

원자력 안전성 확보 노력과 도전 과제

이 방 진
한국수력원자력(주) 안전실장



한양대학교 전기공학과 졸업
한수원(주) 영광제2발전소 계측제어부장, 전기부장,
정비기획처 설비개선실장, 안전기술처 안전실장
(2007-)

원자력 산업 환경

원자력 발전이 신고유가와 기후 변화협약의 현실적 대안으로 등장하면서 제2의 도약기를 맞이하고 있다.

체르노빌, TMI 등 대형 원전 사고와 일부 사회 단체들의 반원전 주장에 따라 오랜 시간 깊은 침체기에 빠져 있었던 원자력산업이 미국, 일본 등 기존 원전국의 신규 원전 건설 추진 및 중국, 인도, 인도네시아, 베트남 등 개도국의 신규 원전 준비로 새로운 변화가 시작되고 있다.

이러한 국제적인 환경 변화로 인해 원전 산업의 경쟁력이 증가되면서 원전산업을 국가 에너지 안보 차원의 중요한 에너지원으로 생각하는 인식이 확산되고 있다.

원전 선진국 및 기업들은 성장하고 있는 원전 시장 선점을 위해 합병과 전략적 제휴를 통해 경쟁력을

강화하고 있으며 적극적인 해외 사업 진출을 추진하고 있다.

미국은 에너지법 전면 개정 및 15기 이상의 원전 건설 인허가를 준비중이며, 일본은 2030년까지 원전 비중을 30~40%로 확대하고 2015년까지 9기의 신규원전 건설을 진행중이다. 중국과 인도 또한 2020년까지 각 30기와 17기의 신규원전을 건설할 것이라고 발표했다.

우리나라 원전 건설 계획

이러한 세계 원자력산업 환경 변화 속에서 우리나라는 전력의 안정적 공급을 위해 지속적으로 원전 건설 계획을 추진하여 왔다.

2006년 12월 확정된 제3차 전력수급기본계획에 따르면 2020년까지 발전 설비 중 원자력의 비중은 전체 설비 용량의 29%인 2,732kWe, 전체 발전량의 약 43%인 2,251억kWh를 점유하게

<표 1> 원전 건설 계획

신규 원전	준공 연도	용량(MWe)	노형
신고리 1,2	2010/2011	1000	OPR 1000
신월성 1,2	2011/2012	1000	OPR 1000
신고리 3,4	2013/2014	1400	APR 1400
신울진 1,2	2015/2016	1400	APR 1400

하여 소듐냉각고속로(SFR), 초고온가스로(VHTR)에 대한 프로젝트 요소 기술 개발에 참여하는 등 미래 노형 국제 공동 연구 개발에도 적극적으로 참여하고 있다.

한수원 비전과 안전성 증진

될 것으로 예상된다. 따라서 <표 1>에서와 같이 신규 원전 8기가 건설될 예정이다.

건설될 신규 원전 8기는 표준형 원전(OPR 1000) 4기, 신형경수로(APR 1400) 4기로 한국수력원자력(주)가 원전 기술의 선진화를 위해 지속적인 노력을 통해 개발한 노형이다.

두 노형 모두 노심 손상 빈도는 10만년에 1회 미만을 유지하고 있으며 표준형원전에 비해 신형경수로는 격납 건물 손상 빈도 및 내진 설계를 10배 강화하였다.

이와 함께 한수원은 APR 1400 이후를 대비하여 중장기 노형으로 APR+를 개발하기 위해 연구 개발을 하고 있다. APR 1400에 대비하여 전기 출력은 100MWe 이상, 안전성은 10배 이상, GenIII+ 노형과 대등하거나 우월한 수준의 경제성을 가진 원자로를 개발하여 수출 주력 노형으로 발전시키기 위해 노력하고 있다.

또한 우리나라는 제 4세대 원전 국제 공동 연구를 위해 2005년 11월 국제 협력(미국, 일본, 프랑스, 캐나다, 영국 등) 기본협정에 가입

20기의 원전을 보유한 우리나라는 세계 6위의 원전 운영 국가로서 국가 전체 발전 시설의 27%인 1,772만kWh의 설비 용량을 보유하고 있으며, 2006년도 원전 발전량은 1,487억kWh로 전체 발전량의 39%를 공급하고 있다. 원전의 2006년도 이용률은 <표 3>에서 보는 바와 같이 92.3%로서 세계 최고 수준이다.

또한 원자력 발전은 2006년도 발전원별 판매 단가에서 가장 낮은 38.42원으로 에너지 빈국인 우리나라에 가장 경제적인 에너지 공급

<표 2> 신형경수로 주요 안전성 증진 내용

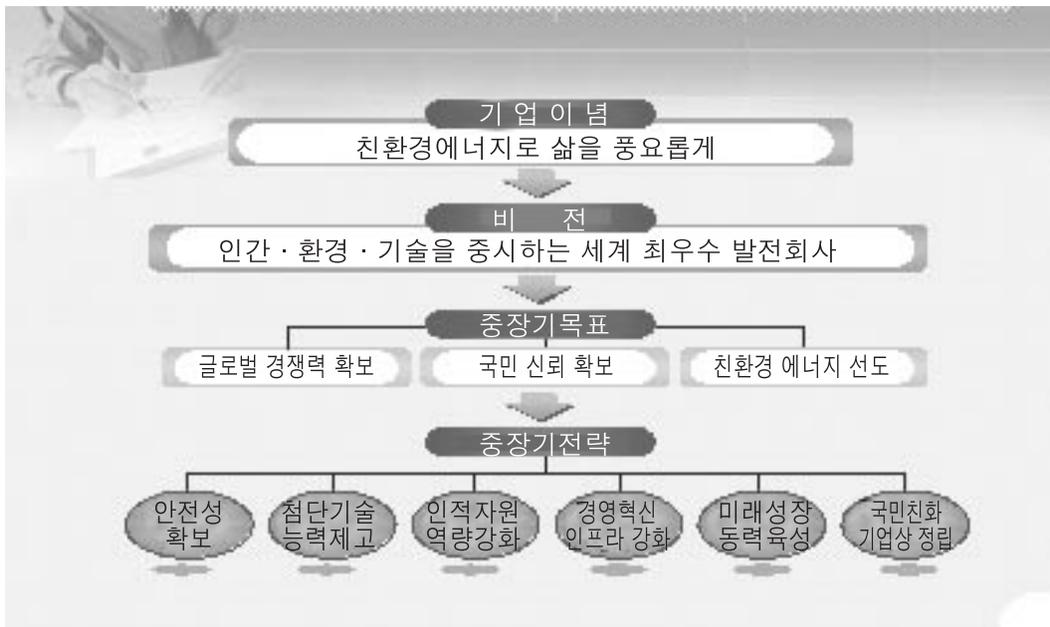
항 목	표준형원전 (OPR 1000)	신형경수로(APR 1400)	비 고
○ 노심 손상 빈도	○ 10만년에 1회 미만	○ 10만년에 1회 미만	○ APR1400은 외부사건, 정지 저출력사건 포함
○ 격납 건물 손상 빈도	○ 10만년에 1회 미만	○ 100만년에 1회 미만	
○ 내진 설계	○ 0.2g (암반 부지)	○ 0.3g(암반 및 비암반)	
○ 운전원 조치 여유	○ 10분	○ 30분	
○ 소내 정전 대처 시간	○ 4시간	○ 8시간	
○ 비상 노심 냉각 방식	○ 2 트레인 저온관주입	○ 4 트레인 직접주입	
○ SG 관막음 여유도	○ 8%여유도 (Inconel 600)	○ 10%여유도 (Inconel 690)	

<표 3> 세계 원전 이용률 현황

2006년 말 기준	미국	프랑스	일본	러시아	독일	한국
설비 용량(만kW)	10,499	6,613	4,958	2,327	2,137	1,772
이용률(%)	89.8	77.3	69.7	69.6	86.2	92.3

<표 4> 2006년도 발전원별 판매 단가

구분	원자력	석탄	LNG복합	유류	풍력	소수력	평균 판매 단가
판매 단가	38.42	38.56	102.42	115.32	107.66	84.03	53.62



<그림 1> 한수원 전략 경영 기본 체계

원으로서 역할을 담당하고 있다.

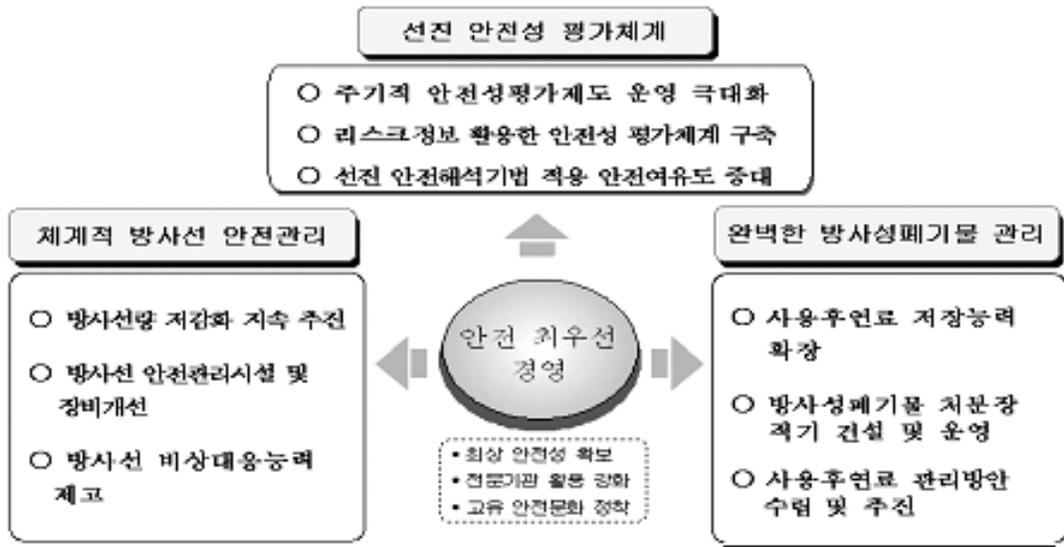
이러한 세계적인 운영 실적과 국가 경제의 중추적인 역할을 성실히 수행해 온 한국수력원자력(주)는 「친환경 에너지로 삶을 풍요롭게」라는 기업이념을 실현하기 위해 2015년까지 중장기 전략 경영 계획을 수립하여 시행하고 있다. 비전으로 「인간·환경·기술을 중시하는 세계 최우수 발전 회사 건설」

을 제시하였으며 이를 달성하기 위해 3가지 중장기 목표와 중장기 전략을 운영하고 있다.

글로벌 경쟁력 확보, 국민 신뢰 확보, 친환경 에너지 선도라는 중장기 목표를 달성하기 위해 원전의 안전성 확보를 최우선으로 하고 있으며, 첨단 기술 능력 제고, 인적 자원 역량 강화, 경영 혁신 인프라 강화, 미래 성장 동력 육성, 국민 친화

기업상 정립이라는 중장기 전략을 운영하고 있다.

또한 원전 운영에 있어 가장 중요한 요소인 원전의 안전성 확보를 위해 한국수력원자력(주)는 안전 최우선 경영 체제 확립, 선진 안전성 평가 체계 구축, 체계적 방사선 안전 관리, 완벽한 방사성폐기물 관리를 4대 핵심 전략 과제로 추진하고 있다.



〈그림 2〉 한수원 안전성 확보 추진 전략 및 과제

또한 안전 최우선 경영을 사장 경영 방침으로 적극 추진하고 있으며, 안전 최우선 경영 체제를 확립하기 위해 최상의 원전 안전성 확보, 국내외 원자력 전문 기관 활용 강화, 고유한 안전 문화 정착을 실천 과제로 추진하고 있다.

선진 안전성 평가 체계 구축을 위해 주기적 안전성 평가 제도 운영 극대화, 리스크 정보를 활용한 안전성 평가 체계 구축, 선진 안전 해석 기법을 적용하여 안전 여유도 증대를 실천 과제로 하고 있다.

체계적인 방사선 안전 관리를 위해서는 방사선량 저감화 지속 추진, 방사선 안전 관리 시설 및 장비 개선, 방사선 비상 대응 능력 제고를 실천 과제로 하고 있다.

또한 완벽한 방사성폐기물 관리를 위해 사용후연료 저장 능력 확장, 방사성폐기물 처분장 적기 건설 및

운영, 사용후연료 관리 방안 수립 및 추진을 과제로 하여 안전 최우선 경영 달성을 위해 노력하고 있다.

한국수력원자력(주)는 앞에서 살펴본 실천 과제를 추진하기 위해 중장기 로드맵을 수립하여 운영하고 있다.

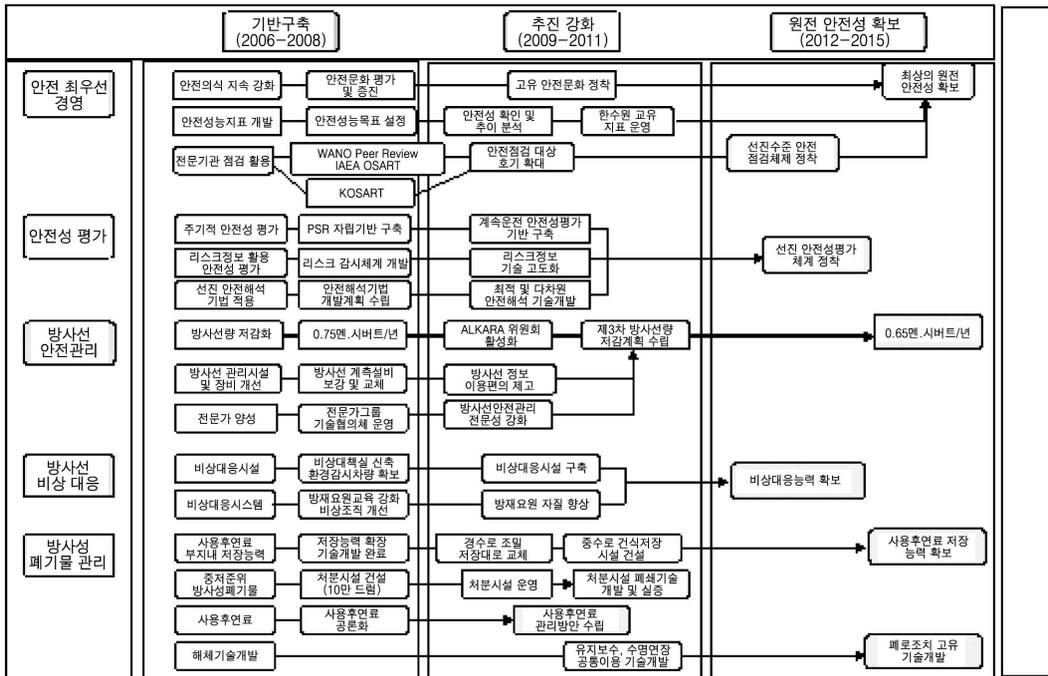
〈그림 3〉에서 보는 바와 같이 안전 최우선 경영, 안전성 평가, 방사선 안전관리, 방사선 비상 대응 및 방사성폐기물 관리 등 총 5개의 개별 항목들을 기반 구축, 추진 강화, 원전 안전성 확보라는 단계별 목표를 설정하여 운영하고 있다.

또한 원전 운영 및 안전성 최적화를 위해 리스크 정보 활용을 추진하고 있다. 리스크 정보란 기존의 결정론적 안전성 정보, 확률론적 안전성 평가(PSA) 정보, 안전 성능 실적 등 안전 관련 대상의 리스크와 관련된 모든 정보를 종합한

것으로서, 이 리스크 정보 활용을 통해 종합적인 관점에서 안전성을 확인함으로써 결정론적인 안전 관리 활동을 합리적으로 보완하고 개선하기 위함이다.

이와 같은 리스크 정보 활용의 목표는 안전 최우선 경영 실현과 원자력 발전 경쟁력 극대화로서 이를 달성하기 위해 3개의 단계로 구분하여 추진하고 있다.

현재 완료된 확률론적 안전성 평가(PSA)를 바탕으로 1단계에서는 운영기술지침서 허용 정지 시간(AOT) 및 정기 점검 주기(STD) 최적화, 리스크 감시 시스템(RIMS) 구축 및 운영, 리스크 정보 활용 가동중 검사(RI-ISI) 및 가동중 시험(RI-IST)을 위한 기술 개발을 진행중이며 이를 바탕으로 2단계에서는 가동중 정비(On-Line Maintenance), 정비 규정



〈그림 3〉 안전성 확보 로드맵

(Maintenance Rule) 적용과, 차등 품질 보증(Graded QA) 적용이 가능할 것이다.

3단계에서는 개발된 리스크 정보 활용 기술의 전사적 확대 적용을 통해 계획 예방 정비 기간 단축, 원전 안전성 향상, 발전소 건설 및 운영 비용 절감이라는 목표를 달성할 것으로 예상된다.

리스크 정보를 활용한 원전 운영 최적화 추진 현황을 살펴보면, 2005년 12월 전 발전소의 PSA가 완료되었으며, 신뢰도 자료 데이터 베이스 전산화, 전출력 리스크 감시 시스템 구축 및 운영, 운영기술 지침서 허용 정지 시간(AOT) 및 정기 점검 주기(STI) 최적화, 격납

건물 종합 누설률 시험 주기 연장(ILRT) 등을 추진중에 있다.

한국수력원자력(주)는 리스크 정보 활용을 통한 안전성 증진과 함께 정비 규정 이행을 적극 추진하고 있다. 2002년 12월 제22차 원자력안전위원회에서 원전 안전 관리 효율화를 위해 미국의 정비 규정 제도를 도입하도록 권고하여, 현재 적극적인 기술 개발이 진행되고 있다.

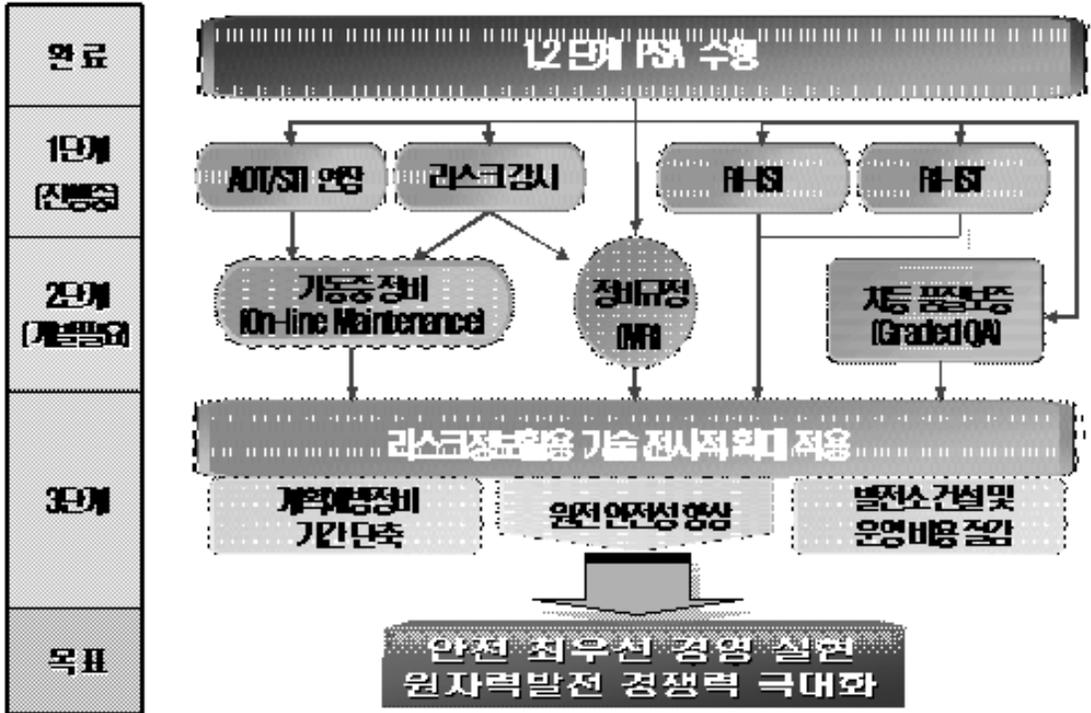
정비 규정은 고리 3, 4호기와 울진 3, 4호기를 대상으로 원전 구조물/계통/기기에 대한 성능 목표 감시 프로그램 개발을 완료하여 금년부터 시범 적용 및 시범 검사를 추진중이며, 영광 1~6호기/고리 1, 2호기/울진 1, 2, 5, 6호기는 금년

도에 기술 개발을 시작하였다.

리스크 정보 활용, 정비 규정 이행 외에도 한수원은 원전의 안전성 확보와 운영 능력의 선진화를 위해 지속적으로 자체 신규 프로세스를 개발하여 지속 발전 가능한 운영 체제를 확립하여 적용하고 있다.

현재 10개 프로세스 중 ‘운영 개선 프로그램(Corrective Action Program)’ 과 ‘자체 진단(Self Assessment) 프로그램’ 등은 절차서와 프로그램을 개발하여 적용중이며, ‘기술 교류 그룹(Peer Group)’은 시범 운영중이다. ‘통합 인적 행위 개선’ 등 나머지 신규 프로세스는 개발이 완료되면 시범 적용을 거쳐 전사로 확대 적용할 예정이다.

추진 전략



<그림 4> 리스크 정보 활용

이러한 프로세스 개선 활동이 정착되면 원전 사업을 하는 국가에 우수한 운영기술을 제공할 수 있는 패키지 구성이 가능할 것으로 예상된다.

한수원은 프로세스의 혁신뿐만 아니라 원자력발전소의 안전 문화 증진을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 원자력 안전 문화는 원자력 발전소의 안전 문제에 최우선으로 관심을 두는 것을 정당한 것으로 여기는 조직과 개인의 자세 및 특성의 결집이라고 정의하고 있다.

안전 문화에 대한 주요 요소로 항상 문제 의식을 갖는 직무 자세,

자만심의 억제, 탁월한 행위, 안전 문화에 대한 종사자의 책임 및 본사 차원의 자체 규제를 촉진하는 것을 IAEA는 제시하고 있다.

이러한 개념을 바탕으로 국내 전문 기관과 함께 원전 안전 문화 증진 방안을 연구하여 2006년 7월 원전 발전소 근무자를 대상으로 안전 문화 평가를 실시하였으며, 여기서 도출된 안전 문화 증진 계획을 수립·추진중에 있다.

안전 문화 평가는 종사자들의 안전 의식에 대한 장기적인 경향 분석과 실질적이고 구체적인 안전 문화 증진 방안 도출을 위해 매 2년

주기로 실시할 예정이다.

안전 문화 평가 체계를 좀 더 보완하기 위해 의사 결정, 자원의 배분, 작업통제, 작업 관행 등을 포함하는 인적 행위(Human Performance)와 운영 개선 프로그램, 운전 경험, 자체 진단 등이 포함된 문제의 도출 및 해결(Problem Identification & Resolution) 프로그램의 적용, 안전에 대한 관심의 증대 및 안전 문제를 제기했을 때 예상되는 두려움을 방지하는 안전 의식 작업 환경(Safety Conscious Work Environment) 조성 여부를 고려한 평가 체계를 구성하고 인터

〈표 5〉 신규 프로세스 개발 및 적용

번호	절차서 명	프로세스	시행시기	비고
1	기술교류그룹(peer group) 운영	기술교류그룹	시범시행 중	* 기시행중인 절차서를 개선 및 보완
2	운영개선프로그램	운영개선프로그램	'07. 09	
3	원인분석			
4	운영개선프로그램 경향분석			
5	운영개선프로그램 유효성평가			
6	자체진단	자체진단	'07. 09	
7	전종사자용 인적실수 예방 도구	통합인적행위개선*	'07. 10	
8	관리자 관찰			
9	작업전회의 및 작업후 평가			
10	중요운영경험보고서(SOER) 적용	기술정보관리*	'07. 10	
11	국내원전 운전 및 정비경험 관리			
12	형상관리상태평가팀 운영	형상관리	'07. 10	
13	계통성능감시	계통성능감시*	'07. 09	
14	계통건전성평가보고서			
15	발전소 건전성평가위원회	중장기 계통개선	'07. 10	
16	기능적중요도결정*	설비신뢰도(ER)	시행중	
17	예방정비기준관리(PM Template)		'08. 07	
18	엔지니어링 워크스테이션 관리지침	엔지니어링 워크스테이션	'07. 10	

류, 서류 조사 및 작업 관행 관찰을 고려하여 평가 방법을 보완할 예정이다.

현재의 운영중인 원전은 2030년이면 대부분이 운전 연수가 30년 이상이 된다. 이러한 장기 가동 원전에 대한 안전성 확보를 위해 주기적 안전성 평가 및 경년 열화 관리 프로그램 강화 운영, 설비 신뢰도 제고를 위한 건전성 진단 기법 개발 및 적용 그리고 설비 노후

화에 대비, 철저한 안전 대책을 수립하여 시행하고 있다.

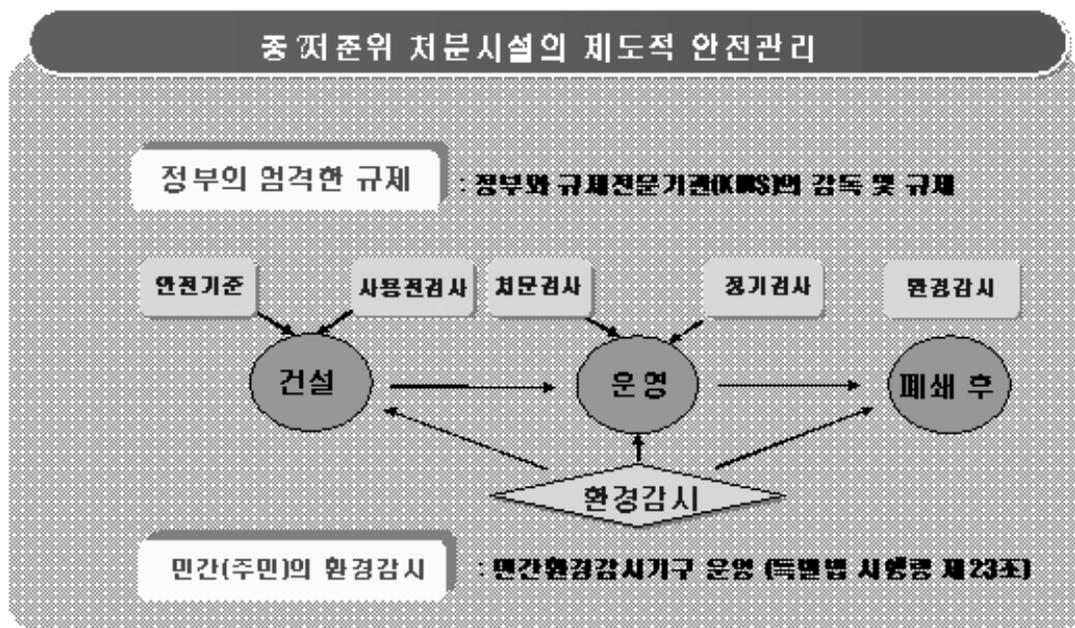
중·저준위 방사성폐기물 처분장의 안전성 확보

지금까지 우리는 운영 및 건설 중인 원전에 대한 안전성 확보 전략 및 수행중인 과제들을 살펴보았다. 지금부터는 중·저준위 방사성폐기물 처분장의 안전성 확보를 위

한 노력들을 살펴해보도록 하겠다.

중·저준위 방사성폐기물의 처분 방식은 지표면에 콘크리트 구조물을 만들어 폐기물 드럼을 차곡차곡 쌓은 후 뚜껑을 덮고 그 위에 흙을 쌓는 천층 처분 방식과, 땅속 암반에 동굴을 파서 처분하는 동굴 처분 방식 등이 있다.

현재 건설중인 방사성폐기물 처분장은 전문가 및 지역 인사로 구성된 처분방식선정위원회의 안전



〈그림 5〉 중·저준위 방사성폐기물 처분장 관리

성, 기술성, 운영성, 인허가, 주민 수용성, 친환경성, 경제성 등에 대한 평가 결과와 외국 회사의 자문 결과 등을 토대로 하여 동굴 처분 방식이 선정되었다.

완벽한 방사선 안전 관리 목표는 크게 운영중 및 폐쇄 후 성능 목표로 구분한다. 이러한 성능 목표는 원자력법 시행령과 과기부 고시에 따라 방사선 안전 목표를 수립하여 달성하게 된다.

이번에 건설될 방사성폐기물 처분장은 동굴 처분 시설로써 1단계 공사가 완공되는 2009년 12월에는 10만 드럼을 수용할 수 있는 규모를 가지게 되며, 최종적으로 총 80만 드럼을 수용할 규모로 건설하게 된다.

중·저준위 방사성폐기물 처분 시설의 제도적인 안전 관리 체계는 크게 건설, 운영, 폐쇄 후로 나뉘게 된다.

〈그림 5〉에서 보는 바와 같이 건설 단계에서는 안전 기준과 사용전 검사를 통해 안전성을 확보하고, 운영 단계에서는 처분 검사, 정기 검사 및 환경 감시, 폐쇄 후에는 지속적인 환경 감시를 통해 안전 관리를 하게 된다.

결론

1978년 4월 고리 1호기를 시작으로 한국의 원전 사업은 짧은 역사에도 불구하고 눈부신 성장을 이룩하여 현재 20기의 원전을 안전하게

운전하고 있으며 6기 원전은 건설중, 2기는 건설을 준비중에 있다.

우리나라의 원전 이용률은 2006년 기준으로 92.3%이며, 원전 고장 정지 건수는 호기당 0.55건으로 세계 최고 수준의 안전성 확보와 원전 운영 능력을 보여주고 있다. 이러한 원전 운영 능력은 안전을 최우선으로 하는 원전 운영 정책의 실현이 있었기에 가능했다고 본다.

원전의 안전성을 확보하기 위해서는 정부, 규제 기관 및 산·학·연의 긴밀한 협조 체계가 필요하며, 한국수력원자력(주)는 최상의 원전 안전성 확보와 함께 국민으로부터 사랑받는 한수원을 만들고자 끊임없이 노력하고 있다. 