

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

제 12 장 - 방사선 방호

목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
12	<u>방사선 방호</u>	12.1-1
12.1	<u>작업방사선 피폭선량을 합리적으로 달성 가능한 한 낮게(ALARA) 유지하기 위한 보장</u>	12.1-1
12.1.1	정책 고려사항	12.1-1
12.1.1.1	설계 및 건설 정책	12.1-1
12.1.1.2	운영 정책	12.1-3
12.1.2	설계 고려사항	12.1-5
12.1.2.1	ALARA를 위한 일반 고려사항	12.1-5
12.1.2.2	기기 설계시 고려사항	12.1-6
12.1.2.3	설비 배치 및 방사선방호 고려사항	12.1-8
12.1.2.4	핵증기공급계통 설계 고려사항	12.1-10
12.1.3	운영 고려사항	12.1-12
12.1.3.1	일반적인 ALARA 기술	12.1-12
12.1.3.2	증기발생기 정비를 위한 상세 ALARA 고려사항	12.1-15
12.1.3.3	원자로상부덮개 제거·설치를 위한 상세 ALARA 고려사항	12.1-15
12.1.3.4	가동중 검사를 위한 상세 ALARA 고려사항	12.1-16
12.1.3.5	방사선 피폭을 수반하는 기타 운전 등을 위한 상세 ALARA 고려사항	12.1-16
12.2	<u>방사선원</u>	12.2-1
12.2.1	밀봉 선원	12.2-1
12.2.1.1	격납건물	12.2-1
12.2.1.1.1	원자로 노심	12.2-1
12.2.1.1.2	원자로냉각재계통	12.2-1
12.2.1.1.3	주증기계통	12.2-3
12.2.1.1.4	사용후연료 취급과 이송	12.2-3
12.2.1.1.5	처리계통	12.2-3

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

번 호	제 목	목 차 (계속)	페이지
12.2.1.1.5.1	화학 및 체적제어계통		12.2-3
12.2.1.2	보조건물		12.2-4
12.2.1.2.1	화학 및 체적제어계통		12.2-4
12.2.1.2.2	정지냉각계통		12.2-9
12.2.1.2.3	시료채취계통		12.2-10
12.2.1.2.4	주제어실 경계		12.2-10
12.2.1.3	핵연료건물		12.2-10
12.2.1.4	터빈건물		12.2-11
12.2.1.5	방사성폐기물건물		12.2-11
12.2.1.5.1	액체 및 고체방사성폐기물계통		12.2-11
12.2.1.5.2	기체방사성폐기물계통		12.2-12
12.2.1.6	저장 방사능		12.2-12
12.2.2	설계기준사고시 방사선원		12.2-12
12.2.2.1	대형냉각재상실사고시 방사선원		12.2-13
12.2.2.2	주제어실 방사선원		12.2-13
12.2.2.3	기타 방사선원		12.2-13
12.2.3	공기중 방사선원		12.2-14
12.2.3.1	공기중 방사성물질의 생성		12.2-14
12.2.3.1.1	정상시 체류구역 및 일반접근구역의 공기중 방사선원		12.2-15
12.2.3.1.2	운전중 격실내 공기중 방사능농도		12.2-15
12.2.3.1.3	공기중 방사능농도 계산에 사용되는 매개변수와 모델		12.2-16
12.2.3.1.4	배기계통의 배기		12.2-16
12.2.4	참고문헌		12.2-17
12.3	<u>방사선방호 설계 특성</u>		12.3-1
12.3.1	설비 및 기기 설계		12.3-1
12.3.1.1	보조계통 설비 및 기기 설계		12.3-1
12.3.1.1.1	방사성 기기의 설계		12.3-2
12.3.1.1.2	기기 배수 및 세척설비 설계		12.3-6
12.3.1.1.3	오염제어설비 설계		12.3-6
12.3.1.1.4	소내 지원설비 설계		12.3-9

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

번 호	제 목	목 차 (계속)	페이지
12.3.1.1.5	기타 설비 설계		12.3-12
12.3.1.2	핵증기공급계통 설비 및 기기의 설계		12.3-13
12.3.1.3	공용설비 및 기기배치 설계		12.3-20
12.3.1.4	방사선구역 분류 및 출입통제		12.3-24
12.3.1.4.1	정상운전시		12.3-24
12.3.1.4.2	사고시		12.3-25
12.3.2	차폐 설계		12.3-31
12.3.2.1	일반 차폐설계 기준		12.3-31
12.3.2.2	일반 차폐설계 내용		12.3-34
12.3.2.3	차폐 계산방법		12.3-41
12.3.2.4	상세 차폐설계 기준		12.3-42
12.3.2.5	상세 차폐설계 내용		12.3-42
12.3.3	환기계통 설계		12.3-45
12.3.3.1	설계목적		12.3-45
12.3.3.2	설계기준		12.3-45
12.3.3.3	설계지침		12.3-46
12.3.3.4	계통 설명		12.3-47
12.3.3.5	공기정화계통 설계		12.3-48
12.3.4	지역 방사선 및 공기중 방사능 감시설비		12.3-48
12.3.4.1	지역 방사선감시계통		12.3-48
12.3.4.1.1	설계기준		12.3-49
12.3.4.1.1.1	안전 설계기준		12.3-49
12.3.4.1.1.2	출력운전 설계기준		12.3-49
12.3.4.1.2	계통 설명		12.3-52
12.3.4.1.2.1	검출기 집합체		12.3-54
12.3.4.1.2.2	현장 기기 제어반		12.3-54
12.3.4.1.2.3	주 제어실 지시판		12.3-55
12.3.4.1.2.4	계통 출력		12.3-55
12.3.4.1.2.5	검증 선원		12.3-55
12.3.4.2	공기중 방사능 감시계통		12.3-55
12.3.4.2.1	설계기준		12.3-56
12.3.4.2.1.1	안전 설계기준		12.3-56

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

번 호	제 목	목 차 (계속)	페이지
12.3.4.2.1.2	출력운전 설계기준		12.3-56
12.3.4.2.2	계통 설명		12.3-56
12.3.5	참고문헌		12.3-57
12.4	<u>선량 평가</u>		12.4-1
12.4.1	작업자의 연간 피폭선량 평가		12.4-1
12.4.2	일반인의 연간 피폭선량 평가		12.4-2
12.4.3	건설작업자의 연간 피폭선량 평가		12.4-3
12.4.3.1	직접선량		12.4-3
12.4.4	참고문헌		12.4-5
12.5	<u>방사선방호계획</u>		12.5-1
12.5.1	조직		12.5-1
12.5.1.1	방사선방호계획의 조직		12.5-1
12.5.1.2	방사선방호계획의 목적		12.5-1
12.5.1.3	방사선방호계획		12.5-2
12.5.2	장비, 계측기 및 설비		12.5-3
12.5.2.1	방사선관리구역		12.5-3
12.5.2.2	방사선방호와 관련된 설비		12.5-4
12.5.2.3	방사선방호 설계		12.5-6
12.5.2.4	방사선방호용 계측기		12.5-6
12.5.2.4.1	실험실 방사선 측정장비		12.5-6
12.5.2.4.2	휴대용 방사선 측정기기		12.5-6
12.5.2.4.3	휴대용 공기시료 채취기		12.5-7
12.5.2.4.4	개인 방사선 피폭 감시장비		12.5-7
12.5.2.4.5	비상용 계측기		12.5-8
12.5.2.4.6	방사선방호 계측기의 교정		12.5-8
12.5.2.5	장비 제염 설비		12.5-9
12.5.3	방호절차		12.5-10
12.5.3.1	방사선 및 오염 측정		12.5-10

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

목 차 (계속)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
12.5.3.1.1	기본 원칙	12.5-10
12.5.3.1.2	책임	12.5-10
12.5.3.1.3	측정의 종류	12.5-10
12.5.3.2	피폭선량의 ALARA 유지를 위한 절차 및 방법	12.5-11
12.5.3.3	출입 및 체류시간의 통제	12.5-11
12.5.3.3.1	총 론	12.5-11
12.5.3.3.2	방사선관리구역에 들어갈 때	12.5-12
12.5.3.3.3	방사선관리구역에서 나갈 때	12.5-12
12.5.3.4	오염 관리	12.5-13
12.5.3.4.1	설비에 대한 오염 관리	12.5-13
12.5.3.4.2	개인의 오염 관리	12.5-13
12.5.3.4.2.1	관리구역작업복	12.5-13
12.5.3.5	공기중 방사능 관리	12.5-14
12.5.3.6	개인 방사선 감시	12.5-15
12.5.3.6.1	기본 원칙	12.5-15
12.5.3.6.2	발전소 종사자 방사선량	12.5-15
12.5.3.6.2.1	체외 방사선량 평가	12.5-15
12.5.3.6.2.2	체내 방사선량 평가	12.5-16
12.5.3.7	방사성물질 안전 계획	12.5-16
12.5.3.7.1	방사성물질의 반입	12.5-16
12.5.3.7.2	방사성물질의 저장	12.5-17
12.5.3.7.3	방사성물질의 소내 운반	12.5-17
12.5.3.7.4	핵연료의 취급, 저장 및 선적	12.5-17
12.5.3.8	방사선방호 교육훈련	12.5-18

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

제 12 장 - 방사선 방호

번 호	제 목	페이지
12.2-1	원자로압력용기 바깥에서의 최대 중성자속	12.2-18
12.2-2	원자로압력용기 바깥에서의 최대 감마선속	12.2-19
12.2-3	원자로정지후 원자로압력용기 바깥에서의 감마선속	12.2-20
12.2-4	원자로냉각재내 핵분열생성물의 방사능 분석을 위한 기준	12.2-21
12.2-5	원자로냉각재의 최대 비방사능	12.2-23
12.2-6	원자로계통에 침적된 크러드 막의 평형두께	12.2-25
12.2-7	N-16의 방사능	12.2-26
12.2-8	사용후연료 감마선원	12.2-27
12.2-9	화학 및 체적제어계통 열교환기 용해 방사성핵종 재고량	12.2-28
12.2-10	화학 및 체적제어계통 열교환기 방사능	12.2-30
12.2-11	화학 및 체적제어계통 이온교환기 방사성 핵종 재고량	12.2-31
12.2-12	화학 및 체적제어계통 필터 방사성 핵종 재고량	12.2-33
12.2-13	화학 및 체적제어계통 탱크 방사성 핵종 재고량	12.2-35
12.2-14	정지냉각계통 선원세기	12.2-37
12.2-15	2차측 계통내 차폐설계기준 방사능 농도	12.2-38
12.2-16	2차측 화학제어계통 기기 및 유동경로별 차폐설계기준 방사능량	12.2-40
12.2-17	사용후연료저장조와 핵연료재장전수조내 핵분열 생성물 및 부식생성물 방사능농도	12.2-42
12.2-18	사용후연료저장조 냉각 및 정화계통 차폐설계기준 방사능량	12.2-43
12.2-19	액체방사성폐기물계통 차폐설계기준 방사선원	12.2-44
12.2-20	기체방사성폐기물계통 차폐설계기준 방사능량	12.2-50
12.2-21	노심내 핵분열 생성물 재고량	12.2-51
12.2-22	각 건물내 주요격실별 공기중 방사능농도	12.2-53
12.3-1	정상운전시 방사선구역 분류	12.3-58
12.3-2	사고시 방사선구역 분류	12.3-59
12.3-3	차폐설계용 전산프로그램 목록	12.3-60
12.3-4	지역방사선 감시계통	12.3-61
12.4-1	운전중인 CE형 발전소의 작업자 피폭자료	12.4-7
12.4-2	운전중인 CE형사 발전소의 연평균 총작업자수와 총작업자 선량	12.4-9
12.4-3	운전중인 CE형 발전소의 작업별 총작업자수와 총작업자 선량	12.4-10

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 목 차 (계속)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
12.4-4	울진 5,6 호기 각 작업별 예상 작업자선량	12.4-11
12.4-5	건설기간별 예상 건설작업자수	12.4-12
12.4-6	건설작업자의 연간 예상선량	12.4-13
12.4-7	총 건설작업자의 연간 예상선량	12.4-14

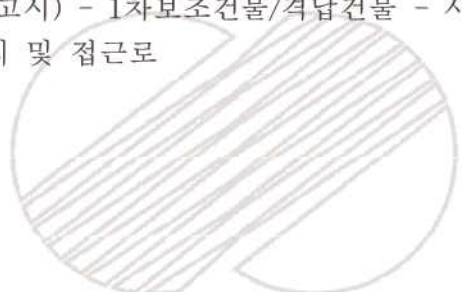


울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

제 12 장 - 방사선 방호

그림 목차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>
12.3-1	벨트, 펌프, 기기 및 제어반의 일반적인 배치도
12.3-2	방사선구역내 작업자 출입경로
12.3-3	방사선구역도 (정상) - 방사성폐기물 건물을 제외한 건물
12.3-4	방사선구역도 (정상) - 방사성폐기물 건물
12.3-5	미로형 차폐격실 설계개념도
12.3-6	전형적인 차폐해치 배치도
12.3-7	방사선구역도 (사고시) - 1차보조건물/격납건물 - 사고후 1시간
12.3-8	방사선구역도 (사고시) - 1차보조건물/격납건물 - 사고후 1일
12.3-9	방사선구역도 (사고시) - 1차보조건물/격납건물 - 사고후 1주
12.3-10	접근필수구역 위치 및 접근로



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

12 방사선 방호

12.1 작업방사선 피폭선량을 합리적으로 달성 가능한 한 낮게(ALARA) 유지하기 위한 보장

본 절에서는 발전소 운전으로 인한 발전소 종사자, 계약업체 직원 및 일반주민의 내,외부 피폭 방사선량을 원자력안전법 시행령의 선량한도 이내로 유지할 뿐만 아니라 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지(As Low As Reasonably Achievable, ALARA)됨을 보장하기 위하여 발전소 설계 및 운영시 고려되는 방사선방호 수단에 대하여 기술한다. 134

방사선방호 수단은 방사성 기기를 차폐된 격실에 격리 설치, 배관 및 기기에서 방출되는 이온화방사선을 충분히 감쇠시킬 수 있도록 설계된 차폐체 설치, 원격 조작기기 및 자동 장비 사용, 공기중 방사성물질의 생성 및 생성 가능성이 있는 격실에 대한 환기설비 설치, 방사선감시계통 설치, 방사선방호 요원의 훈련, 그리고 피폭선량 저감을 위한 행정적인 정책 및 절차의 개발과 이행 등을 포함한다.

12.1.1 정책 고려사항

한수원의 방사선방호 관련정책은 정비요건 및 예상되는 운전요건과 각종 규정을 만족하면서 종사자의 방사선 피폭선량을 ALARA로 유지하는 것이다. 이 ALARA 정책은 종사자의 개인 피폭선량 뿐만 아니라 집단선량(man-mSv)에도 적용한다. 방사선방호와 관련된 잠재적인 문제점을 해결하기 위한 올바른 자세와 인식의 개발은 모든 발전소 종사자의 적절한 교육과 훈련에 의하여 이루어진다. 72

12.1.1.1 설계 및 건설 정책

ALARA 개념은 발전소의 초기 설계 단계부터 적용되었으며, 구체적인 설계의 적용은 ALARA 설계지침의 준수, 설계문서의 ALARA 검토 및 문서화에 의해 이행되었다. 이들 검토는 한국원자력안전법에 따라 수행하였으며, 그 결과를 문서화하였다. 134

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

발전소의 설계 및 설계 문서는 설계 및 건설단계 동안 지속적으로 검토, 개정 및 보완되었다. 또한, 발전소의 일반 배치, 차폐, 환기, 감시설비, 보안, 출입통제, 정비보수 및 가동중 검사 등에서의 방사선방호와 관련된 설계는 ALARA 달성을 위해 검토되었다.

방사성 유체를 함유하는 배관 및 기기는 방사선방호 관점에서 적절히 배치되었다. 즉, 방사성 배관 및 기기를 ALARA 설계기준에 따라 배치하고 차폐함으로써 작업자의 방사선 피폭이 ALARA로 유지하도록 하였으며 건설시 필요에 따라 배관 배치 및 차폐요건이 설정된 기준을 만족하는 것을 보장하기 위하여 자체검사가 수행되었다. 건설기간동안에는 설치된 차폐벽내에 주요한 결함이 없다는 것을 보장하기 위하여 육안검사를 실시하였으며, 초기 출력운전중에는 차폐설계가 발전소의 정상운전 및 정비보수에 관한 설계요건을 만족함을 보장하기 위하여 방사선 측정을 수행한다.

한편, 기존의 발전소 설계자료 및 운영경험으로부터 얻은 정보는 작업자의 피폭선량을 ALARA로 유지하기 위한 설비 설계기준으로 사용되었다.

12.1.2절 및 12.1.3절에서는 작업자의 피폭선량을 ALARA로 유지하기 위하여 기기 및 발전소배치와 출입통제 설비를 포함한 차폐, 환기 및 방사선감시계통의 설계시 사용된 기준 및 방법을 기술한다.

발전설비건물 설계에 적용된 방사선방호설계 특성은 발전소 설계업무의 일부로, 전문 방사선방호 기술자들에 의해 검토되었다. ALARA 설계 및 검토는 방사선원 평가, 피폭선량 평가, 차폐 설계 및 방사성폐기물계통 설계분야에 경험이 있으며, 방사선방호 개념을 설계에 적용할 수 있는 능력을 갖춘 기술자들에 의해 수행되었다.

한수원의 방사선방호 설계 검토 담당자는 방사선관리 부서에서 선발되며, 설계관련 업무를 보조하고 발전소 설계검토를 수행하였다. 한수원의 방사선관리 부서는 방사선방호에 대한 기준 및 지침을 설정하기 위하여 운전중 발전소의 피폭 이력자료 및 설계사항을 검토한다. 또한 이 부서는 방사선 피폭저감을 위하여 설정된 각종 기준이 설계에 제대로 적용되는지를 확인하기 위해 발전소 설계를 여러 측면에서 검토하고 필요시 설계개선을

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

권고한다. 건설기간중 설계부서로 발행되는 현장설계변경사항은 피폭선량 저감화를 위하여 전문 방사선방호 기술자에 의해 검토되며 검토 결과는 규제지침서 8.8의 내용을 만족하도록 하였다.

핵증기공급계통 공급자는 발전소 운전, 검사 및 정비보수와 관련되는 방사선 피폭을 고려하여 설계된 계통 및 기기를 공급함으로써, 작업자 피폭선량이 ALARA를 달성할 수 있도록 할 책임이 있다. 이를 위하여, 핵증기공급계통 공급자는 방사선방호 관련부서의 책임을 규정하고 이들이 임무를 적절하게 수행할 수 있는 환경을 제공한다. 이러한 방침과 규정은 방사선방호 관련부서의 조직표와 관련 절차서등에 반영된다. 방사선 피폭선량 저감을 위한 핵증기공급계통 공급자의 설계 고려사항은 12.1.2.4절에 기술되어 있다.

12.1.1.2 운영 정책

발전소 운영과 관련된 한수원의 방사선방호 정책은 제반 방사선 안전관리지침을 준수하며 작업자 및 일반주민의 피폭선량을 ALARA로 유지하는 것이다. 울진 5,6호기 방사선 방호계획은 규제지침서 8.8 및 8.10의 권고사항을 따르는 한편, 국내 원자력안전법에 명시된 내용을 준수할 수 있도록 하였다. 134

발전소장은 울진 5,6호기 운영시 방사선방호 계획에 대한 이행 책임이 있으며, 이 계획은 방사선방호와 관련된 절차서 및 강도높은 방사선방호 기초 훈련 등을 포함하며 발전소 운영자에 의하여 주기적으로 검토, 보완된다.

방사선안전팀장은 최초의 방사선방호 계획을 작성할 책임이 있으며 발전소장에게 이를 직접 보고해야 하며 방사선관리 부서를 관리, 감독해야 한다. 방사선관리 담당차장은 방사선 안전팀장에게 보고하며 방사선관리 요원들의 관리, 감독은 물론 적절한 훈련도 실시해야 한다. 방사선안전관리원들은 현장 방사선준위 측정, 오염도 측정 및 공기시료채취 등의 업무를 수행할 책임이 있다. 울진 5,6호기 방사선관리부서의 조직은 13.1절에 기술되어 있다. 62

발전소 작업자는 방사선안전팀장으로 부터 방사선방호 교육 및 훈련을 받아야 한다. 62

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

방사선관리 부서는 다음과 같은 방사선방호업무를 수행한다.

- 가. 승인된 방사선방호 계획에 따라 선량한도를 설정하며, 발전소 작업자 또는 방문자의 피폭선량이 ALARA로 유지될 수 있도록 발전소 가동전에 상세한 방사선방호 절차를 작성한다.
- 나. 다음과 같이 방사선 피폭관리를 한다.
 - 1) 방사선 작업장 환경을 평가하고 예방조치를 취한다.
 - 2) 방사선관리구역으로의 인원 출입 및 장비 반출입을 관리한다.
 - 3) 관리구역 작업복 및 방호장비의 적절한 사용과 관리를 보장한다.
 - 4) 관리구역내의 각 구역에는 관계법령에 따른 주의 표지판 및 필요시 접근 제한설비(시건장치, 경광등 등)를 설치한다.
 - 5) 승인된 절차에 따라 고방사선 및 고오염구역에서의 작업은 방사선작업허가상의 조건대로 관리한다.
- 다. 개인 방사선 감시장비의 사용 범위 및 요건을 결정하고 관계법령에 따라 개인 피폭선량을 기록, 유지한다.
- 라. 발전소 부지로 반입 또는 반출되는 모든 방사성물질을 관계법령에 따라 계량 관리한다.
- 마. 관계법령에 따라 비상상태 발생 가능성이 있거나 발생시 대처할 절차를 작성한다.
- 바. 필요에 따라 발전소 종사자 및 방문자에 대하여 방사선방호 정책 및 절차를 교육한다.
- 사. 발전소 방사선방호계획의 일부로서 선량평가 프로그램을 포함하여 운영한다. 이 프로그램에는 종사자들의 방사성물질 흡입으로 인한 내부피폭선량을 측정

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

하기 위해 사용되는 전신계측(whole body counting)을 포함한다.

- 아. 발전소내 공정 및 유출물방사선감시기, 지역방사선감시기 및 휴대용 방사선감시기에 대한 주기적인 교정을 수행한다.
- 자. 발전소부터 방출되는 모든 방사성 유출물에 대하여 경로를 감시하고 그 기록을 유지한다.
- 차. 환경방사선 감시 프로그램을 운영과 운전중인 발전소의 주변환경에 대한 영향을 평가하는데 필요한 자료를 수집한다.

12.1.2 설계 고려사항

작업자의 방사선피폭을 저감하기 위한 방사선방호 설계의 고려사항에는 방사성 기기의 격리 및 차폐, 보수 필요성 감소, 기기의 접근성 향상, 기기의 원격조작, 누설의 최소화, 적절한 환기 및 제염설비 제공 등이 포함된다.

울진 5,6호기 방사선방호 설계의 주요 목표는 작업자 및 일반인에 대한 피폭선량을 원자력안전법 시행령의 선량한도 이하로 유지시키는 물론 방사선피폭을 ALARA로 유지하는 것으로서 상세내용은 방사선방호 설계의 목적에 따라 정해진다. ALARA 요건을 만족시키기 위하여 설비 및 기기 설계시에는 보수적인 기준을 적용하고, 현 설계의 개선을 위해 과거의 설계 및 운전경험을 반영하며, 이를 상세히 검토하기 위한 별도의 수단을 갖추도록 한다. 작업자의 방사선피폭을 ALARA로 유지하기 위한 방사선방호 설계의 구체적 내용은 12.3절에 기술되어 있다.

134

12.1.2.1 ALARA를 위한 일반 고려사항

방사선방호 설계의 목표는 규제지침서 8.8에 따라 발전소내 방사선피폭을 ALARA로 유지하는 것으로서 세부목표는 다음과 같다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 방사선관리구역내 작업자에 의한 보수 필요성 및 작업시간의 최소화
- 소내 상시출입구역 및 기기 주변의 방사선준위 최소화
- 기기 선정, 설치위치 결정, 계통 및 구조물 설계시 보수로 인한 작업자피폭 최소화

이들 세부목표는 다음과 같은 일련의 방사선방호 설계과정을 거침으로써 달성된다.

- 발전소 운전경험 및 원자력안전법 시행령의 작업자 선량한도를 근거로 관리구역에 대한 설계선량을 결정
- 각각의 기기와 배관들에 대한 가장 보수적인 운전모드 결정
- 설계기준 방사선원향을 기준으로 각 기기나 배관의 방사선원 결정
- 설계선량을 만족시키기 위한 차폐체 및 차폐벽 두께 결정
- 기기의 위치, 방향 및 격리에 대한 장,단점 검토
- 배관과 배관 관통부의 위치 선정시 ALARA 지침 또는 기준 적용

기기 및 설비의 설계시 발전소 가동, 유지, 보수, 재장전, 사용후연료 저장, 가동중검사, 보정, 방사성폐기물 처리 및 처분 등 발전소 정상운전 뿐만 아니라 기타 예상되는 과도운전상태하에서도 작업자의 피폭이 ALARA로 유지되도록 하였다.

12.1.2.2 기기 설계시 고려사항

기기의 방사선방호 설계와 관련하여 차폐체 및 차폐벽 두께, 기기의 선정, 기기의 접근성 및 기기의 보수성 등을 고려하였으며 그 내용은 다음과 같다.

가. 방사선구역내 체류시간 최소화를 위한 고려사항

- 1) 기기 및 자재 선정시 신뢰성, 내구성, 시공성 그리고 수리 또는 예방보수를 줄이기 위한 설계특성을 고려
- 2) 바닥 높이보다 높은 위치에 설치되는 기기에 대하여 상부로부터의 접근이 가능하도록 통로, 개구부 및 그레이팅을 설치

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 3) 기기의 운전, 보수 및 제거를 위해 필요한 경우 크레인이나 인양고리를 설치
- 4) 고방사성 기기의 반출입을 용이하게 하기 위하여 제거 가능한 블록벽, 벽 플러그 및 바닥 플러그를 설치
- 5) 펌프의 신속한 해체 및 설치를 위하여 플랜지 연결부 설치
- 6) 기기를 가능한 원격 또는 기계적으로 운전, 수리, 정비, 감시 및 검사하는 설비를 마련
- 7) 다이어프램 밸브 대신에 보수빈도가 적은 플러그밸브 사용
- 8) 표준패킹 대신 수명이 긴 흑연충진(graphite-filled) 패킹 사용
- 9) 기기는 격실내 접근가능지역에 설치하며, 전체적 또는 부분적으로 빈번한 교체를 필요로 하는 기기는 기기의 반출입이 용이한 지역에 설치

나. 방사선구역내 방사선피폭 최소화를 위한 고려사항

- 1) 빈번한 조작을 필요로 하는 방사성계통 밸브는 가능한 고방사성 기기로부터 격리 설치
- 2) 격리 설치가 곤란한 밸브(특히, 고방사선 구역에 위치하는 밸브)는 가능한 원격으로 조작하고, 방사선준위 및 조작횟수를 고려하여 적절한 원격 밸브구동자를 선정
- 3) 방사성계통의 누설을 최소화하기 위한 설계사항 반영
 - 가) 2 in (5.08 cm) 보다 큰 밸브에는 이중패킹과 랜턴링 누출라인 설치
 - 나) 고압계통(정격 900 lb 이상) 배관의 상부 배기구 및 하부 배수구에 이중밸브 설치
 - 다) 다이어프램 밸브로는 패킹이 없는 다이어프램 밀봉밸브 사용
- 4) 폐수지 저장탱크로부터의 수지 이송을 위하여 탈염수를 사용하며, 탱크내에 수지를 억류하기 위해 과유량 연결부에 자체세정식 스크린을 설치하고 방사성탱크의 과유량 연결부는 액체방사성폐기물계통과 연결
- 5) 원격장비를 사용하여 교체할 수 있는 카트리지형 여과기를 설치
- 6) 탈염기의 폐수지는 수압식 원격장비를 사용하여 제거하며 원거리에서 수지 충전이 가능하도록 설계

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 7) 기기, 배관, 연결부 및 밸브는 방사성물질의 축적을 최소화하고 축적된 부식생성물의 세척이 가능하도록 설계
- 8) 기기실내에서의 오염확산을 최소화하기 위하여 기기배수관 설치
- 9) 열교환기의 튜브는 내부식성 재질을 사용하고 튜브와 튜브쉬트의 연결부는 누설을 최소화하도록 제작하며 침식이 최소화되도록 충격방지판을 설치하고 유체의 속도를 제한하며, 보수를 위한 튜브의 제거가 용이하도록 설계
- 10) 운전중 작업자의 방사선피폭을 최소화하기 위하여 가능한 원격운전 기기를 설치하며, 방사성폐기물 처리 작업중 작업자피폭을 최소화하기 위하여 자동화된 방사성 폐기물 고화처리설비 설치
- 11) 저방사성 유체를 함유하는 기기는 고방사성 유체를 함유하는 기기와 분리된 격실에 설치
- 12) 기기 수리시 시간적 여유를 가짐으로써 방사성붕괴에 의한 교체기기의 방사선준위 감소를 위해 다중기기 설치
- 13) 다중기기 또는 다중운전능력을 갖춘 관련기기 사이에 오염된 기기의 제거가 가능하도록 상호연결배관 설치
- 14) 펌프 밀봉부에 방사성물질의 축적을 방지하기 위한 기계적 밀봉세척용 배관 설치
- 15) 탱크 내부표면의 세척을 위한 세척설비 및 배수연결부 설치

12.1.2.3 설비 배치 및 방사선방호 고려사항

발전소 배치설계시에는 직접방사선원(직접방사선원은 밀봉선원으로부터의 산란 또는 직사 감마선과 중성자선으로 정의됨)을 고려하고, 환기계통 설계시에는 공기중방사선원을 고려하며 방사선방호 및 출입통제와 관련하여서는 직접방사선원과 공기중방사선원 모두를 고려하였다.

가. 설비의 배치 설계시 고려사항

- 1) 작업자가 기기에 용이하게 접근할 수 있도록 접근로(일반접근구역) 제공

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 2) 일반접근구역의 방사선준위를 ALARA로 유지
- 3) 일반접근구역의 직접방사선 차폐를 위한 차폐체 설치
- 4) 방사선구역 구분은 최대 방사선준위를 기준으로 분류
- 5) 방사선 구역은 가능한 서로 격리
- 6) 방사선차폐체는 기기의 해체 및 보수가 용이하도록 설계하며, 피폭저감을 위한 임시차폐체의 설치 또는 임시차폐체의 설치공간 확보
- 7) 관통부 또는 매설배관(공기, 증기, 물 또는 기름을 함유하는 비방사성 배관)으로 인하여 차폐벽면에서의 고선량지점 발생이 최소화되도록 설계
- 8) 12.3절에 제시된 설계기준에 따라 방사선방호 설계

나. 방사선방호 고려사항

- 1) 정상운전시 종사자와 일반주민의 피폭선량을 원자력안전법 시행령에 제 134
시된 선량한도 이하로 유지
- 2) 설계기준사고시 주제어실 운전원의 피폭선량을 10 CFR 50에 제시된 선
량한도 이하로 유지
- 3) 사고시 일반주민의 피폭선량을 10 CFR 100.11에 제시된 선량한도 이하로 유지
- 4) 과도한 공기중방사능과 고방사선 준위를 계측하기 위한 방사선감시기를
설치
- 5) 작업자의 방사선피폭을 측정, 기록하기 위한 개인선량계 구비
- 6) 공기중 방사성물질이 저방사선 구역에서 고방사선 구역으로 적절히 환기
될 수 있도록 환기계통을 설계
- 7) 환경으로의 방사성물질 방출구에 방사선감시기 설치
- 8) 방사성물질의 시료분석 설비 설치
- 9) 발전소의 모든 운전조건하에서 방사선피폭량이 ALARA로 유지될 수 있
도록 방사성 기기로의 접근성 확보
- 10) 환경이나 일반접근구역으로의 방사성유체(액체 및 기체) 방출로 인한 피
폭량이 ALARA로 유지되도록 설계
- 11) 기기 및 관리구역 작업복의 세정 및 제염설비 설치

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

12.1.2.4 핵증기공급계통 설계 고려사항

핵증기공급계통 ALARA 설계·검토지침을 설정하는데 기존의 원자로설계 및 운전경험을 고려한다. 방사능준위 저감에 대한 운전절차의 영향을 분석하고, 방사능 누적이 감소되도록 발전소 계통의 성능을 평가하고, 방사능준위 누적의 과정을 밝히는데 공학적인 노력을 기울였다. 이러한 노력으로 얻은 자료와 경험을 울진 5,6호기 핵증기공급계통내 기기의 설계 및 개발 분야에 곧 바로 적용하였다.

울진 5,6호기 핵증기공급계통에 이용되는 계통 및 기기는 방사선 지역에서 보수 필요성을 줄일 수 있도록 설계되었다. 빈번한 보수를 필요로 하는 기기는 가능한 한 저방사선 지역에 설치하거나 저방사선 지역으로 옮기는 것이 용이하도록 플랜지로 연결하였다. 재질은 가능한 한 40년간 사용할 수 있도록 선택하여 교체 필요성을 줄이고, 빈번한 보수를 줄일 수 있도록 하였다. 제어기는 저방사선 지역에 원격으로 작동하도록 설치하였다. 열교환기 및 밸브와 같은 기기는 보수시 접근이 용이하도록 설계하였다. 기기는 환경조건 및 운전조건에서의 기능 요건을 만족하도록 환경 검증을 거치게 된다. 기기설계의 목표는 운전원이 방사선 환경에서 최소한의 시간 동안 머물도록 함으로써 직업상 방사선 피폭을 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지하는 것이다.

기존의 핵증기공급계통설계와 가동중검사 프로그램의 경험으로부터 직업상 방사선 피폭을 감소시키는 설계 특성을 울진 5,6호기 핵증기공급계통에 반영할 수 있도록 하였다. 가동중검사에 대비하여 가장 중요한 사항은 주요 기기의 용접 길이를 최소화하는 것이다. 기기를 재설계하거나 단조-용접부를 단조로 처리하거나 단조부의 크기를 증대시킴으로써 용접부 길이가 최소화 되도록 하였다.

울진 5,6호기 핵증기공급계통에 사용되는 계통 및 기기는 원자로 해체 절차로 인한 직업상 방사선피폭이 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지되도록 설계되었다. 발전소내의 방사능 및 오염 축적을 최소화하도록 설계를 한다면 원자로 해체를 용이하게 할 수 있다. 피막 입히기(mothballing), 매장(entombment), 일시 분해 또는 점진적 분해 중의 한가지를 적용하여 원자로 해체를 수행할 수 있다. 이 방법을 반복함으로써 얻어진 경험 및 개발된 방법은 직업상 방사선 피폭을 더욱 더 줄일 것이다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

울진 5,6호기 핵증기공급계통은 발전소내 방사선 피폭을 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지하기 위한 특정 설계 및 기존의 지침서 외에도 규제지침서 8.8에서 추천한 설계특징을 반영하였다. 다음의 설계 특징들은 원자로 해체시 발전소내 방사선 피폭을 줄이는 데 효과적이다.

- 가. 일차냉각재, 수지, 농축물과 같은 방사능 물질을 포함하는 기기들은 물 세척 또는 화학제염제 세척을 위해 연결관이 설치되어야 한다.
- 나. 기기는 크러드의 누적을 최소화하고 제염이 용이하도록 설계되어야 한다.
- 다. 중성자 방사화를 줄이기 위하여 적절한 차폐물 설치 공간이 있어야 한다.
- 라. 설계 단계에서 내식성 재질 선택, 적절한 화학제어 프로그램 규정, 일차냉각재에 노출되는 재질의 코발트 및 안티몬 함량 제한 등을 통해 핵증기공급계통의 전 수명기간 동안 방사화 부식생성물 누적을 최소화하여야 한다.

핵증기공급계통 ALARA 설계·검토지침은 규제지침서 8.8의 취지를 만족하도록 적용된다. 이 지침은 직업상의 방사선피폭을 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지하기 위해 각 분야의 설계자에게 제공되었다. 규제지침서 8.8의 지침을 기준으로 방사선방호설계 검토를 수행하였다. 계통 및 기기에 대한 일반 설계 목적은 규제지침서 8.8의 취지를 만족하도록 운전원의 방사선피폭을 합리적으로 달성가능한 한 낮게 유지하고 원자력안전위원회 고시 제 2016-16호(방사선방호 등에 관한 기준)에 주어진 제한구역에서의 방사선방호 제한치내에서 운전하기 위한 것이다. 핵증기공급계통 설계에 반영된 설계 특징은 12.3.1.2절에 기술하였다.

232

방사선방호설계 검토는 설계 및 건설 단계에서 계속 수행한다. 직업상 방사선피폭이 합리적으로 달성가능한 한 낮게 유지되도록 설계지침을 작성하였다. 방사선방호 설계자는 이 지침이 핵증기공급계통 설계에 관련된 다른 분야에 종사하는 설계자에게도 제공되도록 하였다. 핵증기공급계통 설계에 관련된 모든 분야에 이 지침이 적용되므로 모든 분야가 검토 대상에 포함되도록 하였다. 공정방사선제어설계자는 모든 방사선방호가 고려될

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

수 있도록 다른 분야의 기술자나 설계자와 함께 일을 해야 한다. 이 설계자들은 또 다른 설계가 주어진 공정요건을 만족할 수 있다면, 방사선방호를 위한 최적설계를 선택 하도록 조언을 한다.

설계도면, 계통설계 요건, 기기설계 요건이 발행되기 전에, 이미 작성된 지침을 토대로 방사선방호설계 검토를 수행하였다. 검토자는 검토의견을 관련 문서에 기재하여 해당 설계자에게 전달하고, 이미 작성된 방사선방호지침에 따라 검토의견을 해결하기 위해 필요시 후속 검토를 실시한다.

12.1.3 운영 고려사항

작업자 피폭선량을 ALARA로 유지하기 위하여 방사선 안전관리지침을 개발하고 계속하여 검토·보완한다. 이 지침에는 가동중 발전소로부터 얻은 경험이 반영되며, 또한 작업자의 방호를 최대화하기 위하여 운전중 제기된 개선사항 등이 지침 개정시 지속적으로 반영된다.

ALARA 운영계획 및 절차서는 설비 설계시 영향을 주며 방사선 구역내에서의 작업시간을 최소화하고 정상적인 출입이 요구되는 구역의 방사선 준위를 감소하기 위하여 구조물, 기기 및 차폐 등의 설계시 활용된다. 설계시 고려사항은 12.1.2절에 기술된 바와 같이 가동중인 발전소의 운전경험자료에 근거한 것이다.

방사선안전팀장은 피폭저감화 프로그램 절차서를 작성, 관리하고, 발전소장은 작업자의 안전을 보장하기 위한 운영계획을 수립하고 이를 지시 및 지휘한다. 모든 작업자는 부여된 업무를 안전하게 수행하는데 필요한 훈련을 받는다. 62

이러한 조직 및 설계 체계를 적절한 시기에 피폭저감화 프로그램에 반영함으로써, 원자력안전법 및 관련 규정을 만족하게 된다. 134

12.1.3.1 일반적인 ALARA 기술

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

다음에 기술되는 내용은 발전소 운영시 ALARA를 위한 일반적 방법이며 절차서에 반영할 상세 사항에 대해서는 12.5절에 기술된다.

가. 고방사선 구역과 인접한 일상작업구역(저방사선 구역)에는 차폐벽 설치와 같은 영구 차폐설비를 설치한다. 배관 차폐를 위한 납담요 또는 기기 주위차폐를 위한 콘크리트 벽돌 등 임시 차폐체를 필요한 구역에 설치한다. 임시차폐체는 차폐체 설치 및 제거시 받는 방사선량을 포함하여 작업시의 총 피폭선량이 효과적으로 저감되는 경우에만 사용한다.

나. 화학 및 제적제어계통, 정지냉각계통, 액체폐기물처리계통, 각종 펌프, 여과기 및 탈염기 등과 같이 방사화된 부식성생물의 축적 가능성이 있는 계통 및 기기에는 잠재적인 고방사성 입자의 축적을 제거하기 위하여 세척용 설비를 설치한다.

이들 계통 및 기기에 대한 정비·보수작업 수행전에 세척 및/또는 화학제염을 실시하여 방사화 부식성생물을 제거함으로써 방사선 준위를 감소시키고, 결과적으로 작업자의 피폭선량을 감소시키게 된다.

다. 전신피폭선량률이 1 mSv/hr 이상 또는 유리성 오염도가 10^6 dpm/100 cm² 이상되는 작업은 연속적인 방사선관리가 수행되어야 한다.

라. 절차가 복잡한 작업 또는 고방사선 작업에 대해서는 작업자들이 작업에 익숙하도록 실제 작업환경과 동일한 조건하에서 모의 작업훈련 및 실습을 실시한다. 이러한 방법은 작업자의 업무능력을 향상시키며 방사선 구역내에서 작업시간을 단축시키게 되며 관련 경험은 문서화하여 향후 유사작업 수행시 활용되도록 한다.

마. 기기설명서 및 작업절차서 숙지, 공기구 조정, 밸브 내부수리 및 기기의 1차 조립 등과 같은 작업은 가능한 한 방사선구역 외부에서 수행한다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 바. 방사선구역내에서 장시간 소요되는 수리 작업시 전화 또는 폐쇄회로 텔레비전을 설치하여 저방사선구역에서 작업진행을 감독할 수 있도록 한다.
- 사. 방사선구역내에서 작업시간을 단축할 수 있도록 작업능률을 높이고 오류를 방지하기 위해 특수공기구를 사용한다. 이들 특수공기구는 작업자가 방사선원으로부터 멀리 떨어져서 작업을 할 수 있도록 함으로써 작업자의 피폭선량을 저감할 수 있도록 하며 이들 공기구의 설치 및 제거시 받는 피폭선량을 포함하여 총 피폭선량이 효과적으로 저감되는 경우에만 사용된다.
- 아. 작업자들이 관리구역 작업용품의 착용 또는 탈의를 위하여 장시간의 체류를 요하는 출입관리소는 저방사선 구역으로 설정하고, 이 지역으로의 오염확산을 엄격히 제한한다.
- 자. 관리구역 작업복 및 호흡방호장비는 착용에 따른 불편함을 최소화하여 작업능률을 높임으로써 방사선구역에서의 체류 시간을 감소시킬 수 있도록 선정, 운영해야 한다.
- 차. 고오염 기기에서의 작업시 오염확산 방지를 위하여 장갑, 가방, 비닐병 및 텐트를 사용한다.
- 카. 업무수행에 지장을 주지 않는 한 작업자는 저방사선구역에 체류하도록 한다. 방사선 작업을 위한 작업허가서 발행시는 고방사선구역 및 저방사선구역을 자세하게 표시한 방사선구역도와 격실내 공기중 방사능농도에 대한 정보를 작업자에게 제공함으로써 실수에 의한 고방사선구역 출입을 방지할 수 있도록 한다.
- 타. 작업중 작업자 스스로가 피폭선량을 확인할 수 있도록 직독식 선량계를 지급한다.
- 파. 매우 높은 방사선구역에서의 작업시는 초시계를 사용하여 총 피폭시간을 감시한다. 이를 통하여 방사선구역에서 체류할 수 있는 제한시간을 넘지 않도록

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

함으로써 법적 선량한도를 초과하지 않게 된다.

- 하. 고방사선구역내에서 주요작업 수행시는 작업전에 예상 집단선량을 산정한 작업계획을 수립한다. 작업이 끝난 후에는, 필요시 작업절차 및 피폭선량 등을 서로 검토하고 토의하며, 작업절차 및 실제 집단선량 등의 자료는 향후의 유사작업에 참고자료로 활용하기 위해 보관한다. 또한, 방사선, 방사성오염, 공기중 방사능 및 인체 오염(외부 및 내부) 등의 방사선 관련 자료는 정리 보관하여 유사작업에 대한 작업계획 수립시 활용할 수 있도록 한다.

12.1.3.2 증기발생기 정비를 위한 상세 ALARA 고려사항

12.1.3.1절에 기술된 방법은 증기발생기 전열관의 검사 및 슬리브나 관막음 작업시 일반적으로 사용된다.

다중스터드신장기(multi-stud tensioner)는 증기발생기 수실 출입구를 단시간에 개폐하기 위하여 사용되는 장비로서, 결과적으로 방사선구역에서 작업시간을 감소시킨다. 증기발생기 1차측 수실의 출입이 허용되면, 고온 및 저온관 개방구는 유로내로 공기구등 기타 이물질 유입을 방지하기 위하여 뚜껑으로 막는데, 이는 결과적으로 수실 작업시 방사선 피폭을 감소시킨다. 만약 증기발생기 1차측 수실내에서 장시간의 작업이 요구될 때에는 임시차폐체를 설치한다. 그러나 이 작업으로 받는 방사선피폭의 절반 이상은 증기발생기 세관내 크러드에 의한 것으로서 증기발생기 튜브시트 지역은 전열관의 검사 및 슬리브나 관막음을 위해 일정 공간을 유지해야 하기 때문에 임시차폐체의 효과는 크게 기대하기 어렵다. 원격제어 와류탐상 장비는 슬리브나 관막음을 필요로 하는 손상된 전열관의 식별에 이용되며, 손상된 전열관의 위치가 결정되면 슬리브나 관막음을 한다. 따라서 이러한 장비 사용은 수실내부에서의 작업시간을 단축하여 피폭선량을 감소시킨다.

12.1.3.3 원자로상부덮개 제거·설치를 위한 상세 ALARA 고려사항

12.1.3.1절에 기술된 방법은 원자로상부덮개 제거 및 설치시 일반적으로 사용된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

전기케이블 및 원자로상부덮개 환기 덕트의 신속한 제거는 방사선구역에서의 작업시간을 단축시킨다. 만약 제어봉구동하우징에 부식성생물이 침적되었을 경우에는, 피폭선량 감소를 위하여 제어봉구동장치 외부에 임시 차폐체를 설치할 수 있다. 방사선으로부터 작업자를 보호하기 위하여 필요한 경우 재장전수조에 임시 차폐체를 설치한다.

또한, 핵연료교체 작업시 감독자와의 통신을 원활히 하기 위해 필요한 곳에 통신설비를 설치함으로써 핵연료교체 작업시 교체시간 단축과 피폭선량 감소를 도모한다.

12.1.3.4 가동중 검사를 위한 상세 ALARA 고려사항

12.1.3.1절에 기술된 방법은 가동중 검사 수행시 일반적으로 사용된다.

검사시 원격시험 장비가 사용되며, 문서 및 사진 또는 영상기록은 향후 과다 방사선 피폭을 유발할 것으로 예상되는 가동중 검사를 위하여 보존한다. 검사자를 훈련시키거나 또는 검사자가 직면하게 될 특별한 문제에 대해 주의를 환기시킴으로써 방사선구역에서 체류하는 시간을 단축시킨다.

12.1.3.5 방사선 피폭을 수반하는 기타 운전 등을 위한 상세 ALARA 고려사항

핵연료재장전, 방사성폐기물 취급, 사용후 연료취급, 연료장전 및 선적, 정기보수, 시료채취 및 계기교정에 등에 대한 고려사항은 12.5절에서 기술된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

12.2 방사선원

본 절은 작업자 보호시설의 설계 및 선량평가를 위한 차폐설계 계산의 기준이 되는 방사선원에 대하여 기술한다.

12.2.1 밀봉 선원

차폐설계 방사선원량은 핵연료피복재 손상을 0.25%인 상태에서 원자로 전출력운전 및 탈기기 미운전방식의 가정에 근거하여 계산되었다. 1차냉각재내의 방사선원은 결합핵연료 피복재로부터 방출되는 핵분열생성물, 방사화생성물, 부식생성물 모두가 포함된다. 대부분의 원자로냉각재계통에서는 방사화생성물, 특히 N-16이 출력운전 동안의 차폐설계를 위한 주요 방사선원이다.

차폐설계 방사선원은 계통별로 다음 소절에 제시되어 있다.

12.2.1.1 격납건물

12.2.1.1.1 원자로 노심

정상운전중 원자로 노심에서 방사되는 주된 방사선은 중성자와 감마선이다. 표 12.2-1과 12.2-2는 원자로압력용기 중간 부분 바깥의 원자로공동에서의 중성자속과 감마선속을 나타내는데, 이 값의 계산에 사용된 변수들은 4.3절에서 언급한 변수들과 일치된다. 표 12.2-3은 원자로정지와 가동중검사 동안의 차폐 요건에 적용하기 위한, 원자로가 정지된 후의 원자로압력용기 중간 부분 바깥의 원자로공동에서의 감마선속을 나타낸다.

12.2.1.1.2 원자로냉각재계통

원자로냉각재계통의 방사선원은 핵연료에서 누출된 핵분열생성물과 냉각재내에 순환하고 있는 방사화생성물 및 부식생성물 모두를 포함하는데 차폐설계를 위한 원자로냉각재계통의 최대 방사능 계산에는 에너지, 반감기, 또는 존재량 등의 복합적 이유로 설계에 중요

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

한 핵종들이 고려되었다.

차폐설계를 위한 원자로냉각재내 핵분열생성물의 최대 방사능을 계산하는데 사용된 변수가 표 12.2-4에 주어져 있으며, 원자로냉각재내 핵분열생성물의 농도를 결정하는데 사용한 계산 모형 및 기본적인 입력자료 등은 11.1.1.1절에 상세히 기술되어 있다. 표 12.2-4의 설계 변수를 이용하여 계산한 원자로냉각재의 최대 비방사능이 표 12.2-5에 주어져 있다.

원자로냉각재계통내 크러드의 최대 방사능에 대해서는 11.1.3.1절에 상세히 기술되어 있다. 장반감기 크러드의 방사능이 표 11.1-10에 있으며, 운전중인 발전소에서 측정한 일차계통 및 보조계통의 기기 표면에 침적된 방사성크러드 막의 두께가 표 12.2-6에 제시되어 있다. 원자로냉각재내의 순환하는 크러드최대 비방사능은 표 12.2-5에 제시되어 있다.

O-16의 $O^{16}(n,p)N^{16}$ 반응에 의해 생성되는 N-16은 원자로냉각재펌프, 증기발생기 그리고 원자로냉각재배관 등 원자로를 제외한 일차계통에서 가장 강력한 방사선원이다. N-16은 β 방출과 이의 78%에 해당하는 고에너지 γ 방출을 하면서 붕괴하는데 γ 에너지는 73%가 6.13 MeV, 5%가 7.10 MeV이며, 그 반감기는 7.13초이다. N-16 생성반응의 문턱에너지는 10.2 MeV이다. 다음의 수식과 원자로계통 변수에 근거하여 원자로냉각재계통 각 기기에서의 원자로냉각재의 N-16 방사능이 계산되었다. 표 12.2-7은 1차냉각재 루프의 여러 지점에서의 전형적인 원자로냉각재내의 N-16 방사능을 나타낸다.



(12.2-1)

여기에서

$\Sigma \phi =$ 반응률($5.11E+07$ reaction/cm³-sec)

$t_c =$ 냉각재의 노심통과시간(0.74 sec)

$t_t =$ 냉각재가 일차루프를 순환하는 시간(9.90 sec)

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

t_r = 냉각재가 유효노심출구에서 대상지점을 통과할 때까지의 시간(sec)

λ = 붕괴상수(0.097 sec^{-1})

12.2.1.1.3 주증기계통

증기발생기의 액체 및 증기부분의 방사능농도는 2차측으로의 냉각재누설률 0.6 gpm (2,271 L/min)과 0.25% 핵연료 피폭재 손상률에 근거한 1차 냉각재의 방사능농도와 표 11.1-4의 가정사항을 적용하여 계산하며 계산결과는 표 12.2-15에 제시되어 있다. 상세내용은 11.1.1.3절에 기술되며, 증기발생기취출계통내 기기별 방사능량은 표 12.2-16에 제시되어 있다.

12.2.1.1.4 사용후연료 취급과 이송

사용후연료집합체는 재장전을 위해 원자로를 정지한 후 격납건물내에 있는 지배적인 방사선원이다. 사용후연료집합체의 방사선원을 계산하기 위해, 원자로가 운전주기 동안 최대출력으로 일정하게 운전되는 것을 가정하였다. 전형적인 사용후연료의 붕괴 감마선원이 표 12.2-8에 주어져 있다.

12.2.1.1.5 처리계통

12.2.1.1.5.1 화학 및 체적제어계통

화학 및 체적제어계통에서의 방사선원은 12.2.1.1.2 절에 기술된 원자로냉각재의 방사성 핵종을 포함한다. N-16은 재생열교환기의 주요한 방사선원이다. 유출수가 격납건물을 통과하기 전에 대부분의 N-16이 소멸되도록 유출계통을 설계하였다.

0.25% 핵연료 손상률 및 탈기기 미운전 방식을 가정하여 방사선차폐를 설계하였다. 격납건물에 위치한 재생열교환기 및 원자로배수탱크의 방사선원을 표 12.2-9, 표 12.2-10, 표 12.2-13에 나타내었다. 이 기기들의 설계변수는 12.2.1.2.1절에 기술하였다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

12.2.1.2 보조건물

12.2.1.2.1 화학 및 체적제어계통

화학 및 체적제어계통의 주요한 부속계통으로는 유출정화계통, 붕소회수계통, 밀봉주입계통, 원자로배수 및 기기배수처리계통 등이 있다.

화학 및 체적제어계통중 유출정화계통의 주요한 기기는 재생열교환기, 유출수열교환기, 원자로냉각재 정화필터, 정화 및 붕소제거이온교환기, 체적제어탱크, 충전펌프, 보조충전펌프, 충전펌프 최소유량열교환기 등이 있다. 붕소회수계통은 붕산농축기와 붕산응축수이온교환기를 포함한다. 원자로냉각재펌프에 대한 밀봉주입계통은 밀봉주입필터와 밀봉주입열교환기를 포함한다. 원자로배수 및 기기배수처리계통은 원자로배수필터, 수용전이온교환기, 탈기기를 포함한다.

원자로냉각재는 정화이온교환기로 유입되기 전에 유출수열교환기에서 두 번째 단계로 냉각된다. 이 지점에서의 방사능 농도는 격납건물 외부의 유출 냉각재 선원 방사능 농도와 같다.

정화이온교환기는 양이온과 음이온 핵분열생성물 및 크러드를 제거한다. 두 대의 정화이온교환기 각각은 최대 유출 유량을 통과시킬 수 있는 크기로 설계되었다. 이 중 하나는 원자로냉각재 리튬 농도를 제어하기 위해 간헐적으로 사용된다.

붕소제거이온교환기는 붕소 농도가 낮은 노심 주기 말기에 사용된다. 붕소제어를 위한 정상 주입 및 방출 방법이 저붕소 농도에서는 효과적이지 않기 때문에 이 방법을 사용한다.

탈염수를 체적제어탱크로 공급하는 주입 및 방출 방법에 의해 원자로냉각재 붕소 농도를 감소시킨다. 체적제어탱크 수위가 고수위 설정치를 초과할 때 유출수 흐름은 자동적으로 붕소회수계통으로 전환된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

봉산수를 재장전수탱크로부터 체적제어탱크에 주입하여 원자로냉각재의 붕소 농도를 증가시킨다.

밀봉주입열교환기는 원자로냉각재펌프 밀봉장치로 주입되는 물을 가열한다.

이온교환기와 필터에는 많은 양의 방사성 물질이 누적되므로, 방사선차폐 설계시 중요하게 고려되는 기기이다.

재생열교환기, 원자로배수탱크, 수용탱크, 원자로보충수탱크, 재장전수탱크를 제외한 화학 및 체적제어계통의 모든 주요한 기기들은 보조건물에 위치한다. (재생열교환기와 원자로배수탱크는 격납건물내에 수용탱크 및 원자로보충수탱크는 옥외에 위치하며, 재장전수탱크는 핵연료건물내에 각각 위치한다.) 화학 및 체적제어계통 주요 기기의 방사선원은 표 12.2-9부터 표 12.2-13에 실려있다. 화학 및 체적제어계통내 주요 기기의 설계변수들은 아래와 같다.

가. 열교환기

표 12.2-9와 표 12.2-10은 열교환기의 방사능 재고량을 보여주고 있다.

1) 재생열교환기

유출수측 부피는 원자로냉각재의 비방사능을 보수적으로 계산한 6.7 gallons (25.4 L)의 물을 기준으로 한다. 충전수측 부피는 체적제어탱크의 비방사능을 고려하여 45.8 gallons (173.4 L)의 물을 기준으로 한다.

2) 유출수열교환기

튜브측 총 부피는 원자로냉각재의 비방사능을 보수적으로 계산한 75.9 gallons (287.3 L)의 물을 기준으로 한다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

3) 밀봉주입열교환기

튜브측 총 부피는 체적제어탱크의 비방사능을 고려하여 2.5 gallons (9.5 L)의 물을 기준으로 한다.

4) 충전펌프 최소유량 열교환기

튜브측 총부피는 체적제어탱크의 비방사능을 고려하여 30.5 gallons (115.4 L)의 물을 기준으로 한다.

나. 이온교환기

표 12.2-11은 이온교환기의 방사능 재고량을 보여주고 있다.

1) 정화이온교환기

총 방사능량은 유효전출력 571일간 수지에 누적되는 방사능량을 기준으로 한다. 이 정화이온교환기는 원자로냉각재계통 유출수의 정화 및 리튬 제거용으로 사용된다. 리튬제거용으로 평균 95일간 사용한 후 정화이온교환기로 전환하여 476일간 사용한다.

음이온은 제염계수(DF)가 100이며 제거율 99%이다. 크러드는 제염계수가 50이며 제거율 98%이다.

제논, 크립톤, 루비듐, 안티몬, 이트륨 및 세슘을 제외한 모든 핵종은 제염계수가 50이며 제거율 98%이다. 안티몬, 이트륨, 제논과 크립톤은 제염계수가 1이며 제거율 0%이다. 루비듐과 세슘은 제염계수가 2이며 제거율 50%이다.

2) 수용전이온교환기

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

총 방사능량은 유효전출력 476일간 수지에 누적되는 방사능량을 기준으로 한다. 제논, 크립톤, 루비듐, 안티몬, 이트륨, 세슘을 제외한 모든 핵종은 제염계수가 10이며 제거율 90%이다. 루비듐 및 세슘은 제염계수가 100이며 제거율 99%이다. 제논, 안티몬, 이트륨, 크립톤은 제염계수가 1이며 제거율 0%이다.

수용전이온교환기에 의해 처리되는 방사선원 유량은 정화이온교환기 및 정화필터로 처리된 유출수 2,310 gpd (8,744 L/day)와 원자로배수탱크로부터 200 gpd (757 L/day)와 기기배수탱크로부터 50 gpd (189 L/day)이다.

3) 봉산응축수이온교환기

총 방사능량은 유효전출력 476일간 수지에 누적되는 방사능량을 기준으로 한다. 음이온은 제염계수가 10이고 제거율이 90%이다. 다른 모든 이온들은 제염계수가 1이고 제거율이 0%이다. 크러드는 제염계수가 1이며 제거율이 0%이다. 처리되는 유량은 설계유량 20 gpm (75.7 L/min)에 기준한다.

다. 필터

표 12.2-12는 필터의 방사능 재고량을 보여주고 있다.

화학 및 체적제어계통의 모든 필터에 대한 총 방사능량은 유효전출력 476일간 누적되는 크러드의 방사능량을 기준으로 한다. 화학 및 체적제어계통의 모든 필터는 제염계수가 10이며 제거율 90%로 크러드를 제거한다.

라. 탱크

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-13은 탱크의 방사능 재고량을 보여주고 있다.

1) 원자로배수탱크

원자로배수탱크에서의 총 방사능량은 최대 물 부피 4,565 gallons (17,279 L)와 예상 최대 증기 부피 331 ft³ (9,374 L)을 기준으로 한다. 탱크의 증기상과 액상은 평형상태에 있으며, 탱크내 액체 방사능은 보수적으로 원자로냉각재계통의 값을 사용한다.

2) 기기배수탱크

기기배수탱크에서의 총 방사능량은 예상 최대 물 부피 4,935 gallons (18,679 L)와 예상 최대 증기 부피 913 ft³ (25,856 L)을 기준으로 한다. 탱크의 증기상과 액상은 평형상태에 있으며, 탱크내 액체 방사능은 원자로냉각재계통 값의 10%를 사용한다.

3) 체적제어탱크

체적제어탱크에서의 총 방사능량은 체적제어탱크내에서 예상되는 최대 물 부피인 3,322 gallons (12,574 L)의 원자로냉각재계통 유출수량과 예상 최대 증기 부피인 465 ft³ (13,169 L)을 기준으로 한다. 탈기장치는 운전되지 않는다는 보수적인 가정을 하였고, 체적제어탱크내에서는 기상과 액상이 평형상태에 있다.

4) 수용탱크

수용탱크에서의 총 방사능량은 예상 최대 물 부피 71,250 gallons (2.697×10^5 L)을 기준으로 한다. 탈기장치가 운전되지 않는다는 보수적인 가정을 하였고 수용탱크내의 증기상과 액상은 평형상태에 있지 않다고 가

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

정한다. 탱크내의 방사능은 원자로배수탱크로부터 200 gpd (757 L/day) 기기배수탱크로 부터 50 gpd (189 L/day), 원자로냉각재계통 유출수로부터 2,310 gpd (8,744 L/day)을 수용하는 것을 기준으로 한다.

5) 원자로보충수탱크

원자로보충수탱크에서의 총 방사능량은 예상 최대 물 부피 280,250 gallons (1.061×10^6 L)을 기준으로 한다. 탱크내의 방사능은 봉산농축기로 처리된 1.06×10^6 gallons (4.012×10^6 L)을 기준으로 한다.

11

6) 재장전수탱크

재장전수탱크에서의 총 방사능량은 예상 최대 물 부피 776,462 gallons (2.939×10^6 L)을 기준으로 한다. 탱크내의 방사능은 봉산농축기로 처리된 1.2×10^5 gallons (4.542×10^5 L)을 기준으로 한다.

11

12.2.1.2.2 정지냉각계통

원자로 정지상태에서 방사선 차폐에 고려할 주요한 방사선원은 사용후연료, 정지냉각계통, 그리고 노내검출기계통 등이다. 각 기기는 크러드의 침적으로 인해 원자로정지기간중 방사선 차폐를 필요로 한다. 침적 크러드 방사능은 11.1.3절에 기술되어 있다.

원자로냉각재계통과 화학 및 체적제어계통에서 방사선원은 방사선원을 증가시키는 핵분열생성물 급증 현상이나 크러드 용출이 발생하는 원자로 정지후 24시간 이내의 짧은 시간 동안을 제외하고는 정상 출력운전시의 선원이다. 이러한 급증현상은 손상된 핵연료봉의 내부 피복재 표면으로부터 축적되어 있던 수용성 염(즉, 요오드와 세슘)과 기체(제논과 크립톤)의 일부가 원자로 정지 및 감압시 방출되기 때문이다(참고문헌 1).

크러드 용출은 축적된 부식생성물 일부가 원자로 정지시 냉각재 산화과정에서 원자로 냉각재계통으로 용해되거나 재현탁되는 현상이다. 그러나, 이러한 방사능 증가를 고려한

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

차폐설계는 다음 요인 때문에 불필요하다.

가. 핵분열생성물 급증이나 크러드 용출은 단시간 동안(일반적으로 6시간 이내) 발생한다.

나. 일반적으로 화학 및 체적제어계통은 원자로 정지시 원자로냉각재를 최대 용량으로 정화하도록 운전된다.

정지냉각계통은 원자로 정지후 원자로로부터 붕괴열을 제거한다. 정지냉각계통은 5.4.7절에 설명되어 있다. 정지냉각계통은 원자로 정지후 약 4시간이 되는 시점에 가동된다. 정지냉각계통의 방사선원 세기는 표 12.2-14에 나타내었다.

12.2.1.2.3 시료채취계통

시료채취계통 및 관련배관에 대한 방사선차폐는 시료채취계통과 연결된 방사성계통에 대한 설계기준 방사선원을 기초로 하며, 시료채취 조건과 이 조건이 설계기준 방사선원에 미치는 영향을 고려한다. 시료채취계통에 대한 설명은 9.3.2절에 기술되어 있다.

12.2.1.2.4 주제어실 경계

주제어실 경계 내부에는 어떠한 방사선원도 존재하지 않는다. 주제어실에 대한 방사선차폐 요건은 냉각재상실사고(LOCA) 후 주제어실내 운전원이 격납건물내 직사 감마선원, 건물외부의 방사능운, 사고후 가동되는 HVAC 여과기로부터 받는 피폭선량을 근거하여 설정된다. 이러한 방사선원에 대한 설명은 6.4절 및 15.6절에 기술되어 있다.

12.2.1.3 핵연료건물

핵연료건물내의 방사선원은 정상운전시에는 사용후연료저장조의 냉각수내에 존재하는 방사능이고 핵연료 재장전기간중에는 사용후연료집합체 방사선원이 추가적으로 고려된다. 이에 대한 설명은 12.2.1.1.4절에 기술되어 있으며 핵연료 건물 방사선차폐 설계시 핵연료

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

재장전기간 중의 사용후연료집합체가 주요 방사선원항으로 고려된다. 사용후연료저장조 냉각 및 정화계통의 차폐기준 방사선원은 0.25%의 핵연료손상율을 적용하고, 11.1.1.2절에 기술된 과정에 따라 계산된 핵연료재장전 기간중의 사용후연료저장조 및 재장전수조내 방사선원을 근거로 계산하였다. 또한, 사용후연료저장조 및 재장전수조내 방사성핵종은 정화계통에 의해 제거된다. 사용후연료저장조 및 재장전조 냉각수내 방사선원은 표 12.2-17에 나타내었다.

사용후연료저장조 냉각 및 정화계통의 이온교환기 및 여과기에 대한 방사선원은 보수적으로 이온교환기 및 여과기의 누적 방사량이 최대가 되는 시점에서 계산하였으며 계산결과는 표 12.2-18에 제시되어 있다.

12.2.1.4 터빈건물

터빈건물내에는 잠재 방사선원이 존재하며 이는 증기발생기 전열관 누설로 인해 주증기공급계통과 전력변환계통내 존재하는 방사능이다. 핵연료피복재 결함과 방사화 등에 의해 생성된 1차계통내 방사성물질은 파손된 증기발생기 전열관을 통해 2차계통으로 유입된다. 정상운전시 이 방사능의 준위는 매우 낮기 때문에 일반적으로 증기 및 응축수 함유배관은 별도의 방사선 차폐를 필요로 하지 않는다. 복수탈염기의 방사능은 표 12.2-16에 제시되며 고용량 플래시탱크내 방사성 부식생성물의 농도는 11.1.1.3절에 기술되어 있다.

12.2.1.5 방사성 폐기물건물

방사성폐기물계통의 방사선원에는 노심 및 원자로냉각재계통에서 생성된 핵분열생성물과 방사화생성물이 포함된다. 방사성폐기물계통 기기들은 다양한 방사성핵종을 함유하고 있으며, 이들 기기의 방사능 준위는 방사성폐기물계통 구성기기와 운전변수에 의하여 결정된다.

12.2.1.5.1 액체 및 고체방사성폐기물계통

액체방사성폐기물계통내 방사성핵종 농도는 액체방사성폐기물계통내 방사성물질의 붕괴

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

와 누적을 모델링한 DIJESTER 전산프로그램(참고문헌 2)을 사용하여 계산되었다. 액체 방사성폐기물계통 기기의 방사선 차폐설계를 위한 방사선원은 표 12.2-5의 1차 냉각재의 비방사능과 표 11.2-7의 가정사항을 이용하여 계산하였으며, 계산결과는 표 12.2-19에 제시되어 있다. 고체방사성폐기물계통 기기의 차폐설계기준 방사선원은 표 12.2-19에 제시된 방사선원을 기준으로 해당 기기로의 유입원을 고려하여 계산하였다.

12.2.1.5.2 기체방사성폐기물계통

기체방사성폐기물계통 기기들의 방사선차폐설계를 위한 방사선원은 화학 및 체적제어계통 탈기기 미운전 및 0.25%의 핵연료손상률을 가정하여 계산하였으며, 계산결과는 표 12.2-20에 제시되어 있다.

12.2.1.6 저장 방사능

방사성물질을 함유하고 있는 옥외 탱크로는 수용탱크와 원자로보충수탱크가 있으며 이들 탱크는 탱크 구조물의 표면선량률이 $1 \mu\text{Sv/hr}$ 를 초과하지 않도록 차폐설계되어 있다. 수용탱크와 원자로보충수탱크의 방사선원은 12.2.1.2.1절에 제시되어 있다.

상기 탱크를 제외한 기타의 방사성물질 수용 탱크는 모두 발전설비 건물 내부에 설치되어 있다. 특히, 사용후연료는 사용후연료 수송용기를 사용하여 소외로 운송되기 전까지 사용후연료 저장조에 저장되며, 폐여과기 카트리지와 탈수 및 건조 처리된 폐수지, 원심분리기 슬러지와 화학 폐기물 등은 방사성폐기물건물내 저장시설내에서 일정기간 저장된다. 발전설비건물 내부에 저장되는 방사성폐기물은 적절히 차폐되어 구조물 외부에서의 방사선량률이 방사선구역 1 범주($1 \mu\text{Sv/hr}$ 이하)를 유지하도록 하였다.

12.2.2 설계기준사고시 방사선원

설계기준사고시의 방사선원은 정상운전시 원자로냉각재내에 기포함되어 있던 방사성핵종의 양에 가상사고로 인하여 핵연료에서 누출될 것으로 예상되는 핵분열생성물량을 추가한다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

12.2.2.1 대형냉각재상실사고시 방사선원

대형냉각재상실사고후 격납건물로 누출되는 원자로노심의 핵분열생성 방사선원은 2,872 MWt(설계출력의 102%)의 출력준위와 54 GWD/MTU의 연소도를 가정하며, 표 12.2-21과 같다.

사고후 액체상 방사선원으로는 노심 핵분열생성물중 불활성기체의 100%, 할로겐의 50%와 기타 핵분열생성물의 1%가 고려되며, 기체상 방사선원으로는 불활성기체의 100%와 할로겐의 50%를 고려한다. 다만, 감압된 액체상 계통의 경우 불활성기체는 전량 부유화됨을 가정한다. 이러한 가정은 참고문헌 3 (항목 II.B.2)에 명시되어 있는 내용과 일치한다.

격납건물 배수조의 액체상 방사성물질은 재순환시 안전주입계통 및 격납건물살수계통에 연관되는 기기들로 흐른다고 가정하는데 배수조내 액체상 방사성핵종 농도 계산시에는 원자로냉각재, 재장전수탱크 및 안전주입탱크 냉각수의 희석이 고려되며, 격납건물 대기내 기체상 방사성핵종농도 계산시에는 격납건물내 자유공기의 희석이 고려된다.

12.2.2.2 주제어실 방사선원

주제어실에 대한 차폐요건은 대형냉각재상실사고후 주제어실내 운전원이 받는 피폭선량에 근거하여 설정된다. 운전원이 받는 피폭선량은 격납건물내 방사선원, 외부 방사능운, 사고후 사용되는 공기조화계통 필터, 주제어실내 공기중 방사선원으로 인한 직접 감마선 피폭과 주제어실내 공기중 방사성물질의 호흡으로 인한 내부피폭에 기인한다. 주제어실에 영향을 주는 방사선원에 대한 사항은 6.4절 및 15.6절의 표에 보여지며 계산모델은 부록 15C에 기술되어 있다.

12.2.2.3 기타 방사선원

기타 설계기준사고에 대한 방사선원은 15절에 논의되고 평가되어 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

12.2.3 공기중 방사선원

불활성기체를 포함한 공기중 방사선원은 계통내 방사성물질로 부터 생성된다. 주로 펌프 실 및 밸브실 등이 위치한 방사선구역내 공기중 방사능은 해당구역에서의 작업자 체류시간을 결정하는데 사용된다. 12.2.3.1.2절 및 12.2.3.1.3절에는 정상운전중 접근가능 구역의 공기중 방사능과 계산모델을 기술하고 있다. 한편, 발전설비건물내 공기중 방사성물질은 발전소의 배기계통을 통하여 대기로 여과 방출되거나 직접 대기로 방출된다.

12.2.3.1 공기중 방사성물질의 생성

공기중 방사성물질은 증발되거나 부유된 물방울 혹은 수증기에 부착되어 부유하게 된다. 수증기는 가압고온수를 함유하는 고에너지배관에서 누출되며 부유된 물방울은 누설 또는 분사에 의해 생성된다. 증발은 정채된 물이 있는 곳에서는 어디서든지 발생한다. 공기중 방사성물질의 생성원 및 생성 메카니즘은 다음과 같다.

<u>생성원</u>	<u>생성메카니즘</u>
사용후연료저장조	증발
방사성물질 함유계통 누설	증발 (배기)
고에너지배관 누설	증기, 증발
고에너지배관 분사	증기, 물방울, 증발
중에너지배관의 누설	물방울, 증발
범람 (spill)	물방울, 증발

정상운전중 공기중 방사능의 주된 생성 요인으로는 (1) 방사성물질 함유계통 누설, (2) 사용후연료 저장조의 증발, (3) 방사성물질 함유 탱크의배기, (4) 공기정화계통의 누출 등이 고려된다. 이들 이외에 비교적 적은 영향을 미치는 요인으로는 (1) 세척설비와 제염 장비, (2) 오염된 방호복, (3) 시료채취 및 분석 등이 있다.

한편, 공기중 방사능은 (1) 방사성물질의 범람 또는 누설, (2) 배기계통의 고장, (3) 배관

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

의 파열 또는 파단, (4) 펌프와 밸브 밀봉부의 손상, (5) 기기 오작동 등 비정상적 사건에 의해서도 생성될 수 있다.

12.2.3.1.1 정상시 체류구역 및 일반접근구역의 공기중 방사선원

체류구역 및 일반접근구역은 배기시스템의 고장 또는 인접구역 방사성물질의 범람에 의해서만 공기중 방사성물질로 오염되며, 보수지역, 방사화학실험실, 고방사능 계기실은 연료 재장전 기간중 공기중 방사성물질에 의해 오염될 것으로 예상된다.

배기시스템은 공기중 방사능이 낮은 구역에서 높은 구역으로 공기가 흐르도록 설계되었으며 공기중 방사성물질이 생성 또는 생성가능성이 있는 가능한 모든 구역을 제어하도록 설계되었다. 운전경험에 근거하면 공기중 할로겐핵종 중에는 요오드가, 불활성핵종 중에는 제논, 크립톤이 작업자의 유도공기중농도(Derived Air Concentration, DAC)에 대해 큰 비율을 차지할 것으로 예상되므로 공기중 방사능 관점에서 중요하게 고려되었다.

일반적으로 발전소 작업자는 비교적 공기중 방사능이 높은 구역에서 빈번한 보수작업을 수행하여야 하기 때문에 보수작업중 작업자가 받는 내부피폭선량이 작업자의 총 내부피폭선량중 대부분을 차지하게 된다. 공기중 방사능은 누설, 범람, 배기 등에 의해 생성되나, 가장 일반적 생성요인인 누설과 배기의 경우에 대해서만 주로 계산되었다.

12.2.3.1.2 운전중 격실내 공기중 방사능농도

격실내 공기중 방사능농도는 12.2.3.1.3절에 제시된 모델에 근거하여 계산되는데, 이 값은 원자력안전위원회 고시 제2016-16호(방사선방호 등에 관한 기준)의 유도공기중농도(DAC) | 232와 비교된다. 즉, 격납건물 대기, 보조건물과 방사성폐기물건물 각 격실별로 공기중 불활성기체, 삼중수소 및 요오드의 농도가 계산되고, 이 값과 원자력안전위원회 고시 제 | 2322016-16호(방사선방호 등에 관한 기준)의 유도공기중농도(DAC)와 비교한 후, 이 비의 총합이 각 격실의 공기중 오염상태의 척도가 된다. 따라서, 정상운전시 작업자 체류구역, 일반접근구역 및 접근이 빈번한 구역의 공기중 방사능농도는 자연방사능을 제외하고 0.1 DAC 이하의 매우 낮은 값을 갖도록 설계되었다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

12.2.3.1.3 공기중 방사능농도 계산에 사용되는 매개변수와 모델

정상운전시 각 격실내 평형상태의 공기중 방사능농도는 다음과 같이 계산된다.



(12.2-2)

여기서,

- C_A = 격실내 공기중 방사능농도, Bq/cm^3
- L = 방사성유체 누설율, cm^3/min
- C_L = 방사성 유체의 농도, Bq/cm^3
- P = 누설된 방사성유체중 공기중으로 부유되는 분율
- K = 단위환산계수, 1.0
- λ = 붕괴상수, min^{-1}
- V = 격실 체적, cm^3
- F = 격실 배기율, cm^3/min

식 (12.2-2)은 격실로 유입되는 공기중에 방사성물질이 없으며, 평형상태라는 가정하에 미분방정식을 풀어서 얻은 해이다. 대상 격실에 유입되는 공기중에 방사성물질이 포함될 경우 기본 미분방정식에 추가적인 항을 추가시킨 수정 미분방정식으로 부터 공기중 평형 방사능농도를 계산한다. 발전소 주요 격실별 공기중 방사능농도 및 유도공기중농도 (DAC)와의 분율은 표 12.2-22에 제시되어 있다.

1

12.2.3.1.4 배기시스템의 배기

사무실과 행정지원건물 공기조화계를 제외한 소내 모든 배기시스템은 건물 배기구로 적절하게 연결되어 배출된다. 잠재적으로 고준위 부유 방사성물질을 함유하는 배기시스템에는 이를 포집 또는 제거하기 위하여 여과기가 설치되어 있다(9.4절 참조). 건물 배기구

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

를 통하여 방출되는 주요 방사성동위원소는 기체방사성폐기물계통과 건물배기계통으로부터의 불활성기체로서, 이로 인한 정상운전시의 연간 예상방출량은 11.3절에 제시되어 있다.

12.2.4 참고문헌

1. Lutz. R. J. and Chubb, W., "Iodine Spiking - Cause and Effect," ANS Transactions, Vol. 28, pg.649, June 1978.
2. "DIJESTER, A Program to compute Radioactive Decay in Fluid Flow Systems," S&L Program No. 9. 8. 060-1. 0, D. J. Pichurski, April 1976.
3. NUREG-0737, "Clarication of TMI Action Plan Requirements," U. S. Nuclear Regulatory commission, November 1980.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-1

원자로압력용기 바깥에서의 최대 중성자속*

<u>에너지(평균, eV)</u>	<u>중성자속(n/cm²-s)</u>
1.360E+07	1.60E+06
1.110E+07	6.17E+06
9.100E+06	1.44E+07
7.270E+06	2.83E+07
5.660E+06	4.77E+07
4.510E+06	3.95E+07
3.530E+06	6.93E+07
2.730E+06	8.77E+07
2.400E+06	2.92E+07
2.090E+06	1.77E+08
1.470E+06	6.50E+08
8.300E+05	2.14E+09
3.300E+05	6.22E+09
5.700E+04	4.27E+09
1.960E+03	1.34E+09
3.420E+02	1.23E+09
6.500E+01	8.63E+08
1.980E+01	5.52E+08
6.900E+00	6.04E+08
2.090E+00	4.32E+08
7.600E-01	3.85E+08
2.500E-02	2.83E+09

* 노심의 중간 높이부분, 원자로압력용기 바깥에서 0.5 ft (15.24 cm) 떨어진 곳

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-2

원자로압력용기 바깥에서의 최대 감마선속*

<u>에너지(평균, eV)</u>	<u>감마선속($\gamma/\text{cm}^2\text{-s}$)</u>
9.000E+06	8.18E+07
7.250E+06	4.55E+08
5.750E+06	4.10E+08
4.500E+06	3.50E+08
3.500E+06	4.76E+08
2.750E+06	3.15E+08
2.250E+06	7.36E+08
1.830E+06	4.60E+08
1.500E+06	4.24E+08
1.160E+06	5.29E+08
9.000E+05	3.82E+08
7.000E+05	4.91E+08
5.000E+05	1.10E+09
3.500E+05	9.10E+08
2.500E+05	1.50E+09
1.500E+05	2.40E+09
7.500E+04	3.78E+08
2.500E+04	2.22E+06

* 노심의 중간 높이부분, 원자로압력용기 바깥에서 0.5 ft (15.24 cm) 떨어진 곳

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-3

원자로정지후 원자로압력용기 바깥에서의 감마선속*

<u>에너지(평균, eV)</u>	<u>붕괴 감마선($\gamma/\text{cm}^2\text{-s}$)</u>	<u>물질의 방사화($\gamma/\text{cm}^2\text{-s}$)</u>
4.500E+06	-	3.69E+02
3.500E+06	1.09E+03	4.03E+01
2.750E+06	3.33E+04	7.59E+05
2.250E+06	5.92E+04	9.49E+04
1.830E+06	1.01E+05	7.00E+04
1.500E+06	1.38E+05	6.59E+05
1.160E+06	1.76E+05	5.68E+05
9.000E+05	1.34E+05	6.88E+05
7.000E+05	1.77E+05	5.44E+05
5.000E+05	2.59E+05	7.94E+05
3.500E+05	2.48E+05	6.74E+05
2.500E+05	3.97E+05	1.24E+06
1.500E+05	6.31E+05	1.86E+06
7.500E+04	9.39E+04	3.04E+05
2.500E+04	3.71E+02	1.18E+03

* 노심의 중간 높이부분, 원자로압력용기 바깥에서 0.5 ft (15.24 cm) 떨어진 곳,
원자로 정지로부터 48시간 지난 후

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-4 (2 중 1)

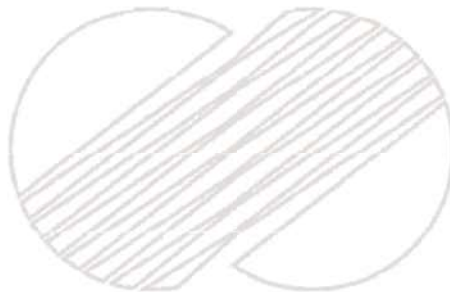
원자로냉각재내 핵분열생성물의 방사능 분석을 위한 기준

변수	설계기준
노심출력준위(MWt)	2,872
평형노심 주기	5
평형노심주기길이(EFPD)	476
열중성자속($n/cm^2\text{-sec}$)	$6.5E+13$
평균핵분열률(fission/MW-sec)	$3.13E+16$
손상된 핵연료 비율(fraction)	0.0025
원자로냉각재 질량(kg)	$2.20E+05$
노심내 냉각재와 원자로계통내 냉각재의 비율(fraction)	0.072
정화유량(kg/sec)	4.723
노심 주기초의 붕소농도, 최소(ppm)	1,160
붕소농도 감소율(ppm/sec)	$2.75E-05$
이온교환기 및 탈기기의 제거 효율(fraction)	
CVCS 정화 이온교환기	
불활성기체, 삼중수소	0.0
Cs, Rb	0.5
음이온	0.99
그 이외의 핵종	0.98
CVCS 탈기기	
불활성기체, 삼중수소	0.999
그 이외의 핵종	0.0
CVCS 탈기기의 운전	미운전

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-4 (2 중 2)

변수	설계기준
핵분열생성물의 누설률계수(sec ⁻¹)	
Xe, Kr, 기체	6.5E-08
I, Br, Rb, Cs	1.3E-08
Mo	2.0E-09
Te	1.0E-09
Sr, Ba	1.0E-11
그 이외의 핵종	1.6E-12



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-5 (2 중 1)

원자로냉각재의 최대 비방사능

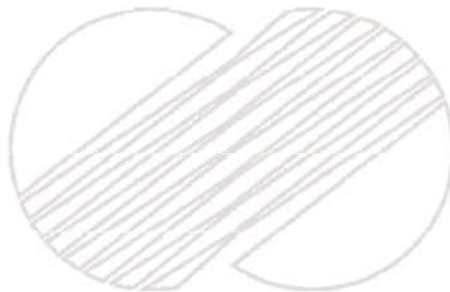
(노심출력 : 2,872 MWt, 핵연료 손상률 : 0.25%, 탈기기 미운전 가정)

<u>핵종</u>	<u>비방사능(Bq/g)</u>	<u>핵종</u>	<u>비방사능(Bq/g)</u>
Kr-85m	9.79E+03	Co-58	1.90E+02
Kr-85	3.86E+04	Co-60	1.58E+01
Kr-87	7.63E+03	Sr-89	2.46E+01
Kr-88	2.14E+04	Sr-90	1.23E+00
Xe-131m	4.34E+04	Sr-91	4.07E+01
Xe-133m	2.54E+03	Y-91m	2.32E+01
Xe-133	2.72E+06	Y-91	3.50E+00
Xe-135m	5.54E+03	Y-93	9.71E-01
Xe-135	5.41E+04	Zr-95	1.16E+01
Xe-137	1.29E+03	Nb-95	3.82E+00
Xe-138	4.71E+03	Mo-99	2.18E+03
Br-84	1.81E+02	Tc-99m	1.16E+03
I-131	1.88E+04	Ru-103	1.32E+00
I-132	5.73E+03	Ru-106	5.24E-01
I-133	2.86E+04	Te-129m	4.50E+01
I-134	3.82E+03	Te-129	5.19E+01
I-135	1.71E+04	Te-131m	2.24E+02
Rb-88	2.15E+04	Te-131	9.54E+01
Cs-134	2.13E+03	Te-132	1.51E+03
Cs-136	3.58E+02	Ba-137m	2.55E+03
Cs-137	2.71E+03	Ba-140	3.03E+01

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-5 (2 중 2)

<u>핵종</u>	<u>비방사능(Bq/g)</u>	<u>핵종</u>	<u>비방사능(Bq/g)</u>
N-16	7.65E+06*	La-140	9.29E+00
Cr-51	5.94E+02	Ce-141	1.13E+00
Mn-54	4.77E+01	Ce-143	3.32E+00
Fe-59	8.95E+00	Ce-144	3.06E+00



* 원자로압력용기 출구노즐에서의 비방사능

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-6

원자로계통에 침적된 크러드 막의 평형 두께

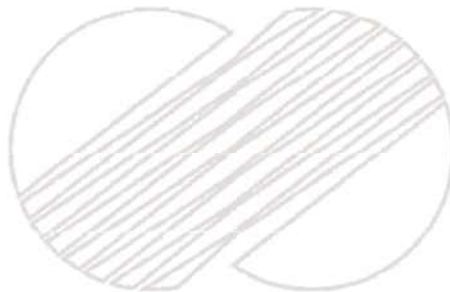
<u>위치</u>	<u>두께(g/cm²)</u>
원자로용기내부, 배관	1.00E-03
증기발생기 입구측 공간	
가압기	
• 하부헤드	6.5E-04
• 밀림관	1.2E-03
제어봉구동장치, 원자로용기헤드 노내핵계측기 상부	3.0E-04
증기발생기 전열관	1.0E-04
재생열교환기	3.5E-04
유출수열교환기	3.0E-05
밀봉주입열교환기	3.0E-05
정지냉각열교환기	3.0E-05
충전펌프 최소유량 열교환기	3.0E-05
사용후연료저장조 열교환기	3.0E-06

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-7

N-16의 방사능

<u>위치</u>	<u>방사능(Bq/cm³)</u>
원자로용기 출구 노즐	5.04E+06
원자로용기 출구 고온관(중간점)	4.96E+06
증기발생기(중간점)	4.16E+06
원자로냉각재펌프(중간점)	3.17E+06
원자로용기 입구 저온관(중간점)	2.99E+06



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-8

사용후연료 감마선원(MeV/Watt-sec)

<u>평균에너지(MeV)</u>	<u>원자로정지후 경과시간</u>				
	<u>50 시간</u>	<u>100 시간</u>	<u>200 시간</u>	<u>500 시간</u>	<u>1000 시간</u>
1.00E-02	1.97E+08	1.28E+08	6.82E+07	3.48E+07	2.59E+07
3.00E-02	1.61E+08	1.24E+08	8.80E+07	5.22E+07	3.60E+07
5.50E-02	1.35E+08	1.01E+08	7.01E+07	4.35E+07	3.17E+07
8.50E-02	2.62E+08	1.89E+08	1.14E+08	5.02E+07	3.07E+07
1.20E-01	1.07E+09	6.16E+08	2.31E+08	5.93E+07	4.46E+07
1.70E-01	3.09E+08	2.50E+08	1.91E+08	1.30E+08	8.83E+07
3.00E-01	2.15E+09	1.35E+09	6.66E+08	2.21E+08	1.03E+08
6.50E-01	8.46E+09	6.97E+09	5.73E+09	4.38E+09	3.46E+09
1.13E+00	1.22E+09	8.69E+08	5.63E+08	2.80E+08	1.44E+08
1.58E+00	3.11E+09	2.78E+09	2.20E+09	1.11E+09	3.81E+08
2.00E+00	2.84E+08	2.39E+08	1.85E+08	1.08E+08	5.60E+07
2.40E+00	2.32E+08	2.09E+08	1.67E+08	8.60E+07	2.96E+07
2.80E+00	4.06E+06	3.56E+06	2.92E+06	1.66E+06	7.99E+05
3.25E+00	1.85E+06	1.69E+06	1.39E+06	7.41E+05	2.88E+05
3.75E+00	6.37E+01	4.93E+01	4.89E+01	4.78E+01	4.61E+01
4.25E+00	8.82E+00	5.87E+00	5.84E+00	5.74E+00	5.60E+00
4.75E+00	2.81E+01	3.81E+00	3.78E+00	3.72E+00	3.63E+00
5.50E+00	4.17E+00	3.98E+00	3.96E+00	3.89E+00	3.80E+00

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-9 (2 중 1)

화학 및 체적제어계통 열교환기 용해 방사성 핵종 재고량 (Bq)

(노심출력 : 2,872 MWt, 핵연료 손상률 : 0.25%, 탈기기 미운전 가정)

핵 종	유 출 수	재 생	밀봉주입	충전펌프 최소유량
N-16	1.9E+10	5.0E+10	0.0E+00	0.0E+00
Kr-85m	2.8E+09	1.9E+09	9.1E+07	1.1E+09
Kr-85	1.1E+10	7.6E+09	3.6E+08	4.4E+09
Kr-87	2.2E+09	1.4E+09	6.7E+07	8.3E+08
Kr-88	6.1E+09	4.1E+09	2.0E+08	2.3E+09
Xe-131m	1.2E+10	8.6E+09	4.1E+08	5.0E+09
Xe-133m	7.3E+08	5.0E+08	2.4E+07	2.9E+08
Xe-133	7.8E+11	5.4E+11	2.6E+10	3.1E+11
Xe-135m	1.6E+09	8.9E+08	4.1E+07	5.0E+08
Xe-135	1.6E+10	1.1E+10	5.1E+08	6.1E+09
Xe-137	3.7E+08	1.7E+08	7.7E+06	9.7E+07
Xe-138	1.4E+09	7.4E+08	3.4E+07	4.1E+08
Br-84	5.2E+07	4.9E+06	1.5E+04	1.8E+05
Rb-88	6.2E+09	2.0E+09	8.1E+07	9.7E+08
Sr-89	7.1E+06	7.1E+05	4.7E+03	5.7E+04
Sr-90	3.5E+05	3.5E+04	2.3E+02	2.8E+03
Sr-91	1.2E+07	1.2E+06	7.6E+03	9.0E+04
Y-91m	6.7E+07	4.2E+07	2.0E+06	2.4E+07
Y-91	1.0E+06	7.0E+05	3.3E+04	4.0E+05
Y-93	2.8E+05	1.9E+05	9.1E+03	1.1E+05
Zr-95	3.3E+06	3.3E+05	2.2E+03	2.7E+04
Nb-95	1.1E+06	1.1E+05	7.2E+02	9.0E+03
Tc-99m	3.3E+08	3.3E+07	2.2E+05	2.6E+06
Mo-99	6.3E+08	6.3E+07	4.1E+05	5.0E+06
Ru-103	3.8E+05	3.8E+04	2.5E+02	3.0E+03
Ru-106	1.5E+05	1.5E+04	9.9E+01	1.2E+03
Te-129m	1.3E+07	1.2E+06	4.3E+03	5.2E+04
Te-129	1.5E+07	1.4E+06	4.5E+03	5.5E+04

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-9 (2 중 2)

핵 종	유출수	재생	밀봉주입	충전펌프 최소유량
I-131	5.4E+09	5.1E+08	1.8E+06	2.1E+07
Te-131m	6.4E+07	6.1E+06	2.1E+04	2.6E+05
Te-131	2.7E+07	2.6E+06	7.5E+03	9.0E+04
Te-132	4.3E+08	4.1E+07	1.4E+05	1.7E+06
I-132	1.6E+09	1.5E+08	5.2E+05	6.3E+06
I-133	8.2E+09	7.7E+08	2.7E+06	3.2E+07
I-134	1.1E+09	1.0E+08	3.3E+05	3.9E+06
Cs-134	6.1E+08	2.4E+08	1.0E+07	1.2E+08
I-135	4.9E+09	4.6E+08	1.6E+06	1.9E+07
Cs-136	1.0E+08	4.0E+07	1.7E+06	2.0E+07
Cs-137	7.8E+08	3.0E+08	1.3E+07	1.6E+08
Ba-140	8.7E+06	8.7E+05	5.7E+03	6.9E+04
La-140	2.7E+06	2.7E+05	1.8E+03	2.1E+04
Ce-141	3.2E+05	3.3E+04	2.1E+02	2.6E+03
Ce-143	9.5E+05	9.6E+04	6.3E+02	7.6E+03
Ce-144	8.8E+05	8.8E+04	5.8E+02	6.9E+03
Cr-51	1.7E+08	1.5E+07	9.8E+02	1.2E+05
Mn-54	1.4E+07	1.2E+06	7.8E+01	9.7E+03
Fe-59	2.6E+06	2.3E+05	1.5E+01	1.8E+03
Co-58	5.5E+07	4.9E+06	3.1E+02	3.8E+04
Co-60	4.5E+06	4.1E+05	2.6E+01	3.2E+03
Ba-137m	1.5E+09	3.7E+08	1.3E+07	1.6E+08
Sb-122	8.5E+05	5.9E+05	2.8E+04	3.4E+05
Sb-124	4.3E+05	2.9E+05	1.4E+04	1.7E+05

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

卣 12.2-10

화학 및 체적제어계통 열교환기 방사능(Gamma/sec)

(노심출력 : 2872 MWt, 핵연료 손상률 : 0.25%, 탈기계통 미운전 가정)

열교환기		유출수		재생			밀봉주입			충전펌프 최소유량		
에너지그룹 (MeV)	크러드	용해성	전 체	크러드	용해성	전 체	크러드	용해성	전 체	크러드	용해성	전 체
0.25	1.0E10	3.3E11	3.4E11	5.9E10	4.0E11	4.6E11	4.4E08	1.1E10	1.1E10	5.4E08	1.3E11	1.3E11
0.50	1.1E10	1.5E10	2.6E10	6.3E10	5.8E09	6.9E10	4.7E08	1.3E08	6.0E08	5.7E09	1.5E09	7.2E09
0.75	3.8E10	9.5E09	4.8E10	2.2E11	4.1E09	2.2E11	1.6E09	6.0E07	1.7E09	2.0E10	7.6E08	2.1E10
1.00	1.3E09	4.9E09	6.2E09	7.5E09	1.4E09	8.9E09	5.6E07	2.7E07	8.3E07	6.9E08	3.2E08	1.0E09
1.38	1.4E09	4.1E09	5.5E09	8.4E09	1.5E09	9.9E09	6.2E07	3.1E07	9.3E07	7.6E08	3.8E08	1.1E09
2.00	-	7.5E09	7.5E09	-	6.8E09	6.8E09	-	1.7E08	1.7E08	-	2.1E09	2.1E09
3.00	-	7.9E08	7.9E08	-	9.9E08	9.9E08	-	1.4E07	1.4E07	-	1.7E08	1.7E08
4.00	-	5.5E06	5.5E06	-	5.4E05	5.4E05	-	1.5E03	1.5E03	-	1.9E04	1.9E04
6.00	-	1.3E10	1.3E10	-	3.5E10	3.5E10	-	-	-	-	-	-

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-11 (2 중 1)

화학 및 체적제어계통 이온교환기 방사성 핵종 재고량 (Bq)

(노심출력 : 2,872 MWt, 핵연료 손상률 : 0.25 %, 탈기계통 미운전 가정)

핵 종	정 화 이온교환기	붕소제거 이온교환기	수용전 이온교환기	붕산응축수 이온교환기
N-16	5.0E+07	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Kr-85m	1.1E+10	1.1E+10	1.0E+10	1.5E+02
Kr-85	4.3E+10	4.3E+10	4.2E+10	2.8E+04
Kr-87	8.6E+09	8.6E+09	8.0E+09	3.5E+01
Kr-88	2.4E+10	2.4E+10	2.2E+10	2.2E+02
Xe-131m	4.9E+10	4.9E+10	4.7E+10	1.8E+04
Xe-133m	2.9E+09	2.9E+09	2.7E+09	4.2E+02
Xe-133	3.1E+12	3.1E+12	2.9E+12	8.8E+05
Xe-135m	6.2E+09	6.2E+09	5.8E+09	5.4E+00
Xe-135	6.1E+10	6.1E+10	5.6E+10	1.7E+03
Xe-137	1.5E+09	1.5E+09	1.3E+09	3.3E-01
Xe-138	5.3E+09	5.3E+09	4.9E+09	4.1E+00
Br-84	2.3E+09	2.1E+07	1.6E+06	3.3E-01
Rb-88	9.2E+10	1.2E+10	1.4E+09	1.1E+02
Sr-89	7.3E+11	5.5E+05	1.3E+09	1.9E+02
Sr-90	2.3E+11	2.8E+04	4.8E+08	1.2E+01
Sr-91	9.5E+09	9.2E+05	8.5E+06	6.8E+00
Y-91m	2.6E+08	2.6E+08	2.4E+08	7.8E+02
Y-91	3.9E+06	3.9E+06	3.8E+06	3.1E+03
Y-93	1.1E+06	1.1E+06	1.0E+06	3.7E+01
Zr-95	4.4E+11	2.6E+05	8.3E+08	9.2E+01
Nb-95	7.8E+10	8.6E+04	1.4E+08	2.6E+01
Tc-99m	1.7E+11	2.6E+07	1.5E+08	1.2E+02
Mo-99	3.5E+12	4.9E+07	3.9E+09	2.6E+03
Ru-103	3.1E+10	3.0E+04	5.5E+07	9.4E+00
Ru-106	6.7E+10	1.2E+04	1.3E+08	4.8E+00
Te-129m	9.0E+11	1.4E+09	1.4E+09	1.1E+05
Te-129	1.4E+09	1.3E+07	9.9E+05	4.3E-01

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-11 (2 중 2)

핵 종	정 화 이온교환기	붕소제거 이온교환기	수용전 이온교환기	붕산응축수 이온교환기
I-131	8.9E+13	4.4E+11	1.1E+11	4.8E+06
Te-131m	1.6E+11	1.4E+09	1.3E+08	1.3E+03
Te-131	9.7E+08	8.8E+06	6.7E+05	1.1E-01
Te-132	2.9E+12	2.2E+10	2.8E+09	6.5E+04
I-132	3.2E+11	2.9E+09	2.2E+08	2.0E+02
I-133	1.5E+13	1.3E+11	1.1E+10	8.3E+04
I-134	8.1E+10	7.4E+08	5.6E+07	1.9E+01
Cs-134	2.0E+14	1.2E+09	3.5E+12	9.6E+03
I-135	2.8E+12	2.5E+10	2.0E+09	5.0E+03
Cs-136	1.6E+12	2.0E+08	2.7E+10	9.6E+02
Cs-137	3.1E+14	1.5E+09	5.5E+12	1.2E+04
Ba-140	2.3E+11	6.8E+05	3.4E+08	1.3E+02
La-140	9.1E+09	2.1E+05	9.2E+06	6.5E+00
Ce-141	2.1E+10	2.5E+04	3.8E+07	7.5E+00
Ce-143	2.7E+09	7.5E+04	2.6E+06	1.9E+00
Ce-144	3.5E+11	6.9E+04	7.0E+08	2.8E+01
Cr-51	9.6E+11	3.6E+09	1.7E+09	3.8E+02
Mn-54	5.7E+11	3.2E+08	1.1E+09	4.4E+01
Fe-59	2.3E+10	5.6E+07	4.3E+07	6.6E+00
Co-58	7.8E+11	1.2E+09	1.5E+09	1.5E+02
Co-60	2.8E+11	1.1E+08	5.7E+08	1.5E+01
Ba-137m	3.1E+14	1.6E+09	5.5E+12	1.2E+04
Sb-122	3.3E+06	3.3E+06	3.1E+06	6.4E+02
Sb-124	1.7E+06	1.7E+06	1.6E+06	1.3E+03

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-12 (2 중 1)

화학 및 체적제어계통 필터 방사성 핵종 재고량 (Bq)

(노심출력 : 2872 MWt, 핵연료 손상률 : 0.25 %, 탈기계통 미운전 가정)

핵 종	밀봉수 주 입	원자로 배 수	분 산	정 화	원자로 보충수
N-16	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	2.3E+07	0.0E+00
Kr-85m	4.0E+07	3.9E+07	0.0E+00	1.5E+08	1.0E-02
Kr-85	1.6E+08	4.7E+08	5.6E+02	5.8E+08	1.4E+02
Kr-87	2.9E+07	2.9E+07	0.0E+00	1.2E+08	6.6E-04
Kr-88	8.6E+07	8.3E+07	0.0E+00	3.2E+08	8.9E-03
Xe-131m	1.8E+08	3.6E+08	5.6E+01	6.6E+08	6.3E+01
Xe-133m	1.1E+07	1.4E+07	3.4E-03	3.8E+07	3.4E-01
Xe-133	1.1E+10	1.8E+10	3.3E+02	4.1E+10	1.6E+03
Xe-135m	1.8E+07	2.1E+07	0.0E+00	8.4E+07	2.1E-05
Xe-135	2.2E+08	2.2E+08	4.5E-15	8.2E+08	2.4E-01
Xe-137	3.4E+06	4.9E+06	0.0E+00	2.0E+07	3.4E-07
Xe-138	1.5E+07	1.8E+07	0.0E+00	7.1E+07	1.4E-05
Br-84	6.5E+03	6.9E+05	0.0E+00	2.7E+06	1.0E-06
Rb-88	3.5E+07	8.2E+07	0.0E+00	3.3E+08	4.8E-04
Sr-89	2.0E+03	2.7E+05	5.4E+02	3.7E+05	1.5E+00
Sr-90	1.0E+02	1.5E+04	2.6E+02	1.9E+04	1.7E-01
Sr-91	3.4E+03	1.7E+05	1.0E-14	6.2E+05	9.7E-04
Y-91m	8.7E+05	8.9E+05	0.0E+00	3.5E+06	9.6E-03
Y-91	1.5E+04	3.9E+04	1.1E+04	5.3E+04	2.7E+01
Y-93	4.0E+03	4.0E+03	1.6E-13	1.5E+04	5.5E-03
Zr-95	9.6E+02	1.3E+05	3.6E+02	1.8E+05	8.3E-01
Nb-95	3.2E+02	4.0E+04	4.7E+01	5.8E+04	1.8E-01
Tc-99m	9.5E+04	4.6E+06	0.0E+00	1.8E+07	1.1E-02
Mo-99	1.8E+05	1.2E+07	6.2E+00	3.3E+07	2.5E+00
Ru-103	1.1E+02	1.4E+04	2.0E+01	2.0E+04	6.9E-02
Ru-106	4.4E+01	6.4E+03	7.1E+01	8.0E+03	6.5E-02
Te-129m	1.9E+03	4.7E+05	4.9E+02	6.8E+05	1.9E-01
Te-129	2.0E+03	2.0E+05	0.0E+00	7.8E+05	1.4E-06

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-12 (2 중 2)

핵종	밀봉수 주입	원자로 배수	붕산	정화	원자로 보충수
I-131	7.8E+05	1.4E+08	6.8E+03	2.8E+08	1.4E+01
Te-131m	9.3E+03	1.1E+06	2.9E-04	3.4E+06	4.0E-03
Te-131	3.3E+03	3.6E+05	0.0E+00	1.4E+06	3.4E-07
Te-132	6.3E+04	8.9E+06	9.7E+00	2.3E+07	2.0E-01
I-132	2.3E+05	2.2E+07	0.0E+00	8.7E+07	6.2E-04
I-133	1.2E+06	1.3E+08	3.6E-04	4.3E+08	2.6E-01
I-134	1.4E+05	1.5E+07	0.0E+00	5.8E+07	6.0E-05
Cs-134	4.4E+06	2.6E+07	1.7E+05	3.2E+07	1.3E+02
I-135	7.0E+05	6.9E+07	0.0E+00	2.6E+08	1.6E-02
Cs-136	7.4E+05	3.1E+06	3.6E+02	5.4E+06	3.7E+00
Cs-137	5.6E+06	3.4E+07	2.8E+05	4.1E+07	1.8E+02
Ba-140	2.5E+03	2.6E+05	4.8E+01	4.6E+05	5.0E-01
La-140	7.7E+02	4.7E+04	5.2E-04	1.4E+05	3.8E-03
Ce-141	9.4E+01	1.2E+04	1.2E+01	1.7E+04	5.1E-02
Ce-143	2.8E+02	1.6E+04	2.5E-05	5.0E+04	9.2E-04
Ce-144	2.5E+02	3.7E+04	3.7E+02	4.6E+04	3.6E-01
Cr-51	5.4E+09	1.4E+10	1.2E+06	8.8E+12	4.9E+04
Mn-54	3.2E+09	9.6E+09	1.0E+07	5.2E+12	8.7E+04
Fe-59	1.3E+08	3.5E+08	6.1E+04	2.1E+11	1.7E+03
Co-58	4.3E+09	1.2E+10	3.9E+06	7.1E+12	7.6E+04
Co-60	1.6E+09	4.8E+09	7.9E+06	2.5E+12	5.0E+04
Ba-137m	5.7E+06	4.4E+07	2.8E+05	8.0E+07	1.8E+02
Sb-122	1.2E+04	1.7E+04	1.6E+00	4.5E+04	6.3E-01
Sb-124	6.2E+03	1.6E+04	4.7E+03	2.2E+04	1.2E+01

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-13 (2 중 1)

화학 및 체적제어계통 탱크 방사성 핵종 재고량 (Bq)

(노심출력 : 2872 MWt, 핵연료 손상률 : 0.25 %, 탈기계통 미운전 가정)

핵 종	원자로 배 수	기 기 배 수	체 적 제 어	수 용	원자로 보충수	재 장 전 수
N-16	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
Kr-85m	8.7E+10	6.6E+09	2.7E+12	7.6E+09	3.5E+03	9.6E+07
Kr-85	8.7E+12	3.3E+11	1.1E+13	1.6E+11	1.1E+08	2.5E+11
Kr-87	4.5E+10	4.1E+09	1.9E+12	1.8E+09	2.3E+02	3.9E+00
Kr-88	1.6E+11	1.3E+10	5.8E+12	1.1E+10	3.1E+03	4.3E+06
Xe-131m	3.2E+12	2.7E+11	7.0E+12	1.4E+10	1.2E+07	2.6E+11
Xe-133m	7.2E+10	4.6E+09	4.1E+11	7.2E+09	6.4E+04	1.0E+10
Xe-133	1.3E+14	9.1E+12	4.4E+14	1.2E+13	3.0E+08	1.4E+13
Xe-135m	2.7E+10	2.7E+09	5.1E+11	1.2E+08	4.1E+00	0.0E+00
Xe-135	5.1E+11	3.8E+10	8.6E+12	3.8E+10	4.5E+04	1.6E+10
Xe-137	6.2E+09	6.2E+08	5.8E+10	7.3E+06	6.6E-02	0.0E+00
Xe-138	2.3E+10	2.3E+09	4.1E+11	9.0E+07	2.7E+00	0.0E+00
Br-84	8.7E+08	8.6E+07	2.0E+07	6.4E+05	7.3E-02	0.0E+00
Rb-88	1.0E+11	1.0E+10	1.1E+11	8.3E+07	3.3E+01	0.0E+00
Sr-89	3.4E+08	2.9E+07	6.2E+06	6.4E+07	1.1E+05	1.5E+08
Sr-90	1.9E+07	2.3E+06	3.1E+05	4.0E+06	1.2E+04	3.7E+07
Sr-91	2.1E+08	2.0E+07	1.0E+07	6.5E+06	6.8E+01	6.6E+06
Y-91m	1.1E+09	1.1E+08	2.6E+09	1.0E+09	6.7E+02	1.3E-06
Y-91	4.9E+07	4.3E+06	4.4E+07	1.3E+09	1.9E+06	1.4E+09
Y-93	5.1E+06	4.7E+05	1.2E+07	5.7E+07	3.9E+02	1.4E+06
Zr-95	1.6E+08	1.5E+07	2.9E+06	3.1E+07	5.8E+04	8.6E+07
Nb-95	5.0E+07	4.0E+06	9.6E+05	9.2E+06	1.3E+04	1.9E+07
Tc-99m	5.9E+09	5.6E+08	2.9E+08	1.2E+08	7.4E+02	2.8E+07
Mo-99	1.6E+10	1.2E+09	5.5E+08	1.6E+09	1.7E+05	5.1E+09
Ru-103	1.8E+07	1.4E+06	3.3E+05	3.3E+06	4.9E+03	7.1E+06
Ru-106	8.1E+06	8.9E+05	1.3E+05	1.6E+06	4.5E+03	1.1E+07
Te-129m	5.9E+08	4.7E+07	5.7E+06	9.7E+07	1.3E+04	2.1E+08
Te-129	2.5E+08	2.5E+07	6.0E+06	5.4E+05	9.6E-02	4.9E-04

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-13 (2 중 2)

핵 종	원자로 배 수	기 기 배 수	체 적 제 어	수 용	원자로 보충수	재 장 전 수
I-131	1.8E+11	1.3E+10	2.4E+09	2.3E+10	9.7E+05	5.8E+10
Te-131m	1.3E+09	1.1E+08	2.8E+07	7.5E+07	2.8E+02	2.8E+08
Te-131	4.6E+08	4.6E+07	1.0E+07	2.4E+05	2.4E-02	0.0E+00
Te-132	1.1E+10	8.5E+08	1.9E+08	1.0E+09	1.4E+04	3.7E+09
I-132	2.8E+10	2.8E+09	6.9E+08	1.4E+08	4.3E+01	3.7E+04
I-133	1.6E+11	1.4E+10	3.6E+09	7.1E+09	1.8E+04	2.4E+10
I-134	1.8E+10	1.8E+09	4.3E+08	2.7E+07	4.2E+00	1.2E-05
Cs-134	3.3E+10	3.8E+09	1.3E+10	3.5E+09	9.5E+06	4.3E+10
I-135	8.7E+10	8.3E+09	2.1E+09	1.2E+09	1.1E+03	6.8E+08
Cs-136	3.9E+09	2.7E+08	2.2E+09	4.1E+08	2.6E+05	3.2E+09
Cs-137	4.2E+10	5.0E+09	1.7E+10	4.5E+09	1.3E+07	6.1E+10
Ba-140	3.3E+08	2.3E+07	7.6E+06	5.2E+07	3.5E+04	1.1E+08
La-140	5.9E+07	4.8E+06	2.3E+06	4.9E+06	2.7E+02	1.6E+07
Ce-141	1.5E+07	1.1E+06	2.8E+05	2.7E+06	3.6E+03	5.5E+06
Ce-143	2.0E+07	1.7E+06	8.3E+05	1.5E+06	6.5E+01	4.9E+06
Ce-144	4.7E+07	5.1E+06	7.7E+05	9.4E+06	2.5E+04	5.7E+07
Cr-51	7.6E+09	5.8E+08	1.3E+07	1.3E+08	1.6E+05	2.1E+09
Mn-54	7.3E+08	8.0E+07	1.0E+06	1.4E+07	4.0E+04	2.4E+08
Fe-59	1.2E+08	1.0E+07	2.0E+05	2.3E+06	3.6E+03	3.3E+07
Co-58	2.7E+09	2.4E+08	4.1E+06	5.2E+07	1.0E+05	7.4E+08
Co-60	2.5E+08	2.9E+07	3.4E+05	4.9E+06	1.5E+04	9.5E+07
Ba-137m	5.4E+10	6.2E+09	1.7E+10	4.5E+09	1.3E+07	6.1E+10
Sb-122	2.1E+07	1.6E+06	3.7E+07	4.3E+08	4.4E+04	5.7E+07
Sb-124	2.1E+07	1.8E+06	1.9E+07	5.7E+08	8.1E+05	6.3E+08

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-14

정지냉각계통 선원세기(MeV/gram-sec)

붕괴 시간 (Hr)	에너지(MeV)								
	0.3	0.63	1.10	1.55	1.99	2.38	2.75	3.25	3.70
1	3.3E4	2.4E5	6.7E4	1.9E4	4.7E3	3.4E2	1.6E2	9.9E1	1.2E2
10	2.5E4	1.2E5	2.9E4	7.5E3	2.2E3	2.9E1	6.7E-1	6.2E-1	8.9E-3
100	1.8E4	4.4E4	6.3E3	2.4E3	3.5E2	2.2E1	2.7E-2	8.7E-3	-

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-15 (2 중 1)

2차측 계통내 차폐설계기준 방사능농도*(Bq/g)

<u>방사성핵종</u>	<u>증기발생기 액체</u>	<u>주증기</u>
Kr-85m	0.00E+00	1.91E-01
Kr-85	0.00E+00	7.51E-01
Kr-87	0.00E+00	1.48E-01
Kr-88	0.00E+00	4.16E-01
Xe-131m	0.00E+00	8.45E-01
Xe-133m	0.00E+00	4.94E-02
Xe-133	0.00E+00	5.29E+01
Xe-135m	0.00E+00	1.08E-01
Xe-135	0.00E+00	1.05E+00
Xe-137	0.00E+00	2.51E-02
Xe-138	0.00E+00	9.17E-02
Br-84	8.18E-02	8.18E-04
I-131	3.50E+01	3.50E-01
I-132	6.23E+00	6.23E-02
I-133	4.97E+01	4.97E-01
I-134	2.47E+00	2.47E-02
I-135	2.56E+01	2.56E-01
Rb-88	6.19E+00	3.09E-02
Cs-134	4.51E+00	2.26E-02
Cs-136	7.54E-01	3.77E-03
Cs-137	5.74E+00	2.87E-02
Na-24	0.00E+00	0.00E+00
Cr-51	1.15E+00	5.74E-03
Mn-54	9.25E-02	4.62E-04
Fe-55	0.00E+00	0.00E+00
Fe-59	1.73E-02	8.66E-05
Co-58	3.68E-01	1.84E-03
Co-60	3.06E-02	1.53E-04

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-15 (2 중 2)

<u>방사성핵종</u>	<u>증기발생기 액체</u>	<u>주증기</u>
Zn-65	0.00E+00	0.00E+00
Sr-89	4.76E-02	2.38E-04
Sr-90	2.39E-03	1.19E-05
Sr-91	6.68E-02	3.34E-04
Y-91m	2.92E-02	1.46E-04
Y-91	6.78E-03	3.39E-05
Y-93	1.61E-03	8.04E-06
Zr-95	2.25E-02	1.12E-04
Nb-95	7.39E-03	3.70E-05
Mo-99	4.12E+00	2.06E-02
Tc-99m	1.75E+00	8.74E-03
Ru-103	2.56E-03	1.28E-05
Ru-106	1.02E-03	5.08E-06
Ag-110m	0.00E+00	0.00E+00
Te-129m	8.71E-02	4.35E-04
Te-129	4.05E-02	2.02E-04
Te-131m	4.11E-01	2.05E-03
Te-131	3.61E-02	1.80E-04
Te-132	2.87E+00	1.43E-02
Ba-137m	5.74E+00	2.87E-02
Ba-140	5.84E-02	2.92E-04
La-140	1.73E-02	8.64E-05
Ce-141	2.19E-03	1.09E-05
Ce-143	6.12E-03	3.06E-05
Ce-144	5.93E-03	2.97E-05
W-187	0.00E+00	0.00E+00
Np-239	0.00E+00	0.00E+00
H-3	1.46E+04	1.46E+04

* 0.25% 핵연료피복재 손상을 적용

표 12.2-16 (2 중 1)

2차측 화학제어계통 기기 및 유동경로별 차폐설계기준 방사능량*

방사성핵종	증기발생기	취출	취출 전치	취출 후치	복수	CPD	
	취출수(Bq/g)	탈염기(Bq)	여과기(Bq)	여과기(Bq)		양이온베드(Bq)	혼합상베드(Bq)
Br-84	8.18E-02	3.57E+06	0.00E+00	0.00E+00	2.60E-04	0.00E+00	3.75E+02
I-131	3.50E+01	5.15E+11	0.00E+00	0.00E+00	1.11E-01	0.00E+00	5.41E+07
I-132	6.23E+00	1.18E+09	0.00E+00	0.00E+00	1.98E-02	0.00E+00	1.24E+05
I-133	4.97E+01	8.53E+10	0.00E+00	0.00E+00	1.58E-01	0.00E+00	8.97E+06
I-134	2.47E+00	1.79E+08	0.00E+00	0.00E+00	7.85E-03	0.00E+00	1.88E+04
I-135	2.56E+01	1.40E+10	0.00E+00	0.00E+00	8.15E-02	0.00E+00	1.47E+06
Rb-88	6.19E+00	1.38E+08	0.00E+00	0.00E+00	1.41E-02	1.14E+04	6.31E+02
Cs-134	4.51E+00	1.67E+11	0.00E+00	0.00E+00	1.03E-02	1.26E+06	7.64E+05
Cs-136	7.54E-01	1.42E+10	0.00E+00	0.00E+00	1.71E-03	1.96E+05	6.51E+04
Cs-137	5.74E+00	2.15E+11	0.00E+00	0.00E+00	1.30E-02	1.60E+06	9.85E+05
Na-24	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cr-51	1.15E+00	3.33E+09	5.69E+10	5.75E+07	1.04E-03	1.24E+05	1.00E+05
Mn-54	9.25E-02	3.69E+08	1.73E+10	2.89E+07	8.41E-05	1.03E+04	1.11E+04
Fe-55	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Fe-59	1.73E-02	5.71E+07	1.31E+09	1.39E+06	1.58E-05	1.89E+03	1.71E+03
Co-58	3.68E-01	1.31E+09	3.51E+10	4.56E+07	3.35E-04	4.05E+04	3.94E+04
Co-60	3.06E-02	1.26E+08	3.91E+10	1.31E+07	2.79E-05	3.42E+03	3.77E+03
Zn-65	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Sr-89	4.76E-02	1.61E+09	0.00E+00	0.00E+00	4.33E-05	5.22E+03	4.83E+03
Sr-90	2.39E-03	9.82E+07	0.00E+00	0.00E+00	2.17E-06	2.66E+02	2.95E+02
Sr-91	6.68E-02	5.24E+07	0.00E+00	0.00E+00	6.07E-05	1.56E+03	1.57E+02
Y-91m	2.92E-02	7.70E+06	0.00E+00	0.00E+00	2.66E-05	2.31E+02	2.31E+01
Y-91	6.78E-03	2.35E+08	0.00E+00	0.00E+00	6.16E-06	7.45E+02	7.05E+02
Y-93	1.61E-03	1.34E+06	0.00E+00	0.00E+00	1.46E-06	3.98E+01	4.03E+00

표 12.2-16 (2 중 2)

방사성핵종	증기발생기 취출수(Bq/g)	취출 탈염기(Bq)	취출 전치 여과기(Bq)	취출 후치 여과기(Bq)	복수 (Bq/cc)	CPD 양이온베드(Bq)	CPD 혼합상베드(Bq)
Zr-95	2.25E-02	7.90E+07	2.23E+09	2.54E+06	2.04E-05	2.47E+03	2.37E+03
Nb-95	7.39E-03	2.30E+08	0.00E+00	0.00E+00	6.72E-06	8.03E+02	6.89E+02
Mo-99	4.12E+00	2.24E+10	0.00E+00	0.00E+00	3.75E-03	3.33E+05	6.73E+04
Tc-99m	1.75E+00	8.70E+08	0.00E+00	0.00E+00	1.59E-03	2.61E+04	2.61E+03
Ru-103	2.56E-03	8.18E+07	0.00E+00	0.00E+00	2.32E-06	2.78E+02	2.45E+02
Ru-106	1.02E-03	4.07E+07	0.00E+00	0.00E+00	9.24E-07	1.13E+02	1.22E+02
Ag-110m	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Te-129m	8.71E-02	2.67E+09	0.00E+00	0.00E+00	7.92E-05	9.45E+03	8.03E+03
Te-129	4.05E-02	3.87E+06	0.00E+00	0.00E+00	3.68E-05	1.16E+02	1.16E+01
Te-131m	4.11E-01	1.02E+09	0.00E+00	0.00E+00	3.73E-04	2.37E+04	3.05E+03
Te-131	3.61E-02	1.24E+06	0.00E+00	0.00E+00	3.28E-05	3.73E+01	3.73E+00
Te-132	2.87E+00	1.85E+10	0.00E+00	0.00E+00	2.60E-03	2.43E+05	5.54E+04
Ba-137m	5.74E+00	2.15E+11	0.00E+00	0.00E+00	1.30E-02	1.60E+06	1.51E+02
Ba-140	5.84E-02	1.19E+09	0.00E+00	0.00E+00	5.31E-05	6.07E+03	3.57E+03
La-140	1.73E-02	5.75E+07	0.00E+00	0.00E+00	1.57E-05	1.16E+03	1.72E+02
Ce-141	2.19E-03	6.65E+07	0.00E+00	0.00E+00	1.99E-06	2.37E+02	2.00E+02
Ce-143	6.12E-03	1.67E+07	0.00E+00	0.00E+00	5.56E-06	3.73E+02	5.00E+01
Ce-144	5.93E-03	2.36E+08	0.00E+00	0.00E+00	5.39E-06	6.60E+02	7.07E+02
W-187	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Np-239	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
H-3	1.46E+04	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.46E+04	0.00E+00	0.00E+00

* 0.25% 핵연료피복재 손상률 적용

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-17

사용후연료저장조와 재장전수조내 핵분열생성물 및
부식생성물 방사능 농도 (Bq/g)

(노심출력 : 2,872 MWt, 핵연료 손상률 : 0.25 %)

<u>핵 종</u>	<u>비방사능</u>	<u>핵 종</u>	<u>비방사능</u>
N-16	0.0E+00	Te-129m	8.9E-02
Kr-85m	4.2E-02	Te-129	2.2E-13
Kr-85	1.1E+02	I-131	2.6E+01
Kr-87	1.7E-09	Te-131m	1.2E-01
Kr-88	1.9E-03	Te-131	4.9E-33
Xe-131m	1.1E+02	Te-132	1.6E+00
Xe-133m	4.4E+00	I-132	1.6E-05
Xe-133	6.3E+03	I-133	1.1E+01
Xe-135m	0.0E+00	I-134	5.3E-15
Xe-135	7.2E+00	Cs-134	1.7E+01
Xe-137	0.0E+00	I-135	3.0E-01
Xe-138	0.0E+00	Cs-136	1.4E+00
Br-84	5.0E-26	Cs-137	2.4E+01
Rb-88	0.0E+00	Ba-140	4.6E-02
Sr-89	6.1E-02	La-140	7.1E-03
Sr-90	1.3E-02	Ce-141	2.3E-03
Sr-91	2.9E-03	Ce-143	2.1E-03
Y-91m	5.6E-16	Ce-144	2.1E-02
Y-91	5.0E-01	Cr-51	9.1E-01
Y-93	6.3E-04	Mn-54	1.0E-01
Zr-95	3.4E-02	Fe-59	1.4E-02
Nb-95	7.9E-03	Co-58	3.2E-01
Tc-99m	1.2E-02	Co-60	3.8E-02
Mo-99	2.2E+00	Ba-137m	2.4E+01
Ru-103	2.9E-03	Sb-122	2.5E-02
Ru-106	3.9E-03	Sb-124	2.2E-01

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-18

사용후연료저장조 냉각 및 정화계통 차폐설계기준 방사능량(Bq)

방사성핵종	여과기	이온교환기
Br-84	0.00E+00	0.00E+00
I-131	0.00E+00	3.95E+10
I-132	0.00E+00	3.07E-24
I-133	0.00E+00	2.73E+07
I-134	0.00E+00	0.00E+00
I-135	0.00E+00	1.40E-01
Rb-88	0.00E+00	0.00E+00
Cs-134	0.00E+00	5.04E+10
Cs-136	0.00E+00	2.61E+09
Cs-137	0.00E+00	7.17E+10
Na-24	0.00E+00	0.00E+00
Sr-89	0.00E+00	1.78E+08
Sr-90	0.00E+00	4.29E+07
Sr-91	0.00E+00	1.36E+00
Y-91m	0.00E+00	8.14E-27
Y-91	0.00E+00	1.48E+09
Y-93	0.00E+00	7.64E-01
Zr-95	1.01E+08	1.02E+08
Nb-95	0.00E+00	2.18E+07
Mo-99	0.00E+00	7.52E+08
Tc-99m	0.00E+00	6.46E-04
Ru-103	0.00E+00	8.17E+06
Ru-106	0.00E+00	1.27E+07
Ag-110m	0.00E+00	0.00E+00
Te-129m	0.00E+00	2.44E+08
Te-129	0.00E+00	0.00E+00
Te-131m	0.00E+00	2.70E+06
Te-131	0.00E+00	0.00E+00
Te-132	0.00E+00	1.17E+09
Ba-137m	0.00E+00	7.17E+10
Ba-140	0.00E+00	9.33E+07
La-140	0.00E+00	5.71E+05
Ce-141	0.00E+00	6.27E+06
Ce-143	0.00E+00	7.43E+04
Ce-144	0.00E+00	6.79E+07
W-187	0.00E+00	0.00E+00
Np-239	0.00E+00	0.00E+00
Cr-51	2.45E+09	2.40E+09
Mn-54	3.16E+08	3.24E+08
Fe-55	0.00E+00	0.00E+00
Fe-59	4.03E+07	4.02E+07
Co-58	9.59E+08	9.68E+08
Co-60	1.22E+08	1.25E+08
Zn-65	0.00E+00	0.00E+00

표 12.2-19 (6 중 1)

액체방사성폐기물계통 차폐설계기준 방사선원

1. 액체방사성폐기물내 방사능농도 (Bq/cc)

방사성 핵종	원심분리기 유입	원심분리기 유출	급수탱크 유출	양이온교환기 유출	선택성이온 교환기 유출	음이온 교환기 유출	정화이온 교환기 유출	감시탱크 유출	화학폐기물 탱크 유출
H-3	5.00E+03	5.00E+03	5.00E+03	3.20E+04	3.20E+04	3.20E+04	3.20E+04	3.20E+04	1.00E+03
Cr-51	2.96E+01	5.91E+00	5.88E+00	1.89E+01	1.89E+01	1.89E+01	1.89E+00	1.88E+00	5.94E+00
Mn-54	2.39E+00	4.77E-01	4.77E-01	1.53E+00	1.53E+00	1.53E+00	1.53E-01	1.52E-01	4.77E-01
Co-58	9.49E+00	1.90E+00	1.89E+00	6.07E+00	6.07E+00	6.07E+00	6.07E-01	6.05E-01	1.90E+00
Fe-59	4.46E-01	8.92E-02	8.90E-02	2.85E-01	2.85E-01	2.85E-01	2.85E-02	2.84E-02	8.95E-02
Co-60	7.90E-01	1.58E-01	1.58E-01	5.05E-01	5.05E-01	5.05E-01	5.05E-02	5.05E-02	1.58E-01
Br-84	1.20E+00	1.20E+00	1.60E-01	7.69E+00	7.69E+00	7.69E-02	1.54E-02	1.42E-03	1.81E+00
Rb-88	8.48E+01	8.48E+01	6.69E+00	5.42E+01	5.42E-01	5.42E-01	5.42E-01	2.93E-02	2.15E+02
Sr-89	1.23E+00	2.45E-01	2.45E-01	7.85E-01	7.85E-01	7.85E-01	7.85E-02	7.82E-02	2.46E-01
Y-89m	1.23E-04	2.45E-05	2.45E-05	7.84E-05	7.84E-05	7.84E-05	7.84E-06	7.82E-06	0.00E+00
Sr-90	6.15E-02	1.23E-02	1.23E-02	3.94E-02	3.94E-02	3.94E-02	3.94E-03	3.94E-03	1.23E-02
Y-90m	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Y-90	3.16E-03	6.32E-04	1.23E-03	2.02E-03	2.02E-03	2.02E-03	2.02E-04	4.83E-04	0.00E+00
Sr-91	1.50E+00	3.00E-01	2.21E-01	9.59E-01	9.59E-01	9.59E-01	9.59E-02	6.24E-02	4.07E-01
Y-91m	9.34E-01	1.87E-01	1.41E-01	5.98E-01	5.98E-01	5.98E-01	5.98E-02	3.98E-02	2.32E-01
Y-91	1.78E-01	3.57E-02	3.62E-02	1.14E-01	1.14E-01	1.14E-01	1.14E-02	1.16E-02	3.50E-02
Y-93	3.63E-02	7.25E-03	5.42E-03	2.32E-02	2.32E-02	2.32E-02	2.32E-03	1.54E-03	9.71E-03
Zr-93	9.56E-12	1.91E-12	3.34E-12	6.12E-12	6.12E-12	6.12E-12	6.12E-13	1.22E-12	0.00E+00
Nb-93m	2.64E-16	5.28E-17	1.45E-16	1.69E-16	1.69E-16	1.69E-16	1.69E-17	6.74E-17	0.00E+00
Zr-95	5.79E-01	1.16E-01	1.16E-01	3.70E-01	3.70E-01	3.70E-01	3.70E-02	3.69E-02	1.16E-01

표 12.2-19 (6 중 2)

1. 액체방사성 폐기물내 방사능농도 (Bq/cc)

방사성 핵종	원심분리기 유입	원심분리기 유출	급수탱크 유출	양이온교환기 유출	선택성이온 교환기 유출	음이온 교환기 유출	정화이온 교환기 유출	감시탱크 유출	화학폐기물 탱크 유출
Nb-95m	4.30E-04	8.59E-05	1.68E-04	2.75E-04	2.75E-04	2.75E-04	2.75E-05	6.63E-05	0.00E+00
Nb-95	1.93E-01	3.85E-02	3.89E-02	1.23E-01	1.23E-01	1.23E-01	1.23E-02	1.25E-02	3.82E-02
Mo-99	1.04E+02	2.07E+01	1.97E+01	6.63E+01	6.63E+01	6.63E+01	6.63E+00	6.16E+00	2.18E+01
Tc-99m	7.00E+01	1.40E+01	1.52E+01	4.48E+01	4.48E+01	4.48E+01	4.48E+00	4.90E+00	1.16E+01
Tc-99	1.55E-07	3.11E-08	6.42E-08	9.94E-08	9.94E-08	9.94E-08	9.94E-09	2.59E-08	0.00E+00
Ru-103	6.58E-02	1.32E-02	1.31E-02	4.21E-02	4.21E-02	4.21E-02	4.21E-03	4.18E-03	1.32E-02
Rh-103m	5.17E-02	5.17E-02	2.14E-02	3.30E-01	3.30E-01	3.30E-01	3.30E-01	5.45E-02	0.00E+00
Ru-106	2.62E-02	5.24E-03	5.24E-03	1.68E-02	1.68E-02	1.68E-02	1.68E-03	1.68E-03	5.24E-03
Rh-106m	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Rh-106	2.61E-02	2.61E-02	5.29E-03	1.67E-01	1.67E-01	1.67E-01	1.67E-01	1.94E-03	0.00E+00
Te-129m	2.24E+00	4.48E-01	4.47E-01	1.43E+00	1.43E+00	1.43E+00	1.43E-01	1.42E-01	4.50E-01
Te-129	1.72E+00	3.45E-01	3.00E-01	1.10E+00	1.10E+00	1.10E+00	1.10E-01	9.46E-02	5.19E-01
I-129	5.88E-11	5.88E-11	6.95E-11	3.76E-10	3.76E-10	3.76E-12	7.52E-13	5.83E-12	0.00E+00
Te-131m	1.00E+01	2.01E+00	1.80E+00	6.43E+00	6.43E+00	6.43E+00	6.43E-01	5.48E-01	2.24E+00
Te-131	2.13E+00	4.25E-01	3.35E-01	1.36E+00	1.36E+00	1.36E+00	1.36E-01	1.01E-01	9.54E-01
I-131	9.24E+02	9.24E+02	9.08E+02	5.91E+03	5.91E+03	5.91E+01	1.18E+01	1.15E+01	1.88E+02
Xe-131m	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Te-132	7.23E+01	1.45E+01	1.38E+01	4.63E+01	4.63E+01	4.63E+01	4.63E+00	4.34E+00	1.51E+01
I-132	1.58E+02	1.58E+02	7.13E+01	1.01E+03	1.01E+03	1.01E+01	2.02E+00	3.63E+00	5.73E+01

표 12.2-19 (6 중 3)

1. 액체방사성폐기물내 방사능농도 (Bq/cc)

방사성 핵종	원심분리기 유입	원심분리기 유출	급수탱크 유출	양이온교환기 유출	선택성이온 교환기 유출	음이온 교환기 유출	정화이온 교환기 유출	감시탱크 유출	화학폐기물 탱크 유출
I-133	1.23E+03	1.23E+03	1.05E+03	7.86E+03	7.86E+03	7.86E+01	1.57E+01	1.26E+01	2.86E+02
Xe-133m	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe-133	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
I-134	3.83E+01	3.83E+01	7.66E+00	2.45E+02	2.45E+02	2.45E+00	4.90E-01	7.00E-02	3.82E+01
Cs-134	1.07E+02	1.07E+02	1.07E+02	6.82E+01	6.82E-01	6.82E-01	6.82E-01	6.81E-01	2.13E+01
I-135	5.64E+02	5.64E+02	3.72E+02	3.61E+03	3.61E+03	3.61E+01	7.22E+00	4.07E+00	1.71E+02
Xe-135m	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe-135	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cs-135	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cs-136	1.77E+01	1.77E+01	1.75E+01	1.13E+01	1.13E-01	1.13E-01	1.13E-01	1.11E-01	3.58E+00
Cs-137	1.36E+02	1.36E+02	1.36E+02	8.67E+01	8.67E-01	8.67E-01	8.67E-01	8.67E-01	2.71E+01
Ba-137m	1.27E+02	2.54E+01	1.26E+02	8.11E+01	8.11E+01	8.11E+01	8.11E+00	8.70E-01	2.55E+01
Ba-140	1.50E+00	3.00E-01	2.96E-01	9.59E-01	9.59E-01	9.59E-01	9.59E-02	9.43E-02	3.03E-01
La-140	5.47E-01	1.09E-01	1.24E-01	3.50E-01	3.50E-01	3.50E-01	3.50E-02	4.18E-02	9.29E-02
Ce-141	5.63E-02	1.13E-02	1.12E-02	3.60E-02	3.60E-02	3.60E-02	3.60E-03	3.58E-03	1.13E-02
Ce-143	1.50E-01	3.01E-02	2.72E-02	9.62E-02	9.62E-02	9.62E-02	9.62E-03	8.31E-03	3.32E-02
Pr-143	1.58E-03	1.58E-03	1.85E-03	1.01E-02	1.01E-02	1.01E-02	1.01E-02	1.01E-02	0.00E+00
Ce-144	1.53E-01	3.06E-02	3.06E-02	9.79E-02	9.79E-02	9.79E-02	9.79E-03	9.78E-03	3.06E-02
Pr-144	1.41E-01	1.41E-01	3.91E-02	9.04E-01	9.04E-01	9.04E-01	9.04E-01	5.67E-02	0.00E+00

표 12.2-19 (6 중 4)

2. 액체방사성폐기물 기기내 방사능 (Bq)

방사성 핵종	H/LTDS 탱크	원심분리기	급수 탱크	양이온 교환기	선택성이온 교환기	음이온 교환기	정화이온 교환기	감시탱크	화학폐기물 탱크
H-3	2.18E+12	1.25E+10	3.41E+11	5.24E+10	5.24E+10	5.24E+10	5.24E+10	3.78E+12	3.41E+10
Cr-51	1.29E+10	8.55E+10	4.01E+08	1.54E+11	2.76E+07	2.76E+07	1.54E+10	1.98E+08	2.02E+08
Mn-54	1.04E+09	7.95E+09	3.25E+07	1.30E+10	2.23E+06	2.23E+06	1.30E+09	1.61E+07	1.63E+07
Co-58	4.14E+09	3.02E+10	1.29E+08	5.11E+10	8.84E+06	8.84E+06	5.11E+09	6.36E+07	6.47E+07
Fe-59	1.95E+08	1.37E+09	6.06E+06	2.37E+09	4.18E+05	4.18E+05	2.37E+08	3.00E+06	3.05E+06
Co-60	3.45E+08	2.67E+09	1.08E+07	4.33E+09	7.40E+05	7.40E+05	4.33E+08	5.33E+06	5.38E+06
Br-84	5.24E+08	3.00E+06	1.09E+07	1.11E+07	1.11E+07	9.21E+07	7.66E+05	1.48E+05	1.45E+07
Rb-88	3.70E+10	2.12E+08	4.56E+08	3.66E+09	3.96E+08	7.77E+05	7.77E+05	3.03E+06	1.07E+09
Sr-89	5.35E+08	3.81E+09	1.67E+07	6.55E+09	1.15E+06	1.15E+06	6.55E+08	8.25E+06	8.37E+06
Y-89m	5.34E+04	3.81E+05	1.67E+03	6.55E+05	1.14E+02	1.14E+02	6.55E+04	8.25E+02	8.35E+02
Sr-90	2.68E+07	2.08E+08	8.39E+05	3.37E+08	5.74E+04	5.74E+04	3.37E+07	4.14E+05	4.19E+05
Y-90	1.38E+06	1.51E+08	8.40E+04	1.22E+08	3.04E+03	3.04E+03	1.22E+07	5.14E+04	1.11E+04
Sr-91	6.53E+08	2.32E+08	1.50E+07	1.67E+09	1.39E+06	1.39E+06	1.67E+08	6.51E+06	1.18E+07
Y-91m	4.07E+08	1.49E+08	9.59E+06	1.07E+09	8.66E+05	8.66E+05	1.07E+08	4.18E+06	7.23E+06
Y-91	7.78E+07	5.93E+08	2.47E+06	1.00E+09	1.67E+05	1.67E+05	1.00E+08	1.22E+06	1.21E+06
Y-93	1.58E+07	5.92E+06	3.69E+05	4.26E+07	3.36E+04	3.36E+04	4.26E+06	1.61E+05	2.83E+05
Zr-93	4.17E-03	1.23E-01	2.28E-04	1.74E-01	9.14E-06	9.14E-06	1.74E-02	1.30E-04	3.73E-05
Nb-93m	1.15E-07	8.93E-07	9.89E-09	3.39E-05	2.60E-10	2.60E-10	3.39E-06	7.25E-09	5.15E-10
Zr-95	2.52E+08	1.83E+09	7.87E+06	3.11E+09	5.40E+05	5.40E+05	3.11E+08	3.89E+06	3.95E+06
Nb-95m	1.87E+05	2.36E+07	1.15E+04	1.78E+07	4.14E+02	4.14E+02	1.78E+06	7.07E+03	1.49E+03

표 12.2-19 (6 중 5)

2. 액체방사성폐기물 기기내 방사능 (Bq)

방사성 핵종	H/LTDS 탱크	원심분리기	급수 탱크	양이온 교환기	선택성이온 교환기	음이온 교환기	정화이온 교환기	감시탱크	화학폐기물 탱크
Nb-95	8.40E+07	7.93E+08	2.65E+06	1.13E+09	1.80E+05	1.80E+05	1.13E+08	1.31E+06	1.31E+06
Mo-99	4.52E+10	1.05E+11	1.34E+09	3.89E+11	9.66E+07	9.66E+07	3.89E+10	6.48E+08	7.24E+08
Tc-99m	3.05E+10	9.81E+10	1.03E+09	3.51E+11	6.55E+07	6.55E+07	3.51E+10	5.18E+08	4.48E+08
Tc-99	6.78E+01	9.86E+03	4.37E+00	7.51E+03	1.50E-01	1.50E-01	7.51E+02	2.76E+00	5.05E-01
Ru-103	2.87E+07	1.99E+08	8.94E+05	3.48E+08	6.14E+04	6.14E+04	3.48E+07	4.40E+05	4.49E+05
Rh-103m	2.25E+07	1.98E+08	1.46E+06	3.41E+08	5.00E+05	5.00E+05	3.46E+07	5.92E+06	2.90E+05
Ru-106	1.14E+07	8.76E+07	3.57E+05	1.43E+08	2.45E+04	2.45E+04	1.43E+07	1.76E+05	1.79E+05
Rh-106	1.14E+07	8.76E+07	3.60E+05	1.43E+08	2.44E+05	2.44E+05	1.45E+07	2.05E+05	1.78E+05
Te-129m	9.77E+08	6.67E+09	3.04E+07	1.18E+10	2.09E+06	2.09E+06	1.18E+09	1.50E+07	1.53E+07
Te-129	7.51E+08	4.28E+09	2.05E+07	7.62E+09	1.61E+06	1.61E+06	7.62E+08	9.95E+06	1.29E+07
I-129	2.56E-02	5.02E+00	4.74E-03	2.58E+00	6.29E-04	5.96E-01	2.63E-01	6.25E-04	2.14E-04
Te-131m	4.38E+09	4.76E+09	1.23E+08	2.66E+10	9.36E+06	9.36E+06	2.66E+09	5.77E+07	7.22E+07
Te-131	9.27E+08	8.72E+08	2.28E+07	4.88E+09	1.97E+06	1.97E+06	4.88E+08	1.07E+07	1.68E+07
I-131	4.03E+11	5.21E+09	6.19E+10	1.34E+10	9.66E+09	6.62E+12	5.37E+10	1.36E+09	6.35E+09
Xe-131m	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.07E+06	0.00E+00	6.62E+09	5.37E+07	0.00E+00	0.00E+00
Te-132	3.15E+10	8.34E+10	9.44E+08	2.83E+11	6.73E+07	6.73E+07	2.83E+10	4.55E+08	5.04E+08
I-132	6.88E+10	8.34E+10	4.86E+09	2.72E+11	1.53E+09	5.00E+10	2.75E+10	3.85E+08	1.33E+09
I-133	5.35E+11	3.07E+09	7.19E+10	1.26E+10	1.26E+10	3.22E+12	2.60E+10	1.46E+09	9.01E+09
Xe-133m	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.54E+10	2.86E+08	0.00E+00	0.00E+00

표 12.2-19 (6 중 6)

2. 액체방사성폐기물 기기내 방사능 (Bq)

방사성 핵종	H/LTDS 탱크	원심분리기	급수 탱크	양이온 교환기	선택성이온 교환기	음이온 교환기	정화이온 교환기	감시탱크	화학폐기물 탱크
Xe-133	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.55E+11	6.88E+09	0.00E+00	0.00E+00
I-134	1.67E+10	9.56E+07	5.22E+08	3.57E+08	3.57E+08	4.63E+09	3.81E+07	7.36E+06	4.34E+08
Cs-134	4.64E+10	2.66E+08	7.26E+09	9.07E+11	9.95E+10	1.12E+06	1.12E+06	8.07E+07	7.26E+08
I-135	2.46E+11	1.41E+09	2.53E+10	5.62E+09	5.62E+09	5.25E+11	4.26E+09	4.59E+08	4.63E+09
Xe-135m	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.56E+11	1.26E+09	0.00E+00	0.00E+00
Xe-135	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.03E+11	4.07E+09	0.00E+00	0.00E+00
Cs-135	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.33E+02	6.73E+00	0.00E+00	0.00E+00
Cs-136	7.72E+09	4.43E+07	1.19E+09	1.27E+11	1.39E+10	1.85E+05	1.85E+05	1.32E+07	1.21E+08
Cs-137	5.91E+10	3.39E+08	9.24E+09	1.15E+12	1.27E+11	1.42E+06	1.42E+06	1.02E+08	9.24E+08
Ba-137m	5.53E+10	4.01E+08	8.55E+09	1.08E+12	1.19E+11	1.32E+08	2.03E+08	1.03E+08	8.64E+08
Ba-140	6.53E+08	3.65E+09	2.02E+07	7.44E+09	1.40E+06	1.40E+06	7.44E+08	9.95E+06	1.03E+07
La-140	2.38E+08	3.45E+09	8.47E+06	4.92E+09	5.14E+05	5.14E+05	4.92E+08	4.40E+06	3.46E+06
Ce-141	2.45E+07	1.67E+08	7.64E+05	2.96E+08	5.25E+04	5.25E+04	2.96E+07	3.77E+05	3.84E+05
Ce-143	6.55E+07	7.84E+07	1.85E+06	4.22E+08	1.40E+05	1.40E+05	4.22E+07	8.73E+05	1.08E+06
Pr-143	6.89E+05	3.31E+07	1.26E+05	3.63E+07	1.69E+04	1.69E+04	3.64E+06	1.22E+06	5.68E+03
Ce-144	6.67E+07	5.09E+08	2.08E+06	8.33E+08	1.43E+05	1.43E+05	8.33E+07	1.03E+06	1.04E+06
Pr-144	6.16E+07	5.09E+08	2.66E+06	8.29E+08	1.34E+06	1.34E+06	8.40E+07	6.03E+06	8.94E+05

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-20

기체방사성폐기물계통 차폐설계기준 방사능량

핵 종	입구측 방사능농도	출구측 방사능농도	활성탄지연대 누적 방사능 (Bq)			
	(Bq/cc)	(Bq/cc)	첫번째	두번째	세번째	네번째
Kr-85m	3.01E+05	1.06E-02	6.03E+12	8.26E+10	1.13E+09	1.55E+07
Kr-85	1.19E+06	1.19E+06	1.03E+14	1.03E+14	1.03E+14	1.03E+14
Kr-87	2.36E+05	1.47E-21	1.36E+12	3.83E+05	1.08E-01	3.03E-08
Kr-88	6.56E+05	1.22E-06	8.46E+12	9.87E+09	1.15E+07	1.34E+04
Xe-131m	1.34E+06	1.09E+04	1.21E+15	3.64E+14	1.09E+14	3.27E+13
Xe-133m	7.62E+04	3.64E-07	1.82E+13	2.68E+10	3.96E+07	5.86E+04
Xe-133	8.16E+07	1.53E+03	4.35E+16	2.87E+15	1.89E+14	1.24E+13
Xe-135m	1.68E+05	0.00E+00	1.96E+11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe-135	1.61E+06	8.68E-60	6.67E+13	3.21E-03	1.55E-19	7.46E-36
Xe-137	3.79E+04	0.00E+00	1.09E+10	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Xe-138	1.42E+05	0.00E+00	1.52E+11	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
Br-84	6.46E-02	0.00E+00	1.55E+05	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
I-131	6.64E+00	0.00E+00	5.82E+09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
I-132	2.01E+00	0.00E+00	2.11E+07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
I-133	8.55E+01	0.00E+00	8.09E+09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
I-134	1.37E+00	0.00E+00	5.45E+06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
I-135	6.05E+00	0.00E+00	1.81E+08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-21 (2 중 1)

노심내 핵분열생성물 재고량* (Bq)

방사성핵종	재고량	방사성핵종	재고량
Se-84	1.00E+18	Y-95	6.29E+18
Br-84	1.03E+18	Zr-95	5.69E+18
As-85	1.61E+17	Nb-95	5.75E+18
Se-85	5.03E+17	Zr-99	5.61E+18
Br-85	1.19E+18	Nb-99	3.61E+18
Kr-85	4.18E+16	Mo-99	5.82E+18
Kr-85m	1.18E+18	Tc-99m	5.14E+18
Se-87	7.61E+17	Mo-103	5.15E+18
Br-87	1.96E+18	Tc-103	5.21E+18
Kr-87	2.43E+18	Ru-103	5.29E+18
Br-88	1.99E+18	Tc-106	2.92E+18
Kr-88	3.45E+18	Ru-106	2.34E+18
Rb-88	3.53E+18	Rh-106	2.51E+18
Br-89	1.34E+18	Ag-110m	2.38E+16
Kr-89	4.44E+18	I-127**	4.36E+01
Rb-89	4.69E+18	Sn-129	4.00E+17
Sr-89	4.03E+18	Sb-129	1.01E+18
Br-90	6.90E+17	Te-129	9.64E+17
Kr-90	4.87E+18	Te-129m	1.98E+17
Rb-90	4.45E+18	I-129	1.58E+11
Sr-90	3.69E+17	Sn-131	9.66E+17
Y-90	3.87E+17	Sb-131	2.60E+18
Kr-91	3.38E+18	Te-131	2.63E+18
Rb-91	5.55E+18	Te-131m	6.38E+17
Sr-91	5.78E+18	I-131	3.04E+18
Y-91	4.87E+18	Xe-131m	3.45E+16
Y-91m	3.35E+18	Sn-132	7.06E+17
Y-93	4.14E+18	Sb-132	1.48E+18
Sr-95	5.31E+18	Te-132	4.33E+18

* 2,872 MWt 열출력 및 54 GWD/MTU 연소도

** 안정핵종

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-21 (2 중 2)

<u>방사성핵종</u>	<u>재고량</u>	<u>방사성핵종</u>	<u>재고량</u>
I-132	4.42E+18	Ba-137m	5.09E+17
Sn-133	2.11E+17	I-138	1.67E+18
Sb-133	2.48E+18	Xe-138	6.27E+18
Te-133	3.86E+18	Cs-138	6.57E+18
Te-133m	3.19E+18	Xe-140	3.82E+18
I-133	6.56E+18	Cs-140	5.73E+18
Xe-133	6.42E+18	Ba-140	5.87E+18
Xe-133m	1.97E+17	La-140	5.89E+18
Sb-134	4.88E+17	Ce-141	5.45E+18
Te-134	6.89E+18	Xe-143	7.26E+16
I-134	7.69E+18	Cs-143	1.51E+18
Cs-134	9.25E+17	Ba-143	5.19E+18
Sb-135	1.86E+17	La-143	5.79E+18
Te-135	3.37E+18	Ce-143	5.52E+18
I-135	6.29E+18	Pr-143	5.30E+18
Xe-135	2.11E+18	Xe-144	1.37E+16
Xe-135m	1.34E+18	Cs-144	3.98E+17
Cs-135	2.24E+12	Ba-144	4.41E+18
Cs-136	2.47E+17	La-144	5.29E+18
I-137	3.32E+18	Ce-144	4.00E+18
Xe-137	6.08E+18	Pr-144	4.03E+18
Cs-137	5.37E+17		

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-22 (3 중 1)

각 건물내 주요격실별 공기중 방사능농도

격납건물									
위치	격실명	배기율 (CFM)	공기중방사능농도 (Bq/cc)			유도공기중농도(DAC) 분율*			
			Kr, Xe	I	H-3	Kr, Xe	I	H-3	합계
-	-	1500	2.63E+2	1.04E-3	1.24E+1	1.44E+2	1.44E+0	6.21E+1	2.08+2
1차보조건물									
위치	격실명	배기율 (CFM)	공기중방사능농도 (Bq/cc)			유도공기중농도(DAC) 분율			
			Kr, Xe	I	H-3	Kr, Xe	I	H-3	합계
	충전펌프 격실	1450	3.81E-1	8.90E-6	2.55E-3	3.38E-1	7.93E-3	1.27E-2	3.58E-1
	보조충전 펌프격실	1350	2.57E-1	5.67E-6	1.71E-3	2.35E-1	5.04E-3	8.55E-3	2.48E-1
	바닥배수 집수조 펌프격실	900	2.19E-3	5.48E-6	0.00E+0	2.00E-3	4.71E-3	0.00E+0	6.71E-3
	안전주입 순환구역	1050	5.91E-1	1.23E-3	3.96E-3	5.22E-1	1.06E+0	1.98E-2	1.61E+0
	배관터널	900	5.77E-2	1.43E-4	3.85E-4	5.12E-2	1.24E-1	1.92E-3	1.75E-1
	계관통부 구역	1350	7.51E-2	1.76E-4	5.11E-4	5.84E-2	1.63E-1	2.56E-3	2.24E-1

$$* \text{ DAC 분율} = \sum_i \frac{(\text{공기중 방사능농도})_i}{\text{DAC}_i}$$

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-22 (3 중 2)

2차보조조건물									
위치	격실명	배기율 (CFM)	공기중방사능농도 (Bq/cc)			유도공기중농도(DAC) 분율			
			Kr, Xe	I	H-3	Kr, Xe	I	H-3	합계
	바닥배수 집수조 펌프격실	1050	1.99E-2	5.00E-5	0.00E+0	1.85E-2	4.27E-2	0.00E+0	6.12E-2
	폐수지 펌프격실	1400	7.33E-2	1.84E-4	0.00E+0	6.76E-2	1.57E-1	0.00E+0	2.25E-1
	자로배수 펌프격실	1050	3.48E-1	1.60E-4	2.31E-3	3.25E-1	1.82E-1	1.16E-2	5.19E-1
	학폐기물 배수펌프 격실	500	7.92E-4	1.98E-6	0.00E+0	7.32E-4	1.70E-3	0.00E+0	2.43E-3
	학폐기물 배수탱크 격실	400	7.81E-4	1.92E-6	0.00E+0	6.68E-4	1.69E-3	0.00E+0	2.36E-3
	밸브격실	1050	2.58E-1	1.02E-4	1.65E-3	2.29E-1	1.17E-1	8.25E-3	3.55E-1
	체적제어 탱크격실	1000	1.88E-1	2.05E-6	6.41E-5	1.81E-1	1.80E-3	3.22E-4	1.83E-1
	산농축기 격실	1200	9.58E-2	3.97E-10	5.76E-4	7.32E-2	7.55E-7	2.88E-3	7.60E-2
	출수밸브 격실	2000	4.14E-1	1.04E-3	2.77E-3	3.79E-1	8.95E-1	1.39E-2	1.29E+0

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.2-22 (3 중 3)

방사성 폐기물건물									
위치	격실명	배기율 (CFM)	공기중방사능농도 (Bq/cc)			유도공기중농도(DAC) 분율			
			Kr, Xe	I	H-3	Kr, Xe	I	H-3	합계
	RS 모관 배수탱크 격실	1000	1.40E+0	1.62E-6	0.00E+0	1.19E+0	9.61E-4	0.00E+0	1.19E+0
	저방사능 수지배출 펌프격실	1000	0.00E+0	4.56E-5	0.00E+0	0.00E+0	7.05E-2	0.00E+0	7.05E-2
	학 폐기물 펌프격실	400	3.77E-12	5.00E-12	7.47E-6	2.75E-11	1.21E-8	3.73E-5	3.73E-5
	저용존 형물 폐액 펌프격실	400	0.00E+0	8.65E-5	2.94E-4	0.00E+0	8.95E-2	1.47E-3	9.09E-2
	염 집수조 펌프격실	400	2.83E-2	7.07E-5	0.00E+0	2.56E-2	6.10E-2	0.00E+0	8.65E-2
	고용존 형물 폐액 펌프격실	400	0.00E+0	1.74E-5	5.95E-5	0.00E+0	1.80E-2	2.98E-4	1.83E-2
	감시기 펌프격실	400	0.00E+0	2.50E-7	8.90E-5	0.00E+0	2.66E-4	4.45E-4	7.11E-4
	밸브격실	1250	0.00E+0	6.30E-2	0.00E+0	0.00E+0	1.36E+2	0.00E+0	1.36E+2
	밸브격실	550	0.00E+0	4.48E-5	9.62E-5	0.00E+0	4.64E-2	4.82E-4	4.69E-2
	밸브격실	550	1.67E-12	2.22E-12	3.31E-6	1.22E-11	5.36E-9	1.66E-5	1.66E-5

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

12.3 방사선방호 설계 특성

방사선방호 설계 특성은 직사 방사선의 저감, 공기중 방사성물질의 제어, 방사선구역의 설정, 작업자 및 작업장비의 제어, 방사선 감시기의 설치 등을 통하여 정상운전 및 설계 기준사고 등을 포함하는 발전소의 모든 운전조건하에서 발전소 종사자 및 일반주민의 방사선 피폭이 ALARA로 유지되도록 하는 것이다.

방사선방호 설계는 발전소 설비 및 기기의 ALARA 설계, 방사선차폐 설계, 환기계통 설계 및 방사선감시계통 설계를 포함한다.

12.3.1 설비 및 기기 설계

본 절에서는 작업자의 방사선 피폭을 ALARA로 유지하기 위한 발전소 설비의 설계 특성에 대하여 기술한다. 작업자의 방사선 피폭을 최소화하기 위하여 규제지침서 8.8의 C.3항에 규정된 방사선방호 지침을 적용하였다.

본 절에서는 사용후연료 취급과 방사성폐기물 처리를 위한 설비 및 기기에 대해서는 기술되지만 기타 특수 핵물질 및 부산물을 취급하기 위한 설비 및 기기는 기술되지 않는다. 사용후연료 취급과 방사성폐기물 처리를 위한 설비 및 기기는 9.1절과 11장에서 각각 기술된다. 방사화학 실험실에서 취급되는 방사성물질과 계측기의 보정을 위하여 사용되는 밀봉된 방사선원은 방사선 준위가 높지 않으므로 이들 선원을 취급하기 위한 별도의 특별한 설비를 필요로 하지 않는다. 밀봉되지 않은 방사선원과 방사성 시료는 9.4절에서 기술된 실험실 공기조화계통의 일부인 후드내에서 취급된다.

본 절에서는 12.1.2절에서 제시한 설계 고려사항에 근거하여, 작업자의 방사선 피폭을 ALARA로 유지하기 위한 설비 및 기기의 설계 특성에 대하여 개괄적으로 기술한다.

12.3.1.1 보조계통 설비 및 기기 설계

본 절에서는 발전소 설계시 일반적으로 사용되는 설비 및 기기의 분류방법에 근거하여

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

각 설비 및 기기에 적용되는 ALARA 설계 특성에 대하여 기술한다. 작업자의 방사선 피폭을 ALARA로 유지하기 위한 각 설비 및 기기의 ALARA 설계에는 일반적으로 유사한 설계 특성이 적용되며 각 설비 및 기기의 ALARA 설계 특성은 다음과 같다.

12.3.1.1.1 방사성 기기의 설계

가. 여과기

환기계통 및 기체방사성폐기물계통의 여과기를 제외한 발전소의 모든 방사성 여과기로 카트리지가 형태가 사용된다. 다량의 방사성물질이 존재하는 모든 여과기 카트리는 반원격 또는 원격 취급장비로 교체될 수 있도록 설계되며 여과기 격실 주변에는 여과기 카트리를 제거하여 운반용기에 적재하고 고체방사성폐기물계통으로 이송하기 위한 설비 및 공간이 확보된다.

방사성 여과기가 사용되는 모든 액체처리계통에는 여과기 하우스에서 폐여과기 카트리를 제거하여 고체폐기물 처리구역으로 이송하는데 필요한 여과기 취급장비가 제공된다. 폐여과기 취급작업시, 이 장비는 여과기 격실의 상부에 설치된 콘크리트 해치 또는 플러그 주위에 위치하며 폐여과기 카트리는 이 장비에 의해 인양되어 차폐된 운반용기에 적재된다. 방사성 여과기는 여과기 내부에 누적된 고준위 방사성물질로 부터 주변구역을 방호하고 격리하기 위하여 차폐벽 또는 차폐격실 내부에 위치하게 되며 이렇게 하므로써 폐여과기 취급 작업시 주변에 존재하는 방사선원으로 부터 작업자의 방사선 피폭을 최소화할 수 있다.

폐여과기 카트리가 적재된 운반용기는 카트를 사용하여 방사성폐기물건물로 이송한다. 운반용기 이송작업은 작업실수로 인한 환경으로의 방사성물질의 방출과 작업자의 방사선 피폭을 최소화할 수 있는 방법으로 수행된다.

모든 방사성 여과기는 배기 및 배수밸브와 격실 배수기능을 갖춘 차폐된 격실내부에 설치되어 있다. 이 격실의 해치에는 격실내부의 방사선 준위를 측

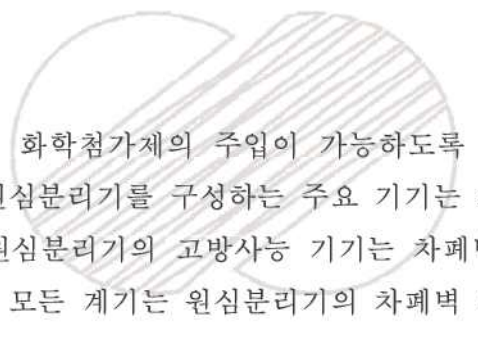
울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

정하기 위한 방사선 계측기 탐침 출입용 구멍이 설치되어 있다.

나. 탈염기

방사성계통에 사용되는 탈염기는 폐수지의 장기저장 또는 건조처리를 위하여 원격조작 및 유압에 의해 폐수지저장탱크로 이송될 수 있고 새수지가 탈염기에 충전될 수 있도록 설계되어 있다. 탈염기 및 관련 배관은 탈염수에 의하여 세척이 가능하도록 설계되며 탈염기의 후단에는 스트레이너가 설치되어 수지가 탈염기 후단으로 누출되는 것을 방지한다. 탈염기는 방사선방호를 위하여 차폐된 격실 내부에 설치되며 격실의 해치에는 격실 내부의 방사선 준위를 측정하기 위한 방사선 계측기 탐침 출입용 구멍이 설치되어 있다.

다. 원심분리기



원심분리기에는 화학첨가제의 주입이 가능하도록 화학첨가제 연결배관이 설치되어 있다. 원심분리기를 구성하는 주요 기기는 스킴드 위에 개별적으로 설치되어 있다. 원심분리기의 고방사능 기기는 차폐벽에 의해 저방사능 기기와 분리되어 있다. 모든 계기는 원심분리기의 차폐벽 외부에 있는 접근가능한 구역에 설치되며 방사성 배관에 설치된 모든 밸브는 원심분리기의 차폐벽 외부에 위치하거나 차폐벽 외부의 접근가능한 구역에서 조작이 가능하도록 설치되어 있다.

라. 펌프

펌프에는 밀봉체의 보수시간과 밀봉체를 통한 방사성물질의 누출을 최소화하기 위하여 가능한 기계적 밀봉체가 사용된다. 펌프 및 관련 배관은 용이한 접근과 보수를 위하여 충분한 공간이 확보될 수 있도록 배치되어 있다. 고방사성계통의 펌프는 제거가 용이하도록 가능한 플랜지 형태의 연결을 하며, 펌프케이싱과 받침대에는 배수설비가 설치되어 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

마. 탱크

탱크는 배수를 용이하게 하기 위하여 바닥이 경사지게 설계되며, 바닥에는 출구 연결관이 설치되어 있다. 탱크의 과유량시, 발전소 구조물의 방사능 오염을 방지하기 위하여 과유량관은 폐기물 수집계통에 연결되며 격실외부에 설치된 탱크의 과유량관은 액체방사성폐기물계통에 직접 연결되어 있다. 모든 탱크에는 과유량이 발생하기 이전에 경보를 발생할 수 있는 고수위 경보장치가 설치되어 있다.

바. 열교환기

열교환기는 방사성물질의 누설을 최소화하기 위하여 내부식성 스테인레스강 또는 등가의 내부식성 재질로 제작된 튜브를 사용한다. 또한 열교환기에는 충격방지판이 설치되며 재질의 침식을 최소화하기 위하여 튜브측 및 셸측의 유속이 제한된다. 열교환기는 가능한 방사성 유체가 열교환기의 튜브측으로 흐르도록 설계되어 있다.

사. 밸브

방사성 기기와 관련된 모든 밸브는 가능한 주변에 위치하는 방사성 기기와 분리하여 차폐된 밸브실에 설치되어 있다. 밸브실에 설치되는 방사성 배관의 길이는 밸브실내 방사성 물질의 양을 줄이기 위하여 가능한 최소화될 수 있도록 설계되어 있다.

모든 방사성 수동밸브의 운전구역은 가능한 방사성 수동밸브 및 관련 배관으로 부터 차폐되며 다음과 같은 사항들이 고려되었다.

- 1) 방사선구역 6 이상에 설치되고 작동 빈도수가 많지 않은 기기의 경우, 기기의 안전운전, 운전정지 및 배수와 관련된 수동밸브에만 원격조작봉이 설치한다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 2) 원격조작봉이 설치되는 밸브의 스템은 가능한 원격조작봉이 수평으로 설치될 수 있도록 수평으로 설치한다.
- 3) 정상운전 및 운전정지시 작동되는 모든 수동밸브에는 원격조작봉이 설치되며 원격조작봉은 밸브 갤러리에서 조작될 수 있도록 설치한다. 밸브 갤러리의 차폐벽은 갤러리 내부 또는 주변에 위치하는 작업자 및 원격조작봉을 조작하는 작업자의 방사선 피폭이 최소화될 수 있도록 설계한다.

방사성 밸브는 보수기간이 최소화될 수 있고 필요시 주변의 방사성 기기 및 관련 배관으로 부터 작업자를 보호하기 위한 임시 차폐체가 설치될 수 있도록 배치되어 있다.

모든 모터구동 또는 공기구동 방사성 밸브는 관련기기 및 주변에 위치하는 방사성 기기와 격리하여 차폐된 구역에 설치되어 있다. 이 밸브들은(일반적으로 수동밸브보다 보수 빈도가 높음) 차폐된 구역에 설치됨으로써 밸브의 보수 및 검사작업 동안 작업자의 방사선 피폭이 최소화 될 수 있다.

방사선구역에 설치되는 밸브 보수시 방사선 피폭을 최소화하기 위하여 방사성 연결 배관과 밸브에는 배수 및 세척을 위한 설비가 설치되어 있다.

비방사성계통의 밸브는 가능한 한 방사선원으로 부터 분리되며 항시 접근이 가능한 구역에 설치되어 있다.

밸브형태는 요구되는 보수 시간, 관막힘 및 스템 패키징의 견고성, 스템누설 제한요건 등에 따라 선택되며 가능한 안전성이 입증된 패키징재질이 사용되었다. 방사성 고체가 침적될 수 있는 밸브는 최소한의 내부 균열이 존재하도록 설계되며 폐수지 이송배관 및 원심분리기의 바닥 설계에도 동일한 설계방법이 적용되어 있다.

아. 배관

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

배관 체이스내에 설치된 배관은 발전소 수명기간과 동일한 설계수명을 갖도록 설계되어 있다. 밸브와 계기는 가능한 한 배관 체이스내에 설치하지 않으며, 일상보수를 위하여 접근이 요구되는 구역에 방사성 배관이 설치될 경우, 이 배관에 의한 작업자의 방사선 피폭이 최소화될 수 있도록 설계되어 있다. 배관 배치와 관련된 보다 상세한 ALARA 설계 고려사항은 12.3.1.3절에서 논의되어 있다.

12.3.1.1.2 기기 배수 및 세척설비 설계

방사성 기기에는 적절한 배수 및 세척설비가 설치되며, 가능한 방사성물질이 기기내에 부착되거나 누적될 수 있는 분명한 턱(ledge) 또는 포켓이 존재하지 않도록 설계되어 있다.

배수배관은 방사성물질의 누적이 용이한 균열이 가능한 최소화될 수 있는 방법으로 용접되었다.

모든 방사성 기기의 배수설비는 적절한 액체폐기물 저장탱크에 연결되어 있다. 집수조는 중간 수집장소로 사용되며 집수조와 액체폐기물 저장탱크는 차폐되고 적절한 방사선구역에 설치되어 있다.

방사성 여과기의 설계시, 여과기 부품의 교체작업 이전에 배수 및 세척이 가능하도록 설계되어 있다.

배수설비는 기기의 검사, 감시 및 보수작업 기간 동안 기기 내부에 누적된 방사성물질에 의한 작업자의 방사선 피폭을 최소화하고 기기내 부식생성물의 누적을 최소화하며 접근 가능구역에 대한 방사선준위의 과도한 증가를 방지한다.

방사성 탱크에는 탈염수 또는 세척제에 의해 탱크내의 부식생성물 침전물을 제거할 수 있도록 세척 설비가 설치되어 있다.

12.3.1.1.3 오염제어설비 설계

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

고방사성계통의 기기 배기 및 배수설비는 수집계통과 직접 연결되도록 설계되어 있다. 방사성 액체를 취급하는 계통의 경우, 기기의 누설에 의한 오염의 확산을 방지하기 위하여 적절한 누설의 감시, 계측 및 수집 방법들이 사용된다. 고방사성 기기의 누설은 현장 및 건물 집수정 수위지시기와 경보기에 의해 감시될 수 있으며 지역 및 공정 방사선 감시기에 의해서도 감시될 수 있다. 계통 공정계기는 계통의 누설을 감시할 수 있는 기능을 갖추고 있다. 누설의 감시 및 제어와 관련된 설계 특성은 5.2.5절, 9.3.3절 및 12.3.4절에 제시되어 있으며 방사성 물질의 오염제어와 관련된 ALARA 설계특성들은 다음과 같다.

가. 바닥 및 싱크 배수

방사성 유체를 함유하거나 함유할 가능성이 있는 기기가 위치한 격실에는 배수가 용이하도록 적절한 바닥배수로가 설치되며, 물웅덩이가 발생하는 것을 방지하기 위하여 바닥은 경사지게 설치되어 있다. 배수를 용이하게 하고 오염효과를 향상시키기 위하여 콘크리트 바닥에는 연화 에폭시도장이 사용되었다. 방사성 바닥배수로는 액체폐기물 저장탱크로 연결되며 집수조는 중간 수집장소로 사용되었으며, 집수조 및 액체폐기물탱크는 차폐된 격실내에 설치되어 있다.

방사성물질을 함유하는 싱크 배수설비는 적절한 차폐 및 배치요건에 준하여 설계되어 있다.

바닥 및 싱크 배수의 배기설비는 방사성 기체 및 증기가 비방사선 구역 및 저방사선 구역으로 확산되는 것을 최소화하도록 설계되어 있다.

나. 기기 배기

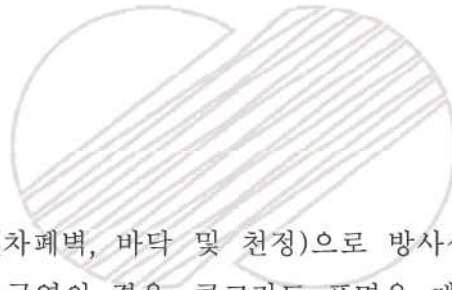
모든 방사성 기기들(여과기, 탈염기, 폐기물계통 탱크 등)에서 발생하는 방사성 기체는 체류구역 또는 기기 격실내로 공기중 오염이 확산되는 것을 방지하기 위하여 해당 건물의 배기계통 여과기를 통해 배기된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

방사성 집수조의 배기는 집수조에 있는 오염된 유체로부터 부유하여 공기중으로 누출되는 방사능의 농도를 제어하는데 중요한 역할을 한다. 차폐된 격실내에 설치된 집수정으로부터의 배기가 격실 내부로 되기 때문에 격실의 환기율은 격실내의 공기중 방사능 농도가 제어될 수 있도록 결정되었다.

다. 연석(curb)

방사성 저장탱크, 용기 및 관련 배관의 파손이 발생할 가능성이 있는 구역의 경우 누출된 방사성물질이 격실 내부에만 국한되도록 격실의 바닥 높이를 격실 출입구의 높이보다 낮게 설치하거나 연석을 설치한다. 또한, 제염작업시 제염수가 주변 구역으로 확산되지 않도록 제염대 주위에는 연석이 설치되어 있다.



라. 표면 보호도장

콘크리트 표면(차폐벽, 바닥 및 천정)으로 방사성 물질이 누설 또는 유출될 가능성이 있는 구역의 경우, 콘크리트 표면은 제염효과를 향상시키기 위하여 비침투성 도장재질로 도장된다.

바닥, 연석, 벽체에는 물의 침투 조건하에서 표면의 건전성이 유지될 수 있도록 솔벤트 타입(solvent-based)의 도장이 사용된다. 바닥 및 램프(ramp)에는 예상되는 통행유형(사람, 운반트럭 등)하에서 표면의 건전성이 유지될 수 있는 도장방법이 사용된다.

도장이 제 기능을 적절히 수행하기 위하여 도장 뿐만 아니라 적절한 표면처리가 선행되어야 한다. 표면처리는 표면세척, 구멍의 봉합(filling) 및 초벌도장을 포함한다.

도장은 예상되는 방사선원과 환경 조건하에서 40년의 운전기간 동안 표면 보

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

호기능을 적절히 수행할 수 있도록 시행된다.

마. 방사선 감시

지역 및 공정 방사선감시기는 방사능 오염을 감시하고 제어하기 위하여 사용되며 이를 달성하기 위한 위치에 설치되어 있다.

12.3.1.1.4 소내 지원설비 설계

가. 방사성 기기 공작실 및 제염설비

발전소내에는 오염된 기기 및 장비들을 충분히 제염할 수 있는 제염설비가 설치되어 있다. 제염실 설계시 차폐, 환기 및 필요시 제염실내의 공기여과 등이 고려된다.

방사성폐기물 건물에는 방사성 기기 공작실과 제염설비가 설치되며 2차 보조 건물에는 제염설비가 설치되어 있다. 이 설비는 장비 및 기기 부품을 세척, 보수 및 제염하기 위해 제공된다. 방사성기기 공작실에는 보관용 선반, 작업대, 후드가 설치된 싱크, 용접기기, 절삭용 기계, 톱, 드릴 및 탱크 등이 설치된다. 대형 기기 또는 부품의 제염은 핵연료건물에 있는 사용후연료 캐스크 제염조에서 시행된다.

보조건물 내에서 수행되는 기기 보수작업을 지원하기 위하여 소형의 기기 제염대와 충분한 지원 설비들이 소내 설치되어 있다. 이 설비는 주 제염실로 운반되는 기기들의 예비제염에도 사용된다.

나. 작업자 제염설비

작업자 제염설비는 출입통제건물 및 방사성폐기물 건물내에 위치하는 오염구역 출입통제구역의 설계에 반영되어 있다. 이 설비에는 샤워기, 싱크, 방사선

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

계측기기 및 탈의구역 등이 포함되어 있다.

다. 실험실 설비

발전소의 실험실 설비는 방사화학 실험실과 액체와 기체 방사성 시료분석 및 스메어(smear) 시료의 방사능을 측정하는 계측실로 구성된다.

1) 방사화학 실험실

방사화학 실험실은 출입통제건물의 지하층에 위치한다.

방사화학 실험실은 방사성 시료에 대해 안전하고 효과적인 처리와 분석이 가능하도록 설계되어 있다. 이 실험실에서 분석되는 시료들은 원자로냉각재계통, 화학 및 체적제어계통, 사용후연료취급 및 저장계통, 증기발생기 취출계통과 방사성폐기물계통에서 채취된다.

이 실험실에 설치되는 주요설비에는 고효율 입자여과기가 부착된 공기조화계통과 연결된 연기후드, 액체방사성폐기물계통과 연결된 배수관이 설치된 싱크, 사용빈도가 잦은 기기가 상시 설치될 수 있는 충분한 크기의 작업대, 저장설비 및 적절한 전기장치, 실험실 장비에 요구되는 환경조건(온도, 습도)을 보장하기 위한 공기조화계통 등이 포함된다.

표면 오염의 누적과 확산을 최소화하기 위하여 실험실 바닥 및 표면의 도장과 작업대 표면, 연기후드의 내부물, 싱크 및 배수 배관의 재질은 오염의 침착이 작고, 오염이 쉽게 제거될 수 있는 것으로 선택된다. 휘발성 방사성 시료의 저장 및 처리시에 발생하는 공기중 방사성물질의 확산을 최소화하기 위하여 연기후드가 설치되어 있다. 방사화학 실험실은 모든 주변 구역에 대해 부압이 유지되며 실험실내의 공기는 환경으로 방출되기 전에 여과된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

2) 계측실

계측실은 출입통제건물의 지하층에 있는 실험실 근처에 위치한다. 계측실에는 계측장비의 최적성능을 보장하기 위하여 전기장치 및 백열등이 설치되어 있다. 계측실 내부의 방사선 준위는 가능한 낮게($1.0 \mu\text{Sv/hr}$) 유지된다. 발전소 내에 존재하는 공기중 방사성물질의 유입을 방지하기 위하여 계측실은 주변 구역에 대하여 정압이 유지되며 여과 처리된 공기에 의해 환기된다. 계측실에 설치된 공기조화계통은 계측기 및 관련 전자장비와 컴퓨터 환경에 적합한 온도 및 습도 조건을 유지시킬 수 있도록 설계되어 있다. 계측실의 차폐에는 콘크리트에서 발생하는 자연방사선의 영향을 방지하기 위하여 최소한의 콘크리트만이 사용된다. 계측장비의 차폐를 위하여 필요시 국부 방사선 차폐체가 사용된다.

계측실에 설치되는 장비에는 감마선헤종 분석장비, 알파/베타 오염 계측 장비 등이 포함된다.

라. 세탁설비

소내 세탁설비는 출입통제건물의 지하층에 위치한다. 이 설비는 소내에서 사용되는 방사선 방호용 의류의 수거, 세염, 저장, 분배 등의 기능을 수행할 수 있도록 설계되어 있다. 세탁설비에는 세탁기, 건조기, 세탁물 검사장비, 국부환기설비를 가진 분류대, 싱크대 등이 포함된다. 세탁실의 바닥 및 표면 도장과 장비들은 표면 오염이 최소화되고, 오염이 쉽게 제거될 수 있는 것으로 선택된다. 세탁실은 오염된 방호용 의류의 취급시 발생하는 공기중 방사성물질의 확산을 방지하기 위하여 주변구역에 대하여 부압이 유지된다. 세탁실 내부에서의 공기흐름은 청정구역에서 오염구역으로 유지되도록 설계되어 있다.

세탁실에는 호홉장비의 세척설비가 설치되며 이 설비에는 호홉장비의 수집, 세척, 검사 및 임시 저장을 위한 장비와 공간이 포함된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

마. 교정실

각 호기의 출입통제건물에는 계측기기의 교정을 위한 교정실이 설치되어 있다. 교정실은 방사선 계측기를 보정, 보관 및 보수하고 필요시 진공제염하는 장소가 제공될 수 있도록 설계되어 있다. 교정실에는 교정용 동위원소가 보관되며 주변의 일반접근구역을 방호하기 위하여 차폐가 제공된다.

12.3.1.1.5 기타 설비 설계

가. 조명

고방사성 기기가 설치되는 격실에는 다수의 조명설비가 설치되어 있다. 이 경우 단일 램프의 소손시에도 충분한 조명이 유지될 수 있으므로 조명설비의 고장수리를 위한 즉각적인 접근 및 교체의 필요성이 요구되지 않는다. 일반적으로 조명설비의 수리보수시 작업자의 방사선 피폭을 저감하기 위하여 수리보수에 적은 시간이 소요되는 백열등이 사용된다. 형광등이 사용될 경우, 형광등의 보수 요구 빈도를 줄이기 위하여 수명이 긴 튜브를 사용한다.

나. 공기조화계통

공기조화계통은 여과기 하우스에서 여과기가 신속히 교체될 수 있도록 설계되어 있다. 공기조화계통의 ALARA 설계특성은 12.3.3절에서 상세히 기술되며 덕트 배치에 적용되는 ALARA 고려사항은 12.3.1.3절에 기술되어 있다.

다. 수소재결합기

수소재결합기의 제어반은 고방사성 기기로부터 적절히 차폐될 수 있는 장소에 설치되어 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

라. 시료채취실

계통유체의 일상시료채취를 위한 시료채취실은 접근이 가능한 구역에 설치되어 있다. 현장시료채취실에는 시료채취작업시 주변구역에 대한 방사선구역 기준이 유지되고 방사선 피폭이 최소화되도록 차폐, 배수 및 배기설비가 설치된다. 계측실 및 실험설비는 12.5절에서 논의된다.

1

마. 청정계통

압축공기 배관, 청정수 배관, 환기덕트, 케이블 트레이와 같은 청정계통 및 기기는 방사성 배관로에 설치되지 않는다. 청정계통이 차폐된 격실을 관통할 경우 그 타당성을 입증하기 위하여 경우별 분석이 수행되지만 일반적으로 청정계통 및 기기는 그 격실 내부에서 끝나며 격실을 재관통하지 않는다.

12.3.1.2 핵증기공급계통 설비 및 기기의 설계

울진 5,6호기 핵증기공급계통의 운전 및 보수로 인한 직업상 방사선피폭을 ALARA로 유지하기 위한 구체적 설계 특징은 다음과 같다.

가. 펌프

- 1) 대부분의 펌프 및 관련 배관은 보수와 유지를 위해 저방사선 지역으로 이동이 용이하도록 플랜지로 연결되어 있다. 펌프 내부 구조물은 보수를 위하여 저방사선 지역으로 이동할 수 있도록 설계하였다.
- 2) 모든 펌프 케이싱에는 제염을 용이하게 하기 위해 배수 연결관이 설치되어 있다.

나. 이온교환기

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 1) 이온교환기는 완전 배수가 될 수 있도록 설계하였다.
- 2) 원격 조절에 의한 수압 조절 세척법을 이용하여 용기로부터 고체방사성 폐기물계통으로 폐수지를 이송할 수 있도록 설계하였다. | 1
- 3) 새로운 수지 주입을 위하여 이온교환기를 싸고 있는 방사선차폐 격실위의 저방사선 구역까지 수지 주입구를 연장하도록 설계하였다. | 1
- 4) 이온교환기는 방사성 크러드가 축적되지 않도록 하기 위해 갈라진 틈새가 최소화되도록 설계하였다. | 1

다. 액체 여과기

- 여과기 하우징에는 배기관을 설치하고 완전 배수가 가능하도록 설계하였다.
- 2) 여과기 하우징은 방사성 크러드가 축적되지 않도록 하기 위해 갈라진 틈새가 최소화되도록 설계하였다. | 1
 - 3) 여과기 하우징과 카트리지는 여과기의 원격 제거가 가능하도록 설계하였다.

라. 탱크

- 1) 탱크는 유지 보수를 위해 격리될 수 있도록 설계하고 완전 배수가 가능하도록 설계하였다.
- 2) 탱크에는 제염 목적으로 탱크내부 세척을 실시할 수 있도록 적어도 다음중 하나의 수단이 공급되도록 하였다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

가) 탱크 보수용 출입구로부터 세척을 용이하게 할 수 있는 충분한 공간 확보

나) 오염이 아주 높을 가능성이 있는 탱크에는 제염을 위하여 내부 살수 노즐 설치

다) 제염을 용이하게 하기 위해 스크린이 설치된 탱크나 용기의 스크린을 수압으로 역세척하거나 배수가 가능하도록 설계

3) 모든 탱크는 기체수집모관이나 기체밀림모관으로 배기되도록 설계하였는데 이는 발전소 유지 보수시 방사성기체의 제거를 용이하게 한다.

4) 비가압탱크에는 바닥이나 땅으로 방사성유체가 유출되는 것을 방지하기 위하여 바닥배수조나 다른 적절한 수집지점으로 보낼 수 있는 넘침관을 설치하였다.

5) 탱크는 방사성 크러드가 축적되지 않도록 하기 위해 갈라진 틈새를 최소화되도록 설계하였다.

마. 일체형 장치

1) 일체형 장치는 유지 및 보수를 위해 접근이 용이하고 저방사선 지역으로 신속하게 이동할 수 있도록 모든 모터 및 펌프를 스킴드(skid)에 설치하였다.

2) 스킴드에 휴대형 방사선차폐 설치를 위한 공간을 제공하였다.

3) 모든 일체형 기기에는 세척, 배수, 화학세정을 위한 설비를 제공하였다.

4) 열교환기는 보수를 위해 쉽게 접근 가능하도록 하였다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 5) 원격 제어가 설치되어야 하고 일체형 장치를 원격으로 감시할 수 있어야 한다. 가능한 많은 원격 제어가 설치되도록 하였다.
- 6) 기기는 방사성 크리드가 축적되지 않도록 하기 위해 갈라진 틈새를 최소화되도록 설계하였다.
- 7) 방사성기체는 수집되어 기체방사성폐기물계통으로 보내진다.

바. 밸브

- 1) 발전소 보수요건을 줄이고 설계수명을 연장시키기 위하여 가능한 내방사선 밀봉재, 개스킷, 탄성 중합체를 사용하였다.
- 2) 1차 계통내의 전기구동밸브에는 방사성 누설물을 수집하여 접근 지역으로부터 멀리 떨어진 곳으로 보내기 위해 스템 누설관, 랜턴 글랜드(lantern gland), 이중 패킹재를 설치하였다. 모든 밸브 패킹 글랜드에는 누설을 줄이기 위하여 패킹수축을 조절할 수 있는 장치가 설치되어 있다.
- 3) 요크(yoke)나 탑워크(topwork)를 제거하지 않고 다시 패킹할 수 있도록 설계된 밸브를 사용하였다.
- 4) 원격 작동밸브를 가능한 필요한 곳에 사용하였다.
- 5) 유체와 접촉되는 밸브 부분은 오스테나이트 스테인레스강이나 다른 내부식성 재질로 제작하도록 하였다.
- 6) 백시트(backseat)를 가진 저누설 밸브를 가능한 모든 곳에 사용하였다. 패킹없는 다이어프램 밸브는 오염이 높은 계통에 사용하였다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

사. 배관

- 1) 방사성유체가 흐르는 배관은 차폐된 배관로나 격실내에 배치하였다. | 1
- 2) 가능한 방사성 부식생성물의 축적을 방지하고 제거를 용이하게 하기 위해 경사지게 설치하였다. | 1
- 3) 부식생성물의 침적을 줄이기 위해 엘보우, 티 등 의 갯수를 최소화하고, 엘보우가 필요한 곳에는 침전물을 최소화하기 위해 반경이 큰 엘보우를 사용하였다. 부식생성물이 침적될 수 있는 저유속 부분을 가능한 피한다.

아. 열교환기

- 1) 공칭배관구경 4 in (10.16 cm) 보다 큰 열교환기는 보수시 접근이 용이하여 작업자가 방사선 환경에서 보내는 시간을 줄이고 가동중검사가 가능하도록 설계하였다.
- 2) 교체 필요성을 최소화할 수 있는 재질을 선택하여야 하고 보수 빈도를 줄이기 위해 내부식성 재질을 사용해야 한다. | 1

자. 재질 선택

방사선원인 순환크리드를 줄이고 보수 빈도를 줄임으로써 방사선피폭을 감소시키기 위하여 아래와 같이 재질을 선택한다. | 1

- 1) 방사성물질 을 포함하는 기기의 재질은 이 재질로부터 방사화된 부식생성물의 잠재적 방출을 고려하여 선택한다.
- 2) 40년 수명 동안 사용되는 기기의 재질선정시 방사선조사량을 고려해야

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

한다.

3) 재질선정시 어떤 유체 조건하에서 조기 재질손상이 야기되는지 고려해야 한다.

4) 5.2.3절에 기타 재질 고려사항이 기술되어 있다.

차. 원자로용기헤드 배기

배기노즐 및 배기관은 원자로용기헤드에 설치하였다. 이런 설계 특징은 헤드 제거 과정시 기체가 격납건물 대기로 직접 방출되는 것을 최소화함으로써 방사선피폭을 감소시킨다.

카. 원자로냉각재계통 누설 제어

격납건물로 들어가는 작업자에 대한 공기중 방사성핵종으로부터의 방사선 피폭은 격납건물 대기로 방출되는 원자로냉각재 누설량을 제어함으로써 최소화된다. 이와같이 제어된 누설의 예는 다음과 같다.

1

1) 가압기안전밸브 누설은 5.2.2절에 기술되어 있는 것과 같이 원자로배수탱크로 보낸다.

2) 직경이 2 in (5.08 cm) 이상인 밸브에는 원자로배수탱크로의 누설수집관과 중간 랜턴링이 설치되고 이중으로 패킹된 스템이 제공된다.

1

3) 원자로냉각재펌프 밀봉장치의 비정상적인 누설을 감지하는 계측제어기기가 공급되어있다. 원자로냉각재펌프는 5.4.1절에 기술된 바와 같이 2단 밀봉장치와 더불어 증기밀봉장치가 갖추어져 있다. 증기밀봉장치는 격납건물 대기로의 누설을 방지하고 밀봉조절 유량이 체적제어탱크로 배출될 수 있도록 충분한 압력을 가하여 준다. 증기밀봉장치는 두 개의 일

1

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

차밀봉장치중 모두 혹은 둘 중의 어느 한 개가 손상되었을 경우에도 원자로냉각재계통 압력에 견딜 수 있도록 설계하였다.

타. 핵연료재장전 장비

- 1) 모든 사용후연료 이송 및 저장 운전은 작업지역에서의 연속최대 방사선
준위를 제한하고 적절한 차폐를 보장하기 위해 수중에서 수행할 수 있도록
설계하였다. | 1
- 2) 핵연료가 최소 안전수심 위로 들어 올려지지 않게 하여 작업자에 대한 방
사선 피폭을 통제하고 핵연료손상을 방지할 수 있도록 장비를 설계하였
다. | 1
- 3) 핵연료 손상 및 작업자 피폭을 초래할 수 있는 부주의한 핵연료 낙하 가
능성을 방지할 수 있도록 장비를 설계하였다.
- 4) 재장전시 총 핵연료 취급 시간과 작업자 방사선피폭을 줄이기 위해, 사용
후연료와 신연료를 동시에 이송할 수 있도록 핵연료재장전 장비를 설계
하였다.
- 5) 안전한 핵연료 취급 및 시각 제어를 용이하게 하여 실수 및 잠재적 방사
선피폭을 최소화하기 위해 수중 카메라를 사용한다.
- 6) 사용이 끝난 제어봉집합체 및 노내계측기 인입선을 절단하기 위해 휴대용
유압절단기를 사용한다. 이 절단기는 수중 사용이 가능하도록 한다. | 1
- 7) 수중에서 핵연료집합체 누설을 확인할 수 있는 장비가 공급된다.

파. 가동중검사 장비

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

원자로냉각재압력경계 검사는 작업자의 방사선피폭을 최소화하기 위해 원격 장비로 수행한다.

하. 원격 계기

방사성유체를 포함하는 모든 계통은 가능한 원격으로 조절될 수 있도록 설계해야 한다. 이것은 정상운전시 작업자의 방사선피폭을 최소화한다.

거. 원자로용기노즐 용접부의 가동중검사

원자로용기노즐과 원자로냉각재배관을 연결하는 용접부는 원자로용기내부로 부터 가동중검사가 수행될 수 있도록 설계하였다. 이 지역에서 원자로용기압력경계 검사를 위해 자동화 장비가 사용된다. 원자로용기의 가동중검사가 외부에서 수행될 경우에는 작업자의 접근을 위해 원자로용기 및 원자로냉각재 배관의 단열재를 제거할 수 있는 공간이 확보되도록 하였다. 제거 가능한 부분에는 신속하게 동작할 수 있는 형태의 버클 고정구(fastener)를 설치하였다. 해당 검사를 수행하기 위해서는 필요한 판넬을 제거한 후에 원격장비를 이용하여 검사를 실시한다.

1

12.3.1.3 공용설비 및 기기배치 설계

본 절에서는 발전소 공용설비 및 기기배치에 적용되는 설계 특성을 기술한다. 이 설계 특성은 12.3.1.1절 및 12.3.1.2절에 기술된 일반 기기의 설계 특성과 함께 발전소 설계시 적절히 반영되었다.

가. 기기

화학 및 체적제어계통, 방사성폐기물계통 등과 같이 구성기기가 주요 방사선 원인 계통들의 경우 펌프, 밸브 및 계기를 수동 기기로부터 분리하여 설치함으로써 저방사선 구역에서 이들 기기의 운전 및 보수시 방사선피폭이 최소화

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

되도록 한다. 제어반은 저방사선구역(그림 12.3-3의 범례, 방사선구역 1, 2 및 3)에 설치되어 있다.

방사성계통내의 탱크, 탈염기, 여과기 등 수동 기기들은 가능한 범위 내에서 개별 차폐된 격실에 설치되어 있다.

방사성 격실의 출입구를 통한 방사선 흐름에 의하여 접근가능구역의 방사선 준위가 제한치를 초과할 가능성이 있는 경우, 방사성 격실에는 미로형 차폐 출입구 또는 차폐문이 설치되어 있다. 여과기 및 탈염기와 같은 고방사능 기기는 차폐 플러그가 설치된 완전히 격리된 차폐격실내에 설치되어 있다. 밸브, 펌프, 수동기기 및 제어반의 일반적인 배치 방법은 그림 12.3-1에 제시되어 있다.

일상적인 가동중 검사가 요구되는 검사부위는 가동중 검사 작업시 작업자의 방사선피폭을 최소화하기 위하여 적절히 차폐된 저방사선 구역에 설치되어 있다. 비방사성 계통의 일상 검사시 방사선 피폭을 적절히 제어하기 위하여 비방사성 계통을 가능한 한 방사성계통과 분리하여 설치하였다. 장시간의 일상검사가 요구되고 영구차폐체 설치가 불가능할 경우 임시 차폐체 설치를 위한 적절한 설치공간이 제공되어 있다.

나. 밸브

밸브는 가능한 별도의 밸브실에 설치하며 밸브실에는 방사선방호를 위한 차폐된 출입구가 설치되어 있다. 밸브실은 가능한 한 개별기기와 관련된 배관 및 밸브들이 주변의 다른 기기들로부터 분리, 설치되도록 설계되며 방사능 누설을 제한하기 위하여 바닥 배수설비가 설치되어 있다. 콘크리트 바닥에는 제염이 용이하도록 에폭시도장이 되어 있다. 밸브들에 대한 ALARA 설계 특성들은 12.3.1.1.1절에 상세히 기술되어 있다.

다. 배관 및 덕트

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

모든 방사성 배관 및 덕트는 발전소 운전 및 보수요원의 방사선 피폭이 최소화될 수 있도록 배치되고 차폐되어 있다. 각 배관 및 덕트는 발전소에 대한 방사선 영향을 평가하기 위하여 개별적으로 분석되며, 덕트는 공기의 흐름이 공기중 방사능이 낮은 구역에서 높은 구역으로 유지되도록 배치된다. 배기 덕트의 관통부는 12.3.2.5절 마항에 제시된 관통부 설계요구조건이 만족되도록 설치되고 차폐되어 있다. 일반적으로 배관은 덕트에 비해 고준위 방사성물질을 이송하기 때문에 배관 배치 및 설치시 방사선방호 측면에서 더욱 상세하게 고려되며, 울진 5,6호기 설계시 다음과 같은 배관배치 지침이 적용되었다.

- 1) 방사성물질을 이송하는 배관은 차폐된 배관로 또는 배관 체이스에 설치되거나 배관의 방사선준위가 배관이 설치되는 구역의 방사선준위와 같거나 낮은 구역에 설치되어야 한다. 저 방사선 구역에 방사성 배관이 설치되는 것은 가능한 피해야 한다.
- 2) 밸브 및 계기는 가능한 한 방사성 배관로에 설치되지 않으며 배관로에는 배관로 주변에 위치하는 기기와 연결되는 배관만이 배치되어야 한다.
- 3) 배관로의 차폐벽은 배관로에 설치되는 배관에 의해서만 관통되어야 한다.
- 4) 방사성 및 비방사성 배관은 방사선 피폭을 최소화하기 위하여 가능한 한 분리되어 배치되어야 한다. 방사성 배관은 적절한 방사선구역내로 배치되며 정상운전시 유체의 유동이 없거나 구경이 작은 분기 배관은 주배관의 수평중간선 상부에 연결되어야 한다.
- 5) 보수작업이 필요한 경우, 방사성 배관 및 관련기기의 격리와 배수를 위한 설비가 제공되어야 한다. 배관은 저부위(low point)와 사관(dead leg)이 최소화되도록 설치되며 저부위와 사관 부위에는 배수설비를 설치한다. 또한, 배수를 촉진하고 크러드의 침적을 방지하기 위하여 배관은 경사지게 배치되어야 한다.
- 6) 계통배관내의 부식생성물의 침적을 방지하기 위하여 급격한 굴곡, 사관 및 트랩수 등이 최소화되도록 한다. 특히 수지 슬러리 및 슬러지를 이송하는 배관의 경우 빈번하고 급격한 배관 방향의 변화는 가능한 최소화되도록 한다. 직경이 2 in 보다 큰 배관에는 크러드의 침적을 방지하기

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

위하여 소켓 용접과 백킹링을 사용하는 용접을 가능한 피하도록 하며, 수지 슬러리 및 슬러리 이송 배관은 직경 2 in 이상이 되도록 한다.

- 7) 저방사선 구역에 설치되는 저방사성 배관은 운전 및 보수요원의 방사선 피폭이 최소화될 수 있도록 설치되어야 한다. 상기 배관은 가능한 한 바닥으로부터 10 ft 이상되는 위치에 배치하며 일반접근구역, 갤러리 또는 높은 위치에 있는 작업구역에는 배치되지 않도록 한다. 그랩 시료를 채취하는 방사성시료 배관은 그랩시료가 저방사선 구역에서 채취될 수 있도록 배치되어야 한다.

라. 계기

계기의 판독장치, 압력스위치, 바이스테이블 장치, 변환기, 제어장치 등과 같은 출력장치들은 계기판독 및 보수시 가능한 작업자의 방사선 피폭이 최소화될 수 있는 장소에 설치되어 있다.

계기의 출력 및 제어장치는 가능한 방사선 준위가 낮은 구역에 설치되며 계기 판독장치는 계기의 정확도 및 정밀도 등과 같은 다른 설계요건이 허용하는 한 작업자의 방사선 피폭이 최소화될 수 있는 위치에 설치되어 있다.

계기 판독장치는 판독에 필요한 시간과 방사선 피폭이 최소화될 수 있도록 설계되고 설치되어 있다. 계기 판독장치의 설치시, 방사선피폭을 ALARA로 유지하기 위하여 다음과 같은 사항들이 고려되었다.

- 1) 접근이 용이한 구역에 설치한다.
- 2) 시차 보정장치를 사용하고 용이한 관측을 위하여 적절한 높이에 설치한다.
- 3) 판독이 용이한 방향으로 설치한다.
- 4) 판독이 용이한 아라비아 숫자와 관측이 용이한 지시계 및 바늘을 사용한다.
- 5) 판독에 사용되는 배울기의 사용을 최소화하거나 사용하지 않는다.
- 6) 조명상태가 양호한 위치에 설치한다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

계기 및 계기판독장치의 설치 위치는 방사선 흐름현상과 배관, 덕트, 여과기 및 기기내에 누적된 방사성물질에 의해 국부적으로 고방사선 준위가 형성되는 지점을 피하여 선정되었다. 원격 판독장치가 설치된 방사선 감시장비는 가능한 작업자가 정상적으로 접근할 수 있는 구역에 설치되어 있다.

고방사성 계통 배관에 사용되는 계기 감지용 배관에는 배관내에 존재하는 방사성물질에 의한 방사선 피폭을 방지하기 위하여 가능한 격막 밀봉체가 설치되어 있다. 계기와 감지용 배관의 연결부는 부식생성물 및 방사성 기체의 누적을 방지할 수 있도록 설계되어 있다.

마. 관통부

대형 관통부에는 관통부를 통한 방사선흐름 현상을 최소화하기 위하여 적절한 차폐체가 설치되며 방사선원과 접근가능구역 사이에 설치되는 대형 관통부는 오프셋(offset) 형태로 설계되어 있다. 만일 오프셋 설계가 불가능할 경우, 관통부에 의한 방사선 피폭을 최소화하기 위하여 관통부는 바닥에서 가능한 높은 위치에 설치되어 있다. 모든 관통부는 가능한 차폐벽과 동일한 차폐효과를 갖는 밀봉재질로 밀봉되어 있다. 12.3.2.5절 마항에는 차폐벽에 설치되는 관통부에 대한 설계 기준이 제시되어 있다.

12.3.1.4 방사선구역 분류 및 출입통제

12.3.1.4.1 정상운전시

발전소 내부 및 옥외 구역에 대한 출입은 방사선구역 분류 및 출입통제 기준에 따라 통제된다. 발전소의 정상운전시 작업자는 출입통제건물을 통하여 방사선 관리구역으로 출입하되, 방사성폐기물건물에 대해서만 건물내에 설치되어 있는 별도의 독립적인 출입구를 통하여 출입한다. 작업자의 출입경로는 그림 12.3-2에 제시되어 있다. 모든 발전소 구역은 예상 방사선준위와 작업자의 예상 체류시간에 준하여 특정 방사선구역으로 분류된다. 작업자의 방사선 피폭이 ALARA로 유지되고 원자력안전법 시행령의 선량한도 요건 및

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

10 CFR 20의 규제요건을 만족할 수 있도록 발전소내 모든 건물의 개별 격실, 통로 및 배관로는 정상운전 및 운전정지기간동안 예상되는 방사선원에 대하여 방사선방호 관점에서 분석되어 있다. 방사선구역은 방사선원 또는 방사선이 투과되는 표면으로부터 30cm 이격된 지점에서 최대 방사선준위와 체류 기준에 근거하여 설정되며 정상운전시 적용되는 방사선구역 분류 기준은 표 12.3-1에 제시되어 있다.

상기 방사선구역 분류기준에 따른 발전소의 정상운전시 방사선구역도는 그림 12.3-3 및 그림 12.3-4에 도시되어 있다.

접근통제구역에 대한 출입 및 허용 체류시간은 작업자의 방사선 피폭을 원자력안전법 시행령의 선량한도 이하로 유지하기 위하여 발전소 방사선안전관리원에 의해 통제된다.

격실 출입구는 12.3.2절에 제시된 차폐설계 요건이 만족되고 적절한 격실 출입이 허용될 수 있도록 설계되어 있다. 가장 빈번히 사용되는 방사성 격실의 출입구는 미로형 구조를 가지며, 미로형 출입구의 중요한 설계 특성은 그림 12.3-5에 보여진다. 그 다음으로 많이 사용되는 격실 출입구는 제거 가능한 해치 또는 플러그이며, 전형적인 바닥 해치의 구조는 그림 12.3-6과 같다. 제거 가능한 콘크리트 차폐벽은 필요시 기기의 보수 및 제거를 위하여 사용된다. 미로형 출입구의 천장들은 주변에 설치되는 계단, 갤러리 및 기타 체류구역을 방호하는데 필요한 차폐의 크기를 결정하기 위하여 각각 평가되었다.

12.3.1.4.2 사고시

방사선 차폐의 추가적인 기능은 사고시 사고를 완화하고 종결하기 위하여 설계기준사고 기간 동안 접근필수구역의 접근 및 체류를 보장하는 것이다.

10 CFR 50, 부록 A의 일반설계기준 19는 다음과 같이 요구하고 있다. “사고 조건하에서 전신에 대하여 0.05 Sv 또는 신체의 일부에 대하여 이와 동등한 선량을 초과하지 않고 사고기간동안 주제어실의 접근 및 체류가 보장되도록 적절한 방사선방호가 제공되어야 한다”.

NUREG-0737에는 설계기준사고후 접근필수구역에 대한 선량한도를 설정하기 위한 추가

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

적인 지침이 제시되어 있다.

가. 설계기준사고후 방사선구역 분류

사고후 방사선구역도는 설계기준사고의 방사선원과 사고 시나리오 (예 : 대형 냉각재상실사고), 발전소내의 배관, 기기 및 차폐체의 배치에 근거하여 작성되며 사고후 발전소내 방사선 환경을 표시한다. 이 방사선 구역도는 사고발생후 경과시간대에 따라 작성되었다. 경과시간대는 방사능의 일시적 거동이 충분히 표시될 수 있도록 설정된다. 일반적으로 사고 경과 시간대는 1시간, 1일 및 1주로 구분되며 단기 비상사태를 분석하는데 중요한 역할을 한다. 설계기준사고후 방사선구역 분류기준은 표 12.3-2에 제시되어 있으며 설계기준 사고후 격납건물 및 1차보조건물에 대한 방사선구역도는 그림 12.3-7에서 12.3-9에 제시되어 있다.

나. 접근필수구역의 정의 및 지정

NUREG-0737, II.B.2에는 사고를 완화하고 종결하기 위하여 운전원의 체류가 요구되는 구역을 접근필수구역으로 정의하고 있으며 주제어실, 비상기술지원실(TSC), 시료채취실 및 시료분석실을 접근필수구역으로 분류하도록 규정하고 있다. 또한 추가 접근필수구역을 결정하기 위한 분석 대상에는 냉각재상실사고후 수소제어계통 및 격납건물 격리 재설정 제어구역, 비상노심냉각계통 수동작동구역, 모터제어반 구역과 계전반, 비상전원 공급, 안전센터 및 방사성 폐기물계통 제어반이 설치된 구역 등이 포함되도록 규정하고 있다. 상기 구역이 접근필수구역으로 지정되지 않을 경우, 이 구역에 대한 사고후 선량평가는 수행되지 않는다.

울진 5,6호기의 접근필수구역은 다음과 같다.

- 1) 주제어실
- 2) 비상기술지원실

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 3) 사고후 시료채취구역
- 4) 사고후 시료준비 및 분석 구역
- 5) 수소재결합기 제어반 구역
- 6) 수소재결합기 설치구역

정지냉각열교환기실, 저압안전주입펌프실, 격납건물살수열교환기실 및 고압안전주입펌프실은 설계기준사고동안 사용되는 주요 비상노심냉각계통 기기실들이다. 상기 기기실들은 접근될 수 있는 구역이 아니며 이 기기실들의 주변 구역도 접근필수구역이 아니다. 이 기기실들의 내부 및 외부에 위치하는 모든 안전관련 기기들은 예상 설계기준사고 조건을 만족할 수 있도록 설계되고 검증되었다. 이 기기들은 접근필수구역과 이 구역에 대한 접근로는 그림 12.3-10에 제시되어 있다.

다. 접근필수구역 설계요건

접근필수구역에 대한 방사선방호 설계요건은 NUREG-0737, II.B.2에 제시되어 있다. 접근필수구역에 체류하는 운전원에 대한 설계 방사선량은 원자력안전법 시행령 및 10 CFR 50, 부록 A의 일반설계기준 19에 규정된 선량한도 이하로 유지되어야 한다. 일반설계기준 19에는 사고기간 동안 전신에 대하여 0.05 Sv 또는 신체의 일부에 대하여 이와 동등한 선량을 초과하지 않도록 규정하고 있다. 접근필수구역에 체류하는 동안 체류요건이 고려되어야 한다. 사고기간동안 연속적인 체류가 요구되지 않지만 필수활동(사고후 시료채취 및 분석 등)을 위해 접근하여야 하는 접근필수구역에 대한 방사선 피폭은 접근필수구역에 접근하고 체류하는데 소요되는 시간동안 또는 필수활동을 하는데 소요되는 시간동안 전신에 대하여 0.05 Sv 또는 신체의 일부에 대하여 동등한 선량을 초과하지 않아야 한다(NUREG-0737, II.B.2). 연속적인 체류가 요구되는 구역(주제어실 및 비상기술지원실)은 원자력안전법 시행령 및 일반 설계기준 19의 선량요건을 만족시켜야 할 뿐만 아니라 설계기준사고후 방사선량률이 30일 동안 평균 0.15 mSv/hr를 초과하지 않아야 한다.

134

134

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

울진 5,6호기의 경우, 접근필수구역의 설계기준사고후 선량율과 누적선량은 상기 방사선 피폭 요건을 만족한다. 요구되는 선량율 및 누적선량은 설계기준사고후 방사선원이 존재하는 구역과 접근필수구역 사이에 설치되는 방사선 차폐(일반적으로 콘크리트)에 의해 주로 유지된다. 또한 설계기준사고동안 공기중 방사성물질의 흡입에 의한 내부선량을 제한하기 위하여 연속적인 체류가 요구되는 구역에는 공기중에 존재하는 입자성 핵종 및 요오드 핵종을 제거하기 위한 환기계통(여과기 설치)이 설치되어 있다. 설계기준사고동안 연속적인 체류가 요구되지 않는 접근필수구역의 호흡선량은 방독면 또는 독립적인 호흡장비의 사용을 통하여 방지한다.

1

NUREG-0718, 개정본 2, II.B.2에는 다음과 같이 규정되어 있다. “사업자는 (1) 사고의 결과로서 TID-14844 방사선원을 가질 것으로 예상되는 계통의 주변구역에 대하여 방사선차폐 설계검토를 수행하여야 하며 (2) 중요 구역에 대한 적절한 접근을 허용하고 방사선 환경으로 부터 안전관련 기기를 보호하는데 필요한 발전소 설계변경을 시행하여야 한다. 사업자는 가능한 예비설계자료를 제공하여야 하며 새로운 설계가 도입될 경우 사업자는 선택된 설계개념과 이를 입증하는 설계기준 및 요건을 상세히 기술함으로써 본 문서에 규정된 설계요건을 만족함을 보일 수 있는 포괄적인 자료를 제공하여야 한다”.

모든 접근필수구역 또는 접근로에 대한 설계기준사고후 상세 선량계산 결과에 의하면 이들 구역이 선량률 및 선량요건을 잘 만족하고 있다.

라. 접근필수구역 접근성

1) 주제어실

주제어실은 설계기준사고동안 운전원의 연속적인 체류가 요구되므로 설계선량율은 30일동안 평균 0.15 mSv/hr를 초과하지 않도록 설계되어 있다. 주제어실에 대한 접근은 출입통제건물을 통하여 이루어지며 주제어실 복합체의 위치와 접근로는 그림 12.3-10에 제시되어 있다. 사고후

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

주제어실에 대한 선량평가 결과는 선량을 및 선량요건을 만족한다.

2) 비상기술지원실

비상기술지원실은 설계기준사고동안 연속적인 체류가 요구되므로 설계선량은 30일동안 평균 0.15 mSv/hr를 초과하지 않도록 설계되어 있다.

비상기술지원실은 울진 5,6호기의 출입통제건물에 각각 위치한다. 전술한 바와 같이 출입통제건물은 1차보조건물 옆에 위치하며 1차보조건물보다 격납건물로 부터 멀리 위치하고 있다. 따라서, 설계기준사고후 1차보조건물 및 격납건물에 존재하는 방사선원에 의한 비상기술지원실의 직접선량 및 선량률은 상기 방사선원에 의한 주제어실의 직접선량 및 선량률에 비해 상대적으로 작다. 비상기술지원실에 영향을 미치는 주요한 설계기준사고후 방사선원은 비상기술지원실 외부에 형성된 방사성 구름과 비상기술지원실 내부 공기중에 존재하는 방사성물질이다. 방사성 구름에 존재하는 방사성물질은 여과되지 않고 격납건물로부터 환경으로 누출되어 형성된 것과, 환경으로 방출되기 이전 비상노심냉각계통 기기실 공기조화계통의 활성탄 및 고효율입자 여과기에 의해 여과되는 비상노심냉각계통 기기의 방사능 누출에 의해 생성된다. 외부에서 유입되는 공기 및 내부 공기는 비상기술지원실에 설치된 공기조화계통의 활성탄 및 고효율입자여과기에 의해 여과된다. 비상기술지원실은 외부의 방사능 구름으로부터의 직사 방사선원을 적절히 차폐할 수 있도록 설계되어 있다. 비상기술지원실은 설계기준사고후 방사선량률이 30일동안 평균 0.15 mSv/hr를 초과하지 않도록 설계되어 있으며 비상기술지원실의 위치 및 접근로는 그림 12.3-10에 제시되어 있다.

3) 사고후 시료채취, 준비 및 분석구역

설계기준사고동안 사고후 시료채취, 준비 및 분석구역에는 비정기적인 접근만이 요구되며 연속적인 체류는 요구되지 않는다. 이 구역들은 2차

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

보조건물()과 출입통제건물()에 위치한다.

이 구역들은 격납건물 및 1차보조건물내에 존재하는 설계기준사고후의 방사선원에 의한 선량을 및 선량이 설계한도 이하로 유지될 수 있도록 이 구역들과 방사선원 사이에 충분한 콘크리트 차폐체가 설치된다. 시료채취 작업시의 선량을 및 선량 요인은 시료채취 배관내에 존재하는 사고후 방사선원이다.

NUREG-0737, ILB.3에는 작업자의 방사선 피폭이 전신에 대하여 0.03 Sv/hr 또는 손과 발에 대하여 0.1875 Sv/hr를 초과하지 않고 사고후 1시간내에 시료를 채취하도록 규정하고 있다. 이 요건을 만족하기 위하여 시료채취 배관 주위에는 충분한 차폐체가 설치되며 설계기준사고후 시료채취 작업동안 시료채취실내 접근가능구역의 방사선량이 1 mSv/hr 이하로 유지된다.

시료채취싱크의 차폐는 싱크 공급자에 의해 제공되었으며, 일반적으로 시료채취 싱크의 앞면은 차폐용 납으로 차폐되어 있다. 시료채취 작업동안 시료채취 배관 및 시료채취싱크에 의한 방사선량을 1 mSv/hr 이하로 유지함으로써 이 작업동안의 방사선 피폭은 시료채취 및 분석작업시 허용되는 전신 0.05 Sv의 선량한도에 대하여 작은 비율을 차지한다.

시료채취, 준비 및 분석작업시 사고후 방사선량에 기여하는 주요한 기타 피폭 요인은 시료취급 작업시의 피폭과 2차보조건물 및 출입통제건물내에 존재하는 공기중 방사선원에 의한 피폭이다. 상기 방사선원으로 인한 선량의 상세분석결과 시료취급작업시 선량요건을 만족하고 있다. 사고후 시료채취실과 분석구역의 위치 및 접근로는 그림 12.3-10에 제시되어 있다.

4) 수소재결합기 및 수소재결합기 제어반 설치구역

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

설계기준사고동안 수소재결합기 및 수소재결합기 제어반의 설치구역에는 비정규적인 접근만이 요구되며 연속적인 체류는 요구되지 않는다. 울진 5,6호기의 수소재결합기는 이동용 장비이다(즉, 수소재결합기는 원자로 냉각재상실사고후 설치된다). 원자로냉각재상실사고후 수소재결합기를 설치하기 위하여 해당 발전소로 수소재결합기를 이동하고 건물내의 설치위치로 이송하기 위한 작업자의 접근이 가능하도록 설계되어 있다.

수소재결합기는 격납건물의 외벽과 접하는 1차보조건물내(표고 [REDACTED])에 설치된다. 수소재결합기는 사고후 2.5일 이내에 설치되며 약 20시간의 설치시간이 필요하다. 수소재결합기의 제어스위치는 주제어실 및 현장제어반에 설치되며 수소재결합기는 주로 주제어실에서 제어된다. 따라서 수소재결합기의 제어반 설치구역에는 주제어실에서 수소재결합기의 제어가 불가능할 경우에만 접근이 요구되며 이러한 경우는 거의 발생되지 않을 것으로 예상된다.

수소재결합기 및 수소재결합기 제어반 설치구역의 위치 및 접근로는 그림 12.3-10에 제시되어 있다.

12.3.2 차폐 설계

발전소의 차폐설계는 설계선량률과 설정된 설계요건에 따라 수행되었다. 차폐설계 방법은 12.2절에 논의된 방사선원과 설계요건에 근거하여 결정되었다.

12.3.2.1 일반 차폐설계 기준

방사성 유체를 취급하는 대부분의 기기는 차폐가 요구되며 차폐체 두께는 기기의 예상운전 조건, 설계선량률 및 차폐체 재질에 근거하여 결정된다. 울진 5,6호기의 차폐설계는 작업자 및 일반인의 선량한도를 권고, 규정하고 있는 원자력안전법 시행령 및 10 CFR 50의 권고 134 및 규제요건을 만족하도록 수행된다. 주제어실과 격납건물 1차차폐는 안전성 관련 차폐이며 10 CFR 50, 부록 A의 일반설계기준 19 및 원자력안전법 시행령 선량한도 요건을 만 134

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

족하도록 설계되어 있다.

개인, 기기 및 재질에 대한 방사선방호는 주로 발전소 차폐설계에 달려 있다. 방사선 차폐는 방사선 감쇠의 수동방호 기능을 가지며 방사선원과 작업자 또는 방호가 요구되는 기기 및 재질사이에 설치되는 차폐체로 구성된다. 차폐계통은 발전소에서의 방사선준위가 원자력안전법 시행령의 작업자 선량한도요건을 만족시킬 뿐만 아니라 ALARA로 유지 | 134 될 수 있도록 설계 및 설치되어 있다. 이 목적을 적절히 달성하기 위해 설정된 설계선량은 12.3.1.4절에 기술되며 표 12.3-1에 제시되어 있다.

차폐는 정상운전, 예상운전과도사건 및 설계기준사고와 관련된 각종 방사선원과 환경 조건하에서 발전소 수명기간동안 방사선방호 기능을 적절히 수행할 수 있도록 다음과 같이 설계되어 있다.

가. 정상운전 조건

차폐설계시, 일반적으로 예상 운전과도상태를 포함한 정상운전 조건이 고려되며 정상운전에는 다음과 같은 2가지 운전 모드가 고려된다.

- 1) 예상운전과도상태를 포함한 원자로의 정상출력운전
- 2) 재장전 작업을 포함한 원자로의 정상운전정지

차폐설계는 상기 운전조건하에서 요구되는 방사선방호 기능을 제공하기 위하여 적절히 수행되었다.

나. 사고 조건

차폐설계는 15장에 정의된 예상 설계기준사고하에서 운전요원 및 일반대중에 대하여 적절한 방호기능을 제공할 수 있도록 수행되었다.

- 1) 주제어실 거주성

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

주제어실은 10 CFR 50, 부록 A의 일반설계기준 19에 규정된 설계요건에 준하여 설계되며 예상 설계기준사고가 발생한 후 사고기간동안 이 구역의 접근 및 체류시 피폭되는 선량을 포함하여 전신에 대하여 0.05 Sv 또는 신체의 일부에 대하여 이와 동등한 선량이 초과되지 않도록 차폐된다. 주제어실의 방사선 차폐설계는 설계기준사고에 의한 예상 방사선 환경에 근거하며 주제어실의 설계는 6.4.2.5절에 기술되어 있다.

2) 소외선량

사고시 발전소내에 존재하는 방사선원에 의한 제한구역경계에서의 선량이 10 CFR 100과 표준심사지침서 15장에 규정된 선량한도 이하로 유지되도록 적절히 차폐 설계되었다.

다. 내진 및 안전등급 분류

발전소 구조물은 내진범주 요건이 만족되도록 설계된다. 차폐벽은 방사선 방호요건 및 구조적 설계요건(구조적 건전성, 하중지지 능력 등)에 준하여 내진범주 I급, II급 또는 III급으로 설계되었다. 격납건물의 일차차폐체, 주제어실의 차폐벽 및 사용후연료저장조의 차폐벽 등은 내진범주 I급으로 설계되었다.

라. 기기 및 구조물 방호

차폐설계는 기기 및 구조물을 방호하기 위하여 아래와 같은 기능을 수행한다.

- 1) 방사선에 의한 콘크리트 구조물내의 열생성 제한
- 2) 중성자에 의한 기기의 방사화 방지
- 3) 기기 및 재질에 대한 방사선량 제한

마. 보수, 검사 및 시험 고려사항

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

보수, 검사 및 시험이 요구되는 기기가 설치되는 구역에는 접근과 충분한 체류시간을 보장하기 위하여 차폐가 제공된다.

12.3.2.2 일반 차폐설계 내용

모든 발전소 구역에는 직사 및 산란 방사선 준위가 해당 방사선구역의 선량을 한도 이하로 유지될 수 있도록 차폐가 제공되었다. 발전소 구역에 대한 차폐 기준은 설계 단계에서 결정되었다. 관통부 설계는 규제지침서 8.8에 제시된 차폐 기준을 적용하며 12.3.2.5절 마항에 상세히 기술되어 있다.

발전소 차폐에는 대부분 밀도가 $145 \pm 5 \text{ lb/ft}^3$ 인 일반 콘크리트가 사용되었다. 타설용 콘크리트 대신에 콘크리트 블럭 또는 다른 차폐재질이 사용될 경우, 선택된 차폐재질이 타설용 콘크리트와 동일한 차폐 기능을 수행할 수 있도록 설계되었다. 콘크리트에 의한 방사선 차폐설계는 1.8절에서 논의된 바와 같이 규제지침서 1.6.9에 준하여 수행되었다. 사용후연료 이송 및 저장구역의 상부에 대한 차폐를 위하여 물이 일차적인 차폐 재질로 사용된다.

가. 격납건물 차폐설계

원자로 가동기간동안 격납건물은 원자로냉각재계의 기기에서 발생하는 방사선으로부터 격납건물의 내부 및 외부에 체류하는 작업자를 방호한다. 격납건물의 콘크리트벽은 원자로용기의 차폐벽과 증기발생기 및 가압기 격실의 차폐벽과 함께 격납건물 외부 옥외구역에서의 방사선량을 $1 \mu\text{Sv/hr}$ 이하로 유지한다.

설계기준사고시, 격납건물은 건물내에 존재하는 핵분열생성물로부터 주 제어실에 미치는 방사선 영향이 10 CFR 50, 부록 A의 일반설계기준 19에 규정된 사고시 선량한도 이하로 유지될 수 있도록 설계되어 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

격납건물벽에 작업자출입구, 장비반입구 또는 관통부가 설치될 경우, 정상운전 및 운전정지기간 동안 격납건물 외부에서의 방사선준위가 허용된 방사선준위 이하로 유지되고 설계기준사고동안 10 CFR 50 및 10 CFR 100에 규정된 사고시 선량한도 이하로 유지되도록 필요시 추가적인 차폐가 제공되고 있다.

나. 격납건물 내부 차폐설계

원자로 가동기간 동안 격납건물 내부는 방사선구역 6 이상이며 정상적으로 출입이 허용되지 않는다. 주요한 방사선원은 원자로용기, 증기발생기, 가압기, 원자로냉각재펌프 및 관련 배관 등 원자로냉각재계통의 기기들이다. 원자로용기는 두께가 약 7 ft인 원자로 공동 콘크리트 차폐체(1차차폐체) 및 두께가 약 4 ft인 이차차폐체에 의해 차폐된다. 1차차폐체내의 과다한 열생성 및 탈수현상에 의한 차폐 및 구조적 기능의 저하를 방지하기 위하여 공기에 의한 1차차폐체의 냉각이 가능하도록 공기냉각설비가 설치되어 있다. 전출력 운전시의 원자로 노심에 대한 차폐 해석에는 ANISN 전산프로그램(참고문헌 1)이 사용되었다. ANISN 전산프로그램은 울진 5,6호기의 노심, 원자로용기 및 관련 설계 자료들을 입력으로 사용하며 일반적으로 적용되는 노심물리와 수송 이론에 의한 해석방법을 사용한다. 1차차폐체의 차폐 해석에는 발전소가동 초기의 전출력 노심과 DCL-175/BUGLE-93 단면적 자료(참고문헌 2)가 사용되었으며 노심 내장품, 원자로공동의 공기갭, 차폐두께 등의 상세설계자료가 보수적으로 계산 모델에 적용되었다.

원자로 플랜지 주변의 원자로 공동을 통한 산란 중성자 및 감마선의 누설을 최소화하기 위하여 2개의 콘크리트 차폐 플러그가 설치되어 있다. 원자로공동 설계시, 가동중검사 및 구역 배기요건 등 원자로 공동의 설계 고려사항들이 설계에 반영되어 있다.

2차차폐체는 배관, 펌프, 증기발생기, 가압기 등 원자로냉각재계통의 기기 주위에 설치되는 콘크리트 구조물이다. 2차차폐체는 원자로냉각재내의 방사화

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

생성물과 핵분열생성물에 의해 발생하는 감마선으로 부터 작업자를 보호하며 1차차폐체를 통과한 중성자 및 감마선을 차폐함으로써 1차차폐체를 보조하며 전출력 운전동안 격납건물 내부로 작업자의 제한된 접근이 허용되도록 설계되어 있다.

화학 및 체적제어시스템의 일부 기기들은 정상운전시 방사선구역 6 이상인 격납건물 내부의 차폐된 격실에 설치되어 있다. 재생열교환기 및 원자로배수탱크가 여기에 포함되며 이 기기들에 대한 차폐설계는 예상 최대 방사선원(12.2.1절 참조)에 근거하여 주변구역의 접근 및 방사선구역 분류기준을 만족할 수 있도록 수행되었다.

운전정지후의 방사선량률은 격납건물내의 위치에 따라 다르며 5 $\mu\text{Sv/hr}$ 에서 10 mSv/hr 정도가 될 것으로 예측된다. 이 방사선량률은 핵분열생성물, 중성자에 의한 방사화생성물 및 원자로냉각재계통 내부의 부식생성물에 기인한다.

재장전기간동안 주요한 방사선원은 사용후 연료이다. 재장전수조 주변구역은 사용후연료로부터의 방사선을 주변구역에 설정된 방사선준위 이하로 저감하기 위하여 적절히 차폐되며 핵연료 취급작업 동안 사용후연료 집합체 상부의 차폐를 위하여 물이 사용된다. 핵연료 이송튜브의 주변지역에는 사용후연료의 이송작업동안 사용후연료에 의한 방사선 영향을 방지하기 위하여 차폐체가 설치되어 있다.

다. 보조건물 차폐설계

정상운전시 보조건물내 주요 고방사성 기기들은 화학 및 체적제어계통, 정지냉각계통, 사용후연료저장조 냉각 및 정화계통과 1차시료채취계통의 기기들이다.

기기의 주변구역에 대한 방사선구역 분류 및 접근 기준을 만족하기 위하여

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

보조건물내에 설치된 아래의 기기 주변에는 충분한 차폐가 제공되었다.

- 1) 유출수열교환기 및 배관
- 2) 정화, 수용전 및 붕소제거 이온교환기
- 3) 체적제어탱크
- 4) 충전펌프 및 배관
- 5) 정지냉각열교환기
- 6) 저압안전주입펌프
- 7) 기기배수탱크 및 원자로배수펌프 이온교환기 및 여과기
- 8) 화학 및 체적제어계통
- 9) 사용후연료저장조 냉각 및 정화계통 이온교환기와 여과기
- 10) 고방사성폐수지탱크 및 펌프
- 11) 화학 및 체적제어계통 탈기기
- 12) 밀봉수주입열교환기
- 13) 붕소측정기
- 14) 공정방사선감시기
- 15) 붕산농축기
- 16) 붕산응축수 이온교환기
- 17) 충전펌프 최소유량 열교환기
- 18) 화학폐기물 배수탱크 및 펌프
- 19) 1차시료채취계통 밸브 및 냉각기

차폐설계는 12.2.1절에 제시된 설계기준 방사선원 조건하에서 기기가 운전된다는 가정을 기초로 하여 수행되었다.

보조건물내 방사선구역은 주변에 설치되는 방사성 기기에 따라 방사선구역 2에서 8까지 다양하다. 통로는 방사선구역 2의 설계기준이 만족되도록 차폐되었으며 수동밸브의 운전구역은 방사선구역 3의 설계요건으로 제한되었다. 빈번한 작동이 요구되는 고방사선 구역내의 밸브의 운전을 위해 가능한 방사선구역 2 또는 3의 구역에 원격 조작봉을 설치하였다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

기기의 보수, 교체와 폐여과기 카트리지의 교체 작업을 위하여 제거가능한 콘크리트 블록 또는 플러그가 설치되었다. 격실내 기기사이에 설치되는 영구 및 임시 차폐체는 방사선원으로부터 격실내에 체류하는 보수요원의 방사선방호를 위하여 제공된다.

원자로 운전정지후, 정지냉각계통의 펌프 및 열교환기는 원자로에서 발생하는 잔열을 제거하기 위하여 작동된다. 정지냉각 운전동안 이 계통 주변의 방사선준위는 원자로냉각재 내의 부식생성물 및 핵분열생성물에 의해 일시적으로 방사선구역 6이상의 준위로 상승한다. 정지냉각 운전동안 이 계통이 설치된 주변지역의 방사선구역 분류기준을 만족하기 위하여 이 계통의 주변에는 차폐체가 제공되었다.

라. 핵연료건물 차폐설계

핵연료 이송조, 사용후연료저장조, 사용후연료 캐스크 적재조 및 제염조의 차폐벽은 차폐벽 외부에 있는 모든 접근가능구역의 방사선준위가 방사선구역 2의 기준을 만족할 수 있도록 충분한 두께로 설치되었다. 건물외벽은 건물 외부구역이 방사선구역 1의 기준을 만족할 수 있도록 설계되었다.

사용후연료 저장조의 물은 사용후연료 이송 및 저장구역 상부에 있는 핵연료 취급구역에 대한 차폐 기능을 수행하며 핵연료 취급기기가 설치되는 구역의 방사선준위는 정상운전 및 핵연료 취급작업동안 0.025 mSv/hr 로 제한된다. 사용후연료 저장조로부터의 방사선량률은 사용후연료저장조 냉각 및 정화계통의 운전과 핵분열생성물의 붕괴에 의해 제어된다. 사용후연료저장조 냉각 및 정화계통(9.1.3절)의 차폐는 12.2.1절에 제시된 설계기준 방사선원과 주변구역의 접근 및 방사선구역 분류 기준에 근거하여 설계되었다. 사용후연료 저장조 냉각 및 정화계통의 기기중 차폐가 제공되는 기기는 열교환기, 펌프 및 관련 배관이다(여과기 및 이온교환기는 2차보조건물에 위치한다).

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

마. 방사성폐기물건물 차폐설계

방사성폐기물계통의 기기 및 배관 주변에는 기기의 주변구역에 대한 방사선 구역 분류 및 접근 기준을 만족하기 위하여 충분한 차폐가 제공되는데, 해당하는 기기 및 배관은 다음과 같다.

- 1) 폐기물수집탱크 및 펌프
- 2) 감시탱크
- 3) 폐기물 원심분리기
- 4) 폐기물 이송기기
- 5) 폐기물 저장구역
- 6) 폐기물 배관
- 7) 여과기 및 탈염기
- 8) 폐수지장기저장탱크
- 9) 기체방사성폐기물계통 모관배수탱크
- 10) 기체방사성폐기물계통 활성탄보호탱크 및 지연베드
- 11) 주입탱크 및 펌프
- 12) 화학폐기물탱크 및 펌프

차폐설계는 12.2절에 제시된 차폐 방사선원 조건하에서 기기가 운전된다는 가정을 기초로 하여 수행되었다.

방사성폐기물건물내의 방사선구역은 주변에 설치되는 방사성 기기에 따라 방사선구역 2에서 8까지 다양하다. 일반접근구역 및 통로는 방사선구역 2로 설계되었으며 밸브의 운전구역은 그림 12.3-4의 방사선구역도에서와 같이 일반적으로 방사선구역 3으로 설계되었다.

기기의 보수, 교체 및 폐여과기의 교체 작업을 위하여 제거가능한 콘크리트 블럭 및 플러그가 사용되며 여러개의 기기가 설치되는 격실내에는 보수작업 동안 피폭선량을 저감하기 위하여 임시차폐체의 사용이 고려되었다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

바. 터빈건물 차폐설계

터빈건물내에 설치되는 대부분의 공정기기들에는 방사선 차폐가 요구되지 않으며 터빈건물의 모든 구역은 정상적으로 방사선구역 1로 분류된다. 증기발생기에서 2차측으로 과도한 방사선 누출이 발생할 경우를 대비하여, 복수탈염계통의 탈염기 주변구역에는 적절한 차폐체가 설치되었으며 터빈건물내에 설치되는 증기발생기 취출계통의 기기 주변에도 차폐체가 설치되었다..

사. 주제어실 차폐설계

주제어실과 격납건물과의 배치관계는 그림 12.3-3에 제시되어 있다. 주제어실은 10 CFR 50, 부록 A의 일반설계기준 19에 규정된 규제요건에 준하여 차폐 설계되었으며 설계기준사고하에서 사고기간동안 주제어실의 접근 및 체류를 허용하고 모든 종류의 방사선원에 의한 전신선량이 0.05 Sv 이하로 유지되도록 설계되었다.

설계기준 냉각재상실사고는 15.6.5절에서 기술된다. 설계기준 냉각재상실사고시 주제어실에 체류하는 운전원의 피폭 방사선량을 분석할 때, 격납건물 내부의 공기중 방사능, 환기계통의 여과기에 수집된 핵분열생성물, 주제어실 주위의 방사선원 등에 의한 직사 방사선원이 고려되었다. 주제어실의 거주성을 입증하기 위하여 규제지침서 1.4에 제시된 설계고려사항과 함께 다음과 같은 사항이 설계시 고려되었다.

- 1) 격납건물 외벽에 의한 차폐
- 2) 주제어실의 벽 및 슬라브에 의한 차폐
- 3) 방사능 붕괴
- 4) 6.2.2.1절 및 6.5.2절에 기술된 요오드 핵종분포 및 격납건물 살수에 의한 제거

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

격납건물 내부구조물에 의한 차폐효과는 고려되지 않았으며 환기계통의 설계 변수는 9.4.1절에 제시되어 있다.

아. 기타 발전소구역 및 옥외구역 차폐설계

방사성물질이 존재하는 모든 발전소 건물에는 건물 외벽에서의 방사선준위가 방사선구역 1의 기준 이하로 유지되도록 충분한 차폐가 제공된다. 발전소 옥외구역은 정상운전 및 운전정지 기간동안 항상 작업자의 접근이 가능하도록 설계되었다.

옥외에 설치되는 방사성 탱크에는 탱크 구조물 표면의 방사선량율을 $1.0 \mu\text{Sv/hr}$ 이하로 유지하기 위하여 차폐가 제공된다.

12.3.2.3 차폐 계산방법

개인, 기기 및 재질의 방사선 피폭은 차폐설계시 고려되는 다음과 같은 기본변수들의 함수이다.

- 가. 선원강도(기하학적 구조, 세기, 에너지)
- 나. 선원의 수, 기하학적 구조 및 자체흡수인자
- 다. 차폐체의 재질, 기하학적 구조 및 두께
- 라. 선원과 피폭체사이의 거리
- 마. 피폭시간
- 바. 허용선량률 또는 선량

차폐체 두께는 발전소의 방사선구역 분류기준을 만족하도록 결정되었으며 발전소 작업자의 피폭을 최소화하기 위하여 방사선 차폐설계시 연간 평균방사선원 대신에 12.2.1절에 제시된 발전소 운전조건하에서의 최대 기기방사선원이 사용되었다. 방사성 기기 주변의 차폐벽 두께는 선원의 실제 기하학적 구조와 물리적 조건에 의해 결정되었으며, 방사선차폐벽 두께 결정시 방사선량 계산은 보수적으로 격실외벽에서 1 inch 떨어진 지점에서 수행하였다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

감마선의 차폐해석시 탱크, 열교환기, 여과기, 탈염기, 원심분리기, 배관 및 격납건물은 원통체적 선원으로 고려되며, ISOSHLD(참고문헌 3) 전산프로그램이 사용된다. 이 전산프로그램은 점,선,구,원통, 육면체 등 다양한 선원의 기하학적 모델에 대하여 감마선량을 계산할 수 있으며 다양한 차폐체 재질에 대한 질량감쇠계수 및 누적인자가 이 전산프로그램에 내장되어 있다. 더욱 복잡한 기하학적 구조를 가진 선원에 대하여 감마선량을 계산할 경우 QAD-G(참고문헌 4) 또는 QAD-CG 전산프로그램(참고문헌 5)이 사용되며 산란 방사선의 차폐 해석에는 GGG 전산프로그램(참고문헌 6)이 사용되었다. 1차차폐체 및 원자로공동 차폐해석에는 각각 ANISN 및 MCNP 전산프로그램이 사용되며 상기 전산프로그램의 기능은 표 12.3-3에 요약되어 있다.

12.3.2.4 상세 차폐설계 기준

설계 및 운전제어의 목적을 위하여 모든 발전소 구역은 작업자의 예상되는 접근 및 체류 기준에 준하여 분류되며 원자력안전법 시행령의 작업자 선량한도에 근거하여 설계선량을 134이 설정되었다. 각 구역의 선량률이 설계선량을 초과하지 않도록 하기 위하여 각 구역에는 적절한 출입통제 형태와 연관하여 적절한 차폐가 제공되었다. 울진 5,6호기의 방사선구역 분류 및 선량률의 범위는 표 12.3-1에 요약되어 있으며 방사선 차폐설계를 위하여 사용되는 발전소 방사선구역도는 건물별로 그림 12.3-3 및 그림 12.3-4에 제시되어 있다.

12.3.2.5 상세 차폐설계 내용

가. 차폐체 재질 및 시공방법

격실 차폐벽, 바닥 및 천장과 같은 차폐 구조물은 주로 블럭 또는 현장 타설용 일반 콘크리트로 시공되었다. 콘크리트는 많은 물질들의 복합체이며 콘크리트의 종류에 따라 구성 물질들의 구성비가 다르다. 방사선 차폐에 사용되는 콘크리트는 원소들의 구성비에 따라 일반 또는 고밀도 콘크리트로 분류된다. 콘크리트 복합체의 설계, 콘크리트 차폐 구조물의 건설, 타설된 콘크리트에 대한 적절한 품질보증방법들은 승인된 설계기준에 따른다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

나. 제거가능 차폐벽, 휴대용 차폐체 및 보상차폐

차폐체는 기기의 검사, 점검, 보수 및 교체에 필요한 작업자의 출입과 기기의 반출을 허용하기 위하여 제거될 수 있다. 제거가능 차폐벽은 기기보수 및 제거를 위하여 빈번한 출입이 요구되고 구역내의 방사선준위가 외부 구역에 대하여 과도한 영향을 유발할 수 있을 경우에 설치되며 차폐벽, 바닥 및 천장에 사용될 수 있다. 제거가능 차폐벽에는 조립용 콘크리트 판넬과 차폐 해치 및 플러그의 2가지 형태가 사용되었다. 보상, 휴대 또는 임시 차폐는 영구차폐가 불가능할 경우에 한하여 사용되었다.

다. 가동중 검사 및 보수

발전소계통 및 기기는 검사, 시험 및 보수를 위한 작업자의 출입이 허용되도록 차폐 설계되었다. 차폐기능을 저하시키는 결함이나 갈라진 틈의 존재여부를 확인하기 위하여 건설기간중에 차폐체에 대한 육안 검사가 수행되었다.

라. 차폐 두께

정상운전시 최악의 조건하에서 또는 필요시 사고조건하에서 구역의 방사선량률이 방사선구역 분류에 의해 설정된 설계선량을 이하로 유지될 수 있도록 차폐체 두께가 결정되었다. 정상운전시 최악의 조건은 12.2절에 기술된 바와 같이 최대 출력과 0.25% 핵연료 손상을 및 탈기기 미운전 방식에 의한 방사선원을 의미하며 차폐 두께의 결정시 고려되는 설계변수들은 12.3.2.3절에 기술되어 있다.

마. 차폐벽 관통부 및 방사선흐름 비율

배관, 공기조화계통 덕트 및 개구부를 위하여 차폐벽에 설치되는 관통부는 작업자의 피폭을 최소화할 수 있도록 설계되었다. 운전 및 보수요원에 의해 빈번한 체류가 예상되는 구역으로의 방사선흐름이 최소화될 수 있도록 관통부

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

의 위치 및 방향이 결정되었으며 관통부에 의한 과도한 방사선흐름과 국부 차폐능력의 감소를 보상하기 위하여 필요시 보상 차폐가 사용되었다. 관통부 인접지점에서의 선량율은 아래와 같이 허용된다.

- 1) 접근비통제구역(방사선구역 1)의 경우, 해당구역 설계선량율의 5배가 허용됨. | 1
- 2) 접근통제구역(방사선구역 2 이상)의 경우, 관통부가 격실 바닥으로부터 상부 10 ft 이내에 설치되는 경우에는 해당구역 설계선량율의 5배가, 관통부가 격실 바닥으로부터 상부 10 ft 이상에 설치되는 경우에는 해당구역 설계선량율의 10배가 허용됨. | 1
- 3) 설계선량율이 0.05 mSv/hr 보다 큰 접근통제구역(방사선구역 4 이상)의 경우, 관통부는 격실바닥으로부터 10 ft 이상에 설계함을 원칙으로 하되 바닥으로부터 10 ft 이하에 위치하는 관통부에 대해서는 방사선흐름 비율이 위치마다 다르게 되므로 상세 분석후 관통부위치를 결정.

차폐벽을 통과하는 관통부는 관통부내 유체의 평균 밀도가 관통되는 차폐체의 평균 밀도보다 큰 경우를 제외하고는 방사선의 유효역할을 하게 된다. 방사선흐름의 감소정도는 관통부의 기하학적 형태, 재질구성물, 선원의 특성에 따라 좌우된다.

방사선의 흐름으로 인한 방사선피폭을 최소화하기 위해 차폐벽 관통부의 위치 선정시 다음의 지침을 준수하였다.

- 1) 불필요한 관통부를 차폐벽에 설치하지 않는다. 용수 및 급기를 위한 배관은 해당 격실내 기기와 연결되지 않는 한 차폐된 격실을 관통하지 않도록 한다.
- 2) 관통부는 가능한 방사선원(예, 방사성물질을 함유하고 있는 용기나 배관)으로부터 멀리 위치하도록 한다.
- 3) 관통부는 가능한 다음의 위치에 설치한다.
 - 가) 기기실 상부 구석진 곳과 같이 차폐벽이 합치되는 지역

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 나) 적어도 한면을 차폐할 수 있는 구조물(beam 또는 column) 부근
- 4) 관통부는 가능한 기기실 바닥으로 부터 10 ft 이상의 위치에 설치한다.
 - 5) 관통부는 가능한 가장 얇은 차폐벽을 관통하도록 한다.
 - 6) 관통부의 직경은 가능한 작게 한다. 전기 관통부의 경우, 직경이 6 in 이상되는 슬리브나 도관의 사용은 피한다.
 - 7) 공기조화계통의 덕트는 가능한 차폐벽을 관통하지 않도록 설치하며 차폐된 격실 출입구의 상부를 통과하도록 한다. 덕트가 차폐벽을 관통하는 경우 필요시 별도의 차폐체를 설치한다.
 - 8) 전기 케이블이나 도관이 방사성 격실의 출입구 부근을 통과하는 경우에는, 차폐된 격실 출입구 위를 통과하는 덕트의 상부에 위치하도록 하고, 도관은 공기조화계통 댐퍼 옆 또는 미로형 격실 출입통로의 차폐벽을 따라 설치하도록 한다.
 - 9) 모든 슬리브와 도관은 가능한 차폐 밀봉한다.
 - 10) 두께가 3 ft 이상의 차폐벽을 갖는 고 방사성구역으로의 대형 배관이나 덕트의 관통부는 오프셋 형태를 갖도록 설계한다. 특히, 덕트 관통부의 경우, 다른 적절한 차폐방법이 사용되지 않을 경우 오프셋 형태가 고려된다.

12.3.3 환기계통 설계

발전소 환기계통은 재장전, 보수 및 예상 운전과도사건을 포함한 모든 발전소 운전조건에서 부유 방사성 물질에 의한 피폭으로부터 발전소 운전원 및 보수원, 일반 대중을 보호하도록 설계된다.

12.3.3.1 설계목적

발전소 정상운전과 예상 운전과도사건 및 사고를 위한 발전소 환기계통은 12.3.3.2절에 기술된 국내원자력안전법, 10 CFR 20의 방사선방호요건 및 10 CFR 50의 요건에 따라 설계된다. | 134

12.3.3.2 설계기준

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

발전소 환기계통의 설계기준은 다음 사항들을 포함한다.

- 가. 발전소 운전으로 인해 일반인이 받는 유효선량은 ALARA로 유지한다.
- 나. 건설 및 운전기간 동안 발전소 작업자가 받는 유효선량은 ALARA로 유지한다.
- 다. 발전소 기기가 받는 흡수선량은 기기의 가동성 또는 운전성을 저하시키지 않는다.
- 라. 방사성물질의 배기로 인한 소외선량은 정상 운전시는 10 CFR 50, 부록 I에서 제시된 선량한도를, 사고시에는 10 CFR 100에서 제시된 제한치를 넘지 않는다.
- 마. 상기 설계기준들은 발전소의 안전성, 효율성 및 경제성을 균형있게 합리적으로 유지하도록 한다.

12.3.3.3 설계지침

설계 목적을 달성하기 위하여, 다음의 지침이 실질적으로 준수된다.

- 가. 공기오염 가능성이 있는 구역은 주변구역보다 낮은 압력으로 유지한다.
- 나. 공기의 흐름은 오염 가능성이 낮은 구역으로부터 오염 가능성이 높은 구역으로 유지되도록 한다.
- 다. 공기 오염원에 근접하여 배기 덕트를 설치한다.
- 라. 공기오염 가능성이 있는 구역의 공기는 여과시켜 배출한다.
- 마. 공기오염 가능성이 있는 구역으로부터 배출되는 공기는 사람이 접근하는 다른 구역의 급기로 사용되지 않는다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 바. 적절한 연속 공기 감시기 또는 고정 시료채취 기기를 설치한다.
- 사. 공기오염 가능성이 있는 덕트내에서 공기의 최소 이동속도는 1,500 ft/min (457.2 m/min)으로 유지한다. | 1
- 아. 공기오염지역에 설치된 관통부나 출입구를 통한 공기의 유동 속도는 최소 25 ft/min (7.62 m/min)를 유지한다. | 1
- 자. 체류 가능성이 있는 구역의 공기 유량은 구역내 공기중 방사능농도가 원자력 안전위원회 고시 제2016-16호(방사선방호 등에 관한 기준)의 유도공기중농도의 10%보다 낮게 유지할 수 있도록 한다. | 232
- 차. 공기오염 가능성이 있는 구역으로부터 배출된 공기는 재순환시키지 않는다. | 1
- 카. 격리 댐퍼의 닫힘 시간은 부유 방사성물질의 유출을 막기 위하여 방사능 측정 지점으로부터 격리 댐퍼까지의 공기 이송 시간보다 짧게 한다. | 1
- 타. 모든 공기인입구는 예상된 운전조건 아래서 배기방출구로부터 충분한 이격거리에 설치하여 오염공기가 재유입되지 않도록 한다.
- 파. 시험이 필요한 덕트 부속물(시험지점 등)은 오염구역 외부에 위치한다.
- 하. 모든 잠재 방사능오염 덕트는 발전소의 운전원과 보수원에 대한 방사선 피폭을 최소화하기 위하여, 적절한 배치 및 차폐 요건을 적용한다.

12.3.3.4 계통 설명

다음 건물의 환기계통은 잠재적인 방사능오염계통으로 고려되며, 9.4절에 상세히 기술되어 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 가. 격납건물(9.4.6절 참조)
- 나. 1차보조건물(9.4.3.1절 참조)
- 다. 2차보조건물(9.4.3.2절 참조)
- 라. 핵연료건물(9.4.2절 참조)
- 마. 방사성폐기물건물(9.4.3절 참조)
- 바. 비상노심냉각계통 기기실(9.4.5.3절 참조)
- 사. 출입통제건물(9.4.7.1절 참조)

비록 주제어실은 비방사능 구역으로 간주되지만 설계기준사고시에도 거주성이 확보되도록 방사선방호 관점에서 설계된다(6.4절 참조).

다른 건물들(취수펌프구조물, 보조보일러건물 등)은 잠재적인 방사선원을 함유하지 않으므로 본 장에서는 기술되지 않는다.

12.3.3.5 공기정화계통 설계

공기정화계통은 보수 및 현장 시험설비와 관련하여 규제지침서 1.52와 1.140의 지침 및 권고사항을 적용하여 설계된다.

12.3.4 지역 방사선 및 공기중 방사능 감시설비

지역 방사선 및 공기중 방사능 감시계통은 소내 여러 지역의 방사선 준위를 측정하기 위해 설치된다.

12.3.4.1 지역 방사선감시계통

지역 방사선감시계통은 발전소내 선정된 위치에서의 총 감마 방사선을 연속적으로 감시하기 위해 설계되어 있다. 지역 방사선감시계통은 방사성물질이 존재, 저장, 취급 및 운반되거나 우연히 반입될 수 있는 발전소건물내 선정된 위치에서의 방사선 준위를 현장 및 주제어실의 운전원에게 연속적으로 지시하는 방사선 감시기들로 구성된다. 격납건물

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

및 핵연료건물내 설치되는 핵연료 취급사고 감시기는 핵연료 취급사고시 사고결과를 완화시키는 계통을 작동시키는 안전관련 기능을 수행한다.

지역 방사선감시계통은 12.5절에 기술된 발전소 방사선방호 프로그램 및 ANSI/ANS-HPSSC-6.8.1에 따라 설치되며 원자력안전법 및 관련규정의 개인 방사선방호 | 134 지침과 10 CFR 50 및 규제지침서 8.2, 8.8을 준수한다. 선정된 지역 방사선감시계통의 감시기들은 안전관련기능을 수행하고 격납건물퍼지격리작동신호와 핵연료건물 비상배기 작동신호 발생을 위한 보조기기의 공학적 안전설비작동계통에 신호를 제공한다. 사고후 방사선 준위를 감시하는 지역 방사선감시계통은 규제지침서 1.97 요건에 따라 설계되었다.

12.3.4.1.1 설계기준

12.3.4.1.1.1 안전 설계기준

방사선감시계통(DRMS)은 격납건물 내부 혹은 핵연료건물의 핵연료 취급사고를 감지할 수 있으며 적절한 보조기기 공학적안전설비계통의 작동을 위한 격납건물 배기격리작동신호 또는 핵연료건물 비상배기작동신호를 발생한다. 안전기능을 수행하는 방사선감시계통은 단일고장, 분리, 격리, 환경 보증요건 및 지진 보증요건을 만족시키기 위해 미국의 전기 전자기술자협회(IEEE) 279, 323 및 344 기준에 따라 설계된다. 이 방사선 감시계통은 11.5절에서 기술한 공정 및 유출 방사선감시계통과 함께 보조기기 공학적안전설비계통을 구성한다.

이 감시기들의 공학적안전설비계통 기능의 안전 평가는 7.3절에 기술되어 있다.

12.3.4.1.1.2 출력운전 설계기준

가. 현장 검출기들은 주변 환경하에서 적절히 동작하도록 설계된다.

나. 보조건물, 방사성폐기물건물, 핵연료건물, 격납건물 그리고 출입통제건물에 설치된 검출기들은 정상 대기압에서 운전된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 다. 지역감시기는 비포화(nonsaturating)형으로 설계되어 검출기가 측정 범위를 초과하는 방사선에 노출될 때도 출력이 감소하지 않는다.
- 라. 모든 감시기 정보는 전자식이며 10 CFR 50, 부록 A, 일반설계기준 13을 충족하도록 전계측 범위에 대해서 연속적으로 조정 가능하다.
- 마. 격납건물 고준위 지역감시기들은 냉각재상실사고 이후에도 동작할 수 있도록 설계되며, 주기적인 격납건물 건전성 압력 시험에 의해서도 악영향을 받지 않도록 설계된다.
- 바. 격납건물퍼지격리작동신호 및 핵연료건물 비상배기작동신호를 생성하는 지역방사선 감시기들은 1E급 계기 교류 전원 계통에서 전원을 공급받는다. 그 외 모든 지역방사선 감시기는 비1E급 계측 설비용 교류 모선에서 전원을 공급받는다.
- 사. 정상운전중에 잠재적으로 1 μ Sv/hr 이상의 선량률을 생성하는 액체, 기체 혹은 미립자 방사선원을 포함한 지역들에는 다음의 조건에 해당되지 않을 때 지역감시기가 설치된다.
- 1) 주변의 다른 지역감시기가 해당지역을 감시할 수 있을 경우(즉, 그 감시기와 해당지역 사이가 개방되어 있고 그 감시기의 정보치가 감시될 모든 구역에 대해 같은 값임.)
 - 2) 빈번하지 않는 수리, 예정없는 유지 보수, 또는 주기적인 감시를 위해서만 접근하는 지역으로 작업자의 접근횟수가 아주 적으며 작업자의 출입시 그 구역을 감시하기 위하여 휴대용 감시기를 사용할 수 있는 경우
 - 3) 해당 구역내 사고 누출의 가능성이 최소인 경우(즉, 밀봉된 용기만이

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

설치된 구역이나 정상운전중에 그 구역내 저방사능 준위의 물질이 존재하는 구역)

- 4) 기체나 공기중 미립자 방사성물질이 주로 포함되어 있는 지역으로 공기중 방사능 감시기가 지역방사선 감시기와 동일한 기능을 수행하는 경우

아. 지역 방사선감시계통은 발전소의 선정된 지점에서의 총 감마 방사선을 연속적으로 감시하도록 설계된다. 지역 방사선감시계통은 운전 종사자에게 발전소내 선정된 지역의 방사선 준위를 현장과 주제어실에 연속적으로 지시해 주는 다중채널로 구성된다. 표 12.3-4에 나열된 지역감시기는 다음 설계 목적을 수행한다.

- 1) 방사성물질의 유출을 초래하는 발전소 사고시에 운전원이 발전소 종사자들을 적절히 대처할 수 있도록 한다.
- 2) 허가없이 혹은 부주의하게 발전소내에서 방사성물질을 운반하는 것을 경고한다.
- 3) 발전소내 선정된 지역의 비정상적인 고방사선 준위를 경고한다.
- 4) 해당 구역에 접근하거나 작업하는 작업자에게 방사선 준위의 실질적인 변화에 대해 정보와 판독기능을 제공한다.
- 5) 핵연료 및 폐기물 저장과 취급구역의 감시에 대한 10 CFR 50 부록 A 일반설계기준 63의 요건을 준수한다.
- 6) 각 지역감시기는 현장 및 주제어실에서 지시되고 경보된다. 감시기 경보 설정치는 검출기 설치지역의 정상적인 주변 방사선 준위, 관리

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

구역에서의 작업자 선량한도, 그리고 해당지역의 정상운전 상태에서 계산된 준위에 근거하여 정해진다.

격납건물퍼지격리작동신호와 핵연료건물 비상배기작동신호를 생성하는 지역감시기는 추가적인 안전기능을 수행한다. 핵연료건물 비상배기 작동신호는 핵연료건물 정상배기계통을 차단시키고, 핵연료건물 비상배기계통을 작동시킨다. 격납건물퍼지격리작동신호는 격납건물퍼지계통을 차단시킨다.

격납건물 고방사선 지역감시기는 냉각재상실사고후 조건에서의 동작이 검증되어야 하며 냉각재상실사고후에는 격납건물 내부의 방사선 준위를 지시한다. 이 기능은 NUREG-0718의 항목 II.F.1의 요건을 충족시킨다.

울진 5,6호기 핵연료 저장 및 취급 설계요건에 따르면 임계정보감시기는 필요로 하지 않으며 이는 부록 1A에 기술된 규제지침서 8.12의 요건을 만족시킨다.

자. 각 검출기는 기기 작동을 검사하기 위해 점검 선원으로 시험한다. 점검 선원의 에너지 방출 범위는 검출기의 감시 에너지 스펙트럼과 유사하다.

차. 각각의 현장제어 채널은 최소한 하나의 선량률 트립 경보와 하나의 고장 트립 경보장치를 갖는다. 선량률 트립은 고방사선을 의미하며 고장 트립은 채널의 고장을 의미한다.

카. 보수요원에 대한 방사선 피폭을 최소화하기 위해 신속하게 부품을 교체, 교정 및 설치할 수 있도록 설계된다.

12.3.4.1.2 계통 설명

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

지역 방사선감시계통은 방사성물질이 존재하거나, 저장, 취급, 운반되거나 우연히 반입될 수 있는 발전소 건물내 선정된 위치에서의 방사선 준위를 현장 및 주제어실의 운전원에게 연속적으로 제공하는 다중 채널로 구성된다. 연속적으로 방사선 준위를 감시하지 않거나 자주 출입하지 않는 방사선 구역은 출입전과 출입시에 휴대용 계측기를 이용하여 감시한다.

1

지역 방사선감시계통의 각 채널은 검출기 신호의 증폭, 계기로의 전원 공급, 방사선 준위의 현장 및 원격 판독과 고방사선 준위에서의 현장 및 원격 경보를 위해 적절한 전자회로를 갖춘 고정형 가이저-몰리(GM)관이나 전리함 검출기로 구성된다.

1

감시하는 지역에서의 방사선 에너지는 GM관이나 전리함으로 검출한다. 각 검출기의 출력 신호는 현장에서 마이크로프로세서로 처리되어 컴퓨터실에 설치된 방사선 감시 컴퓨터에 전송된다. 방사선감시계통은 마이크로프로세서를 기초로 하는 계통이다. 방사선 준위는 현장 제어기와 주제어실, 보건물리실, 컴퓨터실, 비상기술지원실 그리고 비상대책실(EOF)의 방사선감시계통 CRT에 표시된다. 지역방사선감시계통 감시기들의 측정 범위와 설치 위치는 표 12.3-4에 나타나 있다. 비정상적인 방사선 준위는 시각 및 음향 정보로써 현장과 주제어실에 경보된다. 감시기 경보설정치는 검출기 설치위치의 평상시 주변 방사선준위, 관리구역에서의 발전소 종사자의 피폭선량한도 그리고 해당 지역의 정상운전 상태에서 계산된 준위로 정해진다.

각 채널은 방사선 추이 변경을 확인하기 위해 정해진 주기로 점검되고 안전성 관련 채널들은 매달 점검되며 각 계기는 핵연료 재장전시에 교정한다. 또한 계통 성능에 영향을 미치는 모든 보수 작업뒤에, 혹은 주기적인 점검시에 계기 편차가 발생하면 교정작업이 수행된다. 지역방사선 감시계통 감시기 설치위치는 표 12.3-4에 나타나 있다.

1

격납건물 퍼지격리작동신호 및 핵연료건물 비상배기작동신호를 발생시키는 감시기는 안전기능을 수행한다. 핵연료건물에서의 고방사선 신호는 핵연료건물 정상배기계통을 차단시키고 핵연료건물 비상배기계통을 작동시킨다. 격납건물에서의 고방사선 신호는 격납건물퍼지계통을 차단시킨다.

1

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

방사성 폐기물건물내의 지역방사선감시기는 원심분리기실 주변 필터취급구역, 고체방사성 폐기물 트럭 적재구역, 폐수지 건조설비 설치구역, 중·저준위 방사성드럼 저장구역, 건조 폐기물 저장구역 및 고방사능 기기 공작실에서 방사선 준위를 감시한다. 이 감시기들의 지시치는 방사성폐기물제어실의 제어반에 표시된다.

또한 방사성폐기물건물에는 유리화설비 구역 내의 방사선감시를 위해 유리화설비 각 차폐셀 지역과 잡고체폐기물저장호퍼실, 1층의 폐기물반출입지역 및 운전구역에 지역방사선감시기가 설치되며, 이들 감시기의 지시치는 유리화설비 제어실의 제어반에 표시된다.

52

지역 방사선감시계통은 규제지침서 1.97의 요건을 충족시킨다. 격납건물 고 준위 지역방사선 감시기는 NUREG-0718의 II.F.1항목의 요건에 따라 설치된다.

12.3.4.1.2.1 검출기 집합체

검출기는 방수용기에 장착된 GM관이나 전리함으로 물 및 용제(solvent)로 오염될 수 있도록 밀봉된다. 검출기는 현장 경보-판독기에서 운전되고 벽 부착이 적합하도록 제작된다.

1

12.3.4.1.2.2 현장 기기 제어반

현장 기기 제어반에는 다음 부품들이 포함된다.

- 1) 감시기 개폐식 스위치
- 2) 고방사선 (경고) 준위 표시등
- 3) 감시기 정상작동 표시등
- 4) 고-고(연동) 방사선(고경보) 준위 표시등
- 5) 방사선 준위 표시기
- 6) 고방사선(경고) 경보기
- 7) 공정제어기기에 대한 연동 스위치기능 (필요시)
- 8) 계기고장 경보등

안전관련 격납건물퍼지격리작동신호 및 핵연료건물 비상배기작동신호 현장 감시기는 보조기기 공학적안전설비에 1E급 격리된 접점 출력을 제공한다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

12.3.4.1.2.3 주 제어실 지시판

주제어실, 보건물리실, 컴퓨터실, 방사성폐기물건물 제어실, 비상기술지원실 및 비상대책실에 설치된 계통 CRT는 모든 계통의 자료를 표시한다. 비상기술지원실 및 비상대책실을 제외한 모든 CRT용 키보드는 계통의 정보 표시 기능을 포함한 모든 기능을 제어할 수 있으며 채널 화일까지도 변경시킬 수 있다.

12.3.4.1.2.4 계통 출력

안전관련 분할 캐비닛(SRDC)은 공학적안전설비 작동신호를 위한 격리된 1E급 점점 출력과 이 캐비닛 내부에 설치되는 기록기에 1E급 아날로그 출력을 제공한다.

방사선감시계통 캐비닛은 주제어반에 고방사선 공통 경보를 위한 점점을 제공하며 개별 경보는 방사선감시계통 CRT에 표시된다.

12.3.4.1.2.5 점검 선원

각 채널에는 원격으로 조작되는 점검선원이 설치된다. 점검선원의 에너지 방출범위는 감시되는 방사선 에너지 스펙트럼과 유사하다. 선원 강도는 실질적으로 쉽게 감지할 수 있을 정도의 응답을 발생시키기에 충분해야 한다.

감시기의 채널 측정범위와 설치위치는 표 12.3-4에 주어진다.

12.3.4.2 공기중 방사능 감시계통

공기조화계통의 공기중 방사능 시료채취 감시기는 다음과 같다.

- 1) 1차보조건물 배기 감시기
- 2) 1차보조건물 여과기입구 감시기

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 3) 2차보조건물 배기 감시기
- 4) 2차보조건물 여과기입구 감시기
- 5) 2차보조건물 고에너지배관격실 여과기입구 감시기
- 6) 핵연료건물 배기 감시기
- 7) 격납건물 퍼지 감시기
- 8) 출입통제건물 배기 감시기
- 9) 방사성폐기물건물 배기 감시기
- 10) 방사성폐기물건물 여과기입구 감시기
- 11) 주제어실 외부공기 흡입구 감시기
- 12) 비상기술지원실 공기 흡입구 감시기
- 13) 격납건물 공기 감시기
- 14) 복수기진공펌프 배기 감시기
- 15) 방사성폐기물건물 유리화설비 환기설비 배기구 감시기

52

위의 감시기들은 11.5절에 기술되며 표 11.5-1에 나열되어 있다.

12.3.4.2.1 설계기준

12.3.4.2.1.1 안전 설계기준

공기중 방사능감시기의 안전 설계기준은 11.5.1.1절에 기술되어 있다.

12.3.4.2.1.2 출력운전 설계기준

공기중 방사능감시기의 출력운전 설계기준은 11.5.1.2절에 기술되어 있다.

12.3.4.2.2 계통 설명

공기중 방사능감시기의 설명은 11.5.2절에 기술되어 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

12.3.5 참고문헌

1. Engle, W. W. Jr., "A Users Manual for ANISN, A One-Dimensional Discrete-Ordinates Transport Code with Anisotropic Scattering," K-1963, Union Carbide Corporation, Nuclear Division, March 30, 1967.
2. RSIC Data Library, "DLC-175/BUGLE-93 - Coupled 47 Neutron, 20 Gamma-Ray Group Cross Section Library Derived from ENDF/B-VI for LWR Shielding and Pressure Vessel Dosimetry Applications," Radiation Shielding Information Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, December 1972.
3. Engle, R. L, Greenborg, J. and Hendrickson, M. M, "ISOSHLD - A Computer Code for General-Purpose Isotope Shielding Analysis," BNWL-236, Pacific Northwest Laboratory, Richmond, Washington, June 1966, Supplement 1, March 1977, Supplement 2 April 1969.
4. Pichurski, D. J, "QAD-G - A General Purpose Point Kernel Integration Gamma-Ray Dose Rate Calculation Program," Sargent & Lundy Engineers Program Number 09.8.008-1.4, January 1982.
5. "QAD-CG : A PC Version of QAD-CG A Point Kernel Code for Neutron and Gamma-Ray Shielding Calculations," KOPEC, Nov. 1990.
6. Malenfant, R. E, "G³ : A General Purpose Gamma-Ray Scattering Program," LA-5176, Los Alamos Scientific Laboratory, June 1973.
7. "MCNP4B : Monte Carlo N-Particle Transport Code Version 4B," CCC-660, Radiation Safety Information Computational Center, ORNL, April 1997.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.3-1

정상운전시 방사선구역 분류

<u>구역 분류</u>	<u>설계 선량률 (mSv/hr)</u>	<u>구 역 설 명</u>
1	$DR \leq 0.001$	비통제, 비제한 출입
2	$0.001 < DR \leq 0.01$	통제, 제한출입, 40시간/주
3	$0.01 < DR \leq 0.05$	통제, 제한출입, 8시간/주
4	$0.05 < DR \leq 0.2$	통제, 제한출입, 2시간/주
5	$0.2 < DR \leq 1$	통제, 제한출입, 0.5시간/주 이하
6	$1 < DR \leq 10$	통제, 출입허가 필요
7	$10 < DR \leq 5,000$	통제, 출입허가 필요
8	$DR > 5,000$	통제, 출입허가 필요

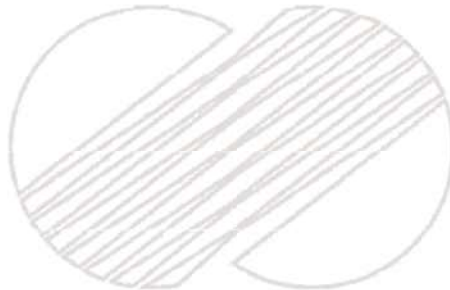
(주) DR = 선량률

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.3-2

사고시 방사선구역 분류

<u>구역 분류</u>	<u>설계선량률(mSv/hr)</u>	<u>구역 설명</u>
1	$DR \leq 0.15$	연속적인 체류 허용
2	$0.15 < DR \leq 1$	수시출입 가능
3	$1 < DR \leq 10$	출입 가능 (5시간~50시간)
4	$10 < DR \leq 100$	제한 출입 (30분~5시간)
5	$100 < DR \leq 1,000$	통제 출입 (3분~30분)
6	$1000 < DR \leq 5,000$	통제 출입 (40초~200초)
7	$DR > 5,000$	인명 구조시에만 출입



(주) DR = 선량률

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.3-3

차폐설계용 전산프로그램 목록

프로그램명	내 용
ISOSHLD	무한매질 누적계수 방법과 결합된 점 및 선 커널 적분기법을 사용하여 각종 선원 및 차폐구조에 대한 감마 및 베타 선량률을 계산하는 다중 그룹 전산프로그램
QAD-G	점커널 적분기법과 조합구조 표현기법을 사용하여 감마선량률 및 열생성률을 계산하는 다중그룹, 다중매질, 3차원 전산프로그램
QAD-CG	점커널 적분기법과 조합구조 표현기법을 사용하여 감마선량률 및 열생성률을 계산하는 다중그룹, 다중매질, 3차원 전산프로그램
GGG	점커널 적분기법을 사용하는 감마선, 점선원, 산란 전산프로그램
ANISN	슬라브, 원통 또는 구 구조에서 중성자 및 감마선에 대한 볼츠만 수송 방정식을 해석하는 다중그룹, 다중매질 전산프로그램
MCNP	3차원 몬테칼로 중성자 및 감마선 범용 전산프로그램

표 12.3-4 (3 중 1)

지역방사선 감시계통

설 치 장 소	호기당 수량	검출기형태	내진범주	감시매체	전 원	측정범위 (mSv/hr)	정확도 (% of reading)	경고/고경보 (mSv/hr)	기 능	
1차시료채취실 (RE-205)	1	GM	III	공기	비1E급 계측교류	10^{-3} - 10^2	±20	0.01/ 0.05	1차시료채취실 방사선준 위 감시	1
수소재결합기 지역 (RE-221,222)	2	GM	II	공기	비1E급 계측교류	10^{-3} - 10^5	±20	0.15/ 1	수소재결합기 지역 방사선량 률 감시	
주증기 및 주급수 격납건물 관통 지역 (RE-228,229)	2	GM	II	공기	비1E급 계측교류	10^{-3} - 10^2 (Sv/hr)	±20	2/ 5	주증기 및 주급수 격납건물 관통지역 방사선량률 감시	1
격납건물 운전지역 핵연료취급사고 감시기 (Div.A) (RE-231,232)	2	IC	I	공기	1E급 계측교류	10^{-3} - 10^2	±20	0.5(0.025)*/ 2.5(0.125)*	·정상운전 및 핵연료 취급사 고 감시 ·격납건물퍼지격리작동신호 발생	1
격납건물 상부 운전지역 고준위 감시기 (Div.B) (RE-233,234)	2	IC	I	공기	1E급 계측교류	10^{-2} - 10^5 (Sv/hr)	±40	14/ 28	·핵연료 취급 및 냉각재 상실 사고 감시 ·격납건물퍼지격리작동신호 발생	1
노내 계측기지역 (RE-235)	1	IC	II	공기	비1E급 계측교류	10^{-3} - 10^2	±20	0.5(0.025)*/ 2.5(0.125)*	노내 계측기지역 방사선량 률 감시	2
격납건물 작업자 출입구 지역 (RE-236)	1	IC	II	공기	비1E급 계측교류	10^{-3} - 10^2	±20	0.2/ 1	격납건물 작업자 출입구 지역 방사선량률 감시	1

* 경고/고경보 설정치는 정상운전시의 값이며 ()값은 핵연료 재장전시의 값임.

표 12.3-4 (3 중 2)

설 치 장 소	호기당 수량	검출기형태	내진범주	감시매체	전 원	측정범위 (mSv/hr)	정확도 (% of reading)	경고/고경보 (mSv/hr)	기 능	
사용후연료저장조 지역 (RE-241,242)	2	IC	I	공기	1E급 계측교류	10^{-3} - 10^3	±20	0.025/ 0.125	핵연료건물내 핵연료 취급 사고감시및 핵연료건물 비 상배기계통작동	1
신연료 저장지역 (RE-244)	1	GM	II	공기	비1E급 계측교류	10^{-3} - 10^2	±20	0.01/ 0.05	신연료 저장지역 방사선량 률 감시	1
비상기술지원실 지역(RE-255)	1	GM	II	공기	비1E급 계측교류	10^{-3} - 10^2	±20	0.002/ 0.15	비상기술지원실 지역 방사 선량률 감시	
계측기 교정실 (RE-256)	1	GM	III	공기	비1E급 계측교류	10^{-3} - 10^2	±20	0.01/ 0.05	계측기 교정실 방사선량률 감시	
방사화학실험실 (RE-257)	1	GM	III	공기	비1E급 계측교류	10^{-3} - 10^2	±20	0.01/ 0.05	방사화학실험실 방사선량률 감시	1
주제어실 지역 (RE-275)	1	GM	II	공기	비1E급 계측교류	10^{-3} - 10^2	±20	0.002/ 0.15	주제어실 지역 방사선량률 감시	
방사성 폐기물건물 건조폐기물 저장지역 (RE-284)	1*	GM	III	공기	비1E급 계측교류	10^{-3} - 10^2	±20	0.05/ 0.25	방사성 폐기물계통 건조폐 기물 저장지역 방사선량률 감시	1
고체 방사성 폐기물 트럭bay지역 (RE-291)	1*	GM	III	공기	비1E급 계측교류	10^{-3} - 10^2	±20	0.01/ 0.05	고체방사성 폐기물 트럭 bay지역 방사선량률 감시	

표 12.3-4 (3 중 3)

설 치 장 소	호기당 수량	검출기형태	내진범주	감사매체	전 원	측정범위 (mSv/hr)	정확도 (% of reading)	경고/고경보 (mSv/hr)	기 능
방사성 폐기물 드럼 저장지역 (RE-292)	1*	GM	III	공기	비IE급 계측교류	10^{-3} - 10^3	±20	1/ 5	방사성 폐기물드럼 저장지 역 방사선량률 감시
고방사능기기 공 작실지역 (RE-293)	1*	GM	III	공기	비IE급 계측교류	10^{-3} - 10^2	±20	0.01/ 0.05	고방사능기기 공작실 방사 선량률 감시
필터 취급실 지역 (RE-297)	1*	GM	III	공기	비IE급 계측교류	10^{-3} - 10^2	±20	0.05/ 0.25	필터 취급실지역 방사선량 률감시

1

* 울진 5,6호기 공용



한국수력원자력주식회사
울진원전 5,6호기
최종안전성분석보고서

밸브, 펌프, 기기 및 제어반의
일반적인 배치도

그림 12.3-1



한국수력원자력주식회사
울진원전 5,6호기
최종안전성분석보고서

방사선 구역내 작업자 출입경로

그림 12.3-2



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(정상)-일차보조건물/
격납건물/이차보조건물

그림 12.3-3 (9 중 1)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(정상)-일차보조건물/
격납건물/이차보조건물

그림 12.3-3 (9 중 2)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(정상)-일차보조건물/
격납건물/이차보조건물/출입통제건물

그림 12.3-3 (9 중 3)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(정상)-일차보조건물/
격납건물/이차보조건물

그림 12.3-3 (9 중 4)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(정상)-일차보조건물/격납건물/
이차보조건물/출입통제건물/핵연료건물

그림 12.3-3 (9 중 5)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(정상)-일차보조건물/
격납건물/이차보조건물

그림 12.3-3 (9 중 6)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(정상)-일차보조건물/
격납건물/이차보조건물

그림 12.3-3 (9 중 7)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(정상)-일차보조건물/
격납건물/이차보조건물

그림 12.3-3 (9 중 8)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(정상)-일차보조건물/
격납건물/이차보조건물

그림 12.3-3 (9 중 9)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(정상)-방사성폐기물건물

그림 12.3-4 (3 중 1)



FLOOR PLAN LL-100-0



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(정상)-방사성폐기물건물

그림 12.3-4 (3 중 2)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(정상)-방사성폐기물건물

그림 12.3-4 (3 중 3)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5,6호기
최종안전성분석보고서

미로형 차폐격실 설계개념도

그림 12.3-5



한국수력원자력주식회사
울진원전 5,6호기
최종안전성분석보고서

전형적인 차폐해치 배치도

그림 12.3-6



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1시간

그림 12.3-7 (7 중 1)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1시간

그림 12.3-7 (7 중 2)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1시간

그림 12.3-7 (7 중 3)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1시간

그림 12.3-7 (7 중 4)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1시간

그림 12.3-7 (7 중 5)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1시간

그림 12.3-7 (7 중 6)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1시간

그림 12.3-7 (7 중 7)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1일

그림 12.3-8 (7 중 1)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1일

그림 12.3-8 (7 중 2)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1일

그림 12.3-8 (7 중 3)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1일

그림 12.3-8 (7 중 4)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1일

그림 12.3-8 (7 중 5)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1일

그림 12.3-8 (7 중 6)



본 도면은 참고용 도면임
관련 도면목록 : Table 1.7-3(Sh. 15 of 17),
관리도면: 방사선구역도, 9-327-N180-220



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1일

그림 12.3-8 (7 중 7)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1주

그림 12.3-9 (7 중 1)



■ 국 수 력 원 자 력 주 식 회 사
울 진 원 전 5, 6 호 기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1주

그림 12.3-9 (7 중 2)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1주

그림 12.3-9 (7 중 3)

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1주

그림 12.3-9 (7 중 4)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1주

그림 12.3-9 (7 중 5)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1주

그림 12.3-9 (7 중 6)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

방사선구역도(사고시)
일차보조건물/격납건물-사고후 1주

그림 12.3-9 (7 중 7)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

접근 필수구역의 위치 및 접근로

그림 12.3-10 (6 중 1)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

접근 필수구역의 위치 및 접근로

그림 12.3-10 (6 중 2)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

접근 필수구역의 위치 및 접근로

그림 12.3-10 (6 중 3)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

접근 필수구역의 위치 및 접근로

그림 12.3-10 (6 중 4)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

접근 필수구역의 위치 및 접근로

그림 12.3-10 (6 중 5)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

접근 필수구역의 위치 및 접근로

그림 12.3-10 (6 중 6)

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

12.4 선량 평가

본 절에서는 원자력발전소내 작업자의 연간 피폭선량 및 제한구역 경계에서의 일반인에 대한 연간 피폭선량을 평가하며, 아울러 원자력발전소 건설기간중 건설작업자가 받게 되는 피폭선량을 평가한다.

작업자의 연간 피폭선량 평가는 발전소의 운전, 보수, 검사 및 방사선작업시 작업 종사자가 연간 받게 되는 선량을 분석하며, 제한구역 경계에서의 일반인에 대한 연간 피폭선량 평가는 발전소내 시설물로부터의 직접선량과 발전소로부터 방출되는 공기 및 수중 방사성물질에 의한 선량을 분석하며, 건설작업자의 선량 평가는 발전소의 건설에 참가하는 작업자가 건설기간중 동일 부지내 가동중인 발전소로부터 받게 되는 선량을 평가하게 된다.

12.4.1 작업자의 연간 피폭선량 평가

작업자선량은 원자력발전소의 운전, 보수, 검사 및 방사선작업으로 인하여 원자력발전소의 작업자가 받는 연간 누적선량으로서, 이 선량한도는 원자력안전법 시행령의 작업자 유효선량 한도인 연간 50 mSv를 넘지않는 범위내에서 5년간 100 mSv 이내로 제한하였다. 울진 5,6호기에서는 작업자 선량을 줄이기 위해 부식생성물의 생성을 억제하는 재질을 선정하여 계통을 설계, 제작하며 체류 및 작업빈번구역에 대한 환기유량의 강화 및 조정, 방사선감시기의 경보설정치 강화, 관리구역 출입통제강화 및 방사선구역 세분화 등 다수의 ALARA 요건을 설계에 적용토록 하였다.

대부분의 방사선구역에서의 실제선량률은 설계선량률보다 훨씬 낮기 때문에 설계선량률을 기준으로 작업자의 피폭선량을 계산하게 되면 매우 보수적인 결과를 얻게 된다. 따라서 작업자의 연간 피폭선량 평가는 CE형 핵증기공급계통이 설치된 국내 발전소자료중 영광 5,6호기 최종안전성분석보고서 평가자료를 기준으로 하였다.

영광 5,6호기 작업자의 연간 집단선량 예상치(즉, 1.52 man-Sv/unit)는 동 발전소의 선행원전인 영광 3,4호기와 울진 3,4호기에서 제기된 ALARA 개선사항이 반영되어 평가된 것이다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

한편, 영광 5,6호기 작업자의 연간 집단선량을 예상하기 위한 기초자료로는 미국내에서 운전중에 있는 CE형 원전의 최근 9년간(1984년~1992년)의 작업자 피폭자료가 활용되었다. 표 12.4-1 및 표 12.4-2 에서와 같이 미국 원전의 호기별 작업자의 연간 집단선량 평균치는 2.95 person-Sv 정도임을 알 수 있으며, 영광 5,6호기에서는 이 값을 기초로 영광 3,4호기 및 울진 3,4호기 설계에 반영된 다수의 ALARA 개선사항의 피폭저감효과를 고려하여 1.52 person-Sv를 제기하게 된 것이다.

그러나, 울진 5,6호기의 경우에는 영광 5,6호기와 비교하여 다음과 같은 ALARA 설계 및 장비가 부가되어 설계된다.

- 가. 원자력안전법 시행령의 강화된 작업자 선량한도의 적용
- 나. 부식생성물저감을 위한 증기발생기 전열관 재질 개선
- 다. 장주기운전모드로 인한 계획예방정비 횟수의 감소
- 라. 격납건물내 노심내계측배관로 입구에 대한 방사선방호 설계
- 마. 출입통제건물내 오염확산 방지설비 설치
- 바. 사용후연료저장조 스킴 펌프실의 설치위치 변경
- 사. 폐필터 취급장비 설비개선 등

134

이상과 같은 설계 및 장비 개선으로 인해 울진 5,6호기 작업자의 연간 집단선량은 표 12.4-4 (1.07 person-Sv)와 같이 현저하게 감소될 것으로 예상된다.

1

이외에, 울진 5,6호기는 기존 원전 대비 강화된 ALARA 설계 절차에 따라 설계되었으며, 발전소 운영자인 한국수력원자력주식회사의 적극적인 ALARA 프로그램에 따라 운영될 것이기 때문에, 발전소 작업자의 실제적 연간 개인선량 및 전 작업자의 집단선량은 상기 예측치보다 낮을 것으로 예상된다.

12.4.2 일반인의 연간 피폭선량 평가

제한구역 경계에서의 일반인의 연간 피폭선량 평가는 발전시설물에 의한 직접선량과 발

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

전소로부터 환경으로 방출된 액체 및 기체 방사성물질에 의한 피폭선량을 분석하는 것으로, 평가된 선량이 원자력안전법 시행령의 일반인의 유효선량 한도인 1 mSv/yr 이내 인 지를 평가하는 것이다. | 134

격납건물, 보조건물, 방사성폐기물건물, 핵연료건물 및 터빈건물로부터의 직접적인 방사선량은 옥외에 설치된 방사성물질 저장탱크에 의한 피폭량에 비하면 무시할 정도로 작다. 옥외저장탱크로는 화학 및 체적제어시스템의 수용탱크 등이 있으며 이 탱크들은 탱크 또는 탱크 차폐벽 표면에서의 선량률이 1 μ Sv/hr 이하로 유지되도록 설계되어 있다. 따라서, 일반인의 연간 체류시간을 8,760 시간으로 가정하고 거리감쇠 효과를 고려할 경우, 일반인의 연간 총 누적선량은 호기당 1 μ Sv이하로 평가된다. | 1

발전소로부터의 액체 및 기체 방사성물질 방출에 의한 제한구역 경계에서의 일반인의 선량평가 결과는 11.2.3절 및 11.3.3절에 제시된 바와 같다.

따라서, 울진 5,6호기의 가동으로 인하여 제한구역 경계에서의 일반인이 받는 연간 피폭선량은 11.2.3절 및 11.3.3절에 제시된 호기당 값에 6개호기를 고려하여도 원자력안전법 시행령의 일반인에 대한 선량한도를 잘 만족함을 알 수 있다. | 134

12.4.3 건설작업자의 연간 피폭선량 평가

건설작업자에 대한 선량평가는 원자력발전소의 건설에 참가하는 일반 작업자가 건설기간 중 동일 부지내에 있는 가동중인 원자력발전소로부터 받는 피폭선량을 평가하는 것이다. 건설작업자가 받는 피폭경로로는 가동중 발전소로부터 방출되는 기체 방사성물질에 의한 피폭, 지표면에 침적된 방사성물질에 의한 피폭 및 직접 피폭의 3가지 경로가 고려된다. 울진 5,6호기 건설작업자에 대한 선량 기준은 원자력안전법 시행령의 일반인에 대한 연간 유효선량 한도인 1 mSv 이며, 피폭경로별 선량 평가방법은 다음과 같다. | 134

12.4.3.1 직접선량

건설작업자에 대한 연간 총누적 직접선량은 동일 부지내 운전중인 발전소의 격납건물,

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

보조건물, 터빈건물, 방사성폐기물건물, 핵연료건물과 옥외저장탱크로부터의 직접 조사선량을 합한 값으로서, 다음과 같은 보수적인 가정하에 계산되었다.

- 가. 총 건설기간은 기초콘크리트 타설부터 핵연료 장전까지 6년(호기별로는 각 5년)이다. 울진 5,6호기 건설개시 시점에 울진 1,2,3,4호기는 모두 운전되며, 특히, 울진 6호기 건설 마지막 해 1년간은 울진 5호기가 운전된다.
- 나. 건물 내부 작업자에 대한 직접선량은 무시한다. 건설 첫해에는 건설작업자의 100%가, 건설 2,3,4년에는 건설작업자의 50%가 그리고 건설 마지막해에는 건설작업자의 20%가 건물 외부에서 작업한다.
- 다. 건설작업자의 연간 작업시간은 2,500 시간이다 (50시간/주, 50주/년)
- 라. 각 발전소에 고용될 연간 건설작업자의 수는 표 12.4-5와 같다.
- 마. 울진 5,6호기 건설작업자에 대하여 울진 1,2,3호기로부터의 직접선량은 울진 4호기에 의해 차폐되는 것으로 가정한다. 울진 4호기 격납건물 표면에서 울진 5호기, 울진 6호기 건설작업자까지의 거리와 울진 5호기 격납건물 표면에서 울진 6호기 작업자까지의 거리는 각각 252 m, 438 m 와 163 m 이다.

상기 가정을 기준으로 울진 5,6호기 건설기간동안 울진 1,2,3 및 4호기로부터 각 건설작업자가 받는 연간 개인직접선량과 울진 6호기 건설 마지막해 1년간 가동중인 울진 5호기로부터 울진 6호기 건설작업자가 받는 연간 개인직접선량은 표 12.4-6과 같다.

12.4.3.2 공기중 방사능에 의한 선량

공기중 방사성물질에 의한 건설작업자의 피폭에는 방사능운에 의한 피폭과 지표면에 침적된 방사능에 의한 피폭이 고려되며, 규제지침서 1.109에 제시된 피폭평가 모델을 적용하여 계산한다(참고문헌 11).

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

울진 1,2,3 및 4호기로 부터의 방사능 누출에 의한 울진 5,6호기 건설작업자의 선량을 계산하게 되며, 울진 6호기 건설 마지막 해 1년간은 가동중인 울진 5호기로 부터의 누출도 고려된다.

각 위치별 대기확산인자 및 침적인자는 다음과 같다.

호 기 구 분	거리(m)	X/Q (sec/m ³)	D/Q (1/m ²)
울진 1,2호기 ~ 울진 5호기	780	2.351E-06	1.392E-08
울진 3,4호기 ~ 울진 5호기	600	3.584E-06	2.109E-08
울진 1,2호기 ~ 울진 6호기	970	1.643E-06	9.740E-09
울진 3,4호기 ~ 울진 6호기	790	2.302E-06	1.360E-08
울진 5호기 ~ 울진 6호기	190	2.771E-05	1.159E-07

작업자의 연간 작업시간을 2,500시간(50시간/주, 50주/년)으로 가정할 경우, 울진 1,2,3,4 호기에 의하여 울진 5,6호기 건설작업자가 받는 연간 개인유효선량 및 건설 마지막 해 1 년동안 울진 1,2,3,4호기 및 울진 5호기에 의하여 울진 6호기 건설작업자가 받는 연간 개인유효선량은 표 12.4-6와 같다. 표 12.4-6에서 보는 바와 같이 울진 5,6호기 건설작업자가 동일 부지내 가동중인 발전소로부터 받는 연간 개인유효선량은 원자력안전법 시행 | 134령의 일반인에 대한 선량한도를 충분히 만족함을 알 수 있다.

건설기간동안 울진 5,6호기의 건설작업자들의 연간 총유효 집단선량(person-Sv)은 표 12.4-7과 같다.

12.4.4 참고문헌

1. "Design Improvement Studies on the Standardization of Nuclear Power Plants," Vol. 17, KOPEC, 1987. 8.
2. B.G.Brooks, "Occupational Radiation Exposure at Commercial Nuclear Power Reactors 1984," NUREG-0713 Vol.6, U.S. NRC, 1986.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

3. B.G.Brooks, "Occupational Radiation Exposure at Commercial Nuclear Power Reactors 1985," NUREG-0713 Vol.7, U.S.NRC, 1987.
4. B.G.Brooks, "Occupational Radiation Exposure at Commerical Nuclear Power Reactors 1986," NUREG-0713 Vol.8, U.S.NRC, 1988.
5. B.G.Brooks, "Occupational Radiation Exposure at Commerical Nuclear Power Reactors 1987," NUREG-0713 Vol.9, U.S.NRC, 1989.
6. B.G.Brooks, "Occupational Radiation Exposure at Commercial Nuclear Power Reactor 1988," NUREG-0713 Vol.10, U.S.NRC, 1990.
7. B.G.Brooks, "Occupational Radiation Exposure at Commercial Nuclear Power Reactor 1989," NUREG-0713 Vol.11, U.S.NRC, 1991.
8. B.G.Brooks, "Occupational Radiation Exposure at Commercial Nuclear Power Reactor 1990," NUREG-0713 Vol.12, U.S.NRC, 1992.
9. B.G.Brooks, "Occupational Radiation Exposure at Commercial Nuclear Power Reactor 1991," NUREG-0713 Vol.13, U.S.NRC, 1993.
10. B.G.Brooks, "Occupational Radiation Exposure at Commercial Nuclear Power Reactor 1992," NUREG-0713 Vol.14, U.S.NRC, 1994.
11. "Calculation of Annual Doses to Man from Routine Release of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR 50, Appendix I," Regulatory Guide 1.109, U.S. NRC, Rev.1, 1977.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-1 (2 중 1)

운전중인 CE형 발전소의 작업자 피폭자료

연도	발전소명	설계전기출력 (MWe)	연간전기출력 (MWe-yr)	총 작업자수	연간 총작업자 선량(person-Sv)
1984	Arkansas 2	858	653	871	4.03
	Calvert Cliffs 1, 2	1,650	1,389	1,369	4.79
	Millstone Point 2	857	783	285	1.20
	St. Lucie 1, 2	1,664	1,183	2,090	12.63
1985	Arkansas 2	858	596	631	1.43
	Calvert Cliffs 1, 2	1,650	1,190	1,598	6.94
	St. Lucie 1, 2	1,664	1,446	1,971	13.44
1986	Arkansas 2	858	535	1,068	5.71
	Calvert Cliffs 1, 2	1,650	1,530	1,296	3.47
	San Onofre 2, 3	2,150	1,412	2,988	6.85
	St. Lucie 1, 2	1,664	1,589	1,279	4.91
	Waterford 3	1,075	876	1,244	2.23
1987	Arkansas 2	858	683	562	1.91
	Calvert Cliffs 1, 2	1,650	1,207	1,384	4.12
	Millstone Point 2	857	678	601	2.11
	Palo Verde 1, 2	2,442	1,638	1,792	6.69
	San Onofre 2, 3	2,150	1,649	1,778	5.79
	St. Lucie 1, 2	1,664	1,408	2,012	9.51
	Waterford 3	1,075	892	959	1.56
1988	Arkansas 2	858	542	1,226	7.03
	Calvert Cliffs 1, 2	1,650	1,398	1,296	2.91
	Millstone Point 2, 3	2,000	1,595	1,827	8.04
	Palo Verde 1, 2	2,442	1,701	2,173	6.88
	San Onofre 2, 3	2,150	1,648	1,932	6.49
	St. Lucie 1, 2	1,678	1,640	1,448	6.11
	Waterford 3	1,075	784	1,246	2.59

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-1 (2 중 2)

연도	발전소명	설계전기출력 (MWe)	연간전기출력 (MWe-yr)	총작업자수	연간 총작업자 선량(person-Sv)
1989	Arkansas 2	858	540	1,044	3.59
	Millstone Point 2, 3	2,000	1,428	1,984	10.79
	San Onofre 2, 3	2,150	1,530	1,860	4.71
	St. Lucie 1, 2	1,678	1,493	1,414	4.95
	Waterford 3	1,075	910	1,306	2.65
1990	Arkansas 2	858	684	1,261	3.86
	Millstone Point 2, 3	2,000	1,615	1,652	5.93
	Palo Verde 1, 2, 3	3,663	2,501	2,236	4.99
	San Onofre 2, 3	2,150	1,647	1,849	7.36
	St. Lucie 1, 2	1,678	1,188	1,876	7.77
	Waterford 3	1,075	1,028	432	0.47
1991	Arkansas 2	858	768	1,044	1.78
	Calvert Cliffs 1, 2	1,650	1,085	1,974	1.32
	Palo Verde 1, 2, 3	3,663	3,044	2,242	6.05
	San Onofre 2, 3	2,150	1,652	1,507	3.42
	St. Lucie 1, 2	1,678	1,593	1,282	4.79
	Waterford 3	1,075	871	1,301	3.64
1992	Arkansas 2	858	685	1,576	4.43
	Calvert Cliffs 1, 2	1,650	1,271	1,979	3.30
	Millstone Point 2, 3	2,000	1,115	3,190	12.80
	Palo Verde 1, 2, 3	3,663	3,102	1,981	5.41
	San Onofre 2, 3	2,150	1,853	1,372	2.69
	St. Lucie 1, 2	1,678	1,512	1,251	2.64
	Waterford 3	1,075	910	1,213	2.26

* 발전소 선정기준

- CE형 핵중기공급계통
- 상업운전년도 1975년 이후
- 설계전기출력 800MWe 이상
- 가동률 0.6 이상

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-2

운전중인 CE형 발전소의 연평균 총작업자수와 총작업자선량*

연도	발전소 수	총작업자선량 (person-Sv)	호기당 연평균 작업자선량(person-Sv)	연간총전기출력 (MWe-yr)	단위 전기출력당 연평균 총작업자선량 (person-Sv/MWe-yr)
1984	6	22.65	3.78	4,008	0.0057
1985	5	21.81	4.36	3,232	0.0067
1986	8	23.17	2.90	5,942	0.0039
1987	11	31.69	2.88	8,155	0.0039
1988	12	40.05	3.34	9,308	0.0043
1989	8	26.69	3.34	5,901	0.0045
1990	11	30.38	2.76	8,663	0.0035
1991	11	21.00	1.91	9,013	0.0023
1992	13	33.53	2.58	10,448	0.0032
1984~ 1992	85	250.97	2.95	64,670	0.0039

* 선정된 발전소는 표 12.4-1과 같음.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-3

운전중인 CE형 발전소의 작업별

총작업자수와 집단선량 *

작업구분	호기당 연간작업자수**	작업자 비율(%)	호기당 연간집단선량 (person-Sv/unit-yr)	선량 비율(%)
일상운전 및 감시	144	16.2	0.37	12.5
정기보수	212	23.8	0.52	17.6
가동중 검사	79	8.9	0.30	10.2
특수보수	266	29.9	1.05	35.6
방사성폐기물 처리	65	7.3	0.20	6.8
핵연료 교체	124	13.9	0.51	17.3
합계	890	100.0	2.95	100.0

* 1984 ~ 1992년 동안 CE형 발전소의 운전중 방사선 피폭자료 참고
(참고문헌 2,3,4,5,6,7,8,9,10)

** 산정 근거

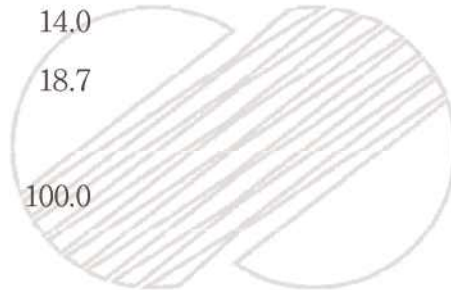
- 작업자들은 하나 이상의 작업에 투입 가능
- 연간 1 mSv/yr 이상을 피폭받은 작업자로 국한

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-4

울진 5,6호기 작업별 예상 작업자 집단선량

작업 구분	선량 비율 (%)	연간 작업자 집단선량 (person-Sv/unit-yr)
일상운전 및 감시	16.8	0.18
정기보수	16.8	0.18
가동중 검사	7.5	0.08
특수보수	26.2	0.28
방사성 폐기물처리	14.0	0.15
핵연료 교체	18.7	0.20
합계	100.0	1.07

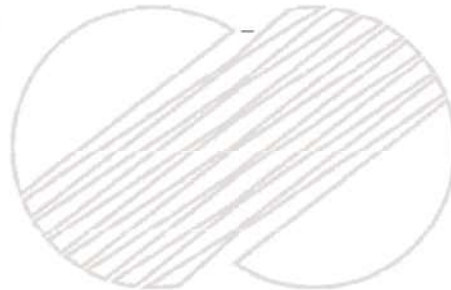


울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-5

건설기간별 예상 건설작업자수

<u>건설기간</u>	<u>울진 5 호기</u>	<u>울진 6 호기</u>
1년차	3,500	-
2년차	3,000	3,500
3년차	2,500	3,000
4년차	2,000	2,500
5년차	1,500	2,000
6년차	-	1,500



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-6

건설작업자의 연간 예상개인선량*

건설기간	5호기 건설작업자 선량 (mSv/yr)			6호기 건설작업자 선량 (mSv/yr)		
		1,2,3,4호기의 기체방출물에 의한 선량	4호기로부터 직접선량		1,2,3,4호기의 기체방출물에 의한 선량	4호기로부터 직접선량
건설 첫째	유효	2.38 (-3)	1.01 (-1)		1.49 (-3)	8.94 (-3)
	피부	6.30 (-3)	1.16 (-1)		3.93 (-3)	1.03 (-2)
	감상선	2.80 (-3)	-		1.75 (-3)	-
건설 2, 3, 4 년차	유효	2.38 (-3)	5.03 (-2)		1.49 (-3)	4.47 (-3)
	피부	6.30 (-3)	5.78 (-2)		3.93 (-3)	5.14 (-3)
	감상선	2.80 (-3)	-		1.75 (-3)	-
건설 마지막해	유효	2.38 (-3)	2.01 (-2)		1.28 (-2)**	5.69 (-2)***
	피부	6.30 (-3)	2.31 (-2)		4.58 (-2)**	6.55 (-2)***
	감상선	2.80 (-3)	-		1.61 (-2)**	-

1

* ()안의 수는 10의 지수임.

** 울진 5호기로부터의 선량도 포함함.

*** 울진 5호기로부터의 선량임 (울진 4호기로부터의 직접선량은 울진 5호기에 의해 차폐되는 것으로 가정).

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-7

총 건설작업자의 연간 예상집단선량 (person-Sv/yr)

<u>건설기간</u>	<u>5호기 건설작업자</u>			<u>6호기 건설작업자</u>		
	<u>유효</u>	<u>피부</u>	<u>갑상선</u>	<u>유효</u>	<u>피부</u>	<u>갑상선</u>
1년차	3.60(-1)	4.27(-1)	9.81(-3)	-	-	-
2년차	1.58(-1)	1.92(-1)	8.41(-3)	1.00(0)	1.16(0)	6.11(-3)
3년차	1.32(-1)	1.60(-1)	7.01(-3)	4.31(-1)	5.03(-1)	5.24(-3)
4년차	1.05(-1)	1.28(-1)	5.61(-3)	3.60(-1)	4.19(-1)	4.37(-3)
5년차	3.37(-2)	4.42(-2)	4.21(-3)	2.88(-1)	3.35(-1)	3.49(-3)
6년차	-	-	-	1.05(-1)	1.67(-1)	2.42(-2)
계	7.89(-1)	9.52(-1)	3.50(-2)	2.18(0)	2.58(0)	4.34(-2)

1

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

12.5 방사선방호계획

12.5.1 조직

12.5.1.1 방사선방호계획의 조직

발전소 방사선방호계획은 울진 1,2,3,4,5,6호기 전부에 적용된다. 울진 5,6호기 조직은 13.1절에 나와있다. 발전소장(Plant Manager)은 발전소의 방사선 방호, 오염관리 및 제염에 책임이 있다. 방사선안전팀장은 발전소 방사선방호 프로그램을 관리할 책임이 있으며, 그 프로그램은 방사선 선원, 부산물, 오염물질 등 방사성물질의 취급 및 감시를 포함하고 있다. 또한, 방사선안전팀장은 발전소 운전이 방사선방호계획에 적용될 수 있는 원자력 안전법 및 관련규정의 방사선방호 요건에 만족함을 보증할 책임이 있다.

62

134

위 문서에 나타난 정책과 그것을 이행하는 근거에 대해서는 12.1.1절에서 기술되어 있다.

방사선안전관리원(Health Physicist)은 방사선 방호계획을 수행하는 전문가로서, 방사선안전팀장에게 보고를 해야 하고, 방사선 작업절차를 수립하여 방사선 피폭선량이 합리적으로 달성가능한 한 낮게 유지될 수 있도록 관리하여 방사선방호를 위한 방사선 측정과 방사성폐기물의 시료 채취 및 분석을 한다.

62

위에서 말한 감독자의 책임과 권한, 방사선안전관리원의 필요한 교육과 자격에 대한 좀더 상세한 내용은 13.1.2와 13.1.3절에서 설명한다.

12.5.1.2 방사선방호계획의 목적

방사선방호계획은 다음과 같은 목적을 가지고 있다.

- 가. 방사선과 방사성물질로 인한 작업자 피폭이 원자력안전법(원자력안전위원회 고시)의 제한치 이내로 유지되며, ALARA로 유지되고 있음이 보증될 수 있도록 발전소 작업자를 관리한다.

134

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

발전소 작업자들이 모든 절차 및 요구사항에 따르고 있음이 보증될 수 있도록 행정상의 관리지시를 준비한다.

방사선방호를 위한 규제치는 원자력안전법(원자력안전위원회 고시)에 일치하 | 134
도록 개발되어야 하며, 발전소 작업자들이 방사선 방호에 관련된 모든 요구사 | 1
항을 일괄적이며 계속적으로 발전소 종사자 개개인이 따르고 있음이 보증될
수 있도록 방사선 안전관리절차를 수립하여 이용한다.

나. 방사성폐기물 방출은 원자력안전법(원자력안전위원회 고시)의 제한치 이내에 | 134
있음이 보증될 수 있도록 행정적인 조치를 제공한다.

12.5.1.3 방사선방호계획

울진발전소에 허가된 방사성물질이 들어오면, 공식적인 방사선방호계획은 울진 5호기에서 | 1
먼저 착수될 것이고 이후 6호기에서 착수되며, 울진 5,6호기가 해체될 때까지 계속적으로
실시될 것이다. 이 계획은 위에서 말한 목적을 실제적이고 안전한 방법으로 수행하는데
사용되는 규칙, 실습, 절차로 구성되어 있으며, 원자력안전법의 권고사항 및 관련규정을 | 134
만족한다.

방사선방호계획은 다음 업무를 수행하고 있음을 보증한다.

가. 방사선작업자는 적절한 방사선방호 교육을 받는다. | 1

나. 적절한 출입관리절차 및 관리구역 작업복은 외부오염을 막는데 사용된다.

다. 호흡방호장구는 체내 방사선 피폭을 막는데 사용된다.

라. 방사선구역은 방사성물질의 체내흡입을 방지하기 위하여 분리되고 적절한 표
지를 해야 한다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

마. 방사선, 오염 및 공기중 방사능 등의 정확한 측정을 수행할 수 있도록 계측기 및 장비는 적절하게 교정되어야 한다.

바. 방사선작업자들에게 적절한 선량측정장비가 제공되어야 한다.

1

사. 체내 선량평가 프로그램(전신선량 측정 또는 생체학적 측정)이 갖추어져 있어야 한다.

아. 방사성물질의 선적 및 하역이 올바르게 취급되어야 한다.

자. 일반공중에게 신뢰할 수 있는 전력이 안전하게 공급되면서 작업 종사자의 방사선량은 합리적으로 달성가능한 한 낮게 유지될 수 있도록 필요한 조치가 취해진다.

이 계획을 이행하는데 사용된 절차에 대한 좀더 상세한 내용은 12.5.3절에 기술되어 있다. 또한 이 계획은 발전소로 인하여 환경 및 주변 주민에게 미치는 방사선 영향이 거의 없음을 입증할 수 있도록 발전소 절차에 따라 적절한 방사성 폐기물 방출시료를 채취하여 분석함을 보증하며, 13.3장에서 기술된 발전소 사고를 줄일 수 있도록 비상계획이 갖추어져 있음을 보증한다.

12.5.2 장비, 계측기 및 설비

12.5.2.1 방사선관리구역

발전소 설계시 각호기에 대한 방사선관리구역을 설정한다. 방사선관리구역은 방호조치를 취해야 하거나 취해야 할 우려가 있을 만큼의 방사성물질이 있는 모든 지역과 표 12.3-1에 정의된 방사선구역 2 또는 그 보다 선량률이 높은 지역을 포함한다. 울진 5,6호기의 설정된 방사선구역은 그림 12.3-3에서 12.3-4까지 나타나 있다.

1

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

방사선관리구역의 정상적인 출입은 출입통제건물 및 방사성폐기물건물의 출입통제소에 있는 보건물리실을 통해 이루어지며, 방사선안전관리원에 의해 통제된다. 방사선관리구역으로 출입할 수 있는 다른 모든 곳은 잠금장치를 하거나 밀폐시켜 놓는다. 발전소의 청정지역에 임시 출입관리구역이 설정될 수 있으나 이 경우에도 방사선관리구역의 모든 규칙 및 절차를 따라야 한다. 방사선관리구역을 떠나는 모든 사람들이 스스로 오염검사를 할 수 있도록 방사선 계측기는 출입통제소 지점에 설치되어 있다.

트럭이 핵연료건물과 방사성폐기물 처리건물을 출입할 수 있도록 발전소 옥외지역(제한구역 내부)의 일부를 포함하여 출입통제 요구조건을 확장할 수도 있다. 출입금지구역의 경계에는 울타리, 밧줄이나 다른 장애물로 막아 놓아야 한다. 발전소 건물 외부지역에다 오염물질을 놓아 두어서는 안된다.

트럭운전사와 같이 방사선관리구역으로의 출입이 필요한 사람은 관리구역 작업복을 착용하고 지속적인 감독을 받으며 필요하다면 방사선량측정장비도 휴대한다. 트럭이 방사선관리구역에서 나오기 전 트럭 및 운전사는 방사선 측정을 하여 그 결과를 기록, 유지해야 한다. 방사선방호 교육을 받은 사람이나 교육을 받은 사람에 의해 안내 받는 사람만이 방사선관리구역에 출입이 허가된다.

1

방사선관리구역을 출입하기 위해 방사선작업허가서(RWP)에 의해 출입이 허가된 사람에게선량을 확인할 수 있는 개인선량계를 지급한다. 방사선작업허가서에는 작업자가 작업구역의 방사선 조건과 필요한 경우 부근지역의 방사선 조건까지 알 수 있도록 적성하며, 출입시 요구되는 관리구역 작업복과 개인선량계를 지정하고 허용 작업시간을 명시한다. 기타 적절한 부가사항은 RWP에 명시한다.

고방사선구역은 눈에 띄게 표시하며, 허가받지 않은 작업자의 출입을 방지하기 위하여 잠금장치를 설치한다. 고방사선지역을 출입하는 작업자는 방사선작업허가서가 발행될 때 방사선안전관리원으로부터 방사선방호 지침에 대한 교육을 받는다.

12.5.2.2 방사선방호와 관련된 설비

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

방사선방호를 위한 설비는 발전소의 오염가능지역으로의 출입이 편리한 곳에 위치하고 있어야 하며, 다음과 같은 설비를 포함한다.

가. 1차측 냉각재 시료가 배수될 수 있는 시료채취실

나. 방사성시료의 화학분석 또는 방사화학분석을 위한 방사화학실험실(실험실은 미
립자 또는 기체 방사성물질의 확산을 방지하기 위해 부압으로 유지되어야 하
며, 공기가 일정하게 흐르는 연기 후드 및 방사선 감시기를 갖추어야 한다.) | 1

다. 방사성 시료의 핵종성분 및 방사능 준위를 분석하기 위한 계측실(자연방사능의
영향을 줄이기 위하여 계측실을 차폐하고, 공기조절장치를 설치한다.)

라. 대량의 화학약품과 실험실용 조달품의 저장을 위한 창고

마. 보건물리실 및 출입관리 검사소

바. 작업자更衣실 및 보관함

사. 작업자 제염설비

아. 세탁된 옷 및 새옷 저장시설

자. 고정된 지역방사선감시계통

차. 방사선관리구역에서 나가기전 작업자는 출입통제소에서 오염검사를 해야하며 출
구에는 휴대용 오염측정기와 출구오염 감시기가 있어야 한다.

카. 오염된 계측기를 유지, 보수할 수 있는 오염계측기 작업장과 장비 및 계측기의
제염 설비 | 1

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

12.5.2.3 방사선방호 설계

계속적으로 방사선 준위가 1 mSv/hr를 넘을 가능성이 있는 지역은 잠금장치를 하여 출입을 제한할 수 있어야 하고, 비상시 빨리 대피 할 수 있도록 설계되어야 한다. 방사선구역에서 일하는 작업자를 차폐할 수 있도록 납벽돌 또는 납판과 같은 특별한 차폐체가 설치되어서 작업자의 방사선량을 실제적이며 합리적으로 줄일 수 있도록 한다. 원격도구 및 원격취급장비와 같은 특별한 장비 및 차폐된 이송용기를 방사성 물질을 취급(예, 필터교체)하기 위해 준비하여 사용한다. 방사성물질의 비일상적인 취급은 경우에 따라서 계획하고, 특별한 차폐 또는 도구를 작업자의 방사선 피폭선량을 실제로 줄일 수 있는 정도까지 이용한다. 방사선방호설계의 상세내역은 12.3.1절과 12.3.2절에 기술되어 있다.

12.5.2.4 방사선방호용 계측기

12.5.2.4.1 실험실 방사선 측정장비

계측실에 있는 실험실용 방사선 측정장비는 다음과 같은 것을 포함한다.

- 가. 액체 섬광 계수기
- 나. 알파 계측기
- 다. 베타 계측기
- 라. 감마 핵종분석 장비
- 마. 자동 저준위 알파/베타선 계측장비

교정실에 보유하고 있는 방사선 측정장비는 선원 동위원소 교정기와 펄스 발생기를 포함한다.

12.5.2.4.2 휴대용 방사선 측정기기

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

휴대용 방사선 측정기기는 다음과 같은 것을 포함한다.

| 139

- 가. 광역 베타, 감마선 측정기
- 나. 중간 영역 베타, 감마선 측정기
- 다. 협역 베타, 감마선 측정기
- 라. 중성자 측정기
- 마. 휴대용 표면오염 측정기
- 바. 베타 입자 공기감시기
- 사. 반휴대용 미립자, 요오드, 가스 감시기
- 아. 알파측정기

12.5.2.4.3 휴대용 공기시료 채취기

휴대용 공기시료 채취기는 다음과 같은 것을 포함한다.

- 가. 건전지 작동 공기시료 채집기
- 나. 고유량 공기시료 채집기
- 다. 조정된 공기시료 채집기
- 라. 삼중수소 시료 채집기

공기시료 채집기는 현장 방사능준위를 실험실에서 분석하기 위하여 방사성입자와 할로겐 원소의 시료채취를 위해 사용된다. 이러한 시료 채취들은 발전소 운전중이나 보수기간중에 작업자가 관리구역내에 들어가기 전 국부지역의 정기적인 시료채취를 하기 위해 사용된다. 연속공기감시기(CAM)는 공기중 방사성입자, 불활성기체 및 요오드를 모아서 총 방사능 농도를 측정한다. 작업자가 작업중일 때 작업장에 설치된 이들 감시기는 공기 방사능 준위가 상승하면 경보를 제공한다. 또한 연속공기 감시기는 발전소 전체에 걸쳐 총 공기중 방사능 준위의 일상적인 측정을 하는데 사용될 수 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

12.5.2.4.4 개인 방사선 피폭 감시장비

개인 방사선 감시계측기는 다음과 같은 것을 포함한다.

- 가. 중성자 포켓 선량계
- 나. 자동 선량 감시기
- 다. 열형광 선량계(TLD) 및 관독장비
- 라. 전신오염 감시기
- 마. 체내피폭 검사장비
- (삭제)

1

139

12.5.2.4.5 비상용 계측기

휴대용 장비는 비상시를 대비하여 보건물리실 및 기술지원실 등에 보관한다. 이들 계측기는 올바르게 작동하는지 확인하기 위해 정기적으로 교정하고 점검한다. 휴대용 비상계측기는 다음과 같은 것을 포함한다.

1

- 가. 광역 GM 계측기
- 나. 저준위 오염 측정기
- 다. 휴대용 공기시료 채집기
- 라. 직독식 선량계
- 마. 여러가지 호흡방호장비

12.5.2.4.6 방사선방호 계측기의 교정

방사선방호 계측기는 방사선 검교정 요원에 의해 운영기술지침서에 따라 정기적으로, 그리고 계측기 수리후에 시험 및 교정되어야 한다. 교정은 적절한 교정설비와 승인된 절차서를 사용하여 교육받은 계측기 검교정 요원에 의해 수행되어야 한다. 교정되는 방사선방호 계측기는 다음과 같은 것을 포함한다 :

- 가. 휴대용 방사선 측정기
- 나. 공기시료 채집기

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

다. 개인 방사선 피폭 감시장비

라. 비상용 계측기

12.5.2.5 장비 제염 설비

격납건물, 핵연료건물, 방사성폐기물처리건물, 보조건물, 오염장비공작실(hot machine shop)에는 제염구역을 마련해 둔다. 격납건물내에는 세척패드와 영구분무노즐이 원자로 용기 헤드내부의 오염제거를 위하여 원자로 상부덮개 안착지역에 설치되어 있다. 그외에, 핵연료 재장전후 핵연료재장전수조 라이너를 제염하기 위하여 호스와 배수시설이 되어 있다. 핵연료건물에는 사용후연료 수송용기의 제염을 위하여 수송용기 제염조와 영구 분무노즐이 설치되어 있다. | 1

방사성폐기물건물에는 고화 폐기물 드럼의 겉표면을 국부적으로 제염하기 위하여 고체폐기물 구역내에 제염대가 설치되어 있다. 오염장비 공작실에는 제염설비가 공기구와 장비의 오염제거를 위하여 설치 되어 있다. 제염설비는 분무실, 초음파 세척조 그리고 화학 세척조 등을 갖추고 있다. 보조건물내의 제염설비는 보수를 위하여 방사성폐기물건물 또는 출입통제건물로 운반해야할 장비의 사전세척에 사용한다. | 1

일반적으로, 공정계통의 기기들은 정비 또는 철거하기전에 현장에서 제염을 한다. 상당량의 방사성액체를 함유하고 있는 펌프, 열교환기 그리고 여과기와 같은 각 공정기기들은 세척과 배수시설을 갖추고 있다. 이들 기기들은 정비하기 전에 현장에서 세척한다. 만일 필요하면, 휴대용 펌프와 제염용 약품드럼에 세척과 배수설비를 이용하여 제염용액을 기기전체에 순환시키기 위해서 사용할 수도 있다. 만일 기기들의 제염이 더 필요하면 부품을 폴리에틸렌 봉투 등으로 밀봉하여 오염장비 공작실의 제염 설비로 이송한다. | 1

크기가 큰 기기들의 제염은 장치의 배열과 위치가 다양하기 때문에 상황에 따라 처리한다. 필요한 경우, 현장제염이 요구될 때는 임시커튼을 기기주위에 설치할 수도 있다. 방사선 구역내에 있는 기기들은 제염의 편의를 위하여 제염도포제를 도포한다. 필요하 | 1

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

면, 제염의 효과를 위하여 용제 혹은 샌드블래스팅으로 도포제를 제거한다.

1

12.5.3 방호절차

12.5.3.1 방사선 및 오염 측정

12.5.3.1.1 기본 원칙

방사선과 오염 측정절차는 최초 핵연료 장전 이전에 수립된다. 이러한 절차는 일상적인 방사선 측정과 비 일상적인 특별 측정을 위한 상태, 요건 및 구역을 규정한다. 측정 목적은 발전소 여러 지역의 방사선 및 오염 준위를 조사하여 자료를 모으는 것이다. 얻어진 정보는 작업자들이 작업을 수행하는 데 참고 지침으로 사용된다.

1

12.5.3.1.2 책임

방사선안전관리원은 정기적으로 방사선 및 오염 측정을 수행하고, 그 결과를 기록, 유지한다. 방사선방호차장은 측정 결과를 검토하여 적절한 조치를 취한다. 방사선안전팀장은 모든 책임을 진다.

1

62

12.5.3.1.3 측정의 종류

가. 방사선 준위

정기적이고 일반적인 방사선 준위 측정은 그 지역의 종류, 사용 그리고 잠재적인 위험에 따라 필요하다면 수시로 수행하며, 특별 방사선 측정은 필요에 따라 수행한다. 작업구역에서의 어떤 방사선 조건은 정비 작업 수행 동안 연속 측정이 필요하다.

1

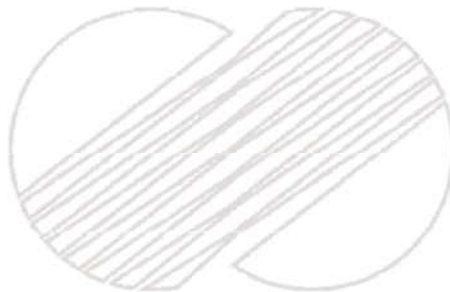
나. 오염

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

제거성 표면 오염의 평가인 스미어측정은 그 지역의 종류, 사용 및 잠재적인 위험에 따라 청정 지역과 방사선관리구역에서 정기적으로 수행하며, 특별 스미어 측정은 작업을 하기 위한 안전한 작업 조건인지를 평가하기 위해 작업 감독자의 요청이 있을 시 수행한다. | 1

다. 공기

어느 지역에 있는 공기중 방사능 농도의 평가를 위한 공기중 방사능 농도 측정은 그 지역의 종류, 사용 그리고 잠재적인 위험에 따라 청정 지역과 방사선관리구역에서 정기적으로 하게 되고, 비정기 공기시료 채취는 안전한 작업조건인지를 평가하기 위해 작업 감독자의 요청이 있을 시 수행하게 된다.



1

12.5.3.2 피폭선량의 ALARA 유지를 위한 절차 및 방법

방사선구역 또는 잠재적 방사선구역에의 출입관리 절차서는 방사선안전팀 직원에 의해 작성되어야 하고, 모든 작업자는 그것을 잘 숙지해야 한다. 작업자 개인의 방사선 피폭선량은 방사선 피폭선량이 합리적으로 달성가능한 한 낮게 유지되도록 보증하기 위해 세밀하게 조사하여 기록한다. 발전소 방사선안전관리원은 ALARA 계획을 수행한다. | 1 | 62

12.5.3.3 출입 및 체류시간의 통제

12.5.3.3.1 총론

방사선관리구역 절차를 철저히 숙지하지 못한 사람은 방사선안전관리원에 의해 안내를

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

받거나 충분한 방사선 방호를 확보할 수 있도록 적절한 방호지침에 대한 교육을 받는다. 방사선관리구역내에서 작업이 완료되는 즉시 작업자는 방사선관리구역을 떠나야 한다. 방사선관리구역내 어떤 지역은 “인가된 자만 출입”이라는 표지가 붙어 있으며, 이러한 지역들은 방사선 작업 허가서에 적합한 출입 허가를 받은 사람만이 들어갈 수 있다. 방사선 작업 허가서의 목적은 이러한 지역에 대한 출입을 통제하고, 방사선 작업자가 안전하게 작업을 수행할 수 있도록 방사선 및 오염 준위, 필요한 관리구역 작업용품 및 기타 요구사항을 알려줌으로써 피폭과 오염 문제를 관리한다.

1

12.5.3.3.2 방사선관리구역에 들어갈 때

방사선관리구역에 들어가기 위한 절차는 다음과 같다.

가. 방사선작업허가서에 명시된 대로 열형광선량계, 자동 선량계, 관리구역 작업복, 기타 필요한 개인 선량계를 착용한다.

나. 방사선 관리구역에 들어가기 전에 외부 상처 부위가 방사성 물질에 의해 오염되지 않도록 조치해야 한다.

1

다. 방사선방호 교육을 받지 않은 사람은 방사선안전팀장이 지명한 직원이나 방사선안전팀장이 평가하여 만족할 정도의 방사선방호 지식을 가진 사람에 의해 안내를 받는다.

62

라. 정상적으로 방사선관리구역내로 들어가는 것은 출입통제소를 통하여 들어가며, 다른 통로를 통하여 방사선관리구역내로 들어갈 때는 발전소장 또는 그의 지명인에 의해 승인을 받아야 하고, 방사선 작업 허가서에 기재되어야 한다.

1

12.5.3.3.3 방사선관리구역에서 나갈 때

방사선관리구역을 나갈 때는 다음과 같은 절차를 따라야 한다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

가. 방사선관리구역을 나가는 것은 출입통제소를 통해서만 할 수 있다. 다른 통로를 통해 방사선관리구역을 나갈 때는 발전소장 혹은 그의 지명인에 의해 승인을 받아야 한다.

나. 모든 관리구역 작업용품은 스텝-오프(step-off) 지역에서 벗는다.

다. 감시 지역을 나가기전 작업자는 스스로 오염 검사를 한다.

라. 오염된 작업자는 방사선 안전관리원에게 보고해야 하며, 방사선관리구역을 나가기 전에 제염을 실시한다.

마. 비상시 방사선관리구역으로부터 나가는 것은 발전소 비상계획에 따른다.

12.5.3.4 오염 관리

12.5.3.4.1 설비에 대한 오염 관리

지역과 지역사이의 작업자 통행에 따른 일반 지역의 오염은 스텝-오프 패드 기술을 사용하여 관리한다. 고 준위 오염과 관련된 작업을 할 경우는 이중 스텝-오프 패드를 사용한다. 지역간에 오염 공기구 및 장비를 이동하기 위해서는 플라스틱 봉지와 흡수지를 사용한다. 방사선관리구역을 나가는 직원들에 대한 최종 오염 검사는 전신오염감시기가 있는 보건물리실 정문 출입통제소에서 한다.

12.5.3.4.2 개인의 오염 관리

12.5.3.4.2.1 관리구역작업복

오염구역을 들어갈 때 여러종류의 관리구역작업복을 사용하여 개인의 오염관리를 한다.

가. 실험실 직원이 방사성 시료를 분석할 때는 실험복을 착용한다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

나. 오염구역에 들어갈 때 대부분의 경우에는 관리구역작업복을 착용한다.

1

다. 건식오염구역에서는 면 신발덮개를 착용하고, 습식오염 또는 습식오염이 우려되는 구역인 경우에는 플라스틱 혹은 고무제품의 신발덮개를 착용한다.

라. 건식오염구역에서는 면 장갑을 착용하고, 습식오염 또는 습식오염이 우려되는 지역에서는 고무 혹은 플라스틱 장갑을 착용한다.

마. 작업자에게 액체 오염의 우려가 있는 구역에서는 면 관리구역작업복 위에 관리구역비닐복을 착용한다.

1

바. 저준위 건식오염지역에서는 면 관리구역작업모를 착용하고, 고준위 건식오염 구역에서는 면 두건을 착용한다.

1

사. 오염구역에서 작업할때 작업자는 관리구역작업복을 착용한다. 이중의 관리구역작업복을 착용하여야 할 경우에는 이중 스텝 오프 패드를 사용한다.

통상적으로, 발전소내 일반지역은 관리구역작업복 착용없이도 출입할 수 있다. 관리구역작업복을 착용하는 지역을 최소화하기 위해 특별정비 작업을 수행할 경우 작업지역에 임시 탈의실을 설치한다. 또한, 영구 탈의실은 일상적으로 관리구역작업복 착용이 요구되는 지역에 설치된다. 만일, 관리구역작업복 착용이 요구되는 지역수가 발전소 통행에 불편할 정도로 많다면, 또는 발전소 청정지역에 오염을 유발시킬 수 있다면 주 출입통제소 인근의 탈의실이 발전소 모든 출입 통제지역을 위한 주 탈의실이 된다.

12.5.3.5 공기중 방사능 관리

공기오염지역에 들어가기 전에 방사선안전관리원이 방사선작업허가서에 명시한 적절한 호흡방호장비를 착용해야 한다. 지역의 방사선 측정 및 공기오염 농도와 종류에 따라 필요한 방호 장비를 결정하는 것은 방사선안전관리원의 책임이다. 방사성물질을 가지고 작

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

업을 한다든가 공기오염이 존재할 가능성이 있을 때는 작업자와 작업 감독자는 방사선안전관리원에게 알릴 책임이 있다. 공기 오염은 환기장치와 장비 및 작업지역의 제염을 통해 최소로 유지된다. 호흡방호장구는 공기중 방사능이 존재하는 지역에서 체내 피폭을 방지하기 위한 것이다. 이러한 경우에, 방사선안전관리원은 공기중 시료를 채취하고, 착용해야 할 호흡방호장구를 추천해야한다. 호흡방호장구로는 미진필터와 탄소필터(또는 둘중의 하나)가 구비된 반면 및 전면 마스크, 그리고 공기 공급형 마스크 등이 있다.

12.5.3.6 개인 방사선 감시

12.5.3.6.1 기본 원칙

방사선방호 계획중 이 분야는 적절한 개인 방사선 감시장비의 착용, 피폭방사선량의 정확한 기록, 판독치의 적절한 평가 그리고 요구에 따라 의학적, 생물학적 검사와 전신 계측을 취급한다. 이 절차의 목적에 적합한 개인 방사선 감시 장비는 열형광선량계(TLD)와 직독식 개인 선량계를 의미한다. 모든 방사선 작업종사자들은 TLD를 발급받게 될 것이고, 그리고 방사선 관리 구역내에 체류하는 동안 이러한 감시 장비 등을 착용해야 한다.

12.5.3.6.2 발전소 종사자 방사선량

12.5.3.6.2.1 체외 방사선량 평가

방사선관리구역에 출입하는 모든 종사자는 TLD를 발급 받아야 한다. 각각의 선량계는 고유번호를 갖고 있으며, 각 개인마다 지급된다. 선량계는 방사선관리구역내에 체류하는 동안에 항상 착용해야 하며, 착용 후에는 지정된 장소에 보관해야 한다.

개인 선량계는 월단위로 관리한다. 개인 선량계는 종사자가 비상사고시 피폭된 경우나 또는 개인의 과피폭이 의심스러울 때는 그때 그때 요건에 따라 처리되어야 한다. 이러한 경우에는 해당되는 종사자의 TLD가 판독되고 선량평가가 완료될 때까지 추가 피폭이 제한된다. 피부와 전신 체외 방사선량은 개인 TLD에 의해 측정된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

방사선관리구역에 들어가는 모든 종사자와 방사선안전팀장 또는 그 대리인이 지명하는 62
자는 직독식 개인 선량계를 발급 받아야 한다. 이 직독식 개인 선량계는 TLD 뱃지에
준하는 방법으로 관리되어야 한다. 또한 직독식 개인 선량계는 작업후 즉시 판독값이 기
록유지되어야 한다. 포켓도시미터(PD)는 사용전에 영점이 조정되어야 한다. 1

최초로 방사선관리구역에 들어가는 모든 종사자는 들어가기 전에 원자력안전법 제 91조 134
에 따라 건강진단을 완료해야 한다.

12.5.3.6.2.2 체내 방사선량 평가

방사선관리구역에서 일하는 작업자에게 방사성물질의 체내침적은 뇨시료분석 또는 전신
계측에 의해 평가된다. 뇨시료분석은 방사선안전팀장이 필요로 할 때 한다. 62

또한, 체내 방사선량을 평가하는데 전신 계측기를 사용한다. 발전소 절차는 모든 방사선
작업자가 적어도 일년에 한번은 전신검사를 받도록 할 필요가 있다. 주목할 만한 체내
방사선량이 있을 거라고 생각될 때마다 방사선안전관리원은 특별 전신검사를 요청한다.
체내 방사선량이 조사준위를 초과할 경우는 발전소원자력안전위원회(PNSC)에 보고한 1
후, 상세 조사를 착수한다.

12.5.3.7 방사성물질 안전 계획

방사성물질의 저장, 취급, 수송 그리고 폐기는 발전소 절차에 기술되어 있으며, 발전소 절
차는 작업자가 불필요하게 방사선에 노출되지 않도록 적용될 수 있는 모든 규정과 일치
함을 보증한다.

12.5.3.7.1 방사성물질의 반입

작업자는 방사성물질을 주문할 때마다, 방사선안전관리원에게 요구한 물질의 종류 및 양,
방사능량, 물리적 및 화학적 형태를 알린다. 발전소 외부에서 들어오는 방사성물질을 내
장한 화물은 포장과 표지에 대하여 적용되는 모든 규정에 따라야 한다. 발전소내에서 포

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

장된 방사성물질을 옮기기전 방사선안전관리원은 외부 방사선량을 측정한 후, 그 포장은 적절한 장소에 두고 적합한 표지를 부착한다. 화물의 파손, 누출 혹은 수송용기의 결함이 있을 경우에는 방사선안전팀장은 관계기관에 보고할 책임이 있다. 어떤 오염이 확인되면, 즉시 화물 취급자에게 알려서 방사선안전관리원의 감독아래 제염을 실시한다. 방사성물질의 화물은 방사선 및 오염 준위가 허용될 수 있을때만 발전소 지역으로 운반이 허가된다.

12.5.3.7.2 방사성물질의 저장

모든 방사성물질은 방사선안전관리원에 의하여 지정된 제한지역에 저장한다. 방사성물질 저장 지역에 들어가고 나가는 모든 방사성물질을 기록하고, 모든 작업자가 이 지역을 분명히 알 수 있도록 표지를 해야 한다. 방사선원의 저장시설은 방사성 동위원소 사용에 관한 원자력안전법과 일치해야 한다.

12.5.3.7.3 방사성물질의 소내 운반

방사성물질의 소내 운반은 노출 방사선량이 최소화되도록 엄격히 관리한다. 작업 지역의 작업자에게 운반사실을 알리지 않았다면, 작업자에게 불필요한 피폭을 초래할 수 있는 방사성물질들은 이동시키지 않아야 한다. 소내 운반용 방사성물질 이송용기는 누출 또는 파손이 쉽게 일어나지 않도록 제작 및 차폐되어야 한다. 차폐는 그 지역에 있는 작업자와 방사성 물질 운반에 종사하는 작업자를 보호할 만큼 충분해야 한다.

작업자가 방사선에 노출될 가능성이 있을 때마다, 모든 방사성물질은 운반전에 기록되고 용기에 올바르게 표기가 되어야 한다.

12.5.3.7.4 핵연료의 취급, 저장 및 선적

모든 신연료 및 사용후연료의 인수, 재고조사(위치선정 포함), 폐기 그리고 운반은 원자력 안전법을 따른다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

방사선안전관리원은 포장을 풀고 저장하기 전이나 작업중에 방사선 및 오염 측정을 할 책임이 있다. 운반용기의 방사선 및 오염 측정은 부지 밖으로 운반하기 전에 수행한다. 1

12.5.3.8 방사선방호 교육훈련

방사선방호 교육·훈련의 목적은 모든 작업자가 방사선에 노출될 수 있는 직무를 안전하게 수행할 수 있도록 하는데 있다. 교육·훈련 프로그램은 여러 직위에 있는 사람에게 필요한 깊이로, 필수적인 발전소 운전 및 방사선방호 내용을 다룰 수 있도록 작성되어야 한다. 각 프로그램은 기본 내용을 다루고 있으나, 작업자가 직무를 안전하게 수행하는데 필요한 지식 수준에 따라 추가적인 내용을 포함한다.

방사선안전팀장은 울진 5,6호기 종사자 및 발전소에 소속된 기타 작업자의 방사선방호 교육 1 62
을 책임진다. 방사성물질과 관련된 작업을 하는 작업자 및 울진 5,6호기에 소속된 모든 62
작업자가 충분한 교육을 받았음을 보증하는 것은 방사선안전팀장의 책임이다. 모든
종사자의 교육·훈련 결과는 기록으로 보존되어야 한다.