

# 「日本에서의 原子力発電 Plant 機器 國産化의 經驗」

飯田 庸太郎 (三菱重工業(株) )

三菱가 原子力에 對하여 조직적으로 study를 한것은 1955년이  
였고 1956년에 日本原子力研究所의 第1号原子炉JRR-1의 건설공  
사의 일부를 擔當한것이 公事로서는 처음이었다. 그間 PWR원자  
력발전소는 건설준비중의 것을 합해서 12基의 건설에 關係하고  
있으나, 이들 Plant의 建設을 통해 설계·제작·設置·시운전등  
모든면에서 기술흡수 및 연구개발에 노력하여 Plant의 국産화에  
노력해왔다.

대체로 「 turbine發電機 및 그 부속설비」인 소위 2次系는  
종래의 火力의 기술을 살려 一覽하여 國産品을 納品하고 1次系の  
蒸氣發生設備 소위 NSSS의 重要機器는 初号機는 수입하였으나  
2号기 이후는 국産화라는 형태로 점차 단계적으로 국産화를 추진  
하여 왔다.

① 第1期는 美浜1号, 高浜1号機는 각각 2loop, 3loop의 일본  
최초의 PWR Plant인데 이때는 信賴性인 面에서 WH社것을 수입  
하였고 三菱는 WH社와 原子炉에서 技術提携를 하고 있었으므로  
WH社의 下請으로서 部속시설의 제작 및 Plant 설치공사등을 하여  
기술의 습득에 노력한 시기였다.

② 제 2기 美浜 2号, 高浜 2機는 각각 2loop, 3loop의 Plant를 三菱가 主要契約者가 되어 最初의 国産 Plant를 納入한 시기이다.

이시기는 전기의 輸入 Plant의 기술을 완전히 소화흡수하여 국산화를 추진한 시기라 하겠다.

③ 제 3기 美浜 3号 ( 3 loop ), 玄海 1号 ( 2 loop ), 伊方 1号機 ( 2 loop ) 에사와 같이 先行 Plant의 不合理點을 反映한 国産化, 또는 우리나라의 規制나 환경조건에의 適合化등을 도모한 시기이다.

④ 제 4기 玄海 2号 ( 2 loop ), 伊方 2号 ( 2 loop ), 川内 1号機 ( 3 loop )가 대상으로서 신뢰성 및 가동율의 향상, 被曝低減 및 운전성능의 개선등을 主眼으로 한 改良標準上的 시기였다.

되돌려보면서, WH社가 主契約者가 된 初号機에서 NSSS의 주요 機器類이외의 諸設備은 전혀 우리들이 一括해서 引受한 관계上 정말 苦生하였다. 덕분에 실제의 Plant건설이라는 경험을 통한 대단히 많은것을 배울수가 있었던 것이다.

国産化의 Process에서 특히 主要機器에 대해서는 그 제작이 종래의 化工·火力 Plant 등의 생산기술을 이용하는 경우가 많었으므로 우리는 태반의 機器를 試作하였으며 主要部分은 研究部門이 中心이 되어 검토하여 충분히 기술을 소화시킨 다음에 국산화에

착수한다는 방식을 채용했다. 즉, 1950년대末부터 圧力容器用 두께가 큰 機器類의 연구, stainless 鋼의 살붙임용접연구, 1960년에 들어와서 원자로容器, 蒸氣發生量의 model 試作完成등이 한 보기인 것이다. 主冷却材 Pump는 마지막까지 輸入에 依存하였으나 長期에 걸친 試作機耐久試驗을 겪은후에 最近에 와서야 國산품이 채용되어 현재로서는 Plant의 98~99%의 國산화率이 이루어졌다.

우리들은 ①自主技術로서 輸入品에 손색이 없는것을 만들었으며, ②價格面에서도 저할할 수 있는 國산화를 이루었다고 自負한다.

또 機器 maker들의 安定된 조달 및 after service面도 評價하여 順次로 國産化實現을 지도해왔다.

一次系主要機器의 國산화의 경위

原子力 Plant는 高度의 広範한 技術領域이 포함되므로 三菱原子力 group에서는 즉히 software의 專門会社를 하나 설치하고 1960년도부터는 기술習得을 겸해 設計, 제작, 시운전의 분야의 基幹요원을 WH社에 보내서 同社의 engineer와 함께 作業을 하여 소위 on-the job-training를 실시하였다.

三菱原子力 group는 WH社가 설계하는 이외에 소위 BOP: (balance of plant)부분에서의 詳細설계, 예를 들면는 배관설계, 건축설계, 또는 耐震設計등에 대해 全혀 自主的인 技術에 대한 實中한 經驗을 쌓아올려 왔다.

이와같은 일에 대해서 가장 어려웠던 것은 要員確保였다.

그러나 아직도 原子力 Plant의 soft ware 업무의 多岐・多部門에 대한 Control를 위해서는 Computer에 의한 工程관리・作業의 有機的 및 效率的인 運緊를 期해 기술자의 有效活用을 도모함에 노력하고 있다. 이와같은 soft-ware에 의해서 얻어진 成果에 따라 機器의 제작을 행해왔는데 이하에 이의 경험을 記述하겠다.

#### A. 原子力容器

PWR의 원자로용기 100萬kw線은 직경 약 4.4 m, 높이 약 13m, 무게 약 390. ton정도라고생각되므로 이와같은 것은 곳 이때까지의 경험으로서 착수할려고 하고있다.

三菱 group는 미국의 세계최대 原子炉용기 maker인 CE社와 boiler에 대한 기술제휴를 맺고 있으므로 이에대한 기술을 도입, 品質 level의 向上에 도움이 되리라고 생각한다.

日本の PWR는 日本の 初号機인 美浜1号機 以外の 原子炉容器를 納品해 왔는데 이는 日本の 鉄鋼 maker가 良質의 材料를 공급해준데 대해 크게 힘입었으며 다만 설계에서 安全性을 확인하기 위해 容器에 負荷되는 各種의 條件에서 解析함이 어려웠다.

이와같은 解析은 처음에는 手計算이었으나 最近에는 거의 大部分이 Computer로서 자동적처리 System가 完成되어 있다.

日本에서는 輸入된 것이라도 日本의 要求에 따르는 独自の 계산을 하여 소위 engineering serice로 실시하였다.

## B. 蒸気発生器

PWR에서의 Key Component 의 하나인 증기발생기는 WH社가 미국 TAMPA 에 1968년에 건설한 증기발생기專用的 공장에 약 1년 넘게 三菱에서 生産體制가 정비되어 美浜2号機이후는 一般的으로 日本国産製品이 納品되어 왔다.

여기서의 伝熱管의 Seal 용접方法등은 三菱의 独自工法으로서 된 것이다. 증기발생기의 死命을 지배하는 伝熱管은 外國제품보다 조금도 뒤떨어지지 않음을 自勉하고 있다.

그러나 증기발생기로부터의 漏洩사고는 있었는데 이는 1972년 美浜1号機의 것으로 그 原因은 2次側給水系의 磷酸塩의 농축에 의한 伝熱管減肉에 의한것을 알게된 후 AVT給水処理로 바꾸어서 이 문제도 해결하였다. 이와같은 사고대책은 우리들로 하여금 貴重한 경험과 運用後의 伝熱管 검사기술을 확립할 수가 있었다.

### o. 炉心構造物

炉心構造物은 복잡한 Stainless 鋼구조물이나 우리들의 기술로서는 어려운것이 아니었다.

이는 高浜2호기 및 玄海1호기 이외에는 모두 국산품으로 채용되었다.

우리들은 이를 完成하기 위해 生産設備整備를 위해 超精密기계가공이 요구되는 구조물의 精度向上을 위해 73년도 初에 空調설비에 의한 溫度조정가능한 공장을 새로 세우기로 하였다.

#### D. 制御棒駆動장치

이 장치는 1963년에 WH社 설계에 따라 試作品을 만들었고 美圧実温의 test loop를 설치하였다. 다시 70년에는 試作品 2대를 제작, 이중 1대는 300만 Step의 耐久시험을 1개월간에 걸쳐 test loop속에서 조립시켜 실험하여 아무런 문제가 없음을 확인하였다. 이와같은 결과를 참조하여 試作品의 한대를 美浜 2호에 装着하여 지금까지도 아무런 문제없이 사용되고 있다.

이와같은 실적은 그후의 Plant에서 모두 國産의 장치가 채용되고 있다.

#### E. 一次冷却材 Pump

이것은 國産化計劃에서 가장 늦은 것이었는데 이는 원자로의 冷却機能을 확보하는 가장 중요한 active Component로서 높은 信頼性이 요구되기 때문에 신중을 기하였기 때문이다.

우리는 10년정도 전부터 이에대한 검토를 하기 시작하여 1973년에 試作品을 한대 完成하여 美圧実温의 test loop를 사용해서 近3000시간을 넘는 耐久시험을 許하여 그 성능을 확인하였다.

그 後에야 玄海 2号 및 伊方 2号機에 國産 Pump로서 채용되었다.

以上은 주요한 1次系の 機器에 대해서 言及하였으나 이 이외에도 이와 유사한 것은 대단히 많으며 이와같은 일들이 순조로이 이루어진것은 이때까지의 축적한 꾸준한 기술력이 가장 크며 또한 政府諸機關과 關聯산업계가 絶對的인 協力이 있어서 처음으로 이루

어진 것이라고 지금도 感謝를 잊지않고 있다.

#### 4. 2次系에서의 対応

2次系는 Plant engineering (BOP)는 自主기술에 의하였으며, 蒸氣 turbine, 發電機는 WH社와의 技術提携, Plant 補機는 一部는 技術提携였으나 대부분은 主技術에 의해서 각각 計劃설계부터 제작·설치까지 一寬해서 담당하였다.

물론 2次系가 처음부터 그 大部分을 國産기술에 의지한 것은 종래의 火力발전 Plant 설계에서 얻은 수많은 保有기술을 바탕으로 한 것이며 여기에 信賴性面을 重點으로 총력을 집결하여 Plant 建設을 하였기 때문이다.

第一世代인 美浜 1号, 美浜 2号機는 火力發電의 伸張設計화였고 第二世代인 高浜 1号機등은 火力發電脱皮에 의한 原子力發電 Plant, 第三世代인 川内 1号機, 이후는 total Plant로서의 協調를 견는 設計였으며 特히 2次系の 高效率의 가동율과 蒸氣發生器二次側の 사고는 全無하였다.

이때까지 8개 Plant에서 2次系에 起因하는 事故停止 및 故障停止는 8件, 總停止日數 20日이며 最近에는 완전히 安定된 운전상태를 유지하고 있다.

특히 blade 등 turbine 本體주요부 및 發電機本체의 trouble는 운전中の 사고는 물론 定檢中の 損傷발견도 현재까지 全無이며 erosion에 의한 低圧最終段 blade의 교환도 必要性이 전혀 없

었으며 앞으로도 그와같은 必要性은 없을것이다.

이와같은 일은 美国등의 諸外国에서 발생한 trouble에 대한 완전한 follow 및 火力發電에서의 經驗등을 충분히 살려서 原子力 Plant에 対応하였기 때문이다.

설계면에서는 安全性, 信賴性向上 및 品質向上을 위한 新技術로서

1) 증기 turbine, 發電機관계에서는

大容量 roter系, 高效率 blade, 軸系-電氣系の 調和

2) 二次系 Plant 補機로서는

湿分分離器 兼 加熱器 大容量化에의 対応

3) PWR型에의 協助 및 耐久向上에 대해서는

증기발생기=次側給水 水質管理

원자로안전보호系와의 협조, 单独運營에의 対応

등이다.

또 品質管理向上에 힘쓰고 있다.

##### 5. 生産設備의 增強

既保有의 火力 Plant, 化工機 Plant, 鉄鋼製品 및 造船시설을 전제로 하여 原子力産業을 위해 새로운 專用工場을 만드는 것이 아니고 汎用성이 있게 工場을 充實해가는 方向을 취하였다.

즉 이렇게 하므로서 各種의 機器를 一部門에 集中된 品質管理部門에 의해 細分管理할 수 있고 各種의 不適合의 是出의 橫的調整이 용이하다.



그리고 原子炉容器, 蒸氣발생기, 加压器 등의 큰 機器를 生産하는 시설로서는 既存工場설비를 대폭으로 개조하여 거의 새롭게 1967 부터 착공하여 현재와 같이 되었다. 이 공장은 26,000 m<sup>2</sup> ( 6.4 에이커 ) 이며 年間 3 ~ 4 Plant 의 PWR Plant 用의 주요기기를 생산할 능력을 보유하고 있다. 이 工場의 특색은 大型機器 취급을 위해 높이기 18 m, 800 ton 까지의 荷重에 견디도록 되어있고 压力容器의 胴柏 등의 인성을 확보하기 위한 熱処理焼入用水槽 大型의 燒鈍炉, 數値制御 ( NC ) 장치, 大型의 公작기계가 설치되어 있다.

대표적인 것으로서는 증기발생기의 管板 1 枚에 약 8,000 개의 管구멍을 效率적으로 뚫는 gun drill기 등이 특색이다.

또 1970 년부터 炉心구조물 및 제어봉 구동장치를 최종조립加工하기 위한 특수공장을 착공하여 이들 機器의 国産化에 제공하고 있다.

이 工場은 高精密度加工을 위해 淸淨度を 유지하는 목적으로 바닥은 全面塗裝함과 동시에 年中 恒退用 空調設備, 重量 150 ton 까지 취급하는 炉心槽用 특수複合機가 있으며 이 기계는 한대로서 구멍뚫기, 후라이스加工, 나사끊기가공 등 여러기능은 할 수가 있다.

또 溶接棒自動選択供給장치도 우리가 獨自적으로 開發한 것이다.

이 기계는 内部가 防濕되어있고 Punch Card에 의해 必要한 溶接棒만이 扠出되게 되어 있다.

品質管理部門은 獨立의 職制이며 立體檢査뿐만 아니라 현장의 Patrol 등 獨自의 管理를 하고 있다.

N Stamp 1回로서 pass 하였으며 이미 世界的인 level 에 도달해 있다고 자부하고 있다.

또 關聯사업으로서 新燃料 및 輸入 Plant 도 취급하며 交換用燃料도 제조하고 있으며 PWR 운전요원의 訓練 Center 도 있어 매년 初期訓練 35 名, 再訓練 70 名 정도의 訓練을 행하고 있다.

## 6. 結 語

原子力 Plant 의 國産化는 무엇보다도 独自の 技術力을 自身の 손으로 實際의 것으로 해야하는데 이에는 苦痛과 노력이 겹쳐서야만 이루어짐을 통감하였다.

또한 國家 Project로서의 研究를 적극적으로 受托하고 실시하며 user인 電力会社와의 共同研究에도 힘쓰며 原子力産業全體의 level up에 함께 노력해야 할 것이다.