

「日本에서의 原子力發展 Plant 機器 國産化의 經驗」

浦田 星(日立製作所)

1. 序 言

日本の 原子力産業도 20年이상 經過하였고 始初의 外國輸入에서 지금은 100%가까운 國産化가 이루어졌다. 또 國産製品은 輸入製品보다 훨씬 品質이 좋고 信賴度가 높은것도 認定되었다.

이러기까지는 外國技術의 消化와 獨自技術의 연구개발에 努力이 그 원인인 것이다. 이와같은 日本에서의 國産化技術의 經驗은 輕水爐의 건설뿐만 아니라 新型轉換爐原型爐 "FUGEN"에서도 그 成果를 發揮했으며 다시 앞으로 建設되는 新型轉換爐實証爐, 高速增殖爐등에도 活用될 것이다.

2. 國産技術開發의 발자취

2-1 國産技術이란

原子力發電所의 機器제조에서 maker로서는 우선 自主技術을 확립하는것이 필요하다. 自主技術이란, 外國에서의 導入技術과 國産技術을 합쳐서 스스로의 技術로 한 것이다.

國産技術에는, 國內關聯技術 즉 國內特有의 문제를 충분히 검토해 둘 필요가 있다. 日本의 경우는 耐震性, 安全性 또는 環境대책 등의 技術과 國産機器의 設製製造技術을 합친 것이다.

따라서 國產技術의 確立은 우선 자주기술을 보유한 위에 國內의 여러조건에 적합한 기술을 여기에 加하는 것이라고 생각된다.

원자력발전소의 건설은 巨大한 Project이며 그 기술은 극히 폭넓은 기술영역에 걸쳐있다.

따라서 많은 關聯企業의 協力體制가 필요하며 重電機maker 등을 中心으로 弱電機, 一飛機材, 鉄鋼maker, 建設, 運輸등에 이르는 극히 多種多樣的 産業分野로서 구성된다. 또 이와같은 광범위의 기술을 통합하여 信賴性이 높은 Plant를 만들기 위해서는 soft 기술이 극히 중요하다. 이 soft 기술과 機器제조기술 (hard)가 완전히 결합해서 처음으로 신뢰성이 높은 원자력발전소가 건설되는 것이나 (圖1, 圖2)

2-2 원자력기술 개발의 발자취

日立製作所는 50年代初부터 日本 原子力研究所의 研究炉건설에 參加하여 특히 swimming Pool형 연구로 (JRR-4)는 독자의 설계로서 제조완성 하였다. 또 社内の 연구설비로서 교육훈련용 원자로 (HTR)이나 臨界실험장치 (OCF)를 설치하고 그 활용에 의해서 여러가지의 기초연구를 행하여 왔다.

여기서 日本原子力研究所가 미국 GE社로부터 demonstration用으로 수입하게 된 動力시험로 (JPDR)의 건설에 참가하여 一部の 機器를 제조하는등 경험을 쌓는 동시에 61년에는 GE社와 기술제휴를 맺고 maker로서의 기술축적에 노력해왔다. 또 高品質과 생산 기술의 개발, 제조설비의 정비 核연료가공을 목적으로 日本

Nuclear Fuel (株) (GE, 日立, 동지의 合併会社)를 설치하였고
(株) BWR 運転訓練 Center (日立, 東芝의 合併会社)의 設立, 大型
simulator의 설치등 定常운전은 물론 異常時에 대한 긴급조작훈
련이 가능하게 되어있다. (圖 3 및 表 1 参照)

3. 國產技術의 現狀

3-1 島根 1号機의 実績

이 원자력발전소는 93% 국산화율이 이루어진 보기이다.

이는 70年 2월에 現地着工, 49개월이라는 짧은 工期로서 건설을
완료, 74年 3월에 운전을 개시하고 그후 5년에 걸쳐 好調를
보이고 있다.

이와같은 安全性, 信賴性이 높은 Plant가 건설된 원인으로서는

a. 先行炉의 問題를 철저히 검토하고 개선하여 폭넓게 채용했
다는 점

b. 수입품을 包含해서 대부분의 機器는 公장에서 点檢調査를 充
분히 행해서 필요하며는 実試驗에 의해서 성능을 확인하여 完全이
란 것을 現地에 搬入하였다는 점

c. 格納容器의 block建設法の 채용등 新工法을 驅使하여 建設工
期の 단축을 도모하였다는 점

d. 당초부터 process式算機를 活用하여 起動試驗의 신뢰성향상에
노력함과 함께 운전에 여유있는 연료계획을 실시하도록 한 것
등이라 할 수 있을 것이다.

3 - 2 国産化率

初期의 수입 Plant 에서는 거의가 수입품이었으며, 国産品은 原子炉 压力容器, 原子炉格納容器, 複水器, 經水加熱器 등이 었으며 그 국산화율은 敦賀 1 号機에서 55%, 福島第一·1 号機에서 56%에 불과하였다. 그후 国内 maker가 主계약자가된 原子力發電所에서는 原子炉 系機器, turbine系機器와 함께 거의 국산화가 채용되어 島根 1 号機 93%, 福島第一·4 号기에서는 95%에 달하였다.

그러나 再循環 pump, 隔離 Valve, 安全 Valve 등에 대해서는 수입 또는 일부수입이라는 現狀이며 앞으로 국산화가 검토되고 있다.

(表 3 参照)

3 - 3 国内關聯기준

(1) 耐震性 지진국인 日本에서는 site 조건에 적용한 내진설계가 요구된다. 이를위해 독자의 각종내진실험을 실시하고 실증확인한 다음에 그 결과를 實機설계에 채용하고 있다.

또 高耐震性的의 요구에 대해서는 원자로건물複合方式 (350 GAL級) 원자로건물 turbine 건물共通 mat 方式 (500 GAL級) 등의 방식이 검토되고 있다.

(2) 安全性

일찍부터 社内教育훈련용원자로 (HTR) 를 사용한 炉特性의 實証, 實規模실험장치에 의한 炉心진급냉각系 (ECCS) 의 効果실증시험이나 压力抑制실험등을 실시하여 그 성과를 實機설계에 적용하였다.

(3) 放射能低減

島根1号機에서 처음으로 複水淨化系에 filter demine와 温床 demine를 併設하여 不溶性腐食生成物の 제거效果를 올렸으며 또 給水系의 Clad 제거법으로서 산소注入장치등 새로운 System를 채용하여 현저한 방사능저감을 도모할수가 있었다.

(4) 폐기물처리

여러가지의 개발연구에 따르는 System가 완성되었다.

기체 폐기물처리에 대해서는 活性炭의 吸着力에 의한 希 gas hold-up 장치를 실용화하고 채용되어 좋은 성능을 발휘하고 있다.

또 액체, 고체 폐기물의 농축減容처리기술의 개발도 실용화단계에 있다. 또 沃素(I)의 제거 filter의 개발도 행해지고 있다.

3 - 4 国産機器

(1) soft ware 기술

Process 계산기를 사용한 炉心관리 기술이나 model를 사용해서 model engineering의 활용에 의해 설계, 제조, 설치순서등 工程管理를 실시하고 있다.

(2) 원자로压力容器, 格納容器

島根1号機(46萬kw)의 MARK-I型 格納容器는 公장에서 大型 block로 組立해서 현지에서의 組立作業을 단순화하여 자동용접을 驅使하므로써 신속하고도 신뢰성이 높은 格納容器를 만들수 있었다
현지에서의 조립기간은 약5개월의 最短工期를 達成할수가 있었다
또 원자로压力용기는 jet-pump등 내부구조물의 일부를 공장내에 取付하여 現地로 搬入하는 방식을 채용하는등 설치精度의 향상

현장설치공사의 단축을 도모하고 있다.

(3) 炉内구조물

島根 1号, 福島第一·4号機는 완전히 국산기술에 의해서 제조하였다. 또 이때의 제작경험을 base로 새로운 BWR-6用의 炉内구조물을 제조하여 GE社가 건설中인 swiss의 라이브스터트원자력발전소에 納入하였다. 또 BWR연료는 日本 Nuclear Fuel(株) (GE, 日立, 東芝 合併)에서 独自の 품질관리下에 제조되고 있다.

(4) Pump Valve 류

主蒸氣隔離 Valve, relief Valve, safty valve 등과같은 大型特殊仕様の Valve는 初期의 Plant에서는 모두 수입하였으나 현재는 점차로 국산화하도록 Valve maker를 육성해왔다.

Pump에 대해서는 再循環 Pump 이외의 Pump는 모두 국산화되었다

(5) 溶接기술

原子力發電所에서는 폭대한 용접작업이 필요로 하며 또한 高度의 技術이 요구된다.

우리들은 独自の 溶接学校에서 용접員을 양성함과 동시에 自體의 資格을 설정하고 있다. 또 自動溶接을 대폭적으로 받아들여 작업 능률化와 품질향상을 도모하고 있다.

格納容器的 용접에 대해서는 島根 1号機에서는 약 20%가 자동용접이었으나 현재는 거의 100%가 자동용접이다.

그결과, 용접不良化率도 島根 1号機에서는 5%였든것이 현재는 2%까지 저감되었다.

4. 研究開発

원자력에 관하는 연구개발은 54년부터 시작하여 教育訓練用原子炉 (HTR), 臨界実験装置 (OCF)의 계획이 착수됨과 함께 원자로 물리, 低熱工学등의 기초연구 活動의 実績을 도모하기 위해서 60년에 研究炉를 설치하고 78년에 原子力연구 group를 統合하여 Energy연구소로서 発足, 充實을 도모하고 있다.

주요한 연구개발성과로서는

4-1 改良炉心 (WNS) 및 연료

炉心설계에 관하는 기초 data, 기초기술의 축적으로서 BWR 상업炉, ATR (FUGEN)의 설계에 응용하였다. 다시 개량을 가해서 BWR 新型炉心인 改良炉心 (WNS)를 완성하였다.

연료에 관한 運全性, 방사능저감, 환경문제들에 관하는 연료제조 의 기초기술연구, 검사기술등의 응용기술개발은 日本 Nuclear Fuel (JNF)의 생산에 크게 도움이 되고 있다.

또 照射後의 特性解明은 연료개발에 不可欠한 것으로서 日本核燃料 (株) (日立, 東芝合併)을 設立, 여기서 hat lab에 의한 시험을 행하고 있다.

4-2 炉心管理 System

HTR의 自動起動운전기술부터 시작해서 계산기응용制御기술인 炉心性能豫測計算 System와 新型制御盤을 완성하였다.

4-3 異常診斷 System

계산기를 응용한 炉心異常診斷장치를 개발하여 HTR에서 実証하고

채용되고 있다. 또 음향진단(루즈파아트 monitor) System, 超音波応用の自動探傷 System나 冷却材漏洩検出 System(湿分検知方式과 ITV方法을 개발하고 있다.

4-4 安全研究

1/10 Plant model에 의한 炉心冷却材 상실(LOCA)時, 炉心冷却系(ECCS) 실험의 現象特性을 해명하고 解析 model의 개발이나 実規模실험장치에 의한 ECCS의 効果実証시험, 压力抑制장치의 특성 시험 등 각종의 안전성向上에 관하는 기술의 습득에 노력하고 있다.

또 保守점검등의 피폭대책도 각종의 이동식 점검장치를 개발하여 実用化단계에 있다.

4-5 원자로의 日間負荷追従 운전은 改良炉나 炉心관리기술에 의해 可能하나 다시 負荷追従기술 습득을 위해 실험로에서의 시험이나 実炉에서의 実証을 쌓어올려 단계적으로 실용화를 목표로 하고 있다. 또 全혀 연료부터의 제한이 없는 負荷追従운전을 목표로 연료의 개량연구가 進行되고 있다.

日本에서는 安全에 관한 연구는 政府, 電氣事業聯合會등에 의해 적극적으로 進行되고 있으며 原子力工学試験Center가 설치되어 있어서 原子力산업체도 여기에 적극적으로 参与하여 共同연구를 하고있다.

5. 原子力機器수출의 현상

日立製作所는 미국 TVA, Parkistan, 미국 Sacramento市

PSEG社, 台灣電力, Kernkraftwerk Leibstadt AG 등에 원자력기기를 수출하였다.

6. 앞으로의 課題

6-1 改良標準化의 추진

官民協力の 輕水炉改良표준화 및 각종 원자력機器의 신뢰성實證시험이 추진되고 있다.

즉 경수로기술의 안전성, 신뢰성의 높은 向上, 종업원의 被曝線量의 低減, 保守点檢作業의 合理化등을 목표로 이때까지의 축적된 경험을 바탕으로 自主技術에 의한 개량을 가하고 이 성과를 발판으로 경수로의 표준화를 실시하여 日本의 国情에 맞는 標準型 경수로 Plant의 定着化를 도모하고 있다.

75년~77년의 제 1 단계에서는 格納容器 및 原子炉本體를 中心으로 한 諸設備(NSSS)표준화가 주체였으나 78년부터의 제 2 단계는 80년을 목표로 검토가 계속되고 있다.

輕水炉에 関하는 각종 機器의 信賴性實證시험은 國策으로서 75년부터 개시되고 현재 耐震性, Valve, 核연료집합체, Pump, 용접부 등 熱영향부의 신뢰성에 대해 시험이 진행되고 있다.

6-2 國際協力에 의한 기술개발의 추진

長期에 걸쳐 축적한 국산기술을 바탕으로 광범위한 국제기술교류를 도모하여 최선단의 기술을 육성할뿐만 아니라 앞으로의 新型轉換炉, 高速增殖炉의 개발에 있어서도 이를 이용하여 신뢰성이 높은

Plant 건설에 努力을 계속하려 한다.

7. 結 言

일본의 원자력기술은 導入技術로부터 出発해서 国産技術에 의해서 信賴性이 높은 원자력발전 Plant 를 건설할 수 있게 되었다.

그러면서도 원자력발전소에서 가장 중요한 安全性, 信賴性 혹은 被曝低減, 耐需性등이 충분히 고려되어 地域住民으로부터의 신뢰가 얻어지는 발전소의 건설이 가능하게 되었다.

앞으로도 국산기술을 驅使해서 輕水炉의 신뢰성向上, 국제협력에 의한 新型炉의 개발등에 노력해나갈 작정이다.

圖 1. 自主技術과 国産技術

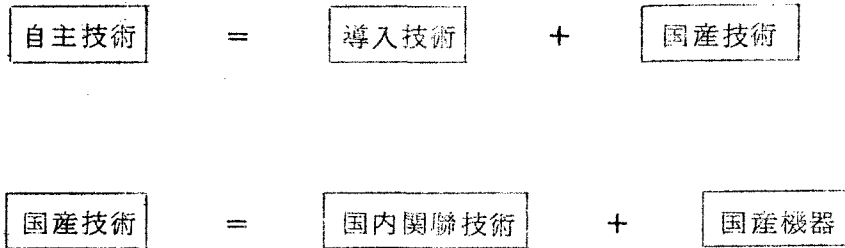


圖 2. 国産技術

① 国内關聯技術

1. 耐需性
2. 安全性
3. 放射能低減
4. 廢棄物処理

③ 国産技術

- 1. software 技術
- 2. 原子炉压力容器, 格納容器
- 3. 炉内構造物
- 4. Pump, Valve 数
- 5. 溶接技術

図 3. 原子力技術開發의 발자취

