

안전성 검토에 대한 IAEA

종합 보고서

후쿠시마 제1원자력 발전소의 알

프스 처리수 사용량



© IAEA, 2023

본 문서는 도쿄전력 후쿠시마 제1원자력 발전소의 ALPS 처리수 취급의 안전 관련 측면에 대한 IAEA의 검토 보고서입니다. 본 보고서에 표현된 견해가 반드시 IAEA 회원국의 견해를 반영하는 것은 아닙니다. 이 보고서에 포함된 정보의 정확성을 유지하기 위해 세심한 주의를 기울였지만, IAEA와 회원국은 이 보고서의 사용으로 인해 발생할 수 있는 결과에 대해 어떠한 책임도 지지 않습니다. 국가 또는 영토의 특정 명칭을 사용했다고 해서 해당 국가 또는 영토의 법적 지위, 당국 및 기관의 법적 지위 또는 국경의 경계에 대한 IAEA의 판단을 의미하지는 않습니다. 특정 회사 또는 제품의 이름(등록 여부와 관계없이)을 언급하는 것은 소유권을 침해하려는 의도를 의미하지 않으며, IAEA의 보증이나 추천으로 해석해서는 안 됩니다. IAEA는 이 보고서에 언급된 외부 또는 제3자 인터넷 웹사이트의 URL의 정확성 또는 지속적인 존재에 대해 책임을 지지 않으며, 해당 웹사이트의 콘텐츠가 정확하거나 적절하다고 보장하지 않습니다.

안전성 검토에 대한 IAEA 종

합 보고서

후쿠시마 제1원자력 발전소의 알

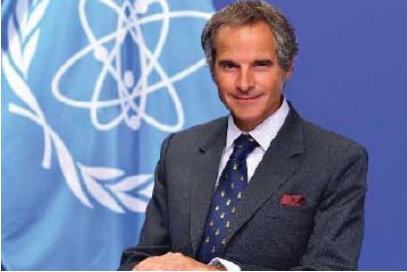
프스 처리수 사용량

IAEA 종합 보고서 개요

사무총장 서문	III
요약	IV
1부 소개	1
1.1. 배경	1
1.2. 종합 보고서	9
1.3. IAEA 국제 안전 표준	10
파트 2 기본 안전 원칙과의 일관성 평가	13
2.1. 안전에 대한 책임	14
2.2. 정부의 역할	15
2.3. 안전을 위한 리더십 및 관리	17
2.4. 정당화	18
2.5. 보호 최적화	20
2.6. 개인에 대한 위험의 제한	23
2.7. 현재 및 미래 세대와 환경 보호	25
2.8. 사고 예방	28
2.9. 비상 대비 및 대응	29
2.10. 기존 방사선 위험을 줄이기 위한 보호 조치	31
파트 3 안전 요구 사항과의 일관성 평가	33
3.1. 규제 통제 및 승인	33
3.2. 배출 제어를 위한 시스템 및 프로세스의 안전 관련 측면	43
3.3. 소스 특성화	54
3.4. 방사선 환경 영향 평가	59
3.5. 소스 및 환경 모니터링	84
3.6. 이해관계자의 참여	94
3.7. 직업 방사선 보호	98
파트 4 모니터링, 분석 및 확인	103
4.1. 확증 활동 개요	103
5부 향후 활동	111
5.1. 미션 검토	112
5.2. IAEA의 독립적인 샘플링, 데이터 확증 및 분석	114
5.3. 실시간 모니터링	115
5.4. FDNPS에 대한 IAEA의 지속적인 상주	116
참고 자료	117
기여자 목록	119
부록 1: IAEA 검토 임무 및 발간된 기술 보고서 요약	121

부록 2: IAEA 안전성 검토에 사용된 관련 국제 안전 표준 요약	122
부록 3: 도쿄전력의 이행 계획 및 NRA 규제 검토 마일스톤에 대한 업데이트 및 수정 사항 목록	123
부록 4: FDNPS에 적용되는 일본 법률 및 규제 조항	125
부록 5: 환경 속 삼중수소	129

사무총장 서문



2011년 3월 후쿠시마 제1원자력발전소 사고와 이후 발전소 운영으로 인해 부지 내에 대량의 물이 축적되었습니다. 2021년 4월, 일본 정부는 이 물을 어떻게 관리할 것인지에 대한 정책을 발표했습니다. 특정 처리를 거친 후 점진적으로 바다로 방류하기로 결정했습니다.

이 결정이 내려진 직후 일본 정부는 국제 안전 기준에 대한 일본의 정책 이행에 대한 독립적인 안전 검토를 IAEA에 요청했습니다.

저는 일본과 IAEA가 ALPS 처리수 방류 전, 방류 중, 방류 후에 일본 정부의 계획 이행을 종합적으로 검토하기로 합의했습니다.

그해 저는 IAEA 태스크포스를 설립했습니다. 이 태스크포스는 아태지역을 포함한 전 세계에서 국제적으로 인정받는 외부 전문가들의 자문을 받은 IAEA 사무국 내 최고 전문가들로 구성되었습니다.

법적 권한과 전 세계에 미치는 영향력의 특성상 IAEA는 국제적으로 합의된 원자력 안전 표준을 계획된 방전의 안전성을 평가하기 위한 객관적인 청사진으로 사용할 수 있습니다. 이러한 국제 표준은 과학 기술의 발전과 연구 및 경험에서 얻은 교훈을 고려하여 지속적으로 업데이트됩니다. 사람과 환경을 보호하는 데 없어서는 안 될 글로벌 기준이 되어 전 세계적으로 조화롭고 높은 수준의 원자력 안전에 크게 기여하고 있습니다.

이 종합적인 보고서는 처리수 방출에 대한 과학적 사실을 국제 사회에 명확히 밝혔으며, 그동안 제기된 안전과 관련된 기술적 의문에 대한 해답을 제시할 것으로 믿습니다.

종합적인 평가를 바탕으로 IAEA는 일본이 취한 ALPS 처리수 방류에 대한 접근 방식과 활동이 관련 국제 안전 표준에 부합한다는 결론을 내렸습니다. 또한 IAEA는 현재 도쿄전력이 계획하고 평가한 바와 같이 처리수를 통제되고 점진적으로 바다에 방류하면 사람과 환경에 미치는 방사능 영향이 미미할 것이라고 지적했습니다.

이러한 발견과 이 종합 보고서는 IAEA의 검토에서 중요한 이정표가 될 것입니다. 그럼에도 불구하고 우리의 임무는 이제 막 시작되었습니다.

IAEA는 지속적으로 현장에 상주하고 웹사이트를 통해 실시간 온라인 모니터링을 제공하는 등 방류 단계 동안 공정하고 독립적이며 객관적인 안전성 검토를 계속할 것입니다. 이를 통해 일본 정부와 도쿄전력이 수십 년에 걸쳐 마련한 관련 국제 안전 표준이 계속 적용될 수 있도록 할 것입니다. 이를 통해 IAEA는 국제사회에

투명성을 지속적으로 제공하여 모든 이해관계자가 검증된 사실과 과학에 기반하여 이 문제에 대한 이해를 높일 수 있도록 할 것입니다.

마지막으로, 후쿠시마 제1원전에 저장된 처리수의 방출은 일본 정부의 국가적 결정이며, 이 보고서는 그 정책을 권고하거나 지지하는 것이 아니라는 점을 강조하고 싶습니다. 그러나 이 결정에 이해관계가 있는 모든 분들이 IAEA의 독립적이고 투명한 검토를 환영해 주길 바라며, 이 과정을 시작할 때 말씀드린 것처럼 IAEA가 ALPS 처리수 방류 전, 방류 중, 방류 후에도 함께 할 것임을 약속드립니다.

라파엘 마리아노 그로시

IAEA 사무총장

요약

2021년 4월, 일본 정부는 도쿄전력 홀딩스(도쿄전력)의 후쿠시마 제1 원자력 발전소 ALPS 처리수 취급에 관한 기본 방침(기본 방침)을 발표했습니다. 이 정책은 후쿠시마 제1 원자력 발전소(FDNPS) 부지에 축적된 ALPS 처리수를 어떻게 관리할 것인지에 대한 일본 정부 관련 부처와 도쿄전력의 검토 프로그램에서 나온 결과물입니다. 기본 정책에는 일본 정부가 ALPS(고도 액체 처리 시스템) 처리수를 처리하기 위해 선택한 방법인 해양 방류에 대한 내용이 포함되어 있습니다.

이 정책 발표 후 일본 정부는 관련 국제 안전 표준을 적용하여 FDNPS에 저장된 ALPS 처리수 취급의 안전 관련 측면을 자세히 검토해 줄 것을 IAEA에 요청했습니다. IAEA 사무총장은 이 요청을 수락하고 ALPS 처리수 방류 전, 방류 중, 방류 후에 IAEA가 관여하겠다는 약속을 언급했습니다. IAEA는 관련 IAEA 법적 기능, 특히 기관의 권한을 선언하는 IAEA 법령 3.A.6 조에 명시된 기능에 따라 이 검토를 수행하고 있습니다:

"건강 보호 및 생명과 재산에 대한 위험 최소화를 위한 안전 기준(노동 조건에 대한 기준 포함)을 유엔의 관할 기구 및 관련 전문 기관과 협의하고 적절한 경우 협력하여 수립 또는 채택하고, ... 국가의 요청에 따라 원자력 에너지 분야에서 해당 국가의 활동에 이러한 기준을 적용하도록 규정한다."

2021년 7월, IAEA와 일본 정부는 도쿄전력 후쿠시마 제1 원자력 발전소 ALPS 처리수의 안전 측면 검토에 관한 IAEA의 대일 지원 약관에 서명했습니다. 이와 관련한 IAEA의 활동은 향후 수십 년 동안 ALPS 처리수를 방류하기 위한 도쿄전력과 일본 정부의 조치가 국제 안전 표준에 부합하는지 평가하기 위한 기술적 검토로 구성됩니다. 또한 IAEA는 방류 전, 방류 중, 방류 후 도쿄전력과 일본 정부의 원천 및 환경 모니터링 프로그램을 검증하는 데 필요한 모든 활동을 수행하고 있습니다. IAEA의 검토는 모든 주요 안전 요소가 적절히 다루어지도록 다음 세 가지 주요 구성 요소로 구성됩니다: 1) 보호 및 안전 평가, 2) 규제 활동 및 프로세스, 3) 독립적인 샘플링, 데이터 확인 및 분석.

투명하고 포괄적인 방식으로 IAEA의 검토를 이행하기 위해 IAEA 사무총장은 태스크 포스를 설립했습니다. 태스크포스는 IAEA의 권한 하에 운영되며 IAEA 고위 관리가 의장을 맡습니다. 태스크 포스에는 아르헨티나, 호주, 캐나다, 중국, 프랑스, 마셜군도, 대한민국, 러시아, 영국, 미국, 베트남 등 다양한 기술 전문 분야에서 광범위한 경험을 가진 국제적으로 공인된 독립 전문가와 함께 IAEA 사무국 전문가가 포함됩니다. 이 독립 전문가들은 각자의 전문적 자격으로 태스크 포스에 조언을 제공하고 봉사함으로써 IAEA의 검토가 포괄적이고 최고의 국제 전문 지식을 활용하며 다양한 기술적 관점을 포함할 수 있도록

돕습니다.

2021년 9월 IAEA 태스크포스가 첫 회의를 개최한 이후, 5차례의 검토 회의와 6차례의 기술 보고서, 그리고 여러 차례의 태스크포스 회의가 있었습니다. 이러한 활동과 주요 일정에 대한 요약은 부록 1에 포함되어 있습니다. 이 과정에서 태스크포스는 일본 정부와 도쿄전력으로부터 정보를 제공받았으며, 이는 전문가들이 ALPS 처리수 방류 계획의 기술적 및 규제적 측면을 더 잘 이해하는 데 도움이 되었습니다. 임무의 기술 보고서에는 IAEA의 검토 요약이 포함되어 있으며 도쿄 전력과 일본 정부의 진행 상황을 보여 줍니다. 지난 2년 동안 태스크 포스와 일본 정부는 다음을 확인하고 이를 기반으로 구축했습니다.

이전 임무에서 관찰한 내용을 바탕으로 IAEA는 이제 방전의 안전성에 대한 종합적인 결론을 내릴 수 있는 위치에 있습니다. 또한, 이번 검토는 자-판의 원자력규제청(NRA)의 국내 규제 검토 및 승인과 동시에 진행되고 있습니다. 따라서 IAEA의 검토 결과를 국내 절차에 시의적절하게 반영할 수 있었습니다.

이 종합 보고서에는 이 프로세스의 전반적인 안전 관련 측면을 이해하는 데 중요한 광범위한 주제에 대한 설명과 통찰력이 포함되어 있으며, 이는 IAEA 사무총장이 언급한 바와 같이 IAEA 검토의 "이전" 단계에 해당합니다. 이 종합 보고서의 목적은 향후 수십 년 동안 태평양에 ALPS 처리수를 방류할 계획이 관련 국제 안전 기준에 부합하는지 평가하기 위한 기술 검토의 최종 결론과 결과를 제시하는 것입니다. 이 종합 보고서에 포함된 개별 주제에 대한 검토는 수백 페이지에 달하는 기술 및 규제 문서를 기반으로 하며, 일반 대중이 IAEA의 검토 결론에 더 쉽게 접근하고 이해할 수 있도록 압축 및 요약되어 있습니다. 관련 국제 안전 표준에 대한 요약은 부록 2에 포함되어 있습니다.

태스크포스는 ALPS 처리수 방류가 관련 국제 안전 기준에 부합하는 방식으로 수행되는지 여부를 충분히 평가하기 위해 IAEA에서 발행한 안전 기본 원칙, 안전 요건 및 지원 안전 가이드를 고려했습니다. 이러한 기준은 건강을 보호하고 생명과 재산에 대한 위험을 최소화하기 위한 안전 기준입니다. 이러한 국제 안전 표준은 IAEA의 법적 기능에 따라 유엔의 관할 기관 및 전문 기관과 협의하고 적절한 경우 협력하여 개발 및 공동 후원합니다. 이러한 국제 안전 표준은 사람과 환경을 보호하기 위한 글로벌 기준이 되며 전 세계적으로 조화로운 높은 수준의 안전에 기여합니다.

이 보고서에는 기본 안전 원칙, 관련 안전 요건 및 보조 안전 가이드의 적용에 대한 평가가 포함되어 있습니다. 국제 안전 표준을 적용할 때 원칙과 기술적 고려 사항은 국가 상황에 맞게 조정해야 한다는 점에 유의해야 합니다.

종합적인 평가에 따라 IAEA는 ALPS 처리수의 해양 방류에 대한 접근 방식과 도쿄전력, 원자력규제위원회, 일본 정부의 관련 활동이 관련 국제 안전 표준에 부합한다고 결론지었습니다.

IAEA는 ALPS 처리수의 방류로 인해 방사선학적 측면과 관련된 사회적, 정치적, 환경적 우려가 제기되었음을 인지하고 있습니다. 그러나 IAEA는 종합적인 평가를 바탕으로 현재 도쿄전력이 계획하고 있는 ALPS 처리수 방류가 사람과 환경에 미치는 방사선학적 영향은 미미할 것이라는 결론을 내렸습니다.

위의 결론에도 불구하고, IAEA는 방류가 시작되면 태스크포스가 검토하고 평가한 많은 기술적 주제를 IAEA가 여러 차례 재검토하여 ALPS 처리수 방류 운영 중 활동과 관련 국제 안전 기준의 일관성을 평가해야 한다는 점에 주목합니다.

2023년 5월, 국제원자력기구는 ALPS 처리수 샘플에서 방사성 핵종을 측정하기 위해 수행한 첫 번째 실

협실 간 비교 결과를 자세히 설명하는 보고서를 발표했습니다. 이러한 결과는 ALPS 처리수 방류와 관련된 정확하고 정밀한 측정을 수행할 수 있는 도쿄전력의 역량에 대한 신뢰를 입증합니다. 또한, IAEA의 관찰을 바탕으로 도쿄전력은 ALPS 처리수 방류 시 FDNPS의 지속적인 기술 요구를 지원할 수 있는 지속 가능하고 견고한 분석 시스템을 갖추고 있음을 입증했습니다.

IAEA는 ALPS 처리수 방류 전뿐만 아니라 처리수 방류 중, 방류 후에도 일본과 협력하기 위해 최선을 다하고 있습니다. 위의 결과는 다음과 같은 활동과 관련이 있습니다.

물 배출이 시작되기 전에 수행되는 강제력. 그러나 IAEA와 태스크포스의 작업은 수년 동안 계속될 것입니다. IAEA는 검토 기간 동안 FDNPS에 상주하며 FDNPS의 실시간 및 실시간에 가까운 모니터링 데이터 제공을 포함하여 글로벌 커뮤니티에서 사용할 수 있는 데이터를 게시할 것입니다. 추가 검토 및 모니터링 활동은 계속될 예정이며, 관련 국제 안전 표준의 적용을 지속적으로 제공함으로써 국제 사회에 추가적인 투명성과 확신을 제공할 것으로 예상됩니다.

파트 1

소개

1.1. 배경

후쿠시마 제1 원자력 발전소 사고

동일본 대지진은 2011년 3월 11일에 규모 9.0의 강진으로 발생했으며, 이후 쓰나미가 발생하여 북동부 해안을 포함한 일본 연안의 광범위한 지역을 강타하여 여러 파도가 10미터 이상의 높이에 도달했습니다. 지진과 쓰나미는 일본에 막대한 인명 피해와 광범위한 파괴를 초래했습니다. 약 20,000명이 사망하고 6,000명 이상이 부상을 입었습니다. 특히 일본 북동부 해안을 따라 건물과 인프라에 상당한 피해가 발생했습니다.

도쿄전력(TEPCO)이 운영하는 후쿠시마 제1원자력발전소(FDNPS)에서는 지진으로 인해 발전소 내 전력 공급선이 손상되었고 쓰나미로 인해 발전소 내 운영 및 안전 인프라가 크게 파괴되었습니다. 이러한 복합적인 영향으로 현장 및 현장 외부의 전력이 손실되었습니다. 이로 인해 가동 중인 세 개의 원자로와 사용 후 핵연료 저장고의 냉각 기능이 상실되었습니다. 해안에 위치한 다른 4개의 원자력 발전소도 지진과 쓰나미로 인해 정도는 다르지만 영향을 받았습니다. 그러나 이 발전소의 모든 가동 중인 원자로는 안전하게 정지되었습니다.

FDNPS 운영자의 통제 유지 노력에도 불구하고 1, 2, 3호기의 원자로 노심이 과열되고 핵연료가 녹아 격납용기 세 개가 파손되었습니다. 원자로 압력 용기에서 수소가 방출되어 1, 3, 4호기 원자로 건물 내부에

서 폭발이 발생하여 구조물과 장비가 손상되고 인원이 부상을 입었습니다. 방사성 핵종은 발전소에서 대기 중으로 방출되어 육지와 바다에 퇴적되었습니다. 또한 바다로 직접 방출되기도 했습니다. 원전 반경 20km 이내 및 기타 지정된 지역에 있는 사람들은 대피했고, 반경 20~30km 이내 주민들은 대피하라는 지시를 받은 후 자발적으로 대피하도록 권고받았습니다. 음식의 유통 및 소비와 식수 소비에 제한이 가해졌습니다.

후쿠시마 제1원전 원자로의 상태가 안정화된 후 폐로 작업이 시작되어 현재 진행 중입니다. 사고로 피해를 입은 지역의 복구와 지역 사회 및 인프라 활성화를 위한 노력은 2011년에 시작되었습니다.

FDNPS의 오염수 관리

사고 전에는 지하수 수위를 조절하고 국지적인 침수를 방지하기 위해 산 중턱에서 원전 뒤편으로 흐르는 지하수를 1~4호기 건물 주변에 위치한 서브 드레인에서 하루 약 850m³ 속도로 펌핑했습니다. 사고로 인해 지하수가 건물로 유입되는 것을 방지하던 서브 드레인과 펌프가 작동을 멈췄습니다. 원자로 용기가 더 이상 온전하지 않고 노심에서 나온 핵 물질이 더 이상 원자로 용기에 포함되어 있지 않기 때문에 원자로 건물로 유입되는 지하수는 방사성 잔해와 섞여 오염된 물이 될 수 있습니다. 또한 원자로 건물로 유입되는 지하수는 원자로를 안정된 상태로 유지하기 위해 연료 파편을 냉각하는 데에도 사용됩니다. 마지막으로, 원자로 건물의 열악한 조건으로 인해 빗물이 건물로 유입되어 연료 잔해와 섞일 수 있습니다.

방사능이 높은 오염수는 도쿄전력에서 수거하여 현재 상태로 환경에 도달하지 않도록 특수 탱크에 현장 내에 보관하고 있습니다(그림 1.2 참조). 그러나 오염수의 방사능이 높기 때문에 현장에 대량의 오염수를 저장하면 현장 작업자의 피폭선량이 증가하고 도쿄전력은 부지 경계선량 목표인 연간 1mSv를 달성하는데 어려움을 겪었습니다. 이러한 문제로 인해 도쿄전력은 물에서 대부분의 방사능 오염을 제거하여 저장된 물에서 작업자의 선량을 줄이는 데 사용되는 고급 액체 처리 시스템(ALPS)을 개발했습니다. 또한 도쿄전력은 매일 발생하는 오염수의 양을 줄이기 위해 노력해 왔습니다. 추가 처리 시스템 및 저장 탱크 설치, 하부 배수 시스템, 해안 불투수벽 설치 등 다양한 수질 관리 기법을 도입하여 시행하고 있습니다(그림 1.1 참조). 또한 손상된 시설의 상부로부터 오염되지 않은 지하수가 시설 주변과 바다로 유입되도록 하고 있습니다. 또한 원자로 건물 주변과 해안가에 극저온 '동결' 벽을 건설하여 추가 물 유입을 방지했습니다. 이러한 모든 조치를 통해 오염된 물의 양을 하루 약 540m³ 에서 90m³ 로 줄이는 데 도움이 되었습니다[2].

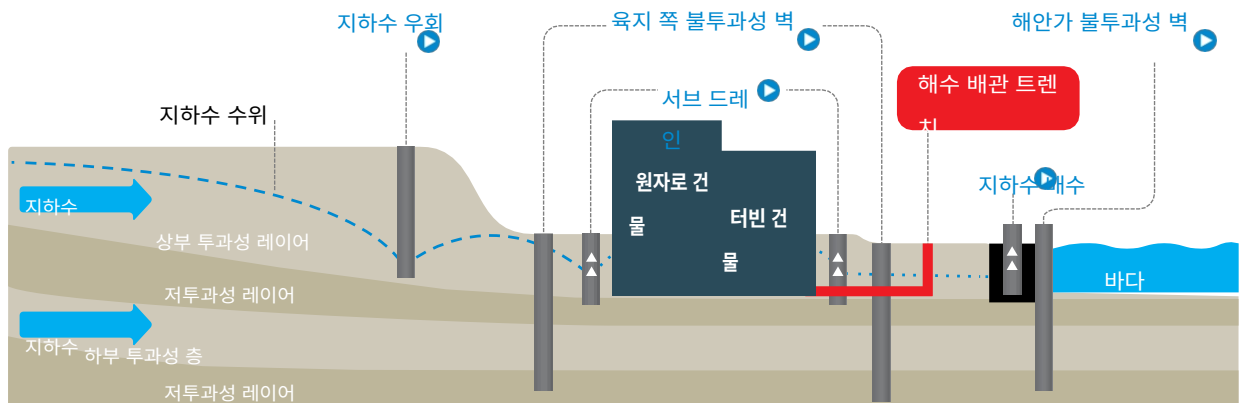


그림 1.1. FDNPS를 통한 지하수 흐름



그림 1.2. FDNPS의 오염수 저장 탱크

고급 액체 처리 시스템 및 기타 처리 시스템에 대한 설명

앞서 언급한 바와 같이, 현장에 저장된 오염수는 물의 양과 낮은 삼중수소 농도를 고려할 때 ALPS 시스템이나 기타 산업 규모의 시스템(기존 기술 기반)으로는 제거할 수 없는 삼중수소를 제외한 대부분의 방사성 물질을 제거하기 위해 처리됩니다. 처리 과정에는 그림 1.3에 표시된 것처럼 여러 단계가 포함됩니다. ALPS 시스템으로 처리되기 전에 오염된 물은 세슘과 스트론튬을 주기적으로 제거하는데, 세슘과 스트론튬은 오염된 물에서 방사능의 대부분을 차지합니다. 그런 다음 오염수를 더 이상 연료 잔해 냉각에 사용할 수 없게 되면 62개의 방사성 핵종이 추가로 제거되는 ALPS 처리로 보내집니다(그림 1.4 참조). ALPS 처리 과정에서 모든 방사성 물질이 제거되는 것은 아니라는 점에 유의해야 합니다. 처리 후에도 소량의 다른 방사성 핵종이 수중에 남아 있으며(규제 기준치보다 훨씬 낮지만), 삼중수소는 ALPS 시스템에서 전혀 제거되지 않습니다.

ALPS 시스템은 기본적으로 일련의 화학 반응을 통해 오염된 물에서 62개의 방사성 핵종을 제거하는 펌핑 및 여과 시스템입니다. 물에서 제거된 방사성 물질은 필터에 포집되어 고순도 컨테이너(HIC)라는 특수 용기에 담겨 현장에 보관됩니다. ALPS 처리 과정을 거친 물은 "처리수" 또는 "ALPS 처리수"라고 불리며, 현장의 대형 탱크(각각 약 1,000m³)에 저장됩니다. 이 탱크에는 모두 K4B와 같이 고유한 식별을 위해 영숫자 코드가 부여됩니다. 현재 FDNPS 현장에는 100개가 넘는 탱크가 있습니다.

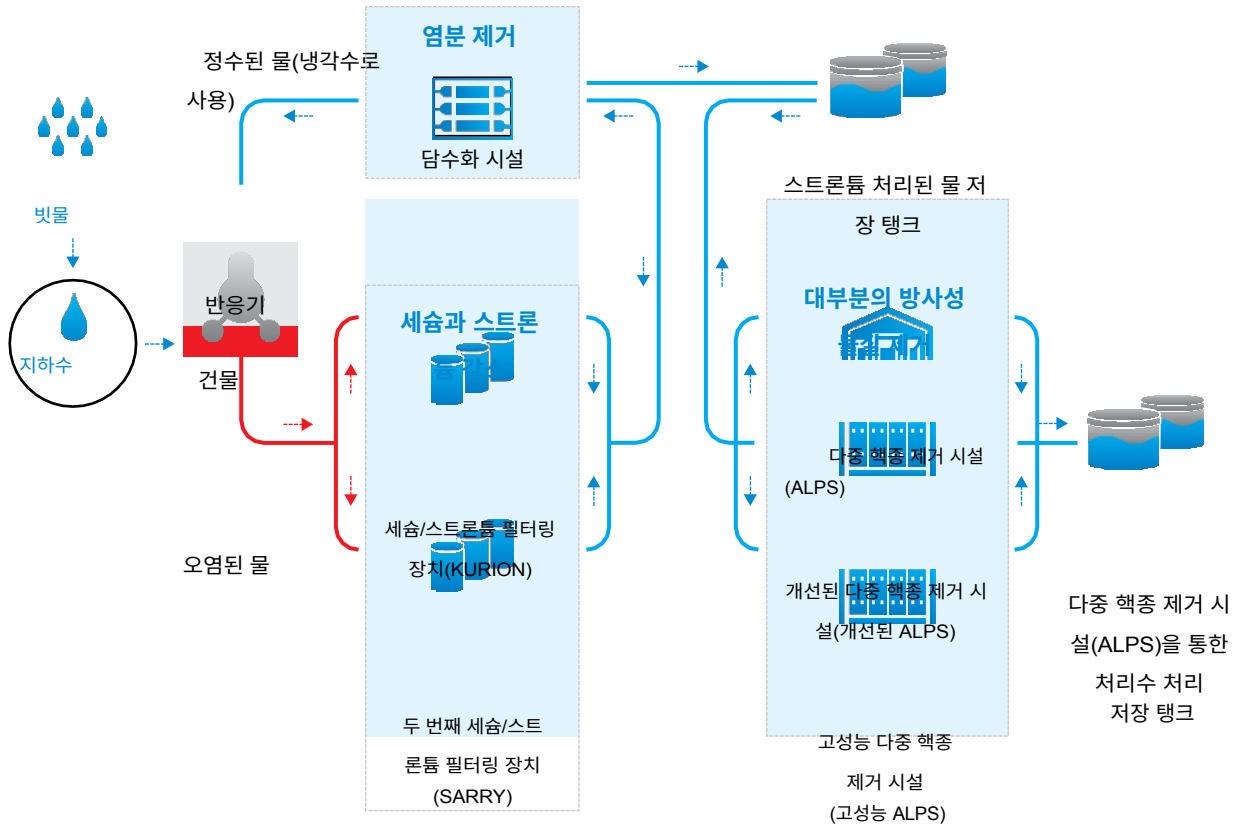


그림 1.3. ALPS 치료 과정

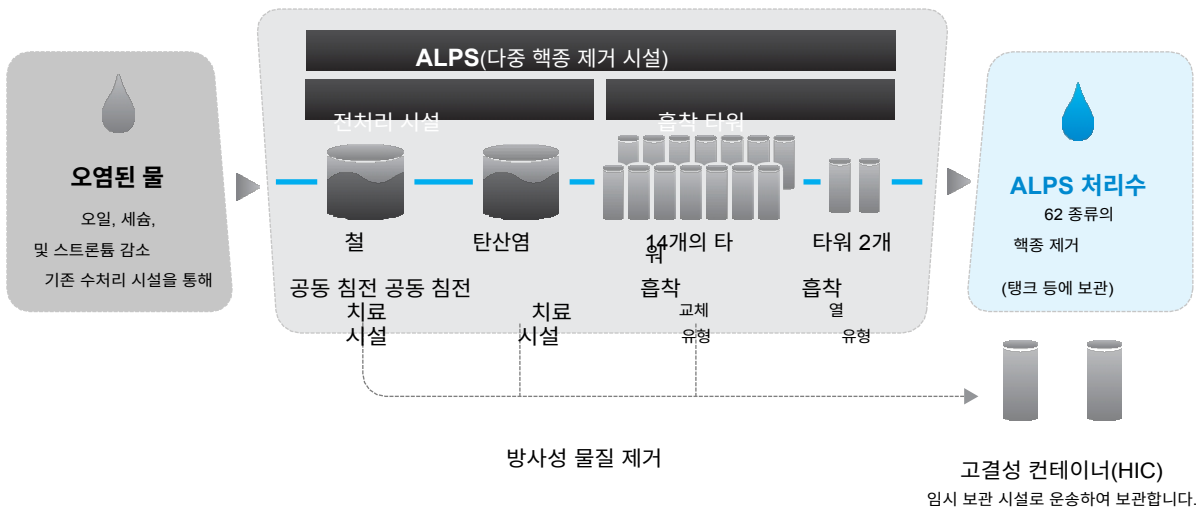


그림 1.4. 방사성 핵종 제거를 위한 ALPS 처리 과정의 세부 사항

처리수 처리에 대한 일본 정부의 결정.

2013년 12월, 오염수 처리 대책 위원회는 "도쿄전력 후쿠시마 제1원자력발전소 오염수 처리에 대한 종합적 리스크 관리 강화를 활용한 예방적 다층 대책"이라는 제목의 문서 초안을 작성했습니다. 이 문서는 오염원 '제거', 오염원으로부터 지하수 '방향 전환', 오염수 '누출 방지' 등 다양한 대책을 취하더라도

ALPS 처리수 처리와 관련된 문제가 해결되지 않고 있으며, 이로 인해 관리해야 할 탱크 수가 증가하여 더 많은 누출 사고가 발생할 가능성이 있음을 확인했습니다.

또한, 2013년 12월에 국제원자력기구 검토단은 ALPS 처리수 처리와 관련하여 "모든 옵션을 검토해야 한다"는 자문 의견을 제공했습니다. 이에 따라 ALPS 처리수 처리를 위한 다양한 옵션을 평가하기 위해 일본 정부 외부의 기술 전문가로 구성된 '오염수 처리 대책 위원회' 산하에 '트리티튬 워터 태스크포스'가 설립되었습니다. 그 결과 2013년 12월에 검토를 시작하여 2016년 6월에 보고서를 발표했습니다. 2016년 9월, 오염수 처리 대책 위원회는 일본 정부 외부의 기술 전문가로 구성된 ALPS 소위원회를 설치하여 사회적 관점을 포함한 모든 관점에서 ALPS 처리수 처리에 대해 논의하기로 결정했습니다. ALPS 소위원회의 목적은 일본 정부가 ALPS 처리수 처리 방법을 결정할 때 활용할 수 있는 독립적인 관점을 제공하고 다양한 관련 당사자의 의견을 고려하는 것이었습니다.

트리티튬 워터 태스크포스와 ALPS 소위원회는 6년여에 걸쳐 이 문제에 대해 포괄적인 논의를 진행했습니다. ALPS 소위원회는 여러 차례의 설명회와 공청회를 개최하여 ALPS 처리수 처리 경로와 우려 사항에 대한 의견을 청취했습니다. 소위원회에서 분석한 주요 주제는 오염수 관리 및 발생-저장 경과, ALPS 처리수의 특성, 삼중수소를 포함한 방사성 폐기물의 국내외 처분 현황, 처분 경로, 기간, 양, 방출 시기 및 모니터링에 대한 검토, ALPS 처리수 처분 시 평판 손상 및 대응 방안 등입니다.

2020년 2월, ALPS 소위원회 보고서가 발표되었습니다[3]. 이 보고서는 이론적으로 고려된 여러 가지 처리 방법 중에서 자세히 분석한 다섯 가지 처리 방법 중 안전 문제, 사용 가능한 기존 기술, 시간 제약을 고려할 때 증기 방출 및 해양 배출 제어가 가장 실용적인 옵션이라는 결론을 내렸습니다. 이 보고서는 또한 해양 배출이 "전 세계 원자력 발전소에서 일반적으로 사용되는 배출 방법이고, 배출 시설이 안전성에 대해 긍정적인 실적을 보유하고 있으며, 해양으로의 제어 배출을 가장 정확하게 모니터링할 수 있다는 점에서 환경 및 인체 건강 영향 완화와 관련하여 보다 안정적으로 실행될 수 있다"고 결론지었습니다.

ALPS 분과위원회 보고서에 대한 응답으로 같은 해 4월 IAEA 해체 임무 보고서[4]는 "ALPS 분과위원회의 권고 사항은 충분히 포괄적인 분석과 건전한 과학적, 기술적 근거에 기반하고 있다"고 밝히고 두 가지 옵션(증기 방출 및 해양 배출)이 "기술적으로 실현 가능하다"고 언급했습니다.

2021년 4월, 일본 정부는 도쿄전력홀딩스의 후쿠시마 제1원자력발전소 ALPS 처리수 처리에 관한 기본 방침을 발표했으며, 기본 방침에는 일본 정부의 기본 전제, 관련 배경 및 ALPS 처리수의 해양 방류 추진에 대한 개요가 포함되어 있습니다. 기본 정책에서 일본 정부는 다음과 같이 언급합니다: "후쿠시마 제1원전의 오염수 및 처리수의 해체와 관리를 안전하고 안정적으로 진행하기 위해, ALPS 소위원회 보고서와 관계 당사자로부터 받은 의견을 바탕으로 법령을 철저히 준수하고 평판에 미치는 악영향을 최소화하기 위한 조치를 철저히 이행하는 것을 조건으로 ALPS 처리수를 방류할 것이다."

기본 정책은 또한 "...[ALPS 처리수의] 해양 방류는 후쿠시마 제1원자력 발전소에서 엄격한 통제 하에 ALARA 원칙에 따라 정화 및 희석 등의 조치를 취하여 위험을 최소화하기 위해 최선의 노력을 다한다는

전제 하에 시행될 것"이라고 명시하고 있습니다. 이 결정을 뒷받침하기 위해 기본 정책은 위험 감소의 중요성, 사람과 환경 보호, 후쿠시마 재건 지원 등의 배경과 근거를 제시합니다. 또한 기본 정책은 범부처 방사능방재대책위원회의 활동을 강조합니다.

후쿠시마 제1 원자력 발전소에 저장된 ALPS 처리수를 처리하고 관리하기 위한 기타 기술을 평가하는 협의회.

기본 정책에 요약된 현재 접근 방식은 약 30년에 걸쳐 일련의 통제된 ALPS 처리수 해양 방류('일괄 방류')를 실시하는 것입니다.

ALPS 처리수 배출 시설

ALPS 처리수를 바다로 방류하는 시설의 다이어그램(그림 1.5). 시설은 네 가지 주요 구성 요소로 이루어져 있습니다. 아래에 간략한 요약이 포함되어 있으며, 보다 자세한 설명은 본 보고서의 파트 3(섹션 3.2)에 포함되어 있습니다.

- 측정 및 확인 시설: 방류할 물은 측정 및 확인 시설에 입고되어 설치된 교반기를 통해 균질화됩니다.

그런 다음 도쿄전력에서 물을 샘플링하여 현장 분석 실험실로 보냅니다. 물 샘플은 다양한 방사성 핵종에 대해 분석되며, 도쿄전력은 탱크에 포함된 ALPS 처리수가 방류할 준비가 되었는지(즉, 삼중수소를 제외한 소량의 방사성 물질이 물 속에 남아 국내 규제 제한을 충족하는지) 확인합니다.

- 이송 시설: 분석을 통해 확인된 물은 펌프와 배관을 통해 측정 및 확인 시설에서 희석 시설로 이송됩니다. 이 단계와 관련된 펌프, 배관, 밸브 및 기타 엔지니어링 제어 장치를 이송 시설로 간주합니다.

- 희석 시설: 더 내려가면 헤더라고 하는 큰 배관 구간에서 ALPS 처리수가 해수와 혼합됩니다. 해수 헤더는 각각 해수 펌프에 연결된 세 개의 배관 라인에서 해수를 공급받습니다. 유닛 5 취수 채널은 해수의 공급원으로 사용됩니다.

- 방류 시설: 방류 수직 갱도, 방류 터널 및 방류 배출구로 구성됩니다. ALPS 처리수의 방류는 해안에서 약 1km 떨어진 해저 밑에 있는 터널을 통해 이루어집니다.

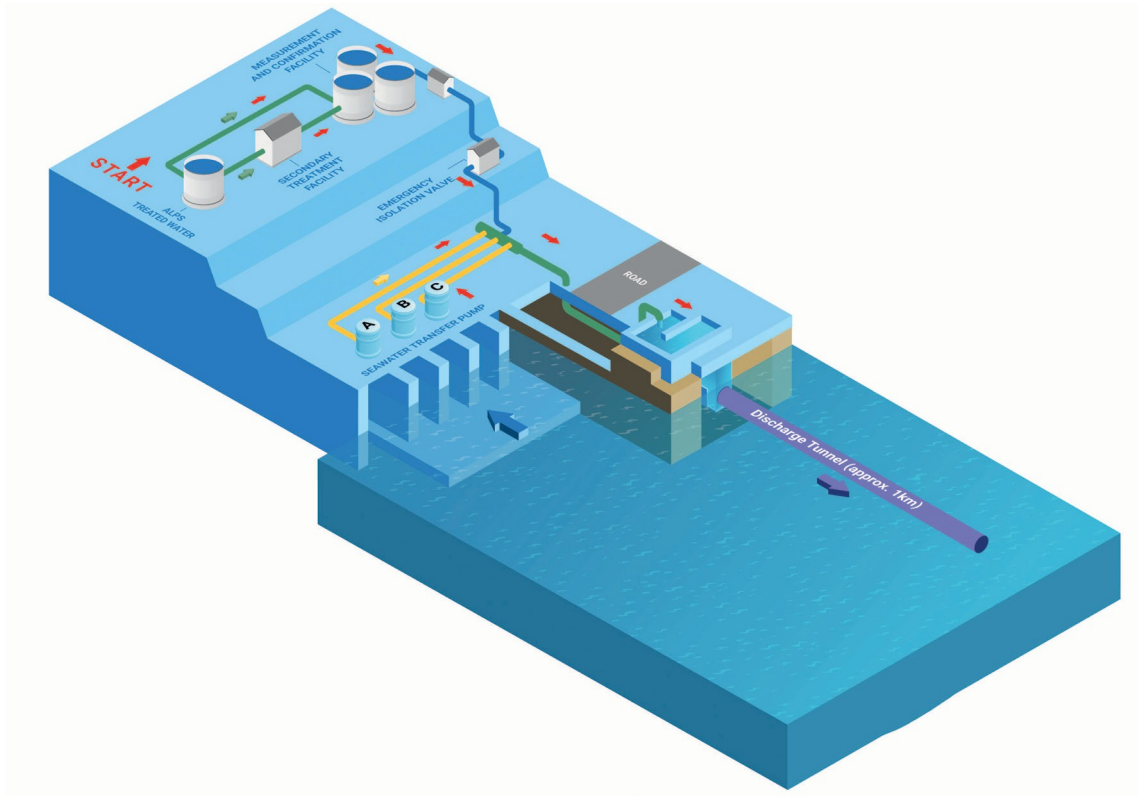


그림 1.5. ALPS 처리수를 바다로 방류하는 시설 다이어그램

일본 정부의 요청과 IAEA의 대응

2021년 4월, 일본은 기본 방침을 발표하고 얼마 지나지 않아 일본 당국은 처리수 방류와 관련된 계획과 활동이 안전하고 투명한 방식으로 이행되고 IAEA의 국제 안전 기준에 부합하는지 모니터링하고 검토할 수 있도록 IAEA에 지원을 요청했습니다. IAEA는 법적 책임에 따라 일본의 요청을 수락했습니다.

2021년 7월, IAEA와 일본 정부는 도쿄전력 주식회사(도쿄전력) 후쿠시마 제1원자력 발전소(후쿠시마 제1원전)의 ALPS 처리수의 안전 측면 검토에 대한 IAEA의 일본 지원에 대한 참조 조건에 서명했습니다. 이 참조 조건은 IAEA가 검토를 이행하는 데 사용할 광범위한 프레임워크를 명시합니다. IAEA에 대한 이러한 요청과 IAEA의 수락은 IAEA 법령 제3.A.6조에 명시된 IAEA의 기능에 따른 것입니다.

2021년 9월, IAEA는 도쿄에 팀을 파견하여 회의와 토론을 통해 기관의 검토 범위, 주요 마일스톤 및 대략적인 일정에 대한 합의를 마무리했습니다. 또한 팀은 FDNPS를 방문하여 현장의 전문가들과 기술적 세부 사항을 논의하고 IAEA의 검토를 위한 주요 활동과 관심 장소를 파악했습니다.

IAEA의 검토를 완전히 투명하고 포괄적인 방식으로 이행하기 위해 IAEA 사무총장은 태스크 포스를 설립했습니다. 태스크 포스는 IAEA의 권한 하에 운영되며 IAEA 고위 관리가 의장을 맡습니다. 태스크 포스에는 아르헨티나, 호주, 캐나다, 중국, 프랑스, 마셜군도, 대한민국, 러시아, 영국, 미국, 베트남 등 다양한 기술 전문 분야에서 폭넓은 경험을 쌓은 국제적으로 인정받는 독립 전문가와 함께 IAEA 사무국 전문가들이 참여하고 있습니다. 이 독립 전문가들은 IAEA에 자문을 제공하고 개별 전문가 자격으로 태스크 포스에서 활동하여 IAEA의 검토가 포괄적이고 최고의 국제 전문 지식을 활용하며 다양한 기술적 관점을 포함할 수 있도록 지원합니다.

IAEA는 주로 도쿄전력, 원자력안전위원회, 경제산업성이 제공한 문서를 분석하고, 검토 임무를 수행하여 의문 사항을 명확히 하고 추가 자료를 요청하는 방식으로 검토를 진행했습니다. 또한 IAEA는 2021년, 2022년, 2023년에 걸쳐 주기적으로 FDNPS에 대한 현장 방문을 실시했습니다. 2022년 2월부터 2023년 6월까지 일본에 대한 5차례의 검토 임무가 수행되었으며, 이 임무와 해당 기술 보고서는 부록 1에 자세히 설명되어 있습니다. 처음 네 차례의 검토 임무 이후 발행된 보고서는 진행 보고서 역할을 하며 최종 결론은 이 종합 보고서에서 처음으로 제시됩니다.

검토가 시작될 때 일본 정부와 도쿄전력은 제안된 ALPS 처리수 방류와 관련된 정보가 포함된 배경 자료를 제공했습니다. 그 후, 태스크포스의 요청에 따라 또는 도쿄전력이 관련 일본 당국(예: NRA)에 제출할 준비가 되었을 때 추가 자료가 제공되었습니다. 이 정보는 태스크포스 위원들이 검토하여 관련 당국과의 검토 임무의 기초를 형성했습니다. 검토 임무의 목적은 일본 정부 또는 도쿄전력이 제출한 참고 자료를 검토하고, 기술적 문제에 대한 설명을 구하고, 추가 정보를 요청하고, 적절한 경우 현장 활동을 참관하는

것이었습니다.

IAEA는 다음을 포함하여 일본 계획의 주요 안전 요소를 검토했습니다:

- 방류할 처리수의 방사선학적 특성.

- 사용할 장비와 운영에 적용 및 준수해야 할 기준을 포함하여 처리수 배출 프로세스의 안전 관련 측면

- 사람과 환경의 보호와 관련된 방사선 환경 영향 평가.
- 배출과 관련된 환경 모니터링.
- 배출 계획에 대한 승인, 검사 및 지속적인 평가를 포함한 규제 관리.

IAEA의 검토(그림 1.6 참조)는 모든 주요 안전 요소가 적절히 다루어지도록 다음 세 가지 주요 구성 요소로 구성되어 있습니다:

- **보호 및 안전 평가** - 이 구성 요소는 도쿄전력이 ALPS 처리수 방류에 대한 규제 승인을 위해 제출한 이행 계획, 방사능 환경 영향 평가(REIA) 및 기타 지원 자료의 기술적 측면을 검토하는 데 중점을 둡니다. 이 구성 요소에는 주로 도쿄전력과 경제산업성(METI)이 참여하며, 관련 IAEA 국제 안전 표준에 정의된 대로 프로세스 전반에 걸쳐 도쿄전력이 수행해야 할 예상 조치를 검토합니다.
- **규제 활동 및 프로세스** - 이 구성 요소는 원자력규제청(NRA)의 검토 및 승인 절차가 관련 IAEA 국제 안전 표준에 따라 수행되는지 평가하는 데 중점을 둡니다. 이 구성 요소는 주로 일본 내 원자력 안전을 책임지는 독립 규제 기관인 NRA와 관련이 있으며, 후쿠시마 제1 원자력 발전소의 ALPS 처리수 방류에 대한 NRA의 검토와 관련된 규제 측면에만 초점을 맞추고 있습니다.
- **독립 샘플링, 데이터 검증 및 분석** - 이 구성 요소에는 ALPS 처리수 방류와 관련된 도쿄전력 및 일본 정부의 데이터를 검증하기 위해 수행된, 그리고 앞으로도 수행될 IAEA의 독립 샘플링 및 분석과 관련된 모든 활동이 포함됩니다. 샘플은 IAEA 실험실과 독립적인 제3자 실험실에서 분석합니다. 또한 이 구성 요소에는 직업적 노출에 대한 검증도 포함됩니다.

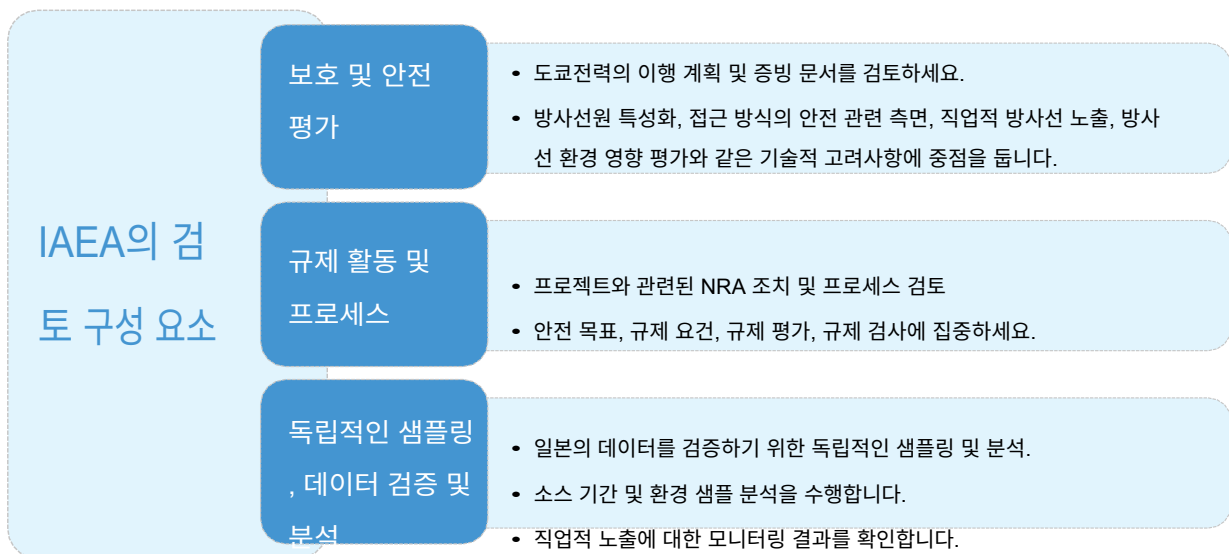


그림 1.6. IAEA 검토의 구성 요소

IAEA의 검토에 대한 추가 정보와 배경 정보, 문서, 보고서 및 기타 간행물은 IAEA의 후쿠시마 ALPS 검토 전용 웹사이트[5]에서 온라인으로 확인할 수 있습니다.

1.2. 종합 보고서

이 종합 보고서의 목적은 향후 수십 년 동안 ALPS 처리수를 바다로 방류하려는 계획이 IAEA의 국제 안전 기준에 부합하는지 평가하기 위한 기술 검토의 최종 결론과 조사 결과를 제시하는 것입니다.

이 보고서의 범위는 IAEA의 안전성 검토 범위와 일치하지만, 후쿠시마 제1원전 사고 경위 및 기타 관련 세부 사항에 관한 추가 배경 자료도 포함되어 있습니다. IAEA의 안전성 검토는 향후 수십 년 동안 ALPS 처리수를 방류하려는 도쿄전력과 일본 정부의 조치가 국제 안전 표준에 부합하는지 평가하는 데 중점을 두고 있습니다. 또한, IAEA의 검토는 일본이 선택한 ALPS 처리수 처리 방법(즉, 해양 방류 통제)이 국제 안전 기준에 부합하는지 여부를 평가하는 데 초점을 맞추고 있으며 다른 잠재적 방법의 타당성은 평가하지 않습니다. 마지막으로, 필요한 경우 광범위한 해체 노력에 대한 설명이 이 보고서에 포함되었지만, 일반적으로 이 부지의 포괄적인 해체 활동은 IAEA의 전반적인 안전성 검토 범위를 벗어난 것으로 간주되었습니다.

이 보고서는 다섯 부분으로 구성되어 있습니다:

- **1부에서는** 오염수 발생원, ALPS 처리 과정, ALPS 처리수 방류 시설, 일본의 ALPS 처리수 처리 기본 정책 및 국제 안전 기준에 대한 소개와 배경 자료를 제공합니다.
- **2부에서는** 기술적 배경이 없는 독자뿐만 아니라 모든 독자가 이해할 수 있는 언어로 IAEA 안전 기본 원칙에 명시된 10가지 안전 원칙에 대한 일관성 평가를 다룹니다.
- **파트 3에서는** ALPS 처리수의 해양 배출이 국제 안전 표준의 관련 안전 요건과 일치하는지에 대한 평가를 다룹니다. 이 검토에서 다루는 7가지 주제는 다음과 같습니다:
 - o 방전 및 소스 용어의 특성화.
 - o 배출을 제어하기 위한 시스템 및 프로세스의 안전 관련 측면.
 - o 방사선 환경 영향 평가.
 - o 배출에 대한 규제 통제 및 승인.
 - o 소스 및 환경 모니터링 프로그램.
 - o 이해관계자의 참여.
 - o 직업 방사선 보호.
- **파트 3은** 기술적인 언어로 작성되었으며 IAEA의 검토 및 평가에 대해 설명하고 각 주제에 대한 평가의 결론을 제시합니다.
- **4부에서는** 도쿄전력과 일본 당국이 제공한 데이터의 정확성을 평가하기 위한 IAEA의 확증 활동에 대해 설명합니다. 4부에서는 IAEA의 독립적인 샘플링, 데이터 확증 및 분석 활동에 대해 설명함

니다.

- 5부에는 향후 수년간 계속될 IAEA의 안전성 검토에 따라 IAEA와 태스크포스가 취할 전반적인 다음 단계에 대한 추가 정보가 포함되어 있습니다.

1.3. IAEA 국제 안전 표준

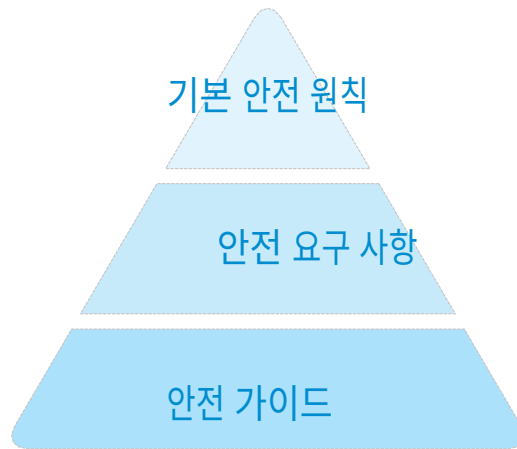


그림 1.7. IAEA 안전 표준의 계층 구조

관련 국제 안전 표준은 IAEA의 안전 검토의 일부로 사용됩니다(부록 2에 자세히 설명되어 있음). 이러한 문서는 노동 조건에 대한 기준을 포함하여 건강을 보호하고 생명과 재산에 대한 위험을 최소화하기 위한 안전 기준입니다. IAEA의 안전 기준은 안전 기본 사항, 안전 요구 사항, 안전 가이드의 세 가지 간행물로 구성되어 있습니다. 이 중 첫 번째는 기본적인 안전 목표와 보호 및 안전 원칙을 설정하고, 두 번째는 현재와 미래에 사람과 환경을 보호하기 위해 충족해야 하는 요구 사항을 제공합니다. 안전 가이드는 이러한 요건을 충족하는 방법에 대한 권장 사항과 지침을 제공합니다. 국제 안전 표준은 유엔의 소관 기관 및 전문 기관과 협의하고 적절한 경우 협력하여 공동 후원합니다.

안전 기본 사항

안전 기본 원칙은 기본적인 안전 목표와 보호 및 안전 원칙을 제시하고 안전 요구 사항의 기초를 제공합니다. IAEA 안전 기본원칙은 유럽원자력공동체(Euratom), 유엔식량농업기구(FAO), 국제원자력기구(IAEA), 국제노동기구(ILO), 국제해사기구(IMO), OECD 원자력기구(OECD/NEA), 범미보건기구(PAHO), 유엔환경계획(UNEP) 및 세계보건기구(WHO)가 공동으로 후원하고 있습니다.

10가지 기본 안전 원칙은 전리방사선 노출에 대한 보호를 위한 안전 요건을 수립하기 위한 기초를 구성합니다. 방사선 노출로부터 사람의 생명과 건강 및 환경을 보호하기 위해 취하는 안전 조치는 상세하고 기술적으로 복잡합니다. 그러나 기본 안전 원칙은 가능한 한 전문가가 아닌 독자도 이해할 수 있는 언어로 작성되었습니다. 이는 정부 및 규제 기관의 고위급 인사 및 원자력 및 방사선원 사용에 관한 의사 결정을 담당하지만 원자력 또는 방사선 과학 기술 또는 방사선 보호 및 안전 문제에 대한 전문가는 아닐 수 있는 사람들을 위해 안전 기준의 근거와 근거를 전달하기 위한 것입니다. 기본안전원칙을 적용하면 여러 국가의 협약 간에 일관성을 높일 수 있으므로 모든 국가가 이 원칙을 준수하고 지지하는 것이 바람직함

니다.

안전 요구 사항

통합되고 일관된 안전 요건은 현재와 미래의 사람과 환경을 보호하기 위해 충족해야 하는 요건을 설정합니다. 이러한 요건은 안전 기본 원칙의 목적과 원칙에 따라 관리됩니다. 요건이 충족되지 않으면 필요한 안전 수준에 도달하거나 이를 회복하기 위한 조치를 취해야 합니다. 요건의 형식과 스타일은 조화로운 방식으로 국가 규제 프레임워크를 수립하는 데 쉽게 사용할 수 있도록 합니다. 번호가 매겨진 '가장 중요한' 요구사항을 포함한 요구사항은 '하여야 한다'는 문장으로 표현됩니다. 많은 요건은 특정 당사자에게만 적용되는 것이 아니며, 이는 해당 당사자가 요건을 이행할 책임이 있다는 것을 의미합니다. 특히 국제 원자력기구의 안전 검토와 관련이 있는 GSR 파트 3: 방사선 보호 및 방사선원의 안전: 국제 기본 안전 표준은 유럽연합 집행위원회, 유엔식량농업기구(FAO), 국제원자력기구(IAEA), 국제노동기구(ILO), 경제협력개발기구(OECD/NEA), 범미보건기구(PAHO), 유엔환경계획(UNEP) 및 세계보건기구(WHO)가 공동으로 후원합니다.

안전 가이드

안전 가이드는 안전 요건을 준수하는 방법에 대한 권장 사항과 지침을 제공하며, 권장 조치(또는 이에 상응하는 대체 조치)를 취해야 한다는 국제적 합의를 나타냅니다. 안전 가이드는 높은 수준의 안전을 달성하기 위해 노력하는 사용자를 돕기 위해 국제적인 모범 사례를 제시하며, 점점 더 많은 모범 사례를 반영하고 있습니다. 번호가 매겨진 '가장 중요한' 요건을 포함한 요건은 '하여야 한다'는 문장으로 표현됩니다. 많은 요구사항은 특정 당사자를 지칭하지 않으며, 이는 해당 당사자가 요구사항을 이행할 책임이 있다는 의미입니다. 안전 가이드에서 제공하는 권고사항은 '해야 한다'로 표현됩니다. 이 안전성 검토와 관련된 많은 IAEA 안전 가이드는 UNEP가 공동 후원합니다.

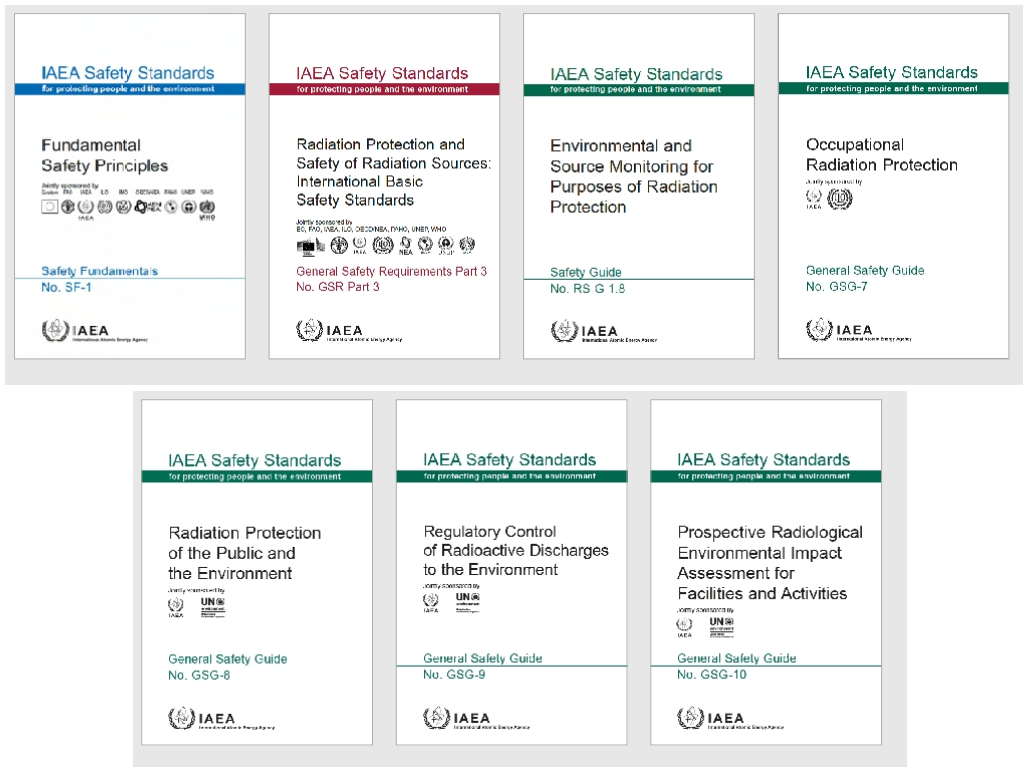


그림 1.8. 국제 안전 표준

전리방사선의 수준과 영향은 유엔총회(UNGA)의 결정에 따라 유엔원자력방사선영향과학위원회(UNSCEAR)에서 추정합니다. UNSCEAR 추정치는 매년 UNGA에 제공되며 다음과 같이 고려할 수 있습니다.

국제 안전 표준의 과학적, 인식론적 근거. 또한 국제방사선방호위원회(ICRP)는 1928년 설립된 이래 국제적으로 인정받는 패러다임 또는 모델을 정교화해 왔습니다. ICRP는 전 세계 전문가, 기관 및 정부가 따르고 있는 방사선 방호 관련 권고 사항을 제공하는 비정부 자선 단체입니다.

IAEA 정부 간 정책 결정 기구[6]의 공식 결정에 따라 IAEA의 안전 기준은 ICRP의 권고 사항을 고려하여 개발되며, ICRP의 최신 일반 권고 사항은 웹사이트에서 확인할 수 있으며 정기적으로 발표됩니다.

파트 2

와의 일관성 평가 기본 안전 원칙

안전 기본원칙은 개인 및 집단적으로 사람과 환경을 보호하는 기본 안전 목표를 시설 운영이나 방사선 위험을 초래하는 활동의 수행을 과도하게 제한하지 않고 달성해야 한다고 명시하고 있습니다. 합리적으로 달성할 수 있는 최고 수준의 안전 기준을 달성할 수 있도록 시설을 운영하고 활동을 수행하기 위해 조치를 취해야 합니다:

- 사람의 방사선 노출과 방사성 물질의 환경 방출을 제어합니다.
- 원자로 노심, 핵 연쇄 반응, 방사능원 또는 기타 방사능원에 대한 통제력 상실로 이어질 수 있는 사건의 발생 가능성을 제한합니다.
- 이러한 이벤트가 발생할 경우 그 결과를 완화하기 위해.

기본 안전 목표는 모든 시설과 활동, 그리고 계획, 부지 선정, 설계, 제조, 건설, 시운전, 운영, 해체 및 폐쇄를 포함한 시설 또는 방사선원의 수명 기간 동안의 모든 단계에 적용됩니다. 여기에는 방사성 물질의 운송 및 방사성 폐기물 관리가 포함됩니다.

근본적인 안전 목표를 달성하기 위해 안전 요건을 개발하고 안전 조치를 시행하기 위한 10가지 안전 원칙이 공식화되었습니다. 기본 안전 원칙은 전체에 적용될 수 있는 토대를 형성하지만, 실제로는 특정 상황과 관련하여 다른 원칙이 다소 중요할 수 있습니다.

따라서 근본적인 안전 목표가 달성되었는지 확인하기 위해 태스크 포스는 10가지 기본 안전 원칙이 ALPS 처리수 방류에 어떻게 적용되는지 고려했습니다. 태스크 포스는 10가지 기본 안전 원칙을 모두 논의하여 일본 정부와 도쿄전력의 조치와 계획이 각 원칙을 어떻게 해결했는지 고려했습니다.

2.1. 안전에 대한 책임

안전에 대한 일차적인 책임은 방사선 위험을 초래하는 시설 및 활동을 담당하는 개인 또는 조직에 있어야 합니다.

이 원칙에 따르면 방사선 위험을 초래하는 시설을 책임지는 조직이 안전에 대한 일차적인 책임을 집니다. 설계자, 제조업체 및 시공자, 계약자 등 다른 조직도 그들의 활동이나 제품이 안전에 중요할 수 있으므로 안전에 대한 일부 책임이 있지만 이 책임은 다른 조직에 위임할 수 없습니다. 그러나 안전에 대한 주된 책임은 위임할 수 없습니다.

일본에서는 원자력 기본법, 원자로 규제법, 방사성 동위원소 규제법에 따라 핵물질 및 동위원소와 관련된 모든 활동에 대해 허가권자에게 안전에 대한 책임을 부여하고 있습니다.

후쿠시마 원전 사고 이후 원자로 규제법이 개정되어 원전 사업자의 안전에 대한 1차적 책임이 강화되었습니다. 도입된 조항에 따르면 원자력발전소 허가권자는 주기적으로 시설의 안전성을 재평가하여 안전성을 개선하고, 운영 안전에 대한 교육을 강화하며, 그 밖에 재해 예방을 위해 필요한 조치를 취해야 합니다.

또한 원자력안전법 부칙 제6조 (9)항에는 "원자력 사업자는 원자력 시설의 안전 확보에 대한 일차적 책임이 자신에게 있음을 깊이 인식해야 한다"고 명시되어 있습니다. 제3자로부터 제품 및 서비스를 계약할 때 안전에 대한 책임은 라이선스 사용자에게 있습니다. 일본의 어떤 법도 라이선스 사용자의 책임을 다른 당사자에게 위임하는 것을 허용하지 않습니다. 라이선스 사용자는 제3자가 공급하는 제품 및 서비스가 해당 법률을 준수하는지 확인할 책임이 있습니다.

관련 문서 검토와 회의 및 임무 수행 중 논의된 내용을 바탕으로, 태스크 포스는 도쿄전력이 FDNPS의 ALPS 처리수 방류 관리에 대한 안전에 대한 일차적 책임이 있으며, 일본 정부가 규제 절차를 수행할 법적 권한을 가진 것으로 지정한 NRA의 면허를 받았다는 점에 주목했습니다. 도쿄전력은 ALPS 시설 및 관련 장비의 안전을 보장하고, 모든 조건에서 안전을 유지하기 위한 절차와 준비를 수립하고, 현장에서 사용 및 저장되는 모든 방사성 물질의 안전한 관리를 보장하고, 직원에게 적절한 교육과 정보를 제공할 책임이 있습니다.

도쿄전력은 ALPS 처리수 방류를 포함한 FDNPS에서의 활동을 위한 이행 계획[17]을 준비했습니다. NRA의 검토 및 승인을 받은 이행 계획은 태스크 포스가 여러 가지 중요한 기술적 사항을 더 잘 이해하도록 지원했습니다. 또한 IAEA는 다음 사항에 주목합니다:

1. 도쿄전력은 방류 과정의 다양한 단계에서 처리수의 방사선학적 특성에 대한 정보를 발표했습니다.
2. 도쿄전력은 ALPS 처리수의 의도치 않은 환경 방출로 이어질 수 있는 사건을 감지하고 방지하기 위해 중복적이고 다양한 안전 기능을 고려한 배출 시설의 설계 기준을 개발했습니다.
3. 도쿄전력은 NRA가 정한 요건에 따라 ALPS 처리수의 해양 방류에 대한 안전성 평가를 실시했습니다.
4. 도쿄전력은 방사선 환경 영향 평가를 실시했습니다.
5. 도쿄전력은 ALPS 처리수 배출과 관련된 환경 모니터링을 위해 종합 방사능 모니터링 프로그램 [7]에 참여하고 있습니다.

결론

- 일본에서 확립된 법적 및 규제 프레임워크에 따라 도쿄전력은 FDNPS의 ALPS 처리수 방류 안전에 대한 일차적인 책임이 있습니다.

2.2. 정부의 역할

독립적인 규제 기관을 포함하여 안전에 대한 효과적인 법적 및 정부 프레임워크를 수립하고 유지해야 합니다.

이 원칙은 적절하게 확립된 법적 및 정부 프레임워크가 방사선 위험을 유발하는 시설과 활동을 효과적으로 규제하고 책임을 명확하게 할당할 수 있도록 한다는 것을 명시합니다. 정부는 방사선 위험을 초래하는 시설 및 활동의 규제 통제에 대한 국가적 책임과 국제적 약속을 이행하는 데 필요한 법률, 규정 및 기타 규제 표준과 지침을 개발하고 독립적인 규제 기관을 설립할 책임이 있습니다. 규제 기관은 시설 및 활동의 안전 측면과 규제 절차에 대해 인근 당사자, 대중 및 기타 이해 당사자, 언론에 알릴 수 있는 적절한 수단을 마련해야 합니다. 또한 규제 기관은 공개적이고 포용적인 절차를 통해 인근 당사자, 대중 및 기타 이해관계자와 협의해야 합니다.

후쿠시마 제1원전 사고 이후 일본은 원자력 안전에 대한 규제 시스템을 근본적으로 바꾸고 새로운 독립 규제 기관으로 원자력규제청(NRA)을 설립했습니다. 원자력규제청 설립법에 따라 원자력규제청은 원자력 안전, 원자력 보안, 국제적 약속에 근거한 안전조치, 방사성 동위원소 사용 및 방사선 모니터링에 대한 규제를 단독으로 담당하고 있습니다. NRA는 원자력 진흥을 담당하는 당국의 관여 없이 허가, 승인 및 검사와 같은 규제 활동과 관련하여 독립적인 의사 결정을 내립니다.

NRA는 환경부의 외청으로, 원자력 에너지의 홍보 및 사용을 관할하는 METI와는 명확하게 분리되어 있습니다.

국가인권위원회 위원장과 위원은 국회의 동의를 얻어 국무총리가 임명합니다. NRA 의장은 NRA 사무국 직원을 임명합니다. NRA의 활동은 국가 예산으로 충당되며, 예산 제안서는 NRA가 재무부에 제출합니다. 원자력 홍보를 담당하는 당국은 NRA 예산의 승인 과정에 관여하지 않습니다.

일본의 입법 및 규제 체계는 5단계 시스템을 기반으로 합니다.

1. 기본법은 원자력 에너지의 안전한 사용과 규제 감독 및 재난 통제 조치에 대한 기본 법적 체계와 정책을 정의합니다. 기본법은 국회의 승인을 받아야 합니다.
 - a. 원자력 안전 분야에서 원자력 기본법은 가장 중요한 법률입니다. 원자력 기본법은 원자력 이용 및 안전에 관한 기본 원칙과 후속 개별 법률의 범위를 정의합니다.
 - b. 모든 유형의 재난을 포괄하는 재난 및 안전관리 기본법은 재난 대비 및 대응의 기본 틀을 정의합니다.

2. 법률은 기본법에서 정의한 틀을 구현하고 원자력 개발 및 이용에 대한 주요 법적 조항과 원자력 시설의 안전 규제, 인허가 및 검사에 대한 근거를 형성합니다. 법률은 국회의 승인을 받아야 합니다.
 - a. NRA 설립법은 NRA를 핵 규제 기관으로 규정하고 그 권한과 책임에 대한 세부 사항을 규정하고 있습니다.
 - b. 원자로 규제법은 방사능의 유해한 영향으로부터 인구와 환경을 보호하기 위해 모든 원자력 시설 및 활동에 대한 규제를 규정하고 있으며, 평화적 목적의 원자력 사용을 보장할 뿐만 아니라 통제된 핵물질에 대한 규제를 규정하고 있습니다.
 - c. 방사성동위원소 규제법은 방사성동위원소의 사용, 판매, 대여, 그 밖의 취급, 방사선 발생 장치의 사용, 폐기물 관리, 방사성동위원소 또는 방사선 발생장치에서 방출되는 방사선에 오염된 물건의 취급 등에 관한 규정을 두고 있습니다.
 - d. 원자력비상법은 원자력 사업자의 책임, 원자력비상사태 선포 절차, 원자력비상대응본부의 설치, 비상대응 등 원자력비상사태에 대처하기 위한 조치의 시행 등에 대해 규정하고 있습니다.
3. 내각 명령은 내각에서 발행하며 국회의 승인을 받을 필요가 없습니다. 내각 명령은 법률에서 위임한 사항을 규정합니다.
4. 장관령은 법률에서 위임한 세부 사항을 규정합니다. NRA는 NRA 설립법 제26조에 따라 장관령을 발행할 수 있습니다. 이러한 시행령 중 일부는 NRA 표준이라고도 합니다.
5. NRA 규제 가이드는 장관령, 허용되는 방법, 조건 등에 대한 자세한 내용이나 해석을 제공합니다.

NRA는 이행 계획과 관련하여 수행한 정보 공유 및 협의 프로세스를 태스크 포스와 공유했습니다. 도쿄전력이 ALPS 처리수 방류를 용이하게 하기 위해 이행 계획에 대한 수정안을 제출한 후, NRA와 도쿄전력은 검토 회의에 참여하여 도쿄전력의 계획에 대해 논의했습니다(NRA 검토 활동 일정은 부록 3 참조). 이러한 검토 회의는 직접 참석 및 웹 스트리밍을 통해 대중에게 공개되었습니다. 회의록을 포함한 모든 자료는 NRA 웹사이트에 게시되어 있습니다.

또한 NRA는 국회, 지방 정부, 지자체, 기자회견, 국제 컨퍼런스 등을 대상으로 브리핑을 통해 설명을 제공했습니다. 태스크포스는 ALPS 처리수 방류에 대한 전 세계적인 관심과 전 세계적으로 사람과 환경 보호를 입증하기 위한 증거 기반 정보 제공의 중요성에 주목했습니다. NRA는 이행 계획 및 REIA 검토에 대한 대중의 참여에 관한 세부 정보를 제공했으며, 많은 의견이 접수되어 NRA가 이를 고려했다고 언급

했습니다.

결론

- 일본 정부는 방사능 위험을 초래하는 시설 및 활동에 대한 법적 및 규제 체계를 수립했으며, 여기에는 ALPS 처리수 배출과 관련된 시설 및 활동이 포함됩니다.

- NRA는 독립적인 규제 기관으로 설립되었으며, 도쿄전력의 시설 및 ALPS 처리수 방류 활동에 대한 규제 관리 책임을 담당합니다.
- 원자력규제청은 ALPS 처리수 방류와 관련하여 규제 책임을 수행해 왔습니다: NRA는 도쿄전력에 ALPS 처리수 방류 허가 신청을 요구했고, NRA는 도쿄전력이 허가 신청 시 제출한 문서(예: 안전성 평가 및 REIA)를 검토했으며, NRA는 규제 허가 절차의 일부로 이용 가능한 모든 정보를 고려하여 ALPS 처리수 방류 허가를 발급하고 있습니다.
- NRA는 시행 계획 및 REIA 검토의 일환으로 대중과 협의했으며 의견을 고려했습니다.
- NRA는 인근 지역 거주자, 일반 대중 및 기타 이해관계자를 대상으로 이행 계획 및 REIA 관련 규제 활동에 대한 정보 공유 프로그램을 구축했으며, 여기에는 주변 국가의 이해관계자도 포함됩니다.

2.3. 안전을 위한 리더십 및 관리

안전을 위한 효과적인 리더십과 관리는 방사선 위험과 관련된 조직과 방사선 위험을 유발하는 시설 및 활동에서 확립되고 유지되어야 합니다.

이 원칙은 방사선 위험을 유발하는 시설 및 활동과 관련된 조직에서 안전을 위한 효과적인 리더십과 관리에 중점을 둡니다. 여기에는 해당 시설 또는 활동을 담당하는 조직과 규제 기관 및 기타 관할 당국이 포함됩니다.

이 원칙은 조직의 모든 수준의 경영진이 조직의 관리 시스템의 수립, 실행, 평가 및 지속적인 개선에 대한 의지를 보여야 하며 이러한 활동을 수행하기 위해 적절한 자원을 할당해야 한다고 명시합니다. 안전 리더십에는 조직의 비전, 목표, 전략, 계획 및 목표가 포함되며, 전리방사선의 유해한 영향으로부터 사람과 환경을 보호하고 행동 기대치를 설정하며 강력한 안전 문화를 조성하기 위한 개인의 헌신을 옹호하는 것이 포함됩니다. 안전 관리에는 효과적인 관리 프로세스를 수립하고 적용하는 것이 포함됩니다.

따라서 안전에 대한 리더십과 관리는 ALPS 처리수 방류와 관련된 책임이 있는 조직에 있어 근본적으로 중요합니다. 그러나 태스크 포스는 ALPS 처리수의 방류가 더 큰 FDNPS 내에서 발생하고 있으므로 도쿄전력과 NRA의 더 광범위한 리더십 및 관리 구조에 해당한다는 점도 인정했습니다.

도쿄전력의 조직 구조에 따르면 ALPS 처리수 프로그램 부서는 ALPS 처리수 배출 시설의 관련 감독, 계

획 및 기술 측면의 개발 이행을 담당하고 있습니다. 건설, 유지보수, 엔지니어링, 설치, 교육 및 모니터링 실험실 등 여러 분야의 다른 지원 기술 부서가 있습니다.

NRA의 관리 시스템은 승인 및 검사에 대한 규제 프로세스를 포함하여 NRA의 업무 프로세스를 문서화합니다. NRA는 관리 시스템에 대한 내부 감사를 실시하여 다음을 보장합니다.

는 규정을 준수하고 NRA 직원의 제안 등 개선 기회를 파악하기 위해 노력하고 있습니다. NRA는 후쿠시마 제1원전 사고 조사위원회의 권고에 따라 안전 문화에 관한 직원 세미나를 개최하고 직원들이 안전 문화 촉진의 필요성을 인식하도록 홍보하고 있습니다.

이 원칙은 또한 모든 시설과 활동에 대해 안전성을 평가해야 한다는 것을 명시합니다. 안전 평가에는 정상적인 작동과 그 영향, 고장이 발생할 수 있는 방식과 그러한 고장의 결과에 대한 체계적인 분석이 포함됩니다. 제안된 안전 조치가 적절하다는 것이 규제 기관의 만족할 만한 수준으로 입증된 후에만 시설을 건설하고 시운전하거나 활동을 시작할 수 있습니다.

태스크 포스는 안전성 평가 수행을 위해 도쿄전력이 수행한 분석의 양과 세부 수준, 포괄적인 접근 방식, 그리고 ALPS 처리수 방류에 대한 설계 기준 개발을 위해 다수의 잠재적 단일 고장 사건을 고려했다는 사실을 강조했습니다. 또한, 태스크 포스는 이전 임무에서 모든 고장 모드를 고려한 종합적인 평가와 희석되지 않은 ALPS 처리수의 방류로 이어질 수 있는 다양한 유발 요인을 식별하는 것의 중요성, 이행 계획에 문서화된 작업 수행에 대해 언급했습니다. 안전 평가에 대한 자세한 내용은 3부(섹션 3.2)에서 확인할 수 있습니다.

결론

- 도쿄전력과 NRA 내에서 안전에 대한 리더십과 관리가 확립되었습니다.
- 안전 관리에는 안전 문화를 고려한 요소가 포함됩니다.
- ALPS 처리수의 방류 기간을 고려할 때, 수원 기간 및 환경 모니터링 결과와 분석 결과를 포함한 모든 관련 구조물, 시스템 및 구성 요소의 운영 경험 피드백은 안전성 향상을 위한 핵심 수단입니다

2.4. 정당화

방사선 위험을 초래하는 시설과 활동은 전반적인 이익을 가져와야 합니다.

정당성은 국제 방사선 보호 표준의 기본 원칙입니다. 이 원칙은 방사선 위험을 초래하는 활동이 전체적인 이익을 가져와야 한다는 것, 즉 방사선 노출 상황을 변경하는 모든 결정이 해로움보다 더 많은 이익을

가져와야 한다는 것을 고려합니다. GSR 파트 3에 따라

[8], "정부 또는 규제 기관은 적절한 경우 모든 유형의 관행에 대한 정당성 및 필요에 따라 정당성을 검토할 수 있는 조항을 마련하고 정당한 관행만 승인하도록 보장해야 한다"고 규정하고 있습니다.

2.11항에서 GSG-8[10]은 "계획된 피폭 상황에서 정당성은 해당 관행이 전반적으로 유익한지, 즉 해당 관행을 도입하거나 지속함으로써 개인과 사회에 기대되는 이익이 해당 관행으로 인한 피해(방사선 피해 포함)보다 크지를 판단하는 과정입니다. 혜택은 개인과 사회 전체에 적용되며 환경에 대한 혜택도 포함됩니다. 방사선 피해는 전체 피해의 일부에 불과할 수 있습니다. 따라서 정당성은 다음과 같습니다.

방사선 보호의 범위를 훨씬 넘어서며 경제적, 사회적, 환경적 요인도 고려해야 합니다."

일본 정부가 IAEA에 ALPS 처리수의 해양 방류에 대한 관련 국제 안전 기준의 적용을 검토해 달라고 요청한 것은 일본 정부의 결정이 내려진 이후에 제출되었습니다. 따라서 현재 IAEA 안전성 검토의 범위에는 일본 정부가 수행한 정당화 절차의 세부 사항에 대한 평가가 포함되지 않았습니다. 그러나 IAEA는 일본 정부가 공개한 역사적 세부 사항(1편 참조)과 FDNPS의 다른 해체 작업에 대한 IAEA의 참여에 근거하여 일본 정부가 의사 결정 프로세스를 따랐으며, 이는 FDNPS에 저장된 ALPS 처리수를 관리하는 방법에 대한 최종 선택을 정당화했다고 지적합니다. 또한 IAEA의 검토 과정에서 일본 정부가 확인한 접근 방식을 기반으로 한 도쿄전력의 신청서가 규제 기관인 NRA의 검토 및 승인을 받았다는 사실이 인정되었습니다.

일본 정부는 처리수 처리 방법과 그 결정의 정당성을 결정할 최종 의사 결정 권한을 가지고 있습니다. 그럼에도 불구하고, FDNPS에 저장된 ALPS 처리수를 관리하는 최종 선택의 정당성은 많은 이해관계자에게 매우 중요하며 일본 정부의 명확한 설명이 필요합니다. 이러한 설명은 일본 정부가 2021년 4월에 발표한 기본 정책과 이해관계자들에게 제공한 추가 설명 및 해명을 통해 제공됩니다. IAEA의 검토 과정에서 태스크 포스는 계획된 방류에 대해 이해 당사자들과 명확하고 빈번하며 관련성 있는 커뮤니케이션의 중요성을 자주 강조했습니다.

정당성 결정은 방사선 보호 범위를 훨씬 넘어서는 것이며, 경제 및 사회적 요인과 같이 본질적으로 기술적이지 않은 다른 고려 사항도 포함하므로 IAEA가 이 결정의 비기술적 측면에 대해 언급하고 분석하는 것은 적절하지 않다는 점을 언급하는 것이 중요합니다.

또한 IAEA는 예상 피폭량이 낮은 경우 방사선 안전 이외의 요인(예: 경제적, 사회적)이 더 중요해질 수 있으며 의사 결정 과정을 주도할 수 있다고 지적합니다.

또한, GSG-9 [9]는 "정당성은 관행의 개별적인 측면이 아니라 전반적인 관행에 적용된다..."고 명시하고 있습니다. 따라서 ALPS 처리수 방류의 정당성 문제는 본질적으로 FDNPS에서 진행되는 해체 활동의 전반적인 정당성과 연결되어 있으며, 따라서 더 광범위하고 복잡한 고려사항의 영향을 받는다는 것이 분명합니다. 정당성에 관한 결정은 이익 및 손해와 관련된 모든 고려 사항을 고려할 수 있도록 충분히 높은 정부 수준에서 이루어져야 합니다. 원자력 안전은 국가적 책임이므로 일본 정부가 결정할 사항입니다.

결론

- ALPS 처리수 방류 결정을 정당화할 책임은 일본 정부에 있습니다.

- IAEA는 일본 정부가 접근 방식의 정당성을 확보하기 위해 의사 결정 과정을 따랐다고 지적합니다.

2.5. 보호 최적화

보호는 합리적으로 달성할 수 있는 최고 수준의 안전을 제공하도록 최적화되어야 합니다.

국제 안전 표준의 기본 원칙은 전리방사선 노출에 대한 보호가 관련 경제, 사회 및 기타 요인을 고려하여 합리적으로 달성할 수 있는 최고 수준의 안전성을 제공하도록 최적화되어야 한다는 것입니다.

ALPS 처리수 배출에 적용되는 안전 조치는 활동 기간 동안 합리적으로 달성할 수 있는 최고 수준의 안전성을 제공하도록 최적화되어야 합니다. 보호 최적화에 영향을 미치는 다양한 요인에는 방사선에 노출될 수 있는 사람(근로자 및 일반인)의 수, 피폭 가능성, 수신 방사선량의 크기 및 분포, 예측 가능한 사건으로 인한 방사선 위험, 경제적, 사회적 및 환경적 요인 등이 포함됩니다.

태스크 포스는 일본 정부와 관련 국제 안전 표준에 포함된 보호 최적화 요건이 일본 규제 프레임워크에서 갖는 중요성에 대해 논의했습니다. 태스크 포스는 *도쿄전력 홀딩스의 후쿠시마 제1 원자력 발전소 ALPS 처리수 취급에 관한 기본 방침에* "...[ALPS 처리수의] 해양 방류는 엄격한 통제 하에 ALARA 원칙에 따라 정화 및 희석 등의 조치를 취하여 위험을 최소화하기 위해 최선의 노력을 다한다는 전제 하에 FDNPS에서 시행될 것"이라고 명시되어 있다는 점에 주목했습니다. "합리적으로 달성 가능한 한 낮게"의 약자인 ALARA는 관련 사회, 경제 및 기타 고려 사항을 고려하여 전리 방사선에 대한 노출을 가능한 한 낮게 유지하기 위해 모든 합리적인 노력을 기울이는 개념을 말합니다.

관련 국제 안전 표준은 계획된 피폭 상황에 대한 보호 최적화를 위한 프로세스의 일부로 *선량 제한을* 설정할 것을 요구합니다. ALPS 처리수 방류의 경우, 방류로 인한 개별 선량에 대한 예상 및 방류 관련 제한을 설정하면 방류로 인해 가장 많이 피폭되는 개인에 대한 기본 보호 수준을 제공하고 방류에 대한 보호를 최적화할 때 선량의 상한선 역할을 합니다.

대표자

대표자는 "집단에서 더 많이 노출된 개인에 대한 선량을 대표하는 선량을 받는 개인"으로 정의됩니다. 대표자는 일반적으로 인구의 실제 구성원이 아닌 가상의 구성원이 됩니다. 이 개념은 준수 여부를 결정하거나 전향적 평가에 사용됩니다. [10]

GSG-10[11]의 5.32항에 따라, 대표자에 대한 선량은 인구에서 더 많이 노출된 사람들을 대표하는 개인 그룹에서

선택한 특성을 사용하여 계산해야 합니다. GSG-10은 대표자의 특성은 신청자가 국가 규정에 따라 규제 기관과 합의하여 지정해야 한다고 설명합니다.

.....

NRA는 ALPS 처리수 배출을 위해 대표자에게 연간 0.05밀리시버트의 선량 제한을 선택했습니다. NRA가 설정한 관련 선량 기준에 대한 자세한 내용은 파트 3(섹션 3.1)을 참조하십시오. 이후 이 선량 기준은 보호 최적화를 위한 프로세스에 사용되었으며, 그 목적은 모든 피폭이 경제적, 사회적 및 환경적 요인을 고려하여 합리적으로 달성 가능한 한 낮은 수준으로 제어되는 것입니다. 선택된 선량 제약은 ALPS 처리수 배출로 인한 일반인 피폭에 적용됩니다. 이는 보호 최적화를 목적으로 옵션의 범위를 정의하는 경계 조건 역할을 합니다.

IAEA는 국제 안전 기준에서 선량 제약은 선량 제한이 아니며(기본 안전 원칙 6: 개인에 대한 위험 제한 참조), 선량 제약 초과가 규제 요건 미준수를 의미하지는 않지만 후속 조치로 이어질 수 있다고 지적합니다.

도쿄전력은 방사선 환경 영향 평가(REIA)를 실시하여 ALPS 처리수 배출로 인한 대표자의 선량을 추정하고 연간 선량 제한인 0.05밀리시버트를 준수하는지 평가했습니다. 도쿄전력이 REIA의 정교화를 위해 수행한 프로세스는 관련 국제 안전 표준과 일치합니다. REIA에 관한 자세한 정보는 3부(3.4절)에서 확인할 수 있습니다.

복용량

"방사선량"의 측정 및 보고와 관련하여 여러 가지 용어가 존재합니다. 선량은 "*대상에 방사선에 의해 축적된 에너지의 측정*"으로 정의됩니다. 이 개념은 전리방사선이 사람에게 미치는 영향을 고려할 때 사용됩니다. 다음과 같이 이해해야 할 중요한 선량 개념은 여러 가지가 있습니다:

- **흡수 선량**은 기본적인 선량 측정량입니다. 이는 주어진 부피의 조직에 이온화 방사선에 의해 침착된 총 에너지를 해당 조직의 질량으로 나눈 값입니다. 흡수 선량의 단위는 킬로그램당 줄이며 그레이(Gy)라는 이름이 부여됩니다.
- **유효 선량**은 흡수된 선량에 방사선 유형에 대한 방사선 가중치(wR)와 장기 및 조직의 상대적 민감도를 반영하는 조직 가중치(wT)를 곱한 값입니다. 유효 선량의 단위는 시버트(Sv)입니다.
- **약정 유효 선량**은 외부 피폭으로 인한 유효 선량과 방사성 핵종 섭취로 인한 유효 선량(즉, 섭취 및 흡입으로 인한 내부 피폭)의 합입니다.

방사성 핵종 섭취로 인한 체내 선량을 계산하기 위해 성인은 섭취 시점을 20세로 가정하고, 계산된 선량은 50년 동안의 체내 방사선량(즉, 70세까지의 확약 선량)입니다. 어린이는 섭취 시점에 10세, 유아는 1세로 가정하고 각각 60년 및 69년 동안(즉, 70세까지) 신체에 대한 약정 방사선량을 계산합니다.

약정 유효 용량은 REIA에서 계산된 용량입니다.

이 평가는 보수적인 가정을 바탕으로 수행되었으므로 과소평가의 위험은 크지 않습니다. 더 넓은 지역에 거주하는 모든 사람은 REIA에서 확인된 대표적인 사람보다 노출의 영향을 훨씬 덜 받을 것입니다.

REIA[15]는 성인, 어린이 및 유아를 대표하는 사람에 대한 유효 선량 추정치를 제공하며, 그 범위는 0.000002(2E-06)~0.00004(4E-05) mSv/년입니다. 결과는 다음과 같습니다.

선량 제한치인 연간 0.05mSv보다 작습니다. 또한 이 결과는 일반적으로 최적화를 수행하지 않는 것이 권장되는 허용 기준치인 0.01mSv보다 훨씬 낮습니다. 이러한 결과는 일본 정부가 삼중수소 농도 및 연간 삼중수소 배출 한도 측면에서 ALPS 처리수 배출에 대해 설정한 제한에 기인합니다. 일본은 주변 환경에 미치는 영향과 평판 손상을 최소화하기 위해 방류수 최대 삼중수소 농도(1,500 Bq/L)와 연간 삼중수소 총 배출 한도(연간 22 TBq)를 설정하고 있습니다.

IAEA는 정부 정책에서 설정된 배출 제한이 사회적 우려와 환경으로 방출되는 전체 방사능을 줄이려는 욕구 등 광범위한 상황의 영향을 받았다는 것을 이해합니다. 태스크 포스는 이러한 상황이 최적화 프로세스에 영향을 준 주요 요인으로 고려될 수 있음을 인정합니다.

결론

- NRA는 보호 최적화를 위한 요구 사항을 수립하고 이후 이를 시행했습니다.
- 도쿄전력은 일반적인 상황을 고려하여 보호 및 안전의 최적화를 고려했습니다.
- IAEA는 향후 방전과 관련된 매개변수를 변경하기로 결정할 경우, 방호 최적화에 대한 추가 연구를 수행하고 평가해야 한다고 생각합니다.

용량 제약

선량 제한은 연간 유효 선량으로 표현되어야 하며, 대중의 피폭에 기여할 수 있는 각 출처(방사능의 승인된 배출을 포함하여 계획된 각 작업 또는 활동)에 대해 설정되어야 합니다.

GSG-9 [9]의 5.15항에 명시된 바와 같이, "각 특정 선원에 대한 선량 제한은 무엇보다도 해당 선원의 계획된 운영과 대중의 피폭에 기여할 수 있는 모든 승인된 선원의 선량 합이 선량 한도 이내로 유지되도록 하기 위한 것"이며, 이는 GSR 파트 3 [8]에 명시된 연간 1 mSv입니다. 선량 제한은 또한 연간 0.1mSv 정도의 선량보다 높아야 합니다. 따라서 실질적으로 선량 제한은 현장 및 시설 또는 활동의 특성, 피폭 시나리오 및 이해관계자의 견해를 고려하여 연간 0.1 ~ 1mSv 미만의 범위 내에서 선택해야 합니다.

선량 제약은 전리 방사선의 유해한 영향으로부터 사람과 환경을 보호하기 위한 옵션을 정의할 때 경계 조건으로 작용합니다. 따라서 선량 제약은 보호 및 안전 최적화를 위한 출발점입니다.

노출이 발생한 후, 노출량 제한은 시행된 보호 및 안전 전략(보호 전략이라고 함)의 적합성을 평가하고 필요에 따라 전략을 조정하기 위한 기준으로 사용할 수 있습니다.

.....

2.6. 개인에 대한 위험의 제한

방사선 위험을 통제하기 위한 조치는 개인이 허용할 수 없는 위험에 노출되지 않도록 보장해야 합니다.

이 기본 안전 원칙에 따르면 방사선 위험을 통제하기 위한 조치는 개인이 허용할 수 없는 위험에 노출되지 않도록 해야 합니다. 정당화와 최적화의 원칙은 방사선 방호 강화의 기본입니다. 그러나 보호의 정당화와 최적화가 그 자체로 개인이 허용할 수 없는 위험에 노출되지 않도록 보장하는 것은 아닙니다. 따라서 선량과 방사선 위험은 허용 가능한 위험에 대한 규제 기관(또는 기타 정부 당국)의 판단을 나타내는 지정된 한도 내에서 통제되어야 합니다.

이 기본 안전 원칙은 실제로 관련 승인 기관에서 허용 가능한 법적 상한선을 나타내는 선량 제한을 사용하여 구현됩니다. ICRP는 선량 한도를 권장하고 있으며, 이는 관련 국제 안전 표준에 통합되어 있습니다. NRA는 국제 안전 표준에 포함되고 ICRP가 권고하는 내용과 일치하는 일반인 피폭에 대한 선량 한도를 설정하여 도교전력이 적용하도록 했습니다. 이러한 선량 한도는 1년간 외부 피폭으로 인한 관련 선량과 1년간 섭취로 인한 관련 약정 선량의 합에 적용되며, 성인의 약정 선량 계산 기간은 일반적으로 섭취 후 50년이며 유아의 경우 최대 69년(즉, 최대 70세)입니다.

기본 안전 원칙 5, 보호의 최적화에서 언급했듯이 도교전력은 방사선 환경 영향 평가(REIA)를 실시하여 ALPS 처리수 배출로 인한 일반 대중의 선량을 추정했습니다. 도교전력이 REIA를 정교화하기 위해 수행한 프로세스는 국제 안전 표준에 부합합니다. REIA는 대중의 피폭, 환경 내 방사성 핵종의 분산 및 이동과 관련된 방사선원의 특성화를 고려하여 피폭 경로를 파악하고 외부 피폭 및 내부 조사를 고려했습니다.

REIA는 성인, 어린이 및 유아를 대표하는 사람에 대한 유효 선량 추정치를 제공하며, 그 범위는 0.000002(2E-06)~0.00004(4E-05) mSv/년입니다. 이 결과는 일반인의 선량 한도인 1mSv/년과 선량 제한치인 0.05mSv/년보다 훨씬 낮은 수치입니다.

잠재적 노출

국제 안전 표준에서 "잠재적 노출"의 정의는 "확실하게 전달될 것으로 예상되지는 않지만 예상되는 운영상의 사건이나 사고 또는 장비 고장 및 작동 오류를 포함한 확률적 성격의 사건 또는 일련의 사건으로 인해 발생할 수 있는 잠재적 노출로 간주됩니다."입니다.

시설 및 활동에 대해 수행해야 하는 안전 평가의 일환으로, 사고 가능성을 줄이고 사고 발생 시 그 결과를 완화하기 위한 공학적 안전 기능 및 운영 조치를 식별하기 위해 다양한 유형의 사고를 가정합니다. 이 분석을 통해 적절한 심층 방어가 이루어졌는지 여부를 판단하고, 시행 중인 안전 조치와 그 효과를 고려하여 다양한 사고 시나리오의 발생 가능성에 대한 통찰력을 제공합니다. 이러한 사고 시나리오를 사용하여 일반 대중의 잠재적 노출을 평가합니다. [11]

.....

REIA 내에서 잠재적 피폭에 대한 평가가 이루어졌으며 안전성 평가를 통해 확인된 가정된 사고 시나리오에 따른 일반 대중의 선량을 추정했습니다.

추정. 잠재적 피폭 시나리오에는 의도하지 않은 피폭으로 이어질 수 있는 사건 또는 일련의 사건의 특성이 포함됩니다. 관련 선원 기간, 직접 조사 모델링, 환경 내 방사성 핵종의 분산 및 이동, 잠재적 피폭에 대한 대표자에 대한 관련 피폭 경로 식별 및 대표자에 대한 선량 평가가 고려되었습니다. 환경 분산 및 이동은 기상 및 해양 데이터를 기반으로 정의된 환경 조건을 고려하여 관련 모델을 사용하여 추정합니다.

위의 내용을 바탕으로 도쿄전력은 1기의 탱크 그룹에서 20일 동안 약 10,000m³의 원액 처리수가 사고로 바다로 누출되는 경우와 3기의 탱크 그룹에서 1일 동안 약 30,000m³의 원액 처리수가 사고로 배출되는 경우의 두 가지 사고 시나리오를 가정하여 REIA에서 일반 대중의 잠재적 피폭량을 평가했습니다.

성인 대표자에 대해 계산된 선량은 고려된 두 가지 사고 시나리오에서 0.0002(2E-04) mSv ~ 0.01(1E-02) mSv 범위입니다. 도쿄전력은 두 시나리오 모두에서 모든 피폭 경로를 보수적으로 평가한 결과, 발전소 인근에 거주하는 대표자의 피폭량이 사고 발생 시 국제 안전 기준에서 정한 피폭량인 사건당 5mSv보다 훨씬 낮을 것으로 확인했습니다.

국제 안전 표준 준수 결과 및 검증

방사선 영향 평가	국제 안전 표준 기준	ALPS 처리수 방류에 따른 대표자(성인)의 평가 결과
정상 작동 시 인간에게 미치는 방사선 영향	일반인 선량 한도 1mSv/년	0.000002 - 0.00003 mSv/년
잠재적 노출 시 방사선 영향	일반적으로 5mSv/사건	0.0002 ~ 0.01밀리시버트/사건

결론

- 방류 처리수가 인체에 미치는 영향에 대한 결과는 국제 안전 표준과 일치합니다.
- 정상 작동 시 및 잠재적 피폭 시 해양 배출에 대한 방사선 영향 평가는 국제 안전 표준에서 정한 일반인 선량 제한 및 선량 한도 이하입니다.
- 선택한 잠재적 노출 사례에 대한 모든 가정은 보수적으로 이루어집니다.

2.7. 현재 및 미래 세대와 환경 보호

현재와 미래의 사람과 환경은 방사선 위험으로부터 보호되어야 합니다.

미래 세대와 환경 보호는 정당화, 최적화 및 개인에 대한 위험 제한의 개념에 내재된 중요한 개념입니다. 그럼에도 불구하고 국제 안전 표준에는 별도로 제시되어 있습니다. 이 기본 안전 원칙은 단순히 현재와 미래의 사람과 환경을 방사선 위험으로부터 보호해야 한다는 것을 요구합니다.

일본 정부와 도쿄전력은 활동의 일환으로 방사능 방출로 인한 방사선 위험이 국경을 초월하여 장기간 지속될 수 있다는 점을 고려해야 합니다. 따라서 방류를 통제하기 위한 조치는 현재와 미래에 발생할 수 있는 모든 결과를 고려해야 합니다. 특히 국제 안전 기준은 지역 인구뿐만 아니라 배출 활동으로부터 멀리 떨어진 인구에도 적용되며, 영향이 여러 세대에 걸쳐 나타날 수 있는 경우 후속 세대가 중대한 보호 조치를 취할 필요 없이 적절히 보호되어야 한다는 점에 유의해야 합니다.

이는 현재 FDNPS에서 ALPS 처리수를 방류하기 위해 계획된 장기적인 접근 방식을 고려할 때 중요한 기본 안전 원칙입니다. IAEA는 연구를 통해 도쿄전력이 생산하고 NRA가 검토한 REIA가 주변 국가의 대표자에 대한 선량이 감지할 수 없고 무시할 수 있는 수준임을 입증했다고 언급했습니다.

미래 세대를 적절히 보호하기 위해 특별위원회는 발생 선량이 아닌 약정 선량이 국제 안전 기준 준수 여부를 판단하는 기본량임을 확증하기로 결정했습니다. 선량을 평가하기 위한 기본량은 한 해 동안 외부 피폭으로 인한 선량과 해당 연도의 방사성 핵종 섭취로 인한 약정 선량을 더한 값입니다. 즉, 연간 총 선량은 할당된 연도에 바다로 배출되는 ALPS 처리수로 인한 방사성 핵종 섭취로 인해 평생(70세까지로 가정) 받는 선량입니다.

ALPS 처리수 배출 시 매년 방출되는 삼중수소,¹⁴C 및¹²⁹I의 총량은 우주선과 상층 대기 중 기체의 상호 작용과 같은 자연적 과정에 의해 매년 생성되는 방사성 핵종의 양보다 훨씬 적다는 점에 유의해야 합니다.

자연 공정에 의한 ^{3H}, ¹⁴C 및 ¹²⁹I 생산

지구상의 자연 삼중수소 발생원에는 우주 광선에 의한 대기 중 생성, 태양 코로나 질량 분출에서 비롯된 에너지 입자에 의한 대기 중 생성, 태양으로부터의 직접 부착 등 세 가지가 있습니다. 지구의 자연적 과정에 의해 생성된 삼중수소는 빠르게 HTO로 전환되어 지구 수문 순환에 유입됩니다. 자연적인 과정으로 인한 삼중수소의 연간 생산량은 약 280그램으로 추정되며, 태양 주기의 변화에 따른 우주의 강도 변화로 인해 연간 생산량은 220~330그램

사이로 다양합니다.

연간 평균값인 280그램은 연간 100PBq(100,000TBq) 정도의 활동에 해당합니다. 전 세계 삼중수소 재고량은 약 2,000PBq(2,000,000TBq)로 추정됩니다. 매년 처리수에서 방출되는 삼중수소의 양에 대한 제한은 22TBq입니다. 이는 약 5,000

자연적인 과정으로 인한 지구상의 연간 생산량보다 몇 배나 적으며, 연간 생산량의 해마다 변동하는 것보다 훨씬 적습니다.

태평양의 삼중수소 자연 배경 수준은 0.1-1 Bq/L 범위입니다. 도쿄전력이 수행한 해양 분산 모델링에 따르면 자연 배경 농도를 초과하는 삼중수소 농도는 FDNPS의 배출 지점으로부터 3km 이내로 제한될 것으로 예상됩니다. 이 농도는 모델 시뮬레이션 범위(490km x 270km)의 경계에서 자연 배경 수준보다 훨씬 낮으며, 최대값은 0.00026 Bq/L로 자연 배경 수준보다 3~4배 낮은 수준입니다.

지구상에서 천연 ^{14}C 의 주요 공급원은 핵-핵 반응에 의한 우주선에 의한 대기 중 생성입니다: $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$. ^{14}C 의 자연적 과정으로 인한 전 세계 재고량은 약 1 PBq(1,000TBq)로 추정됩니다. ALPS 처리수에서 매년 방출되는 ^{14}C 의 양은 약 2GBq(0.002TBq)로 자연적 과정으로 인한 전 세계 인벤토리보다 약 50만 배 낮습니다.

요오드-129는 다음과 같은 자연적 과정에 의해 생성됩니다: 상층 대기에서 우주선과 제논의 반응; ^{238}U 의 자발적 핵 분열; ^{235}U 의 열 중성자 유도 핵분열; 중성자 활성화 반응 $^{128}\text{Te}(n, \gamma)^{129}\text{I}$ 및 $^{130}\text{Te}(n, 2n)^{129}\text{I}$. 수권(주로 해양)에서의 자연적 과정으로 인한 ^{129}I 의 전 세계 재고량은 약 1TBq로 추정됩니다. 매년 처리수에서 방출되는 ^{129}I 의 양은 30-300MBq입니다. 이는 모든 해양에서 자연적으로 발생하는 ^{129}I 의 정상 상태 인벤토리보다 약 3,000~30,000배 낮은 수준입니다.

또한 방사선 노출이 인체 건강에 미치는 영향은 불확실성이 있기는 하지만 비교적 잘 알려져 있는 반면, 방사선이 환경에 미치는 영향은 과학계에서 지속적으로 연구 중이라는 점을 고려했습니다. 국제 안전 표준에 의해 확립된 방사선 보호 시스템은 방사선 노출의 유해한 영향으로부터 인간 환경의 생태계를 적절히 보호합니다. 환경 보호를 목적으로 취해진 조치의 일반적인 의도는 개별 유기체에 초점을 맞추기보다는 한 종의 개체군에 악영향을 미칠 수 있는 방사선 노출로부터 생태계를 보호하는 것입니다.

환경 보호

환경은 국제 안전 표준에서 "사람, 동물, 식물이 살거나 발달하는 조건, 특히 인간 활동에 의해 영향을 받는 조건 등 모든 생명과 발달을 유지하는 조건"으로 정의됩니다.

환경 보호는 '동식물을 포함한 비인간 종과 생물 다양성, 식량 및 사료 생산과 같은 환경 재화와 서비스, 농업, 임업, 어업 및 관광에 사용되는 자원, 정신적, 문화적, 레크리에이션 활동에 사용되는 편의시설, 토양, 물, 공기 등의 매체, 탄소, 질소 및 물 순환과 같은 자연 과정의 보호와 보존'으로 정의됩니다.

ICRP가 설정한 환경 보호의 높은 수준의 목표는 생물학적 다양성을 유지하고 종의 보존과 자연 서식지, 지역 사회 및 생태계의 건강을 보장하는 것입니다. 동식물 개체군에 대한 방사선 위험은 무시할 수 있을

정도로 미미할 것으로 예상됩니다. 동식물에 대한 영향 평가에 사용된 방법은 방사선 영향에 대한 현재의 과학적 지식을 기반으로 합니다.

IAEA 국제 안전 기준은 생물 다양성 유지, 종 보존, 자연 서식지, 지역사회 및 생태계의 건강 및 상태 보호라는 국제 환경 보호 목표와 일치합니다.

도쿄전력은 국제 안전 표준에 규정된 동식물에 대한 영향을 평가하는 방법론을 따랐으며, 이는 환경의 다양한 생태계를 보호하기 위한 국제방사선방호위원회(ICRP)의 접근 방식과 일치합니다. 이 접근 방식에 따라 해양 환경 보호를 위한 참고 자료로 세 가지 종을 사용합니다. 개념적 접근 방식은 이 세 가지 기준 종의 기준을 초과하지 않는다면 모든 종은 개체 수 수준(특히 계획된 노출 상황)에서 동등하게 잘 보호되고 있다고 가정할 수 있다는 것입니다. 세 가지 기준 종은 다음과 같습니다:

- 납작 물고기 (왼쪽 눈과 오른쪽 눈을 가진 넙치가 FDNPS 주변 해역에 널리 서식합니다)
- 게(오발리페스 폰크타투스과 포르투누스 트리투베르쿨라투스는 FDNPS 주변 해역에 널리 서식합니다)
- 갈조류(사르가섬과 아이제니아 바이클리스는 FDNPS 주변 해역에 널리 서식합니다)

이러한 동식물은 FDNPS 주변 해역에 널리 분포하고 있으므로 평가에 사용된 해수의 방사성 물질 농도는 국제 안전 기준의 일반적인 방법론에 따라 일반적으로 가장 높은 환경 활동 농도가 발생하는 배출 지점 주변의 기준 구역에 대한 것입니다. 자세한 내용은 파트 3(섹션 3.4)을 참조하세요. 또한 동식물에 대한 선량을 평가에서는 해저에 서식하는 어류(기준 넙치)를 고려하여 해저 퇴적물뿐만 아니라 해수에 부유하는 방사성 핵종으로부터 외부 피폭을 계산합니다.

피폭 결과는 광어 0.0000007(0.7E-06) mGy/일, 게 0.0000007(0.7E-06) mGy/일, 갈조류 0.0000008(0.8E-06) mGy/일입니다. 이 수치는 국제 안전 기준에서 예시로 제시하고 국제방사선방어위원회(ICRP)에서 정한 고려참고선량기준치(DCRL)보다 훨씬 낮은 수준입니다.

바다의 동식물에 대한 방사선 영향 평가	국제 안전 표준	평가 결과
광어 게	1-10 mGy/일	0.7 x 10 ⁻⁶ mGy/일
갈색 해초	10-100 mGy/일	0.7 x 10 ⁻⁶ mGy/일
	1-10 mGy/일	0.8 x 10 ⁻⁶ mGy/일

특별위원회는 환경에서의 방사성 물질의 거동이 복잡하다는 것을 알고 있지만, 환경 보호에 관한 국제 표준의 요구 사항을 존중하고 배출로 인한 생물상에 대한 방사선 피폭은 이러한 목표를 달성하는 데 있어 주목할 만한 고려 사항이 될 것으로 예상하지 않는다는 견해를 가지고 있습니다. 또한 태스크포스는 일반 대중을 보호하기 위해 필요한 방폐물 관리 기준(계획 피폭)이 방폐물에 충분히 적용되면 일반적으로 다른 종을 위험에 빠뜨리지 않을 것이라는 ICRP 권고에 명시된 국제적 합의에 동의한다는 점을 강조합니다.

IAEA는 ALPS 처리수 방류에 대한 통제를 통해 국제 환경 보호 목표를 충분히 달성할 수 있으며, 생물상에 대한 선량률은 ICRP가 설정한 국제 안전 기준에 비해 무시할 수 있는 수준이라고 확신합니다.

요약하면, 방류수는 미래 세대에게 과도하거나 통제할 수 없는 부담을 주지 않는 방식으로 미래 세대와 환경을 보호하기 위해 관리되어야 합니다. 도쿄전력은 ALPS 처리수를 장기적으로 관리하기 위해 안전하고 실행 가능하며 환경적으로 수용 가능한 솔루션을 적용해야 합니다. IAEA는 FDNPS에서 ALPS 처리수의 계획된 방류를 위해 수행된 기존의 평가 및 제어가 이 원칙을 충족하는 것으로 보인다고 지적합니다.

결론

- 도쿄전력은 국제 안전 표준에 따라 ALPS 처리수 방류에 대한 REIA를 실시했습니다.
- 모든 상황을 고려한 대중에 대한 방사선량 평가와 정상 작동 시 해양 동식물에 대한 방사선량 평가가 수행되었습니다.
- 또한 정상 운영 시 ALPS 처리수 방류로 인한 해양 동식물에 대한 방사능 영향 평가 결과 무시할 수 있는 수준인 것으로 확인되었습니다.
- 방사선 환경 영향 평가 결과에 따르면 주변 국가의 인구에 대한 예상 선량은 무시할 수 있는 수준입니다.
- 도쿄전력의 해양 분산 모델은 모델링 시뮬레이션 영역의 경계에서 감지할 수 없거나 배경 수준과 구별할 수 없는 매우 미미한 농도의 삼중수소 및 기타 방사성 핵종을 예측합니다.

파생된 고려 사항 참조 수준

ICRP는 동식물에 대한 방사선 영향을 평가하고 관리하기 위한 기준을 "파생된 고려 기준치"의 형태로 정의했습니다[12]. 도출된 고려 기준 수준은 한 차수에 걸쳐 있으며, 해당 대역의 하한선량보다 낮은 선량률의 경우 영향이 관찰되지 않았거나 영향에 대한 정보가 제공되지 않습니다.

도출된 고려 기준 수준은 한계를 나타내는 것이 아니라, ICRP 권고사항[12]에 따라 전반적인 관리 목표, 실제 존재하는 동식물, 도출된 개체 수에 따라 환경 보호를 위해 지출해야 하는 적절한 노력 수준을 알려주는 참고 사항으로 간주해야 합니다[12, 13].

2.8. 사고 예방

핵 또는 방사능 사고를 예방하고 완화하기 위한 모든 실질적인 노력을 기울여야 합니다.

이 기본 안전 원칙은 사고를 예방하고 발생한 사고의 결과를 완화하기 위해 모범 엔지니어링 관행과 실행 가능한 조치를 적용하는 것을 말합니다. 특히 시설의 부지, 위치, 설치 설계, 시공, 시운전, 운영, 유지 보수 또는 폐쇄는 국제 및 국내 표준을 고려한 모범 엔지니어링 관행에 기반해야 합니다.

또한 이러한 활동은 시설의 수명 기간 동안 보호와 안전을 보장하기 위한 관리 및 조직적 기능, 설계 및

시공의 안전 마진, 필요한 품질, 중복성 및 검사 역량을 고려하여 사고를 예방하고, 발생한 사고의 결과를 완화하며, 향후 노출 가능성을 제한하는 데 중점을 두고 지원되어야 합니다.

따라서 잠재적 노출 가능성과 규모에 상응하는 보호 및 안전에 대한 순차적이고 독립적인 조항으로 구성된 다단계(심층 방어) 시스템이 적용되도록 해야 합니다. 이와 관련하여 운영자는 "단계적 접근"이라는 개념을 적용해야 합니다.

및 규제 기관과 협력하여 잠재적 사고로부터 보호하기 위해 적용되는 조치가 일반 대중의 피해 가능성과 명확하게 일치하는지 확인합니다. 분석 결과, 도쿄전력은 완화를 위한 통제가 필요한 최악의 시나리오로 ALPS 처리수의 의도하지 않은 방출을 꼽았습니다. 이 의도하지 않은 방출로 인한 영향은 무시할 수 있는 수준으로, 기본 안전 원칙 6과 3부(섹션 3.4)에서 자세히 설명합니다.

IAEA의 안전성 검토를 위해 태스크 포스는 다양한 공학적 제어, 시설, 절차 및 기타 안전 기능을 고려했으며, ALPS 처리수의 배출을 제어하기 위해 마련된 시스템과 프로세스가 이 적용에 적합하다는 점에 주목했습니다. ALPS 처리수의 의도하지 않은 방류를 방지하기 위한 공학적 제어 장치와 방류수가 규제 요건을 충족하도록 적절하게 희석되도록 보장하기 위한 프로세스 및 측정 단계가 포함되어 있어 사고로 인한 영향을 방지하고 완화할 수 있는 충분한 제어가 이루어지고 있음을 보장합니다. 본 보고서의 파트 3(섹션 3.2)에는 안전 시스템 및 프로세스를 평가한 방법에 대한 자세한 정보가 포함되어 있습니다.

또한 태스크포스는 ALPS 처리수 방류 전과 방류 중에 계획된 유지관리 계획, 검사 프로그램 및 테스트 준수의 중요성에 주목했습니다.

결론

- 도쿄전력은 공정을 제어하고 ALPS 처리수의 의도치 않은 방류를 방지하기 위해 안전을 위한 견고한 엔지니어링 설계와 절차적 제어를 적용했습니다.
- 비상 차단 밸브 및 감지기와 같은 일부 구성 요소에 대한 이중화가 시스템에 구축되어 '심층 방어' 개념이 통합되었습니다.

2.9. 비상 대비 및 대응

핵 또는 방사능 사고에 대한 비상 대비 및 대응을 위한 준비를 해야 합니다.

비상 대비의 목표는 핵 또는 방사능 비상 시 효과적인 대응을 위해 운영 조직과 지역, 지역 및 국가 수준, 그리고 적절한 경우 국제 수준에서 적절한 역량을 갖추도록 하는 것입니다. 이러한 역량은 권한과 책임, 조직 및 인력, 조정, 계획 및 절차, 도구, 장비 및 시설, 교육, 훈련 및 연습, 관리 시스템 등을 포함하되 이에 국한되지 않는 통합된 인프라 요소와 관련됩니다. 이 원칙을 충족하는 데 있어 일본 정부는 원자력 사고 조기 통보에 관한 협약의 당사국이라는 점에 유의해야 합니다.

원자력기본법에 따라 내각 내에 원자력비상대책위원회를 설치하여 국무총리를 위원장으로 하고 환경성장관, 국무총리가 지명하는 다른 관계부처 장관, 원자력규제청장을 부위원장으로 하는 원자력비상대책위원회를 구성했습니다. 원자력 비상법은 원자력 재해를 예방하고 원자력 비상위원회의 기능을 강화하기 위한 모든 조치를 포함하고 있습니다.

비상시 대응 본부. NRA는 비상 대비 조치, 비상 대응 및 비상 사태로부터의 복구를 실행하기 위한 전문적이고 기술적인 지침을 수립합니다.

미국방사선방호국(NRA) EPR 가이드가 제정되어 비상계획구역, 비상조치수준(EAL), 운영개입수준(OIL) 등이 수립되었습니다. 오프사이트 대응 조치에는 중앙정부와 지방정부 간의 역할 분담, 비상 방사선 감시 시스템, 원전 재난 시 의료 치료 시스템 등이 포함됩니다. 현장에서는 사고 발생 시 특정원자력시설 내 모든 사람에게 적절한 지시를 내릴 수 있도록 적절한 경보 시스템과 통신 장비를 갖추고 있습니다. 특정 원자력 시설과 외부 장소 간의 통신을 위한 장비도 제공되며, 이러한 조치를 이행할 때 시스템의 중복성 및 다양성을 고려합니다.

도쿄전력이 ALPS 처리수 프로젝트에 대해 수행한 안전 평가에서 가능한 비정상적인 사건과 외부 사건을 확인했습니다. 측정 및 확인 탱크에서 ALPS 처리수가 통제되지 않은 상태로 방출될 수 있는 두 가지 이벤트가 고려되었습니다. 두 가지 시나리오 중 가장 높은 선량을 발생시키는 시나리오(하루 동안 탱크에서 약 30,000m³의 희석되지 않은 처리수를 실수로 바다로 방류)의 경우 성인 대표자에 대해 계산된 잠재적 피폭량은 0.0002(2E-04) mSv ~ 0.01(1E-02) mSv입니다. 이는 이러한 사건으로 인한 방사선 위험이 무시할 수 있는 수준이며 국제 안전 표준에서 제시하는 것보다 훨씬 낮다는 것을 보여줍니다. ALPS 처리수의 방류는 FDNPS에 대한 광범위한 비상 및 대응 조항에 해당하지만, 파트 3에서 논의된 통제 조치 이외의 구체적인 조치는 계획되어 있지 않습니다.

결론

- 일본은 후쿠시마 원전 폐로를 포함한 국가 비상 시스템의 일환으로 모든 방사선 비상 사태에 대비하고 대응하기 위한 통합적이고 조정된 비상 시스템을 갖추고 있습니다.
- 현장에서 그리고 적절한 경우 지역, 지역, 국가 및 국제 수준에서 효과적인 대응을 위해 역할과 책임을 포함한 비상 대비 및 대응 준비를 갖추고 있습니다.
- 고려된 ALPS 처리수 배출과 관련된 잠재적 사고 및 사건의 경우, 방사선 위험은 미미하며 대응 조치가 필요하지 않을 것입니다.
- 일반적으로 EPR에 대한 법적 프레임워크가 마련되어 있으며 FDNPS는 이러한 요구 사항을 준수합니다.
- ALPS 처리수 방류와 관련하여 방사능 비상사태는 예상되지 않습니다.

2.10. 기존 방사선 위험을 줄이기 위한 보호 조치

기존 또는 규제되지 않은 방사선 위험을 줄이기 위한 보호 조치는 정당화되고 최적화되어야 합니다.

마지막 기본 안전 원칙은 기존 또는 규제되지 않은 방사선 위험을 줄이기 위한 보호 조치를 말합니다. IAEA 안전 기본 원칙 간행물에는 기존 노출 상황에 대한 기본 안전 원칙이 적용될 수 있는 상황의 예가 나와 있습니다. 여기에는 다음이 포함됩니다:

- (i) 본질적으로 자연적으로 발생하는 방사선 노출과 관련된 상황(예: 주택의 라돈으로 인한 노출)에 해당합니다,
- (ii) 과거에 수행된 인간 활동으로 인해 발생한 현존하는 노출 상황에 관한 것으로, 규제 통제의 대상이 아니었거나 엄격한 통제 체제가 적용되지 않은 상황,
- (iii) 방사성 핵종이 통제되지 않은 상태로 환경에 방출된 후 취해진 정화 조치를 따르는 경우.

ALPS 처리수의 방류는 이러한 상황에 해당하지 않습니다. ALPS 처리수의 방류로 인해 발생할 수 있는 방사선 위험은 계획된 노출 상황으로 NRA의 검토를 받습니다. 따라서 이 안전 원칙은 ALPS 처리수 배출에는 적용되지 않습니다. 그러나 다른 관련 국제 안전 표준은 여전히 적용되며 이 보고서 전체에서 자세히 다루고 있다는 점에 유의하는 것이 중요합니다.

결론

- 일본 규제 체계에서 FDNPS는 기존 피폭 상황으로 관리되지만, 관리 대상인 ALPS 처리수의 해양 배출은 관련 국제 안전 표준에 따라 NRA에서 계획된 피폭 상황으로 간주합니다. 따라서 이러한 방류는 계획된 노출 상황에 적용되는 국제 안전 표준을 준수해야 하며, 따라서 이 기본 안전 원칙은 ALPS 처리수 방류에는 적용되지 않습니다.

노출 상황 유형

국제 안전 표준은 세 가지 유형의 노출 상황을 구분합니다[8]:

- 계획된 노출 상황은 노출원의 계획된 운영 또는 노출원으로 인해 노출을 초래하는 계획된 활동으로 인해 발생하는 노출 상황입니다.
 - 긴급 노출 상황은 사고, 악의적인 행위 또는 기타 예상치 못한 사건의 결과로 발생하는 노출 상황으로, 불리한 결과를 피하거나 줄이기 위해 즉각적인 조치가 필요한 상황입니다.
 - 기존 노출 상황은 관리 필요성에 대한 결정을 내려야 할 때 이미 존재하는 노출 상황을 말합니다. 기존 노출 상황에는 자연 배경 방사선에 노출된 상황이 포함됩니다.
-

파트 3

안전 요구 사항과의 일관성 평가

3.1. 규제 제어 및 승인

3.1.1 배경

규제 프레임워크 및 규제 기관 설립

IAEA 국제 안전 표준은 정부의 책임과 기능을 개괄적으로 설명합니다. GSR 파트 1(개정 1)[14]은 정부 및 법적 프레임워크의 필수 측면, 규제 기관 설립, 평화적 목적으로 활용되는 기존 및 신규 시설과 활동에 대한 효과적인 규제 통제를 보장하는 데 필요한 조치에 대한 요구 사항을 설정합니다.

GSR 파트 1(개정 1) [14]의 2.2항에는 다음과 같이 명시되어 있습니다:

"정부는 다양한 수단, 법령 및 법률을 통해 안전에 대한 국가 정책을 수립합니다. 일반적으로 정부가 지정한 규제 기관은 규정 또는 국가 표준에 명시된 규제 프로그램과 전략을 통해 정책을 이행하는 임무를 맡습니다. 정부는 규제 기관의 구체적인 기능과 책임 배분을 결정합니다. 예를 들어, 정부는 안전과 관련된 법률을 제정하고 정책을 채택하는 반면, 규제 기관은 이러한 법률과 정책을 이행하기 위한 전략을 개발하고 규정을 공표합니다. 또한 정부는 안전 및 비상 대비 및 대응과 관련하여 다양한 정부 기관의 책임과 기능을 명시하는 법률을 제정하고 정책을 채택하는 반면, 규제 기관은 효과적인 조정을 제공하기 위한 시스템을 구축합니다."

GSR 파트 1(개정 1)[14]에는 광범위한 정부 인프라 내에서 규제 기관에 대한 구체적인 요구 사항도 포함되어 있습니다. GSR 파트 1(개정 1) [14]의 4.2항에는 다음과 같이 명시되어 있습니다: "규제 기관의 책임은 정부 및 법률 내에서 수행되어야 하며, 이에 따라 달라집니다."

안전에 대한 프레임워크." 규제 기관은 안전에 대한 전반적인 정부 및 법적 프레임워크 내에서 운영되지만, 규제 기관의 독립적인 역할의 중요성은 GSR 파트 1(개정 1) [14]의 요구 사항 3, 4 및 17에서 강조됩니다. 예를 들어, GSR 파트 1(개정 1) [14]의 요구사항 4에는 다음과 같이 명시되어 있습니다: "정부는 규제 기관이 안전 관련 의사 결정에 있어 효과적으로 독립적이며, 의사 결정에 부당한 영향을 미칠 수 있는 책임이나 이해관계를 가진 기관으로부터 기능적으로 분리되어 있는지 확인해야 합니다."

시설 또는 활동에서의 퇴원 승인

잠재적으로 더 높은 방사선 위험을 초래할 수 있는 시설 또는 활동의 경우, 해당 시설 또는 활동의 배출 규제는 이러한 배출 및 방사선 결과의 적절한 관리 및 통제를 포함하여 엄격한 기술 및 규제 조건을 설정하는 승인(해당되는 경우 등록 또는 라이선스)을 통해 관리하는 것이 적절할 수 있습니다.

GSR 파트 3 [8]은 요건을 설정하고, GSG-9 [9]는 규제 기관과 라이선스 보유자 또는 신청자 모두를 위한 규제 통제 및 배출 승인에 대한 권장 사항을 제공합니다.

GSG-9[9]의 5.2항은 "규제 기관은 대중과 환경에 대한 예상되는 방사선 영향에 따라 등급별 접근법의 개념을 사용하여 배출 조항을 포함한 시설 및 활동에 대한 승인 절차를 수립해야 한다"고 명시하고 있습니다.

GSG-9 [9]의 5.31항은 다음과 같이 명시합니다:

"규제 기관은 퇴원 허가의 필요성이 확인된 후 퇴원 허가를 요청하는 신청자가 따라야 할 절차를 수립해야 합니다. 승인 절차의 단계는 다음과 같을 수 있습니다:

- a) 규제 기관은 고려 중인 시설 또는 활동에 대한 관련 노출량 제한을 명시해야 합니다(5.15-5.19항 및 부록 참조).
- b) 신청자는 대표자의 노출을 적절히 평가하기 위해 배출물 및 확인된 주요 노출 경로를 특성화해야 합니다.
- c) 신청자는 방전으로 인한 노출을 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지하기 위한 조치를 고려하고 모든 관련 요인을 고려하여 대중의 보호와 안전을 최적화하기 위해 사용할 조치를 제시해야 합니다.
- d) 신청자는 대표자에 대한 투여량을 평가해야 합니다. 여기에는 간단하고 신중한 일반적 평가부터 시작하여 필요한 경우 보다 상세한 부위별 연구까지 여러 차례 반복할 수 있습니다.
- e) 신청자는 평가 결과를 규제 기관에 제출해야 합니다. 규제 기관은 신청자가 사용한 모델과 가정 이 적절한지 평가하고, 평가 결과를 선량 제한 및 선량 제약과 비교해야 하며, 평가된 선량이 대

중을 최적화하여 보호할 필요성에 부합하는지를 평가해야 합니다.

- f) 규제 기관은 배출 한도를 설정해야 하며, 배출원 모니터링 및 환경 모니터링 시스템과 프로그램을 포함하여 운영 중 준수 여부를 입증할 수 있는 조건을 설정해야 합니다.
- g) 규제 기관은 모델과 가정이 유효하고 선량이 최적화된 수준보다 높지 않다는 것을 확인한 후 배출 허가를 발급해야 합니다."

이러한 단계는 GSG-9 [9]의 그림에 요약되어 있으며, 아래에 복사되어 있습니다(그림 3.1. 참조). 그림 3.1. 에는 프로세스의 각 단계에 대한 책임자도 나와 있습니다.

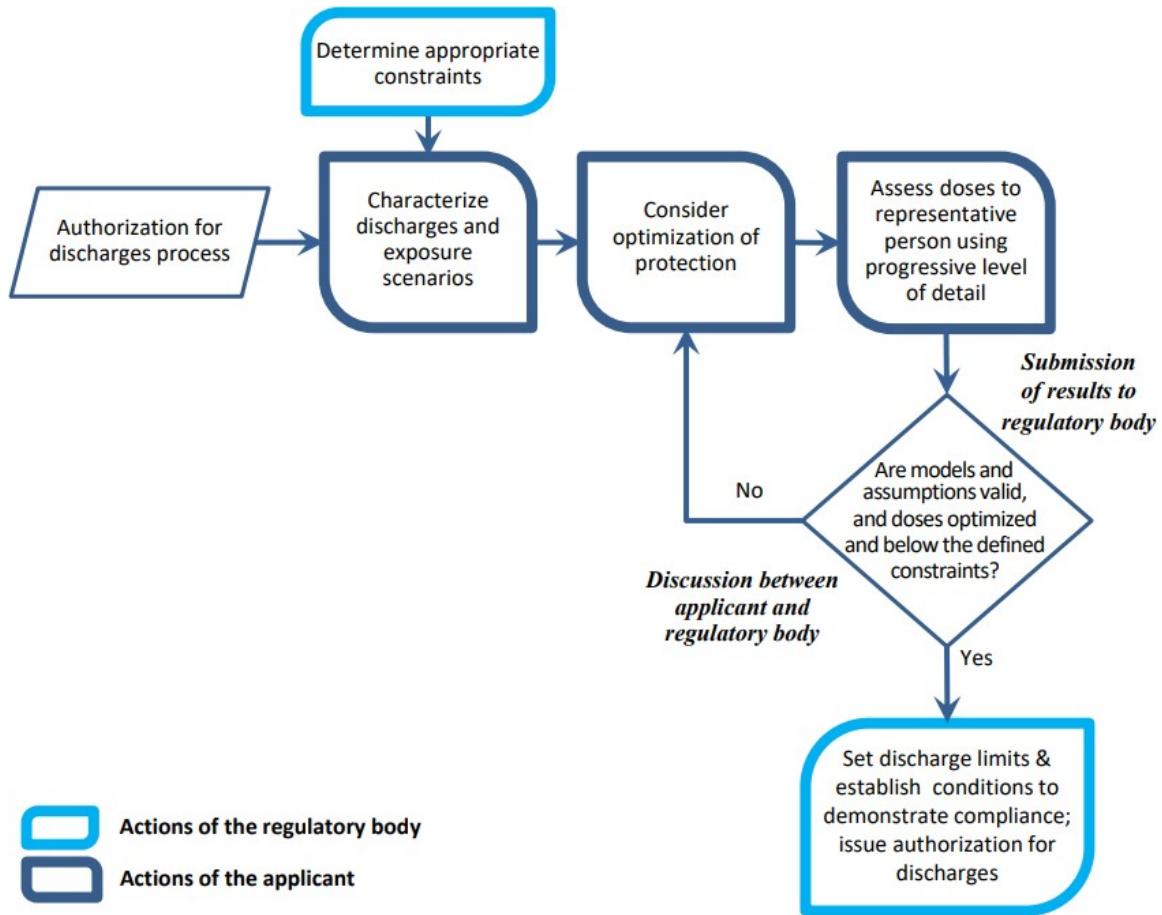


그림. 3.1: 책임자를 나타내는 배출 제한 설정 단계(GSG-9 [9]의 그림 3)

용량 제약 설정

허가가 필요하다는 결론을 내린 후, GSG-9[9](그림 3.1에 표시됨)에 설명된 허가 절차의 첫 단계는 "정부 또는 규제 기관은 대중의 보호 및 안전 최적화를 위해 사용할 용량 제한 및 위험 제한을 설정하거나 승인해야 한다"는 GSR 파트 3[8]의 3.120항에 명시된 요건을 반영합니다.

규제기관에 의해 적절한 선량 제약이 결정되면 신청자는 그림 3.1에 표시된 대로 배출 및 주요 노출 시나리오를 특성화하고, 보호 최적화를 고려하고, 대표자에 대한 선량을 평가해야 합니다. 신청자의 이러한 조치는 제3부(섹션 3.4)에 자세히 설명되어 있으며, 그 결과물은 방사선 환경 영향 평가(REIA)입니다. 이는 보호 및 안전의 최적화를 고려하는 반복적인 프로세스입니다.

보호 최적화를 위한 요구 사항 수립

개인이 대중에게 노출되거나 노출될 수 있는 상황의 경우, GSR 3부 [8]의 요건 11은 "정부 또는 규제 기관은 보호 및 안전의 최적화를 위한 요건을 수립하고 시행해야 하며, 등록자 및 허가자는 보호 및 안전이

최적화되도록 보장해야 한다"고 명시하고 있습니다. 선량 제한은 보호 및 안전 최적화를 위한 출발점이며, 그 목적은 모든 노출이 합리적으로 달성 가능한 수준(ALARA)으로 통제되고 경제적, 사회적 및 환경적 요인이 고려되는 것입니다.

GSG-8, 3.33 단락 [10]은 "보호 및 안전 최적화는 특정 시설의 구성 요소에 적용될 수 있으며 특정 그룹의 사람들에 대한 선량을 고려하는 것으로 제한될 수 있다"고 명시합니다. 그러나 최적화를 목적으로 하는 모든 분석의 경계 조건은 진료의 다른 구성 부분이나 다른 집단에 영향을 미칠 수 있으므로 신중하게 선택해야 합니다. 예를 들어, 원자력 발전소의 다양한 폐수 처리 옵션의 비용과 이점은 환경으로의 방사능 배출로 인한 피폭으로부터 대중을 보호하고 환경을 보호하는 최적화를 위해 고려되어야 합니다. 이러한 옵션 중 일부는 고형 폐기물을 시설에 저장하는 방식이나 작업자의 직업적 피폭에 중대한 영향을 미칠 수 있으며, 최적화 프로세스에서도 고려해야 합니다."

GSG-9[9]의 5.32항은 "일반 대중에 대한 예상 선량이 연간 $10\mu\text{Sv}$ 이하인 경우, 추가 선량 저감 노력이 일반적으로 최적화 요건을 충족하지 못한다는 점을 근거로 최적화 프로세스가 일반적으로 필요하지 않아야 한다"고 명시하고 있습니다.

배출 제한 설정

허가를 발급하기 전 마지막 단계는 규제 기관이 시설 및 활동에 대한 배출 한도를 설정하여 대중에 대한 피폭을 통제하고 방사선 보호 관점에서 대중의 보호가 최적화되도록 보장하는 것입니다. GSG-9 [9] 5.43항에 명시된 바와 같이, "배출 한도를 설정하려면 일반 대중에 대한 선량 추정치를 사용하여 설정된 방사선 기준을 충족하는 허용 가능한 최적화된 배출 수준(선량 제약)을 결정해야 합니다."(선량 제약).

배출 한도는 일반적으로 배출되는 각 방사성 핵종에 대해 연간 Bq로 설정됩니다. 배출 제한이 활동 농도로 표시되는 경우 관련 부피를 지정해야 합니다.

GSR 파트 3[8]의 3.123항은 "규제 기관은 승인된 배출 한도를 포함하여 공공 노출과 관련된 운영 제한 및 조건을 설정하거나 승인해야 한다."고 규정하고 있습니다. 이러한 운영 제한 및 조건:

- a) 등록자 및 라이선스 사용자가 소스 운영 개시 후 준수 여부를 입증하기 위한 기준으로 사용해야 합니다;
- b) 보호 및 안전성 최적화 결과를 고려하여 용량 한도 미만의 용량에 해당해야 합니다;
- c) 유사한 시설 또는 활동 운영의 모범 사례를 반영해야 합니다;
- d) 운영 유연성을 허용해야 합니다;
- e) 규제 기관의 요구 사항에 따라 수행된 방사선 환경 영향에 대한 전향적 평가의 결과를 고려해야 합니다."

규제 기관에 REIA 제출, 결과 논의 및 규제 기관의 검토는 반복적인 과정이며 3부(3.4절)에 더 자세히 설명되어 있습니다.

배출 한도와 해당 관행이 승인되는 조건을 설정함으로써 환경은 전리 방사선의 영향으로부터 보호되는 것으로 간주됩니다. 일부 회원국은 대중의 보호를 최적화하는 것 외에도 동식물 개체군에 대한 방사선 노출의 영향을 추정하는 등 환경 보호를 명시적으로 평가해야 할 필요가 있다고 생각합니다. 이에 대해서는 3부(3.4절)에 자세히 설명되어 있습니다.

권한 발급, 검사 및 집행

규제 기관은 배출에 대한 허가를 발급할 책임이 있습니다. 단락에 명시된 바와 같이 GSG-9의 5.59 [9] "배출에 대한 승인은 규제 기관의 서면 허가 형태로 이루어져야 합니다." 허가에는 배출에 대한 구체적인 운영 제한 및 조건이 포함됩니다.

GSG-9 [9] 5.60항은 "규제 기관은 배출 허가 또는 배출 허가의 수정, 갱신, 정지 또는 취소에 대한 결정의 근거를 공식적으로 기록해야 하며, 그 이유와 정당성을 포함하여 적시에 신청자에게 결정 내용을 알려야 한다"고 규정하고 있습니다.

방사성 폐기물 및 배출에 관한 GSR 파트 3[8]의 요건 31에는 "관련 당사자는 방사성 폐기물 및 방사성 물질의 환경 배출이 승인에 따라 관리되도록 보장해야 한다"고 명시되어 있습니다. 따라서 규제 기관이 공식적으로 배출을 승인하면 승인서에 명시된 운영 제한 및 조건(배출 한도 포함)에 따라 배출을 시작할 수 있습니다. 그런 다음 규제 기관은 승인에 대한 성과를 검토해야 합니다. GSG-9 [9]의 5.92항은 "규제 기관은 규제 요건과 배출 허가의 운영 제한 및 조건을 준수하는지 확인해야 한다"고 구체적으로 규정하고 있습니다. 5.93항은 "규제 기관은 배출에 대한 규제 요건을 준수하지 않는 것으로 확인된 모든 사항을 식별하고 관리하는 프로세스를 수립해야 한다"고 명시하고 있습니다.

승인 검토 프로세스

국제 안전 표준에 따르면 규제 기관은 기존 승인에 대해 주기적으로 검토해야 합니다. GSG-9[9]의 5.10항은 "배출 허가는 시설 또는 활동에 대한 정기적인 안전 검토의 일환으로 운영 단계에서 검토되어야 한다"고 명시하고 있습니다. 대중의 노출에 영향을 미칠 수 있는 조건의 중대한 변화는 기존 승인을 검토하는 동안 고려되어야 합니다."

3.1.2 검토 및 평가

규제 프레임워크 및 규제 기관 설립

원자력규제위원회에 초점을 맞춘 두 가지 임무(부록 1 참조)를 통해 원자력규제위원회는 FDNPS 사고 이후 규제 기관으로서의 원자력규제위원회의 설립, 원자력규제위원회의 책임과 기능, ALPS 처리수 방류에 대한 일본 내 여러 당국의 조율에 대해 설명했습니다. 이어서 원자력규제청은 원자력기본법, 원자로 규제법, 내각 명령, 원자력규제청 조례, 규제 가이드, 기술 문서 등 안전에 관한 법적 구조에 대한 개요를

제공했습니다(필요한 경우). NRA는 또한 원자로 규제법에 따른 '특정 원자력 시설'로서 FDNPS와 관련된 고유한 법적 및 규제 프레임워크에 대해 강조했습니다. 부록 4에는 FDNPS에 적용되는 관련 법률 및 규제 조항에 대한 자세한 정보가 나와 있습니다.

NRA는 법률, 정책 결정 및 기술적 관점에서 일본 정부 전체 및 여러 관할 당국 및 기관과 ALPS 처리수 방류가 어떻게 조정되는지에 대한 개요를 제공했습니다. NRA는 ALPS 처리수 문제를 처리하기 위한 의사 결정은 오염수, 처리수 및 처리수 관련 부처 간 협의회를 통해 조율된다고 언급했습니다.

폐로 문제. 이 협의회에는 경제산업성, 농림수산업성, 환경성, 문부과학성, 문부과학성 등 각 부처의 대표자가 참여합니다. NRA 의장은 협의회에 기술 및 과학적 자문을 제공하기 위해 참석하지만 의사 결정에는 참여하지 않습니다. NRA는 협의회 역할에 대해 기본 정책의 결정과 실행 방법을 촉진하는 주체라고 설명했습니다.

두 차례의 임무를 통해 태스크포스는 제안된 ALPS 방류와 관련하여 일본 정부가 취한 접근 방식을 명확히 이해했습니다. 태스크포스는 일본 원자력규제청이 일본 내에서 독립적인 규제 기관으로서 역할을 하고 있으며, 안전에 대한 적절한 법적 및 규제 프레임워크를 공표하고 시행하고 있으며, 제안된 ALPS 처리수 방류의 안전성을 평가할 책임이 있다는 것을 확인할 수 있었습니다.

승인 절차

NRA에 대한 첫 번째 임무에서 NRA는 ALPS 처리수의 배출은 통제된 배출이므로 NRA는 해당 활동을 허가할 필요가 필요한 계획된 노출 상황으로 간주한다고 설명했습니다. 그러나 NRA는 FDNPS가 독특한 상황을 제시하기 때문에 기존의 규제 접근 방식으로는 방류를 관리할 수 없다고 설명했습니다. NRA는 신청자가 REIA를 수행하기 위한 기존의 명시적인 요건이나 지침이 없음에도 불구하고 도쿄전력의 계획이 기본 정책에 부합하는지 확인하기 위해 도쿄전력이 수행한 REIA를 검토하기로 결정했다는 사실을 예로 들었습니다. 이러한 덜 규범적인 접근 방식의 결과로, 승인 절차는 국내 규제 절차가 상당히 진전된 두 번째 임무에서 주요 논의 주제였습니다.

NRA와의 추가 논의 과정에서 도쿄전력이 작성한 *후쿠시마 제1 원자력발전소 특정 원자력시설 이행계획서*가 인가 절차의 핵심 문서라는 사실을 알게 되었습니다. 이 문서는 이 보고서 내에서 광범위하게 "이행 계획"으로 지칭됩니다. 기본 방침에 따라 도쿄전력은 ALPS 처리수 배출을 위한 시설의 설계 및 운영에 대한 세부 사항과 ALPS 처리수를 해양에 배출하는 것과 관련된 방사선 환경 영향 평가를 포함하는 다수의 "후쿠시마 제1 원자력발전소 특정 원자력시설 실시계획 변경 승인 신청서"를 제출했습니다. 이 수정된 이행 계획에 대한 NRA의 검토는 승인 절차의 핵심입니다. IAEA의 안전성 검토 과정에서 제출된 이행 계획서 수정 목록은 부록 3을 참조하십시오.

NRA는 이행 계획을 승인하고 ALPS 처리수 배출을 승인하는 절차를 다음과 같이 요약했습니다:

1. 요건은 원자로 규제법 및 ALPS 처리수 배출에 대한 기본 정책에 나와 있습니다.
2. 도쿄전력은 모든 관련 규제 및 법적 요건을 반영하여 이행 계획(또는 이에 대한 수정안)을 작성하고, 검토를 위해 NRA에 이행 계획을 제출합니다.
3. NRA는 이행 계획을 검토하고 그 결과를 "검토 결과 문서"에 문서화합니다.

4. 수정된 시행 계획이 NRA의 승인을 받으면(즉, 시행 계획이 모든 관련 규제 및 법적 요건을 충족하는지 NRA가 확인하면) 시행 계획은 운영 제한 및 조건을 설명하는 법적 구속력이 있는 문서가 됩니다.
5. NRA는 도쿄전력이 승인된 이행 계획의 모든 측면을 준수하는지 확인하기 위해 일상적인 규제 감독의 일환으로 검사를 수행합니다.

승인 절차의 일환으로 도쿄전력과 NRA 간에 검토 회의가 개최되어 이행 계획에 대해 논의하고 반복합니다. 이러한 검토 회의는 일반에 공개됩니다. 또한 승인 전에 NRA는 검토 결과 문서 초안을 공개하여 30일 동안 공개 검토 및 의견을 수렴합니다. NRA는 제출된 의견을 검토하여 변경이 필요한지 여부를 결정합니다. 변경이 필요한 경우 NRA 위원회는 최종 검토 결과 문서를 승인하고, 제안된 이행 계획 수정안이 공식적으로 승인됩니다.

ALPS 처리수 배출의 경우, 새로운 시설이 건설 중이므로 승인 절차는 관련 장비 및 시설이 승인된 이식 계획에 따라 설치되고 운영될 준비가 되었는지 확인하기 위한 최종 서비스 전 검사를 거쳐야만 완료됩니다.

용량 제약 설정

첫 번째 임무에서 태스크 포스와 METI / 도쿄 전력 간의 논의 끝에 태스크 포스는 일본 법률에 선량 제한이라는 개념이 존재하지 않는다는 점에 주목했습니다. 태스크 포스와 논의한 결과, 일본 원자력규제청은 일본 원자력발전소의 운영 목표인 ALPS 처리수 방류에 대해 원자력규제청이 설정한 연간 0.05밀리시버트 기준이 선량 제약으로 해석될 수 있음을 확인했습니다. GSG-9 [9]의 5.16항은 "실질적으로 선량 제약은 연간 0.1밀리시버트에서 1밀리시버트 미만의 범위 내에서 선택되어야 한다"고 명시하고 있습니다. 이를 염두에 두고, 태스크 포스는 연간 0.05밀리시버트의 선량 제한이 이 범위보다 낮으므로 보수적이라고 언급했습니다.

NRA에 대한 첫 번째 임무에서 NRA는 ALPS 처리수 배출에 대해 NRA가 설정한 기준(연간 0.05밀리시버트) 외에도 원자로 규제법의 두 번째 선량 기준(부지 경계에서 가상의 극단적 상황을 가정한 연간 1m시버트)을 사용한다고 설명했습니다. 태스크포스는 이 두 기준의 차이점이 이해관계자가 이해하기 어렵고 ALPS 처리수 방류에 대한 선량 제한을 설정할 때 명확하게 설명해야 한다고 지적했습니다.

두 번째 임무에서 NRA는 태스크 포스에게 두 선량 기준의 차이점을 추가로 설명했습니다. 원자로규제법의 선량 기준은 기존 피폭 상황으로 관리되는 FDNPS 부지 전체에 대한 기준입니다. 따라서 NRA는 부지 경계에서 가상의 극단적인 상황으로 인한 추가 유효 선량이 연간 1mSv 미만일 것을 요구합니다. NRA는 부지 경계에서의 연간 1mSv 선량 기준과 비교하기 위해 고려되는 모든 노출 경로의 선량을 평가할 때 매우 보수적인 가정을 적용한다고 밝혔습니다. ALPS 처리수 배출에 대한 선량 기준은 해당 지역에 거주하는 인구의 일반적인 습관 데이터를 사용하여 대표자에 대한 ALPS 처리수 배출에서 연간 0.05 mSv의 선량 제한입니다. 요약하면, NRA는 ALPS 처리수 배출이 통제된 배출이므로 이 활동을 계획된 피폭 상황으로 간주한다고 설명했습니다. 그러나 이는 기존 피폭 상황으로 관리되는 더 큰 FDNPS 부지의 맥락에서 발생하고 있습니다. 따라서 NRA는 두 가지 선량 기준을 사용하고 있습니다.

태스크 포스는 NRA에서 이 두 가지 기준을 사용하는 이유를 이해하고 있으며, 두 가지 선량 기준을 사용하는 것이 국제 안전 표준과의 일관성 문제가 아니라는 점에 주목했습니다. 그러나 태스크포스는 두 선량 기준이 모두 ALPS 처리수 배출과 관련되어 있지만 계산 방식이 매우 다른 두 가지 선량 기준을 사용하는 것이 이해 당사자들에게 혼란을 야기할 수 있다고 판단했습니다. 따라서 태스크 포스는 불필요한 혼란을 피하기 위해 NRA가 대중에게 이 차이를 설명하는 데 노력을 기울이는 것이 중요하다고 생각했습니다.

태스크 포스는 전체 FDNPS를 고려하는 것이 중요하다는 점을 인정했습니다. 혼동을 피하기 위해 태스크 포스는 ALPS 처리수 방류에 대한 보호를 최적화할 때 전체 부지를 고려해야 한다고 조언했습니다.

보호 최적화를 위한 요구 사항 수립

방호 최적화는 방폐물(SF-1, GSR 파트 3 및 GSG-9) 허가의 기본이며, 따라서 IAEA의 검토에서 중요한 구성 요소입니다.

태스크포스는 ALPS 처리수 방류와 관련된 보호 최적화에만 관심이 있음을 확인했습니다.

NRA에 대한 첫 번째 임무에서 태스크 포스는 일반 대중의 보호와 안전을 최적화하기 위한 옵션 범위를 정의할 때 사업자가 선량 제약을 경계 조건으로 사용하는 방법과 이것이 규제 기관의 방출 한도 설정에 영향을 미친다는 점을 강조했습니다(그림 3.1. 참조).

NRA에 대한 두 번째 임무에서 NRA는 보호 최적화 요건을 명시한 부분에 대한 설명을 태스크 포스에 제공했습니다. 먼저, NRA는 "특정 규제 요건"에서 연간 1mSv의 기준 수준에 대한 전체 사이트의 보호 최적화 요건을 설명하는 텍스트를 강조했습니다. 또한 NRA는 "선량 제한 이하 범위에서 방호 최적화를 고려해야 한다는 인식 하에" ALPS 처리수 배출에 대해 연간 0.05mSv의 선량 제한을 설정했다고 명시했습니다. 이후 원자력안전위원회는 ALPS 처리수 방류가 폐로 진행에 기여하는지 여부를 지속적으로 평가할 것이라고 밝혔습니다. '도쿄전력의 후쿠시마 제1원전 폐로를 위한 중기 리스크 저감 조치'를 개정할 때, NRA는 방류수 운영 경험을 바탕으로 방호 최적화에 관한 도쿄전력의 설명을 요구할 것입니다. 태스크 포스는 최적화에 대한 이러한 언급을 인정했습니다.

삼중수소 배출 제한 설정

첫 번째 NRA 임무에서 태스크 포스는 삼중수소 배출 한도가 ALPS 처리수 배출에 대한 정부 정책에 연간 22TBq로 미리 정의되어 있으며, 이는 FDNPS의 사고 전 배출 한도와 동일하다는 점에 주목했습니다. 태스크포스는 연간 22TBq라는 수치가 고정된 수치임을 인식하고, 이 수치가 REIA에서 계산된 대표자에 대한 선량과 방호 및 안전의 최적화를 고려하지 않고 선택되었다는 점에 주목했습니다. 그러나 태스크 포스는 정부 정책에서 설정된 배출 한도는 사회적 우려와 환경으로 방출되는 방사능을 줄이려는 열망과 같은 광범위한 일반적인 상황의 영향을 받았으며 이러한 요인이 최적화 프로세스를 지배했다는 것을 이해합니다. 태스크 포스는 이것이 IAEA 국제 안전 표준의 보호 최적화 요구 사항과 일치한다는 데 만족합니다.

태스크 포스는 REIA에서 예측된 선량이 선량 제한보다 상당히 낮다는 점에 주목했습니다(1,000배 이상 낮음). 따라서 태스크 포스는 향후 NRA의 방출 제한 검토에 정보를 제공하기 위해 방호 최적화를 요구하는 것이 중요하다고 강조하면서 이러한 최적화가 선량 최소화와 동일하지 않다는 점을 지적했습니다. 또한, 태스크포스는 더 높은 방사율로도 선량 제한을 충족할 수 있으며 정부 정책에 정의된 방사율 제한

은 이미 사회적 우려를 고려할 만큼 충분히 보수적이라는 점을 이해 당사자들에게 보여주는 것이 도움이 된다고 언급했습니다.

NRA는 도쿄전력이 최적화 과정에서 고려해야 할 요소를 고려하여 연간 삼중수소 배출량을 주기적으로 재검토 할 계획이라고 태스크 포스에 알 렸습니다. 또한 NRA는 ALPS 처리수의 배출이 폐로 진행에 방해가 되는 경우 도쿄전력에 선량 제한 범위 이하로 배출량을 재검토할 것을 요구할 수 있다고 밝혔습니다.

태스크 포스는 삼중수소 배출 한도를 개정하면 다른 방사성 핵종의 배출 한도와 기타 운영 제한 및 조건에 영향을 미칠 수 있다고 NRA에 강조했습니다.

기타 방사성 핵종에 대한 배출 제한 설정

원안위는 방사성폐기물 환경배출에 대한 기존 규제농도 제한을 충족하기 위해 ALPS 처리로 제거할 수 없는 방사성핵종은 삼중수소가 유일하기 때문에 다른 방사성핵종에 대해서는 배출한도를 설정할 계획이 없다고 설명했다(규제농도 제한은 '선량한도 등 설정 고시'에서 정하고 있다). 규정 등의 규정에 근거하여 정하고 있습니다. 핵원료물질 또는 핵연료물질의 정제업에 관한 규정 등의 규정에 따른 선량한도 등 설정 고시"에 규정되어 있습니다.) 다른 모든 방사성 핵종은 이러한 규제 농도 제한에 따른 운영 조건과 함께 비율의 합(즉, 배출되는 각 방사성 핵종 농도의 합을 규제 농도 제한으로 나눈 값)이 1 미만이어야 한다는 요건이 적용됩니다. 오염된 물은 이러한 규제 농도 제한이 충족될 때까지 ALPS에서 처리됩니다. 연간 삼중수소 배출 한도(Bq)와 기타 방사성 핵종의 규제 농도 한도(리터당 Bq)는 함께 작용하여 배출되는 기타 방사성 핵종의 양을 통제합니다.

태스크 포스는 삼중수소 이외의 방사성 핵종에 대한 배출 제한을 설정하지 않은 논리를 이해합니다. 그러나 태스크포스는 향후 도쿄전력의 방호 최적화 작업의 결과로 삼중수소에 대한 배출 제한이 변경될 경우 추가적인 배출 제한이 필요할 수 있다는 점도 언급했습니다.

NRA는 이와 관련하여 태스크포스의 의견에 동의했으며, 태스크포스는 이 주제가 향후 IAEA에서 진행 중인 검토의 일부가 될 것이라고 언급했습니다.

이와는 별도로, 특별위원회는 규제 농도 제한이 ALPS 처리수 배출에 대한 피폭 경로와 무관한 매우 보수적인 시나리오를 기반으로 하고 있으며, 농도 제한은 대표자에 대한 연간 0.05밀리시버트의 선량 제한이 아니라 부지 경계에서 하루에 2리터의 물을 마시는 가상의 사람에게 대한 연간 1mSv의 선량 제한을 기반으로 하고 있다는 점을 지적했습니다. 태스크포스는 이러한 보수적인 농도 제한을 방류에 적용하면 방류 전에 ALPS 처리수를 희석해야 하며, 방사선 보호 및 안전을 위해 희석이 수행된다는 것을 암시하지 않도록 주의해야 한다고 지적했습니다(REIA는 방류되는 농도보다는 1년간 환경으로 방출되는 방사능의 양을 고려함). 태스크포스는 일본이 다른 이유(예: 배출 지점의 방사성 핵종 농도를 낮게 유지하거나 평판 위험을 관리하기 위해)로 희석 배출을 선택할 수 있음을 인정하고 희석 이유를 명확하게 명시해야 한다고 권고했습니다.

권한 발급, 검사 및 집행

NRA는 그 자체로 승인서를 발급하는 것이 아니라 이행 계획을 검토하고 그 결과를 "검토 결과 문서"에 문서화합니다. 수정된 이행 계획이 NRA의 승인을 받으면 이행 계획은 방전에 대한 운영 제한 및 조건을 설명하는 법적 구속력이 있는 문서가 됩니다. 그런 다음 NRA는 일상적인 규제 감독 프로세스의 일부로 검사를 수행하여 도쿄전력이 승인된 이행 계획을 준수하는지 확인합니다. 태스크 포스는 NRA가 매년

검사 및 독립 모니터링에 중점을 두고 도쿄전력이 승인된 이행 계획을 준수하는지 확인하기 위해 여러 프로세스를 활용하고 있음을 이해합니다(섹션 3.2 참조).

태스크포스는 이행 계획의 제한 및 조건이 주로 하드웨어(예: 장비 등)와 이를 충족하지 못할 경우 취해야 할 조치에 초점을 맞추고 있음을 확인했습니다. 그러나 NRA는 이행 계획의 일부이자 현재 시행 중인 품질 관리 시스템 내에 있는 '더 부드러운' 조건(예: 관리 시스템, 역량, 품질 관리 등과 관련된 조건)에 대해서도 강조했습니다.

NRA는 원자로 규제법에 따르면 도쿄전력이 수행한 운영 안전 조치가 이행 계획에 부합하지 않을 경우 "NRA는 도쿄전력에 필요한 조치를 취하도록 명령할 수 있다"고 명시되어 있다고 지적했다.

배출 시설의 배출 중단 또는 설계 변경을 포함하여 운영 안전을 위한 조치".

NRA는 이행 계획이 "비정상적인 발생", "비정상적인 값" 및 "상당한 불일치"에 대한 도쿄전력의 대응을 설명한다고 설명했습니다. 그러나 태스크 포스는 대응에 대한 일부 조치 제한 또는 구현 될 허용 오차는 아직 정의되어야한다고 언급했습니다. 태스크포스는 보고된 모니터링 결과의 편차가 아직 완전히 규명되지 않았기 때문에 환경 모니터링과 관련된 일부 조치 한계를 정의하는 것이 아직 불가능하다는 점을 인정했습니다. 그 후 NRA는 대응에 필요한 조치 한도 또는 시행될 허용 허용 오차는 배출이 시작되기 전에 도쿄 전력의 내부 문서에 정의될 것이라고 설명했습니다.

승인 검토 프로세스

NRA는 태스크 포스에 정기 검토 프로세스를 설명했습니다. 도쿄전력은 변경 사항이 제안될 때마다 이행 계획을 업데이트해야 하며(원전 기간, REIA, 모니터링 프로그램 등의 변경 사항 포함), NRA는 원자로 규제법 및 ALPS 처리수 방류에 대한 정부 정책의 요구 사항에 대해 수정된 계획을 검토할 것입니다. 수정된 이행 계획이 NRA의 승인을 받으면 법적 구속력을 갖게 됩니다.

NRA는 전체 부지에 대한 해체 활동과 관련된 방호 최적화 프로세스 내에서 배출 승인에 대한 정기적인 검토가 일반적으로 1년에 한 번 수행 될 것이라고 밝혔다.

태스크포스는 향후 발급될 인가의 유효기간을 결정하고, 향후 배출 한도 검토를 위한 기준을 선정하거나 배출 한도의 주기적 검토를 수행하기 위한 시간 간격을 설정하는 것의 중요성에 대해 NRA와 논의했습니다. 원자력안전위원회는 향후 승인 검토 절차를 설명하고, 일반적으로 1년에 한 번씩 전체 부지에 대한 해체 활동과 관련된 방호 최적화 프로세스 내에서 수행될 것이라고 IAEA에 통보했습니다.

3.1.3 결론

IAEA는 도쿄전력과 NRA가 취한 접근 방식이 보고서의 이 섹션에 포함된 관련 국제 안전 표준과 일치한다는 결론을 내렸습니다. 자세한 조사 결과는 아래에 나와 있습니다:

- NRA는 일본 내 독립 규제 기관으로서 안전에 대한 적절한 법률 및 규제 프레임워크를 공표하고 시행하고 있으며, 제안된 ALPS 처리수 방류의 안전성을 평가할 책임을 지고 있습니다.
- 도쿄전력이 제출한 '후쿠시마 제1원자력발전소 특정원자력시설 실시계획 변경 승인 신청 서류'에 대한 원자력규제위원회의 승인이 핵심인 인가 절차가 수립되었습니다. 승인 과정에서 양 당사자는 원자로 규제법 및 기본 방침에 나열된 요구 사항을 준수하는지 확인하는 역할을 수행합니다.

이 절차는 NRA의 "검토 결과 문서"에 대한 공개 검토 및 의견 수렴 기간을 포함하는 반복적인 프로세스입니다.

- NRA는 ALPS 처리수 방류에 대해 NRA가 설정한 연간 0.05밀리시버트의 '선량 목표'가 선량 제약으로 해석될 수 있음을 확인했습니다. 선택한 선량 제약은 연간 0.05밀리시버트는 GSG-9 [9]의 6.16항에 따라 선량 제한을 선택해야 하는 범위보다 낮습니다.

- NRA는 '특정 규제 요건'에서 전체 부지의 방호 최적화 필요성을 설명하는 요건을 강조하고 '도쿄전력 후쿠시마 제1원전 폐로를 위한 중기 리스크 저감 대책'을 개정할 때 도쿄전력의 방전 운영 경험을 바탕으로 방호 최적화에 대한 설명을 요구할 것이라고 밝혔습니다.
- 삼중수소 배출 한도는 ALPS 처리수 배출에 대한 정부 정책에 연간 22TBq로 사전 정의되어 있으며, 이는 FDNPS의 사고 전 배출 한도와 동일합니다. 태스크포스는 이 방류 한도가 REIA에서 계산된 대표자에 대한 선량과 방호 및 안전의 최적화를 고려하지 않고 선정되었다는 점에 주목합니다. 그러나 태스크 포스는 정부 정책에서 설정된 방출 한도가 광범위한 일반적인 상황의 영향을 받았으며 이러한 요인이 최적화 프로세스를 지배했음을 이해합니다. 태스크 포스는 이것이 IAEA 안전 표준의 보호 최적화 요구 사항과 일치한다는 데 만족합니다.
- 태스크포스는 추가 운영 경험과 샘플링 데이터를 수집한 후 향후 NRA가 REIA를 기반으로 배출 한도를 설정할 것을 권장했으며, 이러한 방사성 핵종과 삼중수소로 인한 전체 선량은 매우 낮지만 REIA에 따르면 대표자에 대한 선량에 가장 크게 기여하는 방사성 핵종에 대한 배출 한도를 설정하는 것이 도움이 될 것입니다. 향후 도쿄전력의 방호 최적화의 결과로 삼중수소에 대한 배출 한도가 변경될 경우 이를 고려할 수 있습니다.
- 보수적인 농도 제한을 사용하면 방류 전에 ALPS 처리수를 희석해야 합니다. 태스크 포스는 희석이 방사선 보호 및 안전을 목적으로 수행된다는 것을 암시하지 않도록 주의를 기울여야 한다고 지적합니다.
- 도쿄전력이 이행 계획을 업데이트할 때마다, 그리고 전체 부지에 대한 해체 활동과 관련된 방호 최적화 과정에서 일반적으로 1년에 한 번씩 배출 승인을 검토하는 절차가 존재합니다.

3.2. 배출 제어를 위한 시스템 및 프로세스의 안전 관련 측면

3.2.1 배경

GSR 파트 3 [8]의 요건 13에는 다음과 같이 명시되어 있습니다: "규제 기관은 안전 평가 요건을 수립하고 시행해야 하며, 방사선 위험을 유발하는 시설 또는 활동을 담당하는 사람 또는 조직은 해당 시설 또는 활동에 대한 적절한 안전 평가를 수행해야 합니다."

GSR 파트 3 [8]에 규정된 요건에 따라, 허가권자는 후쿠시마 제1 원자력 발전소의 ALPS 처리수 방류에 대한 적절한 안전성 평가를 수행하여 허가 전에 규제 기관의 후속 검토 및 평가를 위해 제출해야 합니다.

안전성 평가는 누출이 발생할 수 있는 방법을 식별하고, 누출이 발생할 수 있는 방법을 결정하기 위한 것입니다.

정상 운영 시 예상되는 누출 가능성 및 누출 정도를 파악하고 보호 및 안전 조항의 적절성을 평가합니다.

안전성 평가에는 방전 작동에 대한 작동 한계 및 조건, 보호 및 안전과 관련된 구조, 시스템 및 구성품이 고장날 수 있는 방식과 그러한 사건의 결과, 외부 요인이 보호 및 안전에 영향을 미칠 수 있는 방식, 보호 및 안전과 관련된 작동 절차가 잘못될 수 있는 방식과 그러한 오류의 결과 등에 대한 검토가 포함되어야 합니다.

3.2.2 IAEA 검토 및 평가

검토 과정에서 태스크 포스는 수정된 이행 계획에 포함된 안전 평가와 도쿄전력이 방류 시작에 대비하여 작성한 기타 관련 운영 문서를 고려했습니다. 2022년 7월 22일과 2023년 5월 10일에 NRA가 승인한 수정된 이행 계획에는 ALPS 처리수 방류 계획의 일부로 사용될 시설, 장비 및 공정에 대한 여러 가지 기술적 설명이 포함되어 있습니다. 이 정보는 아래에 요약되어 있지만 자세한 내용은 개정된 이행 계획의 공개 버전에서 확인할 수 있습니다.

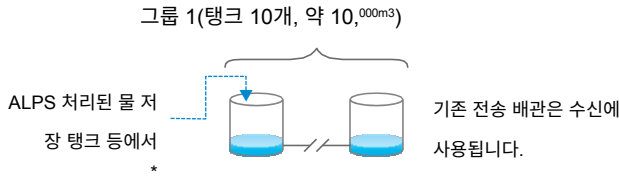
도쿄전력이 ALPS 처리수의 배출을 용이하게 하고 관리하기 위해 설치한 시설 및 장비는 측정 및 확인 시설, 이송 시설, 희석 시설 및 배출 시설의 네 가지 주요 구성 요소로 이루어져 있습니다. 각 구성 요소에 대한 자세한 내용은 아래에 나와 있습니다.

측정/확인 시설

이 시설은 K4 탱크 구역에 위치한 약 1,000m 크기의 탱크 35개⁽³⁾로 구성되어 있습니다. 10개의 탱크로 구성된 3개의 그룹과 추가로 5개의 저장용 탱크가 있습니다. 3개의 탱크 그룹(각 10개의 탱크)은 입고, 측정 및 확인, 방류의 세 가지 기능 중 한 가지를 언제든지 수행합니다. 탱크 그룹은 아래 그림 3.2에서 강조 표시된 대로 교대로 이러한 역할을 수행합니다. 수용을 담당하는 탱크 그룹은 처음에는 비어 있으며 직접 또는 ALPS의 2차 처리를 거친 후 FDNPS 부지 내 다른 탱크의 물로 채워집니다. 측정 및 확인을 담당하는 탱크 그룹은 설치된 교반기와 순환 펌프를 사용하여 약 1주일 동안 균질화한 후 샘플링이 수행됩니다. 도쿄전력에서 채취한 샘플은 다양한 방사성 핵종에 대해 분석되며 약 2개월 후에 결과를 확인할 수 있습니다. 분석 결과가 나온 후 도쿄전력은 모든 관련 규제 배출 한도를 충족하는지 확인하고 전체 삼중수소 배출량을 1,500Bq/L 이하로 유지하는 데 필요한 희석량을 계산할 것입니다. 인적 오류를 방지하기 위해 측정 및 확인 과정에서 확인된 삼중수소 농도는 스캐너로 기계적으로 판독하여 모니터링 및 제어 장치에 등록합니다. 모니터링 및 제어 장치는 방류조 그룹에서 ALPS 처리수에 대한 적정 유량을 자동으로 계산합니다.

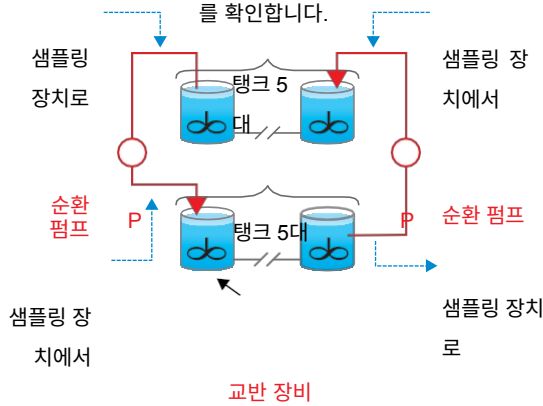
(1) 수신 프로세스

ALPS 처리수 저장 탱크 등에 있는 ALPS 처리수는 빈 탱크 그룹에 의해 수신됩니다.



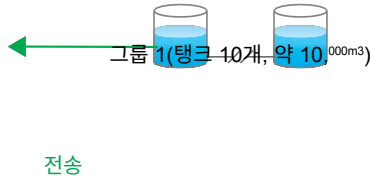
(2) 측정/확인 프로세스

탱크 그룹의 수질이 균질화 된 후 교반 장비와 순환 펌프를 통해 샘플링을 실시하여 방류 기준 충족 여부를 확인합니다.

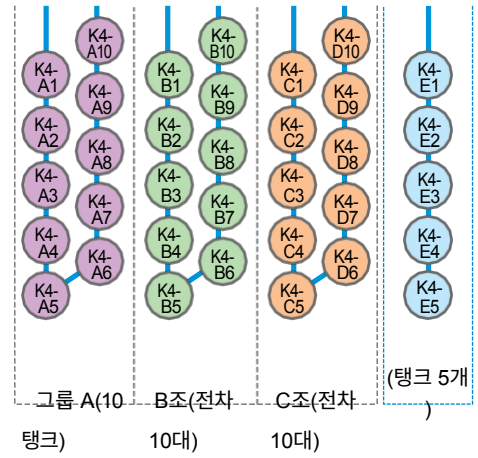


(3) 퇴원 절차

방류 기준이 충족되는지 확인한 후 이송 설비를 통해 ALPS 처리수를 희석 시설로 이송합니다.



K4 지역 전차 그룹: 전차 35대



ALPS 처리수 희석/방류 시설

ALPS 처리수 등을 저장하는 탱크 등

	그룹 A	그룹 B	그룹 C
1st 주기	수신	-	-
2번째 주기	측정/확인	수신	-
3번째 주기	방전	측정/확인	수신
4번째 주기	수신	방전	측정/확인
-	측정/확인	수신	방전

그림 3.2. ALPS 처리수의 수신, 측정 및 배출 프로세스

환송 시설

이송 설비는 이송 펌프, 배관, 유량을 제어하는 밸브, 유량계 및 방사선 감지기로 구성됩니다. 각 펌프의 용량은 30m³ /시간이며, 유량은 운영상의 필요에 따라 관리됩니다(그림 3.3 참조). 펌프는 측정/확인 시설 근처의 이송 시설 건물에 설치되어 해발 33.5m의 측정/확인 시설 탱크에서 하루에 있는 희석 시설로 ALPS 처리수를 이송합니다. 각 이송 라인에는 감마선을 감지하는 방사선 검출기(요오드화 나트륨 섬광 검출기)가 설치되어 있으며, 처리수가 하루 희석 시설에 도달하기 전에 정성적인 검사를 할 수 있도록 설계되어 있습니다. 감지기에는 알람 값이 설정되어 있으며, 이 값을 초과할 경우 이송 라인의 비상 격리를 트리거합니다.

이송 시설에는 해발 33.5m의 측정/확인 시설과 해발 2.5m의 희석 시설의 배관을 연결하는 이송 배관이 설치되어 있습니다. 이 배관에는 도쿄전력이 이상이 감지되면 즉시 처리수 이송을 중단할 수 있도록 비상 격리 밸브가 설치되어 있습니다. 한 개의 비상 격리 밸브는 이송 시설의 ALPS 처리수가 해수 헤더에 도달하기 직전에 설치됩니다. 다른 비상 격리 밸브는 다른 비상 격리 밸브가 작동하지 않을 가능성에 대비하여 (예 : 침수 중 침수로 인해) 해발 11.5m의 방파제 내부에 설치된 ALPS 전기 장비실에 설치됩니다.

쓰나미). 동일한 전기 장비실에는 유량계와 추가 밸브가 설치되어 방전 속도를 추가로 운영 제어할 수 있습니다.

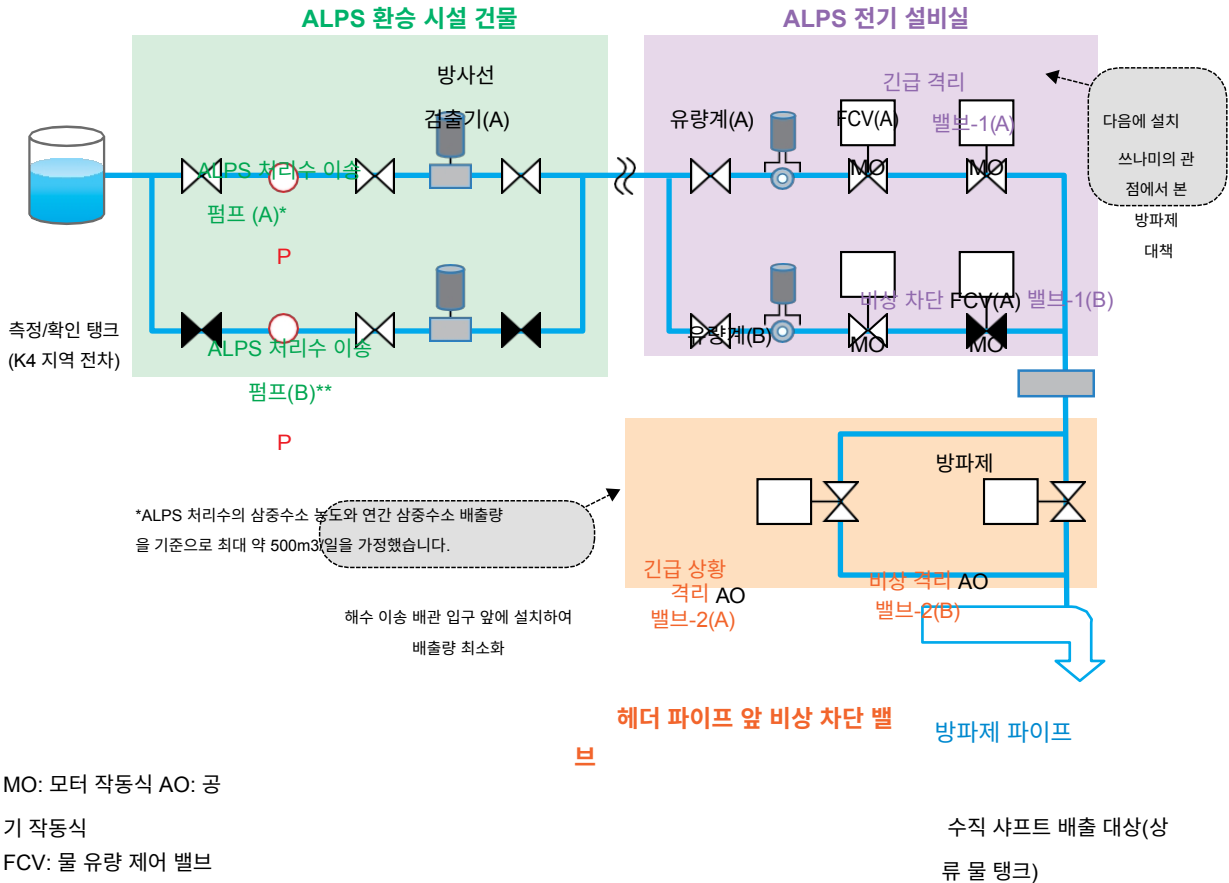


그림 3.3. 전송 시설

희석 시설

이 희석 시설은 3개의 해수 이송 펌프, 해수를 하나의 대형 해수 헤더로 이동시키는 각 해수 펌프용 배관, 배출 샤프트(상류 물 탱크)로 구성됩니다(그림 3.4 참조). 이 공정의 전반적인 목적은 방류 시설에 도달하기 전에 ALPS 처리수가 해수로 희석되도록 하는 것입니다. 희석은 해수 파이프 헤더에 ALPS 처리수를 주입하고 난류 혼합을 거치도록 하여 수행됩니다. 희석시설은 FDNPS 5, 6호기 해안가 해발 2.5m 지점에 설치되어 있습니다.

3개의 해수 이송 라인에는 각각 유량계가 설치되어 도쿄전력이 방류할 ALPS 처리수의 각 배치에 대해 계산한 희석 계수를 정밀하게 제어할 수 있습니다. 해수 이송 펌프의 경우 기존 5호기 순환수 펌프의 취수 채널을 재사용합니다. 보수적으로 펌프 3대(3대 중 1대는 예비용)를 설치합니다.

해수 파이프 헤더에 ALPS 처리수를 주입하여 희석하기 때문에 도쿄전력은 해수 헤더와 하류 배관의 물

의 거동을 분석했습니다. 도쿄전력은 예상 희석 효과를 계산한 결과, 해수 헤더를 떠날 때까지 물이 350배 이상 희석된다는 결론을 내렸습니다.

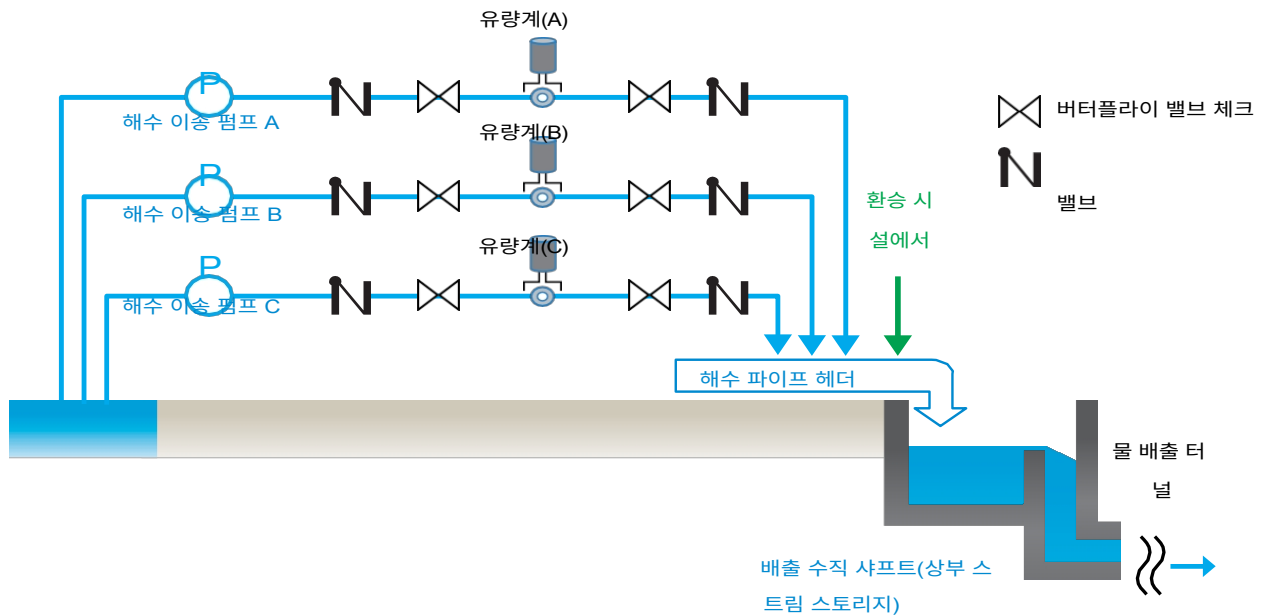
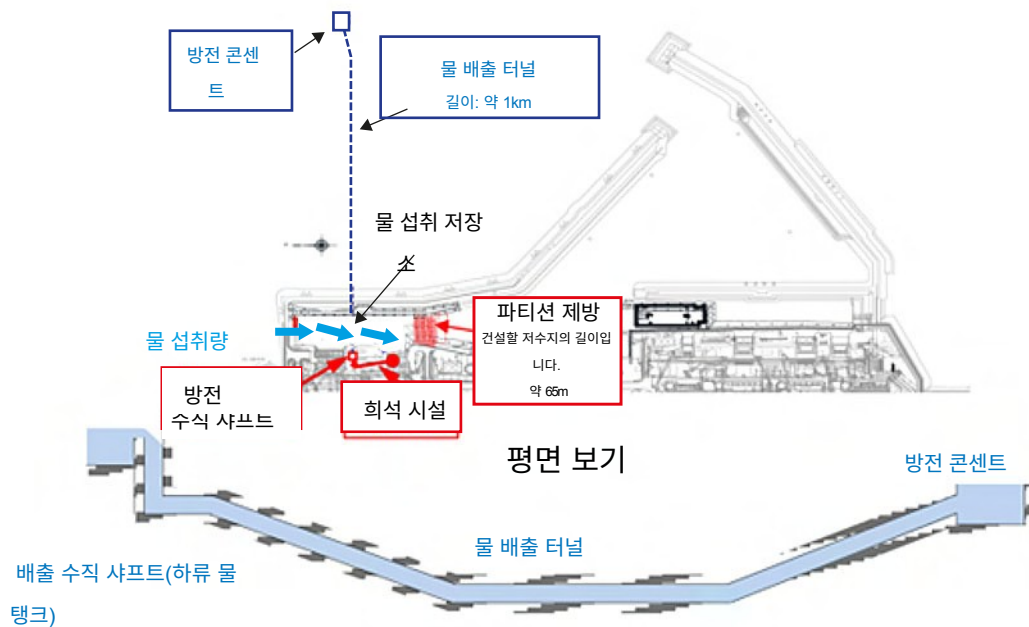


그림 3.4.희석 시설

배출 시설

처리수의 방류는 FDNPS 해안에서 약 1km 떨어진 해저 밑을 통과하는 터널을 통해 이루어집니다. 방류 시설은 방류수 수직갱도, 방류터널, 방류구로 구성되어 있으며, 방류수 수직갱도(하류저류조)의 물과 해수면의 높이 차이를 이용하여 방류수 수직갱도 내 격벽(상류저류조와 하류저류조를 구분하는 독) 위로 흘러나오는 물을 배출구로 이송하도록 설계되어 있습니다. 방류 터널은 안정된 암반을 통과해 누수 위험을 최소화하고 내진성을 향상시켰습니다. 또한 방류구는 상업적 조업이 정기적으로 이루어지지 않는 지역 내에 설치되어 있습니다.



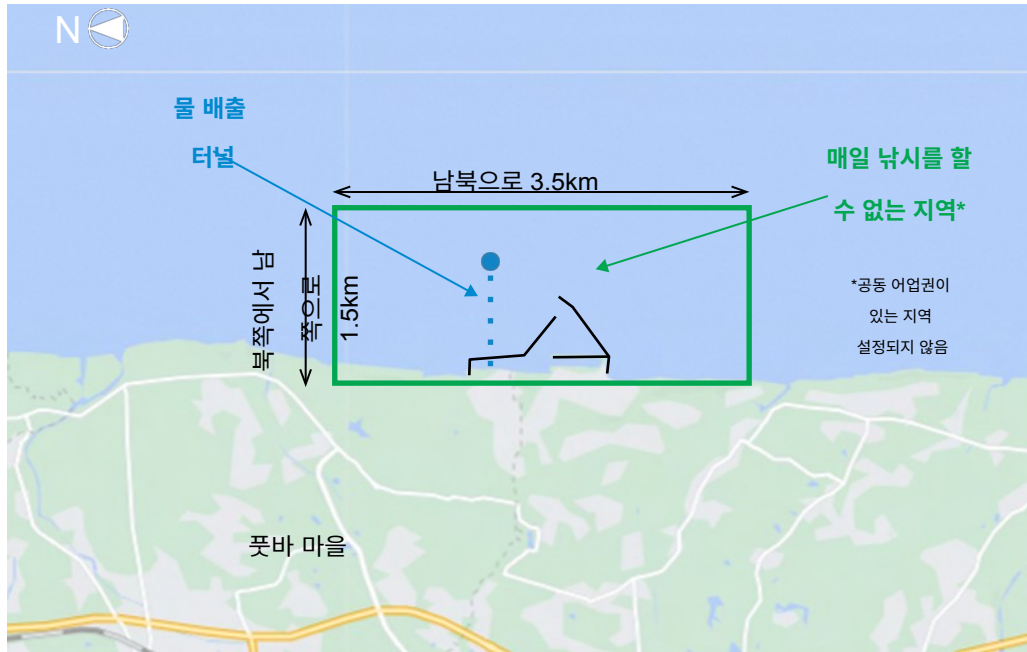


그림 3.5. a) 및 b). ALPS 처리수 배출 터널의 위치

안전 평가

관련 국제 안전 표준과 접근 방식의 일관성을 평가하기 위해 태스크 포스는 위에서 언급한 ALPS 시설의 설계에 포함된 시스템과 장비를 검토했습니다. NRA의 승인을 받은 이행 계획에는 ALPS 배출을 위해 마련된 장비 및 공정의 다양한 기술 사양이 포함되어 있습니다(예: 이행 계획의 섹션 II.2.50.2.1). 이행 계획은 FDNPS에서 도쿄전력에 대한 규제 승인 역할을 하므로 세부 사항이 계획에 포함되고 NRA의 승인을 받은 경우 도쿄전력은 이를 준수해야 합니다.

태스크 포스는 2021년, 2022년, 2023년에 걸쳐 제공된 모든 버전의 이행 계획에 제시된 정보를 검토했습니다. 특히 태스크 포스는 도쿄전력이 ALPS 방전 공정을 운영하는 데 필요한 모든 장비와 구조물에 대한 관련 재료, 허용 오차, 기술 사양 및 레이아웃을 포함했음을 확인했습니다. 예를 들어, 도쿄전력은 시간이 지남에 따라 부식으로 인한 누출을 방지하기 위한 재료 요구 사항을 포함했으며 많은 구성 요소와 구조물이 지진 활동으로 인한 손상을 방지하도록 제작되었습니다. IAEA는 방전 프로세스의 운영으로 예상되는 낮은 선량과 낮은 위험을 고려할 때 이중화 시스템을 포함하여 ALPS 방전 시스템에 내장된 견고한 설계 및 엔지니어링 기능이 충분히 적절하다고 지적합니다.

또한 이행 계획에는 ALPS 배출 절차에 적용되는 다양한 운영 제한 및 조건을 충족하는 데 필요한 조항이 포함되어 있습니다. 적용되는 주요 운영 제한 및 조건은 다음과 같이 요약할 수 있습니다:

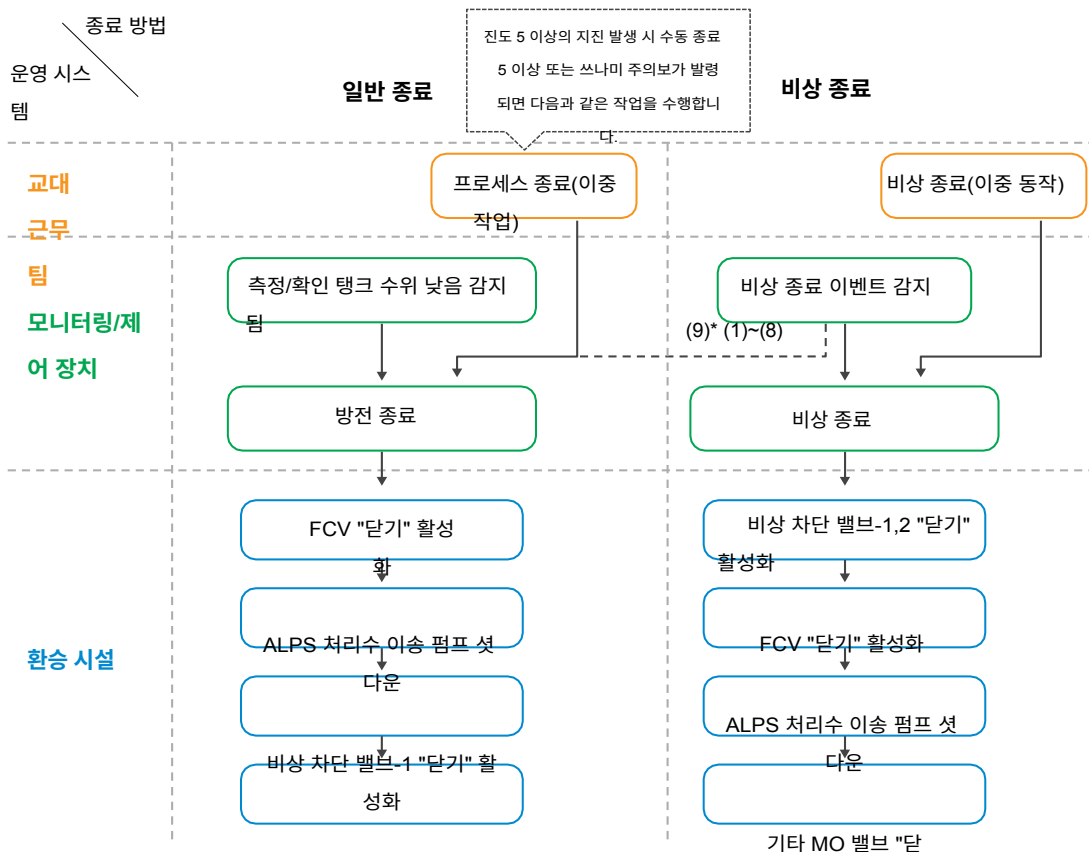
- 환경에 대한 삼중수소의 전체 배출량을 연간 22TBq 이하로 제한합니다;
- 방류수의 삼중수소 농도를 1,500Bq/L 이하로 제한합니다;

- 방류수는 다양한 방사성 핵종 농도에 대한 국가 규제 한도를 충족해야 합니다;
- 비상 차단 밸브와 같은 엔지니어링 기능 및 운영 절차가 마련되어 있어 비정상적인 이벤트가 감지되는 즉시 ALPS 처리수의 이송을 중단할 수 있습니다.

그림 3.6 및 그림 3.7에서 언급한 바와 같이, 위의 기준을 충족하지 않는 ALPS 처리수가 의도치 않게 방출되는 것을 방지하기 위해 시스템 전체에 여러 가지 점검이 포함되어 있습니다. 또한, 단일 구성 요소의 고장이 작동 제한 및 조건 위반으로 이어지지 않도록 시스템에 중복 안전 기능이 설치되어 있습니다. 그러나 예상되는 바와 같이, 안전 평가에는 비정상적인 발생을 식별하고 해결하는 방법에 대한 신중한 고려가 포함됩니다. 이행 계획 [15]의 섹션 III.3.1.9.3에는 "의도하지 않은 ALPS 처리수의 해양 방류"를 방지하기 위해 시스템의 비상 종료가 가능한지 확인하기 위한 방류 프로세스 운영에 대한 중요한 세부 사항이 포함되어 있습니다.

이 시스템에는 경보가 ALPS 방전 프로세스를 자동으로 종료할 수 있는 엔지니어링 설계 기능과 운영자가 필요하다고 판단되는 경우 프로세스를 종료할 수 있는 절차적 기능이 포함되어 있습니다. 그림 3.6과 3.7은 도쿄전력이 필요할 때 비상 섯다운을 수행하기 위해 활용하는 프로세스 및 설계 기능을 강조합니다. 자동 비상 섯다운을 허용하도록 설정된 경보 또는 조건의 예는 다음과 같습니다:

- 유량계 고장
- 유속이 빠른 ALPS 처리수 또는 유속이 느린 해수 희석용
- 펌프의 예기치 않은 종료
- 설치된 방사선 모니터의 수치가 높음(즉, 설정된 경보 수준 이상)
- 비상 차단 밸브와의 통신 이상



- 긴급 종료 이벤트 MO 밸브 "닫기" 활성화**
- (1) ALPS 처리수 유량계 고장
 - (2) 해수 유량계 고장
 - (3) ALPS 처리수 유량 HIGH

기타 MO 밸브 "닫기" 활성화
*이후 [9] 두 시리즈 모두 비상 차단 밸브 패널 통신 이상"

비상차단밸브 제어반의 통신 이상 및 시스템 작동에 장애가 없을 것으로 예상되는 경우, 동일한 정지 프로세스를 계획합니다.
를 정상 종료 작업으로 설정합니다.

그림 3.6. ALPS 방전의 정상 및 비상 종료 프로세스

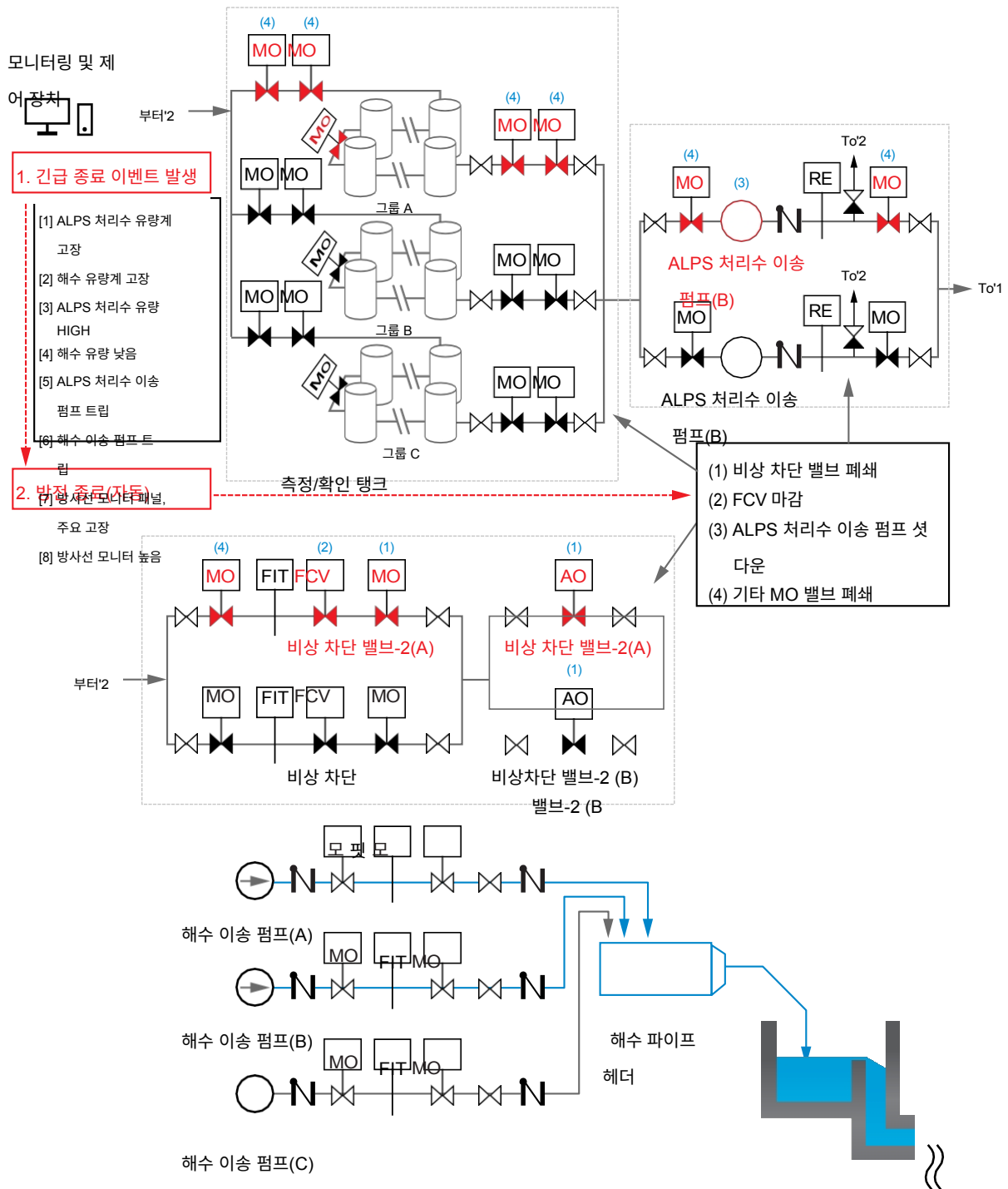


그림 3.7. ALPS 방전 프로세스의 자동 종료를 위한 설계 기능

또한 ALPS 방전 시스템은 운영자가 자연 현상을 고려하여 수동으로 종료할 수 있도록 설계되었습니다. 운영자가 항상 고려해야 할 일련의 이벤트가 이행 계획에 명시되어 있습니다. 예를 들어, 운영자는 쓰나미 주의보, 위험 풍랑주의보 또는 만조 경보가 발령되는 경우 ALPS 방류 프로세스를 수동으로 종료합니다. 시스템이 견고하게 설계되어 있고 비정상적인 발생으로 인한 대중의 위험은 최소화되어 있지만, 도쿄전력[15]은 이와 관련하여 대화식 접근 방식을 채택하고 NRA의 승인을 받았습니다.

도쿄전력은 잠재적 고장에 대한 프로세스를 분석하여 "시작 이벤트 및 원인"을 평가하는 데 사용되는 세 가지 주요 비정상 이벤트를 식별했습니다. 아래 표 3.1은 이 세 가지 비정상 이벤트를 보여줍니다.

표 3.1. 이행 계획의 비정상 이벤트 목록.

비정상 이벤트	
[정의 (1)]	방사성 물질의 측정/확인에 결함이 있는 상태로 배출한 경우(측정/확인 결함)
[정의 (2)]	해수로 희석한 물의 삼중수소 농도가 1,500 Bq/L 이상이거나 희석 비율이 100배 미만인 상태로 배출하는 경우(해수 희석 불충분).
[정의 (3)]	시스템 외부 누출로 인해 해수 희석 없이 방류하는 경우(해수 희석 부족)

마스터 로직 다이어그램을 사용한 도쿄전력의 분석 결과는 이행 계획의 섹션 III.3.1.9.5.1.3에 포함되어 있습니다.

검사 및 집행

태스크 포스는 작업의 일환으로 안전 평가가 실질적으로 어떻게 이행될 것인지, 위에서 언급한 세부 사항을 준수하기 위해 어떤 조치가 마련되어 있는지도 고려했습니다. 태스크 포스는 ALPS 배출 시설에 대한 세부 사항이 도쿄전력의 이행 계획에 포함되어 있으며 이 이행 계획이 해당 시설의 운영 및 규정 준수의 기초가 된다는 점에 주목했습니다. 따라서 태스크 포스는 NRA에 대한 임무 수행 중에 ALPS 처리수 배출을 포함하는 FDNPS에 대한 계획된 검사 및 집행 프로그램에 대한 업데이트를 요청했습니다.



그림 3.8. ALPS 배출 시설의 서비스 전 검사

NRA는 두 차례에 걸친 임무에서 검사 및 단속 프로그램에 대한 배경 정보를 제공했습니다. 가동 전 단계에서 NRA는 "서비스 전 검사"라고 불리는 검사를 실시하며, 이는 ALPS 방전 시설을 구성하는 모든 다양한 구성 요소와 시스템의 설치 및 성능이 가동 시작 전에 보장되는지 확인하기 위한 목적입니다. NRA는 모든 관련 서비스 전 검사가 만족스러운 방식으로 완료될 때까지 도쿄전력은 방전을 시작할 권한이 없다고 강조했습니다. 태스크 포스는 업무의 일환으로 FDNPS를 주기적으로 방문하여 서비스 전 검사 수행을 목격했습니다. (그림 3.8-3.10 참조)



그림 3.9. 방전 터널 시공 검사

특히 태스크 포스는 이송 시설의 배관에 대한 압력 테스트, 제어실의 누출 감지 모니터 작동 및 경보 발령 확인, 방류 터널에 해수를 채우기 전의 시공 검사 등을 참관했습니다. 이러한 활동은 허용 가능한 성능에 대해 명확하게 정의된 벤치마크를 사용하여 NRA에 의해 체계적으로 수행되었으며, 이러한 검사 결과는 NRA의 공개 웹페이지(일본어)에 게시됩니다. 운영 전 단계의 마지막 단계에서 NRA는 도쿄전력의 전체 시스템 시연에 대한 검사를 한꺼번에 실시했습니다. IAEA가 참관한 이 최종 가동 전 검사에서 모든 구성 요소와 시스템이 예상대로 설치되고 작동하는 것이 입증되었습니다.



그림 3.10. ALPS 배출 시설의 서비스 전 검사

또한 NRA는 FDNPS에서 시행 중인 운영 검사 프로그램과 그에 따른 집행 프로그램에 대한 설명도 제공했습니다. FDNPS에는 약 10명의 상주 검사관이 상주하고 있으며, 24시간 내내 최소 한 명의 검사관이 현장에 상주하고 있습니다. 태스크 포스는 FDNPS를 방문하는 동안 NRA가 독립 안전 규제 기관으로서의 임무에 따라 일상적인 운영 검사를 수행하는 것을 관찰했으며, 태스크 포스의 검토를 위해 검사 문서 및 시행 매뉴얼의 예를 제공했습니다.

3.2.3 결론

IAEA는 도쿄전력과 NRA가 수행한 접근 방식과 활동이 보고서의 이 섹션에 포함된 관련 국제 안전 표준에 부합한다는 결론을 내렸습니다. 자세한 조사 결과는 아래에 나와 있습니다:

- 도쿄전력은 운영 전 및 운영 단계에 적합한 FDNPS의 ALPS 처리수 방류 계획에 대한 구체적인 안전성 평가를 수행했습니다.
- 도쿄전력은 안전 관련 시스템 및 잠재적 고장 모드에 대한 이중화, 계획된 방전 기간 동안 시설 및 장비의 계획된 유지 보수와 같은 중요한 개념을 고려할 뿐만 아니라 관련 운영 조건 및 한계를 안전 평가에 통합했습니다.
- IAEA는 ALPS 처리수의 배출을 통제하기 위해 마련된 시스템과 프로세스가 견고하며, 예상되는 낮은 선량과 배출 과정에서 발생하는 낮은 위험에 충분히 적합하다고 지적합니다.
- 또한, IAEA는 원자력안전위원회가 수행한 서비스 전 검사가 관련 시설 및 장비의 설치 및 운영이

원자력안전위원회가 승인한 이행 계획과 일치하도록 보장하기에 충분하며, 관련 시설 및 장비에 대한 감독을 원자력안전위원회가 FDNPS에서 수행하는 운영 검사 프로그램에 통합하는 접근 방식이 적절하다는 점에 주목했습니다.

3.3. 소스 특성화

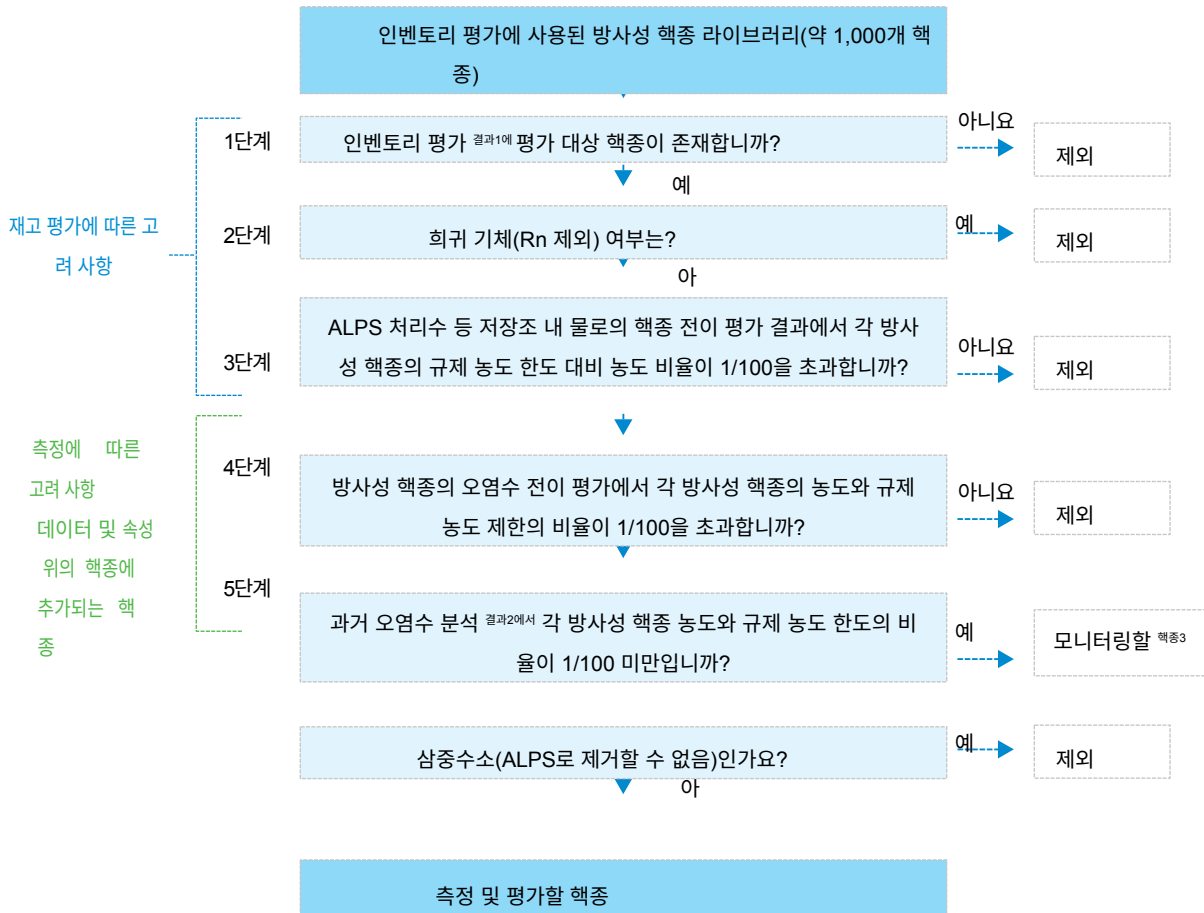
3.3.1 배경

GSG-9[9]에 설명된 배출 승인 절차에 따라 "시설 운영 또는 활동 수행 중 방사성 핵종 인벤토리를 파악하기 위해 운영 전 분석을 수행해야 합니다..."라고 명시되어 있습니다. 이러한 특성 분석과 주요 피폭 경로의 후속 식별은 대표자의 피폭에 대한 적절한 평가를 보장합니다. 또한, 규제 기관은 대표자의 노출에 대한 적절한 평가를 보장하기 위해 "(이 특성화 및 주요 노출 경로의 후속 식별에) 사용된 모델과 가정이 적절한지 평가"할 것을 권장합니다.

배출 허가를 신청하는 신청자가 따라야 할 절차에 대한 규제 기관과 신청자 간의 대화의 일환으로 배출에 대한 상세한 특성화의 필요성은 등급별 접근 방식에 따라 일반 대중에 대한 예상 선량 규모에 따라 달라져야 합니다. RS-G-1.8 [16]에 따라, 환경으로의 배출로 인한 대중에 대한 선량 예측을 포함하여 배출원의 영향을 결정하기 위해 수행되는 운영 전 연구의 일환으로 배출원의 예상 활동 목록과 방사선 특성, 배출될 방사성 핵종의 종류와 활동, 물리적 및 화학적 형태, 배출 방법과 경로 및 배출 속도를 결정해야 합니다.

3.3.2 검토 및 평가

도쿄전력은 소스에 대한 적절히 보수적인 특성화를 개발했습니다. 각 ALPS 처리수 배치의 방류 전에 측정 및 평가할 방사성 핵종을 선택하는 방법론에 대한 자세한 내용은 REIA 섹션 I-4(인벤토리 평가) 및 I-5(핵종 선택)에서 확인할 수 있습니다. 이 방법론은 5단계로 구성되며 다음과 같이 요약할 수 있습니다. 개요는 그림 3.11에 나와 있습니다.



요

그림 3.11. 도쿄전력이 배출 전 측정 및 평가할 방사성 핵종을 선정하는 데 사용하는 방법론 개요

도쿄전력이 배출 전 측정 및 평가할 방사성 핵종을 선정하는 데 사용하는 방법론 개요

1~3단계는 도쿄전력에서 수행한 계산을 기반으로 합니다.

- 1단계: 냉정 정지 후 12년이 지난 FDNPS의 1, 2, 3호기의 방사성 핵종 인벤토리를 평가했습니다. 연료의 경우, 각 원자로의 초기 인벤토리는 톤당 우라늄 분율과 각 원소의 질량 비율에 노심의 공칭 질량을 곱하여 추정했습니다. 그런 다음 ORIGEN¹ 을 사용하여 장전 시점부터 사고 시점까지 각 연료 다발의 연소량을 평가했습니다(3호기의 혼합 산화물 연료 고려 포함). ²³⁵U의 핵분열로 인한 핵분열 생성물, 플루토늄 동위원소와 같이²³⁸U가 중성자를 흡수하여 생성되는 핵종, ¹³⁴Cs와 같이 핵분열 생성물이 중성자를 포획할 때 생성되는 핵종은 이 코드를 사용하여 평가했습니다. 각 원자로 구조를 구성하는 물질의 활성화는 각 원자로의 전체 상업적 운영 이력에 걸쳐 시뮬레이션되었습니다. 이러한 계산에 따라 원자로 노심당 1Bq 미만의 활성을 갖는 것으로 확인된 표

준 ORIGEN 라이브러리(약 1,000개)의 모든 방사성 핵종(본질적으로 모든 단수명 방사성 핵종)은 더 이상 고려하지 않았습니다.

- 2단계: 1단계에서 평가한 방사성 핵종 인벤토리에서 (오염된 물에는 존재할 수 없는) 희귀 기체를 제거했습니다.

- 3단계: FDNPS 수조에 저장된 처리수 등에 포함된 모든 방사성 핵종에 대한 가상의 최대 예상 활성 농도를 추정하고 각 규제 한도와 비교했습니다. 1단계에서 평가한 바와 같이 3개 원자로의 전체 방사성 핵종 재고량이 현재 총 처리수 등에 용해되어 있는 것으로 가정했습니다.

¹ ORIGEN은 PWR 및 BWR 원자로에서 핵연료의 성장, 붕괴 및 활성화를 시뮬레이션하는 데 널리 사용되고 검증된 소프트웨어 툴입니다. 이 소프트웨어는 미국 오크리지 국립 연구소에서 개발했습니다.

FDNPS(1,330,000m3). 결과 활성 농도가 각 규제 한도의 1% 미만인 모든 방사성 핵종은 1단계에서 평가한 방사성 핵종 인벤토리에서 제거되었습니다.

4단계와 5단계에서는 측정 및 분석 결과를 통합하여 추가 다운사이징을 진행했습니다:

- 4단계: 방사성 핵종이 원자로에서 오염된 물로 이동할 가능성을 평가하고 그 결과 활성 농도를 각 규제 한계와 비교했습니다. 먼저 물에서 유사한 화학적 형태를 갖는 방사성 핵종을 그룹화했습니다. 모 방사성 핵종과 단수명 자손은 12년의 냉각 기간을 거쳐 평형 상태에 있는 것으로 가정했으며, Zr-93과 Nb-93은 2022년 현재 평형 상태에 도달하지 않았으므로 제외했습니다. 각 그룹에 대해 대표 방사성 핵종을 정의하고(선량에 대한 기여도에 따라 결정) 각 방사성 핵종에 대해 "상대 비율"(1단계에서 평가한 활성과 각 규제 한도의 비율을 대표 방사성 핵종에 대해 동일한 비율로 나눈 값)을 계산했습니다. 상대 비율이 0.01 미만인 경우, 해당 방사성 핵종은 1단계에서 평가한 방사성 핵종 인벤토리에서 제외되었습니다.

그런 다음 각 그룹의 대표 방사성 핵종(주기율표에서)에 대해 측정된 최대 활성 농도와 사고 시점으로 보정된 붕괴의 비율을 1단계에서 평가한 활성으로 나눈 비율인 전이 계수를 계산했습니다. 도쿄전력과 도쿄전력과 계약을 맺은 연구소는 2011년부터 수년 동안 오염수 처리 흐름의 여러 지점에서 채취한 샘플을 대상으로 광범위한 방사성 핵종별 측정을 수행해 왔습니다. 여기에는 수명이 길고 수율이 높은 핵분열 및 중성자 활성화 생성물, 우라늄 및 우라늄 및 초우라늄의 동위원소(Np, Pu, Am 및 Cm 동위원소 포함)가 포함됩니다. 위의 단계에 따라 남은 각 방사성 핵종의 활성에 해당 그룹의 전이 계수를 곱하여 최대 예상 활성 농도를 추정합니다. 활성 농도가 각 규제 한도의 1% 미만인 방사성 핵종은 1단계에서 평가한 방사성 핵종 인벤토리에서 제거되었습니다. 그룹에 할당되지 않은 방사성 핵종은 개별적으로 평가되었습니다.

- 5단계: 나머지 37개의 방사성 핵종을 분류했습니다:
 - 삼중수소를 사용하여 배출 유량 및 희석 계수를 결정합니다,
 - 29개의 방사성 핵종과 삼중수소를 각 ALPS 처리수 배치의 배출 전에 각 규제 한도에 따라 측정 및 평가해야 합니다(소스 모니터링).
 - 한 번도 검출된 적이 없지만 정기적으로 모니터링할 방사성 핵종 6종(각 배치에 대해 모니터링하는 것은 아님).

이 방법론과 NRA의 후속 검토를 통해 확인된 측정 및 평가 대상 방사성 핵종 30개는 표 3.2에 나와 있습니다.

표 3.2. 도쿄전력의 알프스 처리수 원수 조건에 포함된 방사성 핵종

		59		

3H	79Se	125m Te	151Sm	238Pu
14C	90Sr	129I	154Eu	239Pu
54Mn	90Y	134C s	155Eu	240Pu
55Fe	99Tc	137C s	234U	241Pu
60Co	106R u	144C e	238U	241Am
63Ni	125 Sb	147P m	237Np	244Cm

도쿄전력은 위에서 설명한 방법론을 사용하여 반감기가 매우 짧은 방사성 핵종을 포함하여 원천 기간에 자손의 잠재적 존재 여부를 평가했습니다. 소스 기간에 포함된 방사성 핵종의 붕괴 생성물은 표 3.3에 나와 있습니다. 대부분 4단계에서 제거되었지만⁹⁰ Y(2.6d 반감기,⁹⁰ Sr의 자손)와^{125m} Te(57d 반감기,¹²⁵ Sb의 자손)는 도쿄전력의 소스 모니터링 계획에 포함되지 않았으며 포함되었습니다. 이 계획에 따르면, 두 방사성 핵종의 수준은 각각의 모핵종을 측정하고 평형을 가정하여 평가할 것입니다.

표 3.3. 소스 기간에 포함된 방사성 핵종의 붕괴 생성물

방사성 핵종	부패 제품	부패 생성물의 반감기	방사성 핵종	부패 제품	부패 생성물의 반감기
3H	안정적	-	137Cs	137mBa	2.6분
14C	안정적	-	144Ce	144Pr	17.3분
54Mn	안정적	-	147Pm	147Sm	1.06E11 a
55Fe	안정적	-	151Sm	안정적	-
60Co	안정적	-	154Eu	안정적	-
63Ni	안정적	-	155Eu	안정적	-
79Se	안정적	-	234U	230번째	75400 a
90Sr	90Y	2.66 d	238U	234번째	24.1 d
90Y	안정적	-	237Np	233Pa	26.98 d
99Tc	안정적	-	238Pu	234U	245500 a
106Ru	106Rh	30.1 s	239Pu	235U	7.03E8 a
125Sb	안정적	-	240Pu	236U	2.34E7 a
125mTe	안정적	-	241Pu	241Am	432 a
129I	안정적	-	241Am	237Np	2.1E6 a
134Cs	안정적	-	244Cm	240Pu	6561 a

도쿄전력은 또한 보수적인 접근 방식을 채택하기 위해 일상적으로 모니터링할 방사성 핵종을 추가로 확인했습니다. 이러한 방사성 핵종은 위에서 설명한 방법론에 의해 제외되었지만 ALPS에 의해 제거되지 않으며(^{113m} Cd 제외), 이전에 FDNPS의 오염수 샘플에서 검출된 적이 있습니다. 따라서 상당한 양이 존재할 가능성은 낮지만, 도쿄전력은 이러한 방사성 핵종의 존재 여부를 주기적으로(예: 모든 배치가 아닌) 모니터링할 것입니다. 이러한 추가 방사성 핵종은 표 3.4에 나열되어 있습니다.

표 3.4. 간격으로 모니터링해야 하는 방사성 핵종

36	93m	94N	93M	113m	133B
----	-----	-----	-----	------	------

Cl	Nb	b	o	Cd	a
----	----	---	---	----	---

이 방법론의 어느 시점에서든 FDNPS에서 오염수 내 방사성 핵종의 활성 농도를 줄이기 위해 설계된 ALPS 및 기타 시스템의 효율성은 직접적으로 고려되지 않았지만, 의심할 여지없이 ALPS에 의한 제거 대상 방사성 핵종의 활성 농도는 처리 후 더 낮아질 것으로 예상됩니다. 또한, 태스크포스는 모든 배치에 대해 소스 기간의 모든 방사성 핵종(표 3.2 참조)과 보수적 접근을 보장하기 위해 추가 방사성 핵종을 분석하기 때문에 ALPS 시스템의 효율성이나 효과를 고려하는 것은 불필요하며, 따라서 시스템에 대한 통제 ALPS 공정의 성능이 아니라 배출 전에 모든 배치에 대한 100% 검증에 있다고 언급했습니다.

ALPS 처리 수원의 특성을 분석하는 이 방법론은 NRA의 검토 및 승인을 받았습니다. 이 검토에 따라 몇 가지 사소한 변경이 이루어졌는데, 예를 들어¹²⁹ I, ¹⁴ C 및 ⁷⁹ Se와 함께 REIA에서 어린이 및 유아의 섭취 선량에 중요한 기여를 하는 것으로 확인된 폐쇄 후 초기 핵폐기물의 중요한 활성화 생성물인⁵⁵ Fe가 추가되었고(연간 유효 섭취 선량이 모든 연령대에 대해 매우 낮고 연간 0.04 μSv 미만인 것을 고려하면 상대적으로)^{113m} Cd 및²⁴³ Cm이 제거되었습니다.

원전 특성 분석은 태스크포스의 피드백에 따라 IAEA 검토 과정에서 근본적으로 수정되었으며, 부분적으로는 태스크포스의 피드백에 따라 수정되었습니다. 이전에 도쿄전력이 채택한 접근 방식은 비현실적인 방식으로 지나치게 보수적이었는데, 태스크포스의 피드백을 고려한 후 적절히 보수적인 대안이 채택되었습니다. 가장 중요한 것은 도쿄전력이 기본 철학을 변경하여 "ALPS에 의한 제거 대상 방사성 핵종 선정"에서 "강력한 검증을 통해 측정 및 평가 대상"을 선정하는 것으로 변경했다는 것입니다. 이는 관련 IAEA 국제 안전 표준(예: GSG-9 5.20항)에 명시된 배출 특성화 요건과 일치합니다. 따라서 배출원의 특성화는 도쿄전력의 배출원 모니터링 계획과 확인된 각 방사성 핵종에 대한 분석 방법 선택에 직접적으로 영향을 미칩니다(3.5항 참조).

NRA는 태스크 포스에 그들의 관점에서 볼 때 현재 ALPS 처리 수원의 용어에서 제외된 중요한 방사성 핵종은 없다는 증거를 제공했습니다. NRA가 제공한 증거에는 규제 농도 제한을 설정하는 데 사용된 노출 경로와 관련된 선량의 독립적 계산과 REIA에서 고려한 노출 경로 및 두 계산 결과의 비교가 포함되었습니다. 태스크 포스는 향후 도쿄전력이 추가 수정을 할 경우 소스 기간을 결정하기 위해 고려할 수 있는 대체 특성화 접근법을 NRA와 논의했습니다.

NRA에서 규제 농도 한도를 설정하는 데 사용된 노출 경로는 다음과 같이 태스크 포스에 설명되었습니다:

"규제농도한도"란 방사성폐기물을 환경으로 방출하는 기준으로서, 「선량한도 등을 정하는 고시」에서 방사성핵종별로 정하고 있습니다. 규정 등의 규정에 근거하여 방사성폐기물의 환경방출을 제한하는 기준입니다. 핵원료물질 또는 핵연료물질의 정제업에 관한 규정」의 규정에 따른 선량한도 등을 정하고 있습니다. 규제 농도 한도와 같은 물을 평생(성인 기준 70년) 매일 2L씩 계속 [섭취] 할 경우 평균 피폭선량은 1mSv/년"이라고 명시되어 있습니다.

또한, 자체적인 독립적인 시료 채취 및 분석 활동을 통해 IAEA와 참여한 제3자 실험실 모두 상당한 수준의 추가 방사성 핵종(즉, 소스 기간에 포함된 방사성 핵종 이외의 방사성 핵종)을 검출하지 못했습니다. 이 보고서의 파트 IV에는 IAEA의 현재 검증 활동 결과에 대한 추가 정보가 있습니다.

3.3.3 결론

IAEA는 도쿄전력과 NRA가 수행한 접근 방식과 활동이 보고서의 이 섹션에 포함된 관련 국제 안전 표준에 부합한다는 결론을 내렸습니다. 자세한 조사 결과는 아래에 나와 있습니다:

- IAEA는 도쿄전력이 충분히 보수적이면서도 현실적인 선원 용어로 제시한 근거를 받아들였습니다. 도쿄전력의 선원 특성화 접근 방식은 잠재적으로 선량에 가장 크게 기여할 수 있는 방사성 핵종을 출발점으로 삼지 않았다는 점에서 비정형적이었습니다. 그러나 앞서 언급했듯이 모든 관련 방사성 핵종은 여전히 포함되었으며 관련 활동을 고려할 때 목적에 적합합니다.

- 검토 기간 동안 기본 철학은 "ALPS에 의한 제거 대상 방사성 핵종 선정"에서 "강력한 검증을 통한 확인 및 평가 대상"으로 변경되었으며, 이러한 새로운 접근 방식은 관련 IAEA 국제 안전 표준(예 : GSG-9 5.20항)에 명시된 배출 특성화 요건과 일치합니다.
- IAEA는 소스 용어에 포함된 많은 방사성 핵종이 ALPS 처리수에서는 검출되지 않는다고 지적합니다. "7가지 주요 방사성 핵종"(^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{60}Co , ^{125}Sb , ^{106}Ru , ^{90}Sr , ^{129}I)과 삼중수소, ^{14}C , ^{99}Tc 만 ALPS 처리수 샘플에서 일상적으로 검출될 수 있습니다. 따라서 향후 운영 경험이 쌓이면 원전 용어의 보수성을 완화할 수 있는 여지가 충분할 것으로 보입니다.
- 출처 및 출처의 특성화와 환경 모니터링 프로그램 간의 긴밀한 연결 유지의 중요성은 이미 언급한 바 있습니다. 모니터링 데이터베이스가 성장함에 따라 중요한 정보를 사용할 수 있게 될 것이며, 이를 통해 선형적 가정을 검증하고 출처의 특성화를 포함한 REIA를 적절하게 개선할 수 있습니다.

3.4. 방사선 환경 영향 평가

3.4.1 배경

장래 방사능 환경 영향 평가(REIA)는 허가자와 규제 기관이 활동 및 시설에서 발생하는 방사능 배출⁽²⁾로 인해 대중과 환경에 미치는 방사능 영향을 추정하고 통제하는 데 도움이 되는 중요한 도구입니다. REIA는 대중과 환경 보호와 관련하여 허가를 위한 초기 근거를 마련하고, 통제된 배출을 허가하는 과정에 중요한 정보를 제공하는 등 다양한 목적으로 사용될 수 있습니다.

전향적 REIA의 목적은 계획된 시설 또는 활동이 합리적으로 예측 가능한 모든 상황에서 공공 및 환경 보호에 관한 현행 법률 및 규제 요건을 준수하는지 여부를 판단하는 것입니다. 이러한 전향적 평가에는 정상적인 운영에서 발생할 것으로 예상되는 노출과 확인된 사고로 인한 잠재적 노출에 대한 고려가 포함됩니다. REIA는 가능한 한 간단해야 하지만 이 목표를 달성하기 위해 필요한 만큼 복잡해야 합니다.

GSR 파트 3[8]은 방사선 위험을 초래하는 활동의 규제를 위한 안전에 대한 정부, 법률 및 규제 프레임워크를 구축하기 위한 요건을 설정합니다. 이러한 요건은 규제 기관과 등록자 또는 허가자 모두에게 적용됩니다. 이러한 요건에는 근로자와 대중에 대한 선량 한도 설정, 계획된 피폭 상황에서 대중 피폭에 적용

되는 선량 제약을 포함한 대중의 보호 및 안전 최적화, 승인 프로세스 수립, 운영 성과 요건 등이 포함됩니다. 방사선 환경 영향 평가의 개념은 시설 및 활동에 대한 안전 평가의 일부로 포함됩니다. GSR 파트 3 [8]의 3.31항에는 다음과 같이 명시되어 있습니다:

2 배출이란 기체, 에어로졸 또는 액체 방사성 물질을 환경으로 계획되고 통제된 방식으로 방출하는 것을 말합니다.

"안전 평가는...다음과 같이 수행되어야 합니다:

(a) 노출이 발생할 수 있는 방법을 식별하려면...;

(b) 정상적인 운영에서 예상되는 노출 가능성과 노출 규모를 결정하고, 합리적이고 실행 가능한 범위 내에서 잠재적 노출에 대한 평가를 수행합니다."

환경 배출 허가를 신청할 때 등록자 또는 허가권자에게 부여된 책임은 GSR 파트 3 [8]에 나와 있습니다. GSR 파트 3 [8]의 3.9항에는 다음과 같이 명시되어 있습니다:

"승인을 신청하는 모든 개인 또는 조직:

(e) 규제 기관이 요구하는 경우, 시설 또는 활동과 관련된 방사선 위험에 상응하는 방사선 환경 영향에 대한 적절한 전향적 평가를 수행해야 합니다."

그리고 GSR 파트 3 [8]의 3.15항은 다음과 같이

명시하고 있습니다: "등록자 및 라이선스

사용자:

(d) 허가를 받았으며 규제 기관이 방사선 환경 영향에 대한 전향적 평가를 요구하는 출처에 대해서는 그러한 평가를 수행하고 최신 상태로 유지해야 합니다."

배출 허가 과정의 일환으로, GSG-9[9] 5.43항은 배출 한도를 설정할 때 규제 기관의 요구 사항에 따라 수행된 장래 환경 영향 평가의 결과를 고려해야 한다고 명시하고 있습니다. 입지, 설계 및 건설 단계 중 또는 그 이전에 수행해야 하는 시설 및 활동에 대한 REIA에 대한 지침은 국제 안전 표준 시리즈 번호 GSG-10에 나와 있습니다.

방사선 환경 영향에 대한 전향적 평가 수행의 일환으로 단락 GSR 파트 3[8]의 3.132항은 다음과 같이 명시하고 있습니다:

"등록자 및 라이선스 사용자는 공급업체와 협력하여 적절하게 배출 허가를 신청합니다:

(a) 배출할 물질의 특성과 활성도, 배출 가능한 지점 및 방법을 결정해야 합니다;

(b) 적절한 운영 전 연구를 통해 배출된 방사성 핵종이 일반 대중의 피폭을 유발할 수 있는 모든

중요한 피폭 경로를 결정해야 합니다;

(c) 계획된 퇴원으로 인해 대표자에게 투여되는 선량을 평가해야 합니다;

(d) 규제 기관에서 요구하는 대로 방사선 환경 영향을 보호 및 안전 시스템의 특징과 통합된 방식으로 고려해야 합니다;

(e) 위의 (a)-(d)의 결과를 규제 기관에 제출하여 규제 기관이 배출량 및 조건에 대한 승인된 제한을 설정하는 데 참고 자료로 제출해야 합니다.

구현할 수 있습니다."

원전의 설계, 계획, 운영 및 폐로 시 보호 및 안전 최적화 원칙을 적용함에 있어 GSR 파트 3 [8]의 3.126항은 다음과 같이 명시하고 있습니다:

"등록자 및 라이선스 사용자는 ..., 다음 사항을 고려해야 합니다:

- (a) 출처의 특성 및 사용 변화, 환경 분산 조건의 변화, 노출 경로의 변화 또는 대표자의 결정에 사용되는 매개변수 값의 변화 등 일반인의 노출에 영향을 미칠 수 있는 모든 조건의 가능한 변화;
- (c) 배출원 수명 기간 동안 배출된 방사성 물질이 환경에 축적 및 축적될 수 있습니다;
- (d) 선량 평가의 불확실성, 특히 출처와 대표자가 공간적 또는 시간적으로 분리되어 있는 경우 선량에 대한 기여도의 불확실성이 있습니다."

GSG-9 [9] 및 GSG-10 [11]은 GSR 파트 3 [8]에 명시된 요건을 충족하기 위해 REIA를 수행하는 데 대한 권장 사항을 제공합니다.

GSG-9의 그림 3(섹션 3.1 참조)은 배출 승인 절차의 단계를 보여줍니다. 여기에는 대중에 대한 선량에 대한 전향적 평가가 포함되며, 이러한 평가는 일반적으로 방사선 환경 영향 평가(REIA)라고 합니다.

GSG-9 [9]의 5.13항은 다음과 같이 명시하고 있습니다:

"규제 기관은 퇴원 허가의 필요성이 확인된 후 퇴원 허가를 요청하는 신청자가 따라야 할 절차를 수립해야 합니다. 허가 절차의 단계는 다음과 같을 수 있습니다:

- (d) 신청자는 대표자에 대한 투여량을 평가해야 합니다. 여기에는 간단하고 신중한 일반적 평가부터 시작하여 필요한 경우 보다 상세한 현장별 연구까지 여러 차례 반복할 수 있습니다.
- (e) 신청자는 평가 결과를 규제 기관에 제출해야 합니다. 규제 기관은 신청자가 사용한 모델과 과정이 적절한지 평가하고, 평가 결과를 선량 제한 및 선량 제약과 비교해야 하며, 평가된 선량이 대중을 최적화하여 보호할 필요성에 부합하는지 평가해야 합니다." GSG-10[11]은 '일반적으로 원자력 시설의 허가는 높은 수준의 복잡성을 요구하며, 소량의 방사성 핵종 인벤토리로 운영되는 활동 또는 시설의 경우 더 간단한 분석이 정당화될 수 있다'고 명시하고 있습니다. 표 3.5는 REIA에 필요한 복잡성 수준을 고려할 때 고려해야 할 요소의 예를 보여줍니다.

GSG-10은 REIA를 수행하기 위한 프레임워크를 제공하며, 승인 절차 내에서 REIA의 필요성과 복잡성

을 결정하는 데 중요한 요소에 대한 정보를 제공합니다. GSG-10은 '신청자는 검토 및 동의를 위해 규제 기관에 신청서를 제출할 때 이러한 요소를 고려해야 한다'고 명시하고 있습니다. 특정 시설 및 활동의 경우, 평가의 세부 수준은 규제 기관에서 선형적으로 정의할 수 있다고 명시하고 있습니다.

표 3.5. REIA에 필요한 복잡성 수준을 고려할 때 고려해야 할 요소의 예(GSG-10 [11]의 그림 1을 재현한 것).

팩터	요소
시설 또는 활동의 특성	<ul style="list-style-type: none"> 소스 용어 — 방사성 핵종 — 수량(활동 및 질량/부피 모두) — 형태(화학적/물리적 구성) — 기하학적 구조(크기, 모양, 릴리스 높이) — 방출 가능성: 정상 작동과 사고의 경우 소스 용어가 크게 다릅니다. 정상 작동으로 인한 예상 선량 또는 잠재적 누출로 인한 예상 선량 — 유사 시설에 대한 예비 평가 또는 이전 평가 활동 또는 시설의 안전 특성 — 설계에 존재하는 안전 장벽 및 엔지니어링 기능의 유형 — 심각한 사고 발생 가능성
위치의 특성	<ul style="list-style-type: none"> 방사성 핵종의 환경 내 분산과 관련된 시설 부지의 특성(예: 지질학, 수문학, 기상학, 형태학, 생물물리학적 특성) 수용체의 존재 및 특성(예: 인구 통계, 생활 습관 및 조건, 동식물) 노출 경로 토지 사용 및 기타 활동(예: 농업, 식품 가공, 기타 산업) 인근의 다른 시설의 특성 및 자연적, 인위적 외부 이벤트(예: 지진, 홍수, 산업재해, 운송 사고) 발생 가능성
특정 활동 또는 시설에 대한 승인 프로세스의 특징	요구 사항 또는 규정(라이선스 요건) 승인 프로세스 단계

여기에 제공된 목록은 완전한 목록이 아니며, 평가 유형을 선택할 때 이러한 요소의 중요성에 대한 판단은 신청 기관의 원자력 및 방사선 안전 전문가와 국가 규제 기관에서 내려야 합니다.

잠재적 노출

계획된 노출 상황에서 보호 및 안전에 대한 등록자 및 라이선스 사용자의 책임에 관한 GSR 파트 3 [8]의 요구 사항 9에 따르면 3.15항은 다음과 같이 명시되어 있습니다:

"등록자 및 라이선스 사용권자:

(e) 잠재적 노출의 가능성과 규모, 그로 인한 결과 및 영향을 받을 수 있는 개인의 수를 평가해야 합니다..."

환경 보호

GSG-8[10]의 2.4항은 "계획된 노출 상황에서는 어느 정도 수준의 노출이 발생할 것으로 예상할 수 있다"는 권고사항으로 이 요건을 확장합니다. 노출이 확실하게 발생할 것으로 예상되지는 않지만 예상되는 운영상의 사건이나 사고 또는 잠재적으로 발생할 수 있지만 발생 여부가 확실하지 않은 사건 또는 일련의 사건으로 인해 발생할 수 있는 경우, 이를 '잠재적 노출'이라고 합니다. 잠재적 노출의 규모와 범위는 일반적으로 예측할 수 있습니다. 발생이 예상되는 노출과 잠재적 노출 모두 계획 또는 설계 단계에서 고려할 수 있고 고려해야 합니다."

GSR 파트 3 [8]의 보호 및 안전 시스템에 대한 요구 사항은 일반적으로 방사선의 유해한 영향으로부터 환경을 적절히 보호하도록 규정하고 있습니다. GSR 파트 3 [8]의 1.32항은 다음과 같이 명시하고 있습니다 :

"전 지구적이고 장기적인 관점에서 시설 운영 및 활동 수행과 관련된 방사선 위험으로부터 사람과 환경을 보호하는 것, 특히 국경을 초월하여 장기간 지속될 수 있는 위험으로부터 보호하는 것은 공평하고 지속 가능한 개발을 달성하는 데 중요합니다."

GSR 파트 3 [8]의 1.33항은 다음과 같이 명시하고 있습니다:

"... 이 분야의 국제적 동향은 환경의 취약성에 대한 인식이 증가하고 있음을 보여줍니다. 또한 이러한 추세는 인간과의 연관성에 관계없이 광범위한 환경 상황에서 방사성 핵종을 포함한 산업 오염 물질의 영향으로부터 환경이 보호되고 있음을 (가정이 아닌) 입증할 수 있어야 할 필요성을 나타냅니다. 이는 일반적으로 환경에 대한 영향을 파악하고, 환경 보호를 위한 적절한 기준을 정의하고, 영향을 평가하고, 사용 가능한 보호 옵션의 예상 결과를 비교하기 위해 전향적 환경 평가를 통해 수행됩니다. 이러한 평가를 위한 방법과 기준은 개발 중이며 계속 발전해 나갈 것입니다."

많은 경우, 경험이나 단순 분석과 같은 증거에 근거하여 환경에 미치는 영향에 대한 구체적인 고려가 필요하지 않다고 결론을 내릴 수 있습니다. 모든 상황에 해당되는 것은 아니며, 규제 기관에서 환경 보호에 대한 명시적인 고려를 요구할 수 있으며 시설 또는 활동의 특성 및 고려 중인 환경 조건에 따라 달라질 수 있습니다(GSG-10 [11]의 I-2 단락). 다른 경우에는 환경 보호에 대한 명시적인 고려가 국내 법률에 명시되어 있습니다. 환경 보호를 위한 국내 또는 국제 규제 프레임워크에 따라 사용할 수 있는 동식물에 대한 방사선 영향을 명시적으로 평가하는 방법론은 GSG-10 [11]의 부속서 I에 예시로 제시되어 있습니다. 동식물 보호에 대한 명시적인 평가의 필요성은 국가 규정에 따릅니다.

3.4.2 검토 및 평가

2021년 4월 일본 정부가 발표한 기본 정책에 따라 도쿄전력은 ALPS 처리수 방류에 대한 REIA⁽³⁾를 실시했습니다. 일반 대중과 동식물에 대한 선량 평가가 수행되었습니다. REIA는 ALPS 처리수 방류 승인 신청서로서 NRA에 제출된 이행 계획의 일부를 구성합니다.

³ 달리 명시되지 않는 한, 본 섹션에서 REIA에 대한 언급은 2023년 2월에 도쿄전력이 제출하고 2023년 5월에 NRA가 승인한 최신 버전을 참조합니다.

REIA의 검토는 섹션 3.1에 설명되어 있고 그림 3.1에 설명된 배출 승인 절차의 틀 내에서 고려되었습니다. 이 절차에는 GSG-9의 5.13항에 명시된 대로 신청자가 "대중의 보호와 안전을 최적화하기 위해 사용할 조치를 제시하고, 피폭을 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지하기 위한 조치를 고려하고, 모든 관련 요인을 고려한" 것이 포함됩니다. 두 차례에 걸친 도쿄전력 방문(부록 1 참조)에서 태스크포스는 도쿄전력이 ALPS 처리수 방류 승인 신청을 지원하기 위해 REIA를 작성하는 과정에서 수행한 작업의 모든 측면에 대해 상세한 논의를 진행했으며, 그 결과도 포함했습니다. 2022년 2월 도쿄전력에 대한 첫 번째 임무에서 REIA 초안을 검토한 후, 태스크 포스는 도쿄전력이 수행한 광범위한 작업을 인정했습니다. 환경에서의 방사성 핵종의 거동과 일반 대중에 대한 선량 추정치에 관한 REIA의 몇 가지 주요 가정에 대해 논의했습니다. 태스크 포스는 가정이 적절하고 충분히 보수적이라는 증거를 제공하기 위해 모델링, 가정 및 데이터에 대한 보다 상세하고 철저한 서면 설명이 필요하다는 것을 확인했습니다.

태스크 포스는 도쿄 전력과 보호 최적화를 위한 접근 방식, 다양한 매개변수 및 고려해야 할 요소를 문서화하는 것의 중요성과 도쿄 전력이 이 과정에 이해 당사자들이 어떻게 참여하고 있는지를 기록하는 것에 대해 논의했습니다. 태스크 포스는 도쿄전력이 (대중과 환경에 대한) 선량 감소가 이해 당사자들이 중요하게 생각하는 다른 요소(경제적, 사회적, 환경적 요소)에 미치는 영향을 설명해야 한다고 강조했습니다. 또한 도쿄전력은 제안된 접근 방식이 현 시점에서 왜 최적인지 명확히 설명해야 합니다. 태스크 포스는 이러한 명확성이 향후 도쿄전력이 이해 당사자들과 소통하고 방류 방식에 대한 잠재적 변화에 대해 소통할 때 도움이 될 수 있다고 언급했습니다. 방류율과 같은 다양한 주요 매개변수가 FDNPS 부지 방호 최적화에서 고려되는 관련 요소에 미치는 영향을 이해하면 ALPS 처리수 방류에 대한 최적의 매개변수를 파악하여 일반 대중에 대한 최적의 선량을 파악하는 데 도움이 될 것이라는 논의가 있었습니다.

SF-1, GSR 파트 3 및 GSG-9에 따라 태스크 포스는 도쿄전력에 ALPS 처리수 방류에 대한 질적 방식의 방호 최적화를 설명하는 REIA의 장 초안을 작성해 달라고 요청했습니다. 이 장에는 선량 제한을 충족하는 연간 배출량, 선량 제한 이하로 선량을 줄이는 옵션, 선량 감소로 인한 기타 요인(공공 및 환경)에 대한 영향에 대한 서면 설명이 이상적으로 포함될 것입니다. 태스크 포스는 ALPS 처리수 방류에 대한 기본 정책에서 현재 사회적 우려가 가장 중요하다는 점에 주목했습니다. 또한 태스크 포스는 도쿄전력이 최적화 프로세스에 대한 정성적 설명에 연간 배출량 상한선(선량 제약에 해당)을 계산하여 포함할 것을 제안했습니다.

이에 따라 도쿄전력은 이러한 계산을 수행한 결과 NRA가 설정한 선량 제한을 유지하면서 훨씬 더 높은 방전율을 사용할 수 있음을 보여주었습니다.

2022년 7월, 도쿄전력은 태스크포스가 제기한 많은 의견을 반영한 개정 REIA를 발표했지만 당시 추가 개발 중이던 소스 용어에 대한 수정 사항은 아직 반영하지 않았습니다(3.3항 참조). 2023년 2월, 도쿄전

력은 새로운 소스 용어를 고려하여 REIA의 최종 버전을 준비했으며, 이 버전은 2022년 11월 2차 미션에서 태스크포스가 제기한 추가 관련 의견도 다루었습니다. 도쿄전력은 ALPS 처리수 방류와 관련하여 보호 및 안전 최적화에 대한 설명을 제공하는 챕터를 REIA에 포함시켰습니다.

2023년 2월, REIA의 개정 버전은 수정된 이행 계획의 일부로 NRA에 제출되었으며, 2023년 5월에 NRA의 승인을 받았습니다.

도쿄전력이 ALPS 처리수 배출을 위해 REIA에 채택한 접근 방식

그림 3.12는 시설 또는 활동의 정상적인 운영을 위한 일반인용 REIA의 구성 요소를 요약한 것입니다. 일반적으로 평가의 첫 번째 요소는 일반인 피폭과 관련된 방사선원을 특성화하는 것입니다. 다음으로, 식품 및 환경에서의 활동 농도를 추정하기 위해 환경 내 방사성 핵종의 분산 및 이동을 고려합니다. 모든 관련 방사선 피폭 경로를 고려하여 인구에서 피폭량이 많은 사람을 대표하는 일반인인 대표자에 대한 선량을 평가합니다.

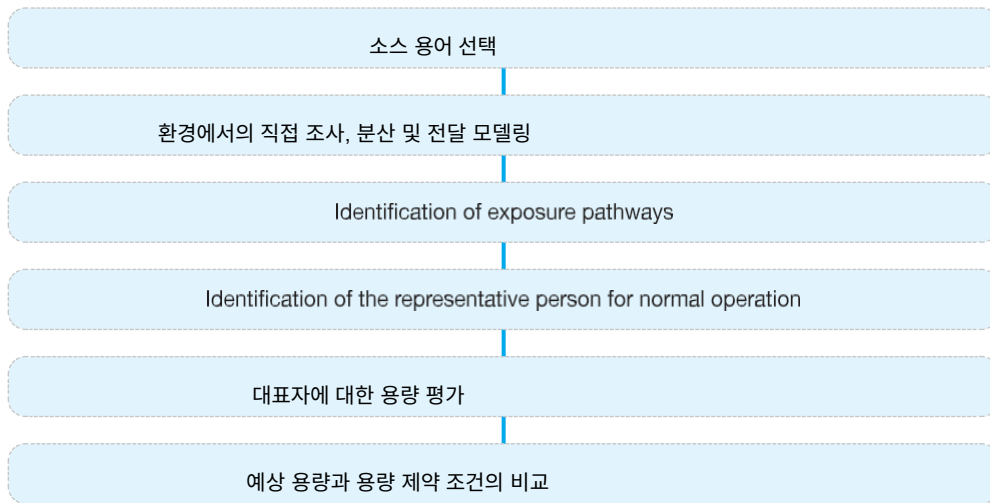


그림 3.12. 시설 또는 활동의 정상적인 운영을 위한 대중을 위한 REIA의 구성 요소(GSG-10에서 발췌)

대표자에 대한 선량은 특정 시설 또는 활동에 대한 선량 제약과 비교됩니다. 선량 제약은 최적화 프로세스의 시작점으로 사용되며 대중 보호 측면에서 최적의 선량 수준을 찾는 데 사용됩니다(3.1절에서 설명 참조).

동식물의 노출을 평가하는 일반적인 방법론은 GSG-10 [11]에 제공되며, 환경 보호를 위한 ICRP 접근법을 기반으로 합니다 [12, 13]. (그림 3.13(IAEA GSG-10 [11]의 그림 I-2)은 동식물 보호를 위한 일반 평가의 구성요소를 보여 주며, 최종 목표는 도출된 고려기준선량(DCRL)[12]과 비교하기 위해 기준 동식물에 대한 선량률을 평가하는 것입니다. DCRL은 특정 영향이 관찰되었거나 예상되는 선량률 범위를 정의하며, 이 값은 각 참조 동물 및 식물에 대한 하한 및 상한값과 함께 하루 mGy 단위로 지정됩니다. 일반인에 대한 선량 평가를 위해서는 환경 내 방사성 핵종의 거동과 환경 내 활동 농도 추정이 필요합니다. 대표생물의 개념에 따라 동식물 개체군에 대한 영향 평가에서 추정해야 할 선량률은 일반적으로 가장 높은 피폭이 발생할 수 있는 배출 지점 주변의 기준 영역에 위치한 개별 생물 그룹이 받는 선량률의 특징입니다. 이 그룹의 선량률 특성은 예를 들어 이 기준 영역 내의 평균 활동 농도를 사용하여 추정됩니다. GSG-10[11]은 "생태학적 특성은 다를 수 있지만, 일반적으로 배출 지점 주변 지역⁽²⁾은 활동 또는 시설의 정상적인 운영과 관련된 대부분의 피폭 시나리오에 사용될 수 있다"고 명시하고 있습니다. 도쿄전력은 REIA

의 계산을 위해 배출 지점 주변 10 x 10km의 해역(즉, 100km²)과 이 해역의 평균 활동 농도를 사용했습니다.



그림 3.13. 정상 작동 시 동식물 보호를 위한 일반 평가의 구성 요소(GSG-10 [11]에서 발췌)

참조 동물 및 식물에 대한 선량률(RAP)은 파생 고려 기준 수준(DCRL)과 비교됩니다.

도쿄전력이 ALPS 처리수 방류를 위해 수행한 REIA⁴는 IAEA GSG-10 [11]에 설명된 방법론에 따라 수행되었습니다. 일반인 및 동식물에 대한 선량 평가가 수행되었습니다.

REIA[15]에서 사용된 모델링 접근 방식은 동일하지는 않지만 IAEA[26]에서 설명한 방법론과 유사합니다. REIA에서도 유사한 일반형 모델이 적용된다. 일부 사이트별 모델, 특히 FDNPS 주변 연안 해역에 대한 해양 분산 모델과 해변 점유 및 해산물 섭취량과 같은 국가별 라이프스타일 데이터도 도입되었습니다. IAEA[25]의 일반적 접근 방식은 일반적으로 추정 선량이 과대평가될 수 있도록 개발되었습니다.

도쿄전력이 수행하는 REIA[15]의 각 단계는 아래에서 자세히 설명합니다.

소스 용어 선택

REIA의 첫 번째 단계는 소스 용어의 선택입니다. 소스 용어의 특성화는 섹션 3.3에서 설명합니다. 소스 용어는 실제 배출 시점에 ALPS 처리수에 존재할 것으로 합리적으로 예상되는 방사성 핵종을 반영해야 합니다. REIA에 입력할 때, IAEA 국제 안전 표준은 각 방사성 핵종에 대해 배출량을 Bq/년 단위로 표시할 것을 권장합니다.

도쿄전력은 REIA에 사용된 소스 용어를 선택하고 배출을 특성화하는 데 사용된 절차, 방법론 및 가정을 설명했으며, 이는 섹션 3.3에서 자세히 다룹니다. 도쿄전력은 K4(교반 설치 전), J1-C, J1-G 등 3개 탱크 그룹의 핵종 구성과 활성 농도를 기준으로 3가지 원전 용어를 고려했습니다. K4 탱크 그룹의 물은 규제 농도 제한에 대한 비율의 합이 1 미만이 되도록 ALPS의 성능을 사용하여 한 번의 처리 공정으로 처리되었습니다. 반면에 J1-C 및 J1-G 탱크 그룹의 물은 규제 농도 제한에 대한 비율의 합이 1 미만이라는 요건

에 도달하기 위해 두 번 처리되었습니다. 세 탱크 그룹의 방사성 핵종의 구성은 다음과 같은 전형적인 구성으로 간주됩니다.

4 달리 명시되지 않는 한, 본 섹션에서 REIA에 대한 언급은 2023년 2월에 도쿄전력이 제출하고 2023년 5월 10일에 NRA가 승인한 최신 버전을 참조합니다.

ALPS 처리수의 농도. 소스 용어 특성화는 섹션 3.3과 REIA에 더 자세히 설명되어 있습니다. 도쿄전력은 배출되는 각 방사성 핵종의 연간 Bq를 기준으로 소스 기간을 계산했습니다.

IAEA의 안전성 검토가 진행되는 동안 소스 용어에 대한 여러 번의 반복이 있었으며, 이는 예상되고 권장되는 일이며 위에서 언급한 반복적 접근 방식과 일치합니다. 태스크 포스는 도쿄전력이 REIA의 관련 가정(즉, 원천 기간에 의존하는 가정)이 각 개정 후에도 여전히 유효한지 평가해야 한다고 지적했습니다. 도쿄전력은 개정된 소스 용어가 REIA의 가정에 영향을 미치지 않았으며 따라서 가정이 여전히 유효하다는 것을 확인했습니다.

태스크 포스는 2022년 11월에 소스 용어를 수정한 결과 일반인 선량에 가장 많이 기여하는 방사성 핵종이 변경되었음을 지적했습니다. 특히,¹⁴C와¹²⁹I는 이제 ALPS 처리수 배출로 인한 대표자의 전체 선량에 가장 많이 기여하는 상위 세 가지 방사성 핵종에 속합니다. 출처 기간의 전체 추정 선량은 매우 낮지만, 도쿄전력은 ALPS 처리수 배출로 인한¹⁴C 및¹²⁹I의 방사선 영향에 대한 추가 정보와 환경에서의¹⁴C 및¹²⁹I의 거동에 대한 구체적인 논의를 REIA에 포함시켰습니다. 이 정보는 2023년 2월에 개정된 이행 계획에 포함되어 있습니다.

수중 환경에서의 방출된 방사성 핵종의 거동

REIA의 두 번째 주요 단계는 환경 내 방사성 핵종의 분산 및 이동을 모델링하는 것입니다. REIA는 도쿄전력이 해양 환경으로 방출된 방사성 핵종의 이동을 어떻게 고려했는지, 사용된 모델과 매개변수 값, 이와 관련하여 가정한 내용을 설명합니다. 해양 환경에서의 방사성 핵종 거동에서 중요한 측면은 해양에서의 분산, ALPS 처리수 배출 계획 기간 동안 해저 및 해변 퇴적물에 축적, 해양 생물 및 식품으로의 전이입니다.

REIA [15]에서 도쿄전력은 부지 인근의 기상 및 수문학적 조건을 고려한 해양 분산 모델을 사용했습니다. 이 모델은 지역 해양 모델링 시스템(ROMS, www.myroms.org)이라고 하며, FDNPS 사고 이후 해수 중 세슘 농도에 대한 환경 모니터링 측정값을 사용하여 검증되었습니다.

이 모델 검증은 환경 내 방사성 핵종의 분산 및 이동에 사용되는 모델이 적용되는 상황에 적합해야 한다는 GSG-10[11]의 5.2 및 5.3 항에 따른 것입니다. 또한 가능한 경우 모델 계산 결과를 유사한 노출 시나리오에 대한 측정 결과의 실제 데이터와 비교하여 모델을 검증해야 합니다.

도쿄전력은 2014년과 2019년의 기상 및 해양학적 조건을 기반으로 ROMS 모델을 사용하여 바다의 활동 농도를 계산했습니다. 두 해의 결과 사이에 큰 차이는 없지만, 도쿄전력은 2019년 데이터에 기반한 결과를 사용하기로 결정한 이유는 FDNPS 주변의 예측 농도가 약간 더 높았기 때문입니다. 확산 시뮬레이션

을 실행할 때 침전과 같은 제거 과정은 고려하지 않았습니다. 도쿄전력은 삼중수소에 대한 해양 확산 시뮬레이션을 수행한 다음, 고려된 각 소스 기간의 방사성 핵종 상대 비율을 사용하여 소스 기간의 다른 방사성 핵종 농도를 계산했다고 밝혔습니다. 이 접근 방식은 배출된 ALPS 처리수에 포함된 모든 방사성 핵종이 수용성이므로 함께 분산된다는 가정에 기초합니다.

태스크 포스는 퇴적물 내 방사성 핵종 축적에 대해 도쿄전력이 채택한 모델링 접근 방식과 예측된 활동 농도가 대중과 동식물에 대한 선량을 평가하는 데 어떻게 사용되는지에 대해 도쿄전력과 여러 차례 세부적인 논의를 진행했습니다.

방사성 핵종이 지속적으로 바다로 배출되면 부유 물질에 흡수되어 해저에 퇴적될 수 있습니다. 이는 지속적인 과정으로 시간이 지남에 따라 해저 퇴적물에 방사성 핵종이 축적될 수 있습니다. 시간이 지남에 따라 해수와 해저 퇴적물 사이에 평형 조건이 형성된다고 가정할 수 있는 시점까지 시간이 지남에 따라 바다 환경에 축적됩니다(그림 3.14 참조). 이 평형 상태에 도달하는 시기는 방사성 핵종마다 다르며 배출 시작 직후에 발생할 수도 있고 수년이 지나서야 발생할 수도 있습니다.

GSG-10[11]의 5.22항은 환경으로 배출되는 방사선량 추정치는 가장 높은 방사선 노출이 예상되는 시점에 대해 계산해야 한다고 설명합니다. 이러한 방사선량을 추정하는 데 사용되는 환경 매체의 활동 농도는 축적이 최대라고 가정할 수 있는 조건을 대표할 수 있어야 합니다. 이 시점은 해저 퇴적물에 축적되는 모든 방사성 핵종에 대해 해수와 해저가 평형을 이루는 시점이 될 것입니다.

해양 퇴적물에서의 이러한 축적은 원자력 시설에서 배출되는 기간 동안 실행되는 동적 모델을 사용하여 고려되는 경우가 많으며, 해양 노출 경로로부터의 선량은 배출 기간 동안 가장 높은 것으로 간주되는 배출 마지막 해에 계산됩니다. 그러나 해저 퇴적물에 축적된 방사성 핵종의 방사선학적 영향을 평가하기 위해: 도쿄전력은 REIA에서 비교적 간단한 모델을 적용했습니다. 시간이 지남에 따라 퇴적물에 방사성 핵종이 축적되는 것을 명시적으로 시뮬레이션하지는 않았지만, 이러한 접근 방식은 결과 선량이 과소평가되지 않도록 보장합니다.

퇴적물 내 활동 농도 추정을 위해 도쿄전력은 배출 시작 시점부터 해수와 퇴적물 내 방사성 핵종 농도가 직접 평형을 이룬다고 가정했으며, 이는 퇴적물로부터의 외부 피폭 평가와 관련하여 보수적인 가정입니다.

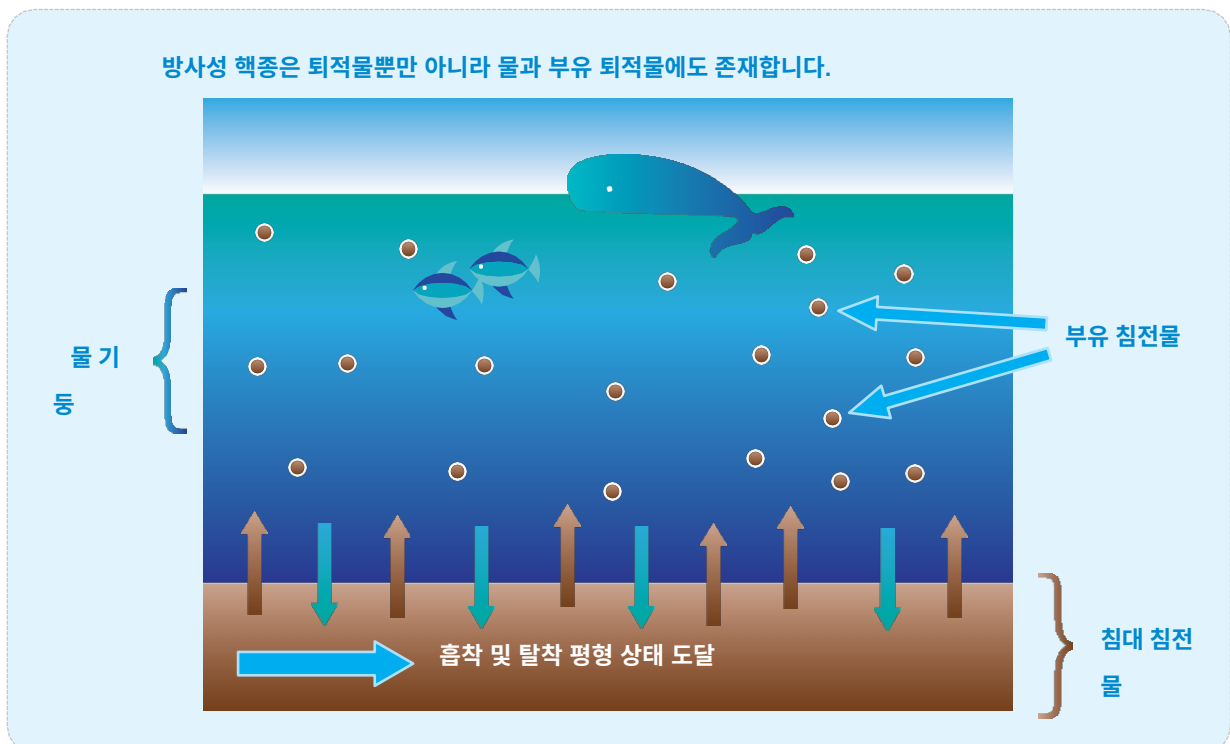


그림 3.14: 해수 및 퇴적물에서 방사성 핵종의 거동

도쿄전력은 해양 피폭 경로를 통한 선량 계산에 다른 보수적인 가정도 포함시켰습니다. 해수와 직접 연결된 선량 경로의 경우, 도쿄전력은 해수 내 농도가 퇴적물로 이동하여 고갈되지 않고 배출 기간 내내 이 수준을 유지한다고 가정했다고 설명했습니다.

퇴적물과 관련된 선량 경로의 경우, 도쿄전력은 위에서 설명한 바와 같이 배출이 시작된 후 수년 동안 실제로 평형이 이루어지지 않을 것으로 예상되지만 배출이 시작된 첫해부터 해수와 퇴적물 사이에 동적 평형이 존재한다고 보수적으로 가정했습니다. 해변 퇴적물로부터의 외부 피폭을 추정하기 위해, 각 방사성 핵종의 농도가 균일한 15cm 두께의 퇴적물 층으로부터의 피폭이 있다고 가정합니다. 이 가정은 시간이 지남에 따라 퇴적물 층에 방사성 핵종이 축적된다는 것을 의미합니다.

15cm의 퇴적층을 가정하면 외부 피폭이 과소평가되지 않습니다. 15cm 이상의 수심에 있는 방사성 핵종은 상부 퇴적층의 차폐 효과로 인해 외부 피폭에 기여하지 않습니다. 요약하면, 해변 모래의 점유로 인한 외부 피폭을 추정하기 위해 REIA에 적용된 접근법은 IAEA SRS-19에서 사용된 접근법과 일치합니다 [26].

따라서 퇴원 첫해에 계산된 선량은 퇴원 기간 동안 발생하게 될 가장 높은 유효 선량을 나타냅니다. 이렇게 보수적인 접근 방식을 취하면 실제 퇴원 기간을 가정할 필요가 없습니다. 계산된 선량은 1년간의 노출로 인한 약정 유효 선량이며, 이는 1년간의 노출로 인한 약정 유효 선량으로 표현되는 선량 제약과 비교됩니다.

도쿄전력이 취한 접근 방식은 해산물 섭취로 인한 연간 선량과 해양 퇴적물로부터의 외부 선량을 모두 과대평가할 가능성이 있는 매우 보수적인 접근 방식을 취한 결과입니다. 따라서 IAEA는 도쿄전력이 배출량이 매년 합리적으로 유사하고 지속적이라고 가정하여 배출 기간 동안 발생할 수 있는 최대 유효 선량을 계산했다고 지적합니다.

채택된 접근 방식은 REIA [25]에 자세히 설명되어 있습니다.

퇴적물 내 방사성 핵종 축적에 대한 논의의 일환으로, 태스크 포스는 도쿄전력을 방문하는 동안 REIA의 퇴적물에서 방사성 자손의 성장에 대해 강조했습니다. 아래 텍스트 상자에는 도쿄전력이 자손 방사성 핵종 증가를 고려하기 위해 취한 접근 방식에 대한 평가가 나와 있습니다. 요약하면, IAEA는 REIA에서 인간 및 생물상 선량 평가에 채택한 접근 방식이 적절하다고 생각합니다. 배출된 방사성 핵종과 해저 퇴적물에서 극도로 낮은 수준의 방사성 핵종을 고려할 때 전체 약정 유효 선량에는 눈에 띄는 변화가 없지만, 태스크 포스는 향후 정기 검토의 일환으로 REIA에 더 명확하게 설명할 수 있다고 제안했습니다.

해양 환경에서의 방사성 자손 방사성 핵종의 거동

소스 기간의 일부 방사성 핵종은 방사성 자손 핵종으로 붕괴됩니다(섹션 3.3 참조). REIA는 환경 내 방사성 자손 핵종의 이동을 고려하지 않습니다. 그러나 방사성 자손 핵종이 생성되더라도 ALPS 처리수 방류 기간 동안 피폭에 관련 방식으로 기여하지는 않습니다. 이는 다음과 같이 설명할 수 있습니다:

- ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{137}Cs , ^{144}Ce 와 같이 모 방사성핵종보다 반감기가 훨씬 짧은 자손 방사성핵종의 경우, 자손 방사성핵종은 빠르게 붕괴하기 때문에 환경 전이는 관련이 없습니다. 그러나 선량 계수 추정을 위한 선량 계수에서

특정 방사성 핵종으로부터의 선량, 단수명 자손 핵종의 방사선 선량에 대한 기여도를 적절히 고려합니다.

- ^{147}Pm , ^{234}U , ^{238}U , ^{237}Np , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu , ^{241}Am , ^{244}Cm 과 같이 수명이 긴 자손 방사성 핵종의 경우 배출 기간 동안 자손 방사성 핵종의 환경 내 유입은 무시할 수 있을 정도로 미미합니다.
- 방사성 핵종 흡입 및 섭취에 대한 선량 계수는 개인이 70세가 될 때까지 1년간의 방사성 핵종 섭취로 인한 약정 선량을 고려하여 계산됩니다. 이 기간 동안 인체 내 방사성 붕괴 생성물의 증가가 고려됩니다.
- 예를 들어, 선량 계수 계산을 위해 성인은 섭취 시점을 20세로 가정하고, 선량 계수는 50년 동안(즉, 70세 까지) 신체에 미치는 방사선량을 고려합니다.

.....

도쿄전력은 수중 환경에서의 해양 식품으로의 전이를 평가할 때 농도 계수를 사용했는데, 이는 보수적인 접근 방식입니다. 사용된 농도 계수는 국제 문헌, 특히 IAEA에서 수집한 데이터에서 가져온 것입니다 [29] 이 접근 방식은 IAEA [26]에서 사용된 것과 유사하며 방사성 핵종의 환경 배출로 인한 해양 식품의 활동 농도를 평가하는 데 일반적으로 사용됩니다. 특정 활동⁵ 모델은 해산물에 포함된 장수명 핵종¹⁴ C와 삼중수소에 대한 평형 상태에서의 대체 추정치를 제공합니다. 특정 활동 모델에서 방사성 핵종의 방출은 방출된 동위원소와 환경 내 해당 원소의 안정 동위원소 사이의 일정한 비율을 초래한다고 가정하고, 환경 내 방사성 핵종의 거동은 안정 동위원소의 거동과 동일하다고 가정합니다. REIA [15]에서¹⁴ C 및 삼중수소에 사용된 농도 계수는 특정 활동 모델을 사용하여 예측한 농도와 일치합니다.

환경 내 삼중수소 종 다양성

GSG-10 5.9항은 "....물리적 특성..... 및 방사성 핵종의 환경 전이 및 선량 측정과 관련된 화학적 특성"을 선택해야 한다고 명시하고 있습니다.

삼중수소 섭취로 인한 대표자의 선량을 추정하기 위해 도쿄전력은 처음에 모든 삼중수소가 삼중수산화수(HTO) 형태라고 가정했습니다. 태스크 포스는 삼중수소로부터의 선량이 전체 선량에 중요한 기여를 하지 않더라도 식품 섭취와 관련하여 삼중수소를 유기적으로 결합된 형태(OBT)로 포함시키는 것도 중요하다고 조언했습니다. 태스크 포스는 또한 이것이 많은 이해 당사자들의 관심사가 될 가능성이 높다고 지적하고 도쿄전력이 OBT 형성의 불확실성과 관련 선량을 더 잘 설명 할 것을 제안했습니다.

태스크 포스와 의 논의에 따라 도쿄전력은 ICRP 56에 따라 환경 내 OBT의 일부(10%)를 고려했습니다. ICRP 56[17]에 따르면 인간 식단의 다양한 분자 성분에서 OBT의 정확한 비율은 알 수 없으며 삼중수소 섭취 후 받는 선량과 관련된 불확실성이 있다고 합니다. 이러한 불확실성을 해결하기 위해, 그리고 REIA

의 결과를 바탕으로 선량 추정 시 유기적으로 결합된 삼중수소를 고려해도 전체 선량 추정치에 영향을 미치지 않을 것임을 인정하면서도, 태스크 포스는 도쿄전력이 REIA에서 환경 내 다양한 화학적 형태의 삼중수소를 고려했음을 입증하는 것이 중요하다는 점을 강조했습니다. 이러한 논의에 따라 도쿄전력은 REIA에서 유기적으로 결합된 삼중수소를 다루는 방법에 대한 보다 자세한 논의를 포함했으며, 삼중수소의 100%가 다음과 같은 보수적인 가정을 포함했습니다.

5 특정 활성은 해당 안정 원소의 단위 질량당 활성으로 정의됩니다.

섭취하는 생선 및 해산물은 유기적으로 결합된 삼중수소 형태입니다. 이는 아래에서 REIA의 결과를 발표하고 논의할 때 자세히 설명하겠지만, 대중에 대한 예상 선량에는 영향을 미치지 않았습니다.

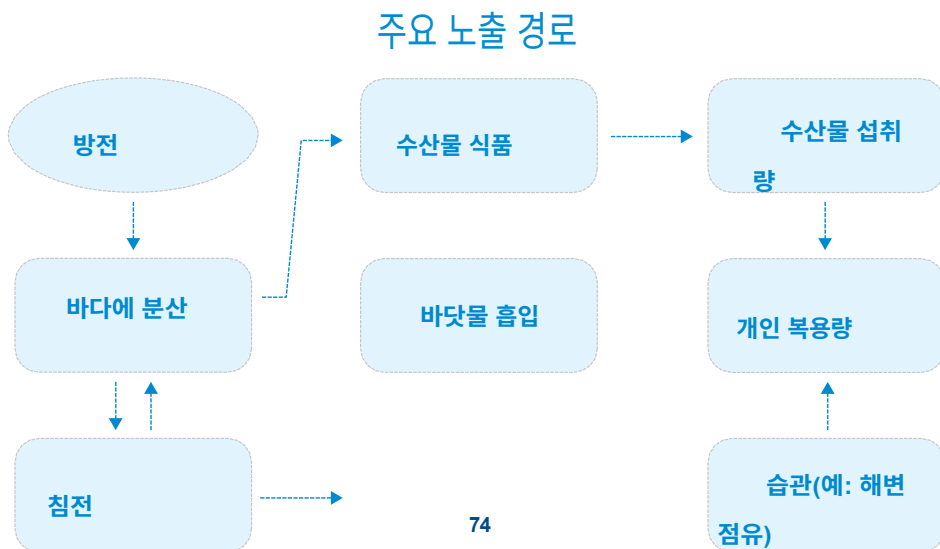
동식물 보호를 위해 ICRP 접근 방식은 OBT로 인한 선량을 명시적으로 고려하지 않습니다. ICRP 148 [18]에는 삼중수소 저에너지 베타 입자 배출의 상대적 생물학적 효과(RBE)에 대한 연구 데이터 검토가 포함되어 있습니다. 실험 데이터를 검토한 결과 삼중수소 중 간에는 명확한 차이 패턴이 나타나지 않았으며, 방사선 방호 목적으로 관련 DCRL과 비교하기 위해 모든 저-LET 방사선에 대해 1 값을 사용하여 RAP에 대한 RBE 가중 흡수 선량을 계산하는 것이 현재 지식에 근거하여 합리적인 것으로 간주되었습니다. 삼중수소 베타 입자에 대한 피폭이 DCRL 대역 내 또는 이에 근접한 경우, 추가 검토 및 RBE 가중치 수정이 필요할 수 있다고 ICRP 148 [19]에서 경고하고 있습니다. REIA에서 해양 RAP에 대해 계산된 선량률(아래 참조)은 DCRL보다 훨씬 낮기 때문에 OBT에 대한 추가적인 특정 고려가 필요하지 않습니다.

도쿄전력은 REIA에서 어류 및 해산물에 포함된 OBT 농도의 불확실성을 고려했습니다(REIA의 별첨 III). 도쿄전력은 2014년부터 후쿠시마 제1 원자력 발전소 주변 어류 모니터링에서 지금까지 측정된 83개 샘플에서 OBT가 관찰되지 않았다고 보고했습니다. 또한 도쿄전력은 프랑스 라 헤이그 재처리 공장 주변 환경에서 HTO와 OBT의 농도 비율을 모니터링하고 있으며, 이는 어류와 해조류를 포함하여 측정된 해산물 중에 대해서도 동일하게 적용되고 있다고 언급했습니다.

삼중수소와 삼중수소가 환경에서 어떻게 작용하는지에 대한 추가 정보는 부록 5에서 확인할 수 있습니다.

노출 경로 식별

REIA의 다음 단계는 노출 경로를 식별하고 선량을 추정할 대표자를 선정하는 것입니다. 해양 환경에서의 주요 이동 과정과 사람에 대한 노출 경로는 그림 3.15에 설명되어 있습니다.



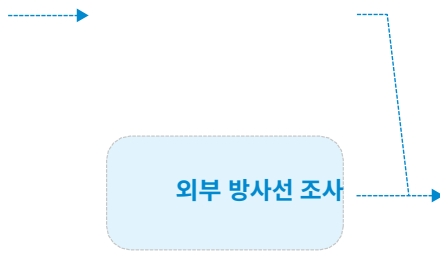


그림 3.15. 해양 환경에서의 주요 이동 과정 및 인체 노출 경로 그림

REIA에서는 특정 시나리오의 환경 배출과 관련된 것으로 간주되는 노출 경로와 다양한 노출 경로의 상대적 중요도를 식별해야 합니다. In

해양으로 배출하는 경우, 수산물 생산, 어업, 레크리에이션 등 해수 사용으로 인해 발생하는 노출 경로를 고려해야 합니다(GSG-10 [11] 5.27항). GSG-10[11]의 5.30항에서는 노출 시나리오와 부지 특성에 따라 전체 선량에 대한 노출 경로의 기여도는 관련된 방사성핵종, 습관 데이터, 한 장소에서 보내는 시간 및 고려 대상 인구의 기타 특성에 따라 달라지기 때문에 가능한 모든 노출 경로를 평가에 포함해야 하는 것은 아니라고 설명합니다. 따라서 일부 노출 경로는 그와 관련된 선량이 존재하지 않거나 무시할 수 있는 것으로 평가된다는 이유로 평가에서 제외될 수 있습니다. 그러나 GSG-10[11]의 5.30항은 특정 노출 경로를 고려 대상에서 제외하기로 한 결정은 정당해야 한다고 명시하고 있습니다.

도쿄전력이 제출한 REIA에서 처음에는 여러 가지 내부 및 외부 노출 경로가 ALPS 처리수 해양 배출과 관련이 있는 것으로 확인되었습니다. 도쿄전력에 대한 첫 번째 임무에서 태스크 포스는 주요 노출 경로가 해산물 섭취로 예상되지만, 선량이 매우 낮을 것으로 예상되더라도 모든 그럴듯한 노출 경로가 고려되었음을 REIA에서 입증하는 것이 좋은 관행이라고 지적했습니다. 이는 선량에 미미한 기여를 하는 노출 경로를 제외하는 것을 정당화하기 위해 필요합니다. 태스크 포스는 부유 물질(예: 바다 스프레이, 해변 퇴적물)의 흡입, 어망 취급으로 인한 피부 베타 선량, 퇴적물의 부주의한 섭취 등 경미한 노출 경로를 완전성을 위해 고려할 수 있는 것으로 확인했습니다.

태스크 포스와 의 논의에 따라 도쿄전력은 GSG-10[11]에 따라 기타 경미한 노출 경로를 포함했으며 다른 국내 또는 국제 지침에 나열된 기타 잠재적 노출 경로를 고려했습니다. REIA에서 고려한 노출 경로 목록은 표 3.6에 나와 있습니다. 도쿄전력은 완전성을 위해 2023년 2월 REIA 버전에 사소한 노출 경로의 선량 평가를 문서화했으며, 그 결과에 대한 발표 및 논의는 이 섹션의 뒷부분에 나와 있습니다.

표 3.6. REIA에서 도쿄전력이 고려하는 피폭 경로(주요 피폭 경로 경로를 굵게 표시)

외부 노출 경로	내부 노출 경로
외부 노출 수신처	해산물(생선, 연체동물, 해초류) 섭취
<ul style="list-style-type: none"> 해수면 배의 선체 물에 담그기(수영) 해변 퇴적물 어망 	수영 중 의도치 않게 바닷물을 섭취한 경우
	바다 스프레이 흡입

대표자에 대한 용량 평가

해양 배출 후 사람이 환경 내 방사성 핵종에 노출될 수 있는 경로를 파악한 후, REIA의 다음 단계는 대표

자에 대한 선량을 평가하는 것입니다. 대표자는 피폭 가능성이 높은 개인의 특성을 가진 사람으로 선정됩니다.

대표자에 대한 선량을 평가할 때 중요한 특성은 GSG-10 [11] 5.34항에 설명된 대로 대표자의 가정된 위치(예: 방사성 핵종 방출 지점으로부터의 거리 및 방향)입니다. 대표자가 거주하는 위치는 실제 사람 또는 집단 또는 신중한 가정을 사용하여 선택한 위치(예: 해당 지역에서 가장 높은 농도를 예상할 수 있는 지점에 거주하는 것으로 가정된 사람 또는 집단을 기반으로 할 수 있습니다).

도쿄전력은 REIA 보고서에서 대표자의 특성을 '원자력 경수로 안전성 검토를 위한 일반인 선량 평가 지침'에 따라 설정했다고 밝혔습니다. 평가에 사용된 대표자의 식품 섭취율 등 습관 데이터는 국가 통계 데이터 세트(일본 국민건강영양조사)를 기반으로 했습니다. 표 3.7은 도쿄전력이 REIA 보고서에서 설명한 대표자의 특성을 요약한 것입니다. 도쿄전력은 REIA에서 선량을 평가할 때 성인, 어린이, 영유아의 세 가지 연령대의 습관을 고려했습니다.

표 3.7. 대표자에 대한 도쿄전력의 REIA [17]에서 사용된 습관 데이터

매개변수	성인	자식	유아
섭취율 [g d ⁻¹] ^a			
물고기	58(190) ^b	29(97)	12(39)
무척추동물	10(62)	5.1(31)	2(12)
해초	11(52)	5.3(26)	2.1(10)
대표자의 숙박 가능 시간 [시간 y ⁻¹]			
해변	500		
낚시	2880		
어망 취급	1920		
수영	96		

대표자의 해산물 섭취율은 일본 국가 통계 데이터 세트를 기반으로 합니다.

^a 평가에는 평균값으로 해산물을 섭취하는 사람과 다량의 해산물을 섭취하는 사람(평균 + 2σ)의 두 가지 시나리오가 고려되었습니다.

고려된 모든 피폭 경로에서 대표자에 대한 선량을 추정하기 위해 도쿄전력은 해양 분산 모델을 사용하여 배출 지점 주변 10km x 10km 지역의 해수 활동 농도를 계산했습니다(그림 3.16 참조). 이러한 해수 내 활동 농도는 대표자에 대해 계산된 모든 선량의 기초로 사용되었습니다. 태스크 포스는 '귀환 곤란 구역' 내와 그 외곽의 해류로 인해 해안을 따라 해양 분산 모델을 사용하여 예측된 바다의 더 높은 농도를 고려할 때 사용된 평균 농도가 보수적인지 도쿄 전력과 논의했습니다. 이러한 높은 해상 농도는 대표자의 특성과 위치를 더 자세히 파악하는 것과 관련하여 REIA의 추가 반복에서 고려되었습니다. 특히, 태스크 포스는 도쿄전력과 논의하여 레크리에이션 목적으로 지역 해변을 이용하는 일반인에 대한 고려가 전혀 이루어지지 않았다는 점을 확인했습니다. 도쿄전력은 '귀환 곤란 구역' 또는 '낚시 금지 구역' 내에서는 일반인이 해안선 가까이에서 거주하거나 활동을 할 수 없기 때문에 이는 보수적인 가정이라고 설명했지만, 도쿄전력은 현재 부지 북쪽 3km에는 주민이 없지만 대표자가 해변으로 이동할 수 있다는 점도 인정했습니다. 이후 도쿄전력은 이 위치(부지 북쪽 3km)를 사용하여 개정된 버전의 REIA에서 외부 선량을 계산했습니다(그림 3.16 참조). 또한 도쿄전력은 개인이 미래의 어느 시점에서 지역 해변에서 어류 및 해산물 소비량의 일부를 잡을 수도 있다는 사실을 인식하고 이를 포함하기 위해 REIA에 범위 계산을 포함했습니다. 이 계산에 따르면 어패류 섭취량의 10%가 현지에서 잡힐 경우 성인의 피폭량은 약 20% 증가할 수

있는 것으로 나타났습니다.



그림 3.16. REIA 내 ALPS 처리수 방류의 정상 운영을 위한 대표자의 위치(도쿄전력 [15]에서 발췌)

GSG-10[11]의 5.36항은 대표자에 대한 개인 유효선량은 방사성 핵종 섭취(즉, 섭취 및 흡입에 의한 내부 피폭)로 인한 약정 유효선량과 외부 피폭으로 인한 유효선량을 합한 것이라고 설명합니다. 내부 피폭으로 인한 선량은 섭취 및 흡입에 의한 방사성 핵종 섭취로 인한 선량 계수를 사용하여 계산되며, 이는 섭취 단위 활동당 약정 유효 선량을 베크렐당 시버트(Sv/Bq) 단위로 표시합니다. 일반인에게 적용되는 선량 계수의 표 값은 GSR 파트 3 [8]에서 확인할 수 있습니다. 외부 피폭으로 인한 유효 선량을 계산하기 위한 표준 모델과 선량 계수 모음도 존재합니다.

약정 유효 선량(대표자에 대해 계산)은 연간 선량입니다. 이 연간 선량은 연간 0.05밀리시버트의 선량 제한과 비교됩니다. 위에서 설명한 바와 같이, REIA에서 계산된 연간 약정 유효 선량은 방출 기간 동안 예상할 수 있는 가장 높은 연간 선량입니다. 따라서 이 선량을 방전 기간 동안 매년 받는다고 가정하는 것은 보수적인 평가입니다.

동식물에 대한 선량 및 평가변수 평가

GSG-10[11]의 ICRP 접근법에 기반한 동식물의 노출을 평가하는 일반적인 방법론은 ICRP 참조 동식물 [12; 13]에서 직접 선택한 대표 생물을 사용합니다. 이러한 대표 생물은 노출 조건이 가장 높은 선량을 초래하는 지역에 위치한다고 가정한 특정 주요 생태계(예: 육상, 해양, 담수)와 관련된 생물로 선정됩니다.

ICRP 접근 방식은 참조 식물과 동물의 개념을 사용합니다[12]. ICRP는 해양 환경 보호를 위해 참고할 수 있는 세 가지 종을 정의하고 있습니다. 개념적 접근 방식은 다음과 같습니다,

이 세 가지 기준 종에 대한 기준을 초과하지 않는다면, 모든 종은 개체 수 수준(특히 계획된 피폭 상황)에서 동등하게 잘 보호되고 있다고 가정할 수 있습니다. 이 세 종은 전 세계적으로 광범위하게 분포하고 있으며 매우 낮은 방사선량 증가(다양한 시나리오에서 자연 방사선의 변화와 유사한 증가)의 영향에 대한 실제 데이터가 존재한다는 점을 기반으로 식별되었습니다. 도쿄전력은 ICRP의 세 가지 참조 해양 생물 종인 넙치, 게, 갈조류에 대한 선량률을 계산했습니다. 그림 3.17은 피폭 경로와 선량률 계산을 위해 수행된 계산을 보여줍니다(세 가지 대표 해양 생물에 대한 하루 mGy).

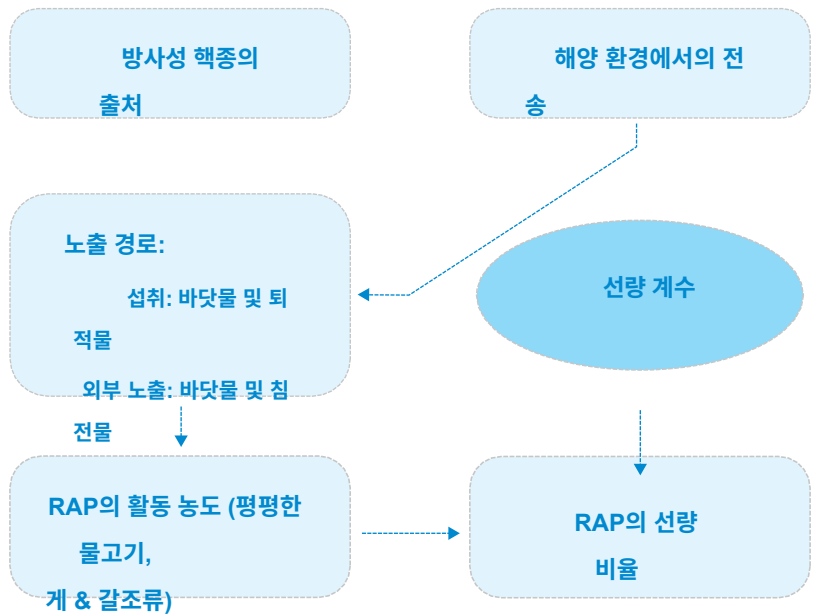


그림 3.17. REIA의 동식물에 대한 피폭 경로 및 선량(mGy/일) 비율 평가

GSG-10에 설명된 접근 방식에 따라 고려된 노출 경로는 다음과 같습니다:

- 동물이 섭취하거나 식물이 흡수한 방사성 물질로 인한 내부 노출
- 주변 바닷물에 의한 외부 노출
- 주변 해저 퇴적물로 인한 외부 노출

REIA 결과

도쿄전력은 고려된 다양한 피폭 경로와 다양한 연령대에 대해 REIA에서 계산된 연간 약정 유효 선량을 대표자에게 제시했습니다. 성인, 어린이 및 유아에 대한 유효 선량을 계산하는 데 사용된 연령 그룹과 선량 계수는 GSR 파트 3 [8]에 제공된 것을 따랐습니다.

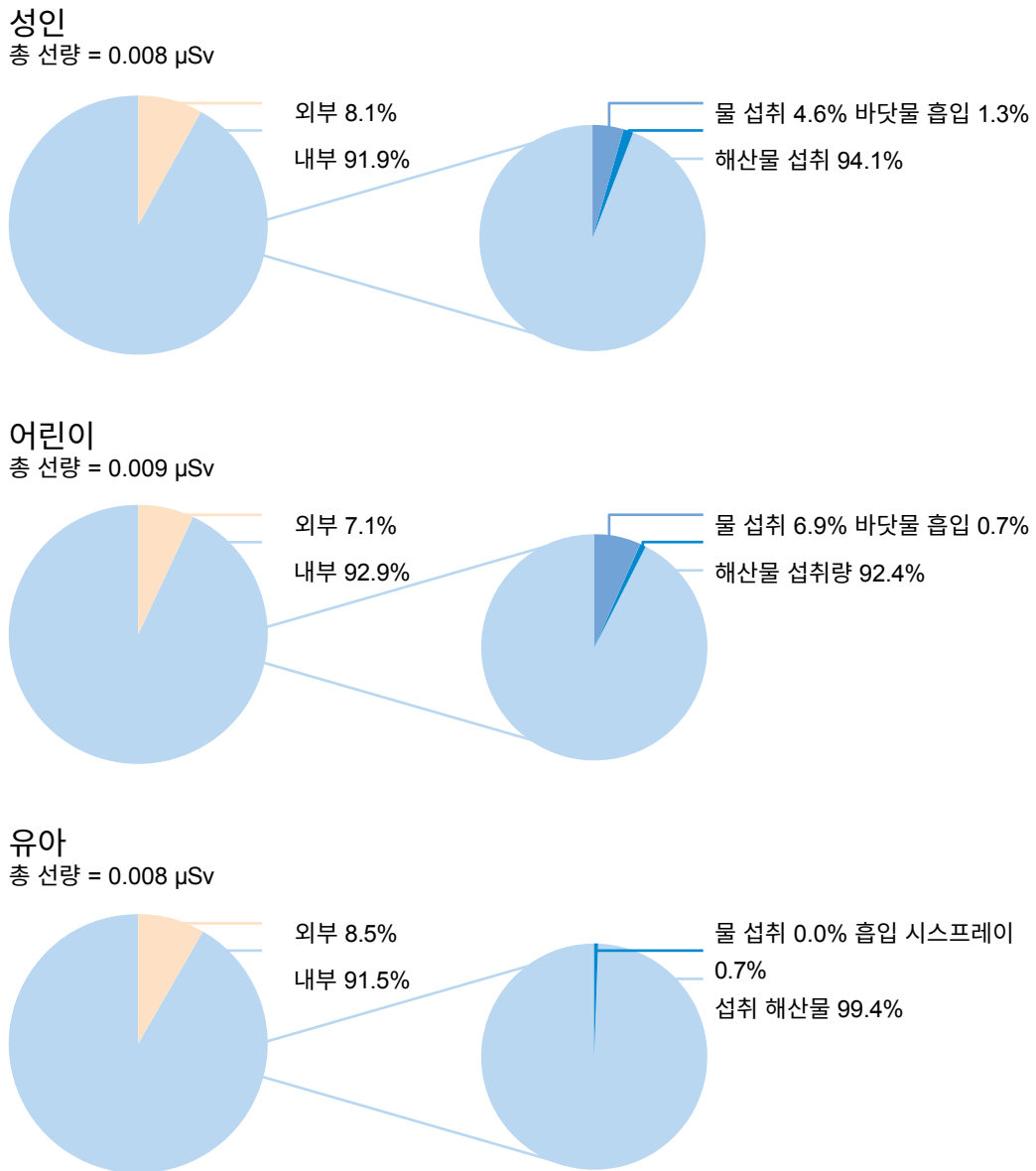


그림 3.18: 연령대별 해산물 소비자를 위한 약정 유효 선량에 대한 노출 경로의 기여도(K4 ALPS 처리 수조 그룹)

그림 3.18은 해산물을 많이 섭취하는 소비자들의 연령대별 유효 선량에 대한 노출 경로의 기여도를 보여줍니다. 이 그림은 내부 노출로 인한 기여도가 모든 연령대에서 총 선량의 약 90%에 기여하고 해산물 섭취가 내부 선량의 92%에서 99%에 기여한다는 것을 보여줍니다. 그림 3.19는 K4 ALPS 처리수 탱크 그룹에 대한 소스 기간에 따라 연령 및 주요 피폭 경로에 따라 계산된 유효 선량 정보를 보여줍니다. 고려된 다른 두 탱크 그룹에 대한 결과는 매우 유사합니다.

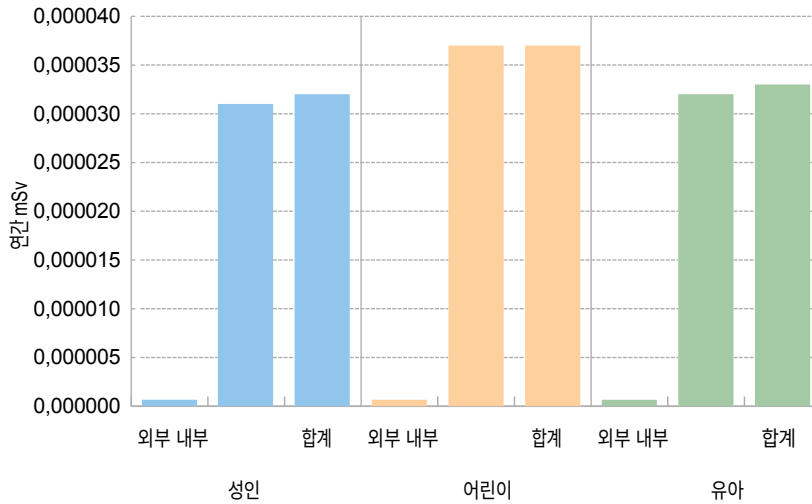


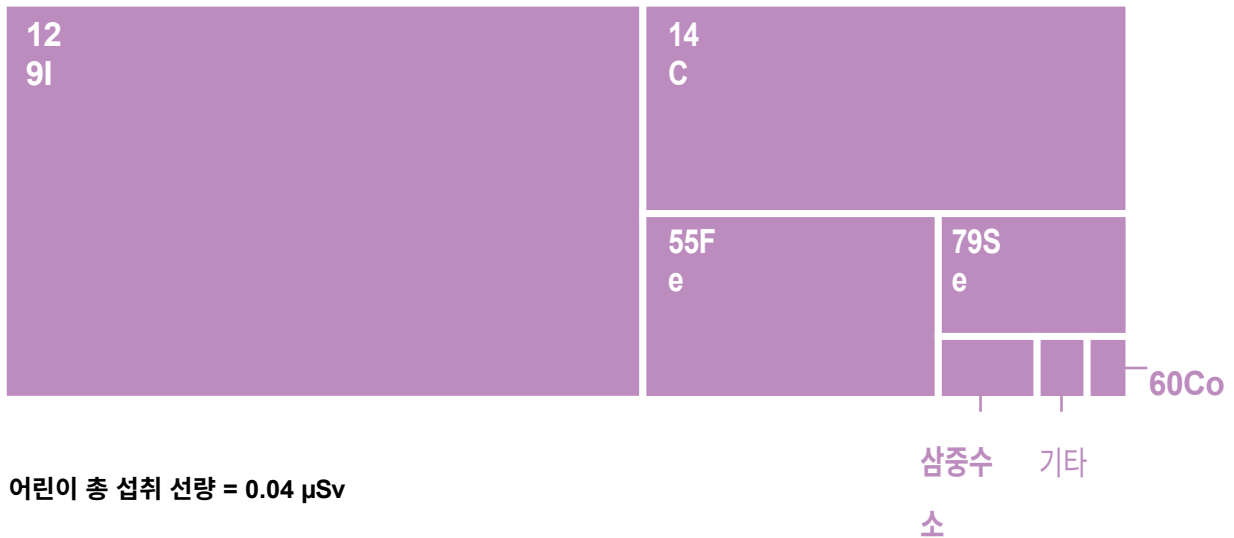
그림 3.19: 연령 및 노출 경로에 따른 약정 유효 선량(K4 ALPS 처리 수조 그룹)

표 3.8은 또한 성인을 대상으로 한 세 가지 ALPS 처리수 탱크 그룹 소스 조건에서 연간 유효 선량이 비슷하다는 것을 보여줍니다. 표 3.8은 섭취 선량에 대한 방사성 핵종의 상대적 기여도가 세 가지 선원 조건에 따라 다르지만 모든 경우에서 선량이 매우 낮고 연간 선량 제한치인 0.05밀리시버트보다 1000배 이상 낮다는 것을 보여줍니다. 내부 선량과 총 선량에 가장 크게 기여하는 것은 탄소-14,¹²⁹I 및⁵⁵Fe입니다. 이는 어린이와 유아에게도 마찬가지입니다. 삼중수소는 일반적으로 총 유효 선량의 몇 퍼센트 이하를 기여합니다. 삼중수소의 기여도가 가장 높은 것은 수영 중 의도치 않게 바닷물을 섭취하는 경우(성인 및 어린이)이며, 도쿄전력은 수영 중 바닷물 소비량을 0.2ℓ/h로 보수적으로 가정하고 있습니다.

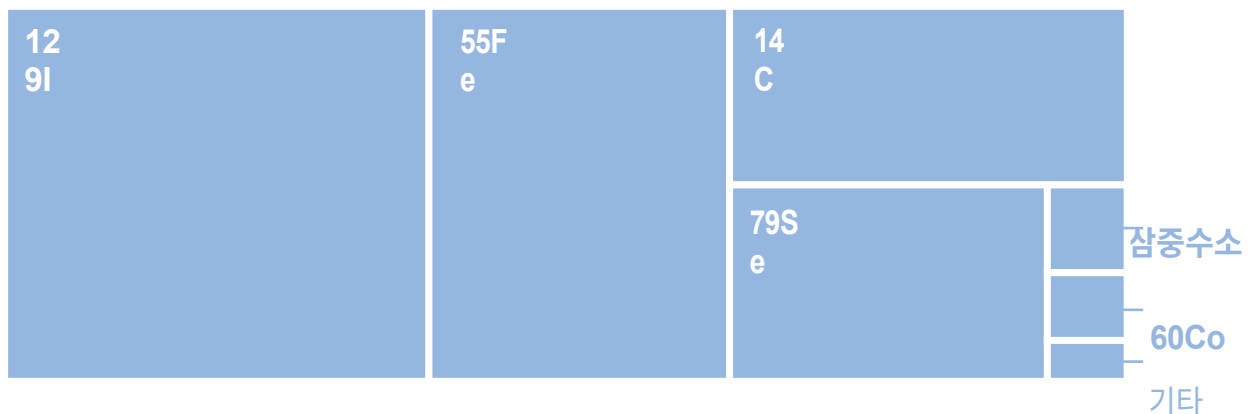
연령 그룹	해산물 섭취량	저장 탱크	선량(mSv/년)	저장 탱크	선량 (mSv/년)	저장 탱크	선량 (mSv/년)
		K4		J1-C		J1-G	
성인	높음	129I	1.8E-05	129I	2.0E-06	14C	4.4E-06
		14C	7.1E-06	14C	1.6E-06	55F	2.5E-06
		55F	3.8E-06	55F	8.5E-07	129I	1.6E-06
		79Se	1.6E-06	3H	5.0E-07	79Se	9.5E-07
		60Co	5.8E-07	79Se	3.2E-07	3H	5.0E-07
		3H	5.0E-07	60Co	1.2E-07	240Pu	3.0E-07
		137Cs	1.8E-07	240Pu	1.2E-07	239Pu	3.0E-07
		99Tc	1.1E-07	239Pu	1.2E-07	241Am	2.8E-07
		125Sb	2.8E-08	241Am	1.1E-07	238Pu	2.7E-07
		155Eu	2.7E-08	238Pu	1.1E-07	60Co	2.6E-07
		기타 모든 항목	1.2E-07	기타 모든 항목	3.6E-07	기타 모든 항목	8.9E-07

위에서 설명한 바와 같이, 해산물 섭취는 모든 연령대와 REIA에서 고려한 세 가지 ALPS 처리 수원 조건에서 약정 유효 선량에 대한 기여도가 가장 높습니다. 그림 3.20은 해산물 섭취량이 많은 세 연령대 모두에 대한 방사성 핵종의 섭취 선량에 대한 상대적 기여도를 보여줍니다. 그림에 따르면 섭취 선량에 가장 많이 기여하는 방사성 핵종은 ^{129}I , ^{14}C , ^{55}Fe 및 ^{79}Se 이며, 이는 선량의 90% 이상에 기여합니다. Fe-55와 ^{79}Se 는 선량 계수(섭취량 Bq당 Sv)가 더 높기 때문에 어린이와 유아에게 상대적으로 더 중요합니다. 도쿄 전력은 ALPS 처리수에서 ^{55}Fe 및 ^{79}Se 를 검출하지 않았으며, 추정 유효 선량은 방류수에서 이러한 방사성 핵종의 수준이 사용된 분석 기술의 검출 한계에 있다는 것을 기반으로 합니다. 이러한 방사성 핵종은 환경 및 해산물에서 검출될 것으로 예상되지는 않지만 CRMP에 포함되어 있습니다(섹션 3.5 참조). 그러나 연간 유효 섭취 선량은 모든 연령대에서 여전히 매우 낮으며 연간 $0.04\ \mu\text{Sv}$ 미만이라는 점을 강조해야 합니다.

성인 총 섭취 선량 = $0.03\ \mu\text{Sv}$



어린이 총 섭취 선량 = $0.04\ \mu\text{Sv}$



유아 총 섭취 선량 = $0.03\ \mu\text{Sv}$

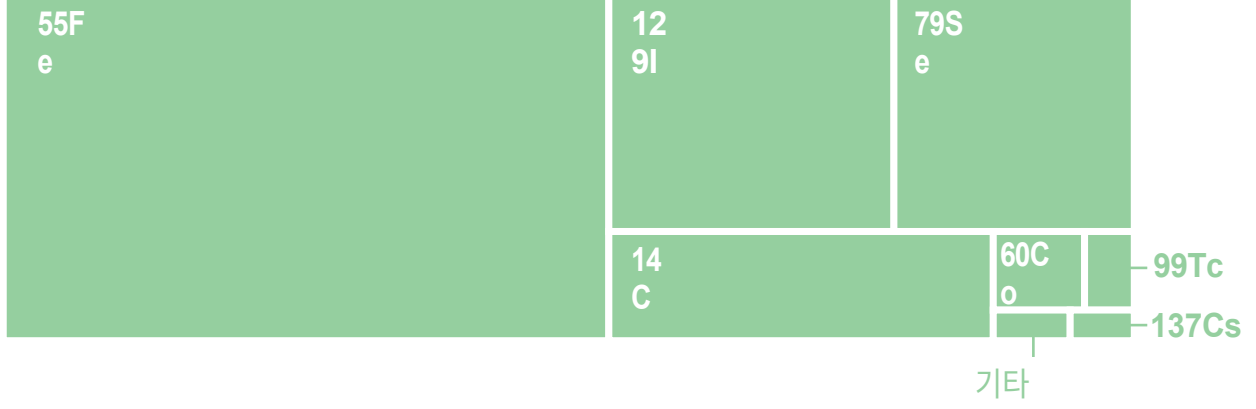


그림 3.20. 연령대별 해산물 소비자 섭취로 인한 유효 선량: 방사성 핵종의 기여도(K4 탱크 그룹) 백분율

그림 3.21은 대표 인물의 연간 외부 선량에 대한 방사성 핵종 기여도를 보여줍니다. 외부 선량은 REIA에서 고려한 모든 외부 피폭 경로에 대한 합이지만, 해변에서의 거주에 의한 피폭이 지배적입니다(외부 선량에 가장 많이 기여하는 방사성 핵종의 경우 약 85%). 어린이는 성인과 함께 해변에 있을 때만 시간을 보내고 다른 연령대가 받는 유효 외부 선량에는 큰 차이가 없다고 가정하기 때문에 외부 선량은 성인에 대해서만 계산됩니다. 그림 3.21은 유효 외부 선량에 가장 많이 기여하는 두 가지 방사성 핵종이⁶⁰Co와 ¹³⁷Cs임을 보여줍니다.

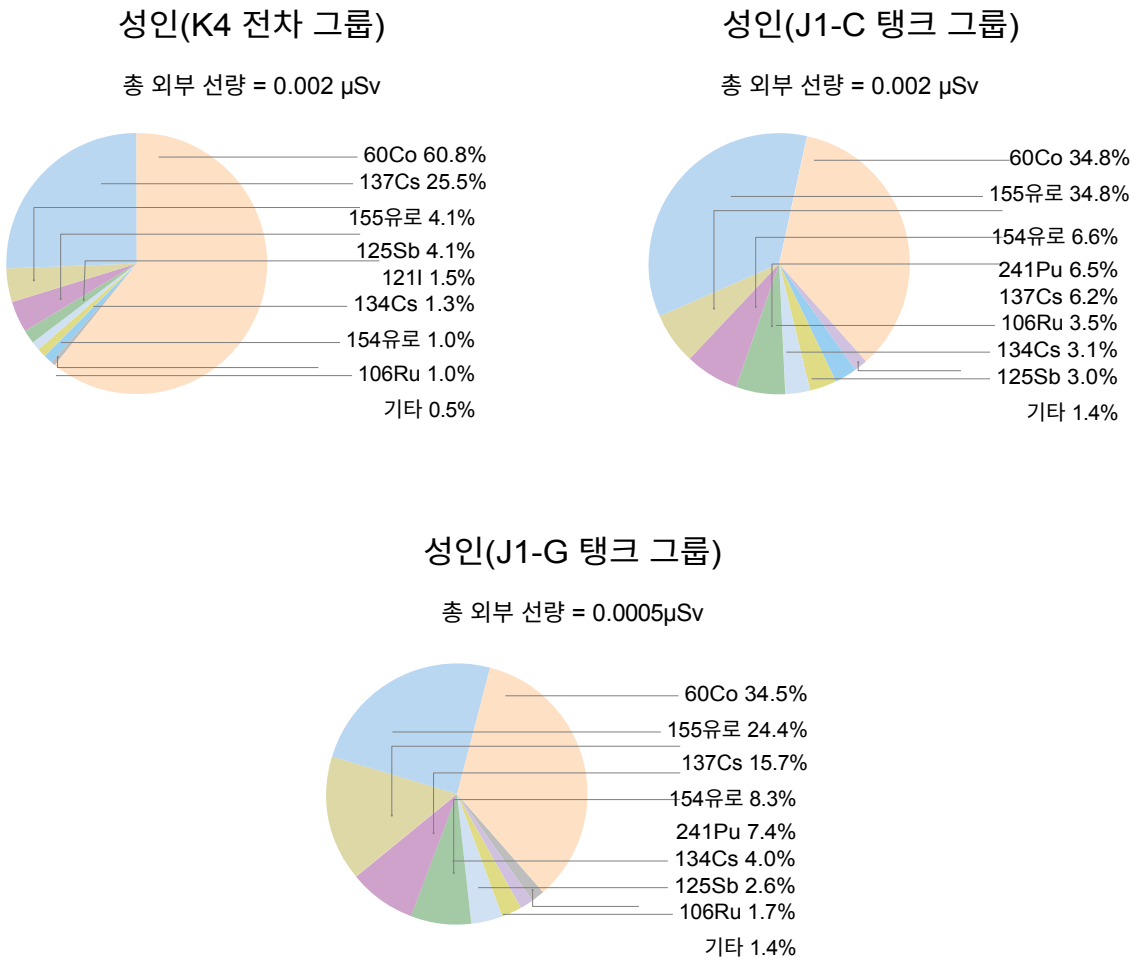


그림 3.21. 방사성 핵종 및 ALPS 처리 수조 그룹에 따른 유효 외부 선량(외부 선량은 REIA의 모든 연령대에 대해 동일하다고 가정)

ALPS 처리수 배출로 인해 REIA에서 추정된 일반 대중에 대한 선량은 NRA에서 설정한 선량 제한치인 0.05 mSv/y보다 1000배 이상 낮습니다. 따라서 부지별 서식 데이터와 함께 일반적인 방법론의 접근법을 사용하는 것은 GSG-10[11]의 지침에 부합하며, 방사선 보호 근거에 따라 더 복잡한 모델과 부지별 매개 변수 값으로 선량 평가를 세분화할 필요가 없습니다. 그러나 제안된 방류의 방사선 영향에 대한 국제적 관심을 해결하기 위해 도쿄전력이 수행한 REIA에서는 부지별 해양 분산 모델과 모든 범위의 피폭 경로

를 이미 고려했습니다.

REIA에는 또한 ICRP 접근법 [12;13]과 일치하는 GSG-10 [11]에 제시된 접근법을 사용하여 동식물에 대한 선량 평가도 포함되어 있습니다. 도쿄전력은 ALPS 처리수 방류 기간 동안 동식물에 대한 최고 선량률을 하루 1×10^{-6} mGy 미만(하루 0.000001 mGy)으로 추정합니다. 세 가지 참조 생물(넙치, 게, 해조류)에 대한 계산된 선량률은 넙치에 대한 최저 고려 기준치(DCRL)인 하루 1mGy보다 백만 배 이상 낮습니다.

ALPS 처리수 배출의 국경을 초월한 영향

GSG-9 [9] 5.24항에서는 배출이 배출이 발생하는 국가의 관할 또는 통제 하에 있는 영토 또는 기타 지역 외부에서 대중에게 심각한 피폭을 유발할 수 있는 경우, 운영 기관은 배출이 해당 지역의 대중과 환경에 미치는 방사선학적 영향을 평가해야 한다고 명시하고 있습니다.

태스크 포스는 해양의 전 지구적 순환에 영향을 미칠 수 있는 방사성 핵종(예: ^{129}I , ^{14}C , ^{99}Tc , ^3H)이 있으며, 해양의 전 지구적 분산 및 순환으로 인한 선량은 매우 적거나 사실상 제로일 가능성이 있지만, 전 지구적 순환으로 인한 주변 국가에 대한 선량은 국제 사회의 관심사라는 점을 도쿄전력과 논의했습니다. 따라서 이 주제는 REIA에서 고려되고 설명되어야 합니다. 도쿄전력은 모델 내에서 해류의 흐름이 고려되었고 해양에서 삼중수소의 예상 활동 농도가 낮으며, 방류 지점에서 먼 거리에서 ALPS 처리수에서 삼중수소를 검출하는 것은 어렵거나 불가능할 것이라고 언급했습니다.

태스크 포스는 해양 확산 모델 시뮬레이션의 계산 영역이 남북 490km, 동서 270km이며, 주변 국가에 대한 선량이 무시할 수 있는 수준임을 명확히 보여주기 위해 장거리 분산 계산을 사용하도록 도쿄전력에 권고했습니다. 도쿄전력은 2014년부터 2020년까지 7년간의 기상 및 해양학적 조건에 근거하여 해양 분산 모델이 시뮬레이션 지역 경계(FDNPS에서 남북 490km, 동서 270km)에서 감지할 수 없는 매우 낮은 농도의 삼중수소를 예측하므로 기존 모델 경계의 범위를 확장해도 ALPS 처리수 배출의 방사선 영향 평가에 기술적 가치가 추가되지 않는다고 설명했습니다. 태스크 포스는 이 지역을 넘어서는 삼중수소 농도는 훨씬 더 낮을 것이며 따라서 더 넓은 지역에 대한 계산을 다시 수행해야 할 과학적 근거가 없다는 도쿄전력의 추론을 받아들였습니다. 태스크 포스는 시뮬레이션 영역의 경계에 있는 바닷물에서 ^{14}C 및 ^{129}I 의 활동 농도 추정치를 포함하면 이러한 방사성 핵종의 농도가 무시할 수 있는 수준이며 이해 당사자와의 커뮤니케이션에 유용한 비교가 될 수 있다고 권고했습니다. 도쿄전력은 태스크포스의 의견에 따라 개정된 REIA에 이 내용을 추가했습니다. 또한 도쿄전력은 REIA에서 ALPS 처리수에서 연간 배출되는 ^{14}C 및 ^{129}I 의 방사성 물질 배출량이 매우 적기 때문에 전 세계에 미치는 영향은 무시할 수 있는 수준이라고 명시했습니다.

도쿄전력이 사용한 해양 분산 모델 결과에 따르면, 국제 수역의 활동 농도는 ALPS 처리수의 해양 배출에 영향을 받지 않으며, 따라서 국경을 넘는 영향은 무시할 수 있습니다. 그러나 방류 시작 후 도쿄전력과 일본 정부가 계획한 기본 환경 모니터링뿐만 아니라 FDNPS 주변과 태평양 주변 지역에서 실시하는 기본 환경 모니터링(3.5절 참조)은 ALPS 처리수 방류로 인한 해양 내 방사성 핵종 수준을 확인하고 REIA의 결과를 확인하는 데 매우 중요합니다.

도쿄전력은 REIA에서 ALPS 처리수에서 연간 배출되는 ^{14}C 및 ^{129}I 의 방사능 양이 매우 적기 때문에 전

세계적으로 미치는 영향은 무시할 수 있는 수준이라고 밝혔습니다.

태평양의 삼중수소 활동 농도에 대한 도쿄전력의 예측치

도쿄전력이 제출한 REIA에 따르면 해양 분산 모델을 기반으로 한 해양의 예상 활동 농도는 다음과 같습니다:

- 1 Bq/L 이상의 해수 삼중수소 농도 추정치는 FDNPS 주변 최대 3km 지역으로 제한됩니다.
- 모든 수층에 대한 10km x 10km 영역의 예상 평균 삼중수소 농도는 다음과 같습니다.
표층의 경우 0.056 Bq/L 및 0.12 Bq/L입니다. 해변에서의 거주 및 바다 스프레이 흡입으로 인한 노출을 추정하기 위해 물속의 기본 삼중수소 활성 농도는 0.88 Bq/L입니다.

시뮬레이션 영역의 동쪽 경계에서 시뮬레이션된 삼중수소 활동 농도는 0.0001~0.0003 Bq/L입니다. 비교를 위해 위도 30N과 45N 사이의 북태평양 평균 H-3 농도는 약 0.04 Bq/L¹⁾이며, FDNPS 주변 해역의 배경 활동 농도는 0.1 - 1.0 Bq/L 범위입니다. 즉, 일본 영해 경계에서 ALPS 처리수 방류로 인한 바다의 삼중수소 농도는 이미 위도 30 N에서 45 N 사이의 북태평양의 삼중수소 배경 농도보다 낮을 것입니다.

1. 옴스, P.E., 베일리 뒤 부아, P., 뒤마, F., 라주르, P., 모리용, M., 보이스, C., 르 코르, C., 코소네, C., 솔리에, L., 모린, P.: 2016 년 해양 삼중수소 인벤 토리 및 분포. 과학의 전체 환경, 엘스비어, 2019, 656, 1289-1303쪽. 10.1016/j. scitenv.2018.11.448. hal-02336283

잠재적 노출로 인한 선량 평가

시설 및 활동에 대한 안전 평가의 일환으로, 다양한 유형의 사고를 가정하여 사고 가능성을 줄이고 사고가 발생할 경우 그 결과를 완화하기 위한 공학적 안전 기능 및 운영 조치를 식별합니다(GSG-10 [11] 5.44항). GSG-10 [11]에 제시된 권고사항에 따라, 안전성 평가를 기반으로 식별된 가상 사고로 인한 노출 시나리오에 대해 일반 대중에 대한 잠재적 노출에 대한 전향적 평가를 수행해야 합니다. 잠재적 노출에 대한 대표자를 식별해야 하며, 대표자는 정상 운영 시 선정된 대표자와 동일하지 않을 수 있다는 점에 유의하고, 대표자에 대한 선량을 추정하여 확립된 선량 기준과 비교 평가해야 합니다.

도쿄전력은 ALPS 처리수 방류에 영향을 미치는 두 가지 확인된 사고 시나리오에서 대표자에 대한 잠재적 선량 평가를 REIA[15]에 포함시켰습니다. 이들은 다음과 같습니다:

사례 1 - 배관 누출

이 시나리오에서 도쿄전력은 파이프에서 누출이 발생하여 희석되지 않은 처리수가 바다로 직접 유입되는 상황을 가정했습니다. 이러한 유형의 사고를 24시간 이내에 감지할 수 있는 대책이 마련되어 있지만, 이 시나리오에서는 20일 동안 감지되지 않은 채 계속되어 전체 탱크 그룹(총 10개의 탱크) 또는 약 10,000m³의 처리수가 손실되었다고 가정합니다.

사례 2 - 탱크에서 누출

이 시나리오에서 도쿄전력은 측정 및 확인 시설의 모든 탱크가 치명적이고 즉각적으로 파열되어 처리수가 더 이상 희석되지 않고 모두 바다로 직접 배출되는 최악의 사고를 가정했습니다. 이 최악의 시나리오에서는 3개의 탱크 그룹(총 30개), 약 30,000m³의 처리수가 희석 없이 바다로 직

접 방류될 수 있습니다.

도쿄전력은 GSG-10 [11]의 권고에 따라 연간 5mSv의 선량 기준을 사용했습니다.

태스크 포스는 도쿄전력이 이러한 잠재적 피폭 시나리오의 영향을 처음 계산할 때 적용한 가정에 대해 논의했습니다. 모든 피폭 경로와 REIA에서 고려한 세 가지 연령대(성인, 어린이, 유아)에 대한 선량을 계산하는 것이 중요하다는 데 동의했습니다.

사고 발생 시 시행할 수 있는 방호 조치나 완화 조치를 고려하지 않은 채로 말이죠. 특히, 태스크포스는 제한구역 내 수산물이 실제로 금지될 것으로 예상되는 경우에도 수산식품 소비를 REIA에 포함시켜야 하며, 잠재적 원천 기간의 모든 방사성 핵종을 관련 계산에 고려하거나 표현해야 한다고 강조했습니다.

도쿄전력은 잠재적 피폭 평가의 대표자는 해산물을 다량 섭취하는 성인 어부이며, 모든 피폭 경로에 사용된 위치는 부지 북쪽 3km 지점이라고 밝혔습니다. 또한 어린이와 유아의 내부 노출 경로(바다 스프레이 흡입, 해산물 섭취, 의도치 않은 물 섭취(어린이만 해당))를 통한 잠재 선량도 계산했습니다. 성인 어부(대표자)에 대해 가정한 노출 시간은 표 3.9에 나와 있습니다.

표 3.9. 잠재적 노출 평가를 위해 대표자에게 사용된 노출 시간(REIA에서 발취)

항목	사례 1(27일)	사례 2 (8일)
선박 운항 시간	210시간	63시간
수영 시간	7.1시간	2.1시간
해안선 체류 시간	37시간	11시간
어망 근처 운영 시간	140시간	42시간
해산물 섭취	27일 동안 해산물을 다량 섭취한 사람	8일 동안 해산물을 다량 섭취한 사람

잠재적 피폭의 경우, GSG-10[11]은 내부 피폭 경로에서 확정된 유효 선량과 외부 피폭으로 인한 유효 선량을 합산하여 유효 선량을 계산해야 한다고 명시하고 있습니다. 그러나 특정 장기(예: 갑상선)에 대한 등가 선량도 고려할 수 있다고 명시되어 있으며, 특별조사위원회는 도쿄전력이 REIA에서 등가 선량을 고려했음을 명확히 할 것을 제안했습니다. 도쿄전력은 사고 발생 시 더 높은 농도의 방사성 핵종이 방출되더라도 방사성 핵종은 동일하며 환경에서의 거동과 노출 경로는 동일하다고 설명했습니다. 도쿄전력은 예상 유효 선량은¹²⁹ I의 최고 선량(사례 2의 경우 약 0.01밀리시버트)을 포함하여 매우 낮으며, 이러한 매우 낮은 수준의 유효 선량에서는 등가 선량(예: 유아의 갑상선)에 대한 평가가 필요하지 않다고 밝혔습니다.

사례 1(배관 파열)의 경우 세 개의 탱크 그룹(K4, J1-C 및 J1-G)을 고려하여 대표자에 대해 계산된 잠재적 유효 선량 범위는 0.0002 - 0.0003 mSv입니다. 사례 2(탱크 손상)의 경우 잠재적 유효 선량 범위는 0.008 - 0.01 mSv입니다. 모든 연령대에서 유일하게 중요한 피폭 경로는 해산물 섭취이며, 이는 확정 유효 선량의 99 % 이상을 차지합니다. 어린이와 유아의 선량은 성인보다 약간 높지만 두 사고 사례 모두 0.02mSv 미만입니다.

불확실성 고려 및 민감도 분석

REIA의 8장에서는 다양한 불확실성의 원인을 고려하고 결과에 미칠 수 있는 영향을 추정합니다. 도쿄전력은 불확실성 평가의 일환으로 REIA에서 다음 항목을 고려했습니다. 도쿄전력이 설명한 불확실성에 대한 자세한 내용은 괄호 안에 제시되어 있습니다.

- 출처 조건의 선택(ALPS 처리수의 방사성 핵종 구성은 2차 처리 및 측정이 완료될 때까지 알 수 없습니다. 측정값과 관련된 불확실성이 있습니다).

- 환경에서의 확산 및 이동 모델링. (기상 및 해양 데이터는 매년 변동이 있습니다. 확산 시뮬레이션 모델과 관련된 불확실성이 있습니다.)
- 바닷물에서 해변 퇴적물로 방사성 핵종의 이동. (외부 선량 계산을 위한 물에서 해변 퇴적물로의 이동 계수는 원소 의존적이지 않으므로 선량 환산 계수와 관련된 불확실성이 있습니다.)
- 바닷물에서 수산 식품으로의 방사성 핵종 이동. (어류에 대한 농도 계수는 특히 일부 원소의 경우 데이터가 충분하지 않아 불확실합니다.)
- 노출 경로 선택. (가능한 모든 노출 경로를 반드시 다루지 않은 것과 관련된 불확실성이 있습니다.)
- 대표 인원 선정. (후쿠시마 원전 주변은 재건 중이므로 사고 이전의 습관 데이터를 사용했습니다. 따라서 현재 시점의 실제 습성을 자세히 알 수 없어 불확실성이 존재합니다. 대표자가 소비하는 해산물이 어획되는 대표 해역으로 선택한 해역과 관련된 불확실성이 있습니다.)

각 경우마다 평가의 세부 사항과 REIA 결과의 민감도를 보여주기 위해 수행된 계산이 제공됩니다. 불확실성을 고려할 때, ALPS 처리된 물의 방류로 인한 대표자에 대한 예상 선량은 선량 제약보다 훨씬 낮을 것입니다.

REIA의 규제 검토

섹션 3.1에 설명된 바와 같이, 이행 계획 승인 및 배출 승인에 앞서 NRA는 REIA를 포함한 이행 계획을 검토하고 그 결과를 '검토 결과 문서'에 문서화합니다. REIA 검토 결과 초안은 공개 회의에서 도쿄 전력 과 논의됩니다. 태스크 포스는 두 차례의 NRA 임무에서 도쿄전력과의 검토 회의에서 REIA에 대한 변경 및 업데이트가 필요한 여러 주제에 대해 논의했으며, 이는 반복적인 과정이었다는 사실을 통보받았습니다. 또한 NRA는 프로세스의 일환으로 30일 동안 공개 검토 및 의견 수렴을 위해 검토 결과 문서 초안을 게시합니다. 이 프로세스의 주요 이정표에 대한 개요는 부록 3에 포함되어 있습니다.

NRA는 도쿄전력과의 논의에서 제기된 주요 사항과 REIA에 대한 설명 및 추가 작업에 대한 요청을 태스크 포스에 제출했습니다. 태스크 포스는 국제 안전 표준에 따르면 규제 기관은 신청자와의 논의에서 '채택된 방법론이 제안된 목적에 적합하다는 데 동의해야 한다'고 명시되어 있으며(GSG-9), NRA는 이를 수행했다고 언급했습니다.

NRA는 도쿄전력의 해양 분산 모델에 대한 독립적인 검증을 수행했으며 그 결과를 태스크포스에 제출했다고 설명했습니다. 또한 NRA는 2022년 11월 버전의 이행 계획 및 REIA에 대해 현재 진행 중인(2023년 1월 임무 수행 당시) 검토에 대한 세부 사항과 업데이트 사항도 발표했습니다. 특별위원회는 특히 특별위원회와 다른 이해 당사자들이 제기한 중요한 주제인 수중 환경에서의 활동 농도 계산에 대한 도쿄전력의 접근 방식을 NRA가 검토했다는 점에 주목했습니다.

3.4.3 결론

IAEA는 도쿄전력과 NRA가 취한 접근 방식이 보고서의 이 섹션에 포함된 관련 국제 안전 표준과 일치한다는 결론을 내렸습니다. 자세한 조사 결과는 아래에 나와 있습니다:

- 국제 안전 표준을 준수하는 REIA가 작성되었습니다. REIA는 다음과 같은 대중 보호를 위해 IAEA GSG-10[11]에 제시된 평가 접근법을 따릅니다.

- 정상 작동. 결과 선량은 연간 0.05밀리시버트의 선량 제한보다 최소 1000배 이상 낮습니다.
- 해저 퇴적물에 방사성 핵종 축적의 방사선학적 영향을 평가하기 위해 REIA에서는 비교적 간단한 모델을 적용합니다. 그러나 이러한 접근 방식은 계획된 방류 기간 동안의 연간 선량이 과소평가 되지 않도록 보장합니다.
 - REIA에는 ICRP 접근법과 일치하는 GSG- 10에 제시된 접근법을 사용하여 동식물에 대한 선량 평가가 포함되어 있습니다 [12;13]. 고려된 세 가지 해양 대표 동식물(광어, 게, 해조류)에 대한 추정 선량은 ICRP에서 설정한 고려 기준치보다 100만 배 이상 낮습니다.
 - REIA에서 도쿄전력은 ALPS 처리수의 의도하지 않은 방류로 인해 확인된 두 가지 시나리오에서 대표자에 대한 잠재적 선량 평가를 포함시켰습니다. 모든 연령과 탱크 그룹을 고려한 결과 잠재적 선량은 NRA에서 설정한 권장 기준인 5mSv보다 100배 이상 낮습니다.
 - REIA에는 대표자에 대해 추정된 선량의 민감도와 도쿄전력의 관련 가정에 대한 참조 동물 및 식물이 포함되어 있습니다. 불확실성을 고려할 때 대표 사람(성인, 어린이 및 유아)에 대한 연간 선량은 연간 0.05 μ mSv의 선량 제한을 훨씬 밑돌 것입니다.
 - NRA는 도쿄전력과 함께 REIA를 검토하는 반복적인 프로세스를 가지고 있습니다. 검토 프로세스에는 대중이 의견을 제시할 수 있는 기회가 포함됩니다.

3.5. 소스 및 환경 모니터링

3.5.1 배경

배출 및 관련 대중 노출을 통제하는 맥락에서 적절한 모니터링에는 일반적으로 두 가지 유형이 있습니다. GSG-9 [9], 5.75항에서 언급된 바와 같이 다음과 같습니다:

- a) 배출 지점에서의 활동 농도 또는 선량률 측정을 포함하는 배출원 모니터링.
- b) 환경 모니터링에는 환경 매체(식품 및 식수 포함)의 방사성 핵종 농도 및 환경 내 출처로 인한 선량 또는 선량률 측정이 포함됩니다."

규정 준수 확인을 위한 모니터링에 관한 GSR 파트 3 [8]의 요구 사항 14에는 "등록자 및 라이선스 사용자와 고용주는 보호 및 안전 요구 사항의 준수 여부를 확인하기 위해 모니터링을 수행해야 한다"고 명시되어 있습니다.

또한 GSG-8[10]의 3.54항은 "이러한 모니터링은 공개 노출 수준이 선량 한도를 준수하는지 여부를 판단

하고 보호 및 안전이 최적화되었음을 입증할 수 있는 충분한 정보를 제공해야 한다"고 명시하고 있습니다.

GSR 파트 3 [8]의 3.37항에는 다음과 같이 명시되어 있습니다: "규제 기관은 보호 및 안전 요구사항의 준수 여부를 확인하기 위해 모니터링 및 측정을 수행해야 한다는 요건을 설정해야 합니다. 규제 기관은 등록자 및 라이선스 사용자의 모니터링 및 측정 프로그램을 검토하고 승인할 책임이 있습니다."

GSR 파트 3[8]의 3.38항에 따라 모든 모니터링 활동은 적절하게 유지 및 보정된 장비, 샘플링 위치, 적절한 자격을 갖추고 훈련된 인력, 문서화된 절차를 포함하여 모니터링 프로그램의 설계 및 실행을 포함하는 품질 보증에 대한 확립된 기준을 준수해야 합니다.

GSR 파트 3 [8]의 3.137항에 따라 라이선스 사용자는 다음을 수행해야 합니다:

- 배출로 인한 대중의 노출을 적절히 평가하고, 그 평가가 승인 준수 여부를 확인하고 입증하기에 충분한지 확인하기 위해 모니터링 프로그램을 수립하고 시행합니다;
- 모니터링 프로그램 결과에 대한 적절한 기록을 유지합니다;
- 승인된 간격으로 모니터링 프로그램의 결과를 규제 기관에 보고하거나 제공해야 합니다;
- 규제 기관이 정한 보고 기준에 따라 승인된 배출 한도를 포함하여 공공 노출과 관련된 운영 제한 및 조건을 초과하는 수준을 규제 기관에 즉시 보고합니다;
- 규제 기관이 정한 보고 기준에 따라 배출로 인한 것으로 추정되는 환경 내 방사성 핵종의 선량률 또는 농도의 현저한 증가가 있을 경우 규제 기관에 즉시 보고해야 합니다;
- 사고 또는 기타 비정상적인 사건으로 인해 방사선 수준이 예기치 않게 증가하거나 환경 내 방사성 핵종 농도가 높아지는 경우 비상시 모니터링을 수행할 수 있는 역량을 구축하고 유지해야 합니다;
- 일반인 노출 평가 및 방사선 환경 영향 평가에 대한 가정이 적절한지 확인합니다.

GSG-9 [9]에 따라 방사선 영향의 평가된 위험 수준에 따라 빈도를 포함한 모니터링 요건을 결정하는 것이 좋습니다. 환경 모니터링과 관련하여 GSG-9 [9]는 첫 번째 배출 전에 시설 주변 환경의 기존 배경 방사선 수준을 파악하고 기준선을 설정하기 위해 운영 전 분석(배출 시작 전)을 수행하는 것에 대한 권장 사항을 제공합니다. RS-G-1.8 [16]에 따라 운영 초기에는 더 빈번하고 상세한 환경 측정이 필요할 수 있으며, 모든 모니터링 프로그램은 측정이 목적에 계속 적합한지 확인하기 위해 주기적으로 검토할 것을 권장합니다.

규제 기관은 운영자에게 결과 보고 주기와 보고의 형식 및 필수 내용에 대한 요구 사항을 제시합니다. GSG-9 [9]의 5.76항은 "배출원 모니터링 및 환경 모니터링에 대한 요구 사항은 규제 기관의 배출 허가에 명시되어야 한다"고 명시하고 있습니다. 모니터링의 필요성과 빈도는 평가된 방사선 영향의 위험 수준에 따라 결정되어야 합니다." 또한 규제 기관은 모니터링 프로그램의 검토 및 승인, 적절한 이행 보장, 결과 기록 및 제공에 대한 책임이 있습니다. 또한 규제 기관은 허가자 또는 등록자의 소스(및 환경) 모니터링 프로그램에 대한 독립적인 검토를 주기적으로 수행하고 독립적인 모니터링을 위한 조항을 마련해야 합니다.

GSG-9[9] 5.74항은 "운영 조직은 요청 시 소스 모니터링 결과를 제공해야 한다"고 명시합니다. 이 요청은 허가의 운영 제한 및 조건에 포함되거나 다른 규제 문서에 명시될 수 있습니다."

GSG-9[9]의 5.84-5.85항은 규제 기관에 독립적인 모니터링에 대한 권장 사항을 제공합니다. 5.85항에는 다음과 같이 명시되어 있습니다;

"독립 모니터링의 목적은 다음 중 하나 이상일 수 있습니다:

- a) 운영 기관에서 제공한 결과의 품질을 확인합니다;
- b) 대표자에 대한 복용량 평가를 확인하려면"

RS-G-1.8[16]의 5.6항은 '모니터링 프로그램의 주요 목표 중 하나는 안전성 평가의 가정을 확인하고 결과를 검증하는 것이다'라고 명시하고 있습니다. 따라서 모니터링 프로그램은 중요한 [노출] 경로와 중요한 방사성 핵종에 특히 주의를 기울여야 합니다."

3.5.2 검토 및 평가

소스 모니터링

도쿄전력의 배출원 모니터링 접근 방식은 샘플의 활성 농도('배치 배출')에 대한 샘플링 및 실험실 측정과 그 결과가 승인된 배출 한도를 준수하는지 확인하는 것을 기반으로 합니다. 이는 안전 가이드 RS-G-1.8 5.18항과 일치합니다.

[16]에 명시되어 있습니다: "배치 배출의 경우, 배출 물질은 배출 전에 균질화된 배치에서 저장소에서 채취한 샘플의 배치 부피와 방사성 핵종 구성에 따라 적절하게 특성화됩니다."

퇴원 방법론

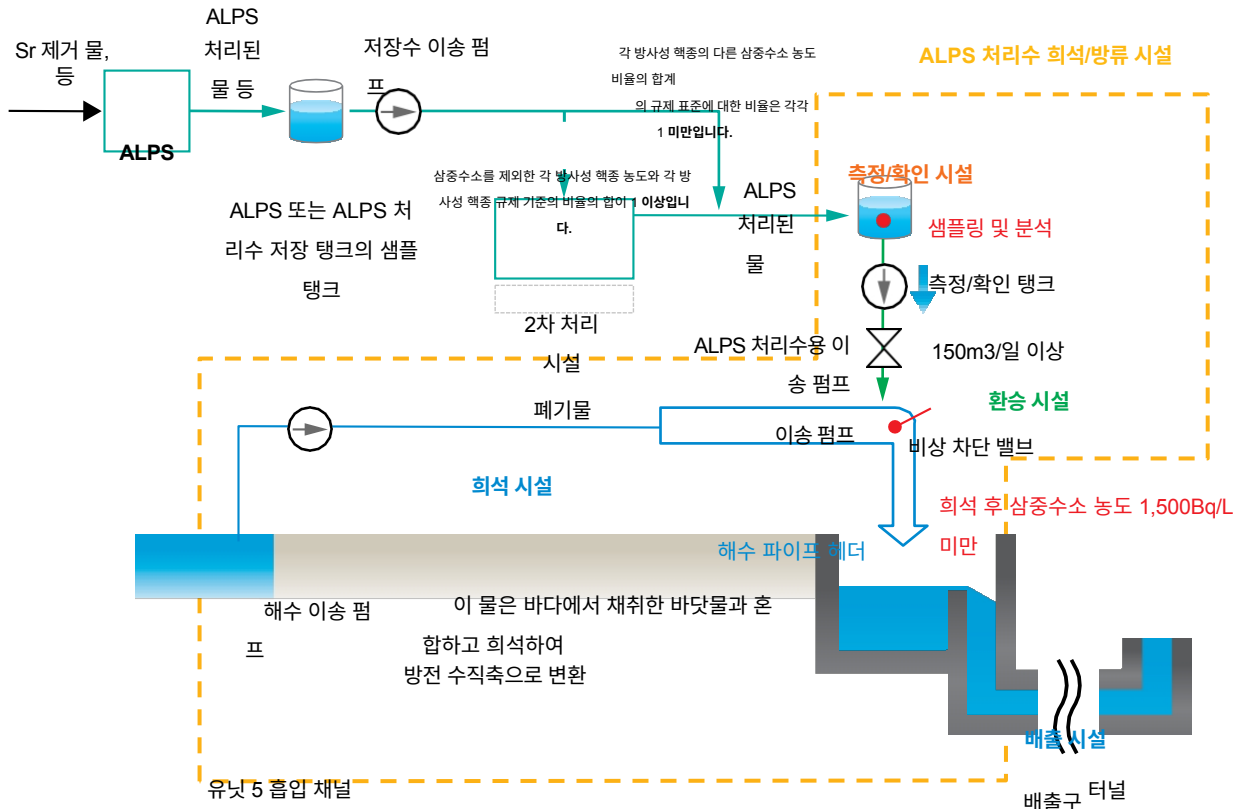
도쿄전력은 이행 계획 및 여기에 포함된 REIA에 배출 방법론, FDNPS에 건설한 배출 시설 및 배출원 모니터링 계획에 대한 세부 정보를 제공했습니다. 특정 배출이 발생하기 전에 ALPS 처리수는 FDNPS 부지의 개별 탱크에서 측정 및 확인 시설로 이송됩니다. 측정 및 확인 시설은 그림 3.20에서 보다 광범위한 ALPS 처리, 저장 및 방류 시설의 맥락에서 보여집니다. 측정 및 확인 시설은 3개의 탱크 그룹으로 구성되며, 각 탱크 그룹은 10개의 상호 연결된 탱크를 포함합니다. 필요한 경우 물은 측정 및 확인 시설로 이송되기 전에 먼저 2차 ALPS 처리를 통해 다시 처리됩니다.

대표 샘플을 수집하고 삼중수소를 제외한 방사성 핵종의 법적으로 요구되는 활성 농도 비율의 합이 1 미만인지 확인하기 위해 확인 측정을 수행하기 전에 각 탱크 그룹에 순환 및 교반을 적용하여 ALPS 처리수의 균질성을 보장합니다(섹션 3.3 참조). 단일 탱크 그룹에 포함된 ALPS 처리수의 총 부피는 '배치'로 간주할 수 있습니다(RS-G-1.8 5.18항에 따름). 연간 배출되는 모든 배치의 총 방사성 핵종 함량은 허가된 배출 한도(연간 Bq)와 비교되는 출처를 정의합니다.

방류 전 각 ALPS 처리수 배치가 규제 농도 제한을 준수하는지 측정하고 확인하는 제안된 방법론은 다음과 같이 요약할 수 있습니다(측정 및 확인 시설의 10개 탱크 그룹별):

1. 측정 및 확인 시설의 빈 탱크 그룹이 채워집니다.
2. 균질성은 교반(탱크 내) 및 순환(탱크 간)을 통해 달성됩니다[20].
3. ALPS 소스 기간의 모든 30개 방사성 핵종에 대한 확인 분석을 위해 단일 샘플을 채취합니다.
4. 데이터가 배출 허가를 준수하는 것으로 나타나면 밸브를 열어 ALPS 처리수를 희석하여 배출할 수 있도록 합니다.

측정 및 확인 시설에서 수집한 샘플은 IAEA의 소스 모니터링 검증에 중점을 둡니다.

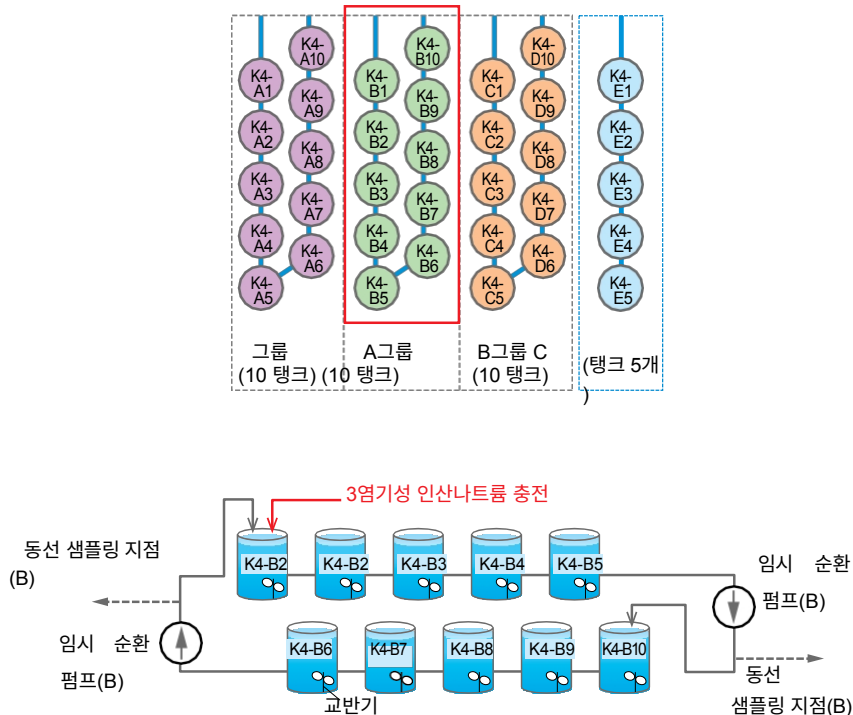


배출 수직 샤프트(상부 스트림 스토리지)

수직형 스토리지(다운 스트림 스토리지) 배출

그림 3.20. ALPS 처리, 저장 및 배출 시설

K4 지역 전차 그룹: 전차 35대



교반 실증 테스트: 2021년 11월 순환 및 교반 실증 테스트 실시: 2022년 2월 실

시

그림 3.21: 측정 및 확인 시설에서 ALPS 처리수의 균질성을 보장하기 위해 도쿄전력이 사용하는 인프라

동질성 및 대표 샘플링

각 배치에서 채취한 샘플이 대표성을 갖도록 하려면 측정 및 확인 탱크에서 균질성을 확보하는 것이 기본입니다. 도쿄전력은 교반(탱크 내)과 순환(탱크 간)을 통해 균일성을 달성하는 방법을 입증하기 위한 실험을 수행했습니다.

이 실험은 안정적이고 측정하기 쉬운 추적자(3염기성 인산나트륨)의 알려진 농도를 탱크 그룹 내용물에 첨가하는 방식으로 진행되었습니다(그림 3.21 참조). 그런 다음 순환 및 교반을 수행했습니다. 인산염 추적자 샘플은 순환 및 교반이 진행 중일 때와 탱크 그룹 내용물 내에서 충분한 균질성이 달성되었다고 판단되는 144시간(6일)이 지난 후에 미리 채취했습니다. 10개의 개별 수조에서 상부(10m), 중간(5m), 하부(1m)의 세 지점에서 채취한 총 30개의 후자의 샘플을 분석한 결과 인산염 농도의 상대 표준 편차가 10.5%로 나타났습니다. 또한 측정 불확실성 내에서 알려진 인산염 첨가량과 이러한 측정에서 탱크 그룹 내용물의 희석 후 결정된 인산염 첨가량 간에는 일관성이 있었습니다.

또한 도쿄전력은 30개의 샘플에서 삼중수소 및 기타 검출 가능한 방사성 핵종(^{60}Co , ^{90}Sr , ^{129}I , ^{137}Cs)의 활성 농도를 분석하여 동질성 검사 전의 결과와 비교했습니다[19]. 삼중수소의 상대 표준편차는 1.9%로 8.1%에서 감소했습니다. 각 개별 탱크의 각 지점에서 측정된 활성 농도의 이질성 정도는 사실상 동일하게 유지된 ^{60}Co 를 제외한 다른 방사성 핵종에 대해서도 더 낮은 것으로 나타났습니다. 순환 및 교반에 따른 방사성 핵종의 상대 표준 편차는 4.5%에서 14.9% 범위였습니다.

이 실험을 바탕으로 도쿄전력은 대표 샘플을 채취할 수 있는 적절한 수준의 균질성을 달성했다고 결론지었습니다. 배출물 관리를 위한 운영 계획에 순환 및 교반을 위한 동등한 장비가 통합되었습니다.

이 프로세스의 지속적인 효과를 보장하기 위해 이 장비의 유지보수는 도쿄전력이 개발한 측정 및 확인 시설에 대한 일반 유지보수 계획에 포함되어 있습니다. 도쿄전력은 이 유지보수 계획을 IAEA와 공유했으며, 원자력규제위원회의 검사 프로그램의 일부로 승인을 받기 위해 원자력규제위원회에 제출했습니다.

측정 및 확인

ALPS 처리수의 각 배치가 배출되기 전에 규제 한도 미만임을 측정하고 확인해야 하는 방사성 핵종은 출처 기간에 확인된 방사성 핵종입니다(섹션 3.3 참조).

각 방법의 검출 한계는 각 방사성 핵종의 배출 규제 한도에 따라 결정되며, 도쿄전력의 검출 한계 목표는 각 규제 한도의 1% 미만입니다. 원전 모니터링의 확증을 위한 첫 번째 ILC 결과[1]에 따르면 ALPS 처리

수 기간의 30개 방사성 핵종 모두에 대해 이 검출 한도를 달성한 것으로 나타났습니다(표 3.10 참조).

2011년부터 수년 동안 처리 스트림의 여러 지점에서 광범위한 방사성 핵종을 포괄하는 많은 방사성 핵종 별 측정 데이터가 존재합니다. 여기에는 수명이 길고 수율이 높은 핵분열 및 중성자 활성화 생성물, 우라늄 및 우라늄 변환 물질의 동위원소(Np, Pu, Am 및 Cm 동위원소 포함)가 포함됩니다.

표 3.10. 도쿄전력의 검출 한도와 일본의 각 규제 배출 한도 비교(표 9 [1])

	규제 (Bq/L)	제한 (RL)	검출 한도(DL)(Bq/L)	RL 대비 DL(%)
3H	60000		210	0.35
14C	2000		1.6	0.080
54Mn	1000		0.047	0.0047
55Fe	2000		19	0.94
60Co	200		0.028	0.014
63Ni	6000		8.1	0.13
79Se	200		0.85	0.43
90Sr	30		0.069	0.23
99Tc	1000		0.43	0.043
106Ru	100		0.42	0.41
125Sb	800		0.10	0.013
129I	9		0.026	0.29
134Cs	60		0.057	0.10
137Cs	90		0.036	0.040
144Ce	200		0.59	0.30
147Pm	3000		0.32	0.011
151Sm	8000		0.012	0.00015
154Eu	400		0.072	0.018
155Eu	3000		0.19	0.0063
234U	20		0.031	0.15
238U	20		0.031	0.15
237Np	9		0.031	0.34
238Pu	4		0.031	0.76
239Pu	4		0.031	0.76
240Pu	4		0.031	0.76
241Pu	200		0.84	0.42
241Am	5		0.031	0.61
244Cm	7		0.031	0.44

도쿄전력은 원전 기간을 특성화하기 위해 상당한 노력을 기울여 왔으며, 이는 이미 충분히 보수적이기 때문에 IAEA는 원전 모니터링의 기초로 확인된 방사성 핵종 목록을 사용하는 것을 지지합니다. IAEA는 추가 방사성 핵종, 특히 방법론의 초기 반복에서 확인된 방사성 핵종에 대한 모니터링을 권장하지 않습니다. 여기에는 반감기가 짧은 방사성 핵종이 포함됩니다. 냉정 정지 후 12년 이상 지나면 수중에 존재할 가능성이 없는 방사성 핵종에 대한 모니터링은 혼란을 초래할 수 있습니다.

도쿄전력은 방사성 핵종 분석(소스 및 환경 모니터링 모두)을 위한 품질 관리 시스템(QMS)을 구축했습니다. NRA는 이 시스템과 기타 실험실 및 품질 매뉴얼을 가동 시작 전에 검사하고, 배출이 선택사항이 된 후에도 필요에 따라 검사합니다. 검사 대상인 도쿄전력 QMS의 측면에는 조달, 분석 방법 개발, 인적 자원 및 교육, 기기 유지보수 및 교정, 문서 관리 및 기록 보관이 포함됩니다. 이들 각각은 NRA의 검사 시 활용되는 평가 기준으로 ISO 9001 [20] 및 ISO/IEC 17025 [21]의 관련 조항과 연계되어 있습니다.

ALPS 처리수와 관련된 수원 및 환경 모니터링에 대한 도쿄전력의 샘플링 및 분석 방법도 IAEA의 검토를 받았습니다. 여기에는 데스크톱 및 현장 구성 요소가 모두 포함되었으며(2023년 3월에 도쿄전력의 FDNPS 실험실에 대한 기술 검토가 수행됨), 도쿄전력의 FDNPS 실험실에서 관련 기술 기록의 대표적인 예가 평가되었습니다.

ALPS 처리수는 소스 용어에 따라 알파 방출 물질에 대한 특성을 분석했습니다. 보고된 활성 농도는 규제 한도의 100분의 1 미만인 경우가 많습니다. 자원을 효과적으로 사용하고 분석 시간을 최적화하는 동시에 목적에 적합하도록 하기 위해 총 알파 스크리닝 방법을 사용하는 것이 타당합니다. 사전 정의된 조치 한도가 설정되어 있으며, 이를 초과할 경우 구조화된 대응 계획이 마련되어 있습니다.

배출이 가동되면 도쿄전력은 희석 후 배출 배관에서 채취한 희석된 ALPS 처리수 샘플에서 삼중수소를 매일 모니터링하여 삼중수소 배출 제한치인 1,500 Bq/L를 준수하는지 확인합니다. 이 시료 채취 지점은 배출 지점에서 가장 가까운 지점이며, 희석된 시료는 실제로 환경으로 방출되는 ALPS 처리수와 동일합니다.

NRA의 독립적인 모니터링

GSG-9는 규제 기관이 직접 또는 규제 기관을 대신하여 운영 조직과 독립적인 다른 조직이 독립적인 모니터링을 수행해야 한다고 규정합니다.

NRA는 도쿄전력의 소스 모니터링에 대한 검증에 착수했습니다. 기술지원기관(TSO) 실험실(JAEA, 원자력안전연구센터)에 의뢰하여 방출 시작 전에 채취한 ALPS 처리수 샘플을 삼중수소, C, ¹⁴³⁶Cl, ⁵⁵Fe, ⁶⁰Co, ⁷⁹Se, ⁹⁰Sr, ⁹⁹Tc, ¹⁰⁶Ru, ¹²⁵Sb, ¹²⁹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs 등 방사성핵종 하위 집합에 대한 분석을 수행했습니다. 샘플은 소스 모니터링의 확증을 위해 IAEA의 1차 ILC에 사용된 샘플과 동일한 시기에 채취되었으며[1], 도쿄전력은 두 실험 모두에서 동일한 결과를 보고했습니다. 검출 한계를 초과하는 활동 농도가 도쿄전력과 JAEA 모두에 의해 보고된 방사성 핵종의 경우, 점수를 사용하여 도쿄전력의 결과와 비교했습니다 [22]. 삼중수소(삼중수소, ¹⁴C, ⁶⁰Co, ⁹⁰Sr, ⁹⁹Tc, ¹²⁹I, ¹³⁷Cs)는 모두 일치하는 것으로 확인되었지만, JAEA는 ¹⁴C에 대해 샘플을 재분석해야 했습니다.

또한 NRA는 추가 수준의 독립적 평가로 특정 방사성 핵종의 ALPS 처리수 내 존재 여부를 분석할 것을 요구합니다(도쿄전력 결과와의 분석 비교와는 별개). NRA를 위해 준비된 분석 결과에는 모든 불일치 및 잠재적 원인 식별이 포함됩니다. NRA는 독립 모니터링과 도쿄전력 측정치 간의 불일치에 대응하는 프로세스와 근본 원인 분석에 필요한 정보(예: 품질 보증 및 관리 프로세스, 사용된 분석 방법/기기)를 사전에 정의해야 한다고 설명했습니다.

K4-B 탱크 그룹에서 채취한 샘플은 소스 모니터링[1] 및 섹션 4의 확증을 위한 IAEA의 첫 번째 실험실 간 비교(ILC)의 초점이었습니다. 이 ILC의 결과는 균질성을 보장하고 대표 샘플을 얻기 위해 사용된 기술을 포함하여 도쿄전력의 분석 방법과 샘플 수집 절차의 적절성을 확인했습니다.

환경 모니터링

해양 환경 모니터링에는 환경 매체(해수, 퇴적물, 해산물, 동식물 포함)의 방사성 핵종 농도 측정이 포함됩니다. 목표

환경 모니터링의 목적은 선원 모니터링 결과와 일반인 피폭 평가 및 방사선 환경 영향 평가를 위한 가정에 대한 적절성을 검증하는 것입니다. 환경 모니터링의 또 다른 이유는 활동 농도의 예측되지 않은 변화를 감지하고 장기적인 추세를 평가하며, 참고인에게 실제 또는 예상 선량을 평가할 수 있는 데이터를 제공하고, 대중에게 정보를 제공하기 위해서입니다.

환경 모니터링은 오프사이트에서 수행됩니다. 환경 모니터링에서 감지되는 활동 농도는 일반적으로 보수적 모델에 의해 추정되는 농도보다 낮기 때문에 소급 선량 계산은 종종 소스 모니터링 데이터와 적절한 모델링에 기반합니다.

일본 정부의 종합 방사능 모니터링 계획(CRMP)[7]은 일본 전역의 방사능 수준을 모니터링하고 관리하기 위해 정부 기관이 공동으로 진행하는 이니셔티브입니다. 이 계획은 환경부와 NRA가 공동으로 조정합니다. 2011년 4월 후쿠시마 원전 사고에 대응하여 개발되었으며 [7] 이후 매년 필요에 따라 검토 및 개정되고 있습니다. CRMP의 목표는 다음과 같습니다:

방사선 수준 모니터링: CRMP는 공기, 토양, 물, 식품을 포함한 환경 매체의 방사선 수준을 지속적으로 측정하기 위해 종합적인 모니터링 시스템을 구축했습니다.

건강 위험을 평가하고 중재를 계획 및 평가합니다: 수집된 데이터를 분석하여 방사선 노출과 관련된 잠재적 건강 위험을 평가합니다. 여기에는 개인, 지역사회 및 환경에 미치는 영향을 평가하고 오염 제거 또는 대피 구역 재평가와 같은 특정 주의나 개입이 필요할 수 있는 지역 또는 인구를 식별하는 것이 포함됩니다.

투명성 및 소통 보장: CRMP는 모니터링 결과를 대중에게 효과적으로 전달하는 것을 강조합니다. 이 계획은 정확하고 접근 가능한 정보를 제공함으로써 방사선 모니터링 노력에 대한 대중의 인식, 이해 및 신뢰를 향상시키는 것을 목표로 합니다.

환경 보호: CRMP는 방사능의 잠재적 영향으로부터 해양 생태계를 포함한 환경을 보호하는 데 중점을 둡니다. 여기에는 해수, 해양 퇴적물, 어류, 조개류, 해조류와 같은 생물상과 같은 다양한 환경 구획 간의 방사능 이동을 모니터링하고 평가하는 것이 포함됩니다.

CRMP의 해양 모니터링 구성 요소는 샘플링 위치, 샘플링 빈도, 검출 한도 및 관련 기관의 책임을 정의합니다. 모니터링은 다양한 깊이의 해수, 퇴적물 및 해양 생물상(어류, 조개류 및 해조류)의 샘플링 및 분석으로 구성되며, FDNPS 부지로부터 다양한 거리에 있는 구역으로 구분됩니다: FDNPS에 가까운 해역, 연안 구역, 연안 구역, 외해 구역. 이 계획의 목표는 해양 환경의 방사선 상황에 대한 포괄적인 개요를 확보하고 해양 경로를 통한 방사선 피폭 평가를 위한 적절한 근거를 제공하는 것입니다.

일본 정부가 CRMP의 해양 모니터링 구성 요소를 포괄적이고 신뢰할 수 있으며 투명하게 만들려는 목표를 달성하도록 지원하기 위해 IAEA는 해양 환경 연구소를 통해 데이터의 높은 품질을 보장하고 결과의 비교 가능성을 입증하는 데 도움을 주고 있습니다. 프로젝트 '해양 모니터링: 신뢰 구축 및 데이터 품질 보증' 프로젝트는 2013년 IAEA가 후쿠시마 원전 폐로를 계획하고 이행하기 위한 일본의 노력을 검토한 보고서에서 해양 방사능 모니터링에 대해 권고한 사항에 대한 후속 활동으로 2014년에 시작되었습니다. 이후 이 프로젝트는 여러 차례 연장되었습니다. 지금까지 10회의 샘플링 임무 및 실험실 간 비교(ILC)와 7회의 숙련도 테스트(PT)가 완료되었으며 프로젝트는 현재 진행 중입니다.

현재까지 IAEA 보고서로 발표된 ILC의 결과(예: [26; 27])에 따르면 일본의 시료 채취 절차는 대표 시료 확보에 필요한 적절한 방법론적 표준을 따르고 있으며, CRMP를 위한 해양 시료의 방사성 핵종 분석에 관여하는 일본 연구소는 높은 수준의 정확도와 역량을 입증하고 있다고 결론지었습니다. 이러한 결과는 PT의 결론을 통해 뒷받침됩니다. 이 작업에 대한 자세한 정보는 전용 웹사이트⁶에서 확인할 수 있습니다.

또한 국제원자력기구는 ALPS 처리수 배출 문제를 해결하기 위해 특별히 수행한 환경 모니터링 결과를 확증하고 있습니다(4.2부 및 본 섹션 참조).

근해 해역, 연안 해역 및 근해 해역에 대한 실험실 간 비교에서 분석을 위해 샘플을 수집하는 위치 [28].

일본의 종합 방사능 모니터링 계획 개정

일본의 종합방사선감시계획(CRMP)은 2022년 3월부터 ALPS 처리수 배출을 다루기 위해 개정되었습니다. 전문가 그룹(일본 정부에서 지명)은 ALPS 처리수 배출 문제를 해결하기 위해 CRMP의 개선에 대한 지침을 제공했으며, 앞으로도 FDNPS 주변에서 진행되는 환경 모니터링의 세부 사항에 대한 조언을 제공하는 데 활용될 예정입니다. 전문가 그룹과 환경부(CRMP 내 해양 모니터링 코디네이터), NRA 및 데이터 제공자인 도쿄전력의 상호 작용에 대한 개요는 그림 3.22에 도식화되어 있습니다. 전문가 그룹은 환경 샘플링의 위치 및 빈도와 관련된 매개변수 설정을 고려하고 모니터링 데이터 검토에도 참여하게 됩니다. CRMP에 기여하는 기관과 전문가 그룹의 조정은 그림 3.22에 나와 있습니다.

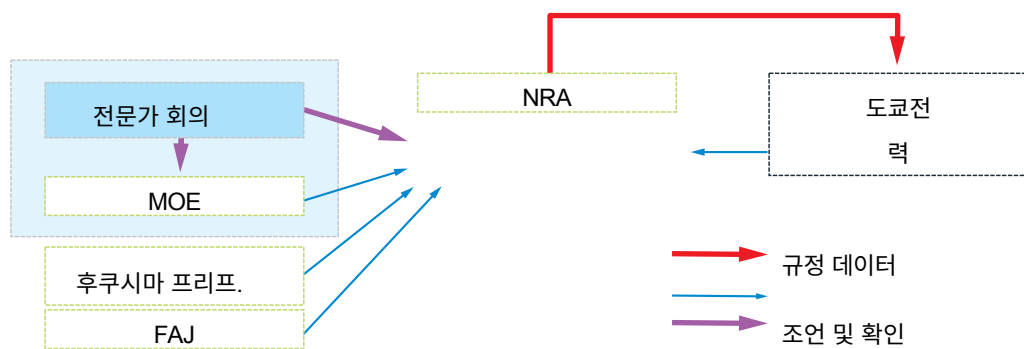


그림 3.22: 전문가 그룹과 환경부(CRMP 내 해양 모니터링 코디네이터), NRA 및 도쿄전력의 상호 작용

개정된 계획에는 해수 중 삼중수소 모니터링 빈도를 늘리고 해수에서 확인된 "7가지 주요 방사성 핵종"을 분기별로 모니터링하는 것이 포함됩니다. 어류의 유기 결합 삼중수소(OBT), 유리수 삼중수소(FWT) 및¹⁴C와 해조류의¹²⁹I에 대한 모니터링도 착수했습니다.

섹션 3.4에서 이미 언급했듯이, 섭취 선량에 가장 많이 기여하는 방사성 핵종(전체의 90% 이상)은¹²⁹ I,¹⁴ C,⁵⁵ Fe 및⁷⁹ Se입니다. ¹²⁵ I는 해조류(생물지표)에서,¹⁴ C는 어류에서,⁵⁵ Fe와⁷⁹ Se는 바닷물에서 1년에 한 번씩 측정됩니다.

[6 https://www.iaea.org/about/organizational-structure/department-of-nuclear-sciences-and-applications/division-of-iaea-marine-environment-laboratories/](https://www.iaea.org/about/organizational-structure/department-of-nuclear-sciences-and-applications/division-of-iaea-marine-environment-laboratories/) 해양 모니터링 신뢰 구축 및 데이터 품질 보증)

기준선 모니터링

기준선 모니터링이 시작되었으며, 이는 첫 번째 배출 전에 시설 주변 환경의 기존 배경 방사선 수준을 파악하고 기준선을 설정하기 위해 운영 전 분석(배출 시작 전)을 수행해야 한다는 GSG-9 권고사항에 따른 것입니다. 이는 또한 RS-G-1.8 [16]에서 제안한 보다 빈번하고 상세한 환경 측정의 필요성에 따른 것으로, 운영 초기 단계에 필요할 수 있습니다. 모니터링 프로그램은 주기적으로 검토하여 그 목적에 계속 적합한지 확인해야 합니다.

일본 인근 및 더 넓은 아시아 태평양 지역의 측정과 함께 기준선 모니터링은 해양과 해양 생물상 및 해산 물에서 방사성 핵종의 '배경' 수준을 설정하는 데 중요합니다. REIA에서 추정된 해양 환경의 활동 농도는 이 지역에서 이용 가능한 측정값에 비해 매우 낮습니다[24]. 도쿄전력이 수행한 모니터링 결과와 CRMP 내 모니터링 결과는 FDNPS에서 몇 킬로미터 떨어진 거리에서 '배경' 값과 통계적으로 구분할 수 없을 것으로 예상됩니다. 따라서 아시아 태평양 지역(또는 그 이상)에서 측정 가능한 삼중수소 또는 기타 방사성 핵종의 농도가 FDNPS에서 방류된 물 때문이라고 자동적으로 판단해서는 안 됩니다.

NRA의 독립적인 모니터링

또한 GSG-9는 독립적인 모니터링은 규제 기관이 수행하거나 규제 기관을 대신하여 운영 기관과 독립적인 다른 기관이 수행해야 한다고 규정하고 있습니다. NRA는 도쿄전력의 모니터링 결과를 평가하고 CRMP에 따라 도쿄전력과 독립적인 조직의 모니터링 결과와 비교하는 방법에 대한 세부 사항을 제공했습니다[7]. 도쿄전력의 모니터링 결과와 독립 모니터링(CRMP)의 결과 사이의 불일치를 식별하고 해결하기 위한 NRA의 도쿄전력에 대한 요구 사항도 설명되어 있습니다. 여기에는 NRA가 각 샘플링 위치에서 각 방사성 핵종에 대한 측정 결과의 시계열을 통계적으로 분석하는 것이 포함됩니다. 불일치가 있는 경우 인접한 샘플링 지점의 결과와 비교하여 평가합니다.

환경 모니터링에 대한 IAEA의 독립적인 검증에 대한 자세한 내용은 이 보고서의 파트 IV에서 확인할 수 있습니다.

모니터링 프로그램과 REIA의 연결

태스크 포스는 환경 모니터링 프로그램을 사용하여 배출이 REIA에서 계산된 환경 농도 및 선량에 미치는 영향을 검증하는 것의 중요성에 대해 도쿄전력 및 NRA와 논의했으며, 이는 국제 안전 표준에 설명된 환경 모니터링의 역할 중 하나입니다.

환경 모니터링 프로그램에 대한 검토를 REIA의 결과와 연결하는 것의 중요성도 매우 중요하며 이에 대한 논의도 이루어졌습니다. 이를 통해 환경 모니터링이 대중에 대한 선량에 기여하는 가장 중요한 방사성 핵종과 피폭 경로에 초점을 맞출 수 있습니다.

3.5.3 결론

IAEA는 도쿄전력과 NRA가 취한 활동과 접근 방식이 보고서의 이 섹션에 포함된 관련 국제 안전 표준에 부합한다는 결론을 내렸습니다. 자세한 조사 결과는 아래에 나와 있습니다:

- IAEA는 측정 및 확인 시설에서 샘플링 및 분석을 포함하는 명확하게 정의된 소스 모니터링 계획이 마련되어 있음을 인정합니다. 또한 희석 후 물 샘플링에 대한 계획도 명시되어 있습니다.
- 도쿄전력은 원전 용어의 특성을 파악하기 위해 상당한 노력을 기울여 왔으며, 이는 이미 충분히 보수적이기 때문에 IAEA는 원전 모니터링의 기초로 확인된 방사성 핵종 목록을 사용하는 것을 지지합니다.
- IAEA는 균질성을 달성하기 위한 도쿄전력의 방법론이 적절하며, 따라서 대표 샘플이 적절하다고 판단했습니다.
- 소스 및 환경 모니터링에 대한 품질 기준은 NRA에 의해 명확하게 정의되었으며 도쿄전력이 이를 충족하는 것으로 관찰되었습니다.
- 출처 모니터링을 위한 NRA의 독립적인 모니터링 조치는 국제 안전 표준의 요구 사항을 준수하는 것으로 확인되었습니다.
- 도쿄전력과 일본 정부는 ALPS 처리수 배출 문제를 해결하기 위해 환경 모니터링을 강화하기 위한 명확한 계획을 수립했습니다.
- REIA에서 추정된 해양 환경의 활동 농도는 해당 지역에서 측정된 값에 비해 매우 낮으며, FDNPS에서 몇 킬로미터 떨어진 거리에서는 '배경' 값과 구별할 수 없습니다.
- 일본 CRMP의 고유한 특성으로 인해 정부 기관(예: NRA)과 도쿄전력은 독립적으로 모니터링을 수행하지만 공통된 계획에 따라 수행합니다. 데이터의 일관성을 확인하고 불일치를 식별 및 조사하기 위한 조치가 마련되어 있습니다.

3.6. 이해관계자의 참여

3.6.1 배경

GSR 파트 3[8]에 따라 정부 또는 규제 기관은 결정의 영향을 받는 당사자 및 적절한 경우 대중 및 기타 이해 당사자에게 정보를 제공하고 이들과 협의해야 합니다.

IAEA 국제 안전 표준에서 이해관계자라는 용어는 조직의 활동과 성과에 이해관계가 있는 개인 또는 그룹을 의미하는 넓은 의미로 사용됩니다. 환경으로의 방사능 배출과 관련하여 '이해관계자'에는 일반적으로 일반 대중을 대표하는 개인 또는 조직, 산업계, 공중 보건, 원자력 및 환경을 담당하는 정부 기관 또는 부서, 과학 기관, 언론, 환경 단체, 지역 생산자 및 고려 중인 시설 또는 활동 근처에 거주하는 원주민과 같이 배출로 인해 큰 영향을 받을 수 있는 특정 습관을 가진 인구 집단이 포함됩니다.

GSR 파트 3 [8]에 명시되어 있습니다:

"3.124. 진료소 내 소스가 해당 소스가 위치한 국가, 정부 또는 규제 기관의 관할 또는 통제 하에 있는 영토 또는 기타 지역 외부에 대중에게 노출될 수 있는 경우: ...

(c) 해당 국가와 적절히 정보 교환 및 협의를 위한 수단을 마련한다."

GSG-9 [9]의 5.99항은 다음과 같이 명시합니다: "방사성 배출에 대한 규제 통제는 시설 내 방사성 폐기물 관리 및 대중 보호 수준의 최적화와 같은 운영 및 사회적 측면을 모두 고려하기 때문에 적절히 고려해야 하는 다양한 이해관계자가 있습니다. 배출 허가를 부여하는 과정에서는 규제 기관, 신청자 및 기타 이해 당사자 간의 정보 교환이 필요할 수 있습니다. 일부 이해 당사자는 다른 국가, 특히 인접 국가에 위치할 수 있습니다."

GSG-9 [9]의 5.101항은 이에 대해 더 자세히 설명합니다:

"경우에 따라서는 방류 허가가 확정되기 전에 이해 당사자와 정보를 교환해야 하는 특정 요구 사항이 있을 수 있습니다. 이를 위한 한 가지 방법은 운영 조직 및 규제 기관과의 연락을 위해 지역 대중의 우려를 반영하는 그룹을 설립하는 것입니다. 무엇보다도 장래 방사선 환경 영향 평가의 결과가 논의의 초점이 되어야 합니다."

배출 제어와 관련된 모든 정보 교환은 다른 의사 결정 과정의 일부가 될 수 있습니다. 이러한 정보 교환에는 방사선 노출과 관련된 위험에 대한 대중의 우려와 같은 사회적 측면에 대한 고려와 운영 중 배출로 인해 발생할 수 있는 대중에 대한 선량에 대한 고려가 포함되어야 합니다.

3.6.2 검토 및 평가

안전성 검토를 진행하는 동안 태스크포스는 일본 정부와 도쿄전력이 ALPS 처리수 방류를 위한 활동과 계획에 이해관계자를 어떻게 참여시켰는지 신중하게 고려했습니다. 일반적으로 태스크 포스는 일본 정부의 기본 정책 발표를 이 주제에 대한 고려의 출발점으로 삼았지만, 가능한 경우 유용한 배경 정보를 제공하는 데 도움이 될 수 있는 METI, 도쿄전력 또는 NRA에서 제공한 추가 과거 데이터를 높이 평가했습니다.

외무성은 외무성, 외교부, 도쿄전력이 이해관계자들과 소통하는 주요 수단에 대한 개요를 제공했습니다. 여기에는 도쿄 주재 외교 공관 대상 설명회(2011년 이후 100회 이상 개최), 주변 국가 및 지역을 포함한 다른 정부 또는 당국과의 다양한 형태의 커뮤니케이션을 통한 양자 간 교류, 현장 투어 실시, 기술 컨퍼런스 발표, 부지 해체 진행 상황을 자세히 설명하는 공개 보고서 및 환경 모니터링 결과 발표, 대중에게 진

행 상황을 알리기 위해 국제 정기 간행물에 정보 게재 등이 포함됩니다.

일본 정부는 수년 동안 ALPS 처리수 처리 문제에 대해 대중과 소통해 왔지만, 지난 2~3년 동안 이해 당사자들과 관련 업데이트 및 발전 상황을 공유할 기회가 많지 않았다고 언급했습니다. 또한 METI는 다음 대상에 대한 일부 홍보 활동을 언급했습니다.

이웃 국가에 대한 이해와 의견 교환을 촉진하기 위해 해당 국가의 모국어로 진행되었습니다.

METI는 지난 10년간의 집중적인 커뮤니케이션 노력 덕분에 대중은 안전 개념과 이것이 후쿠시마 제1원자력발전소 폐로와 어떻게 관련되는지에 대해 상당히 잘 알고 있다고 강조했습니다. 그러나 ALPS 처리수 처리와 관련된 위험 감소 및 해체 최적화와 같은 미묘한 개념은 여전히 일반 대중에게 널리 이해되지 않고 있습니다.

태스크 포스는 이해관계자의 참여는 관련 이해관계자가 제공한 부지별 습관 데이터를 통해 대표자의 특성에 대한 이해와 결과 추정 선량의 수용 가능성을 향상시킬 수 있으며 이해관계자의 참여는 최적화 프로세스에 중요한 입력으로 간주된다는 점에 주목했습니다. 또한 태스크 포스는 제안된 방류의 장기적인 특성으로 인해 독특하거나 다른 커뮤니케이션 요구가 있을 수 있으며 도쿄전력은 프로젝트 기간 동안 이해 당사자의 참여를 설명하는 계획을 정교화하는 것을 고려할 수 있다고 언급했습니다. 특히, 태스크 포스는 REIA의 가정과 대표자의 정의에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 지역의 변화(예: 토지 사용)와 인구 습관에 대한 인식을 유지하는 것이 중요하다는 점을 강조했습니다.

또한 태스크포스는 이해관계자의 참여와 이들의 의견이 승인 절차의 일부로 고려되도록 하는 데 있어 규제 기관의 중요한 역할을 강조했습니다. 검토가 진행되는 동안 NRA는 진행 상황과 이해 당사자의 참여가 어떻게 반영되었는지에 대한 주기적인 업데이트를 제공했습니다. 여기에는 주로 두 가지 접근 방식이 고려되었습니다: 1) 주요 규제 문서 및 주요 일정에 대한 공개 의견 수렴 기간, 2) 규제 기관이 지역, 국가 및 국제 환경의 이해 관계자를 위해 특별히 실시한 홍보 및 참여 활동.

NRA는 대중과의 소통과 이해관계자의 참여를 위해 취한 조치에 대한 개요를 제공했습니다. NRA는 ALPS 처리수 방류에 대해 대중에게 전하는 주요 메시지가 다음과 같다고 강조했습니다: *"ALPS 처리수 방류는 규제 요건을 충족하는 한 건강과 환경에 중대한 악영향을 미치지 않으며, FDNPS의 폐로를 진행해야 합니다."*

도쿄전력이 FDNPS에서 ALPS 처리수의 방류를 용이하게 하기 위해 이행 계획에 대한 수정안을 제출한 후, NRA와 도쿄전력은 도쿄전력의 계획을 논의하기 위해 정기적인 검토 회의에 참여하고 있습니다. 이러한 검토 회의는 직접 참석하거나 웹 스트리밍을 통해 대중에게 공개됩니다. 회의록을 포함한 모든 자료는 NRA 웹사이트에 게시되어 있으며 영어로도 제공됩니다. NRA는 검토 결과 초안을 공개하고 대중의 의견을 수렴한 후 해당 의견을 초안에 적절히 반영할 계획이라고 설명했습니다. 구체적으로 검토 결과 초안은 정부 홈페이지에 일본어로 게시되며, 영문 버전도 참고할 수 있도록 제공할 예정이다. 일반인의 의견 접수 기간은 일반적으로 1개월로 정해져 있습니다. 예를 들어, 수정된 이행 계획에 대한 첫 번째 검토의 경우, NRA는 검토 결과를 30일 동안 공개했으며 이 기간이 종료된 후 1,233건의 의견이 접수되었다고 보고했습니다. 태스크 포스는 NRA에 대한 두 번째 임무의 일환으로 공개 의견 처리 방식에 대한 추

가 정보를 요청했습니다. NRA는 먼저 당면한 주제(예: ALPS 처리수 방류)와의 기술적 관련성을 검토한 다음 주요 주제로 분류하고 중복된 의견/질문은 압축한다고 언급했습니다. NRA는 접수된 피드백을 충분히 고려한 후 2023년 5월 10일에 수정된 이행 계획에 대한 규제 승인을 발표했습니다.

NRA는 태스크 포스에 다음과 같은 구성 요소로 구성된 국가 차원의 커뮤니케이션 프레임워크를 강조했습니다:

- 후쿠시마 주변 현에서 지방 정부 회의 개최;

- 기본 정책 채택 후 정당 및 이해관계자 그룹에 대한 설명 제공;
- 국민 다이어트⁷ 세션에서 NRA의 검토 현황과 향후 일정에 대해 설명합니다;
- 대중에게 업데이트된 정보를 제공하기 위한 정기적인 기자 회견을 개최합니다;
- 검토 회의 자료와 회의록을 게시하는 NRA의 웹사이트.

국제적 차원에서 NRA는 다른 국가 및 단체와 회의를 개최하고 ALPS 처리수 방류와 관련된 최신 현황을 설명했습니다. NRA는 규제 기관 간 협력 프레임워크와 다른 국가가 제출한 질문에 대한 NRA의 답변 등을 통해 주변 국가에 적절한 정보를 제공하고 지속적으로 정보를 제공할 의사를 표시했습니다.

태스크포스는 NRA가 취한 노력에 대해 긍정적으로 평가했으며, NRA가 이해 당사자와의 소통에 있어 포괄적인 접근 방식을 따르고 있다는 점에 주목했습니다. 향후 참여에서 태스크 포스는 다음 사항의 중요성에 주목했습니다:

- 대중과 소통할 때 적절한 언어와 표현 수단을 사용합니다.
- ALPS 처리수 배출과 관련된 위험과 현장의 전반적인 폐로와 관련된 위험의 차이를 명확히 합니다.
- NRA가 취한 조치를 공개적이고 투명한 방식으로 제시하고 향후 이해관계자가 검토할 수 있도록 보장합니다.

3.6.3 결론

IAEA는 도쿄전력과 NRA가 취한 활동과 접근 방식이 보고서의 이 섹션에 포함된 관련 국제 안전 표준과 일치한다는 결론을 내렸습니다. 자세한 조사 결과는 아래에 나와 있습니다:

- 지역, 국가 및 국제 이해 당사자와의 참여 방식은 다를 수 있지만, 제안된 방류의 전체 기간 동안 이해 당사자의 의견을 반영해야 한다는 점은 지속 가능성을 위한 중요한 요소로 남을 것입니다.
- 일본 정부와 도쿄전력의 이해관계자 식별은 관련 홍보 및 커뮤니케이션 노력에 광범위한 이해관계자가 포함될 수 있도록 하는 방식으로 진행되었습니다.
- 일본 정부, 도쿄전력, NRA는 ALPS 처리수 방류 계획의 영향을 받는 당사자들에게 정보를 제공하고 협의를 진행했습니다. 여기에는 국제 및 국내 이해 당사자가 모두 포함됩니다.

- NRA가 관리하는 국내 규제 승인 프로세스에 이해 관계자의 참여가 명확하게 입증되었습니다.
- 도쿄전력과 METI는 투명성을 보장하기 위해 상당한 홍보 활동을 수행했습니다.

7 국회는 일본의 양원제 입법부이며 국가 권력의 최고 기관입니다.

3.7. 직업 방사선 보호

3.7.1 배경

직업적 노출의 통제, 모니터링, 평가 및 기록은 모든 작업장에서 근로자의 방사선 보호를 적절히 관리하기 위해 필수적입니다. GSR 파트 3 [8]은 규제 기관과 등록자 또는 라이선스 사용자에게 적용되는 요건을 설정합니다. 이러한 요건에는 근로자에 대한 선량 제한 설정, 라이선스 프로세스를 통해 계획된 피폭 상황에서 직업적 피폭 관리에 적용되는 선량 제약을 포함하여 근로자의 보호 및 안전 최적화가 포함됩니다.

직업 방사선 보호는 운영 측면에 중점을 두고 있으며, GSR 파트 3에서는 통제 구역 및 감독 구역 지정, 현지 규칙 및 작업장 모니터링에 대한 조직적, 절차적, 기술적 준비를 수립하고 유지하는 데 필요한 요건을 방사선 보호 프로그램에서 설정하고 GSG-7 [23]에서 제공하는 필수 지침과 함께 제시합니다.

GSG-7의 5.3항에는 다음과 같이 명시되어 있습니다:

"지역 오염은 배출, 방사성 폐기물 관리 및 해체와 같은 승인된 활동의 결과로 계획된 노출 상황에 대한 요건 측면에서 규제 통제를 받는 시설 및 활동으로 인해 발생할 수 있습니다. 이러한 오염으로 인한 노출 상황은 전체 관행의 일부로 통제되므로 기존 노출 상황이 아닌 계획된 노출 상황입니다."

계획된 노출 상황에서 직업적 노출과 관련된 규제 기관의 책임은 요건 19 및 GSR 파트 3의 3.69-3.73항에 명시되어 있습니다[8]. 규제 기관은 보호 및 안전이 최적화되도록 요구 사항을 수립하고 시행해야 하며, 해당 선량 한도를 준수하도록 강제해야 합니다. 또한 규제 기관은 GSR 파트 3 [8]의 요건 25에 따라 계획된 노출 상황에서 직업적 노출을 모니터링, 기록 및 제어하기 위한 요건을 수립 및 시행하고 등록자 및 허가자의 모니터링 프로그램을 검토할 책임이 있습니다.

GSR 파트 3 [8]의 요건 21에는 다음과 같이 명시되어 있습니다: *"고용주, 등록자 및 라이선스 사용자는 직업적 피폭으로부터 근로자를 보호할 책임이 있습니다. 고용주, 등록자 및 라이선스 사용자는 보호 및 안전이 최적화되고 직업적 노출에 대한 선량 한도가 초과되지 않도록 보장해야 합니다."*

계획된 노출 상황에서 고용주, 등록자 및 면허 소지자는 방사선 보호(관리) 조직, 방사선 선량 및 직업적으로 노출된 근로자의 의료 감시(방사선 작업 범주 및 감시), 방사선 노출 조건/경로에 따른 구역 및 구역

설정, 작업 허가, 교육, 절차 및 통제 준비를 포함하여 GSR 파트 3 [8]의 요구 사항 24에 따라 적절한 방사선 보호 프로그램을 수립하고 이행할 책임이 있습니다.

GSR 파트 3 [8]의 요구사항 22에는 다음과 같이 명시되어 있습니다: "*근로자는 보호와 안전을 위해 자신의 의무를 이행하고 의무를 수행해야 합니다.*" 이 요건은 근로자가 자신의 행동으로 자신과 직장 내 타인의 보호와 안전에 기여할 수 있음을 반영합니다. 전문 서비스를 제공하는 계약업체(ALPS의 경우 전체 운영이 계약업체에 의해 수행됨)의 경우, 고용주는 하청업체를 포함한 계약업체의 근로자에게 다음 사항을 보장하기 위한 법적 조치가 필요합니다.

작업장의 방사선학적 특성 및 시설 관리에 필요한 정보를 제공하여 계약업체가 유능한 인력과 함께 작업을 수행하도록 보장해야 합니다.

GSR 파트 3 [8] 및 GSG-7 [23]에 따라 선량 기록의 수집 및 유지를 위한 중심점으로서 국가 선량 레지스트리의 구축 및 유지에 특별한 주의를 기울여야 합니다. 국가 선량 레지스트리에 정보를 저장하는 것은 근로자가 근무하는 동안과 근무 후에도 직업적으로 피폭된 선량에 대한 정보를 검색할 수 있도록 설계되어야 합니다.

근로자 안전을 포함하여 규제 프레임워크 내에서 안전에 대한 책임이 있는 여러 당국의 조정은 GSR 파트 1(Rev.1)에 의해 요구되며, 시설 또는 활동에 대한 검토 및 평가에 등급별 접근법을 적용하는 과정에서 근로자 보호를 위한 조치가 고려됩니다[14, 8].

근로자의 방사선 보호는 근로자의 전반적인 건강과 안전을 보장하는 한 가지 요소일 뿐이며 산업 위생, 산업 안전 및 화재 안전과 같은 다른 건강 및 안전 분야의 책임자와 긴밀히 협력하여 수립 및 이행해야 합니다(GSG-7 [23] 3.50항).

3.7.2 IAEA 검토 및 평가

방사선 보호 프로그램에 따른 조치

원자력규제청(NRA)과 후생노동성은 각각 "원자로 규제법"(통제구역 설정, 통제구역의 대기 선량을 측정 및 기록, 방사선 작업자의 피폭 관리 조치 및 특별 교육에 관한 조항 포함)과 "산업안전보건법"(건강 검진 및 지정 기관에 대한 피폭 기록 전달에 관한 조항 포함)을 통해 직업적 노출에 관한 법적 요구 사항을 이행하는 주요 정부 당국입니다. NRA는 2022년 3월 임무 기간 동안 직업적 피폭에 대한 선량 한도를 설정하고 운영 안전 프로그램(직업적 피폭 모니터링 및 기록 준비 포함)을 승인하는 데 있어 그들의 역할을 설명했습니다. NRA는 후쿠시마 제1원자력 발전소(FDNPS)에서 작업자의 방사선 보호를 최적화하기 위해 작업자가 흡입하는 공기 중 방사성 물질에 대한 선량 제한과 농도 제한을 NRA가 정한 한도를 사용하여 수행한다고 설명했습니다.

도쿄전력(도쿄전력)은 첫 번째 미션에서 부지 전체를 관리구역으로 지정하고 '방사선 관리구역 측정 가이드'와 '관리구역 및 관리구역의 설정, 해제, 변경 관리 가이드'에 따라 개인 및 작업장의 직업적 노출을 모니터링할 수 있는 장치를 마련하고 있다고 설명했습니다.

방사선 보호 프로그램(RPP)

등록자와 라이선스 사용자는 보호 및 안전에 대한 책임이 있습니다. 이러한 책임에는 적절한 안전 평가를 수행하고 근로자를 노출로부터 보호하기 위한 보호 및 안전 시스템을 구축 및 유지하는 것이 포함됩니다.

우수한 설계, 고품질 시공 및 적절한 운영의 조합인 직업적 노출에 대한 RPP는 주로 적절한 것을 포함합니다 (GSG-7의 3.60항):

- a) 통제 구역 및 감독 구역 지정, 현지 규정 및 작업장 모니터링을 위한 조직적, 절차적, 기술적 조치의 유지;
- b) 직업적 노출의 평가 및 기록;
- c) 근로자의 건강 감시;
- d) 적절한 정보, 교육 및 훈련 제공.

참고 문헌: [8; 24]

직업 노출 평가 및 기록과 근로자 건강 감시

ALPS 처리수 방류 시설과 관련하여 직업적 피폭은 방류에 필요한 시스템의 건설, 운영 및 유지 보수와 관련이 있습니다. 도쿄전력은 2022년 11월 임무에서 FDNPS 관리 구역(부지 전체가 통제 구역으로 간주됨)에 출입하는 모든 작업자는 피폭 규모에 관계없이 품질 관리 시스템에 따라 운영되는 공인 기술 서비스 제공업체가 제공하는 개인 보호 장비(PPE)와 개인 수동/능동 선량계를 사용해야 한다고 설명했습니다. 또한 모든 작업자는 플라스틱 섬광 검출기가 장착된 전신 계측기를 사용하여¹³⁷ Cs로 인한 내부 피폭에 대해 생체 내 방사선 생물학적 분석을 통해 주기적으로 모니터링합니다. 비강 샘플링 및⁹⁰ Sr에 대한 모니터링은 FDNPS에서 수행되며, 내부 선량 평가에는 "모니터링에서 선량 계산까지"(MONDAL)라는 소프트웨어가 사용됩니다.

도쿄전력은 오염으로 인해 기록 수준 이상으로 노출된 것으로 확인된 근로자와 호흡기 보호 장비를 사용하는 근로자를 대상으로 실시하는 방사성 핵종 섭취로 인한 노출에 대한 개별 모니터링 프로그램에 대한 정보를 제공했습니다. 도쿄전력은 하청업체를 포함한 근로자의 직업 피폭 데이터는 도쿄전력에서 수집, 저장 및 유지 관리하며 중앙 데이터베이스에 제출한다고 설명했습니다. 또한 '건강 모니터링 매뉴얼'과 '장기 건강 관리 매뉴얼'에 따라 6개월마다 건강 검진과 필요한 기록 보관 조치로 구성된 근로자 건강 감시 프로그램이 FDNPS에서 수행됩니다.

도쿄전력은 선량 평가 및 최적화 요건이 근로자의 선량이 특정 수준을 초과할 가능성이 있으므로 일부 인력만 평가할 필요가 있는 경우에만 적용된다고 설명하는 정보를 제공했습니다. 도쿄전력은 선량 평가 목적과 변화하는 피폭 조건에 대한 경고 제공을 위해 적절한 경우 작업장 및 개인 모니터링 프로그램을 추가로 실시할 예정입니다. 도쿄전력은 시설에서 수행되는 모든 작업에 대해 책임 있는 조직(계약업체 포함)이 제출하고 도쿄전력이 검증하는 방사선 관리 계획이 마련되어 있다고 설명했습니다. 작업 계획에서 노출 제어를 논의하는 회의 (소위 'ALARA'회의)는 계획 단계에서 미리 구성됩니다.

또한 도쿄전력은 삼중수소로 인한 내부 선량은 낮다고 설명했습니다. 삼중수소는 물속에서 HTO로 측정된 다음 공기 중 농도를 추정합니다. 도쿄전력은 흡입으로 인한 피폭은 예상되지 않지만 모든 작업자가

적절한 개인 보호 장비를 착용하고 있다고 덧붙였습니다.

NRA는 2023년 1월 임무 기간 동안 FDNPS에 대한 NRA 조례 및 FDNPS에 대한 NRA 고시의 시행을 통해 모니터링 요건(예: 조사 수준 및 기록 수준 이행)과 관련한 규제 감독 근거에 대한 자세한 정보를 제공했습니다. 직업적 피폭 기록 보관과 관련하여 NRA는 방사선영향협회(방사선선량등록센터, RADREC)가 FDNPS에 대한 NRA 조례에 규정된 방사선 작업자(즉, 원자력 작업자, 방사성동위원소 작업자 및 제염 작업자)의 선량 기록 등록 기관이라고 설명했습니다.

직업적 노출 모니터링 및 기록

직업적으로 피폭된 근로자에 대한 개인(개별) 모니터링과 적절한 직업적 피폭 관리를 위해 근로자가 받은 방사선량을 기록하는 것은 모든 방사선 보호 프로그램의 중요한 측면입니다.

GSR 파트 3의 3.105항은 다음과 같이 명시하고 있습니다: "직업적 노출 기록에는 다음이 포함되어야 합니다:

- a) 근로자가 직업적 노출에 노출된 업무의 일반적인 특성에 대한 정보;
- b) 규제 기관에서 지정한 관련 기록 수준 이상의 선량 평가, 노출 및 섭취량과 선량 평가의 근거가 된 데이터에 대한 정보입니다;
- c) 근로자가 둘 이상의 고용주에게 고용되어 노출되었거나 노출된 적이 있는 경우, 각 고용주와의 고용 날짜 및 각 고용에서의 노출량, 노출 및 섭취량에 대한 정보를 제공합니다;
- d) 비상사 또는 사고 또는 기타 사건으로 인해 취해진 조치로 인한 선량, 노출 및 섭취량 평가 기록은 정상적인 작업 조건으로 인한 선량, 노출 및 섭취량 평가와 구별되어야 하며, 관련 조사 보고서에 대한 참조가 포함되어야 합니다."

GSG-7은 선량 기록의 수집 및 유지를 위한 중심점으로서 국가 선량 레지스트리의 형태로 직업 방사선 노출 정보의 수집, 분석 및 보급에 대한 지침을 제공합니다.

직업적 노출 최적화

NRA는 FDNPS에서 작업자의 방사선 보호 최적화는 흡입되는 공기 중 방사성 물질에 대한 선량 제한과 농도 제한을 사용하여 수행된다고 설명했습니다. 일부 태스크포스 위원들은 직업적 피폭 최적화를 구현하는 단일 방법은 없다고 강조하고 NRA가 따르는 접근 방식은 잘 문서화되어 있다고 덧붙였습니다.

도쿄전력은 장기간의 운영 경험에 더해 작업자의 방사선 보호를 위한 보호 최적화 구현과 선량 제약의 활용을 통해 이점을 누리고 있습니다. 도쿄전력은 목표치, 일일 선량 후속 조치, 작업장 특성(ALPS 처리수 배출 시설 포함)과 관련된 작업 허가 등의 안전 조치를 효과적으로 활용하고 있습니다.

보호 및 안전 최적화

직업적 노출의 경우, 장비 및 설비 수명의 모든 단계에서 정상적인 작업으로 인한 노출과 잠재적 노출 모두와 관련하여 보호 및 안전의 최적화를 고려해야 합니다. 최적화의 결과는 프로세스, 절차 및 판단에 따라 달라지며 주어진 선량 또는 노출 값이 아니라 점에서 최적화는 결과의 의무가 아니라 수단의 의무입니다. 최적화의 결과는 프로세스, 절차 및 판단에 따라 달라지며 주어진 노출량 값으로 표현되지 않습니다.

GSR 파트 3 [8]의 1.23항에는 다음과 같이 명시되어 있습니다: "... 직업적 노출의 경우 선량 제한은 시설 또는 활동을 담당하는 사람 또는 조직이 보호 및 안전을 최적화하기 위해 설정하고 사용하는 도구입니다. 노출이 발생한 후 선량 제한은 다음과 같은 벤치마크로 사용할 수 있습니다.

구현된 보호 및 안전에 대한 최적화된 전략의 적합성을 평가합니다.

필요에 따라 조정합니다. 용량 제한 설정은 다른 건강 및 안전 조항 및 사용 가능한 기술과 함께 고려해야 합니다."

3.7.3 결론

IAEA는 NRA와 도쿄전력이 취한 활동과 접근 방식이 보고서의 이 섹션에 포함된 관련 국제 안전 표준에 부합한다는 결론을 내렸습니다. 자세한 조사 결과는 아래에 나와 있습니다:

- 직업 방사선 방호를 위한 일본의 관련 규제 제도는 관련 국제 안전 표준과 일치합니다. IAEA는 직업적 피폭 관리, 모니터링, 평가 및 기록을 시행하는 NRA의 접근 방식이 충분하다는 것을 확인합니다.
- 도쿄전력은 신뢰할 수 있고 지속 가능한 방사선 보호 프로그램을 운영하고 있습니다. IAEA는 도쿄전력이 ALPS 처리수 배출 시설 운영과 관련된 직업적 피폭 관리 조치 및 모니터링 체계의 선진적 설계 및 이행에 대한 자체 규제의 명확한 증거를 확인했습니다.
- 계약자 또는 직원 여부에 관계없이 ALPS 처리수의 계획된 방류와 관련된 활동에 관여하는 근로자를 포함하여 FDNPS에서 근무하는 직업적으로 노출된 근로자는 동일한 직업 방사선 보호 체제를 적용받습니다.

파트 4

모니터링, 분석 및 확인

4.1. 검증 활동 개요

FDNPS의 ALPS 처리수 취급에 대한 IAEA의 안전성 검토에는 보호 및 안전성 평가, 규제 활동 및 프로세스 검토, 독립적인 샘플링, 데이터 검증 및 분석 활동의 세 가지 구성 요소가 포함됩니다. 세 번째 구성 요소는 도쿄전력과 일본 당국이 제공하는 데이터의 정확성에 대한 신뢰를 제공하기 위해 전반적인 안전성 검토에 포함됩니다. 또한 이러한 검증 활동은 도쿄전력과 일본 정부가 관련 국제 안전 표준을 준수하고 있다는 또 다른 보증을 제공합니다. IAEA의 검증은 전수 검증이 아니라 ALPS 처리수 방류 프로세스의 분석 결과를 생산하고 발표하는 일본 내 실험실에서 제공한 주요 데이터를 검증함으로써 이해 당사자들이 모든 가용 데이터의 정확성을 유추할 수 있도록 하기 위한 것입니다. IAEA의 검증 활동은 원자력 시설 및 활동의 안전에 대한 전반적인 책임을 지고 있는 일본 정부의 책임인 광범위한 모니터링 및 검증 체제를 보완할 것입니다. IAEA의 참여는 ALPS 처리수 방류와 관련하여 일본 당국이 보고하는 데이터의 정확성과 유효성을 입증하고 전반적인 IAEA 안전 검토에 대한 신뢰를 구축하는 데 중요한 요소입니다.

현재 IAEA의 독립적인 샘플링, 데이터 검증 및 분석 활동에는 세 가지 주요 구성 요소가 있습니다:

- FDNPS의 ALPS 처리수에 대한 샘플링, 분석 및 실험실 간 비교.
- FDNPS 주변 환경의 환경 샘플(예: 해수, 어류)에 대한 샘플링, 분석 및 실험실 간 비교.
- FDNPS에서 작업자의 내부 및 외부 방사선 노출 모니터링과 관련된 선량 측정 서비스 제공업체

의 역량 평가.

소스 및 환경 모니터링 확인

FDNPS의 ALPS 처리수 배출과 관련된 배출원 및 환경 모니터링에 대한 IAEA 확증은 세 가지 요소로 구성됩니다(그림 4.1 참조):

- 도쿄전력 및 관련 일본 당국이 사용하는 FDNPS의 ALPS 처리수 관련 수원 및 환경 모니터링을 위한 샘플링 및 분석 방법 검토⁸.
- ALPS 처리수 샘플의 포괄적인 방사선학적 특성 분석을 포함하여 도쿄전력이 수행한 소스 모니터링에 대한 확증.
- 도쿄전력 및 관련 일본 당국이 수행한 환경 모니터링에 대한 확인.

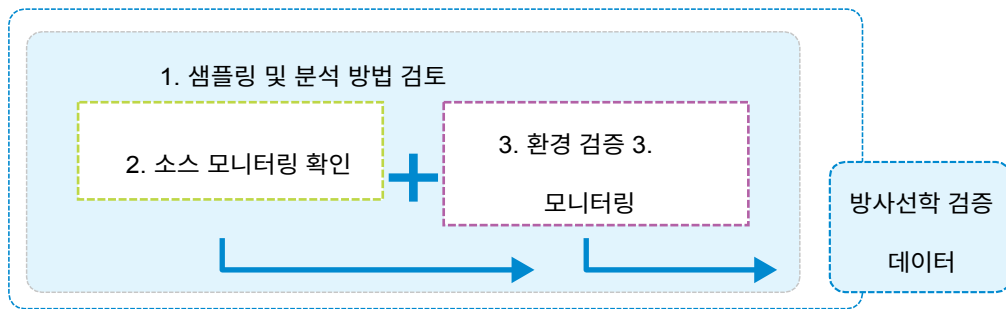


그림 4.1: IAEA 실험실에서 수행 중인 확증 요소와 이러한 요소 간의 연결에 대한 개략적인 개요.

출처 및 환경 모니터링의 확증은 실험실 간 비교(ILC)를 기반으로 합니다. 숙련도 시험(PT)과 함께 ILC는 실험실이 다른 참여 실험실의 측정 결과와 비교하여 측정 결과의 품질을 평가하고 잠재적인 개선 사항을 파악하기 위한 표준 방법입니다. PT는 사전 설정된 기준에 따라 성능을 평가하는 반면, ILC는 미리 정해진 조건에 따라 두 개 이상의 실험실에서 동일하거나 유사한 항목에 대한 측정을 조직, 수행 및 평가하는 것입니다.

오염원 모니터링의 확증을 위해 도쿄전력은 분석을 통해 최종 확인될 때까지 희석 및 방류할 준비가 된 것으로 간주되는 ALPS 처리수 샘플을 FDNPS의 탱크에서 채취하고 있습니다. 환경 모니터링의 확증을 위해 FDNPS 주변의 일본 동해안 지역에서 해수, 퇴적물 및 해양 생물상 샘플을 수집하고 있습니다. 도쿄전력 및 관련 일본 당국이 수행하는 샘플 수집 및 전처리 활동은 IAEA가 촉진하고 관찰할 것입니다. 모든 샘플의 균질성이 보장될 것입니다. 이러한 샘플은 분할되어 다양한 관련 방사성 핵종의 활성 농도 분석을 위해 ILC에 참여하는 실험실에 하위 샘플이 제공됩니다.

직업 방사선 보호의 입증

개별 모니터링 프로그램은 외부 방사선원으로 인한 노출과 방사성 핵종 섭취로 인한 노출로 인해 발생하는 근로자의 방사선량을 평가하기 위해 고안되었습니다. 직업 방사선 보호 역량에 대한 IAEA의 확증은 세 가지 요소로 구성됩니다(그림 4.2 참조):

8 도쿄전력은 FDNPS의 소스 모니터링에 대한 전적인 책임이 있습니다. FDNPS의 원전 사고와 관련된 모든 환경 모니터링은 종합 방사능 모니터링 계획(CRMP)에 따라 수행됩니다. 도쿄전력 및 기타 관련 일본 당국은 CRMP에 따라 책임을 집니다. 실제로 샘플링 및 분석은 종종 계약된 실험실에서 수행됩니다. 이 보고서에서는 도쿄전력과 CRMP에 정의된 기타 관련 일본 당국이 책임이 있는 모니터링 결과를 보고할 책임이 있다고 가정합니다. 그러나 ILC의 참여자는 분석을 수행하기 위해 계약을 맺은 실험실일 수 있습니다.

1. 외부 노출을 모니터링하고 평가하기 위한 관련 일본 개인 모니터링 서비스(IMS) 기능에 대한 확인;
2. 내부 노출을 모니터링하고 평가하기 위한 관련 일본 IMS 기능에 대한 검증
3. 관련 일본 IMS에서 사용하는 외부 및 내부 선량 측정의 분석 방법을 검토합니다.

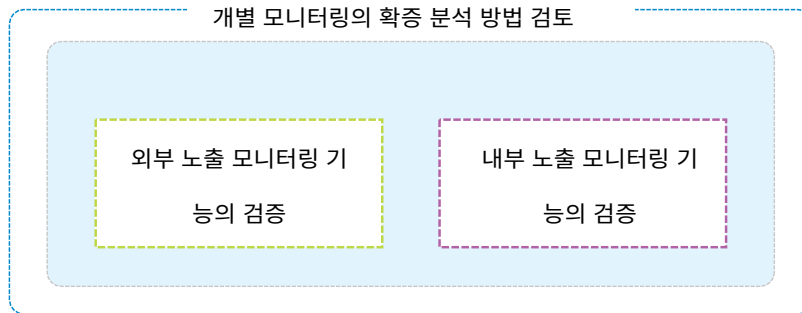


그림 4.2. 개별 모니터링의 검증에 대한 개략적인 개요.

첫째, IAEA는 외부 방사선원으로부터 작업자의 직업적 피폭을 평가하기 위해 도쿄전력이 사용하는 IMS의 역량을 검증할 것입니다. 실험실 간 비교(ILC)가 이러한 검증을 수행하는 주요 수단이 될 것이며, 이 비교는 ALPS 처리된 물을 취급하는 작업자의 직업적 피폭을 평가하기 위한 도쿄전력의 모니터링 프로그램에 초점을 맞출 것입니다. 수동형 검출기가 통합된 개인 선량 측정 시스템은 IAEA 방사선 안전 기술 서비스 연구소(RSTSL)와 관련 일본 IMS에서 제공하고 평가할 것입니다. 선량계 조사는 전신 및 사지 선량계에 대해 각각 1차 또는 2차 표준 선량 측정 실험실에서 두 단계로 수행됩니다. IAEA는 또한 관련 일본 IMS에서 사용하는 외부 선량계측과 관련된 분석 방법에 대한 검토를 수행합니다. 이 검토 결과는 위에서 언급한 ILC의 일부로 생성된 데이터의 유효성을 보장하는 데 기여할 것입니다.

둘째, IAEA는 방사성 핵종 섭취로 인한 작업자의 직업적 피폭을 평가하기 위해 도쿄전력이 사용하는 IMS의 역량을 검증할 것입니다. 체외 및 생체 내 방사성 생물 분석에 대한 이러한 검증을 수행하는 주요 수단이 될 ILC는 소변 기준 샘플과 인체를 모방한 팬텀에서 방사성 핵종 활동을 검출하는 도쿄전력의 역량에 초점을 맞출 것입니다. 첫 번째 단계에서는 공인 실험실에서 소변 기준 샘플을 준비하여 IAEA RSTSL 및 관련 일본 IMS에서 비교 분석할 수 있도록 배포합니다. 두 번째 단계에서는 폴리에틸렌 층 사이에 삽입된 면제 적층 평면 방사성 핵종 소스를 포함하는 고체 누출 방지 슬라이스 병 마네킹 흡수(BOMAB) 팬텀을 후쿠시마 제1원전과 IAEA 본부에서 라운드 로빈 테스트를 통해 측정할 것입니다. IAEA는 또한 관련 일본 IMS에서 사용하는 내부 선량 측정과 관련된 분석 방법에 대한 검토를 수행합니다. 이 검토 결과는 위에서 언급한 ILC의 일부로 생성된 데이터의 유효성을 보장하는 데 기여할 것입니다.

참여 연구소

IAEA는 이러한 검증 활동의 일환으로 여러 자체 실험실과 제3자 실험실을 참여시킬 것입니다. 관련 IAEA 실험실 목록은 아래에 나와 있습니다:

- 모나코의 IAEA 해양 환경 연구소, 라디오메트릭 연구소(RML).

모나코의 방사선측정연구소(RML)는 해양 방사능 측정, 모니터링 및 평가와 해양 오염, 기후 변화 및 해양학 연구를 위한 방사성 추적기 적용에 대한 전문성을 키우고 있습니다. RML은 전문 방사화학을 운영합니다.

해양 및 대기 시료의 저농도 방사성 핵종 분석과 환경 법의학 응용을 위한 실험실과 지하 계수 시설을 갖추고 있습니다. 이 연구소는 오픈 액세스 해양 방사능 데이터 포털(MARIS [24])을 유지 관리하며 회원국이 해양 환경에 영향을 미칠 수 있는 핵 및 방사능 사고 또는 비상사태에 대비할 수 있도록 지원합니다. RML은 공인된 품질 시스템에 따른 기준 물질 생산과 PT 및 ILC를 통해 해수, 퇴적물 및 해양 생물상 내 방사성 핵종 분석을 위한 회원국의 데이터 품질을 지원함으로써 모니터링 및 연구 결과의 신뢰성에 기여하고 있습니다.

- 오스트리아 자이버스도르프에 위치한 IAEA 지구환경방사화학연구소(TERC).

오스트리아 자이버스도르프에 위치한 지상환경방사화학(TERC) 연구소는 환경 방사능, 안정 동위원소 및 미량 원소 분석 분야에서 활동하는 각 실험실을 지원함으로써 회원국이 수행한 분석 작업의 품질을 보장하도록 돕고 있습니다. TERC는 교정 및 품질 관리에 적합한 인증 기준 물질을 제공하고, 분석 품질 점검을 용이하게 하기 위해 PT를 조직하고, 철저한 테스트를 거쳐 공개된 분석 방법을 제공하고, 실험실 설정 및 운영에 대한 교육을 통해 회원국 실험실에 기술 지원을 제공합니다.

- 오스트리아 비엔나, IAEA 동위원소 수문학 연구소(IHL).

비엔나에 있는 동위원소 수문학 연구소(IHL)는 회원국들이 자체 분석 시설을 개발하고 실험실에서 수행되는 동위원소 측정의 품질을 보장할 수 있도록 분석 서비스, 교육 및 전문가 기술 자문을 제공합니다. IHL은 물과 수문 시료에서 안정 동위원소와 방사성 동위원소 및 희귀 기체를 수집하고 측정할 수 있는 최첨단 분석 장비를 보유하고 있으며, 강수량 동위원소 글로벌 네트워크(GNIP)와 하천 동위원소 글로벌 네트워크(GNIR)를 포함한 IAEA 수자원 프로그램의 글로벌 수문학 모니터링 네트워크에 분석 지원을 제공합니다. IHL에서 생산된 동위원소 데이터는 GNIP 및 GNIR 데이터베이스에 포함되며, 회원국은 인터넷을 통해 무료로 이용할 수 있습니다.

- 오스트리아 비엔나, IAEA 방사선 안전 기술 서비스 연구소(RSTSL).

방사선 안전 기술 서비스 연구소(RSTSL)는 외부 및 내부 방사선원으로 인한 직업적 피폭에 대한 근로자(예: IAEA 직원)의 개별 모니터링을 포함한 방사선 보호 서비스를 제공합니다. 2006년부터 ISO/IEC 17025[21] 인증을 획득하여 유효한 결과를 제공하는 실험실의 기술적 역량과 공정성을 입증했습니다.

참여 IAEA 실험실의 협조 하에, 요구되는 방법에 대한 입증 가능한 역량을 갖춘 환경 방사능 측정을 위한 분석 실험실 네트워크(ALMERA)의 회원인 선별된 제3자 실험실도 ILC의 참여자로

서 샘플 분석을 수행합니다. ALMERA는 전 세계 190개 회원 실험실로 구성된 네트워크로, RML과 TERC가 공동으로 조정합니다. 이 네트워크는 공기, 물, 토양, 퇴적물, 식생에서 방사성 핵종을 측정하는 역량을 유지하고 개발하기 위한 플랫폼을 제공하며, IAEA 회원국의 일상 및 환경 비상 모니터링에 모두 사용할 수 있습니다.

4.2. 소스 모니터링 확인에 대한 업

데이트

IAEA의 ALPS 안전성 검토에 따른 첫 번째 ILC를 위해 2022년 3월 FDNPS의 K4-B 탱크 그룹에서 ALPS 처리수 샘플을 채취했습니다. K4-B 탱크 그룹에 포함된 물은 도쿄전력이 원자력규제청으로부터 모든 규제 승인을 받은 후에야 방류될 첫 번째 ALPS 처리수 배치가 될 것으로 예상됩니다. 이번 ILC의 분석 노력의 초점은 도쿄전력이 실시한 방사선 환경 영향 평가에 포함된 원천 용어의 방사성 핵종에 맞춰져 있었습니다. 참여 연구소는 소스 기간 이외의 추가 방사성 핵종에 대해서도 분석하도록 권장되었습니다.

분석은 도쿄전력과 다음 세 곳의 참여 IAEA 원자력 과학 및 응용 연구소에서 수행했습니다:

- 모나코의 IAEA 해양 환경 연구소, 라디오메트릭스 연구소(RML);
- 오스트리아 자이버스도르프에 위치한 지상 환경 방사화학 연구소(TEEC);
- 오스트리아 비엔나, 동위원소 수문학 연구소(IHL).

또한, 참여 IAEA 실험실의 조정 하에, 필요한 방법에 대한 입증 가능한 역량을 갖춘 환경 방사능 측정 분석 실험실 네트워크(ALMERA)의 회원인 선별된 제3자 실험실도 ILC의 참여자로서 시료 분석을 수행했습니다.

이번 ILC에 참여한 연구소는 다음과 같습니다:

- 스위스 슈피츠 연구소(LS - Labor Spiez)
- 프랑스 방사선 보호 및 핵 안전 연구소(IRSN), 프랑스
- 로스 알라모스 국립 연구소(LANL), 미국
- 한국원자력안전기술원(KINS), 대한민국

각 실험실에서 수행된 분석 결과는 IAEA에 보고되었습니다. 상호 비교할 수 있는 결과(즉, 최소 2개 이상의 실험실에서 검출 한계 이상의 활성 농도가 보고된 방사성 핵종의 경우)에 대해서는 일치도를 평가하기 위한 통계적 평가가 IAEA에 의해 수행되었습니다. 통계적 평가에 사용된 방법은 현재 국제도량형국(BIPM)의 전리방사선 자문위원회 섹션 II에서 사용하는 기법을 기반으로 합니다. 방사성 핵종의 측정, CCRI(II)에 따라 국제 모범 사례를 준수했습니다.

다른 방사성 핵종의 경우, 참여 연구소가 보고한 검출 한계를 비교하여 도쿄전력이 사용한 분석 방법이 대체로 동등한지, 따라서 목적에 적합하고 적합한지 평가했습니다.

2023년 5월 31일, IAEA는 이 ILC의 결과를 포함한 상세 보고서를 발표했습니다[1]. 결과는 이 보고서의 표와 도표에 나와 있습니다. 각 방사성 핵종에 대한 해양 배출에 대한 관련 규제 한도를 적절히 참조했습니다. 이 ILC의 주요 결과는 다음과 같습니다:

- 도쿄전력은 높은 수준의 측정 정확도와 기술 역량을 입증했습니다.
- 도쿄전력의 샘플 수집 절차는 대표 샘플을 확보하는 데 필요한 적절한 방법론적 표준을 따릅니다.
- 도쿄전력이 다양한 방사성 핵종에 대해 선택한 분석 방법은 적절했으며 다음과 같습니다.

목적에 맞게.

- IAEA나 참여 타사 연구소 모두 상당한 수준의 추가 방사성 핵종(즉, 소스 기간에 포함된 방사성 핵종 이외의 방사성 핵종)을 검출하지 못했습니다.

보고서에서 IAEA는 이러한 발견이 ALPS 처리수 방류와 관련된 정확하고 정밀한 측정을 수행할 수 있는 도쿄전력의 역량에 대한 확신을 제공한다고 언급했습니다. 또한 IAEA의 관찰 결과에 따르면 도쿄전력은 ALPS 처리수 방류 시 FDNPS의 지속적인 기술적 요구를 지원할 수 있는 지속 가능하고 견고한 분석 시스템을 갖추고 있음을 입증했습니다.

2022년 10월, 국제원자력기구는 ALPS 처리수 샘플 두 배치를 추가로 수집하는 것을 목격했습니다. 이 샘플은 두 번째 및 세 번째 ILC에서 소스 모니터링의 확증을 지원하기 위해 사용되고 있습니다.

샘플은 G4S-B10 및 G4S-C8 탱크에서 채취했습니다. 수원지 모니터링의 확증을 위해 첫 번째 ILC에서 수집한 샘플과 달리, 이 탱크는 ALPS 처리수를 저장하기 위한 표준 탱크이며 서로 연결되거나 순환 및 교반되지 않습니다. 각 사례에서 샘플 간 균질성을 보장하기 위해 ALPS 처리수를 먼저 300L 플라스틱 탱크로 옮긴 다음 두 번째 300L 플라스틱 탱크로 옮기고 마지막으로 첫 번째 300L 플라스틱 탱크로 다시 옮겼습니다. 그런 다음 샘플 용기(3L)에 샘플을 채우고 각 참여 실험실로 배송할 준비를 했습니다. 두 번째와 세 번째 ILC의 샘플 부피는 이전 샘플에 대해 이미 완료된 견고성 테스트를 수행하지 않기 때문에 더 작았습니다.

이번 ILC에는 도쿄전력과 IAEA 연구소뿐만 아니라 한국원자력안전기술원(KINS)의 알메라 연구소도 참여합니다. IAEA의 샘플은 2022년 11월에 TERC에서 수령했습니다. KINS도 2022년 11월에 시료를 수령했습니다. 시료 분석 결과를 포함한 보고서는 2023년 후반에 발간될 예정입니다.

4.3. 환경 모니터링 검증에 대한 업

데이트

2022년 11월, IAEA는 일본에서 환경 샘플(예: 해수, 해양 퇴적물, 어류, 해조류)을 채취하는 샘플링 임무에 참여하여 ALPS 처리수 배출과 관련된 환경 모니터링을 입증하기 위한 첫 번째 ILC를 수행했습니다. 이 샘플은 지난 9년 동안 NA3/38(해양 모니터링: 신뢰 구축 및 데이터 품질 보증) 프로젝트 내에서 조직된 ILC에 대해 IAEA가 활용했던 기존 샘플링 관행을 반영하는 방법에 따라 일본 전문가와 공동으로 수

집했습니다.

참여 실험실은 소스 모니터링의 확증을 위해 첫 번째 ILC에 사용 된 것과 유사한 프로토콜에 따라 결과를 제출하도록 지시 받았습니다. 제출된 모든 데이터에 대한 평가가 끝나면 2023년 하반기에 ILC 결과가 IAEA에 의해 공개될 예정입니다. 향후 환경 샘플 모니터링 결과는 이 기준선과 비교하여 향후 ALPS 처리수 방류로 인한 측정 가능한 영향을 평가할 것입니다.

4.4. 직업 방사선 방호 확인에 대한 업데이트

직업 방사선 방호를 위한 첫 번째 ILC의 결과는 2023년 후반에 공개될 예정입니다. 이 첫 번째 ILC는 전신 피폭에 대한 외부 선량 측정에 중점을 두는 반면, 향후 직업 방사선 방호를 위한 ILC는 사지 피폭에 대한 외부 선량 측정과 방사성 핵종 섭취에 대한 내부 모니터링에 중점을 둘 것입니다. 직업 방사선 방호를 위한 ILC는 IAEA의 방사선 안전 기술 서비스 연구소와 도쿄전력이 FDNPS 근로자를 위해 사용하는 개별 모니터링 서비스 간에 수행됩니다.

2023년 상반기에 IAEA는 외부 선량 측정에 대한 확증 작업을 시작했습니다. IAEA는 외부 선량 측정의 확증을 지원하기 위해 2차 표준 선량 측정 연구소와 계약을 체결하여 기존 조건에서 선량계를 조사하도록 했습니다. 그런 다음 조사된 선량계는 분석을 위해 관련 일본 IMS 및 IAEA의 RSTSL로 반환됩니다.

2023년 하반기에 관련 일본 IMS 및 RSTSL이 분석을 완료한 후 IAEA는 결과를 수집하고 분석할 것입니다. IAEA는 모든 참여 연구소의 결과를 수집하고 모든 연구소가 필요한 모든 문서와 함께 완전한 평가 패키지를 제출했는지 확인하기 위해 심사를 실시합니다. IAEA는 결과를 요약한 보고서 초안을 작성하여 2023년 말에 발표할 예정입니다.

또한 2023년 하반기에는 체외 및 생체 내 내부 모니터링을 위한 확증 단계를 시작할 예정입니다. IAEA는 인증된 참조 물질로 스파이크된 소변 샘플의 공급업체를 식별하고 체외용 소변 샘플과 생체 내 바이오 분석용 참조 팬텀을 ILC의 일부로 도쿄전력에 배송할 것입니다. 또한 RSTSL은 2024년까지 스파이크된 소변 샘플과 팬텀에 대한 분석을 수행할 예정입니다.

파트 5

향후 활동

앞서 언급한 바와 같이, 이 종합 보고서는 IAEA 태스크포스가 약 2년간 수행한 작업을 종합한 것으로, 이 프로세스의 전반적인 안전성을 이해하는 데 중요한 광범위한 주제에 대한 설명과 통찰력을 담고 있습니다. 이 종합 보고서의 목적은 향후 수십 년 동안 태평양에 ALPS 처리수를 방류하는 계획이 관련 국제 안전 표준에 부합하는지 평가하기 위한 기술 검토의 최종 결론과 결과를 제시하는 것입니다. 그러나 방류가 시작되면 태스크 포스가 검토하고 평가한 많은 기술적 주제를 여러 차례 재검토하여 ALPS 처리수 방류 운영 중 활동이 관련 국제 안전 표준과 일치하는지 평가해야 할 것입니다.

지금까지 IAEA의 검토는 ALPS 처리수 방류 계획의 운영 전 단계(즉, 방류 시작 전)에 적용되는 국제 안전 표준의 요건과의 일관성을 보장하는 데 중점을 두었습니다. 그러나 앞으로 몇 달 안에 태스크 포스는 운영 중에만 평가할 수 있는 운영자 또는 규제 기관에 대한 요구 사항으로 초점을 전환할 것입니다. 또한, 태스크 포스는 운영 시작 전에 평가되는 이러한 기술 주제 중 상당수는 관련 국제 안전 표준과의 지속적인 일관성을 보장하기 위해 향후 주기적으로 검토되어야 한다고 언급했습니다.

향후 활동과 관련하여, 이 보고서 발간 이후에도 IAEA는 아래에 강조된 세 가지 요소를 종합적으로 고려하여 안전성 검토를 계속 진행할 것입니다.

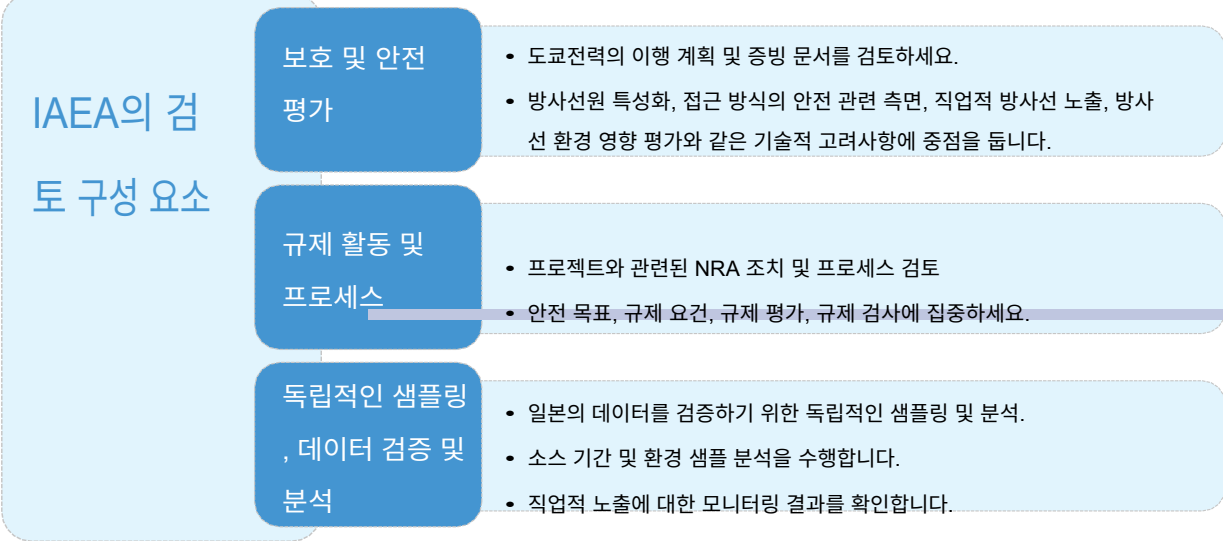


그림 5.1 IAEA 검토의 구성 요소

또한, IAEA는 FDNPS에 IAEA 현장 사무소를 설치하여 입지를 구축했습니다. IAEA 전문가들은 ALPS 처리수 방류 계획 전후 몇 주 동안 현장에 지속적으로 상주할 것입니다. 이 기간 외에는 주요 활동을 위해 현장에 상주하며 필요에 따라 모니터링을 실시할 것입니다.

5.1. 미션 검토

처음 두 가지 요소, 즉 보호 및 안전 평가와 규제 활동 및 프로세스에 대해 IAEA는 IAEA 사무국의 기술 전문가와 독립 외부 전문가로 구성된 태스크포스 모델을 사용하여 일본에 대한 정기 검토 임무를 수행하는 유사한 모델을 활용할 것입니다. 그러나 과거와 달리 향후 검토 임무는 기술 및 규제 주제 간의 밀접한 연관성을 고려하여 결합될 것입니다. 이러한 향후 검토 임무는 이 보고서의 파트 3에 강조된 주요 기술적 고려사항에 따라 진행됩니다. 아래는 ALPS 처리수 방류가 시작된 후 적절한 시기에 태스크포스에서 검토할 주제들의 예시 목록입니다.

규제 제어 및 승인

- 향후 승인 검토 과정에서 보호 및 안전의 최적화를 장려하기 위한 NRA의 접근 방식입니다.
- 도쿄전력의 지속적인 보호 및 안전 최적화에 대응하여 방류 제한을 검토하고 잠재적으로 수정하는 NRA의 접근 방식.
- 수신되는 환경 모니터링 데이터와 기타 운영 경험을 바탕으로 '비정상적인 값'을 식별하고 행동 제한을 구체화하는 NRA의 접근 방식입니다.

배출 제어를 위한 시스템 및 프로세스의 안전 관련 측면

- ALPS 배출 프로세스를 구성하는 다양한 장비 및 구조물에 대한 유지 관리 계획을 구현합니다.
- 안전성을 재평가하고 잠재적으로 프로세스의 모든 엔지니어링 측면을 변경해야 하는 운영 또는 환경적 변화.
- 비정상적인 발생 및 도쿄전력이 취한 후속 조치와 국내 규제 요건에 따른 NRA와의 상호 작용을 식별 및 검토합니다.

소스 특성화

- 도쿄전력과 NRA는 1) FDNPS의 해체 과정이 계속되고 방사성 핵종 함량과 오염수의 기타 특성이 변화할 가능성이 있으며, 2) FDNPS에서 운영 중인 ALPS 기술이 발전할 가능성이 있기 때문에 원전 기간을 재검토하고 있습니다.
- 도쿄전력은 ALPS 관련 모니터링 데이터베이스의 규모(소스 및 환경 모두)가 커짐에 따라 소스 특성 변경을 고려하고 있습니다. 이는 다음을 보장하는 데 도움이 될 것입니다.

소스의 특성 분석과 환경 모니터링 프로그램 사이에는 밀접한 연관성이 있습니다.

방사선 환경 영향 평가

- 도쿄전력과 NRA가 REIA에 대한 정기적인 검토를 수행했는지 확인합니다.
- 출처 기간, 시간 경과에 따른 인구의 습관, 환경 모니터링 결과 등 정보가 변경되어 REIA 결과를 수정할 필요가 있는 경우 REIA를 업데이트하는 도쿄전력의 접근 방식을 검토합니다.
- 태스크 포스는 향후 ALPS 처리수 배출 승인을 주기적으로 검토하기 위해 NRA가 마련한 절차의 이행을 검토할 것입니다(3.1항 참조).

소스 및 환경 모니터링

- 향후 도쿄전력이 발표하는 배출원 및 환경 모니터링 결과와 CRMP 산하 독립 기관에서 발표하는 결과를 사용하여 배출 허가 및 대중 피폭 관리 요건을 준수하는지 확인하고 입증하는 방법.
- 환경 모니터링 결과를 사용하여 일반인 피폭 및 방사선 환경 영향 평가를 위한 가정을 검증하는 방법
- 일본 정부, NRA 및 도쿄전력이 모니터링 프로그램의 잠재적인 비정상적인 결과에 대응하기 위해 활용하는 프로세스를 관찰합니다.

이해관계자의 참여

- ALPS 처리수 배출과 관련된 추가 규제 단계에 이해관계자의 참여.
- 배출 제한 또는 배출 설계와 같은 배출의 주요 측면에 대한 향후 변경 가능성에 대한 이해 당사자의 참여.
- 이해 당사자의 참여와 관련하여 ALPS 처리수 취급에 관한 기본 정책의 지속적인 이행을 위한 실행 계획을 주기적으로 업데이트합니다.
- 최신 습관 데이터가 향후 REIA 및 모니터링 프로그램 검토의 일부로 고려될 수 있도록 시간이 지남에 따라 이해관계자가 참여하는 방식.

- ALPS 처리수 방류가 발생하는 모든 기간 동안 필요에 따라 주변국 정부와 정보를 교환하고 소통합니다.

직업 방사선 보호

- 도쿄전력은 방사능 상황의 변화(직업적 환경 포함)를 고려하면서 주기적으로 ALPS 처리수 배출 시설의 재평가 시기를 검토합니다.

해당 지역 및 향후 정상 가동 시 도쿄전력 직원 및 하청업체를 포함한 계약업체의 외부 및 내부 노출에 대한 노출 데이터).

5.2. IAEA의 독립적인 샘플링, 데이터 검증 및 분석

방사선원 모니터링 검증, 환경 모니터링 검증, 직업 방사선 방호 검증과 관련된 활동은 위의 4부 및 이전 보고서에서 설명한 대로 계속될 것입니다.

소스 및 환경 모니터링 확인

FDNPS의 ALPS 처리수 배출과 관련된 원천 및 환경 모니터링에 대한 IAEA 확증은 세 가지 요소로 구성됩니다:

- 도쿄전력 및 일본 관련 당국에서 사용하는 FDNPS의 ALPS 처리수 관련 수원 및 환경 모니터링을 위한 샘플링 및 분석 방법 검토.
- ALPS 처리수 샘플의 포괄적인 방사선학적 특성 분석을 포함하여 도쿄전력이 수행한 소스 모니터링에 대한 확증.
- 도쿄전력 및 관련 일본 당국이 수행한 환경 모니터링에 대한 확인.

2023년 5월, 국제원자력기구는 ALPS 처리수 샘플에서 방사성 핵종을 측정하기 위해 수행한 첫 번째 실험실 간 비교 결과를 자세히 설명하는 보고서[1]를 발표했습니다. 이러한 결과는 ALPS 처리수 방류와 관련된 정확하고 정밀한 측정을 수행할 수 있는 도쿄전력의 역량에 대한 신뢰를 제공합니다. 또한 IAEA의 관찰을 바탕으로 도쿄전력은 ALPS 처리수를 방류하는 동안 FDNPS의 지속적인 기술적 요구를 지원할 수 있는 지속 가능하고 견고한 분석 시스템을 갖추고 있음을 입증했습니다.

수원지 및 환경 모니터링의 확증을 위한 추가 샘플링은 운영 고려 사항에 따라 연중 내내 다양한 주기로 이루어질 것입니다. 향후 ILC는 2024년에 원전 모니터링 확증을 위해 계획되어 있으며, 환경 모니터링 확증은 ALPS 처리수 방류가 시작된 후 2023년 후반에 계획되어 있습니다. ILC에는 제3자 실험실이 참

여하며, IAEA는 현재 향후 ILC에 포함할 제3자 실험실을 추가로 고려하고 있습니다.

직업 방사선 보호의 입증

개별 모니터링 프로그램은 외부 방사선원으로 인한 노출과 방사성 핵종 섭취로 인한 노출로 인해 발생하는 근로자의 방사선량을 평가하기 위해 고안되었습니다. 직업 방사선 보호 역량에 대한 IAEA의 확증은 세 가지 요소로 구성됩니다:

1. 외부 노출을 모니터링하고 평가하기 위한 관련 일본 개인 모니터링 서비스(IMS) 기능에 대한 확인;
2. 내부 노출을 모니터링하고 평가하기 위한 관련 일본 IMS 기능에 대한 검증
3. 관련 일본 IMS에서 사용하는 외부 및 내부 선량 측정의 분석 방법을 검토합니다.

2023년 상반기에 IAEA는 외부 선량 측정에 대한 확증 작업을 시작했습니다. IAEA는 외부 선량 측정의 확증을 지원하기 위해 2차 표준 선량 측정 연구소와 계약을 체결하여 기존 조건에서 선량계를 조사하도록 했습니다. 그런 다음 조사된 선량계는 분석을 위해 관련 일본 IMS 및 IAEA의 RSTSL로 반환됩니다. 2023년 하반기에 관련 일본 IMS와 RSTSL이 분석을 완료하면 IAEA가 결과를 수집하고 분석할 것입니다. IAEA는 모든 참여 연구소의 결과를 수집하고 모든 연구소가 필요한 모든 문서와 함께 완전한 평가 패키지를 제출했는지 확인하기 위해 심사를 수행합니다. IAEA는 결과를 요약한 보고서 초안을 작성하여 2023년 말에 발표할 예정입니다.

또한 2023년 하반기에는 체외 및 생체 내 내부 모니터링을 위한 확증 단계를 시작할 예정입니다. IAEA는 인증된 참조 물질로 스파이크된 소변 샘플의 공급업체를 식별하고 체외용 소변 샘플과 생체 내 바이오 분석용 참조 팬텀을 ILC의 일부로 도쿄전력에 배송할 것입니다. 또한 RSTSL은 2024년까지 스파이크된 소변 샘플과 팬텀에 대한 분석을 수행할 예정입니다.

5.3. 실시간 모니터링

또한 IAEA는 도쿄전력이 제공한 데이터를 실시간 또는 거의 실시간으로 표시하여 일반 대중을 위해 ALPS 배출 시설의 상태를 공유하기로 결정했습니다. 이 실시간 모니터링 접근 방식에 포함된 많은 데이터 포인트는 주요 운영 매개변수 또는 현재 운영 중인 제어 장치이므로 IAEA에 ALPS 배출 시설의 지속적인 신뢰성에 대한 통찰력을 제공하며, 이는 2023년 이후에 발생할 것으로 예상되는 다른 태스크포스 활동을 통해 얻은 통찰력 및 관찰과 결합될 것입니다.

도쿄전력의 데이터는 독자가 다양한 데이터 포인트를 이해하는 데 도움이 되는 간단한 설명과 함께 IAEA 웹사이트에 그래픽으로 표시됩니다. IAEA가 표시할 계획인 데이터의 예는 다음과 같습니다:

- ALPS 처리수 유량
- 희석을 위한 해수 유량
- 선별 조치로 여러 장소에 설치된 온라인 방사선 모니터

- 희석 후 삼중수소 농도

또한, IAEA는 향후 이 웹사이트에 방사선원 및 환경 모니터링에 대한 독립적인 검증 결과와 직업 방사선 방호를 위한 일본의 관련 개별 모니터링 서비스 역량에 대한 검증 결과를 게시하여 이해 관계자들의 관련 데이터 가용성을 향상시킬 것입니다.

5.4. FDNPS에 지속적으로 상주하는 IAEA

IAEA는 ALPS 처리수 방류 전, 방류 중, 방류 후에 관여하겠다는 약속에 따라 2023년 여름부터 FDNPS에 지속적으로 상주할 계획입니다. IAEA는 FDNPS에 전담 사무실을 두고 있습니다.

이러한 상황에서 고려해야 할 주요 측면은 다음과 같습니다:

- 도쿄전력의 실행 계획과 관련된 안전 측면을 준수합니다.
- 물 샘플링 활동과 샘플을 IAEA 검증 및 제3자 실험실로 보내는 과정을 직접 목격할 수 있습니다.
- 방류 시작에 앞서 도쿄전력이 취한 준비 활동을 관찰하세요.
- NRA와 주기적으로 만나 규제 검사, ALPS 처리수 배출과 관련된 활동 및 그 결과를 관찰합니다.
- 알프스 물 배출과 관련된 주요 기술 장비 및 구조물을 정기적으로 방문하세요.
- 이행 중 이상, 편차 또는 변경 사항이 발생하면 도쿄 전력과 연락하고 FDNPS와 IAEA 본부 간 조율합니다.
- 필요에 따라 FDNPS에서 향후 태스크포스 회의를 조정합니다.

참고 자료

1. 국제원자력기구, 국제원자력기구, 도쿄전력 후쿠시마 제1원자력 발전소 ALPS 처리수 취급의 안전 관련 측면에 대한 IAEA 검토, ALPS 처리수 내 방사성 핵종 결정에 대한 최초의 실험실 간 비교, IAEA, Vienna, 2023. [first_inter-laboratory_comparison_on_the_determination_of_radionuclides_in_alps_treated_water.pdf \(iaea.org\)](https://www.iaea.org/sites/default/files/2023-04/first_inter-laboratory_comparison_on_the_determination_of_radionuclides_in_alps_treated_water.pdf)
2. 페로, 오염수 및 처리수 대책팀 사무국. 페로, 오염수 및 처리수 개요, 2023. https://www.tepco.co.jp/en/hd/decommission/information/committee/pdf/2023/로드맵_20230427_01-e.pdf
3. ALPS 처리수 취급에 관한 소위원회. 소위원회 보고서, 2020년 2월 10일. https://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20200210_alps.pdf
4. 국제원자력기구. IAEA, 후쿠시마 제1원자력 발전소 ALPS 처리수 관리에 관한 진전사항에 대한 후속 검토 및 후쿠시마 제1원자력 발전소 ALPS 처리수 처리에 관한 소위원회 보고서: 검토 보고서 2020년 4월. <https://www.iaea.org/sites/default/files/20/04/review-report-020420.pdf>
5. 국제원자력기구. 후쿠시마 제1원전 ALPS 처리수 방출 - 고급 액체 처리 시스템(ALPS) | IAEA 2023년 6월 26일 액세스.
6. 국제원자력기구, 국제원자력기구의 **보건 및 안전 조치**, INFCIRC/18, IAEA, 비엔나(1960);
7. 일본 정부. 2023년 4월 종합 방사능 모니터링 계획 https://radioactivity.nra.go.jp/ko/contents/17000/16273/24/274_20230412.pdf.
8. 유럽연합 집행위원회, 유엔식량농업기구, 국제원자력기구, 국제노동기구, OECD 원자력기구, 범미국보건기구, 유엔환경계획, 세계보건기구.
NIZATION, 방사선 보호 및 방사선원의 안전: 국제 기본 안전 기준, IAEA 안전 표준 시리즈 번호 GSR 파트 3, IAEA, 비엔나 (2014).
9. 국제 원자력 기구, 유엔 환경 프로-GRAMME, 환경에 대한 방사능 배출 규제 관리, IAEA 안전 기준 시리즈 번호 GSG-9, IAEA, 비엔나(2018).
10. 국제 원자력 기구, 유엔 환경 프로-GRAMME, 공공 및 환경의 방사선 보호, IAEA 안전 표준 시리즈 번호 GSG-8, IAEA, 비엔나 (2018).
11. 국제 원자력 기구, 유엔 환경 프로-GRAMME, 시설 및 활동에 대한 전향적 방사선 환경 영향 평가, IAEA 안전 표준 시리즈 번호 GSG-10, IAEA, 비엔나(2018).
12. 국제 방사선 방호 위원회, 환경 프로-참조 동물 및 식물의 개념과 사용. ICRP 간행물 108. Ann. ICRP 38 (4-6) (2008).
13. 국제 방사선 보호 위원회, 환경 보호

다양한 노출 상황에서의 론먼트. ICRP 간행물 124. Ann. ICRP 43(1) (2014).

14. 국제원자력기구, 안전을 위한 정부, 법률 및 규제 프레임워크, IAEA 안전 표준 번호 GSR 파트 1(개정판 1), IAEA, 비엔나(2016).
15. TEPCO. 후쿠시마 제1원자력발전소 특정 원자력 시설 실시 계획 2023년 2월 20일, 후쿠시마 제1원자력발전소 특정 원자력 시설 실시 계획 변경 승인 신청 서류

16. 국제원자력기구, 방사선 보호 목적에 대한 환경 및 방사선원 모니터링, IAEA 안전 표준 시리즈 번호 RS-G-1.8, IAEA, 비엔나(2005).
17. 방사성 핵종 섭취로 인한 일반인의 연령에 따른 피폭선량에 관한 국제위원회 - 1부. ICRP 간행물 56. Ann. ICRP 20 (2) (1990).
18. 국제 방사선 방호 위원회, 방사선 가중치
참조 동물 및 식물. ICRP 간행물 148. Ann. ICRP 50(2) (2021).
19. TEPCO. 참고 자료 - FDNPS 측정/검증 수조(K4 탱크 그룹) 순환/교반 실증 시험 결과, 2022년 7월 11일 후쿠시마 제1원자력 발전소 측정/검증 수조(K4 탱크 그룹) 순환/교반 실증 시험 결과(tepco.co.jp)
20. 표준화를 위한 국제 기구입니다. 품질 관리 시스템
- 요구 사항, ISO 9001:2015, 제네바, 2015.
21. 국제표준화기구. 테스트 및 교정 실험실의 역량에 대한 일반 요구 사항, ISO/IEC 17025:2017, 제네바, 2018.
22. 국제 표준화 기구. 실험실 간 비교를 통한 숙련도 테스트에 사용하기 위한 통계적 방법, ISO 13528:2022, 제네바, 2022.
23. 국제 원자력 에너지 기구, 국제 노동 사무소, 오클랜드-
컬레이션 방사선 보호, IAEA 안전 표준 시리즈 번호 GSG-7, IAEA, 비엔나(2018).
24. 국제 원자력기구. 해양 방사능 정보 시스템(MARIS). IAEA, 비엔나, <https://maris.iaea.org/home>
25. 국제원자력기구, 방사성 물질의 환경 배출 영향 평가에 사용하기 위한 일반 모델, IAEA 안전 보고서 시리즈 19호, IAEA, 비엔나(2001).
26. 국제원자력기구, 실험실 간 비교 2017-2020: 해수, 퇴적물 및 어류의 방사성 핵종 제거, 원자력 응용 분야의 IAEA 분석 품질 시리즈 67호, IAEA, 비엔나 (2022)
27. 국제원자력기구, 2014-2016년 실험실 간 비교: 해수, 퇴적물 및 어류의 방사성 핵종 제거, 원자력 응용 분야의 IAEA 분석 품질 시리즈 제59호, IAEA, 비엔나 (2019)
28. 국제원자력기구, 국제원자력기구, 도쿄전력 후쿠시마 제1원자력 발전소 ALPS 처리수 취급의 안전성 관련 측면에 대한 IAEA 검토, 보고서 3: IAEA의 독립적 샘플링, 데이터 확인 및 분석 현황, IAEA, 비엔나, 2022.
29. 국제원자력기구, 해양 환경의 생물상에 대한 퇴적물 분포 계수 및 농축 계수, IAEA 기술 보고서 시리즈 422호, IAEA, 비엔나, 2004.

기여자 목록

- 카루소, G.국제원자력기구
프리먼, E.국제원자력기구
니콜라키, M.국제원자력기구
Clark, A. 국제 원자력 기구
브라운, J. 국제 원자력기구
텔리아, D. 국제 원자력 기구
Okyar, B.국제원자력기구
크루즈 수아레스, R.국제원자력기구
하젝, M.국제원자력기구
멜헴, S.국제원자력기구
Proehl, G. 국제원자력기구기관 아브라함-폰티,
C. 국제원자력기구 바르토치, J.국제원
자력기구
블리노바, O.국제원자력기구
카민, F.국제원자력기구
쿡, M.국제원자력기구
Copia, L.국제원자력기구
데네케, M. 국제원자력기구기관 데크루아-코만
두치, F. 국제원자력기구 디오제기, A.국제원
자력기구
후지크, M.국제원자력기구
Groening, M.국제원자력기구
호르스키, M.국제원자력기구
김에스비, 국제 원자력 기구
레비, I. 국제 원자력 기구
마츠모토, T.국제원자력기구
맥기니티, P.국제원자력기구
Miller, J. 국제 원자력 기구
머피, 국제 원자력 기구
나달루트, B.국제원자력기구

오스바스, I.국제원자력기구

패터슨, S.국제원자력기구

Pham, M. K.

국제 원자력 기구

폼메, S.

유럽위원회 공동 연구 센터, 벨기에
겔

로반, L.국제원자력기구

Seel, P.J.

국제 원자력 기구

세슬락, B.

국제원자력기구소비에트-마투라, K.

국제원자력기구 투카코비치, I.국제

원자력기구

울라노프스키, A.

국제 원자력 기구

독립적인 외부 전문가

곤잘레스, A.	아르헨티나*
팅커, R.	호주*
그레고아, M-C.	캐나다*
Liu, S.	중국*
라쇼메, J-L.	프랑스*
김,	대한민국, 대한민국*
가우비스, C.	마셜 제도*
신카레프, S.	러시아 연방*
네틀턴, J.영국**	
보이드, M.미국**	
응웬 Q. H.	베트남*

*모든 독립 전문가는 개인 자격으로 활동합니다.

부속서 1

IAEA 검토 임무 및 발간된 기술 보고서 요약

IAEA는 2021년 안전 검토가 시작된 이후 일본에 5차례의 검토 임무를 수행했습니다. IAEA 태스크포스 멤버들이 이러한 임무에 참여했으며 각 임무는 특정 일본 당국 또는 도쿄전력과의 상호 작용에 중점을 두었습니다. 처음 네 차례의 검토 임무가 각각 끝난 후 IAEA는 명시된 바와 같이 태스크 포스와 일본 당국 또는 도쿄전력 간의 논의를 반영하고 태스크 포스의 관찰 및 발견 사항을 문서화한 기술 보고서를 발표했습니다.

- 2022년 2월 13~19일: 도쿄전력 및 경제산업성 검토단 파견
o2022년 4월 29일 : 보고서 1 발간.
- 2022년 3월 21~25일: NRA 검토단 파견
o2022년 6월 16일 : 보고서 2 발간.
- 2022년 11월 14~18일: 도쿄전력 및 METI 검토단 파견 o2023년 4월 5일: 보고서 4 발행.
- 2023년 1월 16~20일: 2023년 5월 4일: 미국 총기협회(NRA)에 대한 검토 미션: 보고서 5 발행
- 2023년 5월 29일 - 6월 12일: 종합 검토 미션
o종합적인 검토 임무 이후 보고서가 발행되지 않았습니다.

또한, IAEA는 독립적인 샘플링, 데이터 코로보레이션 및 분석 현황에 대한 보고서와 ALPS 처리수 내 방사성 핵종 측정에 대한 최초의 실험실 간 비교 보고서를 발표했습니다.

- 2022년 12월 29일: IAEA의 독립 샘플링, 데이터 검증 및 분석 현황에 관한 보고서 3이 발행되었습니다.
- 2023년 5월 31일: ALPS 처리수 내 방사성 핵종 측정에 대한 첫 번째 실험실 간 비교 보고서가 발표되었습니다.

이 보고서의 사본은 IAEA의 ALPS 안전성 검토 전용 웹페이지에서 다운로드할 수 있습니다:

<https://www.iaea.org/topics/response/fukushima-daiichi-nuclear-accident/fukushima-daiichi-alps-treat-ed-water-discharge/reports>

부속서 2

IAEA 안전성 검토에 사용된 관련 국제 안전 표준 요약

1. [SF-1] 유럽 원자력 공동체, 유엔 식량 농업 기구, 국제 원자력 기구, 국제 노동 기구, 국제 해양 기구, OECD 원자력 기구, 범미국 보건 기구, 유엔 환경 프로그램, 세계 보건 기구
ZATION, 기본 안전 원칙, IAEA 안전 표준 시리즈 번호 SF-1, IAEA, 비엔나 (2006).
2. [GSG-9] 국제원자력기구, 유엔환경계획(UNEP)
멘토 프로그램, 환경에 대한 방사능 배출 규제 관리, IAEA 안전 표준 시리즈 번호 GSG-9, IAEA, 비엔나(2018).
3. [GSG-10] 국제원자력기구, 유엔환경계획(UNEP)
멘토 프로그램, 시설 및 활동에 대한 전향적 방사선 환경 영향 평가, IAEA 안전 표준 시리즈 번호 GSG-10, IAEA, 비엔나 (2018).
4. [GSR 파트 1] 국제원자력기구, 안전을 위한 정부, 법률 및 규제 프레임워크, IAEA 안전 기준 번호 GSR 파트 1(개정판 1), IAEA, 비엔나(2016).
5. [GSR 2편] 국제원자력기구
6. [GSR 파트 3] 유럽위원회, 유엔 식량농업기구, 국제원자력기구, 국제노동기구, OECD 원자력기구, 범미주보건기구, 유엔환경계획, 유엔환경계획,
세계보건기구, 방사선 보호 및 방사선원의 안전: 국제 기본 안전 기준, IAEA 안전 기준 시리즈 번호 GSR 파트 3, IAEA, Vi-enna (2014).
7. [RS-G-1.8] 국제원자력기구, 방사선 방호 목적의 환경 및 선원 모니터링, IAEA 안전 표준 시리즈 번호 RS-G-1.8, IAEA, 비엔나 2005
8. [GSG-7] 국제 원자력 기구, 국제 노동 기구
FICE, 직업 방사선 보호, IAEA 안전 표준 시리즈 번호 GSG-7, IAEA, Vi-enna (2018).
9. 국제원자력기구, 방사성 물질의 환경 배출 영향 평가에 사용하기 위한 일반 모델, IAEA 안전 보고서 시리즈 19호, IAEA, 비엔나(2001).
10. [GSG-8] 국제 원자력 기구, 유엔 환경 기구
멘토 프로그램, 공공 및 환경의 방사선 보호, IAEA 안전 표준 시리즈 번호 GSG-8, IAEA, 비엔나 (2018).
11. [IAEA 안전 용어집] 국제원자력기구, IAEA 원자력
안전 및 보안 용어집, 2022 중간판, IAEA, 비엔나, (2022).

부속서 3

도쿄전력의 이행 계획 및 NRA 규제 검토 마일스톤에 대한 업데이트 및 수정 사항 목록

1. REIA를 포함한 도쿄전력의 이행 계획에 대한 업데이트 및 수정 사항 목록

- 11월 2021
 - o https://www.tepco.co.jp/en/hd/newsroom/press/archives/2021/20211117_01.html
- 2021년 12월
 - o https://www.tepco.co.jp/en/hd/newsroom/press/archives/2021/20211221_02.html
- 2022년 4월
 - o https://www.tepco.co.jp/en/hd/newsroom/press/archives/2022/20220428_03.html
- 2022년 5월
 - o https://www.tepco.co.jp/en/hd/newsroom/press/archives/2022/20220513_01.html
- 2022년 7월
 - o https://www.tepco.co.jp/en/hd/newsroom/press/archives/2022/20220715_01.html
- 2022년 11월
 - o https://www.tepco.co.jp/en/hd/newsroom/press/archives/2022/20221114_01.html
- 2023년 2월
 - o (14위) https://www.tepco.co.jp/en/hd/newsroom/press/archives/2023/20230214_01.html
 - o (20일) https://www.tepco.co.jp/en/hd/newsroom/press/archives/2023/20230220_01.html
- 2023년 4월
 - o https://www.tepco.co.jp/en/hd/newsroom/press/archives/2023/20230424_02.html

2. NRA 규제 검토 마일스톤

- 2021년 12월 24일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2021년 12월 11일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2021년 12월 20일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2021년 12월 27일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2022년 1월 1일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의

- 2022년 1월 7일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2022년 1월 15일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2022년 1월 25일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2022년 2월 1일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2022년 2월 10일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2022년 2월 18일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2022년 3월 11일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2022년 4월 15일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의

- 2022년 5월 19일 - 6월 17일
 - o NRA는 첫 번째 규제 검토 결과에 대한 공개 의견 수렴 기간을 설정합니다.
- 2022년 7월 22일
 - o NRA 위원회에서 승인한 첫 번째 규제 검토 결과
- 2022년 11월 21일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2022년 12월 7일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2022년 12월 21일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2022년 12월 27일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2023년 2월 17일
 - o NRA와 도쿄전력 간의 공개 검토 회의
- 2023년 2월 23일 - 3월 24일
 - o NRA, 2차 규제 검토 결과에 대한 공개 의견 수렴 기간 설정
- 2023년 5월 10일
 - o NRA 위원회에서 승인한 두 번째 규제 검토 결과

부속서 4

FDNPS에 적용되는 #일본 법률 및 규제 조항

1. 원자력 원천 물질, 핵연료 물질 원자로의 규제에 관한 법률 "원자로 규제법"

이 문서는 i) 핵연료 물질, ii) 핵연료 물질에 의해 오염된 물질, iii) 원자로, iv) 특정 핵연료 물질로부터의 사고 재발을 방지하기 위한 원자력시설의 인허가 요건과 v) 필요한 경우 특정 핵연료의 운영 안전 또는 물리적 보호를 위해 특별한 조치가 필요한 시설을 지정하기 위한 요건을 규정하고 있습니다.

다음 주제가 명시적으로 포함되어 있습니다:

- 특정 핵연료의 운영 안전 또는 물리적 보호 조치를 포함한 원자력 시설에 대한 이행 계획서 작성 요건.
- 시설이 더 이상 원자력 시설로 분류되지 않는 경우 이행 계획서 제출 의무가 만료됩니다.
- i) 핵 시설로 분류된 경우 또는 ii) 핵 시설로 분류가 취소된 경우 공식적으로 발표해야 합니다.
- 원자력 시설의 허가권자는 운영 허가를 받기 위해 이행 계획을 작성해야 합니다.
- 승인된 이행 계획을 변경하려면 규제 기관의 승인이 필요합니다.
- 규제 기관이 필요하다고 판단하는 경우, 규제 기관은 이행 계획의 수정을 요청할 수 있습니다.
- 원자력 시설의 허가권자는 이행 계획에 따라 핵연료 물질의 운영 안전 및 물리적 보호를 위한 조치를 이행해야 합니다.
- 원자력 시설의 허가권자는 규제 기관이 실시하는 검사를 통해 이행 계획의 준수 여부를 확인해야 합니다.

2. 도쿄전력 후쿠시마 제1원자력발전소 원자로에 관한 핵원자력 원료물질 핵연료 및 원자로의 규제에 관한 법률의 특별조항에 관한 각의 명령

이 문서에는 후쿠시마 제1원자력발전소 폐로 작업에도 '핵원료물질 핵연료 및 원자로의 규제에 관한 법률'의 특정 조항을 적용하는 내용이 정리되어 있습니다.

3. 도쿄전력 후쿠시마 제1원자력 발전소 경수로의 특정 핵연료 물질의 운영 안전 및 보호를 위한 NRA 조례

2013년 4월 12일 원자력 규제 당국 조례 2호

이 문서는 운영 안전 및 연료 물질의 안전한 취급에 관한 측면을 다룹니다. 42개 조항으로 구성되어 있으며, 6-8, 11, 21, 23, 30, 32, 34-41 조항은 내용이 없습니다.

제16조는 ALPS 처리수 배출에 관한 가장 중요한 조항입니다. 여기에는 방류 전 방사성 핵종 농도를 낮추기 위한 가능한 조치(예: 여과, 증발, 이온 교환 수지에 의한 흡착, 저장, 다량의 물로 희석)가 포함되어 있습니다. 방사성 핵종 농도는 원자력 규제 당국이 지정한 농도 제한을 준수해야 합니다.

5. 도쿄전력 후쿠시마 제1원자력 발전소 원자로의 특정 핵연료 물질에 대한 운영 안전 및 물리적 보호 요건 설정에 관한 고시

2013년 4월 12일 원자력규제위원회 고시 제3호

이 문서는 운영 안전 및 연료 물질의 안전한 취급에 대한 요구 사항을 다룹니다. 13개 조항으로 구성되어 있으며, 11조와 12조는 내용이 없습니다.

이 문서는 다음에 대한 규제 기준을 제공합니다:

- 표면 밀도 제한
- 방사선 작업자를 위한 선량 제한
- 비상 작업 중 방사선 작업자에 대한 선량 제한
- 작업장 내 공기 중 방사성 핵종 농도 제한
- 대기 및 수역으로 배출되는 방사성 핵종에 대한 농도 제한.
- 근로자를 위한 선량 계산에 대한 일반 지침
- 용기에 캡슐화가 필요하지 않은 방사능 농도 한계치

제1조 선량 증가율 기록, 등 제2조 원자력

시설의 지정

제3조전자기적 방법에 의한 보관의 경우 준수해야 할 기준

제4조 표면 밀도 제한

제5조방사선 작업자에 대한 선량 제한

제6조방사선 작업자에 대한 농도 제한

제7조 비상 작업과 관련된 방사선 작업자의한도 제8조 주변 감시 구

역 외의 농도한도, 등 제9조선량 계산 등 외부 방사선 관련

제10조 운영 책임자에 관한 기준

제13조 핵연료 물질에 의해 오염된 물질의 방사능 농도 제한용기에 캡슐화할 필요가 없는 물질

의 방사능 농도 제한

제13조의2 용기에 캡슐화하기 현저히 곤란한 물질의 운송에 관한 조치 승인 신청서

제13-3조 적재 및 운송에 대한 선량 증가율장비 제13-4조 유해

물질

제13조의5 서명

제13조의6특별조치 승인 신청서 양식

제13-7조 특별 조치 대상 부하와 관련된 선량 증가율

제13-8조 공장 또는 활동장소에서의 핵연료 물질 등의 운반에 따른 선량 증가율 계산

제14조검사를 수행하는 공무원의 권한

6. 핵원자력 또는 핵연료 물질 정제 활동 등에 관한 원자력안전법령의 규정에 따른 선량한도 설정 고시.

2015년 8월 31일 원자력규제위원회 고시 제8호

본 문서는 "도쿄전력 후쿠시마 제1원자력 발전소 원자로의 특정 핵연료 물질의 운영 안전 및 물리적 보호 요건 설정에 관한 고시"(2013년 4월 12일 원자력규제청 고시 제3호)를 참조합니다.

복용량 제한

이 문서는 일반인의 유효 선량 한도를 1mSv/a로 정의하고 있으며, 원자력 규제 당국의 승인을 받으면 유효 선량 한도를 5mSv/a로 설정할 수 있습니다. 피부와 눈 수정체에 대한 등가 선량 한도는 각각 50mSv/a와 15mSv/a입니다.

이러한 제한은 다음 규칙 및 규정에서 적용됩니다.

- 제련 규칙
- 테스트 리액터 규칙
- 핵 원료 사용 규정
- 핵연료 물질 사용 규정
- 처리 규칙
- 재처리 규칙
- 상용 리액터에 대한 규칙
- 연구 개발 리액터에 대한 규칙
- 카테고리 1 방사성 폐기물 처리 규정
- 카테고리 2 방사성 폐기물 처리 규정
- 방사성 폐기물 관리 규정
- 스토리지 규칙
- 스토리지 계약 규칙
- 가공시설의 설계 및 시공방법에 관한 기술기준에 관한 규정
- 특정 폐기물 처리 시설 또는 특정 관리 시설의 설계 및 시공 방법에 관한 기술 기준 규정
- 처리 시설의 성능에 관한 기술 기준 규정
- 재처리시설의 성능에 관한 기술기준에 관한 규정
- 상업용 원자로 및 그 부속 시설의 기술 표준에 관한 규정
- 특정 폐기물 처리 시설 또는 특정 관리 시설의 성능에 관한 기술 기준 규정
- 사용후핵연료 저장시설의 설계 및 시공방법 등에 관한 기술기준에 관한 규정
- 사용후핵연료 저장시설의 성능에 관한 기술기준에 관한 규정
- 연구개발 단계의 원자력발전용 원자로 및 그 부속시설의 기술기준에 관한 규정

평균 방사성 핵종 농도 제한

이 문서는 작업장 내 노출과 관련된 모든 방사성 동위원소와 방사성 핵종의 환경 배출에 대해 다음과 같은 양을 규정하고 있습니다:

1. 흡입 시 유효 선량에 대한 선량 계수 [mSv/Bq]
2. 섭취 시 유효 선량에 대한 선량 계수 [mSv/Bq]
3. 작업장 공기 중 방사성 핵종 농도 제한 [Bq/cm³]
4. 원자력 시설에서 대기권으로 배출되는 대기 중 방사성 핵종 농도 제한 [Bq/cm³]
5. 원자력 시설에서 수역으로 배출되는 수중 방사성 핵종 농도 제한 [Bq/cm³]

많은 동위원소의 경우 다양한 화학적 형태에 대한 값이 제공됩니다. 한도 준수 여부를 평가하는 방법에

대한 지침이 제공됩니다. 최대 방사성 핵종 농도에 대한 이러한 값은 다음 규칙 및 규정에서 사용됩니다:

6. 테스트 리액터 규칙
7. 핵연료 물질 사용 규정
8. 처리 규칙
9. 핵 원료 사용 규정
10. 상용 리액터에 대한 규칙
11. 카테고리 1 방사성 폐기물 처리 규정
12. 카테고리 2 방사성 폐기물 처리 규정

13. 방사성 폐기물 관리 규정
14. 스토리지 규칙
15. 연구용 원자로 등의 설계 및 시공방법 등에 관한 기술기준에 관한 규정
16. 원자로 등의 성능에 관한 기술기준에 관한 규정 연구용 사용
17. 가공시설의 설계 및 시공방법 등에 관한 기술기준에 관한 규정
18. 재처리시설의 성능에 관한 기술기준에 관한 규정
19. 상업용 원자로 및 관련 시설에 대한 기술 표준에 관한 규정
20. 특정폐기물 처리시설 또는 특정관리시설의 설계 및 시공방법 등에 관한 기술기준에 관한 규정,
21. 특정폐기물 처리시설 또는 특정관리시설의 성능에 관한 기술기준에 관한 규정
22. 사용후핵연료 저장시설의 설계 및 시공방법 등에 관한 기술기준에 관한 규정
23. 사용후핵연료 저장시설의 성능에 관한 기술기준에 관한 규정,
24. 연구 개발 리액터에 대한 규칙
25. 연구개발 단계의 원자력발전용 원자로 및 그 부속시설의 기술기준에 관한 규정

6. 특정 원자력 시설 지정에 따라 도쿄전력 후쿠시마 제1원자력 발전소에서 취해야 할 조치에 필요한 항목 6.

2012년 11월 7일, NRA 위원회 결정

이 문서에는 손상된 원전 해체 시 고려해야 할 작업 영역이 요약되어 있습니다. 해체 작업 중에는 다음과 같은 측면을 고려하고 다음과 같은 조치를 취해야 합니다:

- 전반적인 프로세스 및 위험 평가와 관련하여 취해야 할 조치
- 설계 및 장비에 대해 취해야 할 조치에 관한 항목
 - 원자로 모니터링
 - 잔열 제거
 - 1차 격리 대기 모니터링
 - 불활성 대기 유지
 - 연료 제거 및 제거된 연료의 적절한 보관 및 관리
 - 전원 확보
 - 전력 손실에 대한 설계 고려 사항
 - 방사성 고체 폐기물의 처리, 보관 및 관리
 - 방사성 액체 폐기물의 처리, 보관 및 관리
 - 방사성 물질 등의 방출을 제한하여 현장 주변 지역의 방사선 보호 등을 수행합니다.
 - 근로자 피폭선량 관리 등
 - 긴급 조치

— 설계 고려 사항

- 특정 원자력 시설의 보안을 위한 조치
- 특정 핵연료 물질의 물리적 보호를 위한 조치
- 연료 잔해물 회수 및 원자로 해체 조치
- 실행 계획 개발 시 고려 사항
- 이행 계획에 대한 이해를 돕기 위한 노력
- 이행 계획 검토 절차

부속서 5

환경 내 삼중수소

삼중수소는 양성자 1개와 뉴런 2개를 가진 방사성 수소 동위원소이며, 수소 중 가장 무거운 동위원소입니다. 삼중수소의 물리적 반감기는 12.3년입니다. 삼중수소는 베타 에너지가 낮은 방사성 물질로, 평균 베타 에너지는 5.7keV에 불과합니다.

삼중수소는 자연적 및 인공적 과정에 의해 생성됩니다. 자연적으로 삼중수소는 주로 우주 방사선과 질소 및 산소의 반응으로 인해 대기 상층에서 생성됩니다. 삼중수소는 원자력 시설, 특히 원자력 발전소 및 재처리 공장에서 생산됩니다. 1998년부터 2002년까지 UNSCEAR[1]에 따르면 원자력 시설에서 발생하는 삼중수소의 연평균 방출량은 대기권과 수중 환경으로 각각 12 PBq와 16 PBq로 추정됩니다. 원자력 시설에서 방출되는 삼중수소는 주로 삼중수소(HTO) 또는 원소 수소로 방출되며, 산소와 빠르게 반응하여 HTO를 형성한 다음 지구 수문 순환에 유입됩니다.

또한 인위적인 삼중수소는 핵무기 대기 실험 중에 발생했습니다. UN- SCEAR [2]에 따르면 1945년부터 1980년까지 504건의 대기 실험이 진행되는 동안 약 20만 PBq의 삼중수소가 방출되었습니다. 대기 실험으로 인한 삼중수소 방출의 약 95%는 1952년부터 1962년 사이에 발생했습니다.

해양의 삼중수소 농도에 대한 데이터는 옴스 등이 수집하고 분석했습니다[3]. 이 데이터로부터 대서양, 인도양, 태평양의 21개 구획에 대한 해양 상층 500m의 평균 삼중수소 농도를 추정했습니다. 대기 중 핵무기 실험은 주로 북반구에서 이루어졌기 때문에 적도 남쪽보다 적도 북쪽의 수치가 더 높습니다. 삼중수소 농도(2016년 1월 1일을 기준으로 붕괴 보정)는 0.006~0.12 Bq/L 범위입니다. 삼중수소 농도의 표준편차는 해양 구획에 따라 다르며 평균의 약 15~90% 범위입니다. 북태평양에서 삼중수소 농도는 0.027~0.057 Bq/L 범위로 보고되며, 위도 30N~45N 사이의 지역에서는 평균 삼중수소 농도가 0.057±0.015 Bq/L로 보고됩니다.

해양에서 대부분의 삼중수소는 HTO로 물속에 결합되어 있습니다. 그러나 삼중수소 원자는 일반 수소 원자와 교환 가능하기 때문에 해양 생물이 섭취한 삼중수소 중 일부는 탄수화물, 지방, 단백질 및 기타 유기 화합물과 같은 유기 화합물에 통합될 수 있으며, 이러한 삼중수소 분획을 유기적으로 결합된 삼중수소(OBT)라고 합니다[1]. 탄소 원자에 결합된 OBT의 삼중수소 원자는 화합물이 대사될 때까지 본질적으로 고정되어 있습니다(즉, 삼중수소는 교환할 수 없음). 산소, 황, 질소 또는 인 원자에 결합된 삼중수소는 물에서 수소와 쉽게 교환할 수 있는 것으로 간주되므로 이러한 결합의 삼중수소는 OBT로 간주되지 않습니다.

인체에서 HTO에 결합된 삼중수소의 회전율은 OBT 삼중수소의 회전율보다 훨씬 빠릅니다. 이는 HTO와 OBT의 선량 계수에도 반영되어 있습니다¹. 삼중수소 흡수에 대한 선량계수를 추정하기 위한 ICRP 모델[4]에서는 혈액으

로 흡수된 HTO의 97%가 체수에 분포하고, 3%가 OBT로 전환된다고 가정합니다. 인체에서 삼중수소의 생물학적 반감기는 HTO와 OBT의 경우 각각 10일과 40일입니다. ICRP에서 고려하는 모든 연령대에 대한 섭취량 계수는 HTO에 비해 OBT가 약 3배 더 높습니다[4].

¹ '선량 계수'는 방사능의 단위 섭취량에 대한 방사성 핵종 섭취(섭취 또는 흡입)로 인한 유효 선량을 의미합니다. 단위는 Sv/Bq입니다. 연령대별 선량 계수는 [4]에서 확인할 수 있습니다.

