

# 신고리 원자력발전소 5,6호기 발전용원자로 및 관계시설의 예비해체계획서

2020. 05.



# 신고리 5,6호기 예비해제계획서

## 목 차 (3 중 1)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
1	<u>해제계획의 개요</u>	1-1
1.1	개요	1-1
1.2	원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제12장 제5절 “원자로시설의 해제” 준수	1-2
1.3	해제대상 시설의 종류와 특성	1-4
1.4	주요 건설 및 운영이력	1-14
1.5	운영 중 시설과 부지주변의 오염사건 및 사고이력	1-15
1.6	예비해제계획서의 구성 및 형식	1-15
1.7	참고문헌	1-16
2	<u>사업관리</u>	2-1
2.1	조직	2-1
2.2	인력	2-1
2.3	해제비용	2-2
2.4	재원확보	2-3
2.5	참고문헌	2-3
3	<u>부지 및 환경현황</u>	3-1
3.1	부지현황	3-1
3.2	환경현황	3-3
3.3	방사선학적 특성	3-15
3.4	참고문헌	3-20
4	<u>해제전략과 방법</u>	4-1
4.1	해제전략과 방법	4-1
4.2	참고문헌	4-3
5	<u>해제용이성을 위한 설계특성과 조치방안</u>	5-1
5.1	설계특성	5-1
5.2	조치방안	5-12

목 차 (3 중 2)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
5.3	참고문헌	5-15
6	<u>안전성평가</u>	6-1
6.1	원칙과 기준	6-1
6.2	피폭시나리오	6-3
6.3	선량평가	6-7
6.4	위해도	6-8
6.5	참고문헌	6-10
7	<u>방사선방호</u>	7-1
7.1	방사선량의 ALARA 유지	7-1
7.2	방사선방호 계획	7-2
7.3	참고문헌	7-3
8	<u>제일해체 활동</u>	8-1
8.1	제일 활동	8-1
8.2	해체 활동	8-5
8.3	참고문헌	8-10
9	<u>방사성폐기물 관리</u>	9-1
9.1	방사성폐기물 분류	9-1
9.2	운영 중 발생하는 방사성폐기물 관리	9-2
9.3	해체과정에서 발생하는 방사성폐기물 관리	9-2
9.4	참고문헌	9-5
10	<u>환경영향 평가</u>	10-1
10.1	해체 전 환경감시	10-1
10.2	해체 중 환경감시	10-3
10.3	주변주민에 대한 영향	10-3

목 차 (3 중 3)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
10.4	참고문헌	10-5
11	<u>화재방호</u>	11-1
11.1	개요	11-1
11.2	화재위험도분석	11-1
11.3	화재방호운영계획	11-1
11.4	참고문헌	11-3
12	<u>참고문헌</u>	12-1
12.1	개요	12-1
12.2	참고문헌	12-1

신고리 5,6호기 예비해체계획서

부록 목차 (1 중 1)

<u>번호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
부록 1	<u>용어해설</u>	부록 1-1
부록 1.1	개요	부록 1-1
부록 1.2	용어해설	부록 1-1

# 신고리 5,6호기 예비해체계획서

## 표 목차 (1 중 1)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
표 1-1	주요 건설일정	1-17
표 1-2	주요 운영이력	1-18
표 1-3	발전소해체에 영향을 미치는 1차계통 주요 설비 개선사항 및 사유	1-21
표 1-4	시설과 부지주변 오염가능 사건 및 사고 이력	1-22
표 2-1	호기당 발전소해체 추정비용 상세내역	2-5
표 2-2	발전소해체 총당금 산정 계산식	2-6
표 3-1	정상운영시 제한구역경계에서 대기확산인자 및 침적인자	3-21
표 5-1	방사선구역 분류 기준	5-17
표 8-1	화학적 제염법의 특성	8-11
표 8-2	절단 방법의 특성	8-12

## 신고리 5,6호기 예비해체계획서

### 그림 목차 (1 중 1)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
그림 4-1	발전소해체 개략 일정	4-4
그림 5-1	작업공간 확보를 위한 설계 예	5-18
그림 5-2	기기 인양장비의 구비와 관련한 설계 예	5-19
그림 5-3	건물 내 기기 제거를 위한 이동 경로 설계 예	5-20

## 1 해체계획의 개요

### 1.1 개요

신고리 원자력발전소 5,6호기(이하 “신고리 5,6호기” 또는 “발전소”로 기술한다) 예비해체계획서는 한국수력원자력주식회사(이하 “한수원(주)”로 기술한다)가 작성하여 원자력안전위원회에 제출하는 문서이다.

#### 1.1.1 추진배경

원자력이용시설의 해체와 관련하여 2015년 1월 20일에 원자력안전법의 일부 개정 법률안이 공포되었다. 이어서 원자력안전법 시행령 및 시행규칙과 원자력안전위원회 규칙 “원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙” 개정 및 원자력안전위원회 고시 “원자력이용시설 해체계획서 등의 작성에 관한 규정”이 공포되었다(참고문헌 1~5).

개정된 원자력안전법에서는 원자로시설의 건설 및 운영을 위한 허가 신청 시 예비해체계획서를 제출하고, 주기적으로 갱신하도록 규정하고 있다. 또한 영구정지 후 해체를 위한 승인 신청 시 최종해체계획서를 작성하여 규제기관에 제출하도록 규정하고 있다. 또한 이 법의 부칙에 따르면, 이 법의 시행 당시 종전의 규정에 따라 원자로시설을 건설 또는 운영하고 있는 자는 이 법의 시행일(2015. 07. 21.)로부터 3년 이내에 이 법에 따른 해당 시설의 해체계획서를 원자력안전위원회에 제출하여 승인을 받도록 규정하고 있다.

따라서 이 계획서는 한수원(주)이 원자력안전법에 따라 신고리 5,6호기의 예비해체계획을 수립하여, 원자력안전위원회에 제출할 목적으로 작성되었다.

#### 1.1.2 목적

이 예비해체계획서의 작성 목적은 해체에 관한 업무를 수행하는 자의 권한과 의무를 정하고, 발전소를 안전하게 해체할 수 있는 예상비용의 평가 및 이에 대한 재원확보 방안을 수립하는데 있다. 아울러 발전소의 해체에 대비한 전략을 수립하고, 안전하고 용이한 해체를 위한 사항과 건설·운영 중의 주요 변경사항을 반영하여, 그 유효성을 유지하는데 있다.

또한 발전소의 해체에 따른 방사선/능으로부터의 피해를 방지하기 위한 조치, 오염제거 방법, 방사성폐기물의 분류·처리·저장·처분 방법과 방사성물질이 환경에 미치는 영향의 평가 방법 및 대책을 수립하여, 해체활동의 안전성 입증, 주변주민 및 주변환경 보호 등이 이루어질 수 있도록 하는데 있다.

이 계획서는 2019년 12월 31일 현재 유효한 규정 또는 인허가 문서들을 참조하여 작성하



## 신고리 5,6호기 예비해체계획서

였으며 허가를 받은 날로부터 10년 주기로 갱신하여 그 유효성을 유지한다. 이 계획서에 인용된 참고문헌의 개정사항 및 발전소 운영 중 추가로 발생하는 주요 운영이력 사항 등은 10년마다 갱신하는 계획서에 반영한다(참고문헌 1~5).

### 1.2 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제2장 제5절 “원자로시설의 해체” 준수

원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제2장 제5절 “원자로시설의 해체” 제85조의3에서 7까지의 기술기준을 다음과 같이 준수한다.

#### 1.2.1 제85조의3(해체에 대비한 조직 및 인력)

사업자는 원자로시설의 건설 개시 전에 해체계획의 수립 및 유지·관리 업무를 수행하는 자의 권한과 의무를 정하여야 한다.

##### 반영내용

해체에 필요한 조직은 본사와 사업소에 구성되며, 기술지원 조직을 둔다. 이들 조직은 해체 단계별로 요구되는 인력으로 구성된다. 상세한 내용은 이 계획서의 2.1절 및 2.2절에서 기술하고 있다.

#### 1.2.2 제85조의4(해체에 대비한 비용 및 재원)

사업자는 원자로시설을 안전하게 해체하는데 소요될 것으로 예상되는 비용을 평가하여야 하며, 해체비용 평가결과와 타당성을 입증하여야 한다. 사업자는 해체비용을 안정적으로 확보하기 위한 재원확보 방안을 수립하여 이행하여야 한다.

##### 반영내용

해체비용은 방사성폐기물 관리법에서 정하는 사항에 따라 원전해체 시 소요될 것으로 예상되는 비용을 평가하고 재원확보 방안을 정한다. 원전해체 비용은 2년마다 방사성폐기물관리기금 운용심의회를 통하여 원전해체에 소요되는 추정비용을 산정한다. 해체재원은 해체에 쓰일 충당금을 매년 주식회사 등의 외부감사에 관한 법률 제5조에 따른 회계처리기준에 따라 충당부제로 적립하여 확보한다. 위의 기술기준을 반영한 해체비용 산정 및 확보방안은 이 계획서의 2.3절 및 2.4절에서 기술하고 있다.

#### 1.2.3 제85조의5(해체에 대비한 전략 등)

사업자는 원자로시설의 건설 개시 전에 해체전략을 수립하여야 하며, 건설·운영 중 주요 변경사항을 반영하여 그 유효성을 유지하여야 한다. 동일한 부지 안에 둘 이상의 원자로

시설을 설치·운영하는 경우에는 특정한 원자로시설의 해제가 다른 원자로시설의 안전성에 영향을 미치지 아니하도록 해제전략이 수립되어야 한다. 원자로시설의 해제에는 입증된 기술을 적용하여야 하며, 새로운 해제방법을 적용할 경우에는 타당한 근거를 제시하고 그 안전성을 입증하여야 한다. 해제전략의 수립 및 해제방법의 선정에는 국내외 유사 시설의 해제경험과 교훈을 반영하여야 한다.

#### 반영내용

세계 주요 국가의 원전해제 경험과 교훈을 반영하고, 안전성과 경제성 등의 다양한 점토를 통하여 해제전략이 결정된다. 이 세부내용은 4.1절에서 기술하고 있다. 현재까지 발전소의 건설 및 운영 중 주요 변경사항은 1.4절에서 기술하고 있으며, 향후 예비해제계획서의 주기적인 갱신을 통해 지속적으로 유효성을 유지할 계획이다. 동일한 부지 안에 들어섬의 원자로 설치에 따른 해제영향 평가계획 및 이에 따른 해제전략과 해제방법은 4.1절에서 기술하고 있다. 또한 해제에는 입증된 기술을 적용할 계획이다. 해제기술 적용에 대한 내용은 이 계획서의 8장에서 기술하고 있다.

#### 1.2.4 제85조의6(용이한 해제를 위한 조치)

원자로시설은 안전하고 용이한 해제를 위하여 다음 각 호의 기준에 따라 설계·건설 및 운영되어야 한다. 1) 원자로시설의 주요 계통은 방사성오염의 발생 및 방사성물질의 누설 가능성을 최소화할 수 있을 것, 2) 원자로시설의 주요 구조물 및 기기는 철거가 용이하도록 배치할 것, 3) 방사성물질에 오염된 구조물, 계통 및 기기를 제거하기 위한 방안을 갖출 것, 4) 방사성폐기물의 발생량(방사능 및 부피를 말한다)을 가능한 한 최소화할 것, 5) 해제에 영향을 미칠 수 있는 설계·건설 및 운영에 관한 주요 기록을 보존할 것

#### 반영내용

발전소의 현재 설계·건설 및 운영사항을 기준으로 제85조의6(용이한 해제를 위한 조치)에 대해 제시하였다. 1) 발전소의 주요 계통은 가능한 범위 내에서 방사성오염의 발생 및 방사성물질의 누설 가능성을 최소화하도록 설계되어 있으며 이러한 내용은 5.1절과 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서(참고문헌 6)의 11장 및 12장에서 기술하고 있다. 2) 발전소의 주요 구조물 및 기기는 가능한 범위 내에서 철거가 용이하도록 배치하고 있으며, 이러한 내용은 5.1절과 참고문헌 6의 12장에서 기술하고 있다. 3) 발전소는 가능한 범위 내에서 방사성물질에 오염된 구조물, 계통 및 기기를 제거하기 위한 방안을 갖추도록 하고 있으며, 이러한 내용은 5.1절과 참고문헌 6의 11장 및 12장에서 기술하고 있다. 4) 발전소는 가능한 범위 내에서 방사성폐기물의 발생량(방사능 및 부피)을 최소화하도록 하고 있다. 이러한 내용은 5.1절과 5.2절 및 참고문헌 6의 11장에서 기술하고 있다. 5) 발전소의 해제에 영향을 미칠 수 있는 설계·건설 및 운영에 관한 주요 기록을 보존하도록 조치한다. 이러한 내용은 5.2절에서 기술하고 있다.

### 1.2.5 제85조의7(해체를 위한 사전계획)

사업자는 원자로시설의 건설 개시 전에 해체 시 적용할 다음 각 호에 관한 개략적인 계획을 수립하고, 건설·운영 중 주요 변경사항을 반영하여 그 유효성을 유지하여야 한다. 1) 방사선으로부터의 재해를 방지하기 위한 조치, 2) 방사성물질 및 그에 따른 오염의 제거방법, 3) 방사성 폐기물의 처리·저장·처분 방법, 4) 방사성물질 등이 환경에 미치는 영향의 평가 및 그 대책

#### 반영내용

한수원(주)은 다음과 같이 해체 시 적용할 개략적인 계획을 수립하였으며, 운영 중 주요 변경사항을 10년 주기로 반영하여 그 유효성을 유지할 예정이다. 1) 발전소는 해체 시 방사성물질로부터 재해를 방지하기 위한 조치가 고려되어 있다. 이에 대해서는 6장과 7장에서 기술하고 있다. 2) 발전소는 해체 시 방사성물질 및 그에 따른 오염의 제거방법이 고려되어 있다. 이에 대해서는 7장, 8장 및 9장에서 기술하고 있다. 3) 발전소는 해체 시 방사성폐기물의 처리, 저장 및 처분이 고려되어 있다. 이에 대해서는 9장에서 기술하고 있다. 4) 발전소는 방사성물질이 환경에 미치는 영향의 평가 및 그 대책이 고려되어 있다. 이에 대해서는 10장에서 기술하고 있다.

### 1.3 해체대상 시설의 종류와 특성

해체대상 시설의 종류와 특성은 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서를 참조하여 간략하게 기술하였다(참고문헌 6).

#### 1.3.1 개요

발전소는 기존 고리1,2,3,4호기와 신고리 1,2,3,4호기가 인접해 있는 울산광역시 울주군 서생면 신암리 일원에 위치하고 있으며, 전기출력 1,400 MWe인 동일 용량의 2개 호기로 구성되어 있다.

2개의 루프(loop)를 가진 가압경수형 원자로와 핵증기공급계통은 두산중공업주식회사와 한국전력기술주식회사가 공급한 것으로, 이 핵증기공급계통은 한국전력기술주식회사에서 설계한 프리스트레스트 콘크리트에 강철판이 라이닝된 원자로건물 내에 각각 수용되어 있다.

핵증기공급계통은 신청서에 기술한 정격출력인 핵증기공급계통 출력 4,000 MWt로, 터빈/발전기계통은 각 호기당 보증된 발전기 출력 1,435 MWe으로 정격 운전된다. 터빈발전기는 두산중공업주식회사가 공급하였다.

### 1.3.2 발전소 배치요약

본관건물의 배치는 각각 터빈건물이 원자로건물에 대하여 방사형 배치형태가 되도록 하며, 양 호기 공유형인 복합건물을 중심으로 각 호기는 원자로건물, 보조건물 및 터빈건물로 구성되어 있다. 보조건물은 핵연료취급 지역과 비상디젤발전기 지역을 통합한 4분할(Quadrant) 배치로서, 원자로건물을 둘러싸고 있는 형태로 배치된다.

각 호기는 인접한 발전소 부지와외 간섭을 피하여 배치한다. 순환수 취수 및 배수 구조물에 대한 위치는 인접호기의 배치를 고려하여 부지활용의 극대화와 경제적인 배치가 되도록 한다. 발전소 정상 가동 시 단일 통제장소를 통하여 사람의 출입을 철저히 통제할 수 있도록 배치한다.

발전소 배치에 대한 그림과 발전소 건물 및 기기에 대한 상세 배치도는 각각 참고문헌 6의 그림 1.2-1과 1.2-2~1.2-34를 참조한다.

### 1.3.3 주요건물

#### 1.3.3.1 원자로건물

원자로건물은 원통형 벽체와 반구형 돔으로 구성되는 프리스트레스트 콘크리트 쉼 구조로서 안전성관련 구조물 공동매트 기초슬래브에 의해 지지되어 있다. 원자로건물의 내측면은 누설방지를 위해 강재 라이너를 레이트로 피복되어 있다. 원자로건물의 원통형 벽체는 수평덴돈과 역 U형의 수직덴돈으로 포스트텐서닝 방식에 의해 프리스트레싱된다. 원자로건물에는 3개의 구역이 등간격으로 설치되며, 수평 덴돈은 중간 구역을 통과하는 외벽의 240° 원호길이를 한 단위로 하여 구역에 정착되어 있다. 돔은 직교하는 두 그룹의 역 U형 수직덴돈과 스프링라인에서 45° 까지 설치되는 수평덴돈으로 프리스트레싱되어 있다. 역 U형 수직덴돈은 외벽을 수직으로 가로질러 설치되며 그 양단이 안전성관련 구조물 공동매트 기초슬래브 안에 있는 덴돈관리 천정에 정착되어 있다. 포스트텐서닝 시스템은 6-42 시스템으로서 뼈기 형태의 정착방식을 사용하였다. 각 덴돈은 공칭직경이 1.52 cm(0.6 in)인 7개의 소선으로 구성되는 42개의 연선으로 이루어지며, 소선은 극한강도  $f_{pu} = 19,000 \text{ kg/cm}^2(270 \text{ ksi})$  인 저 탄소세이션 강선이다.

원자로건물은 외부 비산물로부터 내부의 안전 관련 계통, 기기 및 구조물을 보호하는 기능을 수행하고, 이들과는 서로 독립적으로 작동하도록 설계하였다. 원자로건물은 보조건물에 둘러싸여 있지만, 기초슬래브를 제외하고는 보조건물과 별도의 구조적 연결은 없으며, 상호작용으로 인한 간섭이 발생되지 않도록 설계하였다.

원자로건물은 원자로 및 증기발생기 등의 원자로병각재계통, 보조계통 및 공학적안전설비

계통을 수용하며 냉각재 상실사고시 10 CFR 100.11에 규정된 제한치 이상의 방사능물질이 외부환경으로 누출되지 않도록 설계되었다. 장비반입구, 작업자출입구 등의 부위는 콘크리트 단면의 두께를 일반벽체보다 크게 설계하였다.

원자로건물의 주요 제원은 다음과 같다.

- 가. 기초슬래브 두께: 다양(최대 10.06 m(33 ft))
- 나. 원자로건물의 내부지정: 45.72 m(150 ft)
- 다. 원자로건물의 내부높이: 76.66 m(251.5 ft)  
(기초슬래브의 상부로부터 돔 정상부의 내부 천장까지)
- 라. 원자로건물 벽체두께: 1.37 m(4.5 ft)
- 마. 돔 두께: 1.22 m(4.0 ft)

### 1.3.32 터빈건물

터빈발전기건물은 내진범주 II급 구조물로서 증기발생기에서 생성된 고온/고압의 증기를 받아 구동되는 고압터빈, 저압터빈, 발전기 및 그와 관련된 보조계통 등을 수용하는 건물로서 건물기초, 터빈/발전기 기초구조물 및 상부구조물로 구성되어 있다.

건물기초 및 지하 전단벽을 포함한 건물하부는 철근콘크리트 전면기초이고, 터빈/발전기 기초구조물은 철근콘크리트 공간 골조 형태이며 슬래브 내크 및 건물기초에 지지되는 기둥으로 구성되어 있다. 상부 구조물은 브레이싱으로 보강되는 철골 뼈대 구조이며 철골 보가 지지하는 철근콘크리트 슬래브 2개층과 그레이팅 1개층 및 지붕으로 구성되어 있다.

터빈건물은 구조적인 손상이나 상호작용이 안전성관련 구조물에 영향이 미치지 않도록 안전정지장치에 대하여 설계되었다.

### 1.3.33 보조건물

보조건물은 전기 및 제어계통지역, 주증기발전기실, 화학 및 제척제어계통지역, 비상디젤 발전기지역 그리고 핵연료취급지역으로 구성되어 있다. 보조건물의 벽체 및 중슬래브는 철근콘크리트구조, 기둥 및 보의 합성구조로 구성되며 원자로건물과 공동매트기초를 공유하고 있다. 보조건물에는 구조적 기능 이외에도 생물학적차폐와 토네이도 비산물에 대한 방호역할을 할 수 있도록 설계된 구조요소가 포함되어 있다. 차폐 및 구조적 역할을 하는 요소의 두께는 약 0.46 m(1.5 ft)에서 3.05 m(10 ft)이다.

### 1.3.34 복합건물

복합건물은 내진범주 II급 구조물로서, 기존 표준원전의 2개 호기의 출입통제건물, 방사성

폐기물 건물이 통합된 공용건물이며, 양호기 보조건물 사이에 위치하고, 출입통제 관련 설비 및 방사성폐기물처리 관련 설비들이 배치되었다. 복합건물은 전면기초에 지지되는 철근콘크리트 전단벽, 내부격벽, 슬래브, 보 및 기둥으로 구성되어 있다. 건물외부의 전단벽과 지붕은 방사능 차폐 및 비산물 방호역할을 하며 각종 및 지붕은 슬래브, 보, 기둥 및 내부벽체로 구성되어 있다. 기둥과 보는 강재와 철근콘크리트의 합성구조로 구성되어 있다.

### 1.3.4 주요계통

#### 1.3.4.1 핵증기공급계통

핵증기공급계통은 포화증기를 생산하며 4,000 MWt의 열출력을 생산한다. 핵증기공급계통은 2개의 1차 냉각재 루프(loop)로 구성되는데 각각의 1차 냉각재 루프에는 2개의 원자로냉각재펌프, 1개의 1.07 m(42 in) 내경 고온관, 2개의 0.76 m(30 in) 내경 저온관으로 구성된다. 또한, 안전주입배관이 원자로용기에 직접 연결된다. 전열기가 설치되는 가압기가 1차 냉각재 루프 중 1개에 연결된다. 가압기는 발전소 과도상태 대응능력을 향상시키기 위해 APR1400 이전노형에 비해 용량을 증대시켰다. 가압된 원자로냉각재는 전기구동, 1단(single stage), 원심형의 원자로냉각재펌프에 의해 순환된다. 원자로냉각재는 원자로용기 내벽과 노심지지동계 사이로 하강하여 노심을 통해 상승하고 고온관을 지나서 증기발생기 전열관 내부로 흘러서 원자로냉각재펌프로 돌아간다. 증기발생기에서 생산된 포화증기는 터빈으로 보내진다.

원자로 노심은 양쪽 끝이 캡으로 용접된 ZIRLO 튜브 내에 봉합되어 있는 이산화우라늄 펠렛으로 장전되어 있다. 튜브는 양끝 이음쇠가 축방향 운동을 제한하고 격자관이 튜브의 측면 운동을 제한하는 조립품으로 제작된다. 제어봉집합체(CFA)는 붕소단화물 또는 은-인듐-카드뮴 흡수봉과 니켈-크롬-철 합금으로 흡수강도가 약한 인코넬합금 흡수봉으로 구성되어 있으며, 핵연료집합체에 있는 안내관에 의해 삽입 및 인출이 유도된다. 노심은 241개의 핵연료집합체로 채워지며, 초기에는 서로 다른 U-235 농축도로 장전된다. 핵증기공급계통 전체 열출력은 4,000 MWt이며, 노심 열출력은 3,983 MWt이다.

원자로내부구조물은 노심지지배럴, 하부지지구조물/노내세척기 노즐집합체, 노심슈라우드, 그리고 상부안내구조물집합체를 포함한다. 노심지지배럴은 원동 구조물로서 상단부의 환형 플랜지가 원자로용기의 벽(ledge)에 의해 지지되며, 노심 전체의 무게를 지탱한다. 노심지지배럴의 하부에는 방진기(smubber)가 설치되어 횡방향 및 비틀림 운동이 제한된다. 하부지지구조물은 노심의 무게를 보(beam) 구조물을 통해 노심지지배럴에 전달한다. 노심슈라우드는 노심을 둘러싸며, 노심의 우회유량을 최소화시킨다. 상부안내구조물집합체는 냉각재의 유동으로부터 제어봉집합체를 보호하고 핵연료집합체 이동을 방지한다.

#### 1.3.4.2 정지냉각계통

정지냉각계통은 원자로냉각재 온도를 176.7℃(350°F)에서 평균 재장전 온도인 48.9℃(120°F)까지 제어된 냉각물로 감소시키고, 재장전기간중 원자로냉각재 온도를 적절하게 유지시키기 위하여 사용된다. 이 계통은 2대의 정지냉각열교환기를 통하여 원자로냉각재를 냉각시켜 원자로냉각재계통으로 되돌려 보내기 위해 2대의 정지냉각펌프를 사용한다. 1차측기기냉각수 계통은 정지냉각열교환기에 냉각수를 공급한다.

#### 1.3.43 화학 및 제적제어계통

화학 및 제적제어계통은 원자로냉각재의 순도, 제적 및 붕소 농도를 조절한다. 화학 및 제적제어계통은 안전정지 혹은 사고완화를 위한 운전이 요구되지 않는다.

원자로냉각재 일부를 연속적으로 우회시켜 정화함으로써 원자로냉각재계통의 냉각재 순도를 조절한다. 원자로냉각재 계통에서 유출된 원자로냉각재는 재생열교환기와 유출열교환기를 통과하면서 냉각된 후, 필터와 탈염기를 통과하면서 부식생성물 및 핵분열생성물이 제거된다. 그 후 원자로냉각재는 제적제어탱크로 유입되고 충전펌프에 의해 원자로냉각재계통으로 다시 주입되기 전에 재생열교환기를 통과하면서 예열된다. 충전펌프 후단의 일부 유량은 원자로냉각재펌프의 밀봉수로 공급된다.

화학 및 제적제어계통은 프로그램 된 가압기 수위를 유지하기 위하여 원자로냉각재의 양을 자동으로 조절한다.

#### 1.3.44 안전주입계통

발생 가능성이 매우 희박한 사고인 냉각재상실사고시, 안전주입계통은 원자로냉각재계통에 붕산수를 주입한다. 안전주입계통은 4세열의 안전주입계통 유로 및 원자로건물내재장전수탱크로 구성되어 있다.

안전주입계통은 붕산수를 원자로용기로 직접 주입하기 위해 4대의 안전주입 펌프를 이용하며 또한, 4대의 안전주입탱크가 제공된다. 안전주입펌프는 원자로건물내재장전수탱크에 연결되며 냉각재상실사고 후에 재순환을 위한 유로의 변경은 필요 없다. 이 계통은 노심상과 핵분열생성물의 방출을 제한하도록 노심을 냉각하고 충분한 정지여유도를 제공한다. 또한 안전주입계통은 원자로건물내재장전수탱크로부터 붕산수를 재순환함으로써 사고 후에도 장기간 동안 연속적으로 노심을 냉각한다.

#### 1.3.45 원자로건물살수계통

원자로건물살수계통은 원자로건물 대기로 질량-에너지가 방출되는 설계기준사고시 원자로건물 압력 및 온도가 설계제한치 이내로 유지되도록 설계되어 있다.

원자로건물살수계통은 2개의 다중계열로 구성된 계통이다. 2대의 원자로건물 살수펌프는 2대의 열교환기를 통해 원자로건물 상부영역으로 냉각수를 공급한다. 살수모관을 통해 원자로건물 내 전단면적에 걸쳐 비교적 균일한 분포로 살수를 제공한다. 계통수원은 원자로건물내재장전수탱크이다. 원자로건물살수펌프는 수동배열을 통해 정지냉각계통 운전 시 간열제거펌프로 사용될 수 있다. 이와 마찬가지로 정지냉각펌프도 수동배열을 통해 원자로건물 살수기능을 수행할 수 있다.

#### 1.3.46 원자로건물격리계통

원자로건물격리계통은 가상 설계기준사고 후 원자로건물로 방출되는 방사성 물질을 억제하기 위해 원자로건물을 관통하는 유체계통의 격리 수단을 제공한다. 원자로건물 격리계통은 설계기준사고 후 원자로건물을 관통하는 비안전성관련 유체계통의 격리기능을 수행한다. 원자로건물 격리를 위한 특정 계통은 없으나, 격리설계는 여러 유체계통의 관통부에 허용하는 공통 기준을 적용하고 원자로건물 내부압력을 이용한 원자로건물격리작동신호에 의해 적절한 밸브들이 작동되도록 설계되어 있다.

#### 1.3.47 안전감압배기계통

안전감압배기계통은 다음의 기능을 수행하도록 설계된 안전계통이다.

- 가. 발전소를 상온정지까지 냉각하는 동안 가압기 주삼수 및 보조삼수를 이용할 수 없는 사고 시에 원자로냉각계통을 감압시키는 안전등급 수단을 제공한다.
- 나. 원전급수상실사건 시에 주압 및 방출운전으로 발전소를 냉각시키기 위해 가압기 과열궤구동 안전방출밸브를 이용하여 원자로냉각계통을 빠르게 감압시킬 수 있다.

안전감압배기계통은 원자로용기상부헤드 및 가압기 증기영역에서 원자로건물내재장전수탱크의 유로를 제공하는 밸브 및 배관을 포함한다.

#### 1.3.48 세척제어

세척제어계통은 주제어실에서 다른 모든 계통과 통합되며, 보호계통, 제어계통 그리고 연동장치가 발전소의 안전한 운전을 위해 제공된다. 모든 자동계통들에 대한 정상적인 보조제어 형태로서 수동운전을 제공하기 위해 충분한 세척 및 제어장비가 공급된다.

발전소보호계통은 발전소가 규정된 안전제한치에 도달할 경우 원자로정지를 개시하거나 또는 유체계통이나 원자로건물 관련 변수가 규정된 제한치에 도달될 때 공학적안전설비 계통에 작동신호를 제공도록 설계되어 있다.



다양성보호계통은 원자로정지, 보조급수, 안전주입 및 원자로건물격리의 개시를 위해 원자로보호계통과 분리되어 있고, 다양한 논리를 이용함으로써 원자로보호 기능을 증대시키도록 설계되어 있다.

공학적안전설비작동계통은 공학적안전설비계통들을 자동적으로 작동시키기 위해 원자로보호계통과 유사한 방법으로 운전된다. 어떠한 단일고장도 안전기능을 수행하는 계통의 기능을 방해하지 않도록 2/4 또는 1/2 작동논리를 갖는다. 제어계통과는 완전히 독립되어 있다.

원자로제어계통은 원자로의 기동, 운전 및 정지는 여러 제어계통들의 작동을 통하여 이루어진다. 제어계통들은 핵증기공급계통이 정상운전조건에서 유지되도록 원자로 출력을 조절하고 또한 발전소 과도현상들에 반응하도록 설계되어 있다.

핵제측기기는 노외 및 노내 중성자속 검출기와 이와 관련된 신호처리장비로 구성되어 있다. 노외제측기기는 4개의 안전채널과 2개의 기동 및 제어 신호처리함으로 구성되며, 원자로 출력을 감시한다. 노내제측기기는 노심 내 중성자속 분포에 대한 정보를 제공하는 자기전원공급형(self-powered) 검출기로서 노심 내에 분산 배치되어 있다.

공정감시계통은 온도, 압력, 유량 및 수위 정보를 운전원이 발전소 운전조건을 파악할 수 있도록 요구된 형태로 제공된다. 보호채널들은 원자로보호계통으로부터 제공되는 트립 및 예비트립 정보를 제공할 뿐만 아니라, 보호 조치를 위해 사용된 다양한 변수들을 지시한다.

방사성폐기물관련 공정감시계통은 발전소 액체 및 가스 유출물들이 적절한 방사능 한계 내에서 유지됨을 확인할 수 있도록 설계되어 있다.

#### 1.3.49 동력변환계통

동력변환계통의 기능은 원자로에 의해 생성된 열 에너지를 전기에너지로 변환하는 것이다. 열 에너지는 터빈발전기를 운전할 수 있는 증기를 2대의 증기발생기에서 생산한다.

증기 및 동력변환계통은 재생된 급수 열을 포함한 응축 사이클을 활용한다. 터빈 배기증기는 복수기에서 응축된다. 증기에서 환원된 복수는 복수 및 급수계통을 통하여 증기발생기로 되돌아간다.

터빈우회계통은 전부하 주증기 55%를 우회시킬 수 있고 터빈 그리고/또는 원자로가 정지해 있는 동안 원자로냉각계통으로부터 열을 제거한다. 이 계통은 터빈 쪽으로의 유동 중지해 따른 증기발생기의 압력 상승을 제한하기 위해 8개의 터빈우회밸브로 구성되

어 있다. 일단 터빈 쪽으로의 증기 유동 통로가 터빈정지밸브의 닫힘에 의해 막히면 붕괴열은 복수기로 증기를 보냄으로 제거된다.

주증기대기방출밸브는 고온대기 혹은 복수기진공상실사건에서 발전소를 유지하고, 정지냉각재통이 사용가능한 시점까지 발전소를 냉각시키기 위한 능력을 제공하기 위해 주증기격리밸브의 입구 측 주증기배관에 연결되어 있다.

증기발생기의 셀측과 터빈정지밸브의 입구 쪽의 주증기배관까지의 과압보호는 스프링 구동 안전밸브에 의해 제공된다. 터빈우회밸브의 조정은 안전밸브의 개방을 방지한다. 원자로출력급감발재통과 연계된 증기우회재통은 터빈 그리고/또는 원자로정지에 따른 안전밸브의 개방을 예방한다.

각 증기발생기는 2개의 증기 배출배관을 가지고 있다. 각 배관은 유량측정기, 5개의 스프링구동 안전밸브, 주증기격리밸브, 동력구동 대기방출밸브 그리고 우회배관과 각 주증기격리밸브 주변의 밸브로 구성되어 있다. 각 주증기배관은 터빈정지밸브와 고압터빈 바로 전단의 제어밸브로 구성되어 있다.

#### 1.3.410 전기계통

발전소 정상운전 동안에는 발전소 보조기기에, 발전소 비정상 조건 및 사고 조건 동안에는 원자로보호계통과 공학적안전설비계통에 전력을 공급하도록 소외 및 소내전력계통이 갖추어져있다.

소내배전계통은 2개의 분리되고 독립된 회로를 통하여 스위치야드에 연결된다. 하나의 회로는 소내보조변압기와 주변압기를 통하여 스위치야드에 연결되며, 또 다른 회로는 대기보조변압기를 통하여 스위치야드로 연결되어 있다.

발전소 소외전력계통은 신고리 5,6호기의 765 kV 신고리 S/S는 한전 송전망에 연결되는 765 kV 송전선로 2회선, 345 kV 고리NP S/Y와 연결되는 345 kV 송전선로 3회선 및 신고리 1~6호기 주변압기에 연결되어 구성된다. 이와 독립된 154 kV 스위치야드는 1회선의 수전선로를 통하여 345 kV 고리NP S/Y와 연결된다.

발전소 소내전력계통은 주발전기, 상분리모선, 발전기차단기 및 3대의 단상변압기로 구성된 주변압기로 구성되어 있다. 이 계통의 주요 기능은 발전소 보조설비에 전력을 공급함과 동시에 전기를 생산하고 송전계통으로 전력을 보내는 것이다. 발전기는 회전자가 정격속도에 도달하고 재자가 여자된 후에 발전기차단기를 투입함으로써 계통에 연결되며, 자동 및 수동 계통병합은 동기점정기에 의해서 감시되고 제어된다. 또한, 주발전기가 운전되지 않을 경우, 이 계통은 송전계통으로부터 전력을 공급받아 소내보조설비로 전력을 공급하는데 사용된다. 발전기차단기는 정상운전상태에서 부하전류차단, 전력계통 과도상

## 신고리 5,6호기 예비해체계획서

대 및 주요 고장상태에서 계통의 최대 고장전류를 차단할 능력을 가지고 있다.

신고리 5,6호기는 양 호기 동시 소내정전사고 대처가 가능하도록 대체교류전원으로 이용할 수 있는 대체교류디젤발전기를 각 호기에 1대씩 설치한다. 각호기에 설치된 대체교류전원 설비는 스위치기어의 연계를 통하여 서로 연결되며, 다음과 같은 경우에 연계선로가 사용된다.

- 가. 한 호기의 대체교류디젤발전기 상실시 해당호기에 소내정전사고가 발생하고 인접호기는 정상운전중인 경우 인접호기의 대체교류전원이 연계선로를 경유하여 소내정전사고에 대처할 수 있다.
- 나. 한 호기에 소외전원상실사고가 발생하고 인접호기는 정상운전중인 경우 인접호기의 소내 전원이 대체교류전원의 스위치기어 및 연계선로를 경유하여 대체교류전원의 보조설비에 공급될 수 있다.

### 1.3.4.11 공기조화계통

모든 건물의 공기조화계통은 발전소 운전원의 편의성과 기기 운전을 위해 설계된다. 아래 기술된 특징을 갖춘 공기조화계통이 설치된다.

- 가. 주제어실 공기조화계통은 정상운전과 사고 후 운전정지 동안에 운전원이 주제어실내에서 계속적으로 안전하게 거주하도록 설계된다.
- 나. 해연료취급지역 공기조화계통은 해연료취급사고 후 10 CFR 100.11의 선량제한치를 만족시키기 위해 방사선 방출을 제한할 수 있도록 한 방함 환기계통으로 설계된다. 이 지역은 부압으로 유지하고, 저방사능 오염지역에서 고방사능 오염지역으로 기류가 유동되도록 한다.
- 다. 복합건물 공기조화계통은 정화 배출하는 한 방함 환기계통이다. 이 지역은 부압으로 유지하고, 저방사능 오염지역에서 고방사능 오염지역으로 기류가 유동되도록 한다.
- 라. 보조건물 관리지역 공기조화계통은 10 CFR 100.11의 선량제한치를 만족하기 위해 사고 후 오염된 누설을 여과할 수 있도록 한 방함 환기계통을 구성한다. 이 지역은 부압으로 유지하고, 저방사능 오염지역에서 고방사능 오염지역으로 기류가 유동되도록 한다.
- 마. 원자로건물 폐기계통은 정상운전 그리고 재창전 작업동안에 공기 정화를 위해 사고 후 원자로건물 격리설비와 공기정화기를 갖추어야 한다. 원자로건물 내의 해연료취급사고의 경우 10 CFR 100.11의 선량제한치를 만족하기 위해 방사선 방출을 제한한다.

### 1.3.4.12 화재방호계통

화재방호계통은 화재발생의 잠재성과 화재 발생 후 영향을 최소화한다. 화재방호계통에

의한 주요기능은 다음의 내용을 포함한다.

- 가. 화재의 신속한 감지 및 경보
- 나. 화재의 신속한 진압
- 다. 화재확산 방지
- 라. 화재 사건 시 안전정지를 이룰 수 있는 능력 보장
- 마. 화재의 결과로 인한 방사능누출 및 확산 최소화
- 바. 자동화재진압제동을 위한 수동보완 설비

#### 1.3.4.13 핵연료 취급 및 저장

핵연료취급기기는 모든 기술된 환경 하에서 핵연료집합체 및 제어봉집합체를 안전하게 취급할 수 있도록 설계되어 있으며, 주요 부품은 핵연료재장전기, 제어봉집합체교체대, 핵연료이송계통, 사용후연료이송기기, 사용후연료취급기, 신연료송강기, 제어봉집합체송강기 등이다. 이 기기들은 노심 인출 및 재장전 운전 동안 연료 저장설비, 원자로건물, 연료선적 및 반입구역에서 신연료 및 사용후연료를 이송하기 위해 사용된다. 핵연료는 핵연료재장전기를 사용하여 노심에 장전되거나 노심으로부터 제거된다. 정상운전 동안 조사된 핵연료 및 제어봉집합체는 항상 물속에 보관한다.

#### 1.3.4.14 냉각수계통

발전소에서 사용되는 냉각수계통은 순환수계통, 1차측 기기냉각해수계통, 1차측 기기냉각수계통, 2차측 기기냉각수계통, 냉수계통, 2차측 기기냉각해수계통, 최종 열제거원으로 구성되어 있다.

#### 1.3.4.15 방사성폐기물 관리계통

보조건물에 위치하는 신수저탱크를 제외하고 고체, 기체 및 액체방사성폐기물관리기기는 모두 복합건물 내에 위치한다.

##### 1.3.4.15.1 액체방사성폐기물관리계통

액체방사성폐기물관리계통은 액체방사성폐기물을 수집, 분리, 저장, 처리, 시료채취 및 감시할 수 있는 수단을 제공하여 발전소 종사자, 일반 대중 및 환경을 보호한다. 또한, 액체방사성폐기물이 비 방사성유동 물질과 혼합되어 방사능으로 오염될 가능성을 최소화하기 위해 액체방사성폐기물 종류별로 분리한다. 처리된 액체방사성폐기물은 감시탱크에서 배출하기 전에 시료채취가 이루어지고 통제 감시 하에 배출될 수 있도록 배관에 방사선 감시기가 설치되어 있다.

#### 1.3.4.15.2 기체방사성폐기물관리시스템

기체방사성폐기물관리시스템은 신고리 5,6호기 공용으로 내진범주 II로 설계된 복합건물 내에 설치되며, 탈기제 처리기기들로부터 배기되는 고준위 방사성기체를 수집하여 일정기간 지연, 붕괴시킨 뒤 배출한다.

저준위방사성기체는 해당건물 공기조화시스템에서 여과 처리된 다음 대기로 배출된다. 저준위방사성기체를 처리하는 시스템에는 건물 배기시스템, 복수기진공시스템 및 터빈축밀봉시스템이 있다.

#### 1.3.4.15.3 고체방사성폐기물관리시스템

고체방사성폐기물관리시스템은 고체방사성폐기물을 수집, 분리, 처리, 시료채취, 감시 및 포장하기 위한 수단을 제공하여 종사자, 일반대중 및 환경을 보호하도록 설계된다. 포장된 폐기물은 부지 내 중저준위 방사성폐기물 임시저장고 또는 영구처분장으로 이송하기 전에 복합건물 내에 일정기간 저장된다. 고체방사성폐기물관리시스템은 허가된 처분장으로 운송하기 전에 일정기간 임시 저장하기 위해 습식폐기물과 건조폐기물을 모두 처리한다.

복합건물에 일정기간 저장한 폐기물드럼 등 발전소에서 발생한 포장 폐기물을 취급하고 이들 폐기물을 영구처분시설로 이송하기 전까지 저장하기 위해 공용설비인 중저준위폐기물 저장 부재동이 설치되어 있다. 본 시스템은 발전소 부지내 중저준위방사성폐기물 임시저장고에 위치한다.

### 1.4 주요 건설 및 운영이력

#### 1.4.1 주요 건설이력

신고리 5,6호기는 2012년 9월 21일에 건설허가를 신청하였다. 발전소의 주요 건설이력은 표 1-1에 제시하였다.

#### 1.4.2 주요 운영이력

##### 1.4.2.1 운전주기별 주요이력

발전소해체에 영향을 미칠 수 있는 운전주기별 주요이력은, 다음과 같은 항목들에 대하여 작성하였으며 그 결과는 표 1-2에 제시하였다.

- 가. 주기별 운전일수(기간, EFPD<sup>1)</sup>) 및 핵연료 손상이력
- 나. 중기발생기 전열관 판막음 이력

## 신고리 5,6호기 예비해체계획서

다. 원자력안전위원회 고시의 “원자력이용시설의 사고·고장 발생시 보고·공개 규정” 별표 3항의 2번 각 항에 해당되는 사항(참고문헌 7)

### 1.4.22 주요 설비 개선

발전소해체에 영향을 미칠 수 있는 운영 중 주요 설비 개선사항을 아래와 같이 구분하여 작성하였다. 그 결과를 표 1-3에 제시하였다.

- 가. 1차측 압력경계 배관, 폐기물관리계통 및 HVAC 유로 변경 등
- 나. 원자로건물 내 대형기기들의 원형 교체

## 1.5 운영 중 시설과 부지주변의 오염사건 및 사고이력

발전소 운영기간 시설과 부지주변이 오염된 사건 및 사고이력은 보고대상 사건으로 원자력안전위원회 고시의 “원자력이용시설의 사고·고장 발생시 보고·공개 규정” 대상 사건 중 시설과 부지주변의 오염 가능성이 있는 사건 및 사고이력을 표 1-4에 제시하였다(참고문헌 7).

## 1.6 예비해체계획서의 구성 및 형식

### 1.6.1 작성기준

예비해체계획서의 작성 요령은 원자력안전위원회의 원자력이용시설 해체계획서 등의 작성에 관한 규정을 참조하였다(참고문헌 5). 편집 양식은 미국 원자력규제위원회의 규제 지침서 1.70 “원자력발전소 안전성분석보고서 표준양식 및 내용에 관한 지침”을 참고하여 작성하였다(참고문헌 8).

### 1.6.2 페이지 부여

본문이나 표에 대한 개장사항을 반영할 수 있도록 페이지가 주어져 있으며, 모든 페이지에는 장 단위로 번호가 주어져 있다. 즉 1-1은 1장의 첫 페이지를 나타내며 표와 그림도 장 단위로 번호가 매겨져 있다. 또한, “표 1-1”은 1장의 첫 번째 표를 나타내며, 표와 그림은 장의 끝 부분에 위치한다.

### 1.6.3 참고문헌

본문에서 참고한 기술기준과 보고서 등은 각 장의 마지막 절로 작성되어 있다. 주요 참

---

1) EFPD(Effective Full Power Days): 유효전출력일수

## 신고리 5,6호기 예비해제계획서

고자료로서, 이 계획서에 인용된 기술기준, 특정보고서 및 기타 문서들이 12장의 참고문헌에 나열되어 있다.

### 1.6.4 사용단위

본문에 기재되어 있는 변수들은 법정계량단위를 주단위로 사용하고, 필요 시 영미 단위(ft-lb)를 병행 표기하였다. 단, 방사선 관련 변수들은 법정계량 단위만을 사용하였다.

### 1.6.5 개정 정보의 표시

추가적인 혹은 개정된 정보가 이 계획서에 반영될 때는 영함 받는 관련 페이지에 대해 개정번호 및 개정 날짜와 함께 표시하며, 개정번호와 함께 수직선이 개정된 부분의 측면에 표시된다.

### 1.6.6 도면

관련 계통 설명 시 필요할 경우 도면은 별도로 수록하지 않고, 참고문헌 6을 참조토록 하였다.

## 1.7 참고문헌

1. 원자력안전법.
2. 원자력안전법 시행령.
3. 원자력안전법 시행규칙.
4. "원자력시설 등의 기술기준에 관한 규칙", 원자력안전위원회.
5. "원자력이용시설 해제계획서 등의 작성에 관한 규정", 원자력안전위원회.
6. "신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서", 한수원(주).
7. "원자력이용시설의 사고·고장 발생시 보고·공개 규정", 원자력안전위원회.
8. Regulatory Guide 1.70, "Standard Format and Content of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants (LWR Edition)", (Revision 3), U.S.NRC, 1978.

신고리 5,6호기 예비해체계획서

표 1-1

주요 건설일정

공 정	일 자	
	5호기	6호기
본관 기초굴착 착수	2016. 07. 01	2016. 07. 01
최초콘크리트 타설	2017. 04. 01	2018. 10. 01
원자로설치	2019. 12. 01	2021. 03. 01
초기전원가압	2020. 12. 01	2022. 03. 01
상온수압시험	2021. 11. 01	2023. 02. 01
고온기능시험	2022. 04. 01	2023. 07. 01
연료장전	2022. 08. 01	2023. 11. 01
준공	2023. 03. 31	2024. 06. 30



신고리 5,6호기 예비해체계획서

표 1-2(3 중 1)

주요 운영이력

<주기별 운전일수(기간, EFPD) 및 핵연료 손상이력(신고리 5호기)>

○ 신고리 5호기 해당사항 없음

<중기발생기 전열관 관막음이력(신고리 5호기)>

○ 신고리 5호기 해당사항 없음

신고리 5,6호기 예비해체계획서

표 1-2(3 중 2)

<주기별 운전일수(기간, EFPD) 및 핵연료 손상이력(신고리 6호기)>

○ 신고리 6호기 해당사항 없음

<중기발생기 전열관 관막음이력(신고리 6호기)>

○ 신고리 6호기 해당사항 없음

신고리 5,6호기 예비해체계획서

표 1-2(3 중 3)

<원자력안전위원회 고시 “원자력이용시설의 사고·고장 발생시 보고·공개 규정”  
별표 3항의 2번 각 항에 해당되는 사항>

○ 신고리 5,6호기 해당사항 없음

신고리 5,6호기 예비해체계획서

표 1-3

발전소해체에 영향을 미치는 1차계통 주요 설비 개선사항 및 사유

<1차측 압력경계 배관, 폐기물관리계통 및 HAVC 유로 변경 등(신고리 5,6호기)>

○ 신고리 5,6호기 해당사항 없음

<원자로건물 내 대형기기들의 원형(原形) 교체(신고리 5,6호기)>

○ 신고리 5,6호기 해당사항 없음

신고리 5,6호기 예비해체계획서

표 1-4

시설과 부지주변 오염가능 사건 및 사고 이력

○ 신고리 5,6호기 해당사항 없음

## 2 사업관리

### 2.1 조직

해체사업을 수행하기 위하여 총괄 조직과 품질관리 조직이 본사에 구성되고, 해체가 이루어지는 현장에 해체사업소가 구성된다. 또한 해체기술 개발 및 기술지원 업무를 담당하기 위해 기술지원 조직이 별도로 구성된다.

본사 해체 조직은 해체사업 관련 업무에 대한 책임과 권한을 가지며, 세부적으로 사업관리 조직 및 품질관리 조직 등으로 구성된다. 사업관리 조직은 해체전략 및 사업계획 수립, 해체비용 산정관리, 해체 인허가 및 현장 종합관리 등을 총괄한다. 품질관리 조직은 해체사업 관련 품질보증 및 품질계획 업무 등을 총괄한다.

해체사업소는 해체현장에서 수행하는 모든 해체활동에 대해 책임과 권한을 가지며, 해체 공정 단계에 따라 조직이 개편된다. 영구정지 전 준비단계에는 현장준비부서로 구성된다. 현장준비부서는 해체 현장업무 총괄, 설계변경 계획 수립, 영구정지 절차서 작성 총괄, 해체시설 부지·설비·계통 검토 등을 수행한다. 안전관리 단계에는 현장관리부서로 구성된다. 현장관리부서는 해체 현장업무 총괄, 공청회 등 인허가 지원, 해체원전 특성평가 지원, 해체 절차서·지침서 관리, 해체 종합설계 현장관리, 폐기물처리시설 구축 현장지원 등을 수행한다. 제염/해체단계에는 사업관리부서 및 사업운영부서로 구성된다. 사업관리부서는 현장공정관리, 안전관리, 해체설비 개발·관리 및 부지이용계획 수립 등을 수행한다. 사업운영부서는 계약관리, 예산관리, 현장작업 제반업무, 철거작업관리, 해체폐기물관리 등을 수행한다. 부지복원단계에는 현장사업부서로 구성된다. 현장사업부서는 인허가 종료 제반업무, 잔류 방사능 측정 및 평가, 부지복원 수행, 산업안전관리 및 해체폐기물 종합관리 등을 수행한다.

기술지원 조직은 인허가 및 기술지원부서로 구성된다. 인허가 및 기술지원부서는 해체계획서·해체원료보고서 작성 등 인허가 지원, 기술개발 및 기술지원 업무를 수행한다.

### 2.2 인력

해체를 위해서는 해체단계에 따라 역무에 적합한 인력이 필요하다. 영구정지 전 준비 단계에서는 해체사업의 준비와 계획의 수립을 위해 인력이 필요하다.

다음 단계인 안전관리기간에는 최종해체계획서 및 원전해체 인허가를 위한 본사 및 기술지원 조직 인력 이외에, 사용후핵연료 관리와 계통제염, 필수 유지계통 운영 등을 위한 해체사업소 인력이 필요하다. 이 인력은 기존 발전소 인력의 일부 전환을 통하여 점진적으로 확보된다.

제염·해체가 착수될 경우 현장 해체사업소 인력이 추가로 필요하며, 단계적으로 증원된다. 이들은 공정관리, 작업관리, 안전관리, 해체폐기물관리 등의 역할을 담당하게 된다.

제염·해체가 종료된 후 부지복원단계에서는 철거·절단을 수행했던 인력들은 줄이고, 부지복원을 수행할 수 있는 인력을 배치하여 운영한다.

해체수행 시 한수원(주)의 인력 이외에 작업내용에 따른 추가 인력이 별도로 투입될 수 있다. 예로써, 제염 및 기기의 제염, 해체 및 철거 작업, 해체폐기물처리 작업, 안전관리 및 부지복원 등의 업무에 계약사의 인력이 투입될 수 있다.

## 2.3 해체비용

한수원(주)은 방사성폐기물관리법령에 따라 해당 발전소를 해체하는데 쓰일 총당금(이하 “총당금”으로 기술한다)을 주식회사 등의 외부감사에 관한 법률 제5조(회계처리기준)에 따라 총당부채로 적립하고 있다(참고문헌 1, 2, 3). 본 예비해체계획서에 기술된 해체비용 관련 내용은 산업통상자원부의 [ ]를 요약, 발췌하여 기술하였다(참고문헌 4, [ ]).

### 2.3.1 해체비용 산정 제제

방사성폐기물 관리법 제17조(원자력발전소 해체비용의 적립 등), 동법 시행령 제5조(방사성폐기물 관리비용의 산정기준 등), 제12조(총당금의 적립)에 따르면 산업통상자원부장관은 2년마다 방사성폐기물관리기금운용심의회(이하 “기금운용심의회”로 기술한다)를 통하여 발전소를 해체하는 데 소요되는 해체비용 총당금 산정기준을 검토하고 고시하도록 되어있다(참고문헌 1, 2, 4).

기금운용심의회는 해체비용 산정의 적정성 검토를 위해 원자력, 재무, 회계 등 분야별 전문가와 이해관계자의 참여를 통해 비용 산정요소 및 범위, 추진일정 등을 포함한 세부항목별 해체비용 산정안을 심의한다. 해체비용 산정은 국내 운영 중인 정수르 발전소 및 중수로 발전소 각 1기를 대상으로 수행되었으며, 그 중 둘은 비용이 적용되었다. 총 해체기간은 해체준비기간 2년을 포함하여 15년으로 추정하였다.

### 2.3.2 해체비용 산정 결과

2.3.1절에 의거, 호기당 발전소해체 추정비용은 8,129억 원으로 산정되었고 비목은 밀폐관리 및 철거비와 해체폐기물 처분비로 구분된다.

밀폐관리 및 철거비는 해체사업비, 감용시설비 및 기타비용으로 세분화된다. 해체사업비는 해체공정, 인력요건 등에 따른 단위작업을 분석하고, 각 공정별 예비비를 합산하여 산

## 신고리 5,6호기 예비해체계획서

정되었다. 감용시설비는 발전소 부지별 감용시설 설치를 가정하여 건설비와 운영비를 포함하여 산정되었고, 기타비용은 보험료, 규제비용, 연구개발비, 에너지비용 등을 합산하여 산정되었다.

해체폐기물 처분비는 폐기물 관리비용 및 예비비로 세분화되며, 폐기물 관리비용은 호기당 14,500드럼에 해당하는 방사성폐기물 처분비로 산정되었다. 방사성폐기물 처분비는 방사성폐기물관리비용, 중저준위 방사성폐기물 처분시설 지역지원수수료 및 방사성폐기물 운송료를 합산하여 산정되었다(참고문헌 6). 예비비는 해체폐기물 14,500드럼의 여유도(30%)에 해당하는 방사성폐기물 처분비로 산정되었다.

기금운용심의회에서 심의한 호기당 발전소해체 추정비용 상세내역은 표 2-1에 제시하였다.

### 2.4 재원확보

#### 2.4.1 해체재원

한수원(주)은 방사성폐기물 관리법 제17조 및 동법 시행령 제12조에 따라 발전소의 해체에 쓰일 총당금을 적립한다(참고문헌 1, 2). 총당금은 주식회사 등의 외부감사에 관한 법률 제5조의 회계처리기준에 따라 총당부채로 적립한다(참고문헌 3).

#### 2.4.2 총당부채 적립방법

한수원(주)은 총당부채로 상업운전 개시 연도에 초기총당금(2018년 말 기준, 호기당 8,129억 원의 현재 가치)을 적립하고, 매년 초기총당금의 가치 보전을 위해 할인율을 적용한 금액을 추가로 적립한다.

초기총당금은 초기총당금 산정시점에서 발전소를 해체하는 데 소요되는 추정비용을 산정하고, 여기에 물가상승률을 반영하여 해체착수 예상시점에서의 추정비용을 산정한 후, 이를 할인율로 할인하여 현재가치로 환산한 금액이다. 표 2-2에 발전소해체 총당금 계산식을 제시하였다(참고문헌 2). 추정비용, 물가상승률, 물가반영기간, 할인기간, 할인율 및 이자율은 산업통상자원부 장관이 정하는 고시에 따른다(참고문헌 4).

#### 2.4.3 재원확보방안

한수원(주)은 원전해체사업 자금소요시기에 맞추어 재원을 조달할 계획이며, 이와 별도로 해외 신인도 채고를 위해 2014년 말부터 원전 1기 호기분외 해체비용을 현금으로 적립하여 운용중이다.

### 2.5 참고문헌



## 신고리 5,6호기 예비해체계획서

1. 방사성 폐기물 관리법.
2. 방사성 폐기물 관리법 시행령.
3. 주식회사 등의 외부감사에 관한 법률.
4. "방사성폐기물 관리비용 및 사용후핵연료관리부담금 등의 산정기준에 관한 규정", 산업통상자원부.

5. "중·저준위 방사성폐기물 처분시설의 유치지역지원에 관한 특별법 시행령", 산업통상자원부.

신고리 5,6호기 예비해제계획서

표 2-1

호기 당 발전소해제 추정비용 상세내역

(2018년 말 기준, 단위: 억 원)

구 분		금 액	비 고
			-
			-
합 계		8,129	-

신고리 5,6호기 예비해제계획서

표 2-2

발전소해제 총당금 산정 계산식

초기 총당금	$\text{추정비용} \times (1 + \text{물가상승률})^{\text{물가연평균기간}} \times 1 / (1 + \text{할인율})^{\text{할인기간}}$
해당 연도 총당금	전년도 말 누계 총당금 × 이자율

### 3 부지 및 환경현황

#### 3.1 부지현황

부지현황은 신고리원자력 5,6호기 운영허가용 방사선환경영향평가서(참고문헌 1) 및 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서(참고문헌 2)를 참조하여 기술하였다.

##### 3.1.1 부지위치

발전소 부지는 행정구역상 울산광역시 울주군 서생면 신암리의 해안가에 위치하며 구릉지대에 위치하는 소규모의 평지와 효암천 인근의 저지대 및 해안으로 형성되어 있다. 구릉의 표고는 해발 150 m 내외로 비교적 낮은 편이며, 부지 인근의 장안천과 효암천 주변의 저지대에는 농경지 등이 분포하고 있다. 해안가 주위로 소규모의 촌락이 형성되어 있으며, 방파제 등과 같은 인공구조물이 축조되어 있다.

부지반경 10 km 이내의 주요 자연지형물은 야산 및 하천으로 이루어져 있다. 발전소와 가장 인접한 자연지형물은 효암천(연장 16.85 km)과 봉대산(해발 842 m)으로 신고리 5,6호기 중심으로부터 각각 남서쪽방향 0.9 km, 서남쪽방향 1.9 km 이격되어 있으며, 효암천의 경우 신고리 1,2호기와 3,4호기 부지 사이를 가로질러 흐르고 있다. 부지반경 10 km 이내의 주요 지형물에 대한 그림은 참고문헌 1의 그림 2.1-1에 제시되어 있다.

신고리 5,6호기 각 원자로 사이의 중심의 정위도 좌표는 북위 , 동경  이다.

제한구역은 부지의 중심에 위치하고 있는 원자로용기를 중심으로 하여 560 m 원내의 지역이다. 발전소 부지 내 주요 시설을 위치는 참고문헌 1의 표 2.1-2에, 제한구역 경계선 및 소유지 경계선은 참고문헌 1의 그림 2.1-3에 제시되어 있다.

##### 3.1.2 주변지역의 인구분포

주변지역의 인구분포는 2018년을 기준으로 작성되었다.

##### 3.1.2.1 인구수 및 인구밀도

부지반경 80 km 내에 위치하는 행정단위는 울산광역시, 부산광역시, 대구광역시, 경상북도 경주시, 포항시, 영천시, 경산시, 청도군 및 경상남도 양산시, 김해시, 밀양시, 창원시, 창원군, 함안군, 의령군 등 3개 광역시, 9개 시, 4개 군을 포함한다. 80 km 내에 포함된 행정구역의 인구는 10,687,727명이며 인구밀도는 927명/km<sup>2</sup>이다. 부지반경 80 km 이내의 행정단위별 인구현황은 참고문헌 1의 표 2.7-1에 제시되어 있다.

부지반경 20 km 이내의 인구는 총 667,805명으로, 방항별로는 울산광역시 남구가 위치하는 북쪽 방향이 120,683 명으로 가장 많은 인구가 분포하고 있으며, 거리별로는 10 ~ 20 km 사이의 구간에 가장 많은 603,599 명이 상주하고 있다.

### 3.1.22 구역별 상주인구

부지로부터 반경 20 km 이내의 지역을 16개 방사선(22.5°의 방사각에 의해 구분됨)과 6개의 동심원(원자로 도심으로부터의 거리에 의해 구분됨)으로 구분되는 총 96개의 구역으로 구분하여 분석하였다. 이중 인구가 가장 많은 구역은 북쪽방향 10~20 km 사이로 총 108,462명이 거주하는 것으로 나타났다. 부지반경 20 km 이내의 구역별 인구분포에 대한 표는 참고문헌 1의 표 2.7-4에 제시되어 있다.

### 3.1.3 토지이용

부지반경 10 km 이내에는 부산광역시 기장군 장안읍, 정관읍, 일광면과 울산광역시 울주군 온산읍, 온양읍, 서생면 등이 포함된다.

부지반경 10km 이내에 포함되는 행정구역 전체의 지목별 토지이용 현황을 살펴보면 임야 59.59%, 답 10.56%, 대지 4.11%, 전 3.01%, 과수원 2.46%, 목장용지 0.39%, 기타 19.88% 순이다. 6개 읍·면·동에서 모두 임야가 가장 높은 면적비를 차지하고 있으며, 농경지의 면적은 약 15% 내외이다. 토지이용 현황에 대한 표는 참고문헌 1의 표 2.2-1에 제시되어 있다.

신고리 5,6호기 부지가 위치하고 있는 울주군 서생면 신암리 일대는 현재 도시지역으로 지정되어 있으며 부지반경 10 km에 포함되는 행정구역의 국토이용계획 면적은 기장군 221.56 km<sup>2</sup>, 울주군 839.62 km<sup>2</sup> 이다. 용도별 구성비를 보면, 전체 면적 중 도시지역이 66.85%를 차지하고, 농림지역 23.86%, 자연환경보전지역 4.11%로 나타났다.

부지반경 10 km에 포함되는 시·군의 총 도시계획면적은 709.4 km<sup>2</sup> 로, 이들 지역의 도시계획면적을 용도지역별로 살펴보면 녹지지역이 537.32 km<sup>2</sup>으로 가장 높은 비중을 차지하고 있는 것으로 조사되었다.

현재 운영 중인 고리 2~4호기 및 신고리 1~4호기와 건설 중인 신고리 5,6호기 및 해체 예정인 고리 1호기 등 총 10기의 원자력 발전소가 위치하고 있는 기장군과 울주군은 원자력도시라는 지역특색을 이용하여 원자력산업과 연계한 지역발전을 모색하고 있다. 기장군의 경우 장안읍 일원에 Atomic Park를 조성할 계획이며, 울주군은 서생면에 에너지융합 일반산업단지를 조성 중에 있다. 신고리 5,6호기 부지반경 10 km 이내의 기장군과 울주군의 중장기 개발계획은 참고문헌 1의 표 2.2-4에 제시되어 있다.

## 3.2 환경현황

### 3.2.1 기상현황

#### 3.2.1.1 지역기후

발전소 부지는 한반도 동해안에 있고, 한반도는 유라시아 대륙의 동안에 위치하고 있다. 따라서 우리나라의 기후는 계절별로 변화하는 대륙과 해양사이의 기압배치와 위도, 해류 및 지형 등의 모든 기후인자 및 기후요소가 종합되어 결정된다.

계절별 기후 특성을 보면, 겨울에는 시베리아 대륙성 한대기단의 영향을 받아 서고동저형의 기압배치를 이루므로, 한랭 건조한 북서계절풍이 강하게 분다. 봄에는 양쯔강 유역에서 발달된 대륙성 한 대기단이 동반되어 약 3~4월 간격으로 이동해오기 때문에 변동스러운 날씨변화를 보인다. 이때 바람은 북풍계열에서 서풍계열로 전환되기 시작한다.

여름에는 고온다습한 북태평양의 해양성 열대기단의 영향을 받아 남고북저형의 기압배치를 이루어 남서 또는 남동계절풍이 불며, 고온다습한 기후특성을 나타낸다. 또한, 북태평양 기단과 오호츠크해 기단사이에 정체성 장마전선이 형성되어 많은 강수현상이 나타난다.

한편, 가을로 접어들면서 북태평양 고기압이 점점 쇠약해지는 반면, 시베리아 고기압이 발달하기 시작하면서 여름철의 남고북저형 기압배치가 무너지게 되며 중국 북부에 위치한 고기압의 일부가 분리되어 이동성 고기압이 우리나라를 자주 통과하게 된다. 이로 인하여 시원하고 건조한 바람이 불고 청명한 날씨가 되며 기온의 일교차가 비교적 크게 나타난다. 이때 바람은 남풍계열에서 북풍계열로 바뀌기 시작한다.

부지 주위의 일반적인 기후특성을 조사하기 위하여 부산지방 기상청과 울산지방 기상대의 자료(1981년~2018년)를 이용하였다.

#### 3.2.1.1.1 기온

부산과 울산의 월평균 기온은 8월이 각각 26.1℃, 26.0℃로 가장 높고, 1월이 3.1℃, 1.9℃로 가장 낮으며 연평균 기온은 14.8℃, 14.2℃였다. 관측개시 이래 최고기온은 부산의 경우 2016년 8월 14일 기록된 37.3℃, 울산의 경우 2013년 8월 8일 기록된 38.8℃였으며, 최저기온은 부산의 경우 1915년 1월 13일 기록된 -14.0℃, 울산의 경우 1996년 1월 27일 기록된 -16.7℃였다.

#### 3.2.1.1.2 강수량 및 상대습도

부산과 울산의 연평균 강수량은 각각 1,521.3 mm, 1,265.5 mm이고, 평균 월평균 강수량의 최대값은 부산의 경우 7월 299.7 mm, 울산의 경우 8월 228.8 mm였고 최소값은 두 지역 모두 12월에 29.3 mm, 25.5 mm였다. 부산 및 울산지역의 월 최대강수량은 각각 937.5 mm(1963년 6월), 698.7 mm(1991년 8월), 월 최대강수량은 439.0 mm(1991년 8월 23일), 417.8 mm(1991년 8월 23일)였다.

부산과 울산의 연평균 상대습도는 각각 64.2%, 64.3%이며, 최소 상대습도는 각각 4%(1945년 1월 13일), 2%(2017년 12월 15일)였다.

### 3.2.1.1.3 풍향 및 풍속

부산과 울산의 연평균 풍속은 각각 3.6 m/s, 2.2 m/s이고, 최대풍향은 각각 북동풍, 북북서풍이다. 관측개시 이래 기록된 최대풍속은 부산의 경우 1904년 8월 20일에 기록된 35.0 m/s 북동풍이었고, 울산의 경우 1959년 9월 17일에 기록된 31.7 m/s 동북동풍이었다.

부산과 울산의 연간 정온발생 비율은 각각 28%, 14.8%이다. 부산은 연중 북동풍이 우세하고(12.4%), 울산은 북북서풍이 우세(9.1%)하였다. 부산의 평균풍속은 남서풍이 불 경우 가장 강하였으며(4.8 m/s), 울산의 평균풍속은 부산 북북서풍이 불 경우 가장 강하였다(2.7 m/s). 부산의 최대풍속은 남남서풍이 불 경우(24.3 m/s), 울산의 최대풍속은 북북서풍이 불 경우(17.7 m/s) 가장 강한 것으로 나타났다.

### 3.2.1.1.4 안개 및 적설량

울산과 울산의 연평균 안개일수는 각각 14.8일, 7.6일이고, 주로 5~7월에 빈번하게 발생했다. 또한 연평균 안개지속시간은 각각 50.2시간, 25.2시간이었다. 부산 및 울산지역의 강설일수의 평균은 연간 각각 4.8일, 6.1일이었고, 각 지역의 최심 적설량은 37.2 cm(2005년 3월 6일), 21.4 cm(2011년 2월 14일)였다.

### 3.2.1.1.5 일조율

부산과 울산의 연평균 일조시간(율)은 각각 2,378.1시간(54.5%), 2,228.1시간(51.2%)이고, 두 지역 모두 월별로는 5월에 일조시간이 각각 228.4시간, 219.3시간으로 가장 많았으나 일조율은 운량이 가장 적은 12월에 각각 67.7%, 64.3%로 가장 높았다. 한편, 부산과 울산의 연평균 운량은 모두 4.8로 나타났다.

## 3.2.12 부지기상

### 3.2.1.2.1 부지기상관측

신고리 5,6호기 부지의 기상관측은 신고리 5호기 원자로건물 중심에서 남서쪽으로 약 1,200 m 위치에 기상탑 건설 및 관측기기를 설치하여 2006년 4월 1일부터 진행하고 있다. 부지기상관측시스템에서 관측되는 기상요소는 기온, 습도, 강수량, 풍향·풍속 등으로, 기기의 설치위치 및 주요 사양은 참고문헌 1의 표 24-9와 표 24-10에 제시되어 있다.

### 3.2.1.2.2 부지기상관측 결과

신고리 5,6호기 부지 기상관측을 위하여 발전소에 설치된 기상탑으로부터 측정된 2017년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지 2년간의 자료를 수집하여 분석하였다. 분석기간 동안 자료의 수집률은 99.5%이었다. 극값의 경우 2011년 7월 21일부터 2018년 12월 31일까지의 관측 자료를 이용하였다. 각 항목에 대한 분석결과는 참고문헌 1의 표 24-12에 제시되어 있다.

부지의 연평균 기온은 14.2℃이고, 월평균 기온의 최고값은 8월의 26.6℃, 최저값은 1월의 2.4℃이다. 관측기간 동안 최고기온은 34.9℃(2017년 8월 6일), 최저기온은 -12.7℃(2012년 2월 3일)였다. 통계기간 동안 부지에서 평균 연강수량은 1,143.5 mm이고, 월별로는 9월에 225.8 mm로 가장 많았고, 12월에 23.6 mm로 가장 적은 것으로 나타났다. 일 최대강수량은 200.4 mm로 2014년 8월 25일에 기록되었다. 부지의 상대습도는 6, 7, 8월에 높고 12, 1, 2월에 낮게 나타났다. 연평균 습도는 67.4%이고, 관측된 최저습도는 6.4%(2017년 1월 26일)였다.

부지에서 연간 풍향별 발생빈도는 북북서풍이 25.4%로 가장 우세하였고, 북풍 10.0%, 남남서풍 9.1% 순으로 나타났다. 연간 평균풍속은 남남서풍이 3.8 m/s로 가장 강하였으며 남남동풍이 2.1 m/s로 가장 약하였다. 연간 풍향별 최대풍속은 남풍이 23.4 m/s로 가장 강하였고, 동북동풍이 7.3 m/s로 가장 약한 것으로 나타났다. 또한 신고리 5,6호기 부지의 연간 평균풍속은 2.8 m/s였으며, 참고문헌 1의 표 24-12를 이용하여 계절별 평균풍속을 계산한 결과, 봄 2.9 m/s, 여름 2.6 m/s, 가을 2.9 m/s, 겨울 2.7 m/s였다.

기체방출물은 공기 흐름에 따라 대기중으로 확산된다. 확산정도를 나타내는  $\bar{x}/Q$  및 기체방출물이 지표면에 침적되는 정도를 나타내는  $D/Q$  값은 미 규제자침서 1.111에 기술된 Sagendorf식과 권식 침적모형을 전산화한 「TED II-60」 전산프로그램을 사용하여 계산하였다. 주어진 방향  $d$ 에서의 대기확산인자  $(\bar{x}/Q)_d$ 를 계산하는 기본 식은 다음과 같다.

$$(\bar{x}/Q)_d = \frac{2.032}{\pi} \sum_{j,k} \frac{F_{j,k,d}}{U_k \Sigma_{j,k}(\bar{x})} \exp(-h_z^2(\bar{x})/2\sigma_{z,j}^2(\bar{x})) \quad (1)$$

여기서,



$(\bar{X}/Q)_d$  : 주어진 방향  $d$ 에서의 평균 대기확산인자 값(sec/m')

$x$  : 방출지점으로 부터 계산지점까지의 거리(m)

$F_{ijkd}$  : 대기안정도  $i$ , 풍속등급  $k$  풍하방향  $d$ 인 기상의 분율(Joint Frequency)

$U_k$  : 풍속등급  $k$ 의 속도(m/sec)

$\sum_{x,i}(x)$  : 대기안정도  $i$ 에서의 방출물의 수직방향 확산정도, 거리  $x$ 에 따라 증가 (m)

$h_a(x)$  : 유효방출 높이로  $x$ 에 따라 다름(지표면 방출로 가정하는 경우  $h_2=0$ )  
 $= h_p$  (실제방출높이) +  $h_{pr}$  (방출물의 상승높이) -  $h_t$  (지형높이) -  $C$  (저속방출에 대한 보정인자)

$\sigma_{x,i}(x)$  : 대기안정도  $i$ 에서의 방출물의 수직방향 확산정도로서 지표면 방출 및 혼합방출을 제외하면  $\sum_{x,i}(x)$ 와 같다.

미국 규제지침서 1.111에서는 장기 대기확산인자를 구할 때 Plume의 방출모드로 지표면 방출모드를 적용할 경우에는 상기 (1)식을 보정하여 (2)식과 (3)식 중 큰 값을 선택하여 평가한다.

$$\frac{\bar{X}}{Q}(x,k) = \frac{2.032}{x} RF_k(x) \sum_i \frac{F_{ik}}{U_i \sqrt{\sigma_{x,i}(x)^2 + \frac{CD^2}{x}}} \quad (2)$$

$$\frac{\bar{X}}{Q}(x,k) = \frac{2.032}{x} RF_k(x) \sum_i \frac{F_{ik}}{U_i \sqrt{3} \sigma_{x,i}(x)} \quad (3)$$

여기서,

$\bar{X}$  : 공기중 방사성물질의 세터방위내 평균 농도(Bq m<sup>-3</sup>)

$Q$  : 방출률 (Bq sec<sup>-1</sup>)

$x$  : 풍하방향의 거리 (m)

$i$  : 풍속등급

$j$  : 대기안정도

$k$  : 풍향을 16방위로 나눈 세터

$RF_k(x)$  : 풍향과 거리에 따른 재순환과 정제 보정계수

$F_{ijk}$  : 풍향, 풍속, 대기안정도에 따른 결합빈도 분포

- $U_i$  : 풍속 ( $\text{m sec}^{-1}$ )  
 $\sigma_{ij}(x)$  : 수직확산계수 (m)  
 C : 건물효과를 보정하는 혼합부피계수  
 D : 건물의 높이 (m)

정삼운형시 제한구역장세에서 대기확산인자 및 침적인자는 표 3-1에 제시되어 있다.

### 3.2.2 지질 및 지진 현황

#### 3.2.2.1 지형 및 지질

한반도는 지질학적으로 아시아 대륙의 동부 연변에 위치하고, 북으로는 중국의 북동부와 시베리아, 서쪽과 남쪽은 황해를 사이에 두고 중국의 남동부, 그리고 남동으로는 동해를 사이에 두고 일본과 접하고 있다. 한반도 동해안의 해안선은 단순한 선상으로 이루어져 있어 굴곡이 심하고 불규칙한 서해안과 비교된다.

부지 주변 산지의 전체적인 분포를 살펴보면 서쪽으로는 대운산, 석운산 등 해발 500 m 이상의 산지들이 지역 내에서는 가장 높은 산지를 이루며 북북동-남남서 방향으로 뻗어 있는 반면, 동쪽으로는 대체로 100 m 내외의 낮고 평평한 산지가 동해안을 따라 넓은 범위에 걸쳐 분포한다.

이와 같이 높은 산지가 해안에서 멀지 않은 곳에서 북북동-남남서 방향으로 뻗어 있는 관계로, 대부분의 하천은 길이가 짧고 유역면적도 작은 편이며, 유량은 동서 방향이 우세하다. 또한 이곳의 모든 하천은 동해로 유입하며 바다로 흘러드는 어귀에는 대체로 작은 규모의 범람원이 발달되어 있다. 이 지역에서 가장 큰 하천인 회야강 이외에 주요 하천으로는 부지 인근의 효암천, 장안천, 재광천 등을 들 수 있다.

해안은 낮은 산지나 구릉지가 해안 가까이 놓인 관계로, 암반이 그대로 노출된 곳이 많으며, 전체적으로는 작은 곳과 만이 해안을 따라 반복되는 양상을 보인다. 특히 이러한 모습은 진하에서 월내에 이르는 해안에서 전형적이다.

부지반경 40 km 지역은 한반도의 지체구조구상으로 경상분지의 남동부에 위치하고, 주로 백악기 퇴적암류인 화강층군, 백악기 말의 화산암류인 유천층군, 백악기 말-제 3기 초의 화강암류, 그리고 제 3기 중엽의 화성맥암류 등으로 구성되어 있다(참고문헌 3).

한편, 부지반경 8 km 지역의 기반암은 주로 백악기의 퇴적암, 백악기 말의 화산암, 백악기 말-제 3기 초의 화강암, 그리고 제 3기 중엽의 맥암류로 구성되며 대부분의 조사지역에는 백악기 말의 화산암체가 분포한다. 이 암체들은 국지적으로 제 4기 퇴적물에 의해

부정함으로 피복된다. 부지반경 8 km 지역 의 지질도에 대한 그림은 참고문헌 2의 그림 2.5-64에 제시되어 있다.

이 지역에서 가장 넓은 부분을 차지하는 백악기 말의 화산암체는 주로 석영안산암질 용회암과 안산암질 용회암으로 구성되며, 일부 석영안산암과 안산암이 분포하기도 하나 대부분은 산출상태가 불규칙하다. 이 화산암체는 백악기 말~제 3기 초의 화강암체에 의해 관입되어 있다.

부지반경 8 km 지역의 화강암체는 서생면 일대에 분포하는 백악기 말의 화산암체를 관입한 주로 각섬석화강암이며, 남서부 일광광산 일대에는 화강섬록암이 이천리층을 관입하며 소규모로 분포한다.

부지반경 1 km 지역은 전체가 백악기 말~제 3기 초의 각섬석화강암으로 구성되며, 이를 관입한 제 3기 맥암류가 국지적으로 분포하고, 제 4기 충적층 및 퇴적물이 부정함적으로 피복되어 분포한다. 반경 1 km 내의 지역 지질도는 참고문헌 2의 그림 2.5-155를 참조한다.

부지반경 1 km 지역의 지질구조는 위성 변형작용에 따른 절리와 단층에 의한 단열구조만이 확인된다. 항공 및 위성사진 상에서 선구조로 확인되나 야외에서 확인되지 않는 북북서-남남동 방향의 구조선이 부지반경 1 km 지역 남서부의 효알천을 따라 발달한다. 반경 1 km 내의 지역 구조도는 참고문헌 2의 그림 2.5-156을 참조한다.

부지반경 1 km 지역의 단층은 남북과 동서 계열의 단층이 우세하며 이들은 모두 고각이다. 남북 계열의 단층은 우수주향이동단층이며 동서 계열의 단층은 주향이동 혹은 정사이드동단층이다. 트랜치조사 결과 대규모의 단층대는 확인되지 않았으나 규모가 작은 남북 주향에 수직인 우수주향이동 단층들이 확인되었고 부지반경 1 km 지역에 제 4기 충을 끊는 단층은 발견되지 않았다.

### 3.2.22 지진

지진은 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서(참고문헌 2), 신고리 3,4호기 최종안전성분석보고서(참고문헌 3), 신고리 3,4호기 확률론적 지진재해도 분석 보고서(참고문헌 4), 신고리 3,4호기 지진안전성 평가 보고서(참고문헌 5) 및 신고리 3,4호기 보합지진 안전성평가 보고서(참고문헌 6)를 참조하여 기술하였다.

신고리 5,6호기 안전정지지진(Safe Shutdown Earthquake; SSE)의 영주기 수평지반가속도는 0.3 g, 수직지반가속도는 0.3 g이다. 또한 운전기준지진(Operating Basis Earthquake; OBE)은 영주기 수평지반가속도 0.1 g, 수직지반가속도 0.1 g이다. 안전정지지진에 대한 설계지반응답스펙트럼(Design Ground Response Spectrum; DGRS)은

## 신고리 5,6호기 예비해제계획서

CMS1+(Control Motion Spectra 1+)로 미국 원자력규제위원회(Nuclear Regulatory Committee)의 규제지침서 1.60의 설계지반응답스펙트럼을 기반으로 하여 고진동수 영역을 보강한 응답스펙트럼(참고문헌 7)이다.

안전정지지진은 부지반경 320 km 내의 15개 지진지체구조구로부터 잠재적인 최대지진을 평가하여 결정론적인 방법으로 추정한 후, 확률론적 지진재해도 분석을 통해 적합성을 확인하였다.

신고리 5,6호기는 15개 지진지체구조구 중 경상분지에 위치해 있고, 경상분지의 서쪽에 인접한 영남육괴를 포함하였을 경우, 영남육괴는 1936년 발생한 규모 5.0의 지리산 지진 발생기록이 있어 안전정지지진 결정에 영향을 미친다. 지리산 지진이 신고리 5,6호기 부지 직하에서 발생한 지진으로 가정하고, 규모 5.0을 8개의 감쇄식에 대입하여 최대지반가속도를 구하면 0.145 g가 얻어진다.

한편, 신고리 5,6호기 건설허가 이후 인접하여 위치하고 있는 신고리 3,4호기(남서방향으로 약 500 m 이격)의 운영허가 시 논의되었던 음천단층, 2단층 및 2016년 9월 12일에 발생한 규모 5.8의 지진(이하 9.12지진)과 2017년 11월 15일에 발생한 규모 5.4의 포항지진(이하 포항지진) 유발 지진원 단층이 신고리 5,6호기 부지에 미치는 영향을 검토하기 위하여 신고리 3,4호기의 결과를 인용하였다.

음천단층과 2단층에서 지진이 발생할 경우 신고리 3,4호기 부지에서의 최대지반가속도 값은 음천단층(규모 6.0, 신고리 5,6호기 부지까지의 최단거리 약 43 km)에서 발생하는 최대잠재지진의 경우 0.078 g, 2 단층(규모 5.2, 신고리 5,6호기 부지까지의 최단거리 약 47 km)에서 발생하는 최대잠재지진의 경우 0.027 g이다.

9.12지진 및 포항지진 유발 지진원 단층은 신고리 5,6호기 부지와 각각 약 50 km, 87 km 떨어져있으며, 이들 지진 유발 지진원 단층이 신고리 5,6호기에 미치는 영향은 신고리 3,4호기의 평가결과를 인용하였다. 신고리 3,4호기 부지에서 평가된 최대지반가속도는 9.12지진의 경우 0.06 g, (참고문헌 5) 포항지진의 경우 0.026 g로 평가된 바 있다(참고문헌 6).

신고리 5,6호기 부지와 신고리 3,4호기 부지간 거리는 약 500 m로 두 부지는 매우 인접한 곳에 위치하고 있어 두 위치에서의 지진동 평가값은 유사할 것으로 검토되며, 음천단층, 2단층, 9.12지진 및 포항지진 유발 지진원 단층이 신고리 3,4호기 평가값을 인용할 때 신고리 5,6호기 안전정지지진(SSE) 0.3 g를 만족하는 것으로 검토되었다.

결정론적 방법과는 별도로, 신고리 5,6호기 안전정지지진의 적합성을 검증하기 위하여 인접한 신고리 3,4호기 부지의 확률론적 지진재해도 분석(Probabilistic Seismic Hazard Analysis) 결과를 검토하였으며, 이는 면적지진원 및 선형지진원(음천단층, 2단층, 9.12지진 및 포항지진 유발 단층)을 모두 고려하여 수행되었다. 검토 결과, 안전정지지진

(SSE) 0.3 g에서의 연초과빈도는 평균값 수준에서 약  $3.63 \times 10^{-5}$ /년(재현주기 약 28,000년)이며, 이는 규제지침서(KINS/RG-N01.07)에서 규정하는  $1.0 \times 10^{-3}$ /년 기준을 만족한다.

결론적으로 한반도 및 인근에서 발생한 주요 지진 및 발생 가능한 최대잠재지진으로 인한 신고리 5,6호기 부지에서의 지진동이 안전정지지진의 최대 영주기 수평가속도(0.3 g)를 초과하지 않는 것으로 평가 되었으며, 확률론적 지진재해도 분석을 통해 이에 대한 적합성이 검증되었다.

### 3.2.2.3 지질공학적 특성

신고리 5,6호기 건설부지는 EL.+9.5 m로 정지되었으며 부지 하부의 지질공학적 상태는 현장에서 수행한 시추조사 및 물리탐사 그리고 부지 인접지역 노두에서의 지표지질조사로부터 특성을 파악하였다. 시추조사 결과, 부지에 분포하는 암종은 주로 화강암이며, 부분적으로 염기성 맥암이 관입하고 있다. 화강암은 대부분이 담회색을 띠며 피상의 산출 상태를 보이거나 부분적으로 분홍색을 나타내며, 분홍색을 띠는 지역은 담회색 지역보다 풍화가 심한 것으로 나타났다. 맥암류는 화강암의 절리면을 따라 관입한 상태이며, 일부 5,6호기 본관 지역의 기초하부에 분포하는 것으로 확인된다.

5호기 부지의 경우 보조건물과 터빈건물의 남쪽 일부지역에 연암(HW)이 분포하며, 격납 건물을 포함한 나머지 대부분의 지역은 보통암 이상의 견고한 암반이 분포한다. 6호기 부지의 경우 터빈건물 일부지역 및 보조건물 일부지역에 국한하여 연암(HW)이 분포하며, 격납건물 및 보조건물과 터빈건물의 대부분은 보통암 이상의 양호한 암질의 암반이 분포한다. 복합건물 지역은 대부분 보통암 이상의 기초조건으로 양호한 암질의 암반이 분포한다.

신고리 5,6호기 부지에서는 과거 지진발생으로 인하여 동적영향을 받았다는 증거가 관찰되지 않는다. 또한, 부지 주변부의 충적층 또는 단구들은 교란되지 않았으며 특별히 액상화 현상 등의 증거도 찾아 볼 수 없다. 기반암내의 제거되지 않은 잔류 응력을 지시하는 지반응기현상이 관찰되지 않으며, 광물학적, 물리적, 화학적 특성에 의해 특별히 불안정한 암석이나 토양이 분포하지 않는다. 그리고 부지 내에서 지하수를 포함한 지하유체의 인출 또는 주입, 채광, 굴착 등의 행위도 없었다.

### 3.2.3 수문특성

#### 3.2.3.1 지표수 현황

회야강은 경상남도 양산시 용상읍 주전리의 천성산(해발 922.2 m)에서 발원하며 울산광역시 울주군 온산읍 감양리의 동해로 유입하는 낙동강 기타수계 지방 2급 하천이다. 회야강은 유역면적 218.34 km<sup>2</sup>, 유로연장은 41.32 km인 중소하천으로 대체로 동서로 뻗은

장방형의 형상을 이루며, 남북의 길이는 약 19.1 km, 동서로는 22.3 km가 된다. 회야강 유역의 북쪽은 청량천 및 태화강 유역과 접하고 있으며, 서쪽은 낙동강 제1지류인 양산천, 남쪽은 기타수계의 효암천, 장안천, 수영강 등의 유역과 접하고 있다. 회야강의 하상경사는 하류부가 약 1/2500로 상당히 완만한 편이며, 중류부가 약 1/800, 상류부 약 1/300 정도의 하상경사를 유지하고 있다.

장안천은 지방 2급 하천으로서 부산광역시 기장군 장안읍 장안리 대둔산 줄기에서 발원하여 동남쪽으로 유하하다 반룡리에서 용소천 합류 후 월내리 해안에서 동해로 유입한다. 장안천의 유역면적은 28.70 km<sup>2</sup>, 유로연장은 13.10 km이며, 유역의 형상은 대체적으로 수지상이고 그 폭이 동서로 약 5.4 km, 남북으로 약 7.3 km 정도이고 유역 내에는 지방 2급 하천인 용소천이 유입된다. 유역은 산지가 많고 하천변을 따라 농경지와 촌락지로 구성되어 있다. 하상경사는 하류부 1/146~1/761, 중류부 1/264~1/908, 상류부는 1/155 정도이며 장안사계곡은 1/81의 매우 급한 하상경사를 보이고 있다.

효암천은 유역면적 25.21 km<sup>2</sup>, 유로연장은 9.36 km인 지방 2급 하천으로 부산광역시 기장군 장안읍 명례리에서 발원하여 유하하면서 울산광역시 울주군 서생면 효암리를 관류하면서 지방 2급 하천인 화산천 및 위양천을 각각 좌안측으로 합류한 후 동해로 유입한다. 유역의 평균폭은 2.69 km이고, 형상계수는 0.29로 비교적 적은편이나 발전소 주변에 위치한 하천 중에서는 가장 높은 값을 가진다.

좌광천은 부산광역시 기장군 정관면에 위치한 지방 2급 하천으로서, 병산저수지에서 발원하여 남류하다가, 정관신도시에 이르면서 동류하고, 좌천역에 이르면서 급격한 곡류를 이루다가 장안읍의 동해로 흘러든다. 유역면적은 43.65 km<sup>2</sup>, 유로연장은 13.4 km이며 유역의 형상은 대체적으로 수지상과 방사선상의 복합형태를 이루고 있다. 유역의 폭은 동서로 약 9.0 km 남북으로 약 4.5 km이며, 하상경사는 상류구간에서 예림천 합류점까지는 1/256, 덕산천 합류점에서 하구까지는 1/435이다.

### 3.2.32 지하수 현황

신고리 5,6호기 부지내에 지하수 분포상태를 파악하기 위하여 시추조사 중에, 각 시추공을 대상으로 지하수 관측을 실시하였으며, 시추공표 후에도 수위관측이 가능하도록 중요 구조물 주변 8개 지점의 시추공을 이용하여 세속적인 수위관측을 수행하였다. 지하수위는 대부분 지역이 EL. 8 m ~ EL. 10 m 정도이며, 지하수는 북서에서 남동방향으로 유동할 것으로 예상된다. 호기별 중요구조물들의 관측기간 동안의 안정 지하수위는 참고문헌 1의 표 2.5-6과 같으며, 지하수위 등고선도는 참고문헌 1의 그림 2.5-2에 제시되어 있다.

### 3.2.4 해황

한반도 동남단에 위치한 발전소 주변해역은 대한해협과 매우 인접해 있다. 대한해협은

쿠로시오로부터 분지된 대마난류가 동해로 유입되는 입구이고, 대마난류의 수송량은 계절에 따라 변화한다.

신고리 5,6호기 부지 인근 해역의 해황 특성을 파악하기 위해 해저지형, 조석(해수위), 해·조류, 해수 연직구조, 물질확산 특성, 부유 및 해저퇴적물 등을 조사하였다. 최신 관측자료 확보를 위해 부지 반경 80 km 이내 해역에서 4계절별로 실시간 조석, 조류, 수온 및 물질확산 특성 현장 관측을 수행하였다.

신고리 5,6호기 주변 전면해역의 해저지형은 전반적으로 북동~남서 방향의 등수심선 분포를 나타내나 해안선의 굴곡이 심하여 연안 돌출부와 만입부 간의 수심경사 차이가 크다. 효암리 전면의 수심은 해안에서 약 1.2 km 지점에 30 m 등수심선이 나타나나, 이후 수심 50 m 까지는 경사가 완만하여 해안에서 약 4.3 km 지점까지 나타난다. 이에 비해, 신암리 전면의 수심구배는 효암리 보다는 다소 커서 30 m 등수심선이 외해방향 약 0.9 km 지점에 나타나며, 50 m 등수심선은 약 3.2 km 외해에 나타난다.

부지 인근 해역의 해수온도에 대한 월평균값 및 극값을 파악하기 위해 국립수산과학원의 연안정지 해양관측 자료 중 부지에서 남서쪽 약 18 km 거리에 위치한 기장 관측점의 최근 30년(1989~2018) 일관측 수온자료를 분석하였다. 국립수산과학원의 연안정지 해양관측 자료는 한국 근해의 40개 연안정지 관측점(등대)에서 매일 1회(10시) 측정된 연안의 표층 수온자료로서, 수온의 장기 시계열 변화를 파악하는데 유용하다. 분석결과는 참고문헌 1의 표 2.6-20과 같으며, 이를 기초로 판단할 때 부지 인근 자연해수의 최대 수온은 29.0℃, 최소 수온은 9.5℃로 추정되며, 연평균 수온은 약 16.5℃이다.

부지 주변 해역의 조석 변화를 파악하기 위하여 신고리 5,6호기 주변에 3개 정점(T1, T2, T3)을 선정하고 계절별로 30일간 조석 관측을 수행하였다(참고문헌 1의 그림 2.6-2). 분석결과, 연중 해수위 변화는 부산 조위관측소 지점을 경계로 북쪽 지역은 100 cm 이내에서, 남쪽 지역은 100 cm 이상의 변화를 보였으며, 북쪽 지역에서 상대적으로 불규칙한 주기와 크기의 비조석성분이 존재하고 있는 것으로 나타났다. 평균조차는 가장 남쪽에 위치한 거제도에서 106~118 cm 정도로 가장 크고, 북측으로 갈수록 작아져서 포항에서는 54~56 cm 정도를 나타낸다. 계절별 현장 관측자료 및 국가해양관측망 자료의 조화분석 결과를 참고문헌 1의 표 2.6-3~표 2.6-6에 제시하였다.

부지 주변해역 수온 및 염분 연직구조 특성을 파악하기 위해 2018년 추계~2019년 하계에 조사가 수행된 수온과 염분 자료를 분석하였다. 수온 조사결과 2018년 추계(11월)에는 11.30~22.70℃(평균 16.94℃)의 범위를 나타냈으며, 중별트는 표층에서 16.70~22.70℃(평균 18.28℃), 저층에서 11.30~17.50℃(평균 15.61℃)의 범위로 나타났다. 2019년 동계(12월)에는 10.60~16.60℃(평균 12.56℃)의 범위로, 중별트는 표층에서 11.30~16.60℃(평균 13.04℃), 저층에서 10.60~12.90℃(평균 12.08℃)의 범위로 나타났다. 2019년 춘계(5월)에는 12.50~17.00℃(평균 15.18℃)의 범위로, 중별트는 표층에서 14.90~17.00℃(평균 16.0

6℃), 저층에서 12.50~15.20℃(평균 14.31℃)의 범위로 나타났다. 2019년 하계(8월)에는 10.30~26.70℃(평균 20.40℃)의 범위로, 중층로는 표층에서 24.10~26.70℃(평균 25.49℃), 저층에서 10.30~23.30℃(평균 15.31℃)의 범위로 나타났다.

염분 조사결과 2018년 추계에는 33.9~35.0 psu(평균 34.4 psu)의 범위를 나타냈으며, 중층로는 표층에서 33.9~34.6 psu(평균 34.2 psu), 저층에서 34.3~35.0 psu(평균 34.6 psu)의 범위로 나타났다. 2019년 동계에는 34.3~35.1 psu(평균 34.7 psu)의 범위로, 중층로는 표층에서 34.3~34.9 psu(평균 34.7 psu), 저층에서 34.5~35.1 psu(평균 34.7 psu)로 나타났다. 2019년 춘계에는 35.2~35.5 psu(평균 35.3 psu)의 범위로, 중층로는 표층에서 35.2~35.5 psu(평균 35.3 psu), 저층에서 35.3~35.5 psu(평균 35.4 psu)로 나타났다. 2019년 하계에는 32.2~35.9 psu(평균 33.8 psu)의 범위로, 중층로는 표층에서 32.7~33.1 psu(평균 32.7 psu), 저층에서 33.9~35.9 psu(평균 35.0 psu)로 나타났다.

부지 주변해역의 해·조류 특성을 파악하기 위하여 참고문헌 1의 그림 2.6-8에 제시된 3개 정점(PC1, PC2, PC3)에서 ADCP를 이용하여 계절별로 30일간 중·저층 조류 관측을 수행하였다. 전반적으로 해·조류는 신고리 5,6호기로부터 가장 남쪽에 위치한 정점 PC1에서 창조류의 흐름이 남서~서남서향, 낙조류의 흐름이 북동~동북동향하고, 원전 부지로부터 가장 북쪽에 위치한 정점 PC2에서 창조류의 흐름은 남~남남동향하며, 낙조류의 흐름은 북~북북서향하는 흐름을 보였다. 부지 전면에 위치한 정점 PC3에서 창조류의 흐름은 남남서~서남서향, 낙조류의 흐름은 북북동~동북동향하며, 세 지점 모두 완복성 흐름을 보였다.

계절별 관측결과, 표층에서 최강유속은 창조 시 46.5~116.9 cm/s(평균 유속 17.8~28.2 cm/s)의 범위를, 낙조 시 80.0~136.7 cm/s(평균 유속 26.1~38.4 cm/s)의 범위를 보였으며, 중층에서는 각각 53.5~87.2 cm/s(평균 유속 16.8~25.5 cm/s)와 76.0~131.1 cm/s(평균 유속 23.5~35.9 cm/s)의 범위로, 저층에서는 각각 53.5~76.9 cm/s(평균 유속 18.2~27.4 cm/s)와 65.4~87.0 cm/s(평균 유속 19.3~31.7 cm/s)의 범위로 나타나 전반적으로 모든 계절에서 낙조류가 창조류에 비해 표·중·저층에서 우세한 것으로 나타났다.

관찰류(해류, 풍성류 등)는 2019년 춘계 정점 PC1의 표·중·저층에서 각각 10.6, 8.7, 5.9 cm/s로 북동~동북동향하는 특성을 보였고, 정점 PC2의 표·중·저층에서 각각 16.5, 18.3, 14.3 cm/s로 북~북북동향하며, 정점 PC3의 표·중·저층에서 각각 14.1, 16.6, 16.2 cm/s로 북동~동북동향하는 특성을 보였다. 2019년 하계에는 정점 PC1의 표·중·저층에서 각각 16.1, 11.7, 3.4 cm/s로 동북동향하는 특성을 보였고, 정점 PC2의 표·중·저층에서 각각 3.3, 1.1, 4.6 cm/s로 북~남향 하며, 정점 PC3의 표·중·저층에서 각각 6.6, 6.1, 5.1 cm/s로 북~동향하는 특성을 보였다. 2019년 추계에는 정점 PC1의 표·중·저층에서 각각 19.4, 15.3, 8.0 cm/s로 동북동향하는 특성을 보였고, 정점 PC2의 표·중·저층에서 각각 3.5, 3.7, 2.3 cm/s로 북~북북동향 하며, 정점 PC3의 표·중·저층에서 각각 4.7, 6.0, 4.8 cm/s로 북북동~동북동향하는 특성을 보였다. 2020년 동계에는 정점 PC1의 표·중·저층에서 각각



6.0, 5.0, 2.9 cm/s로 북북동~북동합하는 특성을 보였고, 정점 PC2의 표·중·저층에서 각각 6.2, 5.5, 3.6 cm/s로 북북서합 하며, 정점 PC3의 표·중·저층에서 각각 7.4, 9.2, 8.2 cm/s로 북북동~북동합하는 특성을 보였다.

주요 4개 분조 주축 크기의 합은 2019년 춘계 정점 PC1의 표·중·저층에서 각각 74.5, 81.1, 73.4 cm/s이고, 정점 PC2에서 각각 54.5, 63.5, 68.3 cm/s이며, 정점 PC3에서 각각 56.0, 66.1, 65.7 cm/s이다. 2019년 하계의 경우 정점 PC1에서 각각 72.2, 71.5, 65.2 cm/s이고, 정점 PC2에서 각각 51.3, 50.3, 50.7 cm/s이며, 정점 PC3에서 각각 51.8, 53.2, 44.7 cm/s이다. 2019년 추계에는 정점 PC1에서 각각 84.2, 83.5, 68.2 cm/s이고, 정점 PC2에서 각각 67.0, 67.1, 52.4 cm/s이며, 정점 PC3에서 각각 60.7, 60.7, 57.4 cm/s이다. 2020년 동계는 정점 PC1에서 각각 84.2, 83.5, 68.2 cm/s이고, 정점 PC2에서 각각 60.5, 55.6, 46.7 cm/s이며, 정점 PC3에서 각각 59.5, 57.3, 51.3 cm/s이다. 주요 4개 분조의 합은 모든 계절에서 정점 PC1이 가장 크게 나타났다.

부지 주변해역 해저 퇴적물의 특성을 파악하기 위해 2018년 추계~2019년 하계에 조사가 수행된 표층퇴적물 분석 자료를 이용하였다. 사후환경영향조사의 정점별 해양퇴적물 분석 결과는 참고문헌 1의 표 2.6-27에 나타냈으며, 계절별 입도의 삼각분포도는 참고문헌 1의 그림 2.6-36에 제시되어 있다. 2018년 추계(11월) 부지 주변해역 표층퇴적물은 모래(sand) 함량이 2.5~98.3%(평균 22.9%), 실트(silt)는 0.4~49.5%(평균 37.0%), 점토(clay)는 1.2~57.9%(평균 40.1%)로 평균 입도조성은 점토, 실트, 모래의 순으로 나타났다. 조직변수는 평균 입도(mean)가 0.5~8.9Φ(평균 6.9Φ)로 조사되었고, 참고문헌 1의 그림 2.6-27에 제시된 정점 6에서 Coarse Sand질, 정점 16에서 Fine Sand질, 나머지 정점들에서 Medium Silt질로 나타났다. 2019년 동계(2월) 표층퇴적물은 모래 함량이 9.0~89.5%(평균 32.0%), 실트는 1.8~32.9%(평균 20.4%), 점토는 8.7~65.2%(평균 47.6%)로 평균 입도조성은 점토, 모래, 실트의 순으로 나타났다. 조직변수는 평균 입도(mean)가 2.6~8.9Φ(평균 7.1Φ)로 조사되었고, 정점 6, 16에서 Fine Sand질, 나머지 모든 정점에서 Medium Silt질로 나타났다. 2019년 춘계(5월) 표층퇴적물은 모래 함량이 3.5~86.8%(평균 23.0%), 실트는 3.0~34.5%(평균 25.9%), 점토는 10.3~68.4%(평균 51.1%)로 평균 입도조성은 점토, 실트, 모래의 순으로 나타났다. 조직변수는 평균 입도(mean)가 2.3~9.2Φ(평균 7.5Φ)로 조사되었고, 정점 6, 16에서 Fine Sand질, 정점 3에서 Coarse Silt질, 나머지 정점들에서 Medium Silt질로 나타났다. 2019년 하계(8월) 표층퇴적물은 모래 함량이 4.4~94.1%(평균 29.9%), 실트는 1.0~44.0%(평균 27.2%), 점토는 3.9~59.8%(평균 43.0%)로 평균 입도조성은 점토, 모래, 실트의 순으로 나타났다. 조직변수는 평균 입도(mean)가 1.4~8.6Φ(평균 6.7Φ)로 조사되었고, 정점 1, 3에서 Coarse Silt질, 정점 6, 16에서 Medium Sand질, 나머지 정점들에서 Medium Silt질로 나타났다.

### 3.2.5 환경방사선/능 현황

원자력발전소 가동에 따른 발전소 주변지역의 환경방사선/능을 감시하기 위하여 국내 원

자력발전소에서는 자체 계획을 수립하여 주기적인 조사를 실시하고 있다. 고리 및 새울 원자력 본부에서는 주변지역 공기중의 방사선량 및 방사능 농도와 함께 토양, 식물, 빗물, 식수, 하천수, 지하수, 해수, 해저토 등 다양한 매질들과 우유, 육류, 어패류, 해조류, 곡류, 채소류, 과일류 등 식품류에서 시료를 채취하여 방사능 농도를 조사한다. 2018년 3월부터 고리, 새울 원자력본부의 분리된 조사계획에 따라 환경조사를 실시하고 있으므로 고리 원자력부지는 2016년~2018년간의 자료를, 새울원자력부지는 2018년 자료로 구분하여 환경방사선/능 현황으로 제시한다.

### 3.2.5.1 환경방사선

공간감마선량률은 환경방사선감시기(ERMS)를 인구밀집지역 방향과 주풍향을 고려하여 부지경계 주변 내부 8개소, 부지외부 5개소에 방위별로 분산배치하고, 비교지점 1개소를 선정하여 지상 1 m 높이에 가압형 이온전리함검출기를 설치하여 공간감마선량률의 변동 추이를 연속 측정하였다. 새울원자력부지에서 최근 1년간의 측정결과를 종합한 결과는 참고문헌 1의 표 28-2에 제시되어 있다.

공간집적선량은 발전소 부지 내부를 비롯하여 주변 인구밀집지역 등 반경 10 km 이내 30개 지점과 비교지점 문수경기장을 포함한 총 31개 지점에 지상 1 m 높이에 설치된 열형광선량계(TLD, 각 지점 3개씩 설치)를 분기 주기로 회수하여 3개월간 누적선량을 관측 하였다. 새울원자력부지에서 최근 1년간의 측정결과를 종합 정리한 결과는 참고문헌 1의 표 28-4에 제시되어 있다.

### 3.2.5.2 환경방사능

발전소 부지 주변지역의 공기 중 방사능 농도와 함께 육상 물(빗물, 지표수, 식수, 지하수), 표층토양 및 하천토양, 육상 식품류(곡류, 채소류, 과일류, 육류, 우유), 지표생물(출렁이, 썩), 해양(해수, 해저퇴적물, 어·패류, 해조류, 저서생물)에서 시료를 채취하여 방사능 농도를 조사하였다. 고리 원자력부지 및 새울 원자력부지의 환경방사능 조사 방법 및 결과는 참고문헌 1의 2.8.2절에 제시되어 있다.

## 3.3 방사선학적 특성

발전소의 운영에 따른 발전소 시설 및 부지 내에 존재하는 방사성물질의 종류, 양 및 분포 등 방사선원 평가결과는 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서 12장(방사선방호)에 자세히 기술되어 있다.

### 3.3.1 시설조사

발전소 내에 존재하는 방사성물질의 종류와 양은 영구정지 이후 시간이 경과함에 따라

단반감기 방사성핵종은 소멸되고, 중/장반감기 방사성핵종 위주로 존재하게 된다. 해제를 위해서는 시설 내에 존재하는 방사성물질의 종류, 양과 분포에 대한 정보가 요구된다. 이러한 방사성물질을 조사하기 위한 방법은 다음과 같다.

- 가. 영구정지 시점에서 원전 내 존재하는 방사성핵종과 양을 기준으로 하여 영구정지 후 시간 경과에 따른 계산
- 가. 감마방사선 준위 측정
- 나. 베타/감마방사선 조사
- 다. 알파방사선 조사
- 라. 스미어 조사
- 마. 물 및 슬러지 시료 채집
- 바. 지표/지하(surface/subsurface)토양 시료 채집
- 사. 파이프 및 기기의 시료 채집
- 아. 콘크리트 시료 채집
- 자. 금속 시료 채집
- 차. 예폭시 및 페인트 시료 채집 등

상기 방사선/능 측정 결과에 근거하여 얻어지는 정보는 아래와 같이 구분된다.

- 가. 원전 내 구역 별 방사선량률과 분포
- 가. 원전 내 구역 별 오염준위 및 오염 분포
- 나. 원전 내 계통 별 방사성 핵종의 종류, 방사능 및 분포
- 다. 원전 내 구역-계통 별 고오염 또는 고방사선량률 지점(hot spots)
- 라. 원전 내 방사선원 분포 또는 재고량 등

이러한 방사선학적 정보는 아래와 같은 절차를 통하여 얻어진다.

- 가. 방사성핵종 재고량의 이론적 계산
- 가. 시료채집 계획(위치, 개수 및 대상 핵종 등) 수립
- 나. 수동, 자동 또는 원격 시료 채집
- 다. 감마, 베타 및 알파 방사성핵종의 분석 및 정확도 결정
- 라. 시료채집 및 방사선/능 분석 결과의 해석(2D 또는 3D mapping 포함)
- 마. 이론적 계산과 해석 값의 비교
- 바. 척도인자(scaling factor) 값의 결정 및 적용(타당성 입증 포함)
- 사. 해체작업 진행도에 따른 오염도 또는 선량의 변화 예측 등

### 3.3.2 부지조사

#### 3.3.2.1 조사절차

부지의 방사선학적 특성 조사절차, 즉 방사선/능 오염수준을 파악하기 위한 절차는 크게 부지이력조사(historical site assessment), 오염범위조사(scoping survey) 및 상세특성조사(characterization survey), 정화활동지원조사(remedial action support survey) 및 최종상태조사(final status survey)로 구분된다(참고문헌 8, 9).

#### 가. 부지이력조사

부지이력조사는 해체시점까지 부지의 오염을 야기했거나 야기했을 가능성이 있는 원자로의 건설, 운영 및 각종 인허가와 관련된 모든 기록 및 정보를 조사하여, 부지 내 잔류방사능의 종류와 대략적인 농도 및 범위를 파악한다. 이 기록에는 발전소 운영 중에 발생한 비계획적 방출 등이 포함된다. 또한 부지와 관련하여 조사 및 연구가 수행된 경우, 해당 보고서도 조사한다. 조사 결과에 근거하여 부지를 오염여부에 따라 크게 오염지역(impacted area) 및 비오염지역(non-impacted area)으로 구분하며, 이후 조사대상이 되는 환경매질(environmental media)을 결정한다. 오염지역은 효율적인 조사수행을 위해 이후의 조사단계를 수행하면서 오염수준에 따라 분류한 후 조사구역(survey unit)으로 세분하여 관리한다.

#### 나. 오염범위조사

오염범위조사는 부지이력조사의 결과를 확인하기 위한 조사로, 특히 오염이 의심되는 지역을 중심으로 오염의 범위를 확정하기 위한 조사를 실시한다. 이 조사를 수행하기 위한 분석장비 및 분석방법의 결정을 위해서 부지이력 조사 결과를 바탕으로 방사성 핵종별 잔류방사능 유도농도(Derived Concentration Guideline Level: DCGL)를 예비적으로 정한다. 원자력이용시설 해체 완료 후 부지 및 잔존건물의 재이용을 위한 기준(참고문헌 10)에 따라 부지의 규제해제 기준인 연간 0.1 mSv 미만이 되도록 잔류방사능 유도농도를 정해야 한다. 한편, 가능한 범위에서 예비적으로 정한 잔류방사능 유도농도에 따라 오염지역을 분류할 수 있다.

#### 다. 상세특성조사

상세특성조사는 해당 부지 내 잔류방사능의 종류, 농도 및 분포를 부지복원 또는 부지개방에 필요한 수준으로 상세히 조사하는 것으로, 3.3.2.2 조사방법에서 기술한 대부분의 조사가 실제로 이루어지는 단계이다. 특히, 오염물질의 황적 분포뿐만 아니라 중적인 분포까지 파악한다. 이 조사의 계획 및 수행은 부지이력 조사 및 오염범위 조사의 결과를 충분히 반영하여 수행한다. 한편, 상

세특성 조사의 결과에 따라 필요한 경우 잔류방사능 유도농도를 수정 또는 추가하고 이에 따라 오염지역을 재분류한다.

#### 라. 정화활동지원조사

상기 가.~다. 항의 조사를 통해 오염준위가 잔류방사능 유도농도 보다 높아 추가적인 조치가 필요한 것으로 판단되는 지역에 대해 적절히 정화활동을 실시한다. 이 조사는 오염지역에 대한 정화활동을 통해 오염준위가 적절히 낮아졌는지 확인하기 위해 시행하는 조사로써, 이전의 조사결과를 충분히 반영하여 계획을 수립하고 시행한다. 또한 정화활동을 통해 잔류방사능 핵종의 농도 및 분포 등의 변화를 추적하고 확인한다.

#### 마. 최종상대조사

이 조사는 사전에 확정된 조사구역 별로 해당구역 내 잔류방사능 수준이 부지의 규제해제 기준을 만족하는지를 통계학적으로 판단하기 위해 수행하는 조사로써, 이전의 조사결과를 반영하여 계획을 수립하고 시행한다. 이를 위해 잔류방사능 핵종의 오염특성에 맞는 통계학적 방법을 이용하여 해당 구역의 잔류방사능에 대해 대표성을 갖도록 측정한다. 측정 결과를 통계학적으로 잔류방사능 유도농도와 비교하여 최종적으로 해당 조사구역에 대한 규제해제가 가능한지를 판단한다.

### 3.3.22 조사방법

부지의 방사능 오염수준을 조사하는 방법으로는 현장측정(direct measurement), 스캔조사(scanning survey) 및 시료채취분석(sampling & laboratory analysis) 등의 3가지 방법이 있다. 현장측정은 조사대상이 되는 조사구역 전체의 평균 방사능 농도를 결정하기 위해 사용되며, 스캔조사는 조사구역 내 방사능 농도가 극부적으로 높은 지역의 확인 및 범위를 정하기 위해 사용된다. 반면에 시료채취분석은 상기 두 방법으로 잔류방사능 유도농도가 기준 이하의 농도를 얻지 못하거나, 오염물질의 중적인 분포를 파악할 수 없을 경우에 사용한다. 그러나 대부분의 경우, 조사목적은 달성하기 위해 현장측정과 시료채취분석 모두를 수행하는 것이 필요하다. 또한 조사에 필요한 장비 및 분석기술은 오염의 종류, 요구되는 측정감도, 방사선조사의 목적 및 잔류방사능 유도농도기준 등에 근거하여 선택한다(참고문헌 8, 9).

#### 가. 현장측정

현장측정이란, 불연속 측정지점의 지표면에서 적당한 거리에 장비를 위치시킨 뒤 정해진 시간 동안 측정하는 방법이며 기본적으로 조사구역 전체의 평균 방

사능 농도를 구하기 위해 사용된다. 조사구역 내 측정지점은 무작위로 선정되거나 또는 체계적인 방법으로 선정될 수 있으며, 후자의 경우 고방사능 준위의 국부영역을 감지하기 위해 스캔조사가 병행된다. 한편, 현장측정은 스캔조사에 의해 확인된 고방사능 준위의 선원함을 결정하기 위한 조사방법으로 사용되기도 하며 반대로 스캔조사가 현장측정과 같은 수준의 감도를 보일 경우는 현장측정을 대체하기도 한다.

#### 나. 스캔조사

스캔조사는 방사선계측 장비를 표면 위로 이동시키면서 방사능 오염 지점을 측정하는 조사방법이다. 다른 조사방법에 비해 조사시간이 짧으며 비용이 적게 든다는 장점 때문에 일반적으로 다른 조사방법을 수행하기 전에 먼저 실시된다.

#### 다. 시료채취분석

시료채취분석이란 토양, 지하수 등의 환경 매질의 대표성을 갖는 시료를 채취하여, 실험실에서 방사성핵종의 농도를 측정하는 것을 말한다. 시료채취분석에서는 현장측정 및 스캔조사 등의 야외조사에서 사용되는 방사선계측 장비들이 사용된다. 이 경우 실험실에서 측정은 긴 시간 동안 이루어지기 때문에 측정감도가 높게 나타난다.

조사지점의 방사성핵종의 종류 및 농도를 정확하게 나타내는 대표 지점에서 토양시료를 채취하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 기 수행된 조사 자료를 충분히 검토하여 시료채취계획을 세워야 한다. 또한 깊이와 따른 방사능 농도의 변화를 파악하기 위해 토양의 코어 시료채취 및 분석이 필요하다. 일반적으로 시료의 부피가 증가할수록 시료의 대표성이 증가할 뿐만 아니라 요구되는 검출한도를 만족시키기 쉽다는 장점이 있으나, 시료의 운반, 저장 및 처분의 문제를 야기할 수 있는 단점이 있으므로, 이를 동시에 고려하여 최적의 시료채취 부피를 선정, 시행하여야 한다.

토양시료 이외에 조사대상이 될 수 있는 환경매질로는 천층토양, 지하수, 지표수, 퇴적물, 하수 및 정화조 시스템, 동식물, 부유입자 및 공기 등이 있다.

#### 3.3.23 조사결과 해석

조사결과와 해석은 조사지역의 오염수준이 규제해제 기준을 충족하는지를 입증하기 위해 수행된다. 먼저, 조사구역별로 측정된 평균 오염수준이 규제해제 기준에 해당하는 간류 방사능 유도농도보다 낮은지를 통계학적 방법을 이용하여 판단한다. 이때 오염물질이 백그라운드 지역에서 존재할 경우는 WRS test 방법을, 또 오염물질이 백그라운드 존재

하지 않거나 미미한 경우에는 Sign test 방법을 각각 이용한다. 그리고 스캔조사를 통해 국부적으로 높은 오염수준을 갖는 지역이 확인된 경우에는, 이로 인한 영향을 평가하여 해당 조사구역이 최종적으로 규제해제 기준을 충족하는지를 판단한다.

#### 3.3.24 조사 품질 보증

부지조사에 있어 품질보증 목표는 분석 데이터의 오류를 최소화하는 시료채취 및 분석 방법을 확인하고 구현하는 것이다. 이러한 목표를 달성하기 위해 부지조사를 수행하는 조직은 결과의 품질에 영향을 미치는 기술적, 관리적, 인적 요인을 통제 및 관리하며, 결함의 제거, 감소, 예방을 위한 활동을 한다.

#### 3.4 참고문헌

1. “신고리 원자력 5,6호기 방사선환경영향평가서”, 한수원(주).
2. “신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서”, 한수원(주).
3. “신고리 3,4호기 최종안전성분석보고서”, 한수원(주).
4. “신고리 3,4호기 확률론적 지진재해도 분석 보고서”, 한수원(주).
5. “신고리 3,4호기 지진안전성 평가 보고서”, 한수원(주).
6. “신고리 3,4호기 포항지진 안전성 평가 보고서”, 한수원(주).
7. “Seismic Input Motion for KNGR, KNGR-WOD-E069”, KEPRI.
8. NUREG-1575, “Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual (MARSSIM)” (Revision 1), U.S.NRC, 2000.
9. Eric W. Abelquist, “Decommissioning Health Physics, a Handbook for MARSSIM Users” (2nd Ed.), CRC Press, 2014.
10. “원자력이용시설 해체 완료 후 부지 및 기존건물의 재이용을 위한 기준”, 원자력안전위원회.

신고리 5,6호기 예비해체계획서

표 3-1

경상문영시 제한구역경계에서 대기확산인자 및 침적인자

풍향방향	거리 (m)	대기확산인자 (sec/m)			침적인자 (1/m)
		(y/Q)	(y/Q) <sup>2</sup>	(y/Q) <sup>3</sup>	(D/Q)
N	560	7.159E-06	7.123E-06	6.662E-06	1.539E-08
NNE	560	1.959E-06	1.264E-06	1.181E-06	4.316E-08
NE	560	1.366E-06	1.361E-06	1.272E-06	2.943E-08
ENE	560	1.193E-06	1.188E-06	1.110E-06	1.852E-08
E	560	1.212E-06	1.207E-06	1.128E-06	1.941E-08
ESE	560	1.150E-06	1.146E-06	1.071E-06	2.021E-08
SE	560	1.350E-06	1.346E-06	1.257E-06	2.209E-08
SSE	560	2.056E-06	2.082E-06	1.914E-06	5.053E-08
S	560	1.443E-06	1.439E-06	1.344E-06	4.319E-08
SSW	560	7.250E-06	7.226E-06	6.760E-06	2.291E-08
SW	560	5.875E-06	5.851E-06	5.469E-06	2.340E-08
WSW	560	3.721E-06	3.703E-06	3.463E-06	1.450E-08
W	560	3.444E-06	3.435E-06	3.205E-06	8.452E-09
WNW	560	3.182E-06	3.169E-06	2.966E-06	4.156E-09
NW	560	3.838E-06	3.816E-06	3.571E-06	5.536E-09
NNW	560	4.712E-06	4.686E-06	4.384E-06	7.610E-09



## 4 해체전략과 방법

### 4.1 해체전략과 방법

#### 4.1.1 해체전략

원자력발전소 등을 포함한 원자력이용시설의 일반적인 해체전략으로 각 국가에서는 즉시 해체와 지연해체 등의 전략을 제시하고 있다(참고문헌 1, 2). 원자력안전위원회 고시에서도 이들 2가지 전략을 해체전략으로 제시하고 있다(참고문헌 1).

즉시해체는 원자력이용시설의 영구정지 이후 가능한 한 빨리 방사성물질에 오염된 해당 시설의 구조물, 계통 및 기기와 부지를 철거하거나 방사성오염을 제거해서 원자력안전법의 적용대상에서 제외시키는 해체전략을 말한다(참고문헌 1). 이 경우 방사성물질에 오염된 구조물, 계통 및 기기와 설비들은 제한적인 사용이나 자체처분 수준까지 제염된 후 철거된다. 즉시해체는 원자력이용시설이 조속히 철거되어 부지의 재이용 등 활용성 및 경제성을 확보할 수 있고, 방사성 오염물질을 제거함으로써 사회적 수용성이 높아지는 이점이 있다. 반면에 해체비용의 조달 및 집행이 조기에 이루어져야 하며, 해체 시 방사선으로 인한 피폭 가능성이 높아질 수 있다.

지연해체는 원자력이용시설의 영구정지 이후 해당시설을 일정기간 안전하게 유지 및 관리한 다음 방사성물질에 오염된 해당시설과 부지를 철거하거나 방사성오염을 제거해서 원자력안전법의 적용대상에서 제외시키는 해체전략을 말한다(참고문헌 1). 지연해체는 설비를 안전하게 보관하기 위한 사전단계로서 일부 설비를 조기에 해체하거나 일부 방사성물질의 처리 및 설비로부터 분리하는 작업을 포함할 수 있다. 지연해체는 방사성물질의 붕괴로 방사선피폭을 감소시킬 수 있고 방사성폐기물량을 줄일 수 있으며, 해체비용이 부족할 경우 비용마련을 위한 기간을 확보할 수 있는 이점이 있다. 그러나 원자력이용시설을 해체되지 않은 상태로 장기간 보관함에 따라 방사성물질로부터의 안전성을 확보해야 하며, 부지의 재이용에 따른 경제성과 사회적 수용성이 낮아질 수 있다.

세계 주요 국가의 해체사례를 살펴보면, 해체비용이 부족하거나 정책 및 규정이 미흡한 경우 또는 흑연감속로와 같이 해체기술 확보가 미흡한 경우 지연해체 전략을 취하고 있다. 그러나 대부분의 경우 안전성, 경제성과 사회적 수용성 등을 고려하여 즉시해체를 실시하는 전략을 선호하고 있다.

해체전략 선정에는 방사성 폐기물관리에 관한 국가정책과 방사성 폐기물관리시설의 가용성, 동일부지내 복수시설의 영향, 해체후 부지의 최종상태, 해체비용의 유효성, 해체관련 전문 지식과 기술의 가용성, 안전과 환경영향, 사회경제적 영향, 국내외 해체사례와 경험 등이 고려된다.

이의 영향을 고려한 국내 원전의 해체전략으로 발전소의 운영 경험인력을 활용하여 잔류 방사성물질을 가능한 조기에 제거하여 안전성과 사회적 수용성을 확보하고자 즉시해체를 추진한다. 이는 지연해체 시 야기되는 인허가 요건의 불확실성 감소와 장기간 안전관리에 따른 검사와 정비비용 등 해체비용의 변동성 축소 및 해체기금 가용성 등에 의한 경제적인 측면을 동시에 고려한 것이다. 아울러 협소한 국토의 상황을 고려한 부지 재활용 추진 등을 종합적으로 고려하여 즉시해체로 추진하도록 결정하였다(참고문헌 3). 이에 따라 신고리 5,6호기도 즉시해체 전략을 우선적으로 고려하고 있다.

동일부지에 동일한 설계의 2개 호기가 운영되는 발전소는 인접호기에 대한 영향과 양 호기의 공용설비로 인한 안전성의 확보, 해체 조직 및 인력의 효율적 활용, 해체비용 등을 반영하여 양 호기를 동시에 해체하는 전략을 우선적으로 고려하고 있다(참고문헌 3, 4).

#### 4.1.2 해체방법과 일정

국내 발전소는 영구정지 이후 발전소해체 사업의 사회적 수용성 등을 확보하는 차원에서, 사용후핵연료 냉각 및 저장시설로의 이송 등을 고려하여 안전관리기간을 둔다. 이 기간 동안 노심에서 연료가 인출되어 사용후핵연료 저장조로 이송 후 냉각이 이루어진다. 또한 원자로냉각재계통 등에 대한 계통제임과, 운전필요 기기와 설비 해체를 위한 계통의 분류 등이 이루어진다. 한편 사용후핵연료는 냉각이 이루어진 이후 본격적인 제임·해체 전 부지 내 또는 부지 외 저장·처분시설로 이동하게 된다(참고문헌 4).

해체 승인 후 기술의 타당성과 현장적용성이 입증되고 국내외 해체사례와 경험이 반영된 해체방법을 적용하여 비방사선구역 및 방사선구역에 대한 제임·해체 공사가 수행된다. 방사선구역의 경우 우선적으로 오염도가 낮은 설비와 기기 등에 대한 제임과 해체가 착수된다. 이후 원자로 및 내부구조물에 대한 절단, 철거 작업이 이루어진다. 이 기간 동안 방사성오염 설비와 기기 등에 대한 제임과 방사성폐기물 분류, 포장 및 반출이 이루어진다. 방사성오염 기기는 화학적 제임, 기계적 제임 등의 방법으로 제임하고, 압축, 용융 등의 감용 과정을 통해 방사성폐기물의 양을 줄인다. 설비의 해체가 완료된 후 구조물은 절단, 파쇄 등의 방법으로 철거가 이루어진다. 자체처분 대상 해체폐기물은 자체처분계획서와 신고 및 승인 절차를 거쳐 산업폐기물로 치분하며, 방사성폐기물은 중·저준위 방사성폐기물 처분장으로 이송·처분된다(참고문헌 5). 한수원(주)은 해체 승인 후 수행되는 해체활동에 대한 상황을 관련 규정에 따라 규제기관에 반기별로 보고한다(참고문헌 6).

제임·해체 공사가 완료된 후 부지에 대한 잔류방사능 조사를 수행하고, 최종부지상태보고서를 첨부하여 원자력시설 해체완료보고서를 제출한다. 이에 따라 규제기관은 해체완료검사를 수행하고 운영허가의 종료를 서면으로 통보한다. 이 경우 운영허가가 종료되며 해당부지는 부지개이용 계획에 따라 개이용할 수 있다.

이러한 발전소해체에 대한 개략적인 일정을 양 호기를 동시에 즉시해체하는 전략을 고려

하여 그림 4-1에 제시하였다(참고문헌 3).

#### 4.2 참고문헌

1. “원자력이용시설 해체계획서 등의 작성에 관한 규정”, 원자력안전위원회.
2. Regulatory Guide 1.184, “Decommissioning of Nuclear Power Reactors”, (Revision 1), U.S.NRC, 2013.
3. 원자력진흥위원회 보고(관계부처 합동), “안전하고 경제적인 발전소해체와 발전소해체 산업 육성을 위한 정책방향”, 산업통상자원부.
4. “중장기 발전소해체 대책에 관한 연구”, 한수원(주).
5. “방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정”, 원자력안전위원회.
6. 원자력안전법 시행규칙.
7. Safety Standards Series No. GSR Part 6, “Decommissioning of Facilities”, IAEA, 2014.
8. Safety Reports Series No. 50, “Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material”, IAEA, 2007.

신고리 5,6호기 예비해체계획서

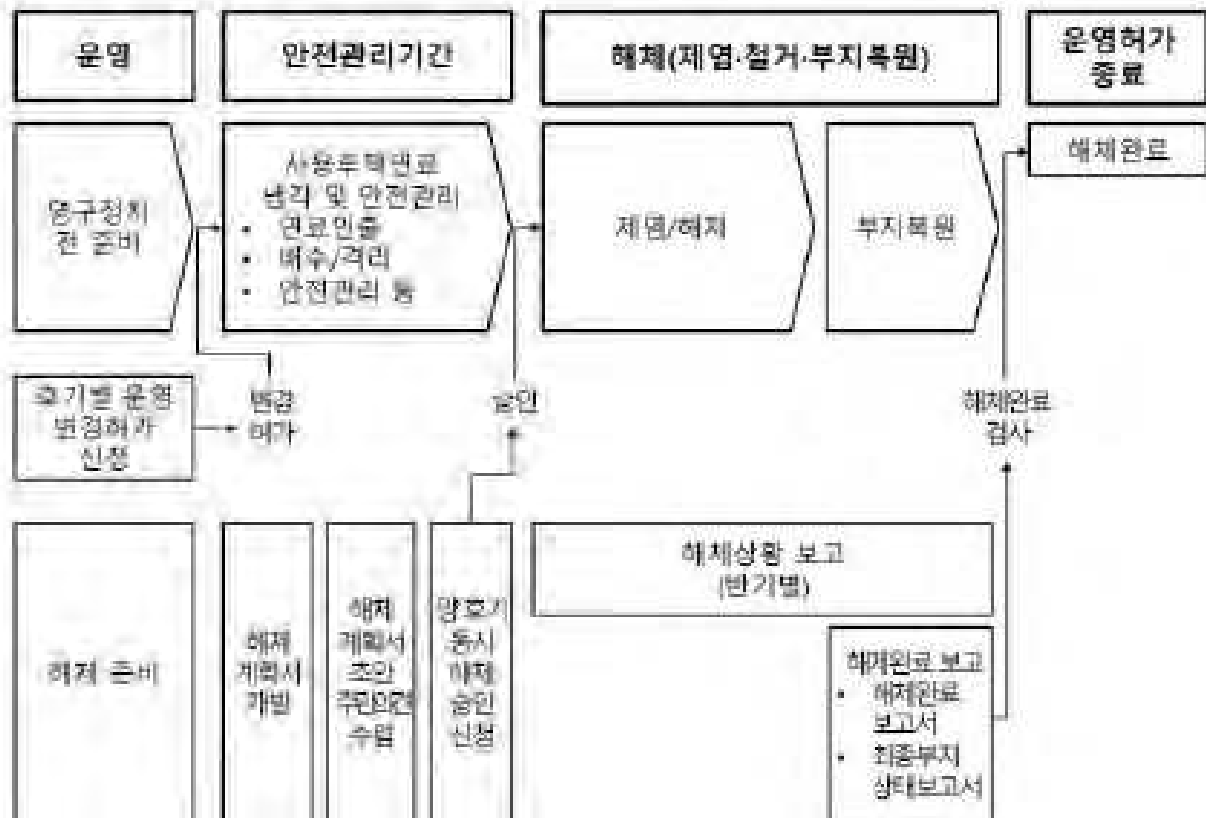


그림 4-1 발전소해체 계약 일정

## 5 해체용이성을 위한 설계특성과 조치방안

### 5.1 설계특성

발전소는 ALARA 측면에서 방사성기기를 차폐된 격실에 분리설치, 배관 및 기기에서 방출되는 방사선을 충분히 감쇠시킬 수 있도록 설계된 차폐체 설치, 원격 조작기기 및 자동 장비 사용, 공기 중 방사성물질의 생성 가능성이 있는 격실에 대한 환기설비 설치, 방사선감시제통 설치, 방사선방호 요원의 훈련 그리고 피폭방사선량 저감을 위한 행정적인 정책 및 절차서 개발과 이행이 포함되도록 설계되었다. 이 외에도 방사선작업종사자(이하 종사자)의 방사선피폭을 저감하기 위해 방사성기기 설계 시 접근성 향상 및 누설의 최소화를 고려하였으며, 적절한 제염설비를 제공하고 있다(참고문헌 1).

이 장에서는 발전소의 방사선방호 설계특성을 원자력안전위원회 고시에 따라 재분류하여 작성하였다. 이를 통해 발전소설계에 대한 특성과 조치방안을 제시하고자 하였다(참고문헌 2).

원자력안전위원회 고시(참고문헌 2)와 IAEA 안전기준에서 해체용이성은 방사성 폐기물 저감 및 방사선피폭 저감(ALARA)에 그 목표를 두고 있다. 이를 근간으로 IAEA 안전기준에서는 설계단계에서 부터 해체를 고려하며, 해체계획을 주기적으로 검토하고 갱신토록 권고하고 있다. 이를 통해 시설 및 환경에서의 방사성오염을 최소화하고, 해체를 용이하게 하며, 방사성폐기물의 발생을 최소화하도록 하였다(참고문헌 3, 4).

#### 5.1.1 해체용이성을 위한 ALARA 설계특성

해체용이성 측면에서 ALARA 설계특성은 해체시점에서 복원이 요구되는 시설과 부지에 대한 잔류방사능을 최소화하고 구조물, 시스템 및 기기(Structures, Systems and Components: SSCs)의 해체를 용이하도록 설계하며, 시설의 안전하고 효율적인 해체를 위해 중요한 기록을 유지하는데 있다. 이 기록에는 해체에 영향을 미칠 수 있는 설계변경사항 및 시설의 수명기간 동안 환경으로 누설된 방사성오염의 잔류준위와 오염사건이 포함된다. 발전소는 해체용이성 측면에서 종사자의 해체과정 중 피폭방사선량을 합리적으로 달성 가능한 한 낮게(ALARA) 유지하기 위한 설계측면 및 운영측면을 고려하고 있다.

발전소운영 시 적용되는 ALARA 특성은 발전소해체 시에도 동일하게 적용된다. 발전소해체가 용이하도록 방사성 폐기물량을 최소화하고 종사자피폭을 ALARA로 유지하는 한편 접근면의청과 충분한 작업공간을 제공하도록 설계되었다.

##### 5.1.1.1 설계고려사항

## 신고리 5,6호기 예비해체계획서

중사자의 피폭방사선량을 ALARA로 유지하기 위한 일반적인 설계특성에 대한 상세지침은 기기의 설계 및 선정, 차폐, 오염관리 및 방사화부식생성물의 발생 저감기술 등에 대한 지침을 준수하고 있다.

### 5.1.1.1 기기설계 시 방사선구역 내 체류시간 최소화를 위한 고려사항

방사선구역 내 체류시간의 최소화를 위해 차폐, 기기의 선정, 기기의 접근성을 고려하여 설계되었다(참고문헌 1).

- 가. 유지보수 빈도 및 정비작업과 관련한 중사자피폭을 감소시키기 위하여 신뢰성이 높은 기기선정
- 나. 펌프 및 관련 배관은 펌프의 이동이 용이하도록 가능한 플랜지로 연결하고, 펌프 내부구조물 또한 분리될 수 있도록 설계
- 다. 제거가 필요한 밸브는 플랜지 설치
- 라. 모터, 펌프를 포함한 일체형 기기는 접근 및 제거가 용이하도록 스키드에 설치

### 5.1.1.2 기기설계 시 방사선구역 내 방사선피폭 최소화를 위한 고려사항

중사자의 방사선피폭 최소화를 위해 ALARA 측면에서 아래와 같은 다양한 설계를 고려하였다.

- 가. 펌프케이싱에는 체열을 용이하게 하기 위해 배수관이 설치되고, 배수관은 방사성부식생성물(크러드)의 축적을 최소화하기 위해 내부에 갈라진 통새가 없도록 설계
- 나. 기기는 방사성오염준위의 감소를 위해 방사성크러드의 축적이 최소화되도록 설계
- 다. 이온교환기는 완전 배수가 가능하고, 원격조절에 의한 수압조절 세척법을 이용하여 용기로부터 고체방사성폐기물관리세정으로 폐수지를 이송할 수 있도록 설계
- 라. 액체여과기의 하우징에는 배기관을 설치하여 액체여과기 완전 배수가 가능하고, 원격제거가 가능하도록 필터 하우징과 카트리지를 설계
- 마. 탱크는 완전배수가 가능하며, 작업목적으로 내부세척을 실시할 수 있도록 설계
- 바. 고방사선구역 내외 기기조작 및 핵연료 취급을 보조하기 위해 원격장비 설치
- 사. 방사성오염 준위가 최소화되는 재질 선정

### 5.1.1.3 설비의 배치 설계 시 고려사항

발전소배치 설계 시에는 직접방사선원(방사선원으로부터 산란 또는 직접 입사되는 감마선 또는 중성자선)을 최소화하도록 고려하였다.

- 가. 기기에 대한 접근이 용이하도록 충분한 공간 확보
- 나. 오염확산을 최소화하기 위해 방사성세동과 비방사성세동 분리배치

## 신고리 5,6호기 예비해체계획서

- 다. 유지보수 빈도, 운전특성, 방사능준위 등을 고려하여 계통기기를 격실에 분리배치
- 라. 환기계통은 공기 중 방사성물질이 저방사선구역에서 고방사선구역으로 환기될 수 있도록 설계하여 공기 중 오염확산을 최소화시키며, 잠재적으로 고방사능을 함유하는 구역에 대해서는 부압 유지
- 마. 원자로건물 등 방사선구역 내에 설치되는 계측설비는 작업자 피폭저감을 위하여 가능한 접근이나 교체가 용이한 위치에 설치

해체기간 중에 해체공정에 따라 격실내 방사선원이 변경되는 경우에도 환기계통이 정상적으로 운영되는 경우 흡기모관, 방사성격실, 배기모관 순으로 유로가 형성되므로 격실간 오염확산이 최소화된다. 환기계통이 정상적으로 운영될 수 없는 경우에는 임시환기계통의 추가설치 등으로 오염확산의 최소화가 가능하다.

### 5.1.1.1.4 핵증기공급계통 설계고려사항

핵증기공급계통에서 이용하는 계통 및 기기는 방사선지역에서 작업 필요성을 줄일 수 있도록 설계되었다. 제어기는 저방사선지역에서 원격으로 작동하도록 설치되었다. 열교환기 및 밸브와 같은 기기는 작업 시 접근이 용이하도록 설계되었다.

핵증기공급계통에서 사용하는 계통 및 기기는 원자로해체 시 방사선피폭이 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지되도록 설계되었다. 발전소 내의 방사능 및 오염축적을 최소화하는 설계를 통하여 원자로해체를 용이하게 하였다.

다음의 설계특징은 원자로해체 시 발전소 내 방사선 피폭을 줄이는데 효과적이다.

- 가. 1차계통 냉각재, 수지, 농축물과 같은 방사성물질을 포함하는 기기들은 물 세척 또는 화학세척세척을 위한 연결관 설치
- 나. 기기는 크러드 누적을 최소화하고 세척이 용이하도록 설계
- 다. 중성자 방사화로 인한 피폭을 줄이기 위하여 적절한 차폐물을 설치할 수 있는 공간 확보
- 라. 설계단계에서 내부식성 재질과 선택, 적절한 화학제어 프로그램의 규정, 1차계통 냉각재에 노출되는 재질의 코발트 및 안타몬 함량 제한 등을 통해 핵증기공급계통의 전 수명기간 동안 방사화부식생성물의 누적을 최소화하도록 설계

### 5.1.2 방사성물질 누설 최소화 설계특성

발전소는 구조물, 계통 및 기기에서 방사성유체의 누설이 최소화 될 수 있도록 설계되어 있다. 만약 구조물, 계통 및 기기로부터 방사성유체가 누설되는 경우에도 원자로건물바닥배수, 보조건물바닥배수, 복합건물배수 및 기타 바닥배수는 바닥배수 부계통으로 보내지고 역삼투압설비 패키지로 처리된다. 보조건물 기기배수 및 기기폐액은 기기폐액 부계

통으로 보내지고 역삼투압설비 패키지로 처리된다. 방사화확실험실, 핵연료취급지역, 기계제염배수 및 기타 화학폐액은 화학폐액 부재통으로 보내지고 역삼투압설비 패키지로 처리되도록 설계되어 있다.

구조물, 계통 및 부품에서 방사성유체의 누설을 최소화하기 위한 구체적인 사례는 아래와 같다.

- 가. 방사선구역의 콘크리트 벽과 바닥은 오염의 확산을 방지하고 시설물의 제염이 용이하도록 도장. 오염된 유체의 누설이 가능한 위치에는 연석(curb)을 설치하여 오염물질 확산 방지
- 나. 방사선구역의 환기계통들은 풍량조절을 통해 저방사선구역에서 고방사선구역으로 공기가 흐르도록 설계하여 공기 중 방사성물질 확산방지
- 다. 제염 시 사용된 오염수의 확산방지를 위해 방사선구역 배수는 방사성배수조로 수집
- 라. 방사성물질들을 포함하는 기기들은 잠재적인 고방사성입자의 침적을 제거하기 위하여 세척용 설비 설치
- 마. 배수배관은 방사성크러드의 축적을 방지하기 위해 정제 없이 중력에 의한 유동이 될 수 있도록 경사지게 배치

#### 5.1.21 공기 중 오염방지를 위한 설계특성

환기계통은 오염확산을 최소화하기 위해 저방사선구역에서 고방사선구역으로 공기가 흐르도록 설계되어 있다. 또한 오염확산을 방지하기 위하여 다음과 같은 설비를 갖추고 있다.

- 가. 기기누설물수집용기  
기기누설물을 수집하고 방사성입자핵종이 공기나 불활성기체 또는 방사성요오드핵종과 같은 휘발성 핵종과 같이 부유되는 것을 방지하기 위하여 기기누설물 수집용기 사용
- 나. 글로브 박  
밀폐지역에서 맨브 정비와 같은 유지보수작업을 수행하기 위해 글로브 박 사용
- 다. 천막  
밀폐된 공간에서 대형 기기의 연삭 및 유지보수작업을 할 경우 천막 사용
- 라. 방사성기기공작실  
방사성기기 및 오염된 기기에 대한 정비 작업 수행
- 마. 두프 밀봉  
바닥배수계통은 오염된 공기가 바닥배수계통을 통하여 다른 지역이나 위/아래층으로 확산되지 않도록 물이 채워진 두프밀봉 설계

#### 5.1.22 핵종기공급계통



발전소는 방사성유체의 누설을 최소화하도록 설계되어 있다. 종사자에 대한 방사선피폭과 유지보수 빈도수를 줄이기 위하여 신뢰성 있으며 단순한 기기를 사용하도록 한다. 다음은 방사성계통에 이용되는 기기설계특성은 다음과 같다.

#### 5.1.22.1 탱크

비가압탱크에는 바닥이나 땅으로 방사성유체가 유출되는 것을 방지하기 위하여 바닥배수 펌프나 다른 적절한 수집지점으로 보낼 수 있는 넘침관이 설치되어 있다.

#### 5.1.22.2 밸브

다음 기술사항은 밸브 누설을 최소화하고 밸브의 설계수명을 연장하는 밸브 사양이 요약되어 있다.

- 가. 조절밸브장치를 제외하고는 직경이 5.08 cm(2 inch) 이하인 밸브장치에는 패킹 없는 밸브 사용
- 나. 조절밸브와 직경이 5.08 cm(2 inch)보다 큰 밸브들은 가능한 패킹에 수축력이 유지되도록 원추형 스프링 와셔나 다른 방법에 의한 자체 패킹부하 이용
- 다. 패킹간 누설관이 있는 이중 스템패킹은 10.16 cm(4 inch) 이상의 밸브와 직경이 5.08 cm(2 inch) 내지 10.16 cm(4 inch)인 정상운전 시 개방밸브에 대해 사용하며 스템누설은 적절한 배수조나 탱크로 배관 연결
- 라. 스템패킹을 이용하는 밸브는 백시트(backseat) 기능 제공
- 마. 발전소유체보수 요건을 줄이고 설계수명을 연장시키기 위하여 가능한 한 개방 사선밀봉재, 개스킷, 단상 증합재 사용
- 바. 고방사선지역에 위치한 밸브는 방사선피폭을 최소화하기 위해 연결봉(reach rods) 혹은 전동기구동기 설치

#### 5.1.22.3 재료 선택

방사화부식생성물의 발생을 최소화시키기 위해서 상세설계 단계에서 내식성재료 선택 및 1차 냉각계에 노출되는 재료의 코발트 및 안티몬 함량을 제한하여 선택하였다.

#### 5.1.22.4 원자로냉각계계통 누설제어

원자로건물로 들어가는 종사자에 대한 공기 중 방사성 핵종으로부터의 방사선피폭은 원자로건물 대기로 방출되는 원자로냉각계 누설량을 제어함으로써 최소화된다. 이와 같이 제어된 누설의 일례는 다음과 같다.

- 가. 가압기 과열터구동 안전방출밸브(POSRV) 누수는 원자로건물 내 재창전수탱크로

## 신고리 5,6호기 예비해체계획서

### 보내지도록 설계

- 나. 직경이 5.08 cm(2 inch) 이상인 펌프에는 원자로배수탱크로의 누설 연결관과 중간 랜턴링이 설치된 이중 패킹된 스템 제공
- 다. 원자로냉각재펌프 밀봉장치의 비정상적인 누설을 감지하는 제촉기기 설치
- 라. 원자로냉각재펌프는 2단 밀봉장치와 더불어 증기밀봉장치 설치
- 마. 증기밀봉장치는 원자로건물 대기로의 누설을 방지하고 조절된 밀봉누수가 제적 제어탱크 및 원자로배수탱크로 바로 배출될 수 있도록 충분한 압력 유지
- 바. 증기밀봉장치는 2개의 1차 밀봉장치 중 모두 혹은 둘 중의 어느 1개가 손상되었을 경우에도 원자로냉각재계통압력에 견딜 수 있도록 설계

### 5.1.3 환경방출 방사성오염 및 운영 중 방사성폐기물 발생 최소화 설계특성

발전소운전 시 적용되는 ALARA 특성은 발전소해체 시에도 동일하게 적용된다. 신고리 5,6호기는 발전소해체가 용이하도록 방사성 폐기물량을 최소화하고 종사자피폭을 ALARA로 유지하는 한편 접근 편의성과 충분한 작업공간을 제공하도록 설계되어 있다.

해체 시에 발생하는 방사성폐기물은 해체작업으로 인한 방사성폐기물 및 정상운전 중 오염된 구조물, 계통, 기기 등 해체폐기물로 구분되며, 대부분은 정상운전 중 오염된 구조물, 계통, 기기 등의 해체폐기물이다.

- 가. 해체작업으로 인한 방사성폐기물은 기계방사성폐기물관리계통, 액체방사성폐기물관리계통 및 고체방사성폐기물관리계통을 통해서 처리가 가능함.
- 나. 정상운전 중 오염된 구조물, 계통, 기기 등의 해체폐기물은 ALARA 및 오염최소화 설계특성에 따라 오염이 최소화되며, 해체단계에서는 구조물, 계통, 기기에 대한 제거량특성 조사 및 오염도 조사를 통하여 오염준위에 따라 폐기물을 분류하고 가능한 부분은 제거작업을 통해서 오염준위를 낮춤으로써 해체폐기물 발생을 최소화 함.

해체단계에서의 해체폐기물발생 최소화를 위한 방안은 해체방법 및 단계 등을 고려하여 해체승인 신청 시점에서 최종해체계획서에서 기술할 계획이다.

#### 5.1.3.1 액체방사성물질의 배출경로

액체방사성폐기물관리계통으로부터 배출되는 방사성 폐액은 공동배수모관을 통하여 배출된다. 액체방사성폐액의 유일한 배출지점은 수증배수터널이다. 액체유출물은 회석 및 배출되기 전에 감시된다. 액체유출물과 회석수는 각 배출지점의 상류에서 두 유체를 혼합하여 배출하기 전에 완전히 혼합되도록 되어 있다. 배출되는 동안 방사능준위는 액체방사성유출물감시계통을 통해 원자력안전위원회가 정하는 제한값을 초과하지 않도록 관리되고 있다(참고문헌 5).

### 5.1.32 기체방사성물질의 배출경로

기체방사성물질은 보조건물, 원자로건물, 복합건물 및 터빈건물 공기조화계를 통하여 배출된다. 각 건물의 공기조화계에 대한 설계특성은 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서의 9.4절에 기술되며, 기체방사성물질 방출지점 및 방출고도는 그림 11.3-3에 제시된다(참고문헌 1). 배출되는 동안 방사능준위는 기체방사성유출물감시계를 통해 원자력안전위원회가 정하는 제한값을 초과하지 않도록 관리되고 있다(참고문헌 5).

### 5.1.33 환경방사선감시기

발전소주변에 대한 환경방사선관리는 발전소에서 배출되는 방사성물질로 인한 주민피폭방사선량이 원자력안전법령에서 정한 선량한도에 비해 낮게 유지되고 있음을 확인하는데 목적이 있다.

환경방사선감시기(ERMS)는 새울원자력본부 내·외부 및 비교지점에 설치되어 있다. 이를 통해 새울원자력본부 주변 및 주요지역 공간 감마선량을 추이를 연속적으로 감시한다.

### 5.1.34 운영 중 방사성폐기물 발생 최소화

방사선폐기물 발생 최소화 설계는 발전소운영 중에 방사성폐기물의 발생이 최소화되도록 구조물, 계통 및 기기를 설계하는 것이다. 이를 위해 종사자의 피폭방사선량을 ALARA로 유지되도록 설계하고, 방사성폐기물 발생을 최소화하도록 기체, 액체 및 고체방사성폐기물관리계를 설치하며, 효율적인 작업이 가능하도록 설계되어 있다.

#### 5.1.34.1 제염설비

방사선관리구역 중 필요한 지역에는 제염구역이 마련되어 있다. 원자로건물 내에는 세척패드와 영구분무노즐이 원자로용기상부헤드 내부의 오염제거를 위하여 원자로용기상부헤드 안착지역에 설치되어 있으며, 그 외에 재발전 후 재발전수조라이너를 제염하기 위하여 호스와 배수연결 설비가 설치되어 있다.

해연료위급지역에는 사용후연료캐스크와 제염을 위하여 캐스크제염조에 영구분무노즐이 설치되어 있다. 복합건물에는 폐기물이 들어 있는 드럼의 겉표면을 극부적으로 제염하기 위하여 고체폐기물구역 내에 제염대가 설치되어 있다. 오염 장비공작실에는 공구와 장비의 오염제거를 위하여 제염설비가 설치되어 있다.

일반적으로, 공정계통의 기기들은 해체하기 전에 그 위치에서 제염된다. 해당품의 방사성핵종을 함유하고 있는 펌프, 열교환기 및 여과기와 같은 각 공정기기들은 세척과 배수

연결설비를 갖추고 있다.

방사선구역 내에 있는 기기들은 제염의 편의를 위하여 가능한 제염도포제로 도포된다. 필요하다면, 제염의 최대효과를 위하여 도포제를 완전히 제거하는데 용제 혹은 샌드블래스팅(sandblasting)이 사용되고 있다.

#### 5.1.3.4.2 액체방사성폐기물관리시스템

액체방사성폐기물관리시스템의 설계목적은 액체방사성폐기물을 수집, 분리, 저장, 처리, 시료채취 및 감시할 수 있는 수단을 마련함으로써 종사자, 일반대중 및 환경을 보호하는 데 있다. 액체방사성폐기물이 비방사성유동물질과 혼합되어 방사능으로 오염될 가능성을 최소화하기 위해 액체방사성폐기물 종류별로 분리한다. 처리된 액체방사성폐기물은 감시탱크에서 배출하기 전에 시료채취가 이루어지고 통제감시 하에 배출될 수 있도록 배출배관에 방사선감시기가 설치되어 있다.

방사성폐기물은 최초수집 배수조 또는 탱크로의 선택유로를 통해 분리된다. 이것은 폐기물 종류별로 좀 더 효율적인 처리를 가능하도록 하고 고체폐기물을 감소시키며, 서로 다른 폐기물 범주별로 처리하는 부계통으로 구성된다.

액체방사성폐기물관리시스템은 다음의 주요 부계통으로 구성된다.

- 가. 바닥배수 부계통
- 나. 기기폐액 부계통
- 다. 화학폐액 부계통
- 라. 방사성세탁 부계통

이에 대한 상세한 설명은 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서의 11.2절에 기술되어 있다(참고문헌 1).

#### 5.1.3.4.3 기체방사성폐기물관리시스템

기체방사성폐기물관리시스템은 양 호기 공용으로 내진범주 II로 설계된 복합건물에 설치되어 있으며, 탈기제처리기기들로부터 배기되는 저준위방사성기체를 수집하여 일정기간 저연, 분괴시킨 뒤 배출한다. 저준위방사성기체는 해당건물 공기조화계통에서 여과처리된 다음 대기로 배출된다. 저준위방사성기체를 처리하는 계통에는 건물배기계통, 복수기전공계통 및 터빈축밀봉계통이 있다.

기체방사성폐기물관리시스템은 다음의 주요 부계통으로 구성된다.

- 가. 공정기계 부계통
- 나. 공정배기 부계통
- 다. 건물공기조화계통

이에 대한 상세 내용은 참고문헌 1의 113절에 기술되어 있다.

#### 5.1.3.4.4 고체방사성폐기물관리계통

고체방사성폐기물관리계통은 고체 폐기물을 수집, 분리, 처리, 시료채취, 감시 및 포장하기 위한 수단을 제공하여 종사자, 일반대중 및 환경을 보호하도록 설계되어 있다. 포장된 폐기물은 부지 내 중저준위 방사성폐기물 임시저장고(신고리 1,2,3,4호기 공용) 또는 영구 처분장으로 이송하기 전에 복합건물 내에 일정기간 저장된다. 고체방사성폐기물관리계통은 허가된 처분장으로 운송하기 전에 일정기간 임시저장하기 위해 습식폐기물과 건조폐기물을 처리한다.

고체방사성폐기물관리계통은 다음의 주요 부계통으로 구성되어 있다.

- 가. 폐수지이송 및 저장 부계통
- 나. 여과기 및 막위급 부계통
- 다. 건조폐기물분류 및 처리 부계통
- 라. 농축폐액처리 부계통
- 마. 폴리머고화처리 부계통
- 바. 중저준위 폐기물 저장 부계통

이에 대한 상세한 설명은 참고문헌 1의 114절에 기술되어 있다.

#### 5.1.4 시설배치 최적화 설계특성

종사자의 피폭방사선을 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지하기 위한 ALARA 측면 및 해체과정에서 종사자의 접근성과 기기철거를 위한 시설배치의 최적화 측면에서 설비를 배치하였다.

##### 5.1.4.1 방사성계통 및 기기의 배치

비방사성계통은 방사성계통과 분리하여 배치함으로써 오염확산을 방지하고 방사성유체 및 슬러지를 함유하는 배관이 종사자 이동로로 배치되는 것을 최소화하고 있다. 또한 방사선구역으로의 접근을 통제하는데 유리하다.

방사성기기는 가능한 한 격실별로 분리하여 배치하고 있다. 기기는 접근 빈도, 운전특성

및 방사선준위를 고려하여 구분하고 있다. 예를 들면 수지를 함유하는 이온교환기는 펌프 및 밸브와 같은 방사성기기와 분리하여 별도의 격실에 배치하고 있다. 밸브는 밸브 격실에 배치하고 있다. 격실 벽은 종사자가 저방사선구역에서 운전 및 정비작업을 할 수 있도록 차폐되고 있다. 표 5-1에 방사선구역 분류기준을 제시하였다.

#### 5.1.42 배관배치

방사성계통의 배관은 관련 기기를 서로 인접 배치하여 길이를 최소화시키며 차폐된 배관로를 통하여 배치하고 있다. 배관로에는 유지보수 작업을 위한 접근 빈도를 줄이기 위해 가능한 한 방사성기기를 배치하지 않는다.

#### 5.1.43 작업공간

유지보수 및 검사를 위한 기기로의 접근 및 작업이 용이하도록 기기 주위 및 이송로에 충분한 작업공간을 확보하고 있다. 즉 기기를 교체하거나 제거할 경우 기기를 격실에 넣거나 끌어내는 작업을 용이하게 하고 기기 이송을 용이하게 할 수 있도록 충분한 공간을 확보하고 있다. 또한 기기의 제거, 이동, 교체 또는 정비작업 동안의 임시 차폐체 설치 등을 용이하게 할 수 있도록 기기를 조립하거나 들어 올릴 수 있는 장비를 구비하고 있다.

이러한 발전소 운영단계에 적용하는 설계특성은 해체단계에서도 활용이 가능하다.

작업공간에 대한 설계 예는 그림 5-1과 같으며 기기로의 접근성 및 작업의 용이성을 위한 공간이 확보되도록 정지 냉각열교환기는 콘크리트 벽체로부터 160 cm의 공간이 이격되도록 설계되어 있다. 건물 내 격실로부터 해당기기에 대한 이동 경로상 운반기기와 설계 예는 그림 5-2와 같으며 관련 기기의 크기와 이동 공간을 고려하여 임시 인양장비(카트, 롤러 등) 및 중량물 크레인(trolley beam & hoist) 등이 사용된다. 해체작업 시 제거되는 기기의 이동 경로에 대한 설계 예는 그림 5-3과 같으며 이동 경로상의 모퉁이 및 좁은 통로 등에 대해서는 해당 기기 크기 및 최대 크기 기기의 전체적인 이동 동선을 검토하여 기기 반출 이송로를 확보하고 이동 경로의 간섭을 배제하도록 설계되어 있다.

#### 5.1.44 방사성장비 보관 및 방사성기기 공작실

방사성장비 보관을 위한 공간이 원자로건물 출입문 가까이 있게 하여 고방사선구역에서 대기하는 시간을 최소화하고, 오염확산을 방지하며 세정작업을 최소화하여 종사자피폭을 감소시키고 있다.

또한 복합건물에 방사성기기 공작실을 확보함으로써 종사자가 저방사선지역에서 기기를 제거하고 유지보수 작업을 용이하게 수행할 수 있도록 하고 있다. 방사성기기공작실은 기기 이동을 쉽게 할 수 있도록 트럭베이에서 접근할 수 있도록 하고 있다.

#### 5.1.45 대기지역

원자로건물 장비반입구 및 원자로건물 인원출입구 외부에 대기공간이 있어 운전정지 기간 동안 잠시 대기할 수 있도록 하며 원자로건물의 내·외부로 기기이동 시 효율적인 방사선관리를 할 수 있도록 되어 있다.

#### 5.1.46 종사자 제염 및 교체 공간

방사선관리구역의 출입통제지역 주변에 종사자 제염 및 교체 공간을 확보하고 있다. 이곳에는 방호용 의류, 호흡기, 샤워실 및 화장실 설비, 옷장 및 오염된 옷을 담아둘 수 있는 용기들이 비치되어 있다.

#### 5.1.47 원격조정장비 설치

고방사선구역 내 기기 조작 및 핵연료 취급을 보조하기 위한 원격장비가 설치되어 있다.

#### 5.1.48 방사선관리구역

정상운전 시에는 오직 한 곳에서만 방사선관리구역으로 접근할 수 있으며 비상시에는 탈출이 가능하도록 설계되어 있다. 방사선관리구역으로의 접근지역은 정지기간 동안 종사자를 충분히 수용하고 이 지역에 체류하는 방사선안전관리원과 신속한 교류가 가능하도록 유연성 있게 배치하고 있다.

#### 5.1.49 방사선관리구역 접근

고방사선구역의 입구에는 입구를 통한 방사선의 흐름 및 선량을 방지하기 위하여 미로가 설치되어 있다. 복도 인접지역은 정상운전 중 차폐기능을 담당하고 열교환기 등의 정비 작업 시에는 기기를 이동할 수 있도록 제거 가능한 차폐벽이 설치되어 있다.

고방사선구역에는 종사자의 부주의한 접근을 방지하기 위하여 잠금장치가 있는 문이 설치되어 있다.

#### 5.1.410 대형기기 철거

운영 시 유지보수를 위한 작업공간이나 이동 경로를 초과하는 대형 기기(원자로, 증기발생기, 대형 배관 등)의 철거방법은 제염정도, 철거 기술 및 이동경로, 해체폐기를 처리 전략 등에 따라 해체단계에서 결정될 것이다.

## 5.2 조치방안

### 5.2.1 발전소 운영 중 방사성물질의 누설, 방사성오염 및 방사성폐기물 발생 최소화를 위한 조치방안

발전소 운영 중 방사성물질의 누설, 방사성오염 및 방사성폐기물 발생 최소화를 위한 조치방안은 관련 절차에 따라 이행되고 있다. 방사선관리구역 내 방사성폐기물 발생을 최소화하기 위하여 방사선관리구역 안으로 물품 반입 시 포장재, 용기 등과 같이 불필요한 것을 제거하고 있다.

방사선관리구역에서 수행되는 방사선 작업 시 발생하는 방사성폐기물을 가능한 최소화하기 위해, 방사선안전을 관리하는 부서는 방사성 폐기물 발생이 예상되는 작업에 대해 작업 수행 부서와 협의하여 예상 방사성폐기물 발생량을 평가하고 있다. 특히 방사성 폐기물 발생량이 일정수준을 초과할 것으로 예상될 때, 방사성폐기물관리 회의제 운영을 통해 예상 방사성폐기물 발생량 평가결과와 적절성 및 저감대책을 심의 후 작업을 수행하고 있다. 작업이 종료된 후, 실제 방사성폐기물 발생량이 예상 발생량을 초과했을 경우에는 회의제 운영을 통해 문제점을 검토하고, 향후 작업 시 적용할 방사성 폐기물 저감방안 등을 도출한다. 방사성 폐기물 발생량을 저감하기 위한 검토 대상으로는 비닐류, 먼류, 종이류, 철재류, 플라스틱류 및 콘크리트 등이 있다.

과도한살이나 사고발생으로 고방사능의 냉각재가 원자로건물 외부에 위치한 계통으로 부터 누설되는 것을 방지 또는 최소화하기 위해, 안전주입계통, 화학 및 제척제어계통 등에 대해 주기적으로 육안 점검 및 누설시험을 수행하고 있다.

오염 시 원인 규명과 조치, 오염의 확산방지 및 제압을 통하여 비방사성계통을 통해 방사성물질이 누설되는 것을 방지하고 있다. 지하수집수조에서 주기적으로 시료를 채취하여 감마방사능 및 삼중수소에 대한 방사능분석을 통해 부지 내 지하수방사능을 감시하고, 배출 방사능량 평가를 통해 방사선에 의한 환경 및 주민영향을 최소화하고 있다. 복합건물관리구역 출입구 앞, #5,6 해연료취급지역 트럭출입구 앞, 복합건물트럭배출입구 앞 등의 지역에 대해 표면오염도를 측정하고, 오/배수처리계통 부산물의 방사성오염 여부를 확인하고 있다. 특히 지하수집수조, 복수달임 계통 집수조 등에서 시료를 채취하여 삼중수소 등의 방사능을 분석하고 있다.

아래에 기술하는 사항은 발전소운영 시 ALARA를 위한 방법으로 해체 시에도 적용 가능하다.

- 가. 고방사선관리구역과 인접한 일상작업구역(저방사선관리구역)에는 차폐재과 같은 임구차폐설비를 설치
- 나. 매관차폐를 위한 납담요 또는 기기 주위 차폐를 위한 콘크리트 벽돌 등 임시차



폐제를 필요한 구역에 비치

- 다. 임시차폐제는 차폐제 설치 및 제거 시 받는 방사선량을 포함하여 작업 시의 총 피폭방사선량이 효과적으로 저감되는 경우에 한 사용
- 라. 화학 및 제적제어시스템, 정지냉각시스템, 액체방사성 폐기물관리시스템, 각종 펌프, 여과기 및 탈염기 등과 같이 크러드의 축적 가능성이 있는 시스템 및 기기에 대한 정비, 보수작업 수행 전에 세척 또는 화학제염을 실시하여 방사성물질 제거
- 마. 절차가 복잡한 작업 또는 고방사선작업에 대해서는 종사자들이 작업에 익숙하도록 실제 작업환경과 동일한 조건하에서 모의 작업훈련 및 실습을 실시
- 바. 기기설명서 및 작업절차서 숙지, 공구 조정, 밸브내부 수리 및 기기의 1차조립 등과 같은 작업은 가능한 한 방사선관리구역 외부에서 수행
- 사. 방사선관리구역 내에서 장시간이 요구되는 작업 시에는 전화 또는 CCTV를 설치하여 방사선관리구역 외부에서 작업진행 감독
- 아. 종사자들이 관리구역 작업용품의 착용 또는 탈의를 위하여 장시간의 체류를 요하는 출입통제소는 청정구역으로 설정하고, 이 지역으로의 오염확산을 엄격히 제한
- 자. 고방사선 관리구역에서의 작업 시는 시계를 사용하여 총 피폭시간을 감시하여 방사선관리구역에서 체류할 수 있는 제한시간을 초과하지 않도록 보장

#### 5.2.1.1 지하수 감시

개념적 부지특성모델 개발을 위한 방법론은 다음과 같다.

- 가. 수문확산특성평가: 대상 및 목적 결정
- 나. 문헌자료 분석: PSAR, FSAR, 지형도, 지질도, 퇴매움지역 등
- 다. 현장수리특성조사: 물리탐사, 시추조사, 수리특성조사, 수리분산시험, 지하수위 측정 등
- 라. 부지 수리지질특성화: 지하수계 물리적 골격 및 수리특성 값(모델입력상수) 결정
- 마. 개념적 부지특성모델 설정: 수리지질단위, 경계 및 초기조건, 지하수계 정의

개념적 부지특성모델 개발과 함께 해체용어셈 확보를 위해 지하수 관리 방법을 개선하여 이행할 예정이다.

##### 5.2.1.1.1 비계획적 유출사 대응

지하수 감시 프로그램 운영 중 유출원 비확인 시 다음 절차에 따라 유출원을 조사한다.

- 가. 기존 누설발생 이력이 있었던 계통, 기기 및 구조물 우선조사
- 나. 방사능이 관측된 지하수 배수계통(ID/W Sump) 및 지하수관측공의 상류 지역 또는 그 부근의 계통, 기기 및 구조물 우선조사
- 다. 오염 분포를 토대로 누설발생 가능성이 높은 계통, 기기 및 구조물 우선조사

라. 필요한 경우 매설 배관 조사

## 5.2.2 주요 기록사항 관리

### 5.2.2.1 건설·설제에 관한 주요 기록사항 관리

원자력안전법 시행규칙 별표 7에 근거하여 발전용원자로의 건설허가를 받은 자가 기록·비치하여야 할 기록사항 중 해체에 영향을 미칠 수 있는 건설·설제에 관한 주요 기록사항들은 아래와 같다.

- 가. 원자로시설의 위치
- 나. 원자로시설의 구조 및 설비
- 다. 원자로시설의 용역분석 등 안전성을 증명하는 기술자료
- 라. 원자력안전법 시행령 제27조 제1항에 따른 사용전검사의 결과

### 5.2.2.2 운영에 관한 주요 기록사항 관리

원자력안전법 시행규칙 별표 7에 근거하여 발전용원자로의 운영허가를 받은 자가 기록·비치하여야 할 기록사항 중 해체에 영향을 미칠 수 있는 주요 기록사항들은 다음과 같다.

- 가. 방사선안전관리와 기록
  - 매년 1월 1일을 기준으로 한 각 3개월간의 방사선작업종사자의 피폭방사선량
  - 방사선작업종사자가 해당 업무에 종사하기 이전의 건강진단기록 및 방사선의 폭경력
  - 방사선작업종사자가 해당 업무에 종사하는 기간 중의 건강진단기록
  - 폐기시설 등 건설·운영자에게 인도한 방사성폐기물의 종류, 수량, 운반일시 및 운반할 경로
  - 액체 및 기체 상태의 방사성물질 등의 배출량
- 나. 원자로시설의 이용기록
  - 사고발생 및 복구일시
  - 사고의 상황 및 그 조치내용
  - 사고의 원인
  - 사고 후의 조치내용

미국 원자력규제위원회의 규제지침서 4.21(참고문헌 6), 4.22(참고문헌 7) 및 국제원자력기구 기술보고서 411(참고문헌 8)에 근거한 해체에 영향을 미칠 수 있는 주요 기록사항들은 다음과 같다.

- 가. 원자로시설의 설제기록

## 신고리 5,6호기 예비해체계획서

- 설계변경문서, 설·제시방서 수정안, 설제제산 및 설제보고서
- 전산프로그램 또는 수학적 모델
- 안전성분석보고서 및 인허가 자료(FSAR, ER 등)

### 나. 원자로시설의 제작기록

- 완성도면 및 기록
- 품질보증 서류

### 다. 원자로시설의 운영기록

- FSAR에 기술된 계통 및 장비에 대한 설계변경을 반영한 기록 및 도면 변경
- 소외 환경조사 및 수질 화학분석 보고서
- 외부로 방출된 기체 및 액체 방사성물질에 대한 기록

위의 기록사항들은 원전건설 표준사업관리절차서(참고문헌 9), 신고리 5,6호기 운전에 관한 품질보증계획서(참고문헌 10)에 영구보관 기록사항으로 명시되어 있고 이를 전산화된 문서관리 수단을 통해 관리하고 있다.

단, 상기 기록항목에는 포함되지 않은 지하수 및 지하토양 오염관련 자료는 해체에 영향을 줄 수 있으므로 향후 지하수 관리방법 개선과 연계하여 필요시 관리할 예정이다.

## 5.3 참고문헌

1. "신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서", 한수원(주).
2. "원자력이용시설 해체계획서 등의 작성에 관한 규정", 원자력안전위원회.
3. Safety Standards Series No. SSR-2/1, "Safety of Nuclear Power Plants: Design", IAEA, 2016.
4. Safety Standards Series No. GSR Part 6, "Decommissioning of Facilities", IAEA, 2014.
5. "방사선방호 등에 관한 기준", 원자력안전위원회.
6. Regulatory Guide 4.21, "Minimization of contamination and radioactive waste generation : Life-cycle planning", U.S.NRC, 2008.
7. Regulatory Guide 4.22, "Decommissioning planning during operations", U.S.NRC, 2012.
8. Technical Report Series No. 411, "Record Keeping for the Decommissioning of Nuclear Facilities : Guidelines and Experience", IAEA, 2002.

9. "원전건설 표준사업 관리절차서(자료관리-01)", 한수원(주).
10. "신고리 5,6호기 운전 에 관한 품질보증계획서", 한수원(주).

표 5-1

방사선구역 분류기준

구역분류 <sup>1)</sup>	설계 선량률(DR) <sup>2)</sup> (mSv/h)	구역설명
1	$DR \leq 0.001$	일반출입통제, 비제한 출입
2	$0.001 < DR \leq 0.01$	통제, 제한출입, 40시간/주
3	$0.01 < DR \leq 0.05$	통제, 제한출입, 8~40시간/주
4	$0.05 < DR \leq 0.2$	통제, 제한출입, 2~8시간/주
5	$0.2 < DR \leq 1$	통제, 제한출입, 20분~2시간/주
6	$1 < DR \leq 10$	통제, 방사선방호종사자만 출입가능
7	$10 < DR \leq 5,000$	통제, 방사선방호종사자만 출입가능
8	$DR > 5,000$	통제, 방사선방호종사자만 출입가능

1) 방사선구역 1은 일반관리구역으로서 구역 내 감시가 필요한 지역에 대해 주기적으로 방사선(능)준위를 측정하고 필요시 접근 통제하며 방사선구역 6, 7, 8은 고방사선구역으로 분류한다.

2) DR(dose rate)은 방사선원 또는 차폐체로부터 30 cm 떨어진 위치에서의 선량률을 의미한다.

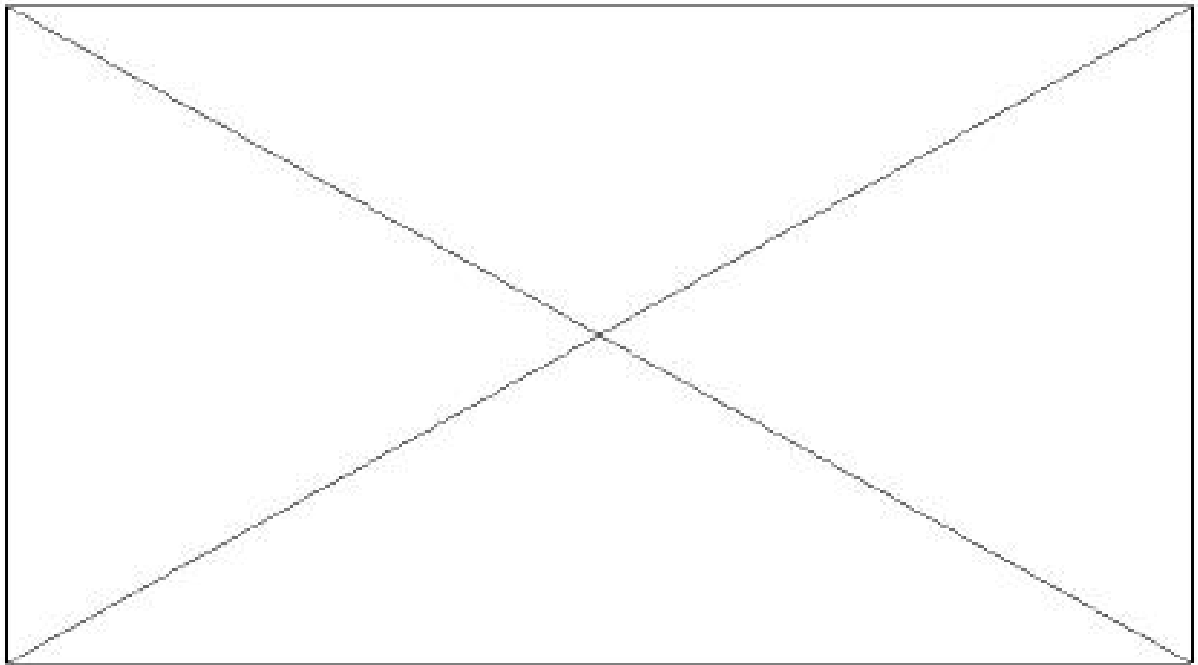


그림 5-1 작업공간 확보를 위한 설계 예

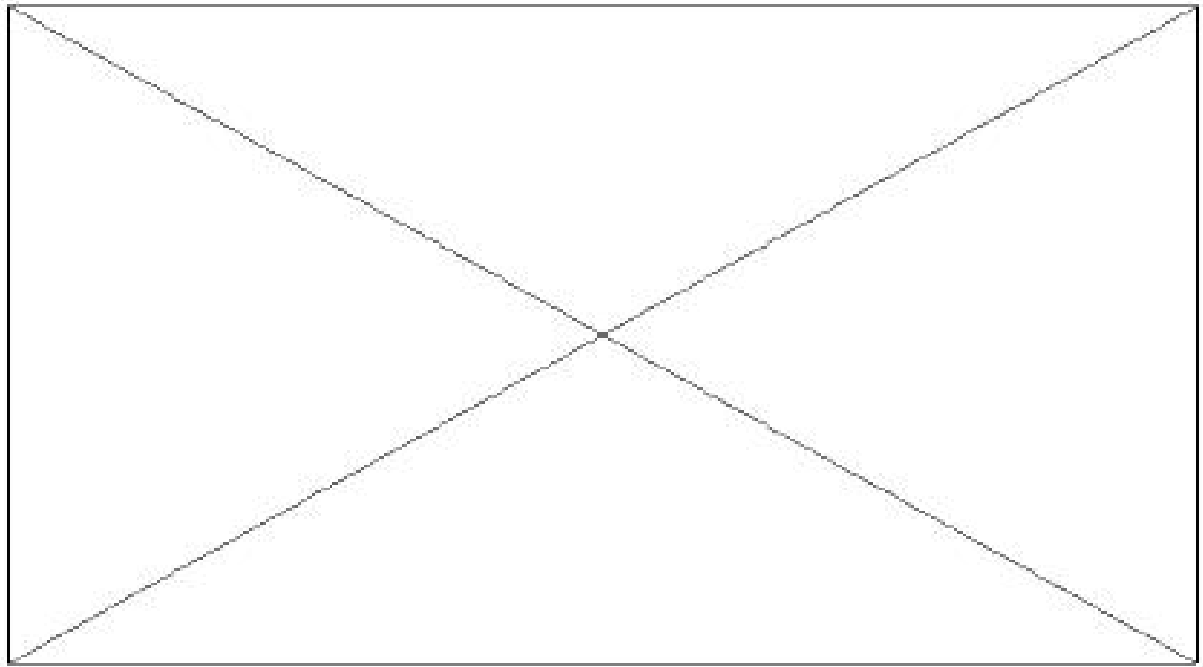


그림 5-2 기기 인양장비의 구비와 관련한 설계 예

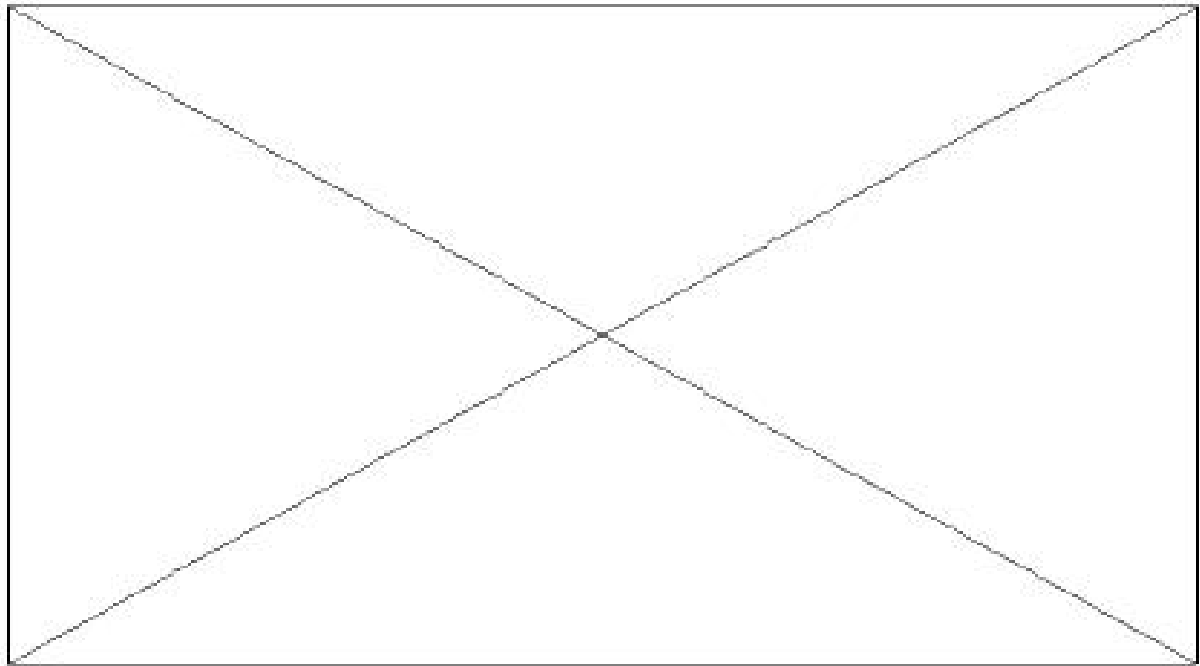


그림 5-3 건물 내 기기 제거를 위한 이동 경로 설계 예



## 6 안전성평가

### 6.1 원칙과 기준

발전소 해체 시, 종사자와 주변주민은 해체과정에서 발생 가능한 방사선위험요소 및 위험요소로부터 보호되어야 한다. 해체활동에 수반되는 방사선위험도와 위험도가 안전성평가에서 확인되어야 한다. 이를 통해 종사자, 주변주민의 안전을 보장할 수 있는, 즉 안전기준에 부합하는 방호대책에 대한 정의가 이루어져야 한다. 또한, 해체완료 후 부지 및 잔존건물(이하 “해체후부지등”)의 장기적인 피폭에 대한 평가가 포함되어야 한다.

이 장에서는 종사자와 주변주민, 해체후부지 등의 안전성 확보를 위하여 국내 관련법규에 따른 안전원칙과 기준을 제시하고, 이를 평가하기 위한 안전성평가 방법론에 대해 기술하였다.

#### 6.1.1 안전원칙

모든 해체 단계에 걸쳐 해체 과정 중 발생하는 위험요소로부터 종사자, 주변주민, 환경을 적절히 보호한다. 해체 과정이 진행되고 있는 도중은 물론 해체완료 부지 이용 시 발생하는 방사선으로부터 종사자와 주변주민을 방호하는 것에 대해 고려한다. 또한 해체작업이 진행되는 동안 방사능 오염원과 비-방사능 오염원이 환경으로 방출될 수 있으므로, 오염원 방출은 적합한 규정에 따라 통제한다.

계획된 해체활동을 위한 안전원칙은 다음과 같다.

- 가. 정상 작업 시, 법규상의 피폭선량 한도를 초과 피폭하지 않도록 한다. 모든 개인피폭선량은 ALARA 원칙에 따라 관리한다. 사고를 방지하기 위하여 합리적으로 실현 가능한 모든 조치들이 취해져야 한다. 사고 발생 시, 방사선에 의한 영향을 최소화하기 위하여 합리적으로 실현 가능한 조치들이 취해져야 함

#### 6.1.2 안전기준

해체활동에 따른 종사자와 주변주민의 방사선 안전기준, 해체후부지 등의 재이용 안전기준, 산업안전기준을 준수해야 한다.

##### 6.1.2.1 종사자와 주변주민의 방사선 안전기준

방사선 위험도는 인간에 대한 피폭방사선량으로 나타난다. 계획된 해체활동에 따른 종사자 및 주변주민의 안전성평가 시 원자력안전법시행령의 선량한도 기준을 적용한다(참고

문헌 1).

#### 6.1.22 해체후부지등의 재이용 안전기준

최종 부지 내 잔류방사능에 의해 야기되는 부지 내 및 부지 주변주민의 피폭선량이 규제 제한치 이내임을 보증해야 한다. 따라서 원자력안전위원회 고시 "원자력이용시설 해체완료 후 부지 및 잔존건물 재이용을 위한 기준" (참고문헌 2)을 적용하며, 피폭선량이 부지 개발기준보다 낮게 유지됨을 합리적으로 입증함으로써 규제해제의 안전성을 평가한다.

#### 6.1.23 산업안전기준

원전 해체과정에서 고소작업, 중량물 취급작업, 유해 및 위험물질 작업, 전기 작업 등 산업재해를 초래할 수 있는 잠재적인 위험이 존재한다. 따라서 국내 산업안전보건법, 산업안전보건법 시행규칙 등을 준수하여 작업자의 안전과 건강을 유지·증진시키는 한편, 산업안전사고를 방지한다.

#### 6.1.3 안전성평가 방법론

안전성평가는 해체계획에 있어 필수적인 부분으로써, 해체광장에 따른 작업 계획수립을 용이하게 하며, 위험도 감소를 위하여 필요한 단계를 제시한다. 이러한 안전성평가의 목적은 해체 전략 선정, 해체계획 및 이와 관련된 특정 해체활동 수립 지원, 종사자 및 주변주민의 피폭이 합리적으로 달성 가능한 수준으로 낮게 유지되고 있으며, 법규상의 피폭선량 한도를 넘지 않는다는 점을 증명하기 위함이다. 안전성평가 결과는 해체 시설의 설계, 안전조치 또는 안전과 관련된 개선점을 찾는 데 활용될 수 있다. 또한 교육 프로그램, 유지관리 프로그램, 환경모니터링 프로그램 등으로 해체계획에 반영될 수 있다.

##### 6.1.3.1 대상시설 해체에 따른 안전성평가 방법론

해체활동에 대한 안전성평가 방법론은 방사성·비방사성 위해요소들을 조사하고, 이들 중 정상 해체활동과 비정상 사건·사고 상황에서 수반되는 평가대상 위해요소들을 선별한다. 이를 토대로 정상 해체활동과 비정상 사건·사고 상황이 종사자와 주변주민에게 미치는 영향에 대하여 개념적 모델, 수학적 모델 및 전산코드 등을 이용하여 정성적 및 정량적으로 안전성평가를 수행한다. 이때 적용된 해체 수단 등의 실제 상태가 반영된다. 일반적인 평가의 순서는 아래와 같다(참고문헌 3).

가. 방사성·비방사성 위해요소 식별(목록화 등)

나. 체크리스트, 선별분석 및 전문가 판단 등을 통하여 평가 대상 위해요소 선별

다. 정상 해체활동과 비정상 사건·사고 상황의 시나리오 확인

라. 정상 해체활동과 비정상 사건·사고 시나리오가 종사자/작업자와 주변주민에 미

치는 영향 정량화

- 마. 계획된 해체활동 동안 허용 준위 이하로 방사선 피폭을 감소시키는데 필요한 제한치 및 조건 등 확인
- 바. 사건·사고를 방지하고 비정상 사건·사고 시나리오로부터 종사자/작업자와 주변 주민을 보호하고 그 영향을 완화하기 위한 추가 목표치를 설정하고 대책 수립
- 사. 안전성평가 결과 계산

#### 6.1.32 해체후부지등의 재이용에 대한 안전성평가 방법론

원전해체의 최종 목적은 해체후부지등의 잔류방사능 농도가 규제기관에서 정한 부지개방 기준을 만족함을 입증하여 부지를 개방하는 것이다. 국내 원자력안전위원회 고시에서 해체완료 후 부지의 무제한적 재이용하는 경우, 잔류방사능에 의한 예상가능한 모든 피폭경로를 고려한 결정 집단의 개인에 대한 피폭선량은 유효선량 기준 연간 0.1 mSv를 초과하지 아니하여야 한다고 결정하였다(참고문헌 2).

부지 규제해체의 안전성평가는 최종 부지 내 잔류방사능에 의해 야기되는 부지 내 및 부지 주변주민의 피폭선량에 관한 평가이다. 이러한 평가를 통해 피폭선량이 부지의 개방 시점부터 1,000년 후에도 최소한 부지개방기준보다 낮게 유지됨을 합리적으로 입증함으로써 규제해체의 안전성을 평가한다.

주민이 받게 되는 부지 내 최종 잔류방사능에 의한 피폭선량은 개방 후의 부지 재이용 시나리오에 따라 변하는 만큼, 부지 규제해체 안전성평가에서 개방 후의 부지 재이용 시나리오의 선택이 중요하다. 부지 재이용 시나리오는 복수의 환경경로(environmental pathway)를 통해 전달된 부지 내 최종 잔류방사능이 피폭경로(exposure pathway)를 통해 주민에게 야기하는 피폭선량을 설명하는 종합적인 가설로써, 현실적이며 합리적인 부지 규제해체 안전성평가를 위해서는 현실적인 환경 및 피폭경로로 구성되는 합리적인 부지 재이용 시나리오를 선택할 필요가 있다.

각 시나리오에 적합한 피폭경로를 사용하여 부지개방기준은 추정 가능한 해종의 농도로 계산된다. 이러한 추정 가능한 해종의 농도를 잔류방사능 유도농도(DOGL)라고 하며, 이로 인해 수용자가 받게 되는 선량은 부지개방기준과 관계 된다. 평가는 실제 추정이 어려운, 매우 낮은 수준의 잔류방사능을 다루어야하기 때문에, 전용 피폭경로 모델링 코드를 이용하여 수행된다.

#### 6.2 피폭시나리오

해체 안전성평가는 해체활동 중 발생하는 기존 위험요소 및 잠재적 위험요소에 대하여 고려해야 한다. 종사자 및 주변주민의 피폭을 초래하거나 환경과 관련하여 부정적인 결과를 초래할 수 있는 정상 시나리오 및 비정상 사건 사고 시나리오를 확인하기 위하여

위험요소 확인 및 선별이 이루어진다. 이와 같은 단계는 체크리스트, HAZOP(Hazard and Operability Analysis) 등과 같은 방법을 활용한다.

#### 6.2.1 대상시설 해체에 따른 피폭시나리오

##### 6.2.1.1 종사자에 대한 피폭

해체활동 중 종사자에 대한 피폭방사선량은 해체전략, 선택된 기술 및 해체활동 등에 따라 달라진다. 종사자에 대한 방사선피폭은 공기 중 방사성물질의 인체 내부유입에 의한 내부피폭과 구조물, 계통 및 기기 등의 방사성물질에서 발생하는 방사선에 의한 외부피폭 등에 의해 발생한다. 사전에 방사선위험도를 평가할 경우에는 가능한 실제작업환경을 설정한 후 종사자들이 받게 될 피폭선량을 평가하여야 한다.

내부피폭이 예상되는 경우 종사자는 개인 호흡방호장비, 방호복 등을 착용하기 때문에, 공기 중 방사성물질의 흡입에 의한 내부피폭은 낮은 수준으로 유지할 수 있다. 따라서 해체활동 동안 종사자의 방사선피폭은 구조물, 계통 및 기기 등의 방사성물질로부터 발생하는 방사성물질로 인한 외부피폭이 주된 위험 대상이다. 또한, 해체활동 중 종사자의 내부피폭을 유발할 수 있는 피폭시나리오는 주로 비정상 사건·사고에서 도출될 수 있다.

##### 6.2.1.1.1 정상 해체활동으로 인한 종사자 방사선 위험도

종사자의 방사선피폭을 유발하는 해체활동은 방사선적 특성조사작업과 방사성물질이 포함된 계통 및 기기에 대한 계엄 및 해체작업, 계엄 및 해체작업에서 발생된 폐기를 처리 작업 등이다. 대표적인 종사자 피폭 작업은 핵중기 공급계통 철거작업, 원자로건물 계통 철거작업, 일차보조건물 철거작업, 핵연료건물 철거작업, 출입통제건물 철거작업 등이 있다(참고문헌 4). 각 해체활동은 작업분야별로 계엄, 절단, 폐기를 포장 및 운반 등으로 분류할 수 있으며, 작업 소요시간과 소요인력은 과거 유사한 작업을 수행하였던 사례나 해외 해체경험으로부터 도출한다.

##### 6.2.1.1.2 비정상 사건·사고로 인한 종사자 방사선 위험도

비정상 사건·사고로 인한 종사자의 방사선 위험도는 그 사건이나 사고로 유출된 방사성 물질에 종사자가 노출되어 계획되지 않게 받게 되는 체내 피폭 방사선 위험도와 사고 수습과정에서 받게 되는 체외 피폭 방사선위험도이다. 예를 들어 해체 절단작업을 수행하는 도중 분진 여과설비에 화재가 발생되고 그로 인해 방사성 분진이 비산된 경우 외부 선량률은 큰 차이가 나지 않지만 종사자가 호흡방호용구를 착용하고 있지 않았을 경우 공기 중 방사성 분진으로 인한 체내피폭을 받게 되며, 사고 수습을 위한 추가적인 작업으로 체외피폭이 유발된다.

따라서 방사성 분진이 발생되지 않는 사건·사고나 사고 수습과정의 제외피폭 방사선위험도는 정상 해체활동으로 인한 방사선위험도 평가방법과 동일하게 평가된다. 체내 피폭으로 인한 방사선 위험도는 작업장의 규모와 사건·사고로 인해 유출될 수 있는 최대 방사성 분진 양으로부터 최대 공기 중 방사능 농도를 평가하고, 응급 사고 수습 조치 후 대피하기까지 걸리는 시간을 고려하여 체내 흡입량을 평가한다.

#### 6.2.12 주변주민에 대한 피폭

원전해체 과정에서 주변주민이 받게 되는 방사선피폭은 정상적인 해체활동에서 배출되는 기체 및 액체상 방사성핵종의 배출에 의한 피폭과 비정상적인 사건·사고로 인해 환경으로 유출되는 방사성 물질에 의한 피폭으로 나눌 수 있다. 어느 경우이든 배출된 방사성 물질이 전량 주변주민에게 전달되어 피폭을 일으킨다는 선원중심(source-related)의 피폭 경로(exposure pathway)를 고려하여, 계산에 의한 평가를 수행한다. 이러한 피폭방사선량평가는 발전소 운영 중 주변주민 피폭방사선량 평가와 동일하게 수행된다. 주변주민에 대한 방사선피폭 경로는 방사성물질의 흡입, 외부피폭 및 오염된 음식을 섭취 등을 고려한다.

정상적인 해체활동에서는 기체 및 액체 폐기물 처리설비를 사용하기 때문에, 기체 및 액체 방사성핵종의 배출로 인한 주변주민의 피폭은 낮은 수준으로 유지된다. 정상적인 해체활동으로 인해 주변주민의 피폭방사선량에 영향을 줄 것으로 예상되는 방사성폐기물의 배출은 다음과 같다.

- 가. 제염 공정 중 발생하는 액체 방사성폐기물
- 나. 기기, 장비 또는 구조물의 절단(예, 기체 절단, 플라즈마 절단, 해압 절단 등) 중 발생하는 방사성 입자

비정상적인 사건·사고로 인해 주변주민이 받게 될 방사선 위험도는 절단작업 중 기체분진이 여과과정 없이 외부로 직접 유출되었을 경우, 방사성폐기물의 이동 작업 중 낙하사고로 인한 누출 등이 주요 고려대상이다(참고문헌 3).

해체활동 중에 방사능물질의 방출은 적용기술, 제거대상 물질 또는 절단 환경(대기/수중 등)에 따라 달라진다. 제염 작업으로 인한 방출은 제염재, 표면 및 오염의 형태 또는 오염물질의 구성 등에 따라 달라진다. 또한, 해체활동이 이루어지는 동안 방사능 방출과 오염의 확산의 최소화하는 기술과 대책을 수립하여 운영한다.

해체활동에 대한 환경영향평가 결과는 주변주민에 대한 피폭방사선량이 선량한도 이내로 유지되는지를 보증하는데 이용된다. 또한, 외부 및 내부 피폭방사선량을 산출하기 위한 해체활동 중, 방사능방출량에 근거한 방사선량 평가는 정상 또는 사고 조건에서 최대개인의 피폭경로를 고려한 전산 프로그램 또는 모델을 사용하여 수행한다.

## 6.2.2 해제후부지등의 재이용에 따른 피폭시나리오

해제 완료 후 부지 및 잔존건물의 재이용을 위해서는 사용목적에 따라 무제한적 또는 제한적 개방을 하게 된다. 부지 재활용 또는 재이용 시나리오는 일반부지화, 산업부지화, 원전관련 일반부지, 원전관련 산업부지, 원전부지로 구분되어 다음과 같이 고려될 수 있다.

- 가. 일반부지: 일반부지, 녹지, 공원 등
- 나. 산업부지: 다 발전시설 부지 활용(화력발전소, 풍력발전시설), 원전소유자 자체 보유 및 활용(주차장 등)
- 다. 원전관련 일반부지: 훈련센터, 원전 사무실, 원전 기념관, 창고, 연구실 등
- 라. 원전관련 산업부지: 자체처분장, 극저준위 폐기물 처분장 또는 핵연료저장고 등
- 마. 원전부지: 해제 부지에 원자력 발전소를 건설하는 방안

무제한적 부지 재이용 시 모든 피폭경로를 고려한 거주농민(resident farmer) 시나리오와, 일부 피폭경로가 제외 가능한 산업근로자(industrial worker) 시나리오로 분류할 수 있다. 또한 부지 접근, 부지 이용 등의 행정적 조치가 수반되는 제한적 부지 재이용 시에는 특정 행정적 제한으로 일부 피폭경로가 통제되고 제외된 피폭시나리오가 적용될 수 있다.

또한 잔존건물을 재이용 시에는 건물 내 근무 및 방문에 따른 건물거주(building occupancy) 시나리오와 건물 내부를 보수에 따른 건물보수(building renovation) 시나리오로 나눌 수 있다. 건물거주 시나리오는 거주자, 사무실 근로자, 환장 근로자, 방문자를 포함하고 건물보수 시나리오는 제임 근로자, 건물보수 근로자, 건물철거 근로자를 포함한다.

### 6.2.2.1 부지 재이용 시나리오

#### 6.2.2.1.1 거주농민 시나리오

거주농민 시나리오에서는 임대집단 평균구성원이 오염토양층 위에 거주하며 작물을 재배하고 가축을 키우고 그로 인해 생산되는 농축산물을 소비한다고 가정하며 따라서 가장 피폭이 많이 발생하는 시나리오이다. 피폭경로는 오염된 토양에 의한 직접적인 외부피폭, 흡입(먼지호흡) 및 섭취(오염된 토양에서 재배된 식물, 육류, 우유, 오염된 효수에서 잡은 어류, 오염된 지하수나 호수의 물, 오염된 토양)의 내부피폭이 고려될 수 있다.

#### 6.2.2.1.2 산업근로자 시나리오

산업근로자 시나리오에서는 작업상 이유로 인한 오염지역에 접근이 허락된 직원 또는 계약자가 비오염지역에서 거주하면서 오염지역인 부지 내 산업시설에서 근무하는 시나리오

이다. 근로자는 부지에 있는 동안 지역 내 허용될 가능성이 적은 식물, 육류, 우유, 음용수 및 수산물의 섭취를 통한 피폭경로는 제외될 수 있다.

#### 6.2.22 잔존건물 재이용 시나리오

##### 6.2.22.1 건물거주 시나리오

운영허가 종료 후에도 시설 내에서의 거주는 상업적으로 활용된다는 의미를 가지게 되며 즉, 기념관/박물관, 사무실, 연구실, 창고 등으로 시설이 활용될 때 사람이 거주하는 것을 의미한다. 시설 내 잔존하는 방사성물질들을 제염으로 전부 제거할 수 없으므로 이러한 환경 내에서 일상적인 업무를 할 경우 이들 오염원으로부터 시설물 내 거주자에 대한 피폭을 예상할 수 있다. 피폭경로는 표면 오염원으로부터 직접 피폭, 방사성을 띠는 먼지 부유물의 호흡, 실내의 라돈 입자의 호흡, 부주의하게 표면오염 물질 섭취, 작업이나 일상적인 업무에서 발생할 수 있는 부상 부위를 통한 체내 피폭, 그리고 방사성핵종의 피부를 통한 내부피폭 등이 고려될 수 있다.

##### 6.2.22.2 건물보수 시나리오

건물 또는 시설물을 개조하거나 철거할 동안 건물 표면 내외에 잔존하는 방사성물질들이 공기 중으로 산재되어 유리성 오염원 (비고착성 오염원)을 생성한다. 이러한 유리성 오염원은 아직 개조가 진행되지 않거나 철거되지 않은 건물 내 공기 혹은 표면에서의 방사성핵종 농도를 더욱 증가시키며, 건물 또는 시설물 내 작업자들에 대한 피폭을 야기한다. 피폭경로는 건물거주 시나리오와 동일할 수 있으나, 건물 내 체류시간이 상대적으로 짧아 피폭영향은 상대적으로 작을 수 있다.

### 6.3 선량평가

#### 6.3.1 대상시설 해체에 따른 피폭시나리오

방사선위험도 평가는 방사성물질의 잠재적 환경으로의 방출로 인한 주변주민의 방사선 피폭 영향과 함께 종사자의 방사선피폭에 대한 영향을 포함한다. 이러한 평가는 주변주민에 대한 방사선위험도 평가와 해체 종사자에 대한 방사선위험도 평가로 구분된다.

해체 기간 동안 주변주민 및 종사자에 대한 방사선 피폭의 가능성을 확인하기 위해서는 방사선피폭 가능성이 있는 해체작업에 대해 방사선위험도를 평가한다.

예를 들어 해체 과정 중에 절단작업 등으로 인해 공기 중으로 방사성오염이 확산될 수 있으며, 제염 및 해체작업으로 인해 환경으로 방출되는 방사성물질의 양을 예측하기 위해서는 다음과 같은 정보가 필요하다.

- 가. 작업시간, 투입인력 등 작업내용에 대한 정보
- 나. 방사성핵종, 방사성 오염도 또는 방사선량률 등 방사선학적 정보
- 다. 방사성핵종의 누설 또는 방출률 등에 대한 정보
- 라. 제염 인자 등

해제활동의 방사선위험도를 평가하기 위해서는 종사자와 주변주민에게 방사선 영향을 줄 수 있는 모든 정상 해제활동과 비정상 사건·사고 상황을 정의한 후, 각각의 상황별로 방사선학적 위험요소들을 평가하여야 한다. 이를 토대로 정상 해제활동과 비정상 사건·사고 상황이 종사자와 주변주민에게 미치는 방사선학적 영향을 개념적 모델, 수학적 모델 또는 전산코드 등을 이용하여 정성적 또는 정량적으로 평가한다. 이때 방사선량률, 방사능 재고량 및 적용된 해제 방법 등의 실제 상태가 반영된다. 방사선위험도 평가는 운영원전에서 수행중인 평가방법과 동일하게 6.2.1항 및 6.2.2항에 기술된 평가방법 및 절차를 따른다.

또한, 방사선위험도 평가 시 비정상 사건·사고에 의해 발생할 수 있는 방사선학적 영향도 포함하여 고려한다. 예를 들어, 화재사고 폭발로 인해 방사성물질이 외부로 누설되는 사고가 발생할 수 있으며 이와 같은 시나리오를 확인하고, 평가가 이루어져야 한다.

### 6.3.2 해제후부지등의 재이용에 따른 선량평가

부지 재이용에 따른 선량평가는 RESRAD 코드를 이용할 수 있으며, 잔류방사능 목표치를 도출할 수 있다. 잔류방사능 목표치는 해제 후 부지 재이용을 위하여 적용되는 핵종별 방사능 농도 제한치를 의미하며, 이는 자연방사능준위(background level)는 제외된다. 국내에서는 모든 피폭정도를 고려한 결정집단의 개인에 대한 총 유효선량이 연간 0.1 mSv를 이를 잔류방사능 목표치라 정의하고 있으며, 다음의 단계로 수행될 수 있다.

- 가. 1단계 : 부지 내 잠재적 핵종 선정
- 나. 2단계 : 부지 재이용 시나리오 선정
- 다. 3단계 : 매개변수 유형, 순위 선정 및 매개변수 선택
- 라. 4단계 : 단위 방사능 농도(1 Bq/g)의 핵종이 유발하는 연간 개인선량 평가
- 마. 5단계 : 제 4단계에서 평가된 연간 개인선량을 부지 규제해제 기준 선량(0.1 mSv/yr)으로 나누어 핵종별 잔류방사능 목표치 도출

해제 후 부지의 합리적인 잔류방사능 목표치를 도출하기 위해서는 현실적인 부지 재이용 시나리오 및 특성평가를 반영한 입력변수의 선정 등을 고려할 필요가 있다.

## 6.4 위해도



#### 6.4.1 개요

원전해체에 따른 위험도 평가는 비방사선학적 위험도에 대하여 각각의 위험요소를 상세하게 조사하고, 이러한 위험요소의 진행 시나리오를 분석하여 해체활동에 참여하는 작업자와 주변주민에 미치는 영향을 평가하는 것이다.

위험도 평가결과는 해체활동 동안에 비정상 사건·사고 방지, 작업자와 주변주민 보호 및 이들에게 미치는 영향의 완화에 활용된다(참고문헌 5). 위험도 안전성평가는 6.1.3.1절과 동일한 방법론으로 평가할 수 있다.

비방사선학적 위험요소로 인해 발생하는 사건, 사고는 경우에 따라서 방사선학적인 결과를 초래할 수 있다. 이는 6.3절 선량평가에 포함되어 평가를 수행한다.

#### 6.4.2 주요 위험요소

해체활동으로 인하여 존재하거나 발생할 가능성이 있는 주요 위험요소들은 다음과 같이 분류된다(참고문헌 5). 이들 위험에 대한 평가는 영향의 정도 등을 고려하여 우선순위를 정하여 수행한다.

- 가. 화재, 폭발 위험
- 나. 전기적 위험
- 다. 화학, 유독(toxic) 물질 위험
- 라. 물리적 위험
- 마. 작업환경 위험
- 바. 사람, 조직 위험
- 사. 외부 위험
- 아. 기타 위험 등

화재는 열적절단 작업, 표면제염 장비의 과부하 등으로 인해 발생 할 수 있으며, 가연성 물질 부주의한 관리로 사고를 초래할 수 있다. 폭발은 제염, 철거작업 중 사용되는 화학약품, 장비들로 인하여 발생할 수 있다. 또한 해체 작업 시 사용되는 전력공급설비 및 전기장비로 인해 작업자의 감전 사고가 초래될 수 있다. 특히, 해체활동 중 사용되는 임시전기설비는 전기적 위험을 증가시킬 수 있다. 유독성화학물질은 해체제염과정 중 사용될 수 있으며, 철거 과정 중에는 석면, PCB 등과 같은 유해물질이 발생할 수 있다. 이러한 유해물질은 해체작업 전에 위험요소 제거 측면에서 사전에 제거작업이 수행될 수도 있다. 작업자의 물리적 위험은 일반적으로 임시시설의 설치 또는 철거작업 시 구조물의 붕괴, 중량물 추락, 작업 중 찰과상 등으로 인해 발생할 수 있다. 해체작업에 기인하는 직·간접적인 위험요소를 파악, 평가, 관리하여 산업안전 사고를 최소화하기 위한 안전대책을 마련해야 한다.

## 6.5 참고문헌

1. “원자력안전법 시행령”, 원자력안전위원회.
2. “원자력이용시설 해체완료 후 부지 및 잔존건물의 재이용을 위한 기준”, 원자력안전위원회.
3. Safety Reports Series No. 77, “Safety Assessment for Decommissioning”, IAEA, 2013.
4. TR-1013511, “Connecticut Yankee Decommissioning Experience Report”, EPRI, 2006.
5. Safety Reports Series No. 45, “Standard Format and Content for Safety Related Decommissioning Documents”, IAEA, 2005.

## 7 방사선방호

### 7.1 방사선량의 ALARA 유지

이 절에서는 발전소해체 시 종사자의 피폭방사선량이 선량한도 이하이며 합리적으로 달성 가능한 한 낮게(As Low As Reasonably Achievable: ALARA) 유지되고 있음을 보장하기 위하여 고려되는 수단에 대하여 기술한다. ALARA는 사회적, 경제적 인자를 포함하는 여건에서 종사자와 일반인의 피폭방사선량을 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 유지하는 방사선방호의 기본 원칙으로서 방사선방호의 최적화를 의미한다. ALARA는 특정 기준의 충족 여부를 판단하기 위한 것이 아니라 최선의 방호를 추구하는 자세이며 지속적인 과정이다(참고문헌 1). 이러한 ALARA 원칙은 발전소 운영단계와 해체단계에서 동일하나, 그 적용 세부사항 및 방법은 다를 수 있다.

해체 시 고려되는 방사선방호 수단은 방사선의 감쇠를 위해 설계된 임시 차폐재 설치, 해체 작업으로 인해 발생된 방사성폐기물을 차폐된 장소에 격리하거나, 저장용기에 보관, 원격 조작기기 및 자동장비 사용, 공기 중 방사성물질의 생성 가능성이 있는 장소에 환기설비 설치, 방사선감시 계통 설치, 피폭방사선량 저감을 위한 방사선방호 프로그램의 이행 등을 통해 달성된다(참고문헌 1, 2).

해체 시 방사선방호를 위하여 발전소 운영 시 사용하던 장비 또는 설비 등을 최대한 활용할 수 있다. 이러한 장비 또는 설비 등이 절거되는 경우에는 임시 장비 또는 설비 등을 사용하여 해체 종사자의 피폭방사선량을 ALARA로 유지한다.

종사자 피폭방사선량을 선량한도 이내에서 ALARA로 유지하기 위하여, 방사선안전 관련 절차를 개발하고 계속하여 검토·보완한다. 이 절차서에는 국내·외 해체 발전소의 경험이 반영되며, 또한 해체 중 제기된 개선사항 등이 지속적으로 반영된다.

종사자 외부 피폭방사선량 평가를 위하여 주선량계를 지급하고, 주선량계 관독 전 피폭관리 및 ALARA로 유지하기 위해 능동형 보조선량계를 지급하며, 비균질 방사선장이 예상되는 경우에는 복수선량계를 지급한다. 내부 피폭방사선량 평가를 위하여 직접추정법 또는 간접추정법을 사용하며 필요시 계산에 의해 산출하는 방법을 사용할 수 있다. 피폭방사선량 평가 자료는 종사자들이 자신의 피폭기록을 확인하거나 방사선안전을 관리하는 부서에서 재검토 등을 위해 기록 및 관리된다.

방사선비상계획은 「원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법」 및 동법 시행령에 따라 제정된 고리본부 방사선비상계획서에 반영된다.

방사선피폭이 수반되는 해체작업 전, 회회계 운영을 통해 예상 피폭방사선량 또는 작업장의 예상 공기 중 방사능 농도 등을 고려한 방사선피폭 최소화 조치에 대하여 점검한다.

작업 후 실제 피폭방사선량이 예상치와 현저한 차이가 발생했을 경우에도 회의제 운영을 통해 문제점을 도출하고, 향후 작업 시 적용할 피폭 최소화 방안 등을 검토하여 결정한다(참고문헌 1).

## 7.2 방사선방호 계획

방사선방호 계획 수립 시에는 6장(안전성평가) 및 원자력안전법령 이외에도, 미국 원자력 규제위원회의 규제지침서 8.8 및 8.10을 참조할 수 있다(참고문헌 2, 3).

### 7.2.1 목적

해체 시 방사선방호 계획의 목적은 종사자의 피폭방사선량을 선량한도 이하에서 ALARA로 유지하는 것이다. 또한, 종사자가 방사선방호에 관련된 모든 절차 및 요구사항을 준수하고 해체 방사성폐기물 배출이 관련 법령의 제한치 이내에 있음을 보증하는 것이다.

이러한 방사선방호 목적을 달성하기 위해 해체과정 중에도 방사선방호 계획을 검토하여 해체 경험 또는 기술발전 등에 따라 관련 절차서, 장비 또는 설비 등을 개선한다.

### 7.2.2 조직 및 기능

방사선방호 계획의 수립 및 시행을 위하여 필요한 조직을 구성한다. 방사선안전을 관리하는 부서장은 방사선방호 계획을 수립 및 관리할 책임이 있으며, 종사자의 피폭방사선량이 ALARA로 유지될 수 있도록 방사선방호와 관련된 절차서를 개발하여 운영한다. 방사선안전을 관리하는 직원은 종사자의 피폭방사선량 최소화를 위하여 방사선작업계획 이행 및 방사선작업 안전관리 업무를 담당한다.

### 7.2.3 방사선관리구역

해체 작업 전 예상 방사선량들에 따라 방사선관리구역을 설정한다.

방사선관리구역의 정상적인 출입은 출입관리 통제소를 통해 이루어지며, 방사선안전을 관리하는 직원에 의해 통제된다. 출입관리 통제소가 이외의 비인가 출입을 방지하기 위하여 잠금장치 등을 설치한다.

방사선관리구역을 출입하는 종사자에게는 개인선량계를 지급한다. 또한 공기 중 방사성물질이 비산되는 작업에는 내부피폭을 저감 또는 방지하는 방호용품이 지급된다. 방사선관리구역을 떠나는 모든 사람들이 스스로 방사성오염 검사를 할 수 있도록 출입관리 통제소 출구지점에 휴대용 방사선계측기를 비치하거나, 전신오염감시기를 설치한다.

#### 7.2.4 방사선작업 관리

방사선관리구역 내에서 수행하는 해체활동에 대해 방사선작업 허가서가 작업 전에 발행된다. 이 방사선작업 허가서에는 방사선관리구역에서 작업하는 종사자가 준수하여야 할 방사선방호 요건이 기술되고, 작업구역의 방사선량률 및 공기 중 방사능농도 등을 표기하며 필요한 방사선방호용품을 지정하고 허용 작업시간을 명시한다.

해체활동으로 얻어진 결과, 자료 등을 기록 및 분석하여 작업계획의 결함을 도출하고 절차서 개정, 장비 선택, 시설 또는 설비 특성 등의 고려를 통해 차후에 유사한 작업이 시행될 때에 종사자 피폭을 감소시킬 수 있는 대책을 마련하는데 활용한다.

#### 7.2.5 방사선방호 교육

종사자는 원자력안전법에 따라 방사선방호 교육을 이수한다. 종사자가 직무를 안전하게 수행할 수 있도록 필요시 단위 해체작업에 특화된 방사선방호 교육이나 훈련에 대한 프로그램을 개발하고, 필요한 종사자에 대해 교육하거나 훈련을 실시한다.

해체 시 방사선방호 계획 수립 및 이행을 위해 필요한 조직은 해체 시 예상되는 발전소 내 방사선학적 특성과 선행 해체 경험사례를 바탕으로 교육을 받는다. 해체활동으로 얻어진 결과 등을 기록 및 분석한 문서는 방사선안전을 관리하는 조직의 전문성 증진을 위한 교육 자료 및 후속 해체호기로 전문화된 지식을 연계하는 자료로도 활용된다.

### 7.3 참고문헌

1. KINS/RG-N1304, "방사선량률 최적화 이행", 한국원자력안전기술원.
2. Regulatory Guide 88, "Information Relevant to Ensuring that Occupational Radiation Exposures at Nuclear Power Stations will be as low as is Reasonably Achievable" (Revision 3), U.S. NRC, 1978.
3. Regulatory Guide 8.10, "Operating Philosophy for Maintaining Occupational Radiation Exposures as Low as is Reasonably Achievable" (Revision 1-R), U.S.NRC, 1977.

## 8 제염해체 활동

### 8.1 제염 활동

#### 8.1.1 제염 기술

제염은 방사성물질로 오염된 각종 구조물, 계통 및 기기, 부지를 화학적, 전기적 및 기계적인 방법 등을 이용하여 방사성물질의 농도를 가능한 한 낮은 수준으로 감소시켜, 구조물, 계통 및 기기의 처리·처분을 용이하게 하고, 종사자의 방사선 피폭을 낮게 유지하는 것을 말한다. 제염은 일차계통 주요 설비와 배관, 펌프 및 각종 탱크류, 콘크리트, 토양 등 방사성물질에 오염된 시설과 부지를 대상으로 한다. 발전소 해체 과정 중의 제염은 종사자의 피폭저감, 설비·금속의 재활용, 최종처분 대상 방사성폐기물의 감량 및 부지복원 등을 위해 수행된다.

제염기술은 발전소 운영 및 해체에 모두 적용될 수 있다. 운영 중의 제염기술은 발전소 운영설비의 건전성을 유지하는 범위 내에서, 가능한 한 높은 제염계수를 달성하는 수준에서 적용된다. 반면, 해체 시의 제염기술은 운영설비의 건전성보다는 제염공정의 적용이 가능한 범위에서, 가능한 한 많은 양의 방사성물질을 제거함으로써 해체작업이 진행 가능한 수준 또는 설비나 금속을 자체처분이 가능한 수준까지 감소시키기 위해 시행된다. 따라서 운영 중에 적용되는 제염기술에 비해 해체 시에는 다양한 제염기술 선택이 가능하다.

제염기술은 적용방법에 따라 크게 화학적, 전기적 및 기계적 제염으로 구분될 수 있다(참고문헌 1). 화학적 제염은 방사성오염물 자체나 이를 포함한 산화막 매질을 산용해 또는 환원용해하여 제거하는 방법이다. 전기적 제염은 전해연마(양극) 방법과 전해세척(음극) 방법이 있으며, 기계적 제염은 기계나 손을 이용한 분사세척(hydrolyzing 또는 jet cleaning 등), 연마(abrasive blasting), 초음파(ultrasonic) 및 문지름(scrubbing) 방법 등이 있다.

상기 기술한 제염기술뿐만 아니라 향후 개발되는 국내·외 새로운 제염기술에 대해서 지속적으로 파악하여 관련 기술이 해체시점에서 적용가능성이 검증될 경우 해체원전에 적용할 수 있다.

##### 8.1.1.1 화학적 제염법

화학적 제염법은 기계금속 표면의 오염 산화막과 기계금속 일부를 고농도 또는 저농도의 화학약품들을 사용하여 제거하는 기술로써, 기기 내부와 같이 물리적으로 접근이 어렵거나 넓은 표면적을 가진 물질 또는 복잡한 형상을 가진 제염 대상에 대해 효과적인 방법이다. 제염 대상에 따라 별도의 화학약품조에 넣어 제염하거나 스프레이, 폼 등의 방법으로 화학약품들을 분사하여 제염할 수 있으며, 원자로냉각재계통 전체 또는 일부에 대해서는 발전

소 설비를 최대한 활용하여 폐유로(closed circuit)를 구성한 후, 화학약품을 순환시켜 제염한다. 화학약품과의 접촉에 의해 제염 대상으로부터 용해된 방사성물질은 필터와 이온교환수지를 활용하여 처리한다.

생성된 오염 산화막의 특성으로 인해 화학적 제염법은 산화공정 및 환원공정으로 이루어진 다단계 공정으로 구성된다. 화학약품에 의해 용해되어 나온 금속이온은 이온교환수지와 교환반응에 의해 최종 처리되며, 이 과정에서 일부 유기산과 같은 화학약품은 재사용 가능한 형태로 재생된다.

화학적 제염법은 배관 내면과 같은 복잡한 형상의 기기에 대해 적용이 가능하고, 경우에 따라 매우 높은 제염제수 달성 가능성이 가능하며, 적절한 약품만 선정되면 거의 모든 종류의 방사성물질의 제거가 가능하다는 장점이 있다. 표 8-1에는 상용화된 화학적 제염법의 특성을 간략히 요약하였다(참고문헌 1).

#### 8.1.12 전기적 제염법

전기적 제염법은 전기화학적 반응을 활용하는 방법으로써, 제염 대상을 전해반응조에 담그거나 제염 대상 표면에 전해제염 패드를 부착하는 형태로 적용된다. 전기적 제염법은 처리 시간이 짧고, 제염효과가 아주 높으며 이차폐기를 발생량이 적다는 장점이 있다. 전해 제염액의 종류와 운전조건에 따라 인산공정, 질산공정, 황산공정 및 ELDECON 등으로 분류된다(참고문헌 2).

#### 8.1.13 기체적 제염법

기체적 제염법은 표면 오염물을 물리적인 충격으로 제거하는 것으로써, 분사세척, 연마 및 초음파, 문지름 방법 등이 있다. 이러한 기체적 제염법은 화학적 제염법과 연계하여 활용되기도 하며, 이 경우 화학약품은 오염물의 박리를 용이하도록 하는 역할을 한다. 최근에는 종사자의 방사선피폭을 최소화하기 위하여 자동화·원격화 설비에 의한 기체적 제염법 적용이 증가하는 추세이다(참고문헌 2).

분사세척 방법은 분사된 고압수의 물리적 충격력으로 제염하는 것을 말하며, 침군이 어려운 배관 내면이나 텀프, 임펠러, 탱크 벽면 등에 주로 활용된다. 문지름 방법에 비해 종사자의 피폭이 적으며 제염 대상의 크기와 형상에 관계없이 간단히 적용할 수 있는 장점을 지니지만, 이타의 기체적 제염법에 비해 세척 발생량이 많다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 연마제나 화학약품을 혼입하여 적용하기도 한다.

연마 방법은 모래, 유리, 금속 등의 연마재를 초고속으로 분사시켜 그 충격력으로 표면 오염을 제거하는 방법으로써, 강한 연삭력에 의해 큰 제염효과를 기대할 수 있고, 작업하기 용이하며 발생 폐기물량이 적다는 장점 때문에 비교적 활발히 적용되고 있다. 연마

방법은 연마재의 분사매질에 따라 건식 또는 습식 연마로 구분된다. 건식 연마는 공기를 연마재 매질로 사용하는 방법으로써, 방사성물질의 비산에 대한 별도의 집진대책이 요구되므로 발전소에서는 잘 활용되지 않는다. 습식 연마는 연마재를 공기가 아닌 물로 이송하는 방법으로서, 매질의 재활용이 용이하고 방사성물질의 비산이 최소화되는 장점을 지닌다. 한편 연마재로는 세라믹, 유리구슬 또는 연마재의 마모를 최소화하기 위해 강철을 사용하기도 한다. 이 외에도 이산화탄소 펠릿 또는 얼음 입자, 스펀지 등이 연마재로 사용되기도 한다.

초음파 방법은 유체 내 초음파로 인해 생성된 기포가 붕괴할 때 발생하는 충격파로 표면 오염을 제거하는 방법이다. 이 과정에서 발생하는 공동현상(cavitation)은 물체 표면뿐만 아니라 미세한 구멍, 좁은 틈새 안에서도 발생되므로 복잡한 형상의 부품이나 여타의 기계적 방법으로 제거하기 어려운 오염물질도 효과적으로 제거할 수 있는 장점을 가진다. 또한 초음파 방법은 화학적 세염법 또는 전기적 세염법의 효과를 높이기 위한 보완적인 방법으로도 활용된다.

문지름 방법은 건물 및 기기 표면의 부착성 오염을 제거하기 위한 전처리 방법으로 유용하게 활용될 수 있지만, 종사자의 방사선피폭이 높다는 단점을 가지고 있다.

#### 8.1.14 콘크리트 구조물 세염법

콘크리트 구조물의 세염에는 물 또는 거품을 이용한 세척, 브러싱(brushing), 문지름 등의 기술이 적용된다. 이들 세염기술은 다방면에 적용이 가능하다는 장점이 있는 반면, 인력이 많이 소요되고 세염효과도 높지 않아서 전처리 기술로 많이 활용된다. 본격적인 세염은 주로 오염된 콘크리트의 표면을 일정 두께로 긁아내는 스크레이퍼(scraper)와 표면층에 충격을 가해 일정 부분을 제거하는 콘크리트 파쇄기(concrete hammer) 등이 활용되며, 콘크리트 내부 균열을 따라 방사성물질이 깊숙이 침투했을 경우 콘크리트 코어 드릴(core drill) 등을 활용한 기계적인 세염방법을 활용한다(참고문헌 2).

작은 규모의 오염일 경우 수작업으로 오염 물질을 제거할 수 있지만, 증장비에 다양한 콘크리트용 틀을 부착하면 넓은 범위의 세염 작업이 가능하다.

#### 8.1.15 오염부지 세염법

토양은 물의 수제분포, 즉 지하수면의 위치에 의해 불포화대(unsaturated zone)와 포화대(saturated zone)로 구분될 수 있다. 방사성물질의 토양층 내의 이동은 지하수면의 위치뿐만 아니라, 공극률(porosity)과 투수성(permeability)과 같은 토양의 물리화학적 특성에 의한 영향을 받는다. 이외에도 토양층을 통과하는 오염액종의 특성, 즉 증기압과 화학적 반응특성에 의해서도 영향을 받는다. 따라서 토양의 세염방법을 선정하기 위해서는 부지 내 토양층의 특성과 대상 오염액종에 대한 사전 평가가 필요하다.



토양 제염방법은 제염작업이 실시되는 위치에 따라 In-situ 제염기술과 Ex-situ 제염기술로 나뉘어진다(참고문헌 2). In-situ 제염기술은 오염 토양을 현장에서 직접 처리하는 기술로써, 주변 환경으로 오염물질이 노출될 가능성이 낮은 것이 특징이다. 비용은 Ex-situ 제염기술에 비해 저렴한 편이나, 현장 토양의 불균질성으로 인해 제거 효율이 제한될 수 있다. 이에 비해 Ex-situ 제염기술은 오염 토양을 굴착하여 이동시켜 처리하는 기술로서 제염공정의 관리 및 효율 평가가 용이하다. 그러나 굴착과 이동에 많은 비용이 소요되며 굴착과정에서 지반환경을 교란하여 오염의 확산을 유발할 수 있는 단점이 있다.

적용 기술의 관점에서는 오염해종의 제거방법에 따라 열적, 물리화학적, 생물학적 기술로 분류될 수 있다. 열적 기술은 토양을 소각 또는 열분해 처리를 통해 오염 해종을 분리시키도록 고안된 기술이다. 물리화학적 기술은 추출용매나 증기를 이용하여 추출하는 방법, 전기적 방법에 의해 오염 토양과 오염 해종을 분리시키는 방법 및 화학적 산화·환원에 의해 분리시키는 방법 등이 있다. 이러한 물리화학적 기술의 처리 효율은 오염 해종의 물성(증기압, 분배계수, 용해도 등)과 토양의 입도분포, 점토 함량, 양이온교환능력 등의 영향을 받는다. 생물학적 기술은 토양 미생물을 활성화시키거나 적정화시켜 유기화합물질의 분리를 촉진시키는 방법으로, 다른 기술에 비해 친환경적이지만, 제염기간이 길고 고농도 오염물에 대해서는 효율이 제한되는 단점을 지닌다.

발전소에 존재하는 방사성해종은 토양을 거쳐 지하수계로 유입될 수 있다. 이 과정에서  $^{60}\text{Co}$  등과 같은 대부분의 방사성해종은 토양 매질에 흡착되어 분포하게 된다. 이렇게 오염된 토양은 앞서 언급한 방법에 따라 제염한다. 발전소 부지 경계면에서 주기적인 모니터링 등을 통해 이들 해종이 부지 밖으로 배출되지 않도록 관리한다.

### 8.1.2 제염 활동 선택

제염 대상 중 기기(예: 원자로냉각재펌프) 단위에 대해서는 기계적 또는 전기적 제염방법이 많이 활용되는 반면, 부분 재동(예: 정지냉각재동) 또는 전체 재동을 제염하고자 하는 경우에는 화학적 제염방법이 주로 활용된다. 이외에도 제염방법을 선정할 때에는 다음 사항들을 종합적으로 고려하여 최적의 기술을 선정한다.

- 가. 안전성: 방사선학적 또는 산업안전적 위험도가 증가되지 않도록 함
- 나. 효과성: 제염 수행목적을 달성할 만큼의 충분히 높은 제염세수 확보
- 다. 효율성: 비용/이득 측면에서의 경제성 확보
- 라. 이차폐기를 최소화: 제염과정에 발생하는 이차폐기를 최소화
- 마. 작업용이성: 특히 수작업으로 진행되는 제염 방법의 경우, 중시자의 과도한 피로  
이나 작업 유해성이 유발되지 않도록 함
- 바. 기타: 운전이력, 제염 대상의 형태(예: 배관, 탱크 등), 재료 및 오염 특성 등 고려

계통제염은 주로 원자로냉각재계통과 정지냉각계통, 화학 및 제적제어계통 등을 대상으로, 제염 대상 계통에 화학약품을 주입하여 제거하는 것이다. 따라서 계통제염은 가능한 발전소 설비를 활용하여 운전하기 때문에 설비의 정상작동과 전기·순수 등의 유틸리티 공급이 보장되는 안전관리기간 동안에 시행한다. 계통제염에 사용된 화학약품의 종류 및 이차폐기물(주로 폐수지) 처리방법은 약품별 제염 제수와 폐기물 발생량에 근거하여 선정한다. 계통제염이 완료되면 계통수를 배수 및 처리하고, 필요에 따라 고방사선량을 지점(hot spot)에 대한 플러싱(flushing)작업 등을 수행한다.

본격적인 해체작업 수행으로 절단된 증기발생기, 원자로냉각재펌프, 가압기 등의 주요 기기와 배관, 각종 밸브류 및 탱크, 콘크리트 폐기물에 대하여 제염 대상물질의 형상과 특성을 복합적으로 고려하여 적절한 기기제염 방법을 선정한다. 이 제염작업은 종사자의 방사선피폭을 최소화하기 위해 가급적 원격화·자동화를 구현한다. 한편 콘크리트 구조물에 대해서는 오염 정도나 구조물 형상을 고려하여 먼저 물 또는 거품을 이용한 세정 및 문지름 등의 방법으로 제염한 후, 필요한 경우 고압수나 스크레이퍼, 파쇄기 등을 이용한 기계적 제염법을 적용한다.

구조물, 계통 및 기기의 해체활동이 완료되면 부지의 방사선학적 특성조사를 통해 오염지역 및 오염수준을 먼저 파악한다. 이후 오염부지 토양의 성상과 제염 대상해종의 물리·화학적 특성, 강우에 의한 오염 확산 가능성 등을 종합적으로 고려하여 적합한 제염기술을 선정하고, 부지에 대한 제염작업을 시행한다.

## 8.2 해체 활동

### 8.2.1 해체 기술

해체 시 방사능에 오염된 설비 및 기기 등은 원형(one-piece)으로 처분하거나, 처분 용기에 담을 수 있도록 적절한 크기로 절단한다. 절단 방법으로는 원형류, 핸드류, 전단기, 다이아몬드와이어 절단기, 워터젯 절단기, 연삭 절단기 등의 절단기를 사용하는 기계적 절단 방법과 산소절단기, 플라즈마 절단기, 레이저 절단기 등 열을 사용하여 부재를 녹여서 절단하는 열적 절단 방법이 있다. 콘크리트 구조물의 해체에는 콘크리트 연마기, 미디어 블래스터(media blaster), 해머(hammer) 등을 사용한다. 표 8-2에 기계적 및 열적 절단기술의 특성을 요약하였다.

상기 기술한 해체기술뿐만 아니라 향후 개발되는 국내·외 새로운 해체기술에 대해서 지속적으로 파악하여 관련 기술이 해체시점에서 적용가능성이 검증될 경우 해체원전에 적용할 수 있다.

#### 8.2.1.1 기계적 절단

기계적 절단은 절단 공구가 절단 대상물에 직접 접촉하여 절단하는 방법으로서, 원형톱 절단, 밴드톱 절단, 워터젯 절단, 전단기 절단 및 와이어 절단 등으로 구분된다. 기계적 절단 방법은 공정이 잘 알려져 있고, 산업계에서 널리 사용되고 있다.

해체용 기계적 절단 장비는 이미 상용화되어 있는 기계적 절단 공구를 절단 목적에 맞게 개조하여 사용한다. 기계적 절단 장비의 경우 절단 과정에서 큰 반발력이 발생하므로 대체로 무겁고 견고하게 제작된다. 절단 준비 작업은 비교적 단순하지만 정비 및 마모 부품의 교체에 상당한 시간과 노력이 필요하다.

수중에서 이루어지는 기계적 절단의 경우 시야 확보를 위해 용수 정화 설비가 필요하다. 용수 정화 설비의 경우 산업계에서 일반적으로 널리 활용되고 있는 설비를 발전소 해체에 적합하도록 개조하여 활용한다.

원형톱 절단은 절단 대상물의 정확한 절단이 가능하고 좁은 공간에 설치 가능하다는 장점이 있지만 두꺼운 소재의 절단에 제한적이며 주로 파이프 절단에만 이용가능하다.

밴드톱 절단은 절단 대상물의 깊이 또는 두께에 제한이 없고 절단에 의한 이차폐기를 발생량이 적다는 장점이 있고 원자로내부구조물 절단에 많이 이용된다. 그러나 장비가 매우 크고 절단 시 흩날리 절단 대상물에 고착될 경우 수리에 어려움이 발생할 수 있다.

워터젯 절단은 초고압수의 압력을 이용하여 절단하는 방법으로써, 절단홈(kerf)이 얇고 복잡한 형상의 절단에 용이하며 절단 대상물과의 접촉에 의한 반력이 발생하지 않는 장점이 있다. 워터젯 절단은 원자로내부구조물의 수중절단에 이용된다. 그러나 연마제에 따른 잔해가 다량 발생할 수 있고 공기 중 고압물에 의한 이차폐기를 비산 방지를 위해 벨도와 용기 속에서 작업을 수행해야 한다.

전단기 절단은 유압을 이용하여 절단하는 방법으로써, 이차폐기를 발생이 거의 없고 절단 속도가 빠르다는 장점이 있지만 절단 대상물의 크기에 따라 제한적으로 이용가능하다.

와이어 절단은 절단 대상물의 두께에 제한이 없으며 절단홈이 얇아 이차폐기를 발생량이 적고, 특히 철심이 있는 콘크리트 절단에 유용한 방법이다. 그러나 와이어가 절단 대상물에 고착될 경우 수리에 어려움이 발생할 수 있고 절단 중 와이어의 고열 발생으로 인한 수평 단속 방지를 위해 냉각장치가 필요하다.

#### 8.2.12 열적 절단

열적 절단 방법은 기계적 절단 방법에 비해 절단 장비의 크기는 작지만 절단 속도는 상대적으로 빠르다. 또한 절단 공구와 절단 대상물 간에 직접적인 접촉이 없으므로 절단 작업 시 반발력도 발생하지 않는다. 열적 절단 방법은 플라즈마 아크(plasma arc), 화염

절단(flame cutting), 금속 분해가공(Metal Disintegration Machining: MDM) 및 접촉 아크 금속절단(Contact Arc Metal Cutting: CAMC) 등으로 구분된다. 열적 절단 방법도 기계적 절단 방법과 마찬가지로 그 공정이 잘 알려져 있고, 산업계에서 널리 사용되고 있다.

해체용 열적 절단 장비의 경우 이미 상용화되어 있는 열적 절단 장비를 활용하여 해당 절단 목적에 맞도록 개조하여 사용한다. 열적 절단 공구들은 절단 과정에서 반발력이 발생하지 않으므로 안전을 위해 부품을 무집고 견고하게 제작할 필요가 없다. 열적 절단의 준비 작업은 기계적 절단에 비해 복잡하나 정비 및 소모성 부품의 교체는 비교적 용이하다.

열적 절단을 위해서는 작업 전에 환기시설 및 차단막 등 철저한 작업 준비가 필요하다. 로봇을 이용한 원격 절단작업 시에는 로봇 시스템에 절단 라인을 학습시키는 데에 기계적 방법에 비해 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 플라즈마 절단 등 일부 열적 절단 작업은 수중에서도 이루어질 수 있다. 열적 절단 방법의 경우 기계적 절단 방법에 비해 공기 중 부유 오염물질이 많이 발생하므로 공기집진 및 정화에 유의한다.

플라즈마 아크 절단은 토치 내부 전극봉과 절단 대상물 간의 아크를 이용하여 절단하는 방법으로, 절단속도가 빠르며 절단 대상물의 두께에 제한이 없다. 또한 원격제어를 통한 수중절단이 가능하며 고방사화된 원자로내부구조물 수중절단 시 이용할 수 있다. 그러나 절단 중 부유 분진 및 연소가스 발생이 많아 공기 및 수조 내 필터링 시스템이 필요하며 화재/감전의 위험이 상존하고 대체적으로 장비가격이 고가이다.

화염 절단은 발열 산화반응을 이용하여 절단하는 방법으로, 탄소강으로 이루어진 파이프 및 강철빔 절단에 활용이 가능하다. 원격제어를 통한 절단공구 조작이 용이할 뿐만 아니라 비용이 저렴하다. 그러나 스테인리스강으로 이루어진 원자로내부구조물 절단에 이용이 어렵다는 단점이 있다.

금속 분해가공 절단은 진동전극의 아크에 의해 고온으로 금속표면을 녹여 절단하는 방법으로, 작업속도가 매우 빠르며 제어가 용이하다는 장점이 있고 주로 대형 구조물의 리프트용 구멍 작업에 유용한 방법이다. 그러나 부유 분진과 연소가스 발생으로 고성능 필터링 시스템이 필요하다.

접촉 아크 금속절단은 전극봉(흑연, 금속)과 금속 사이에 발생하는 전기 아크를 이용하여 절단하는 방법으로, 고정된 절단 대상물 절단에 이용가능하고 흑연, 금속 등과 같은 전극봉을 다양하게 제작하여 사용가능하다는 장점이 있지만 전극봉의 소모가 크기 때문에 작업효율이 낮다는 단점이 있다.

#### 8.2.13 콘크리트 해체

콘크리트 해체는 기계적 절단, 열적 절단 및 기타 절단기술로 구분된다. 기계적 절단기술은 다이아몬드와이어 톱, 수압·유압·공기압을 이용한 해머, 파쇄기(crusher), 전단기(shear) 등이 있다. 열적 절단기술은 화염 절단 및 산소 랜스(oxygen lance) 등이 있다. 기타 절단기술로는 연마 워터젯(abrasive water jet) 및 레이저 등이 있다.

## 8.2.2 해체 활동 계획

일반적으로 방사성 오염이 낮은 관리구역의 시설과 기기부터 해체와 철거에 착수한다. 마지막으로 원자로용기 및 원자로내부구조물에 대한 절단, 철거 작업이 이루어진다. 특히 원자로건물 내 설비의 해체는 증기발생기 등 대형기기의 제거 후 원자로용기 등을 해체하는 순으로 진행된다. 이 경우 반드시 이 순서를 따르는 것은 아니며, 작업 용이성과 종사자의 방사선위험도 등을 종합적으로 고려하여 해체활동계획을 수립한다.

방사성오염 구역의 해체 작업 시에는 기존의 공기정화계통을 활용하거나, 새로운 공기정화계통을 설치하여 방사성 오염물질이 확산되지 않도록 유의한다. 절단 등으로 해체되는 기기의 경우 방사성 오염 정도, 소재의 종류, 폐기를 발생 위치 및 발생 날짜 등에 따라 적절하게 분류하여 포장하고 기록을 남겨, 중·저준위 방사성폐기물 인도규정에 적합하도록 한다.

### 8.2.2.1 절단 방법 및 장비 선정

원자로를 포함한 원자력시설의 해체에 있어서 최적의 절단 방법을 선정하기 위해서는 장비 설치 및 정비에 필요한 시간, 종사자 피폭, 장비 고장 시의 대책, 원격 조작 가능성, 방사성 방사성물질의 확산 방지 대책, 소요 비용 등을 고려한다.

절단장비 선정 시에는 산업계에서 많이 활용되고 있는 범용 절단장비를 활용한다. 이러한 절단장비들은 특정 절단 요건에 적합하도록 개조하여 활용하는 것이 경제적이며, 절단 장비의 신뢰도도 높일 수 있다.

절단 방법을 선정하는 데 있어서 영향을 미치는 인자들은 절단 대상물을 구성하는 소재, 대상물의 크기, 절단 환경, 장비 설치 및 제거 시간, 장비 정비 빈도, 방사성물질 통제 방안, 작업종사자 피폭 관리, 이차폐기를 발생량 등이 있다. 절단 방법에는 매우 많은 종류가 있으며, 작업의 특성에 따라 위험도 등을 고려하여 가장 적합한 방법을 선정하여 활용한다. 표 8-2에서는 금속 및 콘크리트 절단 방법의 특성을 보여주고 있다(참고문헌 3).

현재 여러 가지 절단 및 해체 산기술이 개발되고 있으며, 향후 개발된 각종 기술의 적용성을 검토하여 해체발전소에 적용할 수 있다.

#### 8.2.22 중기발생기, 가압기 및 원자로 냉각재펌프 절단

중기발생기, 가압기 및 원자로냉각재펌프는 원자로건물 내부 또는 별도의 방사선구역에서 기계적 또는 열적 절단 방법을 사용하여 절단하여 처분한다. 절단 조각 중 방사성 오염도가 낮아 자체처분이 가능한 부분은 별도로 분리하여 처리한다.

중기발생기, 가압기 및 원자로냉각재펌프의 경우 방사성 오염도가 높지 않아 종사자가 근접하여 절단 작업을 수행할 수 있다. 종사자에 의한 수작업 방식의 절단 시에는 반발력의 우려가 작은 절단 방법을 활용할 수 있으며, 상황에 따라 적절한 절단 방법을 선택하여 활용한다.

#### 8.2.23 원자로 냉각재계통 배관 절단

원자로냉각재계통을 구성하는 대형 배관의 경우 계통제압 등을 통해 방사성 오염도가 감소되므로 종사자가 접근하여 절단 작업을 수행할 수 있다. 수작업 절단 시에는 열적 또는 기계적 절단 방법을 활용할 수 있다. 절단 조각 중 방사성 오염도가 낮아 자체처분이 가능한 부분은 별도로 분리하여 처리한다.

#### 8.2.24 원자로 및 내부구조물 절단

원자로압력용기는 열적 또는 기계적 방법을 사용하여 적절한 크기로 절단하여 처분 용기에 담아 처분한다. 원자로압력용기 절단 조각은 폐기를 처분장 인수 요건을 충족시킬 수 있는 크기와 무게로 하며, 용기 표면선량 요건을 충족시킬 수 있도록 각 조각들을 배치한다.

원자로내부구조물은 적절한 차폐가 확보된 상태에서 원격설비 등을 이용하여 열적 또는 기계적 방법으로 적절한 크기로 절단, 포장한다. 원자로내부구조물 절단 조각 중 중준위 방사성폐기물은 별도의 저장 용기에 담아 보관한다. 이에 대한 상세사항은 9장 방사성폐기물관리에서 기술한다.

원자로내부구조물과 원자로압력용기를 절단할 때에는 방사선으로부터 종사자의 피폭을 고려하여 수중에서 작업하는 방법과, 공기 중에서 원격 조작으로 작업하는 두 가지 방법 중에서 적절한 방법을 선택하여 활용한다. 수중 절단 시에는 절단 부위를 관찰할 수 있도록 용수 정화 장치를 설치한다. 공기 중 절단 시에는 절단 중 발생하는 방사성물질이 공기 중으로 확산되지 않도록 공기잡진 및 정화 장치를 설치한다.

#### 8.2.25 기타 기기 및 금속 구조물 절단

구조물의 형태, 크기 및 소재 등에 따라 적합한 기계적 또는 열적 절단 장비를 사용하여

용기에 담을 수 있는 크기로 절단한 후 오염 정도, 소재 및 발생 위치 등에 따라 분류하여 용기에 담아 처리/처분한다.

#### 8.2.26 콘크리트 구조물 해체

원자로시설의 대부분을 차지하고 있는 콘크리트구조물은 원자로건물 내부구조물과 기타 부분으로 구분할 수 있다. 이러한 콘크리트구조물은 열적 또는 기계적 방법 등을 이용하여 해체한다. 원자로건물 내부의 콘크리트구조물 중 생물학적 차폐물 등은 방사화 정도가 높아 세밀한 해체방법을 수립해야 한다. 이 외의 저방사화 또는 방사화가 전혀 발생하지 않은 구조물은 일반적인 해체방법으로 해체가 가능하다.

콘크리트 해체 대상 단면 두께가 얇은 바닥과 벽면은 콘크리트 연마기(concrete shaver), 미디어 블래스터, 휴대용 장비(hand-held remediation device) 등을 사용할 수 있다. 그러나 바닥과 벽 두께가 비교적 큰 경우에는 많은 면적과 깊은 천공이 필요하기 때문에 Single operator jackhammer, Compact hydraulic hammer, Large hydraulic hammer 및 다이아몬드와이어 절단 방법 등이 사용된다.

해체된 콘크리트 폐기물은 방사성 오염정도를 확인하여 열적, 기계적, 화학적 처리방법으로 가열 분쇄하여 처분대상 골재와 방사성 콘크리트 미분말로 분리하여 감용할 수 있도록 한다. 즉, 콘크리트구조물의 경우 표면 및 내부의 방사성 오염 정도를 확인하여 오염 물질을 제거한 후 용기에 담아 처분장으로 보낸다. 콘크리트에서 분리된 철근은 열적 또는 기계적 절단 장비를 사용하여 적절한 크기로 절단하여 처리한다.

### 8.3 참고문헌

1. TR-112362, "Decontamination Handbook", EPRI, 1999.
2. "Dismantling Techniques, Decontamination Techniques, Dissemination of Best Practice, Experience and Know-how", OECD/NEA, 2009.
3. TR-3002005252, "Review of Waste Management Best Practices During Nuclear Plant Decommissioning", EPRI, 2015.

표 8-1

화학적 제염법의 특성

종 류	개 요
CORD	<u>C</u> hemical <u>O</u> xidation <u>R</u> eduction <u>D</u> econtamination: 과망간산( $\text{HMnO}_4$ )과 옥살산( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ )만을 활용한 제염공정으로써, 제염 후 옥살산을 $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ 를 통해 분해하여 음이온교환수지의 소모량을 낮출 수 있는 장점을 지님. 산화단계, 환원단계, 제염(용해)단계, 분해/정화단계로 구성되며, 대부분 환원 및 제염(용해)단계가 동시에 수행됨. 전형적인 CORD 공정은 4~16시간 소요되는 반면, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ 분해를 적용하면 10~34시간이 소요됨. 미국 Connecticut Yankee 발전소와 독일 Stade 발전소 등의 해체제염에 적용됨.
DfD	<u>D</u> econtamination for <u>D</u> ecommissioning: 플루오로화 붕산( $\text{HBF}_4$ )과 과망간산 칼륨( $\text{KMnO}_4$ ), 옥살산( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ )을 활용한 제염공정으로써, $\text{HBF}_4$ 매질 하에서의 용해반응을 통해 해체제염에 최적화된 공정임. CORD 공정과 마찬가지로 저농도 공정으로 분류되며(화학약품 농도 1 % 미만), 최종 단계에서 잔류 옥살산을 과망간산 칼륨으로 산화시켜 제거하므로 최종 폐기물에는 킬레이트 화합물이 존재치 않음. 전형적인 DfD 공정은 8~20시간 정도 소요됨. 미국 Maine Yankee, 스페인의 Zorita 발전소 등의 해체제염에 적용됨.
NTTROX	<u>N</u> ITric acid+ <u>O</u> Xalic acid: NITROX 공정은 크롬의 산화를 위한 NP(Nitric Permanganate)와 크롬이 없는 산화제의 제거를 위해 옥살산을 사용하는 두 단계 공정을 포함함. 주입약품 측면에서 CORD 공정과 매우 유사함. 주로 웨스팅하우스사가 DfD 공정과 혼합하여 활용하는 형태로 해체제염에 적용되고 있음.
CTTROX	<u>C</u> ITRix acid+ <u>O</u> Xalic acid: 1990년대 LOMI 공장에 이어 두 번째로 많이 활용된 공정으로써, 경수로형 발전소의 주계통과 보조계통 및 각종 부품의 제염에 적합한 공정으로 알려져 있음. 제염효과가 높지 않으며, 운전 중 제염에 적합함. 전 계통제염에 활용된 실적은 없으며, 구연산이 주요 산화제로 활용된다는 점이 여타의 공정과 구분됨.
LOMI	<u>L</u> ow <u>O</u> xidation state <u>M</u> etal <u>I</u> on: LOMI 공정은 Vanadous Picolinate ( $\text{V(Pic)}_3^-$ )를 활용한 환원용해 공정으로써, 여타의 산성용해 공정에 비해 반응속도가 매우 빠르다는 장점을 가짐. Vanadous Formate와 Sodium Picolinate 약품이 활용되며, 액체 형태로 주입되므로 별도의 내용량 주입탱크가 필요 없다는 장점이 있음. 용해 단계에서 이온교환수지를 활용한 핵종제거를 수행하지 않으므로 운전이 간편한 장점이 있으나, 용해액 내 산량분이 지속적으로 증가되는 단점이 있음. 또한 모든 제염공정 중 약품 구매에 가장 많은 비용이 소요된다는 단점이 있음.



표 8-2

절단 방법의 특성

절단 방법		재료	절단두께 (mm)	절단 속도	수작업 가능성	폐기물 발생량
기계적 절단	톱	금속	10 ~ 3,000	중간	○	적음
	전단 (shearing)	금속	10이하	빠름	○	적음
	연삭	금속	5이하	느림	○	중간
		콘크리트	500이하	중간	×	많음
	다이아몬드 와이어	콘크리트	300이상	중간	×	중간
		금속	50이상	느림	×	많음
	워터젯 (연마재 혼합)	금속	300이하	느림	×	중간
		콘크리트	500이하	중간	×	많음
열적 절단	화염(flame)	탄소강	5 ~ 600	빠름	○	중간
	분말 화염	금속	100이상	빠름	○	많음
		콘크리트	1,000이하	빠름	×	매우 많음
	세로빔랜스	콘크리트	2,000이하	중간	○	매우 많음
		금속	500이상	중간	○	많음
	플라즈마아크	금속	130이상	빠름	○	중간
	EDM <sup>3)</sup>	금속	10이상	느림	×	적음
	CAMC <sup>4)</sup>	금속	200이하	빠름	×	중간
	레이저	금속	10이하	빠름	○	중간

3) Electric Discharge Machining

4) Contact Arc Metal Cutting

## 9 방사성 폐기물 관리

### 9.1 방사성폐기물 분류

원자력안전법 시행령 및 방사선방호 등에 관한 기준에 따르면 고준위방사성폐기물은 반감기 20년 이상의 알파선 방출 핵종의 농도가 4,000 Bq/g 이상이고 열발생률이 2 kW/m<sup>3</sup> 이상인 폐기물로서, 원자력안전법 제35조 제4항에 따라 폐기하기로 결정한 사용후핵연료가 이에 속한다. 고준위방사성폐기물 외의 방사성폐기물은 중·저준위방사성폐기물이라고 한다(참고문헌 1, 2).

또한 방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정에 따르면 중·저준위방사성폐기물은 중준위, 저준위 및 극저준위방사성폐기물로 나뉜다. 중준위방사성폐기물은 방사능농도가 동 규정 별표 2의 핵종별 농도 이상인 것, 저준위방사성폐기물은 방사능농도가 동 규정 별표 1의 자체처분 허용농도의 100배 이상이고 동 규정 별표 2의 핵종별 농도 미만인 것, 극저준위방사성폐기물은 방사능농도가 자체처분 허용농도 이상이고 자체처분 허용농도의 100배 미만인 것을 말한다. 자체처분 허용농도 미만인 방사성폐기물은 자체처분할 수 있으며, 이를 자체처분 대상 폐기물이라고 한다(참고문헌 3).

발전소 운영 중이나 해체과정에서 발생하는 방사성 폐기물 또한 위와 같이 분류되며, 물리적 상태에 따라 크게 기체, 액체 및 고체방사성폐기물로 분류되고 발생 및 처리과정에 따라 다음과 같이 분류 가능하다.

#### 9.1.1 발전소 운영 중 발생하는 방사성폐기물

발전소 운영 중 발생하는 기체방사성폐기물은 주로 붕소희석운전 동안 원자로냉각제로부터 탈기되어 방출되는 수소, 원자로냉각제의 탈기 시 화학 및 체적제어세정의 체적제어탱크로부터 배기되는 수소 및 상부충전기체인 질소 등으로 구성되며 방사성기체(세논, 크립톤, 요오드 등)가 포함되어 있다.

액체방사성폐기물은 1차계통 기기배수, 계열활동(기기 및 개인), 사용후연료저장조와 수화학적 관리 및 방호복 세탁 등에서 발생하는 방사능오염폐액 또는 방사능오염 가능성이 있는 폐액으로서, 액체방사성폐기물 세정의 주요 위험원은 기기배수폐액(원자로배수탱크, 기기배수탱크), 청정 폐액(보조건물 기기누수, 사용후연료저장조누수), 오일폐액(원자로건물 기기누수, 원자로건물/보조건물/복합건물 바닥배수, 기기제염폐액, 복합건물 세탁배수, 인체제염폐액 등), 화학제어제 방출, 증기발생기 러클수, 재생폐액 등이 있다(참고문헌 4).

고체방사성폐기물은 액체방사성폐기물 처리설비에서 발생하는 농축폐액, 슬러지, 폐수지, 폐 필터, 폐여과기 등의 습식 폐기물과, 금속폐기물(표면오염/방사화), 공기정화필터 및 참고재(걸레, 종이, 의복, 유리 및 소형 폐기물) 등의 건식폐기물로 분류된다.

## 9.1.2 해체과정에서 발생하는 방사성 폐기물

해체과정에서 발생하는 기체방사성폐기물은 해체작업 과정에서 건물 내 공기 중에 부유하는 방사성미립자이다. 액체방사성폐기물은 계통이나 기기의 제염작업으로 발생하는 방사성제염폐액과 사용후핵연료저장조와 관련 정화 및 냉각계통에서 발생하는 방사성핵종이 함유된 계통수, 종사자의 방호복 세탁과 개인제염 등으로 발생하는 세탁폐액으로 분류된다. 고체방사성폐기물은 방사성물질로 오염되거나 방사화된 금속폐기물, 방사성물질로 오염된 콘크리트폐기물 및 토양폐기물로 분류된다. 또한 액체방사성폐기물관리계통이나 설비에서 발생하는 폐수지, 폐필터, 폐여과기 및 슬러지 등의 습식폐기물과 각종 공기정화필터와 기타 잡고체 등의 건식폐기물 그리고 방사성물질과 비방사성 위해물질이 혼재된 혼합폐기물로 분류된다(참고문헌 5).

## 9.2 운영 중 발생하는 방사성폐기물 관리

### 9.2.1 중·저준위 방사성폐기물

발전소 운영 중 발생한 액체방사성폐기물은 특성에 따라 분류·수집하여 방사성폐기물관리 계통에서 여과, 이온교환수지 등에 의한 흡착, 증발 등의 방법을 통해 방사성물질의 농도를 가능한 한 저하시켜 처리하거나 저장·수집한 후 복수기 냉각수로 회석하여 배출관리 기준 등을 만족하도록 처리한 뒤 방사선감시기의 감시 하에 환경으로 배출된다. 기체방사성폐기물은 특성에 따라 처리설비를 이용하여 처리한 후 배기구에서 방사선감시기의 감시 하에 환경으로 배출된다.

농축폐액, 슬러지, 폐수지, 폐필터, 잡고체와 금속폐기물 등의 고체방사성폐기물은 고체방사성폐기물관리 계통에서 처분요건에 적합하도록 처리·포장하여, 부지 내 방사성폐기물저장고에 임시 저장 후, 처분적합성을 검사하고 방사성폐기물 처분장으로 인도한다. 고체방사성폐기물 중 별도로 구분하여 분리·저장된 자체처분 대상 폐기물은 자체처분 절차에 따라 방사선영향을 평가하여 규제기관 심사 후 처분한다(참고문헌 4).

### 9.2.2 사용후핵연료

사용후핵연료는 방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정에 따라 심층처분시설에 최종 처분될 예정이며, 원전 사업자인 한수원(주)은 사용후핵연료 중간저장시설 및 심층처분시설의 마련전까지 사용후핵연료를 소대 임시저장할 수 있다. 사용후핵연료의 소대 임시저장 등 사용후핵연료의 관리 정책은 고준위방사성폐기물 관리 재검토위원회 의견 고안을 바탕으로 관련고시 제정 등 정부정책이 수립되면 그에 따라 수행될 예정이다.

## 9.3 해체과정에서 발생하는 방사성폐기물 관리

해체방사성폐기물은 발전소를 해체하는 과정에서 발생하는 방사성폐기물로서, 운영 중 발생한 방사성폐기물에 비해 발생원이 다양하고, 단기간에 대량 발생한다. 이러한 해체방사성폐기물은 오염된 재통기기의 제염, 구조물의 해체 및 철거 등을 통해 발생하며, 자체 처분 목표에 적합한 수준까지 방사능준위를 낮추는 과정에서도 발생한다. 일부 폐기물은 혼합폐기물 형태로 발생하기도 한다.

이러한 해체방사성폐기물의 관리는 안전성을 최우선으로 수행된다. 해체 착수 전에 해체 방사성폐기물 관리계획을 수립·운영한다.

사용후핵연료 등 고준위방사성폐기물을 제외한 중준위, 저준위 및 극저준위방사성 폐기물은 경주처분장의 1단계 동굴처분시설을 통해 처분 중에 있으며, 다수 호기 원전 해체 시 방사성폐기물의 단기간 대량 발생으로 저장용량이 초과될 것으로 예상된다. 따라서, 이를 해결하기 위해 경주처분장의 1단계 동굴처분시설의 중준위 방사성 폐기물 처분능도제한치 변경을 위한 인허가를 추진 중에 있으며, 저준위 및 극저준위 방사성폐기물 추가 처분을 위한 2단계 표층처분시설 건설 및 운영을 위한 인허가는 규제기관 심사 중에 있다. 따라서 중준위, 저준위 및 극저준위방사성폐기물 처분은 이에 대한 정부정책을 바탕으로 한 규제기관 심의 후 수행될 예정이다.

### 9.3.1 기체방사성폐기물

발전소의 구조물, 재통 및 기기를 해체·철거하기 전에 최대한 제염하기 때문에 방사성오염 수준은 낮을 것으로 예상된다. 해체과정에서 발생하는 분진은 기존 공기조화계통(Heating, Ventilation and Air Conditioning: HVAC)을 이용하여 처리하거나, 간이 공기정화기(Air Control Unit: ACU)를 설치하여 처리한다.

### 9.3.2 액체방사성폐기물

해체과정에서 발생하는 폐액은 가능한 한 기설치되어 있는 액체폐기물관리계통으로 수집, 저장 및 처리한다. 그러나 방사성폐액이 급격히 증가하여 기설치된 액체폐기물관리계통의 처리용량을 초과하거나, 폐액의 물리화학적 특성이 기존 처리공장의 설계 범위를 초과한 경우에는 성능이 입증된 처리설비를 도입하여 액체방사성폐기물 처리공정을 보강한다.

### 9.3.3 고체방사성폐기물

발전소해체 과정에서 발생하는 고체방사성폐기물은 오염준위에 따라 방사성폐기물과 비방사성폐기물, 규모에 따라 대형금속폐기물과 소형금속폐기물, 오염특성 측면에서는 방사화폐기물과 표면오염폐기물, 오염상태에 따라서는 유리성오염폐기물과 고화성오염폐기물로 분류될 수 있다.

### 9.3.3.1 해체과정에서 발생하는 고제방사성폐기물

발전소해체 시 발생하는 고제방사성폐기물은 방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정에 따라 고준위, 중준위, 저준위, 극저준위, 자체처분 폐기물로 분류한다. 고제방사성폐기물 중 먼류, 종이류, 비닐류, 목재류, 플라스틱류, 폐수지 및 폐필터 등은 발전소에 기설치되어 있는 고제방사성폐기물관리시스템의 처리설비를 이용하여 수집, 분류 및 감용 처리한다. 그러나 발생량이 기설치된 고제방사성폐기물처리설비의 처리용량을 초과할 경우에는 9.3.5절에 기술된 해체폐기물 종합처리시설에서 처리한다.

고제방사성폐기물의 처분장 이송전 저장은 운영중 고제방사성폐기물 저장시설을 활용할 계획이며 구체적인 저장방안은 최종해체계획서 단계에서 기술한다.

해체 과정 중 발생하는 고제폐기물의 종류 및 발생원에 대한 이력관리는 중·저준위 방사성폐기물 관리 절차와 유사하게 이력관리한다(참고문헌 6).

탱크류, 열교환기, 대/소구경 배관/덕트, 트레이, 펌프 및 밸브류 등의 중/소형 금속폐기물, 케이블류, 단열재, 콘크리트 및 토양 등은 제염, 해체 후 부지 내 처리시설로 수집하여 방사화폐기물과 방사성오염폐기물로, 방사선준위에 따라서는 중준위, 저준위, 극저준위 및 자체처분 대상 폐기물로 분류 및 처리·처분한다.

증기발생기, 가압기, 원자로함력용기 및 헤드 등의 대형 금속폐기물은 무게, 부피, 방사선학적 오염도와 기술성, 안전성, 경제성, 사회적 수용성 측면 등을 종합적으로 평가하여 처리·처분한다. 이에 대한 방법으로 발생지에서 제염, 절단, 용융 등의 감용 처리 후 포장하여 처분장으로 운반하는 방안, 발생지에서 제염 등의 전처리 후 포장하여 해체폐기물 종합처리시설로 운반하여 감용 처리 후 처분장으로 운반하는 방안, 발생지에서 제염 등 전처리 후 포장하여 원형상태로 처분장으로 운반하는 방안 등을 고려한다. 이에 대한 세부사항은 합후 폐기물관리 및 처분인도여건을 종합적으로 평가하여 결정한다.

금속폐기물은 제염, 절단 및 분류과정을 거쳐 전기로, 플라즈마 등의 용융기술을 적용하여 임곳 형태로 처리함으로써 감용비와 처분안전성을 높일 수 있다. 자체처분이 가능한 수준으로 처리된 금속폐기물의 임곳은 자체처분 규정에 따라 처분한다.

해체 시 발생한 중준위방사성폐기물은 절단, 압축 등을 통해 감용 처리한 후, 관련 규정과 국가 정책에 따라 처분한다(참고문헌 7).

### 9.3.3.2 토양 및 콘크리트

오염된 토양은 세척, 가열 등의 처리를 통하여 부지개방이 가능한 수준으로 제염한다.

부지에 대한 규제해제 수준으로 제염이 어려운 토양과 오염된 콘크리트는 분쇄, 플라즈마 용융 등의 기술을 이용한 감용 등의 방법을 이용하여 처리한다(참고문헌 8). 처리 후 관련 규정에 따라 처분한다. 비오염 토양과 콘크리트는 관련 규정에 따라 부지 내 재이용하거나 자체처분 한다.

#### 9.3.3.3 혼합폐기물

해체과정 중 발생이 예상되는 폐기물로서 방사성물질과 비방사성 위해물질이 혼합된 혼합폐기물은 해체폐기물 종합처리시설에서 처리한다.

#### 9.3.4 자체처분

해체폐기물 중에서 자체처분 대상 폐기물은 자체처분 방법 및 절차에 따라 처분한다. 이 경우 산업폐기물 처분과 동일한 방법으로 소각, 매립 또는 재활용한다.

#### 9.3.5 해체폐기물 종합처리시설

해체과정에서는 기존 방사성폐기물관리제도를 최대한 이용하여 발생 폐기물을 처리한다. 해체작업이 진행되면서 기존의 폐기물처리제도의 처리용량을 초과하거나 발생 특성이 다양한 폐기물이 다량 발생 시 별도의 해체폐기물 종합처리시설을 설치한다.

해체폐기물 종합처리시설은 예상되는 폐기물의 종류와 특성, 발생량, 처리수준, 기술수준 및 규제여건 등에 근거하여 처리성과 용량을 확보할 수 있도록 설치한다.

### 9.4 참고문헌

1. 원자력안전법 시행령.
2. "방사선방호 등에 관한 기준", 원자력안전위원회.
3. "방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정", 원자력안전위원회.
4. "신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서", 한수원(주).
5. TR-3002005252, "Review of Waste Management Best Practices During Nuclear Plant Decommissioning", EPRI, 2015.
6. "중·저준위 방사성폐기물 관리" 표준절차서, 한수원(주).

7. TR-1011733, "Decommissioning San Onofre Nuclear Generating Station Unit 1 (SONGS-1), Reactor Vessel Internals Segmentation", EPRI, 2005.
8. "The Decommissioning Handbook", ASME, 2004.

## 10 환경영향 평가

환경영향평가의 목적은 주변주민의 건강과 안전을 도모하기 위해 해체 전 및 해체 중에 해당 시설에서 배출되는 방사성물질로부터 주변주민이 받는 피폭방사선량이 규제한도를 초과하지 않음을 확인하는 것이다. 이 장에서는 해체발전소에 대한 환경감시로써, 해체 전 환경감시, 해체 중 환경감시 및 주변주민에 대한 영향에 대하여 기술한다.

### 10.1 해체 전 환경감시

해체 전 환경감시를 통해 발전소 운영 중 발생하는 방사성물질의 주변 환경에의 축적 및 분포현황을 파악할 수 있으며, 이는 해체 중 환경감시의 기준을 제공한다. 실제 감시내용은 원자력안전위원회 고시 “원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향 평가에 관한 규정”(참고문헌 1)에 따라 작성된 “원자력발전소 주변 환경방사선조사계획”(참고문헌 2)의 가동 중 환경감시와 동일하게 수행된다.

#### 10.1.1 조사계획

조사대상은 부지 내/외부의 환경방사선과 부지 외부의 육상 및 해양의 환경시료이다. 환경시료별 환경매체의 감시대상은 전베타, 감마동위원소,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ 이다. 발전소에서 배출이 예상되는 핵종은, 기체의 경우,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{41}\text{Ar}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{133}\text{Xe}$  등이 있으며, 액체의 경우에는  $^3\text{H}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{59}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$  등이 있다. 이들 핵종에 의한 환경방사선 및 환경시료의 조사항목, 주기, 방사선량 측정 및 시료채취 지점은 참고문헌 2의 표 8-11에 제시되어 있다.

#### 10.1.2 환경방사능 분석항목 및 검출목표치

환경시료 중 방사능을 분석하기 위한 항목별 분석핵종은 원자력발전소에서 배출되는 인공 방사성 핵종으로서 인간에 대한 피폭에 주요하고 비교적 장반감기인 핵종을 위주로 하되 육상 및 공기시료는 기체 방사성폐기를 중에 포함될 가능성이 높은 핵종을, 해양시료는 액체 방사성폐기를 중에 포함될 가능성이 높은 핵종을 선정하였다. 선정된 분석핵종은 참고문헌 2의 표 2에 제시되어 있으며, 감시핵종의 검출목표치는 참고문헌 2의 표 4에 제시되어 있다.

#### 10.1.3 자료처리 및 평가

##### 10.1.3.1 기록관리

환경방사선/능 측정 자료의 기계 시 환경의 제반조건과 조사내용을 정확히 알 수 있도록 다음 사항을 기록한다.



- 가. 시료명
- 나. 채취지점(지명, 방위, 거리 또는 좌표 등)
- 다. 시료채취일시 및 채취자
- 라. 시료채취방법(채취량, 사용기기 등)
- 마. 분석·측정일자
- 바. 분석·측정방법(분석방법, 측정방법, 측정기, 측정단위 등)
- 사. 분석자·측정자 등

조사 등에 관한 절차서, 조사자료, 측정 및 분석결과는 문서화하여 5년 이상 보존하며, 재측시료는 추후 재평가를 위해 시료별로 기간을 정하여 보관하며, 자세한 사항은 참고문헌 2의 품질관리계획에 제시되어 있다.

#### 10.1.32 자료처리

환경조사 자료의 처리는 원자력안전위원회 고시에 따르되, 측정결과에 대한 신뢰성 확보를 위해 측정 자료를 통계처리 후 평가한다. 주요 통계처리 내용은 다음과 같다.

- 가. 평균치 및 표준편차 산출
- 나. 측정오차의 합성
- 다. 이상치의 기각처리
- 라. 정규분포 적합도 검정 등

#### 10.1.33 측정자료 평가

환경조사 자료는 측정결과에 대한 신뢰성 확보를 위해 다음과 같이 평가한다.

- 가. 조사지점별/환경조사 항목마다 평균치와 평상시 변동범위(최소치-최대치) 설정
- 나. 측정 및 분석의 정도를 가늠하기 위한 유효숫자 자리 주의 고려 후 조사결과 표기 및 조사대상 항목별 일관성 유지
- 다. 방사성 핵종이 검출되지 않는 경우, 최소검출가능농도(Minimum Detectable Activity: MDA)를 기재한 후 “MDA 미만”이라고 표시하되, 조사결과와 평균치 산출 시 최소검출가능농도 사용
- 라. 모든 조사결과가 최소검출가능농도 미만인 경우, 평균치는 표시하지 않으며 평상시 변동범위는 최소검출가능농도 중 가장 낮은 값을 기재하고 “MDA 미만”이라고 표시

#### 10.1.34 보고 및 공개 기준

환경조사결과 다음 각 항목에 해당하는 사항을 발견한 경우에는 발견 후 1주일 이내에 참고문헌 2의 [별표 1]의 서식에 따라 원자력안전위원회에 보고한다.

- 가. 고정지점에서 연속측정 중인 공간감마선량률의 1시간 평균치가 최근 3년 이상 자료(그 이하의 경우에는 확보된 자료만)의 평균치보다 10  $\mu\text{R/h}$ 를 초과한 경우
- 나. 조사계획에 의한 시료채취지점에서의 방사능분석결과가 최근 3년 이상 자료(그 이하의 경우에는 확보된 자료만)의 평균치의 5배를 초과한 경우
- 다. 최근 3년 동안 최소검출가능농도 미만으로 재측된 환경시료에서 인공방사성 핵종이 검출된 경우

전반기와 연간 환경조사결과를 각각 당해 연도 9월 30일 및 다음 해 3월 31일 까지 원자력안전위원회에 제출하며 연간 조사결과는 한국수력원자력(주) 인터넷 홈페이지에 게재한다.

## 10.2 해체 중 환경감시

해체 중 환경감시는 해체과정에서 발생하는 방사성유출물에 의한 주변주민에 대한 영향을 해체 전 환경감시의 결과와 비교하여 평가하는 것이다. 따라서 이 환경감시의 조사계획, 분석항목, 검출목표치, 자료처리 및 평가 등은 해체 전 환경감시와 동일한 방법으로 수행한다. 다만, 해체 중 특수한 작업 및 일정으로 인해 감시 핵종 및 위치 등의 변화가 야기되거나 야기될 것으로 예상되는 경우에는 이를 반영하여 수행한다.

## 10.3 주변주민에 대한 영향

이 절에서는 발전소 해체과정에서 발생하는 방사성유출물에 의해 주변주민이 받을 수 있는 방사선피폭 영향을 평가하기 위한 재취를 개략적으로 설명하였다. 이러한 평가는 방출된 방사성유출물이 피폭경로를 통해 주변주민에 전달되는 모든 과정(network)에 대한 수학적 모델 등을 근거로 수행된다. 해체로 인한 주변주민의 피폭방사선량평가에는 K-DOSE60 등의 전산코드를 사용할 수 있다. 이외에도 원자력안전위원회 고시 "원자력이용시설 주변의 환경조사 및 방사선환경영향평가에 관한 규정", 미국 원자력규제위원회와 규제지침서 1.109 및 한국원자력안전기술원 규제지침 "주민 피폭선량 평가"를 적용하여 수행한다 (참고문헌 1, 3, 4).

### 10.3.1 피폭경로

#### 10.3.1.1 기체 배출물에 대한 방사선 피폭경로

기체 배출물에서 중요한 것은 불활성기체나 할로겐원소로 정상운영 중 방출되며 이들은 공기 중에 부유하거나 채소, 지표면, 물 등에 침적된다. 이에 기인하는 방사선 피폭에는

오염된 대기, 토양으로부터의 외부 피폭과 오염된 농·축산물의 섭취와 오염된 대기의 호흡으로 인한 내부피폭이 있다. 이중 농·축산물의 섭취피폭경로는 대기-토양-목초-젖소-우유-인간의 경로와 대기-토양-목초-육우-육류-인간의 경로, 그리고 대기-토양-농작물-인간의 경로로 구분된다.

### 10.3.12 액체 배출물에 대한 방사선 피폭경로

액체 배출물에 기인하는 피폭경로에는 수영, 해변활동 및 해상활동 시 오염된 해수 및 해변으로부터 받는 외부 피폭경로와 오염된 수산물의 섭취로 인한 내부 피폭경로가 있다. 실제 선량 평가 시에는 생체축적인자 및 유통구조의 차이를 반영하기 위하여 섭취피폭경로를 어류, 무척추 동물 및 해조류로 구분하고, 다시 이들 각각을 현지자급과 수협을 통한 위탁판매로 세분하여 계산한다. 사용된 생체축적인자가 보수적이며 어류나 무척추동물이 한 장소에서 머물 확률이 적으므로 어류나 무척추동물의 섭취로 인한 실제선량은 계산치 이하일 것으로 예상된다. 액체 방사성물질의 방류지역이 바다이므로 식수 및 농작물 관개용수로 사용되지 않으며 이에 따른 피폭경로는 무시된다. 이외에 방사성물질이 빗물과 함께 지하로 스며들어 오염된 지하수를 주민이 섭취함으로써 피폭의 원인이 될 수도 있지만, 이에 의한 가능성은 매우 적으므로 무시된다.

### 10.3.2 피폭방사선량 평가

발전소의 해체과정에서 발생하는 기체상 및 액체상 방사성배출물은 대기 또는 해양을 통하여 소위로 이동·확산된 후, 10.3.1절에서 기술한 다양한 피폭경로를 거쳐 최종적으로 주변주민에게 피폭을 일으키게 된다.

주민에 대한 피폭방사선량 평가는 해체과정에서 발생하는 방사성유출물에 의해 제한구역 경계에 위치한 개인이 받게 될 전신, 갑상선 및 기타 주요기관의 연간 최대 개인피폭선량과 비상계획구역 내의 집단피폭선량을 계산한다.

개인선량(individual dose)에서 각 연령 군에 대해 평균적인 생리적 신진대사 등을 고려하고, 생활습성(식품섭취량, 활동시간 등)은 피폭영향이 최대가 될 수 있는 가상적 피폭자에 대한 선량을 고려한다. 개인선량은 각 피폭경로에 대해 독립적으로 피폭영향이 최대가 되는 생활습성을 고려하여 계산하고 이를 합산한다.

집단선량(collective dose)의 평가는 비상계획구역 내에 거주하는 주민을 대상으로 한다. 집단선량의 계산은 개인선량과 비교하여 각 피폭경로에 대한 계산 모델식은 동일하나 변수 값의 적용에 있어 차이를 나타낸다.

발전소해체 과정에서는 동일부지 내에 운영 중인 다른 발전소의 영향을 종합하여 다수기영향을 평가한다. 이에 대한 평가는 원자력안전위원회 고시 “방사선방호 등에 관한 기

준”의 동일부지 내에 다수의 원자력관계시설을 운영하는 경우에 적용할 기준에 따라 작성된 “주민피폭선량 계산지침(Offsite Dose Calculation Manual: ODCM)”에서 기술된 방법으로 수행한다(참고문헌 5, 6).

#### 10.3.2.1 기제상 배출물에 의한 방사선피폭

기제상 배출물에 의한 피폭은 크게 개인선량 평가와 집단선량 평가로 나누어 수행한다. 각각의 평가에서는 오염 공기에 의한 외부피폭, 오염 지표면에 의한 외부피폭, 흡입에 의한 내부피폭 및 식품섭취에 의한 내부피폭 등의 네 가지 피폭경로에 대하여 평가하고 합산한다. 각 피폭경로에 대한 인체 영향을 정량화하기 위한 수학적 모델 및 입력 값 등은 기사용 모델 및 입력 값을 이용하거나, 필요시 개발하여 적용한다.

#### 10.3.2.2 액제상 배출물에 의한 방사선피폭

액제상 배출물에 의한 피폭은 크게 개인선량 평가 및 집단선량 평가로 나누어 수행한다. 각각의 평가에서는 해상활동(해변활동, 수영 또는 수상활동 등)에 의한 외부피폭과 수산물 섭취에 의한 내부피폭 등의 피폭경로 등에 대하여 평가하고 합산한다. 각 피폭경로에 대한 인체 영향을 정량화하기 위한 수학적 모델 및 입력 값 등은 기사용 모델 및 입력 값을 이용하거나 필요시 개발하여 적용한다.

#### 10.3.2.3 발전소 시설 및 해체관련 시설로부터의 직접피폭

발전소 시설 및 해체관련 시설로부터 방사되는 감마선이 인근주민 피폭의 원인이 될 수 있다. 그러나 발전소 시설 및 해체관련 시설로부터 직접 피폭되는 지역은 극히 제한되어 있으므로, 여기서는 제한구역경계에서의 최대 개인선량제한치에만 고려하고 비상제한구역 내의 주민집단선량 제한치에는 무시한다.

### 10.4 참고문헌

1. “원자력이용시설 주변의 방사선환경조사 및 방사선환경영향평가에 관한 규정”, 원자력안전위원회,
2. “원자력발전소 주변 환경방사선조사계획”, 한수원(주).
3. Regulatory Guide 1.109, “Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR Part 50, Appendix I”, U.S.NRC, 2001.
4. KINS/RG-N02.02, “주민 피폭선량 평가”, 한국원자력안전기술원.

5. “방사선방호 등에 관한 기준”, 원자력안전위원회.
6. “주민피폭선량 계산지침(ODCM)(서울원자력본부)”, 한수원(주).

## 11 화재방호

### 11.1 개요

해체 단계에서 발전소는 노심과 사용후핵연료저장조 내 사용후핵연료가 모두 제거된 상태이므로 운전 중 발전소에 비해 화재에 의한 종사자 및 환경에 미치는 영향은 감소할 것이다. 그러나 출력 운전 기간에 비해 용접과 같은 점화원을 동반하는 작업이 다수 진행되며, 임시 사용 목적의 가연성 물질의 반입이 증가하게 되어 화재 발생 가능성은 증가할 수 있다.

발전소 해체 과정 중 화재 및 폭발의 가능성과 그로 인한 영향을 최소화하여 방사성물질 유출방지능력에 원저한 지장을 초래하지 아니함을 화재방호 목표로 한다. 또한, 화재 위험에 대한 적절한 수준의 심층방어를 확보하기 위하여 화재 발생을 미연에 방지하고, 화재가 발생하더라도 화재탐지 및 소화계통 운영을 통해 신속하게 감지 및 진압하여 피해를 경감시키며, 진압되지 않은 화재의 경우 확산을 방지하여 방사성물질 방출에 의한 종사자 및 환경에 미치는 위험을 최소화한다. 이를 위해 미국 원자력규제위원회의 규제지침서 1.191을 참조하여 화재방호계통 및 설비의 기능을 유지한다(참고문헌 1~4).

또한, 해체 과정 중에 외부환경으로 위험물질이나 방사성물질의 잠재적 방출과 화재위험의 변화에 대응하도록 적절한 화재방호계획을 수립한다(참고문헌 2).

국내 관련 법령에 따라 원자력시설과 관련된 화재방호계획은 화재위험도분석과 화재방호운영계획으로 구성되며, 해체 원전의 화재방호계획은 해체 원전의 특이성을 반영하여 작성 및 운영한다(참고문헌 4, 5).

### 11.2 화재위험도분석

해체 단계에서 화재가 발생한 경우 환경으로의 방사성물질 누출가능성이 최소화됨을 입증하기 위하여 각 방화구역별 가상 화재에 대한 위험성을 검토하고 화재예방 및 화재방호 조치가 적합한지를 평가하기 위한 정량적 또는 정성적인 위험도 분석을 수행한다. 해체 원전의 화재위험도분석은 원자로의 안전정지능력 검토가 포함되지 않기 때문에 좀 더 단순화하여 작성될 수 있다(참고문헌 5).

### 11.3 화재방호운영계획

해체 단계의 원전은 정상운전 원전 대비 다양한 가연성 물질의 반출입이 빈번하게 발생하고 여러 화재 유발 작업이 동시에 이루어 질 수 있다. 또한, 작성된 화재방호운영계획은 수시로 변화하는 해체 환경을 적절히 반영하여야 한다(참고문헌 4).

### 11.3.1 화재 예방관리

해체 단계에서 용접, 열적 절단 및 연마 등과 같은 화재유발 가능 작업을 적절히 통제할 수 있도록 작업허가제도, 화재감시인제도 등의 화재 예방관리 활동을 화재방호운영계획에 반영한다. 또한, 해체작업으로 인한 가연성 및 인화성물질의 취급, 사용 및 저장을 제한하고 통제할 수 있는 관리방안을 수립한다.

### 11.3.2 화재감지 및 진압

해체기간 중에는 상주지역의 화재를 감지하고 소방대와 종사자에게 상황을 통보할 수 있는 적절한 화재감지수단을 유지한다. 또한, 화재발생으로 인하여 외부환경으로 위험물질이나 방사성물질의 잠재적 방출 및 화재위험의 변화에 대응하도록 소화기, 연결송수관 및 소화전, 자동화재진압설비 및 소화용수 공급설비 등을 유지한다. 이러한 화재진압설비의 설치 및 유지 필요성은 해체 진행 단계에 따라 평가·검토한다.

다만, 이러한 화재감지 및 진압제동에 대한 보수작업을 실시하거나 성능저하 가능성이 있는 경우, 해체 원전의 특성으로 인하여 부분적·전체적으로 사용이 불가능할 경우 보수작업 또는 시정조치가 완료되는 시점까지 화재감시인 제도를 운영하거나, 임시 내화구조물이나 보조 소화설비를 설치하는 등의 보완조치를 마련하고 이행할 수 있는 절차가 수립되어 반영되어야 한다.

### 11.3.3 소방대

소방대는 초동소방대와 자위소방대로 구성되어 있으며 새울원자력본부의 자위소방대, 자체소방대 및 외부소방대와 협조하여 화재에 대응한다. 초동소방대는 화재초기대응 임무를 수행하며 소방대 운영은 화재방호운영계획서 및 화재대응 절차에 따라 운영한다.

### 11.3.4 화재 확산 방지

화재의 확산을 방지하기 위해 내화구조물과 방화지역 경계는 발전소의 해체로 인한 변경사항을 반영하여 화재위험도분석 등으로 평가한다. 필요한 경우 다음 기능을 제공하기 위해 내화구조물과 방화지역 경계를 유지한다.

- 가. 화재위험의 격리
- 나. 화재에 대한 억제, 진압 및 제어능력의 지원
- 다. 종사자의 대피통로 확보 및 유지
- 라. 방사성 오염물질 확산 최소화

### 11.3.5 인명안전

해체기간 중에 인명안전을 위하여 대피경로를 설정하고 유지한다. 발전소의 배치 변경 시 비상조명과 대피경로 요건을 고려한다.

#### 11.4 참고문헌

1. Regulatory Guide 1.191, "Fire Protection Program for Nuclear Power Plants during Decommissioning and Permanent Shutdown", U.S.NRC, 2001.
2. NFPA 805, "Performance-Based Standard for Fire Protection for Light Water Reactor Electric Generating Plants", 2015.
3. "원자로서설 등의 기술기준에 관한 규칙", 원자력안전위원회.
4. "화재방호계획의 수립 및 이행에 관한 규정", 원자력안전위원회.
5. "화재위험도분석에 관한 기술기준", 원자력안전위원회.



## 12 참고문헌

### 12.1 개요

각 장에서 인용된 참고문헌이 각 장 별로 기재되어 있다. 이 장에서는 이 예비해체계획서를 작성함에 있어 인용된 모든 참고문헌을 기재한다.

### 12.2 참고문헌

1. 원자력 안전법.
2. 원자력 안전법 시행령.
3. 원자력 안전법 시행규칙.
4. “원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙”, 원자력안전위원회.
5. “원자력이용시설 해체계획서 등의 작성에 관한 규정”, 원자력안전위원회.
6. “신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서”, 한수원(주).
7. “원자력이용시설의 사고·고장 발생시 보고·공개 규정”, 원자력안전위원회.
8. Regulatory Guide 1.70, “Standard Format and Content of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants (LWR Edition)”, (Revision 3), USNRC, 1978.
9. 방사성 폐기물 관리법.
10. 방사성 폐기물 관리법 시행령.
11. 주식회사 등의 외부감사에 관한 법률.
12. “방사성폐기물 관리비용 및 사용후핵연료관리부담금 등의 산정기준에 관한 규정”, 산업통상자원부.
13. “중·저준위 방사성폐기물 처분시설의 유치지역지원에 관한 특별법 시행령”, 산업통상자원부.
14. “중·저준위 방사성폐기물 처분시설의 유치지역지원에 관한 특별법 시행령”, 산업통상자원부.
15. “신고리원자력 5,6호기 방사선환경영향평가서”, 한수원(주).

16. "신고리 3,4호기 최종안전성분석 보고서", 한수원(주).
17. "신고리 3,4호기 확률론적 지진재해도 분석 보고서", 한수원(주).
18. "신고리 3,4호기 지진안전성 평가 보고서", 한수원(주).
19. "신고리 3,4호기 포항지진 안전성평가 보고서", 한수원(주).
20. "Seismic Input Motion for KNGR, KNGR-WOD-E069", KEPRI
21. NUREG-1575, "Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual (MARSSIM)", (Revision 1), U.S.NRC, 2000.
22. Eric W. Abelquist, "Decommissioning Health Physics, a Handbook for MARSSIM Users", (2nd Ed.), CRC Press, 2014.
23. "원자력이용시설 해체 완료 후 부지 및 간존건물의 재이용을 위한 기준", 원자력안전위원회.
24. Regulatory Guide 1.184, "Decommissioning of Nuclear Power Reactors", (Revision 1), U.S.NRC, 2013.
25. 원자력진흥위원회 보고(관계부처 합동), "안전하고 경제적인 발전소해체와 발전소해체 산업 육성을 위한 정책방향", 산업통상자원부.
26. "중장기 발전소해체 대책에 관한 연구", 한수원(주).
27. "방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정", 원자력안전위원회.
28. Safety Standards Series No. GSR Part 6 "Decommissioning of Facilities", IAEA, 2014.
29. Safety Reports Series No. 50, "Decommissioning Strategies for Facilities Using Radioactive Material", IAEA, 2007.
30. Safety Standards Series No. SSR-2/1, "Safety of Nuclear Power Plants: Design", IAEA, 2016.
31. "방사선방호 등에 관한 기준", 원자력안전위원회.

32. Regulatory Guide 4.21, "Minimization of contamination and radioactive waste generation : Life-cycle planning", U.S.NRC, 2008.
33. Regulatory Guide 4.22, "Decommissioning planning during operations", U.S.NRC, 2012.
34. Technical Report Series No. 411, "Record Keeping for the Decommissioning of Nuclear Facilities : Guidelines and Experience", IAEA, 2002.
35. "원전건설 표준사업관리 절차서(자료관리-01)", 한수원(주).
36. "신고리 5,6호기 운전 에 관한 품질보증계획서", 한수원(주).
37. Safety Reports Series No. 77, "Safety Assessment for Decommissioning", IAEA, 2013.
38. TR-1013511, "Connecticut Yankee Decommissioning Experience Report", EPRI, 2006.
39. Safety Reports Series No. 45, "Standard Format and Content for Safety Related Decommissioning Documents", IAEA, 2005.
40. KINS/RG-N13.04, "방사선방호 최적화 이행", 한국원자력안전기술원.
41. Regulatory Guide 8.8, "Information Relevant to Ensuring that Occupational Radiation Exposures at Nuclear Power Stations will be as low as is Reasonably Achievable" (Revision 3), U.S. NRC, 1978.
42. Regulatory Guide 8.10, "Operating Philosophy for Maintaining Occupational Radiation Exposures as Low as is Reasonably Achievable" (Revision 1-R), U.S.NRC, 1977.
43. TR-112352, "Decontamination Handbook", EPRI, 1999.
44. "Dismantling Techniques, Decontamination Techniques, Dissemination of Best Practice, Experience and Know-how", OECD/NEA, 2009.
45. TR-3002005252, "Review of Waste Management Best Practices During Nuclear Plant Decommissioning", EPRI, 2015.
46. "중·저준위 방사성폐기물 관리" 표준절차서, 한수원(주)

47. TR-1011733, "Decommissioning San Onofre Nuclear Generating Station Unit 1 (SONGS-1), Reactor Vessel Internals Segmentation", EPRI, 2005.
48. "The Decommissioning Handbook", ASME, 2004.
49. "원자력이용시설 주변의 방사선 환경조사 및 방사선환경영향평가에 관한 규정", 원자력안전위원회.
50. "원자력발전소 주변 환경 방사선조사 계획", 한수원(주).
51. Regulatory Guide 1.109, "Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR Part 50, Appendix I", U.S.NRC, 2001.
52. KINS/RG-N02.02, "주민 피폭선량 평가", 한국원자력안전기술원.
53. "주민피폭선량 계산지침(ODCM)(고리원자력본부)", 한수원(주).
54. Regulatory Guide 1.191, "Fire Protection Program for Nuclear Power Plants during Decommissioning and Permanent Shutdown", U.S.NRC, 2001.
55. NFPA 805, "Performance-Based Standard for Fire Protection for Light Water Reactor Electric Generating Plants", 2015.
56. "화재방호계획의 수립 및 이행에 관한 규정", 원자력안전위원회.
57. "화재위험도분석에 관한 기술기준", 원자력안전위원회.

## 부록 1

### 용어해설

#### 부록 1.1 개요

이 부록은 신고리 5,6호기의 예비해체계획서에서 사용하는 용어의 해설을 기술한다.

#### 부록 1.2 용어해설

##### ○ ALARA

방사선방호의 최적화로써 “모든 피폭은 사회적 경제적 요인을 고려하면서 합리적으로 달성 가능한 한 낮게 억제해야 한다.”는 기본정신에 의해 피폭방사선량을 낮추는 것을 의미하며, As Low As Reasonably Achievable의 약어

##### ○ 개인선량

사람(개인)의 신체 내·외부에 피폭 받는 방사선량으로, 진료를 위해 피폭되는 방사선량과 자연방사선량은 제외

##### ○ 개인선량계

사람의 신체 외부에 피폭되는 방사선량을 측정할 수 있는 장치

##### ○ 점출목표치

잔류방사능 조사를 수행하기 전에 설정하는 점출목표 방사능 농도를 말함

##### ○ 계통제엄

발전소 영구정지 직후, 기존 발전소의 운전체계를 최대한 활용하여 계통 전반의 선량률을 낮추고자 시행되는 공정임

##### ○ 기기제엄

계통제엄에 의해 선량률이 낮혀진 기기나 부품, 배관 등을 절단한 후 자체처분이 가능한 수준까지 선량률을 추가적으로 낮추기 위한 공정

##### ○ 내부피폭

사람의 신체 내부에 유입되어 체내에 존재하는 방사선탄종으로부터 방출되는 방사선에 의한 피폭

##### ○ 대표인

## 신고리 5,6호기 예비해제계획서

안전성평가가 수행될 기간과 환경을 감안하여, 해제 후 부지 등의 잔류방사능에 의해 방사선영향이 가장 클 것이라 예상되는 대표성을 갖는 개인을 탈함

### ○ 물가반영기간

초기충당금 산정시점에서 원자력발전소를 해제하는 시점까지의 기간

### ○ 물가상승률

물가지수의 변화를 %로 나타낸 것

### ○ 방사선관리구역

외부의 방사선량률, 공기 중의 방사능물질의 농도 또는 방사성물질에 따라 오염된 물질의 표면의 오염도가 원자력안전위원회 규칙으로 정하는 값을 초과할 우려가 있는 곳으로써 방사선의 안전관리를 위하여 사람의 출입을 관리하고 출입자에 대하여 방사선의 장해를 방지하기 위한 조치가 필요한 구역

### ○ 방사선방호

전리방사선에 기인한 장해 및 물질 손상에 대한 보호, 인간과 그 환경을 방사선 피폭이나 방사성물질에 의한 오염으로부터 방호하고 방사선 장해의 발생을 방지하는 것

### ○ (방사선)위험도

방사선피폭에 따른 인체의 부영양(암, 유전영양 등)에 대한 위험확률( $10^{-6}/Sv$ )을 정량화하여 나타낸 것. 일반적으로 전 단계의 값인 유효선량( $Sv$ )으로 나타냄

### ○ 방사선작업종사자

원자력이용시설의 운전·이용 또는 보전이나 방사성물질 등의 사용·취급·저장·보관·처리·배출·처분·운반과 그 밖의 관리 또는 오염제거 등 방사선에 피폭하거나 그 우려가 있는 업무에 종사하는 사람

### ○ 방사선작업허가서

방사선 작업 형태, 방사선준위 및 작업장 여건 등에 따라 일반 방사선작업허가서(ERWP), 작업별 방사선작업허가서(RRWP), 특수 방사선작업허가서(SRWP)로 구분

### ○ 방사선화학 특성조사

해제대상 시설과 부지에 존재하는 방사성물질의 종류, 양, 분포 등을 조사하는 것

### ○ 방사성물질

핵연료물질·사용후핵연료·방사성동위원소 및 원자핵분열생성물

## 신고리 5,6호기 예비해체계획서

### ○ 방사성폐기물

방사성물질 또는 그에 따라 오염된 물질(방사성물질 등)로서 폐기의 대상이 되는 물질(원자력안전법 제35조제4항에 따라 폐기하기로 결정된 사용후핵연료 포함)

### ○ 방사성핵종

방사능을 가지는 동위원소를 방사성핵종이라고 하며, 방사성동위원라고도 함

### ○ 배출물

방사성물질 또는 그로 인하여 오염된 물질(이하 방사성물질 등)로서 원자력이용 시설에서 정상운전 중에 발생한 액체 또는 기체 상태의 방사성물질 등

### ○ 부식생성물

기기나 배관의 부식으로 생성된 부식생성물이 원자로냉각재를 통해 원자로심에 유입된 후 중성자에 조사되어 방사성물질이 된 상태

### ○ 비정상 사건

해체과정 동안 한번 이상 발생할 것으로 예상되는 것으로써, 정상 해체활동은 아니지만 해체활동과 작업에 심각한 영향을 주어 해체활동과 작업이 계획대로 진행되지 아니하는 상태

### ○ 사용후핵연료

원자로의 연료나 사용된 핵연료물질이나, 그 밖의 방법으로 핵분열시킨 핵연료물질

### ○ (외폭방사)선량한도

외부에 외폭하는 방사선량과 내부에 외폭하는 방사선량을 합한 외폭방사선량의 상한 값. 방사선작업종사자에 대해서 유효선량으로 연간 50 mSv를 넘지 않는 범위에서 5년간 100 mSv, 등가선량으로 눈 수정체에 대하여 연간 150 mSv, 손·발 및 피부에 대하여 연간 500 mSv임. 일반인에 대해서 연간 유효선량으로 1 mSv, 등가선량으로 눈 수정체에 대하여 연간 15 mSv, 손·발 및 피부에 대하여 연간 50 mSv임

### ○ 설계수명

원자력발전소의 설계 시 설정한 목표 기간으로써 원자력발전소의 안전성과 성능 기준을 만족하면서 운전 가능한 기간

### ○ 영구정지

운영허가들 받은 발전용원자로 및 관계시설의 운영을 영구적으로 정지하는 것

### ○ 예비해체계획서

## 신고리 5,6호기 예비해체계획서

### 원자력이용시설 건설·운영 단계의 해체계획서

#### ○ 오염

베타선·감마선 및 저독성 알파방출체의 경우 제곱센티미터 당 0.4베크렐, 기타 알파방출체의 경우 제곱센티미터 당 0.04베크렐을 초과하는 방사성물질이 물질의 표면에 존재하는 것

#### ○ 외부피폭

사람의 신체외부에 있는 방사선원으로부터 방출된 방사선에 의한 피폭

#### ○ 위험도

인간의 건강 및 환경에 위험을 줄 가능성이 있는 물질, 활동 또는 프로세스의 본질적인 특성

#### ○ 유도공기중농도

방사선작업종사자가 1년 동안 흡입할 경우 방사능 섭취량이 연간섭취한도(선량한도)에 이를 것으로 보이는 공기 중의 농도로써 위원회가 정하는 값

#### ○ 이자율

기간 당 지급되는 이자를 원금의 비율로써 표시한 것

#### ○ 자체처분

방사성폐기물 중에서 핵종별 농도가 자체처분 허용농도 미만임이 확인된 것을 원자력안전법의 적용대상에서 제외하여 방사성폐기물이 아닌 폐기물로 소각, 매립 또는 재활용 등의 방법으로 관리하는 것

#### ○ 잔류방사능

원자력이용시설 해체 후 부지 및 잔존건물에 잔류하는 방사능을 말하며, 자연방사능은 포함하지 않음

#### ○ 잔류방사능 유도농도

해체 후 부지 등의 잔류방사능으로 인하여 대표인이 받을 수 있는 최대피폭방사선량에 상응하는 방사능농도를 말함

#### ○ 재이용

승인된 해체계획서에 따라 해체공사를 완료한 자가 원자력안전법에 따라 해체 후 부지 등을 각종 제한으로부터 해제하여 다른 용도로 다시 이용하는 것



## 신고리 5,6호기 예비해체계획서

- 저장  
방사성폐기물 처리·처분방법의 하나로써 일정한 장소에 저장해 두는 것
- 절단  
해제공정 중 구조물(원자로, 증기발생기 등)을 해체하기 위하여 사용되는 방법으로 기계적 절단, 열적 절단 등을 말함
- 제염  
사람이나 설비가 방사성물질로 오염된 경우 이를 제거하는 것
- 제염 계수  
오염의 원인이 되어 있는 방사성물질이 제염처리에 의해 제거되는 정도를 표시하는 지표로 동상 제염처리 전의 방사능농도를 처리 후의 방사능농도로 나눈 값을 나타냄  
( $DF = \text{제염 전 방사능농도} / \text{제염 후 방사능농도}$ )
- (주변)주민  
원자력안전법 제103조 제1항에 따른 의견수렴 대상주민으로서 해당 시설의 비상계획구역내의 주민 및 비상계획구역 경계를 포함하는 읍·면·동의 주민을 말함
- 주 제어실  
발전소 운전제어를 위한 핵심시설이 설치된 운전원 상주 장소로서 발전팀장의 직접적인 통제 하에 있는 지역
- 즉시해제  
원자력이용시설의 영구정지 이후 가능한 한 빨리 방사성물질에 오염된 해당 시설의 구조물·폐동 및 기기과 부지를 철거하거나 방사성오염을 제거해서 원자력안전법의 적용대상에서 제외시키는 해체전략
- 지연해제  
원자력이용시설의 영구정지 이후 해당시설을 일정기간 안전하게 유지 및 관리한 다음 방사성물질에 오염된 해당시설과 부지를 철거하거나 방사성오염을 제거해서 원자력안전법의 적용대상에서 제외시키는 해체전략
- 집단선량  
일반적으로 집단을 대상으로 한 실험평가를 위해 평가대상이 되는 집단에서의 1인당 개인피폭선량을 모두 가산한 것이며  $man\cdot Sv$ 의 단위로 표시함
- 처리  
방사성폐기물의 저장·처분·재활용 등을 위하여 방사성 폐기물을 물리적·화학적

## 신고리 5,6호기 예비해제계획서

방법으로 다루는 것

### ○ 처분

방사성폐기물을 인간의 생활권으로부터 영구히 격리시키는 것

### ○ 초기충당금

초기충당금 산정시점에서 원자력발전소를 해제하는데 소요되는 추정비용을 산정하고, 여기에 물가상승률을 반영하여 철거 예상시점에서의 추정비용을 산정한 후, 이를 할인율로 할인하여 현재가치로 환산한 금액

### ○ 최소점출가능농도

방사능계측기, 시료량, 회수율, 계측시간 등의 계측조건에 따라 정해지는 점출 가능한 최소 방사능농도를 말함

### ○ 최종해제계획서

원자력이용시설의 해제승인 신청을 위한 해제계획서

### ○ 추정비용

해당 원자력발전소를 해제하는데 쓰일 해제비용을 추정한 비용

### ○ 충당부채

해당 원자력발전소를 해제하는데 쓰일 비용을 주식회사 등의 외부감사에 관한 법 제5조에 따른 회계처리기준에 따라 부채로 책정한 금액

### ○ 크러드(CRUD)

경수로 1차(원자로) 냉각수 중에서 배관내동 금속재료의 부식에 의해 생기는 부식생성물 중 물에 녹지 않고 분산되어 있는 금속산화물의 총칭이며 방사화되어 있으므로 1차(원자로) 냉각수계의 방사능 축적의 원인이 되며, Chalk River Unidentified Deposit의 약어

### ○ 피폭경로

정상적인 배출 또는 방사선사고 등에 의해 방사성물질이 환경으로 방출된 경우 직접 또는 간접으로 여러 가지 경로를 거쳐 인체에 피폭되는 경로

### ○ 피폭방사선량

사람의 신체의 외부 또는 내부에 피폭받는 방사선량으로, 전표를 위하여 피폭되는 방사선량과 인위적으로 증가시키지 아니하는 자연방사선량은 제외함. 동상 개인선량과 집단선량으로 구분

## 신고리 5,6호기 예비해제계획서

### ○ 필수기기

발전소 운영경험과 해외발전소 사례 등을 감안하여 발전사업자 스스로 기능적 중요도 결정(FID)에 의해 안전성영향등급(A등급)으로 관리가 필요하다고 판단한 기기나 품목

### ○ 할인기간

추정비용, 물가상승률, 물가반영기간, 할인율, 할인기간 및 이자율은 산업통상자원부 장관이 정하는데, 고시의 시행연도부터 1년이 지날 때마다 1년씩 뺌 기간

### ○ 할인율

산업통상자원부 장관이 정하여 고시하는 시점(기준시점) 이후 연도별로 사용후핵연료관리사업(사용후핵연료에 대한 법 제9조 각 호의 관리사업을 말한다)에 소요될 것으로 예상되는 비용을 기준시점의 현재가치로 각각 환산(명목할인율로 해당 기간만큼 할인하여 계산한다)하여 합산한 총액을 말함

### ○ 해당 연도 총당금

초기총당금에 전년도 말까지 누계 이자를 합한 것에 이자율을 곱하여 산정한 금액

### ○ 해제

원자력안전법 제20조제1항(발전용원자로 및 관계시설의 운영)에 따라 허가를 받은 자가 원자력안전법에 따라 허가받은 시설의 운영을 영구적으로 정지한 후, 해당 시설과 부지를 철거하거나 방사성오염을 제거함으로써 원자력안전법의 적용대상에서 배제하기 위한 모든 활동

### ○ 해제비용

해당 원자력발전소를 해제하는데 쓰이는 비용

### ○ 해제용어성 설계

ALARA 원칙에 부합하여 해제를 쉽게 하도록 고려된 설계특성이나 원자력이용시설의 구조물, 계통 및 부품에서 방사성물질의 누설 가능성을 최소화하기 위해 적용한 설계특성, 원자력이용시설에서 채취 및 통제되지 않은 상태에서 또는 배수구 및 배기구 이외의 곳에서 방사성물질이 환경으로 방출로 인한 방사성오염을 최소화하고 운영 중 방사성폐기물의 발생을 최소화하기 위해 적용한 설계특성 및 원자력이용시설 해제과정에서 종사자와 접근성과 기기철거를 위한 시설배치의 최적화를 입증할 수 있는 설계특성을 포함

### ○ 해제활동

제염, 절단, 철거 및 방사성폐기물 처리 작업 등 발전소해제를 실행하고 완료하기 위한 종사자의 활동

## 신고리 5,6호기 예비해체계획서

### ○ 화재

사람의 의도에 반하거나 고의에 의해 발생하는 연소 현상으로써 소화시설 등을 사용하여 소화할 필요가 있거나 또는 화학적인 폭발현상

### ○ 혼합폐기물

해체과정 중 발생이 예상되는 방사성물질과 비방사성위해물질을 함께 포함한 폐기물