

原電 計劃豫防整備期間의 最適化 方案



곽 현 영
한국전력보수(주) 울진사업소장

하루가 다르게 변천하는 정보화 사회로의 발달과 지속적인 경제성장을 뒷받침하기 위한 양질의 전력수요는 막대하게 증가하고 있으나 공급은 여러가지 환경과 여건으로 원활하지 못하여 기존설비의 가동률 및 이용률의 최대화가 요구되는 국내 전력산업환경 대처 일환으로 울진원자력 1, 2호기에 대한 계획예방정비 시행경험을 중심으로 이용률 증대를 위한 계획예방정비공기 최적화 방안을 제시하고자 한다.

서 론

한국 내 전력산업환경을 간단히 집어보면 <표 1>에서 보는 바와 같

〈표 1〉 공급전력예비율

(단위 : %)

연 도	80	85	89	90	91	비고
예비율	40.1	31.3	18.7	8.3	5.4	

이 70년대 고도 경제성장을 뒷받침하기 위한 전력설비의 확충에 힘입어 80년대 초반에서 중반에 이르기까지는 전력예비율이 30~40% 선대에까지 이르렀으며, 이러한 현상은 경제성장속도를 감안한 지속적인 전력설비 확보를 오히려 저해하는 요인으로 작용, 현재는 극히 불안한 예비율을 보유하는 긴박한 상태에 이르게 되었다.

그럼에도 불구하고 정보화사회의 성장과 지속적인 경제성장을 뒷받침하기 위한 양질의 전력공급의

요구는 막대하게 증가하고 있으나 반원전 운동과 NIMBY(NOT IN MY BACK YARD) 현상의 심화로 설비증가계획은 부지확보단계에서부터 많은 난관에 봉착되고 있고 <표 2> 정비기간 단축을 통한 발전설비 이용률 향상으로 원자력발전의 경제성을 제고하여 반핵론자들의 「원자력발전의 비경제성」 주장에 대해 적극 대항할 수 있도록 하는 한편, 기확정된 계획에 의한 신설 발전소의 급증으로 운전 초기 정비물량 역시 큰 폭으로 증가하고 있어 어느 때보다도 효과적인 정비가 요구되고 있다.

본 발표문에서는 이러한 국내 전력산업환경에 대처하기 위한 일환으로 한국에서의 원자력발전소 계획예방정비 시행실적을 간략하게나마 분석해 보고, 특히 울진원자력 1, 2호기에 대한 계획예방정비 시행경험을 중심으로 기존 발전소의 가동률 및 이용률 증대를 위한 계획예방정비공기 최적화 방안을 제시하고자 한다.

경험분석

1. 한국의 원자력발전소 계획예방정비 프로그램

한국의 원자력발전소 계획예방정비 프로그램을 설명하기에 앞서 간단히 한국에서의 발전설비 계획예방정비 시행체제를 먼저 설명하겠다.

우리나라는 한국전력공사(KEPCO)가 발전설비운영 및 예방정비 계획을 총괄 주도하고 있으며 이 계획에 의하여 선정된 기계, 전기

〈표 2〉 발전설비 및 발전량 구성비

(단위: %)

구 분	발 전 설 비			발 전 량
	89	90	91	
원 자 력	36.3	36.2	36.1	47.5
화 력	52.6	52.6	52.3	48.3
수 력	11.1	11.2	11.6	4.2
계	100	100	100	100

900MW급 6기 및 중수로 600MW급 1기 등 총 9기가 운전중에 있으며, 이들 발전소가 시행한 계획예방정비 횟수는 〈표 3〉에서 보는 바와 같이 총 54회에 이른다.

이를 노형별로 정비규모를 고려하지 않은 공기를 살펴보면 경수로 600MW급의 경우는 평균 1회 72일 소요되고 900MW급의 경우는

부문만의 설비유지, 정비를 한국전력공사의 전액출자에 의해 설립된 한국전력보수주식회사(KEPOS)가 담당하고 있다.

현재는 한국전력공사에서 원자력법, 전기사업법, FSAR 등의 법적요건하에서 증장기 설비운영 기본방침 및 방향을 설정하고 이에 따라 ASME, NUREG 등의 규격, 지침과 INPO, EPRI 등의 관련정보 및 기기별 정비, 운전이력 등을 기초로 원자력 안전성을 최우선으로 한 정비계획수립 및 설계를 역시 한국전력공사가 주도하고 한국전력보수(주)가 지원 참여하여 작성한 후 한국전력보수(주) 책임하에 기기별 단위시행공정, 방법, 절차, 시방, 소요자재, 장비, 인력 등 세부 정비시행계획이 수립된 후 품질제고차원의 정비가 시행되며 결과에 대한 기록, 평가, 분석이 한국전력공사, 한국전력보수(주)간에 이루어지며 여기서 생성된 모든 자료는 다음 계획예방정비로 피드백되어지는 절차로 각 발전소 호기별 계획예방정비가 시행되고 있다.

1978년 4월에 상업운전을 개시한 고리 1호기를 시작으로 하여 현재는 경수로 600MW급 2기,

〈표 3〉 한국 원전 계획예방정비공사 시행공기 현황

(단위: 일)

연차 호기	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	고리 1 PWR 587MW	68 (78)	48 (79)	72 (81)	64 (82)	59 (83)	89 (84)	80 (85)	66 (86)	178 (88)	107 (89)	88 (90)
고리 2 PWR 650MW	54 (84)	59 (85)	47 (86)	59 (87)	65 (88)	58 (90)	52 (91)	52 (92)				
고리 3 PWR 950MW	77 (86)	70 (87)	73 (88)	65 (89)	66 (90)	66 (91)						
고리 4 PWR 950MW	75 (87)	70 (88)	68 (89)	65 (90)	68 (91)	62 (92)						
영광 1 PWR 950MW	70 (87)	79 (88)	67 (89)	52 (90)	56 (91)							
영광 2 PWR 950MW	70 (88)	79 (89)	80 (90)	54 (91)	62 (92)							
울진 1 PWR 950MW	98 (90)	70 (91)	46 (92)									
울진 2 PWR 950MW	73 (90)	48 (91)										
월성 1 PHWR 678.7MW	61 (84)	21 (84)	64 (86)	64 (88)	28 (89)	42 (90)	30 (91)					

주) (): 시행년도

평균 1회 67.7일이 소요되었으며, 울진 1, 2호기만의 경우는 67일, 특히 울진 1호기는 71.3일, 2호기는 60.5일의 실적을 보여 후속호기 일수록 공기가 감소되는 경향을 알 수 있다(중수로는 언급 생략).

2. 울진 1, 2호기 계획예방정비 프로그램 및 시행경험

이어서 울진 1, 2호기에 대해서 살펴보기로 하겠다.

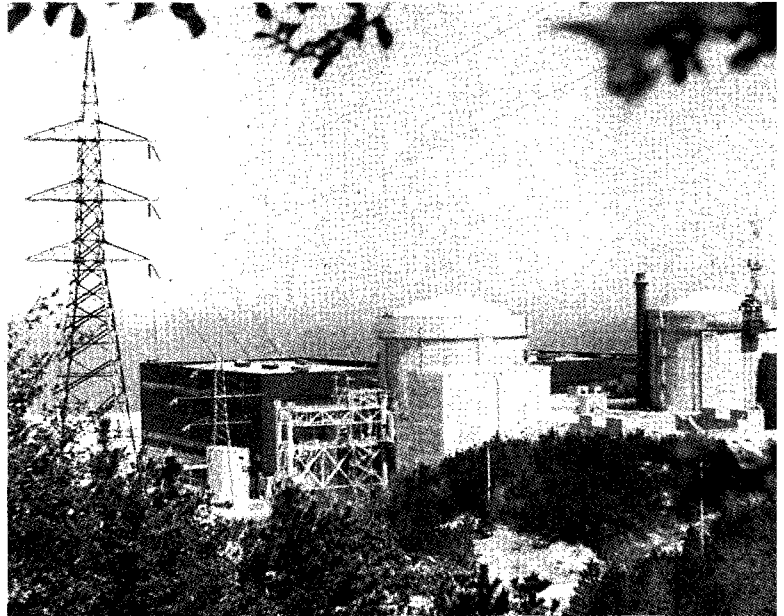
울진 1, 2호기는 발전용량이 950MW인 경수로형으로서는 1호기는 1988년 9월10일, 2호기는 1989년 9월30일에 상업운전을 개시한 이래 앞의 <표 3>에서 언급한 바와 같이 각각 3회, 2회의 계획예방정비를 시행하였다.

시행에 따른 투입인력을 전체 횟수를 대상으로 살펴보는 것은 생략하고 각 호기별로 최근 시행분에 대해서만 살펴보면 <표 4>, <표 5>와 같다.

다음은 좀더 구체적으로 울진 1, 2호기 계획예방정비 시행공기와 정비내용을 살펴본 후 자체분석한 공기단축요인을 설명하겠다.

계획예방정비를 시행함에 있어 가장 중점 관리하는 목표는 무엇보다도 원자력 안전성과 정비품질제고이다. 아무리 공기를 단축시켜가동률 및 이용률 향상을 도모한다 할지라도 불시정지 및 돌발적인 설비사고 등이 발생하는 것은 방지하여야 하기 때문에 전 종사원이 가장 중점적으로 관리하는 항목인 것이다.

이를 위해서 소그룹 책임정비조 편성운영에 의한 책임정비 의식 고



<표 4> 울진 2호기 제 2차 계획예방정비 인력투입현황

(단위 : MD)

구 분	계 획	실 적	비 고
한 전	14,402	15,680	정비관련부서 및 직영정비인력 * 증가원인 : 계획수정
한 보	18,892	18,228	기계, 전기 정비인력
기 타	9,268	9,177	계측도급인력 및 외국인 등
합 계	42,922	43,085	1일 평균 : 880명 한 전 : 320명 한 보 : 372명 기계 : 247, 전기 : 85, 기타 : 40

<표 5> 울진 1호기 제 3차 계획예방정비 인력투입현황

(단위 : MD)

구 분	계 획	실 적	비 고
한 전	17,930	15,322	정비관련부서 및 직영정비인력 * 감소원인 : 공기단축
한 보	18,572	19,044	기계, 전기 정비인력
기 타	5,841	3,797	계측도급인력 및 외국인 등
합 계	42,343	38,163	1일 평균 : 830명 한 전 : 333명 한 보 : 414명 기계 : 274, 전기 : 95, 기타 : 45

취과 중요기기에 대한 한국전력공사, 한국전력보수(주) 관리자의 입회점 설정운영과 고품질 자재 및 예비품의 사전확보 등을 노력하고 있다.

두번째 추진목표가 바로 공기단축이다.

물론 정비품질 제고와 공기단축이라는 두 마리 토끼를 쫓는다는 것이 결코 쉬운 일이 아니다. 이를 위해서는 먼저 종사자 전원의 투철한 의식과 의지력이 요구되기 때문에 시행자, 즉 한국전력보수(주)가 자체 목표공기를 설정 운영하는 독려방법을 강구하는 한편 운전중 정비항목(복수기 진공펌프 외 30여 항목)에 대한 사전정비를 시행함으로써 약 10%의 물량감소효과를 거둘 수 있었으며, 고정 및 이동형 정비편의설비의 지속적인 보완, 공기구합의 전진배치, 생력화 장비활용의 확대 및 SPARE PARTS의 전진배치 등을 실시하고 있다.

또한 기기별 세부시행 항목별로 공정관리 프로그램을 개발, 각종 공정관리 데이터를 입력후 계획 및 실행 공정률을 매일 출력하여 효과적인 관리자료로 활용한 것도 공기단축에 크게 기여하는 요인이 되고 있다.

각 호기별 최근 시행된 계획예방 정비 공기단축요인을 간단히 살펴보기로 하겠다.

(1) 잘된 점

- ① 사전정비 실시 및 준비철저
- ② 온라인 MAINTENANCE 가능항목 사전정비
- FASR Tech. Spec상 관련이 없는 기기를 선정하여 수행(복수기

진공펌프 외 30여 항목, 약 10% 물량감소효과 거둠)

- ④ 정비편의설비 보완
- 터빈본체 주변 인양 및 고정발판, AUX 계통 주변 인양 및 고정발판 설치 등

- ⑤ 공기구합 및 작업대를 호기별, 주요기기별로 현장 전진배치

- ⑥ 계획예방정비 착공 6개월전 준비계획 수립운영

- ⑦ 장비 사용전 점검 철저
- ⑧ 종사자 전원의 공감대 형성을 위한 공사설명회 개최

공사개요, 회사 수행지침 및 전회 문제점 분석 내용 등

- ② 생력화 공기구 및 개선정비기법 최대 활용

- ⑦ VALVE GLAND PACKING EXTRACTION TOLL 외 다수

- ④ TBN ALIGNMENT 개선기법 적용

PRE-ALIGNMENT CHECK DATA를 기초로 TBN 점검기간중에 BRG SHIM 조정을 완료하여 주공정 단축효과 거둠

- ④ RCP BACK SEAT 사용정비기법 적용

원자연료 공정과 무관하게 수행함으로 RCP 공정의 CRITICAL화 방지 및 정비품질 제고

- ⑥ CORE PROTECTION COVER 제작 활용

원자로헤드 역할을 대신하여 피폭저감효과를 가지면서 Rx VESSEL의 STUD HOLE CLEANING 효과를 높일뿐만 아니라 연료검사기간중 STUD HOLE CLEANING 병행작업을 수행함으

로써 주공정단축 가능

- ⑥ LLRT 장비개발 및 BLIND FLANGE 제작으로 설치제거방법을 개선활용

시험을 위한 수압형성이 신속하고 정확하므로 인력절감 및 공정단축 효과도도 가능

- ⑥ GLAND PACKING 압축성형시공 활용

팩킹을 설치전에 압축성형하여 사용함으로써 작업효과 및 밀봉, 내구성 향상

③ 공정관리

- ⑦ 시공자인 한국전력보수(주) 자체 목표공기 설정 및 공사참여자의 목표공기 달성, 공감대 형성 노력(조별 목표공정표 제공)

- ④ 단위정비 항목별로 공정률을 산출, 전산화하여 운영함으로써 주공정 대비 지연된 보조공정의 CRITICAL화 방지

④ 운영

- ⑦ 단순노무분야에 대한 하도급 시행

COND. ECT, S/G ECT, ISI 보조 등

- ④ 원자연료 재장전 3조(10명/조) 2교대 24시간 운영, TBN 정비 3조(18명/조) 2교대 24시간 운영으로 계속작업 실시

- ④ 돌발된 주공정 문제점(LP TBN EXTRACTION LINE EXPANSION JOINT 파열)에 대한 한국전력공사와 한국전력보수(주) 간 긴밀한 협조 및 24시간 근무

- ⑥ 경험축적에 의한 문제해결능력 신장 및 생산성 향상 도모

시운전 정미시 근무인원의 70%가 상주인력으로 공사참여

〈표 6〉 올진 1, 2호기 계획예방정비 시행기간

구 분		1 호 기	2 호 기
1 차	기 간	89. 10. 15 ~ 90. 1. 20	90. 9. 15 ~ 90. 11. 26
	계획 / 실적	99일 / 98일	77일 / 73일
2 차	기 간	90. 11. 18 ~ 91. 1. 26	91. 10. 18 ~ 91. 12. 5
	계획 / 실적	74일 / 70일	63일 / 48일
3 차	기 간	92. 2. 22 ~ 92. 4. 8	10월 실시중
	계획 / 실적	63일 / 46일	계획 : 50일

〈표 7〉 올진 1, 2호기 계획예방정비 주요 정비내용

구 분	1 호 기	2 호 기
1 차	<ul style="list-style-type: none"> ○ A급 공사정비사항 ● 원자로 HEAD 고착 스테드볼트 2개 제거 ○ 격납용기 종합누설률 시험 / 건전성 시험 ● 고압터빈 손상 고정익 정비 ● #1, 2, 3 저압터빈 후방 2단 동의 교체 	<ul style="list-style-type: none"> ○ A급 공사정비사항 ○ 격납용기 종합누설률 시험 / 건전성 시험 ● 고압터빈 손상 고정익 정비 및 1, 2단 고정익 교체, 1단 BLADE 교체 ● #1, 2, 3 저압터빈 후방 2단 동의 설치
2 차	<ul style="list-style-type: none"> ○ C급 공사정비사항 ○ 원자로냉각재계통 수압시험 ● 원자로 HEAD 고착 스테드볼트 1개 제거 ● 고압터빈 분해, 점검 - 1, 2단 고정익 교체, 캐리어링 가공 - 진동분석 스트레인 게이지 설치 ● 고압터빈입구배관 엘보우 1개 교체 ● #1, 2, 3, 저압터빈 후방 2단 동의절단 	<ul style="list-style-type: none"> ○ C급 공사정비사항 ○ 원자로냉각재계통 수압시험 ○ 노내 핵계측기 손상안내관 교체 ● 고압터빈 분해, 점검 - 5단 고정익 교체 ● 고압터빈 조절밸브 개조 ● #1, 2, 3 저압터빈 완전분해, 점검 - #2 전방 2단 128번 동의 교체
3 차	<ul style="list-style-type: none"> ○ C급 공사정비사항 ● 고압터빈 분해, 점검 (5단 고정익 교체) ● 고압터빈 조절밸브 개조 ● #1, 2, 3 저압터빈, 발전기 완전 분해 점검 ● 저압터빈 추기배관 신축관 파열부분 4개 교체 ○ 발전기 밀봉유 공급관 파열부분 교체 ○ 고압전동기 7대 외주점검 	

⑤ 영구정비 편의시설 DN수 Rx EQUIPMENT HATCH GANTRY CRANE 외 호기별 170여종

(2) 미흡한 점.

① 사전준비단계

② 필요자재의 사전확보 미흡으로 적기시공 저해 및 인력손실 초래 우려

③ FUEL TRANSFER CAR SYSTEM의 AIR MOTOR ④ 발전기 밀봉유 계통의 FLEXIBLE HOSE 등

⑤ 사전준비기간 불충분으로 원자연료검사 개선기법 미활용 원자연료 이송단계에서 연료 4면을 동시 촬영하여 만든 VIDEO TAPE으로 연료검사를 수행하는 기법을 제안, 시제품을 제작하였으나 미활용하여 공정단축에 기여치 못함(92년 10월 2호기 3년차 계획에 예방정비 공사시 활용 예정)

② 시행단계

③ 원자연료 취급장비의 잦은 고장

④ 정상정비 가능설비가 계획에 방정비 항목으로 설정

1차측 기기냉각수용 열교환기 등

최적공기 설정

운전경력이 짧아 아직은 계획에 방정비에 대한 표준 프로그램을 설정하기는 다소 무리가 있겠으나 그간의 경험을 바탕으로 올진 1, 2호기에 대해서 〈표 8〉, 〈표 9〉, 〈표 10〉과 같은 정비주기와 공기 및 정비내용을 설정해 보았다.

설정된 공기를 성공적으로 준수

하여 소기의 목적을 달성하기 위해서는 정비항목 및 범위 결정단계, 준비 및 정비방법 결정단계, 공정 계획 및 준비상태 확인단계, 시행 단계, 시험 및 가동단계, 정비후 기술정산단계 등 6단계로 구분하여 사전계획을 철저히 수립함이 요구되며, 시공단계에서는 관리감독자의 현장확인 제일주의에 기초한 관

리체제의 확립, 고장 재발기기의 원인추적 및 방지책 강구를 위한 단위정비조 책임정비시행체계 확립, 공정관리 전산화 운영에 의한 공정관리 철저, 정비조별 품질책임제 실시 및 검사기능 강화에 의한 정비품질관리 향상, 노력 등이 공시시작부터 마칠 때까지 지속적으로 유지되어야겠다.

<표 8> 울진 1, 2호기 정비주기

연 차	1	2	3	4	5	6	7	8	9
등 급	A	B	C	C	B	C	C	A	C
비 고 (한 전 표준주기)	C	B	B	C	C	B	C	C	A

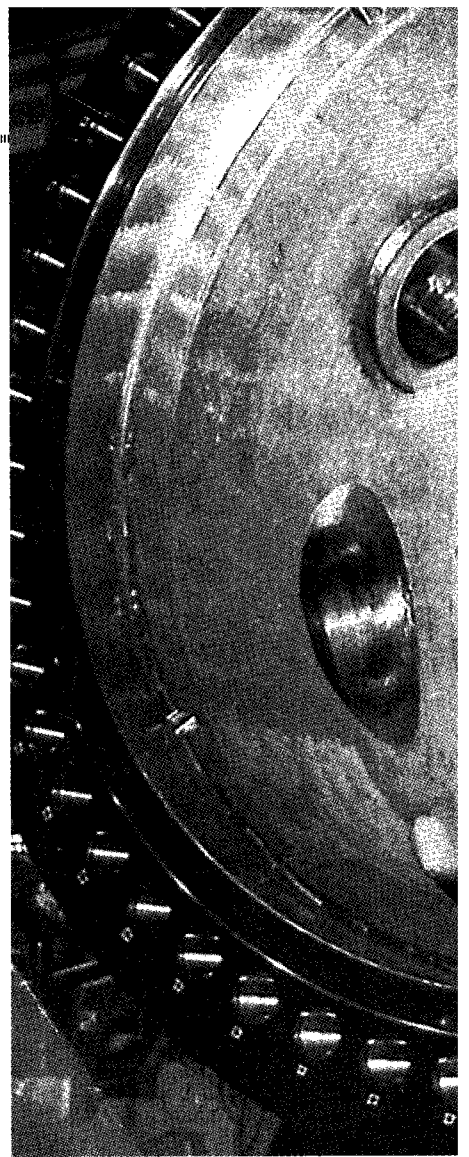
주) 원자연료 교체주기 : 12개월

<표 9> 울진 1, 2호기 정비 내용

등 급	A	B	C	비 고
공 기	70일	55일	50일	목표공기
비 고 (한전표준공기)	75일	60일	53일	

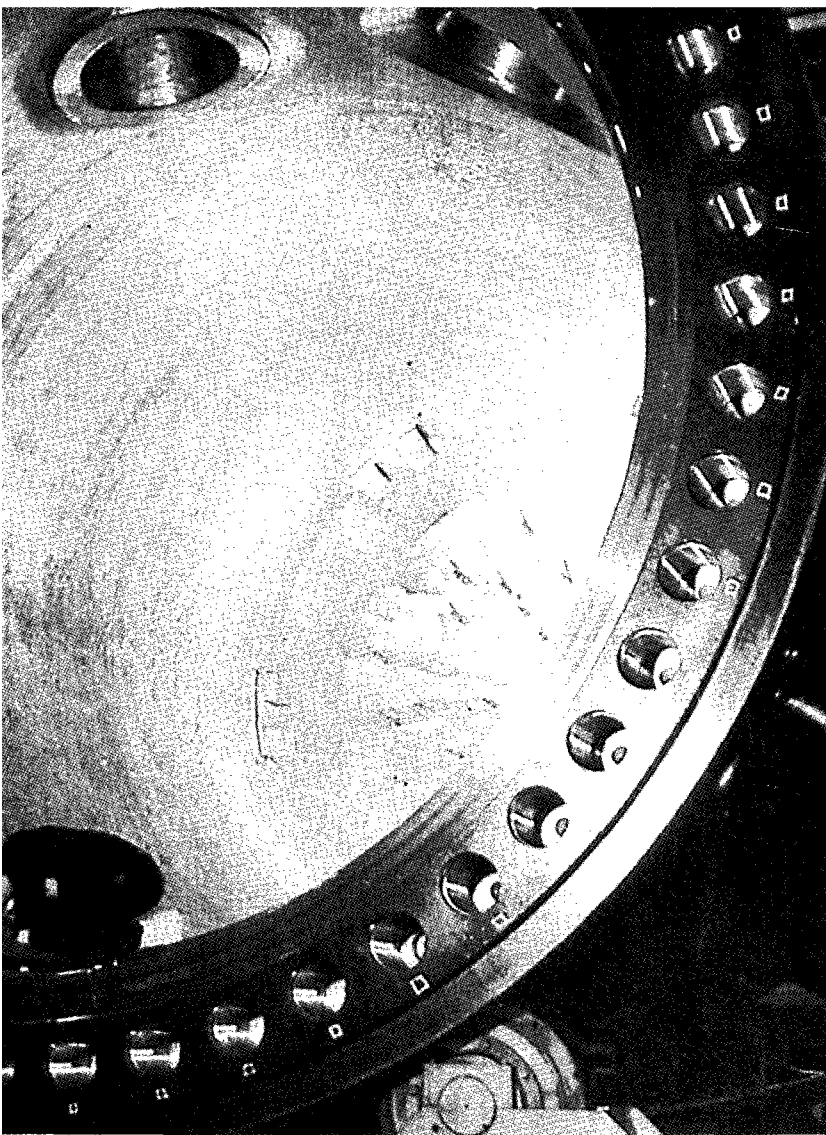
<표 9> 울진 1, 2호기 공기

등 급	정 비 구 분	주 요 정 비 내 용
A 급	대 형 정 비	<ul style="list-style-type: none"> ○ B급 정비 ○ 원자로용기 하부 가동중 검사 ○ 격납용기 종합누설률 시험 ○ 터빈, 발전기 완전분해, 점검
B 급	정 밀 정 비	<ul style="list-style-type: none"> ○ C급 정비 ○ 원자로용기 상부 가동중 검사 ○ 격납용기 종합누설률 시험 ○ 대형 전동기 / 펌프 점검
C 급	보 통 정 비	<ul style="list-style-type: none"> ○ 원자연료 재장전 ○ 발전설비 점검 / 정비계획서상의 당해년도 점검항목 ○ 발전정지 정비항목 ○ 설계변경 정비항목 ○ 국내의 타발전소 경험반영 정비 ○ 중형 전동기 / 펌프 점검



또한 더욱 근본적으로 중요한 것은 각종 공사여건의 과감한 조성이다. 먼저 인력면에서 생각해 보면, 설비 시운전정비 참여인력을 최대한 확보할 수 있도록 이동 및 조직 변동 등을 억제하고 이의 뒷받침을 위한 사택의 충분한 확보와 각종 복지향상방안 등을 마련하는 한편 평생직장으로서의 의식고취교육 및 전문분야별 실기교육 기회의 충분한 부여와 소그룹 정비전문조 편성, 운영과 협력업체 육성을 적극 추진하여야겠다.

아울러 정비공간을 최대한 확보



구비되어야겠다.

결 론

서론에서도 언급한 바와 같이 현재 한국의 전력산업환경은 그야말로 「위험예비율시대」라고 이름지어 부를 정도로 심각한 국면에 처해 있다.

이러한 시점에서 한국전력보수(주)가 기여할 수 있는 길은 오직 기존 발전설비의 가동률 및 이용률 증대기반 조성이라는 것으로 귀결되어져 오늘도 4,000여 전사원이 원자력 9개 호기, 기력 42개 호기, 수력 21개 호기의 정비를 위해 노력을 하고 있다.

표제의 최적화 공기의 개념은 원자력 안전성 확보를 전제로 한 1주기 무고장 연속운전을 가능케 하며 동시에 이용률을 극대화시킬 수 있는 양면성을 충족시키는 정비 및 각종시험 시행 소요기간을 의미하는 것이며, 종래의 노형 및 규모별로 획일적이고도 답습적으로 공기를 설정하던 방법을 지양하고 호기별 정비규모 및 여건을 감안한 공기설정이 바람직할 것으로 사료된다.

본 주제에서 제시된 공기 최적화 방안이 물론 많은 미흡함을 안고 있지만 좋은 결과를 얻을 수 있도록 전직원이 배전의 노력을 경주할 것이며, 아울러 관련기관의 제도적, 운영적 측면에서 아낌없는 지원으로 전력의 안정적 공급 목적을 이룰 수 있기를 기대하는 바이다. ■

해야겠다. 건설 때부터 정비경험이 반영되어 우수한 설비선택 및 기기의 합리적 배열로 정비공간을 최대화하고 정비편의설비의 근본적 구비와 지속적인 보완이 이루어지는 한편 POWER BLOCK 내 유휴공간을 최대한 이용하여 정비관련 기자재를 효율적으로 운용하며, 1차 측에 대한 GAS, 윤활유 주입, S/G ECT 및 LANCING 등을 위해 PENETRATING SLEEVE를 충분히 확보하는 등 정비여건을 계속해야겠다.

또한 앞에서도 언급한 바와 같이

공기구함 및 작업대와 소요자재류의 전진 고정배치 및 기자재의 국산화, 예비품의 충분한 확보, MOCK-UP 훈련장비 확충과 생력화 및 자동화 장비의 과감한 확보 등이 아울러 이루어져야겠다.

특히 정비계획, 시행, 지원 및 자재공급부서 등 모든 정비관련부서 위치는 POWER BLOCK 내의 설비 최근거리에 집중 배치되어야겠고, 공작실, 용접실, 보온실, 공기실, 주유실, 도장실 등 정비원 근무공간의 확보 및 편의운영체제가