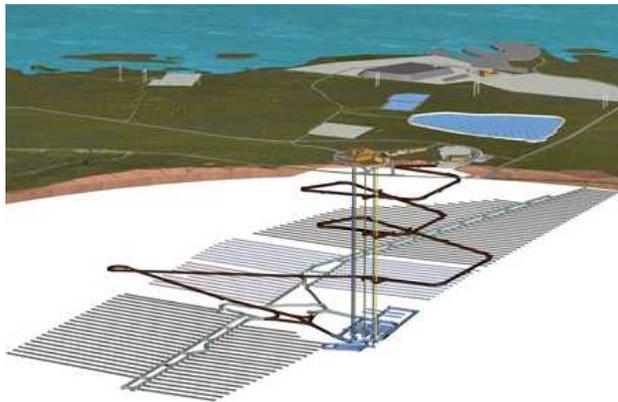




ICRP 간행물 122

장수명 고체 방사성폐기물의 지층처분에서 방사선방호

Radiological Protection in Geological Disposal of Long-Lived Solid Radioactive Waste



대한방사선방어학회
방사선안전문화연구소 **IRSC**

이 번역본 발간은 원자력안전위원회 원자력안전연구사업(과제번호 2016년-26호)의 일환으로 이루어졌습니다.

표지그림: 핀란드 Okiluoto 지층처분장 개념도

ICRP Publication 122

장수명 고체 방사성폐기물의 지층처분에서 방사선방호

Radiological Protection in Geological Disposal of Long-Lived Solid Radioactive Waste

ICRP 승인: 2012년 4월

역주: 이재기

이 ICRP 간행물의 우리말 번역본은
ICRP의 허락(2016년 3월)을 받았으며
ICRP 정신에 따라 무료로 배포합니다.

국제방사선방호위원회

역사 서문

원자력발전의 안전성에 의문을 제기하는 두 가지가 가동원전의 사고 위험과 장수명 고준위폐기물(HWL) 처분 문제이다. HWL은 높은 방사능과 긴 수명으로 특징지어지는데 딜레마의 본질은 긴 수명에 있다. 방사성폐기물의 안전성을 말할 때 함유된 주된 핵종 반감기의 10배 이상의 시간대에 걸쳐 안전하다는 논거가 필요한데 HWL의 경우 이 시간대가 수만년에 이른다.

수 만년이라는 시간대는 지구 나이 45억년에 비하면 찰나에 가까우지만 현생 인류의 역사에 준하는 시간이며 문자로 기록이 남은 역사시대는 3천년 정도에 불과함을 상기하면 대단히 긴 세월이다. 현생 인류의 역사가 20만 년이라 하더라도 그 경험이 DNA에 코딩되어 있지 않은 한 기록으로 남은 경험으로는 판단할 수 있는 범위를 넘는다. 지층처분의 개념이 지하 200m 이상의 암반에 공동을 만들어 폐기물을 장전하고 밀봉하는 것인데, 수 만년 시간대에서는 폐기물 주변의 지질권이 심각한 변동을 겪지 않음을 보장할 수는 없다. 그 지역에서 과거 수십 만년 동안 지각변동이 없었다고 해서 앞으로 만 년에도 그럴 것이라는 확신은 없기 때문이다.

자연현상도 불확실하지만 더욱 불확실한 것은 사람 자체이다. 3천 년 전 이집트 파라오가 자신의 무덤을 침입으로부터 보호하기 위해 엄청난 피라미드를 건설했지만 오늘날 관이 있던 격실까지 관광코스가 되어 있다. 즉, 폐기물 처분 후 긴 세월이 흘러 알 수 없는 과정으로 처분장에 대한 기억이 소실될 경우 우리 후손이 그곳을 침입할 수 있다.

그렇다고 이러한 불확실성에만 초점을 맞춰 불확실하기 때문에 고준위폐기물을 처분하는 것은 곤란하다는 것은 지나친 비약이다. 안전이 확실한 것만 행한다면 세상에 사고가 없어야 하지만 우리는 매일 같이 사고를 겪고 있다. 불확실성이 있더라도 현재의 지식을 바탕으로 부지를 선정할 경우 자연현상으로 인해 처분장에 심각한 변화가 일어날 확률은 낮다. 또, 폐기물 처분 후 가능한 오랜 시간 최소한의 감독을 유지한다면 예상할 수 있는 인간침입의 시점은 지연될 것이다.

우리가 소위 고준위방사성폐기물의 위험을 과대평가하는 측면도 있어 보인다. 많은 사람들이 만약 고준위폐기물 처분장에 어떤 사태(가령 처분 후 충분한 시간이 지나지 않은 때 부지에 큰 단층이 일어나 폐기물이 생물권에 노출되는 사건)가 발생하면 도저히 용납할 수 없는 피해를 입을 것으로 생각한다. 그런데 체르노빌 원전사고는 그러한 일이 일어나도 피해가 그렇게 최악으로만 치닫지는 않을 것임을 보여준 사건이다. 체르노빌 사고는 원자로심 자체가 폭발하여 고준위

폐기물에 해당하는 핵연료 파편들을 부지 인근에 뿌렸다. 방사선 과피폭으로 조기에 사망한 사람도 수십명이고, 장기적으로 암 증가로 적어도 수 천명 인명피해를 예상하고 있지만 우리나라에서만 매년 6천 명 이상이 사망하는 교통사고 위험을 참조하면 드물게 일어나는 사고의 피해로서 용납할 수 없는 수준은 아니다.

인류의 직접 경험은 아니지만 아프리카 가봉공화국 오클로 지역의 어떤 지층에서는 원자로에서 생성되는 플루토늄과 같은 초우라늄 핵종이 발견된다. 지층에 우라늄 함량이 매우 높아 자연적으로 핵연쇄반응이 일어난 “천연 원자로” 활동이 있었던 것으로 평가된다. 그 시기는 약 2백만 년 전으로 보는데 지층 시료를 분석한 결과 그렇게 생성된 방사능이 2백만 년이라는 긴 세월에도 멀리까지 이동하지 않은 것으로 나타난다. 또, 우라늄광산에 대한 여러 연구도 지층에서 우라늄이 우리가 불확실성 때문에 보수적으로 가상하는 것보다는 훨씬 낮음을 보여준다. 즉, 고준위폐기물 지층처분장이 생각보다 안정적일 수 있음을 간접적으로 보이는 것이다.

요컨대 고준위방사성폐기물이 수만 년이라는 먼 미래까지 영향을 미칠 잠재력이 있음은 분명하지만 지층처분은 충분한 방안이 된다는 것이 현재의 판단이다. 에너지 확보를 위해 우리가 원자력발전을 선택했다면 그 부산물인 고준위폐기물은 처분해야 하는 것이 숙명이다. 이 보고서를 번역하는 시점에 집적되어 가는 사용후연료 문제를 해소하기 위해서는 우리나라에도 고준위폐기물 처분장 확보를 위한 대책이 시급하다는 “사용후연료 공론화 위원회” 보고서가 발행되었다. 요지는 2050년을 전후로 고준위폐기물 처분이 이루어져야 하며 지층처분장 부지 선정과 건설에 걸리는 시간을 고려하면 지금 부지선정 사업을 개시해야 한다는 것이다. 부지선정 과정에는 상당한 사회적 갈등이 예상된다. 그러나 그러한 어려움 때문에 고준위폐기물 대책을 계속 미루어서는 안 된다는 공론화 위원회의 판단에 역자도 동의한다.

방사성폐기물 처분장을 건설하고 운영하는 데는 방사선 안전에 대한 논거가 충분한 설득력이 있어야 한다. 먼 미래까지 확장되는 시간대 때문에 방사선방호 측면에도 특별한 고려와 논리가 필요하다. 이 보고서는 이에 대한 ICRP의 지침을 제공하는 것이다. 보고서 내용 중 부분적으로는 역자의 생각과 일치하지 않는 부분도 발견되는 데 특히, 잠재피폭 개념에 혼선이 있다. 이에 대해서는 역주를 통해 역자의 견해를 보였다.

2016년 7월

이재기

방사선안전문화연구소장, ICRP 위원

서문

2010년 1월 21일 ICRP 본위원회는 장수명 고체 방사성폐기물의 지층처분에 ICRP 103(2007) 권고가 어떻게 적용되는가를 설명하는 보고서를 준비하여 제4분과위에 보고할 작업그룹을 설치할 것을 승인하였다. 보고서에 사람(직무피폭을 받는 종사자와 일반인)과 환경의 방호를 포괄하고 폐기물 시스템에 대한 관리가 상실될 경우 계획피폭상황에서 기존피폭으로 이행 문제는 물론, 의사결정을 돕기 위해 먼 미래에 대한 선량평가 적용성 문제와 같은 핵심 이슈를 논의하도록 요구했다. 나아가 그 보고서는 ICRP 81(1998)을 업데이트하고 다음 사항에 대한 지침을 제공하도록 했다.

- 기본 개념과 용어(예: 방사선방호 원칙, 피폭상황의 유형, 선량 및 위험 제약치, 참조준위)
- 방호최적화의 특성과 역할: 단계적 접근, 단기 대 장기
- 적용할 선량계측 단위와 개념: 선량 및 위험 제약치, 잠재피폭, 집단선량
- 계획 및 개발의 여러 단계에서 이해당사자의 역할.
작업그룹 위원은 다음과 같다.

W. Weiss(그룹장)	C-M Larsson	C. McKenney
J-P. Minon	S. Mobbs	T, Schneider
H. Umeki		

객원위원은 다음과 같다.

W. Hilden	C. Pescator	M. Vesterlind
-----------	-------------	---------------

제4분과위와 본위원회의 심층검토자는 다음과 같다.

제4분과위	P. Carboneras	A. Janssens
본위원회	A. Gonzalez	R. Pentreath

작업그룹은 작업그룹 회의를 위해 시설과 지원을 해준 다음의 기관과 직원에게 감사한다: Bundesamt fur Strahlenschutz(BfS, 독일), Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency(ARPANSA, 호주), Nuclear Regulatory Commission(NRC, 미국), Organisme national des dechets radioactifs et des matieres fissiles enrichies/Nationale Instelling voor Radioactief Aval en verrijkte Splijtstoffen(ONDRAF/NIRAS, 벨기에), Health Protection Agency(HPA, 영국), Le Centre d'etude sur l'Evaluation de la

Protection dans le domaine Nucleaire(CEPN, 프랑스), Japan Atomic Energy Agency(JAEA, 일본), European Commission(EC), the Nuclear Energy Agency of the Organization for Economic Co-operation and Development(OECD/NEA) 및 국제원자력기구(IAEA). 또한 작업그룹은 인터넷 자문에서 소중한 피드백을 보내 준 많은 기관과 전문가에게 감사한다.

보고서는 2012년 4월 Versailles에서 열린 본위원회에서 승인 받았다.

방사성폐기물 관리에서 방사선방호: 오랜 관점

이 간행물은 방사선방호 분야와 폐기물관리 분야 전문가의 공동 노력으로 개발되었다. 이 협력을 통해 이해가 깊고 유용한 간행물을 산출했을 뿐만 아니라 두 분야가 기본 개념과 언어에 대해 공통된 이해를 조장한 성과가 있다.

방사성폐기물 처분은 핵연료주기의 다른 어떤 단계보다 많이 ICRP 간행물의 주제가 되어 왔다. 이는 이 주제의 중요성을 반영하는 것일 뿐만 아니라 비상하고 도전적인 방사선방호 고려가 필요하기 때문이다.

방사성폐기물은 피상적이었지만 ICRP 7(1966)에서 처음 언급되었다. 방사성폐기물 처분 이슈에 대해 구체적으로 다룬 첫 간행물은 약 20년이 지나 발간된 ICRP 46(1985)이다. 이 간행물에서 방사성폐기물 처분에서 방사선방호의 두 가지 특성을 적시했는데, 미래 피폭의 확률론적 특성과 긴 관심 시간대이다. 이 문제는 이후의 간행물인 ICRP 77(1997b), ICRP 81(1998)과 이번 간행물에 이르기까지 중요한 이슈로 남아 있다.

방사성폐기물 관리에서 긴 시간대는 적절한 방호수준의 평가를 어렵게 만들고 장기적으로 선량과 위험의 관계에 의문을 남긴다. ICRP 103(2007)도 이 어려움을 표명하면서 “미래 몇 백년 을 넘는 시간대에 대해서는 선량 평가치를 보건위해의 척도로 간주해서는 안 된다.”고 적시했다.

이 간행물은 방사성폐기물 관리에 관한 기존 간행물을 바탕으로 삼고 있고 지층처분에 대해 ICRP 103이 권고한 현행 방사선방호체계를 따르고 있다. 여기서 핵심 윤리 원칙은 미래세대의 방호에 관한 것이다. 지층처분은 사회진화를 합리적으로 예측할 수 있는 시간대 너머에 있다. 그래서 한편으로는 사회적 조건과 기대의 변천을 예측하는 것이 불가능함에도, 다른 한편으로는 현세대가 미래세대에 대해 합당한 수준의 방호를 제공해야 할 도덕적 책임이 있다. 이 난문 아래서 가장 적절한 방향은 “미래의 개인이나 집단을 적어도 현세대와 대등한 수준으로 방호해야 한다는 ic본원칙(ICRP 1998)”을 따르는 것이다.

나아가 이 간행물은 폐기물 관리와 처분의 상이한 단계 동안 감독 또는 “조심스런 보살핌” 개념을 도입한다. 이것은 대단히 중요한 인자로서 긴 시간대에 방사선방호체계를 어떻게 적용할 것인지에 영향을 미치며 감시 뿐만 아니라 조치와 계획의 이행에 대한 의사결정까지 연계된다.

이 간행물이 방사선방호 분야와 폐기물관리 분야 사이 협력의 끝이 아니라 추가적 논의와 협력으로 가는 초기 단계일 뿐이다. 폐기물 유형이나 관리방안이

달라지면 종사자나 집단, 그리고 환경을 보호하는 데 또 다른 접근이 필요할 것이다. 아직 공식 결정은 없지만 다른 유형 폐기물이나 관리방안에 대한 동반 보고서를 가까운 장래에 개발하기 위한 협력을 고려하고 있다.

Christopher H. Clement

ICRP 과학서기

목 차

역자 서문	iii
서문	v
논설	vii
요지	1
요점	3
요 약	5
용어	9
1. 서론	15
2. 범위	19
3. 미래세대 보호를 위한 기본 가치, 원칙 및 전략	21
3.1. 미래세대 보호를 위한 가치	21
3.2. 방사선방호 원칙	22
3.3. 장수명 고체방사성폐기물 관리를 위한 전략	23
4. 지층처분시설 수명 동안 ICRP 방호체계의 적용	30
4.1. 피폭상황	30
4.2. 방사선방호 기본원칙	31
4.3. 선량 및 위험 한도	32
4.4. 운영단계의 방호	33
4.5. 운영 후 단계의 방호	34
4.6. 특정 상황에서 방호	35
4.7. 감독에 따른 해당 피폭상황의 요약	38
4.8. 방호최적화와 가용최선기술	39
4.9. 기술 및 관리 원칙과 요건	43
5. 귀착점 고려	45
5.1. 대표인	45

5.2. 환경보호.....	46
6. 결론.....	49
참고문헌.....	51

장수명 고체 방사성폐기물의 지층처분에서 방사선방호

ICRP 간행물 122

2012년 4월 ICRP 승인

요지 - 이 보고서는 고체 방사성폐기물 처분에 관한 ICRP의 기존 권고(ICRP 1985, 1997b, 1998)를 업데이트하고 통합한다. 권고는 특히 장수명 고체 방사성폐기물의 지층처분에 적용된다. 이 보고서는 ICRP 103(2007)에 설명한 방사선방호체계가 장수명 고체 방사성폐기물의 지층처분에 어떻게 적용되는지를 설명한다. 비록 이 보고서가 독립적 형태로 작성되었지만 여기서 깊이 다루지 않은 기존 권고는 여전히 유효하다.

2007년 권고의 ICRP 방사선방호체계는 기존에 행위와 개입으로 구분하는 과정기반 방호접근으로부터 세 가지 피폭상황 즉, 계획피폭, 비상피폭 및 기존피폭으로 구분하는 접근으로 이동함으로써 진화했다. 이 권고는 정당화, 방호 최적화, 그리고 선량한도 적용이라는 ICRP의 세 기본원칙을 고수한다. 모든 관리되는 선원으로부터 계획피폭상황에서 받는 유효선량과 등가선량에 대한 기존의 개인선량한도도 그대로 유지한다. 방사선방호의 최적화 원칙을 특히 강조하는데, 최적화는 개인선량에 대한 제한 즉, 계획피폭상황에 대해서는 선량제약치, 비상피폭 및 기존피폭상황에 대해서는 참조준위의 적용을 받아 모든 피폭상황에 유사하게 적용된다. 또한 이 권고는 방사선학적 환경보호를 내보이기 위한 골격을 개발하는 접근도 포함한다.

이 보고서는 지층처분시설의 수명에서 서로 다른 단계를 설명하고, 각 단계에 대해 접할 수 있는 여러 피폭상황에 대해 해당되는 방사선방호 원칙의 적용을 다룬다. 특히, 처분시설 수명의 서로 다른 단계에서 방호체계의 적용에 영향을 미치는 핵심 인자는 제공되는 감독 또는 ‘조심스런 보살핌’의 수준이다. 감독 수준은 선원 즉, 폐기물과 처분장에 대한 제어와 잠재피폭을 예방하는 능력에 영향을 미친다. 세 가지 주요 시간단계를 고려하는데 처분시설이 운영되고 능동적 감시가 이루어지는 직접감독 시기, 처분시설이 폐쇄되고 규제기관, 특별 관리기관 또는 사회전체가 사회를 대신해 추가적 보장을 위해 감시를 수행하는 간접감독 시기, 그리고 폐기시설에 대한 기억이 소실되어 감시가 이루어지지 못하는 무감

독 시기이다.

핵심어: 지층처분, 방사성폐기물, 미래세대 방호

ICRP를 위한 저자: W. Weiss, C-M. Larsson, C. McKenney, J-P. Minon, S. Mobbs, T. Schneider, H. Umeki, W. Hilden, C. Pescatore, M. Vesterlind

요점

- 이 보고서는 장수명 고체 방사성폐기물의 지층처분으로부터 발생할 수 있는 해로움으로부터 사람과 환경을 보호하는 데 2007년 ICRP 권고(ICRP, 2007)의 적용에 대한 조언을 제공한다.
- 미래세대의 보호를 위해 ICRP 권고는 “미래의 개인이나 집단은 적어도 현세대와 같은 수준의 보호를 받아야 한다.”(ICRP, 1998)는 기본원칙에 계속 의존한다.
- ICRP는 장수명 고체 방사성폐기물의 지층처분 시스템의 예상된 변화로 인한 사람과 환경의 피폭은 계획피폭으로 본다.
- 방호체계의 적용은 처분시설의 감독 또는 ‘조심스런 돌봄’의 수준에 따라 달라진다. 세 가지 시간대를 고려하는데, 처분시설이 운영되고 능동적 감시 아래 있는 직접감독 시기, 처분시설이 부분적 또는 전부 폐쇄되고 규제기관, 특별 관리기관 또는 사회전체가 감시를 계속하는 간접감독 시기, 그리고 폐기시설에 대한 기억이 소실된 무감독 시기이다.
- 폐쇄 후 시기에 감독이 이루어지지 않더라도 처분시스템이 계속 기능을 유지하면서 발생하는 피폭은 계획피폭으로 간주해야 한다.
- 감독의 변화와 관련된 의사결정은 이해당사자와 논의해야 한다.
- 정당화 원칙의 적용에서 폐기물 관리와 처분은 그 폐기물을 발생시키는 행위의 일부로 보아야 한다. 행위의 수명기간에 걸쳐 새롭거나 중요한 정보가 가용할 때마다 정당화를 재검토해야 한다.
- 방사성폐기물 관리에 대한 이전 간행물(ICRP, 1997b, 1998)에서 언급했듯이 제약이 적용되는 최적화 과정을 통해 먼 미래의 일반인 피폭을 관리하면 개인선량한도를 직접 적용하는 일은 없을 것이다.
- 지층처분 시설의 단계적 설계, 건설 및 운영에서 방호최적화가 중심요소이다.
- 최적화는 넓은 의미로 처분시스템의 방호역량을 높이고 잠재적 영향(방사선학적 또는 기타 영향)을 감축하는 데 최선기술을 포함한 방호방안에 대한 반복적이고 체계적이며 투명한 평가라고 이해해야 한다.
- 최적화 원칙의 적용에서 폐기물 처분시설의 설계에 대해 ICRP가 권고하는 방사선학적 기준은 일반인 집단에 대해서는 연간 선량제약치 0.3 mSv, 직무피폭 종사자에 대해서는 연간 20 mSv 또는 5년간 100 mSv 미만이다.
- 피폭 시나리오와 해당 선량을 결합하는 종합적 접근을 적용할 때는 일반인 집단의 위험 제약치로 연간 10^{-5} 을 권고한다.

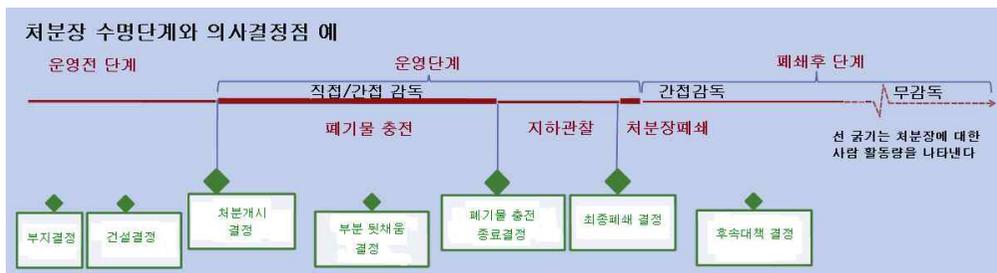
- 매우 장기적일 때는 선량이나 위험 기준은 보건위해를 평가하는 수단이 아니라 방호방안을 비교하는 목적으로 사용해야 한다.
- 설계기준 변화에 포함되는 자연현상에 대해서는 계획피폭상황에 대한 밴드 내에서 선량이나 위험 제약치를 선정할 것은 ICRP는 권고한다.
- 설계기준 변화에 고려하지 않은 심각하게 파괴적인 자연현상이나 우발적 인간침입에 대해서는 선량이나 위험 제약치를 적용하지 않는다. 만약 그러한 사실이 처분시설의 (직접 또는 간접)감독이 이루어지는 동안 발생한다면 당국은 귀착되는 피폭상황(비상피폭 또는 기존피폭)으로 보아 해당 방호수단을 이행해야 한다.
- 우발적 인간침입에 대해서는 시설 부지의 선정이나 설계에서 그러한 사건의 가능성을 낮추기 위한 특성을 포함해야 한다.
- 개발되거나 이행되는 시스템 설계의 품질에 대한 판단은 모든 이해당사자의 참여 아래 체계적이고 투명한 절차로 이루어져야 하며 필요할 때는 비판적으로 검토해야 한다.
- ICRP 권고의 일반적 이행을 위해서는 안전, 보건, 환경, 보안, 품질 및 경제적 인자까지 통합하는 관리체계가 요구되며 안전이 기본 목표가 되어야 한다.
- 계획피폭상황에서는 선량은 대표인에 대한 연간 선량으로 평가해야 한다.
- 필요하면 환경보호 고려도 위험이해 의사결정의 일부가 되어야 한다.

요 약

(a) 이 보고서는 장수명 고체 방사성폐기물의 지층처분으로부터 발생할 수 있는 해로움으로부터 사람과 환경을 보호하는 데 2007년 ICRP 권고(ICRP, 2007)의 적용에 대한 조언을 제공한다. ICRP 103의 핵심 방호개념과 원칙을 어떻게 이행할 것인지, 그리고 이를 장수명 고체 방사성폐기물 처분시설의 상이한 시간대(그림A. 참조)에 걸친 방사선방호에 어떻게 적용되어야 하는지에 대해 설명한다.

(b) 처분시설의 목표는 지질 시간 규모에 상응하는 시간대 동안 사람과 환경을 보호하기 위해 폐기물을 억류하여 격리하는 것이다. 지표로부터 깊은 거리에서는 변화가 매우 느리다. 이러한 깊이와 적절한 부지선정을 고려하면, 인간침입 잠재성은 제한적이다. 방사능은 시간에 따라 감소하며 방출이 있더라도 합당하게 선택된 지질구조에 의해 희석될 것이다. 국제기구도 지층처분은 긴 세월 동안 격납과 격리가 요구되는 고준위폐기물이나 사용후연료에 적합하다고 인정한다. 비슷하게 장기간 방호를 적용할 필요가 있는 다른 장수명 폐기물에도 지층처분이 적용될 수 있다.

(c) 지층처분 시설 수명기간의 상이한 시간대에 걸쳐 방호체계의 적용에 영향을 미치는 중요한 인자는 감독 또는 ‘조심스런 보살핌’의 수준이다. 감독은 선원 제어 능력과 피폭을 감축하거나 예방하는 데 직접 영향을 미친다. 세 가지 시간대를 고려한다: 처분시설이 운영되고 능동적 감시 아래 있는 직접감독 시기(운영단계), 처분시설이 부분적(충진 또는 갱도 폐쇄) 또는 전부 폐쇄되고 규제기관이나 사회 전체가 일정기간 감독을 지속하다가 간접감독으로 전환하는 간접감독 시기(폐쇄 후 시기), 그리고 폐기시설에 대한 기억이 소실된 무감독 시기이다. 시설이 폐쇄된 후 간접감독이나 무감독 기간에는 시설의 설계, 인허가 및 운영 단계에서 시설에 내장한 수동적 관리에 의존하여 방호가 이루어진다.



(d) 폐기시설의 설계와 그에 연관된 안전논거는 규제가 규정하는 확률이 다른 여러 변화를 거른다. 이러한 설계기준 변화 외에도 개발자나 시행자는 시설의 견고성을 판단하기 위해 규제기관이나 사회의 감독 아래 설계기준외 조건에서 변화까지 평가를 원할 수도 있다.

(e) 이 보고서는 설계자, 운영자, 규제자 및 관심 있는 이해당사자가 적용할 방사선학적 개념과 기준을 설명한다. 선량이나 위험에 대한 다양한 제약치가 장수명 방사성폐기물의 지층처분 시설의 안전성과 방사선 영향을 평가하는 데 사용된다. 최적화는 폐기시설의 주된 목표(즉, 사람과 환경의 방호)를 거른다. 방호최적화는 지층처분 시설의 단계적 건설과 이행에서 중심 요소이다. 최적화는 사회적 요소를 포함하여 방호체계의 모든 요소를 통합적으로 포괄해야 한다. 방호최적화의 중요 측면은 폐기물을 수납하기 전, 주로 부지선정과 설계 단계에서 이루어져야 한다. 처분시설의 부지선정과 설계의 모든 단계에서 적용되고 건설 단계에서 보완되는 최적화 노력은 최선기술(BAT)에 의해 내실을 기할 수 있다. 이행단계에서는 추가적 최적화도 가능하지만 폐기물을 충전한 다음에는 공학적 설비의 성능을 추가로 최적화할 기회는 작으며 처분고가 밀폐된 후에는 더욱 그러하다.

(f) 먼 미래에는 지층처분 시설에서 어느 정도 방출이 일어날 수 있으므로 안전논거는 그러한 방출이 일어나더라도 규제요건의 일부로 규정된 방사선방호 기준 이내일 것임을 보여야 한다. 방호최적화 원칙을 적용할 때 폐기물 처분장시설에 대해 ICRP가 권고하는 방사선 영향 참조기준은 먼 미래 선량에 대한 가중치 적용 없이 일반인 집단에 대해 연간 선량제한치 0.3 mSv이다(ICRP 2007). 먼 미래의 선량이나 가능성이 희박한 피폭 초래 사건에 대해서는 피폭 시나리오가 발생할 확률과 그로 인한 선량을 결합하는 종합적 접근을 따를 때 일반인 집단에 대한 위험제한치로 $10^{-5}/y$ 을 계속 권고한다. 그러나 ICRP 103은 사회나 습관, 특성의 변천을 고려할 때 몇 세대 정도 시간대를 넘는 미래에 대해서는 유효선량과 보건위해 사이의 직접연계가 상실될 것으로 주의를 주고 있다. 나아가 먼 미래에는 지질권, 공학적 설비는 물론 생물권도 예측하기 어려운 방향으로 변모할 것이다. 따라서 매우 긴 시간대에 대해 보건위해를 평가할 과학적 기반도 불확실해지므로 수치기준을 엄격히 적용하는 것은 적절하지 않다. 매우 긴 세월에서는 선량이나 위험 기준은 보건위해를 평가하는 수단이 아니라 방안을 비교하는 목적으로 사용해야 한다.

(g) 지층처분시설의 설계기준 변화는 시설에 마련된 방호에서 예상되는 변화는 물론 발생확률이 낮은 사건(가능성이 낮은 사건)도 포함한다. 그러나 시설을 와

해시킬 수 있는 극히 낮은 확률의 심각한 교란사건이나 우발적 인간침입은 포함하지 않는다. 설계기준 변화 시나리오로 인한 피폭은 ICRP 103(2007)에서 정의했듯이 계획피폭상황이다. 여기에는 설계기준으로 고려해야 하는 낮은 확률 사건으로 인한 (잠재)피폭도 포함한다. 구체적으로 말하면, 먼 미래에 발생할 피폭은 그러한 피폭을 에워싼 큰 불확실성 때문에 잠재피폭으로 간주해야 한다(ICRP 2007, 제265항). 만약 처분시설에 대한 감독(직접 또는 간접)이 아직 존재할 때 설계기준 밖의 심각한 교란사건이 발생하면 이에 따른 상황은 당국이 당시에 판단하고 해당 방호수단을 이행할 것이다. 처분시설에 대한 감독이 없어진 때 심각한 교란사건이 발생하면 당국이 피폭원을 이해할 수 있을 것이라는 확신이 없으며 따라서 선원을 관리하기 위한 적절한 수단이 이행될 것이라고 확신을 가지고 고려할 수 없다. 지층처분시설에 우발적 인간침입은 직접 또는 간접 감독 기간에는 해당되지 않는 시나리오이다. 무감독 기간에는 우발적 인간침입이 일어날 수 있으며 당시 당국이 피폭원을 이해할 수 있다면 방호를 고려할 것이다.

(h) 설계기준 변화에 대해서는 3단계 시간대에 대해 처분시설의 안전성과 견고성을 평가할 때 계획피폭상황에 해당하는 선량기준을 고려하게 된다. 설계단계에서는 심각한 교란사건의 잠재적 영향을 정형화되거나 단순화된 계산으로 평가하게 된다. 필요하다면 계산 결과를 선량이나 위험의 기준값과 비교함으로써 처분시스템의 견고성에 대한 지표를 얻을 수 있다. 이러한 접근이 채택되면 구체적 시나리오에 따라 적절한 참조준위는 기존피폭상황이라면 연간 수 mSv, 비상피폭상황이라면 첫해에 20-100 mSv 범위내가 될 것이다. 미래에 만약 그러한 사건이 실제로 발생한다면 당국이 당시에 해당 방호기준을 적용하게 될 것이다.

(i) 지층처분시설의 안전논거는 낮은 확률 사건과 먼 미래에 발생할 피폭을 포함함으로써 ICRP 103에서 정의한 잠재피폭을 어떻게 다룰 것인지에 대한 고려도 포함한다.

(j) ICRP는 이러한 피폭평가로 얻은 선량이나 위험 평가치가 미래 몇 백년을 넘는 시간대에 보건영향의 직접 지표로 사용하지 말도록 권고한다. 그보다는 그러한 평가치는 지층처분시설이 제공하는 방호에 대한 지표를 제공하는 것이다.

(k) 3단계 주된 시간대에 ICRP 103(2007)에서 정의된 세 가지 피폭상황과 선량한도, 제약치 및 참조준위의 적용은 표A에 요약되어 있다.

표A. 처분시설 변화와 감독의 유무와 유형의 함수로서 방사선 피폭상황

처분시설 상태	감독 유형		
	직접감독	간접감독	무감독
설계기준 변화 ^a	계획피폭상황(정상 및 잠재) ^b	계획 피폭 상황 (잠재) ^{b,c}	계획 피폭 상황 (잠재) ^{b,c}
설계기준외 변화 ^d	피폭 당시 비상피폭 상황	피폭 당시 비상피폭 상황, 후속 기준피폭 상황 ^{e,f}	피폭이 인지되면 비상/기준 피폭상황 ^{e,f}
우발적 인간침입	해당 없음	해당 없음	피폭이 인지되면 비상/기준 피폭상황 ^{e,f}

- a. 설계기준은 시설 설계에서 사용된 정규피폭 및 잠재피폭을 포함한다.
- b. 계획단계: 종사자에 대한 선량한도 20 mSv y^{-1} 및 운영자가 정하는 선량제한치; 모든 선원으로부터 일반인피폭에 대한 선량한도 1 mSv y^{-1} 및 폐기물 처분에 대한 선량제한치 0.3 mSv y^{-1} . 집합적 접근에서 일반인의 잠재피폭에 대해 위험한도 $1 \times 10^{-5} \text{ y}^{-1}$ 를 권고한다.
- c. 간접감독 또는 무감독 기간에는 종사자 선량은 예상되지 않는다. 먼 미래의 방출은 잠재피폭을 초래한다(ICRP 2007, 제265항). 먼 미래로 갈수록 준수 목적으로 선량이나 위험 제한치와 비교하는 것은 점점 의미가 없어진다.
- d. 설계기준 외 변화는 사람이나 환경에 중대한 피폭을 초래할 수 있는 매우 희박하고 극단적인 사건을 포함한다.
- e. 만약 미래에 그러한 사건이 일어나면 당시 당국은 사건이 비상피폭상황, 기준피폭상황 또는 당시에 상응하는 상황으로 이어지는지를 평가하게 된다. 만약 간행물 103(2007) 체계가 여전히 유효하다면 필요에 따라 비상피폭상황이나 기준피폭상황에 대한 참조준위가 적용될 것으로 예상된다. 무감독 기간이라면 피폭이 즉각 인지되지 못할 수도 있다.
- f. 잠재적 방사선 영향은 정형화되거나 단순화된 시나리오에 따라 계획단계에서 전형적으로 평가된다. 이 분석 결과를 수치와 비교함으로써 처분시스템의 견고성 지표로 사용할 수 있다. 이때 비상피폭이나 기준피폭에 대해 규정한 참조준위를 적용할 것을 권고한다. 완전히 최적화된 시스템이라도 일부는 참조준위 이상에 분포할 수도 있음에 유의할 필요가 있다.

용어

가용최선기술best available technique(BAT)

‘가용최선기술’이란 방출과 그로 인한 전체적 환경영향을 예방하거나 감축하기 위해 설계된 활동의 개발에서 가장 유효하고 앞선 단계와 그 운영 방법을 의미한다.

예탁유효선량committed effective dose $E(\tau)$

장기나 조직의 예탁등가선량에 조직가중치를 가중하여 전신에 평균한 선량. 섭취 후 예탁선량 적분시간 τ 는 성인은 50년, 아동은 70세까지 기간으로 한다.

예탁등가선량committed equivalent dose $H_T(\tau)$

기준인이 방사성핵종을 체내에 섭취한 후 받게될 특정 조직이나 장기의 등가선량률의 시간적분. 여기서 τ 는 적분시간이다.

격납containment

방사성핵종을 인공방벽 내에 가두는 기능. 방벽은 폐기물 본체를 구성하거나 폐기물 본체를 수용 지질구조로부터 분리하는 것일 수도 있다.

위해detriment

어떤 집단이 방사선원에 노출된 결과로 그 집단이나 후손이 겪게될 보건 상 총해독. 위해는 다차원 개념이다. 위해의 주성분은 확률론적 양으로서 기인 치사암, 기인 비치사암의 가중 확률, 심각한 유전질환의 가중 확률, 해독이 발생한 경우 수명단축 기간이 된다.

직접감독direct oversight

감독 항 참조

처분시설disposal facility

사용후연료나 방사성폐기물을 회수할 의사 없이 처분하기 위한 공학적 시설. 처분시설은 전체 지하구조물(터널, 동굴, 출입 수직갱), 장전된 폐기물, 밀봉 및 덧채움 물질을 포함한다.

선량^{dose}

섭취로 인한 예탁유효선량과 외부피폭으로 인한 유효선량의 합.¹⁾

선량제약치^{dose constraint}

단일 선원으로부터 개인선량에 적용하는 전망적 선원중심 제한치. 선량제약은 가장 높게 피폭하는 개인에 대한 기본 방호수준을 제공하며 그 선원에 대한 최적화에서 선량의 상한 역할을 한다. 직무피폭에서 선량제약치는 최적화 과정에서 고려되는 방호방안 범위를 제한하는 데 사용되는 개인선량 값이 된다. 일반인피폭에서는 선량제약치는 일반인이 모든 관리되는 선원의 계획된 운영으로부터 받게 될 연간 선량의 상한이 된다.

선량한도^{dose limit}

계획피폭상황에서 초과하지 말아야 할 개인의 유효선량 또는 등가선량 값. 선량한도 값은 ICRP가 권고한다(ICRP, 2007).

기록선량^{dose of record}

종사자 피폭에 대해 기록, 보고 및 규제 선량한도 준수 입증을 위한 목적으로 기록하게 하는 선량.

유효선량^{effective dose}

신체 내 모든 지정된 조직과 장기 등가선량의 조직가중 합²⁾으로서 다음과 같이 표현된다.

$$E = \sum_T w_T \sum_R w_R D_{T,R} \quad \text{또는} \quad E = \sum_T w_T H_T$$

여기서 H_T 와 w_T 는 조직/장기 T 의 등가선량과 그 조직가중치이다. 유효선량의 단위는 흡수선량 단위와 같은 J/kg이지만 그 특별명칭은 시버트(Sv)라 한다. 직무피폭을 받는 종사자나 일반인에 대한 방사선방호에서 유효선량의 주된 용도는 방호의 계획과 최적화를 위한 전망적 평가, 선량한도 준수를 입증하거나 선량제약치나 참조준위와 비교를 위한 회귀적 평가이다. 실제 방사선방호 적용에서 유효선량은 종사자나 일반인의 확률론적 위험을 관리하는 데 사용한다.

1) <역주> 이 보고서에서는 단순 표현 '선량'을 이처럼 사용하더라도, 일반적으로 단순히 선량이라 적을 때는 문맥에서 그 구체적 의미가 결정된다.

2) <역주> ICRP는 이렇게 표현하고 있지만 조직가중이라는 말이 애매하다. 실질적으로는 유효선량을 조직이나 장기의 상대적 위험을 가중한 전신 평균 등가선량에 해당하는 것으로 이해하면 적절하다.

비상피폭상황 emergency exposure situation

비상피폭상황은 계획된 선원의 제어 상실이나 예상하지 않은 상황(예: 악의적 사건)으로부터 일어나는 피폭상황으로서 바람직하지 않은 피폭을 피하거나 감축하기 위해 긴급한 조치를 필요로 하는 상황이다.³⁾

등가선량 equivalent dose H_T

조직이나 장기 T 의 선량으로서 다음과 같이 표현된다.

$$H_T = \sum_R w_R D_{T,R}$$

여기서 $D_{T,R}$ 은 방사선 R 에 의해 조직/장기 T 가 받은 흡수선량이며 w_R 은 그 방사선가중치이다. w_R 은 무차원이므로 등가선량의 단위는 흡수선량과 같은 J/kg이지만 특별명칭은 시버트(Sv)로 한다.

기존피폭상황 existing exposure situation

기존피폭상황은 선원에 대한 관리를 결정할 당시 이미 존재하는 선원(예: 자연방사선, 과거 행위나 비상사태 이후)으로부터 일어나는 피폭상황이다.⁴⁾

피폭상황 exposure situation

피폭상황은 천연 또는 인공 방사선원, 여러 경로를 통한 방사선의 이동, 그리고 개인의 피폭을 포함하는 과정이다.⁵⁾

해독 hazard

어떤 상황에서 해로움 harm을 초래할 수 있는 속성이나 상황이다. 해독은 해로움을 초래하는 잠재력으로서 위험 risk(위험 향 참조)과는 구분된다. 위험은 일정한 여건으로부터 해독이 일어날 가능 정도를 규정한다.

- 3) <역주> 표현에 애매함이 있다. 비상피폭상황이니까 긴급조치가 필요하기보다는 긴급한 조치가 필요하기 때문에 비상피폭상황을 인정하는 것이다. 주의할 것은 방사선비상사태가 발생했다고 그로 인해 발생하는 피폭상황이 모두 비상피폭상황은 아니다. 비상사태 아래서도 계획피폭상황도 있고 기존피폭상황도 있다. 예를 들어 후쿠시마 원전사고 당시 사고 확대방지를 위해 위험을 무릅쓰고 진압에 참여한 종사자의 피폭은 비상피폭상황이지만 그 외 부지에서 보조적 활동을 수행한 종사자 피폭은 계획피폭상황에 해당한다. 나아가 당시 환경으로 방출된 방사능으로 인한 주변 주민의 피폭은 기존피폭상황으로 보는 것이 적절하다(ICRP 109 등에서는 이러한 주민의 피폭을 비상피폭상황으로 설명하고 있으나 역자의 의견은 다르다.)
- 4) <역주> ‘기준’의 개념은 선원이 존재하는 것이 아니라 피폭이 존재하는 것으로 보아야 한다. ICRP 103에서 정의는 피폭이 존재하는 것으로 적고 있다. 선원이 존재하더라도 피폭이 계획 아래 일어난다면 계획피폭상황이 된다.
- 5) <역주> 설명이 어렵다. 쉽게 설명하면 방사선원, 피폭자, 그리고 이를 연계하는 피폭경로가 존재하여 실제로 피폭이 일어나는 상황을 피폭상황으로 정의할 수 있다.

간접감독indirect oversight

감독 항 참조.

격리isolation

사전 규정된 제약치를 넘은 양의 방사능을 생태환경으로 방출하는 것을 예방하는 기능.

정당화justification

방사선 관련 계획된 활동이 유익한가[즉, 그 활동을 도입하거나 계속함에 오는 개인과 사회의 이득이 그 활동으로 인한 해로움(방사선 위해 포함)을 상회하는지], 또는 비상피폭이나 기존피폭 상황에서 의사결정이 전체적으로 유익한지[즉, 개인이나 사회의 이득(방사선 위해 감축 포함)이 결정으로 인한 비용과 해로움 또는 해독을 상회하는지]를 판단하는 과정.

직무피폭 종사자occupationally exposed worker

고용주가 전일제, 시간제 또는 일시적으로 고용한 사람으로서 직무 방사선방호에 권한과 책임이 인정되는 사람.⁶⁾

방호최적화optimisation of protection

개인선량의 크기, 피폭자 수 및 피폭이 발생할 가능성⁷⁾을 경제사회적 인자를 고려하여 합리적으로 최소화하기 위한 과정.

감독oversight

감독은 ‘조심스런 보살핌’을 나타내는 일반 용어로서 사회가 기술적 체계와 계획과 결정의 실행을 ‘주시keeping on eye’하는 것을 말한다. 감독은 관리와 검사 형태의 규제대책, 사회적 기록의 보존, 처분시설의 존재에 대한 사회적 기억을 포함한다. 감독에 대해 다음 3 단계 시간대가 고려된다.

- 직접감독은 시설 운영단계에서 이루어지는 적극적인 관리수단 즉, 검사와 감시를 의미한다.
- 간접감독은 시설이 폐쇄된 후 지하 시설에 접근이 없는 때 이루어지는 대책

6) <역주> 단순히 표현하면 직무로 방사선을 피폭하는 피고용인이다. 다만, 방사선방호에서 배제되거나 면제되는 선원으로부터 피폭하는 피고용인은 예외로 본다. ‘권한’을 언급하는 것은 본인의 피폭과 그로 인한 위험에 대한 이해동의를 필요로 한다는 의미로 볼 수 있다. 본인이 동의하지 않은 종사자는 인정되지 않는다.

7) <역주> 피폭 가능성은 발생확률은 매우 낮지만 만약 발생한다면 영향이 심대한 잠재피폭에 대해 적용한다.

으로서 지속적 규제관리, 토지이용 기록의 보전, 환경조건이 열화되지 않음을 사회가 감시하는 수단을 말한다.

- 무감독은 처분시설 존재에 대한 기억이 상실되어 사회가 시설을 주시할 수 없는 상황을 말한다.

계획피폭상황 planned exposure situation

계획피폭상황은 의도적으로 도입한 선원의 운영으로부터 발생하는 피폭상황이다.⁸⁾

잠재피폭 potential exposure

확실하게 발생할 것으로 예상되지 않은 피폭⁹⁾으로서 기기고장이나 운영실수를 포함하여 선원에서 사고나 확률론적 속성의 단일 또는 일련의 사건으로부터 발생한다. 미래에 일어날 수 있는 피폭¹⁰⁾의 환경은 매우 불확실하므로 잠재피폭으로 간주된다.

참조동식물 reference animals and plants

생물 분류학적 과 수준의 일반성에 대해 규정된 해부학적, 생리학적, 생명역사 속성으로 설명되는 특정 동식물의 생물학적 특성을 갖는 가상의 실체.

참조준위 reference level

비상피폭이나 기존피폭 상황에서 참조준위는 이 준위 이상으로는 피폭이 일어나도록 계획하는 것이 부적절하다고 판단되며 그 준위 아래에서 방호최적화가 이루어져야 하는 선량이나 위험의 수준을 말한다. 선정되는 참조준위 값은 고려하는 피폭의 지배적 여건에 의존한다. 참조준위는 한도나 제약치가 아니며 최적화된 시스템도 일부 선량이 참조준위를 넘는 분포를 낼 수도 있다.

8) <역주> 선원을 의도적으로 도입한 경우만은 아니다. 선원은 본래 존재했거나(예: 항공기 운항고도에서 우주방사선) 우발적 사태로 형성된 경우(예: 사고 여파)에도 계획된 행위로 인해 피폭이 발생한다면 계획피폭상황이다. 즉, 계획하는 것이 '선원'이 아니라 '피폭'이다.

9) <역주> 잠재피폭은 '피폭'으로 표현되지만 피폭이 아니라 위험이다. 잠재피폭은 위험관리 측면의 개념으로서 매우 낮은 확률의 사건이 만약 발생한다면 영향이 심대할 경우에 적용한다. 미래에 처분장에서 실제로 그러한 사건이 발생한다면 이미 잠재피폭이 아니라 당시의 현존피폭이 되고 상황에 따라 3 가지 피폭상황으로 연계될 수 있다.

10) <역주> 미래에 일어날 피폭이라고 잠재피폭은 아니다. 처분시설의 자연적 열화로 인한 미래의 피폭은 일어날 것이 확실할 것으로 보므로 시점만 다를 뿐 실제 일어나는 현존피폭으로 보는 것이 옳다. 그래서 이러한 피폭은 계획피폭상황에 대한 방호기준이 적용된다.

대표인representative person

집단에서 비교적 높게 피폭하는 사람들을 대표하는 선량을 받는 개인(ICRP 2006). 이 용어는 이전 ICRP 권고에서 설명한 ‘결정집단의 평균적 구성원’¹¹⁾과 대등하며 이를 대체한다.

회수성retrievability

원론적으로 일단 처분장에 장전된 폐기물 또는 폐기물 포장물 전체를 회수할 수 있는 가능성. 회수는 폐기물을 제거하는 확고한 활동이다. 회수성은 회수가 필요할 때 그렇게 할 수 있게 하는 대책을 만드는 것을 의미한다.

역행성reversibility

원론적으로 처분시스템의 점진적 실행 과정에서 이루어진 결정을 재고하거나 되돌릴 수 있는 가능성. 역행은 결정을 반복하고 이전 상황으로 돌아가게 하는 확고한 활동이다.

위험risk

연간 피폭이나 잠재피폭으로 인한 해롭거나 상해성 영향(예: 암)의 확률. 위험은 연간 어떤 선량을 받을 확률과 그 선량이 해로움을 낼 확률을 고려한다. 위험 = 발생 가능성×사건이 발생한 경우 심각도.

안전논거safety case

안전논거는 시스템의 안전을 주장하고 내보이는 증거의 조직적 세트이다. 구체적으로 안전논거는 특정 목표와 기준을 충족함을 보이는 것을 겨눈다.

이해당사자stakeholder

주어진 상황에 이해관계가 있거나 관심이 큰 당사자. 예를 들면 피폭자(종사자 또는 일반인)나 그 대표자(노동조합, 지역단체), 의사결정 과정에 기술적 지원하는 기관이나 조직(인가된 선량계측 서비스, 유자격 전문가, 공식 기술서비스, 공공 전문가 조직, 사설 연구소), 선출직 또는 참여직 사회대표자(환경연합) 등을 포함한다.

저장storage

격납을 제공하는 시설에 회수할 의사 없이 사용후연료나 방사성폐기물을 수납.

11) <역주> 인용이 약간 다르다. 이전 권고에서는 “가장 높이 피폭하는 그룹의 대표(또는 전형)”으로 표현하며 이를 “결정집단”으로 정의한다.

1. 서론

(1) 이 보고서는 장수명 고체 방사성폐기물의 지층처분 맥락에서 2007년 ICRP 권고(ICRP, 2007)의 방사선방호체계가 어떻게 적용되어야 하는가에 대한 독립적 설명이다. 보고서는 장수명 고체 방사성폐기물의 지층처분에 따르는 해로움으로부터 사람과 환경을 보호하는 데 관련된 모든 이슈를 다룬다. 그러나 이 보고서에서 깊이 다루지 않은 이전 ICRP 권고는 여전히 유효하다. ICRP 권고가 불변이거나 다른 국제기구의 간행물에서 충분히 다룬 이슈에 대해서는 참고문헌을 보이고 상세한 논의는 하지 않았다. 이 보고서가 지층처분을 특별히 겨누지만 권고의 많은 부분은 방사성폐기물의 처분 해법을 기다리며 저장하는 동안의 의사결정에도 영향을 미치며, 방사성폐기물의 근지표처분에도 여러 측면이 해당된다.

(2) 종사자의 직무피폭이나 일반인 피폭은 ICRP 방호체계에 따라 관리된다. 이 보고서에서 다루는 방호의 주된 이슈는 먼 미래에 일어날 수도 있고 일어나지 않을 수도 있는 피폭과 관계된다. 개인이나 집단에 대한 선량이나 위험 평가치는 미래의 처분시설의 거동, 지질권 및 생물권 조건, 사회경제적 조건, 사람의 습관과 특성에 대한 불확실한 지식 때문에 시간의 함수로서 관련 불확실성이 커질 것이다. 나아가 긴 시간대 때문에 처분시설의 존재에 대한 지식도 잊혀질 수 있어 방호가 달성된다는 검증을 현재의 방출과 같은 방법으로 예견할 수도 없다. 먼 미래에 유효한 완화대책이 필요하더라도 그러한 대책이 반드시 수행될 것으로 가정할 수도 없다. 그렇지만 ICRP 방사선방호체계는 적당한 해석과 함께 장수명 고체 방사성폐기물의 지층처분에 적용될 수 있다.

(3) ICRP 권고의 맥락에서 폐기물은 용도가 예상되지 않는 물질이다. 발생에 따라 폐기물은 고체 물질 뿐만 아니라 액체나 기체도 포함한다. 저장이란 후일 회수할 의도의 표명과 함께 저장시설에 폐기물을 수납하는 것이다. 처분이란 회수 의도 없이 처분장에 폐기물을 장입함을 의미한다. 폐기물 관리란 폐기물의 발생에서부터 시작하여 처분으로 끝나는 전체 운영공정을 의미한다.

(4) 지층처분은 장수명 고체 방사성폐기물을 격리하고 격납하려는 것이다. 격납이란 폐기물 형태를 구성하거나 지질구조로부터 폐기물 형태를 분리하는 인공방벽 내에, 또는 처분장을 둘러싸는 적절히 정의된 체적내에 방사성핵종을 억류하는 기능이다. 격리란 사전 정의된 제약치를 넘는 양의 방사성핵종이 생태환경으

로 방출됨을 방지하는 기능이다. 지층처분은 고준위폐기물, 사용후연료 또는 장 반감기 방사선택종을 함유하는 중준위폐기물에 특히 적합하다. 이들 폐기물은 비 방사능이 높다. 만약 이러한 폐기물이 지층처분시설에 처분되지 않고 지표에 머 무른다면 안전을 유지하기 위해 특별한 주의가 필요할 것이다. 이 보고서는 근지 표처분시설을 겨누지는 않는다. 근지표처분시설은 지층처분시설과 두 가지 핵심 특성이 다른데, 처분하려는 폐기물이 다르고 격납과 격리 기능을 달성하는 방법 이 다르다.

(5) 여러 나라가 수백 미터 아래 지질구조에 장수명 고체 방사성폐기물을 영구 히 격리하는 기술적 해법을 개발하고 추구하고 있다. 현재 방사성폐기물 관리에 관 련된 국제기구가 지층처분이 장기간 격납이 요구되는 고준위방사성폐기물과 사 용후연료에 특히 적합한 것으로 인정하고 있다. 지층처분은 장수명 방사선택종을 함유한 다른 폐기물에 대해서도 사용할 수 있는데 비슷한 장기 방호요구가 조성 되기 때문이다. 지층처분의 예는 굴착된 터널이나 수직갱에 폐기물을 장전하고 뒷채움과 전체 시설을 밀봉하는 것이다.

(6) 지층처분시설의 목표는 풍토나 지표 변화가 일어날 수도 있는 긴 시간대 동 안 폐기물의 격리와 격납을 달성하고 사람과 환경을 보호하는 것이다. 지표로부 터 먼 곳에는 지질구조가 장기간(즉, 만년에서 백만년까지) 안정적 지질조건을 보임이 인식될 수 있다. 잘 선정된 지질구도는 폐기물에게 안정된 물리, 화학적 조건을 확신하고 지질대에 방사선택종의 방출을 억제하고 줄일 것이다. 이 맥락 에서 지표로부터 멀다는 것은 수직 또는 수평 거리일 수 있는데 예를 들면 산 아래 깊은 곳에 위치한 처분시설이다. 나아가 부지가 알려진 천연자원이 없는 곳 에 선정된다면 우발적 인간침입 가능성이 제한될 것이다.

(7) 지층처분에 적용되는 안전전략은 폐기물을 억류하고 격리하는 것이다. 먼 미 래에 낮은 수준 피폭은 발생할 수 있을지라도 피폭은 의도된 것은 아니다. 그래 서 처분시설은 그 안전과 방호가 내포되고 시설 폐쇄 후에도 유지되는 기능적 시설로 본다. 시설은 방사능을 봉쇄시키고 생태계와 환경으로 오염물의 궁극적 방출을 지연시킨다. 나아가 격리는 폐기물에 우발적 인간침입 위험을 경감한다.

(8) 장수명 고체방사성폐기물의 지층처분은 방사선방호와 관련하여 여러 문제를 제기하는데 예를 들면 처분시설의 개발과 이행의 여러 단계 동안 방호 최적화의 본질과 역할, 먼 미래의 선량이나 위험 지표를 의사결정에 적용성 등이다. 이 보 고서는 ICRP 103(2007)에서 제공된 방사선방호 기본 원칙이 이러한 상황에 어

떻게 적용되는지를 설명한다. 또한, 방호원칙 부합을 입증하는 데 도움이 되는 요소도 고려하며 이들이 환경영향평가에서 고려되는 다른 방호목표와 어떻게 연계되는지도 고려한다.

2. 범위

(9) ICRP는 장수명 방사성폐기물 처분에 대해 이전에도 당시 방사선방호체계(ICRP, 1991)를 적용하는 일반적 권고에 부합하는 권고를 발행한 바 있다(ICRP, 1985, 1997b, 1998). 이후 ICRP는 새로운 일반권고(ICRP, 2007)를 발행했다. dl 보고서는 2007년 권고가 장수명 방사성핵종 지층처분에 구체적으로 어떻게 적용되는지를 설명하고 요약한다.

(10) 보고서는 장수명 방사성핵종을 지층처분시설에 처분한 후 사람과 환경의 방사선방호를 다룬다. 이 보고서에 주어진 권고는 부지선정, 설계, 건설 및 운영 단계에서 이행할 여지가 있는 처분시설에 적용된다. 권고는 폐기물을 발생시키는 행위의 정당화도 고려해야 한다. 방사선학적 기준에 근거한 최적화는 특정 기간 그리고 처분시설의 특정 속성에 대한 처분시설의 설계와 운영에서 이루어지는 전반적 최적화의 중요한 일부가 된다.

(11) 보고서는 처분 안전성 평가를 상세히 설명하지는 않는다. 다만, 안전성 분석에서 방호기준이 어떻게 적용되는지를 설명하고 장수명 고체폐기물의 처분과 관련한 방호 이슈에 대한 권고를 제공한다.

(12) 이 보고서의 많은 고려가 근지표처분에도 해당되지만 근지표처분시설이나 기타 처분방안에서 종사자, 일반인 및 환경의 방사선방호에 대한 이전의 ICRP 권고(1998)을 대체하지 않으므로 이전 권고는 유효하다.

(13) 방사선방호는 안전 분석자가 처분시설의 방호역량을 문서화하는 데 사용하는 방호개념의 한 세트일 뿐이다. 다른 개념은 예를 들면 음용수 자원으로서 지하수와 같은 자원을 지속가능한 방법으로 보호하는 것과 연계될 수도 있다. 이러한 광범한 속성은 이 보고서에서 다루지 않는다.

3. 미래세대 보호를 위한 기본 가치, 원칙 및 전략

3.1. 미래세대 보호를 위한 가치

(14) 장수명 방사성폐기물의 방사성핵종 구성은 시간 경과에 따라 변천하며 해독수준도 달라진다. 일부 핵종의 반감기가 길고 다른 핵종으로 편입되어 증가하므로 어떤 폐기물은 먼 미래에도 계속 유해하게 남지만 전체적으로 폐기물의 방사능은 시간에 따라 감소한다.

(15) 지난 수십 년 동안 장수명 방사성폐기물로 인한 이처럼 긴 시간대의 해독과 관련한 안전과 사회적 이슈에 대한 반추는 상황의 복잡성을 명백히 드러냈다. 한편으로는 먼 미래에 사회가 어떻게 구성될 것인지 예측하는 것이 불가능하고, 다른 한편으로는 현세대가 미래세대를 보살필 의무를 진다. 이러한 복잡성이 미래세대의 건강과 환경을 보전하기 위해 예방원칙과 지속가능 개발에 근거한 폐기물 관리전략의 설계에 요구되는 윤리적 반영에 중심이다.

(16) ICRP는 간행물 81에서 “미래의 개인이나 집단이 적어도 현세대와 같은 수준으로 여유가 있어야 한다.”고 권고했다(ICRP, 1998 제40항). 이 기본 원칙은 ‘미래세대가 그들의 수요와 여망을 충족할 수 있는 능력을 침해하지 않고 현세대의 수요와 여망을 충족하는’ 방법으로 현재나 미래에 개인, 사회 및 환경이 전리 방사선의 유해한 영향으로부터 보호해야 한다고 말한 1997년의 “사용후연료 관리와 방사성폐기물 안전에 대한 협약(IAEA, 1997)”의 요건과 대체로 일치하는 것이다.

(17) 같은 맥락에서, 미래세대에 대한 현세대의 채무는 복잡한데 예를 들면 안전 방호 이슈 뿐만 아니라 지식과 자원의 전달도 개입된다. 과학기술적 불확실성과 장기적 사회변천 때문에 현세대가 미래에 취해질 사회조치를 확신할 수 없으므로 미래세대가 이러한 이슈에 대처할 수 있도록 방안을 제공할 필요가 있다는 것을 일반적으로 인정한다.

3.2. 방사선방호 원칙

(18) 2007년 권고(ICRP, 2007)에서 설명한 것처럼 ICRP 방호체계는 계속해서 정당화, 방호최적화 및 선량한도 적용이라는 3 원칙에 기댄다. 이 원칙은 방사선 방호를 조직화하도록 ICRP가 고려하는 세 종류 피폭상황 즉, 계획피폭상황, 비상피폭상황 및 기존피폭상황에 적용된다.

(19) 최적화원칙이 가장 중요한데 2007년 권고에서 그 역할이 더욱 강화되었다. 이 목적에서 ICRP는 사람의 방호 수준을 평가함에 있어 “사회경제적 인자를 고려하여 합리적으로 달성한 범위에서 개인선량의 크기, 피폭자 수 그리고 피폭이 발생할 가능성¹²⁾을 낮게 유지함(ICRP, 2007 제203항)”을 권고했다.

(20) 이 평가를 위해 ICRP는 선량과 위험이라는 두 개념을 고려한다. 선량과 위험과 관련하여 ICRP 26(1977)에서 보건위해 개념을 도입했는데 이는 방호수준을 평가할 때 핵심 개념이다. 이 개념의 적용은 문턱 없는 선형 관계를 가정하여 피폭의 결과로서 개인이나 그 후손에게 보건상 총 해로움에 대한 평가를 제공함을 목표로 한다. 먼 미래에 일어날 수도 있는 피폭에 대해 선량과 위험의 의미와 해당성이 관심의 대상인데 상이한 시간대(소절3.3.1에서 정의함)에서 그 해석에 대해 명확히 해야 하겠다. 과거에 명목 확률계수를 재평가한 데서 보았듯이 선량과 영향의 관계에 대한 지식은 미래에 분명히 바뀔 것이라는 점에 주목해야 한다. 마찬가지로 발생한 보건영향을 치료하거나 완화하는 능력 또한 미래에 바뀔 것이다. 이러한 변화의 방향을 예측하는 것은 불가능하다. 따라서 ICRP는 먼 미래에 사람의 보건과 환경에 미칠 영향을 예방하거나 완화하는 노력은 전적으로 보건과 환경에 대한 현재의 이해에 따라야 한다고 생각한다.

(21) 위에서 설명한 불확실성에도 불구하고 ICRP의 선량과 보건위해 개념은 장기적 평가에 사용될 수 있다. 사실 장기적으로 고체폐기물 처분에 의해 제공되는 방호체계의 견고성 평가는 먼 미래 인구집단의 일반 보건상황의 변화에 대한 정확한 지식을 필요로 하지는 않는다. 설계단계에서 먼 미래의 특정 가상 집단에게서 보건영향을 평가하는 데 초점을 맞추는 것은 적절하지 않다. 그보다 난제는 대안의 비교를 통한 최적화 과정에서 주어진 처분시설에 의해 달성할 수 있는 방호수준을 평가하고 선택한 전략에 대해 평가한 방호수준이 현재 수용하는 방호수준 관점에서 용인되는가를 판단하는 것이다.

12) <역주> 피폭 가능성은 잠재피폭에 대해 적용한다.

3.3. 장수명 고체방사성폐기물 관리를 위한 전략

(22) 해독의 본질과 지속성 때문에 안전목표를 달성하기 위해 장수명 방사성폐기물 관리에 채택되는 기본적 전략은 가능한 한 오래 폐기물을 억류하고 환경으로부터 격리하는 것이다. 지층처분시설의 목표는 방사성폐기물이 시간에 걸쳐 부과하는 해독으로부터 사람과 환경을 보호하는 것이다. 현세대는 폐기물 관리전략을 설계할 때 미래세대의 자원과 환경을 보전하도록 고려해야 한다. 여기에는 상이한 시간대에 상이한 수준의 제도적 관리 아래서 가능한 변천은 물론 인간 자체의 존재 수준에 대한 불확실성도 포함된다.

(23) 더 이상 이용하지 않을 것으로 선언한 물질만 회수할 의사 없이(회수할 기술적 방안은 가용하더라도) 처분한다는 것이 국제적으로 인정된다. 처분을 저장 상황과 혼동하지 말아야 한다. 현재로서 참조 방안은 적절한 지층에 위치한 공학적 처분시설에 처분하는 것이다(IAEA, 1997; OECD/NEA, 2008).

(24) 최종 폐쇄를 포함하여 처분시설의 개발을 위한 계획이나 그 이행에 다양한 이해당사자가 관련되는 단계적 과정이 채택될 수 있다. 이 맥락에서 시설의 운영은 프로그램 사이에서 변할 수 있을 정도로 가역적이고 상이한 장전된 폐기물을 회수할 수 있는 대책이 있어야 한다. 역행성은 회수할 의사를 의미하지도 않고, 회수가 처분시설의 비상대책도 아니다. 회수 결정은 새로운 계획상황에 적용되는 방호원칙에 따라 미래에 취할 수 있는 별개의 결정이다. 만약 역행성이나 회수성을 위한 대책이 마련된다면 이것이 용인 불가한 방사선방호 결과를 내어서는 안된다. 예를 들면 처분시설을 폐쇄할 준비가 되었지만 장전된 폐기물을 회수하는 대안을 유지하기 위해 폐쇄하지 말자는 제안이 있을 수 있다. 그러면 폐기물 포장의 열화나 기타 예기치 않은 사건이 사람과 환경의 방호에 용인할 수 없는 영향을 미치지 않을 것임을 입증하는 안전논거가 필요하게 된다.

(25) 원론적으로 ‘집중과 격납’ 전략은 미래의 어떤 시점에서 자발적이나 비자발적으로 폐기물을 재평가할 수 있게 한다. 따라서 처분시설은 우발적 인간침입을 줄이도록 설계되어야 한다. 어느 정도는 요건이 상호 배치될 수 있으므로 시간대, 폐기물 특성, 수용 지질구조 및 변화하는 사회적 욕구를 고려하여 경우별로 균형을 찾아야 한다.

3.3.1. 처분시설의 단계와 안전분석 과정

(26) 지층처분시설의 설계는 주요 3 단계(그림3.1 참조)가 관계되는데 각 단계의 기간은 설계와 국가의 의사결정 접근에 따라 국가별로 차이가 날 수 있다. 단계는 처분시설에 대한 감독(‘조심스런 보살핌’)의 유형과 관계된다. 감독이란 기술적 시스템과 계획과 요건의 실제 이행에 대해 규제자나 사회가 ‘주시’하는 것이다. 감독에는 규제감독과 관리, 사회적 기록의 보존, 시설 존대에 대한 사회적 기억이 포함된다. 직접감독은 시설 운영단계에서 능동적 관리대책(예: 검사 및 감시)을 의미한다. 간접감독은 시설이 폐쇄되고 지하시설에 더 이상 접근할 필요가 없을 때(예: 지속적 규제관리, 토지이용 기록 보존, 환경조건이 저하되지 않는지를 사회가 확인하는 시기) 적용되는 대책을 말한다. 궁극적으로는 처분시설의 존재 기억이 상실되어 사회가 더 이상 시설을 주시할 수 없는 시기가 올 수 있어 달리 말하면 처분시설에 대한 무감시 시기가 된다.

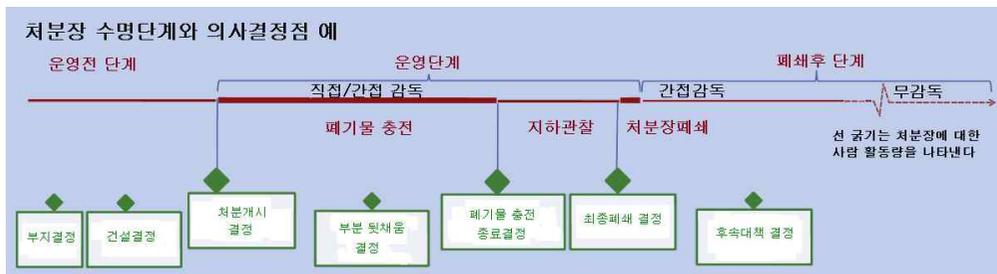


그림3.1. 처분시설 단계와 해당 감시 시기.

(27) 운영단계에서는 시설에 대한 직접감독은 유사한 방사성물질을 다루는 다른 원자력시설에서 수행되는 감독(예: 규제검사)과 일관되게 수행된다. 시설폐쇄 후(운영 후 단계) 간접감독에는 처분장의 성능과 잠재적 피폭경로, 처분장 존재에 대한 기록의 보존, 그리고 초지사용 제한의 확인 등이 포함된다. 그러나 후일(예: 몇 백년 후)에는 폐쇄후 단계에서 간접감독의 지속성이 점점 불확실해 질 것이고 어떤 시점에 가서는 기억이 상실되어 간접감독이 없어질 것으로 가상할 수 있다. 비록 부지에 대한 기억을 상실하지 않도록 겨누지만 이점이 지층처분시설이 먼 미래에 감독에 의존하지 않도록(즉, 피동형 안전을 지향하여) 개발되고 설계되는 한 이유이다.

운영전 단계

(28) 이 단계 동안 처분시설이 설계되고 부지 선정과 특성화가 이루어지며, 인공

재료를 시험하고 공학적 가능성을 입증하며 운영단계와 운영 후 단계에 대해 안전성 분석을 수행하여 건설 및 운영허가를 신청하고 받고 건설을 시작한다. 환경조건에 대한 기초감시 프로그램도 수립된다.

운영단계

(29) 이 단계 동안 폐기물이 장전되고 관측기간을 거쳐 폐쇄된다. 이 단계 기간에 일부 갤러리는 채워져 밀폐되지만 나머지는 여전히 운영중으로 폐기물이 장전될 수 있다.

(30) 이 단계는 다른 이해당사자와 연계한 안전규제 당국의 직접감독 아래에 있는데 이 단계를 다시 3 단계 시간대로 구분할 수 있다.

- **장전기:** 건설된 갤러리, 격실 또는 구멍에 폐기물 포장물을 이전하여 장전할 수 있는 허가를 받는다. 환경조건을 계속 감시하고 기초감시 결과와 비교한다. 연개개발은 계속된다. 규제기관은 지하 운영에 대해 정류검사를 수행한다. 개발자/이행자는 장기 안전논거를 정기적으로 업데이트 하고 규제자가 심사한다. 이 단계에서는 일부 갤러리의 뒷채움이나 밀봉을 수행하면서 새로운 갤러리를 건설할 수도 있다.
- **관측기:** 모든 폐기물 포장물이 장전된 다음 처분시설(또는 일부)을 감시할 것을 결정할 수 있고, 추가적 성능확인이 진행되는 동안 적어도 일부 폐기물에 대해 접근성을 남겨둘 수도 있다.
- **폐쇄기:** 폐쇄 허가를 받고 설계에 따라 보완적 뒷채움과 밀봉이 수행된다. 표면으로부터 지하시설로 접근은 종료되고 지상시설은 해체될 수 있다. 모든 관련 기록을 보관소에 보존하며 사회가 처분시설의 감독에 정기적으로 참여할 수 있다.

폐쇄 후 단계

(31) 이 단계에는 시설을 직접 관리하기 위한 사람의 존재는 요구되지 않는다. 이 단계가 가장 길며 다시 두 단계로 구분한다.

- **간접감독기:** 폐쇄 후에는 안전성이 전적으로 처분시설의 본질적이고 내장된 안전대책을 통해 보장된다. 그러나 규제기관 및 사회적 감독과 함께 기초 환경조건 감시가 예상된다. 폐기물 포장물과 처분시설의 기술적 데이터 기록을 보존하고 그 존재에 대해 후속세대에게 알리는 경고표지를 사용할 것을 고려할 수도 있다. 해당되는 국제적 안전보장 조치가 계속 적용될 수 있다. 처분시설에 우발적 인간침입은 배제할 수 있다.
- **무감독기:** 간접감시기가 언제 종료될 지는 예측할 수 없지만, 계획과 살계단

계에서 먼 미래에 부지에 대한 기억이 유지되어 감독이 무한히 계속될 것을 장담하지 못할 것을 고려해야 한다. 점진적으로나 전쟁과 같은 예측 불가한 사건으로 기록이 상실되고 궁극적으로 기억 상실과 감독 상실로 이어질 것이다. 따라서 이러한 시간대에서는 처분시설에 우발적 인간침입도 배제할 수 없다. 폐기물의 본질적 해독은 시간에 따라 감소하지만 상당한 시간 동안은 유의한 해독을 부과할 것이다. 그렇더라도 감독 상실이 처분시설의 본질적 방호 역량 변화를 초래하지는 않는다.

(32) 운영단계(직접감독기) 동안에는 안전논거의 정규 업데이트에 의거 처분시설의 방호능력을 평가할 수 있을 것이다. 처분시설의 개발자가 제공하는 안전논거는 운영과 운영 후 단계 특히, 관리나 개입을 믿을 수 없는 먼 미래까지 다뤄야 한다. 개발된 안전논거의 목표는 시설의 미래 변화나 계획의 수정에 관한 결정을 내리는 데 충분하도록 시스템의 방호능력에 대한 증거를 제공하는 것이다. 안전논거는 처분시설의 방벽과 수용 암반(처분시스템)이 어떻게 공동으로 작용하고 시간이 지나도 어떻게 희망하는 기능을 충족할 것인지를 보인다. 안전논거는 지식기반을 개발할 때 다른 원칙과 전략을 문서화한다. 또, 처분시설 성능에 영향을 미칠 수 있는 장기 과정과 잠재적 미래 사건에 대해 내재된 남아 있는 불확실성을 제시하고 이것이 왜 방호를 부당하게 저하시키지 않는지도 보인다. 다양한 이해당사자(예: 지역주민, 기술검토를 위해 초청한 외부 전문가) 사이 상호작용은 처분시설 개발과 이행의 각 단계에서 의사결정 과정의 품질을 높이는 데 분명한 요소이다.

(33) 시설 폐쇄 후에는 직접감독은 종료되고 안전에 대한 추가적 확신을 위해 간접감독(예: 생물권으로 잠재적 방출에 대한 감시나 처분장 성능에 관한 감시)이 이루어질 것이다. 규제감독도 상당기간 계속될 것이다. 감시 프로젝트를 추진하기 위해 다른 행정기관을 신설할 수도 있고 사회도 개입할 것이다. 간접감독이 무한히 계속될 것을 보장할 수 없지만, 지층처분시설은 먼 미래에 감독의 존재에 의존하지 않아도 되도록 피동적 안전에 기댈 수 있게 설계되고 개발된다.

(34) 폐쇄 후 단계에 감독이 종료되더라도 처분장은 기능하는 시설이고 계속 그럴 것이다. 방사성폐기물을 억류하고 격리하는 잠재력은 방사성폐기물 처분장의 본질적 특성으로서 먼 미래까지 계속되고 자연과정이나 사건으로 일어날 것으로 고려하는 처분시스템의 변화에 대응한다. 간접감독이 종료되면 처분시설에 우발적 인간침입도 발생할 수 있다. 사람이 정규로 거주하지 않으며 개발할 가치가 있는 자원이 없는 지층 환경 지역에 깊은 지하에 자리하는 처분시설의 위치가

기술적 설계와 함께 우발적 인간침입으로부터 방호를 제공한다.

3.3.2. 방사선방호의 관심 시간대

(35) 위에서 언급한 것처럼 이 보고서의 범위는 방호기준이 안전평가에 적용되는 방법을 설명하고 장수명 고체방사성폐기물 처분과 관련한 방호 이슈에 대해 권고하는 것이다. 처분시설 수명의 상이한 시간대에 걸쳐 방호체계의 적용에 영향을 미치는 중요한 인자의 하나는 감독 또는 ‘조심스런 돌봄’의 수준으로서 직접감독, 간접감독 및 미감독이다. 감독 수준은 피폭을 예방하거나 경감하는 능력에 직접 영향을 미친다.

(36) 직접감독 기간에는 규제자의 통제를 받는 운영자가 관여하는 이해당사자와 대화하며 일련의 조치를 통해 종사자, 일반인 및 환경 방호를 적극적으로 관리할 수 있다. 이 시간대로부터 간접감독 시간대로 이전은 급작한 것이 아니다. 그래서 처분시설의 일부는 직접감독 아래 있으면서 동시에 일부는 간접감독 아래 있을 수도 있다.

(37) 간접감독 시간대에서는 부지에는 사람/직원/운전원의 활동이 약간은 있을 수 있다. 지식이 유지되고 감시가 계속되며 필요할 때는 약간의 보완조치도 따를 수 있다. 시간이 지날수록 간접감독 정도는 변하여 예를 들면 검사 빈도가 줄어들고 규제감독이 종료될 수 있다. 감독수준을 줄이는 결정은 어느 정도는 시설의 거동에 대한 자신감과 기타 경제사회적 인자에 따른다. 조직과 감독 변화에 관련된 결정은 관심 이해당사자와 논의해야 한다.

(38) 적극적 규제감독 종료 후의 운영 후 단계에서는 간접감독과 시설의 기억을 유지하는 것이 사회적 책무가 되는데 아마도 정부나 지방자치단체 책임이 될 것이다. 아마도 사회가 간접감독 형태나 기억을 가능하면 오래 유지하기를 기대할 것이지만, 먼 미래까지 유지될 것을 보장할 수는 없다.

(39) 적극적 규제감독이 종료된 후 감독을 계속하는 한 방법은 기억과 지층처분 시설 존재에 대한 기록을 보전하는 것이다. 토지이용 제한 등 기타 수단도 상이한 이해당사자와 대화를 통해 당국이 결정하여 계속 적용될 수 있다. 시설 기억을 보전하는 방법은 우발적 인간침입 확률을 줄이고 혹시 미래에 필요할 경우 의도적 침입을 정당화하고 계획하는 데 도움이 될 것이다. 먼 미래 어떤 시점에서 처분시설 존재 기억이 상실될 것이다. 지층처분시설의 위치 선정과 그 기술

적 설계가 시설로 우발적 침입에 대한 남아 있는 ‘내장 관리’가 성립되게 할 것이다.

(40) 일부 국가 접근에서는 장전과 뒷채움 전략을 계획하는데 이는 부지에 대한 직접감시를 운영 개시 후 수십 년 지속되게 할 것이다. 미래에 사람들이 의사결정에 사용할 기준을 알 수는 없다. 감독의 변천과 연계하여 이루어질 상이한 결정은 이해당사자와 논의해야 한다.

4. 지층처분시설 수명 동안 ICRP 방호체계의 적용

(41) 이 보고서와 관련된 2007년 권고(ICRP, 2007)의 주요 특성은 다음과 같다.

- 행위와 개입을 사용한 이전의 과정기반 방호접근으로부터 방사선방호 기본원칙을 모든 관리 가능한 피폭상황에 적용하는 상황기반 접근으로 이동함으로써 진화함.
- ICRP의 방사선방호 3원칙을 즉, 정당화, 최적화, 선량제한을 유지하면서 원칙이 피폭을 주는 선원과 피폭하는 사람들에게 어떻게 적용되는지를 명확히 함.
- 모든 피폭상황에 비슷한 방식으로 적용되고 개인 선량과 위험에 대한 제한 즉, 계획피폭상황에 대한 선량 및 위험 제약치와 비상피폭 및 기존피폭 상황에 대한 참조준위를 이용하는 방호최적화 원칙을 강화함.

4.1. 피폭상황

(42) ICRP 103 권고는 방호체계를 세 유형 피폭상황 즉, 계획피폭, 비상피폭, 기존피폭 상황으로 구성한다(ICRP, 2007 제176항).

- 계획피폭상황은 의도적으로 도입한 선원의 운영과 관련한 일상 상황이다. 계획피폭상황은 일어날 것이 합리적으로 예상된 피폭(정규피폭)과 계획된 운영 절차로부터 이탈로 인한 피폭이나 평가에 불확실성이 큰 먼 미래에 일어나는 피폭(잠재피폭) 모두를 야기할 수 있다. 잠재피폭은 계획단계에서 고려할 수 있다.
- 비상피폭상황은 계획된 선원의 관리상실로 또는 예기치 않은 사건(예: 악의적 사건)으로 발생하는 피폭상황으로 바람직하지 않은 피폭을 피하거나 줄이기 위해 긴급조치를 필요로 한다.
- 기존피폭상황은 관리를 결정할 때 이미 존재하는 선원으로 인한 상황이다(자연방사선, 과거 활동 또는 비상 후).¹³⁾

(43) ICRP는 장수명 고체방사성폐기물 지층처분시설의 예상된 변화로 인한 사람과 환경의 잠재적 피폭¹⁴⁾은 계획피폭상황으로 본다. 선원 관리가 의도적이고 명

13) <역주> 여기서 설명한 세 피폭상황의 구체적 설명을 보면 ICRP 103(2007)에 주어진 것과 약간씩 다르다. 이는 ICRP 103에서 각 피폭상황에 대한 정의가 명확하지 않거나 잘못된 부분이 있어 초래한 혼란의 결과이다. 안타까운 것은 이 항에서 고쳐 쓴 내용도 바른 방향으로 가지 않고 있다.

확히 계획된 것이며 지층처분시설의 운영 또는 운영 후 단계에서 최적 방호가 확실하도록 관리할 의무가 있다. 그러나 정규모 예상되지 않고 계획하지도 않은 특별한 일은 발생할 수 있는데 아래에서 논의한다.

4.2. 방사선방호 기본원칙

(44) 3 가지 기본원칙의 정의와 폐기물처분에 적용하기 위한 기본적 고려는 다음과 같다.

- 정당화 원칙: “피폭상황을 변경하는 모든 결정은 해로움보다 이로우미 커야 한다.” 피폭상황을 초래하는 모든 행위는 정당화되어야 한다. ICRP는 이전에 (ICRP, 1997b) 방사성폐기물 관리와 처분 운영은 폐기물을 발생시키는 행위의 일부라 말했다. 폐기물 관리를 독자적 정당화를 필요로 하는 독립행위로 보는 것은 잘못이다. 따라서 행위의 정당화는 발생된 폐기물의 처분방안(예: 지층처분)까지 포함해야 한다. 행위의 정당화는 그 행위의 수명에 걸쳐 새롭고 중요한 정보가 가용할 때마다 재검토되어야 하는데 그러한 정보는 사회적, 기술적, 과학적 이유로 발생할 수 있다. 더 이상 운영하지 않는 행위를 정당화할 때 폐기물 관리를 고려하지 않았다면 그런 행위의 정당화 고려와는 별도로 사람과 환경 방호를 최적화하기를 ICRP는 권고한다.
- 방호최적화 원칙: “개인선량의 크기, 피폭자 수, 피폭이 발생할 가능성을 경제 사회적 인자를 고려하여 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지해야 한다.” ICRP 103에서 명확히 말했듯이 최적화가 가장 중요하고 그 역할이 강화된다. 이 보고서에서 설명하듯이(제4.8절 참조) 최적화는 장수명 고체방사성폐기물 처분에서도 ICRP 방호체계 적용을 안내하는 핵심원칙이다. 이 원칙의 실제 적용에는 선원중심 선량제약치 적용도 포함된다.
- 선량한도 적용 원칙: “의료피폭이 아닌 계획피폭상황에서 규제되는 선원으로 부터 특정 개인의 총 선량은 ICRP가 권고하는 적절한 선량한도를 초과하지 않아야 한다.” 방사성폐기물 관리에 대해서는 ICRP 81(1998, 제36항)의 일반 성명이 여전히 적용되는데 “ICRP가 선량한도를 권고하지만 실제에서 일반 인피폭을 선량한도가 제한하는 일은 거의 없다(ICRP, 1997b 제36항).” 나아가 “폐기물 처분에 선량한도를 적용하는 것은 본질적 어려움이 있어(ICRP,

14) <역주> 이 피폭은 잠재피폭으로 볼 수 없다. 예정된 자연열화로 인한 피폭은 일어난다고 보는 것이므로(즉, 일어날 확률이 1에 가까움.) 시점만 다를 뿐 계획피폭상황이다. 잠재피폭은 계획피폭상황의 일부가 아니라 전혀 다른 개념이다.

1997b 제19항)” “방사성폐기물 처분의 관리에서는 최적화 과정을 통한 일반 인피폭 관리가 일반인 선량한도의 직접 적용을 피할 수 있게 할 것이다 (ICRP, 1997b 제48항).”

4.3. 선량 및 위험 한도

(45) 직무피폭 종사자와 일반인 피폭에서 방사선방호에서 유효선량의 주되고 기본적인 용도는 전망적으로 계획과 방호최적화를 위해 선량을 평가하고 소급적으로는 선량한도 준수를 입증하거나 선량 제약치나 참조준위와 비교하기 위해 평가하는 것이다(ICRP, 2007 제153항). 실제 방호 적용에서 유효선량은 방호기준 준수를 입증하는 데 사용된다.

(46) 잠재피폭은 확실히 발생할 것으로 예상하지 않지만 선원에서 사고나 기기 고장이나 운전원 실수와 같은 확률론적 속성의 사건이나 일련의 사건으로부터 발생할 수 있는 피폭이다(ICRP, 1993, 1997b). 그러한 사건으로 인한 위험은 어떤 선량을 초래할 의도하지 않은 사건의 확률과 그 선량으로 인한 위해 확률의 함수이다. 선량을 줄 확률과 결과적 보건영향 확률을 곱하여 결합한 종합접근을 적용하면 잠재피폭에는 위험제약이 적용된다. 종사자의 잠재피폭에 대해서는 ICRP는 계속 일반 위험제약치 $2 \times 10^{-4} \text{ y}^{-1}$ 를 권고한다. 일반인의 잠재피폭에 대해서는 계속 위험제약치 $1 \times 10^{-5} \text{ y}^{-1}$ 을 사용하거나 선량과 시나리오 확률을 분리하여 적용할 때는 선량제약¹⁵⁾을 적용할 것을 권고한다. 미래에 일어날 피폭을 둘러싼 큰 불확실성 때문에 이 피폭도 잠재피폭으로 간주한다.

(47) 지층처분시설의 간접감독이나 무감독 시기에서 방사선피폭은 잠재피폭으로 취급한다.¹⁶⁾ 가정에 본질적인 불확실성 때문에 그렇게 긴 시간대에 대한 위험평가 결과는 주의하여 해석해야 한다. 기준인에 대한 위험평가를 통해 운영 후 방사선영향을 평가하는 것은 미래의 방사선영향의 예측이라기보다 시스템의 견고성에 대한 지표 또는 예시를 제공하는 것일 뿐이다. 최적화 목적에서 정량적 위

15) <역주> 잠재피폭에 대해서는 선량이 아니라 위험을 평가하는 것이 옳다. 그러나 불확실성 때문에 위험 스펙트럼 전체를 평가하는 것이 어려워 규제 현실에서는 종종 소수의 전형적 시나리오에 대해 평가하여 그 선량으로 방호성능을 확인하는 접근이 이용된다. 예를 들면 원전 설계기준 사고에 대한 선량기준이 그러하다. 그러나 이때 비교하는 선량 값을 ‘선량제약치’로 적은 것은 현재의 정의에서 선량제약치는 계획피폭상황에 적용되는 것임을 고려할 때 적절치 않다.

16) <역주> 잘못된 설명이다. 충분히 예상되는 자연열화로 인한 피폭은 계획피폭상황이다. 잠재피폭은 매우 낮은 확률이지만 일어나면 피해가 큰 사건을 다루기 위한 개념이다.

험 평가치는 위험제약치 값과 비교해야 하지만 이 비교가 제약치에 대한 엄격한 규제충족을 의미하지는 않음을 인식해야 한다. 이러한 잠재피폭에 대해 위험제약치 값도 $1 \times 10^{-5} \text{ y}^{-1}$ 로 할 것을 ICRP는 권고한다. 매우 먼 미래까지 수치기준을 엄격히 적용하는 것은 적절하지 않을 수 있다.

(48) 간접감독 또는 무감독 시간대에 시설에서 고려되는 변화 시나리오의 예상 세트를 넘는 매우 희귀한 사건을 고려할 때는 정형화되거나 단순화된 시나리오를 사용하여 잠재적 방사선영향을 평가하는 것이 적절할 수 있다. 필요하다면 그 분석 결과를 선량이나 위험 수치와 비교함으로써 시스템 견고성의 지표로 사용할 수 있다. 이 접근이 채택되면 비상피폭이나 기존피폭에 대한 참조준위를 적용할 것을 권고한다. 극히 희귀한 사건이나 인간침입에 대한 고려는 설계기준 시나리오로 인한 잠재피폭으로부터 분리하는 것이 보통이다.¹⁷⁾ 극히 희귀한 사건의 취급은 부지나 국가 접근에 따라 다를 수 있다.

4.4. 운영단계의 방호

(49) 폐기물 장전활동은 다른 원자력 시설과 똑 같이 선량한도 원칙과 제약치 아래 최적화 요건의 적용을 받는다. 운송, 취급, 처분활동에서 직무피폭과 일반인 피폭은 예상된 것이어서 계획피폭이다. 낮은 확률이지만 영향이 큰 사고로 비상 상황을 초래할 수도 있지만 처분장 운영에서 심각한 이탈로 인한 잠재피폭 우려는 매우 작다.¹⁸⁾ 운영은 ICRP 2007년 권고와 부합하도록 최적화될 것으로 예상된다. 종사자에게 5년 평균하여 20 mSv y^{-1} 인 선량한도와 함께 선량제약치 아래서 방호최적화 요건이 적용된다. 일반인에 대해 권고된 선량제약치는 선원별로 0.3 mSv y^{-1} 이다.

(50) 전형적 처분시설에서 안전성 평가는 장전 기간이나 자신 있게 부지가 선정되고 운영, 폐쇄된 처분시설이 적극적으로 감시되는 시간에 유의한 방출은 없을 것임을 시사할 것이다. 따라서 사고로 인한 일부 피폭은 계획피폭상황의 성분으로서 일종의 잠재피폭으로 분류될 것이고 나머지는 정규피폭으로 분류될 것이다.

17) <역주> 원전 설계에서도 그렇듯이 설계기준 시나리오는 방사선방호 측면의 피폭상황과는 다른 각도에서 접근한다. 즉, 설계기준 시나리오에는 충분히 예상되는 사건(가령 운영 중 처분시설의 화재)이 있는가 하면 가능성이 희박한 사건(예: 무감독 시기의 인간침입)도 포함된다. 전자는 계획피폭상황에 해당하며 후자는 잠재피폭 문제가 된다.

18) <역주> 원문의 일부 부적절한 표현을 고쳤다.

4.5. 운영 후 단계의 방호

(51) 직접감독 기간의 끝에는 직무피폭은 두 분야에 한정될 것으로 간주되는데, 첫째는 간접감독 기간 중 시설 간접감독 활동에서 피폭과 둘째로 지상시설 퇴역 후 잔류방사능으로부터 피폭이다. 운영 후 단계의 엄청나게 긴 잠재적 시간대를 고려하면 시스템이 의도대로 운영되더라도 궁극적으로는 약간의 방사능이 방출되어 일반인에게 피폭을 줄 가능성이 지층처분의 개념에 내재한다. 이러한 매우 긴 시간대에서 방사성핵종의 잠재 방출과 후속 피폭은 다양한 시나리오로부터 발생할 것으로 가정한다. 이들이 예견되고 그 확률도 부여할 수 있더라도 여전히 본질적으로 불확실하다. 이러한 피폭의 평가는 시설설계 방안의 비교목적으로 사용될 수 있고 시스템이 폐기물을 억류하고 격리하는 능력에 대한 규제판단을 내릴 수 있게 한다. 그러한 평가는 예측으로 간주할 수 있는 것이 아니며 특정 개인이나 집단을 보호하기 위한 것도 아니다. 그러한 피폭은 사실 유효선량이나 수반되는 방사선 위험과 같은 개념도 주의해서 사용해야 할 그렇게 먼 시간대에 일어날 것으로 투영된 것이다. 간행물 103에서 말했듯이 “대략 몇 백 년을 넘는 미래 시간에서는 선량 평가치가 보건위해의 척도로 간주해서는 안 된다. 그보다는 처분시스템이 감당하는 방호의 지표를 보이는 것이다(ICRP, 2007 제265항).”

(52) 운영기간을 훨씬 지나서는 어떠한 유형의 방출도 일어날 수 있을 것으로 예상되므로 방출의 직접 원인은 운영자의 통제 밖에 있다. 그러한 방출 시점과 양은 예측할 수 없어서 최선접근을 통해서도 어렵듯이만 추정할 수 있기에 잠재 피폭으로 간주한다. 그러한 방출이 일어난다면 방출 당시 피폭집단의 존재 여부와 먼 미래에 방호나 시정조치를 이행할 능력 역시 확실하게 가정할 수 없다.

(53) 장전된 폐기물로부터 잠재피폭을 평가하는 과정은 지질권으로부터 생물권으로 수송을 모델링하는 것을 포함하여 공학시설로부터 방사성핵종의 잠재적 방출 기전과 그 결과 사람과 환경에 피폭을 주는 적절한 환경격실로 이동을 포함한다. 지식 수준에 따라 이들 방출 시나리오의 확률을 평가할 수 있다. 그러나 지층처분에서 고려하는 긴 시간대에서는 생물권, 어쩌면 지질권까지 그리고 공학적 시스템의 변화가 그 확률의 불확실성을 증가시킬 것이다. 따라서 긴 시간대에서는 선량이나 위험 평가치를 정성적으로만 해석할 필요가 있다.

(54) 후손에게 부당한 부담을 주지 않아야 한다는 원칙을 위배하지 않으려면 먼 미래 지층처분 시설의 예상된 변화 영향을 완화하기 위해 적극적 활동이 요구되지 않아야 한다. 따라서 ICRP는 장전된 폐기물에 의한 잠재피폭에 대해 선량제

약치 0.3 mSv y^{-1} 또는 위험제약치 $1 \times 10^{-5} \text{ y}^{-1}$ 를 사용해야 한다¹⁹⁾는 간행물 103 권고를 계속 견지한다. 두 접근을 고려할 수 있다. 첫째는 선량과 확률을 결합하여 위험을 종합하고 그 결과를 위험제약치와 비교하는 것과, 둘째로는 각 피폭에 대해 선량과 그 해당 확률을 분리하여 제시하고 선량이 발생할 확률이 보완된 선량제약치와 비교하는 것이다. 간행물 81, 82, 101 및 103(ICRP, 1998, 1999, 2006, 2007)에서 설명했듯이 이 두 접근이 비슷한 방호수준을 얻을지라도 선량을 주는 특정 상황이 일어날 확률을 그 결과 선량과 분리하여 고려하는 것이 위험이해 결정에 이르기 위한 더 많은 정보를 얻을 수 있다고 ICRP는 생각한다. 나아가 분리된 접근에서는 시나리오가 발생할 확률을 정확히 정량화할 필요가 없지만 평가된 확률의 크기와 균형 맞는 방사선영향에 대한 의미는 필요함에는 유의해야 한다.

(55) 먼 미래에 처분시설에 대한 기억이 상실된 경우 감독대책이 더 이상 운영되지 않으면 사람들이 처분시설을 ‘재발견’할 수도 있다. 재발견은 극미량을 생물권에 방출함으로써 처분시설의 건전성을 침해하지 않은 채일 수도 있고(예: 원격 검출), 우발적일 지라도 격납에 직접 실패가 일어나 환경오염이 발생할 수도 있다. 현재 지침에 따르면 이러한 상황은 기존피폭상황으로 다루어지고 미래에도 유사한 접근이 될 것으로 예상된다.

4.6. 특정 상황에서 방호

4.6.1. 자연적 파괴적 사건

(56) 처분시설과 그 주변환경은 간접감독 또는 무감독 시기 동안 자연사건(예: 지진)에 의해 영향을 받거나 변경될 수 있다. 현재의 지식에 의거 미래의 여러 시나리오를 상설할 수 있다. 이러한 사건에 대해서는 확률과 발생 시간대를 평가할 수 있는데, 폐기물 관리의 위험 이해 의사결정에는 그 보건영향을 고려해야 한다. 일반적으로 이러한 자연사건은 설계기준 시나리오에 포괄된다.

(57) 설계기준에 비해 매우 낮은 확률의 파괴적 자연사건도 일어날 수 있는데

19) 지층처분시설에 대한 규제관리는 무한히 계속될 것으로 기대되지는 않지만 장수명 방사성폐기물 처분은 폐기물에 대한 규제관리 면제나 해제와는 전혀 다른 개념이며 해제를 위한 선량기준은 적용되지 않는다.

그 일부는 처분시설이나 방사능의 이동에 유의한 교란을 초래할 수 있다. 이러한 사건의 예는 지각변동, 운석 충격 등으로 인한 지형의 중대한 변화를 포함한다. 관련 이해당사자 참여 아래, 사람과 환경에 중대한 피폭을 초래할 수 있는 파괴적 자연사건을 겨는 전략도 개발하기를 ICRP는 권고한다. 가능한 접근에는 위험 평가 과정의 고려에서 낮은 확률 사건의 배제, 그러한 사건의 확률을 최소화하는 특성을 가진 부지의 선정, 정형화된 평가를 통한 특정 사건의 평가 등이 포함된다.

(58) 이전에 ICRP(1998)는 파괴적이든 아니든 모든 자연사건을 같은 기틀에서 고려했다. 이제 두 가지 유형의 자연사건을 분리하여 고려하기를 권고한다. 설계 기준변화에 포함되는 자연사건에 대해서는 계획피폭상황에 대한 선량 또는 위험 제약치를 적용할 것을 ICRP는 권고한다. 설계기준변화에 포함되지 않는 심각한 파괴적 자연사건에 대해서는 계획피폭상황에 대한 선량 또는 위험 제약치가 적용되지 않는다. 처분시설에 대한 감독(직접 또는 간접)이 존재하는 동안 이러한 사건이 발생하면 당국이 후속상황을 반영하여 해당 방호수단을 이행하게 될 것이다. 당시에 간행물 103(ICRP, 2007) 체계가 유효하다면 비상피폭상황에 대한 참조준위가 적용되고 이어서 기존피폭상황에 대한 참조준위 적용이 따를 것이다. 처분시설에 대한 감독이 상실된 다음에 그러한 파괴적 사건이 발생한다면 당국이 그 교란을 인지하거나 피폭원을 이해할 것으로 확신할 수는 없다. 따라서 선원을 관리하기 위한 합당한 대책 이행에 대해 확신할 수는 없다. 당국이 결국 그 교란을 인지하게 되면 당시의 규제표준에 적절한 조치가 예상된다.

(59) 정형화되거나 단순화된 계산을 통해 심각한 파괴적 사건의 잠재적 영향을 평가할 수는 있다. 필요하다면 그 결과를 선량이나 위험 참조준위 값과 비교함으로써 처분시스템의 견고성에 대한 지표를 얻을 수 있다. 이 접근을 채택한다면 적절한 참조준위는 구체적 시나리오에 따라 기존피폭상황 또는 비상피폭상황에 대한 값이 될 수 있다. 처분시설의 최적설계라도 심각한 파괴적 사건으로 인한 선량의 일부는 참조준위를 넘는 분포를 낼 수도 있다.

(60) 비상피폭상황에 대해 ICRP는 20-100 mSv 범위의 참조준위와, 경제사회적 인자를 고려하여 합리적으로 달성 가능한 한 피폭을 낮추는 방호전략을 개발할 것을 권고한다(ICRP, 2009a).

(61) 간행물 103(ICRP, 2007)에 따르면 파괴적 자연사건에 따르는 장기적 피폭은 '기존피폭상황'이 되며 방호전략 최적화를 위한 참조준위로 $1-20 \text{ mSv y}^{-1}$ 범위를 권고했다. 간행물 111(ICRP, 2009b)의 ICRP 권고와 일치하도록 참조준위

는 위 밴드의 낮은 쪽(예: 연간 수 mSv 범위)에 선정되어야 한다.

4.6.2. 우발적 인간침입

(62) 폐기물을 지층처분시설에 처분하는 것은 격납과 격리를 위한 것이다(한 속성은 인간침입의 예방이다). 시설에 의도적 침입과 우발적 침입은 구분할 필요가 있다. 의도적 침입자(시설 특성을 의식하는 사람)에 대한 방호는 현 세대의 책임 밖에 있다고 보기 때문에 이 보고서에서 의도적 침입을 추가로 다루지 않는다.

(63) 시설로 시추와 같은 우발적 인간침입은 지질권으로부터 생물권으로 핵종 이동을 유발하고 침입사건과 간접적으로 연계되거나 부수되는 피폭을 초래한다. 우발적 침입이 폐기물을 지표로 끌어내 침입자나 인근 집단에게 직접피폭이 발생할 수도 있다. 이는 증가된 피폭과 상당한 선량을 줄 가능성을 도입하는데 이는 폐기물을 회석하여 확산시키는 방법이 아니라 집중하여 격리하는 결정의 불가피한 결과이다.

(64) 인간침입에 관련된 피폭의 방호는 그러한 사건 가능성을 줄이는 노력으로 잘 성취된다. 여기에는 처분시설을 지표로부터 멀리 두기, 가치 있는 자원의 기피, 침입을 어렵게 만드는 견고한 설계특성의 반영, 또는 직접감독 대책의 존재(토지이용 제한, 환경감시 프로그램, 보장조치에 따른 감시, 기록보관 및 부지 표지) 등이 포함된다. 특정 부지에서 우발적 인간침입의 실질적 확률은 미래의 인간활동에 근거하므로 대체로 알 수 없지만, 직접 또는 간접 감독 시기에 우발적 침입의 확률은 극히 낮을 것으로 가정한다. 만약 침입이 일어난다면 심각한 영향을 피하기 위해 적절한 대책이 취해질 것이다.²⁰⁾

(65) 먼 미래에 간접감독이 사라지면 인간침입을 배제할 수 없다. 따라서 잠재적 우발 침입에 대한 처분시스템의 저항성을 평가하기 위해 의사결정자는 하나 이상의 그럴 듯한 정형화된 시나리오를 고려해야 한다. 침입 위험의 모든 평가는 필연적으로 미래 인간행동에 대한 가정을 근거로 한다. 미래 인간활동의 속성과 확률을 예측하는 과학적 근거는 존재하지 않으므로 ICRP는 선량이나 위험 제약

20) <역주> 간접감독 시기에는 잔류 방사능이 여전히 높아 만약 인간침입이 일어난다면 심각한 피폭을 초래할 수 있기 때문에 감독을 통해 우발적 인간침입 발생 자체를 차단하는 개념이 적용된다. 시간적으로 늦은 무감독 시기가 되면 잔류 방사능이 약화되어 인간침입이 발생하더라도 그로 인한 피폭이 심각한 수준이 되지 않음을 보장할 수 있어야 한다. 즉, 간접감독의 유효기간의 범위가 이 위험 수준에 의해 결정된다.

치와 비교할 정량적 성능평가에 그러한 사건의 확률을 포함하는 것이 부적절하다고 여전히 생각한다(ICRP, 1998). 계획단계에서는 필요하다면 정형화되거나 단순화된 계산이 결과를 선량 값과 비교함으로써 시스템 견고성에 대한 지표로 사용할 수 있다. 이 접근에 따른다면, 비상피폭이나 기존피폭에 대해 정의된 참조준위 적용을 권고한다.²¹⁾ 처분시설의 최적설계에서도 우발적 무단침입으로 인한 선량 분포에서 일부는 이 참조준위를 넘을 수 있다. 일단 그러한 사건이 발생하면 당국이 그 교란을 인지한다는 보장이 없다. 만약 상황이 인지된다면 당국은 상황을 평가하여 적절한 방호 기준과 대책을 적용하게 될 것이다. 당시에 간행물 103 개념이 여전히 유효하다면 비상피폭이나 기존피폭 상황에 대한 참조준위가 적절히 적용될 것이다. 선량이 이들 참조준위를 넘을 것으로 예상되는 경우에는 인간침입 확률을 낮추거나 영향을 제한하는 합리적인 노력을 경주해야 한다.

(66) 지층처분에서 인간침입은 처분시스템의 방호최적화에서 고려된 많은 방법이 우회됨을 의미한다. 미래사회는 그러한 사건으로부터 피폭을 인지하지 못할 수도 있으므로 필요한 방호조치는 처분시설의 개발에서 지층처분장의 부지선정과 설계를 통해 고려되어야 한다. 나아가 인간침입에 대한 처분시스템의 견고성 평가는 처분장 안전논거의 견고성을 높인다(제65항 참조).

4.7. 감독에 따른 해당 피폭상황의 요약

(67) 시간대에 따라 ICRP 103에 정의한 세 피폭상황과 선량한도, 선량계약치 또는 참조준위를 적용하는 개념을 표4.1에 보였다. 표4.1은 운영 전 단계와 운영단계에서 비교를 위해 ICRP가 권고한 기준을 보인다. 필요하다면 이 기간 중 개입이 이행될 수도 있다. 표는 세 주요 시간대에 적용되는 방호체계를 보인다.

(68) 설계기준은 다양한 사건, 사고 및 자연사건을 고려하며 가능하면 이러한 사건을 예방하고 영향을 완화하려 노력한다.

21) <역주> 잠재피폭에 속하는 이러한 사건에 대해 비상피폭상황이나 기존피폭상황에 대한 참조준위를 적용한다는 표현은 혼란스럽다. 잠재피폭에는 위험계약치를 적용하는 것이 원론이지만 위험의 스펙트럼과 그 확률에 대해 충분히 알기 어려우므로 위험계약치와 비교할 총 위험을 평가하기 어렵다. 따라서 규제현실에서는 선정된 전형적인 시나리오에 대해 판단에 따라 위험계약치를 할당하고 선량의 위험계수와 비교하여 선량으로 환산하되 그 확률을 역으로 가중하여 인상한 값을 규제 참조점으로 사용할 수 있다.

표4.1. 처분시설 변화와 감독의 유무와 유형의 함수로서 방사선 피폭상황

처분시설 상태	감독 유형		
	직접감독	간접감독	무감독
설계기준 변화 ^a	계획피폭상황(정상 및 잠재) ^b	계획 피폭 상황 (잠재) ^{b,c}	계획 피폭 상황 (잠재) ^{b,c}
설계기준외 변화 ^d	피폭 당시 비상피폭 상황	피폭 당시 비상피폭 상황, 후속 기존피폭상황 ^{e,f}	피폭이 인지되면 비상/기존 피폭상황 ^{e,f}
우발적 인간침입	해당 없음	해당 없음	피폭이 인지되면 비상/기존 피폭상황 ^{e,f}

- a. 설계기준은 시설 설계에서 사용된 정규피폭 및 잠재피폭을 포괄한다.
- b. 계획단계: 종사자에 대한 선량한도 20 mSv y⁻¹ 및 운영자가 정하는 선량제한치; 모든 선원으로 부터 일반인피폭에 대한 선량한도 1 mSv y⁻¹ 및 폐기물 처분에 대한 선량제한치 0.3 mSv y⁻¹. 집합적 접근에서 일반인의 잠재피폭에 대해 위험한도 1×10⁻⁵ y⁻¹를 권고한다.
- c. 간접감독 또는 무감독 기간에는 종사자 선량은 예상되지 않는다. 먼 미래의 방출은 잠재피폭을 초래한다(ICRP 2007, 제265항). 먼 미래로 갈수록 준수 목적으로 선량이나 위험 제한치와 비교하는 것은 점점 의미가 없어진다.
- d. 설계기준 외 변화는 사람이나 환경에 중대한 피폭을 초래할 수 있는 매우 희박하고 극단적인 사건을 포함한다.
- e. 만약 미래에 그러한 사건이 일어나면 당시 당국은 사건이 비상피폭상황, 기존피폭상황 또는 당시에 상응하는 상황으로 이어지는지를 평가하게 된다. 만약 간행물 103(2007) 체계가 여전히 유효하다면 필요에 따라 비상피폭상황이나 기존피폭상황에 대한 참조준위가 적용될 것으로 예상된다. 무감독 기간이라면 피폭이 즉각 인지되지 못할 수도 있다.
- f. 잠재적 방사선 영향은 정형화되거나 단순화된 시나리오에 따라 계획단계에서 전형적으로 평가된다. 이 분석 결과를 수치와 비교함으로써 처분시스템의 견고성 지표로 사용할 수 있다. 이때 비상피폭이나 기존피폭에 대해 규정한 참조준위를 적용할 것을 권고한다. 완전히 최적화된 시스템이라도 일부는 참조준위 이상에 분포할 수도 있음에 유의할 필요가 있다.

4.8. 방호최적화와 가용최선기술

(69) ICRP는 최적화 원칙을 선량 크기, 피폭자 수, 피폭 가능성(피폭이 불확실한 경우)을 경제사회적 인자를 고려하여 합리적으로 낮게 유지하는 것으로 정의한다(ICRP, 2006, 2007). 최적화 과정에 대한 일반 권고는 ICRP 101(2006)에 주었다.

(70) 지층처분시스템의 개발과 이행에 적용할 때 ICRP 방사선방호 최적화 원칙은 계통의 방호능력을 높이고 영향(방사선 영향과 다른 영향)을 줄이는 방안을 반복적이고 체계적이고 투명하게 평가한다는 광범한 개념으로 이해해야 한다.

(71) 방호최적화는 처분시스템의 목표 즉, 방사능 물질을 가능한 한 최대로 격납하고 폐기물을 사람, 환경 및 생물권으로부터 격리함으로써 현재와 미래의 사람

과 환경을 보호하는 것이다. 방호최적화는 운영기간 중 종사자, 일반인 및 환경을 보호함은 물론 무감독 시기의 가능한 기간의 미래세대까지 보호해야 한다. 장기적으로 특히 무감독 시기에 처분시스템의 피동적 기능 잔유물에 의해 안전이 확보되어야 한다.

(72) 지층처분 시스템의 개발과 이행을 위한 단계적 결정과정은 최적화 과정의 골격을 구성한다. 핵심 요소로서 최적화와 가용 최선기술(BAT)은 모든 해당 시간대와 처분시스템의 모든 요소(즉, 수요 암석층을 포함한 부지, 시설 설계, 폐기물 포장 설계, 폐기물 물성)를 통합적 접근으로 포괄한다.

(73) 최적화는 개발자 책임이며 안전과 환경 보호 당국, 지역사회, 기타 이해당사자와 교감이 필요하므로 많은 의사결정을 거쳐야 한다. 따라서 지층처분시설에 대해 건전한 최적화 과정의 경로나 그 최종 결과의 성공 기준을 사전에 규정하는 것은 불가하다.

(74) 경제사회적 인자(정책결정 및 사회적 수용 이슈 포함)는 가용한 방안을 한정하거나(예: 부지선정) 부가조건을 규정함(예: 회수성)을 규정함으로써 상당한 정도로 최적화 과정을 제한할 수 있다. 이러한 고려가 모든 이해당사자에게 투명하게 인식되고 그것이 안전성에 주는 의미를 일반적이고 광범하게 이해하는 것이 중요하다(OECD/NEA, 2011).

(75) 최적화는 지속적인 노력이지만 그 마일스톤은 단계적 과정으로 규정되어야 하는데, 이러한 과정에는 모든 이해당사자가 최적화 과정의 결과를 판단할 수 있고 처분시스템의 다양한 요소를 개선하는 방법을 제시할 수 있어야 한다.

(76) 최적화 과정은 운영전 단계, 운영단계 및 운영후 단계에서 상당히 달라진다. 운영단계에서는 다른 대형 원자력시설에 적용되는 일반권고가 적용된다. 운영단계에서 얻은 경험은 장전 업무로부터 종사자나 일반인의 피폭을 감축하도록 즉시 또는 단기적 개선에 반영될 수 있다.

(77) 운영후 단계에서 최적화의 거의 모든 속성은 폐기물 장전에 앞서 주로 부지선정과 설계 단계에서 설계 단계의 일부로서 시설의 폐쇄계획과 함께 발생한다. 운영후 단계에서 제공될 추가적 최적화도 운영단계 동안 여전히 일어날 수 있다. 예를 들면 새로운 새로운 재료나 기술이 가용해 질 수 있다. 시설의 일부를 폐쇄하는 동안 얻은 경험(예: 처분실의 밀봉)은 전체 시설의 폐쇄계획의 개선

으로 이어질 수 있다.

(78) 운영후 단계에서는 처분시스템의 능동적 운영은 없다. 폐기물은 장전되었고 사람과 환경의 보호는 주로 처분시스템의 피동적인 격납과 격리 능력에 근거한다. 따라서 처분후 단계에서 최적화 결정은 폐쇄된 처분시스템의 간접감독 대책과 관련될 뿐이다.

(79) 지층처분시설은 견고한 장기적 격납과 격리를 제공하도록 이행되므로 매우 먼 미래에만 사람과 환경에 잠재적 영향을 준다. 결과적으로 위에서 설명한 것처럼 시간에 따른 불확실성의 증가와 도입된 신중한 가정을 고려할 때 기준인에 대한 유효선량이나 위험 평가를 통한 폐쇄후 방사선 영향의 평가는 미래의 방사선 영향에 대한 예측보다는 시스템 견고성에 대한 지시나 예시를 제공할 뿐이다. 따라서 먼 미래를 고려할 때 선량이나 위험 값은 그 본질적 의미를 상실하며 잠재적 방사선 영향의 상대적 비교자로서 가치만을 지닌다.

(80) 최적화를 안내하거나 지시하는 요소는 건설, 운영, 폐쇄된 시설 그 상태에서 성분의 품질을 직접 또는 간접적으로 결정하는 것이어야 한다. 여기서 품질이란 그 성분이 견고한 방식으로 격납이나 격리의 안전기능을 충족하는 능력을 의미한다. 시스템 성분의 품질에 대한 평가나 판단은 모범관행의 개념, 건전한 공학, 행정관리 원칙은 물론 본질적으로 부지특성, BAT 요소도 포함한다. 이들 요소는 먼 미래에 잠재적 영향을 다루야 할 때 방호 최적화를 보완하거나 지원한다.

(81) 개발되거나 이행된 시스템 설계의 품질에 대한 판단은 모든 이해당사자 참여 아래 잘 구성되고 투명한 과정으로 이루어지고 필요하면 비판적으로 검토되어야 한다. 이 과정의 핵심은 모든 이해당사자에게 투명한 개발자와 안전규제 당국 사이 소통이다.

(82) 아주 먼 미래의 안전을 다룰 때 처분시스템의 다양한 단계에서 다음을 통해 BAT 개념을 적용함으로써 보완되고 지원된다.

- 현재와 먼 미래에서 처분시스템의 격납 및 격리 능력을 평가하기 위해 부지 특성화에 대한 방법론적이고 과학적인 프로그램을 식별하고 선별하는 방법.
- 재료와 기술의 선정과 부지 특성을 신중히 고려할 때 이들이 격납과 격리의 주된 목표에 개별적으로나 집합적으로 기여하는 방법을 포함하는 시스템 설계의 개발.

- 폐기물, 부지 및 설계특성을 하나의 처분시스템에 통합하고 전체 시스템의 격납 및 격리 능력을 반복적으로 평가함.
- 시스템 건설, 운영 및 폐쇄 동안 통합된 관리체계 아래서 건전한 관리 및 엔지니어링 방법의 사용.

(83) 방사선학적 기준(유효선량이나 위험)에 근거한 최적화는 특정 시기나 처분시스템의 특정 속성에 대해 처분시스템의 설계나 이행 과정을 최적화하는 중요한 부분이다(예: 설계개발 단계 및 운영절차나 활동을 준비하고 이행하는 동안 운영 안전성을 평가할 때).

(84) 시스템 개발에서 처분시스템의 다양한 요소가 통합적 방식으로 최적화되는 과정은 상당히 달라진다. 무엇보다 단계적 최적화 결정은 시간 순으로 이루어져야 한다(예: 대개 수용 암반 선정에 대한 결정이나 하나 또는 한정된 수의 부지에 대한 결정은 상세설계에 대한 결정에 앞선다). 부지 선정을 위해서는 처분시스템의 안전성에 관한 기술기준(장기적 안정성, 방사성핵종 이동에 대한 방벽, 인근에 천연자원의 존재 여부)과 지역 또는 광역 경제사회적 인자 사이에 균형이 이루어져야만 한다. 첫 단계로서, 자연방벽의 격납 및 격리 기능과 처분시스템의 자연환경에 대한 신중한 고려 아래 포괄적으로 규정된 ‘요구되는 품질’에 기반하여 바람직한 부지가 식별되어야 한다.

(85) 만약 여러 부지가 식별, 평가된다면 하나의 특정 수용 암반이나 부지를 선호하는 결정은 항상 정성적, 정량적 판단에 근거한 다인자 결정이 될 것이다. 방사선학적 기준(예: 계산된 유효선량이나 위험)은 (1) 평가 시간대가 길어질수록 불확실성이 증가하고 (2) 계산된 방사선학적 설계기준 영향이 종종 부지 선정에 차별성을 구성하지 않을 정도로 낮기 때문에 이러한 다인자 결정에서 한정된 가치를 가질 것이다.

(86) 처분시스템 견고성 평가는 처분시스템과 그 성분의 성능에 대한 정성적, 정량적 통찰과 전체 시스템에 대한 다양한 성분의 상대적 기여에 대한 통찰을 제공하기 때문에 시스템 최적화에 기여할 수 있다. 따라서 최적화 과정에서 그러한 평가의 가치는 여러 성분이 전체 시스템의 격납과 격리 목표에 상대적 기여에 대해 평가가 제공하는 통찰과 이들 기여가 교란 사건이나 과정에 의해 또는 잔존하는 불확실성에 의해 어떤 영향을 받는지를 통해 이루어진다. 매우 먼 미래에 일어날 것으로 추정되는 선량이나 위험 계산의 불확실한 속성은 최적화 과정에서 그 유용성을 감소시킨다.

4.9. 기술 및 관리 원칙과 요건

(87) 방사성폐기물 처분에 대한 ICRP 권고의 일반적 이행은 조직적, 관리적 구조와 과정을 수립하고 기술적 원칙을 적용할 것을 요구한다. 조직 구조와 과정은 국가마다 다를 수 있지만 IAEA가 기본안전원칙과 관리체계에 대한 안전표준에 제시한 원칙(IAEA, 2006, 2009)을 기본으로 해야 한다.

(88) ICRP는 사람과 환경의 보호가 필요한 수준으로 보장된다는 확신을 높이도록 관리 원칙과 요건이 처분시스템 개발과 이행 과정에 적용하기를 권고한다. 이는 안전, 보건, 환경, 보안, 품질 및 경제 요소를 통합하되 안전을 관리체계의 기반이 되는 기본원칙으로 하는 관리체계의 이행을 요구한다(OECD/NEA, 2007, 2010).

(89) 관리체계는 다음에 대해 중요한 역할을 한다.

- 조직의 안전 관련 활동의 계획, 제어 및 감독을 통해 조직의 안전성을 체계적으로 개선함.
- 모든 안전 관련 임무에서 개인과 팀의 모범적 성향과 행동의 개발과 강화를 통해 강력한 안전문화를 조장하고 지원함.
- 고도의 안전을 보장하기 위한 핵심요소로서 방사성폐기물 처분에 대한 지식, 역량 및 기능을 유지하고 발전시킴. 이는 과학적 연구와 기술적 개발, 계속되는 안전논거로부터 얻은 통찰, 운영경험으로부터 학습, 모든 배역 사이의 기술적 협력의 조합을 바탕으로 해야 한다. 독립적 검토, 정보의 투명성과 접근성, 그리고 이해당사자 참여에 대한 개방성도 고도 안전을 확신하는 데 중요한 기여자이다.

(90) 처분시스템을 개발하고 그 안전성을 평가하는 핵심 기술적 원칙은 연속적인 피동 안전대책을 제공하는 심층방어 개념인데, 이는 처분시스템이 견고하고 적절한 안전 여유도를 가진다는 믿음을 높인다. 심층방어 개념이 처분시스템에 적용될 때 상이한 시간대에 다양한 방법으로 주요 안전기능을 충족하는 데 기여하는 상이한 시스템 성분이 안전을 제공하도록 한다. 주된 안전기능을 충족함에 기여하는 다양한 성분의 성능은 계통의 전반적 성능이 단일 성분이나 기능에 과도하게 의존하지 않도록 다변화된 물리적, 화학적 과정을 통해 달성되어야 한다. 처분시스템의 위치(천연방벽 시스템과 그 환경의 선정)와 설계(부지특성을 신중히 고려한 인공방벽체계의 개발)의 주된 안전목표는 다중 안전기능에 의해 달성

되고, 단일 성분이나 안전 설비가 예정한 대로 기능하지 않는 경우에도 충분한 안전 여유도가 남도록 한다.

5. 귀착점 고려

5.1. 대표인

(91) ICRP는 간행물 101(ICRP, 2006)에 주어진 피폭평가에 관한 지침을 일반 지침으로 적용할 것을 권고한다. 계획피폭상황에서는 일반적으로 대표인에 대한 연간 선량으로 피폭을 평가하기를 ICRP는 권고한다.

(92) 운영단계에서 종사자와 일반인에 대한 피폭관리는 기타 시설에서와 마찬가지로 지이다. 운영 후 단계에서는 고려하는 시간대가 길어서 수용 환경의 특성은 물론 대표인의 습관과 특성도 추측의 산물이다. 이 경우 대표인은 가상적이고 정형화해야만 한다. 먼 미래의 개인에 대해 가정한 습관과 특성은 부지와 지역 고유 정보는 물론 인간 생명의 생물학적, 생리학적 결정요소까지 고려하여 합리적으로 보수적이고 그럴 듯한 가정을 바탕으로 선정해야 한다.²²⁾ 나아가 먼 미래에 대해서는 많은 경우 각각 상이한 대표인과 관련되는 여러 시나리오를 고려할 수 있고, 이들 시나리오는 비록 따로따로 확률을 수립하기는 어렵더라도 서로 다른 발생확률을 가진다. 그래서 가장 높은 선량을 주는 시나리오가 가장 높은 위험이 되는 것은 아니다. 따라서 의사결정자는 상이한 시나리오에 대해 명확한 표상과 함께 그것이 일어날 확률이나 그 확률에 대한 바른 이해를 가져야 한다.

(93) ICRP 101(2006)에서 기술했듯이 일반인 방호 목적에서 대표인은 집단 중 높이가 피폭하는 사람들을 대표하는 개인에 해당한다. 따라서 변화 시나리오에서 가정하는 기후조건(예: 빙하 덮음)을 충분히 고려할 때 접근 가능한 생물권에서 방사성핵종 농도가 최대인 시간과 장소에 있다고 가정해야 한다. 먼 미래에 이러한 지역에 사람이 살지 않을지도 모르기 때문에 이는 가정이다.

(94) 가정된 생물권과 독립적으로 대표인을 규정할 수는 없다. 장기적으로는 과거에 일어났던 것과 유사한 방식으로 자연의 힘이 작용하여 생물권에 중대한 변화가 일어날 수도 있다. 인간 행위도 생물권에 영향을 미칠 수 있지만 장기적인

22) <역주> 당연한 표현일 수 있으나 사실 먼 미래에 대해 사람의 습관이나 특성을 예측하는 것은 불가능하기 때문에 현실적으로는 현재 관점에서 대표인을 고려할 수밖에 없어 보인다. 이후 시간이 지나면서 대표인 속성이 다르게 나타난다면 재평가를 통해 반영해 나가게 될 것이다.

간 거동은 추측할 수만 있을 뿐이다. 따라서 시나리오 규정에서 생물권 변화에 대한 고려는 자연의 힘에 의한 변화로 한정할 수밖에 없다. 대표인과 생물권은 부지나 지역 고유 정보에 근거한 부지고유 접근이나 보다 일반적 습관과 조건에 근거하는 정형화된 접근을 사용하여 규정해야 한다. 긴 시간대에 대해서는 정형화된 접근의 사용이 더 적절할 것으로 보인다.

(95) ICRP(2006)는 연간 선량이나 위험 기준과 비교하기 위해 대표인에 대한 연간 선량을 평가할 때 세 연령군을 사용하기를 권고했다(방사성핵종 섭취로 인한 연간 선량은 방사성핵종이 체내에서 그 생물학적 반감기로 결정되는 길이의 핵수 동안 선량을 발생시킬 것이라는 사실과 관련된 성분을 이미 포함한다). 세 연령 범주는 0-5세(유아), 6-15세(아동) 및 16-70세(성인)이다. 지층처분에서는 먼 미래에 어떠한 유형의 피폭도 발생할 수 있고 그 피폭은 인간수명의 시간적 도에 걸쳐 천천히 변화하는 환경 중 방사성핵종 수준과 관계될 것이다. 먼 미래 까지 미치는 계산에서 본질적인 불확실성을 인정할 때 성인 대표인에 주는 선량이나 위험이 집단 중 높게 피폭하는 사람들을 대표하는 사람의 피폭을 적절히 제시할 것이다.²³⁾

5.2. 환경보호

(96) 환경이 시설로부터 방출로 인한 유해한 영향으로부터 보호되고 그럴 것이라는 데 대한 예증은 국가 법률에서 그 요구가 점증하고 있고 장수명 폐기물 관리를 포함하는 많은 인간활동에 해당이 된다. ICRP는 이러한 요구는 물론 윤리적 관점의 여러 요건에 부응하여 ICRP 103(2007)에서 환경보호를 직접적이고 구체적으로 겨누었으며 이 이슈를 겨냥한 방법론을 ICRP 108(2008)에 제공하고 ICRP 114(2009c)에서 보충한 바 있다.

(97) ICRP 접근은 ‘동식물이 그 생물학적 다양성 유지, 종의 보전, 자연 거주지, 사회 및 생태계의 건강상태에 미치는 영향이 무시할 수준이도록 동식물에 미치는 유해한 영향을 예방하거나 감축한다(ICRP, 2007 제30항)’는 목표에 따라 환경을 보호함(단순히 자원으로서는만의 환경에 영향을 미치는 오염이나 기타 인자의 존재만이 아니라)을 고려한다. 환경영향에 대한 총체적 평가는 보통 환경영향평

23) <역주> 즉, 이렇게 먼 미래의 피폭에 대해서는 성인만에 대해 평가한 선량이나 위험으로 처분 시설의 안전성을 판단하는 것이 무방하며 실용적이다.

가 과정과 환경영향평가서(EIS)를 통해 이루어지는데, 여기서 영향은 우선 가시적 영향, 화학독성 영향, 소음, 토지이용 인자와 쾌적함에 미치는 영향까지 포함하는 광범한 맥락에서 고려된다.

(98) 방호 기본수단과 보호조치는 ICRP가 설명한 참조동식물(RAP) 세트와 그에 대해 도출된 해당 데이터 세트(ICRP, 2008, 2009c)가 된다. 이 세트는 그 구성원이 주된 육지, 바다 및 담수 환경 영역에서 전형적 생물 유형으로 간주되기 때문에 의도적으로 선정된 것이다. 앞에서 설명했듯이 폐기물처분에서 고려되는 긴 시간대에서는 생물권도 변화될 것이고 어쩌면 상당히 변할 것이다. 그러한 변화는 자연적이든 인간활동에 의해 교란되거나 가속된 시간에 따른 생물권 진화를 수반할 수 있다. 기여인자로는 빙하 주기를 포함한 기후변화, 지각 융기나 침강도 있다. 따라서 RAP의 사용은 적어도 필요하다면 기존의 환경이나 미래에 변화된 환경에서 가능할 것 같은 선량과 영향을 고려하기 위한 하나의 참조점이 된다.

(99) 한편으로는 RAP 사용은 폐기물 관리에서 적어도 사람에 대한 선량/위험 표준을 준수함을 입증하는 데서 접하는 과제와 유사한 과제를 제기하며, 다른 측면에서는 사람 보건과 다르면서 보완적인 귀착점을 사용하여 안전논거를 구축하는 추가적인 일련의 주장과 이유를 제기한다. 환경보호 고려는 필요한 경우 위험이 해 의사결정의 근거를 넓히고 다양한 이해당사자에게 상이한 중요도를 갖는 이슈를 다뤄야 한다.

(100) 앞서 말했듯이 폐기물처분에서 고려되는 긴 시간대에서는 생물권이 상당히 변할 수 있다. 그러한 변화는 자연적이든 인간활동에 의해 교란되거나 가속된 시간에 따른 생물권 진화를 수반할 수 있다. 기여인자로는 빙하 주기를 포함한 기후변화, 지각 융기나 침강도 있다. 상이한 생물권과 그러한 생물권에서 RAP에 미치는 영향의 평가에 대한 현재의 지식은 잠재적 생물권 변화에 대한 이해를 도울 수 있고 따라서 환경보호와 관련한 결정에 이해를 도모한다.

6. 결론

(101) 이 보고서는 ICRP 103(2007)에서 설명한 2007년 ICRP 방사선방호체계가 장수명 고체 방사성폐기물의 지층처분 맥락에서 어떻게 적용될 수 있는지를 설명한다. 지층처분시설 수명의 상이한 단계에 대해 설명하고 발생할 수 있는 여러 피폭상황에 따라 각 단계에서 방사선방호 원칙의 적용을 다룬다. 특히, 처분시설 수명의 상이한 단계에 걸쳐 방호체계의 적용에 영향을 미치는 핵심인자는 이루어지는 감독수준이다.

(102) 이 보고서에서 논의한 많은 고려는 근지표처분에도 해당되지만 근지표처분시설이나 기타 처분방안의 경우에 직무피폭을 받는 종사자, 일반인 및 환경에 대한 방사선방호에 관한 ICRP의 이전 권고를 대체하지는 않는다.

참고문헌

- IAEA, 1997. Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management. INFCIRC/546. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- IAEA, 2006. Fundamental Safety Principles. Safety Standards Series No. SF-1, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- IAEA, 2009. The Management System for the Disposal of Radioactive Waste. Safety Standards, Safety Guide No. GS-G-3.4, Vienna, Austria.
- ICRP, 1966. Principles of Environmental Monitoring Related to the Handling of Radioactive Materials. ICRP Publication 7. Pergamon Press, Oxford, UK.
- ICRP, 1977. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1(3).
- ICRP, 1985. Principles for the disposal of solid radioactive waste. ICRP Publication 46. Ann. ICRP 15(4).
- ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21(1-3).
- ICRP, 1993. Protection from potential exposure: a conceptual framework. ICRP Publication 64. Ann. ICRP 23(1).
- ICRP, 1997a. Protection from potential exposures: application to selected sources. ICRP Publication 76. Ann. ICRP 27(2).
- ICRP, 1997b. Radiological protection policy for the disposal of radioactive waste. ICRP Publication 77. Ann. ICRP 27(Suppl.).
- ICRP, 1998. Protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste. ICRP Publication 81. Ann. ICRP 28(4).
- ICRP, 1999. Protection of the public in situations of prolonged exposure. ICRP Publication 82. Ann. ICRP 29(1/2).
- ICRP, 2003. A framework for assessing the impact of ionising on non-human species. ICRP Publication 91. Ann. ICRP 33(3).
- ICRP, 2006. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public. 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 a radiation emergency. ICRP Publication 111. Ann. ICRP 39(3).
- ICRP, 2009c. Environmental protection: transfer parameters for reference animals and plants. ICRP Publication 114. Ann. ICRP 39(6).
- OECD/NEA, 2007. Regulating the Long-term Safety of Geological Disposal - Towards a Common Understanding of the Main Objectives and Bases of Safety Criteria. OECD/NEA, Paris, France.
- OECD/NEA, 2008. Moving Forward with Geological Disposal of Radioactive Waste - a Collective Statement by the NEA Radioactive Waste Management Committee. OECD/NEA, Paris, France.
- OECD/NEA, 2010. Main Findings in the International Workshop 'Towards Transparent, Proportionate and Deliverable Regulation for Geological Disposal', 20-22 January 2009, Tokyo, Japan. OECD/NEA, Paris, France.
- OECD/NEA, 2011. Reversibility and Retrievability (R&R) for the Deep Disposal of High-Level Radioactive Waste and Spent Fuel; Final Report of the NEA R&R Project (2007-2011). OECD/NEA, Paris, France.