

出國報告(出國類別：其他)

出席第三屆東亞放射性廢棄物管理
論壇會議暨參訪月城中低放處置場
與用過核燃料乾貯場以及韓國原子
力研究所

服務機關：行政院原子能委員會
放射性物料管理局

姓名職稱：鍾沛宇薦任第六職等技士

派赴地區：韓國

出國期間：99年10月31日至11月5日

報告日期：100年1月6日

摘 要

第三屆東亞放射性廢棄物管理論壇會議於 2010 年 11 月 1 及 2 日兩天假慶州 Hyundai Hotel 舉行，我國、日本、韓國、大陸、美國、法國、瑞典及澳洲等約 70 多位放射性廢棄物處理與處置相關領域學者參與，共發表 60 篇論文，內容包括地質處置場（包括安全評估及模式）、除役及除污、運送及包件、放射性廢棄物處理、中低放射性廢棄物最終處置（包括處置經驗及國際合作）、用過核燃料貯存技術等主題。參加本研討會之主要目的係藉由各國與會人員所提出的專題報告中，吸取經驗、提升技術水準及交換彼此意見。

本次出訪，除進行放射性廢棄物管理技術交流外，亦藉由參訪韓國慶州月城中低放廢棄物處置場與用過核燃料乾貯場，以及韓國原子力研究所，進一步瞭解韓國在放射性廢棄物管理的現況及其相關技術發展情形，可做為未來我國進行放射性廢棄物管理及管制之參考依據。

目 錄

壹、目的.....	1
貳、過程.....	2
一、行程.....	2
二、參加第三屆東亞放射性廢棄物管理論壇會議.....	2
三、參訪行程.....	14
(一) 月城中低放處置場與用過核燃料乾貯場.....	14
(二) 文化參訪—參訪慶州古蹟文物.....	22
(三) 韓國原子力研究所.....	24
叁、心得.....	31
肆、建議事項.....	35

壹、目的

「東亞放射性廢棄物管理論壇會議」為促進東亞各國之核能合作與技術交流的重要管道之一，每兩年舉辦一次，針對放射性廢棄物管理與處置相關議題進行深入探討。2006年由本會核能研究所發起，並於我國主辦第一屆；2008年由日本原子力環境整備促進與資金管理中心(Radioactive Waste Management Funding and Research Center, RWMC)主辦，於東京 Toranomon Pastoral 飯店舉行。本次研討會為第三屆，由韓國放射性廢棄物管理公司(Korea Radioactive Waste Management Corporation, KRMC)及韓國放射性廢棄物協會(Korean Radioactive Waste Society)主辦，於2010年11月1及2日兩天假慶州 Hyundai Hotel 舉行，我國、日本、韓國、大陸、美國、法國、瑞典及澳洲等約70多位放射性廢棄物處理與處置相關領域學者參與，共發表60篇論文，內容包括地質處置場（包括安全評估及模式）、除役及除污、運送及包件、放射性廢棄物處理、中低放射性廢棄物最終處置（包括處置經驗及國際合作）、用過核燃料貯存技術等主題。參加本研討會之主要目的係藉由各國與會人員所提出的專題報告中，吸取經驗、提升技術水準及交換彼此意見。

本次出訪，除進行放射性廢棄物管理技術交流外，亦藉由參訪韓國慶州月城中低放廢棄物處置場與用過核燃料乾貯場，以及韓國原子力研究所，進一步瞭解韓國在放射性廢棄物管理的現況及其相關技術發展情形，可做為未來我國進行放射性廢棄物管理及管制之參考依據。

貳、過程

一、行程

日期	時間	地點與行程	工作內容
10月31日(日)	全日	台北→首爾	去程
11月1日(一)	上午	首爾→慶州	路程
	下午	EAFORM 研討會	參加研討會
11月2日(二)	全日	EAFORM 研討會	參加研討會
11月3日(三)	上午	技術參訪	參訪月城中低放處置場與用過核燃料乾貯場
	下午	文化參訪	參訪慶州古蹟文物
11月4日(四)	上午	慶州→大田	路程
	下午	技術參訪	參訪韓國原子力研究所
11月5日(五)	全日	首爾→台北	返程

二、參加第三屆東亞放射性廢棄物管理論壇會議

確保核能安全與解決放射性廢棄物問題乃是核能發展之關鍵議題，放射性廢棄物更是爭議焦點所在，在放射性廢棄物的管理上，需要安全、明確及永續的解決方案，俾利核能發電及其他和平用途。因此亞洲地區之研究發展、資訊交流、經驗分享極為重要，於是促成了東亞放射性廢棄物管理論壇會議(The East Asia Forum on Radwaste Management, EAFORM)的誕生，主要成員係來自日本、韓國及台灣的核能研究機構，以及美國桑迪亞國家實驗室(Sandia National Laboratory, SNL)，其目的係為提昇亞洲地區核能技術與安全

「東亞放射性廢棄物管理論壇會議」乃為促進東亞各國之核能合作與技術交流，每兩年定期舉辦一次之會議，主要係針對放射性廢棄物處理與處置相關議題進行深入探討。2006年由本會核能研究所發起，並於我國主辦第一屆；2008年由日本原子力環境整備促進與資金管理中心(RWMC)主辦，於東京 Toranomom Pastoral 飯店舉行。本次研討會為第三屆，由韓國放射性廢棄物管理公司(KRMC)及韓國放射性廢棄物協會(Korea Radioactive Waste Society)主辦，於2010年11月1及2日兩天假慶州 Hyundai Hotel 舉行，本屆會議參與人員不僅由上述地區派員與會，另外，法國、澳洲、瑞典及中國大陸等相關研究機構，亦派員共同參與，進行技

術交流及經驗分享。與會學者共發表 60 篇論文，內容包括地質處置場（包括安全評估及模式）、除役及除污、運送及包件、放射性廢棄物處理、中低放射性廢棄物最終處置（包括處置經驗及國際合作）、用過核燃料貯存技術等主題。

研討會於 11 月 1 日 13:00 整揭開序幕，首先由大會主席—韓國放射性廢棄物管理公司總裁 Min, Kye-Hong（如圖 2-2-1）致歡迎詞後，接續為攝影時間(photo time)，大會為所有與會者合影留念（如圖 2-2-2）。



圖 2-2-1 韓國放射性廢棄物管理公司總裁 Min, Kye-Hong 致歡迎詞



圖 2-2-2 第三屆東亞放射性廢棄物管理論壇會議與會者合影留念

其後再進入 Plenary Session I，邀請四位特別來賓做專題演講，演講者與題目分別為歐洲核能總署/經濟合作發展組織（OECD/NEA）Hans G. Riotte “Sustainable Radioactive Waste Management- A Perspective from the OECD Nuclear Energy Agency”（如圖 2-2-3）、韓國放射性廢棄物管理公司（KRMCM）副總裁 Ho-Taek Yoon “Radioactive Waste & Spent Fuel Management in Korea”（如圖 2-2-4）、日本原子力發電環境整備機構（NUMO）首長 Mitsuo Takeuchi “Ongoing Radioactive Waste Management Programmes in Japan”（如圖 2-2-5）及我國核能研究所黃慶村副所長 “The Current Status and Challenge of the Radwaste Management in Taiwan”（如圖 2-2-6）。



圖 2-2-3 歐洲核能總署/經濟合作發展組織 Hans G. Riotte 專題演講



圖 2-2-4 韓國放射性廢棄物管理公司 Ho-Taek Yoon 副總裁專題演講



圖 2-2-5 日本原子力發電環境整備機構 Mitsuo Takeuchi 專題演講



圖 2-2-6 我國核能研究所黃慶村副所長專題演講

Plenary Session II，則邀請三位特別來賓做專題演講，演講者與題目分別為美國桑迪亞國家實驗室(SNL) Evaristo J. (Tito) Bonano “Current Status of U.S. Repository Programs”（如圖 2-2-7）、法國國家放射性廢料管理局(ANDRA) Roberto Miguez “40 Year Experience of Radioactive Waste Disposal in France”（如圖 2-2-8）及瑞典核燃料及廢料管理公司(SKB) Hans Forsström “Recent Developments in SKBs Nuclear Waste Management Programme”（如圖 2-2-9）。本日議程至此告一段落。



圖 2-2-7 美國桑迪亞國家實驗室 Evaristo J. (Tito) Bonano 專題演講



圖 2-2-8 法國國家放射性廢料管理局 Roberto Miguez 專題演講



圖 2-2-9 瑞典核燃料及廢料管理公司 Hans Forsström 專題演講

11 月 2 日則分四階段依不同之主題分三個場地分別進行相關論文發表，第 I 階段包含第 1 場次的地質處置場(I)、第 2 場次的除役及除污、第 3 場次的廢棄物處理(I)，其中 Technical I-2 場次主要發表除役及除污 (Decommissioning & Decontamination)相關技術之論文，題目如下：

- (1) Decommissioning of the KRR-1 and 2 Research Reactors at KAERI; Summary of the Project (Jin-Ho Park, Seung Kook Park, Ki Won Lee, Un Soo Chung, KAERI, Korea)
- (2) Application of Marssim for Final Status Survey of the Decommissioning Project (Sang-Bum Hong, Ki-Won Lee, Jin-Ho Park, Un-Soo Chung, KAERI, Korea)
- (3) The Decommissioning Information System (Seung-Kook Park, Jin-Ho Park, KAERI, Korea)
- (4) Study of Joint Ultrasonic-chemical Decontamination Technology for Nuclear Power Plants (Qiang Wu, CIRP, China)
- (5) Decontamination of soil and Waste Oil Using Supercritical Fluids (Jinhyun Sung, Kwangheon Park, Kyung Hee University, Jaeyong Yoo, KIRMS, Jeonken Lee, NRKF, Korea)

本場次中，韓國原子力研究所(Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI)共發表了三篇論文，分別摘要已除役之 KRR-1 與 KRR-2 二部實驗型反應爐之除役計畫，KRR-1、KRR-2 及一已除役之鈾轉換廠(uranium conversion plant, UCP)之資訊系統研發，以及 MARSSIM(Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual)對除污計畫最終階段量測之應用；中國大陸輻射防護研究院(China Institute for Radiation Protection,

CIRP)發表超音波-化學結合除污技術(joint ultrasonic-chemical decontamination technology)對核能發電廠除污之應用；以及韓國 Kyung Hee 大學等機構發表超臨界液體對土壤及廢油之除污。

本階段其他場次發表之論文題目列舉如下：

Technical I-1 場次發表之論文題目：

- (1) Overview of the NUMO's Policy for Implementing Safe Geological Disposal and Developing Supporting Technologies (Kenichi Kaku, H. Tsuchi, K. Ishiguro, A. Deguchi, Y. Takahashi, NUMO, Japan)
- (2) The Management and Current Status of the Spent Nuclear Fuel Final Disposal Program in Taiwan (Hsien-Shiow Tsai, Huan-Yi Peng, Hsien-Lang Chiu, TPC, Taiwan)
- (3) Regional Hydrogeological and Hydrogeochemical Characteristics of Beishan Area, the Potential Area of China's High Level Radioactive Waste Repository (Yonghai Guo, Yawei Li, Hailong Wang, Ju Wang, Rui Su, Feng Xiao, Shufen Liu, CNNC, China)
- (4) The Conceptual Design of China's Geological Repository of High Level Radioactive Waste – Thermal Analysis (Tao Lu, Qiuyu Yang, Xuhong Wang, Wei Zhang, Tingjun Li, CNPE, China)
- (5) Requirements Management for Geological Disposal of Radioactive Waste (Satoru Suzuki, H. Ueda, K. Ishiguro, H. Tsuchi, NUMO, K. Oyamada, JGC, S. Yashio, Obayashi Corporation, Japan, S. Vomvoris, Nagra, Sweden)

本場次中，日本原子力發電環境整備機構(Nuclear Waste Management Organization of Japan, NUMO)簡報其 2010 年技術報告之主要概念，該技術報告敘述 NUMO 對日本深地層處置之施行政策及主要技術發展，其架構如圖 2-2-10。

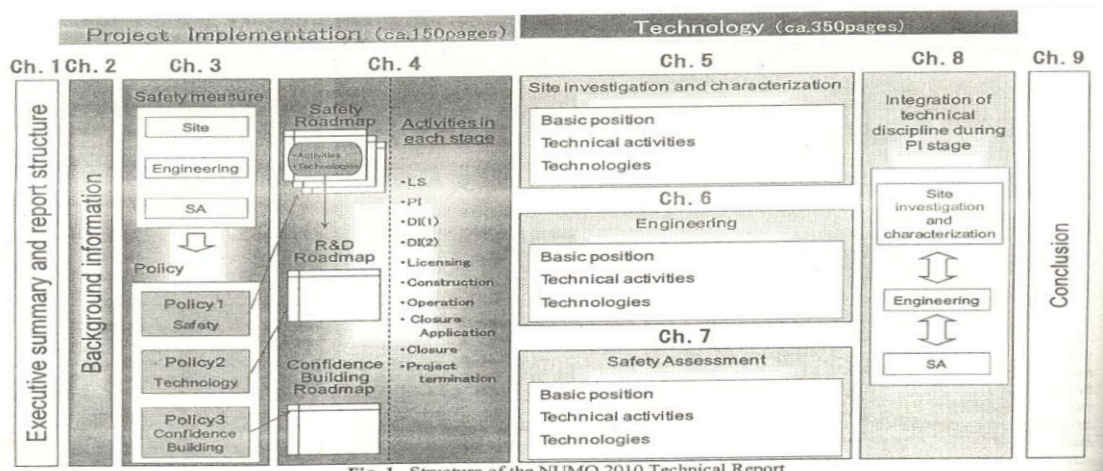


Fig. 1. Structure of the NUMO 2010 Technical Report

圖 2-2-10 日本原子力發電環境整備機構(NUMO)2010 年技術報告架構

Technical I-3 場次發表之論文題目：

- (1) The Progress of Solid Waste Volume Reduction Technologies at Nuclear Power Plant of China (Tiejun Liu, Zhiyin Zhang, CNPE, China)
- (2) Concentration of Radioactive Components in Low-level Liquid Radwastes by a Three-stage Reverse Osmosis Process (Chung-Yung Lin, Kwang-Fu Tsai, Ben-Li Pen, INER, Taiwan)
- (3) Polymer Solidification and Stabilization of LILW (Juyoul Kim, FNC Technology Co, Korea, Charles Jensen, Diversified Technologies Services, INC, USA)
- (4) Flush Treatment of High Activity and Transuranic Contaminated Mixed-Bed Ion-Exchange Resin in TRR Spent Fuel Pool (Chun-Ping Huang, Kuo-Yuan Chang, Horng-Bin Chen, INER, Taiwan)
- (5) Collection and Transportation of Specimens from the Irradiated Pressure Tubes at Wolsong Unit#1 (Dong-Hyeun Hwang, Jung-Kwon Son, NETEC/KHNP, Korea)

第 II 階段包含第 1 場次的地質處置場(II)、第 2 場次的中低放射性廢棄物最終處置(I)、第 3 場次的廢棄物處理(II)，其中 Technical II-2 場次主要發表中低放射性廢棄物最終處置(LILW Disposal)相關技術之論文，題目如下：

- (1) Research on the Effect of Gas Generation at Korean LILW Repository (Jin-Beak Park, Sunjong Lee, KRMC, Sukhoon Kim, Juyoul Kim, FNC Technology Co, Korea)
- (2) Operating Performance of Rokkasho Low-Level Radioactive Waste Disposal Center in Japan (Minoru Saito, Naohiro Kudo, JNFL, Japan)
- (3) Multiple-Silo Performance Assessment Model for the Wolsong LILW Disposal Facility in Korea-Phase I, Model Development (Doo-Hyun Lim, Golder Associates Inc, Jee-Yeon Kim, Joo-Wan Park, KRMC, Korea)
- (4) The Application of Advanced Multi-Physics Simulation to Low Level Radioactive Waste Container (Chao-Lung Hwang, Chan-Ping Pan, Cheng-I Lai, National Taiwan University of Science and Technology, Ching-Tu Chang, INER, Taiwan)
- (5) Benchmarking of Post-Closure Safety Assessment Model for the Wolsong LILW Disposal Center: Probabilistic Approach (Sung-Bok Lee, Haeryong Jung, Byoung-Chul Park, KRMC, Korea)

本場次中，日本原子力安全基盤機構(Japan Nuclear Fuel Limited, JNFL)發表了六所村低放處置中心之運轉經驗；我國國立台灣科技大學營建工程系黃兆龍教授發表了 AMPS 程式對鋼纖高性能混凝土低放處置盛裝容器模擬分析之應用；韓國 KRMC 等機構分別發表了放射性廢棄物產

生之有害氣體及其監測解決之道、韓國月城處置設施之 Multiple-silo 功能評估模式之發展，以及利用比較 GoldSim 及 MASCOT 之分析結果，進行月城中低放處置場之封閉後安全評估。

本階段其他場次發表之論文題目列舉如下：

Technical II-1 場次發表之論文題目：

- (1) Review of Properties of Potential Buffer Material for Geological Repository in Taiwan (Yi-Fang Chuang, David Ching-Fang Shih, Wen-Shou Chuang, INER, Taiwan)
- (2) Monitoring Strategy to Support Decision-Marking for Geological Repository Closure (Jiro Eto, Yasuhiro Suyama, Hiromi Tanabe, RWMC, Japan)
- (3) Characterization of the Distribution of Hydraulic Conductivity Using Heat-Pulse Flowmeter (Yeeping Chia, Chen-Wuing Liu, Mao-Hua Teng, Tsan-Hwei Huang, National Taiwan University, Taiwan)
- (4) Site Selection Process for a HLW Geological Repository in France (Gerald Ouzounian, Roberto Miguez, Richard Poisson, Jean-Louis Tison, AIST, Japan)
- (5) Evaluation of Different Activity Coefficient Models in Computing the Correct Concentrations of Radioactive Aqueous Species (Chen-Wuing Liu, Wen-Sheng Lin, Yen-Lu Chou, Yi-Jie Lin, National Taiwan University, Taiwan)

Technical II-3 場次發表之論文題目：

- (1) Melting Characteristics of Non-combustible Radioactive Wastes (Seung-Chul Park, Young-Il Kim, Cheon-Woo Kim, NETEC/KHNP, Korea)
- (2) A study of the Destruction of Organic Waste by Silver Mediated Electrochemical Oxidation (Zhihui Liu, CIRP, China)
- (3) A study on the Removal of Uranium and Fluorine Separately from Radwaste Water (Ben-Li Pen, Hsien-Ming Hsiao, INER, Taiwan)
- (4) Evaluation of the Structural Integrity for the Polymer-Modified Cement Waste Form (Young-Yong Ji, Kyung-Kil Kwak, Dae-Seok Hong, Tae-Kuk Kim, Woo-Seog Ryu, KAERI, Korea)
- (5) Understanding of Tiny Assumed Risk due to Man-made Radioactive Nuclides taking into Consideration Uncertainty of Detriment Based on Background Cancer Incidence in Korea (Takatoshi Hattori, CRIEPI, Japan)

第 III 階段包含第 1 場次的地質處置場(III)、第 2 場次的中低放射性廢棄物最終處置(II)、第 3 場次的運送及包件，其中 Technical III-2 場次主要發表中低放射性廢棄物最終處置(LILW Disposal)相關技術之論文，題目

如下：

- (1) Deep Geologic Disposal of Transuranic Waste—11 plus years of experience (Russell Patterson, DOE, USA)
- (2) Compliance Results of the 2009 Waste Isolation Pilot Plant Performance Assessment Baseline Calculation (R. Chris Campouse, Daniel J. Clayton, Moo Y. Lee, SNL, USA)
- (3) Construction Methodology of Bentonite Buffer for a Cavern Type Disposal Facility (Kenji Terada, Yoshihiro Akiyama, Nobuaki Oda, Takahiro Nakajima, RWMC, Masahiro Negi, Taisei Corporation, Japan)
- (4) Construction Methodology of Cementitious EBS Components for a Cavern Type Disposal Facility (Kenji Terada, Yoshihiro Akiyama, Nobuaki Oda, Takahiro Nakajima, RWMC, Masahiro Negi, Taisei Corporation, Japan)
- (5) Hydrogeochemical Influences on Concrete Barrier Degradation in the Proposed LLW Repository Site of Taiwan (Wen-Sheng Lin, Chen-Wuing Liu, Jui-Hsuan Tsao, National Taiwan University, Taiwan)

本場次中，美國能源部(The U.S. Department of Energy, DOE)發表其廢棄物隔離場(Waste Isolation Pilot Plant, WIPP)對超鈾廢棄物之深地層處置經驗；SNL 發表了 WIPP 不斷精進其安全評估模式以提高評估之精確度，確保超鈾廢棄物處置場受鑽掘等入侵下，其天然及工程障壁依舊具有有效阻隔之能力；我國國立台灣大學學者發表以 PHREEQCI 及 HYDROGEOCHEM5.0 模式，模擬混凝土之水泥礦物與來自水-岩石系統之地下水間複雜的水文地球化學反應，以進一步了解混凝土之劣化機制；日本 RWMC 等機構發表了二篇論文，以洞穴型處置設施示範試驗，分別對洞穴型處置設施之膨潤土緩衝材料及混凝土工程障壁進行試驗，以建立可行之施工方法。

本階段其他場次發表之論文題目列舉如下：

Technical III-1 場次發表之論文題目：

- (1) Manuals to Implement Preliminary Site Investigation for a Geological Repository in Japan (Shigeki Akamura, Tadashi Miwa, NUMO, Tatsuya Tanaka, Obayashi Corporation, Hiroshi Shiratsuchi, Tokyo Electric Power Services Co., Ltd., Atsushi Horio, Dia Consultants, Japan)
- (2) Function as Natural Barrier of the Various Geological Units in Japan from the Perspective of Uranium Mineralization (Eiji Sasao, JAEA, Japan)
- (3) Thermal Analysis of the Vertical Disposal for HLW (Honggang Zhao, Ju Wang, Yuemiao Liu, Rui Su, CNNC, China)
- (4) Development of the Controlled Drilling Technology and Measurement Method in the Borehole (Kenzo Kiho, Kimio Miyakawa, Koichi Suzuki, Koichi Shin, Tetsuji Okada, takayuki Sunaga, CRIEPI, Japan)

Technical III-3 場次發表之論文題目：

- (1) Radiological Impact Assessment at the Release from a Submerged Transport Package of Radioactive Materials (Daisuke Tsumune, Takaki Tsubono, Toshiari Saegusa, CRIEPI, Japan)
- (2) Waste Tracking System(WTS) for Radioactive Waste Management (Seongwon Shin, KRMC, Korea)
- (3) Regulatory Clearance of Waste Drums Used for Packaging Cleared Soil and Concrete (Dae-Seok Hong, Il-Sik Kang, Jong-Sik Shon, Young-Yong Ji, Tae-Kuk Kim, Woo-Seog Ryu (KAERI, Korea)
- (4) Development of Drum Loading and Unloading Equipment for Type IP-2 Package (Jong-Rak Choi, Sung-Hwan Chung, Ki-seop Choi, NETEC/KHNP, Korea)

第 IV 階段包含第 1 場次的地質處置場(IV)—安全評估及模式、第 2 場次的處置經驗及國際合作、第 3 場次的用過核燃料貯存技術，其中 Technical IV-2 場次主要發表處置經驗及國際合作(Disposal Experiences and International Cooperation)相關論文，題目如下：

- (1) Why is International Cooperation in Radioactive Waste Management Important? (Irena Mele, IAEA, USA)
- (2) Office of Fuel Cycle Technologies, Used Fuel Disposition Campaign Objective, Mission, Plans, and Activity Status (Mark Nutt, ANL, Mark Peters, Peter Swift, Kevin McMahon, Ken Sorenson, SNL, Patrick Schwab, DOE, USA)
- (3) Management of Very Low Level Radioactive Waste in China (Tingjun Li CNPE, China)
- (4) Repository Science R&D Consortium Concept for East Asia and the United States (David Kessel, Moo Y. Lee, SNL, USA)
- (5) Establishing a Radioactive Materials Management Center of Excellence in East Asia (Ralston Barnard, Robert J. Finch, SNL, USA)
- (6) Future Possibilities for International Cooperation Between SKB and Asian Waste Management Organisations (Magnus Holmqvist, Torsten Eng, SKB, Sweden)

本場次中，國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)發表放射性廢棄物管理國際合作之重要性；中國大陸中核集團中國核電工程有限公司(China Nuclear Power Engineering Company, CNPE)發表該國超低放射性廢棄物(VLLW)之管理政策，論文中提及超低放廢棄物處置係採用膨潤土與/或聚乙烯膜（非混凝土）之多重障壁，並描述處置場址及超低放廢棄物特性等內容；瑞典核燃料及廢料管理公司(Swedish Nuclear Fuel & Waste Management Company, SKB)發表該公司與亞洲廢棄物管理

機構合作之可能性；美國 SNL 等機構共發表三篇論文，分別敘述建立東亞放射性廢棄物管理中心之優點，美國與東亞處置場科學研發合作概念，以及燃料循環技術辦公室(office of Fuel Cycle Technologies, OFCT)之 Used Fuel Disposal Campaign (UFDC)對於用過核燃料貯存、運送、處置及燃料循環之任務。

本階段其他場次發表之論文題目列舉如下：

Technical IV-1 場次發表之論文題目：

- (1) A Post Closure Safety Assessment on the Advanced Nuclear Fuel Cycle (Chul-Hyung Kang, Yongsoo Hwang, KAERI, Korea)
- (2) Evaluation on Representative Volume of In-Situ Hydrogeological Tests Using a Hydro-Mechanical Coupling Model (Tai-Tien Wang, Shang-Shu Zhang, Tzung-Shiun Yang, Chih-Wei Chiang, Tsan-Hwei Huang, National Taipei University of Technology, Taiwan)
- (3) Modeling Migration Characteristics of Compacted Bentonite and its Application (Yukihisa Tanaka, Michihiko Hironaga, CRIEPI, Atsushi Mori, CERES, Japan)
- (4) Simulation of Decay Nuclide Transport in Fracture Medium Using Time Domain Particle Tracking Method (Shin-Ho Lee, David Ching-Fang Shih, INER, Taiwan)
- (5) The Operational Safety Assessment of KRS: Comparison of Health Effect Risk (Jongtae Jeong, Jongwon Choi, KAERI, Korea)
- (6) On the Convergence of the Probabilistic Assessments for a Geological Radwaste Repository (Fu-Lin Chang, Shin-Jon Ju, Cong-Zhang Tong, INER, Taiwan)

Technical IV-3 場次發表之論文題目：

- (1) Preliminary Study on Interim Spent Fuel Storage Facility(ISFSF) Site (Dongsun Kim, Ki-Jin Kim, Byung-Il Choi, Chang-Lak Kim, KRMC, Korea)
- (2) The Current Status of Chinshan ISFSI Project (Chen-Yang Liu, Chen-Da Wu, Yuhao Huang, Ding-I Lee, INER, Taiwan)
- (3) Long-term Containment Test Using Two Full-scale Lid Models of Cask with Metal Gaskets for Interim Storage (Masumi Wataru, Koji Shirai, Toshiari Saegusa, Chihiro Ito, CRIEPI, Japan)
- (4) Determination of Design Basis for a Storage System for Spent Fuel in Korea (Jeonghyoun Yoon, Eun-Yong Lee, Sang-In Woo, KRMC, Korea)
- (5) The Corrosion Behavior of Cold-rolled 304 Stainless Steel in Salt Spray Environments (M. F. Chiang, M.C. Young, J.Y. Huang, INER, Taiwan)

三、參訪行程

(一) 月城中低放處置場與用過核燃料乾貯場

本次出訪韓國之目的，除了參加第三屆東亞放射性廢棄物管理論壇會議外，亦為瞭解韓國之放射性廢棄物處理、貯存及最終處置現況。因此，主辦單位安排於 11 月 3 日上午參訪月城中低放處置場與用過核燃料乾貯場。以下依行前蒐集資料、KRMC 人員說明內容及所提供資料，彙整說明參訪過程如後。另外，於參訪前，與會人員於韓國放射性廢棄物長期管理專責機構—韓國放射性廢棄物管理公司(KRMC)合影留念(如圖 2-3-1)。



圖 2-3-1 與會人員於韓國放射性廢棄物管理公司(KRMC)合影留念

(1) 月城中低放射性廢棄物處置場

月城中低放射性廢棄物處置設施建立於慶州市，面積約 2,100,000m²，可容納 800,000 桶（每桶 200 升）之中低放廢棄物。第一階段之處置設施為將於 2012 年 12 月完工之地下處置倉，預計可處置 100,000 桶之中低放廢棄物。其針對中低放射性廢棄物之處置流程如下：放射性廢棄物處理→包封與暫存→陸路運送與/或海路運送→接收及檢測→將廢棄物放入地下處置倉→處置場封閉→處置場封閉後之監管，如圖 2-3-2 所示。



圖 2-3-2 放射性廢棄物之處置流程

另外，處置設施可分為地表設施及地下設施兩部分，茲分述如下：

地表設施之鳥瞰圖如圖 2-3-3，包括放射性廢棄物接收/貯存廠房及輔助設施。接收/貯存廠房包括接收及檢查設施、臨時貯存設施，以及處理 RI 廢棄物及月城場址所生其他廢棄物之放射性廢棄物處理廠房。輔助設施包括主控制中心（用於監控處置設施相關資訊）、輻射控制區、設備與維護廠。



圖 2-3-3 月城中低放處置場地表設施之鳥瞰圖

地下設施示意圖如圖 2-3-4 所示，其主要設施包括建造坑道（如圖 2-3-5，用於建造設備及材料之運送）、運轉坑道（如圖 2-3-6，用於放射性廢棄物之運送）、豎井（工作人員之出入口）及處置倉（用於放射性廢棄物之最終處置）。預計將有 6 個處置倉，建立於海平面下 130 公尺處，尺寸為 25 公尺寬，50 公尺高，可容納 100,000 桶之中低放廢棄物。

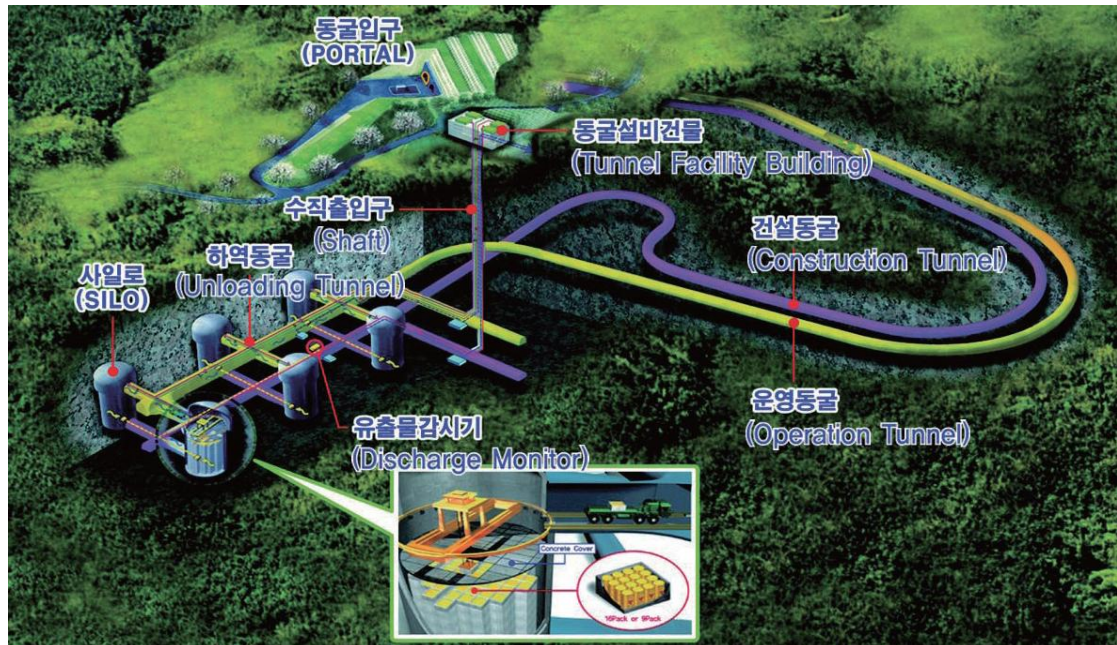


圖 2-3-4 月城中低放處置場地下設施示意圖



圖 2-3-5 月城中低放處置場地下設施之建造坑道



圖 2-3-6 月城中低放處置場地下設施之運轉坑道

KRMC 現今正以月城中低放處置場之自然與科學為主題，建造「有利環境之複合設施」(environment friendly complex，如圖 2-3-7) 中，此複合設施包括「四季花園」、「觀景亭」、「動態甲板」、「光主題公園」等。另外，可供教育及表演藝術用途之遊客中心及露天表演劇場，亦規劃建造中。

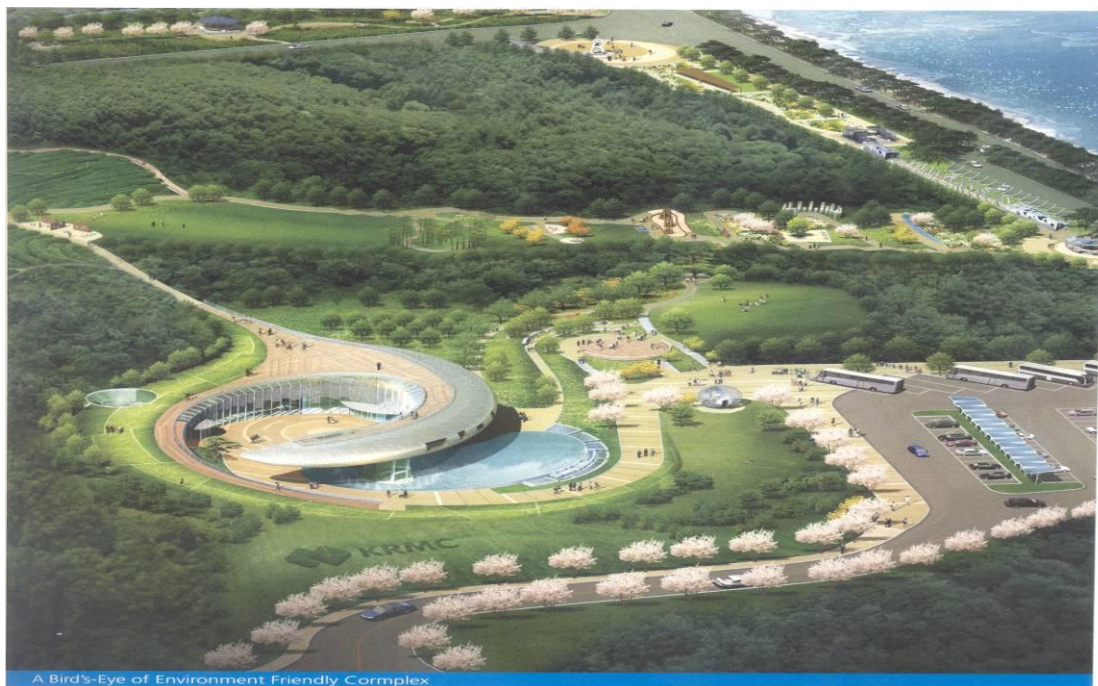


圖 2-3-7 有利環境之複合設施(environment friendly complex)

(2) 用過核燃料乾式貯存場

目前世界各國所採用之用過核燃料貯存方法，大致可分為濕式貯存

(如圖 2-3-8)、既有設施增加容量及乾式貯存(如圖 2-3-9)三種。其中乾式貯存為目前最普遍且技術已臻成熟的貯存方式。



圖 2-3-8 用過核燃料濕式貯存

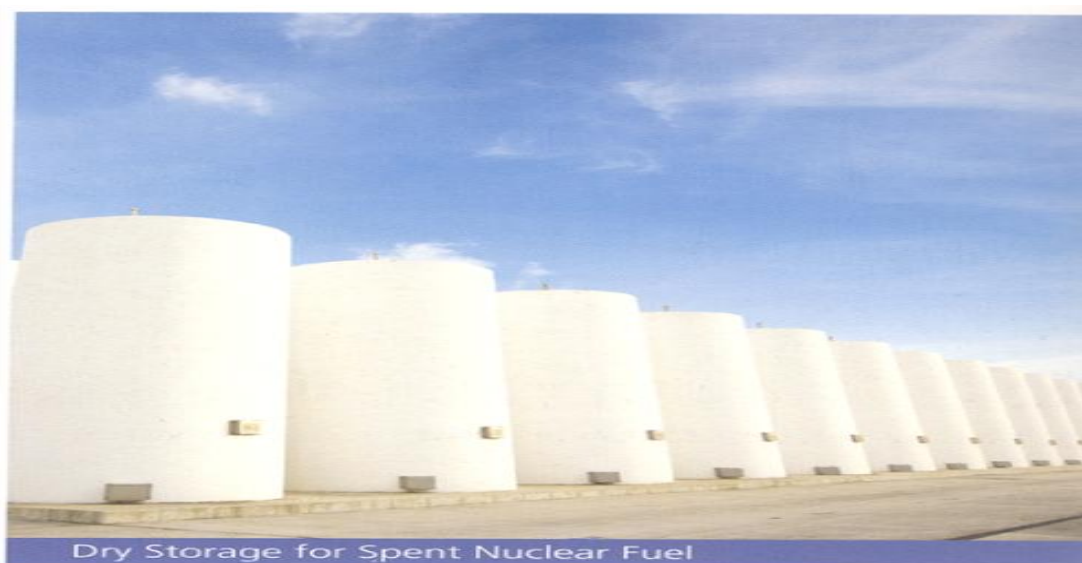


圖 2-3-9 用過核燃料乾式貯存

如欲使核能得以持續發展，必須妥善管理用過核燃料。在韓國，自 1978 年 4 月古裡 1 號機組商轉起，至 2010 年 9 月韓國全國已有 20 座核能發電廠商轉，包括 16 座壓水式反應器(PWRs)及 4 座壓水式重水反應器(PHWRs)。各電廠所產生之用過核燃料已採用既有設施增加容量之方式貯存於電廠所在場址，對 PWRs 而言，反應器中之擴張物已載運至各相鄰反應器間，並以高密度格架重新置放；對 PHWRs 而言，則採用現地乾式貯存。由於考慮到用過核燃料貯存容量至 2016 年後將會不足，韓國對用過核燃料管理(含用過核燃料臨時貯存設施之建造)之國家政策，必須在透

過公眾資訊取得共識後迅速決定。

用過核燃料從各核能發電廠運送至中期貯存設施（如圖 2-3-10）之過程，必須仰賴包括運送容器（如圖 2-3-11）、運送車輛及運送船之運輸系統。KRMC 正致力於研發運輸系統所需之技術，以提升用過核燃料之管理效率。目前 KRMC 之放射性廢棄物科技發展中心(Radioactive Waste Technology Development Center)正進行研發用過核燃料之貯存系統、安全評估、運送及最終處置之精進技術，計畫項目如下：

- 用過核燃料中期貯存設施之長期穩定性
- 用過核燃料運輸及貯存系統之設計及技術研發
- 用過核燃料運輸及貯存之安全評估技術
- 地質處置之場址評估技術

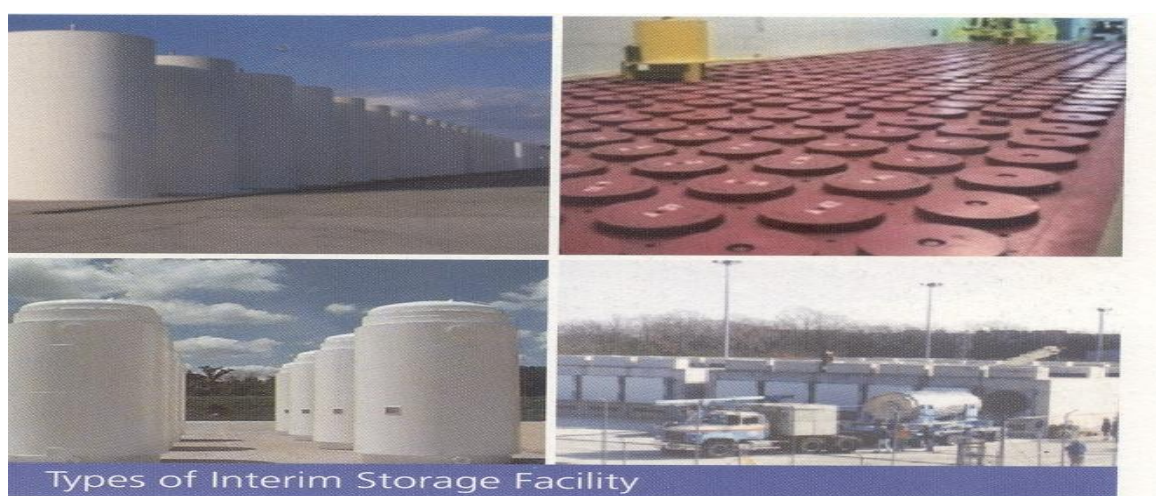


圖 2-3-10 用過核燃料中期貯存設施



圖 2-3-11 用過核燃料運送容器

韓國現正於慶州市月城計畫興建 MACSTOR (Modular Air-Cooled

Storage，如圖 2-3-12），以供月城核能發電廠現地乾式貯存之用。MACSTOR 可提供高效率之絕熱及屏蔽功能，並能減少三分之一的空間需求，以及減少人力、運轉、建造成本，另外 MACSTOR 得於最終處置時進行簡易的燃料回復。

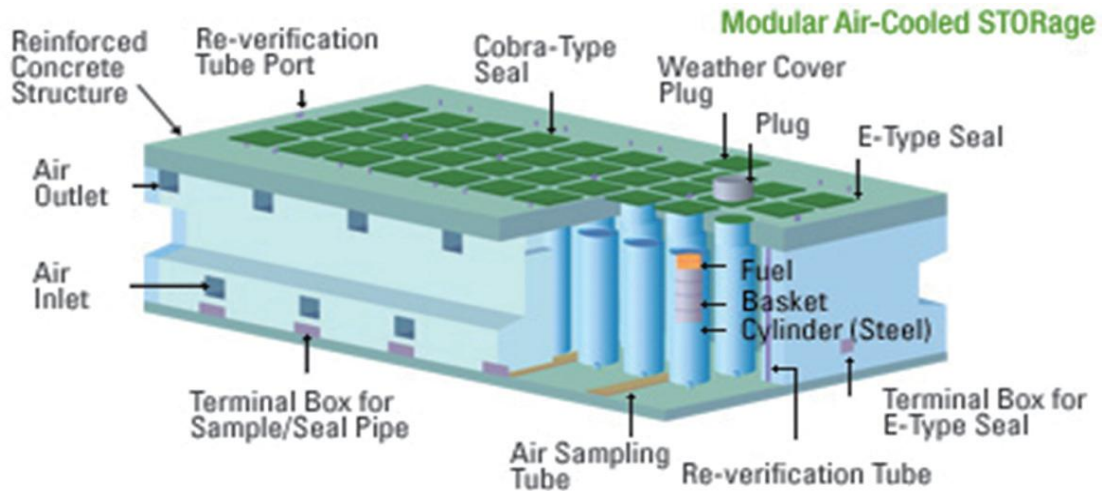


圖 2-3-12 MACSTOR/KN-400:月城核能發電廠乾式貯存概念圖

(4) 其他核設施

簡介月城核能發電廠之其他核設施如後：

CANDU（如圖 2-3-13 及 2-3-14）係加拿大所設計之壓水式重水反應器(Pressurized Heavy Water Reactor)，本反應器使用重水作為調節器及冷卻劑，並使用天然鈾作為燃料。CANDU 每當產生 1Mw 的電所消耗的鈾量，較其他壓水式反應器減少約 15%，故 CANDU 對鈾而言有著相當高的使用效率。



圖 2-3-13 CANDU 壓水式重水反應器

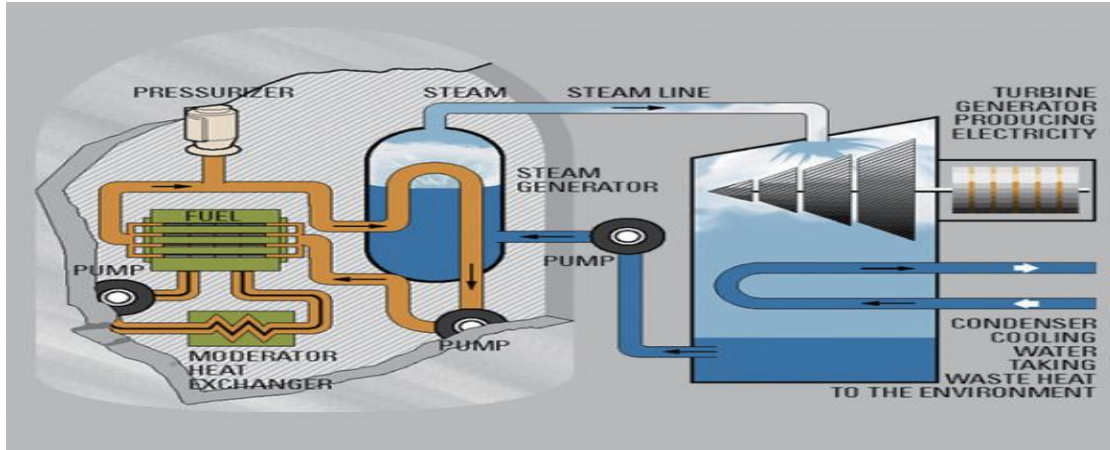


圖 2-3-14 CANDU 壓水式重水反應器

另外，月城核能發電廠已利用先進科技及完善設備/設施，重新建造及運用既有之 OPR1000 之運轉經驗，改良型 OPR1000 便由此誕生。OPR1000 之核電運轉如今已具有國際市場化及競爭力。OPR1000 如圖 2-3-15，另 OPR1000 之發展史如下：

2000 年 12 月	公告新月城 1、2 號機組之建造計畫。
2001 年 1 月	新月城建造辦公室（Shin-Wolsong Construction Office）開幕
2005 年 10 月	場址評定
2006 年 4 月	開始建造新月城
2007 年 6 月	場址評定
2007 年 11 月	開始澆置 1 號機組之混凝土
2007 年 11 月	開始澆置 2 號機組之混凝土
(2012 年 3 月)	新月城 1 號機組商轉
(2013 年 3 月)	新月城 2 號機組商轉



圖 2-3-15 OPR1000 計畫平面圖

(二) 文化參訪—參訪慶州古蹟文物

由於月城處置場所在地—慶州，乃是古代新羅王朝之首都，擁有許多著名之古蹟文物，現已發展為韓國主要之觀光城市。因此，主辦單位特別於 11 月 3 日下午安排了此段文化參訪，讓與會者有機會見識慶州之古蹟文物。列舉數項慶州著名古蹟文物及圖片如後：佛國寺(Bulguksa Temple，如圖 2-3-16)、石窟庵(Seokguram，如圖 2-3-17)、Underwater Tomb of King Munmu (如圖 2-3-18)、天馬塚(Cheonmachong Tomb，如圖 2-3-19)、天馬塚瞭望台(Cheomseongdae Observatory，如圖 2-3-20)及鮑石亭(Poseokjeong Pavilion，如圖 2-3-21)。



圖 2-3-16 佛國寺(Bulguksa Temple)



圖 2-3-17 石窟庵 (Seokguram)

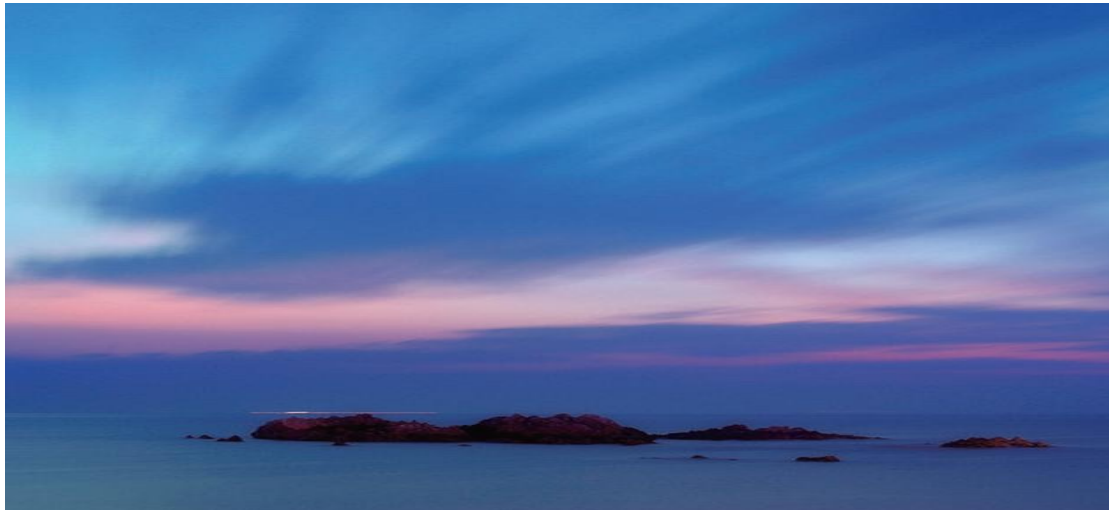


圖 2-3-18 Underwater Tomb of King Munmu



圖 2-3-19 天馬塚(Cheonmachong Tomb)



圖 2-3-20 天馬塚瞭望台(Cheomseongdae Observatory)



圖 2-3-21 鮑石亭(Poseokjeong Pavilion)

(三) 韓國原子力研究所

韓國原子力研究所(KAERI)位於大田，負責執行高放射性廢棄物核轉換之研究。按主辦單位所定行程，與會人員於 11 月 4 日上午由慶州驅車前往大田，下午參觀韓國原子力研究所之地下研究坑道(KAERI Underground Research Tunnel, KURT)、進步型用過核燃料安定化設施(Advanced Spent Fuel Conditioning Process Facility, ACPF)及照射物質檢查設施(Irradiated Material Examinations Facility, IMEF)等設施。以下簡述 KAERI 之各設施參訪經過。

(1) 地下研究坑道(KURT)

為提昇將來民眾對建立高放處置場之接受度，韓國原子力研究所(KAERI)於 2006 年建立了地下研究坑道(KURT，如圖 2-3-22 及 2-3-23)，用以研究發展韓國之高放處置系統。KURT 將以各種現地試驗，驗證高放處置系統之安全性及可行性。KURT 位於大田 KAERI 範圍山區之 Yusung Gu，總長 255 公尺，包括 180 公尺長之通道坑道及兩條 75 公尺長之研究坑道，最大深度 90 公尺，坑道形狀為馬蹄型，並坐落於優質花崗岩體上，坑道相關資料如下表。參訪 KURT 設施後，與會人員於 KURT 入口處合影留念(如圖 2-3-24)。

Shape of tunnel	Access tunnel	Research module
Horseshoe shape 6m wide x 6m high	Length : 180m Slope : -10%	Left module : 30m Right module : 45m Slope : 2% Maximum depth : 90m



圖 2-3-22 韓國原子力研究所地下研究坑道(KURT)



圖 2-3-23 韓國原子力研究所地下研究坑道(KURT)



圖 2-3-24 與會人員於 KURT 入口處合影留念

據悉位於處置容器附近，且受衰變熱及高應力影響之工程障壁及近場岩石，為處置場安全設計之臨界狀態。故工程障壁系統(Engineering Barrier System, EBS)之功能應以現地試驗及工程規模之試驗室試驗加以驗證，由是 KENTEX 便被開發使用於夯實膨潤土之溫度-水文-力學-化學 (Thermal-hydro-mechanical-chemical, THMC，如圖 2-3-25) 耦合行為。KURT 即是因應處置系統及安全評估驗證所需之現地試驗，所建立之地下研究坑道。在通風、排水、照明、電力基本設備裝置妥當後，各種現地試驗諸如鑽孔加熱試驗(Borehole Heater Test, BHT)、開挖損害區(Excavation Damaged Zone, EDZ) 特性描述等已在 KURT 規劃及實施。圖 2-3-26 為 KURT 之設計圖及現地鑽孔試驗，圖 2-3-27 為 BHT 試驗之溫度分佈量測。



圖 2-3-25 用以進行工程規模之溫度-水文-力學-化學(THMC)試驗之 KENTEX

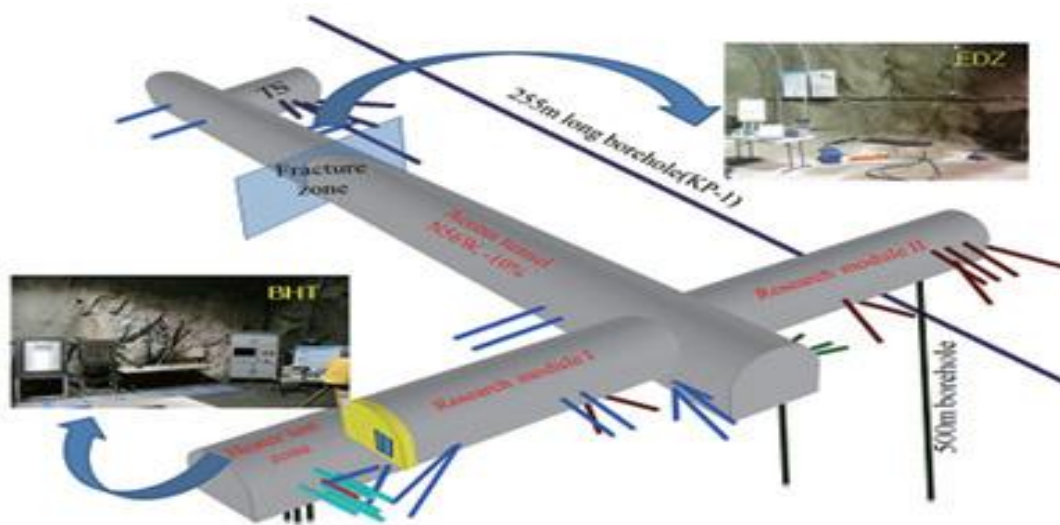


圖 2-3-26 KURT 之設計圖及現地鑽孔試驗

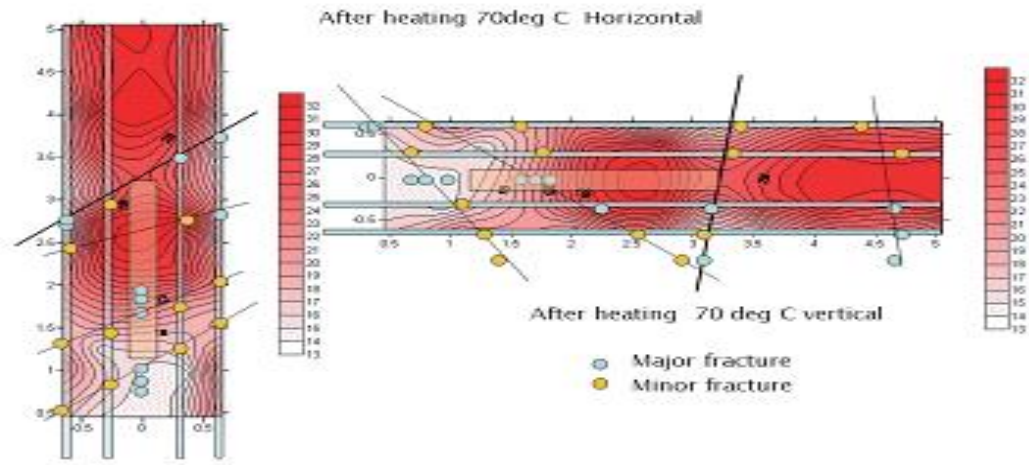


圖 2-3-27 BHT 試驗之溫度分佈量測

(2) 照射物質檢查設施(IMEF)及進步型用過核燃料安定化設施(ACPF)

照射物質檢查設施 (IMEF, 如圖 2-3-28) 於 1989 年開始興建, 並於 1996 年開始運轉, 用於高流量進步型中子應用反應器(High-flux Advanced Neutron Application Reactor, HANARO) 近期之核燃料及反應爐爐心結構物質等照射物質之檢查, 未來亦將用於評估核能發電廠結構材料之完整性。



圖 2-3-28 照射物質檢查設施(IMEF)

進步型用過核燃料安定化 (Advanced Spent Fuel Conditioning Process, ACP, 如圖 2-3-29) 係指將核燃料及氧化物轉化為去除高溫負載後之核分裂產物金屬 (例如銻、錒等) 之高溫過程, 由於此金屬銻之總熱量、體積及放射性縮小至核燃料之四分之一, 因此, 促成了進步型用過核燃料安定化之研究, 以增進用過核燃料之管理效率。

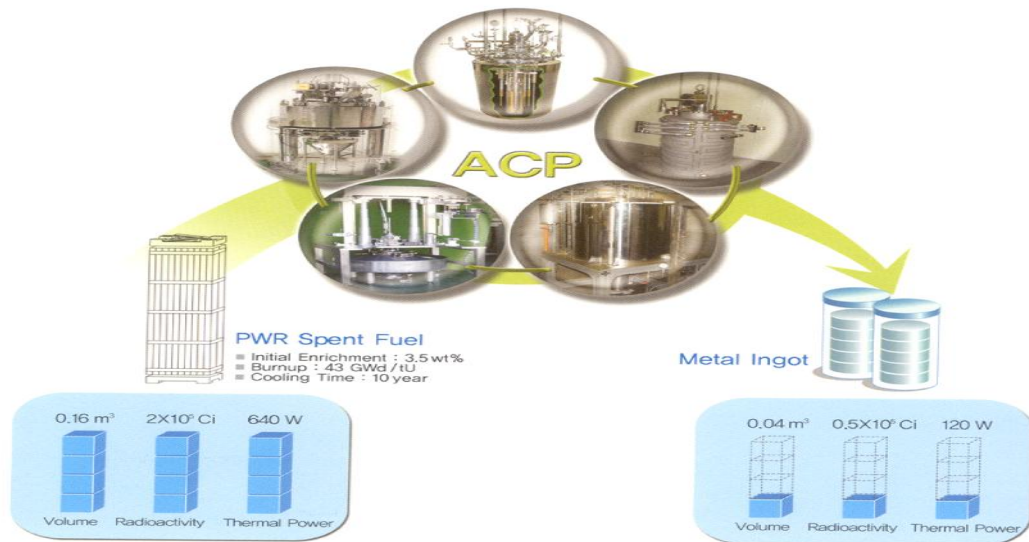


圖 2-3-29 進步型用過核燃料安定化(ACP)

依韓國現行策略核能發電廠仍使用壓水式反應器，至 2100 年時壓水式反應器之用過核燃料將增加至 70,000 噸。然而，若經由高溫過程將 PWR 核燃料與第四代(fourth generation, GEN-IV)反應器燃料結合（如圖 2-3-30），則用過核燃料將有減少的趨勢。由於 ACP 是將用過核燃料金屬化之高溫過程，故未來 ACP 將扮演結合兩部反應器用過核燃料之關鍵角色。

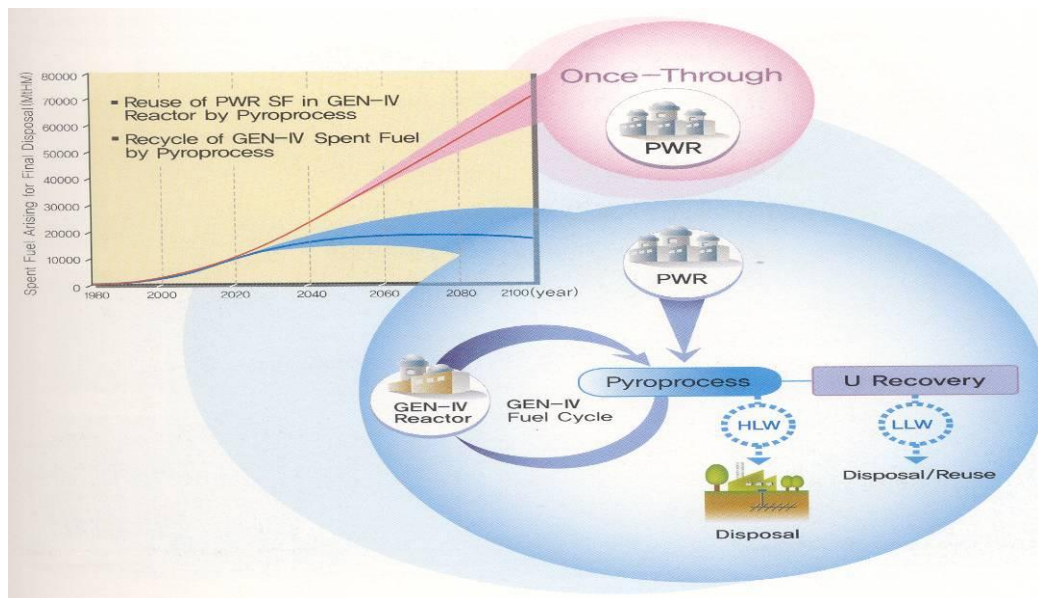


圖 2-3-30 高溫過程將 PWR 核燃料與第四代反應器燃料結合

進步型用過核燃料安定化設施（ACPF，如圖 2-3-31 至 2-3-33）即是為 ACP 試驗所設置的熱室，以改建備用熱室之方式建於 KAERI 之 IMEF 地下室。由於備用熱室僅有基本框架結構，因此為建造 ACPF 所進行之熱

室改建之工作量十分耗大，包括尺寸、功能及將 ACP 裝備置入設施中之運作均經過詳細考慮，使熱室內的可用空間達到較高的使用效率。ACPF 係為進行試驗室規模之 ACP 試驗而建造之 α - γ 型熱室，共有二個分隔之區域，包括一個處理室(process cell)及一個維護室(maintenance cell)。處理室為 8.1m(L)x2.0m(W)x4.3m(H)，維護室為 2.2m(L)x2.0m(W)x4.3m(H)。熱室之外牆為 90cm 厚之混凝土牆，用以將運轉區內之輻射劑量抑低至 0.01mSv/hr。另外，工作人員於熱室前側之操作區以機械手臂將 Padirac 傳送護箱銜接器及起重機置入熱室後側時，因鉛玻璃輻射屏蔽窗之保護，可降低操作者所受之輻射劑量。



圖 2-3-31 進步型用過核燃料安定化設施(ACPF)

연혁	Brief History
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기본설계 : 2001. 4 - 2003. 3 ▪ 상세설계 : 2003. 4 - 2004. 2 ▪ 건설 및 시설검사 : 2004. 3 - 2005. 10 ▪ 시설운영 : 2005. 11. - 현재 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Basic Design : 2001. 4 - 2003. 3 ▪ Detail Design : 2003. 4 - 2004. 2 ▪ Construction/Approval : 2004. 3 - 2005. 10 ▪ Operation : 2005. 11 - Present



圖 2-3-32 進步型用過核燃料安定化設施(ACPF)

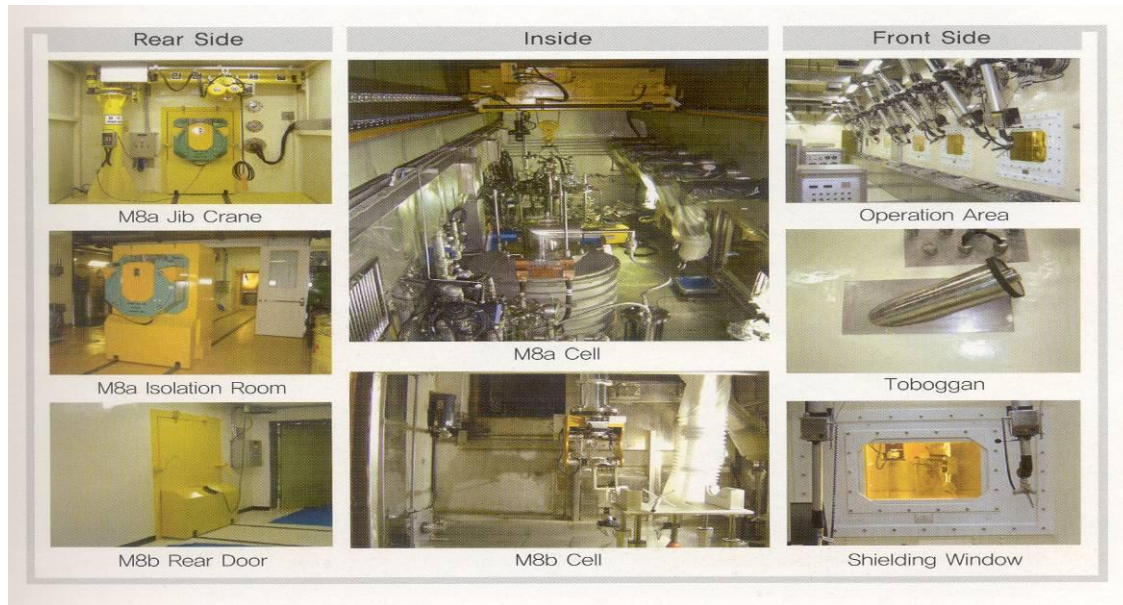


圖 2-3-33 進步型用過核燃料安定化設施(ACPF)

叁、心得

- 一、「東亞放射性廢棄物管理論壇會議」係由本會核能研究所發起，邀集東亞各國，針對低放射性廢棄物管理技術進行交流，今年為第三屆，參與之國家除我國、日本、韓國及中國大陸等東亞各國外，尚有美國、法國、瑞典及澳洲等國之多位學者專家遠道而來，足徵此論壇會議已廣受放射性廢棄物管理相關單位之肯定及重視。藉由聽取各國學者專家之論文發表及討論，並交換經驗及技術，著實使與會人員獲得豐碩之收穫。
- 二、日本 RWMC 於本次研討會中發表其洞穴型處置設施示範試驗，其試驗項目經彙整大致可分為建造試驗、功能試驗及行為量測，茲分述如下：
 - (一) 建造試驗：用以確認於實際地下環境建造工程障壁系統時，其建造方法、建造流程及建造技術之適用性，並針對設施各組成部分試用各種建造方式與建造技術之組合，以及確認假想設施之正確性及有效性。
 - (二) 功能試驗：用以確認工程障壁系統之力學穩定性及系統建造後核種圍阻(nuclide confinement)功能安全評估需求。
 - (三) 行為量測：量測工程障壁系統之力學穩定性，以及近場岩石之力學及水文行為。
- 三、AMPS(Advanced Multi-Physics Simulation)程式，具有方便的操作介面及系統，並擁有完整的分析功能，常用於穩態分析、動態分析、流體力學分析與電磁學分析，另對於不同材料性質、組成、力學行為上提供多種模式供使用者選擇，因此，AMPS 有助於處置容器之材料性質及力學行為之模擬分析，值得進一步研發利用。
- 四、依現行韓國法令，將放射性廢棄物分為高放射性廢棄物與中低放射性廢棄物。高放射性廢棄物係指活度高於 4,000Bq/g(α 衰變核種)，且半衰期超過 20 年，其熱產生率高於 2kW/m³ 者，不符以上情況者為中低放射性廢棄物。其放射性廢棄物管理方針之基本原則如下：
 - (一) 放射性廢棄物管理由政府直接控管：由於放射性廢棄物需要長期及安全之管理，故應由政府負起管理責任。
 - (二) 安全為第一考量：應考慮放射性廢棄物對生物和環境之衝擊，以保護個人、社會和環境免受輻射損害，並遵守國際規範對放射性廢棄物安全管理之規定。
 - (三) 減少放射性廢棄物的產生：放射性廢棄物之產量必須減少。
 - (四)「污染者付費」的原則：放射性廢物管理費用，應由產生放射性廢物之世代承擔，不可增加下一代的負擔。
 - (五) 場址選定過程公開透明：放射性廢棄物之管理應公開透明，且管理計畫應促進當地和諧與社區發展。
- 五、韓國放射性廢棄物管理組織架構，詳圖 3-1。主要組織的相關職掌與責任

說明如下：

- (一) 原子能委員會(Atomic Energy Commission)：韓國核能相關事務的最高政策擬訂機關。
- (二) Ministry of Knowledge Economy (MKE)：建立放射性廢棄物管理之基本政策及實施計畫，再經原子能委員會審查通過後執行之，以達成放射性廢棄物安全及有效之管理。
- (三) 韓國放射性廢棄物管理公司(KRMC)：放射性廢棄物長期管理專責機構，負責放射性廢棄物（含用過核燃料）之長期管理，以確保公眾安全及環境保護。
- (四) 教育及科學技術部(Ministry of Education, Science and Technology, MEST)：為核能安全管理機關，負責制定核能安全管理規則（含核設施執照之核發）。
- (五) 韓國核子安全院(Korea Institute of Nuclear Safety, KINS)：輔助 MEST，提供技術專業，並由 MEST 授權執行安全管制的任務，其主要職掌為安全審查、檢查及研發相關安全標準。
- (六) 韓國原子力研究所(KAERI)：負責執行高放射性廢棄物核轉換之研究。
- (七) 韓國水力核能電力公司(Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd, KHNP)：韓國電力事業公司之一：

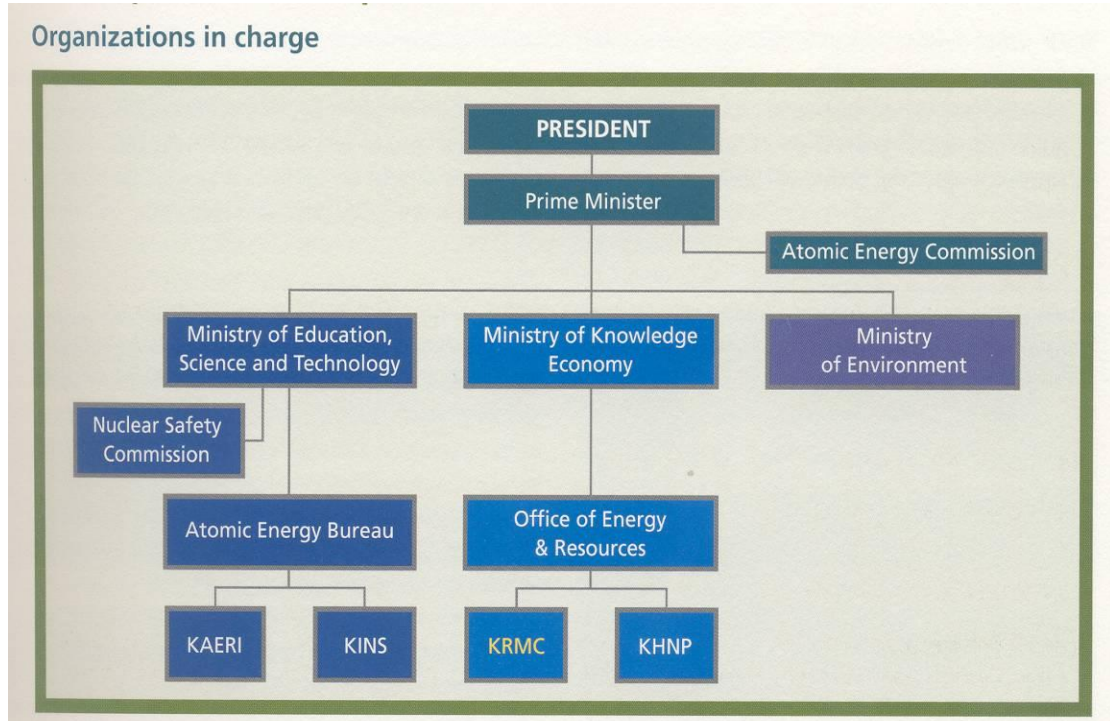


圖 3-1 韓國放射性廢棄物管理組織架構

六、韓國中低放處置之計畫期程如圖 3-2 所示：

Project Milestone



圖 3-2 韓國中低放處置之計畫期程

另外，月城中低放處置場之輻射曝露劑量相關規定，場址所在地當地居民及輻射工作人員之曝露劑量，不論在選址、設計、運轉、封閉及封閉後等各階段，均應符合 MEST 公告之規定，列舉運轉期間及封閉後之規定如下表所示：

運轉期間	封閉後
<ul style="list-style-type: none"> ● 公眾：0.1mSv/y ● 輻射工作人員：20mSv/y ● 嚴守 ALARA 指導方針 	<ul style="list-style-type: none"> ● 正常情節：0.1mSv/y ● 異常情節：10⁻⁶mSv/y ● 意外闖入者：1.0mSv/y

七、由於韓國之核能發電廠均坐落於海岸邊，因此，放射性廢棄物之運送均採用海路運送。KRMC 已完成建造“Hanjin Cheong Jeong Nuri”運送船（如圖 3-3），供未來將中低放射性廢棄物從各核能發電廠運送至月城處置場之用。為增加適航性，運送船具有雙底及雙船殼，以產生更大的浮力。另外，雙船殼亦可於發生碰撞或擱淺時保護貨物。“Hanjin Cheong Jeong Nuri”運送船之安全特性如下：

- （一）可於 4 公尺高之波浪及 28 節（浬/小時）之風速下不致翻覆。
- （二）具有雙底及雙船殼。
- （三）具有自動繪圖雷達、雷達信標、衛星通訊設備及氣象資訊系統。
- （四）防火系統及緊急電源供應設備（可維持 36 小時）。
- （五）輻射監測及輻射屏蔽。

另外，中低放射性廢棄物貨櫃之搬運如圖 3-4 所示。



Special Purpose Ship for LILW

圖 3-3 “Hanjin Cheong Jeong Nuri” 中低放廢棄物運送船



Vessel for Shipment of Storage of Radioactive Wastes

圖 3-4 中低放射性廢棄物貨櫃之搬運

肆、建議事項

- 一、我國用過核燃料乾式貯存已如火如荼地進行中，低放射性廢棄物正積極趨趕選址作業，用過核燃料最終處置技術亦已有所突破。「東亞放射性廢棄物管理論壇會議」提供之經驗及技術探討，著實對我國產官學界皆有莫大的助益，未來有繼續派員參加本論壇會議之必要。
- 二、日本原子力發電環境整備機構(NUMO)於本屆 EAFORM 研討會中所發表之論文，論及該機構 2010 年技術報告，藉本技術報告以提昇對地質處置計畫之瞭解，內容架構（如圖 2-2-10）詳實完整，值得我國將來高低放處置等相關技術報告參考及採用。
- 三、韓國依其放射性廢棄物管理法(Radioactive Waste Management Act)之規定，於 2009 年 1 月 2 日成立韓國放射性廢棄物管理公司(KRMC)，作為放射性廢棄物運輸、貯存及處置之專責公司，值得將來我國執行放射性廢棄物最終處置時，成立專責機構之參考。
- 四、韓國慶州月城處置場已於 2010 年 12 月 24 日將中低放射性廢棄物運入場址中貯存，對於中低放處置之執行已大有進展。然而我國至今依舊停留在選址階段，最主要障礙係因民眾接受度過低。雖過去台電公司已提出低放處置場願景規劃，惟其規劃僅現於製作處置設施實體動畫與展示模型，並未如月城處置場已規劃至「有利環境之複合設施」(environment friendly complex，如圖 2-3-7)。管見以為，溝通宣導時宜將本項複合設施之規劃列入，除可排除民眾對於放射性廢棄物之恐懼外，亦有告知民眾後續可發展觀光產業增加地方收益之效用，以提高民眾之接受度。