

原電 豫防保全 實施狀況과 研究開發現況

山下 裕彦

九州電力(株) 原子力建設部

日本의 원자력발전은 1966년에 최초의 상업용 원자력발전소가 운전을 개시한지 25년이 지나 1992년 7월 현재 원자로 41기로 총출력이 3,324만kW에 달해 전체 전력수요의 약 27%를 공급하는 발전규모가 되었다.

머리말

한편 원자력발전소의 설비이용률은 1991년도에는 74%에 달해 1983년도 이후 항상 70% 이상을 유지하고 있다. 이 값은 전기사업법에 따라 약 1년에 1회 실시되는 2~3개월간의 정기검사시간이 포함해서 산출되었다는 점을 감안하면 세계 최고수준이라고 할 수 있다. 여기에는 발전소의 운전중 및

정기검사중에 설비의 經年的 변화를 진단해 상황을 파악하고 적극적으로 예방보전대책을 강구해 발전소의 안전성, 신뢰성의 향상을 기하고 사고, 고장 등의 미연 방지에 힘써 온 것이 크게 기여하고 있는 것으로 생각된다.

본고에서는 예방보전에 대한 기본적인 생각과 예방보전대책의 실시상황 및 연구개발현황에 대해 그 개요를 소개하고자 한다.

예방보전대책의 실시상황

1. 예방보전에 대한 기본적 생각
원자력발전설비가 운전기간중에 건전한 상태로 성능, 기능을 발휘, 유지되기 위해서는 정기적으로 설비의 경년적 변화를 진단해 그 상

태를 파악한 뒤에 적절한 예방보전을 도모하는 것이 중요하다. 예방보전대책에의 대응방안은 다음과 같다.

(1) 운전기간중에 각 운전변수 등에 의해 설비의 성능, 경년변화 상황을 진단, 파악한다.

(2) 거의 매년 한 번 실시하는 정기검사에서 미리 계획한 주기에 따라 설비점검을 실시해 경년변화 상황을 진단, 파악한다.

(3) 경년변화상황 진단결과 성능 열화경향이 인정되는 설비에 대해서는 고장이 일어나기 전에 적극적으로 보전대책을 강구해 보수, 교환을 실시한다.

(4) 소모성 부품은 미리 계획된 주기에 따라 교환한다.

(5) 정기검사의 설비의 점검주기 및 점검내용은 운전중의 경년변화상황, 정기검사의 점검결과, 국내외 발전소의 운전실적 및 사고, 고장 등을 참고해 필요에 따라 재검토한다.

2. 예방보전을 위한 설비진단

설비의 경년변화 진단방법으로는 다음과 같이 발전소운전중에 실시하는 진단과 정기검사기간중에 실시하는 진단으로 구분한다.

(1) 발전소운전중의 설비진단
발전소운전중에 실시하고 있는 경년변화 진단은 다음과 같다.

① 순찰 등에 의한 설비운전상황의 일상점검

② 전류, 온도, 압력, 유량, 진동 등 운전변수의 감시

③ 설비성능, 운전데이터 분석 등에 의한 경년변화의 진단, 파악

번호	검 사 항 목	번호	검 사 항 목
1	제1종기기 운전기간중 검사	32	터빈 Bypass 밸브 기능검사
2	연료집합체 Shipping 검사	33	제어봉 구동계통 기능검사
3	연료집합체 외관검사	34	봉산펌프 분해검사
4	연료집합체 노내배치(교체)검사	35	제어용 공기압축계통 기능검사
5	원자로 정지여유도 검사	36	안전보호계통 기능검사
6	1차냉각재 펌프 분해검사	37	안전보호계통 설정치 확인검사
7	제3종기기 운전기간중 검사	38	연료취급장치 기능검사
8	동상(누설검사)	39	야외 모니터 기능검사
9	증기발생기 전열관 체력검사	40	Area Process 모니터 기능검사
10	가압기 안전밸브 기능검사	41	Annuls 순환배기계통 기능검사
11	가압기 안전밸브 누설검사	42	Annuls 순환배기계통 필터 성능검사
12	가압기 안전밸브 분해검사	43	중앙제어실 비상용 순환계통 기능검사
13	가압기 Relief 밸브 기능검사	44	중앙제어실 비상용 순환필터계통 성능검사
14	가압기 Relief 밸브 누설검사	45	기체폐기물 처리계통 기능검사
15	가압기 Relief 밸브 분해검사	46	액체폐기물 처리계통 기능검사
16	가압기 Relief 밸브 격리밸브 기능검사	47	액체폐기물 저장, 처리설비(Inter lock) 기능검사
17	원자로보조기 냉각계통 기능검사	48	고체폐기물처리 처리계통 소각로 기능검사
18	고압 및 저압주입계통 기능검사	49	고체폐기물 저장고 관리상황 검사
19	고압주입계통 펌프 분해검사	50	방사성액체 검출기, Annunciator 계통 기능검사
20	고압주입계통 주요밸브 분해검사	51	원자로격납용기 누설률 검사
21	저압주입계통 펌프 분해검사	52	원자로격납용기 격리밸브 기능검사
22	저압주입계통 주요밸브 분해검사	53	원자로격납용기 격리밸브 분해검사
23	축압주입계통 기능검사	54	원자로격납용기 진공 Relief 밸브 기능검사
24	축압주입계통 주요밸브 분해검사	55	원자로격납용기 스프레이계통 기능검사
25	보조급수계통 기능검사	56	원자로격납용기 스프레이계통 펌프 분해검사
26	보조급수펌프 분해검사	57	원자로격납용기 스프레이계통 주요 밸브 분해검사
27	주중기 안전밸브 기능검사	58	비상용 예비발전장치 기능검사
28	주중기 안전밸브 누설검사	59	비상용 디젤발전기 분해검사
29	주중기 Relief 밸브 기능검사	60	종합부하성능검사
30	주중기 Relief 밸브 누설검사	61	증기터빈 개방검사
31	주중기 격리밸브 기능검사	62	증기터빈 성능검사

〈표 1〉 通産省 검사항목 일람표(PWR)

또한 발전소운전중에 대기상태에 있는 안전상 중요한 설비에 대해서는 정기적인 동작시험과 예비기기로의 전환운전을 함으로써 각종 설비가 정상작동하고 성능이 유지되고 있다는 것을 확인하고 있다.

(2) 정기검사중의 설비진단

정기검사는 전력회사에서 자체적으로 실시하는 검사와 〈표 1〉과 같이 통산성이 입회 또는 기록확인을 하는 검사로 이루어지며 다음과 같은 진단이나 시험을 하고 있다.

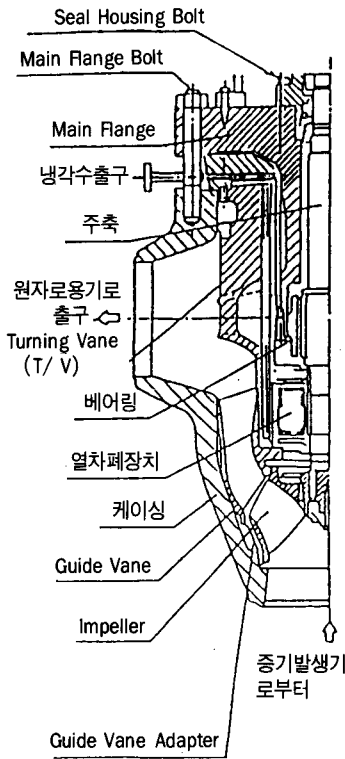
① 비파괴검사, 분해점검 등에 의한 진단

압력용기, 배관, 펌프, 밸브 등에 대해 미리 설비마다 책정돼 있는 장기계획에 따라 분해, 개방점검 등을 실시하는 한편 안전상 중요한 설비에 대해서는 초음파탐상시험, 와전류탐상시험 등의 비파괴검사, 누설검사 등을 실시하고 이같은 점검, 검사에 의해 설비의 경년변화 상황을 정확히 파악하고 있다. PWR에서의 대표적인 예로 〈그림 1〉에 1차냉각재펌프의 분해점검내용을 보였다.

또 다른 발전소에서 일어난 고장을 참고해 그 수평전개로 필요에 따라 해당설비의 점검을 하고 있다.

② 계통, 기기의 기능검사

안전상 중요한 계통, 기기에 대해 Logic 검사, 작동검사, 운전성능검사 등의 각종 기능검사를 해소정의 성능, 기능이 유지되고 있는지를 확인하고 있다. 〈표 2〉에 기능검사의 대표적인 예를 들었다.



(1) 전력회사 자체의 검사항목

검사 대상 개소	검 사 방 법	
	V T	P T
Impeller	摺動부분의 접촉 Vane의 결합 유무	Boss 부분 (Key Groove) 의 손상유무
主 軸	摺動부분의 접촉 Key Groove 변형유무	Journal 부분의 손상유무
베어링	Carbon 접촉	-
主 베어링	가스켓의 부식 유무 가스켓 Groove 의 손상유무	-
열차폐 장치	Labyrinth 부분의 접촉	-
Turn- ing Vane	摺動부분의 접촉	-
Guide Vane Adapter	摺動부분의 접촉	-

(2) 通産省의 검사항목

검사 대상 개소	검 사 방 법	
	V T	U T
主 Flange 볼트	체결부분의 손상유무	볼트 손상유무
케이싱	내부표면의 손상유무	-
Seal Housing 볼트	볼트 손상유무	-

〈그림 1〉 1차냉각재펌프 분해점검내용

원인을 파악해 성능열화경향이 인정되는 설비에 대해서는 고장이 일어나기 전에 적절한 보수, 교환을 하고 있다. 동시에 경년열화방지, 신뢰성확보 차원에서 정기검사시의 설비점검내용, 점검주기를 필요에 따라 재검토하는 한편, 시험 및 검사방법의 개선, 재질과 설계 및 제작방법의 변경, 운전방법의 개선 등의 예방보전대책을 강구하고 있다. 예방보전대책의 흐름을 〈그림 2〉에 보였다. 또 PWR 정기검사시의 예방보전대책의 예를 〈표 2〉에 보였다.

예방보전을 위한 연구개발

1. 운전중 설비진단기술 개발

운전중 설비진단기술 개발의 의의는 발전소운전중에 설비의 건전성을 진단함으로써 안전성, 신뢰성 향상을 도모하는 한편 합리적인 정기검사기간 책정 등이 가능하다는 점에 있다.

운전중 설비진단기술은 〈그림 2〉의 흐름에서 보듯이 운전중 중요한 동적, 정적 기기에 대한 이상상태의 파악 및 그 검출기술 등에 관한 검토 및 이상진단기술을 확립하기 위한 각종 검증시험 등을 통해 개발이 진행되고 있다.

현재 개발시 진행되고 있는 운전중 설비진단기술 중 중요한 것을 들어보면 다음과 같다.

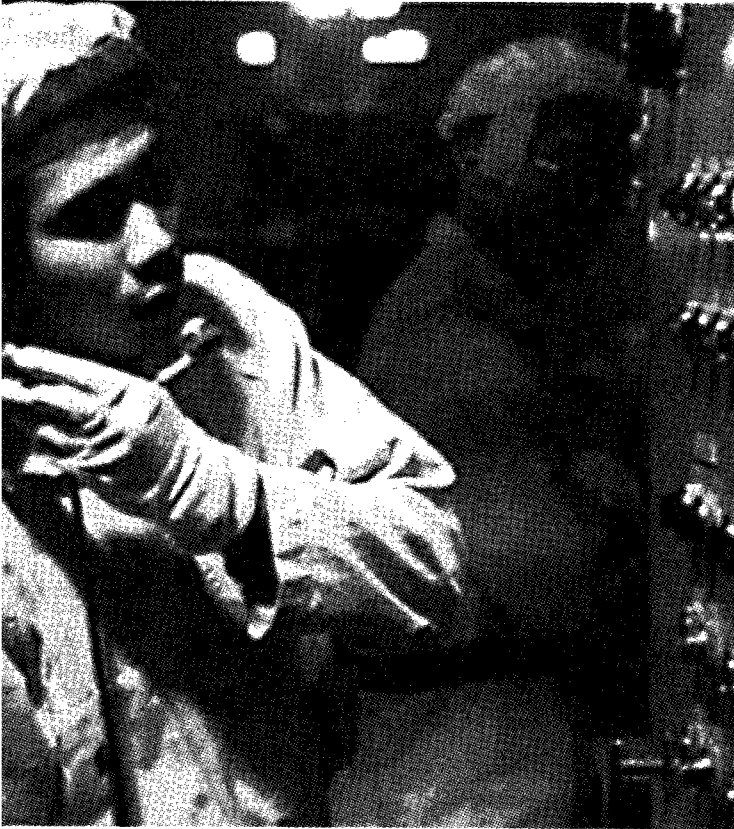
(1) 진동법에 의한 회전기계의 운전중 설비진단기술

펌프진동을 운전중 감시, 분석함으로써 펌프의 이상을 조기에 검출할 수 있는 진단기술을 개발중이다.

3. 예방보전대책

발전소운전중, 정기검사기간중의

설비진단 및 그 데이터의 분석, 평가에 의해 설비의 열화상황, 열화



용기 등의 균열 및 배관의 마모를 초음파법으로 감시, 평가함으로써 이같은 이상을 검출할 수 있는 진단기술을 개발중이다.

2. 정기검사중 설비진단기술개발

원자력발전소의 정기검사는 방사선환경하에서의 작업이 되기 때문에 로봇 사용을 포함해 철저한 자동화를 촉진하고 검사원의 피폭감소, 부담경감 및 공정단축을 도모하기 위한 각종 탐상검사장치의 개발이 진행돼 실용화돼 왔다.

(1) 원자로용기 초음파탐상검사장치

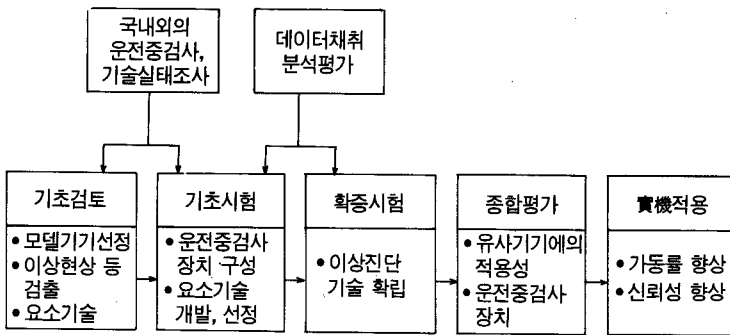
원자로용기는 높은 방사능을 띠고 또한 외부로부터의 접근이 곤란하기 때문에 원격조작방식의 초음파탐상장치(UT Machine)이 개발돼 운전기간중 검사에 적용해왔다. 또 원자로용기의 초음파탐상검사와 공정에서의 Critical 공정을 대폭 단축할 수 있도록 고정지지장치가 없는 가법고水中自航방식의 개량형 UT Machine이 새로 개발되고 있다.

이 장치는 대별해서 Machine 본체, 초음파탐상장치 및 위치제어장치, 데이터처리장치로 구성돼 있다. <그림 3>에 원자로용기 초음파탐상검사장치의 개요를 보였다.

(2) 증기발생기 전자동와전류탐상검사장치

PWR 정기검사중에 공정, 피폭선량에서 큰 비중을 차지하는 와전류탐상장치(ECT)의 공정단축, 피폭선량검사장치의 전자동화가 이루어져 실용화되고 있다.

이 장치는 로봇, Probe Feeder,



<그림 2> 운전중검사기술 개발의 흐름도

(2) 윤활유분석법에 의한 회전 기계의 운전중 설비진단기술
저널 베어링의 윤활유를 채취, 분석함으로써 윤활유 및 베어링의

상태변화를 조기에 검출할 수 있는 진단기술을 개발중이다.

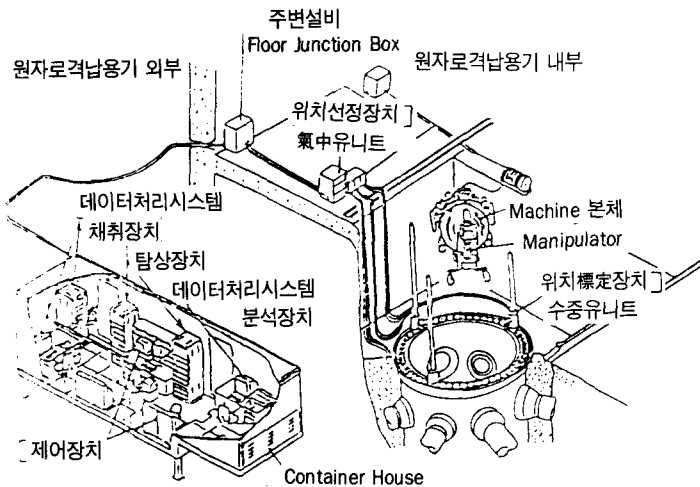
(3) 초음파에 의한 운전중 설비 진단기술

〈표 2〉 정기검사시의 경년열화진단 및 예방보전대책의 예(PWR)

설비	진단항목	진단방법	예방보전대책
1. 증기발생기 • 전열관	IGA / SCC 마모 (Thinning)	ECT	Sleeving Plugging
2. 1차냉각재펌프 • 주축 • Impeller	마모 침식] 目視검사] 비파괴검사(PT)	표면보수
3. 저압터빈 • Moving Blade • Disk	용접부, Stellite 의 균열 SCC		
4. 습분분리기열기 • 증기입구부	침식	벽두께검사 벽두께측정 비파괴검사(PT, UT)	용접 Cladding Plate Padding 교환
• 지지판, Dividing Plate	용접부의 균열		
5. 복수기 • 전열관	침식	ECT	교환, Plugging
6. 순환수펌프 • 케이싱 • 주축] Pitching] Crevice 침식	목시검사 비파괴검사(PT) 벽두께측정	도장 Caulking 재충전 교환
7. 2차계통배관			
8. 고압모터			Coil Rewinding

탐상기, 전자동제어반으로 구성되었다. 전자동제어반은 격납용기 밖의 Trailer에 설치되어 Trailer로

부터 원격조작된다. 〈그림 5〉에 증기발생기의 전자동와전류탐상검사장치의 개요를 보였다.



〈그림 3〉 원자로용기 초음파탐상검사장치 개요도

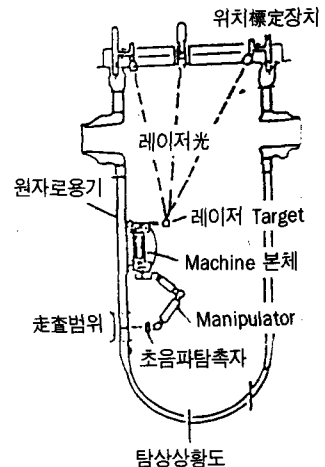
(3) 배관, 자동초음파탐상검사장치

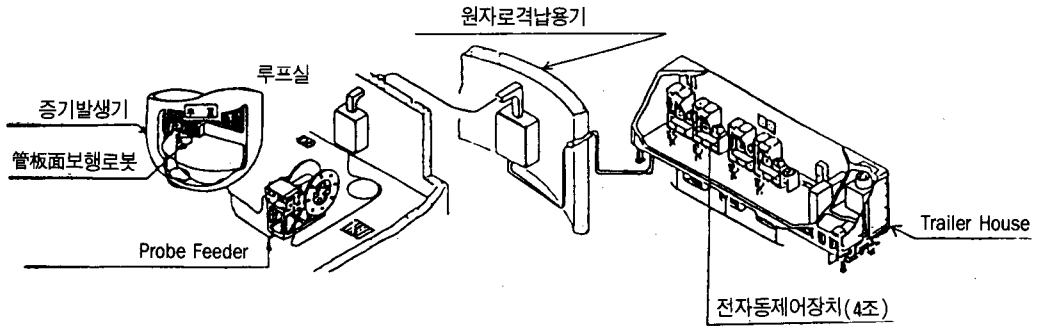
배관용접부에 대해서는 지금까지 수동에 의한 초음파탐상검사를 실시해 왔지만 이 검사는 고방사선하에서 실시되고 다른 체적검사에 비해 기록된 데이터의 정확도가 떨어지기 때문에 검사원의 기량에 크게 좌우된다.

배관, 자동초음파탐상검사장치는 검사의 신뢰성 향상과 검사원의 피로감소를 위해 개발된 컴팩트한 설계의 탐상장치로 曲管구경 100A~400A의 배관에 적용된다. 이 장치는 조작기구, 조작기체어반 초음파탐상기, 데이터처리장치 등으로 구성된다. 〈그림 5〉에 배관, 자동초음파탐상검사장치의 개요를 보였다.

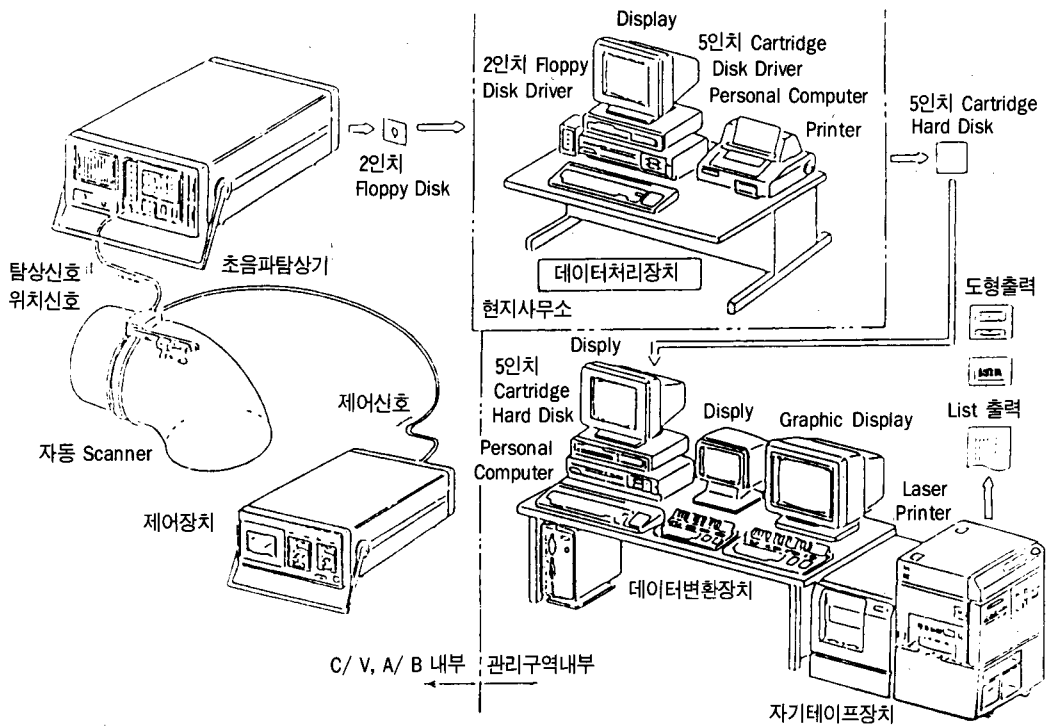
결론

日本の 원자력발전소에서는 예방보전 차원에서 여러가지 설비진





〈그림 4〉 전자동증기발생기 와전류탐상검사장치 개요도



〈그림 5〉 배관자동초음파탐상검사장치 개요도

단과 예방보전대책을 강구함으로써 양호한 운전실적을 달성할 수 있었다.

그러나 현재의 정기검사의 작업량과 이같은 예방보전을 중요시한 보수가 바탕이 돼있기 때문에 모대한 것이 됐다. 또 앞으로 원자

력발전 비율이 높아짐에 따라 안전 운전과 경제성 개선에 대한 요구가 점차 높아져 한층 섬세한 설비의 유지, 관리와 그 효율화가 요망되고 있다.

이같은 상황에서 설비의 신뢰성을 확보하면서 점검빈도의 합리화

를 도모할 수 있도록 운전중 기기의 설비진단기술, 검사용 공구, 공법의 개량 등을 추진해 예방보전을 더욱 고도화시키는 한편 정기검사공정의 단축과 피폭감소를 도모할 수 있도록 노력할 필요가 있다고 본다. ▣