

# 日本에서의 原子力發電 plant機器 國産化의 經驗

飯田 庸 太 郎

〈三菱重工業(株)〉

三菱이 原子力에 對해서 조직적으로 study를 한 것은 1955년이었고 1956년에 日本原子力研究所의 第1號 原子爐 JRR-1의 建設공사의 일부를 擔當한 것이 공사로서는 처음이었다. 그간 PWR 원자력발전소는 建設준비중의 것을 합해서 12基의 建設에 關係하고 있으나 이들 plant의 建設을 통해 설계 · 제작 · 設置 · 시운전등 모든 면에서 기술흡수 및 연구개발에 노력하여 plant의 國産化에 노력해왔다.

대체로 「turbine發電機 및 그 부속설비」인 소위 2次系는 종래의 火力의 기술을 살려 一貫하여 國産品을 納品하고 1次系의 蒸氣發生設備 소위 NSSS의 重要機器는 初號機는 수입하였으나 2號기 이후는 國産化라는 형태로 점차 단계적으로 國産化를 추진하여 왔다.

① 第1期는 美浜 1號, 高浜 1號機는 각각 2 loop, 3 loop의 日本 최초의 PWR plant인데 이때는 信賴性인 면에서 WH社 것을 수입하였고 三菱은 WH社와 原子爐에서 技術提携를 하고 있었으므로 WH社의 下請으로서 부속시설의 제작 및 plant설치공사 등을 하여 기술의 습득에 노력한 시기였다.

② 제 2기 美浜 2號, 高浜 2機는 각각 2 loop, 3 loop의 plant를 三菱이 主契約者가 되어 最初の 國産 plant를 納入한 시기이다. 이 시기는 전기

의 輸入 plant의 기술을 완전히 소화 흡수하여 國産化를 추진한 시기라 하겠다.

③ 제 3기 美浜 3號(3 loop), 玄海 1號(1 loop), 伊方 1號機(2 loop)에서와 같이 先行 plant의 不 合理點을 反映한 國産化, 또는 우리나라의 規 거나 환경조건에의 適合化 등을 도모한 시기이다.

④ 제 4기 玄海 2號(2 loop), 伊方 2號(2 loop), 川內 1號機(3 loop)가 대상으로서 신뢰성 및 가 동율의 향상, 被曝低減 및 운전성능의 개선등을 主眼으로 한 改良標準化의 시기였다.

되돌려 보면, WH社가 主契約者가 된 初號機 에서 NSSS의 主要機器類이외의 諸設備은 全혀 우리들이 一括해서 引受한 關係상 정말 苦生하 였다. 덕택으로 실제의 plant건설이라는 經驗을 통한 대단히 많은 것을 배울 수가 있었던 것이 다. 國産化의 process에서 특히 主要機器에 대 해서는 그 제작이 종래의 化工 · 火力 plant등의 생산기술을 이용하는 경우가 많았으므로 우리는 尠반의 機器를 試作하였으며 主要部分은 研究部 門이 中心이 되어 검토하여 충분히 기술을 소화 시킨 다음에 國産化에 착수한다는 方式을 채용 했다. 즉, 1950년대 末부터 壓力容器用 두께가 큰 機器類의 연구, stainless鋼의 살붙임용접연 구, 1960년에 들어와서 원자로容器, 蒸氣發生器 의 model試作完成등이 한 보기인 것이다.

★産業情報★

主冷却機 pump는 마지막까지 輸入에 의존하였으나 長期에 걸친 試作機耐久試驗을 겪은 후에 최근에 外資야 국산품이 채용되어 현재로서는 plant의 98~99%의 국산화率이 이루어졌다.

우리들은 ① 自主技術로서 輸入品에 손색이 없는 것을 만들었으며 ② 價格面에서도 저항할 수 있는 국산화를 이루었다고 自負한다. 또 機器 메이커들의 安定된 조달 및 after service面도 評價하여 順次로 國產化實現을 지도해 왔다.

◇ 一次系 主要機器의 국산화의 경위

原子力 plant는 高度의 廣範한 技術領域이 포함되므로 三菱原子力 그룹에서는 특히 soft-ware의 專門會社를 하나 설치하고 1960년도부터는 기술習得을 겸해 設計, 제작, 시운전 분야의 基幹요원을 WH社에 보내서 同社의 engineer와 함께 作業을 하여 소위 on-the job-training을 실시하였다.

三菱原子力 group은 WH社가 설계하는 이외에 소위 BOP(balance of plant) 부분에서의 詳細설계, 예를 들면 배관설계, 건축설계 또는 耐震設計 등에 대해 自主的인 技術에 대한 귀중한 경험을 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 control을 위해서는 computer에 의한 工程관리·作業의 有機的 및 효율적인 連繫를 期해 技術과의 有動活用을 도모함에 노력하고 있다. 이와같은 soft-ware에 의해서 얻어진 成果에 따라 機器 제작을 해왔는데 이의 경험을 記述한다.

A. 原子力 容器

PWR의 원자로용기 100萬kw級은 직경 약 4.4m, 높이 약 13m, 무게 약 390ton 정도라고 생각되므로 이와 같은 것은 곳 이때까지의 경험으로서 착수할려고 하고 있다. 三菱 group은 미국의 세계 최대 原子爐용기 메이커인 CE社와 boiler에 대한 기술제휴를 맺고 있으므로 이에 대한 기술을 도입, 品質 level의 向上에 도움이

되리라고 생각한다.

日本の PWR은 日本의 初號機인 美浜 1號機 以外の 原子爐容器를 納品해 왔는데 이는 日本의 鐵鋼 maker가 良質의 材料를 공급해주어 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 최근에는 거의 大部分이 computer로서 자동적처리 system이 完成되어 있다. 日本에서는 輸入된 것이라도 日本의 要求에 따르는 獨自의 계산을 하여 소위 engineering service를 실시하였다.

B. 蒸氣發生器

PWR에서의 key component의 하나인 증기발생기는 WH社가 미국 TAMPA에 1968년에 건설한 증기발생기專用的 工場에 약 1년 늦게 三菱에서 生産體制가 정비되어 美浜 2號機 이후는 一貫的으로 日本國產製品이 納品되어 왔다. 여기서의 傳熱管의 seal용접方法 등은 三菱의 獨自工法으로서 된 것이다. 증기발생기의 壽命을 지배하는 傳熱管은 外國제품보다 조금도 뒤떨어지지 않음을 自處하고 있다.

그러나 증기발생기로 부터의 漏洩사고는 있었는데 이는 1972년 美浜 1號機의 것으로 그 原因은 2次側給水系의 磷酸鹽의 농축에 의한 傳熱管 減肉에 의한 것을 알게되어 AVT給水處理도 바꾸어서 이 문제도 해결하였다. 이와같은 사고대책은 우리들로 하여금 귀중한 경험과 運轉開始後의 傳熱管 검사기술을 확립할 수가 있었다.

C. 爐心構造物

爐心構造物은 복잡한 stainless鋼 구조물이나 우리들의 기술로서는 어려운 것이 아니었다. 이는 高浜 2호기 및 玄海 1호기 이외에는 모두 국산품으로 채용되었다. 우리들은 이를 完成하는데 있어 生産設備·整備를 위한 超精密기계가공이 요구되는 구조물의 精度向上을 위해 73년도 初에 空調설비에 의한 온도조정, 가능한 工場을 새로 세우기도 하였다.

### D. 制御棒驅動장치

이 장치는 1963년에 WH社 설계에 따라 試作品을 만들었고 實壓實溫의 test loop를 설치하였다. 다시 70년에는 試作品 2臺를 제작, 이 중 1臺는 300만 step의 耐久시험을 1개월간에 걸쳐 test loop 속에 組込시켜 실험하여 아무런 문제가 없음을 확인하였다. 이와 같은 결과를 참조하여 試作品의 한 臺를 美浜 2號에 裝着하여 지금까지도 아무런 문제없이 사용되고 있다. 이와 같은 실적은 그 후의 plant에서 모두 國產의 장치가 채용되고 있다.

### E. 一次冷却材 pump

이것은 國產化計劃에서 가장 늦어진 것이었는데 이는 원자로의 冷却機能을 확보하는 가장 중요한 active component로서 높은 信賴性이 요구되기 때문에 신중을 기하였기 때문이다.

우리는 10년정도 전부터 이에 대한 검토를 하기 시작하여 1973년에 試作器를 한대 完成하여 實壓實溫의 test loop를 사용해서 延 3000시간이 넘는 耐久시험을 하여 그 성능을 확인하였다. 그 後에 玄海 2號 및 伊方 2號機에 國產 pump로서 채용되었다.

以上の 主要한 1次系의 機器에 대해서 言及하였으나 이 이외에도 이와 유사한 것은 대단히 많으며 이와 같은 일들이 순조로이 이루어진 것은 이때까지의 축적한 꾸준한 기술력이 가장 크며 또한 政府諸機關과 關聯산업계의 絶對的 協力이 있어서 처음으로 이루어진 것이라고 지금도 感謝를 잊지 않고 있다.

### ◇ 2次系에서의 對應

2次系는 plant engineering(BOP)은 自主기술에 의하였으며, 蒸氣 turbine, 發電機는 WH社와의 技術提携, plant補機는 一部기술제휴였으나 대부분은 自主技術에 의해서 각각 計劃설계부터 제작·설치까지 一貫해서 담당하였다. 물론 2次系가 처음부터 그 大部分을 國產기술에

의지한 것은 종래의 火力발전 plant설계에서 얻은 수많은 保有기술을 바탕으로 한 것이며 여기에 安全性 신뢰성面을 重點으로 총력을 집결하여 plant建設을 하였기 때문이다.

第一世代인 美浜 1號, 美浜 2號機는 火力發電의 伸張設計였고 第二世代인 高浜 1號機등은 火力發電脫皮에 의한 原子力發電 plant, 第三世代인 川內 1號機 以後는 total plant로서의 協調를 헤아린 設計였으며 特히 二次系의 高 효율적 가동율과 蒸氣發生器 二次側의 사고는 全無하였다.

이때까지 8개 plant에서 二次系에 起因하는 事故停止 및 고장정지는 8件, 總停止日數 20日이며 최근에는 완전히 安定된 운전상태를 유지하고 있다. 특히 blade 등 turbine 本體주요부 및 發電機本체의 trouble 운전中の 사고는 물론 定檢中の 損傷마저도 현재까지 全無이며 erosion에 의한 低壓最終段 blade의 교환도 필요성이 전혀 없었으며 앞으로도 이와 같은 필요성은 없을 것이다.

이와 같은 일은 美國 등의 諸外國에서 발생한 trouble에 대한 완전한 follow 및 火力發電에서의 經驗등을 충분히 살려서 原子力 plant에 對應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, 高効率 blade, 軸系 一電氣系의 調和

2) 二次系 plant 補機로서는

濕分分離器 兼 加熱器 大容量化에의 對應

3) PWR型에의 協助 및 耐力向上에 대해서는 증기발생기 二次側給水 水質管理, 원자로 안전보호系와의 협조, 單獨運營에의 對應 등이다.

또 品質管理向上에 힘쓰고 있다.

### ◇ 生産設備의 増強

既保有의 火力 plant, 化工機 plant, 鐵鋼製品

★ 産業情報 ★

및造船시설을 전제로 하여 原子力産業을 위해 새로운 專用工場을 만드는 것이 아니고 汎用性이 있게 工場을 充實히 해가는 方向을 취하였다. 이렇게 함으로써 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 是正의 橫的調整이 용이하다.

그리고 原子爐容器, 蒸氣발생기, 加壓器 등의 큰 機器를 生産하는 시설로서는 既存工場설비를 대폭으로 개조하여 거의 새롭게 1967년부터 착공하여 현재와 같이 되었다. 이 공장은 26,000m<sup>2</sup> (6.4에이커)이며 年間 3~4 plant의 PWR plant用的 主要기기를 생산할 能力을 보유하고 있다.

이 工場의 特色은 大型機器 취급을 위해 높이가 약 18m에 800ton까지의 荷重에 견디도록 되어 있고 壓力容器的 胴栢 등의 靱性을 확보하기 위한 熱處理燒入用水槽, 丈型의 燒鈍爐, 數値制御(NC) 장치, 大型의 公작 기계가 설치되어 있다.

대표적인 것으로서는 증기발생기의 管板 1枚에 약 8000개의 管子멍을 효율적으로 뚫는 gun drill 기동이 特色이다. 또 1970년부터 爐心구조물 및 제어봉구동장치를 최종조립 加工하기 위한 특수공장을 착공하여 이들 機器의 國産化에 제공하고 있다. 이 工場은 高精度 加工을 위해 淸淨度를 유지하는 目的으로 바닥은 全面塗裝함과 동시에 年中 恒溫用 空調設備, 重量 150

ton까지 취급하는 爐心槽用 특수複合機가 있으며 이 기계는 한대로서 구멍뚫기, 후라이스加工, 나사뚫기가공 등 여러 기능을 가지고 있다. 또 溶接棒自動選擇供給장치도 우리가 獨自의으로 開發한 것이다. 이 기계는 内部가 防濕되어 있고 punch card에 의해 필요한 용접봉만이 拂出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 독자의 管理를 하고 있다. Nstamp도 1회로서 pass하였으며 이미 世界的인 level에 도달해 있다고 자부하고 있다.

또 關聯事業으로서 新燃料 및 輸入 plant도 취급하며 交換用燃料도 제조하고 있으며 PWR 운전요원의 훈련 center도 있어 매년 初期訓練 35名, 再訓練 70名 정도의 訓練을 행하고 있다.

◇ 結 語

原子力 plant의 國産化는 무엇보다도 獨自의 技術力을 自身의 손으로 實際의 것으로 해야 하는데, 이에 는 高통과 노력이 걸쳐야만 이루어 짐을 통감하였다. 또한 國家 project로서의 研究를 적극적으로 受託하고 실시하며 User인 電力會社와의 共同研究에도 힘쓰며 原子力産業全體의 level up에 함께 노력해야 할 것이다.

