

出國報告（出國類別：實習）

參加「低碳經濟時代之財務與投資」 訓練課程

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：溫桓正 一般工程監

派赴國家：英國

出國期間：99年1月8日至4月4日

報告日期：99年6月3日

出國報告審核表

出國報告名稱：參加「低碳經濟時代之財務與投資」訓練課程		
出國人姓名	職稱	服務單位
溫桓正	一般工程監	台電公司工安環保處
出國期間：99年1月8日至99年4月4日		報告繳交日期：99年6月3日
出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2. 格式完整（本文必須具備「目的」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input checked="" type="checkbox"/> 3. 內容充實完備。 <input type="checkbox"/> 4. 建議具參考價值 <input checked="" type="checkbox"/> 5. 送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7. 退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同仁進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9. 其他處理意見及方式：	
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分 _____（填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 2. 退回補正，原因： _____ <input type="checkbox"/> 3. 其他處理意見： _____	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

報告人：  單位：  主管處：  主管：  副總經理： 李錦田 

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加「低碳經濟時代之財務與投資」訓練課程

頁數 33 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：

台灣電力公司人力資源處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話：

溫桓正/台灣電力公司/工安環保處/一般工程監/02-23667220

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：99年1月8日至4月4日 出國地區：英國

報告日期：99年6月3日

分類號/目

關鍵詞：燃煤發電、全球暖化、溫室氣體減量、可再生能源義務、碳捕捉及封存
技術

內容摘要：(二百至三百字)

- 1.英國外交部於1983年設立CHEVENING FELLOWSHIPS獎學金，每年針對特定的主題提供世界各國人士前往英國接受12週的訓練，以期能符合英國的國家發展策略。2010年的CHEVENING FELLOWSHIPS主題之一在使參訓者藉由英國經驗了解到在低碳經濟時代中政策與法令的需求實務，並面對傳統財務及投資可能遭遇的挑戰(如碳交易市場)，以使企業能因應氣候變遷的議題。
- 2.本公司為國內最大的溫室氣體排放源，近年因新建燃煤機組承受極大的減量壓力，預料在「溫室氣體減量法」實施後，本公司必須執行經營碳權與購買碳權等措施來因應，如今恰逢英國CHEVENING FELLOWSHIPS提供最佳的訓練機會，可藉機汲取先進國家經驗與資訊，並作為未來規劃本公司策略之參考。
- 3.英國國家能源政策非常明確，電力業主要減碳方法為再生能源、碳捕捉封存及增設新核能機組等，為達成高再生能源發電占比的目標，英國政府於2002年便啟動可再生能源義務權證(Renewables Obligation Certificates, ROCs)的政策，企圖以較高的誘因來鼓勵企業投資於再生能源的開發，進而達成國際所賦予的減量承諾。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://open.nat.gov.tw/reportwork>)

目次

壹、出國緣由	2
貳、出國行程	3
參、訓練課程簡介	4
肆、英國及蘇格蘭之氣候變遷法	7
伍、可再生能源義務及權證	11
陸、碳捕捉及封存技術	18
柒、英國能源及氣候變遷部與氣候變遷委員會	26
捌、心得與建議	28
附件一 訓練學員一欄表	30
附件二 訓練課表	31

壹、出國緣由

Chevening Fellowships 為英國外交部於 1983 年所設立的獎學金計畫，持續至今已有超過 25 年的歷史。英國外交部運用此獎學金機制每年針對特定的主題甄選世界各國代表赴英國接受為期 12 週的訓練，以了解並宣揚英國當時重要的國家發展策略。

由於地球暖化議題日益受世人重視，且英國自認為減碳領域的領導者，自 2009 年起 Chevening Fellowships 獎學金，便增加與減碳有關的訓練課程，分別委由下列英國三所知名大學辦理減碳課程：

- Finance and Investment in a Low Carbon Economy(愛丁堡大學)
- Economics of Climate Change(劍橋大學)
- Economics of Energy(伯明罕大學)

其中由愛丁堡大學辦理之低碳經濟時代之財務與投資(Finance and Investment in a Low Carbon Economy)課程，目的在使參訓者藉由英國經驗了解到在低碳經濟時代中政策與法令、減碳技術、服務與產品等實務需求，以及如何面對財務及投資可能遭遇的挑戰(如碳交易市場)，以使企業能及早因應氣候變遷的議題並研擬應變之道。

由於本公司為國內最大的溫室氣體排放源，近年因新建燃煤機組承受極大的減量壓力，預料在我國「溫室氣體減量法」實施後，本公司必須執行經營碳權與購買碳權等措施來因應，如能藉由英國 Chevening Fellowships 提供的訓練機會，學習英國在減碳方面的經驗，對本公司應有實質的幫助，因此，透過本公司推薦人選、英國貿易文化辦事處(British Trade & Cultural Office, BTCO)面談及後續英國外交部(Foreign & Commonwealth Office, FCO)甄選等層層手續後，有幸獲選由愛丁堡大學(University Of Edinburgh, UoE)辦理之「低碳經濟時代之財務與投資課程」參訓的機會。

貳、出國行程

1 月 8 日~1 月 8 日 (星期五)

往程 (台北—倫敦)

1 月 9 日 (星期六)~4 月 2 日 (星期五)

參加愛丁堡大學辦理之低碳經濟時代之財務與投資(Finance and Investment in a Low Carbon Economy)訓練課程

4 月 3 日~4 月 4 日 (星期六、日)

返程 (倫敦—台北)

參、訓練課程簡介

訓練期間：2010 年 01 月 11 日~2010 年 04 月 02 日

愛丁堡辦理之訓練課程，學員共 14 位，分別來自 11 個國家，其中除澳洲、中國、印度等碳排放大國各有 2 位學員外，其他學員包括：波蘭、巴西、印尼、哥倫比亞、墨西哥、斯里蘭卡、桑比亞、台灣等各有 1 位學員參訓(詳附件一)。

各國參訓學員其工作背景各有不同，其中以具財務背景如中央銀行或該國財政部官員以及投資銀行等背景者居多，少部分來自能源部門，而來自電力公司具有直接減量壓力者只有本公司。

上課期間由於學員彼此有興趣或較擅長的課程各有不同，訓練中若有疑問或不懂之處，課餘時間學員經常有交換心得或互相討論的機會。

訓練地點設在愛丁堡大學的商學院(Business School)，12 週的訓練課程中，學校每週均訂有訓練主題，各週主題詳如下，更詳細訓練課表，詳參附件二：

週	課程主題
1	Introduction
2	EU, UK and Scottish Climate Change Policy
3	International Dimensions, Energy and Climate Change
4	UK Government Perspectives
5	Investor Perspectives (Company Visits)
6	Project Developer Perspectives
7	Building Low-Carbon Infrastructure
8	Creating a Low-Carbon Economy
9	Placements
10	Placements
11	Looking to the Future
12	Conclusions

由於訓練內容相當多，因此課程安排非常緊湊，很少有空堂時間，以下將課程重點概述如下：

- 課程中，固定於每週五下午安排下週課程預習課(Weekly Outlook)，讓學員事前能對下週新課程能有初步認識，有必要時另可預先上網收集相關資料，以增加學員對課程的了解；
- 另每週一安排上週課程溫習課 (Weekly Review- Fellow Led)，輪流安排學員上台簡報上週課程之心得與感想，並接受其他學員發問及挑戰；
- 課程第 4 及 5 週排定為公司參訪(company Visits)課，期間拜訪英國許多從事「減碳服務」的公司，如：積極推動碳標章(Carbon Footprint)的 Carbon Trust，熱衷推廣企業從事碳中和的 Carbon Neutral，鼓勵企業進行碳揭露(CDP)自我評估其碳風險的 Carbon Disclosure，以及著名的歐洲碳交易所 European Carbon Exchange(ECX)等，可見英國藉由氣候變遷議題創造許多新商機及工作機會，並希望將這些產品與服務推廣至全世界；
- 另外值得一提的是，課程中第 9 及 10 週共有 2 週課程名為 Placements(實習)的安排，針對本課程，原期望愛丁堡大學能安排赴英國境內電力公司如：E.ON、Centrica、EDF 等公司實習，以進一步了解英國電力公司的減碳策略及作法，但因故無法成行，取而代之於 2 週實習課期間拜訪了英國天然氣暨電力市場管制局(Office of the Gas and Electricity Markets, Ofgem)、氣候變遷委員會(Committee on Climate Change, CCC)、碳捕捉及封存協會(Carbon Capture Storage Association, CCSA)及環境局(Environment Agency)等機構，由於前述單位負責之業務涵蓋電力系統管制、溫室氣體管理及環保稽核等性質，均與英國電力業極具相關性，亦是不錯的選擇，因此趁拜訪期間與相關單位人員面對面討論特定議題，並建立聯絡

管道，對本公司日後若有進一步需要了解英國相關法規制度或執行細節時，能及時與其進一步意見交換及討論。

肆、英國及蘇格蘭之氣候變遷法

英國，是由大不列顛島上的英格蘭(England)、蘇格蘭(Scotland)和威爾斯(Wales)，以及愛爾蘭島東北部的北愛爾蘭(Northern Ireland)以及一系列附屬島嶼共同組成的一個西歐島國。



英國除了位於倫敦的英國上議院外，現在蘇格蘭、威爾斯和北愛爾蘭等地均擁有自己的議會，這些二級政府擁有部分的立法許可權，稱為權力下放

(devolved power)。但這些下放的權力還是無法足夠大到能與英國國會抗衡。三個地方議會之間的許可權大小也各不相同。例如，蘇格蘭議會擁有較多的立法權，而威爾斯議會則只能決定如何具體使用由中央政府分配給威爾斯的預算。此外，這些議會的存在不受憲法保障，它們的具體權責範圍也可由英國議會決定增大或縮小。

現階段蘇格蘭議會已獲授權制定有關：環保、教育、醫療健康等方面的法律，因此，隨著英國國家氣候變遷法(Climate Change Act 2008)於 2008 年 12 月公布後，蘇格蘭也緊跟著於 2009 年 07 月完成蘇格蘭氣候變遷法(Climate Change (Scotland) Act 2009)的立法工作，前述兩法均是以達成英國國家溫室氣體排放量於 2050 年較 1990 年削減 80% 為立法目的。此外，此兩氣候變遷法亦訂定中期(2020 年)減量目標：英國國家設定於 2020 年時較 1990 年減 32% 的階段性目標，而蘇格蘭則設定須減量 42%，兩者減量目標不同主要係因權力下放而蘇格蘭對減碳事務有更大企圖心，其中之奧妙係因蘇格蘭認為其地理條件佳且天然資源豐富之故。

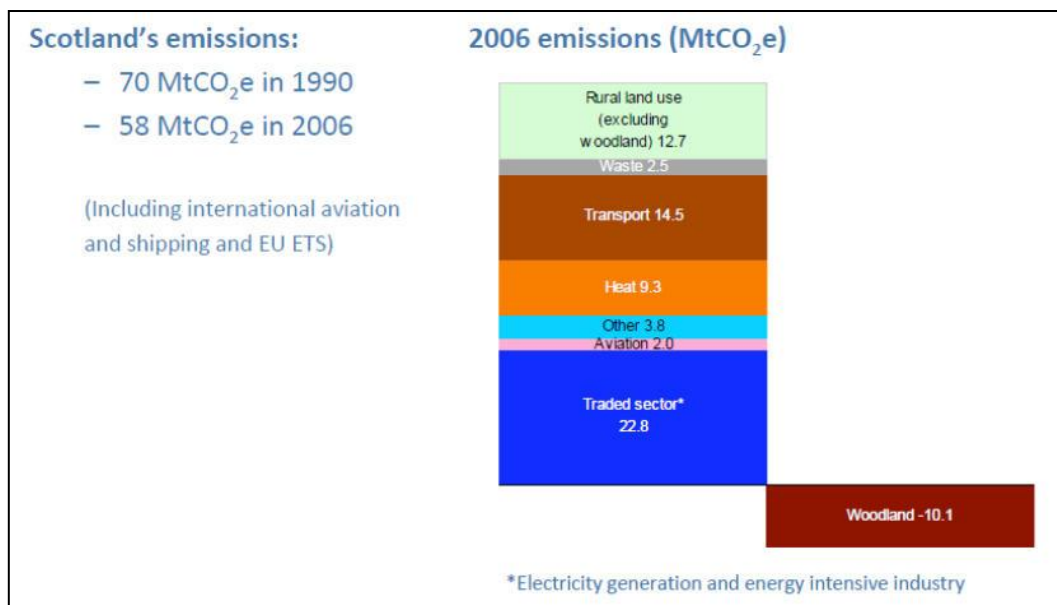
由於本次訓練課程地點愛丁堡大學位於蘇格蘭地區，因此，課程內容自然偏重以了解蘇格蘭減碳策略為主。

蘇格蘭 1990 年之溫室氣體排放量約 7,000 萬噸，而 2006 年已降至約 5,800 萬噸，故為符合其氣候變遷法之減量目標，於 2020 年蘇格蘭溫室氣體排放量須降至約 4,100 萬噸，換言之從 2006 年至 2020

年須再減量 1,700 萬，這其中可交易部門(traded sector，即 EUETS 納入管制之排放源)須分攤其中 900 萬噸之減量，剩餘之 800 萬噸則由未納入交易之部門(non-traded sector，如：交通部門、農業部門等)負責減量，詳圖一及表一。

另蘇格蘭重要減碳路徑(Road Map)，共有如下 3 大部分：

- Decarbonised electricity generation sector by 2030 (Renewable & CCS)
- Decarbonised heat sector by 2050 with significant progress by 2030
- Almost complete decarbonisation of road and rail transport by 2050 with significant progress by 2030

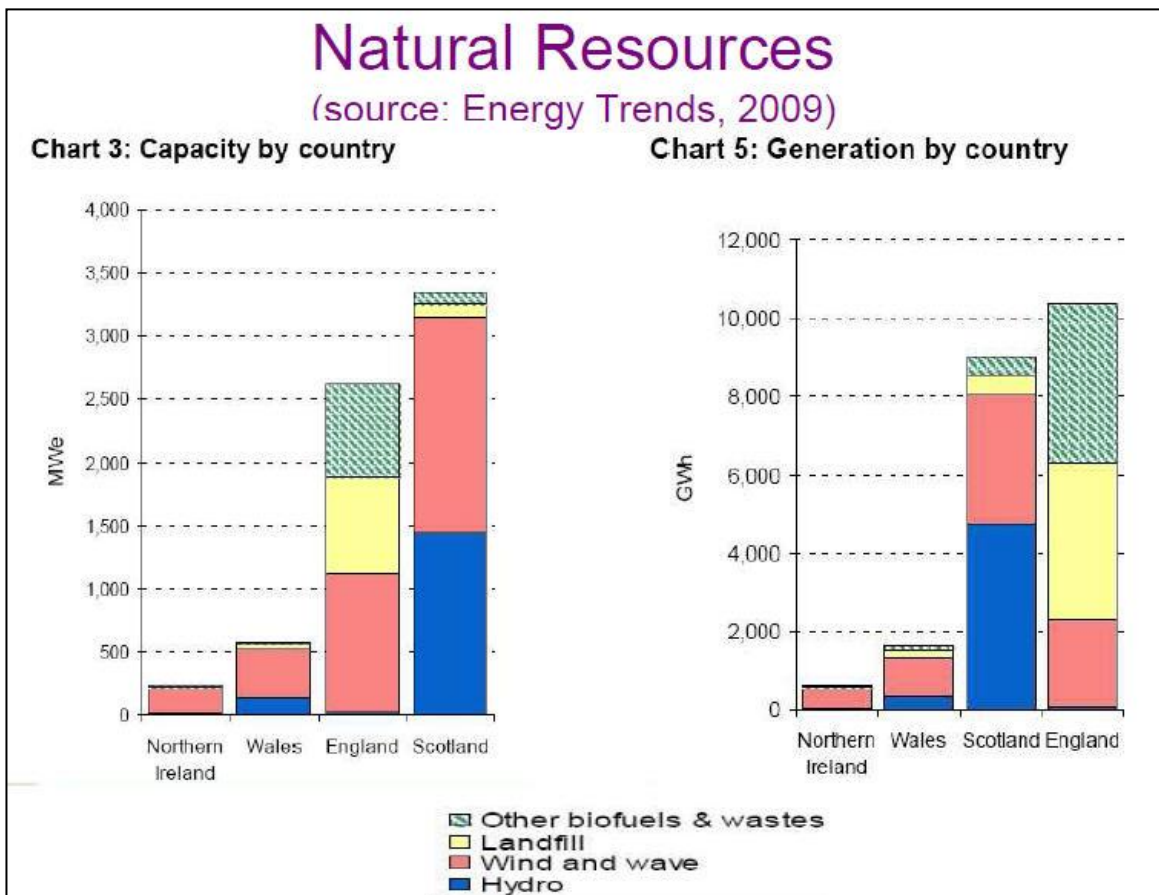


圖一 蘇格蘭 2006 年部門別之溫室氣體排放量

蘇格蘭深深體認到需善用其擁有的豐富天然資源及地理上的優勢，並認為北海油田的發現為蘇格蘭第一次獲得天然資源樂透，而 40 年後因氣候變遷全球重視再生能源的開發，是蘇格蘭再次贏得天然資源樂透的契機，因為蘇格蘭擁有之北海地區潮汐及離岸風力發電資源佔歐洲 25% 占比，另波浪發電潛力佔歐洲 10% 占比等均是其不可多得的優勢，有關蘇格蘭再生能源潛力詳圖二所示。

表一 蘇格蘭 2020 年各部門別挑戰目標

	1990 emissions	2006 emissions	Change needed from 2006 to 2020 - 34%		Change needed from 2006 to 2020 - 42%	
	MtCO _{2e}	MtCO _{2e}	MtCO _{2e}	%	MtCO _{2e}	%
Traded sector excluding aviation		23.0	-5.2	-23%	-9.0	-39%
Aviation	1.1	2.0	-0.2	-9%	-0.2	-9%
Other non-traded		3.6	+0.5	+14%	+0.5	+14%
Other, before ETS introduced	33.2					
Heat	10.2	9.3	-3.9	-42%	-4.3	-46%
Domestic Buildings	7.8	7.3				
Non-domestic buildings	2.4	2.1				
Transport	13.7	14.5	-3.4	-24%	-4.8	-33%
Road	9.2	10.5				
Rail	0.2	0.3				
Off-road	1.6	1.6				
Shipping	2.6	2.2				
Waste	5.7	2.5	-1.0	-39%	-1.0	-39%
Agriculture and land use	14.5	12.7	-0.7	-6%	-1.3	-10%
Livestock	3.7	3.5				
Crops and soils	5.0	3.6				
Agricultural and other land use - sources	8.1	8.6				
Agricultural and other land use - sinks	-2.4	-2.9				
Forestry	-8.2	-10.1	+2.8	*	+2.4	*
TOTAL	70.1	57.6	-11.2	-19%	-17.6	-31%



圖二 蘇格蘭擁有再生能源之潛力比較圖

由於蘇格蘭地區的再生能源資源豐富，因此，蘇格蘭反對興建新

核能電廠，並計劃陸續停用運轉中之核能電廠，此與英國政府同意興建新核能電廠的減碳政策大相逕庭。並宣示於 2020 年蘇格蘭再生能源之電力供應比例須達 50%以上(相當約 84 億瓦之裝置容量)及 2020 年再生能源需達 20%之能源占比等極具挑戰性目標。

為達成高再生能源發電占比的目標，英國政府於 2002 年便啟動一項非常重要的政策，稱為可再生能源義務(Renewables Obligation, RO)，企圖以較高的誘因而來鼓勵企業勇於投資於再生能源的開發上。

伍、可再生能源義務(RO)及權證(ROC)

英國政府為鼓勵再生能源發電，要求電力供應業者每年需達一定比例之可再生能源義務(RO)，此項規定並可適用於蘇格蘭、威爾斯等地區。前述一定比例之可再生能源義務目標，自 2002 年起每年均規定不同之目標值，目標值逐年調高，並以每年 4 月至次年 3 月為計算基期，例如：2002/2003 年目標值為 3.0%，至 2010/2011 年目標值已調高至 10.4%，詳如表二。

表二 電力供應業者每年需達之可再生能源義務目標

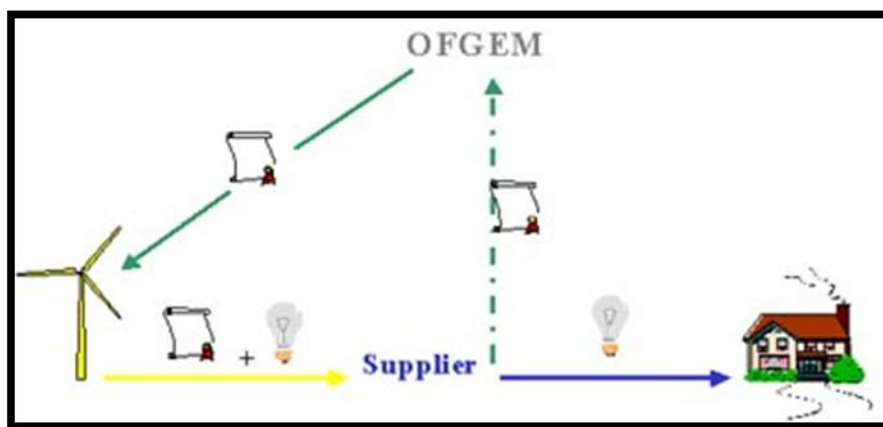
Period	Total Obligation as % of sales
2002/2003	3.0
2003/2004	4.3
2004/2005	4.9
2005/2006	5.5
2006/2007	6.7
2007/2008	7.9
2008/2009	9.1
2009/2010	9.7
2010/2011	10.4
2011/2012 to 2026/2027	11.4~15.4

電力供應業者採再生能源發電部分，則提供豐厚的獎勵措施，其中以可再生能源義務權證 (Renewables Obligation Certificates, ROCs) 最具誘因。相關之機制詳如下述：

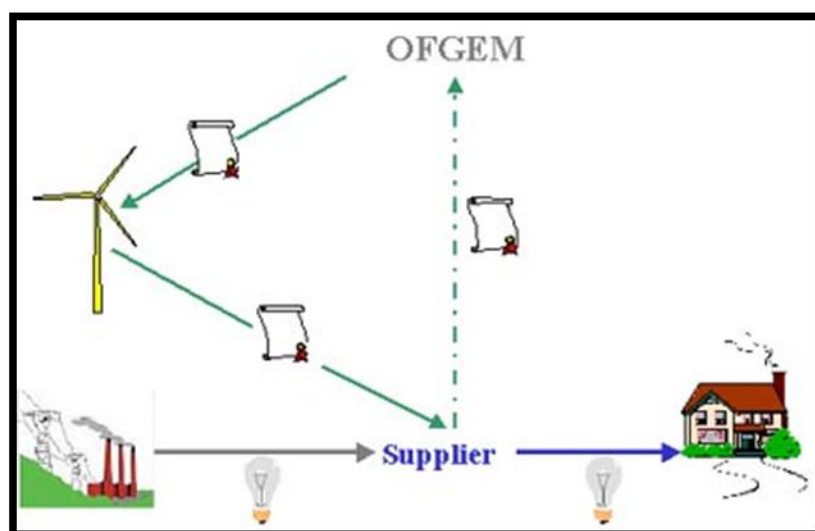
- 英國天然氣暨電力市場管制局(Office of the Gas and Electricity Markets, Ofgem)每年依據適格(eligible)之再生能源發電機組其實

際發電量，核發相當之可再生能源義務權證(ROCs)給發電業者，
可再生能源義務權證的計算方式為 **1 ROC 相當每 1000 度 (KWh)**
之再生能源發電量。

- 電力供應業者則可採下列 2 種方法，以符合政府規定之可再生能源義務目標：
 - 向再生能源發電業者購買 ROCs(詳圖三及圖四)
 - 繳交罰金(Buyout Price)



圖三 電力供應業者向再生能源發電業者購電及 ROCs



圖四 電力供應業者向一般發電業者購電另向再生能源發電業者購買 ROCs

- 當電力供應業者未達成政府所規定之再生能源義務比例時，可以繳交罰金(Buyout Price)的方式替代，此罰金亦採每年調高的模式，詳如表三所示，以 2002/2003 為例，每千度 Buyout Price 為 30 英鎊，至 2010/2011 年則調高至每千度 38.12 英鎊：

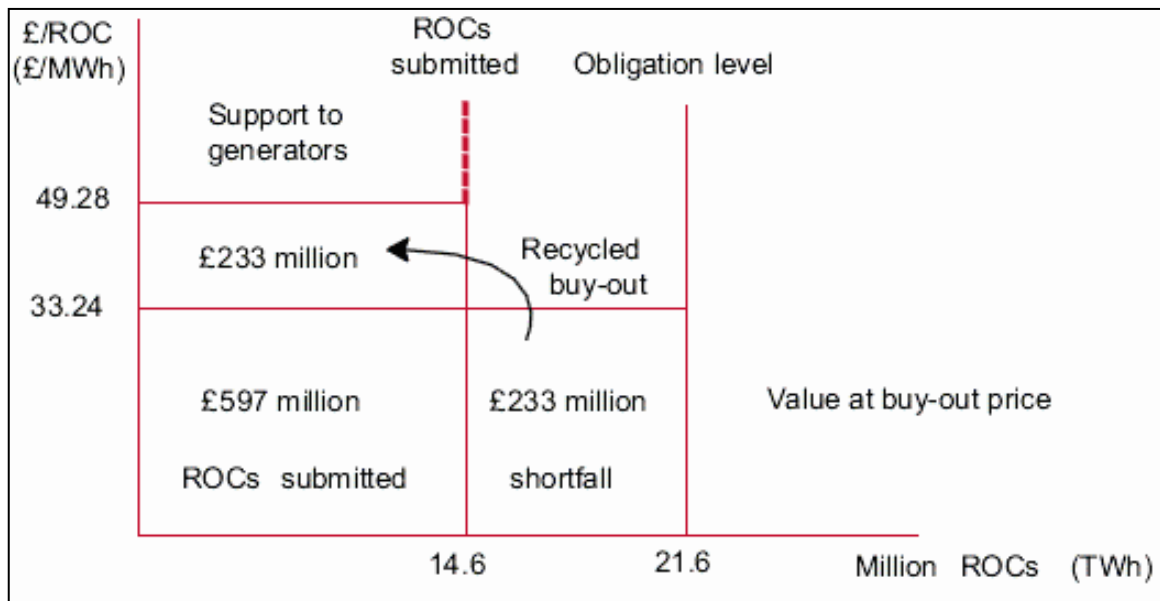
表三 Buyout 及 Recycle Value 變化表

History	Buyout	Recycle	Out-turn
2002-03	£30.00	£16.52	£46.52
2003-04	£30.51	£22.99	£53.50
2004-05	£31.39	£14.17	£45.56
2005-06	£32.33	£10.19	£42.52
2006-07	£33.24	£16.04	£49.28
2007-08	£34.30	£18.65	£52.95
2008-09	£35.76	£18.61	£54.37
2009-10	£37.19		
2010-11	£38.12		

- 電力供應業者依據其短缺之再生能源發電量所核算之 Buyout Price 於規定時間內繳交至 Buyout 基金。而前述電力供應業者所繳交之 Buyout 基金，則按業者實際提供再生能源義務權證數 ROCs，重新分配回饋給實際提供 ROCs 之供應者，此回饋費用稱為 Recycle Value，因此，每 1 ROC 實際價值相當於 Buyout Price 加上 Recycle Value。
- 以下將以 2006/2007 年為例說明此制度的規則，依表二該年電力供應業者應達成之再生能源義務為 6.7%，依該年全國總發電量換算得再生能源發電量應達 216 億度，相當於 2,160 萬 ROCs，而該年依電力供應業者實際繳交之 ROCs 僅有 1,460 萬 ROCs，短缺 700 萬，該年每 1ROCs 之 Buyout Price 為 33.24 英鎊(詳參表三)，總計

電力供應業者實際所繳 Buyout 基金達 233 百萬英鎊(700 萬*33.24 英鎊)，此基金按比例平均分配給實際繳交之 1,460 萬 ROCs，每 1ROCs 可分得 16.04 英鎊(233 百萬英鎊/1,460 萬 ROCs)，因此，該年每 1ROCs 實際價值為 33.24+16.04=49.28 英鎊，詳如圖五所示。

- 依表三可知歷年英國每 1ROCs 實際價值約在 42 至 54 英鎊間，每年的價值會因業者間短缺情形而不同，若當年再生能源發電量較規定短缺越多，則有越高之 Recycle Value；反之，若所有業者均符合規定，則無 Recycle Value。因此，於每年結算前由於尚不知該年 ROCs 之實際價值，電力供應業者可事前先估算實際情形，向再生能源發電業者出價購買 ROCs，稱為 Buyout Premium，若買價較低，反而可較繳交 Buyout Price 為划算，反之亦有失算的可能。



圖五 2006/2007 年每 1ROCs 實際價值說明圖

- 由於再生能源發電技術難易不一，差距頗大，造成技術較單純的再生能源發電方式蓬勃發展，如：生質能混燒技術(Co-firing)、陸域風力發電(Onshore Wind)等，而技術較困難或成本較高的技術卻乏人問津，如：波浪發電(Wave)、潮汐發電(Tidal)、離岸風力發電(Offshore Wind)等；因此英國自 2009 年 04 月起，針對需要更多財務支援之特定技術，給予加倍的 ROCs，提供更大誘因，而

對已具價格競爭優勢的發電方式，其 ROCs 則向下調整，相關修正，詳如表四：

表四 ROC 調整後之新標準

Technology	Number of ROCs (per MWh)
Hydro-electric	1
Onshore wind	1
Offshore wind	1.5 (2 from April 2010)
Wave	2
Tidal	2
Solar photovoltaic	2
Geothermal	2
Geopressure	1
Landfill Gas	0.25
Sewage Gas	0.5
Energy from Waste with CHP	1
Standard gasification	1
Standard pyrolysis	1
Advanced gasification	2
Advanced pyrolysis	2
Anaerobic digestion	2
Co-firing of biomass	0.5
Co-firing of energy crops	1
Co-firing of biomass with CHP	1
Co-firing of energy crops with CHP	1.5
Dedicated biomass	1.5
Dedicated energy crops	2
Dedicated biomass with CHP	2
Dedicated energy crops with CHP	2
Microgeneration (under 50kW)	2

以下將以英國 E.ON 電力公司計畫於 Sheffield 建造單燒生質能 (wood-burning) 之發電廠為例，分析其投資效益，從中了解為何英國再生能源發電會如此蓬勃發展的原因：

- 這個廠位於 Sheffield 的附近，為裝置容量 25MW 全燒木質碳的電廠，所產生的電直接聯入電網，亦可供熱給附近工廠及民生使用，總投資費用估計約£60 百萬英鎊。其他背景資料如下所示：
 - 每年總入熱值約 700,000MWH，廠效率約 30%
 - 年發電量約 210,000MWH (直接聯網)
 - 每年約需 180,000 噸木質原料，輸入熱值約每噸 14GJ(相當 3,900KWH)
 - 躉售電價約£40/MWH
 - 英國平均發電碳排放係數約 0.43 kg/KWh，相當 0.43ton/MWh
 - EUETS 碳交易價約€20/噸，相當£13.33/噸

● 收入分析

收入項	金額(百萬英鎊)	估算公式
售電	8.4	210,000MWh/yr x £40/MWh
ROCs	18.9	210,000MWh x £45/MWh x 2 ROCs
碳權	1.2	210,000MWh x 0.43 噸/MWh x £13.33/噸
總計	28.5	

● 支出分析

收入項	金額(百萬英鎊)	估算公式
燃料費用	11.3	180,000 tons x 14 GJ/tons x 4.5 £/GJ
燃料運送	1.8	180,000 tons/yr x 10 £/ton
用人費	0.9	£45,000/人年 x 20 人
運維費用	1.2	£60,000,000 x 2%
總計	15.2	

● 效益分析

項目	金額(百萬英鎊)
----	----------

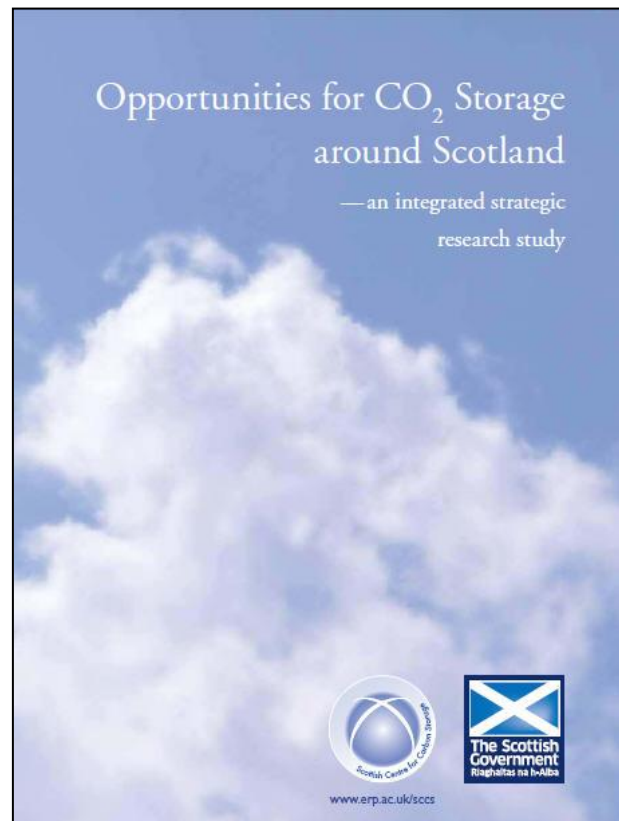
總收入	28.5
總支出	15.2
淨值	13.3

- 收入最高項目為 ROCs 占 66% 。
- 再生能源燃料單價約為傳統煤價 3 倍，造成再生能源燃料總支出遠高於售電的收入，故若無國家政策支持，提供誘因或補貼，業者投資根本無利可圖，如此將無法誘使業者投入再生能源發電的開發工作。
- 英國再生能源技術非常普遍且蓬勃發展，主要原因其有完整的配套，故業者樂於勇於投資，而相關的投資也有很高的獲利，以 E.ON 電力公司 Sheffield 計畫而言，每年獲利約為總建造費用之 22%(=13.3/60)。

陸、碳捕捉及封存技術

碳捕捉及封存技術(Carbon Capture and Storage, CCS)為蘇格蘭另一項寄以厚望的減碳技術，主要原因係蘇格蘭地區擁有廣大的 CO₂ 儲存場址(如：北海之鹽水層)，初估可儲存 200 年以上由蘇格蘭工業及電廠所產生之二氧化碳 (CO₂)。另蘇格蘭亦積極投入 CO₂-EOR (Enhanced Oil Recovery) 之技術，期望利用廢棄油氣田及既有離岸輸送設施，創造更大經濟效益。

蘇格蘭政府(Scottish Government)於 2009 年 4 月公布一份名為「Opportunities for CO₂ Storage around Scotland」的研究報告(報告封面如圖六)，此報告分為 CO₂ 來源分析、CO₂ 儲存場址、CO₂ 輸送評估、蘇格蘭建造 CCS 經濟模式等方面，分析蘇格蘭建造 CCS 的機會。

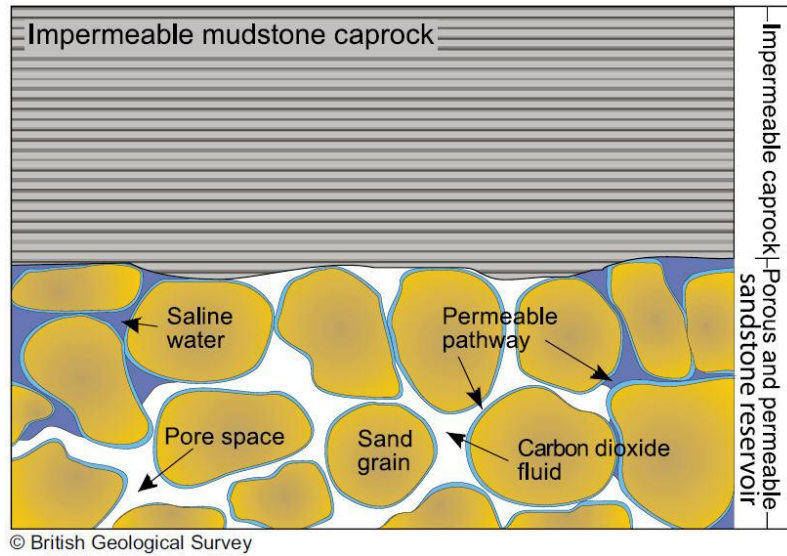


圖六 Opportunities for CO₂ Storage around Scotland」研究報告

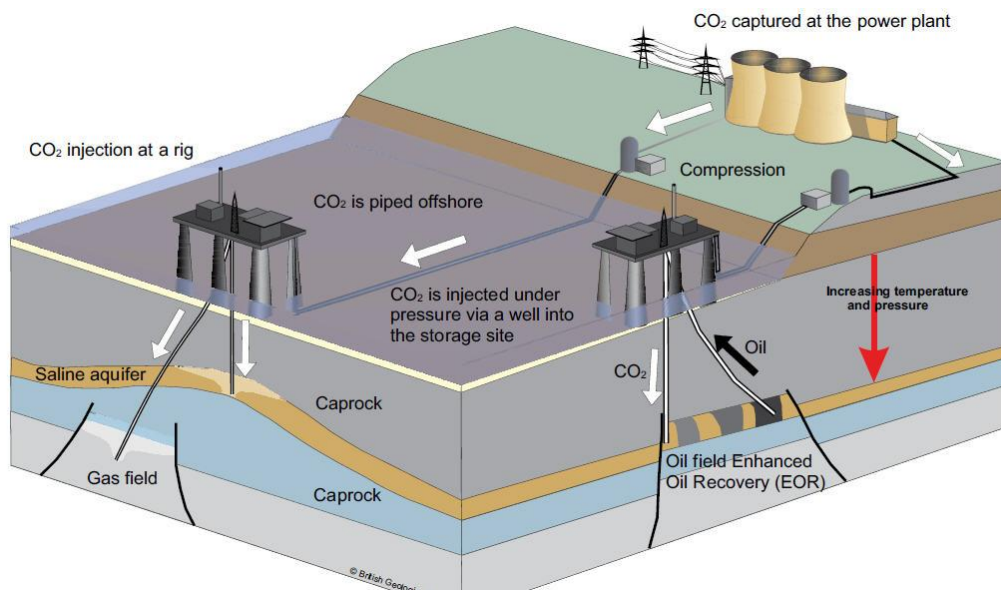
以下將詳細說明蘇格蘭推動 CCS 技術的各項評估與分析：

● CCS 基礎設施與地質結構示意

CO₂ 於適度環境下(>73.7 bar、>31.1°C)下，由氣態轉變為液態，此時 CO₂ 具有液體密度(0.7 g/cm³)及氣體粘度(輸送特性)，因此 CO₂ 於被打入深海之鹽水層時將被鹽水層周圍之不透水性泥岩 (mudstone)所包圍而侷限在一定之範圍內，且因液態 CO₂ 具穿透與侵蝕的特性可儲存於多孔性之砂岩(sandstone)中，而每個鹽水層可儲存多少 CO₂，依鹽水層中沙岩的多孔率而定(詳圖七)。另因較水輕會浮於水面，儲存時需考慮地質條件以防止洩漏，另輸送時須考慮其溫度及壓力以掌握其輸送特性(詳圖八)。



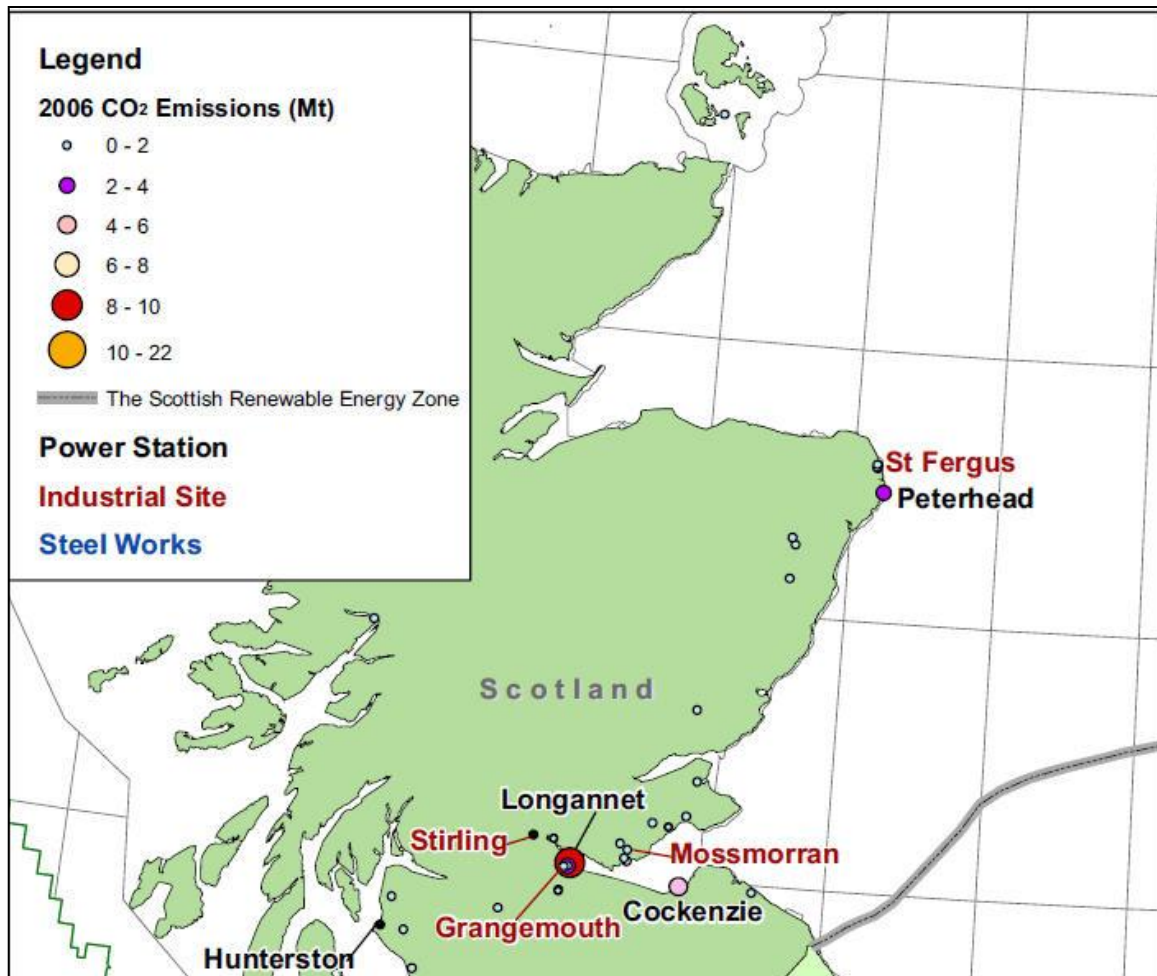
圖七 CO₂ 於鹽水層儲存情形示意圖



圖八 CCS 基礎設施與地質結構示意圖

- 蘇格蘭 CO₂ 主要排放源及排放量分析

蘇格蘭 2006 年約 1,800 萬噸 CO₂ 排放量產生自其境內 3 大電廠 (Longannet 燃煤電廠、Cockenzie 燃煤電廠、Peterhead 燃氣電廠)，其中最大排放源為 Longannet 燃煤電廠約 1,000 萬噸，其他重要排放源如圖九所示，而 Cockenzie 燃煤電廠則預定於 2015 年退役。



圖九 蘇格蘭境內重要 CO₂ 排放源及其排放量

蘇格蘭自 2010 至 2050 之間，估計其境內電廠 CO₂ 產生量情境如下：

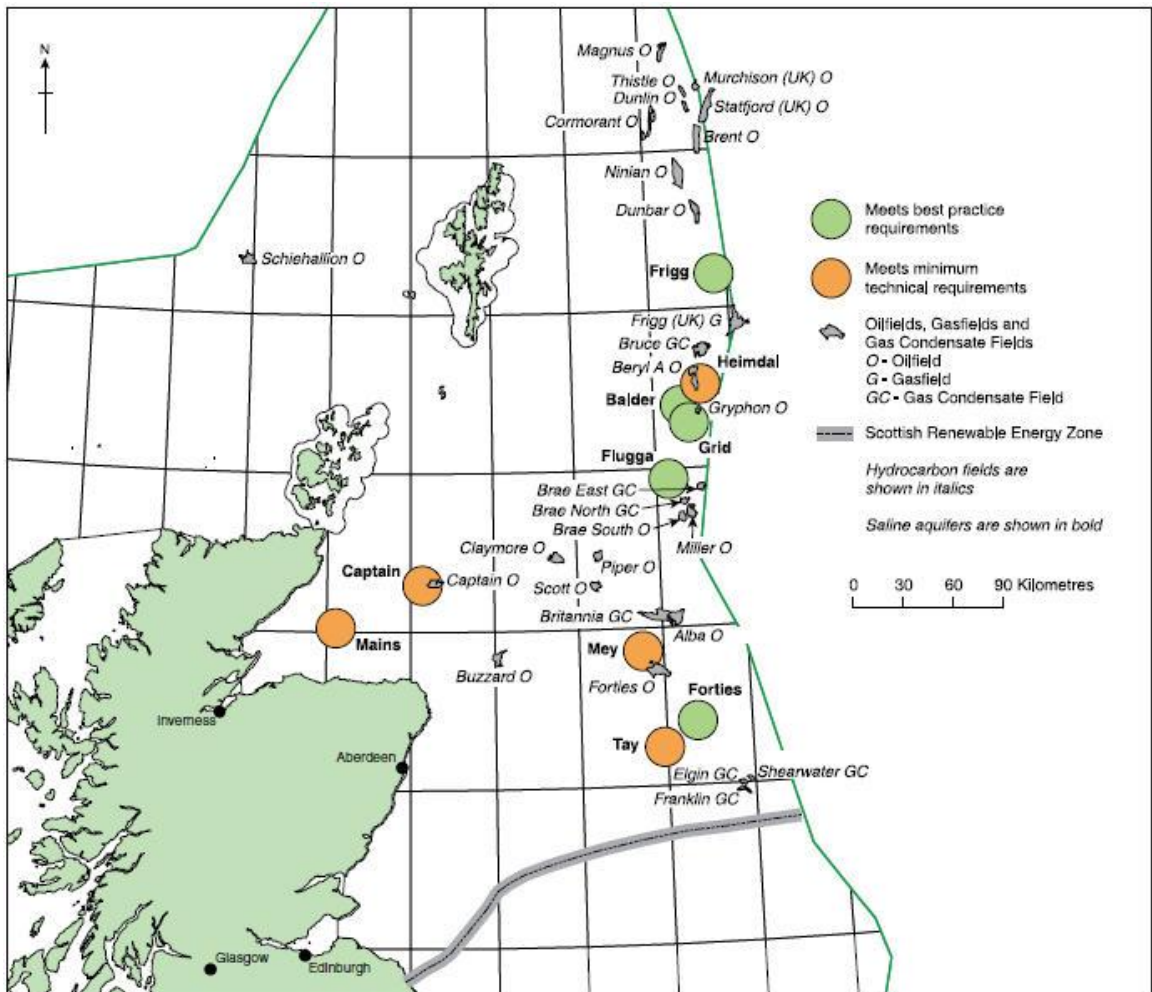
- 高量情境-約 700 百萬噸(17.5 百萬噸/年)
- 低量情境-約 320 百萬噸(8 百萬噸/年)

● 蘇格蘭 CO₂ 儲存場址

蘇格蘭從北海地區超過 80 處鹽水層中，已被確認至少有 10 處鹽水層可儲存 4,600 到 46,000 百萬噸 CO₂ 的潛力(詳表五)，表五中儲存量差異主要由於廠址地質條件差異而影響其儲存率。除前述鹽水層以外，另有 29 處油氣田(21 oil, 7 gas condensate and one gas field)，提供更具潛力的 CO₂ 儲存空間，惟仍需更進一步的評估，詳如圖九。

表五 已被確認之 10 處鹽水層可儲存 O₂ 潛力表

Saline aquifer	Area (km ²)	CO ₂ storage capacity (Mt CO ₂) assuming 0.2% storage efficiency	CO ₂ storage capacity (Mt CO ₂) assuming 2% storage efficiency
Forties	16069	886	8856
Grid	17147	785	7847
Balder	6251	347	3465
Flugga	1926	61	611
Frigg	1712	58	575
Mey	33190	1655	16549
Heimdal	11065	618	6177
Tay	2484	133	1328
Captain	3438	36	363
Mains	4601	24	241
Total CO ₂ storage capacity (Mt)		4603	46012



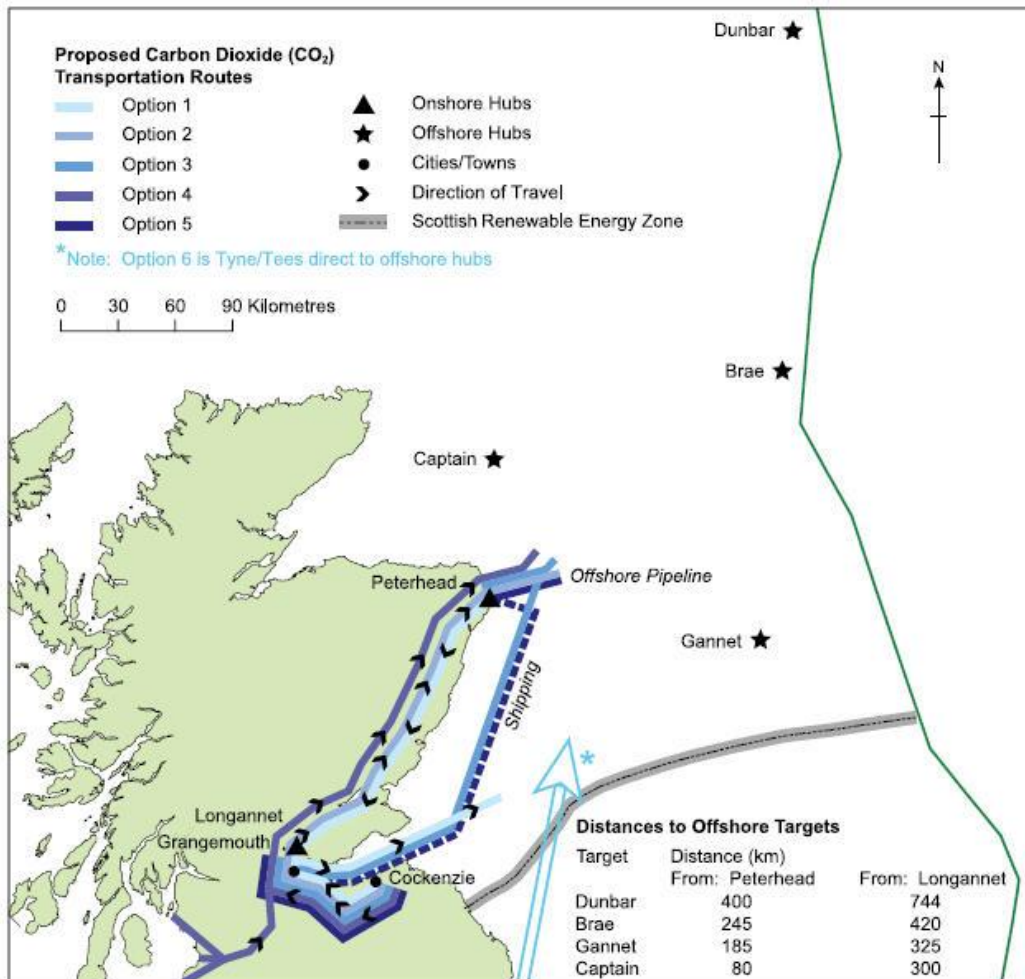
圖九 29 處油氣田及 10 處鹽水層位置圖

● 蘇格蘭 CO₂ 輸送評估

CO₂ 輸送壓力需至少保持 90bar 以上，以保有其易於輸送特性。蘇格蘭根據其既有輸油及輸氣管線，分析 5 種不同 CO₂ 輸送組合(含海管、陸管及船運等)，評估從電廠至儲存廠址(距離遠近從 80km 到 744km 不等)之建造及營運費用，詳如圖十。若以每年 20 百萬噸 CO₂ 運送量作為估算基準，分析其各項不同輸送方式之成本：

- 輸送基礎設施建造費用 → 0.7 to 1.67 billion 英鎊
- 採管線運送之營運費用 → 38 to 74 million 英鎊/年
- 採船運之營運費用 → 148 to 171 million 英鎊/年

一般而言，運送距離越遠營運費用越高，且採船運方式其營運費用遠較採管線運送為高，不適用於長期運送之情況。



圖十 5 種輸送路徑組合(含海管、陸管及船運等)

● 蘇格蘭建造 CCS 經濟模式

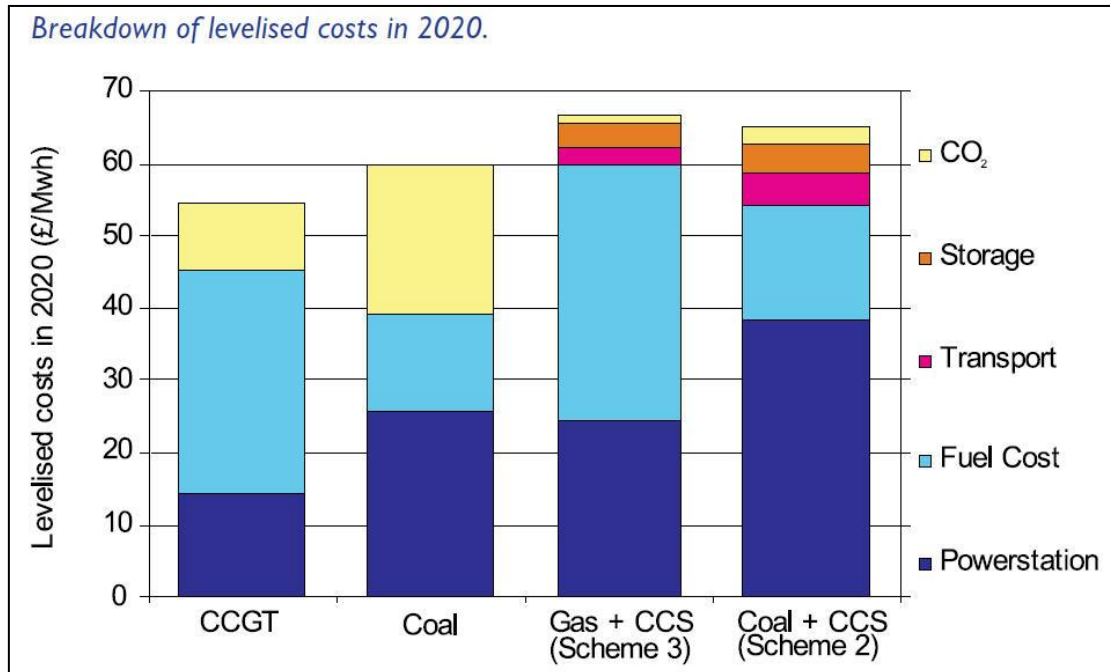
蘇格蘭為了瞭解增設 CCS 設備後所增加之成本與費用，故選定 Longannet 燃煤電廠及 Peterhead 燃氣電廠兩電廠作為評估之基準，分別針對所捕捉之 CO₂ 送至 Gannet、Brae 及 Captain 等儲存點進行成本分析(詳表六)，由表六可得減排成本(Abatement Cost) 約為 37 至 70 英鎊/噸 CO₂ 間，其中燃氣電廠減排成本較燃煤電廠為高，主要原因係燃氣電廠 CO₂ 排放量較少，造成 CCS 建造成本分攤至每噸的成本較高，另由於現階段 CCS 建造及運維成本均較買碳的成本為高；因此，採補貼方式並以 2020 年時 CO₂ 交易價格 (30 英鎊/噸，推估值) 為基準，以拉平燃煤燃氣間以及有無裝設 CCS 設備之價差。

表六 CCS 減排成本分析

Scheme no.	Scheme	Abatement cost (£/t CO ₂)	Required subsidy (£M/year)	Required subsidy (£/t CO ₂ captured)	Electricity cost (£/M Wh)
2	Longannet supercritical coal to Gannet hub	37	98	7	65
1	Longannet supercritical coal to Brae hub	39	117	9	66
4	Longannet supercritical coal to Gannet hub with imported CO ₂	40	132	10	67
5	Peterhead CCGT to Captain hub without full network	64	93	30	65
3	Peterhead CCGT to Brae hub	70	111	36	67

依據表六裝設 CCS 相關資料以及蘇格蘭既有燃氣燃煤電廠之營運資料，彙整分析裝設 CCS 後對發電均化成本之衝擊，詳圖十一。其中燃煤及燃氣 CCS 之減排成本分別引用表六 scheme 2 及 scheme 3，由圖十一得知即使進行適量補貼以鼓勵發電廠裝設 CCS

設備，但裝設 CCS 後發電成本仍較未裝置 CCS 為高，故若無提供更大之誘因，裝設 CCS 的成本仍較直接購碳之成本為高，將不利業者投資 CCS 的意願。



圖十一 裝設 CCS 前後之發電均化成本比較

英國政府鑑於 CCS 技術持續停留試驗階段，未有大型商業化的實績出現，無法將 CCS 技術快速推廣至大型且高排放強度之產業，如燃煤電廠，因此於 2007 年宣布將提供資金補助 4 個 CCS 商業化示範計畫。而第一個計畫便以燃煤電廠為對象，計畫補助 10 億英鎊，若此計畫能順利推動，將成為全世界第一個商業化等級(commercial scale)之 CCS 示範計畫。此計畫將甄選出一部 Post-combustion 之燃煤電廠，其煙氣量約達 300 至 400MW，CO₂ 捕捉效率 90%，並須進行海洋封存，預計於 2014 年完工通氣(詳圖十二)，並以此計畫之經驗，期望 CCS 技術於 2020 年能廣泛被採用。

本計畫目前持續進行得標團隊甄選作業中，並於今(2010)年 3 月 12 日宣布進入決選之最後 2 個團隊，分別為 Scottish Power 之 Longannet(詳圖十三)及 E.ON 公司之 Kingsnorth 電廠(詳圖十四)。此兩團隊須於今年底前完成可行性研究報告，以評選出最後得標之電廠。

UK CCS Project Fact Sheet: Carbon Dioxide Capture and Storage Project

Company/Alliance: UK Government and others TBD

Location: UK. Exact location TBD

Feedstock: Coal

Size: 300-400 MW

Capture Technology: Post combustion Capture (including Oxy-fuel) exact TBD . 90% capture required.

CO2 Fate: Offshore Storage

Timing: Competition prequalification (Mar 2008); Winner announced (May/Jun 2009); Demonstration (2014)

Motivation/Economics: The winner of the competition will receive up to 100% governmental funding for CCS (not including the powerplant).

Comments: The UK CCS competition was launched in November 2007 for the first UK full-scale CCS demonstration project with governmental backing. BERR, the Department of Business Enterprise and Regulatory Reform under the Department of Trade and Industry is organizing the competition. This competition was designed to create a healthy competitive environment which will ultimately result in the speedy deployment of CCS in the UK. After Hatfield was eliminated at the end of 2008, and Tilbury late 2009, there are now 2 projects left in the competition: KingsNorth and Longannet. This competition is also working to set a framework for subsequent wider deployment of CCS: including regulation, EU ETS, and post 2012 Kyoto agreement.

圖十二 英國 CCS 補助 Post-combustion 之燃煤電廠計畫

Longannet Fact Sheet: Carbon Dioxide Capture and Storage Project

Company/Alliance: Scottish Power, Shell, National Grid, Aker Clean Coal

Location: Firth of Forth, Fife, Scotland, UK

Feedstock: Coal

Size: 330MW

Capture Technology: Post combustion (Aker Clean Coal's technology)

CO2 Fate: Sequestration in the North Sea

Timing: Awaiting news of UK award (2010); Operational (2014)

Motivation/Economics: The project is waiting to hear on the decision taken by the UK government if it will receive the funding. See UK project

Comments: Longannet is one of the 2 finalists, along with Kingsnorth, to receive 1 billion pounds for the UK CCS demonstration. In May 2009 Scottish Energy began a small 1 MW demo capture project which successfully captured over 90%.

圖十三 英國 CCS 候選場址之一(Scottish Power 之 Longannet)

Kingsnorth Fact Sheet: Carbon Dioxide Capture and Storage Project

Company/Alliance: E.ON, Arup, EPRI, Fluor and MHI, Penspen and Tullow Oil.

Location: Medway Estuary in Kent, England, UK

Feedstock: Coal

Size: 2* 800 MW (1.9 MT/Yr CO2 captured)

Capture Technology: Post combustion

CO2 Fate: Sequestration in depleted gas fields under the North Sea

Timing: Awaiting news of UK award (2009); Operational (2014)

Motivation/Economics: E.ON estimates the project will cost £1.5 billion (US \$ 2 billion). The project is waiting to hear on the decision taken by the UK government if it will receive the funding. See UK project

Comments: E.ON Kingsnorth is one of the final 4 projects to be shortlisted to become the UK's demonstration project for CCS technology. There is a power station already in location at Kingsnorth which is due to be disbanded in 2015. The proposed power plant with CCS will be built on this site and be carbon capture from the start. This proposal has started many demonstrations by green activists at Kingsnorth in 2008. Kingsnorth is tipped to receive the UK CCS award.

圖十四 英國 CCS 候選場址之一(E.ON 公司之 Kingsnorth 電廠)

柒、英國能源及氣候變遷部(DECC)與氣候變遷委員會(CCC)

英國政府於 2008 年 10 月成立能源及氣候變遷部(Department of Energy and Climate Change, DECC)，主要將原先由商業企業暨法規改革部(Department for Business, Enterprise & Regulatory Reform, BERR)主政之能源相關工作，以及由環境食物與農村事務部(Department for Environment, Food and Rural Affairs, DEFRA)負責之氣候變遷相關工作，整合在同一政府部門，以利英國國家氣候變遷政策的推動。

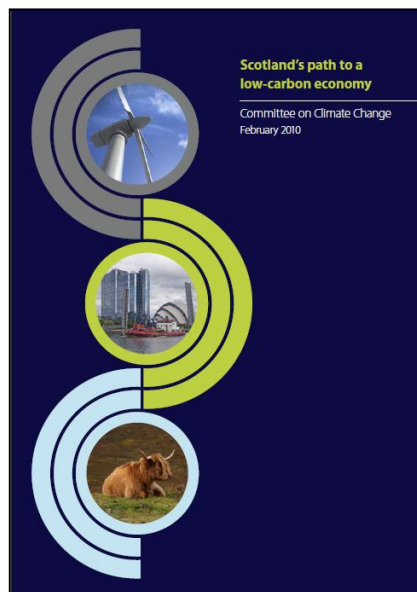
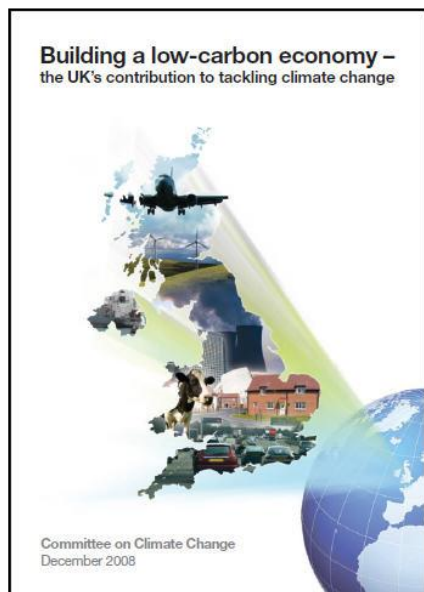
DECC 成立主要負責的任務如下：

- Secure global commitments which prevent dangerous climate change
- Reduce greenhouse gas emissions in the UK
- Ensure secure energy supplies
- Promote fairness through our climate and energy policies at home and abroad
- Ensure the UK benefits from the business and employment opportunities of a low carbon future
- Manage energy liabilities effectively and safely
- Develop the Department's capability, delivery systems and relationships so that we serve the public effectively

另外英國根據其氣候變遷法 Part 2 之規定，於 2008 年 12 月另成立氣候變遷委員會(Committee on Climate Change, CCC)，此為非官方之獨立組織，設立目的係向英國政府建議設定其碳預算(carbon budgets)，並定期向國會提出政府執行降低溫室氣體排放之進度報告。CCC 成立優先執行之工作如下：

- Provide independent advice to Government on setting and meeting carbon budgets and targets.
- Monitor progress in reducing emissions and achieving carbon budgets.
- Conduct independent research and analysis into climate change.
- Engage with representatives interested in climate change from across the UK in order to share research and information on climate change and gain input into our analysis.

CCC 於成立後隨即於 2008 年 12 月 1 日發出第一份正式報告，名為「Building a low-carbon economy – the UK's contribution to tackling climate change」，英國政府根據此份報告於 2009 年 4 月宣布將英國國家溫室氣體減量目標於 2020 年時較 1990 年減少 32%。而 CCC 亦於 2010 年完成「Scotland's path to a low-carbon economy」報告，內容說明蘇格蘭如何達成 2020 年較 1990 年減量 42%，如此具野心的遠大目標。



捌、心得與建議

- 英國外交部每年均辦理 Chevening Fellowship 訓練，本公司應定期派員參與甄選，爭取參訓的機會，除可獲取國際最新減碳技術與趨勢外，亦可增加國際交流及增加同仁國際視野。
- 英國政府對溫室氣體減量工作非常積極，不但創造許多商機並增加無數工作機會，此可在愛丁堡及倫敦地區有非常多的公司從事溫室氣體減量技術及交易等業務得到印證，值得效法。
- 由於減碳工作涉及數個政府部門工作，為了事權統一，英國政府將原由不同部門負責之能源與氣候變遷等職權整合，成立一個新政府部門，負責英國國家氣候變遷政策的推動。我國目前能源與氣候變遷工作分別由經濟部與環保署主政，而民國 101 年政府組織再造立法工作已於上個會期(第七屆第四會期)完成，未能參考英國政府組織之分工，將能源與氣候變遷工作職權整合，殊為可惜。
- 英國國家能源政策非常明確，電力業主要減碳方法為再生能源、碳捕捉封存及增設新核能機組等，部分策略可做為我國及本公司減碳工作之參考。
- 英國溫室氣體減量相關法令，隨著執行成效不定期修訂，尤其對技術門檻較高或減碳成本較貴部分，隨時修法提供優厚誘因，其不放棄任何減量方法的方式及相關獎勵政策值得我政府部門立法時參酌。
- 生質能源混燒技術在英國非常普遍且成熟，本公司可選擇英國混燒成效佳之電廠，進行技術交流，擷取其混燒之經驗，以收事半功倍之效。
- 英國政府持續投入鉅資致力於 CCS 商業化工作，尤其目前正進行甄選中之 Post-combustion 燃煤電廠 CCS commercial scale 示範計畫，本公司更值得本公司持續收集相關資料並注意其後續發展。
- 英國針對 CO₂ 封存技術已研究多年，其相關研究報告可作為本公司研析之參考。

- 我國環保署常參考歐盟各國之作法，建議本公司投入生質能混燒技術及 CCS 技術之研發，此技術在英國確實非常普遍且蓬勃發展，主要原因其有完整的配套，故業者樂於勇於投資，且相關的投資也有很高的獲利，建議我國於制定相關溫室氣體管制法案時，應參考國外的健全的做法，除提供「棒子」外，亦應提供對等的「胡蘿蔔」。

● 附件一

訓練學員一欄表

Name of Nominee (Title, First Name, Middle Names, SURNAME)	Country	Position	Organisation
Mrs Caroline Nola BROWN	Australia	Acting Manager Regional & Business Development Branch	Tasmanian Government - Dept Primary Industries & Water
Mr Sigmund James FRITSCHY	Australia	Senior Economist	Department of Treasury & Finance
Mrs Claudia DA COSTA MARTINELLI WEHBE	Brazil	Coordinator-General of Programs, Vice-Ministry of Finance	Brazilian Ministry of Finance
Mr Yufeng GUO	China	COO	Shanghai Environment & Energy Exchange
Mr Ping SUN	China	Deputy Director General	Financial Stability Bureau, People's Bank of China
Mr Roberto Mario ESMERAL BERRIO	Colombia	Sustainable Energy & Climate Change unit Consultant	Interamerican Development Bank
Mr Charanjit SINGH	India	Assistant Vice President (Alternative Energy & Climate Change)	HSBC
Mr Suman KUMAR	India	Deputy Director	Confederation of Indian Industry
Mr Pungky WIDIARYANTO	Indonesia	Lecturer	Gadjah Mada University
Mr Pedro Gabriel GOMEZ PENSADO	Mexico	Director for Energy Sector Studies	Ministry of Energy
Mr Krzysztof Maria PISKORSKI	Poland	Owner, Consultant	Parker & Associates Poland
Ms Wendala Gamaralalage Subhani Sulochana KEERTHIRATNE	Sri Lanka	Senior Assistant Director	Central Bank of Sri Lanka
Mr Huan-Cheng WEN	Taiwan	Section Chief of Department of Industrial Safety & Environmental Protection	Taiwan Power Company
Ms Florence Monde SITWALA	Zambia	Deputy Director Economic & Technical Cooperation, Planning & Economic Development Division	Ministry of Finance

附件二

Course Timetable - Finance and Investment in a Low Carbon Economy (Chevening Fellowships 2010)

	Week 1 (9 – 15 Jan) Introduction	Week 2 (16 – 22 Jan) EU, UK and Scottish Climate Change Policy	Week 3 (23 – 29 Jan) International Dimensions, Energy and Climate Change
Saturday	Arrivals (London) BC Reception		
Sunday	Arrivals (Edinburgh)		Burns Night Supper
Monday	Welcome and Induction Defining the Low Carbon Economy Welcome Dinner	Weekly Review (Fellow led) Introduction to UK Government: Structure and Processes	Weekly Review (Fellow led) Technology Transfer, Trade and Climate Change
Tuesday	Introduction to Carbon Finance Introduction to Climate Change Management Placement Discussions	Conventional Finance: Markets, Intermediaries, Sources UK and Scottish Climate Change Acts: Policy and Implementation	Energy Finance International versus National Carbon Management Carbon Capture and Storage
Wednesday	Climate Change Science Fellow Presentations	Visit Scottish Government	Site Visit: Coal-fired Power Station
Thursday	Fellow Presentations The International Policy Framework: COP-15 Revisited	Carbon Economics Climate Change in Europe	Low-Carbon Technologies
Friday	Weekly Review & Outlook Social Event	The Political Economy of Carbon Trading Outlook to the Week Ahead	Site Visit: Wind Farm Outlook to the Week Ahead

	Week 4 (30 Jan – 5 Feb) UK Government Perspectives	Week 5 (6 – 12 Feb) Investor Perspectives	Week 6 (13 – 19 Feb) Project Developer Perspectives
Saturday			
Sunday	Travel to London		
Monday	Visit Government Day (London) Dinner at Lancaster House	Company Visits	Weekly Review (Fellow led) Clean Development Mechanism Project Development
Tuesday	Government Visits (DECC, Treasury, Carbon Trust) Travel to Cambridge Dinner in Cambridge College	Company Visits	Voluntary Market Standards GHG Inventories
Wednesday	Debate with Cambridge Chevening Fellows Social Event Travel to London	Company Visits	Site Visit: Steven's Croft Biomass Plant, Lockerbie
Thursday	Company Visits	Company Visits	Food, Biofuels and Climate Change
Friday	Company Visits	Company Visits Travel to Edinburgh	Site Visit: Viridor Landfill Gas Capture Plant Outlook to the Week Ahead

	Week 7 (20 – 26 Feb) Building Low-Carbon Infrastructure	Week 8 (27 Feb – 5 Mar) Creating a Low-Carbon Economy	Week 9 (6 – 12 Mar) Placements
Saturday			
Sunday			Travel to Placements (if applicable)
Monday	Weekly Review (Fellow led) Finance and Investment in the Transport Sector	Weekly Review (Fellow-led) The World Bank and Low Carbon Projects in Emerging Markets	Placements
Tuesday	Site Visit: Argent Energy Biodiesel Plant	REDD is the New Green Geoengineering	Placements
Wednesday	Finance and Investment in the Built Environment Site Visit: University of Edinburgh CHP and buildings	Implementing Sustainability Initiatives in Multinationals	Placements
Thursday	Visit to Aberdeen (City Council)	Energy Futures Food, agriculture and climate change	Placements
Friday	Visit to Aberdeen (Oil and Gas Industry) Outlook to the Week Ahead	Visit to Torness nuclear power station Outlook to the Week Ahead	Placements

	Week 10 (13 – 19 Mar) Placements	Week 11 (20 – 26 Mar) Looking to the Future	Week 12 (27 Mar – 2 Apr) Conclusions
Saturday			
Sunday			
Monday	Placements	Weekly Review	Course Review Feedback and Evaluation
Tuesday	Placements	Presentations on Carbon Finance (optional) National Carbon Management: Decarbonising the UK	British Council Visit Knowledge Transfer and Networking After Your Fellowship Meetings with Programme Leaders
Wednesday	Placements	Placement Presentations	Preparation for Summit Social Event
Thursday	Placements	Placement Presentations Personal Carbon Management	Edinburgh Summit Farewell Dinner
Friday	Placements Travel to Edinburgh (if applicable)	Placement Presentations Outlook to the Week Ahead	Departures