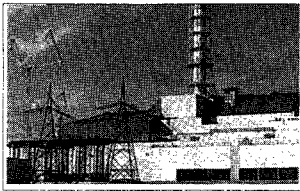


# 체르노빌 원전 사고와 안전성



86

년 4월 26일 1시 23분. 우크라이나 지역의 체르노빌 원자력발전소 4호기에 다량의 방사능 물질 누출과 화재가 발생하는 중대 사고가 일어났다.

누출은 바람과 강우 같은 기상 변화를 통하여 유럽을 경유하여 북반구 전체에 걸쳐 넓게 확산되었고, 다중의 폭발로 인해 캐나다·일본·미국 등에서도 방사능이 검출되었다.

이 사고는 벨로루시·우크라이나 및 러시아 주민들에게 심각한 건강 및 사회·경제학적 피해를 입혔고, 아직도 그 피해의 일부는 계속되고 있다.

이 사고는 원자력 안전이 개별 국가의 차원을 넘어서는 범세계적인 문제임을 확인시켜주는 계기가 되었으며, 이에 국제적으로 통용되는 안전 목표, 원칙 및 확보 방법을 확립하여 적용하려는 노력이 지난 10년간 계속되어 왔고, 최근에는 원자력안전협약의 체결과 같은 성과도 거두었다.

체르노빌 사고 10년에 즈음하여 본 글에서는 체르노빌 원전 사고의 개요와 피해 상황, 사고 원인, 한국의 기준

원전과 차세대 원전의 안전성 및 체르노빌 사고의 교훈을 논술함으로써 한국 표준형 원자로 및 차세대 원자로의 안전성 확보를 위한 방향을 제시하고자 한다.

## 체르노빌 원전 사고

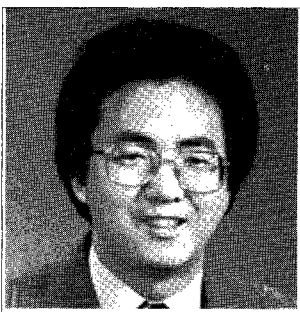
### 1. 사고 경위

체르노빌 원전 4호기는 사고 전일인 86년 4월 25일 원래 정기적인 보수 작업을 하기 위해 가동을 중지하려고 하였다.

그런데 주전력 공급이 끊어지고 디젤 엔진으로 구동되는 비상 전력 공급이 시작되는 변이 동안에, 노심 냉각계통과 비상 기기를 구동하기에 충분한 전력을 공급할 수 있는 지에 대한 발전소 기기의 성능 실험을 하라는 지시가 내려졌다.

그러나 불행히도 이 실험에서 실험을 담당하는 팀과 운전 및 발전소의 안전을 담당하는 팀과의 정보 교환과 협조가 원활히 이루어지지 않았다.

그로 말미암아 안전에 대한 예방책



장 순 흥

한국과학기술원  
원자력공학과 교수

이 마련되지 못하였고, 운전원은 그 실험이 발전소의 안전에 어떤 영향을 미치는가를 알지 못하였을 뿐만 아니라 어떤 위험이 내포되었는지도 알지 못하였다.

발전소 관리 책임자의 불충분한 안전 문화에 대한 인식으로 종사자들간의 협력이 잘 되지 않았고, 사태 인식의 부족으로 미리 설정된 안전 절차에서 벗어난 조치를 자주 운전원에게 지시하였으며, 마침내 발전소를 위험한 상황으로 몰아갔다.

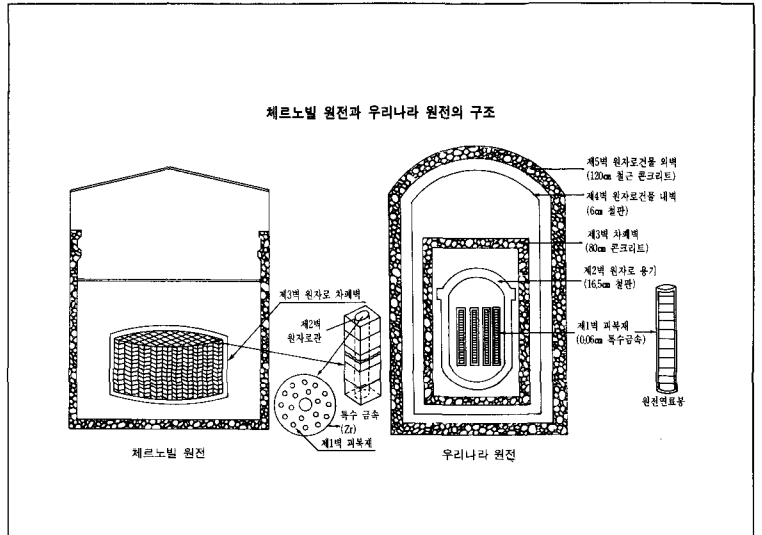
더욱이 체르노빌 원전 4호기의 경우 불안정하게 설계되었고 운전원의 오류시 제어 능력이 쉽게 상실되는 자체의 결함이 있었기 때문에 심각성은 더욱 커졌다.

이런 여러 이유로 급작스런 제어 불능 사태가 일어났고, 뒤이은 폭발로 대부분의 시설이 파괴되는 참사가 일어나게 된 것이다.

그 뒤 흑연 감속재의 사용으로 인한 화재의 확대, 그리고 방사능 물질의 대기 누출로 인하여 사태는 더욱 심각해져갔다.

사고시 누출물이 가스, 연무질(aerosols) 및 미세하게 조각난 핵연료 입자들의 형태로 방출되어 누출량이 많았으며, 누출 물질에는 방사능 물질이 다량으로 함유되어 있었다.

사고 지점의 해발(1km)이 높았고, 흑연 화재로 인한 소화 작업이 어려웠기 때문에 누출은 거의 1주일 동안이나 지속되었다.



이런 이유와 더불어 누출 기간 동안 풍향이 빈번하게 변화되는 바람에 방사능 물질의 영향을 받는 지역이 북유럽 전역을 포함해 광범위하게 퍼졌다.

그러나 옛 소련 밖 지역 중 방사능 물질의 심각한 오염은 유럽의 일부 지역에서만 일어났다.

토양과 식량의 오염은 강우의 영향에 따라 지역마다 매우 다르게 나타났다.

## 2. 각국의 반응

체르노빌의 규모와 같은 사고는 일찍이 예측되지 못하였으며, 이로 인해 각국은 대중 건강에 대한 관심과 비상사태 준비의 필요성을 느끼게 되었다.

사고 당시 많은 나라들의 개입 기준(intervention criteria)과 절차는 이런 규모의 사고를 다루는 데는 적절하지 못하였으며, 따라서 어떤 형태의

보호 조치를 할 것인가에 대한 선택에는 아무런 도움을 주지 못하였다.

그리고 사고 진행 초기에는 그것에 관한 유용한 정보가 거의 없었으며, 대중들이 방사능은 위험하다고 인식한다는 것 때문에 정책 결정자들에게 사태를 빨리 수습하라는 상당한 정치적 압력이 가해졌다.

이런 분위기 속에서 신중하고도 즉각적인 조치가 필요하다고 느끼기 시작하였지만 많은 경우 적절치 못한 조치가 취해지곤 하였다.

옛 소련 영역 내에서 단기간에 대응한 조치는 대규모로 행하여졌고 대체로 시간과 효과면에서 적절하였지만, 각 정부가 장기적으로 오염된 지역의 관리 기준을 어떻게 설정할 것인가하는 것과 대피 주민의 재정립을 어떻게 할 것인가를 논의하기에는 어려움이 따랐다.

많은 의견이 제시되었으며 여러 해 동안 여러 기준들이 적용되었다.

결국 방사능에 대한 방호와 경제적인 보상이 고려된 기준이 도입되었지만, 이것은 혼란을 가중시켰을 뿐만 아니라 악폐의 원인이 되었다.

누출된 방사능의 점차적인 확산으로 많은 나라들이 주의를 하게 되었으며, 각국의 반응은 특별한 대응책을 도입하지 않고 단순히 환경 감시만을 강화하자는 입장에서부터 식량의 유통과 소비에 대한 강제적인 제한을 하는 입장까지 다양하게 드러났다.

국가간의 오염 정도와 규제 및 대중 건강 시스템의 차이와는 관계없이 각국이 이처럼 다양한 입장을 취하는 주요 원인들 중의 하나는, 방호 조치의 도입에 대한 개입 단계(intervention levels)를 선택하고 적용하기 위한 기준이 서로 달랐기 때문이다.

국제 방사선 방호 지침의 그릇된 해석과 잘못된 사용으로 인해 몇 가지 경우에 있어서 그런 차이가 발생하였는데, 특히 식량 오염과 같은 경우가 대표적인 예였다.

그리고 대응책을 결정하는 데 있어서 사회적·경제적·정치적·심리적인 것과 같은 방사능에 속하지 않는 다른 이유에 의해 더욱 차이가 발생하였다.

이런 상황으로 인해 대중들은 걱정과 혼란에 빠졌고, 불필요한 경제적 손실과 노력의 낭비 뿐만 아니라, 대중 신뢰성의 회복 등과 같은 여러 문

제를 해결하는 데 있어서 전문가들은 곤혹을 치렀으며 각국들간에 어려움이 있었다.

그러나 이 문제들은 몇 가지 교훈을 반드시 받아들여야 한다는 것으로 결론이 지어졌고, 비상 관리의 기준과 접근을 수립할 수 있는 방향으로 국제적인 노력이 이루어졌다.

### 3. 피폭 방사선량

전세계에 누적된 것과 원자로 내의 노심 용융물(core debris)의 분석으로 세슘과 텔루륨의 초기 보유량의 1/3이 누출되었다고 추정된다.

그러나 미세하게 조각난 핵연료의 입자들 같은 다른 중요한 물질은 적은 양이 옛 소련 밖으로 누출되었다.

체르노빌 원전 사고시 방사능 물질의 누출은 전체 연료 보유량의 약 3.5%였다.

핵연료 입자들의 누출은 노심 용융물 산화 과정(core debris oxidation)의 결과로 보여지고, 세슘·지르코늄·악티나이드 같은 휘발성 원소는 별로 포함되어 있지 않았던 것으로 판명났다.

사고 몇 년 후 환경 방사능 오염 자료 수치와 수학적 모델을 기반으로, 사고에 영향을 받은 인구의 피폭선량 범위에 대한 적절한 평가가 이루어졌다.

주 관심사는 방사성 동위원소 세슘의 섭취 및 조사에 의한 갑상선 피폭에 대한 것이다.

#### 가. 소개자(Evacuees)

10만 명 이상이 사고 발생 후 1주일 이내에 사고 지역으로부터 30km 밖으로 대피하였다.

사고 당시 그들은 위치한 장소와 대피 시간 등이 서로 달랐지만 몸 전체와 갑상선에 많은 선량을 받았다.

갑상선 피폭량은 성인의 경우 70mSv에서부터 아이들의 경우 1Sv, 그리고 청소년의 경우 15mSv에 이르기까지 다양하였다.

#### 나. 작업자(Liquidator)

사고 초기의 비상 조치에서부터 사고 후의 수 년 동안에 청소를 하였던 군인·소방대원·청소부들의 수는 약 400명으로 그들 모두에게 급성 방사능 증후가 나타났으며 긴급 의학 조치가 요구되었다.

선량은 수 Gy(gray)부터 10Gy에 이르기까지, 특히 갑상선에 많이 조사되었다.

청소 작업자들은 더 이상 근무를 하지 않고 선량 조절 및 통제를 받았지만, 수십 mSv에서 수백 mSv의 많은 선량을 받았다.

#### 다. 옛 소련 오염 지대의 사람들

27만 명이 아직도 555kBq/m<sup>2</sup>의 수치가 넘는 방사성 세슘으로 오염된 지역에 살고 있다.

그들은 방사성 옥소로 오염된 우유를 계속 섭취함으로써 인해 갑상선이 사고 후에도 1주일 동안이나 계속 방사능에 누출되었다.

벨로루시의 Gomel 지역의 어린이

들은 미미한 양에서부터 40Sv까지, 평균적으로 0세부터 7세까지 1Sv의 선량을 갑상선에 받았다.

이 지역의 식량 제어로 말미암아 86년 여름 이후부터 이 지역 방사성 피폭의 대부분은 대지에 있던 방사성 옥소로부터 나오는 외부 방사선이 차지하게 되었다.

86~89년 사이의 전체 신체 조사는 5mSv에서 250mSv로 평균 40mSv로 추정된다.

라. 옛 소련 밖의 인구

사고시 방출된 휘발성을 가진 방사성 물질(예를 들어 옥소·세슘)들은 전체 북반구에 흩어졌다.

옛 소련 밖의 인구에 조사된 양은 상대적으로 작았지만, 방사성 물질이 있는 구름을 통과하는 동안에 비가 왔는지에 따라 달라진다.

즉 몇  $\mu$ Sv에서 1mSv 또는 2mSv 까지 다양하다.

#### 4. 건강 피해

체르노빌 사고의 건강 피해는 죽음 및 심각한 건강 침해 등과 같은 급성 피해, 암과 같은 장기적 피해, 그리고 건강에 영향을 줄 수 있는 심리적 피해로 나눌 수 있다.

가. 급성 피해

급성 피해는 모두 발전소 종사자, 소방원 및 의료진, 사고 수습을 도왔던 구조반원들 사이에 일어났다.

95년초에 우크라이나 당국자가 체르노빌 사고로 인한 사망자가 10만

명을 넘는다고 주장한 것이나 이와 유사한 기사들은 근거가 없는 것이며, 현재까지 입증된 사망자는 40명 정도(사고 당시 사망자 31명, 이후 방사선 유발 갑상선암으로 인한 치사자 10명)이다.

그리고 사고 후 고준위의 방사선 피폭과 화상으로 인해 입원하였던 203명의 발전소 종사자 및 소방원들은 그 후 전원 퇴원하였다.

심한 부상으로 사망하거나 입원한 사람들 중에는 일반 시민은 한 사람도 없었다.

또 사고로 인해 방사선에 피폭된 여자에게서 태어난 300명의 유아 중에서도 건강상의 재해는 전혀 발견할 수 없었다.

나. 장기적 피해

주요 장기적 피해로는 복구 작업에 참여한 작업자 및 오염 구역에 거주하고 있거나 거주하였던 주민들의 갑상선암, 그리고 인근 피해 지역 주민에게서 앞으로 발생할 수 있는 암과 질환(특히 백혈병·유방암·방광암 및

신장질환)의 두 가지를 들 수 있다.

특히 피해 지역에서 갑상선암(특히 아동의 경우)이 증가하고 있는 것은 분명하며(표 1) 참조, 이미 벨로루시 지역에서 400명, 우크라이나 지역에서 220명, 러시아 지역에서 62명이 확인되었다.

암 발생의 지리적 분포는 방사능 오염 분포와 잘 일치하며, 90년 이후에 급증하는 시간적 분포가 예상된 암의 잠복기와 일치하고, 벨로루시에서 실시한 연구 결과도 그 연계성이 정당화되고 있다는 점에서 갑상선암의 증가가 방사능으로 인해 기인한 것으로 볼 수 있다.

그러나 주요 피폭 원인으로 간주되는 옥소-131을 사용하는 진료 경험에서 관찰된 것과는 일치하지 않아, 갑상선암 증가의 주요 원인이 방사성 옥소에 의한 갑상선 피폭만으로 보기에 어려운 점도 있다.

다른 핵종·외부 피폭·유전적 요인·옥소 결핍·예방 그외 다른 요인의 기여가 발암 과정을 일으킬 수 있

〈표 1〉 체르노빌 주변 지역 어린이 갑상선암에 대한 조사표

연 도 \ 지 역	1981~85		1986~90		1991~94	
	수 치	발암률 <sup>1)</sup>	수 치	발암률	수 치	발암률
Berlarus	3	0.3	47	4	286	30.6
Gomei	1	0.5	21	10.5	143	96.4
Ukraine	25	0.5	60	1.1	149	3.4
Local <sup>2)</sup>	1	0.1	21	2	97	11.5
Russia <sup>3)</sup>	0	0	3	1.2	20	10

주 : 1. 100만 명당

2. 체르노빌 인근 5개 지역

3. Bryansk and Kaluga 지역

는 가능성도 있다(이에 대해서는 많은 연구가 필요하다).

그리고 백혈병·선천적 불구·기형아 출산이나 체르노빌 사고로 기인되었다고 판단되는 다른 병들 뿐만 아니라 갑상선암 이외의 암들의 증가는 전혀 나타나지 않고 있다.

이것은 옛 소련의 내부 및 외부의 전세계 모두에 해당되는 말이다.

하지만 현재까지는 통계적으로 백혈병이나 혈액상의 변화의 증가는 없었지만, 향후 몇 년 이내에 이들 질환과 유방암·방광암·신장질환이 증가할 우려가 있는 것으로 발표되었다.

발암의 원인에 대한 논란은 계속되고 있지만, 다행스러운 것은 갑상선암에 대한 치료가 의학의 발달로 수월하게 치료될 수 있다는 것이다.

#### 다. 심리적 피해

체르노빌 사고의 또 하나의 중요한 피해로는 방사능의 영향을 받은 주민들의 심리적인 스트레스의 대규모 확산이라 말할 수 있다.

피해 지역 주민들은 물론 이들을 수용한 지역의 주민들에게도 미묘한 사회 심리적 마찰이 있어 왔다.

방사선 피폭이라는 원인 외에도 거주지와 직업의 전환, 생활 패턴의 변화, 타인의 반목 등 피해 지역 주민들이 겪는 심리적 압박은 두통·가슴앓이·소화불량·불면증·산만 등 다양한 질환의 증가를 초래하고 있고, 이를 술로 달랠으로써 또 다른 문제도 발생되었다.

특히 옛 소련의 오염된 지역에 두드러지게 나타나는 이런 현상의 심각성은 국가와 공식 전문가에 대한 불신 뿐만 아니라, 방사선과 그의 피해에 대한 막연한 대중의 두려움에서 나타났고, 사고 때문에 빚어지는 사회망과 전통 생활 방식의 붕괴로 인해 그 심각성이 더해졌다.

이러한 사회적 현상은 피해 지역 주민들만의 문제가 아니라 원자력이 아닌 다른 재해로 인해 다른 나라에서도 발생할 수 있는 문제인 만큼 체르노빌 지역에 대한 세계의 관심이 요구된다.

### 5. 농산물·환경 피해

농사와 식량 생산 및 소비, 그리고 환경의 다른 면에서의 사고의 충격은 인간에 대한 직접적인 건강상의 충격보다 더 크게 확산되었고, 지금도 확산되고 있다.

농산물과 우유 및 육류에의 방사능 물질의 누적을 줄이기 위한 토지 관리 및 오염 제거가 몇 가지 경우에 효과를 보여주었으며 지금까지 계속 행해져 오고 있다.

그러나 옛 소련 내 많은 면적의 농토가 사용되지 못했고 또 앞으로도 오랫동안 그럴 것으로 보인다.

농산품의 생산과 낙농 활동이 행해지고 있지만, 많은 지역에서 생산된 식량이 배분과 사용에 있어서 심한 제약과 제한을 받고 있다.

옛 소련 밖의 몇몇의 나라에서도 강도는 훨씬 약하지만 같은 제한을 받아

왔다.

불과 몇 년 전에 대부분이 없어졌지만 유럽의 일부 지역에서는 아직도 계속되고 있다.

환경에 대한 영향 중 특히 문제가 되어 왔고 지금도 겪고 있는 것은 삼림에 대한 것이다.

나무는 방사능 물질을 잘 흡수하기 때문에 다른 지역보다 삼림에서의 방사선 적재가 심각하다.

극단적인 예가 체르노빌 근처의 소위 '붉은 숲'이라는 곳인데 피폭이 워낙 심하여, 나무들이 마치 방사성 폐기물처럼 파괴되어 버린 곳이다.

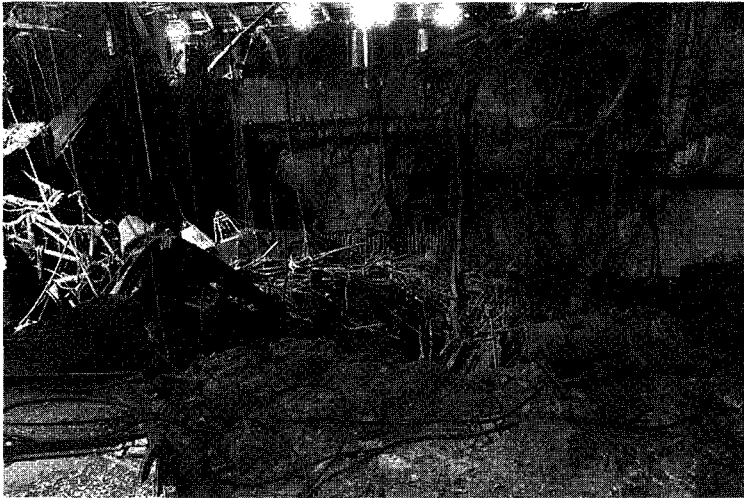
몇 개의 숲은 계속 관심의 대상이 되고 있는데 이들은 오랫동안 문제로 대두될 것으로 보인다.

강·호수·저수지 같은 곳은 사람들이 식수 및 휴양지로 사용하기 때문에 만일 오염되었다면 방사능 피폭의 주요 인자가 될 수 있다.

체르노빌 사고의 경우는 위의 식수 원인으로 인한 개인 및 집단의 조사량이 전체 조사량의 1% 내지 2% 정도만을 차지한다.

따라서 식수 계통의 오염 문제는 지난 10년간은 크게 대두되지 않았다.

그럼에도 불구하고 체르노빌 근처 오염된 지역의 식수 계통의 담수 지역에 적재된 방사능이 많기 때문에, 그런 오염된 담수 지역의 유실로 인하여 식수 공급원을 오염시키지 않는다는 확신이 있을 때까지 계속 감시해야 할 것이다.



체르노빌 원자로 내부 모습(1991년 촬영)

옛 소련 밖의 지역에서는 식수의 방사능에 대한 관심은 다소 약하였다.

반면 특히 스위스와 북유럽 국가들의 경우, 호수의 물고기 소비에 대한 제한이 필요하였다.

이런 제한은 스웨덴의 경우 지금도 계속되고 있는데, 이 나라의 수천 개 호수 속의 물고기들은 지금도 여전히 시장 판매를 담당하는 단체가 제시하는 제한치 이상의 방사능 물질을 가지고 있는 것으로 밝혀졌다.

## 6. 사고 원인

사고 원인을 크게 구분하면, 첫째 설비상에 잠재적인 결함이 내재되어 있었고, 둘째 운영 관리상에도 큰 허점이 있었다고 판단된다.

### 가. 설비 측면에서의 원인

① 원자로 설계 특성상 높은 원자로 출력에서는 유효 반응도가 부(-)가

되어 별 문제점이 없으나, 20% 이하의 저출력에서는 냉각수의 기포 계수에 의한 정(+) 반응도가 도플러 계수에 대한 반응도보다 월등하여 전체적으로 정(+) 반응도를 가지게 되어 있어 저출력시에는 출력 폭주 사고의 취약점을 내포하고 있다.

② 감속재로서 화재 위험이 있는 흑연(graphite)을 원자로 내부에 사용하고 있다.

③ 중대 사고시 방사성 물질의 환경으로의 누출을 방지하기 위한 격납 용기가 없었다는 점 등이다.

### 나. 운영 관리 측면에서의 원인

① 별도의 실험 설비에 성능을 입증한 후 원자력발전소에 사용하는 것이 상식인데 반해, 안전성이 불확실한 실험을 원자력발전소 설비를 직접 이용해서 하였다.

② 원자로 외부로 제어봉을 과다 인

출하였고, 터빈 정지시 원자로 자동 정지 회로를 임의로 절단시키고 증기 발생기의 이상 압력 및 수위에 대한 원자로 정지 보호 기능을 제거하는 등 안전 운전 규정 및 지침을 위반하였다.

③ 터빈 관성을 이용한 비상 전원 공급 가능성 실험이라는 관점에서 원자로 안전성을 등한시하였을 뿐 아니라, 원자로 특성이나 열수력학 및 발전소 운전 등에 관한 지식이 부족한 전기 기사 주관하에 실험과 운전 조치가 수행되었다.

④ 실험 계획상의 출력 수준 이하의 불안정한 원자로 출력 상태에서 실험을 하는 등 당초 실험 계획에 따라 하지 않았으며 실험 계획 자체도 미비하였다.

⑤ 실험중 원자로가 정지되면 옛 소련 원자로의 특성상 재기동에는 수십 시간이 소요되어 실험을 충분히 할 수 없다는 점과 경직된 발전소 운영 체계로 인하여 단시간 내에 실험을 완료할 목적으로 원자로 출력 상태가 불안정한 조건에서 실험을 무리하게 강행하였다.

## 체르노빌 사고의 교훈

체르노빌 사고의 교훈은 △ 운전 절차에 대한 운전원의 철저한 준수 △ 사고시 운전 절차를 위반하는 경우에 대비한 원자로 보호 시설의 설치 △ 저출력 운전중 계통 시험을 수행할 경

우 이용 가능한 냉각·제어 기능에 대한 철저한 확인 △ 국제적 안전 원칙의 설정 등 많은 것을 들 수 있다.

그러나 가장 중요하게 배워야 할 사실은, 대형 사고는 필연적으로 사고 지역으로부터 멀리 떨어진 국가라도 직접적이든 간접적이든 영향을 받을 수 있다는 것이다.

따라서 이에 대비해 국제 통신, 비상 관리의 국제적 화합, 보호 조치의 공동 조정 등과 같은 국제 공동 작업을 강화하고 확대하는 노력과 더불어 중대 사고 예방 및 완화와 국내외 안전 문화에 대한 정착에 노력을 해야 할 것이다.

### 1. 중대 사고 예방 및 완화

발전소 설계 및 운전시 중대 사고의 예방 및 완화를 위한 설계와 더불어 중대 사고 관리 문제를 고려해야 한다.

현재 전세계적으로 여러 중대 사고들을 해결하기 위한 연구들이 규제 기관의 주도로 이루어지고 있고, 연구 결과를 반영한 규제 지침들이 마련되어가고 있다.

### 2. 비상 대책의 확립

원전은 공학적으로 이미 안전성이 충분히 입증되어 있으므로 방사능의 누출로 인한 피해의 가능성은 극히 희박하나, 불가항력의 자연 재해나 인간 실수에 의한 사고의 가능성을 완전히 배제할 수는 없다.

비상 계획 또는 비상 대책은 사고 피해 완화의 최후 수단으로서, 이러한 잠재적 사고시 발전소 직원 뿐만 아니라 일반 대중을 보호하기 위해 필요한 모든 활동을 포함한다.

비상 대책이 올바르게 수행되기 위해서는 크게 다음과 같은 내용들에 초점을 맞추어야 한다.

① 비상 계획서는 발전소 부지 외부에서의 방사선 준위가 증가할 때, 공무원과 전력 회사가 취해야 할 행동을 명확하고 일관성있게 자세히 기술해야 한다.

② 발전소 부지 외부에서의 방사선 준위가 높아질 때, 주민을 보호하기 위한 계획은 일어날 수 있는 사고의 등급별 기술 평가에 근거하여 수립되어야 한다.

위와 같은 비상 대책과 함께 종합적인 사고 관리 대책도 수립되어야 한다.

즉 과도 상태나 설계 사고시 대책과 중대 사고시의 대책, 그리고 비상 계획이 개별적이 아니라 서로 유기적인 관계를 가지고 수행될 수 있도록 하는 대책이 수립되어야 한다.

### 3. 국제 협력 및 국제화

초기의 국제 협력은 주로 원자로 기술의 개발과 관련 기술 이전, 그리고 경제성 문제에 치중되었다.

정부간 국제 기구로서 국제원자력기구(IAEA), 경제협력개발기구/원자력기관(OECD/NEA) 등이 설립되었

고, 민간 협력 기구로는 세계원전사업자협회(WANO) 등이 설립된 바 있다.

그러나 초기에 이런 기구들이 국제 협력의 활력소가 되었다고는 평가될 수 없다.

TMI 사고로 인하여 이러한 국제적 분위기가 전환되기 시작하였다.

즉 어떤 한 나라의 원자력 산업은 결국 다른 모든 나라에 영향을 끼치는 중요한 의미를 갖는다는 사실에 공감하게 된 것이다.

더욱이 체르노빌 사고는 원자력발전소의 안전 문제에 대한 국제 협력의 필요성을 실감시키는 계기가 되었다.

이러한 전환된 분위기 속에서 국제 협력은 활발해지고 있으며, 앞으로 이런 추세는 계속될 것이 확실하다.

우리 나라는 세계 주요 원전 운영국의 일원이 되었고 95% 이상의 기술 자립을 달성하였다.

그러나 원자력 기술의 핵심이라 할 수 있는 노심과 계측 제어 관련 분야의 기술 자립이 아직 미흡한 실정이다.

그러므로 국제 협력 분위기를 잘 이용하고 또한 능동적으로 이에 참여할 필요가 있다.

### 4. 안전 문화 정착

TMI와 체르노빌에서의 사고 경험으로 미루어 볼 때, 원자력발전소의 안전은 규제·설계·건설·운전 등에 관련된 개개인들의 안전에 대한 자제와 그들의 속한 조직 내의 풍토에 좌

우한다고도 볼 수 있다.

이러한 관점에서 안전 문화(Safety Culture)의 개념이 도입되었고 세계적으로 안전 문화의 형성과 정착에 대한 관심이 고조되고 있다.

안전 문화란 원자력발전에 관련된 개인과 조직들이 원자력발전소에서의 안전 문제를 무엇보다 중요하게 인식하고 받아들이는 문화적 특성 및 풍토를 일컫는 말이다.

안전 문화에서는 안전의 중요성에 대한 개개인의 인식, 훈련 및 교육을 통한 높은 수준의 지식 및 수행 능력, 안전을 최우선시하는 데 대한 관리자와 조직간의 공동 인식, 개개인의 자발적인 태도와 적절한 상벌 제도, 목표 설정이나 근무 환경 개선 등을 통한 동기 부여, 적절한 관리 감독, 명확한 책임 부여 등이 중요한 요소이다.

안전 문화가 정착되기 위해서는 조직 체계와 조직 내에 속해 있는 개개인들의 자세가 모두 중요하다.

원전의 안전에 관련된 정책 수립 및 집행을 담당하는 정부 기관은 안전에 대한 정책을 명확하고 알기 쉽도록 만들고, 그 정책을 수행하는 조직이나 개인들에게 안전이 다른 실질적인 측면보다 우선한다는 것을 분명히 인식시키도록 해야 한다.

경영 책임자는 안전문화 정착을 위한 개개인의 안전에 대한 올바른 자세를 장려하고 환경을 조성하며, 조직의 안전 정책과 목표에 따라 이러한 관행을 만들어야 한다.

또 개개인의 책임과 권한을 분명히 하도록 하며, 공정한 상벌 제도를 통해 개개인에게 안전 업무에 대한 동기 부여를 할 필요가 있다.

그리고 개개인의 경우에 성공적인 안전 문화 정착의 관건은 위에서 논의한 전체적인 작업 풍토에 의해 직접적인 영향을 받는 자신들의 업무 수행 여부에 달려있다는 것을 인식하고, 의문을 갖는 태도, 엄격하고 신중한 접근 자세, 그리고 대화하는 자세를 가지고 자신의 업무를 수행해야 할 것이다.

또 업무를 수행함에 있어서 작업 절차를 이해하고 그 절차를 엄격히 준수해야 할 것이다.

## KSR과 KNGR의 안전성

체르노빌 원전과 우리 원전의 설비 측면 및 운영 관리 측면의 안전성 비교와 한국 표준형 원자로(KSR)와 차세대 원자로(KNGR)의 확률론적 사고 가능성을 분석해보면 다음과 같다.

### 1. 설비·운영관리의 안전성 비교

#### 가. 원자로 설계 특성

체르노빌 원전은 원자로의 온도가 올라가면 출력이 더욱 올라가는 정(+ ) 반응도를 가지고 있는 반면, 우리 원자로는 어떤 출력 상태에서도 항상 부(-) 반응도를 가지고 있어 출력 상승시 노 자체가 출력을 감소시키는 자기 억제 기능을 가지고 있다.

#### 나. 원자로 제어봉

체르노빌 원전은 출력 분포의 안정 유지가 어렵기 때문에 복잡한 제어 계통을 가지고 있어서 원자로 긴급 정지 기능이 미흡하다.

반면 우리 원전은 출력 분포 제어가 용이하며, 제어 계통이 간단하고 출력 제어 속도도 충분하다.

뿐만 아니라 제어봉의 과도한 인출이 방지된다.

#### 다. 원자로 계통 구조

체르노빌 원전은 수직 원통형 원자로실 내에 수직으로 된 총 1,680개의 냉각재 채널로 되어 있어 냉각재 계통 및 열제거 계통이 복잡하므로 냉각재의 누설 가능성이 크다.

그러나 우리 원전은 수직 원통형 원자로와 3개의 냉각 루프로 되어 있어 냉각재 누설 가능성이 적다.

#### 라. 중성자 감속재

체르노빌 원전은 흑연을 감속재로 쓰기 때문에 화재 위험성이 매우 크다.

우리 원전은 경수(H<sub>2</sub>O)가 냉각재의 역할과 함께 감속재의 역할을 겸하고 있어 화재 위험성이 전혀 없다.

#### 마. 안전 설비 다중화

체르노빌 원전은 자유 진영의 설계 개념에 비해 안전 설비가 매우 미흡한 반면, 우리 원전은 안전성 확보를 위해 설비된 모든 안전 설비가 각각 2중으로 설치되어 있어 1개의 설비가 순간적으로 사고가 나더라도 안전성 확보가 가능하다.



**바. 격납 용기**

체르노빌 원전은 격납 용기가 없지만, 우리 원전은 철근 콘크리트 구조의 격납 용기가 원자로 및 관계 시설을 보호하고 있다.

따라서 만일의 중대 사고가 발생한다 하더라도 사고는 원자로 격납 용기에 국한되며, 체르노빌 원전 사고와 같은 방사성 물질의 환경 누출은 불가능하다.

**사. 원전의 운전 관리**

우리 나라의 경우 원전의 안전성을 확보하기 위해 안전 운전의 규정을 준수하며, 안전성이 미확정된 실험은 허가하지 않고, 자격증이 있는 운전원에 의해서만 원자로를 운전하도록 하고 있다.

또한 안전 설비의 성능을 지속적으로 검사하며, 안전 운전 확인을 위해 규제 기관의 전문 요원이 각 원자력발전소에 상주하기 때문에 상당히 안전하다고 할 수 있다.

따라서 우리 원전은 설계면이나 운영면에서 체르노빌 사고와 같은 사건이 발생할 수 있는 요인은 없다고 볼 수 있다.

**2. 핵물론적 사고 가능성**

국제원자력안전자문단(INSAG)에서 제시된 정량적인 안전성 목표는, 기존 원전의 경우 심각한 노심 손상의 발생 가능성은 1기의 원전당 1만 년 가동 연수에 한 번 이하의 확률을 가지며, 방사성 물질의 대량 외부 누출

가능성은 10만 년 가동 연수에 한 번 이하의 확률을 가지도록 하는 것이다.

한편 앞으로 건설될 원자로의 경우는 사고의 위험도를 기존 원전의 안전성 목표에 비해 1/10 이하로 낮출 것을 요구하고 있다.

한국 표준형 원자로나 차세대 원자로의 경우 10만 년에 1회 이하의 노심 손상률과 100만 년에 1회 이하의 격납 건물 손상 빈도수를 가지는 것을 안전 목표로 하고 있다.

특히 차세대 원자로는 부가적인 목표로서 발전소 사고가 일어날 경우에도 주민에 대한 방호 조치가 필요치 않게 하기 위해 부지 경계에서 24시간 피폭선량이 0.01Sv(1rem)를 초과하는 것을 10만 년에 1회 이하가 되도록 설계된다.

또한 토지의 지속적 사용을 가능케 하기 위하여 반감기가 긴 Cs-137의 누설량을 100TBq(2,700Ci) 이하로 제한되도록 설계된다.

위의 목표는 발전소가 갖추어야 할 최소한의 요건에 해당하는 것으로 실제의 경우는 안전 목표의 1/10 이하의 확률을 가지고 설계된다.

체르노빌 사고의 경우는 심각한 노심 손상이 일어난 뒤에 방사성 물질의 대량 외부 누출이 발생한 사고였다.

우리의 경우 체르노빌에서와 같은 사고의 빈도는 100만 년 내지 1,000만 년에 1회 이하의 확률을 가지게 되므로 거의 무시할 만하다고 볼 수 있다.

**결 론**

체르노빌 원전 4호기 사고는 당사 국민 옛 소련에 많은 인명 피해와 환경 오염 등을 초래하였을 뿐만 아니라, 스웨덴을 비롯한 근접 국가에까지 방사능 오염으로 피해를 주고 국제적인 물의와 정치적인 긴장까지 초래하는 등 하나의 큰 재앙으로 인식된 사고였다.

그러나 체르노빌 원전 사고가 일어난 지 10년이 지난 지금 국제적인 여러 기관들에 의해 많은 사실이 밝혀졌고, 앞으로도 많은 연구 조사가 계속 될 것이다.

이들 연구 조사에 의하면 사회에 알려진 대부분의 피해 결과가 과장된 것이거나 심리적인 것으로 밝혀졌으나, 여전히 원전 사고에 대한 대중의 불안은 계속되고 있는 것이 사실이다.

하지만 체르노빌 원전 사고는 원자력발전소의 일어날 수 있는 사고 중 가장 심각한 사고에 해당하며 위에서 밝혔듯이 우리 나라를 비롯한 서방 세계의 원전에서는 그런 사고의 가능성이 거의 없다고 볼 수 있다.

그렇지만 더욱 완벽한 원자력 안전성의 확보를 위해서는 탁월한 설계나 운영 외에도 사회적 기반, 즉 안전 문화의 정착, 안전 규제 제도의 최적화, 중대 사고 예방 및 완화와 같은 안전성 연구 및 기술 개발, 인력 양성 등이 뒷받침되어야 할 것이다. ☼