

出國報告（出國類別：會議）

參加2012年國際溫室氣體控制技術研 討會

服務機關：台灣中油股份有限公司 探採研究所

姓名職稱：曾繼忠/石油開採工程師

派赴國家：日本京都

出國期間：101年11月18日~ 101年11月23日

報告日期：102年02月06日

摘要

溫室氣體控制技術國際研討會 (Greenhouse Gas Control Technologies Conference) 為目前國際上溫室氣體減排及封存領域最主要的國際會議，其主要關注議題則是碳捕集與封存技術之研討，以及推動這項技術廣泛使用所需的政策與措施，每兩年輪流在北美、歐洲和亞洲等地區召開。第十一屆會議則在 2012 年 11 月 18 日至 22 日在京都舉行，來自 53 個國家、近 1,600 位的專家、學者參加此次會議，會議共同研討碳捕集與封存技術在各個國家或領域所遇到的各種障礙、問題解決及相關技術發展狀況。

本次參加該國際研討會的目的為透過發表論文與國際專家交流二氧化碳地質封存相關技術，並藉由參加此研討會，吸取地質封存結合油氣增產技術之新知識，以利未來應用於永和山油氣增產研究。

目 次

摘 要	2
目 次	3
一、 目的	4
二、 過程	6
三、 心得	8
四、 建議	14

一、目的

近年來有越來越多的證據顯示，全球氣候變遷與二氧化碳及其他溫室氣體排放到地球大氣層，吸收太陽熱能所造成的全球暖化有著密切關係，因此減碳不僅已成為全球關注的環保議題，亦為當前政府極為重視之政策。在台灣，二氧化碳總排放量近年來快速成長，台中火力電廠更是二氧化碳排放量世界第一之單一排放源，因此台灣必須更正視二氧化碳減量的問題，多參與國際性溫室氣體控制技術研討會，以吸收相關技術。

溫室氣體控制技術國際研討會（Greenhouse Gas Control Technologies (GHGT) Conference）為目前國際上溫室氣體減排及封存領域最主要的國際會議，其主要關注議題則是碳捕集與封存技術之研討，以及推動這項技術廣泛使用所需的政策與措施，每兩年輪流在北美、歐洲和亞洲等地區召開。第十一屆會議則在 2012 年 11 月 18 日至 22 日在京都舉行，“CCS ready to move forward”是本次會議的主題，來自 53 個國家、近 1,600 位的專家、學者及公司與專案領導人參加此次會議，會議共同研討碳捕集與封存技術在各個國家或領域所遇到的各種障礙、問題解決及相關技術發展狀況。

本次參加該國際研討會的目的為透過發表論文與國際專家交流二氧化碳地質封存及相關技術的心得，本次發表論文題目為：“Safety-based injection strategy for carbon dioxide geological sequestration in a deep saline aquifer with complex sandstone-shale sequences: A case study from Taiwan”，作者群包含：台灣中油公司探採研究所陳大麟副所長及本人、成功大學林再興教授、謝秉志助理教授及吳政岳博士生。

本次國際研討會亦為應用二氧化碳封存技術增進油氣田採收率之重要研討會之一，也是與國際學者交流分享經驗的重要機會，藉由參加此國際研討會除了發

表論文外，還可以增加台灣中油公司在國際二氧化碳封存結合增進油氣採收技術發展之能見度，提高中油公司在國際溫室氣體減量技術應用研究的參與度，更可使台灣在二氧化碳減量的議題上，快速建立良好的國際形象。

二、過程

第十一屆國際溫室氣體技術控制研討會（2012 GHGT-11 Conference）在 2012 年 11 月 18 日至 11 月 22 日於日本的京都（Kyoto）舉行。本人於 11 月 18 日早上八點 30 分搭乘飛機，由桃園國際機場出發前往日本大阪，在大阪轉搭 JR 快速鐵路，於日本時間 11 月 18 日傍晚抵達京都會場附之近住宿飯店。

2012 年 11 月 19 日至 11 月 22 日參加 2010 GHGT-11 溫室氣體技術控制研討會，瞭解各個國家或領域對二氧化碳在封存領域及應用二氧化碳增進油氣採收之相關技術發展狀況。11 月 22 日（星期四）早上發表論文，下午參觀海報，隔日 11 月 23 日（星期五）返程前往大阪關西機場出發返回台灣，於 11 月 23 日（星期五）下午抵達台灣，詳細參加過程如下：

11 月 18 日：去程，早上八點 30 分搭乘飛機，由桃園國際機場出發前往日本大阪，在大阪轉搭 JR 快速鐵路，於日本時間 11 月 18 日傍晚抵達京都住宿。

11 月 18 日：傍晚為開幕歡迎會。

11 月 19 日：參加三場論文發表會分別為 (1) Storage Capacity、(2) CO₂ Injectivity 及 (3) Enhanced Hydrocarbon Recovery I。

11 月 20 日：參加三場論文發表會分別為 (1) Enhanced Hydrocarbon Recovery II、(2) Monitoring: Pressure Methods、(3) Monitoring: Demonstration and Pilot Projects。

11 月 21 日：參加論文發表會及壁報展示，參加之論文發表會分別為：(1) Trapping Mechanisms: Case Studies、(2) Reservoir Engineering: Pressure Management、(3) Trapping Mechanisms: Geochemical。

11 月 22 日：參加論文發表會為 Risk Assessment and Management II，並在會議中發表

"Safety-based injection strategy for carbon dioxide geological sequestration in a deep saline aquifer with complex sandstone-shale sequences: A case study from Taiwan"論文，下午參觀海報。

11月23日：前往大阪關西機場出發返回台灣，下午抵達台灣。

三、心得

本人參加該會議除了了解國際上目前二氧化碳封存相關議題之研究成果外，最主要的目的則是關注在國際上二氧化碳封存結合增進油氣採收技術之發展現狀，因此以下心得主要為二氧化碳封存增進油氣採收的會議中所發表之議題為主。

在二氧化碳封存量分類上，目前世界上最常利用石油界常用的 PRMS 系統來類比二氧化碳封存量在不同階段的評估狀況，並採荷蘭案例來進行定義與分類；另外，美國的學者提出利用 Stacked Storage（堆疊封存）的概念（油氣層與上方含水層同時注入二氧化碳進行封存）來說明增進二氧化碳的封存與增進採油的效用。

在二氧化碳注儲能力探討會議中，多數專家分別就溫度效應導致應力變化、鹽類礦物（Halite）生成，以及利用二氧化碳去增進甲烷氣採收進行探討，另亦有針對各種完井方式或二氧化碳增進甲烷氣採收時井口環境對於二氧化碳注儲能力變化影響進行研究。

在增進油氣採收的會議中，"Flue Gas Injection for CO₂ Storage and Enhanced Coalbed Methane Recovery: Mixed Gas Sorption and Swelling Characteristics of Coals"主要探討以富含二氧化碳之煙道氣增進煤層甲烷氣的採收研究，透過煤樣的實驗來研究不同的煤基性質（品位、吸附曲線、煤質大小及粒徑分布等參數）對於二氧化碳置換甲烷氣的效率及採收率。

在增進油氣採收的會議中，"Description of a CO₂ Enhanced Coalbed Methane Field Trial Using a Multi-Lateral Horizontal Well"此篇主要探討煤層滲透率通常具有異向性，在相同的煤層中，表割理對面割理的異向性比可高達 17:1，煤層滲透率異向性的特色與影響對設計 CBM 的生產井是非常重要的，但是還沒有詳盡的研究，這篇論文透過數值模式及油層模擬來研究這個議題，在各個案例研究中使用了二個最常被使用的多分支井模式(包括四邊形分支井及羽狀分支井)，研究滲透率異向性比

對多向分支井配置的影響。結果顯示四邊形分支井如預期般的平行於表割理有較好的採收結果，而羽狀分支井的最佳角度明顯地受滲透率異向性比影響，羽狀分支井的分支方向較分支數目不敏感，這指出配置更多的分支井而非改變分支的方向，可得到更高的煤層甲烷氣採收率。在這個研究中，考慮到不同水平井模式、非均質效果和注入的流體組成成分，並估計了蘇格蘭煤氣層礦區一個井中的四個特別區間的甲烷氣的理論及有效採收量與二氧化碳封存潛力，這項研究影響到蘇格蘭米德蘭峽谷的 Airth 區 Clackmannan 煤田。此外，該研究爲了評估滲透率的異質性、地層狀態的不確定性、甲烷氣的有效採收量及 CO₂ 的封存量，亦在選定的區域中，使用地質統計方法來產生合理的三維分布。

在增進油氣採收的會議中，"The Altmark Natural Gas Field is Prepared for the Enhanced Gas Recovery Pilot Test with CO₂"主要爲進行二氧化碳增進油氣採收的先導性研究，該研究較特殊的是微生物監測(microbial monitoring)之結果。研究利用基因技術分析位於德國 Altmark 約 3.5 公里深的涸竭型氣層(depleted gas reservoir)的微生物群落。透過一系列的分析指出，該氣層存在的微生物相似於先前已被辨識來自於喜溫、厭氧且高鹽度的鹽水以及高溫蘊藏環境的微生物細菌。類源分析(phylogenetic analyses)結果顯示出不同的氫氧細菌(H₂-oxidising)(嗜氫菌屬(Hydrogenophaga sp.)、三價砷氧化菌屬(Acidovorax sp.)、羅爾斯頓氏菌屬(Ralstonia sp.)、假單細胞菌屬(Pseudomonas sp.)、硫代硫酸鹽氧化菌(thiosulfate-oxidising bacteria)和可生物降解的喜溫微生物均存在於研究標的中。

在增進油氣採收的會議中，"CO₂ Enhanced Oil Recovery and Geological Sequestration Potential in Northern Niagaran Pinnacle Reef Trend Reservoirs, Northern Lower Michigan, USA"則是探討美國舊油氣構造的封存潛能及增進油氣採收的可能性。

在增進油氣採收的會議中，"Deploying Combined EOR and CCS Projects"爲探討

二氧化碳地質封存結合增進原油採收的方案分析，該研究提出在美國以及其他各地採用二氧化碳增進原油採收的成功案例之油田有一些共同的特徵：1.符合技術上的標準並達到可混溶性(主要因子為深度及油組成成分)；2.經過初始和二級採收(水驅法)後仍具有足夠未採收的埋藏量；3.在經濟分析上可以負擔支出；4.負責開發的操作人員能具有足夠的技術知識以及經濟分析能力；5.能夠從政府在二氧化碳增進採收法提供的方案中獲得利益。該研究並討論全世界大約 95%使用二氧化碳增進原油採收的 54 個成功案例，包括了一些主要的代表性油田。

在增進油氣採收的會議中，"Comparing Alternatives for Early CCS Projects in the United States via EOR"該研究為提出一個利用二氧化碳增進油田採收量有關的經濟分析模式。此模式同樣必須注入二氧化碳，藉由降低原油的黏度，進而達到增進油田採收的效果。在增進採油的過程中，倘若能適當控制二氧化碳的溢散量，二氧化碳封存的部分便能如同增進採油般地獲得收入。該研究建立了一個能動態分析最佳化的油層採收以及二氧化碳封存法之經濟分析模式，並以美國懷俄明州(Wyoming)在增進採油法中所使用的數值模擬進一步確認此模式的可行性。研究發現除非在採油及二氧化碳封存交易中稅率非常高的情況下，否則碳稅對於累積封存量的影響將小於油價對累積封存量的影響。

在增進油氣採收的會議中，"Assessment of Factors Influencing CO₂ Storage Capacity and Injectivity in Eastern U.S. Gas Shales"為探討二氧化碳應用於頁岩氣增進天然氣採收之效果及可行性評估。

在增進油氣採收的會議中，"The Economics of CO₂ Sequestration Through Enhanced Oil Recovery"為 CCS 計畫結合捕獲、運輸以及封存系統的研究，其認為在最低成本之考量下是可行的。該研究模擬在美國於鹽水層每噸二氧化碳地質封存的成本。此模型包含捕獲、運輸、封存以及其他經費方面，且提出對於變動與輸出源、輸入地相關的參數(source-and sink-specific parameters)之敏感度。從成本模型

發展出一百英里內的二氧化碳輸出源與九個在伊利諾盆地(Illinois Basin)已證實的二氧化碳輸入地的封存供給曲線。此供給曲線顯示在目前的經濟、技術條件與二氧化碳價格下，可提供商業性組織和決策者使用，進而決定在國家、地域及現地等不同尺度下最有經濟效益的二氧化碳封存量。此外，在壓力控制監測下，分別提出解析解與典型曲線理論來進行二氧化碳井口壓力的控制，此主要利用四維震測原理來研判不同時間二氧化碳團塊的移棲及變化情況。

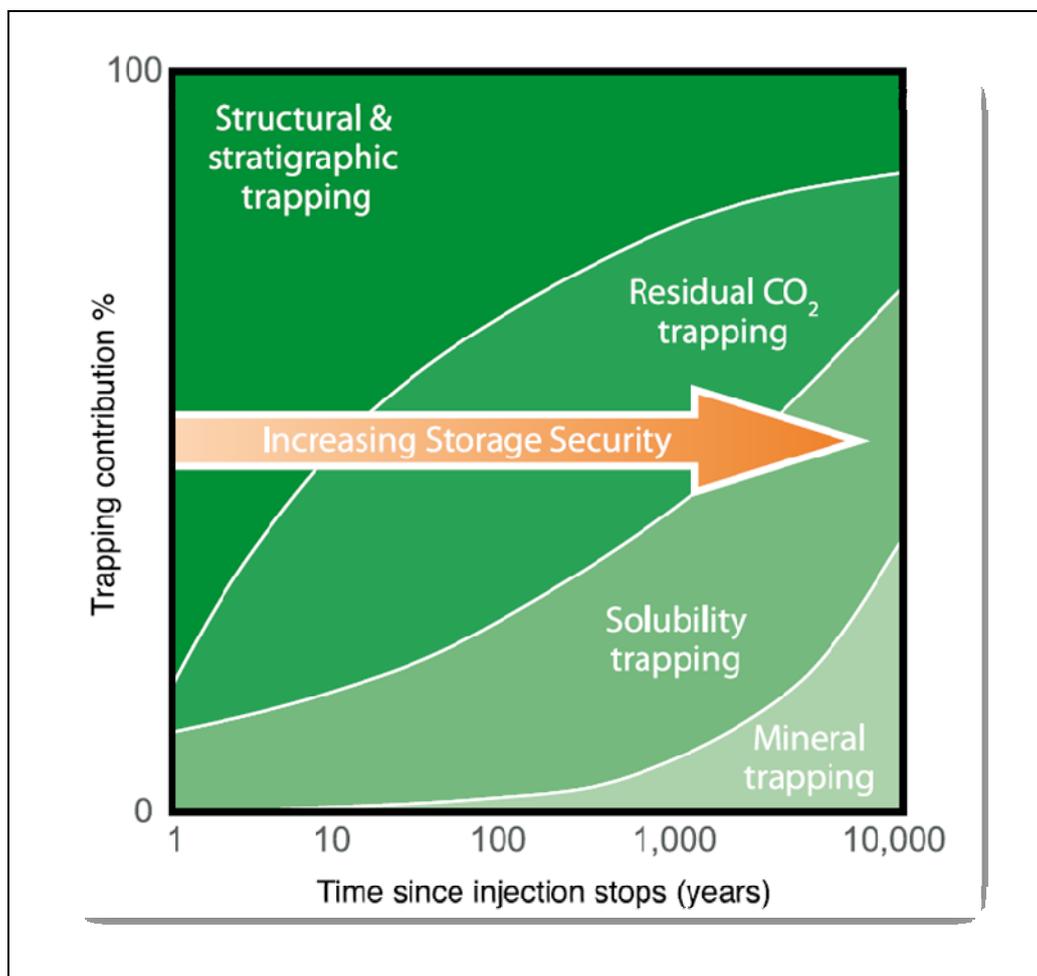
在封存機制之案例分析會議中，主要探討國際上(日本及德國)目前仍在進行二氧化碳封存計畫(在封存期間)的主要封存機制為何，透過取樣分析可知目前仍以殘餘氣及溶解氣封存機制為主，研究認為需要很長時間礦化封存機制的封存量才有顯著的成長。在壓力監測與管理方面，除了考慮岩石力學機制，主要則是利用油層工程方法及分析技術來監測及管理注入井井口周遭與封存層之壓力及溫度變化，透過壓力控制以達到理想的二氧化碳注入封存量。在地球化學反應的研究中，部分研究則是提出利用不同的地球化學方法來進行二氧化碳團塊或地層水流動的監測，如利用微量元素作為示蹤劑，或是監測地層電阻或導電率的變化來確認二氧化碳團塊的位置與變化行為。

最後則在 11 月 22 日於 Risk Assessment and Management II 會議中進行論文發表，在會議中發表的題目為 "Safety-based injection strategy for carbon dioxide geological sequestration in a deep saline aquifer with complex sandstone-shale sequences: A case study from Taiwan"，本研究是透過數值模擬法提出安全指數及評估準則來進行不同的二氧化碳注儲策略安全性評估，並經由評估找出適合的注儲方案及注儲井井位。本研究利用 IPPC(2005)提出的封存機制安全性隨時間變化概念(圖一)，將構造封存機制之二氧化碳封存量視為不安全的封存量，以獲得安全指標(Safety Index)，該安全指標為安全的二氧化碳封存量除以二氧化碳總注儲量，其值越高代表越安全。

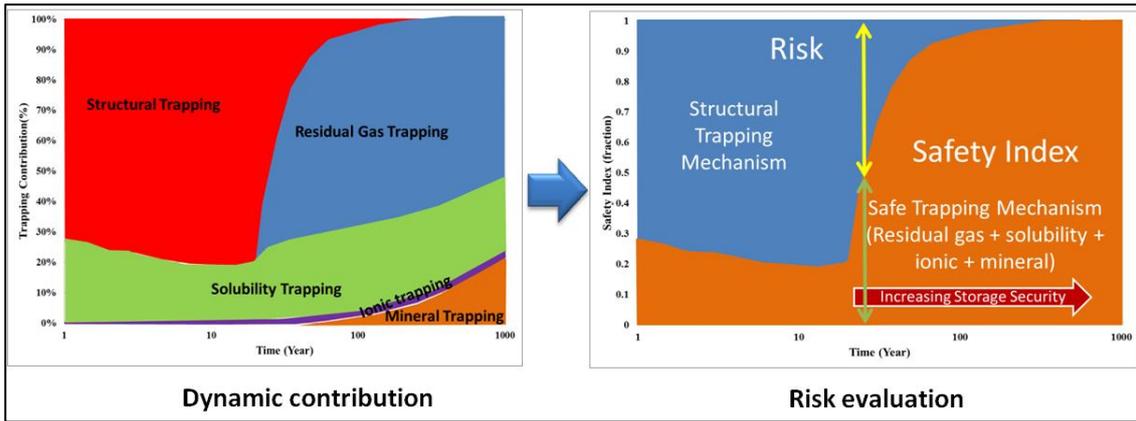
透過數值模擬法可得類似動態模擬圖，接著利用安全指數便可以得出封存安

全性隨著時間變化(圖二)；再根據不同方案評估結果(圖三)，定出以兩倍的注儲時間作為風險評估分析，以篩選出最適合的注儲方案。

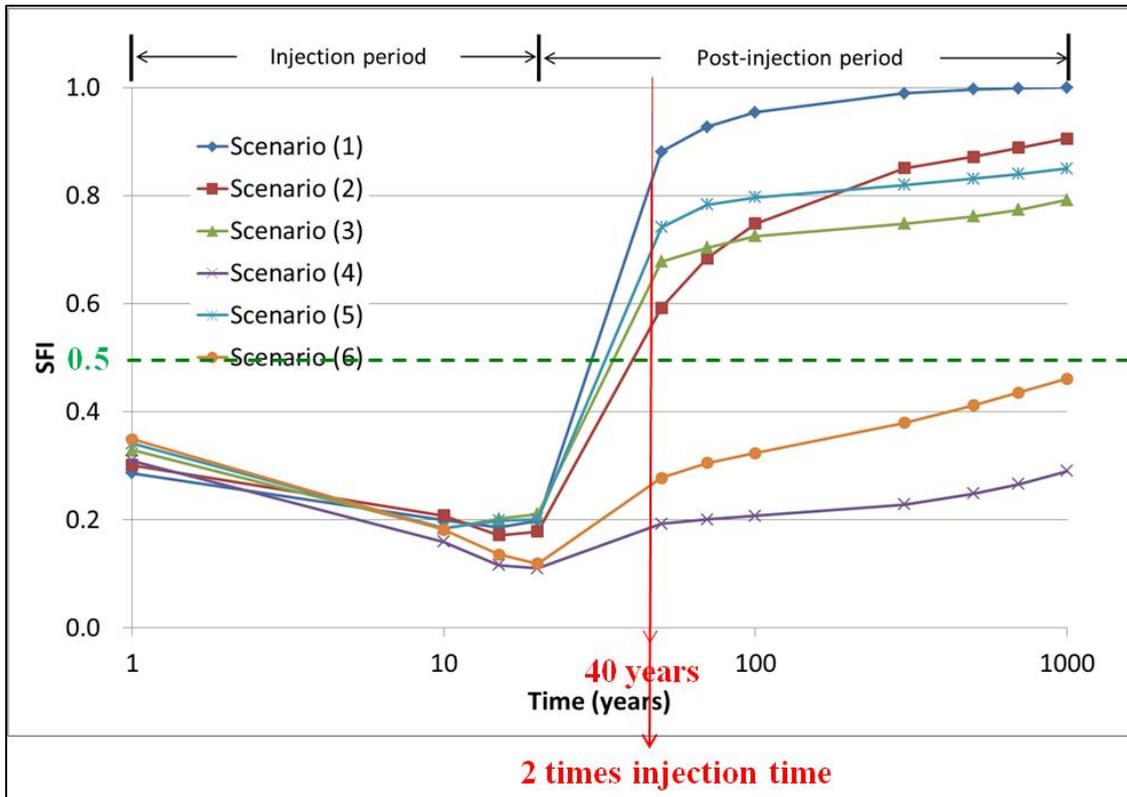
這次參加論文發表與國際學者交流除了可增進國際二氧化碳捕獲與地質封存領域之相關技術知識外，更可提高中油公司在國際溫室氣體減量學術研究的能見度。總之，參加此次研討會獲益良多，也可以瞭解目前國際間以二氧化碳增產油氣技術之應用現況。



圖一 IPCC 所提出的二氧化碳封存機制概念圖



圖二 台灣特定封存場址二氧化碳封存安全性隨時間變化圖



圖三 台灣特定封存場址二氧化碳封存安全性不同方案評估結果

四、建議

溫室氣體的減量雖然是國際趨勢，但是目前考量國際經濟現況，各國的二氧化碳封存幾乎都與增進油氣增產計畫相結合，如阿爾及利亞的 In Salah、加拿大的 Weyburn、荷蘭的 K12B 及德國的 Ketzin 等增進油氣採收計畫。因此建議本所往後可以結合二氧化碳封存與增進油氣採收之議題，提升研究計畫價值。

溫室氣體減量為勢在必行的議題，公司應鼓勵同仁多參與相關國際會議，多吸收二氧化碳地質封存及油氣增產技術相關新知識，公司未來若進行永和山油氣增產研究，相信應用所獲取之新知識必能強化本所油氣增產核心技術。

此外，本次論文發表所使用的油層工程的數值模擬軟體（CMG），可以結合二氧化碳封存與油氣增產功能，具有持續應用研究的價值，值得有興趣的同仁參與學習。