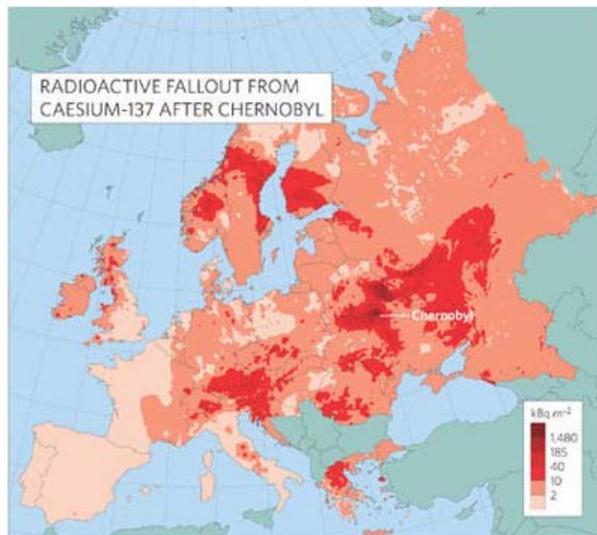




ICRP 간행물 111

# 원자력사고나 방사선비상사태 후 장기 오염구역 거주자 보호에 ICRP권고 적용

**Application of the Commission's Recommendations to the  
Protection of Individuals Living in Long Term Contaminated  
Territories After a Nuclear Accident or a Radiation Emergency**



대한방사선방어학회

이 번역본 발간은 교육과학기술부 지원 아래 대한방사선방어학회가 운영하는 2010년도 방사선방호 정책지원 워킹그룹 사업(한국동위원소협회로부터 위탁)의 일환으로 이루어졌습니다.

<표지 그림>

체르노빌 원전사고로 인한 유럽지역의 Cs-137 오염도.

ICRP Publication 111

# 원자력사고나 방사선비상사태 후 장기 오염구역 거주자 보호에 ICRP권고 적용

Application of the Commission's Recommendations to the  
Protection of Individuals Living in Long Term Contaminated Territories  
After a Nuclear Accident or a Radiation Emergency

ICRP 승인: 2008년 10월

이 ICRP 간행물의 우리말 번역본은  
ICRP의 허락(2010년 8월)을 받았으며  
ICRP 정신에 따라 무료로 배포합니다.

**국제방사선방호위원회**



## 역자서문

2011년 3월, 이 번역본을 준비하는 기간에 일본 후쿠시마 원전사고가 발생했다. 초유의 지진에 이은 해일로 발전소 전체의 전원이 상실되어 잔류열 냉각 불능사태가 장기간 지속되었다. 결국 핵연료가 손상되고 이 과정에서 발생한 수소가스가 원자로건물로 나와 축적되어 수소폭발을 일으켜 외벽이 파손되었다. 급기야 바닷물을 퍼붓는 노력까지 안간힘을 썼으나 이미 대량의 방사능이 환경으로 방출되기 시작했다. 지진 당시 운전 중이었던 후쿠시마 제1발전소 1~3호기 모두 차례로 중대사고로 가는 다리를 넘고 말았다. 정비 중이던 4호기마저도 핵연료저장조 냉각이 미흡하여 격납용기 밖에서 핵연료가 손상되는 보기 드문 사고의 길로 접어들었다.

그나마 일본은 물론 우리에게도 다행한 것은 방사능 대량 방출이 일어나던 시기에 주된 풍향이 태평양을 향함으로써 방출된 방사능의 대부분이 바다에 침적했다. 그러나 간간히 풍향이 흔들려 후쿠시마현은 물론 남쪽 이바라키현에도 상당한 오염이 침적했으며 수도 도쿄에까지 어느 정도 영향을 미쳤다. 이로써 결국 후쿠시마 사고는 국제원자력사고등급(INES)으로 체르노빌 사고와 같은 7등급을 받았다. 만약 풍향이 시종 서쪽을 행했다라면 일본 본토의 피해는 극심했을 것이며 우리나라까지도 상당한 농도의 방사능이 날아왔을 것이다.

지구가 둥근 탓으로 동쪽을 향했던 방사능은 다양한 경로를 거쳐 결국 우리나라는 물론 북반구 모든 나라에서 검출된 정도로 확산되었다. 그러나 그 과정에서 희석되고 침적된 덕분에 우리나라 공기나 빗물 중 방사능 농도는 각각  $1 \text{ mBq/m}^3$  와  $1 \text{ Bq/L}$  수준으로 미미하여 국민보건에 유의한 수준은 아니었다. 그럼에도 늘어진 사고기간 내내 모든 매체가 방사능 위험을 계속 보도함으로써 국민들의 불안을 증폭시켰다.

이 간행물은 후쿠시마 사고와 같은 방사선 비상사태 이후 오염된 지역에 거주하는 사람들을 보호하기 위한 대응조치를 권고하는 것으로서 비상피폭상황에서 방호를 다룬 ICRP 109와 연계된 후속 간행물이다.

만약 풍향이 우리나라를 향했다라면 우리 환경 중 방사능 농도는 훨씬 높아졌을 터이다. 그러나 체르노빌 원전사고 경험에 비추어보면 1000 km라는 거리에 방목 가축의 관리 등 일부 제한적 방호조치를 강구해야 할 상황은 전개될 수 있으나 국민 보건에 직접 영향을 미칠 수준까지는 이르지 않았을 것으로 본다. ‘강 건너 불’이라더니 ‘바다 건너 방사능 재난’인 셈이다. 어떻든 우리나라는 이 간행물의 내용을 적용해야 할 상황은 면했지만 일본에서 후쿠시마현과 인근 수개 자치단체 지역은 이 간행물 내용이 적용되는 상황이 되었다. 그래서 ICRP는 재난을 맞은 일본 국민에게 위로의 뜻과 함께 이 간행물을 무료로 다운로드할 수 있도록 웹페이지

에 게시했다.

이번 사고에서 화를 면했다고 이 간행물 내용이 우리와 무관한 것은 결코 아니다. 우리나라 원전에서 사고가 날 수도 있고, 가까운 중국 원전에서 큰 사고가 발생하고 풍향이 우리나라를 향한다면 우리도 이 간행물이 고려하는 상황에 직면할 것이다. 이 간행물은 비상사태가 종결되고 비교적 안정적 피폭상황에서 방호에 대해 원칙과 접근 방향, 그리고 지침을 제시한다. 이러한 장기적 피폭상황은 수습이나 복구 작업에 참여하는 종사자의 계획피폭상황(직무피폭)과 오염지역에 거주하는 사람들의 기존피폭상황 모두에 해당되지만 이 간행물은 후자에 집중한다.

이 간행물은 과거 방사선사태의 경험을 제시하고 있는데 체르노빌 사고 후 대응에 흥미 있는 대조가 있다. 당시 비슷한 수준으로 오염된 스웨덴과 노르웨이의 대응을 비교해보면 침적된 방사성 세슘에 노출된 순록에 대해 스웨덴은 6만여 두를 도살 처분했음에 비해 이웃 노르웨이에서는 순록 목축이 생계인 지역 농민들의 입장을 고려하여 논의를 거쳐 육류 소비통제 기준을 최대한 상향조정했다. 그러나 국민들이 자연히 육류 소비를 줄임으로써 농도가 다소 높은 순록고기로 인한 국민 피폭은 우려할 정도로 증가하지 않았다. 방사선방호체계의 적용에서 여건의 고려와 이해당사자 참여가 중요함을 보여주는 예이다.

방사선비상상황 또는 후속 기존피폭상황에서 이해당사자 참여의 중요성은 이 간행물에서 시종일관 강조된다. 특히 잠재적 피해자로 볼 수 있는 일반 시민의 우려와 목소리를 듣는 것은 중요하다. 실제 사태에 직면해서는 분노가 앞서므로 논의가 어렵다. 당시에는 당시대로 논의가 필요하겠지만 많은 부분이 평소에 정리되어 있어야 한다. 민감한 식품 관리는 더욱 그러하다.

바다 건너 방사능이라 했지만 후쿠시마 사태에 대해 국내 반응은 우려할 수준이었다. 정수기를 써야 하느냐 미역이나 다시마를 먹어야 하느냐 비 맞으면 어떻게 해야 하느냐는 등 질문이 쇄도했고 경기도는 비오는 날 초등학교를 휴교하기도 했다. 구체적 생산지를 불문하고 일본산 식품 기피현상이 벌어지자 수입업자는 수입을 포기하는 지경이 되었다. 어떻든 후쿠시마 인근의 토지나 해저는 잔류오염이 긴 기간 지속될 것이므로 국민들에게 신뢰를 주는 대책이 없으면 이러한 부작용이 장기화될 수도 있다. 실질적인 방호수준을 높이는 것이 권고의 주목적이지만 이와 같은 부차적 영향을 완화하는 것도 못지않게 중요하다. 이 번역본이 우리가 비상사태 후 기존피폭상황에 대응하기 위한 전략을 수립함에 도움이 되기를 바란다.

이 간행물 번역본의 초안 마련을 도운 한양대학교 원자력공학과 대학원생들에게 감사한다. 아울러 후쿠시마 재난으로 발전소와 환경은 물론 흔들리는 민심을 안정시키는 데 길고 어려운 시간을 보내야 할 일본 동료들에게 깊은 위로의 말을 전한다.

2011년 4월 이재기(한양대학교)

# 서 문

2006년 11월, 국제방사선방호위원회(ICRP) 본위원회는 원자력사고 또는 방사선학적 사건 이후 장기 오염지역 거주자 방호에 관한 새 권고(ICRP 2007)의 이행 지침을 개발하기 위해 제4분과위원회 산하에 새로운 작업그룹 설립을 승인하였다.

작업그룹 사업계획은 다음 사항에 대한 지침을 제공하는 것이다.

- 장기적 방호전략의 계획 및 이행을 위한 참조준위 설정
- 최적화된 방호조치 이행
- 방사선방호에 이해당사자 참여
- 방사선감시 및 보건조사의 수립
- 오염 상품 관리

이러한 지침을 수립할 때, ‘비상피폭상황에서 사람 방호에 ICRP 권고 적용’에 관한 지침을 마련하기 위해 함께 승인된 작업그룹과 협력하도록 요청받았다.

이 보고서에는 오염 지역, 특히 체르노빌 사고에 의해 오염된 CIS 국가 지역, 그리고 비중이 덜하게는 과거의 사건, 사고로 넓은 구역이 오염된 기타 지역에 거주하는 사람들에 대한 방호경험이 반영되어 있다. 또한 NEA/OECD의 방사선방호공중보건위원회(CRPPH) INEX 프로그램, 유럽연합 집행위원회의 EURANOS 프로젝트, 프랑스 CODIRPA 활동, 벨로루시의 체르노빌 이후 복구에 대한 CORE 프로그램 등, 최근 국가 및 국제 수준에서 이루어진 방법론적 또는 실제적 발전도 고려하였다.

작업그룹이 제시한 이 지침은 일반적인 것으로서 특정 환경에 맞춰 적용할 수 있는 기본기틀을 제공한다. ICRP 권고의 세부 이행은 해당 국가당국의 일이다.

작업그룹 위원은 다음과 같다.

J. Lochard(위원장)	I. Bogdevitch	E. Gallego
P. Hedemann-Jensen	A. McEwan	A. Nisbet
A. Oudiz(2006-2007)	T. Schneider	P. Strand

객원 위원은 다음과 같다.

A. Janssens	T. Lazo	Z. Carr
-------------	---------	---------

이 보고서를 준비하는 기간에 제4분과위원회 위원은 다음과 같다.

A. Sugier (위원장)	P. Burns	P. Carboneras
D. Cool	J. Cooper (부위원장)	M. Kai
J-F. Lecomte (서기)	H. Liu	J. Lochard
G. Massera	A. McGarry	K. Mrabit
M. Savkin	K-L. Sjöblom	A. Tsela
W. Weiss		

작업그룹은 다음과 같이 네 차례 회의를 가졌다.

2006년 2월 13-15일, NEA/OECD, Issy-les-Moulineaux, France

2006년 10월 2-4일, NEA/OECD, Issy-les-Moulineaux, France

2007년 4월 16-18일, NEA/OECD, Paris, France

2008년 2월 4-6일, WHO, Geneva, Switzerland.

작업그룹 위원들은 제3차 회의에서 옛 동독의 우라늄 채광 및 정련활동에 의한 오염지역 복구 프로젝트 관리에 대해 유익한 발표를 해준 Wismut GmbH의 Peter Schmidt, 체르노빌의 장기영향 관리 경험을 공유해준 러시아 생물물리학연구소의 Mikhail Savkin, 그리고 기술지원을 해준 CEPN-France의 Céline Bataille에게 감사를 표한다.

작업그룹은 회의가 가능하도록 후원하고 설비를 제공해준 OECD/NEA(파리), 세계보건기구(제네바)를 포함한 해당 기관과 그 직원들에게 또한 감사드린다.

이 보고서는 2008년 10월 25일 아르헨티나 부에노스아이레스 ICRP 회의에서 채택되었다.

# 목 차

역자서문	v
서문	vii
요지	xi
논설	xiii
요약	1
제1장 서론	7
1.1. 배경	7
1.2. 범위	8
1.3. 보고서 구성	9
제2장 오염지역 거주	11
2.1. 피폭경로	11
2.2. 피폭의 특징	12
2.3. 과거 사건에서 경험	15
제3장 오염구역 주민 방호에 ICRP 방호체계 적용	17
3.1. 방호전략 정당화	17
3.2. 방호전략 최적화	19
3.3. 개인 피폭을 제한하기 위한 참조준위	22
제4장 방호전략 이행	27
4.1. 당국이 이행할 방호조치	27
4.2. 피해집단이 이행하는 방호조치	29
제5장 방사선감시 및 보건감시	33
5.1. 방사선 감시	33
5.2. 보건감시	34
제6장 오염된 식품과 기타 일용품의 관리	37
6.1. 오염구역내 관리	38

6.2. 오염구역 외부로 반출 관리.....	39
6.3. 기타 일용품 관리.....	40
<b>부록: 장기 오염구역에 대한 역사적 경험.....</b>	<b>43</b>
A.1. 서론.....	43
A.2. 비키니.....	44
A.3. 마라링가.....	45
A.4. 키시탐.....	46
A.5. 팔로마레스.....	47
A.6. 체르노빌/독립국가연합 지역.....	50
A.7. 체르노빌/노르웨이.....	53
A.8. 체르노빌/영국.....	55
A.9. 브라질 고아아니아.....	57

# 원자력사고나 방사선비상사태 후 장기 오염구역 거주자 보호에 ICRP권고 적용

ICRP간행물 111

2008년 10월 ICRP 승인

**요지**-이 보고서에서 ICRP는 원자력사고나 방사선 비상사태 후 장기 오염구역에 거주하는 사람들의 보호를 위한 지침을 제공한다. 보고서는 그러한 사건이 피해 집단에 주는 영향을 고려하는데 여기에는 사람의 피폭에 이르는 경로, 피폭집단의 유형과 피폭의 특성이 포함된다. 보고서는 방사선방호 고려에 초점을 맞췄지만 영향을 받는 일상생활의 모든 영역 즉, 환경, 보건, 경제, 사회, 심리, 문화, 윤리, 정치까지도 배려하지 않고는 관리할 수 없는 사고 후 상황의 복잡성도 인지하고 있다. 보고서는 2007년 권고가 이러한 유형의 기존피폭상황에 어떻게 적용되는지를 설명하는데 정당화와 최적화 전략, 그리고 최적화 과정을 끝어가는 참조준위의 도입과 적용도 포함하고 있다. 또한 보고서는 당국이나 피해집단이 방호전략을 이행함에 현실적인 측면도 고려한다. 보고서는 피해집단과 지역 전문가가 상황 관리에 직접 관계하는 것이 중요함을 강조하며, 따라서 국가 및 지방 당국은 피해집단의 참여와 권한을 후원하는 수단과 조건을 만들 책임도 강조한다. 이러한 관점에서 방사선감시, 보건감시, 오염된 식품과 기타 일용품의 관리의 역할도 설명한다. 부록에는 방사선비상이나 원자력사고로 비롯된 장기 오염구역에 관한 과거 경험을 요약하고 완화수단을 수행할 때 따랐던 방사선학적 기준을 예시한다.

**중심어:** 사고 후 상황, 사회재건, 최적화, 참조준위, 이해당사자 참여, 방사선감시, 보건감시, 오염식품.



## 사고사태 후

이번 호는 기존피폭상황의 관점에서 2007년 ICRP 권고(ICRP 2008)의 적용에 대한 조언을 제공한다. 조언의 많은 측면이 다른 기존피폭상황(예: 가정이나 직장의 라돈, 천연방사성물질, 과거 행위로 인해 오염된 부지)에도 적용될 수 있지만 특히 이 간행물은 원자력사고나 방사선 비상사태 후 장기 오염구역에 사는 사람들을 다룬다.

이 간행물에서 다루는 상황이 앞선 비상피폭상황에서 진전된 것이므로 어떤 점에서는 이 간행물은 ICRP 109 ‘비상피폭상황에서 사람의 방호를 위한 ICRP 권고(ICRP 2009)’가 남겨둔 부분을 취급하는 셈이다.

이들 두 간행물을 준비한 작업그룹은 비상사태와 영향관리 분야 방사선방호 전문가에게 유용한 보완적 조언이 되도록 노력을 조율했다. 비상피폭상황으로부터 기존피폭상황으로 전환이 큰 문제의 중요한 특성이므로 이러한 조율은 요긴하다. 긴급성을 주안점으로 잠재적 높은 선량 피폭과 주로 중앙 의사결정에 따르는 전략으로부터 여건에서 생활조건을 개선하고 피폭을 합리적으로 낮춤을 목표로 하는 보다 탈중앙적 전략으로 수정되어야 한다.

이 간행물에서 독자가 놓치지 말아야 할 요점의 하나는 간행물이 방호최적화 원칙(개인선량에 대한 일정 제한과 함께)이 방호체계의 절대적 중심이라는 ICRP의 새 접근을 강조하고 있고, 이는 모든 피폭상황에서 유사하게 적용되어야 한다는 것이다.

다른 요점은 기존피폭상황에서 일반인 선량을 관리하기 위해 취하는 수단의 성패는 피폭 당사자의 행동에 크게 의존한다는 것이다. 이를 취약점으로 볼 것이 아니라 핵심 이해당사자의 참여, 이해하기 쉬우며 실질적인 정보의 적시 제공, 그리고 자가방호수단의 권장을 통해 개척할 강점으로 보아야 한다.

사고에 따른 세계적 경험(원자력 및 기타)에서 볼 때 사람들이 보통 피해지역을 떠나려하지 않는다. 나아가 토지이용이나 생활양식에 제약이 가해지더라도 장기적으로는 사람들은 가능하면 정상적인 삶을 살기를 원한다. 그러므로 가능할 땐 언제나 장기적 목표는 해당 구역에 사람들이 정상적 습관으로 돌아갈 수 있도록 사회를 재건하는 것이어야 한다.

결국 대부분 사람들이 실제로 바라는 것은 그들의 삶을 지속하기를 원하고 이렇게 되도록 도우려하고 도울 수 있다(때로는 약간의 안내를 받아)는 것이 사실이 아닐까.

Christopher H. Clement  
ICRP 과학서기

## References

- ICRP, 2008. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
- ICRP, 2009. Application of the Commission's recommendations for the protection of people in emergency exposure situations. ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39 (1).

## 요 약

(a) 이 보고서는 원자력사고 또는 방사선 비상사태로부터 야기된 장기간 오염지역에 거주하는 사람들의 보호를 위해 ICRP 권고를 적용하는 지침을 제공한다. ICRP는 이러한 사고 후 사회재건 상황을 ‘기존피폭상황’의 하나로 간주한다.

(b) 다음 권고들은 2007년 권고(ICRP 2007) 발행 후 기존피폭상황의 관리를 다루는 것으로는 처음이다. 이 권고들은 ICRP 82(2000) 권고를 보완하고 나아가 ICRP로서는 이 보고서에 처음으로 도입하는 이해당사자 역할을 발전시킨다. 권고는 또한 과거 행위와 개입의 과정기반 접근으로부터 방사선 피폭상황의 특성에 근거하는 방법으로 2007년 권고에 도입된 진화도 고려하고 있다. 권고는 개인선량의 제한과 함께 모든 피폭상황에 대해 유사한 방법으로 적용되는 방호최적화 원칙을 강화하는 ICRP의 새 접근을 특별히 강조한다.

(c) 기존피폭상황의 한 특정 범주를 관리하기 위해 개발되었지만, 이 보고서에서 개발된 많은 권고들은 필요한 접목을 통해 예를 들면 주거나 작업장의 라돈, 천연 방사성물질, 또는 과거 원자력이나 산업 활동으로부터 오염부지와 같은 다른 기존 피폭상황에 널리 적용 가능하다. 이 보고서는 방호전략을 계획함에 참조준위의 사용, 당국이 이행하는 방호조치를 보완하는 자가방호조치의 역할, 그리고 영향을 받는 사람들에게 알리는 동반수단에 특별히 관심을 둔다.

(d) 비상피폭상황으로부터 기존피폭상황으로 전환은 잠재적 피폭 수준이 높고 시급성과 주로 중앙결정으로 추진되는 전략으로부터 주어진 조건에서 피폭을 합리적으로 낮게 줄이며 생활조건을 개선함을 목표로 하는 보다 지방주도적 전략으로 관리의 변화로 특성화 된다. 오염 구역에 살기를 희망하는 사람들에게 그렇게 하도록 허용하는 결정은 당국이 하며 이는 곧 사고 후 사회재건 국면의 시작임을 나타낸다. 이러한 결정의 암묵적 의미는 사람들에게 상당한 생활방식과 생계를 포함하여 충분한 생활환경을 제공할 수 있는 능력이다.

(e) 원자력사고나 방사선비상사태로부터 초래된 기존피폭상황의 과거 경험은 오염 구역 주민의 사회경제적 활동을 포함하여 일상생활의 모든 차원이 영향을 받게 됨을 보여주었다. 이러한 상황은 복잡하여 방사선방호 고려만으로 관리할 수는 없으며 건강, 환경, 경제, 사회, 심리, 문화, 윤리, 정치 등 모든 해당 차원을 감안해야

한다.

(f) 대중의 주거지에 영향을 주는 대부분 기존피폭상황에서는 피폭수준은 주로 개인 습관에 의해 정해지며 선원에서 관리가 어렵다. 이는 매우 비균질적인 피폭분포를 초래하며 이로 인해 상황관리에 개인적 접근을 필요로 하고 오염구역에서 피폭 관리에 ‘평균적 개인’을 사용하는 것이 부적절하게 된다.

(g) 오염구역에 거주하거나 종사하는 것은 기존피폭상황을 대표하는 것으로 생각된다. 그러한 상황에서 기본적 방호원칙은 방호전략 이해의 정당화, 이 전략으로 성취되는 방호의 최적화를 포함한다. 방호전략을 계획하는 최적화 과정에서 참조준위가 사용되는데 방호전략은 참조준위보다 낮은 추정 잔여선량을 내야 할 것이다. 기존피폭상황은 선형적 방식으로 관리할 수 없기 때문에 선량한도는 적용하지 않는다.

(h) 방호전략은 해당 피폭경로를 향한 일련의 방호조치로 구성된다. 방호전략의 정당화와 최적화는 개별 방호조치의 정당화와 최적화에 집중했던 과거 권고로부터 진화했다.

(i) 비상피폭상황에 이은 기존피폭상황의 경우 당국이 비상피폭상황의 말미에 장기간 오염구역에 영구적으로 주민이 살 수 있도록 허용하는 기본적 결정에 정당화가 처음으로 적용된다. 이 결정 다음에는 어떤 방사선방호 기준을 설정해야 하는데 이 기준 위에서는 주민을 이주시키는 것이 필수적이고 그 아래서는 소정의 조건 아래 주민의 체류가 허용된다. 차등접근에 따라 해당 여건과 함께 여러 구역들이 정의될 수 있다. 둘째로 비상단계에서 초래된 방사선피폭상황을 유지하거나 개선하기 위해 이행할 방호전략의 정의와 관련된 결정의 수준에 정당화 원칙이 적용된다.

(j) 사람들을 오염구역에 기거하도록 허용할 때 개인뿐만 아니라 사회에 대한 전체적 이득을 보장할 책임은 정부다 당국에 있다. 원자력이나 원자력 아닌 사고에 따르는 세계적 경험은 국가나 개인이나 모두 적극적으로 피해지역을 떠나려 하지 않음을 보여준다. 일반적으로 당국은 잔여선량 수준이 심대할 때는 보건상 이유로 가능하면 사람들이 피해지역을 떠나기를 요구하는 한편으로는 계속적 인간활동을 위해 이들 지역에 사회재건을 겨누고 있을 것이다.

(k) 개인선량에 대한 제한 아래 최적화 원칙은 ICRP가 기존피폭상황에 대해 권고한 방호체계의 핵심이다. 최적화의 판단적 속성 때문에 최적화 과정에는 투명성이 강하게 요구된다. 투명성은 관련 당사자에게 모든 해당 정보가 제공되고 이해결정

을 겨냥 의사결정 과정의 추적성이 적절히 문서화됨을 가정한다.

(l) 방호전략은 국가 계획의 일부로서 당국이 준비해야 한다. 그러한 계획은 자가방호 조치와 주민이 그러한 조치를 수행하는 것이 허용되는 조건, 그리고 전망적 선량감측으로 나타내는 효과를 고려하여야 한다. 이러한 조치에 대해 사람들에게 사전에 계획을 요구하는 것은 어렵겠지만, 당국이 계획의 준비에 핵심 이해당사자의 대표자를 참여시키기를 ICRP는 권고한다.

(m) 장기간 오염구역의 대부분 경우에서처럼 피폭수준은 개인의 행동으로부터 온다. 당국은 필요하면 주민들이 자기 방호조치를 정하고 최적화하고 적용하는 것을 허용하는 과정이 용의하도록 해야 한다. 바람직한 측면은 개인들이 자신의 상황에 대한 관리를 회복한다는 것이다. 그러나 자가방호조치는 교란적일 수 있고 그 이행은 피해자들이 상황을 충분히 깨닫고 있고 잘 이해하고 있음을 전제로 한다. 좋은 지침을 제공하고 지침을 이행할 수단을 제공하는 것은 정부 책임이다. 따라서 정부나 당국은 상황을 어떻게 더 호전시킬 것인지에 대한 적절한 지원을 제공하기 위해 국지나 개인 차원에서 수행되는 방호조치까지 포함하여 준비한 방호전략의 유효성을 끊임없이 평가해야 한다.

(n) ICRP는 연간 개인 잔여유효선량(mSv/y)로 나타낸 참조준위를 기존피폭상황에서 피폭의 최적화 과정의 계획과 이행과 연계하여 사용해야 한다고 권고한다. 목적은 참조준위 아래로 개인선량을 줄이는 것을 겨냥 최적화된 방호전략 또는 그러한 전략의 점진적 범위를 이행하는 것이다. 계획단계에서는 최적화 과정은 참조준위 아래인 추정 잔여선량을 내야 한다. 최적화 과정의 이행에서는 참조준위 이상에 남을 수 있는 개인피폭을 줄이는 데 특별히 주목해야 한다. 그러나 참조준위 아래의 피폭도 무시되어서는 안 되며 방호가 최적화되었는지 아니면 추가 방호조치가 필요한지를 확인하기 위해 평가되어야 한다.

(o) 오염구역 거주민 방호의 최적화를 위한 참조준위는 ICRP 103(2007)에서 기존 피폭상황 관리에 대해 권고한 1-20 mSv/y 범위의 낮은 쪽에서 선정되어야 한다. 과거 경험은 사고 후 장기 상황에서 최적화 과정을 제약하는 데 사용하는 전형적 참조준위 값은 1 mSv/y임을 내보였다. 국가당국은 여건을 고려할 수 있고 전반적 사회재건 프로그램의 시간여유를 활용하여 상황을 점진적으로 개선하기 위해 중간 단계 참조준위를 채택할 수도 있다.

(p) 참조준위는 계획적으로는 방호의 계획을 위해(뿐만 아니라 필요하면 예를 들어

식품교역과 같은 일부 특정 방호조치의 이행을 위한 유도참조준위를 정의하는 데), 소급적으로는 이행된 방호조치의 효과를 판단하는 벤치마크로서 사용된다.

(q) 방호과정과 일치하여 피폭을 감축할 여지가 있다면 피폭을 참조준위 아래로 줄였다는 사실만으로 보호조치를 중단할 충분조건이 되지 않는다. 그러한 조치의 계속은 피폭을 ICRP가 권고한 계획피폭상황과 유사하거나 가깝게 유지하기 위한 주요 기전이 될 것이다.

(r) 원자력사고나 방사선 비상사태 후 기존피폭상황의 관리는 오염수준과 그 시공간 분포에 따라 다차원 문제(사회, 경제, 보건, 환경 등)에 직면하는 매우 복잡한 사회재건 프로그램의 이행에 어느 정도 달려있다. 방호전략의 이행은 방사선학적 상황의 진화에 따라 변화는 역동적 과정이다.

(s) 영향을 받는 사람들이 방호전략에 더 포괄적으로는 사회재건 여건을 조성하고 유효하게 참여할 수 있게 하는 여건 조성방법의 이행은 당국 특히 규제 당국의 책임이다. 오염구역 관리 경험은 방호전략 이행에 지역 전문가와 주민의 참여가 사회재건 프로그램의 지속성에 중요함을 드러냈다. 이해당사자를 끌어들이는 방법은 국가와 문화적 특성에 따를 것이며 상황에 적합해야 한다.

(t) 당국이 이행하는 방호전략의 우선은 최고로 피폭하는 사람들을 보호하는 동시에 사건과 관련한 모든 사람들의 피폭을 합리적으로 달성 가능한 낮게 줄이는 것이다. 이는 선량분포를 평가하고 모든 선량을 참조준위와 비교하며 이어서 방호를 최적화함을 의미한다. 사고 후 상황에서 당국이 이행하는 전형적 전략은 건물 청소, 토지나 작물 치유, 목축의 변경, 환경과 농산물의 감시, 청정 식품 대책, 폐기물 관리(정화나 시판할 수 없게 오염된 상품), 정보, 안내, 지침 및 기기(예: 측정기) 대책, 건강감시, 아동 교육, 특정 피폭그룹 및 이란 대중에 대한 홍보 등이다. 인구집단의 모든 그룹 특히 공중보건과 교육을 담당하는 전문가들 내에서 “실질적 방사선방호문화”의 확산이 장기적으로 방호전략의 성공에 관건임은 경험으로 나타났다.

(u) 장기적 오염구역 내 주민이 취한 전형적 조치 유형을 ICRP는 ‘자조방호조치’라고 부르는데 이는 자신들의 방사선학적 상황(주로 외부피폭과 내부피폭)의 특성화를 목표로 하는 조치이다. 이러한 조치는 주로 자신들이 직접 처하는 환경(거주구역의 주위선량당량률이나 식품 오염), 자신들의 내외부 피폭, 자신 책임인 사람들(아동, 노인)의 피폭, 그리고 피폭을 줄이기 위한 생활방식에 적응 등이다. 당국은

피해자 대표자들과 관련 전문가들(예: 보건, 방사선방호 및 농업 당국 등)이 참여하는 지역포럼을 조장해야 한다. 이 포럼은 정보의 수집과 공유를 가능하게 하고 대중과 당국이 추진하는 전략의 효과에 대한 공통 평가를 촉진할 것이다.

(v) 근래에는 이해당사자 참여가 점점 정책결정의 전면으로 나서게 되었다. ICCRP는 그러한 참여를 대부분 기존피폭상황에서 방사선 방호전략의 개발과 이행에 열쇠로 간주한다. 가옥 내 라돈 관리는 또 다른 전형적 예이다. 이해당사자 참여의 경험이 늘어남에 따라 얻은 교훈을 방사선방호 사회에서 최선의 관행을 개발하는 기초로 사용할 수 있게 되었다. 이해당사자의 관점과 입력이 방호품질을 개선함에 유용한 상황에 일반적으로 적용할 수 있는 절차와 도구들이 수립되고 있다.

(w) 기존피폭상황의 경우 관심 집단에게 피폭상황의 일반적 정보와 자신의 선량을 줄이는 수단에 대한 정보를 제공할 것을 ICRP는 권고한다. 주로 개인의 생활양식이 피폭을 이끈다면 정보 프로그램과 함께 개인피폭감시는 중요한 요건이다. 나아가 이상사태 이래 집단이 받은 피폭의 잠재적 미래 보건영향에 관한 불확실성이 있으므로 당국은 방사선과 보건 조사 프로그램을 이행할 책임이 있다.

(x) 피폭상황 진화와 방호전략의 효과 평가 견지에서 관계 당국 책임 아래 감시기록 체계를 구축하기를 ICRP는 권고한다. 그러한 기록은 보건조사와 연계하여 잠재적 위험에 처하는 그룹을 결정하는 데 특히 중요하다. 나아가 피해 집단에 대한 효과적 장기 보건조사가 가능하도록 오염구역에 거주하는 집단에 대한 보건등록체계를 수립하기를 ICRP는 권고한다.

(y) 원자력사고나 방사선 비상사태의 피해지역에서 생산된 오염식품이나 다른 상품의 관리는 시장 수용성 때문에 특별한 난제를 제기한다. 나아가 식품의 생산이나 소비에 장기간 제한은 오염구역의 지속가능한 개발에 영향을 미칠 수 있기 때문에 최적화 원칙의 적절한 이행을 필요로 한다. 지역 농부, 식품제조사 및 지역주민의 이해를 소비자 및 오염구역 외부로부터 식품보급 부문의 이해와 조화시키는 것도 조심스럽게 고려해야 한다.

(z) 오염식품 관리의 사회경제적 복잡성에도 불구하고 여러 이해당사자의 이해관계 관점에서 방호전략은 수립된 참조준위를 만족하도록 개발되고 생산, 분배, 가공, 그리고 소비자에게 알려 그들이 적절히 선택할 수 있게 하는 수단들과 같은 개입이 가능한 모든 수준에서 최적화되어야 한다고 ICRP는 생각한다. 이 과정에서는 특히 식품을 시장에 내는 데 있어서 Bq/kg이나 Bq/L로 표현된 유도참조준위가 중

요한 역할을 한다.

(aa) 식품이 아닌 상품도 원자력사고나 방사선 비상사태에서 오염될 수 있다. 여기에는 목재, 종이, 기름과 같은 임산물이나 철재처럼 오염된 물건들로부터 재생되는 제품들도 포함된다. 여기서도 목적은 경제사회적 인자를 고려하여 피폭을 합리적으로 낮추는 것이다.

(bb) 핵실험(Bikini, Maralinga), 원자력사고(Kyshtym, Palomares, Chernobyl) 또는 방사선원 사고(Goiania)으로부터 발생한 장기간 오염구역의 과거 경험은 넓은 전원지역이 오염되었을 때 문제 지역은 사건 수십 년 후에도 오염식품 섭취가 중요할 수 있음으로 보였다. 지역민을 만성적 내부피폭으로부터 방호하고 지역 농산물의 경쟁력을 유지하기 위해서는 그러한 식품의 관리가 필수적이다. 도심이나 준도심 환경이 피해를 입은 때에는 조사와 흡입이 중요한 피폭경로로 장기간 남아 있을 수 있다. 원자력사고나 방사선 비상사태로부터 기인한 기존피폭상황을 위한 참조준위 설정이 관련된 한 그러한 상황을 관리하기 위해 당국이 선정하는 전형적 선량 값은 약 1 mSv/y가 될 것인데, 이는 장기간 피폭을 '정상'으로 간주되는 상황과 비슷한 수준 즉, 계획피폭상황에서 일반인에 대해 설정하는 제약치 밴드 안의 수준으로 점차 낮추려는 바람에 상당하는 것이다.

## 참고문헌

- ICRP, 2000. Protection of the public in situations of prolonged exposure. ICRP Publication 82. Ann. ICRP 29 (1-2).
- ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).

# 제1장 서론

## 1.1. 배경

(1) ICRP는 간행물 103에서 이전에 행위와 개입으로 구별하던 것을 대체하여 계획, 비상, 기존 피폭상황의 세 가지 다른 유형에 방호체계를 적용하는 일반 원칙을 기술하였다(ICRP 2007 제176항).

- 계획피폭상황은 선원의 의도적 도입과 운영에 수반되는 상황이다.
- 비상피폭상황은 계획상황의 운영동안, 또는 악의적 행위로부터, 또는 다른 예상치 못한 상황으로부터 발생 가능한 상황으로서 바람직하지 않은 결과를 피하거나 줄이기 위해 긴급 조치를 필요로 한다.
- 기존피폭상황은 관리 결정이 이루어질 때 이미 존재하는 피폭상황이며, 비상사태 후 장기적 피폭상황을 포함한다.

(2) 이 보고서는 원자력사고 또는 방사선 비상사태로 인한 장기간 오염구역에 거주하는 주민의 방호를 위해 ICRP 권고를 적용하는 지침을 제공한다. ICRP는 이 사고 후 사회재건 상황을 기존피폭상황으로 고려한다.

(3) 이전부터 ICRP는 사고 후 방호조치를 계획하는 일반원칙을 제시해 왔다. 첫 지침은 ICRP 40(1984)로 발행되었으나 이는 단기 및 중기 활동에만 한정된 것이었다. 다음 이 지침은 1990년 권고(ICRP, 1991)의 견지에서 ICRP 63(1993)으로 개정, 보완되었다. 지속적 방사선피폭의 상황에서 일반인 방호에 관한 ICRP 82(2000)는 환경내 장수명 방사성잔류물로 인한 관리가능한 방사선피폭에 ICRP 방사선방호체계 적용을 처음으로 명시적으로 다뤘다.

(4) 이 보고서의 권고는 ICRP 82 권고를 보완하며, 이러한 유형의 상황에 관련된 사람들이 관여하여 자신의 피폭을 관리하기 위한 방호조치 이행에 직접 참여할 기회를 가져야 한다는 인식에 따라 이해관계자의 역할을 더욱 발전시킨다. 또한 권고 사항은 2007 권고에 도입된 진화로서 행위와 개입의 과정기반 접근으로부터 방사

선 피폭상황의 특징을 기반으로 하는 접근으로 변화를 고려하고 있다. 이 보고서의 권고는 개인선량에 제한과 함께 모든 피폭상황에 유사한 방법으로 적용될 방호최적화 원칙을 보장하는 ICRP의 새로운 접근법을 특별히 강조한다.

(5) 다음 권고들은 2007년 권고가 발행된 이래 처음으로 기존피폭상황 관리를 다룬 것이다. 비록 기존피폭상황의 특정 범주를 관리하기 위해 개발되었을지라도 이 보고서에 제시된 많은 권고는 주거나 직장의 라돈, 천연 방사성물질(NORM), 또는 과거 원자력이나 산업 활동의 결과로 오염된 부지와 같은 다른 기존피폭상황들에도 필요한 개편을 통해 폭넓게 적용가능하다. 이 보고서는 특히 방호조치의 계획 및 이행에서 참조준위의 이용(제3.3절), 당국에 의해 이행되는 방호조치를 보완하는 자조방호조치의 역할과 이에 동반하여 영향을 받은 개인에게 정보를 제공하기 위한 수단(제4.2절)에 관심을 둔다.

## 1.2. 범위

(6) 원자력사고 및 방사선 비상사태는 단기, 중기, 장기적인 조치를 망라하는 지침에 따라 관리된다. 단기 및 중기적인 조치에 관한 가장 최근의 지침은 '비상피폭상황에서 사람 방호에 대한 ICRP권고의 적용'에 관한 ICRP 109로 제공되었다. 이 보고서에서 다루는 사고 후 사회재건 상황은 원자력사고 또는 방사선 비상사태로 인해 넓은 거주지가 장기적으로 오염된 경우 이행할 필요가 있는 장기적 조치들과 관련된다.

(7) 비상피폭상황으로부터 기존피폭상황으로 전환은 잠재적 피폭 수준이 높고 시급성과 주로 중앙결정으로 추진되는 전략으로부터 주어진 조건에서 피폭을 합리적으로 낮게 줄이며 생활조건을 개선함을 목표로 하는 보다 지방주도적 전략으로 관리의 변화로 특성화 된다. 이러한 전략들은 상황의 장기적 차원들을 고려하여야 하고 피폭자들이 자기방호에 직접 참여해야 한다. 이러한 전환은 조율되고 투명한 방식으로 이루어져야 하고 영향을 받은 모든 당사자가 이해하고 동의해야 한다고 ICRP는 권고한다.

(8) 오염지역 거주를 바라는 사람들에 대해 그 허가는 당국이 결정하며 이는 곧 사고 후 사회재건 단계의 시작임을 의미한다. 이러한 결정의 바탕은 방사선으로 인한 잠재 보건영향으로부터 개인을 보호하는 역량과 적절한 생활양식과 생계를 포함한 지속가능한 거주조건 대책이다.

(9) 매우 넓은 지역에 영향을 미치는 중대사고의 경우, 상이한 지역에서 상이한 대응 국면과 관련된 조치들을 동시에 다루기 위해 대응의 관리가 필요할 것이다. 따라서 비상피폭상황으로부터 기존피폭상황으로 전환은 오염지역에서도 상이한 시점에 일어날 수 있다.

### 1.3. 보고서 구성

(10) 제2장에서는 원자력사고나 영향을 받는 주민들에 대한 방사선 비상사태의 영향을 다루고 있는데, 여기에는 사람의 피폭경로, 피폭자 유형, 피폭의 특징 그리고 과거 사건으로부터의 경험을 포함한다. 제3장에서는 이러한 유형의 기존피폭상황에 ICRP 권고의 적용에 대해 논의하며, 여기에는 방호전략의 정당화 및 최적화에 대한 고려와 개인선량 분포의 불평등을 줄이는 참조준위의 도입과 그 적용을 포함한다. 제4장은 당국과 영향 받는 집단 모두에 의한 방호전략 이행의 현실적 측면을 다루고 있다. 제5장은 방사선 감시와 보건감독에 대해 다루며, 제6장은 오염된 식품과 기타 상품의 관리에 대해 다룬다.

(11) 마지막으로 부록 A에서는 방사선 비상사태나 원자력사고로 인한 장기 오염 구역에서 경험을 요약하는데 치료수단을 수행할 때 따른 방사선학적 기준도 포함한다.

### 1.4. 참고문헌

ICRP, 1984. Statement from the 1984 Stockholm meeting of the international Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 40. Ann. ICRP 14 (2).

ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3).

ICRP, 1993. Principles for intervention for protection of the public in a radiological emergency. ICRP Publication 63. Ann. ICRP 22 (4).

ICRP, 2000. Protection of the public in situations of prolonged exposure. ICRP Publication 82. Ann. ICRP 29 (1-2).

ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).

ICRP, 2009. Application of the Commission's recommendations for the protection of people in emergency exposure situations. ICRP Publication 109. Ann. ICRP 39 (1).

## 제2장 오염지역 거주

(12) 원자력사고 또는 방사학적 사건의 결과로써 발생하는 기존피폭상황에 대한 과거의 경험은 오염지역 내에서 일상 거주뿐만 아니라 사회적, 경제적 활동의 모든 차원들이 영향을 받음을 드러냈다. 이러한 기존피폭상황은 복잡하여 방사선방호만으로는 관리될 수 없으며 보건, 환경, 경제, 사회, 심리, 문화, 윤리, 정치적 등의 모든 관련된 차원에서 다루어져야 한다(UNDP 2002). 이 권고는 이러한 유형의 피폭 상황에 적용할 기본 방사선방호 원칙에 초점을 맞추고 있지만 이러한 복잡성과 그 관리에 대해 지금까지 얻은 경험을 고려하여 개발되었다.

### 2.1. 피폭경로

(13) 이 보고서에서 고려하는 기존피폭상황의 유형은 방사성 오염이 비교적 넓은 지역에 퍼지게 하는 확산 사건의 결과이다. 침적 경향은 확산 사건의 방사능과 에너지 방출의 크기, 특히 풍향, 구름의 통과하는 동안 강우여부와 같은 방출 당시 지배적 기상조건에 따라 달라진다. 늘어난 방출의 경우, 풍향은 시간이 지남에 따라 변화할 수 있다. 더 긴 시간에는, 강우와 풍화는 침적된 방사성핵종의 토양침투를 일으키며 일부는 물의 경로나 재부유를 통해 이동하게 된다. 토양으로부터 식물로 흡취는 계절에 따라 다를 것이다. 침적 준위 역시 구역에 따라 매우 다양할 것이다. 체르노빌 사고 후, 표면오염(단위 표면적 당 방사능)은 같은 마을 내에서도 10에서 100배까지 달랐다. 일반적으로 장기적으로는 하나 또는 수 개의 방사성핵종이 사람의 피폭에 주요 기여요소로 좌우하게 될 것이다.

(14) 환경오염에 따라 여러 피폭경로들이 유별날 수 있는데 침적된 방사성핵종으로 인한 외부피폭과 오염된 물질 취식이나 흡입에 의한 섭취이다. 사람의 방사성핵종 섭취는 채소, 우유, 육류 및 어류 취식으로 올 수 있다. 동물로 전이는 동물의 섭취와 여러 방사성핵종의 물질대사에 따라 달라진다. 식물 표면 또는 토양에 직접 침전된 방사성핵종은 불용성 입자들과 결합할 수 있어 식품에 함유된 방사성핵종들보다 장내 흡수가 낮게 발생한다. 집단의 섭취는 연중 계절에 따른 시간, 그에 따른 경작행위, 그리고 토양과 작물의 종류에 따라서도 상당히 달라질 수 있다. 고지대

목장, 삼림, 산지와 같은 특정 지역은 농지에 비해 보다 긴 토양 내 체류를 보일 수 있으며, 야생 딸기류와 버섯류와 같은 특정 식품으로 높은 전이수준은 섭취의 증가를 초래할 수 있다.

## 2.2. 피폭의 특징

(15) 주민의 생활공간에 영향을 미치는 대부분의 기존피폭상황에서 피폭 수준은 개인의 행동에 따라 달라지며 선원에서 관리가 매우 어렵다. 그래서 일반적으로 매우 불균일한 피폭을 야기한다. 그러한 지역에서 일상생활이나 종사는 불가피하게 상당한 피폭으로 이어진다.

(16) 원자력사고나 방사선 비상사태에 이은 단기 혹은 중기 조치가 이행된 후 지배적 피폭상황에서는 일반적으로 이미 받은 선량이나 향후 선량<sup>1)</sup> 모두에서 매우 광범한 개인 피폭을 보인다. 개인 피폭의 범위는 개인에 관련된 많은 인자들에 의해 영향을 받을 수 있는데 여기에는 다음이 포함된다.

- 오염구역(정화작업 후)에 대한 위치(집이나 직장)
- 전문분야와 직업, 따라서 오염에 의해 영향을 받는 특정 지역에서 수행하는 작업과 소비 시간
- 개인의 경제사회적 상황에 의존하는 개인 습관, 특히 개인의 식이.

‘평균 개인선량’의 사용은 오염구역에서의 피폭관리에 적합하지 않음이 경험으로 밝혀졌다. 이웃 마을 사이, 같은 마을의 가구들 사이, 심지어 같은 가족에서도 식이, 생활습관 그리고 직업에 따라 큰 차이가 있을 수 있다. 이러한 차이는 일반적으로 피폭집단의 선량분포를 매우 비대칭으로 만든다. 그림2.1은 사고 20년 후 체르노빌 주변 오염지역에 거주하는 아동들의 개인선량 분포를 보인다.

(17) 오염 식품의 섭취로 인한 피폭은 식이 중 지역 산물의 상대 비중에 따라 만성적 또는 우발적 섭취로부터 발생할 수 있다. 예로서 그림2.2는 <sup>137</sup>Cs 1000 Bq을 우발적으로 섭취한 경우와 1000일에 걸쳐 매일 1 Bq과 10 Bq을 섭취한 경우 전신 방사능의 변화를 보여준다. 같은 총 섭취량에서 기말에 남는 전신 방사능은 상당히 다르다. 이는 오염 식품의 일상적 섭취와 주기적인 섭취 사이에 본질적으로 다른 부하를 예시한다.<sup>2)</sup> 실제로 오염구역에 거주하는 사람들의 경우, 식품의 산지 및 식습

1) <역주> 원문은 ‘전망잔류선량projected residual dose’으로 적고 있지만 ICRP 103 및 ICRP 104는 ‘전망선량projected dose’과 ‘잔류선량residual dose’ 각각에 대해 특정 의미를 부여하고 있고 전망잔류선량이란 용어는 사용하지 않는다. 따라서 혼동을 피하기 위해 단순히 ‘향후 선량’으로 표현을 수정하였다.

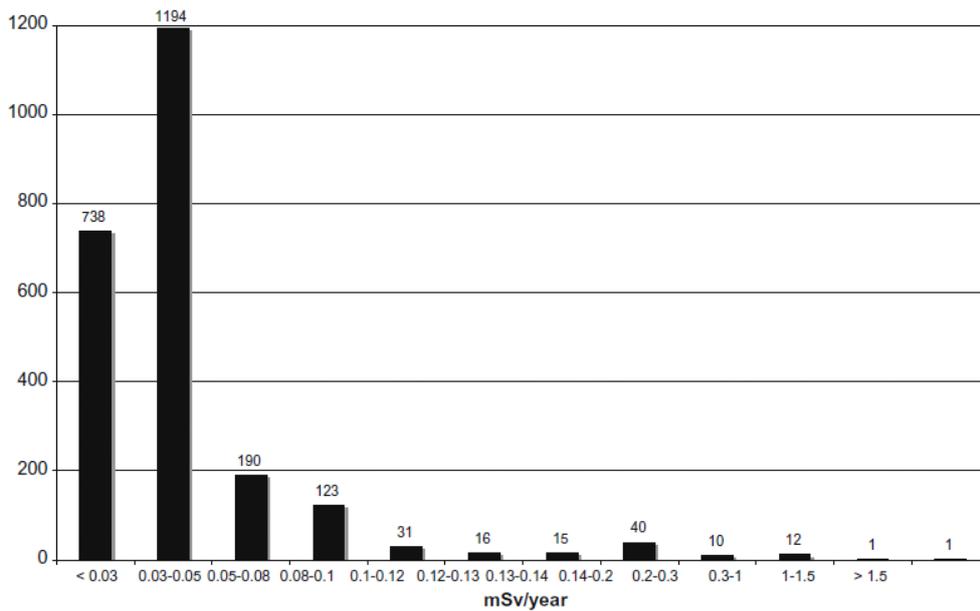


그림 2.1. 체르노빌 사고 20년 후 주변 오염지역에서 세슘 섭취에 의한 아동의 전형적 선량분포.

관에 따라 전신 방사능은 일상적 섭취와 우발적 섭취의 조합으로부터 온다.

(18) 체르노빌 사고 20년 후 체르노빌 주변 오염구역 성인의 일반적인 평균 일일  $^{137}\text{Cs}$  섭취량은 10~20 Bq 범위에 있고, 추가로 야생 버섯 또는 딸기류 섭취로 인해 수백 Bq 범위의 높은 일시적 섭취도 보통 있다. 이 섭취로 0.1 mSv의 연간 유효선량이 발생한다. 그러나 몇몇 정보가 미흡하거나 매우 특이한 식습관을 가진 사람들은 100에서 수백 Bq 범위의 일일 섭취량을 보일 수 있는데, 이는 1에서 수 mSv 범위의 연간 유효선량에 해당한다.

(19) 장기 오염구역 내 피폭관리 목적을 위해 사람들에게 전체적 영향을 평가하기 위해서는 집단의 상이한 피폭자 그룹을 고려할 필요가 있을 수 있다. 일반적으로 고려되는 전형적 인구그룹은 다음과 같다.

2) <역주> 이 설명은 오해의 소지가 있다. 우발섭취와 만성섭취가 동일 섭취량에서 기말 부하량에서 차이가 있을 수 있다는 것과 두 경우 선량이 차이가 있다는 것은 다르다. 현재 사용하는 내부피폭 평가 모델은 단시간 다량 섭취(우발섭취)에서 그 과량으로 인해 섭취가 스스로 방해를 받거나 섭취된 후 배설이 촉진되는 효과는 고려하지 않는다. 따라서 내부피폭 선량환산계수는 단위 섭취 당 예탁유효선량(Sv/Bq)로 주어지므로 섭취량이 같다면 선량은 같다. 즉, 그림2.2에서 1Bq/d로 1000일간 만성섭취나 우발적 1회 1000 Bq 섭취의 예탁유효선량은 같다.

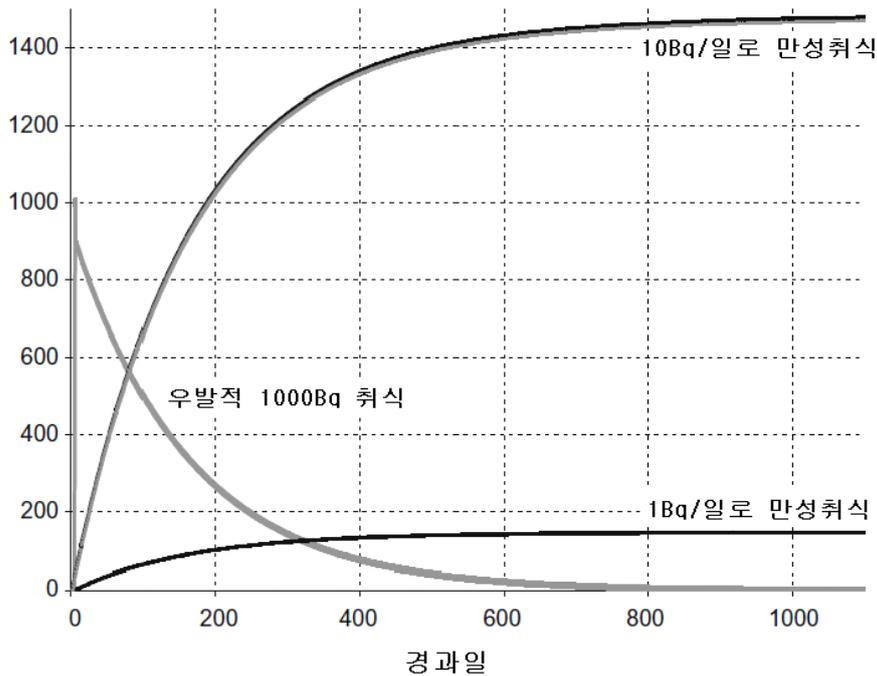


그림 2.2.  $^{137}\text{Cs}$ 을 우발적으로 1000 Bq 또는 매일 1 Bq 및 10 Bq을 섭취한 때 다년간(1000일)에 걸친 전신 방사능의 변화.

- ‘농촌’ 집단: 작은 토지를 보유하고 있는 농부 또는 가구들로서, 피해 구역에 거주하고 일하며 음식의 일부를 지역에서 재배한 농산물에서 얻는 것으로 본다.
- ‘도시’ 집단: 피해 개발지역 주택에 거주하는 사람으로서 피해지역 외부로부터 식품을 조달한다.

또한, 여러 그룹의 피폭 종사자도 예를 들어 삼림지역이 피해를 입은 경우 산림관리자 및 제재소 근로자처럼 영향 받은 경제활동에 따라 고려할 필요가 있다. 이러한 그룹의 인원들은 오염구역에 거주하거나 영향 받은 구역 외부에 거주하며 근무시간 동안만 머무를 수도 있다. 후자의 경우 대부분 음식은 오염되지 않은 지역으로부터 올 것이다. 만약 관광지라면 일시적 체류 인구 또한 그 특성과 함께 고려할 필요가 있다.

## 2.3. 과거 사건에서 경험

(20) 과거에 다수 핵실험(태평양의 비키니섬, 호주 남부의 마라링가, 카자흐스탄의 세미팔라틴스크) 및 원자력사고(영국의 윈드스케일, 러시아의 키시팀, 스페인의 팔로마레스) 등이 넓은 구역의 오염을 초래했다. 나아가 최근의 브라질 고이아니아 방사선원 사고 또한 제한된 지역을 오염시켰다. 이러한 사건들은 사고 후 장기간 방사선학적인 문제뿐만 아니라 사회, 경제, 정치적인 문제까지 다루는 적절한 관리 접근을 발전시키는 실질적 가치 있는 중요한 경험을 제공했다. 특히 우크라이나의 체르노빌 사고와, 홍수, 지진 등과 같은 장기간 사회교란을 초래한 기타 방사선 외적 사건들은 ICRP가 이 권고를 개발하는 데 입력이 된 가장 중요한 교훈을 주었다. 원자력 사건에 대한 보다 자세한 내용은 부록A에서 찾을 수 있다.

(21) 광범하고 장기적 오염으로부터 발생한 상황의 복잡성은 불가피하게 무력함을 느끼는 피해집단에 격정과 불안을 발생시킨다. 만약 상황관리를 맡은 전문가들이 비전문가들이 이해하기 어려운 과학용어, 측정 단위 및 기술절차를 사용한다면 이는 그들의 상황관리에 대한 상실감을 부추길 수 있다.

(22) 일반적으로 관찰되는 영향은 사람들이 그렇게 복잡한 상황에서 일일 관리에 참여하는 것을 점차 단념하는 것과 대답 없는 수많은 의문과 함께 대처하는 것이다. 건강에 미치는 방사능의 장기적 영향은 무엇인가? 오염으로부터 자신을 보호하는 것이 가능한가? 결과적으로, 오염구역 거주자들은 그들의 미래에 관한 어려운 개인적 선택에 종종 직면하며, 특히 그 지역을 떠나거나 머무르는 것에 대한 딜레마와 마주하게 된다. 방사선방호에 대한 고려에만 근거하여 이러한 딜레마에 답하는 것이 어려움을 경험은 보여준다. 많은 개인적 측면이 반대쪽에 들어간다. 일반적으로 오염구역에 거주하는 사람들은 집을 떠나는 것을 매우 꺼리며, 그들의 생활여건을 개선하기를 바란다. 이는 당국에게 방호조치를 개발할 뿐만 아니라 그 구역 주민의 삶의 질을 높이기 위한 시책을 펼 것을 요구한다.

(23) 장기 오염에 대한 과거 경험은 방사선학적 상황에 대한 충분한 지식의 부재 속에서는 피해 집단은 부정적이고 운명론적 태도를 가지는 경향이 있음도 나타났다. 이는 상황을 더 악화시키는 길이며 일반적으로 기본적 방사선방호 조언이나 조치를 무시하는 결과로 나타나고 결국은 피폭을 증가시킨다. 벨라루시 오염구역에서 수행된 다양한 프로젝트들은 상황관리에 지역 전문가 및 주민들의 직접적인 참여가 사회재건 과정을 개선하는 효과적인 방법임을 입증했다(Lochard 2007). 여기에는

방사선학적 상황과 방호전략 이행의 성공 및 어려움에 대한 정교 정보를 필요로 한다. 그러한 여건을 조성하고 집단의 참여와 권한을 촉진하는 수단을 제공하는 것은 당국(국가 및 지역)의 책임이다. 이는 사람들에게 정보를 제공하고 그래서 그들 개인적 상황을 이해하고 평가할 수 있게 하고, 그들의 일상생활을 향상시키며 자신들과 미래 후손을 보호하기 위한 목적으로 조심하도록 지역 사회경제적 생활조건을 고려하여 이루어져야 한다. 당국의 목표는 사람들로 하여금 그들 삶의 관리를 회복하게 도와주는 것이며, 여기에서 존재하는 오염에 대한 방사선방호는 생활환경 재건에 영향을 미치는 여러 인자에 하나의 인자로 포함된다.

## 2.4. 참고문헌

- Lochard, J., 2007. Rehabilitation of living conditions in territories contaminated by the Chernobyl accident: the ETHOS Project. *Health Phys.* 93, 522-526.
- UNDP, 2002. *The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident: a Strategy for Recovery.* Report of the United Nations Development Programme.

## 제3장

# 오염구역 주민 방호에 ICRP 방호체계 적용

(24) 오염구역 내 거주 또는 종사는 기존피폭상황으로 간주된다.<sup>3)</sup> 이러한 상황에서 근본 방호원칙은 방호전략 이행의 정당화와 이러한 전략에 의해 달성하는 방호의 최적화를 포함한다. 참조준위는 예상 잔류선량이 이 준위보다 낮은 결과를 내도록 방호전략을 계획하도록 최적화 과정에 사용된다. 기존피폭상황은 선택적 방식으로 관리할 수 없기 때문에 선량한도는 적용하지 않는다.<sup>4)</sup>

(25) 방호전략은 관련된 피폭경로를 겨냥한 일련의 방호조치로 이루어진다. 방호전략의 정당화 및 최적화는 개별 방호수단의 정당화와 최적화에 초점을 맞췄던 이전 ICRP 권고로부터 진화한 것이다.

### 3.1. 방호전략 정당화

(26) 정당화 원칙은 방사선 피폭상황을 변화시키는 모든 결정은 해로움보다 이로운 이 많도록 보장하는 선원중심적 원칙이다. 비상피폭상황 이후 기존피폭상황의 경우에, 정당화는 비상피폭상황 종료시 장기 오염지역에 사람들이 영구적으로 거주하도록 하는 당국의 기본 결정에 첫 번째로 적용된다. 이러한 결정은 어떤 방사선방호 기준의 설정을 수반하는데 이 기준을 초과하면 집단을 이주시키는 것이 의무적이

---

3) <역주> 종사자 피폭에는 기존피폭상황 개념이 적용되지 않는다. 따라서 이 표현은 ICRP 내에서조차 기존피폭상황에 대한 이해가 통일되지 않고 있음을 나타낸다. 계획피폭상황이 아닌 비상피폭상황이나 기존피폭상황을 설정하는 가장 핵심적 이유는 여건이 피폭을 만족할 만하게 충분히 낮은 제한치 즉, 선량한도나 선량계약치 이하로 낮출 수 없기 때문에 '완화된 제한치'(즉, 참조준위)를 적용하기 위해 분리, 정의하는 것이다. 비상상황이 종료된 상태에서 복구작업에 참여하는 종사자는 완화된 제한치를 적용할 이유가 없고 따라서 정규 직무피폭 즉, 선량계약치나 선량한도의 적용을 받아야 하는 계획피폭상황에 해당한다. 만약 아직도 선량한도(계약치)를 충족하지 못할 상황이라면 이는 여전히 비상피폭상황에 있는 것으로 보아야 한다.

이에 반해 주민은 사정이 다르다. 종사자는 피폭관리를 위해 오염구역 근무를 조정할 수 있지만 주민의 전적으로 피동적이다. 따라서 잔류오염이 있는 상황에서 피폭 수준은 여전히 선량한도(연간 1mSv)나 계약치를 초과할 수 있기 때문에 계획피폭상황으로 관리할 수 없다. 따라서 기존피폭상황으로 간주하여 완화된 제한 즉, 참조준위를 적용하게 된다.

4) <역주> ICRP 103에도 주어진 이 표현도 사실 문제가 있다. 위에서 밝혔듯이 선량한도를 충족하지 못하기 때문에 기존피폭상황을 분리하여 정의하는 것이지, 기존피폭상황이니까 선량한도를 적용하지 않는 것이 아니다.

되고 그 아래에서는 일정한 조건을 따른다면 주민이 남는 것을 허용하게 된다. 차등 접근에 따라 여러 구역들이 정적 조건으로 정의될 수 있다. 이것은, 예를 들어 Chernobyl 사고에 의해 영향을 받은 CIS 국가 당국이 적용한 접근방법이다(부록A 참조). 두 번째로, 정당화원칙은 비상국면에서 기인하는 방사선학적 상황을 유지 또는 아마도 개선하기 위해 이행할 방호전략의 정의와 관련한 결정 수준에 적용된다.

(27) 기존피폭상황에서 개인의 피폭을 저감하기 위해 수행되는 방호전략은 야기하는 손해를 상쇄시키도록 충분히 많은 개인과 사회의 이익을 달성해야한다(ICRP 2007, 제103항). 그러나 방호전략의 정당화는 다양한 경제적, 정치적, 환경적, 사회적, 심리학적인 영향도 또한 있을 수 있어 방사선방호의 범위를 크게 벗어나 있다. 오염구역 거주자들의 피폭을 감축하고 그 불평등을 제한하는 것의 사회적, 정치적 가치는 방호전략의 정당화가 이행될 때 포함되어야 한다. 이러한 많은 방사선 외적 요인들의 합당한 고려는 방사선방호와와는 다른 전문성을 필요로 할 것이며 방호전략에 대한 결정을 좌우할 수 있다(NEA 2006).

(28) 정당화는 방호전략을 구성하는 개별 방호조치의 누적 득실과 관계된다. 개별적으로 정당화된 여러 조치가 가용하더라도 종합적 전략을 고려할 때는 순이득을 제공하지 못할 수도 있는데, 예를 들어 전체적으로 고려하는 집단에 대해 개별 조치들 집합으로는 너무 심한 사회적 교란을 가져오거나 조치들이 관리하기에 너무 복잡할 수도 있기 때문이다. 반대로, 어떤 단일 방호조치가 홀로는 정당화되지 않지만 방호전략의 일부로 포함되는 경우에는 전체적 순이득에 기여할 수도 있다.

(29) 집단이 오염구역에 머무르는 것을 용인할 때 사회적, 개인적 전체 이익을 보장할 책임은 정부 또는 국가당국에 있다. 원자력사고나 기타 사고 이후에 대한 세계적인 경험은 국가도 개인도 피해지역을 기꺼이 떠나려 하지 않음을 보여준다. 일반적으로, 잔류 오염수준이 높은 경우 당국은 보건상의 이유로 사람들에게 피해지역을 떠날 것을 요구하는 한편으로는 후속 인간활동이 용인되면 언제라도 그 지역을 재건함을 목표로 할 것이다.

(30) 기존피폭상황에서 정당화는 방호전략에 포함될 수 있는 모든 방호조치를 고려하여야 한다. 여기에는 중앙과 지역의 당국과 전문가들에 의해서 수행되는 것, 당국의 지원 아래 자가방호조치로서 피폭자들이 직접 수행하는 조치들이 포함된다. 당국이 규정하는 방호전략은 방호조치의 두 범주 모두를 고려해야하며, 피해자들이 자조적 주도권을 행사할 수 있도록 해야 한다. 그러나 자가 방호조치가 주민 스스로에 의해서 대체로 결정되고 이행되기 때문에, 주민은 순이득이 있어 자신들의 방호

에 관련된 이해결정을 하도록 정보를 받고 그리고 해당된다면 훈련(당국이 제공하는 수단이나 장비를 사용하는)까지 적절히 받아야 한다. 사람들이 고려해야 균형에는 한편에는 상황을 개선하려는 그들의 욕망, 다른 한편에는 방호조치 이행으로 발생하는 ‘부담’이 포함된다.

(31) 비상사태 이후 장기적 오염구역 관리를 위해 당국은 비상피폭상황 중 이미 이행했던 방호조치의 일부를 유지하는 것뿐만 아니라 새로운 하나의 전체 세트 방호조치를 도입하는 것도 고려할 수 있다. 이러한 새로운 조치의 도입여부 결정은 주민의 잔여피폭 수준, 새로운 조치이행의 실행성, 이러한 조치가 지역 생활 조건의 질과 지속성에 미치는 영향을 포함하는 여러 기준들에 따를 것이다.

## 3.2. 방호전략 최적화

(32) 방호최적화 원칙의 이행은 선원중심 과정이며, 여건에서 최선의 방호전략 선정 즉, 해로움보다 큰 이로움의 차분을 극대화함을 보장하는 것이다. 최적화 절차에서 심각하게 불평등한 결과를 피하기 위해 선량이나 위험의 참조준위를 적용함으로써 특정 선원으로부터 개인의 선량 또는 위험을 제한해야 한다. 따라서 최적화는 경제사회적 인자뿐만 아니라 방호전략의 이행으로부터 선량과 편익의 분포도 고려하여 합리적으로 달성 가능한 한 가장 낮게 피폭을 유지하는 것을 필요로 한다.

(33) 개인선량의 제한과 함께하는 방호최적화 절차는 방호전략의 수행이 정당화된 상황에 적용하기 위한 것이다. 개인선량의 제한과 함께하는 방호최적화 원칙은 기존피폭상황에 적용될 때 방호체계의 중심이 된다. 최적화의 판단적 본성으로 인해, 최적화 과정의 투명성이 강력히 요구된다. 최적화 과정에 들어가는 모든 데이터, 변수, 가정과 기준은 매우 명확히 정의되고 제시되어야 한다. 투명성은 이해결정을 목표로 하여 당사자에게 모든 해당 정보가 제공되고 의사결정 과정의 소급성이 적절히 문서화됨을 가정한다(ICRP 2006b, 제34항).

(34) 방호전략은 국가계획의 일부로서 당국에 의해 준비되어야한다. 계획은 자조 방호조치를 고려해야 하는데, 여기에는 주민이 그러한 조치를 취하도록 하는 조건과 전망선량 감축 결과도 포함된다. 주민들에게 이러한 조치를 사전에 계획하도록 요구하기는 어려울지라도, 당국이 이러한 계획의 준비에 이해당사자의 핵심 대표자를 참여시키기를 ICRP는 권고한다.

(35)비상피폭상황에 이은 기존피폭상황에는 다소간 특수성이 있다. 집단이 오염 구역에 머물러한다는 사실은 그들과 가족, 친지를 위한 사실상 타협이다. 그러한 경우 최적화 과정은 특별한 여러 도전, 특히 다음과 같은 도전에 직면한다.

- 소비자 대 생산자 이해관계: 오염구역에 거주한다는 것은 그 지역에 지역 생산과 식품을 포함한 상품의 거래와 함께 경제활동이 유지됨을 전제로 한다. 최적화 전략은 방사능에 대해 사람을 방호할 필요와 지역 경제가 견제하고 세계시장에 통합될 필요 사이에 균형을 이루어야 한다.
- 지역집단 대 국가 및 국제 집단: 오염구역에서 '정상' 생활로 회복하기 위한 조건은 상황으로 인한 일부 결손을 현지집단과 외지집단 사이에 공유하는 결속을 전제로 한다(특히 상품과 사람의 이동). 최적화 전략은 국가 규정 및 계획뿐만 아니라 국제적 권고(예: 식품교역에 관한)까지 고려하여 평등을 지향해야 한다.
- 주민이 일상생활에서 취하는 많은 결정: 대부분 경우, 피폭수준은 개인의 거동에 의존한다. 당국은 필요하다면 주민이 자가 방호전략을 정의하고 최적화하며 적용할 수 있게 하는 과정을 도와야 한다. 긍정적 측면은 사람들이 자신의 상황에 대한 관리를 회복하는 것이다. 그러나 자조 방호조치도 교란을 초래할 수 있다(예를 들어, 가능한 내부 및 외부피폭을 피하기 먹는 음식, 가는 장소, 사용하는 물건 등에 지속적으로 신경을 쓰는 것처럼). 이는 영향을 받은 사람들은 상황을 충분히 인식하고 적정 정보를 받음을 전제로 한다. 그러기 위해서는, 다양한 지역인사도 적절한 장비를 갖추고 적절한 훈련을 받을 필요도 있을 수 있다(당국이 제공한 장비를 사용하기 위해). 당국은 또한 특별한 도움이 필요한 일부 집단(노인, 정신지체자 등)을 지원할 준비도 해야 한다.

전술한 바와 같이, 오염구역에서 주요 피폭경로가 일반적으로 취식에 의한 것임을 고려하여 방호전략은 집단의 해당 그룹과 관련된 이러한 경로의 관리에 근거해야 한다.

(36) 긴급 조치를 취해야 하는 비상피폭상황과는 달리 사고 후 사회재건 상황에서는 최적화 과정이 여건을 고려하면서 단계적으로 이행될 수 있다. 장기간 오염구역에서 피폭을 정규 상황의 피폭과 유사한 수준까지 점진적으로 낮출 수 있음은 경험이 보였다.

(37) 개인선량 분포의 불평등을 줄이기 위해 제약된 최적화 개념을 ICRP는 도입했다. ICRP 103(2007)에 따르면 비상피폭상황에서와 마찬가지로 기존피폭상황의 경우 선량 제한에 사용할 선량 기준을 '참조준위'라 부른다(제3.3절 참조).

(38) 방호전략 최적화는 전략의 형태, 규모, 기간을 결정해가는 과정이다. 그 목표는 순이익을 내는 것뿐만 아니라 순이익을 극대화하는 것인데, 방호전략들과 그 다양한 요소들을 선택하는 데 의사결정 보조기법들을 사용할 수 있다. 이러한 기법들을 어떻게 적용하는지에 대한 ICRP 권고는 ICRP 37(1983), ICRP 55(1989), ICRP 63(1991b), ICRP 101(2006)에서 제공한 바 있고 이들 권고는 여전히 유효하기에 여기서 자세히 되풀이하지는 않는다.<sup>5)</sup> 오염구역 주민을 방호하기 위한 전략을 선택하는 과정에 관련 이해당사자 참여는 필수적이다.

(39) 방호최적화는 미래의 피폭을 방지하거나 줄이는 목표를 둔 미래지향적 반복 과정이다. 최적화는 기술적, 사회경제적 요소들을 모두 고려하며 양적, 질적 판단 모두를 필요로 한다. 그 과정은 관련된 모든 측면이 고려하도록 체계적이고 신중하게 조직화되어야 한다. 최적화는 여건에서 최선을 다했는가, 그리고 선량을 줄이기 위해 합리적인 것 모두를 다했는가를 항상 질문하는 마음의 틀이다(ICRP 2007, 제 217항). 초기에 피폭이 높은 동안에는 가장 높은 피폭을 줄이는 데 우선순위를 둘 것이지만, 시간이 지나면 모든 피폭들을 줄이는데 노력을 지속해야 한다.

(40) 정당화된 방호전략의 비교는 최적화 과정의 핵심 측면이며, 피폭 집단에서 개인피폭의 분포 특징을 신중하게 고려하는 것이 반드시 필요하다. 피폭 집단의 각 그룹은 상이한 속성과 다양한 피폭 인자들로 설명할 수 있다. 관심 대상 그룹 내 피폭 분포에서 평등성에 특별히 유의하기를 ICRP는 권고한다.

(41) 최선의 방안과 전략은 항상 피폭상황에 고유한 것이며, 여건에서 달성할 수 있는 최선의 방호수준을 의미한다. 따라서 그 아래에서는 최적화 과정을 중지할 선량 준위를 미리 정하는 것은 마땅하지 않다(ICRP 2007 제218항). 주거공간에 영향을 미치는 환경에 상대적으로 장반감기 핵종이 존재하는 상황의 특징에 따라, 방호조치가 장기간(수십 년에 이르기까지) 이행되는 것도 예상할 수 있다. 그러나 방호최적화가 선량의 최소화는 아니다. 최적화된 방호는 피폭으로 인한 위해와 해당 경제사회적 인자들을 신중하게 균형을 잡은 평가의 결과이다. 따라서 최선 방안이 항상 사람들의 잔여선량 준위를 가장 낮게 만드는 것은 아니다(ICRP 2007, 제219항).

(42) 좋은 지침과 그 이행에 필요한 수단을 제공하는 것은 정부 책임이다. 그러므로 상황을 더 개선할 방법에 대한 적절한 지원을 위해, 정부 또는 책임당국은 국지

---

5) <역주> 간행물 ICRP 101 B의 번역본 부록에는 의사결정 보조기법에 대한 보다 세부적인 내용을 역자가 추가하고 있다.

혹은 개인 수준에서 수행되는 방호활동까지 포함하여 이행 중인 방호전략의 효율성을 꾸준히 평가할 필요가 있다.

### 3.3. 개인 피폭을 제한하기 위한 참조준위

(43) ICRP 103(2007)에서 비상피폭상황과 기존피폭상황을 관리하기 위한 참조준위 사용이 ICRP 60 (1991a)과 비교해서 다르게 변경되었다. 그 중간에 발행된 몇몇 ICRP 간행물에서 장기적 피폭상황의 관리에 적합한 참조준위 개념을 소개해왔지만 ICRP 103에서 그 개념을 명확히 하였다.

(44) ICRP 103(2007, 제230항)에서 정의한 선원중심적 참조준위 개념은 그 이상으로 피폭이 일어나도록 계획하는 것은 부적절하다고 판단되고, 그 아래에서는 방호최적화가 이행되어야 하는 선량 또는 위험 준위를 나타낸다. 이는 방호전략이 계획되고 최적화 되어야 함을 뜻한다. 참조준위로 선정되는 값은 고려 중인 피폭의 주요 여건에 따라 다를 것이다. 광범한 피폭이 상황의 특징이고 참조준위를 넘는 개인선량 초기 준위에 최적화과정이 적용될 수 있음을 반영하기 위해 ICRP는 비상피폭상황과 기존피폭상황에 대해 ‘참조준위’라는 용어를 제안하였다(계획피폭상황에 대해서는 ‘선량제약’이란 용어가 계속 사용된다).

(45) ICRP는 개인 연간 잔류 유효선량(mSv/y)으로 설정되는 참조준위를 기존피폭상황에서 피폭에 대한 최적화과정의 계획 및 이행과 연계하여 사용하도록 권고한다. 목적은 참조준위 이하로 개인 선량을 낮춤에 목표를 두는 최적화된 방호전략 또는 그러한 전략의 진전된 범위를 이행하는 것이다. 계획단계에서는 최적화과정이 참조준위 이하의 결과 잔류선량을 내야 한다. 최적화 과정을 이행할 때는 참조준위 위에 남아 있을 수 있는 개인피폭을 줄이는 데 특별한 주의를 기울여야 한다. 아동이나 임신여성 경우와 같은 특정 그룹에도 역시 특별한 주의가 필요하다. 그러나 참조준위 이하의 피폭을 무시되어서는 안 되는데 방호가 최적화되었는지 또는 더 이상의 방호조치가 필요하지는 않은지 확인하기 위해 이러한 피폭도 평가해야 한다(ICRP 2007, 제286항).

(46) 비상피폭상황에 따르는 기존피폭상황의 경우, 참조준위는 비상피폭상황의 종료시점, 사람들의 오염구역 거주를 허용하는 결정이 이루어질 때에 설정된다. 선정된 참조준위는 이를 초과하지 않게 하고 모든 개인 피폭을 이 준위 아래에서 사회경제적 인자를 고려하여 합리적으로 낮추게 되는 선량준위를 나타낸다.

(47) ICRP는 선원중심의 선량제약과 참조준위 선택에 영향을 미치는 인자들을 제공하는 골격을 제안하였다(ICRP 2007, 표5). 이 골격에서는, 피폭의 제어가능성, 피폭상황 원인 행위<sup>6)</sup>가 개인이나 사회에 제공하는 이득, 이행할 필요가 있는 방사선학적 방호조치들에 따라 ICRP는 제약치나 참조준위의 세 밴드를 도입하였다. 이러한 척도에는 방호전략을 수립하는 것뿐만 아니라 피폭자들에게 정보, 훈련 및 감시를 제공 필요 여부도 포함된다. 주어진 상황을 관리하기 위해 설정한 참조준위의 법적 지위를 결정하는 것은 규제당국의 의무이다.<sup>7)</sup>

(48) 비상피폭상황 이후의 기존피폭상황의 경우, 방사선원은 관리할 수 있게 되었지만, 피폭상황의 관리는 여전히 어렵고 주민이 일상에서 무단히 주의할 필요가 있다. 이는 오염구역에서 생활하는 사람들과 사회전체에 부담이 된다. 하지만 개인이나 사회 모두 피해지역에서 계속 생활하는 데서 이점을 찾을 수 있을 것이다. 일반적으로 국가가 그 영토 일부를 포기할 여유는 없으며, 대부분 주민도 일반적으로 오염되지 않은 지역으로 이주(자발적 혹은 비자발적)보다 고향에 머무는 것을 선호한다.<sup>8)</sup> 결과적으로 오염수준이 너무 높아 지속가능한 인간활동을 못할 정도가 아니라면, 당국은 사람들이 오염구역을 포기하는 대신 그러한 구역에 계속 생활하도록 하는 모든 필요한 방호수단을 선호하여 이행할 것이다. 이러한 고려는 적절한 참조준위가 ICRP가 제안한 1-20 mSv 밴드를 선호하여 선정될 것임을 시사한다.

(49) 참조준위 값은 사회, 경제, 환경적 생활의 지속가능성과 피해 주민의 전반적 보건(WHO 1948)을 포함하는 다수의 연계된 인자들의 신중한 균형으로부터 나와야 한다. 참조준위 값을 선택하는 과정은 또한 모든 관련 이해당사자들의 견해를 적절하게 포괄하도록 신중하게 균형을 유지해야 한다.

(50) 기존피폭상황에 대한 장기적인 목표가 “정상으로 간주되는 상황과 비슷하거나 가까운 수준으로 피폭을 감축하는 것(ICRP 2007, 제288항)”이기 때문에 오염구역에 거주하는 사람들의 방호최적화를 위한 참조준위는 기존피폭상황의 관리에 대해 ICRP 103에서 권고하는 1-20 mSv/y 밴드의 낮은 쪽에 선정할 것을 ICRP는 권

---

6) <역주> ‘원문은 피폭상황이 주는 이익’으로 표현되어 있으나 이익을 주는 것은 피폭상황 자체가 아니라 피폭상황이 있게 한 행위(원자력이나 방사선 이용 등)가 이익을 주는 것이다.

7) <역주> 구속력이 있는 선량한도에 비해서 제약치나 참조준위는 법적 구속력을 완화하는 방향으로 설정되는 것이다. 따라서 제약치나 참조준위의 법적 지위를 정하는 것은 규제당국의 의무라기보다는 양해사항으로 보고 싶다.

8) <역주> 이는 일반적인 경향으로 이해된다. 그러나 주민은 내심 체류를 희망하면서도 배상이나 보상을 위한 투쟁 목적으로 밖으로는 사소한 오염준위에도 이주를 강하게 요구할 수도 있다.

고한다. 과거 경험은 사고 후 장기간 상황에서 최적화 과정을 제약하기 위해 사용된 전형적 값은 1 mSv/y임을 보였다(부록A 참조). 국가당국은 상황을 점진적으로 개선하게 하는 중간 참조준위를 채택하기 위해 여건을 고려하고 전반적 사회재건 프로그램의 시기를 활용할 수도 있다.

(51) 참조준위는 전망적으로도 소급적으로도 사용되는데, 전망적으로는 방호전략의 계획(필요하다면 이를테면 식품교역과 같은 특정 방호조치 이행을 위해 유도참조준위를 정의하는 것과 같이)을 위해, 그리고 소급적으로는 이행한 방호전략의 효과를 평가하기 위한 벤치마크로도 사용된다. 방호조치의 핵심 초점은 참조준위 이상의 피폭에 두어야 하는데, 이러한 피폭의 존재는 피폭분포가 평등하지 않음을 지시하는 것이기도 하고 일반적 주민의 피폭보다 가장 많이 피폭하는 그룹의 방호에 더 큰 비중을 두어야 함을 암시할 것이다.

(52) 기존피폭상황에서 참조준위 사용을 그림3.1에 예시했는데 시간 경과에 따라 방호전략의 이행 결과로서 개인선량 분포의 변화를 보여준다. 분포의 변화는 참조준위를 초과하는 오염지역 주민수가 단계적 최적화 과정의 결과로 시간에 따라 감소할 것을 보여준다.

(53) 최적화 과정에 준거하여 피폭을 더 줄일 수 있는 여지가 있다면, 피폭이 참조준위 이하로 감소되었다는 사실이 방호조치를 중단할 충분조건은 아니다. 그러한 조치의 지속은 피폭을 ICRP가 권고하는 정규상황 피폭에 근접하거나 유사하게 유지하는 주요 매커니즘이 될 것으로 본다.

### 3.4. 참고문헌

- ICRP, 1983. Cost-benefit analysis in the optimisation of radiation protection. ICRP Publication 37. Ann. ICRP 10 (2-3).
- ICRP, 1989. Optimisation and decision-making in radiological protection. ICRP Publication 55. Ann. ICRP 20 (1).
- ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3).
- ICRP, 2006. The optimisation of radiological protection: broadening the process. ICRP Publication 101 - Part 2. Ann. ICRP 36 (2).
- ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission

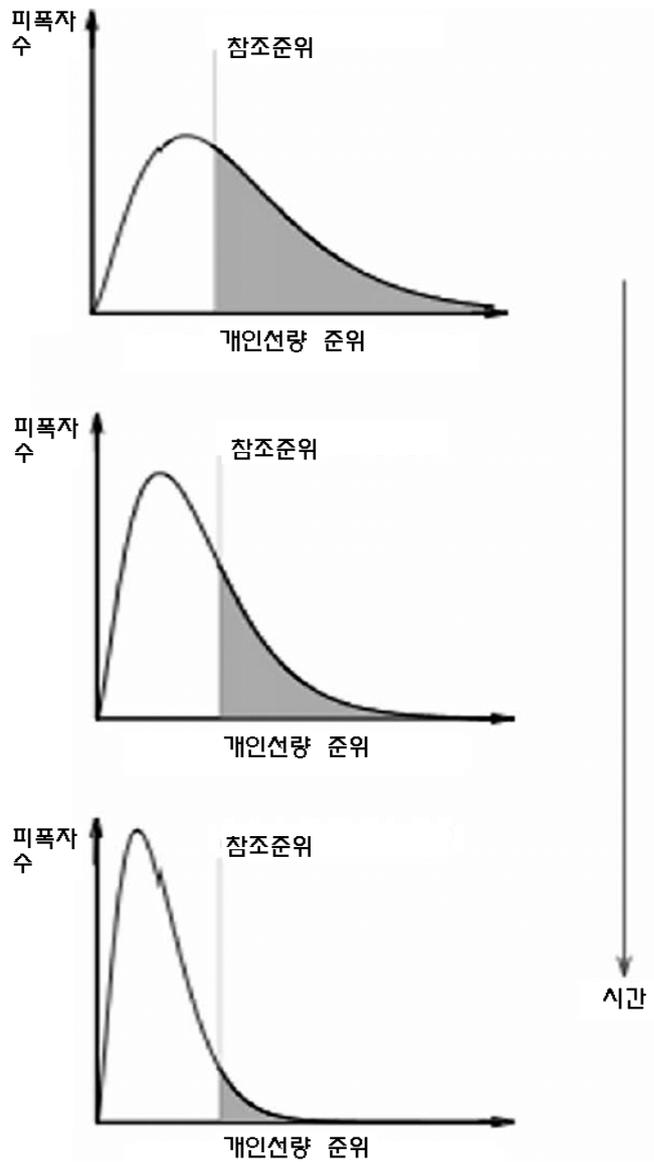


그림 3.1. 기존피폭상황에서 참조준위 사용과 단계적 최적화 과정 이행의 결과로 시간에 따른 개인선량 분포의 변화.

on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).  
 NEA, 2006. Stakeholders and Radiological Protection: Lessons from

Chernobyl 20 years after. NEA No. 6170.

WHO, 1948. Preamble to the Constitution of the World Health Organisation as adopted by the International Health Conference, New York, 19-22 June 1946; signed in 22 July 1946 by the representatives of 61 States and entered into force on 7 April 1948.

## 제4장 방호전략 이행

(54) 원자력사고나 방사선 비상사태에 따르는 기존피폭상황 관리는 오염준위와 그 시공간 분포에 따라 다양한 차원(사회, 경제, 보건, 환경 등)에 대처할 수 있는 상당히 복잡한 사회재건 프로그램의 이행에 의존한다. 이 프로그램의 방사선방호 부문은 국가나 지역 수준의 당국이 주도하는 조치와 당국이 제공한 체계 안에서 피해 집단이 이행하는 자조방호조치를 포함하는 방사선방호 전략에 의해 특성화된다. 이러한 전략들이 성공하기 위해서는, 당국이 그 이행에 대한 현실적 지침과 필요한 기반을 제공해야 한다. 방호전략 이행은 시간에 따라 변화하는 역동적 과정이다.

(55) 피해 집단을 방호전략 수립이나 더 넓게는 사회재건 프로그램 수립에 참여하게 하는 수단을 이행하고 그 조건을 수립하는 것은 당국, 특히 규제 수준 당국의 책임이다. 오염구역 관리에 대한 지난 경험은 방호전략 이행에 지역 전문가와 주민을 참여시키는 것이 사회재건 프로그램의 지속성을 위해 중요하다는 것을 알려준다(Lochard 2004). 이해당사자를 참여시키는 매커니즘은 국가 및 문화적 특성에 따르며 상황에 적합해야 한다.

### 4.1. 당국이 이행할 방호조치

(56) 당국이 이행하는 방호전략의 우선은 가장 높이 피폭하는 사람들을 보호하는 동시에 사건에 관련된 모든 개인피폭을 합리적인 한 낮게 줄이는 것이다. 이는 선량 분포의 평가, 참조준위와 모든 선량의 비교 그리고 후속 방호최적화를 포함한다.

(57) 방사선 감시가 종종 이 평가를 가장 효과적으로 뒷받침한다. 만약 측정이 어렵거나 충분히 포괄적이지 못하다면, 지역 정보를 근거로 개인이 받을 것으로 보는 선량을 평가할 수 있다. 이러한 상황에서 ICRP 101(2006)에 도입된 '표준인' 개념을 사용할 수 있는데, 이 개념은 계속될 피폭에 대한 전망적 평가 목적에 가장 유용함을 염두에 두어야 한다. 그러나 대표인을 사용할 때 95-100 백분위수에 해당하는 선량을 버리지 말 것을 ICRP는 권고한다.

(58) 일단 개인선량 분포가 특성화되면, 피해 집단에 대한 주요 피폭경로(주위선량률, 토양오염, 식품오염 등)에 대해 추가 조사가 필요하다. 이것은 피해 집단의 협조와 함께 당국이 방호전략(제염 작업, 식품 제한 등)을 추구할 필요가 있는지 결정하거나, 방사선학적 상황의 진전에 따라 방호전략을 수정하거나 새로운 전략을 수립하는 데 당국을 도울 것이다.

(59) 사고 후 상황에서 당국이 이행하는 전형적 전략은 건물 청소, 토지와 작물의 치유, 목축업의 변화, 환경과 농산물 감시, 깨끗한 식품 제공, 폐기물 관리(청소 또는 판매 불가능한 오염 상품으로부터 오는 것), 정보, 지침, 장비(측정을 위한)의 제공, 보건감시, 아동 교육, 특정 피폭 그룹과 일반 대중들에 대한 정보제공 등이다.

(60) 환경의 방사능 오염은 존재 핵종의 방사성 붕괴, 물리적 화학적 과정이 환경 내 핵종분포에 미치는 영향, 환경 내 존재 오염을 더 농축시키거나 희석시킬 수 있는 인간활동의 영향 등으로 인해 시간에 따라 변할 것이다. 그러므로 기존피폭상황의 장기적 측면은 방호전략의 단계적 이행을 요구한다.

(61) 분포에서 가장 높은 선량의 확인은 특정 그룹을 보호하기 위해 추가 집합적 방호전략을 이행할 수 있는지, 또는 그 높은 선량이 개인습관에 관계되어서 정보를 제공하여 사람들이 그들 독자 전략을 이행하도록 할 것인지 조사를 촉구한다.

(62) 이러한 전망에서, 당국은 피해 집단이 이행하는 자가 전략을 포함하는 모든 방호전략의 이행을 지지할 기반을 구축해야 할 것이다. 집단의 모든 부분, 특히 공공 보건 및 교육을 맡고 있는 전문가들 안에 '실질적 방사선방호 문화'의 파급은 역시 중요한 요소이다. 경험은 그러한 기반의 발전을 세 개의 핵심 기둥이 받치고 있음을 보여준다.

- 방사선 감시체계. 이에 의해 환경의 방사선학적 특성을 평가할 수 있으며, 사람의 내부 및 외부 피폭 수준이 평가되고, 피해자가 이러한 정보에 직접 접근할 수 있다(제5.1절 참조).
- 피해 집단의 보건상태를 추적하기 위한 보건감시 전략. 이 전략은 개인 피폭 수준에 관련된 공중보건의 중요한 지표를 감시하기 위한 등록체계 개발뿐만 아니라 정규적 임상 연구에 근거하는 체계를 필요로 한다. 이러한 체계는 집단에서 발생할 수 있는 보건 상태의 모든 변화를 식별할 수 있어야 하며, 그러한 변화가 방사선 또는 다른 요인들(조기단계 또는 장기간 피폭에 관련된)에 상관될 수 있는지 조사할 수 있어야 한다. - 제5.2절 참조.
- 예를 들면 교육체계를 통한 감시결과와 파급을 바탕으로 집단 내 방사선학적

상황의 관리에 관한 실질적 지식을 현세대와 미래세대에 전달.

## 4.2. 피해집단이 이행하는 방호조치

(63) 방사선사고가 나면, 피해 집단은 새로운 선입관과 문제들에 직면하게 될 것이다. 모든 사람들이 방사능과 그 영향에 관해 의문을 가질 것이다. 예를 들면 어떻게 환경이 오염되는가? 사람은 어떻게 피폭되는가? 그리고 특히 언제 오염 되는가? 등이다. 사람들은 또한 이러한 새로운 상황에 어떻게 대해야 하는지, 자신들의 현재와 미래 피폭을 합리적인 한 낮게 줄이기 위해서 무엇을 해야 하는지 궁금해 할 것이다.

(64) 당국이 정한 조치의 개발과 이행에 피해 집단의 참여는 그 조치효과의 관건이 될 것이다. 나아가 피폭을 관리하는 많은 조치가 개인행동에 따를 것이다. 이것 또한 효과적이고 지속적이기 위해 당국으로부터 지원 기틀을 필요로 할 것이다.

(65) 이 기틀에서 주민이 취하는 전형적 조치를 ICRP는 ‘자가 방호활동’으로 부르는데 자신들의 피폭, 특히 외부피폭과 내부피폭의 특성화를 겨냥하는 조치들이다. 이것들은 주로 자신들의 직접 환경(거주지의 주위선량률 및 식품 오염과 같은)의 방사선학적 특성, 자신들의 외부 및 내부피폭, 자기 책임인 사람들(아이, 노인) 피폭의 감시와 피폭을 줄이기 위해 자신들 생활방식의 적응으로 주로 구성된다.

(66) 외부피폭 평가를 고려하는 범위에서는 주민은 거주지(집, 정원, 일터, 여가 지역 등)에 대한 국지 지도를 제작하여 상황을 보다 잘 관리할 수 있다. 그러면 높은 주위선량률이 기록된 장소와 그곳에서 보낸 시간에 따라 외부피폭 선량에 크게 기여한 장소들을 식별할 수 있다. 두 경우 모두에서, 그러한 장소에서 보내는 시간을 가능한 한 최소화하도록 노력할 수 있다.

(67) 내부피폭 평가를 고려하는 범위에서는, 주민은 매일 소비하는 식품의 방사선학적 특성에 따라 행동할 수 있다. 이는 그들이 지역 산물의 측정에 접근함을 전제로 한다. 이러한 측정결과를 기반으로, 주민은 방사능 감수성에 따라 식품을 분류할 수 있고 또 종종 다른 것보다 더 오염되는 산물(예를 들어, 버섯류는 채소나 과일에 비해 방사성오염에 훨씬 민감함)을 식별할 수 있다. 이러한 관계에 따라, 주민은 오염식품 취식비율을 줄이도록 식습관을 조정할 수 있다.

(68) 농촌지역에서는 피해 주민 상당수가 개인농장을 소유하고 있을 것이다. 위  
에서와 마찬가지로, 첫째 단계는 경작한 식품의 방사선학적 성질을 측정하는 것이  
다. 그 결과에 따라 주민은 방사능에 덜 민감한 농산물 선택, 농장 내 덜 오염된 구  
역의 확인, 방사성핵종이 토양에서 작물로 전이를 제한하는 농업기술의 사용 등 식  
품 오염을 어떻게 감소시킬 것인지를 알아내야 할 것이다.

(69) 자가 방호조치가 개인피폭에 기여하는 것을 넘어 환경의 방사성오염 관리에  
도 작용할 수 있다. 그런 시각에서, 피해 주민은 지역 내 방사능의 재농축을 피하는  
방호조치를 채택하도록 주의해야 한다. 농촌의 난로에서 발생하는 재와 같은 방사  
성 생활폐기물의 관리에 특별한 주의가 요구된다.

(70) 앞서 언급한 것처럼 당국은 주민의 방호전략 이행이 용이하도록 해주어야  
한다. 당국은 기존의 측정 결과, 주민들이 방사선학적 상황을 이해하고 관리하는 데  
도움이 될 정보와 훈련, 그리고 감시장비(예: 측정할 수 있도록 훈련받은 지역 공무  
원 또는 의사 및 약사들을 통해 장비가 가용하도록 함)를 제공해야한다. 나아가 피  
해 주민들이 식습관 변경의 효율성을 평가할 수 있도록 정기적 전신계측을 보장해  
야한다.

(71) 당국은 피해 주민 대표와 관계 전문가들(예: 보건, 방사선방호, 농업 당국  
등)이 참여하는 지역 포럼의 설립을 도와야 한다. 이 포럼은 정보를 모으고 공유하  
게 할 것이며, 주민이나 당국에 의해 도출된 전략의 효과에 대한 공동평가를 장려할  
것이다.

(72) 근년에 이해당사자 참여가 정책결정의 전면으로 서서히 나서고 있다. 대부  
분 기존피폭상황에서 그러한 참여는 방사선방호 전략 개발 및 이행의 열쇠가 될 것  
으로 ICRP는 생각한다. 주택의 라돈관리는 전형적인 예이다. 이해당사자 참여가  
늘어나면, 많은 교훈이 방사선방호 공동체 내에서 최선의 관행을 개발하는 근거로  
서 사용될 수 있을 것이다. 이해당사자의 관점과 입력이 방호 품질의 개선에 도움이  
되는 상황에 일반적으로 적용될 수 있는 과정과 도구들이 개발되고 있다.

### 4.3. 참고문헌

ICRP, 2006. Assessing dose of the representative person for the purpose  
of radiation protection of the public. ICRP Publication 101 - Part 1.

Ann. ICRP 36 (2).

Lochard, J., 2004. Living in contaminated territories: a lesson in stakeholder involvement. In: Current Trends in Radiation Protection. EDP Sciences, pp. 211-220.



## 제5장 방사선감시 및 보건감시

(73) ICRP가 권고했듯이 기존피폭상황의 경우 관련된 사람들은 피폭상황 및 자신들의 선량을 감소시키는 방법에 대해 일반적 정보를 제공 받아야한다(ICRP 2007, 표5 참조). 개인의 생활습관이 피폭의 핵심 동륵인 상황에서는, 개인감시는 정보 프로그램과 함께 중요한 요건이다. 더욱이 비상 국면 이후로 집단이 받은 피폭으로 인한 미래의 잠재적 보건영향이 불확실한 만큼 방사선감시 및 보건감시 프로그램을 이행하는 것은 당국의 책임이다.

### 5.1. 방사선 감시

(74) 장기적 오염의 경우, 방사선학적 상황의 추적과 적절한 방호전략의 이행을 위한 방사선감시 체계를 수립하는 것은 필수적이다. 감시시스템의 핵심 목표는 현재의 사람 피폭(내, 외부 모두) 수준과 환경오염 수준을 평가하고, 장애의 변화를 예측할 수 있게 하는 것이다. 실제에서, 이는 주위선량률, 식품과 환경 중 방사성핵종 농도, 개인 전신오염의 측정을 제공하는 방사선 감시체계를 전제로 한다.

(75) 감시체계의 효과는 오염현장의 특성에 대처할 수 있는 능력에 의존한다. 이는 높은 선량을 받은 그룹의 확인과 방사선 방호전략의 보다 나은 배치를 가능하게 한다. 이 목적에서 중요한 사항은 국가 시스템과 결합하여 지역 수준에서의 방사선학적 역량을 이용할 수 있는 것이다. 더욱이, 다른 출처들-당국, 전문기구, 지역 및 국가연구소(비정부기구, 민간 연구소, 대학, 지역 이해당사자, 원자력시설 등)-로부터 검증된 측정치의 존재는 지역 방사선학적 상황에 대한 이해를 높이고 측정에 대해 피해 주민들의 신뢰를 높일 것이다. 이와 관련하여, 측정을 제공하는 모든 당사자는 적절한 품질보증 요건을 따라야 한다.

(76) 감시체계는 당국 및 기타 관심 당사자에게 정기적으로 갱신된 정보를 제공하며, 오염지역을 장기간 동안 확장하여 감당할 수 있도록 설계되어야 한다. 피폭상황의 변화와 방호전략의 효과를 평가한다는 관점에서, 책임 있는 관계당국은 감시 기록시스템을 수립할 것을 ICRP는 권고한다. 이러한 기록은 보건감시와 결합하여

위험에 처한 그룹을 식별하는 데 특히 중요하다. 이러한 시스템의 지속을 위해서는 국가 및 지방 당국이 계속적 관리 및 훈련 프로그램을 수립할 필요가 있을 것이다.

## 5.2. 보건감시

(77) 원자력사고나 방사선 비상사태 이후, 피폭 집단은 일차 의료평가를 받아야 한다. 이 평가의 첫 단계는 아마도 조기 선량평가와 함께 피해자들에 대한 조사를 하는 것이다. 나아가 선량준위에 상관없이, 피해 집단에게 그들의 피폭 수준과 잠재적 위험의 유형에 대해 정확하고 적절한 정보도 제공해야 한다.

(78) 이러한 배경을 고려하여, 장기 보건감시 프로그램은 다음 목적들을 포괄해야 할 것이다(WHO 2006).

- 임상적으로 유의한 결정론적 영향(예: 피부화상, 백내장 등)을 초래한 피폭 또는 예방적 조사를 정당화할 정도로 높은 수준 피폭을 받은 사람에 대한 추적.
- 일반 집단에 대한 잠재적 부작용(방사선 유발 암의 발생을 중심으로)에 대한 조사로 구성되는 ‘의학적 감시’. 의학적 감시의 하위 범주는 잠재적으로 ‘민감한 집단’(예. 아이, 임신부)을 추적하는 것이다.
- ‘역학적’ 연구.

(79) 의학적 감시란 피해자들에게서 질병의 진전을 늦추거나 방지하기 위한 목적으로 특정 전임상 진환을 발견하기 위해 전체 피해 집단을 스크리닝함을 말한다. 첫 단계는 여러 인자에 대한 고려를 기반으로 프로그램의 범위를 규정하고 정당화하는 것이다. 예를 들어 우려하는 피폭(예: 그 확실성, 선량, 피폭과 관찰의 시간 관계), 관심 질환(예: 집단에서 자연적 병력과 빈도), 가용한 검진 시험의 특성(예: 그 효력, 민감도 및 구체성), 사용하는 시험이 자체로 해로울 가능성, 검사 결과가 양성일 때 조치 가능성(예: 추속 평가 가용성과 그로 인한 위험), 개입이 임상적 결과를 개선할 수 있는 증거 여부, 방사선 피폭과 임상적으로 발견 가능한 영향 발현 사이의 잠복기 등과 같은 특성들이 가장 중요하다. 피해 집단을 예방적으로 감시하는 보건 당국의 책임을 넘어 의학적 감시의 또 다른 중요한 역할은 상황이 미치는 잠재적 보건영향에 대한 집단의 우려에 대응하여 사람들을 안심시키는 것이다.

(80) 세계보건기구 정의에 따르면(WHO 2006), 장기 예측에서 역학연구의 목표는 다음과 같다.

- 위험 그룹에서 보건 악영향을 식별하고, 그러한 영향의 위험이 피폭하지 않은

그룹 사람들과 비교하여 높은지 결정.

- 발견될 수 있는 증가된 위험이 통계적으로 피폭과 관련되는지 여부를 결정.
- 라돈과 흡연처럼 관측된 증가 위험이 피폭과 무관하거나 연관된 다른 인자에 의해 영향을 받거나 관계되는지의 여부를 결정.
- 위험평가를 도출하거나 개선하고, 이행된 방호조치의 효과를 평가하거나 새로운 조치를 개발하는 데 사용될 수 있는 과학적 지식기반의 추가.

(81) 실제에서는 역학연구는 조사집단의 구성과 규모, 방사선피폭의 크기 및 분포, 피폭 측정의 정확도, 질병 확인 및 해당 백그라운드 비율, 결과에 영향을 미칠 수 있는 다른 위험인자 정보의 가용과 같은 고려사항에 따라 조절되고 이행될 수 있다. 피해 집단에 대한 효과적인 장기 보건감시를 위해, 오염구역에 거주하는 집단에 대한 보건 등록체계를 수립할 것을 ICRP는 권고한다.

### 5.3. 참고문헌

ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).

WHO, 2006. Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. In: Bennett, B., Repacholi, M., Carr, Z. (Eds.), Report of the UN Chernobyl Forum, Expert Group 'Health'. WHO Press, Geneva, p. 160.



## 제6장

### 오염된 식품과 기타 일용품의 관리

(82) 원자력사고 또는 방사선 비상사태의 피해지역에서 생산된 오염된 식품이나 기타 일용품의 관리는 ICRP의 이전 간행물에서 언급되어왔다. ICRP 104(2007)에서 '시장 수용성 문제'로 인해 '이러한 유형 상황이 특별히 어려운 문제를 제기한다'고 ICRP는 인정했다. 게다가 식품의 생산과 소비에 장기적 제한을 유지하는 것은 피해지역의 지속가능한 발전에 영향을 미칠 수 있고 따라서 적절한 최적화 원리의 이행이 필요하다. 지역 농민, 생산자 및 지역 주민의 이익과 오염지역 외부의 소비자나 판매자의 이익을 중재함에는 신중함이 요망된다. 오염 식품에 대한 최적화된 방호전략을 결정하는 것을 오염지역 외부에 사는 사람과 내부에 사는 사람들이 다르게 이해할 수도 있다.

(83) 장기 오염지역에서 생산된 식품의 섭취로 인한 피폭을 경제사회적 인자를 고려하여 합리적으로 가능한 낮은 수준으로 줄이는 것은 복잡한 방호전략의 이행을 수반할 수 있다. 식품의 방사선학적 성질은 농장에서부터 식탁까지 이르는 식품경로에서 방사성핵종의 전이를 줄이는 것을 겨냥한 많은 방호활동에 의해 관리될 수 있다(Nisbet 등 2006). 이러한 방호활동은 예를 들어, 토양의 물리화학적 처리, 농업행위의 변화, 가축에 대한 사료첨가제 공급, 토지사용 대안 선택, 그리고 오염 제거를 위한 산업규모의 식품가공 등을 포함한다. 선택된 조치는 방출된 방사성핵종의 물리화학적 성질, 연중 계절, 피해 토지의 사용 유형에 의존할 것이다. 가능하다면 언제나 지역 농산물의 제한을 피할 수 있는 방호조치가 이행되어야 한다. 시장에서 오염식품을 넣지 않고는 농업경제가 더 이상 지속가능하지 않게 되는 상황도 있을 수 있다. 그러한 식품들은 시장의 배척력을 겪을 것이므로 오염식품 시장진입은 오염지역 외부 소비자들로부터 부정적 반응을 극복할 수 있는 효과적 의사전달 전략을 필요로 할 것이다.

(84) 오염지역이 있는 국가에서 식품의 방사선학적 품질을 관리하기 위해서는, 관련 이해관계자(당국, 농민연합, 식품산업자, 식품유통자 및 소비자 NGO)와 일반 국민의 대표자들은 소비자의 개인적 선호가 농업 생산, 농업지역 재건, 피해지역 공동체의 적절한 생활을 유지할 필요를 능가하는지를 결정하는 데 참여하여야 한다. 한 국가에서 어느 정도 단결을 이루기 위해서는 국가 차원의 철저한 논쟁이 필요하

다.

## 6.1. 오염구역내 관리

(85) 지역 주민의 식이 중 일부에는 지역 농산물, 자경 농장 산물, 야생에서 채집한 식품(딸기류, 버섯류, 사냥감 등)이 포함될 것이다. 지역 농산물의 상대적 중요성은 전통, 습관 및 지역의 특성에 의존한다. 덜 오염된 음식에 대한 선호에 의해서 또는 오염되지 않은 지역에서 온 식품의 가용성에 의해 어느 정도는 그러한 습관이 영향을 받을 수 있다. 또한 지역민은 더 높게 오염된 상품의 소비를 줄이거나 기피함으로써 방사성핵종 섭취를 관리할 수 있을 것이다. 나아가 보다 민감한 주민그룹 또는 특별히 보호받을 자격이 있는 사람들(아동, 임신 또는 모유수유 여성, 병약자 등)은 높은 수준으로 오염된 특정 유형 식품의 소비를 줄이거나 피하도록 권고를 받을 것이다.

(86) 지역민들의 식품 관리를 돕도록 당국은 관련 정보를 제공해야하며, 지역 농산물이 식이에 차지하는 비율을 고려하여 직접 측정 가능한 오염수준(Bq/kg 또는 Bq/L로 표현되는)에 근거한 오염기준을 설정해야한다. 식품규격위원회(CAC)가 국제교역에 사용하기 위한 지침 준위를 개발해 놓고 있다(FAO/WHO 2006). 이 준위들은 식단이 최대 10%의 오염식품으로 구성된다는 가정에서 연간 1 mSv 선량수준에 근거한다. 식단의 10%까지 오염된다는 가정은 일부 지역사회에 대해서는 타당하지 않을 수 있는데 이때는 식품 오염기준을 Codex 지침 준위 미만에 설정할 수 있다. 반대로, 만약 오염이 식품의 몇 종류에만 영향을 미친다면, 오염준위는 더 높은 값으로 설정될 수 있다. 전통이 아주 깊거나 공동체 전체 경제에 필수적인 지역 농산물을 보전하기 위해서도 더 높은 오염기준을 설정할 수 있다.

(87) 오염 식품 판매에 제한을 둠으로 인한 지역경제 붕괴, 소비자 선호의 결과 또는 오염되지 않은 음식 공급을 통한 시장점유율 상실은 선량 감축 이익으로는 정당화되지 않을 것이다. 체르노빌 사고 이후 노르웨이에서 Sami 주민에 의해 생산된 사슴(reindeer)고기에 대한 조치 사례(Skuterud 등, 2005)와 같이 그러한 결정은 지역 이해관계자와 긴밀히 협력하여 이루어져야만 한다. 최종 선정된 식품 오염기준은 그것을 넘지 않으려 하는 개인선량 준위를 간접적으로 대표하며 장기 목표는 이 수준을 경제사회적 인자를 고려하여 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 줄이는 것이어야 한다. 이러한 관점에서 오염기준은 상황 개선을 고려하여 단계적으로 낮출 수 있다.

## 6.2. 오염구역 외부로 반출 관리

(88) 오염구역 외부에 거주하는 주민의 보호는 주로 유통을 관리함으로써 이루어진다. 오염되지 않은 지역의 소비자들은 일반적으로 오염되지 않은 식품이 시장에 나오기를 기대한다. 그러나 이러한 상황이 항상 성립하지는 않을 수 있다. 첫째로, 오염구역에 어떤 형태의 농업생산을 유지하는 것이 중요할 수도 있기 때문에 오염구역에 거주하는 피해 주민의 이익을 고려할 필요가 있다. 더욱이 방사선학적 관리가 항상 어디서나 모든 식품을 포괄함을 보장하는 것이 본질적으로 어렵기도 하다. 그래서 오염지역 외부로부터 오는 식품도 비록 오염이 기준보다 충분히 낮더라도 약간 오염되어 있을 수 있다.

(89) 오염 음식의 시장 등판은 국제교역에 사용하기 위한 Codex 지침준위에 의해 결정될 수도 있는데, 이는 원자력 또는 방사선 비상사태(사고 및 악의적 활동 모두 포함)의 결과로 오염된 식품에 무제한 기간에 대해 적용된다. 식품규격위원회(CAC)에 따르면, 식품 내 방사성핵종이 해당 지침준위를 초과하지 않는 수준이면 사람이 먹는 데 안전한 것으로 간주되어야 한다. 지침준위를 초과한다면 정부는 어떤 상황에서 그 식품을 자국 영토나 관할권내에 유통시킬 것인지를 결정하여야 한다. 일단 식품이 시장에 나오게 되면, 식품 유통과정에 취하는 모든 조치는 단지 인구집단의 한 쪽에서 다른 쪽으로 오염을 전가시키는 것이므로 선량을 관리하고 최적화하는 것이 매우 어렵다는 것을 ICRP는 인정한다. 이것은 바로 비윤리적으로 여겨지는 상황으로 이어질 수 있다. 굶주림을 겪는 지역에 인도적 원조로 이러한 식품을 공급하는 것조차도 수혜자들이 비윤리적으로 생각할 것이다. 이러한 고려들은 식품이 시장에 나오기 전에 시장의 힘을 명심하면서 방사선학적 품질을 개선하는 모든 가능한 조치를 연구할 것을 요구한다.

(90) 소비자로부터 신용을 회복하고 유지하는 것은 오염식품의 관리에서 가장 중요하다. 식품의 추적성은 소비자 선호에서 중요한 요소이다. ICRP는 시장거래 목적으로는 식품 표지에 원산지를 밝히는 것으로 충분하다고 본다. 그러나 시장기전을 관리하는 것은 ICRP 권고의 범위를 벗어난다.

(91) 상이한 이해당사자의 관점에서 오염식품 관리의 사회경제적 복잡성에도 불구하고, 방호전략은 설정된 참조준위를 충족하도록 개발되어야 하며, 나아가 예를 들어 생산, 유통, 가공뿐만 아니라 소비자에게 알리고 적절한 선택을 하게 하는 수단과 같은 개입이 가능한 모든 수준에서 전략이 최적화되어야 한다고 ICRP는 생각

한다. 이 과정 특히 식품의 시장 상판에서는 Bq/kg 또는 Bq/L로 표현되는 유도참조 준위가 중요한 역할을 한다.

### 6.3. 기타 일용품 관리

(92) 식품이 아닌 일용품도 원자력사고 또는 기타 방사선학적 사건으로 오염될 수 있다. 여기에는 목재, 종이, 기름과 같은 농업생산품이나 고철과 같은 오염물질을 재활용한 다른 상품들이 포함될 수 있다. 역시 목적은 사회경제적 인자를 고려하여 합리적으로 가능한 낮게 피폭을 줄이는 것이다.

(93) 오염 방지(예: 오염구역에서 농업을 의도적으로 비식품 생산으로 방향을 전환할 수 있음을 고려하여, 가능하고 해당된다면 대체함으로써) 및 오염된 일용품의 관리를 포함하는 최적화 전략 개발을 ICRP는 권고한다. 이러한 오염 일용품들은 조건 없이 또는 없이 매매되고 사용될 수 있다. 일용품에 대한 오염기준은 계획된 용도와 매매 또는 사용 조건에 따라 결정된다.

(94) 오염구역 내에서 오염된 일용품의 사용에 대한 오염준위는 현실적 피폭 시나리오에 바탕을 둔 연간선량 참조준위로부터 도출되어야 한다. 당국은 사용에 대해 의무 조건이나 권고 조건을 확립해야 한다.

(95) 오염 일용품 또는 오염 물질로 제작된 소비자용품의 오염지역 외부 거래는 국제교역에 대한 권고와 규칙에 따라야 한다. 그렇지만 해당 이해당사자 특히 수출입국의 규제기관이 합의하고 수용자와 협상된 명시적 규정을 적용하여 오염 일용품을 거래하도록 하는 규정이 있는 상황이 있을 수 있다. 국제기구들이 오염 일용품(예를 들어 원자력시설의 해체 후와 같은)의 사용이나 거래에 대한 수치기준을 권고했는데, 국가 당국은 이들을 관련 오염기준을 설정하는 데 참조로 사용할 수 있다 (IAEA 2005).

### 6.4. 참고문헌

FAO/WHO Codex Alimentarius Commission, 2006. Codex Guideline Levels for Radionuclides in Foods Contaminated Following a Nuclear or a Radiological Emergency for Use in International Trade. CAC/GL 5-2006.

- IAEA, 2005. Safety Guide No. RS-G-1.7. Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- ICRP, 2007. Scope of radiological protection control measures. ICRP Publication 104. Ann. ICRP 37 (5).
- Nisbet, A.F., Rice, H., Jones, A., et al., 2006. Generic Handbook for Assisting in the Management of Contaminated Food Production Systems in Europe Following a Radiological Emergency. EURANOS (CAT1)-TN(06)-06. Available at: <http://www.euranos.fzk.de>.
- Skuterud, L., Gaare, E., Eikelman, M., Hove, K., Steinnes, E., 2005. Chernobyl radioactivity persists in reindeer. J. Environ. Radioact. 83, 231-252.



# 부록 A

## 장기 오염구역에 대한 역사적 경험

### A.1. 서론

(A1) 이 부록은 과거 핵실험(비키니<sup>9)</sup>, 마라링가<sup>10)</sup>, 원자력사고(키시탐<sup>11)</sup>, 팔로 마레스<sup>12)</sup>, 체르노빌) 또는 방사능선원 사고(고이아니아)에 의한 결과로 발생한 일련의 장기 오염구역 경험들을 간략하게 기술한다. 경험들은 연대순으로 나타내었다. 모든 사건에서 공통적인 장기 지속되는 오염 특징 이외에, 각 사건은 이 보고서에서 전개한 다른 양상도 보여 준다.

(A2) 비키니와 마라링가의 경험은 거주지에 장기간오염을 일으킨 사건 이전에 주민이 소개되었으며 몇 년간 소수 사람들이 돌아오긴 했지만 그곳에 영구적으로 주민이 거주하지 않았기 때문에 엄밀히 말하면 장기 피폭상황이 아니다. 오염된 지역을 복구하는 데 고려되거나 효과적으로 이행된 방안들은 주된 피폭경로 및 피폭을 합리적으로 가능한 한 낮게 유지하는데 필요한 방호조치의 유형을 제시한다. 특히 비키니의 경우, 사건 이후 수십년 후에도 오염 식품의 섭취의 중요성에 주목하는 것은 흥미롭다.

(A3) 키시탐과 체르노빌 사고로부터 발생한 장기 기존피폭상황들이 이 권고가 목표로 하는 유형의 가장 대표적 상황인 것은 의심할 여지가 없다. 키시탐 사고의 관

- 
- 9) <역주> Bikini. 남태평양 마셜군도에 속하는 산호초섬으로서 독일 식민지였다 제1차 세계대전 후 일본 치하로, 다시 제2차 세계대전 후 미국령으로 변경되었다가 1986년 독립했다. 1945년부터 1958년까지 23회의 미국에 의한 핵실험이 있었는데, 1946년 Castle Bravo 수폭실험에서 예상외로 많은 방사능을 생성하여 원주민과 함께 특히 일본 어선 북룡호(Daigo Fukuryu maru) 선원이 심한 낙진피해를 받은 사건으로 유명하다. 당시 출현한 상하 분리 수영복이 이 섬의 명칭을 따라 '비키니'라 불리고 있다.
- 10) <역주> Maralinga. 호주대륙 남부 중앙 사막지역으로 1953년부터 영국의 핵실험장으로 사용되었다.
- 11) <역주> Kyshtym. 러시아 우랄산맥 남쪽 끝 지역 카자흐스탄 북방 지역에 있는 작은 도시로서 1950년대부터 구소련의 군사용 핵물질 생산기지였다. 첼리아빈스크 서북방 90 km 부근에 있다. 1957년 재처리폐기물(핵분열생성물) 저장탱크에서 화학폭발로 대량의 방사능을 주로 수계로 방출했다. Mayak으로 부르기도 한다.
- 12) <역주> Palomares. 스페인 남부 지중해 연안지역으로서 1966년 1월 핵무기를 탑재한 미국 폭격기가 추락하여 플루토늄 오염사건을 일으켰다.

리에 관한 정보는 상대적으로 부족하지만, 오염의 시공간 확산은 대규모 잠재적 원자력사고를 잘 대변하고 있다. 독립국가연합(CIS) 국가들과 서유럽에서 체르노빌 사고의 장기적 영향은 오염지역 수백만 주민의 생활조건에 깊은 영향을 미쳤다. 모든 나라에서 주된 관심은 만성적 내부피폭으로부터 지역주민들을 보호하기 위해 식품을 관리하고 지역 생산의 활력을 유지하는 것이었다.

(A4) 팔로마레스와 고이아니아 사고 모두는 오염 지역이나 직접 관련된 주민의 규모가 상대적으로 제한적이었기 때문에 이 보고서에서 다루는 기존피폭상황을 잘 대표한다고 생각하지는 않는다. 그러나 그 사고들은 외부피폭과 흡입이 중요한 피폭경로일 때 도시 및 준도시 환경에서 피폭을 관리하기 위한 방호조치의 유형을 보여준다.

(A5) 원자력사고 및 방사선 비상사태의 결과인 기존피폭상황의 참조준위를 설정하는 것에 관해서는, 그러한 상황을 관리하기 위해 당국이 설정하는 전형적 선량값은 1 mSv/y와 같거나 근접하는데, 이 값은 장기 피폭을 ‘정상’으로 간주되는 상황에 비슷한 수준까지 즉, 계획피폭상황에서 일반인피폭에 대해 설정되는 선량제약치 밴드 내까지 점차 낮춰갈 희망에 해당한다.

## A.2. 비키니

(A6) 1946년부터 1958년까지, 비키니 산호섬이 대기권 핵실험 장소로 사용되었다. 비키니는 미국이 마샬군도에서 수행한 66건의 해저, 지표, 지상 실험 중 23건의 장소였다. 지상핵실험 결과로써, 지표면과 석호는 방사성핵종들로 심하게 오염되었으며 그중에서  $^{137}\text{Cs}$ 이 방사선학적으로 가장 중요한 것으로 입증되었다.

(A7) 1946년의 첫 핵실험에 앞서, 167명의 비키니 주민들을 주변의 섬들로 소개시켰다. 하지만 그들 중 몇몇은 산호섬의 방사선학적 예비조사 이후인 1960년대 말부터 1970년대 초반에 섬으로 돌아왔다. 그러나 1975년에서 1978년까지 수행된 측정은 돌아온 주민의 체내  $^{137}\text{Cs}$  함유량이 그들이 산호섬으로 돌아온 이후 10배가량 증가한 것으로 나타났다. 이러한 증가는 토양으로부터 세슘을 높이 흡수한 코코넛 나무 탓이었는데, 비키니 주민이 취식한 코코넛 우유나 과육에 높은 세슘 농도를 형성했다. 따라서 1978년에 주민들을 다시 이주시켰다. 비키니 산호섬의 방사선학적 상태에 대한 과학적 연구는 계속 되고 있고 아직 주민들은 돌아오지 못하고 있다.

(A8) 치유조치나 활동에 대한 제한 없이 주민이 비키니 산호초로 귀환하면 잔류 오염에 의해 연간 평균 4 mSv의 선량을 받을 것으로 평가된다. 지역에서 재배된 식품과 수입식품을 잘 섞어서 취식하지 않고 지역에서 재배된 식품만을 섭취하는 주민에게 그럴듯한 가장 높은 선량은 연간 약 15 mSv로 평가된다. 전망선량은 주로 식품 및 토양 속  $^{137}\text{Cs}$ 에 의한 것이다. 아직 상당 수준으로 존재하는 다른 방사성핵종에 관해서는 플루토늄 및 아메리슘 동위원소가 산호 침전물 속에 대량으로 ‘간혀’ 있어 생선과 기타 해산물 형태로 흡취가 매우 낮은가 하면, 높은 농도의 칼슘(화학적으로 비슷한)과 강한 경쟁 때문에 식품의  $^{90}\text{Sr}$  흡취도 낮다.

(A9) 방사선방호 관점에서, 비키니 산호섬의 오염은 영구 거주를 위해 섬에 복귀가 허용된다는 점에서 주민에게 잠재적 기존피폭상황을 대표한다. 이러한 복귀 허가를 위해 가능한 방호활동은 주거지역의 토양 제거 및 곡물 경작지에 존재하는 토양에 대한 칼륨 처리이다. 토양 제거는 섬 주민이 대부분의 시간을 보내는 구역에서 외부피폭으로부터 선량과 흡입 및 우발적 흡 섭취를 낮출 것이다.

(A10) 칼륨 처리는 전체 전망선량의 큰 부분을 기여하는 식품내 세슘의 섭취로부터 선량을 감소시킬 것이다. 매 4~5년마다 반복한 칼륨 처리 프로그램은 전형적 비키니 식품의  $^{137}\text{Cs}$  농도를 식품의 국제교역을 위한 FAO/WHO 식품공전Codex Alimentarius 지침 이하로 감축할 것임이 방대한 시험을 기반으로 예측된 바 있다. 오로지 지역 산물만의 식단인 경우 전망선량은 연간 1.2 mSv이며, 지역 식품과 수입식품을 보편적으로 혼용하면 약 0.4 mSv로 낮출 수 있다.

(A11) 다른 방안은 주거지뿐만 아니라 경작지의 표토를 제거하는 것이다. 이 방법은 의심할 여지없이 피폭을 낮추는데 아마 칼륨 처리보다 더 효과적일 것이다. 그러나 안전한 처분을 요하는 매우 많은 양의 토양을 발생시킬 것이며, 대체 토양을 수입해야 할 것이다. 이 방안의 재정적, 환경적, 사회적 비용은 아마도 첫째 선택보다 훨씬 클 것이며, 온전한 최적화 과정으로 평가되어야 할 것이다.

### A.3. 마라링가

(A12) 1955년부터 1963년에 걸쳐 남호주 마라링가 지역에서 영국의 핵실험이 수행되었다. 주요 핵실험은 총 7 차례였다. 실험장으로 선택되기 전에 마라링가 지역은 애버리지 원주민들이 살고 있었다. 대부분 유라타Yulata 새 거주지로 이주시키고 마라링가 지역 출입을 제한하려 했으나 싹 성공적이지 못하였다.

(A13) 호주 당국은 1990년에 과거 호주의 영국 핵실험장들에 사회재건을 위한 기준을 수립하였다. 핵실험장 중 두 곳인 에뮤Emu와 몬테벨로Monte Bello섬에서는 거의 치유조치가 필요하지 않았다. 그러나 마라링가에서는 여러 곳이 폭발시 국지에 분산된 플루토늄으로 오염되어 있었다.

(A14) 광범한 실험적 연구를 거쳐, 반전통적 생활방식으로 살고 있는 에버리지 주민 결정집단에 의한 플루토늄으로 오염된 먼지 흡입이 대부분의 경우 주요 피폭 경로로 설정되었다. 두 번째로 중요한 경로는 플루토늄으로 오염된 파편이나 입자들이 많이 발견된 곳에서 상처 오염 경로로 플루토늄이 체내로 들어가는 것이었다. 정화의 일반기준은 종일 점유 상황에서 결정집단에 대한 유효선량이 5 mSv를 초과하지 않도록 치유수단을 수행하는 것이었다. 마라링가 정화작업은 1996년 초에 부지 준비부터 시작해 약 4년이 소요되었다.

(A15) 가장 심하게 오염된 타라나키Taranaki 지역에서  $^{241}\text{Am}$ 이  $40 \text{ kBq m}^{-2}$ 를 초과하는 토양은 제거했고 토지 사용을 제한하기도 했는데 야영은 금지했지만 사냥이나 통과는 허용했다. 이 수치는 허용되는 활동을 위해 이 지역에서 보낼 것으로 보는 시간 관찰에 따른 것이다. 토지이용이 제한된 지역 밖에 남아있는 작은 구역 세 곳의 정화 수준은 타라나키보다 더 엄격하게 요구되었다. 최대로 오염된 지역 약  $2.3 \text{ km}^2$ 의 토양이 제거되었다. 제거된 토양은 인접지에 넓게 굴착된 구덩이에 묻고 5 m의 오염되지 않은 바위와 토양으로 복토했다.

(A16) 외곽에는 50 m 구간마다 튼튼한 아연도금 철재로 된 표시판으로 구역내에서 야영이 허용되지 않음을 경고하고 있다. 이러한 경고 표지는 일반적으로 도로시스템을 따르며 계속적 점유로 연간 5 mSv를 초과할 것으로 보이는 모든 지역을 포함한다.

#### A.4. 키시팀Kyshtym

(A17) 1957년 9월, 구소련의 남부 우랄산맥의 키시팀 인근 첼랴빈스크-40 군용 플루토늄 생산 시설에서 큰 사고가 발생했다. 1953년에 지어진 이 시설은 테차Techa 강에 버려지지 않도록 고준위 폐기물을 저장하기 위해 지하에 냉각시스템이 장착된 강철 저장탱크를 여럿 가지고 있었다. 냉각시스템이 고장나면서 고준위 폐기물이 과열되었다. 열이 축적되어 냉각수가 증발하고, 침전물이 더 가열시키고 건

조시켰다. 1957년 9월 29일 탱크 내부의 화학물질이 TNT 70~100톤 폭발력으로 폭발하였으며, 2.5 m 두께의 콘크리트 덮개가 25~30 m 떨어진 곳까지 날아갔다. 폭발로부터 발생한 방사성 구름은 약 1 km까지 이르렀다. 잔잔했던 바람 상태로 인해 약 90% 물질은 현지에 침적했으나 100 PBq은 공장으로부터 멀리까지 확산되어 첼라빈스크, 스페르들롭스크, 튜맨 카운티를 포함하는 약 300 km 길이의 타원형 낙진패턴이 되었다. 거의 대부분의 방사성 낙진은 첫 11시간에 발생했다.

(A18) 주된 오염물질은  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{95}\text{Nb}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  였다. 대부분 핵분열생성물이 땅에 침적되었고 스트론튬 동위원소는 식품사슬로 들어갔다. 농도 2.4 Bq/g 이상의  $^{90}\text{Sr}$ 을 포함하는 식품의 금지는 첫 2년간 1만 톤의 농산물을 폐기하는 결과가 되었다. 우유, 고기 등 식품을 팔았던 카멘스크, 우랄스키의 모든 가게들은 방사성 물질 섭취를 막기 위한 예방조치로써 폐점했으며, 2일 후에 새로운 배급품이 기차와 트럭으로 공급되었다.

(A19) 대략 1만 명 주민이 고오염 지역으로부터 소개된 한편, 보다 낮게 오염된 지역의 약 26만 명 주민은 남았다.  $^{90}\text{Sr}$  침적밀도가  $40 \text{ MBq m}^{-2}$  이상인 지역에는 1154명,  $4 \text{ MBq m}^{-2}$  이상에선 1500명,  $70 \text{ kBq m}^{-2}$  이상인 지역에는 10만 명의 주민이 있었다. 사고 후 수일 이내에 소개된 주민들이 가장 높은 개인선량을 받은 것으로 나타났다. 이 사람들은 평균 외부피폭선량 170 mSv와 평균 내부피폭(위장) 선량 1500 mSv를 받았는데, 평균 유효선량은 약 520 mSv였다. 소개된 사람들이 받은 집단유효선량은 약 1300 man Sv였다.

(A20) 소개되지 않았던 주민들의 경우,  $^{90}\text{Sr}$  표면오염준위가  $40\sim70 \text{ kBq/m}^2$ 인 지역에 살았던 약 1만 명 주민 그룹의 30년 예탁 유효선량 평균은 20 mSv로 평가되었으며, 침적밀도가  $4\sim40 \text{ kBq/m}^2$ 인 지역에 거주한 2천 명 주민 그룹의 선량은 4 mSv로 평가되었다. 소개되지 않은 주민(약 26만 명)이 받은 30년간 집단유효선량은 1200 man Sv로 평가되었는데 5000 man Sv를 가리키는 수치도 있었다.

(A21) 1990년대에, 러시아의 오염구역 거주자 방사선방호에 대한 기준이 개정되었다. 연간 1 mSv 이상 선량준위인 구역에는 방호조치가 수행되도록 했다.

## A.5. 팔로마레스

(A22) 팔로마레스 사고는 1966년 1월 17일에 미군 B-52 폭격기와 KC-135 급

유기가 지중해연안 남부 스페인의 팔로메라스 마을 상공에서 공중 재급유를 시행하던 중 충돌하여 일어났다. 두 항공기 모두가 상공에서 파괴되었다. 핵융합무기 넷, 사람 11명(4명 생존) 그리고 파편 수백 톤이 마을과 주변 지상으로 떨어졌다. 항공기 부품들은 넓은 지역에 걸쳐 흩어졌다. 핵무기 둘은 온전하게 회수되었는데, 하나는 알만조라강(Almanzora) 하구근처의 마른 강 바닥에, 다른 하나는 바다에 아무 문제 없이 떨어졌다. 다른 두 개 무기는 낙하산이 펼쳐지지 않았는데, 하나는 마을 서쪽의 야산에 떨어졌고 다른 하나는 동쪽 농지에 떨어졌다. 이 두 무기의 내부 고성능 폭약이 폭발해 불탔으며, 이로 인해 내부에 있던 플루토늄 일부도 연소하여 지역에 플루토늄 오염을 확산시켰다. 마을 북단과 농지, 비경작지를 포함하는 2.26 km<sup>2</sup> 면적에 걸쳐 다양한 정도의 <sup>239,240</sup>Pu 미립자 오염을 분산시켰다.

(A23) 사고지역을 확인하고, 파악하고, 제거하고, 치유하는 데 3 개월의 대응노력이 필요했다. 1966년 1월 31일 최고로 약 680명을 위시하여, 대략 1600명이 정화작전에 투입되었는데 대부분이 현역 미 공군 대원이었다(US AFMS, 2001). 알파 방출원소 침적밀도가 1.2 MBq m<sup>-2</sup>보다 높은 곳은 모두 오염된 초목과 토양의 표층 약 10 cm 두께를 수거하여 방사성폐기물로 분리, 처리되었다. 토양을 제거한 곳은 오염되지 않은 지역으로부터 토양으로 대체했다. 농도가 1.2 MBq m<sup>-2</sup> 이하인 경작지는 관개하여 30 cm 깊이로 갈아 고르고 섞었다. 바위가 많아 갈이가 불가능한 산중턱에서 플루토늄 농도가 0.12 MBq m<sup>-2</sup> 이상인 흙은 손기구로 어느 정도까지 제거했다. 3.7×10<sup>-2</sup> Bq m<sup>-2</sup> 이상 오염 수준인 풀숲은 베어내거나 살수 세척했다. 가옥의 오염된 지붕과 벽은 완전히 정화될 때까지 살수 세척하였다. 완전히 제염되지 않는 곳은 물리적 처리로 제거했다. 제거된 흙 약 1000 m<sup>3</sup>으로부터 발생한 폐기물의 총량은 200 L 철제드럼 5000개 정도에 이르렀으며, 미국 사바나리버 사업소 Savannah River Plant로 보냈다. 7 kBq m<sup>-2</sup> 이상 농도를 지닌 약 310 m<sup>3</sup>의 초목 폐기물은 구덩이 처분장에 묻었다. 나머지 제거된 식물들은 태우고, 그 재는 심하게 오염된 흙과 섞어 드럼에 넣었다(Gutierrez, 1994).

(A24) 제염작업 이후 즉각적으로 스페인 원자력에너지원은 방사선 감시프로그램을 수립하였고, 이후 국가연구소 CIEMAT가 무기한으로 계속하고 있다. 정기적 보고서는 국가 규제기관인 스페인 원자력안전위원회(CSN)에 제출된다. 방사선 감시프로그램은 Pu과 Am의 생물학적 제거를 측정하기 위해 연간 150명에 대한 의학 적 진단과 소변검사를 포함하였다. 환경에서 토양, 물, 초목, 작물, 축산물뿐만 아니라 해수 및 해저토 표본을 채취하고 분석하는 일을 사고이후로 계속해서 수행해왔다.

(A25) 총 1043명의 주민에 대한 의학적 관리에서 아무 방사선 관련 지지도 보이지 않았다. 1966년 이후로 지역주민에 대해 수행된 소변검사에서 3.3%(총 4628명 중 153명)가 양성(Pu 검출)으로 나타났다. CSN에 보고된 바에 따르면, 예탁유효선량이 계산된 주민 비율은 5.5%(1,066명 중 59명)인데 그 값은 어떠한 유의한 방사선학적 위험을 의미하지 않는 수준이다.

(A26) 사고 이후 팔로마레스의 공기 중 연평균 플루토늄 농도(농업지역에서  $39 \mu\text{Bq m}^{-3}$ , 시가지에서  $4 \mu\text{Bq m}^{-3}$ )는 흡입에 의한 주민의 연 평균선량이 1 mSv보다 “상당히 낮음”을 시사한다. 대표적 농산물에 대한 많은 분석과 측정을 근거로 한 지역 생산 식품의 섭취에 의한 선량 또한 1 mSv/y보다 훨씬 낮다(시료의 가식부 중 1%에서만  $1 \text{Bq kg}^{-1}$ 보다 높은 농도가 나타났다.)

(A27) 근년에는 많은 온실들을 비롯한 높은 기술력의 경작활동, 활발하고 광범한 토지 사용, 새 건물들의 확연한 증가와 더불어 적극적이고 안정적인 관광산업의 발전을 포함하여 꾸준하게 성장하는 경제발전과 함께, 팔로마레스 지역의 사회경제적 상황이 급변하고 있다. 대량의 토사 이동을 동반하는 토지 사용에서 이러한 변화들은 잔여 방사성 오염의 활성화를 유발할 가능성이 크며, 따라서 가장 심한 피해지역의 적절한 관리를 위한 프로그램 이행의 동기를 부여했다. 2000년 7월, CIEMAT는 소위 ‘제2구역’ 토양의 상층 45 cm 내 플루토늄 양이 2.85 TBq임을 CSN에 보고했다. 2003년 CSN은 팔로마레스의 토양 사용에 대한 구체적인 기준을 수립했으며 2007년에 승인하였다. 그 기준은 토양의 상층 15 cm에 적용된다. 평가된 잔여선량이 1 mSv/y 미만일 경우 토양을 제한 없이 사용할 수 있도록 허가했다. 평가된 잔여선량이 수 mSv/y인 토지의 사용에는 부분적 제한과 함께 추가 파악을 요구한다. 마지막으로 토양 사용의 전면적 금지는 평가된 잔여선량이 5 mSv/y를 초과할 수 있을 때 적용된다. 이러한 기준을 근거로 정부는 명확한 해결로 이끌 수 있도록 상황에 대한 심층 연구를 진행함으로써 가장 적절한 방법으로 피해지역 점유를 결정하기로 했다.

(A28) 지역의 잔류 오염을 상세히 파악할 목적으로 하는 방사선감시 연구 계획이 인가되었다. 660 ha( $6.6 \text{km}^2$ ) 지역에서 토양 상층부 15 cm내에  $^{241}\text{Am}$  표면 오염을 측정하여 63000개 기록을 얻었다. 핵무기 들이 떨어진 지점 주변 20 ha에 존재하는 이미 알려진 잔류 오염 이외에, 사고 후 처음 표기된 ‘청정 경계선’ 밖의 다른 약 20 ha에서 유의한 잔류 오염 준위가 이 조사를 통해 파악되었다. 이로써 공공행 정부가 40 ha 토지를 점유함을 정당화했다. 일단 일반에게 폐쇄한 후, 가장 영향이 많은 40 ha의 상층 15 cm에서  $^{241}\text{Am}$  표면오염에 대한 255000개 이상의 기록으로

특성화되었다. 581 지점에서 ‘현장<sub>in-situ</sub>’ 감마 분광분석과 외부선량 준위의 고정 측정이 이루어졌고, 여기서 교란되지 않은 토양 시료 1698개를 채취, 분석하였다. 또한 더 깊은 위치로 잔류 오염의 이동을 평가하기 위해 310 지점(280 곳은 2~5 m 깊이, 30 곳은 0.5~1 m 깊이)에서 시추공을 뚫었다. 이 상세 정보는 피해 지역에 궁극적 사회재건으로 이끄는 권고를 도출할 수 있게 할 것이다.

(A29) 지역 및 지방 당국과 여러 회의를 포함하여, 영향 받은 공동체는 물론 개인시민, 환경단체, 지역미디어 등 다른 이해당사자와 긴밀한 상호작용 및 유동적 소통이 유지되어 왔다(Barrigós, 2008). 이러한 활동은 전문가의 평가와 당국의 권고에 대한 신뢰를 형성하고 유지하는 데 기여했다.

## A.6. 체르노빌/독립국가연합 지역

(A30) 1986년 4월에 발생한 체르노빌 사고는 구소련의 벨라루스, 러시아, 우크라이나 공화국의 주거지에 광범위한 오염을 발생시켰다. 사고 직후 발전소에 가까운 프리피야트시 주민을 소개시켰고 이어서 발전소 중심 반경 30 km에 있는 모든 주민도 소개했다. 오염 영향을 최소화하기 위해 제염, 수리 및 농업적 대응책들은 물론 식품에 대한 접근이나 소비에 제한을 가했다. 비상국면 후 여러 달 동안, 추가로 이주시키거나 보완적 대응책을 취함이 필요한가에 대한 관심이 높아졌다. 가장 오염이 심한 지역으로부터 주민을 격리시키고 가능하다면 환경 오염을 줄이고 관리함을 기본 목표로 하여 비상국면 후 적용된 방호전략이 오염은 적지만 넓은 지역에서 여전히 거주하고 있는 주민을 안전하게 보호하기에 불충분함이 점점 분명해지면서 1980년대 말에는 차차 장기적 사회재건 현안이 표면화되었다.

(A31) 이러한 지역의 장기적 오염은 특히 체내 오염에 의한 늘어난 피폭에 대한 불확실성이 존재하기 때문에 건강에 관한 한 주민들에게 평생동안 근심거리가 되었다. 이것은 또한 주민 삶의 질과 사회경제학적 기반시설의 지속적 유지를 장기적으로 보장하는 데 매우 심각한 결손을 초래했다. 이는 벨라루스, 러시아, 우크라이나 정부들이 1990년대 초반에 오염지역에 살고 있는 주민들의 방사선 감시 및 보건감시를 계획하고 사회경제적 생활조건을 향상시키려는 의욕적 법률을 제정하고 채택하도록 이끌었다. 이러한 법률의 목적은 주로 일련의 국가적 대책과 보상체계를 통해 장기적 문제들을 도모하는 것이며, 주로 방사선 방호기준에 따라 설계되었다.

(A32) 예를 들어 벨라루스에서는 오염구역의 상태와 피해 주민들에 대한 사회적

보호를 다루는 원칙을 규정하는 두 법률이 제정되었다. 1991년 2월에 가결된 첫 번째 법률은 ‘체르노빌 원자력발전소 재난으로 피해 받은 국민의 사회적 보호’에 관한 것인데, 정화작업자, 주민집단, 오염구역 작업자 등 피해자의 상태와 함께 각 경우에 대해 배당된 보상을 명확히 한다. 1991년 11월에 가결된 두 번째 법은 ‘체르노빌 원자력발전소 재난으로 오염된 구역의 법적 상태’를 다루며 구역 내 사회경제적 활동뿐만 아니라 수반되는 과학적 프로그램을 구성하는 방법과 조건을 규정한다. 이 법률은 또한 벨라루스 지역의 구역화 조직을 규정한다(표 A.1 참조). 두 법률은 벨라루스 국민 200만명에 적용되며 벨라루스 영토의 20%(약 40000 km<sup>2</sup>)가 오염되었다는 것을 인정한다.

표A.1. 1991년 벨라루스에 적용된 구역구분 기준

구역분류 기준	구역의 공식 지정
$37 < {}^{137}\text{Cs} < 185 \text{ kBq/m}^2$ 개인선량 $< 1 \text{ mSv/y}$	주기적 방사선감시
$185 < {}^{137}\text{Cs} < 555 \text{ kBq/m}^2$ $18.5 < {}^{90}\text{Sr} < 74 \text{ kBq/m}^2$ $0.37 < \text{Pu} < 1.85 \text{ kBq/m}^2$ 개인선량 $> 1 \text{ mSv/y}$	이주 권리 구역
$555 < {}^{137}\text{Cs} < 1480 \text{ kBq/m}^2$ $74 < {}^{90}\text{Sr} < 111 \text{ kBq/m}^2$ $1.85 < \text{Pu} < 3.7 \text{ kBq/m}^2$ 개인선량 $< 5 \text{ mSv/y}$	2차 이주구역
${}^{137}\text{Cs} > 1480 \text{ kBq/m}^2$ ${}^{90}\text{Sr} > 111 \text{ kBq/m}^2$ $\text{Pu} > 3.7 \text{ kBq/m}^2$ 개인선량 $> 5 \text{ mSv/y}$	우선 이주구역
소개구역(주거제한구역)	

(A33) 개략적으로, 1990년대 초에 채택된 사회재건 프로그램은 오염지역에 사람의 주거를 추가로 제한하는 것과 식품 오염수준과 사람의 전신 오염을 엄격히 관리하는 것에 의지하였다. 많은 대응책이 집단농장 농산품의 방사선학적 품질의 관리와 향상에 초점을 맞추었다. 개인적 생산은 품질을 감시하고 관리하기 힘들기 때문에 가능한 한 제한했다.

(A34) 2001년에 ‘체르노빌 원자력발전소 재난으로 오염된 국민의 사회적 방호’에 대한 법률이 개정되어 명확해졌다. 이 법률은 생활과 노동 조건에 어떠한 제한도 없는 지역에서는 주민의 평균 총 피폭(외부 및 내부)이 연간 1 mSv(백그라운드를 제외)를 초과하지 못하도록 다음과 같이 규정했다.

- 집단의 평균 피폭이 연간 1 mSv를 초과한다면 방호수단이 반드시 이행되어야 한다.
- 집단의 평균 피폭이 연간 0.1에서 1 mSv 사이라면, 피폭을 낮추기 위한 활동을 없애서는 안 되며 상황에 맞춰야 한다.
- 집단의 평균 피폭이 연간 0.1 mSv 이하이면 방호수단이 필요하지 않다.

(A35) 식품의 관리에 관해서는 당국은 상황이 호의적으로 발전됨에 따라 농도 기준을 적당히 감소시키는 실용적 접근을 적용하였다. 표A.2는 1986년부터 1999년까지 벨라루스의 식품 오염 기준의 변화를 나타낸다.

표A.2. 1986년부터 1999년까지 벨라루스의 Cs-137 식품 오염 제한치 변화

식품	연도	Cs-137 오염 (Bq/kg, Bq/L)			
		1986	1993	1996	1999
음용수		370	18.5	18.5	10
우유		370	111	111	100
버터		7400	-	185	100
고기					
쇠고기		3700	600	600	500
양고기		3700	-	600	500
돼지고기, 칠면조 고기		3700	370	370	180
감자		3700	370	100	80
과일		-	-	100	40
야생딸기		-	185	185	185
생버섯		-	-	370	370
말린 버섯		-	3700	3700	2500
유아식		-	-	-	37

(A36) 이 법률적 골격은 경미한 변경과 함께 사고 후 20년 이상, 즉 2000년대 후반까지 이행된 후속 사회재건 프로그램의 근거로 남았음은 주목할 일이다.

(A37) 1990년대 초반에 국가자원의 막대한 양을 사회재건 프로그램에 투입했음에도 불구하고 방호전략은 오염으로 야기된 복잡한 상황을 적절히 고려하는 데 실패하였다. 특히, 방사선학적 상황에 직면하여 점차 무력감을 느끼는 공동체와 개인을 결집시키는 데 성공하지 못했다. 이러한 상황은 주민들 사이에 일상생활 관리의 실패, 소외 및 포기라는 일반적 감정이 돌아오게 했다.

(A38) 1990년대 중반 동안, 소련의 붕괴와 재건 프로그램의 재정 부담에 의한 경제상황의 지속적 하락은 지역 주민들이 개인 경작을 재개하고 일일 생계를 위해 야생 식품에 더 의존하도록 강요했다. 지방 수준에는 식품의 방사선학적 품질을 관리하는 개인의 지식과 적절한 수단이 없는 상태여서, 이와 같은 변화의 영향은 당연히 주민의 피폭준위에 심각한 증가로 나타났다. 특히 식이에서 유제품의 비중 때문에 아동의 피폭이 증가하였다. 이는 당국과 전문가들을 강하게 압박했으며, 집단에게는 상황을 관리하는 자신들 능력에 대한 자신감 상실이 심각해지도록 만들었다.

(A39) 이 같이 어려운 정황에 직면하여 당국은 방사선적 상황의 관리에 주민을 직접 참여시키는 것을 목적으로, 벨라루스의 1990년대 후반 ETHOS 프로젝트와 2000년대 초 CORE 프로그램의 예와 같은 새로운 접근법을 시험하였다. 이 새로운 접근법은 방사선학적 상황의 일일 관리에 지역 이해당사자들의 직접 참여가 가능함을 보였으며, 당국이 취하는 종합적 조치를 보완하여 주민이 일상생활에서 많은 방호조치들을 이행할 잠재력을 입증했다.

## A.7. 체르노빌/노르웨이

(A40) 노르웨이의 체르노빌 낙진은 심각하였으며 농업에 중대한 영향을 미쳤다 (Brynildsen 등, 1996, Tveten 등, 1998). 1986년 여름 동안, 낙진의 지리학적 범위와 잠재적 장기 영향이 대두됨에 따라, 정부는 모든 농부와 기타 식품업자들에 대해 완화조치에 따르는 경제적 손실을 보상하는 것에 대한 결의안을 통과시켰다. 노르웨이에서 가장 오염이 심한 지역은 농업지였다. 이러한 지역에서는 소, 양, 염소, 순록을 사육하는 것이 보통이며, 거친 숲이나 산지에서 하계 방목이 전통적 축산관행의 하나이다. 이러한 척박한 토양에서 자라는 식물들의 높은 방사성세슘 흡수는 축산물에 지속적인 오염 문제를 일으켰다. 사고 후 22년이 지났음에도 식품 개입준위를 따르기 위해서 양이나 순록을 기르는 넓은 지역은 물론 젖소나 염소를 기르는 작은 지역들에서 여전히 대응책이 필요하다. 이러한 대응책들은 최소 10년 동안은

더 필요할 것으로 예상된다(예: Skuterud 등, 2005a).

(A41) 체르노빌 영향 관리에서 노르웨이 방사선방호 기준은 일반인피폭에 대한 ICRP 권고에 바탕을 두었는데 사고 후 첫해동안은 최대 선량 5 mSv, 그 이후에는 연간 1 mSv이었다. 이 기준을 맞추기 위해 순록고기와 민물고기 소비자에 대한 식생활 권고를 포함하여 다양한 대책이 필요했다(Strand 등, 1992). 이러한 대책은 순록 목축업자의 평균 섭취 선량을 1/10 정도 줄였다. 그러나 대책 없이는 중부 노르웨이의 순록 목축업자들의 선량이 1 mSv/y를 초과할 가능성이 계속 있다(Skuterud 등, 2005b).

(A42) 노르웨이의 체르노빌 낙진 관리는 국내 식품생산과 이러한 식품에 대한 소비자 신뢰를 유지하는 데 집중되었다. 매매되는 식품의 오염수준을 관리했고, 방사성 세슘에 대한 개입준위(기초 식품에 대해 600 Bq/kg)를 수립했다. 그러나 국가전체 순록 생산의 85%가 저축되는 것을 피하고 순록 목축업자의 중요한 사업 기반을 유지하기 위해(또한 Sami족의 문화와 생활양식을 유지하기 위해), 1986년 가을에 순록고기의 방사성 세슘에 대한 개입준위를 6000 Bq/kg로 높였다(1987년부터는 민물고기와 사냥감들에 대해서도 적용되었다). 노르웨이 국민들이 이러한 식품을 소비하는 율이 낮다는 것이 이를 정당화했다. 상황이 호전됨에 따라 1994년에 순록고기에 대한 개입준위를 3000 Bq/kg로 낮췄다.

(A43) 1986년 한 해에 미화 1천 8백만 달러치에 가까운 총 2850톤 가량의 고기를 폐기처분했다. 오염문제가 장기화 될 것을 인식하여, 당국은 감시 수요와 폐기처분한 고기와 우유에 대한 배상을 위한 고비용을 줄이기 위해 조치가 필요하다는 것을 실감하였다. 또한, 폐기처분은 폐기물을 발생시켰다. 살아있는 가축(양, 소, 순록 등)의 감시를 위해 개발된 절차(Brynildsen과 Strand, 1994)는 가축을 도축할 수 있는지 아니면 도축하기 전에 깨끗한 먹이로 키워야 하는지(추가적 노동, 사료, 울타리의 건설 등에 대한 보상과 함께)에 대해 신속히 결정할 수 있게 하여 가축 주인들과 당국 모두에게 높은 평가를 받았다. 세슘 결합제를 가축의 소금핥이에 농축물로 섞거나 되새김위에 덩어리로 넣는 방법rumen boli이 유행하는 방법이 되었고 업자에게 경제적 추가비용을 발생시키지 않았다. 순록 목축에서 수단으로는 조기 도축을 실시하고 작은 체중에 대해 보상했다. 많은 수단들이 지역민들 참여 아래 개발되고 필드 실험을 거쳤는데, 이러한 접근방법은 채택된 전략의 성공에 중요한 것으로 간주되고 있다.

(A44) 야생 식품에 증가된 오염준위는 농민 특히 순록 목축민이 이러한 식품을

상당히 소비하는 점과 결부하여 방사성 세슘의 섭취를 줄이기 위해 여러 식품의 소비량과 어떻게 요리할 지에 대한 조연을 필요성을 끌어냈다. 나아가 당국은 가장 많이 피폭하는 집단의 선량 감시를 위해 순록 목축업자에 대한 방사성 세슘 감시를 실시했다. 어쩌면 더 중요한 의미로서 이러한 감시가 사람들을 위해 오염상황을 보다 실제적으로 관리 가능하도록 만들었다. 사고 이후 20년 이상, 순록 목축업자들은 방사선학적 상황을 관리하고자 하는 자신들의 의사에 의해 동기를 부여받거나 장기간 낮은 방사선 피폭과 관련한 위협에 대해 여전히 지속되는 개방적 토론 때문에 이러한 감시를 계속적으로 요구하고 있다.

(A45) 농촌지역에서 다양한 동물과 농산물의 광범한 감시를 운영하기 위해 당국은 1986~1987년 동안 거의 60개 지역 식품관리시험실 또는 수의병원에 방사성 세슘 측정을 위한 검출기를 배치했다(Strand 등, 1987). 이들 기관은 주민들이 자신이 소유한 농산물의 오염수준을 점검하기 원한다면 무료로 서비스를 제공했다. 이 감시 네트워크는 오염수준에 대한 상당한 지역 정보를 구축하는 데 도움을 주었다.

(A46) 첫 10년 동안, 미화 약 7천만 달러의 총 비용으로 축산물에 대한 다양한 대응책들이 미화 약 3억 달러 가치의 폐기처분 고기를 감소시킨 것으로 평가된다. 나아가 동물과 식품의 감시, 관리는 노르웨이 농산물들에 대한 국민의 신뢰를 유지하고, 이로써 시장 몰락에 잠재되는 훨씬 더 극적인 경제적 영향을 방지하는 데 아마도 기여하였을 것이다.

(A47) 노르웨이에서 지역 경쟁력과 대응책을 적용하고 감시하는 데 영향 받는 주민들의 직접 참여에 초점을 맞춘 것은 오염지역 주민의 요구와 함께 지역 식품생산자들이 오염 문제의 일상 관리 중요성에 대해 상세한 정보를 가졌다고 중앙 당국이 인정한 결과였다. 이러한 지역적 집중은 노르웨이에서 체르노빌 낙진 관리에서 또 하나의 성공으로 나타났다.

## A.8. 체르노빌/영국

(A48) 우크라이나의 체르노빌 원전사고로부터 발생된 방사성 세슘이 1986년 5월 2~4일에 영국 전역에 떨어졌다. 양 사육이 주된 농업활동인 서부영국 고지대에서 최고로 침적된 방사성 세슘의 농도는  $20\sim 40\text{ kBq m}^{-2}$ 를 보였다. 사고 후 수행된 전국에 걸친 샘플링 프로그램은 가장 우려되는 식품으로 양고기를 확인하였다. 소비자를 보호하기 위해 사고 영향을 받은 양고기에 대한 방사성 세슘의 최대 한도로

1000 Bq/kg를 적용하였다. 이 한도는 유럽위원회 제31조의 조언에 근거하여 1986년 영국에 도입되었다. 식품환경보호법(FEPA) 1985년판에 규정된 법적 권한에 따라, 1986년부터 컴브리아, 북웨일즈, 스코틀랜드, 북아일랜드의 특정 지역에 대해 이 한도를 초과하는 양고기의 이동과 매매를 제한하기 위한 긴급명령을 내렸다. 긴급명령은 통상 ‘제한지역’으로 불리는 지리적 구역을 규정하는데 그 안에서는 관리를 따라야 한다. FEPA 명령에 따라 한도를 초과한 오염준위의 양고기는 식품 연쇄점 진입이 허용되지 않았다. 영국 고지대에 존재하는 토탄질 토양의 특별한 화학적, 물리적 특성으로 인해, 방사성 세슘이 토양에서 목초로 쉽게 전이되고 따라서 양에 축적될 수 있다. 결과적으로 사고 후 20년 이상 지난 후에도 아직 제한이 있는 지역이 남아있다. 처음에는 이러한 제한지역이 넓었으나 방사능 준위가 떨어짐에 따라 크게 줄어들었는데, 북아일랜드에는 2000년에 모든 제한이 철회되었다. 표 A.3은 1986, 1990, 2000, 2007년도에 제한되었던 양과 농장 수를 보여준다. 당시 비상상황에 대한 대응으로써 이행된 그러한 제한은 지금은 기존피폭상황으로 간주되는 상황에 대한 방호전략의 일부가 된다.

**표A.3. 1986, 1990, 2000, 2007년에 영국에서 제한한 양과 농장 수**

	농장	양
1986년 6월	8914	4225000
1990년 8월	757	647000
2000년 5월	387	231500
2007년 2월	369	196500

(A49) 제한지역에서 초목의 방사성 세슘의 농도를 줄이기 위한 방호수단의 이행은 이들 지역의 환경적으로 민감한 특성과 지형의 물리적 한계로 인해 가능하지 않았다. 그렇지만 체르노빌 사고 이후 매우 잘 설계된 감시프로그램의 개발로 양고기 생산이 지속되고 양 축산 농가의 생계가 보호될 수 있었다. 나아가 양고기에 대한 소비자 신뢰가 유지되었다. ‘표지와 방출’ 개념으로 알려진 감시 프로그램은 1986년부터 제한지역에 운영되었다. 이 개념에 따라 양을 제한지역 밖으로 이동하기를 원하는 농부는 양의 방사성 세슘 농도를 결정하기 위해 측정할 수 있다. 생감시 기법이 사용되었는데 생감시의 본질적 변동성을 감안하여 실무 조치준위로서 645 Bq/kg(1000 Bq/kg이 아닌)을 적용했다. 실무 조치준위를 초과하는 모든 양은 염색 표지하고 제한으로부터 해제하지 않았다. 통과된 양은 식품 연쇄점 진입이 허용되었다.

(A50) 1986년 이래, 제한지역 내 양 축산농가는 도축하기에 앞서 양을 살을 찌우는 기간 동안 고지대의 개선 없는 목초지에서 개선된 저지대 목초지로 데리고 오면 양이 '표지와 방출' 시험을 통과할 수 있음을 알게 되었다. 그 결과 이들 양 축산농가는 양을 도축에 앞서 살찌우기 위해 자기소유 또는 임대한 개선한 땅을 활용하는 목축관행을 채택해 왔다. 생감시는 이러한 관행의 일부가 되었으며 농장 공동체에서 새로운 관행으로 일반적으로 수용되었다. 제한은 앞으로도 당분간 유지될 것이다.

## A.9. 브라질 고아아니아

(A51) 1987년 9월 13일에 청소부 2인이 브라질 고아아니아의 한 폐쇄된 병원에 버려진 원격치료기를 발견하였다. 그 장치는 수용성인 분말  $^{137}\text{CsCl}$  형태로 50.9 TBq의 방사능을 가진  $^{137}\text{Cs}$  선원을 내장하고 있었다. 그들은 장치의 차폐로부터 선원을 포함하고 있는 회전부를 떼어내 집으로 가지고 와 해체하여 집안에 조각들을 흩어놓았다. 두 사람은 몇 시간만에 몸이 안 좋아졌다. 5 일후 그들은 이웃 고물상에 회전부 조각들을 팔았다. 고물상은 그 부품 조각에서 내는 발광을 발견하고 안에 있는 물질을 얻기 위해 도구를 사용하여 부품을 절단하였다. 파열된  $^{137}\text{CsCl}$  분말은 쉽게 분산되어 보다 넓게 퍼뜨려졌다. 여러 구역 토지와 129명의 사람들이 심각하게 오염되었으며 그 중 4명이 사망하고 1명은 팔뚝을 절단하였다.

(A52)  $^{137}\text{Cs}$  오염은 사회적 접촉, 오염 물질의 판매, 선원 조각들의 이동 그리고 바람이나 비로 인한 분산을 통해 확산되었다. 오염은 주요 7개 구역, 소개가 이루어진 가족이나 친지의 집 22호와 방사선준위가 1~10 mSv/h인 다른 20호를 포함하는 42호의 주택, 그리고 검사한 1000만장의 지폐 중 68장에서 발견되었다. 주민들은 흡입과 과일이나 채소 섭취로 인한 내부피폭과  $^{137}\text{Cs}$  투과성 감마선으로 인한 외부피폭을 받았으나, 상수도는 깨끗했다. 1987년 10월부터 1988년 1월까지 기간에 걸쳐 총 80명으로부터 4000개 이상의 소변 및 대변 샘플들을 분석하였다. 평가된 집단선량은, 사망한 4명의 14.9 man-Sv(외부)와 2.3 man-Sv(내부)를 각각 포함하여 외부피폭 56.3 man-Sv 및 내부피폭 3.7 man-Sv였다.

(A53) 550명 이상의 제염작업자가 동원되었다. 다양한 장소에서 환경 중 오염물질을 제거하여 용기에 담았는데 액체는 콘크리트로 고화했다. 고체의 제염한도는 국가 표준에 따라 설정되었다. 74 kBq/kg 미만으로 오염된 물질은 사고에 의해 영향 받지 않아 깨끗한 것으로 간주되었다. 오염 준위는 접촉 방사선준위에 따라 파악

했는데 저·중 준위 오염의 한도는 각각 2 mSv/h와 20 mSv/h 값으로 하였다. 제염 노력으로 추정 방사능 44 TBq의 <sup>137</sup>Cs을 회수했으며, 구역들은 유의한 잔여위험이 없는 지역으로 되었다. 발생 폐기물의 총량은 3500 m<sup>3</sup>였다.

(A54) 사고에 대한 처음 보도는 구소련의 체르노빌 원자로 사고에 대한 최근 기억을 가지고 있는 지역공동체에 많은 근심을 불러 일으켰다. 뉴스 매체가 그 노력을 이행된 조치와 대중교육에 대한 보도에 집중하면서 상황은 호전되었다. 그러나 사람 생명과 피해자의 치료와 간호, 그리고 오염지역과 주민의 감시, 위에서 설명한 대책 등에 따르는 직접비용을 넘어서, 사고의 경제사회적 영향은 매우 심각했다. 심지어 농업에는 어떠한 오염도 없음에도 불구하고 사고 발표 후 2주일 사이에 주 전체 농산물 출하는 50%까지 떨어졌다. 고이아니아 공산품은 약 30~45일 동안 판매 가격이 40% 떨어졌다. 주택 거래 수, 주택 판매 및 임대 가격 그리고 토지가격에 확실한 영향이 있었고 지리적으로 오염지역에 가까운 지역에서는 더 현저했다. 호텔 예약 및 관광, 집회에 대한 부정적인 영향이 40% 정도였고 심지어 차로 한 시간 걸리는 지역에서도 그러했다. 호텔 등록, 항공여행 또는 버스여행을 거부당한 고이아니아 주민들도 있었다. 모든 곳에서 사람과 상품이 오염되지 않았다는 공식 증명서를 요구하였다.

(A55) 높은 강수로 인해 장기적으로는 물질들이 거리를 통해 쉬 이동하고 심부토양으로 이행되었다. 따라서 오염 주택, 정원, 거리들을 주로 처리한 장기적 복구를 위하여 추가제염이 요구되었다. 당시 브라질의 규제는 완화책을 포함하지 않았으며 사람들이 알고 받아들이는 유일한 숫자는 행위에 대한 선량한도에 불과하였다. 따라서 첫 해에는 5 mSv로 하되 세습의 물리적 붕괴 및 풍화작용을 고려하여 70년에 걸쳐 평균해서는 1 mSv/y가 되게하는 접근법을 적용하기로 결정하였다. 개념적 모델로서 이 접근법은 실내 및 실외에서 외부피폭에 추가하여 재부유 물질의 흡입 및 개인 농장으로부터 얻는 식품(예를 들어 채소, 닭고기, 달걀, 과일 등)의 섭취를 고려하였다. 외부피폭의 기준은 실내와 실외에서 각각 1 mSv와 3 mSv였으며 내부피폭 선량의 기준은 연간 1 mSv였다. 당국은 행위에 대해 국가규제에서 확립된 것과 유사한 접근법을 사용해야만 했다.

(A56) 모든 복구지역의 추적은 여러 해 동안 수행되었다. 그러나 감시 주택에서 TLD들을 없애고 작업자를 감시 장소로 가지 못하도록 하는 등과 같은 행위를 야기하는 대중의 스트레스로 인해 환경감시프로그램은 1996년에 중단되었다. 2004년에 지역공공변호사가 새로운 조사를 요구했는데 거리에서 운영 준위보다 높은 ‘핫스팟hot spot’이 몇몇 발견되어 제거했지만 그 위치를 고려하면 중요 관심사는 아니

었다. 최악의 시나리오에서 유효선량은 3.2 mSv/y로 나타났다.

(A57) 고이아니아 사고로부터 얻은 교훈은 사고 후 단계에서도 특히 지역 주민과 같은 여러 이해관계자와 함께 계획하고 조율함이 요구된다는 것이다. 상황관리에 대한 더 나은 계획과 모든 관련자가 이러한 유형 상황의 대처 방안에 보다 유념함으로써 예방될 수 있었던 많은 자원이 조치 이행에 소비되었다.

## A.10. 참고문헌

- Barrigós, C., 2008. A Radiological Map for Palomares (in Spanish). Alfa Revista de seguridad nuclear y protección radiológica. CSN.
- Brynildsen, L.I., Strand, P., 1994. A rapid method for the determination of radioactive caesium in live animals and carcasses, and its practical application in Norway after the Chernobyl nuclear reactor accident. Acta Vet. Scand. 35, 401-408.
- Brynildsen, L.I., Selnaes, T.D., Strand, P., Hove, K., 1996. Countermeasures for radiocesium in animal products in Norway after the Chernobyl accident - techniques, effectiveness, and costs. Health Phys. 70, 665-672.
- Gutiérrez, J., Iranzo, C.E., Espinosa, A., Iranzo, E., 1994. Spanish experience in intervention at an accidentally contaminated site. In: Proceedings of an International Symposium on Remediation and Restoration of Radioactive-contaminated Sites in Europe. Antwerp, 11-15 October 1993. European Commission. Radiation Protection-74.
- Mehli, H., Skuterud, L., Mosdøl, A., Tønnessen, A., 2000. The impact of Chernobyl fallout on the Southern Saami reindeer herders of Norway in 1996. Health Phys. 79, 682-690.
- Skuterud, L., Gaare, E., Eikermann, I.M., Hove, K., Steinnes, E., 2005a. Chernobyl radioactivity persists in reindeer. J. Environ. Radioactiv. 83, 231-252.
- Skuterud, L., Thørring, H., Eikermann, I.M., Møller, B., Hosseini, A., Bergan, T., 2005b. Persistent radiocaesium contamination in Norwegian reindeer and reindeer herders. In: Strand, P., Børretzen, P., Jølle, T. (Eds.), Proceedings from the 2nd International Conference on Radioactivity in the Environment, Nice, 2-6 October 2005. Norwegian Radiation Protection Authority, Østerås, pp. 11-14.

- Strand, T., Strand, P., Baarli, J., 1987. Radioactivity in foodstuffs and doses to the Norwegian population from the Chernobyl fall-out. *Rad. Prot. Dosimet.* 20, 211-220.
- Strand, P., Selnæs, T.D., Bøe, E., Harbitz, O., Andersson-Sørli, A., 1992. Chernobyl fallout: internal doses to the Norwegian population and the effect of dietary advice. *Health Phys.* 63, 385-392.
- Tveten, U., Brynildsen, L.I., Amundsen, I., Bergan, T.D.S., 1998. Economic consequences of the Chernobyl accident in Norway in the decade 1986-1995. *J. Environ. Radioactiv.* 41, 233-255.
- US Air Force Medical Services, 2001. Palomares Nuclear Weapons Accident. Revised Dose Evaluation Report.

## 추가문헌

- Amaral, E.C., Vianna, M.E., Godoy, J.M., et al., 1991. Distribution of Cs-137 in soils due to the Goiaˆia accident and decisions for remedial action during the recovery phase. *Health Phys.* 60, 91-98.
- Amaral, E.C., 2007. The dose evaluation during the Goiaˆia accident. International Seminar on Post Nuclear Accident Management. French Programme 'CODIRPA' and International Programmes. Nuclear Safety Authority (ASN). Paris, 6-7 December 2007.
- Balonov, M.I., 1990. Radiological consequences of the Chernobyl NPP accident in comparison with those of the Kyshtym and Windscale radiation accidents. In: Proceedings of a Seminar on Comparative Assessment of the Environmental Impact of Radionuclides Released During Three Major Nuclear Accidents: Kyshtym, Windscale, Chernobyl. Luxembourg, 1-5 October 1990. EUR-13574. pp. 749-767.
- Bataille, C., Crouˆail, P., 2005. Analysis of the Regulations Concerning the Control and the Monitoring of Soils, Foodstuffs and Commercialised Products in Belarus (Analyse des dispositifs rˆeglementaires concernant le contrˆole et le suivi de la contamination des sols, des denrˆees alimentaires et des produits commerciaux en Biˆelorusse). CEPN Report No. 291.
- Bogdevitch, I., 2003. Remediation Strategy and Practice on Agricultural Land Contaminated with <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr in Belarus. Eurosafe, Paris, 25-26 November 2003. Environment and Radiation Protection. Seminar 4, pp. 83-92.
- Buldakov, L.A., Demin, S.N., Kostyuchenko V.A., et al., 1990. Medical

- consequences of the radiation accident in the Southern Urals in 1957. In: Proceedings of a Symposium on Recovery Operations in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency. STI/PUB/826. IAEA, Vienna, pp. 419-431.
- Cooper, M.B., Martin, L.J., Williams, G.A., Harries, J.R., 2000. Characterization of Plutonium Contamination at Maralinga –Dosimetry and Cleanup Criteria. IAEA-TECDOC-1148. IAEA, Vienna, pp. 15-30.
- IAEA, 1988. The Radiological Accident in Goiânia. STI/PUB/815. IAEA, Vienna. <http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC40/Documents/gc40inf5ac-6.html>.
- Johnston, P.N., Lokan, K.H., Williams, G.A., 1992. Inhalation doses for Aboriginal people reoccupying former nuclear weapons testing ranges in South Australia. Health Phys. 63, 631-640.
- Lochard, J., 2007. Rehabilitation of living conditions in territories contaminated by the Chernobyl accident: the ETHOS Project. Health Phys. 93, 522-526.
- Maralinga Rehabilitation Technical Advisory Committee, 2002. Rehabilitation of Former Nuclear Test Sites at Emu and Maralinga (Australia). Department of Education, Science and Training, Commonwealth of Australia.
- NEA/CRPPH, 2006. Stakeholders and Radiological Protection: Lessons from Chernobyl 20 Years After. NEA Report No. 6170. OECD.
- Nisbet, A.F., Woodman, R.F.M., 2000. Options for the management of Chernobyl-restricted areas in England and Wales. J. Environ. Radioact. 51, 239-254.
- Petterson, J.S., 1988. Perception vs. reality of radiological impact: the Goiania model. Nuclear News.
- Romanov, G.N., Nikipelov, B.V., Drozhko, E.G., 1990. The Kyshtym accident: causes, scale and radiation characteristics. In: Proceedings of a Seminar on Comparative Assessment of the Environmental Impact of Radionuclides Released during Three Major Nuclear Accidents: Kyshtym, Windscale, Chernobyl. Luxembourg, 1-5 October 1990. EUR-13574. pp. 25-40.
- Rozental, J.J., Almeida, C.E., Mendonça, A.H., 1990. Aspects of the initial and recovery phases of the radiological accident in Goiânia, Brazil. In: Proceedings of a Symposium on Recovery Operations in the Event of a Nuclear Accident or Radiological Emergency. STI/PUB/826. IAEA, Vienna, pp. 3-32.

- Rozental, J.J., Almeida, C.E., Mendonca, A.H., 1991. The radiological accident in Goiânia: the initial remedial action. *Health Phys.* 60, 7–15.
- Shevchouk, V.E., Gourachevskiy, V.L. (Eds.), 2001. Committee on the Problems of the Consequences of the Accident at the Chernobyl NPP. 15 Years After Chernobyl Catastrophe: Consequences in the Republic of Belarus and Their Overcoming. National Report. Minsk, p. 118.
- Tsaturov, Y.S., Anisimova, L.I., 1994. Radionuclide contaminated territories of Russia: identification, restoring and rehabilitation aspects. In: Proceedings of an International Symposium on Remediation and Restoration of Radioactive-contaminated Sites in Europe. Antwerp, 11–15 October 1993. European Commission. Radiation Protection-74. pp. 309–323.
- UNDP/UNICEF, 2002. The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident: a Strategy for Recovery. UNDP.