

## 제 12 장

### 방사선 방호



월성 1호기 최종안전성분석보고서

목 차

페이지

12.1	개 요	12.1-1
12.2	방사선피폭에 대한 설계관리계획	12.2-1
12.2.1	설계과정에서의 방사선피폭관리계획	12.2-1
12.2.2	방사선피폭관리 방법	12.2-1
12.2.3	참고문헌	12.2-1
12.3	방사선방호 설계 설비	12.3-1
12.3.1	장비 및 기기 설계특성	12.3-2
12.3.1.1	외부 피폭	12.3-2
12.3.1.2	내부 피폭	12.3-4
12.3.2	설비설계 특성	12.3-4
12.4	차폐	12.4-1
12.4.1	차폐설계를 위한 방사선 선원	12.4-1
12.4.2	설계 기준	12.4-2
12.4.3	차폐 설계	12.4-4
12.4.3.1	1차 차폐	12.4-5
12.4.3.2	2차 차폐	12.4-6
12.4.3.3	보조 차폐	12.4-6
12.4.3.4	특수 차폐	12.4-6

월성 1호기 최종안전성분석보고서

목 차

페이지

12.4.4	참고문헌	12.4-8
12.5	건물 및 계통설비 배치	12.5-1
12.5.1	출입통제	12.5-1
12.5.2	방사선관리구역 설정	12.5-2
12.5.3	고정지역 감마선 감시	12.5-6
12.5.4	참고문헌	12.5-7
12.6	공기중 방사능 오염관리	12.6-1
12.6.1	요구되는 공기의 질	12.6-2
12.6.2	내부 피폭선량(삼중수소) 관리	12.6-2
12.6.2.1	누설차단	12.6-3
12.6.2.2	중수증기회수	12.6-3
12.6.2.3	누설 중수 수집	12.6-6
12.6.2.4	밀폐	12.6-7
12.6.2.5	환기	12.6-7
12.6.3	환기계통	12.6-7
12.6.4	중수증기회수계통	12.6-8
12.6.5	소내감시계통	12.6-8
12.6.5.1	공기중 삼중수소 감시계통	12.6-9
12.6.5.2	냉각재상실사고 후 방사선감시(운전원의 안전성 측면)	12.6-11

월성 1호기 최종안전성분석보고서

목 차

페이지

12.7	발전소 종사자에 대한 방사선방호	12.7-1
12.7.1	방사선방호 계획	12.7-1
12.8	방사선관리계획	12.8-1
12.8.1	목적	12.8-1
12.8.2	시설 및 장비	12.8-2
12.8.2.1	방사선관리 시설	12.8-2
12.8.2.2	방사선관리 장비	12.8-3
12.8.3	방사선관리구역 구분	12.8-4
12.8.3.1	방사선관리구역	12.8-4
12.8.3.2	고방사선구역	12.8-4
12.8.4	방사선작업허가서	12.8-5
12.8.4.1	허가서 종류	12.8-5
12.8.4.1.1	작업별 방사선작업 허가서	12.8-5
12.8.4.1.2	일반 방사선작업 허가서	12.8-6
12.8.5	폐폭관리	12.8-6
12.8.5.1	외부폐폭관리	12.8-6
12.8.5.2	내부폐폭선량 관리	12.8-7
12.8.6	방사능오염관리	12.8-7
12.8.6.1	사람의 이동	12.8-8



## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 목 차

#### 페이지

12.8.6.2	개인위생 및 음식물관리	12.8-8
12.8.7	방사성동위원소의 사용 및 저장	12.8-9
12.8.7.1	방사성동위원소 저장	12.8-9
12.8.7.2	방사성동위원소 취급	12.8-9
12.8.7.3	방사성동위원소와 용기에 표지부착	12.8-9
12.8.7.4	방사성동위원소의 누설시험	12.8-10
12.8.7.5	방사성동위원소 재고조사	12.8-10
12.8.8	제염	12.8-10
12.8.9	방사능 표지판 설치	12.8-11
12.8.10	방사선방호 교육	12.8-11
12.9	방사선 선원	12.9-1
12.9.1	차폐	12.9-1
12.9.1.1	냉각재계통	12.9-1
12.9.1.2	감속재계통	12.9-2
12.9.1.3	감속재 상증기체계통	12.9-3
12.9.1.4	연료취급계통	12.9-3
12.9.1.5	사용후연료저장조계통	12.9-4
12.9.1.6	차폐냉각계통	12.9-6
12.9.1.7	액체영역제어계통	12.9-7
12.9.1.8	환형기체계통	12.9-8

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 목 차

#### 페이지

12.9.1.9	폐기체관리계통	12.9-8
12.9.1.10	중수세정계통	12.9-9
12.9.1.11	사용후수지 저장조	12.9-9
12.9.1.12	액체방사성폐기물관리계통	12.9-10
12.9.2	출입통제	12.9-11
12.9.3	감시기기	12.9-12
12.9.3.1	발전소 감시	12.9-12
12.9.3.1.1	기체 핵분열생성물 감시기	12.9-12
12.9.3.1.2	결함연료 위치 탐지(지발중성자) 감시기	12.9-12
12.9.3.1.3	공기중 삼중수소 감시기	12.9-13
12.9.3.1.4	고정 지역감시기	12.9-13
12.9.3.2	일반대중의 방호	12.9-13
12.9.3.2.1	기체 유출물감시기	12.9-14
12.9.3.2.2	액체 유출물감시기	12.9-15
12.9.3.2.3	원자로건물 격리감시기	12.9-15
12.9.4	환기계통	12.9-16
12.9.5	참고문헌	12.9-18
12.10	작업종사자 방사선 피폭	12.10-1
12.10.1	배경	12.10-1
12.10.2	종사자 피폭방사선량 평가	12.10-1

월성 1호기 최종안전성분석보고서

목 차

페이지

12.10.3	발전소 계획예방정비기간중 수행 작업별 선량 분포	12.10-4
---------	----------------------------	---------



월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 목 차

	<u>페이지</u>
표 12.4-1 원자로건물에서의 차폐 두께 요약	12.4-9
표 12.4-2 원자로 보조건물에서의 차폐두께 요약	12.4-12
표 12.5-1 발전소 출입 요구조건, 추정된 잠재 체류시간과 선량률 목표치	12.5-8
표 12.5-2 고정지역 감마감시기에 의해 감시되는 지역 목록	12.5-9
표 12.6-1 개념적인 공기중 방사능 오염 방벽	12.6-12
표 12.6-2 공기중 삼중수소 고정감시기에 대한 원자로건물 내 공기시료채취지역	12.6-13
표 12.6-3 공기중 삼중수소 고정감시기에 대한 원자로 보조건물 내 공기시료채취지역	12.6-14
표 12.8-1 방사선(능) 감시기	12.8-12
표 12.8-2 방사선(능) 측정장비	12.8-13
표 12.8-3 휴대용 방사선(능) 계측장비	12.8-14
표 12.9-1 냉각재계통의 중수와 이온교환수지의 방사성동위원소 방사능	12.9-19
표 12.9-2 17분 붕괴후 사용후연료에 대한 핵분열생성물 붕괴 감마선원 강도	12.9-20
표 12.9-3 사용후연료 트레이(Tray)의 연료다발 선원강도	12.9-21
표 12.9-4 차폐냉각계통에서의 방사성동위원소 방사능	12.9-22
표 12.9-5 중수세정계통 이온교환기에서의 방사성동위원소 방사능	12.9-23
표 12.9-6 사용후수지 방사능과 배출물	12.9-24

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 목 차



	<u>페이지</u>
표 12.9-7 액체방사성폐기물탱크의 방사능	12.9-25
표 12.9-8 월성 1호기 출입관리	12.9-26
표 12.10-1 CANDU 6의 정상 운전조건에서의 연간 작업외폭방사선량 추정치	12.10-5
표 12.10-2 CANDU 6의 원자로 정지하에서의 연간 작업외폭방사선량 추정치	12.10-7
표 12.10-3 월성 1호기의 1986, 1988, 1989년 계획예방정비기간동안 작업외폭방사선량 분포	12.10-10
표 12.10-4 월성 1호기의 1990년도 계획예방정비기간동안 업무에 의한 작업별 외폭방사선량 분포(4월 1일 ~ 5월 12일)	12.10-11
표 12.10-5 월성 1호기의 1991년 계획예방정비기간동안 업무에 의한 작업외폭방사선량 분포(6월 9일 - 7월 9일)	12.10-14
표 12.10-6 Point Lepreau 발전소 가동이래 계획예방정비기간동안 업무에 의한 외폭방사선량 분포(가용자료 근거)	12.10-19
표 12.10-7 Gentilly-2 발전소 가동이래 계획예방정비기간동안 업무에 의한 외폭방사선량 분포 (가용자료 근거)	12.10-22

월성 1호기 최종안전성분석보고서

그림 목 차

- 그림 12.2-1 방사선피폭관리계획 절차
- 그림 12.4-1 원자로건물 평면(높이 [REDACTED] 에서의 차폐배치도
- 그림 12.4-2 원자로건물 평면(높이 [REDACTED] 에서의 차폐배치도
- 그림 12.4-3 원자로건물 평면(높이 [REDACTED])에서의 차폐배치도
- 그림 12.4-4 원자로건물 단면 - 원자로 종단면(단면 1-1) - 에서의 차폐배치도
- 그림 12.4-5 원자로건물 단면 - 원자로 측면(단면 2-2) - 에서의 차폐배치도
- 그림 12.4-6 사용후연료저장조(높이 [REDACTED] 의 차폐배치도
- 그림 12.4-7 사용후연료저장조의 차폐배치도 - 단면
- 그림 12.4-8 사용후연료저장조의 차폐배치도 - 단면
- 그림 12.4-9 감속재정화계통 - [REDACTED]
- 그림 12.4-10 감속재정화계통 - 단면
- 그림 12.4-11 원자로보조건물 - [REDACTED]
- 그림 12.4-12 차폐냉각계통 - [REDACTED]
- 그림 12.4-13 중수세정계통 - [REDACTED]
- 그림 12.5-1 높이 [REDACTED] 인 원자로건물 Plan 1에서의 출입관리
- 그림 12.5-2 높이 [REDACTED] 인 원자로건물 Plan 2에서의 출입관리
- 그림 12.5-3 높이 [REDACTED] 인 원자로건물 Plan 3에서의 출입관리
- 그림 12.5-4 높이 [REDACTED] 인 원자로건물 Plan 4에서의 출입관리
- 그림 12.5-5 높이 [REDACTED] 인 원자로건물 Plan 5에서의 출입관리
- 그림 12.5-6 보조건물 일반배치도 - [REDACTED]
- 그림 12.5-7 보조건물 - [REDACTED]

월성 1호기 최종안전성분석보고서

- 그림 12.5-8 보조건물 - 높이 
- 그림 12.5-9 보조건물 - 높이 
- 그림 12.5-10 삼중수소제거설비 - 높이 
- 그림 12.5-11 삼중수소제거설비 - 높이 
- 그림 12.5-12 삼중수소제거설비 - 높이 
- 그림 12.5-13 삼중수소제거설비 - 높이 
- 그림 12.6-1 삼중수소제어에 대한 개념적 방법
- 그림 12.6-2 MPCa(5 Ci/kg-D<sub>2</sub>O 방사능) 대 증기회수 이슬점에 대한 삼중수소 제어
- 그림 12.6-3 원자로건물의 환기 및 건조지역 개략도
- 그림 12.6-4 중수증기회수계통 개략도
- 그림 12.6-5 공기중 삼중수소 고정감시계통 개략도
- 그림 12.7-1 본사의 방사선방호계획에 대한 조직도
- 그림 12.7-2 현장의 방사선방호계획에 대한 조직도
- 그림 12.9-1 냉각재계통에서의 N-16 방사능

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12장 방사선 방호

#### 12.1 개 요

부지 주변 주민과 발전소 종사자에 대한 방사선 피폭은 발전소설계 시부터 운영에 이르기까지 관련규정 및 각종 운전 절차서에 의해 법적 규제치 이내로 제한된다. 발전소 부지는 제한구역으로 설정하여 거주를 제한하고 허가 받지 않은 자의 관리구역 출입을 통제하여 일반 주민은 물론 발전소 종사자의 방사선 피폭을 규제, 관리하고 있다. 일반적으로 방사선 측정에 사용하는 방법은 이미 운영중인 CANDU 발전소의 측정방법과 동일하다.

방사성 물질을 포함하고 있는 모든 액체 및 기체 유출물의 방출은 11장에 설명된 바와 같이 감시하고 관리한다. 발전소 종사자의 방사선(능) 방호를 위해 고방사선 지역 및 오염지역으로의 접근 제한, 발전소 건물 및 시설의 배치, 차폐구조물 등을 설치하였다. 또한, 관리구역작업복, 공기공급형 마스크 등 각종 방호장구류 설비, 방사선(능) 준위가 높은 구역에서 낮은 구역 또는 청정구역으로 나가는 출구에 개인오염감시기가 설비되어 있으며, 오염이 예상되거나 오염된 사람 및 장비의 제염을 위해 제염설비가 설치되어 있다. 개인 방사선피폭 관독을 위해서는 컴퓨터 관독용과 직독식 관독용 선량계 및 장비가 설비되어 있다.

국내 원자력발전소에 적용하는 방사선 피폭제한치는 국내 원자력안전법의 피폭방사선량한도에 따르며 방사선작업종사자의 경우 유효선량한도는 연간 50밀리시버트를 넘지 아니하는 범위에서 5년간 100밀리시버트이며, 월성 1호기의 경우도 동일한 제한치를 적용하고 있다.



## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.2 방사선피폭에 대한 설계관리계획

#### 12.2.1 설계과정에서의 방사선피폭관리계획

이 계획의 목적은 각 개인과 전체 구성원에 대하여 규제여건, 경제 및 사회적 인자를 고려하여 합리적으로 달성 가능한 정도로 낮게 방사선 피폭을 받도록 설계단계에서부터 적용하는 것이다.

#### 12.2.2 방사선피폭관리 방법

방사선피폭관리계획에 대한 절차는 그림 12.2-1과 같고 다음 사항이 포함된다.

- 가. CANDU 6 발전소의 운전경험
- 나. 어떤 설계변경사항이 있다면 이를 기술
- 다. 피폭을 감소시키기 위해 운전절차 변경사항들을 기술

그 목적은 현재의 설계 및 운전관행이 ALARA를 만족함을 확인하거나 필요하다면 개선사항을 지적 또는 권고하기 위한 것이다.

그 검토과정에서 강조되어야 할 것은 가장 큰 이익을 주는 작업, 계통 및 기기로부터 피폭을 감소시키는 것이다. 운전자료에 근거하여 발전소 전체 선량에 상대적으로 적은 비율로 영향을 미치는 계통 및 기기는 검토에서 제외하였다.

방사선피폭관리는 12.8.5절에 상세히 기술되어 있다.

#### 12.2.3 참고문헌

12.2-1 Engineering Design Guide, The Radiation Exposure Control Program,

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

DG-00-03540-1, Rev. 0, 1977.



월성 1호기 최종안전성분석보고서

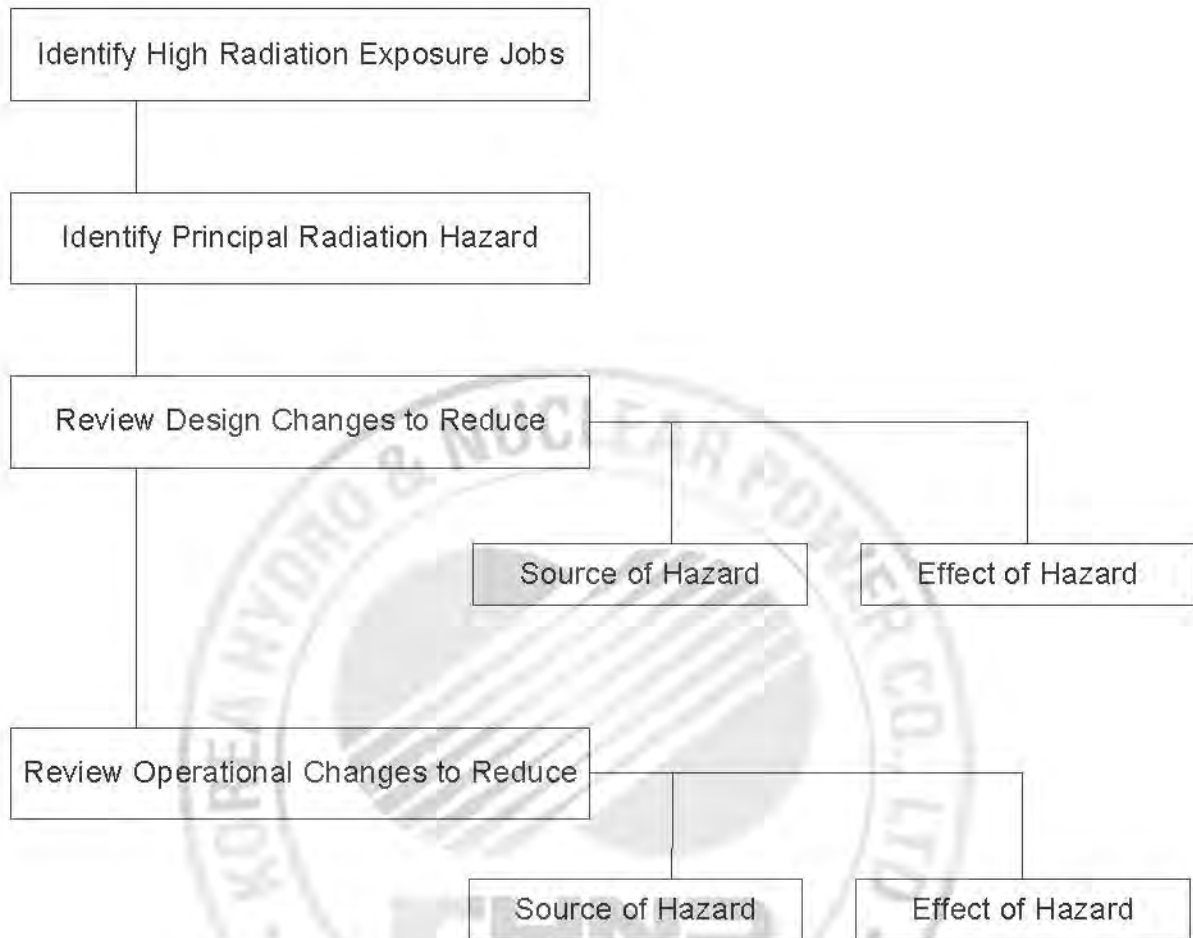


그림 12.2-1 방사선피폭관리계획 절차

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.3 방사선방호 설계 설비

방사선방호 설계 설비는 원자력발전소 직원과 공중 구성원이 예기치 못한 피폭을 받지 않도록 하는 것이다. 설계설비는 다음과 같은 계통으로 구성되어 있다.

- 출입관리계통
- 오염관리계통
- 방사선차폐계통
- 방사성폐기물관리계통
- 방사선감시계통

월성 1호기에서 방사선방호의 차폐특성은 12.4절에서 설명하는 1.0  $\mu\text{Sv/h}$ (0.1 mrem/h), 6  $\mu\text{Sv/h}$ (0.6 mrem/h), 250  $\mu\text{Sv/h}$ (25 mrem/h) 같은 여러 선량률 기준을 만족하도록 설계된다. 그 구분 원칙은 발전소 구역을 출입가능구역, 제한구역, 접근금지구역으로 분류하는 것이다. 차폐설계에서 고려되는 사항은 보수, 검사 및 시험을 하는데 걸리는 기간 및 빈도수 등이다.

발전소 구역을 분리하는 것과 병행하여, 냉각재계통이나 감속재계통으로부터 누출되는 중수를 회수하기 위한 방침이 있다. 이는 중수손실과 관련된 경제적 손해를 막기 위하여 시작되었으며, 공기중 삼중수소 장해를 최소화하는 장점이 있다.

각 구역은 물리적으로 구분되어 있으며, 환기유량 혹은 중수증기회수 건조기는 공기중 삼중수소 농도를 관리하고 중수를 회수하는데 이용된다.

설계과정을 통하여 도입된 다른 특성은 다음과 같다.

가. 재질선택 : 저코발트강이 냉각재계통 전체부분에 사용되었으며 기기 및 장비사양에 코발트 함량을 제한

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

하도록 하였고 고코발트 함량물질의 사용은 최소화하였다. 기자재 조달시 이런 것들이 주요 고려사항이다.

나. 수질관리 : 냉각재 및 감속재에 대한 철저한 수질관리 기준치를 설계단계에서 적용한다.

다. 고온기능시험 : 연료장전시 탄소강 표면을 보호하기 위하여 시운전시 일련의 고온기능시험 공정을 수행한다.

### 12.3.1 장비 및 기기 설계특성

방사선방호의 기본적인 목표는 가능한 한 낮은 수준까지 피폭방사선량을 낮추는 데 있다. 비록 내부 및 외부 선원으로부터 유발되는 전리 방사선의 일반적인 생물학적 효과가 서로 큰 차이가 없다 할지라도, 방사선방호 측면에서는 서로 방호개념이 다르므로 방사선방호 설계특성은 두 방사선 선원이 서로 약간 다르다.

#### 12.3.1.1 외부 피폭

외부 피폭에 대해 방사선 피폭을 관리할 때는 기본적으로 4가지 인자를 고려하여야 한다. 이것은 시간, 붕괴, 거리 및 차폐이다. 즉, 선원근처에서의 노출시간을 줄이고, 선원에 접근하기 전에 어느 정도의 시간동안 선원이 붕괴되도록 하고, 작업자와 선원 사이의 거리를 증가시키고 선원과 작업자 사이에 차폐체를 설치하는 것이다.

지연탱크, 열교환기, 증기발생기와 가압기 등의 큰 기기는 일반 콘크리트(혹은 중 콘크리트)를 이용하여 접근구역을 차폐한다. 이런 차폐체는 방사선장을 허용가능한 수치까지 감소시켜야 한다. 예를 들어, 어떤 설비가 증기발생

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

기실에 위치하고 있다면(냉각재 정화 이온교환기, 액체영역제어계통 지연탱크, 재결합기 등), 이들 선원으로부터의 방사선장은 원자로가동 중 250  $\mu\text{Sv/h}$ (25 mrem/h)까지 감소되어야 한다.

사용후필터의 차폐는 보통 상단 부위는 납으로, 몸통은 콘크리트 재질로 된 통에 보관한다. 특수 필터플라스크는 필터를 제거할 때 사용한다. 필터 플라스크에는 두 가지 크기가 있는데, 대형 플라스크는 냉각재, 감속재 및 사용후 연료저장조 정화계통 필터를 처리하는데 이용하며, 소형 플라스크는 냉각재펌프 축밀봉계통 및 연료교환기 중수공급계통 필터를 처리하는데 이용한다.

수지슬러리 배관 및 기타 배관류는 적절히 차폐한다. 예를 들면, 액체영역제어계통의 경수거환회로는 반응도장치대 하단의 납/강(steel) 결합차폐체로 차폐하며, 경수/기체 배관을 포함하는 단일 관로는 납 덮개로 차폐한다.

가능한 한, 방사성 배관은 가동중 접근금지구역으로 이어지고 벽 뒤 혹은 도랑(trench)의 내부에서 차폐됨으로써 이런 배관으로부터 받는 방사선량을 해당구역의 허용가능한 수준이하로 유지된다. 현장에 설치된 각종 배관은 배수를 위해 경사지게 만든다.

펌프는 펌프 보울과 펌프 전동기를 내벽을 사용하여 분리(예: 액체영역제어계통)하거나 중콘크리트 바닥을 사용하여 분리(냉각재펌프)함으로써 차폐한다. 경우에 따라 어떤 펌프는 원자로 가동중 펌프가 출입금지구역 내에 위치하기 때문에 차폐하지 않는 경우도 있다.

밸브는 조작을 용이하게 하거나 근처 설비에 대한 차폐 때문에 밸브 갤러리 내부나 다공 차폐벽 뒤에 위치한다.

설비 및 기기에 대한 차폐요건은 해당구역 내의 차폐설계 규제치를 고려한 각각의 계통 내에서 행해진다는 것을 주지하여야 한다. 방사성 설비나 기기가 위치한 곳의 접근을 관리하여야 한다.

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.3.1.2 내부 피폭

밸브나 기계적 연결부위 등으로부터의 누수는 불가피하다. CANDU 발전소에서, 누수 가능한 연결부위를 용접하거나 기계적 연결부위가 있는 기기수를 제한함으로써 중수의 누수를 극소화한다. 삼중수소로부터의 내부 피폭은 12.6.2절에서 상술한다.

### 12.3.2 설비설계 특성

원자로심으로부터의 방사선은 1차 차폐체에 의해 감소된다. 공정계통은 2차 차폐, 보조 차폐 혹은 특수 차폐로 분류되는 차폐체에 의해 차폐된다. 이들은 12.4절에서 거론한다.

(12.3.1.1절에서 거론한 바와 같이) 밸브갤러리, 예를 들어 정지냉각계통/비상노심냉각계통 밸브갤러리 및 감속재정화밸브갤러리는 관리(제한)구역에 위치한다. 감속재정화계통 밸브갤러리와 감속재상충기체 밸브는 차폐내벽을 갖는 방 안에 위치한다.

방사선관리구역 특성은 다음과 같다. 방사성오염은 표면 및 공기중 오염으로 구분한다. 원자로건물벽은 수증기내의 삼중수소가 벽에 흡수되어 고착되는 것을 막고 결과적으로 삼중수소의 공기중 방출 가능성을 감소시킬 목적으로 비다공 에폭시 페인트로 칠한다. 방사선관리구역 설계특성은 다음으로 구성된다.

- 방사선관리구역 설정
- 임시 방사선관리구역
- 탈의실
- 환기계통 및 중수증기회수계통
- 관리구역 작업복

월성 1호기 최종안전성분석보고서

- 호흡기
- 제염

이들을 상술하면 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 가. 방사선관리구역 설정이란 외부의 방사선량률, 공기중 방사성물질의 농도 또는 방사성물질에 의하여 오염된 물질 표면의 오염도가 원자력안전위원회 규칙이 정한 값을 초과할 우려가 있는 곳으로써 방사선의 안전관리를 위하여 사람의 출입을 관리하고 출입자에 대하여 방사선 장애를 방지하기 위한 조치가 필요한 구역을 말한다. 이들 구역은 12.5.2절에서 상술한다. 185
- 나. 임시 방사선관리구역은 방사선관리구역 설정의 연장이다. 오염도가 높은 구역을 선정 관리함으로써 오염의 확산을 극소화하는 것이 그 목적이다. 구역은 벽, 울타리 등의 구획물로 구획하고 작업화 혹은 신발덮개 등을 착용한다. 특수작업이 완료되면 제염하고 착용했던 방호장구류를 제거한다. 보통 임시 방사선관리구역은 오염 가능성이 높기 때문에 임시 방사선관리구역 출입자는 관리구역 작업복 및 작업가운 등 적절한 작업용품을 착용하고 출입하여야 한다.
- 다. 탈의실에는 개인용품 보관함이 있으며 세탁실에는 세탁시설 및 감시장비가 있다. 101
- 라. 앞에서 간단히 기술한 관리요령 이외에도 환기계통 및 중수증기회수계통에 의해 오염확산을 방지한다.
- 마. 방호장비는 방사선관리구역 외부로 확산되는 오염을 차단시켜 오염으로부터 작업자를 보호하고 방사선관리구역 내 오염조건



### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

하에서의 작업시 작업자를 보호할 목적으로 이용된다. 정상작업시는 평상 작업복을 착용한다. 밀봉되지 않은 방사성물질의 취급시 장갑을 착용한다. 오염 가능성이 있는 구역에서의 작업시 비닐 덧신을 착용한다.

바. 공기중 방사성물질 농도가 일정 기준치 이상일때 작업자는 호흡기를 착용함으로써 호흡에 의한 오염으로부터 스스로를 보호한다. 미진 여과호흡기의 필터는 입자오염 물질을 제거하지만 요오드나 삼중수소에 대해서는 비효율적이다. 공기중 미진을 제거하기 위한 입자필터와 요오드를 제거하기 위한 활성탄필터가 들어있는 미진활성탄필터를 이용한다. 전면 마스크는 안면을 더욱 양호하게 보호하며 높은 오염도가 높은 구역에서 이용한다.

삼중수소의 경우, 농도 및 작업조건이 1 DAC-hr 이상이고 10 DAC-hr 이하이면 삼중수소 호흡기를 착용한다. 삼중수소 및 방사성기체 방호시는 농도 및 작업여건이 10 DAC-hr 이상인 경우 호흡용 공기가 공급되는 공기공급 호흡기, 50 DAC-hr 이상인 경우는 공기공급 플라스틱 작업복 착용을 원칙으로 하되, 작업시간, 작업인원, 작업공간 및 방사선량을 등을 고려하여 종사자 피폭 및 오염이 최소화될 수 있는 적절한 작업용품 및 호흡기를 선별하여 착용할 수 있다(공기중 방사성 오염도가 높은 구역에는 환기텐트를 이용할 수 있다).

사. 펌프와 밸브와 같은 설비에 방사성물질의 침적에 의한 표면 오염이 되었을 때는 화학적 및 물리적 제염처리를 이용하여 제염한다. 피부, 의복과 제거가능 설비 및 공구 등의 제염에는 특수

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

기술이 이용된다. 이런 목적을 위해 제염실이 원자로 보조건물 내에 위치한다.



## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.4 차폐

이 절에서는 발전소 전반에 이용된 차폐설계를 위한 방사선 선원, 설계기준 및 차폐의 종류에 대해 기술한다.

#### 12.4.1 차폐설계를 위한 방사선 선원

원자로는 주요 방사선 선원이다. 다량의 방사선이 중성자 및 감마선 형태로 핵분열과정 중에 방출된다. 핵분열시 방출된 중성자는 결국은 원자로심이나 노심주변 차폐체에 흡수된다. 그런 흡수는 연쇄반응으로 이어지는 또 하나의 핵분열이나 포획작용으로 연결된다.

포획과정은 또 하나의 주요 감마선 선원이다. 포획과정에서 형성된 생성물은 알파입자, 베타입자 및 감마선을 방출하는 고준위방사성 핵종이 될 수 있다.

원자로가 정지됨에 따라  $10^5$  이상의 비율로 핵분열이 감소되므로 주요 중성자선원이 사라진다. 또한 투과력이 큰 감마선이 핵분열 및 포획과정에서 많이 방출되므로 투과 감마선의 주요 선원은 사라지게 된다. 그렇지만, 핵분열시 형성된 방사성핵종(핵분열생성물)과 포획과정에서 생성된 방사성핵종(방사화생성물)이 남게 된다. 이런 핵종에 의해 방출된 주요 방사선은 약간의 베타입자 및 소수의 알파입자와 감마선이 대부분이다. 이런 방사성핵종에 의해 방출된 방사선량은 각 핵종의 반감기와 원자로정지후 시간의 함수가 된다. 그 선원강도는 붕괴로 방출된 방사선의 에너지 및 양의 함수가 된다.

핵분열에서 형성된 방사성핵종은 정상적으로 연료피복관 내부에 억류된다. 연료손상 사고시 이러한 핵분열생성물은 냉각재계통 냉각재에 의해 운반되어 물질표면에 축적되며 방사선 선원을 생성한다.

같은 방법으로 냉각재나 다른 순환매체에서 형성된 방사화생성물은

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

원자로심 내부나 주변의 고중성자속 구역에서 원자로심 외부의 저중성자속 구역으로 수송될 수 있다. 또한 방사화생성물은 원자로 구조물 및 반응도 조절기기에서 형성된다. 원자로정지시 이런 방사화생성물은 원자로에서 주요 방사선 선원의 하나를 생성한다. 그래서 원자로로부터 제거된 기기는 방사성 오염기기로 취급되어야 한다.

가동중인 원자로 주변에서 발전소 직원의 작업이 가능하기 위해서는 원자로심 주변의 두꺼운 방사선 차폐물에 방사선이 흡수되도록 하는 것이 필수적이며, 결과적으로 차폐외부 지역의 방사선 강도를 허용할 만한 준위로 감소시키는 것이 필수적이다. 원자로 정지시에만 출입이 허용되는 원자로 지역에서도 구조물의 방사화가 원자로 정지시 출입이 허용될 만큼 충분히 낮은 수준까지 방사성 강도를 낮추는 것이 필수적이다.

방사선으로부터 발전소 직원을 보호하는 차폐물은 방사선원을 발전소 내부에 제한하도록 하여 공중을 보호하고 방사선에 의해 야기되는 손상으로부터 발전소구조물을 보호한다.

차폐설계에서 사용되는 계산방법은 점선원법이나 1차원 각분할법 수송코드와 같은 방법에 근거한 해석적 방법이다. 계산방법의 선택은 기술수준이나 상황요건에 따라 변화된다. 차폐 평가에 쓰이는 방사선원항은 12.9절에 기술되어 있다.

### 12.4.2 설계 기준

월성 1호기에 대한 차폐설계기준은 기존 CANDU 6 발전소에서 이용된 것과 동일하다. 선량률은 아래 개념을 고려하여 설계기준에 의거 반영하였다.

가. 발전소 운영자가 운전원에게 융통성을 갖고 의무를 부여하는

### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

것이 중요하다.

나. 운전원은 삼중수소의 피부 흡수 혹은 호흡을 통하여 연간 선량 한도의 일부를 받고,

다. 방사선 작업종사자가 연간 50 mSv(5 rem)이하로 피폭되도록 차폐설계가 이루어져야 한다.

이러한 이유들로 인해 차폐설계에 관련된 선량률은 다음과 같다.

가. 비방사선 작업종사자 :

< 1.0  $\mu$ Sv/h(0.1 mrem/h)(작업장소에서),

나. 방사선 작업종사자 :

< 평균 6  $\mu$ Sv/h(0.6 mrem/h)(출입구역)

< 25  $\mu$ Sv/h(2.5 mrem/h)(작업종사자만 출입하는 원자로건물 바깥지역)

< 원자로운전중 제한적 구역내에서 250  $\mu$ Sv/h(25 mrem/h)

< 250  $\mu$ Sv/h(25 mrem/h)(원자로운전중 정상적으로 출입불가능 구역, 즉 “운전정지구역”에서 원자로 정지후 24시간 이후 여기서 선량률은 침적방사능에 의해서 좌우되는데 예를 들면, 지배 인자에 의한 방사선위험은 차폐가 되지 않는다.)

작업시간이 짧은 어떤 특정지역에서 상기 수치들은 증가될 수 있다.

작업가능기간에 따른 선량제한 목표의 유도는 참고문헌 12.4-1에 기술되어있다. 원자로는 단지 연간 20 %기간 동안만 정지되지만 방사선작업 종사자는 전체 외부피폭의 80 %를 원자로정지 시에 받는 것으로 가정하였다.

따라서 운전원은 정지시 400시간 동안 16.8 mSv(1.68 rem)와 가동

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

시 1600시간 동안 4.2 mSv(0.42 rem)의 피폭이 예상된다.

실제로 운전원은 자연방사선량을 약간 상회하는 0.25  $\mu$ Sv/h(0.025 mrem/h)의 방사선장에서 대부분의 시간을 보낸다. 따라서 원자로 가동시 60 %의 작업기간을 가정하면 자연방사선량 내에서 0.25  $\mu$ Sv/h x 960 h = 240  $\mu$ Sv(24 mrem)를 운전원이 피폭받는 것으로 예상할 수 있다. 여기서 방사선장이 존재하는 출입가능구역에 대한 설계목표는 원자로운전중 나머지 640시간의 작업시간 동안 6  $\mu$ Sv/h(0.6 mrem/h)가 된다.

비슷한 방법으로 하면 운전원은 제한구역이나 출입금지구역에서 나머지 400시간의 일부를 보낸다. 이 구역에서 단지 60시간을 소비한다고 가정하고 나머지 340시간을 10  $\mu$ Sv/h(1 mrem/h)의 방사선장에서 보낸다고 가정하면 선량률은 223  $\mu$ Sv/h(22.3 mrem/h)가 된다. 설계목표치는 앞의 선량률 준위와 일관성을 갖도록 250  $\mu$ Sv/h(25 mrem/h)로 조정되었다.

부지 건물내 방사선 선원으로부터 비방사선 작업종사자에 대한 연간 선량한도는 1 mSv(100 mrem) 미만이 되도록 차폐설계시 고려되었다.

### 12.4.3 차폐 설계

본 절의 목적은 앞에서 기술한 원자로건물 및 원자로 보조건물의 차폐체에 대해 차폐계통의 분류, 구성물질 및 두께, 설계기준, 차폐종류 및 차폐위치(그림 12.4-1 ~ 12.4-8) 등을 기술하는 것이다. 이것은 표 12.4-1에 제시되며 상세내용은 다음과 같다.

방사선차폐해석 절차는 발전소 설계 단계에서 계속적으로 반복검토되는 과정이다. 차폐관통부나 유도방사능, 국부적인 열차폐 등에 있어서 상세한 차폐계산은 설계과정 중에 이루어진다.

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.4.3.1 1차 차폐

원자로 방사선으로부터 개인을 방어하는 차폐를 1차 차폐라 한다. 1차차폐에는 1차 종단차폐, 1차 측면차폐, 1차 상단차폐 및 1차 하단차폐가 있다.

종단차폐는 그림 12.4-2와 12.4-5와 같이 원자로 원통의 각 끝에 수평하게 위치한다. 3개의 주요부분은 다음과 같다.

- 가. 칼란드리아 측면 튜브시트
- 나. 탄소강 볼 및 경수 구역
- 다. 연료교환기 튜브시트

1차 측면차폐계통은 근본적으로 경수 및 일반 콘크리트로 구성된다. 경수는 콘크리트를 위한 열차폐체의 역할도 한다. 개략도는 그림 12.4-4에 있다. 원자로 운전시 출입가능한 원자로 측면차폐는 다음과 같이 구성된다.

- 가. 원자로실 경수
- 나. 원자로실 콘크리트
- 다. 원자로벽 콘크리트

1차 상단차폐는 그림 12.4-4와 같이 다음 두 구역으로 구성된다.

- 가. 원자로실 경수
- 나. 하층강판, 콘크리트, 상층강판, 공기구역 및 도보강판 등으로 구성되는 반응도장치대

1차 하단차폐는 원자로실 경수, 원자로실 콘크리트와 연료교환기 보조장치를 포함하는 R-012의 상단 콘크리트로 구성된다. 이것은 그림 12.4-4에 도시되어 있다.

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.4.3.2 2차 차폐

2차 차폐는 정상운전시 냉각재계통 기기 주변에서 방사선 방호를 목적으로 설치되는 차폐를 말한다. 이런 기능과 더불어 일부 구역에서의 2차 차폐는 1차 차폐를 보완한다. 또한 보조계통의 배치 및 운전으로 하나의 차폐체가 보조 및 2차 차폐의 기능을 동시에 한다. 그림 12.4-1, 12.4-3 및 12.4-5에 2차 차폐체의 두께가 제시되어 있으며 또한 표 12.4-1에 설명된다.

### 12.4.3.3 보조 차폐

감속재, 액체영역제어계통 및 연료교환기 같은 보조계통으로부터 방사선을 감쇄시키는 것이 보조차폐이다. 이런 차폐는 그림 12.4-1, 12.4-3 및 12.4-5 그리고 표 12.4-1에 도시 및 제시되어 있다. 여러 공정계통이 보조건물에 위치하고 있다.

원자로 보조건물에서의 차폐두께 요약이 표 12.4-2에 주어졌고 그림으로는 12.4-6에서 12.4-13까지 보여준다.

연료 장전 및 저장 기능을 위한 사용후연료저장조의 차폐는 그림 12.4-6부터 12.4-8에 보여준다. 사용후연료저장조는 원자로건물 외부에 위치하고 있다.

### 12.4.3.4 특수 차폐

이런 차폐는 반응도 조절기구 플라스크, 필터 플라스크, 차폐문 혹은 보수작업시 이용될 수 있는 이동식 차폐체로 구성된다. 원자로건물 벽을 투과하는 케이블이나 배관은 원자로건물 벽과 동일한 차폐가 유지되고 배관 등으로부터의 방사선 선량이 허용수준까지 감소되도록 일메나이트 모래, 강 또는 납 가리



## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

개(lead wool)로 차폐한다.

반응도 조절기구 플라스크는 필요하다면 스테인리스강 조절봉을 처리하기 위해 설계된다. 이 플라스크는 반응도조절계통의 안내관, 독물질주입정지계통 노즐, 액체영역제어계통 보호관, 수평방향 중성자속검출기 등을 처리하는 데 이용될 수 있다.

2가지 종류의 필터 플라스크가 있다 ; 대형 플라스크는 냉각재계통, 감속재계통, 사용후연료저장조계통 등의 필터 카트리지를 처리하는데 사용되고, 소형 플라스크는 냉각재펌프 카트리지를 처리하는데 사용되며, 소형 플라스크는 냉각재펌프 축밀봉계통, 연료교환기 중수공급계통 등의 필터 카트리지를 처리하는데 사용한다.

원자로건물에는 근본적으로 3개의 차폐문이 있다.

가. 원자로격실 문(그림 12.4-1과 표 12.4-1의 차폐 'P')

나. 연료교환기 보수실 문(그림 12.4-1과 표 12.4-1의 차폐 'O')

다. 사용후연료 취급구역을 위한 차폐문(그림 12.4-6과 12.4-7의 차폐 'J')

원자로 운전중 원자로격실 문은 자주 개방된다. 그렇지만, 일단 원자로격실 문이 폐문되고, 사용후연료가 연료교환기로부터 방출된 후에는 연료교환실로의 출입이 원자로 운전중에도 가능하다.

연료교환기 보수실은 원자로 운전시 폐문한다. 보수실로부터의 연료교환기 제거가 요구된다면 원자로격실 문이 폐문되고 보수실 문은 개방한다.

사용후연료 취급구역의 0.6 m 콘크리트벽에 추가로 보충되는 0.9 m 두께의 콘크리트 미끄럼 문이 있다. 이것은 그림 12.4-6 및 12.4-7에 도시되어 있다. 이것은 원자로건물에 위치하고 있는 사용후연료 방출실에 근접하지만 원자

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

로보조건물 구역에 위치한다.

### 12.4.4 참고문헌

- 12.4-1 F.W. Doran et al, "Shielding Design Manual, Part 1 - Reactor Building", DM-59-03200.1, Rev. 2, 1981.



월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-1

원자로건물에서의 차폐 두께 요약

차폐계통	구성 물질 및 두께	설계 기준	차폐종류	그림
열	122 cm 물	65.6 °C의 최대 콘크리트 온도	A	12.4-2
1차 차폐				
1차 종단차폐	12.7 cm 강 + 78.7 cm 강/물 (체적비 60/40)	< 250 $\mu$ Sv/h(25 mrem/h) (가동정지후 24시간,노심으로부터)	B	12.4-2
	12.7 cm 강 + 78.7 cm 강/물 + 137 cm 콘크리트	< 6 $\mu$ Sv/h(0.6 mrem/h) (가동시)	C	12.4-2
1차 측면차폐	122 cm 물 + 122cm 격실 콘크리트	< 250 $\mu$ Sv/h(25 mrem/h) (가동정지후 24시간)	D <sup>1</sup>	12.4-4
	122 cm 물 + 122 cm 격실 콘크리트 + 160 cm 원자로건물 단면 벽 콘크리트	< 25 $\mu$ Sv/h(2.5 mrem/h) (가동시)	E <sup>2</sup>	12.4-4
1차 상단차폐	532 cm 물 + 71 cm 콘크리트 + 15 cm 강	< 250 $\mu$ Sv/h(25 mrem/h) (가동시)	F	12.4-4
1차 하단차폐	220 cm 물 + 122 cm 콘크리트 + 122 cm 콘크리트 천장	< 25 $\mu$ Sv/h(2.5 mrem/h) (가동시)	G <sup>3</sup>	12.4-4
2차 차폐	137 cm 콘크리트 원자로건물벽	< 12 $\mu$ Sv/h(1.2 mrem/h) (가동시, 원자로 보조건물 출입구역에서)	H <sup>4</sup>	12.4-2
	41 cm 콘크리트 (지붕 중앙)	< 1.0 $\mu$ Sv/h(0.1 mrem/h) (가동시, 주사무실 출입구역에서)	I	12.4-5
	2.5 cm 강 + 91 cm 일메나이트 콘크리트 [격실 문]	< 6 $\mu$ Sv/h(0.6 mrem/h) (가동시, 원자로 격실문이 잠겨있을 때의 연료교환기 보수실에서)	P	12.4-1
	61 cm 일메나이트 콘크리트 벽 (증기발생기 격실)	< 250 $\mu$ Sv/h(25 mrem/h)	T	12.4-5

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-1(계속)

차폐 계통	구성 물질 및 두께	설 계 기 준	차폐종류	그 림
보조 차폐 감속재계통 보조 연료교환기 보조	91 cm 일메나이트 콘크리트	< 250 $\mu$ Sv/h(25 mrem/h) (펌프 전동기 옆)	V	12.4-5
	30 cm 강	< 250 $\mu$ Sv/h(25 mrem/h) (펌프 전동기 옆)	W	12.4-5
	91 cm 일메나이트 콘크리트 벽	< 250 $\mu$ Sv/h(25 mrem/h)	R	12.4-3
	137 cm 콘크리트 원자로건물 벽	< 25 $\mu$ Sv/h(2.5 mrem/h) (가동시, 원자로건물벽 외부)	J	12.4-4
	137 cm 콘크리트 원자로건물 벽	< 25 $\mu$ Sv/h(2.5 mrem/h) (원자로건물벽 외부)	K <sup>5</sup>	12.4-1
	168 cm 콘크리트 바닥	< 6 $\mu$ Sv/h(0.6 mrem/h) (바닥 밑)	L <sup>5</sup>	12.4-5
	137 cm 일메나이트 콘크리트 벽	< 6 $\mu$ Sv/h(0.6 mrem/h) (방 R 3/4-101, 계단방향 D)	M <sup>5</sup>	12.4-1
	137 cm 일메나이트 콘크리트 벽	< 6 $\mu$ Sv/h(0.6 mrem/h) (사용후연료 이송조 내)	N <sup>5</sup>	12.4-1
	53 cm 강 문	< 6 $\mu$ Sv/h(0.6 mrem/h) (새연료 장전실)	O <sup>6</sup>	12.4-1
	액체영역제어계통 보조	91 cm 일메나이트 콘크리트 벽	< 250 $\mu$ Sv/h(25 mrem/h) (가동시)	Q
원자로건물벽 판통부 보조	122 cm 일메나이트 콘크리트 벽	< 6 $\mu$ Sv/h(0.6 mrem/h) (가동시)	S	12.4-1
교환실 R-502	30 cm 강	< 6 $\mu$ Sv/h(0.6 mrem/h) (가동시)	U	12.4-3

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-1(계속)

- 주 : 1. 차폐 D는 원자로 정지후 24시간 경과시 노심으로부터의 선량률을  $\sim 0.04$  mSv/h(4 mrem/h)까지 감소시킨다. 그렇지만, 오염된 감속재 설비로부터의 일반적인 방사선장은 감속재 설비공간 내에서 약 1.8 mSv/h로 평가된다.
2. 차폐 E는 칼란드리아 집합체로부터의 선량률을  $\sim 0.06$  mSv/h(6 mrem/h)까지 감소시킨다. 그렇지만, 차폐 E 외부의 구역은 사용빈도가 적으므로 평균 선량률은 25  $\mu$ Sv/h(2.5 mrem/h) 미만이다.
3. 차폐 G는 칼란드리아 집합체로부터의 선량률을 21  $\mu$ Sv/h(2.1 mrem/h)까지 감소시킨다. 그렇지만 R-012내의 냉각재 중수회수계통 장비로 인하여 250 $\sim$ 500  $\mu$ Sv/h(25 $\sim$ 50 mrem/h)의 선량률이 예상된다.
4. 원자로보조건물 내의 몇몇 방사선 선원은 계산된 12  $\mu$ Sv/h(1.2 mrem/h)보다 높은 선량률을 유발할 수 있다.
5. 연료교환기는 정상적으로 하루에 두 번씩 사용후연료를 원자로로부터 사용후연료 방출구로 운반한다. 이때 각 장전당 원자로면에서 약 49분(완전 장전 혹은 일부 장전시)을 소요하고 사용후연료 방출구에서 약 22분(완전 장전 혹은 일부 장전시)을 소요한다. 사용후연료로부터의 시간평균 선량률은 제시된 선량률의 매우 작은 분율이다.
6. 차폐 O는 새연료 장전구역에서의 선량률을 6  $\mu$ Sv/h(0.6 mrem/h) 이하로 감소시킨다. 그러나 연료교환기가 사용후연료 방출구(주 4 참조)에 있을 때 국부적인 고선량률이 문벽에서 발생된다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-2

원자로 보조건물에서의 차폐두께 요약

실번호	차폐 구분번호	기 기	계산된 차폐 두께	설계선량률 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	그 립	실제 차폐 두께
	A E	감속재 정화 이온교환기	꼭대기에서 87 cm 콘크리트 측면에서 60 cm 콘크리트	6 200	12.4-10 12.4-10	152 cm <sup>(1)</sup> 60 cm
	E1	감속재 정화 필터	꼭대기에서 32 cm 콘크리트	6		152 cm <sup>(2)</sup>
	B	감속재 정화 열교환기	측면 및 양단에서 90 cm 콘크리트	10	12.4-10	90 cm
	C	감속재 정화 배관 통로	49 cm 콘크리트벽	6	12.4-9 12.4-10	90 cm
	D	감속재 탈중수화탱크	측면 및 꼭대기에서 85 cm 콘크리트	6	12.4-9	90 cm
	F	사용후연료(주저장조)	430 cm 물	6	12.4-8	453 cm
	G	결함연료	391 cm 물	6	12.4-7, 8	400 cm
	I	사용후연료(수용조)	426 cm 물	6	12.4-7	464 cm
	H	사용후연료저장조(SFB)	30 cm 콘크리트실벽	6	12.4-6 12.4-7 12.4-8	30 cm
	J	사용후연료취급	91 cm 콘크리트 슬라이딩문 + 61cm 일반 콘크리트 벽	6	12.4-6 12.4-7	91 cm+61cm

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-2 (계속)

원자로 보조건물에서의 차폐두께 요약

실번호	차폐 구분 번호	기 기	계산된 차폐 두께	설계선량률 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	그 림	실제 차폐 두께
	K	SFB 정화 이온교환기	측면 및 꼭대기에 78 cm 콘크리트	6	12.4-11	측면 76 cm 꼭대기 46 cm <sup>(3)</sup>
	L	SFB 정화 필터	측면 및 꼭대기의 78 cm 콘크리트	6	12.4-11	측면 90 cm 꼭대기 46 cm <sup>(3)</sup>
	M	수용조에서의 사용후연료	90 cm 물 + 168 cm 콘크리트 저장조 벽	6	12.4-11	90 cm 168 cm
	N	차폐냉각펌프 및 열교환기	30 cm 콘크리트실 벽	6	12.4-12	45 cm
	O	차폐냉각 이온교환기	측면 및 꼭대기에 67 cm 콘크리트	6	12.4-12	61 cm <sup>(4)</sup>
	P	중수세정급수탱크 (저급 중수저장탱크)	탱크실 벽 및 천장에 19 cm 콘크리트	6	12.4-13	20 cm
	Q	중수세정급수 드림	측면 및 꼭대기에 19 cm 콘크리트	6	12.4-13	45 cm



월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-2 (계속)

원자로 보조건물에서의 차폐두께 요약

실번호	차폐 구분 번호	기 기	계산된 차폐 두께	설계선량률 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	그 립	실제 차폐 두께
	R	중수세정 이온교환기	측면 및 꼭대기에 36 cm 콘크리트	6	12.4-13	30 cm <sup>(5)</sup>
	S	중수세정 필터	측면 및 꼭대기에 71 cm 콘크리트	6	12.4-13	69 cm <sup>(6)</sup>
	T	중수저장탱크	벽 및 꼭대기에 18 cm 콘크리트	6	12.4-13	20 cm
	U	액체폐기물탱크	벽 및 꼭대기에 22 cm 콘크리트	6	12.4-11	30 cm
	V	액체폐기물필터/ 이온교환기 <sup>(10)</sup>	측면에 57 cm 콘크리트 꼭대기에 57 cm 콘크리트	6	12.4-11	61 cm <sup>(7)</sup>
	W	증기회수계통 건조기	대량의 연료손상이 발생하지 않는 한 30 cm가 적당	6	-	30 cm
	X	사용후수지 저장조	접근가능 측면 및 꼭대기에 72 cm 콘크리트	6	-	90 cm
	Y	연료교환기 유지보수	39 cm 콘크리트	6	-	20 cm <sup>(8)</sup>



월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.4-2 (계속)

원자로 보조건물에서의 차폐두께 요약

실 번 호	차폐 구분 번호	기 기	계산된 차폐두께	설계선량률 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	그 림	실제차폐두께
	Z	제염실	40 cm 까지 콘크리트 두께	6	-	40 cm 까지
	Z1	고체폐기물 저장소	20 cm 콘크리트	6	-	20 cm
	Z2	계측실	30 cm 콘크리트	< 6 실내	-	30 cm
	Z3	방사화학 실험실	20 cm 콘크리트	< 6 실내	-	20 cm

- (1) 이 차폐는 이온교환기의 부식생성물 방사능에 대한 보수적 가정에 근거하고 있다.
- (2) 내장된 납차폐 필터는 고려하지 않았고 보수적으로 높은 부식생성물 방사능을 가정하였다.
- (3) 이 차폐는 국부적으로  $28 \mu\text{Sv/h}$  ( $2.8 \text{ mrem/h}$ )의 최대 접촉선량률을 나타낸다. 이 지역에서의 종일 근무는 예상되지 않는다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

- (4) 이 차폐는 국부적으로  $\sim 10 \mu\text{Sv/h}$  ( $1 \text{ mrem/h}$ )의 최대 접촉선량률을 나타낸다. 차폐표면에 대한 평균선량률은  $6 \mu\text{Sv/h}$  ( $0.6 \text{ mrem/h}$ ) 이하이다. 이 지역에서 근무시간은 적다.
- (5) 이 차폐는 국부적으로  $10 \mu\text{Sv/h}$  ( $1 \text{ mrem/h}$ )를 약간 웃도는 최대 접촉선량률을 나타낸다. 차폐표면에 대한 평균 선량률은  $6 \mu\text{Sv/h}$  ( $0.6 \text{ mrem/h}$ )이다. 또한, 이 선량률은 이온교환기 1년간의 이온교환기 운전 후에만 나타난다. 1년후 수지는 교환된다.
- (6) 이 차폐는 국부적으로  $6 \mu\text{Sv/h}$  ( $0.6 \text{ mrem/h}$ )를 약간 초과하는 최대 접촉선량률을 나타낸다. 차폐표면의 평균선량률은  $6 \mu\text{Sv/h}$  ( $0.6 \text{ mrem/h}$ )이다.
- (7) 측면 및 꼭대기에는 61 cm의 차폐가 요구된다.
- (8) 보수유지 중 선량률이  $50 \mu\text{Sv/h}$  ( $5 \text{ mrem/h}$ )이지만 시간평균선량률은  $6 \mu\text{Sv/h}$  ( $0.6 \text{ mrem/h}$ )이다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.4-1 원자로건물 평면(높이   m)에서의 차폐배치도

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.4-2 원자로건물 평면(높이  m)에서의 차폐배치도

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.4-3 원자로건물 평면(높이  m)에서의 차폐배치도

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.4-4 원자로건물 단면 - 원자로 종단면(단면 1-1) - 에서의 차폐배치도



월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.4-5 원자로건물 단면 - 원자로 측면(단면 2-2) - 에서의 차폐배치도

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.4-6 사용후연료저장조(높이            m)의 차폐배치도



월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.4-7 사용후연료저장조의 차폐배치도 - 단면

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.4-8 사용후연료저장조의 차폐배치도 - 단면

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.4-9 감속재정화계통 - 높이

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.4-10 감속재정화계통 - 단면

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.4-11 원자로보조건물 - 높이

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.4-12 차폐냉각계통 - 높이

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.4-13 중수세정계통 - 높이



## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.5 건물 및 계통설비 배치

원자력 발전소의 각 건물, 기기 및 계통의 배치는 발전소 종사자와 주민에 대하여 방사능 장애나 다른 장애를 차단하기 위하여 설계된다. 본 절에서는 월성 1호기의 발전소 종사자에의 외부방사선량을 감소시키기 위한 출입통제 및 방사선관리구역 설정에 대해 기술하기로 한다.

#### 12.5.1 출입통제

제한구역에 대한 종사자 출입통제는 발전소 절차서에 따라 이루어지며, 일반적으로 인가자나 인가자의 안내를 받는 사람에게만 출입이 허용된다. 가능한 모든 지역에서 방사선으로부터의 위험을 알리거나 경고하기 위하여 영구적인 표시 및 제반절차가 만들어진다. 그렇지만, 방사선 장애가 예상되는 지역인 “출입통제구역”은 제어실 직원의 확인이나 허락하에 특수 열쇠를 사용하여 출입하여야 한다. 이러한 출입통제구역은 종사자들의 접근 가능성을 조절하는 요소에 따라 3개의 부계통 A, B, C로 구분된다. 부계통 A는 원자로 출력준위에 관련되고, 부계통 B는 연료교환기 위치에 관련되고, 부계통 C는 관련이 없다. 표 12.5-2는 그것들의 출입통제 표시에 대응하는 감시지역의 목록이다.

이러한 출입통제계통은 고방사선원이 있는 장소에 종사자가 무의식적으로 접근하는 것을 방지하기 위하여 설치된다. 이 계통의 기본장치는 여러 개의 시건장치이다. 열쇠는 제어실의 특별 열쇠함에 보관하고 인출한다.

어떤 작업자가 통제구역에서 작업하려면 열쇠가 필요하다. 열쇠가 사용되는지 아닌지를 알 수 있도록 제어실에 표시등이 설치된다.

시건 장치는 문이 잠겨진 후에 열쇠를 뺄 수 있도록 설계된다. 부계통 A, B에 대한 열쇠는 제어실 제어반에 위치한다. 부계통 C의 열쇠는 제어실의 제어반에 위치한 마스터 대여 열쇠로 작업통제실에서 관리한다.



## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

방사선 준위가 원자로 출력과 직접적으로 관련되는 지역들이 있다. 만일 통제구역의 출입열쇠가 열쇠함에 없으면 원자로 출력을 올릴 수 없다. 이외에 다른 열쇠들은 연료교환기실과 몇몇 중요한 출입문 장소의 위치와 관련이 있다.

모든 종사자들의 출입문은 출입문 상태에 관계없이 대피할 수 있는 장치를 갖추고 있다.

### 12.5.2 방사선관리구역 설정

발전소 전 지역은 방사선(능) 오염발생 가능성에 따라 방사선관리 구역과 보전구역으로 구분한다.

#### 가. 방사선관리구역

외부의 방사선량률, 공기 중의 방사성물질의 농도 또는 방사성 물질에 의하여 오염된 물질의 표면의 오염도가 원자력안전위원회 규칙이 정하는 값을 초과할 우려가 있는 곳으로서 방사선 안전관리를 위하여 사람의 출입을 관리하고 출입자에 대하여 방사선의 장해를 방지하기 위한 조치가 필요한 구역으로 원자로건물, 제염실, 세탁실, 연료교환기 보수실, 사용후연료 저장실, 보조건물지하실, 중수승급건물, 원자로건물 공기정화실, 자율검교정실, 드럼압축실 및 방사성폐기물저장고, 압력관 정비센터, 사용후연료 건식저장시설, 압력관저장시설, 탈의실, 크레인홀, 삼중수소제거설비 일부, 유지창고 일부, 오염기기정비실 등이 여기 속한다(그림 12.5-6부터 12.5-13까지 참조).

#### 나. 보전구역

보전구역은 방사성오염원이 되는 계통이나 설비가 없으며 항상 오염이 발생하지 않도록 관리하는 구역으로서 터빈실, 터빈 보

월성 1호기 최종안전성분석보고서

개정번호 125

2009. 04. 23

조실, 용수처리 건물, 자재 창고, 비상발전기실, 주제어실, 제2제 어지역, 보조건물 복도, 기계보수실, 전기보수실, 계기보수실 등 이 여기에 속한다.

다. 임시 방사선관리구역

방사성 오염원이 되는 계통 및 설비는 없으나 한시적으로 오염 물질이 머무는 장소로서 필요에 따라 설정 및 해제하며 접근 및 출입금지와 선량계 착용 등의 조치를 취하고 주기적인 방사선 측정 및 출입관리를 해야 한다.

발전소에서 방사선량 기준에 의한 방사선관리구역 설정 및 출입통 제 지정은 12.9.2절의 표 12.9-8과 같다.

레이팅과 같은 물리적 장벽이나 절차서에 의한 관리 등을 통하여 오염된 물건이나 사람을 방사선관리구역에서 보전구역으로 이동할 수 있도록 통 제한다. 출입통제를 위하여 방사선관리구역의 경계지점마다 손발오염감시기 혹은 휴대용 오염계측기가 설치된다. 이들 감시기는 손과 발을 감시하며, 신체의 다른 부분과 장비 등은 이 감시기에 별도로 부착되어 있는 오염검사기(Frisker) 혹은 휴대용 오염계측기를 사용하여 감시한다. 방사선관리구역에서 보전구역으로 이동 할 때는 이들 감시기로 오염상태를 검사하여야 한다. 출입문에 설치되어 있는 전 신오염감시기는 원자로 보조건물을 떠나 운전원사무실 건물로 나가는 사람들의 오염유무를 감시하여 고준위의 방사능에 오염된 사람이 출입하면 경보를 발한다.

발전소의 정상적인 출입은 운전원 사무실 지역인 보조건물 입구를 경유한다. 문밖으로 통하는 비상출구는 계단이나 통행로 근처의 지상과 같은 높이 인 편리한 위치에 마련된다.

교대근무책임자, 방사선안전팀장 또는 그 위임자의 특별한 허가없

### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

이 감시기의 설정치인 허용표면오염도의 10분의 1이상으로 손이나 의복 등이 오염된 자는 보전구역으로 나갈 수 없다.

신체표면, 의복 등의 허용 오염준위, 오염감시기와 출입감시기의 기기 사양서는 참고문헌 12.5-1에 제시된다.

발전소 상제 방사선 방호절차는 방사선관리구역 사이의 이동과 건물외부의 구역화되지 않은 지역에서의 이동시 및 손, 신발, 개인의복 그리고 공기 공급 마스크, 반면 마스크, 전면 마스크, 플라스틱 및 비닐 작업복 같은 방호장비 등의 제염시 허용되는 절차 등이 포함된다.

표 12.9-8과 같이, 각 구역은 출입관리 등급에 따라 지정된다. 출입관리등급은 출입관리 부계통문자 A, B 혹은 C 또는 출입제한에만 해당되는 문자 “R”로 표시된다. 예를 들면:

가. 보전구역으로의 출입은 보안절차에 의해서만 관리된다 : 이것은 출입관리등급 R이다.

나. 보조건물과 방사선관리구역 일부의 출입은 보안과 방사선 방호절차에 의해서 관리된다 : 이것은 출입관리등급 R이다.

다. 출입제한구역인 방사선관리구역으로의 출입은 보안과 방사선 방호절차 그리고 출입관리 부계통의 조합에 의해서 통제받는다. 이 경우 출입관리등급은 A, B, C 그리고 A+B를 사용한다. 출입관리 부계통은 12.5.1절에 기술되어 있다.

월성 1호기에 대한 방사선관리구역과 출입관리 지도는 그림 12.5-1 ~ 그림 12.5-9에 제시된다. 그림 12.5-1 ~ 12.5-5에 원자로건물의 5개 평면도가 제시된다. 상기 그림들은 출입관리 부계통인 A, B, C의 3가지 등급 역시 보여준다. 그림 12.5-6 ~ 그림 12.5-9는 방사선관리구역으로 표시되는 지역을 포함하는

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

원자로 보조건물의 4개의 평면도를 나타낸다.

원자로 보조건물의 사용후연료저장조로부터 사용후연료 방출실(이송실)로의 차폐된 출입현관(그림 12.5-7 참조)을 제외하고는 출입통제구역은 모두 원자로건물 내에 위치해 있다. 출입이 제한되는 지역에서의 방사선 위험이란 보건물리원의 승인하에 출입을 의미하는 것이다. 방사선 위험은 외부방사선에 기인할 수 있거나 또는 고준위의 공기오염(내부위험)으로 야기될 수 있다. 이러한 모든 구역은 방사선관리구역으로 지정되는데 이것은 이 지역이 방사능 계통이나 기기를 포함하고 있어서 오염이 때때로 존재하기 때문이다.

출입제한구역의 출입문은 출력잠금연동장치를 사용하는 것을 바탕으로 엄격한 운전절차서에 따른다. 출입문의 자물쇠 열쇠는 발전소 원자로조종감독자의 직접 통제하에 접근이 가능하다.

출입지역은 더 오염된 지역으로 발전소종사자의 출입을 허용하여 방사선관리구역으로부터 다른 지역으로, 더 오염된 지역에서 덜 오염된 지역으로 기기를 옮기기 위하여 제공된다. 원자로건물 출입구와 로비를 포함한 지역의 출입복도와 계단은 통상적으로 접근이 가능하다. 이러한 지역에서는 종일 체류하여도 방사선 작업종사자(ARW)의 선량한도를 초과하지 않는다. 훈련과 방사선방호절차 및 직접 감독을 통하여 출입권한이 있는 사람만이 이 지역으로의 출입이 허용되고 그 체류시간을 최소화하여 방사선피폭이 가능한 낮게 유지되도록 제한한다.

보조건물 내에서의 출입지역의 예로는 복도, 계단, 탈의실, 사무실, 청정샤워장 및 화장실을 들 수 있다. 유의할 점은 이러한 지역은 보전구역으로 지정되는데 이는 오염이 존재할 수 없는 지역이기 때문이다.

방사선관리구역은 원자로건물내의 모든 지역과 보조건물 내의 일부 지역을 포함한다. 따라서 방사선관리구역은 출입제한구역, 출입구역, 출입불가지역(원자로정지지역)으로 구성되는데 원자로정지지역은 원자로가동 중에는 출입을 못

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

하지만 원자로정지후 출입이 허용된다.

원자력발전소의 운전기간동안 모든 지역에서의 체류를 기대하는 것은 불가능하다. 그러므로 모든 지역의 출입 요구기준들(잠재적 체류)은 표 12.5-1에 분류되어 있다. 이 표에서 주어진 선량률로부터 각각의 구역에서 소비되는 합리적인 시간의 양을 산출할 수 있다. 선량률 목표치의 유도과 잠재적 점유등급들의 가정들은 12.4.2절에 간략하게 기술되어 있다. 자세한 내용은 참고문헌 12.4-1에 기술되어 있다.

### 12.5.3 고정지역 감마선 감시

고정지역 방사선감시기는 방사선장해 발생을 감시하거나 고방사선장의 발생을 종사자들에게 경보하기 위하여 잠재적으로 방사선피폭 위험성이 있는 지역에 영구적으로 설치된다.

이들 지역감마선감시기는 검출기가 설치되어 있는 지역의 일반적인 방사선 준위를 나타내는 것이기 때문에 탐사장비(survey instrumentation)를 대신할 수는 없다. 원자로건물 내 고정지역감시기의 최대 측정 범위는 0~100 R/h이다. 원자로건물 내에 핵분열생성물의 방출을 초래하는 사고가 발생했을 경우 이동식 감시기를 이용하여 원자로건물 밖의 지정된 장소에 대해 방사선 탐사를 실시한다.

전형적인 감시회로(loop)는 계측기 집합체, 국부 방사선 경보기, 지역방사선지시계, 원격지시계 및 발전소제어용 컴퓨터와 상호연결하는 연결체(interface)로 구성된다.

경보는 경보지역에서 빛과 소리로서 고방사선 준위경보를 발하며 장비의 고장시에는 원자로건물 입구에 설치된 원격지시계 패널에 고장경보를 나타낸다. 국부 방사선 경보기는 경적기(Horn), 경보등(Beacon)으로 구성된다.

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

원자로가 가동중일 때와 원자로 정지시 출입이 금지될 때 연속 경고의 작동을 방지하기 위해 ‘지역경보회로’는 출입통제계통과 연결되어 있다. 출입통제계통은 12.5.1절과 12.5.2절에서 설명한다.

(원격)지역방사선 지시기 장치는 전형적으로 0.01 mGy/h ~ 1 Gy/h(1 mR/h ~ 100 R/h)의 범위를 읽을 수 있는 환독 지시기, 정상 장비가동용 녹색전구와 장비고장 및 고방사선 지시 적색전구 등으로 구성되어 있다. 이 장치는 작업 종사자가 들어가고자 하는 지역에서의 방사선 위험도를 알려준다. 고정지역 감시기에 의해 감시되고 있는 원자로건물 및 보조건물 내 각 방의 목록이 표 12.5-2에 제시되어 있다. 감시기의 측정범위 또한 그 표에 제시되어 있다.

감시기는 다음과 같이 구성되어 있다.

가. 지시기

나. 예비경보(alert) 및 고방사선 준위 경보(alarm) 고정설정치 조정  
단자

다. 장비고장 경보

라. 정상지시등(녹색)

마. 고정 방사선지시기의 기록지; 방 번호 및 내용, 날짜 및 시간

바. 예비경보등(주황색), 기기 고장 및 고방사선 경보등(적색)

### 12.5.4 참고문헌

12.5-1 “Radiation Monitoring Equipment - Fixed Contamination Monitors”,  
59-DM-67874, Rev. 1, 1980.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.5-1

발전소 출입 요구조건, 추정된 잠재 체류시간과 선량률 목표치

출입 요구조건 (출입제한)	구역 명칭	대표지역	잠재체류 시간	선량률 목표치 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	피폭 방사선량 ( $\mu\text{Sv}$ )
일반작업자의 비통 제출입 (보안절차서)	보전구역	부지내 건물 외부; (행정건물 등등)	2,000 h/yr	1.0 (최대)	2,000
방사선작업자의 비 통제 출입 (보안 + 방사선 방호절차서)	보전구역/ 방사선관리 구역	출입관리절차에 대한 발전소 내부 지역	960 h  640 h	0.25 (최대)  ~ 6(평균)	240  ~ 3960
방사선작업자의 출 입 방사선관리구역 (보안+ 방사선 방호 절차서)	방사선관리 구역	원자로 가동시 일반 적으로 출입 금지되 는 원자로건물 내부 지역, 즉 "원자로 정 지후 출입지역"	요구사항에 따라 변함 예를 들면  340 h  60 h	10  223	3400  13,400
방사선작업자에 대 한 합계	-	-	2000 h	-	21,000

192



월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.5-2

교정지역 감마감시기에 의해 감시되는 지역 목록

실 번호	측정범위 (R/h)	지역	출입통제 +
	0.001-10	사용후연료 이송조	B
	0.01-100	냉각재 중수수집계통	C
	0.001-10	연료교환기 보조 중수공급펌프실 ('D')	C
	0.001-10	연료교환기 보조 중수공급펌프실 ('A')	C
	0.001-10	연료교환기 보조 - 'C' 방향	C
	0.001-10	연료교환기 보조 - 'A' 방향	C
	0.01-100	연료교환기 보수실 - 'C' 방향	B
	0.01-100	연료교환기 보수실 - 'A' 방향	B
	0.01-100	연료교환기실 - 'C' 방향	A/B
	0.01-100	냉각재분배판 캐비닛(Feeder Cabinet) - 'C' 방향	A/B
	0.01-100	연료교환기실 - 'A' 방향	A/B
	0.01-100	냉각재분배판 캐비닛(Feeder Cabinet) - 'A' 방향	A/B
	0.001-10	독물질주입정지계통	++
	0.01-100	감속재실(moderator enclosure)	A
	0.001-10	보조구실(service port room) - 'A' 방향	++
	0.001-10	보조구실(service port room) - 'C' 방향	++
	0.01-100	방사능 감시실 (DN Monitoring 'C' Side)	C
	0.01-100	방사능 감시실 (DN Monitoring 'A' Side)	C



월성 1호기 최종안전성분석보고서

개정번호 122

2009. 03. 02

표 12.5-2 (계속)

실 번호	측정범위 (R/h)	지역	출입통제 #
	0.01-100	냉각재 보조계통 - 'C' 방향	C
	0.01-100	냉각재 보조계통 - 'A' 방향	C
	0.010-10	기체핵분열생성물 감시실	++
	0.001-10	액체영역제어실	++
	0.001-10	상충기체계통실	++
	0.01-100	중수중수펌프실 - 'D' 방향	C
	0.01-100	냉각재 보조계통 - 'C' 방향	C
	0.001-10	냉각재 보조계통 - 'A' 방향	C
	0.001-10	증기발생기실(반응도제어기구설치대)	A/C
	0.001-10	증기발생기실('D' 방향)	
	0.001-10	사용후연료저장조 냉각 및 정화계통실	++
	0.001-10	감속재정화계통실	++
	0.001-10	중수관리지역	++
	0.001-10	사용후연료 수용조 - 'A' 방향	++
	0.001-10	사용후연료 저장조 - 'C' 방향	++
	0.001-10	사용후연료 저장조 - 'D' 방향	++
	0.001-10	오염기기정비실	++

122

주 : + 이 항목은 해당되는 출입 통제 표시에 대응하는 감시지역의 목록을 뜻함. 부계통 A는 원자력출력에 의해 관련되고, 부계통 B는 연료교환기 위치에 관련되며, 부계통 C는 관련이 없다.

++ 절차서에 의하여 출입이 통제됨

월성 1호기 최종안전성분석보고서



A - ACCESS CLASSIFICATION - POWER INTERLOCKED  
B - ACCESS CLASSIFICATION - FUELLING MACHINE INTERLOCKED  
C - ACCESS CLASSIFICATION - PROCEDURAL CONTROL ONLY

그림 12.5-1 높이 [redacted] 인 원자로건물 Plan 1에서의 출입관리



그림 12.5-2 높이 [ ] 인 원자로건물 Plan 2에서의 출입관리

월성 1호기 최종안전성분석보고서

개정번호 121

2009. 02. 27



그림 12.5-3 높이 [ ]인 원자로건물 Plan 3에서의 출입관리

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.5-4 높이 ( )인 원자로건물 Plan 4에서의 출입관리



월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.5-5 높이 [ ]인 원자로건물 Plan 5에서의 출입관리

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.5-6 보조건물 일반배치도 - 높이



그림 12.5-7 보조건물 - 높이



개정번호 214  
2013. 03. 29



214

198

그림 12.5-8 보조건물 - 높이



그림 12.5-9 보조건물 - 높이

월성 1호기 최종안전성분석보고서



115

그림 12.5-10 삼중수소제거설비 - 높이

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.5-11 삼중수소제거설비 - 높이

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.5-12 삼중수소제거설비 - 높이



그림 12.5-13 삼중수소제거설비 - 높이



## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.6 공기중 방사능 오염관리

방사선 관리구역에서 공기중 방사성오염문제가 환기시스템의 배기율 검교정 및 관리와 지역배기 연결장치의 사용 등에 의해서 처리된다. 배기설비는 압력차이에 의해서 저농도지역에서 고농도지역으로 방출되도록 설계된다.

적당한 부(-)의 공기 압력차를 걸어주고(즉, 공급공기와 배출 공기의 균형을 조절함으로써) 환기지역 내에서 이미 알고 있는 오염원을 밀폐시킴으로써 역류영향을 최소화시킨다. 이러한 방법으로 누출중수로부터 발생하는 삼중수소의 농도는 통제 관리되고 또한 이는 기체폐기물 방출계통으로 배기한다.

원자로건물 및 보조설비 부문은 발전소 직원 및 환경이 공기중 방사능(기타장해포함)과 가능한 한 격리되도록 배치되어있다.

공기중 방사능 오염관리를 위한 설계 시설은 직업상 피폭 및 환경 상으로의 방출을 최소화하거나 방지하는 장벽으로 간주할 수 있다. 이에 대한 내용은 표 12.6-1 및 그림 12.6-1에 주어져 있다.

중수계통과 관련한 대부분의 공기중 방사능 오염원들은 원자로건물 내에 위치한다. 원자로건물 내에서 공기중 방사능 오염관리 특징은 오염의 이탈을 방지하는 것으로 요약된다. 원자로건물 내에서 하나의 밀폐된 순환형 증기회수계통이 구비되어 있어서 어떠한 잠재적인 방사능 이탈도 최소화하도록 해준다. 건조기/필터를 거쳐 원자로건물 오염배출구로 흐르는 소량의 기체 방출은 통상 오염된 공기가 원자로건물에서 빠져나가는 유일한 통로 역할을 한다. 배출 기체는 허용배출기준을 유지하기 위하여 감시 및 여과되어진다.

방사선관리구역 내에서는 오염원들을 특정지역에 밀폐시키거나 환기유량을 조절함으로써(밀폐 회로의 건조기들을 통과시킴) 공기중 방사능 오염의 확산을 최소화시킨다.

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.6.1 요구되는 공기의 질

발전소 종사자들에 대한 내부 피폭선량을 최소화시키기 위해서는 상시출입지역에 대한 공기중 방사능 오염을 관리하는 것이 필수적이다. 만성 선량 잠재력이 가장 크기 때문에 상시출입지역들에 대한 설계 목표치를 정의하는 것이 매우 중요한 일이다. 설계 목표치를 정의함으로써 공기중 방사능 오염의 수준을 달성 가능한 정도로 낮게 유지시킨다.

바람직한 공기의 질 목표치는 터빈홀 및 대부분의 보조건물 내에서 공기중 방사능 농도가 0.1 DAC 이하로 유지하는 것이다. 이는 이들 지역 내에서 보다 방사능이 높은 지역에서 낮은 지역으로 오염이 빈발하지 않을 때만 가능하다.

원자로건물 내에서 공기중 방사능 오염에 대한 관리 정도는 계통기 기로부터 만성적인 중수 누설량과 중수증기회수계통의 건조기 성능에 달려있다.

이상적인 경우, 통로, 배선 접근지역, 주접근지역등 원자로건물내에서 쉽게 접근이 허용되는 지역에 대한 평균 공기중 방사능 오염의 수준은 1.0 DAC을 유지한다.

### 12.6.2 내부 피폭선량(삼중수소) 관리

고가의 중수가 누설되지 않도록 보존해야 하는 기본적인 요구조건과 삼중수소로부터 피폭방사선량을 저감시키기 위하여 삼중수소 관리는 이미 CANDU 원자로 설계에 반영되어 있다. 삼중수소의 관리 특성은 다음과 같은 요소들로 이루어진다.

- 누설차단
- 중수증기회수
- 중수누설수집



## 월성 1호 ■ 최종안전성분석보고서

- 밀폐
- 환기 및 회석(퍼지)

CANDU 6 원자로 설계시 만성적인 삼중수소 누설원으로 알려진 계통들은 각기 따로 마련된 방에 있도록 각 방의 구획을 정한다(예, 감속재실, 연료교환기실 등). 환기계통 및 중수증기회수계통 등은 각 계통기기들에 대한 계산된 또는 운전 경험으로부터 얻은 만성적인 삼중수소 누설자료에 근거한 허용가능한 공기중 삼중수소 수준을 유지하도록 설계한다.

일단 중수증기회수계통을 통하여 회수된 중수는 세정을 거쳐 승급되며 다시 원래의 계통, 즉, 냉각재계통 또는 감속재계통으로 각각 되돌려진다. CANDU 원자로에서는 냉각재계통과 감속재계통이 엄격하게 격리되어 있다. 중수 세정계통뿐만 아니라, 중수화 및 탈중수화계통도 감속재 및 냉각재계통용으로 각각 따로 설치되어 있다.

다음은 삼중수소관리 특성에 대하여 기술하기로 한다.

### 12.6.2.1 누설차단

공기중 삼중수소의 축적을 억제할 수 있기 때문에 누설차단은 삼중수소관리에 있어서 가장 중요한 요소이다. 전체 만성적 누설에 대한 각 누설원별 누설비율은 그림 11.3-3과 같으며 상세한 내용은 11.3.1.3절에서 기술하고 있다.

### 12.6.2.2 중수증기회수

모든 CANDU 발전소는 중수증기회수계통이 설치되어 있다. 오염된 공기는 삼중수소로 바뀐 중수증기를 회수하기 위해 흡착제 건조기를 통과한다. 건조기는 주기적으로 재생되며 중수증기를 응축시켜 회수한다. 그림 12.6-2는

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

MPCa(또는 DAC) 수준의 함수로서 중수증기회수계통의 이슬점에 의한 삼중수소의 관리를 보여준다.

CANDU 원자로설계에는 중수로 충전된 계통으로부터 필연적으로 누설되는 액체 또는 증기형태의 중수를 회수하기 위한 광범위한 계통들이 포함된다.

원자로건물은 본질적으로 다음과 같이 네 개의 지역으로 구분되어 있으며 각 지역마다 중수증기회수용 건조기가 각각 설치되어 있다(그림 12.6-3 및 12.6-4 참조).

- 연료교환기실
- 연료교환기 정비실 및 출입허용지역
- 감속재 기기실
- 증기발생기실

각 지역별 중수증기회수계통은 다음과 같다.

### 가. 연료교환기실

연료교환기실에는 고온, 고압의 냉각재계통 냉각재를 수송하기 위한 배관 및 각종 기기들이 설치되어 있다. 연료교환시 연료채널 마개나 엔드피팅 등으로부터 지속적으로 증기형태의 중수가 누설될 것으로 예상된다. 따라서 중수증기의 회수는 경제적으로도 중요한 고려사항이다.

### 나. 연료교환기 정비실 및 출입허용지역

연료교환기 정비실 및 출입허용지역에서 연료교환기 헤드를 포함한 설비 및 배관이 냉각재계통의 저온 냉각재를 운반한다. 중수 누설은 보수작업시 그 가능성이 가장 높다. 이 지역 내에 설치된

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

건조기가 공기중 삼중수소 농도를 낮추어 운전원이 접근 가능하게 해준다.

이 지역에서 회수된 모든 중수는 냉각재계통에서 빠져 나온 것이기 때문에 건조기로부터 회수된 응축수는 동일한 중수세정탱크에 수집, 저장된다.

### 다. 감속재 기기실

감속재 기기실 내의 대기는 감속재계통의 배관 및 기기들과 접촉한다. 감속재내 삼중수소의 함유량이 많기 때문에, 냉각재계통 냉각재 증기와 혼합되는 증기발생기실로부터 감속재 증기를 격리하는 것이 필요하다. 이를 위하여, 누설 가능성이 가장 높은 감속재펌프 및 밸브 주변에 특수한 벽을 설치하고 또한 감속재 기기실 내에 있는 중수증기를 회수하기 위한 별도의 건조기를 설치하였다(그림 12.6-3 및 12.6-4 참조).

감속재 건조기로부터 회수된 응축수를 수집 저장하는 감속재 중수세정계통의 급수탱크 중 하나에 회수감속재 건조기 응축수가 수집, 저장되어 상기 ‘가’, ‘나’ 항의 건조기들에 의해 회수된 냉각재계통 응축수를 수집하는데 이용되는 탱크와 분리되어 있다(그림 12.6-4 참조).

### 라. 증기발생기실

증기발생기실은 정상운전중 연속적으로 접근가능한 지역으로 유지된다. 이는 증기발생기실의 대기를 격리시키고 증기발생기실과 인접한 운전지역간에 추가의 차폐체를 설치함으로써 가능하다.

증기발생기실 지역은 중수 누설이 미미한 지역에 속하며, 850

### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

$\text{m}^3/\text{h}$  용량의 건조기는 대부분의 증기발생기실내 중수증기를 회수할 수 있기 때문에 정상운전조건에서 공기중 삼중수소의 농도를 2 DAC 수준 이하로 유지시킨다.

이 절에서 기술한 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 연료교환기실 지역은 건조기 #1, #2, #3, #4(3831-DR1 ~ DR4)가 담당하며,
- 연료교환기 정비실 및 출입 허용지역은 건조기 #9, #10(3831-DR9, DR10)이 담당하며,
- 감속재 기기실 지역은 건조기 #7, #8(3831-DR7, DR8)이 담당하며,
- 증기발생기실 지역은 건조기 #11(3831-DR11)이 담당한다.

중수수집탱크에 수집된 중수는 통상 펌프에 의하여 원래의 계통으로 되돌려진다. 만약 수집된 중수가 저등급화되었을 경우는 냉각재계통 및 감속재계통 액체를 위한 별도의 캔형 펌프(canned pump)를 이용하여 중수세정계통으로 수송한다.

정상운전시 방사성환기계통으로 가기 전에 건조기 DR5A 또는 DR5B중 하나의 건조기를 통과하는 건조기 DR1 ~ DR4의 출구로부터 소량의 배출유량(exhaust flow)이 있다(그림 12.6-4). DR5A/DR5B는 중수 건조지역에서 미소하게 부(-)의 압력을 유지한다. 또한 DR7과 DR8로부터도 소량의 배출유량이 있다.

#### 12.6.2.3 누설 중수 수집

냉각재 및 감속재계통으로부터 누설된 중수는 수집되어 저장되었다

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

가 원래의 계통으로 각각 되돌려지거나 필요시는 수송전에 승급시킨다.

### 12.6.2.4 밀폐

공정계통의 기기 및 계통의 배치를 적절히 하고 만성적인 중수누설 가능성이 잠재하는 지역(예; 감속재 기기실)의 대기 밀폐를 적절히 한다.

원자로건물은 환기지역과 건조지역으로 구분된다. 또한 건조지역은 이미 앞에서 설명한 바와 같이 네 개의 증기회수지역으로 구분된다.

### 12.6.2.5 환기

오염된 지역을 통과하도록 외부에서 청정공기를 주입시켜 줌으로써 공기중 방사능인 삼중수소가 대체된다.

### 12.6.3 환기계통

방사선관리구역, 임시 방사선관리구역, 탈의실, 관리구역 작업복 등을 통한 절차상의 관리와 함께 환기계통 및 중수증기회수계통을 운전함으로써 오염의 확산을 억제한다.

중수증기회수계통을 통하여 회수하는 중수의 농도 저하를 감소시키고 아울러 중수회수 효율 및 삼중수소 수집효율을 향상시키기 위하여 원자로건물 환기계통의 공기흡입구의 필터 전단에 건조기를 추가 설치한다. 이렇게 함으로써 공기와 함께 원자로건물로 유입되는 경수의 양을 저감시켜 기존의 증기회수계통에서 수집되는 경수의 양을 감소시킨다. 결과적으로 회수되는 중수의 농도를 증가시키는 물론 환경으로 방출되는 삼중수소를 저감시킨다.

원자로건물 환기계통에 관한 상세한 내용은 9.4.2절에서 기술한다.

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.6.4 중수증기회수계통

12.6.2.2절에서 설명한 바와 같이 원자로건물은 삼중수소 및 중수농도가 서로 다른 네 개의 지역으로 구분되어 있다. 중수농도의 저하 및 삼중수소에 의한 오염을 방지하기 위하여 각 지역마다 별도의 중수증기회수기기를 설치한다.

보다 상세한 내용은 12.6.2.2절 및 9.5.3절에서 기술한다.

### 12.6.5 소내감시계통

캐나다 발전소 관행은 소내 공기의 감시 및 시료채취에 대한 계획을 요구한다. 체계적으로 설치된 감시계측기들을 통하여 공기중 방사성 핵종에 의한 작업종사자들의 잠재적 또는 실질적 피폭률을 측정할 수 있다.

방사선 감시를 통하여 방사선원 생성의 제한, 방사선의 함유, 방사선의 제거 및 방사선 효과의 측정에 필요한 정보를 제공한다. 소내감시계통은 기체핵분열생성물감시기, 손상연료위치(지발중성자) 감시기, 고정 오염감시기, 기체 유출물 감시기, 액체 유출물 감시기, 고정 공기중 삼중수소 감시기, 고정 지역 감마선 감시기, 원자로건물 대기 감시기로 구성된다.

고정 오염감시기들은 오염을 검출하기 위해 보조건물 공기중 방사능 이외의 다른 모든 방사성동위원소의 이동이 없음을 확인하기 위해서이다. 손발 오염감시기들은 통로에 있는 방사선관리구역 경계면에 설치한다. 방사선관리구역에서 보전구역으로 가기 전에 개별적으로 오염검사를 실시한다. 방사선관리구역에서 나가는 모든 사람은 점검을 위해 반드시 정문 감시기를 통과해야 한다.

발전소 감시계통 이외에 방사성물질, 운전원 그리고 오염의 감시에 다음의 시설들이 이용된다.

- 가. 화학실험실,
- 나. 보건물리실험실,

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

다. 환경실험실,  
라. 휴대용 감시기 및 개인 감시기.

일반적인 캐나다 관행에 따르면 영구적으로 설치된 계통에 포함되지 않는 상황은 부지 보건물리 및 방사선방호직원의 감시하에 부지관리절차에 의해서 다루어진다.

의심이 나는 어떤 특정지역에 들어가기 전에 기포 시료를 채취하여 공기중 삼중수소의 농도를 확인하는 것이 일반적인 관행이다. 측정결과 공기중 삼중수소 농도 수준이 특별히 높은 지역은 측정결과, 측정시각, 측정자 성명 등을 기록한 경고판을 게시한다.

CANDU 6 원자력발전소에서는 감마선과 중성자에 의한 외부방사선량, 표면오염준위(고정 혹은 이동성)와 삼중수소, 방사성요오드와 입자 등에 의한 공기오염도 준위 등을 측정하기 위해서 일상적인 탐사를 원자로건물과 보조건물에 대해 실시한다.

발전소 감시는 12.9.3.1절에서 설명한다. 원자로건물 내에서 방사성요오드 준위는 무시할 정도인데 그 이유로는 손상연료의 수가 적고(0.1%, 미만 즉, 연간 1개의 연료봉 피복재 손상을 갖는 연료다발 5개의 방출) 기체핵분열생성물감시계통에 의한 손상연료의 신속한 검출과 손상연료위치(지발중성자) 감시기에 의해서 그 위치를 즉시 확인할 수 있기 때문이다.

### 12.6.5.1 공기중 삼중수소 감시계통

공기중 삼중수소 감시계통은 공기중 삼중수소 증기를 검출함으로써 다음 목적을 담당한다.

- 측정지역의 삼중수소 농도 지시



## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### • 보건장해의 가능성 감소

고정 공기중 삼중수소 감시계통은 시료채취계통 및 고정 감시기 계통 등 두 개의 부계통으로 구성되어 있다. 이러한 부계통을 사용함으로써 CANDU 6 발전소의 작업자들에게 삼중수소 피폭을 최소화하게 한다. 공기중 삼중수소 감시계통에 대한 계통의 개략도는 그림 12.6-5와 같다. 이러한 부계통들은 다음과 같이 기술된다 :

시료채취계통은 잠재적으로 삼중수소 피폭이 예상되는 지역인 방으로부터 고정적으로 설치된 튜브를 통하여 고정감시기로 공기 시료를 보내주는 역할을 한다. 공기중 삼중수소 감시계통이 설치된 방이 원자로건물에 19개, 보조건물에 5개가 있다. 시료채취계통은 한번에 하나의 방을 선택하고 충분한 공기시료 유량을 감시기까지 수분 동안 흘러보내 측정할 수 있도록 한다.

고정감시기는 작업자가 직접 현장에 가지 않고도 한번에 한 지역에 대해 연속적인 감시를 제공하고, 작업자에게 적절한 보호장비선택과 작업통제에 관한 즉각적인 정보를 제공한다. 그 감시기는 또한 감시지역의 삼중수소의 농도가 경보값을 초과할 때 작업자에게 자동적으로 경고하므로 과피폭을 방지한다.

고정감시기는 공기중 삼중수소 농도를 1 DAC부터 1000 DAC까지 측정 가능하여야 한다. 감시기는 자연방사능 값이 낮은 지역에 설치되며 공기시료 중에 들어있는 감마선을 보상할 수 있는 성능을 갖고 있다. 감시기는 방사능 준위가 설정치 이상일 때 경보를 주거나 측정치를 제시하기 위한 지역감시패널을 갖고 있다. 감시기 패널에는 장치의 고장을 지시하는 전구가 있다. 원자로건물 및 보조건물에서 공기시료를 채취하는 지역은 각각 표 12.6-2 및 12.6-3에 주어져 있다.

장치의 고장 혹은 운전원의 실수에 의한 갑작스럽고 예상치 못한



## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

삼중수소농도의 증가에 대해 경고하고 공기중 삼중수소 농도를 연속적으로 측정하는 휴대용 감시기도 있다. 휴대용 공기중 삼중수소 감시기는 응답시간이 짧고(예를 들면 20초) 경보음을 낼 수 있다.

### 12.6.5.2 냉각재상실사고 후 방사선감시(운전원의 안전성 측면)

냉각재상실사고 후 원자로건물내 방사선 감시는 특정지역에서 방사선 안전상태를 알려주는 감시와 직원에게 특정 지역에 출입을 차단하거나 탈출하도록 지시하는 것을 포함한다.

고정지역 감마선 감시기는 정상운전조건에서 사용되지만 사고후 공기중 방사선 준위가 높아지는 것도 알려준다. 이 감시기 중 6개는 보조건물 지하에 위치해 있고 28개는 원자로건물 내부에 위치해 있다.

휴대용 장비를 가진 탐사팀들은 사고후 발전소 내부와 외부에서 방사선 탐사를 수행한다. 사고 후에는 발전소 비상절차서에 따라 탐사를 수행한다.

여러 개의 환경감시소가 월성 1호기에 설치되어 있다. 감마선 측정기로부터의 신호는 주제어실로 보내진다.

운전원 안전에 대한 방사선 감시요건은 방사선 방호계획의 일부를 구성하고 부지에서의 냉각재상실사고후에 대한 검토에서 평가된다. 이러한 요건들은 다음을 포함한다:

가. 필요시 사고에 대한 즉각적인 경고와 소개(evacuation)에 대한 필요성의 지시

나. 직원의 재입장 전 및 재입장 동안에 발전소 내부의 방사선 조건을 감시하는 수단 제공.

제어실의 상주가능성에 대하여는 6.7절에서 논의한다; 운전원의 안전을 고려하여 제2제어지역에 대한 상주계통은 7.5.2절에 주어진다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.6-1

개념적인 공기중 방사능 오염 방벽

방벽명	저감방벽 작용여부	
	작업시 피폭	환경 방출
1. 선원 방사능 관리	작용함	작용함
2. 누설차단	작용함	작용함
3. 여과 및 중수증기 회수	작용함	작용함
4. 희석/퍼지 환기	작용함	작용함



## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.6-2


공기중 삼중수소 고정감시기에 대한 원자로건물 내 공기시료채취지역

채취지역번호	채취지역명
	냉각재계통 보조기기실 - C쪽
	케이블 접근실
	방사능 감시실 - C쪽
	냉각재계통 보조기기실 - C쪽
	감속재실 - C쪽
	감속재 기기실
	지하실 - C쪽
	변환기실 - C쪽
	연료교환기 보수실 - C쪽
	연료교환기 보수실 - A쪽
	냉각재계통 보조기기실 - A쪽
	"미지정"
	방사능 감시실 - A쪽
	증기발생기실
	냉각재계통 보조기기실 - A쪽
	감속재실 - A쪽
	액체독물질주입정지계통, 독물질 혼합실
	전송기 - A쪽
	냉각재 중수 수집실

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.6-3

공기중 삼중수소 고정감시기에 대한 원자로 보조건물내 공기시료채취지역

채취지역번호	채취지역명
	원자로건물 환기배기 및 시료채취함실 중수 장전실 감속재 중수화 및 탈중수화실 감속재정화계통실 중수공급탱크실

### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

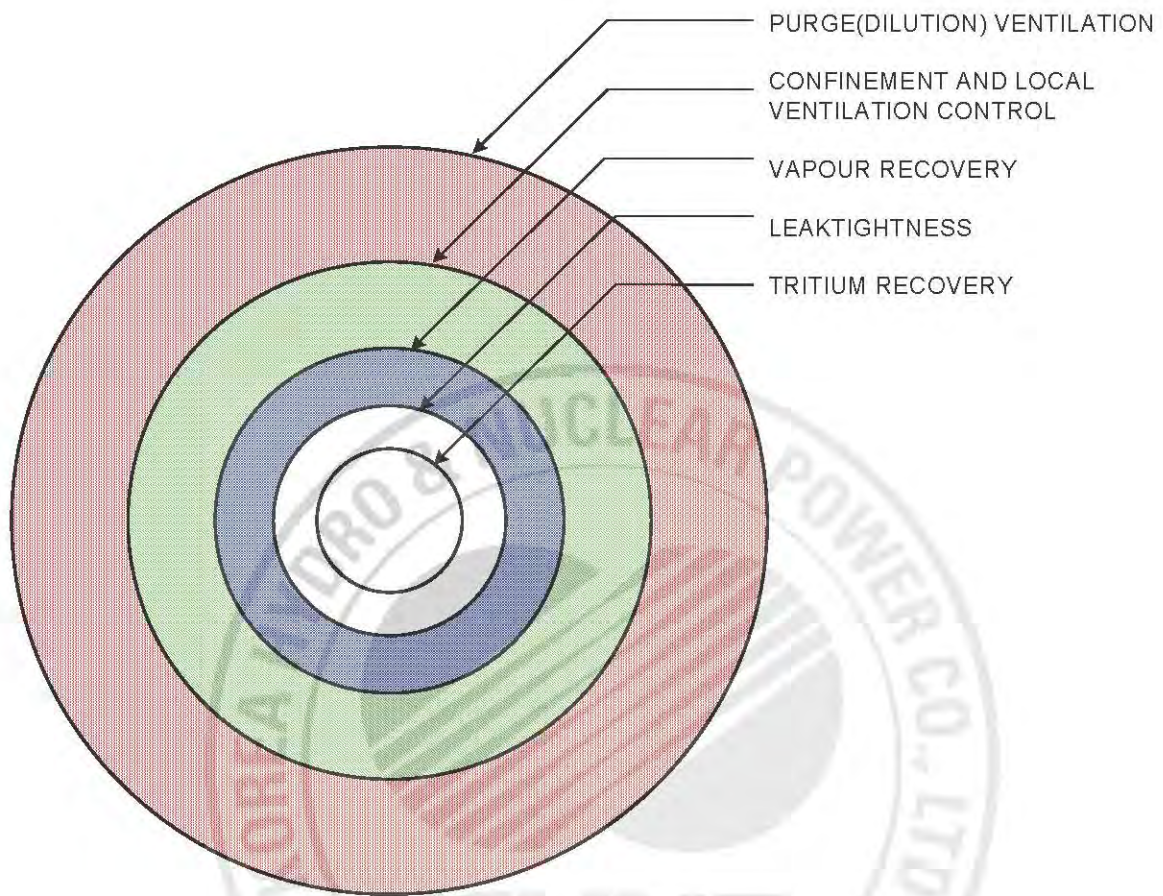


그림 12.6-1 삼중수소제어에 대한 개념적 방법



### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

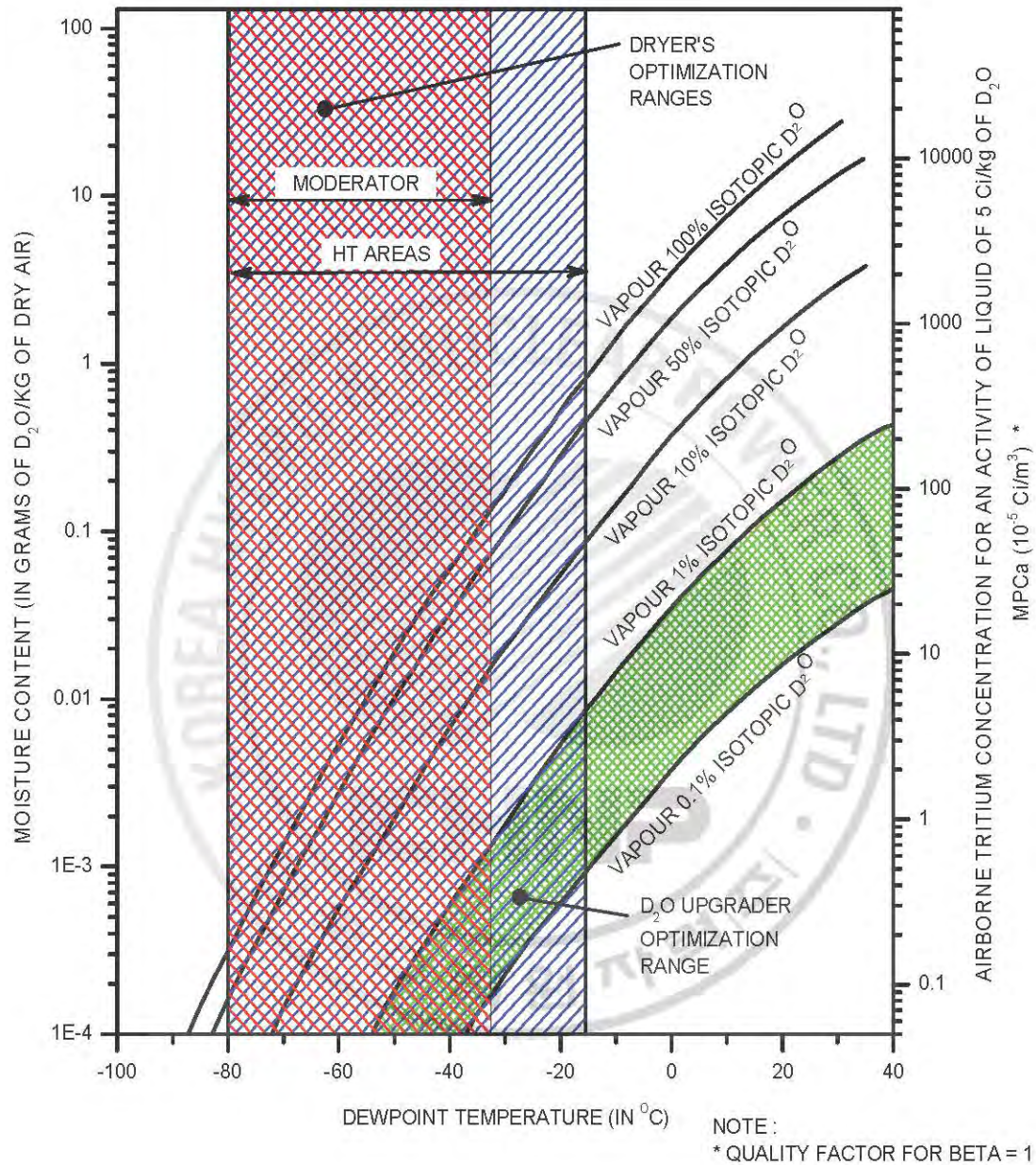


그림 12.6-2 MPCa(5 Ci/kg- $D_2O$  방사능) 대 증기회수 이슬점에 대한 삼중수소 제어

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.6-3 원자로건물의 환기 및 건조지역 개략도

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.6-4 중수증기회수계통 개략도



월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 12.6-5 공기중 삼중수소 고정감시계통 개략도

## 12.7 발전소 종사자에 대한 방사선방호

발전소 종사자들은 공기중 방사능 및 표면오염 등 위치 및 형태로 식별이 가능한 선원들로부터의 방사선에 피폭된다. 발전소 종사자가 받는 피폭방사선량은 발전소 운전이력에 따라 조금씩 변한다.

### 12.7.1 방사선방호 계획

방사선방호계획의 주된 목적은 월성 1호기가 안전한 방사선관리 관행에 따라 운전이 이루어지며 종사자들의 방사선피폭이 합리적으로 달성가능한 최저 수준으로 유지되도록 보장하기 위함이다. 이 목적은 발전소 설계, 효율적인 선량관리 계획, 직원 교육, 행정적인 피폭관리 절차서, 적절한 방사선작업 계획 및 제반 업무에 대한 안전 관행 등을 통하여 달성된다. 일반적으로 방사선 방호 설계 설비를 이용하고, 과거의 관행을 고려하여 ALARA를 구현함으로써 방사선 피폭을 최소화 할 수 있다.

방사선 방호규정은 실시될 방사선 방호 계획 및 방침 등을 정의한다. 현장의 방사선안전팀에서는 발전소 종사자들에게 방사선 계측기, 방호장비 사용법, 선량관리 절차, 방사선방호 방법 등에 관한 지침을 제공하기 위해 방사선 방호절차서 등을 작성한다. 125

효율적인 선량관리 계획, 직원 교육훈련, 체계적인 피폭관리절차, 적절한 작업계획, 제반 업무에 대한 안전 관행 등은 안전한 방사선방호 계획을 위한 초석이 된다.

정상운전시 월성 1호기의 방사선방호 계획에 관한 본사 조직 및 현장 조직은 각각 그림 12.7-1 및 12.7-2와 같다.

방사선안전분야에 종사하는 현장 및 본사 직원들에 대한 교육훈련 계획은 두 가지로 구분된다. 첫 번째는 사내교육으로서 발전소 현장 또는 원자력

월성 1호기 최종안전성분석보고서

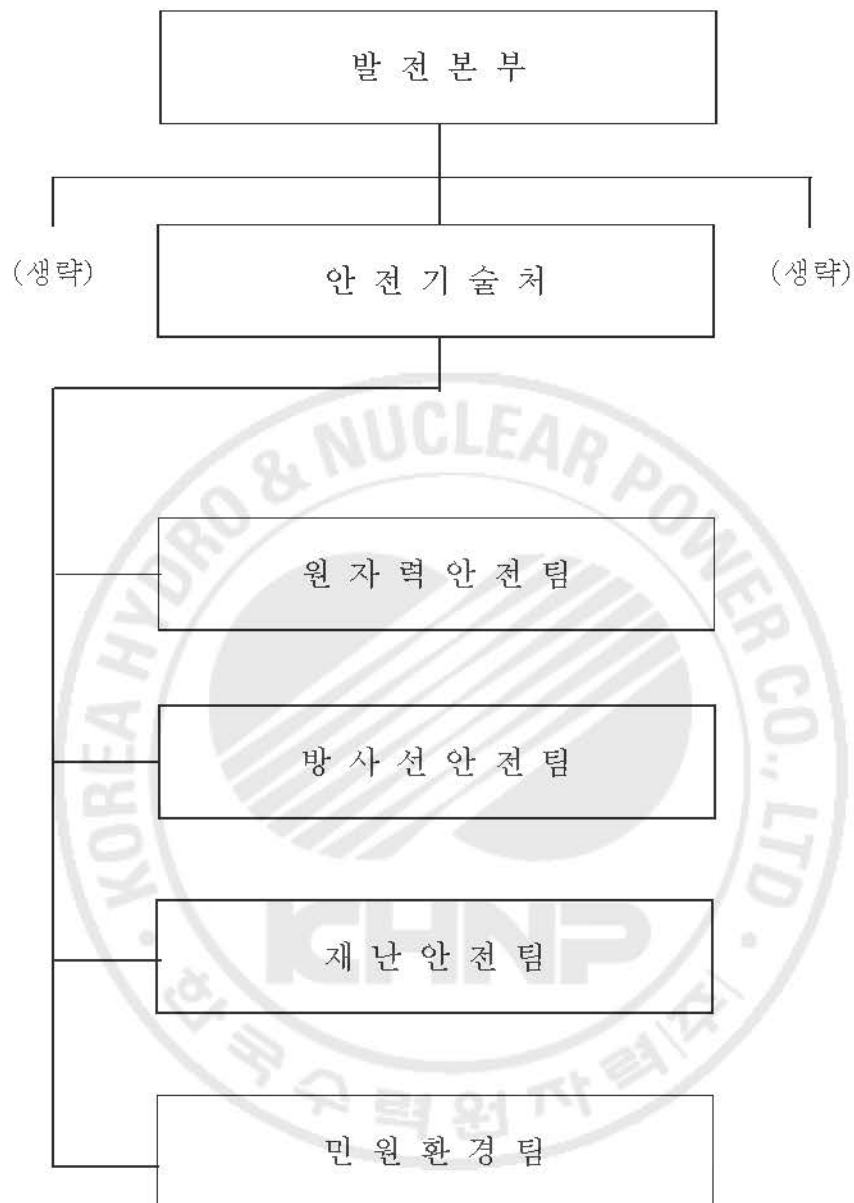
개정번호 125

2009. 04. 23

교육원에서 실시되며, 방사선안전관리 교육에는 원자력시설의 이용에 따른 안전관리, 방사성물질 등의 취급, 방사선장해방어, 방사선 안전관리 규정 및 관계법령 등의 내용이 포함되어야 하며, 이는 해당 업무를 맡은 담당 직원 및 차장은 반드시 125  
거쳐야 하는 교육 과정이다. 두 번째는 사외교육으로서 필요시 특정 분야에 대해  
연구소등 외부 기관에 위탁하여 이수하게 되는 교육 과정이다.



월성 1호기 최종안전성분석보고서



125

그림 12.7-1 본사의 방사선방호계획에 대한 조직도

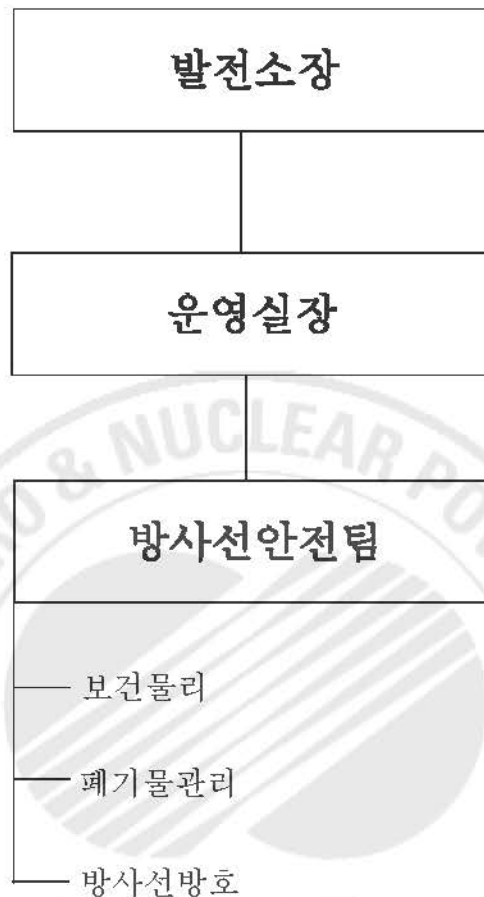


그림 12.7-2 현장의 방사선방호계획에 대한 조직도

월성 1호기 최종안전성분석보고서

## 12.8 방사선관리계획

### 12.8.1 목적

방사선관리계획은 발전소 전 종사자와 방문객들의 방사선 피폭을 최소화하는데 그 목적을 가지고 있다.

이러한 목적은 운전 및 보수 등에 관련된 업무에 대하여 승인된 절차, 적절한 작업계획 및 안전한 직업관례를 통하여 성취된다.

방사선안전팀/방재환경팀은 발전소 방사능 영향으로부터 종사자와 일반대중을 보호하기 위한 정책 및 규정의 수립, 해석 또는 감독하는 기본적인 책임은 물론 종사자들에 대한 방사선방호 교육 등 방사선 안전에 관한 업무를 수행한다.

방사선안전팀/방재환경팀은 발전소 방사선관리계획의 효율성을 주기적으로 검토하며 개인 방사선피폭선량을 기록유지하고 이에 관한 자료를 원자력안전위원회에 보고하는 책임을 갖는다.

방사선안전팀/방재환경팀은 다음과 같다.

- 가. 방사선 안전관리에 관한 절차서 검토 및 작성
- 나. 개인 방사선피폭선량 평가 및 기록유지
- 다. 모든 방사선학적 자료수집 및 종합
- 라. 방사선방호 개발 및 권고 업무
- 마. 방사선방호에 관련된 보고
- 바. 대외부서와의 방사선방호에 관련된 업무 협의
- 사. 방사선관리구역의 설정
- 아. 방사선방호에 대한 종사자들의 교육
- 자. 환경방사능 시료채취, 분석, 평가 및 기록 등 환경방사능 계획

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 업무 수행

- 차. 방사선 측정 장비들에 대한 주기적 점검 및 교정업무
- 카. 개인 신체검사에 대한 기록유지 및 평가
- 타. 방사선방호 장비에 대한 점검 및 공급
- 파. 방사성물질의 수송에 관련된 업무
- 하. 방사성폐기물 관리업무
- 거. 방사선 비상관련 업무수행

### 12.8.2 시설 및 장비

방사선관리 시설 및 장비는 출입관리구역을 포함하여 탈의실, 제염실, 폐기물처리실, 샤워실, 실험실, 고정 방사선측정기, 휴대용 방사선계측기, 방사선방호 장비 및 개인 피폭선량계 등이 있으며 그 세부내용은 다음과 같다.

#### 12.8.2.1 방사선관리 시설

발전소 방사능 오염의 측정, 제염 및 오염의 확산을 방지하여 모든 종사자의 피폭을 최소화시키는 목적을 갖는 다음과 같은 시설을 포함한다.

- 가. 출입관리구역 : 방사선관리구역을 정하여 구역내 출입관리지점에 손발오염검사기를 설치, 구역간의 방사성물질 오염의 확산을 방지한다.
- 나. 탈의실 : 방사선작업을 수행하기 이전 관리구역 작업복을 착용하기 위한 장소
- 다. 제염실 : 방사성오염물질을 제거하는 곳으로 세탁기, 건조기, 크리너, 후드 설비 등이 포함된다.
- 라. 폐기물처리시설 : 발전소내에서 발생된 각종 폐기물을 처리하



### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

는 시설로 드럼, 베일러머신, 저장창고, 필터 플라스크, 휘크티 후트 및 탱크 등이 있다.

마. 샤워실 : 방사선작업후 또는 비상사고시 종사자들의 제염을 하기 위한 설비임.

바. 실험실 : 방사선외폭선량 및 주위환경 오염도를 측정하는 설비로 보건물리 실험실 및 환경방사능 실험실 등이 있다.

#### 12.8.2.2 방사선관리 장비

발전소 내외의 방사성오염도 및 개인외폭선량을 측정하거나 방사선 작업에 필요한 장비 등을 포함한다.

가. 고정 방사선 계측장비

##### 1. 고정 오염감시기

발전소 내외의 고정된 위치에서 각종 방사선 준위 및 오염도를 측정하는 설비로 고정지역 감시설비 등이 있다(표 12.8-1 참조).

##### 2. 실험실 장비

실험실 내에서 개인외폭선량 및 환경방사능 시료를 측정하는 설비로 감마핵종 분석기 등이 있다(표 12.8-2 참조).

나. 휴대용 방사선계측 장비

발전소 내외의 시료를 채취하거나 측정하는 휴대용 설비로 휴대용 방사선계측기, 공기시료채집기, 개인 방사선감시기 및 비상사태용 계측기 등이 있다(표 12.8-3 참조).

다. 방사선방호 장비

방사선관리구역 내에 출입하는 모든 사람에 대하여 방사선 안

### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

전작업 및 신체오염을 방지하기 위하여 사용하는 장비로써 그 종류는 다음과 같다.

1. 방사선관리구역 작업복
2. 작업가운
3. 플라스틱 작업복 및 후드
4. 작업화
5. 비닐 덧신
6. 일회용 비닐 방호복
7. 면 및 고무 장갑
8. 방호경
9. 내의
10. 반면 및 전면 호흡기

#### 12.8.3 방사선관리구역 구분

모든 종사자들이 방사선 안전 및 오염통제를 적절히 수행하도록 아래와 같이 방사선관리구역 및 고방사선구역 등을 정하여 운영한다.

##### 12.8.3.1 방사선관리구역

외부방사선량률이 주당 400  $\mu$ Sv 지역, 공기중 방사성동위원소 농도가 유도공기중농도 이상인 지역, 방사성동위원소에 의한 물건표면의 오염도가 허용표면 오염도 이상인 지역은 방사선관리구역으로 설정하여 관리한다.

##### 12.8.3.2 고방사선구역

방사선관리구역내 방사선원 표면 또는 차폐체 표면에서 30 cm 떨어진

어진 곳에서의 외부방사선량률이 시간당 1 mSv를 초과하거나 초과할 우려가 있는 방사선관리구역의 출입구에는 무단출입을 방지하는 장치와 위험을 알리는 표지를 설치한다.

#### 12.8.4 방사선작업허가서

방사선관리구역에서 방사선작업이 요구될 때 작업담당 부서장은 방사선작업계획서를 작성하여 방사선안전팀장의 승인을 받아야 한다.

125

방사선작업이란 방사성계통이 있는 지역 또는 방사선준위가 높거나 오염이 존재하는 지역 등에서 작업을 할 경우 혹은 방사성선원을 취급하는 경우를 말한다.

허가를 발부받은 종사자의 작업안전책임은 적절한 지휘감독을 포함하여 작업담당 부서장이 진다.

##### 12.8.4.1 허가서 종류

##### 12.8.4.1.1 작업별 방사선작업 허가서

가. 작업별 허가서는 단기간 사용되는 허가서이다.

나. 허가서에는 다음 사항이 명시되어야 한다.

1. 작업개요(작업기간, 출입구역, 작업부서, 작업내용 등)
2. 방사선 조건
3. 개인선량계
4. 추가 방호장비
5. 주의 및 특기사항
6. 예상 작업피폭량
7. 검토 및 승인

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.8.4.1.2 일반 방사선작업 허가서

일반 방사선작업 허가서는 점검 및 순시업무, 방사선(능) 측정 및 시료채취업무, 세탁작업 등과 같은 피폭의 우려가 적은 일상적이고 반복적인 업무 수행시 사용되는 계획서이다.

### 12.8.5 피폭관리

방사선작업계획 수립시 중요 고려사항은 예상 총피폭선량이다. 이 작업허가서는 개인별 및 총피폭선량을 평가할 수 있도록 작성되어야 한다.

#### 12.8.5.1 외부피폭관리

외부피폭선량의 관리는 방사선량이 변함에 따라 개인별로 방사선관리구역에서 소비하는 시간을 통제함으로써 이루어진다.

또한 보조선량계를 착용하도록 하며 실제 피폭된 선량을 스스로 확인하도록 하여야 한다.

고선량피폭을 최대한 피하도록 하여 각 개인피폭선량이 실제 가능한 한 골고루 장기간 동안 분산되어 피폭되도록 하여야 한다.

열형광선량계를 발전소내 방사선관리구역에 출입하는 모든 종사자들에게 발급하여야 하며 이 선량계들은 각 개인의 고유 번호를 부여 일련번호를 사용한다.

종사자들은 방사선관리구역에 출입할 때는 항상 주선량계와 보조선량계를 착용하여야 하며 선량계는 선량계보관함에 두고 유지관리하여야 한다.

이 선량계 평가는 적어도 3개월에 1회 실시하여야 한다.

비상사고에 관련된 종사자들 또는 고 피폭의 의심이 있는 종사자

들은 즉시 선량계를 판독하여야 하며 이 경우 대상자는 선량계 판독결과 및 상황 평가가 나올 때까지는 방사선 작업을 할 수가 없다.

전신 및 피부 외부피폭 측정기록은 개인 열형광선량계를 판독하여 보존된다.

#### 12.8.5.2 내부피폭선량 관리

내부피폭관리에 가장 중요한 내부피폭을 주는 삼중수소 섭취에 대한 허용기준이 규정되어야 한다.

이 기준은 방사선 작업금지와 재복귀작업 기준을 명시하여야 한다.

다른 방사성물질에 대한 내부섭취도 방지하도록 하며 이에 대한 내부섭취 허용기준, 방사선 작업금지 기준 및 재복귀작업 기준도 명시되어야 한다.

발전소내 방사선관리구역에서 작업하는 종사자들의 방사성물질 섭취에 대한 내부피폭선량 평가는 소변시료를 채취하여 수행한다.

방사선안전팀에서는 방사선관리구역 출입자의 경우 출입내용 및 보유농도에 따라 주단위 또는 월단위로 소변시료를 제출하게 하여 과대한 내부피폭이 예상되는 종사자에 대해서는 작업후 즉시 시료를 제출토록 하여 선량을 평가, 기록 보존한다. 125

전신계측은 소변시료 결과가 중대성을 띠는 경우 즉시 실시되며 모든 방사선작업종사자는 정기적으로 매년에 한번 실시한다.

#### 12.8.6 방사능오염관리

방사능오염관리의 목적은 발전소내외의 오염확산을 방지함으로써 내부피폭을 최소화하는데 있고 2차 목적은 측정설비에 낮은 자연방사선 준위를 유지하는데 있다.

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

그러나 오염발생이 잦은 구역 또는 출입이 통제된 지역을 제염하는 데는 실제로 많은 어려움이 뒤따르므로 이러한 지역에 출입하는 종사자들을 보호하며 부근지역에 오염확산을 방지하기 위한 적절한 조치 및 대비책을 강구하여야 한다.

그리고 이 지역에는 규정된 표지판을 눈에 잘 띄게 부착하여야 한다.

### 12.8.6.1 사람의 이동

방사성물질의 오염확산을 방지하기 위한 기본적인 방법은 사람의 이동을 관리하는 데 있다. 사람의 이동은 지정된 통로를 사용, 즉 발전소내 방사선관리구역간의 출입통제지점을 사용하여 통제한다. 모든 사람이 방사선관리구역을 떠날 때는 원칙적으로 규정에 명시된 방사성오염기준을 초과하지 않아야 한다.

### 12.8.6.2 개인위생 및 음식물관리

- 가. 청결한 개인위생은 내부오염을 방지하는데 크게 기여하므로 연필을 씹거나 손톱을 깨무는 등 방사성물질이 입으로 전달되는 결과를 초래하는 습관과 타성을 버리도록 노력하여야 한다.
- 나. 방사성물질을 다루거나 손오염이 가능한 지역에서 작업한 경우 작업종료후 손을 씻도록 한다.
- 다. 특별히 허가된 지역을 제외하고는 발전소내 음식물을 반입하거나 방사선관리구역내에서 음용하여서도 안된다.
- 라. 승인된 절차에 따라 허가된 장소에서는 흡연이 가능하나 금연 표지가 있는 장소, 방사선작업 중 또는 이동성오염이 있는 곳에서는 흡연할 수 없다.

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.8.7 방사성동위원소의 사용 및 저장

방사성동위원소 등의 취급은 다음의 면허 또는 자격소지자가 하거나 방사선관리구역에 출입하여 업무를 수행하는데 필요한 방사선방호교육을 받은 자가 다음의 면허 또는 자격소지자의 지시, 감독하에 하여야 한다.

가. 방사성동위원소 취급자 일반면허

나. 방사선취급 감독자 면허

다. 방사선관리 기술사

#### 12.8.7.1 방사성동위원소 저장

사용하지 않는 방사성동위원소는 용기에 넣어 저장하되 저장실 외부 출입지역의 방사선준위는  $25 \mu\text{Sv/h}$  이하이어야 한다.

#### 12.8.7.2 방사성동위원소 취급

방사성동위원소를 취급할 경우, 필요시 원격조종도구 등을 사용하여 피폭을 최소화시켜야 한다.

#### 12.8.7.3 방사성동위원소와 용기에 표지부착

방사성동위원소 또는 용기에는 아래 사항이 기재된 표지를 부착하여야 한다.

가. 핵종 및 선원의 물리적 형태

나. 선원의 강도 및 측정 일자

다. 경고문



### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

#### 12.8.7.4 방사성동위원소의 누설시험

밀봉된 방사성동위원소(이하 “밀봉선원”이라 한다)의 누설점검을 하여야 하는 방사선원은 다음과 같다.

가. 베타 및 감마선을 방출하는 밀봉선원으로서 방사능량이 3.7 MBq을 초과하는 것(물리적 반감기가 30일 이하의 것은 제외한다)

나. 알파선을 방출하는 밀봉선원으로서 방사능량이 0.37 MBq을 초과하는 것(물리적 반감기가 30일 이하의 것은 제외한다)

밀봉선원에 대한 누설점검의 시기는 다음과 같다.

가. 밀봉선원을 신규로 인수하였을 경우에는 취득일로부터 30일 이내

나. 사용중인 밀봉선원에 대해서는 매 1년

다. 최근 6월 이내에 누설점검을 실시하지 아니하고 보관 또는 저장하고 있는 밀봉선원에 대해서는 사용을 재개하기 직전

라. 상기의 규정에 불구하고 밀봉선원의 제작자가 서면으로 누설점검의 시기 및 유효기간을 지정한 경우에는 이에 따를 수 있다.

다만, 이 경우에 사용자는 관련 증빙서류를 확보하고 있어야 한다.

밀봉선원의 누설점검 방법을 문지름시험, 건조 문지름시험 또는 가

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

열 및 침수시험으로 할 경우 누설점검의 합격기준으로서 시료의 계측결과 해당 밀봉선원을 구성하고 있는 핵종의 총 방사능량이 200 Bq을 초과하지 아니하는 경우에는 밀봉선원의 누설이 없는 것으로 간주한다.

227

### 12.8.7.4.1 누설선원에 대한 조치

누설점검의 실시결과 누설이 확인된 방사선원은 사용의 정지 등 필요한 안전조치를 취하고 원자력안전위원회 위원장에게 즉시 보고하여야 한다.

185

### 12.8.7.5 방사성동위원소 재고조사

방사성동위원소의 재고조사는 년 1회 실시하여야 한다.

### 12.8.8 제염

제염의 2가지 주요 목적은

가. 잠정적 건강장해를 제거하고

나. 제염을 안 하면 폐기될 장비나 기구들을 사용가능하게 하는 것으로 관리구역 작업복, 호흡장비 및 기계, 기구류 등은 승인된 방법으로 제염한 후 오염검사를 실시하여 규정된 오염도 이하가 될 경우 재사용 및 방사선관리구역 밖으로 반출하도록 관리

월성 1호기 최종안전성분석보고서

하여야 한다.

12.8.9 방사능 표지판 설치

방사능 표지판은 원자력관계법령에 따라 규정된 표지를 사용하여 원자력발전소 내에 출입하는 모든 사람들에게 경고를 주도록 눈에 잘 띄는 장소에 설치하여야 한다.

12.8.10 방사선방호 교육

월성 1호기 방사선방호 교육은 원자력안전위원회 고시 “방사선안전관리 등의 교육·훈련에 관한 규정”에 의거 운영하되 방사선작업을 위한 신규 및 기존 종사자들의 방사선관리구역 출입과 방사선 장애방어 및 안전관리에 필요한 교육시행 등에 관한 세부사항은 별도의 절차서를 수립하여 실시한다.

185

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.8-1 방사선(능) 감시기

번호	장비명	용도
1	고정지역감시기 (Fixed Area Monitor)	발전소내 높은 감마선량률이 예상되는 지역을 감시(표 12.8-4 참조)
2	기체유출물 감시기 (Gaseous Effluent Monitor)	외부방출 배기내 방사능 감시
3	액체유출물 감시기 (Liquid Effluent Monitor)	외부방출 배수내 방사능 감시
4	공기중삼중수소 감시기 (Tritium in Air Monitor)	발전소내 삼중수소의 오염도가 높은 지역 감시
5	손발오염 감시기 (Hand and Foot Monitor)	오염의 분산확대를 방지하기 위한 오염도 검사
6	전신오염 감시기 (Portal Monitor)	청정구역으로 나갈 때 최종 신체외부오염도 검사
7	원자로건물내 대기감시기 (R/B Air Monitor)	원자로건물내 공기오염도 검사
8	환경방사능 감시기 (Environmental Radiation Monitor)	발전소 주위의 환경방사능 오염도를 연속적으로 감시

101

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.8-2 방사선(능) 측정장비

번호	장비명	용도
1	전신계측기 (Whole Body Counter)	내부 방사성물질 오염도 측정
2	감마핵종 분석기 (Gamma Spectroscopy System)	방사성물질 핵종 분석, 측정
3	액체섬광계수기 (Liquid Scintillation Counter)	에너지가 낮은 베타선을 방출하는 방사성물질 측정
4	환경방사능 시료측정기	환경방사능 시료의 $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ 오염도 측정
5	열형광선량계 판독기 (TLD Reader)	개인선량 측정
6	방사능 오염도 계수기 (Contamination Counter)	방사능오염도 측정

### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.8-3 휴대용 방사선(능) 계측장비

번호	장비명	용도
1	알파오염 측정기 (Alpha Survey Meter)	물품표면의 알파( $\alpha$ ) 방사성오염도 측정
2	중성자 선량률 측정기 (Neutron Survey Meter)	원자로건물 및 사용후연료 건식저장이송작업(SFDS)시 방사선조건 탐사용으로써 중성자선량률 측정
3	베타, 감마 선량률 측정기 (Beta-Gamma Survey Meter) 극고준위(Hi-hi Range) 고준위(Hi-Range) 중준위(Medium Range) 저준위(Low Range)	원자로건물 및 보조건물지역의 베타-감마 선량률 측정 및 물품 반출입시 선량률 측정
4	공기중 삼중수소 측정기 (Portable Tritium Monitor)	방사선관리구역 내의 공기중삼중수소 농도 측정 및 추이 감시
5	표면오염 측정기 (Contamination Monitor)	물품, 신체, 의복표면 및 바닥의 베타, 감마 오염도 측정
6	공기시료채집기	방사선관리구역 및 제한·보전구역 내의 공기중 방사성 미립자, 요오드 시료 채집
7	개인휴대용선량계	방사선작업시 개인피폭선량 측정용 보조선량계

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.9 방사선 선원

본 절에서는 차폐, 출입관리, 감시장비 및 환기계통 평가 등에 이용되는 방사선 선원에 대해 기술한다.

#### 12.9.1 차폐

본 절에서는 1차 차폐, 2차 차폐 및 보조차폐 설계에 이용되는 선원향에 대해 설명한다. 또한 특수차폐의 대표적 예로써 필터차폐평가에 대한 선원향이 여러 공정계통에 대해서 주어져 있다.

1차원 각분할 수송코드 ANISN(참고문헌 12.9-1)을 1차 차폐체 설계에 이용한다. 선원향은 전출력 정상상태 운전시 원자로물리 계산에서의 연료다발 출력분포로부터 구해진다.

이런 연료다발출력에 근거한 축방향 및 반경방향 핵분열밀도 분포가 위의 전산코드 계산에 이용된다. 1차원 원통형 및 평판형 기하구조 계산에서의 다군 중성자 및 감마선원 분포는 핵분열중성자 스펙트럼 및 핵분열생성물 붕괴 감마스펙트럼과 핵분열밀도의 곱으로서 얻어진다.

이 전산코드를 이용하여 연료내 중성자포획 감마 및 칼란드리아와 다른 구조물 내의 중성자포획 감마값을 구한다. 차폐 구조내 방사화 감마선원 및 노심내 핵분열생성물 붕괴 감마선원은 원자로 정지후 차폐평가를 위해 계산한다.

다른 차폐형태에 대한 선원향은 다음 절에 기술된다. 선원향 계산을 위한 수학적 모델, 가정 및 변수는 참고문헌 12.9-2에 제시되어있다.

#### 12.9.1.1 냉각재계통

냉각재계통내 방사선 선원은 11.2.1.1절에 간단히 기술되어 있다. 차폐설계시 방사선 선원은 노심을 통과할 때 방사화로 인한 냉각재의 유도방사능,



## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

부식생성물 및 핵분열생성물 등이다.

노심 출구에서 N-16, O-19 및 F-17의 유도방사능은 각각  $2.24 \times 10^6$  Bq/g-D<sub>2</sub>O,  $2.10 \times 10^5$  Bq/g-D<sub>2</sub>O 및  $7.49 \times 10^5$  Bq/g-D<sub>2</sub>O이다. 냉각재계통 기기에서의 N-16 방사능 준위는 그림 12.9-1에 있다. 수분 이내의 짧은 붕괴시간을 갖는 고에너지와 고방사능의 N-16 감마방사선에 의해 주로 차폐가 영향을 받는다. 보조계통 기기의 차폐설계시, N-16, O-19 및 F-17의 방사능 준위가 감소되는 것을 고려하기 위해 냉각재계통으로부터 보조계통으로의 지연을 고려하였다.

광중성자(Photoneutrons)는 고에너지의 N-16 감마선과 D<sub>2</sub>O와의 상호작용에 의해 냉각재 내에 생성된다. 비차폐시 광중성자 선량률은 냉각재계통내 한 기기로부터의 N-16 감마선량률의 약 10 %정도이다. 일반적으로 콘크리트 차폐는 출입가능구역으로부터 방사성장비를 분리하는 데 사용된다. 따라서 광중성자 선량률은 무시할 만하다.

냉각재계통내 부식 및 핵분열생성물에 대한 설계기준 선원항은 표 12.9-1에 제시되어 있다. 정화계통 장비 주변의 차폐시 이러한 값과 냉각재계통으로부터의 적절한 지연을 고려한 유도방사능 준위들이 고려된다. 차폐계산에 이용된 이온교환수지의 방사능 또한 상기 표에 제시되어 있다.

### 12.9.1.2 감속재계통

감속재계통내 방사선 선원은 11.2.1.2절에 간단하게 기술되었다. 차폐설계시 방사선 선원항은 유도방사능 및 부식생성물 방사능이다.

칼란드리아 출구에서의 유도방사능에 대한 설계기준 선원항은 N-16, O-19 및 F-17에 대해 각각  $3.15 \times 10^6$  Bq/g-D<sub>2</sub>O,  $4.26 \times 10^6$  Bq/g-D<sub>2</sub>O 및  $1.82 \times 10^6$  Bq/g-D<sub>2</sub>O 이다. 광중성자 생성확률은 D<sub>2</sub>O내 N-16 감마흡수당 약  $6 \times 10^{-3}$ 으로 취해진다. 비록 중성자의 일부가 열교환기 세관 외부의 경수나 중수

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

내에서 열중성자 에너지까지 감소되지만 모든 중성자는 배관 및 열교환기 등으로 부터 속중성자(fast neutron)로써 빠져 나온다고 가정한다. 출입가능구역과 장비 사이의 콘크리트 차폐로 광중성자 준위는 무시할 만하다.

차폐설계시 감속재 중수에서의 부식생성물의 설계기준선원항은 Co-60, Fe-59 및 Co-58에 대해 각각  $6.3 \times 10^3$  Bq/kg-D<sub>2</sub>O,  $1.1 \times 10^3$  Bq/kg-D<sub>2</sub>O 및  $6.2 \times 10^4$  Bq/kg-D<sub>2</sub>O이다. 이온교환수지의 방사능 준위는 감속재 중수내에서 순환하고 있는 부식생성물을 사용하여 계산하고 정화계통 운전조건 즉 정화 유량, 수지 교환시기, 수지 체적 등을 고려하여 계산된다. 이온교환수지에서 상기 방사성 핵종들에 대한 방사능 준위는  $7.8 \times 10^8$  Bq/L.resin,  $1.2 \times 10^8$  Bq/L.resin 및  $6.7 \times 10^9$  Bq/L.resin이다. 이온교환수지 및 정화계통 필터의 차폐 설계에 대한 부식생성물 선량률은 방출되는 감마선의 평균에너지가 1 MeV이고 접촉선량률이 1 Sv/h이라는 가정을 근거로 한 것이다.

### 12.9.1.3 감속재 상층기체계통

본 계통에서의 주 방사능은 헬륨기체중 Ar-40의 방사화로 생성되는 Ar-41이다(11.2.1.3절 참조). Ar-41의 반감기는 1.83시간이다. 비록 D<sub>2</sub>O 증기가 N-16, O-19 및 F-17과 같은 다른 유도방사능을 포함하더라도 농도나 비방사능이 무시할 만 하므로 방사선량률에 영향을 주지는 않는다. 즉 Ar-41이 설계요건에 지배적인 영향을 미친다. 차폐 설계시 설계기준 방사능준위는 칼란드리아 출구에 서의 약  $4.0 \times 10^3$  Bq/(cm<sup>3</sup> 기체혼합물)에 근거한다.

### 12.9.1.4 연료취급계통

연료교환 작업은 원자로 가동중에 수행된다. 차폐 설계시 사용후연료가 장전된 연료교환기로부터의 선량률이 고려되었다. 예를 들면, 원자로건물 외

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

부지역(중단차폐체 반대편)이나 연료교환기 보수실 근처의 출입가능지역에서 연료 교환 동안 연료교환기로부터의 감마선량률은 다음 내용을 고려하여 계산되었다.

연료교환기는 17분간의 평균 냉각시간을 갖는 최대출력채널로부터의 8개 사용후연료다발이 장전된다. 이런 조건하에서 에너지 함수로서의 사용후연료내 핵분열생성물 감마선원은 표 12.9-2에 제시되어 있다. 이런 선원항은 3차원 점 커널 적분코드(a three-dimensional point kernel integration code)에 입력자료로 이용하여(원자로면과 사용후연료 배출구에서의) 연료 수송시 연료교환기로부터의 방사선 준위를 계산한다.

### 12.9.1.5 사용후연료저장조계통

방출조 및 수용조에 존재할 수 있는 방사성 핵분열생성물은 냉각계통이기도 한 정화계통에 의해 제거된다. 주 저장조에서는 방사능이 무시할 만한 정도로 예상되지만, 필요할 경우 정화를 위해 정화계통이 이용될 수 있다. CANDU 원자로의 운전 경험에 의하면 본 계통의 펌프나 열교환기에서의 방사성 물질의 누적이 그리 중요시 되지 않음을 알 수 있다. 이온교환기나 필터의 차폐요건으로서 다음과 같은 선원항을 고려하였다.

수지 체적, 정화계통 유량률 및 이온교환기를 통과하는 유체 유량은 각각 850 L,  $3.04 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$  및  $1.52 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$ 의 값을 사용하였다. 연료손상률은 1%로 가정되었다(즉, 매년 50개의 방출다발이 손상된다). 연료손상률이 0.1%이하 즉, 매년 방출되는(대략) 5800개 다발중 단지 5개 다발이 손상되므로 이 값은 매우 보수적이다(11.2.1.4절 참고). 이런 가정하에 180일의 가동후 850 L 수지내의 동위원소 방사능은 I-131이  $9.5 \times 10^{11} \text{ Bq}$ , Cs-134가  $1.3 \times 10^{12} \text{ Bq}$ , 그리고 Cs-137이  $4.9 \times 10^{12} \text{ Bq}$ 로 계산되었다.

필터의 차폐요건에 따라 접촉 선량률은 1 Sv/h 정도로 높게 보수

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

적으로 가정하였다.

### 가. 수용조(Reception Bay)

수용조 내 물 두께 요건을 정의하기 위해, 수용조는 2개 층으로 4개의 트레이가 있는 것으로 가정되었다. 각 트레이는 최대출력 채널로부터 24개 사용후연료다발을 갖는데, 상층 트레이의 최소 붕괴다발은 2시간으로부터 하층 트레이의 최대 붕괴다발은 5일까지의 붕괴시간 범위를 갖는다. 핵분열생성물의 붕괴 감마선원은 3개의 에너지군으로 나누어진다. 즉, 1군은  $0.2 - 0.9 \text{ MeV}$ 이며 평균에너지  $\bar{E} = 0.55 \text{ MeV}$ 이고, 2군은  $0.9 - 2.2 \text{ MeV}$ 의 평균에너지  $\bar{E} = 1.55 \text{ MeV}$ 이고, 3군은  $2.2 - 3.5 \text{ MeV}$ 로 평균에너지  $\bar{E} = 2.85 \text{ MeV}$ 이다. 붕괴시간에 따른 각 군의 감마선원은 표 12.9-3에 제시되어 있다.

### 나. 주저장조(Main Storage Bay)

사용후연료 저장조의 트레이는 19개 높이로 더미를 이루고 한 줄(array)에 9개 더미의 폭과 12개 더미의 길이로 정렬된다. 사용후연료의 19개 트레이 더미가 가득 찬 후에 다음 더미를 사용한다.

9개 더미가 사용후연료로 가득 찬 후 수조를 가로질러 놓이게 되고 다른 9개의 더미가 쌓이게 되면 고려되는 9개의 더미 세트 내의 다발만이 선량을 계산에 크게 영향을 줄 것이다. 주당 4개의 트레이가 가득찬다. 그러면 각 더미는  $19/4 = 4.75$ 주 동안 수집된 트레이를 수용하게 된다. 그러므로 1주일 붕괴된 트레이(즉, 주저장조에 들어간 다발들에 대한 정상적 붕괴시간)의 한쪽 면에 위치한 다른 트레이는 5.75주의 붕괴시간을 갖게 되고 그

### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

반대편 트레이는 10.5주의 붕괴 시간을 갖게 된다. 이런 조건하에서 차폐 계산에 이용되는 감마선원 강도는 표 12.9-3에 제시된다.

#### 12.9.1.6 차폐냉각계통

정화회로를 포함하는 본 계통은 물에 포함되어 있을 수 있는 부식생성물, 불순물 및 화학물질을 제거한다. 이런 물속의 방사능에 기인한 방사선 선원의 설계기준은 다음과 같이 분류될 수 있다.

- 가. 유도 방사능 : 수중 산소의 중성자 방사화에 기인한 것으로 주요 방사성동위원소는 N-16과 O-19이다.
- 나. 방사화 부식생성물 : 계통순환수는 계통의 부품표면을 부식시키며, 수송된 부식생성물은 중단차폐체와 칼란드리아실 내의 중성자속에 의해 방사화된다.
- 다. 방사화 불순물 : 비록 계통 내로 유입되는 물은 미리 탈염되지만 차폐체 내에서 방사화된 약간의 불순물을 포함할 수 있다. 또한 수중 용존 공기중의 Ar-40의 방사화물질인 Ar-41이 발견될 수 있다.

차폐냉각수내 동위원소의 비방사능과 펌프, 열교환기 및 이온교환기 차폐요건에 이용되는 선원강도가 표 12.9-4에 주어져 있다. 불순물/부식생성물 농도는 25  $\mu\text{g/kg-H}_2\text{O}$ 의 구리, 4  $\mu\text{g/kg-H}_2\text{O}$ 의 철, 15  $\mu\text{g/kg-H}_2\text{O}$ 의 나트륨, 10  $\mu\text{g/kg-H}_2\text{O}$ 의 아연, 그리고 500  $\mu\text{g/kg-H}_2\text{O}$ 의 아르곤(참고문헌 12.9-2 참고)이라고 가정하였다. 계통수 내 방사능준위의 측정농도는 11.2.1.6절에서 설명된다.

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.9.1.7 액체영역제어계통

액체영역제어계통은 경수유로 및 헬륨기체유로로 구성된다.

경수유로에 대한 차폐요건은 경수회수배관, 경수회수모관 및 지연 탱크와 같은 장비의 모든 부분에 대한 수중 N-16 유도방사능에 의해 크게 영향 받는다. O-19와 1차 부식생성물이 펌프와 열교환기의 선량률에 영향을 준다. 이온교환기 선량률은 근본적으로 모든 부식생성물에 기인한다.

노심 출구에서의 수중 N-16과 O-19 방사능은 각각  $2.34 \times 10^7$  Bq/cm<sup>3</sup> 및  $1.0 \times 10^6$  Bq/cm<sup>3</sup>로 계산되었다. 이런 수치와 적절한 지연은 경수유로 내 장비의 차폐설계시 고려된다.

부식생성물 방사능 준위는 계통내에서 순환하고 있는 4 µg/kg.H<sub>2</sub>O의 강(steel)에 의한 부식생성물에 근거한다. 나트륨 불순물은 보충수공급으로부터 유입될 수 있으며 5 µg/kg으로 가정되었다. 이런 나트륨의 주입으로 계통내 0.71 µg/Mg.H<sub>2</sub>O의 평형불순물 농도가 존재한다.

이런 조건하에서, 수지 수명 및 정화 유량 등의 운전자료를 고려하면 이온교환기의 선원항은, Mn-56이  $3.5 \times 10^3$  Bq/cm<sup>3</sup>, Fe-59가  $1.20 \times 10^2$  Bq/cm<sup>3</sup>, Co-60이  $2.8 \times 10^2$  Bq/cm<sup>3</sup> 그리고 N-24가 7.6 Bq/cm<sup>3</sup>로 계산되었다. 강에 의한 부식생성물내 망간 및 코발트 농도는 각각 1 % 및 0.025 %(250 ppm)이다.

헬륨기체유로의 기체 내에서 생성되는 주요 방사성동위원소는 Ar-41이다. 상업용 헬륨기체에 50 ppm의 아르곤이 포함되어 있다는 가정에 근거하면 노심 출구에서의 Ar-41의 비방사능은  $7.34 \times 10^3$  Bq/(cm<sup>3</sup> 기체혼합물)로 계산되었다. 이 값이 헬륨저장탱크, 압축기, 재결합기, 헬륨조절기(helium balance) 및 버블러 배관의 차폐요건에 사용된다.

액체영역제어계통에서의 방사성핵종 측정농도는 11.2.1.7절에 제시

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

된다.

### 12.9.1.8 환형기체계통

CO<sub>2</sub> 기체는 압력관과 칼란드리아관 사이의 환형 공간을 통하여 저압에서 순환된다. CO<sub>2</sub>에는 저농도의 Ar-40(15 ppm) 불순물이 포함되어 있다. 환형기체계통 내 장비 주위에서 방사선 선량률은 Ar-41에 기인된다. 이들 기기에 대한 차폐요건은 Ar-41의 비방사능  $2.5 \times 10^4$  Bq/cm<sup>3</sup>에 근거한다. 점 선원, 선 선원 및 원통형 체적 선원 근사법이 본 계통의 장비 여러 부분에 대한 선량률 및 차폐요건 계산시 고려되었다.

C-14도 본 계통에서 생성된다. 이것은 반감기가 5,760년이며, 0.05 MeV의 평균에너지로 베타방출(감마방출이 아님)을 한다. 즉, 차폐요건에 영향을 주지 않는다. C-14가 본 계통내에서 한정되는 한 장비 주위에서 어떤 차폐문제점을 유발하지 않는다. C-14 생성률에 관한 자세한 내용은 11.3.2절에 기술되어 있다. 11.2.1.8절에는 환형기체계통의 방사성동위원소 측정준위가 제시되었다.

### 12.9.1.9 폐기체관리계통

폐기체관리계통은 불활성기체의 환경방출을 줄이기 위하여 설계되었다. 냉각재계통으로부터 방출되는 불활성기체의 농도는 주로 중수수집계통에서 발견된다. 연료교환계통은 방사성 불활성기체의 또 다른 선원이다. 그래서 본 계통은 중수수집탱크와 결합연료 임시저장통(carousel)으로부터 생성되는 폐기체를 처리한다.

본 계통의 주요 부품은 흡착기, 압축기, 냉동기기 및 배관 등이다. 장비의 공유 문제로 1호기에 위치한 본 계통부품이 2호기에 또한 이용된다. 1, 2호기 사이의 터널을 통하여 배관이 연결되어 있다.



## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

본 계통에서 예상되는 방사성핵종 농도는 표 11.2-7에 제시된다. 차폐 설계요건은 이런 선원향을 근거로 하여, 두 개 경로의 동시 퍼지, 즉 중수수집 경로의 연속 퍼지와 결합연료 임시저장통 경로의 불연속 퍼지(하루당 8시간)가 고려되었다. 흡수체는 28일 동안 방출을 지연시켜 주요 불활성기체(Xe-133)의 방사능을 1/40배까지 감소시킨다.

### 12.9.1.10 중수세정계통

월성 1호기에 위치한 중수세정기기는 월성 2호기와 공유한다. 본 계통의 주요 방사성부품은 6개의 주입탱크(저등급 중수저장탱크), 세정될 중수를 포함하고 있는 2개의 주입 드럼, 물속의 용해성 방사화물순물의 대부분을 제거하는 이온교환기, 대부분의 유기물질 및 잔존 불순물을 제거하는 두 개의 다른 이온교환기, 그리고 흡착에 의해 기름을 제거하고 대부분의 입자물질을 보유하는 활성탄필터로 되어 있다.

차폐해석에 이용된 선원향은 주입탱크가 냉각재계통으로부터 수집된 중수(표 12.9-1에 제시된 방사능을 갖고 있음)로 가득 차 있는 것으로 가정되었다.

가동 1년 후(이때 수지가 교환됨) 이온교환기의 동위원소 방사능은 표 12.9-5에 있다. 처리된 저등급 중수의 50 %는 방사능이 높은 냉각재계통으로부터 온다고 가정하였다. 그러므로 중수의 비방사능은 표 12.9-1에 제시된 값의 1/2이다.

중수세정계통 필터의 차폐설계에 대하여  $3.7 \times 10^{10}$  Bq의 Co-60 방사능이 필터에서 수집되는 것으로 가정되었다.

### 12.9.1.11 사용후수지 저장조

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

발전소 여러 계통의 이온교환기로부터 나오는 사용후수지는 정방형 콘크리트실에 저장된다. 이 계통들은

- 가. 사용후연료 저장조 냉각 및 정화계통
- 나. 차폐냉각계통
- 다. 중수세정계통
- 라. 액체방사성폐기물계통
- 마. 냉각재정화계통
- 바. 감속재계통 등이다.

수지내 다량으로 존재하는 긴 수명의 동위원소(Cs-137, Cs-134 및 Co-60)만이 차폐계산시 고려된다. 수지내 이러한 동위원소 농도 및 평가된 연간 방출률(정화계통은 항상 최대 정화유량으로 사용된다고 가정한 보수적 평가)은 표 12.9-6에 있다.

### 12.9.1.12 액체방사성폐기물관리계통

본 계통의 주요 기기는 각 원자로에 부속된 보조건물의 지하에 위치하는 5개의 콘크리트 저장탱크이다. 한 개의 필터, 한 개의 이온교환기와 관련 펌프 및 배관은 제염설비를 포함한다.

고방사능탱크에 대한 액체폐기물의 감마방사능은  $3.7 \times 10^2 \text{ Bq/cm}^3$  ( $0.01 \text{ } \mu\text{Ci/mL}$ )으로 가정된다. 액체 비방사능이  $78 \text{ Bq/cm}^3$  ( $2.1 \times 10^{-3} \text{ } \mu\text{Ci/mL}$ ) 이상일 때 제염작업이 수행되므로 이러한 가정은 보수적이다. 표 12.9-7에 주어진 동위원소의 방사능은 탱크 차폐요건의 근거가 되는 총 방사능으로부터 계산되었다.

이런 방사능과 제염작업시의 자료, 즉 필터/이온교환기를 통과하는

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

유량률, 수지 체적, 제염 작업기간 등에 근거하여 월성 1호기의 필터/이온교환기의 선원항이 결정되었다. 선원항은 3개 에너지군으로 나뉘어 계산되었고 감마선 평균에너지 0.25 MeV, 0.75 MeV 및 1.25 MeV에서 각각  $4.8 \times 10^4$  MeV/cm<sup>3</sup>.s,  $1.1 \times 10^5$  MeV/cm<sup>3</sup>.s 및  $4.1 \times 10^4$  MeV/cm<sup>3</sup>.s이다.

### 12.9.2 출입통제

발전소 운영 및 방사성물질의 사용과 연관되는 재해로부터 작업종사자 및 일반대중에 대한 방사선 방호는, 방사선원에의 접근제한, 시설물 설계특성의 조합, 그리고 승인된 절차나 규제지침의 준수에 의하여 달성된다. 적절한 관리를 위해 계측장비와 감시기가 설치된다.

원자로건물은 방사선원의 대부분을 포함하고 있다. 원자로건물 내에는 원자로 노심, 칼란드리아, 종단차폐체 기기, 냉각재 및 감속재계통 기기 및 그 보조기기의 대부분, 연료교환기 등이 있다. 통제조건하에서 출입가능한 원자로건물 내에서 어떤 구역은 원자로출력준위가 증가함에 따라 그리고 연료교환기가 '가동중' 연료교환 운전을 수행하고 있을 때는 출입이 허용되지 않는다. 12.5.1절에 기술한 바와 같이 이러한 구역은 잠금장치 및 연동장치가 설치되어 출입통제 측면에서의 발전소 운영을 보조하게 된다(표 12.5-1, 그림 12.5-1부터 12.5-5 까지).

표 12.9-8은 발전소의 대표적인 방사선 준위에 따라 구역설정 및 출입관리지정에 대한 일반적인 개념을 제공하고 있다. 구역설정과 출입관리가 종종 외부 방사선장과 관련되지만 공기중 삼중수소 오염도가 또한 중요하다. 표 12.9-8은 여러 지역에서의 공기오염준위(평가치)를 정량화하여 나타내고 있다. 이 값들은 건조기의 최소 성능, 설계기준누설률(부지누설률은 보다 낮음)과 발전소 수명말기때 냉각재계통 및 감속재계통의 삼중수소 방사능 준위 등에 근거하고 있다. 결론적으로 이들은 보수적인 값이다.

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.9.3 감시기기

방사선 감시는 선원의 생성을 제한시키거나, 방사선의 붕괴, 방사선 제거 및 방사선 영향을 측정하기 위한 정보를 제공한다. 두 개의 감시계통이 있는데, 하나는 발전소 종사자를 방호하기 위함이고 다른 하나는 일반대중을 방호하기 위함이다. 감시장비의 평가를 위한 선원항은 아래에서 기술하고 있다.

#### 12.9.3.1 발전소 감시

##### 12.9.3.1.1 기체 핵분열생성물 감시기

이 계통은 원자로 내의 결함연료 존재를 검출하고 I-131의 방사능을 점검한다. Xe-133, Kr-88, I-131 및 Xe-135의 농도를 알기 위하여 냉각재계통의 각 루프로부터 두 개의 시료관을 분석 장비에 연결시킨다.

각각의 Xe-133와 Kr-88 농도를 비교함으로써 'Pin hole' 연료손상을 지시하게 된다. I-131 농도를 측정하여 그 준위가  $1.85 \times 10^{13}$  Bq(500 Ci)에 이르면 경보 신호를 울리고,  $3.7 \times 10^{13}$  Bq(1000 Ci)에 이르면 원자로가 정지된다. Xe-135는 요오드 생성의 정후인데, 이때 요오드는 정화계통에 의해 냉각재계통으로부터 제거된다.

##### 12.9.3.1.2 결함연료 위치 탐지(지발중성자) 감시기

요오드 준위가 증가함에 따라, 연료피복재 손상 검출이 기체 핵분열생성물 감시기에 의해 탐지되고, 결함연료를 포함하고 있는 연료채널의 위치는 지발중성자 장비에 의해 탐지된다. 이 계통은 각 자관으로부터 시료를 채취하여 지발중성자 방출(본질적으로 I-137, Br-87)을 감시한다. 이를 통하여 결함 연료다

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

발이 존재하는 채널이 결정되고, 즉각적으로 채널로부터 결함연료를 제거할 수 있다.

### 12.9.3.1.3 공기중 삼중수소 감시기

원자로건물이나 보조건물 대기중의 삼중수소 검출을 위하여 고정형과 이동형의 삼중수소 감시기가 제공된다. 설계 목적으로, 공기중 삼중수소의 최대허용농도는 주 40시간을 기준으로 하여 약 0.5 DAC(유도공기농도)인  $3.7 \times 10^5$  Bq/m<sup>3</sup>(10  $\mu$ Ci/m<sup>3</sup>) 값을 취하였다.

원자로건물과 보조건물 내의 감시 지역은 표 12.6-2와 12.6-3에 나타나 있다. 삼중수소농도가 보건상 위험을 초래하는 한계치를 초과할 때 감시기는 경보를 울리게 된다.

### 12.9.3.1.4 고정 지역감시기

고감마선 예상지역에 고정 지역감시기가 제공된다. 이 감시기는 보통 다른 특정 구역에도 설치되어 있다.

고정 지역감시기는 저준위와 고준위에서의 경보장치가 있다. 저준위는  $10^{-2}$  mGy/h ~  $10^2$  mGy/h를 측정하며, 고준위는  $10^{-1}$  mGy/h ~  $10^3$  mGy/h를 측정한다. 이 감시기에 대한 추가정보는 12.5.3절에 기술되어 있다.

### 12.9.3.2 일반대중의 방호

일반대중은 정상운전이나 사고시에 발생할 수 있는 과도한 방사능 누출로부터 방호되어야 한다.

정상운전중 원자로건물로부터의 기체는 필터를 거친 후 기체 유출물감시기에 의해 측정된다. 액체 유출물감시기는 복수기 냉각수 도관으로 가는 액

월성 1호기 최종안전성분석보고서

개정번호 212  
2013. 01. 30

체 방사성폐기물관리시스템의 배출구에 설치되어, 배출구로 배출되는 유출물의 베타-감마 방사능 농도를 측정한다.

추가로, 원자로건물로부터 배기 공기의 시료를 채취하여 공기중 중수 농도를 감시하는 장치가 설치되어 있다. CANDU 6 발전소의 공기중 및 수중 삼중수소의 방사능 배출은 현재 약 118 TBq/yr(3200 Ci/yr)와 67 TBq/yr(1800 Ci/yr)의 평균값을 갖는다. 중수의 총 손실은 평균하여 약 3.9 Mg/yr이다. 중수 손실의 약 ⅓정도가 공기중 방사능 경로를 통해 발생되고, 그중 70%가 환기구역에서 발생하여 굴뚝을 통해 없어진다.

다음 절은 기체 유출물감시기, 액체 유출물감시기와 원자로건물 격리감시기 평가를 위한 선원향을 기술하고 있다.

12.9.3.2.1 기체 유출물감시기

이 감시기로 일일 유도배출한계(DRL)의  $10^{-4}\%$  ~ 10% 범위를 감지하며(11.7.2.1절 참조) 입자, 옥소(I-131) 및 불활성기체를 측정한다. 채취된 삼중수소 시료는 실험실에서 분석한다. 앞 절에서 설명한 바와 같이 월성 1호기는 삼중수소 배출을 관리하기 위한 공기 중 중수감시시스템이 있다.

월성 원자력발전소에서의 유도배출한계는 발전소 현장의 특정자료를 이용하여 이미 계산하였다. 월성 1호기 유도배출한계를 이용한다면, 기체 유출물감시기로 감시할 수 있는 전형적인 범위는 아래와 같이 설명할 수 있다.

입자, 옥소(I-131) 및 불활성기체의 공기중 배출에 대한 유도배출한계는 각각  $3.13\text{E}10$  Bq/월,  $1.88\text{E}12$  Bq/월 및  $2.94\text{E}14$  Bq-MeV/월이다.

공기는 입자필터를 통과하며 유도배출한계(DRL)의  $10^{-4}\%$  ~ 10% 측정범위를 갖는 베타 섬광검출기에 의해 그 방사능을 측정한다. 공기는 또한 활성탄 필터를 통과하게 되는데 모든 옥소 함유물이 포획된다. 옥소(I-131) 함유물은

### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

또한 유도배출한계의  $10^{-4} \% \sim 10 \%$  측정범위를 갖는 감마 섬광검출기에 의해 측정한다. 공기 시료는 이제 대부분이 불활성기체로만 구성되고 자연방사능이 제외되어 측정하는 베타 섬광검출기를 사용하여 측정된다. 이 계측기는 유도배출한계의  $10^{-4} \% \sim 10 \%$  측정범위를 가진다.

#### 12.9.3.2.2 액체 유출물감시기

이 감시기는 섬광검출기를 사용하여 배출되는 유출물(11.7.1절 참조)의 베타 농도를 측정한다. 이 장치의 측정 범위는  $7.4 \times 10^4 \text{ Bq/m}^3 \sim 7.4 \times 10^9 \text{ Bq/m}^3$  ( $2 \times 10^{-6} \text{ Ci/m}^3 \sim 2 \times 10^{-1} \text{ Ci/m}^3$ )이다.

액체 방사성폐기물의 최대 예상 방사능 준위는 저준위 폐기물인 경우  $7.4 \times 10^4 \text{ Bq/m}^3$  ( $2 \times 10^{-6} \text{ Ci/m}^3$ )이고, 보통 방사성 폐기물인 경우  $3.7 \times 10^8 \text{ Bq/m}^3$  ( $10^{-2} \text{ Ci/m}^3$ )이다. CANDU 6 발전소의 액체 방출물에서 측정된 방사성 핵종은 표 11.2-9에 있다. 전형적으로  $3.4 \times 10^8 \text{ Bq/m}^3$  ( $9.2 \times 10^{-3} \text{ Ci/m}^3$ ) 이상의 방사능을 갖는 액체 폐기물은 제염처리가 요구되는데 이것은 액체 유출물에서의 가장 제한적인 방사성 핵종에 근거한 것이다.

#### 12.9.3.2.3 원자로건물 격리감시기

원자로건물 격리감시기(총 6개)는 원자로건물 환기계통(RBVS)과 격리댐퍼 하단인 증수증기회수계통 배기도관에 설치되어 있다. RBVS는 원자로건물의 환기구역과 출입허용구역을 통하여 신선한 공기를 빨아들이고 이를 굴뚝으로 배출한다. 증기회수계통은 증기발생기실과 연료교환기실로부터 보조건물에 위치한 건조기를 통하여 공기를 순환시킨다. 따라서 원자로건물 대기중 어느 부분에서의 방사능방출도 굴뚝을 통하여만 이루어진다.

이러한 감시기는 도관을 통한 공기 흐름에 의해 방출되는 감마 방



## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

사선을 탐지한다. 선원항은 사고후 핵분열생성물이나 정상운전시 방출되는 불활성 기체로 구성된다. 댐퍼가 닫히는 격리설정치는 미리 결정된 에너지 범위 내에서 계측기로 측정된 불활성기체 혼합물이나, I-131의 감마선량률에 근거하여 설정되어 있다. 원자로건물의 방사능이나 압력이 높아졌을 때 발생하는 격리신호를 받아서 격리댐퍼가 닫힌다.

### 12.9.4 환기계통

CANDU 원자로의 환기계통은 공기공급계통, 비오염 배기계통 및 잠재 오염 혹은 오염 배기계통으로 구성되어 있는데, 이는 필터, 팬, 댐퍼, 도관과 제어기기를 포함하고 있다.

일반적으로, 환기계통은 공기중 오염도가 낮은 구역으로부터 높은 구역으로 공기가 흐를 수 있도록 설계한다. 두 개로 명확히 구별되는 환기계통이 있는데, 원자로건물 환기계통과 보조건물 환기계통이며 11개의 부계통으로 구성되어 있다.

원자로건물인 경우, 공기중 방사능 오염 제어는 출입가능지역과, 출입불가능지역을 포괄한다. 출입가능지역을 통해 연속적인 공기의 폐지유량을 제공한다. 정상운전중 지역간 문이나 원자로건물 출입구를 통한 종사자나 기기장치의 이동은 낮은 오염지역으로 약간의 공기가 역류할 수 있다. 폐지유량은 이러한 우발적인 누출로 인하여 출입가능지역 내에서 삼중수소화된 중수기체나, 기체 핵분열생성물 혹은 입자오염이 장기간 누적되는 결과를 가져오지 않도록 보장한다.

상호간의 오염 결과로 인하여 출입가능지역에서 발견된 어떠한 공기중 방사능 오염도 연속적인 공기흐름에 의해 제거된다. 잠재적으로 오염 소지가 있는 공기흐름은 환경으로 방출하기 전에 필터층(filter train)을 통과하게 된다. 필터에 의해 포획된 방사성 핵종은 차후 고체 방사성폐기물로 처분된다.

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

원자로건물의 출입불가능지역에서 일상적인 운전이나 비일상적인 운전과정에서 일어날 수 있는, 누출과 었지름(spill)을 억제시키는 것이 공기중 오염도를 제어하는 가장 효율적이고 경제적인 방법으로 간주된다. 그 외에도 증기회수, 방출 지연 및 여과 과정들을 고려할 수 있다.

재순환 건조 및 1차 여과과정을 거친 후 출입불가능지역으로부터 배출되는 공기는 2차 여과과정을 통과하게 된다. 그렇지만 약간의 기체 방사성폐기물은 여과되지 않거나 수증기로 회수할 수 없다. 따라서 공기를 장시간 지연시켜서 대부분의 방사능이 붕괴될 수 있도록 한다(예, 불활성기체). 이러한 방출지연은 폐기체관리계통과 같은 계통이 아니라 출입불가능지역의 환기를 출입가능지역의 폐지와 당연히 분리시키게 하는 것이다. 이러한 사실은 수 시간의 반감기를 가진 공기중 방사능 오염물(삼중수소 제외)이 밀폐된 원자로건물 안에서 상당 시간을 체류하게 됨을 의미한다(방출전 적어도 8시간).

공기 필터는 원자로건물 환기계통과 중수회수계통에 장치되어, 방사선 관리구역에서 환경으로 배출되는 공기중에 잔류하고 있는 고체 미립자를 제거한다. 필터층은 예비 필터, 고효율공기(HEPA) 필터, 활성탄 필터 및 고효율공기필터로 구성되어 있다.

누설 밀봉, 가동중 연료교환, 낮은 연료결함률, 기체 핵분열생성물 누출 및 결함연료를 탐지하는 고유하고 효과적인 계통 등을 고려해볼 때 CANDU 원자로는 미립자, 방사성 요오드 및 불활성기체 준위가 낮다는 것이 입증된다. 운전자료에 따르면 불활성기체, 미립자, 방사성 요오드의 평균 방출량은 각각  $30 \text{ TBq} \cdot \text{MeV}/\text{yr}$  ( $800 \text{ Ci} \cdot \text{MeV}/\text{yr}$ ),  $1.5 \times 10^{-5} \text{ TBq}/\text{yr}$  ( $4 \times 10^{-4} \text{ Ci}/\text{yr}$ ),  $1.9 \times 10^{-4} \text{ TBq}/\text{yr}$  ( $5 \times 10^{-3} \text{ Ci}/\text{yr}$ )이다.

원자로건물내 표면 오염과 공기중 방사능 오염의 일상적 측정결과 미립자 및 방사성 요오드는 일반적으로 자연 방사능 수준임을 보여주고 있다. 불

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

활성기체의 방사능도 낮다. 공기중 삼중수소 농도는 원자로건물내 위치에 따라 변한다.

보조건물 환기계통은 일방통행(once-through)의 공기 흐름을 제공하도록 설계되어 있다. 필요한 곳(즉, 사용후연료저장조 환기배기)에서는 대기 방출전 공기를 여과한다. 중앙배기계통에서 나오는 공기의 재순환은 금지되어 있다. 또한 중수승급설비 배기계통과 비오염 배기계통이 있다(9.4.2절 참조).

### 12.9.5 참고문헌

- 12.9-1 ANISN, "A One-Dimensional Discrete Ordinates Transport Code with Anisotropic Scattering RSIC Computer Code Collection, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee", CCC-82, 1968.
- 12.9-2 Shielding Design Manuals, Part 1 - Reactor Building and Part 2 - Service Building, DM-59-03200.1, Rev. 2, 1981 January, DM-59-03200.2, Rev. 0, 1978 October.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.9-1

냉각재계통의 중수와 이온교환수지의 방사성동위원소 방사능

동위원소	반 감 기	방 사 능 (Bq/kg Water)	방 사 능 (Bq/cm <sup>3</sup> Resin)
Co-60	5.22 y	4.63 E2*	5.86 E4
Fe-59	45 d	3.70 E2	3.40 E4
Co-58	71 d	1.85 E2	1.91 E4
I-131	8.05 d	1.11 E6	3.57 E7
I-133	20.5 h	2.78 E6	9.68 E6
Cs-137	30 y	3.70 E4	4.71 E6
Cs-134	2.05 y	1.85 E4	2.31 E6
La-140	40.3 h	1.11 E4	7.60 E4
Ba-140	12.8 d	1.11 E4	5.29 E5
Mo-99	66.7 h	7.40 E4	8.39 E5

\* 4.63 E2는  $4.63 \times 10^2$ 로 읽음.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.9-2

17분 봉괴후 사용후연료에 대한 핵분열생성물 봉괴 감마선원 강도

E (MeV)	S (MeV/W.s)
3.0	3.83 E9
2.4	3.79 E9
2.0	2.40 E9
1.6	8.59 E9
1.1	1.16 E10
0.6	2.53 E10

주 : 연료교환기 매가진(4개의 관) 내 8개의 사용후연료다발로부터 핵분열출력값 :

$$163 \text{ kW} + 387 \text{ kW} = 550 \text{ kW}$$

$$597 \text{ kW} + 723 \text{ kW} = 1320 \text{ kW}$$

$$764 \text{ kW} + 817 \text{ kW} = 1581 \text{ kW}$$

$$817 \text{ kW} + 764 \text{ kW} = 1581 \text{ kW}$$

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.9-3

사용후연료 트레이(Tray)의 연료다발 선원강도

붕괴시간 (h)	선원강도 (MeV/sbundle)		
	Group 1	Group 2	Group 3
2	1.33 E16*	8.46 E15	2.04 E15
4	9.35 E15	4.98 E15	4.45 E14
11	7.71 E15	3.59 E15	1.15 E14
18	6.93 E15	3.04 E15	8.81 E13
25	6.33 E15	2.75 E15	8.31 E13
33	5.80 E15	2.55 E15	8.19 E13
40	5.44 E15	2.43 E15	8.08 E13
47	5.15 E15	2.34 E15	7.96 E13
54	4.91 E15	2.26 E15	7.90 E13
1 week	3.26 E15	1.56 E15	6.25 E13
5.75 week	1.55 E15	2.58 E14	1.10 E13
10.5 week	1.07 E15	6.17 E13	2.31 E12

\* 1.33 E16은  $1.33 \times 10^{16}$ 으로 읽음.

# 월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.9-4

## 차폐냉각계통에서의 방사성동위원소 방사능

동위원소	반감기	외부 회로에서의 방사능 (Bq/cm <sup>3</sup> ·H <sub>2</sub> O)	펌프 및 열교환기 (Bq/cm <sup>3</sup> ·H <sub>2</sub> O)	이온교환기 (Bq/cm <sup>3</sup> ·Resin)
N-16	7.2 s	3.0 E2*	1.06 E2*	-
O-19	27.1 s	1.6 E2*	1.20 E2*	-
Mn-56	2.6 h	3.2 E-1	3.2 E-1	1.63 E2
Cu-64	12.8 h	7.3	7.3	1.85 E4
Fe-59	46 d	2.0 E-3	2.0 E-3	3.22 E2
Co-60	5.3 yr	1.4 E-3	1.4 E-3	4.02 E2
Zn-65	244 d	3.1 E-1	3.1 E-1	8.04 E4
Ar-41	1.8 h	7.1 E-1	7.1 E-1	-
Na-24	15 h	3.1	3.1	9.23 E3

\* 외부계통으로부터 펌프까지의 11초간의 지연시간과 펌프에서 열교환기까지의 무시할 만한 지연시간에 따른 영향을 포함하고 있음



월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.9-5

중수세정계통 이온교환기에서의 방사성동위원소 방사능

동위원소	$\lambda$ (s <sup>-1</sup> )	A <sub>L</sub> (Bq/kg·Water)	A <sub>c</sub> (Bq/cm <sup>3</sup> ·Resin)
Co-60	4.18 E-9	2.32 E2	9.18 E1
Fe-59	1.79 E-7	1.85 E2	1.39 E1
Co-58	1.13 E-7	9.25 E1	1.07 E1
I-131	9.98 E-7	5.55 E5	7.47 E3
I-133	9.41 E-6	1.39 E6	1.99 E3
Cs-137	7.34 E-10	1.85 E4	7.77 E3
Cs-134	1.07 E-8	9.25 E3	3.33 E3
La-140	4.79 E-6	5.55 E3	1.35 E2*
Ba-140	6.28 E-7	5.55 E3	1.19 E2
Mo-99	2.89 E-6	3.70 E4	1.72 E2

\* La-140는 유입되는 D<sub>2</sub>O로부터의 생성과 수지에 의해 수집된 Ba-140의 붕괴로부터 생성되는 두 개의 선원이 있음에 유의.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.9-6

사용후수지 방사능과 배출률

계 룻	Cs-137 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Cs-134 (Bq/cm <sup>3</sup> )	Co-60 (Bq/cm <sup>3</sup> )	수지배출률 (cm <sup>3</sup> /yr)
사용후연료 저장조	5.70 E6	1.58 E6	-	4.5 E6
차폐냉각	-	-	4.02 E2	1.2 E6
D <sub>2</sub> O 세정	7.77 E3	3.33 E3	9.18 E1	1.8 E6
액체 방사성폐기물	7.64 E4	3.54 E4	1.52 E4	1.1 E6
냉각재	4.77 E6	2.32 E6	6.25 E4	1.7 E7
감속재	-	-	2.67 E2	8.3 E6

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.9-7

액체방사성폐기물탱크의 방사능

동위원소	반감기	기여도 (%)	방사능 (Bq/cm <sup>3</sup> )
I-131	8.05 d	55.5	205
Cs-137	30 yr	16.6	61.4
Cs-134	2.05 yr	7.8	28.9
Ce-144	284.8 d	5.6	20.7
Cr-51	27.7 d	5.6	20.7
Mo-99	66.7 h	5.6	20.7
Co-60	5.22 yr	3.3	12.2

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.9-8

월성 1호기 출입관리

출입 관리 등급	출입규제	설정영역	대표지역	방사선량률 ( $\mu\text{Sv/h}$ )	유도공기 농도 (DAC) <sup>1</sup>
R <sup>2</sup>		보전구역	행정건물, 탈의실	< 1.0	0
R		보전구역	터빈홀, 방사선관리구역으로 등 급되지 않은 보조건물 보조설 비	< 1.0	< 0.01
R		방사선 관리구역	세탁소, 방사성 기계작업실, 실험실, 체염 및 폐기물관리 구역 등 출입지역 등	< 6  < 6	< 0.1  < 1
C		방사선 관리구역	냉각재보조기기 F/M 보조기기 방사능감시지역	< 250	< 20
B		방사선 관리구역	연료이송실 <sup>3</sup>	해당없음	해당없음
B		방사선 관리구역	F/M 보수실 <sup>4</sup>	25	3
A		방사선 관리구역	증기발생기실의 “출입” 지역	< 250	1.3
A+B		방사선 관리구역	F/M 격실, 증기발생기 내부	$\geq 250$	20

- 주 :
1. 발전소 수명말기에서의 평가치(12.9.2절 참조).
  2. 출입통제 등급 R은 출입구에서의 규제를 말한다.
  3. 이 방은 원자로건물 내에 위치하고 있지만 보조건물로부터 출입이 이루어진다.
  4. 연료교환기 문이 닫힌 상태

### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

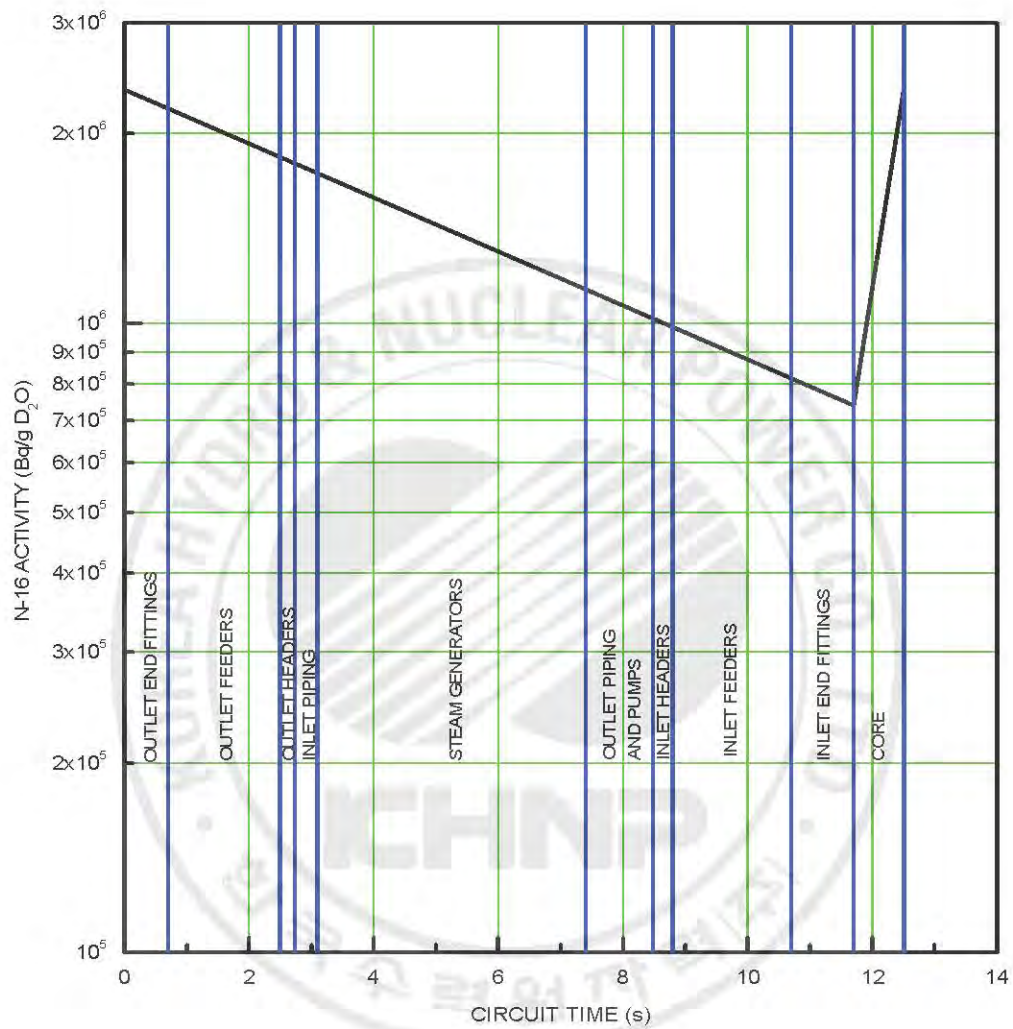


그림 12.9-1 냉각재계통에서의 N-16 방사능

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

### 12.10 작업종사자 방사선 피폭

#### 12.10.1 배경

CANDU 6 참조발전소 설계기간중 발전소 종사자의 방사선피폭관점에서 발전소 검토를 위한 프로그램을 AECL이 수행하였다. 중대한 선량을 초래하는 계통에 대한 피폭 방사선량을 추산하고 합리적으로 달성가능한 최저수준(ALARA)으로 방사선 피폭량을 줄이는데 그 목적이 있었다.

이 프로그램에는 발전소 총선량의 초기 추산치를 계산하고 각 계통의 피폭을 검토하는 것이 포함되어 있었다.

CANDU 6에 대해 가정된 목표는 오래된 발전소의 운전경험의 연장선상에서 근거하였다. 그후, 냉각재계통의 수질관리 능력의 향상, 연료결함률의 감소와 제염절차의 개발 등은 냉각재계통 기기주변에서의 부식 및 핵분열생성물로부터의 방사선장을 낮추는데 기여하였다. 아울러 증기발생기 세관을 포함한 냉각재계통 기기에서 저코발트강 규격을 채택함으로써 신축발전소에서는 선량을 더욱 감소시킬 수 있게 되었다. 중수증기회수계통에서 건조기를 사용하고 공정계통에서의 누출을 더 잘 관리함에 따라 삼중수소의 피폭량을 그에 상응하는 정도로 줄일 수 있게 되었다.

결과적으로 CANDU 6 발전소는 1호기당  $5 \times 10^{-3}$  Sv/MWe.yr(0.5 rem/MWe.yr) 혹은 3 Sv/yr(300 rem/yr) 이하로 운전할 수 있음이 최근 검토에 의해 확인되었다.

#### 12.10.2 종사자 피폭방사선량 평가

표 12.10-1과 12.10-2는 대표적인 “오래된(mature)” CANDU 6 발전소의 정상운전시 및 원자로정지시의 연간 예상피폭량에 대한 검토결과를 나타

## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

내고 있다. 이러한 수치들은 방사선관리 프로그램 검토로부터 주로 유도되었다. 특히 다른 CANDU 발전소의 정상운전시 자료가 고려되었다.

두 개의 표에서 추산된 모든 피폭방사선량은 CANDU 6 발전소의 방사선관리구역에서의 작업에 해당되는 것이다. 표 12.10-1은 일일운전과 정비를 포함하고 있다. 방사선관리구역에서의 작업은 정상적으로 일일 8시간 중 6시간을 초과하지 않는다. 나머지 두 시간은 보전구역(탈의실, 점심시간, 훈련 등)에서의 작업이다. 작업시간 중 대부분은 원자로건물 출입구 작동의 필수적인 점검(매 교대시)과 방사선감시기와 같은 타 안전장치의 점검에 사용된다. 운전원들은 보수대상 설비가 운영되지 않도록 하거나 배수시켜야 하거나 분해이전 안전조치가 필요한 경우 보수요원들을 지원해야 한다. 폐기물관리는 주로 저준위 고체나 액체 방사성폐기물을 처리하기 위함이다. 면직물 세탁과정에서 행해지지 않은 모든 품목들은 기타 제염(miscellaneous decontamination) 과정을 거친다. 일반적으로 제염 과정(80 man-days)은 감시기기에 대한 비의무적인 검사, 환형기체계통의 운전, 감속재상충기체 분석기 조작, 액체독물질 제작 등의 여러 항목을 포함하고 있다. CANDU 6의 원격 자동방식에 의한 가동중 연료교환의 특성으로 인하여 연료교환 작업 중 발전소종사자에 대한 방사선피폭이 제외됨을 유의해야 한다.

표 12.10-2는 정상적으로 원자로정지가 요구되는 여러 항목을 다루고 있다. 원자로정지는 정비요원에게 전적으로 영향을 미치는 반면 표 12.10-1에 나타난 바와 같은 일상적인 작업은 계속된다. CANDU 발전소에서의 원자로정지는 보통 계획된 운전정지 일정에 따라 행해진다. 때때로 2차계통(터빈) 요건, 중수의 누출, 혹은 연료교환기의 문제점 등으로 인하여 원자로가 정지되기도 한다. 원자로 불시정지와 계획정지의 이점을 활용할 수 있도록 하기 위하여 작업계획목록을 항상 유지한다. 표 12.10-2에서의 작업횟수는 수년동안 평균적으로 행해지는 각각의 정비와 검사에 대한 횟수를 나타내는 것으로 1년에 일어날 수 있는 원자



## 월성 1호기 최종안전성분석보고서

로정지 횟수와는 전혀 무관하다.

두 표는 연간 약 총 24,000 man-hours와 1.66 man-Sv에 대한 항목을 분류하고 있는데 후자는 외부 75 %, 내부 25 %의 유효선량으로 나누어져 있다. 표의 추정치는 방사선관리구역에서의 피폭과 특정작업관련 기능을 수행하는 직원들의 만성피폭을 더한 값을 포함하고 있다. 방사선관리구역에서 하루 6시간 작업을 기준했을 때 약 4,000 man-Sv로 나타난다.

내부피폭량은 냉각재계통과 감속재계통에서의 가상 삼중수소 방사능은 각각  $3.7 \times 10^{10}$  Bq/kg(1 Ci/kg)과  $7.4 \times 10^{11}$  Bq/kg(20 Ci/kg)을 근거로 하였다. 이 수치는 80 % 이용률로 약 8년간의 운전기간 동안의 이론적인 평균 방사능 준위, 즉 각각  $2.6 \times 10^{10}$  Bq/kg(0.7 Ci/kg)과  $7.4 \times 10^{11}$  Bq/kg(20 Ci/kg)을 반영하는 것이다.

추정치인 총 피폭방사선량(1.66 Sv/yr)은 보수적인 값이다. 그 이유는 이것은 CANDU 6 발전소의 실제 운전경험(표 12.2-1)에 의거 작업에 의한 피폭방사선량이 1990년을 기점으로 하여 8년간의 운전기간에 걸쳐 평균 0.75 ~ 1.0 Sv임을 보여주고 있기 때문이다. 1990년의 연간 피폭방사선량은 그림 12.2-3에 나타난 바와 같이 평균 1.12 Sv/yr이다. 그러므로 이론적인 추정치는 1.5배수만큼이나 보수적이다. 이것은 아마 한 지역에서 실질적으로 지내는 시간이 여기서 가정된 시간보다 적기 때문일 것이다. 운전경험으로 미루어 볼 때 운전원들은 실제 업무를 수행할 때 한 지역에서 보다 짧게 시간을 보내는 경향이 있다. 발전소 수명 말기에서 발전소 예상 피폭방사선량은 그림 12.2-3에서와 같이 평균 2.25 Sv/yr로 추정되었다. 이러한 예상추산치는 월성 1호기의 방사선피폭량을 감소시키기 위한 설계개선사항(12.2.4절)의 영향을 무시한 상태에서의 값이므로 보수적이라고 여겨진다.

표 12.10-1 및 12.10-2의 피폭방사선량에 대한 1.66 Sv/yr의 평가치

### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

와 세부내용은 중요한 값이며 계통/작업에 대하여 의도된 피폭방사선량 목표치를 충족시키는 것에 관한 사항을 점검하기 위하여 제시되었다.

#### 12.10.3 발전소 계획예방정비기간중 수행 작업별 선량 분포

월성 1호기 7개 주계통에 대한 작업별 피폭방사선량이 기록되어 있다. 이 계통은 다음과 같다.

- 가. 원자로
- 나. 냉각재계통
- 다. 감속재
- 라. 보조기기
- 마. 연료 수송 및 저장
- 바. 방사선 관리
- 사. 기타

표 12.2-4에서 12.2-6까지는 입수가능한 CANDU 6 발전소 자료에 근거하여 모든 작업집단(부서)의 총 종사자 수를 선량구간별로 보여주고 있다.

표 12.10-3에는 1986, 1988, 1989년도 월성 1호기의 계획예방정비시의 종사자 피폭선량 분포를 6가지 부류로 나누어 제시하였다(항목 '다'는 누락되어 있으며 보조기기의 항목 '라'에 포함된 듯하다). 상기 표에는 외부 및 내부 피폭으로 구분하여 나타나 있지는 않다. 표 12.10-4와 12.10-5에는 발전소 현장자료에 근거한 1990년과 1991년의 계획예방정비시 수행된 작업별 선량분포가 나타나 있다. Point Lepreau와 Gentilly-2 발전소에서 방사선 피폭량이 많았던 주요작업에 대한 내용이 표 12.10-6과 12.10-7에 각각 주어진다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-1

CANDU 6의 정상 운전조건에서의 연간 작업피폭방사선량 추정치

작업 종류	작업시간 (man-days) <sup>(1)</sup>		작업구역에서의 평균 방사선준위 (mSv/h)	작업지역의 평균 삼중수소 준위 <sup>(5)</sup>		연간 피폭방사선량 추정치 (man-Sv)		비고
	운전	보수		(Bq/m <sup>3</sup> )	(DAC)+	외부	내부	
일상적 탐사	234	-	0.3 E-2	3.7 E+4	0.1	0.4 E-2	0.3 E-2	-
의무적 시험								
- 원자로건물 출입문	90	-	0.3 E-2	3.7 E+4	0.1	0.2 E-2	0.1 E-2	-
- 기타	20	-	0.6 E-2	1.5 E+5	0.4	0.1 E-2	0.1 E-2	-
정비 보조	60	-	0.6 E-2	1.5 E+5	0.4	0.2 E-2	0.4 E-2	-
공기시료채취	60	-	0.3 E-2	3.7 E+4	0.1	0.1 E-2	0.1 E-2	-
연료 취급								
- 새연료	120	-	2.0 E-2	1.5 E+5	0.4	1.4 E-2	0.7 E-2	-
-	-	15	10.0 E-2	3.7 E+5	1.0	0.9 E-2	0.2 E-2	-
- 연료교환기	140	-	25.0 E-2	3.7 E+6	10.	21.0 E-2	10.5 E-2	(3)
- 원자로건물	-	120	25.0 E-2	3.7 E+6	10.	18.0 E-2	0.1 E-2	(2)
- 보조건물	-	60	4.0 E-2	1.5 E+5	0.4	1.5 E-2	0.4 E-2	-
- 사용후연료 저장조	170	-	2.5 E-2	1.5 E+5	0.4	2.6 E-2	1.0 E-2	-
-	-	15	5.0 E-2	1.5 E+5	0.4	0.5 E-2	0.1 E-2	-
수지/필터 취급	4	-	0.3 E-2	1.5 E+5	0.4	≪	≪	(4)
- 냉각재계통	-	10	20.0 E-2	1.5 E+5	0.4	1.2 E-2	0.1 E-2	-
- 감속재	-	10	20.0 E-2	9.25 E+5	2.5	1.2 E-2	0.4 E-2	-

+ 유도공기농도 단위로 표시한 것으로, 1 DAC = 3.7 x 10<sup>5</sup> Bq/m<sup>3</sup>

≪ 0.5 mSv/yr 미만을 표시

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-1 (계속)

작업 종류	작업시간 (man-days) <sup>(1)</sup>		작업구역에서의 평균 방사선 준위 (mSv/h)	작업지역의 평균 삼중수소 준위 <sup>(6)</sup>		연간 피폭방사선량 추정치 (man-Sv)		비고
	운전	보수		(Bq/m <sup>3</sup> )	(DAC)+	외부	내부	
중수관리								
- 시료 채취	45	-	10.0 E-2	1.5 E+5	0.4	2.7 E-2	0.3 E-2	-
- 증기 회수	10	-	0.25 E-2	3.7 E+4	0.1	«	«	
- 송급	25	-	0.25 E-2	1.5 E+5	0.4	«	0.2 E-2	
- 기타	6	-	0.25 E-2	1.5 E+5	0.4	«	«	
반응도제어	-	5	20.0 E-2	1.5 E+5	0.2	0.8 E-2	0.1 E-2	-
폐기물 관리	45	-	0.6 E-2	3.7 E+4	0.1	0.2 E-2	0.1 E-2	-
	-	12	0.6 E-2	3.7 E+4	0.1	0.1 E-2	«	
제염								
- 세탁	200	-	0.1 E-2	-	-	0.1 E-2	«	-
- 기타	200	-	0.6 E-2	3.7 E+4	0.1	0.7 E-2	0.3 E-2	
- 기타	-	12	0.6 E-2	3.7 E+4	0.1	0.1 E-2	«	
기타	80	-	0.3 E-2	3.7 E+4	0.1	0.1 E-2	0.1 E-2	-
합계 : 인-일	1509	269			운전업무	29.8 E-2	14.2 E-2	
인-시간	9054	1614			보수업무	25.3 E-2	1.4 E-2	

작업피폭 방사선량 요약 :

운전업무에 의한 총선량 : 0.44 man-Sv/yr  
 보수업무에 의한 총선량 : 0.27 man-Sv/yr  
 모든업무에 의한 총선량 : 0.71 man-Sv/yr

주:

- (1) 방사선관리구역에서의 1 man-day는 약 6시간 임.
- (2) 플라스틱 작업복의 방호계수 : 50
- (3) 삼중수소호흡기 방호계수 : 2
- (4) « 는 0.5 mSv/yr 미만을 표시
- (5) 냉각재계통 중수내 삼중수소 방사능 가정값 =  $3.7 \times 10^{10}$  Bq/kg(1 Ci/kg)  
 감속재 중수내 삼중수소 방사능 가정값 =  $7.4 \times 10^{11}$  Bq/kg(20 Ci/kg)

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-2

CANDU 6의 원자로 정지하에서의 연간 작업피폭방사선량 추정치

작업 종류	연간 작업 회수	작업당 평균 작업시간 (man-h)	작업구역에서 평균 방사선 준위 (mSv/h)	작업지역의 평균 삼중수소 준위 <sup>(9)</sup>		연간 피폭방사선량 추정치 (man-Sv)		비고
				(Bq/m <sup>3</sup> )	(DAC)+	외부	내부	
압력관 크리프 조정	26	1	1.0	1.85 E+7	50	2.6 E-2	≪	(2)
냉각재계통 - 밀봉 교환	4	24	0.5	(3.7 E+8)	1000	4.8 E-2	1.2 E-2	(2) (8)
- 전동기, 냉각기 등	32	12	0.1	2.96 E+6	8	3.8 E-2	≪	(2) (5)
증기발생기 - 판 폐쇄	0.4	150	1.0	(3.7 E+8)	1000	6.0 E-2	0.8 E-2	(2) (8)
- 취출 등	0.4	18	1.0	1.85 E+7	50	0.7 E-2	≪	(2)
- ISI <sup>(4)</sup>	0.4	90	1.0	2.96 E+6 to 1.85 E+7	8 to 50	3.6 E-2	1.4 E-2	(6)
자관, 모관 및 주 배관 - ISI <sup>(4)</sup>	0.1	120	1.0	1.85 E+7	50	1.2 E-2	≪	(2)
압력제어계통 - 압력용기, 펌프 등	12 <sup>(7)</sup>	12 <sup>(7)</sup>	1.0	2.96 E+6	8	14.4 E-2	3.0 E-2	(2)
- ISI <sup>(4)</sup>	0.1	270	1.0	(3.7 E+8)	(1000)	2.7 E-2	0.6 E-2	(8)
- 정화회로	18	1 <sup>(7)</sup>	1.5	2.96 E+6	8	2.7 E-2	3.0 E-2	(6)
				(3.7 E+8)	(1000)			(8)

+ 유도공기농도 단위.

≪ 는 0.5 mSv/yr 이하를 의미

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-2 (계속)

작업 종류	연간 작업 회수	작업당 평균 작업시간 (man-h)	작업구역에서 평균 방사선 준위 (mSv/h)	작업지역의 평균 삼중수소 준위 <sup>(9)</sup>		연간 피폭방사선량 추정치 (man-Sv)		비고
				(Bq/m <sup>3</sup> )	(DAC)+	외부	내부	
정지냉각, 살수, 비상냉각 - 정비 - ISI <sup>(4)</sup>	34 <sup>(7)</sup>	7 <sup>(7)</sup>	0.5	2.96 E+6	8	11.9 E-2	4.8 E-2	-
	0.1	220	0.5	2.96 E+6	8	1.1 E-2	0.5 E-2	-
감속재계통 - 주계통펌프 등 - 정화계통 등	3 <sup>(7)</sup>	18 <sup>(7)</sup>	0.4	1.67 E+7	45	2.3 E-2	0.6 E-2	(6)
	9 <sup>(7)</sup>	6 <sup>(7)</sup>	0.25	1.67 E+7	45	1.4 E-2	0.6 E-2	(6)
계측제어 - 반응도 계측 (중성자속 감시기) - 제어봉 메카니즘 - 지시등	30 items	1 <sup>(7)</sup>	0.25	2.96 E+6	8	0.8 E-2	0.6 E-2	
	43 units	1 <sup>(7)</sup>	0.25	2.96 E+6	8	1.1 E-2	0.9 E-2	
	1	120	0.25	2.96 E+6	8	3.0 E-2	2.4 E-2	
연료 수송 및 저장 - 연료교환기 브리지 - 격실문	7 <sup>(7)</sup>	5 <sup>(7)</sup>	1.0	1.85 E+7	50	3.5 E-2	2.2 E-2	(3)
	15 <sup>(7)</sup>	4 <sup>(7)</sup>	0.75	1.85 E+7	50	4.5 E-2	0.7 E-2	(6)

+ 유도공기농도 단위.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-2 (계속)

작업 종류	연간 작업 회수	작업당 평균 작업시간 (man-h)	작업구역에서 평균 방사선 준위 (mSv/h)		작업지역의 평균 삼중수소 준위 <sup>(9)</sup>		연간 피폭방사선량 추정치 (man-Sv)	비고
			(Bq/m <sup>3</sup> )	(DAC)+	외부	내부		
중수관리계통 <sup>(10)</sup> 증기회수계통 <sup>(10)</sup>								원자로 정지가 요구되지 않음.
총계		13048 man-hours			0.72	0.23		

요약주 :

외부피폭선량 = 0.72 manSv/yr  
 내부피폭선량 = 0.23 manSv/yr  
 총 계 = 0.95 manSv/yr

- (1) 방사선관리구역의 1 man.day는 약 6시간 임.
- (2) 플라스틱 작업복의 방호계수 : 50
- (3) 삼중수소호흡기 방호계수 : 2
- (4) 가동중 검사
- (5) 0.5 mSv/yr 미만
- (6) 절차서에 명시된 작업복
- (7) 평균값
- (8) 팔호 안은 '개방된' 감속재계통의 값을 나타냄.  
즉, 그 지역으로 중수 증기의 직접 방출
- (9) 가정된 삼중수소 농도 :  
 냉각재계통 중수 =  $3.7 \times 10^{10}$  Bq/kg(1.0 Ci/kg)  
 감속재 중수 =  $7.4 \times 10^{11}$  Bq/kg(20 Ci/kg)
- (10) 표 12.10-1 참조



### 월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-3

월성 1호기의 1986, 1988, 1989년 계획예방정비기간동안  
작업피폭방사선량 분포

계통	작업항목	총 선량 (man-mSv)		
		1986	1988	1989
원자로	칼란드리아 보수 (크리프 측정, 절연패널 보수)	121	133	19.4
냉각재계통	계통 보수	79	1	-
보조계통	액체영역제어기 점검 및 보수	8	-	-
	증기발생기(와류탐상시험 포함)	143	402	-
	보조계통 점검 및 보수	49	-	-
	냉각재 및 감속재펌프 점검 및 보수	297	21	16
연료수송 및 저장	연료취급계통 점검 및 보수	117	80	51
방사선 관리	보건물리	33	37	26
	제염 및 고체폐기물 취급	42	54	16
기타	가동중 검사	181	62	11
	기타	218	120	139
총계		1290	910	450

주: 1986년, 1988년 및 1989년의 계획예방정비기간중 총선량은 각각 연간 집단선량 1840 man-mSv의 70 %, 연간집단선량 1690 man-mSv의 54 %, 연간 집단선량 700 man-mSv의 64 %이다.

# 월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-4

월성 1호기의 1990년도 계획예방정비기간동안 업무에 의한  
작업별 피폭방사선량 분포(4월 1일 ~ 5월 12일)

계통	작업 항목	총 선량(man-mSv)		
		내부	외부	합계
원자로	원자로 표면 접연체 패널 교체	15.9	6.1	22.0
	압력판 연신량 측정	0.4	0.6	0.9
	압력판 검사	16.4	12.8	29.2
	원자로 표면 냉각팬 보수	0.3	0.2	0.5
	노내 중성자속검출기 교체 (2개 집합체 교체)	12.8	8.7	21.5
	소계	45.7	28.4	74.1
감속재	감속재뎀프 분해	13.8	42.6	56.4
	정화계통 STR 분해 및 점검	0.4	0.8	1.2
	정화계통 R/D 분해 및 점검	0.3	0.7	1.0
	32510-HDR 계통 변경	0.0	0.3	0.3
	상충기체 채수기 배수관 분리	3.8	7.2	11.0
	감속재 채측기기 점검	0.7	0.3	1.0
	32710, S/G 배수관 변경	0.7	1.1	1.9
	상충기체 주전동기 분해 점검	1.0	1.9	2.9
	감속재뎀프 전동기 분해 점검	3.9	7.6	11.5
	상충기체 전동기 분해 점검	9.0	0.4	9.4
	소계	33.6	62.9	96.5

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-4 (계속)

계통	작업 항목	총 선량(man-mSv)		
		내부	외부	합계
냉각재계통	냉각재펌프 기계적밀봉장치 점검	2.8	2.7	5.5
	지발중성자관 및 자관 캐비넷 점검	5.6	11.9	17.5
	냉각재펌프 계측기기 점검	1.9	3.6	5.5
	33310-탱크 비파괴시험	0.0	0.1	0.1
	냉각재펌프 전동기 분해 및 점검	2.3	2.4	4.7
	냉각재보조펌프 전동기 분해 및 점검	0.3	1.6	1.9
	가압기제어계통 가열기 및 전동밸브 분해 및 점검	0.3	0.2	0.5
	소계	13.2	22.6	35.8
보조계통	증기발생기 보수용출입구 개방	15.5	25.9	41.4
	증기발생기 와류탐상검사 (2개 증기발생기)	88.8	99.9	188.7
	71340 기기냉각수계통 개선	9.5	25.4	34.9
	중수회수계통 분해 및 점검	0.3	0.1	0.3
	정지냉각계통 전동기 분해 및 점검	0.6	0.5	1.1
	중수수집계통 전동기 분해 및 점검	0.0	0.0	0.0
	액체영역제어계통 분해 및 점검	0.4	0.1	0.6
	소계	115.1	151.9	267.0
연료 이송 및 저장	연료교환기 중수공급펌프 분해 및 점검	1.6	6.2	7.8
	연료교환기 브리지계통 분해 및 점검	5.4	1.6	7.0
	사용후연료방출계통 계측기기 점검	0.4	0.3	0.7
	사용후연료 저장조 점검	1.4	1.1	2.5
	연료채널 엔드피팅 래핑(lapping)	13.3	23.4	36.6
	기타	10.9	17.0	27.9
	소계	32.9	49.6	82.5

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-4 (계속)

계통	작업 항목	총 선량(man-mSv)		
		내부	외부	합계
방사선관리	방사선 방호 및 탐사	19.1	17.4	36.5
	고체폐기물 취급 및 제염	11.4	8.5	2.0
	소계	30.6	25.9	56.5
기타	품질보증	1.7	0.7	2.4
	계통운전	9.2	10.8	20.0
	계측기기 교정 및 점검	5.4	11.0	16.4
	기계(기계적특성을 가진 체반일)	14.4	27.8	42.2
	전기	0.2	1.2	1.4
	가동중 검사	33.4	60.6	94.0
	기타	13.1	22.2	35.3
	소계	77.4	134.1	211.5
합계		348.4	475.4	823.8
퍼센트		41 %	59 %	100 %

주: 계획예방정지기간중 총선량은 1990년의 연간집단선량인 1170 man-mSv의 70 %임.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-5

월성 1호기의 1991년 계획예방정비기간동안 업무에 의한  
작업피폭방사선량 분포(6월 9일 - 7월 9일)

계통	작업 항목	총 선량(man-mSv)		
		내부	외부	합계
원자로	지발중성자판과 자판캐비넷 감지선 점검	0.5	34.8	35.3
	액체영역제어계통 점검 및 보수	0.1	0.9	1.0
	엔드피팅 래핑(lapping)	0.0	17.4	17.4
	압력판 검사	0.0	0.4	0.4
	액체영역제어집합체 교체(2일)	3.0	9.0	12.0
	제1정지계통, 흡수봉 및 조절봉 전동기 점검	0.0	0.0	0.0
	액체영역제어계통 압축기 분해 및 점검	0.5	0.3	0.8
	기타	1.7	12.4	14.1
	소계	5.8	75.2	81.0

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-5 (계속)

계통	작업 항목	총 선량(man-mSv)		
		내부	외부	합계
냉각재계통	냉각재펌프 계측기기 점검	0.1	0.1	0.2
	시편분석계통 점검 및 쿠폰 시험	0.7	2.3	3.0
	냉각재계통 계측기기 교정	0.6	1.8	2.4
	냉각재펌프 기계적밀봉 교체	0.3	0.0	0.3
	냉각재펌프 회전체 보수 및 점검	0.1	0.0	0.1
	냉각재계통 전동밸브 수리	0.1	0.4	0.5
	냉각재정화계통 파열판 교체	0.0	0.0	0.0
	냉각재정화계통 스트레이너 세정 및 교체	0.0	0.0	0.0
	냉각재정화계통 필터 교체	0.0	0.0	0.0
	중수 중수펌프 점검 및 보수	0.6	0.2	0.8
	냉각재펌프 전동기 점검	0.0	0.0	0.0
	보조오일펌프 전동기 점검	0.1	0.0	0.1
	중수 중수펌프 전동기 점검	0.0	0.0	0.0
	압력 및 수위제어계통 밸브 보수	0.01	0.1	0.1
	가압기, 가열기 및 전동밸브 분해 및 점검	0.1	0.2	0.3
	탈기응축기 점검	0.0	0.1	0.1
	가압기 및 탈기응축기 가열기 점검	0.4	0.0	0.4
	중단차폐냉각펌프 전동기 점검	0.0	0.0	0.0
	정지냉각펌프 전동기 점검	0.0	0.0	0.0
	기타	3.0	1.4	4.4
소계		6.1	6.6	12.7

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-5 (계속)

계통	작업 항목	총 선량(man-mSv)		
		내부	외부	합계
감속재계통	감속재계통 계측기기 점검	0.0	0.3	0.3
	액체영역제어계통 계측기기 점검	0.0	0.0	0.0
	감속재펌프 기계적밀봉 점검	0.0	0.0	0.0
	감속재펌프 회전체 점검 및 보수	0.0	0.5	0.5
	감속재정화계통 파열판 교체	0.0	0.0	0.0
	감속재펌프 전동기 점검	0.1	0.2	0.3
	상충기체 압축기 전동기 점검	0.0	0.0	0.0
	감속재계통 화학펌프 점검	0.0	0.0	0.0
	감속재계통 밸브 보수	0.0	0.0	0.0
	감속재열교환기 와류탐상시험	0.1	0.5	0.6
	기타	0.7	3.1	3.8
	소계	0.9	4.0	5.5
연료 이송 및 저장	연료교환기 중수공급계통 검사 및 보수	1.23	3.95	5.2
	연료교환기 브리지 점검	0.35	11.18	11.5
	연료교환기 헤드 점검	4.12	6.36	10.5
	사용후연료 이송계통 점검	0.08	0.82	0.9
	연료교환기 중수제어계통 점검	0.33	2.00	2.3
	새연료계통 점검	0.28	0.06	0.3
	연료교환기 운반계통 점검	0.14	0.44	0.6
	연료교환기 유회류 유압계통 점검	0.05	0.16	0.2
	손상연료위치탐지계통 점검 및 보수	0.02	0.21	0.2
	기타	0.06	0.71	0.8
	소계	6.7	25.9	32.5



월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-5 (계속)

계통	작업 항목	총 선량(man-mSv)		
		내부	외부	합계
중수관리	중수 취급	0.0	0.2	0.2
	급수 및 하부 생성물 증발기 검사	0.0	0.0	0.0
	중수세정계통 이온교환수지탑 점검	0.1	0.0	0.1
	사용후수지 교환	0.0	0.0	0.0
	진공펌프 밀봉수탱크 배수	0.0	0.03	0.0
	중수승급수지탑 중수 배수	0.0	0.0	0.0
	중수공급계통 제촉기기 점검	0.4	0.0	0.4
	중수회수펌프 전동기 점검	0.0	0.0	0.0
	중수이송펌프 전동기 점검	0.0	0.1	0.1
	중수수집펌프 전동기 점검	0.0	0.0	0.0
	중수승급설비 보수	0.0	0.0	0.0
	보조계통	0.0	0.0	0.0
	소계	0.5	0.33	0.8

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-5 (계속)

계통	작업 항목	총 선량(man-mSv)		
		내부	외부	합계
보조	1차측 시료채취계통 점검	0.0	0.0	
	기체 시료채취설비 점검	0.0	0.0	
	안잔계통 계측기기 점검 및 보수	0.0	0.9	0.9
	냉각팬 점검	0.6	23.6	24.2
	중수세정계통 점검	0.0	0.0	0.0
	정지냉각펌프 분해 및 점검	0.9	0.0	0.9
	감속재수집계통 모판 교체	0.0	0.1	0.1
	환형기체계통 설계변경	9.8	1.8	11.6
	기타계통 설계변경	0.0	0.0	0.0
	전등설비 점검	0.1	0.6	0.7
	환기계통 점검 및 보수	1.0	4.5	5.5
	통신계통 점검 및 보수	0.1	8.1	8.2
	가동중검사	0.0	0.0	0.0
	비파괴검사	0.2	1.3	1.5
	1차측 중수시료 채취 및 분석	0.2	0.1	0.3
	계통운전	2.1	3.4	5.5
	기타	8.2	19.9	28.1
	소계	23.2	64.3	87.4
방사선관리	방사선 방호 및 탐사	2.5	5.9	8.4
	제염 및 고체폐기물 수집	4.2	2.2	6.4
	소계	6.7	8.1	14.8
총계		49.9	185.0	234.9
퍼센트		21 %	79 %	100 %

주: 계획예방정지기간중 총선량은 1991년 연간 집단선량인 559 man-mSv의 42 %임.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-6

Point Lepreau 발전소 가동이래 계획예방정비기간동안 업무에 의한  
외곽방사선량 분포(가용자료 근거)

기간	집단선량(man-mSv)
1984년 (4월 19일 - 5월 22일)	
1. 연료교환기 브리지에 난간 설치	55
2. 4번 증기발생기 검사	70
3. 주기적 검사계획	53
4. 기타	120
합계 (47 man-mSv 내부피폭 + 251 man-mSv 외부피폭) (이것은 연간 집단선량 740 man-mSv의 40 %이다)	298
1985년	
1. 가동중검사	30
2. 기타	110
합계 (연간 집단선량 640 man-mSv의 22 %)	140

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-6 (계속)

기간	집단선량(man-mSv)
1986년 (4월 25일 - 5월 14일)	
1. 증기발생기 랜싱포트의 드릴링	118
2. 3번 증기발생기 누설보수	93
3. 화학적 검사계획	40
4. 주기적 검사계획	28
5. 원자로건물 라이너 검사	14
6. 기타항목	
가) 안정성 배관(stability piping)	8
나) 균형배관(balance line)	12
다) 질소 충전	2
라) 발판비계작업	8
마) RTD 보수	7
바) 3334-V76 (글랜드밀봉회로)	1
7. 기타	119
합계	450
내부피폭 소계 : 150 man-mSv	
외부피폭 소계 : 450 man-mSv	
합계 : 600 man-mSv	
(연간 집단선량 950 man-mSv의 67 %)	
1987년 (4월 24일 - 5월 15일)	
합계	540
(연간 집단선량의 71 %)	

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-6 (계속)

기간	집단선량(man-mSv)
1988년 (4월 4일 - 4월 30일)	
1. 계측기 배관 수리	90
2. 자판 캐비넷 검사	
3. 증기발생기세판 누설 보수	65
4. 기타	305
합계	460
내부피폭 소계 : 60 man-mSv 외부피폭 소계 : 400 man-mSv 합계 : 460 man-mSv (연간 집단선량 700 man-mSv의 66 %)	
1989년 (4월 14일 - 5월 5일)	
1. 1개 압력관 교체(K05)	160
2. 압력관 시료채취(10개 채널)	80
3. 지발중성자관 검사 및 보수	95
4. 원자로표면 절연블랭킷 수리	25
5. 기타 계획정비 작업	490
합계	850
내부피폭 합계 : 272 man-mSv 외부피폭 합계 : 578 man-mSv 합계 : 850 man-mSv (연간 집단선량 1250 man-mSv의 68 %)	
1990년 (4월 12일 - 4월 20일)	
합계(예측)	270
내부피폭 합계 : 80 man-mSv 외부피폭 합계 : 190 man-mSv 합계 : 270 man-mSv (연간 집단선량 570 man-mSv의 48 %)	

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-7

Gentilly-2 발전소 가동이래 계획예방정비기간동안 업무에 의한  
외곽방사선량 분포 (가용자료 근거)

기간	집단선량(man-mSv)
1985년 (8월 8일 - 11월 4일)	
1. 증기발생기 검사	170
2. 살수탱크 사고후 검사 및 보수	120
3. 기타 보수	355
합계 내부외곽 평가선량 : 100 man-mSv 외부외곽 평가선량 : 545 man-mSv 합계 : 645 man-mSv (연간 집단선량 903 man-mSv의 71 %)	645
1986년 (6월 2주간)	
1. 파열판 보수(ECC)	4
2. R-112(감속재실) 보수	2
3. 독물질 첨가계통 보수	1
4. 기타	10.8
합계 내부외곽 평가선량 : $\approx 9$ man-mSv 외부외곽 평가선량 : $\approx 9$ man-mSv 합계 : 18 man-mSv (연간 집단선량 200 man-mSv의 9 %)	17.8

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-7 (계속)

기간	집단선량(man-mSv)
1987년 (8월 및 9월)	
1. 1번 증기발생기 작업	266
2. 연료교환기 브리지 기어함 보수	134
3. 국부공기냉각기 작업	20
4. 압력판 CIGAR 검사	19
5. 일부 연료채널에 대한 열 절연	17
6. 원자로실 조명	8
7. 기타	155
합계 내부피폭 평가선량 : 65 man-mSv 외부피폭 평가선량 : 555 man-mSv 합계 : 620 man-mSv (연간 집단선량 720 man-mSv의 86 %)	620
1988년 (3월중 10일 동안)	
1. 연료교환기 브리지 기어 작업	79
2. 상기 작업을 위한 비계작업	25
3. 기타	12
합계 내부피폭 평가선량 : 10 man-mSv 외부피폭 평가선량 : 106 man-mSv 합계 : 116 man-mSv (연간 집단선량 340 man-mSv의 34 %)	116



월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 12.10-7 (계속)

기간	집단선량(man-mSv)
1989년 (5월 23일 - 7월 3일)	
1. 원자로건물 도색	98
2. 연료교환기 기어함 보수	87
3. 증기발생기 검사	32
4. 압력시험용 비계작업	24
5. 코발트 조절봉 교체	16
6. 감속재덤프 보수	10
7. 가압기 보수	8
8. 국부공기냉각기 보수	6
9. 기타	89
합계 내부피폭 평가선량 : 120 man-mSv 외부피폭 평가선량 : 250 man-mSv 합계 : 370 man-mSv (연간 집단선량 600 man-mSv의 61 %)	370
1990년 (8월 19일 - 9월 21일)	
1. 증기발생기 작업(검사 등)	588
2. 연료교환기 기어함 보수	144
3. 압력판 시료채취	106
4. 가압 시험	65
5. 원자로실내 국부공기냉각기 작업	60
6. 압력판의 CIGAR 검사	44
7. 환형기체계통 개조	29
8. 원자로실 카메라(개조)	21
9. 기타 작업	293
합계 내부피폭 평가선량 : 150 man-mSv 외부피폭 평가선량 : 1200 man-mSv 합계 : 1350 man-mSv (연간 집단선량 1630 man-mSv의 83 %)	1350