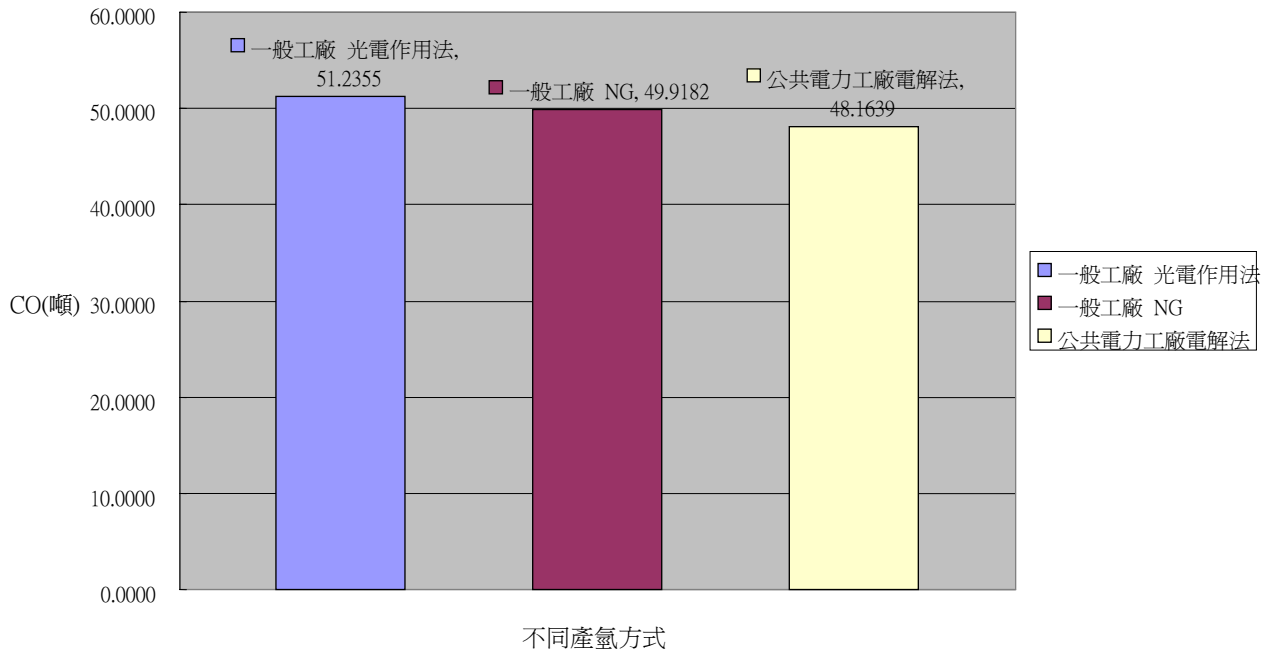


圖5.2.5：以1MW SOFC來取代小型發電系統1年之CO減量效果

以1MW SOFC來取代小型發電系統1年之NOx減量效果

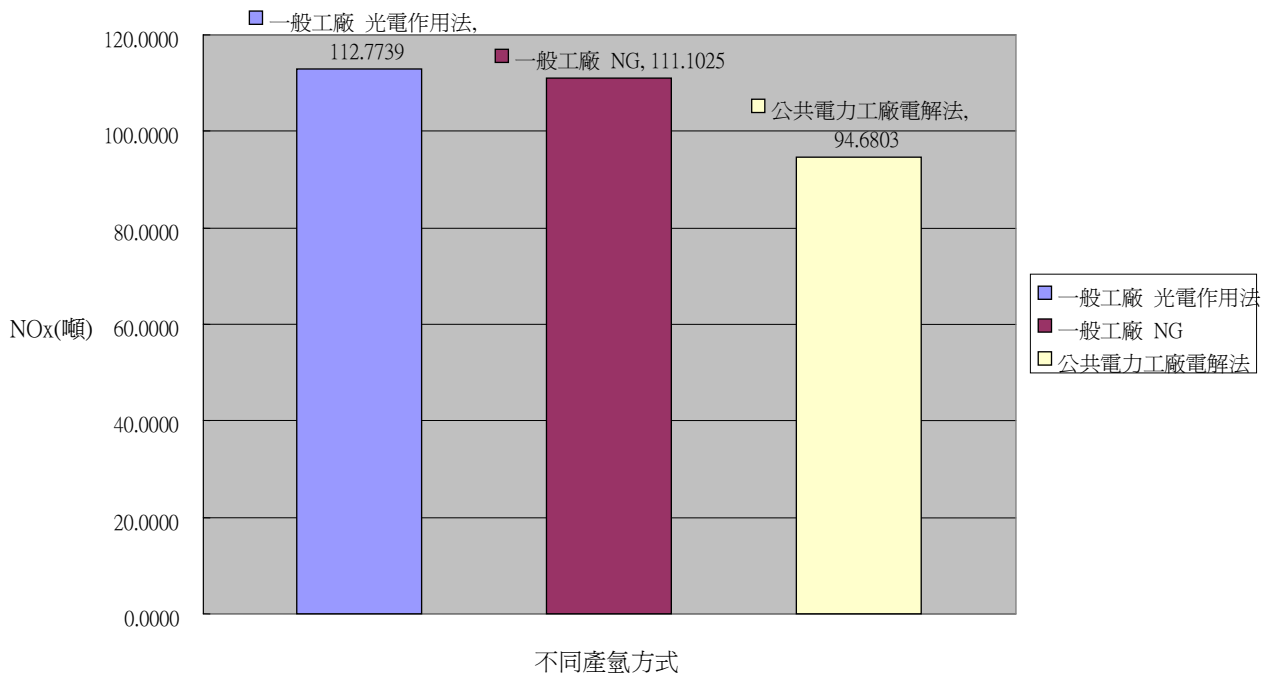


圖5.2.6：以1MW SOFC來取代小型發電系統1年之NOx減量效果

以1MW SOFC來取代小型發電系統1年之PM10減量效果

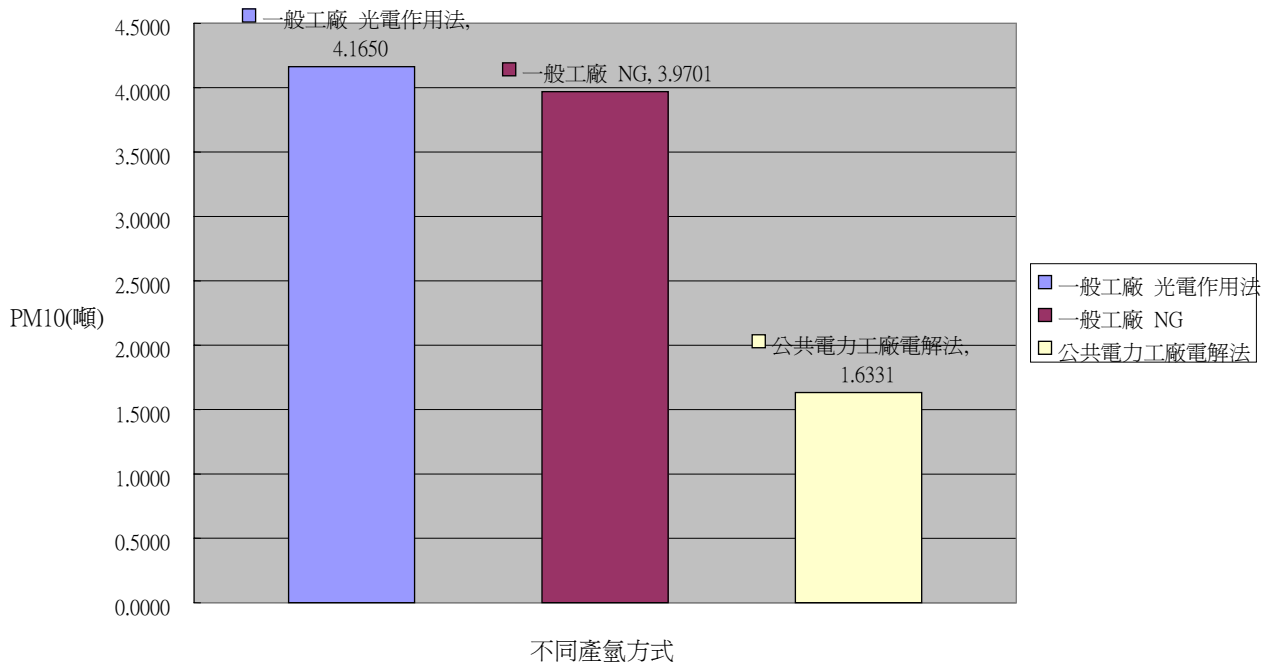


圖5.2.7：以1MW SOFC來取代小型發電系統1年之PM10減量效果

以1MW SOFC來取代小型發電系統1年之SOx減量效果

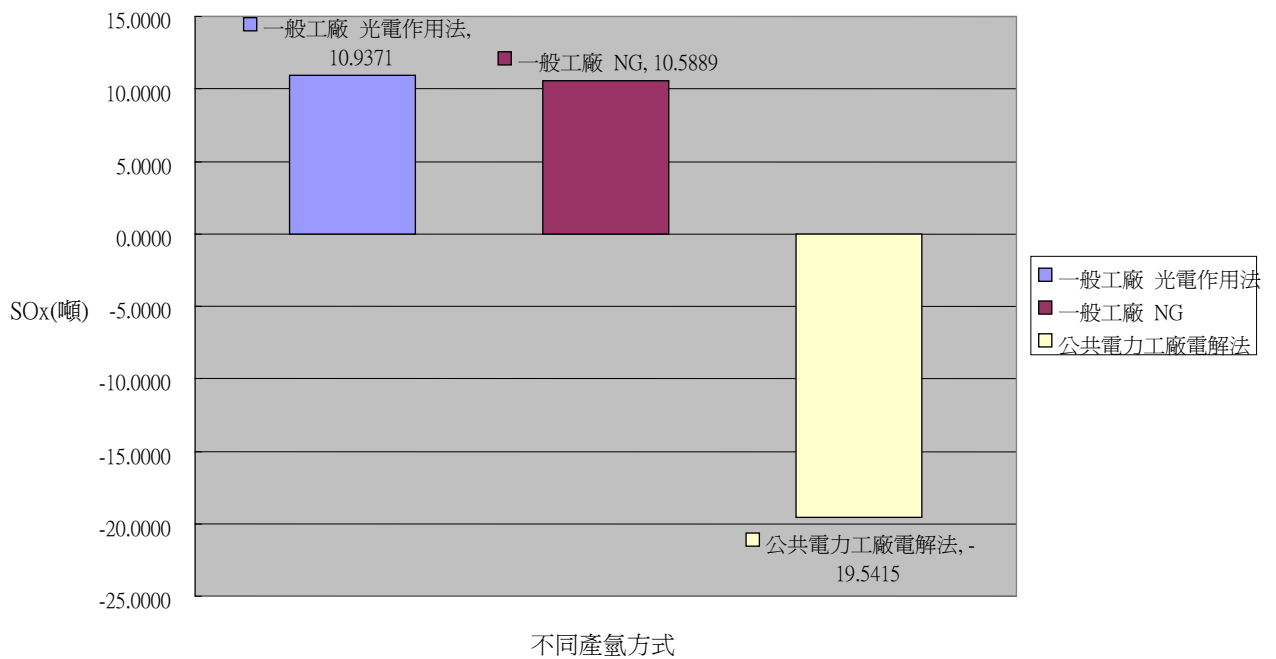


圖5.2.8：以1MW SOFC來取代小型發電系統1年之SOx減量效果

(5.3)、中型汽電共生系統

中型汽電共生系統的功率範圍為1M~10 MW，主要用於石化業，人造纖維，製紙業等需汽量大的行業，適合使用的燃料電池包括PAFC、MCFC、及SOFC。污染減量效果的比較對象是彰化縣粉煤鍋爐。表5.3.1為以燃料電池來取代粉煤鍋爐的污染減量效果，由表可看出若以光電作用法來產生氫氣，三種污染物都有很好的減量效果。

表5.3.1：中型汽電共生系統的污染減量效果

燃料電池的種類		PAFC		MCFC		SOFC	
產電效率		0.4000		0.5200		0.6300	
是否考慮well to pump		不考慮	考慮	不考慮	考慮	不考慮	考慮
NOx (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	1.5594	1.7094	1.5733	1.7233	1.5814	1.7314
	一般工廠 NG	1.2589	1.4089	1.3421	1.4921	1.3905	1.5405
	公共電力工廠電解法	-1.6937	-1.5437	-0.9291	-0.7791	-0.4841	-0.3341
PM10 (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	0.1560	0.1560	0.1564	0.1564	0.1566	0.1566
	一般工廠 NG	0.1210	0.1210	0.1294	0.1294	0.1343	0.1343
	公共電力工廠電解法	-0.2992	-0.2992	-0.1938	-0.1938	-0.1325	-0.1325
SOx (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	0.2033	0.3083	0.2049	0.3099	0.2059	0.3109
	一般工廠 NG	0.1407	0.2457	0.1568	0.2618	0.1662	0.2712
	公共電力工廠電解法	-5.2766	-5.1716	-4.0104	-3.9054	-3.2734	-3.1684

資料來源：本研究整理

中型汽電共生系統NOx減量之效果

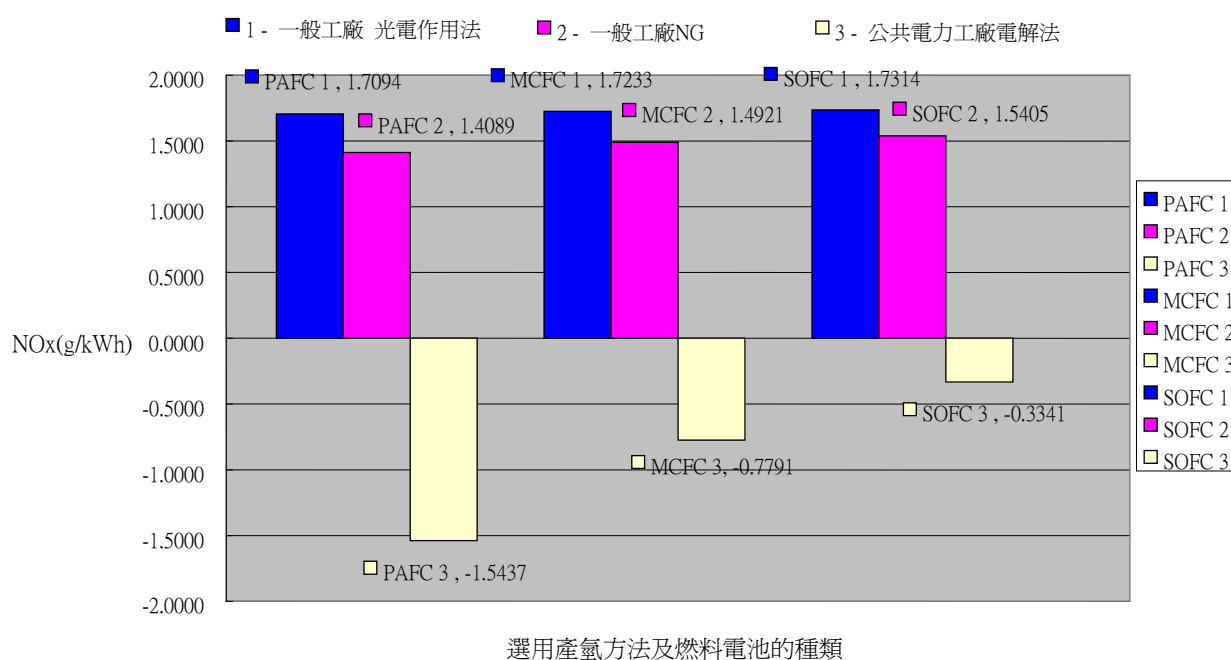


圖5.3.1：中型汽電共生系統NOx減量之效果

中型汽電共生系統PM10減量之效果

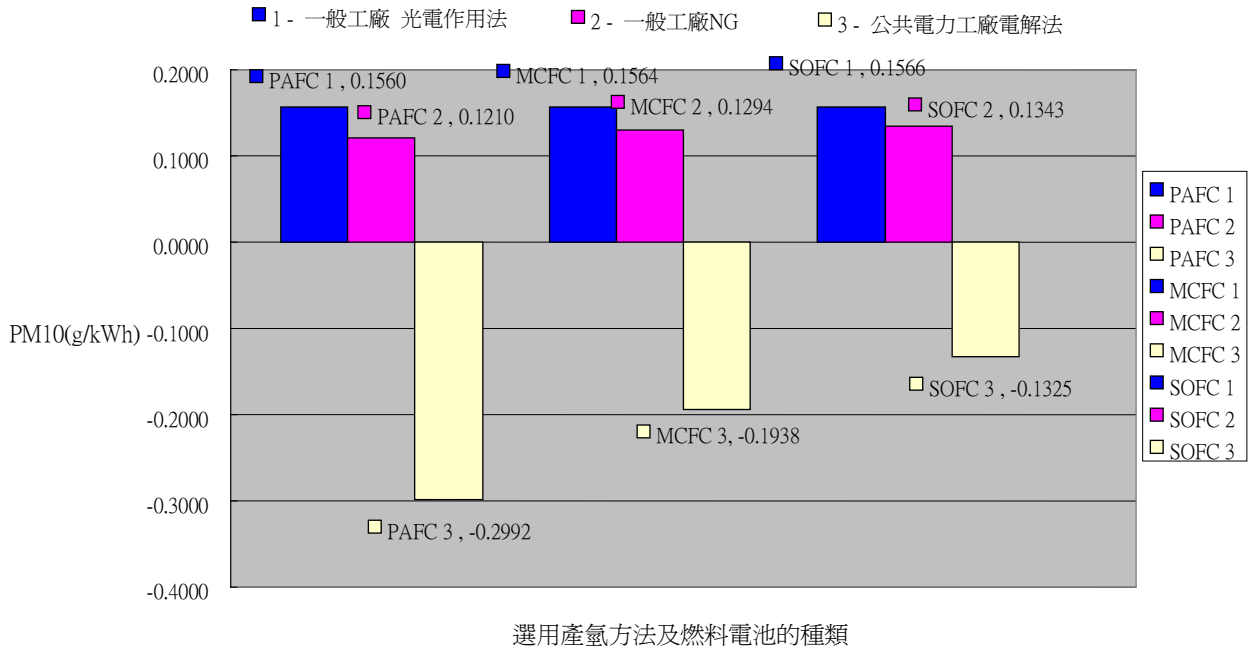


圖5.3.2：中型汽電共生系統PM10減量之效果

中型汽電共生系統SOx減量之效果

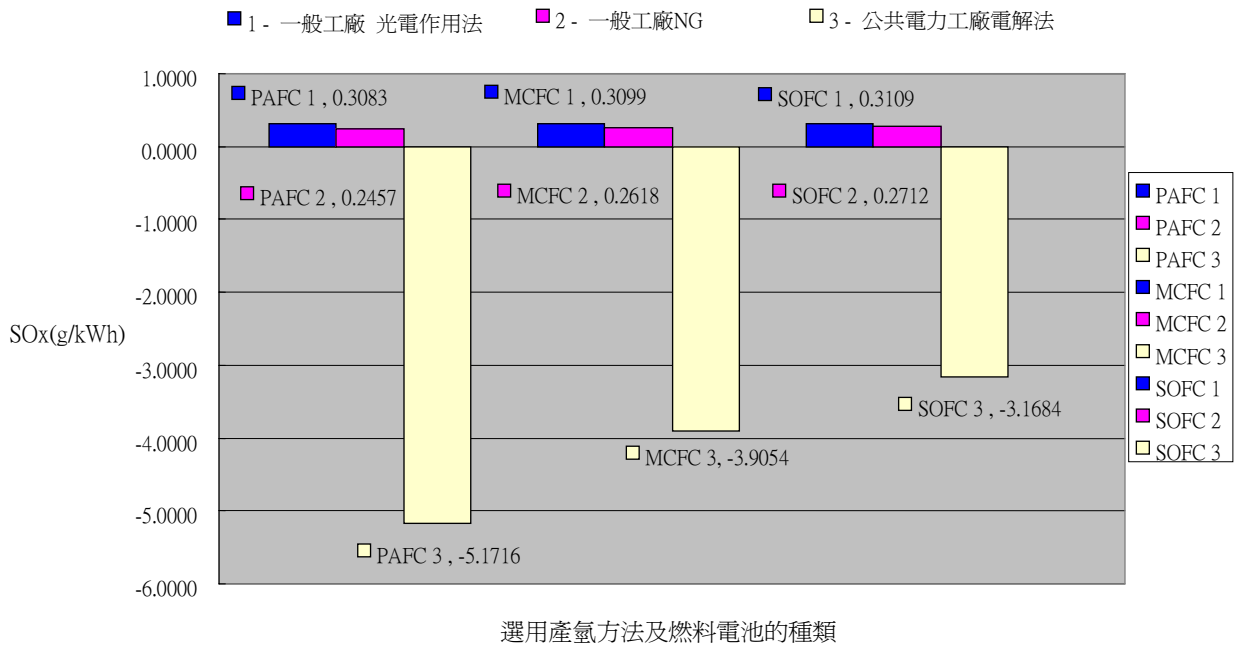


圖5.3.3：中型汽電共生系統SOx減量之效果

一台1MW的燃料電池一年可以發電8.76百萬度，最理想的情況一年可以減少NOx 13.85噸，PM₁₀ 1.37噸，SOx 1.80噸。若考慮第一階段的污染，則可以減少NOx15.17噸，SOx2.72噸。如表5.3.2所示。

表5.3.2：以1MW SOFC來取代中型汽電共生系統1年污染減量之效果

燃料電池的種類		SOFC	
產電效率		0.6300	
是否考慮well to pump		不考慮	考慮
NOx (噸/年)	一般工廠 光電作用法	13.8526	15.1666
	一般工廠 NG	12.1812	13.4952
	公共電力工廠電解法	-4.2410	-2.9270
PM10 (噸/年)	一般工廠 光電作用法	1.3716	1.3716
	一般工廠 NG	1.1767	1.1767
	公共電力工廠電解法	-1.1603	-1.1603
SOx (噸/年)	一般工廠 光電作用法	1.8037	2.7235
	一般工廠 NG	1.4556	2.3754
	公共電力工廠電解法	-28.6749	-27.7551

資料來源：本研究整理

以1MW SOFC來取代中型汽電共生系統1年之NOx減量效果

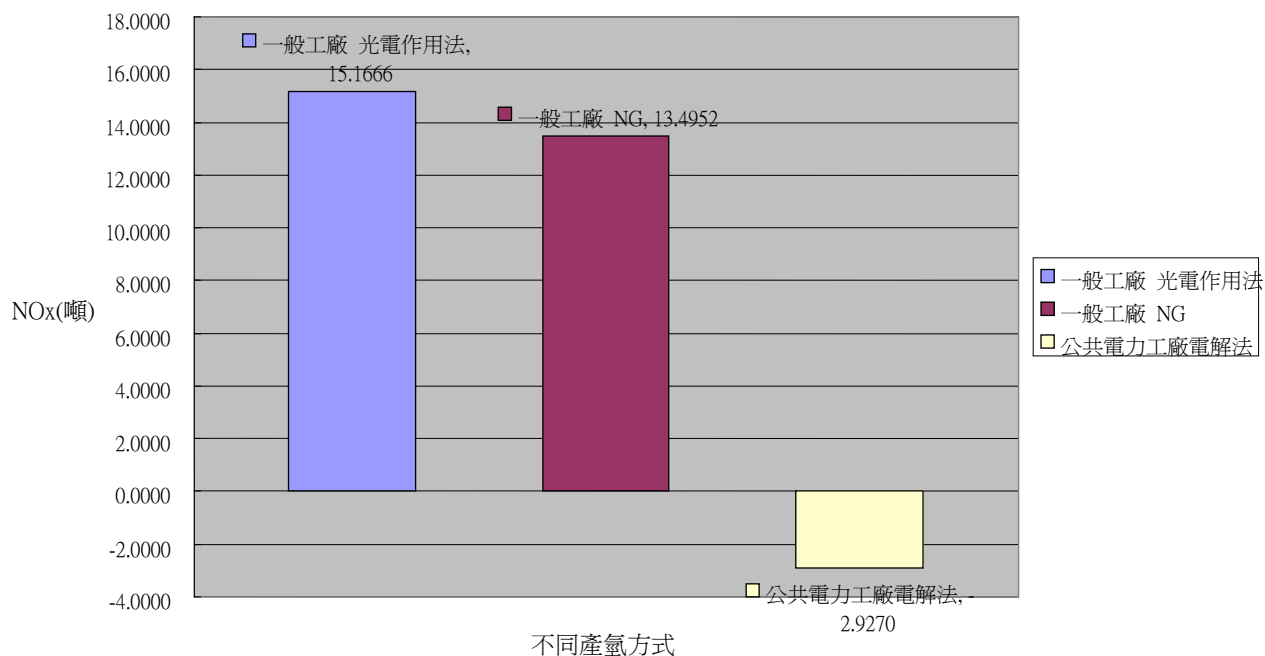


圖5.3.4：以1MW SOFC來取代中型汽電共生系統1年之NOx減量效果

以1MW SOFC來取代中型汽電共生系統1年之PM10減量效果

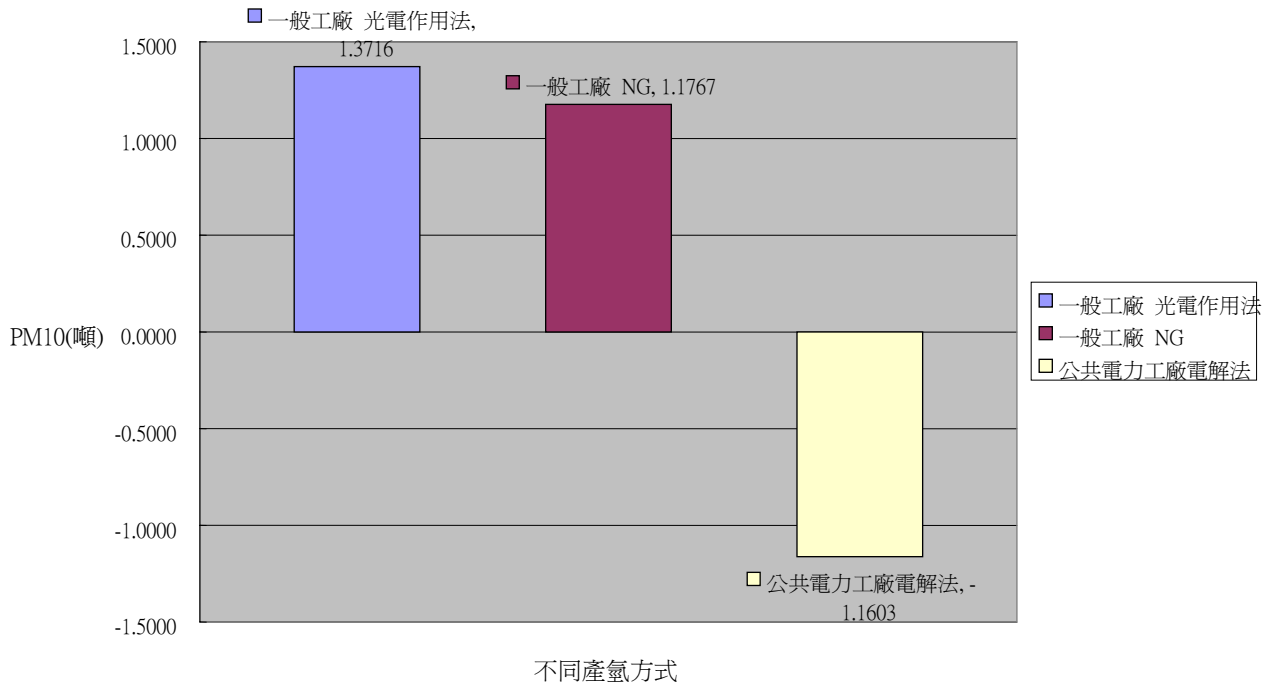


圖 5.3.5：以1MW SOFC來取代中型汽電共生系統1年之PM10減量效果

以1MW SOFC來取代中型汽電共生系統1年之SOx減量效果

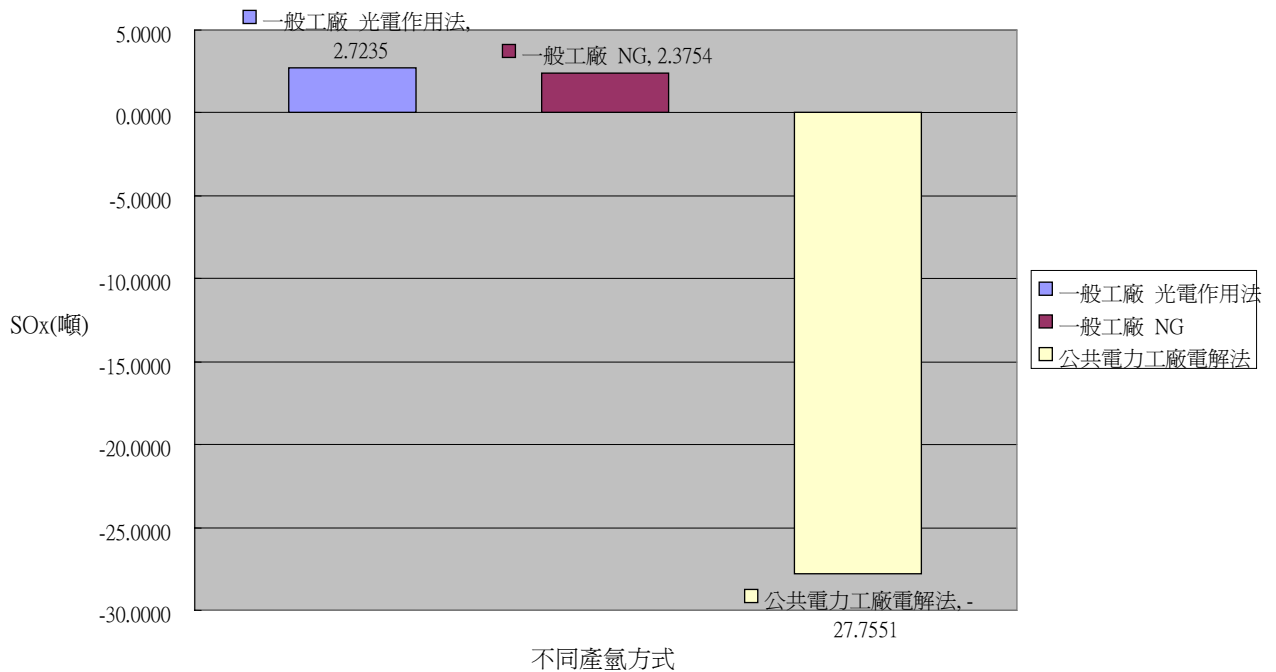


圖 5.3.6：以1MW SOFC來取代中型汽電共生系統1年之SOx減量效果

(5.4)、小型汽電共生系統

小型汽電共生系統的功率範圍為100 kW~1 MW，適合使用的燃料電池包括PAFC，MCFC、及PEMFC。污染減量效果的比較對象是彰化縣柴油引擎汽電共生廠。表5.4.1為以燃料電池來取代柴油引擎汽電共生廠的污染減量效果，由表可看出若以光電作用法來產生氫氣，三種污染物都有很好的減量效果。

表5.4.1：小型汽電共生系統的污染減量效果

燃料電池的種類		PEMFC		PAFC		MCFC	
產電效率		0.4000		0.4000		0.5200	
是否考慮well to pump		不考慮	考慮	不考慮	考慮	不考慮	考慮
NOx (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	0.4519	0.5788	0.4519	0.5788	0.4658	0.5927
	一般工廠 NG	0.1514	0.2783	0.1514	0.2783	0.2346	0.3615
	公共電力工廠電解法	-2.8012	-2.6743	-2.8012	-2.6743	-2.0366	-1.9097
PM10 (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	0.0850	0.0954	0.0850	0.0954	0.0854	0.0958
	一般工廠 NG	0.0500	0.0604	0.0500	0.0604	0.0584	0.0688
	公共電力工廠電解法	-0.3702	-0.3598	-0.3702	-0.3598	-0.2648	-0.2544
SOx (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	1.2023	1.2604	1.2023	1.2604	1.2039	1.2621
	一般工廠 NG	1.1397	1.1978	1.1397	1.1978	1.1558	1.2139
	公共電力工廠電解法	-4.2776	-4.2195	-4.2776	-4.2195	-3.0114	-2.9532

資料來源：本研究整理

小型汽電共生系統NOx減量之效果

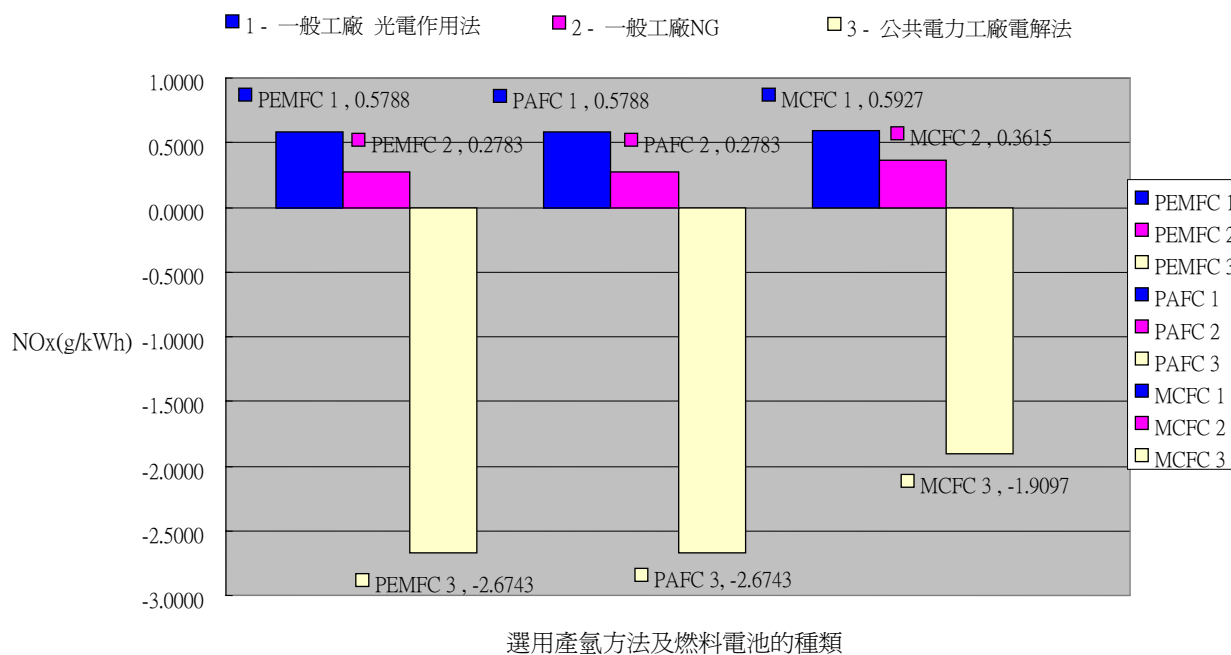


圖5.4.1：小型汽電共生系統NOx減量之效果

小型汽電共生系統PM10減量之效果

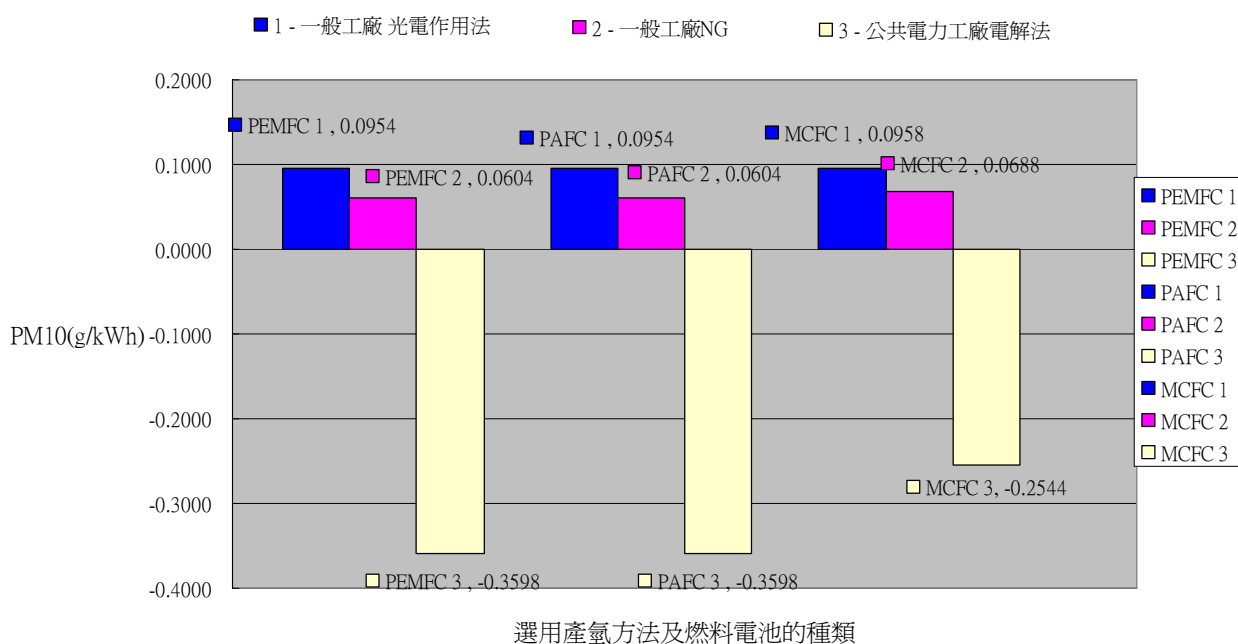


圖5.4.2：小型汽電共生系統PM10減量之效果

小型汽電共生系統SOx減量之效果

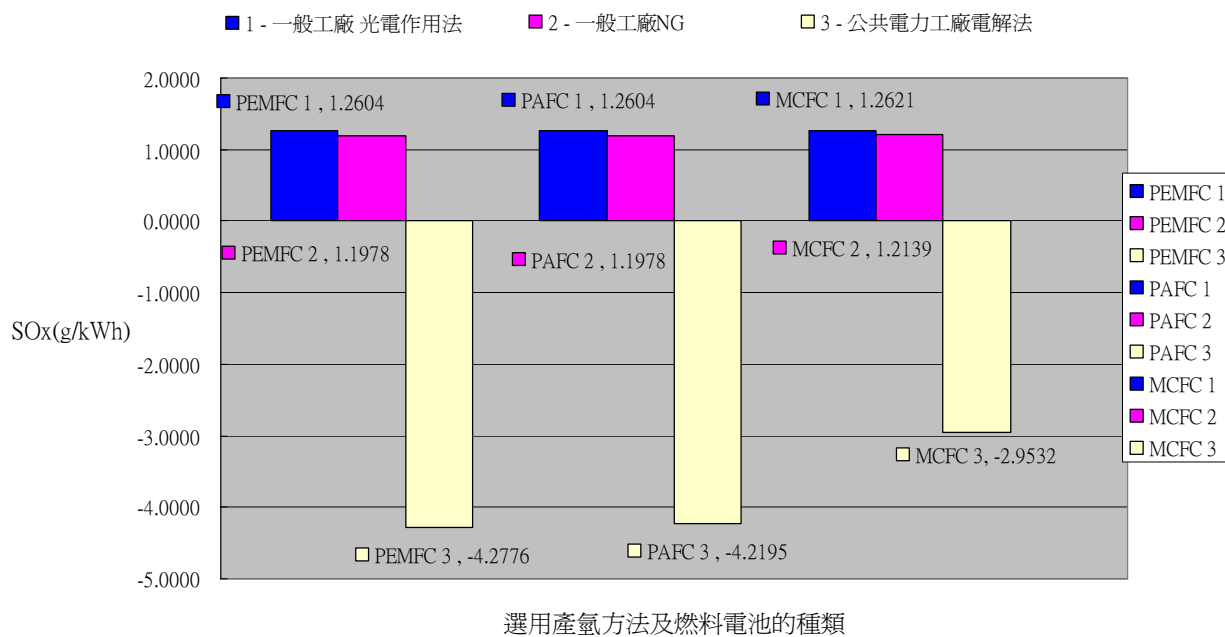


圖5.4.3：小型汽電共生系統SOx減量之效果

一台1MW的燃料電池一年可以發電8.76百萬度，最理想的情況一年可以減少NO_x 4.08噸，PM₁₀ 0.75噸，SO_x 10.55噸。若考慮第一階段的污染，則可以減少NO_x5.19噸，PM₁₀ 0.84噸，SO_x11.06噸。如表5.4.2所示。

表5.4.2：以1MW MCFC來取代小型汽電共生系統1年污染減量之效果

燃料電池的種類		MCFC	
產電效率		0.5200	
是否考慮well to pump		不考慮	考慮
NO _x (噸/年)	一般工廠 光電作用法	4.0802	5.1918
	一般工廠 NG	2.0552	3.1667
	公共電力工廠電解法	-17.8409	-16.7293
PM ₁₀ (噸/年)	一般工廠 光電作用法	0.7479	0.8388
	一般工廠 NG	0.5118	0.6027
	公共電力工廠電解法	-2.3196	-2.2287
SO _x (噸/年)	一般工廠 光電作用法	10.5465	11.0556
	一般工廠 NG	10.1246	10.6338
	公共電力工廠電解法	-26.3796	-25.8704

資料來源：本研究整理

以1MW MCFC來取代小型汽電共生系統1年之NO_x減量效果

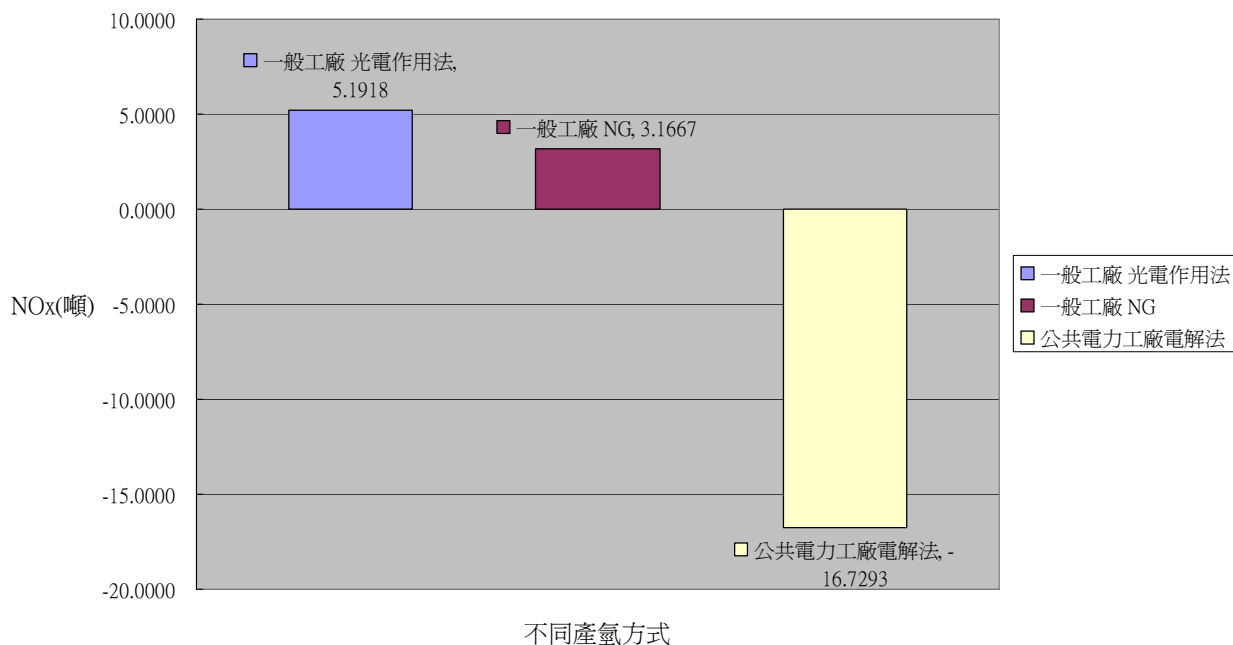


圖5.4.4：以1MW MCFC來取代小型汽電共生系統1年之NO_x減量效果

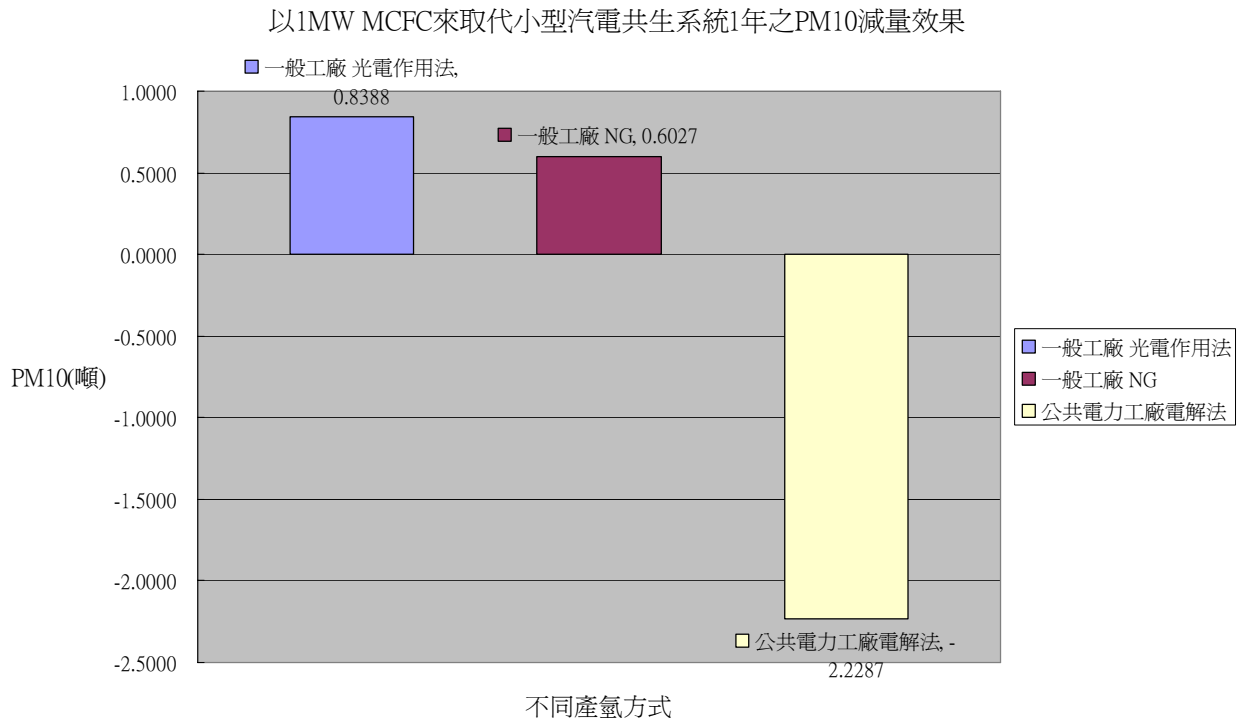


圖5.4.5：以1MW MCFC來取代小型汽電共生系統1年之PM10減量效果

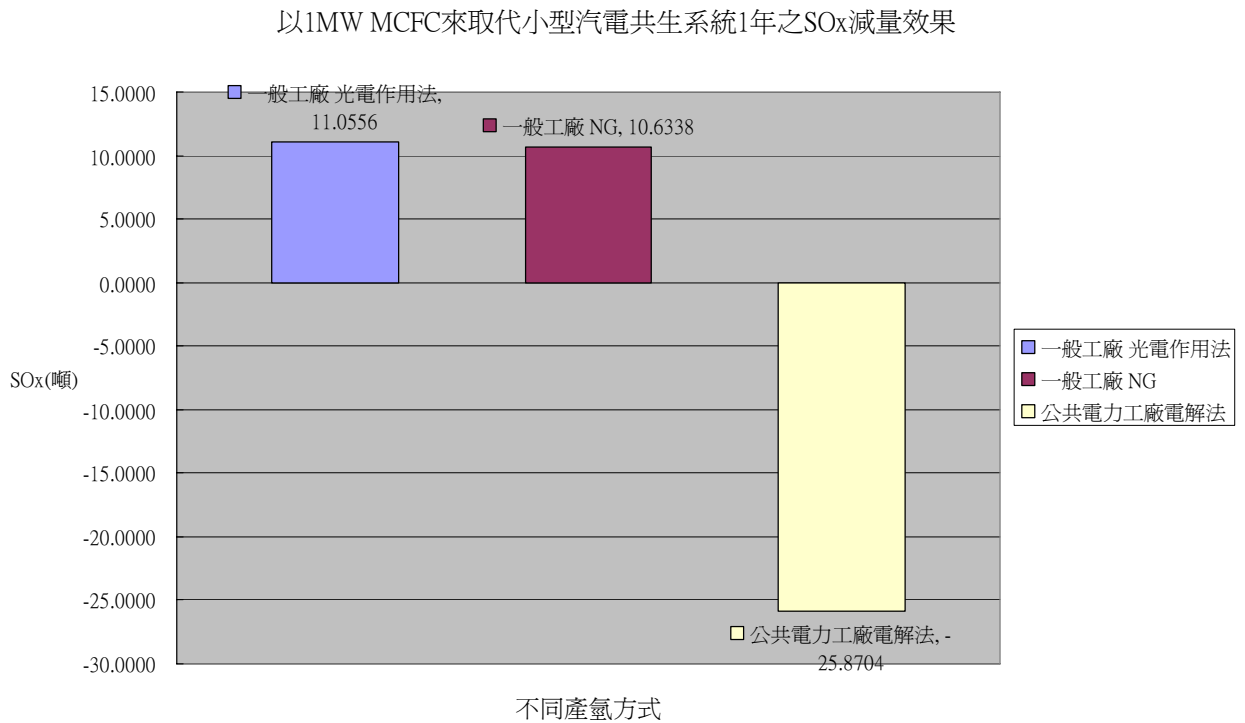


圖5.4.6：以1MW MCFC來取代小型汽電共生系統1年之SOx減量效果

(5.5)、家用熱電系統

家用熱電系統的功率範圍為1 kW~10 kW，適合使用的燃料電池為PEMFC。但家用熱電系統除了提供用電之外，還提供熱水，故燃料電池的減量效果為兩方面，一方面是取代瓦斯熱水氣的污染，一方面是取代傳統發電的污染。本研究假設家用熱電系統的汽電比為1.0，即產生熱水與發電的功率相同，故燃料電池每1 kWh的產出相當於以大型發電系統來發電，使用0.5度的電，加上瓦斯熱水器，產生0.5kWh的熱量，兩項所產生之污染量，減去燃料電池發1度的電，即為減量效果。此外，由於燃料電池同時提供電力與熱水，故燃料電池的效率會提高。表1.1所示為燃料電池的產電效率，若把電力與熱水同時算進來，且汽電比為1.0，則PEMFC燃料電池的效率會加倍，由原來的40%提高為80%，則燃料電池單位功率輸出的污染排放係數減半。考慮這些因素後，表5.5.1為以燃料電池來做為家用熱電系統的污染減量效果，由表可看出若以光電作用法來產生氫氣，四種污染物都有很好的減量效果。

表5.5.1：燃料電池來做為家用熱電系統的污染減量效果

燃料電池的種類		PEMFC	
產電效率		0.4000	
是否考慮well to pump		不考慮	考慮
CO (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	0.3355	0.3485
	一般工廠 NG	0.2171	0.2301
	公共電力工廠電解法	0.0594	0.0724
NOx (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	0.3475	0.4554
	一般工廠 NG	0.1972	0.3052
	公共電力工廠電解法	-1.2791	-1.1711
PM10 (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	0.0093	0.0105
	一般工廠 NG	-0.0082	-0.0071
	公共電力工廠電解法	-0.2183	-0.2172
SOx (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	0.1714	0.2307
	一般工廠 NG	0.1401	0.1994
	公共電力工廠電解法	-2.5686	-2.5093

資料來源：本研究整理

以PEMFC來取代家用電熱系統之CO減量效果

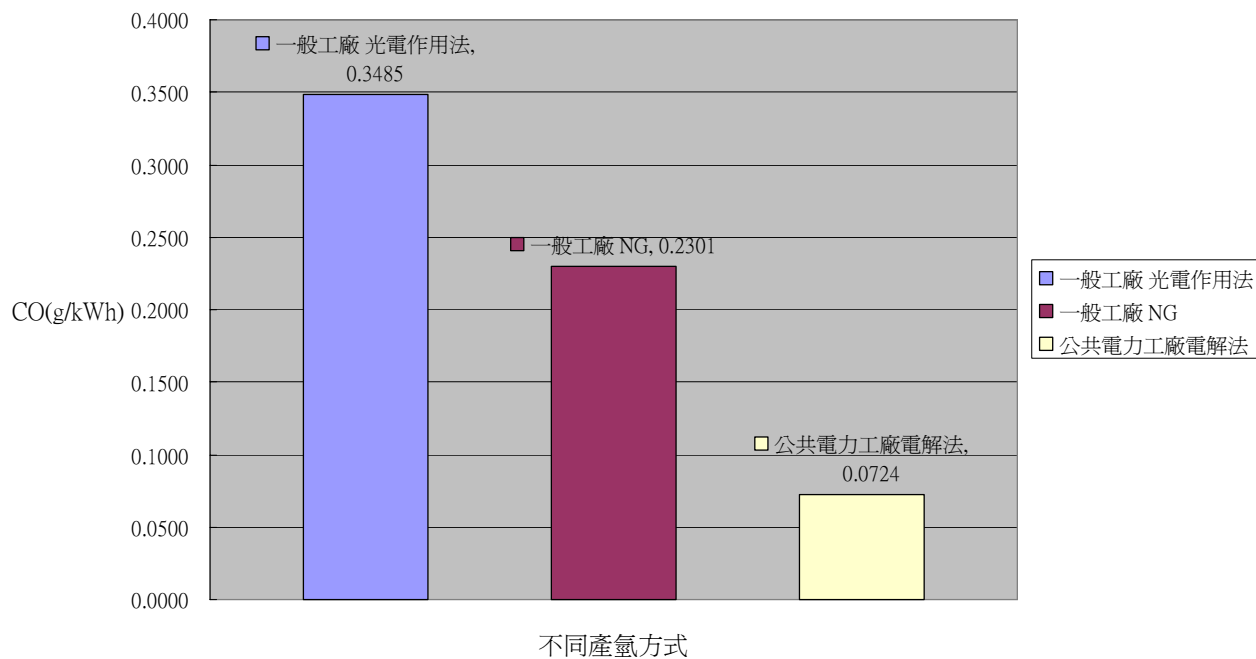


圖5.5.1：家用電熱系統CO減量之效果

以PEMFC來取代家用電熱系統之NO_x減量效果

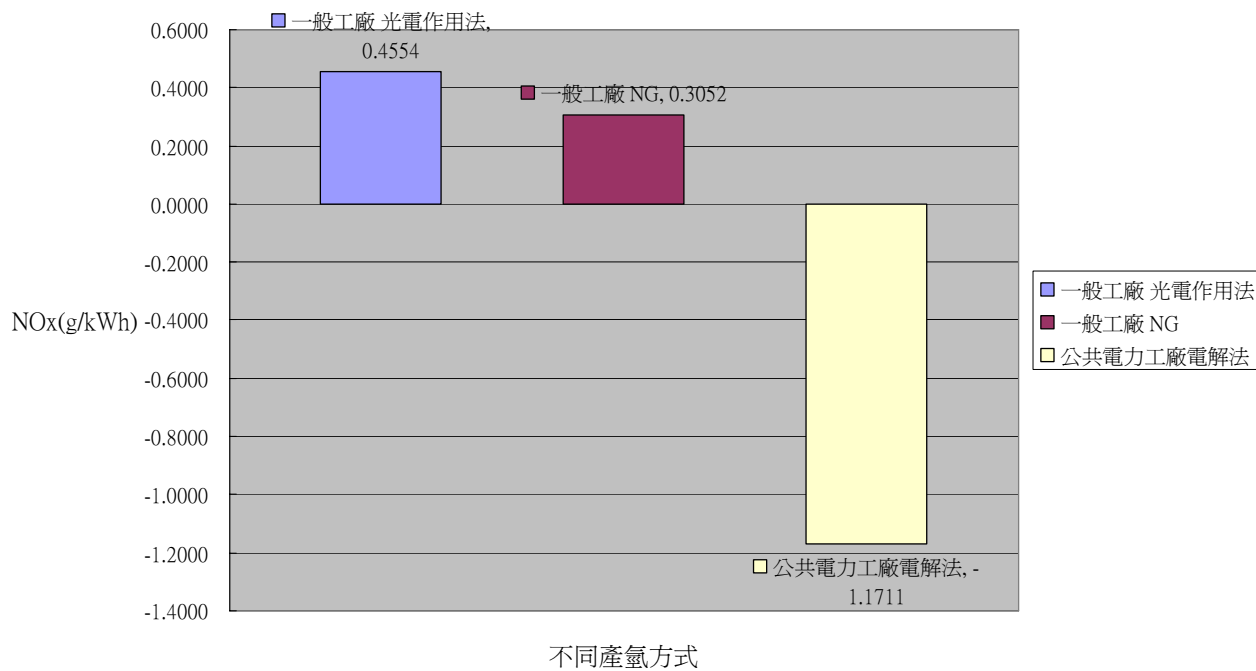


圖5.5.2：家用電熱系統NO_x減量之效果

以PEMFC來取代家用電熱系統之PM10減量效果

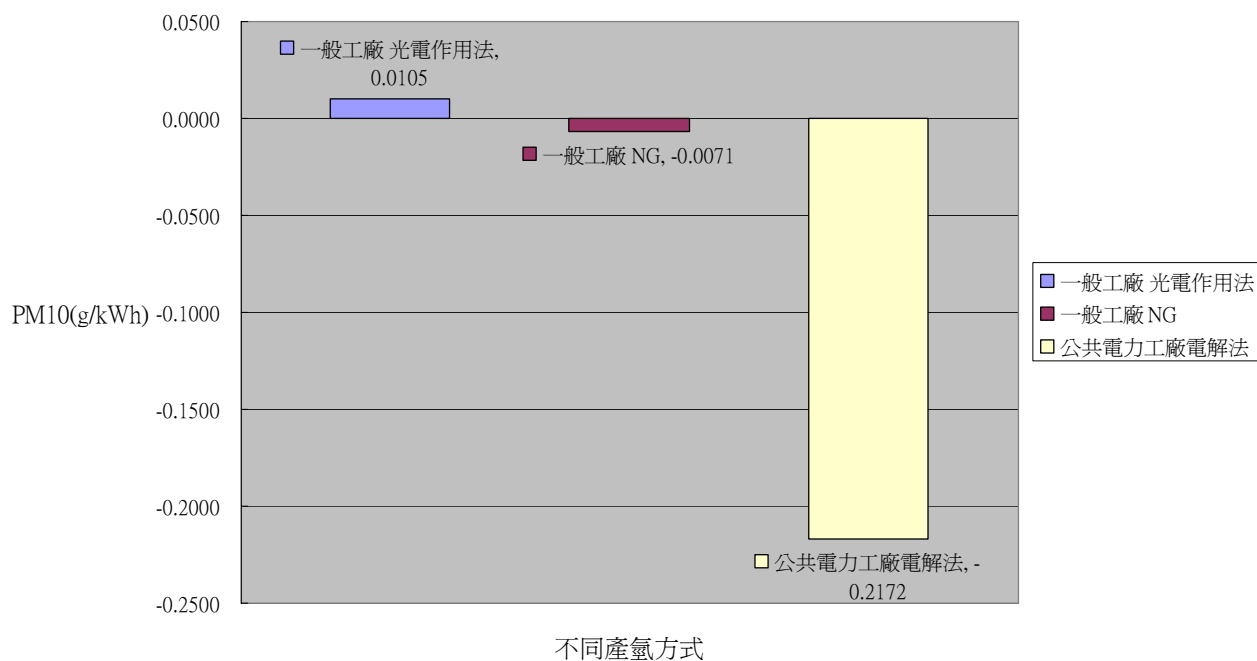


圖5.5.3：家用電熱系統PM10減量之效果

以PEMFC來取代家用電熱系統之SOx減量效果

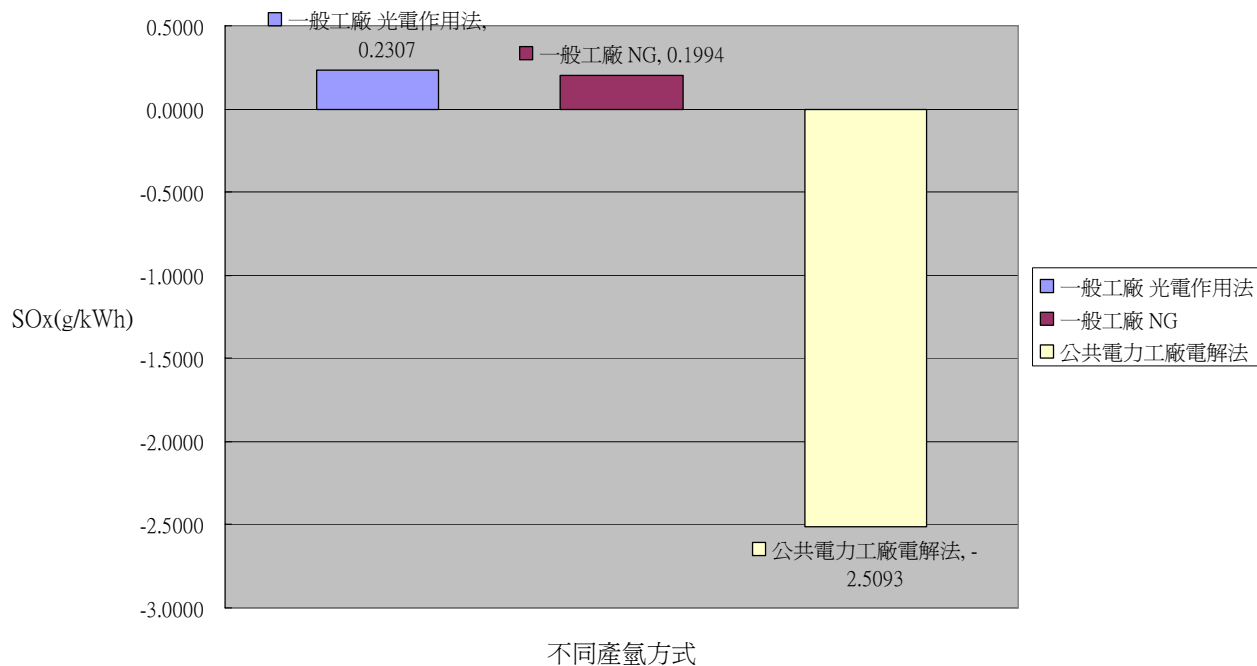


圖5.5.4：家用電熱系統SOx減量之效果

一台10 kW的燃料電池一年可以發電0.0876百萬度，最理想的情況一年可以減少CO 0.0294 噸，NO_x 0.0304 噸，PM₁₀ 0.0008 噸，SO_x 0.0150 噸。若考慮第一階段的污染，則可以減少CO 0.0305噸，NO_x 0.0399噸，PM₁₀ 0.0009噸，SO_x 0.0202噸。如表5.5.2所示。

表5.5.2：以10kW PEMFC來取代家用電熱系統1年污染減量之效果

燃料電池的種類		PEMFC	
產電效率		0.4000	
是否考慮well to pump		不考慮	考慮
CO (噸/年)	一般工廠 光電作用法	0.0294	0.0305
	一般工廠 NG	0.0190	0.0202
	公共電力工廠電解法	0.0052	0.0063
NO _x (噸/年)	一般工廠 光電作用法	0.0304	0.0399
	一般工廠 NG	0.0173	0.0267
	公共電力工廠電解法	-0.1120	-0.1026
PM ₁₀ (噸/年)	一般工廠 光電作用法	0.0008	0.0009
	一般工廠 NG	-0.0007	-0.0006
	公共電力工廠電解法	-0.0191	-0.0190
SO _x (噸/年)	一般工廠 光電作用法	0.0150	0.0202
	一般工廠 NG	0.0123	0.0175
	公共電力工廠電解法	-0.2250	-0.2198

資料來源：本研究整理

以10kW PEMFC來取代家用電熱系統1年之CO減量效果

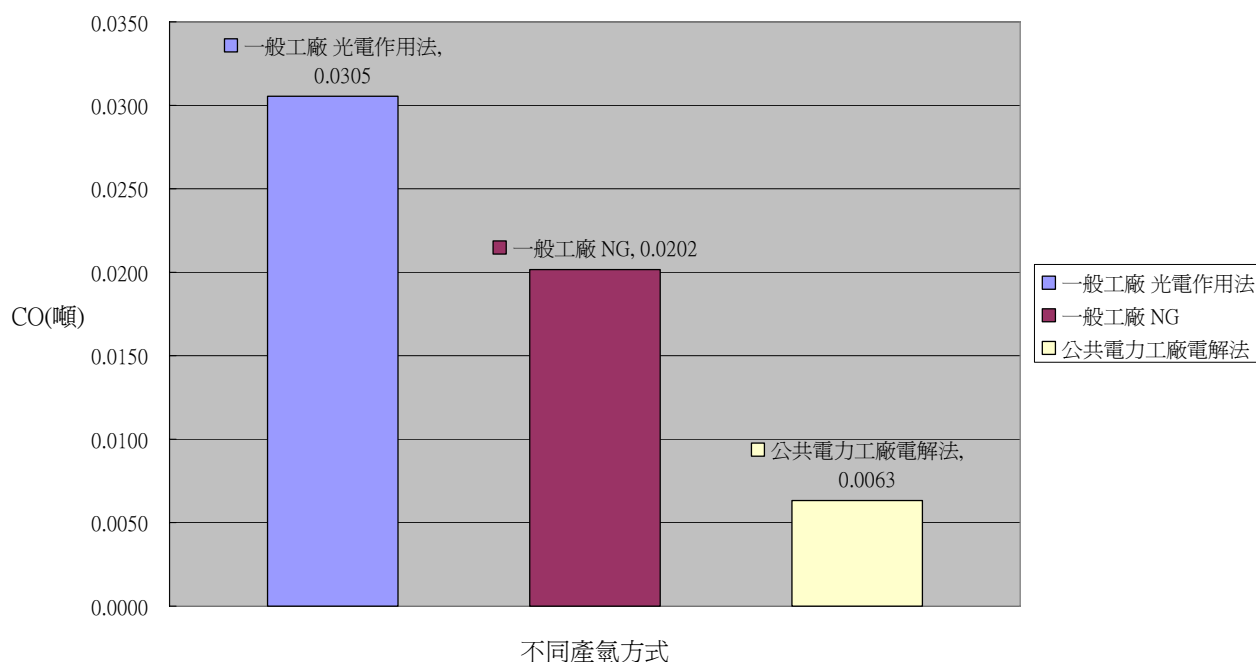


圖5.5.5：以10kW PEMFC來取代家用電熱系統1年之CO減量效果

以10kW PEMFC來取代家用電熱系統1年之NO_x減量效果

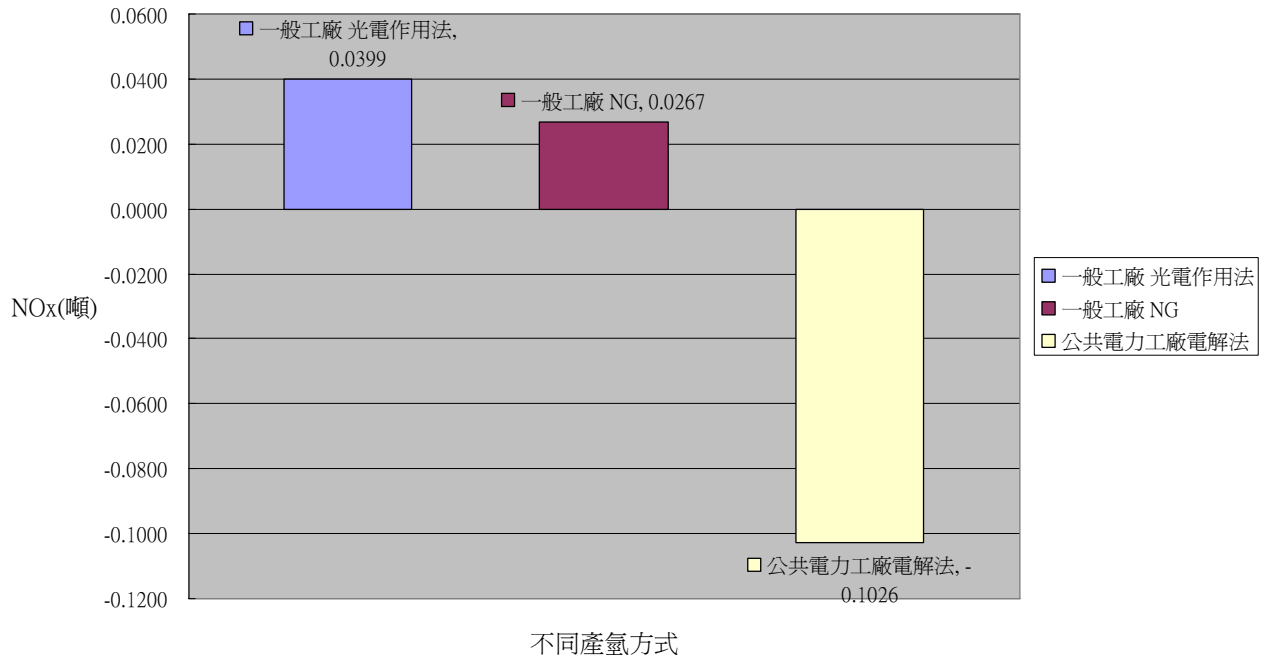


圖5.5.6：以10kW PEMFC來取代家用電熱系統1年之NO_x減量效果

以10kW PEMFC來取代家用電熱系統1年之PM10減量效果

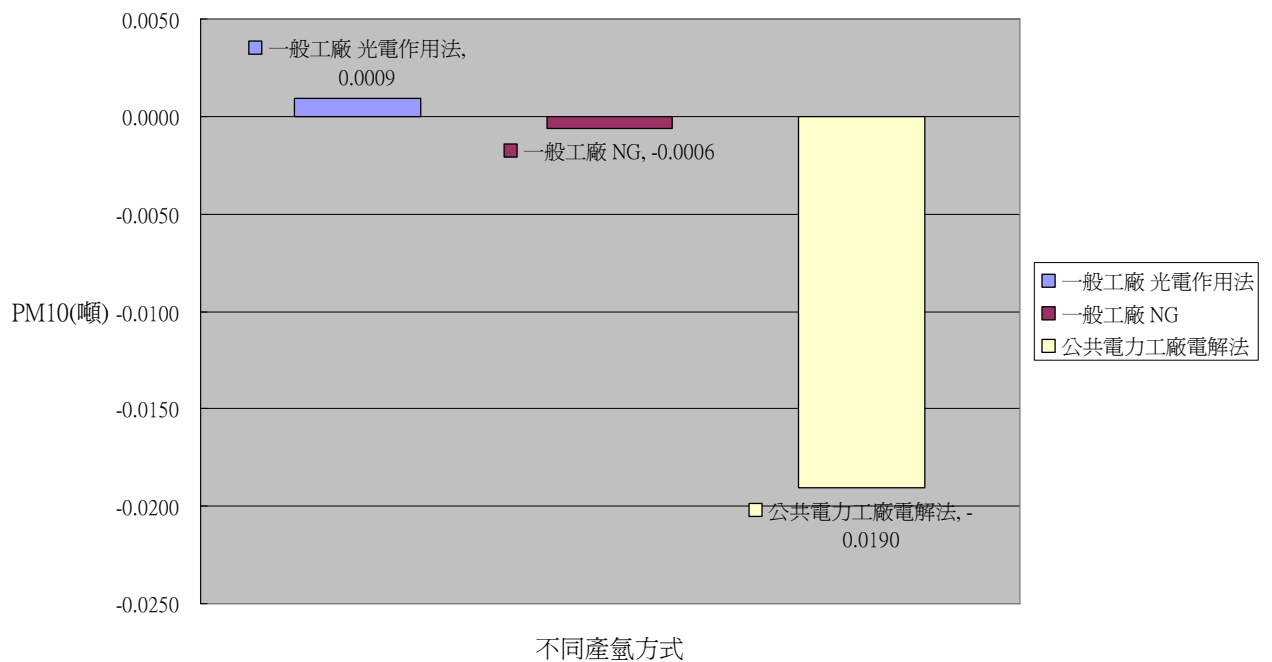


圖5.5.7：以10kW PEMFC來取代家用電熱系統1年之PM10減量效果

以10kW PEMFC來取代家用電熱系統1年之SO_x減量效果

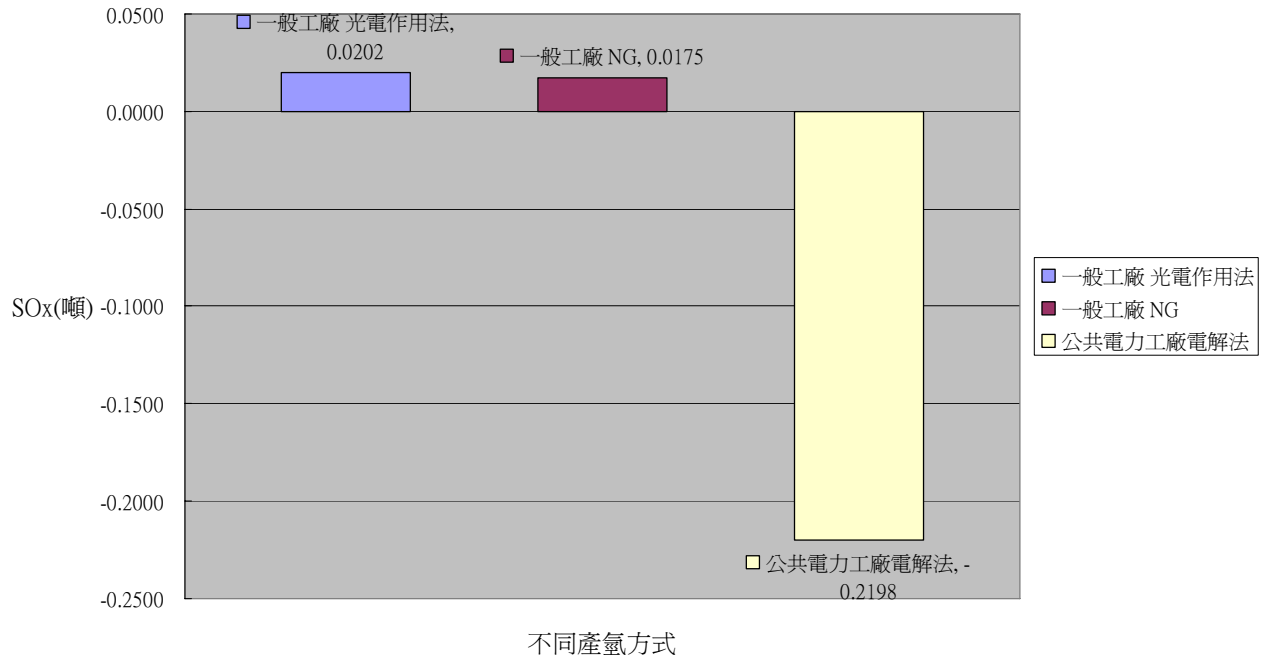


圖5.5.8：以10kW PEMFC來取代家用電熱系統1年之SO_x減量效果

(5.6)、APU

APU 的功率範圍為 5 kW~20 kW，適合使用的燃料電池為 SOFC。污染減量效果的比較對象是符合三騎排放標準的重型柴油車。表 5.6.1 為以燃料電池來取代柴油引擎的污染減量效果，由表可看出若以光電作用法來產生氫氣，三種污染物都有很好的減量效果。

表5.6.1：燃料電池來做為APU系統的污染減量效果

燃料電池的種類		SOFC	
產電效率		0.6300	
是否考慮well to pump		不考慮	考慮
CO (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	1.2243	1.2708
	一般工廠 NG	1.0739	1.1204
	公共電力工廠電解法	0.8736	0.9202
NOx (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	3.1219	3.2487
	一般工廠 NG	2.9310	3.0579
	公共電力工廠電解法	1.0564	1.1833
PM10 (g/kWh)	一般工廠 光電作用法	0.0591	0.0695
	一般工廠 NG	0.0368	0.0472
	公共電力工廠電解法	-0.2300	-0.2196

資料來源：本研究整理

以SOFC來取代APU系統之CO減量效果

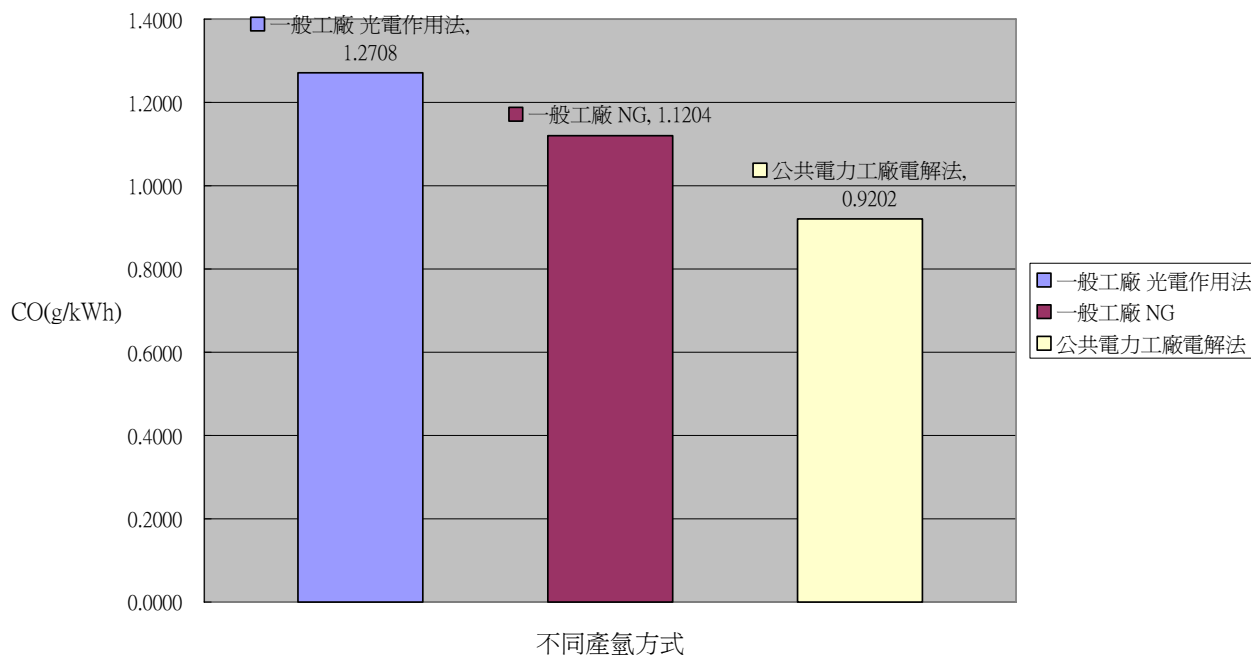


圖5.6.1：APU系統CO減量之效果

以SOFC來取代APU系統之NO_x減量效果

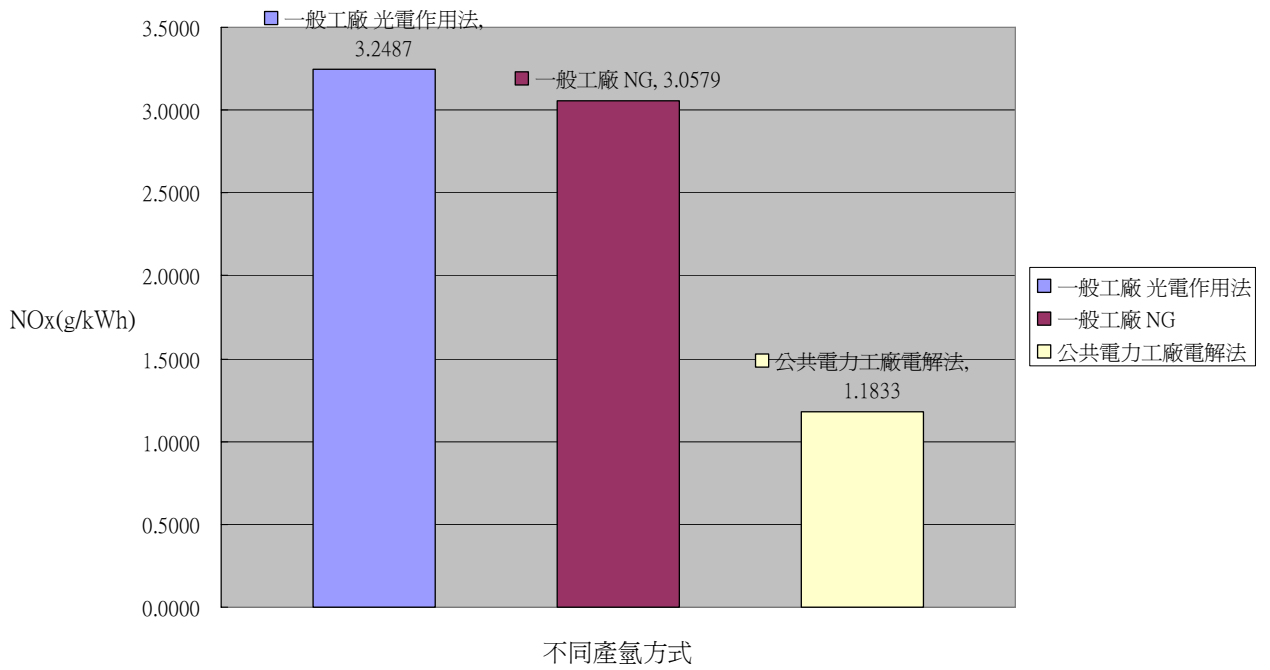


圖 5.6.2：APU系統NO_x減量之效果

以SOFC來取代APU系統之PM₁₀減量效果

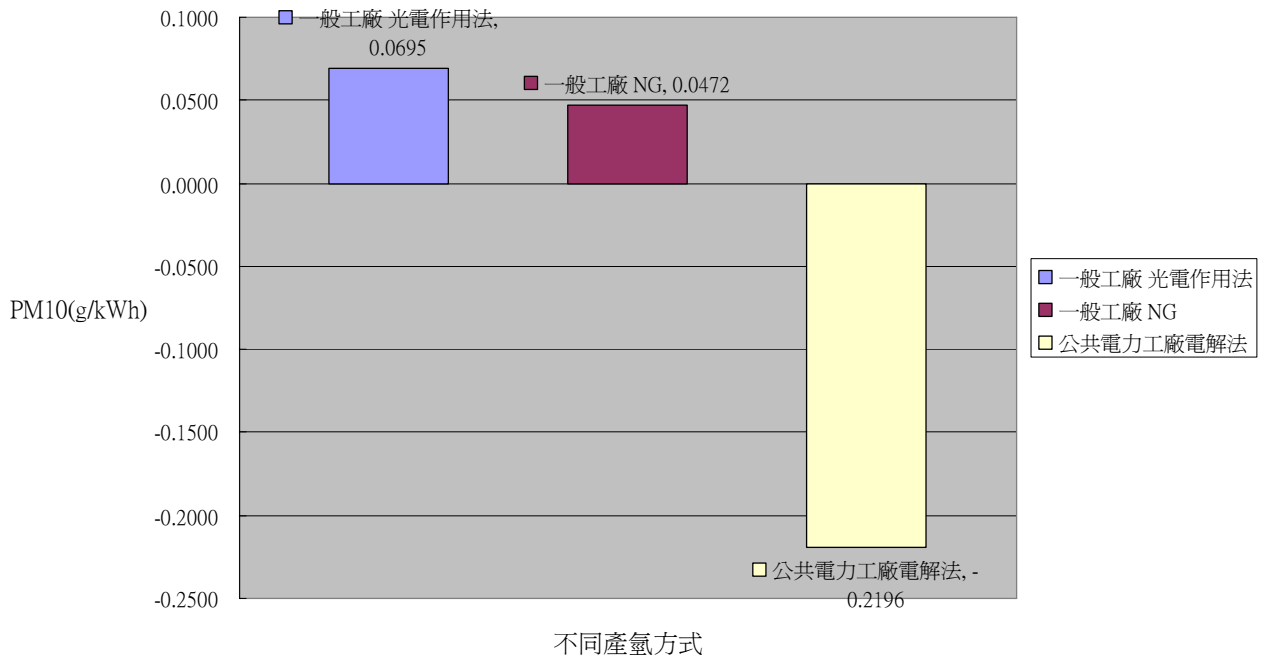


圖 5.6.3：APU系統PM₁₀減量之效果

一台 10 kW 的燃料電池一年可以發電 0.0876 百萬度，最理想的情況一年可以減少 CO 0.1072 噸，NO_x 0.2735 噸，PM₁₀ 0.0052 噸。若考慮第一階段的污染，則可以減少 CO 0.1113 噸，NO_x 0.2846 噸，PM₁₀ 0.0061 噸。如表 5.6.2 所示。

表5.6.2：以10kW SOFC來取代APU系統1年污染減量之效果

燃料電池的種類		SOFC	
產電效率		0.6300	
是否考慮well to pump		不考慮	考慮
CO (噸/年)	一般工廠 光電作用法	0.1072	0.1113
	一般工廠 NG	0.0941	0.0981
	公共電力工廠電解法	0.0765	0.0806
NO _x (噸/年)	一般工廠 光電作用法	0.2735	0.2846
	一般工廠 NG	0.2568	0.2679
	公共電力工廠電解法	0.0925	0.1037
PM ₁₀ (噸/年)	一般工廠 光電作用法	0.0052	0.0061
	一般工廠 NG	0.0032	0.0041
	公共電力工廠電解法	-0.0201	-0.0192

資料來源：本研究整理

以10kW SOFC來取代APU系統1年之CO減量效果

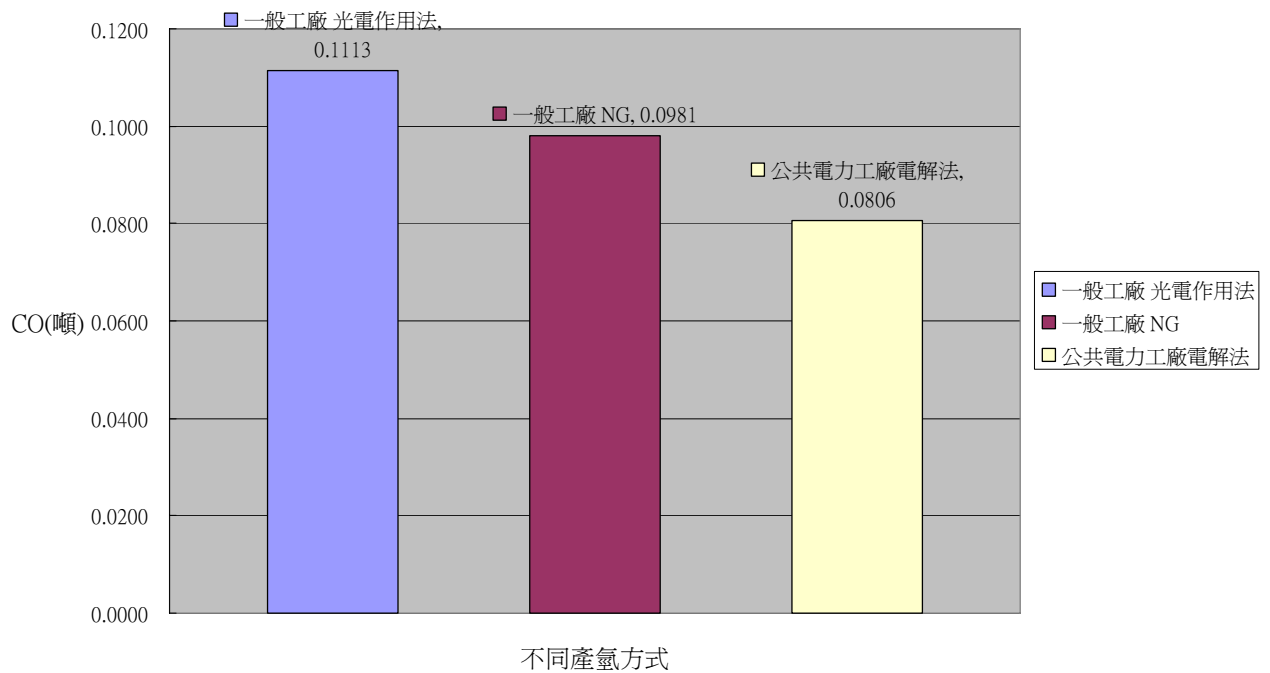


圖5.6.4：以10kW SOFC來取代APU系統1年之CO減量效果

以10kW SOFC來取代APU系統1年之NOx減量效果

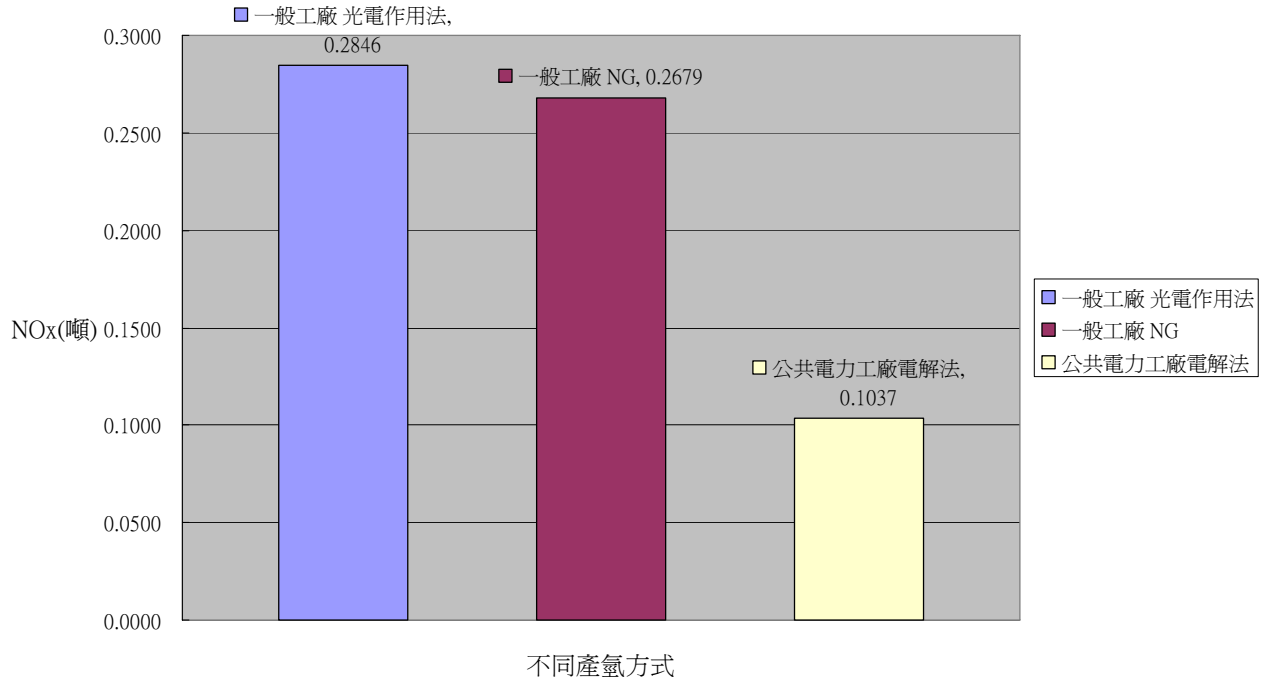


圖 5.6.5：以10kW SOFC來取代APU系統1年之NOx減量效果

以10kW SOFC來取代APU系統1年之PM10減量效果

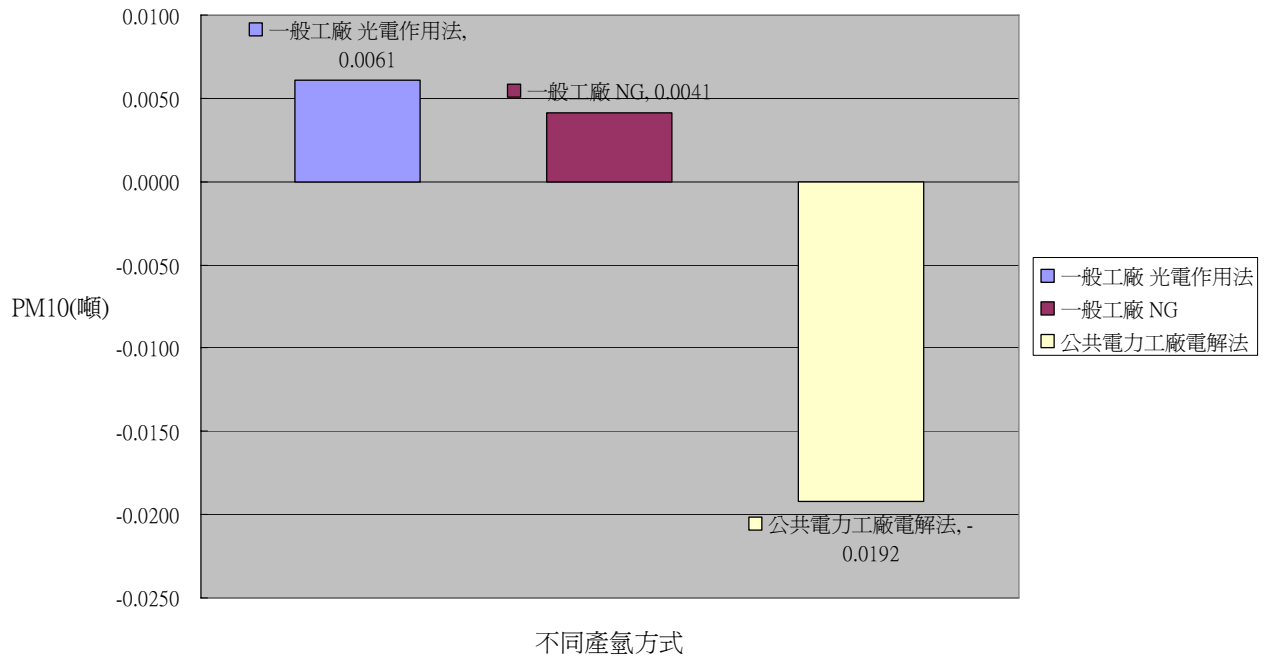


圖 5.6.6：以10kW SOFC來取代APU系統1年之PM10減量效果

結論

本研究針對未來燃料電池可能應用的產業進行污染減量分析，由國內污染現狀及國外的發展狀況進行整理，可得到以下結論：

- 未來燃料電池在固定式使用的主要應用包括中小型的發電廠，電熱產生器，輔助動力系統，及攜帶式電源。
- 不同的燃料電池具有不同的應用範圍，AFC適用於特殊用途的小功率燃料電池，PEMFC與DMFC適用於攜帶式電源，PAFC適用於汽電共生與家庭熱電系統，MCFC與SOFC適用於汽電共生與分散式電源。
- 燃料電池主要的污染發生在燃料製備與運輸過程，燃料電池的污染排放係數與氫氣產生方式及燃料電池應用方式有關。
- 以光電作用法來產生氫氣的污染減量效果最大，以天然氣重組的減量效果也不錯，以公用電力來電解水反而會增加污染。
- 傳統能源的污染包括燃料生產，製備，與運輸過程所產生的污染，及燃料使用過程所產生的污染。過因燃料電池只有第一階段的污染，若要比較燃料電池與目前產業的污染，就必須兩個階段都比較。
- 本研究考慮五種未來可能被燃料電池取代的傳統能源，分別為中型發電廠，小型發電廠，中型汽電共生廠，小型汽電共生廠，重型柴油車的輔助電源，及家用熱水系統。與現有系統的污染狀況做比較，各種應用的污染減量效果如下：

	燃料電池(功率)	CO(噸/年)	NO _x (噸/年)	PM(噸/年)	SO _x (噸/年)
不考慮燃料生產，製備，與運輸過程所產生的污染					
中型發電系統	SOFC(1 MW)	5.91	5.97	0.167	3.03
小型發電系統	SOFC(1 MW)	50.83	111.66	4.07	10.43
中型汽電共生	SOFC(1 MW)	NA	13.85	1.37	1.80
小型汽電共生	MCFC(1 MW)	NA	4.08	0.75	10.55
APU	SOFC(10 kW)	0.11	0.27	0.0052	NA
家用熱電系統	PEMFC(10 kW)	0.0294	0.0304	0.0008	0.0150
考慮燃料生產，製備，與運輸過程所產生的污染					
中型發電系統	SOFC(1 MW)	5.91	7.29	0.17	3.95
小型發電系統	SOFC(1 MW)	51.24	112.77	4.165	10.937
中型汽電共生	SOFC(1 MW)	NA	15.17	1.37	2.72
小型汽電共生	MCFC(1 MW)	NA	5.19	0.84	11.06
APU	SOFC(10 kW)	0.1113	0.2846	0.0061	NA
家用熱電系統	PEMFC(10 kW)	0.0305	0.0399	0.0009	0.0202

- 未來燃料電池以小型發電系統的應用具有最大減量效果。

參考資料：

1. Bjørnar Kruse, Sondre Grinna, Cato Buch, "Hydrogen - *Status and possibilities*", Bellona Report , 6:02, Bellona Foundation 2002, <http://www.bellona.no/en/energy/hydrogen/>
2. J. W. Virden, J. E. Surma, L. Bromberg, A. Rabinovich, D. R. Cohn, and J. S. Armfield, "A Feasibility Evaluation of a Thermal Plasma Fuel Reformer for Supplemental Hydrogen Addition to Internal Combustion Engines", SAE Paper 1999-01-2239.
3. J. B. Green, Jr., N. Domingo, J. M. E. Storey, R. M. Wagner, J. S. Armfield, L. Bromberg, D. R. Cohn, A. Rabinovich and N. Alexeev, "Experimental Evaluation of SI Engine Operation Supplemented by Hydrogen Rich Gas from a Compact Plasma Boosted Reformer", SAE Paper 2000-01-2206.
4. L. Bromberg, S. Crane, A. Rabinovich, Y. Kong, D.R. Cohn, J. Heywood, N. Alexeev, A. Samokhin, "Hydrogen Generation from Plasmatron Reformers: A Promising Technology for NO_x Adsorber Regeneration and Other Automotive Applications", Diesel Engine Emission Reduction (DEER) Workshop, 2003, Newport RI, August 24-28, 2003
5. Remarks by Spencer Abraham on FreedomCAR, Detroit, MI, January 9, 2002.
6. D.R. Brown, and R. Jones, (1999), "An Overview of Stationary Fuel Cell Technology", Pacific Northwest National Laboratory, PNNL-12147.
7. Mark Cropper, "Fuel Cell Market Survey: Large Stationary Applications", Fuel Cell Today – 17 September 2003
8. Hamed Abdelsalam, Brian Anderson, Brad Davis, and Curtis Irwin, Final Report of Fuel Cell Project, Project ID: May03-16, May 5, 2003
9. D.R. Brown, and R. Jones, (1999), "An Overview of Stationary Fuel Cell Technology", Pacific Northwest National Laboratory, PNNL-12147.
10. Julian Edgar, "Micro Turbine Power!", Auto Speed, Issue 162, 7 January, 2002.
11. Larry J. Chaney, Mike R. Tharp, Tom W. Wolf, Tim A. Fuller, and Joe J. Hartvigson, "Fuel Cell/Micro-Turbine Combined Cycle" Final Report, DOE Contract: DE-AC26-98FT40454, December 1999
12. David Jollie, "Fuel Cell Market Survey: Portable Applications", Fuel Cell Today , 01 September 2004.
13. Uhrig, M.; Droste, W.; Wolf, D., Trial operation of a phosphoric acid fuel cell (PC25) for CHP applications in Europe, Proc 1996 Fuel cell seminar, Kissimmee, FL (United States), 17-20 Nov 1996, pp. 71-74.
14. P.F. van den Oosterkamp1, P.C. van der Laag, "Operational Experience with Micro-CHP Residential Fuel Cell Systems", Energy research Centre of the Netherlands, Paper number: 98 G.
15. Herbert H. Dobbs, T. Krause, R. Kumar, and M. Krumpelt, (2000), "Diesel-Fueled Solid Oxide Fuel Cell Auxiliary Power Units for Heavy-Duty Vehicles", ANL/CMT/CP-101902.

16. Masha Stratonova, S. Lasher, and E. Carlson, (2003), "Assessment of Fuel Cell Auxiliary Power Systems for On-Road Transportation Applications", DOE Hydrogen, Fuel Cells, and Infrastructure Technologies FY 2003 Progress Report.
17. Dave Daggett, "Commercial Airplanes Fuel Cell APU Overview", SECA Annual Meeting, Seattle, 15 April, 2003.
18. 台北市環保局, (2002), 「松山機場民用航空器空氣污染物排放特性調查」。
19. U.S. EPA, (1991), "Review of Surface Coal Mining Emission Factors", EPA-454/R-95-007
20. U.S. EPA, *Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources, Chapter 11, Mineral Products Industry*, 1995.
21. 經濟部能源局, (2004), 「能源統計手冊」。
22. 金門縣環境保護局, (2004), 「93年度金門縣環境保護計畫」。
23. 台灣電力公司, (2004), 「92年度各縣市用電資料」。
24. 柯旭勛, 萬皓鵬, (2002), "汽電共生系統現況分析", 汽電共生及工業鍋爐之最適化操作暨效率查驗研討會, 經濟部能源局。
25. 彰化縣環境保護局, (2003), 「91年度電力業加嚴排放標準可行性研究計畫」。
26. T P Ng, C S R Seet, W C Tan, and S.C. Foo, "Nitrogen dioxide exposure from domestic gas cooking and airway response in asthmatic women", *Thorax* 2001;56:596-601 (August)
27. M Dennekamp, S Howarth, C A J Dick, J W Cherrie, K Donaldson, A Seaton, "Ultrafine particles and nitrogen oxides generated by gas and electric cooking", *Environ Med* 2001;58:511-516 (August)
28. Bob Joynt, and Stephen Wu, (2000), "Nitrogen oxides emissions standards for domestic gas appliances - background study", Australia DOEH.
29. 雷敏宏, (2001), "未來氫能源的供應策略", 能源季刊, 第三十一卷, 第四期。
30. Ullmann, (1983), Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Sixth Ed., Wiley-VCH.
31. Scott Fable, Stefan Unnasch, (2004), "Fuel Cell Reformer Emissions", DOE Hydrogen, Fuel Cells and Infrastructure Technologies Annual Review Presentation.

可供推廣之研發成果資料表

 可申請專利 可技術移轉

日期：95年5月2日

國科會補助計畫	計畫名稱：固定污染源燃料電池技術發展對空污減量影響研究 計畫主持人：盧昭暉 計畫編號：NSC 94-EPA-Z-005-001 學門領域：
技術/創作名稱	
發明人/創作人	
技術說明	中文：本研究主要建立分析燃料電池污染減量效果的技術，主要應用在固定式的能源系統，包括中型發電廠，小型發電廠，中型汽電共生廠，小型汽電共生廠，重型柴油車的輔助電源，及家用熱水系統。 (100~500字)
	英文： A methodology is established to analyze the emission reduction effect of fuel cells applied to stationary power applications, including medium size power plant, small size power plant, medium size cogeneration plant, small size cogeneration plant, heavy duty diesel truck, and domestic combined heating and power system.
可利用之產業 及 可開發之產品	能源產業，家電產業，車輛產業。
技術特點	分析各種燃料電池應用的優缺點。
推廣及運用的價值	進行燃料電池開發與推廣時，可參考使用。

※ 1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。

- ※ 2. 本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。
- ※ 3. 本表若不敷使用，請自行影印使用。