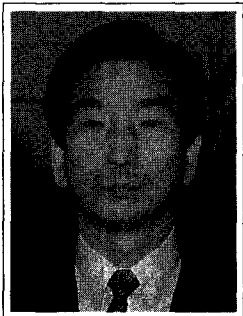


고리 1호기

한주기 무고장 운전의 달성 - 그 의의와 앞날의 과제 -

정재희

한전 고리원자력본부 제1발전소 소장



고리 원자력 1호기(PWR, 587MWe)가 지난 78년 상업 운전을 시작한 이래 처음으로 한 주기 무고장 운전(OCTF)을 달성하였다(96. 3. 31~97. 3. 30). 고리 원자력 1호기는 국내 원자력 발전의 효시로서, 78년 4월 발전을 개시한 이래 약 675억kWh의 전기를 생산함으로써 약 1,800만톤에 달하는 유류 대체 효과를 거두었으며, 원자력 산업계의 우수 인력을 양성·배출하는 등 후속 원자력 발전의 기틀을 다지는 데 크게 기여하였다.

60 ~70년대를 돌아보면 보릿고개, 새마을 운동, 근검절약, 유류 파동 같은 말이 떠오른다.

이러한 말 속에는 어려웠던 살림살이와 그래도 잘 살아 보기 위해 힘에 부칠 만큼 애쓰던 그 시절의 모습이 담겨 있다.

그렇게 어렵고 힘들던 시기에 정부는 에너지 다원화 정책을 수립하였고, 그 일환으로 원자력 발전 사업을 추진하였다.

한국 원자력 발전의 역사

1. 최초 원전 고리 1호기

당시의 기술 수준과 경제 사정을 생각해 보면 원자력 발전은 국가적인 모험이라고 할 정도로 엄청난 사업이었다.

그러나 갖은 우여곡절 속에서도 에너지 자립을 향한 꿈으로 원자력 발

전을 추진해야 한다는 결론을 내리게 되었으며, 이에 따라 68년 5월 우리나라 최초의 원자력발전소 건설 부지로 고리가 선정되었다.

그리고 69년 1월 고리 1호기의 계약 대상자로 미국의 웨스팅하우스(WH)사가 선정되어, 드디어 71년 3월 10일 기공식을 갖게 되었다.

2. 계약자 주도 방식으로 건설

고리 1호기의 계약은 계약자 주도(turnkey base) 방식으로 체결되었다.

턴키 베이스 방식이란 계약자가 사업의 모든 분야를 관리하는 형태로, 사업 주체자는 건설에 소요되는 자금만 지급할 뿐, 기타 인허가 사항, 공정 관리, 건설과 시운전에 관련된 기술적인 사항 등 모든 것에 관하여 일체 관여할 수 없다.

그러나 당시 우리나라의 원전 관련 기술 수준을 생각하면, 계약자 주

도 방식이 아니고서는 사업을 추진할 수 없는 형편이었다.

고리 1호기의 건설이 마무리되어 갈 즈음인 77년에 고리 2호기가 역시 계약자 주도 방식으로 웨스팅하우스(WH)사에 의해 착공되었으며, 78년에는 가압 중수로(PHWR)인 월성 1호기도 계약자 주도 방식으로 캐나다 원자력공사(AECL)에 의해 건설 허가를 취득하였다.

같은해 4월 29일 고리 1호기가 상업 운전을 시작함으로써, 우리나라는 본격적인 원자력 발전 시대를 맞이하게 된다.

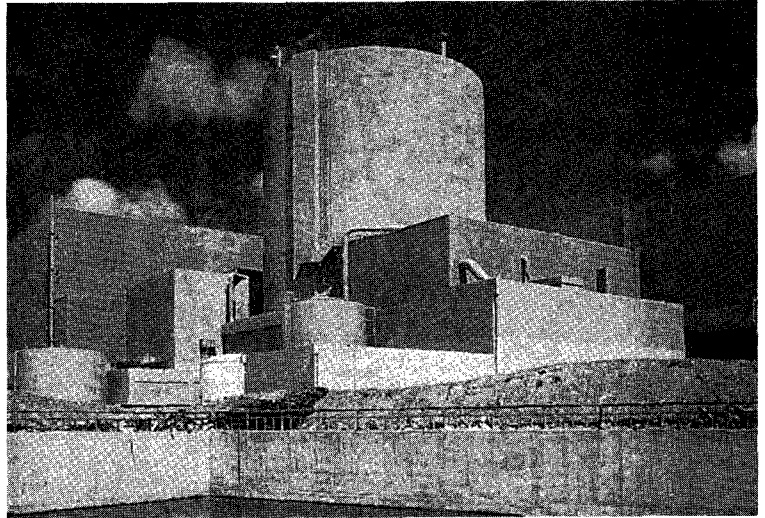
3. 유류 파동과 원전

78년 중반에 불어온 유류 파동은 에너지의 대부분을 수입에 의존하며 경제 발전을 추진하던 우리나라에 닥친 커다란 시련이었다.

당시 발전 유형별 점유율을 살펴보면 발전량의 94% 정도가 수입 연료에 의한 유류 및 석탄 발전 방식이어서, 유류 파동은 전력 사업의 기반을 흔들 만큼 치명적인 타격이었다.

그러나 고리 1호기가 발전을 시작함에 따라 유류 및 석탄 발전 점유율을 81%로 낮출 수 있어서, 유가 상승에 의한 전기 요금 인상 요인을 억제함으로써, 산업 전반의 원가 상승 요인을 차단하여 수출 주도형 경제체제의 숨통을 틔울 수 있었다.

뿐만 아니라 석유 공급의 위기에도 불구하고 안정적인 전력 공급을 가능



96년 3월 31일부터 97년 3월 30일까지 365일간 한 주기 무고장 운전을 달성한 고리 원자력 1호기의 모습

케 함으로써, 또다시 닥칠지도 모를 유류 파동에 대한 대처 방안으로서 원자력 발전의 유효성을 새삼 인식하게 되었다.

4. 한국 표준형 원자로의 탄생

79년 고리 3·4호기가 사업자 주도(non turnkey base) 방식으로 웨스팅하우스(WH)사와 계약이 체결되어, 원자력 산업은 또 한번 도약하게 된다.

사업 주체가 사업을 주도하면서 계약자의 문제점에 대해서 제재를 가할 수 있는 합법적인 힘을 갖게 된 것이다.

고리 1·2호기의 건설 및 운전 과정에서 축적된 경험과 기술력을 바탕으로, 이후 체결된 모든 원자력발전소 건설 계약은 완전 사업자 주도 방

식으로 체결함으로써, 원전 기술은 점차 자립의 길로 접어들게 된다.

89년 영광 3·4호기 원자로 관련 계통 설계에 자체 기술을 반영하게 되었으며, 울진 3·4호기에서는 드디어 한국 표준형 원자로가 탄생한다.

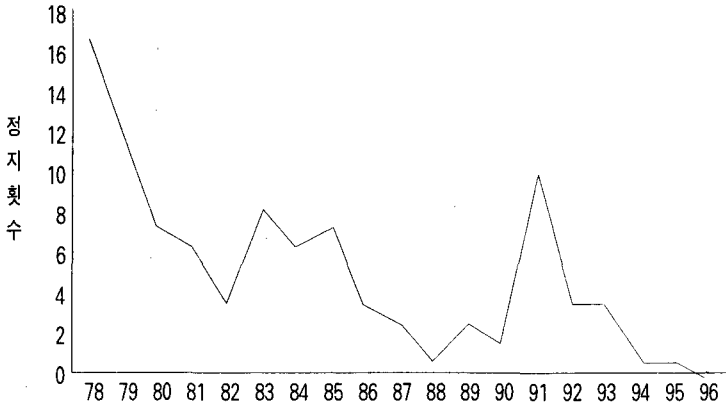
고리 1호기 OCTF 달성 의의

1. 원자력 발전의 미래

이러한 원자력 발전의 역사 속에서 고리 1호기가 96년 3월 31일부터 97년 3월 30일까지 365일간 한 주기 무고장 운전(OCTF)을 달성하였다.

원전의 역사에서 고리 1호기가 차지하는 비중을 생각하면 이러한 성과는 남다른 의미가 있다.

금년은 고리 1호기가 상업 운전을 시작하지 20년이 되는 해이다.



〈그림 1〉 고리 1호기 연도별 정지 횟수

〈표 1〉 우리 나라 원전의 OCTF 달성 기록

번호	호기	기간
1	고리 3호기	1987. 12. 10~1988. 10. 09(304일)
2	고리 2호기	1990. 03. 24~1991. 04. 14(387일)
3	울진 2호기	1991. 12. 05~1992. 11. 01(333일)
4	고리 3호기	1992. 02. 18~1992. 12. 21(307일)
5	울진 1호기	1992. 04. 08~1993. 02. 11(310일)
6	울진 2호기	1992. 12. 18~1993. 10. 07(298일)
7	영광 1호기	1992. 10. 07~1993. 11. 05(395일)
8	울진 1호기	1994. 03. 07~1995. 03. 23(382일)
9	고리 4호기	1995. 02. 08~1996. 04. 05(423일)
10	고리 1호기	1996. 03. 31~1997. 03. 30(365일)

곧 우리 원전의 역사가 20년이 되었다는 뜻이기도 하다.

그 동안 우리 원전 산업은 세계 원전 선진국과 비교하여 조금도 손색 없는 운영 실적을 보여주고 있으며, 또한 주요 기자재의 국산화, 원전 연료의 국산화, 원전 설계 자립 등 관련 분야의 기술도 발전을 계속하여, 20년의 역사에 걸맞는 성년의 모습을

의 장벽이 무너지고 무한 경쟁 체제가 도입되고 있다.

이는 해외 진출을 시도하는 원자력 산업계에 좋은 기회임이 분명하지만, 세계 시장은 물론 국내 시장에서 세계 전력 회사들과 아무런 조건 없이 경쟁해야 한다는 것을 의미하는 것이기도 하여, 원자력 산업 종사자의 시대에 맞는 자세 변화가 요구된다.

2. 자체 기술로 극복한 불시 정지

고리 1호기는 국내 최초로 건설된 원전으로, 그만큼 타 원전에 비해 설비의 에이징(aging) 효과로 노후화가 뚜렷하게 나타나고 있다.

운전 초기 단계인 처음 5년간 불시 정지 횟수가 전체 107회 중에서 49회로 45.8%를 점유하고 있다.

당시로서는 도입 초기 운영 기술의 부재와 운영의 미숙 등으로 불시 정지를 방지할 특별한 대책이 없었던 것이다.

이후 운전 경험이 축적되어 운전·정비·운영 기술이 어느 정도 본 궤도에 오르면서 불시 정지 횟수는 점차 감소되었으며, 80년대 후반에는 안정적인 운영 실적을 보여주고 있다.

그러나 90년대 들어 설비 노후로 인한 증상이 나타나기 시작하면서, 기기 오동작 등에 의한 불시 정지 사례가 나타나기 시작하였다.

특히 91년에는 불시 정지가 11회에 달하는 등 설비 노후의 징후가 뚜렷하게 나타났다(그림 1).

당시 전력 사정을 고려할 때 이는 시급히 해결해야 하였으므로, 고리 1호기 운영 정상화를 위한 노력이 본격적으로 시작되었다.

또한 이는 고리 1호기만의 문제가 아니라 타 원전에서도 운전 시간의 경과에 따라 노후 증상이 나타나게 될 것이므로, 이에 적절하게 대처하기 위한 기술 개발이 절실하게 요청

되었다.

고리 1호기는 국내 원전의 시발점으로서 설비 노후에 대한 대책을 수립하는 데 필요한 경험과 관련 기술을 제공해야 할 책임을 맡게 된 것이다.

이러한 과제를 해결하기 위해 고리 1호기는 분야별 관련 기관의 협조 속에 다양한 대책을 수립·시행하여, 94년 이후에는 불시 정지 횟수가 1회 미만으로 우수한 운영 실적을 기록하였으며, 이번에 한 주기 무고장 운전을 기록하게 된 것이다.

3. 세계 수준의 운영 실적

국내의 원전 운영 실적을 살펴보면 어느 정도 운전 경험을 축적한 대부분의 국내 원전들은 한 주기 무고장 운전을 달성하였으며, 고리 4호기와 영광 1호기가 연간 이용률 세계 1위를 달성하는 등 세계적으로 높은 수준의 운영 실적을 보이고 있다.

지난 87년 고리 3호기가 국내 최초로 한 주기 무고장 운전을 달성한 이래 현재까지 모두 9회의 한 주기 무고장 운전을 기록하였으며, 가장 오래된 발전소인 고리 1호기가 국내 원전 중 10번째로 한 주기 무고장 운전을 기록함으로써, 국내 원전의 운영 능력이 상향 평준화되고 있음을 보여주고 있다(표 1).

이는 각 원전의 운영 능력뿐 아니라 기자재 제작, 정비 등 원전 관련 협력 업체, 정부의 규제 등 우리나라

의 전반적인 원전 산업이 이미 선진국 수준에 진입하였음을 의미하는 것이다.

4. 원전 운영 기술의 자립

원전은 수백만개의 부품이 모여 각기 주어진 기능을 수행함으로써 발전을 하게 되는데, 이들 수많은 부품 중 운전에서 직접적인 영향을 미치는 부품이 고장을 일으키게 되면 안전성 확보를 위해 자동적으로 정지된다.

한 주기 무고장 운전은 부품의 고장 또는 인적 실수로 발생하는 발전 정지가 없었다는 것으로, 수백만개의 부품과 인력을 관리하여 항상 정상 상태로 유지하였다는 것이다.

이는 철저한 관리와 정비, 절차서 개발, 종사자 교육·훈련, 인적 실수 배제 등 여러 가지 노력을 통해 발전소의 소프트웨어와 하드웨어를 항상 최적 상태로 유지한 것으로, 고유의 노하우가 없으면 불가능한 일이다.

물론 한 번의 한 주기 무고장 운전 달성으로 1호기가 완벽한 수준에 도달하였다고 말할 수는 없을 것이다.

그러나 과거와 같이 현상 유지에 급급한 것이 아니라, 안전을 최우선으로 설비의 경제성과 효율성을 추구하는 일류 발전소를 향해 한 단계를 넘어서는 의미가 더욱 소중한 것이다.

5. 원전 기술 수출의 기반 조성

세계무역기구(WTO)의 출범과 무한 경쟁 시대의 전개로 세계 무대를

가로막았던 장벽이 낮아지고 있다.

우리 나라는 그 동안 국내 원전 사업 추진과 더불어 해외로 진출하기 위한 노력을 계속해 왔다.

이제는 그 실현을 위하여 원전 종사자들의 자세 변화와 대비가 요구된다.

우리 원자력 산업이 세계 무대에 진출하기 위해서는 세계가 인정하는 기술력을 보유해야 하며, 또한 그러한 기술력이 세계 무대로 진출하기 위해서는 우선적으로 국내 원전 산업의 기반 조성이 공고하게 되어야 할 것이다.

그러한 의미에서 고리 1호기의 한 주기 무고장 운전 달성과 같은 우수한 원전 운영 실적은 원전 산업의 기반 조성을 공고히 하는 데 크게 일조를 하였다고 할 수 있겠다.

6. 대국민 홍보 효과

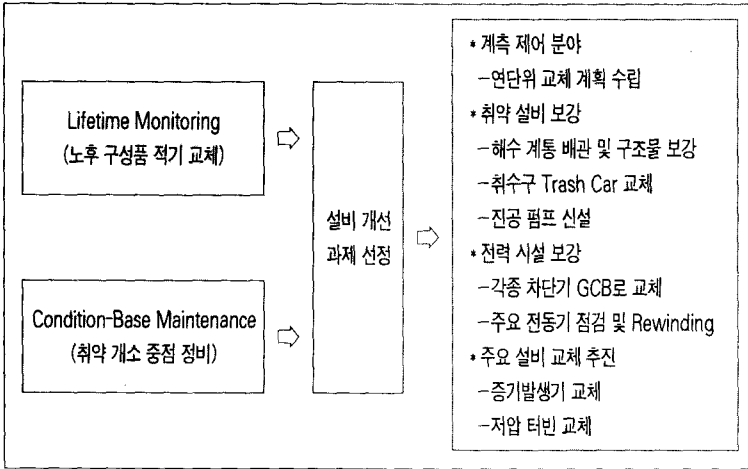
원전의 안전성에 대해서는 시각에 따라 많은 입장의 차이가 있다.

원전의 안전성을 이해하는 데 가장 중요한 점은 역시 원전의 운영 실태가 될 것이다.

일부에서 제기하는 원전의 안전성 문제에 대한 의문은 역시 현재 원전에서 운영 성적으로 답해야 한다는 것이다.

이런 측면에서 국내에서 가장 오래된 원전인 고리 1호기의 한 주기 무고장 운전 달성은 원전의 안전성에 대한 의문에 대응할 수 있는 적절한

(표 2) 새발전소 만들기 마스터 플랜 추진 전략



사례로 활용될 수 있을 것이다.

7. 원전의 국민적 합의

우리 원전 사업은 현재에 이르기까지 많은 갈등과 고난을 극복해 왔다.

그 중에서도 원전 자체에 대한 찬반 논쟁은 단번에 해결할 만한 적절한 대책도 없이 원전 종사자들의 사기를 떨어뜨리는 지루한 소모적인 양상을 보이고 있다.

그럼에도 요즈음 논란의 주제가 원전 자체에 대한 찬반에서 환경 문제와 안전성 문제로 옮겨가고 있는 것은 다행한 일이다.

안전성에 대한 논쟁은 원전 운영 능력에 대한 신뢰감과 이해 부족에서 오는 것이 대부분이다.

한국 표준형 원자로의 복한 경수로 지원 노형 선정, 원전 기술의 해외 진출, 이용률 세계 1위 달성, 한 주기

무고장 운전 달성 등의 원전 운영 실적은 국민들에게 원전에 대한 신뢰감을 주기 위해 원전 종사자들이 제공할 수 있는 최선의 설득일 것이다.

원전의 안전성에 대한 국민적 합의는 원전 사업의 성패를 가늠할 중요한 과제이므로, 원전의 모든 종사자들은 원전 운영 능력에 대하여 국민적 신뢰감을 조성할 수 있도록 책임을 다하여 우수한 원전 운영 능력을 보여줘야 한다.

지속적인 대국민 홍보와 함께 원전의 안전 운전을 입증하는 운영 결과를 뒷받침한다면, 원전에 대한 국민적 합의를 도출할 수 있을 것이다.

OCTF 달성을 위한 노력

97년은 고리 1호기가 상업 운전을 시작하지 20년이 되는 해이다.

원전의 운영 경험면에서는 상당한 노하우가 축적되었지만, 다른 한편으로는 운전 연수 경과로 인해 각종 설비 및 구성 부품에 에이징(aging) 효과가 크게 작용하고 있다.

이러한 발전소의 특성에 맞추어 장기적인 관점에서 원전의 안전 운영 계획을 수립하고, 축적된 운영 및 정비 경험을 바탕으로 빈틈없이 추진해 온 것이 고리 1호기가 한 주기 무고장 운전을 달성할 수 있었던 배경이라고 판단된다.

1. 새발전소 만들기 마스터 플랜

2000년도 신에 발전소 수준의 신뢰성 확보를 장기 비전으로 하고 가동 수명 후반기를 대비한 설비 보강 및 재정비를 시행하여 98년에 새발전소로 변모하는 것을 기본 목표로 하여 94년부터 중점적으로 시행해 왔다.

추진 전략으로는 lifetime 모니터링을 기초로 노후 구성품의 적기 교체와, condition-base maintenance에 근거한 취약 개소의 중점 정비 및 운전·정비 경험을 반영한 설비 개선 사업의 적극 추진을 채택하였다(표 2).

이러한 계획에 의해 발전 정지와 밀접한 관계가 있는 계측 제어 부문에 대해서는 연 단위로 교체 계획을 수립하여 시행하였다.

취약 설비인 해수 계통에 대한 배관 및 구조물에 대한 교체 및 보강을 실시하였으며, 노후화로 설비의 건전성 확보가 미흡하여 태풍 및 호우시

(표 3) 계획 예방 정비 기간중 운전 품질 확인 점검 활동

단 계	1단계	2단계	3단계	4단계
내 용	계획 예방 정비 준비	정비 품질 확인	운전 품질 확인	운전 상태 평가
활 동 기 간	예방 정비 30일 전 ~착공	예방 정비 착공 ~임계 전	임계 도달 ~출력 100% 도달	출력 100% 도달 ~이후 100일
활 동 내 용	1) 작업 사항 정리 2) 작업 내용 분석 3) 중점 관리 항목 선정	1) 불만족 사항 정리 2) 불만족 내용 분석 3) 재작업 여부 결정	1) 정비 품질 확인 2) 기기 운전 상태 점검 3) 계통 효율성 검토	1) 계통 상태 점검 2) 발전소 운전 상태 평가 3) 효율성 종합 검토
피드백	중점 관리 항목 점검 계획서 작성	불만족 사항은 임계 전 재작업 수행	정비 품질이 기준에 미달할 경우, 운전에 무리가 없더라도 조치	차기 정기 계획에 반영

문제가 되었던 취수구 trash car를 교체하였으며, 복수기 진공 상실에 대비하여 진공 펌프를 신설하였다.

또한 전력 설비에 대한 투자도 시행하여 각종 차단기를 GCB로 교체하였으며, 각종 전동기에 대해 절연 내력을 점검하고, 문제가 예상되는 전동기에 대해 rewinding을 실시하여 절연 등급을 상향시켰다.

또한 주요 설비에 대한 설비 개선 타당성 검토와 기술 검토를 완료하고 증기발생기와 저압 터빈 교체 사업을 추진하고 있다.

터빈 교체와 증기발생기 교체 사업이 마무리된다면 2000년에는 신에 발전소 수준의 신뢰성과 안전성이 향상된 새 발전소의 모습을 보일 것이다.

2. 운전 품질 확인 점검 활동

발전소가 한 주기 동안 고장 없이

운전되려면 발전소를 구성하는 설비와 계통이 안전하게 운전되어야 하며, 또한 설비나 계통을 구성하는 기기들이 예기치 않은 고장을 일으키지 않아야 한다.

설비나 계통을 구성하는 기기의 신뢰성 문제는 계획 예방 정비 기간중 시행되는 정비 품질에 의해 결정된다.

그러나 수많은 설비와 기기에 대하여 모두 점검한다는 것은 그리 간단한 일이 아니다.

계획 예방 정비 기간중 작업이 시행된 모든 설비나 기기에 대한 정비 상태를 확인하기 위해 4단계 운전 품질 확인 점검을 시행하고 있다(표 3).

가. 4단계 운전 품질 점검 활동

1단계는 계획 예방 정비 준비 기간으로 계획 예방 정비가 실시되기 30

일 전부터 시작되며, 작업 사항 파악과 중점적으로 관리해야 할 항목을 선정하여 점검 계획서를 작성한다.

2단계는 정비된 기기 및 설비에 대한 정비 품질을 확인하는 단계로 계획 예방 정비 착수일부터 원자로 임계 전까지가 활동 기간이며, 2단계에서 발견된 불만족 사항은 원자로 임계 전에 재작업을 시행하여 정상화한다.

3단계는 운전 품질 확인 기간으로 원자로 임계 후부터 출력 100% 도달 시까지가 활동 기간이며, 실제로 계통을 운전하여 정비가 시행된 단위 기기의 정비 품질뿐만 아니라, 계통의 제어 상태 및 효율적인 측면까지 점검하도록 되어 있다.

점검 결과 계통은 무리 없이 운전되더라도 본래 요구되는 기능을 충분히 수행하지 못한다고 판정되면, 계

(표 4) 발전 정지 유발 요인 관리 방안

발전 정지 유발 요인	방지 방안	방지 대책 수립
정지 한계치 초과	1) 절차서 준수 2) 운전 변수 감시 3) 설비 상태 감시	1) 절차서 주기 검토 2) 운전 변수 추이 검토 3) 운전원 교육 관리 4) 설비 전문가 제도
기기 Fail/오동작	1) 기기 Fail 방지 2) 기기 오동작 방지	1) TSC(Trip Sensitivity Component) 관리 체계 정비 2) 운전 품질 확인 점검 3) 설비 개선 추진
인적 실수	1) 정기 시험 관리 2) 정지 관련 작업 관리 3) 운전원 오작 방지	1) 중요 관리 작업 관리 체계 수립 2) 운전원 교육 관리

(표 5) 운전 변수 관리

운전 변수 관리 항목	관리 방안	활용 방안
중요 변수 (디 지 털 : 항목) (아날로그 : 항목)	OACS (운전 지원 컴퓨터 시스템)	1) 상시 감시 2) 매월 1회 출력하여 상태 검토
기타 관리가 필요한 운전 변수	PC(엑셀 프로그램)	1) 10일 간격으로 입력, 그래프로 출력하여 변화 추이 검토 2) 이상 발생시 원인 분석

통에 대한 분석을 실시하여 요구하는 기능을 충족시키도록 한다.

4단계는 발전소 전체의 운전 상태를 평가하는 단계로서 출력 100% 도달 후 100일까지가 활동 기간이며, 단일 기기의 상태뿐만 아니라 계통별 운전 상태를 점검하고, 발전소 전체

의 효율적인 측면을 검토한다.

나. No leak 실현

15주기 계획 예방 정비 기간 중 운전 품질 활동에 의해 정비가 시행된 기기에 대한 정밀 점검으로, 한 주기 무고장 운전 기간 동안 1차측에 대하여 no leak를 실현하였다.

3. 발전 정지 유발 요인 관리

불시 발전 정지가 일어나는 원인은 운전중 과도 상태로 각종 변수가 정지 한계치를 초과하여 보호 장치가 작동돼 자동 정지가 발생하는 경우, 그리고 기기나 설비의 fail 또는 오동작에 의한 과급 효과로 인한 발전 정지, 인적 실수에 의한 발전 정지 등 크게 세 가지로 분류할 수 있다(표 4).

가. 운전 변수 관리

과도 상태로 인해 정지 한계치가 초과되어 발전 정지에 이르는 것은 대부분 원전을 구성하는 설비의 기능 상실 또는 이상 발생으로 인한 경우가 대부분이다.

이를 방지하기 위해서는 단일 기기가 원인이 되는 발전 정지와 구분하여, 장기적으로 설비의 운전 상태를 감시할 필요가 있다.

설비나 계통에 문제가 발생하여 장기간 동안 변화하는 운전 상태를 추적할 경우에 운전원의 log sheet 만으로는 한계가 있어, 자료 분석의 효율성과 신속성을 도모하기 위하여 PC를 이용하여 운전 변수를 관리하고 있다.

운전 변수 관리에 사용되는 컴퓨터는 소내 전산기와 개인용 PC가 사용되며, 관리되는 프로그램은 OACS(운전 지원 컴퓨터 시스템)와 엑셀 프로그램을 이용하고 있다(표 5).

현재 관리되고 있는 변수는 운전원

일지를 기본으로 터빈 감시 계통 관련 운전 변수와 RCP 관련 운전 변수, 수질 관련 변수들을 감시하도록 되어 있으며, 특별히 감시가 필요한 운전 변수에 대하여 추가 입력이 가능하도록 되어 있다.

OACS 자료는 매달 1회씩 모든 자료를 출력 검증하여 신뢰성을 확인하며, 운전원 일지는 10일 간격으로 변수를 입력하고 그 결과를 그래프로 출력하여 장기간에 걸쳐 변화하는 운전 상태 변화를 확인하고 있다.

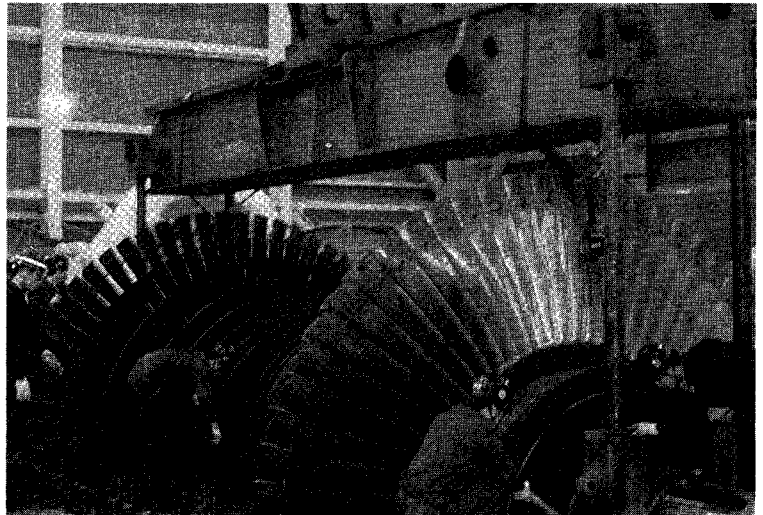
또한 2주 간격으로 운전 변수 관리와 관련된 모든 입력 자료들을 출력 trend를 분석하여 정상 운전 상태와 차이가 있을 경우, 기기 상태를 진단하고 원인을 분석한다.

나. 발전 정지 민감 기기 관리 체계 정비

인적 실수 외에 기기 고장에 의해 발전 정지를 예방하기 위하여 발전 정지 민감 기기(TSC Trip Sensitivity Component) 관리를 시행하고 있다 <표 6>.

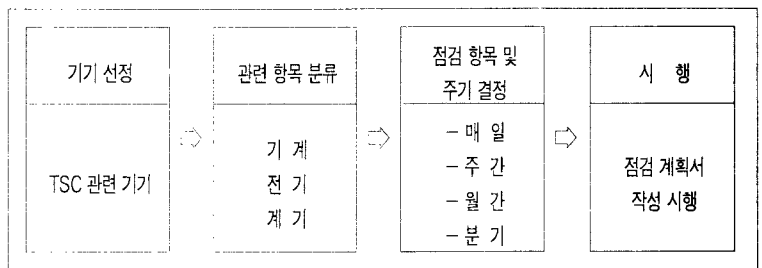
TSC 관련 기기들은 기계·전기·계기로 분류하여 각 파트별로 관리해야 할 기기들을 선정하여, 점검 항목과 점검 주기를 결정한 후 계획서에 의거 점검한다.

자동 전압 조절기(AVR)의 경우, 전기 파트에서 AVR room temp., thyristor 냉각팬 운전 상태, 출력 전압, balance indicator 상태를 1일 점검 주기 항목으로 선정하여 점검하



계획 예방 정비 기간중 수행되고 있는 저압 터빈 로터 인양 작업 모습. 발전소의 설비나 계통을 구성하는 기기의 신뢰성 문제는 계획 예방 정비 기간중 시행되는 정비 품질에 의해 결정된다.

<표 6> 발전 정지 민감 기기 관리



도록 하고 있으며, 계기용 공기 압축기는 기계 파트에서 건조기 작동 상태 및 압축기 냉각 상태를 1일 점검 항목으로 선정하여 점검을 실시하고 있다.

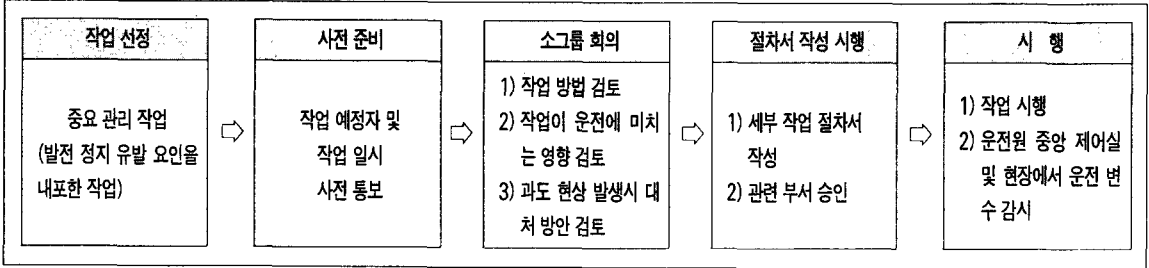
TSC 관리의 목적은 설비나 계통을 구성하는 기기들이 장기간 동안 누적된 스트레스로 인한 fail을 예방하는데 있다.

다. 정지 관련 작업 관리 체계 정비

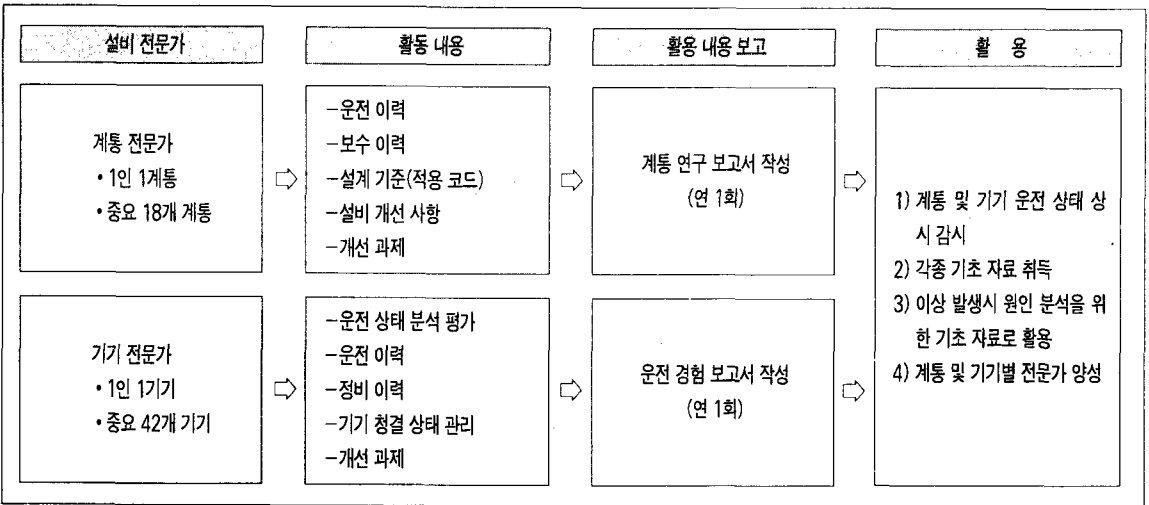
발전 정지를 유발하는 유형 중 인적 실수가 발생하는 경우는 정기 시험 수행 과정에서 발생하는 경우와 작업 과정에서 발생하는 경우, 그리고 운전원의 오조작에 의한 경우가 있다.

이러한 인적 실수를 방지하기 위하여 여러 가지 프로그램들을 개발하여 시행하고 있지만, 최근의 추세는 설비나 기기의 오동작에 의한 발전 정

(표 7) 중요 관리 작업 관리 체계



(표 8) 설비 전문가 제도



지 비율보다 인적 실수에 의한 비율이 높아지는 추세여서 조작과 정기 시험 및 작업시 철저한 관리가 요망된다.

① 작업의 중요성 및 대처 방안 사전 습득

특히 작업중 발생한 발전 정지 사례를 분석해 보면, 작업자가 본인이 수행하고 있는 작업이 발전소에 어떠한 영향을 주는지 이해하지 못하고

수행하는 도중 과도 현상에 의해 발생하는 것이 대부분이다.

작업자가 작업 내용을 운전원에게 통보하지 않고 작업을 시행하는 경우, 과도 현상 발생시 운전원이 조치할 여유가 없는 것도 주요한 이유 중의 하나이다.

이에 따라 발전 정지 관련 기기들에 대한 작업이 수행될 경우에는 중요 관리 작업 절차서를 작성하여 수

행하도록 하고 있다.

중요 관리 작업으로 선정이 되면 작업 책임자는 작업 일시와 작업자를 지정한 후 작업과 관련된 책임자들을 모아 소그룹 회의를 개최한다.

회의에서는 작업 방법을 결정하고 발전소 운전애 미치는 영향과 과도 현상 발생시 대처 방안애 관하여 토의한 후 작업과 관련된 세부적인 절차서를 작성하고 승인을 얻는다.

② 중요 관리 작업 진행중 운전원 상시 감시

중요 관리 작업은 사전에 운전원에 통보되어 작업중에는 현장과 중앙 제어실에서 항상 기기 및 계통의 운전 상태를 감시하게 되므로 과도 현상이 발생할 경우 조치할 여유를 준다.

과도 현상 발생시 운전원이 원인을 파악하고 즉각 대응 조치를 취할 수 있으나 없느냐의 여부는 불시 발전 정지 예방을 위한 중요한 요인이다.

4. 설비 전문가 제도 실시

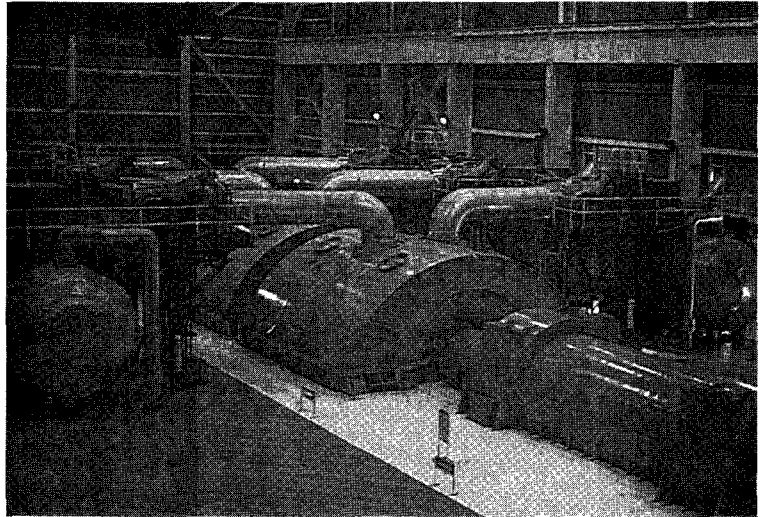
운전 연수가 증가됨에 따라 설비의 노후화 문제가 대두되어 기기에 대한 지속적인 감시가 요구되므로, 이에 대한 대책으로 설비 전문가 제도를 시행하고 있다.

설비 전문가 제도는 계통 전문가와 기기 전문가로 나누어 각 단위별로 전문 지식을 습득할 수 있도록 유도함으로써 운전원의 자질을 높이고, 기기 상태 및 기기 운전 이력의 지속적인 관리로 문제 발생시 원인 파악을 쉽게 하고, 정확한 운전 정보를 제공하여 무고장 안전 운전의 기반을 다지는 것을 목적으로 출발하였다.

가. 계통 전문가

계통 전문가는 발전소 계통 중 중요 계통 18개를 선정하여 1인이 1계통을 담당하여 관리해 오고 있으며, 매년 1회씩 계통 연구 보고서를 작성·제출하고 있다.

연구 보고서 내용에는 설비 개선



터빈실 내부 모습. 발전소가 한 주기 동안 고장 없이 운전되려면 발전소를 구성하는 설비와 계통이 안전하게 운전되어야 하며, 설비나 계통을 구성하는 기기들이 예기치 않은 고장을 일으키지 않아야 한다.

〈표 9〉 원자력 안전 문화의 주요 요소

정책 차원 임무	관리자 임무	종사자 임무
1. 안전 정책 수립 2. 안전 정책 관리 조직 3. 인력·예산 확보 4. 자체 규제 활동	1. 안전 책임 할당 2. 안전 관행 정착 3. 훈련 및 자격 관리 4. 포상 및 처벌 5. 감사·검토 및 비교	1. 항상 문제 의식을 가지는 직무 자세 2. 철저하고 신중한 직무 접근 방식 3. 활발한 안전 관련 정보 교류

사항과 설계 기준 및 적용 코드, 계통에 설치된 기기들의 보수 이력 및 운전 이력 등이 포함되어 있어 문제 발생시 원인 파악을 위한 기본 자료로 활용되고 있다.

나. 기기 전문가

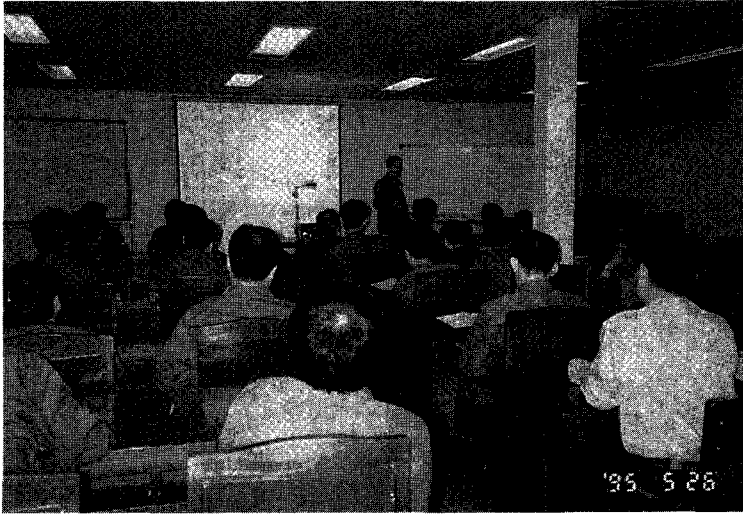
기기 전문가는 발전소 설비 중 중요 기기 42개를 선정하여 1인 1기기를 담당하여 관리해 오고 있다.

기기 전문가는 담당 기기에 대하여

운전 상태를 추이 분석 그래프로 분석·평가하도록 되어 있으며, 정비 이력, 운전 이력, 기기 청결 상태를 지속적으로 관리하여 기기가 최적의 상태를 유지하도록 관리하고 있다.

5. 설비 개선

인적 실수 방지, 안전성 향상, 신뢰성 향상, 작업의 편의성 도모, 효율 향상, 노후 설비 개선을 위해 설비 개



발전소 요원 교육 장면. 고리원자력본부는 종사자들의 자질을 높이기 위하여 각종 세미나, 대외 기관 교육은 물론, 전산·어학 교육 등을 시행하여 국제화·정보화 시대에 대응할 수 있도록 하고 있다.

선을 검토할 필요가 있다.

고리 1호기는 이와 같은 사유로 주요 설비의 설비 개선 타당성을 검토하고 작업을 계속 진행해 오고 있으며, 특히 증기발생기, 저압 터빈 등 노후한 주요 설비의 교체를 위해 설비개선팀이 업무를 수행하고 있다.

가. 운전 설명서 부착

고리 1호기에서는 인적 실수 방지를 위하여 모든 기기에 대하여 운전 설명서를 작성하여 부착하였으며, 또한 오조작된 경력이 있는 기기들에 대하여서는 오조작 사례 및 경고 문안을 부착하여 조작시 주의를 환기시키고 있다.

나. 2차 계통 보호 신호 다중화

건설 당시 2차측에 대하여서는 다중성 개념이 적용되지 않아, 터빈 및

발전기 관련 정지 신호들이 단일 채널로 구성되어 있어 관련 계측기의 오동작에 의한 발전 정지를 예방할 수가 없었던 것을, 모든 정지 회로에 대하여 2/3 채널 logic으로 개선하여 안전성 및 신뢰성을 향상시켰다.

향후 추진 과제

한 주기 무고장 운전을 달성한 것으로 모든 것이 완벽하다는 것은 아니다.

앞으로 더 나은 운영 실적을 위해서는 끊임없는 개선과 노력이 필요하며, 고리1발전소에서는 보다 나은 운영 실적을 위해 여러 가지 추진 과제를 선정하여 많은 노력을 전개하고 있다.

1. 근무 환경 개선

인간 공학적 개념을 도입하여 중앙 제어실과 주요 설비에 대해 여러 차례 개선이 시행되었으나, 아직도 좀 더 개선되어야 할 요소들이 많이 지적되고 있다.

또한 정비 분야 종사자들을 위해 충분한 업무 공간 및 소그룹 회의 공간을 확보하여 업무의 효율을 높이기 위한 계획이 진행중이며, 사무 집기를 교체하여 업무 분위기를 쇄신하였다.

또한 문서 결재, 수발 등 비주력 업무에 대한 부담을 줄이기 위해 기술 지원실의 협조로 사업장 내 문서 결재 및 전자 우편, 게시판 기능을 보유한 자체 랜(LAN)을 설치하여 시범 운영중에 있다.

또한 전사적으로 인트라넷 접속이 가능한 사내 정보 통신 운영 시스템인 인트라넷 운영 체제를 적극 활용하여 업무의 효율을 높이고 있다.

이러한 시설을 바탕으로 앞으로도 종사자의 업무 효율을 높이기 위한 각종 방안을 지속적으로 검토 추진할 예정이다.

2. 안전 문화의 조기 정착

안전 문화란 '원자력발전소의 안전성을 최우선으로 고려하는 조직 및 종사자의 태도와 성향의 결집체' (국제원자력안전전문단 INSAG)이다.

고리1발전소는 지난 94년부터 안전 문화 정착을 주요 추진 과제로 선정하여, 원자력 안전 문화 평가 지침

에 따라 진단을 실시하고 연 단위 추진 계획을 수립하는 등 안전을 우선으로 하는 발전소 운영이 정착되도록 노력해 오고 있다.

원자력 안전 문화는 이미 단위 발전소의 범위를 넘어 원자력 산업 전체에 안전 문화 정착을 위한 노력들이 추진되고 있다.

원자력 안전 문화는 단기적인 추진 과제가 아니라, 우리 종사자들에게 습관처럼 몸에 배어야 하는 것이며, 부단한 각성과 자기 계발을 전제로 하는 것이다.

고리1발전소 종사자들은 정책 차원의 노력에 호응하여 관리자와 종사자의 임무를 다하여, 국민에게 신뢰를 주는 원전상을 정립하는 데 최선을 다할 것이다.

3. 원전 기자재의 국산화

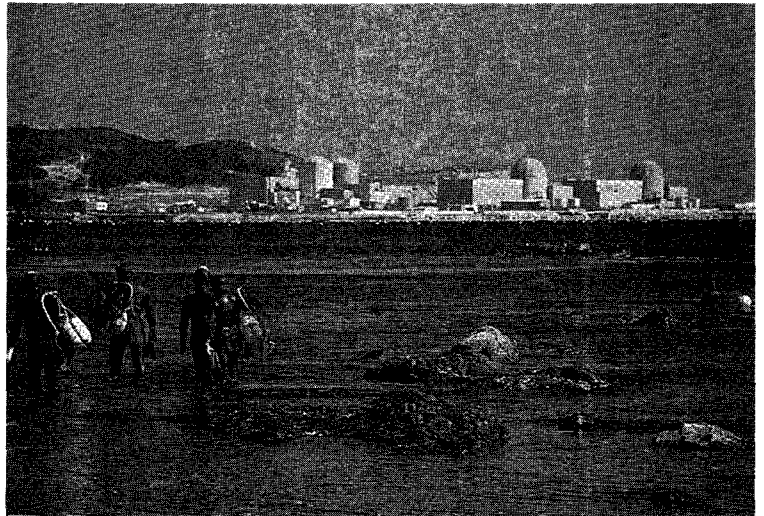
운전 연수가 20년에 이르면서 각종 부품의 공급에 많은 차질이 생기고 있다.

일정 부품의 경우 공급사가 생산을 중단하거나, 심하면 공급사가 문을 닫은 사례도 있어서 이에 대한 대책이 필요한 실정이다.

또한 운전 연수가 증가함에 따라 이러한 사정은 국내 전원전으로 확대될 것이다.

이에 따라 주요 기자재 및 각종 기기·부품의 국산화가 지속적으로 추진되어야 할 것이다.

고리 1호기는 설비 노후로 인한 어



고리 원자력발전소 전경. 고리 원자력발전소는 지난 94년부터 안전 문화 정착을 주요 추진 과제로 선정하여, 원자력 안전 문화 평가 지침에 따라 진단을 실시하고 연단위 추진 계획을 수립하는 등 안전을 우선으로 하는 발전소 운영이 정착되도록 노력하고 있다.

려움을 먼저 경험한 발전소로서, 설비 노후에 따른 각종 경험과 설비 개선 및 기술 개발 사례를 통해 향후 원전 기자재 국산화 추진에 필요한 기초 자료를 제공할 수 있을 것이다.

4. Aging effect 대책

운전 기간이 경과됨에 따라 마모·부식·열화 등으로 인해 설비가 제 성능을 발휘하지 못하는 경우, 적기에 설비 개선 사업이 추진되어야 한다.

고리 1호기는 '새발전소 만들기'를 선언하고 적기에 설비 개선 사업을 추진해 오고 있다.

또한 설비 개선 사업은 비용 대 효과 분석을 통해 경제성을 검토하고, 자체 기술 개발의 기회로 활용될 수 있을 것이다.

증기발생기, 저압 터빈 등 주요 기기의 설비 개선 사례는 국내 원전 사상 처음으로 이루어지는 것으로, 고리 1호기에 국한된 것이 아니라 향후 타원전이 aging effect 대책을 수립하는 데 지침이 될 수 있을 것이다.

고리 1호기는 사업소 실정에 맞는 적절한 설비 개선 대책을 추진하여, 신규 발전소에 버금가는 설비의 신뢰도를 확보할 계획이다.

5. 고급 인력의 양성

원자력발전소의 각종 설비는 최고의 품질 수준을 유지하고 있다.

원전의 운전·정비 및 관리 분야 종사자들 또한 이에 걸맞는 수준을 유지함으로써 원전의 안전성을 최대한 보장할 수 있도록 해야 할 것이다.



고리 원자력 1~4호기의 모습. 한 주기 무고장 운영을 달성한 것으로 모든 것이 완벽하다는 것은 아니다. 앞으로 더 나은 운영 실적을 위해서는 끊임없는 개선과 노력이 필요하다.

고리원자력본부는 종사자들의 자질을 높이기 위하여 각종 세미나, 교육, 대외 기관 교육은 물론 기술지원실과 행정지원실의 협조로 전산 교육, 어학 교육 등을 시행하여 국제화 시대, 정보화 시대에 대응할 수 있도록 하고 있다.

또한 현대 사회 고급 인력의 기준은 정보의 활용 능력에 있다고 판단하고, 정보 활용 능력을 극대화하는 한편 필요한 정보를 접근하기 쉬운 곳에 배치하도록 추진하고 있다.

고리원자력본부 기술지원실의 협조 아래 각종 기술 정보를 사내 랜(LAN)을 통하여 공유하고 있으며, 자료실에 비치된 각종 자료와 도면을 랜 설비를 통해 조회할 수 있도록 프로그래밍을 도입할 예정이다.

이와 관련하여 정보를 분류·활용할 수 있는 체제 구축이 필요하다.

원전의 운영 측면에서 각 원전이 보유하고 있는 정보 중에서 타원전에서 이용할 수 있는 정보는 호환 가능하도록 하고, 그렇지 않은 정보는 적당한 방법으로 저장하여 언제든 조회할 수 있도록 하는 시스템이 필요하다.

현재 한국전력공사는 정보화 시대에 적응하기 위한 설비 투자를 적극적으로 전개하고 있으므로, 단위 발전소에서는 종사자들의 이용 능력을 높이는 데 주력하여야 할 것이다.

맺는말

지금까지 우리 원전 산업의 역사와 고리 1호기의 운영에 대해 전반적으로 살펴 보았다.

그 동안 원전 업계는 종사자들로 하여금 자부심과 긍지를 느끼게 하는 실

적들도 많이 쌓았으나, 원전 사업의 지속적인 발전을 위하여 해결해야 할 문제점도 동시에 노출시키고 있다.

성년의 나이에 접어든 우리 원전 사업은 운영면에서는 어느 정도 성숙한 모습을 보이고는 있으나, 핵심 기술의 완전 자립 실현, 주요 기자재의 국산화, 국민들의 합의점 도출 등 원전 사업이 계속 성장·발전하기 위하여 해결해야 할 많은 과제들을 남겨 놓았다.

원전 사업이 계속 성장하느냐, 그렇지 못하느냐의 여부는 현재 원전 업계에 몸담고 있는 모든 종사자들의 자세에 의해 가려질 것이다.

고리 1호기가 한 주기 무고장 안전 운영을 달성하는 데 기술·행정·재정 등 이에 필요한 각종 지원을 제공해 준 각계의 원자력 관계자들에게 감사드린다. ☸