

日本の輕水爐 開發現況과 展望

APWR의 概要와 開發現況

原子力은 大容量發電代替 에너지로서 세계적으로 定着되고 있는데 여기에 사용되는 原子爐의 型式은 세계적으로 輕水爐가 主流를 차지하기에 이르렀다. 특히 PWR은 發注베이스로 전체의 68.6%를 차지하고 있으며 그 比率은 더욱 증가할 傾向이다.

일본에서도 이미 11基의 PWR이 운전중이며 건설중 또는 계획중인 것을 포함하면 총 23基(운전중 11기, 건설중 5기, 계획중 7기)나 되고 있다. 現狀으로는 110만KWe급의 原電도 완전히 국산화할 수 있게 되었으며 또한 적절한 관리와 개량을 축적함으로써 日本國產 PWR原電은 항상 높은 가동율을 유지했으며 작년에는 78%를 달성했다(그림 1 참조).

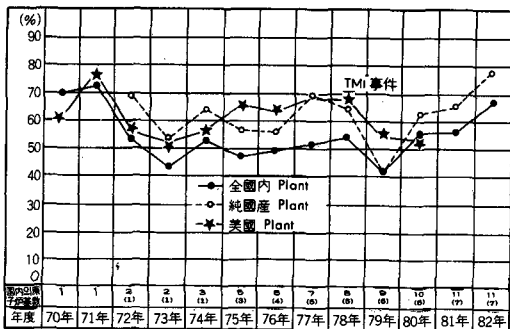
그러나 여기에 이르기까지에는 여러가지의 어

려움을 경험했고 또 TMI사고로 인한 停止 등을 하는 등 고난을 겪었으며 이를 해결하기 위한 노력이 계속되어 왔다. 그동안 전력회사 의 운전관리면에서의 노력도 보통이상이었으며 현실적으로 달성할 수 있는 한계의 가동율을 달성하여 그 기술이 선진여러나라로부터 높은 평가를 받고 있다.

일본 정부로서도 신뢰성과 안전성을 높이기 위해 제1, 제2차의 개량표준화 계획을 추진해 왔는데 그 목표를 거의 달성했다고 판단하여 다음 단계로서 제3차 개량표준화 계획에 착수했다. 이 단계에서는 신뢰성, 안전성향상에서 한 걸음 더 나아가서 플랜트의 성능향상이라는 前向的인 목표를 세우고 爐心의 개량설계에 이르기까지 自主기술로 개발할 방침을 설정하였다.

여기서 취급할 APWR(新型加壓水爐)는 이제까지의 개량성과를 종합 평가해서 均衡이 잡힌 신뢰성이 높은 PWR시스템을 완성하고 다시 제3차 개량표준화의 목표가 되는 出力増大, 운전 싸이클 연장, 운전성의 향상을 달성코자 하는 것이며, 나아가서는 가동율과 연료싸이클의 개선에 의한 경제성의 대폭 향상이라는 進取的인 개량에도 挑戰코자 하는 것이다.

이 개발은 일본의 PWR 5個社(北海道, 關西, 四國, 九州, 日本原子力發電)와 三菱重工業, W H(Westinghouse)社 등 7個社 계약하에서 실시하는 국제공동개발이다. 메이커 그룹에서는 다액의 자금원조와 熱意에 찬 운전관리노력에 副



(註 1: 日本内の 原子爐基數에 記載한 () 内는 純國產 原電의 數, 註2: 美國原電의 年度는 歷年)

그림 1 PWR 原電의 年度別平均設備利用率

應하기 위해 더욱 가동율을 높일 수 있는 설계를 실현하고 동시에 발전코스트를 절감하며 우려를 구입량을 감소시키는 설계를 選定한 것이다.

從來의 國產PWR의 改良과 APWR

(1) 從來型 日本國產PWR의 改良경위

종래의 개량은 각종 고장대책과 사용하기 쉽게 하기 위한 개선에 對應한 개량이며 (a) 가동율 향상(機器의 신뢰성 향상, 定檢合理化, 운전싸이클 연장) (b) 안전성 향상 (c) 耐震性向上 (d) 운전성향상 (e) 방사성 폐기물 감소 (f) 被曝低減등 여러 項目이었다. 플랜트의 出力상승 노력도 행해졌으나 터빈 系統의 개량에 의한 가동율향상이 주였다.

초기의 원자로계통은 미국기술을 신뢰해서 수입한 것이었다. 수입에 있어서 설계사양은 극히 신중하게 검토되었으나 새로운 설계 항목도 先行플랜트가 있다는 판단으로 조금씩 채택해나갔다.

운전에 들어가서 2~3년 경과하니 서서히 가동율이 떨어지기 시작했다. 원자력발전소는 건설비가 비싸며, 또 많은 기대가 걸려있기도 하여 전력업계는 물론 政府에서도 장래를 생각해서 자기들 손으로 어떻게 하든 신뢰성을 회복해야 하겠다고 생각하기에 이르렀다. 메이커도 자기 판단으로 대응할 수 있도록 노력을 거듭했고 또 전력회사의 이해를 얻어 일본국산 플랜트의 계약도 성립하여 1975년부터 순차적으로 일본국산 플랜트가 운전개시하게 되어 그 후부터는 거의 일본의 국산으로 되어 왔다.

한편, 국내외의 PWR에 대한 고장例의 조사 분석을 長期에 걸쳐 실시하고 가동율을 低下시킨 主된 要因을 분석하였다. 그 결과 國內와 國外에서는 서로 양상이 달라서 일본으로서 대응해야 할 사항이 명확해졌다. 즉,

(a) 증기발생기, 爐內구조물, 연료, 1차냉각재 펌프 등 원자로 계통의 중요기기의 고장을

감소시키며 또 自主기술에 의해 신속하게 고장에 대응할 것.

(b) 정지원인으로서의 電氣計裝機器, 밸브등이 많은데 정지기간이 짧아서 가동율에 대한 영향은 적다. 그러나, 운전원의 부담이 크므로 機種선택, 保守관리의 계획을 충실히 할 것.

(c) 터빈계통의 원인에 의한 플랜트停止回數는 미국의 약 1/10이나 일본의 기술로 다시 정지회수를 줄이도록 노력할 것.

(d) 새로운 설계에는 특히 신중할 것. 새로운 설계의 채택에 있어서는 철저한 檢證을 할 것.

미국과 일본을 비교해 보면, 미국에서는 計劃外停止回數가 3배이상 있으나 1회의 정지기간이 짧으므로 가동율이 눈에 띄게 떨어지고 있지는 않다. 일본에서는 예측밖의 고장은 그 원인을 규명해서 그 대책이 실증되었을 단계에서 再起動한다는 신중한 대응이었기 때문에 일반적으로 정지기간이 길었으나 이 엄격한 과정에 대응함으로써 PWR에 대해 상세히 알게 되었고 원자로의 개량에도 손을 댈 수 있을만큼 기술이 育成되어 그것을 받아들일 수 있는 환경도 造成되었다.

종래형의 PWR에서는 일본은 대단히 質이 좋은 플랜트를 實現하여 훌륭한 관리운전을 수행하고 있다. 예를 들면 TMI 사고, Salem 발전소에서 일어난 스크램失敗, 원자로용기의 材料的 불안, 증기발생기 傳熱管破裂사고 등은 설계제조 및 운전관리기술면에서 보아 일본에서는 일어나기 어려운 것임이 인정되고 있다.

이와 같은 상황에 확신을 얻어 일본정부 및 전력회사는 신뢰성 향상에서 한걸음 나아가서 원자로의 出力증대, 長싸이클爐心, 운전自由度의 擴大 등 성능향상을 목표로 하는 원자로의 자주기술개발 構想을 다음의 표준화에 담는 것을 결심한 것으로 이해되고 있다.

(2) APWR 以前의 日本의 PWR 改良

APWR은 이제까지의 많은 개량을 集約하고

다시 원자로의 근본적개량을 포함한 日本型 次期PWR 을 완성하려는 것이므로 종래형 PWR 의 개량을 되돌아 보는 것이 이해에 도움이 된다. APWR 의 원자로는 새로운 것이나 플랜트 시스템에 대해서는 종래의 좋은 부분을 되도록 살리고 그 개량을 적극적으로 채택한 건설한 설계로 한 것이므로 종래의 신뢰성은 유지할 수 있다고 생각하고 있다.

지금까지 직면해서 해결해 온 가동율, 안전성 향상의 대책에 대해서 주요한 것은 다음과 같다.

① 증기발생기 : 증기발생기의 절대적 신뢰성을 확립하면 가동율이 대폭적으로 상승할 뿐만 아니라 PWR 본래의 안전성이 확립되므로 원자력의 신뢰성 향상에도 공헌할 것이다.

傳熱管의 leak를 막는 것에 우선 노력했다. 2차측水質 관리를 AVT 로 했다는 것과 脱氣器를 설치함으로써 管의 減肉腐蝕과 denting을 방지할 수가 있었다. 다시 傳熱管의 지지구조를 BEC 로 바꾸어서 불순물의 농축이 일어나기 어렵게 하고 支持板의 재질을 不銹鋼으로 바꾸어서 denting 등의 가능성을 근절하려 하고 있다.

傳熱管으로는 Inconel 600을 사용하고 있으나 적절한 열처리를 함으로써 應力腐蝕을 포함한 각종 부식에 대한 耐性を 대폭적으로 증가시켰다.

각종 대책중 AVT 처리는 운전중인 모든 플랜트에 소급해서 적용하며 기타의 항목은 작년에 가동을 시작한 플랜트부터 순차적으로 時期的으로 타이밍이 맞는 것부터 적용하고 있다. 최초부터 AVT 처리를 한 플랜트는 문제가 적다는 것을 實證하고 있으며 또 앞으로 위의 대책을 실시한 플랜트가 順次的으로 운전에 들어감에 따라 신뢰성이 대폭적으로 개선되었다는 것을 實證해 나갈 것으로 확신하고 있다.

그외에 擴管기술도 개선하여 管板部の 殘留應力을 제거하고 효율향상, 濕分分離效率의 향상, water hammer 對策 등에 대해서도 실시하고 있으며 高濱 3·4호기 이후는 모두 대책이 실시되어 있는 51F形으로 되어 있다.

② 연료 : 연료는 충분한 기술적이해와 취급에 자신을 가질때까지는 신중하게 대응해 왔다. 연료 펠릿의 再燒結進行에 의한 被覆管의 corpus, 연료봉만곡, 연료봉 leak, 支持格子손상등을 경험했고 각각의 원인규명과 대책의 檢證을 실시하면서 개선을 진행해 왔다. 그 결과 오늘날에서는 이들의 원인으로 사용이 금지되는 연료가 거의 없어졌으며 연료裝填 및 取去時의 支持格子 손상도 눈에 띄게 감소하고 있다

현재는 leak를 근절하는 것과 운전의 自由度를 늘리기 위해 펠릿과 피복관의 상호작용이 작아지는 대책과 그 實證에 힘을 기울이고 있다. 또, 燃燒度を 높여서 연료의 이용율을 올려 싸이클 특성을 향상시키기 위한 照射시험과 burnable poison이 들어있는 연료의 개발시험을 실시하고 있다. 이것들은 모두 APWR 이 완성될 때까지는 해결할 수 있는 공정이다.

③ 爐內構造物 : 고장이 생기면 수리가 곤란하며 또 대책은 모두 충분히 실증되지 않으면 施工할 수 없으므로 해결에 대단히 시간이 많이 걸렸다. 제어봉안내관의 지지핀 손상에서는 재질개선의 실증에 長期를 요했으나 교환 장치 및 시공기술도 진보하여 이와 같은 원인으로 長期 정지하는 일은 없어졌다. 또, WH를 위시해서 선진각국을 포함한 각국으로부터 기술정보 供與의 의뢰까지도 받게 되었다.

현재는 buffer jet에 대해 대책중이나 이미 玄海2 호기에서 反射體部에서 흐름의 方向을 바꾼 설계로 하고 있으며 근본적으로 해결되었다. 기존 플랜트의 개조도 곧 착수한다.

그 외에도 많은 개량을 진행하고 있다. 운전성개선의 노력과 안전성향상의 목적을 포함해서 수행되고 있으며 制御保護系統의 자동화, 計算機化, CRT 를 활용한 신형 中央制御盤의 개발 등이 적극적으로 진행되고 있다. 소규모의 CRT 표시 시스템은 모든 플랜트에 追設되기로 되어 있다.

앞으로 長싸이클化, 負荷변동 운동의 擴大에 對應하여 더욱 적극적인 개선계획이 요구된다.

그러나, 이로 인해 신뢰성을 떨어뜨린다는가, 定檢時의 保守 작업이 길어지는 일이 있어서는 개선효과가 減殺되어 버린다. 定檢作業을 위해서는 검사·保守작업의 자동화를 추진하며 多種의 機器를 개발하여 순차로 활용하고 있으나 이것은 원격조작에 의한 被曝低減效果도 있어서 성과를 올리고 있다. 또, 위의 주요 機器의 신뢰성향상에 따라 검사의 합리화도 진행되어 가고 있으며 일부의 플랜트에서는 定檢期間 80일 이하를 실현하고 있다. 연속 長싸이클 운전도 最長 367일을 기록하게 되었다.

이와 같은 성과는 메이커의 기술만으로 얻어지는 것은 아니며 이것을 실현하는 것은 세계적으로도 최고 수준에 있는 電力各社의 뛰어난 운전관리기술이다.

APWR 設計企劃의 概要

(1) 開發의 目的

이미 말한 바와 같이 지금까지 착실한 개량이 진척되어 신뢰성이 더욱 개선되었으나 APWR에서 실시하려고 하고 있는 규모가 큰 개량이나 플랜트 전체에 큰 영향을 미치는 것과 같은 개량은 남아 있었다.

爐心설계도 종래에는 사용방법의 개선에 그치고 미국에서 도입한 구조설계는 거의 그대로 남아 있다. 그러면서도 일본에서의 원자력플랜트의 경험이 깊어져감에 따라 현재의 爐心성능으로서는 만족하지 못하게 되었으며, 또 설계기술에 대한 이해도 진전되었으므로 개량 요구안이 기술적으로 또는 구체적으로 제시되기 시작했다. 즉,

- 長싸이클화 : 100%出力으로 연속 1년이상
- 연료싸이클의 개선 : 高燃燒에 의한 싸이클費 低減
- 大出力 : 130萬 KWe 이상
- 운전성向上 : 日間負荷追從, AFC 등
- 안전성향상 : 사고에 대한 여유있는 설계

등이다.

증기발생기는 대체로 대책이 수립되었다고 생각하고 있으나 이것도 플랜트 壽命의 全期間에 걸친 건전성의 實證을 위해 다음 단계의 준비를 진행시켜 두어야 한다.

이들의 큰 항목을 중심으로 하여 신뢰성향상 피폭저감, 방사성폐기물저감, 안전성·운전성의 향상에 대해서도 더욱 진보된 기술을 적용하려는 것이 APWR의 개발구상이다.

APWR은 제3차개발표준화의 과제에 응답하는데 그치지 않고 세계의 우라늄자원 戰略의 흐름속에서 長期의 목표를 정하고 우라늄자원 절약과 연료싸이클費의 대폭적인 低減에 挑戰하여 미래의 輕水爐로서의 역할을 다하려는 것이다.

FBR은 세계적으로 개발이 늦어지려 하고 있다. 日本도 예외는 아닌 것 같다. 따라서 경수로로는 앞으로 몇십년간에 걸쳐 계속 건설될 것이 예상되므로 연료자원절약도 실현하고 세계적자원전략에 적합한 차기 경수로의 표준화를 되도록 빨리 완성하는 것이 메이커의 責務라고 생각하고 있다.

또, 최근의 건설코스트저감의 요구는 APWR에도 제외되고 있지는 않다. 실령, 성능이 훌륭하다고 해도 건설코스트가 대폭으로 상승해서는 받아들일 수가 없는 것이다.

APWR은 연료싸이클비가 약 20% 싸며 또 長싸이클爐心の 설계가 쉬우므로 가동율을 높게 하는 것은 가능하다. 그 결과 발전코스트는 가동율에 따라 저하시킬 수가 있다. 이 특징을 살리기 위해서는 건설비를 저하시키는 노력도 해야 할 것이다. 그를 위해 모든 새로운 설계 채택에 대해서 건설코스트의 평가를 하여 선택하고 있다.

(2) 開發體制와 工程

이 개발 program은 電力 5個社와 三菱重工業과 WH등 計 7個社가 계약해서 실시하는 국

제공동 개발인데 日本 東京에 합동개발 사무소를 두며 이 program의 관리는 三菱重工業이 맡고 있다.

개발의 기술적 실무는 三菱重工業/WH가 각각 정리해서 擔當 항목을 정해서 개발을 진행시키나 정리담당이 아닌 쪽에서도 적극적으로 참가해서 서로 기술자도 파견하여 공동개발의 실적을 올리도록 운용하고 있다. 또, A/E 설계에는 벡텔社를 참가시키고 있다. 기술연락회의는 평균 한달에 2회 정도 미국과 일본에서 交代로 개최하여 중요사항을 심의하고 있다.

설계는 원칙으로 일본의 법규와 정부지도에 따르며 또한 일본 電力의 요망에 適合하게 하는 것에 合意하고 있다. 따라서, 설계기준을 정하고 또 그의 실현에 대한 확인 단계에서는WH의 담당항목에 대해서도 三菱가 적극적으로 참가하여 검토하고 있다. 또 새로운 설계, 새로운 재료의 채택에 대해서는 품질보증을 철저히 하기로 하고 중요설계항목에 대해서는 三菱·WH合同으로 評價委員會를 편성하여 심의하는 방식을 의무로 하고 있다. 평가위원은 원칙으로 APWR 직접담당자 이외의 우수한 매니저에서 선출되고 있다.

전력회사와의 提携는 정기적으로 제출되는 기술보고서와 그 제출후에 행해지는 보고회 및 필요에 따라서 수시로 개최되는 중요사항 결정을 위한 협의를 통해서 행해지며 이 자리에서 적절한 지도와 策定수정이 행해지고 있다.

또, 여러가지의 시험도 병행해서 실시되고 있다. 설계가 확정된 마지막 단계에서는 중요기기의 종합기능의 確證시험이 행해지는데 원자로의 중요부분인 「上部爐內構造物」과 「水排除用制御棒과 연료를 組合시킨 試驗體」 2건에 대해서는 정부위탁 시험으로서 原子力工學試驗센터에 의해서 실시된다.

이 프로그램의 初年度에 해당하는 1982년은 爐心구조 및 연료집합체의 개발을 중점적으로 실시하여 spectral shift 爐心の 기본구상을 정리하는 것에 노력을 집중하여 신뢰성이 높은 기

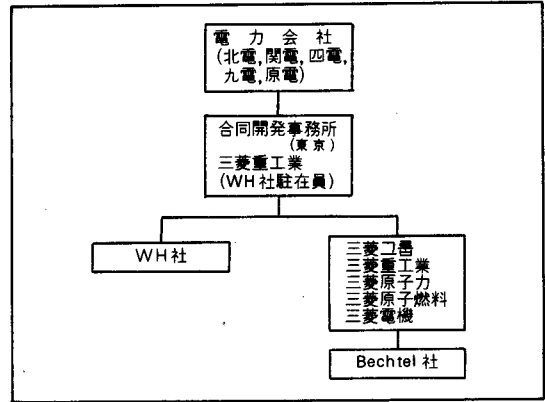


그림 2 開發組織

본구조를 결정할 수가 있었다. 工程의 段階의 區劃을 1983년에 두고 있으며 증기발생기의 기본설계, 안전관련의 계통구성, 격납용기의 形成 등의 선택을 하기로 되어 있다.

(3) APWR의 主要開發機器의 특징

APWR의 개발은 플랜트의 모든 시스템에 걸친 것인데 이 프로그램에서 從來型과 가장 크게 달라지는 원자로, 연료, 증기발생기에 대해 그 개선의 개요를 설명하고 다음 章에서 플랜트 시스템의 특징을 기술하기로 한다.

① 爐心설계: 전기출력이 130만 KW 이상 발생할 수 있을 것, 되도록 오랫동안 연속운전을 할 수 있을 것 및 연료싸이클경제의 개선을 목표로 爐心 설계를 선정했다.

三菱은 처음에는 實證性을 중시해서 종래형인 17×17 연료를 다수裝填하는 대형 爐心を 검토해 왔다. Framatome, KWU의 130만 KW 급 PWR도 대체로 이와 같은 방향으로 진행되고 있다. 그러나, PWR의 개발자인 WH는 몇년전부터 spectral shift 爐心の 설계구상을 가지고 개발을 소규모로 진행시켜 왔다.

이와 같은 狀況下에서 三菱과 WH는 장래 플랜트로서의 爐心설계계획에 대해서 협의하여 다음 세기까지 건설하는 것이면 연료자원 절약과 長싸이클화를 강조해야 한다고 판단하여 이 면에서 명백히 長點을 지닌 spectral shift 爐心の

실현에 도전할 것을 합의했다.

APWR의 爐心은 水排除用制御棒에 의한 spectral shift制御로서 싸이클을 연장시켜서 연료를 절약하는 외에 反射體로서 새로운 구조를 채택해서 反射效果를 올릴 것, 出力密度를 내리며 연료 grid의 재질을 바꾸어서 吸收를 적게 한다는 등에 의해 濃縮度를 내려 연료경제를 개선하려는 것이다. 이와 같은 특징을 가지는 APWR의 爐心은 3 batch로서 13.5개월(全出力) 연속운전을 종래爐心보다 훨씬 낮은 농축도로 설계할 수 있으며, 나아가서는 18개월(全出力) 연속운전의 爐心도 농축도 4% 정도로 설계 가능하다. 이와 같은 長싸이클이 실현되고 定期검사도 단축하면 표준싸이클로서 가동율을 80% 이상으로 하는 것이 가능하게 된다.

연료 싸이클 코스트절감은 약 2割, 발전코스트로 하면 數%의 저하에 상당한다고 평가하고 있다. 연료자원절약은 2割을 넘는다.

Pu 싸이클도 실시할 수 있도록 제어봉에 충분한 停止여유를 가지게 하고 있으며 自己生成 Pu 뿐만 아니라 100% Pu 爐心の 설계도 가능하다. 自己生成 Pu 리싸이클 효과를 가하면 우리나라 자원절약량은 약 5割을 달성할 수 있게 된다.

日間負荷追從도 쉽게 할 수 있도록 負荷變動用으로서 弱吸收制御棒을 장비한다. 이로 인해 出力變化의 빠르기, 그리고 日間負荷追從을 실시할 수 있는 기간도 종래보다 대폭적으로 개선된다.

이와 같이 훌륭한 성능의 爐心구조를 높은 신

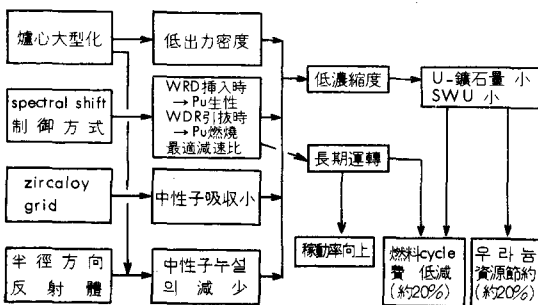


그림 3 爐心設計改良項目

되도록 실현하는 點에 이 개발프로그램의 成敗가 걸려 있다. 약 1년간에 걸쳐 三菱과 WH가 一體가 되어 협력해서 上部 calandria 方式을 선정하여 기본계획을 매듭지었다. 이 설계에서는 爐心 상부에 다량의 물이 保有되며, 또한 入口 nozzle이 높아 down comer부의 水頭가 커서 大小 LOCA에 대한 성능이 대단히 향상되었다.

② 연료: spectral shift에 적합한 구조이고 또한 종래의 경험을 살린 고성능연료의 특징을 가진 신뢰성이 높은 연료의 설계를 실현하는 것을 목표로 삼고 있다. 연료의 형식은 상부爐内 구조물의 형식선정과 병행하여 검토해서 19×19型(유효길이 약 3.9m)을 선정했다.

APWR에서 새로 채택하는 개량은,

(a) 연료집합체를 대형으로 하여 연료집합체의 수를 늘리지 않고도 大出力을 실현한다.

(b) 연료봉을 굵게 하고 被覆管의 두께도 늘린다. 두께를 늘리므로서 지르코늄 라이나도 가능해진다.

(c) 下部 nozzle의 구조를 바꾸어서 自立性과 裝填時的 guide 능력을 향상시킨다. 또, grid 形狀의 개량에 의해 연료 裝填時的 꿈혀지는것을 없앤다.

(d) 格子의 수, 強度의 증가 등에 의해 耐震 성능을 향상시킨다. 연료봉 leak를 예방하는 대책의 결정은 명확히 되어 있지는 않으나 두께를 두껍게 하고 각종 검사·관리를 엄격하게 함으로써 개선될 것이라고 기대하고 있다.

③ 증기발생기: 이미 많은 개량을 이루었음을 記述하였으나, APWR에서는 만일의 부식에 대해서도 높은 저항성을 가진 증기발생기로 하기 위해 傳熱管과 支持板의 材質, 傳熱管의 지지방법에 대해 철저히 비교시험하기로 하고 WH와 三菱 共同으로 광범위에 걸친 시험을 수행중에 있다. 三菱은 APWR 개발이전부터 수년 동안의 계획으로 시험을 계속하고 있었으므로 좋은 능률로 시험을 추진하고 있다. 시험은 51F 형에서 사용되고 있는 특수열처리를 시행한 In-

conel 690 등을 대상으로 실시되고 있으며 高溫下에서의 應力부식에 강하고 耐蝕性이 뛰어난 傳熱管 재료의 개발이 추진되고 있다.

傳熱管의 支持板貫通部에서는 不純物이 농축해서 부식의 원인이 될 수 있으나 三菱이 開發中인 rib付管方式에 의하면 종래방식보다 농축이 적은 것이 확인되고 있다. 다시 耐蝕性이 높은 傳熱管材를 채택함으로써 부식에 관해 완벽한 증기발생기가 얻어질 것이라고 기대하고 있다.

한편, 蒸氣壓을 올려 플랜트효율을 올리려면 1次系의 온도를 되도록 높일 필요가 있으나 부식은 온도가 높으면 증가하는 경향이 있으므로 설계온도의 설계를 신중히 행하고 있다.

플랜트효율은 低壓 터빈 最終段에 新形 52인치 impeller를 채택함으로써 향상하여 플랜트의 종합효율 35%를 목표로 하고 있다.

성능향상 實證을 위한 실험도 계획하고 있으나 최종적으로는 10 MW 보일러에서의 시험도 실시한다.

(4) 플랜트 시스템의 改善概要

안전성향상, 가동율향상, 운전성향상을 위한 적절한 개선을 달성하는 노력을 계속하나 플랜트의 경제성 향상도 중요한 목표이므로 설계개선의 각 항목에 대해 아래 여러 항의 평가를 통해서 取捨選擇하고 있다. 또, 중요사항의 결정에 있어서는 전력회사에 충분히 설명하여 그 양해와 승인을 얻도록 하고 있다. 평가항목은,

(a) 신뢰성 : 고장확율을 구하여 가동율에 대한 영향을 평가한다.

(b) 안전성 : 사고확율과 사고 결과의 정도로부터 플랜트의 경제리스크를 평가한다.

(c) 경제성 비교 : 건설비에 대한 영향을 평가한다.

그외에 (d) 건설공정, (e) 운전성, (f) 제작, 保守, 검사의 難易度에 대해서도 並行평가한다. 특히 코스트 잇점의 관점에서도 평가를 하고 있다.

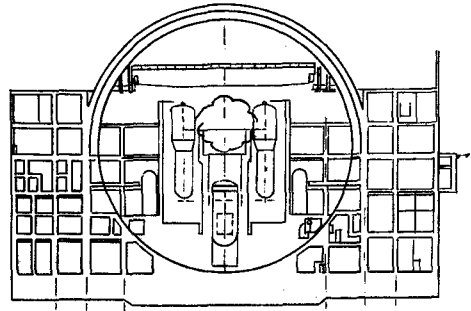


그림 4 SSCV 경우의 斷面圖

① 安全設計 : 爐內구조를 상부 calandria 方式으로 하고 노즐을 높게 함으로써 大小破斷 LOCA에 대해서 안전한 특성을 가진 爐心이 되었다는 것은 이미 말하였다. 격납용기는 PCCV와 球型 鋼製의 兩方式에 대해서 비교검토하고 있으나 선정에 신중을 기하고 있다. 球型鋼製는 제작기술적으로 명확하다는 것과 바닥 면적을 넓게 잡을 수 있어 여러가지의 利點이 있으나 日本에서는 전혀 경험이 없어서 耐震설계등을 충분히 검토해 봐야 할 것이다. 高震度 地點도 想定하여 振動減衰의 특수한 대책을 입안해서 그 평가를 추진하고 있다(그림 4, 5 참조)

또, 격납용기 減壓系에 대해서도 最適設計를 행하기로 하고 있다.

사고직후의 운전원의 부담을 줄이기 위해서 2차측에 蒸氣凝縮系를 설치할 것과, 격납용기 내의 비상용냉각수 탱크를 설치할 것 등을 검토하고 있으나 이들도 在來形과 코스트 평가를 포함해서 비교 평가하고 있다.

中央制御盤의 설계에는 異常診斷, man-machine interface의 개량을 적절히 채택하여 사고시 운전원의 판단을 돕도록 하고 있다. 自動化할 수 있는 制御系는 되도록 자동화하며, 특히 폐기물처리계 등의 補助系는 集中管理方式으로 한다. 原子爐心도 되도록 자동화하나 운전원의 판단력을 신뢰하여 그 풍부한 경험에 따르는 檢證을 받으면서 제어 보호장치의 자동화 계획을 추진시킨다.

② 稼動率向上 : 長싸이클 운전가능한 爐心の 채택과 重要機器의 고장을 없애므로써 대폭적

으로 개선되나 定檢기간을 단축시키는데 효과가 크다. 현재는 서독 등에 비해서 길지만 이것은 定檢에 대한 법규 등의 相違와 검사 작업의 신중함 등 國情의 差도 있고해서 일률적으로는 비교할 수 없다. 定檢은 다음 사이클의 신뢰성을 확보하는 것이 목적이므로 함부로 簡略化해서는 안된다.

먼저 검사항목을 줄이기 위해 熔接線을 감소하는 등의 설계를 채택하며 실시해야할 檢査保守項目에 대해서는 그 重要度를 판단해서 검사주기를 분류해서 項目數를 감소시키고 실시하는 항목은 특수자동검사장치를 개량 개발하여 並行實施 등에 의해 신속하게 작업할 수 있도록 한다. 그 효과를 올리기 위해서 배치설계에도 반영시키기로 하고 있다.

증기발생기 검사補修, 용접검사 등의 일련의 機器는 開發이 끝났으나 APWR에서는 작업용 로봇, multistud-tensioner, 밸브 보수장치 등의 새로운 적용을 검토한다.

연료관련작업은, 연료의 신뢰성을 향상시킴으로써 檢査體數를 감소시키고 또 검사장치를 增設시킴으로써 단축시킬 수가 있다. 연료裝填장치는 가능한 한 자동화하고 工程上 critical이 되는 작업의 설비는 증설하여 公程의 배런스를 취하도록 한다. 또, 격납용기内外에서의 작업전체를 관리할 수 있는 종합시스템도 채택한다.

이상의 대책에 의해 critical pass 45일의 달

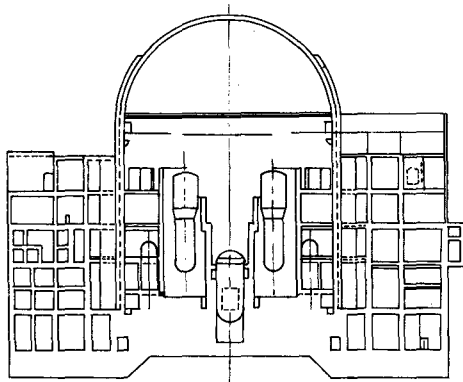


그림 5 PSCV 경우의 斷面圖

성을 목표로 해서 검토하고 있다.

높은 가동율 달성에는 計劃外 停止를 최소한으로 억제해야 한다. 이를 위해서는 개발이 끝난 신뢰성관리코드를 활용해서 중요계통의 밸브, 計裝制御장치 부품 등의 품질관리를 철저히 한다. 또, 非常用爐心冷却系나 원자로 보호계의 4train化 등도 기기의 고장이나 수리에 의한 計劃外停止의 확율을 감소시키는 효과를 노려서 검토하고 있다.

③ 經濟性的의 向上: 연료 사이클 코스트의 저감과 가동율 향상에 의해 발전코스트의 대폭적 절감이 기대된다. 계획외정지를 極小化할 수 있으면 전체로 10% 이상의 절감도 불가능하지 않다.

新型原子爐에 의해 연료 코스트를 절감시킬 수 있으나 日本에서 APWR를 실현하기 위해서는 spectral shift 채택에 따르는 건설비의 상승은 최소한으로 억제해야 할 것이며 플랜트 전체의 건설비도 低下시키는 노력이 필요하다.

安全系는 충분한 안전을 확보하기 위해서는 二重化, 大容量化 등이 있으나 되도록 코스트가 적어지도록 계획하며 격납용기의 형식도 기능의 우열은 물론이지만 건설코스트 및 保守管理 코스트가 적은 것도 조건의 하나로 선택해 나가고 있다.

건설기간도 짧아야 한다. 특히 미국에서는 건설기간이 길기 때문에 원자력이 不利해지고 있으며 WH는 특히 認許可에 요하는 기간을 단축하는데 노력하고 있다. 日本에서는 제3차개량 표준화 PWR로서 지정되어 있으므로 계획의 始初부터 설명하고 있으며 중요부분은 國家가 確證시험을 실시하여 종합기능의 신뢰성을 판단하도록 되어 있으므로 안전 심사는 좋은 능률로 추진할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

④ 從業員被曝의 低減: 18개월연속운전이 인정받게 되며는 年平均定檢作業時間의 감소가 되어 이 爐의 특징을 더욱 발휘할 수 있다. 定檢 단축에 활용하는 자동기기는 동시에 遠隔操作 機器로서의 기능을 향상시키도록 노력한다. 피

폭의 대부분은 原子爐loop室에서 발생하므로 증기발생기, 1차냉각재 펌프 및 밸브의 補修관련 작업에 着眼하여 현재 건설계획중인 PWR에도 많은 대책이 실시되고 있으나 APWR에서는 더욱 이를 추진하여 종래 곤란했던 배치설계상의 개선도 행하기로 하고 있다.

또, 작업용 로봇의 활용을 위한 이동 및 작업공간을 고려한다.

APWR은 제어봉구동장치의 수가 많고 또 爐内구조물의 취급도 복잡해지기 때문에 피폭이 증가할 요소가 많아 피폭저감을 위해 특별한 대책이 필요하며 각 機器의 설치장소나 차폐를 적절히 계획해 둘 것과 除染에 대해서 진보된 機器를 개발해 두는 일 등은 불가결한 일이다.

線源의 低減은 피폭감소를 위한 근본대책이다. 재질의 선택과 적절한 水質관리에 의해 대폭적으로 감소시킬 것을 계획하고 있다. 특히 증기발생기의 傳熱管은 耐蝕성이 훌륭한 傳熱管材를 사용함으로써 효과를 올릴 수 있다.

⑤ 여유있는 설계 : 新型爐内구조물 설계에 의해서 LOCA時의 연료보화가 쉬워지며 平均出力密度를 내림으로써 爐心설계상 여유를 가질 수가 있어서 新制御保護系의 채택에 의한 여유 증대와 함께 운전여유도를 증가하고 있다. 또, 減速材溫度係數를 충분히 負로 취할 수 있는 것과 냉각재가 많다는 것으로 사고시의 압력상승이 낮고 ATWS에 대응하기 쉬운 爐心이며 反射體의 材質개선에 의해 종래 이상으로 원자로 용기벽의 低溫脆性에 대해 강한 플랜트로 하는 등 안전에 관해 앞날을 내다 본 설계로 하고 있다.

☆ ☆

이와 같은 대형 개발 프로그램을 최초의 단계부터 미국의 메이커와 일체가 되어 추진하는 것은 처음 경험이나 三菱과 WH의 협조관계는 예상 이상으로 좋으며 兩社의 담당자는 一體感을 가지고 일을 추진하고 있다. 兩社는 각각의 특징이 있으며 WH는 기본적으로 새로운 안을 만들어 자신을 가지고 주장을 한다. 한편, 일

본의 三菱은 그 안을 신뢰성이 높은 설계에 구체화하는 能力이 뛰어났다.

또, 의론의 진행방법, 기술적 사항의 결정방법 등도 뚜렷하며 좋은 것은 누가 發案했다하더라도 좋다고 하는 정정당한 태도를 WH의 기술자들로부터 배우고 있다. WH도 신뢰성을 철저히 追求하는 일본의 작업추진방법을 이해하기 시작했다고 한다.

APWR의 개발이 케도에 오르기 시작한 작년부터 원자력발전소의 건설비 상승을 막지 않으면 장래성을 상실할 것이라는 정부와 전력회사의 판단이 강조되기 시작하였다. 전혀 새로운 형의 원자로를 개발하는데는 가혹한 환경이나 신뢰성, 안전성을 손상시킴이 없이 경제성이 높은 플랜트의 개발을 완성하도록 연구를 축적하면서 공동작업을 추진하고 있다.



이달의 到着資料

- ◎ Nuclear Industry<美國> 6月, 7月號
- ◎ AIF Info<美國> 6月, 7月號
- ◎ Nuclear News<美國> 7月號
- ◎ ANS News<美國> 5月, 6月號
- ◎ ATOM<英國> 6月, 7月號
- ◎ Bulletin<英國> 5月, 6月, 7月號
- ◎ Nuclear Engineering International <英國> 7月, 8月號
- ◎ 原子力産業新聞<日本> 1186, 1187, 1188, 1189, 1190號
- ◎ 原子力工業<日本> 7月, 8月號
- ◎ 原子力文化<日本> 6月, 7月號
- ◎ Atoms in Japan<日本> 5月, 6月號
- ◎ 日原産第27回事務職員原子力세미나教材 <日本>
- ◎ Nuclear Canada Yearbook 1983 <カナダ>