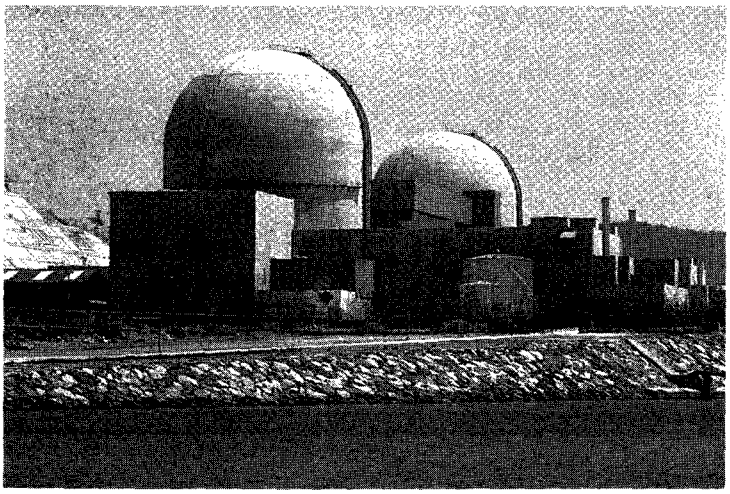
원전 이용률 세계1위 달성 & 원전운영

영광 원자력발전소 1호기



영광원전 1호기는 미국의 「Nucleonics Week」誌 2월 6일자호가 94년 1년간의 운전실적을 집계한 조사에서 연간 이용률 103.2%를 기록, 이용률 세계 1위를 기록했다.

올해부터 WTO 체제의 출범과 더불어 지구촌의 모든 기업은 무한경쟁시대에 돌입하였다.

전세계가 국경없는 하나의 사회로 재편되면서, 경쟁력 우위확보만이 세계화의 거센 물결을 헤쳐나갈 수단이며 확실한 미래를 보장할 수 있는 방법이 된 것이다.

미국의 유수한 원자력산업 기술전문지인 Nucleonics Week(95년 2월 6일자)는 현재 가동중인 세계 원전 415기중 이용률 순위 50기를 발표하면서, 영광 1호기가 세계 1위를 기록하였다고 발표하였다.

이용률은 발전설비의 운영능력을 나타내는 지표로서 일정기간의 시설용량당 발전량의 백분율을 의미하며, 이번 세계 1위를 차지한 영광 1호기 이용률은 103.02%, 2위는 미국의 Callaway 발전소로 100.37%였다.

이것은 지난 1993년도에 월성 1호기 이용률이 100.81%로 세계 1위를 차지한 데 이어 새로운 기록을 창출한 것이다.

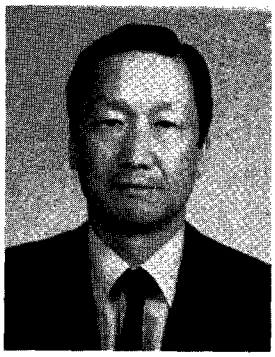
이는 우리의 원전 운영기술이 세계적 수준임을 대내외에 알렸을 뿐 아니라, 원자력에 대한 국민의 신뢰감 조성과 해외 전력산업 진출에도 크게 이바지할 수 있을 것으로 생각된다.

한편 최근의 전력 수급현황을 살펴보면 1994년도 국내 판매전력량은 1,466억3천만kWh로 잠정 집계되고 있다.

이것은 전년대비 14.8%의 높은 증가율을 나타낸 것으로, 주요인은 급속한 경기회복과 유례없는 무더위로 90년 이후 가장 높은 기록이다.

에너지수요는 일반적으로 경기동향에 크게 좌우되지만, 최종 에너지소비중 전력비중은 석유위기 이후에도 경기여하에 관계없이 계속해서 확대되고 있어 우리는 매년 여름을 살얼음 밟는 기분으로 맞이하고 있다.

지난해의 전력수급 사정은 대용량 화력발전소 준공 등으로 약 335만



허 숙
한국전력공사
영광원자력본부 본부장

kW의 공급능력이 추가되어 예비율에 다소 여유가 있을 것으로 예상되었으나 유례없는 폭염 등에 기인한 사용량 증대로 전력예비율이 지난 10년 이래 연일 최저치(2 ~ 3%)를 맴돌아 전력수급의 긴장감이 정점에 달하였다.

향후 정보사회화 및 공장자동화가 가속화됨에 따라서 전력편중화(SHIFT)는 한층 심화될 것으로 생각된다.

이러한 전력소비의 급격한 증가와 향후 추이를 예측해 볼 때 2002년부터는 전력수요 피크가 4천만kW를 넘게 되어 현재와 같은 운영체제 및 제도로서는 전력수요증가에 부응하기 어려울 것으로 예상된다.

전원관리 전반에 걸쳐서 현행 운영방식의 부분적인 개선보다는 각 부문별로 독창적이고 창의적인 혁신이 요구되고 있는 실정이다.

영광 1호기가 이용률 세계 1위라는 업적을 달성하는 데는 이희성 제1발전소장을 비롯한 전간부 및 직원들의 정성어린 노력의 결과임을 강조하고 싶다.

이와 같은 배경에서 세계 최우수 발전소를 만들어 가고 있는 영광원전의 운영개선사례를 소개함으로써 다가오는 21세기의 「전력사업 경쟁력 강화」 활동의 촉진제가 되고 향후 전력문화를 꽃피우는 밑거름이 되고자 한다.

영광원전의 개요

영광 1 · 2호기는 시설용량 190만 kW(95만kW × 2기)의 가압경수로형으로서 원자로 · 터빈발전기 등 주기기의 공급 및 설계는 미국의 웨스팅하우스사 및 벡텔사가, 국산기기의 제작 및 설치 · 시운전은 국내 기술진이 담당하였으며, 초창기의 국내 원전경험 등이 많이 반영된 국산화율이 높은(35%)발전소이다.

1986년부터 상업운전에 들어갔던 1호기는 현재 8주기운전을 마치고 금년 3월부터 연료재장전에 착수할 예정이며, 또한 2호기는 1994년 6월 23일 계획예방정비후 발전을 시작하여 현재까지 무정지 안전운전중에 있다.

입지환경면에서 서해안의 해수냉각수 영향을 고려해 볼 때, 수심이 낮고 간만의 차가 커서 취수구 토사유입량과 온배수의 온도 등으로 관련 펌프 및 열교환기 성능관리에 어려움이 있었으며, 설비보수비의 약 40%가 이곳에 소요되고 있다.

보조설비 측면에서는 현장 작업기능과 능률이 충분히 고려되지 않아 해수계통 및 터빈 보조기기 시설물에 정비 편의시설 부족 등이 있었2다.

상업운전 이후 점진적인 설비개선 작업을 통해 점차 보완되고 있다.

영광원전 부지에는 1 · 2호기 외에 한국표준형 원전의 모델인 시운전중인 3 · 4호기와 1995년말 착공을 눈앞에 둔 5 · 6호기가 있어 이들 6기가 가동될 때는 국내 최대 원전단지가 될 것이다.

한편 PA 측면에서는 한때 격심하던 반원전 운동이 약간 수그러졌으나 원자력에 대한 지역주민들의 불만은 여전히 남아 있다.

따라서 순조로운 발전설비 건설 및 운영관리를 위해서는 상호간의 의견 및 비판들을 수용하도록 노력해야 한다.

함께 지혜를 짜모아 생산성 있는 지역협력사업(온배수 양어장 운영 등)을 운영해 나가는 등 반원전 비판여론들을 기술개발과 설비운영개선의 촉진제로 삼아야 하며, 3 · 4호기의 운영과 신규 5 · 6호기의 건설을 수용하는 지역협력체계가 요구되는 상황이다.

발전소의 운영현황

영광 1호기는 1986년 8월 25일 상업운전을 시작한 이래, 금년 2월 현재로 총발전량이 약 604.9억kWh, 누계설비이용률 85.32%의 좋은 실적으로 매년 국내 원전 총발전량의 약 15%를 담당하고 있다.

지난 3년간의 평균이용률은 91.43%로, 이는 국내 원전중 1위, 세계 원전중 5위에 해당된다.

제7주기 운전기간동안(1992. 10. 17~1993. 11. 7)에는 연료재장전후부터 다음 재장전시까지 395일간을 무정지 연속운전으로 국내 최장기 무정지 안전운전을 달성하여 저예비율 시대의 전력수급안정에 크게 기여한

바 있다.

시운전 이후부터 1990년대 초반까지는 거의 매년 계획정지(간이)보수를 실시하였다.

그 이유는 계획예방정비후 불량개소 발생과 설비운영 경험부족에 따라 경미한 문제점을 사전에 보수하기 위해서였다.

주요대상은 안전성과 직접적인 관련이 없는 밸브 패킹 누설 및 보조기기 동작불량 등이었다.

그러나 계획예방정비 품질이 향상되고 경험이 축적됨에 따라 간이정비를 없앴고, 그 결과 연속운전일수와 이용률이 크게 향상되었다.

고질적인 비정상경보 및 문제점들은 매월 개최하는 설비개선회의를 통해 분야별로 10여건씩의 기술검토가 수행되어 현장에 반영함으로써 불시정지 요소 및 이용률 감소요인이 원천적으로 제거되어 전계통의 안전운전에 지장이 없도록 예방조치하고 있다.

일상보수를 요하는 누설 · 진동 · 이음 등은 간부 현장순시 및 예방점검을 통해 예지되고 수시로 경상보수하여 사소한 이상징후가 큰 고장을 유발하지 않도록 미연 방지활동을 강화하고 있다.

표 1과 같이 점진적인 이용률의 증가실적은 첫째, 연료주기 조정에 따른 출력운전의 증가 및 고장정비를 위한 간이정지보수 횟수 등을 감소시키는 요인과, 둘째, 정비불량 · 기기결함 및 인적실수에 따른 불시정지 등 비계획적 이용률 감소부문에 대하여 그 원인을 세밀히 분석(Root Cause Analysis)하고 한정된 에너지자원을 효율적으로 이용하겠다는 전력인의 신념이 응집된 운영관리 개선의 결과라 할 수 있겠다.

〈표 1〉 영광원전 운전현황

항 목	호기	'87 ~ '89	'90	'91	'92	'93	'94	누 계
이 용 률(%)	1	177.9	86.5	83.9	86.8	84.5	103.0	85.0
	2	75.1	74.9	84.2	80.6	86.9	89.4	82.0
고장정지(건)	1	8	2	1	1	0	1	13
	2	7	1	2	3	2	0	15
간이정비(건)	1	1	0	0	0	0	0	1
	2	2	2	0	0	1	0	5

이용률 향상의 의의와 운영개선

1. 이용률 향상의 의의

발전소 이용률(Availability)은 경제성 및 안전성과 불가분의 관계가 있으며, 이용률의 향상은 발전소의 생산성을 높여 경제성을 제고시키고, 사고로 진전될 수 있는 과도현상의 횟수를 감소시켜 안전성을 향상시킬 수 있다.

일반적으로 이용률 향상이란, 가능한 높은 출력을 유지하면서 정지함이 없이 오랫동안 발전을 하도록 하는 노력이라 말할 수 있으며, 이는 인간이 높은 정신력을 가지고 사고나 질병없이 긴 수명 동안 일할 수 있는 방법을 모색하는 것에 비유할 수 있다.

정신력 · 노동력은 성장과 교육과정을 통하여 결정되고, 사고나 질환은 의사의 진단과 처방에 의하여 치료되며, 건강장수를 위하여는 일생동안의 신체적 · 정신적 관리가 중요한 인자로 작용된다.

이것을 원자력발전소의 운전기간에 해당하는 기술성으로 정의하여 볼 때 이는 곧 이용률 향상 기술이며, 안전성 · 신뢰성 및 보수성과도 밀접한 관계가 있다.

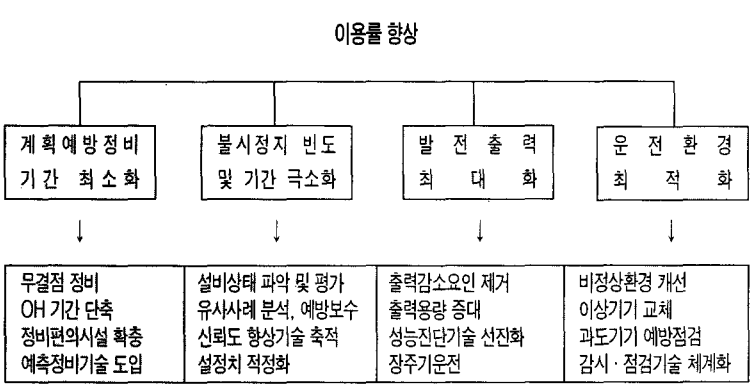
2. 종합 이용률 향상대책

영광원전의 운전성능 개선의 목표를 이용률 향상에 두고 이의 관리기술에 초점을 맞추어 기본과제를 검토한 결과 불시정지 횟수 및 기간감축, 계획예방정비 기간의 최소화, 운전환경의 최적화 및 발전출력 최대화에 주안점을 두게 되었다.

목표달성에 영향을 주는 세부과제는 표 2와 같다.

표 2와 같이 분류된 선정과제는 발전소 안전운영관리를 위해 출력운전중은 물론 계획예방정비 기간에도 설비의 효율적 성능관리를 위해 필수적인 것이다.

〈표 2〉 원전 이용률 향상을 위한 세부과제



그러나 출력운전 상황이나 투자예산·기술능력 등 여러가지 여건을 감안해 볼 때, 모든 항목을 똑같은 비중으로 다루는 것보다는 현재 발전소 상황에서 필요한 항목을 선정하고 이에 대해 모든 종사자들의 집중적인 노력과 각별한 관심이 뒤따라야 하겠다.

지난해는 영광 1호기가 장주기(18개월) 연료장전으로 인해 매년 정기적으로 수행해오던 60여일간의 계획예방정비 작업이 없었던 관계로 발전 이용률과 가동률을 극대화할 수 있는 좋은 기회로 삼을 수 있게 되었으며, 또한 전력수요의 급성장에 대비하여 발전설비 운전환경의 최적화는 필수적인 관리대상이 되었다.

3. 단일목표 지향 운영관리

발전소는 양질의 전기를 값싸게 만들어 공급해야 하는 생산공장이다.

아무리 잘 만들어진 설비라도 연속가동시에는 기기나 부품의 열화 및 손상이 생기기 때문에 설비성능 관리는 생산성 향상을 위한 관리업무중 가장 많은 관심을 두어야 함이 마땅하다.

예를 들어 평소 1개 부서의 1년간 기술행정분야의 문서처리가 3,000여건을 넘는다면 한정된 인력의 효율적인 생산활동은 기대할 수 없다.

따라서 부차적인 관리목표를 과감히 감축하고 설비운전환경 최적화를 위한 △ 계획예방정비의 완전무결점 정비 △ 출력운전중 TR(작업의뢰서) 종결률 95% 이상 유지 △ 비정상 발생 경보 당일 해소 등 단일목적을 부여하여 설비관리업무에 관심을 집중시키도록 하였다.

또한 근무시간의 효율적 활용을 위해 필수적인 규정회의 외의 합동회의는 절반으로 횟수를 감축하였으며, 회의시간도 관련부서간에 의견을 사전조정토록 함으로써 30분을 초과하지 않도록 하였다.

공지사항 및 전달사항은 게시판과 소내방송을 활용하도록 하여 부대업무를 줄이고, 각종 업무보고는 문서보다는 메모나 전화로 처리토록 하는 등 격식보다는 신속하고 능률적인 업무처리에 비중을 두었다.

또한 조직의 활력과 인간중심의 창의력 향상을 북돋우기 위해 발전소 운영에 관련된 모든 건전제안을 부서간의 자발적인 브레인 스토밍식 회의를 통하여 200여건의 현장조치 혹은 업무를 개선함으로써 「무관심을 관심으로」, 「소극적인 사고를 적극적인 활동」으로 바꾸어 나갔다.

이러한 의식개혁 분위기 확산을 위해 △ 대회의실을 과학화 시설로 개조 △ 중·소회의실 확보로 토론회 및 동호인 모임에 상시 공간 제공 △ 정비부서와 운영부서 사무실의 층별 재배치 △ 각종 현황판, 내방객 홍보시설 및 사무실 화분가꾸기로 쾌적한 환경조성 △ 현장 샤워장 및 야외 휴게소 등의 편의시설 확충 등으로 개인의 창의성이 자율적으로 확산되어 전체 조직의 핵심적인 활력소가 되도록 하였다.

4. 설비운영관리 최적화

국내외 운전중인 원전의 고장사례를 분석한 결과 표 3과 같이 약 60%가 설비결함이고 나머지는 인적요인과 직접 관련이 있는 것을 인지하였다.

우선 설비결함이 설비운전환경의 만족여부와 밀접한 관계가 있으며, 부적합한 환경의 개선으로 고장을 감소시킬 수 있음에 착안하여 영광원자력

관리감독자와 전종사자가 발전설비의 운전상태 및 환경에 따라 그동안의 현장경험을 십분 활용, 시의적절하게 설비운전 최적화 활동을 수행함으로써 운전설비의 이용률을 향상시키도록 하였다.

가. 운전환경 개선(7860계획)

발전설비는 2백만종 이상의 다양한 부품들로 구성되어 있어 이들 설비에 적합한 운전환경을 조성하기란 쉬운 일이 아니다.

특히 하절기 고온다습한 기후조건에서는 정상적인 기기도 쉽게 이완·마모·진동 등이 야기될 수 있어 고장발생 가능성이 매우 높다.

그러나 생활수준 향상에 의한 냉방부하 증가 및 기상이변 등으로 하절기에는 오히려 전력수요가 급증하기 때문에 수급안정을 위해서는 먼저 전력공급의 신뢰성을 확보하는 것이 급선무이다.

이같이 매년 되풀이되는 하계 온도취약설비의 이상징후 조기진단 및 조치능력을 체계적으로 정립하기 위하여 7860계획을 수립·운영하였다.

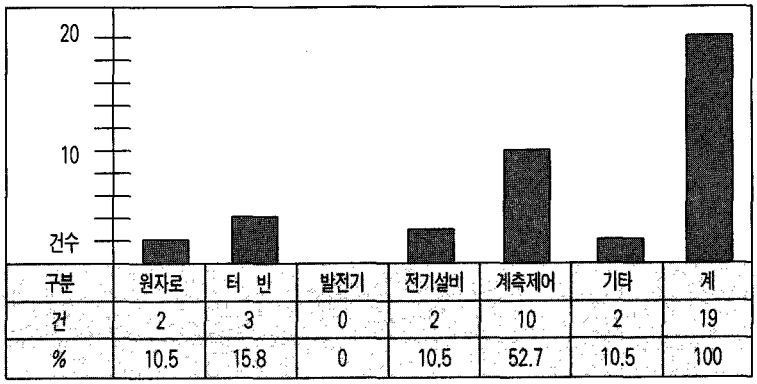
7860계획이란 7월, 8월 60일간을 대비한 계획으로 주요내용을 보면, 첫째, 신뢰성 향상에 중요한 계통의 우선순위를 그림 1과 같이 고장경험분석을 통해 증기발생기 수위제어, 터빈제어 및 제어봉제어 등 온도취약설비들을 선정하였으며, 하절기가 다가오는 1 ~ 2개월 전부터 집중예방점검을 실시하여 설비성능을 정상화시켰다.

〈표 3〉 불시정지 원인요소(INPO)

(단위 : %)

구분 \ 년도	'86	'87	'88	'89	'90	평균
○설 비 결 함	53	57	59	53	58	56
○인 적 결 함						
-운 전 원	21	19	20	19	14	18.6
-I&C	12	11	11	12	11	11.4
○기계·전기	6	9	4	6	9	6.8
-기 타	4	1	1	4	1	2.2
○계 통 외 란	3	2	3	4	6	3.6
○원 인 불 명	1	1	2	2	1	1.4

〈그림 1〉 영광 1호기 설비별 정지건수('86 ~ '93)



구분	원자로	터 빈	발전기	전기설비	계측제어	기타	계
건	2	3	0	2	10	2	19
%	10.5	15.8	0	10.5	52.7	10.5	100

둘째, 발전운전원과 정비부서 담당자로 하여금 이들 취약설비·전자카드 등의 고온발열부위 주변 400여개소에 온도감시용 계기와 점검표를 부착하고, 일일 최고온도와 설비운전 상황을 면밀히 점검토록 하여, 매일 설비운전 이상징후 상태를 조기에 파악토록 하는 등 특별현장점검체계를 운영하였다.

1) 집중 감시대상 분야

① 온도관리 : 발열기기 주변 220개소에 최고/최저 온도계 설치

② 계통운전 : 주급수 조절밸브 구동기 주변온도 외 30개 항목

③ 계측제어 : 보호 캐비넷 No.1외 68개소 내부온도

④ 전기설비 : 주변압기 통전부, 역변환기 발열부위 외 17개 항목

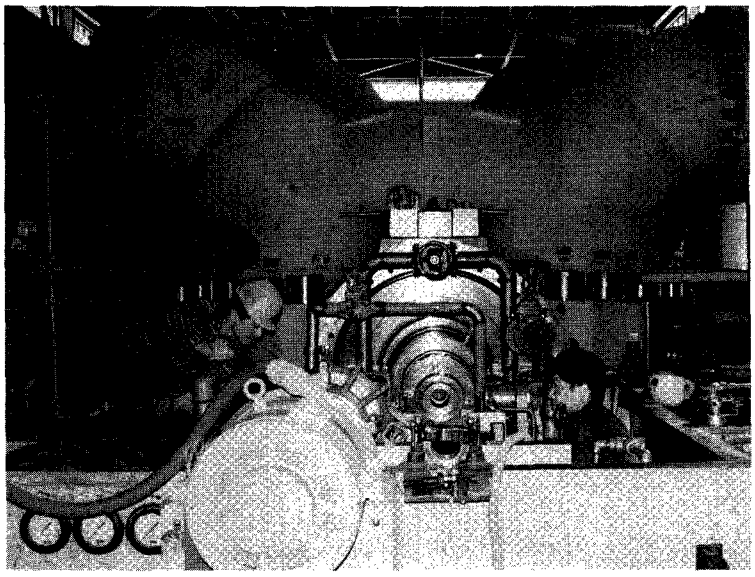
⑤ 기계설비 : 1, 2차 주요기기의 누설·이음·진동 등 운전상태

2) 점검 및 운영방법

① 소장단 1일 4회(8시, 13시, 18시, 23시) 운전상태 파악 및 조치, 현장순시 및 소내 통신설비 활용

② 각 부서장 일일 현장 순시점검 실시(13 ~ 15시)

③ 정비부서 : 일일 현장설비 예방



LP TBN 보수

점검 실시(1주일 주기로 전설비 점검)

④ 운전원 : 교대근무 및 일상근무조 1일 1회 전설비 현장순시

⑤ 진동점검 : 협력업체 한전기공(주) 진동반의 일일진단(전설비 2일 주기진단)

⑥ 비상대기 : 정비부서의 일일야간 대기조 운영

⑦ 운전조작/정기점검 : 사전검토, 시간대 조정 및 상위자의 입회감독 철저

위와 같이 일상점검관리 업무를 정형화하고 책임 및 권한의 상당 부분을 담당부서장에게 위임함으로써 담당자의 창의성을 최대한 발휘토록 점검관리 효율성을 향상시켰다.

셋째, 운전신뢰도 향상을 위한 예방조치로서 취약계통의 설비를 사전점검하여 나타난 문제점을 보완조치토록 한 바, 중앙냉방기 복수기를 산세정하여 전부하운전이 가능토록 하고 계기용 공기압축기, SSILS(Solid State Interposing Logic System) 제어함 등에 냉각용 임시팬을 설치하여 외부온도 이상현상에 대비하였다.

또한 해수 순환수 펌프, 터빈제어유 연결관 및 비안전등급 역변환기들은 매일 진동 및 누설여부를 감시하고 SCR(Silicon Controlled Rectifier) 등 경년이 예상되는 열화부품들을 전량 교체하였다.

상기 하계특별점검을 7 ~ 8월 60여일동안 차질없이 수행하기 위하여 현장의 순시점검업무는 집중적으로 수행하고, 부수적 업무는 과감히 감축하는 합리적인 업무조정활동도 병행 추진하였다.

나. O/H-100 안정운전계획정형화

발전설비의 고장발생시기를 분석해 보면 정상적인 안정운전시보다 과도운전시기에 고장발생률이 훨씬 높으며, 특히 계획예방정비(Overhaul) 직후 3개월 동안에 고장건수의 약 50%가 집중되어 있음을 알 수 있다.

따라서 정비품질과 짜임새있는 공정관리외에 계획예방정비를 완료후 전출력까지 상승시킨 후에도 일정기간 동안의 안정적인 사후관리가 꼭 필요하다.

이에 따른 순시점검 및 부서간의 업무협조를 효율적으로 수행하기 위해 적절한 인력과 시간을 투입하는 O/H(Overhaul)-100일 계획을 수립하여 운영하였다.

점검단계는 두단계로 나누어, 1단계는 계통병입후 30일 동안 설비환경 및 기기 운전상태를 최적화하고 출력부하별로 정비후 운전기기의 이상 유무를 점검토록 하였다.

2단계는 나머지 70일동안 전출력에서의 안정운전 추이를 매일 점검하여 사소한 문제점이라도 현장에서 즉시 조치함으로써, 보수후 전출력 안정운전상태가 지속되도록 하였다.

점검반은 운영부서와 정비부서로 나누어 각 부서별 특성에 맞는 순시점검업무를 담당토록 하였으며 각 점검

반별 현장순시시간은 순차적으로 엇갈리게 하여 안전순시감시체계가 이어지도록 하였고, 일과후에도 정비 및 간부직원의 야간대기제도를 운영하여 긴급정비를 요하는 부문에 즉각 대처할 수 있도록 하였다.

모든 계통의 순시점검 결과는 항목별 점검표에 따라 그 상태를 정상(Good), 보통(Fair), 주시(Weak), 조치(Bad)로 등급분류토록 하여 일일 설비신뢰도를 평가하였다.

다. 설비보호환경 개선

불필요한 발전소 정지를 감소시키기 위해서는 선행호기나 각 계통의 고장이력을 검토하여 문제점에 대해 적절한 설비보강이 이루어져야 한다.

그러나 이러한 개선이 다른 계통이나 운전원의 운전조작에 간섭을 야기시키지 않도록 충분한 기술검토를 거쳐야 하며, 가능하다면 건설 당시에 이루어져야 하나 개선사항은 계속 나타나고 있다.

영광원전의 주요 개선사항으로서 전자회로카드의 고장 및 열화요인 배제를 위해 발열부품은 제어함 상단에 위치시키고 배기용 환풍기를 설치하였으며, 온습도 영향을 줄이기 위해 주제어실, 역변환기 전원장치실 및 기계 공작실 전원함 등에 칸막이를 설치하였다.

기타 부문별 설계변경 작업내용을 간추려 보면 다음과 같다.

1) 기계분야

① 터빈 윤활유 저장조 계단 설치

② 비상 디젤발전기 사다리 경사도 변경

③ VCT 수소가스 공급배관 배수밸브 설치 등

2) 전기분야

① 공기압축기 차단기 제어회로 개선

② 비상 디젤발전기 여자회로 개선

③ 전력계통(AVR) 안정화 장치 설치 등

3) 계측제어분야

① MSIV, MFIV 제어회로 다중화

② 급수/증기 유량계 위치 재배열

③ 충전펌프 베어링 윤활유 온도 경보 신설

④ 터빈 제어유 계통 전력함 고장감시기능 보강 등

5. 계획예방정비 관리 최적화

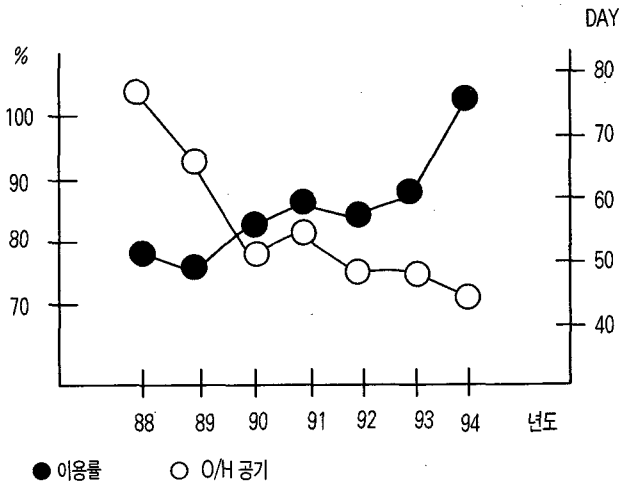
발전소 무정지 안전운전의 지속과 공기단축에 따른 이용률을 향상시키기 위해서는 계획예방정비의 내용 및 정비품질 향상을 위한 완벽한 계획수립과 일사불란한 공정관리가 필요하다.

이를 위한 방법으로는 정비기술 향상, 경상정비의 확대시행, 정비편의시설 확보, 작업방법 및 공정관리 개선 등이 있다.

영광 1·2호기의 자체 공기목표는 50여일의 원전평균 표준공기보다 단축시킨 40일대이며 이용률과 실적공기는 그림 2와 같이 상호 반비례함을 알 수 있다.

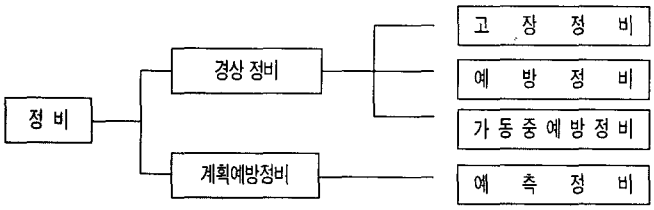
가. 정비관리체계

정비는 운전중 시행여부에 따라서 경상정비, 발전정지보수로 나뉘고 고장발생후에 따라 예방정비와 고장정



〈그림 2〉 평균이용률 대 계획예방정비 실적공기

〈표 4〉 영광원전의 정비관리체계



〈표 5〉 가동중 예방정비 대상기기

구 분	물량(1, 2호기)	정비대상(예)
기 계	1,170	CWP, CCWP, 기타 밸브류
전 기	1,163	펌프모터, 히터, 차단기류
계 기	3,633	각종 전송기 교정 등
계	5,966	-

〈표 6〉 계약자 업무범위

계약자	업무범위	인원(명)
한전기공(주)	기계 · 전기설비 정비 핵연료 재장전 세부 공정표 작성 일시 인력 지원 지입 자재 조달	310
삼창기업(주)	계측제어분야중 비안전성 및 비품질 등급 설비 정비 기타 한전 계측제어부 처리	43
금 강 코 리 아	관리구역 제염 방사성 고체폐기물 처리 관리구역 작업복 세탁	50
한국원자력연구소	가동중 검사 및 증기발생기 ECT 노내 핵계측기 안내관 검사(ECT)	-
동 우 개 발	비관리구역 환경정리 용역	-

비로 구분한다.

영광의 경우는 크게 경상 및 계획예방정비로 나누어 표 4와 같이 운영하고 있으며, 이러한 정비활동은 절차서에 의해서 수행하고 있다.

계획예방정비 기간의 단축 여부는 정비물량에 비례하므로, 제한된 기간과 한정된 인원으로 공기단축과 정비품질을 확보하기 위해서는 계획예방정비 물량을 되도록 경상정비 기간내에 할 수 있도록 하고, 계획예방정비 기간에는 발전정지가 아니면 작업할 수 없는 기기나 종합정밀보수를 위주로 하도록 안배하였다.

특히 장주기핵연료 채택으로 계획예방정비 물량이 증가함에 따라 계획예방정비 항목으로 설정되었던 모든 기기에 대해서 운전중 정비가 가능한 경상정비 여부를 재검토하였다.

1994년에 작성된 「가동중 예방정비 계획서」에 의하면 대상기기는 표 5와 같이 5년계획으로 수립되었다.

이 계획서는 수시 또는 5년주기로 재검토 · 보완토록 하였으며, 반영된 물량은 연간 전체정비물량의 약 20%에 해당된다.

앞으로는 이러한 예방정비체계에서 성능진단 또는 경험을 바탕으로 보다 개선된 예측정비체계로 점차 전환시킬 계획으로 있다.

그 조치의 일환으로 1995년 1월에는 예측정비위원회를 발족하여 활동을 시작하였다.

나. 정비관리체계 확립(Outage Management)

계획예방정비외 전반적인 계획수립과 시행은 한국전력공사 정비부서의 책임하에 수행되고 있다.

정비작업은 협력업체인 한전기공(주), 삼창기업(주) 등에서 맡고 있으나, 기계 · 전기 및 계기설비의 일반적인 정비로 주기기의 정밀보수나 계측설비와 같이 전문지식 및 고급기술을 요하는 설비들의 정비는 대부분 국내외 전문업체에 외주를 의뢰하고 있다.

따라서 원전 정비기술의 확보와 세

계화를 위해서는 자체능력 배양은 물론 분야별로 전문업체를 육성하여 원전과 같은 대용량 정밀설비를 지원할 수 있는 필요한 실정이다.

정비작업이나 지원을 위한 한전기공(주)의 인력은 현장 상주인력과 타 사업소로부터 파견 · 하청을 받은 인력으로 구성되며, O/H 지원업무를 수행하는 분야별 · 기기별 작업조는 약 65개조에 이른다.

기타 가동중검사(ISI), 방사선 관리요원 등 기술지원을 위해 국내외 업체가 참여하고 있으며 업무범위는 표 6과 같다.

다. 장단기 계획 사전수립 · 시행

영광의 경우 주요기기 · 밸브 등에 대하여 발전소 수명기간 동안의 정비항목 · 일정 등을 반영한 「40년 장기계획서」를 수립하였고, 필요시 5년마다 이를 수정 · 보완하며, 매년 O/H 실적을 표기하여 차기계획의 지침으로 삼고 있다.

특히 1993년부터 18개월 장주기연료를 채택함에 따라 전반적으로 정비주기를 재검토 · 개정하였다.

또한 전력수급전망, 투융자전원계획, O/H 시행시기 조정 및 준비기간이 많이 소요되는 대형 정비작업 준비 등을 위해 3년주기로 O/H 예상시기, 공기, 주요정비 사항 및 검사항목을 면밀히 검토하는 단기계획을 수립 · 시행하고 있다.

O/H 공사준비와 시행은 정비물량에 수반되는 품셈산정, 관련자재 확보를 고려하여, 공사착공 9개월전에 공사일정 · 주요작업내용 · 예상주공정표 · 준비공정표 · 자재조달 일정 및 별도 계약공사 등을 계획, 5 ~ 6회의 O/H 준비공정회의를 통해 이를 검토한 후에 최소한 4개월 이전에는 중요한 준비작업을 마무리짓도록 하였다.

또한 정비작업에 동원되는 중장비나 정비편의 공기구의 현장배치 및 사전점검과 더불어 문제점에 대한 상황을 충분히 파악하고 조치함으로써 불필요한 정비작업 지연이 생기지 않도록 하였다.

계획예방정비공사는 발전소 계통별 해 시점을 기준으로 하여 정비작업을 수행하게 되는데 핵연료재장전 공정을 주공정으로 하여 하루 24시간 수행함이 원칙이다.

매일 오후 4시에 관련자 공정회의를 통해서 정비실적과 문제점을 파악하여 긴밀한 협조체제를 유지함으로써 정비시간의 낭비요소를 제거하였다.

운전부서는 계획예방정비 지원반을 주제어실에 상주시켜 정비항목과 운전현황의 관련부분을 안전 검토하고, 기기정비를 위한 안전꼬리표 발행업무를 지원하여 원활한 정비작업이 이루어지도록 하였다.

라. 계획예방정비 실적

지난해 영광원전의 제7차 계획예방정비는 「다」급으로서 목표공기는 50일로 되어 있었으나 사업소 자체목표는 46일로 설정하였다.

보조급수계통 역지밸브 파손부품 유실관련 증기발생기 와류탐상검사(ECT) 및 비파괴검사, 부품제작 등 공기지연요인이 발생되었음에도 불구하고 웨스팅하우스사 900MWe급 가압경수로로서는 국내사상 최단기간인 45일만에 정비공사를 마쳤다.

발전소의 경제성 및 이용률 향상을 위해 계획예방정비기간을 단축시켜려는 노력은 이제 세계적인 추세이며 우리도 경쟁력 강화를 위해서 부단히 노력해야 할 과제로 부각되고 있다.

과거의 경험을 바탕으로 한 향후 영광원전의 정비공사 최적공기의 달성을 위한 문제점 및 대책은 표 7과 같이 요약할 수 있다.

원전운영의 향후 과제

영광 1호기가 국내사상 최장기 한 주기 무고장 안전운전을 이룩한 이듬해인 1994년도에도 원전 이용률 세계 1위를 달성한 것은 「깨어지기 위해 있다」는 기록상의 가치 뿐만 아니라, 우리의 전력사업여건, 즉 원전의 건설, 시운전, 운영기술, 종사자의 기술수준 및 저예비율 등 여러가지 어려운 면을 고려해 볼 때 그 의의가 크다 하겠다.

세계화 · 개방화의 급진전으로 국제간의 기업경쟁형태는 가격경쟁에서 이제는 제품의 품질이나 기술의 특성을 강조하는 기술경쟁의 시대가 되고 있다.

그러나 우리의 여건은 자체 기술개발능력이나 인력 및 자금 등의 어려움

〈표 7〉 정비공사 최적공기 달성을 위한 문제점과 대책

분 야	문제점 현황	대 책
터빈발전기	○ 터빈발전기 정비가 1차측보다 오히려 주공정화되고 있음 – 터빈밸브(IV/RV) 분해정비 등 물량 증가	○ 터빈건물 보조크레인 및 호이스트 LUG 설치 –2개 호기 195개소
1차측 밸브	○ 기준공기(핵연료삽입체 교환기간 : 7일) 이내에 관련밸브 작업수행 불가 – 실제 작업기간 : 9일	○ 장비 및 Block Maintenance를 위한 예비품 확보 – Hi Torque Wrench – Lapping Tool – 밸브디스크, 스템 등
1차기기냉각해수 펌프 및 밸브	○ 장주기(18개월)연료 대비 정비물량 증가 – 현행 : 계열당 1대 – 변경 : 계열당 2대 ○ 서해안의 특성상 취수구 정비물량 과다	○ 공기단축을 고려한 Block Maintenance용 예비품 추가확보 – 충전펌프 – 1차기기 냉각해수펌프, 순환수펌프, 가열기 배수펌프 등 ○ 취수구 Gentry 크레인 추가설치
핵연료재장전 및 1차측 보수	○ 핵연료 취급 이동장비의 고장사례 빈발 ○ 정비편의설비 부족으로 공기지연	○ Refueling Machine 신뢰도 향상 – 소모성 제어카드류 예비품 확보 – 전문장비보수인력 육성 ○ 정비편의설비 확보 – Rx Vessel Flange 밀봉면 세척기 – 역지밸브 성능진단용 장비 – S/G 맨웨이볼트 Tesnsion 장비 등
정비방법	○ 장주기연료 장전에 따른 정비횟수당 보수물량 증가 ○ 가동년수 증가에 따른 설비 노후화	○ 가동중 경상정비 확대 ○ 예측정비 시행으로 물량 감축 –정비이력 분석으로 주기연장 및 물량 분산

으로 기존설비의 이용률 향상과 현장 경험기술의 개선활동을 통하여 기술의 해외의존을 극복하고, 전력사업의 국제 경쟁력을 제고시키는 것이 절실히 요구되고 있다.

이를 위해서는 첫째, 설비의 안정적 · 효율적 운영을 위한 지금까지의 설비운영방식을 보다 유연하게 하여 생산성을 높일 수 있도록 중앙집중식 책임과 권한이 과감히 사업소 책임 · 관리체제로 전환되어야 하겠다.

현재와 같은 의무와 책임제도 아래서 정보화 · 세계화시대에 대응하려는 것은 전력사업의 경쟁력을 떨어뜨려 원전운영의 한계성을 벗어날 수 없을 것이다.

둘째, 종사자들의 자긍심을 높여야 한다.

종사자의 교육 및 경험은 원전사업을 운영하기 위한 훌륭한 자산이며 투자이기도 하다.

정보화시대의 기업활력과 생산성 및 이용률 향상은 종사자들이 우수한 기술력에서 나온다.

원전은 다양한 종류의 첨단설비들이 모여 이루어진 것으로 안전설비나 동력설비의 무고장운전은 종사자의 관심정도에 따라 다르게 나타날 수 있다.

또한 다른 종류의 전력사업들과의 생산성을 비교할 때 갖추어야 할 신뢰성 · 이용률 · 보수성 등 이용률 향상과 관계되는 모든 운영관리항목들이 안전성을 전제로 한 원전의 특성 때문에 무엇하나 손쉽게 처리될 수 있는 것은 없다.

다시 말해서 원전의 운영개념은 운전 · 정비 및 종사자관리가 다른 발전설비보다 몇단계 높은 차원에서 운영되지 않으면 원전의 투자효과를 제대로 거두기가 어렵다.

종사자에 대한 비전을 제시하고 이들의 잠재력을 극대화시킴으로써 설비의 이용률을 제고할 수 있을 것으로 생각된다.

이를 위한 세부 실천사항으로는 먼저 종사자의 자기개발 의식과 사업자로부터는 이를 위한 실질적이고도 적극적인 프로그램이 개발 · 제공되어야 겠다.

셋째 발전설비 운전환경의 최적화이다.

앞서 소개한 운영개선사례와 같이 과도운전이 예상되는 시기에 발전설비에 대한 철저한 이상징후여부를 진단하여야 한다.

저명한 의사도 오진율이 40% 이상이라는 신문보도가 있듯이 의사가 환자를 정확히 진단하기란 처방보다 우선적이며 그보다 훨씬 어려운 일이다.

원자력발전소도 첨단종합시설이니만큼 안정적인 운영관리를 위해서는 계통운전이력과 상태들에 대해 정확한 분석과 처방기술이 따라야겠다.

이는 과학기술의 응용과 발전소 관리방법의 지속적인 개선을 통하여 이루어질 수 있다.

이의 관리방법으로는 발전소 업무의 전산화, 조직관리의 최적화, 교육훈련의 내실화, 현장점검의 체계화 등 각 부문에서 짜임새 있게 이루어져야 할 것으로 생각된다.

넷째, 규제기준에서도 안전이용률을 높여야 한다.

원전의 설계개념은 안정적인 전력생산보다는 설비자체의 안전성에 우선순위를 둔 시설물이다.

보수적 · 결정론적(설계기준사고)으로 만족시킬 수 있는가를 규제해 온 것이며, 바꾸어 말하면 운전중 사소한 이상상태 발생시 그것이 규제대상 계통일 경우 안전정지를 우선으로 하는 설계개념이다.

이같이 안전성 우선으로 설계된 원전은 안전관련 보호설비가 건전한지를 확인하는 시험들을 출력운전중에 수시로 수행하게 되어 있다.

이중에는 사소한 오류나 부품결함으로도 발전소 정지를 유발할 수 있는 시험이 약 300건으로 매일 인위적인 정지신호를 만들어 안전계통을 시험하고 있는 셈이다.

이것은 안전성만을 위해 제반 설비운영의 특성이 배제된 정성적 · 결정론적인 규제로서 발전소 설계 및 운전경험에서 나온 장단점을 반영해야 할 필요성이 생기게 되었다.

앞으로는 노심의 손상확률이나 공중에 대한 위험도 평가를 실질경험이 반영된 확률론적이고 정량적인 새로운 방법으로 평가하게 되어 규제기준의 제한조건도 그 위험도에 따라 규제자나 운전자의 자원(인력 및 예산)을 보다 효율적으로 배분될 수 있도록 전향적인 실무노력에 힘써야 하겠다.

이와 같이 위험도에 따라 계통, 시설 및 기기의 중요도 순서를 구분하고 위험도를 증가시키는 것은 제한기준을 보다 엄격히 하고 중요치 않은 것은 이의 운전실적을 확인후 규제에서 제외시킴으로써 원전 이용률을 향상시킬 수 있을 것이다.

맺는말

전력공급의 약 절반을 차지하고 있는 원자력은 준국산에너지로서 공급의 안전성과 경제성이 다른 전원설비보다 우수하다.

발전원가에서 차지하는 연료비의 비율이 낮아 석유화력에 비하여 연료가격의 변동이 발전원가에 영향을 주지 않아 가격경쟁력의 원동력이 되고 있다.

향후 원자력에 대한 선택은 이것만으로 판단되는 것은 아니라 안전성과 환경문제 등 여러가지 요인이 서로 얽혀있다고 볼 수 있다.

정부가 작성한 장기전원수급 전망에 따르면 「에너지절약과 원자력발전, 신에너지개발」 등에 대한 새로운 노력만이 다가오는 21세기의 전력사업 경쟁력을 확보할 수 있다고 한다.

이러한 과제를 해결할 수 있는 하나의 방안은 기존 원전설비의 이용률 향상을 지향하는 방법이며, 전력시장의 경쟁력을 높이고 기업체질을 강화하는 길이 될 것이다.

일년중에 전력수요가 가장 많은 시기는 7 ~ 8월이다.

올해도 예외가 아닐 것으로 생각되며 이같은 차원에서 영광원전 1 · 2호기가 전년도 세계 이용률 1위를 달성하면서 경험하였던 7860계획 및 O/H-100 운영 등이 설비운영기술의 발전을 위한 참고자료로 활용되었으면 하는 바램이다.

설비운영 기술개선은 원전설비의 투자효율을 높이고 원자력발전의 신뢰성과 가시적인 홍보실적을 향상시킴으로써 세계화를 향한 원자력산업의 확충을 보다 빨리 진전시킬 수 있을 것이다.