

出國報告（出國類別：開會）

參加「第六屆東亞地區核能與非核  
武擴散國際專題研討會」及「第三  
屆東亞放射性廢棄物營運國際會  
議」

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：邱顯郎 組長

派赴國家：韓國

出國期間：99年10月26日至99年11月5日

報告日期：99年12月31日

QP - 08 - 00 F04

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：參加「第六屆東亞地區核能與非核武擴散國際專題研討會」及「第三屆東亞放射性廢棄物營運國際會議」

頁數 36 含附件：是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話 台電公司

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

邱顯郎/台灣電力公司/核後端處/核工監/23657210-2220

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他(開會)

出國期間：99 年 10 月 26 日至 99 年 11 月 5 日 出國地區：韓國

報告日期：99 年 12 月 31 日

分類號/目

關鍵詞：放射性廢棄物、最終處置

內容摘要：(二百至三百字)

參加「第六屆東亞地區核能與非核武擴散國際專題研討會(The 6th International Workshop on Nuclear Energy and Non-proliferation in East Asia, NEN)」及「第三屆東亞放射性廢棄物營運國際會議」(The 3rd East Asia Forum on Radwaste Management, EAFORM)。NEN 會議旨在促進東亞地區合作，提供一個核能和平用途的資訊交換平台，出席國家包括韓國、日本、中國、印尼、馬來西亞、泰國、越南、台灣等 12 國，議題包括東亞地區核能計畫總覽、各國放射性廢棄物營運的現況、核子保防等。EAFORM 乃為促進東亞各國之核能合作與技術交流所定期舉辦之會議，每兩年舉行一次，由台、日、韓、大陸四國依序輪流主辦，主要探討放射性廢棄物處理與處置相關議題。本公司於本屆會議中報告我國用過核子燃料最終處置規劃及現況。

## 摘要

本次赴韓國主要目的是參加「第六屆東亞地區核能與非核武擴散國際專題研討會(The 6th International Workshop on Nuclear Energy and Non-proliferation in East Asia, NEN)」及「第三屆東亞放射性廢棄物營運國際會議」(The 3rd East Asia Forum on Radwaste Management, EAFORM)。NEN 會議旨在促進東亞地區合作，提供一個核能和平用途的資訊交換平台，出席國家包括美國、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，議題包括東亞地區核能計畫總覽、各國放射性廢棄物營運的現況、核子保防等。EAFORM 乃為促進東亞各國之核能合作與技術交流所定期舉辦之會議，每兩年舉行一次，由台、日、韓、大陸四國依序輪流主辦，主要探討放射性廢棄物處理與處置相關議題。本公司於本屆會議中報告我國用過核子燃料最終處置規劃及現況。

EAFORM 會議安排技術參訪行程，包括參訪位於月城 (Wolsong) 之管理中心的韓國放射性廢棄物營運公司 (KRMC)、建造中之 Wolsong 中低放廢棄物處置場、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。

# 目 次

摘 要

(頁碼)

壹、目 的 . . . . . 1

貳、過 程 . . . . . 3

參、心得及建議 . . . . . 35

# 壹、目的

本次出國有二個主要目的：一為參加「第六屆東亞地區核能與非核武擴散國際專題研討會(The 6th International Workshop on Nuclear Energy and Non-proliferation in East Asia, NEN)」；另一為參加「第三屆東亞放射性廢棄物營運國際會議」(The 3rd East Asia Forum on Radwaste Management, EAFORM) 及 EAFORM 大會安排之技術參訪活動。

本次第六屆 NEN 會議係 2005 年在韓國舉辦第五屆研討會之延續，主要在增進東亞和東南亞區域或國家之合作及提供一個核能和平使用的資訊交換平台及論壇，並協助東亞和東南亞國家的核能發展及非核武擴散相關議題之探討，本屆會議重點是在：

- 一. 了解東亞和東南亞國家各國核能計畫之最新狀態；
- 二. 了解各國放射性廢棄物營運現況；
- 三. 探討未來核子防護之議題；
- 四. 了解及探討增進在東亞及東南亞國家有關於核能發展合作之作法。

此外，本屆 NEN 研討會試圖了解各國對核能利益的期望，以建立放射性廢棄物營運卓越中心(CoE)，美國桑地亞國家實驗室 Dr. Robert Finch 做了整體性介紹後，所有與會人員做深入之討論。

在 EAFORM 會議方面，為促進台、日、韓等三國在放射性廢棄物營運技術交流與合作，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、工研院能環所、清華大學等機構之代表開會討論，就成立「東亞放射性廢棄物營運論壇」(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 由我國核研所主

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營運公司（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，並於會後安排二日的技術參訪行程，計有我國、日本、韓國、大陸、美國、法國、瑞典、澳洲及 OECD/NEA 等放射性廢棄物處理與處置相關領域專家學者約 125 人出席，共發表 68 篇論文，論文內容分別包含：各國放射性廢棄物營運現況；地質處置設施；中低放射性廢棄物處置；放射性廢棄物處理；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。另，由大會安排技術參訪位於月城（Wolsong）之韓國放射性廢棄物營運公司（KRMC）、建造中之 Wolsong 中低放廢棄物處置場、位於大田市韓國原子力研究所（KAERI）之地下實驗室（KURT）、熱室(PIEF)及工程障壁實驗室(KENTEX)等。

本公司於本屆會議中發表「我國用過核子燃料最終處置規劃及現況」論文乙篇，並和他國與會代表針對放射性廢棄物處理、乾式貯存與處置等議題交換經驗及心得，並從中吸取相關領域之經驗進而提升技術水準。同時藉由實際技術參訪觀摩，對韓國核能設施之運作、管理與管制作業情形、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等，均有更深一層的瞭解與體認。

## 貳、過 程

### 一、 行程摘要

本次出國期間為自 99 年 10 月 26 日至 11 月 5 日共計 11 天，行程及工作內容詳如下表所示：

表一 出國行程表

行 程		任務地點		工作內容
日期	出發	抵達	城市	
10/26	台北	慶州	慶州	去程
10/27 ~ 10/29			慶州	出席「第六屆東亞地區核能與非核武擴散國際專題研討會」。
10/30 ~ 10/31			慶州	例假日，資料整理。
11/1 ~ 11/2			慶州	出席「第三屆東亞放射性廢棄物營運國際會議」。
11/3 ~ 11/4			慶州	參訪位於月城（Wolsong）的韓國放射性廢棄物營運公司（KRMC）、建造中之 Wolsong 中低放廢棄物處置場、位於大田市之韓國原子力研究所（KAERI）之地下實驗室（KURT）、熱室（PIEF）及工程障壁實驗室（KENTEX）。
11/5	首爾	台北		返程

## 二、 參加第六屆東亞地區核能與非核武擴散國際專題研討會

2005年2月16日京都議定書正式生效，在溫室氣體減量的國際條約壓力下，世界核能的使用預期在未來數十年皆呈成長現象，東南亞的越南、印尼、泰國、馬來西亞等國已計劃興建核能電廠，因此，預計核能發電、用過核子燃料再處理、放射性廢棄物之貯存與處置之整體需求將更為殷切。東亞各國在核子燃料循環方面，從確保燃料的供應、放射性廢棄物與用過核子燃料的營運、政策，與相關基礎建設之研發、工業化、管控等都有待完成或提升。雖然東亞各國核能需求增加。然而隨著媒體報導北韓核子試爆與伊朗添購核子武器計畫等消息，各國無不對核武擴散產生疑慮。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技術亦已在研發階段。韓國原子能研究所(KAERI)和美國桑地亞國家實驗室(SNL)於2010年10月27日至29日共同舉辦第6屆東亞和東南亞核能及非核武擴散國際研討會，韓國非核武和管制機構 KINAC 也共同參與，並提供必要之贊助。本次國際研討會中，東亞及東南亞地區共有12個國家45位出席人員，包含美國及澳洲派員參加本次會議。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之照片為NEN會場與本國之席位之場景。





圖 1 NEN 會場與本國之席位

### 三、參加第三屆東亞放射性廢棄物營運國際會議及宣讀論文

本屆東亞放射性廢棄物營運國際會議(EAFORM)於 11 月 1 日至 2 日在韓國慶州市現代飯店舉行。開幕儀式中首先由承辦機構韓國放射性廢棄物營運公司(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 2 即為全體與會人員於現代飯店外側景點之合照。



圖 2 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，四個國家或組織分別介紹放射性廢棄物營運現況，包括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 介紹 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；我國核研所黃慶村副所長介紹 The Current Status and Challenge of the Radwaste Management in Taiwan。

在 Plenary Session 2 中，分別由美國 Sandia National laboratories 的 Evaristo J. (Tito) BONANO 介紹 Current Status of U.S. Repository Programs；法國 ANDRA 公司的 Roberto MIGUEZ 介紹 40 year experience of radioactive waste disposal in France；以及瑞典 SKB 公司的 Hans FORSSTRÖM 報告 Recent Developments in SKBs Nuclear Waste

Management Programme。大陸雖未及於大會現場中報告其現況，但在大會的論文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 11 月 2 日的安排了其餘各國 60 篇的技術論文的報告，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；放射性廢棄物處理；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，分為四個主題（T1 至 T4）安排在三個時段（1,2,3）進行宣讀。以下說明這 11 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。

(一) 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)。

其中第二場為本公司說明我國用過核燃料最終處置的營運現況 (圖 3)。

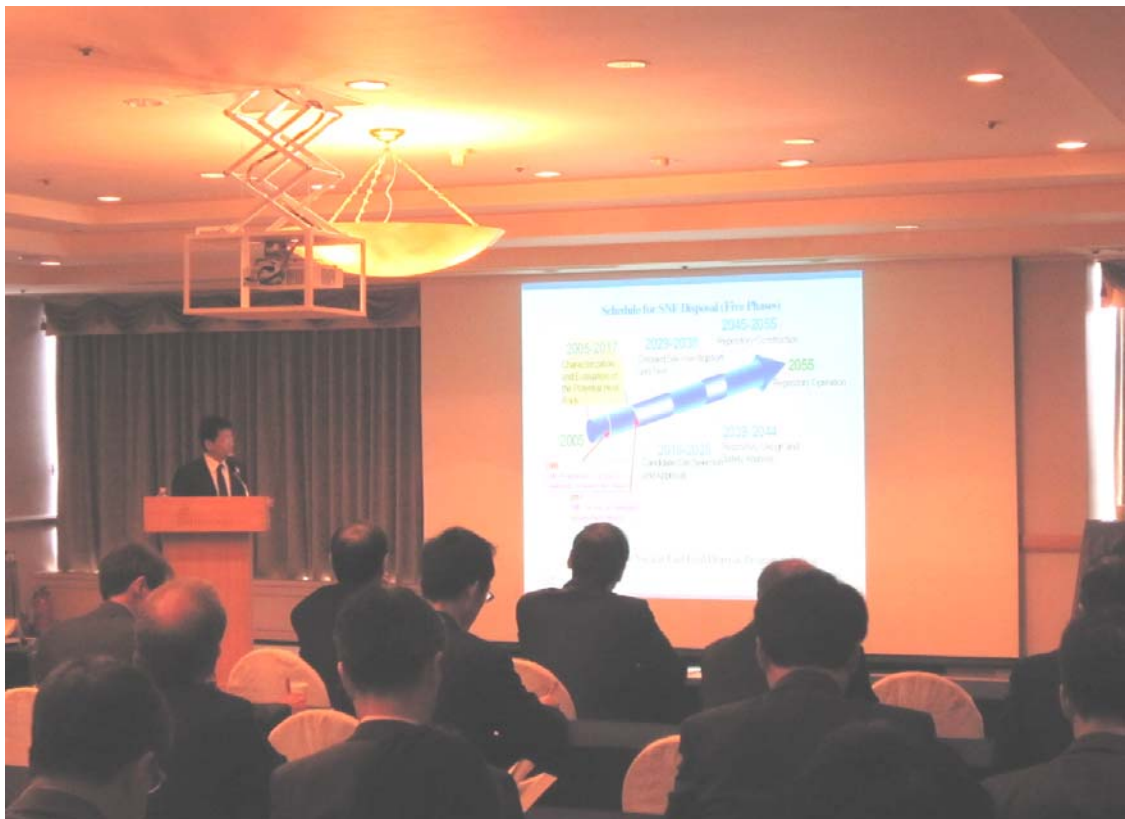


圖 3 台電公司報告我國用過核燃料最終處置的營運現況

## (二) 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) 。

本場次並未有國內發表之論文，除了中國大陸一篇論文外，其餘皆由韓國發表除役與除污研發成果。

### (三) 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) 。

本場次國內核研所宣讀二篇論文，介紹核研所在放射性廢液的處理，及 TRR 燃料池離子交換樹脂清理的研究成果。

#### (四) 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)。**

本場次國內核研所及臺灣大學宣讀三篇論文，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。

(五) 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)。

本場次國內臺灣大學林文勝博士及臺灣科技大學黃兆龍各宣讀 1 篇論文，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。

(六) T2-3 場次 – 廢棄物處理(II)

本場次第二回再宣讀了 5 篇與放射性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. (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 Nudides taking into Consideration Uncertainty of Detriment Based on Background Cancer Incidence in Korea. (Takatoshi HATTORI CRIEPI, Japan)。

本場次由核研所潘本立博士所宣讀 1 篇論文，介紹核研所在含氟鈾廢液分離的研究成果。

(七) T3-1 場次 – 地質處置設施(III)

本場次第三回再宣讀了 4 篇與放射性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 KIHO, 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。

(八) 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。

(九) 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。

(十) 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 Hydrogelological 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。

(十一) 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射性廢棄物處置經驗外，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 之論文宣讀部份於 11 月 2 日下午 6 時圓滿結束，本公司除了發表論文、聽取相關領域題目之演講外，也在休息或用餐時間與其他國家出席會議的專家學者訪談，進行蒐集資料及獲取新知。

#### 四、參訪慶州月城核能設施

11 月 3 日 EAFORM 大會安排技術參訪位於慶州月城(Wolsong)之核能設施，包括 KRMC 月城核能中心、興建中的月城中/低放射性廢棄物坑道最終處置(LILW)、月城核能電廠與增建中之反應爐等設施。由於韓國核能工業蓬勃發展（21 部機組運轉中，5 部機組建造中，4 部機組規劃中），無論是高放射性廢棄物、用過核子燃料或低放射性廢棄物數量皆相當龐大，因此，韓國於 2008 年 3 月立法通過放射性廢棄物營運法，並依據該法案於 2009 年 1 月成立了 KRMC，來執行放射性廢棄物與用過核子燃料的營運規劃事宜。

KRMC 之主要任務為(1)中/低放射性廢棄物之運輸及處置，(2)用過核子燃料之運輸、貯存及處置，(3)放射性廢棄物營運之研究發展，

(4)放射性廢棄物基金之管理。營運宗旨為保障民眾健康與全國環境，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放射性廢棄處置技術能力。

目前 KRMC 之工作重點在於(1)2012 年月城之中/低放射性廢棄物坑道最終處置設施第 1 期工程之啟用，(2)準備中/低放射性廢棄物坑道最終處置第 2 期工程建造，(3) 用過核子燃料之營運策略及貯存準備，(4)包括用過核子燃料國際合作之放射性廢棄物之研究發展。

#### (一) KRMC 之月城核能中心與中/低放射性廢棄物坑道最終處置設施

首先到 KRMC 之 Wolsong Center 的營運中心(圖 4)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 5 所示，分為運送港口，控制與管制中心，新月城電廠與 LILW 地下最終貯存設施等部分。

2005 年 8 月底，南韓共有全羅北道的群山市 (Kunsan)、慶尚北道的慶州市 (kyongju)、浦項市 (Pohang)及盈德郡(Yongduk) 四鄉鎮向政府申請自願設置低階放射性廢棄物處置場。2005 年 11 月 2 日，4 區同時辦理公民投票，慶州市民眾以 70.8%的投票率，89.5%同意而勝出。



圖 4 KRMC 位於月城之營運中心



圖 5 月城核能設施之模型

根據 KRMC 的簡報，韓國放射性廢棄物處置之政府政策有以下幾個基本原則：

1. 政府直接管制：放射性廢棄物因需要長期且安全的處置與管理，必須由政府機關負責統籌執行。
2. 安全第一：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. 盡量減少放射性廢棄物的產生。
4. 污染者付費：針對產生放射性廢棄物之來源進行分級，並徵收費用以達抑制放射性廢棄物數量及污染者付費的目的，避免造成下一代的負擔。
5. 政策透明：以開放及透明的態度進行放射性廢棄物的營運，政策的訂定與執行也必須透明化，同時利用處置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。

簡報中亦說明 KRMC 對 LILW 之處置規劃為：將 LILW 先貯存於目前已有之設施中，例如核電廠內之放射性廢棄物貯存設施或其他獨立的貯存設施，接著再運送至月城營運中心，經由貯存桶檢驗確認符合接收標準，接收後再運送至地下處置桶倉內做最終處置，處置場之面積為 2,130,104 平方公尺，地下處置桶倉第一期工程之預計為能提供 100,000 桶的容量，後續目標將繼續增加至 800,000 桶的容量。

KRMC 對用過核子燃料之營運計畫為：持續建造乾式中期貯存設施，以期至 2016 年仍有足夠的貯存容量，且未來用過核子燃料中期貯存設施的建造必須經由公眾參與決策，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，即前往月城中/低廢棄物坑道最終處置設施做現場參觀(圖 6)，此設施包含地表之營運中心(圖 7)與建於地下之處置桶倉結構(圖 8)，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 2,130,104 平方公尺，第一期工程將於 2012 年 12 月興建完成。

參訪月城中/低廢棄物坑道最終處置設施時，地下處置設施尚



在施工中，因此無法進入參觀，略窺探其外貌如圖 9 所示之坑道口。接著 KRMC 安排了參觀地表接收檢驗設施，設施內設備主要為卸載放射性廢棄物桶區如圖 10 所示、放射性廢棄物暫存區如圖 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。



圖 6 月城中/低放射性廢棄物坑道最終處置設施立體示意圖



圖 7 月城中/低放射性廢棄物坑道最終處置設施之地表營運中心

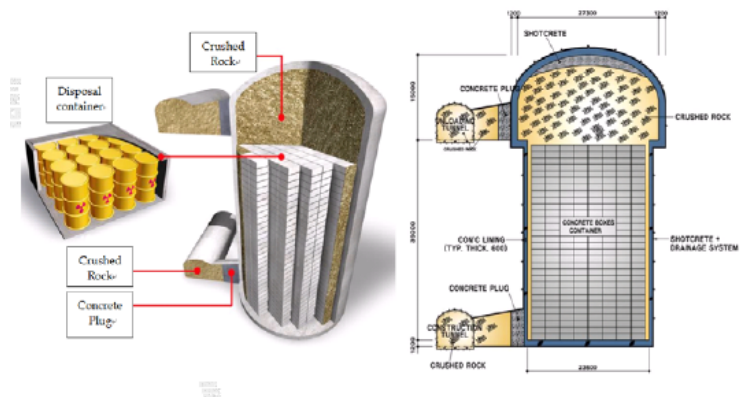


圖 8 月城中/低放射性廢棄物坑道最終處置設施之地下處置桶倉結構



圖 9 月城中/低放射性廢棄物坑道最終處置設施坑道口



圖 10 放射性廢棄物桶卸載區



圖 11 放射性廢棄物暫存區



圖 12 處置桶檢驗輸送帶與輻射強度偵測

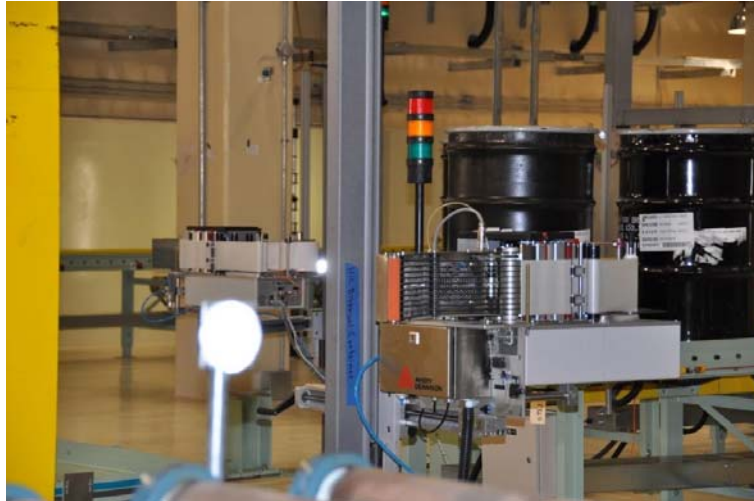


圖 13 處置桶輻射強度偵測儀器

月城中/低放射性廢棄物坑道最終處置設施之地表下的設施，包括建造階段運送材料及設備之隧道，與運轉階段輸送低放射性廢料之隧道，另有人員進出之豎井，以及第 1 期工程放射性廢棄物最終處置的 6 個桶倉結構物，如圖 14 所示之設計圖。6 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海運方式運送至此處置場，船身長 78.6 公尺、寬 15.8 公尺、總重 2600 公噸、時速 12 節、雙引擎、裝載 1520 桶(圖 15)。而 KRMC 也計畫於處置場封閉後，在其上方鋪設綠地建造景觀生態園區，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。

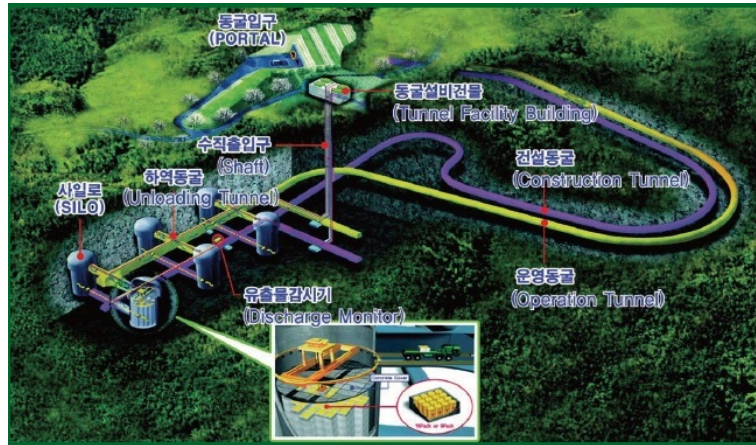


圖 14 月城中/低廢棄物坑道最終處置設施之設計圖



圖 15 運輸船



圖 16 左：地下處置桶倉模型；右：旅遊中心與核能教育中心

## (二) 參觀月城核能電廠

月城電廠是韓國唯一正在運轉中的 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 萬千瓦以上的發電能力。CANDU 反應器使用之燃料為天然鈾，使用重水(deuterium water)作為緩和劑與冷卻劑，燃料通道為水平式，鈾燃料的使用效率非常高，與一般的壓水式反應爐(PWR)相較，可減少約 15%之鈾燃耗量。

EAFORM 大會亦安排參觀電廠正在建造中之新月城 1 號及 2 號反應爐，此兩個機組為先進壓水式反應器（Advanced Pressurized Water Reactor, APWR），目前工程度已完成約近 80%，如圖 17 所示，預計在 2012 年 11 月完成第一部機組並開始運轉，2013 年將完成建造。



圖 17 正在建造中之新月城 1 號及 2 號反應爐

## 五、參訪韓國原子力研究所

本屆 EAFORM 大會於 11 月 4 日安排參訪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)，照射過物質檢驗設施 IMEF(Irradiated Materials Examination Facility)與先進用過核子燃料製理 ACPF(Advanced spent fuel Conditioning Process Facility)，簡述如下：

### (一) 高放射性廢棄物地下實驗坑道 KURT

韓國 21 座機組所產生的用過核子燃料量至 2009 年底已累積達 10,760 噸，而目前用過核子燃料皆存放於核電廠內。

至 2009 年底(公噸)

核電廠	機組數	貯存容量	貯存數量
Kori	5	2,253	1,762
Yonggwang	6	2,686	1,704
Ulchin	6	2,328	1,401
Wolsong	4	9,440	5,893
Total	21	16,707	10,760

至於用過核子燃料之營運策略係採「直接最終處置」方式或採「再處理」方式，目前韓國政府仍在觀望中，依據 2004 年核能委員會之決議，預計於 2016 年韓國政府將會決定用過核子燃料之營運策略。

將來不論採「直接最終處置」方式或採「再處理」方式，均

須有最終處置場。因此，為了將來處理用過核子燃料的長遠發展著想，必須解決這項根本問題，故韓國從 1997 年即展開高放射性廢棄物(HLW)處置技術的研發計畫。

為了發展一個安全且可行的處置系統，有必要將此系統置於地下的地質環境作驗證，以證明所提議之地質處置系統是安全且可行的。因此，韓國於 2005 年 5 月開始在 KAERI 所區內建造了一個小規模的地下研究隧道(KURT)，其目的在建立一個具長期安全性的高放射性廢棄物處置場之參考系統，並在不使用放射性物質的情況下，韓國原子能研究所計畫利用 KURT 研究各種水文地質及地球化學的相關行為，進行各個現場測試，並藉此檢視高放射性廢棄物處置系統的安全功能。

圖 18a 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 18b 所示）。圖 18c 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 18d 與 圖 18e 分別顯示核種在裂隙傳輸之試驗項目與使用之儀器；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。

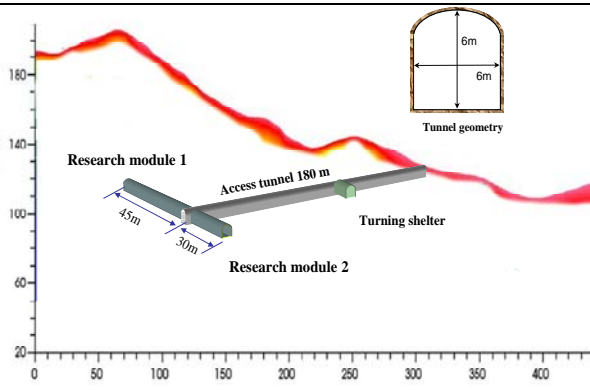




a. 地下實驗室洞口



b. 花崗岩之地層組成



c. 實驗隧道形狀與尺寸



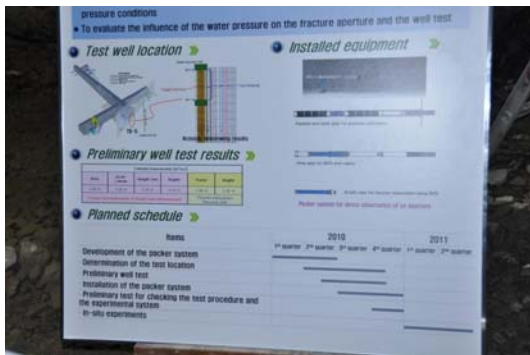
d. 核種遷移實驗坑道之試驗項目



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 18 KURT 構造與試驗項目

## (二) 照射過物質檢驗設施 IMEF

IMEF 即為 KAERI 進行核子燃料試驗與檢驗之熱室，提供執行核電廠之燃料檢驗工作，內部規劃如圖 19a 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 19b 與圖 19c 分別顯示鉛室內之加熱爐及洗床，以及圖 19d 顯示鉛室內之金相研磨設備、萬能試驗機(圖 19e)、精密切割機(圖 19f)、及 SEM、TEM 試片製備設備等，外圍則有 SEM、TEM 與 EPMA 等分析儀器。

IMEE 之核燃料檢驗室，主要在研發 DUPIC 核燃料。從 1992 年開始，加拿大與韓國共同研發 DUPIC 核燃料，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 核燃料 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。



a. 核燃料檢驗設施外觀



b. 鉛室內之加熱爐

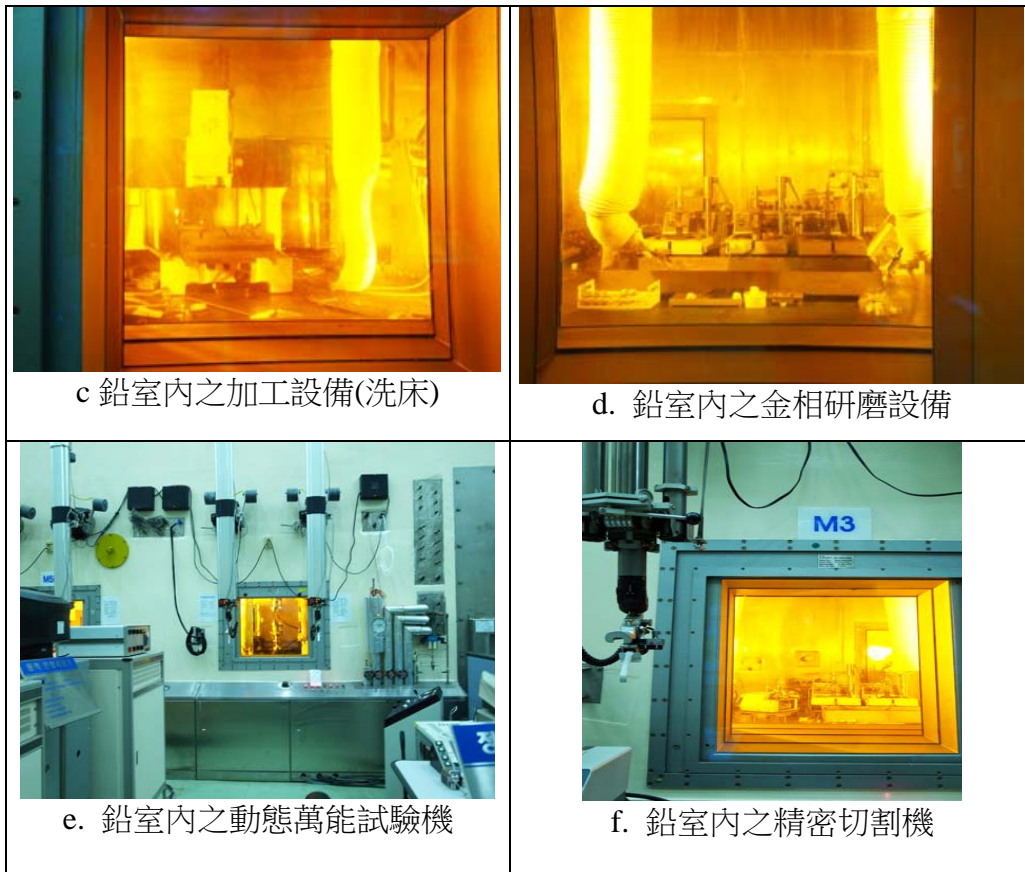


圖 19 KAERI 之照射過物質檢驗設施

(三)先進用過核子燃料製理設施 ACPF(advanced spent fuel conditioning process facility)

ACPF 位於 IMEF 地下室的熱室(Alpha-Gamma type)，規模較小(鉛室規模僅有 8.1m(L) 2m(W) 4.3m(H)，圖 20)，專門用來進行用過核子燃料的再處理實驗研究。為了進行用過核子燃料的再處理研究，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，其已有自動化進行的再處理的能力，但礙於與美方之協議，目前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 20 ACPF 實驗室

現有「韓美原子能協定」於 1973 年修訂，將於 2014 年 3 月到期，韓國和美國的協議將於 2014 年 3 月到期，雙方已於 2010 年 2 月就待修訂事項開始協商。韓國正發展核能產業輸出，因此強烈希望進行用過核子燃料再處理以充分利用鈾及鈾資源。韓國和美國兩國已同意共同研究燃料的再處理，此項技術能夠減少核廢料體積及活性並回收可重複利用的鈾及鈾。韓國 35.6% 的電力來自核能，共需要消耗 3800 噸鈾。從用過核子燃料中回收鈾及鈾將減少該國大約三分之一的核燃料進口。2008 年，國際原子能機構批准了 KAERI 電解實驗室項目，亦即用過核子燃料整備流程設施 (ACPF)，該實驗設施將在 2011 年開始建造。

自 PWR 核電廠運來之用過核子燃料，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送抵達 ACPF，丸狀燃料棒續經脫殼後，進行氧化處理，此過程於旋轉煅燒爐 (voloxidizer) 中執行如下圖 21，再利用電解還原程序將氧化成粉末之  $UO_2$  還原成為金屬形態；復將電極上之金屬鈾取下如下圖 22，以高溫將其冶煉成鈾錠，其過程簡要如圖 23。ACP 過程產生之 Cs、Sr 及稀土物質成為熔鹽廢棄物予以固化安定之。



圖 21 旋轉煅燒爐 voloxidizer

### Electrorefining

© Mock-up for U Electrorefining Experiments

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



Electrorefiner



Cathode Processor

圖 22 電極上之金屬鈾

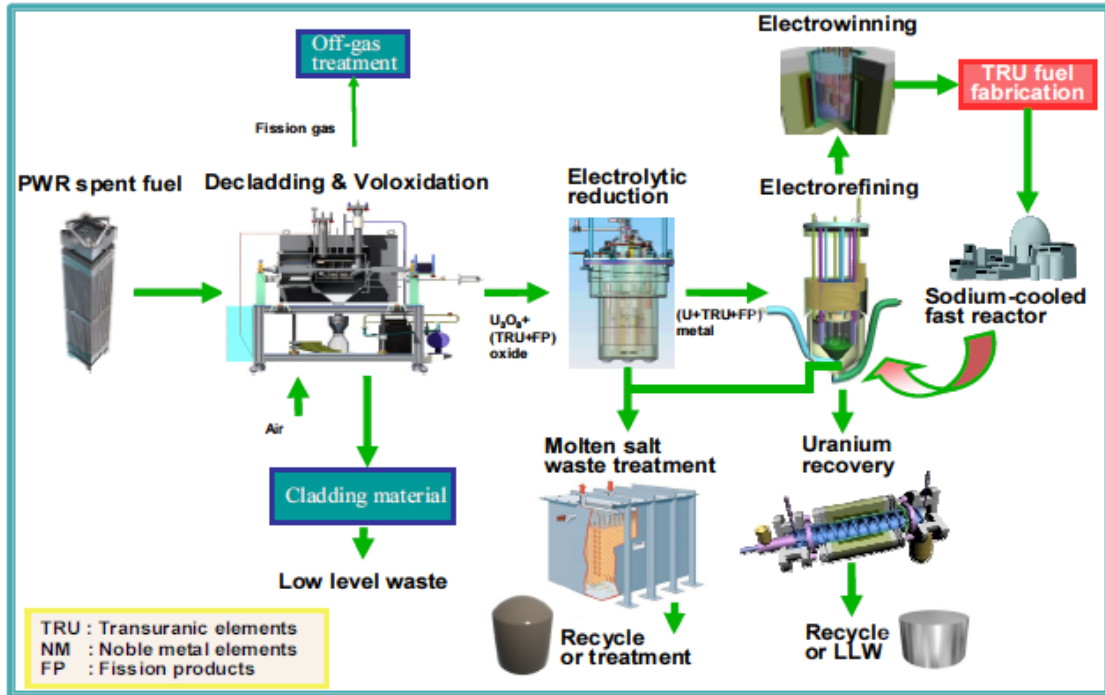


圖 23 用過燃料製理（再處理）流程簡要

## 叁、心得及建議

- 一. 「第六屆東亞地區核能與非核武擴散國際專題研討會 (NEN)」主要是為東亞和東南亞區域之國家提供一個核能和平用途的資訊交換平台，並且協助東亞和東南亞國家發展核能及探討非核武擴散相關議題。第六屆 NEN 提出了有關放射性廢棄物營運卓越中心(Center of Excellent, CoE)的構想，並擬於下一屆會議繼續討論如何成立 CoE、運作機制、經費來源與國家扮演角色等。我國國際地位特殊，無法參加 IAEA 或 OECD/NEA 所主辦之國際會議，而 NEN 為東亞和東南亞地區之技術性會議，計有 12 國出席，因此，建議本公司宜繼續積極參與，發表正面議題與政策，促進各國對我國的瞭解，並且展示我國在相關領域之發展現況，俟機推動跨國互惠的合作。
- 二. 「東亞放射性廢棄物營運國際會議 (EAFORM)」係由核研所聯合日本、韓國與美國 Sandia 國家實驗室所發起，針對放射性廢棄物營運技術進行討論與交流，至今已第三屆，參與國家亦從原先四個國家迅速擴增，除東亞的中國大陸新加入外，法國、瑞典與澳洲等國之學者專家亦出席與會，同時國際原子能總署亦派員參加，顯示逐漸獲得國際上放射性廢棄物營運相關學者之肯定。第四屆 EAFORM 將於 2012 年在中國大陸舉行，考量高放射性廢棄物處置工作屬長程性之計畫，須長期投入龐大的人力與物力，而國內礙於自然與社經條件的限制，加以高放射性廢棄物處置的區域合作是一種國際趨勢，因此建議繼續派員參加 EAFORM，經由參加 EAFORM 之機會和大陸進行技術交流，並於會後進一步規劃推動更具體與實質的交流。
- 三. 韓國從 1986 年開始規劃興建 LILW 處置設施，為了加強民眾對興建處置設施之認同，於 2005 年開始採用一系列措施。首先，由政府組成 LILW 處置設施選址委員會，並保證決策過程的透明化與選址的公平性，委員會中有 17 位來自不同領域的民眾與專業人員。其次，透過立法，規定給予興建處置場的區域特定的財政補助，並將 Korea

Hydro and Nuclear Power 總部設於處置場所在地，及舉辦公民投票。再者，政府保證不會在 LILW 場址存放用過核燃料。公民投票結果由 Gyeongju City(慶州)，以高達 89.5%的支持率勝出。從一開始的反對到最後有這麼高的比率贊成興建，作法相當值得我國學習。

- 四. 近年來，韓國核能產業發展快速。在核能發電方面，韓國首部核能機組於 1977 年開始商業運轉，目前已有 21 部機組在運轉發電，並對阿拉伯聯合大公國輸出核能機組。在低放射性廢棄物處置方面，韓國於 1986 年開始規劃及進行選址作業，目前已選定慶州的月城為 LILW 最終處置場址，並於 2006 年開始進行處置場之細部設計與場址細部調查，預計於 2012 年開始啟用最終處置設施。在用過核子燃料營運方面，韓國已與美國合作開發先進再處理技術。就整體發展而言，韓國的核能發電、低放射性廢棄物處置計畫與我國大約同時起步，但其進度已大幅超越我國，值得我方檢討與學習。