

## ICRP 간행물 146

# 대형 원자력사고 상황에서 사람과 환경의 방호: ICRP 109 및 111 갱신

Radiological Protection of People and the Environment  
in the Event of a Large Nuclear Accident: Update of  
ICRP Publication 109 and 111



대한방사선방어학회  
방사선안전문화연구소



이 번역본 발간은 한국원자력안전기술원의 2021년 위탁연구 사업 ‘방사선방호 국내외 동향 모니터링 및 규제요건 정비’의 일부로 이루어졌습니다.

<표지그림>

체르노빌과 후쿠시마 원전사고 오염상황과 대응현장 모습(호의: ICRP)

ICRP Publication 146

# 대형 원자력사고 상황에서 사람과 환경의 방호: ICRP 109 및 111 갱신

Radiological Protection of People and the Environment  
in the Event of a Large Nuclear Accident: Update of  
ICRP Publication 109 and 111

편집장

C.H. CLEMENT

ICRP를 대신한 저자

M. Kai, T. Homma, J. Lochard, T. Schneider, J.F. Lecomte,  
A. Nisbet, S. Shinkarev, V. Averin, T. Lazo

역주: 이재기

이 ICRP 간행물의 우리말 번역본은 ICRP의  
허락(2021년 3월)을 받았으며 ICRP 정신에 따라  
무료로 배포합니다.

국제방사선방호위원회



## 역사 서문

안전한 시스템에서도 사고는 일어난다.

모순된 말 같지만, 안전하다는 것이 위험이 없다는 것은 아니다. 사건이 일어나더라도 피해가 경미하거나, 발생 조건부 위험은 심대한 사건이라도 발생 확률이 낮으면 ‘신의 뜻’에 의지하며 괜찮다고 생각한다. 가끔 여객기 추락사고로 수백 명씩 사망하지만 사람들은 ‘안전하다’고 믿고 여행을 다닌다. 그럼에도 참사로 이어지는 낮은 확률 사건에 대한 두려움은 상존한다. 단순히 심리적인 공포만의 문제가 아니라 ‘낮은 확률’이 갖는 미지성과 불확실성이라는 극복하기 어려운 한계 때문이다.

원자력시설의 중대사고는 전형적인 낮은 확률 참사의 예로 거론된다. 1970년대에 추산한 사고 확률은  $10^{-4}$ /년 수준이라 했지만 TMI부터 체르노빌까지 10년이 머다하고 중대사고가 이어지니 낮은 확률 사상에 대한 우리의 추론 능력에 물음표가 붙었다. TMI도 체르노빌도 예상이 더 어려운 사람의 행위가 결정적 원인이었기에, 운전원 실수까지 고려해 원전 안전성을 한 차원 더 높이는 계기가 되었다. 그러자 후쿠시마에서는 지진과 쓰나미라는 외부사건이 또 다른 사고를 불러온다. 다시 스트레스 테스트라는 개념까지 동원해 원전의 사고 저항력을 평가했다. 그러나 발생한 사고를 되돌아보면 쉽게 이해할 수 있지만, 일어나지 않은 사상에 대해서는 우리 경험과 상상력의 한계를 인정하지 않을 수 없다. 나심 탈레브가 말하는 ‘검은 백조’ 문제다.

그렇다고 기존 원전이 우리가 감내하기 어려운 위험을 안고 있다고 보지는 않는다. 체르노빌 사고는 운전원이 원자로 제어기능을 제거한 탓에 출력 폭주로 원자로가 폭발한 사고다. 노심 잔해가 완전히 노천에 개방되었을 뿐만 아니라, 흑연감속로였기에 물이 빠진 후 흑연이 연탄처럼 타면서 며칠간 계속 대량의 방사능을 대기로 내보낸 특별한 경우다. 한 호기 사고지만 환경으로 방출된 방사능은 후쿠시마 원전 3기에서 방출된 양보다 몇 배나 많았다. 따라서 수습 과정에서 방사선을 과피폭해 사망한 사람도 50명에 이르며, 장기적으로 암 사망자가 수천 명은 될 것으로 평가한다.

그러나 후쿠시마에서는 지진과 쓰나미로 사회기반이 심각하게 훼손된 상황이었음에도 방사선피폭으로 조기에 사망한 사람은 없고, 장기적으로 암 사망 증가도 미미할 것으로 본다. 이렇게 볼 때 전형적 원전에서 중대사고에 따른 방사선피폭으로 종사자나 주변 주민이 처하는 위험은 우리가 접하는 여러 위험에 비해 주목할 수준은 아니다. 우리나라 인구 규모(5천만 명)에서 흡연이나 음주로 인한 사망자는 각각 매년 수 만 명으로 추산된다. 다행히 국내 사망자는 적지만, 지금 세계에 만연한 코로나-19는 5천만 명 당 연간 1,5000명 정도를 희생시켰다. 비근하게는 주거공간 공기 중 라돈으로 인한 연간 사

망자도 700명 정도로 추산된다.

사실 원자력사고의 중요 위험은 방사선의 건강 위험이 아니라 피폭을 피하려는 조치가 초래하는 부담과 방사선 공포심으로 인한 사회적 혼란에 따르는 경제사회적 파급피해로 봐야 할 것 같다. 이 간행물에서도 지적하듯이 원자력사고 영향권 지역은 ‘방사능 오염’이라는 낙인 때문에 갖가지 피해가 초래된다. 후쿠시마 사고 후 일본산 식품은 물론 공산품까지 기피한 우리 반응을 되돌아보면 공포심이나 낙인의 파괴력을 짐작할 수 있다.

이런 맥락에서 보면 이 간행물의 주제인 원자력사고 대응은 방사선의 건강 영향으로부터 방호보다 공포심이 초래하는 파급영향을 관리하는 데 비중을 높여야 할 것으로 본다. 물론 기왕에 전개된 방사선 사태에서 피폭을 줄이는 노력은 여전히 필요하지만 그 대응이 대중의 불안을 증폭하지 않도록 주의해야 한다. 또, 후쿠시마 사례에서 보듯이 무리한 소개의 부작용으로 많은 사람이 생명을 잃었다.

근래에 후쿠시마 오염수 방류를 놓고 우리 정치권이나 언론이 요란했다. 냉정히 보면 현재 후쿠시마 부지에 저장되어 있는 삼중수소 총 방사능은 1년에 동해에 내리는 빗물에 함유된 삼중수소 양에도 미치지 않는다. 이것을 10년 이상에 걸쳐 태평양으로 방류하겠다는데 수산물도 오염되네, 우리 DNA를 파괴하네 하며 공포심을 조장한다. 며칠 전에는 우여곡절 끝에 도쿄에서 제32차 하계 올림픽대회가 시작되었다. 때를 같이하여 국내 대중매체는 선수촌의 우리 선수들이 후쿠시마산 오염 식단에 노출될 수밖에 없어 불안하다고 보도한다. 또, “방사성 벌꿀, 후쿠시마 발각”이란 표제를 단 보도 내용을 보면 후쿠시마현 나미에정에서 kg 당 세슘 방사능이 130~160 Bq되는 벌꿀이 발견되었다는 단순한 얘기다. 한 사람이 1년에 벌꿀을 얼마나 먹는다고, 그것도 우리가 먹지도 않는데 주요 매체가 호들갑을 떠다. 평생 먹으며 사는 감자나 고구마에는 세슘과 비슷한 칼륨 방사능 120 Bq/kg 정도는 항상 들어있다. 정치적 이유로 이렇게 공포심에 불 지펴 놓고, 만약 우리 원전이나 이미 50기에 이른 중국 원전의 사고로 우리 국토가 광범하게 오염되었을 때 민심을 어떻게 관리하려는가! 그때 가서 소량 방사능은 안전하다고 변명하면 믿어줄까?

다시 강조하지만 대형 원자력사고 상황에서 방사선방호는 좁은 의미의 방호를 넘어 방사선 공포로 인한 사회 불안정의 예방, 낙인으로 인한 경제사회적 파급피해의 감축과 싸움이다. 공포심이든 낙인이든 결국은 방사선위험에 대한 오해에서 비롯한다. 사고를 맞아 방사선위험에 대한 인식을 바꾸기는 거의 불가능하다. 평소에 방사선위험을 바르게 알리는 노력이 가장 중요하고 시급한 비상대책이라고 말하고 싶다.

끝으로 이 번역본 초안을 마련한 서중석 박사께 감사한다.

2021년 7월

역주자

방사선안전문화연구소장 이 재 기

# 목 차

|                                |           |
|--------------------------------|-----------|
| 역자 서문 .....                    | iii       |
| 사용 두자어 .....                   | vii       |
| <br>                           |           |
| <b>요지</b> .....                | <b>1</b>  |
| <b>요점</b> .....                | <b>3</b>  |
| <b>요약</b> .....                | <b>5</b>  |
| <br>                           |           |
| <b>제1장 서론</b> .....            | <b>9</b>  |
| 1.1. 배경 .....                  | 9         |
| 1.2. 간행물의 범위와 구조 .....         | 10        |
| <br>                           |           |
| <b>제2장 일반 고려사항</b> .....       | <b>13</b> |
| 2.1. 원자력사고 관리 시간선 .....        | 13        |
| 2.2. 대형 원자력사고의 영향 .....        | 14        |
| 2.3. 사람과 환경 방호를 위한 원칙 .....    | 21        |
| <br>                           |           |
| <b>제3장 초기 및 중기 단계</b> .....    | <b>31</b> |
| 3.1. 초기 및 중기 단계의 특성 .....      | 31        |
| 3.2. 방사선학적 상황파악 .....          | 33        |
| 3.3. 초중기 단계에서 대응자 방호 .....     | 35        |
| 3.4. 초중기 단계에서 일반인과 환경 방호 ..... | 43        |
| 3.5. 중기에서 장기 단계로 전환 .....      | 55        |
| <br>                           |           |
| <b>제4장 장기 단계</b> .....         | <b>59</b> |
| 4.1. 장기 단계의 특성 .....           | 59        |
| 4.2. 방사선학적 상황파악 .....          | 60        |
| 4.3. 장기 단계에서 대응자 방호 .....      | 62        |
| 4.4. 장기 단계에서 일반인과 환경 방호 .....  | 63        |
| 4.5. 장기 방호조치의 진화 및 종료 .....    | 71        |

|                                     |            |
|-------------------------------------|------------|
| 제5장 대형 원자력사고를 위한 대응계획 .....         | 73         |
| 제6장 결론 .....                        | 75         |
| 제7장 부록 서론: 체르노빌과 후쿠시마 원전사고 개괄 ..... | 78         |
| 참고문헌 .....                          | 79         |
| <b>부록 A. 체르노빌 원전사고</b> .....        | <b>89</b>  |
| A.1. 서론 .....                       | 89         |
| A.2. 초기 및 중기 단계 .....               | 90         |
| A.3. 장기 단계 .....                    | 98         |
| A.4. 체르노빌 사고의 단계 시간선 .....          | 105        |
| A.5. 참고문헌 .....                     | 106        |
| <b>부록 B. 후쿠시마 원전사고</b> .....        | <b>111</b> |
| B.1. 서론 .....                       | 111        |
| B.2. 초기 및 중기 단계 .....               | 112        |
| B.3. 장기 단계 .....                    | 121        |
| B.4. 후쿠시마 사고의 단계 시간선 .....          | 126        |
| B.5. 참고문헌 .....                     | 127        |
| <b>용어집</b> .....                    | <b>133</b> |
| <b>사사</b> .....                     | <b>137</b> |



## 〈역주〉 사용 두자어

|             |   |                    |
|-------------|---|--------------------|
| DCRL        | drived consideration reference level                        | 유도고려참조준위           |
| EPA         | Environmental Protection Agency                             | 미국환경청              |
| EPZ         | emergency planning zone                                     | 비상계획구역             |
| ERR         | excess relative risk  | 초과상대위험             |
| ERSS/SPEEDI | 일본 NISA-JAEA가 과거에 사용하던 비상대응지원체계                             |                    |
| ETHOS       | 체르노빌 피해지역 재건에 애로사항 파악을 위한 유럽위원회 사업명(1996-1998)              |                    |
| HRTM        | human respiratory tract model                               | 사람호흡기모델            |
| IAEA        | International Atomic Energy Agency                          | 국제원자력기구            |
| IARC        | International Agency for Research on Cancer                 | 국제암연구국             |
| ICAFN       | 일본 내각관방이 주관한 ‘후쿠시마 사고 조사위원회’                                |                    |
| ICRP        | International Commission on Radiological Protection         | 국제방사선방호위원회         |
| ICRU        | International Commission on Radiation Units and Measurement | 국제방사선단위측정위원회       |
| INES        | International Nuclear Event Scale                           | 국제원자력사건등급          |
| ITB         | iodine thyroid blocking                                     | 갑상선보호제 투여, 옥소갑상선차단 |
| KI          | potassium iodide  | 옥화칼륨               |
| OIL         | operational intervention level                              | 운영개입준위             |
| PAZ         | precautionary action zone                                   | 예방조치구역             |
| RAP         | reference animals and plants                                | 참조동식물              |
| TEPCO       | Tokyo Electric Power Company                                | 동경전력               |
| UNDP        | UN Development Programme                                    | 유엔개발기구             |
| UNSCEAR     | UN Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation      | 유엔방사선영향과학위원회       |
| USDOE       | US Department of Energy                                     | 미국 에너지부            |
| WHO         | World Health Organization                                   | 세계보건기구             |



# 대형 원자력사고 상황에서 사람과 환경 보호: ICRP 109 및 111 갱신

## ICRP 간행물 146

ICRP 승인: 2020년 7월

**요지**- 이 간행물은 체르노빌 및 후쿠시마 사고 경험을 바탕으로 대형 원자력사고에서 사람과 환경의 보호를 위한 기틀을 제공한다. ICRP는 사고관리에서 상황을 비상피폭상황으로 간주되는 초기 및 중기 단계와 기존피폭상황으로 간주 되는 장기 단계로 구분한다. 비상 및 기존 피폭상황에서는 의사결정의 정당화와 방호최적화라는 기본원칙을 적용하여 사람과 환경에 대한 방사선학적 영향의 완화를 도모한다. ICRP는 모든 사고 단계에서 현장이나 외부에 있는 대응자나 일반인의 방호최적화를 위한 일련의 참조준위를 권고한다. 방호조치의 실행은 방사선학적 인자뿐만 아니라 사람 건강을 보호하고, 피해주민의 지속가능한 생활여건을 보장하고, 대응자에게 적절한 작업 조건을 보장하며, 환경의 질을 유지하기 위해 사회, 환경 및 경제적 측면을 고려해야 한다. 사고 초기단계에서는 정보가 거의 없는 상황에서 긴급방호조치를 취해야 할 때가 자주 발생한다. 결정은 준비 계획에서 실제상황에 가장 적합할 것으로 식별된 조치를 바탕으로 이루어진다. 중기단계에서 방호조치는 방사선피폭을 점진적으로 줄인다. 방사선 상황이 충분히 파악되면 장기 단계가 시작되고, 이 단계에서는 생활 및 작업 환경을 개선하기 위한 추가 방호조치가 실행된다. 당국은 대표적 이해당사자 대표가 준비 과정과 후속 사고관리단계에 참여하도록 조치해야 한다. 방사선 감시 및 건강진단을 실시하고, 사람들이 자율방호를 위해 방사선방호 문화를 조성하고 이해결정을 내릴 수 있도록 정보와 전문성을 공유하는 환경과 수단을 제공하는 것은 당국의 역할이다.

**중심어**: 체르노빌 사고, 후쿠시마 사고, 비상피폭상황, 기존피폭상황, 정당화, 최적화, 참조준위, 방호조치, 이해당사자 참여, 상호전문화 과정, 방사선방호문화



## 요점

- 대형 원자력사고는 개인과 공동체 생활의 모든 측면에 영향을 미쳐서 사회 붕괴를 초래한다. 이런 사고는 심각하고 오래 지속되는 사회적, 환경적, 경제적 영향을 초래한다.
- 방사선 상황의 파악은 현장과 외부에서 방호조치 도출에 필수적이므로 가능한 한 빨리 수행되어야 한다.
- ICRP는 사고 초기, 중기 및 장기 단계에서 방호조치의 실행을 안내하는 데 참조준위를 사용할 것을 권고한다.
- 방사선방호의 목적은 사람과 환경에 대한 방사선 영향을 완화하여, 피해주민에게는 지속가능한 생활여건을, 대응자에게는 적합한 작업조건을 보장하며 환경의 질을 유지하는 것이다.
- 대응자는 가장 많이 피폭할 것이기에 현장이나 외부에서 대응 요구를 고려하여 적절한 방호가 제공되어야 한다.
- 책임 있는 기관은 피해주민이 지역 상황에 대해 더 잘 평가하고, 적절한 실용 방사선방호문화를 개발하며 유식하게 결정하는 것을 돕도록 지역공동체가 전문가와 협력하는 상호전문화과정(co-expertise process)에 참여하는 것을 장려해야 한다.
- 준비태세는 대형 원자력사고의 모든 단계에서 영향을 완화하는 데 필수적이며, 이해당사자가 참여해야 한다.



## 요약

(a) 대형 원자력사고는 환경으로 방사성물질을 다량 방출해 결과적으로 광범한 지역과 큰 인구집단에 영향을 미친다. 이런 사고는 개인, 사회 및 환경에 중대한 영향을 미치는 예상치 않는 사건이다. 바라지 않는 방사능 선원의 존재로 인해 영향권의 모든 사람에게 특히 건강과 관련하여 복잡한 상황과 당연한 우려를 초래한다. 이러한 상황을 관리하려면 상당한 인적, 재정적 자원을 장기적으로 동원해야 한다. 방사선방호는 불가결한 것이지만, 관련된 모든 사람들과 조직이 직면한 문제에 대처하기 위해 동원하는 활동의 한 차원만을 나타낸다.

(b) 이런 사건 관리를 위해, ICRP는 비상피폭상황으로 간주하는 초기 및 중기 단계와 기존피폭상황으로 간주하는 장기 단계로 구분한다. 또한 사고 시설에서 활동과 피해지역에서 활동을 구별하기 위해, 부지 안과 밖을 구분한다. 원자력사고와 다른 유형의 방사선 비상사태 사이에 불가피하게 존재하는 차이를 적절하게 고려하면, 이 권고를 다른 방사능 비상사태에도 적용할 수 있다.

(c) 부지 안팎의 방사선 상황 파악은 방호조치를 도출하는 데 필수적이며, 방사능 오염의 강도, 기간 및 범위에 대한 불확실성을 극복하기 위해 가능한 한 빨리 수행되어야 한다.

(d) 비상피폭 및 기존피폭 상황에서 방사선방호 목표는 정당화와 최적화 기본원칙을 적용하여 달성된다. 방호조치는 잠재적으로 상당한 교란을 유발할 수 있기에, 정당화 원칙은 방호조치의 실행 결정이 피해자와 환경에 이익을 줄 것을 보장한다. 방호최적화 원칙은 참조준위를 적용하여 개인 피폭분포의 불평등을 제한하고, 사회적, 환경적, 경제적 요인을 고려하여 모든 피폭의 합리적 최소화를 목표로 한다.

(e) 정당화와 최적화는 사고의 모든 단계에서 사람과 환경에 대한 방사선 영향을 완화하기 위해 적용되며, 모든 방사선 외적 인자도 신중하게 고려하여 적합한 생활방식과 생계를 포함하여 영향권의 모든 사람의 생활여건과 작업 조건을 보전하거나 복원하게 된다.

(f) 원자력사고 영향 관리에 직접 관여하는 사람들의 배경, 신분, 준비 수준 및 방사선방호 훈련 수준은 다양하다. 여기에는 응급팀(소방관, 경찰관, 의료진 등), 작업자(직무피폭

자든 아니든), 선출된 대표자 또는 지원봉사로 활동하는 시민과 같은 사람들이 포함된다. ICRP는 이러한 모든 범주의 사람을 '대응자'로 본다. 이들은 합당한 방호를 받고 적절한 작업조건을 제공받을 자격이 있다.

(g) 부지 안 대응자 방호를 위해 초기에 적용되는 참조준위는 일반적으로 100 mSv를 초과해서는 안 된다. 그러나 인명구조나 시설의 추가 열화로 재난으로 이어지는 상황을 방지하기 위한 예외적인 상황에서는 수백 mSv 범위의 더 높은 준위까지 허용될 수 있다. 사고 심각도에 따라 상황을 근거로 더 낮은 참조준위를 선정할 수도 있다. 중기에서 참조준위는 100 mSv를 초과하지 않아야 한다. 장기적으로는 참조준위가 연간 20 mSv를 초과하지 않아야 하지만, 한시적으로는 특별 배려는 가능하다. 초기와 중기 모두에 참여하는 대응자가 불필요한 피폭 누적을 피하도록 책임조직은 모든 현실적 조치를 취하기를 ICRP는 권고한다.

(h) 부지 밖 대응자 방호를 위해 초기 단계에는 100 mSv, 중기에는 연간 20 mSv를 초과하지 않는 참조준위를 선택하기를 ICRP는 권고한다. 장기에는 참조준위를 권고된 연간 1~20 mSv밴드의 하반부에서 선택해야 한다.

(i) 대중 방호를 위한 참조준위는 일반적으로 초기부터 중기까지 전체 기간에 100 mSv를 초과하지 않아야 한다. ICRP는 책임조직이 가능한 더 낮은 참조준위를 채택하도록 권고한다. 장기 단계의 기존피폭상황에 대한 참조준위는 주민의 실제 선량분포와 피폭상황에 영향을 미치는 사회적, 환경적, 경제적 인자를 고려하여 권고된 연간 1~20 mSv 밴드의 하반부에서 선정해야 한다. 방호최적화의 목표는 이 밴드의 하단, 또는 가능하면 그 미만 수준까지 피폭을 점차 줄이는 것이다.

(j) 일부 원자력사고 시나리오에서 방사성 옥소 방출은 흡입이나 섭취로 인해 갑상선 피폭을 높일 수 있다. 특히 아동과 임산부의 방사성 옥소 섭취를 피하거나 최소로 줄이기 위해 각별한 노력을 기울여야 한다. 사고 초기 또는 직후에 방사성 옥소 피폭을 탐지하기 위해 피폭자 의심자를 검사해야 한다.

(k) 중기 및 장기 단계에서 피해지역 주민에 대한 방호관리는 방사선 인자뿐만 아니라 사회적, 환경적, 경제적 고려까지 포함하는 복잡한 과정이다. 이 과정에는 국가나 지방 당국이 실시하는 조치와 피해지역 주민이 수행하는 자가 방호조치도 포함된다. 이 단계에서 피해지역에 거주하거나 일하는 사람들의 방사선피폭은 개인의 생활방식에 크게 좌우된다. ICRP는 당국, 전문가 및 이해당사자가 소위 '상호전문화 과정co-expertise process'을 통하여 경험과 정보를 공유하고, 지역공동체의 참여를 조장하여 사람들이 유



식한 결정을 할 수 있도록 실용 방사선방호문화를 발전시킬 것을 권고한다. 관련된 정보와 함께, 적절한 기기를 사용한 개인감시는 이 과정을 구현하는 데 매우 유용하다.

(l) 환경보호를 위해, ICRP는 참조동식물에 기반을 둔 방호기틀과 유도고려참조준위(DCRL)를 사용하여 동식물을 보호할 것을 권고한다. 보호조치의 영향은 환경보전과 생물다양성 유지, 지속가능한 개발 측면에서 환경에 대한 것뿐만 아니라, 애완동물과 가축에 대한 영향도 다뤄야 한다.

(m) 원자력사고에 따른 심각하고 장기적인 영향을 피할 수 있도록 미리 계획을 세워 대비하기를 ICRP는 권고한다. 이러한 준비는 사고의 충격과 대응에 영향을 미칠 사회적, 환경적, 경제적 인자를 고려하여 원자력 부지 지역 여건에 맞춘 일련의 일관된 방호조치를 포함해야 한다.



# 제1장 서론

## 1.1. 배경

(1) 원자력사고는 단기, 중기 및 장기 방호조치를 다루는 지침에 따라 관리한다. 과거에 ICRP는 이러한 상황에서 방호조치를 실행하기 위한 일반원칙을 설정한 바 있다. 첫 지침은 ICRP 40(1984)로 발행되었으나 단기 및 중기 조치에 국한했다. 1990년 권고(ICRP 1991a)에 따라 ICRP 63(1991b)으로 수정, 보완되었으며, ICRP 82(1999)에서 장기적 피폭상황에서 일반인 방호를 다루었다.

(2) 유럽에서 체르노빌 사고 대응 경험을 바탕으로, ICRP는 ICRP 109(2009a)에서 단기 및 중기 조치를, ICRP 111(2009b)에서 장기 조치를 위한 지침을 발행했다. ICRP 111은 원자력사고 후 장기 조치를 포괄적으로 다루는 ICRP의 첫 권고였다. 두 간행물 모두 2007년 권고(ICRP 2007)를 토대로 작성되었다.

(3) 2011년 3월 일본에서 발생한 후쿠시마 원자력사고 후에, ICRP는 대형 원자력사고가 발생한 때 사람과 환경에 대한 방사선방호체계의 적용에 관련된 일련의 문제점을 예비적으로 도출했다(ICRP 2012b). 문제점에는 피폭 정량화에 관련된 어려움, 방사선으로 인한 잠재적 건강 영향의 해석, 대응자 방호 특수성, 주민 소개로 인한 사회적 영향, 심리적 영향의 중요성 인식, 그리고 오염지역 생활여건 재건을 위한 도전이 포함된다. 이 간행물은 이러한 문제와 함께 사고 후 10년 동안 얻은 교훈을 다루려 한다.

(4) 2011년 11월, ICRP는 일본 기관들과 협력하여 후쿠시마현에서 후쿠시마 원전사고 후 생활여건 재건에 관한 일련의 대화모임을 시작했다. 모임에는 지역 주민, 전문가, 마을이나 시 및 후쿠시마현 대표자, 국가 기관, 비정부기구, 그리고 벨라루스와 노르웨이에서 온 전문가와 주민이 참여했다(ICRP 2016, Lochard 등 2019, NPO Fukushima Dialogue 2020). 대화모임의 목적은 이해당사자 사이 토론을 촉진하고, 체르노빌 사고로 영향을 받은 공동체의 경험을 전달하고, 사고 후 복구에 관계하는 모든 사람을 돕기 위해 문제에 대한 이해를 증진하며, 이로써 향후 ICRP 권고를 개선하는 것이었다. 대화모임에서 강조된 사항은 사고가 사람과 환경에 미치는 영향의 광범한 다양성, 사고의 경

제사회적 간접 영향, 초기 결정이 상황 진전에 미치는 영향, 소개민 복귀와 농어업 활동 재개의 복잡성, 방사선학적 제한으로 인한 일상생활 교란, 참여하는 이해당사자 역할의 중요성, 피해자 존엄 존중의 중요성 등이었다(Ando 2016).

## 1.2. 간행물의 범위와 구조

(5) 이 간행물은 대형 원자력사고 발생 시 사람과 환경을 보호하는 데 초점을 맞춘다. 이 간행물은 체르노빌 및 후쿠시마 원전 사고의 경험에 비추어 이러한 대형 사고가 건강, 사회, 환경 및 경제에 미치는 영향을 검토하고, ICRP가 권고하는 방사선방호 원칙의 적용 방식을 갱신한다. 대형 원자력사고는 많은 방사성물질을 환경으로 방출하여 넓은 지역에 충격을 주고 방대한 주민에게 영향을 초래함을 의미한다(IAEA 2008). 이 간행물에 있는 많은 권고는 악의적인 행위를 포함하여 다른 유형의 방사선 비상사태에도 적용될 수 있지만, 이때 대형 원자력사고와 그러한 비상사태 사이에 불가피하게 존재하는 차이를 충분히 고려해야 한다. ICRP는 방사선을 수반하는 악의적 행위가 자행된 때 사람들을 보호하는 문제를 ICRP 96(2005)에서 다뤘다.

(6) 이번 권고는 대형 원자력사고의 영향을 관리하는 데 있어서 방사선학적 요인과 방사선 외적 요인 모두의 핵심적 역할을 인식한다. 이 간행물은 특히 주민 소개와 대응자 방호라는 민감한 문제가 걸려있는 원자력사고 초기 단계 동안 채택한 방호조치 결정의 정당화 중요성을 강조한다. 권고는 이들 초기 조치 종료와 중장기 단계를 관리하기 위한 방사선 상황 파악의 중대한 역할을 다룬다.

(7) 이번 권고는 또한 중장기 단계에서 피해지역의 생활 및 근로 환경의 복원을 위한 방호 최적화의 중요성을 역설한다. 주민 자신의 방호에 대해 유식한 결정을 조장함에 상호전문화 과정을 통한 당국, 전문가 및 피해 주민 사이의 협력 중요성을 강조한다. 상호전문화 과정은 지역사회에서 방사선방호문화 출현도 촉진한다. 또한 이 간행물은 방호조치를 실행할 때 고려할 윤리적, 사회적 및 환경적 차원을 명시한다.

(8) 제2장은 대형 원자력사고의 시간선(timeline)에서 고려해야 할 일반적인 사항, 사고의 잠재적 방사선 또는 방사선 외적 영향, 그리고 사람과 환경을 위한 방사선 방호원칙에 관한 사항을 다룬다. 제3장은 초기 및 중기 단계, 그리고 제4장은 장기 단계에 적용되는 ICRP 권고를 각각 기술한다. 제5장은 대형 원자력사고 대응계획에 대해 간략한 개요를 소개하고, 제6장에 결론을 제시한다. 이번 권고의 맥락에서, 부록A와 부록B는 체르노빌

사고 및 후쿠시마 사고의 초기, 중기 및 장기 단계에서 방호조치가 어떻게 이루어졌는지를 기술한다.

(9) 이 간행물은 ICRP 109 및 111(ICRP 2009a,b)을 갱신하고 대치한다. 또한 이전에 발행된 ICRP 40, 63 및 82(ICRP, 1984, 1991b, 1999)에 주어진 권고도 대치한다.



## 제2장 일반 고려사항

### 2.1. 원자력사고 관리 시간선

(10) 대형 원자력사고를 다룰 때는 초기, 중기, 장기로 구분하면 편리하다. 2007년 권고(ICRP 2007)에서 ICRP는 계획피폭, 기존피폭 및 비상피폭의 세 유형 피폭상황을 도입했다. 원자력사고 발생 시 방사선방호체계의 이행을 위해 ICRP는 초기 및 중기 단계를 비상피폭상황으로, 장기 단계를 기존피폭상황으로 간주한다.<sup>1)</sup> ICRP는 국제기구나 국가 기관이 사고 경과와 관리를 기술하는 데 다른 용어나 세분화를 채택하고 있음(IAEA 2018)도 이해한다. 국가 사정에 따라 적절한 용어를 선택하는 것은 이행기관 몫이다.

(11) 사고 초기 단계는 '급성 단계', '긴급대응 단계' 또는 간단히 '비상'<sup>2)</sup>이라고도 부르며, 사고 선언부터 시작된다. 이 단계에서 환경으로 많은 방사능 방출이 발생한다. 방출은 몇 시간에서 몇 주까지 지속될 수 있으며, 사고 유형에 따라 사고 선언과 방사능 방출 시작 사이 시간은 다를 수 있다. 방사선피폭을 회피하거나 줄이기 위해 다양한 방호 조치를 신속히 취해야 하는 것은 이 초기 단계이다.

(12) '전환 단계(transition phase)'라고도 부르는 중기 단계는 방출원이 안정화되고 심각한 사고 방출이 추가로 발생할 가능성이 없을 때 시작된다. 이 단계에서는 초기 단계에서 시행된 일부 방호조치는 중단되고, 방사선피폭을 더 줄이기 위해 추가 조치를 이행한다. 나아가 사람과 환경을 보호하기 위한 최선의 조치를 결정하기 위해 부지 안팎의 방사선 상황을 파악하는 데 중점을 둔다. 이 단계는 몇 달에서 1년 이상 지속될 수 있다.

(13) 종종 '복구 단계'(recovery phase)라고도 부르는 사고 후속 장기 단계는 부지 안에서는

1) <역주> 관점의 혼선으로 보인다. 사고 초기에도 계획피폭, 기존피폭, 비상피폭이 혼재한다. 부지 안팎에 있지만 특수 임무가 아닌 업무에 종사하는 사람은 계획피폭일 것이며, 방사능 방출로 인한 지역주민의 피폭은 기존피폭에 가깝고(ICRP는 비상피폭으로 보지만), 높은 선량을 각오하고 특별한 임무를 수행하는 용사의 피폭은 비상피폭이다.

2) <역주> 원문은 '비상대응'(emergency response)으로 적고 있으나 이는 단계가 아니어서 수정했다.

방사선원이 충분히 안정된 것으로 보아 손상된 시설의 해체를 시작할 수 있다고 피폭상황이 파악된 때 시작된다.<sup>3)</sup> 부지 외부에서는 피해지역의 방사선 상황이 그 지역의 미래에 대한 당국의 결정을 뒷받침할 만큼 충분히 파악된 때나, 또는 사람들이 복귀할 것으로 예상되거나 거주가 허용된 지역에서 생활조건 재건을 수반하는 장기 방호조치가 시행될 때 장기 단계가 시작된다.<sup>4)</sup> 생활 조건은 건강, 사회, 환경 및 경제적 고려사항을 포함한다. 대형 사고 후 장기 단계는 몇 년에서 수십 년까지 지속될 수 있다.

(14) 한 단계에서 다음 단계로의 전환은 여러 요인에 따라 결정될 문제이다. 실제로는 일반적으로 당국의 선언으로 공식화된다. 그림2.1은 대형 원자력사고의 시간선을 요약한 것이다. 비상피폭상황에서 기존피폭상황으로의 전환이 반드시 모든 피해지역에서 동시에 이루어지는 것은 아니다.



그림2.1. 대형 원자력사고 상황관리를 위한 단계.

## 2.2. 대형 원자력사고의 영향

(15) 대형 원자력사고는 개인생활이나 사회생활의 모든 차원에 영향을 미친다. 무엇보다 건강에 미치는 방사선의 잠재영향 때문에 방사선의 존재는 사람들 우려의 주요 근원인데, 방사선의 미지 특성 때문에 우려가 커진다. 상황에 따라 다른 영향도 즉각적이고 심각한 위험을 초래할 수 있다. 과거 경험에 따르면, 모든 경제사회적 활동을 포함하여 주민 일상생활의 모든 측면과 환경이 영향을 받아 매우 복잡한 상황이 발생한다 (UNDP/UNICEF 2002). 이러한 상황은 방사선방호만 고려해서는 관리할 수 없으며, 사고의 결과와 관련된 사회적, 심리적, 환경적, 교육적, 문화적, 윤리적, 경제적 및 정치적

- 3) <역주> 어렵고 애매한 설명이다. 부지 안에서는 모든 작업을 계획피폭상황으로 다룰 수 있을 것으로 예상되면 복구단계 시작으로 보아 무방하다.
- 4) <역주> 시간선으로만 말하면 초기, 중기, 장기가 어딘가 경계가 있겠지만 응급기, 과도기, 복구기로 나누려면 어려움이 생긴다. 아마도 초기말이면 이미 부분적으로는 복구활동도 이루어질 수 있기 때문이다. 동시에 계획, 기존, 비상피폭이 공존할 수 있음을 고려하면 대응 단계를 구분할 필요성에도 의문이 있다. 시간선이 어디든 관계없이 접하게 되는 피폭상황에 맞는 대응전략을 찾으면 될 것 같다.



요인을 고려해야 한다. 이러한 점에서 체르노빌과 후쿠시마 사고는 특히 임신부, 아동, 통상/특별 진료를 받는 환자 및 노인과 같은 취약집단의 방호에 특별한 주의가 중요함을 보여주었다.

### 2.2.1. 방사선 유발 건강 영향

(16) ICRP는 방사선이 유발하는 건강 영향으로 두 가지 주요 범주를 고려하는데, 조직/장기 손상을 유발하는 조직반응(‘결정론적 건강 영향’이라고도 함)과 암 및 유전결함(‘확률론적 건강 영향’이라고도 함)이다.

#### 2.2.1.1. 조직반응

(17) 방사선피폭과 관련된 조직/장기 손상은 문턱선량으로 특성화되는데, 이를 넘어서면 영향의 심각도가 피폭 준위에 따라 증가하고 그 미만에서는 발생이 1% 미만일 것으로 본다.<sup>6)</sup> 피폭자 삶의 질을 크게 저해할 수 있는 이러한 손상은 피폭 직후(몇 시간에서 몇 달) 발현함이 보통이지만 상당한 시간(몇 년 또는 수십 년) 후에 발현하기도 한다.<sup>7)</sup> 표2.1은 선발된 조직반응의 문턱선량을 보인다. 자세한 내용은 간행물 118(2012a)에서 찾을 수 있다.

표2.1 일부 조직/장기 손상의 문턱선량

| 영향(발현 시간선)                  | 문턱선량(Gy) | 비고                  |
|-----------------------------|----------|---------------------|
| 사망 (수 주 이내)                 | 2~3      | 전신 급성피폭, 가료 양호 가정   |
|                             | 4~8      | 1주간 분할 피폭           |
|                             | 10~14    | 1~3 개월 피폭, 가료 양호 가정 |
| 넓은 면적의 피부 화상 (2~3 주)        | 5        | 피부의 급성피폭            |
| 영구 불임(남성) (약 3주)            | 6        | 정소에 급성피폭            |
| 영구 불임(여성) (1주 이내)           | 3        | 난소에 급성피폭            |
| 심혈관질환 증가 위험 (>10년)          | 0.5      | 심장 또는 뇌             |
| 백내장 촉발 (<20년) <sup>5)</sup> | 0.5      | 눈 수정체               |

5) <역주> 원문은 ‘20년<’으로 적고 있으나 오타로 보여 수정했다. 백내장 진행 시간은 수정체 선량과 반비례 경향으로 나타난다. 급성 수정체 등가선량이 1 Gy 이상인 때는 잠복기가 수 년으로 짧은데 비해 여러해에 걸친 0.5 Gy 수준에서는 20년까지도 연장되는 것으로 보고한다.

6) <역주> 틀린 말은 아닌데 오해 소지는 있다. 문턱선량 정의는 피폭집단 1%에서 영향이 나타날 것으로 보는 선량이다. ‘문턱선량 미만에서 발생률이 1%’라고 말하면 그 1%는 매우 낮은 선량에서도 나타날 수 있는 것으로 오해할 수 있다. 실제 1%는 문턱선량 턱 밑에 대부분 분포한다.

(18) 대략 100 mGy까지의 급성 장기선량은 조직의 즉각적인 기능 손상을 발생시키지 않는다. 그러나 특히 눈 수정체와 심혈관 계통에서 급성 또는 누적 피폭 500 mGy 이상 일 때는 피폭 후 매우 긴 시간이 지난 시점에서 조직반응의 심각성이 점점 더 중요해진다. 체르노빌 사고에서 보았듯이 더 높은 선량에서는 조직반응의 심각도가 점점 커져 치명적 손상이 발생할 수 있다.

(19) 방사선 치료를 받은 환자집단, 히로시마와 나가사키의 원폭생존자 및 방사선작업 종사자를 포함한 여러 역학연구는 수백 또는 수천 mGy 심장 선량과 관련된 심혈관질환으로 사망위험이 증가했음을 보인다(Little 등 2012). 낮은 선량에서는 상황이 덜 명확하다. ICRP는 문턱선량 500 mGy가 방사선 유발 심혈관질환에 대한 방호에 적절하다고 권고했다(ICRP 2012a).

### 2.2.1.2. 암과 유전질환

(20) 암과 유전질환은 발생 확률이 선량에 비례하여 증가하는 것이 특징이며, 그 심각도는 선량과 무관하다. 방사선방호 목적에서, ICRP는 이러한 영향의 발생 확률이 피폭 수준에 비례한다고(즉, 소량의 피폭도 위험을 약간은 증가시킬 수 있다.) 가정한다(ICRP 2007).

(21) 히로시마와 나가사키의 원폭생존자와 환경피폭, 의료피폭 및 직무피폭과 같은 피폭 집단에 대한 많은 역학연구에서 암 위험 증가가 보고되었다. 이들 연구는 유사한 특성을 가지지만 피폭하지 않은 사람들에 비해 피폭한 사람들에서 암 발생 위험(즉, 암 증례 빈도)이 더 높음을 보여주었다(UNSCEAR 2006)

(22) 방사선피폭으로 피폭 집단에서 암 발생 확률이 증가할 수 있다는 믿을만한 과학적 증거가 있다. 낮은 선량을 낮은 선량에서 방사선피폭과 관련된 건강 영향에 대해서는 큰 불확실성이 남아 있지만, 주로 대규모 연구 덕분에 100 mSv 미만에서도 선량-위험 관계에 대한 역학 증거가 증가하고 있다. 오늘날 가용한 데이터 대부분은 문턱 없는 선형 모델(NCRP 2018a; Shore 2018)을 널리 지원한다. 역학연구 결과에 따르면, 자연 백그라운드에 더한 100 mSv 선량이 세계 인구에서 전형적으로 나타나는 생애 치명적 암 위험 25%에 약 0.5%를 추가할 것으로 추정된다(ICRP 2007; Ogino와 Hattori 2014).

---

7) <역주> 지발성 결정론적 영향의 생물학적 기전은 명확하지는 않다. 초기 손상이 결과형으로 파급, 누적되어 한계에 이르면 임상 증상이 나타나는 것으로 설명한다(예: 모세혈관이 열화되어 결국 혈류장애가 심각해져 조직반응이 발생). 백내장, 일부 유형의 피부손상, 심혈관질환 등이 이런 부류에 속한다.

(23) 갑상선은 체외 선원으로부터 피폭할 수도 있지만(외부피폭), 흡입이나 취식을 통해 방사성ヨ소를 축적해 피폭할 수도 있다(내부피폭). 원자력사고는 다량의 방사성ヨ소를 방출하여 인구집단의 갑상선에 많은 피폭을 초래할 수 있다. 체르노빌 사고 이후, 방사성ヨ소에 노출된 유아나 아동의 갑상선암 발생이 증가했다. 증가는 사고 발생 후 약 3년부터 관찰되었으며, 사고 당시 유아나 아동으로 피폭한 사람들 사이에서 현재도 초과 발생이 관찰되고 있다(UNSCEAR 2018).

(24) 사람이 방사선을 피폭하면 초과 유전질환이 발생한다는 직접 증거는 없지만, 동물에서는 유전영향이 관찰되었다. 따라서 ICRP는 신중하게 유전질환 위험을 ICRP 방사선 방호체계에 계속 포함하고 있다.

### 2.2.2. 동식물에 대한 영향

(25) 심각한 방사능이 환경으로 방출되면, 원자력사고는 시설주변 인접지역의 사람 아닌 생물에도 해로운 수준으로 직접 방사선피폭을 초래할 수 있다. 체르노빌 사고 후 삼림의 파괴, 땅속 무척추동물의 수 감소로부터 일부 종의 유전적 변화에 대한 보고에 이르기까지 동식물 피해가 관찰되었다(UNSCEAR 2000,2011; IAEA 2006). 시간이 지나면서 인간활동 결여를 포함한 다양한 요인과 연관되어 생물다양성에 변화가 있었다. 원자력사고 후 환경에 방사능 존재는 우려되지만, 대부분 경우, 환경에 대해 직접적이고 관찰 가능한 영향은 방사성물질의 침적이 극심했던 구역으로 제한되는 경향이다(UNSCEAR, 2013).

(26) 사고가 사람에게 미치는 영향을 완화하기 위해 방호조치를 실행하면 어떤 종류 동식물의 피폭은 감소할 수도 있다. 나아가 생태계에 미치는 환경 영향은 표토나 수풀 제거 또는 화학 개선제<sup>8)</sup> 사용과 같은 방호조치의 실행으로 인해 발생할 수 있다. '상이한 피폭상황에서 환경보호'에 관한 권고(ICRP 2014)에서 ICRP는 환경영향이 원자력사고 초기 단계에서는 시급한 우선순위가 아닐 것이지만 중기 및 장기 단계에서 사람을 방호하는 방안을 선택할 때 방호조치의 환경적 영향을 고려해야 한다고 했다.

### 2.2.3 사회적 영향

(27) 갑작스러운 방사성오염의 존재는 바라지도 않고, 불법적이며, 위험한 것으로 인식되므로 그것을 제거하려는 욕구를 일으킨다. 사람 생활환경에 오염 존재는 개인의 안녕과 피해 공동체의 삶의 질을 크게 해친다. 방사성오염은 많은 의문, 우려 및 두려움을

8) <역주> 표토의 방사성핵종이 작물로 이행을 억제하기 위해 화학적으로 경쟁적인 물질을 산포하기도 한다. 포타슘은 Cs과 경쟁적이고, 칼슘은 Sr과 경쟁적이다.

일으키고, 수많은 견해를 생성하며, 갈등을 악화시킨다. 거주자 일부는 허용되면 피해지역에 머물기를 선택하고, 어떤 사람들은 떠날 것이다. 떠난 사람 중에는 돌아오는 사람도 있고 영구히 이주하는 사람도 있을 것이다. 이래서 체르노빌과 후쿠시마 사고 이후에 나타났듯이, 주민, 특히 젊은이 수가 현저하게 감소하여 공동체 생활과 인구통계에 상당한 영향을 미칠 수 있다.

(28) 부지 내외에서 사고 자체의 관리는 불가피하게 생활양식과 피해자들 사이 관계에 영향을 미친다. 그래서 대응자의 작업 및 생활 조건의 조율, 이주민 수용시설, 구역 지정, 방호조치 실행에 따르는 다양한 제약, 제염의 부작용, 보상체계 이행과 같은 사회적 반향을 도입한다.

(29) 모든 사람은 많은 딜레마를 부르는 복잡한 상황을 직면하게 되며, 그들의 반응은 지역사회의 일반적 상황과 개인적 상황에 따라 달라진다. 교육, 교통, 보건, 공동체 지원, 공공장소, 정보, 치안, 스포츠, 휴양, 문화예술과 같은 사회기반과 활동 모두가 영향을 받는다.

(30) 체르노빌과 후쿠시마 원자력사고는 피해지역에 방사성오염의 존재로 인한 사회적 충격 측면에서 결과가 유사했다. 인구집단의 모든 부분에 만연한 방사선 공포 외에도 전문가나 당국에 대한 신뢰 붕괴, 가족 및 사회적 유대 와해, 미래, 특히 어린이의 미래에 대한 불안, 그리고 일상생활에 대한 점진적인 통제력 상실감 등이 사회학적 연구로 밝혀졌다. 이러한 모든 결과는 사람들의 안녕에 영향을 미치고 그들의 자율과 존엄을 위협한다.

(31) 장기적으로는 피해 주민들이 방사선 상황에 대처하여 자율과 생계를 되찾는 방법을 이해하더라도 당국과 다른 지역으로부터 버림받는 것에 대한 두려움, 피해지역에 대한 부정적인 이미지<sup>9)</sup>는 문제로 남아 사회 역동성을 제약한다. 원자력사고는 오염으로 직접적인 영향을 받지 않은 지역에서도 사회적 영향을 초래한다. 특히 초기 단계에서 피난민 수용 관리는 조직 차원이나 인간 차원의 문제를 제기한다. 과거 경험에 따르면 원자력사고는 피해지역뿐만 아니라 거기에 사는 사람들과 생산되는 상품까지 거부하는 경향으로

9) <역주> 달리 표현하면 ‘낙인’인데 역자는 이를 중시한다. 후쿠시마 사고에서 보았듯이 현대 원전은 사고가 나더라도 그 방사선피폭으로 인명이 손상되는 일은 거의 없다고 본다. 그럼에도 방사선 위험에 대한 오해로 스스로 키운 공포심으로 인해, 피해지역과 주민의 혼란과 좌절, 나아가 외부로부터 ‘낙인’으로 공동체 존립기반이 위협을 받을 수 있다. 나아가 오염 범위가 넓어 외국에서 국가 전체를 ‘오염국’으로 낙인을 찍으면 경제적 타격은 견잡을 수 없이 확대될 수 있기 때문이다. 이런 사태의 근원은 방사선위험에 대한 오해이므로 이를 개선하기 위한 전략적 사업에 우선순위를 부여해야 한다.

나타났다. 이러한 태도는 특히 젊은이에 대한 차별을 유발하는 것으로 나타났다<sup>10)</sup> (Sawano 등 2018). 이러한 맥락에서 피해주민과 나머지 국가 및 세계 간의 연대를 재건하고 유지하는 것이 중요하다.

#### 2.2.4. 경제적 영향

(32) 대형 원자력사고 후에는 피해지역의 전체 경제구조가 직접 또는 간접으로 충격을 받는다. 예를 들어, 농업 부문은 토양과 가축 오염으로 크게 방해를 받아 식량 생산은 물론 유통과 소비에도 영향을 미친다. 사고는 피해지역의 산업 및 서비스 부문에도 영향을 미친다. 경제의 지구적 속성으로 인해 충격은 해당 국가뿐만 아니라 국제적으로도 나타날 수 있다.

(33) 방사능 오염은 공공사업체, 대중교통, 통신 시스템, 식품 및 물 공급과 같은 중요한 기간시설에 직접적 영향을 미칠 수 있다. 나아가 정부 서비스, 치안 기관, 의료시설, 금융 시스템, 공공보건 서비스 및 교육시설과 같은 주요 공공 서비스뿐만 아니라 지역 기업과 고용에도 영향을 미친다.

(34) 피해지역에서 경제활동을 유지하거나 새로 운영하려는 기업은 오염의 존재와 관련된 추가적인 장애물에 직면할 수 있는데, 직원, 직장, 제품 및 회사 이미지까지 모두 영향을 받을 수 있다. 경험에 따르면 대응 정보와 모니터링을 제공할 때 직원뿐만 아니라 가족도 참여하는 것이 중요하다. 지역 인구구조 변화는 피해지역의 전반적인 경제에 영향을 미치는 또 다른 요인이다.

(35) 사고의 경제적 영향은 피해지역 내 또는 그 지역과 연계된 모든 경제활동에 추가로 기술적 및 재정적 제약을 유발할 수 있다. 몇 년 동안은 경제활동을 유지하거나 재가동, 또는 새로운 활동을 시작하는 데 국가와 지방정부의 지원이 필요하다. 사람들이 원하면 영구히 거주할 수 있게 허용하기로 당국이 결정한 지역에서 전반적 목표는 피해지역의 지속가능한 경제사회적 활동 재건이다.

#### 2.2.5. 심리적 영향

(36) 피해지역의 생활 및 근로 조건의 회복으로 초점이 전환되면, 대형 원자력사고는 즉각적 대응과 장기적 대응 모두가 사람들의 삶에 매우 파괴적일 수 있음을 예상할 수 있다. 사고는 많은 걱정과 상당한 두려움을 일으킨다. 사람들은 상황의 복잡성으로 인해

10) <역주> 후쿠시마 영향권에서 전학온 학생들의 ‘왕따’ 사례 보고가 2017년까지 200건에 이른다.

불안정해지고 많은 의문을 가지게 된다. 사고의 직접적인 영향 외에도 사람들의 정신건강에 영향을 미치는 사회적, 경제적 교란도 있다. 나아가 원자력사고 피해자는 분노, 실망, 낙담, 무력감, 불만 및 좌절을 느낄 수 있다. 많은 피해자가 각 개인의 생활과 근무 조건에 대해 자제력 부족을 느낀다고 보고하고 있으며, 이는 높은 수준의 심리적 스트레스와 연관된다. 이러한 상황은 체르노빌 및 후쿠시마 원자력사고 이후 여러 연구에서 보고된 바와 같이 실제 방사선피폭의 크기와 관련 없이 일부에게 심리적 장애나 심신 장애를 유발할 수 있다(Yasumura 등 2012, Kunii 등 2016, Oe 등 2016a,b).

(37) 이들 연구는 자신의 생명에 위협이 될 가능성이 있는 장면을 재난 현장에서 직접 직면했던 대응자 사이에서 우울증과 외상후스트레스 장애 비율이 높아졌다고 보고한다. 또한 소량이더라도 일상생활에서 방사능 오염을 겪은 사람들과 미래에 대한 명확한 전망이 없는 열악한 생활조건에 놓인 이주자는 불안, 스트레스 및 우울증에 더 취약하다는 연구 결과도 보고됐다(Bromet 등 2011, Bromet 2014, Harada 등 2015, IAEA 2015a, Suzuki 등 2015, Maeda와 Oe 2017).

(38) 어린 자녀들 둔 부모는 자녀와 가족에게 미칠 수 있는 잠재적인 건강 악영향에 대해 늘 걱정하기에 특히 심리적 장애에 취약하다. 연구에 따르면 일상생활에서 오염의 존재로 인해 발생하는 어머니의 불안은 부적절한 행동(감수성 부족 또는 심지어 폭력)을 유발할 수 있는 강력한 스트레스 요인이며, 이는 자녀의 정서적, 사회적 발달을 방해할 수 있다고 보고되었다(Maeda와 Oe 2014).

(39) 경험은 또한 어떤 심리적 수준에서 각 개인의 반응이 자신의 상황에 크게 의존하고 시간이 지남에 따라 진화할 수 있음을 보여주었다. 어떤 사람은 우울증을 겪고, 어떤 사람은 상황에 체념하여 결국에는 무관심이나 부정 성향이 될 수 있으며, 이와 달리 어떤 사람은 자신이나 다른 사람을 위해 반응하고 행동을 취할 수도 있다. 원자력사고의 심리적 영향은 피해자에게 오랫동안 계속하여 충격을 가할 수 있다.

### 2.2.6. 방호조치와 관련된 생활방식 변화가 건강에 미치는 영향

(40) 사고 후 방사선에 의한 건강 영향 외에도 방사능의 존재로 인한 생활방식 변화와 방사선피폭을 회피하려 취한 조치 때문에 다른 건강 관련 영향이 있을 수 있다. 체르노빌이나 후쿠시마 원자력사고 이후 수행된 많은 연구에서 초기 단계뿐만 아니라 중장기 단계에서도 채택된 방호조치와 관련하여 관찰된 일련의 신체적, 심리적 장애가 보고되었다(Hasegawa 등 2015, Luccioni 등 2016).

(41) 병원의 환자나 요양원의 노인과 같은 취약한 사람들은 소개 직후 특히 저체온증,

탈수 및 기존 질환의 악화 등에 특히 취약하다. 이는 사망률 증가로 이어질 수 있다 (Morita 등 2017). 한편, 대피소에 사는 어린이들은 부족한 시설로 인한 과밀과 스트레스로 인해 전염병에 더 잘 걸리기 쉽다. 그들은 또한 심리적으로 영향을 받을 수 있고 후일 정서적 문제로 발전할 수 있다(Oe 등 2018). 피난 아동에 대한 언어폭력과 괴롭힘은 추가 스트레스 원천을 형성할 수 있다(Sawano 등 2018, Oe 등 2019).

(42) 중장기 단계에서 오염지역에 남아 있는 사람은 물론 일시이주 대상자들은 생활방식 변화로 인하여 비만, 당뇨병, 심혈관 및 순환기 질환, 식이 부족(예: 과일과 채소 부족)에 기인한 고혈압 및 만성 신장질환, 운동 부족, 약물 남용, 의료시설 이용 제한 또는 치료 받을 기회의 제한 등을 포함하여 다양하고 장기적인 신체 건강영향을 경험할 수 있다. 또, 방사선 존재로 인한 옥외 놀이 제한은 어린이들의 비만 수준을 높일 수 있다 (Nomura 등 2016, Ono 등 2017, Tsubokura 2018).

## 2.3. 사람과 환경 보호를 위한 원칙

(43) 대형 원자력사고에 관한 ICRP 권고의 목표는 사람과 환경에 대한 적절한 수준의 방사선방호를 보장하기 위해 취해야 할 조치를 조언하는 것이다. 이는 조직/장기의 심각한 손상을 방지하고 암이나 유전질환 위험을 합리적 범위까지 낮추도록 사람의 피폭을 관리하며, 사람 외 생물의 유해 방사선 영향을 예방하거나 빈도를 줄이는 것을 의미한다. 이 목표는 사고 및 사고관리의 사회적, 환경적, 경제적 결과뿐만 아니라 사람과 동식물의 방사선피폭으로 인한 악영향 가능성도 고려하여 추구해야 한다. 이는 피해지역에서 모든 사람의 건강과 안녕, 대응자의 적절한 작업조건, 공동체의 삶의 질 및 생물학적 다양성을 가능한 범위까지 보존하는 것을 의미한다.

(44) 비상피폭과 기존피폭 상황에서 방사선방호 목표는 방사선방호의 처음 두 기본원칙인 정당화 원칙과 최적화 원칙을 사용하여 달성된다[ICRP 103(2007) 제203항 참조]. 정당화 원칙은 방호조치의 실행에 관한 결정이 상당한 혼란을 초래할 수 있지만 그러한 결정이 영향권 사람과 환경에 이익을 줄 수 있도록 보장한다. 참조준위와 함께 적용되는 방호최적화 원칙은 개인선량 분포의 불평등을 제한하고 사회적, 환경적, 경제적 요인을 고려하여 모든 피폭을 합리적인 범위에서 낮게 유지하거나 줄이는 것을 목표로 한다.

(45) 방사선방호의 세 번째 기본원칙, 즉 선량한도 적용은 사고에 따른 비상피폭이나 기존피폭 상황에서는 적절하지 않다. 이 원칙은 선원이 의도적으로 도입되고 피폭이 완전

히 관리되고 규제되는 계획피폭상황에만 적용된다. 이러한 맥락에서 ICRP는 선량한도를 설정하기 위해 위험 고려에 기초를 둔 기틀을 정의했다(ICRP 1991a). 선량한도는 고려하는 선원의 정상 운영에서 어떤 합리적인 근거로도 초과해서는 안 되는 위험 준위(즉, 피폭 준위)에 해당한다. 한도를 초과한다는 것은 운영관리의 실패를 나타내는 것으로, 이런 실패는 시정해야 한다.

(46) 비상피폭상황에서 선원의 관리를 회복함이 목적일 때, 그리고 기존피폭상황에서 선원이 비의도적으로 존재한 때는 피폭준위가 계획피폭상황에 대해 설정된 한도보다 높을 수 있다. 이것 때문에 이들의 상황관리가 체계적으로 실패한 것으로 봐서는 안 된다. 선량한도 접근법을 사용하는 대신 경험을 바탕으로 ICRP는 상황관리 가능성뿐만 아니라 유발 방사선위험을 고려하여 피폭의 일반 밴드 내에서 선정하는 참조준위를 정의했다(ICRP 2007).

(47) 일단 비상사태가 선포되면, 부지 내외에서 방호조치 결정이 초기 단계에 신속하게 이루어져야 효과적이다. 짧은 대응시간과 많은 불확실성을 감안해 이러한 조치는 합리적인 시나리오를 기반으로 미리 준비해야 하고, 가능한 한 실제 상황에 맞게 조정되어야 한다. 초기 단계의 관리는 특히 자국민 보호, 월경 문제, 식품 제한 및 필요한 지원을 다루기 위해 영향권 국가 사이 적절한 교류와 국제협력을 필요로 한다(IAEA 2015b). 중기 단계 동안은 부지 내외 방사선 상황의 점진적 파악이 방호조치의 시작, 계속 또는 중단에 대한 의사결정을 이끄는 데 필수적이다. 장기 단계에서는 부지 내외 방사선 상황을 더 잘 이해하여 피해지역의 다양한 지역 특이성에 맞는 방호조치를 실행하여 발전시킬 수 있다.

(48) 초기 단계에서는 환경보호에 대한 고려가 시급한 우선순위가 아닐 것이다(ICRP 2014). 그러나 가축과 관련하여 ICRP는 반려동물과 가축을 보호하는 적절한 조치가 필요하며, 그들의 복지를 보전하고 질병이나 오염 확산을 방지하기 위해 대응계획 과정에서 구체적 대책을 마련할 것을 권고한다.

(49) 중기 단계에서 사람 피폭에 관심이 지배적인 경우에도 동식물에 대한 방사선피폭의 영향과 사람 방호조치가 환경에 미칠 수 있는 영향을 고려해야 한다. 이는 환경(예: 토양) 제염을 위한 조치의 선택에서 특히 그러한데, 제염이 장기적으로 토양의 유기물-광물 비옥도와 생물다양성에 영향을 미칠 가능성이 있기 때문이다.

(50) 장기 단계에서는 장기간 지속되는 오염으로 위협받을 수 있는 종에 대한 방호조치를 고려할 수 있다. 방호조치 실행으로 영향을 받는 환경의 품질을 유지하기 위해 특별



대책이 필요할 수도 있다. 이러한 조치는 멸종위험군(threatened)이나 위기종(endangered)의 다양성과 개체 수, 영향의 공간적 범위, 환경의 본질적 가치를 포함한 포괄적 접근 안에서 고려해야 한다(NCRP 2018b).

### 2.3.1. 방호에 관한 결정의 정당화

(51) 정당화 원칙은 방사선 피폭상황을 변경하는 모든 결정은 해로움보다 이로움이 더 커야 한다고 말한다. ICRP 138(2018)에서 설명한 바와 같이 정당화는 가능한 한 해를 끼치는 것을 피하면서 이로움을 주는 것을 행하는(선행) 윤리 가치 일부이다. 비상피폭 및 기존피폭 상황에서 피폭을<sup>11)</sup> 회피하거나 줄이기 위해 조치할 것인지 여부를 결정할 때 정당화 원칙이 적용된다. 원자력사고 발생 시 피폭 감축을 겨누는 모든 결정은 부지 내 작업조건이나 피해지역의 일상생활에 추가 제약을 가져오는데, 이것은 관련 개인과 공동체에 다소간 부정적 영향을 미친다. 결정은 합리적으로 현실적이지만 신중한 접근에 기반을 두어야 하며, 부지 안팎 상황의 불가피한 불확실성을 고려하고 잠재적인 부정적 영향도 유념해야 한다.

(52) 정당화는 방사선방호의 부분이지만 피폭을 피하거나 감소시키는 것뿐만 아니라 방사선 외적 건강 영향과 사회적, 경제적, 환경적 고려사항도 포함한다. 정당화는 개인 안녕, 피해 공동체 삶의 질, 미래 세대를 위한 환경의 질 보존에 공헌한다는 사회 전반적 윤리 목표에 따른다. 개인 안녕에 기여하기 위해, 정당화는 취약 그룹이나 토착 주민과 같은 특정 공동체에 대한 특별한 배려도 포함해야 한다.

(53) 방호 정당화를 결정할 책임은 일반적으로 당국과 책임기관의 몫이다. 목표는 반드시 각 개인이 아니라 넓은 의미에서 사회 전반적인 이익을 보장하는 것이다. 그런데 의사결정 정당화의 여러 측면이 당국 밖의 기관이나 개인으로부터 유용한 정보가 입력될 수 있다. 따라서 ICRP는 가능하면 결정의 정당화를 위해 주요 이해당사자를 공개 과정에 참여시킬 것을 권고한다(NEA 2006).

(54) 사고가 초래한 전반적 상황의 진척에 따라 의사결정의 정당성을 정기적으로 재평가해야 한다고 ICRP는 생각한다. 따라서 정당화는 계획단계나 사고관리 단계에서 행할 ‘일회성’ 고려사항은 아니다. 정당화는 이미 내린 결정이 넓은 의미에서 해로움보다 더 큰 이로움을 계속해서 가져오는지 의문을 제기해야 한다. 또한 ICRP는 전체적인 방호전략의 정당화가 단독으로 또는 조합하여 적용되는 방호조치의 득실을 다루어야 한다고

11) <역주> 원문은 “잠재피폭이나 실제 피폭”으로 말하고 있지만, 잠재피폭의 감축은 비상 피폭이나 기존피폭의 문제가 아니라 원자력안전 차원에서 사고 위험을 줄이는 일이다.

생각한다. 정당화는 궁극적으로 영향권 사람들의 잔여선량 수준과 사회적, 환경적, 경제적 효과의 균형으로 판단해야 한다.

(55) 초기 단계에서는 피폭을 피하거나 줄이기 위해 즉각적인 조치의 채택 여부를 결정하는 데 정당화가 적용된다. 이러한 상황에서는 주민의 옥내대피나 소개가 가장 민감한 결정이다. 이러한 조치는 소규모 공동체를 보호하는 데 효과적이고 비교적 간단하지만, 파괴적이어서 장기간 대규모로 실행하기는 어렵다. 예를 들어 후쿠시마 사고에서 얻은 교훈은 노인이나 요양원 환자의 무계획적인 소개가 이러한 사람들에게 득보다 실이 더 많을 수 있음을 시사한다(Tanigawa 2012). 마찬가지로, 하루나 이틀을 초과하는 옥내대피는 정당화될 수 없다(자세한 내용은 제3장 참조). 신속 조치 필요성 때문에 이해당사자 참여는 도움이 되지 않는다. 그래서 이해당사자는 대응계획과 훈련에 참여해야 한다.

(56) 중기 단계에서 정당화는 방호조치들이 함께 결합되어 일관된 방호전략을 구성한다는 관점에서 추가 방호조치를 실행하는 결정에 적용된다. 정당화는 또한 피해지역의 미래에 관한 당국의 기본 결정에도 적용되는데 이는 장기 단계의 시작을 의미한다. 이 결정은 이미 실행된 방호조치 결과를 고려하여 방사선 상황이 더 잘 파악되면 영향권의 개인 및 공동체와 협력하여 이루어져야 한다. 결정은 또한 경제사회 활동의 지속가능성에 관해 이용할 수 있는 정보를 고려해야 한다. 무엇보다도 잔여피폭 준위가 높아 적절한 생활이나 근로 조건이 유지되기 어렵다는 관점에서 주민이 체류할 수 없는 지역과, 주어진 피폭상황에서 주민이 원하면 영구 거주가 허용되는 지역을 구분하여 결정할 필요가 있다. 예상 피폭 수준뿐만 아니라 사회적, 환경적, 경제적 고려한 차등접근에 따라 특별 방호조치를 실행할 수 있는 여러 지리적 구역을 정의할 수 있다. 이는 체르노빌과 후쿠시마 원자력사고 이후 당국이 채택한 접근 방식이었다.

(57) 오래 지속되는 심한 오염을 초래한 원자력 또는 기타산업 사고 또는 자연재해 이후에 대한 세계적 경험은 국가나 개인이 피해지역을 쉽게 포기하지 않으려 함을 보여준다(Bonaiuto 등 2016). 그러나 사람들이 피해지역에 머무를 수 있도록 허용하는 결정은 필요한 조건, 특히 잠재적인 건강 영향에 대한 방호, 그리고 지속가능한 생활방식 및 생계를 포함한 적절한 생활이나 근로 조건이 충족될 때만 내려져야 한다. 과거 경험은 의사결정 과정을 개선하기 위해 이러한 결정에 이해당사자, 특히 지역 당국, 전문가 및 피해 공동체 대표를 참여시키는 것이 중요하고 유익함을 입증했다.

### 2.3.2. 방호 최적화

(58) 주민이나 환경을 보호하기 위한 결정이 내려지면 방호최적화 원칙에 따라 방호조치

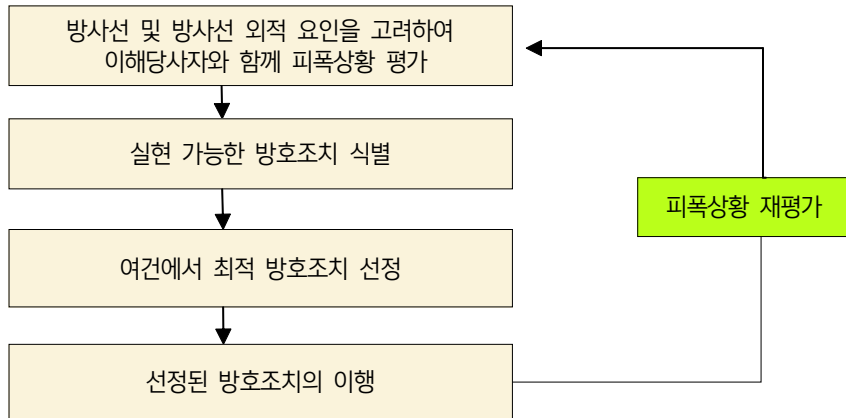


그림 2.2. 최적화 과정.

가 이행되기를 ICRP는 권고한다. 방사선방호체계의 이 핵심 원칙은 모든 개인피폭이 사회적, 환경적, 경제적 요인을 고려하여 합리적으로 달성 가능한 낮게 유지되어야 함을 의미한다.

(59) 방호최적화 원칙의 실행은 여건에서 최선의 방호조치를 선택하기 위해 다양한 현안 인자를 포함하는 피폭상황의 파악에 관련된 방사선학적 정보와 데이터에 대한 충분한 이해를 요구하는 과정이다. 더욱이, 방호최적화는 이해당사자의 견해와 우려, 그리고 방사선방호를 지배하는 윤리 가치[즉, 불필요한 피폭 회피(신중), 피폭자 사이 공정한 피폭 분포(정의/공평) 및 사람에 대한 존중(존엄)]를 반영해야 한다. 신중, 정의/공평 및 존엄은 방사선방호체계, 특히 최적화 원칙의 기초가 되는 보편적인 핵심 윤리 가치이다(ICRP 2018).

(60) 피폭상황의 특성이 주어지면 최적화 원칙을 실행하는 것은 최선의 방호조치 선정을 겨누는 단계적 과정이다(그림 2.2 참조).

(61) 정당화된 방호조치의 비교는 최적화 과정의 주요 특징으로서, 상황의 모든 특성을 신중하게 고려해야 한다. 의사결정 보조기법을 사용하여 방호조치 선정을 안내받을 수 있다. 이러한 기법의 적용에 관한 조언은 ICRP 37, 55 및 101(1983,1990,2006)에서 제공했다. 기법의 판단 특성 때문에, 피폭상황에 관련된 이해당사자의 직접 참여와 투명성이 강하게 요구된다. 투명성은 방사선 및 방사선 외적 영향에 대하여 가용하고 해당되는 모든 정보, 가정 및 판단을 영향을 받는 사람들에게 제공하며, 의사결정 과정이 적절하게 문서화 되어 유익한 의사결정의 증거로 제공될 것을 기대한다(ICRP 2006; 제34항).

(62) 최적화는 여건에서 올바른 일련의 조치가 취해졌는지, 그리고 피폭을 합리적인 범위에서 낮게 유지하거나 줄이기 위해 타당한 모든 조치를 했는지를 질문하는 마음의 틀이다. 방호의 실질적인 실행에 관련된 기관(예: 농업 및 산업 부문)과 개인(책임이 있거나 관련된 시민)에게 좋은 지침과 적절한 지원을 제공하는 것은 당국의 책임이다. 따라서 정부나 책임당국은 실행을 적절히 지원하기 위하여 지역 또는 개인 수준에서 수행되는 것을 포함해 시행 중인 방호조치의 효과를 계속해서 평가할 필요가 있다.

(63) 의사결정의 정당화와 마찬가지로 초기 단계에서 최적화의 실제 실행은 부지 안팎의 방사선 상황에 대한 불확실성과 정보 부족으로 인해 방해받을 수 있다. 인프라의 조건, 주민의 반응과 행동처럼 불확실성이 있으므로, 방사선 외적 영향에는 가정도 고려해야 한다. 이러한 이유로 대응계획에서 정당한 것으로 보는 방호조치가 먼저 실행된다. 방사선 상황 파악이 진행됨에 따라, 부지 안팎 피폭상황의 특수성을 더 잘 고려하도록, 실행된 여러 방호조치에 대한 최적화 과정을 재검토할 수 있다.

(64) 원자력사고로 인한 경제사회적 상황의 복잡성으로 인해, 초기, 중기 및 장기 단계에서 최적화 실행에는 취약 그룹이나 특정 그룹의 방호, 또는 경제사회 활동에 부여할 중요도나 우선순위에 관하여 가치 판단이 많음을 인식해야 한다. 여기에는 예를 들어 임신부, 어린이, 노약자에게 더 주의하는 것이 포함된다. 전략적 경제사회 활동도 최적화 과정 실행에서 특정 방호대책의 대상이 되어야 한다.

(65) 최적화 과정은 필연적으로 이해당사자 간의 이해충돌에 대처해야 하며, 그들의 서로 다른 기대와 요구를 조화시키도록 노력해야 한다. 예를 들어, 상품, 서비스 및 식품 생산자들은 생산을 계속하기를 원하겠지만 생산할 수 있는 능력은 그러한 품목을 구매하려는 소비자의 의지에 따라 영향을 받는다. 또 다른 예는 영향권 주민은 관광 등을 통해 국내외 사람들과 계속 교류하기를 바라지만, 상대방은 그것을 원하지 않을 수 있다. 따라서 방호조치는 피해지역과 관련된 모든 사람의 신뢰에 도움이 되어야 한다.

(66) 사고 상황에서 방사선피폭의 특징 중 하나는 대응자나 피해지역에 거주하면서 일하는 사람들이 받는 피폭이 넓게 분포하는 것이다. 과거 경험에 따르면 피폭자 중 소수는 상당한 수준의 선량을 받았지만, 대다수는 비교적 낮은 피폭을 받았음을 보여준다. 초기 단계에서 방호조치를 신속하게 실행하지 못하면, 몇몇 사람은 심각한 방사선 건강 영향을 유발할 수 있는 높은 피폭을 받을 수 있다. 따라서 ICRP는 피해자 그룹의 피폭분포 공평성에 특히 주목하며, 사고 상황에서 가장 많이 피폭하는 사람들의 피폭을 우선으로 감축함을 목표로 방호최적화를 실행하기를 권고한다.

(67) 사고에서는 취약한 사람들의 방호도 관심사이다. 특히 임신부와 어린이는 방사성 옥소 피폭에 더 민감하다. 병자나 입원자뿐만 아니라 특히 노인의 건강 상태도 사건 및 방호조치로 인한 교란으로 타격을 입을 수 있다. 열악한 생활조건 탓에 노숙자는 더 피폭할 수 있다(Sawano 등 2019). 따라서 최적화 원칙 이행에서 취약 그룹을 식별하여 배려하기를 ICRP는 권고한다.

(68) 개인 피폭을 줄이고 피폭분포의 불평등을 제한하기 위해 ICRP는 원자력사고 후속 단계에서 방호최적화 안내자로 참조준위를 사용할 것을 권고한다. 참조준위는 부지 안팎 대응자 및 외부 주민의 피폭을 구별하고, 사고 단계를 고려하여 조정해야 한다(제3.3절 참조). ICRP는 또한 실행된 방호조치의 효과를 평가하기 위해 잔여선량을 사용할 것을 권고한다. 잔여선량은 자연 백그라운드 피폭을 제외하고 사고로 추가되어 남아 있는 선량에 해당한다. 최선의 방호조치는 항상 피폭상황에 고유하므로 그 이하에서는 최적화 과정을 중단할 선량준위를 사전에 결정하는 것은 타당하지 않다(ICRP 2007, 제218항). 그러나 방호최적화는 피폭의 최소화가 아니며, 피폭 감축을 관련된 사회적, 환경적, 경제적 영향과 신중하게 견주는 과정의 결과이다. 이 과정이 항상 가장 낮은 개인의 잔여선량 수준을 주는 것은 아니다.<sup>12)</sup>

(69) 중기 단계가 끝나고 방사선 상황이 파악되면, 지역 상태를 충분히 고려하고, 방사선 상황의 진전에 따라 방호조치를 조정하며 개인과 공동체의 관심과 소망을 반영하여 더 상세한 최적화 과정을 단계적으로 실행할 수 있게 된다. 환경 방사능과 개인 피폭 측정 수가 증가함에 따라 어떤 사람들이 가장 많이 피폭했는지, 그리고 그들의 피폭에 기여 요소들을 식별하는 것이 가능해진다. 표적화 방호조치<sup>13)</sup>의 실행은 주민의 평균 피폭뿐만 아니라 최고 피폭을 줄이는 데 점진적으로 기여한다. 더욱 장기적으로는, 거주가 허용된 지역에서 대부분 사람의 피폭을 영향권 밖 지역에서 인가된 인공 방사선원으로 인한 일반인 피폭과 대등한 수준으로 줄일 수 있음이 입증되었다.

(70) 중기 및 장기 단계에서 개인 피폭은 거주하거나 일하는 지역의 잔류 방사선 상황뿐만 아니라 더 크게는 행동과 생활방식(예: 식단, 여가활동 등)에 따라 달라진다. 행동과 생활방식은 주로 개인 여건, 가용 자원, 그리고 바꾸려는 개인의 의지와 능력에 따라 달라진다. 사람들이 일단 피폭원에 대해 적절하게 정보를 받으면 피폭을 줄이기 위해 그들

12) <역주> 그럼에도 현실에서는 방사선 위험의 오해로 인해 비용의 부당한 증가는 제쳐두고 목전의 피폭만 낮추라는 정치, 사회, 언론의 압력이 있고, 이러한 압력이 정책을 왜곡하는 일이 흔하다. 이 문제는 방사선위험에 대한 사회적 인식기반을 높여야만 개선될 수 있다고 본다.

13) <역주> targeted protective active. 특별히 관심 있는 대상을 위한 방호조치로서, 예를 들면 노약자 보호, 집단 중 가장 높게 피폭하는 소그룹의 피폭 감축 등이다.

의 생활방식과 습관에 대해 선택할 수 있고 조치할 수 있다. ICRP는 이러한 유형의 조치를 '자조 방호조치(self-help protective action)'라 부르는데, 이러한 조치의 실행이 최적화 과정의 필수 부분으로서 매우 효과적일 수 있고, 당국과 전문가가 지원하고 장려해야 한다고 본다.

(71) 방사선방호는 확률론적 영향의 확률이 피폭에 비례한다고 가정하기 때문에, 장기 단계에서 사람들의 딜레마는 자조 방호조치를 채택하는 노력과 결과로 남는 잔여 방사선위험과 균형을 맞추는 것이다. 더욱이 자신의 행동을 비합리적 수준으로 변경하거나 욕구를 억제하지 않으면서 사람이 성취할 수 있는 데는 한계가 있는 경우가 일반적이다. 그러한 결정은 방사선 상황에 대한 적절한 정보와 개개 측정에 대한 접근을 통해서만 내릴 수 있다.<sup>14)</sup>

(72) 주민이나 지역공동체가 바란다면, 당국과 전문가는 할 수 있다면 그들의 질문에 답하고, 측정이나 결과 해석에 도움을 주며, 정보와 지원을 제공함으로써 그들이 자조 방호조치를 정하고, 최적화하여 적용하는 과정을 촉진해야 한다(상호전문화 과정에 대한 소절3.4.3 참조). 그러나 자조 방호조치도 침습적일 수도 있다(예: 내부 및 외부 피폭을 줄이기 위해 소비한 식품 및 방문한 장소에 대해 지속적으로 주의를 기울임).

(73) 방호조치를 실행하기 위한 전략은 국가 대응계획의 일부로 당국이 준비해야 한다. 이 계획은 자조 방호조치와 주민이 그러한 조치를 맡을 수 있는 조건도 고려해야 한다. 피폭을 줄이려는 방호조치의 성공을 예측하거나 주민에게 그러한 조치에 대해 계획하도록 요구하는 데는 어려움이 있지만, ICRP는 당국이 대응계획의 준비에 이해당사자 대표를 참여시키도록 권고한다.

### 2.3.3. 최적화와 참조준위 적용

(74) ICRP는 비상피폭 및 기존피폭 상황에서 사람의 방호를 위해 개인 유효선량(mSv)으로 나타내는 참조준위를 사용해 피폭 분포의 불공평을 제한하고 모든 피폭을 합리적인 범위에서 낮게 유지하거나 감소시킬 것을 권고한다. 사고가 발생하기 전 대응계획에서는, 주어진 유형의 사고 시나리오에 대해 초기, 중기 및 장기 단계에서 실행해야 할

14) <역주> 저자의 의도를 정확히 파악하기는 어렵지만 이런 예를 생각할 수 있겠다. 매 주말이면, 아니면 주중에도, 등산을 즐기는 사람들이 많다. 한 번만 걸러도 발바닥에 가시가 난다는 생각일까. 그런데 후쿠시마 사고로 오염된 지역에서 주거지 주변은 제염했지만 산지는 제염계획 대상도 아니다. 그러니 산행은 피폭을 증가시킬 것이 분명하다. 그러나 등산 매니어가 산행을 자제하게 하려면 그러한 정보와 함께 실측 데이터를 증거로 보여주는 것이 필요할 수 있다.

방호조치를 선정하고 비교하는 지침 값으로 참조준위가 사용된다. 따라서 계획단계에서 참조준위는 넘지 말 피폭 준위를 의미한다.<sup>15)</sup> 비상피폭상황이 발생했거나 기존피폭상황이 선언되면 참조준위는 방호조치의 효과를 평가하는 기준이 된다. 처음에는 이러한 조치로 인한 피폭 분포에는 상황에 따라 참조준위를 넘는 피폭이 있을 수도, 아닐 수도 있다. 참조준위를 초과하는 피폭을 참조준위 아래로 낮추는 데 중점을 두면서 피폭을 추가로 줄이는 것이 목표다.

(75) ICRP는 참조준위가 초과해서는 안 되는 지시형 규제 한도가 아니라는 입장을 견지한다. 실제로, 일부 사람은 최적화 과정을 시작할 때나 도중에도 참조준위를 초과할 수 있으나 이것은 규제 위반에 해당하지 않는다. 따라서 참조준위는 최적화 원칙의 실제 구

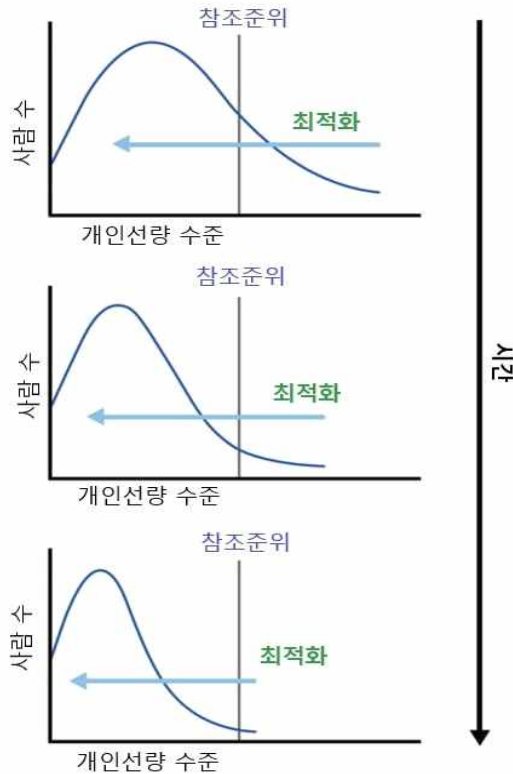


그림2.3. 참조준위로 최적화 과정을 실행한 결과 시간에 따른 개인 피폭분포의 진화 개략도.

15) <역주> 참조준위를 초과하면 안 된다는 의미로 해석하는 것은 부적절하다. 계획단계에서 (선량)참조준위는 감축대책(개입)을 계획하는 근거에 해당한다. 즉, 참조준위를 근거로 비상계획구역의 범위를 설정하고, 운영개입준위(OIL)를 산출하지만 그것이 반드시 준수될 것을 담보로 하는 것은 아니다. 다시 말해서 참조준위는 그것을 초과하면 안 되는 금지선이 아니라 넘지 않기를 바라는 희망선이다.

현을 안내하도록, 국제 지침이나 국가 지침에 내포될 수 있는 도구이다. ICRP 103(2007)는 고려하는 피폭상황의 특성을 고려하여 특정 참조준위를 선택할 수 있는 포괄적인 참조준위 밴드를 제공하고 있다.

(76) 그림2.3은 원자력사고의 모든 단계에서 참조준위가 어떻게 최적화 과정을 안내하는지 개략적으로 보여준다. 각 단계가 시작될 때 개인피폭의 일부는 당국이 선정한 참조준위보다 높을 수 있다. 가장 많이 피폭하는 사람(예상 또는 실제로)을 식별하여 피폭을 방지하거나 감소시키는 것을 우선해야 한다. 후속 단계에서 실행되는 방호조치는 참조준위 이상으로 피폭을 받는 사람 수를 점차 감소시켜야 한다.

(77) 상황이 진화하고 선량분포가 변하면 참조준위를 재평가하는 것이 적절할 것이다. 선량이 참조준위를 초과하거나 근접한 사람 수가 감소하면, 방사선상황 개선에 따라 참조준위를 낮출 수 있다. 효과적이기 위해서는 참조준위 값을 선정하고 재평가하는 과정이 상황에 맞게 조정되어야 한다. 또한 ICRP는 가능하면 참조준위를 선택하여 달성하고자 하는 희망 수준을 결정하는 데에 모든 해당 이해당사자 견해를 포함하기를 권고한다.

(78) 환경보호를 위해, ICRP는 피해지역 동식물에 대한 해로운 영향의 빈도를 없애거나 줄이기 위한 유도고려참조준위(DCRL) 사용을 권고한다(ICRP 2008). DCRL은 고려하는 참조동식물(RAP)에서 유해영향을 어느 정도 초래할 가능성이 있는 선량률 밴드로 정의된다. 사고 초기단계에서 동식물 방호는 일반적으로 우선순위가 낮다. 그러나 DCRL은 동식물에 미치는 잠재적 영향을 이해하는 데 유용할 것이다. 중기 및 장기 단계에서 방사선 상황이 잘 파악되면, ICRP는 사회, 환경 및 경제적 요인을 고려하여 피폭이 현저한 RAP의 피폭을 줄이도록 권고한다.

(79) 이 간행물에서 ICRP는 대규모 원자력사고의 초기, 중기 및 장기 단계에서 부지 안팎에서 사람의 방호는 물론 사람 아닌 생물 보호를 위한 최적화 원칙의 실행과 적절한 참조준위 선정에 관해 권고한다. 자세한 내용은 각각 제3장과 제4장에 주었다.



## 제3장 초기 및 중기 단계

### 3.1. 초기 및 중기 단계의 특성

(80) ICRP는 대규모 원자력사고의 초기 및 중기 단계를 비상피폭상황에 적용되는 방사선방호 원칙에 따라 관리할 것을 권고한다.<sup>16)</sup> 방사선원의 제어 상실 또는 선원의 의도적인 악용으로 인해 발생하는 것으로 정의되는 이러한 상황에서는 바람직하지 않은 피폭을 피하거나 완화하고 선원 관리를 회복하기 위하여 긴급하고 적시적 조치가 필요하다. 비상피폭상황은 선원의 현재 및 미래 상태에 관한 상당한 불확실성, 높은 피폭도 가능한 경로 및 피폭 수준 불확실성, 방사선학적/비방사선학적 조건의 급격한 변화 중 하나 이상으로 특징 지어질 수 있다.<sup>17)</sup>

(81) 대규모 원자력사고로 발생하는 비상피폭상황은 일반인의 피폭뿐만 아니라 대응자의 피폭도 초래한다. 이것은 체르노빌과 후쿠시마 사고에서 볼 수 있듯이 몇 주 또는 심지어 몇 달 동안 장기간 지속될 수 있다. 대형 원자력사고는 단일 시설, 같은 부지의 여러 시설 또는 중대한 외부사건이 작용한 때는 다수 부지 문제일 수도 있다. 초기 단계에서는 방사능 방출의 피해를 완화하기 위해 즉각적인 조치가 필요하다. 초기 및 중기 단계에서 점진적으로 방출이 다시 통제되고 방사선 상황은 더 잘 파악된다. 부지 외부에서는 피폭과 피해지역의 미래에 대한 불확실성이 여전히 존재한다. 따라서 부지 안보다 부지 밖에서 중기 단계가 더 오래 지속될 수 있다.<sup>18)</sup>

16) <역주> 전술했듯이 초기에도 비상피폭 뿐만 아니라 기존피폭이나 계획피폭이 공존한다.

17) <역주> 비상피폭상황의 핵심 조건을 '불확실성'에서 찾는 듯한데 동의하기 어렵다. 불확실해서 높은 선량을 감수하는 것이 아니라 '중대한 가치'를 위해 감수하는 것이다. 가령 사람을 구하는 작업이 200 mSv 피폭이 불가피할 것이 분명한 상황에서도(불확실성이 없어도) 작전을 수행하기로 한다면 비상피폭상황이 된다.

18) <역주> 현행처럼 계획, 기존, 비상 피폭상황 구분 체계 아래서는 비상피폭에서 기존피폭으로 상황변화가 언제 일어나는지 애매하다. 부지 밖에서 피동적으로 받는 주민의 피폭에 대해서는 처음부터 기존피폭으로 간주하는 것이 단순하고 개념적으로 무방하다. 이때 '피동적'으로 제한하는 이유는 주민이라도 능동적 행위로 인한 추가피폭은 기존피폭이 아니라 일종의 계획피폭이기 때문이다. 예를 들어 소개한 주민이 집에 두고온 반려견을 데리러 몰래 소개지역을 방문하여 3mSv를 받았다면 이 피폭은 기존피폭이 아니다. 그러면 이 사람이 선량한도 위반으로 처벌 대상일까? 당사자 입장에서는 이는 자신이 소

(82) 대형 원자력사고의 경우, 일반적으로 선원이 통제 불능인 초기 단계에서 가장 높은 피폭이 발생할 것이다. ICRP는 부지 안팎을 막론하고 직접적인 심각한 조직/장기 손상 사례를 피하는 데에 우선순위를 두기를 권고한다. 초기 단계에서 고려해야 할 주요 긴급 방호조치는 소개, 옥내대피, 갑상선보호제 투여, 지역 식품 및 물 공급 제한, 반려동물과 가축의 방호 등이다. 이러한 조치들은 신속히 실행되어야 하므로 사전에 준비할 필요가 있는데, 특히 실질적인 준비태세와 지리적 범위<sup>19)</sup>를 정하는 것이 중요하다(Callen와 Homma 2017).

(83) 중대한 방출 전에 취하는 방호조치는 직접적인 심각한 방사선 손상의 발생을 방지 하도록 설계되어야 하는데, 일반적으로 방사선피폭을 막거나 현저하게 감소시킬 것이다 (IAEA 2015b). 이러한 조치를 결정할 때 잠재적인 방사능 외적 영향을 고려하고 그에 따른 조정도 중요하다. 실제 상황은 사전 계획된 시나리오와 크게 다를 수 있고 빠르게 진화할 수 있으므로 대응 중에 방호조치를 조정해야 할 수도 있다.

(84) 중기 단계에서 방사선상황에 대한 더 많은 정보가 가용해지면, 초기 방호조치의 지리적 또는 시간적 범위를 수정하고 임시 이주, 식품 관리, 환경 제염 및 사업 활동 관리 등 새로운 방호조치의 도입이 필요할 수 있다. 이 단계 동안, 사람들이 어디에서, 언제, 어떻게 피폭해 왔고 앞으로 피폭할 수 있는지를 식별하기 위해 피폭상황을 더 잘 파악하는 추가 노력을 해야 한다.

(85) 초기 및 중기 단계 동안, 영향권 사람들은 라디오, 텔레비전, 문자 메시지, 이메일 및 소셜 미디어를 포함한 모든 가용 채널을 통해 상황과 그 진척에 대해 정보를 받을 수 있어야 한다. 이 정보는 신속하고 지속적으로 파급해야 하며 항상 갱신해야 한다.<sup>20)</sup>

중하게 여기는 반려견을 구하기 위해 추가피폭을 예상하면서 감행한 적전이므로 '비상피폭상황' 성격이다. 그러나 당국의 입장에서는 반려견 구출이 객관적으로 비상피폭을 인정할 정도는 아니라고 판단할 것이 예상된다. 현행 ICRP 방호체계의 적용에서 종종 이러한 딜레마가 발견된다.

19) <역주> 달리 표현하면 '비상계획구역(EPZ)'이다. 비상계획구역 지정도 일관되지는 않지만 현재 국제관행은 예방조치구역precautionary action zone(PAZ)과 실제 상황에 따라 대응하는 긴급방호계획구역urgent protective action planning zone(UPZ)로 구분한다. 원전의 EPZ는 반경 20~30 km 수준이다. 영향이 더 클 근거리 지역은 바람 방향이나 원자력 시설의 구체적 실제 상황과 무관하게 사전 설정된 '방아쇠(비상발령 준위)'만 당겨지면 예방적으로 일단 예정한 비상대응을 개시하는 구역이 PAZ이다. 식품이나 소비재 방사능을 관리할 필요가 발생하는 구역의 범위는 더 넓을 것인데, IAEA는 이를 위해 확장계획거리extended planning distanceEPD와 식품일용품계획거리ingestion and commodity planning distance(ICPD) 개념도 둔다. 원전의 EPD는 100 km, ICPD는 300 km 정도로 본다.

20) <역주> 시간에 쫓기는 비상상황에서 맞은 또 다른 딜레마가 제공하는 정보의 신속성과 정확성 마찰이다. 바깥에서는 늦든 뒤에 오류가 밝혀지든 비난하는데, 둘 모두를 충족하

과거 원자력사고 경험은 정확한 정보를 전파하는 것만으로는 부족함을 알려주었다. 따라서 ICRP는 피해자의 우려에 대응하고 그들이 유익한 결정을 내릴 수 있도록 상호전문화 과정에서 당국, 전문가 및 지역 이해당사자 사이 협력을 촉진할 것을 권고한다.

## 3.2. 방사선학적 상황파악

### 3.2.1. 피폭경로

(86) 대형 원자력사고의 경우, 외부 및 내부 피폭이 다양한 경로를 통하여 발생한다. 외부 피폭은 손상된 시설에서 방출된 플룸<sup>21)</sup>에 존재하는 방사능물질과 플룸에서 지면, 건물, 의류 및 피부에 침적된 방사능물질로부터 발생한다. 내부피폭은 플룸의 방사성핵종 또는 오염된 표면으로부터 재부유한 방사성핵종을 흡입하거나, 오염된 음식과 물의 섭취, 그리고 지표나 물체 표면에 있는 방사성핵종의 우발적 섭취로 발생한다.

(87) 원자력사고로 인한 대기 방출의 경우, 플룸에 존재하는 단수명 방사성핵종의 흡입으로 인한 초기 피폭이 상대적으로 높을 것이다. 다음 수일부터 수 주 기간은 농작물을 직접 오염시키거나 우유로 전이된 방사성 옥소에 의한 내부피폭과 환경에 침적된 오염으로부터 외부피폭이 지배하게 된다. 중기 단계에서는 방사성 세슘에 의한 식품의 장기적 오염과 함께 외부 방사선이 지배적일 가능성이 높다.

(88) 침적 양상은 사건의 규모와 방출 당시의 지배적 기상 조건, 특히 풍향과 플룸이 지나는 동안 강우나 강설 여부에 따라 달라진다. 장시간 방출일 때는 풍향이 시간에 따라 달라질 수 있다. 장기적으로 강우와 풍화가 토양 중 방사성핵종의 분포와 후속 이동을 변화시킨다. 토양으로부터 식물의 방사성핵종 흡취는 토양의 물리화학적 특성(예: 수분 및 비옥도)에 따라 다르며, 일반적으로 시간이 지남에 따라 감소한다. 침적 수준은 지역에 따라 크게 다를 수 있다. 예를 들어, 체르노빌 사고 이후 지표오염은 같은 마을에서도 10~100배 차이를 보였다. 장기적으로는 하나 또는 몇몇 방사성핵종이 일반적으로 사람이나 사람 아닌 생물 모두의 피폭을 지배한다.

---

기란 쉽지 않다. 의사결정도 항상 옳을 수만은 없다. 결국 비상대응의 일반론에서 말하듯 비상대응 책임자는 상황이 종료되면 '토사구팽' 당할 가능성을 각오하고 임해야 한다.

21) <역주> plume. 우리말은 '용마루(지붕의)'이다. 대기로 방출된 오염물질이 거리에 따라 희석, 확산되는 모양을 그림으로 표현하니 용마루를 닮은 데서 온 이름이다. 그러나 방사능 확산에서 우리말 '용마루'로 적기는 아무래도 어색하다. 달리 마땅한 용어를 찾지 못해 외래어 표기로 '플룸'으로 적는다.

(89) 사람의 방사성핵종 섭취는 주로 오염된 농장에서 생산된 야채, 육류 및 우유와 오염된 강, 호수 및 바다의 어류, 오염된 숲의 야생 열매와 버섯의 소비에서 발생한다. 동물이나 파생 제품으로 전이는 사료 및 마초의 오염과 관리기술에 달려 있다. 사람의 섭취량은 시간이 지남에 따라 식습관에 따라 상당한 변화가 있을 수 있지만, 한편으로 식품의 방사성핵종 농도는 재배되는 토양과 작물의 유형에 따라 달라진다. 농경지와 비교하여 어떤 지역에서는 특정 식품(예: 숲의 열매와 버섯, 고지대 초지에 방목하는 가축)으로 전이 수준이 더 높을 수 있다. 이러한 식품의 소비는 일부 사람에게 더 높은 섭취 선량을 줄 수 있다.

(90) 과거 사고 경험에 따르면 바다나 지표수로 방사성물질이 액체로 직접 방출되거나 대기로부터 침적하거나 지표에서 씻겨 들어가 수생경로에 의해 사람들이 방사선을 피폭할 수 있다. 방사성물질을 바다로 직접 또는 간접적으로 방출하는 경우, 사람들은 바닷물이나 퇴적물의 방사성핵종으로부터 외부피폭도 받을 수 있다. 이러한 경로로부터 선량은 전체 피폭에 크게 기여할 것으로 예상되지는 않는다. 반대로, 방사성핵종<sup>22)</sup>의 해산물로 이동은 일부 사람들에게 주된 내부피폭원이 될 수 있다.

(91) 동식물도 외부 및 내부 피폭을 모두 받을 수 있다. 사람과 마찬가지로 외부피폭은 플룸의 공기 중 방사성핵종과 손상된 시설에서 수증기로 방출되는 방사성핵종, 그리고 플룸에서 지면과 생물로 침적된 방사성핵종으로 인해 발생한다. 내부피폭은 플룸에 존재하거나 오염된 표면에서 재부상하는 방사성핵종을 흡입하거나 오염된 물 또는 동식물의 섭취, 지표 방사성핵종의 우발적 섭취<sup>23)</sup>를 통해 발생한다.

(92) 방사성핵종의 오염 수준 및 조성은 시간이 지남에 따라 변화하고 위치에 따라서도 달라지며, 그 결과 생물에게 광범한 피폭을 준다. 영향을 받는 개체군의 크기와 함께, 특정 동물이 오염된 지역에서 어떻게 시간을 보내는지 아는 것도 중요할 수 있다.

## 3.2.2. 환경 및 개인감시

### 3.2.2.1. 환경감시

(93) 부지 안팎의 방사선 상황에 대한 정확한 실상을 제공하려면 환경감시가 필요하다. 피폭의 예측은 기상정보, 환경감시 데이터 및 모델링을 사용하여 이루어질 수 있다. 방

22) <역주> 원문은 방사성물질radioactive material로 적고 있지만 ‘방사성물질’은 법규용어로서 규제관리가 필요할 정도로 방사능 농도와 총량이 많은 물질을 말한다. 해산물로 전이하는 방사능은 이처럼 높지는 않으므로 과학적 보편 용어인 ‘방사성핵종’으로 수정했다. 아래 몇 문항에서도 같다.

23) <역주> 당연히 식물은 뿌리흡취를 한다.

사선학적 우려 지역(즉, 시설 인접지역부터 침적물이 거주지나 농경지에 영향을 미칠 수 있는 주변지역까지)의 기상 조건을 파악하기 위해서는 적절한 수의 기상관측소가 가용해야 한다. 혼련된 요원은 고정식이나 이동식 방사선 감시장비를 사용하여 피폭을 더 정확하게 평가할 수 있다. 또한 피해지역이 광범할 때는 환경 오염의 범위와 정도에 대하여 공중감시가 유용한 정보를 제공한다<sup>24)</sup>(Saito 등 2019).

(94) 주위선량률<sup>25)</sup>의 환경감시 외에도 공기 중 방사성핵종 농도를 측정해야 한다. 이러한 유형의 정보를 통해 방사능 흡입으로 인한 내부피폭을 추정할 수 있다. 환경에 침적된 방사능물질로 인해 발생하는 내부 및 외부 피폭에 대한 우려는 식품과 물 소비 제한과 확장된 방호조치(예: 임시 이주)의 이행 결정을 지원하기 위해 표토 및 음용수의 방사성핵종 농도를 측정하기 위한 계획을 필요로 한다. 토양, 식품 및 물에 대한 감시는 중기 단계를 넘어 장기 단계까지 계속될 것이다.

(95) 광범한 오염지역의 방사선 상황을 이해하고 초기 단계에서 실행된 긴급방호조치를 종결하기 위해서는 상세한 환경감시가 필수적이다. 방사능 방출이 중단되고 영향권 지역에서 자세한 감시가 가능해짐에 따라, 가용한 환경 측정 데이터가 많아진다. 초기 단계와 중기 단계를 관리하는 기관이 수행한 공식 측정 외에도, 이해당사자는 자신이 구매하거나 지역 기관(예: 대학, 지역 실험실 등)이 제공한 측정기를 사용하여 방사선 상황을 측정하기를 원할 수 있다. 이해당사자의 데이터수집은 중기 단계에서 시작될 수 있지만, 장기 단계에서는 더 중요해질 가능성이 있다. 특히 이해당사자의 데이터수집을 지원하기 위한 재원을 미리 계획하여야 하는데, 영향권 사람들이 자신의 방사선 상황에 이들 데이터의 해당성을 이해하고 자신의 방호에 관해 결정할 수 있도록 도와야 한다.

### 3.2.2.2. 개인감시 및 건강감시

(96) 초기 단계에서는 피폭 수준으로 인해 치료(제염, 의료처치)가 필요한 사람과 건강감시가 필요한 사람을 구분하는 것이 중요하다. 이러한 결정은 제한된 감시 정보를 기반으로 이루어지며 치료가 시급한 사람을 식별하는 데 집중된다. 예를 들어, 처음 몇 시간 동안에는 휴대용 감시기 또는 문형 감시기를 사용하여 초기 선별 측정을 수행할 수 있을 뿐이다. 후속으로 전신계수기 및 갑상선계수기와 같은 이동 가능한 생체감시기를 사용하여 더 정확한 측정을 수행할 수 있다. 이후 며칠 동안에는 생물시료의 체외측정

24) <역주> 공중감시의 장점은 신속하고 측정자 피폭이 낮은 것이다. 빠르게 발전하는 드론 기술은 공중감시 성능을 더욱 높일 것으로 본다.

25) <역주> ICRU와 ICRP가 공동발행한 ICRU 보고서 95(2020)는 외부피폭 실용량을 새로 정의했다. ICRU구에서 정의하던 기존의 유효선량 대체량 ‘주위선량당량’ ambient dose equivalent은 인형모의체에서 최대 유효선량에 해당하는 ‘주위선량’ ambient dose으로 갱신되었다.

(예: 소변의 방사성핵종, 혈액의 세포 유전학적 측정) 또는 물리적 회구선량계측(예: 휴대전화 스크린창, 가정용 소금)을 통해 피폭을 결정할 수 있다.

(97) 방사성옥소가 방출된 때는, 초기 단계에서 어린이와 임신부의 갑상선선량 감시가 중요하다. 환경감시는 개인의 갑상선 피폭에 대한 좋은 추정치를 제공할 수 없다. 따라서 소아(피폭 당시 약 15세까지)와 임신부의 갑상선 방사성옥소 함량을 긴급히 감시하여 갑상선선량에 대한 현실적인 추정치를 제공할 수 있도록 특히 노력해야 한다. 갑상선 측정은 소개 센터와 건강감시를 위해 설립되는 의료센터에서 훈련되고 적절한 장비를 갖춘 직원이 수행할 수 있다. 방사성옥소의 짧은 반감기를 고려할 때, 피폭 후 몇 주 이내에, 이상적으로는 피폭 후 가능한 빨리 측정하는 것이 중요하다. ICRP는 갑상선 피폭을 장기선량<sup>26)</sup>으로 나타내도록 권고한다. 갑상선선량 정보는 그 값이 개인의 건강에 어떤 영향을 미칠 수 있는지에 대한 명확한 설명과 함께 당사자에게 제공해야 한다.

(98) 중기 단계 동안 전신계수기를 사용하여 부지 안팎에서 피폭자가 흡입하거나 섭취한 방사능을 측정할 수 있다. 이를 통해 내부피폭을 평가할 수 있으며, 이로써 특히 주의를 기울일 필요가 있는 경로(주로 식품)를 식별하는 데 도움이 될 수 있다. 유아를 포함한 어린이의 내부 오염 측정은 어머니에게 자녀의 상황을 이해하는 데 유용한 정보와 식습관을 조정하는 대안을 제공한다(Hayano 등 2014). 시간이 지남에 따라 피폭경로가 변할 수 있는데, 사람들의 전신계수 우선순위를 정할 때 이점을 고려해야 한다.<sup>27)</sup>

(99) 측정 데이터는 중앙에서 수집하여 초기 및 중기 단계를 관리하는 모든 관련 조직이 방호결정을 내리는 데 도움이 되도록 가능한 한 빨리 제공해야 한다. 책무와 투명성을 위해 ICRP는 개인정보 보호를 존중하면서 명확한 설명을 곁들여 이 정보를 대중과 공유할 것을 권고한다.

(100) 초기 단계에서 방사선 영향을 받은 사람에 초점을 맞춘 의학감시 프로그램은 두 표적그룹을 고려해야 하는데, 임상 증상이 발현한 사람과 피폭했지만 증상을 보이지 않는 사람이다. 첫째 그룹에 대한 추적은 장기 합병증의 진단과 치료를 목표로 한다. 둘째 그룹의 추적은 방사선피폭과 관련될 수도 있는 부작용이나 질환의 탐지를 목표로 한다.

26) <역주> 지금까지는 갑상선등가선량으로 표현했다. 그러나 ICRP 147은 이제 등가선량을 방호량으로 사용하지 않는다는 입장이다. 따라서 결정론적 영향과 관련해서는 조직의 등가선량 대신 흡수선량(평균)으로 표현하게 될 것이다.

27) <역주> 예를 들면 방사성옥소 피폭은 그 물리적 반감기와 생물학적 반감기가 모두 짧아 섭취 후 수 주 이내에 측정해야 한다. 이에 비해 세슘은 충분한 시간 여유가 있으므로 전신계수기가 한정되어 있다면 방사성옥소 노출 의심자부터 측정하는 것이 적절하다.

### 3.3. 초중기 단계에서 대응자 보호

(101) 사고 대응에 관여할 수 있는 사람들은 신분이 다양해서 비상팀(예: 소방관, 경찰관, 의료인), 작업자(직무피폭 또는 비직무피폭), 전문가 및 당국 공무원, 군인, 자원봉사 시민 등이다. 국가기관이나 국제기구는 이러한 사람들을 분류할 때 다른 용어를 사용해 왔다. 이 간행물에서는 '대응자'라는 용어가 이러한 모든 사람을 지칭하는 데 적절하다고 보았다. 사고로 야기된 방사선 상황은 시설의 정상운영 조건과 거의 관련이 없으므로, 대응자 보호는 피폭원이 더 이상 관리되지 않고 작업조건이 비정상적임을 반영해 특별한 방식으로 관리해야 한다. 초중기 단계에서 광범위한 피폭을 고려할 때, 차등접근이 필요하다. 더욱이 사고로 인한 상황의 예측 불가능성을 감안할 때, 차등접근이 효과적이기 위해서는 신중하면서도 충분히 유연해야 한다. 초중기 단계에서 대응자 보호를 조직하기 위해서 ICRP는 부지 안(손상된 시설)과 부지 밖(영향권 지역) 조치를 구분하고, 시간 단계도 구분하도록 권고한다.

#### 3.3.1. 초기 단계에서 부지 안 대응자 보호

(102) 비상팀을 기다리는 동안 부지 내에서 초동대응자는 손상된 발전소 작업자이다. 그들의 역할은 사고에 대응하여 시설을 안정시키고, 부지 밖 영향을 완화하기 위한 초기 조치를 실행하는 것이다. 이러한 초기 조치를 수행할 때, 이들 작업자 중 일부는 높은 피폭을 받을 가능성이 있다. 이들 대응자는 여전히 운영관리 책임도 있지만, 방사선 상황은 이미 사고 이전에 행하던 계획피폭상황에 따라 관리할 수는 없는 지경이다. 대응에 참여하지 않는 작업자<sup>28)</sup>는 소개, 대피 및 갑상선보호제 복용과 같은 조치로 같은 상황에 있는 부지 밖 주민과 동일한 방식으로 방호해야 한다. 이와는 대조적으로, 초기 단계 대응에 참여하는 사람은 대응자로 관리되어야 하며, 의사결정의 정당화와 방호최적화 원칙을 적용해야 한다.<sup>29)</sup> 상황에 따라 외래 대응자들이 시설의 작업자들을 지원하기 위해 참여할 가능성이 높다. 여기에는 보통 그들 소속기관 책임하에 작업하는 전문팀이나<sup>30)</sup> 손상된 시설의 관리하에 있는 다른 시설의 작업자도 포함될 수 있다. 어떤 상황에서는 군 조직에 속하는 특별한 지위를 가진 군인도 동원될 수 있다.

28) <역주> '대응에 참여하지 않는 작업자'란 표현은 모순이다. 사고 때 대응에 참여하지 않는 직원은 대피하게 될 것인데 대피하는 직원은 작업자가 아니므로 다른 주민과 같은 입장이다. 따라서 이들은 '작업자'가 아니라 단순히 주민이나 시민이다.

29) <역주> 정당화와 최적화 원칙은 대피하는 직원에게도 적용된다.

30) <역주> 재난상황에서 외부 지원팀이 독립적으로 활동하는 것은 지양할 일이다. 부지 대응본부장(명칭이야 어떻든) 통제 아래 배속 개념으로 활동하는 것이 바람직하다. 이는 부지 밖 대응체계에서도 마찬가지다.

(103) 대응자 피폭에 영향을 미칠 수 있는 의사결정의 정당화는 부지 밖 주민 피폭과 환경오염의 회피 또는 감축 측면에서 예상되는 이익뿐만 아니라 손상된 시설의 상태와 가능한 전개에 비추어 판단해야 한다. 이러한 결정은 전반적으로 해로움보다 더 많은 이로우를 행하는 것을 목표로 해야 한다. 다시 말해서, 관련된 개인과 사회 전체에 대한 이익이 대응자에게 초래할 수 있는 피해를 보상하기에 충분함을 보장해야 한다. 시설과 부지 외부 환경의 상황을 특징 짓는 불확실성을 감안하면 이들 이익의 평가가 어려우므로 결정의 정당화는 필연적으로 경영진의 가치 판단에 기반을 둘 수밖에 없다.

(104) 초기 단계에서는 시설의 방사선 상황이 대부분 알려지지 않고 불안정할 수 있으므로 대응자에 대한 방호최적화 이행이 복잡해진다. 많은 작업이 관련된 대응자에 대한 잠재적 영향을 미리 예측할 수 없는 상태에서 착수된다. 더욱이 피폭을 유발하는 선원이 대체로 또는 완전히 관리 불능이기 때문에 그들이 받는 피폭을 충분한 정밀도로 예측하기 어렵고, 작업이 사전 설정된 방사선 기준 내에서 수행됨을 보장하기도 어렵다. 이러한 상황에서 선량한도 적용 원칙은 대응자의 피폭 관리에 적합하지 않다. 그 대신에 ICRP는 개인선량 관리를 위해 참조준위를 사용하여 방호최적화 원칙을 적용할 것을 권고한다. 이러한 참조준위는 상황이 진척되는 특성과 대응자의 유형을 고려하여 선정되어야 한다.

(105) 제18항과 제22항에서 언급한 바와 같이 암위험은 선량에 따라 증가하고, 100 mSv 이상의 피폭에서 결정론적 영향의 가능성이 높아진다(ICRP 2007). 이러한 이유로 ICRP는 급성 또는 1년간 발생한 100 mSv 이상의 피폭은 극단적인 상황에서만 정당화될 수 있다고 생각한다. 따라서 ICRP는 초기 단계에서 대응자의 피폭 관리를 위해 100 mSv 이하에서 참조준위를 채택하도록 권고한다. 수백 밀리시버트의 피폭은 인명을 구하거나 파멸적인 상황으로 이어지는 시설의 추가 열화를 방지하는 것과 같은 예외적인 상황에서만 정당화되어야 한다. 또한 상당량의 방사성옥소 섭취가 발생할 수도 있다. 이 경우는 별도로 고려되어야 하며, 필요에 따라 특별한 방호조치가 실행되어야 한다(소절 3.4.1.3 참조).

(106) 초기 단계에서 대응자 피폭을 평가하고 기록해야 한다. 필요에 따라 개인 방호장비도 사용해야 한다. 의료 및 후속 건강감시는 필요에 따라 제공되어야 하며, 특히 결정론적 영향을 유발할 수 있는 피폭의 경우 더욱 그러하다. 임신부와 18세 미만의 청소년은 초기 단계에서 부지 안에서 운영되는 대응자팀에 참여해서는 안 된다.

(107) ICRP는 대응자 방호에 관한 결정은 피폭상황의 전체 특성과 함께, 있을 수 있는 다른 위험의 맥락에 기초해야 한다고 권고한다. 또한 원자력시설의 일부 작업자는 경영



진의 책임하에 사고가 발생하기 전에 각 부지나 전국 차원에서 특정 비상팀에 참여하도록 훈련받고 준비할 것을 권고한다(Ohsuga 2012). 비상팀 참여자는 사고 발생 시 방사선 위험을 충분히 알고 있어야 하며 공식적으로 이해동의를 제공해야 한다.<sup>31)</sup>

### 3.3.2. 초기 단계에서 부지 밖 대응자 보호

(108) 초기 단계에서 소방관, 경찰관, 구조 및 의료진, 군인을 포함한 여러 범주의 대응자가 부지 외부에 개입할 수 있다. 일부 국가에서는 부지 외부에서 원자력사고를 다루기 위해 전담팀이 구성되어 있다. 소개 버스 기사와 같은 특정 기술을 가진 작업자, 선출직 대표, 자원봉사자 등도 참여할 수 있다. 이러한 모든 대응자들은 직접 또는 간접적으로 대응 조직의 책임하에 있다. 이들의 역할은 주민과 환경을 위한 긴급 방호조치의 실행을 지원하는 것이다. 이들이 받을 피폭은 높을 수 있지만, 부지 내 대응자보다는 낮을 것으로 예상된다.

(109) 이러한 대응자는 사전에(예: 비상팀) 또는 참여 직전에(예: 시민, 버스 운전사와 같은 참여자) 식별되어야 한다. 비상팀의 구성원들은 방사선 작업을 할 수 있도록 준비되고 훈련을 받아야 한다. 방사선위험과 기타 위험 아래에서 수행할 작업에 대한 정보를 이들에게 제공하고 적절히 방호(예: 어떤 방호장구든)할 것을 ICRP는 권고한다. 대응자는 자발적으로 그리고 이해동의 아래 참여해야 한다.

(110) 사고시설 근처의 원자력/비원자력 시설의 일부 인원은 긴요한 활동이나 네트워크를 유지하기 위해 어떤 상황이든 자신의 근무 장소에 머물러야 할 수도 있다. 이러한 작업자는 대응자로 취급될 수 있다. 특히 가능한 사전에 이들을 식별하여 원자력사고 발생 시 수행할 사항에 대해 정보를 주고, 적절한 방호 아래 업무를 수행할 수 있도록 교육해야 한다.

(111) 초기 단계에서 부지 밖 대응자를 방호하기 위해 ICRP는 100 mSv 이하의 참조준위를 적용하여 상황에 따라 피폭을 관리하도록 권고한다. 부지 내 방호처럼, 참조준위를 넘는 부지 밖 대응자 피폭은 인명 구조 또는 어떤 사람이나 동물 집단의 심각한 방사선 영향을 방지하는 것과 같은 예외적인 상황에서만 정당화될 수 있다. 부지 밖 대응자에 대해서도 가능한 한 선량은 개인별로 평가, 기록해야 한다. 결정론적 영향을 초래할 우려가 있는 피폭일 때는 필요에 따라 진료 및 후속 건강감시를 제공해야 한다. 임신부<sup>32)</sup>

31) <역주> 긴급작업 예정자가 이해동의를 제공하는 데는 어느 정도 어려움도 예상된다. 사전에 특이피폭(긴급작업자 피폭) 수준과 그 가치를 모르는 상황에서 포괄적인 이해동의를 받는 셈이기 때문이다. 특이피폭은 피폭자의 온전한 자원에 따라 이루어지며, 사전 이해동의를 언제든지 철회할 수도 있음에 유의해야 한다.

와 18세 미만의 젊은이는 초기 단계에서 부지 밖에서 운영되는 대응팀에 참여하게 해서는 안 된다.

### 3.3.3. 중기 단계에서 부지 내 대응자 방호

(112) 부지 내에서 중기 단계는 선원이 안정화되었다고 선언될 때(즉, 추가 방출이 없거나 소량 방출만 있고 선원 악화 위험이 제한적임) 시작된다. 중기가 끝나는 것은 선원 안전이 선언되고 방사선 상황이 충분히 파악되어 관리되는 작업조건에서 손상된 시설의 해체를 시작할 수 있을 때이다.<sup>32)</sup> 이 단계에서 발전소 직원이나 계약업체 작업자는 상황을 파악하고 선원관리를 회복하는 데 참여할 수 있다. 모든 작업자는 일반적으로 손상된 시설의 경역자 책임 아래 있지만, 일정 수준 각 고용주의 책임도 살아있다.<sup>34)</sup> 부지가 손상, 오염 및 열화됨에 따라 작업조건이 전례 없이 어려울 수 있다. 부적절한 조치나 예기치 못한 상황으로 새로운 비상사태가 발생할 수도 있다. 그렇지만 작업 조직과 피폭 관리는 점진적으로 개선될 것이다. 이러한 상황에서 작업자의 피폭 관리는 이미 초기 단계와 같은 방사선학적 제약을 받는 것은 아니지만 작업자는 여전히 대응자로 간주 된다.<sup>35)</sup>

(113) ICRP는 부지에 새로 들어오는 대응자를 식별하여 이들에 대해 교육을 실시하고, 예정 작업을 위한 장비를 지급하고, 공식 이해동의를 받기를 권고한다. 이러한 대응자 상당수는 토목공사처럼 일반적으로 방사선이 없는 곳에서 수행하는 작업을 위해 고용되며, 손상된 시설에 머무르는 시간은 평생 작업 기간의 극히 작은 일부분에 불과할 것이다. 그들에 대한 교육은 특정 상황에 맞게 조정하고, 방사선방호 지식과 문화의 부족을 극복하기 위해 경영관리자가 특별 세션을 조직할 수 있다. 이러한 대응자들은 어렵고 스

32) <역주> 임신부로 적고 있지만 본래는 ‘가임여성’이 적절하다. 젊은 여성이 임신하지 않았을 것이라는 판단 아래 대응활동을 수행한 후 임신 초기였음이 밝혀지고, 그로 인해 태아에 문제가 생겼다면 복잡한 법률적, 윤리적 문제가 될 수 있다.

33) <역주> 체르노빌이나 후쿠시마에서 보듯이 사고 원전을 해체하는 일은 언제 가능할지 가능하기 어렵다. 그럼에도 원자로 건물을 제외하면 충분히 안정되어 장기적 관리 단계에 들었다고 볼 수 있다. 즉, 해체 개시 가능성을 기준으로 중기와 장기를 구분하는 것은 적절하지 않아 보인다.

34) <역주> 근로 법규와 관련해 이 부분에 분쟁이 발생할 수 있다. 원론적으로는 하청받은 일을 수행하면서 받는 피폭은 그 고용주의 책임이다. 이런 특수상황에서는 발전소장이 필요에 따라 소내 여러 계약업체 직원까지 지휘할 수 있어야 할 것인데, 원청자의 그런 지시를 불법 하청이라는 주장이 받아들여지는 경향이 있기 때문이다.

35) <역주> ‘대응자’이니 여전히 참조준위 적용대상으로 생각하는 것은 잘못이다. 중기에서는 대부분 작업이 ‘계획피폭’ 상태로 관리될 수 있고 선량한도 적용대상이 되어야 한다. 역자는 이런 오해를 예방하기 위해서는 중기부터는 ‘대응자’보다 ‘직무피폭자’로 부르는 것이 더 적절하다고 본다. 물론 상황변화로 어떤 긴급사태가 재발할 수는 있겠지만 그런 사태가 발생하면 피폭상황이 조정된다.

트레스 많은 환경에서 작업하기 때문에, 그들이 적절한 작업과 주거 조건을 갖도록 특별한 주의를 기울여야 한다. 대응자의 개인선량을 감시하고 기록해야 하며, 각 대응자에게 받은 피폭을 알려야 한다.

(114) ICRP는 중기 단계에서 100 mSv 이하의 참조준위 사용을 권고하며, 선량한도 적용이 적절하다고 보지 않는다.<sup>36)</sup> 참조준위는 시설에서 선원 및 피폭 상황에 대한 관리 회복의 진행 상황에 따라 중기 단계에서 감소 될 수 있다. 의료 및 후속 건강감시가 필요에 따라 제공되어야 한다. 임신부와 18세 미만 청소년은 중기 단계에서 부지 내 대응팀에 참여해서는 안 된다.<sup>37)</sup>

### 3.3.4. 중기 단계에서 부지 밖 대응자 보호

(115) 부지 밖에서 중기 단계는 방출 선원이 안정화되었을 때 시작되고, 당국이 영향권 지역의 미래를 판단할 수 있을 정도로 주민과 피해지역의 피폭상황이 충분히 잘 파악되었을 때 끝난다. 대응자가 수행할 주요 임무는 방사선 상황의 파악, 식품의 방사선학적 관리와 주민 건강감시를 위한 인프라 구축, 건물과 환경의 오염 제거이다. 이러한 작업에 참여하는 사람들은 작업자(직무피폭 여부와 관계없이)와 자원봉사자가 혼합된 집단이다. 여전히 비상피폭상황이지만 이들 대응자들의 피폭은 비교적 잘 관리될 수 있다.<sup>38)</sup>

(116) ICRP는 가능하면 일상 활동 중에 부지 밖 대응자에 대한 보호를 조직하도록 권고한다. 관련된 대응자를 등록하고 방사선이 존재하는 상황에서 수행할 임무와 관련된 위험을 설명해야 한다(알권리). 이들의 선량을 가능하면 개인별로 평가하여<sup>39)</sup> 그 정보를 본인에게 알리고 기록을 보존해야 한다. ICRP는 개인피폭을 관리하기 위해 연간 20

36) <역주> 역자 생각은 다르다. 중기 단계에서는 많은 작업이 계획피폭으로 관리될 수 있을 것으로 본다. 특히 특별한 1년에는 연간 50 mSv까지 유효선량한도를 인정한다면 대부분 이 한도 아래서 대응이 이루어질 수 있을 것이다. “사고가 났으니 선량한도는 적용하지 않는다”는 관점은 잘못이다.

37) <역주> 이 마지막 문장은 없는 것이 낫다. 18세 미만자가 원자력시설 부지 안 대응팀에 들어올 이유가 없다. 또, 이런 상황에는 가임여성 전체가 기피 대상이다. 그런데 임신부 참여를 제한한다는 말은 임신이 확인되지 않았으면 참여해도 좋다는 것으로 오해할 수 있다.

38) <역주> 역자는 비상피폭상황에 동의하지 않는다. 소외 지역에서 이루어지는 제염이나 식품 관리 업무는 모두 계획피폭상황에서 직무피폭 개념에서 이루어질 수 있다. 이들 대응자에게 선량한도를 적용할 것인지 아닌지를 보면 그들의 피폭이 계획피폭인지 비상피폭/기존피폭인지 쉽게 판단할 수 있다.

39) <역주> 대응자 선량을 개인별로 측정하는 것은 선량계가 가용하다면 당연하다. 다만, 후쿠시마 사고에서는 침수로 인해 부지에 있던 선량계가 사용할 수 없게 되어 대응자가 개인선량계를 모두 지급받는 데는 시일이 걸렸다. 중기부터는 지역 주민에게도 간이 개인선량계가 지급되었다.

mSv 이내에서 상황에 맞는 참조준위를 적용할 것을 권고한다.<sup>40)</sup> 임무 수행 시 부지 외부는 부지 내부처럼 높은 피폭이 요구될 것 같지 않기 때문에 중기 단계에서 부지 밖 대응자에게는 더 낮은 참조준위를 적용하기를 권고한다. 방사선 상황이 유리하게 발전하면 중기 단계에서 참조준위를 더 낮출 수 있다.

### 3.3.5. 초중기 단계에서 대응자 피폭관리

(117) 일부 대응자는 초기 단계와 중기 단계 모두에 참여할 수 있다. 이러한 대응자의 경우 피폭관리는 두 단계 동안 총 피폭을 100 mSv 미만으로 유지함을 목표로 이루어져야 한다. 그러나 특히 초기 단계에서 부지 내부는 물론 심지어 부지 외부에서조차 있을 수 있는 어렵고 예측할 수 없는 개입 조건을 고려할 때, 제한된 수의 대응자가 총 100 mSv를 초과하거나 예외적으로 수백 밀리시버트 범위의 피폭을 받을 수도 있음을 유념해야 한다. ICRP는 대응자의 초기 단계에서 피폭 때문에 중기 단계에 참여를 반드시 제한해서는 안 된다고 권고한다. 또한 ICRP는 누적 피폭이 100 mSv 이상인 대응자에 대해서는 적절하고 지속 가능한 의학적 감시를 제공하도록 권고한다.

(118) 직무피폭 작업자가 대응자로 참여하는 경우, 대응 중 받은 피폭은 계획피폭상황에서 받은 피폭과 별도로 이유를 밝히고 기록되어야 하며, 직무 선량한도 준수를 고려하지 않아야 한다.<sup>41)</sup> 당국, 시설 운영자, 고용주 및 작업자 사이 합의에 따라 대응자의 선량 기록 대책은 준비단계에서 원자력시설 사고에 대비한 계획의 일환으로 사전에 이루어져야 한다.<sup>42)</sup>

(119) ICRP는 중기 단계가 끝났을 때 직무피폭자가 정규 활동과 업무로 복귀에 지장이 되지 않게 할 것을 권고한다. 이 결정은 철저한 건강검진뿐만 아니라 사고 이전 및 대

40) <역주> 대응자는 본래 신분이 무엇이든 일단 대응자로 참여하면 직무피폭자(초기에서는 긴급작업자인 용사일 수도 있음)가 된다. 그러면 연간 20 mSv 이하의 피폭은 '계획피폭' 범위가 되므로 비상피폭이란 명분으로 참조준위를 적용할 당위성이 없다.

41) <역주> 이 말은 긴급작업자(특임피폭자)의 경우는 옳다. 그러나 사고 전 원전 방사선작업종사자가 사고 후 대응자로 새로운 직무를 맡게 되면 피폭 직무는 바뀌었지만 직무피폭자로 신분은 계속된다. 따라서 피폭 직무는 수정되더라도 그 개인의 직무피폭 선량기록은 일상 계획피폭 맥락에서 계속하는 것이 옳다. 다만, 대응자로서 역할이 정규 선량한도로 감당할 수 없는 특수 임무를 맡는다면 그 피폭은 특임피폭(현행 ICRP 분류로는 비상피폭)으로 별도로 관리한다. 그러나 중기부터는 이런 일은 거의 없을 것이다.

42) <역주> 후쿠시마 사고에서도 개인피폭 기록관리에 혼선이 있었다. 소방관이나 자위대원이 대응자로 참여했지만 그들의 피폭기록은 원자력안전 규제기관도 접근하기 어려웠다. 따라서 사고로 인한 직무피폭을 종합적으로 파악하는 데 애로가 있었다. 이 교훈은 현재 직무피폭 기록을 원자력안전위원회, 질병관리처, 검역센터가 나누어 관리하고 있는 우리나라 제도도 개선되어야 할 당위성을 보인다.

응 중 받은 피폭 이력에 대한 상세한 검토 후 사안별로 시설 감독 당국이 판단해야 한다.<sup>43)</sup>

### 3.4. 초중기 단계에서 일반인과 환경 보호

(120) 초중기 단계에서 일반인의 방호는 정당화되고 참조준위를 사용하여 최적화되어야 하는 일련의 방호조치의 실행에 의존한다. 목표는 영향권 지역에 거주하고 일하는 사람과 공동체의 삶을 형성하는 사회적, 환경적, 경제적 요소를 고려하여 모든 피폭을 합리적으로 달성 가능한 한 낮추는 것이다. 방호조치는 개인피폭 분포의 불평등을 제한하기 위해 참조준위에 기초한 기준을 적용하여 실행되어야 하며, 취약 그룹이나 원주민과 같은 특정 공동체를 방호하기 위한 특별 목적도 감안해야 한다.

(121) ICRP 109(2009a)에서 비상피폭상황에 대한 참조준위는 일반적으로 20~100 mSv 밴드에서 설정하고, 선정된 참조준위는 잠재적 또는 실제 사고 상황에 맞게 조정해야 한다고 권고했다. 이 권고에서는 비상피폭상황이 1년 이상 지속될 가능성에 대한 고려가 없었다.<sup>44)</sup>

(122) 이번 권고에서 ICRP는 가장 많이 피폭된 사람이 초중기 단계 전 기간에 100 mSv를 초과하지 않도록 초중기 단계에서 모든 합리적인 방호조치를 취해야 한다고 명시한다. 이는 급성피폭을 완화하고 결정론적 영향을 방지하기 위한 것이다. ICRP는 이들 단계의 기간이 상황에 따라 1년 미만 또는 1년 이상일 수 있음을 인정한다. 또한 ICRP는 가능하다면 초중기 단계에서 가장 적절한 참조준위가 20 mSv보다 낮을 수 있음도 인정한다(표6.1 참조).<sup>45)</sup> 방사성오소를 많이 섭취할 우려가 있다면 특별한 방호조치가 실행되어야 한다는 것도 유의해야 한다.

43) <역주> 직무피폭자로 계속 근무를 당국이 결정한다는 이 설명은 기존의 ICRP 입장과 다른 부주의한 기술이다. 특이피폭자나 사고로 선량한도를 초과한 종사자(심각하지는 않은 수준)가 계속 직무에 종사할지 여부는 진료의사의 의견과 당사자의 입장을 들어 고용주가 결정할 일이라고 본다.

44) <역주> 일반인에게 비상피폭상황이 1년 이상 지속된다는 생각은 잘못으로 본다. 전술한 바와 같이 시설 주변 주민에게는 사고로 인한 피폭이 아마도 처음부터 기존피폭 성격이다.

45) <역주> 모순된 설명이 계속된다. 비상피폭상황이 1년 미만일 수도 이상일 수도 있고, 연간 선량 참조준위가 20 mSv 미만일 수도 있고 이상일 수도 있다고 말하는데 그러면 권고의 의미가 무엇인지 묻고 싶다.

(123) 초기 단계에서, 부지 밖 방사선 상황이 대부분 알려지지 않고 빠르게 변하는 경우, 해당 시나리오에 대해 대응계획에서 설정된 참조준위가 방호조치 실행을 유식하게 해야 한다. 이 참조준위는 특정 방호조치를 실행하기 위한 방아쇠로 사용되는 운영기준<sup>46)</sup>을 설정하는 데 사용될 수 있다(IAEA 2011,2015b). 그러나 상황이 예상대로 전개되지 않을 수 있으며 취한 방호조치에도 불구하고 일부 피폭은 참조준위보다 더 높을 수 있다. 반대로 사고가 사전에 계획된 시나리오보다 덜 심각한 경우에는 모든 피폭이 참조준위보다 낮을 수 있다. 따라서 모델링 및 환경의 초기 측정을 수행하여 가능한 한 빨리 피폭을 파악하는 것이 중요하다. 이를 통해 당국은 필요한 경우 방호조치의 범위나 참조준위 값을 조정하여 방호를 최적화할 수 있다.

(124) 중기 단계에서 방사선 상황이 더 잘 파악되면 참조준위를 재평가하여 낮출 필요도 있을 수 있다. 예를 들어, 체르노빌 사고의 중기 단계에서 소련 당국은 참조준위를 점진적으로 감소시켰다(Kryuchkov 2011).

(125) 초기 단계 및 아마도 중기 단계에도 환경 방호를 위해서 영향권 환경에 침적된 방사능물질의 농도와 양을 현저하게 줄이는 것이 어렵거나 실행 불가능할 수 있음을 ICRP는 인정한다. 초기 단계에서 일부 동식물의 피폭 수준은 유도고려참조준위(DCRL)보다 클 수 있다. 동식물에 대한 잠재적 영향을 평가하기 위해 ICRP가 권고하는 기틀은 특별히 영향을 받았을 수 있는 종을 식별하고 추가 조치 필요성을 고려하는 데 사용될 수 있다.

### 3.4.1. 초기 단계를 위한 방호조치

#### 3.4.1.1. 옥내대피

(126) 일부 주민은 방사성 플룸이 지역 공중을 지날 때 피폭을 줄이기 위해 긴급방호조치가 필요할 수 있다. 소개하지 않는다면, 이런 주민은 옥내대피하도록 권고해야 하는데, 옥내대피는 가능하면 환기계통을 차단하고 창과 문을 밀봉하고 후속 지침을 기다리며 실내에 머무르는 것이다.

(127) 견고하게 건축된 건물은 공기 중 플룸에 의한 피폭을 현저하게 감소시키고 지면에 침적된 방사능물질로부터 방사선도 감쇠시킬 수 있다. 옥내대피는 가능하면 갑상선보호제 복용과 함께 시행되어야 한다. 그러나 옥내대피는 주민의 심각한 건강 영향 잠재성을 예방하기에 충분하지 않을 수 있다.

46) <역주> IAEA 용어로는 운영개입준위operational intervention level(OIL)이다.

(128) 안전한 조건에서 소개가 신속히 시행되기 어려운 특정 시설(예: 고령자나 위독한 상태의 환자가 있는 요양시설)의 경우에는 옥내대피가 초기 단계에서 바람직한 조치가 될 수 있다. 옥내대피 중인 사람들을 돌보기 위해 남아 있게 될 자원자 직원은 비상대응 일환인 대응자로서 훈련하고 이해동의를 받아야 한다. 이들 자발적 직원에 대해서는 가능하면 실시간으로 방사선 상황의 변화에 대해 알려야 하며, 필요한 경우 이들이 측정과 적절한 방호조치를 취할 수 있는 장비를 갖추도록 조치해야 한다.

(129) 주민의 안녕에 큰 영향을 미치지 않으면서 수일 이상 엄격한 옥내대피를 유지하기는 어려울 것이다. 의료 조치를 받거나 의약품을 받아야 할 필요성, 가족을 돌봐야 하는 농부의 필요성, 단순히 가족이 함께 있기를 원하는 정당한 욕구와 같은 문제들은 미묘한 상황을 야기하고 스트레스를 유발할 수 있다. 수일의 엄격한 옥내대피 후에도 상당한 피폭 가능성이 지속된다면 사람들의 소개를 고려해야 한다. 이때는 방사능 방출이 계속되는 상황이라도 소개를 실행해야 하지만 소개자의 외부 및 내부피폭을 최대한 방지하도록 주의해야 한다. 이는 계획과 준비 단계에서 미리 식별된 추가 방호조치 개발을 필요로 하는 섬세한 작전이다.

(130) 옥내 대피자와 소통 메커니즘은 필수적이지만, 해당 기간이 비교적 짧아서 옥내대피 해제는 이해당사자의 상당한 참여 없이 실행될 것 같다. 옥내대피 철회는 사람들이 제한 없이 또는 어떤 제약 아래 가정에 머무르고 일상적 활동으로 복귀를 허용하는 것이거나, 또는 계속 옥내대피가 허용되지 않고 소개하거나 이주해야 한다는 것을 의미한다. 그러나 옥내대피를 철회하기 전에, 옥내대피가 해제되면 외부피폭 및 지표 침적물의 재부유물 흡입이 방사선학적 문제가 될 가능성을 확인할 수 있는 감시 정보가 필요하다. 시료채취나 측정팀의 동원 및 배치에는 시간이 걸리며, 개별 상황을 고려하여 우선순위를 정하는 것이 필수적이다. 방사선 상황이 적절한 시간 내에 옥내대피 해제를 뒷받침한다고 확신할 수 없으면, 계속된 옥내대피가 용납할 수 없거나 부적절한 위험을 초래할 수 있는 그룹에 대하여 잘 계획된 소개를 고려해야 한다.

#### 3.4.1.2. 소개 및 임시 이주

(131) 소개란 잠재적으로 심각한 조직/장기 손상(결정론적 건강 영향)을 초래할 수 있고 장기적으로 암이나 유전질환 위험(확률론적 건강 영향)을 증가시킬 수 있는 만큼 충분히 높은 단기 방사선피폭을 피하거나 줄이기 위해 부지 외부 지역으로부터 사람들을 일시적으로 신속하게 외곽으로 피난시키는 것을 의미한다. 방사능물질이 많이 방출되기 전에 예방 조치로 소개를 할 수 있다면 방사선피폭을 피하는 측면에서 가장 효과적이다. 그러나 방출 발생 후나 심지어는 상황을 고려하여 방출 중인 시점에서 소개를 실행할 수 있다.

(132) 소개는 단기적인 방호조치이다. 그러나 예를 들어 방출을 통제할 수 없는 경우, 추가 사고나 방출 위험이 큰 경우, 환경에 높은 방사선 준위가 지속되는 경우와 같을 때는 소개 지속이 필요하고 정당화될 수 있다. 만일 방사선 상황으로 인해 사람들이 약 1주일 이상 집을 떠나 있어야 한다면, 초기 소개가 임시 또는 영구 이주로 이어질 수도 있다.

(133) 과거 경험에 따르면 소개가 효과적이어서 자연적 및 인위적 위험과 관련된 비상 사태에 대응하여 종종 시행되었음을 보인다. 그러나 소개가 잘 계획되지 않으면 노약자 뿐만 아니라 병원이거나 요양원에 있는 환자와 같은 특정 집단에게는 해로울 수 있다 (Tanigawa 등 2012).

(134) 또한 경험은 공식적인 소개 권고 여부와 관계없이, 자발적인 소개가 발생할 것임을 보인다. 당국은 초기 단계를 위한 대응계획을 준비할 때 사람들의 자발적 소개의 부정적인 측면과 긍정적 측면을 고려해야 한다.

(135) 소개센터(대피소)는 보통 공공건물과 같이 단기적인 수용설비만 갖추고 있으므로, 일단 사람들이 소개했다면 그들의 귀가가 언제 이루어질 수 있는지 아닌지 결정을 내려야 한다. 이러한 결정은 피해지역 방사선 상황과 주민에게 적절한 생활 및 근로 조건을 제공할 수 있는 능력에 기초하여 내려진다. ICRP는 초기 단계를 담당하는 당국이 소개민, 피해지역 당국 및 지역 전문가와 함께 소개지역으로 복귀 여부에 대한 복잡한 의사 결정 과정에 긴밀하게 관여할 것을 권고한다. 결정은 복귀 예상 지역의 생활 및 근로 조건의 질을 포함하여 방사선 상황에 대해 가용한 모든 정보를 바탕으로 투명한 방식으로 이루어져야 한다.

(136) 소개지역의 방사선 상황 파악은 환경 오염 측정과 방사선 상황의 진화 및 개선 능력에 대한 예측을 기반으로 해야 한다. 방출된 성분, 오염 패턴의 복잡성 및 영향 지역의 크기가 얼마나 신속하게 평가를 수행할 수 있는지를 결정한다. 사람들이 시간을 보내는 장소에 초점을 맞춰 다양한 환경에 대해 측정해야 하며, 영향 지역에 거주하려는 사람들에게 대하여 향후 피폭의 평가도 이루어져야 한다.

### 3.4.1.3. 갑상선보호제 투여

(137) 갑상선보호제 투여<sup>47)</sup>(ITB)는 방사성이 아닌 옥소로 갑상선을 포화시켜 방사성옥소

47) <역주> 원문은 iodine thyroid blocking(ITB)으로서 직역하면 옥소갑상선차단 정도이겠으나 국내 비상계획에서 보편적으로 사용하고 있는 용어 '갑상선보호제 투여'로 적는다.



의 흡입 및 섭취로 인한 갑상선 피폭을 예방하거나 줄이기 위해 안정옥소 화합물(일반적으로 KI)을 투여하는 것을 기반으로 한다. 안정옥소는 방사성옥소로부터 갑상선을 보호하는 데만 도움이 되기 때문에 ITB는 옥내대피 또는 소개를 동반해야 한다. 갑상선 보호를 위한 안정옥소의 효과는 적시 투여에 달려 있다. 방사성옥소에 피폭되기 직전이나 피폭 시점에 안정옥소를 섭취하는 것이 가장 효과적인 보호 방법이다. 안정옥소를 너무 일찍 또는 너무 늦게 투여하면 갑상선을 효과적으로 보호하지 못한다. 방사성옥소가 장기간 방출되는 때는 KI를 반복적으로 투여해도 좋다(Benderitter 등 2018). 방사성옥소 흡취는 특히 어린 나이에 갑상선암 위험을 증가시킬 수 있으므로, 초기 단계에서 임신부와 아동에게 안정옥소를 투여하는 것이 특히 중요하다(WHO 2017).

(138) 시간 여유가 짧아서, 특히 대규모 주민에 대해 안정옥소 배포는 현실적 문제를 부를 수 있다. 따라서 국가 당국은 사전 분배를 포함하여 잠재적 영향 집단에 안정옥소를 공급할 수 있는 가장 효과적인 방법을 신중히 모색해야 한다. 세계보건기구(WHO)가 권고하는 복용량을 따르면 모든 연령 그룹에서 초기 단계에서 KI 갑상선보호제 투여의 전반적인 이점이 부작용 위험을 능가한다(WHO 2017).

#### 3.4.1.4. 신체 제염

(139) 개인 제염은 의도적으로 한 사람으로부터 물리적, 화학적 과정으로 방사능물질을 완전히 또는 부분적으로 제거하는 것이다. 긴급 개인 제염은 의복, 모발 또는 피부 오염으로 인한 외부피폭을 줄이고 이러한 오염의 우발적인 섭취를 방지하기 위해 권고될 수 있다. 이 조치는 특히 대응자 방호에 유용할 수 있다. 소개가 권고된 지역 밖에서는 개인 제염이 요구될 것 같지는 않다. 사람들 제염 때문에 한 그룹의 소개가 지연되어서는 안 된다.

#### 3.4.1.5. 식품의 예방적 제한

(140) 오염된 식품의 섭취는 사고 직후에 영향권 지역에 거주하는 사람들에게 중요한 피폭경로일 것이다. 영향권 밖의 소비자는 오염된 제품 출시를 우려할 수도 있다. 따라서 사람 방호와 제품 이미지 보호를 위해 영향권이거나 그 우려가 있는 지역에서는 초기 단계에 가능하면 빨리 조치하는 것이 현명하다. 이 단계에서 방호조치는 주로 농수산물과 식수의 소비를 제한하고, 사냥과 야생 식품의 채취를 금지하는 것이다. 이런 지역에서 생산된 모든 식품에 대한 감시가 필요할 텐데, 이를 실행하는 데는 며칠에서 몇 주가 걸릴 수 있다. 식품 소비를 금지하거나 제한하는 경우, 당국은 이들 지역에 거주하거나 일하는 사람들에게 오염되지 않은 식품과 물의 공급을 보장해야 한다.

(141) 대부분 국가에서 중요한 아동 식단 일부인 우유의 방사능오염 감시는 사고 초기

단계에서 특히 중요하다. 우유는 방사성옥소로 인한 갑상선 피폭의 잠재적 원천이기 때문이다. 제한이 필요하면, 사람들에게 오염된 목초지에 방목한 소나 염소의 우유를 마시지 말도록 안내해야 한다.<sup>48)</sup> 또한, 방사능 방출 중에 오염되었을 수 있는 야채, 과일 또는 다른 식품도 먹지 않도록 사람들에게 안내해야 한다.

### 3.4.2. 중기 단계에서 방호조치

#### 3.4.2.1. 임시 이주

(142) 임시 이주는 이미 소개했던 사람들이나, 자택에서 직접 오는 사람들이 모든 기본적인 요구를 충족시킬 수 있고 생활 여건이 적절하게 지원될 수 있는 임시 숙소로 이동하는 것이다. 임시 이주는 오염의 특성과 정도에 따라 몇 주, 몇 달 또는 몇 년 동안 지속될 수 있으며, 피폭이 너무 높거나, 필수 식품과 물이 심하게 오염되었으나 쉽게 대체할 수 없는 경우에 고려된다. 임시 이주는 서두르지 않고 충분한 시간을 가지고 관계자와 교류하여 실행할 수 있어서 물리적 위험이 소개에 비해 상대적으로 작다. 그러나 임시 이주도 심리적 영향과는 관련이 있다(Oe 등 2017, Ohto 등 2017).

(143) 임시 이주가 허용될 수 있는 최대 기간은 다양한 사회적, 경제적 요인에 따라 좌우된다. 예를 들어, 임시 숙박시설 및 생활 조건에 대한 불만이 증가하거나, 단순히 고향에 돌아가 정착된 사회적 패턴을 구축하고 싶은 욕구가 있을 수 있다. 반대로, 귀향에 대해서는 지속되는 잔여피폭, 고용 기회 부족, 폐가의 수리 또는 재건축 필요성, 학교, 병원, 상점과 같은 인프라 부족 등에 대한 우려도 있다.

#### 3.4.2.2. 식품 관리

(144) 중기 단계에서 계절, 환경 특성 등에 따른 방사성핵종 농도의 변화에 대한 이해를 포함해 식품의 방사선학적 파악은 식품 관리를 위한 보다 상세하고 적응된 전략을 개발할 수 있게 한다. 전략은 제품의 방사선학적/방사선 외적 품질, 소비자 신뢰 회복 및 지속가능한 경제활동을 유지할 가능성을 고려해야 한다. 이를 위해서는 방호조치가 지역 사회에 미치는 전반적인 영향을 고려할 필요가 있다. 당국이 전반적인 상황을 비교적 잘 이해할 수 있을 정도로 충분히 파악되면, 참조준위에 기초한 제품 소비에 대한 방사능 기준을 설정해 식품에서 측정 가능한 방사성핵종 준위( $\text{Bq kg}^{-1}$  또는  $\text{Bq L}^{-1}$ )로 표시할 것을 ICRP는 권고한다. 이러한 기준에 기초한 식품 방사능 감시는 사람 방호를 보장하면서 영향권 지역 안이나 밖에서 거래를 촉진하는 데 필요하다.

48) <역주> 가공품으로 출시되는 우유는 생산자를 관리할 수 있지만, 개인적으로 생유를 소비하는 사람들에게 주의사항 파급이 필요하다. 국내에서는 개인적으로 생유를 소비하는 경우는 드물다.

(145) ICRP는 그러한 방사선 기준을 정하는 것이 복잡하며 지역, 국가 및 국제 수준에서 생산자, 소매상 및 소비자의 이익을 고려하여 많은 사정의 균형을 맞출 필요가 있음을 인정한다. ICRP는 관련된 이해당사자가 의사결정 과정에 참여하기를 권고한다(Kai 2015). 어느 정도의 국가적 일치로 유지하기 위해서는 국가 차원의 심도 있는 토론이 필요하다.<sup>49)</sup>

(146) 지침 준위는 국제교역을 위해 국제식품규격위원회(Codex Alimentarius Commission)에 개발했다(FAO/WHO Codex Alimentarius Commission 2006). 이들 준위는 식단이 최대 10%가 오염된 식품으로 구성된다는 가정 아래 연간 선량기준 1 mSv를 기반으로 한다. 이 가정은 타당하지 않을 수 있으며, 일부 지역 공동체에 대해서는 다른 백분율이 더 적합할 수 있다. 따라서 식품에 대한 방사능 기준은 Codex 지침 준위 아래에 설정될 수 있다. 반대로 오염된 식품이 식단의 더 작은 부분에 영향을 미칠 때는 방사능 기준을 더 높은 값으로 설정할 수 있다. 또한 오랜 전통이거나 전체 지역사회 경제에 필수적인 지역 산물을 보전하기 위해 더 높은 방사능 기준을 설정할 수도 있다. 이러한 결정은 체르노빌 사고 이후 노르웨이에서 사미족이 생산하는 순록 고기의 사례와 같이 당국, 전문가, 지역 전문가, 그리고 영향권 지역사회 사이의 긴밀한 협조 아래 이루어져야 한다(Skuterud 등 2005). 결과적으로 지역 상황을 관리하기 위해 설정하는 식품에 대한 방사능 기준은 특정적이고 국제교역을 위해 채택된 것과 다를 수 있다. 지역 상황 관리를 위한 방사능 기준은 식품의 방사능 품질을 개선하는 동기로 발전할 수 있다.<sup>50)</sup>

(147) 중기 단계에서 식품의 방사능 오염은 생산에서 소비까지 식품 체인에서 방사성핵종 전이의 감축을 겨누는 여러 방호조치를 통해 개선될 수 있다(Nisbet 등 2015). 이러한 조치에는, 예를 들어, 상층토의 제거, 쟁기질 및 토양의 화학적 처리, 가축에게 깨끗한 사료나 사료 첨가제 제공, 오염 관리를 위한 산업 규모의 식품가공 등이 포함된다.

49) <역주> 향후 국내산 식품을 오염시키는 사태(예: 국내 원전이나 중국 원전 사고)가 벌어진 경우, 후쿠시마 사고 후 일본산 식품 수입에 적용하던 잣대를 국내산 식품에 들여대는 일은 부적절하고 자칫 큰 혼란을 야기할 수 있다. 일본산 식품 수입은 회피할 수 있음에서 선택에 따라 수입하는 것이므로 계획피폭상황에 준하며 특히 식품이라는 특성 때문에 '사소한' 수준 방사능만 용인된다. 국토가 강범히게 오염된 경우는 거기서 생산되는 식품 소비로 인한 피폭은 '기존피폭'에 가깝다. 따라서 구체적 오염 범위와 대체 식품 공급 능력을 감안해 불가피하게 소비를 용인할 수밖에 없는 '참조준위'를 적용해야 한다. 이 참조준위는

50) <역주> 식품의 방사능은 사람들에게 매우 민감한 이슈여서 오염되지 않은 대안 식품이 가용한 상황에서는 매우 낮은 선량을 기준으로 도출한 식품 방사능 기준도 역할을 하지 못할 가능성이 높다. 즉, 선량이 낮아 안전하니 해당 식품을 소비해도 좋다는 설득 시도 보다는, 사미족 공동체나 후쿠시마를 돕자는 캠페인처럼 어떤 공감대를 형성하는 것이 더 효과적인 것 같다.

조치 선정은 방출된 방사성핵종의 물리화학적 특성, 계절, 토양 및 토지 사용의 유형에 따라 달라진다(Bogdevitch 2012).

(148) 식품관리 외에 중기 단계에서 물 공급도 정기적으로 감시하여 영향권 지역에서 빗물 흐름에 따라 오염이 점점 누적되지 않는지 확인해야 한다.

#### 3.4.2.3. 기타 물품 관리

(149) 원자력사고는 식품 이외의 물품도 오염시킬 수 있다. 차량, 포장 및 운송 컨테이너를 포함하여 야외에 보관된 모든 제품은 오염될 수 있다. 목재와 같은 원재료와 채석장에서 나오는 광석도 마찬가지이다. 비록 상품 오염이 피폭에 기여는 크지 않더라도 이해당사자에게는 큰 걱정거리일 수도 있으므로 물품을 관리할 필요가 있다. 관리 유형은 오염 수준, 물품의 유형과 양, 사용 환경 등에 따라 달라진다. 나아가 오염 잠재성이 있는 물품의 방사능 품질에 대한 검증 절차를 실행할 필요도 있다.<sup>51)</sup>

#### 3.4.2.4. 환경 제염

(150) 중기 단계에서 표면과 토양에서 오염을 제거하는 것은 피폭을 줄이는 데 효과적인 조치가 될 수 있다. 건물과 도로 표면, 토양 및 초목을 제염하는 데 적용할 수 있는 많은 기술이 있다(Nisbet 2015). 그러나 환경 제염은 종종 대량으로 오염된 폐기물을 발생시킬 것이다. 오염된 폐기물에 대한 적절한 파악, 분리, 임시 보관(아마도 장기간) 및 처분 경로가 필요하다. 이러한 오염 제거는 환경 자체에 상당한 손상을 초래할 수도 있다.

(151) 건물(공공 및 사유), 도로 및 포장 지역, 개방 공간, 휴양지역 및 농경지의 제염은 중기 단계에서 시작되며, 피해지역 크기에 따라 장기 단계까지 계속될 수 있다. 사람들이 대부분 시간을 보내는 장소와 피폭에 가장 많이 기여하는 장소에 우선순위를 두어야 한다. 지역 조건에 맞게 조정된 현실적인 피폭 평가는 개인 피폭에 대한 주요 기여도를 식별하는 데 도움이 될 수 있다. 이러한 제염조치에 대하여 ICRP는 개인 피폭을 효과적으로 줄이기 위해 참조준위를 사용하여 최적화 원칙을 적용할 것을 권고한다. 관련된 사회, 환경 및 경제적 인자뿐만 아니라 피폭상황의 실제 특성을 고려하고, 영향권 주민과 긴밀한 협의 아래 제염하여 부정적인 결과가 의도한 이득을 능가하지 않도록 해야 한다.

51) <역주> 중간 상인이나 소비자의 우려를 불식시키기 위해서는 신속하게 ‘무오염 증명’을 발행하는 체계를 갖추는 것이 중요하다. 이는 원자력사고 후 방사선 공포심에 따르는 파급피해를 예방하거나 줄이는 방법이므로 방사선재난 대응에서 우선순위를 높일 필요가 있다.

### 3.4.2.5. 사업 활동 관리

(152) 다양한 기업의 경제활동이 원자력사고의 영향을 받을 수 있다(소절2.2.4 참조). 영향권 지역에 있는 기업은 중기 단계에서 가족의 우려와 기대를 고려하여 직원을 위한 방호조치를 수립해야 할 수도 있다. 또한 사업 보전을 위해 제품의 방사선 감시와 같은 필요한 조치와 기업 이미지 보전을 위한 조치를 설정해야 할 수도 있다. 어떤 기업은 이전할 수도 있다.

(153) 기업을 위한 첫 단계는 방사선 상황의 파악이다. 대부분 기업이 방사선방호 문제에 익숙하지 않음을 고려하여 전문가 지원과 구체적 방사선 기준을 포함한 적절한 지침의 제공이 필요하다. 상황 파악 목적은 어디서, 언제, 어떻게, 누가 피폭하고 무엇이 오염되었는지 식별하는 것이다.

(154) 오염 정도에 따라 어떤 기업과 경제활동은 특별한 제염 조치를 하거나 하지 않은 상태에서 영향권 지역에서 유지될 수 있다. 어떤 경우든, 고용주는 직원과 제품을 위한 적절한 조업환경을 보장하고 오염의 변모 가능성을 고려해야 한다.

(155) 영향권 지역에서 유지되는 경제활동에서 직무피폭은 작업 특성이 잔류 오염에 피폭을 크게 높이는 특별한 경우를 제외하고는 작업 자체에서가 아니라 환경의 잔류 오염으로부터 발생한다. 따라서 ICRP는 관련 작업자가 일반인으로 방호되어야 한다고 권고한다.<sup>52)</sup> 그러나, 특히 종사자에게 방사선 위험에 대한 적절한 정보를 제공하고, 원하는 경우 본인과 가족을 위해 감시 프로그램을 실행할 수 있도록 돕고, 자가 방호조치를 실행하여 피폭을 줄일 수 있도록 배려하여 작업자의 방호를 보장하는 것은 고용주의 책임이다. 산림 관리인이나 임업 지역의 제재소 직원과 같은 특정 피폭상황에 관련된 활동에 참여하는 근로자에 대해서는 직무피폭자로 간주하도록 ICRP는 권고한다.

(156) 또한 많은 산업체가 제품에 실제로 또는 잠재적으로 영향을 미치는 방사능의 존재로 인해 어려움을 겪는다. 일부는, 특히 수출을 위해 제품의 방사선학적 품질을 입증해야 할 것이다. 제품이나 활동 자체가 영향을 받을 수 있는 다른 산업체(예: 채석장, 산림 활동, 관광)의 경우에는 경제활동 유지 여부에 대하여 의사결정이 필요할 것이다.

52) <역주> 이 피폭을 일반인 피폭으로 간주하면 작업장 라돈이나 항공승무원이 피폭하는 우주방사선도 일반인 피폭으로 관리해야 한다는 논리가 된다. 원인이 무엇이든 직무 과정에서 보편적 백그라운드를 넘는 피폭이라면 직무피폭으로 보는 것이 간명하다. 무엇보다 이를 일반인의 기존피폭으로 간주하면 피고용인을 보호해야 할 고용주 책무가 없어져 부당하다.

(157) 피해지역의 경제활동을 위해서는 방사선방호 문화를 개발하고, 근로자와 그 가족 및 소비자가 자신의 방호에 대해 유식한 결정을 내리도록 돕는 다양한 이해당사자 대화를 구축할 수 있는 메커니즘을 확립할 필요가 있다.

### 3.4.3. 상호전문화 과정

(158) ICRP는 중기 단계에서 상호전문화 과정을 채택할 것을 권고한다. 전문가, 기술전문인 및 지역 이해당사자 사이의 이 협력 과정은 방사선 상황을 평가하여 더 잘 이해하고, 사람과 환경을 보호하기 위한 방호조치를 개발하고, 생활 및 근로 조건을 개선하기 위한 목적으로 지역 지식과 과학적 전문지식을 공유하는 것을 목표로 한다. 상호전문화 과정은 이해당사자의 참여 및 권한 부여를 기반으로 최적화 원칙을 실제로 구현하는 필수적 요소이다. 이 과정은 피해 주민이 이행하는 자조 메커니즘의 개발에 기여하여, 국가 및 지역 수준의 책임기관이 주도하는 방호조치를 보완한다(ICRP 2009b,2016). 체르노빌과 후쿠시마 사고 경험은 이런 상호전문화 과정의 효과를 입증했다(Liland와 Skuterud 2013, Lochard 2013, Ando 2018, Takamura 등 2018, Yasutaka 등 2020).

(159) 윤리적 관점에서 상호전문화 과정은 방사선방호체계의 핵심 가치 나인 인간 존엄의 회복과 보존에 초점을 맞추고 있다(ICRP 2018). 특히, 이 과정은 이해당사자 참여 개념의 배후에 있는 절차적 가치인 포괄성을 반영하는 것으로 볼 수 있다. 그 외에도 이 과정은 공감을 실행(즉, 전문가가 타인의 경험, 관점 및 상황에 자신을 몰입하고 이를 반영할 기회를 제공)하게 하고, 이는 다시 적절하고 지속가능한 방호조치를 찾는 데

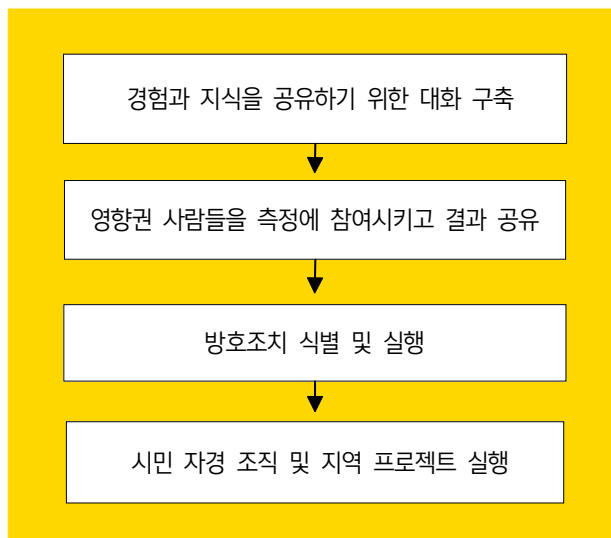


그림3.1. 상호전문화 과정.

도움을 준다.

(160) 상호전문화 과정은 시간이 걸리고, 지역이나 개인 차원의 방사선 감시를 위한 특별자원이 필요하며, 장기간 주민과 함께 일하는 방사선방호 전문가나 기술 전문가의 지원이 있어야만 구상할 수 있다(Gariel 등 2018, Schneider 등 2019). 상호전문화 과정은 관련된 모든 이해당사자가 협력해서 방사선방호 문화의 발전을 촉진하는 단계별 접근이다(그림3.1 참조).

### 3.4.3.1. 상호전문화 과정의 단계

#### (a) 대화 구축

(161) 첫 단계는 사고 영향권의 지역사회 사람들과 대화하여 경험과 지식을 공유하는 것이다. 이 대화에 영향권 사람들은 자신들의 생활 조건과 지역사회에 대한 지식을 가져 오고, 전문가들은 방사선 과학에 대한 지식과 방사선방호의 실질적인 실행에 대한 경험을 가져온다. 또한 전문가와 피해자들은 질문, 우려 및 기대를 포함하여 상황에 대한 자신들의 인식과 그것이 일상생활에 미치는 영향을 공유한다. 방사선 문제에 대한 주민의 지식이 부족하고 마주하는 전문가와 당국에 대한 불신이 있는 상황에서, 모두에게 진정한 도전은 열린 마음과 상호 존중을 유지하는 것이다.<sup>53)</sup>

#### (b) 방사선 상황의 공동 파악

(162) 둘째 단계는 사람들이 언제, 어디서, 어떻게 일상생활에서 피폭되는지에 대한 인식을 높이기 위해, 방사능을 ‘가시적’으로 만드는 측정에 사람들을 참여시키는 것을 목표로 한다. 이를 위해 당국과 주민들(자체 감시)이 수행한 측정을 기반으로 포괄적 감시 접근을 개발해야 한다. 측정은 개인과 지역사회의 피폭상황이 더 잘 파악되도록 피폭원에서 시작하여 다양한 피폭경로를 통해 사람들이 받는 피폭을 포함하도록 점진적으로 확대해야 한다. 경험에 따르면 개별 상황을 논의하고 비교할 목적으로 측정 결과를 공유하는 것은 영향권 사람들의 방사선방호 개선을 위한 기회를 식별할 수 있는 강력한 수단임을 보여준다. 이러한 공동 파악은 국지적 상황을 더 잘 이해할 수 있도록 하며, 방사선피폭을 다른 상황과 비교하거나 방사선 기준을 고려하여 지역 상황을 조감할 수 있도록 해준다.

#### (c) 방호조치의 식별 및 실행

(163) 셋째 단계는 지역주민과 전문가 모두를 대상으로 지역 상황에 적합하고 가능한

53) <역주> ICRP가 우려하듯 열린 마음과 존중을 바탕으로 대화를 지속하는 것은 ‘도전’일 것이 틀림없다. 언제부터인지 우리 사회에서 ‘피해자’ 집단은 대화보다는 투쟁을 앞세우는 경향이기에 더욱 그러하다.

방호조치를 식별하여 회피 가능한 개인피폭을 줄이는 것을 목표로 한다. 이를 통해 피해 주민이 실행할 수 있는 자조 방호조치를 식별할 수 있을 뿐 아니라, 당국이 추진하는 방호조치를 평가하여 필요한 경우 이를 조정할 수도 있다. 이 과정을 통해 얻은 경험은 해당 방사선 기준을 검토하는 데 도움이 될 수도 있다. 상호전문화 과정은 지역 이해당사자가 자신의 방호를 위해 유식하게 결정할 수 있게 한다. 방호조치 실행은 필연적으로 기술적, 인적 및 재정적 자원을 필요로 하며 전문가와 당국의 지원을 요구한다.

#### (d) 시민 자경 조성 및 지역 프로젝트 실행

(164) 상호전문화 과정의 넷째 단계는 방사선 상황에 대한 ‘시민 자경(citizen vigilance)<sup>54)</sup>을 확보하고 피해 공동체 차원의 지역 프로젝트를 찾아 실행하기 위해 공동체 내에 방사선감시 프로그램을 조직하는 것을 목표로 한다. 매우 다양한 성격(교육, 사회, 기념, 문화, 환경, 경제 등)일 수 있는 이러한 프로젝트는 방사선학적 또는 방사선 외적 요소를 고려해야 하며, 사람의 복지와 공동체 삶의 질 향상을 목적으로 실행해야 한다. 당국, 전문가 및 지역 기술전문가의 지원 아래 이러한 프로젝트에 지역주민의 참여는 프로젝트의 효과와 지속 가능성을 결정하는 요소이다. 지역 프로젝트의 실행을 위해서는 의사결정 과정의 정당성, 투명성 및 공정성을 보장하기 위해 이해당사자를 포함하는 적절한 관리 구조가 구축되어야 한다.

#### 3.4.3.2. 실용 방사선방호문화<sup>55)</sup>

(165) 상호전문화 과정은 방사선 영향을 받는 개인과 지역사회가 그들 자신을 방호하는 방법을 알고, 원자력사고의 영향에 직면하는 데 필요한 실용 방사선방호문화를 개발하는 역량 강화에 효과적이다. ICRP는 이 문화를 시민들이 유식한 선택을 하고, 잠재적 또는 실제 방사선피폭과 관련된 상황에서 현명하게 행동할 수 있도록 도와주는 지식과 기술로 정의한다(ICRP 2018).

(166) 실용 방사선방호문화는 사람들이 일상생활에서 관심사를 다루도록 도울 수 있게 실용적이어야 한다. 이 문화는 사람들이 다음을 수행할 수 있게 한다:

54) <역주> 오염지역 주민의 피폭을 ICRP 분류에 따라 ‘비상피폭’이나 ‘기존피폭’으로 보든 역자가 제안하는 ‘자율피폭’으로 보든 요점은 방호 주체가 피폭자인 주민 자신이라는 점에 이해가 필요하다. 정부나 자치단체가 정보를 주고 권고하고 여건을 조성하고 측정기 제공 등 지원은 하지만, 제염이 완료되지 않은 구역을 출입하거나 오염된 음식을 취식하는 등 피폭을 증가시키는 개인의 행동을 일일이 관리할 수는 없다. 결국 시민 개개인이 스스로 경계심을 갖고 판단하고 행동하는 것이 중요하기에 우리 사회에서 익숙하지는 않은 말이지만 ‘자경’이라는 표현을 쓰고 있다

55) <역주> 원문은 단순히 ‘방사선방호문화’인데 여기서 말하는 문화는 지역공동체와 관련한 특별한 의미로 ‘실용 방사선방호문화’를 정의하고 설명하므로 소절 제목도 구체화 했다.



- 측정 결과 해석(예: 주위선량률, 내부 및 외부 선량, 식품 오염)
- 어디서, 언제, 어떻게 피폭하는지 이해함으로써 일상생활에서 방사능 존재에 대처
- 직면하는 방사능 준위에 대한 자신의 기준점benchmark 설정
- 자신의 방호에 대해 유익한 결정과 행동(자조방호)에 필요한 정보의 수집
- 자신이나 당국이 실행한 방호조치의 적절성과 효과를 판단.

(167) 실용 방사선방호문화의 발전은 방사선방호를 뒷받침하는 과학적 지식과 일상생활 활동을 연결하는 학습 과정에 기반을 둔다. 사고 당시에는 자신에게 영향을 미치는 결정에 관한 시민의 자율이 상당히 침해되는데, 이 문화는 그러한 자율을 회복할 수 있게 한다. 나아가, 이런 문화는 사람들을 다시 연결하는 데 기여하고, 연대를 발전시키도록 도우며, 더 큰 자신감을 가지고 미래를 볼 수 있는 기회를 제공한다.

### 3.5. 중기에서 장기 단계로 전환

(168) 초기 및 중기 단계에서 실행된 방호조치는 당국과 이해당사자가 이들 조치가 기대 효과를 달성했거나, 계속 적용이 더는 정당화되지 않는다고(즉, 넓은 의미에서 이로움보다 해로움을 더 많이 유발) 생각하는 때에 해제, 조정 또는 보완되어야 한다. 그러나 경험에 따르면 초중기 단계에서 실행된 방호조치를 해제하는 것은 실제에서 어려운 결정이다. 이를 위해서는 조치가 더는 필요하지 않은 것으로 평가되고 이 평가가 공유되어야 한다. 조치의 해제는 상황에 더 적합한 대체 또는 보완 조치의 실행을 의미하는 경우가 많다. 실제로 이러한 움직임은 상황관리에 관여하는 여러 조직의 협력과 지원을 요구하고, 다양한 이해당사자에게 적절히 알려 이들이 참여하기 위한 유효한 메커니즘을 요구한다.

(169) 피해지역의 잔류오염 수준이 방호조치를 통해 지속 가능한 보건, 사회, 경제 및 환경 조건을 달성할 수 없는 경우에는, 당국은 이미 소개했거나 임시 이주한 주민이 자택으로 복귀하는 것을 허용하지 않을 수 있다. 피해지역으로 복귀를 금지하는 결정은 그 어려운 결정의 심각성과 일부 사람들에게는 돌이킬 수 없는 성질을 충분히 인식하여 정당화해야 한다. 오염 수준이 낮은 피해지역의 경우, 당국은 예상 피폭수준과 지속가능하고 적절한 생활 및 근로 조건을 합리적인 기간 내에 회복할 수 있는 능력을 고려하여 사람들이 머물거나 집으로 돌아가 영구적으로 거주하도록 허용할 수 있다. 이러한 결정은 방사선 상황 및 지역의 기반시설과 서비스 상태에 관한 모든 가용한 정보에 기초하여 확실히 정당화해야 한다.

(170) 실제로 사람들이 집으로 돌아가 영구적으로 살도록 허용하려면 그들의 미래 피폭과 수반 위험에 대한 평가가 필요하다. 이 평가는 주위선량률과 환경 및 식품 오염의 측정, 개인피폭의 변화 예측 및 방사선학적 상황의 개선 능력에 기초해야 한다. 현실적인 모델링과 결합해 환경 및 식품 감시 데이터를 미래 피폭을 예측하는 데 사용할 수 있다(Takahara 등 2020).

(171) 임시 이주한 사람들이 집으로 돌아가도록 허용하는 결정은 피해지역 주민, 당국 및 지역사회 전문가 사이 광범한 대화를 요구한다. 주민이 집으로 복귀를 선택하는 경우, 직면하게 될 생활 여건과 근로 여건, 환경의 질에 대한 모든 세부 사항을 주민에게 제공하는 것이 중요하다. 주민은 상호전문화 과정에서 전문가 지원을 기대할 수 있으며, 적절한 의료 서비스 및 교육에 접근할 자격이 있다(Miyazaki 2017).

(172) ICRP는 개인이 자신의 미래를 결정할 기본적인 권리를 가진다고 강조한다. 자발적 소개자를 포함하여 사람들이 영항 지역에 남아 있을지 떠날지, 귀향할지 말지에 대한 모든 개인의 결정은 존엄 문제로 존중되어야 하며, 당국은 이를 지원해야 한다. 또한, 집으로 돌아가기를 원하지 않거나 그것이 허락되지 않은 사람들을 이주시키기 위한 전략도 만들어야 한다.

(173) 한 지역에서 사람들을 영구적으로 이주시키고 그 사용을 금지(적어도 예측 가능한 미래 동안)하는 것은 어려운 결정이다. 비록 사회적 이유로 기존의 지리적 또는 행정구역 경계를 고려할 수 있지만, 이런 지역의 경계를 긋는 데는 방사선학적 고려가 적용될 것이다.

(174) 소개된 사람들의 귀환을 허용하는 결정에는 당국의 방사선학적 기준 설정이 동반될 것인데, 그 기준 이상에서는 주민을 영구적으로 이주시키고, 그 이하에서는 방호조치 실행으로 초중기 단계에서 초래된 방사선 상황을 유지 또는 개선하는 조건으로 주민의 체재를 허용하게 된다. ICRP가 그러한 방사선 기준에 대해 특정 값을 권고하지는 않는다. 만일 어떤 기준이 선택되면 그것은 기존피폭상황 관리에 관한 지침과 일치해야 한다(제4장 참조). 일관성을 보장하기 위해, 사람들이 피해지역에 살 수 있도록 허용하는 방사선학적 기준의 선택은 장기 단계에서 적용할 참조준위 값 선택과 함께 논의되고 결정되어야 한다.

(175) ICRP는 다음 조건과 수단이 최소한 충족된 경우에 당국이 지역공동체 대표 및 기타 모든 이해당사자와 긴밀히 협의하여 피해지역에 사람들이 영구적으로 살 수 있도록 허용하는 결정을 내리도록 권고한다:

- 피해지역 사람들과 환경, 식품, 상품에 대한 방사선상황이 사람과 환경을 보호하고 생활 및 근로 조건을 개선하기 위한 유효한 결정을 내릴 수 있도록 충분히 잘 파악되었다.
- 의사결정 과정에 지역 이해당사자의 참여를 위한 메커니즘이 수립되었다. 이 메커니즘은 투명하고 모든 관련 이해당사자가 이해해야 한다.
- 데이터의 수집, 저장 및 사용을 위한 적절한 메커니즘을 포함하여, 건강감시 체계뿐만 아니라 환경 방사선 감시 및 개인 외부/내부 선량 측정체계가 구축되었다.
- 피해 주민이 지역 당국과 전문가의 지원을 받아 공동체에서 복지와 삶의 질 향상에 참여할 수 있는 적절한 메커니즘(예: 상호전문화 과정)이 마련되었다.



## 제4장 장기 단계

### 4.1. 장기 단계의 특성

(176) 부지 안에서 장기 단계는 사고관리를 담당하는 당국이 손상된 시설이 안정되었다고 볼 때 시작된다. 부지 밖에서 장기 단계는 당국이 피해지역의 미래에 관해 결정을 내리고, 희망하는 주민들이 이 지역에 영구적으로 거주할 수 있도록 결정한 때 시작된다. 이 결정은 ICRP가 기존피폭상황으로 간주하는 장기 단계의 시작을 나타내며, 이 단계에서는 참조준위와 함께 결정의 정당화 원칙과 방호조치의 최적화를 적용하여 관리한다.

(177) 체르노빌과 후쿠시마 사고의 경험에 따르면 대규모 원자력사고 후 생활과 근로 조건의 회복은 방사선학적 측면의 고려 외에도 개인과 공동체 생활의 모든 차원이 관련되고 상호 연결되는 복잡한 과정이라는 것을 보여준다. 사회적으로 매우 파괴적인 이 두 사고는 방사선학적 원칙과 기준에만 기반한 장기 단계의 관리가 피해지역의 개인과 공동체가 직면한 도전에 대응하기에 충분하지 않다는 것도 보였다. 방사선학적 관리는 주민의 생활환경을 재건하는 데 불충분하며, 경험에 따르면 영향권 공동체의 개인 복지와 삶의 질에 영향을 미칠 수 있는 불필요한 분열도 유발하는 것으로 나타났다(Ando 2016). 따라서 방사선학적 원칙과 기준은 장기 단계의 관리에 필수적인 입력이지만, 피해 개인과 공동체의 생활 및 근로 조건의 재건을 동반하기 위해 적당한 유연성을 가지고 적절하게 적용되어야 한다.

(178) 많은 기존피폭상황에서와 같이 피해지역에 거주하는 사람들의 피폭 수준은 대개 개인의 행동에 따라 좌우되며, 이로써 일반적으로 개인 피폭의 심한 비균질 분포를 초래한다. 피폭 범위는 다음과 같은 여러 요인에 의해 영향을 받을 수 있다:

- 오염지역에서 자택 및 직장의 위치
- 직업 또는 업무, 따라서 오염된 특정 구역에서 근무한 시간
- 사회경제적 상황에 크게 좌우될 수 있는 개인 습관, 특히 식이.

(179) 경험에 따르면 이웃 공동체 사이에도 피폭 수준이 큰 차이를 보일 수도 있는데, 동일 공동체의 가족들 사이, 심지어 한 가족에서도 식이, 생활방식 또는 직업에 따라 차이가 있다. 이러한 차이는 일반적으로 편향된 선량분포를 보여 소수 사람은 평균보다 크게 많은 피폭을 받는다.

(180) 일시적으로라도 영향권 지역에 거주나 근무하는 사람에게는 방사선 상황을 확실하게 알려야 한다. 그들은 방사선에 대한 적절한 방호를 보장할 뿐만 아니라, 훌륭한 생활양식과 생계를 포함하여 지속 가능한 생활 및 근무 조건을 확보하기 위해 당국과 전문가의 지원을 받아야 한다.

(181) 주민에게 자신을 방호하는 방법과 이러한 방호를 효과적으로 실행하기 위한 조건, 수단 및 자원에 대한 관련 지침을 제공하는 것은 정부 책임이다. 따라서 정부 또는 주무 당국은 이해당사자와 함께 장기적 방호를 보장하고 상황을 더욱 개선하는 방법에 대해 적절한 지원을 제공하기 위하여 공동체나 개인 차원에서 수행되는 자조방호 조치를 포함해 시행 중인 방호조치의 효과를 정기적으로 평가해야 한다.

## 4.2. 방사선학적 상황파악

### 4.2.1. 피폭경로

(182) 장기 단계에서 피폭경로는 초기 방사능 침적 수준과 범위, 환경 제염을 위해 실행된 조치의 결과 및 방사능 붕괴를 반영한다. 각 피폭경로의 중요성은 확산 및 침적된 방사능물질의 유형에 따라 달라진다. 강우와 풍화가 침적된 방사성핵종의 토양 침투 및 물흐름이나 재부유를 통한 일부 이동에 영향을 미칠 수 있다. 산지 목초지, 산림 및 고지대와 같은 특정 지역에는 농지보다 토양에 더 오래 정체를 보일 수 있다. 식물의 오염 흡수는 종에 따라 다르다. 특정 식품(예: 야생 딸기 및 버섯)으로 높은 수준의 전이는 섭취량을 높일 수 있다. 가축의 오염은 그 사료에 달려 있는데, 이것은 어류나 야생동물과는 달리 조절할 수 있다. 동물로 전이는 다양한 방사성핵종의 섭취와 신진대사에 따라 달라진다.

(183) 장기적으로는 하나 또는 몇몇 방사성핵종이 사람 피폭의 주요인이 된다. 침적된 방사성핵종으로 인한 외부피폭은 주위선량률과 집, 직장 및 휴가지와 같은 다양한 장소에서 개인이 보낸 시간에 따라 달라진다. 내부피폭은 오염된 물질의 소비나 흡입을 통하여 발생한다. 사람의 방사성핵종 섭취는 야채, 우유, 육류 및 생선의 소비로 인해 발생

할 수 있다. 당시 계절과 그에 따른 농업 관행, 토양 및 작물의 유형, 그리고 개인별 식단에 따라 기간 동안 주민의 섭취량에 상당한 차이가 있을 수 있다.

#### 4.2.2. 방사선 감시

(184) 장기 단계가 시작될 때 피해지역의 방사선학적 특성을 파악하여 오염의 공간적 분포를 잘 이해해야 한다. 사람들이 살도록 허용된 피해지역에서는 필요한 경우 방호 조치를 조정할 수 있도록 방사선 상황의 변화를 추적하는 것이 중요하다. 이는 사람들의 외부피폭 및 내부피폭에 대해 당국뿐만 아니라 개인이나 공동체가 수행하는 감시 프로그램을 유지하고, 필요한 경우 조정하여 이루어진다.

(185) 이 감시 프로그램은 피해지역의 오염 진화에 대한 데이터를 제공할 뿐만 아니라 식품 중 방사성핵종의 농도 관리에도 도움이 된다. 감시 프로그램은 여러 위치에서 결과를 전시하는 장치를 사용하여 주위선량률 정보를 제공했다.<sup>56)</sup> 이를 통해 사람들이 자신의 피폭에 접근하고, 언제, 어디서, 어떻게 피폭했는지를 알 수 있게 한다. 이 정보는 상호전문화 과정의 실행에 필수적이다. 실제로 이를 통해 영향권 공동체에 주위선량률 준위, 개인 외부피폭, 식품 및 환경의 방사성핵종 농도 및 개인 내부피폭을 측정할 수 있는 수단(측정 장비 및 유자격 인력)을 제공해야 한다. 감시에서 얻는 데이터를 이해하고 해석할 수 있도록 지원하는 것도 중요하다. 동식물에 대한 환경감시도 고려해야 한다.

(186) 감시 프로그램의 유효성은 피해지역 국부의 특이성에 대처하는 능력에 의존하며, 이는 위험에 처한 잠재적 그룹을 확인하는 데 특히 중요하다. 이러한 프로그램의 지속성을 위해서는 국가 및 지역 당국이 제공하는 유지 보수 및 교육이 계속 필요하다.<sup>57)</sup>

(187) 경험에 따르면 방사선감시 프로그램 실행에 관련된 조직의 다양성(당국, 전문가 단체, 지역 및 국가 실험실, 비정부기구, 민간 기관, 대학, 지역 이해당사자, 원자력사업자 등)은 방사선학적 상황의 평가를 공고히 하는 데 중요한 요소이다. 이는 측정에 대한 피해주민의 신뢰도를 높이는 역할도 한다.

56) <역주> 이는 후쿠시마에서 경험을 설명한 것이지만 향후 다른 곳에서 사고가 나더라도 비슷하게 대응할 것이다.

57) <역주> 명확하지는 않지만 방사선 상황의 지역적 특별상황을 잘 대처하지 못해 신뢰를 잃으면 감시 프로그램 전체가 흔들린다는 의미로 해석된다. 예를 들면 올림픽이 열리는 도쿄의 어느 공원 어떤 장소에 방사능이 높게 검출되었다는 것과 같은 지적에 잘 대응해야 발표한 방사능 오염지도에 대한 신뢰를 잃지 않는다.

### 4.3. 장기 단계에서 대응자 방호

(188) 장기 단계에서, 부지 내 목표는 손상된 시설을 해체하고 발생 폐기물을 관리하는 것이다. 피폭상황은 대체로 잘 파악되고 선원은 대부분 관리되나, 일부 기술적 어려움이 남아 있고 예상치 못한 상황이 언제든지 발생할 수 있다. 부지 내 대응자<sup>58)</sup> 관리를 위해 ICRP는 참조준위를 연간 20 mSv 이하로 설정하고,<sup>59)</sup> 필요하다면 직무피폭 요건을 적용할 것을 권고한다. ICRP는 일부 당국과 이해당사자가 선량한도를 적용하기를 원할 수 있음을 인정한다. 선원이 잘 파악되고 제어되는 상황에서는 선량한도 적용이 적합할 수 있으나 필수적인 것은 아니다.<sup>60)</sup> 많은 대응자는 토목 작업처럼 일반적으로 방사선이 있는 곳에서 수행되지 않는 직무를 위해 고용된다. 따라서 그들의 훈련은 방사선위험과 방사선방호 원칙에 대한 기본 정보뿐만 아니라, 그들이 일할 특정 작업조건에 대한 정보도 포함해야 한다. 부지 내 상황이 참조준위보다 높은 피폭에 대한 계획을 요구할 수 있다.<sup>61)</sup> 이 경우 ICRP는 한시적 특별대책을 권고하는데, 이 대책은 방호 최적화를 거둬 관련 당사자의 숙의를 거쳐 최대한 신중하게 수립되어야 한다.<sup>62)</sup>

(189) 부지 외부에서는, 장기 단계 동안에 대응자가 수행하는 작업은 초중기 단계에서 시작된 건물과 환경의 청소와 제염을 계속하여 완료하는 것을 목표로 한다. 대응자들은 또한 피폭을 유지 또는 감소시키거나 피해지역에 거주하고 일하는 사람들의 생활환경을 개선하기 위한 장기 방호조치의 실행을 지원하는 데 참여한다. 부지 밖 대응자는 높은 피폭을 주는 상황에 직면할 것으로는 예상되지 않는다. 중기 단계에서처럼, 거주자 자신을 포함하여 여러 그룹 사람들이 방호조치 실행에 관여할 수 있다. 이런 거주자의 피폭은 일반인피폭<sup>63)</sup>으로 간주해야 하며, 피해지역의 일반 주민과 동등한 요건을 적용하여

58) <역주> 장기 단계는 피폭상황이 안정된 상태이므로 이 단계에서 일하는 사람들(부지 안 이든 밖이든)을 방사선 사태에 대한 '대응자'로 부르는 것은 의문이다. 그냥 직무피폭자로 보는 쪽이 쉽다.

59) <역주> 전술했듯이 장기 단계에서는 참조준위가 아니라 계획피폭에 대한 선량한도와 선량제약치를 적용함이 마땅하다.

60) <역주> 이런 종사자들의 피폭이 계획피폭인지 기존피폭인지를 당국이나 이해당사자가 결정할 수 있다는 이 말은 그런 원론을 제시해야 하는 ICRP의 입장과는 괴리가 있다.

61) <역주> 사고 시설을 해체하여 가능하면 빨리 후환을 없앤다는 입장에서 보면, 그 해체 과정에서 불가피하게 소수 작업자가 연간 50 mSv를 넘는 '특임피폭'에 해당하는 특수작업을 수행할 상황이 없으리라는 보장은 없다(그럴 일은 희박하지만).

62) <역주> 긴급상황이든 아니든 '특임피폭'은 그 정당성이 객관적으로 인정될 수 있어야 하고, 온전히 자의로 자원한 작업자의 이해동의가 있어야 하며, 여건에서 최선의 방호가 제공되어야 한다.

63) <역주> 방사선방호에서 '일반인'이란 개념은 '본인의 이해동의 없이 타인의 방사선행위로 인해 피폭하는 사람'으로 범위를 한정하는 것이 필요하다. 현재처럼 종사자나 환자가 아니면 일반인이라는 포괄적 정의 때문에 방호체계 구성과 소통에 많은 어려움을 초래한



관리해야 한다.

(190) 정화 또는 제염 작업과 장기 단계에서 방호조치 실행에 참여하는 대응자에 대해, 피폭 수준에 상응하고 여건에 맞게 조정된 접근을 ICRP는 권고한다. 일반인에게 개방되지 않은 제한구역에서 방호조치를 실행하는 때에는 연간 20 mSv 이하의 참조준위를 적용하여 방호를 관리하도록 권고한다. 그러나 공공 지역에서 방호조치가 실행되는 때에는 참조준위를 연간 1~20 mSv 밴드의 하반부에 두기를 ICRP는 권고한다.<sup>64)</sup>

#### 4.4. 장기 단계에서 일반인과 환경 보호

(191) 장기 단계의 관리는 초기 및 중기 단계에서 실행된 조치를 계속하고 보완하는 일련의 방호조치의 실행에 따른다. 사람 방호에서 목표는 방호를 최적화하는 것이다(즉, 모든 피폭을 합리적인 범위에서 낮게 유지 또는 감소시키고, 개인피폭 분포의 불평등을 억제하는 것). 최적화는 피해지역에 거주하거나 일하는 사람과 공동체의 삶을 형성하는 사회적, 환경적, 경제적 인자를 고려하여 수행되어야 한다. 방호조치에는 국가나 지역 수준 당국이 실행하는 조치와 상호전문화 과정을 지원하기 위해 당국이 제공한 기틀 안에서 영향권 사람들이 실행하는 자조방호 조치가 포함된다(소절3.4.3 참조).

(192) ICRP 111(2009b)에서 ICRP는 오염지역에 거주하는 사람들의 방호 최적화를 위한 참조준위를 상황에 따라 연간 1~20 mSv 밴드의 하반부에서 선택해야 하며, 사고 후 장기적 상황에서 전형적인 값은 연간 1 mSv라고 추가로 권고했다. 이는 “피폭이 ‘정상’으로 간주되는 상황의 범위에 있도록 피폭 수준을 낮추려는 피폭자나 당국의 욕구와 일치한다.”(ICRP 2007).

(193) 이제 ICRP는 연간 1~20 mSv 밴드의 하반부에서 선택한 참조준위를 사용하여 장기 단계에서 최적화를 실행할 것을 권고하며, 그 목표는 대역의 하단으로 또는 가능하면 그 이하로 피폭을 점진적으로 감소시키는 것이다. 참조준위 선택은 집단의 실제 피폭분

---

다. 위치럼 일반인의 범위를 좁히면 오염지역에서 거주하거나 일하는 사람은 일반인이 아니게 된다.

64) <역주> 주거가 제한된 구역에서 일하는 사람에 대한 참조준위는 20 mSv까지, 일반 지역에서 일하는 사람은 10 mSv까지를 권고하는 논리는 이해하기 어렵다. 실제로는 어느 경우든 통상적 직무피폭 선량한도 적용 대상으로 보는 것이 적절하다. 따로 선량제약치 차이를 두지 않더라도 일반 구역(주민이 거주하는) 작업자라면 연간 10 mSv를 초과하지 않을 것이다.

포와 감축 우선순위를 고려해야 한다. ICRP 111(2009b)에서 언급한 바와 같이, ICRP는 참조준위를 선택하는 과정은 환경의 질 뿐만 아니라 사회생활과 경제활동의 지속가능성을 포함한 많은 상관된 요소의 신중한 균형에서 이루어져야 하며, 모든 관련 이해당사자의 견해를 적절히 반영할 것을 거듭 강조한다.

(194) ICRP는 영향권 집단의 큰 부분이 참조준위 이상으로 피폭하는 경우에는 장기 단계에서도 어떤 유형의 방호조치를 유지하도록 권고한다. 사고 특성<sup>65)</sup>에 따라, 방호조치가 몇 년 또는 수십 년이 걸릴 수도 있는데, 이는 오염지역에 거주하고 일하는 사람들의 피폭이 엄격하게 통제할 수 없는 그들의 습관과 생활 조건에 크게 좌우되기 때문이다. 따라서 모든 개인선량이 장기적으로 참조준위 이하로 유지된다고 보장할 수는 없다. ICRP 111(2009b)에 언급된 과거 경험에 따르면, 몇 년이 지난 후에는 풍화, 방사능 붕괴 및 적절한 방호조치의 실행이 결합된 결과, 주거가 허용된 지역에 거주하거나 근무하는 대부분 사람의 피폭은 연간 1 mSv 미만으로 나타났다. 주민의 극히 일부만이 연간 수 mSv 이상 피폭할 것 같다.

(195) 효과가 있으려면 당국이 피해지역의 미래에 관하여 결정을 내리는 중기 단계 말에 선택하는 일반인 방호를 위한 참조준위는 방사선 상황을 정확하게 반영해야 한다. 이는 적절한 사회, 환경 및 경제적 인자를 고려하는 상황파악 과정을 기반으로 한다. 참조준위는 최적화 노력을 도와 안내하기 위한 것이므로, 너무 높은 값을 선택하는 것은 당국과 기타 이해당사자가 생활 조건과 지역사회의 재건에 참여하도록 유도하는 데 도움이 거의 될 수 없다. 반대로 너무 낮은 값을 선택하면 사회적 조건에 영향을 미치고 지역 경제활동을 해칠 수 있어 역효과를 낼 수 있다. 장기 단계를 관리하기 위한 참조준위의 선택은 사회적, 윤리적 가치판단으로 유식해져야 하는 복잡한 결정이다(ARPANSA 2017). 이러한 복잡성으로 인해 ICRP는 참조준위 값을 선택할 때 상황을 직면할 이해당사자들이 가능한 한 많이 참여하도록 권고한다.

(196) 사람 외 생물군의 방호에서는, 목표는 생물 다양성과 종의 번식을 보존할 목적으로, 사람을 위해 채택된 방호조치와 양립 할 수 있고, 합리적인 범위에서 낮은 수준으로 피폭을 줄이는 것이다. 사고로 크게 영향을 받은 지역과 고도로 오염된 물질이 처분 또는 보관된 장소에서는 ICRP가 권장하는 기틀(ICRP 2014)을 사용하여 사람 외 생물군을 방호하기 위한 구체적 파악을 수행해야 한다(소절2.3.3 참조). 사람 외 생물군에 대한 영향은 결정의 정당화 및 방호 최적화에서 고려해야 한다.

65) <역주> 원문은 '시나리오'로 적고 있으나 이 간행물은 비상계획이 아니라 사고 후 방호를 다루므로 시나리오가 부적절하여 '특성'으로 바꿨다.

(197) 장기 단계의 관리는 오염 수준과 공간 및 시간 분포에 따라 다양한 차원(사회적, 경제적, 보건, 환경 등)에 대처하는 재건 프로그램의 실행에 의존한다. 이 프로그램은 영향권 공동체에 대한 피폭상황의 특별한 도전을 겨냥한 한 세트 전용 방호조치들을 포함한 방호전략을 포함해야 한다. 프로그램은 또한 피해주민의 건강 상태를 추적하기 위한 건강감시와 더불어 특히 시민 솔선과 지역 프로젝트의 개발을 지원하는 수반 대책, 그리고 상황을 관리하면서 얻은 경험의 전파와 전달을 포함해야 한다.

#### 4.4.1. 장기 단계를 위한 방호조치

(198) 장기 단계에 사용할 수 있는 방호조치는 환경에 존재하는 오염 제거(제염 및 폐기물 관리)부터 외부피폭과 내부피폭을 관리하기 위한 집합적 또는 자조방호 조치 실행에 이르기까지 많고 다양하다(식품 관리, 식이 조언). 이들은 독립적으로 적용하거나 농업 분야처럼 광범한 방호전략의 일환으로 조합하여 사용할 수 있다(Bogdevich 2012). 가축의 깨끗한 사료 공급처럼 일반적 속성을 갖는 일부 조치는 피해지역 전체에 동일하게 그리고 체계적으로 적용될 수 있으나, 반면에 토양 개선제와 같은 다른 조치는 피폭 조건에 따라 특정 장소에서만 적용될 수 있다. 예를 들어, 어떤 방호조치는 한 가지 유형의 토지이용 또는 토양에만 효과적일 수 있다. 다른 어떤 방안은 대량의 폐기물을 발생시키거나 연중 특정 시기 또는 특정 조건에서만 효과적일 수 있다. 방호조치의 평가, 선정 및 조합은 광범한 이해관계자의 입력뿐만 아니라 잠재적 영향에 대한 현실적인 평가를 기반으로 해야 한다. 그들의 실행은 방사선 상황의 진화에 따라 변하는 역동적 과정이다.

(199) 자조 방호조치는 방호의 지속가능성, 그리고 피해지역에서 실용 방사선방호문화의 파급 및 미래 세대로 전수를 위한 핵심이다. 경험은 시민 자경을 유지하는 것이 어려운 일임을 보여주었다. 성공하기 위해서는 당국이 기술지침과 상호전문화 과정의 개발 및 자조 방호조치의 실행에 지속적인 지원을 제공해야 한다.

##### 4.4.1.1. 제염 및 폐기물 관리

(200) 건물, 공공장소(예: 학교) 및 주거지 인근 환경의 제염은 중기 단계에서 시작되며, 장기 단계에서도 일정 기간(수년) 지속될 수 있다. ICRP는 주택, 건물, 정원, 공원 및 휴양지역의 사용자들 및 주민과 긴밀히 협의하여 피폭에 기여가 크거나 이들에게 소중한 지역을 식별하여 제염 조치를 수행할 것을 권고한다.

(201) 제염 조치는 특히 외부피폭 감축에 기여한다(Tsubokura 등 2019). 실제로, 상호전문화 과정에 참여를 통해 사람들에게 권한을 부여하면 그들이 살고, 일하고, 휴식을

취하는 장소의 선량률 지도를 작성함으로써 자신의 외부피폭을 더 잘 관리할 수 있게 한다. 그렇게 되면, 사람들은 높은 주위선량률이 나타난 장소나 거기서 보낸 시간에 따라 외부선량에 크게 기여한 장소를 식별할 수 있다. 두 경우 모두 그러한 장소에서 보내는 시간을 최소로 하도록 노력하게 할 수 있다.

(202) 어떤 제염 조치를 채택할 것인지를 결정할 때는 폐기물 문제를 고려해야 한다. 피해지역의 폐기물은 대부분 건물, 도로 및 포장된 지역, 토양 및 초목, 오염된 농산물, 기타 가정 및 상업 쓰레기, 그리고 폐기물 처리(예: 소각 후 재, 수처리 슬러지)의 청소나 제염에서 파생된 물질로 발생한다. 방사능 농도는 처음 오염 수준과 처리 방식에 따라 낮거나, 보통 또는 높을 수 있다.

(203) 제염에서 방사성폐기물 발생은 이용 가능한 처분 경로와 가용한 대안을 고려하여 신중하게 검토되어야 한다. 장기 단계에서, 방사성폐기물은 지속가능한 방안을 찾아내는 목표를 가지고 관리되어야 한다. 경험에 따르면 대형 원자력사고 후에는 제염 과정에서 발생하는 폐기물의 특성(대량, 방사선학적 특성 및 본질 특성)을 고려하여 정상운전을 위한 방사성폐기물 관리에 일반적으로 사용되는 원칙과 방안을 조정하여 적용할 필요가 있다.<sup>66)</sup> 정당화 및 최적화 원칙에 기초한 특정 폐기물<sup>67)</sup> 관리 방안은 상황(예: 사고의 유형 및 심각도), 오염 정도, 발생 폐기물의 유형과 양, 폐기물 관리에 관련된 사람들의 방사선피폭 등을 고려하여 실행되어야 한다. 방사선방호 측면은 물론 사고 후 상황을 특정 짓는 사회, 환경 및 경제적 여건을 고려해야 한다.

(204) 제염조치로 발생된 방사성폐기물의 관리를 위해, ICRP는 이런 방사성폐기물을 하나의 선원으로 고려하여 일반인 또는 환경 피폭에 대해 설정된 참조준위를 고려할 것을 권고한다. 관련 이해당사자는 제염 폐기물의 관리(특히 저장 장소)와 관련된 방호조치의 선택(특히 현장의 감시 및 잠재적 재사용과 재활용)에 관련된 의사결정에 최대한 참여해야 한다.

(205) ICRP는 폐기물 저장 및 처분장에 대한 감시를 필요한 만큼 오래 실시할 것을 권

66) <역주> 예를 들어 오염지역 표토나 수풀을 걷어낸 방대한 양의 저준위 폐기물을 일반적인 용도로 건설한 방사성폐기물 처분장(일본의 경우 아오모리 처분장)으로 모두 보낼 수는 없다. 양도 감당할 수 없거니와 처분 폐기물 기준에 맞게 처리도 쉽지 않다. 따라서 특례가 필요하고 법규 뒷받침이 있어야 한다. 일본의 경우도 후쿠시마 사고 후 방사선방호 규칙에 여러 특례조항이 추가되었다.

67) <역주> 특정 폐기물(specific waste)이란 예외적 규정에 따라 처리, 처분할 방사성폐기물이란 의미이다. 후쿠시마 사고 후 일본이 제염 폐기물을 처분하기 위해 만든 특별규정에서 사용하는 표현으로 이해된다. 그러나 일반적으로 통용되는 용어는 아니다.

고한다. 경험에 따르면 지역주민을 제염 폐기물 감시에 참여시키는 것은 이들 저장 및 처분장의 지속가능성을 보장하는 효과적인 접근이다.

#### 4.4.1.2. 농업, 어업 및 식품 관리

(206) 장기 단계 동안 토양 속 오염이 계속해 이동할 수 있다는 것은 농업 방호조치가 해당 있음을 의미한다(소절3.4.2.2 참조). 식품의 생산과 소비에 대한 제한을 장기적으로 유지하면 피해지역의 지속가능성에 영향을 미칠 수 있다. 가능하면 지역 생산을 유지하도록 방호조치를 실행해야 한다. 그러나 농부들이 경제성을 유지하기 위해 시행 중인 농업 생산의 유형 변경을 고려할 필요가 있는 상황이 있을 수도 있다(예: 식품 대신 사료를 생산, 방사능을 덜 농축하는 작물이나 종자 생산, 식료품 이외의 산물). 심지어 비농업 활동으로 토지 이용의 변경을 고려할 필요가 있을 수도 있다.

(207) 후쿠시마 사고는 해양 환경의 상당한 오염과 그로 인한 어업 활동에 미치는 영향을 드러냈다. 해양 어류의 오염도를 제어하는 것은 불가능하다. 오염도는 어종과 어장의 위치에 따라 다르다. 적절한 감시를 통해 이 두 가지 매개변수로 어업 활동을 관리할 수는 있다. 수산물을 직접 판매하는 대신 주로 가공에 사용하는 것도 가능하다. 체르노빌과 후쿠시마 사고 모두에서 방사능이 호수와 강에 직접 침적되거나 오염된 토양에서 방사능이 씻겨내려 민물고기도 오염되었다.

(208) 취식 경로의 감시는 일반인 방호의 중요한 요소이다. 경험에 따르면 장기 단계에서 식품에 대한 방사선 감시를 유지하는 것이 피해지역 안팎에서 식품 유통업체, 소매업체 및 소비자의 신뢰를 점진적으로 회복하는 데 유용한 것으로 나타났다(Strand 등 1992, Skuterud와 Thorring 2012). 또한, 사람들이 지역 농산물, 텃밭에서 경작한 식품 및 야생에서 채취한 식품(예: 산림 버섯, 푸성귀, 야생 사냥감, 민물고기 등)의 방사능 준위를 감시할 수 있도록 측정기를 지역사회에 제공하는 상호전문화 과정은 자조 방호조치의 실행에 기여하게 된다.

(209) 실제로 지역 사람들은 매일 소비하는 식품의 방사선학적 품질에 따라 행동할 수 있다. 이런 행동은 그들이 텃밭에서 경작한 식품을 포함하여 지역 산물의 측정에 접근할 수 있다는 가정하에 가능하다. 이러한 측정 결과를 바탕으로 다른 산물보다 보통 더 많이 오염되는 산물을 식별할 수 있다(예: 버섯은 푸성귀와 과일보다 쉽게 오염된다). 이러한 맥락에서, 오염된 식품의 섭취량을 줄이기 위해 식습관을 조정할 수 있다. 전신계수는 영향권 사람들이 식단 변경 효과를 평가하는 데 도움을 줄 수 있다.

(210) 오염지역에서 온 식품의 구매 여부를 궁극적으로 결정하는 것은 소비자이다. 소비

자 선택은 시장에 중대한 영향을 미친다. 식품 생산 및 어업 활동을 위한 지속가능한 전략을 개발할 때 산물 품질(방사선학적 및 방사선 외적)을 보장하여 소비자 신뢰를 회복하는 것이 중요하다. ICRP는 관련 이해당사자(당국, 농어민 조합, 식품 산업 및 식품 유통업체, 소매업체, 소비자연맹 등)와 일반 대중의 대표들이 식품 품질에 대한 소비자의 기대를 고려하여 농업 생산 및 수산업의 유지 및 적응과 관련된 의사결정 과정에 참여하도록 권고한다. 국가 내에서 어느 정도의 단결을 이루기 위해서는 지역 및 국가 차원의 철저한 대화가 필요하다.

#### 4.4.1.3. 경제 및 기업활동

(211) 장기 단계 동안 경제활동의 전개와 지속가능성을 위해서는 잔류오염과 다양한 이해당사자의 기대에 따라 직원, 근로환경 및 제품에 대한 방사선감시를 유지하고 조정하는 것이 필요하다. 이런 감시는 장기적 자경에 기여하고, 따라서 필요에 따라 추가 또는 수정된 방호조치를 식별할 수 있게 한다.

(212) 초기 또는 중기 단계에서 소개 또는 이주한 일부 회사는 피해지역에서 운영 재개를 고려할 수 있으며, 신규 회사는 이 지역에서 경제활동 시작을 고려할 수 있다. 회사의 활동에 따라 위에서 언급한 전담 감시 프로그램이 실행될 수 있다. 또한 소비자이기도 한 고용주들을 위해 방사선방호문화를 유지하고 발전시키기 위한 수단을 제공하는 것도 필수적이다.

(213) 소절3.4.2.5에서 언급했듯이, ICRP는 피해지역에서 다양한 경제활동을 위해 고용된 사람들을 일반인으로 다룰 것을 권고한다.<sup>68)</sup>

#### 4.4.2. 건강조사

(214) 피해지역의 피폭 수준이 어떠하든, 경험에 따르면 오염의 존재와 그로 인한 잠재적 건강영향은 장기 단계에서 사람들 사이에 만연한 우려로 남는다. 이전 단계에서 실행된 건강조사<sup>69)</sup>health surveillance를 계속하고 조정하여 이러한 우려에 대응하는 것이 필수

68) <역주> 피폭관리 측면에서는 이들을 직무피폭자로 간주하여 선량한도와 선량제약치를 적용하든, 기존피폭상황의 일반인으로 보아 1~20 mSv 참조준위를 적용하든 비슷한 결과가 될 것이다. 그러나 직무피폭자라면 건강조사와 피폭기록 관리 요건이 추가되고 교육 요건도 강화될 것이다. 역자는 근로자를 직무피폭자로 다룰 책임이 고용주에게 있다고 본다.

69) <역주> health surveillance를 우리말로는 건강감시, 건강진단 등으로 표현하고 있는데 여기서는 health monitoring(건강감시)과 차별하고 있어 혼동을 피하기 위해 ‘건강조사’로 적는다. 그러나 건강감시와 건강조사가 명확히 다른 개념으로 정립되어 있는 것은 아니다.

적이다. 건강조사는 방사선 영향에 대한 신중과 영향권 사람들의 자율에 대한 존중을 고려하여 수행되어야 한다(Oughton 등 2018).

(215) 장기 단계의 건강조사는 세 가지 주요 요소로 구성되어야 한다(Oughton 등 2018, WHO 2006) :

- 초기 및 중기 단계에서 임상적으로 심각한 조직이나 장기 손상(예: 피부 화상, 백내장 등)을 초래한 피폭을 받았거나 예방적 감시를 정당화하기에 충분히 높은 수준의 피폭을 받은 사람(소수일 것임)의 의학적 추적.
- 잠재적인 부작용(방사선 유발 암 발생뿐 아니라 생활방식 변화에 따른 건강 영향)과 사고의 심리적 영향에 대한 일반인의 건강감시. 건강감시의 하위 범주는 잠재적으로 취약한 그룹(예: 아동, 임신부)에 대한 추적이다.
- 피폭 집단에서 장기적으로 가능한 방사선 건강 영향에 대한 정보를 얻기 위한 특별 역학연구.

(216) 첫째 요소의 경우, 필요한 치료 외에 정기적인 검진이 이루어져야 하며, 일반적 건강 상태의 전개에 특별한 주의를 기울여야 한다.

(217) 둘째 요소의 경우, 최초 의학적 평가, 선량평가, 필요에 따른 의학적 치료, 건강 상태 추적, 집단의 사회심리적 조건에 대한 조사 및 필요한 지원 조성을 포함하여 피폭 집단에 대한 특별 건강감시 프로그램을 개발해야 한다. 이 프로그램의 주요 목표는 영향권 집단의 건강과 생활조건을 파악하고 개선하는 것이다. 이를 실행하려면 건강 설문조사, 건강 데이터베이스 및 정보와 보건 지원에 접근을 위한 메커니즘 개발이 필요하다.

(218) 체르노빌 사고 후 피폭된 아동들에게서 방사선 유발 갑상선암 발생 위험의 증가가 관찰되었다(UNSCEAR 2018). 갑상선을 위한 특별 감시 프로그램은 심각한 갑상선 장애를 최대한 빨리 발견하는 데 유용할 수 있다. 그러나 그러한 감시는 집단 수준에서 이로움이 해로움보다 크도록 조직되어야 한다(Togawa 등 2018). 체계적 선별 검사는 갑상선암의 과진단(Katanoda 등 2016, Ohtsuru 등 2019)과 해로운 심리학적 문제(Midorikawa 등 2017, 2019, Midorikawa와 Ohtsuru 2020)를 초래할 수 있다. 이와 관련하여, 장기 갑상선 건강 감시 프로그램은 주로 태중 또는 소아기/청소년기에 100~500 mGy 또는 이상의 갑상선 흡수선량을 피폭한 사람에 대해 수행해야 한다(IARC 2018).

(219) 건강조사의 셋째 요소와 관련하여, 영향권 집단의 우려를 겨냥 역학연구의 개발을 고려해야 한다(WHO 2006).

(220) ICRP는 건강조사 프로그램의 설계와 후속 조치에 가능한 한 많은 이해당사자가 참여하는 다분야 접근을 발전시킬 것을 권고한다. 윤리강령의 역할은 이러한 유형의 상황에 해당될 수 있다. ICRP는 또한 집단의 건강 상태에 예기치 못한 변화를 다루기 위해 적절한 조치를 취할 수 있도록 준비할 필요성도 권고한다.<sup>70)</sup>

#### 4.4.3. 동반 조치

(221) 거주가 허용된 영향권 지역에서 개인의 복지와 공동체 삶의 질을 회복하기 위해서는 방호조치 그 자체를 넘는 동반 조치를 개발할 필요가 있다. 첫째 목표는 기술적 네트워크(수도, 전기, 전화 등), 인프라(도로, 철도 등) 및 공공 생활에 필요한 서비스(학교, 병원, 우체국, 은행, 상점, 사회활동 등)를 복구하는 것이다. 또한 해당 지역의 전반적인 사회경제적 발전을 보장하는 것도 중요하다(산업단지 조성; 농업, 산업 및 상업 활동의 유지 및 설립 지원 등).

(222) 특히 건강, 사회경제 및 환경 영향, 농업, 어업, 임업 활동 분야뿐만 아니라 제염, 폐기물 관리 및 손상된 설비의 해체와 같은 재건 과정의 과제를 해결하기 위한 특별 연구 프로그램도 고려해야 한다.

(223) 당국은 방사선 상황에 대한 관리 회복을 목표로 하는 시민 솔선initiative(상호전문화 과정, 자조 방호조치, 지역 프로젝트 등)을 지원하고, 영향권 주민의 대표와 관련 전문가(예: 보건, 방사선방호, 농업 당국 등)가 참여하는 대화 개선을 촉진해야 한다. 이러한 대화는 정보를 수집하고 공유하는 것을 목표로 하며, 주민과 당국이 추진하는 전략의 효과에 대한 공동 평가를 장려해야 한다. 이러한 시민 솔선은 자원이 필요한데, 자원을 할당하기 위한 의사결정 과정의 적법성, 투명성 및 공정성을 보장하기 위한 적절한 메커니즘을 확립해야 한다(Eikelmann 등 2016).

(224) 과거 경험에 따르면 재건 과정에 참여한 지역사회는 곧 기억, 문화 및 교육 영역에서 프로젝트를 개발해야 할 필요성을 느낀다. 이 기억은 기념뿐만 아니라 경각심을 일깨우고, 경계심을 유지하며, 경험을 전수하여 미래를 건설하게 하는 살아있는 독려자 역할을 한다. 이와 관련하여 교육 시스템(학교와 대학)의 참여는 경험을 다음 세대로 전달하는 중요한 방법이다.

---

70) <역주> 방사선의 생물학적 작용으로 집단에서 예기치 않은 건강상태가 발행할 것으로 보지는 않는다. 이에 반해 가치관의 변화로 인해 개인이나 사회의 심리학적 상태변화가 예기하지 못한 다양한 현상적 영향으로 발전할 가능성은 있다고 본다. 공포나 불만은 불안정한 상태를 촉발하기 때문이다. 이런 맥락에서 평소 방사선 위험에 대한 인식 개선을 위한 노력이 중요하다고 역자는 생각한다.



(225) ICRP는 현재와 미래 세대의 적절하고 지속가능한 생활조건에 기여하는 기억, 문화 및 교육 분야에서 시민 솔선 및 지역 프로젝트를 지원하기 위한 동반 조치의 개발에 상당한 주의를 기울이기를 권고한다.

## 4.5. 장기 방호조치의 진화 및 종료

(226) 장기 단계에서 사람이나 동식물의 피폭은 방호조치와 함께 방사능 붕괴와 같은 자연 과정의 복합적인 영향으로 시간이 지남에 따라 점점 감소한다. 따라서 원자력사고가 발생한 지 수년(심각한 사고의 경우 수십 년)이 지나면 방호조치를 유지, 수정 또는 종료 여부를 고려하는 것이 바람직하다. 다양한 방호조치가 장기 단계 동안 상이한 기간에 걸쳐 실행될 수 있으므로 모든 조치를 동시에 종료하는 것이 반드시 적절한 것은 아니다. 방호조치가 목적을 달성했거나, 계속해서 적용하는 것이 전체적으로 이로운보다 해로움이 더 많다면 종료할 것이다.

(227) 피폭이 참조준위보다 낮다고 해서 자동적으로 장기 단계의 종료를 의미하는 것은 아니다. 최적화 원칙에 따라 피폭을 더 줄일 가능성이 있고, 피폭의 증가를 방지하기 위해 경계를 유지하는 것이 바람직하다. ICRP는 방호조치가 종료된 경우에도 적절한 장기 감시 프로그램을 유지하고 실용 방사선방호문화를 전파하여 잔류 방사선상황과 그 진화에 대해 지속적인 경계심을 갖기를 권고한다.



## 제5장

# 대형 원자력사고를 위한 대응계획

(228) 대응계획은 원자력사고 발생 시 사람과 환경의 보호를 위한 전략을 준비하는 중요한 과정이다. 초기 및 중기 단계에 대해서는, 이 준비는 위험평가를 기반으로 가상 시나리오에 대해 미리 계획하는 방호조치의 개발이 된다. 장기 단계에 대한 준비는 잠재적 영향권 지역의 사회적, 환경적, 경제적 취약성을 식별하고, 실제로 일어나는 모든 상황에 대처할 수 있을 만큼 충분히 유연한 지침을 개발하는 것을 목표로 한다(Schneider 등 2018).

(229) 준비태세를 위한 전제 조건은 원자력사고가 발생할 가능성을 인정하고, 일반인은 아니더라도, 사고 후 단계의 관리에 참여할 수 있는 모든 조직에 이러한 인식을 심을 필요성을 이해하는 것이다. 원자력사고를 사전에 대비하는 주민집단을 상상하기는 어렵지만, ICRP는 주요 이해당사자들이 사고의 모든 단계에 대한 대응계획에 참여하기를 권고한다.

(230) 대응계획은 여러 기관의 책임자를 소통 및 조정 메커니즘과 의사결정 과정을 안내하는 기틀을 개발하는 데 참여시킬 필요가 있다. 사고 영향이 국경을 넘을 가능성을 고려하여, 인접국의 유사한 조직 및 국제기구와 조정에 대비하는 것도 중요하다.

(231) 실질적으로 대응계획은 참조준위를 포함하여 계획을 이행하기 위한 적절한 방호조치와 대책을 포함해야 한다. 방사선 상황의 파악 및 상호전문화 과정의 실행에 필요한 장비를 전개할 대책도 고려해야 한다. 또한 대응에 참여할 사람들의 교육 대책뿐만 아니라 대중이나 다른 이해당사자들에게 정보를 제공하는 명확한 소통계획도 개발되어야 한다. 이러한 계획들은 다양한 이해당사자들이 참여하여 정기적으로 연습해야 한다.

(232) 대응계획은 실제 상황에 따라 대응에 필요한 유연성을 유념하여 여러 예측 시나리오에 적합한 세부계획도 겨냥야 한다. 또한 대응계획은 방사선학적 인자와 방사선 외적 인자 모두를 고려해야 한다. 초기 단계에 대해서는 옥내대피, 소개 및 갑상선보호제 배포와 같이 신속하게 실행해야 하는 방호조치를 위해 사전 결정된 방사선 기준도 포함해야 한다.

(233) 사고 및 사후 관리를 위한 상세 계획의 준비는 국가 책임이다.<sup>71)</sup> 국가 간 또는 국제 수준의 협력도 있으며, 이는 세부 요건, 실행지침 및 공동 연습의 개발에 반영된다 (IAEA 2015b, Duranova 등 2016, NEA 2018, Schneider 등 2018). ICRP는 이 간행물에 제공된 권고사항은 궁극적으로 국가 및 국제기구가 활용할 것으로 기대한다.

---

71) <역주> 국제적 입장에서 보는 포괄적 의미로 한 국가의 책임이라는 의미이지, 정부가 모든 계획을 수립해야 한다는 의미는 아니다.

## 제6장 결론

(234) 대형 원자력사고는 개인과 사회를 크게 불안정하게 만들고 복잡한 상황을 촉발하며, 상당한 인적, 재정적 자원의 동원을 요구하는 예기치 않은 사건이다. 방사선피폭의 해로운 건강 영향에 대한 모든 영향권 사람들의 합리적 우려를 넘어, 대형 원자력사고의 사회, 환경 및 경제적 영향과 그 대응은 상당하고 매우 오랫동안 지속될 수 있다. 사고로 촉발되는 상황의 복잡성과 그 영향의 규모를 고려하면, 방사선방호는 필수적이기는 하지만 영향권의 모든 개인과 조직이 직면하는 문제들에 대처하기 위해 동원할 것으로 보는 역할의 한 차원만을 나타낸다.

(235) 그러한 맥락에서 방사선방호의 첫째 목표는 조직/장기에 심각한 급성 방사선유발 손상의 발생을 방지하고, 사회, 환경 및 경제적 인자를 고려하여 미래의 암과 유전적 영향의 위험을 합리적으로 최소화하는 것이다. 이것은 초기 단계 시작 때 개시되고 수십 년 지속될 수도 있는 한 세트의 보완적 방호조치를 통해 달성된다. 방호조치는 방사선학적, 방사선 외적 고려사항 모두를 고려하여 선정된다.

(236) 과거 원자력사고의 경험에 따르면, 정당화 및 최적화 원칙에 따라 해로움보다 이로움이 크게 하고, 방사선피폭을 합리적 범위에서 최소로 줄이거나 유지하려는 희망에도 불구하고, 초기, 중기 및 장기 단계에서 채택된 방호조치들이 부정적 결과나 추가적 복잡성의 원천이 될 수도 있음을 보여준다.

(237) 실전적으로 보면, 방사선이 건강과 환경에 미치는 잠재적 영향을 완화하기 위한 ICRP의 주요 권고는 부지 안팎 피폭상황의 특성과 피폭자 범주를 고려하여 참조준위에 기초한 기준을 바탕으로 방호조치를 선정하고 실행하는 최적화 원칙에 의존한다. 이 간행물에서 일반인 및 대응자에 대한 방호 최적화를 위해 ICRP가 권고하는 참조준위는 표 6.1에 요약되어 있다. 사람 아닌 생물종 보호를 위해 ICRP가 권고하는 참조준위는 ICRP 124(2014)에 제시되어 있다.

(238) 이 간행물에서 제공하는 권고들은 이전의 원자력사고에서 얻은 경험과 방사선의 건강 및 환경 영향에 대한 가장 진보된 과학적 지식을 고려하여 개발되었다. 권고는 또

표6.1. 원자력사고의 후속 단계에서 대응자 및 일반인의 방호최적화를 위한 참조준위

|             | 초기단계                                 | 중간단계                                | 장기단계  |
|-------------|--------------------------------------|-------------------------------------|---|
| 부지 안<br>대응자 | 100 mSv 이하*<br>예외적 여건에서<br>초과할 수 있음† | 100 mSv 이하*<br>여건에 따라 진화할<br>수 있음*‡ | 연간 20 mSv 이하  |
| 부지 밖<br>대응자 | 100 mSv 이하*<br>예외적 여건에서<br>초과할 수 있음† | 연간 20 mSv 이하*<br>여건에 따라 진화할<br>수 있음 | 일반인에게 개방되지 않는 제한구역:<br>연간 20 mSv 이하<br>다른 모든 구역: 연간 1~20 mSv 밴드<br>의 하반부¶   |
| 일반인         | 초기 및 중기 단계 전체기간 동안 100 mSv<br>이하§    |                                     | 연간 1~20 mSv 밴드의 하반부로 하<br>되, 피폭을 점진적으로 밴드 하단까지<br>또는 가능하면 그 이하로 낮추는 목<br>표¶ |

\* 이전에는, ICRP는 비상피폭상황에서 20~100 mSv 밴드에서 참조준위를 선정하도록 권고했다. 이번 권고는 가장 적절한 참조준위가 어떤 여건에서는 이 밴드보다 낮을 수 있음을 인정한다.

† ICRP는 인명구조나 시설에서 참사 상태로 이어지는 추가 파탄을 방지하기 위해 수백 mSv 범위에서 더 높은 수준의 참조준위가 대응자에게 허용될 수 있음을 인정한다.

‡ 일부 대응자는 초기 및 중기 단계 모두에 참여할 수 있으므로, 피폭 관리는 두 단계 동안의 총 피폭을 100 mSv 미만으로 유지하는 목표로 이루어져야 한다.

§ 이전에 ICRP는 비상피폭상황에 대해 20~100 mSv 밴드에서 참조준위를 선정하도록 권고했다. 이번 권고에서는 어떤 여건에서는 가장 적절한 참조준위가 20 mSv 미만일 수 있음을 인정한다.

¶ 이로써 ICRP 111에서 사용된 '하부'라는 표현을 명확히 한다.

한 방사선방호가 생활 및 근로 환경과 영향권 공동체의 삶의 질을 재건하는 데 이바지할 수 있도록 정성을 들였다. 이 목표를 달성하기 위해 ICRP는 이해당사자 참여의 중요성을 강조한다.

(239) 체르노빌과 후쿠시마 사고 경험에 따르면 초기, 중기 및 장기 단계에 참여하는 방사선방호 전문가experts and professionals는 방사선방호의 과학적 기초의 숙달과 실제 실행을 넘어서, 방사선방호체계를 지지하는 핵심 윤리 가치와 절차적 가치에 따라 상호전문화 과정을 통해 영향권 사람들과 협력해야 한다는 것을 보여주었다(ICRP 2018).

(240) 이를 위해 전문가는 피폭을 관리하고, 피폭의 불평등을 줄이고, 취약 그룹을 돌보고, 선택의 자율성을 유지하면서 사람들의 개인적 결정을 존중하는 신중한 접근 방식을 채택해야 한다. 전문가는 자신의 한계를 인정하면서(투명성) 자신이 보유한 정보를 공유하고, 영향권 사람들과 함께 어떠한 조치를 택할 것인지 숙고하여 결정하며(포괄성), 이를 정당화할 수 있어야(책임성) 한다. 요점은 사람들이 위험을 받아들이도록 하는 것이

---

아니라, 그들이 자신의 방호와 삶의 선택에 유익한 결정을 내리도록 지원(즉, 그들의 존엄을 존중)하는 것이다.

## 제7장

# 부록 서론: 체르노빌과 후쿠시마 원전사고 개괄

(241) 아래의 부록은 체르노빌과 후쿠시마 원전사고에 대한 간략한 역사적 개괄을 제시한다. 이는 두 주요 사고의 다양한 특성에 대한 상세한 내용을 제시하려는 의도가 아니라 방사선방호 측면에서 가장 중요한 측면을 강조해 보이기 위한 것이다. 각 사고의 설명은 사고 후속 단계 즉, 초기, 중기, 장기 단계에 관한 본문 내용과 일관되게 맞춘다. 그 목적은 다년간에 걸쳐 이들 사고의 관리에 이정표가 되었고 이 권고 개발에 참고가 된 사건과 의사결정을 조명함으로써 본문 내용에 예시를 제공하려는 것이다.

(242) 상세한 내용에 관심 있는 독자는 체르노빌과 후쿠시마 사고의 서건과 영향의 분석에 주축이 된, 주요 국제기구가 발행한 문서들(IAEA 1991,2015a, WHO 1995,2012,2013, UNSCEAR 2000,2011,2013,2018, NEA 2002,2013)을 참조할 수 있다. 독자를 돕기 위해 이들 문서의 참고문헌들을 각 부록과 전체 참고문헌의 일부로 제시했다.



## 참고문헌

- Ando, R., 2016. Measuring, discussing, and living together: lessons from 4 years in Suetsugi. *Ann. ICRP* 45(1S), 75-83.
- Ando, R., 2018. Trust - what connects science to daily life. *Health Phys.* 115, 581-589. ARPANSA, 2017. Guide for Radiation Protection in Existing Exposure Situations. Radiation Protection Series G-2. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Yallambie. Available at: <https://www.arpansa.gov.au/sites/g/files/net3086/f/rpseg-2-existing-exposure.pdf>(last accessed 28 August 2020).
- Benderitter, M., Pourcher, T., Martin, J.C., et al., 2018. Do multiple administrations of stable iodine protect population chronically exposed to radioactive iodine: what is PRIODAC research program(2014-22) teaching us? *Radiat. Prot. Dosimetry* 182, 67-79.
- Bogdevitch, I., 2012. Fertilization as a remediation measure on soils contaminated with radionuclides  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$ . In: *Fertilizing Crops to Improve Human Health: a Scientific Review. Volume 3, Risk Reduction*. IPNI, Norcross, GA, pp. 275-290.
- Bonaiuto, M., Alves, S., De Dominicis, S., et al., 2016. Place attachment and natural hazard risk: research review and agenda. *J. Environ. Psychol.* 48, 33-53.
- Bromet, E.J., Havenaar, J.M., Guey, L.T., 2011. A 25 year retrospective review of the psychological consequences of the Chernobyl accident. *Clin. Oncol.* 23, 297-305.
- Bromet, E.J., 2014. Emotional consequences of nuclear power plant disasters. *Health Phys.* 106, 206-210.
- Callen, J., Homma, T., 2017. Lessons learned in protection of the public for the accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant. *Health Phys.* 112, 550-559.
- Duranova, T., Raskob, W., Schneider, T.(Eds.), 2016. Innovative integrated tools and platforms for radiological emergency preparedness and post-accident response in Europe. Key results of the PREPARE European research project. *Radioprotection* 51, HS2.
- Eikermann, I-M., Heriard Dubreuil, G., Baudé, S., et al., 2016. Local Populations Facing Longterm Consequences of Nuclear Accidents: Lessons

from Fukushima and Chernobyl. Mutadis. Available at: [https://archive.iges.or.jp/en/fairdo/pdf/MUTADIS\\_BROCHURE\\_E.pdf](https://archive.iges.or.jp/en/fairdo/pdf/MUTADIS_BROCHURE_E.pdf).

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. General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed, CXS 193-1995.

Gariel, J.C., Rollinger, F., Schneider, T., 2018. The role of experts in post-accident recovery: lessons learnt from Chernobyl and Fukushima. *Ann. ICRP* 47(3/4), 254-259.

Harada, N., Shigemura, J., Tanichi, M., et al., 2015. Mental health and psychological impacts from the 2011 Great East Japan Earthquake Disaster: a systematic literature review. *Disast. Milit. Med.* 1, 1.

Hasegawa, A., Tanigawa, K., Ohtsuru, A., et al., 2015. Health effects of radiation and other health problems in the aftermath of nuclear accidents, with an emphasis on Fukushima. *Lancet* 386, 479-488.

Hayano, R.S., Yamanaka, S., Bronson, F.L., et al., 2014. BABYSCAN: a whole body counter for small children in Fukushima. *J. Radiol. Prot.* 34, 645.

IAEA, 1991. The International Chernobyl Project. Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures. Technical Report. International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2006. Chernobyl Forum: Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socioeconomic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine. Second revised version. International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2008. The International Nuclear and Radiological Event Scale. International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2011. Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. IAEA Safety Standards Series No. GSG-2. International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2015a. Non-radiation effects: mental health. The Fukushima Daiichi accident. In: *Radiological Consequences*. Tech. Vol. 4. International Atomic Energy Agency, Vienna, Chapter 4.4.6.

IAEA, 2015b. Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 7. International Atomic Energy Agency, Vienna.

IAEA, 2018. Arrangements for the Termination of a Nuclear or Radiological Emergency. IAEA Safety Standards Series No. GSG-11. International Atomic

Energy Agency, Vienna.

IARC, 2018. Recommendations on Thyroid Monitoring after Nuclear Accidents. IARC Technical Publication 46. International Agency for Research on Cancer, Lyon.

ICRP, 1983. Cost-benefit analysis in the optimization of radiation protection. ICRP Publication 37. Ann. ICRP 10(2/3).

ICRP, 1984. Protection of the public in the event of major radiation accidents - principles for planning. ICRP Publication 40. Ann. ICRP 14(2).

ICRP, 1990. Optimization and decision making in radiological protection. ICRP Publication 55. Ann. ICRP 20(1).

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

ICRP, 1991b. Principles for intervention for protection of the public in a radiological emergency. ICRP Publication 63. Ann. ICRP 22(4).

ICRP, 1999. Protection of the public in situations of prolonged radiation exposure. ICRP Publication 82. Ann. ICRP 29(1/2).

ICRP, 2005. Protecting people against radiation exposure in the event of a radiological attack. ICRP Publication 96. Ann. ICRP 35(1).

ICRP, 2006. The optimization of radiological protection: broadening the process. ICRP Publication 101. Ann. ICRP 36(3).

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

ICRP, 2008. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants. ICRP Publication 108. Ann. ICRP 38(4-6).

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

ICRP, 2009b. Application of the Commission's recommendations to the protection of people living in long-term contaminated areas after a nuclear accident or radiation emergency. ICRP Publication 111. Ann. ICRP 39(3).

ICRP, 2012a. ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs - threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2).

ICRP, 2012b. Report of ICRP Task Group 84 on Initial Lessons Learned from the Nuclear Power Plant Accident in Japan Vis-a`-vis the ICRP System of

- International Commission on Radiological Protection, Ottawa. Available at: <http://www.icrp.org/docs/ICRP%20TG84%20Summary%20Report.pdf> (last accessed 2 September 2020).
- ICRP, 2014. Protection of the environment under different exposure situations. ICRP Publication 124. Ann. ICRP 43(1).
- ICRP, 2016. Proceedings of the International Workshop on the Fukushima Dialogue Initiative. Ann. ICRP 45(2S).
- ICRP, 2018. Ethical foundations of the system of radiological protection. ICRP Publication 138. Ann. ICRP 47(1).
- Kai, M., 2015. Experience and current issues with recovery management from the Fukushima accident. Ann. ICRP 44(1S), 153-161.
- Katanoda, K., Kamo, K., Tsugane, S., 2016. Quantification of the increase in thyroid cancer prevalence in Fukushima after the nuclear disaster in 2011 - a potential overdiagnosis? Jpn. J. Clin. Oncol. 46, 284-286.
- Kryuchkov, V.P., Kochetkov, O.A., Tsoviyanov, A.G., et al., 2011. Chernobyl Accident: Doses to the Emergency Responders, Accidental Monitoring, Dose Reconstruction. FMBC Publishing House, Moscow.
- Kunii, Y., Suzuki, Y., Shiga, T., et al., 2016. Severe psychological distress of evacuees in evacuation zone caused by the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident: the Fukushima Health Management Survey. PLoS One 11, e0158821.
- Liland, A., Skuterud, L., 2013. Lessons learned from Chernobyl accident in Norway. In: Oughton, D., Hansson, S.O. (Eds.), Radioactivity Social and Ethical Aspects of Radiation Risk Management in the Environment, Vol. 9. Elsevier, Amsterdam, pp. 159-176.
- Little, M.P., Azizova, T.V., Bazyka, D., et al., 2012. Systematic review and meta-analysis of circulatory disease from exposure to low-level ionizing radiation and estimates of potential population mortality risks. Environ. Health Perspect. 120, 1503-1511.
- Lochard, J., 2013. Stakeholder engagement in regaining decent living conditions after Chernobyl. In: Oughton, D., Hansson, S.O. (Eds.), Social and Ethical Aspects of Radiation Risk Management, Radioactivity in the Environment, Vol. 9. Elsevier, Amsterdam, pp. 311-331.
- Lochard, J., Schneider, T., Ando, R., et al., 2019. An overview of the dialogue meetings initiated by ICRP in Japan after the Fukushima accident. Radioprotection 54, 87-101.
- Luccioni, C., Kornevich, O., Rozhko, A., et al., 2016. Health check-ups of

- children living in a Belarus district contaminated after the Chernobyl accident. *Radioprotection* 51(2), 91-99.
- Maeda, M., Oe, M., 2014. Disaster behavioral health: psychological effects of the Fukushima nuclear power plant accident. In: Tanigawa, K., Chhem, R. (Eds.), *Radiation Disaster Medicine: Perspective from the Fukushima Nuclear Accident*. Springer, New York, pp. 79-88.
- Maeda, M., Oe, M., 2017. Mental health consequences and social issues after the Fukushima disaster. *Asia Pac. J. Publ. Health* 29, 36S-46S.
- Midorikawa, S., Ohtsuru, A., Suzuki, S., et al., 2017. Psychosocial impact on the thyroid examination of the Fukushima Health Management Survey. In: Yamashita, S., Thomas, G.(Eds.), *Thyroid Cancer and Nuclear Accidents: Long-term After-effects of Chernobyl and Fukushima*. Academic Press, Elsevier, pp. 165-173.
- Midorikawa, S., Murakami, M., Ohtsuru, A., 2019. Harm of overdiagnosis or extremely early diagnosis behind trends in pediatric thyroid cancer. *Cancer* 125, 4108-4109.
- Midorikawa, S., Ohtsuru, A., 2020. Disaster-zone research: make participation voluntary. *Nature* 579, 193.
- Miyazaki, M., 2017. Four and a half years of experience of a clinician born and raised in Fukushima: discrepancy found through dialogues and practices. *Ann. ICRP* 45(2S), 23-32.
- Morita, T., Nomura, S., Tsubokura, M., et al., 2017. Excess mortality due to indirect health effects of the 2011 triple disaster in Fukushima, Japan: a retrospective observational study. *J. Epidemiol. Commun. Health* 71, 974-980.
- NCRP, 2018a. Implication of Recent Epidemiological Studies for the Linear Nonthreshold Model and Radiation Protection. Commentary No. 27. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- NCRP, 2018b. Management of Exposure to Ionizing Radiation: Radiation Protection Guidance for the United States, No. 180. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- NEA, 2002. Chernobyl. Assessment of Radiological and Health Impacts. 2002 Update of Chernobyl: Ten Years On. Nuclear Energy Agency, Paris.
- NEA, 2006. Stakeholders and Radiological Protection: Lessons from Chernobyl 20 Years After. NEA No. 6170. Nuclear Energy Agency, Paris.
- NEA, 2013. The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: OECD/NEA Nuclear Safety Response and Lessons Learnt. NEA No. 7161. Nuclear

Energy Agency, Paris.

NEA, 2018. Experience from the Fifth International Nuclear Emergency Exercise(INEX-5). NEA No. 7379. Nuclear Energy Agency, Paris.

Nisbet, A., Watson, S., Brown, J., 2015. UK Recovery Handbooks for Radiation Incidents 2015. Version 4. PHE-CRCE-018. Public Health England, London. Available at: <https://www.gov.uk/government/publications/uk-recovery-handbooks-for-radiation-incident-2015>(last accessed 2 September 2020).

Nomura, S., Blangirido, M., Tsubokura, M., et al., 2016. School restrictions on outdoor activities and weight status in adolescent children after Japan's 2011 Fukushima nuclear power plant disaster: a mid-term to long-term retrospective analysis. *BMJ Open* 6, e013145.

NPO Fukushima Dialogue, 2020. Records of Dialogues(FY2011-FY2018). NPO Fukushima Dialogue. Available at: [https://fukushima-dialogue.jp/index\\_e.html](https://fukushima-dialogue.jp/index_e.html)(last accessed 2 September 2020).

Oe, M., Fujii, S., Maeda, M., et al., 2016a. Three-year trend survey of psychological distress, post-traumatic stress, and problem drinking among residents in the evacuation zone after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident(The Fukushima Health Management Survey). *Psychiatr. Clin. Neurosci.* 70, 245-252.

Oe, M., Maeda, M., Nagai, M., et al., 2016b. Predictors of severe psychological distress trajectory after nuclear disaster: evidence from the Fukushima Health Management Survey. *BMJ Open* 6, e013400.

Oe, M., Takahashi, H., Maeda, M., et al., 2017. Changes of posttraumatic stress responses in evacuated residents and their related factors: a 3-year follow-up study from the Fukushima Health Management Survey. *Asia Pac. J. Publ. Health* 29, 182S-192S.

Oe, M., Maeda, M., Ohira, T., et al., 2018. Trajectories of emotional symptoms and peer relationship problems in children after nuclear disaster: evidence from the Fukushima Health Management Survey. *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 15(1), 82.

Oe, M., Maeda, M., Ohira, T., et al., 2019. Parental recognition of bullying and associated factors among children after the Fukushima nuclear disaster: a 3-year followup study from the Fukushima Health Management Survey. *Front. Psychiatry* 10, 283.

Ogino, H., Hattori, T., 2014. Calculation of background lifetime risk of cancer mortality in Japan. *Jpn. J. Health Phys.* 49, 194-198.

Ohsuga, Y., 2012. Safety review of worldwide nuclear power plants after the Fukushima Daiichi accident. *Nucl. Saf. Simul.* 3, 17-30.

- Ohto, H., Yasumura, S., Maeda, M., et al., 2017. From devastation to recovery and revival in the aftermath of Fukushima's nuclear power plant accident. *Asia Pac. J. Publ. Health* 29, 10S-17S.
- Ohtsuru, A., Midorikawa, S., Ohira, T., et al., 2019. Incidence of thyroid cancer among child and young adults in Fukushima, Japan, screened with 2 rounds of ultrasonography within 5 years of the 2011 Fukushima Daiichi nuclear power station accident. *JAMA Otolaryngol. Head Neck Surg.* 145, 4-11.
- Ono, A., Isojima, T., Yokoya, S., et al., 2017. Effect of the Fukushima earthquake on weight in early childhood: a retrospective analysis. *BMJ Paediatr. Open* 2, e000229.
- Oughton, D., Albani, V., Barquinero, F., et al., 2018. Recommendations and Procedures for Preparedness and Health Surveillance of Populations Affected by a Radiation Accident. SHAMISEN Project. ISGlobal Publisher, Barcelona. Available at: <https://www.isglobal.org/en/-/recommendations-and-procedures-for-preparedness-and-health-surveillance-of-populations-affected-by-a-radiation-accident>(last accessed 2 September 2020).
- Saito, K., Mikami, S., Andoh, M., et al., 2019. Temporal change in radiological environments on land after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *J. Radiat. Protect. Res.* 44, 128-148.
- Sawano, T., Nishikawa, Y., Ozaki, A., et al., 2018. The Fukushima Daiichi nuclear power plant accident and school bullying of affected children and adolescents: the need for continuous radiation education. *J. Radiat. Res.* 59, 381-384.
- Sawano, T., Kambe, T., Seno, Y., et al., 2019. High internal radiation exposure associated with low socio-economic status six years after the Fukushima nuclear disaster: a case report. *Medicine* 98, e17989.
- Schneider, T., Andronopoulos, S., Camps, J., et al., 2018. The work programme of NERIS in post-accident recovery. *Ann. ICRP* 47(3/4), 221-228.
- Schneider, T., Maïre, M., Lochard, J., et al., 2019. The role of radiological protection experts in stakeholder involvement in the recovery phase of post-nuclear accident situations: some lessons from the Fukushima-Daiichi NPP accident. *Radioprotection* 54, 259-70.
- Shore, R.E., Beck, H.L., Boice, J.D., et al., 2018. Implications of recent epidemiologic studies for the linear nonthreshold model and radiation protection. *J. Radiol. Prot.* 38, 1217-1233.
- Skuterud, L., Gaare, E., Eikelman, M., et al., 2005. Chernobyl radioactivity persists in reindeer. *J. Environ. Radioact.* 83, 231-252.

- Skuterud, L., Thorrying, H., 2012. Averted doses to Norwegian Sami reindeer herders after the Chernobyl accident. *Health Phys.* 102, 208-216.
- Strand, P., Selnæs, TD., Bøe, E., et al., 1992. Chernobyl fallout: internal doses to the Norwegian population and the effect of dietary advice. *Health Phys.* 63, 385-392.
- Suzuki, Y., Yabe, H., Yasumura, S., et al., 2015. Psychological distress and the perception of radiation risks: the Fukushima Health Management Survey. *Bull. World Health Organ.* 93, 598-605.
- Takahara, S., Iijima, M., Watanabe, M., 2020. Assessment model of radiation doses from external exposure to the public after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *Health Phys.* 118, 664-677.
- Takamura, N., Orita, M., Taira, Y., et al., 2018. Recovery from nuclear disaster in Fukushima: collaboration model. *Radiat. Prot. Dosimetry* 182, 49-52.
- Tanigawa, K., Hosoi, Y., Hirohashi, N., et al., 2012. Loss of life after evacuation: lessons learned from the Fukushima accident. *Lancet* 379, 889-891.
- Togawa, K., Ahn, H.S., Auvinen, A., et al., 2018. Long-term strategies for thyroid health monitoring after nuclear accidents: recommendations from an expert group convened by IARC. *Lancet Oncol.* 19, 1280-1283.
- Tsubokura, M., 2018. Secondary health issues associated with the Fukushima Daiichi nuclear accident, based on the experiences of Soma and Minamisoma Cities. *J. Natl. Inst. Publ. Health* 67, 71-83.
- Tsubokura, M., Murakami, M., Takebayashi, Y., et al., 2019. Impact of decontamination on individual radiation doses from external exposure among residents of Minamisoma City after the 2011 Fukushima Daiichi nuclear power plant incident in Japan: a retrospective observational study. *J. Radiol. Prot.* 39, 854-871.
- UNDP/UNICEF, 2002. *The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident: a Strategy for Recovery.* United Nations Development Programme, New York.
- UNSCEAR, 2000. *Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. II. Effects.* United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2000 Report to the General Assembly. Annex J. United Nations, New York.
- UNSCEAR, 2006. *Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. I.* United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2006 Report to the General Assembly. Annex A. United Nations, New York.



- UNSCEAR, 2011. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. II. Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2008 Report to the General Assembly. Annex D. United Nations, New York.
- UNSCEAR, 2013. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Vol. I. Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2013 Report to the General Assembly. Annex A. United Nations, New York.
- UNSCEAR, 2018. Evaluation of Data on Thyroid Cancer in Regions Affected by the Chernobyl Accident. A White Paper to Guide the Scientific Committee's Future Programme of Work. United Nations, New York.
- WHO, 1995. Report of the International Project for the Health Effects of the Chernobyl Accident. World Health Organization, Geneva.
- WHO, 2006. Health effects of the Chernobyl accident and special health care programmes. In: Bennett, B., Repacholo, M., Carr, Z.(Eds.), Report of the UN Chernobyl Forum, Expert Group 'Health'. World Health Organization, Geneva, p. 160.
- WHO, 2012. Preliminary Dose Estimation from the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami. World Health Organization, Geneva.
- WHO, 2013. Health Risk Assessment from the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, Based on a Preliminary Dose Estimation. World Health Organization, Geneva.
- WHO, 2017. Iodine Blocking: Guideline for Use in Planning for and Responding to Radiological and Nuclear Emergencies. World Health Organization, Geneva.
- Yasumura, S., Hosoya, M., Yamashita, S., et al., 2012. Study protocol for the Fukushima Health Management Survey. *J. Epidemiol.* 22, 375-383.
- Yasutaka, T., Kanai, Y., Kurihara, M., et al., 2020. Dialogue, radiation measurements and other collaborative practices by experts and residents in the former evacuation areas of Fukushima: a case study in Yamakiya District, Kawamata Town. *Radioprotection* 55(3), 215-224.



## 부록 A

# 체르노빌 원전사고

### A.1. 서론

(A1) 체르노빌 사고는 1986년 4월 26일 01시 23분에 체르노빌에서 약 15 km, 키예프에서 110 km 떨어진 드네프르강 지류에 위치한 레닌 원자력발전소 4호기에서 발생했다. 그 당시에 발전소는 소련의 우크라이나 소비에트 사회주의공화국에 있었다(그림A.1 참조). 저출력 공학시험 중에 안전 시스템을 차단하고 원자로를 부적절하게 운전하여, 제어 불가능한 출력 폭주가 일어나고 후속 증기 폭발로 원자로가 완전히 파괴되고 원자로 건물에 심하게 손상되었다(UNSCEAR 2000). 이 사고는 국제 원자력사건 규모(IAEA 2013)에서 가장 높은 등급 7로 분류되었다.

(A2) 손상된 원자로로부터 방사성핵종 방출은 주로 10일 기간에 다양한 방출물로 일어났다. 방사성핵종의 지표 침적은 주로 벨라루스, 러시아 및 우크라이나 영토에 영향을 미쳤으며, 사실상 북반구 모든 국가에서 약간의 방사능은 발견되었다(UNSCEAR 2000).



그림A.1. 체르노빌 위치.

## A.2. 초기 및 중기 단계

(A3) 초기 단계는 1986년 4월 26일 사고와 함께 시작되었다. 1986년 5월 초에 방사성 핵종의 환경 방출은 몇 자릿수 감소하였다. 1986년 5월 중에 추가 방출을 제한하기 위한 조치가 실행되었다(IAEA 1991). 이것을 초기 단계 종료와 중기 단계 시작으로 간주할 수 있다.

(A4) 1986년 4월 26일, 소련 정부는 '체르노빌 사고영향 완화 위원회'를 설립했다. 구소련(USSR)의 부서기장이 위원장을 맡은 이 위원회에는 다양한 전문가(의사, 비상상황 및 방사선방호 분야 전문가 등)와 정부관리가 포함되었다. 비상상황의 모든 분야 전문가가 위원회 활동에 참여했지만, 정부 공무원만이 결정권이 있었다.

(A5) 부지 안에서는, 1986년 11월에 방사선원을 안전하게 가두는 석관이 완공되면서 중기 단계가 종료된 것으로 간주된다. 부지 밖에서 중기 단계는 1991년 2월-5월에 장기 단계 관리와 관련된 법률이 채택되면서 종료된 것으로 간주한다.

(A6) 초기 단계에서 당국은 대피, 소개, 안정옥소 배포 및 식품 제한을 실행하였다. 중기 단계에서는 이주, 제염 및 폐기물 관리와 같은 추가 조치가 실행되었다. 그러나 두 단계 모두에서 모든 피해지역에서 항상 적시에 체계적인 방식으로 조치가 수행되지는 않았다.

(A7) 초중기 단계 동안에, 많은 민간인 및 군인 대응자들이 부지 안팎에서 사고 영향을 완화하는 데 참여했다. 이들 중 일부는 높은 수준으로 피폭해 조기에 심각한 조직/장기 손상을, 장기적으로는 암을 초래했다.

### A.2.1. 방사선 감시

(A8) 사고 후 처음 며칠 동안, 체르노빌 원전 주변에서 선량률을 측정하는 방대한 프로그램이 수행되었다. 그 결과, 첫 선량률지도가 1986년 5월 1일에 작성되었다. 체르노빌 사고 이후 소련에서 수행한 방사선감시 프로그램에는 주위선량률, 식품 오염 및 토양과 풀 표본 오염의 광범위한 측정이 포함되었다. 초점은 방사선학적으로 중요한 방사성핵종 즉, 옥소, 세슘, 스트론튬 및 플루토늄 동위원소에 맞추어졌다. 초기 단계에서 감시 프로그램의 개시 지연으로 토양 표본의 방사성옥소 측정 자료가 불충분했다. 장비와 전문가 부족과 감시해야 할 방대한 지역 때문에 방사선 상황의 상세한 파악에는 몇 년이 걸렸다. 소련 내 피해지역 외에도, 영향권의 많은 유럽 국가들도 자체 측정을 수행했다(EC

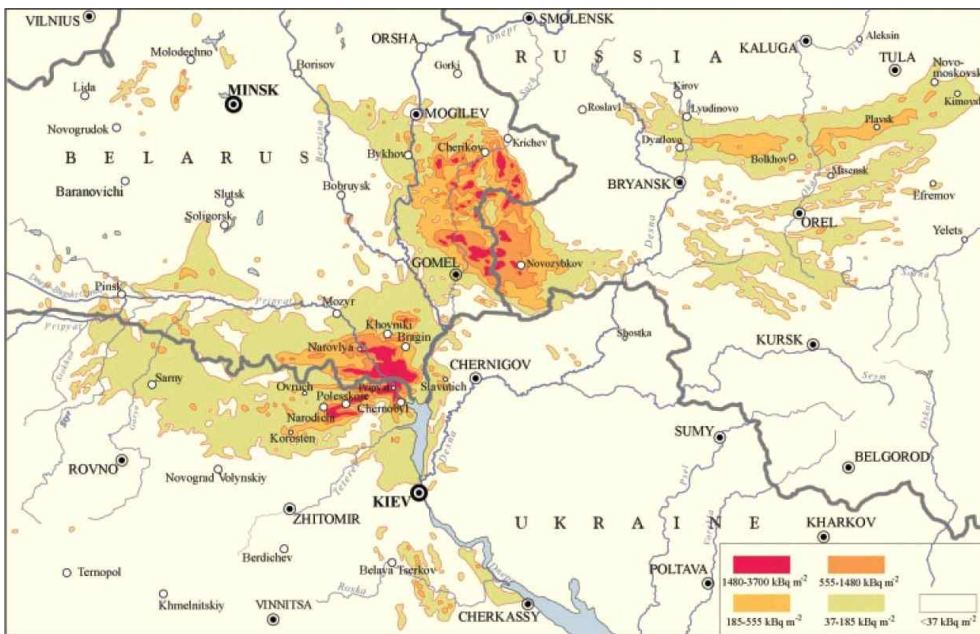
1992).

### A.2.2. 오염 수준

(A9) 1986년 4월 26일과 5월 중순 사이에 방사능 방출은 방사성 옥소나 세슘같은 수많은 종류의 방사성핵종을 북반구의 대부분 국가에까지 퍼뜨렸다.

(A10) 우크라이나, 벨라루스 및 러시아는 낙진 영향을 가장 많이 받은 소련 공화국이었다. 이들 심한 영향지역(거의 150 000 km<sup>2</sup>)이 방출된 총 방사능의 약 60%를 받아서, 평균적으로 세슘-137(Cs-137)은 37 000 Bq m<sup>-2</sup>를 초과했으며 종종 m<sup>2</sup> 당 수십만 Bq에 도달했다(그림A.2 참조). 유럽 전역에 걸쳐 방사능은 방출원으로부터의 거리와 지배적 기상 조건에 따라 불균일하게 침적되었다(그림A.3 참조).

(A11) 이들 공화국 당국은 Cs-137 침적 농도가 37 000 Bq m<sup>-2</sup>를 초과하는 경우 오염 및 방호조치 대상 지역으로 간주했다. 이 기준에 따르면 피해지역은 벨라루스 46 500 km<sup>2</sup>, 러시아 57 700 km<sup>2</sup>, 우크라이나 41 900 km<sup>2</sup>이었다. 플루토늄 오염 지역은 주로 손상된 시설 주변으로 한정되었으나, 스트론튬의 경우에는 오염 지역이 발전소 주변 100 km까지 확장되었다(UNSCEAR 2000).



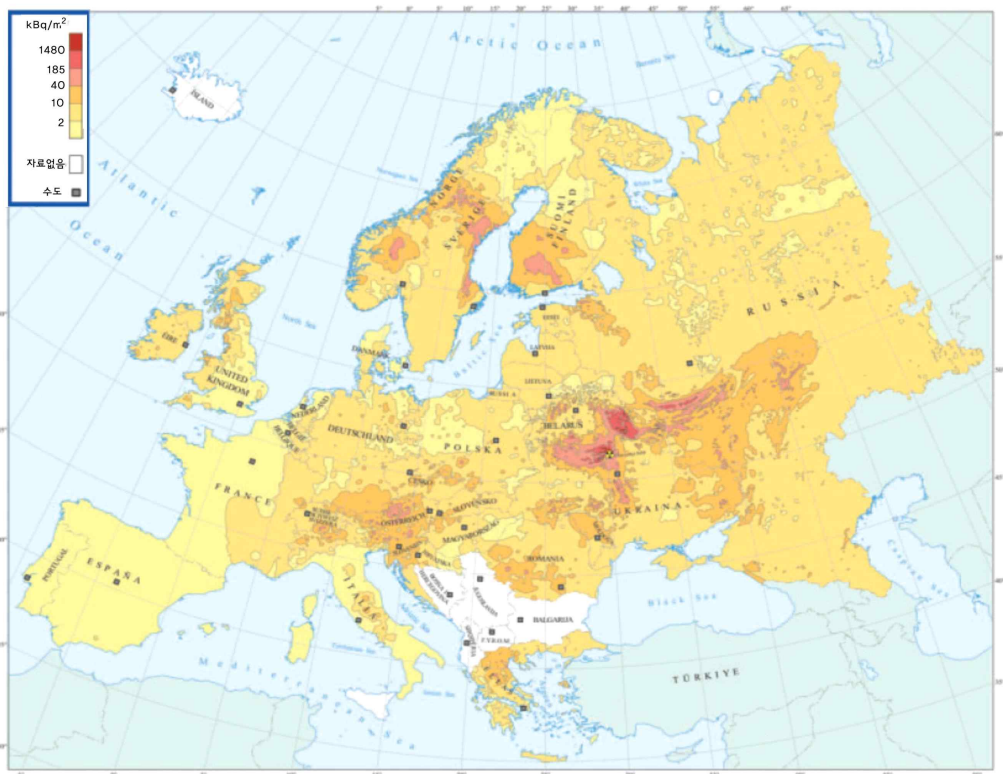
그림A.2. 사고부지 근처 벨라루스, 러시아, 우크라이나 지역의 Cs-137 지표 침적(IAEA 1991).

(A12) 유럽에서는  $37\,000\text{ Bq m}^{-2}$ 를 초과하는 세슘 침적이 영국, 스위스, 독일(주로 바이에른 지역) 및 이탈리아의 소규모 지역과 스칸디나비아(핀란드 남부, 스웨덴 중동부, 노르웨이 중부), 중앙유럽(특히 루마니아 남부, 체코공화국과 폴란드 국경 지역), 오스트리아 및 그리스 북부에서도 발견되었다.

### A.2.3. 개인피폭 수준

(A13) 초기 단계에서 일반인의 주요 피폭경로는 방사성옥소 섭취였다. 1986년 5~6월에 벨라루스, 러시아 및 우크라이나에서 갑상선의 옥소 함량을 조사하는 대규모 감시 연구가 수행되었다. 1986년 6월 말까지 총 40만 명 이상의 사람들에게 대한 갑상선 직접측정이 수행되었다(Zvonova와 Balonov 1993, Likhtarev 등 1996, Stepanenko 등 1996, Gavrilin 등 1999).

(A14) 사고 이전에 방목된 젖소의 신선 우유 소비는 대다수 사람들의 방사능 섭취의 주된 경로였다. 이로 인해, 특히 사고 원전 주변 농촌 지역에 사는 아동에게, 높은 갑상선



그림A.3. 체르노빌 사고 후 유럽 전역에 걸친 Cs-137 침적 지도. 자료원: European Atlas EC/IGCE 1998. 발칸 지역 데이터는 없음.

선량을 초래했다. 벨라루스 고멜 주oblast 남부 3개 지역에 있는 소개/비소개 마을의 3세 미만 아동 약 95%가 0.25 Gy 이상의 갑상선선량을 받았다. 그들 중 상당수는 2.5 Gy보다 높은 갑상선선량을 받았다(Savkin와 Shinkarev 2007). 아동에 대한 갑상선 직접 측정에서 나온 가장 높은 갑상선선량 추정치는 무려 50 Gy로 나타났다(Shinkarev 등 2008).

(A15) 방사성 옥소 피폭 외에도, 초중기 단계에서 피해지역 주민이 받은 선량은 주로 지상에 침적된 방사성 세슘에 의한 외부피폭과 오염된 식품의 소비로 인한 내부피폭에 기인하였다. 피해지역 주민이 받은 평균 유효선량은 대략 수십 mSv로 추정된다. 유효선량 중앙값은 수 mSv 수준이었다. 약 10 000명이 100 mSv 이상 유효선량을 받은 것으로 추정된다(UNSCEAR 2000).

#### A.2.4. 대응자

(A16) 초기 단계에 발전소 직원, 초기대응에 참여한 소방관, 보안 요원, 현지 의료기관 직원을 포함하여 약 600명의 대응자가 사고 당일 새벽 발전소 부지 안에 있었다. 이후, 약 60만 명의 대응자, 소위 '정화작업자liquidator'(민간인 또는 군인)가 방사성 파편 제거, 석관 작업, 발전소 직원 및 대응자를 위한 주거 건설에 참여했다. 여기에는 과학자와 의료진뿐만 아니라 운송이나 치안을 담당하는 대응자도 포함되었다(UNSCEAR 2000).

(A17) 가장 큰 피폭은 외부피폭 때문이었다. 대응자 134명에서 급성 방사선질환이 확인되었다. 이 대응자 중 41명은 외부피폭으로 최고 2.1 Gy까지 전신 선량을 받았다. 93명의 대응자는 더 높은 선량을 받았으며 더 심각한 급성 방사선질환 증상을 보였는데, 대응자 50명은 2.2~4.1 Gy, 22명은 4.2~6.4 Gy, 21명은 6.5~16 Gy의 선량을 받았다. 이들의 선량은 주로 임상 선량계측 방법(즉, 혈액 성분 및/또는 혈액 림프구의 세포유전학적 변수에 기초하여)을 사용하여 추정되었다. 총 28명이 사고 후 몇 달 이내에 사망했다(UNSCEAR 2000).

(A18) 사고 전, 종사자의 선량한도는 정상 조건에서 연간 50 mSv였으며, 사건/사고의 경우에는 관련 종사자의 사전 동의 하에 한도 값을 250 mSv로 증가시킬 수 있었다(SRS-76, 1977). 이 규정은 사고 당시인 1986년에 대응자들에게 적용되었다.

(A19) 1987년, 대응자에 대한 최대 연간 선량한도를 100 mSv로 낮췄다. 그러나 극히 중요한 개입을 실행하기 위한 제한된 수의 대응자에 대해서는 보건부가 최대 250 mSv

까지 허용했다.<sup>72)</sup> 1988년에는 대응자를 포함한 모든 작업자에 대해 선량 기준을 50 mSv로 낮췄는데, 석관 내부 터빈홀 오염 제거에 참여하는 종사자는 예외로 연간 선량 한도 100 mSv를 유지했다. 1989년부터 선량한도는 예외 없이 모든 대응자에 대해 50 mSv로 설정되었다(Kryuchkov 등 2011).

(A20) 특히, 군 대응자들의 경우에는 전시에 허용되는 방사선 피폭에 해당하는 500 mSv 선량한도가 1986년 5월 21일까지 적용되었다. 그 후에는 국방부가 250 mSv로 낮췄다(Chvyrev와 Kolobov 1996). 1987년 이후에는 군 및 민간 대응자에 대해 동일한 선량한도를 적용했다.

(A21) 모든 대응자는 1986년에 제정된 공식 등록부에 등록했다. 이 등록부에는 주요 피폭경로인 외부피폭에 의한 피폭 추정치가 포함되었다. 등록부 자료에 따르면, 평균 기록 피폭은 1986년의 약 170 mSv에서 1987년 130 mSv, 1988년 30 mSv, 1989년 15 mSv로 감소했다(UNSCEAR 2000). 이들 값에는 불확실성이 응당 내포된다.

(A22) 원자로 주변에 존재하는 다량의 방사성 옥소 때문에 사고 후 처음 몇 주 동안 부지 안에 있었던 대응자들은 내부피폭으로 상당한 갑상선선량을 받았을 수 있다. 1986년 4월 30일과 5월 7일 사이에 600명 이상의 대응자에 대해 수행된 제한된 횡수의 측정에 기초하여, 그들의 평균 갑상선선량을 0.21 Gy로 추정했다. 그러나 방사성 옥소 섭취로 인한 내부피폭 선량은 1986년 5월 이래로 받은 외부피폭 선량에 비해 작았음을 유념하는 것이 중요하다(UNSCEAR 2000).

## A.2.5. 초기 단계의 방호조치

### A.2.5.1. 옥내대피

(A23) 사고 당일(1986년 4월 26일) 정부위원회는 대부분의 원전 종사자가 가족과 함께 살던, 원전 부지에서 약 3 km 떨어진 Prypiat 주민들을 대상으로 옥내대피 권고를 발표했다. Prypiat의 5만 명 전체 인구 중 약 25%가 야외에서 보내는 시간을 제한했다(Likhtarev 등 1994). 원전 주변의 농촌 정착촌 주민들은 공식적으로 사고에 대해 통보 받지 못했고, 결과적으로 옥내대피 요청에 대한 공식적인 정보가 없었다.

### A.2.5.2. 소개

(A24) 1986년 4월 27일, 사고 후 37시간에서 40시간 사이에 키예프주 당국은 버스, 기

72) <역주> 이런 피폭은 1986년 말에 부지 안에서 장기 단계로 접어들었다는 제A5항의 설명과는 일치하지 않는다.



차, 자동차로 Pripyat의 모든 거주자가 소개하도록 조치했다. 손상된 원자로에서 방사성 핵종이 계속해서 방출되고 도시의 여러 지역에서 선량률이 높아졌기 때문이었다. 약 9 천 명의 거주자가 자가 소개했다(Alexakhin 등 2004). 소개한 피난민은 한시적으로만 Pripyat를 떠나 있도록 예정되어 있어서, 문서와 애완동물과 같은 소지품 몇 개만 가지고 갈 수 있었다. 피난민들은 주로 우크라이나의 키예프 오블라스트주에 위치한 여러 지역과 정착지로 이동했다. 체르노빌 원전의 직원 약 5천 명은 사고 후 Pripyat에 남았다가 이후 주변 지역의 여러 곳으로 이주했다.

(A25) 1986년 5월 1일에 이용 가능한 정보에 따르면 예상 피폭이 발전소 근처에 사는 대부분 사람의 소개를 정당화하지 못했다. 그러나 원자로 노심에 남아 있는 연료 온도에 큰 증가가 관찰되었으며, 모스크바 쿠르차토프 연구소의 전문가들에 따르면, 이로 인해 노심 바닥이 뚫려 많은 방사성물질이 추가로 방출될 가능성이 있었다. 피폭 추정치는 심각한 결정론적 영향 발생이 손상된 원자로로부터 30 km까지 확장될 수 있음을 보여주었다.

(A26) 1986년 5월 2일, 정부위원회는 원자로의 불확실성과 당시의 기상 조건으로 인해 반경 30 km 이내에 있는 전체 인구를 소개하도록 결정을 내렸다. 이 소개(약 50,000명 주민)는 1986년 5월 2일에서 7일 사이에 이루어졌다. 동시에 소 50,000마리, 돼지 13,000마리, 양 3,300마리, 말 700마리 정도가 30 km 구역으로부터 소개되었다(Nadtochiy 등 2003). 고양이와 개를 포함하여 소개하지 못한 20,000마리 이상의 가축은 도살, 매장되었다.

### A.2.5.3. 갑상선보호제<sup>73)</sup>

(A27) 체르노빌 원자력 발전소 인근 지역에 사는 사람들에게 갑상선보호제(안정 옥소정제)를 미리 배포하지는 않았다. 따라서 1986년 4월 26일과 27일에 의료진이 Pripyat의 집, 학교, 유치원을 방문하여 일반인에게 갑상선보호제를 제공했다. 4월 27일 오후까지 보호제를 가져간 주민의 비율은 62%에 달한 것으로 추정된다(Likhtarev 등 1994). Pripyat는 갑상선보호제 보급과 투여가 효과적인 유일한 정착지였다. 소개와 거의 동시에 30 km 이내 마을에 옥소정제 배포가 시작되었다. 30 km 구역의 주민과 인터뷰 결과에 따르면, 보호제 배포는 대개 벨라루스에서 5월 1~4일, 우크라이나에서 5월 2~7일에 이루어졌다(UNSCEAR 2000). 그러나 이때는 실제 효과적이기에는 너무 늦었다. 30 km 구역 밖 농촌 지역에서는 초기 단계에서 갑상선보호제가 사용되지 않았다(Uyba 등

73) <역주> 원문은 안정 옥소stable iodine인데 다른 곳에서 표현과 국내 관행에 따라 갑상선보호제로 적는다.

2018).

#### A.2.5.4. 식품 섭취 제한

(A28) 사고 후 처음 며칠 동안(5월 5일까지) 일반인들은 방사선 상황에 대해 통고를 받지 않았기 때문에 사고 초기 단계에는 오염된 식품의 섭취도 제한하지 않았다. 영향권 지역의 주민들은 방사성옥소로 오염된 우유를 섭취했고, 이로 인해 특히 어린 아동의 갑상선이 높은 선량을 받았다.

#### A.2.6. 중기 단계의 방호조치

(A29) 1986년 5월, 소련의 위생역학국장<sup>74)</sup>Main State Sanitary Physician은 첫째(1986년 4월 26일부터 1987년 4월 25일까지) 동안의 일반인 피폭을 100 mSv로 제한하는 선량기준을 채택했다. 1987년 4월 23일, 사고 후 둘째 해에 대한 선량기준은 30 mSv로 낮췄다. 다시 1년 후인 1988년 7월 18일에는 연간 선량기준을 사고 후 3년 차와 4년 차에 대해 25 mSv로 더 내렸다.

(A30) 위생역학국장은 선량률을 바탕으로 사고 후 첫 1년 동안 외부피폭으로 제한되는 세 구역zone을 다음처럼 정의했다.

- 주거제한구역: 영구 이주 대상 지역
- 임시소거구역: 방사선 상태가 '정상화'되면 이주민이 돌아올 수 있는 구역
- 엄중관리구역: 1986년 여름 동안 아동과 임신부의 출입을 금지하는 구역.

##### A.2.6.1. 이주

(A31) 30 km 구역 밖의 벨라루스 및 우크라이나 40개 마을이 상대적으로 높은 선량률 때문에 주거제한구역으로 지정되어, 1986년 5월 중순부터 8월 중순까지 마을 주민 약 9,000 명을 이주시켰다(Alexakhin 등 2004).

(A32) 1986년 8월, 정부위원회는 주민들이 복귀할 수 있는지를 결정하기 위해 Goskomhydromet 공중보건부 장관과 소련 국방부에 제한구역의 남부와 서부 지역 피해가 덜한 47개 마을에 대한 상세한 방사선 감시 조사를 수행하도록 명령했다. 감시 결과에 따르면 석관이 설치되면 농촌 마을(벨라루스 12, 우크라이나 15) 주민은 복귀할 수 있었다. 1987년 이들 주민의 총 피폭(외부 및 내부)은 30 mSv 미만으로 추정되었다. 12개의 벨라루스 마을 주민은 1986-1987년 겨울까지 복귀했다. 이에 반해 우크라이나 당

74) <역주> 구소련 당시 공중보건부Ministry of Public Health 내 위생역학국Department of Sanitary and Epidemiology의 장(차관급)을 부르는 명칭이다.

국은 30 km 구역 안 15개 마을 주민의 복귀를 허용하는 것은 경제적, 사회적으로 부적절하다고 판단했다.

#### A.2.6.2. 식품 소비 제한

(A33) 중기 단계 초반까지는 식품, 특히 우유를 통한 방사성 옥소 섭취는 여전히 일반인의 주요 내부 피폭원이었다. 따라서 1986년 5월 6일, 소련의 위생역학국장은 식품과 식수의 방사성 옥소를 통제하기 위해 우유와 물, 유제품 및 푸성귀 채소에 대한 방사능 기준을 도입했다. 기준을 초과한 우유는 방사능 붕괴를 이용하여 버터, 치즈 등으로 가공했다. 1986년 5월 30일, 소련 위생역학국장은 모든 관련 방사성핵종에 대해 새로운 기준을 도입했으며, 이후 정기적으로 개정했다(Alexakhin 등 2004).

#### A.2.6.3. 제염

(A34) 1986년 5월 말에 피해 마을에서 제염 작업이 시작되었다. 오염된 토양 제거 및 '깨끗한' 토양으로 교체, 세척할 수 없는 품목의 철거, 거리, 도로 및 포장도로의 아스팔트 포장, 지붕 교체, 임시 저장소에서 발생하는 모든 폐기물의 매립 등이 포함되었다. 제염 작업은 주로 소련군과 민방위군의 화학부대가 수행했다. 제염할 대상을 선정하기 위한 방사선학적 기준이 설정되었으며, 이 기준은 정기적으로 개정되었다(Alexakhin 등 2004).

(A35) 제염 의사결정은 방사능 오염 수준뿐만 아니라 피해 장소와 품목의 사회경제적 중요성도 고려하였다. 1986년부터 1987년까지, 주거지 내 자주 방문하는 장소의 방사능 수준을 상당히 줄여 방사선상황이 크게 개선되었다. 그 결과 다양한 전문인력과 일부 연령대(예: 아동)의 외부선량이 평균 30% 감소했다. 1989년까지, 정착지의 제염이 거의 완료되었다. 그러나 전반적으로 평균 제염효율은 10%를 넘지 않는 것으로 추정되었다<sup>75)</sup>(Alexakhin 등 2004).

#### A.2.6.4. 농업 방호조치

(A36) 중기 단계에서 목초지의 깊은 쟁기질, 표토 제거, 오염 토양에 비료 및 화학물질 살포, 소 도축 금지, 가축에게 깨끗한 사료 제공, 높은 수준 방사능을 띠는 작물 배제, 토지이용의 변경 등 광범한 농업 방호조치가 영향권 지역에서 점진적으로 실행되었다(IAEA 1991).

75) <역주> 이 값은 제염효율이 아닌 종합적 선량 감축률로 이해된다. 제염효율이 이 수준이면 제염할 이유가 없어보인다.

(A37) 러시아에서 토양 오염이 148 만 Bq m<sup>-2</sup>를 초과하는 지역에서는 농업 생산을 중단했다.

#### A.2.6.5. 정보 제공

(A38) 체르노빌 사고 후 방사선 상황에 대해 일반인에게 조기 통보가 없었다. 반대로, 선량률 측정 결과, 다양한 방사성핵종의 오염 준위 등을 측정한 결과는 비밀로 지정되었다. 이것은 중앙 정부와 지방 당국이 사고와 관련하여 제공하는 정보에 대한 대중의 불신으로 이어졌다. 방사선 데이터는 사고 후 1년이 지나서야 일반인이 이용할 수 있게 되었지만, 이것은 일반인의 신뢰를 높이기에는 역부족이었다.

### A.3. 장기 단계

(A39) 개략적으로, 1990년대 초에 채택된 방호조치는 영향권 지역에 사람의 출입을 추가로 제한(강제적 또는 자발적 이주)하고 식품 오염과 사람의 전신오염 수준을 엄격하게 관리하는 데 의존했다. 집단농장에서 농산물의 방사능 오염을 통제하고 개선하는 데 많은 방호조치가 집중되었다. 사적인 생산은 품질관리 및 감시의 어려움으로 인해 최대한 제한되었다.

#### A.3.1. 규제 체제

(A40) 장기 단계에 대비하기 위해, 1988년 11월 22일, 소련 방사선방호위원회는 1986년 이후 사고 당시의 피폭을 포함해 70년 동안 일반인에 대한 평생 피폭에 대해 선량 기준 350 mSv를 권고했다(Ilyin 1995). 이 권고는 당국과 연방 및 공화국 수준의 전문가들 사이에 활발한 토론을 유발했고, 이로 인해 소련 정부는 IAEA에 전문가 조언을 제공해 주도록 요청하게 되었다(IAEA 1991년). 1990-1991년에 독립적인 국제 전문가팀이 체르노빌 사고의 방사선학적 영향을 평가하기 위해 소련을 방문했다.

(A41) 전문가팀은 소련 과학자들이 제공한 개념, 방법론 및 추정 피폭을 검토했다. IAEA는 제안된 선량기준이 '방사선방호 관점에서 엄격하게 필요한 수준을 대체로 초과한다'고 결론을 내렸다. 이들은 또한 '많은 사회적, 정치적 요소가 고려되어야 하며 최종 결정권은 책임 당국에 있어야 한다'고 인정했다(IAEA 1991). 결국, 일반 대중과 대중매체의 압력 때문에 소련 정부는 그 해에 그 권고를 포기했다.

(A42) 1991년 말까지 소련은 15개 개별 국가로 분할되었다. 벨라루스, 러시아 및 우크

라이나 정부는 방사선 및 건강 감시를 조직하고 피해지역에 거주하는 주민의 사회경제적 생활환경을 개선하기 위해 국내법을 제정했다. 이들 법의 목적은 주로 방사선학적 기준에 따라 설계된 일련의 방호조치 및 보상 메커니즘을 통해 장기적인 문제를 해결하는 것이었다.

(A43) 예를 들어, 벨라루스에서는 피해주민의 사회적 보호와 피해지역의 지위를 규율하는 원칙을 정의하기 위해 두 가지 법률이 공포되었다. 1991년 2월에 표결된 첫 번째 법률은 '체르노빌 원자력 발전소의 재난으로 영향을 받는 시민들의 사회적 보호'에 관한 것으로, 사고로 영향을 받는 사람들의 지위를 '정화작업자(liquidator)'(대응자), 피해지역의 주민 및 종사자로 규정하고 각각의 경우에 할당된 보상금을 명시했다. 1991년 11월에 표결된 '체르노빌 원자력 발전소 참사에 따른 피해지역의 법적 지위'와 관련된 두 번째 법은 이 지역에서의 사회적, 경제적 활동과 더불어 과학적 동반 프로그램을 조직하기 위한 조건과 수단을 규정했다. 이 법은 또한 벨라루스 지역의 '구역지정(zoning)' 조직도 규정했다. 두 법률은 모두 약 2백만 명의 벨라루스 국민에게 적용되었으며 벨라루스 영토의 20%(약 40,000 km<sup>2</sup>)가 심각하게 오염되었음을 인정했다.

(A44) 2001년에는 '체르노빌 원자력 발전소의 재난으로 영향을 받는 시민의 사회적 보호'에 관한 벨라루스 법이 개정되고 명확해졌다. 그 후, 생활 및 작업 조건에 제한이 없는 지역에서는, 주민의 평균 총 피폭(외부 및 내부)이 연간 1 mSv(백그라운드 제외)를 초과해서는 안 된다는 규칙이 확립되었다.<sup>76)</sup>

(A45) 우크라이나와 러시아에서 채택된 방호개념도 국가 및 지역 조건과 관련된 몇 가지 특이성을 제외하고는 벨라루스에서 채택된 것과 전체적으로 유사하다.

### A.3.2. 방사선 감시와 피폭

(A46) 장기 단계에서는 열형광선량계와 전신계수기를 사용하여 개인 외부 및 내부 피폭을 각각 평가하는 개인 방사선감시가 피해지역에서 널리 채택되었다.

(A47) 일반인의 외부피폭 데이터는 마을 사이 개인선량 분포와 시간 의존성에서 큰 차이가 있음을 보여주었다. 데이터는 도시 주민이 비슷한 수준의 방사능 오염지역에 거주하는 농촌 주민과 비교하여 약 절반의 외부선량에 피폭됨을 보여주었다. 내부피폭 데이터에 따르면 평균보다 2~3배 높은 피폭(갑상선선량 제외)을 받은 사람들은 농촌 지역의

76) <역주> 보통은 일반인 집단의 피폭 제한은 집단 중에서 높이 피폭하는 대표인(과거에는 결정집단)의 선량으로 규정하는 데 비해 여기서는 집단의 평균선량으로 규정하는 차이가 있다.

단층 주택에 거주했고, 예를 들어 사냥감 고기, 버섯 및 딸기와 같은 야생 식품을 많이 섭취한 사람들이었다(IAEA 2006).

(A48) 한 독일 연구의 맥락에서 1991년부터 1993년까지 벨라루스, 러시아, 우크라이나의 약 30만 명을 대상으로 내부피폭을 감시했다(Hill와 Hille 1995). 감시 대상자의 90%에서 방사성 세슘의 내부피폭은 연간 0.3 mSv 미만으로 확인되었다. 2000년대 초 벨라루스 브라긴 지역에서 초등학교 2,500 명을 대상으로 실시한 프랑스 연구에 따르면, 평균 전신 오염이 25 Bq kg<sup>-1</sup> 범위에 있었으며, 킬로그램 당 수백 Bq까지 오염된 어린이도 있는 것으로 나타났다(Bataille 등 2008). 선량으로 환산하면 평균 내부피폭은 연간 0.05 mSv 범위로 추정되며, 그룹의 1%는 약 1 mSv 이상의 피폭을 받은 것으로 추정되었다(ICRP 2009).

(A49) 가장 영향을 많이 받는 세 국가의 500만 명 중 연간 1 mSv 이상의 피폭을 받은 사람은 약 100,000명으로 추산되었다(IAEA 2006).

### A.3.3. 식품 감시

(A50) 장기 단계에서 식품 감시는 계속되고 발전하여 농업 부문(집단농장과 개인 농장)과 주민의 자체 생산에 관련된 것뿐만 아니라 버섯, 딸기 및 사냥감 고기와 같은 야생 산물도 모두 포괄하게 되었다. 측정 데이터에 따르면 야생 산물을 제외한 농업 부문에서는 식품 오염 수준이 점진적으로 감소한 것으로 나타났다.

(A51) 예를 들어 벨라루스에서는 2001년과 2005년 사이에 우유 측정에서 식품 방사능 기준을 초과하는 집단농장의 수가 1/5로 감소했다. 2000년과 2010년 사이에 개인 농장의 우유 측정에서 이 기준을 초과한 마을의 수는 거의 1/20로 감소했다. 야생 산물 측정 결과는 연평균 오염 수준은 유의미하게 감소하지 않은 상태에서 계절 변동이 큰 것으로 나타났다(Belarusian Ministry for Emergency Situations 2011).

(A52) 식품 관리에 관한 한, 당국은 상황이 개선됨에 따라 방사능 기준을 줄이는 실용적인 접근을 채택했다.

### A.3.4. 장기 방호조치

#### A.3.4.1. 영구 이주

(A53) 1991년 5월 12일, 소련에서는 '체르노빌 재난으로 영향을 받은 시민의 사회적 보호에 관한 법률'이라는 특별 연방법이 제정되었으며, 여기에는 다음과 같이 지표오염 준

위에 근거한 피해지역 상황 개정이 포함된다.

- 주거제한구역(exclusion zone): 1986년 모든 주민이 이주한 피해지역. 주민의 영구 거주가 금지되고 경제활동 및 자연 관리가 제한된다.
- 이주구역(relocation zone): 두 구역으로 나누는데 주민의 연간 평균 피폭이 5 mSv를 초과할 수 있고 주민이 이주해야 하는 피해지역과 주민이 자발적으로 이사하거나 보상을 받고 남아 있기로 결정한 피해지역이다.
- 이주 권리가 있는 주거구역(residence zone with the right for relocation): 연간 평균 선량이 1 mSv를 초과할 수 있으며, 자발적으로 이사하기로 결정한 사람은 상응하는 보상을 받을 권리가 있는 구역.
- 사회경제적 지위가 우대되는 주거구역(residence zone with preferential socio-economic status): 해당 주거지에 주민의 연간 평균 선량이 1 mSv를 초과하지 않아야 한다.

(A54) 이 법에 따라 영향이 큰 구역(주로 벨라루스와 우크라이나)으로부터 대규모 이주가 1990년대에 이루어졌다. 예를 들어, 벨라루스에서는 약 14만 명이 강제로 이주했고 약 20만 명이 피해지역을 자발적으로 떠났다(Belarusian Ministry for Emergency Situations 2011).

#### A.3.4.2. 농업 방호조치

(A55) 중기 단계에서 실행된 대부분의 농업 방호조치는 장기 단계에서도 지속되었다. 그러나 1990년대에 특별히 진행된 농화학 분야의 연구를 통해 지방 상황에 따라 토양 시비를 최적화하여 방호조치의 효율을 높일 수 있었다. 이를 통해 농장의 현대화와 전문화 개조, 작물과 품종의 선택, 토지의 대안적 이용이 가능해졌다. 세슘-결합 페로신(감청 Prussian blue)으로 젖소를 위한 혼합 식단(그림A.4 참조)과 동물 연령에 따른 개별 식단을 사용함으로써 우유와 고기의 품질을 크게 개선할 수 있었다(Bogdevitch 2003, Belarusian Ministry for Emergency Situations 2011).

#### A.3.5. 건강 조사

(A56) 체르노빌 사고 이후, 소련 정부는 대응자뿐만 아니라 그들의 아이들을 포함하여 심한 피해지역 거주자들에 대한 의무적 등록과 지속적인 건강조사 프로그램을 시작했다. 1991년 말까지 '전연방 임상-선량계측 등록소' All-Union Distributed Clinico-Dosimetric Registry는 약 66만 명에 대한 정보를 기록했다. 소련이 독립국가연합으로 해체된 후에도 국가 체르노빌등록소들은 계속 운영되었지만, 데이터의 비교성은 제한적으로 되었다. 갑상선암 및 혈액암을 위한 등록소를 포함하여 벨라루스, 러시아 및 우크라이나에 다수의 전문 집단기반 등록소가 설립되었다.



그림A.4. 페로신을 함고 있는 소(벨라루스).

(A57) 국제협력은 1990년에 활발해지기 시작했고, 그 이후로 체르노빌 사고의 건강영향을 평가하는 데 중요한 역할을 해왔다. 벨라루스, 러시아, 우크라이나에서 이주자, 피해 지역 주민 및 대응자에 대해 많은 역학 연구가 수행되었다. 대부분 연구는 아동의 갑상선암, 백혈병 및 기타 암에 초점을 맞췄지만, 일부 연구는 심혈관질환, 백내장 또는 선천성 기형도 고려했다.

(A58) 한 가지 중요한 발견은 체르노빌 사고가 사고 당시 유아 또는 아동으로 피폭했던 일반인 사이에 갑상선암 발병률을 극적으로 높였다는 것이다. 피해지역(벨라루스와 우크라이나 전체, 러시아에서 오염이 심한 4개 주)에 대해 1990년부터 2005년까지 가용한 데이터를 검토한 결과, 1986년에 18세 미만이었던 사람들의 갑상선암 증례 수가 약 7,000 명에 이르렀다(UNSCEAR 2011). 1991-2015년 기간을 대상으로 하는 더 최근 검토에서는 갑상선암 총 증례 수가 거의 3배 더 높았다(UNSCEAR 2018).

(A59) 대응자 그룹에서 백혈병 발병률이 증가한 증거가 일부 존재한다(UNSCEAR 2011, Zablotska 등 2013). 다른 건강영향의 빈도 증가에 관한 연구들은 확정적이지 않다. 사고 후 35년이 지났지만, 피해지역 주민들과 이주자들 사이에서 받은 선량과 백혈병 및 고형암(결장암, 폐암, 유방암과 같은)의 증가 사이에 명확한 연관성을 보여주지는 않았다. 그러나 이러한 유형의 암에서는 발생 빈도의 증가 가능성을 감지하기에는 사고 이후 시간이 너무 짧다는 점을 배제할 수 없다. 마찬가지로, 선천성 기형 및 심혈관질환과 같은 암외 병리에 관해서도 수행된 연구가 확정적이지 않다.

(A60) 일부 연구는 특정 정화작업자 그룹에서 받은 선량에 따라 백내장과 심혈관 및 뇌



혈관 병리의 빈도가 증가하는 것을 관찰했다. 현재 결과로는 결장암, 폐암 또는 유방암과 같은 고형암의 빈도가 정화작업자에서 증가했다고 결론을 내릴 수는 없다. 마지막으로, 사고 후 10년이 넘는 기간 동안 피해 주민을 대상으로 수행한 조사에서 방사능 존재로 인한 생활 방식의 변화에 기인하여 자살을 포함한 사회심리적 문제가 증가했음이 밝혀졌다(Bromet 등 2011).

### A.3.6. 상호전문화 과정의 출현

(A61) 1991년 소련이 붕괴하고 벨라루스, 러시아, 우크라이나의 사회경제적 여건이 급격히 악화되었다. 1990년대 초 방사선 상황에 대한 정보를 전파하고 보다 개방적인 방식으로 행동하려는 당국의 노력에도 불구하고, 방사능 존재와 건강에 대한 잠재적 영향(특히 아동)에 관한 일반인의 우려는 더욱 심해졌다.<sup>77)</sup> 당국과 전문가들에 대한 전반적인 신뢰 상실로 인해, 피해지역 사람들 사이에서 무력감이 점차 커졌다.

(A62) 이러한 맥락에서, 프랑스 전문가 그룹은 국가나 지방 당국의 지원을 받아 1990년대 중반 벨라루스에서 ETHOS 시범 프로젝트를 시작했다. 목적은 방사선 상황관리에 영향권 주민과 기타 이해당사자를 참여시켜 그들의 방호와 생활 조건을 개선하는 것이었다(Hériard Dubreuil 등 1999).

(A63) 5년 동안 전문가들은 아동의 내부 오염을 줄이고, 마을에서 생산되는 우유와 고기의 방사선학적 품질을 복원하고, 주변 숲의 목재 사용으로부터 발생하는 방사성 재를 관리하며, 어린이와 청소년 사이에 실용 방사선방호문화를 발전시키기 위하여 마을 사람들과 협력했다. 이 모든 영역에서 가시적 성과를 얻었으며, ETHOS 프로젝트는 유엔개발프로그램(UNDP)으로부터 환경교육을 포함한 지역사회-기반 프로그램을 촉진하기 위한 중요한 모델로 인정받았다(UNDP 2002).

(A64) ETHOS 프로젝트에서 얻은 경험은 2004년부터 2008년까지 벨라루스에서 실행된 CORE 프로그램COoperation for REhabilitation of living conditions in Chernobyl affected areas of Belarus(벨라루스 내 체르노빌 피해지역의 생활환경 재건을 위한 협력)의 기초가 되었다. 이 프로그램은 벨라루스의 체르노빌위원회가 개발한 국제술선으로서, 여러 국제기구, 특히 UNDP 지원을 받았으며, 건강, 교육 및 기억, 경제 개발과 방사선 품질의 4가지 분야에서 벨라루스의 4개 피해지역의 지역 프로젝트를 지원하는 것을 목표로 했다

77) <역주> 4월 28일 스웨덴 환경방사능 측정소에서 감지하여 사고 여부를 추궁할 때까지 소련 정부는 사고 사실을 공개하지 않았다. 지역주민에게도 대체로 비밀로 했다. 나중에 사실을 안 주민은 피폭량에 관한 정부 발표를 불신하게 되었다. 피폭량에 대한 불신은 두려움으로 바뀌게 된다.



그림A.5. ETHOS 사업 과정에서 가정의 방사선 측정.

(Trafimchick 2005).

(A65) 방사선 품질 프로젝트 하나는 Bragin 지역(고멜 주)에서 실행된 방사선 감시 프로젝트였다. 이는 인구집단, 특히 어린이들의 전신 오염을 줄이고 자립적 방호조치를 촉진하는 것을 목표로 했다. Bragin 프로젝트는 재활 과정에 영향을 받는 사람들을 참여시키고 자신의 방호에 관하여 유익한 결정을 내릴 수 있도록 권한을 부여하는 조치의 중요한 역할을 보여 주었다(그림A.5 참조). 또한 다른 이해당사자와 상호작용에서 대화의 역할을 강조했다(Bataille 등 2008).

(A66) ETHOS 프로젝트와 CORE 프로그램은 일상적인 방사선 상황관리에 지역 이해당사자가 직접 참여하는 것이 실현 가능하다는 것을 입증했다. 또한 사업이 지속가능하기 위해서는 이해당사자에 의한 방사선 상황관리가 국가 및 국제 전문가들과 협력관계를 맺고 현지 전문가들의 개인 솔선에 주로 의존하면서, 경제 개발의 역동성을 신뢰해야 한다는 것을 입증했다. 이러한 접근 방식은 10년 후 후쿠시마 사고의 영향을 받은 공동체에서 더욱 발전된 상호전문화 과정의 전조가 되었다.

### A.3.7. 장기 방호조치의 진화 및 해제

(A67) 2010년대 초부터 주민들의 추가 피폭 수준이 연간 1 mSv 미만으로 떨어진 지역에서는 피해지역의 방호조치 해제가 화두가 되었다. 방호조치 해제는 장기 단계가 시작될 때 시행되었던 보상제도의 종료를 의미하기 때문에 민감한 사안이다.

(A68) 이러한 맥락에서 상트페테르부르크 방사선위생연구소의 과학자 그룹이 영향권 정

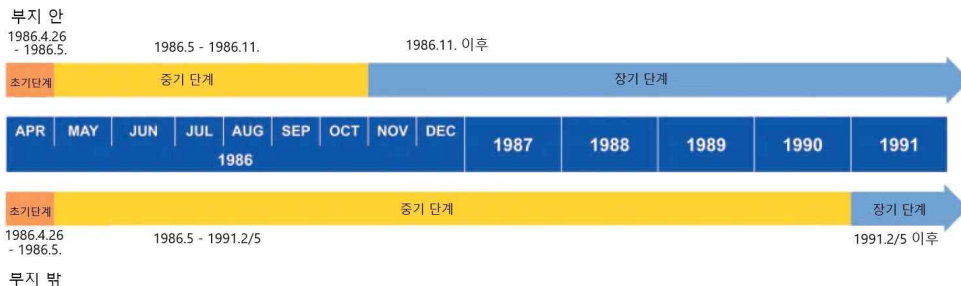
착지에서 장기적인 방호조치의 해제를 허용하는 기준과 요건에 관한 권고를 작성했다 (Barkovski 등 2012, Romanovitch 등 2016). 이 권고는 장기적 방호조치를 종료하고 방사선방호 측면의 제한이 없는 상황으로 전환하기 위해 충족해야 하는 방사선학적 및 방사선 외적 기준을 제공한다.

(A69) 방사선학적 기준에 따르면, 고려된 정착지에서 피폭이 가장 높은 10% 주민의 평균 피폭은 연간 1 mSv 미만이어야 한다. 피폭은 자연 백그라운드 피폭을 포함하지 않고 사고와 관련이 있어야 한다. 방사선 외적 기준에 따르면, 해당 정착지 지역의 농업 활동은 어떠한 제한과 방호조치 없이 수행되어야 한다. 또한 권고에는 지방 당국이 해당 정착지 주민들과 협의하여 장기 방호조치 해제에 대한 실행 및 검토 계획을 수립할 필요성이 언급되어 있다.

(A70) 그러나 장기 방호조치 해제를 위한 권고는 아직 러시아에서 실제로 이행되지 않았고 여전히 권고일 뿐이다. 공식적으로 '오염된 정착지'로 지정된 정착지가 있는 지역의 지방 당국은 사회적 저항이 두려워 이 지위 철회에 주저하고 있다. 따라서 러시아에는 피해지역에서 방호조치의 해제를 결정하는 법적 규제 문서가 아직 없다. 현재까지 그러한 해제는 이루어지지 않았다.

(A71) 방호조치 해제가 민감한 사안이기 때문에, 이 간행물의 초안을 작성하는 당시에는 위에서 언급한 권고가 아직 실행되지 않고 있었다.

## A.4. 체르노빌 사고의 단계 시간선



## A.5. 참고문헌

- Alexakhin, R.M., Buldakov, L.A., Gubanov, V.A., et al., 2004. Large radiation accidents: Consequences and protective countermeasures. Ilyin, L.A., Gubanov, V.A.(Eds.). IzdAT Publishing House, Moscow.
- Barkovskii, A.N., Bruk, G.Ya., Kaduka, M.V., et al., 2012. Criteria and Requirements to Provide the Procedure for Transition of the Settlements Contaminated Due to the Chernobyl Accident from the Recovery Phase to Normal Living Conditions of the Residents. Methodical Recommendations. MP 2.6.1.0055-11. Rospotrebnadzor, Moscow[in Russian].
- Bataille, C., Crouil, P., Lochard, J., 2008. Rehabilitation of living conditions in the post-Chernobyl context: implementation of an inclusive radiation monitoring system in the Bragin district in Belarus. In: Proceedings of the International Conference on 'Radioecology and Environmental Radioactivity' (Part 2), 15-0 June 2008, Bergen, Norway, pp. 129-132.
- Belarusian Ministry for Emergency Situations, 2011. A Quarter of a Century After the Chernobyl Catastrophe: Outcomes and Prospects for the Mitigation of Consequences. National Report of the Republic of Belarus. Belarusian Ministry for Emergency Situations, Minsk.
- Bogdevitch, I., 2003. Remediation Strategy and Practice on Agricultural Land Contaminated with  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in Belarus. Environment and Radiation Protection. Seminar 4, 25-26 November 2003. Eurosafe, Paris, pp. 83-92.
- Bromet, E.J., Havenaar, J.M., Guey, L.T., 2011. A 25 year retrospective review of the psychological consequences of the Chernobyl accident. Clin. Oncol. 23, 297-305.
- Chvyrev, V.G., Kolobov, V.I., 1996. Organization of the radiation-hygiene operations conducted by the military personnel to decontaminate the Chernobyl reactor after the 1986 accident. Milit. Med. J. 4, 4-7 [in Russian].
- Gavrilin, Yu.I., Khrouch, V.T., Shinkarev, S.M., et al., 1999. Chernobyl accident: reconstruction of thyroid dose for inhabitants of the Republic of Belarus. Health Phys. 76, 105-119.
- Hériard Dubreuil, G., Lochard, J., Girard, P., et al., 1999. Chernobyl post-accident management: the ETHOS project. Health Phys. 77, 361-372.
- Hill, P., Hille, R., 1995. Personal dose measuring campaign of the Federal Republic of Germany Results of whole-body measurements in Russia, Belarus, and the Ukraine over the period from 13 May through 6 October 1992. Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, Germany.(In German language). Available at: <http://www.opengrey.eu/item/display/10068/241407>.

- IAEA, 1991. The International Chernobyl Project. Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures. Technical Report. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, 2006. Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the Chernobyl Forum Expert Group. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, 2013. The International Nuclear and Radiological Event Scale User's Manual. 2008 ed. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- ICRP, 2009. Application of the Commission's recommendations to the protection of people living in long-term contaminated areas after a nuclear accident or radiation emergency. ICRP Publication 111. Ann. ICRP 39(3).
- Ilyin, L.A., 1995. Realities and Myths of Chernobyl. Alara Ltd, Moscow.
- Kryuchkov, V.P., Kochetkov, O.A., Tsoviyanov, A.G., et al., 2011. Chernobyl Accident: Doses to the Emergency Responders, Accidental Monitoring, Dose Reconstruction. FMBC Publishing House, Moscow.
- Likhtarev, I.A., Chumack, V.V., Repin, V.S., 1994. Analysis of the effectiveness of emergency countermeasures in the 30-km zone during the early phase of the Chernobyl accident. Health Phys. 67, 541-544.
- Likhtarev, I., Sobolev, B., Kairo, I., et al., 1996. Results of large scale thyroid dose reconstruction in Ukraine. In: Karaoglou, A., Desmet, G., Kelly, G.N., Menzel, H.G.(Eds.), The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident. Proceedings of the First International Conference, 18-22 March 1996, Minsk, Belarus, pp. 1021-1034.
- Nadtochiy, P., Malinovskiy, A., Mogar, A.O., et al., 2003. Experience of Liquidation of the Chernobyl Accident Consequences. Svit, Kiev [in Ukrainian]. Radioactivity measurements in Europe after the Chernobyl accident Part 2: Fallout and deposition, 1992. Report EUR 12800 EN. Commission of the European Communities. Brussels, Luxembourg. Available at: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ebf6ce9a-89d2-4ca7-812b-c8a91234cb77/language-en/format-PDF/source-search>.
- Romanovich, I.K., Bruk, G.Ya., Barkovskiy, A.N., et al., 2016. Justification of the concept of transition of settlements related to the contamination zone as a result of the Chernobyl accident, to normal living conditions of the population. Radiat. Hyg. 9, 6-18 [in Russian].
- Savkin, M.N., Shinkarev, S.M., 2007. Prospective use of individual emergency monitoring of the public - lessons from Chernobyl. Int. J. Emerg. Manag. 4, 408-420.

- Shinkarev, S., Voillequé, P., Gavrilin, Yu., et al., 2008. Credibility of Chernobyl thyroid doses exceeding 10 Gray based on in-vivo measurements of <sup>131</sup>I in Belarus. *Health Phys.* 94, 180-187.
- SRS-76, 1977. USSR Ministry of Health Standards of Radiation Safety. SRS-76. Atomizdat, Moscow[in Russian].
- Stepanenko, V., Gavrilin, Yu., Khrouch, V., et al., 1996. The reconstruction of thyroid dose following Chernobyl. In: Karaoglou, A., Desmet, G., Kelly, G.N., Menzel, H.G.(Eds.), *The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident*. EC Report EUR 16544 EN. Proceedings of the First International Conference, 18-22 March 1996, Minsk, Belarus, pp. 937-948.
- Trafimchick, Z., 2005. The CORE Programme in Belarus: a New Approach to the Rehabilitation of Living Conditions in Contaminated Areas. Chernobyl Forum, Vienna. Available at: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/37/009/37009800.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/37/009/37009800.pdf)(last accessed 3 September 2020).
- UNDP/UNICEF, 2002. *The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident: a Strategy for Recovery*. United Nations Development Programme, New York.
- UNSCEAR, 2000. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. Vol. II. Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000 Report to the General Assembly. Annex J. United Nations, New York.
- UNSCEAR, 2011. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. Vol. II. Effects. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2008 Report to the General Assembly. Annex D. United Nations, New York.
- UNSCEAR, 2018. *Evaluation of Data on Thyroid Cancer in Regions Affected by the Chernobyl Accident. A White Paper to Guide the Scientific Committee's Future Programme of Work*. United Nations, New York.
- Uyba, V., Samoylov, A., Shinkarev, S., 2018. Comparative analysis of the countermeasures taken to mitigate exposure of the public to radioiodine following the Chernobyl and Fukushima accidents: lessons from both accidents. *J. Radiat. Res* 59(S2), ii40-ii47.
- Zablotska, L., Bazyka, D., Lubin, J.H., et al., 2013. Radiation and the risk of chronic lymphocytic and other leukemias among Chernobyl cleanup workers. *Environ. Health Perspect.* 121, 59-65.
- Zvonova, I.A., Balonov, M.I., 1993. Radioiodine dosimetry and prediction of consequences of thyroid exposure of the Russian population following the Chernobyl accident. In: *The Chernobyl Papers Vol. I. Doses to the Soviet Population and the Early Health Effects Studies*. WA Research Enterprises,

Richland, WA, pp. 71-126.





## 부록 B

# 후쿠시마 원전사고

### B.1. 서론

(B1) 후쿠시마 원전사고는 2011년 3월 11일 지진에 따른 쓰나미 영향으로 시작했는데, 도쿄 동북방 약 220 km 일본 동해안에 위치한 동경전력(TEPCO)이 운영하는 후쿠시마 제1원전 6기 중 4기가 심각한 손상을 입었다(그림B.1 참조).

(B2) 강도 9.0의 동일본대지진이 2011년 3월 11일 14:46에 발생했고, 그 여파로 일어난 일련의 대형 쓰나미가 일본 동해안을 덮쳤다. 이 지진과 쓰나미는 일본 동북방 광범한 지역을 황폐화시켰고, 약 16,000명이 사망하고 2,500명이 실종되었다.



그림B.1. 후쿠시마 제1원전 위치.

(B3) 지진으로 인해 원전으로 들어가는 모든 외부전력이 상실되었고, 쓰나미가 6호기용 디젤발전기 1대를 제외한 모든 비상전력을 침수시켰다. 이로 인해 1~3호기 원자로 모두와 4호기 사용후연료 저장조의 냉각기능이 상실되었다. 1~3호기 원자로 압력용기 안으로 물을 계속 주입하지 못해 온도가 상승하고 핵연료가 녹았다. 3월 12일과 13일에는 각각 1호기와 3호기 원자로건물에서 수소폭발도 몇 차례 일어났다. 이러한 사건의 결과로 1~3호기로부터 대량의 방사성물질이 대기로 방출되어 바다와 육지에 침적했다. 이 사고는 국제원자력사건등급(INES)의 최고인 7등급으로 분류되었다.

## B.2. 초기 및 중기 단계

(B4) 초기 단계는 2011년 3월 11일 일본 정부가 비상을 발령함으로써 시작했다.<sup>78)</sup> 주된 방사능 대기 방출은 폭발 시기에 발생했지만, 후속 방출은 3월 말까지 이어졌다. 7월 중순에 이러한 방출원이 안정된 것으로 판단해, 일본 정부와 TEPCO는 손상 원자로를 안전하게 관리하려 수립한 계획의 '1단계'에 도달했다고 선언했다(NERHQ 2011c). 이것이 중기 단계 시작의 이정표로 볼 수 있다.

(B5) 초기 단계 동안 부지 내 대응자를 보호하기 위한 여러 특별조치가 채택되었다. 부지 밖 주민을 위한 다양한 방호조치도 시행되었는데 옥내대피, 소개 및 임시 이주, 옥소제 투여, 사람 제염, 식품과 음용수의 소비 제한 등이었다. 초기 단계 동안 당국은 방사선 상황을 사람들에게 알리기 위해 영향권 지역에서 일련의 설명회를 개최했다(Takamura 등 2019).

(B6) 중기 단계 동안 사람들이 어디서, 언제, 어떻게 피폭했고 향후 영향권에서 피폭할 잠재성에 대한 충분한 정보를 얻기 위해 피폭경로를 파악하려는 많은 활동이 수행되었다. 이러한 상황파악은 지역을 제염하고 방사성폐기물을 관리하기 위한 계획을 2011년 8월에 수립할 수 있게 했다. 2011년 11월, ICRP는 영향권에서 현재와 미래의 도전에 대해 지식과 정보를 교류하기 위해 지역 이해당사자와 '후쿠시마 대화'를 개시했다.

### B.2.1. 방사선감시

(B7) 2011년 3월 11일 지진은 정전을 불러 부지 주변의 모든 방사선감시소를 마비시켰다. 부지 내 감시활동은 3월 11일 저녁에 감시차량을 사용해 개시되었는데, 3월 15일 아침에 서남방 부지경계에서 최대 선량률이 12 mSv/h에 이르렀다. 지진과 쓰나미 영향

78) <역주> 표현은 이렇지만 어디나 비상은 발전소가 발령한다.

으로 원전 반경 약 5 km 이내의 23개 감시소 중 단 하나만 작동했다. 3월 13일부터, 후쿠시마현과 일본 정부는 감시차량을 이용해 주위선량률<sup>79)</sup>, 공기 분진, 토양 및 환경 시료 등의 측정하는 감시활동을 공동으로 수행했다. 그러나 지진으로 파손된 도로 상황과 연료 부족으로 초기 감시활동은 예상처럼 진행되지는 못했다(ICAFN 2011).

(B8) 중기 단계에는 정부 부처, 자치단체, 사업자, 비영리기관, 국제기구 등 다양한 조직이 방사선 측정을 수행했다. 수집된 정보의 일관성을 확보하도록 일본 정부는 감시활동 조정을 위한 기틀을 마련했다. 사고가 영향권 지역에 미친 전반적 피해를 평가하고 장차 채택할 방호조치를 준비하기 위한 첫 종합적 감시계획이 8월에 출범했다. 사람 방호와 보안, 아동 건강, 그리고 발전소 주변 환경의 질 개선을 원하는 주민의 요구에 대응한 세부 감시도 수행되었다(NERHQ 2011b).

### B.2.2. 오염 준위

(B9) 2011년 5월에 일본 정부와 미국 에너지부(USDOE)가 공동으로 발전소 주변 80 km 반경 내의 주위선량률 항공 측정 지도를 처음 만들었다. 지도는 지표로부터 1 m 높이에 서 선량률을 보인다(NERHQ 2011a). 일본 정부는 영향권 주위선량률 분포의 변동을 검출하기 위해 정기적 항공감시를 수행했다.

(B10) 2011년 6월과 7월에 원전으로부터 약 100 km 이내 약 2200 개소의 토양 시료에 대한 방사성핵종 분석이 이루어졌다. 토양시료 채취 위치에서 주위선량률도 측정했다. 그 결과 8월에는 주위선량률과 방사성 세슘 침적밀도 분포 상세지도가 작성되었다. 발전소 인접 구역 여러 곳에서 3 MBq/m<sup>2</sup> 이상의 방사성 세슘 침적밀도가 관측되었다(NERHQ 2011b).

### B.2.3. 개인피폭 수준

(B11) 2011년 6월, 후쿠시마 의과대학 주관 아래 ‘후쿠시마 건강관리 조사’ 사업이 후쿠시마현에서 착수되었다. 이는 후쿠시마현 피해주민의 전반적 건강상태에 대한 회구적/전망적 개관을 제공하기 위한 것이었는데, 특별히 취약 그룹에 중점을 두었다. 조사는 특별 부문 넷을 포함하는데, (i) 18세 미만 아동의 갑상선 검사, (ii) 포괄적 혈액검사를 포함하는 건강조사, (iii) 임신여성 조사, (iv) 정신건강과 생활방식 조사였다. 조사는 설문에서 얻은 주민의 이동 정보와 일일 주위선량률 지도에 근거하여 사고 후 첫 4개월간 외부피폭을 평가했다. 그 결과 주민의 99.4%는 3 mSv 미만을 받았고, 평균은 0.8

79) <역주> 당시 외부피폭 측정 실용량은 ‘주위선량당량’이었다. 2020년 말에 ICRU와 ICRP는 외부피폭 실용량 체계를 갱신하여 ‘주위선량’으로 대체했다.

mSv, 최고치는 25 mSv로 나타났다(Ishikawa 등 2015).

(B12) 후쿠시마 건강관리 조사의 일환으로, 제한구역과 예방적 소거구역 주민에 대한 내부피폭을 전신계수와 소변 생물분석으로 평가했다. Cs-134와 Cs-137에 의한 내부피폭 평가선량은 1 mSv 미만으로 보고되었다(Momose 등 2012).

(B13) 2011년 3월 26일부터 3월 30일까지 이와키시, 카와마타정, 이이다테촌에서 유아와 아동에 대한 갑상선 피폭 조사를 수행했다. 약 1800 명의 15세 미만 아동 중에서 1세 유아의 갑상선 흡수선량 100 mGy에 해당하는 스크리닝 준위 0.2  $\mu$ Sv/h를 초과하는 경우는 없었다(NERHQ 2011a). 이는 여러 갑상선 선량 재구성 연구(WHO 2012, UNSCEAR 2013, IAEA 2015a, Kim 등 2020)에서도 확인되었다.

#### B.2.4. 대응자

(B14) 부지 안 대응자는 손상시설의 관리 회복에 참여했는데, TEPCO 직원이거나 협력업체 직원인 발전소 인력, 자위대, 소방관, 경찰이 포함된다. 부지 밖 대응자에는 다양한 대응기관이나 서비스로부터 온 사람들이 포함되는데, 피난자 구호, 의료, 감시 및 치료 채취 등을 지원했다.

(B15) 사고로 인한 심각한 방사선학적 여건 때문에 당국과 운영자는 부지 안과 30 km 구역의 대응자 방호를 위해 예외적 대책들을 채택해야 했다. 2011년 3월 14일 대응자 방호를 위한 방사선 규제기준<sup>80)</sup>을 100 mSv로부터 250 mSv로 높였다. 6명이 이 기준을 넘겼는데(최고 678 mSv), 주로 적절한 방호수단이 없거나 훈련 부족 때문이었다. 2011년 3월 약 4000 명 대응자의 평균 외부피폭은 약 14 mSv였다(ICAFN 2011, TEPCO 2012). 최고로 피폭한 종사자 12명의 갑상선 흡수선량은 2~12 Gy 범위였다(UNSCEAR 2013). 특별 선량한도 250 mSv는 2011년 11월부터 2012년 사이에 점진적으로 철회했다.

#### B.2.5. 초기 단계의 방호조치

(B16) 원자력사고 대응계획의 일환으로 방호조치에 관한 결정은 시뮬레이션(ERSS/SPEEDI)을 통해 평가한 주민 피폭 수준에 근거했다(NAIIC 2012). 2011년 3월 11일 일본 정부가 원자력 비상을 선포한 후, 주민 방호조치는 주로 실제 발전소 상태와 사고 초기 단계 동안 수행된 환경방사선 감시에 근거를 두었다.

80) <역주> 일본은 사고 당시 법규가 긴급작업자에게도 특별 '선량한도'를 적용했다.

### B.2.5.1. 옥내대피

(B17) 첫 옥내대피 명령을 3월 11일 발전소로부터 3~10 km 반경 내에 있는 주민에게 내렸지만, 다음날 바로 소개 명령으로 변경했다. 3월 15일에는 2호기에서 연기가 나고 4호기에서 폭발과 화재가 발생했기 때문에 발전소로부터 20~30 km 구역 주민에게 옥내대피를 명령했다(그림B.2 참조).



그림B.2. 2011년에 긴급 방호조치가 시행된 지역과 위치(2011년 8월 3일 현재). [http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/evacuation\_map\_a.pdf (As of 30 September 2020)].

<역주> 구역 명칭은 일본어를 따랐는데, 국내에서 통용되는 용어를 쓰면 ‘경계구역’은 ‘제한구역’, ‘긴급시 피난준비구역’은 ‘긴급시 소개준비구역’, ‘계획적 피난구역’은 ‘계획적 소개구역’, ‘특정 피난지점’은 ‘특정 소개지점’으로 보면 된다.

(B18) 옥내대피는 주로 플룸의 공기 중 방사능으로부터 피폭을 줄이기 위해 단기적으로만 시행하려는 것인데도, 자발적 소개자를 제외한 주민에게 10일 동안 계속 옥내에 머무르도록 요구했다. 식품 공급과 용인할 수준의 생활여건 유지 어려움 때문에 일본 정부는 2011년 3월 25일 20~30 km 구역 주민의 자발적 소개를 권고했다(NAIIC 2012).

#### B.2.5.2. 소개

(B19) 후쿠시마 제1원전 주변 사람들의 소개는 3월 11일 저녁에 시작했는데, 소개 범위는 발전소로부터 2 km에서 시작해 3 km, 10 km로 확대되었다. 1호기 수소폭발 후인 3월 12일 저녁에는 그림B.2에서 보듯이 소개 반경을 20 km로 늘였다(약 78,000 명). 이러한 모든 결정은 각 호기의 상황과 전체 발전소의 전반적 잠재위험에 근거하여 이루어졌다. 나아가 영향권 현의 많은 사람이 일본의 다른 지역으로 자발적으로 피난했다.

(B20) 지진과 쓰나미로 인한 손상, 이로 인한 통신과 교통의 어려움 때문에 소개 과정이 복잡했다. 소개지역이 확대됨에 따라 많은 주민이 다른 장소로 여러 번 소개해야 하기도 했다. 나아가 소개 명령이 내려진 때도 많은 주민은 사고 심각성이나 예상 소개 기간에 대한 정확한 정보를 받지 못했다. 20 km 소개구역 내 병원의 환자와 요양원의 노약자를 소개하는 데 많은 어려움이 있었고 이로 인해 60명 이상이 사망했다(NAIIC 2012).

#### B.2.5.3. 안정옥소제

(B21) 후쿠시마현은 사고 직후 자치단체에 안정옥소제를 배포를 시작했지만 일본 정부도 후쿠시마현 지사도 옥소제가 효력이 있을 기간에 그 복용을 지시하지 않았다. 안정옥소제 복용 명령<sup>81)</sup>이 내려진 경우는 2011년 3월 16일 20 km 구역으로부터 소개한 주민에게였다. 그러나 일본 정부가 20 km 구역의 소개가 완료되었음을 이미 확인했기 때문에 후쿠시마현은 이 지시를 따르지 않았다. 결국 갑상선 옥소차단은 일관되게 이행되지 않았는데 주로 중앙과 지방 정부 사이 구체적 협력이 없었기 때문이다(ICA FN 2011, NAIIC 2012). 그러나 후쿠시마현이 옥소제 복용지시를 내리지 않았지만 몇몇 자치단체는 주민에게 옥소제 복용을 지시하기도 했다. 한 자치단체(미하루촌)에 대한 회귀적 연구는 분배율은 매우 높았지만(94.9%) 옥소제 복용으로 인한 부작용을 우려한 어머니들의 걱정 때문에 복용률은 63.5%에 불과했다(Nishikawa 등 2018).

#### B.2.5.4. 사람 제염

(B22) 주민의 신체 오염을 검사하기 위해 후쿠시마현 피해지역에 대해 선별조사가 수행

81) <역주> ‘명령’order으로 표현하고 있지만 권고가 옳다. 약품 복용 문제이므로 현 지사도 주민에게 이를 명령할 권한은 없다.

되었다. 사고 직후에 사용된 첫 선별 준위는 13000 cpm이었다. 그러나 2011년 3월 20일 원자력안전위원회는 IAEA가 권고한  $1\mu\text{Sv/h}$  기준에 따라 선별기준을 10만 cpm으로 높였다. 신체 표면오염을 측정한 20만 명 대부분이 10만 cpm 미만이었으며, 약 100명만이 선별준위를 초과해 전신 제염이 필요했다(ICAFN 2011).

#### B.2.5.5. 식품의 예방적 제한

(B23) 20 km 구역 밖에서도 상수, 우유, 엽채 시료에서 높은 방사성핵종 농도가 검출되면서 특정 식품과 음용수의 유통을 제한하기 시작했다. 이 목적에서 2011년 3월 21일 후생성은 원자력안전위원회의 규제지침 기준을 임시 규제 값으로 채택했다. 4월에 일본 정부는 영향권에 식품을 공급하는 계획을 수립하는 한편으로 식품과 음용수에 대한 제한을 설정하고 해제하는 지침도 제공했다(NERHQ 2011a).

#### B.2.5.6. 임시 이주와 학교

(B24) 4월 22일, 반경 20 km 바깥 구역으로서 사고 후 첫째 예상선량 평가치가 20 mSv를 초과하는 구역을 '계획적 피난구역'으로 지정했다. 일본 정부는 이 구역 내 주민의 1개월 동안 임시 이주를 명령했다. 임시 이주 기준은 ICRP가 권고한 비상피폭상황의 참조준위 밴드 20~100 mSv 범위를 고려하여 일본 정부가 선정했다. 계획적 피난구역 넘어 20~30 km 범위에서 옥내대피를 적용하던 구역은 '긴급시 피난준비구역'으로 지정하고 기존의 20 km 이내 소개구역은 '경계구역'으로 설정해 재이주를 제한했다(NREHQ 2011a).<sup>82)</sup>

(B25) 동시에 학교 방학 종료 후<sup>83)</sup> 일본 정부는 소개구역 밖의 학교 개교에 대해 의사를 결정해야 했다. 2011년 4월 19일, 일본 정부는 학교 운동장 선량률이 연간 20 mSv에 해당하는 값인  $3.8\mu\text{Sv/h}$ 를 초과할 우려가 있으면 학생들의 옥외 활동을 제한하도록 결정했다. 이 기준은 기존피폭상황에 대해 ICRP가 권고한 연간 선량 밴드 1~20 mSv를 고려하여 선정된 것이었다. 주민들은 아이들 안전을 위해 설정한 기준이 '계획적 피난구역'에 대해 설정한 값과 같다고 강하게 반발했다. 5월에, 일본 정부는 후쿠시마현에 대해 2011년 4월부터 2012년 3월까지 기간에 학생의 선량을 연간 1 mSv로 줄이도록 지시했는데, 이 값은 ICRP 111(2009)에서 권고한 장기 목표이다. 당국은 선량률이  $1\mu\text{Sv/h}$ 를 넘어 측정되는 학교에 대해 제염을 위한 금융지원을 제공했다(ICAFN 2011, ANIIC 2012).<sup>84)</sup>

82) <역주> 구역 명칭에 대해서는 그림B.2 캡션에 보인 <역주>를 참조하라.

83) <역주> 일본은 4월1일이 학기 시작일이다.

84) <역주> 이처럼 낮은 참조준위를 채택할 수 있음은 현장 실태가 이 수준 참조준위가 가능했다는 의미이다. '아이들'의 학교라는 특수성은 있지만 대상 수가 많거나 오염 수준이

## B.2.6. 중기 단계에서 방호조치

### B.2.6.1. 피폭이 높은 특정 장소의 소개

(B26) 감시 결과 ‘경계구역’이나 ‘예방적 피난구역’ 밖에서 주민이 사고 후 1년간 20 mSv를 초과할 수 있는 특정 장소가 발견되었다. 2011년 6월 일본 정부는 이런 장소들을 ‘특정 피난(권고)지점’으로 지정했는데, 11월까지 그런 집이 다수 발견되었다. 일본 정부는 해당 주민에 경각심을 주기 위해 정보를 제공하고 원한다면 소개를 지원했다(ICA FN 2011, NERHQ 2011b).

### B.2.6.2. ‘긴급시 피난준비구역’에 대한 소개 해제

(B28) 2011년 8월, 일본 정부는 손상 원자로의 안전성, 공간 방사선량을 감소, 공공 서비스 및 인프라의 재건 관점에서 소개구역에 대한 검토를 준비했다. 영향권 지역에서 수행된 감시활동과 자치단체가 실시한 다양한 조치에 근거하여, 일본 정부는 ‘긴급시 피난준비구역’을 해제할 모든 조건이 충족되었다고 판단했다. 정부와 자치단체의 협의를 거쳐 이 구역에 대한 소개명령을 해제하는 명령을 9월 30일 내렸다(ICA FN 2011).

### B.2.6.3. 반려동물과 가축의 소개

(B28) 사람들이 소개할 때 많은 반려동물과 가축을 방치했다. 2011년 5월부터 단기간 제한구역에 일시 출입해 구역에 남아 있는 반려동물을 소개할 기회를 주었다. 이 반려동물 소개는 여러 단체의 지원으로 오래 계속되었다(MOE 2012). 영향권 지역의 대부분 가축도 소개했는데, 2011년 5월 일본 정부의 결정(MAFF 2011)에 따라 포기한 가축이 있는 ‘경계구역’의 가축은 제외했다. 이들 가축은 주인의 허락을 받아 선별적으로 살처분했다.

(B29) 2013년에는 환경성이 ‘재난시 반려동물 구조에 관한 지침’을 마련했다. 이 지침은 원전사고와 같은 재난상황에서 주인이 반려동물을 소개해야 한다는 원칙에 따라 자치단체가 규정을 만들고 대비하는 데 도움을 주었다.

### B.2.6.4. 폐기물 관리

(B30) 사고 후 부지 밖에서 발생한 오염된 폐기물은 지진과 쓰나미 잔해 또는 치유활동을 포함한 방호조치 부산물로 분류된다. 사고 전에는 공공 영역에서 방사능물질로 오염된 재난폐기물의 처분을 규제하는 법이 없었다. 따라서 일본 정부는 다른 관련 기관과 협의하여 그러한 폐기물의 처리와 처분을 위한 특별목적 기준을 수립했다.

---

높으면 무리한 참조준위는 효과에 비해 비용이 과도하게 증가하기 때문이다.



(B31) ‘방사성물질에 의한 환경오염을 다루는 특별조치법’<sup>85)</sup>이 2011년 8월에 공포되고 2012년 1월에 시행되었다(MOE 2011). 이 법은 영향권에서 치유활동 및 관련된 방사성 폐기물을 다루는 주된 법률적 장치가 되었다. 법은 오염구역 관리를 개괄하고 국가, 지방정부, 사업자 및 일반대중의 책임을 부여한다. 또한 법은 제염대책과 방사성물질로 오염된 토양과 폐기물의 지정, 처리, 저장 및 처분을 규정한다.

#### B.2.6.5. 제염 프로그램

(B32) 제염이 시급했기 때문에 일본 정부는 2011년 8월에 제염 이행에서 구체적 목표 및 작업 원칙과 함께 제염작업을 위한 기본 정책을 수립했다. 일본 정부는 (사고로 인한) 추가 선량이 연간 20 mSv를 초과하는 구역을 점진적으로 줄이기 위해 신속한 제염 프로그램을 수행하기를 원했다. 일본 정부는 추정 연간 추가선량이 20 mSv 미만인 구역에서는 장기 목표로서 연간 1 mSv 이하로 감축하도록 자치단체나 지역주민과 함께 제염작업을 실행하도록 했다(NERHQ 2011b).

(B33) 방사성핵종의 물리적 붕괴와 풍화 효과를 고려해, 영향권 지역 제염 목표는 다음 2년 안에 추가 연간 선량을 일반인에 대해서는 50%, 아동에 대해서는 60%를 감축하는 것이었다. 장기 목표는 원자력사고 후 장기적 오염구역에서 생활하는 사람들 방호를 위한 ICRP 권고(ICRP 2009)에 따라 추가선량을 연간 1 mSv 미만으로 줄이는 것으로 정했다. 제염작업을 안내하기 위해 일본 정부는 자연 백그라운드를 포함해 선량을 기준으로 0.23  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 를 채택했다(NERHQ 2011b, IAEA 2015b).

#### B.2.7. 후쿠시마에서 ICRP 대화 솔선

(B34) 2011년 말이 가까워지자 정부와 자치단체가 이행한 방호조치에도 불구하고 피해자, 특히 집으로 복귀하지 못한 소개민의 상황은 계속 불확실했다. 일상생활의 어려움과 결합하여, 방사선피폭에 대한 지속적 우려는 개인의 안녕이나 영향권 공동체의 삶의 질을 크게 저해했다. 이런 맥락에서 ICRP는 11월 정부 당국, 후쿠시마현 당국, 지역 전문가, 피해 공동체, 언론계 대표, 체르노빌 사고의 장기적 영향을 직접 다룬 경험이 있는 벨라루스와 노르웨이 대표자들 사이 대화를 조장하는 일을 솔선하였다(그림B.3 참조). 목적은 이해당사자 사이 토론을 조장하고 체르노빌 사고 피해 공동체, 특히 벨라루스 공동체의 경험을 일본인들과 공유하는 것이었다. 그렇게 함으로써 후쿠시마 원전사고의 영

85) <역주> 법률 본 제목은 ‘헤세이 23년 3월 11일 발생한 도호쿠 지방 태평양 앞바다 지진에 따른 원자력발전소 사고로 방출된 방사성물질에 의한 환경오염에 대한 대처에 관한 특별조치법’이다. 平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法 (平成二十三年法律第一百十号)



그림B.3. 2012년 2월 다테시에서 개최된 제2차 후쿠시마 대화.

향권 지역에서 생활여건의 장기적 재건에서 제기될 도전에 대응하는 방법을 찾기를 바랐다. ICRP에게는 향후 ICRP 권고를 개선할 수 있도록 일본인들로부터 직접 배울 기회이기도 했다.

(B35) 지역 이해당사자 지원 아래 2019년 말까지 후쿠시마현 여러 곳에서 20회 이상의 대화모임을 가졌다. 모임에서 여러 난제에 도전했는데, 오염식품 처리, 아동 교육, 영향권 지역에 계속 거주 또는 그런 곳으로 복귀 여부, 측정의 역할 등이었다. 많은 자치단체에서 생활여건 재건에서 도전도 다루었다. 교사들을 모아 방사선 이슈에 관한 교육 방법과 도구를 평가한 것처럼 손에 잡히는 결과를 얻기도 했다. 심지어 전국적인 큰 식품 소매상의 구매 및 판매 정책을 바꾸기도 했다(Kotoba 2015, ICRP 2016, Lochard 등 2020).

(B36) 대화모임의 결과로 많은 소모임도 후쿠시마 지역에서 개최되었다. 나아가 일본, 벨라루스, 노르웨이 피해자들의 교환방문도 조직하여, 각자의 직접 경험을 공유하고 영향권 지역의 재건에서 장기적 도전을 평가할 수 있게 했다. 끝으로 후쿠시마 대화는 여러 공동체에서 상호전문화 과정을 촉진했는데, 이로써 많은 지역주민의 실용 방사선방호 문화의 발전과 자조방호 조치의 이행을 조장했다.

### B.3. 장기 단계

(B37) 부지 내 장기 단계는 일본 정부가 방사선원이 충분히 안정된 것을 의미하는 ‘1~3 호기에서 제어의 재수립과 냉온정지 확보’를 선언한 2011년 12월 16일에 시작된 것으로 볼 수 있다. 그러나 법적 문서에는 정확히 확인되지 않았다.

(B38) 2011년 12월 26일, 일본 정부는 방호조치가 실행된 부지 밖 지역에 대한 검토 절차에 착수했다. 그 결과는 2012년 4월부터 ‘경계구역’과 소개명령이 발령된 구역의 재설정으로 이어졌다. 이것이 부지 밖에서 장기 단계 개시로 볼 수 있다(ICAFN 2012).

#### B.3.1. 대응자

(B39) 2011년 8월 채택된 제염작업에 대한 기본 정책과 지침에 따라 일본 정부는 제염 작업에 참여하는 대응자 방호를 보장하기 위한 고시를 발행했다. 모든 고용주는 제염에 참여하는 대응자의 방호를 보장할 책임이 있다. 본질적으로, 제염작업, 복구, 폐기물 관리에 참여하는 모든 대응자에 대해 정상운영에서 직무피폭에 대한 요건을 적용했다.<sup>86)</sup> 국가 당국은 자기고용 대응자<sup>87)</sup>, 주민, 그리고 자기 동네 제염작업을 수행하는 자원봉사자에게 제염작업에 참여하는 대응자를 위한 지침 해당 요건을 따르도록 요구했다.

#### B.3.2. 소개명령 해제

(B40) 일본 정부는 지방 당국과 협의하여 소개명령을 해제하기 위한 일련의 조건을 준비했다. 이로써 소개명령이 내려진 지역에 대해 상황을 검토할 수 있게 되었다.

86) <역주> 이런 작업자의 피폭을 여전히 ‘비상피폭상황’으로 해석하면서 ‘정상운영에서 직무피폭’ 요건을 적용한다는 것이 혼선이다. 앞서도 말했듯이 초기 단계의 열악한 여건에서 주민 소개 등 긴급임무에 투입되는 사람들을 제외하면 부지 밖에서 대응자의 피폭은 처음부터 계획피폭상황으로 보는 것이 합리적이다.

87) <역주> 자기고용자(예: 고용주 겸 피고용인인 1인 사업자)를 어떤 관점에서 방호기준을 적용할 것인지는 애매하다. 이전 ICRP 권고나 이에 따라 규정된 여러 나라의 현행 법규는 자기고용자를 고용주 겸 피고용인으로 해석하여 자신의 고용주로서 자신에게 다른 고용주가 직무피폭자에게 적용하는 요건을 그대로 적용한다는 논리이다. 다른 접근은 자신의 위험에 대한 유식한 결정은 타인의 위험을 관리할 책무와는 차원이 다르다고 볼 수 있다. 일상에서 처하는 많은 위험 중에 제일인 흡연을 보더라도 흡연자의 흡연은 하루에 두 packs 피우더라도 규제하지 않지만, 타인에게 담배연기를 흡입하게 하는 ‘간접흡연’은 미미하더라도 규제한다. 역자는 자기고용자(예: 오염지역에서 화단이나 텃밭을 가꾸는 주민)는 ‘자율피폭자’로서 피폭상황과 수반 위험을 이해하면서 종사한다면 그 피폭을 법률로 제한하는 것은 적절하지 않다고 본다. 따라서 여기에는 선량한도 준수와 강요가 아니라 참조준위를 제시하고 정보를 제공하여 피폭을 스스로 관리(자율)하도록 안내하는 것이 적절하다.



그림B.4. 소개명령이 내려진 구역에 대한 조치의 완료(2013년 8월 7일 기준). [[https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/20130807\\_01.pdf](https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/20130807_01.pdf) (2020.9.30. 읽음)]

(B41) 소개명령 해제 조건은 (i) 연간 누적선량이 20 mSv 미만일 것, (ii) 사회, 특히 어린이를 위한 인프라와 서비스 재건에 충분한 진척이 있을 것, (iii) 지방 정부 및 주민과 충분히 협의했을 것이었다(NERHQ 2011d).

(B42) 이러한 조건을 기반으로 새로 세 구역이 결정되었다.

- 구역1: 소개명령을 해제할 준비가 된 구역(즉, 예상 연간 누적선량이 20 mSv 미만인 구역)
- 구역2: 주민의 거주가 허용되지 않은 구역(즉, 예상 연간 누적선량이 20 mSv 이상인 구역)
- 구역3: 장기간 주민의 복귀가 어려울 것으로 예상되는 구역(즉, 예상 연간 누적선량이 50 mSv를 초과하는 구역 또는 향후 5년은 예상 연간 누적선량이 20 mSv를 초과할 것으로 보는 구역).

(B43) 후쿠시마현 및 해당 자치단체와 협의 및 조정이 이루어졌다. 2012년 4월, 처음으로 3개 자치단체가 자신들 구역에 대한 대책에 대해 변경을 결정했다. 그림B.4에 보인 것처럼 2013년 8월까지 소개명령이 내려진 구역에 대한 변경 제안이 11개 영향권 자치단체 모두에서 준비되었다. 소개명령의 첫 해제는 2014년 4월 구역1에 대해 이루어졌다. 구역1과 구역2 모두에 대한 소개명령 해제는 2017년 4월까지 완료되었다. 구역3에 대해서는, 6개 자치단체의 지정된 '재건과 부흥 기반구역'에 대해 핵심 인프라 재건과 제염 활동이 2018년 시작되었다.

(B44) 고향으로 돌아온 사람의 비율은 30% 미만인데, 자치단체에 따라 10% 미만에서 80% 정도까지 크게 달랐다(Fukushima Prefecture 2020). 복귀율은 부분적으로는 소개명령을 해제한 시점에 의존했다. 세 등급 구역에 대해 일본 정부는 사람들이 돌아와 생활할 때 피폭하는 추가 선량으로 연간 1 mSv 미만의 장기 목표를 설정했다(NRA 2013). 소개명령이 이미 해제된 자치단체에서 외부피폭은 개인 선량계로 감시한 결과 2019년 말까지 연간 1 mSv 수준으로 평가되었다(Nomura 등 2020).

### B.3.3. 식품 관리

(B45) 2012년 4월, 책임당국은 연간 1 mSv 피폭을 기준으로 식품 중 방사성 세슘에 대한 새 기준을 설정했고(ICAFN 2012, MHLW 2012), 이로써 2011년 3월에 설정한 임시 규제치를 대체했다.

(B46) 내부피폭을 더 잘 관리하기 위해, 책임당국은 새 방사능 기준을 초과하는 식품을 걸러내기 위해 방대한 식품감시계획을 수립했다. 후생성이 제공한 정보에 따르면 2014년 8월에 후쿠시마산 식품의 기준 초과 비율은 1% 미만이었다(Merz 등 2015). 예를 들면 후쿠시마산 모든 쌀 포대에 대해 방사성 세슘을 측정했는데 약 1천만 포대 중 기준인 100 Bq/kg을 초과한 것은 100 포대 미만이었다(Nihei 등 2015).

### B.3.4. 제염 및 폐기물 관리

(B47) 2012년부터 방사성물질에 의한 환경오염을 다루는 특별조치법에 근거하여 지속적인 외부피폭을 줄이기 위해 영향권 지역에서 집중적 제염활동이 실행되었다. 외부피폭은 영향권 주민의 지배적 피폭경로이다. 처음에 견본 제염사업을 수행하여 효과적이고 안전하며 비용효과적인 제염 프로그램을 계획하여 실행한 경험, 도구 및 지침을 제공하도록 했다.

(B48) 제염활동은 방대한 양의 오염토양과 폐기물을 발생시켰는데, 일본 정부는 이 폐기물을 후쿠시마 제1원전에 가까운 중간 저장시설로 운송하기 전에 자치단체 내에 임시 저장지에 두기로 결정했다. 최종 처분 부지는 아직 미정이다. 그러나 임시 저장부지 선정에 합의를 얻기 어려우면 제염한 장소 부근에 대형마대에 넣어 임시로 저장하기로 했다. 2016년에 정부 당국은 체적을 최소로 줄이고 토양 재활용을 조장하는 '감용과 재활용 기술개발 전략'을 개발했는데, 이는 최종 처분할 토양의 체적을 줄일 것이다(MOE 2018).

### B.3.5. 상호전문화 과정 및 자조방호 조치

(B49) 당국이 시행하는 방호조치에 추가하여, 여러 자치단체에서 상호전문화 과정을 도입해 자조방호 조치 발전을 도모했다. ICRP 대화에 영감을 받거나 따로 개발된 이 상호전문화 과정은 현지 상황에 따라 상이한 이해당사자가 제안했는데 여기에는 시장, 주민, 보건전문인, 학자 등이 포함된다(ICRP 2016). 이런 과정의 일부는 자원봉사 전문가 도움 아래 지역 사람들이 수행해 비공식적으로 남아 있고, 또 어떤 것은 지역 당국과 전문기관 또는 대학과 공식 협력체계를 낳았다(Ando 2016, Naito 등 2017, Takamura 등 2018, Yasutaka 2020).

(B50) 이러한 상호전문화 과정 경험은 전문가와 피해주민 사이 정기적 대화가 핵심 역할을 입증했다. 그룹이나 대면 모임으로 수행된 이러한 대화는 주민이 방사선 유발 건강 위험, 자신들의 일자리 미래, 사고가 가족 구조와 결속에 미치는 영향, 임야 출입, 제염활동 및 발생 폐기물 관리 등에 대한 자신들의 우려를 표현하게 했다. 전문가들에게는 대화가 피해 공동체가 직면한 문제에 대해 살필 기회가 되고 자기 지식과 경험을 공유할 수 있게 했다(그림B.5 참조)(Miyazaki 2017). 경청과 공감을 기반으로 하는 이러한 대화가 전문가나 당국에 대한 신뢰회복을 점진적으로 도왔다(Ethos in Fukushima 2019).

(B51) 상호전문화 과정은 영향권 사람들이 자신들이 처한 방사선 상황의 파악에 직접



그림B.5. 전문가와 주민의 대화.

참여함으로써 어디서, 언제, 어떻게 자신들이 피폭하는지 이해할 수 있게 돕는다. 사고 후 1년 동안 주위선량률, 외부피폭, 식품 오염을 적절하고 손쉽게 측정할 수 있는 기기 제공은 이러한 참여를 크게 조장했다(Naito 등 2015, Brown 등 2016). 내부피폭 감시에 쉽게 접근하는 것도 발전했다. 개인피폭 측정치의 공유와 전문가의 설명이 상호전문화 과정에 동참한 이해당사자 사이에 실용 방사선방호문화가 점차 형성되게 했다(Tsubokura 등 2020).

(B52) 실용 방사선방호문화의 발전은 많은 피해자로 하여금 자조보호 조치를 행하도록 만들 뿐만 아니라, 지역에서 온 전문가의 지원 아래 여러 집합적 방호조치의 실행에 도움을 주었다. 이런 다양한 조치는 제염폐기물 임시저장소에 대한 방사선감시로부터 버섯을 수집해 방사선학적 품질을 평가하는 것까지 걸친다(Orita 등 2017, Lochard 등 2020).

(B53) 후쿠시마 피해지역에서 상호전문화 과정은 지역 프로젝트 개발을 촉진해 관련된 공동체의 복구에 기여했다. 개인 기업가나 지역 당국자가 제안한 프로젝트가 방사선방호 전문가나 학술단체의 과학적 지원과 정부 당국의 금융지원도 받았다. 다양한 긍정적 결과에도 불구하고, 후쿠시마 피해지역에서 상호전문화 과정의 확산은 제한적이다.

### B.3.6. 일반 대중에 대한 건강조사

(B54) 후쿠시마 건강관리조사 사업의 일부로 갑상선 초음파 검사 캠페인이 네 차례 진행되었다. 2019년 6월까지, 약 30만 명 주민에서 220 사례 이상의 갑상선암이 발견되었다(FMU 2019). 이렇게 높은 아동 갑상선암 사례율은 갑상선암 등록부에서 예상되는 발

생물보다 분명히 높다. 이러한 관찰은 체계적인 초음파 검사 때문일 가능성이 크며 추가 연구가 필요하다(Ohtsura 등 2019). 더욱이 아동에 대한 갑상선 검사는 윤리적 문제도 제기했다(Midorikawa와 Ohtsura 2020)<sup>88)</sup>.

(B55) 소개구역 안팎에서 온 주민에 대한 전통적 건강진단 및 암 검사를 포함하는 포괄적 건강 확인은 순환계 질환 위험인자의 증가를 보였다(FMU 2019).

(B56) 정신건강과 생활방식 조사에서는 사고 후 우울증과 같은 정서장애나 불안장애를 가지거나 의심되는 사람 수는 감소했음에도 도움이 필요한 사람의 비율은 일본의 일반 집단에 비해 높게 나타난다.

(B57) 임신 여성과 소아를 둔 어머니의 불안을 겨냥 특별조사를 수행한 결과도 유사했다. 조사는 미숙아 발생, 낮은 출산체중, 선천성기형 모두 일본 일반 인구집단에서 보고된 값과 유사했다.

## B.4. 후쿠시마 사고의 단계 시간선



88) <역주> 방사선위험에 대한 우려 분위기 환경에서 아동 갑상선 진단 결과, 과진단 현상으로 우려를 증폭시켰고 발견된 소견이 무해할 수도 있는 상황에서 의사와 보호자 합의로 갑상선 절제가 이루어진 경우를 지적하고 있다. 또한 학교 일과 중에 측정은 검사가 '의무적'인 것으로 오해하게도 만들었다. 그래서 이러한 프로그램에 대해 어떤 윤리강령이 필요하다는 의견을 제기한다.



## B.5. 참고문헌

- Ando, R., 2016. Measuring, discussing, and living together: lessons from 4 years in Suetsugi. *Ann. ICRP* 45(1S), 75-83.
- Brown, A., Franken, P., Bonner, S., et al., 2016. Safecast: successful citizen-science for radiation measurement and communication after Fukushima. *J. Radiol. Prot.* 36: S82-S101.
- Ethos in Fukushima, 2019. Regaining Confidence after the Fukushima Accident, the Story of the Suetsugi Community. *Ethos in Fukushima*. Available at: <http://ethos-fukushima.blogspot.com/2019/03/videoregaining-confidence-after.html> (last accessed 3 September 2020).
- FMU, 2019. Report of the Fukushima Health Management Survey. Fukushima Medical University, FY 2019. Available at: [https://fukushima-mimamori.jp/outline/uploads/report\\_r1.pdf](https://fukushima-mimamori.jp/outline/uploads/report_r1.pdf)(last accessed 3 September 2020).
- Fukushima Prefecture, 2020. Status of evacuation instruction area, Details of 12 municipalities in evacuation areas(in Japanese). Available at: <https://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/list271-840.html> (in Japanese, last accessed 3 September 2020).
- IAEA, 2015a. The Fukushima Daiichi Accident, Technical Volume 4/5 Radiological Consequences. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- IAEA, 2015b. The Fukushima Daiichi Accident, Technical Volume 5/5 Post-accident Recovery. International Atomic Energy Agency, Vienna.
- ICAFN, 2011. Interim Report of Investigation Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company. Cabinet Secretariat of the National Government of Japan, Tokyo.
- ICAFN, 2012. Final Report of Investigation Committee on the Accident at the Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company. Cabinet Secretariat of the National Government of Japan, Tokyo.
- ICRP, 2009. Application of the Commission's recommendations to the protection of people living in long-term contaminated areas after a nuclear accident or a radiation emergency. *ICRP Publication* 111. *Ann. ICRP* 39(3).
- ICRP, 2016. Proceedings of the International Workshop on the Fukushima Dialogue Initiative. *Ann. ICRP* 45(2S).
- Ishikawa, T., Yasumura, S., Ozasa, K., et al., 2015. The Fukushima Health Management Survey: estimation of external doses to residents in Fukushima Prefecture. *Sci. Rep.* 5, 12712.

- Kim, E., Yajima, K., Hashimoto, S., et al., 2020. Reassessment of internal thyroid doses to 1,080 children examined in a screening survey after the 2011 Fukushima nuclear disaster. *Health Phys.* 118, 36-52.
- Kotoba, 2015. Web Documentary. Available at: <http://www.fukushima-dialogues.com> (last accessed 3 September 2020).
- Lochard, J., Ando, R., Takagi, H., et al., 2020. The post-nuclear accident co-expertise experience of the Suetsugi community in Fukushima Prefecture. *Radioprotection* 55(3), 225-235.
- MAFF, 2011. Regarding Disposition of Livestock Animals with Mercy Killing in the Area of the No-entry Zone in the Consequence of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station of Tokyo Electric Power Company(as of May 12). Press release. Available at: [https://web.archive.org/web/20110522194417/http://www.maff.go.jp/e/quake/press\\_110517-2.html](https://web.archive.org/web/20110522194417/http://www.maff.go.jp/e/quake/press_110517-2.html).
- Merz, S., Shozugawa, K., Steinhäuser, G., 2015. Analysis of Japanese radionuclide monitoring data of food before and after the Fukushima nuclear accident. *Environ. Sci.* 49, 2875.
- Midorikawa, S., Ohtsuru, A., 2020. Disaster-zone research: make participation voluntary. *Nature* 579, 193.
- MHLW, 2012. New Standard Limits for Radionuclides in Foods. Ministry of Health, Labour and Welfare, Tokyo. Available at: [http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/new\\_standard.pdf](http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/new_standard.pdf)(last accessed 3 September 2020).
- Miyazaki, M., 2017. Using and explaining individual dosimetry data. *Asia Pac. J. Publ. Health* 29, 110S-119S.
- MOE, 2011. Act on Special Measures Concerning the Handling of Environmental Pollution by Radioactive Materials Discharged by the Nuclear Power Station Accident Associated with the Tohoku District - Off the Pacific Ocean Earthquake that Occurred on March 11, 2011. Act No. 110. Ministry of the Environment, Tokyo. Available at: [http://josen.env.go.jp/en/policy\\_document/pdf/special\\_act.pdf?20130118](http://josen.env.go.jp/en/policy_document/pdf/special_act.pdf?20130118)(last accessed 3 September 2020).
- MOE, 2012. Press release. Ministry of the Environment, Tokyo. Available at: <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial¼16026>(last accessed 3 September 2020).
- MOE, 2018. Decontamination Projects for Radioactive Contamination Discharged by Tokyo Electric Power Company Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident. Ministry of the Environment, Tokyo. Available at:

- [http://josen.env.go.jp/en/policy\\_document/](http://josen.env.go.jp/en/policy_document/)(last accessed 3 September 2020).
- Momose, T., Takada, C., Nakgawa, T., et al., 2012. Whole-body Counting of Fukushima Residents After the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident, Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident(Proc. 1st NIRS Symp.). National Institute of Radiological Sciences, Chiba, pp. 67-82.
- NAIIC, 2012. The Official Report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, the National Diet of Japan. Nuclear Accident Independent Investigation Commission, Tokyo.
- Naito, W., Uesaka, M., Yamada, C., et al., 2015. Evaluation of dose from external irradiation for individuals living in areas affected by the Fukushima Daiichi nuclear power plant. *Radiat. Prot. Dosimetry* 163, 353-361.
- Naito, W., Uesaka, M., Kurosawa, T., et al., 2017. Measuring and assessing individual external doses during the rehabilitation phase in Iitate village after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. *J. Radiol. Prot.* 37, 606-622.
- Nishikawa, Y., Kohno, A., Takahashi, Y., et al., 2018. Stable iodine distribution among children after the 2011 Fukushima nuclear disaster in Japan: an observational study. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* 104, 1659-1666.
- NERHQ, 2011a. Report of the Japanese National Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety - the Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations. Nuclear Emergency Response Headquarters, Tokyo.
- NERHQ, 2011b. Additional Report of the Japanese National Government to the IAEA - the Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations - Second Report. Nuclear Emergency Response Headquarters, Tokyo.
- NERHQ, 2011c. Roadmap Towards Settlement of the Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, TEPCO - Step 2 Completion Report. Government of Japan-TEPCO Integrated Response Office, Tokyo. Press release. Available at: [http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu11\\_e/images/111216e4.pdf](http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu11_e/images/111216e4.pdf)(last accessed 3 September 2020).
- NERHQ, 2011d. Basic Concept and Issues to be Challenged for Rearranging the Restricted Areas and Areas to which Evacuation Orders have been Issued where Step 2 has been Completed. Nuclear Emergency Response Headquarters, Tokyo. Available at: [http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/20111226\\_01.pdf](http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/20111226_01.pdf)(last accessed 3 September 2020).
- Nihei, N., Tanoi, K., Nakanishi, T.M., 2015. Inspections of radiocesium

- concentration levels in rice from Fukushima Prefecture after the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. *Sci. Rep.* 5, 8653.
- Nomura, S., Murakami, M., Naito, W., et al., 2020. Low dose of external exposure among returnees to former evacuation areas: a cross-sectional all-municipality joint study following the 2011 Fukushima Daiichi nuclear power plant incident. *J. Radiol. Prot.* 40, 1-18.
- NRA, 2013. Practical Measures for Evacuees to Return to Their Homes. Nuclear Regulation Authority, Tokyo. Available at: <https://www.nsr.go.jp/data/000067234.pdf>(last accessed 3 September 2020).
- Ohtsuru, A., Midorikawa, S., Ohira, T., et al., 2019. Incidence of thyroid cancer among children and young adults in Fukushima, Japan, screened with 2 rounds of ultrasonography within 5 years of the 2011 Fukushima Daiichi nuclear power station accident. *JAMA Otolaryngol. Head Neck Surg.* 145, 4-11.
- Orita, M., Nakashima, K., Taira, Y., et al., 2017. Radiocesium concentrations in wild mushrooms after the accident at the Fukushima Daiichi nuclear power station: follow-up study in Kawauchi village. *Sci. Rep.* 7, 674.
- Takamura, N., Orita, M., Taira, Y., et al., 2018. Recovery from nuclear disaster in Fukushima: collaboration model. *Radiat. Prot. Dosimetry* 182, 49-52.
- Takamura, N., Orita, M., Taira, Y., et al., 2019. Experiences in Communication Response: from Crisis Communication in the Initial Phase After an Accident to Risk Communication. Amazon Services International, Inc.
- TEPCO, 2012. Fukushima Nuclear Accident Analysis Report. Tokyo Electric Power Company, Inc., Tokyo.
- Tsubokura, M., Nabeshima, Y., Murakami, M., et al., 2020. Usefulness of the whole-body counter for infants and small children(BABYSCAN) as a risk communication tool after the Fukushima Daiichi nuclear power plant incident. *Proc. Jpn. Acad. Ser. B Phys. Biol. Sci.* 96, 70-78.
- UNSCEAR, 2013. Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2013 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume I, Scientific Annex A. United Nations, New York.
- WHO, 2012. Preliminary Dose Estimation from the Nuclear Accident After the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami. World Health Organization, Geneva.
- Yasutaka, T., Kanai, Y., Kurihara, M., et al., 2020. Dialogue, radiation

measurements and other collaborative practices by experts and residents in the former evacuation areas of Fukushima: a case study in Yamakiya District, Kawamata Town. Radioprotection 55(3), 215-224.



## 용어집

### 상호전문화과정<sup>co-expertise process</sup>

방사선 상황을 이해하고 자신이나 타인이 생활여건의 개선을 위한 조치를 도출할 수 있도록, 현지에 관한 지식과 과학적 전문성을 개척하기 위해 전문가와 현지 이해당사자가 협력하는 과정.

### 오염<sup>contamination</sup>

구조물, 구역, 물체, 생물 또는 사람 표면이나 내부에 원치 않는 준위의 방사능물질<sup>89)</sup>이 존재하는 상태.

### 제염<sup>decontamination</sup>

물리적, 화학적 또는 생물학적인 의도한 공정으로 오염을 완전히 또는 부분적으로 제거함.

### 비상피폭상황<sup>emergency exposure situation</sup>

피폭을 피하거나 완화하기 위해 적시의 응급조치가 필요한 상황. 선원의 통제 상실 또는 선원의 고의적인 악용으로 초래됨.

### 기존피폭상황<sup>existing exposure situation</sup>

피폭을 관리하기로 결정할 때 이미 진행되는 피폭상황<sup>90)</sup>이다. 천연 방사선원(우주방사선, 라돈 및 기타 천연방사성물질)과 인공 방사선원(과거 행위, 사고 또는 방사선 사건으로 인한 장기적 피폭)이 포함된다. 피폭의 파악은 그 관리의 전제조건이다.

### 피폭경로<sup>exposure pathway</sup>

방사선 또는 방사성핵종이 사람이나 사람 아닌 생물에 도달하여 피폭을 초래하는 경로.

89) <역주> 원문은 방사성물질(radioactive material)로 적고 있지만 오염은 방사성물질 수준보다 낮은 수준도 포함하므로 표현을 수정했다.

90) <역주> 원문은 “이미 존재하는 선원으로부터 발생하는 피폭상황”으로 적고 있으나 기존 피폭의 개념은 선원이 아니라 피폭이 이미 존재(진행)되는 상황이어야 하므로 수정했다.

**차등접근**graded approach

위험의 크기와 가능성, 피폭상황의 복잡성 및 지배적 여건에 상응하는 방식으로 방호 체계를 이행하도록 권장하는 개념.

**건강감시**health surveillance

건강에 좋지 않은 영향을 조기에 발견하거나 피해자의 관리 및 치료에 필요한 건강 관련 데이터의 지속적이고 체계적인 수집, 분석 및 해석.

**직무피폭**occupational exposure

운영 관리자의 책임으로 합리적으로 간주될 수 있는 상황의 결과로 직장에서 받는 방사선피폭.

**계획피폭상황**planned exposure situation

방사선 특성을 사용하는 방사선원<sup>91)</sup>을 의도적으로 도입, 운영하는 과정에 수반되는 피폭 상황. 이러한 유형의 상황에서는 선원의 사용이 전제되므로 피폭을 처음부터 예측하고 관리할 수 있다.

**실용 방사선방호문화**practical radiological protection culture

예상<sup>92)</sup> 또는 실제 방사선피폭과 관련된 상황에서 시민이 이해기반으로 선택하고 현명하게 행동하게 하는 지식과 기능.

**정당화 원칙**principle of justification

방사선 피폭상황의 변화를 초래(즉, 도입, 경감 또는 제거)하는 결정은 전반적으로 해로움보다 이로우미 커야 한다는 원칙. 즉, 새로운 방사선원을 도입하거나 기존 또는 비상 피폭을 줄이는 행위는 사람과 환경에 대하여 방사선 위해를 포함한 모든 손해를 상쇄할 수 있는 충분한 개인적 또는 사회적 이익을 달성해야 함을 의미한다.

91) <역주> 현행 ICRP 간행물을 둘러보면 계획피폭상황의 정의가 여기저기서 다르게 표현된다(이는 부적절함). 여기서는 '방사선 특성을 사용하는 방사선원'을 사용하는 과정에서 일어나는 피폭상황으로 한정하고 있으나 옳지 않다고 본다. 항공승무원의 우주방사선 피폭이나 라돈 농도가 높은 작업장에서 근로자가 받는 피폭도 계획피폭상황이어야 한다. 이런 선원(은하나 지각)은 방사선 특성을 사용하려는 것이 아니라 피폭을 초래하는 상황(즉, 방사선 준위가 높은 장소로 진입)을 계획하기 때문에 계획피폭으로 보아야 한다.

92) <역주> 원문은 '잠재적potential'로 적고 있으나 '잠재피폭'은 낮은 확률이지만 발생하면 영향이 심대한 사건을 의미하므로 여기서 의도하는 의미와 차이가 있다. 여기서 의미는 아직은 실제 피폭이 진행되지 않지만 임박하여 예상되는 피폭(예: 원자로 사고가 진행되고 있어 머지않아 주민의 피폭이 예상될 때)으로 간주되기에 혼란을 피하도록 표현을 수정했다.



**최적화 원칙**principle of optimisation

피폭자 수, 개인 선량의 크기 및 불확실한 피폭은 피폭 가능성을 사회적, 경제적, 환경적 인자를 고려하여 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지해야 한다는 원칙. 선량 분포의 불평등을 피하도록 개인 선량을 제한<sup>93)</sup>해야 한다.

**전망선량**projected dose

방호조치가 없는 경우 사람이 받을 것으로 예상되는 선량

**방호조치**protective action

피폭을 줄이거나 예방하기 위해 취하는 조치. 선원, 피폭경로의 한 곳에 작용하거나, 때로는 피폭자의 위치, 습관 또는 작업조건을 수정하여 구현할 수 있다

**방호전략**protection strategy

주어진 피폭상황과 지배적 여건에서 피폭을 합리적으로 낮게 유지하거나 줄이기 위해 실행하는 일련의 종합 방호조치.

**방사선위해**radiation detriment

특정 방사선피폭의 결과로 피폭자나 그 자손에 초래되는 전반적인 건강상 손해.

**방사선 기준**radiological criteria

방사선방호체계의 실제 이행을 위한 정량적 값. 선량 또는 유도량으로 표시된다. 이 일반적인 용어는 다양한 설정에 사용되며 모든 피폭상황에 적용할 수 있다.

**복구**recovery

사고 이전처럼 적절한 여건을 가능한 정도까지 조성하기 위해 실시하는 치유나 사회 재건 과정.

**참조준위**reference level

기존피폭 또는 비상피폭 상황에서 최적화 과정을 수행하는 데 사용되는 선량 지침. 일반적으로 개인 연간선량(mSv/y)으로 표시되며, 참조준위 값은 적절한 시간 프레임, 영향을 받는 사람들의 개인선량 분포 및 상황에서의 위험 용인성을 고려하여 선정되어야 한다. 목적은 방호 노력을 우선할 사람들의 식별을 용이하게 하는 것이다.

93) <역주> 원문은 개인 선량 크기 제한뿐만 아니라 '피폭자 수에 대한 고려'도 포함하고 있으나 피폭자 수는 선량분포의 불평등과 관련되지 않는 것으로 보아 삭제했다.

**생활여건 재건**rehabilitation of living conditions

오염지역에 장기간 거주하는 사람들에게 적절하고 지속가능한 생활여건을 보장하기 위한 과정.

**치유**remediation

오염 자체를 제거하거나(제염) 피폭경로에 작용하는 조치를 통해 오염으로 인한 방사선피폭을 줄이는 과정.

**잔여선량**residual dose

(방호조치가 이행될 경우) 주어진 선원으로부터 개인이 받거나 받을 것으로 예상되는 선량. 잔여선량은 선원, 경로 또는 개인에 적용된 방호조치를 고려하여 추정하거나 측정할 수 있다. 잔여선량은 비상피폭상황이나 기존피폭상황에 적용된다.<sup>94)</sup>

**알권리**right to know

사람이 노출되는 위험과 자신을 보호하는 방법에 대한 정보를 받을 권리.

**자조방호**self-help protection

사람이 자신, 가족 및 공동체를 보호하기 위해 취하는 이해기반 조치.

**이해당사자**stakeholder

어떤 사안에 관심이 있거나 우려하는 개인, 단체 또는 기관.

**이해당사자 참여**stakeholder involvement

방사선방호에 관련된 의사결정 과정에 모든 당사자가 참여하는 것. '이해관계자 참여'라고도 함.

94) <역주> 잔여선량은 기존피폭상황에 적용되는 개념이다. 원문의 의도는 가령 원전 사고가 발생한 경우 주민이 받을 것으로 보는 선량(예상선량)을 줄이기 위해 대응조치를 취할 경우 잔여선량이 남는다는 것인데, 이런 피폭은 비상피폭이라기보다 '기존피폭' 성격이다. 비상피폭은 긴급작업자 피폭처럼 의도적으로 높은 피폭을 감수하는 상황이므로 예상선량이 초점이지 잔여선량의 문제가 아니다.

## 사 사

작업그룹 93(TG 93) 위원은 이 간행물 준비과정에 소중한 의견을 제시한 Ralph Andersen, Marcel Lips 및 Miroslav Pinak에게 감사하고, ICRP 후쿠시마 대화에 늘 참여하고 여러 차례 TG 93 위원들과 만나 견해를 밝히고 제안했던 Ryoko Ando, Aya Goto, Takahiro Hanzawa, Ryugo Hayano, Kuni Kanno, Yujiro Kuroda, Makoto Miyazaki, Junichiro Tada 및 Masaharu Tsubokura에게도 감사한다.

그밖에도 많은 기관이나 개인(300 이상)이 ICRP의 공개자문 과정에서 의견을 제시했다. 이러한 의견이 이 간행물의 여러 부분을 크게 개선했다. 나아가 작업 과정에서 TG 93은 후쿠시마 대화 참여자의 기여와 일본 기관들과 협력하여 개최한 여러 회의에 참여한 여러 전문가의 입력의 도움을 받았다. 이 모든 기관과 개인의 기여에 깊이 감사한다.

TG 93 위원들은 이 간행물을 준비한 여러 회의에 참여하여 제시한 권고의 입안을 도운 Christopher Clement에게 특별히 감사한다.

끝으로 일본 이해당사자와 교류를 도와준 ICRP 동료 Ohtsura Niwa와 Nobohiko Ban에게 감사하며, 수년간 TG 93을 시종일관 지침없이 도운 Michiya Sasaki, Nobuyuki Hamada, Haruyuki Ogino 및 Hiroki Fujita에게도 심심한 사의를 표한다.

### 작업그룹 위원

|                 |           |              |
|-----------------|-----------|--------------|
| M. Kai (그룹장)    | T. Lazo   | T. Schneider |
| T. Homma (부위원장) | M. Lips   | S. Shinkarev |
| R. Andersen     | A. Nisbet | V. Averin    |
| M. Pinak        |           |              |

### 제4분과 주검토자

|            |           |
|------------|-----------|
| E. Gallego | J. Takala |
|------------|-----------|

### ICRP 본위원회 주검토자

|             |              |            |
|-------------|--------------|------------|
| J. Harrison | C-M. Larsson | S. Romanov |
|-------------|--------------|------------|

### 편집자

C.H. Clement (과학서기 겸 ICRP 연보 편집장)

H. Fujita (과학서기보 겸 ICRP 연보 편집인)

이 간행물을 준비하는 기간 동안 제4분과 위원은 다음과 같다.

(2013-2017)

|                  |            |              |
|------------------|------------|--------------|
| D.A. Cool(위원장)   | M. Doruff  | A. Nisbet    |
| K-W. Cho(부위원장)   | E. Gallego | D. Oughton   |
| J-F. Lecomte(서기) | T. Homma   | T. Pather    |
| F. Bochud        | M. Kai     | S. Shinkarev |
| M. Boyd          | S. Liu     | J. Takala    |
| A. Canoba        | A. McGarry |              |

(2017-2021)

|                   |                |              |
|-------------------|----------------|--------------|
| D.A. Cool(위원장)    | A. Canoba      | Y. Mao       |
| K.A. Higley(부위원장) | D. Copplestone | N. Martinez  |
| J-F. Lecomte(서기)  | E. Gallego     | A. Nisbet    |
| N. Ban            | T. Homma       | S. Shinkarev |
| F. Bochud         |                | J. Takala    |
| M. Boyd           |                |              |

이 간행물을 승인한 본 위원회 위원은 다음과 같다.

위원장: C. Cousins, 영국

부위원장: J. Lochard, 프랑스

과학서기†: C.H. Clement, 캐나다; [sci.sec@icrp.org](mailto:sci.sec@icrp.org)

|                   |                 |                     |
|-------------------|-----------------|---------------------|
| E. Applegate, 미국  | S. Liu, 중국      | <b>명예위원</b>         |
| S. Bouffler, 영국   | S. Romanov, 러시아 | R.H. Clarke, 영국     |
| K.W. Cho, 한국      | W. Rühm, 독일     | F.A. Mettler Jr, 미국 |
| D.A. Cool, 미국     |                 | R.J. Pentreath, 영국  |
| J.D. Harrison, 영국 |                 | R.J. Preston, 미국    |
| M. Kai, 일본        |                 | C. Streffer, 독일     |
| C-M. Larsson, 호주  |                 | E. Vañó, 스페인        |
| D. Laurier, 프랑스   |                 |                     |

† 1988년부터 과학서기는 정규 위원은 아니나 본 위원회의 기본 구성원이다.