

行政院及所屬各機關出國報告書

(出國類別：出席會議)

系統識別號：

參加 2016 年冰島地熱研討會出國報告

出國人 經濟部能源局 技正 王俊堯

出國地區：冰島

出國期間：105 年 4 月 24 日至 4 月 30 日

報告期間：105 年 6 月 16 日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加 2016 年冰島地熱研討會出國報告

頁數 34 含附件：是 否

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話

經濟部能源局／王俊堯／(02) 27757620

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話

王俊堯／經濟部能源局／能源技術組／技正／(02) 27757620

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：105 年 4 月 24 日至 4 月 30 日

報告期間：105 年 6 月 16 日

出國地區：冰島

分類號／

關鍵詞：地熱發電、地熱直接利用、冰島深鑽計畫

內容摘要：

- 1、蒐集冰島地熱能源開發政策與技術之發展現況，作為國內地熱發電開發之參考。
- 2、會議由冰島地熱開發推動聯合會(Iceland Geothermal Cluster Initiative)主辦，聚焦在討論地熱能之運用及效益，並探討地熱能源開發之可操作性、投資可行性與實用性，共有來自 40 多

個國家，超過 740 人參加，會議主題涵括了技術面與政策面。

3、會議研討方向聚焦在地熱能源開發之可操作性、投資可行性、實用性三大方向：

- (1) 可操作性：資源永續利用及社會需求帶動對於地熱能源之開發，聯合國召開巴黎氣候變遷會議與推動簽署全球溫室氣體排放協議，均鼓勵全球應重視地熱能源之開發應用。
- (2) 投資可行性：分析全球主要地熱開發成功案例包括土耳其及肯亞等國，發現投資者期望開發計畫可快速獲得銀行貸款，因此開發團隊需要在商業與技術基礎上確實執行自我審查(Due diligence)，但其實最重要的還是發電廠需要得到售電合約，以確保投資者可以售電給用戶。
- (3) 實用性：冰島在轉化地熱為電力及供暖至家庭、公共建築(包括體育館、游泳池、溫室)等之技術領先全球，是全世界地熱開發應用之模範國家，已驗證地熱能源之實用性對於人類具有非常大之價值。

目次

壹、出國緣起.....	6
一、任務.....	6
二、緣起與目的.....	6
三、行程.....	7
貳、會議及參觀內容.....	9
一、大會開幕與主題演講.....	9
二、專題研討.....	10
三、冰島地熱電廠、地熱資源園區參觀.....	22
參、心得與建議.....	29
一、心得.....	29
二、建議.....	32

圖 表

圖 1 冰島地熱研討會開幕典禮會場場景.....	10
圖 2 冰島國營電力公司執行長 Dr.Hördur Arnarson 演講情景...11	11
圖 3 冰島能源供應來源變化圖.....	12
圖 4 冰島地熱資源分布概況圖.....	13
圖 5 冰島地熱供應不同產業用途占比(2013 資料).....	14
圖 6 冰島地熱電廠裝置容量與分布圖.....	15
圖 7 冰島不同產業耗電量比較圖.....	15
圖 8 Mr.Reynir Johannsson 演講之資料.....	20
圖 9 Hellisheidi 地熱電廠全景.....	24
圖 10 Carbon Recycling International (CRI).....	29
表 1、出國行程表.....	8

壹、出國緣起

一、任務

蒐集冰島地熱能源開發政策與技術之發展現況，作為國內地熱發電開發之參考。

二、緣起與目的

(一) 冰島地熱研討會自 2010 年起每 2~3 年舉辦一次，本次會議由冰島地熱開發推動聯合會(the Iceland Geothermal Cluster Initiative)主辦，會中除了介紹冰島對於地熱能源之開發成果外，亦廣邀全球地熱專家進行專題演講，另亦安排地熱電廠參觀。我國地熱發電目前正處於初期開發階段，需要引進先進國家之開發經驗與技術，冰島是全世界地熱開發最成功國家之一，參加會議之目的為吸取國際地熱開發成功經驗，轉化成為國內地熱發電之動能。

(二) 參訪內容概要：

會議研討方向聚焦在地熱能源開發之可操作性、投資可行性、實用性三大方向，以下為討論內容摘要：

- 1.可操作性：資源永續利用及社會需求帶動對於地熱能源之開發，聯合國召開巴黎氣候變遷會議與推動簽署全球溫室氣體排放協議，均鼓勵全球應重視地熱能源之開發應用。
- 2.投資可行性：分析全球主要地熱開發成功案例包括土耳其及肯亞等國，發現投資者期望開發計畫可快速獲得銀行貸款，因此開發團隊需要在商業與技術基礎上確實執行自我審查(Due diligence)，但其實最重要的還是發電廠需要得到售電合約，以確保投資者可以售電給用戶。
- 3.實用性：冰島在轉化地熱為電力及供暖至家庭、公共建築(包括體育館、游泳池、溫室)等之技術領先全球，是全世界地熱開發應用之模範國家，已驗證地熱能源之實用性對於人類具有非常大之價值。。

三、行程

- (一) 會議日期：105 年 4 月 24 日至 105 年 4 月 30 日，共計 7 日。
- (二) 參訪單位：

除參加研討會外，另參訪

1. 冰島 Hellisheidi 地熱電廠。
2. Reykjanes 地熱資源園區 (Reykjanes Geothermal Resources Park)。

(三) 出國行程

本次出國開會行程如下表。

日期	參訪單位	活動內容
4 月 24~25 日		搭機與註冊
4 月 26~28 日	1.參加研討會 2. Hellisheidi 地熱電廠 3.Reykjanes Geothermal Resources Park	1.參加 2016 冰島地熱研討會專題討論 2.參觀地熱電廠 3.參觀地熱園區(魚乾工廠與比目魚養殖場)
4 月 29~30 日		返程

表 1、出國行程表

貳、會議及參觀內容

本次會議除了介紹冰島之地熱開發技術與產業發展現況外，亦邀請國際專家針對地熱產業之發展進行專題演講。本次會議主題聚焦在地熱能源開發之可操作性、投資可行性與實用性等三方面。大會邀請冰島外交部長 Ms Lilja Alfredsd、聯合國秘書處主管永續能源之代表 Ms. Rachel Kyte(英國)、冰島 HS Orka 公司執行長 Mr. Asgeir Margeirsson、美國哈佛大學商學院教授 Michael Porter 等進行專題演講。會議分 3 天舉行，第一天為報到與註冊，其餘為專題研討與現場參觀。

一、大會開幕與主題演講

2016 冰島地熱研討會今年是第三次舉辦，共有來自 40 多個國家，超過 740 人參加，有 30 幾場主題會議，包括技術、經濟、政策、社會、案例研究等主題等，因同時進行各場次，僅能挑選較相關之場次參與。開幕典禮由冰島外交部長 Lilja Alfredsdreds 致詞，其後專題演講之講者包括聯合國主管再生能源代表 Rachel Kyte (CEO & Special Representative of the UN Secretary General for Sustainable Energy for All)、冰島國營電例公司 Landsvirkjun 公司執行長 Dr. Hr. Hv Arnarson、冰島 HS Orka 公司執行 Mr. Asgeir Margeirsson、哈佛大學商學院教

授 Prof. Michael Porter (Harvard Business School)以及國際再生能源發展協會會長 Adnan Z. Amin(Director General of IRENA)。圖 1 為開幕典禮會場場景。



圖 1 冰島地熱研討會開幕典禮會場場景

二、專題研討

冰島國營電力公司(Landsvirkjun)執行長 Dr. Hördur Arnarson 應邀於大會發表演講，介紹冰島地熱能源之開發概況(圖 2)。



圖 2 冰島國營電力公司執行長 Dr. Hördur Arnarson 演講情景

冰島之能源供應早期在 1960~1970 以前以煤與石油為主，之後開始發展地熱與水力能源，到了 2014 再生能源包括地熱與水力，比例已高達 85%，且地熱能源供應超過 70%(圖 3)。地熱能源已是現代冰島最關鍵之影響因素，近百年來累計已節省超過 100 億美元之供暖費用(跟石油比較)，平均每人每年節省 1600 美元。冰島未來擬發展之地熱科技方向：追求最佳之開發效率、鑽至更深更熱之地層(深鑽計畫)、發展中低溫地熱發電、開發更多更密集之分散型小電廠、發展前瞻創新科技。對於地熱開發，冰島注重社會、環境與經濟之均衡發展，認為地熱能源是社區永續發展的原動力與機會，可以增加就業、供暖、觀光、淨水、促進產業發展、減少碳

足跡、增加稅收。

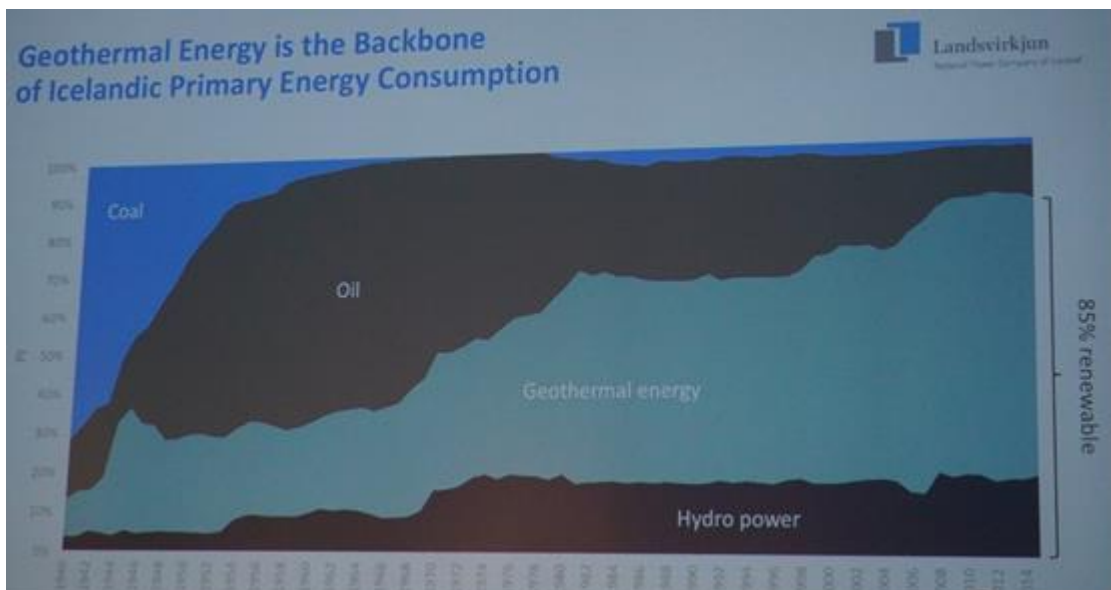


圖 3 冰島能源供應來源變化圖

(一)冰島之地質背景與地熱能源利用概況

冰島是地質相當年輕的國家，其座落於北美板塊與歐亞板塊的交界，兩板塊相互移動速率約 2 公分/年；大西洋中洋脊在冰島境內切出地面，導致地涵熔岩上湧造就冰島豐富之地熱資源。冰島有超過 200 座火山從西南往東北分布，其中 30 座火山在本世紀有過噴發紀錄，也導致地震相當地頻繁但規模都不大。在火山活動區內至少有 20 餘處高溫地熱區，在深度 1000 公尺處溫度即超過 250°C；另有約有 250 處零星分散的中低溫地熱區，在深度 1000 公尺處溫度低於 150°C。總計冰島境內之溫泉露頭(溫度高於 20°C)超過 600 處(如圖 4)。

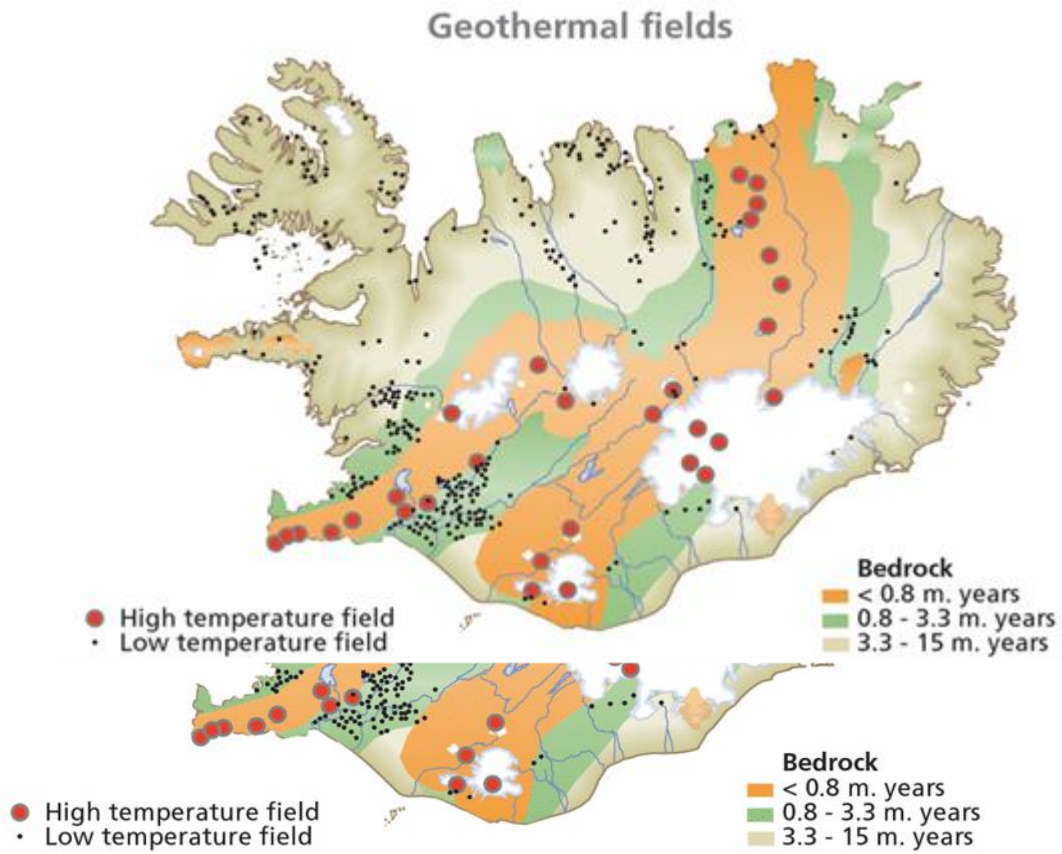


圖 4 冰島地熱資源分布概況圖

冰島是全球利用地熱直接供暖最發達的國家，90%的建築物是利用地熱供暖，圖 5 為 2013 統計地熱供應不同產業用途占比，其中空間直接供暖 43%最大，其次為地熱發電 40%。

Utilisation of geothermal energy 2013

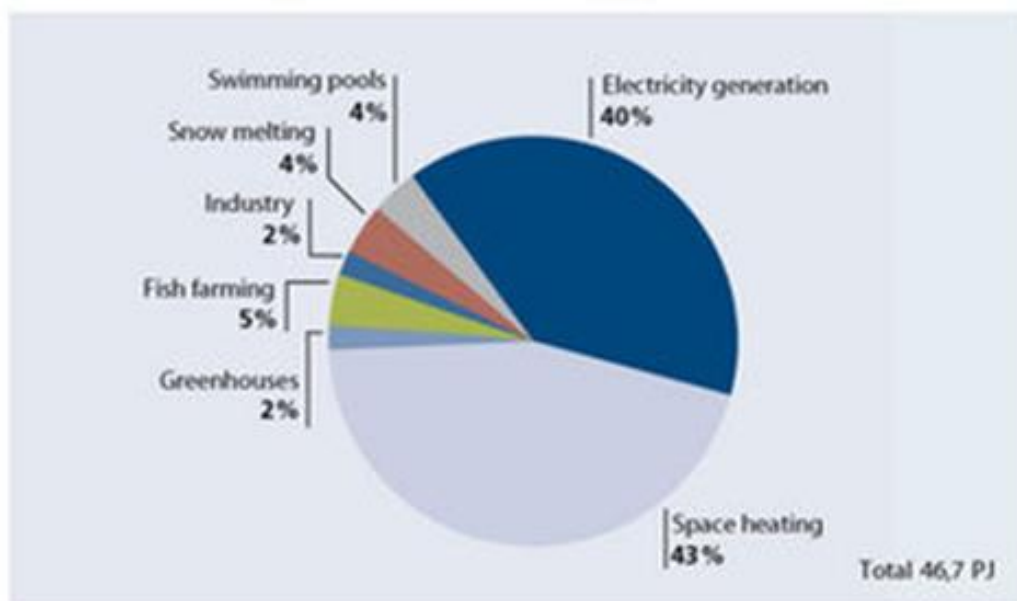


圖 5 冰島地熱供應不同產業用途占比(2013 資料)

冰島第一座地熱電廠興建於 1969 年，裝置容量僅 3.2MW，但自 1997 年起開始蓬勃發展，截至目前已有七座地熱電廠(圖 6)。據統計，在 2013 年冰島總裝置容量達 663MW，發電量達 5,245 GWh，供應全國約 29%的電力需求，其中，Hellisheidi 地熱電廠是最大的單一地熱發電廠，裝置容量達 303MW。

圖 7 為各產業之用電量占比，其中以製鋁工業用電占比最大達 68.4%，其次為矽鐵工業之 8.7%。

Generation of electricity – geothermal energy

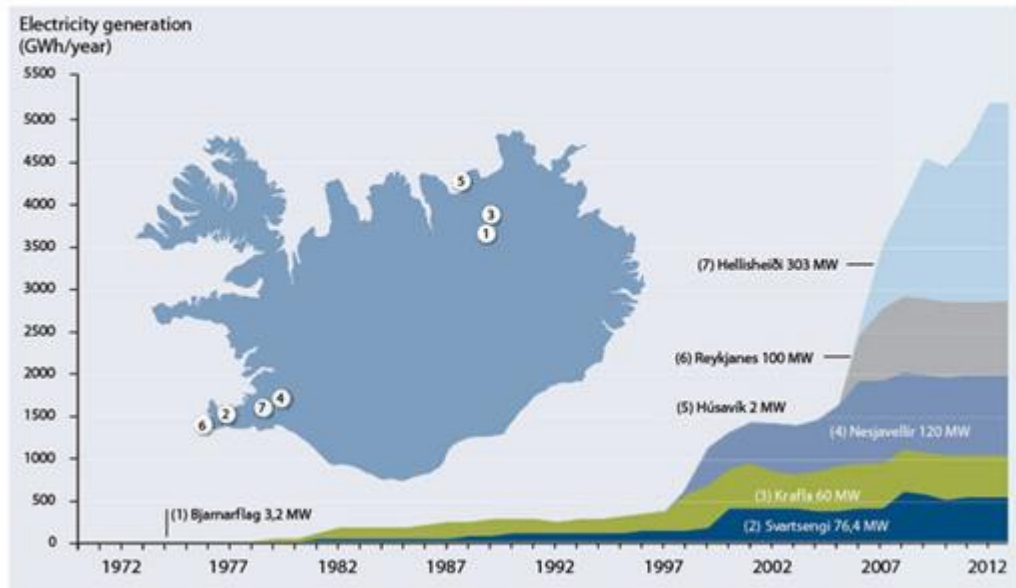


圖 6 冰島地熱電廠裝置容量與分布圖

Electricity consumption 2013

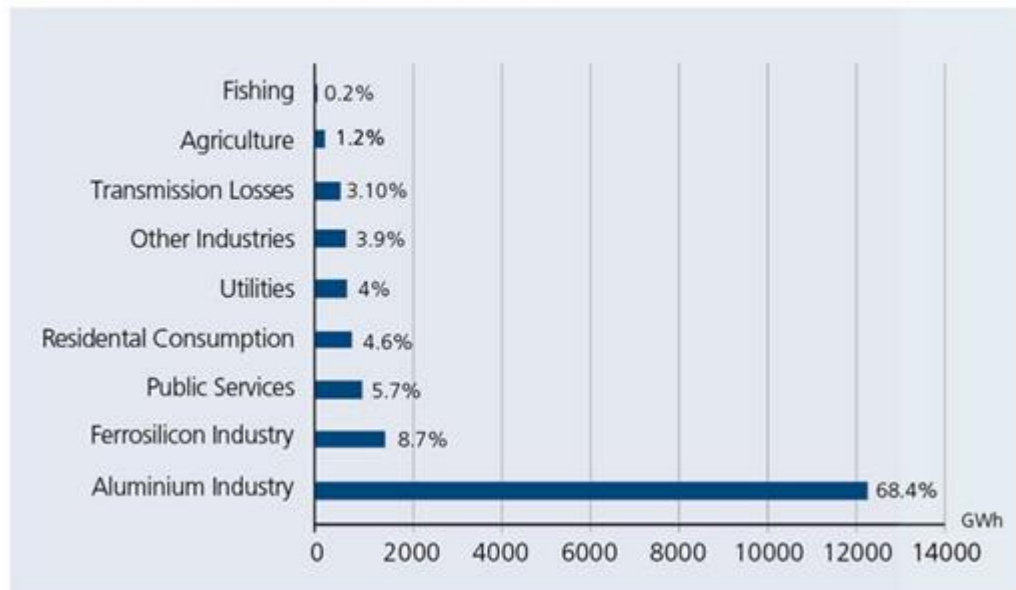


圖 7 冰島不同產業耗電量比較圖

(二)冰島地熱開發法規概要

冰島規定，一般而言在私人土地內之資源屬於地主，公有土地內之資源則屬於國有，除非有其他歸屬權之證明。但即使地主擁有資源權，在進行調查研究或開發利用時仍應根據地下資源調查與利用法(the Act on Survey and Utilisation of Ground Resources, No. 57/1998)與電業法(Electricity Act, No. 65/2003.)取得相關許可才可進行開發。而實際進行調查、探勘與開發也須同時符合自然保育法、都市計畫法和其他與開發土地相關之法規。

地下資源調查與利用法所指的地下資源涵蓋了在河、湖底部與領海底部之地下資源，也包括水力發電之資源。此處之資源指的是可以採取之地下任何元素、複合體或能源，包含無關溫度之固體、液體、氣體等。

根據冰島法規，國家能源主管機關負責開發許可之核發，並應協助地主自己本身或受委託人進行調查與探勘。核發之探勘執照，賦予申請人在許可期限內及在特定區域內探尋資源之權利，包括範圍分布、數量、潛在產量等，國家能源主管機關可以依據法規與考量實際需要進行監督。

無論是在私人土地上或公共土地之利用，地主在自己土地上並沒有優先使用權，除非地主事先取得探勘許可。

開發使用執照准許持照人在許可期間內或依法申請延長期間內進行資源開發。取得開發執照後，若相關用地位在私人土地，需先與地主達成資源補償協議或其他證明；若在 60 天內沒能與地主達成協議或取得同意，執照將被取消。同樣的，若在獲得開發執照後 3 年內尚未有實際開發行為，執照也將被取消。以上所述在公有土地上也同樣適用。

實際開發時，開發行為若與執照許可內容不符時，國家能源主管機關可以撤銷執照；而當發現開發人不遵守執照或合約內容時，國家能源主管機關得先發書面警告並限期改善，若開發人仍不改善則執照將被撤銷。

根據冰島電業法，國家能源主管機關發照後可以開始進行電廠的建造及營運。但當裝置容量小於 1MW 時，除非產生的電力是要輸送到配電商之配電系統或進入國家輸電網，否則，電廠建造不需申請執照。另外 30KW-1000KW 之電廠業者應繳交電廠詳細技術資料給國家能源主管機關；容量大於 100KW 之電廠也需每年將發電資料送交國家能源主管機關。

國家能源主管機關負責監督地熱區之探勘與開發利用，並且確認開發者是否依照所發執照內容執行，且須向產業、

能源與觀光部長進行報告。資源探勘與開發區之監督與保護也須符合自然保育法規定。

※冰島最近之能源法規修正

- a. 發電業者需要在開放市場競爭，然而複合供熱電廠須將供熱與發電會計獨立，以防止交叉補貼。
- b. 由國家能源主管機關做成之行政裁處，包括執照取得、修改、撤銷，可以上訴至環境與天然資源委員會。
- c. 國家能源主管機關可以代表產業、能源與觀光部長核發開發執照。

(三)冰島深鑽計畫(Iceland Deep Drilling Project 簡稱 IDDP)

冰島深鑽計畫 (IDDP) 是冰島針對提升地熱系統發電效率之長期研究計畫。IDDP 研究團隊由冰島政府與電力公司組成，透過研發成果確認利用現有地熱開發場址加深鑽井至接近岩漿時，可獲得超臨界地熱流體之深度，並評估是否可提高電力生產以及經濟效益。

在未來的幾年，IDDP 預計將在冰島三個現有地熱開發區進行一系列的鑽孔與試驗。為了獲得超臨界狀態之地熱流體，這些鑽井需要鑽到約 5 公里的深度，以獲得 450°C~600°C 之超臨界地熱流體。該計畫之可行性研究已在 2003 年完

成，相對於傳統 2.5 公里深的地熱生產井而言，加深鑽井深度至可獲得 450°C 之地熱流體時，則每一口井之可發電量可增加十倍以上。

在冰島一個傳統 2.5 公里深地熱井可產生的電量相當於約 5MW。假定 IDDP 深鑽井可鑽至超臨界狀態且溫度高於 450°C、壓力達 23-26MPa 之地熱，則相同的熱流量條件下期發電量可達 50MW。

冰島 HS Orka 公司 Mr. Reynir Johannsson 指出，以商業而言，深鑽是很昂貴的、且成果未知、風險很高、技術複雜的投資、看起來不是好的商業投資標的，但對地熱產業卻可能造成很大的影響，全球許多高溫地熱系統不是缺熱而是缺水，所以無法有效發電，鑽深一點可以有效增加熱焓，且透過先進科技可以解決問題。

HS Orka 公司規畫於其所有之 Reykjanes 電廠內選一口現有生產井(RN15 號井)，將其深度加深到 5Km（該生產井現有深度 2.5Km），其中有 3 公里長之生產套管。就投資成本而言，該井加深成本將高達 1 千萬美元，加上因施工導致之生產損失約 50~100 萬美元，然就其成果而言，該投資具高度不確定性，其回報可能有三種結果：(1)上了一堂相當昂貴的地

質課；(2)雖無產量，但至少建造了一口很好的回注井；(3)發現從未曾見過的良好產能。因為無法事先預知那一種情境可能發生？或會有多少收入？因此不易建置現金流模式，也不容易取得融資。但該公司認為只有敢冒險的人可以獲得宏遠的效益。並樂觀的說：冒險吧！贏了真快樂，輸了長智慧。



圖 8 Mr.Reynir Johannsson 演講之資料

(四) 歐盟深鑽計畫

HS Orka 公司主導參與歐盟 Horizon 2020 計畫項目下之 DEEPEGS 研發計畫，該計畫合作成員來自冰島、法國、德國、義大利、挪威。DEEPEGS 之目的在增加歐盟國家對於 EGS (Enhanced Geothermal System) 之開發利用，透過技術示範

驗證使深層地熱具有商業開發的競爭性。DEEPEGS 已經在歐洲選了三個具有地質代表性之不同場址，其研發成果與經驗並將轉移到其他深層潛在場址。

歐盟已經同意該計畫自 2015 年 12 月開始執行為期四年。DEEPEGS 計畫之目標為(1)顯著增加既有地熱區之電力生產與關聯產業發展；(2)試驗場址與相關設施、基礎建設將開放給對教育、訓練與知識交流有實際需求者；(3)透過環境影響分析與最佳應用，示範商業開發之可行性；(4)展示特殊風險評估與危險防止計畫與拓展公共接受度；(5)展示 EGS 鑽井前瞻新技術。

(五)國際開發案例-- 以土耳其為例

土耳其是近期全球地熱發展最快速的國家之一，1965 年土耳其國營土耳其礦產研究與探勘公司(MTA)在其西南部地區開始進行地質與地球物理探勘，1974 年第一座 500KW 電廠建置於 Kizidere GPP，2007 年地熱專法通過後裝置容量開始跳躍式成長，2010 年制定躉售費率且優惠期 10 年，該國經驗證具有經濟開發規模之地熱區有 227 處，最高溫 287 度，目前總裝置容量 648MW(22 電廠)，另 290MW 正在興建中。

土耳其地熱開發法規架構在 2007 年制定之地熱資源與天然礦泉水法之上，2010 發布躉售費率(FIT)0.105 美元/KWh，期限 10 年適用至 2020 年。電力買方須依 FIT 費率收購地熱電力，國營電力公司負責規範電力交易與市場。

土耳其由地方主管機構核發探勘執照 3+1 年及開發執照期限 30 年；小於 20MW 之環評由地方主管機關負責，大於 20MW 則由中央部級機關負責；建築許可由地方政府核發。

目前土耳其是歐洲第二、世界第七大地熱發電國家。土耳其政府未來也將全力推動地熱，2023 年目標超過 1000MW，並將成立地熱資源地方政府聯盟。

三、冰島地熱電廠、地熱資源園區參觀

(一)參觀 Hellisheidi 地熱電廠

冰島第一座地熱電廠興建於 1969 年，發展到現在已有七座地熱電廠，裝置容量達 663MW，供應全國約 29%的電力需求，Hellisheidi 地熱電廠是冰島最大也是世界最大的單一地熱發電廠(圖 9)。

Hellisheiði Power Plant 位於冰島西南方之 Hengill 地區，地熱系統主要可連結至三個火山系統 包括 Grensdalur, Hrómundartindur and Hengill 等系統。電廠由 Orka Náttú

runnar (ON Power) 公司營運。屬於公營電力公司，參觀時執行長 Mr.Pall Erland 負責解說：該電廠生產 303MW 之電力及 150MW 之熱能，可以提供雷克雅維克全市之區域供暖，並供應全冰島人口一半之用電。根據冰島雷克雅維克能源公司資料顯示，冰島每年利用地熱能源供應首都市區暖氣已經取代 56 萬噸的煤或者 36 萬噸的石油。又根據其國家能源局統計，在 1914 年至 2014 年間，冰島對於地熱與水力能源之開發利用，已經減少 2 億五千萬噸的二氧化碳排放到大氣層。

Hellisheidi 地熱電廠之發完電尾端熱水透過 20 公里長之保溫管線輸送之雷克雅未克市區，在電廠端之溫度約 83°C，輸送到用戶家裡溫度僅降低 1~2°C，在供應室內取暖後之熱水仍有 35°C，可以用於加溫街道、人行道、其他運動設施。甚至在夏天時將多餘的熱水引到部分海灘讓民眾可以享受夏天的陽光與地熱加溫的海水。

Hellisheidi 地熱電廠在 2006-2011 年逐漸建置完成，總共有 61 口地熱井深度介於 1000~2000 公尺間，其中 44 口生產井，17 口回注井。以下為各階段之設置概況與未來規劃：

Phase 1:2006 年建置 2 部 45MWe 高壓渦輪機

Phase 2:2007 年建置 1 部 33MWe 低壓渦輪機

Phase 3:2008 年建置 2 部 45MWe 高壓渦輪機

Phase 4:2010 年建置 1 部 133MWe 熱能供應廠

Phase 5:2011 年建置 2 部 45MWe 高壓渦輪機

Phase 6:2015 年連結 4 口生產井

Phase 7:2020 年規劃提供 133MWth

Phase 8:2030 年規劃提供 133MWth



圖 9 Hellisheidi 地熱電廠全景

(二)參觀 Reykjanes Geothermal Resources Park

Reykjanes Geothermal Resources Park 位在冰島西南方 Reykjanes 半島，是由數家利用地熱電廠流出蒸氣或熱水再加值應用之高科技公司所組成，藍色潟湖(blue lagoon)是第一家成立之公司而且成為園區之模範。該園區一開始僅有

Svartsengi 複合地熱電廠，在 1976 開發供熱給 Reykjanes 半島居民；發展至今，以 Svartsengi 複合地熱電廠之地熱資源為中心而衍生出之公司包括 Blue lagoon 相關公司、Hotel Nothern Light Inn、國際二氧化碳再生轉化甲醇工廠、ORF 基因分子農場工廠；另外利用海水冷卻發電廠後溫水供應給其他 3 家公司包括 2 家魚乾加工廠(Hateigur 與 Haustak)與 Stolt Sea Farm Island 一家海水比目魚養殖場。

園區鄰近公司從地熱電廠取得之原料包括蒸氣、地熱氣體、地下水、熱水、純熔岩過濾之海水與電力。整個園區之員工數約 500~600 人，生產之產品大部分供外銷，其產值約占冰島 GNP 之 2%。園區之創辦人為 Mr. Albertsson，其當初創園宗旨為(1)整合應用不同主題與目的之天然資源；(2)強調生態平衡、經濟繁榮、社會進步，並完全支援資源永續利用；(3)發展異業合作；(4)建立不同技術與社會文化之橋梁；(5)讓人類了解自然，並成為自然的一部分；(6)園區活動順應天然並永續成長。以下為園區內公司簡介：

1. HS Orka 公司

Hitaveita Suðurnesja (HS) 公司成立於 1974 年，於 2000 年成為冰島唯一的私人地熱電廠，2008 電業法修正後，

公司分成負責配售電之 HS Veitur 及負責發電之 HS Orka，HS Orka 是冰島第三大發電公司，發電量佔全國之 8%，目前加拿大 Alterra Power 公司握有 2/3 股權，冰島退休基金握有 1/3 股權，是冰島唯一不屬於政府的能源公司，目前員工 60 人。HS Orka 有二個地熱電廠位於 Svartsengi 與 Reykjanes，其中 Svartsengi 發電裝置容量 74 MWe 與供應熱能 150 MWth，於 1976 至 2015 年分 6 階段建置完成，2016 年增加供熱能力 40 MWth。Svartsengi 是全球第一座供應熱水與發電之複合電廠。另 2006 年 5 月 Reykjanes 電廠建置 2 座 50MW 之渦輪發電機開始發電，並使用新鮮海水當冷卻水源，透過鑽井抽取 1,600 l/s 經熔岩地層過濾之海水，加熱後供給 Stolt Sea Farm Iceland 公司養殖比目魚。

HS Orka 公司擁有包括地質、儲集層工程、土木工程、機械工程、電機工程、馬達工程、商業管理人才，經過 40 年營運對於地熱發電機、熱交換器、閥門、蒸氣分離器、及其他設備均具備良好經驗。

2. HS Veitur 公司

HS Veitur 成立於 2008 是一家配售電與熱能公司，員工人數 90 人，負責 Suðurnes, Hafnarfjörður, Árborg and

Vestmannaeyjar 等四個地區之電力與供熱服務。該公司利用 1700 公里低高壓、變電站送電給 65000 個居民，另外輸送熱水與冷水給 25000 位居民。

3. The Blue Lagoon 健康溫泉公司

成立於 1992 年，員工人數 300 人，創始人 Grímur Sæmundsson，是一家具有 20 年歷史之創新增值公司，目前已成為全球知名景點之一，2015 年共有 766000 名外國觀光客參觀過。

4. The Blue Lagoon 研究發展公司

該公司在藻類養殖技術具有領先地位，養藻已超過 20 年歷史，藻類在人工控制環境下進行光合作用，自 2012 年起取用地熱電廠排出富含二氧化碳的地熱水養藻，並轉化成高價產品並以獨特技術進行規模生產。

5. Haustak 與 Háteigur 公司

兩家公司均為乾燥魚製作公司，前者成立於 1999，員工 50 人，產品主要銷售至非洲的奈及利亞，市占率達 70%。後者成立於 1993 年，員工 20 人。

6. The Northern Light Inn

成立於 1983 年，當時只有 12 間客房，現已成長至 32

間客房，餐廳與會議室可容納 150 人。

7. ORF Genetics 公司

ORF Genetics 是一家生物基因科技公司，由三位科學家在 2001 年成立，員工 30 人，生產銷售成長因子供醫療研究與肌膚照護產品，擁有獨特技術可以在大麥中生產成長因子及其他蛋白質。

8. Carbon Recycling International (CRI)

CRI 是一個善用附近 Svartsengi 地熱電廠資源的創新技術工廠(如圖 10)，製造生產可供混合於汽車燃料油與石油之甲醇。該工廠接收來自地熱電廠之二氧化碳與硫化氫混合氣體，將硫化氫分離掉後，二氧化碳混合來自電解水獲得之氫氣，經過化學反應後生成甲醇，該製程已申請專利加以保護。CRI 實驗生產開始於 2012 年，當時產能為每年 150 萬公升，後來擴大至 500 萬公升，CRI 並預計將產品輸出至荷蘭與瑞典。CRI 目前正為德國設計一座甲醇工廠預計 2017 年開始營運，以輸出冰島之技術與經驗。



圖 10 Carbon Recycling International (CRI)

9. Stolt Sea Farm Iceland

是一家高科技魚類養殖公司，成立於 2012，員工 30 人。該公司是成立於 1972 年之 The Spanish company Stolt Sea Farm 的分公司，生產鱒魚，鱈魚和魚子醬等產品。

參、心得與建議

一、心得

(一)根據冰島地熱開發經驗，地熱發電開發面臨之主要挑戰包括：

- 1.缺乏鑽探資金以至於無法進行大規模之鑽探與開發，且開發商之規模通常太小，致無足夠資金投入鑽探工作；
- 2.投資者不願承擔鑽探風險，也無法吸取全球鑽探成功經驗

並預知風險；

3. 欠缺對於前期探勘階段之經費補助措施，大部分獎勵係為後端獎勵如 FIT；
4. 即使已進入探勘階段，也無法確保後續之開發是否具有可行性。

因為上述種種風險，使得全球之地熱產業成長不如風能與太陽能產業般蓬勃發展。

(二) 冰島地熱開發成功之關鍵因素

1. 在早期開發階段即建立政府與民眾間之緊密合作關係，政府與民眾直接對話可以促進雙方信任並成為日後克服障礙之基礎。
2. 地方自治政府主動進行開發並與民眾結合，是冰島地熱開發成功關鍵因素之一，並已證實對於地熱與水力發電產業起飛有重要的價值。
3. 冰島之法規強調中央與地方分權並保障開發者權益，搭配政府獎勵與支持而得以加速開發；另冰島之鑽井風險基金對於加速地熱開發亦有很大的助益，並減少地方政府對地熱開發計畫承擔之風險。
4. 冰島目前能源開發也面臨了自然資源開發總量限制問題，

冰島政府鼓勵投資者擬定長遠且永續之開發計畫。

5. 適當的開發成功案例宣導，讓民眾參與並了解開發計畫之好處，使得擁有穩定地熱資源之冰島地方自治政府可以取得民眾之信任。

(三)對於地熱發電開發計畫而言，融資取得是成功的關鍵因素之一，根據土耳其之開發成功經驗，以下幾點值得參考：

1. 好的規劃通常較容易取得融資；
2. 規劃可接受之風險等級，並且將開發計畫分階段執行，將探勘與建廠工作分開，逐階段評估開發工作是繼續進行或放棄，並設定風險上限；
3. 探勘工作之品質相當重要，好的探勘是成功的一半；
4. 爭取國際專家參與；
5. 依資源條件設定合理之電廠規模與開發時程。

(四)就地熱發電開發而言，冰島與土耳其均屬成功之案例，但其中土耳其訂有專法及躉售電價補貼產業發展，而冰島則無地熱專法之訂立，因此地熱發電開發是否成功，有無地法並非關鍵因素。許多國家對於鼓勵地熱發電開發主要有四個方式，分別為政府(或政府支持的實體)直接進行開發、補助鑽探費用、鼓勵地熱資源風險保險及早期財政獎

勵(免繳關稅，稅收抵免等)等四種，但不同方法均有其優點和缺點，不同國家應該要根據本身條件，包括電力部門之需求與挑戰、地熱專業知識是否豐富、財務與人力資源與其他因素，進而參考國際上已經成功案例，訂定合適獎勵措施。

(五)全世界並無一體適用之地熱電廠開發原則，地熱電廠設計應考量因素包括(1)設計時應符合地熱流體特性，選用最佳熱力循環；(2)應針對系統簡化、維護需求、儲集層管理、環境影響進行考量；(3)電廠設計不可太複雜；(4)儲集層需永續利用；(5)設計最佳的電力轉換循環以提供最大電力輸出，並且具有簡單與高可靠度特性。

二、建議

- (一)冰島之地熱資源公園概念已經驗證多目標利用是可行的，且可配合地方社區發展及進行資源永續開發。我國之溫泉遊憩活動十分盛行，可思考將地熱發電與觀光遊憩相結合，運用多元商業開發之模式以擴大效益。
- (二)根據冰島之地熱發電開發成功經驗，建議國內應增加地熱探勘與鑽探設備之公共投資；又鑑於國內業界尚較欠缺探

勘能力，建議可考慮由政府補助非營利之研究法人進行前期探勘，以有效提升國內業界地熱發電開發成功機會。

(三)冰島經驗顯示，地方政府態度對於地熱發電開發至為重要。國內推動地熱發電開發可藉由地方政府之多目標開發利用規劃，結核地方資源促進在地經濟活動，並透過地方政府爭取民眾對於開發案之支持。

(四)冰島第一座地熱電廠興建於 1969 年，裝置容量約 3.2MW，經過約 30 年的持續驗證後，於 1997 年裝置容量開始大量成長，並於 2006 年起至 2011 年完成建造第七座地熱電廠，裝置容量 303MW。冰島發展到現在已有七座地熱電廠，裝置容量達 663MW，其發展歷程值得我國借鏡，即地熱發電開發雖囿於地底資源之不確定性及地質條件之不同，會有較長之摸索期，然經過摸索並對資源條件及開發技術有進一步掌握之後，就後迎來一個快速成長期。

(五)冰島目前能源開發也面臨了自然資源開發總量限制問題，為了持續發展，冰島已經展開深鑽研究計畫。深層地熱開發技術是國際前瞻技術，一般認為可不受限於地底水資源狀況，而有利於持續運轉經營，是國際間研發主流。目前

雖國際間仍無深層地熱電廠，建議國內可持續關注深層地熱研發進度，俾利將來技術成熟後可加速引進國內。

(六)冰島地質條件特殊，適合研發火山區地熱深鑽技術，但因為風險極高具高度不確定性，因此也不容易取得融資。但冰島人認為只有敢冒險的人可以獲得豐碩的成果，會議上冰島開發業者說：「冒險吧！贏了真快樂，輸了長智慧！」，冰島人對於地熱開發投資的積極豁達觀念，誠然值得國人深思。