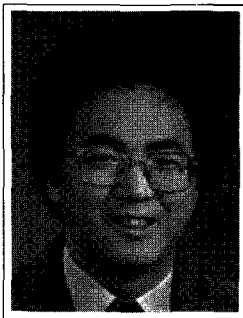


체르노빌 사고 후 10년

사고의 종합적 영향

장 순 흥

한국과학기술원 원자력공학과 교수



19

86년 4월 26일, 옛 소련의 우크라이나 공화국에 위치해 있던 체르노빌 원자력발전소 4호기에서 원자력 산업 역사상 가장 심각하였던 사고가 발생하였는데, 이로 인해 원자로가 파손되고 다량의 방사성 물질이 10여일 동안 외부로 방출되는 결과가 초래되었다.

사고 복구를 위해 많은 비전문 인력뿐만 아니라 발전소 운전원을 포함해 소방대원·군인들과 같은 비상 지

원자들이 동원되었다.

사고 복구 및 처리와 관련된 활동을 하였던 60~80만명 중 약 20만명 정도의 복구 작업자들이 방사선 피폭이 최고였던 86년과 87년 동안에 체르노빌 지역에서 일하였으며, 이들은 '오염 지역'으로 표시된 지역에서 일한 관계로 비교적 낮은 선량이지만 방사선에 피폭된 많은 일반인들과 원자로 주위의 청소, 석관의 구축, 정화, 도로 건설, 그리고 오염된 빌딩과 숲 및 장비의 파괴와 매장 등과 같은 사고 후 청소에 참여하였던 사람들로 구성되어 있었다.

86년 4월 27일부터 8월 중순까지 약 116,000명의 공화국 국민들이 방사선 피폭으로부터의 보호 목적으로 체르노빌 발전소 주위 지역에 있던 그들의 거주지로부터 소개되었고, 최고 선량률을 나타내는 지역을 포함하는 '제한 구역'이 확립되어 이 지역에 대한 일반인의 접근이 금지되었다.

사고에 대한 상기와 같은 초기 대응이 이루어진 후 현재까지 다양한 후속 조치들이 체르노빌 사고의 영향을 경감시키기 위해 취해져 왔다.

하지만 체르노빌 사고 이후로 각종 언론 매체들을 통해 발표된 사고의 영향에 관한 보고들은, 사상자 수나 각종 질병의 발병률 등의 문제에서 큰 견해의 차이를 보이며 계속적인 논란의 대상이 되어 왔다.

이런 이유로 이 글에서는 체르노빌 사고 후 10주년이 지난 현 시점에서 사고의 영향이 다양한 분야에서 어떤 형태로 나타났는지를 객관적이고도 종합적으로 검토해 보고, 이로부터 원자력계가 얻을 수 있는 교훈은 무엇인지에 관해 기술하고자 한다.

이를 위해, 96년 4월에 유럽연합(EC)과 국제원자력기구(IAEA) 및 세계보건기구(WHO)가 합동으로 개최하였던 국제 회의인 '체르노빌 사고 후 10년: 사고의 영향 요약'에서 전문가단들이 발표한 내용들과 95년

11월에 방사선 방호 전문가들로 구성된 원자력에너지기구(OECD/NEA) 위원회가 원자 방사능의 영향에 관한 유엔과학위원회(UNSCEAR), 유엔식량농업기구(FAO), WHO 및 EC 등의 기구들의 최신 정보를 이용하여 보고한 방사선 방호 및 보건에 대한 영향 평가 결과가 참고되었다.

방사성 핵종의 방출 및 침적

1. 방 출

사고시 방출된 모든 방사성 물질의 총방사능 강도는 비활성 기체들에 의한 $6\sim 7\times 10^{16}\text{Bq}$ 을 포함해 현재 약 $12\times 10^{16}\text{Bq}$ 정도의 것으로 평가되고 있다.

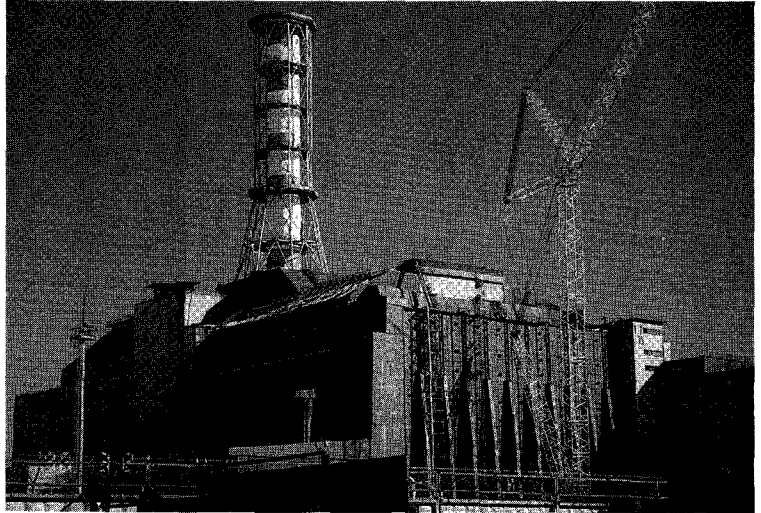
사고 당시 비활성 기체 100% 및 휘발성 방사성 핵종의 20~60%, 또 원자로에서 사용중이던 연료의 약 3~4%가 방출된 것으로 조사되었다.

이러한 현재의 평가 결과는 옛 소련 당국에 의해 86년에 보고된 방사능 강도 평가량보다는 높은 수치를 나타내는데, 이것은 옛 소련에 의한 방사능 강도 평가가 옛 소련 지역 내에 침적된 물질들의 방사능 강도의 합을 기반으로 이루어졌기 때문이다.

그러나 이러한 선원항의 재평가로 인해 개별 선량들에 대한 평가가 변화되지는 않았다.

사고시 방출된 물질의 핵종 구성은 복잡하였다.

방사선 의학적으로 옥소와 세슘의



체르노빌 4호기의 최근 모습

방사성 동위원소가 매우 중요한데, 짧은 반감기를 가진 옥소가 단기간에 더 큰 방사선 의학적인 영향을 가지고 있는 반면, 수십년 수준의 반감기를 가진 세슘은 장기간에 더 큰 방사선 의학적인 영향을 가지고 있다.

방출된 주요 핵종들의 방사능 강도는 다음과 같다.

- I-131 : $\sim 1.3\sim 1.8\times 10^{16}\text{Bq}$
- Cs-134 : $\sim 0.05\times 10^{16}\text{Bq}$
- Cs-137 : $\sim 0.09\times 10^{16}\text{Bq}$

이러한 값들은 사고 당시 원자로 노심에 있던 I-131의 약 50~60%에 해당하고, 또 두 종류의 방사성 세슘 동위원소의 약 20~40%에 해당한다.

2. 침 적

대기 중에 방출된 물질들은 널리

확산되어 궁극적으로는 지표면에 침적되었다.

전 북반구를 대상으로 침적에 대한 측정이 실시되었는데, 대부분의 물질들은 다양한 침적 밀도를 가지고 발전소 부지 주위의 지역에 침적되었다.

벨로루시·러시아·우크라이나에서 Cs-137의 방사능 준위가 185kBq/m^2 을 초과하는 것으로 측정된 지역의 면적은 각각 $16,500\text{km}^2$, $4,600\text{km}^2$, $8,100\text{km}^2$ 으로 평가되었다.

선량 평가

86년~87년에 사고 복구에 참여하였던 20만명의 사람들은 평균적으로 100mSv 수준의 선량을 받았다.



체르노빌 원자력발전소로부터 18km 떨어진 오파치치 마을의 노부부

이들 중 약 10%는 250mSv 수준의 선량을 받았고, 몇% 정도의 사람들이 500mSv를 초과하는 선량을 받았다.

반면에 사고의 초기에 대응하였던 수십명 정도의 사람들은 수천mSv의 치사 가능성이 있는 선량을 받았다.

86년에 제한 구역으로부터 소개되었던 116,000명은 이미 방사선에 피폭되었는데, 이들 중 10% 미만의 사람들이 50mSv 이상의 선량을 받았고, 5% 미만의 사람들이 100mSv 이상의 선량을 받았다.

일반적으로 음식이나 오염된 우유의 섭취 또는 초기 방사성 구름 아래에서의 호흡에 의해 방출된 방사성 옥소가 흡수되어 갑상선에 축적되었

다. 갑상선이 받은 선량은 다른 신체 장기들이 받은 선량들에 비해 특히 높을 것으로 예상되었는데, 어린이들의 경우에 더욱 그러하였다.

주로 우크라이나·벨로루시·러시아에 거주하는 150,000명에 대해 보고된 수치를 기반으로 평가된 갑상선이 받은 등가 선량은, 86년 비엔나에서 열린 체르노빌 사고에 관한 사고 후 검토 회의, 90년에 오염된 지역에 계속 살고 있는 생물의 안전성 여부를 결정하기 위해 수행된 국제 체르노빌 프로젝트, 그리고 현재까지의 모든 다른 국제적인 평가들에 나와 있는 것처럼 수Sv부터 그 이상까지의 수준이었다.

그러나 보고된 흡수 갑상선 선량에 대한 독립적이고 국제적인 확인은 불가능하였다.

북반구에 있는 여러 국가들에서의 평균 선량들을 포함해 사고의 결과로서 주민들이 받을 장기간 선량이 UNSCEAR에 의해 평가되었다.

이 보고에 따르면 개인 선량이 가장 높았던 국가에서의 첫째 평균 선량은 0.8mSv였고, 개인 선량이 가장 높은 유럽 지역에서 2056년까지 70년 동안 받을 평균 선량은 1.2mSv이다.

또한 국제 체르노빌 프로젝트에서는 86년부터 2056년까지 70년 동안 가장 오염이 심한 지역에 거주하는 사람들이 받게 될 최대 선량은 160 mSv 수준일 것으로 평가되었다.

최근의 보다 더 상세한 연구에서도 비슷한 결과들이 나오고 있는데, 여기서는 96년부터 2056년까지의 기간 동안 오염 농도가 185~555 kBq/m²인 지역에 거주하는 주민들이 받을 선량은 일반적으로 5~20 mSv 수준일 것이고, 오염 농도가 555~1,480kBq/m²인 지역에 거주하는 주민들이 받을 선량은 주로 외부 피폭에 의해 20~50mSv 수준일 것으로 평가되고 있다.

그러나 토양으로부터 식량으로의 높은 이송 계수를 가진 부지에서는 내부 피폭만으로도 주민들이 70년 동안 50mSv를 초과하는 선량을 받을 수도 있다.

인체에 미친 영향

1. 급성 방사선 영향

작업중 피폭된 총 237명은 방사선 피폭의 영향으로 보이는 임상학적 증후군들로 고통받고 있다고 판단되어 병원에 수용되었다.

이 중 143명이 급성 방사선 증후군(ARS Acute Radiation Syndrome)으로 진단되었고, 이들 중 28명이 첫 3개월 이내에 방사선 상해의 결과로 사망하였다.

또한 추가로 2명이 방사선과는 무관한 상해에 의해 4호기에서 사망하였고, 또 다른 한 명이 관상동맥으로 인해 사망한 것으로 추정되었다.

10Gy 이상의 선량을 받았던 11명의 환자들에게는 발병 초기에 장기능의 치명적 손상을 야기시키는 위장 손상이 중대한 관심사였으며, 사망자 28명 중 26명은 총신체 표면적의 50%에 걸친 열과 β선에 의한 피부상해와 관련되어 있었다.

지난 10년 동안 추가로 14명의 환자가 급성 단계 이후에 사망하였으나 그들의 사망이 급성 방사선 증후군에서 보이는 초기의 심각한 증상들과는 관련되지 않았기 때문에 직접적으로 방사선 피폭에 의한 것이라고는 단정할 수 없었고, 명백히 방사선 피폭에 의한 사망이 아닌 경우도 있었다.

당시의 환자들이 그들이 이용할 수 있는 가장 경험 많은 병원에서 당시의 지식으로 가능한 최선의 치료를

받았다는 데에는 의심의 여지가 없으나, 당시 추천되었던 골수 이식 요법은 거의 효과가 없었다.

현재의 지식을 바탕으로 그 이유를 살펴보면, 면역학상에 존재하는 고유의 위험도, 불균질한 피폭 특성, 그리고 이로 인해 발병하는 다루기 어려운 위장이나 피부 손상과 같은 복잡한 상해들에 의한 것임을 쉽게 이해할 수 있다.

앞으로 골수 손상은 조혈(haemopoietic) 증식 인자를 즉각적으로 관리함으로써 치료될 수 있지만, 이를 위한 최적의 조합과 선량 일정이 결정되어야 하는 과제가 여전히 남아 있다.

방사선에 의한 다른 손상들에 대해서도 보다 정확한 예측과 각 개인에 맞는 치료를 돕기 위한 새로운 진단 도구들이 개발되어 왔다.

현재 정신적 스트레스를 포함해 여러 가지 병으로 고통받고 있는 심각한 상태의 환자들을 합병증으로부터 보호하기 위해 최선의 치료 방법과 대책이 필요한 상태이다.

이런 환자들에 대해서는 그들의 건강 상태에 대한 주의가 필요하고 앞으로 20~30년 동안에 걸쳐 감시되어야 한다.

발견된 질병 패턴들 중에서 방사선 피폭에 의한 것들과 환자가 원래 가지고 있는 것들을 구별하는 것이 중요한 일이 될 것이다.

2. 지발성 방사선 영향

86년 당시 사고 영향 지역에 거주하던 주민들 중에서 어린이였던 사람들의 갑상선암 발병률의 큰 증가가 체르노빌 사고로 인한 방사선 피폭의 공중 건강 영향에 대한 유일하고도 확실한 증거이다.

91년 국제 체르노빌 프로젝트의 보고서에 의하면 앞으로 수십년 동안 방사성 물질 붕괴로 인해 갑상선암의 수가 정상치보다 초과될 수 있을 것이라고 밝혔는데, 이러한 위험은 사고 후 첫 몇 달 동안 받은 갑상선 선량과 관련된다.

벨로루시에서 이러한 발병률의 증가 현상이 관찰되었고, 우크라이나와 러시아 연방에서도 정도는 덜 하지만 마찬가지로 관찰되었다.

95년말까지 보고된 갑상선암 환자 수는 진단 당시 15살 미만의 어린이들 중에 약 800명이었고, 이들 중 400명 이상이 벨로루시에 거주하는 사람들이었다.

대부분의 경우 국제 전문가들에 의해 진단 결과가 검증되었다.

이러한 증가는 사고 전후로 6개월 이내에 태어난 어린이들에게서 관찰되었고, 사고 후 6개월 후에 태어난 아이들의 갑상선암 발병률은 피폭되지 않은 인구의 발병률 수준으로 현저하게 감소되었다.

또한 갑상선암의 대부분의 경우는 사고 결과로 방사선에 오염되었다고 생각되는 지역에 집중되어 있다.

따라서 이런 시간적·지질학적인 분포를 통해 발병률의 증가와 체르노빌 사고로 인한 방사선 피폭과의 관계를 명백히 알 수 있었다.

더욱이 갑상선의 옥소 농도가 높은 점으로 보아 옥소의 방사성 동위원소가 어린이들의 갑상선암 발병률 증가의 원인으로 추정된다.

보고서들에 의하면 대다수의 갑상선 종양은 이미 상당히 진행되어 갑상선 외부 조직까지 퍼져 있었으며, 임파선 혹은 그보다 더 먼 곳까지 전이된 경우도 있었다고 밝히고 있다.

이러한 내용은 강화된 집단 검진 때문에 발병률이 증가된 것은 아니라는 사실을 뒷받침해 주고 있다.

실제로 갑상선암인 경우의 병리학 적 현상은 모두 쪼꼭지 모양의 암을 보여주고 있는데, 많은 경우에 있어서 그 성장이 비정상적인 고형체/소낭 패턴을 가지고 있다.

지금까지 연구된 분자 변화의 형태는 방사선 피폭이 원인이 아닌, 같은 형태의 종양과 특별한 차이점을 보이지는 않았으나, 이러한 분자 변화는 방사선 피폭에 의한 갑상선 종양에서 더 빈번히 일어난다.

피폭시 연령별 분석을 통해 나이가 어린 어린이들이 가장 위험하였다는 가정이 입증되었다.

현재는 이러한 피폭된 어린이들의 갑상선암 발병률 증가가 지속될 것이라고 예상된다.

이로 인해 앞으로도 방사선 영향을

받은 집단 내에서 갑상선암이 만연할 수 있기 때문에 이에 대처하기 위한 적절한 재원이 필요하다.

현재로서는 피폭과 갑상선암 진단 사이의 최소 잠복기는, 외부 방사선에 의한 급성 피폭에서 얻은 과거 경험으로부터 예상된 잠복기보다는 다소 짧은 약 4년 정도로 보인다.

현재까지는 진단된 경우들 중에서 3명의 어린이들만이 갑상선암으로 사망하였다.

체르노빌 사고 후 어린이들에게서 발병된 쪼꼭지 모양의 갑상선 암은 악성임에도 불구하고 치료가 적절히 이루어진다면 표준 치료 절차가 효과가 있는 것으로 보인다.

그러나 아직까지는 단지 단기간의 추적 조사 데이터만 있는 상태여서 최적 치료법을 확립하기 위해서는 어린이 환자에게 대한 완전하고도 계속적인 추적 조사를 할 필요가 있고, 이런 어린이들의 L-티록신은 평생 동안 의무적으로 관리되어야 한다.

체르노빌 사고로 인한 미래의 갑상선암 발병률 정도는 매우 예측하기 어렵다.

선량 추정에 있어 불확실성도 있고 비록 현재의 발병률 증가가 미래에도 계속될지 확실치 않지만 아마도 수십 년은 지속될 것으로 보인다.

만일 현재 보고된 상당히 높은 수치의 위험성이 계속된다면 어린이였을 때 많은 방사선을 받았던 성인들의 갑상선암 발병률은 앞으로 올 수

십년에 걸쳐 크게 증가할 것이다.

그러나 이로 인한 사망자 수는 만일 암이 초기에 진단되고 적절한 치료가 이루어진다면 훨씬 낮은 수치를 기록할 것이다.

이러한 사람들은 그들 일생을 통해 계속적으로 면밀히 감시되어야 한다.

사고 당시 어린이였던 사람들에게서 나타나는 갑상선암의 수와 표준 갑상선 선량 측정을 바탕으로 예측된 암의 수와는 큰 차이가 있다.

이러한 차이는 일반적으로 표준 모델들 내에 고려되어 있지 않은 체르노빌 사고만의 특이하였던 몇 가지 요소들 때문일 수도 있다.

갑상선 종양의 감지와 더불어 이러한 문제들을 명백히 하는 것이 중요하다.

미래에는 사고가 발생할 경우에 주민들을 방사성 핵종에 의한 갑상선 피폭으로부터 보호하기 위해 마련된 대책들이 엄격히 정의된 조건들 하에서 취해져야 하는데, 오염된 음식의 섭취 방지나 안전한 옥소에 약물을 살포함으로써 방사성 옥소를 예방하는 것들이 그런 대책들의 예이다.

체르노빌 발전소 주위에 살고 있는 주민들은 대대로 옥소가 결핍되어 있어서, 식품 속에 들어 있는 옥소 함유 소금을 섭취함으로써 이러한 결핍을 치유하는 방법 등이 권고되기도 한다.

이미 확인이 된 젊은이들의 갑상선암 발병률 증가 외에도 오염된 지역

에 거주하는 주민들과 복구 작업자들 사이에 특정 악성 질병의 증가가 보고되어 왔다.

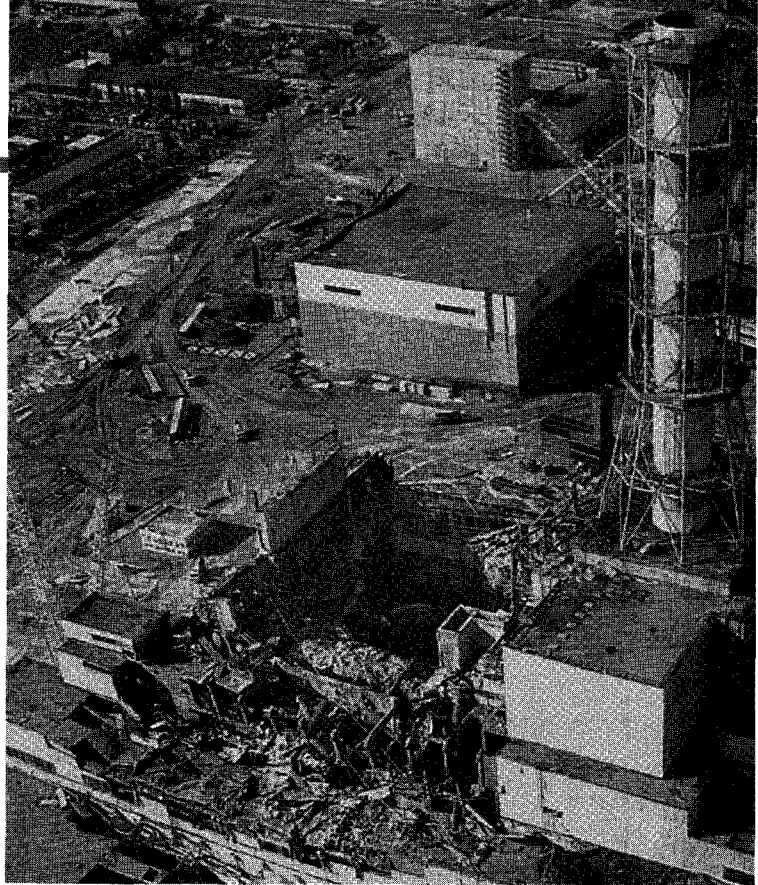
이러한 보고들은 일관성은 결여되었지만 보고된 증가율은 피폭된 주민들의 추적 조사에서의 차이와 체르노빌 사고 후의 강화된 규명 활동을 통해 나타났을 수도 있고, 현재와 미래에 있어서 복구 작업자들의 발병률이나 오염 지역에 살고 있는 어린이들의 갑상선암 발병률과 같은 장기간 영향의 규모에 대한 전망을 제공해주거나 특별한 주의를 요하는 지역을 확인하는 데 도움이 될 수 있으므로 이를 위한 추가적인 연구가 필요할 수도 있다.

이때 사고로 인해 발생된 불치의 암과 그렇지 않은 암의 총 수에 대한 평가는 평가의 기반이 되는 가정들의 불확실성을 고려하여 조심스럽게 해석되어야 한다.

회귀병인 백혈병은 방사선 피폭 후의 주요한 관심사 중의 하나이다.

방사선으로 생긴 백혈병에 의한 사망은, 일본의 원자 폭탄 폭발 또는 다른 원인들로부터 생존한 사람들에 관한 데이터에 기초한 예측 모델에 의하면 이론적으로 발생할 가능성이 거의 없다.

백혈병으로 인해 사망할 것으로 예측된 총초과 사망자수는 오염 지역과 엄격한 통제 구역에 거주하는 7,100,000명 중 470명 수준인데, 이를 약 25,000명 정도의 자연 발생적



사고 후의 체르노빌 원전 모습

백혈병 사망자와 구별하는 것은 불가능하다.

86년~87년 동안에 일하였던 200,000명의 복구 작업자들 사이에 예상되는 백혈병에 의한 총초과 사망자 수는, 백혈병에 의해 자연 발생적으로 사망하는 800명에 대해 200명 수준이다.

현재의 모델에 따르면, 복구 작업자들 중에서 이러한 백혈병으로 인한 초과 사망자 200명 중 약 150명이 피폭 후 첫 10년 동안에 사망하였을 것으로 예상되었지만 실제 사망자의 수는 40명이다.

요약하면, 지금까지 갑상선암을 제외하고 백혈병이나 어떤 악성 질병의 발병률에서도 인지할 만한 증가는 관찰되지 않았다.

예측 모델에 의하면 오염 지역과 엄격한 통제 구역에 거주하는 7,100,000명 중에서 체르노빌 사고로 인해 불치의 암이 발병할 경우의 수는 향후 85년 동안 암에 의한 자연 발생적인 사망자수 870,000명에 대해 6,600명 수준으로 계산되고 있다.

갑상선암을 제외한 모든 암들의 향후 자연적인 발병률의 증가나 주민들에서의 유전적 영향은, 이미 국제 체르노빌 프로젝트 보고서에서 언급된 것처럼 광범위하면서도 잘 설계된 장기간의 역학 연구를 수행한다 하더라도 판별하기 어려울 것이다.

피폭된 주민들, 특히 복구 작업자들 사이에 암이 아닌 불특정한 유해 건강 효과의 발생 빈도가 증가되었고 보고되어 왔다.

피폭된 주민들은 일반인들에 비해 건강 상태에 대해 훨씬 집중적인 추적 조사를 받고 있기 때문에 이러한 발견들을 해석하기는 어렵다.

이러한 증가가 사실이라면 이는 스트레스나 걱정 등에 의한 영향일 가능성이 있다.

현존하는 주민들을 기준으로 한 암이나 사망자수 기록은 개선되어야 하고 또한 적절한 곳에서 그런 기록이 행해져야 한다.

특히 복구 작업자들의 백혈병 발병에 대해 보고되거나 예측된 증가율을 조사하기 위한 특정 연구가 수행되어야 한다.

이러한 일은 혼동스러운 여러 가지 요소들의 영향을 분석하고 가능한 경우 이들을 구별하기 위해 일반적으로 적용될 수 있는, 주의 깊게 설계된 의정서들을 이용해 수행되어야 한다.

3. 심리적 영향

체르노빌 사고의 사회적·심리적 영향들과 그 반응들에 대해서 몇 건의 중요한 연구와 프로그램들이 지난 10년 동안 수행되어 왔다.

이러한 연구들은 국제 체르노빌 프로젝트에서의 결론을 포함해 체르노빌 사고로 영향을 입은 주민들 사이에 걱정과 우울증, 그리고 정신적 고통으로 인한 다양한 심신 관련 질환 등의 심각한 심리적 건강 질환과 증상들이 있다라는 이전의 발견들을 확증해 주었다.

체르노빌 사고의 심리적인 영향을 경제적 궁핍이나 소련 붕괴의 영향과 구별하는 것은 대단히 어려운 일이다.

체르노빌 사고의 심리적인 영향들은 특히 사고 직후의 대중 정보의 부족, 스트레스, 이주의 충격, 사회적 결속의 붕괴, 그리고 방사선 피폭에 의해 현재뿐만 아니라 미래에도 그들의 자녀들이 고통받을 것이라는 두려움 등에서 그 원인을 찾을 수 있다.

사고 후 수년 동안 진상을 듣지 못 하였던 사람들로서는 공적인 성명에 대해서 매번 회의적이고, 과거보다 증가된 것처럼 보이는 여러 종류의 질병들이 방사선에 의한 것임에 틀림없다고 믿는 것도 이해할 수 있는 일이다.

그러나 방사선 위험에 대한 이러한 잘못된 인식은 사람들에게 대단히 유해하다.

사고 결과들에 대한 견해가 일치되지 않고, 그것이 정치 문제화되어 다루어진 까닭에 주민들에 대한 심리적 영향들은 확장되었고 심각하게 장기간 계속되어 왔다.

무력증이나 절망감을 포함한 심각한 영향들이 사회를 후퇴시키고 미래에 대한 희망 상실을 초래하였다.

이러한 영향들은 방사선 위험 및 이에 대한 대책 또 일반적인 사회 정책 등에 대한 논쟁이 끊임없이 행해지고, 초기 피폭으로 인한 갑상선암 발병이 계속되는 바람에 점점 연장되

고 있다.

경제적 곤궁과 같은 다른 요소들은 사고의 결과로 피폭된 다양한 집단들을 포함해 일반적으로 주민들의 건강에 두드러진 영향을 미친다.

피폭된 주민들에 대한 통계는 옛 소련 지방의 질병률과 사망률이 일반적으로 명백히 증가되었는지의 관점에서 조사되고 있는데, 이는 이러한 증가 추세를 체르노빌 사고 때문인 것으로 오해하는 것을 막기 위한 것이다.

과거의 방사선과는 무관하였던 사고들에 대한 경험으로부터 심리적인 영향은 장기간 계속될 수 있다는 사실을 알게 되었다.

사실 체르노빌 사고 후 10년이 지났는데도 증상들은 계속 전개되고 있다.

이러한 영향은 시간이 지남에 따라 감소할 것이라고 기대할 수는 있지만, 방사선 위험과 그 대응책들에 대한 지속적인 논쟁과 어린이들에게서 나타나는 갑상선암의 현저한 증가와 같은 초기 피폭 영향이 현재 관찰되고 있다는 사실이 함께 어우러져 그러한 증상들을 연장시킬 수도 있다.

심리적 영향을 평가할 때는 옛 소련 붕괴의 심리적 영향과 벨로루시와 러시아 연방 그리고 우크라이나 세 나라의 경제적·정치적·사회적 상황을 고려해서 이루어져야 한다.

정신적 스트레스와 연관된 불안감과 같은 증상들은 사고의 주요한 유

산 중의 하나일지도 모른다.

인생을 더 낮게 변화시킬 수 있는 사람의 능력에 대한 믿음을 강조하여야 한다.

지역 단위로 문제들을 개선시키고 주민들의 사회 복귀를 장려하는 기관들을 후원하기 위한 소규모의 공동체 프로젝트를 권장하며, 방사선의 건강에 대한 영향과 방사선 방호에 대한 대중의 지식을 증대시키고, 지방 행정관과 전문가들 그리고 사회학·심리학 분야의 연구원들을 서로 연결해주는 네트워크를 개발·통합하고 유지하는 일이 시급하게 필요하다.

환경에 미친 영향

동물과 식물에 대한 방사선 영향에 있어서는, 사고 후 첫 몇 주 동안에는 원자로 단지 10km 이내의 침엽수나 작은 포유 동물 등 방사선에 민감한 지역 생태계에서는 치사 방사선 선량까지 다다랐다.

86년 가을까지 선량률은 100분의 1 수준까지 떨어졌고 89년까지는 자연 환경이 점차 회복되기 시작하였다.

주민들이나 생태계에 계속적으로 나타나는 심각한 영향들은 관찰되지 않았지만, 장기간에 걸친 유전 영향들의 가능성 및 중대성이 연구되어야 할 과제로 남아있다.

주민들에 대한 환경 오염의 의미는 그들의 피폭 경로에 따라 결정된다.

주요한 피폭 경로는 땅에 침적된 방사성 물질로부터의 외부 조사와 음식물의 오염에 기인된 내부 조사에 의한 것이었다.

사고 후 첫 몇 주 동안은 방사성 옥소가 방사선 의학적으로 가장 큰 중요성을 가진 핵종이었다.

87년 이래로 받은 대부분의 방사선 선량은 Cs-134와 Cs-137에 의한 것이었고, Sr-90에 의한 약간의 영향이 있었다.

반면에 Pu-239에 의한 영향은 가장 적었다.

일상적인 식품들 중 몇 항목들이 방사성 물질에 의해 오염되었다.

WHO/FAO Codex Alimentarius Commission은 국제 무역을 통해 운송되는 식료품들에 대해, 이온화 방사선에 대한 방호와 방사선원의 안전성을 위한 국제기본안전기준(International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources)에 의거해 세계적으로 확립되어 있는 최대 허용 오염 준위를 정하였는데, 사고 후 초기의 우유나 푸른 채소같은 주요 식품들은 이 기준을 초과하였다.

사고 후 초기 단계에서 취해졌던 통제 수단들의 유효성에 대한 의문점들은 여전히 남아있다고 볼 수 있다.

대응책들이 비교적 외부 피폭을 줄이는 데는 비효율적이지만 방사성 물질의 흡수를 줄이는 데는 매우 효율

적일 수가 있다.

장기적으로 적절한 농업 대책들을 적용한다면 세습이 식품으로 흡수되는 것을 효과적으로 줄일 수 있다.

가장 적절한 대응책들과 그 효과는 토양 유형과 같은 지역적 조건들에 달려있는데, 예를 들면 땅에 침적된 세습의 양이 상대적으로 적었던 지방이라 할지라도 세습의 우유로의 이송은 높을 수 있다.

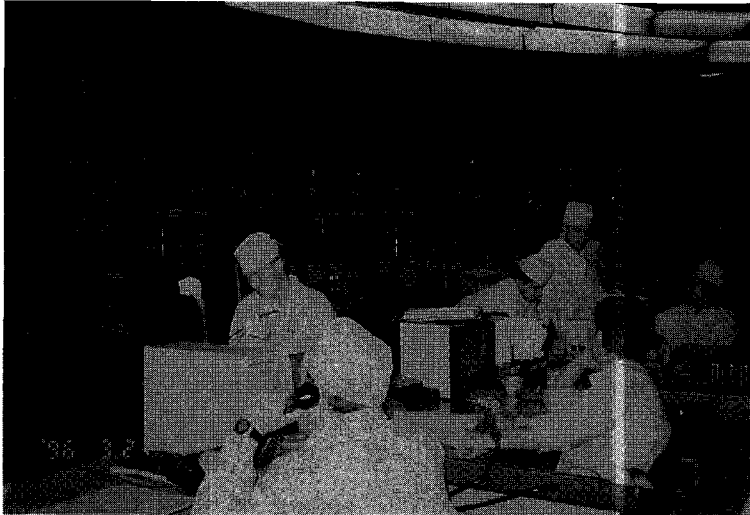
일부 개인 농부가 생산한 몇몇 식품들이 WHO/FAO Codex Alimentarius 기준을 초과하긴 하지만 일반적으로 현재 집단 농장에서 생산된 식품들 중에 이 기준을 초과하는 것은 없다.

관리중인 농업 용지와 자연적인 환경의 중간 성격을 지닌 반자연적인 환경은 주민들이 미래에 받을 선량 준위에 큰 영향을 미칠 수 있다.

토양으로부터 목초지에서 방목되는 소의 우유까지 방사성 핵종의 이송률은 토양 유형에 따라 수백 단위의 이송률까지 다양하다.

반자연적인 목초지나 숲, 산악 지역에서 방목된 동물들로부터 생산된 특정 식품들과 엽조·엽수류나 딸기·버섯과 같은 야생 식품들은, 향후 수십년에 걸쳐 Codex Alimentarius의 기준을 초과하는 Cs-137 준위를 나타낼 것이고 이러한 식품들이 미래에 주요한 내부 선원이 될 것으로 보인다.

체르노빌 단지에 매장된 방사성 물



체르노빌 3호기의 중앙제어실

질에 의한 지역적인 선량률은 상당히 클 수 있다.

게다가 사고로 생긴 방사성 잔재의 임시 저장소를 안전하게 관리하기 위해 지역 내 지하수의 장기적인 잠재적 오염이 고려되어야 한다.

제한 구역의 완전한 복구는 주거 지역 근처의 고방사선 구역의 존재, 지하수의 지역적 방사능 오염 가능성, 석관 붕괴의 가능성과 관련된 위험, 그리고 일상의 음식물과 생활 유형에 가해진 심각한 제한들 때문에 현재로서는 불가능하다.

사회 전반에 미친 영향

90년부터 95년말 사이에 당국은 우크라이나(약 53,000명), 벨로루시(약 107,000명), 그리고 러시아(약

50,000명)에서 사람들을 추가로 이주시켰는데, 이러한 소개와 이주는 새로운 생활 조건에 적응하는 어려움과 연결되어 일련의 중대한 사회적 문제들을 야기하였다.

인구 통계학적 측면에서 오염 지역의 여러 척도들이 악화되었다.

출산율은 감소하고, 노동 인력도 오염 지역에서 오염되지 않은 지역으로 이동하고 있어, 노동 인력과 전문 인력이 부족해지고 있다.

오염 지역에서의 방사선 피폭을 제한하기 위해 당국은 산업과 농업 활동에 제한을 가하였다.

게다가 오염 지역의 생산품에 대한 일반인들의 태도 때문에 생산품의 판매와 수출이 어려워졌으며 결과적으로 지역 수입이 감소하였다.

사람들의 일상적인 활동을 제약하

는 것은 삶을 어렵고 고통스럽게 한다.

주요한 복구 활동이 지난 몇 년에 걸쳐 취해져 왔지만 대중에게도 사고의 영향을 제한하기 위해 취해진 조치나 현재의 방사선 준위라든가 식품의 핵종 농도에 대해 보다 나은 정보를 제공하는 것이 필요하다.

오염 지역에서 거주하고 일하는 사람들은 사회적·경제적으로 보조금에 상당히 의존하고 있는 형편이다.

현재 운영중인 보상 시스템이 재고된다면 기금의 일부는 새로운 산업이나 농업 프로젝트에 활용될 수 있을 것이다.

체르노빌 사고의 결과들과 대응 조치들은 지난 몇 년 동안의 정치적·경제적·사회적 변화에 의해 한층 악화되어 왔고, 생활과 공중 건강의 질 저하를 야기시켰으며, 사회 활동에도 좋지 않은 영향을 미쳤다.

현재의 상황은 사고 후의 결과들과 그 경감을 위해 취해진 조치들에 대한 미완적이고 부정확한 대중 정보로 인해 더욱 복잡해져 있다.

남아있는 안전성 문제

1. RBMK 발전소

체르노빌 사고의 주원인은 원자로와 정치 계통 설계에 있어서의 심각한 결함과 운전 절차 위반이 동시에 작용한 데 있다.

옛 소련에서 책임을 맡고 있던 조

직들은 안전 문화가 결여되어 있었기 때문에 비록 그들이 사고 전에 이러한 설계 결함들을 알고는 있었지만 개선하지는 않았다.

사고의 원인에 직접적으로 관련된 이러한 특성들 외에도 소련의 경수 냉각 흑연 감속 원자로인 RBMK 원자로의 설계에는 고유의 결함들을 지니고 있다.

특히 RBMK 원자로의 제1세대 원형 설계는 현재의 안전 목표들에도 미달된다.

불완전한 격납 용기와 같이 아직 존재하고 있는 결함들에도 주의를 더 기울일 필요가 있다.

안전에 대한 동적 접근과 발맞추어, 국제적으로 받아들여지는 안전 수준을 만족시키지 못하는 모든 원자력발전소들은 적절한 개선이 이루어지거나 정지되어야 한다.

91년 9월의 IAEA 회의인 「원자력 안전 : 미래를 위한 전략」에서는 오래된 발전소들의 안전 기준들이 현재의 안전 목표를 합리적으로 만족시켜야 한다고 명시하였다.

이러한 목적을 위해 의욕적으로 노력하는 것이 원자력 시설로 하여금 받아들일 수 있는 안전 수준을 확보하게끔 하고, 원자력 에너지에 대한 대중의 확신을 보장하는 데 있어서 중요하다.

원자력 안전성을 향상시키기 위해 RBMK 원자로를 내장하고 현재 가동중인 발전소들에 대해 많은 개선

대책들이 지난 수십년에 걸쳐 취해져 왔다.

체르노빌 사고 후 즉각적으로 기술적·조직적 대책들이 취해졌고, 이와 더불어 87년부터 91년 사이에 사고의 원인이 된 설계 결함들을 본질적으로 개선하기 위해 안전성 향상이 수행되었다.

또한 발전소 관리, 훈련, 비파괴 시험이나 안전 해석과 같은 영역에서도 진보가 있어 왔기 때문에, 똑같은 사고 시나리오의 재현은 실제로는 더 이상 불가능할 것으로 보인다.

그러나 상당량의 방사성 물질을 방출을 야기할 수 있는 다른 사고들의 발생 가능성은 배제될 수 없다.

또한 이전 기준에 맞춰 설계된 원자로들도 적절한 개선이 없다면 안전에 관련한 문제가 될 수 있다.

이러한 관점을 바탕으로 주기적인 안전성 검토의 중요성이 널리 인식되고 있다.

모든 RBMK 발전소들에 대해서는, 체르노빌 사고와 직접적으로 관련이 되지 않은 RBMK 원자로의 설계 결함들을 개선하기 위해 추가의 안전성 향상 계획이 있지만, 이런 계획들의 이행이 관련 국가들의 필요한 자원 부족으로 인해 지연되고 있다.

국가의 원자력 프로그램과 국제 협력을 위해 필요하다고 동의된 사항들과 계획된 사항들의 이행을 촉진시키는 것이 가장 중요하다.

○ 필요한 안전성 향상은 발전소의

조기 해체를 고려하는 것과는 별도로 수행되어야 한다.

○ 현재 운전중인 RBMK 발전소들의 안전성 향상을 위해 보다 많은 재원이 이용 가능해야 한다.

○ 국가 규제 기관과 그들의 보조 조직들의 위상이 강화되어야 한다.

다른 RBMK 발전소에서와 유사한 후속 설비 개선이 체르노빌 발전소에서도 역시 행해졌다.

그러나 RBMK 발전소의 안전에 관한 걱정은 발전소에 존재하는 일반적 설계 결함뿐만 아니라 장비의 품질에도 관련되어 있다.

체르노빌에 남아있는 발전소들을 폐쇄할 것이라는 우크라이나 당국의 결정에 관계없이, 잔여 운전 기간 동안의 안전 대책들과 후속 설비 개선은 무시되어서는 안된다.

2. 석 관

손상된 핵연료 및 파괴된 장비를 격납하고 환경으로의 방사능 방출 가능성을 줄이기 위해 파괴된 원자로 주위에 건설되었던 석관에는, 현재 조사된 핵연료와 새 핵연료가 다른 물질들과 혼합되어 주로 먼지 등의 다양한 형태로 약 200톤 가량이 포함되어 있다.

이러한 물질의 총방사능 강도는 장수명 방사성 핵종에 의한 $700 \times 10^{15} \text{Bq}$ 로 평가된다. 석관은 지난 10년 동안 방호 목적을 위해 설정된 목표들을 만족시켜 왔지만 장기간에 걸

쳐서는 그것의 안정성과 유폐 능력이 의심스럽다.

특히 석관의 상부에서 밀봉 손상으로 인해 생긴 많은 갈라진 틈을 통해 다량의 빗물이 침투되어서, 석관을 지지하고 있는 금속 구조물을 부식시킬 수 있는 정도의 다습한 상태이고 또 중성자의 활동을 증가시킬 위험도 있다.

이로 인한 구조물의 붕괴는 방사성 먼지의 방출과 고용된 사람들의 방사선 피폭을 야기할 수 있다.

하지만 최악의 상황에서라도 30 km를 초과하는 광범위한 사고는 예상되지 않는다.

석관은 현재 임계 발생 관점에서 안전한 것으로 판명되었지만 물과 접촉할 때는 석관 내에 임계 상태에 도달할 수 있는 연료 배치가 생길 수 있다는 사실을 완전히 배제할 수는 없다.

그러나 그러한 임계 상태가 석관 내에 높은 방사선 준위를 야기시킬지라도 외부로의 다량 방출은 예상되지 않는다.

만일 이러한 경우가 발생되었을 때 부지 내의 사람들에게 발생 가능한 영향은 명백하게 밝혀질 필요가 있다.

석관의 붕괴로 인해 발생할 수도 있는 체르노빌 3호기에서의 사고 위험에 대한 의견들은 크게 다른데 이 문제에 대한 더 상세한 연구가 요구된다.

체르노빌 부지에 남아있는 발전소들과 석관의 안정성만이 해결되어야 할 주요 문제들 전부가 아니며, 오염 가능성과 특히 부지 내에 매장된 방사성 물질에 관련된 추가적인 문제점들이 있다.

이러한 문제들은 상호 연관되어 있기 때문에 이들을 해결하기 위해서는 통합된 접근이 필요한데, 석관 위의 이차 수용 시설 건설과 같은 제안은 그러한 접근의 일부이어야 한다.

이러한 접근은 일반화될 필요가 있고 옛 소련의 경쟁 조직들의 지식이 보다 효과적으로 통합되어야 한다.

석관이 생태학적으로 안전하다는 것을 보장하기 위해 적절한 설계에 대한 연구 및 개발과 더불어 그것의 건설이 필요하다.

비용 효율적인 절차는 연구의 진전과 재정적 상황에 따라 적절한 단계들이 취해지도록 요구하고 있는데, 그 첫째 조치는 현존하는 석관이 안정화되어야 한다는 것이다.

이것은 석관의 붕괴 위험을 현저히 줄일 것이고 이차 수용 시설과 같은 추가의 대책들을 신중하게 계획하는데 필요한 시간을 제공해 줄 것이다.

맺는말

체르노빌 사고는 원자력 안전 연구 특히 중대 사고 관리에 새로운 전기를 마련한 것 외에도 국가 당국과 전

문가들이 방사선 방호와 원자력에 관련된 비상 사고에 대한 그들의 태도와 이해를 근본적으로 재검토하도록 하는 자극제가 되었다.

이것은 방사선의 영향 및 그 처리에 관한 지식을 증대시켰으며, 방사 생태학적 연구와 감시 프로그램, 비상 절차, 주민 홍보를 위한 기준 및 방법의 개발에 새로운 활력을 불어넣게 되었다.

또한 사고 영향의 관리를 위한 방사선 방호 기준의 개정 및 합리화 작업과 잠재적인 원자력 사고가 국경을 초월하는 영향을 야기하는 상황에 대처하기 위한 국제적인 통신 및 상호 지원 체계의 개발 또는 강화 등 다중적인 국제 협력을 이룩하는 데 상당한 역할을 하였다.

그러나 방사선에 대한 광범위한 과학적·의학적 지식에도 불구하고 방사선이 인간 건강에 미치는 영향에 대해서는 중요하면서도 해결되지 않은 의문점들이 남아 있으므로, 방사선의 생물학적인 영향에 대한 연구를 계속적으로 지원하는 것이 필요하다.

또한 실제적인 인간 생활 측면에서 가장 큰 이득이 되도록 실제의 방사선 의학적 위험도와 경제적·사회적 그리고 심리적 손실을 모두 고려한 사고 대책 전략을 개발하는 것이 중요하고, 이와 더불어 심리적 영향을 완화시키는 방법들도 신중히 고려되어야 할 것이다. ☞