



# 프랑스의 原子力開發計劃

## —標準化의 利點—

프랑스가 1970년에 착수하여 1974년 제1차 石油危機 직후에 拍車를 加한 原子力開發計劃의 規模와 迅速한 推進, 品質向上目標 그리고 짧은 工期 等 여러 要因들이 標準化를 必要하게 하였다.

原子力開發計劃이 成功의 이라는 既定事實은 標準化가 妥當한 原則이었다는 分명한 證據가 된다. 標準化의 適用은 프랑스電力公社의 特殊한 立場—設計者인 同時에 發電所 所有者이고 運轉者라는 位置—때문에 可能했다는 것이 사실이다.

在來式 火力發電所의 建設에 이미 적용해 왔고 지금은 大規模 開發計劃에도 適用하고 있는 發電所 標準化 政策의 推進은 投資節減, 工期短縮 등을 可能하게 하였고 研究, 機器製作, 發電所建設, 運轉, 訓練 및 從業員의 技能 等 많은 分野의 不確實性을 경감시킬 수 있었다. 더욱 可用研究施設을 集結시켜 各分野의 研究를 深化시킴으로서 安定성과 設備의 信賴性이 提高되었다.

### 工期, 費用, 危險負擔의 輕減

龐대한 計劃에 있어서 標準化 政策으로 얻어

지는 工期 및 費用 減少要因은 아주 쉽게 確認할 수 있다.

一聯의 발전소중 한 발전소가 건설되었다면 分明히 Series 效果 때문에 工期短縮, 研究費 및 機器製造費가 節減될 것이고, 現場의 建設 및 試運轉도 徒弟效果和 經驗的 學習의 덕으로 費用이 節減될 것이 分明하다.

工場作業에 있어서 Series效果를 例로 들면 프랑스 原子力開發計劃은 每年 6萬個의 雜多한 밸브와 마개 (stop-cocks), 250개소의 熱交換裝置에 所要되는 11,000km의 配管, 130,000個의 터빈 날개 등등이 소요된다.

바로 原子力開發計劃의 規模 그 自体가 이 分野에 從事하는 會社中 一部를 企業集中(concentration)하도록 유도하였다. 이것은 또한 기업의 專門化를 촉진하고 主契約者의 유대를 強化하였다.

프랑스전력공사는 이렇게 하여 값진 新技術을 얻게 되었다.

發電所의 主機器는 두개의 先導企業에 依해서 大規模로 供給되었다. 즉 1차계통(보일러, 증기발생기, 加圧器 등)은 Framatome社가, 터빈발전기는 Alsthom-Atlantique社가 담당하였다.

모든 製造業체들 특히 위의 두 企業이 費用·工期 및 品質에 있어 뛰어난 條件을 갖춘 大規模生産工場에 投資할 수 있었다.

大型機器를 例로 들면 年間 8基의 原子炉容器를 生産하는 工場과 1년에 24基의 蒸氣發生器를 生産하는 工場, 그리고 같은 용량의 1次系統 펌프 製造工場을 말할 수 있겠다.

그러나 關聯大會社의 名聲 때문에 이 分野의 中小企業을 度外視할 수는 없다. 1981년에는 프랑스에서 約 20萬의 人力이 原子力産業에 從事하였고 5,000個의 會社에서 이들을 고용하였다.

프랑스 原子力開發計劃은 이들 中小企業을 原子力機器가 要求하는 品質基準에 適合하도록 企業의 能力에 따라 選別이 可能하게끔 하였다. 實際로 各企業은 이 共通의 挑戰에 直面하여 빨리 組織을 改編하고 品質基準의 要求를 신속히 成就하였다.

各會社 參謀들의 技術的 熟練은 具體적으로 프랑스 原電개발계획의 성공적 추진에 기여하여 왔다.

原資材 調達에서 시작하여 여러가지 製造過程을 거쳐 現場組立과 運轉에 이르기까지 모든 種類의 部品과 機器의 繼續적이고 大規模적인 흐름은 우발적사고에 의한 工期의 一時的 延長 可能性을 피할 수 있도록 여러가지 수단을 강구하게끔 하였다. 이 우발적사고에 의한 공기연장이란 이러한 복잡한 대규모공사에는 많이 발생하기 마련이다.

이렇게 해서 品質管理에 不合格 되었거나 組立 및 試驗과정에서 결함이 發見된 部品이나 機器는 문제점을 修正 補完한 後에 다음 製品으로 交替하고, 交替 供給된 物品은 다시 같은 과정을 밟아 交換된다. 結果적으로 全工程이 變動이 없이 進行되는데 그 理由는 모든 잠재적인 지연要因이 발전소건설의 基本工程(the elementary margins)에 全体的으로 吸收되기 때문이다.

이 “우발적사고”를 本質적으로 防止하기위하여 工程管理를 훌륭히 수행하도록 하였고, 反對로 이 防止策은 短縮된 基本工程의 構成要素들이 各己 全效力을 發揮할 수 있게끔 하였다.

프랑스電力公社와 政府 安全規制當局間의 關聯 業務分野에 있어서의 標準化의 利点 — 이것은 安全規制가 容量別로 各己 다르게 設定되어 있을 경우에만 상상할 수 있는 것이지만 — 亦是 認定되어져왔다.

實際로 原子力發電所의 安全性試驗은 嚴格하고도 正確한 節次에 따라 한基, 한基씩 수행되어 왔다. 그러나 同一 容量發電所의 標準化品目은 集團方式(Group basis)으로 試驗을 실시하며, 이 시험절차는 後續機의 건설·허가수속을 취하는 동안에 새로운 문제나 개선의 必要性이 나타날 때에는 다시 추가할 수 있는 것이다.

同一 容量의 發電所에 대한 安全性 報告書는 다음과 같이 두가지 部分으로 提出된다.

- 첫번째部分은 發電所 容量에 대한 標準要素와 關聯된 것으로 같은 容量의 發電所에 對하여는 同一하다.

- 둘째부분은 發電所 數地問題에 關聯된 것으로 例를 들면 이 報告書는 數地의 特性들(人口, 地震, 洪水의 危險 등), 일어날지 모를 特別한 危險들(가까이 있는 수송로, 가스나 탄화수소의 저장소, 항공관계 등) 그리고 사용되는 冷却裝置系統 問題 등을 취급했다.

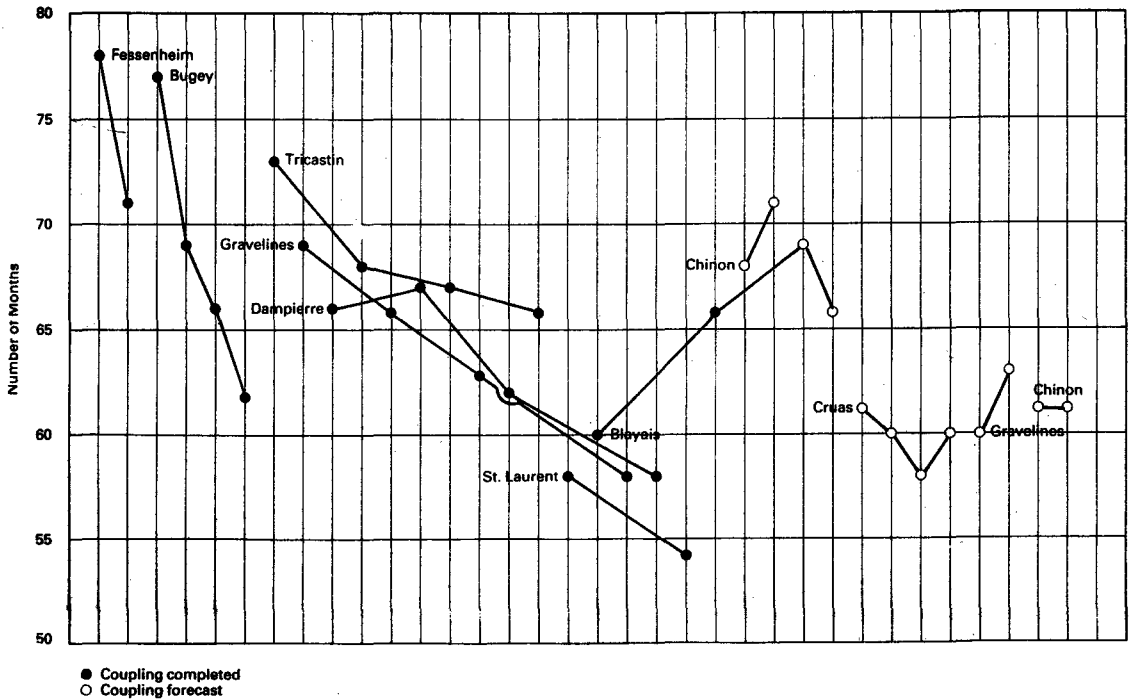
例를 들면 最近의 28基와 關聯한 安全規制 當局과의 協議가 1978年 11월에 始作하여 1980年 6月 첫 發電所가 始動될 때 가서 끝이 났으나, 後續 17基의 경우는 一般的인 案件을 協議한 數回의 會合만으로 終結되었다.

보일러 건설 發注로부터 系統併入까지 建設 工期가 最初 2基의 80個月에서 最近에는 60個月에 가까운 數值로 短縮되었는데 여기에는 현재 상업운전중인 23基의 平均 工期 65個月이 포함되어 있다(表 1 참조).

이 実績을 他國의 成果와 比較한다면 分明히 이것은 標準化의 덕으로 얻은 滿足할만한 業績이라고 할 수 있다.

投資費의 節減效果가 實際로 얼마나 있었느냐는 數적으로 算定하기가 어렵다. 왜냐하면 프랑스나 다른나라나 마찬가지로 建設費는 強化된 安全性規制를 充足시키기 위한 技術補完의 結

表1 Time Taken between Ordering and Coupling to Grid of French 900 MW Units



果 및 점차 더해가는 敷地選定の 어려움 때문에 크게 증가 되기 때문이다. 더욱 投資費의 國際間 比較는 대단히 어려운바, 그 이유는 適合한 通貨手段이 없다는 것이다. 그러나 다른 事項이 같은 경우에는 프랑스에서 발생한 비용이 다른 나라에 比해서 低廉한 것으로 나타나고 있다.

이러한 現象은 標準化의 가장 明白한 效果로서 部分的으로나마 說明이 된다 (工期短縮, 建設利子 支拂의 減少, 連續製造 및 豫備品 在庫의 減少로 因한 費用低下 等).

標準化의 限界

보일러 供給者(Framatome)와 터빈發電機 供給者가 一個業体씩 뿐이라는 事實은 프랑스電力公社의 特殊한 位置와 關聯하여 標準化 確立에 도움이 되어왔다. 標準化는 다음에 기초를 두고 있다.

- 單一容量
- 同一한 主機器

- 同一한 制御 및 監視 시스템
- 同一한 設備配列

發電所가 建設될 여러 立地의 特性에 대해서는 그에따라 適應해 나가지 않으면 안된다.

標準은 當該容量을 갖는 大部分의 發電所 候補立地에 알맞게 그리고 追加되는 立地에도 큰 問題없이 適用될 수 있도록 設計된다. 例를들면 地震 發生率이 높은 立地에는 構造物의 基礎工事を 耐震構造로 設置할 수 있고 洪水와 爆發 危險地域에는 亦是 特別한 措置를 取하게 할 수도 있다.

끝으로 극히 일반적으로 말한다면 모든 發電所를 위한 기초공사, 構造物, 펌프室, 콘덴서 및 冷却系統(Air cooler 等...), 터널이나 出入道路 그리고 建物과 연결하는 機械的, 電氣的 接屬物은 모두 選定된 立地에 알맞게 特色을 갖추게 한다고 말할 수 있다.

標準化의 範圍와 形態는 安全規制의 變化와 技術向上을 考慮하여 設計者들이 決定하여 왔다 實際로 安全規則은 부여되는 標準 때문에 安定되어 왔다. 만일 重大한 變更이 要求된다면 이

것은 새 기준으로 考慮된다. 그리고 이 중대한 변경이 그러한 새標準을 先導하게끔 될 때도 있다. 현재까지 이러한 見地에서의 標準의 變更은 技術進歩로 因한 것과 一致되어 왔다.

標準化는 또한 다음 두가지 要求事項間的 妥協의 結果로서 생긴다.

- 期待利益을 充分히 낼 수 있을만큼 長期間 技術 安定度가 保障될 것.

- 技術上(信賴性-費用) 및 經驗에서 얻어진 문제(補修期間의 短縮, 放射線被曝量 減少등)에 대한 不斷한 改善.

프랑스電力公社는 단계적으로 연속되는 開發이 아닌 계속적인 設計變更의 正當化에 대해서는 충분히 고려하지 않은 채 火力發電所에 이미 채택하고 있는 連續的인 開發方法을 택하였다. 그 開發이 마련한 연속적인 標準은 그 앞단계에서 얻은 經驗이 많은 도움이 된다.

더욱 一聯의 各容量別 開發計劃이 數個組의 原電單位로 分割된다는 事實은 標準化의 領域을 大部分 維持하면서 一般設計(general design) 變更 및 主機器供給者間的 購買量 配分을 可能하게 하였다.

이와같이 프랑스에서 건설된 900MWe級 計劃의 34基는 계획전단계의 6基와 18基 및 10基로 分割되는 두 連續計劃組로 나뉘어 졌다. 最終 10基 計劃中 처음 2基의 建設期間은 全体 계획중에서 가장 短期間이 되었다(Saint Laurent B2 54個月).

原型部分은 事實上 發電機室에 局限된 反面, 原子爐 및 立地構成 및 計劃에는 標準化가 全的으로 影響을 끼칠 수 있었다.

産業的 制約(industrial constraints)을 除去하기 위해 導入된 原型設備인 乾燥·過熱器(driers-superheaters)의 初期運轉에서 나타났던 결함이 標準化의 妥當性에 否定的인 증거가 된다.

그것은 또한 前述한 “우발적사고에 대항”하는 原理에 限界가 있다는 實証이 된다. 즉 標準化의 妥當性은 一聯의 製作過程에서 끄집어 낼 수 있는 代置部分이 供給可能한 경우에만 有效

한 것이 될 수 있다.

### 安全性 向上

일반적으로 標準化 및 이에 따르는 容量別計劃推進의 概念은 安全性에 도움이 된다. 그러므로 設計變更에 대한 새로운 要請을 採擇하기 前에 이를 分析하고 考慮하는데 많은 시간이 걸리며, 安全規則에 대한 단계적이고 합리적인 수정은 상당한 水準의 實証試驗을 거쳐야만 可能할 수 있는 것이다.

대규모 표준화계획의 推進은 安全性 改善에 크게 도움이 되는 두가지 중요한 要素를 形成하는데 하나는 研究試驗 및 人力訓練에 必要한 잠재적 資源을 集中化하는 것과 또 하나는 經驗 習得을 促進하는 것인데, 이 經驗은 重大한 事故을 分析하여 교훈을 배우는 폭넓은 機會를 가짐으로서 補充되는 것이다.

이 改善事項의 一例로서 事故狀況의 順序와 現象에 관한 研究의 一層 強化를 들 수 있는데 이 研究는 具體的인 試驗(熱水力壓力試驗, 燃料 舉動試驗 등)에 따라 行하여 진다.

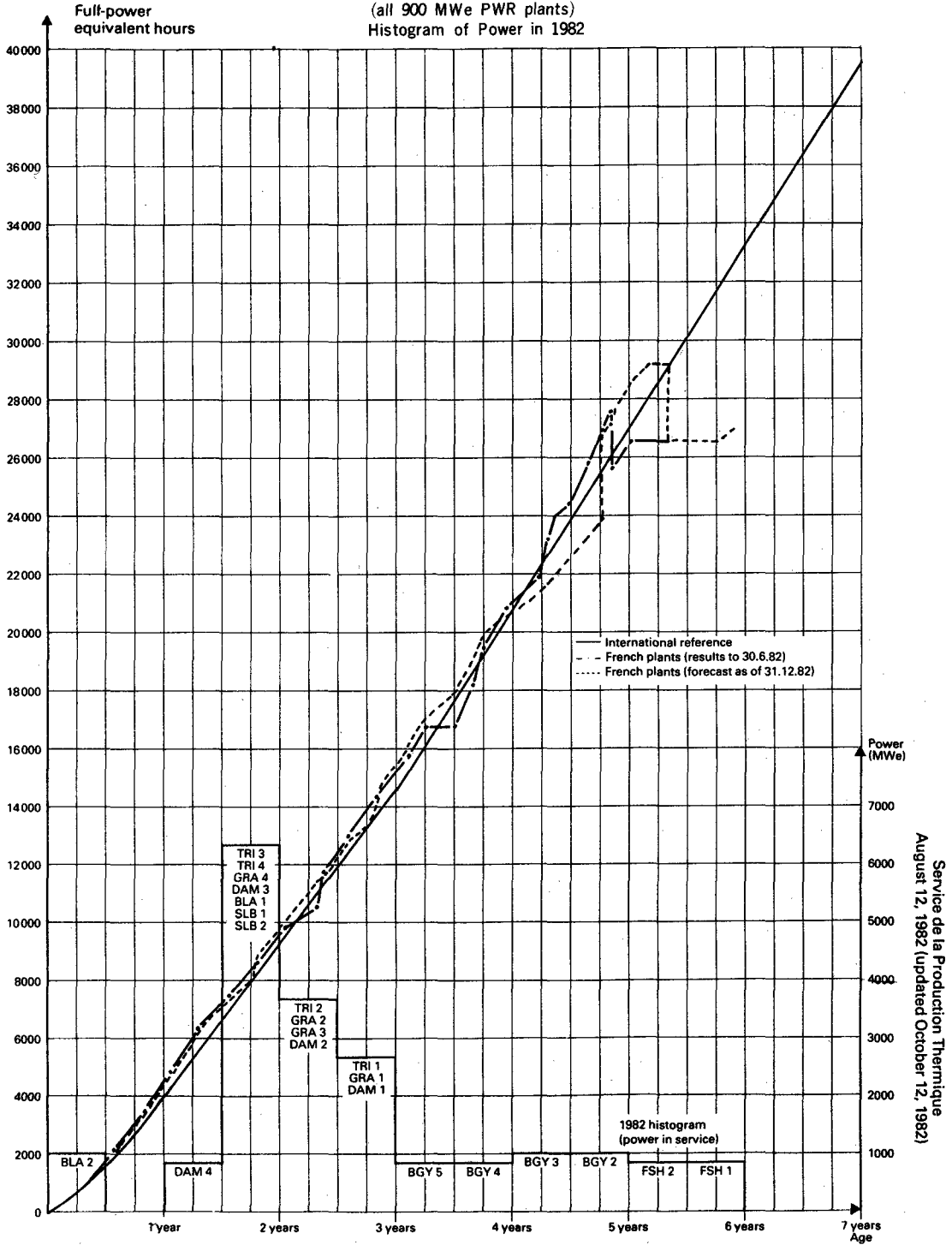
900MW級 計劃에 관한 事件 및 事故時의 指針書가 專門研究를 通하여 完全히 再檢討 되었다. 이미 運轉中인 23基가 同一指針書(立地特性에 따라 약간씩 調整된 것들)를 가지고 運轉하고 있는바, 이 形式은 Simulator를 통해서 완벽하게 활용되고 試驗되어 왔다.

보일러운전狀態에 따른 分析같은 새로운 方法이 開發되고 있는데 이 方法은 開發結果가 무엇이든 恒常 適用할 수 있는 envelope procedure의 기초가 된다.

또한 高度의 人力訓練을 위한 龐大한 教育施設 開發에 대해서 이야기 할 수 있는데 Simulator裝置를 한 訓練院에서 標準統制室, 特殊課程, 文書나 視聽教育器材, 컴퓨터지원에 의한 訓練計劃 등을 反復하는 것이다. 이러한 教育施設의 基準도 표준화에 의해서 만들 수 있었던 것으로 이는 教育成果를 높여 주었다.

急速히 증가된 同一容量 發電所의 稼動은 많

表 2 Unit Operation since Coupling  
(all 900 MWe PWR plants)  
Histogram of Power in 1982



Key:  
BLA = Blayais, DAM = Dampierre, TRI = Tricastin, GRA = Gravelines, SLB = St. Laurent B, BGY = Bugey, FSH = Fessenheim

은 觀察對象과 事件(events)을 낳았는데 이것을 分析한 結果 指針書와 절차서, 訓練計劃, 裝備 및 統制監視系統의 利用을 統合하게끔 結論이 모아 졌다.

여기서 얻은 教訓은 運轉 또는 建設中인 모든 발전소에 組織的으로 應用되었다(標準化는 이렇게 계속되었다). 이와같은 教訓은 매우 廣範圍하게 適用되었는데, 標準化 改良은 所要되는 時間 때문에 一聯의 發電所에 全体的으로 즉각 시행하는 데는 약간 축소, 변형이 되지만 期待利益 이상으로 보상이 되는 것이다.

### 稼働 実績

運轉成果에 있어서 標準化의 期待效果는 充分한 運轉期間이 지나야만 어느 정도 나타날 수 있다. 標準化 發電所들의 累計実績은 表2에 나타나고 있는바, 標準化를 고려한 관계로 世界全体 実績과 比較하였다. 全体的으로 初年度以後 生産된 電力은 豫想値보다는 약간 좋은 결과를 나타내고 있다.

이 平均実績은 좀 低調한 実績을 나타낸 發電所, 특히 1982年度에 全体 平均実績에 저조한 영향을 끼친 發電所의 경우를 엄밀히 分析해 볼 때 더욱 고무적이다.

이 저조한 發電所들은 前述한 Saint Laurent B1, 2號와 制御클러스터의 tube guide위에 있는 guide pin의 결함으로 거의 同時에 影響을 받은 數基의 발전소이다.

連續적으로 건설한 발전소의 數가 많다는 것

은 事故의 직접적 影響을 크게 했지만 反面 開發計劃의 規模와 標準化가 그 結果를 最少化할 수 있었다는 것을 강조하지 않을 수 없는바 그 이유는 修理對備 豫備品目으로 즉각 事故 補修를 할 수 있었기 때문이다(1, 300MWe級을 포함한 發電所에서 뽑아낸 tube-guide는 組立하는 것이기 때문에 建設工期에는 影響을 미치지 아니했다).

위 두가지 발전소의 경우가 1982年度 全發電所의 unavailability의 過半數를 占하고 있는바, 이 두 경우가 unavailability를 58%까지 되게 했다. 사고의 影響을 받지않은 發電所들의 통계로는 10個 發電所가 70%以上の 平均稼働率을 나타냈고 2個 發電所는 90%까지 도달하였다.

이것이 바로 프랑스에서 建設한 표준화발전소들의 品質과 長期的 正常運轉이 앞으로도 확고하다는 신념을 가지는 근거이다.

프랑스 原子力발전개발계획은 이제 더이상 理想的 目標가 아니고 現實化된바, 現在의 原子力 發電設備에 대해서 說明하면 더욱 明白해 진다. PWR 900MW級 23基가 1982. 12. 31 현재 系統 병입되었는데, 이 發電設備는 현재 프랑스 電力設備의 基調를 이루고 있다.

이들 全發電所의 建設工期, 運轉狀態, 竣工後數年間의 發電実績으로 미루어 볼 때 原子力開發 技術習得은 完全히 成就되었다는 事實은 의심할 여지가 없다. 더욱 發電所 稼働率과 補修維持에 있어서는 加一層의 改善이 可能한바, 이러한 見地에서 機器의 標準化는 極히 바람직한 것이며 앞날의 成功을 保證하는 것이다.

(P. 46에서 계속)

Session 3 D : Waste Management

9月14日

#### Session 4 : Seismicity

Session 4 A : Seismic Criteria Related to Siting and Site Investigation

Session 4 B : Recent Developments in Criteria and Practice

Session 4 C : Seismic Operating Experience

Session 4 D : Experimental Seismic Verification

#### Session 5 : Radionuclides-Their Production and Application

9月15日

Session 6 : Issues Affecting Nuclear Goals

Session 7 : Closing Session