

輕水爐(PWR)의 設備信賴性 向上活動

*PWR System Reliability
Improvement Activities*



吉川 雄一郎
(關西電力(株) 原子力建設部 次長)

1. 序 論

(1) 原子力發電의 重要性

에너지資源이 부족한 日本에서는 原子力發電開發計劃을 가속화하는 것이 기본적인 에너지政策이며, 그럼으로써 海外依存率을 줄일 수 있다. 日本은 原子力發電이 안정된 전력공급과 발전단가면에서 유리하므로 油類를 대신할 수 있는 중요한 대체에너지라고 인식하고 있다.

原子力發電開發計劃에서 습득한 독창력의 결과로, 현재 日本의 電力系統에서 原子力發電容量의 비율이 가장 높다. 따라서 原子力發電所가 電力系統을 유지하는데 중요한 역할을 하고 있으며, 비교적 낮은 발전단가와 안정된 전력공급의 능력을 확보하기 위해 原子力發電容量의 開發計劃이 더욱더 강조될 것이다. 原子力發電 施設容量은 2000년까지 全體 施設容量의 35%로 증가하여, 총발전량의 60%를 담당할 것으로 예견된다.

이와 같은 견해가 原子力發電을 더욱 중요한 것으로 만들어 줌에 따라, 電力系統을 유지하는데 있어서 原子力發電所의 運轉安全性和 信賴度를 확립하는 것이 매우 중요한 課題가 되고 있다.

本稿에서는 이와 같은 課題를 수행할 목적으로 1981년부터 시작된 TQC(Total Quality Control) 活動을 포함하여 原子力發電分野에서의 活動을 論하고자 한다.

(2) 原電의 運轉安全性和 信賴性 確立

(a) 플랜트 信賴性의 向上

原子力發電開發計劃의 초기단계에 美國에서 부터 수입한 원자력발전소들은 많은 초기결함을 겪었으며, 그외에 TMI-2事故의 對策이 發電所 年均 利用率에 좋지 않은 영향을 주어서 公衆의 信賴가 급격히 악화되었다. 이러한 사회적 환경의 영향으로 원자력발전소의 安全性和 電力系統의 安定性을 확보하기 위해서 發電所設備의 信賴度를 향상시키는데 특별한 주의를 기

올리게 되었다. 먼저 利用率을 낮게 하는 것과 관련된 요인분석을 하였고, 增進을 위해 선정된 다음 세가지의 중요 항목에 따라서 作業을 전개시켜 나갔다.

○ 運轉時 발생하는 문제들의 예방

○ 核燃料 再裝填 및 정기보수시의 가동중지기간을 단축

○ 運轉週期の 연장

먼저 적절하지 않게 設計된 발전소 시설을 배제하는 活動은 發電所의 運轉을 중단케 하는 運轉上의 문제를 예방하는데로 직결되고 있으며, 예정된 보수업무 이외의 추가작업수를 줄이고 또 새로 개발된 기술을 반영시킨 高度화된 발전소 설비에 의해서 핵연료 재장전과 보수시의 가동중지기간을 줄이는 방향으로 이루어지고 있다. 그밖에 運轉週期는 고농축 핵연료를 채택함으로써 13개월의 주기로 연장되었다.

(b) 原電建設計劃의 촉진을 위한 활동

지역사회와의 합의의 구축을 위한 노력에 의해서 설치되어지는 新規 發電所의 부지선정 뿐만 아니라, 사업개시부터 高度화된 건설방법과 과학적인 공정관리를 실시하여 建設工期를 단축하려고 노력하고 있다.

(c) 放射線被曝線量の 低減

原子力發電에서 安全과 건강을 확보하기 위해서 매년 실시하는 核燃料 再裝填과 정기보수시의 가동중지 기간 동안 발전소 요원과 作業員에 대한 방사선피폭선량을 줄이는 것이 중요하다. 그리하여 전체 직접선량의 90%를 차지하는 핵연료 재장전과 정기보수시의 被曝線量은 개선된 보수설비와 도구를 사용함으로써 점차적으로 감소되었다. 이러한 면에서 볼때 발전소의 안전성과 신뢰도는 향상되었다고 말할 수 있다.

2. 새로운 發電所를 위한 設計管理

(1) 運轉上의 問題 分析

과거의 예정안된 가동중지시간을 分析한 결

과, 반이상인 부적절한 설계工學에 기인함이 밝혀졌다. 그리고 여러 사례에서 미숙한 運轉과 보수유지, 솜과 現場에서의 作業員 能力 不足, 완전하지 못한 核燃料集合體 등도 나타났다.

따라서 新規 發電所의 건설단계에서 부적절한 설계의 수를 실제적으로 감축함으로써 설계관리 的 수행을 강화시키는 것이 얼마나 중요한 것인가를 알았다. 이와 같은 부적절한 설계의 요인을 자세히 실험해보니 그것들은 주로 새로 개발된 설계의 부적당한 관리와 새로운 기술의 미숙한 적용 때문이었음이 드러났다.

이런 조사결과와 관련시킨 수정작업으로 부적절한 설계에 대한 새로운 설계관리를 강화하고, 새로운 기술문제에 대해서는 品質計劃을 충분히 확장하기 위해 요구되는 설계의 질적인 수준을 확인함과 아울러 기술적인 개발을 가속화함으로써 계약자들을 이끌 방침이다. 더우기 運轉上의 문제를 제거하거나 예방하기 위해, 새로운 설계를 적용한 設備에 FMEA와 FTA 같은 信賴度 分析技術로 신뢰도를 분석하도록 확립되었다. 新規 發電所의 設備信賴度を 향상시키기 위하여 고안된 세가지 設計管理案은 다음과 같다.

○ 品質計劃의 擴充

○ 새로운 設計管理의 강력한 적용

○ 信賴度評價計劃의 이행

(2) 品質計劃의 擴充

新規 發電所를 설계하는데 있어서 요구되는 品質의 수준은 '요구되는 品質水準開發表'에 정의되어 있으며, 이것에 의해 편집된 모든 設備에 적용할 수 있다. 여기에는 기존의 발전소를 운영하면서 경험했던 설비의 이상과 運轉上의 問題에 관한 많은 정보뿐만 아니라 國內外의 運轉과 보수유지에 관해서도 광범위하게 고려하고 있다.

구체적인 例로서 表1에 核燃料 再裝填과 정기보수시 가동중지 기간을 줄이는데 없어서는 안될 증기발생기의 노즐플러그에 적용시킬 수

〈表1〉 TABLE FOR DEVELOPING THE REQUIRED LEVEL OF QUALITY

TO BE BUILT INTO THE ROBOTIC DEVICE FOR HANDLING STEAM GENERATOR CHANNEL HEAD NOZZLE PLUGS

QUALITY REQUIRED		QUALITY ELEMENT	NOZZLE PLUG			ROBOTIC DEVICE			
PRIMARY	SECONDARY	TERTIALY	MATE- RIAL	CONFIG- URATION	MOUNT- ING SYSTEM	METE- RIAL	CONSTR- UCTION	DRIVING MECHA- NISM	CONTROL MECHA- NISM
LESS EXPOS- URE	PLUGS TO BE HAND- ED IN REMOTE-AUTO- MATIC FASHION	LIGHT PLUG	◎	○					
		EASY MOUNTING AND DISMOUNTING OF PLUG		○	◎			○	
	EASY MOUNTING AND DISMOUNTING OF ROBOTIC DEVI- CE	COMPACT, LIGHT ROBOTIC DEVICE				○	◎		
		EASY MOUNTING AND DISMOUNTING OF ROBOTIC DEVICE					◎		
BETTER MAINT- AINABI- LITY	EASY PLUG INSTALLATION	LIGHT PLUG	◎	○					
	EASY HANDLING OF ROBOTIC DEVI- CE	COMPACT, LIGHT ROBOTIC DEVICE				○	◎		
		SIMPLE CONSTR- UCTION OF ROBOTIC DEVICE					○	◎	
BETTER JOB EF- FFIEN- NCY	WIDER JOB APPLICABLE SC- OPE	WIDER JOB SCOPE					○	◎	
		LARGE LOADING CAPACITY				○	◎		
	SHORTER PLUG HANDLING DURAT- ION	SIMPLE PLUG MOU- NTING AND DISMO- UNTING			◎				
		SPEEDY OPERATION						○	◎
		SIMPLE DRIVING MECHANISM						◎	○
HIGHLY RELIA- BLE	HIGHLY RELIABLE PLUG	BETTER PRESSURE RESISTANCE AND SEALING FUNCTION	○	◎					
	HIGHLY RELIABLE ROBOTIC DEVICE	TRUBLE-LESS ROBOTIC DEVICE			○		◎	○	○
		SUFFICIENTLY VE- RIFIED FUNCTION					○	◎	◎
		QUALITY ESTABLISHED	RELATIVE LESS- ENING OF PLUG WEIGHT	SIMPLIFICATION OF PLUG JOINT MECHANISM	SIMPLIFICATION OF PLUG JOINT MECHANISM	ROBOTIC DEVICE TO BE MADE COMPACT	ROBOTIC DEVICE TO BE MADE COMPACT	ROBOTIC DEVICE TO BE MADE HI- GHLY RELIABLE	ROBOTIC DEVICE TO BE MADE HI- GHLY RELIABLE

있는 요구되는 品質의 水準을 개발하기 위한 표
를 나타내었다. 이 표에서 볼 수 있는 바와 같
이 모든 질적인 구성 성분에 의한 명확한 품질
은 플러그에 적용할 수 있는 요구되는 品質의
水準을 주의깊게 개발함으로써 확립된다.

이렇게 확립된 品質을 근거로하여 電力會社
와 발전소 메이커는 꼭 필요한 관련기술의 개발
뿐만아니라 발전소에 高度의 技術을 적용시키기
위해 共同프로젝트를 구상하고 있다. 이렇게 확
립된 품질을 실현하기 위한 정책을 선택 하는데

〈表2〉 POLICY MENUE FOR THE RELATIVE LESSENING OF STEAM GENERATOR NOZZLE PLUGS

(MATERIALS)

MATERIALS ITEM	SUS 304	ALUMI- NUM	TITANI- UM ALL- OY	CARBON FIBER
MARGINAL E- FFECT IN L- ESSENING THE WEIGHT	×	◎	○	◎
COST	◎	◎	×	△
INFLUENCE TO QUALITY	◎	×	◎	◎
RELATIVE DI- FICULTY IN DESIGNING THE PLUG	◎	◎	◎	○
CONSOLIDAT- ED APPRAISAL	×	×	△	◎

(CONFIGURATION)

SHAPE ITEM	PLATE (SOLID TYPE)	PLATE (SAND- WICE TYPE)	INTERN- ALLY P- ROTRU- DED TY- PE	EXTER- NALLY PROTRU- DED TYPE
MARGINAL E- FFECT IN L- ESSENING THE WEIGHT	◎	◎	△	×
COST	△	○	△	△
INFLUENCE TO QUALITY	◎	×	△	○
RELATIVE D- FICULTY IN DESIGNING THE PLUG	◎	○	○	◎
CONSOLIDA- TED APPRA- ISAL	◎	×	△	×

있어서 효율, 경제성 그리고 다른 질적인 구성 요소에로의 영향과 같은 항목을 근거로 수행된 비교연구결과의 평가에 근거하여 최적화된 방법을 택하기 위해 "Policy Menu"가 준비될 것이다(表2).

(3) 강화된 새로운 設計의 管理

선택적인 設計管理가 運轉中인 발전소에서 경험했던 부품결합과 運轉上 問題의 재발에 대한 수정작업의 채택과 관련시켜 새로운 설계를 新規 發電所의 설계공학에 적용함으로써 실행될

것이며, 또한 品質計劃과 보조를 같이하여 취해진 예방대책을 이행함으로써 실행될 것이다. 이렇게 하여 요구되는 品質이 엔지니어링 工程에 확고하게 구축될 것이다.

먼저, 發電所의 모든 施設은 安全도와 信賴度의 관점에서 설정된 發電所 設備의 우선도에 의한 분류에 따라서 중요한 설비로 국한될 것인데, 이것은 모든 새설계를 위해 시험될 모든 항목을 포함하는 "New Designs Review/Check Sheet"를 준비하는데 사용된다.

이 시이트는 기준, 표준, 건설, 강도와 같은 설계조건 뿐만아니라 系統, 部品 및 기타의 구조면에서 과거 부품고장의 주요한 요인(마모, 부식, 파로 등)에 관하여 시험되어야 할 항목으로 구성되어 있다. 모든 새로운 설계의 신뢰도는 현장과 모델실험에서부터 얻어진 시험, 실증, 검증시험 데이터와 같은 강화된 결과에 관하여 다양한 학문분야의 엔지니어그룹에 의해서 재조사되고 확립되어질 것이다.

(4) 신뢰도 평가계획의 이행

發電所의 性能과 직접적으로 관련된 중요한 設備의 경우 그들의 信賴度는 잠재적 결함을 찾아내는 것 뿐만아니라 그에 대한 수정작업의 실행을 위해 FMEA(Failure Mode & Effect Analysis)와 FTA(Fault tree Analysis)에 의해서 평가될 것이다. 비율이 표준등급 이하인 設備에 대해서는 반복되어지는 신뢰도 평가와 함께 설계변경 및 설비개조와 같은 활동이 영향을 받게 될 것이다.

이 회사에서 실시되고 있는 FMEA技術의 특징은 다음과 같다.

a) 모든 發電所 設備들은 첫번째 단계에서 앞에서 언급한 바와 같이 FMEA를 실시하여 중요한 시스템으로 한정된다. 그리고 두번째 단계 FMEA가 각각의 중요한 시스템의 모든 부품에 적용된다.

b) 신뢰도 블록 다이어그램이 첫번째와 두번째

째 단계 FMEA의 실시를 위해 준비될 것이다.

c) 원인요소가 “설계공학, 생산공정/공장검사, 가동/보수유지 실시”의 견지에서 시험된다.

d) 모든 수정작업의 확실한 효능은 “명확한 증거의 척도”의 견지에서 평가된다.

e) 발전소가 가동중이거나 운전중지하고 있는 동안 결함탐지를 실제로 고려하여야 한다.

f) FMEA方法으로 신뢰도 평가를 한 다음에는 FTA가 실행될 것이다.

앞에서 언급한 것 처럼 발전소 설비에 요구되는 수준의 品質을 확실하게 구축하기 위해 설계 관리를 완전하게 이행하는 것 이외에도 강화된 품질보증활동과 품질보증검사를 강화함으로써 계약자들의 관리를 강화해 왔다. 그리하여 신뢰성이 높은 원자력발전소를 建設하기 위해 계약자들과 긴밀한 협동아래 건설한 품질보증활동을 전개해 왔다.

3. 發電所 建設作業에서의 QA活動

모든 원자력발전소의 건설작업은 많은 계약자들에 의해 행해지기 때문에 품질보증활동을 증진시키기 위해서 계약자들의 품질보증활동을 완전하게 하는 것이 필수불가결하다.

(1) 기본정책

品質管理作業을 집중적이고 능률적으로 실행하기 위해서 설정된 일관적인 政策과 보조를 맞추어 그런 일들 실행하기 위해 다음과 같은 것에 의거하여 QA계획을 확립할 것이다.

○QA계획은 계약자들의 작업시행이 있기 전에 확립되어야 하며 문서화되어야 한다.

○중요도 순서에 근거한 중요관리 항목의 확립과 관리기준의 확인.

○발전소내 지침서의 보존과 표준화.

(2) 建設/運轉中인 發電所에서 얻은 經驗의 반영

과거의 계획중 나쁜 경우 뿐만아니라 해외 발전소의 경우를 광범위하게 수집하여서 신규발전소의 설계공학에 유용하도록 반영시킬 것이다.

그리고 새로운 설계 엔지니어링의 모든 단계에 이전의 것을 적극적으로 반영시키기 위해 대조 시스템이 마련될 것이다. 가장 최근의 계획에 반영된 것은 약2,800가지 경우이다.

(3) 供給者의 管理와 監査

QA의 필요성이 주요 계약자(하도급계약자도 포함)에게 인식시켜질 것이고, 이 계약자들은 검토와 가이드를 위해 QA계획서류를 제출해야 한다. 이런 가이드는 보통 계약자가 일을 시작하자마자 준비되지만, 어떤 경우에는 사전에 그런 확인이 있게 된다.

더우기 QA감사는 하도급계약자를 포함하여 주요 계약자측에서의 QA활동상태를 지속시키고, 品質의 수준을 향상시키며 QA政策을 주·부계약자 그룹에 보급시킬 목적으로 실시된다.

(4) QC패트를

현장사무소에는 특별한 테마로 행해지는 작업의 관리상태와 매일매일의 작업공정을 이중 조사하는 것이 임무인 품질관리과가 있다. 그밖에 현장사무소와 계약자는 품질관리의 필요조건으로 부터 이탈을 수정하고, 감지하는데 특별한 주의를 가지고 현장활동을 주기적으로 조사하기 위해 패트를 그룹을 조직할 것이다.

(5) 새로운 設計의 입증

건설, 재료, 시스템을 다루는 새로운 설계를 채택함에 있어서는 공장시험, 모델시험 혹은 분석의 실행에 의해 모든 것의 기능과 信賴度を 이중 검토해야 할 것이다. 더우기 設計工學에 잔존하는 위험도를 제거한다는 관점에서 시험 실시와 같은 입증시험의 종류에 의해 확인될 수 있게 계속되는 작업공정에서 확인할 수 있는 항목이 설정될 것이다.

4. 既存 發電所의 補修管理

發電所 設備의 信賴度を 증진시킬 목적으로 가동중인 발전소의 보수관리를 확대시키기 위해 모든 노력이 기울여져 왔으며, 이와같은 노

력을 지원하기 위해 고용자들의 임무능력 고양은 물론 운전 및 보수유지 정보에 관한 개량된 자료전송체제를 확립하도록 열심히 노력하고 있다.

(1) 信頼度 分析 시스템

원자력발전소의 신뢰도를 높이기 위해서는 運轉, 補修 그리고 보다 체계적으로 分析되고 評價된 기타 경험에서 부터 축적되는 장시간 지속되는 품질정보를 유용하게 이용할 수 있는 시스템을 유지시키는 것이 필요불가결하다. 따라서 컴퓨터를 기반으로 한 신뢰도평가시스템이 다양한 신뢰도해석기술의 유용한 사용을 위해서 개발되어지고 있다.

모든 發電所와 본사의 행정관리부는 주컴퓨터센터와 연결되어 있어 컴퓨터의 도움으로 운전중인 발전소의 운전/보수정보가 수집·분석되어지고 있으며, 이렇게 함으로써 분류된 發電所 設備과 部品の 사고이력과 Weibull분포해석의 결과 같은 데이터를 근거로 하여 신뢰도평가방법을 향상시킨다. 또한 이와같은 조사결과는 검사/시험기준의 재조사, 설비개조작업의 연구 그리고 기타의 목적으로 유용하게 사용될 것이다.

더우기 발전소 설비의 개선을 위해 필요한 행동의 선제채용을 확보하기 위해서 그리고 운전상 문제와 부품고장이 발생하거나 혹은 재발하는 것을 방지하기 위해 국내 전력회사와 외국 전력회사의 운전/보수 정보를 分析·評價하고 있다.

(2) 核燃料 再裝填과 정기검사의 운전정지계획

향상된 연례 정기검사계획은 보수유지의 아주 주요한 항목으로서, 이 계획은 다음 세가지 요소들로 구성되어 있다.

(a) 運轉上 問題와 部品缺陷의 재발방지

모든 對策은 신뢰도평가시스템과 국내 및 해외 전력회사가 경험한 운전상문제와 부품고장의 반영에 적용되는 것과 같은 것, 새로운 기술의 개발과 채용, 고장양식의 해석에 의해 발전

소 설비의 건전성을 향상시키고 유지시키기 위한 방법의 계획된 실행 등을 효과있게 사용함으로써 실현된다.

(b) 연례정기검사로 인한 운전정지기간의 단축 검사과정의 능률화, 개선된 보수시스템 및 기구(로봇 포함)의 채용, 시간단위의 작업일정관리 등이 채택되었다.

(c) 運轉週期の 연장

교환 핵연료집합체의 수를 늘리고, 고농축 핵연료를 사용하는 것과 같은 방안이 이루어지고 있다.

5. 앞으로의 課題

앞에서 언급한 바와 같이 “國産”TQC 活動으로 加壓輕水爐(PWR)의 신뢰도를 증진시키기 위해 많은 노력을 기울였다. 이 TQC는 제조산업분야에서 개발된 품질관리원리를 에너지산업에 적용시킨 결과로 생긴 지적산물이다. 이와같은 活動은 다음과 같이 요약될 수 있다.

(1) 품질관리 계획의 확충, 새로운 설계관리의 제고, 신뢰도평가의 실행에 적용시킨 것과 같은 과정의 “원류(源流)”에 품질을 이룩하기 위한 시스템의 확고한 기반을 다지는 것이 의도이다.

(2) 운전상의 문제와 설비결함 재발방지 뿐만 아니라 발전소 운전과 보수실행에서의 그런 사고발생에 대한 대책향상, 건설작업관리 체제의 수립 등에 의해 신뢰도분석기술을 보수관리에 반영하기 위한 시스템의 확고한 기반을 다진다.

(3) 앞의 (1),(2)에 언급된 활동을 지원하기 위해 계약자들과의 강화된 협동을 위한 체계적인 활동의 개발과 運轉員 및 보수요원의 전문적인 능력 향상을 이룩하는 것이다.

이와 같은 活動이 원자력 발전소의 利用率을 세계 최고수준에 이르게 하고, 원자로 가동중지 회수를 낮은 수준으로 유지케하는 주요한 이 유가 될 것으로 믿어 의심치 않는다.