

日本の 輕水爐 改良標準化 現況과 展望

本稿는 작년 11月 9日부터 11日까지 서울에서 열린 第9回 韓日原子力産業세미나에서 發表된 論文으로서, 日本이 外國으로 부터 輕水爐技術을 도입하여 현재 정착단계에 이르기까지의 第1, 2, 3次 改良標準化計劃의 內容과 成果를 정리한 것이다.



峰 松 昭 義
〈東京電力(株)
原子力設計課長〉

1. 序 論

日本の 輕水爐는 당초 미국으로 부터의 기술 도입에 의해 출발했지만, 도입초기의 단계에서 BWR에 있어서는 스테레스鋼 配管의 應力腐蝕 龜裂, PWR에 있어서는 증기발생기의 傳熱管 漏洩 등 몇가지의 트러블이 發生하여 한때 設備 利用率이 40%까지 저하되는 쓰라린 경험을 했다.

이 때문에 일본에서는 輕水爐를 정착시키고, 安定된 運轉을 유지한다는 관점에서 1975년 부터 1977년에 걸쳐 경수로의 신뢰성·가동률 향상 및 피폭저감을 목표로 한 제1차 개량표준화를, 또 1978년 부터 1980년에 걸쳐 신뢰성·가동률 향상, 정기검사의 효율화 및 피폭저감을 목표로 한 제2차 개량표준화계획을 官民이 일체가 되어 협력, 추진했다. 그 결과 설비이용률이 해마다 개선되어 1983년도 이후에는 70% 이상을 유지하고 있으며, 1986년도에는 77%를 달성했다. 이것은 정기검사기간을 제외하면 거

의 100%에 상당한다.

더욱, 1981년 부터 1985년 까지 실시한 제3차 개량표준화계획에서는 일본에 적합한 경수로의 확립을 목표로 제1차 및 제2차 개량표준화계획의 성과를 근거로 국제협력 등에 의해 國內외의 우수한 기술을 집대성하여 안전성·신뢰성, 피폭저감, 가동률, 운전성, 경제성 등에 관해 더 한층의 향상을 도모했다. 이 제3차 개량표준화계획은 既存型 輕水爐의 보다 나은 개량과 표준화 및 改良型 輕水爐의 개발이었다.

上記와 같이 일본의 경수로는 개량표준화계획을 통해 현재 착실히 정착되어 그 성과를 올리고 있다. 한편 原子力發電이 전발전량에서 차지하는 비율이 현저히 높아지고 있으며, 또한 앞으로도 그 비율은 더욱 증대될 것이며, 高速 增殖爐 실용화시기의 지연에 힘입어 경수로시대가 장기화될 것으로 예측된다.

이와 같은 경수로를 둘러싼 환경변화에 대응하여 準國産에너지인 원자력개발을 착실히 추진해 나가기 위해 1987년 4월 輕水爐高度化委員會가 설치되어 官民이 협력하여 경수로기술의

더 한층 고도화를 추진해 나가기로 했다.

2. 改良標準化計劃의 推進方法

일본의 상업용 경수로개발은 1975년경 까지 는 도입기술의 소화에 역점이 두어졌으며, 自主 技術에 의한 설계개발의 노력이 충분하였다고 할 수 없는 면도 있었다.

한편, 경수로 건설 및 운전을 통해 일본에서 의 경험이 쌓여지는 가운데 트러블과 運轉保守 上の 순조롭지 못한 점도 발생하였으며, 또 가 동률도 所定의 數値를 얻을 수 없는 상황이었다. 그러나 高速增殖爐가 본격적으로 상업화될 것으로 전망되는 21세기 초까지 輕水爐가 일본 원자력발전의 主力임을 고려하여, 安定되고 경 제적인 장기적 에너지源의 역할을 완수하기 위 해서는 종래의 경험을 근거로 다음과 같은 개량 을 하여, 일본의 국내여건에 적합한 경수로기술 을 확립하는 것이 중요한 과제라고 생각하였다.

- (1) 기기의 자동화, 원격화 등에 의한 保守점 검의 적확화.
- (2) 작업스페이스의 확보, 기기배치의 개량, 작 업능력향상 등에 의한 작업원의 피폭저감화.
- (3) 기기의 신뢰성 및 가동률의 향상.

이와 같은 기기개량의 성과를 근거로 표준화 를 추진함으로써 플랜트의 신뢰성, 경제성 향 상 및 인허가수속의 효율화가 기대되었다.

플랜트의 표준화에 대해서는 안전설계를 중 심으로 한 기본설계의 표준화와 개량의 성과에 대해 운전실적 등에 의한 확신을 가질 수 있는 機器類 등을 중심으로 표준화를 추진하고, 여러 단계를 거쳐 가능한한 플랜트 전체를 표준화할 것을 생각했다.

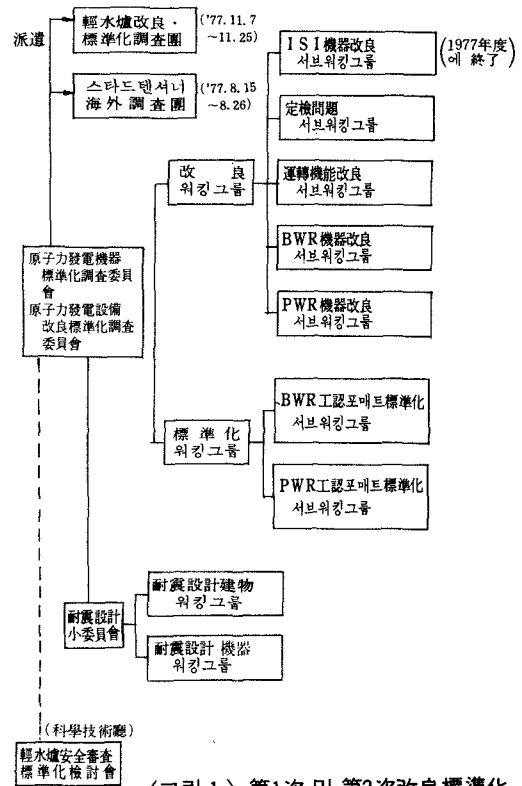
이와 같은 개량표준화를 도모함으로써 다음 의 성과가 기대되었다.

- (1) 保守點檢作業의 적확화 및 기기의 신뢰성 향상이 도모되고, 플랜트의 가동률이 향상.
- (2) 작업스페이스의 확보, 기기배치개량, 작업

능률의 향상 등에 의해 작업원의 피폭이 저 감.

- (3) 同一設計의 기기를 반복 제작함으로써 신 퇴성이 향상.
- (4) 기기, 재료의 量産化와 계획생산이 가능해 져 경제성이 향상.
- (5) 안전설계를 포함한 설계의 표준화, 신청서 류의 표준화를 도모함으로써 인허가수속의 효율화, 인허가기간의 단축이 도모되며, 그 에 따라 건설기간이 단축.
- (6) 機器部分의 플랜트間의 互換性이 가능해 지 고, 건설·保守의 효율화가 도모되며, 예비 품 보유량을 절감할 수 있음과 아울러 停止 期間이 단축.

이상과 같은 관점에서 1975년 6월 通商産業 省에 原子力發電機器標準化調査委員會와 원자 력발전설비개량표준화 조사위원회가 설치되어



〈그림 1〉 第1次 및 第2次改良標準化 計劃에 관한 組織圖

관민이 협력하여 경수로형 원자력발전설비의 개량·표준화를 도모하게 되었다(그림 1 참조).

計劃을 추진함에 있어서 대상으로 하는 爐型 및 그 出力으로는 BWR, PWR 각각에 대해서 800MW 와 1,100MW級 計 4種類를 선택하고, 또 개량표준화의 추진방법으로는 그 기술적 難易度를 고려하여 다음의 2단계 방식으로 추진하게 되었다.

- (1) 格納容器的 확대 등에 의한 작업원의 피폭저감, 작업능률 향상을 목적으로 한 제1차 개량표준화.
- (2) 제1차 개량표준화를 베이스로 기기·시스템 등을 개량하고, 플랜트 전체에 걸쳐 표준화를 실시한다. 즉, 日本型 輕水爐 확립을 목적으로 한 제2차 개량표준화.

더욱, 이들 제1차와 제2차 개량표준화계획의 성과를 근거로 기기·시스템은 물론 爐心을 포함한 原子爐本體에 이르기까지 국산자주기술

을 기본으로 하여 국제협력을 증진하면서 한층 더 개량을 도모하여, 일본형경수로를 확립하기 위해 관민이 협력하여 1981년도 부터 1985년도 까지 5년간 제3차 개량표준화계획을 수행했다(그림 2 참조).

- (1) 신뢰성·가동률의 더 한층 향상
- (2) 運轉性的 향상
- (3) 피폭의 더 한층 저감
- (4) 立地효율의 향상
- (5) 리드타임의 단축화

그림 3에 第1次부터 第3次까지의 개량표준화계획 실시전개를 나타냈다.

3. 第1次 改良標準化計劃

(1) 第1次 改良標準化的 目標

1) 신뢰성과 가동률의 향상

증기발생기 傳熱管의 漏洩對策, 應力腐蝕龜裂(SCC)對策 및 연료 등의 대폭적인 개선이 도모됨과 동시에 정기검사의 효율화 등에 의해 설비이용률이 70% 이상이 되는 것을 목표로 했다.

2) 정기검사의 효율화

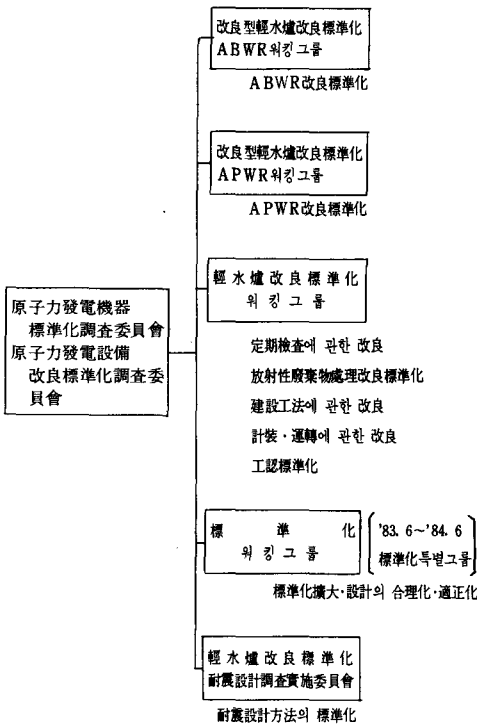
정기검사는 당시 原子爐側作業이 크리티칼하게 되어 있었으므로 원자로측작업을 중심으로 정기검사기간 단축을 위한 검토 및 설비의 개발을 실시하여 정기검사기간이 제1차 개량표준화 플랜트에서 85일 이하가 되는 것을 목표로 했다.

3) 작업원의 피폭저감

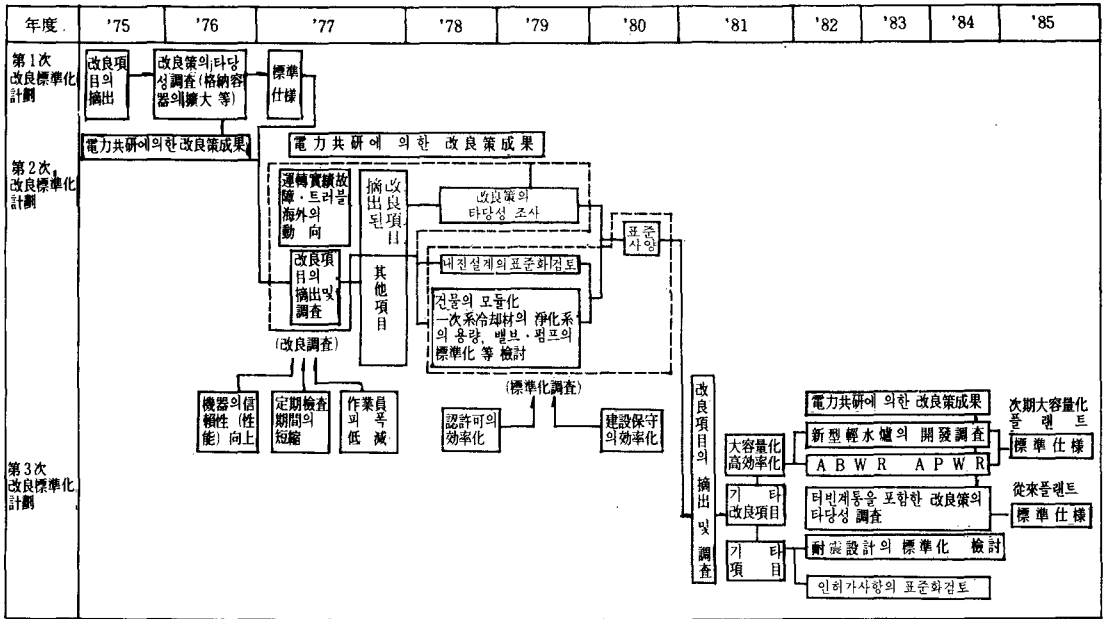
작업원의 被曝線量에 대해 여러가지 검토 및 설비의 개발을 실시하여, 제1차 개량표준화 플랜트에서 종래의 3/4 이하로 감소되는 것을 목표로 했다.

(2) 原子爐格納容器的 改良標準化

피폭저감 및 작업성의 개선을 목표로 하여 BWR에서는 MARK-I 개량형과 MARK-II 개량형 격납용기에 대해 배치계획, 耐震性的 타당성 검토를 실시하였으며 또한 保守點檢面의 재



〈그림 2〉 第3次 개량표준화계획에 관한 조직도



〈그림 3〉 第1次~第3次 개량표준화계획

평가, 배관의 응력상 검토를 진행했다. 그 결과 배관배치의 타당성이 확인됨과 아울러 改良策이 구체화됨으로써 피폭저감과 작업성이 개선되었다(表1 참조).

한편 PWR에 대해서는 高張力鋼製 格納容器的 배치계획, 耐震性的 타당성 확인과 함께, 110萬KW級 격납용기로서 프레스트레스트 콘크리트製 격납용기(PCCV)에 대해서도 배치계획, 耐震性에 대해 검토를 추진했다. 이 결과 PCCV의 耐震性이 오히려 高張力鋼製보다 우수함이 확인되었다. 또 내부배치에 있어서도 點檢保守時的 피폭저감, 작업성 개선이 확인되었다(表2 참조).

(3) 機器·시스템의 改良

BWR, PWR의 기기·시스템에 대해서 신뢰성 향상, 피폭저감 및 점검의 효율화를 목표로 하여 많은 개량이 도모되었다(表3 참조).

(4) 第1次 標準플랜트의 確立

제1차 개량표준화계획에서는 제1차 改良策

〈表 1〉 BWR격납용기내 배치계획의 개량책

작업스페이스의 확보	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主蒸氣配管, 給水配管헤더 및 베네트레이션 위치를 서로 분리함에 의해 ISI時的 작업스페이스 확보. 2. 격납용기내 空調機器(HVH)의 上下방향으로의 분리에 의한 기기분해 스페이스의 확보. 3. 他機器·配管의 保守, ISI時的 스페이스 확보.
작업성 향상·피폭저감	<ol style="list-style-type: none"> 1. 재순환 펌프모터 搬出入用 핫치의 설치에 의한 작업시간 단축. 2. 방출安全밸브 搬出入用 핫치의 신설에 의한 분해·점검작업의 용이화 및 작업시간의 단축. 3. 主蒸氣隔離밸브(MSIV)의 分解治具의 개발 및 專用노즐(主蒸氣隔離밸브 分解用 및 搬出入用)의 설치에 의한 작업의 효율화. 4. RPV노즐部, 베네트레이션部 및 配管헤더部에의 플랫폼트름, 操作架台設置에 의한 接近時 및 ISI작업시의 시간단축에 의한 피폭저감. 5. 종래의 사다다리에 대신하는 계단의 신설에 의한 접근성 향상.

〈表 2〉 PWR증기발생기 콤포넨트內 배관계획의 개량책

작업성향상 · 피폭저감 (증기발생기 주위)	1. ECT專用 플랫폼설치, ECT 케 이블의 常設化, 水室, 맨홀뚜껑受 架台 채용 등에 의한 ECT작업의 용이화. 2. 크린하우스 및 保守用排氣 닥트의 常設化에 의한 피폭저감. 3. 증기발생기 주위의 통로확보에 의 한 접근성 향상.
작업스페이 스확보·작 업성향상(1차 냉각재펌프 주위)	1. 펌프주위의 배관정리에 의한 작업 스페이스 확보. 2. 點檢用入口의 설치에 의한 접근성 향상.

을 도입한 제 1 차 표준플랜트의 확립을 시도했다.

BWR에서는 110萬KW級을 중심으로 하고, PWR에서는 80萬KW級 및 110萬KW級 플랜트 에 대해 개량형 격납용기를 비롯 기타 熱出力 등 상당한 기본적 사항에 대해 기본사양의 표 준화를 실시했다.

(5) 第 1 次 改良標準化計劃 成果評價

1) 작업원의 피폭

이상과 같은 격납용기의 확대 및 그에 따른 内部 主要機器 配置의 개량에 의해 적절한 넓이 와 통로가 확보되고, 기기·배관 등으로의 접근 성이 개선되었다. 또한 자동기기의 도입 등 여 러가지 개량을 도입함으로써 제 1 차 표준플랜트 는 종래플랜트에 비해 BWR에서는 약 35%, PWR에서는 약 25%이상의 작업원 피폭저감이 도모되었으며, 현실적으로 기대이상의 효과가 기대되고 있다.

2) 작업성, 신뢰성 및 가동률

같은 이유로 작업원의 작업성도 대폭 향상 되었으며, 기타 개량책에 힘입어 정기점검공정 도 종래에 비해 상당한 단축화가 기대되었다. 또 이것은 保守點檢의 적확화와 결부되어 종래에 일부 플랜트에서 발생한 배관균열 등의 트러블

〈表 3〉 PWR 제 1차 개량책 (PVC제외)

항 목	내 용	
신뢰성 향상	연료의 보잉(구 부러짐)경감대책*	●개량형 支持格子 용수철 채용 ●支持格子段數 增加(9그리드 연료)
	증기발생기의 細管減肉腐蝕방 지대책*	●水質管理基準의 강화 ●개량형 증기발생기의 채용
	ECT精度 향상 과 신속화	●複數周波數에 의한 同時探傷의 채 용
점검의 개선	원자로용기뚜껑 개폐의 스타드 텐서너의 개선	●台數增加 ●유압호스의 증대 ●텐서너마다 油壓止 止 밸브설치
	원자로용기 뚜 껑의 설치품 설 치, 제거 개선	●熱電對 코노시일의 개량형 조임工 具의 채용 ●CRDM크린닥트 접속방식 개량
효율화	연료취급 계통 의 개선	●시핑캔 1台 증가 ●캐비티 淨化장치 개량 ●캐비티壁 코너部 구조개량 ●캐비티실딩 가스켓트 개량 ●工具라크의 증설
	계측제어장치의 자동화	●옥스, 트리튬의 자동샘플링 장치 채용 ●SGBD, WDS系에 自動PH計를 채용
피폭저 감	밸브類 개량*	●無漏洩밸브, 그라파이트팩킹 채용 ●자동화, 원격화 범위확대
	펌프類 개량	●냉각재 펌프에 스톱피스 적용 ●왕부動充塡 펌프에 하드팩킹 채용 ●왕부動充塡 펌프시일部 漏洩檢知장 치를 적용
	샘플링 방식	●액체로칼·샘플에 싱크방식 채용
	ISI의 자동화*	●원자로 容器 자동UT장치의 채용
증기발생기 細管검사의 개량	ALAP대책	●復水器 空氣抽出 排氣채클필터 설치 ●脫氣器排氣를 復水器에 도입
		●ECT장치의 자동화

註) *標의 항목은 계속 제 2차 개량표준화 계획에서 검토한 항목임.

에 대해서도 충분한 대책이 이루어진 결과, 종합 적으로 정기검사기간은 85일 정도로 想定되며, 그 가동률도 시간가동률에서 약 75%정도, 설비 이용률에서 약 70% 이상을 충분히 기대할 수 있을 것으로 생각되었다. 현실적으로는 기대이 상의 효과가 기대되고 있다.

4. 第2次 改良標準化計劃

(1) 第2次 改良標準化의 目標

제1차 개량표준화계획에 의해 제1차 개량표준화플랜트는 중업원의 작업성, 피폭 및 신뢰성의 면에서 종래 플랜트에 비해 상당한 개선을 달성할 수 있다고 생각되었다.

그러나 1980년도말을 목표로 실질적인 일본형 경수로를 완성하기 위해서는 제1차 개량표준화플랜트를 베이스로 하여 기기·시스템 등을 더 개량함으로써 보다 나은 신뢰성의 확보, 트러블의 근절을 첫째의 목표로 하고, 동시에 검사의 효율화를 도모하여 가동률을 향상시킴이 중요하다고 생각했다.

또 작업원의 피폭저감도 원자력발전 추진의 큰 과제이며, 계속 적극적으로 개량하는 작업이 필요하다고 생각했다.

1) 改良의 目標

上記의 필요성 및 현실 가능성을 고려하여 다음과 같은 관점에서 개량을 추진해 나가기로 했다.

또한 燃料의 개량에 대해서는 그 곤란성 및 운전기능의 필요성을 고려하여 1985년경까지 종료하기로 했다.

① 신뢰성 향상을 위한 改良策의 검토

그때까지의 일본 및 해외 원자력발전플랜트에서의 트러블 실적을 보면, 그 내용 및 원인의 주된 것으로서 表4와 같이 집약할 수 있다고 생각했다.

이들 트러블에 대해서는 이미 제1차 개량표준화 트러블에 도입된 개량책을 포함하여 여러 가지 대응조치가 마련되어 거의 방지할 수 있을 것으로 전망되었다. 그러나 일본형경수로의 개발

(表4) 운전중 원자력발전 플랜트에서 트러블의 실적

BWR	SCC와 熱波勞에 의한 크랙
PWR	증기발생기 細管의 減肉, 핀볼
共通	연료파손·완곡

을 위해서는 트러블을 완전히 없애도록 더욱抜本的인 개량을 추진하여 한층 신뢰성 향상을 도모하기로 했다.

② 정기검사 및 가동률에서 본 개량책의 검토
일본의 정기검사일정은 당시 정상적인 통상의 정기검사에서도 90일 이상을 要했다. 따라서 그대로 추진하면 제2차 개량표준화계획의 목표인 70~80% 정도의 가동률을 달성하기는 도저히 불가능했다.

따라서 원자력발전플랜트의 가동률을 한층 향상시켜 나가기 위해서는 정기검사의 충실, 여러 가지 개량 등에 의해 트러블 방지를 도모해 감은 물론, 정기검사의 효율화를 아울러 추진해 나가기로 했다. 또 정기검사는 작업원의 피폭을 수반하는 것이므로 원자력발전의 증가를 고려하여 이에 대한 개량도 검토하기로 했다.

③ ISI에서 본 개량책의 검토

原子爐壓力容器, 배관 등 원자로 냉각재 압력바운다리를 중심으로 증기발생기細管, 밸브 등의 검사인 使用中檢査 (ISI)는 원자력발전플랜트 안전의 관점에서도 불가결한 것이다. 한편 이 검사는 필연적으로 작업원의 피폭을 수반하므로 작업원의 피폭을 저감시키기 위해 ISI 自動化 등의 개량을 추진하기로 했다.

④ 운전기능에서 본 개량책의 검토

원자력발전플랜트는 베이스·로드로서 일정한 負荷로 운전되고 있지만, 앞으로 원자력발전플랜트가 증가하고, 전력공급의 중심이 되어 감에 따라 負荷變動運轉을 부득이 하게 되는 것도 예상되었다. 또, 系統事故에 대해서도 충분한 백업기능을 가짐이 필요하다고 생각했다. 따라서 원자력발전 플랜트의 日間負荷追從性能 등의 향상을 도모하기로 했다.

2) 標準化의 目標

이미 제1차 표준화에서 개량형 격납용기를 비롯해, 그 밖의 熱出力 등 상당한 기본적 사항에 대한 기본사항의 표준화가 이루어졌다. 그러나 일본형 경수로의 정착화를 도모하기 위해서

는 다음과 같은 목적을 갖고 耐震設計를 포함한 표준화범위의 확대, 인허가신청서류의 표준화를 실시하는 것이 필요하다고 생각했다.

- (i) 프로젝트의 계획·건설기간의 단축화
- (ii) 기기설비의 量産化(신뢰성 향상, 경제성 향상)
- (iii) 중요기기고장시 대체품조달의 신속화
- (iv) 기술자의 포텐셜의 효율적 활용
- (v) 인허가의 효율화

따라서 다음과 같이 표준화의 검토를 하기로 했다.

① 기기·시스템의 표준화 및 건물·기기배치의 표준화 검토

이와 같은 관점에서 제 2 차 개량표준화에서는 表5 와 같은 단계로 표준화를 추진하고, 최종적

으로는 플랜트 전체의 표준화를 도모하기로 했다. 또 그 밖의 원자력발전플랜트의 안전상 중요한 火災對策에 대해서도 표준설계요령을 작성하기로 했다.

그리고 여러가지 설계조건을 모두 포함하면 경제성이 저하될 우려가 있기 때문에 필요에 따라 코스트評價를 하여 표준화의 범위를 NSSS 에서 Nuclear Island, BOP전반, 배치계획으로 확대하기로 했다.

② 耐震設計의 표준화 검토

일본과 같은 地震國에서는 耐震設計가 플랜트設計에 미치는 영향이 매우 크다.

따라서 앞에 서술한 표준화의 추진방법에 따라 주요기기·배관의 기본배치, 기본사양까지 표준화를 추진하기 위해서는 耐震設計의 표준화가 불가결하다.

耐震設計의 표준화에 있어서는 표준적인 기기의 내진설계방법의 확립, 나아가서는 주요기기의 限界應答스펙트럼 또는 限界荷重의 설정을 목표로 하는 機器系에서의 표준화와 표준적인 건물의 내진설계방법 및 기기의 내진설계에 필요한 標準床應答스펙트럼의 작성을 목표로 하는 建物系에서의 표준화 등 兩面에서 어프로치를 실시하여 兩者의 整合性을 취하면서, 최종적으로 기기, 건물에 고루 내진설계의 표준화를 달성해 나가기로 했다.

③ 工事計劃 認可關聯事項의 표준화 검토

표준플랜트에 있어서 주요기기는 같은 설계사양서에 의거 제작되므로 사전제작승인이 가능하며, 설계에 대해서도 동일하기 때문에 심사의 효율화가 가능하다. 즉, 제 2 호 이후의 플랜트에 있어서는 제 1 호 표준플랜트와 다른 점을 중점적으로 심사하는 등 심사의 효율화를 도모할 수 있으며, 신청자가 다른 경우에도 심사의 요점이 과부족없는 수준으로 유지되며, 공사계획인가신청에서 운전개시까지의 기간을 단축할 수 있을 것으로 기대되었다. 그래서 공사계획인가신청서 및 그 첨부서류에 대해서도 그 기재내

〈表 5〉 第 2 次 標準化 스케줄

	第 1 스텝	第 2 스텝	第 3 스텝
範 圍	NSSS+ PVC	Nuclear Island 터빈, 發 電機設備 를 제외한 原子爐關 係全設備	BOP全般
內 容	1. PCV內 主要機器 의 基本 配置 2. 基本設計 基準 • 設計基 準 • 시스템 構成 3. 主要機器의 基本仕様 (詳細設計 사양까지 는 固定 하지 않 는다)	1. R/B內主 要機器의 基本配置 左同	1. T/B內의 主要機器 基本配置 左同 4. 플랜트 레이아웃 의 모듈 化
스 케 줄	'78	'78~'79	'79~'80

용, 기재양식을 통일하기로 했다.

(2) 第2次 改良標準化計劃의 成果

1) 第2次 改良策

PWR에서의 구체적인 제2차 개량책을 表6에 나타내었다.

2) 第2次 標準化

① 기기·시스템의 표준화

제1차 표준화에서 安全設計를 중심으로 하여 플랜트의 주요한 기본사양을 종합정리했지만, 그 내용은 다음의 기본설계에 관한 것이었다.

- (i) 기본적인 설계방침
- (ii) 기본사양(容量, 基數)
- (iii) 주요배관, 기기를 포함한 主要系統의 基本系統圖

제2차 표준화에 있어서는 원자로 격납시설, 원자로보조시설 및 터빈설비 등 주요한 설비에 대해 표준화 범위의 확대를 목적으로 하여 표준화 제약요인을 조사하고, 그 대응책을 검토한 후 설계방침, 주요계통구성, 사양 등을 중심으로

표준화를 실시했다.

그리고 검토는 110萬KW級 플랜트를 대상으로 했으나, 표준화의 기본적인 사고방식은 80萬KW級 플랜트에도 적용할 수 있다.

② 건물기본배치 및 기기배치의 표준화

생각할 수 있는 건물기본배치를 想定하고, 이에 대한 기기배치의 표준화를 베이스플랜트인 110萬KW級 플랜트에 대해 실시했다.

검토결과의 개요를 表7에 나타냈다.

그리고 이 검토결과는 기본적으로는 80萬KW級 플랜트에도 적용할 수 있다.

③ 내진설계의 표준화

제1차 개량표준화계획의 검토결과, 建物形態 및 기기·시스템에 대해 상당한 정도의 표준화가 충분히 가능하며, 효과 또한 큰 것도 분명해졌다.

제2차 개량표준화계획에서는 제1차 개량표준화계획의 성과를 근거로 주로 표준적 耐震設計解析方法에 대해 검토하고 또 건물·기기의 應答性狀을 중심으로 최신의 지식을 도입한 耐

〈表 6〉 PWR 第2次 改良策

	項 目	內 容
機器의 信賴性 向上	燃料棒보잉(립)에 대한 綜合檢討	• 燃料支持格子 용수철첩 緩和等を 채용한 改良策의 妥當性 實機에서의 照射에 의한 確認
	蒸氣發生器 傳熱管材料 調査開發	• 特殊熱處理를 실시한 인코넬 600採用
	蒸氣發生器 덴팅 對策	• 傳熱管支持板의 管穴形狀 改良 • 支持板 材質 改良(炭素鋼→SUS 405)
保守點檢의 的確化와 作業員 피폭低減	原子爐容器等 一體化構造物의 開發	• 原子爐容器뚜껑과 上部構造物의 一體化(그림 4 參照)
	蒸氣發生器 水室內 作業用 매뉴플레이터 裝置와 塔載裝置 開發	• 高速多目的 매뉴플레이터 裝置와 塔載裝置의 導入(그림 5 參照)
	蒸氣發生器水室用 노즐뚜껑 改良	• 着脫이 좋고 容易한 改良型 노즐뚜껑의 採用(그림 6 參照)
	燃料檢査시스템 改良	• 檢査핏트方式 燃料檢査시스템 採用
	ISI機器 自動化	• 原子爐容器 UT머신의 改良과 配管UT머신의 自動化
	低壓用 最適無漏洩밸브	• 改良膜고무다이어램 밸브의 採用
運轉面 改良	運轉操作性 改良	• CRT를 사용한 監示表示 시스템의 採用
기타 技術開發	프레스트레스트 콘크리트製 格納容器的 實用化 檢討	• 프레스트레스트 콘크리트製 格納容器的 採用(4루프 플랜트)

〈表 7〉基本配置標準化 檢討結果의 概要 (PWR)

標準化 檢討對象	바리에이션 檢 討	配置標準化	要 素 化	備 考
(1) 建物基本配置 高地震帶用 低地震帶用	○ ○			配置標準化檢討의 外部條件을 주기 위한 檢討
(2) 建物配置 原子爐格納容器 原子爐建物 高地震帶用 原子爐建物 低地震帶用 原子爐建物 原子爐補助建物 터빈建物		○	○ ○ ×	原子爐 格納容器內 機器配置의 標準化 檢討도 실시했다. 建物耐震W/G가 建物크기의 妥當性을 確認했다. 要素化範圍(各部屋單位)에서의 機器 配置의 標準化檢討도 실시했다. 變更 要素가 많고 標準化는 得策이 아니다.

震設計解析方法에 대해 검토를 실시했다.

또 내진설계는 認許可 등에 큰 비중을 차지하고 있으므로 심사업무의 효율화를 도모하기 위해 표준적 내진설계해석방법에 근거하는 내진 계산서의 표준화도 실시했다.

그 결과의 概略을 다음에 나타냈다.

i) 建物耐震設計

㉠ 標準設計用地震動

개량표준화의 내진검토를 위해 「발전용 원자로시설의 내진설계심사지침」에 준거하여 高地震地帶用 및 低地震地帶用의 S1 및 S2 基準地震動을 模擬地震動作方法을 사용하여 작성했다.

㉡ 耐震解析方法

건물구조의 모델화 및 地盤部分의 모델화방법의 표준화, 振動어드미턴스理論, 그랜드콘브라이언스理論 등에 근거하는 건물과 地盤의 상호 작용에 의한 진동에너지의 地下逸散을 평가한 減衰定數의 設定, S1地震 및 S2地震에 대한 解析方法의 표준화, 건물안정성 평가방법의 검토를 실시했다.

㉢ 標準用地震動에 의한 耐震解析評價

표준적 원자로건물로 설정된 BWR(MARK-I, MARK-II) 및 PWR(3Loop, 4Loop)의 각 건물에 대해 대표적인 사이트조건을 몇가지 선정하여, 上記 標準設計用地震動을 사용하여 표준적방법에 의한 내진해석평가를 실시함과 동시에 내진설계에 사용하는 床應答스펙트럼을 작성했다.

검토의 결과 BWR, PWR 모두 표준적 건물은 각종 地盤條件에 대해 高地震地帶用으로서 거의 만족할만한 耐震性을 갖고 있음을 확인할 수 있었다.

ii) 機器耐震設計

제 2 차 개량표준화계획의 내진설계에 있어서 주된 대상기기는 BWR-MARK-I, BWR-MARK-II, PWR-3Loop, PWR-4Loop 각각의 격납용기내부의 제 1 중 기기이지만, 표준화에 의해 利點이 많은 B클래스機器도 검토의 대상으로 했다.

또 이들 기기의 내진안전성평가를 위해서는 내진설계방법의 표준화가 중요하므로 그 방법의 표준화에 대해서도 검사·검토를 실시했다.

그 주된 조사검토항목은 다음과 같다.

- ㉠ 標準設計用床應答스펙트럼
- ㉡ 床應答스펙트럼의 특성검토
- ㉢ 耐震解析方法
- ㉣ 機器系限界荷重
- ㉤ 機器系上下動應答解析試算
- ㉥ 耐震支持構造와 限界荷重
- ㉦ B클래스機器의 耐震設計方法
- ㉧ 耐震計算書標準化檢討(계산서 표준화의 기본방침, 계산서양식)
- ④ 공사계획 인가관련사항의 표준화 검토

공사계획인가관련사항의 표준화를 다음과 같이 실시했다. 그리고 표준화가 도모된 범위에 대해서는 實플랜트를 대상으로 하여 차례로 반영했다.

(i) 제 1 단계로서 공사계획인가신청에 관련된 설비구분의 기본방침, 공사계획서의 포맷 및 첨부서류작성 기본방침의 표준화를 실시했다.

(ii) 제 2 단계로서 공사계획서 첨부서류의 항목, 용어 등을 통일하고, 포맷의 표준화를 실

시했다.

(iii) 제 3 단계로서 80萬KW級 및 110萬KW級 플랜트 공사계획인가신청서의 첨부서류 기재내용에 대해 표준화를 실시했다.

(3) 第2次 改良標準化計劃 成果評價

제 1 차 및 제 2 차 개량표준화계획의 성과는 가능한한 운전중, 건설중 및 건설준비중의 플랜트에 반영되고 있다. 그 결과 다음과 같은 효과를 올렸다(表 8 참조).

1) 신뢰성 및 가동률의 향상

증기발생기의 傳熱管 漏洩對策, 스텐레스鋼管의 應力腐蝕龜裂(SCC)對策 및 연료 등의 대폭적인 개선이 도모됨과 동시에 정기검사의 효율화 등에 의해 시간가동률은 약 80%, 설비가동률은 약 75%가 기대되며, 현실적으로는 기대 이상의 효과가 나타나고 있다.

2) 定期檢査期間의 短縮

정기검사는 현재 원자로側의 작업이 크리티칼

〈表 8〉 第1次 및 第2次 改良標準計劃의 效果

		從來 플랜트 (80, 110萬kW級)	第1次 改良 標準化 플랜트 (80, 110萬kW級)	第2次 改良 標準化 플랜트 (80, 110萬kW級)	改 良 策 의 例	
					BWR	PWR
信賴性 및 稼動率	時間稼動 率	플랜트에 따라 상당히 다르다	75% 以上	80% 以上	<ul style="list-style-type: none"> • 耐SCC材 採用 • 改良設計爐心 採用 	<ul style="list-style-type: none"> • 燃料의 改良 (보잉對策) • 蒸氣發生器 改良
	設 備 利 用 率		70% 以上	75% 以上		
定期檢査 日數		90~100日 (補修工事が 없을 경우)	85日 以下 (同 左)	70日 以下 (同 左)	<ul style="list-style-type: none"> • 制御棒 驅動 機構 自動交 換機 採用 • 燃料交換機 改良 	<ul style="list-style-type: none"> • 原子爐容器 一體化構造物 開發 • 燃料檢査시스 템의 改良
作業員 被曝		(100%로 한다)	75% 以下	50% 以下	<ul style="list-style-type: none"> • 配管自動ISI 機器 大幅導入 • 코발트프리 代 替材 採用 	<ul style="list-style-type: none"> • 蒸氣發生器 매뉴플레이터 와 搭載裝置의 開發 • 蒸氣發生器水 室用 노즐뚜 경의 改良
改良型 格納容器的 採用 (第1次 改良策)						

1981년도부터 개시된 제 3차 개량표준화 계획에서는 지금까지 실시해 온 제 1차 및 제 2차 개량표준화계획을 베이스로 하여 기기·시스템은 물론 爐心을 포함한 原子爐 本體에 이르기까지 自主技術을 기본으로 한 일본형 경수로의 확립을 도모하기로 했다.

하게 되어 있으므로 원자로측 작업을 주로 대상으로 하여 정기검사기간 단축의 검토 및 설비개발을 하였으며, 아울러 실시한 작업체제의 재평가 등을 전제로 하면, 정기검사기간은 제2차 개량표준화플랜트에서 약 70일이 기대되고 있으며, 현실적으로도 거의 기대대로의 효과를 나타내고 있다.

3) 被曝低減

작업원의 피폭에 대해 여러가지 검토 및 설비개발을 실시하여 제 2차 개량표준화플랜트에서는 종래 플랜트의 약 1/2로 감소됨이 기대되며, 현실적으로는 기대이상의 효과를 보이고 있다.

5. 第3次 改良標準化 計劃

1981년도 부터 개시된 제 3차 개량표준화계획에서는 지금까지 실시해 온 제 1차 및 제 2차 개량표준화계획을 베이스로 하여 기기·시스템은 물론 爐心을 포함한 原子爐 本體에 이르기까지 自主技術을 기본으로 한 일본형 경수로의 확립을 도모하기로 했다.

그래서 현재 운전중 또는 건설중인 종래의 경수로에 대해서는 계속해서 그 개량을 한층 도모하면서, 이것과 병행해서 앞으로의 輕水爐路線을 담당할 새로운 爐型으로서 개량형경수로 (ABWR 및 APWR)를 수립하고, 국제협력에 의한 기술증합에 의해 그 개발을 도모하기로 했다.

이 改良型輕水爐는 종래형경수로에 운전경험과 제 1차 및 제 2차 개량표준화의 성과를 반영시킴과 아울러 새로운 기술개발에 의해 안전성, 신뢰성, 운전성, 피폭저감, 경제성 등에 관해 보다 높은 수준을 목표로 하여 개발한 것이다.

그러므로 제 3차 개량표준화계획에서는 종래와 달리 2世代之 경수로에 대해 개량표준화를 추진하게 되었으며, 각각의 기술적 특질에 충분히 유의하면서 계획을 추진했다.

또한 최근 원자력발전과 다른 발전간의 코스트差異 縮小를 감안하여 제 3차 개량표준화계획에서는 경제성 향상을 위해 표준화의 확대·철저 및 설계의 합리화에 대해 구체적인 方案을 검토하였다.

또 내진설계의 표준화에 대해서는 제 1차 및 제 2차 개량표준화계획의 성과와 최신의 기술지식을 도입하여 중요도가 높고 또한 표준화의 관점에서 효과가 있다고 생각되는 항목에 대해 검토를 실시했다.

(1) 改良型 PWR (APWR)의 開發

1) 開發目標

APWR의 개발은 제 1차 및 제 2차 개량표준화성과를 반영시킴과 동시에 새로운 기술개발에 의해 안전성·신뢰성 향상, 가동률 향상, 피폭저감, 운전성 향상, 경제성 향상, 입지효율 향상 그리고 資源의 有效利用에 관해 보다 높은 수준을 목표로 함과 아울러 설치허가에 관련된 기본사양의 표준화 추진을 목적으로 하여 1981년도~1985년도에 걸쳐 실시되었다.

구체적인 목표로서는 時間稼働率은 85~90%, 작업자가 받는 線量은 50~100人·렘/爐·年, 低準位 방사성폐기물발생량은 100~200드럼/爐·年, 發電코스트는 종래형 PWR에 대해 10%정도 저감, 우라늄절약은 종래형 PWR에 대해 10~20% 정도의 低減을 달성하기로 했다.

2) APWR의 技術的 特徵

上記目標를 실현하기 위해 국산 자주기술과

국제협력에 의한 기술종합에 의해 水排除用 制御棒 등을 도입한 大型炉心과 改良型 蒸氣發生器 등을 채용하고, 지금까지의 설계·건설·운전 등의 경험을 토대로 APWR의 기본개념을 확립했다. 주된 기술적 특징은 다음과 같다.

① 爐心設計

(i) 爐心壽命은 長사이클을 목표로 하고 있으며, 18개월 운전, 설비이용률 75%(13.5EFPM)의 운전을 3배치(Batch)燃料 交替로 달성할 수 있는 爐心을 개발했다. 제 1 사이클은 인티그레이티드 업소버를 사용하고, 平衡사이클은 이 업소버를 사용하지 않는 방식을 채용하기로 했다.

(ii) APWR 燃料사이클費를 종래형 4 Loop 爐心보다 대폭 低減시키는 것을 설계목표로 하고, 低出力密度의 大型爐心을 선정하여 減速材 制御方式을 채용하기로 했다. 또 연료집합체의 중간그리드에 지르칼로이를 채용했으며, 半徑方向 反射體를 채용하여 연료사이클費, 우라늄鑛石費를 각각 약 20%, 약 23% 절약할 수 있는 爐心을 개발했다.

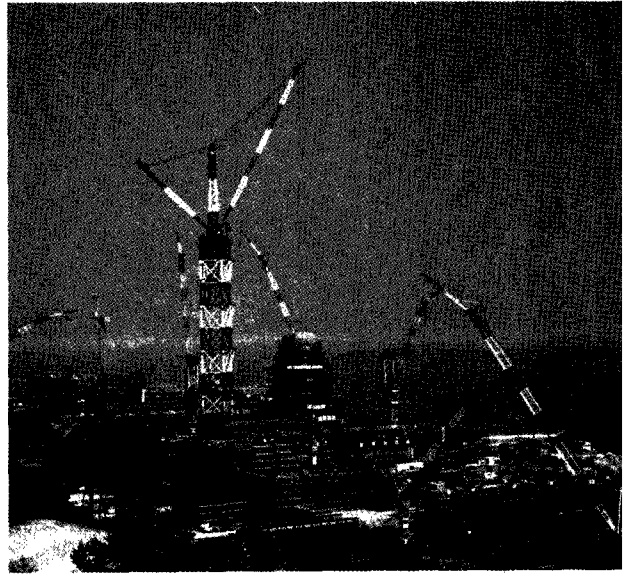
(iii) 日負荷追從運轉에 적합한 플랜트 개발을 목표로 하여 100-50-100% 출력 (14-1-8-1 방식) 패턴 운전이 爐心壽命 전체에 걸쳐 가능한 爐心을 개발했다.

日負荷追從運轉에서는 負荷追從制御棒을 低硼素濃度運轉時에 사용하는 방식을 채용했다.

(iv) 플루토늄의 리사이클에 있어서는 自己生成 플루토늄을 再利用할 수 있도록 하고, 표준설계사양의 制御棒數로 안전상 필요한 停止餘裕를 확보할 수 있는 爐心을 개발했다.

② 燃料集合體

APWR 연료집합체는 가동률 향상, 우라늄資源 및 연료비 저감이 도모되어 大容量, 長사이클運轉, 日負荷追從運轉이 가능한 운전상의 餘裕度를 가진 大型爐心에 적합한 연료집합체로함과 동시에 종래연료에 비해 燃料棒의 氫방지, 裝填性能 向上, 燃料交換時 그리드損傷 防止, 燃料棒 交換可能한 구조 등을 도모한 것으로써 다



음과 같은 설계로 했다.

(i) 연료집합체는 저출력밀도, 爐心 大型化에 대응하여 19×19配列, 16심블, 有效길이 3.9m의 大型燃料集合體로 했다.

(ii) 연료봉은 氫방지를 위해 두껍게 하고, 또한 그리드斷數 增加에 의해 기계적 強度를 增加시켰다. 또 耐PCI性 向上을 위해 지르코늄 라이너 被覆管 및 中空펠리트를 채용 가능한 구조로 했다.

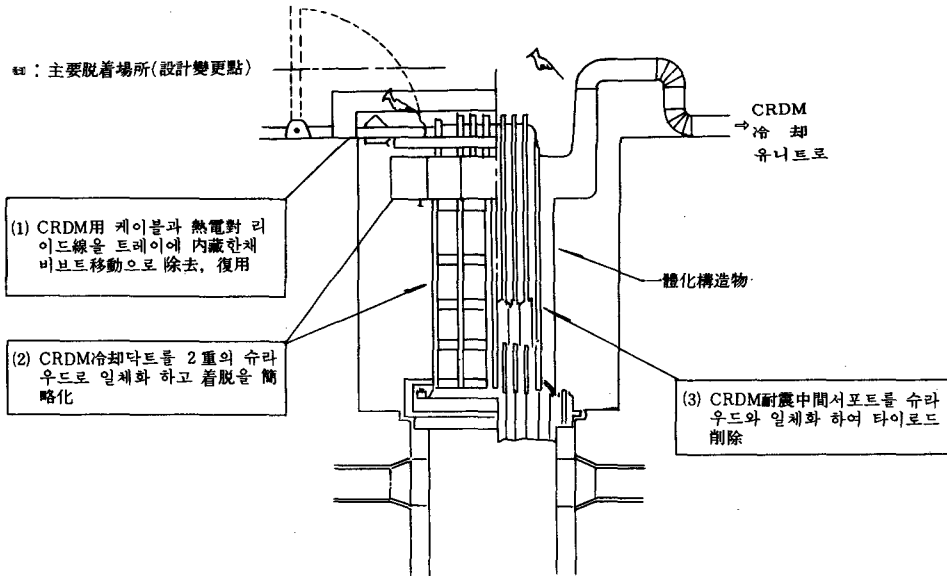
(iii) 연료집합체의 그리드는 中性子경제 개선을 위해 중간그리드에 지르칼로이 4를 채용했다. 또 연료집합체의 裝填性 개선 및 그리드손상 방지를 위해 上·下端그리드를 스커트附로 하며, 그리드코너部를 급경사로 하여 벤과 탐을 추가했다.

(iv) 하부노즐은 연료집합체의 裝填可能 범위를 확대하기 위해 脚部形狀을 레그方式으로 했다. 또 만일의 경우에 대비해서 연료집합체 상부로부터의 연료봉 교환을 가능하게 하기 위해 상부노즐과 심블의 결합방식을 개량했다. 또한 下部노즐로부터의 연료봉 교환도 종래대로 가능하다. 상부노즐의 설계개량에 의해서 홀드다운스프링을 종래 板式에서 코일式으로 변경했다.

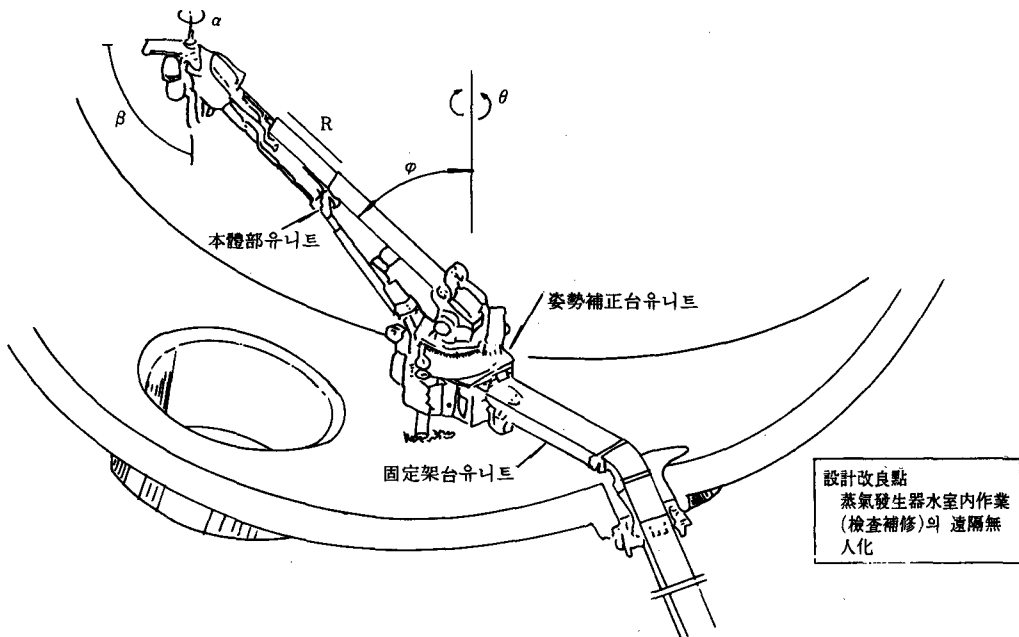
③ 非核燃料爐心構成品

APWR 非核燃料爐心構成品는 爐心設計의 개량에 의한 기능 요구에 근거하여 減速材制御方

式에 대응한 水排除用制御棒, 운전성 향상에 대응한 부하추중용 제어봉 그리고 출력제어봉을 포함하여 다음과 같이 했다.



〈그림 4〉 原子爐容器뚜껑 一體化구조물 개념도



〈그림 5〉 증기발생기水室內作業用 매니플레이터 개념도

(i) 각 제어봉 클러스터는 爐心内에서의 最適 配置에 만족하고, 또 상부로심구조물과의 整合 性を 갖는 것으로써 출력제어용 및 부하추중용 제어봉클러스터는 8로드십자형을 채용, 水排除 用制御棒클러스터는 24로드 複數燃料(5개) 삽 입방법을 채용했다(그림 7 참조).

(ii) 종래형 PWR의 경우 제어봉 스파이더가 연료집합체 상부노즐에 도달하는 데에 반해, A PWR의 경우는 5개의 인접한 연료집합체에 上部 爐心板을 끼워, 삽입되는 水排除用制御棒 클 러스터를 채용하고, 아울러 출력제어용과 부하 추중용제어봉스파이더도 上部 爐心板上에 닿는 구조로 했다.

이 때문에 연료교체시 각종 제어봉은 상부로 심구조물에 넣어져, 연료집합체는 제어봉이 없는 상태에서 교환할 수 있게 된다.

(iii) 水排除用制御棒은 爐心内에서의 減速材 排除에 사용되기 때문에 중성자흡수가 적고, 照射 舉動이 안정되어 있는 지르칼로이 4 펠릿를 지르칼로이 4 피복관에 넣는다.

(iv) 부하추중용제어봉은 부하추중운전시에 출력분포의 불균형을 최소한으로 하기 위해 약

한 중성자 흡수력을 갖게 할 필요가 있다. 그때 문에 水排除用制御棒 펠릿와 같이 펠릿材를 지르칼로이 4 로 한다.

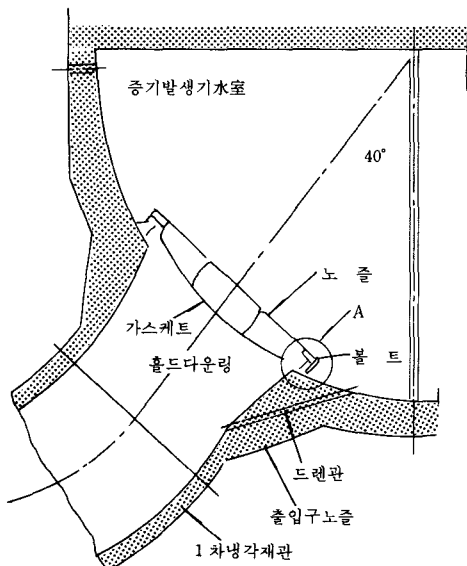
(v) 출력제어용제어봉은 항상 爐心에 삽입되어 있는 制御棒尖端部에는 Hf 또는 Ag-In-Cd를 사용하고, 피복관에는 스텐레스鋼, 吸收材에는 B₄C-Ag-In-Cd의 하이브리드방식을 사용한다.

④ 制御棒駆動裝置

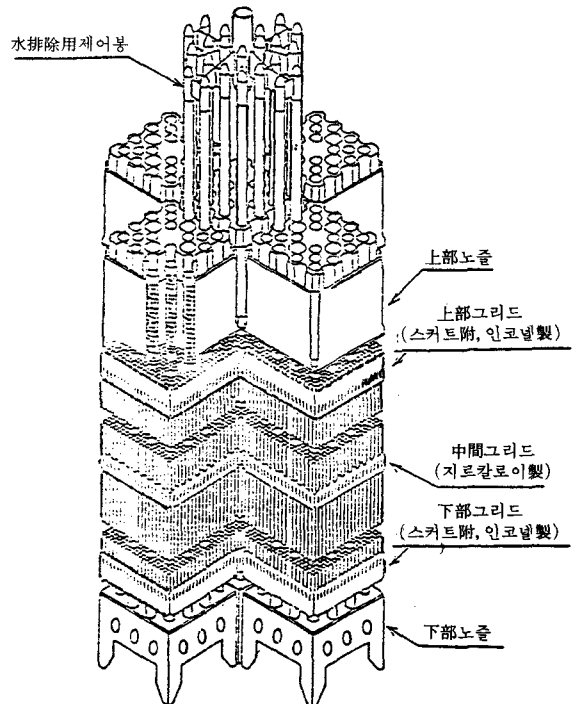
APWR의 제어봉구동장치에는 출력제어용과 부하추중용제어봉을 구동하는 것과 水排除用제 어봉을 구동하는 두종류가 있다.

출력제어봉과 부하추중용제어봉의 구동장치에는 종래플랜트와 같은 표준형 磁氣재크식을 사용하고, 摺動部(Ground Parts)에는 APWR의 부하추중요구에 합치되도록 기계수명의연장을 도모한 개량을 실시했다.

水排除用 제어봉구동장치는 APWR에서의 新 개발기기이며, 요구되는 기능으로서는 완전히



〈그림 6〉 증기발생기水室用노즐뚜껑설비 개념도



〈그림 7〉 핵연료집합체와 水排除用 제어봉 삽입도

빼내는 2位置인 점, 또 스페이스면에서 제한된 원자로용기 뚜껑 상부에 설비되는 점을 고려하여 部品點數도 적고, 또한 小型인 水壓驅動式 피스톤형을 채용했다. 이것은 완전히 빼낼때는 원자로냉각수의 압력을 이용하여 피스톤前後에 差壓을 발생시켜 상승시키고, 挿入時는 水排除 棒클러스터와 驅動軸의 무게로 삽입시키는 매우 간소화된 구조로 되어 있으며 또한 신뢰성이 높은 구조로 되어 있다.

⑤ 爐內構造物

APWR의 爐內構造物은 중래형 PWR과 같이 爐心支持, 流路構成, 制御棒의 案内와 보호를 한다. 그러나 부하추중용제어봉 및 水排除用 제어봉이 사용되므로 상부로심구조물이 중래의 것과 다르다.

그 때문에 上部爐心構造物에서의 流動特性 및 이 특성을 고려한 구조설계를 검토하고, 나아가 製作性, 原子爐容器, 플랜트설계, LOCA 등에 대한 영향도 고려한 여러가지 구조에 대해 종합 검토를 하여 그림 8의 구조를 채용했다. 이 구조는 爐心上部に 위치한 각종 제어봉을 냉각재

의 橫流로 부터 보호하기 위해서 制御棒案内管部에서는 냉각재의 흐름을 上昇流로 하고, 驅動軸을 案内管으로 보호한 制御棒驅動軸案内部에서는 橫流가 되어 出口노즐에 도달하는 上部칼란드리아형을 채용하기로 했다.

또 중성자의 경제성을 향상시키기 위해 중래형의 바플포머構造物 대신 중성자의 반사능력이 큰 半径方向反射體構造物을 채용하기로 했다.

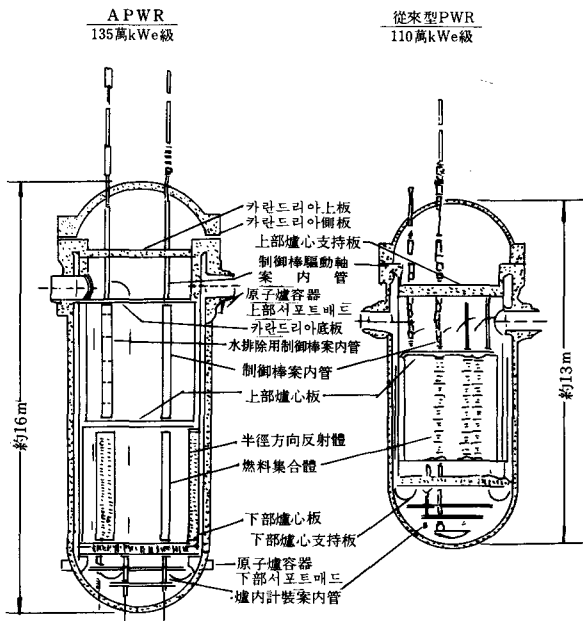
또 原子爐容器下部 프레넘의 容積을 감소시키기 위해 중래의 下部爐心支持板과 下部爐心板을 一體化한 下部爐心板단의 下部爐心構造物을 채용하고, 爐心入口流量分布를 균일하게 하기 위해 下部爐心板部에는 여러 종류 口径의 流路孔을 설치했다.

또 爐心槽下部를 원자로용기내면에 지지하는 구조는 노심탈락시의 쇼크업소바와 겸용하는 구조를 채용하기로 했다.

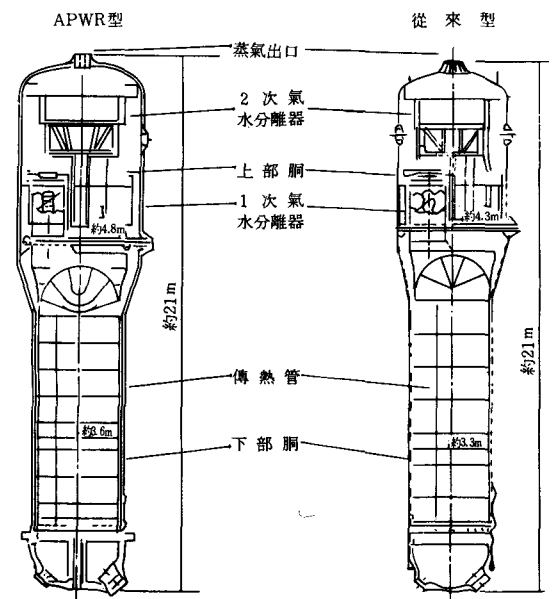
⑥ 蒸氣發生器

APWR의 증기발생기는 고성능 및 高出力下에서 한층 신뢰성 향상을 도모한 설계로 했다.

또 기본사양선정에 대해서는 기술적 측면 뿐



〈그림 8〉 原子爐구조 개략도



〈그림 9〉 중래형과 APWR증기발생기 비교

아니라 경제적인 면에서도 기존플랜트에 비해 뛰어난 135萬KWe級 플랜트를 목표로 했다. 그림 9 에 종래형과 APWR 蒸氣發生器를 비교하였다.

(i) 傳熱管材料 및 仕様

종래형 PWR에서는 전열관재료의 각종 腐蝕試驗結果에서 耐蝕性이 뛰어난 재료를 선정했지만, APWR 플랜트에서는 고성능·고출력하에서 한층 더 신뢰성을 증가시키기 위해 여러가지 시험결과에 근거하여 APWR 증기발생기 傳熱管候補材로 특수열처리한 Ni-Cr-Fe 합금(TT 690합금)을 선정했다.

傳熱管의 사양에 있어서는 小口径傳熱管을 사용했을 경우와 종래형 PWR傳熱管을 사용했을 경우를 비교평가한 결과 小口径傳熱管을 채용했을 경우에 콤팩트화할 수 있어서 小口径傳熱管을 채용하기로 했다.

⑦ 52인치 長翼大容量터빈

APWR의 原子爐心과 협조가 이루어진 電氣出力 135萬KWe級 52인치 長翼高效率 大容量터빈을 채용했다.

그리고 이 터빈은 효율 향상과 신뢰성 향상을 위해 다음과 같은 설계를 채용했다.

- (i) 효율 향상을 위해 52인치 最終翼群 채용
- (ii) 耐久性 향상을 위해 改良型 濕分除去裝置와 부식防止構造 채용
- (iii) 신뢰성, 保守性 향상을 위해 全一體 로타 채용
- (iv) 耐力向上을 위해 強化形翼根, 翼溝 채용
- (v) 大徑軸受 채용

⑧ 1次冷却設備

1차냉각설비는 4Loop構成으로 하고, 가압기 주위 설비의 필요용량을 검토하며, 新型溫度計裝方式 채용에 의한 RTD바이패스系를 삭제하고 水排除用制御棒驅動裝置 벤트系를 신설했다.

⑨ 非常用爐心冷却設備

(i) 系統構成

종래형 PWR에서는 안전주입설비, 여열제거

설비, 격납용기스프레이설비로 분담시키고 있던 기능을 통합정리하여 기계설비 4系列로 했다.

(ii) LOCA時 安全注入

LOCA時에는 蓄壓탱크, 爐心再冠水와 高壓注入펌프에서 爐心冷却水가 주입된다.

蓄壓탱크는 원자로용기내 다운카마부 등의 再浸水機能을, 爐心再冠水탱크와 高壓注入펌프는 爐心再冠水機能을, 또 高壓注入펌프는 長期爐心冷却機能을 분담한다. 爐心再冠水탱크는 종래형 PWR의 低壓注入펌프 대신에 설치한 것으로서 低壓高流量注入特性을 갖는다.

(iii) 格納容器스프레이

LOCA 등에 의해 格納容器的 內壓이 상승할 경우에는 격납용기스프레이펌프에 의해 요오드 제거 약품을 첨가한 硼酸水가 스프레이 헤더에서 격납용기 내로 散水된다. 또 격납용기 스프레이 펌프는 여열제거펌프와 겸용했다.

(iv) 餘熱除去

원자로 정지시에는 여열제거펌프와 여열제거 냉각기에 의해 爐心の 여열을 제거한다. 그리고 여열펌프는 격납용기스프레이펌프와 겸용했다.

(v) 緊急注入用水탱크

종래형 PWR의 燃料交替用水탱크와 格納容器內再循環탱크의 기능을 통합한 긴급주입용수 탱크를 격납용기내에 설치했다. 이에 의해서 사고시 取水源交換操作이 不必要하다.

⑩ 格納容器冷却設備

통상시 격납용기내 發熱의 冷却과 사고시 격납용기내로의 放出熱 냉각을 겸용한 격납용기재순환空調裝置를 설치하는 구성으로 했다.

⑪ 2次系補助除熱設備

그림10과 같이 2系列 구성으로 하고, 각 계열에는 電動補助給水 펌프, 터빈動補助給水 펌프를 각각 1대씩 설치하여 計 4대의 補助給水 펌프를 갖는 系統구성으로 했다.

⑫ 化學體積制御設備

後備封水注入設備의 신설, 硼素熱再生設備廢

止 / 硼酸回收裝置設備로 기본계통을 구성하였다. 後備封水注入設備는 化學體積制御設備의 充填펌프가 電源喪失 등에 의해 2대 모두 정지되었을 경우에도 1차 냉각재펌프의 “시일” 냉각수를 공급하기 위한 것이며, 小型往復動펌프를 설치하여 專用驅動設備로서 直流배터리方式을 채용했다.

또 중래형 PWR의 化學體積制御設備가 가지고 있던 「安全停止」 때문에 硼酸添加와 補給機能은 非常用炉心冷却設備를 이용하기로 하고, 이에 따라 化學체적제어설비는 완전히 클래스에서 제외되었다.

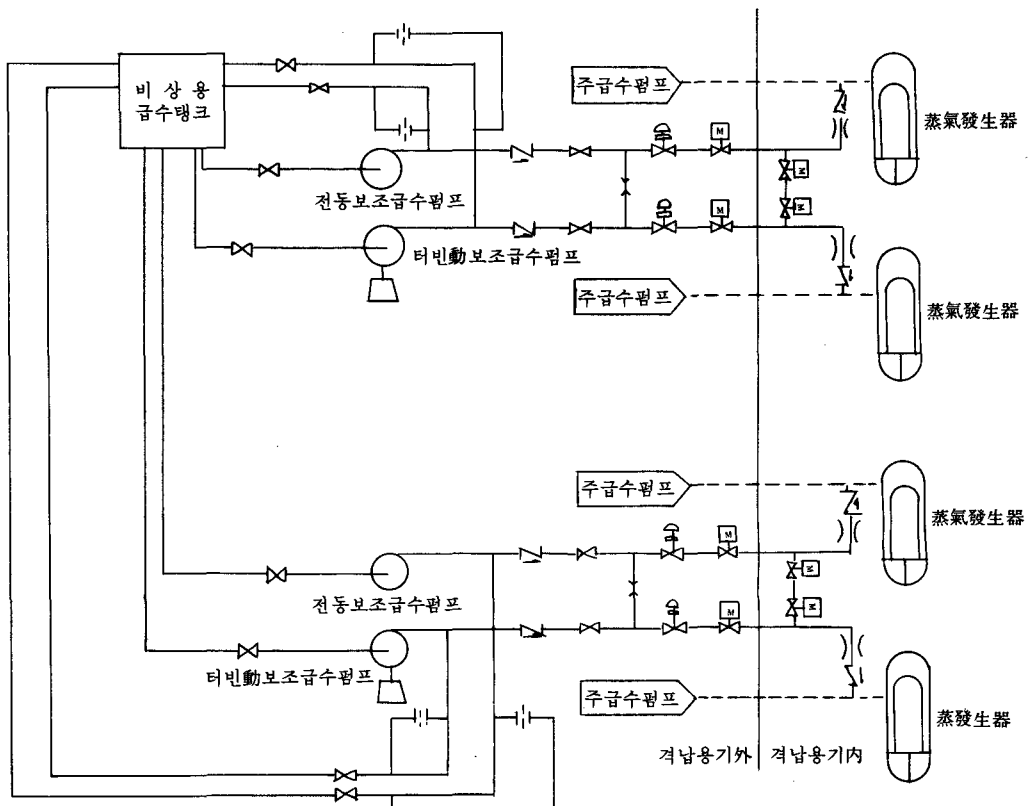
또 硼素熱再生設備는 운전성, 경제성 등을 고려하여 설치하지 않기로 하고, 負荷追從運轉은 負荷追從用制御棒과 硼酸回收裝置에 의한 硼素濃度制御로 하기로 했다.

⑬ 原子炉制御保護裝置

원자로보호장치는 컴퓨터기술을 최대한으로 이용함과 함께 多重化 등에 의해 고장에 의한 誤트립, ECCS 誤作動을 低減시키고, 또 시험의 자동화를 추진하여 운전원의 부담경감을 도모하며, 신뢰성 향상을 목적으로 개발을 추진했다.

稼働성에 있어서는 시스템 전체를 원칙으로 하여 4채널을 구성하고, 여기에 1채널의 바이패스가 가능한 2 out of 4 로직을 적용함으로써 향상을 도모하였다.

安全性에 있어서는 보호장치의 일부에 페일·세이프 기능을 갖는 다이내믹·트립·로직을 적용하여 향상을 도모했다. 한편, 보호기능 향상에 의한 炉心運轉餘裕의 증가를 가능하게 하기 위해 중래의 過大出力 ΔT 와 過大溫度 ΔT 보



<그림10> 2次系統 보조제열설비

호 기능을 대신해서, DNBR과 出力密度的 直接演算設備를 채용했다.

또 컴퓨터 특성을 충분히 활용한 자동시험장치와 자기진단기능을 적용함으로써 신뢰성, 保守性 향상을 도모했다.

원자로 제어장치는 컴퓨터기술을 최대한으로 이용함과 아울러 필요에 따라 多重化를 도모함으로써 고장에 의한 誤트립을 低減시키는 설비로 하고, 제어 기능에 있어서는 통상 운전시의 자동화 범위 확대를 도모함과 함께 제어기능을 개량하여 日負荷追從運轉, AFC, 가바나·프리運轉과 所內單獨運轉으로의 이행이 자동적으로 가능한 플랜트를 목표로 하여 개발을 추진했다.

稼動性에 있어서는 주요제어시스템을 2重構成으로 하여 컴퓨터시스템의 자기진단에 의해 制御系의 單一고장에 의한 플랜트 정지의 가능성을 최소화했다.

플랜트 低溫停止移行時 蒸氣덤프制御系, 플랜트 起動時 制御棒制御系 등에 자동화를 도모하여 자동화범위 확대를 추진하였다.

負荷追從性에 관해서는 다음의 운전모드를 거쳐 적절한 플랜트 制御가 가능한 制御系를 개발했다.

- (i) 基底負荷出力運轉
- (ii) 負荷 / 周波數調整運轉
- (iii) 計劃負荷追從運轉
- (iv) 部分負荷時高出力復歸

이 制御系는 운전원이 선택한 모드로 출력조정과 출력분포제어를 하기 위해 제어봉 위치조정, 봉소와 냉각재온도의 조정을 한다.

원자로제어보호장치의 시스템설계는 가동성, 신뢰성에 있어서 목표를 충분히 달성할 수 있는 컴퓨터기술을 이용한 시스템구성으로 했다.

기능설계에 있어서는 APWR 플랜트에 적합한 보호기능구성으로 하여 문제가 없음을 확인했다.

⑭ 新型中央制御盤

신형중앙제어반은 운전원에 대한 CRT 표시장치에 의한 정보의 정리, 집약화한 표시와 정

보전달조작수단의 인간공학적 고찰을 하고, 炉心の 건전성, 플랜트의 신뢰성, 가동률 등의 유지향상을 도모하기 위해 보다 사용하기 편리한 것을 목표로 개발을 추진했다.

APWR 개발프로그램에서 신형 중앙제어반의 검토는 앞서 가고 있는 日本内 PWR에서의 개발성과를 근거로 APWR로의 적용성에 대한 검토, 즉 詳細設計에서 고려해야 할 사항을 명확히 하는 데 있다. 특히, APWR 특유의 시스템, 기능 등(例: 非常用 冷却設備, 水排除用制御棒, 負荷追從運轉 등)에 착안하여 맨·머신·인터페이스상 적절한 정보를 표시하도록 했다.

종래형 PWR에서의 개발성과를 APWR에 적용하기 위해 設計基準書 등 設計圖書를 정비하고, 그것들을 토대로 APWR에서 고려해야 할 사항을 명확히 함과 아울러 APWR 중앙제어반의 盤面配置 하드웨어구성베이스를 확립했다.

3) APWR 플랜트의 評價

APWR 플랜트는 안전성·신뢰성 향상, 가동률 향상, 피폭저감, 경제성 향상, 입지효율 향상, 資源의 유효이용관점에서 평가하여 당초의 개발목표를 다음과 같이 달성할 것을 확인했다.

그리고 新技術에 대해서는 일본에서의 실적이 없을 경우, 가능하면 電力共通研究, 通商産業省의 위탁에 의한 確證試驗 등으로 문제가 없을 것으로 확인했다.

① 安全性·信賴性

새로운 개념의 기기에 대해서는 確證試驗을 실시하여 설계데이터를 입수하여 기본설계에 반영함으로써 통상시의 안전성·신뢰성이 높은 설계로 했다. 그리고 이들 기기의 기본설계 타당성에 관해서는 實證試驗을 실시해 확인한다.

또 플랜트의 計劃外停止를 극소화 하기 위해 그 主要因의 분석, 고장모드의 摘出을 행하고, 신뢰성 평가를 실시하여 충분한 신뢰성을 확인했다.

안전성이 높은 非常用炉心冷却設備를 確率論의 안전평가방법을 사용하여 선정하고, 사고시

피폭의 요인분석을 실시하여 그에 근거한 플랜트배치, 개선, 차폐구조물 개선, 원격조작 활용, 재료선택, 淨化容量 증대, 검사의 합리화를 검토하고, 구체적인 대책안을 작성하여 이에 근거하여 약 50入·렘/爐·年을 달성할 수 있다는 전망을 얻었다.

爐心溶融確率의 한자리수 이상의 低減化을 도모했다.

안전평가해석을 실시한 결과 LOCA時 特性은 大小破斷 모두 좋은 특성을 나타내며, 안전 평가지침의 판단기준인 燃料被覆管溫度의 計算最高值, 燃料被覆酸化量計算值를 충분히 만족하는 결과를 얻었다.

Non-LOCA時 特性에 있어서도 충분히 指針判斷基準을 만족시키는 결과를 얻었으며, APWR의 특징인 原子爐와 爐心, 非常用爐心冷却設備, 格納容器, 原子爐保護裝置 안전평가상의 타당성을 확인했다.

이상에서 APWR 플랜트는 중래형 PWR과 비교하여 동등이상의 안전성·신뢰성을 얻을 전망임을 알 수 있다.

② 稼動率

(i) 長사이클 運轉

스펙트럼시프트爐心の 채용에 의해 低濃縮度(3.2W/O)에서 13.5EFPM(18개월 운전, 설비 이용률 75%) 운전이 가능함을 확인했다.

이 경우 燃料集合體燃焼度는 43,000MWD/t 이고, 最高設計燃焼度の 제한, 운전기간 제한의 引上이 인정되면 長사이클運轉이 가능하다.

또 濃縮度 증가, 배치(Batch) 數 조정에 의해 18개월 全出力連續運轉도 가능하다는 전망을 얻었다.

(ii) 定期檢査期間의 실적조사를 토대로 정기 검사작업시에 크리티칼·패스를 형성하는 작업 항목을 분석하고, 다음과 같은 개선검토책을 강

구함으로써 정기검사공정 45일을 달성할 수 있다는 전망을 얻었다.

(1次系統)

- Multi Stud Tensioner의 채용
- 一體型原子爐容器뚜껑의 개선
- 熱電對하우징의 폐지
- Cavity Parmanent Seals의 채용
- 기타

(2次系統)

- 揚重設備의 증강(天井크레인 2台化 포함)
- 一體型低壓터빈로타 채용
- 開放組立·點檢工具의 개선·증강
- 기타

이상과 같이 운전기간 연장, 정기점검기간 단축과 기기설비의 신뢰성 향상에 의해 플랜트가 동률 90%를 달성할 수 있을 전망이다.

③ 피폭저감

피폭의 요인분석을 실시하여 그에 근거한 플랜트배치 개선, 차폐구조물 개선, 원격조작 활용, 재료선택, 淨化容量 증대, 검사의 합리화를 검토하고, 구체적인 대책안을 작성하여 이에 근거하여 약 50入·렘/爐·年을 달성할 수 있다는 전망을 얻었다.

- SG, 1차냉각재 사이에 구획벽 설치
- Loop 室内의 1차냉각재배관 및 枝管의 배관차폐 설치

- Multi Stud Tensioner의 채용
- 低腐蝕材料의 채용
- 化學體積制御系淨化流量的 증가
- 기타

④ 방사성폐기물처리설비의 개선

특히 고체폐기물 低減을 목적으로 플랜트에서 발생하는 방사성폐기물 발생량의 제어와 발생한 방사성폐기물의 減容處理 強化에 대해 검토하고 다음과 같은 대책을 강구함으로써 고체폐기물 발생량을 100드럼/爐·年으로 달성할 수 있다는 전망을 얻었다.

- 乾燥/煨焼·焼却裝置 적용

○大型 Bayror 적용

○固化處理, 펠리트化 장치, 無機化 장치 적용

○기타

⑤ 運轉性 向上

電力系統으로의 대응에 있어서는 목표인 日負荷追從性 (100-50-100% 출력운전 14-1-8-1 방식), 자동주파수제어운전(변동폭 ± 5%), 가바나·프리운전(변동폭 ± 3%)을 달성했다. 운전조작성에 대해서는 新型中央制御盤 채용, 자기진단 기능을 갖춘 디지털制御保護裝置 채용, 디지털制御시스템 활용에 의한 자동운전범위 확대 등에 의해 운전원의 대폭적인 부담경감도 모했다.

⑥ 경제성의 향상

新型炉心 채용에 의해 중래형 PWR 플랜트에 비해 약 20%의 연료사이클·코스트 低減이 달성됨을 확인완료했고, 건설비 저감에 있어서는 기본설계에 삽입완료했다. 이에 따라 발전단가를 10% 이상 저감시키는 것이 가능하다는 전망을 얻었다. 건설비 저감에 대해서는 검토를 계속하여 더욱 低減을 도모하기로 했다.

⑦ 立地効率 向上과 資源의 有効이용

(i) 입지효율향상

大型炉心の 채용에 의해 스케일이익을 기함과 동시에 1차냉각재운전온도 상승을 도모하여, 플랜트전기출력의 효율화를 꾀했다.

또 低壓最終翼에 52인치長翼을 사용하는 고성능대형터빈발전기를 채용하기로 하여 터빈설비 효율 향상과 大容量化에 대응할 수 있도록 했다.

그리고 配置의 콤팩트化를 추진하여 大容量 플랜트를 중래형 110만KWe級 PWR 과 같은 정도 부지의 高震度地點에 설치할 수 있어 부지의 유효활용이 도모될 전망이다.

이와 같이 大容量化에 의해, 또 高震度對應에 의해 입지효율을 향상시킬 수 있었다.

(ii) 資源의 有効活用

스펙트럼·시프트·大容量炉心 채용에 의해 약 23%의 鑛石量 절약이 달성 가능함을 확인했

다. 또 플루서멀爐心을 채용할 경우(自己生成 플루토늄리사이클의 경우)에는 약 30%의 광석량 절약이 가능함을 확인했다.

(2) (從來型)輕水爐改良標準化

1981년도부터 시작된 중래형경수로에 관한 제 3차 개량표준화계획에서는 제 1차, 제 2차 개량표준화계획에 이어 더 한층 개량도모를 목적으로 하며, 다음 5개 과제에 대해 조사·검토를 추진하고, 1985년도에 종료되었다.

① 定期檢査에 관한 개량

제 2차 계획의 검토에서 원자로側 정기검사는 70일로 가능하다고 판단되었으므로 터빈側도 이 기간내에 수행할 수 있는가를 검토. 피폭 저감을 위한 기기·설비에 관한 검토.

② 방사성폐기물처리 개량표준화

漏洩防止 등 폐기물처리설비의 안전설계 검토. 減容, 固化 등의 개량기술·신기술검토. 폐기물처리설비의 표준화 검토.

③ 建設工法에 관한 개량

건설공기 단축을 목표로 하여 각종 건설공법과 그 효과를 조사하고, 구체적인 사이트를 예로 들어 단축모델건설공정을 작성.

④ 運轉·計裝에 관한 개량

기기의 신뢰성·제어성, 운전자동화 등 여러 가지 관점에서 인스트럭션시스템, PCV內的 자동점검시스템 등 9개 테마를 선정 검토.

⑤ 工認標準化

工認申請書에 기재하는 설비구분, 공사계획서의 표준포맷·작성요령 등을 검토.

1) 정기검사에 관한 개량

제 3차 개량표준화에서는 제 1차 및 제 2차 개량표준화의 성과를 토대로 터빈系統에 대해서도 검사·작업효율화의 검토를 실시하여, 정기검사 전체의 운용면에 대해 약 70일로 완료할 수 있는가를 검토하였다.

또 원자력발전소 작업원의 피폭을 저감시키기 위해 정기점검중의 피폭이 큰 작업환경을 개선

제 1 차 및 제 2 차 개량표준화에서는 그 개선을 실시하고, 제 3 차 개량표준화에서는 더욱 피폭저감화를 위한 자동검사장치의 實證, 피폭관련 기기설비의 개량 등에 대해서도 검토를 실시했다.

하며, 가장 효과가 큰 작업의 자동화, 원격화를 추진한다. 제 1 차 및 제 2 차 개량표준화에서는 그 개선을 실시하고, 제 3 차 개량표준화에서는 더욱 피폭저감화를 위한 자동검사장치의 實證, 피폭관련기기설비의 개량 등에 대해서도 검토를 실시했다.

그 결과는 다음과 같다.

(i) 정기검사의 효율화

제 3 차 개량표준화에서는 1,100MWe級 플랜트의 터빈系統作業에 대해서도 정기검사작업에 특별한 공사 등이 없을 경우 크레인설비증강 등 정검작업의 기계화 촉진과 작업의 효율화 등에 의해 약 70일 공정달성이 기대되며, 또 原子爐系統과도 충분히 협조가 이루어져 있어서 종합적으로 보아 문제가 없음을 확인했다.

(ii) 피폭저감관련설비의 개량

제 3 차 개량표준화에서는 더욱 피폭 저감을 도모하기 위해 配管溶接部 自動UT 裝置 등 자동검사장치와 1 차계통 크러드除去裝置의 實證, 피폭저감관련설비의 개량에 대해 검토를 한 결과 신뢰성, 조작성 등 소기의 성능에 만족한 것이었다.

2) 방사성폐기물처리 개량표준화

제 2 차 개량표준화의 검토에서는 최종 처분의 동향 등에 따라서 처리형태가 변할 수 있기 때문에 현시점에서는 폐기물처리설비의 확일적 표준화는 곤란하다고 판단하고, 기설발전소에서 처리경험을 토대로 신기술 도입 등 옵션을 포함한 참고설계를 종합해 왔다.

제 3 차 개량표준화에서는 제 2 차 개량표준화 이후의 원자력발전소에 대한 요망을 토대로 ① 안전설계 검토, ② 신기술·개량기술, ③ 표준화 검토를 실시했다.

그 결과는 다음과 같다.

(i) 폐기물처리설비에 대한 안전설계의 검토

폐기물처리설비는 발전소의 운전에 따라 발생하는 방사성폐기물을 적절하고 안전하게 처리, 저장, 환경으로의 방출 등을 실시하는 설비이기 때문에 한층 안전성 향상과 운전성 향상이 필요하다는 관점에서 방사성물질의 漏洩防止, 처리설비의 기능유지, 一般公衆과 종업원의 피폭저감, 노동재해방지 각 항목에 대해 안전성의 3 레벨, 즉 이상 발생 방지, 사고발생 방지, 재해발생 방지의 레벨에 따라 구체적인 설계상의 배려항목을 정리했다.

(ii) 폐기물처리설비에 관한 신기술, 개량기술의 조사

폐기물의 발생제어, 減容化, 安定固化, 피폭저감화의 요망에 부응하기 위해 電力共通研究, 발전설비기술검사항목회의 위탁연구 등으로 폐기물 처리설비에 관한 신기술, 개량기술의 연구개발이 추진되고 있다. 폐기물 처리설비 개선의 기술동향을 파악하기 위해 이들 신기술 항목의 내용과 연구개발 상황을 조사했다.

(iii) 폐기물처리설비의 표준화 검토

표준화의 검토는 표준화 제약요인과 표준화 확대방책을 찾기 위해 설비의 설계작업을 그 진도에 따라 분할하여 설계추진 각 단계마다 표준화 제약인자를 摘出하고, 기체, 액체, 고체폐기물처리설비마다 표준화 매트릭스를 작성 평가했다. 그 결과 기체폐기물처리설비에 대해서는 PWR, BWR 모두 詳細設計를 제외한 高次元 단계까지 표준화설계 내지 옵션을 포함한 표준화 등이 타당하다고 평가되었다. 그러나 액체, 고체폐기물처리설비에 있어서는 사이트조건, 上流設備의 바리에이션, 신기술개발, 최종처분 동향의 불명확함 등에 의해 표준화에 많은 제약인

자가 있음을 알았다.

특히 신기술, 개량기술의 조사결과에 의하면 폐기물의 최종처분 동향이 불명확함과 더불어 減容, 安定化, 放出低減을 주된 테마로 많은 電力共通研究가 적극적으로 추진되는 중이므로 현 시점에서 표준화를 정하는 것은 得策이 아니며 앞으로 최종처분의 조건과 기준이 명확히 된 시점에서 재평가하는 것이 적절하겠다.

3) 건설공법에 관한 개량

제 3 차 개량표준화에서는 원자력발전소의 건설기간에 관해 사전조사에서 발전소 운전개시까지 상당히 장시간을 요하며, 또한 이것이 더욱 장기화 되는 경향에 있었으므로 건설공사기간을 단축하는 것을 신규로 받아들였다.

원자력발전소 건설공사기간 단축을 위한 방책

(表 9) 第 3 次 耐震設計標準化 檢討項目

檢 討 項 目		
建 物 系	設計地震動	基準地震動 評價法 模擬地震波 作成法 入力地震動 評價法
	設計地震力 算 定	建物・構築物の 靜的地震力 算定法 動的解析用地盤定數 評價法 建物-地盤連成系地震應答解析法 上下方向地震應答解析法
	設計許容限界	復元力特性 評價法 地震動에 대한 建物・構築物 機能維持評價法
機 器 系	設計地震力 算 定	機器系の 靜的地震力 算定法 設計用床應答스펙트럼 作成法
	構造設計法	機器・配管系の 減衰 評價法 建物-機器系の 連成・分離解析 트로성의 評價法 上下・水平方向應力 組合法 動的機器의 耐震性 評價法 機器・配管앵커部 評價法 定型化機器設備 耐震性 評價法 B・C클래스機器・配管系標準 設計法 機器系耐震設計의 綜合評價
第 3 次 輕水爐改良標準化 耐震設計調査에 관한 총정리		

으로서 발전소의 착공에서 운전개시까지의 토목 건축공사와 전기기계설비공사의 방법에 대해 기술면에서 검토를 실시하기로 했다.

1981년도 부터 1985년도 까지 5년 동안의 건설공법 개량에 있어서는 현재까지 채용되어 건설공기 단축을 초래한 종래 공법의 조사검토를 실시함과 동시에 새로운 개량공법을 추출하고 건축측과 기기측의 조정, 공법의 적용조건 정리, 설계제작 반영 등의 기술적인 검토를 실시하여 공기단축효과와 경제성 등에 대해 검토를 실시했다.

검토결과 모델플랜트의 岩檢에서 운전개시까지의 全工期는 종래공법과 개량공법을 전면적으로 확대 채용함으로써 직접공사비로서는 약간의 코스트업을 수반하지만, BWR 모델플랜트와 PWR 모델플랜트 모두 54개월에서 51개월로 단축할 수 있다는 전망을 얻었다.

4) 計裝·運轉에 관한 개량

제 1 차와 제 2 차 개량표준화에서 운전성, 안전성, 신뢰성 향상에 관한 사항에 대해 여러가지 개량책이 검토되었으며, 이들 성과는 適宜 도입되고 있다.

한편 최근 관련기술의 진보가 눈부시고, 또 원자력발전소에서 운전성의 더 한층 향상에 대한 요구도 증대되고 있다.

計裝·운전분야에 관해서는 최근의 이들 기술 개발 동향을 기반으로 장래 電力系統運用面, 그 밖의 원자력발전소에 대한 요구의 다양화에 대처할 수 있도록 현재 운전중, 건설중 및 계획중인 종래형 경수로에 대해 기기개량으로 적합성, 신뢰성, 제어성과 감시성 등의 강화 및 운전의 자동화, 맨·머신·인터페이스기능의 충실을 위한 計裝設備의 개량, 개발, 실용화 등에 대해서 검토를 실시했다.

구체적인 검토 항목은 다음과 같다.

(i) BWR·PWR 공통관계

- a. 운전의 신뢰성과 감시기능을 높이기 위한 컴퓨터 보조에 의한 인스트럭션 시스템의

제 3차 개량표준화 계획의 일환인 원자력 플랜트의 내진설계표준화는 需要에 따라 안정된 전력공급을 안전하고 경제적, 효율적으로 실시해야 할 발전소의 기능을 지진시에도 확보할 수 있도록 내진설계의 합리적인 방법의 확립을 목적으로 하고 있다.

실용화.

- b. 격납용기내 자동점검시스템의 실용화.
 - (ii) PWR 관계
 - a. 爐心과 1차계기기의 개량과 적합으로 신뢰성, 제어성과 감시기능 강화, 운전자동화와 맨·머신·인터페이스고도화 달성을 위한 개량형 원자로제어 보호장치와 중앙제어반의 실용화.
 - (a) 개량형 제어감시시스템의 개발
 - (b) 개량형 제어보호장치의 개발
 - b. 信號傳送과 정보처리의 효율화를 목표로 한 多重傳送 등의 검토와 케이블링 시스템의 개량.

이중 (i)의 a, b 항목을 빼고는 모두 實플랜트 설계에 반영되고 있다. (i)의 a, b 항목에 대해선 반드시 경제성이 충분하다고는 말할 수 없으므로 實플랜트에는 지금 현재 채용되지 않고 있다. 앞으로 경제성의 개선이 요망된다.

5) 工認標準化

제 3차 경수로의 개량표준화계획은 1981년도 부터 시작하여, 특히 근년에 정비되고 있는 法体系에 대응한 공사계획인가신청서 작성요령(工認포맷)의 표준화를 실시했으며, 이것을 적극적으로 實機에 적용하여 갈 방침이다. 이에 따라 앞으로 공인신청수속의 효율화를 기대할 수 있을 것으로 기대된다.

(3) 耐震設計標準化

제 3차 개량표준화 계획의 일환인 원자력 플

랜트의 내진설계표준화는 需要에 따라 안정된 전력공급을 안전하고, 경제적, 효율적으로 실시해야 할 발전소의 기능을 지진시에도 확보할 수 있도록 내진 설계의 합리적인 방법의 확립을 목적으로 하고 있다.

제 1차, 제 2차의 내진설계표준화에 관한 조사에서는 원자로건물의 4타입에 대한 개략 구조 설계, 標準地震動의 작성, 표준건물의 耐震解析評價, 標準的解析方法, 床應答特性評價, 주요 기기의 耐震解析法, 기기에 대한 限界荷重과 안전여유, B클래스기기의 내진설계방법 등의 검토가 실시되었다.

제 3차 개량표준화계획에서는 제 1차와 제 2차 개량표준화계획에서 실시된 이들 검토 내용을 구체적이며, 표준적인 것으로써 적용가능한 상태로 할 것을 검토하고, 더욱 최근의 기술진보를 반영하여 원자로시설의 내진설계·평가법의 구체적인 방법에 대해 설계하는 측과 안전성을 평가하는 측 쌍방의 공동목표 확립을 도모하기 위해 검토를 실시했다. 검토항목은 表9와 같다.

이들 성과는 점차로 實플랜트설계에 적용되고 있다.

(4) 標準化와 合理化

1) 概 要

원자력발전은 발전코스트중에서 건설비가 큰 비중을 차지하고, 또 원자력발전소의 건설비 상승률은 일반임금, 물가지수 상승률을 상회하고 있다. 앞으로도 원자력발전의 건설비 상승이 계속되고, 또 한편 원유가격과 그와 連動하는 석탄가격이 최근의 에너지정세를 반영하여 크게 低落한 경우에는 석탄화력과 원자력발전코스트의 차이가 상당히 축소될 것으로 예상된다.

通商産業省 資源에너지廳에서는 이와 같은 상황을 기반으로 하여 1982년 7월부터 1983년 6월까지 원자력발전고도화간담회에서 경제성 향상에 대한 검토를 실시하고, 보고서를 종합 정리

했다.

그리고 원자력발전고도화간담회에서의 검토 결과를 토대로 1983년 6월 원자력설비개량표준화조사위원회와 원자력발전기표준화조사위원회 합동회의에서 經濟性向上策中 표준화와 설계의 합리화에 대해 구체적인 방안을 검토하기 위해 標準化特別그룹이 설치되었다. 이 그룹은 원자력발전플랜트系統마다 표준화의 검토, 합리화·적정화방책, 전력간 사양통일 등 세가지를 중심으로 검토했다.

또한 표준화특별그룹보고서에 정리된 앞으로의 추진방법으로 제안된 작업을 추진하기 위해 1984년도에 표준화워킹그룹이 설치되어 1984년도와 1985년도 2년간 검토작업을 실시했다.

표준화특별그룹과 표준화워킹그룹에서는 다음과 같은 검토를 실시했다.

- ① 표준화의 검토
- ② 설계합리화·적정화의 검토
- ③ 전력회사간 사양통일 검토
- ④ 표준설계사양서 작성

2) 標準化에 대한 評價

원자력발전플랜트의 표준화에 의한 효과로서

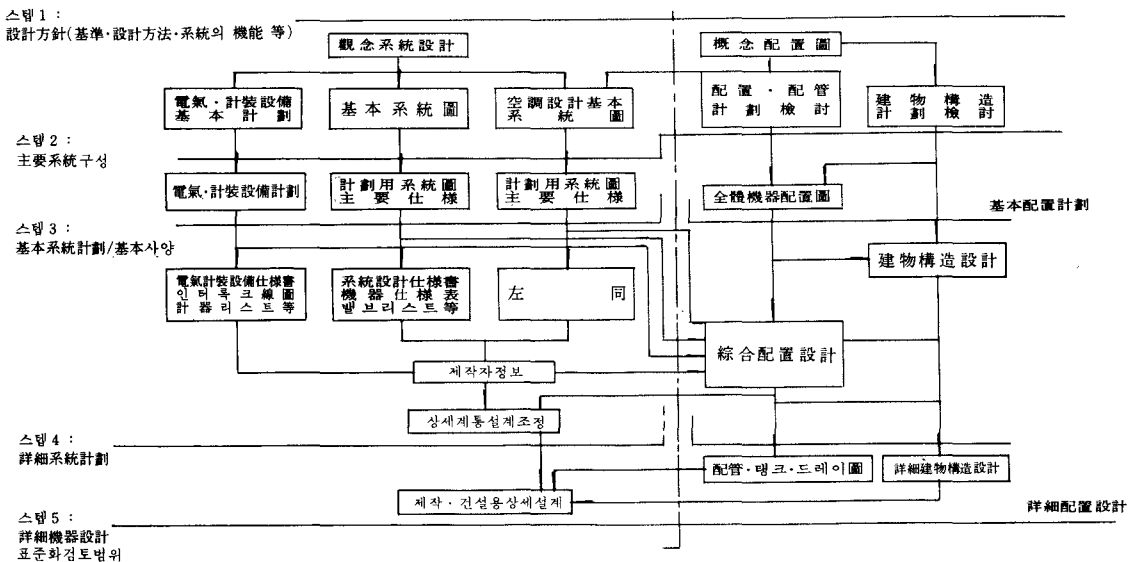
는 다음과 같은 것을 생각할 수 있다.

- ① 설계의 효율화
- ② 인허가의 효율화
 - (a) 설치허가신청
 - (b) 工認계획인가신청
- ③ 제조생산의 효율화
- ④ 건설의 효율화
- ⑤ 시험·조사의 효율화
- ⑥ 운전의 효율화
- ⑦ 정기검사의 효율화
- ⑧ 신뢰성·품질의 향상

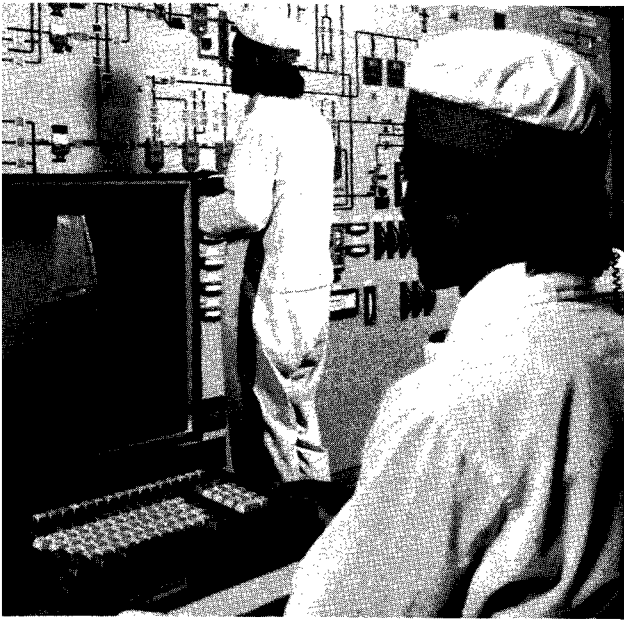
각 항목에 대해 경제성 향상의 관점에서 평가 검토를 실시했다. 표준화에 의한 코스트·업요인도 지적되고 있지만, 종합적으로는 경제성 향상이 기대된다.

그러나 표준화에 의한 경제성 향상효과와 定量的 평가에 대해서는 그 평가조건(표준플랜트의 基數, 건설피치, 사이트조건, 비교의 기반이 되는 플랜트코스트내역 등)을 一義的으로 결정하기가 곤란하므로 여기에서는 定性的인 평가만으로 그쳤다.

표준화검토를 추진해옴으로써 원자력발전플



<그림11> 設計節次와 標準화레벨 설명도



랜트의 설계에서 건설, 운전 에 이르는 여러가지 단계에서 차이는 있지만, 표준화 효과를 기대할 수 있다. 이들을 각 단계로 나누면 다음과 같이 된다(스텝의 사고방식에 대해서는 그림11 참조).

(i) 設計의 効率化

스텝 3 까지 표준화된 설비에 대해서는 기본 사양까지가 표준화 된다. 또 스텝 4 까지 표준화된 것은 詳細系統計劃까지, 스텝 5 까지 표준화된 것은 詳細機器設計까지 표준화된다. 이에 따라 표준화된 스텝까지의 工數가 삭감되고, 설계 기간 단축이 도모된다.

(ii) 認許可의 効率化

① 설치허가 신청

스텝 3 까지 표준화된 설비에 있어서는 설치허가신청과 관련된 플랜트사양이 표준화 된다. 이 결과 설치허가에 관한 工數의 삭감, 안전 해석 등에 사용하는 컴퓨터의 사용시간 삭감과 심사 경험의 충분한 활용이 도모된다.

② 공사계획인가신청

스텝 4 까지 표준화된 설비에 있어서는 공사계획인가신청서 본문기재 정도의 플랜트사양이 표준화된다. 이 결과 工認圖書作成에 관한 工數

削減과 심사경험의 충분한 활용 등 설치허가 신청과 같은 효과를 얻을 수 있다.

(iii) 제조생산의 효율화

표준화된 설비에서는 그 정도에 따라 同一機器를 제작하는 것이 가능해 지며, 複數 플랜트에 대해 發注가 되면 同一治工具類의 使用이 가능해지는 등 코스트低減이 도모된다.

(iv) 건설의 효율화

표준화의 정도에 따라 既設플랜트의 공사절차를 답습할 수 있는 점과 공사절차에 개량을 가하는 등 習熟效果가 발휘되어 工數低減을 도모할 수 있다.

(v) 시험·검사의 효율화

스텝 4 까지 표준화된 설비에서는 상세계통계획까지 표준화되므로 계통시험요령서 등의 표준화로 연결된다. 또 표준화된 설비에서는 동일기기를 제작할 수 있으므로 機器單體試驗 또는 검사요령서 표준화로 연결된다. 이와 같은 설비표준화에 따라 시험검사에 관한 工數削減이 도모된다.

(vi) 운전, 정기검사의 효율화

플랜트의 표준화에 따라 운전원 훈련이 용이해 지고, 플랜트 운전계획이 용이화, 효율화된다. 또 정기검사공사계획도 표준화되어 정기검사공사 종사자 훈련의 효율화와 作業習熟度를 높일 수 있다. 정기검사시 교환부품, 소모품에 대해서도 플랜트 공통으로 관리할 수 있어서 플랜트주위 보관물량의 삭감, 보관스페이스의 감소와 조달·관리업무의 저감이 도모된다.

(vii) 信賴性的의 향상

표준플랜트는 과거의 경험을 반영해 완성된 플랜트이며, 또한 설계, 제작, 시험검사, 건설, 운전의 각 단계에서 習熟效果가 작용되기 때문에 신뢰성이 높은 것을 기대할 수 있다.

(viii) 品質의 向上

신뢰성과 마찬가지로 안정된 양호한 품질을 기대할 수 있다.

그리고 여러가지 사이트조건에 모두 적합한

표준플랜트를 준비하기 위해서는 耐震條件, 氣象條件 등에 대해 가장 어려운 조건에 의한 包絡設計를 함으로써 이들 조건이 완화된 지점에서 건설할 경우에는 과잉설계가 되어 코스트增이 되는 점이 있다.

따라서 이번 표준화에서는 이들 과잉설계를 방지하기 위해 前述한 조건에 대해서는 모델설계로 설정하고, 實플랜트설계에서는 각 사이트조건에 따라 설계를 하기로 했다.

또한 표준화는 다른 의미에서 말하면 어느 시점에서 技術의 凍結이기 때문에 기술이 급속도로 변화하고 있는 오늘날에는 일정기간을 지나면 재평가를 적절하게 하는 것이 필수적이다.

6. 輕水炉를 둘러싼 環境變化와 展望

일본의 경수로로는 1차~3차의 개량표준화계획을 통해 석유대체에너지의 중핵으로서 개발·도입이 추진되어 정착단계를 맞기에 이르고 있지만, 앞으로 일본 원자력발전의 한층 더 추진을 도모하기 위해서는 다음과 같은 최근 상황을 기반으로 경수로의 고도화를 추진해 가는 것이 필요하겠다.

(1) 電源構成에서 차지하는 原子力發電의 占有率 增大

1966년에 일본에서 최초로 상업용 원자력발전이 시작된 이래 지금까지 개발이 착실히 추진되어 온 결과 1985년도에 원자력의 발전량 비율은 전체발전량에서 26%를 차지하기에 이르렀고, 또 사업자별로 보면 關西電力 48.2%, 九州電力 46.9%, 四國電力 40.2% 등 그 비중은 현저하게 높아지고 있으며, 앞으로 예정되어 있는 새로운 플랜트 가동을 고려했을 경우 이경향은 더욱 증대될 것으로 전망된다.

(2) 輕水炉時代의 長期化

지난번 원자력위원회 원자력개발이용 장기계

획에서 2010년경으로 想定되어 있던 高速增殖炉의 실용화시기가 우라늄 수급의 완화, 기술적 곤란성 등의 요인으로 상당기간 지연될 전망이어서, 경수로가 전력공급의 주력을 담당할 기간이 장기화될 것으로 예상된다.

(3) 核燃料사이클의 進展

핵연료사이클은 종합적인 원자력시스템 속에서 炉型戰略과 整合性을 취하면서 추진할 필요가 있지만, 경수로시대가 장기화 될 것이 예상되므로 플루토늄이용을 경수로에서 어떻게 도모하느냐가 앞으로의 큰 과제로 되어 있다.

(4) 「安全性」의 더 한층 確保

작년 4월 소련의 체르노빌원자력발전소 4호기에서 발생한 사고에 의해 원자력의 안전확보 중요성이 한층 인식되게 되었고, 안전성·신뢰성의 더 한층 향상의 도모가 요구되었다.

(5) 經濟性의 向上

원자력발전은 연료비의 비율이 적기 때문에 연료비 변동에 대해 안정성이 있음과 동시에 플랜트의 운전년수경과에 따라 그 발전코스트가 유리해지는 특색을 갖고 있지만, 전력코스트 전체에 주는 영향 등을 고려하여 앞으로도 더 한층 경제성 향상이 요망된다.

이상과 같은 관점에서 1987년 4월 경수로기술의 고도화를 추진하기 위해 通産省의 기계정보 산업국장과 자원에너지청장관의 간담회인 「원자력발전기기표준화조사위원회」와 「원자력발전설비개량표준화조사위원회」가 조직개편 되어, 「경수로고도화추진위원회」라는 신체제를 토대로 경수로 기술의 고도화에 이바지하는 정부(原工試 등)와 민간(電力共研 등)에서 실시되고 있는 연구에 대해 종합적으로 평가·검토함과 동시에 정부가 지원해야 할 시책에 대해서도 검토하게 되었으며, 개량표준화 계획과 함께 그 성과가 기대되고 있다.