

出國報告（出國類別：其他-國際會議）

赴韓國參加「**2008 核燃料績效會議**」，並赴  
韓國 **KHNP** 電力公司訪問

服務機關：原子能委員會核能研究所

姓名職稱：鄭世中 簡任副研究員

派赴國家：韓國

出國期間：97.10.18~97.10.25

報告日期：97.11.25

## 摘要

核燃料績效會議(Water Reactor Fuel Performance Meeting)由歐洲、美國、亞洲各國核能學會輪流主辦，今年 WRFPM 2008 會議於 10 月 19 日至 10 月 23 日在韓國首爾舉行。會議議程包括：

- 輕水反應器核燃料趨勢(Advances in Water Reactor Fuel Technology)、
- 核燃料績效與運轉經驗(Fuel Performance and Operational Experience)、
- 核燃料暫態行為與安全相關議題(Transient Fuel Behavior and Safety-Related Issues)、
- 核燃料循環及用過核燃料貯存運送(Fuel Cycle, Spent Fuel Storage and Transportations)、
- 核燃料模式與分析 (Fuel Modeling and Analysis)

等項目，本所除去年外，歷年來均派員參加，對核燃料安全與發展研究相當助益。主辦單位於 10 月 23 日安排參觀韓國核燃料廠(KNFC)及韓國核能研究所(KAREI)。

會議後於 10/24 赴韓國水力原子力電力公司(KHNP)討論核燃料跨機組運送。韓國水力原子力電力公司於 2001 年由韓國電力公司(KEPCO) 水力及核能部門之電力公司分出成立，該公司之 KORI 電廠曾完成仟餘束用過核燃料機組間運送，其經驗可供國內執行「核燃料跨機組運送」參考。

# 目 次

## 摘 要

(頁碼)

一、目 的	1
二、過 程	1
三、心 得	16
四、建 議 事 項	17

## 一、目的

核燃料績效會議(Water Reactor Fuel Performance Meeting)由歐洲、美國、亞洲各國核能學會輪流主辦，今年 WRFPM 2008 會議於 10 月 19 日至 10 月 23 日在韓國首爾舉行。會議議程包括：

- 輕水反應器核燃料趨勢(Advances in Water Reactor Fuel Technology)、
- 核燃料績效與運轉經驗(Fuel Performance and Operational Experience)、
- 核燃料暫態行為與安全相關議題(Transient Fuel Behavior and Safety-Related Issues)、
- 核燃料循環及用過核燃料貯存運送(Fuel Cycle, Spent Fuel Storage and Transportations)、
- 核燃料模式與分析 (Fuel Modeling and Analysis)

等項目，本所除去年外，歷年來均派員參加，對核燃料安全與發展研究相當助益。主辦單位於 10 月 23 日安排參觀韓國核燃料廠(KNFC)及韓國核能研究所(KAREI)。

會議後於 10/24 赴韓國水力原子力電力公司(KHNP)討論核燃料跨機組運送。韓國水力原子力電力公司於 2001 年由韓國電力公司(KEPCO) 水力及核能部門之電力公司分出成立，該公司之 KORI 電廠曾完成仟餘束用過核燃料機組間運送，其經驗可供國內執行「核燃料跨機組運送」參考。

## 二、過程

### (一) 行程

日期	地點	內容
10 月 18 日	台北→韓國首爾	去程
10 月 19~23 日	韓國首爾	參加 2008 年核燃料績效會議
10 月 23 日	韓國首爾	訪問 KNFC、KAREI
10 月 24 日	韓國首爾	訪問 KHNP
10 月 25 日	韓國首爾→台北	返程

### (二) 參加 2008 年核燃料績效會議

核燃料績效會議(Water Reactor Fuel Performance Meeting)由歐洲、美國、亞洲各國核能學會輪流主辦，今年 WRFPM 2008 會議於 10 月 19 日至 10 月 23 日在韓國首爾舉行。會議議

程包括：

- 輕水反應器核燃料趨勢(Advances in Water Reactor Fuel Technology)、
- 核燃料績效與運轉經驗(Fuel Performance and Operational Experience)、
- 核燃料暫態行為與安全相關議題(Transient Fuel Behavior and Safety-Related Issues)、
- 核燃料循環及用過核燃料貯存運送(Fuel Cycle, Spent Fuel Storage and Transportations)、
- 核燃料模式與分析 (Fuel Modeling and Analysis)

等項目，本所除去年外，歷年來均派員參加，對核燃料安全與發展研究相當助益。

本次會議主題為“**New Clear**” Fuel—A Green Energy Solution，大會揭櫫核能為綠色能源選項之一，核能是一種乾淨的能源，在今日油源日漸枯竭，二氧化碳對地球環境巨大衝擊之時，核能扮演了未來一世紀人類重要能源供應角色。分別以會議論文(66 篇)及海報論文(56 篇)發表，茲就國際研發現況及和國內核能情勢與本所研究關聯性較深的論文簡介如下：

### **New Clear Fuel**

在開幕式時，大會邀請 Exelon—美國最大的核能電力公司的副總裁就大會主題發表，文中第一段即明白的表示：核能不會釋放溫室氣體，社會擔心的核廢料可藉由燃料再處理或直接處置，核廢的量相較於其產生的能量是明顯的小，核能其實與環保才是和平共處的。

(Nuclear power doesn't emit greenhouse gases. Many people who oppose nuclear power ask the question, “What about the waste”? The appropriate response is that there are many solutions to the waste issue. Fuel can be reprocessed, recycled and reprocessed again. It can be directly disposed if the political will is present. Considering the amount of energy produced by nuclear power plants, the waste volume is remarkably small. Nuclear's energy density makes it environmentally friendly. And remember, it doesn't emit any greenhouse gases)

由上述的話，核能從業應該大聲的告訴世人，核能是有能力解決人類未來 200~300 年的能源問題，藉由核能的使用，人類才有時間開發新的綠色能源，才能保護我們唯一的地球，也才能讓人類繼續生存發展。

第二點，他指出由於大修時間的縮短，美國 BWR 電廠已經考慮將 24 月燃料週期縮短，以提高燃料的利用率(utilization)。國內雖然大修時間仍然較美國長，但較以往也大幅縮短，因此台電公司應該注意此一情勢發展，積極向外學習，引進國外優良電廠大修管理制度，原能會亦重視此議題，考量管制措施適度的開放；而不要仍只想著推行長週期燃料循環，近年來燃料束彎曲的議題，些或與長週期燃料循環限制爐心設計有關，長週期運轉對燃料效能是會有衝擊的。

PWR 燃料的改善主要是在護套材料的發展(Zirlo, M5, E110, HANA)···，以及可燃毒物棒的應用，這些發展對燃料使用率及燃耗或有助益，但是爐心分析準確度需要再提升，特別是局部功率計算與新材料性質，需要藉助更多的研究與實驗，方可令人放心。

INPO 提出 Zero by 10，要在 2010 年達成燃料零受損，雖然認為達成的希望不大，但是目前燃料廠家均投入大量人力、物力，努力提昇燃料可靠度，特別在燃料丸製造-加強檢驗技術及和緩操作(soft handling)。抗爐屑技術持續發展中，但是功率提昇(Power Uprate)與水化學策略實施，需要更多的實驗證明其有效性。

MOX 的應用在世界各國發展極為迅速，法國、德國均已大量使用，美國已開始進行先導燃料測試(Lead Use Assembly test)，日本預計明年開始使用。根據東北大學佐藤教授(Nobuaki Sato)說法，明年東京電力將有一座電廠會更換 MOX 燃料，是由日本自己再處理生產製造，日本未來每年預計可處理 800 噸用過燃料。使用 MOX 燃料，除了要發展再處理技術外，新型快中子反應器的設計與材料開發皆需要投入研究，GNEP 的成敗對國內高放核廢之處理有莫大關聯。此次拜訪 KAERI，我深深感受到韓國在這方面的努力，以及國內在這方面的遲滯猶豫。

提昇燃料使用效率，強調乾式貯存罐與運送罐的研發現階段核能工業仍要努力投入，最後指出，我們不應該再重踏 50 年前的覆轍，認為核能是 too cheap to meter。

### **Computational Platform for Nuclear Fuel Development**

日本東京大學教授 Motoyasu Kinoshita 發表本篇文章，文中他提到由於核燃料設計的牽連甚廣，在設計開發時，需要經過大量的實驗，耗費之人力、金錢十分可觀。然而由於計算機的突飛猛進，今天人們已可藉由中子分析程式設計新型反應器、進步的 CFD 程式用以設計新型航空器、而結構模型分析更幫助工程師完成超高摩天大樓。因此與核燃料設計相關的缺角就剩下材料一環，今天吾人將致力於研究各種作用的第一定律(First Principle Law)，藉由分析模式減少實驗規模，但是最後的驗證測試(Demonstration Test)仍有必要。

回想 1993 年我自 Stanford 大學材料系畢業之際，系上聘請一位新教授，他要教的課程的是 Computational Material Science。十五年過去了，目前這套學科在化學合成與電子製程方面已能精確掌握複雜的反應，因此當 Kinoshita 教授提到日本幾所大學目前聯合發展這項分析技術時，我認為國內應該積極推展這項科學，不能再像過去一般土法煉鋼，核研所也應該招募一些年輕有此背景的研究人員投入材料計算科學，不僅是在核燃料開發，對於環能之燃料電池、太陽光電的開發，相信這會是未來一條寬廣大道。

## Advance in Cladding Materials

本節共有韓國 KAERI 的 HANA-6、西屋公司的 ZIRLO、日本 MHI 的 M-MDA、俄羅斯 TVEL 公司的 E110 和 E635 及 AREVA 公司的 M5 等新型 PWR 燃料護套研究與實績發表。目前國內使用的為西屋公司的 ZIRLO，屬於開發較領先、材料性能研究較完整、使用經驗較成熟的材料。AREVA 公司的 M5 在耐蝕性方面表現較佳，但是在高燃耗時成長(Growth)方面有加速現象，這一點較令人擔心。

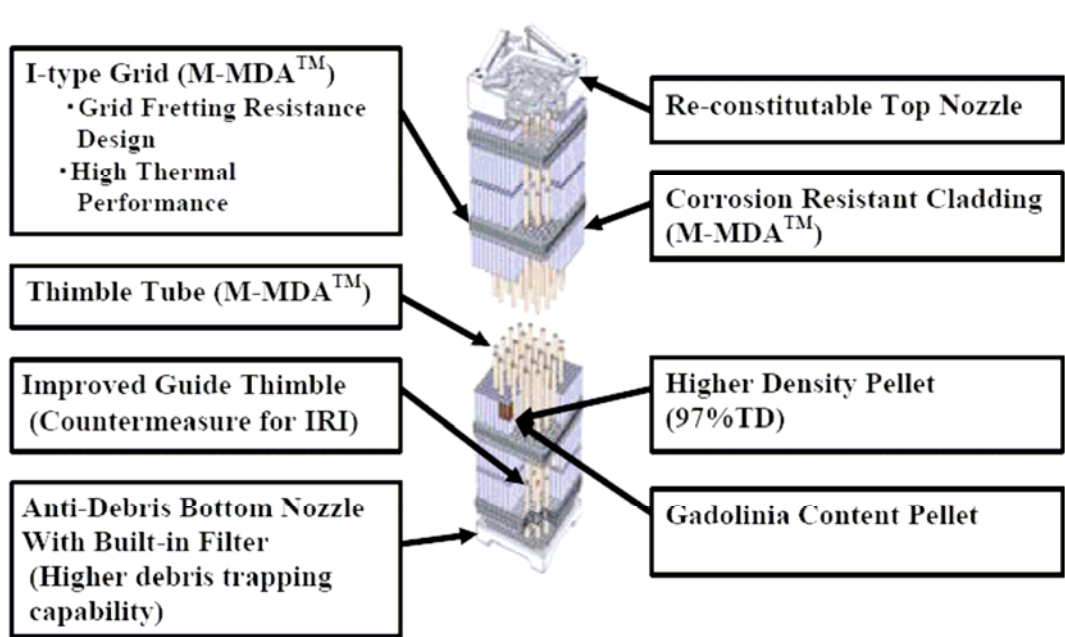
## Advance in Pellet and Burnup Poison

韓國KAERI的Mn-base binary elements doped UO<sub>2</sub> 燃料丸可提供高燃耗與防止PCI，俄羅斯的doped coarse-grained U-Gd pellets 提供對冷卻水的高抗蝕性，用於WWER反應器，兩者皆是藉由加入其他元素，增加晶粒尺寸(up ~35 to 50 μm)。日本NFI研究的Erbia-Bearing Fuel 將用於大於 5%濃縮度之超高燃耗燃料。

瑞典西屋公司BWR燃料丸製程改善，採用自動雷射技術測量每一顆燃料丸尺寸、更嚴格的燃料表面缺陷標準、燃料丸自動影像檢驗系統開發、輕柔處理(Soft Handling)、ADOPT-進步型燃料丸，加入Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，自 1999 年採用以來，已有兩個完整的Reload經驗。

## Advance in PWR and PHWR Fuel

日本Mitsubishi PWR Nuclear Fuel with Advanced Design Features，文中說明MHI開發進步型PWR燃料，目標是燃耗達 55GWD/MTU，手段包括使用M-MDA護套及中心導管，降低腐蝕與彎曲，高密度燃料丸(97%TD)、可燃毒物Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，增加燃耗，可拆式上管嘴與抗爐屑下管嘴設計，降低爐屑磨損。



法國AREVA提供MOX燃料製造與使用經驗。目前MOX在歐洲用於PWR及BWR，約可佔 1/3 爐心的使用量，MELOX廠容量 195 公噸，目前每年產量達 145 公噸，其中供應EDF佔 100 公噸。目前燃耗已與UO<sub>2</sub>燃料相當。

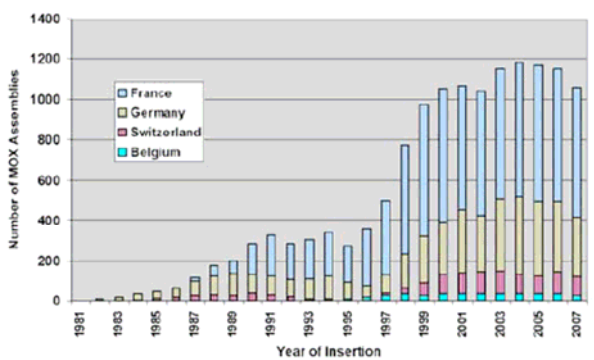


Fig. 1. Insertion of PWR MOX Fuel Assemblies Supplied by AREVA NP

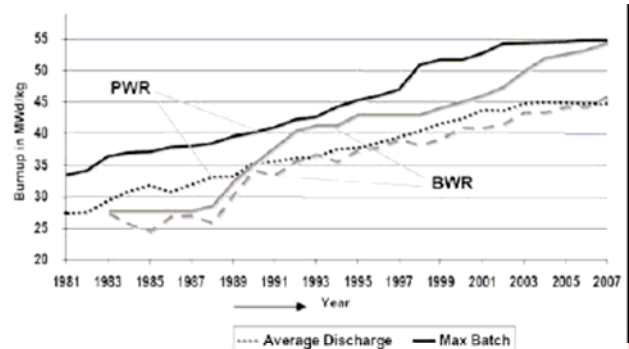


Fig.8. Development of Discharge Burnup in BWRs and PWRs (Exemplary Data)

### Fuel Performance and Operational Experience

西班牙Iberdrola電力公司在Cofrentes 電廠(BWR6, 24Month Cycle)對三家BWR燃料進行池邊燃料匣檢驗(24 SVEA-96 +/L, 68 SVEA-96 Optima-2, 36 GE-12, 42 GE-14 and ATRIUM-10XP)，這是EPRI主導的計畫，結果顯示陰影腐蝕(Shadow Corrosion)對燃料匣並未造成明顯的彎曲與腫脹，DT檢驗尚在進行。西屋公司燃料匣因為有內部internal water cross，燃料匣腫脹較另兩家為輕。陰影腐蝕的確造成腐蝕的不均勻，但是燃料匣彎曲主要是中子通量梯度所致與陰影腐蝕無關。

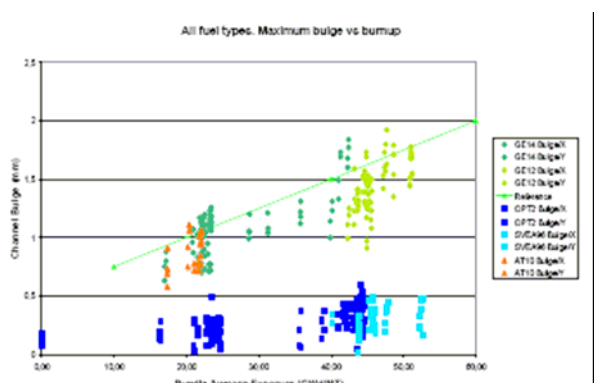


Fig. 4. Maximum Bulge vs. Bundle Exposure Comparison

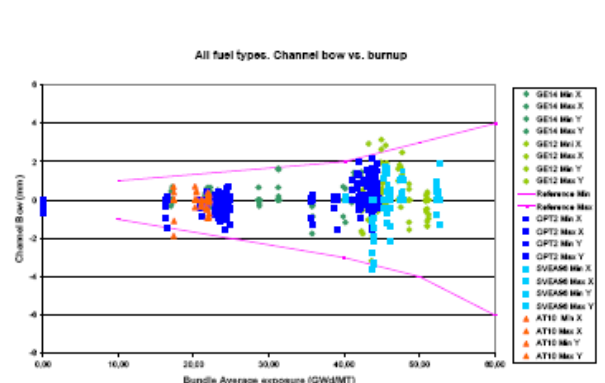
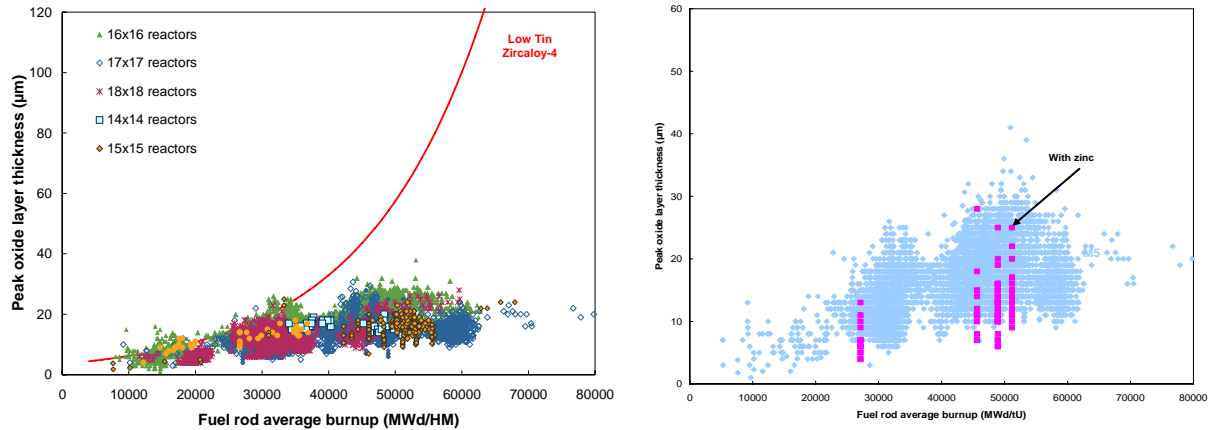


Fig. 5. Maximum Bow vs. Bundle Exposure Comparison



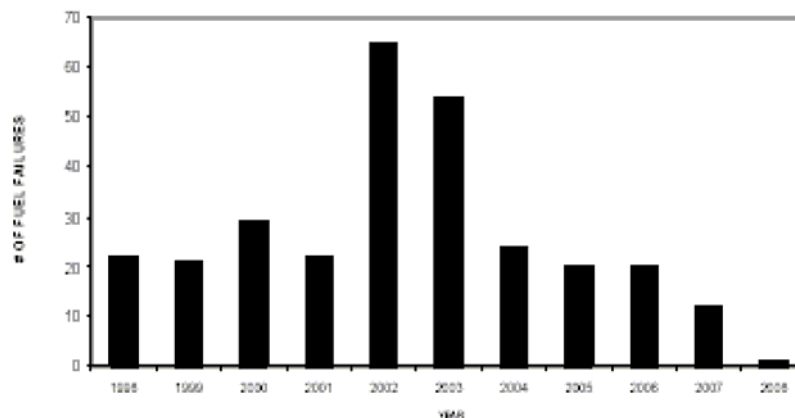
AREVA公司“Corrosion behavior of alloy M5<sup>TM</sup>: experience feedback”提供相當多的M5電廠運轉數據。下左圖為M5與Zircaloy-4腐蝕的比較，M5較Zircaloy-4在高燃耗區域抗腐蝕能力較佳。下右圖為加鋅(5/10 ppb)結果比較，燃耗超過51GWD/MTU，加鋅並未對護套腐蝕產生不良影響。



## Failure Analysis and Water Chemistry

### “LWR 2010 Zero Leaker Initiative...How Do We Get There?”

INPO於2006年提出之2010 Zero Leaker program，各燃料廠家均致力於底部管嘴爐屑過濾器設計，此外Soft Pellet及Additive Pellet用以防患PCI現象，新型護套合金開發用以抵抗加速腐蝕現象，最近燃料可靠度已恢復90年代末期水準。

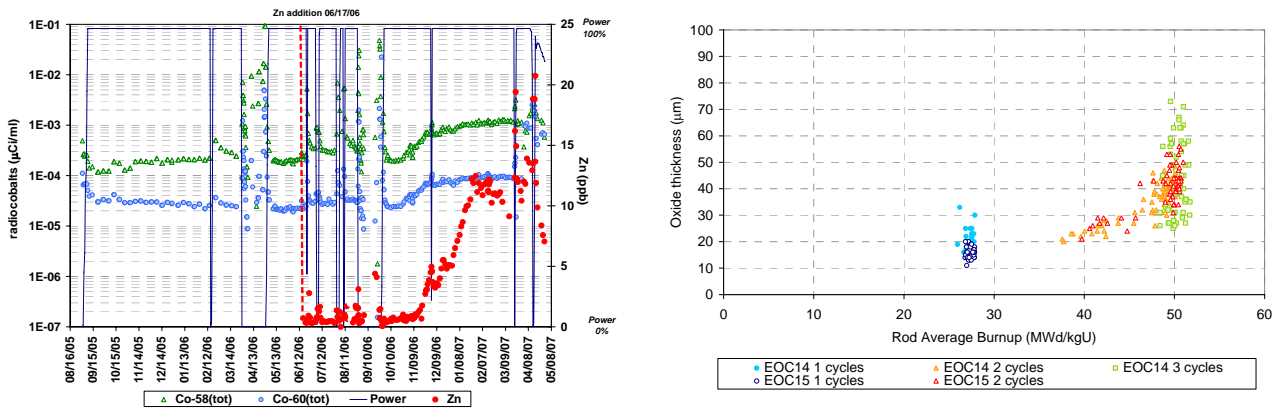


### “Spanish Experience of Fuel Performance under Zinc Injection Conditions in High Duty Plants”

西班牙PWRS (VANDELLÒS II, ASCÓ I & ASCÓ II)進行爐水加鋅，以降低廠區劑量。三座電廠與核三廠相同，均為西屋3環路PWR，157束燃料，使用ENUESA燃料，屬於高負擔電廠(High Duty Plant)，目前已進行第二週期運轉。

第一次燃料池邊檢驗結果ZIRLO<sup>TM</sup> 腐蝕並未有太大不同，然而目前僅是週期中加鋅，下一週期會遇上週期開始時高鋰濃度3.5 ppm狀況，目前結論尚早，核三廠擬進行爐水加鋅，建

議與ENUSA 公司(Ms. Alicia Sánchez)保持聯繫。本案屬於EPRI-FRP計畫的一部分，台電應可獲得EPRI完整資料，建議核三廠可進行加鋅規劃，但要等西班牙電廠結果後再進行。



### “Locating Failed Fuel With An Optimized BWR Flux Tilt Procedure”

一般來說在BWR電廠採取“Flux Tilt”技術尋找破損燃料位置時，都會降低爐心功率，以避免燃料遭受過大應力，產生PCI破損，如此一來電廠將損失電力生產。西屋瑞典公司發展之高功率下“Flux Tilt”技術，反應器功率在90%，具有相當高的準確性，同時避免控制棒抽插過劇，產生PCMI破損。

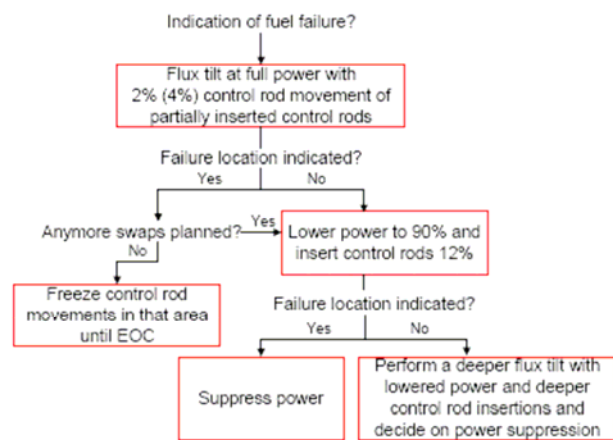


Fig. 1. Algorithm for deciding on fuel failure operating strategies

### Transient Fuel Behavior and Safety-Related Issues

本節主要係討論在LOCA與RIA事件對高燃耗燃料的影響及核管單位對法規限值的修訂。在1993年CABRI Rep-Na1實驗結果震驚核能界，經過近15年的探討，目前在反應器的DEMO實驗多已完成，研究方向集中在討論這些實驗結果所代表的意義。今年會議對於以往CABRI Rep-Na實驗及NSSR實驗已無太多討論，多篇討論日本JAEA、法國EDF及IPSN發展的分析程式能預測實驗結果，另外對於新材料以及MOX燃料的影響有較多的探討。其他如韓

國、匈牙利及印度等國家對於鋳合金在LOCA狀態及功率暫態下，護套氧化速率、氫化物分佈與重排列於對材料劣化的影響及潛變性質研究，目前本所燃材組仍有小規模實驗繼續進行，值得將結果發表。關於LOCA事故17%氧化膜厚度限制及RIA事故蓄能(Stored Energy)170 Cal/g的限值以及限值隨燃耗的改變，目前各國核管單位仍未改變立場。

## Fuel Cycle, Spent Fuel Storage and Transportation

### “Testing of Metal Cask and Concrete Cask in CRIEPI”

日本發展用過燃料運送及貯存罐，包括金屬與混凝土護箱等形式，下圖為其計畫時程，可供本所發展高容量貯存罐計畫參考。在混凝土護箱展示測試項目包括全尺寸護箱設計、製造，熱移除試驗(Heat removal Test)-正常與意外狀況、墜落試驗(Drop Test)與地震試驗。

Schedule of Demonstration Programs For Storage Cask

Program Item	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
<i>Concrete Cask Performance Test</i>									
a. Basic Design									
b. Fabrication of full-scale concrete cask									
c. Demonstration tests									
- Heat removal				Full-Scale					
- MPC Drop					Full-Scale				
- Seismic		1/3scale				Full-scale			
d. SCC evaluation test									
<i>Containment Performance Test of Metal Cask</i>									
a. Drop Test without Impact Limiter					Full-Scale				
b. Aircraft Crush Test							* Horizontal Test : 2/5Scale		
							* Vertical Test : Full-Scale		
c. Long-term Confinement Test of Lid Structure									Full-Scale

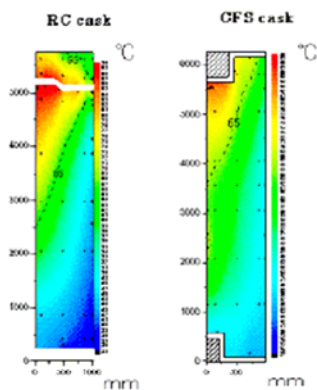
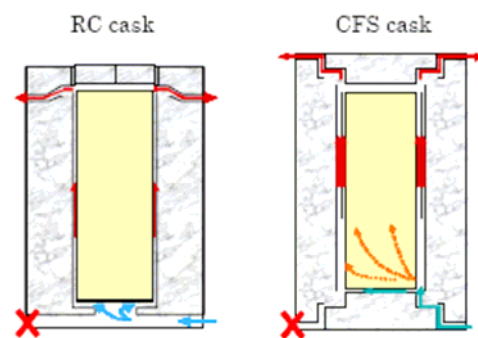


Fig. 6. Temperature Distributions of the Concrete Inside in Normal Conditions



Symbol × means the position of inlet blockage.

Fig. 8. Flow Patterns under 50% Blockage of the Inlet Ducts

TABLE IV

Temperature and Flow Rate at 22.6kw under the Normal Condition and the Accident Condition of 50% Blockage of the Inlet

Item	Cask Type	RC cask		CFS cask	
		Normal	50% blockage	Normal	50% blockage
$T_{in}$ of air (°C)		33		33	
$T_{max}$ of concrete body (°C)		91 (90 *)	96 (175 **)	83 (90 *)	93 (175 **)
$T_{max}$ of canister surface (°C)		209	214	192	200
$T_{max}$ of guide tube (°C)		301	306	228	235
$\Delta T$ of air (°C)		65	70	52	66
Flow rate (kg/s)		0.335	0.321	0.363	0.280

\* Allowable Temperature Limit Value for the long-term: 90°C<sup>5</sup>  
 \*\* Allowable Temperature Limit Value for the short-term: 175°C (within 24 hours)<sup>6</sup>

Drop Test Conditions

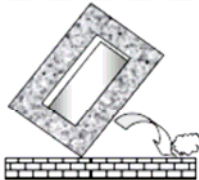
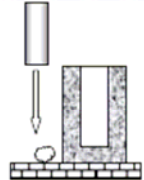
Non-mechanical drop or impact events during handling	Tipping-over Event : Equivalent drop height for rotational velocity caused by tipping-over from height of GC		Drop Event : Drop height from cask height	
Orientation	Horizontal		Vertical	
Height	1m*		6m**	
MPC	Type I		Type II	



Fig. 9. Horizontal Drop Test



Fig. 12. Vertical Drop Test

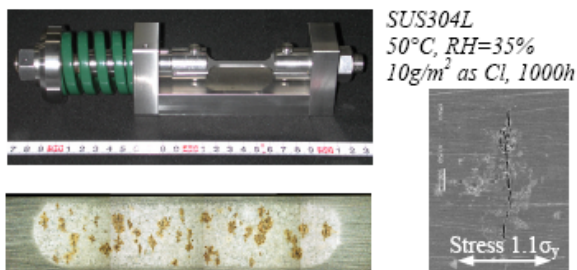


Fig.19. Corrosion Test with UNS S30403 SS



Fig.22. Crack Growth Test



**“Non destructive inner pressure measurement for industrial irradiated nuclear fuel rods using focused acoustic sensors”**

法國AREVA開發以聲波測量燃料棒內壓，此項技術在90年代曾經研究過，但是因為燃料氣室的壓緊彈簧將聲波衰減，並不成功，這次AREVA公司改良探頭後獲致相當不錯的結果。此項技術可用於偵測燃料破損、燃料燃耗測量以及貯存完整性檢驗，頗值得投入研發。

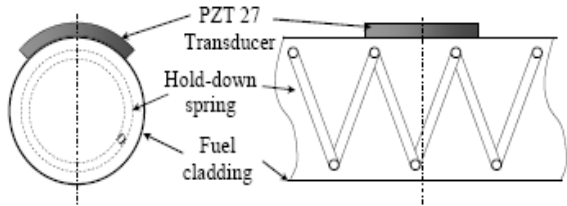
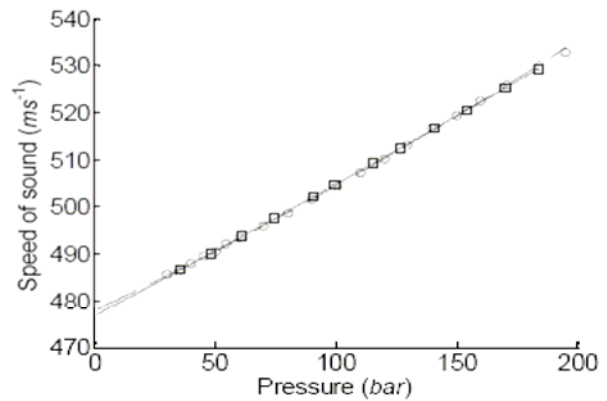


Fig. 5. Schematic representation of measurements process.



**“Preliminary Evaluation of the Transportation Cost for PWR Spent Fuels in Korea”**

韓國核電廠多在東海岸，未來規劃燃料中期貯存場及再處理工廠均在東岸，但西部YG電廠六部機組用過燃料將採海運方式運送，本文以情境分析評估所需技術及費用。



TABLE IV  
Transportation cost for 7,2000 tU of spent fuels from YG site.

Items	Cost (MWon)
Investment	136,452
Operation	111,425
Decommissioning	13,645
Total	261,500

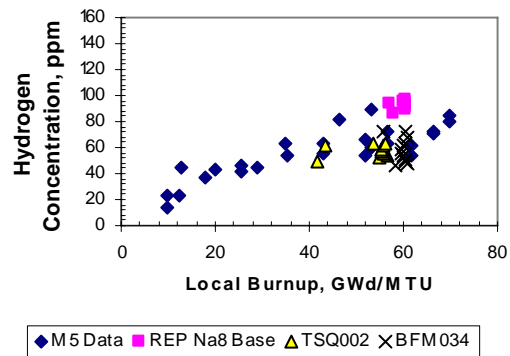
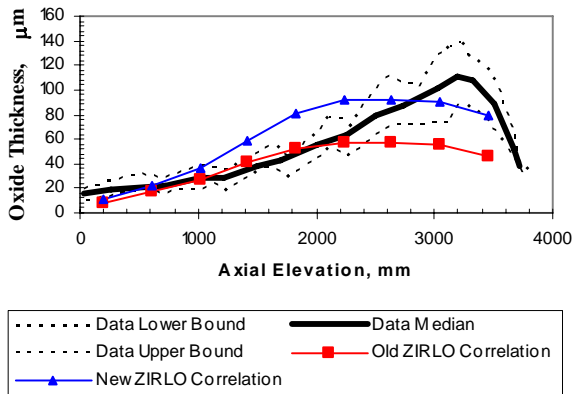
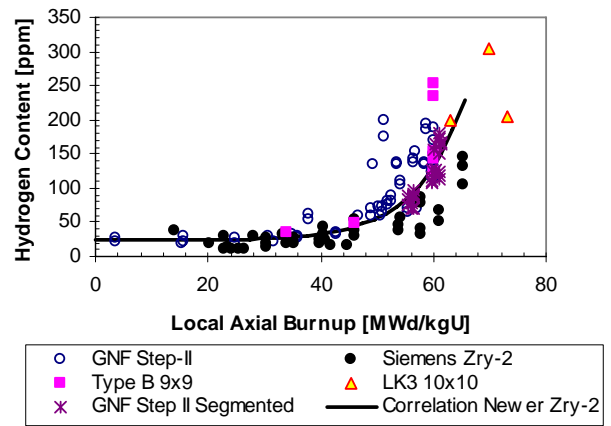
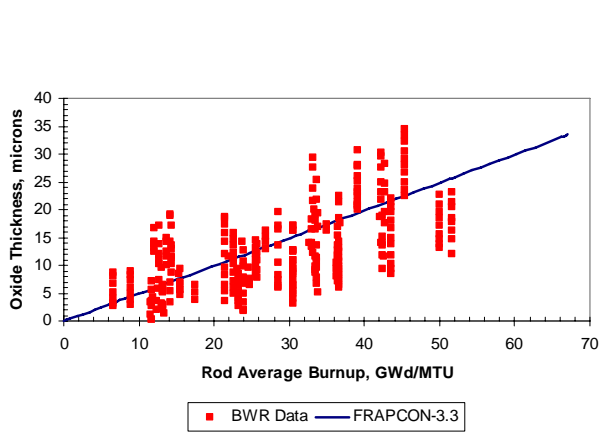
**Fuel Modeling and Analysis**

**“Corrosion and Hydrogen Pickup Modeling in Zirconium Based Alloys”**

FRAPCON是NRC使用的License Code，本所曾經使用FRAPCON-2來平行驗證燃料申照審查，後來引進EPRI的SCORE程式，FRAPCON-2就沒有繼續維持，然而PNL繼續發展，目前為FRAPCON-3版本，由於程式使用無需付昂貴的使用費，頗受一般學校歡迎，每年還舉行用戶群討論會議。

本篇文章討論鋳合金腐蝕與氫吸收模式，除了原有的Zircaloy-2 和 Zircaloy-4之外，還加

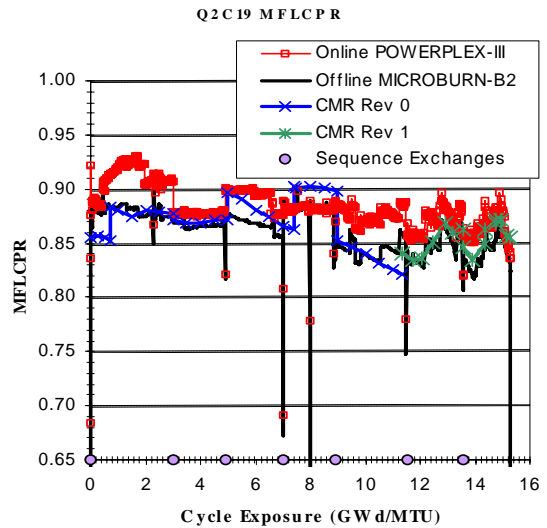
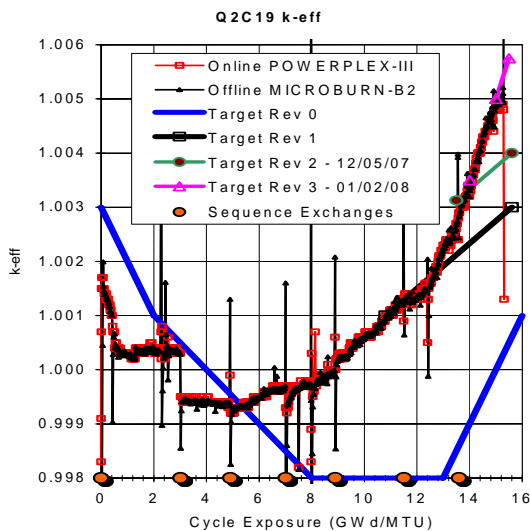
入 ZIRLO™ 及 M5™材料，以下是分析BWR燃料及PWR燃料結果。目前本所已向ANL申請，希望引進該程式，與FALCON程式做比對研究。



### “Application of CASMO-4/MICROBURN-B2 Methodology TO Mixed Cores with Westinghouse Optima2

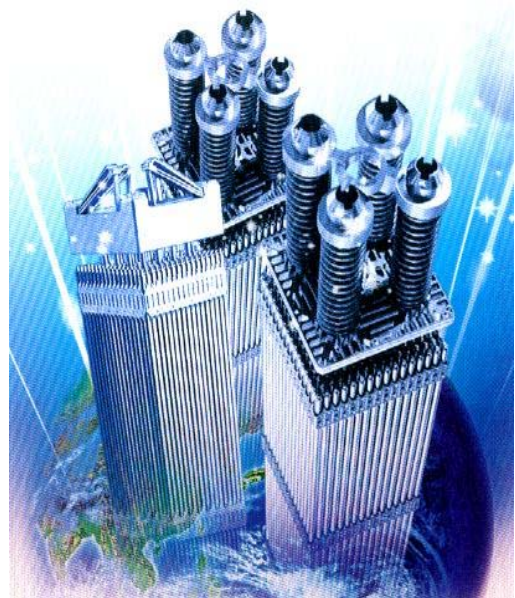
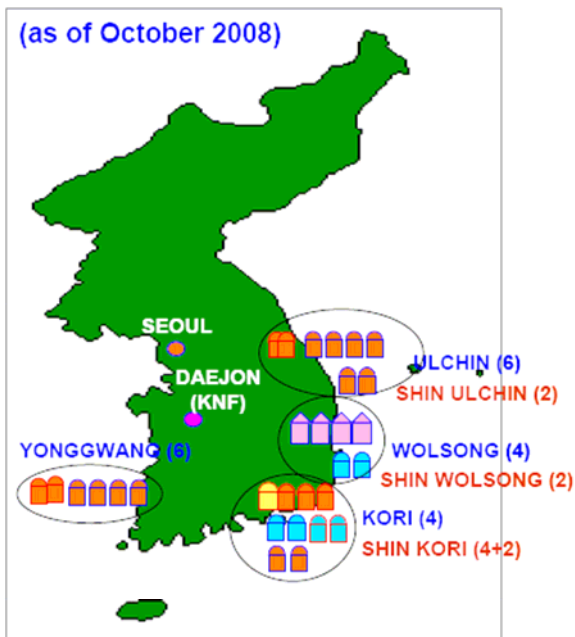
EXELON為美國擁有最多核能機組的電力公司，由於Quad Cities Unit 2 Cycle 19燃料更換，使用了GE14及SVEA-96 Optima2 兩種燃料，卻使用AREVA POWERPLEX-III 爐心監測系統。因此該公司以結合三家不同燃料廠家產品得特殊組合進行爐心設計。分析結果顯示  $K_{\text{eff}}$  under prediction，週期末需降載運轉。

本文作者為清華大學核工系76級蕭明遠學長，由於電廠運轉經驗使得蕭明遠先生熟稔西屋、GE與AREVA的分析技術，對於不同廠家燃料混合爐心的分析有相當的經驗。



### (三) 參觀 KNFC 及 KAREI

大會於會議後，10月23日安排參訪，目的地是KNFC(韓國核燃料公司)及KAREI(韓國核能研究所)，位於韓國中部的大田市(Daejeon)，距離首爾約2小時車程。兩者事實上在同一地點，推測當年KNFC應該是從KAREI分出獨自運作。

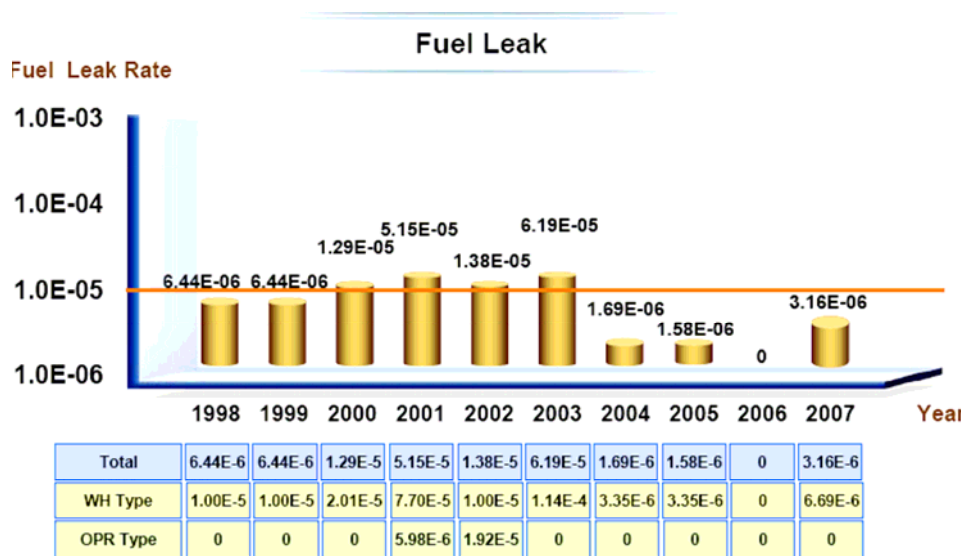


KNFC成立於1982年，目前供應全韓國16座PWR及4座PHWR核能電廠的燃料，年供應量300噸PWR燃料及400噸PHWR燃料。韓國核電廠雖然號稱是標準化設計，但仍然有許多型態，其一是西屋公司PWR、其二為韓國自行設計，源自CE公司之SYSTEM 80 PWR，其三為CANDU反應器。因此KNFC生產燃料有W14×14、W16×16、ACE717×17、PLUSE7 16×16及CANFLEX 37...等類型。

KNFC提供爐心設計、LOCA分析、及電廠燃料服務。燃料設計與分析技術來自西屋公司，

詢問該公司人員，KNFC並無實驗測試設施，所需必要的測試皆委託西屋公司進行，KAERI並不支援商業產品的研究。

韓國燃料的品質並不很好，幾乎每個週期都有燃料破損，韓國人堅持自行製造核燃料，勇氣可嘉，但是燃料設計與測試仍需仰賴原技術提供者，產品過多種類，製造上品管困難。國內若自行製造生產燃料，應當要簡化成PWR與BWR兩種，雖然過去評估台灣應在機組裝置容量達20GWe後再投入核燃料製造，但從韓國、西班牙、中國甚至印度的例子，台灣應該要更早規劃進行。

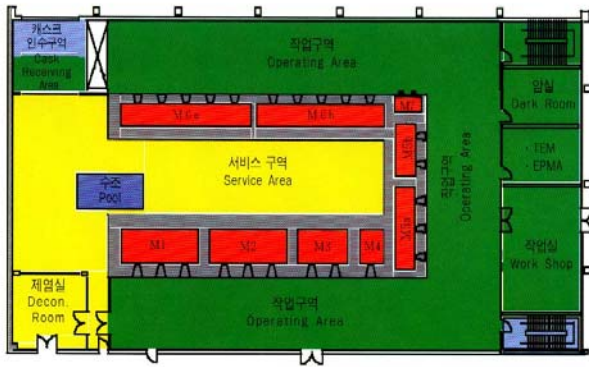


KAREI的訪問僅參觀熱室IMEF(Irradiated Materials Examination Facility)。KAERI有兩間熱室，IMEF較新，建於1994年，當時花費2000萬美金，約6.5億台幣，用於核燃料及爐內組件檢驗及HANARO實驗反應器燃料製造。舊熱室(ACPF)則用於照射後燃料處理。

IMEF給我的第一印象是乾淨，工作空間寬大，鉛玻璃明亮，ㄇ字型建築有8間重質混凝土熱室，及一間鉛室。下半邊為燃料NDT與DT檢驗(VT、XRD、Dimension Measurement、ECT、Gamma Scan, Fission Gas)與材料機械測試(Impact, Tensile, Fatigue, Fracture Toughness, Hardness)熱室，中央為燃料貯存室與金相顯微鏡(鉛室)，上半邊為燃料處理，類似國內安定化處理及DUPIC將用過燃料在製成CANDU燃料，外圈為精密儀器間包括EPMA及TEM。

IMEF熱室檢驗工作人員12人，6位科技、6位技術員。相較燃材組目前熱室雖然人數多，但科技人員多加入其他研究計畫，例如TLIPA、新能源...等計畫，而技術員需支援熱室運轉值班、核電廠大修、工安、輻安管制...等工作，實際投入熱室燃料檢驗與安定化作業的人力遠低於編制人力所顯示。熱室夜間不值班、空調關閉，高輻射管制區以外通風關閉，這些措施和我在日本NFD公司及瑞士PSI研究所看到的相同，今年8月燃材組已試辦下班後系統改自動控制、半負載運轉，希望明年初即可和其他國家熱室相同，取消夜間值班。





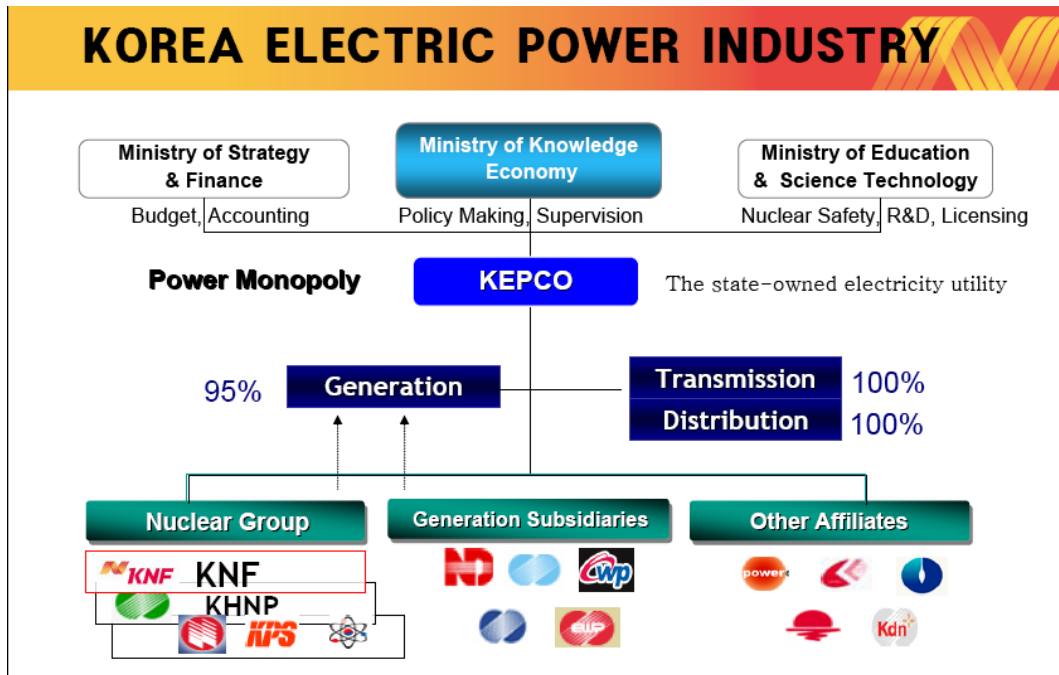
光學顯微鏡  
TELATOM 3

從KAREI年報顯示，KAERI的研究已跳脫現在運轉的反應器課題，進入研究第四代反應器、液態金屬實驗、雷射應用、機器人、高溫材料...等題目，雖然有些論文發表較日本、法國慢，但可看到KAREI的進度年年向前，特別是今年，身為主辦國，KAREI投出相當多的論文，這可以類比韓國舉辦奧運與世足賽時，韓國當年的成績就突飛猛進。如果我們想爭取舉辦一些國際會議，一定先要提高論文的產出，可以幫助提昇國內研究水平。

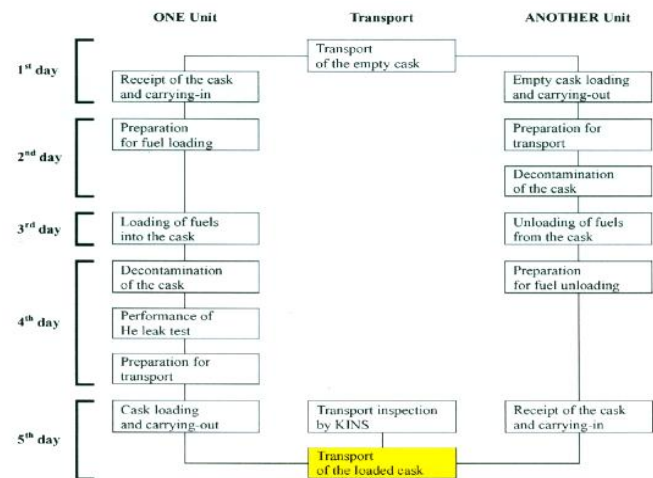
#### (四) KHNP

韓國電力公司(KEPCO)於2001年分立5家區域火力發電公司、並將水力與核能部門成立KHNP(Korea Hydro & Nuclear Power Co. )。目前韓國有4座核電廠址，20部機組運轉，其中有8部西屋PWR、8部OPR1000及4部CANDU，另外6部機組建造中，總容量20GWD，佔韓國電力19%。

# KOREA ELECTRIC POWER INDUSTRY



KORI-1與KORI-2為韓國最早的兩部機組，用過燃料池也不堪負荷，但是因為KORI興建了3、4號機，因此KHNP以跨機組運送，並未採用乾式貯存來解決用過燃料貯放的問題。KORI使用的運送鉛罐是 KSC-4，源自CASTRO KN-12，符合IAEA Type B(U)F Package 運送法規，KHNP已完成超過仟束PWR燃料廠內跨機組運送。



和核一廠跨機組案不同的地方：1) 運送標的物不同，PWR燃料 (BU~50GWD/MTU, Cooling Time>7 Years) vs. BWR燃料(BU~30GWD/MTU, Cooling Time>20 Years)，2) 運送罐符合法規不同，採用IAEA燃料廠外運送規定 vs. 採用10CFR50核電廠作業規定，3) 運送方式不同，濕法含水 vs. 乾法抽真空，4) 運送方式不同，運送罐橫躺 vs. 運送罐直立，5) 運送時機不同，平時 vs. 緊急。

由於時程短暫，本次僅訪問在首爾的韓電總部，未能赴KORI電廠與現場工作人員討論，許多運轉操作細節資訊無法獲得，頗為遺憾。

### 三、心得

以下就本次參加會議及訪問所得之心得摘要敘述如下：

1. 核燃料實績會議自 2003 年起改由美洲核能學會(ANS)、歐洲核能學會(ENS)與日本核能學會(AESJ)輪流在美、歐及亞洲每年舉辦，論文來自燃料廠家、電廠、核管單位、學術界及國家研究所，內容包括最新核燃料議題，為當今核燃料界最重要的會議。本屆會議在韓國舉辦，2009 年將在法國巴黎舉辦，並與 GLOBAL 核燃料循環會議共同舉行，建議派員參加，並就目前熱室燃料檢驗與跨機組計畫向大會投稿。
2. 會議中和 EPRI Dr. Suresh Yagnik 談到 NFIR 計畫的未來，本所目前仍參加 NFIR-V 計畫，但未承接計畫工作，由於出國名額限制及時間無法配合，本所已經有兩年沒有與會，目前 NFIR-V 計畫尚剩下 2 年，明年將開始調查 NFIR-VI 計畫參加意願及研究方向，Dr. Yagnik 當然會擔心核研所不參加，希望 Utility(台電)能和研究機構(INER)共同參加。由於所長曾經表示要加強與 EPRI 的合作，燃材組對於是否參加 NFIR-VI 計畫宜早規劃。
3. ANT-International 公司在會場展覽，是唯一非韓國的廠商。該公司為瑞典公司，但網羅許多核能界專家，提供鋳合金、電廠水化學、材料老化、核燃料製造與稽查、燃料破損管理...等資訊與訓練課程，目前人員已擴充至 40 餘人。本所曾經參加其 IZNA 計畫及購買核燃料製造稽查手冊，其內容頗豐，對於核能人員提供相當好的核燃料入門資料。負責人 Dr. Peter Rudling 與 Dr. Ron Adamson 曾在 2006 年來本所提供一天訓練，原本今年想順道來台灣推展業務，但因時間無法配合而取消。
4. 世界核能復甦，許多以往未曾參加的國家，在 IAEA 經費補助下出現在會場，可看出世界各國推展核能的志向。AECL 近十年來首度參加，發表許多 CANDU 反應器的研究，雖然與國內系統不同，感覺上是在推銷該國的系統，為打開未來市場宣傳，同樣的俄羅斯也積極推銷 VVER 反應器，核能界充滿生機。
5. 中國大陸積極發展核能，2005 及 2006 年會議皆派員參加，本次會議在韓國舉行，原先有兩篇論文擬發表，最後卻無人參加，不知是否是受到世界金融風暴影響。印度因核武受到限制，轉為獨自發展自己的 PHWR 系統、鈾燃料、鋳管製造及核燃料

製造，雖然發表的論文與其他國家方向迥異，但是印度科學家卻充滿自信與驕傲，與會人士皆訝異他們的成就。

6. 西班牙與台灣核能發電容量相當，原有 9 部機組，BWR 與 PWR 都有，現在關掉一部機組剩下 8 部機組。但是西班牙在爐心設計、核燃料製造、反應器設計、廢料處理各方面均投助工業發展，目前該國核能實力在歐洲僅次於法國，台灣若要發展核能工業，不妨借鏡西班牙經驗，以為參考。Mr. Sedano，他曾因本所與 IBERDROLA 合作引進爐心分析技術，來過台灣，對於石門活魚印象深刻。ENUSA Ms. Sanchez 負責 PWR 加鋅檢驗，將來核三廠加鋅可向西班牙學習。
7. 韓國核能發展一向十分積極，韓國電廠標準化設計引以為傲，然而隨技術發展，標準化設計也會有改變的時候，目前韓國的標準設計已從 OPR1000 進步到 APR1400，我也會訝異 KNFC 居然需要生產五種不同的燃料。KAREI 的發展與本所截然不同，他們投入更多在下一世代的核能技術，核能發電及核燃料現存的運轉問題由韓電及 KNFC 去研究解決。從韓國舉辦本次會議，該國核能業全力動員，韓國發表的論文近佔 1/3。
8. 熱室運轉值班與維持高換氣率通風室是本所熱室維持最大花費之原因，參考 KAERI、瑞士 PSI 與日本 NFD 運轉策略，本所熱室目前積極改善例行運轉系統，以遠端監測與自動保護系統取代人工值班，節省人力及水電，應符合世界潮流。

#### 四、 建議事項

1. 核燃料實績會議 2009 年將在法國巴黎舉辦，並與 GLOBAL 核燃料循環會議共同舉行，建議派員參加，並就目前熱室燃料檢驗與跨機組燃料運送向大會投稿。
2. 舉辦國際會議，花費不大，成效卻很豐富。目前台灣爭取舉辦 WRFPM 會議尚未具備條件，但是舉辦 NFIR 指導會議應該很有意義，如果爭取 2010 年舉辦，應該要向 EPRI 表示，並要開始籌畫。
3. 目前金融風暴對於剛要復甦的核能工業定有所打擊。但是危機也是轉機，國內應趁此機會，投入資金，收購技術，拓展未來市場。