

出國報告（出國類別：其他）

赴韓參加第六屆國際核能與東亞非核 武擴散核能研討會與第三屆東亞放射 性廢棄物管理論壇會議公差報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：莊文壽

潘本立

施清芳

張福麟

劉鎮洋

吳政達

黃君平

江銘峰

黃慶村

派赴國家：韓國

出國期間：99年10月26日~99年11月5日

報告日期：99年11月29日

摘要

本次赴韓國公差主要任務為參加第六屆國際核能與東亞非核武擴散核能研討會（NEN）與第三屆東亞放射性廢棄物管理論壇（EAFORM）二個會議，公差人員計有化工組組長莊文壽與施清芳 2 員出席 NEN 與 EAFORM，另由黃慶村副所長率領化工組潘本立與張福麟、乾式貯存計畫劉鎮洋與吳政達、燃材組江銘峰及工程組黃君平等 7 員出席 EAFORM 會議並宣讀 8 篇論文，提供核能研究所廢棄物處理與處置安全評估技術及乾式貯存計畫執行現況等具體經驗，並與會議中之其他國家如日本、韓國、中國大陸與美國等專家學者進行討論與交流，同時蒐集相關資訊與深入瞭解各國廢棄物管理技術現況。

EAFORM 會議並安排技術參訪行程，包括參訪韓國放射性廢棄物管理公司（KRMC）位於月城（Wolsong）之管理中心，與建造中之 Wolsong 中低放廢棄物處置場、Wolsong 核能電廠及其乾貯設施；參觀位於大田市之韓國原子力研究所（KAERI）之地下實驗室（KURT）及先進型用過燃料處理設施等。韓國自 2009 年成立 KRMC 後積極整合 KAERI 與韓國水力及核能電力公司（KHNP）之資源與能量，大力發展放射性廢棄物之處理、貯存與處置之硬體設施與研究，除可作為該國發展之需要，亦可提供作為國際技術交流與合作之基礎。相較之下，我國核能相關機構於實質發展之科研硬體設施極須魄力的投入經費以茲建立，此為我國未來要加緊趕上的重要課題。

目 次

摘 要

(頁碼)

一、目 的	1
二、過 程	3
三、心 得	32
四、建 議 事 項	48

一、目的

本次公差有二個主要目的：一為參加第六屆國際核能與東亞非核武擴散核能研討會（NEN）；另一為參加第三屆東亞放射性廢棄物管理論壇（EAFORM）二個會議及 EAFORM 大會安排之技術參訪行程。

本次 NEN 會議是延續自 2005 年在韓國舉辦研討會之第六次，主要是在東亞和東南亞國家區域或國家增進合作並且提供一個交換和平使用核能的資訊平台及論壇，並且協助東亞和東南亞國家在核能的發展及探討非核武擴散相關議題，第六屆這次會議重點是在：

- (1) 了解東亞和東南亞國家各國在核能計畫之最新狀態，
- (2) 了解各國之間對於放射性廢棄物管理的發展
- (3) 希望討論未來核子防護之議題
- (4) 了解及探討不同方法及作法，以便於能增進在東亞及東南亞國家有關於核能發展之合作

此外，本次 NEN 研討會也設定在了解各國在核能利益的期望，並且建立放射性廢棄物管理卓越中心(CoE)，美國桑地亞國家實驗室 Dr. Robert Finch 做了整體性介紹後與所有參加者做深入之討論。

在 EAFORM 方面，為促進台日韓等三國在放射性廢棄物管理技術交流與合作，核能研究所（以下簡稱核研所）於 2006 年 6 月間邀請日本原子力環境整備促進與資金管理中心（RWMC）與中央電力研究所（CRIEPI）；韓國原子力研究所（KAERI）與韓國水力與核能電力公司（KHNP）；美國桑迪亞國家實驗室（SNL），以及國內台電公司後端處與核發處、工研院能環所、清華大學等機構之代表開會討論，就成立「東亞放射性廢棄物管理論壇」（The East Asia Forum on Radwaste Management, 簡稱 EAFORM）達成共識，並同意每兩年由台灣、日本

及韓國等輪流主辦。第一屆(2006年)之 EAFORM 由本國核研所主辦，於 2006 年 11 月 27 日至 28 日假核研所國際會議廳舉行，計有我國、日本、韓國、法國與美國等相關機構約 120 人參加（包含國外來賓 25 人），共發表論文 45 篇。第二屆 EAFORM 由日本 RWMC 主辦，於 2008 年 10 月 21 日至 22 日假東京市 Toranomom Pastoral 旅館舉行，參加人員包含我國、日本、韓國、大陸、德國與美國等約 110 人參與，共發表論文 61 篇，大陸亦於第二屆開始參與 EAFORM 之會議。

本次 EAFORM 會議為第三屆，由韓國放射性廢棄物管理公司（Korea Radioactive Waste Management Corporation，簡稱 KRMC）主辦，於 2010 年 11 月 1-2 日假慶州 Hyundai Hotel 舉行，並安排二日的技術參訪行程，共有我國、日本、韓國、大陸、美國、法國、瑞典、澳洲及 OECD/NEA 代表等放射性廢棄物處理與處置相關領域專家學者約 125 人參與。本屆會議共發表 68 篇論文，論文內容分別包含：各國放射性廢棄物管理現況；地質處置設施；中低放射性廢棄物處置；廢棄物處理；除役與除污；包封與傳輸；處置經驗與國際合作；用過核子燃料貯存技術；安全評估等議題。舉辦單位亦安排技術參訪之行程，包含參訪位於慶州地區月城(Wolsong)之中低放處置場施工現場及施工中之月城新建核電廠及乾式貯存場，參訪位大田市之韓國原子力研究所(KAERI)所屬的地下實驗研究室(KURT)、熱室(PIEF)及工程障壁實驗室(KENTEX)。核研所人員藉由參與會議及論文之發表，和各國與會人員提出彼此關心的核廢棄物處理、乾式貯存與處置等報告內容交換彼此心得與意見，並從中吸取相關領域之經驗而提升技術水準。同時藉由實際技術參訪行程之觀摩，瞭解韓國在核能設施之運作、管理與管制作業情形，對於用過核子燃料最終處置鑽探與潛在處置母岩調查，以及低放射性廢棄物處置場之建造與營運前之準備工作與技術水準，均有更深一層體認，以提供核研所未來進行放射性廢棄物管理與處理等相關研究議題規劃時之參考與借鏡。

二、過 程

(一) 行程摘要

本次公差行程包含二個期間與行程，分別為：(1) 由莊文壽與施清芳 2 員併同參加第六屆國際核能與東亞非核武擴散核能研討會 (NEN) 與第三屆東亞放射性廢棄物管理論壇 (EAFORM) 二個會議與技術參訪活動，期間自 99 年 10 月 26 日至 11 月 5 日，共計 11 日。(2) 由黃慶村副所長率領潘本立、張福麟、劉鎮洋、吳政達、江銘峰及黃君平等 7 員參加 EAFORM 會議與技術參訪活動。所有公差行程概要如下表，詳細過程則分述於後。

表一 公差行程簡表

日期	行程內容
99.10.26 (二)	第 (1) 項行程起程赴韓國
99.10.27~29 (三~五)	參加 NEN 會議
99.10.30 (六)	NEN 會議結束
99.10.31 (日)	第 (1) 項行程準備 EAFORM 會議 第 (2) 項行程起程赴韓國，(1)、(2) 項行程合併
99.11.1~2 (一~二)	參加 EAFORM 會議並宣讀發表論文
99.11.3 (三)	參訪位於慶州地區月城(Wolsong)之中低放處置場施工現場及施工中之月城新建核電廠及乾式貯存場
99.11.4 (四)	參訪位大田市之韓國原子力研究所 (KAERI)
99.11.5 (五)	結束行程返臺

(二) 參加第六屆國際核能與東亞非核武擴散核能研討會

國際原子能總署資料顯示，世界核能的使用預期在未來數十年皆呈成長現象，而東南亞已新興數個核能使用國家，至 2030 年發電容量預計從無到 7.4 GW，

因此核能、核子燃料再處理、放射性廢棄物之貯存與處置之整體需求甚為強烈。東亞各國在核子燃料循環方面，從確保燃料供應、放射性廢棄物與核子燃料管理、政策與相關基礎建設、研發、工業化、管控與公共建設等都需要完成或提升。雖然東亞各國核能需求增加，但伴隨北韓核子試爆與伊朗添購核子武器計畫等之事實或媒體報導，無不對核武擴散產生恐懼及質疑核能的再復甦，其主要因素是製造核子彈原料的核子物料可由民生用途的核能計畫轉變而來，促使核能與核彈成爲一體兩面的議題。主要的核子燃料循環程序除可提供民生用途外，更可用於產生核子武器。有鑑於東亞新興國家對核能發電需求之殷切，且南韓對於核子燃料再處理的需求亦已在發展中。韓國原子能研究所(KAERI)和美國桑地亞國家實驗室(SNL)共同舉辦第 6 屆東亞和東南亞核能及非核武擴散國際研討會，舉辦地點在韓國濟州，時間 2010 年 10 月 27 日至 29 日，此外韓國非核武和控制機構 KINAC 也共同參與，並提供必要之贊助。總共在這次國際研討會中，東亞及東南亞地區 12 個國家共有 45 個參加者，並且包含美國及澳洲參加者參加本次會議。參加國家包含美國、韓國、日本、台灣、中國、蘇俄、越南、印尼、馬來西亞、泰國、蒙古、澳洲等。圖 1 之照片爲 NEN 會場與本國之席位之場景，圖 2 顯示出難得一見的在會場上同時出現兩岸的旗幟。



圖 1 NEN 會場與本國之席位



圖 1 NEN 會場同時出現兩岸旗幟

(三) 參加第三屆東亞放射性廢棄物管理論壇並宣讀論文

本屆東亞放射性廢棄物管理論壇(EAFORM)為繼臺灣與日本辦理之第一、二屆後由韓國舉辦之第三屆，主題為「邁向綠色核能管理」，於 11 月 1 日至 2 日在韓國慶州市現代飯店舉行。

大會於 11 月 1 日下午揭開序幕，在開幕儀式中首先由承辦機構韓國放射性廢棄物管理公司(Korea Radioactive Waste Management Corporation, KRMC)總裁 Min, Kye-Hong 致歡迎詞，並邀請大會貴賓包含慶州市市長 Choi, Yang-Sik 等人致詞，隨後進行全體與會人員大合照，圖 3 即為全體與會人員於現代飯店外側景點之合照。



圖 3 第三屆 EAFORM 全體與會人員大合照

緊接著即進入大會第一個 Plenary Session 1 主題的四個國家或組織的核廢棄物管理現況介紹，分別由經濟合作開發組織核能署（OECD/NEA）Hans G. Riotte 主講 Sustainable Radioactive Waste Management - A Perspective from the OECD Nuclear Energy Agency；韓國 KRMC 副總裁 Ho-Taek Yoon 說明 Radioactive Waste & Spent Fuel Management in Korea；日本原子力發電環境整備機構（Nuclear Waste Management organization of Japan, NUMO)之 Mitsuo Takeuchi 介紹 Ongoing Radioactive Waste Management Programmes in Japan；以及國內核研所黃慶村副所長介紹 The Current Status and Challenge of the Radwaste Management in Taiwan，圖 4 即為黃副所長於會場報告之照片。



圖 4 核研所副所長黃慶村於會場介紹臺灣之核廢棄物管理近況

在 Plenary Session 2 中，大會原先安排了另外四個國家地區的介紹，但由於大陸代表未及參與第一天議程，因此只進行另外三篇的介紹，分別是：美國 Sandia National laboratories 的 Evaristo J. (Tito) BONANO 進行 Current Status of U.S. Repository Programs 的報告；法國 ANDRA 公司的 Roberto MIGUEZ 介紹了 40 year experience of radioactive waste disposal in France；以及瑞典 SKB 公司的 Hans FORSSTRÖM 報告了 Recent Developments in SKBs Nuclear Waste Management Programme。大陸雖未及於十會中宣讀其現況，但在大會的論文集集中刊載了由中國核電工程公司 Fan Zhong 發表之 Radioactive Waste Management and Minimization in China 文章。

大會於第二天 11 月 2 日的安排了其餘 60 篇的技術論文的宣讀，這些論文依性質可區分為地質處置設施；中低放射性廢棄物處置；廢棄物處理；除役與除污；包封與傳輸；處置經驗與國際合作；用過核子燃料貯存技術；安全評估等議題，分為四個場次（T1 至 T4）安排在三個場地所（1,2,3）進行宣讀。以下則說明這 12 個場次所發表的內容，其中以粗體字標示者為國內與會人員宣讀的論文。

1. T1-1 場次 - 地質處置設施 (I)

本場次共宣讀了 5 篇與地質處置設施有關的論文，分別是：

- (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. (1)Satoru SUZUKI, 1)H. UEDA, 1)K. ISHIGURO, 1)H. TSUCHI, 2)K. OYAMADA, 3)S. YASHIO, 4)S. VOMVORIS 1)NUMO 2)JGC 3)Obayashi Corporation, Japan 4)Nagra, Sweden) 。

本場第三場並未有代表在會場宣讀，其中第二場為國內台電公司後端處邱顯郎組長說明國內用過核燃料最終處置的管理現況，其餘則為日本說明管理策略與技術需求。

2. T1-2 場次 - 除役與除污

本場次共宣讀了 5 篇與除役與除污有關的論文，分別是：

- (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) ;

- (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. (1)Jinhyun SUNG, 2)Jaeyong YOO, 3)Jeonken LEE, 1)Kwangheon PARK 1)Kyung Hee University, 2)KIRMS, 3)NRKF, Korea) ◦

本場並未有國內發表之論文，除了中國大陸一篇論文外，其餘皆為韓國在發表除役與除污研發成果。

3. T1-3 場次 – 廢棄物處理(I)

本場次共宣讀了 5 篇與廢棄物處理有關的論文，分別是：

- (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 Stabilization of LILW. (1)Juyoul KIM 2)Charles JENSEN 1)FNC Technology Co, Korea 2)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)。

本場次有二場國內核研所宣讀之文章，介紹核研所在廢水的處理，及 TRR 燃料池離子交換樹脂清理的研究成果。

4. T2-1 場次 – 地質處置設施(II)

本場次第二回再宣讀了 5 篇與地質處置設施有關的論文，分別是：

- (1) Review of Properties of Potential Buffer Material for Geological Repository in Taiwan. (David Ching-Fang SHIH, Wen-Shou CHUANG INER, Taiwan) ;**

- (2) Monitoring Strategy to Support Decision-Making 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)。**

本場次有三場分由國內核研所及臺灣大學所宣讀之論文，介紹膨潤土之緩衝材料的性質探討，及水文地質的地下水流及模擬之研究情形。

5. T2-2 場次 – 中低放射性廢棄物處置(I)

本場次宣讀了 6 篇與中低放射性廢棄物處置有關的論文，分別是：

- (1) Research on the Effect of Gas Generation at Korean LILW repository.
(1)Jin-Beak PARK, 1)Sunjoung LEE, 2)Sukhoon KIM, 2)Juyoul KIM
1)KRMC 2)FNC Technology Co, Korea) ;
- (2) Operating Performance of Rokkasho Low-Level Radioactive Waste Disposal Center in Japan. (Minoru SAITO, Naohiro KUDO JNFL, Japan) ;
- (3) 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) ;**
- (4) Multiple-Silo Performance Assessment Model for the Wolsong LILW Disposal Facility in Korea-Phase I. Model Development. (1)Doo-Hyun LIM, 2)Jee-Yeon KIM, 2)Joo-Wan PARK 1)Golder Associates Inc 2)KRMC, Korea) ;
- (5) The Application of Advanced Multi-Physics Simulation to Low Level Radioactive Waste Container. (1)Chao-Lung HWANG, 1)Chan-Ping PAN, 2)Ching-Tu CHANG 1)Cheng-I LAI 1)National Taiwan University of Science and Technology 2)INER, Taiwan) ;**
- (6) 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) 。

本場次有二場分由國內臺灣大學林文勝博士及臺灣科技大學黃兆龍所宣讀

之論文，分別介紹地化作用對混凝土障壁的劣化影響與處置容器物性模擬分析。

6. T2-3 場次 – 廢棄物處理(II)

本場次第二回再宣讀了 5 篇與廢棄物處理有關的論文，分別是：

- (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. (Zihui 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 Nudides taking into Consideration Uncertainty of Detriment Based on Background Cancer Incidence in Korea. (Takatoshi HATTORI CRIEPI, Japan) 。

本場次僅有一場由核研所潘本立博士所宣讀之論文，介紹核研所在含氟鈾廢液分離的研究成果。

7. T3-1 場次 – 地質處置設施(III)

本場次第三回再宣讀了 4 篇與廢棄物處理有關的論文，分別是：

- (1) Manuals to Implement Preliminary Site Investigation for a Geological Repository in Japan. (1)Shigeki AKAMURA, 1)Tadashi MIWA 2)Tatsuya TANAKA, 3)Hiroshi SHIRATSUCHI, 4)Atsushi HORIO 1)NUMO 2)Obayashi Corporation 3)Tokyo Electric Power Services Co.,Ltd. 4)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 KIHIO, Kimio MIYAKAWA, Koichi SUZUKI, Koichi SHIN, Tetsuji OKADA, Takayuki SUNAGA CRIEPI, Japan) 。

本場次並無國內代表宣讀之論文。

8. T3-2 場次 – 中低放射性廢棄物處置(II)

本場次第二回再宣讀了 5 篇與中低放射性廢棄物處置有關的論文，分別是：

- (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. (1)Kenji TERADA, 1)Yoshihiro AKIYAMA, 1)Nobuaki ODA 1)Takahiro NAKAJIMA, 2)Masahiro NEGI 1)RWMC, 2)Taisei Corporation, Japan) ;
- (4) Construction Methodology of Cementitious EBS Components for a Cavern Type Disposal Facility. (1)Kenji TERADA, 1)Yoshihiro AKIYAMA, 1)Nobuaki ODA and 1)Takahiro NAKAJIMA, 2)Masahiro NEGI 1)RWMC,

2)Taisei Corporation, Japan) ;

- (5) Disposal Scenarios for the Wolsong LILW Disposal Facility in Korea.
(Byung-Sik LEE KEPCO-E&C, Korea) 。

本場次亦無國內發表之論文。

9. T3-3 場次 – 包封與傳輸

本場次第二回再宣讀了 5 篇與包封與傳輸有關的論文，分別是：

- (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 KRMC, Korea) ;
- (4) Accelerated Design and Fabrication of a Mobile Drum Vent Sysyem for TRU Retrieval Activities in Hanford 200 West Area Low Level Burial Ground Trenches. (Terry WICKLAND, Heather KLEBBA, Luke ANDERSON Nuclear Filter Technology, USA) ;
- (5) Development of Drum Loading and Unloading Equipment for Type IP-2 Package. (Jong-Rak CHOI, Sung-Hwan CHUNG, Ki-seop CHOI NETEC/KHNP, Korea) 。

本場次亦無國內發表與包封傳輸有關之論文。

10. T4-1 場次 – 地質處置設施(II) – 安全評估與模式

本場次第四回再宣讀了 6 篇與地質處置設施有關之安全評估與模式論文，分

別是：

- (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. (1)Yukihisa TANAKA, 1)Michihiko HIRONAGA, 2)Atsushi MORI 1)CRIEPI, 2)CERES, Japan) ;
- (4) Simulation of Decay nuclide Transport in Fracture Medium using Time Domain Particle Tracking Method. (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 Assessment for a Geological Radwaste Repository. (Fu-Lin CHANG, Shin-Jon JU, Cong-Zhang TONG INER, Taiwan) 。**

本場次有三篇國內發表之論文，分別是台北科技大學王泰典教授介紹水－力耦合分析水文地質特性，及核研所施清芳博士介紹時間域質點追縱法探討核種在裂隙傳輸之情形，以及核研所張福麟先生介紹統計法在機率式安全分析收斂性之應用。

11. T4-2 場次 – 處置經驗與國際合作

本場次宣讀了 6 篇與處置經驗與國際合作有關之論文，分別是：

- (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. (1)Mark NUTT, 2)Mark PETERS, 2)Peter SWIFT, 2)Kevin McMAHON, 2)Ken SORENSON, 3)Patrick SCHWAB 1)ANL 2)SNL 3)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 Waste 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) 。

本場次除了一篇大陸介紹中國極低放處置經驗外，其餘皆為歐美等機構闡述國際合作有關之論點，台、日、韓皆未在本場次發表文章。

EAFORM 之論文宣讀於 11 月 2 日下午六時圓滿結束，核研所參加此次會議同仁，除了宣讀發表論文、聽取相關領域題目之演講外，也在休息或用餐時間與參加會議之其他國家的專家學者訪談，一方面蒐集資料及獲取新知，另一方面藉機推銷核研所研發之技術，增進與各方之交流，圖 5 所示即為核研所黃慶村副所長及化工組莊文壽組長於會場中與日方代表之合影，照片中之人物均為創立 EAFORM 之發起人。圖 6 顯示之照片，則是海峽兩岸代表團於 EAFORM 會議期間，於會場外交流之合影。



圖 5 核研所公差人員與日方代表團合影



圖 6 海峽兩岸 EAFORM 會議代表團合影

(四) 參訪慶州月城核能設施

11 月 3 日的 EAFORM 大會所安排技術參訪行程為參觀慶州月城(Wolsong)

核能設施，包括 KRMC 月城核能中心、興建中的月城中/低廢棄物坑道最終處置 (LILW)、月城核能電廠機與增建中之反應爐、及乾式貯存(dry Storage)等設施。由於韓國核能工業發展蓬勃，因此無論是高放射性廢棄物、用過核燃料或低放射性廢棄物數量皆相當龐大，因此韓國於 2009 年 1 月成立了 KRMC，來執行放射性廢棄物與用過核燃料的處理規劃事宜。目前 KRMC 之主要任務為 LILW 管理與營運，及用過核燃料在韓國國內之專業處置。營運主旨為保障公眾健康與全國環境，同時致力於放射性廢棄物處理方式研究發展，並與國際合作以提升韓國之廢棄處置技術。

1. KRMC 之月城核能中心與中/低廢棄物坑道最終處置設施

首先到 KRMC 之 Wolsong Center 的營運中心(圖 7)聽取 KRMC 之簡報，並了解其月城核能設施整體的規劃方式，整個新開發區域立體模型如圖 8 所示，分為運送港口，控制與管制中心，新月城電廠與 LILW 地下最終儲存設施等部分。

根據 KRMC 的簡報，介紹了韓國國內的放射性廢棄物處置政策有以下幾個基本原則：

(1) Direct control by the government：放射性廢棄物因需要長期且安全性的處置與管理，必須由政府機關負起責任統籌執行。



圖 7 KRMC 位於月城之營運中心



圖 8 月城核能設施之模型

- (2) **Top priority on safety**：放射性廢棄物之管理亦須考量對生物及環境的衝擊，所以必須對各種有害因素做獨立的評估，並遵循國際安全規範進行處置。
- (3) **Minimization of radioactive waste generation**：盡量減少放射性廢棄物的產生。
- (4) **Polluter pays principle**：針對放射性廢棄物生成之來源進行分級，並對其徵收費用以達抑制放射性廢棄物數量的目的，避免造成下一代的負擔。
- (5) **Transparency in policy**：以開放及透明的態度進行放射性廢棄物的管理，政策的訂定與執行也必須透明化，同時利用處理放射性廢棄物之機會，訂定政策以促進落後地區的發展與繁榮。

簡報中亦明了 KRMC 對 LILW 之處置規劃為：將 LILW 先貯存於目前已有之設施中，如核電廠周遭之放射性廢棄物處理設施或其他獨立的貯存設施，接著再運送至月城營運中心，經由近地表儲存桶檢驗與接收設施後，再運送至地下處置桶倉內做最終處置，地下處置桶倉第一階段之預計為能提供 100,000 桶的容量，後續將繼續增加至 800,000 桶的容量。

KRMC 對用過核燃料之處理計畫為：持續建設貯存設備，以期至 2016 年可達足夠容量，且未來用過核燃料中期貯存設施的建設必須由公眾參與決策，並配合國際間趨勢與各項研發成果進行最後的定案。

在月城核能中心結束簡報後，即前前往月城中/低廢棄物坑道最終處置設施

參觀，此設施包含地表之營運中心與建於地下之處置桶倉結構，對外利用隧道連接，整體規劃容量為 800,000 桶(每桶 200 公升)，廠址面積為 2,100,000 平方公尺，第一階段將於 2012 年 12 月興建完成。

11 月 3 日參訪月城中/低廢棄物坑道最終處置設施時，地下處置設設施尙在建設中，因此無法進入參觀，略窺探其外貌如圖 9 所示之坑道口。但 KRMC 安排了參觀地表接收檢驗設施，設施內設備主要為卸載廢棄物桶區如圖 10 所示、廢棄物暫存區如圖 11 所示，及處置桶之輻射偵測檢驗等，圖 12 與圖 13 分別為檢驗輸送帶與輻射強度偵測儀器，這些國內核研所亦有設計能力。

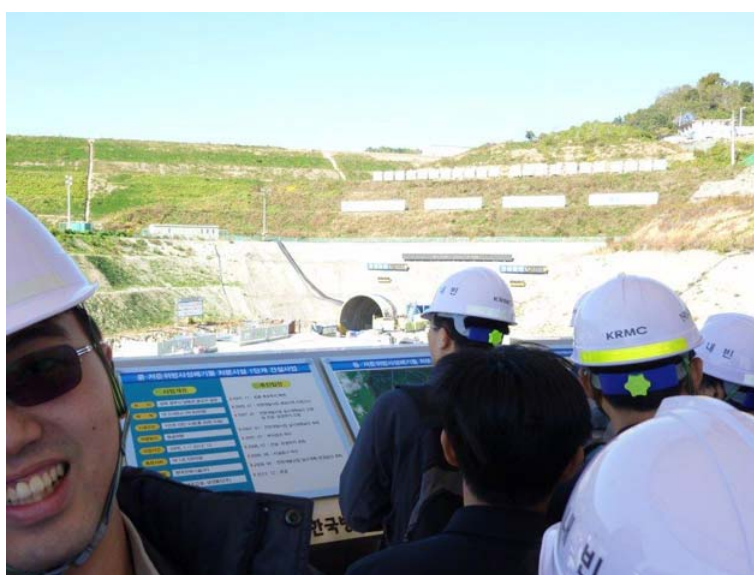


圖 9 月城中/低廢棄物坑道最終處置設施坑道口



圖 10 廢棄物桶卸載區



圖 11 廢棄物暫存區



圖 12 處置桶檢驗輸送帶與輻射強度偵測

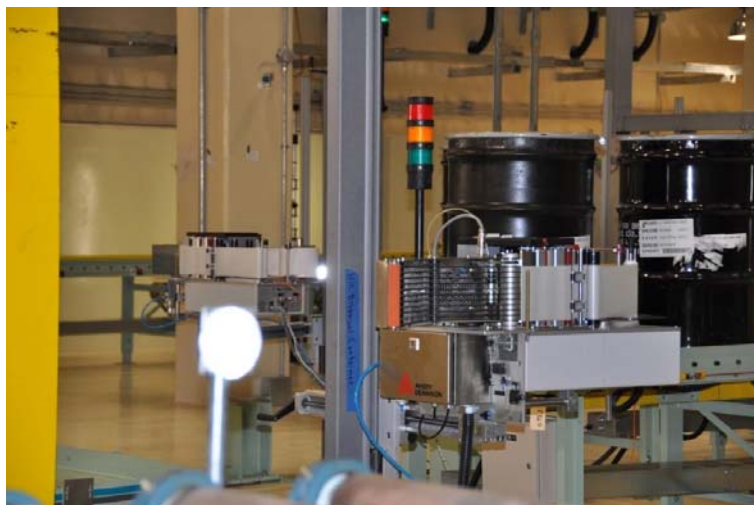


圖 13 處置桶輻射強度偵測儀器

月城中/低廢棄物坑道最終處置設施之地表下的設施，包括運送材料及設備之隧道，與輸送低放射性廢料之隧道，另有人員進出之豎井，以及進行廢棄物最終處置的六個桶倉結構物，如圖 14 所示之設計圖。六個桶倉設計建造在低於海平面 130 公尺以下之地底，桶倉寬 25 公尺，深 50 公尺，一個桶倉預計可以儲存 100,000 桶低放射性廢棄物。韓國方面將使用特製運輸船將其他地區之低放射性廢棄物以每運方式運送至此處置場，圖 15 即為運輸船模型。而 KRMC 也計畫於處置場封閉，在其上方興建景觀生態園區，鋪設綠地並建造提供遊客觀光遊覽之旅遊中心與核能教育中心，如圖 16 右側所示之照片，拉近民眾與核能設施之距離，如此將有助於消除一般大眾對核能之恐懼。

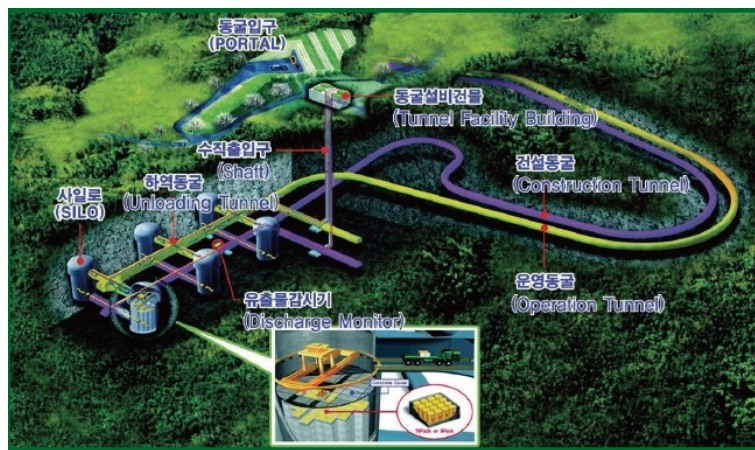


圖 14 月城中/低廢棄物坑道最終處置設施之設計圖



圖 15 即為運輸船模型



圖 16 左：地下處置桶倉模型；右：旅遊中心與核能教育中心

(2) 月城核能電廠參觀

11 月 3 日第二個參訪點為月城核能電廠參觀，月城電廠是韓國唯一正在營運的 PHWR 重水反應器（壓水式重水反應器），廠區內目前共有 4 部機組。這類核反應器是世界上少數的 CANDU 型反應器（為加拿大製重水反應爐，Canadian-designed power reactor of PHWR type）。1 號機於 1982 年開始運作。2、3、4 號機分別於 1997 年、1998 年、1999 年開始運作。這些反應器每一個都有 70 萬千瓦以上的能力。CANDU 反應器使用之燃料為天然鈾，使用重水(deuterium water)作為調節與冷卻劑，燃料通道為水平式，其使用鈾燃料的效率非常高，以每千瓦之發電量為例，比一般的壓水式反應爐(PWR)，可減少約 15% 之鈾燃耗量。

EAFORM 大會安排參觀電廠正在建造中之新月城 1 號及 2 號反應爐，據韓方的資料顯示，此兩個機組為 APWR(Advanced Pressurized Water Reactor, 先進壓水式反應器)，目前完工程度已接近 8 成，如圖 17 所示，估計在 2012 年 11 月完成第一部機組並開始運轉，2013 年將完成所有建設。



圖 17 正在建造中之新月城 1 號及 2 號反應爐

此外，亦於廠區內興建了 CANDU 系統的用過核燃料乾式儲存場(圖 18)，雖韓國仍在政策擬定階段，但因其現有月城核能電廠有 4 座 CANDU 反應器，其用過核燃料數量已逼近燃料池貯存量之上限，因此，韓方針對 CANDU 燃料已有乾式貯存系統，本次參訪雖沒有安排詳細的行程對此多做介紹，但亦刻意行經此處讓來賓了解韓國方面目前的中期儲存情況。



圖 18 月城核能電廠內之乾式貯存系統

韓國有計畫地興建 PWR 類型電廠，有助於建廠技術的精進與設備鏈供應，及維修人才的培育，反觀我國因為政策搖擺不定無法統一電廠形式，將造成興建與維護上的困難，韓方的長遠規劃值得我方學習。

(五) 參訪韓國原子力研究所

本屆 EAFORM 大會於 11 月 4 日安排位於大田市的韓國原子能研究所(Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI)，KAERI 為韓國進行核能相關研發工作之大本營，行程內容包含 KAERI 之地下實驗坑道 KURT(KAERI Underground Research Tunnel)，IMEF(Irradiated Materials Examination Facility)與先進用過核燃料製理 ACPF(Advanced spent fuel Conditioning Process Facility)，簡述如下：

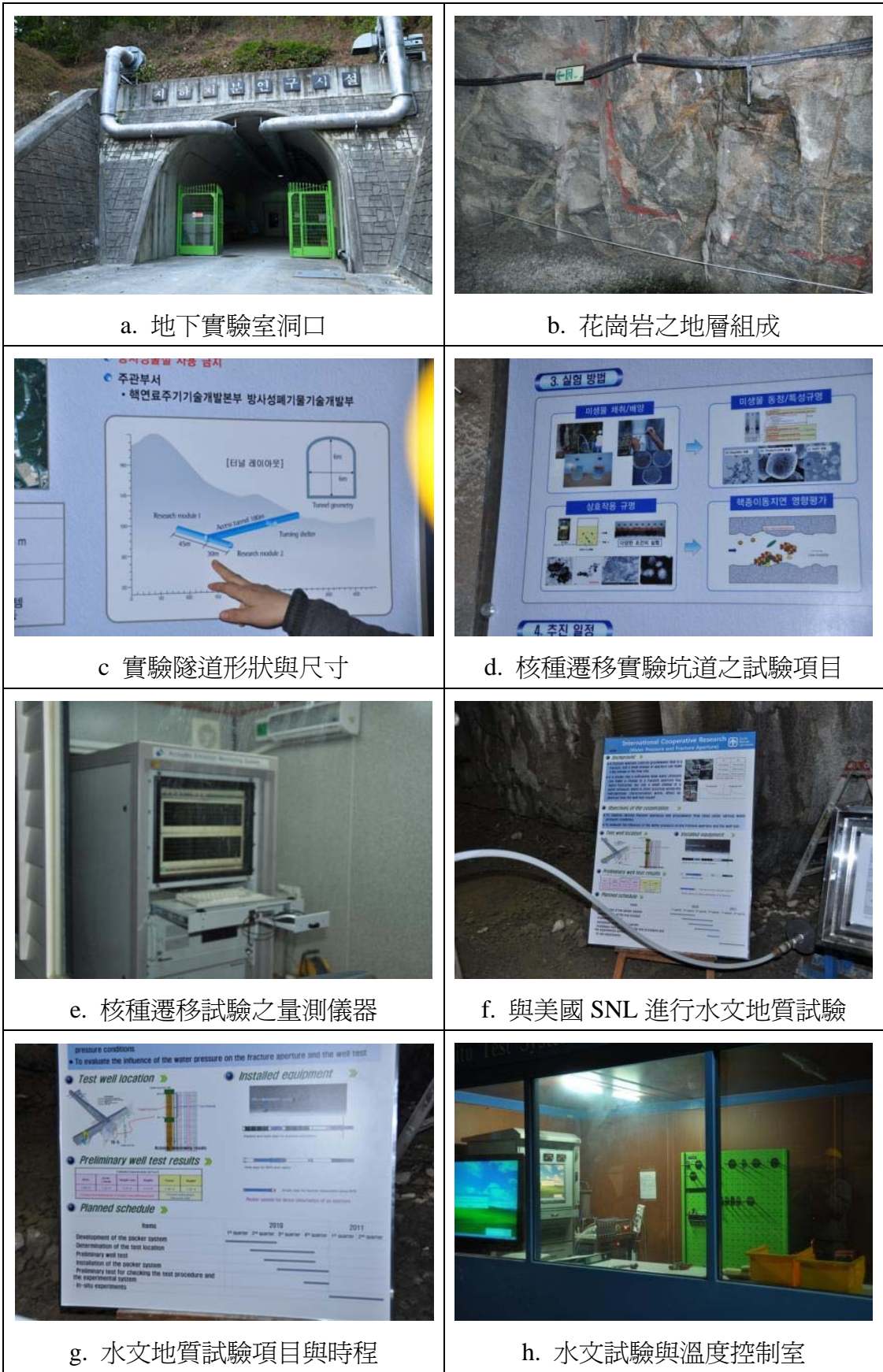
(1) 地下實驗坑道 KURT

為了進行核電廠產生之高放射性廢棄物之深地層處置研究，韓國於 2005 年五月開始在 KAERI 所區內興建了地下實驗坑道 KURT，圖 19a 為地下實驗室之洞口（註：KAERI 所區三面環山，地質母岩為花崗岩，如圖 19b 所示）。圖 19c 顯示 KURT 之尺寸與形狀，為一 6 公尺高與 6 公尺寬，長 180 公尺坡度為-10 度之隧道，主要在觀查花崗岩體之裂隙構造，並於 180 公尺處再橫開挖二個實驗坑道，隧道最深處深度達 90 公尺，內部有兩個主要的實驗室，分別進行核種遷移試驗與水文地質試驗。圖 19d 與 圖 18e 分別顯示核種在裂隙傳輸之試驗說明與使用之儀器；圖 19f~h 顯示水文地質試驗之項目、時程與控制室與儀器。在水文地質試驗方面，此坑道內亦鑽了一口深達 500 公尺之鑽井，以及其他不同長度之橫井。水文地質試驗將進行裂隙水流、水溫、流速、與封塞追蹤試驗等，且由 KAERI 與美國 Sandia 國家實驗室合作共同進行，目前仍在進行儀器組裝與測試階段，預計於 2011 年起才開始進行現地之試驗。

大會安排參觀此一設施，在顯示韓國對進行最終處置研究之決心，並有規劃地進行長期之試驗研究。針對高放廢棄物之最終處置期間，放射性是否造成水文地質等自然環境的改變，進行直接的研究，以便於未來廢棄物處置政策的決定與排除公眾疑慮。

(2) IMEF

IMEF 即為 KAERI 進行核燃料試驗之熱室，提供執行核電廠之燃料試驗，



a. 地下實驗室洞口

b. 花崗岩之地層組成

c. 實驗隧道形狀與尺寸

d. 核種遷移實驗坑道之試驗項目

e. 核種遷移試驗之量測儀器

f. 與美國 SNL 進行水文地質試驗

g. 水文地質試驗項目與時程

h. 水文試驗與溫度控制室

圖 19 KURT 構造與試驗項目

內部規劃如圖 20a 所示，基本上其為一口字形結構，鉛室於內圈，外圍為工作區，更外圍的房間內擁有各種材料結構與成份分析儀器。圖 20b 與圖 20c 分別顯示鉛室內之加熱爐及洗床，以及圖 20d 顯示鉛室內之金相研磨設備、萬能試驗機(圖 20e)、精密切割機(圖 20f)、及 SEM、TEM 試片製備設備等，外圍則有 SEM、TEM 與 EPMA 等分析儀器。與國內核研所熱室相較，其擁有之實驗設備並不突出，使用之分析儀器亦沒有更先進，如其 TEM 即為與本所相同之機型(如圖 21 所示)，皆為機齡 20 年的設備。

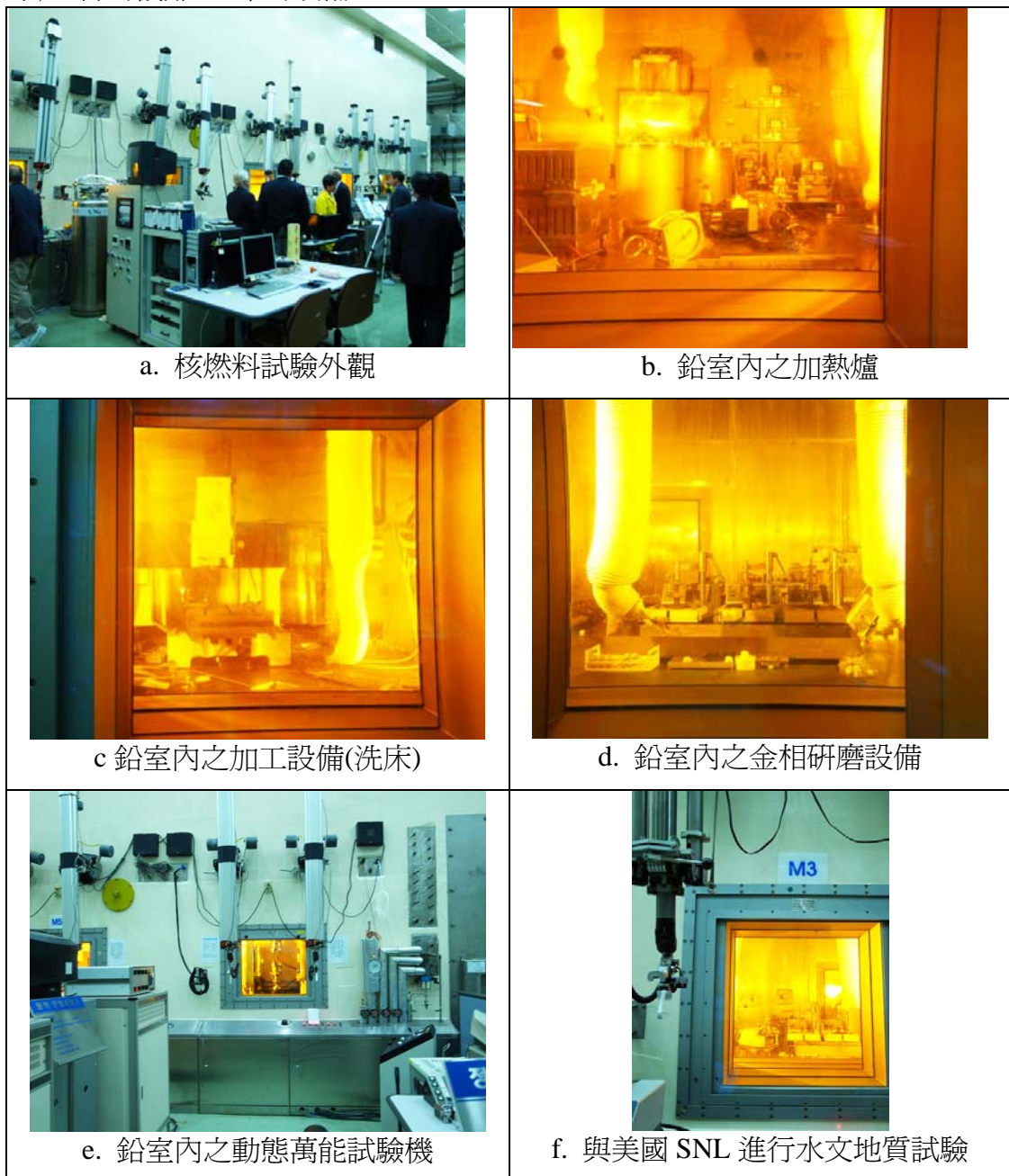


圖 20 KAERI 之 IMEE 設備



圖 21 IMEF 內之 TEM 與國內核研所所屬同一機型

IMEE 之核燃料試驗室，主要在研發 DUPIC 核燃料。加拿大與韓國共同研發 DUPIC 從 1992 年開始，將 PWR 用過的燃料予以整備成 CANDU 原子爐使用的燃料不是簡單的事，單就強烈的輻射率來看就可知道，但是韓國人認為這是一個起步是一個必經的辛苦過程，在 DUPIC 中可學習到燃料丸正確密度、PWR 用過燃料處理之遙控作業技術等，KAERI 於 2000 年成功的製得 DUPIC 並於 HANARO 研究反應爐進行照射，又於 2001 年在實驗室規模的設施製成全尺寸的 DUPIC 燃料元件，圖 22 為 DUPIC 發展之概念，圖 23 為作業熱室及燃料丸製造過程。

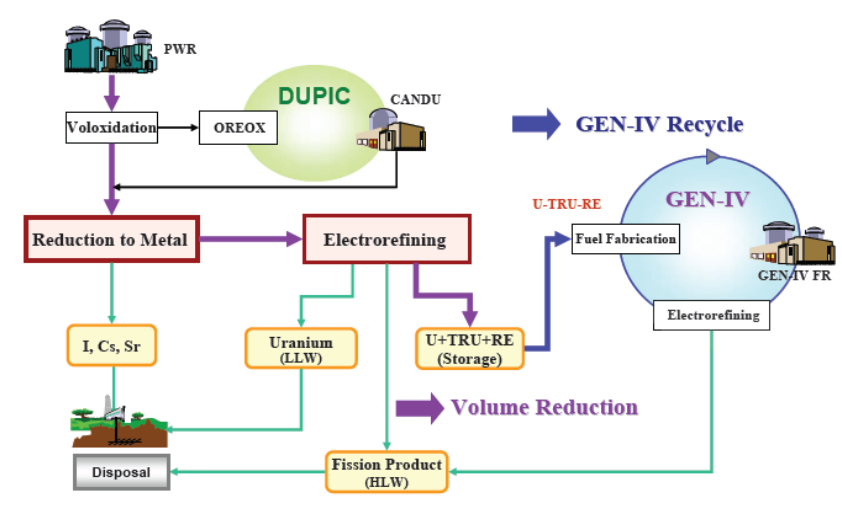


圖 22 為 DUPIC 發展之概念

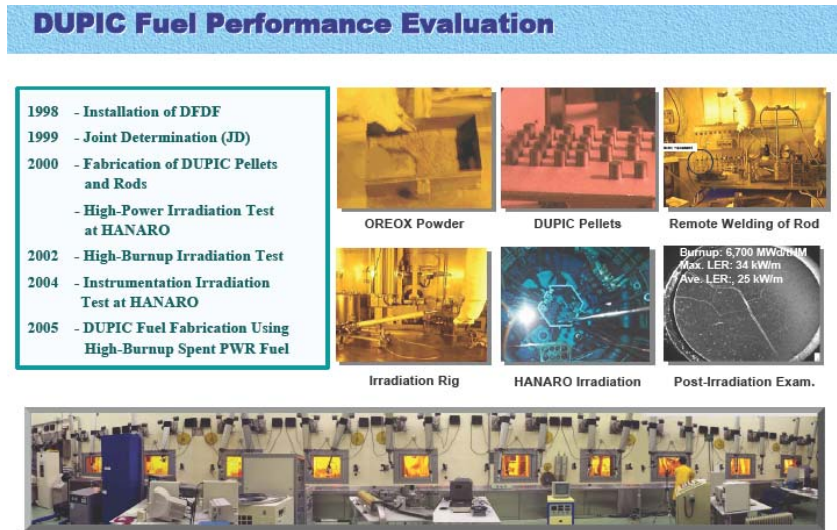


圖 23 為作業熱室及燃料丸製造過程

(3) 先進用過核燃料製理 ACPF(advanced spent fuel conditioning process)設施

ACPF 位於 IMEF 地下室，一樣為熱室(Alpha-Gamma type)，但規模較小(鉛室規模僅有 8.1m(L) 2m(W) 4.3m(H)，圖 24)，專門用來進行用過核燃料的重新提煉實驗研究。為了進行用過核燃料研究，其牆壁以厚 90cm 之混凝土結構砌成，另有 5 對 shielding windows 與內部自動化機械手臂。根據韓國方面的說法，其已有自動化進行重新提煉的能力，但礙於美方壓力，僅能以未經過照射之燃料來試驗，截至目前為止並沒有將用過的燃料送入，當然也還沒有真正成功重新提煉的案例。



圖 24 ACPF 實驗室

韓國和美國兩國已同意共同研究燃料後處理，此項技術能夠減少核廢棄物並回收可重複利用的鈾。目前執行的協議將於 2014 年上半年到期。韓國日益發展的核能產業希望進行燃料後處理以利用鈾資源。韓國國內 40% 的電力來自核能，共需要消耗 3800 噸鈾。從乏燃料中回收鈾將減少該國大約三分之一的核燃料進口。2008 年，國際原子能機構 IAEA 批准了 KAERI 電解實驗室項目即先進乏燃料整備工藝流程設施 (ACPF)，該實驗室將在 2011 年開始建造，並將於 2012 年擴大到工程規模。

用過核燃料自 PWR NPP 運來，先於地下室的 PIEF(post irradiation examination facility)裁切燃料棒，裁切之丸狀燃料棒經運送抵達 ACPF，丸狀燃料棒續經脫殼後，進行氧化處理將燃料中鈾成爲 UO_2 ，此過程於旋轉煅燒爐 (voloxidizer) 中執行如下圖 25，之後利用電解還原程序將氧化成粉末之 UO_2 成爲金屬形態；復將電極上如下圖 26 之金屬鈾取下，以高溫將其冶煉成鈾錠，其過程簡要如圖 27。ACP 過程產生之 Cs、Sr 及稀土物質成爲熔鹽廢棄物予以固化安定之。

ACP 的方法及作業用的設備並非新創，美國實驗室曾研究過，韓國在既有基礎上加以應用並改進性能，若最終能達成燃料再循環之目標，不啻爲世人刮目相看之壯舉。



圖 25 旋轉煅燒爐 voloxidizer

Electrorefining

Mock-up for U Electrorefining Experiments

- ▶ 1 kgU/batch scale
- ▶ U electrorefiner & cathode processor



U-deposited Cathode



Electrorefiner



Cathode Processor

圖 26 電極上之金屬鈾

Main System of ACPF

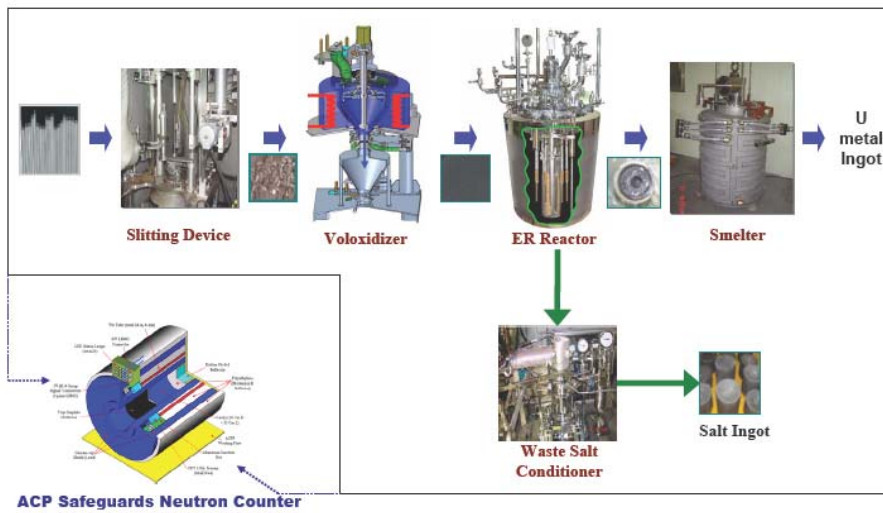


圖 27 用過燃料製理流程簡要

三、心得

(一) NEN 會議的重要結論與心得

NEN 會議的重要結論與心得包含以下三項：

1. 針對各個國家在核能計畫規劃全體討論：

- (1) 核能是公認最值得依賴的能源，尤其是對於經濟發展的需要，因此安全、非核武擴散與保防是一個無需再討論是否需要的議題，而必須納入考量。
- (2) 伴隨著核子防護的非核武擴散的合作跟防護、保防與核能反恐怖議題必須被確認。
- (3) 本次會議增進及強化各國在非核武擴散的重要性。
- (4) 無論是技術發展、訓練教育跟人類資源發展、專家聯繫，有整體需求，對核能控制及非核武擴散，區域合作在這次會議中亦被確認應有其需要。

2. 針對各國間對於放射性廢棄物管理發展

- (1) 提出有關放射性廢棄物管理之卓越中心(CoE)可以吸引大部分參與者及各國利益的需要，因此在下次會議中將進行討論、澄清或者是論述相關問題、意見、重要考慮議題、國家運作機制、經費提供資源與國家扮演腳色等。
- (2) 在許多國家之間，核能發展可能存在差異，或者是各國家對於區域組織所得到較低的支持，因此若成立放射性廢棄物管理卓越中心，就可以彌補這些差異。CoE 如何可以提供更多的貢獻與彌補差異，在下次會議中需更進一步的進行。

3. 核子防護相關議題

- (1) 美國能源部強化和維持國家防護系統，包含：
 - (A)IAEA 對於核子防護資訊的步驟；
 - (B)核子防護的設計觀念；
 - (C)從實驗室到現場所有儀器設備之轉換；
 - (D)發展核子防護之控制機制。
- (2) 在各國和各個組織之間要發展核子防護與安全是很重要的，譬如在亞洲太平洋防護網絡 APSN 下提供之合作架構。
- (3) 非核武擴散總是會把重點放在國際社會組織，特別是核能，因此必須要有更新的發展想法，絕無法以單一技術解決這種問題，因此需要結合不同機構所發展度量方法與技術。
- (4) 三個步驟可以來鑑別核能是否使用在和平用途上，以至於對防核武擴散的度量產生明確的結果，特別是對未來核燃料循環的問題，如(A)實體的保護及防護的發展(B)控制核武擴散的技術整合(C)多國之間對核燃料循環之發展聯繫。

4. 參與者共同建議

- (1) 建議 NEN 的研討會必須包含亞洲太平洋地區，而不是只有東亞和東南亞，所以可以包含澳洲及紐西蘭。
- (2) 第七屆的研討會建議在濟州島舉辦，合適的時間約在 2011 年 5 月下旬或 6 月上旬之間，將持續討論放射性廢棄物管理卓越中心之成立議題。
- (3) 第七屆的研討會議題會包含人類資源訓練與教育發展、核能和非核武擴散文化議題、利害關係人管理問題、實體防護和透明化的問題等。
- (4) 尋求更多機構之參加者，例如馬來西亞的核能機構(MINT)、印能的核能法規機構(BAPETEN)等。
- (5) 倡導可能的合作以便於增進研討會所討論的目標或議題。

(二)參加 EAFORM 會議與技術參訪心得

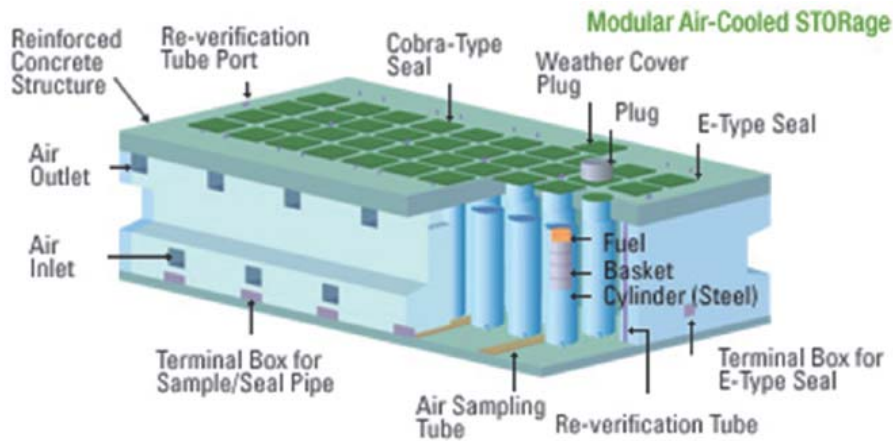
1.用過核燃料乾式貯存技術方面

本次參訪人員針對在韓國、日本與國內 EAFORM 所發表用過核燃料乾式貯存技術進行整理，分述如下：

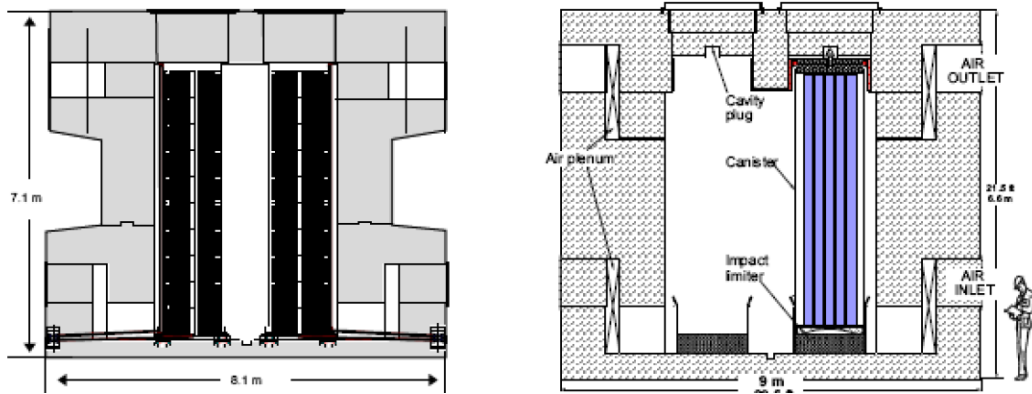
(1)韓國

目前韓國國際有 20 座反應器正處於商轉狀態，而尚有 12 座反應器正興建中，預計 2022 年該國將有 32 座反應器投入發電之行列。故此，此 32 座反應器在其使用年限裡將會產生 47,100 公噸之用過核子燃料，但因最終處置的方式尚未在其國內做成決議，故為因應如此數量眾多之用過燃料與低階放射性廢棄物，韓國特別於 2009 年成立 KRMC，來規劃並執行其用過核子燃料之短程、中程與長程的管理工作，並負責經營其目前興建中的 Wolsong 低階放射性廢棄物最終處置場。目前該國 PWR 用過核子燃料乾式貯存作業尚屬於政策擬定階段，所以並無中期貯存設施。

雖韓國仍在政策擬定階段，但因其現有 Wolsong NPS 有 4 座 CANDU 反應器，其用過核燃料數量已逼近燃料池貯存量之上限，因此，韓方針對 CANDU 燃料已有乾式貯存系統。目前該國使用之乾貯為加拿大 AECL 公司設計之水泥貯槽式(concrete silo)系統，每系統計有 9 組燃料提籃，此套系統已於 1992 年開始運作。本次會議中發現韓國提供之文件中有提及未來將會興建一套更新式的 CANDU 用過燃料乾貯設施，型號為 MACSTOR/KN-400，依其示意圖應為 AECL 公司最新型之 MACSTOR-400 乾貯系統，如圖 28 所示。且依據會議論文顯示該國可能將採用集中式中期貯存系統(Central Interim Storage Facility, CISF)，將全國之用過核子燃料集中於某個可能廠址進行中期貯存。



(a)



(b)

圖 28 (a) MACSTOR/KN-400 示意圖

(b) AECL 公司之 MACSTOR-400 系統示意圖

於本次會議中，韓方提出之中期貯存設施(Interim Spent Fuel Storage Facility, ISFSF)規劃是將 CANDU 與 PWR 燃料貯放在同一場址中，且因採用 CISF 概念，為避免運送時用過核燃料經過人口稠密區，也避免增加鐵路或道路程載力(護箱重量近 150 公噸)所花之巨額開銷，韓國所有用過燃料將採海運方式進行長途運輸。所以，其中期貯存之設施選址作業幾乎皆集中於沿海地區。其選址作業採用四階段篩選方式進行，Stage 1 由全國縣市鄉鎮名單中利用評估與調查方式先行選出 487 個沿海鄉鎮，Stage 2 利用排除法將距離活動斷層 8 Km 的區域、過去曾發生海嘯之區域先予以排除，進而挑選出 474 個候選區域。Stage 3 依據地質特性、水文狀況、人口分布、土地使用、自然環境(國家公園、文化遺產區)、氣候、人為因素(危險設施、軍事設施、交通道路)等共計 32 項條件進行第三階段評選，第三階段選址後所選定之地點稱為優先區域(preference areas)。然後才利用其建

立之全國資料庫進行所謂的 GIS 系統選址(GIS, Geographic Information System)

會議中韓國提出，有關該國乾貯系統的設計將依據以下之目標進行：1. 利用適當之最新技術提升現有系統設計；2. 將現有之設計予以最佳化；3. 增加系統之熱傳與機械效能並降在正常、異常與意外事故等狀態下所產生的結構應力。KRMC 對於未來乾貯系統之一般性要求為：1. 要能安全地容納並裝載 PWR 燃料提籃；2. 要能有效底排除燃料餘熱，使燃料與系統組件處於可接受之溫度；3. 要有足夠之中子與 Gamma ray 屏蔽；4. 要有良好之密封邊界；5. 在建造階段、正常或是異常狀態下亦或是在設計之意外事故下，其結構必須保有完整性；6. 須符合每組護箱可以被定期檢視之要求；7. 對於爆裂物要有一定之防護能力，並能夠安裝 IAEA 要求之核子保防設施；8. 系統壽期內在腐蝕或是其他材料時效因素作用下，要能保持系統完整性。此外，韓國對於其裝載之燃料之特性亦提出規格限制，諸如：冷卻時間、燃耗度、燃料完整性等等。另外，針對安全相關之意外狀況，例如：地震、颱風、墜落、火災等 KRMC 也有進行先期之研究，依其規格訂定之方向，顯示該國已經展開中期貯存設施的安全分析報告準備工作。會中雖未明確指出而韓國將採用何種乾式貯存系統，也未表明將使用金屬護箱或是水泥護箱，但因其預計在 2016 年將正式運轉乾貯設施，所以猜測韓國的乾式貯存系統應會於近期公布。

(2)日本

就日本而言，用過核子燃料乾式貯存系統以金屬護箱為主流（未來可能會改採混凝土護箱系統），並且貯放於地上貯存建築物內。其之政策為所有用過核子燃料必須再處理，所以該國乾式貯存目的為再處理前之中期貯存。依據統計，日本每一年所產生的用過核子燃料(Spent Fuel, SF)大約為 1,000 tU 左右。估計在 2010 年會達到 1,400 tU，而到 2030 年一年會有 1,900 tU 左右的 SF。但是目前其國內再處理廠(Rokkasho Reprocessing Facility)之再處理能量為 800 tU/year，明顯低於核子燃料年退出量。然而日本官方統計卻顯示，各個核電廠內貯存於用過燃料池的燃料量已達全國貯存總能量之 62%。因為燃料再處理速度追不上使用速度，日本急需建立更大的用過核子燃料貯存能量。所以，該國選定本州北方的

Mutsu City 為核電廠廠外可再循環燃料的乾式貯存(Recyclable Fuel Storage, RFS)廠址。日本自 2000 年展開一系列初步的調查，並於 2001 至 2003 年以文件審查與現場調查方式對 Mutsu City 的氣候、地理、河流、地下水、地震及社會環境等，進行廣泛且仔細地研究；在確定一切都合乎標準之後，便積極和 Mutsu City 地方政府交涉，終於在 2005 年與地方政府簽訂同意書，獲得興建 RFS 貯存廠的許可。該廠總共投資 30 億日幣（不含 Cask），廠房面積 7,800 m²，可貯存 5,000 tU 的 SF。

日本在核能方面之研究可謂嚴謹又執著，由本次會議中 Dr. Watwru 簡報之研究結果可見一斑。如前所述，日本乾式貯存採用金屬護箱，並以螺栓鎖緊方式達到護箱之密封效果。因此，其護箱之密封方式不像混凝土護箱系統，後者上蓋是採銲接方式來達成密封，而前者則是靠法蘭接觸面之密封環(Gasket)來達到。一般而言，材料的銲接主要是利用金屬熔融後流入接縫中，將空隙塞滿。這種方式施工雖有較高技術性，只要貯存環境不過於惡劣，護箱在其使用壽命內可以保持其密封性。但是，金屬護箱則非如此，螺栓配合密封環的結合與密封方式屬於機械結合，材料的長期潛變或是材質變化(受溫度影響)，都將左右長期貯放時之密封性。但又因為是長期觀察才會發現變化，所以就實驗之觀察上有其限制。此次，日本電力中央研究所(Central Research Institute of Electric Power Industry, CRIEPI)發表了最新研究結果，該所針對 Areava International 公司所生產之 TN-24 金屬護箱(如圖 29 所示)上蓋以及 GNS 公司的 CASTOR 護箱(如圖 30)進行長達 19 年之高溫實驗，僅將其結果簡述於下：

實驗中 CRIEPI 將 TN-24 護箱的上蓋定義為 Type I，如圖 31 所示，共有兩層上蓋，箱體與上蓋材質為碳鋼，每層上蓋使用雙層金屬密封環(Double Metal Gasket)作為密封材料。將 CASTOR 護箱的上蓋定義為 Type II，如圖 32 所示，也是共有兩層上蓋，箱體圍住鐵材質，而上蓋則為不鏽鋼，每層上蓋使用一金屬密封環(Metal Gasket)作為內環，一層橡膠(Silicon Rubber)作為內環。Type I 與 Type II 的兩層上蓋間灌入氦氣，鋼筒中置入加熱器，使上蓋表面溫度維持在 130°C~140°C。實驗自 1990 年開始直到 2009 年結束，每隔半個月進行一次氦氣測漏，並記

錄洩漏率。圖 33 與圖 34 分別為 Type I 與 Type II 之氮氣洩漏實驗結果，顯示兩者長時間平均洩漏率分別為： 6.5×10^{-10} 與 5.7×10^{-11} (Pa m³/s)，密封性 Type II 優於 Type I。但由曲線可以發現，不論何型組合在 19 年餘之實驗其間，其洩漏率都沒有呈現增加之趨勢。



圖 29 Areva 公司之 TN-24 金屬護箱



圖 30 GNS 公司之 CASTOR 金屬護箱

本實驗之技術層次並不高，但日本 CRIEPI 卻願意花近 20 年的時間長期觀察並記錄結果，顯示其對此議題之重視，並有決心找出相關答案。並且從其他資料顯示，日本甚至已舉行多次實體護箱之墜落測試，此等精神值得我們借鏡與學習。

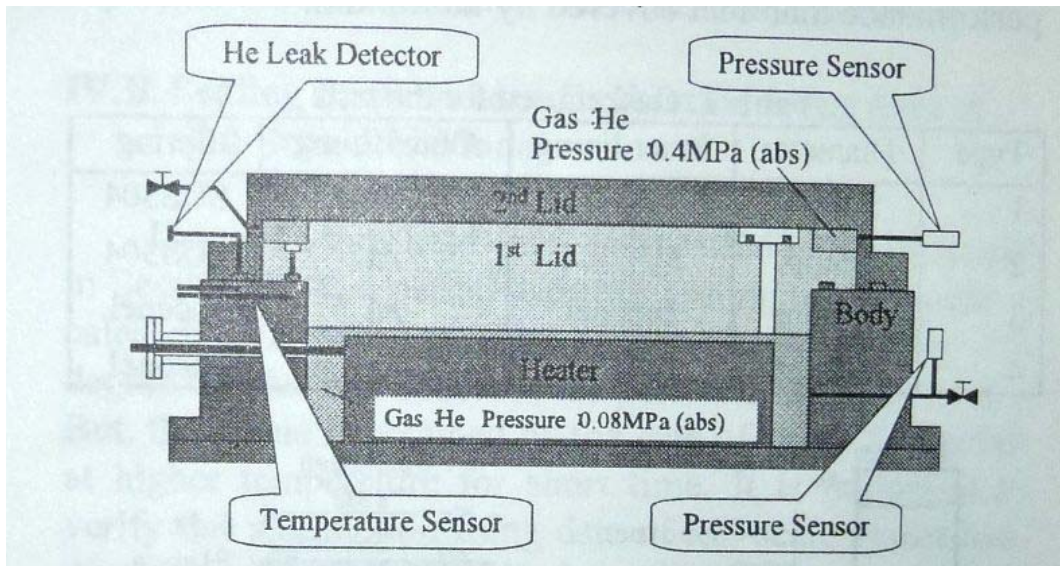


圖 31 Type I 上蓋實驗設備示意圖

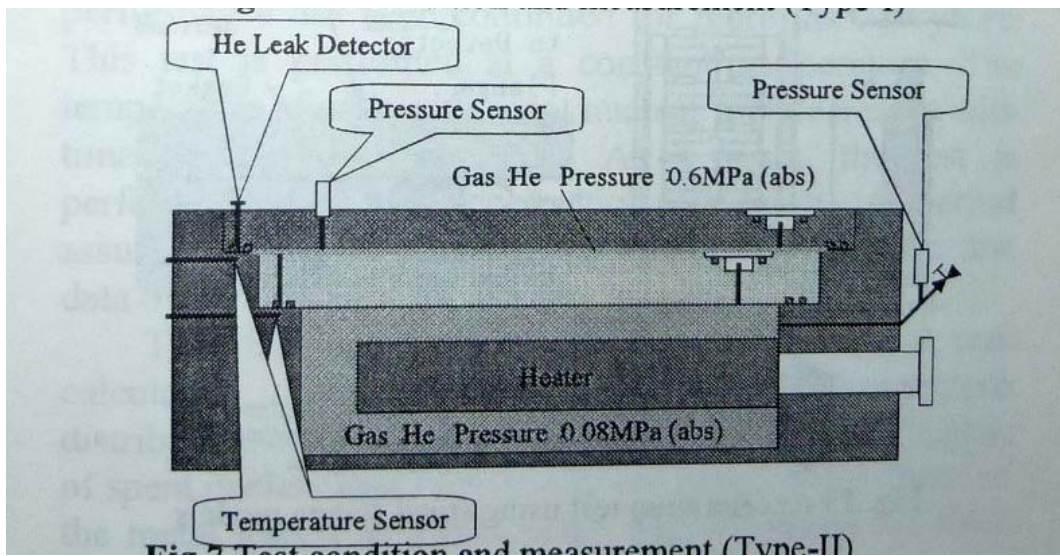


圖 32 Type II 上蓋實驗設備示意圖

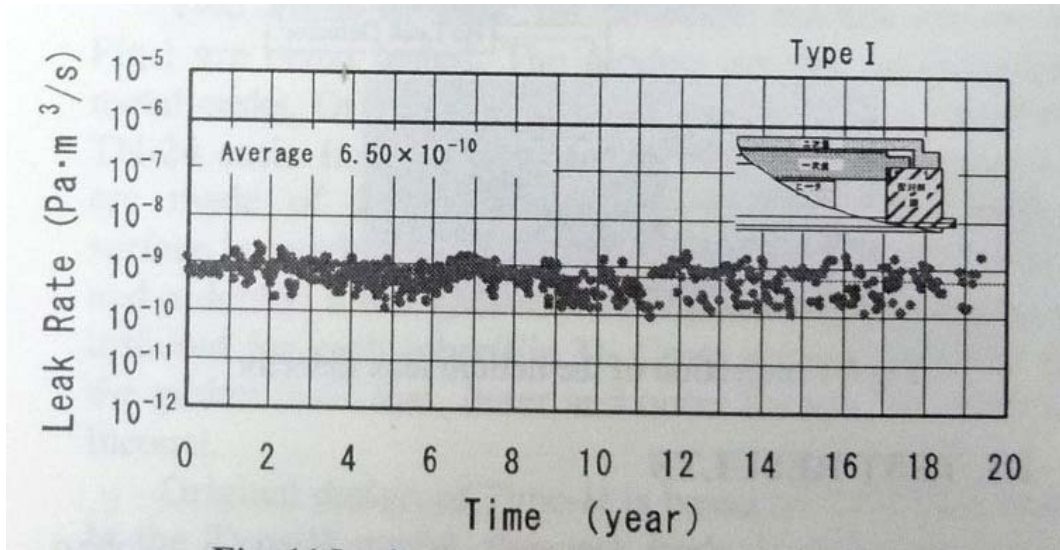


圖 33 Type I 之氮氣洩漏實驗結果(TN-24/Double metal gaskets)

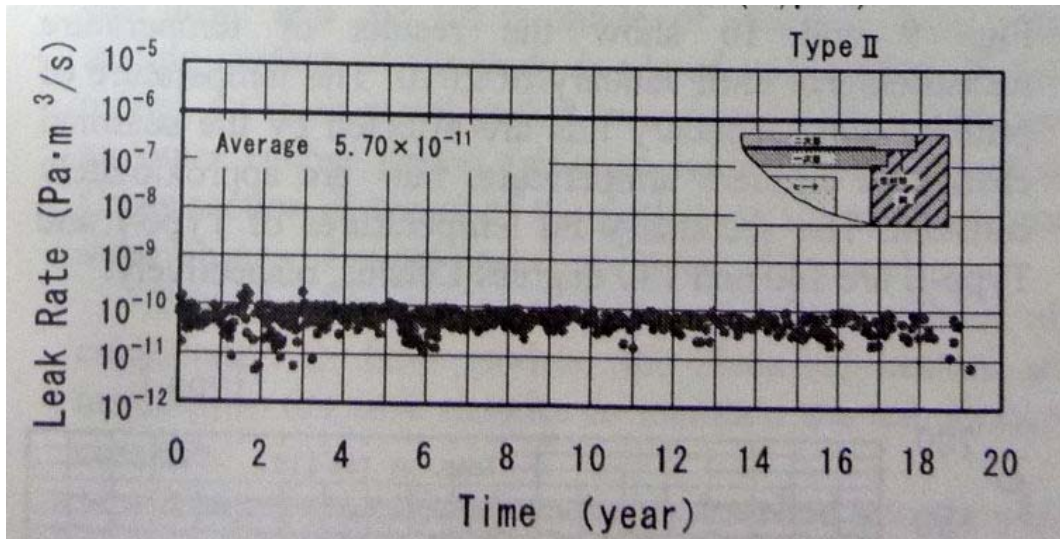


圖 34 Type II 之氮氣洩漏實驗結果
(CASTOR/one metal gasket, one silicon rubber gasket)

(3)國內核研所

核研所燃材組對於核一廠乾式貯存系統之密封鋼筒展開鹽霧實驗，期盼藉著長時間之鹽霧環境，來檢視鋼筒不鏽鋼外殼成受應力腐蝕之狀況，進而估算出鋼筒使用壽命內，其表面之腐蝕對鋼筒密封性之影響。本實驗目前為開始階段，實驗觀察時間已達:2000 小時。本研究獲得 CRIEPI 專家之興趣，因該國亦十分重

視鹽霧對鋼筒材質之影響，故而在議場中有詳盡之討論。核研所乾貯專案亦針對專案現況提出簡報，並介紹 TSC、TFR 製造過程，以及各種運轉演練(包含封銲、排水真空作業、水下吊運、重物搬運等)。因韓國尚無 PWR 燃料之乾貯系統，故韓方人員對於本案之系統選定、與技轉廠商合作關係、材料性質之長期監控規劃以及 SAR 申請時間提出討論，日本專家則對本專案利用全尺寸測試用 TSC 進行演練之規劃表達興趣，簡報中與會後皆有充分之討論。

2.除役與除污技術及廢棄物管理

(1) KRR-1 與 2 除役

本次會議中主要發表關於除役計畫執行與研究的單位是韓國原子能研究所 (Korea Atomic Energy Research Institute, KAERI)，KAERI 負責 KRR-1 與 2 兩研究用反應器的除役計畫。其中，KRR-1 是韓國第一座研究用反應器，屬於 TRIGA Mark-II 的型式運轉始於 1962 年，KRR-2 則為第二座研究用反應器 1972 年開始運轉。兩座反應器於 1995 年停爐，原因是 KAERI 位於大田的新式研究用反應器 “High-flux Advanced Neutron Application Reactor” (HANARO)開始運轉。KRR-1 與 2 之除役計畫時程如圖 35 所示，表 2 則為兩座研究用反應器之型態與特性。1996 年 KAERI 決定將 KRR-1 與 2 拆除，計畫始於 1997 年而於 2009 年完成除役，總計花費 1 千 5 百萬美元。由於核研所 TRR 除役計畫正進行中，國際上各樣除役經驗均是相當重要的參考資料，會議中韓國所提出三篇論文，分別是關於 KRR-1 與 2 兩研究用反應器的除役計畫摘錄；利用 MARSSIM (Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual)來驗證除役計畫最終狀態的調查；除役資訊系統的建立。

Year Activity	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003 ~ 2008
· D & D plan	[Timeline bar from 1997 to 1998]						
· D & D design documentation	[Timeline bar from 1998 to 1999]						
· Environmental assessment	[Timeline bar from 1997 to 2000]						
· Doc. Review for License	[Timeline bar from 1998 to 1999]						
· Spent fuel transportation	[Timeline bar from 2000 to 2002]						
· D & D Works	[Timeline bar from 2002 to 2003]						
· Site restoration	[Timeline bar from 1997 to 2003]						
· Radiation monitoring	[Timeline bar from 1997 to 2002]						
· R & D demonstration	[Timeline bar from 1997 to 2002]						
· Waste treatment / storage	[Timeline bar from 1999 to 2008]						
· Waste transportation	[Timeline bar from 2008 to 2009]						
· Site restitution	[Timeline bar from 2009 to 2010]						

圖 35 KRR-1 & 2 除役計畫時程

表 2 KRR-1 & 2 型態與特性

Items	KRR-1	KRR-2
Reactor Type	Open pool, Fixed core	Open pool, Movable core
Thermal Power(kW)	250	2000
First Criticality	1962. 3. 19	1972. 5. 10
Shut down	1995. 1	1995. 12
Total Operating Time(Hours)	36000	55000
Total Generating Power (MWh)	3700	69000
Neutron Flux(n/cm ² ·sec)	1×10^{13}	7×10^{13}
Fuel		
Contents of U (w/o)	8.5	8.5
Enrichment (w/o)	20	70
Cladding	Al	304SS
Chemical composition	U-ZrH _{1.0}	Er-U-ZrH _{0.6}
Moderator	H ₂ O	H ₂ O
Coolant	H ₂ O	H ₂ O
Reflector	Graphite	H ₂ O
Control rod	B ₄ C	B ₄ C

(2) 除污技術及廢棄物管理

除污技術方面的議題則有大陸提出利用超音波-化學法除污技術，主要用於核電廠中遭污染之不鏽鋼元件的除污。另一方面，韓國則是研究超臨界流體（CO₂）處理遭金屬離子污染的土壤及廢油。除污技術的發展核研所亦有平行相

同的技術正在研發，因此持續關注國際相關機構的研發成果，將會有助於核研所研發能力的提昇。

核研所工程組在廢棄物處理的議題中提出之高活度、超鈾元素污染之廢樹脂沖洗試驗與污染型態驗證之論文，研究藉由嚴謹的實驗設計並詳細探討廢樹脂污染型態的驗證，會中和日本原能會(Japan Atomic Energy Agency) Dr. Yutaka KAMEO 討論廢樹脂之放化分析方法，及放射性核種種類之鑑定。此外，由於目前 TRR 廢樹脂的後續處理程序尚待發展與建立，但基於燃料池清理的需求，必須將廢樹脂進行包裝暫貯。屬於 TRU 廢棄物的暫貯可能面臨到空浮污染阻絕及排氣問題，會議中來自美國 Nuclear Filter Technology 的 Mr. Rochford 提供該公司在 TRU 廢棄物排氣系統設計的技術與設備資料（如圖 36 所示），未來或可向其尋求相關技術支援，對核研所 TRU 廢棄物的安全暫貯將有很大的助益。



(a)



(b)

圖 36 (a)TRU 廢棄物桶槽排氣系統(b)移動式桶槽排氣系統

(3) TRU 廢棄物的處置

超鈾(TRU)廢棄物的定義是：含有原子序大於 92 的阿伐放射性核種，半衰期超過 20 年且濃度為每克大於 100 nCi 之廢棄物。以表面劑量率 200 mrem/h 為基準，低於此值屬 CH (Contact-Handled) 廢棄物，高於此值則屬 RH(Remote-Handled)廢棄物。TRR 燃料池內廢樹脂屬 RH-TRU 廢棄物，此外尚

有燃料池附屬淨化設施亦屬此類廢棄物，然目前國內針對 TRU 廢棄物的管理尚未有完備的規範，而這方面的管理可參考美國的經驗，美國能源局在新墨西哥的東南方所設置的 Waste Isolation Pilot Plant (WIPP)作為 TRU 廢棄物的深層處置場（如圖 37 所示）。其包裝、運送及處置場接收標準，可作為未來 TRR 燃料池除役清理規劃之參考案例。會議中美國 DOE 的 Dr. Patterson 發表了關於美國在 TRU 廢棄物深層處置超過 11 年的經驗，而美國 Sandia 國家實驗室更進一步介紹 WIPP 相關設計(如圖 38 所示)與處置評估。未來可循 WIPP 之經驗繼續收集相關資料，以提昇核研所 TRU 廢棄物管理之效能。

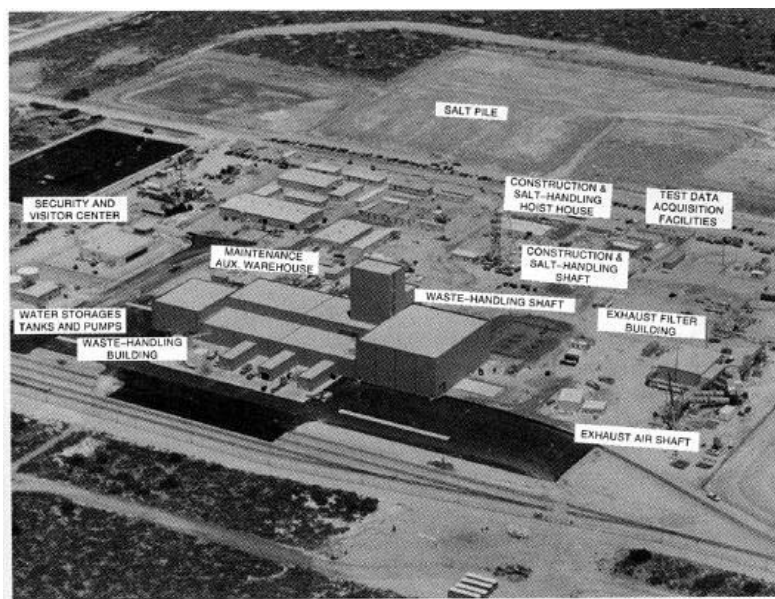
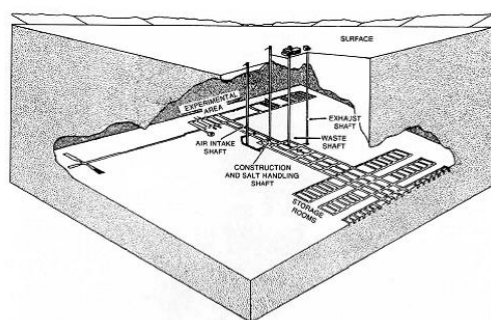
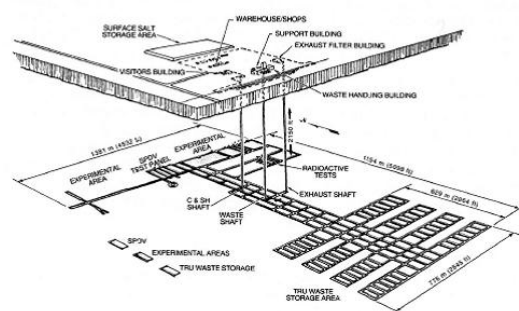


圖 37 WIPP 表面設施與貯存面積



(a)



(b)

圖 38 (a)WIPP 地下設計截面圖(b)WIPP 之配置

(3) 處理與處置

一般性的三廢處理技術，經國際上多年來的努力，已見良好結果，核電廠及核能機構處理廢棄物時可以視需要而採用。因此處理技術之發展目前朝向困難與燃料池等，技術程度較複雜的廢棄物之處理研究，我國提出的池水淨化用過離子交換樹脂清理與韓國提出的爐心不銹鋼管收集與傳送可為代表。

韓國積極發展低放廢棄物之坑道最終處置，因此對廢棄物之固化與固化體之完整性多予研究，在會議中報導 APS 固化方法，該法為一套使用新式聚合物及特殊作業設備，將廢棄樹脂及濾材予以包封，達到處置場接收標準；使用之新式聚合物為 Vinyl Ester 類，設備特點為抽出自由水之桶底分散孔，APS 固化方法獲得美國 CRCPD(conference of radiation control program directors)認可，並採行於美國 DOE 及 DOD 等場址。另一篇報導以橡膠乳液強化水泥固化體，通常單獨的或柏油混合的水泥固化體，其張力與乾涸收縮影響品質，尤其是化學抵抗力不足，長久後產生拉裂；此刻若適當的添加聚合物可修補拉裂缺失，該文以橡膠乳液混合波特蘭水泥進行一系列的實驗，從該文中可得到有益的知識與數據。

中國大陸一篇關於 TBP 廢萃取劑之電化學處理研究，其中論及焚化是可行的方式之一，惟煙道氣之排放應符合標準，電化學具有取代焚化的潛力；電化學氧化廢萃取劑於室壓中溫(30-70°C)進行，產生 CO₂ 廢氣，過程中變價 Ag 離子為氧化劑，循環使用。另一篇由大陸提出的報告為介紹進行中的核電廠固體廢棄物減容技術，於 11 座已商轉的電廠，絕大多數將濕性廢料水泥固化於水泥桶中，乾性廢料壓縮於金屬桶中，每座設施每年產生約 80 m³；改進的技術包括高壓壓縮、HIC 容器、濕式氧化、桶內乾燥、可分解防護衣、建焚化設施及建立移動式處理設施。

核研所於 EAFORM 大會所發表之兩篇論文皆具特點，尤其是以薄膜技術處理廢水，將廢水中之核種降低至接近日用水標準，此技術日、韓等國尚未見報導，因此受到一些注意，論文中詳實的說明實驗設備、操作條件及除污效果；會中有人提問如用過薄膜以焚化法處理恰當否？引起後續二次廢棄物之處理探討，此為實際的問題足見參與者的專心及重視此技術。

此外，韓國方面對於放射性廢棄物處置場場址之選擇方式也相當值得國內借鏡。韓國從 1986 年開始便計畫興建 LILW 處置設施與規劃用過核燃料之中期儲存，但直到 2004 年這 18 年期間，均無法選定場址，無法執行，此點與台灣現況有部分雷同。因此，韓國方面爲了加強民眾對興建核廢棄物處理設施之認同，於 2005 年開始採用一系列不同於以往的措施。首先，由政府組成 LILW 處理設施選址委員會，並保證決策過程的透明化與選址的公平性，且此委員會中也加入了 17 位來自不同領域的民眾與專業人員負責管理與監督整個選址過程。而且，透過立法，規定給予興建處置場的區域特定的財政補助，並改變 Korea Hydro and Nuclear Power 總部設置位置。其他方面，政府不但保證選址的透明化與公平性，同時也舉辦居民投票作爲選址依據，並且保證不會在 LILW 場址存放用過核燃料。這些事前準備皆完成後，便開始舉辦居民投票，由 Gunsan City, Gyeongju City, Pohang City 與 Yeongdeok County 競爭，結果由 Gyeongju City(慶州)，也就是此次參訪之地點，以高達 89.5%的支持率通過興建。由這麼高的支持率不難發現，韓國方面對於核能安全與使用的宣導做得相當紮實，從一開始的反對到最後有這麼高的比率贊成興建，可見只要適當的教育民眾，並做好相關立法與安全措施，依然可以排除民眾疑慮，此作法相當值得國內學習。

韓國選定慶州之月城地區爲 LILW 最終處置場址後，即進行最終處置場址之興建，並於 2006 年開始進行處置場之細部設計與場址細部調查，以及處置方式的決定，2007 年才開始向韓國 MKE 申請處置計畫與向 MEST 申請處置場建造許可。處置計畫是在 2007 年即獲得許可，而處置場建造許可則於 2008 年獲得，本次公差期間最終處置正值興建期間，礙於工安因素無法實地赴工地觀摩。目前處置場的建造進度已達 68%，預計將在 2012 年起開始營運。

由韓國中低放最終處置場的發展經驗，可得到場址的選定，資訊的透明化絕對是必要的，讓地方民眾瞭解自然界輻射性的存在事實、處置的技術的成熟與展示，直接與民眾面對面的討論核能發展，以及相較其他能源，核能的確是項乾淨的綠色能源，此一資訊的公開與溝通，絕對是發展核能的重要途徑。另一個是國家的決心，從場址選擇時即提出 KHNP 的企業總部將遷至場址所在之城市，等

於宣告將與核電之終極產物（國內稱為廢棄物，國際稱為 waste）為鄰，顯示出韓國對放射性廢棄物之處置，展示出雖萬人吾往矣之志氣，相對的，反對建造處置場之聲自然降低，終就成全了最終置場的選定。

在韓國的核能產業研究方面，參訪 KAERI 後對其熱室寬敞明亮並非常整潔，各站實驗儀器的編排井然有序，每站也有固定研究人員管理與操作，使其設備具有很好之良率，人員也有舒適的工作環境。外圍分析儀器也有適當之屏蔽系統，使其使用效率提升。韓國方面將熱室規劃為研究人員常駐之實驗室，與本所通常在有需求時才進入熱室實驗作法並不相同。

四、建議事項

1. 第六屆國際核能與東亞非核武擴散核能研討會（NEN）主要是針對東亞和東南亞國家間之區域，提供一個交換和平使用核能的資訊平台及論壇，並且協助東亞和東南亞國家在核能的發展及探討非核武擴散相關議題，我國未來應積極參與，發表正面議題與政策，促進各國對我們的瞭解，並且展示我國在相關領域之發展與研究成效，有機會亦可推動互惠的合作。
2. 「東亞放射性廢棄物管理論壇」（EAFORM）會議是由核研所結合日本、韓國與美國 Sandia 國家實驗室所發起，針對放射性廢棄物管理技術交流之討論與技術交流，至今已年是第三屆，參與的國家亦從原先四個國地區家迅速擴增，除東亞的中國大陸加入外，亦有法國、瑞典與澳洲等國之學者專家與會，同時亦有 IAEA 國際原子能總署派員參加，顯示逐漸獲得放射性廢棄物管理相關議題之學者肯定。彼此之經驗得以直接溝通與交流，使參與人員皆有實質之收穫。
3. 由參與本屆 EAFORM 會議所得之收穫，針對乾式貯存研究、除役與除污、廢棄物處理與處置，有以下之建議：
 - (1) 參與本屆 2010 EAFORM 會議並和與會專家學者討論，深感對乾式貯存專案之執行有極大助益，韓國展現了在核能工業方面強烈企圖心，並且也願意按部就班地處理乾式貯存系統選址與設計規劃；日本長期進行乾式貯存之研究，其所投入之金錢與時間可為我方效法之對象。
 - (2) 韓國兩座研究用反應器除役及拆除之成功經驗值得核研所學習，可朝向資訊互通與技術合作的方式提昇雙方的研發能力。
 - (3) 核研所於 EAFORM 大會所發表之兩篇含放射性之廢液處理論文皆具特點，尤其是以薄膜技術處理廢水，將廢水中之核種降低至接近日用水標準，此技術日、韓等國尚未見報導，因此受到一些注意，論文中詳實的說明實驗設備、操作條件及除污效果；會中並引起後續二次廢棄物之處理的探討，足見這類技術的研究仍有相點值得發展之處，核研所應更投入此方面之研究。

- (4) 韓國對於各項核能方面的研究均投入大量經費建置足以模擬實際條件之大型實驗設施，並規劃進行長期研究，此點為我方值得參考之處。尤其是 KAERI 之熱室設備雖然並沒有較核研所先進與多樣化，但其規劃與運作方式具有良好之成效，核研所將進行熱室重整計畫，可作為參考。韓國對用過核燃料的重新提煉研究已相當成熟，我方雖然不見得需要著重此研究方向，但其對頂尖技術領域的發展企圖心相當值得我方學習。
- (5) 韓國在高低放處置上與我國大約同時起步，但其在低放處置上業已進入最終處置場之興建階段，並訂於 2012 年開始營運；在高放處置上的發展亦有具體的規劃與執行策略。就整體發展而言，業已略微超前我國現況。核研所應參照其作法擬定具體之短中長程規劃與目標，以長程技術發展為導向逐步發展並執行處置工作。
4. 本次 EAFORM 會議決議第四屆於 2012 年在中國大陸舉行，此會議由台日韓創立後，已發展成彙集東亞外加世界核能先進國家之專家參與，為放射性廢棄物管理與研究現況提供一交流平臺，亦值得核研所長期經營。尤其在高放處置工作屬長程性之計畫，須長期投入龐大人物力，而國內礙於自然與社經條件的限制，加以高放處置的區域合作是一種國際趨勢，因此藉由參加 EAFORM 之機會和大陸的技術交流不可或缺，且可進一步規劃推動更具體與實質的交流。因此建議仍循本屆會議之參與模式，由核研所老、中、青三個世代研究人員，配合國內大專院校之學術機構組成代表團，積極參與此一會議。