

## Ten Years since Chernobyl Accident: a Review of Radiological Cosequences

Jai-Ki Lee

Depart. of Nuclear Engineering, Hanyang Univ.

### 체르노빌 원전사고 10년의 회고

이 재 기

한양대학교 원자력공학과

**Abstract** - Many information channels have dealt with the radiological consequences of the Chernobyl accident in different voices ever since the time of the accident. Large differences in the data about the amount of released radioactivity, losses of life, environmental effects and economic damage confuse the information receiving group. The intention of this paper is to provide an insight to the consequences of the accident through review of the reports and articles on the given issue and the scientific background. The formal reports reviewed include those from IAEA, EC, OECD/NEA, the governments of the two most-affected countries; Belarus and Ukraine. Much consideration was paid to make the text as plain as possible.

*Key words* : Chernobyl accident

**요약** - 체르노빌 원전 4호기 폭발사고가 발생한 지 10년을 맞아 사고로 인한 피해의 규모를 놓고 여러 채널에서 다양한 내용들이 다루어지고 있다. 특히, 사고시 방출된 방사능에 의한 인명이나 재산의 피해에 대해서는 정보원에 따라 그 내용이 매우 큰 차이가 있어 정보 수용자를 혼란스럽게 하고 있다. 이 보고는 사고 10주년을 맞아 국제원자력기구, 세계보건기구, 등 국제기관이 보고한 내용과 최대 피해국인 우크라이나 및 벨라루스 공화국의 공식 보고서, 기타 여러 정보원에서 입수된 자료는 물론 방사선학, 방사선생물학, 역학, 생태학 등 관련된 과학적 지식을 종합하여 체르노빌 원전사고와 그 피해에 대해 정리한 것이다. 가능한한 평이하고 상세히 기술하여 일반인의 이해를 돕고자했지만 영향의 방대함을 고려할 때 한정된 지면에 이를 충분히 자세히 설명하는 것이 무리이며 따라서 부분적으로 불충분한 경우도 있을 것이다.

중심단어 : 체르노빌 원전사고

### 1. 사고의 발발과 현장대응

#### 체르노빌원전 4호기의 개요

구소련 체르노빌(Chernobyl, Chornobyl<sup>1)</sup>) 원전 단지는 지리적으로는 우크라이나공화국 수도 키예프 북방 90 km, 벨라루스공화국과의 접경지역으로서, 곡창 우크라이나 평원 중앙부에 흑해로 흘러드는 드네프르강의 지류인 프리피야트강변에 위치한다<sup>2)</sup>. 드네프르강은 키예프수원지를 구성하는 지역의 핵심 수자원이다. 사고 원자로로부터 약 3 km 떨어진 곳에 주로 체르노빌원전 근무자를 위한 신흥계획도시 프리피야트(인구 49,000 여명)가 위치했으며 발전소를 중심으로 반경 30 km 내의 총인구는 약 12만명이었다.

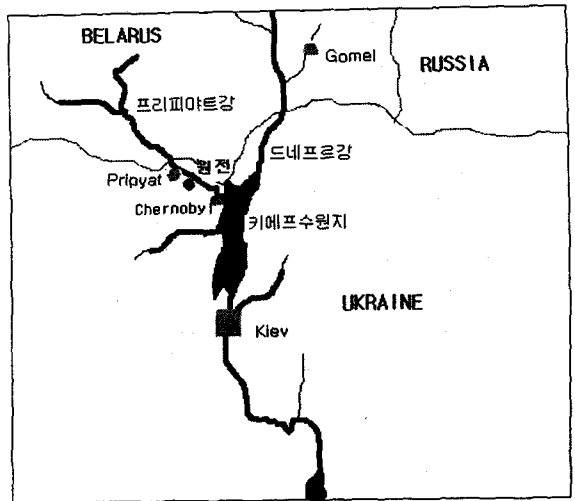
사고 당시 4기의 RBMK형 원전이 가동 중이었고 2기의 WWER이 건설초기 단계에 있었다. 사고원전은 RBMK형 제4호기로서 1983년에 완공된 열출력 3200 MW, 전기출력 1000 MW이었다. RBMK-1000은 소련 고유설계의 흑연감속, 압력관형 비등형원자로로서 저농축(U-235 2%) 우라늄 연료를 사용하며 당시 구소련 내에 16기가 가동 중이었다.

이 원자로는 흑연감속, 경수냉각이라는 특이한 설계로 인해 고연소, 저출력에서 원자로 안전상 바람직하지 않은 정기포계수<sup>3)</sup>를 갖는 특징이 있었는데 정상운영되는 고출력에서는 부온도계수<sup>4)</sup>가 지배적이 되어 안정되나 최대출력의 20%(열

출력 640 MW)보다 낮은 출력에서는 정기포계수 효과가 커져 원자로는 불안정하게 되는데 이것이 출력폭주<sup>5)</sup>로 인한 사고의 요인이 되었다. 또 하나의 결함은 원자로 긴급정지(scram)를 위한 제어봉의 삽입시간이 20초 정도로 서방형 가압경수로의 2초에 비해 매우 늦어 출력의 급증시 긴급대응이 어려웠던 점이다.

#### 사고의 발생

1986년 4월 25일(토) 정기점검을 위한 원자로 계획정지에 앞서 소의전원 상실 후 디젤발전기에 의한 비상전원 공급개시까지 시간동안 터빈의 관성회전이 비상장비 및 노심냉각수 순환펌프를 기동시키는 데 충분한 전력을 제공할 수 있는가를 실험할 계획이었는데 이 발전계통의 실험은 원자력안전과는 무관하다고 간주되어 실험실행팀이 원자로안전 요원과의 충분한 정보교환과 협조를 구하지 않았다.



실험목적상 열출력 1000 MW 정도로 운전하다 원자로를 정지하고 예정된 실험이 실시되어야 했으나 운전미숙으로 인해 열출력 30 MW 정도까지 떨어졌다. 운전원이 수동으로 제어봉을 조정하여 열출력을 700~1000 MW까지 올리려고 노력하는 과정에서 출력감발에 따라 증가된 제

- 1) 우크라이나 현지 발음으로는 'chornobyl'에 가까워 자료에 따라서는 Chornobyl로 쓰기도 함.
- 2) 발전소명칭은 동남방 15 km에 있는 읍정도 규모의 전통마을 체르노빌(인구 12,500명)에서 유래함.
- 3) 핵반응도의 냉각수중 기포의 체적비에 대한 비례계수가 양수(+)로서 냉각수 비등으로 기포들이 발생하면 핵연료 주변에 중성자 흡수가 흑연에 비해 상대적으로 큰 물의 양이 줄어들어 자연히 반응도가 증가하여 출력이증가하는 현상으로서 냉각수보다 중성자 흡수가 작은 흑연을 감속재로 사용하는 데서 기인함.
- 4) 반응도의 온도에 대한 비례계수가 음수(-)로서 핵연료의 온도가 올라가면 핵반응 단면적(확률)의 감소, 부피의 팽창으로 인한 밀도의 감소 등으로 반응도가 스스로 낮아지는 현상에서 비롯하며 원자로의 안정에 중요한 역할을 함.

- 5) 원자로 출력이 짧은 시간에 크게 증가함.

논독효과<sup>6)</sup>로 인해 많은 제어봉을 빼내야 했다. 표준절차는 최소 30개의 제어봉이 항상 원자로 심내에 있어야 하는 것으로 규정하고 있음에도 불구하고 제어봉을 과잉인출하여 6-8개만 남게 되었고 이런 상태에서 원자로가 200 MW(t) 근방에서 안정된 4월 26일 01:00 경이었다. 이때 냉각수의 유량이 증가하여 증기압이 감소함했는데 운전원은 저증기압 신호에 의한 원자로정지를 방지하기 위해 원자로 자동정지계를 꺼버렸다.

이 상태에서 실험이 개시되자 원자로 정지로 돌입하고 외부전원 대신 터빈의 관성회전에 의한 전력이 원자로의 계통에 공급되기 시작했다. 저출력으로 운전되던 터빈 관성에 의한 전력은 충분하지 못했고 따라서 냉각수 펌프회전이 줄어 냉각수 유량이 감소하여 냉각수 온도가 상승하자 증기생성에 의해 정기포계수의 작용으로 원자로 출력이 상승하기 시작했으나 제어봉 구동속도가 늦어 운전원은 이를 제어할 수 없었으며 결국 정상 전출력의 약100배(30만 MW) 정도까지 출력폭주가 일어났다. 이때의 시각은 4월26일(토) 01:23이었다.

발열의 급격한 증가로 핵연료가 파손되자 고온의 핵연료가 물과 반응하여 발열함으로써 이를 더욱 악화시켜 원자로심을 파괴하는 증기폭발을 일으켰으며, 2, 3초 후에 제2폭발이 뒤따랐다. 폭발을 일으킨 원인은 확실히 규명되지 않았지만 처음 폭발은 증기폭발로 간주되며, 두번째 폭발에서는 수소<sup>7)</sup>가 주요한 역할을 한 것으로 평가되고 있다.

사고원인과는 직접 관계되지는 않지만 실험차

- 
- 6) 핵연료 내의 핵분열생성물인 제논은 중성자흡수가 큰데 원자로 운전중에는 소모율이 커 농도가 낮으나 원자로가 정지되거나 출력이 떨어지면 농도가 높아져 연쇄반응을 방해함. 이 효과로 엔리코 페르미가 최초의 원자로인 시카고파일의 연쇄반응에 성공하고 정지한 다음날 고위층 시험에서 원자로가 동작되지 않았던 일화의 원인임.
  - 7) 핵연료가 과열되면 물과 반응하여 많은 양의 수소를 발생시킨.
  - 8) 원자로 냉각수 상실에 대비하여 비상시 냉각수를 보충하기 위한 계통. 모든 원자로는 이 계통을 갖추고 있음.

차에서 비상노심냉각계통<sup>8)</sup>(ECCS)을 끄도록 되어 있어서 사고 직전 2시간(원자로출력을 잡지못해 시간이 지연되었기 때문) 동안은 ECCS를 끈 채로 원자로가 운전되었는데 이것도 안전운전절차의 중대한 위반이었다.

#### 사고의 경과

두 차례의 폭발이 4호기 노심은 물론 원자로 건물의 지붕까지 파괴하자 많은 고온·고방사능의 핵연료와 흑연 파편을 공중으로 비산하였다. 여러 가지 파편이 공중 1 km 까지 치솟았고 무거운 것은 부지근처에 낙하하였으나 불활성기체를 포함하는 가벼운 성분들은 바람을 타고 서북쪽으로 날아갔다. 이어서 4호기 원자로 잔해, 터빈건물 지붕 등에 발생한 화재는 방사성물질의 방출을 증가시켰을 뿐만 아니라 이를 고공으로 끌어올려 피해를 원거리까지 확대시켰다.

화재진압에 100여명의 소방대원들이 투입되었는데 이들이 매우 많은 방사선피폭을 받았다. 특히 26일 05:00경부터 시작된 원자로심 부위의 흑연화재는 이를 진압하려는 시도가 증기폭발이나 핵임계를 유발할 지도 모른다는 실제적인 두려움 때문에<sup>9)</sup> 신속히 진화되지 못해 10여일이나 지속 되어 방사능 방출을 배가했다.

#### 초기 비상대응과 사고 수습

국가적 비상사태에 대한 지휘권이 부여된 국가위원회(모스크바 소재)까지는 사고 내용이 즉시 보고되었으나 대응 지휘본부인 연방민방위본부에 상황이 접수된 것은 약 2 시간 이후로서 경보의 전파에 상당한 시간지연이 있었다. 비슷한 시각에 우크라이나 비상본부가 프리피야트에 설치되었고 사고지역에 차량출입의 통제가 개시되었다. 26일 정오께부터 인근 지역에 대한 방사선 측정이 실시되었다.

4월27일부터 노출된 원자로 상부에는 헬기를

- 
- 9) 흑연화재는 1954년 영국의 윈드스케일 원자로에서도 경험한 바 있으나 체르노빌의 경우 원자로 규모가 윈드스케일보다 매우 큼. 윈드스케일에서 도 흑연화재로 많은 방사능이 방출되었음.

이용하여 수백톤의 붕소(핵임계 방지), 납(방사선 차폐), 진흙과 모래(방사능 차단 및 필터), 백운석(열흡수 및 탄산가스 생성으로 소화 보조) 등이 투하되었으나 후일의 평가는 이런 물질들이 적절한 위치에 투하되지 못했고 열발산을 차단해 원자로심부의 과열을 초래했을 것으로 보고 있다. 노심 용융물이 하루 지층까지 침투할 우려에 대비하여 5월 9일부터 15일간 400여명이 동원되어 원자로하부를 굴착하고 냉각계통을 가진 강화콘크리트판 설치하였다.

한편, 공식발표가 없었음에도 대부분의 프리피야트 주민은 사고 7,8시간 뒤에는 사고 사실을 인지했으나 스스로 대피한 사람은 극히 일부였다. 26일 오후 늦게부터 바람이 프리피야트 방향으로 향함에 따라 주민의 소개가 권고되었으나 22:00 경에야 27일 소개를 결정하고 밤새 1200여 대의 버스를 동원했다. 프리피야트 주민의 소개에 대해 국가위원회 위원장이 최종 승인한 것은 27일 07:00였으며 정오경 주민들에게 공식 소개를 발표하고 사고발생 36시간이 지난 14:00부터 소개가 개시되었다. 소개는 원활히 진행되어 40000여명의 시민이 세 시간 정도에 소개를 완료했다.

5월2일에는 소개지역을 원자로 중심 반경 30 km까지 확대했으며 5월6일까지 70000여명의 지역민을 추가로 소개하고 이 구역을 금지구역(the zone)이라 불렀는데 이 구역은 10년이 지난 지금도 존재한다. 이후 50000여명이 더 소개되어 소개주민의 총 수는 167000명에 이른다<sup>10)</sup>.

4호기 잔해에 대해서는 10층 높이의 철근콘크리트 구조물로 둘러싸는 공사의 설계와 시공이 신속히 진행되어 '86년 11월 중순에 완료하고 이를 석관(sarcophagus)라 부르고 있다.

## II. 방사능의 확산과 대응

### 방사능방출

원자로와 원자로 건물이 파괴되어 방사성물질이

직접 환경으로 방출되었으므로 방출량의 판단은 환경에서 관측된 방사능과 물리학적 판단에 의해 추정할 수 밖에 없어 그동안 방출량에 대해 혼선이 있었지만 현재의 최선 추정치는 <sup>133</sup>Xe 6500 PBq<sup>11)</sup>, <sup>131</sup>I 1700 PBq, <sup>134</sup>Cs 54 PBq, <sup>137</sup>Cs 85 PBq, <sup>132</sup>Te 1150 PBq 등으로서 불활성기체는 노심재고량의 100%, 옥소는 50-60%, 세슘은 20-40%, 텔레늄은 25-60%, 기타 입자상의 핵종은 3.5-6%가 방출된 것으로 평가되고 있다. 따라서 총방출방사능은 약 10000 PBq(=10 EBq)이며 그 중 불활성기체(Xe과 Kr)가 60-70%를 차지한다.

체르노빌 원전사고 기간 중 방출 방사능

핵종	반감기	사고당일 노심 재고량		
		방사능 (PBq)	방출률 (%)	사고로 인한 총 방출량 방사능 (PBq)
<sup>133</sup> Xe	5.3d	6500	100	650
<sup>131</sup> I	8.0d	3200	50-60	~1760
<sup>134</sup> Cs	2.0y	180	20-40	~54
<sup>137</sup> Cs	30.0y	280	20-40	~85
<sup>132</sup> Te	78.0h	2700	25-60	~1150
<sup>89</sup> Sr	52.0d	2300	4-6	~115
<sup>90</sup> Sr	28.0y	200	4-6	~10
<sup>140</sup> Ba	12.8d	4800	4-6	~240
<sup>95</sup> Zr	1.4h	5600	3.5	196
<sup>99</sup> Mo	67.0h	4800	>3.5	>168
<sup>103</sup> Ru	1.0y	2100	>3.5	>168
<sup>106</sup> Ru	1.0y	2100	>3.5	>73
<sup>141</sup> Ce	33.0d	5600	3.5	196
<sup>144</sup> Ce	285.0d	3300	3.5	~116
<sup>239</sup> Np	2.4d	27000	3.5	0.035
<sup>238</sup> Pu	86.0y	1	3.5	0.03
<sup>239</sup> Pu	24400.0y	0.85	3.5	0.042
<sup>240</sup> Pu	6580.0y	1.2	3.5	~6
<sup>241</sup> Pu	13.2y	170	3.5	~6
<sup>242</sup> Cm	163.0d	26	3.5	~0.9

10) 소개된 주민의 수는 자료마다 약간씩 차이가 있음. 일부 자료에서는 현재까지 총135000명이 이주한 것으로 나타나고 있음.

11) 1 PBq=1015 Bq로서 구단위로는 약 22000 Ci에 해당함. pBq(=10<sup>-12</sup> Bq)과 PBq를 혼돈해서는 아니됨. 1000 PBq=1018 Bq=1 EBq임.

폭파된 노심이 직접 대기에 노출되고 흑연화재가 가세함에 따라 일반적으로는 방출이 거의 없어야 할 세슘, 질코늄 등의 휘발도가 낮은 핵종 뿐만 아니라 플루토늄 등 악티나이트까지 3.5 % 정도까지 방출된 특징을 보인다.

방출의 시간적 변화는 제1일의 대량방출후 감소했으나 제7일부터 다시 증가하다 제10일에 급격히 종료되었는데 초기의 대량방출은 핵연료의 파쇄로 인한 것으로 불활성기체, 옥소, 세슘과 같은 휘발성이 큰 방사성 핵종이 주종이었고 7일과 10일 사이의 두번째 대량방출은 노심용융에 도달한 높은 온도에 의한 추가 방출이며 10일 후의 급격한 감소는 노심용융물<sup>12)</sup>이 하부 차폐물을 뚫고 흘러내려 원자로 내의 다른 물질들과 상호작용함에 따라 급격히 냉각되었기 때문으로 이해된다. 5월 6일 이후에도 소규모 방출이 있었지만 무시할 정도이다.

방사성입자의 대기중 거동은 확산인자, 입자크기, 강우의 발생 등에 좌우되는데, 핵연료분진과 같은 큰 입자들은 대부분 원자로로부터 100 km 이내에 침적되었고, 작은 입자들은 먼거리까지 이동하였다. 방사능 구름으로부터 방사성핵종들이 지표로 침적됨에 따라 원전에 가까운 우크라이나, 벨라루스, 러시아 일부지역이 심하게 오염되었으며 초기에는 방출량이 많은 <sup>131</sup>I과 <sup>132</sup>Te이 오염농도를 지배했고, 장기적으로는 반감기간 긴 <sup>134</sup>Cs 및 <sup>137</sup>Cs이 지배적으로 되었다.

주요 지표 오염지역은 세 곳으로서 원전을 중심

으로한 중앙부와 원전으로부터 200 km 북방의 벨라루스 브리안스크-고멜 인근지역, 그리고 700 km나 떨어진 러시아의 칼루가-톨라-오렐 인근지역이다. 칼루가 지역의 오염이 높은 이유는 방사능 구름이 이 지역을 지날 때 비가 내려 방사성 입자들이 지표에 침적했기 때문이다. 원자로 주변 30 km 반경의 중앙부 구역은 <sup>137</sup>Cs의 침적농도가 대체로 1500 kBq/m<sup>2</sup>를 초과하였으며 브리안스크 지역의 오염도 심하여 일부 마을에서는 5000 kBq/m<sup>2</sup>를 초과하였고 칼루가 지역은 대개 600 kBq/m<sup>2</sup> 이하였다.

방사능구름이 바람을 따라 이동함에 따라 초기(4월28일-30일)에는 스칸디나비아<sup>13)</sup>, 네덜란드, 벨기에를 거쳐 영국까지 이르렀고 나중(5월2일 이후)에는 북지중해 및 중부 유럽 방향으로 옮겨갔다. 스페인, 프랑스, 포르투갈은 오염이 적게 발생했으나 방사능 구름이 통과시 강우가 있었던 오스트리아, 스위스 동남부, 남부 독일의 일부, 스칸디나비아는 다른 나라에 비해 많이 오염되었다. 체르노빌 방사능은 우리나라를 포함한 극동, 미국 등 거리가 먼 북반구에서도 탐지되었으나 유럽 외부의 국가에서는 미미하여 피해를 고려할 정도는 아니었다.

#### 내외부 오염대응활동

소련 내외부를 막론하고 체르노빌 사고와 같은 규모의 사고와 심각도는 예측된 적이 없어 기존의 방사선비상계획이나 절차는 사고의 피해를 감소하기 위한 대응에 실제적인 도움을 거의 제공하지 못했다.

오염지역의 방사선 준위를 감소시키려는 조치로서 건물의 세척, 주거지역 정화, 오염된 토양의 제거, 도로 정화 및 상수도 체염 등의 체염작업이 군인을 동원하여 실시되었다. 주민의 감상선 피폭을 줄이기 위하여 안정옥소제제<sup>14)</sup>를 투여하였

오염밀도에 따른 오염면적

국 가	오염면적(1000 km <sup>2</sup> )			
	<sup>137</sup> Cs 표면오염 밀도(kBq/m <sup>2</sup> )			
	37-185	185-555	555-1480	1480 이상
벨라루스	29.9	10.2	4.2	2.2
러 시 아	48.8	5.7	2.1	0.3
우크라이나	37.2	3.2	0.9	0.6
계	116.0	19.1	7.2	3.1

12) 이 용융물을 라바(Lava)라고 부름.

13) 이 결과로 공표되지 않았던 체르노빌사고를 서방세계가 처음 탐지한 것이 스웨덴(4월28일)이었음.

14) 방사성옥소에 오염된 공기를 흡입하기 전에 일반 옥소정제(KI 또는 KIO3)를 복용하면 방사성 옥소의 체내흡수를 막아 피폭량을 80% 정도까지 줄일 수 있음.

으나 시기가 늦어 효과보다는 방사성옥소의 배설을 방해하고 옥소결합증이 있는 벨라루스 주민들에게 갑상선 쇼크를 주어 방사선피폭영향을 촉진했을 지도 모른다는 평가를 받고 있다.

많은 지역이 주로  $^{137}\text{Cs}$ 에 의해 오염되었으며 이주를 위한 기준오염농도로  $1480 \text{ kBq/m}^2$ , 단기 소개를 위한 개입준위로서  $555\sim 1480 \text{ kBq/m}^2$ 을 적용하였다. 이에 따라 오염된 지역에 계속 거주하여 연간  $1 \text{ mSv}^{15)}$  이상을 피폭하는 사람들에게는 정부가 소정의 보상과 매년 의료검진 혜택을 주며, 덜 오염된 지역의 거주자에게는 의료조사를 실시하고 있다. 그러나 구소련 당국이 택한 금전 보상 정책은 피해자와 비수해자간의 반목을 초래하여 문제점이 있는 것으로 평가하고 있다. 러시아 정부는 연간  $5 \text{ mSv}$  이상을 피폭하는 주민들에 대해서 추가적인 소개를 계획하고 있다.

오염의 확산에 대한 유럽 각국의 반응은 특별한 대응조치 없이 정상적인 환경감시계획을 강화하는 단순한 조치에서부터 시장 및 식료품 소비에 대한 강제적 제한에 이르기까지 매우 다양하게 전개되었다. 일반적인 대응조치는 생활이나 경제에 부담이 없는 것들로서 야채 및 과일을 씻어 먹고, 음용이나 조리엔 빗물을 사용하지 말라는 충고와 오염 가능성이 있는 지역에서 귀환하는 시민들에 대한 감시프로그램 등이었다. 식생활의 심각한 영향과 상당한 경제적, 법적 부담을 초래한 방호조치로 젖소의 방목통제를 비롯하여 우유, 유제품, 채소, 일부 육류의 유통 및 소비 제한 또는 금지도 시행된 경우도 있었고 사고 영향을 받은 지역 여행과 소련 및 동구 국가로부터의 식료품 수입을 금지한 나라도 있었다.

나라마다 방호조치 이행을 위한 개입준위<sup>16)</sup>의

선택과 적용을 위한 기준이 달라 국민의 신뢰를 유지시키는 데 혼란과 어려움이 컸기 때문에 공동보조를 추구하기에 이르러 1986년에 EC는 유제품에 대해 세슘 농도  $370 \text{ Bq/kg}$ , 기타 식품에 대해서는  $600 \text{ Bq/kg}$  이상을 함유하고 있는 식품의 수입을 금지하기로 했다. 그러나 이로 인해 양념류와 같이 적게 소비되는 식품류가 채소와 같이 대량 소비되는 식품과 동일하게 취급되는 불합리를 초래하기도 했다. 식품통제에 대한 국가간 이해의 차이, 식생활의 차이 등으로 인해 1989년에야 제네바 WHO/FAO 회의에서 식품에 대한 개입준위의 합의가 이루어졌다.

방사선 비상상황에서 일반인에 대한 홍보나 의사소통이 대단히 어려움을 실제로 경험하였는데 '채소를 씻어 먹으라'는 당국의 권고는 전혀 불필요한 것이었음에도(그런 권고가 아니라도 채소는 씻어 먹음) 이 권고 때문에 채소매매 자체가 정지됨으로써 일부 생산자들은 심각한 타격을 입는 간접피해를 입었다. 또 방사능 오염준위가 낮아 안전하다는 통보와 함께 방호 수단들을 논의함으로써 시민이 이해할 수 없게 만들거나 의구심을 증폭시켰다.

### III. 방사선 피폭과 영향

#### 피폭선량

사고로 인한 주민의 피폭은 두가지 주요 피폭 경로가 지배하였는데 초기에는 방사성 옥소와 핵폐기에 의한 내부피폭<sup>17)</sup> 장기적으로는 지표에 침적된 방사성세슘에 의한 외부피폭이었다. 방사선에 피폭된 사람은 (1) 발전소의 직원 및 정화작업자(liquidators), (2) 사고후 2주동안 반경 30 km 소개구역에서 이주한 주민, (3) 기타 오염지역 주민들을 포함한 구소련의 주민, (4) 구소련 외부 국민의 네가지 범주로 구분할 수 있다. 가장 높은 피폭을 받은 그룹은 사고 당시 발전소 근무직원과 화재진압에 투입된 소방대원이었다.

사고후 5년여 동안 연60만 내지 80만명에 달하는 정화작업자가 원자로 및 주변반경 30 km 구역내에서 피해 확대방지 및 오염제거 활동에 동원되었는데 특히 초기 2년 동안 정화작업에

15) 사람의 피폭선량을 나타내는 국제표준단위 시버트(Sv)의 1/1000임. 이전에 사용하던 렘(rem) 단위를 대치하며  $1 \text{ mSv}$ 는  $100 \text{ mrem}$  또는  $0.1 \text{ rem}$ 과 같음.

16) 방사선비상시에 대비하여 피폭선량이 이 수준에 이를 것으로 예상될 때 다른 불리함을 감수하고 피폭을 줄이기 위한 어떤 대책을 고려하는 강구하게 됨. 기본적 개입준위는 선량값이나 이로 부터 산출하여 오염도 값으로 설정할 수도 있음.

투입된 사람들이 많은 피폭을 받았다. 정화작업자는 발전소 직원, 소방대원, 구조자들로 구성된 수백명 정도의 작업자들과, 1986~1990년 기간에 발전소 소내외에서 제염, 석관 건축, 기타 복구 작업에 종사했던 약 70만명 내외로 추산되는 작업자들의 두 그룹으로 분류될 수 있는데 이들의 50% 정도는 구소련 군인들이었으며 기타 내부부 및 KGB 요원, 민간단체 요원들도 참여하였다.

사고직후인 4월 26일 새벽에는 운전요원과 소방대원을 포함하여 약 400명의 작업자들이 체르노빌원전 부지에 있었으며 이들의 피폭은 주로 방사능구름, 부지상에 흩어진 손상 원자로의 파편, 피부에 묻은 방사성입자의 외부 감마/베타선과 방사성입자의 흡입에 의한 것이었다. 이들에게서 많은 경우 작용한 선량계가 측정상한을 초과하여 피폭선량계측이 불가능했으며 급성 방사선 증상<sup>17)</sup>을 보인 237명에 대한 생물학적 선량계측 결과는 140명이 1-2 Gy<sup>18)</sup>, 55명이 2-4 Gy, 21명이 4-6 Gy, 21명이 6-16 Gy의 외부피폭을 받은 것으로 평가되었다. 갑상선 측정으로 평가된 방사성옥소 흡입에 따른 갑상선 선량은 173명이 0-1.2 Sv, 11 Sv 이상이 5명이며, 20 Sv까지도 피폭된 사람도 있었다.

정화작업자에 대한 피폭기록도 완전하지는 않으며 특히 사고 초기 6월 중순까지는 개인선량계 서비스가 부적절했는데 이들에 대한 특별 선량 한도는 1986년 250 mSv, 1987년 100 mSv, 1988년 50 mSv로 책정되었으며<sup>19)</sup> 기록된 작업자들의 선

량평균은 1986년부터 1989년까지 각각 170 mSv, 130 mSv, 30 mSv, 15 mSv이었다. 특이사항으로 사고 후 수년 동안 석관내에서 정기적으로 작업해온 15명의 과학자가 0.5-13 Gy에 이르는 전신 피폭을 받은 것으로 평가되고 있다<sup>20)</sup>.

사고 후 수주 이내에 11만명 이상의 주민이 원자로 주변 반경 30 km 구역으로부터 소개되었으나 소개지역으로 방사성 구름에 의한 외부 피폭, 오염공기의 흡입, 오염 식품의 섭취로 인해 이미 상당한 피폭을 받은 후였다. 방사성옥소의 흡입과 오염된 우유의 섭취로 인한 갑상선 피폭이 높았으며 특히 아동의 갑상선 선량이 상대적으로 많았다.

소개민에 대한 선량평가는 개인별 설문으로 파악한 사고당시 위치와 지역의 방사선 감시결과 자료를 이용해 재구성하였는데 외부 전신피폭은 평균 15 mSv, 집단선량은 1300 man-Sv<sup>21)</sup>이었다. 방사성옥소 흡입에 의한 갑상선 선량은 갑상선내 옥소 잔류농도를 측정하여 평가하였는데 프리피야트 주민의 경우 평균 개인선량은 소아그룹이 1.4 Sv, 청소년그룹이 0.3 Sv, 성인그룹이 0.07 Sv이었다. 기타 소개지역민의 갑상선선량은 아동은 프리피야트와 비슷하였으나 성인은 소개지역원림으로써 그동안 음식물로 인한 추가섭취로 프리피야트 주민보다 높았다.

오염지역 거주민의 갑상선 선량 평가를 위해 우크라이나에서 15만 건, 벨라루스에서는 수십만 건, 러시아에서는 6만 건 이상의 갑상선측정이 '86년 5, 6월중에 수행되었는데 벨라루스의 고멜 지역 소아가 가장 높은 피폭을 받아 갑상선 선량

17) 단기간에 대량의 방사선피폭을 받은 경우 피폭후 수주 이내에 발생하는 증상으로서 피폭 부위와 증상의 종류에 따라 다르지만 대략 1 Gy 이상의 피폭에서 나타남. 혈액상의 경미한 변화나 남성 정자수의 일시적 감소는 0.1 Gy 근처에서도 관찰될 수 있지만 이 범위의 선량에서는 외부적으로 특별한 증상이 나타나지는 않음.  
18) 그레이(Gy)는 흡수선량을 나타내는 단위로서 급성 대량피폭선량을 평가할 때는 Sv(시버트) 대신 사용함. 여기서 피폭하는 베타선이나 감마선에 대해서는 1 Gy는 1 Sv에 대등하게 됨.  
19) 당시 국제방사선방호위원회(ICRP)가 권고하고 국제적으로 널리 적용되던 피폭한도는 방사선작업자에 대해 연간 50 mSv였음. ICRP는 1990년 개정된 권고에서 이 한도를 연평균 20 mSv로 낮춤.

20) 15 Gy까지 높은 선량을 받고도 사망하지 않은 것은 이 경우는 일시적으로 피폭한 것이 아니라 수년 동안 나누어 받았기 때문임. 보통 100% 치사선량이 7-8 Gy이라는 것은 단기간 피폭에 적용되는 것임.  
21) 피폭집단의 암치사 위험의 예측치는 집단선량으로 계산할 수 있음. 즉, 현재 설정되어 있는 평균 위험계수는 1 man-Sv당 5%이므로 총 1300 man-Sv의 집단선량을 받은 10만여명의 소개주민 중  $1300 \times 0.05 = 75$ 명이 이 피폭에 기인한 암으로 사망할 것으로 볼 수 있음. 이 예상 사망자는 자연 암사망자(전사망자의 약 20%) 예상수 2000명의 0.38% 증가에 해당됨.

10-40 Sv 범위에 300명, 2-10 Sv 범위 3100명, 0.3-2 Sv 범위 13900명이었고 15100명은 0.3 Sv 미만을 피폭하여 아동의 총집단선량은 170000 man-Sv로 평가되었다. 우크라이나와 러시아의 오염구역 주민의 집단감상선 선량은 각각 200000 man-Sv와 100000 man-Sv로 나타났다.

프리피아트 주민의 감상선 선량

출생년도	인원수	평균 개인 전신선량(Sv)	집단선량* (man-Sv)
1983-1986	2400	1.4	3300
1971-1982	8100	0.3	2400
≤1970	38900	0.07	2600

\* 집단선량은 관련된 모든 사람의 피폭선량의 총합과 같음.

벨라루스 고멜지역 어린이들의 감상선 선량 분포

감상선선량 (Sv)	아동수	집단선량 (man-Sv)
0-0.3	15100	2300
0.3-2.0	13900	11500
2.0-10	3100	13700
10-40	300	4700

인체 영향

방사선은 인체의 구성 원자를 직접, 간접으로 전리시킴으로써 세포 및 기본 구성요소에 손상을 초래할 수 있으며 그 영향은 급성 결정적영향이나 만성 확률적영향으로 나타날 수 있다. 결정적영향은 피폭과 장애의 인과관계가 필연적인 것으로 일정한 **말단선량을 초과하는 고선량 피폭**에서 나타나고 대체로 급성이며 심각도는 피폭 부위에 따라 다르나 선량에 비례하여 악화되며 전신 피폭의 경우에는 최악의 경우 사망할 수도 있다. 저선량에서는 인과관계가 확률적인 발암이나 유전질환 유발이 가능하며 위험은 선량에 비례하는 것으로 가정하고 있다. 국제방사선방호위원회(ICRP)는 전신피폭으로 인한 일반인 집단의 치사암 평균위험도를 1 Sv당 5%로 평가하고 있다. 발전소 직원, 소방대원, 긴급 작업자 중 급성장

해 우려가 있는 499명을 후송하여 검진한 결과 237에게서 급성영향이 진단되었는데 이 중 28명은 회복하지 못하고 사망함으로써 기타 사망자 3명(1명은 폭발로, 1명은 관상동맥혈전증으로, 1명은 일반화상으로 사망)을 합쳐 초기에 31명이 사망하였다. 초기 급성증상이 있었던 237명 중 일단 회복된 후 지난 10년간 사망한 사람이 14명 있으나 이들의 사인은 초기의 방사선 급성증상과 무관한 것으로서 이들의 사인이 방사선과 직접 관계있는 것으로 보지는 않고 있다.

급성피폭자의 임상적 증후는 가장 높은 피폭 그룹(6-16 Gy)에서는 보통 피폭후 15-30분내에 구토, 설사, 고열, 현기증 등의 전형적 특징이 나타났으며 점막이 마르고 부어 궤양이 생기면서 호흡과 음식물 섭취에 심한 고통을 동반했다. 열과 베타선으로 인한 외부 화상이 복합적으로 발생하기도 했다. 집중적이고 전문화된 처치에도 불구하고 이같이 높게 피폭된 거의 모든 사람(21명중 20명)은 사망했다<sup>22)</sup>.

급성방사선 영향으로 입원한 사람들에게 나타난 결과

환자 수	평가선량(Gy)	사망자
21	6-16	20
21	4-6	7
55	2-4	1
140	2 이하	0
계 237		28

보다 낮은 피폭에서는 구토가 나중에 시작되었고 혈소판 및 백혈구의 수도 급격하게 감소하지는 않았지만 피부의 베타선 화상은 치료하기가 어려웠다. 2-6 Gy 피폭집단에서는 소수만 사망했고 2 Gy 이하의 피폭그룹에서는 조기사망이 나타나지 않았다.

급성 장애자의 치료에는 혈액성분, 전해액, 항생제, 항균 약품, 골수이식 등을 이용한 대증요법

22) 전신의 피폭선량이 7 Sv 정도가 되면 피폭자의 거의 전부가 사망하는 것으로 알려져 있음.



을 사용했는데 효과는 개인에 따라 차이가 있었다. 격리치료, 방부처리 등 특수 위생관리도 병행되었다. 2 Gy 이상 피폭된 환자에게는 2주일마다 항균제가 투여되었고, 항생제 및 감마 글로불린도 주사되었으며, 골수이식은 4 Gy 이상의 피폭자로 회복불능의 골수손상이 있다고 판단된 13명에 대해 시행되었으나 경험부족으로 결과는 좋지 못하였다. 열 및 베타선에 의한 화상의 처치에서는 소생불능 조직을 절제하였다. 전해액 등의 손실은 위장중후 처치용 비경구적 주입기로 보충했다. 특히 점막 파괴, 부종 등의 구강 및 후두부의 중후는 치료가 어려웠으며 삼킴과 호흡을 매우 힘들게 만들었다.

일반 주민들중에는 급성 방사선 증후를 나타낼 만큼 높은 전신피폭을 받은 사람은 없었으며 1986년 5~6월 벨라루스 지역에서 조사된 11600명 중에도 급성 방사선 장애자는 없었다.

지발성 영향의 주안점은 발암률과 유전결함률의 증가인데 이 평가를 위해 WHO, IAEA 등 국제기구가 구소련 및 독립국가연합의 체르노빌 피폭자 보건추적 프로그램에 참여하고 있다. WHO는 1994년까지 체르노빌사고의 인체영향에 대한 국제프로그램(IPHECA)을 추진하여 백혈병, 갑상선 질환, 구강위생, 태아피폭 어린이들의 정신건강 및 역학기록들의 개발에 주력하였고 후속 장기프로그램을 준비중에 있다. IAEA의 국제 체르노빌프로젝트는 1990년 하반기에 555 kBq/m<sup>2</sup> 이상의 세습 표면오염 지역 거주자와 대조집단 중에서 1356명을 조사했는데 그 결과 방사선피폭과 직접 관계되는 질환은 인지되지 않았지만 사회적, 정치적, 심리적 영향으로 보이는 보건상의 부조화가 있다는 결론에 도달했다.

평가된 선량과 현재 인정되고 있는 방사선위험도를 기초로 추정된 발암치사자나 유전결함의 증가는 방대한 장기간의 역학조사에 의해서도 식별하기는 어려운 정도로 판단하고 있는데 이 예측은 주민의 선량평가와 해당 주민의 방사선암위험계수의 크기에 따라 다르므로 정확한 숫자를 제시하는 것은 어려우나 공식평가는 영랑권의 구소련 국민의 체르노빌 기인 암사망자는 자연 발암사망자의 0.5-4%의 범위에 있을 것으로

내다보고 있다<sup>23)</sup>. 전유럽에 대한 평가는 암 치사 위험이 자연발생률의 0.01% 정도 증가할 것으로 보며 북반구 인구의 평균은 0.004% 증가를 예상하고 있어 통계적 요동을 고려하면 그 증가는 식별이 어려울 것이다.

환경으로 방출된 방사성옥소가 특히 아동에 대해서는 심각한 갑상선피폭을 초래했음은 분명하며 이로 인한 갑상선 암의 위험은 상당한 것으로 평가되었다. 과거의 연구결과에 의하면 갑상선 종양의 증가는 피폭후 6-8년 시점에서 나타나기 시작한다. 벨라루스 민스크의 아동갑상선암센터에는 1986년 이전 8년동안 아동 갑상선암이 5건 보고되었으나 1986년부터 1989년까지는 매년 2-6건, 1990년 29건, 1991년 55건, 1992년에는 67건으로 명백한 증가를 보이고 있으며 총발생은 벨라루스에서 1995년말까지 400건을 넘고 있다<sup>24)</sup>. 벨라루스 갑상선암의 50% 정도는 방사성옥소 오염이 높은 고멜지방에서 발생하였고 약 50%가 사고 당시 1-4세였던 아동에게 나타나고 있다. 사고 이후 아동갑상선암의 급격한 증가 중 일부는 과거보다 조사가 치밀해짐에 따른 효과도 없지는 않으나 방사성옥소의 피폭에도 기인함이 분명해지고 있는데 아동의 경우 잠복기가 20년 이상까지 연장되므로 이러한 증가는 앞으로도 상당기간 유지될 것이다.

이와 같은 증가는 예상했던 것보다 많으며 잠복기도 예상보다 단축되어 있는데 이는 과거 자료가 X선에 의한 외부피폭을 받은 아동들에게서 도출된 결론임에 반해 체르노빌의 경우는 방사성옥소의 섭취에 의한 내부피폭이라는 차이에서 기인하는 것으로 간주되나 다른 요인도 있을 수 있다. 갑상선암 환자 중 '95년까지 10명 정도가 사망한 것으로 공식적으로 집계되고 있고 따라서 체르노빌 사고가 직접 원인이 된 사망자 수의

23) 즉, 오염구역 주민 370만명 중 자연발암 사망자 수는 70만명 내외로 예상되는 데 체르노빌 사고로 인한 방사선 피폭으로 인한 예상 추가 발암사망자 수는 3500-28000 명의 범위에 있을 것이므로 그 증가가 통계적으로 확인되기 어려움.  
24) 1995년말까지 우크라이나, 러시아를 포함한 총 아동 갑상선암 환자는 약 800건에 이릅니다.

공식통계는 초기 사망자 31명을 합쳐 40명 정도가 된다.

아동 100만명당 갑상선 발현수

지 역	1981-85		1986-90		1991-94	
	수	비율 (백만 명당)	수	비율 (백만 명당)	수	비율 (백만 명당)
Belarus	3	0.3	47	4	286	30.6
Gomal	1	0.5	21	10.5	143	96.4
Ukraine	25	0.5	60	1.1	149	3.4
Five north regions	1	0.1	21	2	97	11.5
Russia						
Bryansk & Kaluga regions	0	0	3	1.2	20	10

우크라이나의 40만 정화작업자 중 30000명이 질병을 앓고 있으며 이들 중 5000명 정도는 일할 수 없을 정도로 심하다는 주장도 있으나 이는 벨라루스의 기저 모비디티가 10만명 중 3300명(40만명 중 13000명)인 점과 후술할 사회심리적 현상을 감안하면 특별한 증가로 판단되지는 않는다. 피해국가의 일부 공직자도 체르노빌 사고로 인한 사망자 수가 수만명에 달한다는 발표들을 하고 있으나 이는 정화작업자 또는 오염지역 이주민 중 지난 10년 동안 사망한 사람의 총수를 의미할 뿐 사망의 원인이 방사선피폭은 아니다<sup>25)</sup>. 오염이 심한 벨라루스 고멜지역의 사망률이 지난 10년간 9/1000에서 13/1000으로 증가했고 출생률은 17/1000에서 12/1000 정도로 감소했다는 통계가 벨라루스 국가보고서에 제시되고 있는데 이 역시 방사선영향이라는 증거는 없으며 사고후 인구의 이동, 정치경제적 환경변화, 사회심리적 스트레스 등의 복합적인 작용에 의한 것으로 해석된다. 러

시아 국가의학선량등록소의 자료에 따르면 모든 종류의 질병에 대해 보고된 발생빈도가 1989년에서 1992년사이에 계속 증가한 것으로 나타났으나 자료의 신뢰성과 원인에 대해서는 확신할 수 없다. 러시아공화국에서 정화작업자의 자연사망률이 1991년에 5/1000에서 1992년에는 7/1000으로 증가한 것으로 발표하고 있으나 소규모 집단에 대해 일시적인 자료이므로 후속 자료가 보강되어야만 의미가 있을 것으로 보인다.

다음 두 세대에서 예상되는 유전적 영향의 증가는 자연발생률의 0.015%이며 선량 관리치인 350 mSv를 초과되지 않은 사람의 수명동안의 모든 암에 대한 초과분율은 0.5%로 평가된다. 백혈병에 대한 역학조사는 체르노빌사고로 인한 방사선 피폭과 실제 백혈병 발생빈도 사이의 상관관계를 찾지 못했고 따라서 사고로 인한 백혈병의 증가는 인지되지 않았으며<sup>26)</sup> 이것은 아동 갑상선암을 제외한 다른 암에서도 같다. 백혈병의 경우 370만 오염지역 거주민과 초기 2년간 정화작업자 20만명 중 각각 200명 정도의 백혈병 환자가 사고후 10년 동안 증가할 수 있을 것으로 예측되었으나 실제 역학조사 결과는 기저 발병률에 머무르고 있다.

심리적 영향

체르노빌사고로 인한 영향 중 특히 관심을 끄는 것은 사회심리적영향인데 이 영향은 직접적인 방사선의 생물학적 영향보다도 심각한 것으로 보인다. 방사선 위협에 대한 대중의 의구심은 전문가가 이해가능한 방법으로 현안을 설명하지 못한 점 뿐만 아니라 방사선과 그 영향 자체가 일반인이 이해하기 어렵다는 사실에서도 기인한다. 알 수 없고 볼 수 없는 위협이 자신들의 의사에 반하여 당국에 의해 부과되었다는 사실이 대중의 분노를 자극했고 현세대 뿐만 아니라 자손들에게 까지 위협에 빠뜨린다는 우려에 의해 증폭되었다. 또 이 영향은 순수하게 방사선학적인 요인 뿐만 아니라 관료주의, 정치가 및 정부에

25) 가령 70만명의 정화작업자만 하더라도 그 사회 청년의 정규 사망률(약 연간 0.3%)을 적용하면 매년 2100명이 사망하는 것이 정상이므로 10년 동안은 20000명 정도가 사망하게 됨.

26) 항간에는 백혈병 환자가 8 배가 증가했다는 등의 보도도 있었으나 근거 없는 주장임.

대한 국민의 불신과도 깊게 관련되는 것으로 보이는데 일어날 수 없다고 들어온 사고가 일어났다는 사실이 불신을 굳혔다. 불신은 다시 불안과 스트레스를 초래하는데 이는 오염지역 뿐 아니라 오염과는 직접 관계되지 않는 외부 세계에까지 불안과 스트레스를 유발했다.

불안과 스트레스의 강도 자체는 방사선피폭과 무관한 것이지만 피폭자 또는 스스로 피폭자라고 생각하는 사람들에게 부정적인 건강영향을 미친 것으로 평가된다. 특히 구소련의 경우에는 사고에 이은 소련연방의 붕괴로 인한 심각한 경제적, 사회적 고충에 의해 스트레스가 가중되었다. 사고가 소련연방의 페레스트로이카(perestroika)의 초기에 발생하여 중앙정부 및 공산주의에 대한 불신이 보복에 대한 두려움없이 처음으로 표현될 수 있었기 때문에 사고 후 여러 곳에서 반핵을 표명으로 내세운 시위가 빈번히 발생했다. 체르노빌 사고에 기인한 대중의 반발은 반핵 및 반공산주의 감정뿐 아니라 민족주의의 고조로도 이어져 소련연방의 와해를 촉진시킨 것으로도 평가받고 있다.

불신은 중앙정부 과학자들을 배척하고 방사선과 영향에 대한 지식이 거의 없는 지방 "전문가"를 신뢰하는 풍조를 낳았으며 대중의 민감한 반응을 방사선 공포증(radiophobic)으로 몰아 일축하던 일부 중앙 과학자 및 정부관리의 태도는 대민관계를 더욱 소원케 했다.

새로운 지역으로 이주할 경우 전통적 가족 공동체가 무너지는 등 불리함에도 불구하고 오염지역 주민의 약 70%가 이주를 원했는데 이는 이주시 새주택의 공급 등 경제적 혜택이 돌아오는 사실에도 영향을 받은 것으로 간주된다. 그런데 이 특혜가 비수혜자로 하여금 이주민을 반목하게 만들고 이것이 이주민에게는 또다른 스트레스로 작용하여 보건에 부정적 방향으로 영향을 미친 것으로 평가되고 있는 점은 음미해볼 가치가 있다. 이러한 갈등으로 인해 이주민 중 4000명으로 추산되는 노인들이 급지구역으로 돌아와 자경하며 생활하고 있는데 당국은 이를 묵인하고 있다.

미묘한 사회심리적 현상으로 무자각적 긴장이상(vegetative dystonia)이라고 알려진 질병이 유행했는데 그 징후는 모호한 증상과 정해진 진단

방법이 없다는 것으로 특징지어지는 편리한 병이다. 이 질환의 증가 배면에는 복선이 깔려있는데 즉, 의사는 환자의 압박적 요구에 대한 면책 수단으로, 주민은 정부에 대한 반발 명분으로 이 질환이 유용하기 때문이다.

사고와 때를 맞추어 전개된 페레스트로이카 정책의 과도기적 현상으로 발생한 구소련 내부의 경제악화는 국민의 생활여건을 열악하게 만들었고 사고복구에 과다한 재정적 지출과 인력의 소모가 발생하고 농공업의 생산저하로 더욱 악화된 생활환경이 국민전체의 스트레스를 가중시켰으며 그 결과는 사망률의 증가, 출생률의 저하와 같은 현상으로 표출되고 있다.

기타 국가에서 심리적 영향은 구소련에 비하면 매우 작으며, 정신신체적 증상보다는 관련된 사회적 반응의 형태로 나타났다. 1986년 6월7일에는 서독에 있는 모든 원자력발전소를 해체시킬 것을 요구하는 시위가 있었으며 스웨덴에서는 원자력에 대한 부정적 태도를 갖는 비율이 2배로 증가하기도 했다. 전력의 75%가 원자력발전소에서 생산되는 프랑스는 가장 낮게 오염된 유럽국가 중 하나여서 체르노빌사고의 충격은 적었다.

#### 농업 및 환경 영향

농업 측면에서 중요한 방사성오염물질은 농작물에 흡수가 용이하고 우유, 고기 등 축산물로 전이되는 비율이 높으며 비교적 긴 반감기를 갖는 핵종이 되는데 주목받는 방사성핵종은  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ 이다. 이들 중 장수명 핵종은 현재까지도 지표 오염으로 잔류하는데 미경작지의 경우 세슘 및 스트론튬의 대부분이 표토 10cm 깊이에 분포하고 있다. 농작물 오염을 일으키는 생태학적 경로와 거동은 복잡하며 방사성핵종의 물리, 화학적 특성 뿐만 아니라 토양의 형태, 수확체계(경작 포함), 기후, 계절, 동물의 체내에서의 생물학적 반감기 등의 인자에 영향을 받는다. Cs 및 Sr은 토양에 흡착성이 강해 뿌리를 통한 흡수는 식물 표면의 직접침적에 비해 중요치 않으나 각기 칼륨 및 칼슘과 같은 메카니즘으로 식물에 흡수되므로 높은 준위의 칼리비료 시비는 세슘 흡수를 감소시킬 수 있으며, 석회 시비는 스트론튬 흡수를

감소시키는 것으로 나타났다.

벨라루스, 우크라이나 및 서부 러시아를 합쳐 약 125000km<sup>2</sup> 정도가 37kBq/m<sup>2</sup> 이상의 방사성 세습으로 오염되었으며, 이중 30000km<sup>2</sup> 정도는 10 kBq/m<sup>2</sup> 이상의 방사성 스트론튬으로 오염되었는데 오염지역중 52000km<sup>2</sup>가 농업용지이며 나머지는 숲, 수역, 또는 도시이다. 10년이 지난 현재는 제염과 자연적 제거효과로 30km 금지구역내에서도 오염상태가 상당히 호전되었으나 농지 이용은 정지되고 있으며 벨라루스에도 아직 2600km<sup>2</sup>의 농지가 사용정지되고 있다.

사고 초기단계에서 피폭을 줄이기 위한 대책들(야외작업 중지, 갓 거둔 채소의 소비 금지, 목축 중지, 오염되지 않은 마초의 도입 등)이 즉각적으로 채택되지 않아 주민의 피폭을 증가시킨 반면 며칠후부터는 대안이 있음에도 극단적인 대책이 강행되어 우크라이나에서는 소 15000마리를 오염 정도에 상관없이 도살한 사례도 있다. 야생동물의 경우는 사료조절 등의 대책이 시행될 수 없어 전반적으로 방사성 세습의 오염이 높지만<sup>27)</sup> 가축에 대해서는 사료를 관리함으로써 식육 중의 방사능 농도를 허용기준 이하로 조절할 수 있다. 영국의 스코틀랜드 남서지역, 잉글랜드 북부지역, 북웨일즈, 북부 아일랜드 지역에서 사고 후 425만 마리의 양에 대해 이동과 도살에 제한을 가하였고 1994년까지 40만 마리의 양이 도살 제한이 풀리지 않았다. 그러나 중서부 유럽의 <sup>137</sup>Cs 준위는 감소하여 1990년 말에는 사고 전의 준위로 근접하였다.

산림에는 식물군과 동물군이 기후, 토양특성, 지형 등과 서로 복잡한 관계로 의존하는 생태계가 존재하므로 방사능의 이행이 더욱 복잡하다. 야생엽조류, 딸기류, 버섯이 오염지역의 거주자를 위한 보충음식물이며, 생산목재는 경제자원이다. 삼림은 나무의 여과특성과 교란이 없으므로 인해 농업지역보다 방사능의 침적과 정체가 높게 나타났다고 높은 유기성분과 산림토양의 안정으로 토양-

식물간의 방사성핵종 전이가 증가되어 이끼, 버섯이 높은 방사능 농도를 나타냈다.

부지에 접한 "Red Forest"로 알려진 약 375 ha의 소나무 숲 지역이 극심하게 오염되어 나무들이 100 Gy 이상의 선량을 받아 고사했는데 죽은 나무는 베어내고 토양의 상층 10-15 cm를 제거하여 총 약 10만 m<sup>3</sup>를 폐기물로 매몰하기도 했다. 산림화재에 의한 방사성핵종 분산 가능성을 감소시키는 데 많은 노력이 경주되었으며 재식림과 잔디 깔기와 같은 먼지방지대책으로 토양오염의 확산을 방지하였다.

수역(water bodies)은 공기중 방사능의 침하로 직접 오염되거나 원전 인근 집수침전지의 넘침에 의해서 2차적으로 오염되는데 지표수를 오염시킨 방사성핵종은 재분배되어 바닥의 침전물, 저생생물, 수생식물 및 물고기에게 축적되는 경향이 있다. 초기에는 <sup>131</sup>I, <sup>132</sup>Te과 같은 짧은 반감기의 방사성핵종이 주요 오염핵종이었다. 사고 직후인 '86년 5월초 Pripyat강에서 총방사능 농도가 10 kBq/L, Uzh강에서 5 kBq/L, Dniepr강에서 4 kBq/L였으나 '89년에는 키예프 수원지 중 <sup>137</sup>Cs 농도는 0.4 Bq/L로 감소되었다. 그러나 주민선량에의 기여는 작아 사고 초기단계에 수역으로부터 받은 개인 선량은 총 피폭의 1-2%를 초과하지 않는 것으로 평가되었다. 지난 10년간 물의 오염이 주민의 건강문제를 발생시키지는 않았으나 많은 양의 방사성폐기물을 포함하고 있는 집수침전지로부터의 유입이 발생하지 않도록 지속적 대책과 감시가 필요한 실정이다. 30 km 금지구역의 지하수오염에 관한 연구는 10년에서 100년내에 허용제한치 이상으로 음용수를 오염시킬 가능성이 있는 핵종으로 <sup>90</sup>Sr을 지목하고 있다. '87년부터 '90년까지 유럽에서 조사된 음용수의 <sup>137</sup>Cs 농도는 0.1 Bq/L 이하의 준위로 경미한 것으로 나타났다<sup>28)</sup>.

#### 경제사회적 영향

체르노빌 사고의 경제사회적 영향은 때를 같이한 정치적 혼란과 함께 복합적 작용으로 나타

27) 예를 들면 스웨덴의 주된 육류원인 레인디어는 자연에 야생상태로 사육하므로 일부 지역에서는 아직 체내 방사성세습의 농도가 상당히 높음.

28) 우리나라 지표수 중 <sup>137</sup>Cs의 농도는 0.001 Bq/L 이하임.

나고 있는데 사고 직전부터 전개된 페레스트로 이카(개혁)와 글라스노스트(공개) 정책에서부터 구소련의 와해에 이르는 정치적 급변과 이 변화의 부작용으로 나타나는 경제의 위기는 국민생활을 압박할 뿐만 아니라 오염지역의 경제활동 저조로 인해 비오염지역에 비해 노동자의 임금수준이 약 35%나 낮아 이것도 오염지역 주민의 스트레스의 원인이 되고 있다. 농업, 산림, 수자원 뿐만 아니라 공업근거지도 오염시켜 국가의 생산을 저하시켰고 복구를 위해 엄청난 예산이 투입되었으며 건설적인 부문에 투입될 많은 자원과 인력이 피해 복구에 투입됨으로써 특히 벨라루스와 우크라이나의 국가생산성을 심각하게 저하시켜 결과적으로 사회에 미친 영향이 심각한 것으로 나타나고 있다.

벨라루스는 지난 5년간 국가 예산의 15-20%를 오염피해 복구에 투입했으며 2015년까지 예상총 피해액은 2300억\$에 이를 것으로 추산하고 있는데 이는 벨라루스의 경제규모에 비하면 감당하기 어려운 것이다. 또 사고전 농업이 국가 총생산의 40%를 차지했는데 경작의 중지, 생산된 농산물의 수출저조로 농업생산의 1/3이 줄었으며 원자재가의 앙등과 에너지 비용의 증가로 경제구조가 악화되어 '94년에는 생산이 20-25% 정도 저하되었다. 우크라이나도 국가예산의 1/6까지 피해복구에 투입되고 있으며 이 재정을 위해 소득의 13%에 해당하는 추가 과세가 부과되고 있는 형편이다.

시장경제로의 전환과 함께 인구의 도시이동 현상이 나타나고 있는데 이는 노동인력이 오염지역 거주를 기피하는 심리에서도 영향을 받고 있으며 오염지역에서는 노동력의 빈곤을 초래하는 한편 비오염 도시에는 노동력의 과잉현상이 나타나고 있다.

러시아의 경우는 오염구역이 전국토의 면적에 비해 경미하고 상대적으로 국력이 큰 만큼 경제사회적 충격은 벨라루스나 우크라이나에 비해 작다.

#### 잠재적인 잔여 위험

사고 원전을 싸고있는 석관은 급조된 구조물

이므로 원자로 잔해의 제거 등 고방사성물질을 안전처분하는 근본적인 방법이 도입될 때(수십년?)까지 임시방벽 역할을 완수할 지 미지수이다. 사고 10주년을 맞은 지난 지금 석관의 안정도와 장기간 내구성에 대한 잠재적 위험이 나타나고 있는데 가령 지붕의 균열을 통해 빗물이 유입됨으로써 석관내 습기가 높아져 내부 철구조물이 부식되어 붕괴위험을 증가시키고 있는 것 등이다. 현 구조물은 지진이나 태풍에 견딜 수 있도록 설계되지 않았으며, 사고당시 용융물질의 관통으로 손상된 바닥판이 파손되면 건물의 왜해를 초래할 수도 있다. 석관이 붕괴되면 0.1 PBq 정도의 방사성 분진이 비산하여 30 km 금지구역의 일부를 재오염시킬 수 있을 것으로 보고 있다.

1993년 석관의 항구적 안전대책방안에 대한 국제공모에서 프랑스의 Compenon Bernard사가 국제콘소시엄 방식으로 제안한 “수퍼석관(Supersarcophagus)” 방식이 선정되었으나 5년여간 3억\$이 소요될 비용이 확보되지 않아 추진되지 못했는데 1996년 4월 모스크바 G-7 영수회담에서 서방측이 체르노빌원전 안전조치를 위한 재정적 지원을 합의하였으므로 석관 안전조치 사업이 추진될 것으로 예상된다.

물에 의해 방사성핵종이 용출되어 지하수로 이동할 위험을 검토한 결과는 이러한 현상이 매우 느리게 진행되어 지하수를 통해 Pripyat강 집수지까지 이동하는 데 45년 이상이 걸릴 것으로 평가되고 있어 현실적인 위험은 아닌 것으로 보인다. 그러나 사고직후 4호기에 인접한 곳에 600 내지 800개의 폐기물 호를 파서 대략 8 km<sup>2</sup> 이상지역을 10-15 cm 깊이로 불도저로 밀어낸 표토, 나무, 잡초 등을 별도의 방벽없이 묻었으며 동원된 차량, 헬기 등 많은 장비들은 노천부지에 보관되고 있어 이로부터 오염확산 잠재성이 있다. 방사성폐기물과 오염된 장비의 일부는 30 km 지역내에 점토나 콘크리트방벽을 갖춘 임시처분장 또는 보관설비에서 비교적 안전하게 관리되고 있다.

#### IV. 국내외의 체르노빌 후속조치

##### 우리나라의 후속조치

체르노빌 원전사고 사실이 즉시 해외에 공개되지 않았고 원거리에서 발생된 사고였던 관계로 우리의 즉각적인 대응을 이루어지지 않았으나 5월 2일 방사능의 일부가 제트기류를 통해 북미, 극동까지 미친다는 정보에 접하여 과학기술처는 민방위계획에 따라 방사능방재대책본부를 설치하고 한국원자력연구소(당시 한국에너지연구소) 원자력안전센터에 그 기술지원단을 설치, 운영하였다. 방사능 낙진을 감시하기 위해 전국 방사능 측정소(당시 서울, 대전, 광주, 대구, 부산, 제주의 6개소)의 측정을 강화하고 국제협력을 통한 정보를 수집하여 사고의 원인과 피해현황을 추적하였는데 지상 공기중 방사능 농도는 측정한계 이하로 검출되지 아니하였으나 5월 4일 중부 일부 지역에 소량 내린 강수물에서 미량의  $^{131}\text{I}$ 이 검출된 바 있다. 그러나 이러한 대응은 당시 국민의 우려를 고려한 것이었지만 사태가 국민의 안녕을 위협할 정도로 발전할 가능성이 없었음에도 민방위계획을 발동한 과잉반응으로 평가된다.

'86년 5월 6일부터 5월 20일까지 과학기술처, 원자력안전센터 합동으로 점검반을 편성하여 2주간 가동중인 국내원전(고리1,2,3,4호기와 월성 1호기)에 대하여 특별안전점검을 실시하였는데 이 특별점검 역시 국민 우려를 앞세운 대응으로 당시로서는 체르노빌 원전사고의 정확한 내용조차 파악되지 않은 상태이므로 체르노빌 사고에 임하는 특별점검으로의 의미는 미약한 것이었다.

'86년 하반기에 원자력안전센터는 사고에 대한 정보를 종합하여 보고서를 발간하였고 '91년 한국원자력안전기술원은 사고 5주년을 맞아 체르노빌의 후유증에 대한 올바른 정보를 제공하기 위해 현지 방문경험, 국내외의 관련정보를 종합한 실태보고서(체르노빌 사고후 5년, 어제와 내일)을 발간 배포하였는데 이러한 활동은 필요하고 가치있는 것이었다고 본다.

##### 구소련의 RBMK 원전에 대한 안전조치

사고원인을 분석한 결과로부터 다른 RBMK

원전에서 유사한 사고를 예방하기 위한 일차적 안전조치가 체르노빌 사고 직후에 이루어졌다. 조치내용에는 원자로 실험이나 원자로 보호계통의 무력화, 제어실에 추가 제어장치의 설치를 금지하는 등이 포함되었고 운전원의 안전운전절차 준수를 강조하고 원자로 정지후 제기동 절차에 특별한 주의를 요구했다. 또, 설계와 달라지는 모든 내용에 대해서는 설계자, 건설자 및 기술고문과 협의토록 요구하였고 사고 유발요인에 대해 기술적 조치를 강구했다.

이후 구소련이 자체적으로 분석한 RBMK 원전의 기본적 안전 취약점으로는 (1) 원자로 반응도 제어나 체르노빌 사고 유발 핵심요인과 관련된 노심과 정지계통의 설계상의 미비점, (2) 제1세대 RBMK 원전의 노심냉각을 위한 안전계통의 불완전, (3) 사고시 방사능의 억류능력의 미비, (4) 다수 압력관 파열시 영향의 불충분한 고려, (5) 화재나 침수에 대한 방호의 부족, (6) 기기나 문서의 품질 부족, (7) 인허가의 부실, (8) 운영관리 자세 및 운전경험의 반영 시스템 부적절 등이다.

이러한 결함에 대응하여 1987년부터 1991년까지 1차적 안전도 향상조치가 실시되었는데 그 주요 내용은 (1) 흡수재의 추가, 핵연료 농축도의 증가(2.4%) 등을 통한 정기포계수의 완화, (2) 수주의 제거, 제어봉 구동장치의 개선 등을 통한 긴급정지 시간의 단축(2.5초), (3) 원자로 반응도 여유 계산 주기의 단축, 운전절차 및 제한치의 개선 등 운영체계의 강화, (4) 기타 원격정지제어실 설치, 주요 부품의 비파괴 검사, 시뮬레이터를 이용한 인력훈련 등이다. RBMK 원전 안전성에 대한 심층 분석 결과 건설시기에 따라 안전성에 상당한 편차가 있으며 고도의 안전성 확보를 위해서는 추가적인 보완이 필요함이 인정되었으나 구소련 와해로 인한 공조의 어려움, 서방측 지원의 부실로 인해 순조롭게 진행되지 못하고 있다. 제2, 제3 세대 RBMK는 체르노빌 후속조치에 따른 보완으로 기본적 심층방어개념을 만족하는 것으로 평가되고 있다. 1960년대 설계인 제1세대 RBMK 원전에 많은 취약점이 있으나 이 경우에도 현재 보완이 성공적으로 진행 중인 레닌그라드 원전의 예에서 보듯이 적절한 지원이

있을 경우 안전도의 향상이 가능한 것으로 평가 받고 있다.

체르노빌 원전은 2호기가 1991년 터빈홀 화재 사고 이후 운영정지되었으며 현재 1호기와 3호기가 운전되고 있다. 체르노빌 원전측은 2호기의 재가동 허가를 위해 노력해왔으나 아직 허가받지 못하고 있으며 1995년 12월 20일 우크라이나와 G-7 국가는 2000년까지 체르노빌 원전들을 폐쇄하고 이를 위해 23억\$의 지원을 할 것으로 협약했으나 아직 이 협약이 효력을 발휘 지는 미지수이다.

원자력안전 일반의 측면에서 특기할 사항으로 원자력 전문기술인력이 러시아에 편중되어 있어 우크라이나 독립과 함께 이들의 러시아 귀환은 우크라이나의 원자력기술인력의 부족을 초래하고 있는데(벨라루스는 원전이 없음) 이 문제도 원자력안전에 대한 취약점의 하나로 지목되고 있다.

#### 국제기관의 후속조치

1986년 5월 동경에서 개최된 선진국 수뇌회담에서 소련정부에 대하여 정보제공을 요구함은 물론 사고시에 상호원조에 관한 국제협력을 할 수 있는 체제의 구축과 사고 발생시 사고보고를 의무화하는 국제협정의 체결을 제창하였고 7월 IAEA 본부에서 62개 국가 및 OECD/NEA, WHO, WMO, ECE 등 10개의 국제기관으로부터 283명의 전문가가 참석하여 피해범위가 국경을 넘는 원자력사고에 대비한 국제협정 초안 채택하였다. 원자력사고의 조기통보에 관한 협약<sup>29)</sup>(The Convention on Early Notification of a Nuclear Accidents)과 원자력사고 또는 방사선 비상시 지원에 관한 협약<sup>30)</sup>(The Convention on Assistance in the

Case of Nuclear Accident or Radiological Emergency)으로 구성되는 이 협약의 초안은 9월 하순에 IAEA 이사회의 자문에 붙여 각료급이 참가한 IAEA특별총회에서 정식으로 채택된 바 있다.

체르노빌 원전사고 발생사실을 확인한 IAEA와 유럽 회원국들은 사고에 대한 상세한 기술공학적 정보와 방사능 누출량, 분포 등의 정보를 원하였으나 만족스럽지 못했고 사고영향에 대한 더 많은 정보를 얻기 위한 노력으로 대부분 유럽국가내의 방사선방어 관계기관간 자발적인 정보교섭이 이루어졌다. IAEA는 방사능 측정치 관련자료 정보를 23개의 회원국으로부터 보고받아 분석한 결과 사고전후의 기상조건은 환경오염이 유럽전역에 확산되고, 지표 오염이 우려될 수 있음을 확인한 바 있다. 이에 따라 우유나 야채의 섭취에 의하여 갑상선에 축적되는 방사성 옥소오염이 중요할 것으로 판단하여 갑상선 오염측정연구에 치중하고 체내오염 예방조치를 권고하기도 했다.

IAEA나 OECD/NEA 외에도 여러 국제기구들이 체르노빌사고와 관련하여 많은 역할을 했는데 WMO의 통신망은 방사능오염 피해상황보고에 결정적 역할을 했고 UNSCEAR는 전반적인 대중 보건평가를, WHO는 국제적 보건방호의 지침규정과 체르노빌 피해주민의 건강 추적에, FAO는 농산물과 식품처리 분야에 대해, ILO은 오염지역에서 활동한 작업자의 방호분야에서 몫을 다 했다.

#### 피해복구를 위한 국제지원

1989년까지는 구소련이 폐쇄적으로 사고의 복구를 담당해왔으나 구소련의 경제악화, 복구부담의 대규모, 국민의 불신 확대에 의해 1990년부터 문호를 열고 국제적 지원을 요청하기에 이르렀고 이후 다양한 국제기구의 프로그램이 체르노빌

#### 29) 『조기통보협약』

방사성물질의 방출이 있거나 그 우려가 있고 그 결과 국경을 초월하여 다른 국가에 대하여 방사선 문제를 초래할 수 있는 사고는 조기에 IAEA에 통보한다는 협약임. IAEA는 접수한 사고의 제일보를 즉시 조약국, 가맹국, 피해예상국 및 관계 국제기관에 전파함.

#### 30) 『상호지원협약』

협약국은 원자력사고 또는 방사선 긴급사태가

있을 때, 필요한 경우 다른 협약국 및 IAEA 등의 국제기관에 원조를 요청할 수 있음. 요청을 받은 국가는 원조여부와 원조 내용 또는 할수 있는 원조의 범위, 조건을 결정하고 직접 혹은 IAEA를 통하여 요청국에 통지하며 지원국은 필요시 요청국에 대해 비용을 청구할수 있음.

사태에 참여하여 양국간 또는 다국간 협정에 의해서 많은 나라가 지원을 계속하고 있다. 프로그램에 참여한 국제기구로는 IAEA, WHO, FAO, UNIDO, UNESCO, UNICEF 등이 있고 EC와 G-7은 다국간 협정에 따라, 미국, 일본, 독일, 영국 등은 양국간 협정에 따라 참여 또는 지원하고 있다.

중요한 것은 아직 체르노빌 참사의 그림자는 지워지지 않았으며 복구를 위해서는 국외의 지원이 절실히 요청되고 있는 실정이다. 1996년 4월, 비엔나에서 열린 사고10주년 종합회의에 대통령까지 대동한 벨라루스 대표단의 지원호소는 차라리 처절한 것이었다.

### V. 사고의 의미와 교훈

체르노빌 원전은 설계부터 서방형 원전과 많은 차이가 있어서 같은 RBMK형 원전을 제외하고는 TMI 사고의 경우처럼 다른 원전에 대해 직접적 안전성 문제를 동반하지는 않는다. 가장 큰 교훈은 사고에 대한 비상대응과 방사선방호의 문제들로서 이러한 대형사고에 거의 무방비했던 원자력계, 정부당국 및 국제사회에 일대 경종을 울린 것으로 볼 수 있다.

#### 비상대응 측면의 교훈

권한이 부여된 국가 조직간의 명쾌한 업무분담을 합의하여 수립하지 못했기 때문에 너무 많은 조직이 의사결정에 관여하는 결과를 가져왔는데 이는 TMI 원전사고에서도 경험한 바 있다. 따라서 사고전에 중복되는 관할분야가 명확히 확립될 필요가 있으며, 계획의 효과적인 이행을 위해 적절한 상설기구를 유지하여야 할 필요가 있음이 지적되고 있다. 신속한 통신체계, 개입팀(intervention team), 모니터링 네트워크 등이 긴요하며 방사능의 대기이동 추적을 위하여 지상 모니터링 팀의 기동성이 필요한 것으로 나타났다. 양정옥소배포나 소개와 같은 개입 계획과 관련된 병참 문제는 복잡하고 시간을 많이 요하기 때문에 사고가 전개되는 짧은 시간 동안에 이행될 수 있도록 사고 전에 명확히 준비하여 연습해둘 필요가

있다.

방사성 오염이 국경을 초월하여 영향을 미치는 특성을 비상계획에 포함될 필요성을 입증했으며 개입활동 및 개입준위에는 국제적인 조화가 필요하며 이들을 비상계획에 통합하여 효율적으로 이행될 수 있도록 준비가 요구되고 있다. 특히 농산물을 포함한 오염식품의 국제 유통에는 확고한 국제 지침과 이에 대한 합의가 긴요함을 인식시켰다. 또 원자력 프로그램이 없는 나라까지 방사선비상계획을 개발하여야 할 필요성을 증명하였다.

다음의 원전 중대사고는 체르노빌사고와는 다른 유형일 것이므로 비상계획에는 융통성이 긴요하고 비상계획 기획자는 다양한 사고에 적용할 수 있는 일반적인 원칙을 도출하여 이를 종합적인 계획으로 통합해야 할 필요가 있다.

사고당시의 대중적 압력은 매우 심각하므로 사고시는 물론 평소 홍보의 중요성이 강조되었으며 이때 제공되는 기술정보는 사람들이 알 수 있어야 하며 평소 대중이 신뢰할만한 정보원(information source)을 확보하여 명확하고 간결한 정보가 시기적절하고 지속적으로 공급되어야 한다는 것을 일깨웠다. 많은 사람들을 신속히 검사하여 파괴폭자를 구별하고 필요한 의료조치를 시행할 수 있는 준비가 필요하며 방사선 장애자나 오염환자를 후송 가료할 중앙특수의료시설이 갖추어져 있어야 할 필요성이 강조되었다.

과학적 측면에서는 방사능의 대기 이동모델의 정확도 개선을 위하여 기체 및 에어로졸의 물리 화학적 변화의 연구, 원자력 안전연구 및 중대사고의 관리에 관한 연구를 확대할 필요성이 인지되었고 파괴폭의 경우 항생제, 항진균제, 항바이러스성 약품, 비경구 급식, 공기살균 및 보호간호와 같은 예방의학 및 간호의 중요성을 입증하였다. 잠재적인 건강영향을 조사하기 위하여 역학적 연구가 필요하며, 원자력시설 종사자와 주변 주민에 대해 일상의 건강조사 시스템을 개발하여 운영할 필요성을 제기하였다.

#### 원전운영관리 측면의 교훈

체르노빌사고 자체는 RBMK형이 아닌 서방형



원전에서는 일어날 수 없는 유형이어서 TMI 사고와는 달리 안전성 보완을 위하여 설비개선 등의 필요성을 시사하는 바는 없으나 원전의 안전에서 관련된 개개인의 안전성향 즉, 안전문화가 얼마나 중요한 것인가 재인식하게 했다. 방사능의 대량 방출을 동반하는 원전의 중대사고가 초래할 피해의 심각성을 실감케한 사고로서 피해의 범위가 원자력사업에 국한되는 것이 아니라 국가의 정치, 경제, 사회에 까지 심각한 문제를 야기하며 물리적 피해범위도 국경을 초월함을 인식하여 원전 안전에 임하는 자세를 가다듬어야 함을 응변으로 전하고 있다.

이러한 의미에서 원전의 검사 및 시험절차는 안전규제요건과 절차서의 만족여부를 점검하는 절차서 지향적인 검사방법에서 발전소의 중요계통 및 기기의 운전 및 사고이력과 증상을 종합 분석 평가하여 계통 및 기기의 약점을 미리 예측함으로써 사고를 방지하고, 진단위주의 검사방법으로 전환이 필요하다. 이를 위한 발전소 고유의 안전도를 평가하는 기술과 기법, 특히 PSA (Probabilistic Safety Analysis)의 활용이 요구된다.

원전안전에 직접적인 책임이 있는 원전 운영자의 안전책임의식이 대단히 중요하며 이를 위한 제도적 개선이 필요하며 가동중인 원전의 증가와 노후화는 안전성 문제를 다양화하고 복잡하게 하므로 발전소의 운전, 보수정보, LER, human error 정보를 운영자, 설계자, 연구기관 및 규제기관이 협력하여 체계적으로 수집, 정리, 분류, 보관하기 위한 체계를 수립하는 것이 중요하다. 최고의 공학적기술이 집약된 거대한 시스템인 원전에 대하여 운전 및 보수에 요원들이 어떻게 정확한 판단을 하고 적절한 행동을 하는가가 안전성 확보에 또다른 중요 문제이므로 human factor, man-machine interface 의 연구, 운전 및 보수지침서의 개발이나 교육훈련의 개선에 관한 적극적 대응이 필요한 것으로 나타났다.

## 맺는 말

결론적으로 요약한다면 체르노빌사고는 안전문화의 결여로 인한 산물로서 원자로 설계는 안

전측면에서 불완전하였고, 운전원들은 안전운전 절차를 준수하지 않아 발생한 최악의 원자력 재해였다. 구소련은 물론 국외에서도 이 재해에 대한 초기 대응은 적절하지 못했고 따라서 그 피해와 충격을 가중시킴으로써 TMI 사고에 이어서 사고방지에 못지않은 비상대응의 중요성을 다시 강조했으며, 원자력안전은 한 나라만의 문제가 아니라 국제적 조율이 필요한 문제임을 분명히 했다. 일반적으로 예상한 바에 비해서는 인명에 대한 직접적 피해는 작았지만 반대로 사회심리적, 경제적 피해는 심각한 정도이어서 대량의 방사능 방출을 동반하는 원전의 중대사고는 자칫 국가 안위의 문제로 발전할 가능성이 있음을 일깨웠다.

## 참고 문헌

1. OECD/NEA, *CHERNOBYL, Ten Years on Radiological and Health Impact*, Nuclear Energy Agency, Nov., 1995.
2. Academy of Science of Belarus, *The Chernobyl Catastrophe Consequences in the Republic of Belarus*, a National Report, Minsk, 1996.
3. GRS/IPSAN, *Chernobyl-Ten Years After*, an informal document, IPSAN, April, 1996.
4. SFEN, *Chernobyl: True, False and Uncertain*, EdF working group report, April, 1996.
5. Greenpeace, *Testimonies*, Chernobyl papers No. 1, Greenpeace, 1996.
6. European Commission, *Chernobyl Research: Radiological Aftermath*, EUR 16545 EN, EC, 1996.
7. Yuri M. Shcherbak, "Ten years of the Chernobyl Era", *Scientific American*, **274**(4), 32-37, April 1996.
8. IAEA/WHO/EC, "Highlights of Conclusions from the International Conference One Decade After Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident", *Austria Center, Vienna*, 8-12 April 1996.
9. French Nuclear Society, *Nuclear Accidents and the Future of Energy, Lessons Learned form*

- Chernobyl*, Proceedings of the international conference, April 15-16, 1991, Paris.
10. 한국원자력안전기술원, 체르노빌 사고후 5년-어제와 내일, KINS/AR-079, 1991.
11. IAEA, *International Chernobyl Project*, IAEA, 1993.