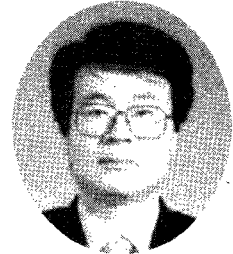


체르노빌事故現場—그後 4年

本稿는 지난 10月 12日 韓國原子力安全技術院 주최로 열린 「原子力 安全性 增進을 위한 討論會」에서 발표한 論文이다.



李 在 己
〈韓國原子力安全技術院 保健物理室長〉

체르노빌원전사고가 일어난지 4년여가 지나 는 동안 우리 주변에는 사고의 영향에 대한 갖 가지 풍문이 무성하였다. 본고는 믿을 만한 최근의 자료와 체르노빌연구센터 공동연구 참가 를 위해 현지를 방문한 경험을 바탕으로 본 사 고로 인한 영향을 방사선학적, 경제·사회적 관 심에서 살펴본 것이다.

1. 序 論

1986년 4월 26일 체르노빌원전 4호기에서 인 류의 평화적 원자력 이용사상 최악으로 손꼽힐 사고가 발생하였다.

출력의 급증으로 인한 증기 폭발은 원자로심 과 이를 감싸고 있던 보호벽들을 여지없이 파괴 시켰으며, 이로 인한 냉각수의 유실은 원자로심 을 구성하고 있던 흑연에 불을 붙였다. 무너져 내린 핵연료와 흑연은 잔류열을 감당치 못해 콘 크리트 구조물 파편과 함께 녹아 내렸다. 이러 한 과정에서 핵연료 내의 방사성물질이 대량으 로 외부 환경으로 방출되어 인근 우크라이나 및 백러시아 공화국의 일부 지역을 심하게 오염시 켜온 뿐만 아니라 멀리는 유럽전역, 북반구 전 체에 방사능 경보를 불러 일으켰다.

사고 직후부터 오늘에 이르기까지의 4년여 동 안 소련 당국은 사고의 진압, 수습 및 피해 복구 에 총력을 기울여 왔다. 사고 원자료로 부터 방 사능이 계속적으로 방출되는 것을 막기 위해 콘 크리트와 납을 공중 투하하여 차단하였고, 결국 외곽을 거대한 쇠무덤 처럼 쌓아 올렸다. 방사 능 오염이 극심한 인근 지역은 중장비와 군대를 동원하여 장기간의 제염작업을 수행하였으며, 대규모 주민 이주가 실시되었다.

자연히 사고 진압 초기에 투입되었던 인원 중 에는 방사선의 과다 피폭으로 생명을 잃은 경우 도 있었고, 작업자나 주민 중에는 만성 방사선 장해를 우려하는 사람도 증가하고 있다. 더우기 방사선의 영향에 대해서는 종종 심각한 내용의 보도가 있어서 우리의 관심과 우려를 불러 일으 키고 있다.

한편, 사고의 영향을 예측하고 이를 완화하기 위한 연구에 소련내 40여 연구소가 참가하여 지 난 4년간 부단히 노력하여 왔다. 그러나 한정된 인력과 예산으로 다방면에 걸친 방대한 연구사 업을 자국의 힘만으로 계속하기에는 이제 한계 에 다달았으며 특히 시일이 지남에 따라 현장의 특성이 더이상 보존되기 어렵다는 판단하에 관 심있는 국가에 대해 공동연구의 문호를 금년부

터 개방하고 있다.

이에 따라 국제원자력기구(IAEA)는 회원국이 이 공동연구에 참여할 수 있도록 소련 정부와 총괄협정 체결을 마쳤으며, 이 협정의 범주 안에서 이제 각국의 연구기관과 Prypiat Association이 운영하게 될 체르노빌센터와 구체적인 연구계약 체결이 추진중에 있다. 우리나라는 원자력안전기술원이 방사선 비상대응과 관련한 연구에, 그리고 한국원자력연구소가 방사성폐기물 처리·처분에 관한 공동연구를 추진하고 있다. 이 공동연구의 과제 도출을 위한 실무회의가 지난 7월 22일부터 1주일간 체르노빌 현지에서 열린 바 있다.

본고는 상기 회의 참석차 체르노빌 현지를 방문하여 입수한 정보와 최근의 자료를 바탕으로 하여 사고후 4년이 지난 오늘날까지의 피해를 방사선학적 관점과 경제, 사회적 관점에서 살펴봄으로써 앞으로 우리의 원자력 안전확보에 타산지석으로 삼고자 하는 것이다.

2. 放射能 放出量과 汚染實態

사고로 인하여 외부로 방출된 방사능을 정확히는 알 수 없으나 후속 연구결과 원자로심내의 불활성 기체(Kr 및 Xe)의 거의 모두, 옥소동위원소의 대부분, 약 13%의 세슘(Cs) 그리고 약 3% 이내의 고체 입자들을 포함한 5천만큐리가 누출된 것으로 평가되고 있다.

이 양은 노심 전체 방사능의 약 3~4%에 해당하는 것이다. 체르노빌발전소는 우크라이나 공화국(Ukrainian SSR)의 북단, 백러시아 공화국(BSSR) 그리고 러시아 공화국(RSFSR)의 접경 가까이 자리잡고 있어서 사고시 방출된 방사능은 바람의 방향이 바뀌에 따라 이들 인근 공화국까지 심하게 오염시키는 결과를 가져왔으며 경미하게는 우리나라에 까지 영향을 미쳤다.

〈표1〉은 주요 핵종인 옥소 및 세슘 오염의 지역별 분포를 보인 것으로서 I-131의 경우에는 방출량의 66%가 소련 영토에 침적하였으며, Cs-137은 더 넓게 확산되어 56%가 소련 밖으로

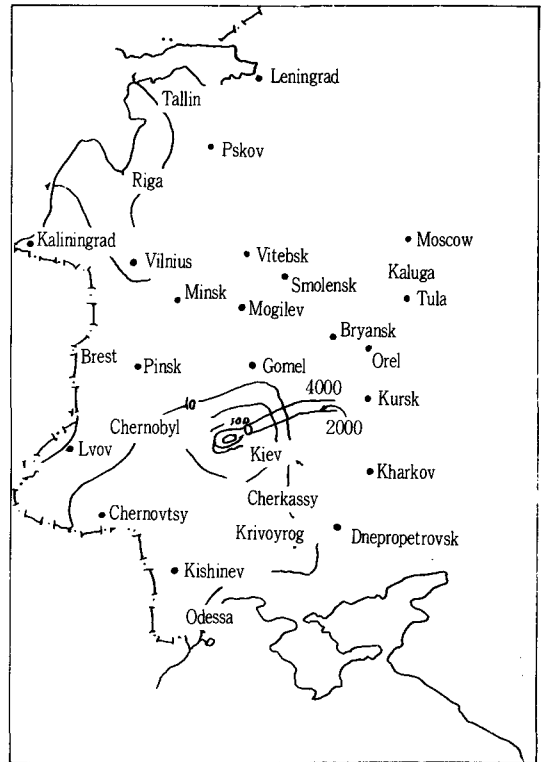
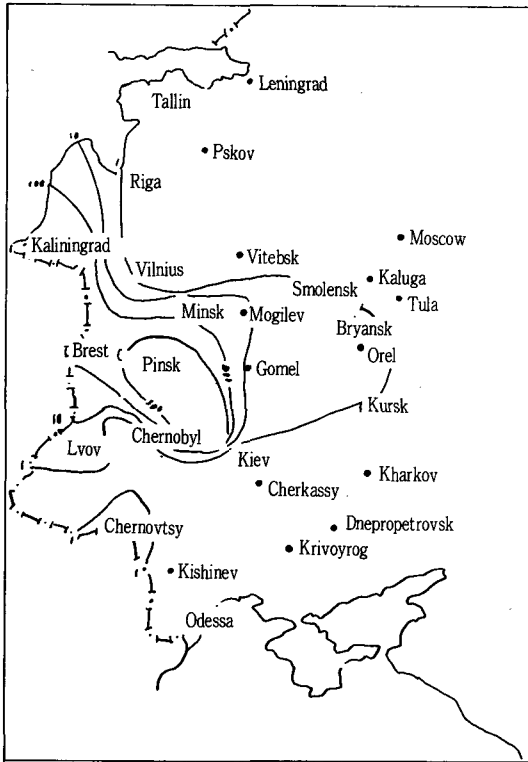
날아갔음을 보이고 있다. 〈그림1〉은 사고 직후 I-131의 지표 침적 상태를 나타낸 것이며, 〈그림2〉는 세슘의 분포를 보인 것이다. 세슘의 분포가 매우 불규칙한 것은 사고 당시 지역에 따라 비가 내렸기 때문이다.

체르노빌 인근 지역의 오염 실태를 좀더 구체적으로 살펴보면 〈표2〉와 같다. 즉, 평방킬로미터당 5Ci 이상 오염된 면적이 소련내에 28,000 km², 1Ci 이상 오염된 면적은 100,000km²를 넘는다. 특히, 사고 발전소가 있는 우크라이나 공화국보다 백러시아 공화국이 더 넓게 오염되었음에 유의할 필요가 있다. 이 오염의 주된 핵종은 Cs-137이나 상당한 양의 Sr-90과 미량의 Pu-239도 근거리에서는 발견되었다.

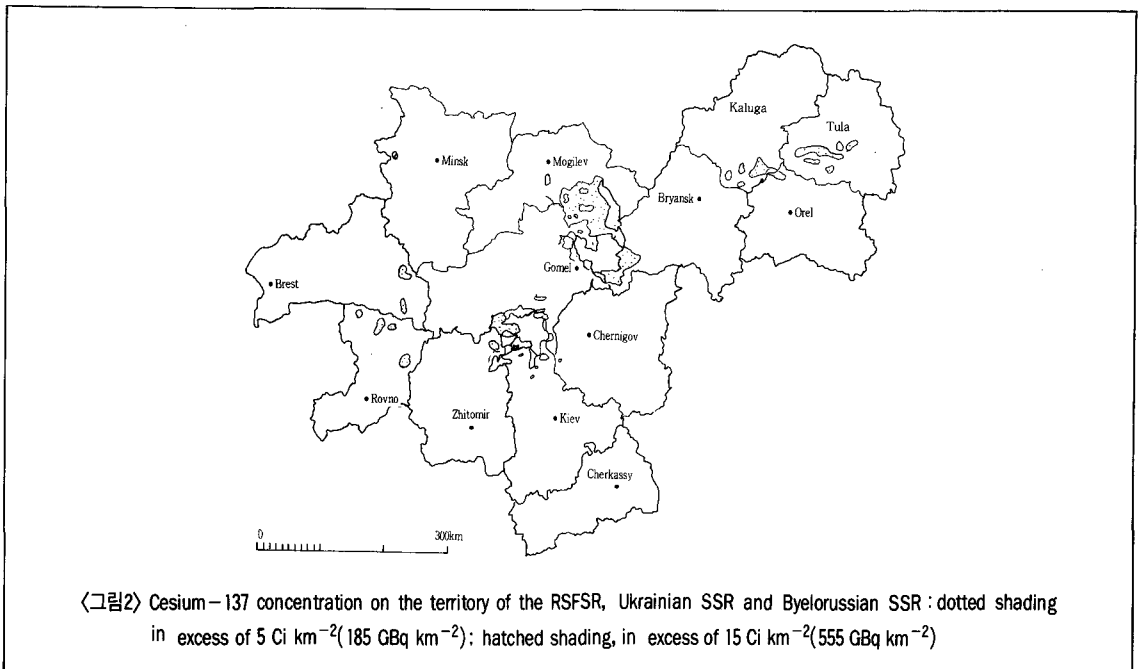
〈표2〉에서 보인 오염 구역의 지리적 특성은 대개 이 지역이 우크라이나 평원에 속하는 지역으로서 소련의 곡창 지대이며 토지는 농장 또는 조림지로 사용되고 있었다. 이 구역에 주거하던 인구를 살펴보면 〈표3〉에서 보는 바와 같이 2,200여 마을에 총 82만 여명이 살고 있었다. 따라

〈표1〉 Distribution of I-131 and Cs-137 among different regions of the world after the accident at the Chernobyl Nuclear Power Station⁽¹⁾

Region	Percentage of global activity	
	Iodine-131	Cesium-137
USSR	66	44
Byelorussian SSR	19	11
Northern part of the Ukrainian SSR	20	6
Central economic region of RSFSR	12	7
Remainder of European part of USSR	14	18
Asiatic part of USSR	1	2
Europe(excluding USSR)	28	38
Rest of world	6	18
Total EBq(MCi)	0.63(17)	0.07(1.9)



〈그림1〉 Maps of I-131 deposition in kBq m^{-2} for 28 April 1986(left) and 2 May 1986(right)⁽¹⁾



〈그림2〉 Cesium-137 concentration on the territory of the RSFSR, Ukrainian SSR and Byelorussian SSR : dotted shading in excess of 5 Ci km^{-2} (185 GBq km^{-2}); hatched shading, in excess of 15 Ci km^{-2} (555 GBq km^{-2})

〈표2〉 Areas of radioactive contamination in square kilometers⁽²⁾

Region	Density of radioactive contamination(Ci km ⁻²)			
	5-15	15-40	40 <	Total
USSR	17,880 (※17,130)	7,090 (6,050)	3,100 (1,670)	28,070※※ (24,850)
RSFSR	5,760 (5,760)	2,060 (2,060)	310 (310)	8,130 (8,130)
Ukrainian SSR	1,960 (1,540)	820 (350)	640 (200)	3,420 (2,090)
Byelorussian SSR	10,160 (9,830)	4,210 (3,640)	2,150 (1,160)	16,520 (14,630)

* Excluding the 30km zone

※※ 76,100 square km were contaminated between 1-5 Ci km⁻²

〈표3〉 Population in the contaminated areas⁽²⁾

Region	Density of radioactive contamination(Ci km ⁻²)			
	5-15	15-40	40 <	Total
USSR	584,000 (※1,542)	206,300 (564)	33,500 (119)	824,300 (2,225)
RSFSR	113,100 (413)	80,900 (167)	4,600 (26)	198,600 (606)
Ukrainian SSR	204,200 (202)	29,700 (67)	19,200 (23)	253,100 (292)
Byelorussian SSR	267,200 (927)	95,700 (330)	9,700 (70)	372,600 (1,327)

*Number of settlements

서 이들 인구를 보호하기 위해서는 사고 초기의 피폭량과 잔류 오염으로 인한 장기적인 영향을 고려하여 각각 상황에 적절한 대응책을 수립, 시행해야 함은 말할 것도 없다.

소련 당국이 그동안 수행해온 대응활동을 살펴보면 제1기인 '86년 4월 내지 5월에는 사고의 진압과 인근 주민의 보호에 주력하였는데 이때의 관심 핵종은 불활성 기체와 I-131, I-132이었다.

제2기에 해당하는 '86년 여름부터 '87년까지는 사고원전의 안전조치(입관작업), 오염 준위

의 파악 및 제염 작업이 주된 업무였고 이때는 Ru-106, Ce-141, Ce-144, Cs-137 및 Cs-134 이 대상 핵종이었다.

제3기인 '88년부터 '90년까지는, 안정화 단계로 오염 제거와 장기적 관점에서의 국민 보호대책의 추진이 주임무였다. 이때의 관심 핵종은 Cs-137과 Sr-90이었다.

한편, 사고 직후부터 발전소 인근 지역에는 제한구역을 설치하여 구역내 인구의 외부 소개를 실시했다. 이 제한구역은 방사선 준위에 따라 "10km zone"과 외곽 "30km zone"으로 구분하여 외곽 구역은 도로와 철도를 차단하여 출입자를 통제하고 내곽 구역은 경계선에 철조망을 설치하여 물리적으로 차단하였다. 이 30km 구역을 그들은 "Strict Control Zone : SCZ"라 부른다.

사고 후 4년이 지난 지금은 인위적인 제염활동과 자연적인 붕괴, 소실로 인하여 이들 구역내의 방사선 준위나 오염상황은 매우 호전되었지만 여전히 일반인의 주거와 출입은 통제되고 있다.

3. 放射線被曝 및 保健上 影響

사고의 진압 내지는 수습에 투입되었던 인원은 대개 많은 방사선 피폭을 예상했으면서도 자의적으로 참여했다. 단기간에 대량의 방사선을 피폭하면 세포의 사멸로 인한 급성 신체적 장애가 피폭 부위와 선량의 정도에 따라 다양하게 나타나는 것은 필연적이므로 이와 같은 대량 피폭자들은 급성 장애를 겪을 수밖에 없었다.

사고 직후부터 이러한 장애가 발생하였거나 발생할 우려가 있는 사람들에게 대해서는 집중적인 진료가 시작되었다. 이때 병원으로 후송된 인원은 총 499명이었으며 이중 145명이 급성 증상을 보였다. 급성 증상이 발생한 환자 중 28명이 피폭 후 1년 이내에 사망하였으며, 최근 미국에서 치료를 받던 사고 당시 차폐물 투하 헬기 조종사가 끝내 사망함으로써 급성 방사선영향에 의해 희생된 사람의 수는 29명으로 늘어났다. 지금은 대부분의 환자가 이미 퇴원하였고 계속

치료를 받고있는 환자는 10여명인 것으로 발표되고 있다.

항간에는 방사선 피폭으로 사망한 사람이 수백명 이상이라는 등의 풍문이 있으나 이 통계에는 인근 주민 중 지난 4년간 자연사 또는 다른 질병에 의한 사망자를 포함시켰기 때문으로 해석되며 공식적인 자료로는 급성 방사선 영향으로 인한 사망자 수는 위에서 제시한 숫자를 넘지 않는다. 급성 영향은 암이나 백혈병 등의 확률적 영향과는 달라서 발단선량을 초과한 경우에는 인과 관계가 명백하므로 여기에는 별다른 불확실성이 있을 수 없다.

사고 직후부터 복구작업 투입 인원 및 광범위한 지역의 주민을 대상으로 긴급의료 지원활동이 실시되었는데 '86년까지 이 활동에 투입된 인력은 의사 6,932명을 포함하여 총 24,500명에 이른다. 이들이 수행한 검진대상자는 사고직후만도 37,500명에 달했으며 '86년말까지는 어린이 215,000명을 포함하여 무려 696,000명이나 된다.

방사성 옥소에 의한 갑상선 피폭이 심했던 Gomel지역(어린이의 20%가 갑상선에 200 cSv 이상을, 5%는 1,000 cSv 이상을 피폭한 것으로 평가됨)에는 갑상선의 병리학적 변화가 예상된다는 우려도 있다. 그러나, 조사한 바에 따르면 해당 지역은 본래 옥소 분포가 비정상적으로 낮은 사실이 알려졌는데 불행히도 지금까지는 소련의 낙후한 보건 실태로 인해 이러한 갑상선 질환에 대한 과거의 통계자료가 없어 앞으로 얻게될 자료로부터 명확한 결론을 내리기는 어려운 상태에 있다. 이 문제는 앞으로도 계속 추적될 것이다.

또 백러시아 지역에서는 어린이의 erythrocyte에 질환이 발견되어 이 역시 방사선 영향일 수 있는 것으로 우려된 바 있으나 이는 방사선의 영향보다 사고 원자로에 투입한 납의 일부가 기화되어 확산됨으로써 납오염에 의한 것으로 판명되었다.

방사선 생물학적 견해에서 볼 때 급성영향은 일정한 선량 이하에서는 그 피해가 임상학적으로 중요하지 않은 소위 발단선량이 존재하므로

위에서 언급한 소수집단을 제외한 거의 모든 피폭 집단에서는 크게 우려되는 바가 없다. 그러나 현실적으로 이들을 당혹케하는 것은 방사선 장해에 대한 무성한 풍문과 실제로 관찰할 수 있는 보건학적 현상이다.

이 현상이란 소화기능 장애에서 부터 신경쇠약, 두통 등 각양 각색의 질환의 빈도가 높다는 점이다. 이러한 현상은 방사선학적 차원의 영향이라기 보다는 사회 심리학적 차원의 부작용, 다시 말해서 사고의 충격과 공포, 소개 및 이주로 인한 생활환경의 혼란, 식생활의 변화, 생활 패턴의 변화 등으로 인한 스트레스가 건강에 미치는 영향으로 간주된다. 문제는 일반인들이 이 모두를 방사선 영향으로 의심하는 것인데 이러한 인식을 변화시키는 것은 용이하지 않으며 시간이 필요할 것으로 본다.

대규모 집단의 방사선 피폭으로 인한 만성 영향 중 관심의 대상이 되는 것은 방사성 '옥소의 흡입으로 인한 갑상선 암, 전신 피폭으로 인한 기타 신체 부위의 암 및 백혈병, 그리고 선천성 기형아 출생 및 유전적 결함이다. 이러한 만성, 확률적 영향의 발생률은 그 집단의 피폭 선량에 비례한다고 가정하면 피폭선량 평가 결과를 근거로 하여 장래에 예상되는 자연발생 이상의 추가 발생률을 산정할 수가 있다. 이 결과를 요약한 것이 <표4>내지 <표7>이다.

방사성 옥소의 섭취에 따른 갑상선의 피폭으로 인하여 장래(10여년 후인 1996년 이후)에 예상되는 갑상선 암의 추가(자연적 발생률을 초과하는) 발병의 기대치는 유럽지구 소련 중부에서 452명이며, 이 중 45명은 사망할 것으로 보인다. 전신 피폭에 따른 백혈병으로 인한 사망은 SCZ에서 21명, 심하게 오염된 지역에서 67명, 유럽지구 소련 중부에서 87명이 예상되어 그 자연발생 초과율은 각각 2.1%, 0.13% 및 0.04%가 된다. 백혈병을 제외한 암의 경우는 예상 사망자수가 각각 203명, 894명 및 1,168명으로서 초과 발생율은 0.5%, 0.04% 및 0.01%이다.

선천성 기형의 위협은 SCZ에서 70년간 예상되는 신생아 315,000명 중 35.7명으로 자연 발생 기대치 18,900명에 비해 0.19%가 증가할 것으로

〈표4〉 Expected late effects of thyroid among the population in the contaminated areas

Areas	Most contaminated area	Highly contaminated area	Central Europe of USSR
Population (millions)	1.477	15.62	74.9
Collective dose (man-Sv)	220,000	336,000	457,000
Malignant tumours	217	333	452
Fatal cancer	22	33	45

〈표5〉 Possible late effects from whole body exposure of the population in the contaminated areas

Areas	Strict control zone	Highly contaminated area	Central Europe of USSR
Population (millions)	0.272	15.617	74.91
Collective dose (man-Sv)	55,900	238,000	311,000
Cancer			
Excess lifetime Mortality	203	894	1,168
Spontaneous lifetime mortality	38,746	2,218,000	10,640,000
Excess over spontaneous level	0.5%	0.004%	0.011%
Leukaemia			
Excess lifetime Mortality	26	84	109
Spontaneous lifetime mortality	1,240	66,300	274,000
Excess over spontaneous level	2.1%	0.13%	0.040%

평가되고 있다. 심한 오염지역 및 유럽측 소련 중부에 대한 이 값은 각각 109.5명(0.011% 증가) 및 146.9명(0.003% 증가)이다.

〈표6〉 Projected number of congenital anomalies for 70 years

Areas	Strict control zone	Highly contaminated area	Central Europe USSR
Induced	35.7	109.5	146.9
Spontaneous	18,900	1,001,513	5,012,133
% of spontaneous	0.15	0.011	0.003

〈표7〉 Possible genetic effects in the first two generations in the affected areas

Areas	Strict control zone	Highly contaminated area	Central Europe USSR
Induced	182	595	781
Spontaneous	18,900	1,001,513	5,012,133
% of spontaneous	0.96	0.059	0.015

또다른 중요한 지발성 영향인 유전적 결함 발생률은 처음 2세대에서 각각 182명(0.96% 증가), 595명(0.059% 증가) 및 781명(0.015% 증가)이 발생할 것으로 예상된다. 전 후손에 대한 유전결함의 발생 위험은 첫 2세대에 대한 위험의 4배 정도로 간주된다. 이때 자연 발생률에 대한 상대적 비율은 4배가 되는 것이 아니며 가령 10세대가 영향이 나타날 수 있는 전 세대로 간주하면 발생자 수는 4배가 되나 그 비율은 $2/10 \times 4 = 0.8$ 배가 되는 점에 유의할 필요가 있다.

4. 經濟 · 社會的 影響

체르노빌 사고로 인한 사회적 충격은 상상보다 컸다. 1986년 여름까지 인근 지역 주민을 소개 시킨 숫자만도 Ukrainian SSR에서 92,000명, BSSR에서 24,000명으로 총 116,000명에 달한다. 여기에 추가하여 4년이 지난 지금 다시 1991년까지 395개 부락 73,000여명을 이주시킬

〈표8〉 Number of people relocated from the contaminated area after the accident

Areas	Early phase (1986)	Current phase (1990-1991)	Future (1992-)
Ukrainian SSR	92,000	19,200	21,000
Byelorussian SSR	24,000	38,600	56,000
RSFSR	200	15,200	69,000
Total	116,000	73,000	146,000

것이며 그 이후에도 잔여 지역에서 어린이와 임산부가 있는 가정을 위주로 146,000여명의 이주를 추진할 계획을 세워놓고 있다(표8 참조).

이러한 대규모 인구집단을 단기간에 이주시키는 데에는 말할 것도 없이 갖가지 부수적인 부담이 따른다. 새로운 주거단지의 조성, 복지 및 후생시설의 지원 등은 물론이며 이 경우에는 이주민의 일자리까지 보장해야 한다는 점이다.

산업적 측면에서도 대지가 방사능으로 오염됨으로써 농토와 삼림, 그리고 산업시설을 사용 중지하지 않으면 아니된다. BSSR에서만도 이미 26만ha의 농토를 포기했으며 추가로 약 24만 ha를 사용 중지시킬 계획이다.

또한 피해의 복구, 주민 소개 및 피폭자 검진 등에 투입된 직접 비용도 이미 92억 루블(내수 구매력은 미국달러에 못지않음)에 이르렀으며 향후의 추가 소개실시, 소개 지역 개인 재산에 대한 보상, 피폭자의 장기적 건강 추적 등에 필요한 경비는 산출 조차 어렵다. 여기에 간접적이거나 무형적인 손실을 고려하면 체르노빌 사고로 인한 소련측의 피해는 실로 막대한 것이다.

이는 '90년 초반에 Ukrainian SSR과 BSSR이 세계 각국 및 국제기구에 공개적으로 지원을 호소한 사실만을 놓고 보더라도 그 타격이 어느 정도인 것인가를 짐작케하는 남음이 있다. 지원을 요청한 내용은 주민의 이주 및 이를 위한 건설, 피폭 주민에 대한 집단 검진 및 후속 추적을 위한 의료, 사회 복지, 피해 복구 및 영향연구에 필요한 자금, 장비, 물자 및 기술을 망라하고 있다.

5. 맺는 말

체르노빌원전사고는 사고의 물리학적 특성만을 놓고 볼때 우리가 생각 할 수 조차 없었던 최악의 것이었다. 그럼에도 불구하고 방사선으로 인한 보건학적 피해는 일반인이 우려하고 있는 바에 비해서는 크게 심각하지는 않다고 볼 수 있다. 이는 방사선의 위험에 대한 일반적인 인식 자체가 너무 과민한데서 부터 연유한다.

역으로 한 기의 원전사고가 총체적으로 소련 사회 내지는 전세계에 미친 영향은 당초에 기대되었던 것보다 훨씬 크게 나타나고 있다. 그래도 소련이 국력이 있는 나라였기에 그 충격을 원만히 흡수할 수 있었던 것으로 평가된다.

이제 이러한 원전의 중대사고는 우리나라 뿐만 아니라 세계 어느 곳에서도 다시는 일어나는 일이 없어야 하는 바, 원자력 안전의 중요성을 다시금 생각하고 개개인의 책임을 인식하여 안전문화의 창달에 힘쓸 때임을 새삼 느끼게 된다.

〈참 고 문 헌〉

- [1] L.A. Ilyin et al., "Radiocontamination patterns and possible health consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power station," J. Radiol. Prot., 10 (1) 3-29, 1990.
- [2] IAEA, "Information on economic and social consequences of the Chernobyl accident," Information Circular, INFCIRC/383, 24, July 1990.
- [3] IAEA, Medical Aspects of Chernobyl NPS Accident, IAEA-TECDOC-516, 1988.
- [4] IAEA, The Radiological Consequences in the USSR from the Chernobyl Accident: Assessment of Health and Environmental Effects and Evaluation of Protective Measures, IAEA, April, 1990.