

신고리 5,6호기

# 사 고 관 리 계 획 서



한국수력원자력주

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

# 신고리 원자력발전소 5,6호기 사 고 관 리 계 획 서



## 신고리 5,6호기 사고관리계획서 1차 개정목록

장/절	페이지	개정사유(질의번호)	비고
3장 목차		목차 일괄 개정	
3.3.1	3.3-2	DR-AMP-3.3- I -01-1A-M_붙임1(1/12, 2/12)	
3.3.2	3.3-3	DR-AMP-3.3- I -01-1A-M_붙임1(2/12, 3/12, 4/12)	
3.3.3	3.3-3, 4	DR-AMP-3.3- I -01-1A-M_붙임1(3/12, 4/12)	
3.3.4	3.3-4	DR-AMP-3.3- I -01-1A-M_붙임1(3/12, 4/12, 5/12)	
3.3.5	3.3-5	DR-AMP-3.3- I -01-1A-M_붙임1(5/12, 6/12)	
3.3.7	3.3-6	DR-AMP-3.3- I -01-1A-M_붙임1(7/12)	
3.3.8	3.3-6, 7	DR-AMP-3.3- I -01-1A-M_붙임1(7/12)	
3.3.9	3.3-7	DR-AMP-3.3- I -01-1A-M_붙임1(8/12, 9/12)	
3.3.10	3.3-7, 8	DR-AMP-3.3- I -01-1A-M_붙임1(8/12, 9/12)	
3.3.11	3.3-8	DR-AMP-3.3- I -01-1A-M_붙임1(10/12, 11/12)	
3.3.12	3.3-8, 9	DR-AMP-3.3- I -01-1A-M_붙임1(10/12, 12/12)	
4장 목차		목차 일괄 개정	
4.5	4.5-2	DR-AMP-4.5.3- I -01-1A-M_붙임1(1/1) DR-AMP-4.5- I -01-2A-C-M_붙임1(26/26)	
4.5.1.1.10	4.5-9, 10	DR-AMP-4.5- I -01-2A-C-M_붙임1(1/26, 2/26)	
4.5.1.2.1.2	4.5-11	DR-AMP-4.5- I -01-2A-C-M_붙임1(3/26)	
4.5.1.2.1.7	4.5-12, 13	DR-AMP-4.5- I -01-2A-C-M_붙임1(4/26, 5/26)	
4.5.1.2.2.1	4.5-13	DR-AMP-4.5- I -01-2A-C-M_붙임1(6/26, 7/26)	
4.5.1.2.3.5	4.5-16	DR-AMP-4.5- I -01-2A-C-M_붙임1(8/26, 9/26)	
4.5.2.7	4.5-20~22	DR-AMP-4.5- I -01-2A-C-M_붙임1(10/26~13/26)	
4.5.3.11	4.5-25, 26	DR-AMP-4.5- I -01-2A-C-M_붙임1(14/26, 15/26)	추가
4.5.4.1.7.3	4.5-29	DR-AMP-4.5- I -01-2A-C-M_붙임1(16/26, 17/26)	추가
4.5.4.2.1.1	4.5-30	DR-AMP-4.5- I -01-2A-C-M_붙임1(18/26, 19/26)	추가
4.5.4.2.2.1	4.5-30	DR-AMP-4.5- I -01-2A-C-M_붙임1(18/26, 20/26)	추가
4.5.4.2.3.1	4.5-31	DR-AMP-4.5- I -01-2A-C-M_붙임1(18/26, 21/26)	추가
4.5.5.7	4.5-34~37	DR-AMP-4.5- I -01-2A-C-M_붙임1(22/26~25/26)	
4.5.6	4.5-38	DR-AMP-4.5.3- I -01-1A-M_붙임1(1/1) DR-AMP-4.5- I -01-2A-C-M_붙임1(26/26)	

# 신고리 5,6호기 사고관리계획서

## 제 1 장 - 사고관리의 개요

### 목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
요 약		xxiii
1	<u>사고관리의 개요</u>	1.1-1
1.1	<u>사고관리의 범위</u>	1.1-1
1.1.1	설계기준사고	1.1-1
1.1.2	다중고장에 의한 사고	1.1-4
1.1.3	설계기준으로 고려한 외적요인을 초과하는 자연재해 및 인위적재해	1.1-9
1.1.4	중대사고	1.1-12
1.1.5	참고문헌	1.1-14
1.2	<u>사고관리에 관한 설비</u>	1.2-1
1.2.1	중대사고 예방을 위한 고정형 설비	1.2-1
1.2.2	중대사고 완화를 위한 고정형 설비	1.2-17
1.2.3	중대사고 예방 및 완화를 위한 이동형 설비	1.2-20



## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 제 1 장 - 사고관리의 개요

#### 표 목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
표 1.2-1	설계기준사고 완화를 위해 필요한 안전기능을 수행하는 설비	1.2-26
표 1.2-2	다중고장사고 완화기능 수행을 위한 계통 및 기기 목록	1.2-27
표 1.2-3	설계기준초과 자연재해 완화를 위해 필요한 안전기능을 수행하는 설비	1.2-32
표 1.2-4	중대사고 완화를 위해 필요한 안전기능을 수행하는 설비	1.2-34

# 신고리 5,6호기 사고관리계획서

## 제 1 장 - 사고관리의 개요

### 그 립 목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
그림 1.2-1	서울본부 이동형설비 이동경로	1.2-36

# 신고리 5,6호기 사고관리계획서

## 제 2 장 - 사고관리 전략

### 목 차(2 중 1)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
2	<u>사고관리 전략</u>	2.1-1
2.1	<u>사고관리 목표의 설정</u>	2.1-1
2.1.1	설계기준사고 단계	2.1-1
2.1.2	중대사고 예방 단계	2.1-2
2.1.3	중대사고 완화 단계	2.1-4
2.1.4	참고문헌	2.1-5
2.2	<u>필수 안전기능의 선정</u>	2.2-1
2.2.1	비상운전절차서 관련 필수 안전기능	2.2-1
2.2.2	극한재해완화지침서 관련 필수 안전기능	2.2-3
2.2.3	중대사고관리지침서 관련 필수 안전기능	2.2-6
2.3	<u>사고관리 기본전략</u>	2.3-1
2.3.1	설계기준사고 및 다중고장사고 관리 기본전략	2.3-1
2.3.2	극한재해 관리 기본전략	2.3-8
2.3.3	중대사고 관리 기본전략	2.3-13
2.3.4	참고문헌	2.3-17

# 신고리 5,6호기 사고관리계획서

## 제 2 장 - 사고관리 전략

### 목 차(2 중 2)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
2.4	<u>사고관리 절차서 및 지침서 구성체계</u>	2.4-1
2.4.1	비상운전절차서	2.4-3
2.4.2	극한재해완화지침서	2.4-6
2.4.3	중대사고관리지침서	2.4-12
2.4.4	참고문헌	2.4-21
2.5	<u>사고관리 절차서 및 지침서 유지관리</u>	2.5-1
2.5.1	비상운전절차서	2.5-1
2.5.2	극한재해완화지침서	2.5-2
2.5.3	중대사고관리지침서	2.5-3

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 제 2 장 - 사고관리 전략

#### 표 목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
표 2.1-1	설계기준사고(가상사고)에 대한 사고관리 목표	2.1-6

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 제 2 장 - 사고관리 전략

#### 그림 목차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
그림 2.4-1	사고관리 절차서 및 지침서 연계 관계	2.4-2
그림 2.4-2	비상운전절차서 체계	2.4-5
그림 2.4-3	다중방어운영지침서 체계	2.4-9
그림 2.4-4	광역손상완화지침서 체계	2.4-10

제 3 장 - 사고관리 이행체계

목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
3	<u>사고관리 이행체계</u>	3.1-1
3.1	<u>사고관리 조직체계 및 지휘통제체계</u>	3.1-1
3.1.1	조직체계 및 임무	3.1-1
3.1.2	사고대응조치	3.1-5
3.1.3	각 사고별 대응체계	3.1-8
3.2	<u>사고관리 설비의 시험·감시·검사 및 보수계획</u>	3.2-1
3.2.1	중대사고 예방을 위한 고정형 설비	3.2-2
3.2.2	중대사고 완화를 위한 고정형 설비	3.2-3
3.2.3	중대사고 예방 및 완화를 위한 이동형 설비	3.2-4
3.2.4	참고문헌	3.2-5
3.3	<u>사고관리 인간공학 프로그램 이행</u>	3.3-1
3.3.1	인간공학 계획	3.3-1
3.3.2	운전경험 검토	3.3-2
3.3.3	기능요건분석 및 기능할당	3.3-3
3.3.4	직무분석	3.3-4



<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
3.3.5	사고관리 요원의 구성 및 자격	3.3-5
3.3.6	중요 인적행위 관리	3.3-5
3.3.7	인간-시스템연계 설계	3.3-6
3.3.8	절차서 및 지침서 개발	3.3-6
3.3.9	훈련프로그램 개발	3.3-7
3.3.10	인간공학 확인 및 검증	3.3-7
3.3.11	설계이행	3.3-8
3.3.12	인적수행도 감시	3.3-8
3.3.13	참고문헌	3.3-9

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 제 3 장 - 사고관리 이행체계

#### 표 목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
표 3.1-1	비상운전 조직표	3.1-24
표 3.1-2	초기 비상대응 조직	3.1-25
표 3.1-3	초기 비상대응조직 임무	3.1-26
표 3.1-4	정규 비상대응조직	3.1-27
표 3.1-5	정규 비상대응조직 임무	3.1-29
표 3.1-6	외부 지원기관 목록	3.1-35
표 3.1-7	비상상황 통보 및 비상소집 체계도	3.1-36
표 3.1-8	부재시 비상업무 승계 체계도	3.1-37
표 3.1-9	2개 호기 동시사고 발생시 조직 체계도	3.1-38
표 3.1-10	새울본부 비상 통신설비	3.1-39
표 3.1-11	다수호기 동시사고시 의사결정 체계도	3.1-40

신고리 5,6호기 사고관리계획서

제 4 장 - 사고관리능력의 평가

목 차(2 중 1)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
4	<u>사고관리능력의 평가</u>	4.1-1
4.1	<u>중대사고 예방능력의 평가</u>	4.1-1
4.1.1	다중고장에 의한 사고의 평가	4.1-1
4.1.2	설계기준을 초과하는 외부 재해에 대한 평가	4.1-20
4.1.3	참고문헌	4.1-32
4.2	<u>중대사고 완화능력의 평가</u>	4.2-1
4.2.1	가연성기체의 연소 또는 폭발	4.2-1
4.2.2	원자로건물 고온 또는 과압	4.2-2
4.2.3	노심용융물-콘크리트 반응	4.2-3
4.2.4	노심용융물 고압분출 및 원자로건물 직접가열	4.2-3
4.2.5	노심용융물과 냉각수의 반응	4.2-6
4.2.6	증기발생기 전열관 크리프 파손 등 원자로건물 격리경계 우회	4.2-7
4.2.7	참고문헌	4.2-9
4.3	<u>중대사고 예방 및 완화 설비의 기기생존성 평가</u>	4.3-1
4.3.1	중대사고 예방 설비의 평가	4.3-1
4.3.2	중대사고 완화 설비의 평가	4.3-10
4.3.3	참고문헌	4.3-15

제 4 장 - 사고관리능력의 평가

목 차(2 중 2)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
4.4	<u>사고 영향의 평가</u>	4.4-1
4.4.1	다중고장에 의한 사고 영향의 평가	4.4-3
4.4.2	설계기준을 초과하는 외부 재해의 평가	4.4-7
4.4.3	중대사고의 평가	4.4-9
4.4.4	참고문헌	4.4-12
4.5	<u>확률론적 안전성 평가</u>	4.5-1
4.5.1	전출력 1단계 확률론적 안전성평가	4.5-2
4.5.2	전출력 2단계 확률론적 안전성평가	4.5-17
4.5.3	전출력 3단계 확률론적 안전성평가	4.5-22
4.5.4	정지/저출력 1단계 확률론적 안전성평가	4.5-26
4.5.5	정지/저출력 2단계 확률론적 안전성평가	4.5-31
4.5.6	참고문헌	4.5-38

신고리 5,6호기 사고관리계획서

제 4 장 - 사고관리능력의 평가

표 목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
표 4.4-1	제한구역경계에서의 대기확산인자	4.4-11

제 5 장 - 비상운전절차서의 작성시 적용할 기술적 근거 및 검증방법에 관한 설명서

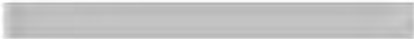
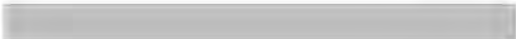
목 차(2 중 1)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
5	<u>비상운전절차서의 작성시 적용할 기술적 근거 및 검증방법에 관한 설명서</u>	5.1-1
5.1	<u>비상운전지침서 및 기술배경서</u>	5.1-1
5.1.1	비상운전지침서 및 기술배경서 개요	5.1-1
5.1.2	비상운전지침서 및 기술배경서 구성	5.1-1
5.1.3	비상운전지침서 및 기술배경서 주요 운전전략	5.1-3
5.1.4	비상운전지침서 검증 및 유지관리 계획	5.1-4
5.1.5	참고문헌	5.1-7
5.2	<u>발전소 고유 기술배경서</u>	5.2-1
5.2.1	발전소 고유기술배경서 개요	5.2-1
5.2.2	발전소 고유기술배경서 구성	5.2-1
5.2.3	발전소 고유기술배경서 주요 운전전략	5.2-2
5.2.4	발전소 고유기술배경서 검증 및 유지관리 계획	5.2-2
5.2.5	참고문헌	5.2-4
5.3	<u>비상운전절차서 작성 지침</u>	5.3-1
5.3.1	참고문헌	5.3-3
5.4	<u>비상운전절차서 확인 절차서</u>	5.4-1
5.4.1	참고문헌	5.4-3
5.5	<u>비상운전절차서 검증 절차서</u>	5.5-1
5.5.1	참고문헌	5.5-2

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 제 5 장 - 비상운전절차서의 작성시 적용할 기술적 근거 및 검증방법에 관한 설명서

#### 목 차(2 중 2)

번 호	제 목	페이지
5.6	<u>비상운전절차서 교육훈련 계획서</u>	5.6-1
5.6.1	책임	5.6-1
5.6.2	교육훈련체계	5.6-1
5.6.3	교육훈련 결과의 피드백	5.6-3
5.6.4	참고문헌	5.6-4
5.7	<u>비상운전절차서 사용자 지침서를 포함한 이행계획</u>	5.7-1
5.7.1	참고문헌	5.7-3
부록 5A		5A-i
부록 5B		5B-i



## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 제 5 장 - 비상운전절차서의 작성시 적용할 기술적 근거 및 검증방법에 관한 설명서

#### 그림 목차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
그림 5.1-1	비상운전지침서 체계	5.1-5
그림 5.1-2	비상운전지침서와 연계되는 지침서	5.1-6

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 제 6 장 - 극한재해 완화지침서 작성에 관한 설명서

#### 목 차(2 중 1)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
6	<u>극한재해 완화지침서 작성에 관한 설명서</u>	6.1-1
6.1	<u>외부재해의 선정 및 영향 평가</u>	6.1-1
6.1.1	설계기준초과 자연재해에 의한 영향 평가	6.1-1
6.1.2	설계기준초과 자연재해에 따른 복합재해에 의한 영향 평가	6.1-4
6.1.3	설계기준초과 인위적재해에 의한 영향 평가	6.1-5
6.1.4	참고문헌	6.1-8
6.2	<u>안전기능 복구 수단 및 사고 완화 기능</u>	6.2-1
6.2.1	설계기준초과 자연재해	6.2-1
6.2.2	설계기준초과 인위적재해	6.2-3
6.2.3	참고문헌	6.2-8
6.3	<u>완화전략 설비의 보호 및 운영</u>	6.3-1
6.3.1	완화전략에 사용하는 설비의 보호	6.3-1
6.3.2	완화전략에 사용하는 설비의 운영	6.3-2
6.4	<u>완화지침서 작성지침 및 비상운전절차서와의 연계 방안</u>	6.4-1
6.4.1	설계기준초과 자연재해	6.4-1
6.4.2	설계기준초과 인위적재해	6.4-4
6.4.3	참고문헌	6.4-9
6.5	<u>완화지침서 교육훈련 계획서</u>	6.5-1
6.5.1	책임	6.5-1

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 제 6 장 - 극한재해 완화지침서 작성에 관한 설명서

#### 목 차(2 중 2)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
6.5.2	교육훈련체계	6.5-1
6.5.3	교육훈련 결과의 피드백	6.5-3
6.5.4	참고문헌	6.5-4

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 제 7 장 - 중대사고관리지침서 작성에 관한 설명서

#### 목 차(2 중 1)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
7	<u>중대사고관리지침서 작성에 관한 설명서</u>	7.1-1
7.1	<u>발전소 고유기술배경서 및 중대사고관리지침서</u>	7.1-1
7.1.1	후쿠시마 원전사고 후속조치의 반영	7.1-1
7.1.2	중대사고관리지침서 개발을 위한 자료 검토	7.1-1
7.1.3	중대사고관리지침서 관련 기술문서	7.1-1
7.1.4	중대사고 완화능력 및 기기생존성 평가	7.1-2
7.1.5	발전소고유기술배경서 및 중대사고관리지침서	7.1-2
7.1.6	중대사고관리지침서 확인 및 검증	7.1-3
7.1.7	안전개선사항의 반영	7.1-3
7.1.8	참고문헌	7.1-4
7.2	<u>작성자치침서</u>	7.2-1
7.2.1	중대사고관리지침서 작성	7.2-1
7.2.2	중대사고관리지침서 사용	7.2-4
7.2.3	참고문헌	7.2-6
7.3	<u>검증 프로그램</u>	7.3-1
7.3.1	중대사고관리지침서 확인	7.3-1
7.3.2	중대사고관리지침서 검증	7.3-2
7.3.3	참고문헌	7.3-4

신고리 5,6호기 사고관리계획서

제 7 장 - 중대사고관리지침서 작성에 관한 설명서

목 차(2 중 2)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
7.4	<u>훈련 프로그램</u>	7.4-1
7.4.1	책임	7.4-1
7.4.2	교육훈련체계	7.4-1
7.4.3	교육훈련 사후관리	7.4-3
7.4.4	참고문헌	7.4-4
7.5	<u>유지관리 프로그램</u>	7.5-1
7.5.1	참고문헌	7.5-3
7.부록 1	<u>원자로용기 외벽냉각 및 노심용융물 노내 억류</u>	7.부록.1-1
7.부록 1.1	원자로용기 외벽냉각 및 노심용융물 노내 억류 개요	7.부록.1-1
7.부록 1.2	원자로용기 외벽냉각 및 노심용융물 노내 억류 성능평가	7.부록.1-1
7.부록 1.3	참고문헌	7.부록.1-2

신고리 5,6호기 사고관리계획서

제 8 장 - 사고관리 교육훈련계획

목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
8	<u>사고관리 교육훈련계획</u>	8.1-1
8.1	<u>교육계획</u>	8.1-1
8.1.1	설계기준사고 및 다중고장사고	8.1-1
8.1.2	극한재해 사고	8.1-5
8.1.3	중대사고	8.1-8
8.1.4	참고문헌	8.1-11
8.2	<u>훈련계획</u>	8.2-1
8.2.1	훈련목적	8.2-1
8.2.2	훈련대상	8.2-1
8.2.3	훈련내용	8.2-1
8.2.4	훈련 방법 및 훈련 시나리오 선정	8.2-1
8.2.5	훈련시기 및 주기	8.2-2
8.2.6	훈련 평가 피드백, 결과기록 및 유지관리	8.2-2

## 요 약

사고관리계획서는 원자력안전법 및 동 법 시행규칙에 따라 원전의 운영허가 신청시 제출되어야 하는 인허가 서류로서, 관련 법령에서 규정하는 바에 따라 사고관리와 관련된 제반 정보를 포함하고 있다. 신고리 5,6호기 사고관리계획서는 상기 관련 법령에 따라 건설원전에 대한 사고관리계획서를 제출하기 위하여 작성되었다.

신고리 5,6호기 사고관리계획서에는 사고관리의 대상이 되는 사고의 범위, 사고관리에 사용되는 설비, 사고관리 전략 및 이행체계, 확률론적안전성평가를 포함한 사고관리능력의 평가, 사고관리 절차서 및 지침서의 작성, 사고관리 교육훈련에 관한 사항이 기재되어 있다.

제1장 사고관리의 개요는 사고관리의 범위와 사고관리 설비에 대하여 기술하고 있다. 사고관리에 포함되는 사고의 범위는 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제85조의19에 따라 설계기준사고, 다중고장에 의한 사고(이하 “다중고장사고”라 한다), 설계기준을 초과하는 자연재해 및 인위적재해(이하 “극한재해”라 한다), 중대사고 등으로 구분된다. 특히 설계기준사고는 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서의 제6장 및 제15장을 참조하였다. 사고관리 설비에 관한 사항에는 중대사고 예방 및 완화를 위한 고정형 설비와 이동형 설비에 대해 기술하고 있다.

제2장 사고관리전략은 사고관리 목표의 설정, 필수 안전기능의 선정, 사고관리 기본전략, 사고관리 절차서 및 지침서 구성체계, 사고관리 절차서 및 지침서 유지관리 등에 대하여 기술하고 있다. 원자력안전법에서 제시하는 사고관리의 목표는 사고확대방지, 사고영향완화 및 안전한 상태로의 회복으로 중대사고를 예방하거나 완화하는데 있다. 안전기능은 노심손상을 방지하고 공중으로 방사성물질의 누출을 최소화하기 위한 조건 또는 조치로 정의된다. 필수 안전기능의 선정에서는 사고관리 목표 달성을 위해 필수적으로 유지하거나 복구하여야 하는 세부 안전기능을 제시하고 있고, 이를 위한 전략은 사고관리 기본전략에 기술되어 있다. 중대사고 예방 전략은 비상운전절차서의 최적복구전략과 기능회복 전략을 활용하고, 중대사고 완화 전략은 원자로공동 충수를 통한 노심용융물-콘크리트 반응 억제 등과 같은 원자로건물 건전성 확보방안을 제시하고 있다. 사고관리 절차서 및 지침서의 구성체계는 단계별 사고관리 전략을 이행할 비상조직이 참조해야할 절차서와 지침서에 대하여 기술하고 있다. 사고관리 절차서 및 지침서는 원전의 안전성과 직결되는 문서로서 유지관리절차서를 통하여 체계적이고 지속적으로 유지관리된다.

제3장 사고관리 이행체계는 사고관리 전략을 효과적으로 이행하기 위하여 필요한 사고관리 조직 및 지휘통제체계와 사고관리 설비의 시험·감시·검사 및 보수계획에 대하여 설명하고 있다. 사고관리 조직은 방사선비상계획서에 따라 운용하고, 방사선비상 발령이 요구되지 않는 사고의 경우에는 평상시 조직 체계를 기본으로 하여 발전부 중심으로 대응한



다. 사고관리에 사용되는 이동형 설비의 주기적인 시험·감시·검사는 설비별로 구비된 운영절차서에 따라 수행된다.

제4장 사고관리능력의 평가는 사고 유형별로 사고관리 목표 달성이 가능한지를 확인하기 위하여 수행되는 평가로서, 중대사고 예방 능력의 평가, 중대사고 완화 능력의 평가, 중대사고 예방 및 완화 설비의 기기생존성 평가, 사고 영향의 평가, 그리고 확률론적안전성 평가로 구성된다. 중대사고 예방 능력의 평가는 다중고장사고 또는 극한재해로 인한 사고가 발생하더라도 이에 대응한 사고관리 전략을 이행함으로써 중대사고가 예방될 수 있는지를 확인한다. 중대사고 완화 능력의 평가는 중대사고의 예방에 실패하여 노심용융이 발생하고 대량의 방사성물질이 원자로건물 내부로 방출되더라도 사고관리를 통하여 원자로건물의 방호벽 기능을 유지함으로써 대량의 방사성물질이 외부 환경으로 방출되는 것을 막을 수 있는지를 확인한다. 중대사고 예방 및 완화 설비의 기기생존성평가는 다중고장사고, 극한재해 및 중대사고시 사고 대응에 사용되는 설비는 해당 사고로 인하여 발생하는 사고 조건에서 사고관리를 위하여 요구되는 기능을 수행할 수 있는지를 확인한다. 사고 영향의 평가는 사고관리의 대상이 되는 다양한 사고가 발생하더라도 이에 대응한 사고관리를 이행함으로써 발전소 인근 주민에 대한 방사선 피폭선량이 건강상의 위해를 초래하지 않는 수준으로 관리할 수 있는지를 확인한다. 확률론적안전성평가는 중대사고 예방 및 완화 능력의 신뢰도가 충분히 확보됨으로써 중대사고로 인한 외부 주민 및 환경에 대한 리스크(risk)가 극히 낮은 수준으로 유지될 수 있는지를 확인한다.

제5장 비상운전절차서 작성시 적용할 기술적 근거 및 검증방법에 관한 설명서는 설계기준사고 및 다중고장사고에 대응하기 위하여 작성되어야 하는 비상운전절차서의 작성에 관한 설명서로서, 비상운전지침서 및 그 기술배경서, 발전소 고유기술배경서, 비상운전절차서 작성 지침, 비상운전절차서 확인 및 검증 절차서, 비상운전절차서 교육훈련 계획서, 비상운전절차서 사용자 지침서를 포함한 이행계획으로 구성되어 있다.

제6장 극한재해완화지침서 작성에 관한 설명서는 극한재해로 인한 사고에 대응하기 위하여 작성되어야 하는 극한재해완화지침서 작성에 관한 설명서로서, 외부재해의 선정 및 평가, 안전기능 복구 수단 및 사고 완화 기능, 대응전략 설비의 보호 및 운영, 완화지침서 작성지침 및 비상운전절차서와 연계방안, 교육훈련 계획으로 구성되어 있다.

제7장 중대사고관리지침서 작성에 관한 설명서는 중대사고로 인하여 발생하는 다양한 원자로건물 건전성 위협요인에 대응하기 위하여 작성되어야 하는 중대사고관리지침서의 작성에 관한 설명서로서, 발전소 고유 기술배경서 및 중대사고관리지침서, 작성자지침서, 검증 및 훈련 프로그램, 유지관리 프로그램으로 구성되어 있다.

제8장 교육훈련 계획은 사고관리계획의 유효성을 유지하기 위하여 사고관리 조직 구성원이 각자의 책임과 권한을 이해하고, 적절하게 이행할 수 있는 실무지식을 습득할 수 있도록 하는데 필요한 주기적인 교육훈련 계획에 대하여 기술하고 있다.

## 1 사고관리의 개요

### 1.1 사고관리의 범위

#### 1.1.1 설계기준사고

설계기준사고(Design Basis Event)는 미국규제지침서(Regulatory Guide 1.70) 및 최종 안전성 분석보고서 15장에 따라 다음과 같이 일곱 개의 범주로 분류하고 각각의 가상 초기사건은 다음 범주 중 하나에 포함된다.

- 이차계통에 의한 열제거 증가
- 이차계통에 의한 열제거 감소
- 원자로냉각재 유량 감소
- 반응도 및 출력분포 이상
- 원자로냉각재 재고량 증가
- 원자로냉각재 재고량 감소
- 부계통 또는 기기로부터 방사성물질의 방출

각 범주에는 예상운전과도(Anticipated Operational Occurrence)와 가상사고(Postulated Accident)가 있다. 예상운전과도는 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙에 정의된 것처럼 원자력발전소의 수명기간 중 수 차례 발생할 것으로 예상되는 운전상태로 최종안전성 분석보고서 15장 및 미국규제지침서 1.70의 보통빈도와 희귀빈도 사건 또는 미국원자력학회(America Nuclear Society)의 기술표준(ANSI/ANS-51.1-1983)에 근거한 Condition II, III 사건을 말한다. 가상사고는 원자력발전소 수명기간 중 발생이 예상되지 않으나 발생을 가상하는 사건으로 미국원자력학회의 기술표준에 근거한 Condition IV에 해당하는 사건이다. 가상사고에는 안전주입계통 설계기준사고인 냉각재상실사고가 포함된다. 사고관리 대상인 가상사고는 다음과 같다(참고문헌 1).

##### 1.1.1.1 이차계통에 의한 열제거 증가

이차계통에 의한 열제거 증가사건 범주에 해당하는 가상사고인 원자로건물 내·외부의 증기계통 배관파단사고는 주증기계통의 배관 파단으로 인하여 원자로냉각재계통의 과도한 냉각(overcooling)이 발생하는 사고로 정의한다. 동 가상 사고에 대한 개요 및 발생원인, 사고 진행경위 및 계통운전에 따른 발전소 상태, 영향 분석 및 결과는 최종안전성분석보고서 15.1.5절에 상세히 기술되어 있다.

#### 1.1.1.2 이차계통에 의한 열제거 감소

이차계통에 의한 열제거 감소사건 범주에 해당하는 가상사고인 주급수계통 배관파단사고는 주급수 배관 파단에 의한 주급수 재고량 상실로 인하여 원자로냉각재계통의 열제거가 감소하는 사고로 정의한다. 동 가상 사고에 대한 개요 및 발생원인, 사건 진행경위 및 계통운전에 따른 발전소 상태, 영향 분석 및 결과는 최종안전성분석보고서 15.2.8절에 상세히 기술되어 있다.

#### 1.1.1.3 원자로냉각재 유량 감소

원자로냉각재 유량 감소사건 범주에 해당하는 가상사고인 소외전원상실을 수반한 단일 원자로냉각재펌프 회전자 고착사고와 소외전원상실을 수반한 단일 원자로냉각재펌프축 파손사고가 있는데, 전자는 펌프 상단부 또는 하단부 교축 저널 베어링의 고착 발생, 후자는 펌프축의 기계적인 결함 발생에 의해 원자로냉각재유량이 감소하는 사고로 정의한다. 동 가상사고들에 대한 개요 및 발생원인, 사건 진행경위 및 계통운전에 따른 발전소 상태, 영향 분석 및 결과는 최종안전성분석보고서 15.3.3절 및 15.3.4절에 각각 상세히 기술되어 있다.

#### 1.1.1.4 반응도 및 출력분포 이상

반응도 및 출력분포 이상사건 범주에 해당하는 가상사고인 제어봉집합체 이탈사고는 제어봉구동장치 하우징이나 제어봉구동장치 노즐의 원주상 파열로 인하여 발생하는 사고로 정의한다. 동 가상사고에 대한 개요 및 발생원인, 사건 진행경위 및 계통운전에 따른 발전소 상태, 영향 분석 및 결과는 최종안전성분석보고서 15.4.8절에 상세히 기술되어 있다.

#### 1.1.1.5 원자로냉각재 재고량 증가

원자로냉각재 재고량 증가사건 범주에는 비상노심냉각계통의 부주의한 작동, 소외전원상 실시 가압기수위제어계통의 오작동과 같은 예상운전과도사건이 있으며, 가상사고는 없다. 이 범주의 사건들은 원자로냉각재 재고량의 추가적인 증가로 인한 원자로냉각재계통의 압력이 증가하는 특징을 가지고 있다.

#### 1.1.1.6 원자로냉각재 재고량 감소

원자로냉각재 재고량 감소사건 범주에 해당하는 가상사고에는 증기발생기 전열관 파열사고, 원자로냉각재상실사고 등이 있다. 증기발생기 전열관 파열사고는 증기발생기 내의 U자관 1개가 파손되어 원자로냉각재에 포함된 방사성물질이 원자로건물 우회 경로인 이차계통을 통하여 원자로건물 외부로 누출되는 사고로 정의한다. 동 가상사고에 대한 개요

및 발생원인, 사건 진행경위 및 계통운전에 따른 발전소 상태, 영향 분석 및 결과는 최종 안전성분석보고서 15.6.3절에 상세히 기술되어 있다. 또한, 원자로냉각재상실사고는 원자로건물내 원자로냉각재압력경계(Reactor Coolant Pressure Boundary)의 파손으로 인해 원자로냉각재 재고량이 감소하는 가상사고로 정의한다. 동 가상사고에 대한 개요 및 발생원인, 사건 진행경위 및 계통운전에 따른 발전소 상태, 영향 분석 및 결과는 최종안전성분석보고서 6.3.3절 및 15.6.5절에 상세히 기술되어 있다.

#### 1.1.1.7 부속계통 또는 기기로부터의 방사성물질의 방출

부속계통 또는 기기로부터의 방사성물질의 방출사건 범주에는 기체방사성폐기물계통 파손, 액체방사성폐기물계통 누설 또는 파손, 액체방사성물질 함유탱크 파손, 핵연료 취급, 사용후연료 수송용기 낙하와 같은 가상사고가 있다. 이 범주의 사건들은 방사성폐기물 처리계통의 파손 또는 핵연료취급 부주의로 인해 방사능물질의 소외 누출로 인한 소외 방사선량이 증가하는 특징을 가지고 있다. 기체방사성폐기물계통 파손사고에 대한 개요 및 발생원인, 사건 진행경위 및 계통운전에 따른 발전소 상태, 영향 분석 및 결과는 최종 안전성분석보고서 15.7.1절에 상세히 기술되어 있다. 액체방사성폐기물계통 누설 또는 파손사고에 대한 개요 및 발생원인, 사건 진행경위 및 계통운전에 따른 발전소 상태, 영향 분석 및 결과는 최종안전성분석보고서 15.7.2절에 상세히 기술되어 있다. 액체방사성물질 함유탱크 파손사고에 대한 개요 및 발생원인, 사건 진행경위 및 계통운전에 따른 발전소 상태, 영향 분석 및 결과는 최종안전성분석보고서 15.7.3절에 상세히 기술되어 있다. 핵연료 취급사고에 대한 개요 및 발생원인, 사건 진행경위 및 계통운전에 따른 발전소 상태, 영향 분석 및 결과는 최종안전성분석보고서 15.7.4절에 상세히 기술되어 있다. 사용후연료 수송용기 낙하사고에 대한 개요 및 발생원인, 사건 진행경위 및 계통운전에 따른 발전소 상태, 영향 분석 및 결과는 최종안전성분석보고서 15.7.5절에 상세히 기술되어 있다.

### 1.1.2 다중고장에 의한 사고

원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제2조(정의) 1항 제15호는 다중고장을 “단일고장을 초과하여 둘 이상의 기기에 고장이 발생함으로써 해당 안전기능의 수행능력이 상실되는 것”으로 정의한다. 원자력안전위원회 고시 제2017-34호 (원자로. 42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 제3조(다중고장사고에 의한 사고의 범위) 및 별표 1(다중고장에 의한 사고)에 따라 사고관리의 대상으로 필수적으로 고려해야 하는 다중고장사고의 범위는 다음과 같다(참고문헌 2).

- 정지불능예상운전과도
- 발전소 교류전원 완전상실사고
- 증기발생기 전열관 다중파단사고
- 급수완전상실사고
- 계통간 냉각재상실사고
- 정지냉각기능 상실사고
- 최종열제거원 상실사고
- 소형냉각재상실사고와 동시에 발생하는 안전주입 또는 재순환상실사고
- 사용후연료저장조 냉각기능 상실사고

이러한 다중고장사고는 기본적으로 기기결함 등의 원인으로 인한 안전설비의 다중고장에 의해 발생하는 것으로 가정한다. 증기발생기 전열관 다중파단사고, 계통간 냉각재상실사고, 정지냉각기능 상실사고, 최종열제거원 상실사고, 사용후연료저장조 냉각기능 상실사고는 모두 안전설비의 다중고장이 초기사건으로 발생하는 사고이다. 발전소 교류전원 완전상실사고, 정지불능예상운전과도 및 급수완전상실사고는 예상운전과도 상태가 초기사건으로 먼저 발생한 이후, 이 때 작동하여야 할 안전설비에 다중고장이 발생하여 더 심각한 상태로 진행되는 사고이다. 소형냉각재상실사고와 동시에 발생하는 안전주입 상실사고는 설계기준사고인 소형냉각재상실사고가 초기사건으로 먼저 발생한 이후, 안전주입 운전에 실패함으로써 더 심각한 사고로 진행되는 사고이다.

#### 추가 다중고장사고

원자력안전위원회 고시 제2017-34호 (원자로. 42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 별표 1(다중고장에 의한 사고)에서는 위에서 기술된 9가지 필수 다중고장사고 외에도 “확률론적안전성평가(PSA) 등을 통하여 필수적으로 고려하여야 하는 사고와 유사한 수준의 발생 가능성 및 영향을 가지는 것으로 평가”될 경우 추가 다중고장사고로 도출하도록 명시하고 있다. 또한, 경수로형 원전 규제지침 16.1, “다중고장에 의한 사고의 평가”에서는 추가적으로 고려하여야 하는 다중고장사고의 선정기준에 관하여 다음과 같은 지침을 제시하고 있다(참고문헌 3).

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

- 규제기준 16.5.13 제1호에서 제시하는 위험도 평가 목표치(성능목표치 및 Cs-137 대량방출빈도 관련 목표치)를 효과적으로 달성하기 위하여, 중대사고 예방 단계에서 노심손상빈도를 효과적으로 감소시킬 목적으로 고려하여야 하는 다중고장사고
- 원자력안전위원회 고시 제2017-34호 (원자로, 42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 제9조제3항에 따라, 중대사고 예방 능력을 향상시키기 위하여 추가로 고려된 다중고장사고

상기 다중고장사고 선정기준 중에서 위험도 평가 목표치와 관련해서는 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가(PSA) 결과 해당 노형에 대한 성능 목표치(노심손상빈도(CDF)  $< 1.0 \times 10^{-4}$  및 대량조기방출빈도(LERF)  $< 1.0 \times 10^{-5}$ ) 및 Cs-137 대량방출빈도 관련 목표치(Cs-137 방출량 100 TBq 초과 사고발생빈도의 합  $< 1.0 \times 10^{-6}$ )을 모두 달성하였다(참고문헌 4). 따라서 규제기준 16.5.13 제1호에서 제시하는 위험도 평가 목표치(성능목표치 및 Cs-137 대량방출빈도 관련 목표치)를 효과적으로 달성하기 위하여 중대사고 예방 단계에서 노심손상빈도를 효과적으로 감소시킬 목적으로 고려하여야 하는 추가 다중고장사고는 도출되지 않았다.

그 외에 원자력안전위원회 고시 제2017-34호 (원자로, 42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 제9조 제3항에 따라 중대사고 예방 능력을 향상시키기 위하여 추가로 고려할 필요가 있는 다중고장사고를 도출할 목적으로 IAEA Safety Standards, Specific Safety Guide SSG-2, Rev1, “Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants”, WENRA RHWG(Reactor Harmonization Working Group) 보고서, European Utility Requirements for LWR NPP (Rev.E)의 ‘심각한 핵연료 손상이 없는 확대설계조건(Design Extension Conditions) 도출’ 절차를 참조하여 다음과 같이 세 가지 유형의 다중고장사고를 검토하였다(참고문헌 5-7).

- 1) 정상운전 중 안전설비의 다중고장으로 인해 초래되는 초기사건으로서의 다중고장사고
- 2) 초기사건으로 예상운전과도상태(AOO) 또는 소형냉각재상실사고와 같이 비교적 높은 빈도의 설계기준사고(frequent design basis accident)가 발생한 이후 작동하여야 하는 안전설비의 추가적인 고장이 발생하여 더 심각한 사고 상태로 진행되는 다중고장사고
- 3) 안전계통의 설계기준을 초과하는 사고조건을 유발하는 초기사건으로서의 다중고장사고

상기 3가지 유형의 다중고장사고 중 1), 2) 항목은 확률론적 안전성평가를 위한 사건수목 작성시 이미 고려되어 있으므로 여기서는 초기사건빈도 및 노심손상빈도에 대한 영향

이 큰 사고경위를 확인하는 방법으로 추가적으로 고려하여야 하는 다중고장에 의한 사고를 파악하였다.

전출력 내부사건 Level 1 확률론적 안전성 평가결과 계통간 냉각재상실사고(ISLOCA) 및 기기냉각수 완전 상실사고(TLOCCW)가 안전설비의 다중고장으로 인해 초래되는 초기 사건으로서의 다중고장사고로 분류되었다. 하지만 계통간 냉각재상실사고는 이미 필수 다중고장사고에 포함되어 있고, 기기냉각수 완전 상실사고의 경우도 필수 다중고장사고 중 최종열제거원상실사고(LUHS)에 의해 제한되므로 추가 다중고장사고로 고려할 필요가 없었다.

또한 예상운전과도 발생 이후 추가적인 안전설비의 추가고장 사고 유형으로는 정지불능 예상과도사건, 비상디젤발전기의 운전 중 또는 기동 중 실패로 인한 발전소정전사고가 도출되었으나, 모두 필수 다중고장사고에 이미 포함되어 있었다.

그밖에 필수적으로 고려하여야 하는 사고와 유사한 수준의 발생 가능성 및 영향을 갖는 나머지 다중고장사고 도출 여부를 평가하기 위하여 예상운전과도 또는 높은 빈도의 설계 기준사고 발생 이후 추가적인 안전설비의 추가고장사고 유형 중 누적 노심손상분을 상위 90% 까지의 사고경위 목록에 속하고 해당 사건경위에 의한 노심손상 분율이 1% 이상인 모든 사고경위를 검토하였다. 하지만, 평가결과 각 사고경위들은 모두 기존의 필수 다중고장사고에 포함되거나, 하나 이상의 안전기능을 수행하는 다중의 안전계통의 작동 실패에 해당하거나, 또는 발생빈도가 낮아 유형 2)의 추가 다중고장사고 도출시 고려하는 예상운전과도 또는 비교적 발생빈도가 높은 설계기준사고의 범주를 초과하는 사고경위에 해당하므로 추가로 고려할 필요가 있다고 평가된 다중고장사고는 없었다.

공학적 판단에 따라 ‘안전계통의 설계기준을 초과하는 사고조건을 유발하는 초기사건으로서의 다중고장사고’ 유형으로 ‘증기발생기 전열관 다중파단사고’ 등을 고려할 수 있으나, 앞서 언급한 필수 다중고장사고에 포함되어 있음을 확인하였다.

#### 사고별 발전소 상태

사고관리의 대상이 되는 다중고장사고 목록에 대한 각 사고별 발전소 상태는 다음에 기술한 바와 같다.

##### 1.1.2.1 정지불능예상운전과도

정지불능예상운전과도는 예상운전과도로 인해 원자로보호계통에서 원자로정지 신호가 발생하였음에도, 다중고장으로 인하여 정지제어봉이 노심으로 삽입되지 못하는 사고이다.



정지불능예상운전과도는 국내 규제요건이 이미 수립되어 적용 중에 있고, 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제27조(다양성보호계통)에 반영되어 있다.

정지불능예상운전과도 사고는 기존의 경수로형 원전 규제기준 8.4 “다양성 계측계통”의 규제요건이 변경 없이 적용되며, 신고리 5,6호기의 경우 동 규제요건에 부합하는 다양성 보호계통이 설치되어 원자로보호계통에 의한 원자로정지 실패시 추가적인 원자로정지 수단을 제공한다. 다양성보호계통에 대한 상세한 설명은 최종안전성분석보고서 7.8.2절에 기술되어 있다.

#### 1.1.2.2 발전소 교류전원 완전상실사고

발전소 교류전원 완전상실사고는 발전소 소외전원의 상실과 더불어 비상디젤발전기에 의한 비상교류전원도 함께 상실된 사고로 정의된다. 발전소 교류전원 완전상실사고는 국내 규제요건이 이미 수립되어 적용중에 있고, 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제24조(전력공급설비)에 반영되어 있다.

발전소 교류전원 완전상실사고는 경수로형 원전 규제기준 9.4 “발전소정전사고”의 요건이 변경없이 적용되며, 신고리 5,6호기의 경우 동 규제요건에 부합하는 대체교류전원(AAC)이 설치되어 발전소 교류전원 완전상실사고시 추가적인 안전등급 필수 교류전원 회복 수단을 제공한다. 발전소 교류전원 완전상실사고에 대한 사고관리능력의 평가는 본 보고서 4.1.1.2절에 기술되어 있다.

#### 1.1.2.3 증기발생기 전열관 다중파단사고

증기발생기 전열관 다중파단사고는 하나의 증기발생기에서 다수의 전열관이 파단되는 사고로 하나의 증기발생기에서 5개의 전열관이 동시에 파단되는 상태를 가정한다. 증기발생기 전열관 다중파단사고에 대한 발전소 거동 및 사고관리능력의 평가는 본 보고서 4.1.1.3절에 기술되어 있다.

#### 1.1.2.4 급수완전상실사고

급수완전상실사고는 주급수가 상실된 후 기계적인 고장 등의 이유로 보조급수계통의 기능이 상실되어 증기발생기로의 급수가 완전히 중단되는 사고로 정의된다. 급수완전상실사고에 대한 발전소 거동 및 사고관리능력의 평가는 본 보고서 4.1.1.4절에 기술되어 있다.

#### 1.1.2.5 계통간 냉각재상실사고

계통간 냉각재상실사고는 원자로냉각재압력경계에 연결되어 있는 저압계통과 원자로냉각

재압력경계 사이를 격리하는 기기의 고장으로 인하여 저압계통에 과압이 발생하고, 저압계통 배관의 누설 또는 파단으로 인하여 냉각재가 상실되는 사고를 말한다. 계통간 냉각재상실사고에 대한 사고관리능력의 평가는 본 보고서 4.1.1.5절에 기술되어 있다.

#### 1.1.2.6 정지냉각기능 상실사고

정지냉각기능 상실사고는 원자로정지 이후 정지냉각계통 운전 중 정지냉각계통의 노심열제거 기능이 상실되는 사고이다. 정지냉각기능 상실사고에 대한 발전소 거동과 사고관리능력의 평가는 본 보고서 4.1.1.6절에 기술되어 있다.

#### 1.1.2.7 최종열제거원 상실사고

최종열제거원 상실사고는 발전소의 최종열제거원이 상실되는 사고로 전출력 정상운전 상태에서 기계적인 고장 등의 이유로 1차기냉각해수계통의 기능이 완전히 상실되는 상태를 가정한다. 최종열제거원 상실사고에 대한 발전소 거동과 사고관리능력의 평가는 본 보고서 4.1.1.7절에 기술되어 있다.

#### 1.1.2.8 소형냉각재상실사고와 동시에 발생하는 안전주입 또는 재순환상실사고

소형냉각재상실사고와 동시에 발생하는 안전주입 또는 재순환 상실사고는 소형냉각재상실사고 발생과 동시에 안전주입 기능을 상실하는 상태를 가정한다. 소형냉각재상실사고와 동시에 발생하는 안전주입 또는 재순환 상실사고에 대한 발전소 거동과 사고관리능력의 평가는 본 보고서 4.1.1.8절에 기술되어 있다.

#### 1.1.2.9 사용후연료저장조 냉각기능 상실사고

사용후연료저장조 냉각계통 또는 냉각수 공급계통의 기능이 상실되는 사고로 정의된다. 사용후연료저장조 냉각기능 상실사고에 대한 사고관리능력의 평가는 본 보고서 4.1.1.9절에 기술되어 있다.

### 1.1.3 설계기준으로 고려한 외적요인을 초과하는 자연재해 및 인위적재해

원자력안전위원회 고시 제2017-34호 (원자로. 42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 제4조(설계기준으로 고려한 외적요인을 초과하는 자연재해 및 인위적재해의 범위)에 따라 적용되는 재해는 다음과 같다.

- 지질 및 지진, 기상, 수문 및 해양 현상 등에 의한 자연재해
- 테러행위와 같이 발생가능성을 예측할 수 없는 의도적인 항공기 충돌
- 상기 재해에 의해 유발되는 복합재해

#### 1.1.3.1 설계기준초과 자연재해

신고리 5,6호기에 영향을 줄 수 있는 설계기준 초과 자연재해는 다음과 같이 일곱 개의 범주로 분류된다. 한편 설계기준초과 자연재해에 의한 영향 평가는 6.1절에 기술되어 있다.

- 설계기준초과 지진(지진동 0.3g)
- 설계기준초과 지진해일(재래주기 10,000년 빈도)
- 설계기준초과 폭풍해일(재래주기 10,000년 빈도)
- 설계기준초과 강우[가능최대강우(Probable Maximum Precipitation, PMP)의 1.5배]
- 설계기준초과 강풍(재래주기 10,000년 빈도)
- 설계기준초과 토네이도
- 설계기준초과 가능최저해수위(재래주기 10,000년 빈도)

##### 1.1.3.1.1 설계기준초과 지진(지진동 0.3g)

신고리 5,6호기의 설계에 적용된 안전정지지진인 수평최대지반가속도는 0.3g이며, 부지에서의 재래주기 10,000년 빈도 지진동은 약 0.21g에 해당한다. 한편, 스트레스테스트 수행지침에 따르면, 재래주기 10,000년 수준의 지진동과 0.3g 중 최소 0.3g를 설계기준 초과 지진동으로 정의하고 있다. 이에 따라 신고리 5,6호기에서의 재래주기 10,000년 지진동인 0.21g는 0.3g보다 작으므로, 설계기준초과 지진은 0.3g를 적용하였다.

상기와 같이 평가된 설계기준초과 지진이 안전관련 구조물·계통·기기에 끼치는 영향을 평가(내진성능 평가)할 때에는 응답스펙트럼(NUREG CR-0098의 표준 응답스펙트럼 등)을 사용하므로 지진의 지속시간과 관련된 가속도시간이력은 고려하지 않는다. 한편 가속도시간이력도 USNRC의 표준심사지침에 따르면 지진동 총 지속시간 20초 이상, 강진구간 6초 이상 요건이 적용되며, 지진동 크기에 따른 지속시간 변화 요건은 없다.

1.1.3.1.2 설계기준초과 지진해일(재래주기 10,000년 빈도)

신고리 5,6호기 부지에서의 설계기준초과 지진해일은 동해동연부에서 발생하는 해저지진에 기인하며, 이 때 재래주기 10,000년 빈도 해저지진의 규모는  $M_w=8.2$ 이다. 이 경우 부지전면 호안에서의 가능최고해수위는 부지정지 표고인 EL.(+)9.5 m 보다 낮다.

1.1.3.1.3 설계기준초과 폭풍해일(재래주기 10,000년 빈도)

신고리 5,6호기 부지에 영향을 줄 수 있는 재래주기 10,000년 빈도 태풍 규모(진로, 최대풍 반경, 최대풍속, 이동속도)를 평가하였고, 그 결과 약 30,000여개의 인공태풍을 발생시킨 후 재래주기 10,000년 빈도 최대풍 풍속을 발생시키는 태풍들을 선정하였다. 이 태풍들로부터 수치모의를 수행하여 평가된 부지전면 호안에서의 발생 가능한 가능최고해수위(파의 처오름높이 포함)는 부지정지 표고인 EL.(+)9.5 m 보다 낮다.

1.1.3.1.4 설계기준초과 강우(PMP의 1.5배)

신고리 5,6호기 안전관련 구조물의 침수영향 평가에 적용된 가능최대강우(PMP)는 통계학적 방법으로 산정되었으며, 설계기준초과 강우로는 설계기준에 적용된 PMP(지속시간 1시간 강우량 229mm)의 1.5배를 고려하였다.

1.1.3.1.5 설계기준초과 강풍(재래주기 10,000년 빈도)

안전관련 구조물의 설계에 적용된 풍속은 40 m/s(재래주기 100년 빈도 최대풍속)이다. 한편 신고리 5,6호기 부지 부근(울산 및 부산) 및 고리 부지의 기상자료에 근거하여 평가된 재래주기 10,000년 빈도 최대풍속은 54.21 m/s, 10,000년 빈도 최대순간풍속은 66.52 m/s 이다.

1.1.3.1.6 설계기준초과 토네이도

우리나라 육지에서의 토네이도 발생빈도는  $1.6 \times 10^{-6} / \text{km}^2 \cdot \text{yr}$ 로 산정된 바 있었으며, 그 규모는 토네이도 등급 중 F0 내지 F1 급의 토네이도로 추정한 바 있다. 신고리 5,6호기 설계에서는 Fujita 규모 F1 급 토네이도를 설계기준 토네이도로 고려하였으므로 F2 급 토네이도를 설계기준초과 토네이도로 고려하였다.

1.1.3.1.7 설계기준초과 가능최저해수위(재래주기 10,000년 빈도)

재래주기 10,000년 빈도의 가능최저해수위는 1차측기기냉각해수 취수펌프의 유효흡입수두 설계에 고려된 최저수위인 EL.(-)1.8 m 보다 높다.

#### 1.1.3.18 설계기준초과 자연재해에 의한 발전소 안전기능의 상실

설계기준초과 자연재해로 인하여 발생할 수 있는 원자로시설의 손상은 매우 다양하고 광범위할 수 있다. 따라서 설계기준초과 자연재해로 인하여 발전소가 어떤 손상을 받을 지에 대해서는 부지 및 해당 발전소 설계의 특성을 감안하여 각 재해별로 평가되어야 한다. 설계기준초과 자연재해에 의한 영향 평가 결과는 6.1.1절에 기술되어 있다.

신고리 5,6호기 사고관리계획서에서는 일본 후쿠시마 사고의 경험을 반영하여 설계기준초과 자연재해에 의해 발전소 안전등급 교류전원과 최종 열제거원이 장기적으로 상실되는 사고 시나리오를 기본적으로 가정하고 6.1.1절의 설계기준초과 자연재해에 의한 영향 평가 결과를 반영하여 이에 대한 사고관리 수단 및 전략을 제공한다.

#### 1.1.3.2 설계기준초과 인위적재해

신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서 3.5.1에 의하면 신고리 5,6호기 주변 국영항로와 군 훈련항로 및 비상활주로에 대한 항공기의 재해도가 표준심사지침 3.5.1.6에 의해 항공기 사고확률 기준을 초과하지 않는다. 따라서 항공기 충돌을 고려한 설계는 신고리 5,6호기에 적용되지 않았다. 그러나 원자력안전위원회 고시 “사고관리 범위 및 사고관리 능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 제4조는 인위적재해의 범위로 “테러행위와 같이 발생가능성을 예측할 수 없는 의도적인 항공기 충돌”을 명시하고 있으며, 그로인해 발생하는 복합재해도 사고관리 범위로 규정하고 있기 때문에, 본 사고관리계획서는 인위적재해 사고의 범위를 의도적인 항공기충돌을 포함한 인위적 원인에 의한 화재 또는 폭발로 발생하는 광역손상까지 고려한다.

#### 1.1.4 중대사고

중대사고(Severe Accident)는 설계기준을 초과하여 노심의 현저한 손상이 발생한 사고로 정의하며, 중대사고 발생 후 대처하여야 하는 원자로건물의 건전성 위협요인은 다음과 같다. 원자로건물 건전성 위협요인에 대한 중대사고 완화능력 평가는 4.2절에 기술되어 있다.

- 가연성기체 연소 또는 폭발
- 원자로건물 고온 또는 과압
- 노심용융물과 콘크리트의 반응
- 노심용융물의 고압 분출
- 원자로건물 직접가열
- 노심용융물과 냉각수의 반응
- 증기발생기 전열관 크리프 파손 등 원자로건물 격리경계 우회

##### 1.1.4.1 가연성기체 연소 또는 폭발

확률론적안전성분석을 통해 도출된 발생빈도가 높은 초기사건을 중심으로 수소생성 및 분포 측면에서 사고결과가 심각한 사고추이들에 대하여 수소 생성 및 농도를 계산한다. 원자로용기 파손 전 핵연료 피복재 금속의 100%와 물의 반응에 의한 수소 생성 및 방출을 가정하며, 원자로용기 파손 후 원자로 공동에서 노심용융물과 콘크리트 반응에 의한 가연성 기체의 생성도 고려한다. 가연성기체 연소 또는 폭발에 대한 중대사고 완화능력 평가는 4.2.1절에 기술되어 있다.

##### 1.1.4.2 원자로건물 고온 또는 과압

원자로건물 고온 또는 과압 평가는 원자로건물이 사고 기간 동안 발생 가능한 원자로건물 고온 또는 과압 환경에서 핵분열생성물 누출에 대처할 수 있는 방벽기능을 유지할 수 있는지를 평가한다. 원자로건물 고온 또는 과압에 대한 중대사고 완화능력 평가는 4.2.2절에 기술되어 있다.

##### 1.1.4.3 노심용융물과 콘크리트의 반응

노심용융물-콘크리트 반응은 원자로용기 파손 후 원자로공동에서 노심용융물 파편의 온도가 콘크리트의 용융점을 초과하였을 때 접촉하는 콘크리트를 용융 및 분해시키는 중대사고 현상으로 잠재적으로 많은 양의 증기 및 비응축성 기체를 방출하여 원자로건물의 압력을 증가시킬 수 있으며, 고온의 용융물이 콘크리트를 침식시켜 잠재적인 기초콘크리트 용융관통을 일으킬 수 있다. 노심용융물과 콘크리트의 반응에 대한 중대사고 완화능력 평가는 4.2.3절에 기술되어 있다.

#### 1.1.4.4 노심용융물의 고압 분출/원자로건물 직접가열

노심용융물 고압분출은 원자로냉각재계가 고온/고압으로 유지된 상태에서 원자로냉각재계가 파손되어 고온의 노심용융물이 원자로냉각재계통 외부로 분출되는 현상이다. 노심용융물 분출에 이어 원자로냉각재계통 내 고압의 증기가 원자로공동을 경유하여 원자로건물로 방출되는 과정에서 노심용융물이 원자로건물 대기 중으로 이송 및 분산된다. 원자로공동을 이탈한 고온의 노심용융물은 원자로건물 대기와 직접 접촉하여 급격한 열전달을 일으킴으로써 원자로건물을 가압하는데 이러한 현상을 원자로건물 직접가열이라 한다. 원자로건물직접가열에 의해 가해지는 압력하중은 원자로건물을 조기에 파손시킬 수 있는 중대사고 위험요소로 이에 대한 중대사고 완화능력 평가는 4.2.4절에 기술되어 있다.

#### 1.1.4.5 노심용융물과 냉각수의 반응

노심용융물과 냉각수 반응은 노심용융물이 주변의 냉각수에 열에너지를 전달하는 과정에서 발생한다. 냉각수와 접촉한 노심용융물은 냉각 가능한 파편층 형태로 쪼개지거나 급격한 증기폭발로 전개될 수 있다. 증기폭발은 원자로용기 내부에서 노심용융물이 핵연료 영역으로부터 하부플레넘(Lower Plenum)으로 재배치될 때 또는 원자로용기가 파손되어 원자로공동에 있는 냉각수로 노심파편물이 유입될 때 발생하며, 노심용융물과 냉각수의 반응에 대한 중대사고 완화능력 평가는 4.2.5절에 기술되어 있다.

#### 1.1.4.6 증기발생기 전열관 크리프 파손 등 원자로건물 격리경계 우회

증기발생기 전열관의 크리프 파손 등 원자로건물 격리경계 우회사고가 발생하는 경우, 원자로건물이 구조적으로 건전하더라도 핵분열생성물이 환경으로 직접 방출될 수 있기 때문에 적절한 완화 방안을 구비하여야 한다. 증기발생기 전열관 크리프 파손 등 원자로건물 격리경계 우회에 대한 중대사고 완화능력 평가는 4.2.6절에 기술되어 있다.

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 1.1.5 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서, 한국수력원자력(주)
2. 원자력안전위원회 고시 (원자로. 42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정”
3. 규제지침 16.1 다중고장에 의한 사고의 평가, KINS/RG-N16.01
4. 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가 종합보고서, 한국수력원자력(주)
5. Safety Standards, Specific Safety Guide SSG-2, “Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants”, Rev1, IAEA
6. WENRA WG Report, “Safety of new NPP designs”, RHWG(Reactor Harmonization Working Group)
7. European Utility Requirements for LWR NPP, Rev.E
8. 신고리 5,6호기 확률론적 지진재해도 분석 보고서, 한국수력원자력(주)
9. 스트레스테스트 수행지침, 원자력안전위원회.



## 1.2 사고관리에 관한 설비

본 절에서는 “사고관리계획서 안전심사지침”에 따라 사고관리의 대상이 되는 설계기준사고, 다중고장에 의한 사고(이하 “다중고장사고”), 설계기준으로 고려한 외적 요인을 초과하는 자연재해 및 인위적재해(이하 “극한재해”) 그리고 설계기준을 초과하여 노심의 현저한 손상이 발생한 사고(이하 “중대사고”)를 관리하기 위해 사용되는 설비에 대해 설명한다.

설계기준사고에 대비한 설비에 대한 사항은 최종안전성분석보고서에 기술된 내용을 참조하여 작성하였다. 설계기준사고 완화를 위해 필요한 안전기능을 수행하는 설비를 표 1.2-1에 각 사고별로 구분하여 명시하였다.

중대사고 예방 단계에서 다중고장사고의 관리에 사용되는 설비에 대해서는 본 보고서의 1.2.1.2절에 기술하였다. 다중고장사고시 사용되는 설비들에 대해서 표 1.2-2에 각 안전기능별 및 사고별 사용되는 설비를 제시하였다. 설계기준초과 자연재해시 중대사고 예방을 위한 설비들에 대해서는 표 1.2-3에 각 안전기능별로 사고관리에 사용되는 설비를 제시하였다.

중대사고 완화를 위한 고정형 설비들에 대해서 표 1.2-4에 제시하였고, 이들 설비에 대한 설명은 본 보고서의 1.2.2절에 기술하였다.

또한 중대사고 예방 및 완화를 위한 이동형 설비에 대한 설명은 1.2.3절에 기술하였다.

### 1.2.1 중대사고 예방을 위한 고정형 설비

#### 1.2.1.1 설계기준사고

설계기준사고 발생시 이를 완화시키기 위해 필요한 안전기능을 수행하는 설비는 표 1.2-1과 같으며, 작동 설정치, 사고에 따른 열수력 거동 변화를 포함한 발전소 상태 등은 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서 제6장 및 제15장에 상세히 기술되어 있다. 사고완화를 위해 안전기능을 수행하는 설비들 중 가압기 파이롯트구동 안전방출밸브 (이하 ‘가압기 POSRV’라 한다)를 포함한 원자로냉각재계통과 원자로냉각재배기계통은 최종안전성분석보고서 5.2절, 정지냉각계통은 5.4.7절, 원자로건물격리계통은 6.2.4절, 원자로건물살수계통은 6.5.2절, 가연성기체제어계통은 6.2.5절, 안전주입계통은 6.3절, 원자로보호계통은 7.2절, 공학적안전설비작동계통은 7.3절, 주증기격리밸브, 주증기안전밸브 및 주증기대기방출밸브는 5.4.13절 및 10.3절, 주급수격리밸브는 10.4절, 보조급수계통은 10.4.9절에 상세히 기술되어 있다. 설계기준사고에 대비한 설비의 간략한 설명은 다음과 같다.

#### 1.2.1.1.1 원자로보호계통

원자로보호계통은 핵증기공급계통의 상태들을 감시하며 만약 감시된 상태들의 어떤 것이나 조합된 상태가 정해진 안전계통 설정치에 도달하면 정확하고 신속하게 원자로를 정지시키는 데 필요한 감지기, 연산기, 논리회로 및 기타 기기로 구성되어 있다. 원자로보호계통의 4개의 독립 채널들은 선정된 발전소 변수들을 감시한다. 원자로보호계통 논리는 하나의 운전 변수에 대해 2개 이상의 신호가 설정치에 도달할 때에는 언제든지 보호동작을 개시하도록 설계되었다. 만약 이러한 경우가 발생하면, 제어봉구동장치에 공급되는 전원이 차단되고 제어봉집합체들이 노심 속으로 낙하되어 원자로를 정지시킨다. 2/4 동시논리는 정비 및 시험시 한 채널을 우회시킴으로써 2/3 동시논리로 전환될 수 있다. 보호계통은 수동 및 자동제어계통들로부터 독립성을 유지한다. 원자로보호계통은 최종안전성분석보고서 7.2절에 상세히 기술되어 있다.

#### 1.2.1.1.2 공학적안전설비 작동계통

공학적안전설비를 작동하여 비상노심냉각을 통한 핵연료피복재의 보호, 원자로건물의 격리 등을 통한 원자로건물의 건전성 보장, 사고시 방출되는 에너지의 최소화, 원자로건물 대기의 핵분열생성물 제거 기능을 수행한다.

공학적안전설비 작동계통은 다양한 변수를 측정하는 다중 계측 채널을 이용하여 사고조건을 감지함으로써 공학적안전설비를 자동으로 작동시키며, 운전원 조치에 의하여 수동 작동도 가능하다.

공학적안전설비에는 안전주입계통, 정지냉각계통, 보조급수계통, 주증기격리계통, 원자로건물 살수계통 및 원자로건물 격리계통 등이 있다. 1차 및 2차계통의 감시변수가 보호동작을 요구하는 상태에 도달하면 원자로건물격리작동신호, 원자로건물살수작동신호, 주증기격리신호, 안전주입작동신호 및 보조급수작동신호들을 발생시켜 이와 연동된 공학적안전설비를 작동시킨다. 공학적안전설비 작동계통은 최종안전성분석보고서 7.3절에 상세히 기술되어 있다.

#### 1.2.1.1.3 원자로냉각재계통(원자로냉각재계통 감압)

원자로냉각재계통은 열원, 열제거원, 순환계통 등으로 구성되고, 2개의 폐회로가 원자로에 연결된다. 각 폐회로는 하나의 42인치 내경 출구관(고온관), 하나의 증기발생기, 두 개의 30인치 내경 입구관(저온관) 및 두 대의 원자로냉각재펌프로 구성되고, 한 개의 폐회로 고온관에 가압기가 연결되었다. 모든 원자로냉각재계통 기기는 원자로건물 내에 위치한다.

원자로냉각재는 원자로를 통과함에 따라 노심 내 핵분열로부터 방출된 에너지에 의해 가열되고, 증기발생기에서 2차 계통으로 열전달을 하여 터빈-발전기를 구동시킬 증기를 생산한다. 정상운전 중에 냉각재는 원자로냉각재펌프에 의해 원자로와 증기발생기를 통과하도록 연속 순환된다. 원자로냉각재는 중성자 감속재의 역할도 하고, 반응도 제어를 위해 붕산을 함유하며, 고온 노심유로에서의 일부 국부 비등을 제외하고는, 순환 냉각재는 가압기에 의해 과냉상태가 유지된다. 원자로냉각재계통 압력은 증기와 물이 열적평형을 이루고 있는 가압기에 의해 유지 및 제어되며, 가압기체적은 전출력운전시 포화증기 및 물이 각각 약 50 %씩 차지한다. 가압기의 침수형 전기가열기와 살수에 의해 원자로냉각재계통의 운전압력을 유지하고 과도상태시 압력변동을 제한한다. 원자로냉각재계통은 증기발생기를 통해 주증기계통으로 4,000 MWt를 전달하며, 이중 3,983 MWt는 노심에서, 나머지 17 MWt는 원자로냉각재펌프에서 발생된다.

원자로냉각재계통의 과압보호를 위해 4개의 가압기 POSRV가 설치되어 있다. 이 밸브들은 가압기 상부의 노즐에 연결되며, 2개의 공통관을 통하여 원자로건물내재장전수탱크로 증기를 방출한다. 가압기 POSRV는 1쌍의 스프링구동 파이롯트밸브군과 주밸브를 통하여 과압보호 기능을 수행하며, 직렬로 연결된 2개의 전동기구동 파이롯트밸브와 주밸브를 통하여 안전감압기능을 수행한다. 또한 이들 밸브들은 ASME Section III의 요건에 따라 1차계통을 과압으로부터 보호하도록 설계되었다. 원자로냉각재계통의 과압보호는 최종안전성분석 보고서 5.2.2절에, 안전감압밸브는 최종안전성분석보고서 6.7절에 상세히 기술되어 있다.

#### 1.2.1.1.4 원자로냉각재배기계통

원자로냉각재배기계통은 사고 후 원자로용기상부헤드 및 가압기 증기부에 축적된 비응축성 기체를 배기시켜 원자로 노심의 냉각기능이 저해받지 않도록 한다. 또한 원자로냉각재배기계통은 가압기 살수, 가압기 보조살수, 또는 화학 및 체적제어계통의 충전 및 유출계통의 사용이 불가능한 경우 가압기 증기부에서 증기를 방출하여 가압기 압력을 조절하는 기능을 갖는다. 이 계통은 사고 후 조건하에서 상기 기능을 수행할 수 있다.

본 계통은 주제어실내 운전원의 원격조작에 의해 원자로용기상부헤드 또는 가압기 증기부를 배기할 수 있다. 가압기 POSRV 입구 플랜지 및 비상원자로감압밸브 입구 플랜지에서 분기된 가압기 증기부 배기관은 정상시는 닫혀진 2개의 밸브가 설치된 2계열의 배기관이 공통모관과 연결되고 원자로냉각재배기계통 증기분사기를 통하여 원자로건물내재장전수탱크로 방출되어 냉각된다. 원자로용기상부헤드 배기는 원자로용기상부헤드 배기관 플랜지 경로를 거쳐 원자로냉각재배기계통 증기분사기를 통하여 원자로건물내재장전수탱크로 방출되어 냉각된다. 원자로냉각재배기계통의 상세한 설명은 최종안전성분석보고서 6.7절에 기술되어 있다.

#### 1.2.1.1.5 안전주입계통

발생 가능성이 매우 희박한 사고인 냉각재상실사고시, 안전주입계통은 원자로냉각재계통에 봉산수를 주입한다. 안전주입계통은 4계열의 안전주입계통 유로 및 원자로건물내재장전수탱크로 구성된다.

안전주입계통은 봉산수를 원자로용기로 직접 주입하기 위해 4대의 안전주입펌프를 이용하며 또한, 4대의 안전주입탱크가 제공된다. 안전주입펌프는 원자로건물내재장전수탱크에 연결되며 냉각재상실사고 후에 재순환을 위한 유로의 변경은 필요 없다. 이 계통은 노심손상과 핵분열생성물의 방출을 제한하도록 노심을 냉각하고 충분한 정지여유도를 확보하게 한다.

또한, 안전주입계통은 원자로건물내재장전수탱크로부터 봉산수를 재순환함으로써 사고후에도 장기간 연속적으로 노심을 냉각한다. 안전주입펌프 및 원자로건물내재장전수탱크에 의해 원자로건물내재장전수탱크로부터 흡입된 물은 원자로용기 및 원자로건물 내로 주입된다. 그때 안전주입수는 파단된 배관을 통해 원자로건물로 유입된다. 이 안전주입수 및 원자로건물에 살수된 물은 바닥배수로 및 중간저장조(holdup volume tank)를 통해 원자로건물내재장전수탱크로 되돌아온다. 이 과정에서 원자로건물 살수열교환기에 의해 원자로건물내재장전수탱크의 열을 제거한다. 안전주입계통 및 원자로건물내재장전수탱크는 최종 안전성분석보고서 6.3절 및 6.8절에 상세히 기술되어 있다.

안전주입계통은 증기발생기가 이용 불가능한 인허가 설계기준을 초과하는 사고에 대해 붕괴열제거 대체수단을 제공한다. 원자로냉각재계통의 주입 및 방출을 통해 붕괴열을 제거하는데 이는 안전주입계통을 이용하여 봉산수를 주입하고, 안전감압배기계통(SDVS)을 이용하여 압력을 방출하며, 정지냉각계통을 이용하여 원자로건물내재장전수탱크의 물을 냉각함으로써 달성된다.

안전주입탱크내의 고정된 내부장치(피동형 유량조절장치)는 수위변화에 따라 유량을 조절한다.

#### 1.2.1.1.6 정지냉각계통

정지냉각계통은 원자로냉각재 온도를 176.7 °C(350 °F)에서 평균 재장전 온도인 48.9 °C(120 °F)까지 제어된 냉각수로 감소시키고, 재장전기간중 원자로냉각재 온도를 적절하게 유지하기 위해 사용된다. 이 계통은 정지냉각열교환기를 통하여 원자로냉각재를 순환시켜 원자로냉각재계통으로 되돌려 보내기 위해 2대의 정지냉각펌프를 사용한다. 1차측 기기냉각수계통은 정지냉각열교환기에 냉각수를 공급한다.

정지냉각계통은 63.28 kg/cm<sup>2</sup>(900 psig)의 설계압력을 갖는다. 이러한 계통압력은 더

큰운전유연성을 제공하고 계통 과압보호 관련사항을 단순화시킨다. 정지냉각펌프는 안전 주입계통과 기능을 공유하지 않는다.

정지냉각계통은 최종안전성분석보고서 5.4.7절에 상세히 기술되어 있다.

#### 1.2.1.1.7 원자로건물격리계통

원자로건물격리계통은 가상 설계기준 사고 후 핵분열 생성물의 방출을 최소화하도록 원자로건물 경계부의 건전성을 유지함과 동시에 정상 혹은 비상 상태시 원자로건물 경계부를 통한 유체의 경로를 제공한다.

일반설계기준 55 및 56을 만족해야하는 원자로건물 관통배관은 원자로건물 관통부 내부 및 외부에 각각 한 개의 격리밸브가 설치되어 있다. 원자로건물 격리는 안전주입신호 또는 원자로건물격리신호에 의해 자동으로 이루어지며, 원자로건물 관통부를 통과하는 배관계에는 2개의 또는 1개의 격리밸브가 설치되어 있다. 모터구동 원자로건물 격리밸브는 안전성관련 기기로 1E급 전원을 공급받는다. 원자로건물격리계통의 상세한 설명은 최종 안전성분석보고서 6.2.4절에 기술되어 있다.

#### 1.2.1.1.8 원자로건물살수계통

원자로건물살수계통은 설계기준사고 발생시 원자로건물 대기로 살수용액을 공급하여 핵분열생성물질, 특히 요오드 원소들을 제거함으로써 소외로의 방사선 영향을 최소화하고 동시에 원자로건물 대기의 온도와 압력을 감소시키는 기능을 한다. 또한, 원자로건물살수계통은 원자로건물 대기로부터 열을 제거하며, 설계기준사고 발생시 가연성 기체의 국부적 축적을 방지하기 위해 원자로건물 대기를 혼합시키는 기능을 수행한다.

원자로건물살수계통은 100 % 용량의 2개 계열로 이루어지며 각 계열은 각 1대씩의 펌프와 살수열교환기, 최소우회유량 열교환기 및 살수모관과 살수노즐로 구성된다. 원자로건물 살수펌프의 취수원은 원자로건물내재장전수탱크이다. 원자로건물살수계통의 원자로건물 열제거 기능과 핵분열물질 제거 기능의 상세한 설명은 최종안전성분석보고서 6.2.2절 및 6.5.2절에 기술되어 있다.

#### 1.2.1.1.9 주증기격리밸브, 주증기안전밸브 및 주증기대기방출밸브

각 주증기 배관에는 1개의 급속작동 주증기격리밸브가 설치되어 있다. 각 밸브는 파단된 주증기배관의 최대 증기유량에 대응하여 5초 이내의 작동시간을 가지며 주증기격리밸브 상하류에 있는 주증기배관 또는 관련기기 파단 사고시 자동적으로 작동한다. 주증기격리밸브는 단일 능동기기 사고를 가정하여 1대 이상의 증기발생기에서 취출을 방지한다. 밸브는 전원상실시 닫히도록 설계되어 있다. 주증기격리신호에 응하여 일단 격리가 시작되

면 밸브는 닫힌다. 밸브는 주증기격리신호 무효화에 의해 발전소 조건 및 발전소 운전절차에 따라 주제어실에서 운전원이 수동으로 열 수 있다. 각 밸브는 밸브 폐쇄의 다중수단을 제공하기 위해 공간적으로 분리되고 전기적으로 독립된 다중 유압회로를 갖고 있다. 주증기격리밸브는 최종안전성분석보고서 10.3절에 상세히 기술되어 있다.

증기발생기의 셸 측 및 터빈격리밸브 입구까지의 주증기 관로에 대한 과압보호는 주증기 안전밸브에 의해 이루어진다. 주증기안전밸브의 1개의 최소용량은  $92.83 \text{ kg/cm}^2\text{A}(1,320 \text{ psia})$ 에서  $430,825 \text{ kg/hr}(950,000 \text{ lb/hr})$ 의 증기를 방출하도록 설계되며, 이는 증기발생기 압력이 최악의 과도상태 동안 증기발생기 설계압력의 110 % 미만이 되도록 제한한다. 주증기안전밸브는 순차개방설정치를 가졌으며, 총 20개로 구성되어 있으며, ASME Sec. III NC에 따라 설계되는 스프링장착 안전밸브이다. 주증기안전밸브는 최종안전성분석보고서 5.4.13 및 10.3절에 상세히 기술되어 있다.

주증기대기방출밸브는 주증기안전밸브와 주증기격리밸브로부터 상류에 있는 각 주증기배관상에 설치되어 있다. 주증기격리밸브가 닫히거나 복수기가 열제거원으로서의 기능을 상실하였을 때, 각 증기발생기의 냉각을 위해 각 주증기배관에는 한 개의 조절형 대기방출밸브가 설치되어 있다. 주증기대기방출밸브는 발전소 비상정지나 고온대기상태 동안 주증기안전밸브의 최저설정치압력 이하로 증기압력을 유지할 수 있도록 설계되었다. 각 밸브는 고온대기상태에서 발전소를 유지, 노심붕괴 및 원자로냉각재펌프 열제거 그리고 고온대기에서 정지냉각계통 초기상태까지 제어된 냉각을 수행한다. 각 밸브는 1대의 증기발생기가 열제거를 수행할 수 없도록 하는 배관파단이나 튜브파열과 같은 사고시 2대의 주증기대기방출밸브 중 1대의 단일능동고장 및 정상교류전원상실사고가 동시에 발생하여도, 제어된 발전소 냉각을 수행할 수 있다.

주증기대기방출밸브는 전기-유압식으로 작동된다. 주증기대기방출밸브는 주제어실이나 원격정지반에서 수동으로 작동된다. 이 밸브들은 작동동력 상실시 또는 제어신호 상실시에 닫히도록 설계되어 있다. 1개의 밸브가 잘못 개방되더라도 원자로 안전요건이 손상되지 않는다. 소외전원 및 비상전원상실시 주증기대기방출밸브는 수동으로 조작 가능하다. 대기방출밸브는 최종안전성분석보고서 10.3절에 상세히 기술되어 있다.

#### 1.2.1.1.10 주급수격리밸브

각각의 주급수관에는 두 개의 주급수격리밸브가 직렬로 설치되어 있다. 하나의 주급수격리밸브에 고장이 발생하면 다른 하나의 주급수격리밸브가 격리를 담당한다. 주급수격리밸브는 주증기관파단사고, 주급수관파단사고, 원자로냉각재상실사고 또는 증기발생기 고수위시에 증기발생기와 급수계통을 격리하며, 급수배관파단사고시 원자로건물로부터의 방사능유출 가능성을 제거한다. 주급수격리밸브는 안전등급이며 내진범주 I급 기준을 만족하도록 설계되었다. 주급수격리밸브는 최종안전성분석보고서 10.4절에 상세히 기술되어 있다.

#### 1.2.1.1.11 보조급수계통

보조급수계통은 안전성관련 계통으로서 발전소 비상운전상황 동안 원자로 노심의 노출방지 및 열의 제거를 위하여 독립적인 급수를 증기발생기 2차측에 공급한다. 보조급수계통은 발전소 정상출력운전시를 위한 운전 기능은 가지고 있지 않다. 보조급수계통은 정상적인 소내 또는 소외전원상실 사고를 포함하여 주급수계통이 사고로 인해 증기발생기로부터 열제거가 요구되는 사고 발생시 증기발생기에 급수를 공급하기 위하여 자동 또는 수동으로 동작할 수 있도록 설계되어 있다.

보조급수계통은 잔열제거를 위해 증기발생기에 적당한 급수 재고량을 유지시키고, 고온대기에서 정지냉각계통이 기동하는 시점까지 고온대기상태를 유지하여 발전소 냉각(최대 냉각률 41.70 °C/hr (75 °F/hr))을 수행할 수 있다. 정지냉각계통은 원자로냉각재계통 온도와 압력이 5.4.7절에 나타난 개시조건까지 감소될 때 발전소 냉각을 위해 사용 가능하게 된다.

보조급수계통은 주요 냉각재상실사고시 증기발생기 전열관이 노출되는 것을 방지하고 원자로냉각재계통과의 압력경계를 적절히 유지하기 위하여 운전원이 수동으로 작동할 수 있다. 1차측에서 2차측으로 누설이 발생했을 때, 냉각재상실사고 후 증기발생기 전열관을 통한 원자로냉각재의 우회누설 가능성을 최소화하기 위하여 증기발생기로 보조급수를 주입한다.

보조급수계통은 2개의 독립된 계열로 배열된다. 각 계열은 해당 증기발생기에 보조급수가 공급되도록 배열되며, 각 계열은 하나의 100 %의 보조급수저장탱크, 하나의 100 % 전동기구동 펌프군, 하나의 100 % 터빈구동 펌프군, 밸브, 하나의 캐비테이팅 벤츄리 및 계측 기기로 구성된다. 터빈구동 펌프의 운전에는 필수적인 모든 제어, 계장 및 밸브들은 축전지 지원 1E급 전원에 의해서 작동된다. 축전지는 적절한 부하차단과 함께 24시간까지 발전소 정전(모든 교류전원상실)시에 대비하여 터빈구동 보조급수펌프에 전원을 공급할 수 있다. 축전지뿐 아니라, 예비전원으로 대체교류전원이 소내정전사고시 공급된다.

보조급수계통에는 100 % 용량의 보조급수저장탱크 2대가 있으며, 각 탱크는 상온안전정지를 달성할 수 있도록 1,514,165 L(400,000 gal)의 가용한 안전성관련 보조급수 저장용량을 갖추고 있다.

보조급수계통은 보조급수 작동신호에 의해 자동 기동되며, 수동 작동 수단도 구비되어 있다. 보조급수작동 신호는 해당 증기발생기의 저수위에 따라 독립적으로 발생되며, 보조급수 작동 신호 발생시 전동기구동 보조급수펌프 및 터빈구동 보조급수펌프 모두 해당 증기발생기로 보조급수를 공급한다. 증기발생기에서 급수를 비등시키고, 발생된 증기를 주증기대기방출밸브를 통하여 대기로 방출시킴으로써 원자로에서의 열을 제거시킨다. 주복수기가 이용 가능한 경우 증기를 터빈우회계통에 의하여 복수기로 방출시킬 수도 있다.

보조급수계통은 최종안전성분석보고서 10.4.9절에 상세히 기술되어 있다.

#### 1.2.1.1.12 가연성기체제어계통

원자로건물내 가연성기체제어는 설계기준사고 대처설비인 피동수소재결합기계통과 원자로건물수소퍼지계통, 그리고 중대사고 대처설비인 수소완화계통으로 구성되어 있다.

설계기준 냉각재상실사고시 원자로건물 내 가연성기체제어는 피동수소재결합기계통과 원자로건물수소퍼지계통에 의해 수행된다. 냉각재상실사고시 냉각수의 방사분해, 원자로건물살수에 의한 급속 재료의 부식, 증기와 지르코늄 피복재 반응, 그리고 원자로냉각재계통과 가압기 내에 존재하는 용존 수소에 의해 생성된 수소가 파단부위를 통하여 원자로건물로 방출된다. 피동수소재결합기계통은 대의 피동축매형수소재결합기를 이용하여 공기나 공기-수증기 혼합체 내의 수소농도가 최소연소한계인 4 v/o 이하로 유지되도록 제어한다. 뿐만 아니라 모든 설계기준사고 대처용 피동축매형수소재결합기 작동실패시 원자로건물수소퍼지계통은 원자로건물퍼지계통에 설치된 공기정화기를 경유하여 원자로건물 대기를 퍼지시킴으로써 사고 후 원자로건물 대기의 수소농도를 감소시킨다. 가연성기체제어계통은 최종안전성분석보고서 6.2.5절에 상세히 기술되어 있다.

#### 1.2.1.1.13 안전관련 변수지시

운전원이 발전소 안전에 중요한 수동조작을 수행하기 위하여 발전소의 모든 운전조건 하에서 원자로, 원자로냉각재계통, 원자로건물 및 안전성관련 공정계통을 감시할 수 있는 안전성관련 변수가 지시된다.

안전성관련 표시설비는 다음과 같은 분류에 따라 NUREG-0737 TMI 조치계획 요건 I.D.2를 만족하도록 설계되어 있다.

- 안전성관련 발전소 공정표시설비
- 원자로정지계통 감시
- 공학적안전설비 감시
- 제어봉집합체 위치 지시
- 사고 후 감시
- 자동우회 지시
- 부적절한노심냉각 감시
- 안전변수지시계통

안전관련 지시계측장비에 대한 상세한 사항은 최종안전성분석보고서 7.5절에 기술되어 있다.



1.2.1.1.14 전력 공급



신고리 5,6호기 소내전력계통의 모선은 13.8 kV, 4.16 kV, 480 V, 250 VDC, 125 VDC 비안전모선 및 120 V 계기용 비필수 모선과 4.16 kV, 480 V, 125 VDC 안전모선 및 120 V 계기용 필수 모선으로 구분된다.

소외전원이 상실되면 4.16 kV 안전모선의 저전압 신호 발생 후 17초 이내에 1E급으로 내진 설계된 비상디젤발전기가 자동으로 작동하여 4.16 kV 안전모선을 가압, 공학적안전설비의 전체 부하에 전력을 공급하며, 공학적안전설비가 작동됨에 따라 원자로가 안전정지 상태로 유지된다.

소외전원 상실시 비상디젤발전기가 자동으로 작동되지 않으면 비상디젤발전기를 수동으로 기동하여 4.16 kV 안전모선을 가압하여야 하며, 이러한 조치도 실패하면 비상디젤발전기를 포함한 소내의 모든 교류전원이 상실되는 소내정전이 발생한다.

소내정전 발생 후 10분 이내에 주제어실에서 대체교류디젤발전기를 수동으로 기동하고 4.16 kV 안전모선을 가압하여 공학적안전설비에 전력을 공급할 수 있도록 한다. 운전원은 공학적안전설비를 수동으로 기동함으로써 원자로를 안전정지 상태로 유지한다.

발전소 전력계통에 대한 상세한 사항은 최종안전성분석보고서 8장에 기술되어 있다.

1.2.1.1.15 수원 공급

원자로건물내재장전수저장계통은 정상 및 사고상태 동안 원자로건물 내에서 냉각수의 수집, 이송, 저장 및 최종열침원의 기능을 수행한다. 동 계통은 원자로건물내재장전수탱크(IRWST), 중간저장조(HVT), 원자로공동침수계통(CFS)으로 구성된다. 원자로건물내재장전수탱크와 중간저장조는 원자로건물 내부구조물의 주요 부분이며 최종안전성분석보고서의 3.8.3절에 상세히 기술되어 있다. 각각은 철근콘크리트구조물이며, 붕산수와 직접 접촉이 예상되는 내부 표면에는 스테인리스강 라이너로 라이닝되어 있다.

원자로건물내재장전수탱크는 정상운전시 연료교체, 안전주입계통에 의한 원자로냉각재계통 주입, 원자로건물살수용 봉산수, 원자로공동 침수 및 안전감압배기계통 방출수 냉각을 위한 봉산수를 저장한다.

사고시 원자로건물내재장전수탱크 냉각수는 안전주입계통, 정지냉각계통 및 원자로건물살수계통의 수원으로 사용되며, 원자로건물살수열교환기로 냉각된다. 원자로건물내재장전수탱크 냉각수는 원자로건물살수펌프에 의해 원자로건물살수열교환기로 보내져 냉각된 후 살수노즐을 통하여 원자로건물 대기로 살수된다. 원자로건물 대기는 살수되는 살수액으로의 열전달에 의해 냉각된다. 살수된 냉각수는 중간저장조로 배수된 후 중간저장조 수위가 원자로건물내재장전수탱크 충수배관에 도달하면 원자로건물내재장전수탱크 충수배관을 통하여 최종적으로 원자로건물내재장전수탱크로 회수된다. 원자로건물내재장전수탱크의 상세한 설명은 최종안전성분석보고서 6.8절에 기술되어 있다.

보조급수펌프로 공급되는 2차측 냉각수원은 100 % 용량의 보조급수저장탱크 2대이며, 복수저장탱크의 물이 고갈되었을 경우 탈염수저장탱크 또는 원수저장조로부터 대체냉각수를 공급받을 수 있다. 2차측 냉각수원의 상세한 사항은 최종안전성분석보고서 10.4절에 기술되어 있다.

#### 1.2.1.1.16 기타 보조설비(1차측기기냉각수계통, 1차측기기냉각해수계통 및 공기조화계통)

1차측기기냉각수계통은 1차측기기냉각해수계통 및 최종열제거원과 함께 1차측기기냉각수계통에 연결된 필수 및 비필수 기기로부터 발생하는 열부하를 제거하는 폐순환계통이다. 이들 기기로부터 1차측기기냉각수계통에 전달된 열부하는 1차측기기냉각수 열교환기를 통해 1차측기기냉각해수계통으로 방출된다.

1차측기기냉각수계통은 2개의 독립된 다중 폐회로의 안전성관련 계열로 구성된다. 1차측기기냉각수계통의 각 계열은 원자로 안전정지를 위해 요구되는 100 % 용량의 냉각능력을 갖는다. 1차측기기냉각수계통의 각 계열은 3대의 열교환기, 1대의 완충탱크, 2대의 펌프, 1대의 화학제첨가탱크, 1대의 보충펌프, 1대의 방사능감시기, 배관, 밸브, 제어 및 계측기로 구성된다. 두 계열 사이에는 2개의 공통연결배관이 설치된다.

냉각재상실사고 동안 1대의 1차측기기냉각수펌프와 1차측기기냉각해수계통의 운전계열에 대응하는 2대의 열교환기가 운전된다. 비필수 모관으로의 냉각수 공급은 안전주입작동신호에 의해 격리된다. 기기들로부터 전달된 열은 1차측기기냉각수 열교환기의 저온측으로 흐르는 1차측기기냉각해수에 의해 제거된다. 1차측기기냉각수계통은 1차측기기냉각수 열교환기의 전열판 누설시 1차측기기냉각해수가 1차측기기냉각수계통으로 유입되지 않도록 1차측기기냉각해수계통보다 높은 압력에서 운전된다. 1차측기기냉각수계통의 상세한 사항은 최종안전성분석보고서 9.2.2절에 기술되어 있다.

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

1차측기기냉각해수계통은 최종열제거원으로부터 해수를 취수하여 발전소 계통, 구조물 및 기기로부터 발생하는 열을 제거하기 위해 냉각수를 공급하는 개방형 계통이다. 1차측기기냉각해수계통은 1차측기기냉각수열교환기(저온측)에 냉각해수를 공급하여 필수 및 비필수 원자로보조부하로부터 전달된 열부하를 최종열제거원으로 방출한다.

1차측기기냉각해수계통은 2개의 독립된, 다중, 개방형 안전성관련 계열로 구성된다. 각 계열은 안전성관련 부하의 100 % 냉각용량을 갖는 1차측기기냉각수계통의 한 계열을 냉각한다. 1차측기기냉각해수계통은 해수에 의한 1차측기기냉각수계통의 오염방지를 위해 1차측기기냉각수계통보다 낮은 압력에서 운전된다. 1차측기기냉각해수계통의 상세한 사항은 최종안전성분석보고서 9.2.1절에 기술되어 있다.

공기조화계통은 각 지역의 근무자에게 쾌적한 환경을 제공하고, 근무자 안전 및 기기기능 보호를 위해 설치되어 있다. 환기계통은 안전성관련 계열을 포함하는 지역 내 화재 또는 연기가 안전성관련 기기의 다중 계열을 포함하는 지역에 환기 덕트를 통하여 전달되지 않도록 분리되어 있다. 지역 화재감지기는 화재시 주제어실에 경보를 발생시키며 필요하다면 급기송풍기는 수동으로 정지시킨다. 연기 제거는 주제어실 또는 원격정지실에서 수동으로 기동되며, 이를 위해 배연송풍기, 댐퍼 및 덕트가 설치되어 있다.

원자로건물, 보조건물청정지역, 핵연료취급지역, 보조건물관리구역 및 비상디젤발전기 지역은 100 % 외부공기로 환기 또는 필요한 실내온도를 유지시킨다. 주제어실지역은 전용 배연송풍기를 설치한다. 보조건물관리구역, 핵연료취급지역 및 복합건물관리구역은 주위에 비해 부압을 유지한다. 이들 지역들 중에 한 지역에서 다른 지역으로 공기가 배출될 경우 대기로 배출되기 전에 여과한다. 공기조화계통의 상세한 사항은 최종안전성분석보고서 9.4절에 기술되어 있다.

### 1.2.1.2 다중고장사고 및 설계기준초과 자연재해

본 절에서는 설계기준사고에 대비한 설비들은 이미 1.2.1.1절 및 최종안전성분석보고서 제6장 등에서 상세하게 기술되어 있으므로, 다중고장사고 및 설계기준초과 자연재해 관리에만 사용되는 계통 및 설비들의 구성과 사고관리를 위해 수행하는 기능을 기술한다.

다중고장사고 및 설계기준초과 자연재해시 필수적으로 확보하여야 하는 안전기능은 다음과 같다.

- 원자로 정지기능
- 노심의 냉각기능
- 원자로건물의 방사성물질 격리방벽 기능
- 사용후연료저장조 내 핵연료의 냉각기능

각각의 다중고장사고시 이들 계통 및 기기들이 수행하는 안전기능을 표 1.2-2에 명시하였다. 표 1.2-3에서는 설계기준초과 자연재해시 중대사고 예방을 위한 사고관리 설비들을 제시하였다.

#### 1.2.1.2.1 다양성보호계통

다양성보호계통은 원자로정지불능예상과도상태로부터의 위험을 감소시키기 위해 설치되었다. 다양성보호계통은 설계기준사고와 동시에 일어나는 디지털컴퓨터기반 발전소보호계통과 공학적안전설비 기기제어계통의 공통원인고장에 의한 영향을 완화시킨다.

다양성보호계통은 가압기 압력이나 원자로건물 압력이 증가하여 설정치에 도달하거나, 증기발생기 압력이 감소하여 설정치에 도달할 때 원자로정지신호를 발생시킨다. 또한, 다양성보호계통은 원자로출력감압발계통이 운전불능상태에 있을 때 터빈이 정지되면 원자로를 정지시킨다. 다양성보호계통의 터빈 정지에 의한 원자로정지기능은 주제어실에서 수동으로 선택할 수 있다. 다양성보호계통은 제어봉구동장치의 전동발전기세트에 있는 출력차단기를 개방시키는 2/2 논리회로를 사용하여 제어봉구동장치로 공급되는 전원을 차단한다. 디지털제어봉제어계통에 있는 저전압계전기(undervoltage relay)는 제어봉구동장치에 공급되는 전원이 차단된 것을 감지하여 터빈정지신호를 보낸다.

다양성보호계통은 증기발생기 수위가 미리 설정된 값보다 낮아질 때 보조급수작동신호를 발생시키며, 가압기 압력이 감소하여 설정치에 도달할 때 안전주입작동신호를 발생시키고, 원자로건물 압력이 설정치를 초과할 때 원자로건물격리작동신호를 발생시킨다.

다양성보호계통과 발전소보호계통에서 독립적으로 발생하는 보조급수개시신호, 안전주입작동신호 및 원자로건물격리작동신호는 공학적안전설비 기기제어계통의 기기연계모듈을 통하여 보조급수, 안전주입 및 원자로건물격리를 작동시킬 수 있도록 설계한다. 공학적안전설비 기기제어계통과의 전기적인 격리를 유지하기 위하여 공학적안전설비 기기제어계통에서 격리장치가 제공된다.

다양성보호계통은 1E급의 필수모선전원과는 독립적인 비안전등급의 필수전력공급계통으로부터 전원을 공급받는다. 다양성보호계통의 상세한 설명은 최종안전성분석보고서 7.8.2절에 기술되어 있다.

#### 1.2.1.2.2 안전감압배기계통

안전감압배기계통은 원자로냉각재계통의 배기 기능, 원자로냉각재계통의 안전감압(유출과정) 기능 및 원자로냉각재의 수송, 분배 및 배출 기능을 수행한다.

원자로냉각재계통의 배기기능은 가압기주살수 및 보조살수를 이용할 수 없는 비원자로냉

각재상실사고(Non-LOCA) 설계기준사건시에 가압기나 원자로용기상부헤드로부터 원자로 건물내재장전수탱크로 비응축성 기체 및 증기를 배출하는 안전등급의 수단을 제공한다. 핵연료재장전 전·후의 운전 동안에는 가압기 및 원자로용기상부헤드로부터 원자로배수 탱크로 배기하는 수단을 제공한다.

원자로냉각재계의 안전감압(유출과정) 기능은 주급수 및 보조급수가 증기발생기를 통한 노심 붕괴열 제거에 장기간 이용될 수 없을 때 원자로냉각재계를 신속히 감압하는 수동 수단을 제공한다. 이 기능은 운전원이 수동으로 원격 제어한다. 급수완전상실사고와 같은 사고가 점진적 원자로냉각재 재고량의 상실을 동반하는 원자로냉각재계의 과압을 초래할 때 안전감압밸브는 원자로냉각재계의 급속감압이 제어되도록 운전원에 의해 개방될 수 있다. 원자로냉각재계가 감압됨에 따라 안전주입펌프가 기동되어 원자로냉각재계에 안전주입유량을 공급하기 시작하고 원자로냉각재계의 냉각재 재고량을 복구한다. 안전감압기능은 단기간 및 장기간의 붕괴열제거를 가능하게 한다.

또한 안전감압배기계통 배관은 가압기로부터 원자로건물내재장전수탱크까지 가압기 POSRV를 통해 방출된 유체 및 가압기나 원자로용기의 원자로냉각재 배기방출유체를 안전등급 배기시 원자로건물내재장전수탱크로 수송한다. 원자로건물내재장전수탱크는 방출유체를 응축/혼합시키고 원자로냉각재계통 방출유체를 수집하는 냉각재 저장탱크 역할을 한다.

안전감압배기계통의 상세한 설명은 최종안전성분석보고서 6.7절에 기술되어 있다.

#### 1.2.1.2.3 가압기압력제어계통

가압기압력제어계통은 가압기전열기 및 살수밸브를 사용하여 원자로냉각재계통 압력을 설정치 내로 유지시킨다. 가압기는 냉각재의 밀도변화에 의한 압력변화를 최소화시키기 위하여 물/증기 완충공간을 제공한다. 가압기압력편차신호는 가압기 압력신호와 압력설정치를 비교하여 생성되고, 비례전열기를 제어하기 위해 비례적분제어기에 사용된다. 전열기는 요구되는 가압기 압력을 유지하기 위해 운전된다. 운전원은 수동으로 압력을 제어할 수 있다.

가압기압력편차신호는 또한 살수밸브의 개도를 제어하기 위해 살수밸브프로그램으로 보내진다. 원자로냉각재는 물/증기 혼합 온도보다 다소 낮기 때문에 살수된 원자로냉각재는 가압기내의 증기를 응축시켜 계통의 압력을 떨어뜨린다. 운전원은 압력을 제어하기 위하여 살수밸브의 수동제어를 선택할 수 있다.

만약 비례전열기가 사용되고 있는데도 계통압력이 계속해서 감소되면 보조전열기가 자동으로 작동된다. 운전원은 보조전열기를 수동으로 작동시킬 수 있다. 전열기제어는 가압기 저수위 및 고압력 신호와 연동되어 있다. 저수위 연동은 수위가 설정치 이하로 떨어질

때 전열기 보호를 위해 모든 전열기를 차단한다. 만약 가압기 압력이 고설정치에 도달하면 모든 전열기가 꺼지게 된다. 이것은 전열기가 가압기 고압력 상태에서 압력을 더 이상 증가시키지 않게 하기 위함이다. 가압기압력제어시스템의 상세한 설명은 최종안전성분석보고서 7.7.1절에 기술되어 있다.

#### 1.2.1.2.4 가압기수위제어시스템

가압기수위제어시스템은 화학 및 체적제어시스템의 충전제어밸브 및 유출오리피스격리밸브를 사용하여 원자로냉각재시스템 냉각재 재고량의 변화를 최소화한다. 또한 가압기수위제어시스템은 발전소 과도현상 동안에 냉각재 밀립을 흡수하기 위해 가압기 내의 적정 증기체적을 유지시킨다.

정상운전 동안 가압기 수위설정치는 충전 및 유출유량의 변화를 최소화하기 위해 원자로냉각재 평균온도의 함수로 프로그램된다. 원자로냉각재 평균온도는 수위설정치 프로그램에 입력되고 설정치 프로그램 신호는 실제 수위신호와 비교된다. 수위편차신호는 충전제어밸브 및 유출오리피스격리밸브를 제어하기 위해 비례적분제어기와 비교기에 입력된다. 만약 수위편차가 높게 지시되면 가압기수위제어시스템은 선택된 충전제어밸브를 조절하여 충전유량을 감소시키고 수위편차가 낮게 지시되면 충전제어밸브를 조절하여 충전유량을 증가시킨다. 또한 수위편차가 설정치를 넘어서는 경우 유출오리피스격리밸브를 열거나 닫아 유출유량을 조절한다.

운전원은 충전제어밸브 및 유출오리피스격리밸브를 제어함으로써 수위를 수동으로 제어할 수 있다. 가압기수위제어시스템에 의하여 동작될 충전제어밸브는 가압기수위제어시스템 소프트웨어화면에서 선택이 가능하다. 가압기압력제어시스템 및 가압기수위제어시스템은 핵증기공급시스템공정제어시스템의 부계통으로서 구현된다. 가압기수위제어시스템의 상세한 설명은 최종안전성분석보고서 7.7.1절에 기술되어 있다.

#### 1.2.1.2.5 화학 및 체적제어시스템의 충전 및 유출

화학 및 체적제어시스템의 충전 및 유출은 원자로냉각재시스템 온도 변화로 인한 원자로냉각재의 수축 및 팽창과 기타 원자로냉각재 손실 및 증가를 보상함으로써 원자로냉각재의 적정 체적을 유지한다. 발전소의 최종열제거원 상실시 1차측기기냉각수시스템의 기능 또한 상실되며, 화학 및 체적제어시스템의 유출열교환기에 공급되는 1차측기기냉각수 상실에 따른 고-고 온도 연동으로 유출시스템은 차단된다.

최종열제거원이 상실된다 하더라도 전원이 가용하다면 충전펌프 및 보조충전펌프는 계속 운전될 수 있으므로, 원자로냉각재시스템으로의 보충수 공급 및 원자로냉각재펌프의 밀봉수 공급은 가능하다.

붕산저장탱크는 정상운전시 원자로냉각재계의 붕소농도를 조절하기 위하여 4,000~4,400 ppm 붕소 농도의 붕산수를 저장한다. 운전방식에 따라 붕산저장탱크의 붕산수는 체적제어탱크로 보내지거나 체적제어탱크 우회밸브를 통하여 직접 충전펌프 흡입모관으로 보내진다.

장기교류전원상실사고시 이동형발전기로부터 보조충전펌프에 전력을 공급하면, 충전배관과 원자로냉각재펌프 밀봉주입배관을 통하여 붕산저장탱크의 붕산수를 주입함으로써 원자로냉각재계의 재고량을 유지할 수 있다. 이때 운전원은 정상운전시의 충전 수원인 체적제어탱크를 붕산저장탱크로 교체하기 위하여 붕산저장탱크에서 충전펌프흡입모관까지의 대체 중력급수관을 배열하여야 한다.

화학 및 체적제어계의 상세한 설명은 최종안전성분석보고서 9.3.4절에 기술되어 있다.

#### 1.2.1.2.6 급수제어계통

급수제어계통은 원자로 기동모드로부터 전출력까지의 출력운전 중 증기발생기 수위를 자동으로 제어가능 하도록 설계되어 있다. 증기발생기 수위는 다음 조건에서 제어된다.

가. 정상상태운전

나. ■ %에서 ■ %까지 핵증기공급계통 출력에서 터빈부하의 ■ % 선형변화 및

■ %에서 ■ %까지 핵증기공급계통 출력에서 터빈부하의 ■ % 선형변화

다. ■ %에서 ■ %까지 핵증기공급계통 출력에서 터빈부하의 ■ % 단계변화 및

■ %에서 ■ %까지 핵증기공급계통 출력에서 터빈부하의 ■ % 단계변화

라. 운전중인 ■ 대의 주급수펌프 중 ■ 대의 상실

마. 모든 크기의 부하감발

바. ■ %에서 ■ %까지의 핵증기공급계통 출력에서 터빈부하의 ■ % 선형변화와  
■ % 단계변화

급수제어계통의 상세한 설명은 최종안전성분석보고서 7.7.1절에 기술되어 있다.

#### 1.2.1.2.7 증기우회제어계통

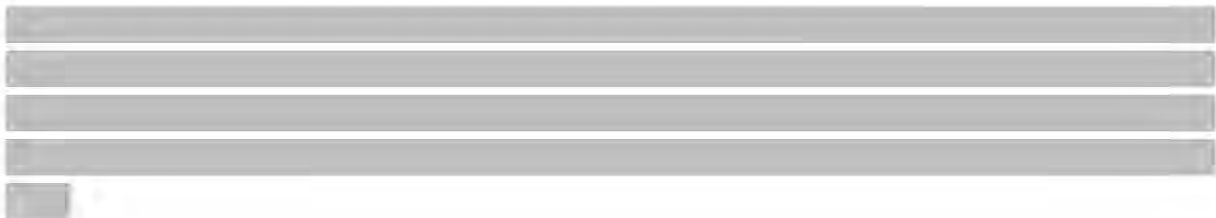
증기우회제어계통은 터빈부하감발에 따른 핵증기공급계통의 잉여 열에너지를 제거하기 위해서 터빈우회밸브의 선택적 사용 및 증기방출량의 조절을 통해 발전소 이용률을 높이도록 설계되어 있다. 이것은 불필요한 원자로정지를 방지하고, 가압기 POSRV 혹은 주증기안전밸브의 열림을 방지한다. 증기우회제어계통의 상세한 설명은 최종안전성분석보고서 7.7.1절에 기술되어 있다.

#### 1.2.1.2.8 지진원자로자동정지계통

지진원자로자동정지계통은 안전정지지진(SSE) 이상 규모의 지진 발생시 원자로를 보호하기 위하여 지진 감지기 신호들을 감시하고, 2개 이상 감지기의 신호값이 설정치에 도달할 경우 원자로정지 개시신호를 자동으로 발생시킨다. 지진원자로자동정지계통은 [REDACTED] 감지기 모듈과 2개의 채널로 구성된 비안전계통이며, 원자로정지를 위하여 2/4의 동시논리를 적용한다. 기능시험 혹은 계통 유지보수동안 한 개의 감지기 모듈이 우회되면, 2/4 동시논리가 2/3동시논리로 변경된다. 전동발전기세트의 출력차단기가 지진원자로자동정지계통의 원자로정지를 위한 작동기기로 사용된다. 지진원자로자동정지계통의 원자로정지 개시신호에 의해 2개의 전동발전기세트의 출력차단기가 모두 개방되면 디지털제어봉 제어계통으로 제공되는 전원이 차단됨으로써, 제어봉이 낙하되어 원자로가 정지하게 된다. 지진원자로자동정지계통의 상태 및 경보에 관한 정보는 정보처리계통과 주요변수지시 및 경보계통(QIAS-N)으로 전송된다. 외부전원이 공급되지 않는 경우에도 지진원자로자동정지계통의 무정전전원공급장치는 [REDACTED] 전원공급이 가능하다. 지진원자로자동정지계통의 상세한 설명은 최종안전성분석보고서 7.10절에 기술되어 있다.

#### 1.2.1.2.9 축전지

4개 계열의 안전등급 축전지는 소외전원상실시 소외전원이 복구되거나 비상디젤발전기(EDG) 또는 대체교류디젤발전기(AAC DG)가 이용 가능할 때까지 125 VDC 안전모선에 연결된 원자로제어 및 보호계통에 전력을 공급할 수 있다. 안전등급 축전지의 주요 부하는 밸브, 인버터, 4.16 kV 고압차단기반 제어전원 및 480 V 차단기반 제어전원 등이다. 축전지 용량은 2시간 동안 주요부하에 전원 공급이 가능하다.





## 1.2.2 중대사고 완화를 위한 고정형 설비

중대사고 완화 단계에서 원자로건물 건전성 위협요인에 대처하기 위하여 사용되는 설비 목록은 표 1.2-4와 같다. 이 설비들 중 설계기준사고 및 다중고장사고 대처에도 사용되는 설비들에 대해서는 1.2.1.1절과 1.2.1.2절에 설명하였으며, 이들 설비들을 제외한 중대사고 완화 단계에서 사용되는 설비에 대해 기술한다.

### 1.2.2.1 원자로건물 설계

신고리 5,6호기의 원자로건물은 외부 환경으로의 방사성 물질 누출을 원자력안전위원회의 규제기준과 규제지침 및 사고관리계획서 안전심사지침의 안전목표로 제시된 제한치 이내로 제한하는 방벽으로서의 역할을 수행하며 원통형 건물의 내부를 강철 격납 철판으로 보강한 저 누출 원통형 콘크리트 건물 구조를 가지고 있다. 따라서 원자로건물은 사고 발생 후 원자로건물 내부 대기에 포함되어 있는 방사능 물질의 방출 방지 기능을 수행한다.

원통형 원자로건물은 직경이 [REDACTED]이며, 벽체 및 돔의 두께가 각각 [REDACTED]인 프리스트레스 콘크리트로 되어 있다. 원자로건물 벽체는 보조건물과 공통의 바닥 콘크리트로 지지된다.

원자로건물의 공칭자유체적은 [REDACTED]이며, 내부 구조물은 (1) 비산물 위협으로부터 원자로건물을 보호하고, (2) 원자로건물 대기 혼합을 증진시키며 (3) 설계기준사고 및 중대사고로부터 방출되는 응축 및 비응축성 기체를 쉽게 수용할 수 있도록 배치되어 있다. 철근 콘크리트로 이루어진 원자로건물 내부구조물은 원자로용기와 주요 계통 기기들을 둘러싸고 있으며 원자로건물 내부의 방사선 차폐 기능과 원자로용기 및 원자로건물 벽체에 대한 비산물 방어 기능을 수행한다.

원자로건물 설계에 대한 상세한 내용은 최종안전성분석보고서 3.8.1절에 수록되어 있다.

### 1.2.2.2 원자로공동침수계통

원자로공동침수계통은 중대사고시 원자로공동 내에서 노심파편물을 냉각하고 핵분열생성물을 세정하기 위하여 운전원에 의한 수동 작동으로 원자로건물내재장전수탱크의 냉각수를 원자로공동에 공급한다. 원자로공동침수계통은 원자로건물내재장전수탱크, 중간저장조, 원자로공동, 연결 배관, 밸브 및 관련 전원으로 구성되어 있다. 원자로공동침수계통이 작동되면, 냉각수는 중력에 의해 원자로공동으로 주입되며, 원자로건물내재장전수탱크, 중간저장조, 그리고 원자로공동의 수위가 같아지면 침수가 중단된다.

원자로공동침수계통에 대한 상세 내용은 최종안전성분석보고서 6.8.2.2.3절에 기술되어 있다.

#### 1.2.2.3 가연성기체 제어

중대사고시 유효 노심 피복재 금속의 100 %와 냉각재의 반응에 의해 생성될 수 있는 가연성 기체를 제어하기 위해 피동촉매형수소재결합기(Passive Autocatalytic Recombiner, PAR) 및 수소점화기가 설계되어 있다. PAR는 전원 공급이나 운전원의 조치가 없이 작동하는 설비이며, 원자로건물 내 가연성 기체의 농도를 평균 10 % 미만으로 유지할 수 있도록 상부 돔 구역, 증기발생기 격실, 환형구역, 원자로공동 등에 설치되어 있다. 수소점화기는 전원 공급 및 운전원 조치를 통해 많은 양의 가연성 기체를 일시에 제거할 수 있으며, 원자로공동 격실, 원자로배수탱크 격실, 증기발생기 격실 등에 설치되어 있다.

또한 원자로건물 내의 가연성기체 농도를 연속적으로 감시하기 위한 수소감시기가 설계되어 있다. 가연성기체제어에 대한 상세한 설명은 최종안전성분석보고서 6.2.5절에 기술되어 있다.

#### 1.2.2.4 비상원자로감압밸브

비상원자로감압밸브들은 가압기의 증기부분에 연결되어 있으며, 2개의 계열은 각각 격리밸브와 방출밸브들이 직렬로 구성되며 형식은 전단 격리밸브는 게이트밸브이고 후단 방출밸브는 글로브밸브이다. 모든 밸브들은 정상운전시 사용되지 않으므로 정상운전시 모든 밸브들은 닫힘 상태로 유지된다. 원자로냉각재배기계통으로 배기 유로가 형성되어 있어서 격리밸브 전단 배관의 비응축성 기체를 제거할 수 있다. 각 비상원자로감압유로의 격리밸브와 방출밸브 사이의 고립배관과 격리밸브의 전단 배관을 연결하는 우회배관에는 역류방지밸브(check valve)가 설치되어 있어서 격리밸브와 방출밸브 사이의 고립배관이 과압되는 것을 방지한다. 비상원자로감압밸브는 중대사고시에 운전원이 원격/수동으로 원자로냉각재계통을 신속히 감압시키는 기능을 제공한다. 운전원은 비상원자로감압밸브를 개방하여 고압의 유체를 원자로건물 대기로 방출시킴으로써 원자로냉각재계통을 신속히 감압할 수 있다.

비상원자로감압밸브에 대한 상세 내용은 최종안전성분석보고서 5.4.15절에 기술되어 있다.

#### 1.2.2.5 비상원자로건물살수보조계통

비상원자로건물살수보조계통은 2대의 정지냉각펌프, 2대의 원자로건물살수펌프 및 원자로건물내재장전수탱크를 사용할 수 없는 설계기준초과 사고시 원자로건물 압력이

KEPIC SNB 3270 계수하중범주(Factored Load Category)를 초과하지 않도록 증기 응축에 위한 원자로건물 감압기능을 갖는 유량을 제공하는 계통이다. 비상원자로건물살수보조계통은 이동형 펌프차를 이용하여 외부수원으로부터 냉각수를 흡입, 비상원자로건물살수보조계통 전용 살수노즐을 통해 원자로건물 대기로 살수하여 원자로건물을 과압으로부터 보호하는 기능을 수행한다.

비상원자로건물살수보조계통에 대한 상세 내용은 최종안전성분석보고서 6.5.2.5절에 기술되어 있다.

### 1.2.3 중대사고 예방 및 완화를 위한 이동형 설비

중대사고 예방 및 완화를 위한 설비들은 표 1.2-2, 1.2-3 및 1.2-4와 같다. 이 설비들 중 중대사고 예방을 위한 고정형 설비는 1.2.1절에, 중대사고 완화를 위한 고정형 설비는 1.2.2절에 설명되었으므로, 본 절에서는 중대사고 예방 및 완화를 위한 이동형 설비에 대하여 기술한다.

#### 1.2.3.1 교류전력 공급을 위한 이동형 설비

##### 1.2.3.1.1 1 MW 이동형 발전차

1 MW 이동형 발전차는 소내정전사고에 대처하기 위해 설치된 대체교류디젤발전기까지 이용 불가능인 상황에서 발전소 안전성 확보에 필수적인 부하에 전원을 공급하고, 노심 손상을 방지하기 위해 원자로냉각재의 자연순환냉각을 유지하기 위한 설비에 전원상실 후 8시간 내에 전원을 공급한다.

1 MW 이동형 발전차는 4.16 kV/3상/60 Hz 전원을 공급하며, 1 MW 용량으로 발전소 내에 비상디젤발전기용 연료 또는 연료유 이송 및 저장 설비로부터 연료공급을 통해 장기간 연속운전이 가능하다.

1 MW 이동형 발전차는 각 호기별 1대 및 예비로 본부에 1대가 더 구비되며, 통합보관고에 보관된다.

##### 1.2.3.1.2 3.2 MW 이동형 발전차

3.2 MW 이동형 발전차는 소내정전사고에 대처하기 위해 설치된 대체교류디젤발전기까지 이용 불가능인 상황에서 발전소 안전성 확보에 필수적인 부하에 전원을 공급하고, 노심 손상을 방지하기 위해 원자로냉각재의 자연순환냉각을 유지하기 위한 설비에 전원상실 후 72시간 내에 전원을 공급한다.

4.16 kV 안전등급전원과 최종열제거원이 회복될 경우 정지냉각계통을 운전하여 저온정지 모드로 진입이 가능하다.

3.2 MW 이동형 발전차는 4.16 kV/3상/60 Hz 전원을 공급하며, 3.2 MW 용량으로 발전소 내의 비상디젤발전기용 연료 또는 연료유 이송 및 저장 설비를 활용하여 수동으로 연료를 추가 공급함으로써 장기간 연속운전이 가능하다.

3.2 MW 이동형 발전차는 본부별 2대가 배치되며, 서울본부 통합보관고에 보관된다.

#### 1.2.3.1.3 30 kW 이동형 발전기

30 kW 이동형 발전기는 인위적재해로 인한 발전소의 광역손상으로 노심냉각기능의 상실시, 노심용융물의 냉각을 위한 원자로공동 충수밸브에 전기를 공급한다.

인위적재해 발생으로 전력분배시스템의 상실과 동시에 노심냉각기능 상실시 노심용융물로 인한 원자로건물 건전성 유지를 위해 원자로공동충수시스템의 밸브에 전원공급을 통해 밸브를 개방하여 원자로건물내재장전탱크의 냉각수가 중력에 의해 원자로공동에 충수될 수 있도록하여 노심용융물의 냉각기능을 제공한다.

30 kW 이동형 발전기는 양호기당 1대가 신고리 5,6호기 이동형설비 보관고에 보관되며 정격 전압 및 주파수는 480 V/3상/60 Hz으로 디젤 구동방식이다.

#### 1.2.3.1.4 10 kW 이동형 발전기

10 kW 이동형 발전기는 인위적재해 발생으로 인한 발전소내 교류 및 직류전원 상실시 보조급수펌프 현장제어반에 전기를 공급한다.

인위적재해 발생으로 인한 발전소내 교류 및 직류전원 상실시 보조급수펌프를 사용하여 증기발생기 2차측에 독립적인 급수를 공급함으로써 원자로의 노심 열제거 수단을 제공한다. 이 때, 10 kW 이동형 발전기를 통해 보조급수펌프 현장제어반에 전원을 공급하며, 그 외에도 필요한 경우 임시팬 혹은 임시조명을 위해 사용할 수 있다.

10 kW 이동형 발전기는 호기당 2대가 소내에 보관되며 정격 전압 및 주파수는 480 V/3상/60 Hz으로 디젤 구동방식이다.

### 1.2.3.2 냉각수 공급을 위한 이동형 설비

#### 1.2.3.2.1 고압 이동형 펌프

모든 교류전원과 최종열제거원 상실시 원자로냉각재펌프의 밀봉누설 및 2차측을 통한 1차시스템의 냉각으로 인한 원자로냉각재의 수축으로 감소된 재고량을 유지하기 위해 고압 이동형 펌프가 구비된다.

고압 이동형 펌프는 원자로냉각재시스템의 압력이 [ ] 일 때 정격유량 [ ] 을 주입할 수 있다. 고압 이동형 펌프는 디젤 구동 방식으로 별도의 전원은 불필요하다. 장기간 운전이 필요한 경우에는 발전소 내에 비상디젤발전기용 연료 또는 연료유 이송 및 저장 설비로부터 수동으로 연료공급을 통해 연속운전이 가능하다

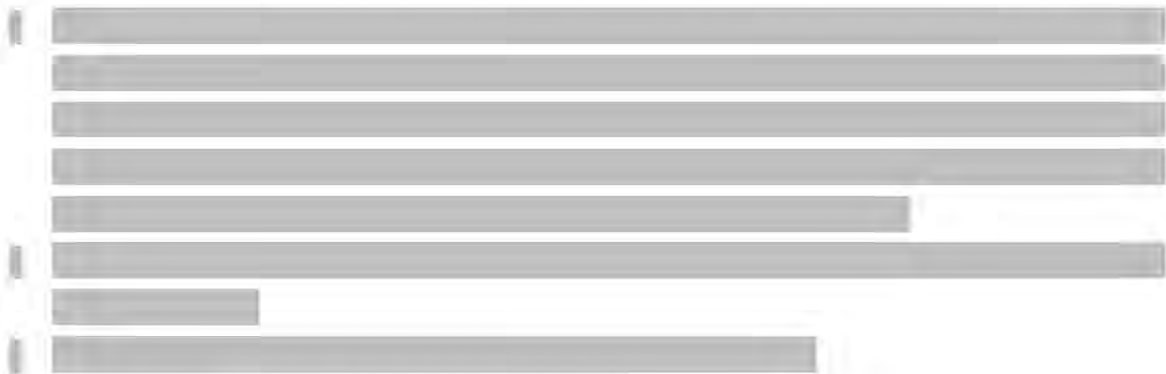
## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

고압 이동형 펌프의 수원은 봉산저장탱크이며, 고압 이동형 펌프 흡입을 위한 연결구는 봉산저장탱크와 연결된 충전펌프흡입모관의 분기관과 봉산저장탱크에 직접 연결된 배관에 설치된다. 고압 이동형 펌프의 토출부는 원자로냉각재계통 비상냉각수 외부주입유로 끝단과 체결한다.

고압 이동형 펌프는 각 호기별 1 대가 신고리 5,6호기 이동형설비 보관고, 예비로 본부에 1대가 서울본부 통합보관고에 보관된다.

### 1.2.3.2.2 저압 이동형 펌프

모든 교류전원과 최종열제거원의 상실시 노심냉각과 1, 2차측 보충 및 사용후연료저장조 충수를 위해 저압 이동형 펌프가 준비된다. 저압 이동형 펌프를 이용한 원자로 비상냉각수 외부 주입설비는 노심냉각계통 및 급수계통이 장기간 가용하지 않는 사고에 대비하여 비상수단으로 원자로를 냉각하는 기능을 수행하며 다음의 곳에 냉각수를 주입한다.



저압 이동형 펌프는 최저 흡입원에서 정격유량 [redacted] 이상 주입 가능하며, 펌프 토출압은 [redacted] 이다. 저압 이동형 펌프는 차량 탑재형이며, 디젤구동 방식으로 별도의 전원은 불필요하다. 장기간 운전이 필요한 경우에는 발전소 내에 비상디젤발전기용 연료 또는 연료유 이송 및 저장 설비로부터 수동으로 연료공급을 통해 연속운전이 가능하다

저압 이동형 펌프는 각 호기별 2대 및 예비로 본부에 1대가 더 구비되며, 통합보관고에 보관된다.

### 1.2.3.2.3 고유량 이동형 펌프(대체 최종열제거원)

고유량 이동형 펌프는 최종열제거원상실사고 후 취수구 또는 1차측기기냉각해수계통의 복구가 불가능할 경우 1차측기기냉각수열교환기에 대체 냉각해수를 공급하는 기능을 수행한다.

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

고유량 이동형 펌프는 수중취수를 위한 유압식 부스터펌프, 해수취수를 위한 고유량 펌프 및 크레인 등으로 구성되며, 부스터펌프는 발전소 최저수위 기준으로 지상에 배치되어 있는 고유량 펌프까지 냉각해수를 이송하기에 충분한 용량으로 설계된다. 또한, 차량에 탑재된 크레인은 부스터펌프를 수평거리 20 m 이상 이동시킨 후 발전소 최저수위까지 침수시킬 수 있다.

냉각해수 공급을 위해 1차측기기냉각해수펌프 후단 배관에 분기관이 신설되며, 호스연결을 위한 연결구는 1차측기기냉각해수펌프진물 인근에서 접근이 가능하다. 고유량 이동형 펌프의 설계유량은 11,356 L/min(3,000 gpm), 최대 토출유량은 18,927 L/min(5,000 gpm)으로 원자로정지 72시간 이후 장기냉각을 위한 잔열제거운전을 위해 충분한 유량이다.

고유량 이동형 펌프는 디젤구동 형식으로 기기 운전을 위한 별도의 전원은 불필요하다. 장기간 운전이 필요한 경우에는 발전소 내에 비상디젤발전기용 연료 또는 연료유 이송 및 저장 설비로부터 수동으로 연료공급을 통해 연속운전이 가능하다

동 설비는 각 호기별 1 대가 신고리 5,6호기 이동형설비 보관고, 예비로 본부에 1대가 서울본부 통합보관고에 보관된다.

### 1.2.3.3 보조설비

#### 1.2.3.3.1 다목적 통신중계 설비

통신설비계통 및 상용 통신설비들이 가용하지 않을 경우를 대비하여 비상대응용 위성통신 지원시스템이 구축된다.

본 설비는 위성안테나와 위성통신장비가 포함되는 차량 탑재방식이며, 자체 전원을 공급할 수 있도록 설계되고 도심 및 산악지형에서도 기능 유지가 가능하다. 본 설비는 본부별 2대가 구비되며 통합보관고에 보관된다.

#### 1.2.3.3.2 비상조명 기기

발전소내 모든 교류전원 상실시 옥외 운전원들의 비상대응 조치들이 용이하도록 타워형 비상조명 설비가 사용된다. 비상조명 기기는 심야에 이동형 설비가 통합보관고에서 현장에 이동할 때 이를 보조하고, 야간 재해 복구 현장에 조명을 확보하기 위한 것이다. 본 설비는 호기별 1대가 소내에 보관되며, 예비로 본부공용 1대가 추가로 구비되어 서울본부 통합보관고에 보관된다.



#### 1.2.3.3.3 핵심 설비지역 냉각 환기팬 및 덕트

모든 교류전원과 최종열제거원 상실시 사고대응에 사용되는 기기의 발열로 인해 기기가 위치한 기기실의 온도가 상승하여 기기작동 혹은 운전원 거주에 문제가 발생할 수 있다. 따라서 기기실의 출입문 개방 혹은 경우에 따라 강제 송풍이 필요하다.

온도상승이 예상되는 격실은 보조급수펌프실, 보조충전펌프실, 축전지실, 축전지 충전실, 컴퓨터실, 계측기기실, 캐비넷 실, 전기기기실, 주제어실이며, 사고 후 장시간에 걸쳐 격실온도는 지속적으로 상승하므로 필요시 해당 격실에 이동형 냉각 팬 및 플렉서블 덕트를 사용하여 환기시키며 해당설비들은 소내에 보관된다.

#### 1.2.3.3.4 연료유 이송 및 저장 설비

연료유 이송 및 저장 설비는 발전소내에 설치된 연료유 저장탱크로부터 연료유를 흡입하여 현장에 배치된 각종 디젤구동 이동형 설비에 연료유를 공급할 수 있도록 본부공용으로 2대의 연료 이송 및 저장 설비를 보유하고 있으며 모두 통합보관고에 보관한다. 연료유 이송 및 저장 설비는 차량탑재 형태로 설계, 제작 되었고, [REDACTED] 용량의 연료유, 급유 장치(펌프 및 밸브, 배관 등), 흡유용 이동형펌프, 유량계 및 호스 등을 갖추고 있다.

#### 1.2.3.3.5 견인차량

발전소에 전개되어야 하는 견인식 설비들을 통합보관고에서 현장의 배치 위치로 이동시키기 위해 견인차량이 구비된다. 견인차량은 본부공용 3대가 구비되며, 서울본부 통합보관고에 보관된다.

#### 1.2.3.3.6 이동형 정수설비

이동형 정수설비는 원자력발전소 자체 냉각수원이 고갈되거나 부족할 경우 해수 또는 하천수를 정수하여 발전소에 냉각수를 공급하기 위한 설비이다. 이동형 정수설비는 2대의 차량에 컨테이너 형태로 탑재되며, 정수를 위한 여과 장치와 자체 발전기를 갖추고 있고 관련 계측기들이 장착되어 있다. 이동형 정수설비는 [REDACTED] 이상의 정수를 생산하며, 7일 연속 운전이 가능하다. 본 설비는 서울본부 통합보관고에 1대가 보관되며, 필요시 현장의 배치 위치로 이동하여 정수된 냉각수를 공급한다.

#### 1.2.3.3.7 고압 이동형 살수차

고압 이동형 살수차는 항공기 충돌 등 인위적재해에 의한 광역손상 발생시 고방사선 지역 관찰 및 살수, 사용후연료저장조 살수 냉각, 제염 등에 사용된다. 고압 이동형 살수차에 의한 살수 및 냉각수의 공급은 원자로건물 및 사용후연료저장조건물 파손시 차량내



## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

설치된 굴절 방수타워를 이용하여 건물 손상부에서 직접적인 외부살수가 가능하며 필요시 외부주입유로를 통한 냉각수 공급도 가능하다. 또한 감시카메라를 이용하여 노즐을 제어할 수 있다.

고압 이동형 살수차는 디젤구동 펌프이므로 운전을 위한 별도의 전원이 불필요하다. 고압 이동형 살수차는 [REDACTED]의 살수 또는 냉각수 공급이 가능하며, 건물 손상부위에 영향을 받지 않고 적절한 위치에 살수가 가능하도록 좌·우 [REDACTED], [REDACTED]의 회전이 가능한 노즐이 설치된다.

고압 이동형 살수차는 본부공용 2대가 구비되며, 본부소방대 또는 통합보관고에 보관된다.

### 1.2.3.4 이동형 설비의 이동경로

신고리 5,6호기의 이동형 설비들은 서울본부 통합보관고 및 신고리 5,6호기 이동형설비 보관고에 보관된다. 각 보관고에 보관된 이동형 설비들은 발전소까지 주 이동로 또는 대체 이동로를 따라 이동되며, 이동경로는 그림 1.2-1과 같다.

설계기준을 초과한 태풍, 강풍 또는 토네이도 발생으로 인한 비산물(장애물)이 도로 통행 장애를 유발 할 경우에 대비하여 통합 보관고에는 중장비가 준비되어 있다. 중장비가 이동로 상의 비산물을 제거하여 견인차량 또는 차량 탑재식 이동형 설비들의 통행을 보장한다.

신고리 5,6호기 사고관리계획서

표 1.2-1

설계기준사고 완화를 위해 필요한 안전기능을 수행하는 설비

안전 기능	안전기능 수행을 위한 수단 (계통 및 기기)	주증기관 파단 (FSAR 15.1.5)	주급수관 파단 (FSAR 15.2.8)	원자로냉각 재펌프 회전자고착 (FSAR 15.3.3)	제어봉집합 체 이탈 (FSAR 15.4.8)	증기발생기 전열관파열 (FSAR 15.6.3)	냉각재상실 (FSAR 6.3.3)
반응도 제어	원자로보호계통	O	O	O	O	O	O
	안전주입계통	O	-	-	O	-	O
RCS 재고량 제어	안전주입계통	O	-	-	O	O	O
RCS 압력 제어	가압기 POSRV	-	O	O	O	-	-
	주증기안전밸브	-	O	O	O	O	O
원자로건물격리	주증기격리밸브	O	O	-	-	O	O
	주급수격리밸브	O	O	-	-	O	O
잔열제거	보조급수계통	O	O	O	O	O	O
	정지냉각계통	O	O	O	O	O	O
원자로건물 건전성	원자로건물살수계통	O	O	-	O	-	O
	가연성기체제어계통	-	-	-	-	-	O

신고리 5,6호기 사고관리계획서

표 1.2-2(5 중 1)

다중고장사고 완화기능 수행을 위한 계통 및 기기 목록

안전 기능		안전기능 수행을 위한 수단 (계통 및 기기)	ATWS	SBO	MSGTR	TLOFW	ISLOCA	LORHR	LUHS	SBLOCA with SI Fail	LOSFP
원자로정지		원자로보호계통	×	O	O	O	-	-	O	O	-
		다양성보호계통	O	-	-	-	-	-	-	-	-
		지진원자로 자동정지 계통	-	-	-	-	-	-	-	-	-
노심의 핵분열 냉각기능	반응도 제어	출력제어계통	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		봉산수 주입 (SIS)	O	-	-	-	-	-	-	-	-
		봉산수 주입 (CVCS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RCS 재고량 제어	가압기수위제어 계통(PLCS)	-	-	O	-	-	-	-	△	-
		충전 및 유출(CVCS)	-	-	O	-	-	-	O 충전펌프 보조충전 펌프 유출수 격리)	△	-

신고리 5,6호기 사고관리계획서

표 1.2-2(5 중 2)

다중고장사고 완화기능 수행을 위한 계통 및 기기 목록

안전 기능		안전기능 수행을 위한 수단 (계통 및 기기)		ATWS	SBO	MSGTR	TLOFW	ISLOCA	LORHR	LUHS	SBLOCA with SI Fail	LOSFP
노심의 핵분열 냉각기능	RCS 재고량 제어	안전주입 계통(SIS)	SIP	O	-	O	O	-	O	-	×	-
			SIT	-	-	-	O	-	O	-	O	-
		1차측 외부주입		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	RCS 압력 제어	가압기압력제어 계통		△	-	O	-	-	-	-	-	-
		가압기 POSRV		O	-	-	O	-	-	O	-	-
		원자로냉각재배기 계통		O	O	O	-	-	-	O	-	-

신고리 5,6호기 사고관리계획서

표 1.2-2(5 중 3)

다중고장사고 완화기능 수행을 위한 계통 및 기기 목록

안전 기능		안전기능 수행을 위한 수단 (계통 및 기기)	ATWS	SBO	MSGTR	TLOFW	ISLOCA	LORHR	LUHS	SBLOCA with SI Fail	LOSFP
노심의 핵분열 냉각기능	노심 및 RCS 열제거	원자로냉각재펌프	O	-	O	△	-	-	△	△	-
		급수제어계통	-	-	O	×	-	-	-	-	-
		증기우회제어계통	△	-	O	-	-	-	-	-	-
		주증기안전밸브	O	O	O	O	-	-	O	O	-
		주증기대기방출 밸브	O	O	O	-	-	-	O	O	-
		증기발생기비상취 출계통	-	-	O	-	-	-	-	-	-
		보조급수계통	O	O	O	×	-	-	O	O	-
		주증기격리계통	O	-	O	-	-	-	-	-	-
		정지냉각계통	O	O	O	O	-	O*	O	O	-
		2차측 외부주입	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		고유량이동형펌프	-	-	-	-	-	-	O	-	-

신고리 5,6호기 사고관리계획서

표 1.2-2(5 중 4)

다중고장사고 완화기능 수행을 위한 계통 및 기기 목록

안전 기능	안전기능 수행을 위한 수단 (계통 및 기기)	ATWS	SBO	MSGTR	TLOFW	ISLOCA	LORHR	LUHS	SBLOCA with SI Fail	LOSFP
원자로건물 격리/ 제어	원자로건물격리계통	-	-	-	O	O	O	-	O	-
	원자로건물살수계통 (열교환기 포함)	-	-	-	O	-	O	-	O	-
사용후핵연료저장 조 내 핵연료의 냉각기능	외부주입 (저압 이동형 펌프, 고압 살수차)	-	-	-	-	-	-	-	-	O**
	사용후핵연료저장조 정화펌프	-	-	-	-	-	-	-	-	O**
	봉산보충펌프	-	-	-	-	-	-	-	-	O**
	기기냉각수보충펌프	-	-	-	-	-	-	-	-	O**
	탈염수이송펌프	-	-	-	-	-	-	-	-	O**
	디젤구동 소방펌프	-	-	-	-	-	-	-	-	O**
기기냉각기능	1차측기기냉각수계통	O	O	O	O	-	O	-	O	-
	1차측기기냉각해수계통	O	O	O	O	-	O	-	O	-
	필수냉수계통	O	O	O	O	-	O	-	O	-
수원	안전주입탱크	-	-	-	O	-	O	-	O	-
	원자로건물내재장전수탱크	O	-	O	O	-	O	-	O	O**
	보조급수저장탱크	O	O	O	-	-	-	O	O	-
	복수저장탱크	-	-	-	-	-	-	O	-	O**
	탈염수저장탱크	-	-	-	-	-	-	O	-	O**
	원수저장조	-	-	-	-	-	-	O	-	O**

신고리 5,6호기 사고관리계획서

표 1.2-2(5 중 5)

다중고장사고 완화기능 수행을 위한 계통 및 기기 목록

안전 기능	안전기능 수행을 위한 수단 (계통 및 기기)	ATWS	SBO	MSGTR	TLOFW	ISLOCA	LORHR	LUHS	SBLOCA with SI Fail	LOSFP
전원	소외전원	O	×	O	O	O	O	O	O	-
	1E급 비상디젤발전기	-	×	-	-	-	-	-	-	-
	대체교류디젤발전기	-	O	-	-	-	-	-	-	-
	축전지	O	O	O	O	O	O	O	O	O
	이동형발전차 (3.2 MW)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	이동형발전차 (1 MW)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	이동형발전기 (10 kW)	-	-	-	-	-	-	-	-	O

Note: O 사고완화를 위하여 작동이 필요한 기기 및 계통  
 X 사고 정의에 따라 기능이 손상된 기기 및 계통  
 △ 사고완화에 도움이 되나 필수적으로 요구되지는 않는 기기 및 계통  
 \* 사고 정의에 따라 기능이 손상되었으나 장기냉각시 복구를 가정한 기기 및 계통  
 \*\* 동일한 목적(안전기능)으로 사용되는 여러 수단 중 하나 이상이 가용하면 사고완화가 가능한 기기 및 계통

신고리 5,6호기 사고관리계획서

표 1.2-3(2 중 1)

설계기준초과 자연재해 완화를 위해 필요한 안전기능을 수행하는 설비

안전 기능	안전기능 수행을 위한 수단 (계통 및 기기)	ELAP + LUHS
반응도 제어	출력제어계통 (RRS/RPCS)	-
	원자로보호계통	O
	다양성보호계통	-
	봉산수 주입 (SIS)	-
	봉산수 주입 (CVCS)	-
전원	소외전원	×
	1E급 비상디젤발전기	×
	대체교류디젤발전기	×
	축전지	O
	이동형발전차 (3.2 MW)	O
	이동형발전차 (1 MW)	O
	이동형발전기 (10 kW)	O
RCS 재고량 제어	충전 및 유출	O (보조충전펌프, 유출수격리)
	안전주입계통의 안전주입탱크	O
	1차측 외부주입 (교압이동형펌프)	O (보조충전펌프 대응)
RCS 압력 제어	가압기압력제어계통	-
	가압기 POSRV	-
	원자로냉각재배기계통	O



신고리 5,6호기 사고관리계획서

표 1.2-3(2 중 2)

설계기준초과 자연재해 완화를 위해 필요한 안전기능을 수행하는 설비

안전 기능	안전기능 수행을 위한 수단 (계통 및 기기)	ELAP + LUHS
노심 및 RCS 열제거	급수제어계통	-
	증기우회제어계통	-
	주증기안전밸브	O
	주증기대기방출밸브	O
	증기발생기취출계통	-
	보조급수계통	O (TDAFWP)
	주증기격리계통	-
	정지냉각계통	O
	1차측기기냉각수계통	O
	1차측기기냉각해수계통	O
	필수냉수계통계통	O
	봉산저장탱크	O
원자로건물 격리/제어	원자로건물내재장전수탱크	O
	2차측 외부주입 (저압이동형펌프)	O (TDAFWP 대응)
원자로건물 격리/제어	원자로건물격리계통	O
	원자로건물살수계통 (열교환기 포함)	O
최종열제거원	교유량이동형펌프 (해수펌프)	O*

Note:      O 사고완화를 위하여 작동이 필요한 기기 및 계통  
               X 사고 정의에 따라 기능이 손상된 기기 및 계통  
               - 사고완화를 위하여 필수적으로 요구되지 않는 기기 및 계통  
               \* 72시간 이후 최종열제거원의 복구가 불가능할 경우 대체 냉각해수 공급  
               을 위해 사용

신고리 5,6호기 사고관리계획서

표 1.2-4(2 중 1)

중대사고 완화를 위해 필요한 안전기능을 수행하는 설비

완화전략	필수안전기능	사고관리 설비
완화-01	원자로냉각재계통 감압기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터빈우회 복수기 밸브</li> <li>• 주증기대기방출밸브</li> <li>• 가압기 보조살수</li> <li>• 가압기 POSRV</li> <li>• 비상원자로감압밸브</li> <li>• 원자로냉각재배기계통</li> <li>• 충전펌프</li> <li>• 주증기격리밸브</li> </ul>
완화-02	증기발생기 급수 주입기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터빈구동 보조급수펌프</li> <li>• 전동기구동 보조급수펌프</li> <li>• 기동용급수펌프</li> <li>• 터빈구동 주급수펌프</li> <li>• 급수 승압펌프</li> <li>• 저압이동형펌프</li> <li>• 터빈우회 복수기 밸브</li> <li>• 주증기 대기방출밸브</li> <li>• 보조급수저장탱크</li> <li>• 복수저장탱크</li> <li>• 탈염수저장탱크</li> <li>• 원수저장조</li> <li>• 탈기저장탱크</li> </ul>
완화-03	원자로냉각재계통 냉각수 주입기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 안전주입펌프</li> <li>• 정지냉각펌프</li> <li>• 원자로건물살수펌프</li> <li>• 원자로냉각재펌프</li> <li>• 충전펌프/체적제어탱크</li> <li>• 고/저압 이동형펌프</li> <li>• 안전주입탱크</li> <li>• 비상원자로건물살수보조계통</li> <li>• 원자로건물내재장전수탱크</li> </ul>

신고리 5,6호기 사고관리계획서

표 1.2-4(2 중 2)

중대사고 완화를 위해 필요한 안전기능을 수행하는 설비

완화전략	필수안전기능	사고관리 설비
완화-04	원자로공동 냉각수 주입기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정지냉각펌프</li> <li>• 원자로건물살수펌프</li> <li>• 안전주입펌프</li> <li>• 봉산수보충펌프</li> <li>• 원자로공동침수계통</li> <li>• 비상원자로건물살수보조계통</li> <li>• 원자로건물내재장전수탱크</li> </ul>
완화-05	핵분열생성물 방출 제어기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원자로건물살수계통</li> <li>• 정지냉각펌프</li> <li>• 원자로건물송풍냉각계통</li> <li>• 비상원자로건물살수보조계통</li> <li>• 보조건물 배기계통</li> <li>• 연료건물정상/비상배기공기정화기</li> <li>• 원자로건물내재장전수탱크</li> </ul>
완화-06	원자로건물 상태 제어기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원자로건물살수계통</li> <li>• 정지냉각펌프</li> <li>• 원자로건물 송풍냉각계통</li> <li>• 비상원자로건물살수보조계통</li> <li>• 원자로건물내재장전수탱크</li> </ul>
완화-07	원자로건물내 수소 제어기능	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수소점화기</li> <li>• 원자로건물송풍냉각기</li> <li>• 제어봉구동장치냉각팬</li> <li>• 증기발생기지역채순환팬</li> <li>• 환형지역채순환팬</li> <li>• 원자로공동냉각팬</li> <li>• 비상원자로감압밸브</li> <li>• 수소감시기</li> </ul>

신고리 5,6호기 사고관리계획서

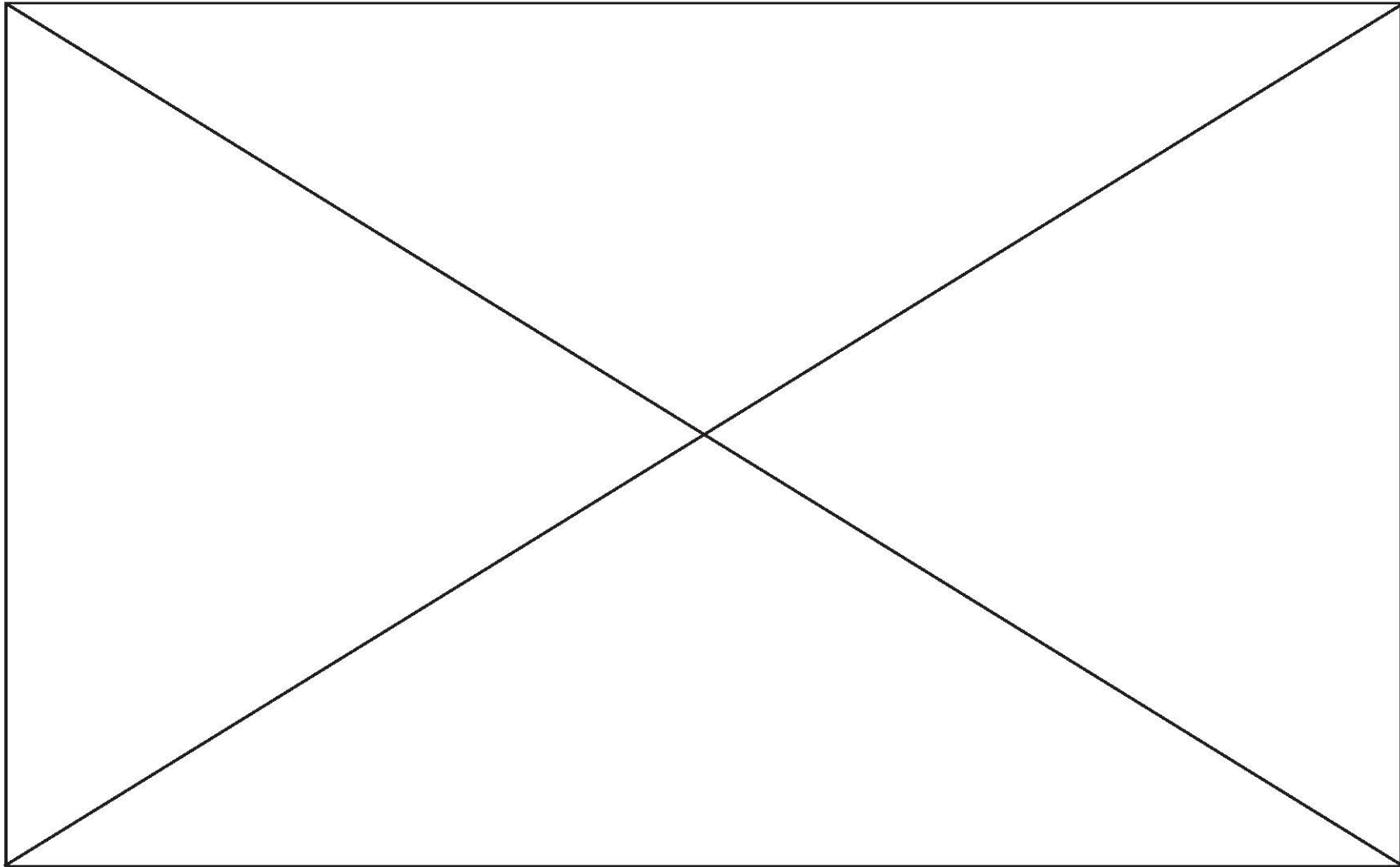


그림 1.2-1 서울본부 이동형설비 이동경로

1.2-36

## 2 사고관리 전략

### 2.1 사고관리 목표의 설정

#### 2.1.1 설계기준사고 단계

설계기준사고 발생시 사고가 확대되는 것을 방지하고 사고의 영향을 완화하며, 안전한 상태를 유지해야 한다. 또한 주민의 방사선 피폭은 원자력안전위원회가 정하는 방사선량 이하로 유지되어야 하고, 설계기준을 초과하는 핵연료의 손상이 발생하지 않아야 한다. 선량 제한치는 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제5조(위치제한) 제2항에 따라 원자력안전위원회 고시(원자로. 04) “원자로시설의 위치에 관한 기술기준”에서 참조하는 미국의 10 CFR 100.11 “Determination of Rxclusion Area, Low Population Zone and Population Center Distance”에서 규정한 선량기준(발전소의 제한구역 경계에서의 사고 후 2시간까지의 선량: 전신 선량 25 rem , 갑상선 선량 300 rem)을 적용하여야 한다. 또한 설계기준사고로 인하여 설계기준을 초과하는 핵연료의 손상이 발생하지 않아야 하며, 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제30조(비상노심냉각장치)에서 규정하는 기준(핵연료 피복재 온도 및 산화, 수소발생이 허용기준 만족, 핵연료 및 내부 구조물의 변형이 노심 냉각 저해 방지, 붕괴열 제거에 필요한 시간 동안 노심 냉각 보장)을 만족해야 한다.

설계기준사고(가상 사고) 목록과, 설계기준사고(가상 사고) 발생시 작동되는 주요 계통 및 설비 목록, 사고해석 결과 및 최종 발전소 상태는 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서 6장 및 15장(참고문헌 1), 본 보고서 1.1.1절 및 1.2절에 상세히 기술되어 있다. 표 2.1-1은 본 보고서 1.1.1절에서 기술한 설계기준사고(가상 사고)에 대한 사고관리 목표를 요약하고 있다.

## 2.1.2 중대사고 예방 단계

중대사고 예방 단계는 설계기준사고 단계보다 심각하게 발전소가 손상된 사고 상태가 발생하더라도 사고관리를 통하여 핵연료의 현저한 손상으로 사고가 악화되는 것을 방지함으로써 결과적으로 중대사고를 예방할 목적으로 도입된 사고관리 단계이다.

원자력안전위원회 고시 제2017-34호 (원자로. 42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 제8조(사고 영향의 평가)는 “원자로시설은 사고관리의 대상이 되는 사고에 대한 결정론적 방법으로 평가된 인근 주민의 방사선 피폭선량이 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제5조제2항에 따른 수준으로 관리되어야 한다.”고 규정한다. 따라서 중대사고 예방 단계에서 사고관리를 통하여 관리되어야 하는 피폭선량 수준은 2.1.1절의 설계기준사고의 피폭 제한치와 동등한 수준이어야 한다. 신고리 5,6호기 사고관리계획서에서는 “250 mSv보다 충분히 낮은 값”으로 유지하는 것을 목표로 한다.

중대사고 예방단계의 또 하나의 중요한 목표는 중대사고를 예방하는 것이다. 따라서 중대사고 예방 단계에서 관리되어야 하는 다중고장사고 또는 극한재해로 인하여 설계기준을 초과하는 현저한 핵연료 손상이 발생하지 않아야 한다.

원자력안전위원회 고시 제2017-34호 (원자로. 42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 제6조(중대사고 예방 능력의 평가) 제1항 및 제2항은 다중고장사고 및 극한재해에 대하여 각각 다음과 같이 규정한다.

- 원자로시설은 다중고장사고로 인하여 원자로 또는 사용후연료저장시설 내 핵연료의 현저한 손상이 발생하지 않도록 하여야 한다.
- 원자로시설은 극한재해가 발생하더라도 원자로 및 사용후연료저장시설 내 핵연료 냉각기능, 원자로건물의 방호벽기능 등 필수안전기능이 복구, 유지되도록 하여야 한다.

신고리 5,6호기 사고관리계획서에서는 설계기준사고시 핵연료 허용기준을 참조하여 중대사고 예방 관점에서 현저한 핵연료 손상이 방지되기 위해 필요한 허용기준을 다음과 같이 선정하였다.

- 노심냉각 기능 유지
- 사용후연료저장시설 내 핵연료 냉각 기능 유지
- 피복재 최고온도 1204 °C 이하 또는 노심혼합수위 2ft 여유도 유지

원자로냉각재계통 및 원자로건물의 압력경계에서의 방호벽 기능 유지를 위한 허용요건은

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

다음과 같이 설정하였다.

- 원자로냉각재계통 최고압력 KEPIC MN C급 운전한계 이내 유지
- 원자로건물 압력 계수하중범주(FLC, factored load category) 하중 압력 이내 유지

중대사고 예방 단계에서 사고관리를 통하여 최종적으로 도달하고자 하는 발전소 상태는 기본적으로 앞에서 제시된 중대사고 예방 단계의 사고관리 목표가 지속적으로 달성됨을 보장할 수 있는 상태를 의미한다. 최종적으로는 원자로가 상온정지에 도달하여 그 상태를 안정적으로 유지함으로써 더 이상 사고관리가 필요하지 않은 상태 또는 이동형 설비나 소의 자원을 활용하여 필수 안전기능이 장기간 안정적으로 유지되는 상태이다.

### 2.1.3 중대사고 완화 단계

중대사고 완화 단계는 중대사고가 발생한 이후 수소 폭발이나 원자로건물 과압 등 다양한 위협요인으로 인하여 원자로건물이 파손됨으로써 대량이 방사성물질이 환경으로 방출되는 것을 방지할 목적으로 도입되었다. 따라서 중대사고 완화 단계의 사고관리 목표는 크게 다음의 두 가지로 나눌 수 있다.

- 방사성물질에 대한 원자로건물 방호벽기능 유지
- 피폭선량 제한치 만족

#### 방사성물질에 대한 원자로건물 방호벽 기능 유지

중대사고시 원자로건물의 건전성을 위협하는 다양한 요인에 대하여 원자로건물 건전성을 유지함으로써 방사성물질에 대한 방호벽 기능을 유지하고, 최종적으로는 안전정지 상태(Safe Shutdown State)를 달성하는 것이 중대사고 완화 단계의 핵심적인 목표이다. 각 중대사고 위협요인 별 원자로건물 건전성을 유지하기 위한 목표 및 중대사고 완화능력 평가 결과는 4.2절에 기술되어 있다.

#### 피폭선량 제한치 만족

원자력안전위원회 고시 제2017-34호 (원자로. 42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 제8조(사고 영향의 평가)에서 ‘원자로시설은 사고관리의 대상이 되는 사고에 대하여 결정론적 방법으로 평가한 서울 본부 인근 주민의 방사선 피폭선량이 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제5조제2항에 따른 수준으로 관리되어야 함’을 규정하고 있다. 피폭선량 제한치는 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제5조(위치제한) 제2항에 따라 원자력안전위원회 고시(원자로.04) “원자로시설의 위치에 관한 기술기준”에서 참조하는 미국 10 CFR 100.11에서 규정하는 선량기준인 전신선량 25 rem(250 mSv), 갑상선 선량 300 rem(3,000 mSv)로 제시하고 있으며, 이를 유효선량으로 환산하면 250 mSv에 해당한다. 중대사고 완화 단계에서 사고관리를 통하여 관리되어야 하는 제한구역 경계에서의 피폭선량 제한치는 250 mSv 이하로 관리되어야 한다.



## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 2.1.4 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서, 한국수력원자력(주)

신고리 5,6호기 사고관리계획서

표 2.1-1(2 중 1)

설계기준사고(가상사고)에 대한 사고관리 목표

가상사고	FSAR 해당 절	사고관리 목표
원자로건물 내· 외부의 증기계 통 배관파단	15.1.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 핵연료 건전성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설계기준을 초과하는 핵연료의 손상발생 방지</li> </ul> </li> <li>• 계통 건전성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원자로냉각재계통 침투압력&lt;설계압력의 110 %</li> <li>- 증기발생기 압력&lt;설계압력의 110 %</li> </ul> </li> <li>• 소외선량                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 CFR 100.11 제한치(갑상선: 300 rem, 전신: 25 rem)의 100 %(핵연료손상시 또는 PIS<sup>1)</sup>), 10 %(GIS<sup>2)</sup>)미만</li> </ul> </li> </ul>
주급수계통 배 관파단	15.2.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 핵연료 건전성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설계기준을 초과하는 핵연료의 손상발생 방지</li> </ul> </li> <li>• 계통 건전성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원자로냉각재계통 침투압력&lt;설계압력의 120 %(또는 110 %)</li> <li>- 증기발생기 압력&lt;설계압력의 120 %(또는 110 %)</li> </ul> </li> <li>• 소외선량                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 CFR 100.11제한치의 10 % 미만</li> </ul> </li> </ul>
소외전원상실시 단일 원자로냉 각재펌프의 회 전자 교착	15.3.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 핵연료 건전성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설계기준을 초과하는 핵연료의 손상발생 방지</li> </ul> </li> <li>• 계통 건전성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 원자로냉각재계통 침투압력&lt;설계압력의 110 %</li> <li>- 증기발생기 압력&lt;설계압력의 110 %</li> </ul> </li> <li>• 소외선량                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 CFR 100.11 제한치의 10 % 미만</li> </ul> </li> </ul>
제 어 봉 집 합 체 이탈	15.4.8	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 핵연료 건전성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설계기준을 초과하는 핵연료의 손상발생 방지</li> <li>- 만경방향 평균엔탈피&lt;230 cal/g</li> </ul> </li> <li>• 계통 건전성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- KEPIC Service Level C 미만(원자로냉각재계통)</li> <li>- 설계압력의 110 % 미만(주증기계통)</li> </ul> </li> <li>• 소외선량                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 CFR 100.11 제한치의 25 % 미만</li> </ul> </li> </ul>

신고리 5,6호기 사고관리계획서

표 2.1-1(2 중 2)

설계기준사고(가상사고)에 대한 사고관리 목표

가상사고	FSAR 해당 절	사고관리 목표
증기발생기 전열관 파열	15.6.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 핵연료 건전성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최소 핵비등이탈물&gt;허용핵연료설계제한치</li> </ul> </li> <li>• 계통 건전성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설계압력의 110 %</li> </ul> </li> <li>• 소외선량                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 CFR 100.11제한치의 100 %(PIS), 10 %(GIS) 미만</li> </ul> </li> </ul>
냉각재상실	6.3.3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 핵연료 피복재 온도                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최대 피복재 온도 &lt; 2200 °F(1204 °C)</li> </ul> </li> <li>• 피복재 산화도                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최대 피복재 산화도 &lt; 산화전 피복재 총두께의 17 %</li> </ul> </li> <li>• 수소 생성량                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 최대 수소 생성량 &lt; 상·하부 플레넘 주위를 제외한 피복재 금속 반응시 총 수소생성량의 1 %</li> </ul> </li> <li>• 냉각가능 형상                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 계산된 노심 형상 변화는 냉각 가능 형상 유지</li> </ul> </li> <li>• 장기 냉각                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 노심온도가 충분히 낮게 유지되어 장기 냉각 성능 유지</li> </ul> </li> </ul>
	15.6.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 핵연료 건전성                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설계기준을 초과하는 핵연료의 손상발생 방지</li> </ul> </li> <li>• 소외선량                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 CFR 100.11제한치의 100 % 미만</li> </ul> </li> </ul>
기체방사성폐기물계 통 파손	15.7.1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소외선량                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 CFR 100.11제한치의 100 % 미만</li> </ul> </li> </ul>
액체방사성폐기물계 통 누설 또는 파단	15.7.2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소외선량                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 CFR 100.11제한치의 100 % 미만</li> </ul> </li> </ul>
핵연료건물 또는 원 자로건물내에서의 사용후연료 취급	15.7.4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소외선량                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 CFR 100.11제한치의 100 % 미만</li> </ul> </li> </ul>
사용후연료 캐스크 낙하	15.7.5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소외선량                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10CFR 100.11제한치의 25 % 미만</li> </ul> </li> </ul>

- 1) 사고 전 요오드 증배  
2) 사고 후 요오드 증배

## 2.2 필수 안전기능의 선정

### 2.2.1 비상운전절차서 관련 필수 안전기능

안전기능은 노심 손상을 방지하고 공중으로 방사선 누출을 최소화하기 위한 조건 또는 조치로 정의된다. 안전기능은 사고를 완화하고 공중 안전을 보증하기 위해 수행될 필요가 있으며, 안전기능 판정기준이 모두 만족되면 공중의 안전이 보증된다. 계통의 자동 또는 수동 작동, 피동계통 성능, 발전소 설계에 있어서 고유의 자연적인 제한 또는 사고 복구 지침서의 수행은 안전기능을 만족시키기 위한 조치이다.

모든 안전기능은 사고를 완화하고 방사선 누출을 제한 그리고/또는 제어하도록 한다. 이러한 안전기능은 아래의 3가지로 분류될 수 있다.

- 노심 용융 방지 안전기능
- 원자로건물 건전성 안전기능
- 상기 안전기능을 보조하기 위해 필요한 필수 보조설비의 유지

이중 노심 용융 방지 안전기능은 5개의 세부 안전기능으로 구성된다.

- 반응도 제어
- 원자로냉각재계통 재고량 제어
- 원자로냉각재계통 압력 제어
- 노심 열제거
- 원자로냉각재계통 열제거

노심 용융 방지 안전기능의 첫 번째인 반응도 제어는 원자로를 정지시키고 정지 상태로 유지하여 노심에서 생성되는 열의 양을 감소시키는 것을 목적으로 한다. 원자로냉각재계통 재고량 및 압력제어 안전기능은 노심에 충분한 냉각재를 유지하는 것을 목적으로 한다. 가압경수로 설계에서 원자로냉각재계통 재고량 및 압력제어 안전기능은 상호 의존적이다. 원자로냉각재계통 재고량 제어에 영향을 주는 조치는 압력제어에 영향을 주며 그 반대도 마찬가지이다. 노심 용융 방지 안전기능의 네 번째인 노심 열제거는 노심에서 생성되는 붕괴열을 제거하고 원자로냉각재계통을 이용하여 다른 열제거원으로 전달하는 것을 목적으로 한다. 다섯 번째 노심 용융 방지 안전기능은 원자로냉각재계통 열제거이다. 이 안전기능은 원자로냉각재로부터 다른 열제거원으로 열을 전달하는 것을 목적으로 한다.

원자로건물 건전성 안전기능은 3개의 세부 안전기능으로 구성된다.

- 원자로건물 격리
- 원자로건물 온도 및 압력제어
- 원자로건물 가연성 기체제어

이들 안전기능의 주목적은 원자로건물 구조물의 건전성을 유지함으로써 원자로건물로부터 주요한 방사성물질의 누출을 방지하는 것이다. 원자로건물 건전성 안전기능의 첫 번째 안전기능인 원자로건물 격리는 사고완화를 위해 개방될 필요성이 없는 모든 정상 원자로건물 관통부가 격리되었음을 확인함으로써 원자로건물 건전성을 보증한다. 원자로건물 온도 및 압력제어 안전기능의 목적은 원자로건물 구조물에 대한 과도한 응력을 방지하고 가혹한 환경으로부터 원자로건물 내부의 다른 기기에 대한 손상을 방지하는 것이다. 가연성 기체 제어 안전기능의 목적은 원자로건물 내부에서 수소 가스의 폭발에 의한 원자로건물에 대한 과도한 응력을 방지하는 것이다.

세 번째 안전기능은 필수보조설비 유지 안전기능이다. 이 안전기능이 만족되어야만 세부 안전기능을 확보할 수 있다. 일반적으로 필수보조설비 유지는 밸브 개폐에 필요한 계기용 공기와 밸브의 작동, 펌프 전동기의 운전, 계측기를 위한 전원 그리고 원자로냉각재계통과 노심의 열이 전달되는 최종열제거원을 제공한다. 필수보조설비 유지는 신행경수로1400 비상운전지침서 내의 조치에 가장 영향이 크다. 따라서 다른 안전기능의 판정기준을 지속적으로 만족시키기 위해 필수보조설비 유지 안전기능은 유지되어야 한다.

## 2.2.2 극한재해완화지침서 관련 필수 안전기능

설계기준을 초과하는 자연재해 또는 인위적재해, 즉, 극한재해에 대한 완화전략은 기본적으로 극한재해에 의해 원자로 또는 사용후연료저장조 내의 핵연료가 용융되는 것을 방지하는 것이 목적이다. 따라서 사고관리계획서는 원자력안전위원회 고시 제2017-34호 (원자로, 42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 제6조(중대사고 예방 능력의 평가) 제2항에서 요구하는 다음 기능을 필수 안전기능으로 고려하고 있다.

- 원자로 내 핵연료 냉각기능
- 사용후연료저장조 내 핵연료 냉각기능
- 원자로건물 방호벽 기능

### 2.2.2.1 설계기준초과 자연재해

원자력발전소 설계시 안전 목표는 정상운전 및 사고조건에서도 원자력발전소를 안전하고 안정한 상태로 유지시키고 원전 종사자 뿐만 아니라 일반 대중의 안전을 위해 방사성물질 누출로 인한 피해를 최소화하는 것이다. 설계기준초과 자연재해시 원자력발전소 안전성 확보를 위한 필수 안전기능이란 발전소를 안전하고 안정된 상태로 유지시키고 원전 종사자와 일반대중의 안전을 확보하기 위한 기능을 말한다. 따라서, 설계기준초과 자연재해시 원자력발전소 안전성을 확보하기 위한 필수 안전기능은 상기 기술한 원자력안전위원회 고시 제2017-34호 (원자로, 42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 제6조(중대사고 예방 능력의 평가) 제2항에서 요구하는 기능과 같다.

- 원자로 내 핵연료 냉각기능
- 사용후연료저장조 내 핵연료 냉각기능
- 원자로건물 방호벽 기능

원자로 내 핵연료 냉각기능은 노심 냉각능력 확보를 위한 필수 안전기능으로 극한재해 발생시 노심에서 생성되는 붕괴열을 제거하기 위하여 노심에 충분한 냉각재를 유지함으로써 노심 손상을 방지하는 것을 목적으로 한다.

이러한 노심 냉각능력 확보를 위한 안전기능을 만족하기 위하여 2.3.2절에서 기술하고 있는 극한재해 사고관리 전략에 따라 안전주입탱크 및 이동형 발전차를 이용한 충전펌프를 사용하여 원자로냉각재계통 냉각재 재고량을 보충한다. 아울러 필요시 이동형 펌프를 이용하여 봉산수를 주입하며, 이러한 봉산수 주입을 통해 원자로 미입계 상태가 유지되도록 한다.

사용후연료저장조 내 핵연료 냉각기능은 사용후연료저장조 냉각능력 확보를 위한 필수 안전기능으로 극한재해가 발생하더라도 사용후연료저장조의 냉각을 유지하기 위하여 저장조 수위를 유지함으로써 비등으로 인한 핵연료 노출을 방지하는 것을 목적으로 한다. 사용후연료저장조 냉각을 위한 고정형 설비가 불가능한 경우 이동형 설비를 이용하여 냉각수를 보충함으로써 사용후연료저장조 수위를 유지한다.

또한 원자로건물 방호벽 기능은 원자로건물 건전성 유지를 위한 안전기능으로 극한재해 발생시 원자로건물 구조물의 건전성을 유지함으로써 원자로건물로부터 주요한 방사성물질의 누출을 방지하는 것을 목적으로 한다. 원자로건물 격리를 통하여 원자로건물의 건전성을 보증하고, 원자로건물 온도 및 압력을 유지하여 원자로건물 구조물에 대한 과도한 응력을 방지하고 가혹한 환경으로부터 원자로건물 내부의 다른 기기에 대한 손상을 방지한다.

#### 2.2.2.2 설계기준초과 인위적재해

인위적재해 완화전략의 목적은 대형화재 및 폭발(항공기충돌 등의 인위적재해 포함)로 인한 광역손상 발생에 의해 필수안전기능이 상실될 경우, 필수안전기능을 복구 및 유지하기 위함이다. 설계기준초과 인위적재해 발생시, 원자력안전위원회 고시 제2017-34호 (원자로, 42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 제6조(중대사고 예방 능력의 평가) 제2항에 따라 다음 기능을 필수안전기능으로서 우선 고려한다.

- 원자로 내 핵연료 냉각기능
- 사용후연료저장조 내 핵연료 냉각기능
- 원자로건물 방호벽 기능

극한재해 대응전략에서 중요한 요소는 극한재해로 인한 발전소의 손상 정도이다. 설계기준초과 인위적재해로 인한 발전소 상태는 최소한 원자로시설의 필수전원(교류 및 직류) 공급기능과 제어계측기능이 장기적으로 상실되는 것으로 가정한다. 따라서 설계기준초과 인위적재해의 완화전략은 이러한 기능을 유지, 복구하기 위하여 필요한 구체적인 기능을 다음과 같이 선정한다.

- 원자로건물내재장전수탱크 충수 기능
- 원자로냉각재계통 재고량 손실 감소를 위한 증기발생기 수동감압 기능
- 터빈구동보조급수펌프 수동운전 기능
- 이동형 펌프를 사용한 증기발생기 급수공급 기능
- 보조급수저장탱크 충수기능

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

- 사용후연료저장조 충수 및 살수 기능
- 고압 이동형 살수차를 이용한 살수 기능

각 세부기능은 발전소 교류전원 상실에 대응하기 위해 별도 전원이 필요 없는 디젤구동 이동형 펌프를 현장에서 수동으로 운전하므로 이동형발전차를 통한 전력 복구기능은 고려하지 않는다. 그러나, 일부 밸브의 조작을 위해 소형 이동형 발전기를 사용하거나 계측을 위해 자체 전원을 가지고 있는 이동형 계측장비를 사용할 수 있다. 이러한 전원공급 수단은 전체적인 전력계통의 복구는 아니며 각 세부기능에 포함하여 고려한다.



### 2.2.3 중대사고관리지침서 관련 필수 안전기능

중대사고 완화 단계에서는 중대사고 상황에서 발생하는 다양한 원자로건물 건전성 위협 요인으로부터 원자로건물의 방사성물질 방호벽 기능을 보호하는 것을 목표로 한다. 따라서 중대사고 완화 단계의 필수 안전기능을 선정하기 위하여 다음과 같은 주요 요소가 고려되어야 한다.

- 중대사고 위협요인으로부터의 원자로건물 건전성 유지
- 노심용융물의 냉각을 통한 중대사고 위협요인 저감
- 방사성물질의 우회 누출 예방 및 차단
- 소외 방사선 영향 최소화

이를 바탕으로 결정된 필수 안전기능은 다음과 같다.

- 원자로건물 내 수소 제어기능
- 원자로건물 감압 및 냉각기능
- 원자로냉각재계통 감압기능
- 원자로냉각재계통 냉각수 주입기능
- 증기발생기 냉각수 주입기능
- 원자로공동 냉각수 주입기능
- 핵분열생성물 방출 제어기능

#### 원자로건물 내 수소 제어기능

신고리 5,6호기에서는 피동축매형수소재결합기를 통하여 원자로건물 수소제어기능을 수행할 수 있으며, [REDACTED]

[REDACTED] 또한, 원자로건물 내 수소제어 전략을 수행하기 위해서 원자로건물의 수소농도를 연속적으로 감시한다.

#### 원자로건물 감압 및 냉각기능

신고리 5,6호기는 [REDACTED]

[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

#### 원자로냉각재계통 감압기능

원자로냉각재계통 냉각수 주입을 위해서는 원자로냉각재계통 감압이 선행되어야 한다.

이 전략을 수행하기 위하여 원자로냉각재계통 압력을 감시해야한다. 원자로냉각재계통 압력을 확인하고 전략이행 여부를 결정한 후 원자로냉각재계통 감압을 실시하게 된다.

#### 원자로냉각재계통 냉각수 주입기능

전략수행을 위하여 노심 출구온도 및 냉각수주입유량 감시가 필요하며, 노심출구온도 및 냉각수주입 유량이 수행조건에 이르면 전략이행 여부를 결정한 후 냉각수를 주입하게 된다.

#### 증기발생기 냉각수 주입기능

증기발생기 급수 주입 전략수행을 위해서는 증기발생기 수위 및 압력 감시가 필요하다. 수위 감시를 통해 증기발생기 내의 냉각수 유무를 확인하고 전략이행 여부를 결정한 후 냉각수를 주입하게 된다.

#### 원자로공동 냉각수 주입기능

#### 핵분열생성물 방출 제어기능

핵분열생성물 방출 제어기능 수행을 위해서는 지역별 방사선 감시가 필요하며,

## 2.3 사고관리 기본전략

사고관리 기본전략은 사고관리 목표를 달성하고 필수 안전기능을 만족하기 위한 전략으로서 어떠한 사고가 발생하더라도 사고가 악화되는 방향으로 진전되는 것을 방지하고, 또한 사고의 영향을 완화시키는 것이다.

### 2.3.1 설계기준사고 및 다중고장사고 관리 기본전략

설계기준사고 및 다중고장사고 발생시 사고 대응을 위한 설계기준사고 및 다중고장사고 관리 기본전략은 크게 최적복구전략과 기능회복전략으로 나눌 수 있다. 최적복구전략은 사고진단을 통하여 발생한 사고가 명확한 경우, 그 특정 사고에 대한 복구 조치를 수행하는 전략으로서 복구 조치의 목표는 발전소를 안전하고, 안정된 상태로 유지하는 것이다. 최적복구전략에 따른 복구 조치들 중 하나는 안전기능 상태점검을 수행하여 특정 사고별 판정기준에 대한 안전기능을 평가하는 것이다. 안전기능 상태점검은 해당 사고에 대한 복구조치를 수행하는데 필요한 모든 안전기능이 유지되고 있는 지를 확인하고, 초기의 사고진단이 정확한지 확인하기 위한 수단을 제공하는데 목적이 있다. 비상운전절차를 수행하는 동안 안전기능 상태점검은 지속적으로 수행된다. 만약 수행 중인 절차가 증상을 적절하게 완화시키고 있다면 조치를 계속 수행하지만, 절차에 포함되어 있지 않은 새로운 증상이 나타나거나 수행한 조치가 증상을 적절히 완화시키지 못하여 안전기능이 불만족하면 수행중인 최적복구전략을 종료하고 기능회복전략을 수행한다.

#### 2.3.1.1 최적복구전략

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

11/11/2011

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

2.3.1.2 기능회복전략

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]



## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

## 2.3.2 극한재해 관리 기본전략

### 2.3.2.1 설계기준초과 자연재해

발전소에 영향을 줄 수 있는 설계기준초과 자연재해는 1.1.3절에서 기술한 바와 같이 분류되며, 설계기준초과 자연재해들에 의하여 발생할 수 있는 영향은 6.1.1절에 평가되어 있다. 새울 부지에서의 다양한 설계기준초과 자연재해에 대해서 평가한 결과에 따라 신고리 5,6호기에는 심각한 영향이 유발되는 안전성 관련 구조물, 계통 및 기기는 없는 것으로 확인되었다.

하지만, 경수로형 원전 규제기준 9.4.7 “장기교류전원상실”(참고문헌 1)에 따라 극한재해에 의해 원자력발전소의 모든 교류전원이 상실되고 그 상황이 장기화되는 교류전원상실사고에 대처하기 위한 사고대응전략 수립과 필수대처기기에 전원을 공급하기 위한 전원확보 조치를 이행하여야 한다.

따라서 설계기준초과 자연재해에 의해 안전등급 교류전원과 최종 열제거원의 장기적 상실 사고가 발생한 후 안전등급의 소내 교류전원 복구가 불가능한 것으로 진단이 되었을 경우, 설계기준초과 자연재해에 대응하기 위한 기본전략은 3단계 전략으로 구성된 MACST(Multi-barrier Accident Coping Strategy) 전략을 사용하며 MACST 전략은 아래와 같다.

- 1단계 : 발전소 고정형 설비를 이용한 사고 대응 전략
- 2단계 : 소내 이동형 설비를 이용한 대응 전략
- 3단계 : 발전소 고정형 설비 복구, 소내 이동형 설비 및 소외 자원을 이용한 대응 전략

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

### 2.3.2.2 설계기준초과 인위적재해

한국원자력안전기술원 규제지침, KINS/RG-N19.02, “극한재해의 평가 및 완화지침서”는 신규 원전의 경우, 설계기준 초과 인위적재해로 고려되는 의도적인 항공기 충돌에 대한 평가를 요구하고 있다. 신고리 5,6호기는 항공기 충돌에 대한 평가를 수행하여 구조적 건전성 및 열제거 능력을 확보하였다. 더불어, 설계기준초과 인위적재해에 대한 사고 완화전략 수립을 위해 인위적 광역손상 완화 기본운영지침서는 인위적재해로 인한 발전소 손상상태를 평가하고, 필수안전기능 상실시 안전기능의 복구 및 유지를 위한 완화전략으로 다음의 3가지 전략을 제시하고 있다(참고문헌 3).

- 화재진압능력 강화
- 사용후연료저장조에서의 핵연료손상 완화 수단
- 노심 내의 핵연료 손상 완화 및 방사성물질 외부 누출 최소화

첫 번째 전략은 화재 또는 폭발로 인한 광역손상에 대응하기 위해 아래와 같이 발전소의 화재진압능력 강화에 중점을 두고 있다. 발전소 부지 특성 및 사고대응에 사용할 수 있는 인적·물적 자원을 조직적으로 활용할 수 있도록 절차서를 강화하고, 교육·훈련을 통하여 수행능력을 향상시킨다. 화재진압능력 강화 관련 항목은 다음과 같다.

- 집결지 선정
- 통보
- 항공지원 확보
- 화재진압 지휘통제
- 외부자원의 협조
- 비상대응차량 통제
- 선량 측정 및 통제
- 통신장비
- 부상자 처리
- 대체 집결지

- 소방 훈련
- 화재방호계통 공급 모관 용수 공급

두 번째 전략은 발전소 전원계통과 제어계측계통의 상실 상황에서 사용후연료저장조의 냉각기능을 복구 및 유지하는 방안을 확보하는 것이다. 사용후연료저장조의 누설이 없거나 미미한 경우에는 사용후연료저장조 냉각계통 및 전원공급계통과 독립적으로 충수 할 수 있는 대체 냉각방안을 확보한다. 누설이 상당한 경우에는 사용후연료저장조 냉각계통 및 전원공급계통과 독립적으로 살수 할 수 있는 대체 냉각방안과 누설을 완화할 수 있는 누설제어방안을 확보한다. 관련 완화전략은 다음과 같다.

- 사용후연료저장조 내부 충수 및 살수 전략
- 사용후연료저장조 외부 충수 및 살수 전략
- 사용후연료저장조 누설 제어전략

세 번째 전략은 노심냉각기능 복구 및 유지를 위한 대응전략과 원자로건물로부터 외부대기로 방사성물질 누출 감소를 위한 대응전략이다. 먼저 고정형설비를 이용한 노심 냉각 및 계측이 가능한지 판단한다. 만약, 고정형설비를 이용한 노심 냉각 및 계측이 불가능하다면, 이동형설비를 이용한 대응전략을 수행한다. 대규모의 방사성물질 누출이 발생한 경우에는 이를 최소화하기 위하여 원자로공동 침수 및 외부 살수전략을 수행한다. 관련 완화전략은 다음과 같다.

- 원자로건물내재장전수탱크 충수
- 재고량 손실 감소를 위한 증기발생기 수동감압
- 터빈구동보조급수펌프 수동운전
- 이동형 펌프를 사용한 증기발생기 급수공급
- 보조급수저장탱크 충수
- 이동형 발전기를 이용한 원자로공동충수계통 밸브 구동 및 원자로공동 충수
- 고압 이동형 살수차를 이용한 살수

인위적재해에 의한 광역손상으로 필수안전기능이 상실되면, 광역손상 완화전략을 수행함으로써 지휘통제계통과 필수안전기능을 복구하고 유지할 수 있다. 광역손상 완화전략은 가용한 내부 및 외부자원을 이용하여 노심 및 사용후연료저장조의 연료손상을 예방 및 완화하고 방사성물질의 누출을 최소화하는 수단을 제공한다.

### 2.3.3 중대사고 관리 기본전략

중대사고 관리 기본전략은 사고관리 목표를 달성하기 위하여 선정한 필수 안전기능을 고려하여 선정하였다. 이 전략은 발전소에서 사고가 발생한 후 중대사고 예방 단계의 사고 관리가 실패하게 되어 노심손상이 발생하는 중대사고가 발생하더라도, 다양한 위험요인으로부터 원자로건물의 건전성을 보호함으로써 다량의 방사성물질이 환경으로 방출되는 것을 막는 것이 목적이고, 세부 전략은 다음과 같다.

#### 2.3.3.1 중대사고 관리 진입전략

사고 발생 후 비상운전절차서를 통한 노심 냉각을 위한 조치들이 효과적이지 못하여 노심출구온도가 649 ℃(1200 °F)이상으로 증가하고 있는 경우 중대사고 예방 단계의 전략을 종료하고 중대사고관리지침서로 진입하여 완화전략을 수행한다.

원자로정지 상태에서 계획예방정비 중 핵연료의 이송을 위해 노내계측기집합체를 노외로 인출한 경우에는 노심출구온도의 감시가 불가능해진다. 이러한 상태에서도 중대사고 발생을 인지하여 중대사고 관리로의 전환이 요구되므로, 노심손상 여부를 평가할 수 있는 별도의 감시 변수로 원자로 건물 방사선 준위를 사용하여 중대사고관리지침서로 진입한다.

중대사고관리지침서 진입 후 주요 조치사항은 다음과 같다.

#### 중대사고 주제어실 지침서(응급-01)

사고가 발생하여 조속한 시간 내에 비상기술지원실이 발족되면, 중대사고에 관한 전반적인 의사결정은 비상기술지원실이 수행한다. 그러나 사고가 매우 빨리 진행 되어 비상기술지원실이 발족되기 전에 중대사고관리지침서 진입시점에 도달하면, 주제어실 운전원들은 비상기술지원실 의사결정 및 지시가 불가능한 상황에서 발전소를 안정된 상태로 유지하기 위하여 중대사고 주제어실 지침서에 따라 조치를 수행해야한다. 이후 비상기술지원실이 발족되어 그 기능을 발휘하기 시작하면, 주제어실 운전원들의 역할은 비상기술지원실이 필요로 하는 정보를 비상기술지원실에 제공하며, 비상기술지원실의 지시에 따라 중대사고 완화 전략을 수행한다. 비상기술지원실에서의 지시가 있기 전까지는 중대사고 주제어실 지침서를 계속 수행하고 있어야 한다.

#### 정지냉각계통 운전중 중대사고 주제어실 지침서(응급-02)

정지냉각계통이 운전 중인 발전소 상태에서 중대사고 발생시 발전소를 제어 가능한 안전한 상태로 유지하기 위해서 필요한 주제어실 운전원 조치사항을 반영하였다. 이 상태에

서는 원자로건물이 개방되고 원자로건물 내부에 작업자가 존재할 수 있으므로 원자로건물 내 작업자 대피와 원자로건물 폐쇄 조치를 최우선으로 수행한다.

### 2.3.3.2 중대사고 완화전략

중대사고 완화전략의 목표는 원자로건물 내에서 발생하는 조기 및 후기 위험들로부터 핵분열생성물 경계를 보호하고, 발전소를 안정된 상태로 제어할 수 있도록 하는 것이다. 원자로건물 건전성을 위협하는 요인에는 원자로냉각재계통 감압이나 증기발생기 급수 주입 단계에서 언급된 고압용융물 분출에 의한 원자로건물 손상과 증기발생기 튜브 크리프 파손이 있다. 원자로냉각재계통 감압을 통해 고압용융물 분출 현상이 발생할 가능성을 줄일 수 있으며, 증기발생기 급수 주입을 통한 수위 유지나 원자로냉각재계통 감압을 통해 증기발생기 튜브 크리프 파손 가능성을 줄일 수 있다.

신고리 5,6호기의 경우 원자로용기 파손을 방지 또는 지연시킬 수 있는 원자로용기 외벽냉각 전략 수행을 위한 설비들이 설계에 반영되어 있다. 이에 따라 원자로용기 외벽냉각 전략의 성공확률을 높이고 해당 전략의 실패시에도 고압용융물 분출에 의한 원자로건물 상부로의 노심파편물 동반이탈화의 가능성을 낮출 수 있는 압력 수준(비상원자로감압계통을 이용한 급속감압 성공기준)으로 원자로냉각재계통 압력을 급속하게 감압하기 위해 증기발생기 급수 주입기능보다 원자로냉각재계통 감압기능에 높은 우선순위를 부여하였다. 조기 위험에 대한 조치가 이루어진 다음으로는 노심의 온도를 제어하는 것이 중요하다. 노심 온도를 제어하기 위해서 원자로냉각재계통으로의 냉각수 주입을 실시한다.

다음으로는 원자로공동을 충수하는 전략을 수행한다. 원자로공동의 충분한 물을 통해 원자로용기를 침수시킴으로써 상당량의 노심용융물이 원자로용기 하반구로 재배치되기 전에 외벽냉각을 하는 것이다. 이를 통해 원자로용기 파손을 방지하거나 파손 시점을 지연시킬 수 있다. 또한 원자로용기가 파손된 이후에는 원자로공동에서 노심용융물을 냉각시킬 수 있다.

원자로건물 핵분열생성물 경계를 조기에 급속히 위협하는 문제들을 감시하고 평가한 후에는 핵분열생성물 방출을 감시(원자로건물, 증기발생기, 보조건물, 핵연료취급지역)하고 방출 감소 조치를 취하게 된다. 원자로건물 기능 상실 가능성을 완화하기 위하여 원자로건물 압력과 수소농도는 지속적으로 감시해야 할 변수이다.

만약, 원자로건물 수소농도가 원자로건물에 위협을 줄 수 있는 정도로 높게 된다면, 독립적으로 원자로건물 압력을 줄이는 조치를 취해서는 안되며, 비상기술지원실에서 발전소 상태를 적절히 판단하여 전략을 이행하여야 한다.

중대사고관리지침서에 제시된 중대사고 완화전략은 다음과 같다.

- 원자로냉각재계통 감압



## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

- 증기발생기 급수 주입
- 원자로냉각재계통 냉각수 주입
- 원자로공동 냉각수 주입
- 핵분열생성물 방출 제어
- 원자로건물 상태 제어
- 원자로건물 수소 제어

### 원자로냉각재계통 감압(완화-01)

원자로냉각재계통 감압 전략수행을 위해서는 원자로냉각재계통 압력 감시가 필요하다. 압력 감시를 통해 원자로냉각재계통 압력을 확인하고 전략이행을 결정한다.

### 증기발생기 급수 주입(완화-02)

증기발생기 급수 주입 전략수행을 위해서는 증기발생기 수위 및 압력 감시가 필요하다. 수위 감시를 통해 증기발생기 내의 냉각수 유무를 확인하고 전략이행 여부를 결정한다.

### 원자로냉각재계통 냉각수 주입(완화-03)

원자로냉각재계통 냉각수 주입 전략수행을 위해서는 노심출구온도 및 냉각수주입유량 감시가 필요하다. 노심출구온도 및 냉각수주입유량을 확인하고 전략이행을 결정한다.

### 원자로공동 냉각수 주입(완화-04)

원자로공동 냉각수 주입 전략수행을 위해서는 원자로냉각재계통 압력 및 원자로공동의 수위 감시가 필요하다. 원자로냉각재계통 압력 및 원자로공동 수위 감시를 통해 원자로공동 냉각수 주입 전략이행을 결정한 후 냉각수를 주입하게 된다.

### 핵분열생성물 방출 제어(완화-05)

핵분열생성물 방출제어 전략수행을 위해서는 지역별 방사선 감시가 필요하다. 핵분열생성물 방출지역을 확인하기 위해 원자로건물, 증기발생기, 보조건물 및 핵연료취급지역에 방사선 감시기가 설치되어 있다. 방사선 감시를 통해 필요시 핵분열생성물 방출제어 전략이행을 결정한다.

### 원자로건물 상태 제어(완화-06)

원자로건물 상태제어 전략수행을 위해서는 원자로건물의 압력 감시가 필요하다. 원자로건물 상태제어 전략은 원자로건물 살수계통과 원자로건물 송풍냉각기 및 비상원자로건물

살수보조계통을 이용한다.

#### 원자로건물 수소 제어(완화-07)

원자로건물 내 수소제어 전략을 수행하기 위해서는 원자로건물의 수소농도를 감시하여야 한다. 수소농도 감시를 통해 원자로건물 내 수소제어 전략이행을 결정한다. 원자로건물 내에 설치되어 있는 피동축매형수소재결합기가 수소를 제어하여 중대사고시 수소폭발에 의한 원자로건물 손상을 방지한다. 만약, 피동축매형수소재결합기의 심각한 기능저하가 발생하면, 수소점화기, 인위적인 수소 연소 및 수소연소 예방 전략을 통해 수소농도를 제어할 수 있다.

#### 2.3.3.3 중대사고 관리 종료

비상기술지원실은 중대사고관리지침서 종료절차의 진입조건을 점검한다.

발전소가 제어되고 안정된 상태에 있지 않다면, 계속하여 발전소 안전 변수를 감시하고 필요한 조치를 취하기 위하여 발전소 상태를 점검하는 단계로 돌아가게 된다.

진입조건이 만족되면, 중대사고관리를 위하여 사용 중인 계통 또는 기기를 장기간 운전하는 데 요구되는 여러 가지 발전소 변수들을 점검한다. 만약 하나 또는 그 이상의 변수들이 사전에 설정된 범위를 벗어나 불만족하게 되면, 그 변수들을 수용할 수 있는 값으로 회복하기 위한 조치들을 수행한다.

비상기술지원실은 발전소가 제어되고 안정된 상태에 있음을 확인한 후 중대사고관리지침서 사용을 종료한다.

#### 2.3.4 참고문헌

1. 경수로형 원전 규제기준 9.4.7 “장기교류전원상실”
2. 신고리 5,6호기 중대사고관리지침서, 한국수력원자력(주)
3. 신고리 5,6호기 인위적 광역손상 완화 기본운영지침서, 한국수력원자력(주)

## 2.4 사고관리 절차서 및 지침서 구성체계

사고관리 절차서 및 지침서는 사고가 발생했을 때 발전소 비상조직의 인원들이 2.3절에서 기술한 사고관리 전략을 수행하기 위한 구체적인 조치사항을 기술하고 있고, 사고관리를 효율적으로 이행할 수 있도록 필요한 정보, 문장표현·구조, 용어 및 측정단위 등을 고려하여 작성되었다. 사고관리 절차서 및 지침서는 비상운전절차서, 극한재해완화지침서(다중방어운영지침서 및 광역손상완화지침서) 및 중대사고관리지침서로 구성되어 있다.

1.1절에서 기술한 바와 같이 사고관리에 포함되는 사고의 범위는 설계기준사고, 다중고장사고, 극한재해 및 중대사고이고, 사고의 심각성 정도에 따라 설계기준사고, 다중고장사고, 극한재해 및 중대사고 순서대로 진행되어 사고가 악화된다.

그림 2.4-1은 이러한 사고의 진행 및 악화에 따라 사고에 적절히 대응하기 위한 사고관리 절차서 및 지침서간 연계 및 전환 관계를 설명하고 있다. 예를 들어, 비상운전절차서로 복구 수행 중 사고가 악화되어 이동형 설비가 필요할 경우, 다중방어운영지침서를 사용하여 중대사고를 예방하도록 연계되어 있으며, 중대사고 예방을 위한 복구 수행중 중대사고 진입조건이 되었을 때는 중대사고관리지침서로 전환하여 중대사고를 완화하도록 한다.

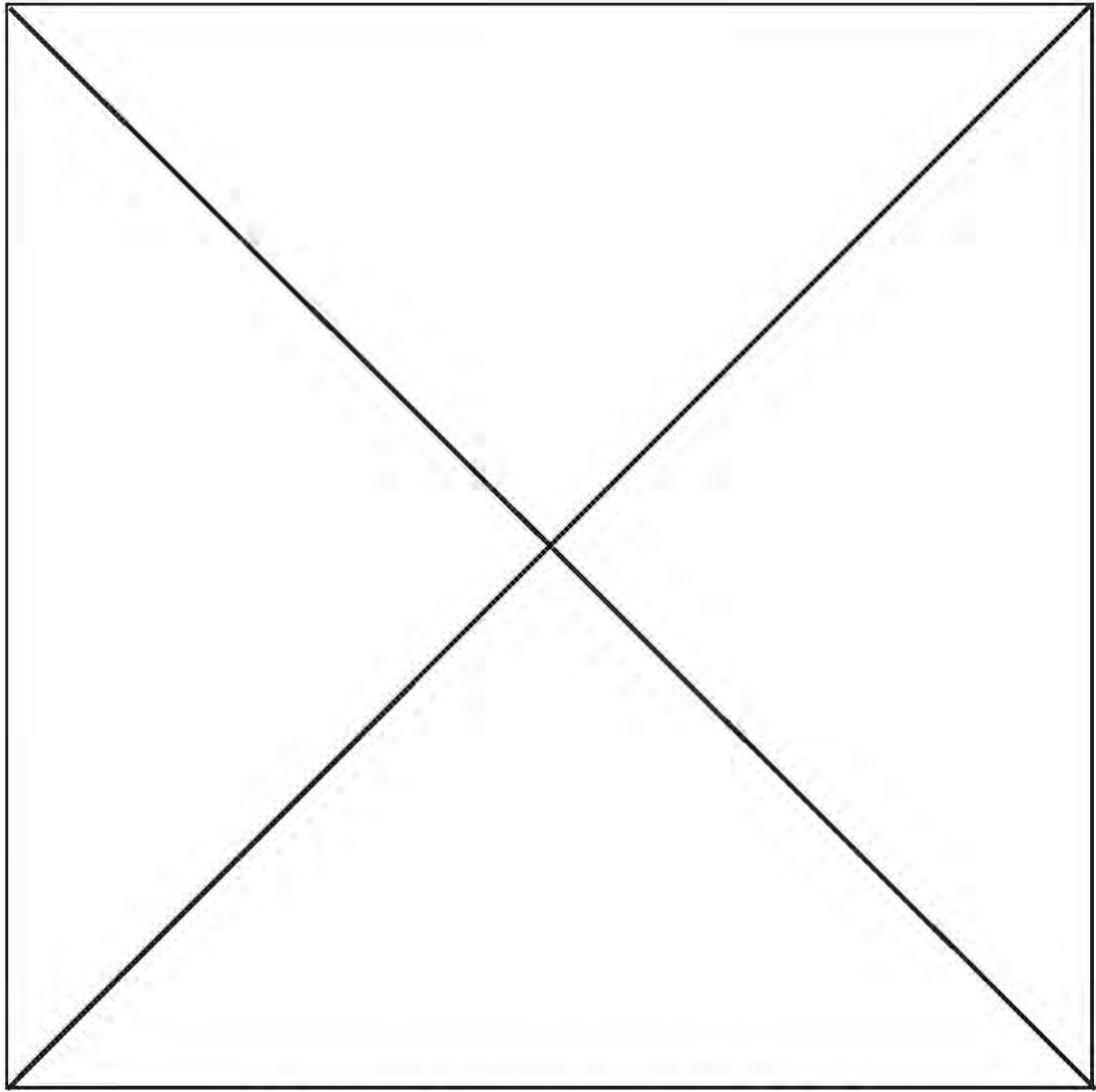


그림 2.4-1 사고관리 절차서 및 지침서 연계 관계

#### 2.4.1 비상운전절차서

비상운전절차서(참고문헌 1)는 설계기준사고 및 다중고장사고에 대비한 사고관리 전략을 이행하기 위하여 비상운전지침서를 기반으로 작성된 발전소 고유의 문서이다. 이 절차서는 원자로 정지 후부터 발전소를 안정한 상태로 유지하기 위해 필요한 모든 단계를 포함한다.

비상운전절차서는 운전원 조치의 명확성, 주제어실 운전원 상호작용 및 제어실 설계에 대한 적합성을 고려하여 작성되며, 2.3.1절에서 기술한 사고관리 전략을 이행하기 위하여 사용된다. 주제어실 운전원이 사고관리 조치를 수행하는 신고리 5,6호기 비상운전절차서는 다음과 같이 구성되어 있다.



## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

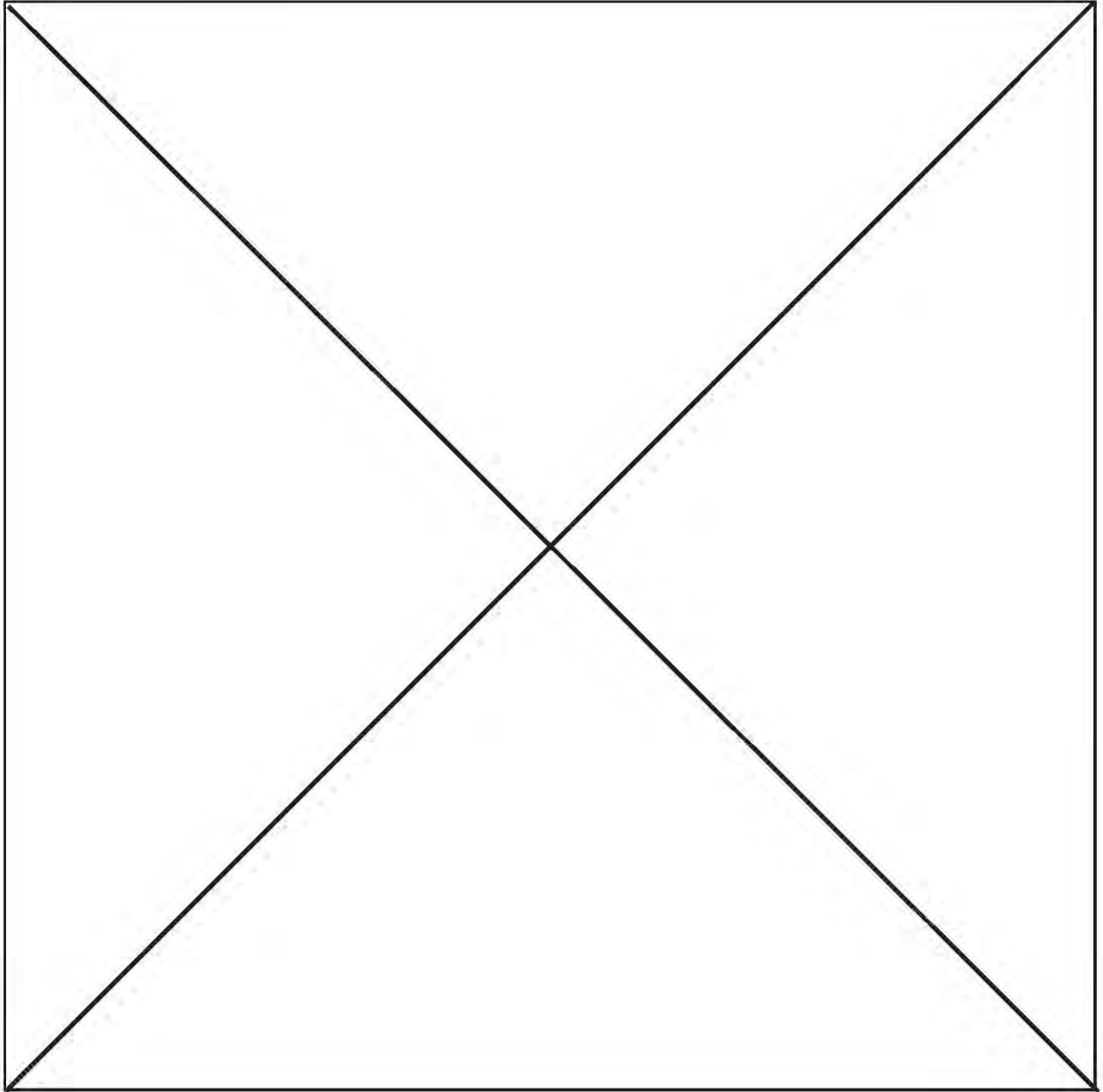


그림 2.4-2 비상운전절차서 체계



## 2.4.2 극한재해완화지침서

극한재해완화지침서는 극한재해 사고를 대비한 사고관리 전략을 이행하기 위하여 작성된 발전소 고유의 문서이다. 이 지침서는 발전소를 안전하고 안정한 상태로 유지시키고 원전 종사자 및 일반 대중의 안전을 위해 방사성물질 누출로 인한 피해를 최소화하기 위하여 필요한 모든 수행 단계를 포함한다.

### 2.4.2.1 설계기준초과 자연재해

설계기준초과 자연재해시 사고에 대응하기 위하여 개발된 다중방어운영지침서(MOG)는 주제어실 운전원, 현장 운전원 및 기타 비상대응 조직 소속 직원들이 수행하여야 하는 사고관리 조치사항에 대하여 기술하고 있으며, 2.3.2절에서 기술한 사고관리 전략을 이행하기 위하여 사용된다. 사고관리 조치를 수행하기 위한 다중방어운영지침서는 다음과 같이 구성되어 있다(참고문헌 2).

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

[Redacted text block containing multiple paragraphs of information, likely detailing the accident management plan for 신고리 5,6호기.]

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

[Redacted text block containing multiple paragraphs of information, likely detailing the accident management plan for 신고리 5,6호기.]

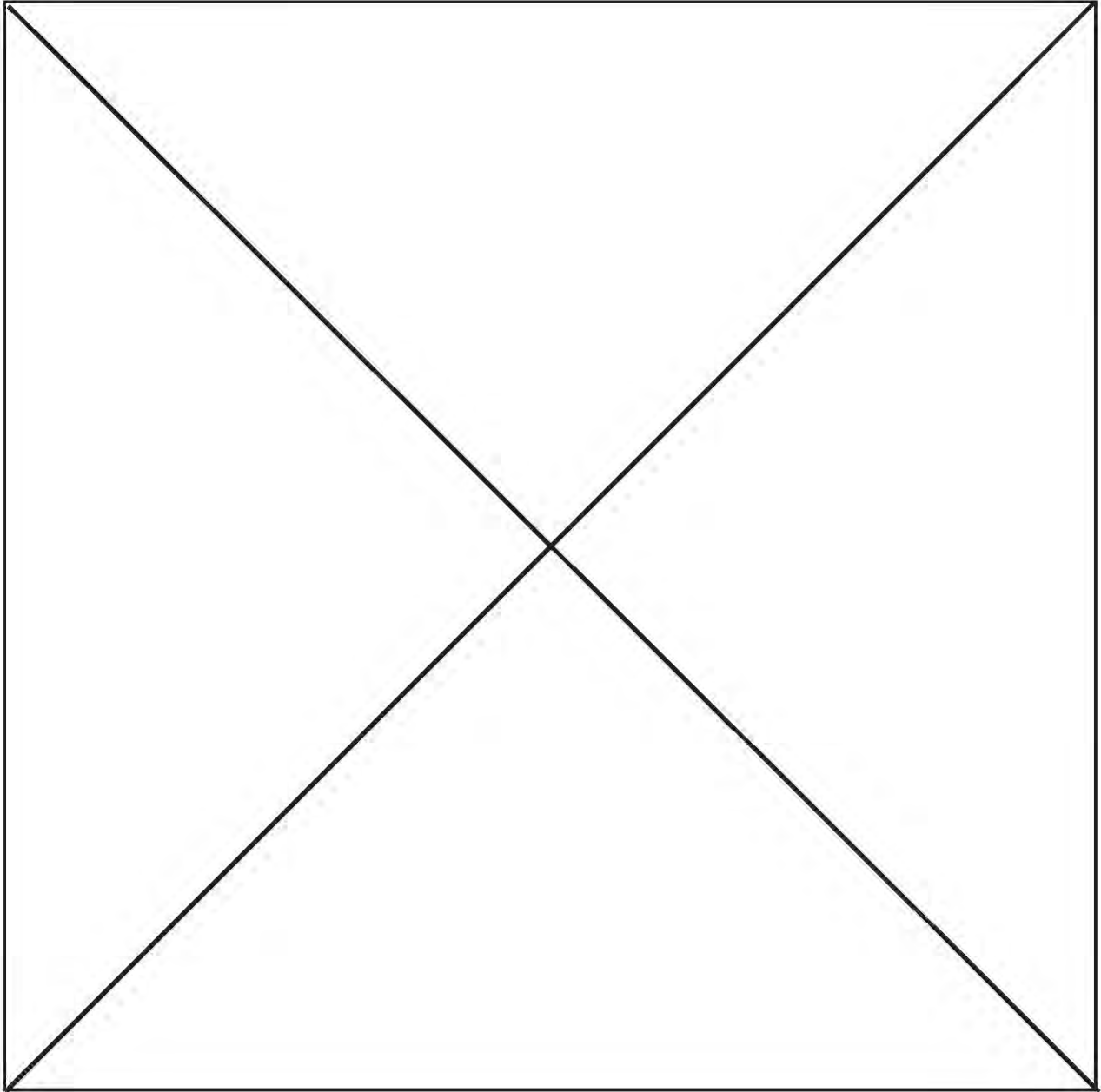


그림 2.4-3 다중방어운영지침서 체계

### 2.4.2.2 설계기준초과 인위적재해

광역손상완화지침서는 설계기준초과 인위적재해 사고시 대비한 광역손상 완화전략을 이행하기 위하여 작성된 발전소 교유의 문서이다. 이 지침서는 발전소를 안전하고 안정한 상태로 유지시키고 원전 종사자 및 일반 대중의 안전을 위해 방사성물질 누출로 인한 피해를 최소화하기 위하여 필요한 모든 수행 단계를 포함하는 발전소 교유의 문서이다(참고문헌 3 및 4).

광역손상 완화지침서는 주제어실 운전원, 현장 운전원 및 기타 비상대응 조직 소속 직원들이 수행하여야 하는 사고관리 조치사항에 대하여 기술하고 있으며, 다음과 같이 구성되어 있다.

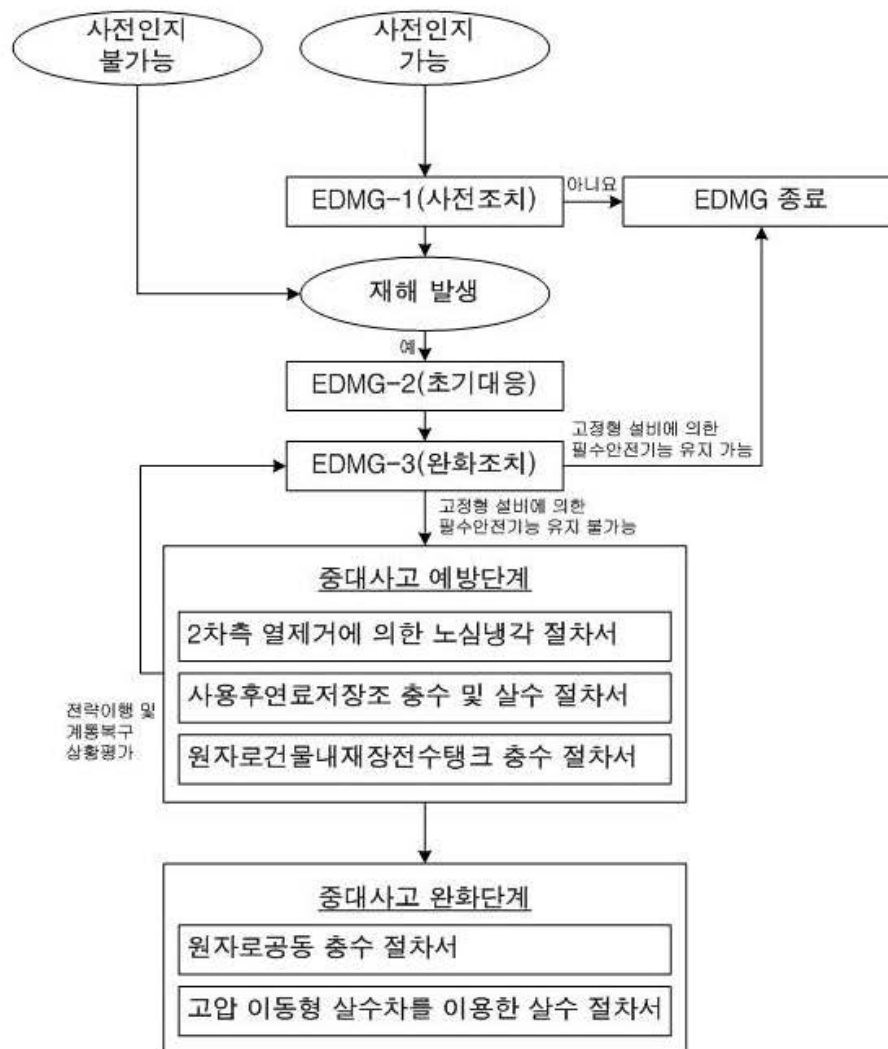


그림 2.4-4 광역손상완화지침서 체계

EDMG-1(사전조치) 광역손상완화지침서 사전조치지침

발전소와 종사자의 안전에 심각한 손상을 발생시킬 수 있는 인위적재해(항공기충돌 등)가 사전에 예상되는 경우 진입한다. 인위적재해 사전조치지침은 작업자 대피 및 발전소를 안전정지 상태로 유지하기 위한 최소한의 조치사항을 포함한다. 인위적재해의 경보가 허위로 판명될 경우, EDMG-1을 종료한다. 또, 지침서의 모든 조치사항이 완결되거나 인위적재해의 발생으로 EDMG-2의 진입이 필요한 경우, EDMG-1을 종료한다.

EDMG-2(초기대응) 광역손상완화지침서 초기대응지침

인위적재해 발생 후 초기비상조직에 의해 진입한다. 인위적재해 초기대응지침은 사고 초기에 필요한 조치사항을 포함한다. EDMG-2의 모든 단계가 완료되거나 TSC가 발족되어 EDMG-3에 진입할 경우, EDMG-2를 종료한다. 또, 주제어실 및 원격정지제어반의 발전소 감시 및 제어가 가능한 경우, EDMG-2를 종료한다.

EDMG-3(완화조치) 발전소 상태판단 및 전략수행지침

인위적재해 발생 후 TSC가 구성되면 진입한다. 발전소 상태 판단 및 전략수행지침은 발전소의 손상상태를 평가하고 광역손상 완화전략 수행의 판단 지침을 제공한다. 주제어실 및 원격정지제어반의 발전소 감시 및 제어가 가능한 경우, EDMG-3을 종료한다. 광역손상 완화전략의 이행을 위한 세부 운전절차서는 지침서의 부록으로 제공하며 상세 절차서는 다음과 같이 구성한다.

- 2차측 열제거에 의한 노심냉각 절차서  
발전소의 노심냉각기능이 상실된 경우 진입한다. 증기발생기 수동감압, 터빈구동보조급수펌프 수동운전, 이동형 펌프를 사용한 증기발생기 급수공급, 보조급수 저장탱크 보충수 공급 절차를 제공한다.
- 사용후연료저장조 충수 및 살수절차서  
사용후연료저장조의 냉각기능이 상실된 경우 진입한다. 사용후연료저장조 내부 및 외부에서 충수 또는 살수하는 방안을 포함한다. 또 사용후연료저장조의 누설물이 충수 및 살수 전략에서 제공하는 충수율을 초과하는 경우 누설률을 감소시키기 위해 소내 또는 소외 자재를 사용하여 조치하는 절차를 제공한다.
- 원자로건물내재장전수탱크 충수 절차서  
장기비상노심냉각 운전을 위해 원자로건물내재장전수탱크를 충수하는 절차를 제공한다.
- 원자로공동 충수절차서  
노심용융물을 냉각하기 위해 원자로공동에 침수시키기 위한 운전절차를 제공한다.
- 고압 이동형 살수차를 이용한 살수절차서  
방사성물질 누출을 최소화 할 수 있는 살수 운전절차를 제공한다.

### 2.4.3 중대사고관리지침서

중대사고관리지침서는 설계기준을 초과하는 현저한 노심손상, 즉, 중대사고가 발생했을 때 그 영향을 완화하고 방사성물질의 대량 방출을 방지하기 위해 수행되는 구체적인 조치들을 기술하고 있다. 중대사고관리지침서는 모든 발전소 상태에서 중대사고가 일어났을 때의 상황을 포괄할 수 있도록 구성되어 있으며, 다음과 같이 구성되어 있다.

- 주제어실 지침서
  - 응급 지침서 : 응급-01(중대사고 주제어실 지침서)  
응급-02(정지냉각계통 운전중 중대사고 주제어실 지침서)
- 비상기술지원실 지침서
  - 제어 지침서 : 제어-01(전략수행제어도)
  - 완화 지침서 : 완화-01(원자로냉각재계통 감압)  
완화-02(증기발생기 급수 주입)  
완화-03(원자로냉각재계통 냉각수 주입)  
완화-04(원자로공동 냉각수 주입)  
완화-05(핵분열생성물 방출 제어)  
완화-06(원자로건물 상태 제어)  
완화-07(원자로건물내 수소 제어)
  - 감시 지침서 : 감시-01(장기 관심사항 감시)
  - 종료 지침서 : 종료-01(중대사고관리 종료)
- 전략수행을 위한 보조도구
  - 계산표 : 계산표-01(장기 붕괴열 제거를 위한 냉각수 주입률)  
계산표-02(원자로건물내 수소 가연성)  
계산표-03(노심회복을 위한 원자로냉각재계통 냉각수 주입률)  
계산표-04(원자로건물 냉각수 수위 및 체적)  
계산표-05(원자로건물 배기시 배기량)  
계산표-06(원자로건물 감압시 수소 영향)  
계산표-07(원자로건물 방사선 준위에 따른 노심손상 가능성 평가)

중대사고관리지침서의 각 세부 문서에 대한 자세한 개발 내용은 다음과 같다.

#### 2.4.3.1 주제어실 지침서

##### 응급-01(중대사고 주제어실 지침서)

중대사고 주제어실 지침서는 사고 진행이 신속히 이루어져 비상기술지원실이 발족되기 전에 노심이 손상되었을 경우 발전소를 안정한 상태로 유지하기 위한 조치들을 수행하는 주제어실 지침과 비상기술지원실이 발족한 이후 주제어실에서 수행하는 조치들에 대한

지침을 제공한다.

중대사고 주제어실 지침서에서 수행되는 주요 조치사항은 다음과 같다.

- 원자로용기 파손을 방지하기 위한 조치
- 원자로건물을 보호하고 방사성물질 방출을 억제하기 위한 조치
- 발전소 상태 감시
- 기기들에 대한 수동 제어
- 필요한 정보를 비상기술지원실에 제공
- 비상기술지원실 지시를 수행

#### 응급-02(정지냉각계통 운전중 중대사고 주제어실 지침서)

응급-01과 거의 동일하지만 응급-01이 전출력 및 저출력 상태에서 이용 가능한 지침서인 반면 응급-02는 정지상태에서 이용가능한 주제어실 지침서이다. 응급-01과의 주요차이점은 아래와 같다.

- 정지 운전 중에는 원자로건물 내부에 작업자가 상주할 수 있으므로 중대사고 진입시 모든 작업자가 높은 준위의 방사선에 노출되지 않도록 원자로건물 외부로 대피하도록 함.
- 정지 운전 중 원자로건물이 폐쇄되어있지 않은 상태에서 중대사고가 발생하면 고방사성물질이 환경으로 누출되어 인체에 위험을 초래할 수 있으므로 원자로건물을 폐쇄하는 조치를 수행하도록 함.
- 중대사고 발생시 원자로냉각재계통의 고온 및 고압에 의해 연결되어 있는 정지냉각계통이 손상될 수 있으므로, 정지냉각계통의 원자로건물 격리 밸브를 차단하여 정지냉각계통의 보호 조치를 수행하도록 함.
- 가압기 Manway 등 원자로냉각재계통에 대형 개구부가 존재하면 원자로냉각재계통 감압 전략 및 증기발생기 급수 주입 전략은 유효성이 크지 않으므로, 가압기 Manway가 개방되어있는지를 확인하여 해당 조치 수행 여부를 결정하도록 함.
- 주제어실은 중대사고관리전략의 수행에 필요한 발전소 정보를 비상기술지원실에 통보하는데 발전소 정지시에는 다양한 기기들이 정비 중일 수 있으므로, 이에 대한 정보를 비상기술지원실에 통보하여 효율적인 수단 선정이 가능하도록 함.

#### 2.4.3.2 비상기술지원실 지침서

##### 제어-01(전략수행제어도)

제어-01(전략수행제어도)은 중대사고가 진행되고 있는 동안 비상기술지원실에서 발전소 상태를 진단하고, 발전소 상태에 따라 수행할 적합한 완화 지침서를 선정할 수 있도록



하는 지침서이다. 이 지침서는 효율적인 중대사고관리전략의 수행을 위해 6가지 분류 인자를 이용하여 발전소 상태를 A부터 F까지로 구분하고 있다. 비상기술지원실은 완화 전략을 수행하기 전에 현재의 발전소 상태를 파악하여야 한다.

전략수행제어도에 따라 각 완화 전략을 수행할 때, 해당 전략수행의 유효성이 있는지, 전략 적용에 의한 긍정적 효과 및 부정적 영향은 무엇인지, 가용한 수단 및 조치는 무엇인지 등을 발전소의 상태 구분에 따라 효율적으로 판단할 수 있도록 발전소 상태 점검표를 반영하였다.

전략수행제어도는 원자로건물 중대위협 및 발전소 안전변수로 구성되어있고, 이들을 동시에 감시하도록 만들어졌다.

발전소 안전 변수 상태에 따라 적절한 조치를 취하고 있는 중에 발전소 중대위협 변수 중 어느 하나라도 설정치를 초과하게 되면, 발전소 안전 변수에 따른 조치를 중단하고 해당 발전소 중대위협 변수를 완화하기 위한 조치를 수행한다. 발전소 중대위협 변수를 완화하기 위한 조치가 수행되고 나면 일시 중단된 발전소 안전 변수에 따른 조치를 다시 수행하기 시작한다.

#### 완화-01(원자로냉각재계통 감압)

중대사고가 진행되고 있는 동안 원자로냉각재계통을 감압하면 대기 중으로 방출되는 핵분열생성물의 총량을 줄일 수 있다. 원자로냉각재계통 압력이 낮으면 원자로건물을 손상시킬 수 있는 여러 가지 중대사고 현상들이 일어날 가능성이 줄어든다. 또한, 정지운전 중에 사용 중이던 정지냉각재계통의 과압 보호를 위해서도 원자로냉각재계통의 압력을 낮추는 조치가 필요하다. 그리고 원자로냉각재계통이 저압력인 상태에서 운전원들은 여러 가지 회복 조치를 취할 수 있다. 원자로냉각재계통 압력을 낮추더라도 대기 중으로 핵분열생성물들이 방출되지만, 원자로냉각재계통을 감압하는 의도는 대량의 핵분열생성물이 아무런 통제도 받지 않고 나가는 것을 막는 것이다.

원자로냉각재계통 감압에 따른 긍정적 효과 외에 부정적 영향이 있기 때문에 원자로냉각재계통을 감압함으로써 얻을 수 있는 긍정적인 효과와 부정적인 영향을 비교 검토하여 수행 여부를 판단하여야 한다.

비상기술지원실이 원자로냉각재계통 감압을하기로 결정하고 나면 어떤 경로를 우선적으로 사용할 것인가를 결정한다. 비상기술지원실은 우선적인 감압경로, 부정적 영향을 완화시키는 데 필요한 원자로냉각재계통 감압방안의 제한 사항 및 부정적 영향의 완화에 필요할지도 모르는 기타 조치 사항들을 확인한 후 주제어실로 하여금 원자로냉각재계통 감압전략을 실시하도록 지시한다.

전략이 실시 된 후 원자로냉각재계통 감압 전략이 적절하게 수행되고 있는지를 확인하고 제한 사항들이 준수되고 있는지를 확인한다. 전략이 수행된 이후 앞 단계에서 평가된 원자로냉각재계통 감압 전략에 의해 발생하는 부정적인 영향을 완화하기 위해 필요한 조치를 수행한다.

현재 원자로냉각재계통 감압률이 적절하다면 장기 관심사항을 확인한 후 완화-01을 종료하고 전략수행제어도로 돌아간다.

#### 완화-02(증기발생기 급수 주입)

중대사고가 진행되는 동안에 증기발생기 수위를 유지하는 것은 증기발생기 튜브가 크리프 파손에 의해 손상되는 것을 방지할 수 있으며, 증기발생기가 원자로냉각재계통의 열 제거원 역할을 유지하게 할 수 있다. 증기발생기에 수위가 고갈되면 열충격에 의한 튜브의 손상을 방지하기 위하여 급수를 복구 시키는 노력이 필요하다.

증기발생기 급수 주입에 따른 긍정적 효과 외에 부정적 영향이 있기 때문에 증기발생기에 급수를 주입함으로써 얻을 수 있는 긍정적 효과와 부정적 효과를 비교 검토하여 수행 여부를 판단하여야 한다.

비상기술지원실이 증기발생기 급수 주입을 하기로 결정하고 나면 어떤 급수 주입 경로를 우선적으로 사용할 것인가를 결정 한다. 비상기술지원실은 우선적인 급수 주입 경로, 부정적 영향을 완화시키는 데 필요한 급수 주입 방안의 제한 사항 및 부정적 영향의 완화에 필요할지도 모르는 기타 조치 사항들을 확인한 후 주제어실로 하여금 증기발생기 급수 주입을 실시하도록 지시한다.

전략이 실시 된 후 증기발생기 급수 주입 전략이 적절하게 수행되고 있는지를 확인하고 제한 사항들이 준수되고 있는지를 확인한다. 전략이 수행된 이후 앞 단계에서 평가된 증기발생기 급수 주입에 의해 발생하는 부정적인 영향을 완화하기 위해 필요한 조치를 수행한다.

현재 증기발생기 급수 주입이 적절하다면 장기 관심사항을 확인한 후 완화-02를 종료하고 전략수행제어도로 돌아간다.

#### 완화-03(원자로냉각재계통 냉각수 주입)

중대사고시 노심내 존재하는 열을 장기적으로 제거해 줄 수 있는 유일한 방법은 노심을 물로 채우는 것이다. 과열된 노심에 냉각수를 주입하면 급격하게 수증기가 발생되면서 노심의 현열을 제거하게 된다. 만일 노심에 주입된 유량이 충분히 크다면, 결국에는 노심이 완전히 침수될 것이고, 노심으로부터 발생하는 열을 물에 전달함으로써 지속적인 열

제거가 가능하게 된다.

원자로냉각재계통 냉각수 주입은 원자로냉각재계통 냉각수 주입으로 얻을 수 있는 긍정적인 효과 외에 부정적인 영향이 있기 때문에 원자로냉각재계통 냉각수 주입으로 얻을 수 있는 긍정적 효과와 부정적 영향을 비교 검토하여 수행 여부를 판단하여야 한다.

비상기술지원실이 원자로냉각재계통 냉각수 주입을하기로 결정하고 나면 어떤 경로를 우선적으로 사용할 것인지를 결정 한다. 비상기술지원실은 우선적인 주입경로, 부정적 영향을 완화시키는 데 필요한 원자로냉각재계통 냉각수 주입방안의 제한 사항 및 부정적 영향의 완화에 필요할지도 모르는 기타 조치 사항들을 확인한 후 주제어실로 하여금 원자로냉각재계통 냉각수 주입 전략을 실시하도록 지시한다.

전략이 실시 된 후 원자로냉각재계통 냉각수 주입 전략이 적절하게 수행되고 있는지를 확인하고 제한 사항들이 준수되고 있는지를 확인한다. 전략이 수행된 이후 앞 단계에서 평가된 원자로냉각재계통 냉각수 주입 전략에 의해 발생하는 부정적인 영향을 완화하기 위해 필요한 조치를 수행한다.

현재 원자로냉각재계통 냉각수 주입이 적절하다면 장기 관심사항을 확인한 후 완화-03을 종료하고 전략수행제어도로 돌아간다.

#### 완화-04(원자로공동 냉각수 주입)

원자로공동에 냉각수를 주입하는 것은 다음과 같은 사고완화 효과를 얻을 수 있게 된다. 노심이 용융되어 용융물이 원자로용기 하부헤드에 재배치되기 전 원자로공동의 수위가 충분히 유지되어 용기 하부헤드를 침수시킬 수 있다면, 용기 외벽냉각에 의하여 원자로용기 파손을 방지하거나 지연시킬 수 있다. 노심용융물이 원자로공동에 재배치된 경우에는, 노심용융물과 콘크리트 상호반응에 의한 원자로건물 바닥 콘크리트 침식과 비응축성 기체 및 가연성 기체의 발생을 감소시킬 수 있다. 원자로건물 격실 바닥의 노심용융물을 완전히 침수시키게 되면, 노심용융물로부터 빠져 나오는 기체 상태 또는 에어로졸 상태의 핵분열생성물을 제거하는 데 기여할 수 있게 된다.

원자로공동이 침수됨으로써 얻을 수 있는 긍정적인 효과와 침수로 인해 나타날 수 있는 부정적인 역효과를 비교 검토하여 수행여부를 판단하여야 한다.

비상기술지원실이 원자로공동 냉각수 주입을하기로 결정하고 나면 어떤 경로를 우선적으로 사용할 것인지를 결정한다. 비상기술지원실은 우선적인 주입경로, 부정적 영향을 완화시키는 데 필요한 원자로공동 냉각수 주입시 제한 사항 및 부정적 영향의 완화에 필요할지도 모르는 기타 조치 사항들을 확인한 후 주제어실로 하여금 원자로공동 냉각수 주입전략을 실시하도록 지시한다.

전략이 실시된 후 원자로공동 냉각수 주입 전략이 적절하게 수행되고 있는지를 확인하고 제한 사항들이 준수되고 있는지를 확인한다. 전략이 수행된 이후 앞 단계에서 평가된 원자로공동 냉각수 주입 전략에 의해 발생하는 부정적인 영향을 완화하기 위해 필요한 조치를 수행한다.

현재 원자로공동 냉각수 주입이 적절하다면 장기 관심사항을 확인하고 완화-04를 종료하고 전략수행제어도로 돌아간다.

#### 완화-05(핵분열생성물 방출 제어)

중대사고가 진행되고 있는 동안의 핵분열생성물 방출 완화 조치는 사고 기간 중 일반 주민의 피폭위험을 감소시킬 것이다. 그러나 방출 완화 조치는 이미 진행 중에 있는 사고 복구조치를 중단하게 되어 사고의 진행과정에 나쁜 영향을 줄 수도 있다. 따라서 핵분열생성물 방출 완화 조치를 수행함으로써 얻을 수 있는 긍정적인 효과와 부정적인 영향을 비교 검토하여 수행여부를 판단하여야 한다.

완화-05는 방출원에 따라 서로 다른 4개의 항목을 포함하고 있으며, 방출원별로 방출완화를 위해 취해야 하는 조치가 작성되어 있다. 비상기술지원실은 핵분열생성물의 방출경로(방사선 감시기에 따른 방출경로 확인표)를 확인하고, 조치의 우선순위를 결정한다.

그리고 우선순위와 방출경로에 따라 적절한 항목으로 이동하여 방출을 감소시키기 위한 조치를 수행한다. 각 항의 수행이 완료되었을 때 또 다른 방출원에 대해 조치를 취할 필요가 있는지를 결정하기 위해 “방출경로확인” 단계로 돌아간다.

각 항의 핵분열생성물 방출완화전략이 수행되었다면, 이 지침서에서 수행한 모든 항들에 대한 장기 관심사항을 확인한 후 완화-05를 종료하고 전략수행제어도로 돌아간다.

#### 완화-06(원자로건물 상태 제어)

노심 손상을 동반하는 사고 기간 동안 원자로건물 상태 제어원을 제공하면 원자로건물로부터 외부 대기로의 핵분열생성물 누설을 감소시킬 수 있고, 또한 중대사고 기간 동안 원자로건물내 압력 스파이크로 인한 원자로건물 손상 가능성을 감소시킬 수 있다.

비상기술지원실이 원자로건물 상태 제어를하기로 결정하고 나면 어떤 경로를 우선적으로 사용할 것인가를 결정 한다. 비상기술지원실은 우선적인 원자로건물 상태 제어 수단, 부정적 영향을 완화시키는 데 필요한 제한 사항 및 부정적 영향의 완화에 필요할지도 모르는 기타 조치 사항들을 확인한 후 주제어실로 하여금 원자로건물 상태 제어 전략을 실시하도록 지시한다.

전략이 실시 된 후 원자로건물 상태 제어 전략이 적절하게 수행되고 있는지를 확인하고 제한 사항들이 준수되고 있는지를 확인한다. 전략이 수행된 이후 앞 단계에서 평가된 원자로건물 상태제어 전략에 의해 발생하는 부정적인 영향을 완화하기 위해 필요한 조치를 수행한다.

현재 원자로건물 상태제어 전략이 적절하다면 장기 관심사항을 확인한 후 완화-06을 종료하고 전략수행제어도로 돌아간다.

#### 완화-07(원자로건물내 수소 제어)

원자로건물내 수소는 수소 제거 전략의 적용으로 감소할 수 있다. 하지만 이러한 전략의 적용은 긍정적 영향과 부정적 영향을 가지고 있다. 이 지침서에서는 수소 제거 전략 외에 원자로건물내에서 수소 연소가 일어나는 것을 예방하기 위하여 원자로건물 대기를 불활성 상태로 만들고 점화원을 격리하는 방안도 언급하였다. 원자로건물 수소 농도를 감소시키기 위하여 원자로건물 배기를 실시할 수 있으나, 이 지침서에서는 원자로건물 수소 제어를 위하여는 원자로건물 배기를 고려하지 않았다. 그리고 피동축매형수소재결합기의 작동은 피동 특성으로 인하여 본 지침서의 수소 감소 전략으로 고려하지 않았다.

원자로건물내 수소 제어 전략은 계산표-06, 원자로건물 감압시 수소 영향의 5가지 수소 영역 항목에 따라 다르게 적용된다.

비상기술지원실은 원자로건물 내 수소 농도가 속해있는 수소 영역에 따라 원자로건물 수소 농도를 감소시킬 수 있는 수소 제어 전략 확인하고, 발전소 상태에 따라 우선적으로 사용할 수소 제어 전략을 선정하여야 한다.

수소점화기 운전, 인위적 수소연소 및 수소연소예방 및 조치 없음 전략 중 하나를 선택한 이후 전략수행에 따른 부정적인 영향과 긍정적 효과를 비교하여 수행 여부를 결정한다.

비상기술지원실은 각 전략에 대해서 우선적으로 사용할 가용 기기, 부정적 영향을 완화시키는 데 필요한 제한 사항 및 부정적 영향의 완화에 필요할지도 모르는 기타 조치 사항들을 확인 후 주제어실로 하여금 해당 전략을 수행하도록 지시하고, 각 전략에 의해 발생하는 부정적인 영향을 완화하기 위해 필요한 조치를 수행한다.

각 수소제어 전략이 적절하다면 장기 관심사항을 확인한 후 수소제어 전략 선정 단계로 돌아가고, 모든 전략이 평가되었다면 완화-07를 종료하고 전략수행제어도로 돌아간다.

#### 감시-01(장기 관심사항 감시)

이 지침서의 목적은 현재 사용 중인 모든 전략들에 대한 장기 관심사항을 한군데 모아서 비상기술지원실로 하여금 이들을 적절히 감시할 수 있도록 하는 것이다. 중대사고를 관리하기 위하여 완화지침서를 수행하게 되면 전략수행에 따른 장기 관심사항들이 발생한다. 완화지침서에서 개발된 모든 장기 관심사항들은 정리하여 감시-01 지침서에 첨부하였다. 감시-01 지침서는 전략수행제어도(제어-01)에서 발전소 안전 변수 점검이 모두 끝나면 매번 되풀이하여 수행하도록 한다.

#### 종료-01(중대사고관리 종료)

전략수행제어도(제어-01)에서 중대사고관리지침서의 종료 조건이 만족된 경우라도 발전소는 여전히 장기적인 조치를 필요로 하는 상태에 있을 가능성이 크다. 원자로건물 핵분열생성물 경계에 대한 모든 위험이 없어지고, 핵분열생성물의 누설도 제어되고 있으며, 노심과 원자로건물이 제어 가능한 안정한 상태가 되었을 때 중대사고관리는 종료될 수 있다.

중대사고관리를 종료하게 됨에 따라, 비상기술지원실은 방사선비상계획서에 의거하여 적절한 장기 회복 지침을 사용하게 된다. 이 지침서에서는 발전소의 장기 회복을 위한 구체적인 지침을 제공하지는 않지만, 비상기술지원실이 장기 회복을 하는 동안 준수해야 하는 주의 사항이나 제한 사항들을 확인하는 도구를 제공하고, 그리고 중대사고관리지침서 종료시점의 발전소 상태를 요약하여 제공한다. 이 지침서를 사용하여 얻은 정보를 사용함으로써 장기 회복 조치는 보다 성공적이 될 것이다.

중대사고관리지침서를 종료하고 발전소 장기 회복으로 들어가는 것은 발전소 방사선비상계획서에 명시된 회복 절차에 들어가는 것과 동일하지 않을 수도 있다. 이는 중대사고관리지침서의 목적과 방사선비상계획서의 목적이 서로 다르기 때문이다. 중대사고관리에서 장기 회복 조치로 들어간다는 것은 원자로건물 핵분열생성물의 경계가 유지되고 있고, 핵분열생성물 누설도 제어되고 있으며, 발전소가 안정된 상태에 있다는 것을 의미한다. 이런 상태에 대한 기준은 전략수행제어도(제어-01)에 정의되어 있다.

#### 2.4.3.3 전략수행을 위한 보조도구

전략수행을 위한 보조도구는 비상기술지원실에서 완화전략을 이행하는데 도움을 주는 각종 정보이다. 이를 활용하여 완화전략수행여부를 결정하고 이행하며, 아래와 같이 구성되어 있다.

계산표-01(장기 붕괴열 제거를 위한 냉각수 주입률)

원자로냉각재계통, 증기발생기 또는 원자로건물로 냉각수를 주입하여 노심에서 발생하는 붕괴열을 제거하는 데 필요한 최소 주입유량을 분석하는 데에 필요한 정보를 제공한다.

계산표-02(원자로건물내 수소 가연성)

원자로건물 대기 내 수소의 가연성 상태를 파악하고 원자로내 지르코늄(Zr)의 산화 분율(%)에 따른 원자로건물 내 수소농도를 예측하는 데에 필요한 정보를 제공한다.

계산표-03(노심 회복을 위한 원자로냉각재계통 냉각수 주입율)

주입되는 유량이 노심을 냉각하고 수위를 회복하기에 충분한지 아니면 추가 주입 유량이 필요한 지를 판단하는 데에 필요한 정보를 제공한다.

계산표-04(원자로건물 냉각수 수위 및 체적)

원자로건물 수위를 산정하기 위하여 원자로건물 내의 냉각수 체적과 원자로건물 수위의 상관관계를 제공하는 데 있다.

계산표-05(원자로건물 배기시 배기량)

배기 유량 정보가 충분치 못한 원자로건물 배기 유로를 사용하여 원자로건물 내 기체 혼합체를 배기 할 경우 방출되는 최대 체적유량률을 예측하는 데에 필요한 정보를 제공한다.

계산표-06(원자로건물 감압시 수소영향)

원자로건물 감압시 수소 위협의 가능성을 평가하는 데에 필요한 정보를 제공한다.

계산표-07(원자로건물 방사선 준위에 따른 노심손상 가능성 평가)

원자로건물 방사능 감시기에 의해 측정된 원자로건물내 방사선 준위 정보를 통해 노심손상 가능성을 평가하여 중대사고관리의 시작 및 종료 시점을 결정하기 위한 간편한 수단을 제공하는 것이다.

2.4.4 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 비상운전절차서, 한국수력원자력(주)
2. 신고리 5,6호기 다중방어운영지침서, 한국수력원자력(주)
3. 신고리 5,6호기 인위적 광역손상 완화 기본운영지침서, 한국수력원자력(주)
4. 신고리 5,6호기 광역손상완화지침서, 한국수력원자력(주)
5. 신고리 5,6호기 중대사고관리지침서, 한국수력원자력(주)



## 2.5 사고관리 절차서 및 지침서 유지관리

### 2.5.1 비상운전절차서

비상운전절차서는 원전의 안전성과 직결되는 문서로서 원전 운영 중 절차서의 유효성을 확보하기 위해 체계적이고 지속적인 유지관리가 필요하다. 따라서, 비상운전절차서는 설계 변경, 운전 경험, 규제 현안, 신규 규제요건, 운전전략 개선, 교육/훈련 결과 등을 반영하기 위하여 비상운전절차서 유지관리절차서에 따라 개정되고 유지관리 된다.

비상운전절차서 유지관리는 비상운전절차서 유지관리를 위한 조직 구성원의 책임 사항, 비상운전절차서 개정절차, 개정번호 부여 및 관리, 비상운전절차서의 비치관리, 그리고 문서화 및 관리에 대하여 비상운전절차서 유지관리절차서에 상세히 기술되어 있다.

## 2.5.2 극한재해완화지침서

극한재해완화지침서는 극한재해 사고시 대비한 사고관리 전략을 이행하기 위하여 발전소를 안전하고 안정한 상태로 유지시키고 원전 종사자 및 일반 대중의 안전을 위해 방사성 물질 누출로 인한 피해를 최소화하기 위하여 필요한 모든 수행 단계를 포함하는 발전소 고유의 문서이다.

### 2.5.2.1 설계기준초과 자연재해

설계기준초과 자연재해에 대응하기 위한 다중방어운영지침서는 주제어실 운전원, 현장 운전원 및 기타 비상대응 조직 소속 직원들이 수행하여야 하는 조치사항이 기술된 사고관리 지침서로서 설계기준초과 자연재해시 사고대응을 위해 원전 운영 중 사고관리 지침서의 유효성을 확보하기 위해 체계적이고 지속적인 유지관리가 필요하다. 따라서, 다중방어 운영지침서는 설계 변경, 운전 경험, 규제 현안, 신규 규제요건, 운전전략 개선, 교육/훈련 결과 등을 반영하기 위하여 유지관리 절차에 따라 개정되고 유지관리된다.

### 2.5.2.2 설계기준초과 인위적재해

설계기준초과 인위적재해에 대응하기 위한 광역손상완화지침서는 평상시 보안문서로 관리되며 사고시 일반문서로 관리한다. 광역손상완화지침서는 승인되지 않는 복제 및 열람을 허용하지 않고, 인위적재해 대응전략 수행에 책임이 있는 종사자에 한하여 열람을 허용한다. 평상시 광역손상완화지침서는 대외공개를 금하며 필요시 보안규정에 서약을 한 인원에 대해 발전소 보안담당자의 승인 이후 열람을 허용한다.

광역손상완화지침서의 변경이 필요한 경우, 보안담당자의 검토 및 승인을 받아 개정한다. 광역손상완화지침서 개정 이후 상기 절차에 따라 보관하며 최신 절차서를 유지관리 한다.

### 2.5.3 중대사고관리지침서

중대사고관리지침서 및 기술배경서를 효율적으로 개정, 유지관리하기 위한 제반 절차 및 방법을 수립하였다. 중대사고관리지침서 주기검토를 통해 개정필요사항에 대한 검토를 수행한다. 개정사유 발생시 중대사고관리지침서 개정자 또는 개정팀을 임명하여 중대사고관리지침서 및 기술배경서의 개정 필요성 여부, 확인평가, 검증평가 수행 필요성 여부를 결정한다. 중대사고관리지침서 개정은 작성자지침서를 준수하여 개정하고, 검증프로그램을 통해서 개정사항에 대한 검토를 수행한다. 개정된 중대사고관리지침서 및 기술배경서는 훈련프로그램에 따라 교육훈련을 수행한다. 중대사고관리지침서 유지관리 프로그램에 관한 상세 사항은 중대사고관리지침서 유지관리 절차서에 기술되어 있다.

### 3 사고관리 이행체계

본 장에서는 발전용원자로 및 관계시설 운영자가 사고관리 전략을 이행하기 위하여 시설의 운영 전에 확보하여야 하는 사고관리 이행체계에 관하여 기술한다.

원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제85조의21(사고관리전략 및 이행체계) 제2항 및 관련 원자력안전위원회고시(원자로.43) “사고관리계획서 작성방법에 관한 규정”에서 규정하는 바에 따른 사고관리 이행체계는 다음과 같다.

#### 3.1 사고관리 조직체계 및 지휘통제체계

##### 3.1.1 조직체계 및 임무

이 장에서는 사고관리 전략을 효과적으로 이행하기 위해 필요한 사고관리 조직 및 지휘통제체계에 대해 설명한다.

##### 3.1.1.1 평상시 조직

###### 3.1.1.1.1 구성 및 임무

새울본부의 평상시 조직은 발전소 안전운전을 위해 최종안전성분석보고서 및 운영기술지침서에 기술되어 있는 평상시 업무를 각 조직별 임무로 수행한다.

##### 3.1.1.2 사고 발생시 조직

사고 발생시 조직은 방사선비상의 발령에 따라 구분된다. 방사선비상 발령이 요구되지 않는 사고의 경우에는, 3.1.1.1절에서 제시된 체계를 기본으로, 추가적으로 구성되는 조직 없이, 발전부를 중심으로 대응한다.

반면, 사고로 인해 방사선비상이 발령되는 경우에는 방사선비상계획서에서 요구하는 초기 비상조직과 정규 비상조직이 사고대응조직으로 구성 되며, 방사선비상계획서를 중심으로 대응하게 된다.

###### 3.1.1.2.1 방사선비상 미 발령시 사고대응조직의 구성 및 임무

방사선비상 발령이 요구되지 않는 사고의 경우에는, 3.1.1.1절에서 구성하고 있는 발전소의 조직이 변화 없이 유지되어, 각 조직별 임무를 수행하고, 사고 대응은 발전소의 설비와 계통을 실제 운전하는 발전부를 중심으로 대응한다.

발전부는 사고 확대방지 및 발전소 안전상태 유지를 위해 관련된 절차/지침서에 따라 각

보직에게 부여된 임무를 수행하며, 이동형설비 활용이 요구되면 재해대응안전센터를 호출하여 대응할 수 있으며, 그 조직 체계는 표3.1-1 와 같다.

#### 3.1.1.2.2 방사선비상 발령시 사고대응조직의 구성 및 임무

방사선비상 발령이 요구될 정도의 사고가 발생했을 경우에는, 초기 비상조직과 정규 비상조직이 순차적으로 구성되어 사고에 대응한다.

##### 3.1.1.2.2.1 초기 비상조직의 구성 및 임무

초기 비상조직은 정규 비상조직 발족 전까지 사고 확대방지 및 긴급조치를 위해 관련된 절차/지침서에 따라 각 조직에게 부여된 비상 업무를 수행하며, 조직의 구성 체계와 임무는 표3.1-2 및 표3.1-3 와 같다.

초기 비상조직은 비상사고 초기에 사고관리업무를 수행하는 조직으로 정규 비상조직이 발족되면 정규 비상조직에 흡수/통합 된다.

##### 3.1.1.2.2.2 정규 비상조직의 구성 및 임무

정규 비상조직은 방사선비상계획서에서 요구하는 목표시간 내 구성되어, 사고 상황에 대한 분석/평가를 통한 비상대응조치 및 수습 관리를 수행하고 비상대책을 운영하며, 구성 조직별로 관련 절차/지침서에서 요구하는 임무를 수행한다. 이를 위한 정규 비상조직의 구성체계는 표3.1-4 와 같으며, 각 구성 조직의 임무는 표3.1-5 과 같다.

#### 3.1.1.3 사고대응조직 인력의 적절성

##### 3.1.1.3.1 방사선비상 미 발령시

방사선비상 발령이 요구되지 않기 때문에, 3.1.1.1절에서 구성하고 있는 발전소의 조직이 각 조직별로 기부여된 임무를 수행하고, 사고대응은 관련된 절차/지침서에 따라 발전부 각 보직에게 부여된 임무를 중심으로 대응한다. 상황에 따라 이동형설비 활용이 요구되더라도, 발전부의 호출로 인해 재해대응안전센터요원 및 협력회사 지원요원들이 충원되어 이동형설비의 이동/배치/연결의 임무를 수행하게 되므로 타조직과의 임무의 충돌이나 공백 없이 구성된 인력으로 충분히 사고에 대응할 수 있다.

##### 3.1.1.3.2 방사선비상 발령시

방사선비상 발령이 요구되는 사고의 경우에는 방사선비상계획서에 따라 초기 비상조직과

정규비상조직이 순차적으로 구성되어 사고에 대응하게 된다. 해당 조직의 구성 체계는 표3.1-2, 표3.1-4, 부여된 임무는 표3.1-3, 표3.1-5와 같으며, 각 조직별 구성인원은 방사선비상계획서에 기술되어 있다.

보수적으로 사고대응에 가장 많은 인원이 요구되는 설계기준초과 자연재해(0.3g 지진을 동반한 장기교류전원상실 및 최종열제거원상실 동시사고)를 가정하면, 주제어실 운전원은 정규비상조직이 구성되기 이전까지 상황 파악, 사고 상황 보고, 안정화 운전 등 많은 직무부하가 예상되지만, 현 인원으로 관련된 안전조치 수행이 가능하며, 현장 운전원은 터빈구동보조급수펌프 운전 확인, 대기방출밸브 개방을 통한 2차측 냉각, 축전지 방전 대비를 위한 비필수 부하 차단 등의 사고대응전략에 따른 임무를 수행하여야하나, 각 보직별로 수행하는 주체가 명확히 구분되어 있고 해당인원이 수행하는데 무리가 없는 임무이므로, 현 초기비상조직의 인원으로 충분히 대응할 수 있다.

추가적으로, 방사선비상이 발령될 경우 정해진 시간 내에 방사선비상요원을 소내로 집결하여 정규방사선비상조직을 구성하도록 되어있다. 정규방사선비상조직은 방사선비상계획서에 따라 각 조직별로 임무가 명확히 구분되어 있고, 반복적이고 주기적인 훈련을 통해 각자 부여받은 임무를 수행할 수 있다. 또한, 재해대응안전센터요원들도 방사선비상요원으로 편성되어 동일한 시간 내에 소내에 소집되고, 협력업체 지원요원들도 소내로 집결되므로, 이동형 설비가 요구되는 시간에 맞춰 이동/배치/연결의 임무를 수행할 수 있으며, 필요시에는 정규비상요원들의 현장 지원을 통해 신속한 연결을 보장할 수 있다. 따라서, 방사선비상이 발령되는 사고에서도 타조직과의 임무의 충돌이나 공백 없이 구성된 인력으로 충분히 사고에 대응할 수 있다.

#### 3.1.1.3.3 이동형설비 대상

이동형설비는 사고대응전략의 사용시점에 따라 분류될 수 있다. 즉, 발전소 사고 상황에 따라 각각의 시간대에 요구되는 설비들을 전략에 맞게 활용할 수 있어야 하며, 그것이 가능하도록 각 설비별로 통합보관고로부터 발전소로까지의 설비 이동을 위한 운전인력, 이동설비와 발전소간의 연결을 위한 인력 등이 적정한 수로 구성되어야 한다.

이를 위해 각 이동형설비 별 인력적절성 평가를 수행하였으며, 이동형설비 운용 전담요원인 비상운전조직표(표 3.1-1)상의 재해대응안전센터요원과 이들을 지원하기 위한 협력업체 담당자들이 설비운용이 요구되는 시간내에 사고대응을 위해 소내로 집결되어 각 이동형설비의 이동, 배치 및 연결 등의 임무들을 충분히 수행할 수 있다.

#### 3.1.1.4 사내 지원기관

사내 지원기관은 기본적으로 방사선 비상이 발령되는 사고가 발생하였을 경우에 구성되어 현장을 지원한다.

##### 3.1.1.4.1 본사 비상대책본부

본사 비상대책본부는 각 사업소 원자력발전소에서 사고가 발생하여, 방사선 비상상황이 발령되었을 때, 사고수습 및 확대 방지를 위한 지원과 비상 상황을 종합관리하기 위해 구성되는 조직이다.

##### 3.1.1.4.2 중대사고 비상대응전문가팀(SAFE-T)

각 사업소 원자력발전소에서 상황 발생시, 중앙연구원에서 중대사고 비상대응전문가팀(SAFE-T) 구성 후, 사고 현장에 파견하여 비상기술지원실 및 운영기술지원실을 지원하는 역할을 수행한다.

##### 3.1.1.4.3 타 원자력본부 및 특수사업소

비상대책본부장은 타 원자력본부, 방사선보건원, 한수원 중앙연구원 및 인재개발원에 비상인력, 의료지원인력, 비상장비 및 차량 등 물자, 기타 비상 업무에 필요한 사항에 대해 지원을 요청할 수 있고, 관련부서는 요청받은 사항에 대해 지원할 수 있다.

이때 지원을 통해 파견된 비상요원(본사 요원, 타 원자력본부 종사자, 국내·외 용역업체 종사자, 설비공급 및 발전소설계 업체 종사자 등)을 각자의 기존업무에 맞게 비상대책본부장이 소속을 지정하는 것으로 하며, 파견된 비상요원은 배치된 소속 책임자의 지시에 따라 비상활동을 수행한다.

#### 3.1.1.5 사외 지원기관

사외 지원기관은 방사선 비상이 발령되는 사고가 발생하였을 경우에 구성되어 현장을 지원한다.

서울본부에서는 비상상황 발생에 따른 의료, 소방, 구조, 치안, 통제 등에 대한 외부기관과의 협약을 통해 지원을 받도록 구성되어 있으며, 그 내용은 표3.1-6 과 같다.

### 3.1.2 사고대응조치

이 장에서는 방사선비상 상황이 발생하였을 때, 초기 비상조직의 발족에서부터 응급조치까지의 내용에 대해 설명하며, 방사선비상이 요구되지 않는 사고의 경우에는 “3.1.1.2.1 방사선비상 미 발령시 사고대응조직의 구성 및 임무”를 따르는 것으로 한다.

#### 3.1.2.1 초기 비상조직 발족

정규비상조직 발족 전까지 사고 확대방지 및 긴급조치를 위하여 발전부장은 정상교대근무조직을 초기 비상조직으로 전환하여 운영하며, 공휴일이나 일과후 등 정상근무시간 외에 비상사고가 발생하면 당직책임자는 사고초기 비상조직에 구성되어 행정업무를 지원한다.

초기 비상조직은 비상사고 초기에 사고관리업무를 수행하는 조직으로 정규 비상조직이 발족되면 정규 비상조직에 흡수/통합 된다.

#### 3.1.2.2 보고 및 통보

비상상황 발생시, 발전부장 책임 하에 표3.1-7 에 따라 관련기관에 구두보고 및 통보를 수행하며, 비상기술지원실이 발족된 후에는 방사선비상계획서에 따라 서면보고를 수행한다.

#### 3.1.2.3 대주민 비상경보 및 안내 방송

인근 주민에게 긴급히 통보해야할 상황이 발생하거나 긴박한 주민보호조치가 요구되는 사고가 발생한 때에는 대민 비상경보용 방송망을 이용하여 주민보호조치 방송을 수행하고, 지방자치단체에 통보한다.

#### 3.1.2.4 비상요원 소집

발전부장이 지정한 인원 또는 당직책임자가 비상방송설비 및 자동동보시스템을 이용하여 비상상황 통보 및 비상요원을 소집하며, 비내진, 비안전 통신설비가 사용이 불가할 경우에는 위성통신장비를 통해 본사 당직실로 비상상황 통보 및 비상요원 소집을 요청할 수 있다.

#### 3.1.2.5 발전소 응급조치 수행

비상사고로부터 초래될 심각한 결과를 방지하고, 완화시키기 위해 초기 비상조직은 발전소가 안전 및 안정한 상태로 될 수 있도록 관련 절차서에 따라 응급조치를 수행 한다.



#### 3.1.2.6 정규 비상조직 발족

비상기술지원실 및 비상운영지원실은 백색비상 발령 후 각 지원실의 실장들의 선언을 통해 발족되어야 하며, 비상기술지원실장은 비상대책실이 발족되기 전까지 비상활동을 총괄 지휘한다.

비상대책실은 백색비상상태에서 비상기술지원실장의 권고에 의해 비상대책본부장이 조기 발족시키는 경우를 제외하고는, 청색 또는 적색비상이 발령되었을 경우에 비상대책실장의 선언을 통해 발족되어야 하며, 이때 비상대책본부장은 본부 내의 모든 비상조직을 총괄 지휘한다.

#### 3.1.2.7 책임자 부재시 조치

비상업무 수행 중 또는 상황에 따라, 비상조직 책임자 부재가 발생할 수 있으므로, 각 조직 책임자 부재시에는 표3.1-8 에 따라 비상업무를 승계하여 수행한다.

#### 3.1.2.8 소방활동

소방활동을 위한 조직은 초기 비상조직과 정규 비상조직 운영시로 구분된다. 사고초기 비상조직 운영시에는 초기 비상조직 소화조 및 현장운전원이 소방활동을 수행하고, 정규 비상조직이 발족하여 운영되면 비상운영지원실 정비계획반 소화구호조가 소방활동을 주관한다.

#### 3.1.2.9 다수호기 동시 비상발령시 비상조직 운영

설계기준초과 자연재해로 인해 본부 내의 원자로시설이 둘 이상 동시에 손상을 받는 사고의 관리를 위하여 다수호기 동시 비상발령시 비상조직이 구성되며, 그 조직도는 표 3.1-9 와 같다.

동일 발전소에서 두 호기가 동시에 사고가 발생하였을 경우에는, 선행호기(신고리 3호기, 5호기)에서 비상업무를 수행하며, 각기 다른 발전소에서 두 호기 이상이 사고가 발생하였을 경우에는, 각 해당호기에서 비상업무를 수행한다.

그 이후, 호기별 사고의 경중에 따라 비상기술지원실장(청색비상 이상시는 비상대책본부장)이 변경이 가능하며, 비상대책실 내 상황반 등 발전소 별로 중복되는 조직은 선행발전소 조직 책임자가 비상대응업무를 총괄한다.

비상대책본부장의 부재시 권한은 비상이 발령된 원전의 선행발전소장이 위임 받아 원 근무 위치의 비상대응시설에서 임무를 수행하며, 다수호기 동시 비상발령시 비상등급이 백색비상

일 경우는 비상대책실 조기 발족을 위해 선행발전소 비상기술지원실장이 본부장에게 건의할 수 있다.

#### 3.1.2.10 비상통신 설비

비상상황 대응을 위한 비상통신설비는 비상연락, 비상정보교환, 비상활동 지휘, 방사선 감시활동 등의 비상활동을 신속하고 효과적으로 수행할 수 있도록 표3.1-10 과 같이 구성되어 있다.

### 3.1.3 각 사고별 대응체계

본 장에서는 1.1절에서 제시한 모든 사고에 대한 대응이 가능하며, 기능적으로 통합됨을 보이고자 한다.

#### 3.1.3.1 설계기준사고 및 다중고장사고

이 장에서는 설계기준사고 및 다중고장사고시 사고관리 전략을 효과적으로 이행하기 위해 필요한 사고관리 조직 및 지휘통제체계에 대해 설명한다.

##### 3.1.3.1.1 사고관리전략 및 대응

설계기준사고 및 다중고장사고시에는 2.3.1절에서 제시된 사고관리전략을 수행하며, 비상운전절차서 또는 비정상절차서로 대응한다.

##### 3.1.3.1.2 사고대응조직 구성 및 임무

설계기준사고 및 다중고장사고는 각 호기 발전부가 대응하며, 비상운전절차서 또는 비정상절차서 수행 중에 이동형설비 활용이 요구되면, 재해대응안전센터를 호출하여 대응할 수 있으며, 그 조직 체계는 표3.1-1 과 같다.

사고 진단에 따라 방사선비상 발령이 요구될 경우에는 초기 비상조직과 정규비상조직이 순차적으로 구성되어 해당 사고에 대응하며 그 체계도는 표3.1-2 및 표3.1-4, 각 조직의 임무는 표3.1-3 및 표3.1-5 와 같다.

##### 3.1.3.1.3 사고대응조직 의사결정 및 위임체계

발전부 및 초기 비상조직은 발전부장(비상운전반장)의 책임하에 비상대응을 수행한다. 발전부장(비상운전반장)이 임무를 수행할 수 없거나 부재시에는, 해당 발전부 안전차장이 발전소 운전에 관한 총체적인 책임을 위임받아 이행하는 것으로 한다.

정규 비상조직이 구성되면, 비상대책실 발족 전에는 비상운전반장에서 비상기술지원실장으로 책임 및 권한이 위임되며, 비상대책실 발족 후에는 다시 비상기술지원실장에서 비상대책본부장으로 위임되어, 비상대책본부장이 비상대응 활동에 대한 모든 책임과 권한을 최종적으로 가지게 된다.

비상업무 수행 중 또는 상황에 따라, 비상조직의 책임자 부재가 발생 할 수 있으며, 이때는 표3.1-8 에 따라 비상업무에 대한 책임과 권한이 위임된다.

#### 3.1.3.1.4 사고관리 절차/지침서의 진입·전환·종료

##### 3.1.3.1.4.1 절차/지침서 진입

설계기준사고 및 다중고장사고가 발생하였을때는, 경보 및 주요변수 확인을 통해 해당되는 비정상절차서를 적용하거나, 원자로 트립 후 조치 수행 또는 사고의 진단을 통해 판단된 명확한 증상에 따라 해당되는 비상운전절차서를 적용하며, 해당 진입기준은 각 비정상 절차서 및 비상운전절차서에 명시되어 있다.

##### 3.1.3.1.4.2 절차/지침서 전환 및 연계

비정상절차서 수행 중 이동형 비상대응설비를 사용하여 사고대응이 필요할 경우 다중방어운영지침서와 연계할 수 있으며, 사고 진행으로 인해 중대사고로 진입할 경우에는 중대사고 관리지침서로 전환한다.

비상운전절차서 수행 중 이동형 비상대응설비를 사용하여 사고대응이 필요할 경우 다중방어운영지침서와 연계할 수 있으며, 비상운전절차서의 안전기능상태점검 수행 중 하나 이상의 안전기능이 불만족하면, 사고진단을 다시 수행하거나 적합한 비상절차서나 회복절차서로 전환하고, 사고 진행으로 인해 중대사고로 진입할 경우에는 중대사고 관리지침서로 전환한다.

절차서 연계 및 전환에 관한 세부내용은 2.4절을 참고한다.

##### 3.1.3.1.4.3 절차/지침서 종료

비정상절차서 또는 비상운전절차서의 종결조건은 각 절차서에 명시되어 있으며 해당 조건 만족시 종결된다. 또한, 운전원의 조치사항이 모두 수행되지 않았더라도 다른 절차서로 전환되거나, 정지냉각계통 운전을 수행하여 발전소의 상태가 안정되면 종료된다.

##### 3.1.3.1.4.4 전환 및 연계에 따른 책임/임무 변경

비정상절차서 및 비상운전절차서는 비상운전반장(발전부장)의 책임 하에, 비상운전반(발전부)이 주관하여 수행한다. 이동형 비상대응설비 활용을 위해 다중방어운영지침서를 연계 수행할 경우에는 설비의 이동/배치/연결은 재해대응안전센터의 주관하에 필요시 정규 비상조직의 협조를 받아서 수행하며, 설비의 기동/운전/정지는 비상운전반(발전부)의 주관하에 정규비상조직의 협조를 받아서 수행 한다. 단, 사고경위에 따라 정규 비상조직 구성 전에 설비이동이 요구될 때는 발전부 현장운전원이 설비 이동 및 배치를 담당할 수 있다.

절차/지침서 수행과 관련한 책임은 3.1.3.1.3절의 최종의사결정권자에게 부여되며, 연계 수행으로 인한 별도의 책임 변경은 발생하지 않는다.

사고진행으로 인해 중대사고관리지침서로 전환될 경우에는, 비상기술지원실 발족전에는 초기 비상대응조직의 비상운전반장의 책임하에 중대사고관리지침서 중 주제어실지침서(응급-01, 02)를 수행하며, 발족 후에는 비상기술지원실장의 책임하에 중대사고관리지침서를 주관하여 수행한다.

#### 3.1.3.1.5 의사소통과 정보교환 수단

설계기준사고 및 다중고장사고는 비내진설계 및 비안전 전원 통신장비의 이용불능을 초래하지 않음으로, 표3.1-10과 같이 서울본부에서 운영중인 통신설비를 활용하여 의사소통 및 정보교환을 수행하며, 전파 수신이 가능한 지역에서는 개인 휴대전화도 활용할 수 있다. 이는 조직내 의사소통시에도 동일하게 적용될 수 있으므로, 추가적인 기술은 생략한다.

#### 3.1.3.1.6 기능적 통합

설계기준사고 및 다중고장사고에서는 비정상 또는 비상절차서로 대응하며, 필요시 다중방어운영지침서와 연계하여 이동형 설비를 활용할 수 있다.

각 절차/지침서 수행의 책임은 비상운전반장(발전부장)에게 분명하게 부여되어 있으며, 비상운전반장(발전부장)의 지시에 따라, 각 보직별로 부여된 임무를 수행한다. 정규비상조직이 구성된 이후에는 3.1.3.1.3절의 최종의사결정권자에게 책임 및 권한이 위임되며, 비상조직별로 부여된 임무를 체계적으로 수행한다. 이동형설비 활용시에는 다중방어운영지침서와 연계하며, 이동형설비의 이동/배치/연결은 재해대응안전센터가 주관하고, 기동/운전/정지는 비상운전반(발전부)이 주관하는 것으로 임무가 명확하게 구분되어 있다.

결론적으로, 사고대응에 따른 절차/지침서의 사용, 부여된 책임과 임무의 수행 그리고 절차/지침서의 전환과 조직구성에 따른 책임의 전환도 충돌이나 중복없이 유기적으로 수행될 수 있도록 구성되어 있으므로, 사고관리 이행체계는 기능적으로 통합되어 있다.

#### 3.1.3.2 설계기준초과 자연재해시

이 장에서는 설계기준초과 자연재해시 사고관리 전략을 효과적으로 이행하기 위해 필요한 사고관리 조직 및 지휘통제체계에 대해 설명한다.

#### 3.1.3.2.1 사고관리전략 및 대응

설계기준초과 자연재해로 인한 비상 상황 발생시에는 2.3.2.1절에서 제시된 사고관리전략을 수행하여 대응하며, 비상운전절차서, 다중방어지침서로 대응한다.

#### 3.1.3.2.2 사고대응조직 구성 및 임무

설계기준초과 자연재해 발생시에는 초기 비상조직과 정규비상조직이 순차적으로 구성되어 설계기준초과 자연재해로 인한 사고에 대응하고, 그 체계도는 표3.1-2 과 표3.1-4 와 같으며, 각 조직의 임무는 표3.1-3 및 표3.1-5 에 기술되어 있다.

#### 3.1.3.2.3 사고대응조직 의사결정 및 위임체계

초기 비상조직은 비상운전반장의 책임하에 비상대응을 수행한다. 비상운전반장이 임무를 수행할 수 없거나 부재시에는, 해당 비상운전반 내 안전차장이 발전소 운전에 관한 총체적인 책임을 위임받아 이행하는 것으로 한다.

정규 비상조직이 구성되면, 비상대책실 발족 전에는 비상운전반장에서 비상기술지원실장으로 책임 및 권한이 위임되며, 비상대책실 발족 후에는 다시 비상기술지원실장에서 비상대책본부장으로 위임되어, 비상대책본부장이 비상대응 활동에 대한 모든 책임과 권한을 최종적으로 가지게 된다.

비상업무 수행 중 또는 상황에 따라, 비상조직의 책임자 부재가 발생 할 수 있으며, 이때는 표3.1-8 에 따라 비상업무에 대한 책임과 권한이 위임된다.

#### 3.1.3.2.4 사고관리 절차/지침서의 진입·전환·종료

##### 3.1.3.2.4.1 절차/지침서 진입

설계기준초과 자연재해가 발생하였을때는, 정보 및 주요변수 확인을 통해 해당되는 비정상절차서를 적용하거나, 원자로 트립 후 조치 수행 또는 사고의 진단을 통해 판단된 명확한 증상에 따라 해당되는 비상운전절차서를 적용하며, 해당 진입기준은 각 비정상절차서 및 비상운전절차서에 명시되어 있다.

##### 3.1.3.2.4.2 절차/지침서 전환 및 연계

비정상절차서 수행 중 이동형 비상대응설비를 사용하여 사고대응이 필요할 경우 다중방어운영지침서와 연계할 수 있으며, 사고 진행으로 인해 중대사고로 진입할 경우에는 중대사고 관리지침서로 전환한다.

비상운전절차서 수행 중 이동형 비상대응설비를 사용하여 사고대응이 필요할 경우 다중방어운영지침서와 연계할 수 있으며, 비상운전절차서의 안전기능상태점검 수행 중 하나 이상의 안전기능이 불만족하면, 사고진단을 다시 수행하거나 적합한 비상절차서나 회복절차서로 전환하고, 사고 진행으로 인해 중대사고로 진입할 경우에는 중대사고 관리지침서로 전환한다.

절차서 연계 및 전환에 관한 세부내용은 2.4절을 참고한다.

#### 3.1.3.2.4.3 절차/지침서 종료

비정상절차서 또는 비상운전절차서의 종결조건은 각 절차서에 명시되어 있으며 해당 조건 만족시 종결된다. 또한, 운전원의 조치사항이 모두 수행되지 않았더라도 다른 절차서로 전환되거나, 정지냉각계통 운전을 수행하여 발전소의 상태가 안정되면 종료된다.

다중방어운영지침서는 해당 절차서의 적용이 완료되었을 경우, 해당 지침서를 종료하고, 연계하여 수행하고 있던 기존의 절차서 또는 지침서로 복귀한다.

#### 3.1.3.2.4.4 전환 및 연계에 따른 책임/임무 변경

비정상절차서 및 비상운전절차서는 비상운전반장의 책임 하에, 비상운전반이 주관하여 수행한다. 이때, 이동형 비상대응설비 활용을 위해 다중방어운영지침서를 연계 수행할 경우에는 설비의 이동/배치/연결은 재해대응안전센터의 주관하에 정규 비상조직의 협조를 받아서 수행하며, 설비의 기동/운전/정지는 비상운전반의 주관하에 정규 비상조직의 협조를 받아서 수행한다. 단, 사고경위에 따라 정규 비상조직 구성 전에 설비이동이 요구될 때는 비상운전반 현장운전원이 설비 이동 및 배치를 담당할 수 있다.

절차/지침서 수행과 관련한 책임은 3.1.3.1.3절의 최종의사결정권자에게 부여되며, 연계수행으로 인한 별도의 책임 변경은 발생하지 않는다.

사고진행으로 인해 중대사고관리지침서로 전환될 경우에는, 비상기술지원실 발족전에는 초기 비상대응조직의 비상운전반장의 책임하에 중대사고관리지침서 중 주제어실지침서(응급-01, 02)를 수행하며, 발족 후에는 비상기술지원실장의 책임하에 중대사고관리지침서를 주관하여 수행한다.

#### 3.1.3.2.5 의사소통과 정보교환 수단

##### 3.1.3.2.5.1 단위 조직간 의사소통과 정보교환 수단

설계기준초과 자연재해시에는, 주제어실-비상기술지원실-비상운영지원실-비상대책실 간

에는 고정형 위성전화를 이용하며, 위성통신 수신에 가능한 현장에서는 이동형 위성전화를 활용하여 통신한다.

“다목적 통신중계설비”를 현장에 배치하면, 추가적인 위성전화 회선을 활용하여 위성전화를 보유하고 있는 조직간의 의사소통 및 정보교환을 수행할 수 있다.

#### 3.1.3.2.5.2 단위 조직내 의사소통과 정보교환 수단

설계기준초과 자연재해시에는 단위 조직내 의사소통을 위해 고정형 및 이동형 위성전화를 활용한다. 발전부 현장운전원 및 비상조직의 현장 요원은 임무 지시를 구두로 받고, 현장으로 이동하여 임무를 수행하며 이동형 위성전화로 관련조직과 통신하여 임무수행 완료보고 및 추가지시를 받는다.

“다목적 통신중계설비”를 현장에 배치하면, 추가적인 위성전화 회선을 활용하여 위성전화를 보유하고 있는 조직원들간의 의사소통을 수행할 수 있으며, 필요할 경우 인편으로 직·간접적으로 의사를 전달할 수 있다.

#### 3.1.3.2.6 기능적 통합

설계기준초과 자연재해에서는 비상절차서로 대응하며, 필요시 다중방어운영지침서와 연계하여 이동형 설비를 활용할 수 있다.

각 절차/지침서 수행의 책임은 비상운전반장(발전부장)에게 분명하게 부여되어 있으며, 비상운전반장(발전부장)의 지시에 따라, 각 보직별로 부여된 임무를 수행한다. 정규비상조직이 구성된 이후에는 3.1.3.2.3절의 최종의사결정권자에게 책임 및 권한이 위임되며, 비상조직별로 부여된 임무를 체계적으로 수행한다. 이동형설비 활용시에는 다중방어운영지침서와 연계하며, 이동형설비의 이동/배치/연결은 재해대응안전센터가 주관하고, 기동/운전/정지는 비상운전반(발전부)이 주관하는 것으로 임무가 명확하게 구분되어 있다.

결론적으로, 사고대응에 따른 절차/지침서의 사용, 부여된 책임과 임무의 수행 그리고 절차/지침서의 전환과 조직구성에 따른 책임의 전환도 충돌이나 중복없이 유기적으로 수행될 수 있도록 구성되어 있으므로, 사고관리 이행체계는 기능적으로 통합되어 있다.

#### 3.1.3.3 설계기준초과 인위적재해시

이 장에서는 설계기준초과 인위적재해 발생시 사고관리 전략을 효과적으로 이행하기 위해 필요한 사고관리 조직 및 지휘통제체계에 대해 설명한다.



#### 3.1.3.3.1 사고관리전략 및 대응

설계기준초과 인위적재해 발생시에는 2.3.2.2절에서 제시된 사고관리전략을 수행하며, 광역손상완화지침서로 대응한다.

#### 3.1.3.3.2 사고대응조직 구성 및 임무

인위적재해 발생시에는 초기 비상조직과 정규 비상조직이 순차적으로 구성되어 설계기준 초과 인위적재해로 인한 사고에 대응하고, 그 체계도는 표3.1-2 및 표3.1-4 와 같으며, 각 조직의 임무는 표3.1-3 및 표3.1-5 에 기술되어 있다.

#### 3.1.3.3.3 사고대응조직 의사결정 및 위임체계

초기 비상조직은 정규 비상조직이 구성되기 전, 비상운전반장(발전부장)의 책임하에 비상대응을 수행하며, 비상운전반장(발전부장)이 임무를 수행할 수 없거나 유고시에는, 인접 호기 발전부장이 권한을 위임받아 임무를 대신하며, 상세한 인수인계에 대한 사항은 “인위적 광역손상 완화 기본운영지침서”를 따른다.

정규 비상조직이 구성되면, 비상대응 총괄에 대한 책임 및 권한의 체계도 변경이 된다. 이때는 비상대책실 발족 전과 후로 나뉘게 되는데, 발족 전에는 비상운전반장에서 비상기술지원실장으로 책임 및 권한이 위임되며, 발족 후에는 다시 비상기술지원실장에서 비상대책본부장으로 위임되어, 비상대책본부장이 비상대응 활동에 대한 모든 책임과 권한을 최종적으로 가지게 된다.

#### 3.1.3.3.4 사고관리 절차/지침서 진입·전환·종료

##### 3.1.3.3.4.1 절차/지침서 진입

설계기준초과 인위적재해(의도적인 항공기 출동 등) 관련 신뢰할 수 있는 사전경보가 접수된 경우 또는 실제 인위적재해 발생으로 주제어실과 원격정지반에서 발전소 감시 및 제어가 불가능한 경우에 광역손상완화지침서를 적용한다.

##### 3.1.3.3.4.2 절차/지침서 전환 및 연계

인위적재해 사전조치(EDMG-01) 수행 중 원자로 정지시, 비상운전절차서를 연계하여 수행하고, 계통운전이 요구될 때는 각 설비의 계통절차서를 연계하여 절차를 수행한다. 광역손상완화지침서 수행 중, 사고 진행으로 인해 중대사고 진입조건을 만족할 경우, 중대사고 관리지침서로 전환된다.

절차서 연계에 관한 세부내용은 2.4절을 참고한다.

#### 3.1.3.3.4.3 절차/지침서 종료

광역손상완화지침서의 종결조건은 광역손상완화지침서에 명시되어 있으며 해당 조건 만족시 종결된다.

#### 3.1.3.3.4.4 전환 및 연계에 따른 책임/임무 변경

인위적재해 사전조치(EDMG-01) 및 인위적재해 초기대응(EDMG-02)은 비상운전반장(발전부장 또는 유고시 인접호기 발전부장)의 지휘아래 초기 비상대응조직에서 수행하며, 원자로 수동정지로 인한 비상운전절차서 및 설비 운전을 위한 계통절차서 연계시에도 별도의 변경사항은 발생하지 않는다.

광역손상완화지침서 완화조치(EDMG-03)은 정규 비상대응조직 구성 후 적용되는 지침서로, 광역손상완화지침서 수행 권한 및 책임이 비상운전반장에서 비상기술지원실장으로 위임되어 절차가 수행된다.

절차/지침서 수행과 관련한 책임은 3.1.3.1.3절의 최종의사결정권자에게 부여되며, 연계수행으로 인한 별도의 책임 변경은 발생하지 않는다.

사고진행으로 인해 중대사고관리지침서로 전환될 경우에는, 비상기술지원실 발족전에는 초기 비상대응조직의 비상운전반장의 책임하에 중대사고관리지침서 중 주제어실지침서(응급-01, 02)를 수행하며, 발족 후에는 비상기술지원실장의 책임하에 중대사고관리지침서를 주관하여 수행한다.

#### 3.1.3.3.5 단위 조직간 및 조직 내 의사소통과 정보교환 수단

설계기준초과 인위적재해의 경우, 재해가 발생한 지점에 종속되어 가용여부가 결정되는 특성을 가지고 있으므로, 재해영향을 받지 않은 통신설비를 활용하며, 필요시에는 개인이 보유한 휴대전화를 활용한다.

“다목적 통신중계설비”를 현장에 배치하면, 추가적인 위성전화 회선을 활용하여 위성전화를 보유하고 있는 조직들간의 의사소통을 수행할 수 있으며, 필요할 경우 인편으로 직·간접적으로 의사를 전달할 수 있다. 이는 조직내 의사소통시에도 동일하게 적용될 수 있으므로, 추가적인 기술은 생략한다.

#### 3.1.3.3.6 기능적 통합

설계기준초과 인위적재해 사고에서는 광역손상완화지침서로 대응하며, 원자로 정지나 제어봉운전이 요구될 때에는 비상절차서 또는 계통절차서를 연계하여 수행할 수 있다.

각 절차/지침서 수행의 책임은 비상운전반장(발전부장)에게 분명하게 부여되어 있으며, 비상운전반장(발전부장)의 지시에 따라, 각 보직별로 부여된 임무를 수행하고, 인위적재해의 특성으로 인한 발전부장의 유고상황에 대한 대비도 구축되어 있다. 정규비상조직이 구성된 이후에는 3.1.3.3.3절의 최종의사결정권자에게 책임 및 권한이 위임되며, 비상조직별로 부여된 임무를 체계적으로 수행한다..

결론적으로, 사고대응에 따른 절차/지침서의 사용, 부여된 책임과 임무의 수행 그리고 절차/지침서의 전환과 조직구성에 따른 책임의 전환도 충돌이나 중복없이 유기적으로 수행될 수 있도록 구성되어 있으므로, 사고관리 이행체계는 기능적으로 통합되어있다.

#### 3.1.3.4 중대사고시

이 장에서는 중대사고시 사고관리 전략을 효과적으로 이행하기 위해 필요한 사고관리 조직 및 지휘통제체계에 대해 설명한다.

##### 3.1.3.4.1 사고관리전략 및 대응

중대사고로 인한 비상 상황 발생시에는 2.3.3절에서 제시된 사고관리전략을 수행하여 대응하며, 중대사고 관리지침서로 대응한다.

##### 3.1.3.4.2 사고대응조직 구성 및 임무

중대사고 발생시에는 초기 비상조직과 정규 비상조직이 순차적으로 구성되어 중대사고에 대응하며 그 체계도는 표3.1-2 및 표3.1-4 와 같으며, 각 조직의 임무는 표3.1-3 및 표3.1-5 에 기술되어 있다.

##### 3.1.3.4.3 사고대응조직 의사결정 및 위임체계

초기 비상조직은 정규 비상조직이 구성되기 전, 비상운전반장의 책임하에 비상대응을 수행하며, 비상운전반장이 임무를 수행할 수 없거나 부재시에는, 해당 비상운전반 안전차장이 발전소 운전에 관한 총체적인 책임을 위임받아 이행하는 것으로 한다.

정규 비상조직이 구성되면, 비상대응 총괄에 대한 책임 및 권한의 체계도 변경이 된다. 이때는 비상대책실 발족 전과 후로 나뉘게 되는데, 발족 전에는 발전부장에서 비상기술지원실장으로 책임 및 권한이 위임되며, 발족 후에는 다시 비상기술지원실장에서 비상대

책본부장으로 위임되어, 비상대책본부장이 비상대응 활동에 대한 모든 책임과 권한을 최종적으로 가지게 된다.

비상업무 수행 중 또는 상황에 따라, 비상조직의 책임자 부재가 발생 할 수 있으며, 이때는 표3.1-8 에 따라 비상업무에 대한 책임과 권한이 위임된다.

#### 3.1.3.4.4 중대사고관리지침서 진입·전환·종료

##### 3.1.3.4.4.1 지침서 진입

중대사고관리는 노심손상이 예상되는 상황에서 노심손상예방을 위한 전략이 효과적이지 못하여 사고가 심화될 경우에 적용된다. 중대사고예방을 위한 절차서 및 지침서를 사용한 노심냉각을 위한 조치들이 실패하여, 노심출구온도가 [REDACTED] 이상으로 증가하면 중대사고관리지침서로 진입한다. 노심출구온도가 측정 불가능하면 원자로건물 방사선 준위에 따른 노심손상 가능성 평가결과에 따라 중대사고관리지침서로 진입할 수 있다.

##### 3.1.3.4.4.2 지침서 전환 및 연계

중대사고관리에 진입한 이후 비상기술지원실은 전략수행제어도를 통해서 발전소 안전 변수 및 중대위협변수를 감시한다. 발전소 안전 변수들은 어떤 완화 전략이 필요한지를 결정하는 데 사용되며, 해당 완화지침서로 전환하여 전략을 체계적으로 수행할 수 있도록 한다. 각 완화지침서에 진입하면, 그 상태를 제어하는 데 사용할 수 있는 여러 가지 수단들의 운전가능성을 확인하고, 긍정적 영향과 부정적 영향을 평가한 후 전략수행여부를 결정한다. 중대위협변수들은 지속적으로 감시하고 있다가 설정치를 초과하게 되면 그 변수를 제어하기 위한 완화지침서로 즉시 전환하여 부정적 영향을 평가하지 않고 무조건 수행하도록 한다.

중대사고관리전략 수행을 위한 수단에는 다양한 이동형 설비들이 포함된다. 중대사고관리지침서 수행중 이동형 비상대응설비 사용이 필요하면, 다중방어운영지침서와 연계할 수 있다. 절차서 연계에 관한 세부내용은 2.4절을 참고한다.

##### 3.1.3.4.4.3 지침서 종료

중대사고관리를 종료하기 위해서는 발전소가 안정된 상태에서 제어되고 있어야 한다. 비상기술지원실은 원자로건물의 핵분열생성물의 경계가 유지되고 있고, 핵분열방사성 물질의 누설이 제어되고 있으며, 노심 및 원자로건물에 대한 장기적인 열제거가 가능한 상태인지를 확인한다. 종료-01에 진입 가능한 기준은 전략수행제어도에 기술되어 있다. 중대사고관리 종료조건이 만족될 경우에는 장기 회복을 위한 조치를 수행하게 되며 중대사고관리지침서는 장기 회복 조치시 준수해야 하는 주의사항이나 제한 사항들을 확인하는 도구를 제공한다.

#### 3.1.3.4.4 지침서 적용 및 전환/연계에 따른 책임 및 임무

비상운전반장이 비상기술지원실이 발족되기 전까지 최초 비상발령을 비롯한 비상대응조치를 수행하며 사고관리업무를 총괄한다. 비상기술지원실이 발족한 이후에는 비상기술지원실장에게 모든 책임이 위임되며, 결정권자의 책임인수 시기가 비상기술지원실 발족 전후로 나뉘기 때문에 의사결정권자간의 의사결정 충돌은 일어나지 않는다.

중대사고관리지침서는 비상기술지원실 발족전에는 초기비상대응조직의 비상운전반장의 책임하에 주제어실지침서(응급-01, 02)이 수행되며, 발족 후에는 비상기술지원실장의 책임하에 주관하여 수행된다.

중대사고관리지침서 수행 중 이동형 비상대응설비를 활용한 중대사고 완화전략수행이 요구될 때는, 다중방어운영지침서와 연계할 수 있으며, 설비의 이동/배치/연결은 재해대응안전센터 주관하에 정규 비상조직의 협조를 받아서 수행하며, 설비의 기동/운전/정지는 비상운전반의 주관하에 필요시 정규 비상조직의 협조를 받아서 수행한다. 단, 사고경위에 따라 정규 비상조직 구성 전에 설비이동이 요구될 때는 비상운전반 현장운전원이 설비 이동 및 배치를 담당할 수 있다.

#### 3.1.3.4.5 의사소통과 정보교환 수단

중대사고시에는 설계기준초과 자연재해로 인한 영향은 고려하지 않으므로, 3.1.3.1.5절에서 제시된 수단으로 단위 조직간 및 조직내 의사소통을 수행한다.

#### 3.1.3.4.6 기능적 통합

중대사고에서는 중대사고관리지침서로 대응하며, 결정된 완화전략에 따라 해당되는 완화지침서로 전환하여 수행하며, 필요시 다중방어운영지침서와 연계하여 이동형 설비를 활용할 수 있다.

지침서 수행의 책임은 비상운전반장(발전부장)과 비상기술지원실장에게 분명하게 부여되어 있고, 책임자의 지시에 따라, 각 보직별로 부여된 임무를 수행한다. 정규비상조직이 구성된 이후에는 3.1.3.4.3절의 최종의사결정권자에게 책임 및 권한이 위임되며, 비상조직별로 부여된 임무를 체계적으로 수행한다. 이동형설비 활용시에는 다중방어운영지침서와 연계하며, 이동형설비의 이동/배치/연결은 재해대응안전센터가 주관하고, 기동/운전/정지는 비상운전반(발전부)이 주관하는 것으로 임무가 명확하게 구분되어 있다.

결론적으로, 사고대응에 따른 절차/지침서의 사용, 부여된 책임과 임무의 수행 그리고 절차/지침서의 전환과 조직구성에 따른 책임의 전환도 충돌이나 중복없이 유기적으로 수행될 수 있도록 구성되어 있으므로, 사고관리 이행체계는 기능적으로 통합되어 있다.

### 3.1.3.5 다수호기 설계기준초과 자연재해시

이 장에서는 설계기준초과 자연재해로 인한 서울본부 내 다수호기 동시사고 발생시, 사고관리 전략을 효과적으로 이행하기 위해 필요한 조직 및 지휘통제체계에 대해 설명한다.

#### 3.1.3.5.1 사고관리전략 및 대응

설계기준초과 자연재해로 인해 본부 내 다수호기가 동시에 사고대응이 요구될 때는 3.1.3.2절의 대응체계를 호기별로 수행하고, 보수적인 가정사항을 바탕으로 일정한 시간이 지난 후, 다수호기 대응 체계로 진입한다.

개별호기의 사고관리전략에 대한 기술은 생략하며 다수호기 사고 상황시, 각 호기별 MACST 단계별 전략을 연속적으로 수행하기 위한 본부단위의 대응체계에 대한 내용을 기술한다.

##### 3.1.3.5.1.1 다수호기 동시 사고시, 이동형 비상대응설비의 배치 전략

다수호기 사고시에는 광범위한 지역의 손상 및 잔해물로 인한 진입불가 등이 발생할 수 있으므로, 단일호기에 비해 비상대응요원의 본부 진입에 많은 시간이 소요될 것으로 예상되어, 보수적 가정사항을 반영하여 사고발생 6시간 이후부터 발전소 진입을 통한 사고대응이 가능한 것으로 전략을 구축하였다.

#### 가. 도로복구

사고 발생 직후 소방대 교대근무자는 도로복구 및 잔해물 제거를 수행하여, 정규 비상조직이 구성되면 즉시 이동형 설비를 이동할 수 있는 이동경로를 우선 확보한다.

#### 나. 이동형설비 이동 및 대응

다수호기 상황에서는 제한사항으로 인해 본부로 진입하지 못하는 재해대응안전센터요원을 대신하여, 초동소방대임무가 완료된 각 호기별 비상운전반 현장운전원이 직접 재해대응안전센터 통합보관고로 이동하여 재해대응안전센터요원 도착 전에 이동형 비상대응설비 이동에 우선 착수한다. 해당임무를 수행할 각 호기별 발전부 현장운전원의 지정은 상황에 따라 비상운전반장이 결정한다.

각 호기별 비상운전반장은 통합보관고에 도착하는 순서대로 해당호기의 1MW 이동형발전차를 우선적으로 이동시키는 것으로 하나, 호기별로 사고 특성에 따라 다른 설비가 우선적으로 요구될 경우에는 해당 설비를 이동시키는 것으로 한다.

재해대응안전센터 도착 후의 설비 이동은 동시다발적인 설비의 이동으로 인한 혼동을 방지하기 위해 선행호기 설비부터 순서대로 이동하는 것으로 한다. 단, 위급상황 등 필요시에는 비상대책본부장이 배치순서를 별도로 지정할 수 있으며, 배치가 완료된 이후에는 각 호기별로 2.3.2.1절에 따라 대응한다.

#### 3.1.3.5.1.2 MACST 3단계 전략(타본부 설비지원)

설계기준초과 자연재해 대응을 위한 MACST 단계별 전략에 따라 소내외 설비를 이용하여 사고대응을 수행 중에, 사고가 장기화 되어 MACST 3단계로의 전환이 요구될 때에는 타본부로부터 설비를 지원받아 사고대응을 수행하게 된다. 이때 타본부 설비 지원을 위한 요청은 지원설비의 이동시간을 고려하여, 비상대책본부장이 발전소 비상대책실장의 의견을 받아 사고발생 12시간 내에 각 본부의 재해대응안전센터 또는 당직실로 요청한다.

요청받은 본부의 재해대응안전센터 요원은 MACST 3단계 전략 착수 요구시간 내에 해당설비를 요청한 본부로 이동시키고, 비상대책본부장의 우선순위 결정에 따라, 정규 비상조직의 협조를 받아 필요한 위치에 설비를 배치하여, MACST 3단계 전략을 수행할 수 있도록 지원한다.

#### 3.1.3.5.1.3 공유되는 설비 또는 배분순위가 필요한 설비에 대한 결정

MASCT 전략 2단계 수행을 위해서는, 관련 설비가 호기 기준으로 구비되어 있으므로 배분 순위 결정은 불필요하나, MACST 전략 3단계로 전환 시에는 필요시 타본부로부터 설비를 지원받게 되므로, 우선순위에 대한 고려가 요구된다.

##### 가. 의사결정 체계

이동형설비의 배분순위 결정은 각 발전소의 비상기술지원실장이 각 호기별 비상운전반을 포함한 정규 비상대응조직의 의견을 받아 각 발전소 내 우선순위 및 사유를 결정하고, 그 결과에 대해 비상대책본부장에게 보고한다.

비상대책본부장은 비상대책본부 조직의 의견 및, 필요시 사내외 지원조직의 의견을 종합하여 최종적으로 순위를 결정하고, 각 발전소 비상기술지원실에 통보하며, 관련 의사결정 체계도는 표3.1-11 와 같다.

##### 나. 배분순위 결정 및 운영

배분순위 결정 기준은 중대사고가 발생한 호기의 중대사고 완화를 통한 방사성물질 외부

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

확산 방지를 최우선으로 하고, 그 외 각 호기별 중대사고 예방을 위한 시급성을 고려하여, 최종적 판단을 지원해줄 여러분야 전문가들의 의견을 충분히 듣고, 판단하는 것으로 한다.

대응전략에 따른 적절한 사고대응으로 인해, 사고가 발생한 호기의 안전성이 확보되어 더 이상 이동형 비상대응설비의 사용이 요구되지 않을 경우에는, 필요시 비상대책본부장이 해당 설비를 타 호기에 추가 이동배치하여 추가적인 지원을 수행할 수 있다.

### 3.1.3.5.2 사고대응조직 구성 및 임무

다수호기 동시사고 발생시에는 각 호기별로 초기 비상조직이 구성되어 대응한 후, 다수 호기 정규 비상조직이 순차적으로 구성되어 해당사고에 대응하며 그 체계도는 각 표 3.1-2 및 표3.1-9 와 같으며, 각 조직의 임무는 표3.1-3 및 표3.1-5에 기술되어 있다.

설계기준초과 자연재해시 구성되는 초기 비상조직에서 긴급정비조 및 방사선대책조는 동일 발전소에서는 공유되는 조직이므로, 선행호기 초기비상조직의 비상운전반장(신고리 5호기)이 상황에 따라 유기적으로 배정하여 운영하는 것으로 한다.

선행호기(신고리 5호기) 비상대응시설에서 비상업무를 수행하고 호기별 사고의 경중에 따라 비상기술지원실장이 비상업무를 호기별로 분담시킬 수 있다. 비상대책실 내 상황반 등 발전소별로 중복되는 조직은 선행발전소 조직 책임자가 비상대응업무를 총괄한다.

### 3.1.3.5.3 사고대응조직 의사결정 및 위임체계

초기 비상조직은 정규 비상조직이 구성되기 전, 비상운전반장의 책임하에 비상대응을 수행하며, 비상운전반장이 임무를 수행할 수 없거나 부재시에는, 해당 비상운전반 안전차장이 발전소 운전에 관한 총체적인 책임을 위임받아 이행하는 것으로 한다.

정규 비상조직이 구성되면, 비상대응 총괄에 대한 책임 및 권한의 체계도 변경이 된다. 이때는 비상대책실 발족 전과 후로 나뉘게 되는데, 발족 전에는 비상운전반장에서 비상기술지원실장으로 책임 및 권한이 위임되며, 발족 후에는 다시 비상기술지원실장에서 비상대책본부장으로 위임되어, 비상대책본부장이 비상대응 활동에 대한 모든 책임과 권한을 최종적으로 가지게 된다.

비상업무 수행 중 또는 상황에 따라, 비상조직의 책임자 부재가 발생 할 수 있으며, 이때는 표3.1-8 에 따라 비상업무에 대한 책임과 권한이 위임된다.

### 3.1.3.5.4 사고관리 절차서 및 지침서 진입·전환·종료

설계기준초과 자연재해로 인한 다수호기 동시사고의 경우에도 각 발전소별로는 3.1.3.2



절과 동일하게 비상운전절차서 및 다중방어운영지침서로 대응하므로, 이하 항목도 3.1.3.2.4절과 동일하게 적용된다.

### 3.1.3.5.5 의사소통과 정보교환 수단

#### 3.1.3.5.5.1 단위 조직간 의사소통과 정보교환 수단

설계기준초과 자연재해시에는, 주제어실-비상기술지원실-비상운영지원실-비상대책실 간에는 고정형 위성전화를 이용하며, 위성통신 수신이 가능한 현장에서는 이동형 위성전화를 활용하여 통신한다.

“다목적 통신중계설비”를 현장에 배치하면, 추가적인 위성전화 회선을 활용하여 위성전화를 보유하고 있는 조직간의 의사소통 및 정보교환을 수행할 수 있다.

#### 3.1.3.5.5.2 단위 조직내 의사소통과 정보교환 수단

설계기준초과 자연재해 발생시에는 단위 조직내 의사소통을 위해 고정형 및 이동형 위성전화를 활용한다. 발전부 현장운전원 및 비상조직의 현장 요원은 임무 지시를 구두로 받고, 현장으로 이동하여 임무를 수행하며 이동형 위성전화로 고정형 위성전화와 통신하여 임무 수행 완료 보고 및 추가 지시를 받는다.

“다목적 통신중계설비”를 현장에 배치하면, 추가적인 위성전화 회선을 활용하여 위성전화를 보유하고 있는 조직원들간의 의사소통을 수행할 수 있으며, 필요할 경우 인편으로 직·간접적으로 의사를 전달할 수 있다.

### 3.1.3.5.6 기능적 통합

다수호기 설계기준초과 자연재해사고에서는 각 호기별로 비상절차서로 대응하며, 필요시 다중방어운영지침서와 연계하여 이동형설비를 활용할 수 있다.

다수호기 동시사고의 특성을 반영하여, 도로복구 및 이동형설비의 이동 등에 대해 소방대와 현장운전원에게 별도의 임무를 부여하였고, 타본부 설비지원을 위한 절차도 추가로 개발하였으며, 호기별로 공유되는 설비의 배분순위 결정과 관련한 의사결정 체계도 구축하였다.

각 절차/지침서 수행의 책임은 비상운전반장(발전부장)에게 분명하게 부여되어 있으며, 비상운전반장(발전부장)의 지시에 따라, 각 보직별로 부여된 임무를 수행한다. 정규비상조직이 구성된 이후에는 3.1.3.5.3절의 최종의사결정권자에게 책임 및 권한이 위임되며, 비상조직별로 부여된 임무를 체계적으로 수행한다. 이동형설비 활용시에는 다중방어운영지침서와 연계하며, 이동형설비의 이동/배치/연결은 재해대응안전센터가 주관하고, 기동/

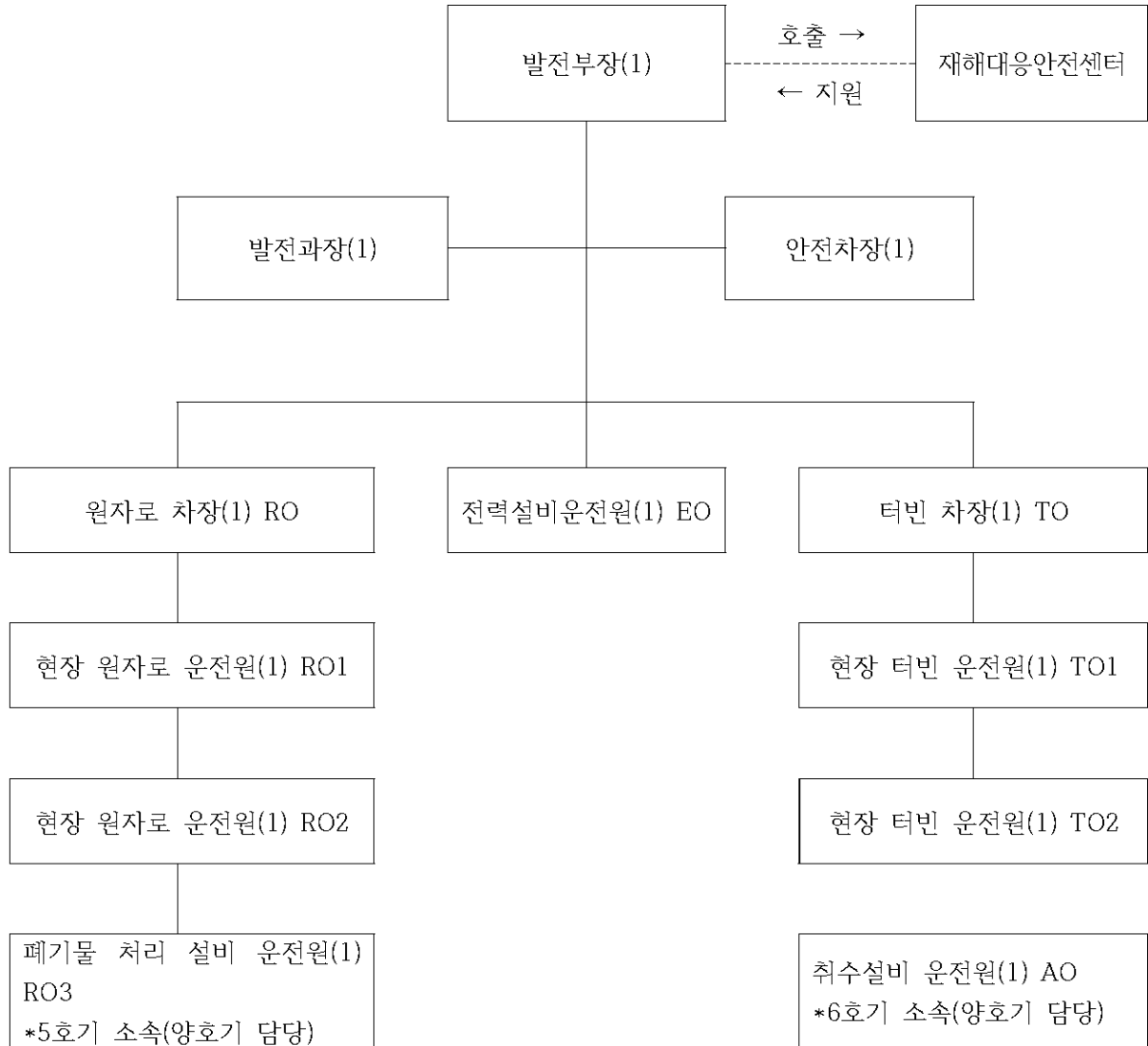
## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

운전/정지는 비상운전반(발전부)이 주관하는 것으로 임무가 명확하게 구분되어 있다.

결론적으로, 사고대응에 따른 절차/지침서의 사용, 부여된 책임과 임무의 수행 그리고 절차/지침서의 전환과 조직구성에 따른 책임의 전환도 충돌이나 중복없이 유기적으로 수행될 수 있도록 구성되어 있으므로, 사고관리 이행체계는 기능적으로 통합되어있다.

표 3.1-1

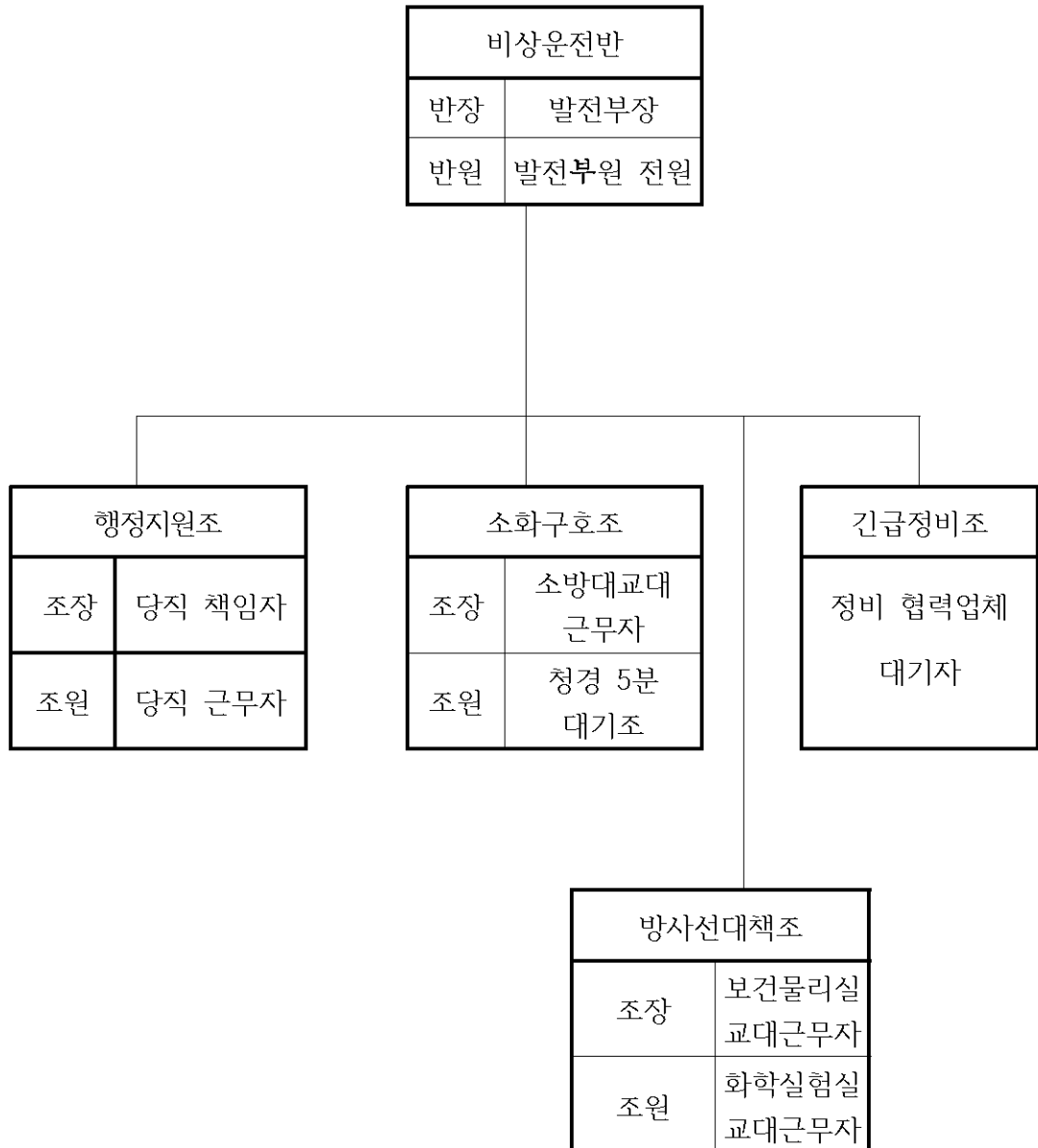
비상운전 조직표



\* (발전과장의 경우 정원은 있으나, 한수원 인력상황에 따라 공식으로 운영되는 경우도 있음)

표3.1-2

초기 비상대응 조직



## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

표3.1-3

### 초기 비상대응조직 임무

직책	임무
비상운전반장 (발전부장)	가. 초기 비상발령 나. 초기 비상조직 총괄지휘 및 정규 비상조직 발족전까지 비상대책본부장의 임무대행 다. 사고확대방지를 위한 제반조치
발전안전차장 또는 대리자	가. 방사선 비상발령기준 검토 나. 비상통보 및 비상요원 소집 다. 비상상황에 따른 비상발령 방송 라. 방사선비상 발령상황을 즉시 구두 보고 마. 긴급시 대민 비상경보 및 안내방송(원전 5Km 이내 지역) 바. 표준운영-2003 “발전부 안전차장” 임무수행
주제어실 운전원 및 현장 순시 운전원	가. 비상운전반장 지시사항 이행 나. 표준운영-2003 “주제어실 운전원 및 현장 순시운전원” 임무수행
소화구호조	가. 부상자 응급처치 및 후송안내 나. 소내 화재발생시 화재진압 다. 미대피자 및 부상자 구조
방사선대책조	가. 방사선관리구역내 대피작업자 인원점검 나. 사고지역 출입관리 및 작업자 방사선 안전관리 다. 방사선준위 측정 및 수질분석 라. 소화구호조 지원
긴급정비조	가. 긴급복구 및 응급조치 지원 나. 소화구호조 지원
행정지원조	가. 비상통보 및 비상요원 소집 지원 나. 사고보고(당직계통) 다. 비상운전반장 및 당직계통 지시사항 이행 라. 비상요원 수송지원 마. 본부 전체근무자 현황파악 및 비상기술지원실 가동시 공무조에 현황인계

표3.1-4(2중의 1)

정규 비상대응조직

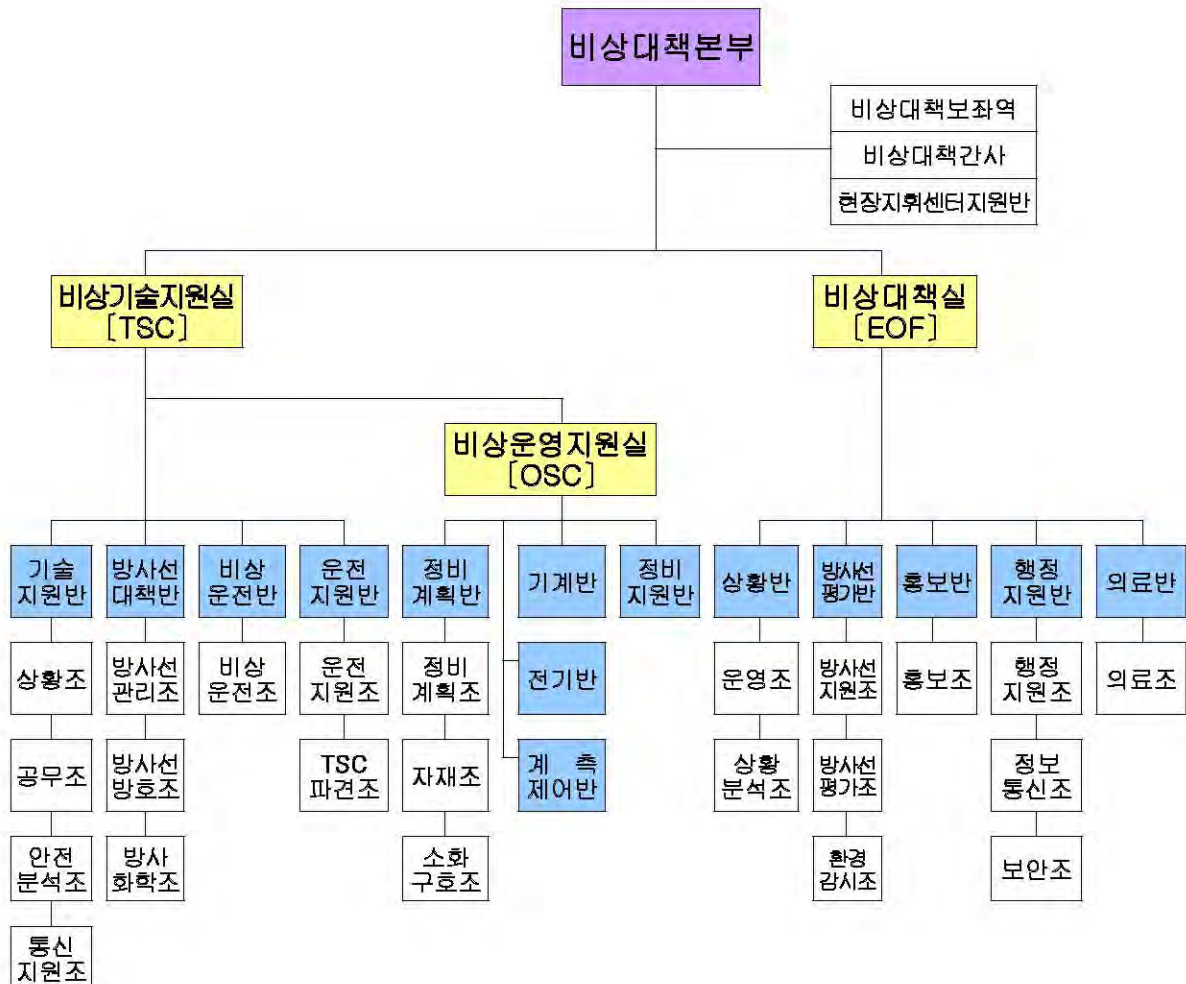
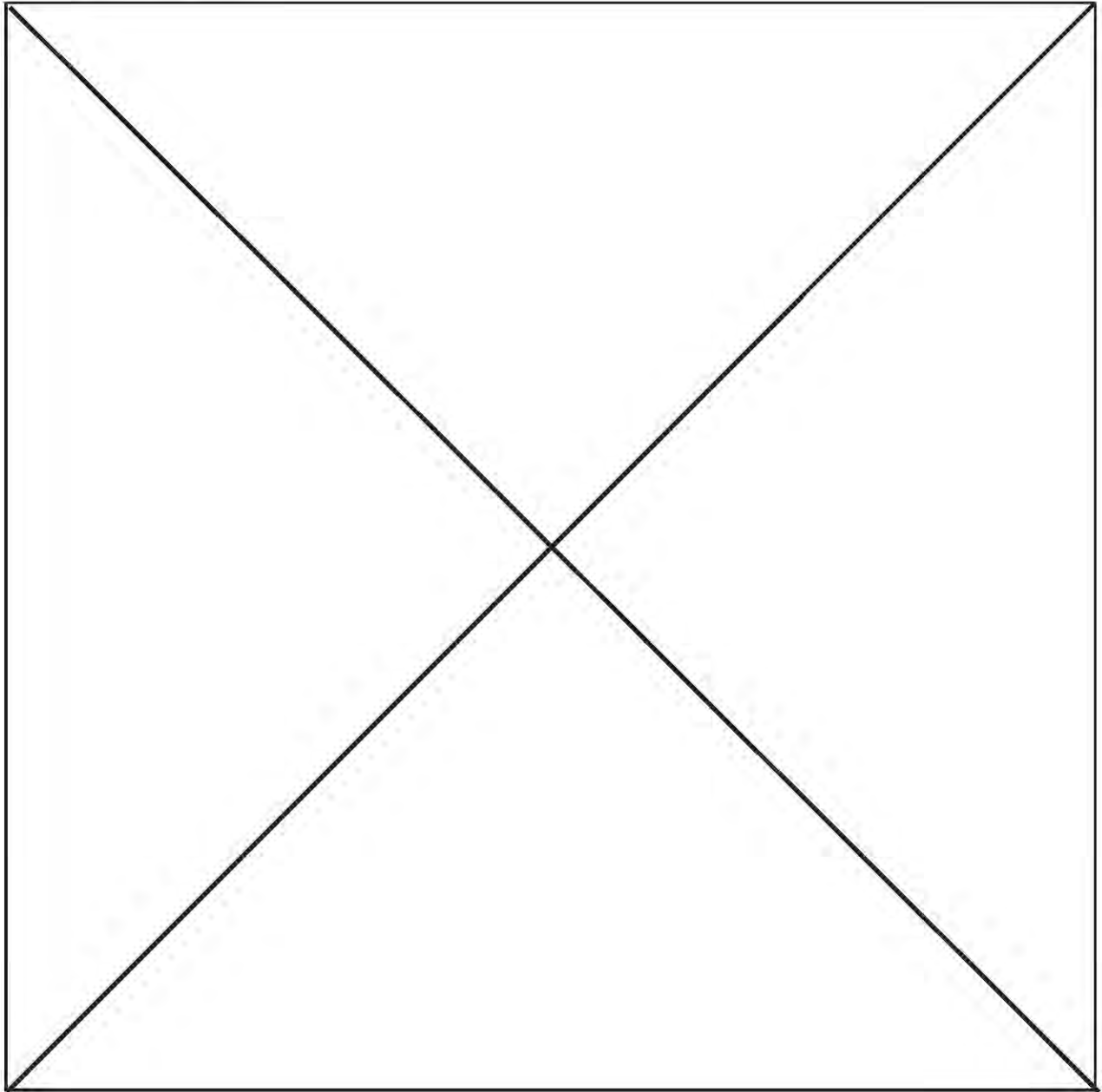


표 3.1-4(2층의 2)

정규 비상대응조직 및 인원

비상조직별 인원



## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

표3.1-5(6 중 1)

### 정규 비상대응조직 임무

직책		임무
비상대책본부장		가. 본부내 방사선 비상대책 총괄 운영 나. 비상대책실(EOF) 발족 후 비상등급 변경 및 해제 결정 다. 주민보호조치 권고 결정 라. 방재대책기관과 유기적인 협조체제 유지 마. 본부내 정상호기에 대한 비상조치 결정
비상대책보좌역		가. 비상대책본부장 보좌 나. 필요시 현장지휘센터에 파견 지원 다. 비상대책본부장 및 비상대책실장의 요청사항 처리
비상기술지원실	비상기술지원실장	(1) 비상기술지원실 총괄 운영 (2) 비상대책본부장에게 비상상황 분석결과 및 대응책 보고 (3) 비상대책실 발족 전까지 비상대책본부장 임무 수행 (4) 중대사고 관리 전반의 중요사항에 대한 최종 결정
	기술지원반	(1) 기술지원반장 (가) 기술지원반 총괄 운영 (나) 노심상태 평가 및 보호대책 수립 (다) 사고상황 분석 및 신속한 상황전파 (라) 사고수습 관리 및 비상운전에 대한 기술지원 방안 수립 (2) 상황조 (가) 비상대책실 발족 전까지 본사, 원자력안전위원회, 한국원자력안전기술원 및 지방자치단체에 상황보고 (나) 비상대책실 발족 전까지 비상발령 및 상황방송 (다) 발전소 상태, 비상대응조치 등의 주요상황 파악, 보고 및 기록 (3) 공무조 (가) 비상기술지원실의 문서수발 등 행정업무 수행 (나) 비상인력 관리 및 비상근무계획 수립 (다) 발전소내 출입통제 (라) 본부내 종사자 대피 유도 및 대피 현황 파악 (4) 안전분석조 (가) 노심손상 분석 및 평가 (나) 원자로 노심관리 및 원자로 안전성 평가 (다) 원자로관련 변수의 측정 및 분석 (라) 사고원인, 진행상황 및 피해 분석 (마) 사고 수습관리 및 비상운전에 대한 기술지원 (바) 중대사고관리지침서 수행시 요구되는 각종 주요변수 제공 (5) 통신지원조 (가) 발전소내 비상통신망 확보 및 손상설비 조치 (나) 소내 유무선 통신, 방송 및 경보설비 유지 보수



신고리 5,6호기 사고관리계획서

표3.1-5(6 중 2)

정규 비상대응조직 임무

직책		임무
비상기술 지원실	방사선대책 반	(1) 방사선대책반장 (가) 방사선대책반 총괄 운영 (나) 방사선방호 기술지원 (다) 방사선감시자료 평가 (2) 방사선관리조 (가) 소내 방사선준위 평가 (나) 방사성물질 방출량 평가 (다) 비상기술지원실 및 주제어실 거주성 평가 (라) 주민예상피폭선량 평가 (마) 비상요원의 피폭관리 (바) 방사성폐기물 방출관리 (사) 갑상선방호약품 지급 및 회수 (3) 방사선방호조 (가) 소내 방사선 측정 (나) 오염구역 출입통제 및 방호활동 (다) 비상운영지원실 및 거주성 평가 (라) 긴급정비작업 중 방사선안전관리 (마) 인체·장비 오염검사 및 제염 (바) 소내 오염지역 제염 (사) 갑상선방호약품 지급 및 회수 (4) 방사화학조 (가) 사고 후 시료채취 및 분석 (나) 원자로건물내의 수소농도 평가 (다) 냉각재의 화학적 상태 평가
	비상운전반	(1) 비상운전반장 (가) 비상운전반 총괄 운영 (나) 발전소 상황 평가 및 대책 수립 (다) 비상운전 및 안전조치 지휘 (라) 중대사고관리지침서 수행업무 총괄 (2) 비상운전조 (가) 사고확대방지 및 완화조치 수행 (나) 비상운전 및 안전조치 (다) 비상발령기준 검토 (라) 비상운전 상황기록

# 신고리 5,6호기 사고관리계획서

표3.1-5(6 중 3)

## 정규 비상대응조직 임무

직책		임무
비상기술지원실	운전지원반	(1) 운전지원반장 (가) 운전지원반 총괄 운영 (나) 비상운전반 기술지원 및 행정업무 총괄 (2) 운전지원조 (가) 비상운전 상황파악 및 기록 (나) 비상기술지원실 및 비상대책실에 상황보고 (다) 주제어실내 문서수발 등 행정업무 수행 (라) 긴급정비 요청 (3) 비상기술지원실 파견조 (가) 비상운전 상황 파악 (나) 상황조에 비상운전정보 제공 및 지원 (다) 안전분석조 지원 (라) 중대사고관리지침서 수행 (마) 사고대응 설비 운영 지원
	비상운영지원실장	(1) 비상운영지원실 총괄 운영 (2) 비상기술지원실과 긴급정비 협의 (3) 소화 및 의료관련 유관기관과 협조체제 유지
비상운영지원실	정비계획반	(1) 정비계획반장 (가) 정비계획반 총괄 운영 (나) 긴급정비 및 복구방안 수립 (다) 정비인력 및 장비 동원방안 수립 (2) 정비계획조 (가) 긴급정비 및 복구계획 수립 (나) 비상운영지원실 내의 행정업무 수행 (다) 비상정비 인력, 자재 청구 (3) 자재조 (가) 긴급정비에 필요한 자재 확보 (나) 비상활동에 필요한 물자 확보 (4) 소화구호조 (가) 소내외 소방대 출동 요청 및 화재현장 안내 (나) 화재원인 및 피해상황 파악 (다) REMC <sup>주)</sup> 지원 및 실종자 수색
	기계반	(1) 기계설비 손상파악 및 긴급정비 (2) 기계설비 긴급정비에 필요한 인력 및 자재 수급

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

표3.1-5(6 중 4)

### 정규 비상대응조직 임무

직책		임무
비상운영 지원실	전기반	(1) 전기설비 손상파악 및 긴급정비 (2) 전기설비 긴급정비에 필요한 인력 및 자재 수급
	계측제어반	(1) 계측제어설비 손상파악 및 긴급정비 (2) 계측제어설비 긴급정비에 필요한 인력 및 자재 수급
	정비지원반	(1) 긴급정비 인력동원 (2) 긴급정비 수행 (3) 사고대응 설비 운영 지원
비상대책 실	비상대책실 장	(1) 비상대책실 총괄 운영 (2) 방재대책기관과 협조체제 유지 (3) 비상상황 파악 및 대책 수립 (4) 비상대책본부장에게 종사자 및 주민보호조치 검토 보고
	비상대책간 사	(1) 비상조직간 협조체제를 위한 업무지원 (2) 비상대응 활동 지원
	행정지원반	(1) 행정지원반장 (가) 행정지원반 총괄 운영 (나) 비상시 제반 행정업무 지원 (2) 행정지원조 (가) 대내외 문서수발 등 행정업무 수행 (나) 비상요원 파악 및 비상근무계획 수립 (다) 물자 조달 및 차량 지원 (라) 주민 대피 및 소개 현황 파악 (마) 비상대책실(EOF) 시설 관리 및 운영 (3) 보안조 (가) 발전소 및 비상대응시설 보안, 경비 (나) 방재대책기관(군, 경찰)과 협조체제 유지 (다) 본부내 종사자 대피유도 및 현황 파악 (라) 청경대원 보호대책 수립 (마) 인근지역 도로 및 교통통제 상황 파악 (4) 정보통신조 (가) 비상대책본부 방송 및 통신망 운영 지원 (나) 방송 및 통신설비 긴급정비 또는 증설 (다) 안전변수지시평가계통(SPADES+) 또는 실시간정보시스템(PI) 운용 (라) 전산설비 점검 및 유지

# 신고리 5,6호기 사고관리계획서

표3.1-5(6 중 5)  
정규 비상대응조직 임무

직책		임무
비상대책 실	홍보반	(1) 홍보반장 (가) 홍보반 총괄 운영 (나) 비상대책본부 대변인(현장지휘센터의 승인시) (다) 홍보, 보도, 유언비어 방지 방안 수립 (2) 홍보조 (가) 주민 홍보계획 수립 및 시행 (나) 유언비어 방지대책 수립 및 시행 (다) 주민 및 국민여론 파악 (라) 각종 비상관련정보 수집
	상황반	(1) 상황반장 (가) 상황반 총괄 운영 (나) 비상상황 파악 및 대책 수립 (다) 비상등급 변경 및 해제 검토 (2) 운영조 (가) 비상상황 파악 및 전파 (나) 대내외 방재기관 비상보고 (다) 비상발령 및 비상상황 안내방송 (3) 상황분석조 (가) 사고상황 파악 및 대책 수립 (나) 각종 상황 기록 유지 (다) 홍보반에 홍보 및 보도자료 제공
	방사선평가 반	(1) 방사선평가반장 (가) 방사선평가반 총괄 운영 (나) 주민보호조치 권고 검토 (다) 소외방사선감시를 위한 관계기관과의 협조체제 유지 (2) 방사선지원조 (가) 비상대책실 거주성 평가 (나) 방사선 상황 기록관리 및 비상장구 관리 (다) 출입자 오염관리 (라) 갑상선방호약품 지급 및 회수 (3) 방사선평가조 (가) 주민예상피폭선량 평가 및 주민보호조치 검토 (나) 소내외 방사선 측정자료 수집 및 분석 (다) 기상 측정자료 수집 (4) 환경감시조 (가) 환경방사능 감시 및 평가 (나) 환경방사능감시팀 운영 (다) 기상관측 (라) 환경방사능실험실 거주성 평가

# 신고리 5,6호기 사고관리계획서

표3.1-5(6 중 6)

## 정규 비상대응조직 임무

직책		임무
비상대책 실	의료반 (REMC)	(1) 의료반장 (가) 원전본부 비상의료 업무 총괄 (2) 의료조 (가) 현장방사선비상진료소 운영 (나) 부상자 응급처치 및 후송 (다) 방사능 오염환자 제염 (라) 비상요원 건강관리 (마) 부상자 응급조치에 필요한 의료장비 및 약품확보 (바) 대외 의료기관 지원 요청, 현장안내 및 협조
	재해대응안 전센터	(1) 재해대응안전센터장 (가) 재해대응안전센터 업무 총괄 (2) 재해대응안전센터 요원 (가) 비상대응용 이동형설비 이동, 배치 및 연결 (나) 기타 비상대응설비 현장 구축 (다) 현장 도로복구 등
현장지휘 센터 지원반	(1) 백색비상시 연합정보센터에 방재요원 파견 (2) 예비현장방사능방재지휘센터에 방재요원 파견 (3) 현장방사능방재지휘센터장의 지시에 따름	

표3.1-6

외부 지원기관 목록

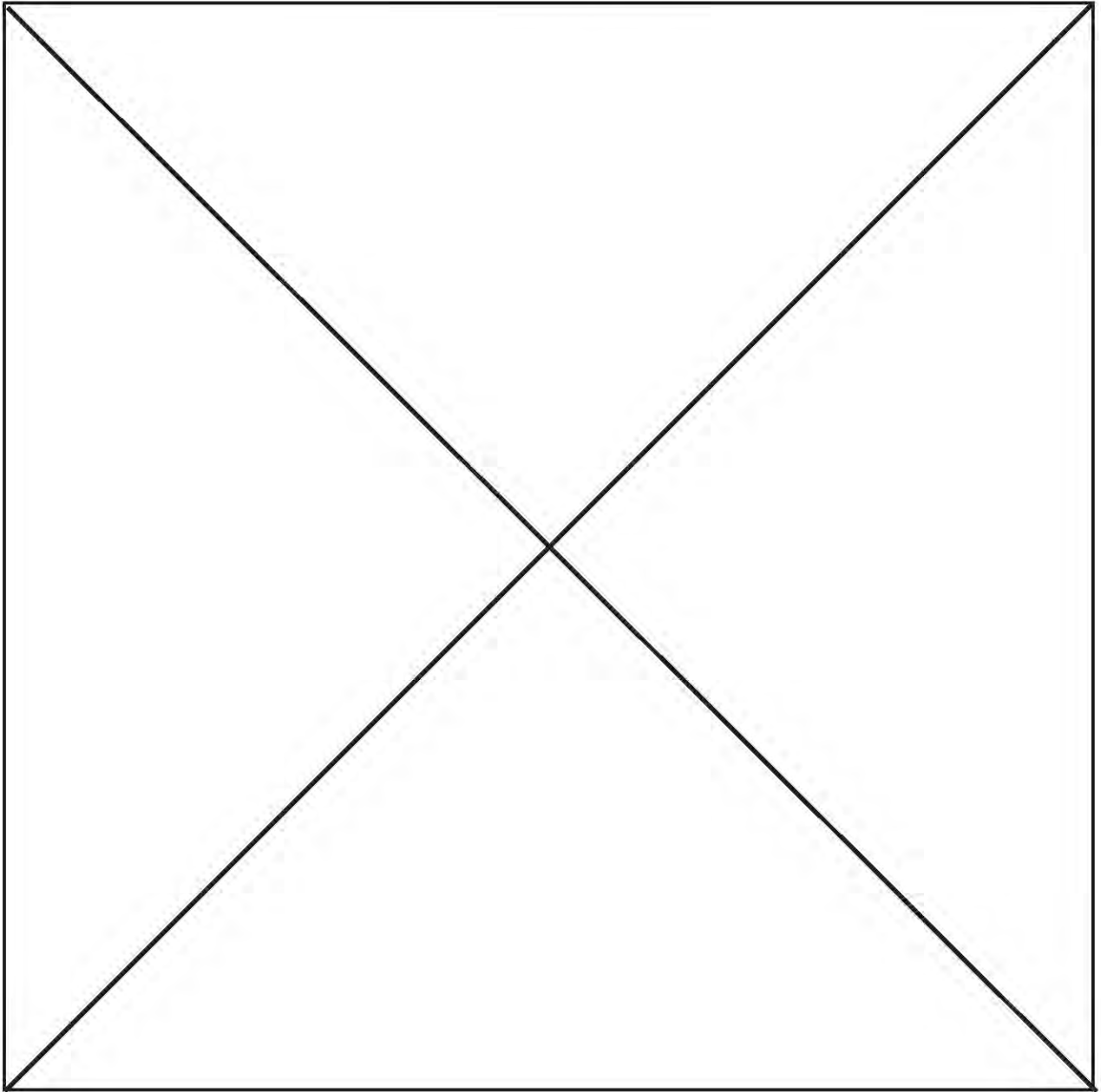
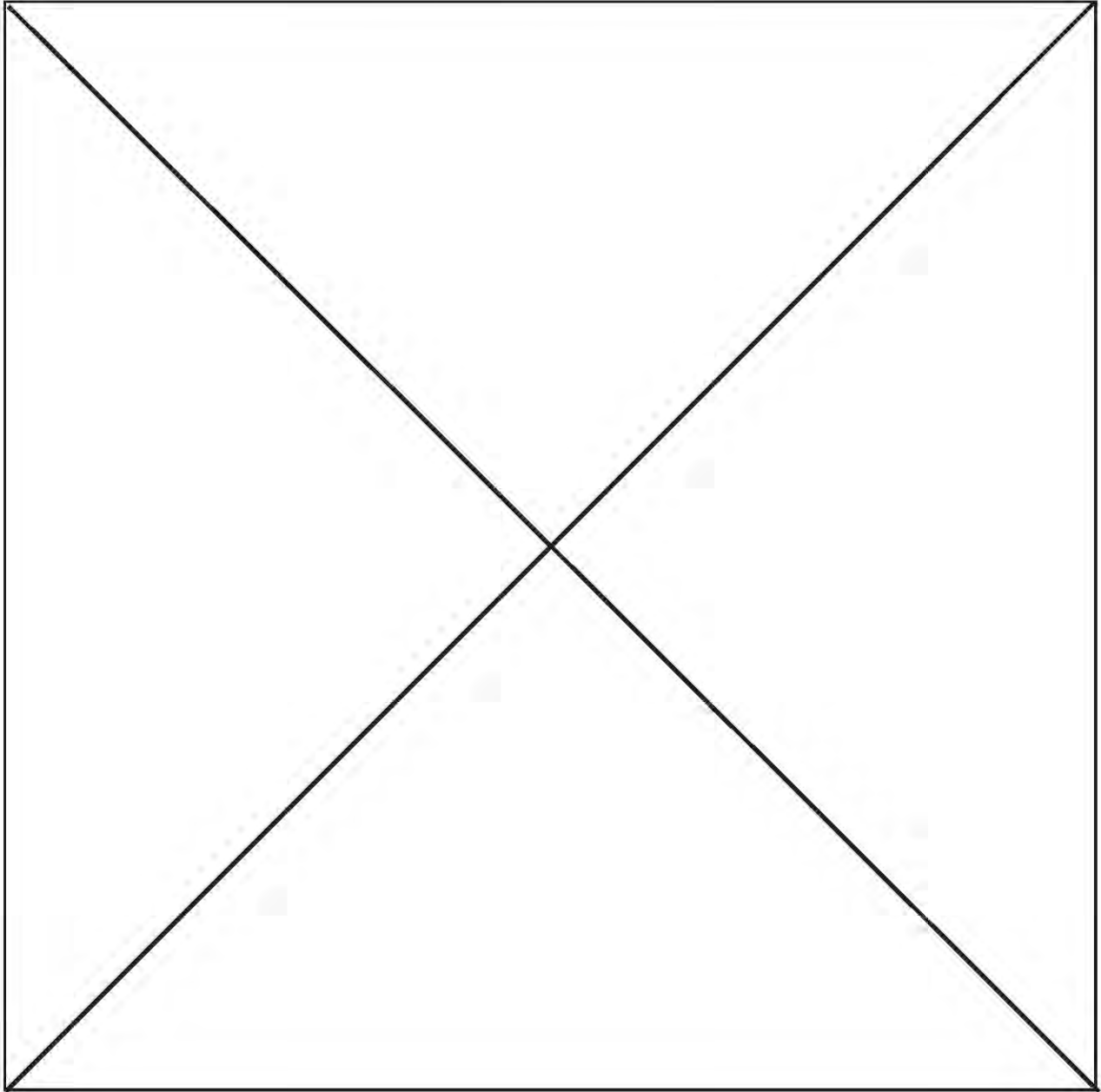


표3.1-7

비상상황 통보 및 비상소집 체계도



## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

표3.1-8

### 부채시 비상업무 승계 체계도

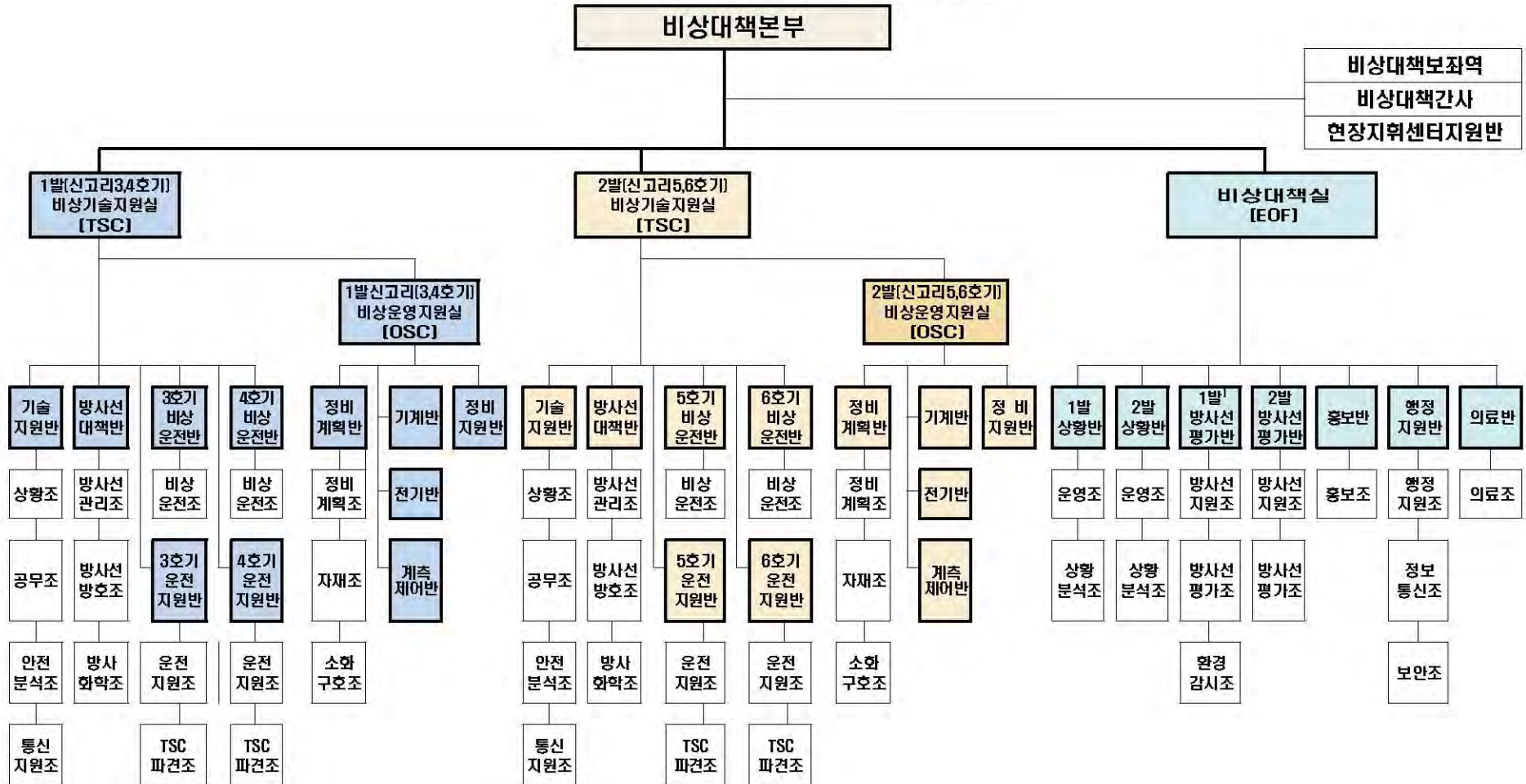
비상조직의 직책	대 리 자
비상대책본부장	1. 비상기술지원실장 2. 비상운영지원실장
비상기술지원실장	1. 기술지원반장 2. 방사선대책반장
비상운영지원실장	1. 정비계획반장 2. 기계반장
비상대책실장	1. 상황반장 2. 행정지원반장
비상운전반장	1. 비상운전조장
운전지원반장	1. 운전지원조장 2. 운전지원조원
기술지원반장	1. 상황조장 2. 공무조장
방사선대책반장	1. 방사선관리조장 2. 방사선방호조장
정비계획반장	1. 정비계획조장 2. 소화구호조장
행정지원반장	1. 행정지원조장 2. 보안조장
홍 보 반 장	1. 홍보조장 2. 홍보조원
상 황 반 장	1. 운영조장 2. 상황분석조장
방사선평가반장	1. 방사선평가조장 2. 환경감시조장
기계반장, 전기반장, 계측제어반장	각 반 반원
현장지휘센터지원반장	현장지휘센터지원반원
의료반장	의료조장



신고리 5,6호기 사고관리계획서

표3.1-9

다수호기 동시사고 발생 시 조직 체계도



신고리 5,6호기 사고관리계획서

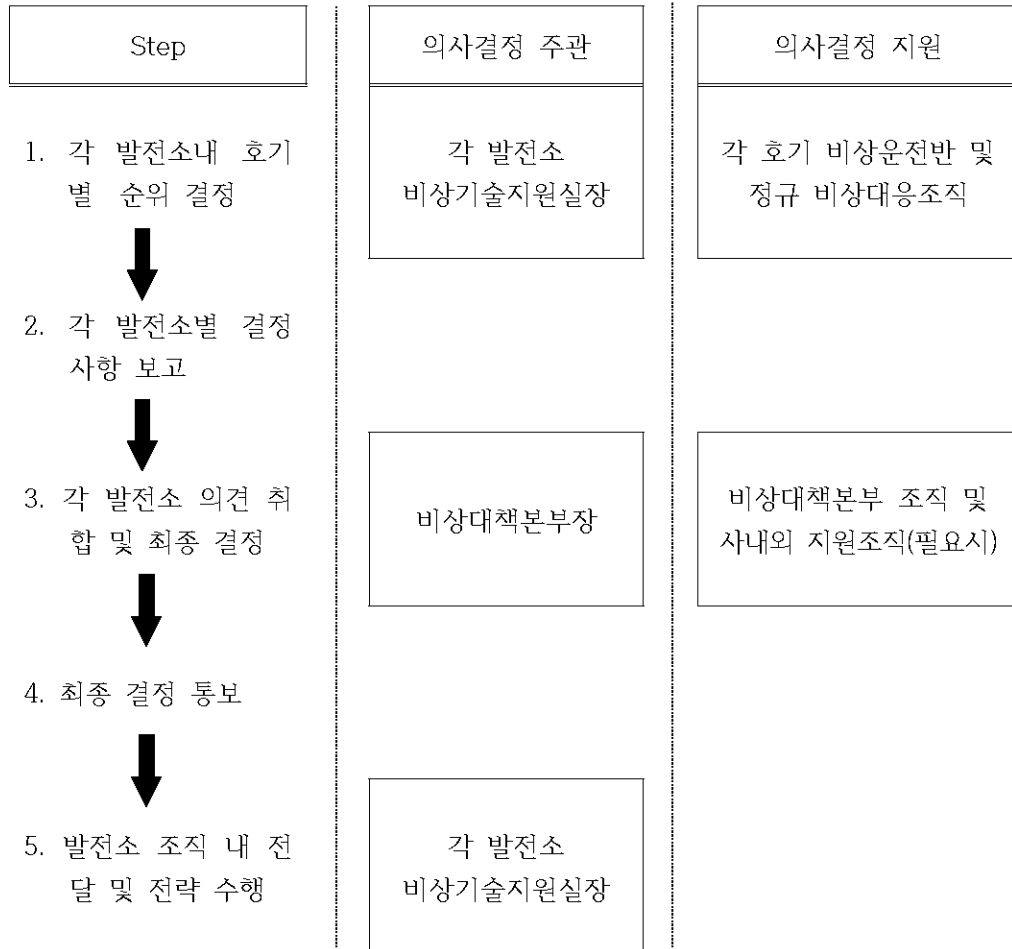
표 3.1-10

서울본부 비상 통신설비

구분		비상대책실	비상기술 지원실	비상운영 지원실	주제어실	현장	통합보관고
일반	페이지폰	×	○	○	○	○	×
비상용 전화	사선	○	○	○	○	○	○
	국선	○	○	○	○	×	○
	전용	○	○	○	○	×	×
	고정형 위성	○	○	○	○	×	○
	휴대형 위성	×	×	×	○	×	○
비상용 FAX	사선	○	○	○	○	×	○
	국선	○	○	○	○	×	○
비상경보방송설비		○	○	×	○	×	×
개인이동통신장비 패키지		×	×	×	○	×	×
다목적 통신중계차량		×	×	×	×	×	○
단거리무전기		×	×	×	×	×	○

표 3.1-11

다수호기 동시사고시 의사결정 체계도



### 3.2 사고관리 설비의 시험·감시·검사 및 보수계획

원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제85조20(사고관리에 관한 설비) 제1항은 다중고장에 의한 사고, 설계기준으로 고려한 외적 요인을 초과하는 자연재해 및 인위적재해와 설계기준을 초과하여 노심의 현저한 손상이 발생한 사고의 관리에 필요한 설비는 해당 사고조건에서 사고관리를 위해 요구되는 기능을 수행할 수 있어야 한다고 규정하고 있다. 제85조20제2항에서는 설비는 사고관리 기능의 수행을 보장하기 위한 시험, 감시, 검사 및 보수가 가능한 것이어야 한다고 규정하고 있다. 또한, 제63조제2항은 중대사고 예방 및 완화 설비의 기능 및 성능을 유지하기 위하여 기능의 중요도를 고려한 시험, 감시, 검사 및 보수계획을 수립하여 이행하여야 함을 규정하고 있다(참고문헌 1).

본 절에서는 발전용원자로시설의 운영단계에서 사고관리에 사용되는 설비가 사고시에 요구되는 기능을 수행할 수 있는 상태로 유지되는지 여부를 지속적으로 확인하기 위하여 필요한 시험, 감시 또는 검사의 수행계획을 제시하고자 한다.

사고관리에 사용되는 설비 중 안전관련 설비들은 운영기술지침서 제1편 점검요구사항에 따른 정기시험 절차서와 제3편 4.5항 및 원자력안전위원회 고시 “안전관련 펌프 및 밸브의 가동중시험에 관한 규정”에 의하여 작성된 가동중시험 계획서에 상세히 기술되어 있으므로, 보고서에서는 정기시험 절차서와 “가동중시험 계획서”에서 배제된 설비에 대한 시험, 감시 및 검사에 대해 기술한다(참고문헌 2, 3).

사고관리 설비의 시험, 감시, 검사 등의 계획은 기행절차서인 “가동중시험계획서” 및 표준절차서 “정기 및 주기시험 관리”에 따라 수립하며, 다음의 사항이 기술되어 있는 해당 기기의 발전소 정기 및 주기시험 절차서를 구비하여 수행한다(참고문헌 5, 6).

- 시험, 감시 및 검사 등의 구체적인 방법
- 시험, 감시 및 검사 등의 수행 주기
- 필요시 시험, 감시 및 검사 등의 구체적인 합격기준

한편 사고관리 설비의 보수계획은 시험, 감시, 검사 등을 통하여 사고시 기능 수행이 보장되지 않는 설비가 확인된 경우 설비가 담당하는 사고관리 기능을 확보하기 위하여 “정기 및 주기시험 관리”, “정비 관리” 및 “정비작업 처리 관리”가 기술되어 있는 표준절차서에 따라 수행한다.(참고문헌 6, 7, 8).

- 일정한 기한을 명시하여, 해당 설비를 보수하거나 또는 동일한 설비로 교체하는 방안
- 일정한 기한을 명시하여, 해당 설비와 동등한 사고관리 기능을 수행할 수 있는 새로운 설비를 도입하는 방안(이 경우, 동등한 사고관리 기능을 수행할 수 있음을 평가한다.)

### 3.2.1 중대사고 예방을 위한 교정형 설비

중대사고 예방 대책을 위한 설비는 표 1.2-2 및 표 1.2-3에 기술되어 있으며, 관련 설비의 시험, 감시, 검사는 최종안전성분석보고서의 시험 및 검사 요건 항목, 기행절차서 “가동 중시험 계획서” 및 기기 공급사 지침에 따라 정기 및 주기시험 절차서를 작성하여 수행한다(참고문헌 5).

정기 및 주기시험 절차서에는 사고대처 설비의 기기동작 및 성능시험, 계측기/계전기 검 · 교정 및 기능시험 등이 기술되어 있다.

사고대처 설비가 시험, 감시, 검사결과 정비가 필요한 경우 표준절차서 “정비 관리” 및 “정비작업 처리 관리”에 따라 설비의 중요도를 감안하여 정비계획을 수립하고 해당 설비의 정비 절차서를 구비하여 정비 또는 교체를 수행한다(참고문헌 7, 8).

정비 또는 교체가 완료된 설비는 설비의 고유성능을 확인할 필요가 있을 경우, 표준절차서 “정기 및 주기시험 관리”에 따라 시험계획을 수립하고, 해당 기기시험 절차서에 따라 정비 후 시험을 수행하여 성능을 보증한다(참고문헌 6).

### 3.2.2 중대사고 완화를 위한 교정형 설비

중대사고 완화를 위한 설비는 표 1.2-4(중대사고 완화를 위해 필요한 안전기능을 수행하는 설비)에 기술되어 있으며, 관련 설비의 시험, 감시, 검사는 최종안전성분석보고서의 시험 및 검사 요건 항목, 기행절차서 “가동중시험 계획서” 및 기기 공급사 지침에 따라 정기 및 주기시험 절차서를 작성하여 수행한다(참고문헌 5).

정기 및 주기시험 절차서에는 사고대처 설비의 기기동작 및 성능시험, 계측기/계전기 검 · 교정 및 기능시험 등이 기술되어 있다.

사고대처 설비가 시험, 감시, 검사결과 정비가 필요한 경우 표준절차서 “정비 관리” 및 “정비작업 처리 관리”에 따라 설비의 중요도를 감안하여 정비계획을 수립하고 해당 설비의 정비 절차서를 구비하여 정비 또는 교체를 수행한다(참고문헌 7, 8).

정비 또는 교체가 완료된 설비는 설비의 고유성능을 확인할 필요가 있을 경우, 표준절차서 “정기 및 주기시험 관리”에 따라 시험계획을 수립하고, 해당 기기시험 절차서에 따라 정비 후 시험을 수행하여 성능을 보증한다(참고문헌 6).

### 3.2.3 중대사고 예방 및 완화를 위한 이동형 설비

사고관리에 사용되는 이동형 설비의 주기적 시험, 감시, 검사는 각 이동형 설비의 공급자가 제공한 기기의 상세사양과 설비의 시험기준 및 시험, 감시 및 검사 절차를 근거로 각 설비별로 준비된 운영절차서에 따라 수행되며, 주기적인 보수계획이 수립된다.

이동형 펌프와 발전기 등을 포함한 각 이동형 설비별 주기적 시험, 감시 및 검사는 공급자 권고에 따라 다음과 같이 수행된다.

- 주기적 감시 - 각 이동형 설비의 상태 감시 수행
- 주기적 운전 검증 - 각 이동형 설비의 기동 및 운전
- 주기적 기능 및 성능 시험 검증 - 각 이동형 설비의 성능검증 수행

발전소내 및 통합보관고에 보관하는 설비들의 수량과 용량이 부지 내의 모든 원자력시설에서 장기간의 교류전력 및 최종열제거원 상실이 발생하더라도 동시에 대응이 가능한 수준이 유지되는 경우 여유로 확보한 설비에 대해서는 90일간 가용하지 않을 수 있다. 이 경우 이동형 설비의 수량과 용량 확보를 위한 조치가 24시간 이내에 수행된다.

### 3.2.4 참고문헌

1. 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙, 원자력안전위원회규칙 제22호
2. 안전관련 펌프 및 밸브의 가동중시험에 관한 규정, 원자력안전위원회고시 제2016-14호
3. 신고리 5,6호기 운영기술지침서, 한국수력원자력(주)
4. 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서, 한국수력원자력(주)
5. 신고리 5,6호기 운영절차서, 기행-2132, 가동중시험(IST) 계획서, 한국수력원자력(주)
6. 표준절차서 표준시험-3185, 정기 및 주기시험 관리, 한국수력원자력(주)
7. 표준절차서, 표준정비- 9680A, 정비 관리, 한국수력원자력(주)
8. 표준절차서, 표준정비- 9680B, 정비작업 처리 관리, 한국수력원자력(주)



### 3.3 사고관리 인간공학 프로그램 이행

원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제85조21(사고관리전략 및 이행체계) 제1항 1호는 사고관리전략과 이행체계를 개발함에 있어서 인적요소를 고려하여야 한다고 규정하고 있다.

규제지침(KINS/RG-N15.06), “설계기준초과사고 및 중대사고 관련 인간공학 적용”은 원전 운전경험 및 국내 스트레스테스트 수행 경험을 고려할 때, 설계기준초과사고 및 설계기준을 초과하여 노심의 현저한 손상을 초래하는 사고 조건 하에서의 인적 및 조직요인 측면의 현안이 신규 건설원전의 설계공정에서 체계적으로 다루어지도록 아래와 같은 인간공학 프로그램의 12개 이행요소 각각에 대한 세부요건을 제시하고 있다.

- 인간공학 계획
- 운전경험 검토
- 기능요건분석 및 기능할당
- 사고관리 요원 구성 및 자격
- 중요 인적행위 관리
- 인간-시스템연계 설계
- 절차서 및 지침서 개발
- 훈련프로그램 개발
- 인간공학 확인 및 검증
- 설계이행
- 인적수행도 감시

상기 지침에는 설계기준사고, 다중고장에 의한 사고, 설계기준을 초과하는 극한재해(설계기준으로 고려한 외적 요인을 초과하는 자연재해 및 인위적 재해), 중대사고 등에 대한 인적요소 관리를 명시하고 있다. 본 장절에서는 설계기준사고를 제외한 사고조건을 중심으로 인간공학 프로그램의 이행에 대하여 각 이행요소의 수행계획 및 내용을 제시한다. 단 설계기준사고의 인간공학 프로그램 이행 내용은 최종안전성분석보고서(FSAR) 18.1절에 기술되어 있다.

#### 3.3.1 인간공학 계획

인간공학 프로그램의 목적은 발전소 설계에 대하여 운전원의 행위(operator action)나 인적수행도(human performance)에 영향이 있는 항목을 사전에 파악하고, 인간공학 프로그램의 세부 이행요소 간의 연관성을 체계적으로 관리 하는데 있다. 이러한 인간공학 업무의 목적을 달성하기 위해서는 인간공학 설계팀에 의해 수행될 적절한 인간공학 업무 계획이 필요하다.

이에 따라 인간공학 계획은 사고관리 전략의 이행에 필요한 주제어실 및 원격정지실 운전원, 비상대응설비에 해당하는 비상기술지원실, 운영지원실 및 비상대책실 요원, 현장제어반 요원 및 중대사고 대처를 위한 고정형 혹은 이동형 설비 운전원 등의 모든 사고관리 요원을 대상으로 적용된다. 또한 인간공학 계획에 따른 개별 인간공학 활동은 사고관리계획서에 기술된 사고관리 이행체계, 사고관리능력의 평가, 절차서 및 교육훈련 계획의 개발 활동과 상호 유기적인 연관관계를 가진다.

또한, 인간공학 계획에는 사고관리계획서와 관련하여 인간공학적 설계를 수행할 수 있는 구성원과 책임, 권한 및 조직을 보유하고 있는지를 확인하고 인간공학 업무의 개발, 수행, 감독, 문서화를 위한 계획이 포함된다.

인간공학 계획은 아래의 사항을 포함하며 상세내용은 참고문헌 1과 같다.

- 일반적인 인간공학 업무(인간공학 프로그램)의 목표 및 범위
- 인간공학팀 및 조직과 각 조직의 권한 및 책임
- 인간공학 공정 및 절차
- 인간공학 현안 추적
- 기술적 업무

본 사고관리계획서의 설계기준초과사고 및 중대사고와 관련한 인간공학 활동은 인간공학 프로그램 계획서(참고문헌 1)에 따라 수행이 되며 아래와 같이 별도의 보고서로 분석결과가 문서화 된다. 일부 문서들은 공정 및 설계일정을 고려하여 추가적으로 작성 및 제시된다.

1. 설계기준초과사고 및 중대사고 운전경험검토 보고서 (참고문헌 2)
2. 설계기준초과사고 및 중대사고 기능요건분석 및 기능할당 보고서 (참고문헌 3)
3. 인간신뢰도분석 보고서 (별도 추가 제출)
4. 설계기준초과사고 및 중대사고 직무분석 보고서 (참고문헌 4)
5. 설계기준초과사고 및 중대사고 사고관리요원 구성 및 자격 보고서 (참고문헌 5)
6. 설계기준초과사고 및 중대사고 절차서 개발 보고서 (참고문헌 6)
7. 설계기준초과사고 및 중대사고 훈련프로그램 개발 보고서 (참고문헌 7)
8. 설계기준초과사고 및 중대사고 인간공학 확인 및 검증 보고서 (별도 추가 제출)
9. 설계기준초과사고 및 중대사고 설계이행 보고서 (별도 추가 제출)
10. 설계기준초과사고 및 중대사고 인적수행도 감시 보고서 (별도 추가 제출)

### 3.3.2 운전경험 검토

운전경험검토의 주요 목적은 인간공학 관련 안전 현안을 식별하는 것이다. 운전경험검토는 유사 발전소 및 선행호기의 관련 설계 경험과 유사 시스템의 운전경험에 관한 현안을 분석

하여 긍정적인 설계 요소를 발전소 현 설계에 반영하기 위해 수행된다.

본 사고관리계획서의 운전경험검토는 아래와 같이 설계기준초과사고 및 중대사고에 대한 경험을 분석하고, 해당 분석자료를 활용하기 위해 필요한 정보를 작성하여 사고관리계획서 설계에 반영하기 위해 수행되었다.

- 후쿠시마 후속조치 결과
- 가동중 원전 대표호기 스트레스테스트 결과
  - 고리1호기 스트레스테스트 결과
  - 고리2호기 스트레스테스트 결과
  - 월성1호기 스트레스테스트 결과
  - 월성2호기 스트레스테스트 결과
  - 한빛2호기 스트레스테스트 결과
  - 한울1호기 스트레스테스트 결과
  - 한울3호기 스트레스테스트 결과

분석결과는 연계되는 인간공학 프로그램 활동과 인간공학 현안에 대한 주요 개선방안이 포함되어 아래와 같은 절차를 통하여 신고리 5,6호기 사고관리계획서의 설계에 반영될 수 있도록 정보를 제공하였으며, 상세 결과는 참고문헌 2와 같이 설계기준초과사고 및 중대사고 운전경험분석 보고서에 기술하였다.

- 1) 인간공학 설계자는 운전경험검토 현안을 사고관리계획서 관련 분야 설계자에게 전달
- 2) 사고관리계획서 관련 분야 설계자는 운전경험검토 현안에 대하여 적절성 및 설계반영여부 검토
- 3) 인간공학 설계자는 운전경험검토 분석자료의 최종 검토결과 및 반영여부 확인

### 3.3.3 기능요건분석 및 기능할당

기능요건분석과 기능할당은 발전소의 안전기능을 수행하기 위한 기능요건을 정의하고 설계기준초과사고 및 중대사고 대응을 위한 고정형 혹은 이동형 설비에 대한 기능을 할당하는 것이다.

기능요건분석은 설계기준초과사고 및 중대사고 발생 시 발전소의 안전성을 유지하기 위한 필수안전기능을 정의하는 것이며, 기능할당은 필수안전기능을 유지하기 위해 필요한 자동, 반자동, 수동 등의 제어기능을 할당하는 것이다.

기능요건분석과 기능할당은 발전소의 필수안전기능을 분석하고, 이에 대한 기능을 기계 혹은 인간에게 할당하는 활동이다. 설계기준초과사고 및 중대사고에 대응하기 위한 기능요건

분석 및 기능할당에서는 설계기준사고에 대한 필수성공경로 이외에 다중고장사고, 설계기준 초과사고 및 중대사고에 대한 기능요건을 분석하였으며, 이를 달성하기 위한 성공경로에 기능을 할당하였다.

분석 결과는 각 사고 대응을 위해 필요한 성공경로별로 요약하고 각 사고별로 할당한 결과를 요약하였으며, 상세 결과는 참고문헌 3과 같이 설계기준초과사고 및 중대사고 기능요건 분석 및 기능할당 보고서에 기술되어 있다.

### 3.3.4 직무분석

직무분석의 목적은 사고관리 요원이 직무를 수행할 때 필요한 정보, 제어, 의사소통 요건 등과 같은 다양한 직무특성들을 확인하고 분석 결과를 사고관리 요원의 구성 및 자격, 인간-시스템연계 설계, 절차서 및 지침서 개발, 훈련프로그램 개발 등의 인간공학 설계 활동에 필요한 정보를 제공하는 것이다.

이를 위해 설계기준초과사고 및 중대사고 관련 직무분석은 직무분석용 사고시나리오의 개발과 사고관리 요원에게 할당된 직무수행에 필요한 개선방안의 식별에 초점을 맞추어 수행되었다.

직무분석용 사고시나리오 개발 단계에서는 사고관리계획서에 포함된 시나리오를 바탕으로 상세 직무분석을 위한 다중고장사고, 설계기준을 초과하는 자연재해 및 인위적 재해, 그리고 중대사고에 대한 직무분석용 사고시나리오를 개발하였다. 또한 해당 사고시나리오의 이행에 필요한 개별 절차는 신고리 5,6호기 비상운전지침서, 다중방어운영지침서, 광역손상완화지침서 및 중대사고관리지침서가 활용되었다.

또한 상기의 개별 절차를 이행하기 위한 사고관리 요원의 직무는 상세 직무요건 분석 과정에서 인간-기계연계 혹은 설비의 설계 특성, 정보 가용성, 인원 수준, 수행 시간, 환경 조건, 개선대책(예. 조직 혹은 인원, 인간-기계연계, 절차서, 교육훈련, 기타 설비개선 사항) 등으로 구분하여 분석되었다. 특히 분석 시 도출된 문제점 혹은 개선대책은 조직/인원, 인간-기계연계설계, 절차서, 교육훈련, 기타 설비 개선사항 등으로 분류하여 관련 인간공학 활동에 제공되었다.

설계기준초과사고 및 중대사고 관련 직무분석에 적용된 방법론과 상세 분석결과는 참고문헌 4와 같이 문서화 하였다.

### 3.3.5 사고관리 요원의 구성 및 자격

사고관리 요원의 구성 및 자격의 목적은 발전소 사고관리 요원의 구성에 고려되어야 할 사항들을 제공하여 구성원의 수와 자격을 결정하는데 있다.

사고관리 요원의 구성 및 자격은 기존 선행호기 발전소의 운전경험 및 스트레스테스트 결과와 신고리 5,6호기 사고관리계획서 관련 수행 직무를 고려하여 최초로 가정 하였으며, 설계기준초과사고 및 중대사고 발생 시 다중방어운영지침서, 광역손상완화지침서 혹은 중대사고관리지침서등의 지침서를 수행하는 상황을 고려하여 주제어실 운전조 외에 현장운전원 및 이동형설비 운영조직을 포함한 사고관리요원의 구성, 자격 및 역할에 대해서 분석한다. 가정된 사고관리 요원의 담당업무 및 자격요건의 적합성은 연계된 인간공학 설계 활동(직무 분석, 절차서 개발, 훈련프로그램 개발, 사고관리계획서 인간공학 확인 및 검증 등)을 통해 확정하고 최종적으로 제공된다.

사고관리 요원의 구성 및 자격과 관련된 분석 결과는 참고문헌 5와 같으며, 해당 문서에는 사고관리계획서 인간공학 확인 및 검증 수행 결과를 반영한 내용이 추가적으로 반영될 예정이다.

### 3.3.6 중요 인적행위 관리

인간신뢰도분석은 설계 초기단계에서 참조발전소의 정보를 활용하여 발전소 안전에 주요한 영향을 미치는 필수운전원조치를 확인하고 해당 내용을 중요 인적행위로 간주한다. 이렇게 도출된 중요 인적행위 및 관련 정보들은 인간공학 프로그램의 중요 인적행위 관리와 연계된 인간공학 설계 활동에 제공된다.

본 사고관리계획서의 중요 인적행위인 필수운전원조치는 확률론적안전성평가/인간신뢰도 분석에서 고려되는 설계기준초과사고 및 중대사고에 대한 사고관리 전략을 이행하는데 활용되는 설비를 포함한다. 도출된 중요 인적행위 및 관련 정보들은 설계기준초과사고 및 중대사고 인간공학 확인 및 검증 활동에서 조치의 성공여부 및 수행관련 가정사항들의 적절성을 평가하게 된다. 다만, 검증단계에서 중요 인적행위 및 관련 정보들의 적절성이 평가되지 않을 경우에는 중요 인적행위가 도출된 시점에서 별도의 분석활동을 통하여 연계된 인간공학 설계 영향의 상호작용에 대한 적합성과 설계 안전성을 입증할 예정이다.

본 사고관리계획서의 필수운전원조치는 인간신뢰도분석 보고서가 발행되는 시점에 문서화하여 별도로 제시될 예정이다.

### 3.3.7 인간-시스템연계 설계

인간-기계연계 설계는 체계적인 설계 절차에 의한 설계와 인간공학지침서를 적용하여 운전원이 발전소 운전직무를 수행하는 동안 인적오류가 발생할 확률을 최소화시키고 발전소의 안전성을 유지할 수 있도록 편리하고 효율적인 인간-기계연계 설비들을 운전원에게 제공하는데 있다.

신고리 5,6호기 사고관리계획서 인간-기계연계 설계의 범위는 설계기준초과사고 및 중대사고 대응에 필요한 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비(즉, 기술지원실, 운영지원실, 비상대책실) 및 현장설비를 포함한다. 해당 설비들의 인간공학 적합성은 설계 및 설계검토 절차를 통하여 입증된다.

본 사고관리계획서를 통하여 추가 및 보완되는 설계기준초과사고 및 중대사고 관련 고정형 혹은 이동형 설비에 인간공학적 설계원리가 적절하게 반영될 수 있도록 아래의 기준을 준수하도록 하였다.

- 발전소 표준부록 4S (General Requirements for Instruments & Control)
- 발전소 표준부록 4U (Requirements for Panel Labels)

인간-기계연계에 대한 인간공학 설계 적합성은 설계검토 과정을 통하여 관련 도면 및 문서를 인간공학팀에서 검토를 수행함으로써 인간공학적 설계활동을 보장한다.

인간-기계연계 설계결과는 설계기준초과사고 및 중대사고 인간공학 확인 및 검증 활동을 통하여 인간공학 결함사항을 확인하고, 추후 실제 제작 및 설치된 인간-기계연계 설계결과물을 확인하여 인간공학 결함사항이 해결되었는지 확인한다.

### 3.3.8 절차서 및 지침서 개발

절차서 및 지침서의 작성 및 개정 시 관련 지침의 객관적인 기준을 확인하여 절차서에 인간공학 요건이 반영되었는지 확인하여야 하며 운전원 혹은 운전전문가의 참여를 통하여 사고관리 조치의 수행가능성과 효과성을 보장하도록 개발하여야 한다.

본 사고관리계획서의 절차서 및 지침서 개발은 사고관리를 위한 비상운전지침서, 다중방어운영지침서, 광역손상완화지침서, 중대사고관리지침서를 포함하고 있으며 지침서의 개발적인 내용 및 운전전문가 평가내용은 참고문헌 6과 같이 문서화하였다.

인간공학 측면에서 사용하기 편리하고 사고관리조치의 수행 가능성과 유효성을 보장하도록 개발하기 위해 운전전문가의 검토를 수행하여 작성한 지침서는 절차서 및 지침서 확인 및 검증과 사고관리계획서 인간공학 확인 및 검증 수행 활동을 통하여 인간공학적 적

합성을 평가할 예정이며, 그 결과는 추후 해당 문서에 반영될 예정이다.

1

### 3.3.9 훈련프로그램 개발

사고관리 요원의 훈련은 안전하고 신뢰성 있는 운전을 보증하기 위해 체계적으로 수행되어야 한다. 사고관리 요원에게 지식과 역량이 충분히 확보되도록 교육기회를 주기적으로 제공해야 하며, 이를 위한 훈련 조직과 프로그램이 확보되어야 한다.

본 사고관리계획서의 훈련프로그램 개발은 설계기준초과사고 및 중대사고 조건 하의 관련 운전원 및 비상대응설비(기술지원실, 운영지원실, 비상대책실) 요원을 포함하는 사고관리요원에 대한 교육 및 훈련을 위한 내용이다. 훈련프로그램은 운전직무를 체계적으로 분석하여 수행되어야 하므로, 인간공학 설계절차의 다른 항목들과의 상관관계를 가져야 한다. 인간공학 설계절차를 반영한 훈련프로그램 개발은 인적오류를 줄이는데 도움이 되며, 이렇게 개발된 훈련프로그램을 통해 사고관리요원은 MMIS에 의한 정보와 운전을 명확하게 이해할 수 있다. 훈련프로그램 개발의 내용에는 사고관리 직무에 관련한 훈련 참여자 및 직무 내용, 훈련 방법, 훈련 설비, 훈련 주기의 내용이 기술되며 해당 내용은 절차 및 문서화 된다. 훈련프로그램 개발과 관련한 상세 수행절차 및 개발 내용은 참고문헌 7과 같이 문서화 하였다.

1

훈련프로그램을 위한 세부교육계획 및 훈련계획, 교육 및 훈련에 대한 평가기준 및 평가방법은 사고관리계획서 인간공학 확인 및 검증 후에 확정할 예정이며, 그 결과는 추후 해당 문서에 반영될 예정이다.

### 3.3.10 인간공학 확인 및 검증

이에 따라 설계기준초과사고 및 중대사고 인간공학 확인 및 검증 활동은 개발된 확인 및 검증용 시나리오의 수행에 필요한 인간-기계연계의 직무지원성 확인을 포함하는 (1) 설계확인 방법과 신고리 5,6호기 시뮬레이터와 고정형 혹은 이동형 설비를 포함하는 (2) 통합시스템검증 평가 방법론이 적용되며, 기본적인 고려 사항은 다음과 같다.

- 설계확인: 직무분석에서 식별된 상세 직무요건과 문제점 혹은 개선대책을 확인하기 위한 활동으로써 인간-기계연계, 절차서 및 훈련프로그램 등의 관련 항목에 대한 직무지원성을 확인한다. 특히, 주제어실 내 인간-기계연계에 대해서는 신고리 5,6호기 시뮬레이터에서 직무지원성 확인이 포함된다.
- 통합시스템검증: 사고관리 요원들이 수립된 사고관리 전략에 따라 개발된 지침서 및 고정형 혹은 이동형 설비를 활용하여 사고에 적절히 대응할 수 있는지에 대한 타당성을 확인하고 검증하기 위한 방법으로써, 신고리 5,6호기 시뮬레이터와 고정형 혹은 이동형 설비를 활용하여 평가가 수행된다.

1

이러한 인간공학 확인 및 검증은 설계기준초과사고 및 중대사고 대응능력 즉, 사고관리능력을 종합적으로 평가하는 활동으로써, 사고관리 이행체계, 교육훈련 및 사고관리 지침서의 유효성에 대한 확인 및 검증이 포함되므로, 관련 현장설비의 도입 및 사고관리 요원이 구성이 확정되는 시점에 수행될 예정이다.

또한 인간공학 확인 및 검증 과정에서 평가되는 사고관리계획서에 수립된 사고관리전략의 가용성, 적합성 및 유효성 확인 결과와 개선이 필요한 인간공학 현안은 관련 설계에 반영될 수 있도록 해당 사고관리계획서 개발 주체에게 전달되며, 평가 과정에서 확인이 불가능한 평가항목(예. 구매 과정 중인 이동형 설비)과 인간공학 현안의 최종 해결 여부에 대해서는 설계확인 단계에서 수행될 예정이다.

원활한 평가를 위해 인간공학 확인 및 검증은 참여자, 평가일정 등의 일정계획에 대한 사항을 포함하는 상세 수행계획을 수립 후 진행되며, 수행 결과는 별도의 보고서로 제시될 예정이다.

### 3.3.11 설계이행

설계이행은 인간공학 확인 및 검증 시 도출된 현안이 모두 해결되었음을 확인하고 검증설비의 한계로 평가되지 못한 사항에 대하여 인간공학 적합성 사항을 추가로 평가하는 인간공학 활동이다.

설계이행은 설계기준초과사고 및 중대사고 시에 사고전략 이행을 위하여 요구되는 고정형 혹은 이동형 설비를 포함하여 실제 현장 및 현장 설치기기에 대한 인간-기계연계 설계의 적합성을 확인한다. 설계이행의 검토 방법은 실제 현장에서의 사고대응설비 구축여부 및 현장조건을 고려한 사고대응설비의 이행 가능성을 관련 절차를 구비하여 수행한다.

설계이행 수행 시점은 현장설비 및 사고관리 요원이 모두 구축된 시점에 수행되며 확인이 어렵거나 미비한 사항은 관리항목으로 선정하여 추적 관리한다. 설계이행은 신고리 5,6호기 설계이행 계획에 따라 수행될 예정이며, 최종 발전소 확인을 수행한 후 해당결과를 반영한 별도의 설계이행 결과보고서가 작성될 예정이다.

### 3.3.12 인적수행도 감시

인적수행도감시는 설계기준초과사고 및 중대사고 시 필요한 사고관리의 인적수행도 수준이 발전소 운영단계에서 적절하게 유지될 수 있도록 한다. 발전소 운영 중에는 조직의 변경, 설비변경, 제도의 변경, 사고관리 요원의 변경 등 다양한 변화가 있으며, 이는 인적수행도에 직간접적으로 영향을 미칠 수 있다. 따라서, 이러한 영향을 최소화하여 인적수행도 저하를 방지하기 위해 주기적으로 인적수행도를 평가하고 분석하여 인적수행도가 유



지될 수 있도록 한다.

인적수행도 감시는 사고관리 요원을 대상으로 인적수행도감시 관리 절차를 수립하여 체계적으로 관리되며 다음 활동들이 포함된다.

1) 사고관리요원 인적수행도 평가

사고관리요원에 대하여 정기적으로 인적수행도를 평가하고, 결과분석을 통해 인적수행도 저하를 판단한다.

2) 설비변경 영향 검토

발전소 운영기간 중 설계기준초과사고 및 중대사고와 관련한 주요 설비변경 사항에 대한 인적수행도 영향 분석을 수행한다.

3) 주요 절차서 개정 영향 검토

사고관리 전략 이행과 관련된 주요 절차서의 변경에 대하여 인적수행도 측면의 영향을 검토한다.

4) 운영개선 사항 조치

각 활동의 분석 및 검토 과정에서 인적수행도 저하를 방지하기 위해 도출된 중요 운영개선 조치 사항들은 CAP(운영개선프로그램)을 통해 관리된다.

인적수행도감시 활동은 신고리 5,6호기 인적수행도감시 관리절차서에 따라 수행될 예정이며, 주기적으로 인적수행도감시 활동결과에 대한 경향분석보고서가 발행될 예정이다.

### 3.3.13 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 인간공학 프로그램 계획서, 한국전력기술(주)
2. 설계기준초과사고 및 중대사고 운전경험검토 보고서, 한국전력기술(주)
3. 설계기준초과사고 및 중대사고 기능요건분석 및 기능할당 보고서, 한국전력기술(주)
4. 설계기준초과사고 및 중대사고 직무분석 보고서, 한국전력기술(주)
5. 설계기준초과사고 및 중대사고 사고관리요원 구성 및 자격 보고서, 한국전력기술(주)
6. 설계기준초과사고 및 중대사고 절차서 개발 보고서, 한국전력기술(주)
7. 설계기준초과사고 및 중대사고 훈련프로그램 개발 보고서, 한국전력기술(주)

## 4 사고관리능력의 평가

### 4.1 중대사고 예방능력의 평가

#### 4.1.1 다중고장에 의한 사고의 평가

원자력안전위원회 고시 제2017-34호 (원자로, 42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정”은 아래 9가지 다중고장사고를 필수적으로 고려하여야 하는 사고로 규정하고 있다.

- 가. 정지불능예상운전과도
- 나. 발전소 교류전원 완전상실사고
- 다. 증기발생기 전열관 다중파단사고
- 라. 급수완전상실사고
- 마. 계통간 냉각재상실사고
- 바. 정지냉각기능 상실사고
- 사. 최종열제거원 상실사고
- 아. 소형냉각재상실사고와 동시에 발생하는 안전주입 또는 재순환상실사고
- 자. 사용후연료저장조 냉각기능 상실사고

본 절에서는 신형경수로1400 원전인 신고리 5,6호기에 대하여 필수적으로 고려하여야 하는 9가지 다중고장사고 평가결과를 요약하였다. 상세 평가결과는 “신고리 5,6호기 다중고장사고관리능력 평가보고서”에 수록되어 있다(참고문헌 1).

##### 4.1.1.1 정지불능예상운전과도

정지불능예상운전과도(Anticipated Transient Without Scram, ATWS)는 예상운전과도로 인해 원자로정지 신호가 발생하였지만 다중고장에 의해 정지제어봉이 노심으로 삽입되지 못하는 사고이다.

정지불능예상운전과도 및 대처설비는 각각 최종안전성분석보고서(참고문헌 2) 15.8절 및 7.8절에 기술되어 있다. 신고리 5,6호기는 원자로보호계통이 매우 높은 신뢰성을 가지고 있어 정지불능예상운전과도의 발생확률이 매우 낮다. 그럼에도 불구하고 정지불능예상운전과도의 발생가능성에 대비하여 원자로보호계통과는 별도의 다양성과 독립성을 갖춘 다양성보호계통(Diverse Protection System, DPS)을 설치하였다.

다양성보호계통에는 정지불능예상운전과도의 발생가능성에 대비하여 아래의 기능이 포함되어 있다:

- 가압기 고압력신호에 의한 원자로정지
- 원자로정지에 의한 터빈정지
- 증기발생기 저수위신호에 의한 보조급수 주입

과도상태 동안 원자로가 정지되지 않으면 원자로냉각재계통 압력경계의 압력이 허용치 이상으로 상승할 가능성이 있다. 신고리 5,6호기는 정지불능예상운전과도 대처설비로 다 양성보호계통이 설치되었고 가압기 고압력에 의한 원자로정지 기능이 포함되어 있어 원자로보호계통이 작동하지 않는 경우에도 원자로냉각재계통 압력경계의 과압을 방지하기 위한 추가적인 수단을 제공한다.

#### 4.1.1.2 발전소 교류전원 완전상실사고

발전소 교류전원 완전상실사고 또는 발전소 정전사고(Station Blackout, SBO)는 발전소 필수 및 비필수 전력모선에 공급되는 교류전원의 완전한 상실을 의미한다. 즉 발전소 소외전원의 상실과 더불어 비상교류전원(비상디젤발전기, Emergency Diesel Generator, EDG)의 상실을 포함한다.

신고리 5,6호기 소외전원상실과 교류전원 완전상실사고에 대한 대처설비 및 대처능력은 최종안전성분석보고서(참고문헌 2) 8장에 기술되어 있다. 교류전원 완전상실사고에 대처하기 위하여 신고리 5,6호기 공용의 대체교류전원 디젤발전기(AAC DG)가 별도로 설치되어 있다. 대체교류전원 디젤발전기는 교류전원 완전상실사고가 발생하면 주제어실의 운전원이 [ ]에 발전기를 수동으로 기동하여 안전급 모선에 전원을 공급한다.

발전소 교류전원 완전상실사고 발생 시점으로부터 [ ]에 전력을 공급할 수 있음을 시험을 통해 입증할 수 있는 대체교류전원 또는 다른 전원들이 있는 경우 대처분석(Coping Analysis)은 요구되지 않는다(참고문헌 3).

#### 4.1.1.3 증기발생기 전열관 다중파단사고

증기발생기 전열관 다중파단사고(Multiple Steam Generator Tube Rupture, MSGTR)는 하나의 증기발생기에서 다수의 전열관이 파단되는 사고로 정의되며, 분석에서는 5개의 전열관이 동시에 파단되는 사고를 가정한다(참고문헌 4).

평가는 사고로 인한 외부 대기로의 방사성물질 방출을 제한하고 노심의 핵연료 손상을 방지할 수 있는 설계특성 및 사고관리 조치의 적절성을 확인할 목적으로 수행한다. 사고에 대한 평가를 통하여 아래 사항을 확인하고자 한다:

- 운전원의 조치가 없는 경우 전열관이 파단된 후 주증기안전밸브 열림시간
- 운전원이 사고를 인지하고 손상된 전열관을 포함한 증기발생기를 격리하는데 소요되는

- 시간(인간공학적 요소 고려) 및 격리되기까지의 원자로냉각재 외부 유출량  
- 원자로냉각재 재고량 유지 및 장기적인 붕괴열 제거 수단의 유효성

증기발생기전열관 다중파단사고가 발생하면 원자로냉각재가 이차계통으로 누출되어 고온 판포화온도 원자로정지신호나 가압기저압력 원자로정지신호가 발생하여 원자로가 자동정지된다. 증기발생기 고수위에 의한 주증기격리신호가 발생할 때까지는 주급수에 의해, 주증기격리신호가 발생한 후에는 보조급수에 의해 증기발생기 2차측 충수가 가능하다. 파손된 전열관을 통해 2차측으로 누설되는 냉각재는 증기발생기 2차측 냉각수와 혼합되어, 터빈 정지 이전에는 터빈을 거쳐 복수기로 보내지며 터빈정지 이후에는 증기우회제어계통을 통해 복수기로 보내지거나 주증기안전밸브를 통해 대기로 직접 누출될 수 있다. 파단위치는 전열관의 고온관 끝단으로 가정하였다. 이는 고온관측이 상대적으로 파단유량의 에너지가 커서 소외선량 측면에서 보수적인 결과를 초래하기 때문이다.

분석은 운전원조치를 고려하지 않은 경우와 운전원조치를 고려한 경우에 대해서 수행하였다. 운전원조치를 고려하지 않은 경우는 전열관이 파단된 후 주증기안전밸브 열립시간을 평가하기 위함이며, 운전원 조치를 고려한 경우는 파단측 증기발생기가 격리되기까지의 원자로냉각재 외부 유출량을 평가하고, 비상운전절차에 따라 원자로냉각재 재고량 유지 및 장기적인 붕괴열 제거 수단의 유효성을 평가하기 위함이다.

#### 4.1.1.3.1 운전원 조치가 없는 경우

원자로냉각재계통은 사고발생 후 재고량 상실로 인하여 가압기 압력과 수위가 감소하게 된다. 원자로냉각재계통의 압력이 감소함에 따라 고온판포화온도 원자로정지조건에 의해 원자로가 정지된다. 원자로정지에 따른 터빈정지가 발생하며 이후 증기발생기의 증기는 터빈우회밸브를 통해 복수기로 방출된다. 원자로정지 후 원자로냉각재계통의 감압으로 안전주입신호가 발생하며 안전주입으로 인해 원자로냉각재계통 감압은 중지되고 파단유량은 안전주입유량과 충전유량의 합과 균형을 이루게 된다. 따라서 원자로정지와 안전주입 작동 이후 원자로냉각재계통 압력은 준평형상태를 유지한다.

증기발생기 수위는 원자로정지 및 터빈정지로 인해 일시적으로 감소하였다가 다시 증가하며 특히 파단측 증기발생기는 파단유량으로 인해 수위가 빠르게 상승하여 증기발생기 고수위에 의한 주증기격리신호를 발생시킨다. 증기발생기가 격리된 이후부터 건전측 증기발생기는 열제거 기능이 정지되고 파단측 증기발생기는 파단유량에 의해 가압되어 주증기안전밸브의 열립과 닫힘을 반복하면서 노심 붕괴열을 제거하게 된다.

터빈정지 후 주증기격리신호가 발생하기 전에는 터빈우회밸브를 통해서 노심의 붕괴열이 제거되며, 주증기격리신호가 발생한 후에는 노심의 붕괴열이 파단측 주증기안전밸브를 통해서 안정적으로 제거되어 핵연료가열은 발생하지 않는다.

#### 4.1.1.3.2 운전원 조치를 고려한 경우

증기발생기 전열관 다중파단 사고를 완화하기 위해 필요한 운전원조치는 파단측 증기발생기를 조기에 격리하고 파단측 주증기안전밸브를 통해 대기로 방출되는 방사성물질의 양을 최소화하는 것이다. 분석에서는 신고리 5,6호기 비상운전지침서의 [ ]을 참조하여 아래와 같은 운전원 수동조치를 고려하였다.

- 원자로냉각재펌프 정지: 비상운전지침서의 [ ] 절차에 따라 원자로정지 후 [ ] 원자로냉각재펌프 정지를 가정한다.
- 터빈우회계통을 이용한 원자로냉각재계통 냉각: 원자로 정지 후 [ ] 비상운전지침서의 증기발생기 전열관 파열에 따라 주증기안전밸브의 개방을 방지하기 위해 터빈우회계통을 이용하여 원자로냉각재 계통의 온도를 [ ] 냉각한다(이후 운전원 조치는 비상운전지침서의 [ ]에 따름).
- 증기발생기 격리 및 압력제어: 원자로 정지 후 [ ]에 증기발생기를 격리하고, [ ]부터 가압기전열기 정지, 가압기배기밸브 개방 또는 폐쇄, 가압기보조살수를 통해 원자로냉각재계통 및 파단측 증기발생기 압력간 평형상태를 유지하기 위한 운전원 조치에 착수하는 것으로 가정한다.
- 파단측 증기발생기 수위조절: 원자로 정지 후 [ ]에 파단측 증기발생기의 고수위 방지를 위해 주증기격리우회밸브 및 취출수계통을 사용하여 수위조절을 시작하는 것으로 가정한다.
- 건전측 증기발생기를 이용한 제어냉각: 원자로 정지 후 [ ]에 건전측 주증기대기방출밸브를 이용하여 원자로냉각재계통 제어냉각을 시작하는 것으로 가정한다.
- 고압안전주입 수동조절운전: 원자로냉각재 파냉각도가 만족되는 상태에서 가압기수위가 안전주입 수동조절 허용치에 도달하는 경우 고압안전주입 조절운전을 수행한다.
- 안전주입탱크 압력 변경: 원자로냉각재계통 감압/냉각과정에서 안전주입탱크 압력을 정지냉각계통 운전진입조건 이하로 변경하여 안전주입탱크 주입이 발생하지 않도록 한다.

평가해석 결과, 주요 열수력 거동은 최초의 운전원조치인 원자로냉각재펌프 정지까지는 운전원조치를 고려하지 않은 경우와 동일하다. 파단측 증기발생기 격리 후, 가압기배기밸브의 개방은 원자로냉각재계통의 감압과 가압기 수위회복에 매우 효과적이다. 안전주입 펌프 작동압력 이하에서는 안전주입에 의해 더 이상의 감압효과가 제한되지만, 운전원 조치에 의한 안전주입 중단으로 감압이 다시 급격히 진행되어 일차계통 압력은 이차계통 압력과 거의 동일한 수준으로 감소한다. 그 이후는 건전측 주증기대기방출밸브 개방을 통한 원자로냉각재계통의 제어냉각으로 일차측과 이차측의 압력은 동반 감소하게 된다. 원자로냉각재계통 온도는 건전측 주증기대기방출밸브 개방을 통한 제어냉각에 따라 정지냉각계통 운전진입조건까지 냉각된다. 일차계통 냉각/감압과정에서 운전원이 안전주입탱크 압력을 정지냉각계통 운전진입조건 이하로 감압하므로 안전주입탱크 주입은 발생하지 않는다.

파단측 증기발생기는 파단유량에 의해 수위가 빠르게 상승하며 증기발생기 격리 후에는 압력이 급속히 증가한다. 하지만 증기발생기 격리 이후 운전원이 원자로냉각재계통 감압, 안전주입조절운전, 건전측 주증기대기방출밸브를 이용한 제어냉각을 수행하여 파단측 증기발생기 수위와 압력을 제어하며, 이에 따라 파단측 주증기안전밸브의 열림은 방지된다. 건전측 증기발생기는 주증기대기방출밸브를 이용한 제어냉각을 시작하므로 수위가 감소한다. 건전측 증기발생기의 수위는 보조급수 작동설정치까지 감소하여 보조급수가 주입되기 시작하며 이후 수위는 보조급수 작동/중지 설정치 사이에서 유지된다.

노심출력은 운전원조치를 고려하지 않은 경우와 동일하다. 파단측 증기발생기 격리 후 건전측 주증기대기방출밸브를 이용한 제어냉각 전략에 의해 정지냉각계통 운전진입조건까지 원자로냉각재계통 냉각/감압이 효과적으로 수행되어 노심노출이 발생하지 않으며 따라서 핵연료의 가열 현상은 발생하지 않는다.

#### 4.1.1.3.3 평가결과

##### 운전원의 조치가 없는 경우 전열관이 파단된 후 주증기안전밸브 열림시간

운전원조치가 없는 경우에 주증기안전밸브가 처음으로 열리는 시간은 사고발생 이후 [ ] 로 예측되었다. 이후 운전원조치가 없다고 가정하는 경우 파단측 주증기안전밸브를 통한 증기방출로 노심붕괴열이 안정적으로 제거되지만, 주증기안전밸브의 주기적 열림/닫힘이 지속된다.

##### 운전원이 사고를 인지하고 손상된 전열관을 포함한 증기발생기를 격리하는데 소요되는 시간(인간공학적 요소 고려) 및 격리되기까지의 원자로냉각재 외부 유출량

증기발생기 전열관파단에 대한 비상운전지침서 및 인간공학적 요소를 고려하여 운전원이 파단측 증기발생기 격리에 소요되는 시간은 사고발생 후 [ ] 로 평가되었다.

증기발생기 격리 이후 운전원은 가압기배기밸브 또는 가압기 보조살수를 이용한 원자로냉각재계통 감압, 안전주입조절운전, 건전측 주증기대기방출밸브를 이용한 제어냉각을 통하여 파단측 주증기안전밸브의 개방을 방지하거나 조기에 종결할 수 있다. 원자로냉각재계통 감압 및 제어냉각 착수시점은 각각 사고 후 [ ] 및 사고 후 [ ] 으로 평가되었으며, 이 경우 파단측 주증기안전밸브는 개방되지 않는다. 따라서 원자로냉각재의 외부 유출이 발생하지 않는다.

##### 원자로냉각재 재고량 유지 및 장기적인 붕괴열 제거 수단의 유효성

운전원조치가 없는 경우에도 안전주입에 의해서 원자로냉각재 재고량이 유지되고 파단측



주증기안전밸브의 주기적인 열림에 의해 안정적으로 노심 붕괴열 제거가 가능함을 확인하였다.

운전원 조치를 고려한 경우에 원자로냉각재 재고량은 안전주입에 의해서 유지된다. 증기발생기 격리 이후에는 건전축 주증기대기방출밸브를 이용한 제어냉각을 통하여 원자로냉각재계를 냉각하여 사고 후 [ ]에 정지냉각계통 운전진입조건까지 도달함을 확인하였다.

#### 핵연료의 현저한 손상 방지

운전원조치가 없는 경우와 운전원조치를 고려한 경우 모두 노심 냉각능력이 충분하여 핵연료가열이 발생하지 않는 것으로 확인되었다. 따라서 증기발생기 전열관 다중파단사고 발생시 핵연료의 현저한 손상이 방지된다.

#### 4.1.1.4 급수완전상실사고

급수완전상실사고(Total Loss of Feedwater, TLOFW)는 주급수가 상실된 후 기계적인 고장 등의 이유로 보조급수계통의 기능이 상실되어 증기발생기로의 급수가 완전히 중단되는 상태를 가정한다. 급수가 상실된 후 원자로냉각재계통의 감압 및 비상노심냉각계통(안전주입계통)에 의한 주입방출운전(Feed & Bleed Operation)을 통하여 노심의 붕괴열을 제거함으로써 노심의 손상을 방지할 수 있는지 확인할 목적으로 평가를 수행한다.

사고에 대한 평가를 통하여 아래 사항을 확인하여야 한다(참고문헌 4).

- 원자로냉각재계통 감압설비를 통한 감압 성능
- 주입방출운전을 수행하기 위한 운전원 조치시간 및 그 근거
- 사고해석을 통하여 주입방출운전에 의한 노심 냉각능력 평가

신고리 5,6호기에는 급수완전상실사고시 수동운전을 통하여 원자로냉각재계통의 신속한 감압기능을 수행하기 위해 안전감압계통(Safety Depressurization System, SDS) 기능을 담당하는 가압기 POSRV가 설계되어 있다. 가압기 POSRV는 가압기 상부에 연결되어 있으며 네 개의 유로로 구성되어 있다.

신고리 5,6호기의 비상노심냉각계통(안전주입계통)은 능동기기인 안전주입펌프 및 수동기기인 안전주입탱크로 구성되어 있다. 안전주입펌프의 수원은 원자로건물내재장전수탱크(IRWST)의 봉산수이며 노심 냉각기능과 함께 노심의 부반응도를 제공하는 기능도 담당한다. 안전주입펌프는 4대로 공급되며 각 펌프의 출구는 원자로용기 강수관 상부에 각각 연결되어 있다.

급수완전상실사고는 최종안전성분석보고서(FSAR) 6.7절의 안전감압배기계통 설계요건 (참고문헌 2)과 규제기관의 규제지침 만족여부를 확인하는데 필요한 내용을 고려하여 아래의 두 가지 경우를 기본으로 분석한다.

- 경우1: 단일유로 주입방출운전
- 경우2: 최대용량 주입방출운전

#### 4.1.1.4.1 경우1: 단일유로 주입방출운전

경우1은 급수완전상실사고시 원자로냉각재계통 가압으로 가압기 POSRV가 처음으로 개방되는 시점에 운전원이 두 대의 안전주입펌프와 두 개의 가압기 POSRV를 이용하여 충전유출운전을 하는 경우이다.

증기발생기로의 주급수가 상실되면 증기발생기수위가 감소하기 시작하여 증기발생기저수위 원자로정지 설정치에 도달하여 원자로정지 및 터빈정지를 유발하게 된다. 터빈정지 이후에는 터빈우회밸브를 통해 증기가 방출되며, 증기발생기수위가 보조급수 주입설정치에 도달하지만 급수완전상실사고의 정의에 따라서 보조급수계통은 고장으로 작동하지 않는다.

원자로냉각재펌프는 비상운전지침서의 [ ] 절차에 따라 원자로정지 시점으로부터 [ ] 후에 운전원이 수동으로 정지시킨다고 보수적으로 가정하였다. 급수상실에 따라 증기발생기 재고량이 거의 고갈되면 증기발생기를 통한 노심 붕괴열 제거가 불가능하게 되어 원자로냉각재계통 압력이 빠르게 상승하여 가압기 POSRV 개방설정치에 도달하게 된다.

운전원이 가압기 POSRV가 처음으로 개방되는 시점에 두 개의 가압기 POSRV를 개방할 경우 원자로냉각재계통 압력이 급격히 감소하여 가압기저압력(LPP)에 의한 안전주입신호가 발생하고 안전주입펌프 체절수두(Shutoff Head)까지 도달하여 안전주입이 시작된다. 그 이후 원자로냉각재계통 압력은 더욱 강하하여 안전주입탱크 주입도 가능하게 된다.

노심 응축수위는 사고 기간 내내 유효노심 상단을 유지하다가 안전주입유량으로 인해 만수위를 회복하고, 핵연료피복재 온도는 노심출구 냉각재온도와 거의 동일하게 유지된다. 즉, 핵연료의 가열 현상은 발생하지 않으며 따라서 핵연료의 파손이 발생하지 않는다.

#### 4.1.1.4.2 경우2: 최대용량 주입방출운전

경우2는 급수완전상실사고시 원자로냉각재계통 가압으로 가압기 POSRV가 처음으로 개방되는 시점으로부터 [ ] 후에 운전원이 네 대의 안전주입펌프와 네 개의 가압기 POSRV를 이용하여 주입방출운전을 하는 경우이다. 즉 경우1보다 주입방출운전을 [ ]



늦게 시작하지만 용량을 증가시켜 최대용량으로 하는 경우이다.

가압기 압력이 가압기 POSRV 개방설정치에 처음으로 도달하는 시점까지의 사고경위는 경우1과 동일하다. 경우2는 가압기 POSRV를 모두 수동 개방할 때까지 원자로냉각재계통 압력은 가압기 POSRV 개방과 닫힘설정치 범위 내에서 유지된다.

경우2에서는 가압기 POSRV 수동개방이 지연되어 안전주입신호 및 안전주입펌프 체절수 두까지 도달하는 시점도 비례하여 지연된다. 그러나 주입방출운전이 최대용량으로 증가하여 주입방출운전 개시 이후 원자로냉각재계통 감압률이 경우1보다 훨씬 커서 안전주입 탱크 주입 개시는 경우1보다 빨리 발생한다.

경우2와 경우1의 운전원조치 차이점은 증기발생기가 고갈된 이후에 발생하기 때문에 증기발생기 2차측의 열수력 거동은 경우1과 유사하다.

노심 응축수위가 유효노심의 최상부 아래로 감소하였다가 회복되는 것으로 예측되었다. 하지만 2상 혼합수위는 이 보다 높게 유지되어 핵연료피복재 온도는 노심출구 냉각재온도와 거의 동일하게 유지된다. 즉, 핵연료의 가열 현상은 발생하지 않으며 따라서 핵연료의 파손이 발생하지 않는다.

#### 4.1.1.4.3 평가결과

##### 원자로냉각재계통 감압설비를 통한 감압 성능

경우1에서는 원자로냉각재계통 냉각재가 과냉각상태에서 방출운전이 시작되어 가압기 POSRV 두 개의 개방만으로도 냉각재계통 압력이 포화압력까지 급격히 떨어진다. 그러나 포화압력에 도달 이후 냉각재의 팽창으로 인해 가압기 고수위가 유지되는 경우 일정기간 압력 평형 현상이 발생한다.

경우2에서는 방출운전이 지연되어 냉각재의 온도상승으로 포화상태에서 유출운전이 시작되어 네 개의 가압기 POSRV를 모두 개방하였으나 원자로냉각재계통 초기 감압률은 경우1에 비해 상대적으로 느리다. 그러나 유출운전 개시 이후 경우1과 같은 압력 평형 현상은 발생하지 않고 지속적으로 감압되어 안전주입탱크 주입압력까지 경우1보다 일찍 도달한다.

##### 주입방출운전을 수행하기 위한 운전원 조치시간 및 그 근거

주입방출운전을 수행하기 위한 운전원 조치는 비상운전지침서의 [ ] 절차에 따라 가압기 POSRV 밸브를 수동으로 개방하는 것이며 경우1은 가압기 POSRV가 처음으로 개방되는 시점인 [ ]에 수행하고 경우2는 [ ] 지연된 [ ]

수행하는 것으로 가정하였다. 급수가 상실되면 운전원에게 가용한 정보가 충분하고 운전원 조치는 주제어실에서 간단하게 이루어지기 때문에 경우2는 물론이고 경우1에서 가정한 운전원 조치시간은 충분한 여유가 있는 것으로 확인되었다.

#### 사고해석을 통하여 주입방출운전에 의한 노심 냉각능력 평가

경우1과 2 모두 주입방출운전 전략이 유효하여 핵연료 가열현상이 예측되지 않으므로 노심 냉각능력이 충분한 것으로 확인되었다.

#### 핵연료의 현저한 손상 방지

경우1과 2 모두 노심 냉각능력이 충분하여 핵연료파손이 발생하지 않는 것으로 확인되었다. 따라서 급수완전상실사고 발생시 주입방출운전전략에 의해 핵연료의 현저한 손상이 방지된다.

#### 4.1.1.5 계통간 냉각재상실사고

계통간 냉각재상실사고(Interfacing Systems LOCA, ISLOCA)는 규제기준(참고문헌 5) 3.1.2항에 다음과 같이 정의되어 있다.

“계통간 냉각재상실사고”라 함은 원자로냉각재압력경계에 연결되어 있는 저압계통과 원자로냉각재압력경계 사이를 격리하는 기기의 고장으로 인하여 저압계통에 과압이 발생하고, 저압계통 배관의 누설 또는 파단으로 인하여 냉각재가 상실되는 사고를 말한다.

원자로냉각재계통에서 원자로건물 경계 외부로 연결되는 부속계통(이하 연결부속계통)의 냉각재상실사고에 대한 설계 기준 및 평가결과는 다음과 같다.

##### 4.1.1.5.1 계통간 냉각재상실사고 방지를 위한 설계요건

계통간 냉각재상실사고에 대한 설계요건은 규제기준(참고문헌 5) 3.9.1항에 서술되며, 연결부속계통은 계통간 냉각재상실사고의 가능성이 최소화되도록 다음과 같이 설계되어야 한다.

1. 원자로냉각재계통에서 원자로건물 경계 외부로 연결되는 연결부속계통은 가능한 정도까지 원자로 냉각재계통 전압력(Full Pressure)과 동일한 극한파열강도(Ultimate Rupture Strength)에 견딜 수 있어야 한다.
2. 상기 1호를 만족시키지 못하는 연결부속계통은 다음과 같이 설계되어야 한다.

- 원자로냉각재계통과 연결부속계통 사이에 설치되는 압력격리밸브의 개폐상태가 주제어실에 지시되어야 하며, 압력격리밸브가 개방된 상태에서 원자로냉각재계통 압력이 연결부속계통 설계압력에 접근하는 경우 운전원에게 고압경보를 제공하여야 한다.
- 원자로냉각재계통과 연결부속계통 사이에 설치되는 압력격리밸브는 주기적인 누설시험이 가능하여야 한다.

#### 4.1.1.5.2 계통간 냉각재상실사고 관련 안전성 평가

계통간 냉각재상실사고 관련 안전성 평가에 대한 요건은 규제기준(참고문헌 5) 3.9.2항에 서술되며, 원자로냉각재계통 전압력에 견딜 수 있도록 설계되지 않은 연결부속계통에 대해서는 과압 상태에 대한 격리능력 또는 과압방지 능력이 계통간 냉각재상실사고를 방지하기에 충분한지를 입증하는 안전성 평가를 수행하여야 한다.

#### 4.1.1.5.3 평가결과

신고리 5,6호기 계통간 냉각재상실사고의 평가는 최종안전분석보고서 5E에 상세히 기술하였으며, 평가 결과는 규제기준을 만족한다.

#### 4.1.1.6 정지냉각기능 상실사고

정지냉각기능 상실사고(Loss of Shutdown Cooling, LOSC)는 원자로정지 이후 정지냉각계통 운전 중 안전설비의 다중고장으로 정지냉각계통의 노심 열제거 기능이 상실되는 사고이다.

신고리 5,6호기에 대한 정지냉각기능 상실사고는 원자로냉각재 수위가 고온관의 중간수위로 배수된 상태(부분충수운전)에서의 정지냉각상실을 가정하여 평가하였다. 부분충수운전은 가압기 맨웨이가 개방된 상태가 기본이며 보수작업 목적에 따라 추가적으로 저온관 개방, 증기발생기 입구플레넘 맨웨이 개방, 증기발생기 출구플레넘 맨웨이 개방 그리고 증기발생기 노즐댐이 설치되어 증기발생기가 격리된 상태를 초기조건으로 고려할 수 있다. 이 절에서는 운전기간이 가장 긴 증기발생기 노즐댐이 설치된 경우에 대해 대표사고로 평가하였다. 나머지 경우에 대한 평가결과는 참고문헌 7에 상술된 바와 같다.

##### 4.1.1.6.1 관리능력 평가

원자로정지 이후 증기발생기 노즐댐이 설치되어 증기발생기가 격리되고 원자로냉각재 수위가 고온관과 저온관의 중간수위로 배수된 상태에서 정지냉각계통을 이용하여 노심붕괴열을 제거하는 조건에서 정지냉각펌프 등의 고장에 의한 정지냉각 기능상실을 가정하였

다.

원자로정지 이후 4일 경과시점의 노심 붕괴열을 가정하며, 정지냉각펌프 등의 고장으로 정지냉각 기능을 상실하게 되면 원자로냉각재 온도는 빠르게 상승하여 노심상부에서 포화온도에 도달하여 비등이 발생한다.

노심에서 비등이 발생하면 2상혼합물수위가 상승하여 고온관의 수위가 증가하고 노심의 압력이 급격히 증가하게 된다. 계속된 노심압력 증가로 가압기의 물-증기 혼합수가 유입되기 시작하고, 가압기 맨웨이를 통한 방출이 일어나게 된다. 가압기로 유입되는 유량과 가압기 맨웨이를 통한 방출유량이 균형을 이루는 시점 이후 가압기 응축수위는 거의 일정한 값을 유지한다.

노심의 압력증가에 따라 노심상부공간에서 하향유로(Downcomer)로의 우회유량이 발생하여 하향유로/저온관의 압력이 노심압력과 균형을 이루게 되며 저온관에 있던 물은 하향유로를 거쳐 노심으로 이동하게 된다. 저온관의 물은 사고 이후 감소하기 시작하여 저온관바닥 수위 이하로 떨어진다. 가압기 맨웨이를 통한 원자로냉각재 방출로 인해 노심 및 고온관 응축수위도 감소하며, 고온관은 완전히 고갈된다.

노심 응축수위는 원자로냉각재의 순유출이 발생하는 가압기 맨웨이 방출시작 시점부터 감소하기 시작한다. 이후 유효노심 상부의 노출이 발생하며 핵연료가열이 시작된다. 노심이 노출되면 노심에서의 증기 생성량이 감소하여 노심 압력은 감소한다. 노심 상부의 핵연료피복재 온도는 [ ]에 상승하기 시작하여 [ ]에 피복재 온도 허용한계인 [ ]에 도달하여 핵연료손상이 예상된다.

#### 4.1.1.6.2 평가결과

증기발생기 노즐댐이 설치된 상태의 부분충수운전 조건에서 정지냉각상실이 발생하고 운전원이 아무런 조치를 취하지 않는다고 가정할 때 사고발생 이후 [ ]에 노심 상부의 핵연료가열이 시작되는 것으로 분석되었다. 따라서 운전원은 충분한 시간적 여유를 가지고 정지비상운전지침서 [ ] 절차에 따라 안전주입탱크를 활용한 중력충수, 또는 안전주입펌프를 이용한 주입방출운전으로 원자로냉각재재고량 손실을 보충하여 핵연료 손상을 방지할 수 있다.

#### 4.1.1.7 최종열제거원 상실사고

최종열제거원 상실사고(Loss of Ultimate Heat Sink, LUHS)는 전출력 정상운전 상태에서 기계적인 고장 등의 이유로 1차측기기냉각해수계통(Essential Service Water System)의 기능이 완전히 상실되는 것을 가정한다(참고문헌 4).

평가는 1차측기기냉각해수계통의 기능이 상실된 이후 2차측 냉각을 통하여 지속적으로 노심의 붕괴열을 제거할 수 있는지 확인할 목적으로 수행한다.

최종열제거원 상실사고에 의한 1차측기기냉각해수계통의 완전 상실시 1차측기기냉각수계통(Component Cooling Water System)은 냉각수의 온도가 한계치에 도달하기 전까지 일정기간 동안 관련설비의 열부하를 감당할 수 있다. 하지만 본 분석에서는 2차측해수계통과 순환수계통의 상실을 동반하며, 1차측기기냉각수계통의 기능 및 1차측기기냉각수에 의해 냉각되는 펄수, 비펄수 열부하 설비 및 계통의 기능은 보조충전펌프 기동 등 초기 운전원 조치까지만 건전한 것으로 가정하였다.

#### 4.1.1.7.1 관리능력 평가

1차측기기냉각수계통의 기능 상실로 인해 유출수열교환기(Letdown Heat Exchanger, LHX)의 기능이 상실되고, 유출수열교환기 후단의 유출수 온도가 상승하여 유출수 배관이 자동으로 격리된다. 분석에서는 보수적으로 사고발생과 동시에 유출수 배관이 격리되는 것으로 가정하였다.

사고발생시 순환수계통의 즉시 상실로 사고발생과 동시에 복수기진공상실이 발생됨을 가정하였다. 이로 인해 사고발생과 동시에 터빈과 주급수펌프가 정지되어, 노심의 열생성과 증기발생기의 열제거에서 불균형이 발생된다. 따라서 원자로냉각재계통의 압력이 급격히 증가하여 가압기고압력 원자로정지신호에 의해 원자로가 정지된다.

1차측기기냉각수가 원자로냉각재펌프의 밀봉냉각에 사용되므로 최종열제거원이 상실된 상태에서 원자로냉각재펌프의 계속 운전은 바람직하지 않기 때문에 운전원은 비상운전지침서의 [ ] 절차에 따라 원자로냉각재펌프를 수동으로 정지한다. 그리고 기동중인 충전펌프는 1차측기기냉각수가 기능상실되면 작동이 불가능하므로 운전원은 보조충전펌프를 기동한다. 보조충전펌프가 가용하여 원자로냉각재펌프 밀봉수를 공급할 수 있으므로 원자로냉각재펌프의 밀봉은 건전성을 유지한다.

원자로냉각재펌프 정지 후에는 비상운전지침서의 [ ] 절차에 따라 운전원 조치가 수행된다.

가압기 전열기는 원자로냉각재계통 냉각/감압을 방해하는 요인으로 작용할 수 있으므로, 원자로냉각재계통 냉각/감압에 착수하기 전에 가압기 전열기를 수동으로 정지해야 한다. 분석에서는 원자로냉각재계통 냉각/감압 및 앞서 기술한 모든 사고초기 운전원 조치를 사고발생 후 [ ] 수행하는 것으로 가정하였다.

원자로냉각재계통 감압은 기본적으로 원자로냉각재배기계통의 가압기배기밸브를 개방하여 수행하며, 원자로냉각재계통 압력이 정지냉각계통 운전진입조건에 도달할 때까지 원



자로냉각재계통 과냉각여유도를 충분히 확보하며 수행된다.

원자로냉각재계통 냉각은 주증기대기방출밸브를 개방하여 증기발생기를 통한 열제거가 가능하도록 하며, 원자로냉각재 온도가 정지냉각계통 운전진입조건에 도달할 때까지 수행된다. 이 때 냉각률은 최대냉각률 [ ] 유지하여야 하며, 분석에서는 보수적으로 [ ] 냉각률을 적용하였다.

노심출력은 원자로정지 이후에는 붕괴열곡선에 따라 감소한다. 원자로냉각재계통 감압을 위한 가압기 배기에 의해 원자로용기 상부헤드에서의 기포발생 및 제거가 반복되지만 원자로냉각재계통 자연순환냉각이 유지되고 원자로냉각재계통 냉각이 지속되어 노심노출이 발생하지 않는다. 따라서 핵연료 가열이 발생하지 않아 핵연료피복재 온도는 원자로냉각재온도와 거의 동일한 수준으로 평가되었다.

최종열제거원 상실사고 발생과 동시에 터빈정지 및 증기발생기 주급수 정지를 가정하였기 때문에 증기발생기 압력이 급격히 증가하여 주증기안전밸브가 열리며 증기발생기를 통해 제어냉각을 시작하는 [ ] 까지 열림과 닫힘을 반복하게 된다. 사고 후 [ ] 에 증기발생기를 이용한 제어냉각 시작에 따라 주증기대기방출밸브가 개방되어 증기발생기 압력은 계속 감소한다.

터빈정지 및 원자로정지에 의한 수축효과 그리고 주증기안전밸브의 개방에 의해 증기발생기 수위는 계속 감소하여 보조급수 주입이 시작되며 이후 보조급수 작동 및 정지 설정치 사이에서 유지된다. 이때 가용한 보조급수 수원으로는 보조급수저장탱크, 복수저장탱크, 탈염수저장탱크, 그리고 원수저장조가 있다.

또한 호기당 1대씩 고유량 이동형 펌프를 보유하므로 이를 기기냉각해수계통에 연결하여 최종열제거원을 대체할 수 있다. 최종열제거원 복구 이후에는 정지냉각계통 운전을 시작하여 발전소를 안전정지상태로 유지할 수 있다.

#### 4.1.1.7.2 평가결과

##### 증기발생기 급수 및 증기 방출을 통한 2차측 열제거 능력

최종열제거원 상실사고 발생과 동시에 터빈정지 및 증기발생기 주급수 정지를 가정하기 때문에 증기발생기 압력이 급격히 증가하여 사고 직후부터 주증기안전밸브 열림에 의한 증기발생기 재고량 손실이 발생하나 보조급수펌프의 작동으로 보충이 가능하다. [ ] 부터 주증기대기방출밸브 및 보조급수펌프를 이용한 제어냉각을 통하여 [ ] 이전에 정지냉각계통 진입온도까지 원자로냉각재계통을 냉각할 수 있음을 확인하였다.

원자로냉각재펌프 밀봉 파손의 방지

최종열제거원 상실사고에서 충전펌프 또는 보조충전펌프를 계속 운전하여 원자로냉각재 펌프 밀봉수를 공급하기 때문에 원자로냉각재펌프 밀봉은 건전성을 유지한다.

#### 지속적인 2차측 열제거를 위한 추가 수원 확보

사고발생 후 [ ] 공급된 누적 보조급수 체적은 약 [ ] 이다. 이는 보조급수로 가용한 수원인 보조급수저장탱크( [ ]) 용량보다 적으며 또한 복수저장탱크( [ ]), 탈염수저장탱크( [ ]), 그리고 원수저장조( [ ])를 추가적으로 활용할 수 있으므로 원자로냉각재계통 제어냉각 및 고온정지상태 유지를 위한 보조급수 수원은 충분히 여유가 있음을 확인하였다.

#### 핵연료의 현저한 손상 방지

최종열제거원 상실사고에 따라 원자로정지, 터빈정지, 원자로냉각재펌프 정지가 발생하더라도 자연순환냉각과 증기발생기를 이용한 제어냉각을 통해 원자로냉각재계통 냉각/감압이 수행되어 노심노출과 핵연료가열이 방지된다. 따라서 핵연료의 현저한 손상이 방지된다.

#### 4.1.1.8 소형냉각재상실사고와 동시에 발생하는 안전주입 또는 재순환상실사고

소형냉각재상실사고와 동시에 발생하는 안전주입 또는 재순환 상실사고는 소형냉각재상실사고가 발생한 이후에 안전주입계통 또는 재순환 운전이 실패함으로써 더 심각한 상태로 진행되는 사고이다(참고문헌 4).

본 다중고장사고는 확률론적 안전성 평가의 노심손상빈도 측면에서 고려된 사고이므로 확률론적 안전성 평가에서 소형파단의 상한으로 적용하는 [ ]를 소형파단의 범위로 설정하였다.

신고리 5,6호기의 안전주입계통은 각각 한 대의 안전주입펌프와 한 개의 안전주입탱크로부터 공급받는 4개의 원자로용기직접주입관으로 구성되어 있다. 안전주입 상실을 가정하기 위하여 4개의 안전주입펌프가 모두 상실되는 경우를 고려하였다.

신고리 5,6호기의 안전주입 수원은 원자로건물내재장전수탱크(IRWST)이며 파단방출이 IRWST로 회수되어 재순환모드가 존재하지 않으므로 소형냉각재상실사고와 동시에 발생하는 재순환상실사고는 별도의 분석이 요구되지 않는다.

평가는 사고발생시 2차측 냉각을 통한 원자로냉각재계통 냉각과 지속적인 노심의 붕괴열 제거 능력이 있는지 확인할 목적으로 수행한다.

#### 4.1.1.8.1 관리능력 평가

신고리 5,6호기 원자로냉각재계통 저온관에서의 파단을 가정하여 평가하였다. 주요 열수력 거동은 아래와 같다.

파단에 의해 원자로냉각재계통 압력은 급격히 강하하기 시작한다. 원자로정지가 발생하면서 압력강하율이 확대되지만 노심출구온도에 해당하는 포화압력에 도달하면서 노심에서 기포가 발생하기 시작하여 압력은 준평형상태를 유지하게 된다. 에 운전원조치로 주증기대기방출밸브 개방에 의한 원자로냉각재계통의 급속냉각을 수행하면 원자로냉각재계통 압력이 급격히 감소하여 안전주입탱크에 의한 냉각수주입이 가능하게 된다.

원자로정지 발생 이전에는 파단으로 인해 노심유량이 소량 감소하면서 원자로냉각재 온도가 약간 상승한다. 원자로정지가 발생하면서 노심입구와 출구의 원자로냉각재 온도차는 거의 없어지게 되며, 에 증기발생기를 통해 급속냉각을 시작할 때까지 거의 일정한 온도를 유지한다.

안전주입탱크의 냉각수 주입이 시작되면서 원자로냉각재의 온도는 급격히 떨어져 과냉각 액체상태로 된다. 이전에 정지냉각진입을 위한 온도조건인 미만의 안정적인 냉각상태를 유지하게 된다.

소형냉각재상실사고에서 증기발생기를 통한 급속냉각은 원자로냉각재계통의 감압에 매우 효과적이다. 증기발생기를 통해 급속냉각이 시작되면 원자로냉각재계통 압력이 감소하여 안전주입탱크 물이 주입되기 시작한다. 안전주입탱크 주입이 종료된 이후에도 원자로냉각재계통 압력은 정지냉각계통 운전진입조건 이하에서 유지된다.

파단에 의해 원자로냉각재계통 냉각재가 방출되면서 가압기의 수위는 급격하게 감소하여 이후 가압기 물이 고갈된다. 안전주입탱크 주입이 시작되면서 원자로냉각재계통 재고량은 증가하다가 안전주입탱크 주입이 종료되면 다시 서서히 감소한다.

노심출력은 원자로정지 이전에는 정상상태 값을 일정하게 유지하며 원자로정지 이후에는 붕괴열곡선에 따라 감소한다. 배관파단으로 인해 노심에서 기포발생이 증가하면서 노심 응축수위는 감소하기 시작하며 증기발생기를 이용한 급속냉각으로 노심 응축수위가 급속히 감소한다. 하지만 안전주입탱크 주입이 시작되어 원자로냉각재계통으로 냉각수가 유입되면서 노심 응축수위가 증가하고 원자로냉각재계통 재고량도 증가하게 된다. 안전주입탱크 주입이 종료된 후 응축수위가 감소하지만 유효노심 상부에서 많이 떨어지지 않아 실제로는 이상혼합수위가 유지되어 노심 노출이 발생하지 않는 것으로 판단된다. 이에 따라 핵연료 가열이 발생하지 않아 핵연료피복재 온도는 원자로냉각재온도와 거의 동일한 수준으로 예측되었다.

원자로정지에 따른 터빈정지에 의해서 증기발생기 이차측의 압력이 일시적으로 상승하나



증기우회제어시스템의 작동으로 안정화되다가 [ ]에 다시 증기발생기를 이용한 급속냉각이 시작되면서 증기발생기의 압력과 온도는 급격히 감소한다.

원자로정지 및 터빈정지에 의한 수축효과에 의해 일시적으로 감소한 증기발생기 수위는 증기발생기를 통한 급속냉각에 의해서 다시 빠르게 감소하여 보조급수 작동 설정치까지 이르게 된다. 이후 증기발생기 수위는 보조급수 작동과 중지 설정치 사이에서 유지된다. 원자로냉각재시스템의 급속냉각을 위한 주증기대기방출밸브의 개방에 의해 증기발생기 압력이 강하하여 증기발생기 저압에 의한 주증기격리신호가 발생하여 주급수는 차단된다. 이후 증기발생기 수위에 따라 보조급수가 간헐적으로 주입된다.

#### 4.1.1.8.2 평가결과

##### 2차측 냉각을 통한 원자로냉각재시스템 감압 능력

사고발생 이후 [ ]에 운전원이 증기발생기당 1대의 주증기대기방출밸브를 완전히 개방하는 급속냉각을 통하여 원자로냉각재시스템을 신속하게 감압하여 안전주입탱크 주입 및 정지냉각시스템운전조건 진입이 가능함을 확인하였다.

##### 정지냉각시스템의 운전을 통한 붕괴열 제거 능력 및 상온정지 도달 여부

증기발생기를 이용한 급속냉각을 통하여 원자로냉각재시스템 압력과 온도는 감소하여 사고 후 [ ] 이전에 정지냉각시스템을 운전할 수 있는 것으로 평가되었다. 이후에는 정지냉각펌프를 이용한 주입운전으로 원자로냉각재시스템의 재고량을 유지하고 증기발생기를 이용한 2차측 열제거를 통해 안정적으로 붕괴열을 제거할 수 있다.

##### 관련 운전원 조치 여유시간 및 그 근거

본 다중고장사고에서 고려한 운전원 조치는 원자로냉각재펌프 정지와 증기발생기를 이용한 원자로냉각재시스템의 급속냉각이다. 냉각재상실사고가 발생하면 운전원은 비상운전지침서의 [ ]에 따라 원자로냉각재펌프를 정지해야 한다. 분석에서는 원자로정지 [ ] 경과시점에 모든 원자로냉각재펌프를 정지시킨다고 가정하였다. 증기발생기를 통한 급속냉각은 가능하면 빨리 할수록 노심냉각에 유리하다. 분석에서는 노심냉각측면에서 보수적인 결과가 초래되도록 하기 위하여 사고발생후 [ ] 운전원이 급속냉각 조치를 수행한다고 가정하였다.

##### 핵연료의 현저한 손상 방지

증기발생기를 이용한 급속냉각을 통하여 원자로냉각재시스템을 신속하게 감압하여 안전주입탱크 주입 및 정지냉각시스템운전조건 진입이 가능하며, 이 과정에서 핵연료가열 현상이

발생하지 않는다. 따라서 핵연료의 현저한 손상이 방지된다.

#### 4.1.1.9 사용후연료저장조 냉각기능 상실사고

사용후연료저장조 냉각계통은 안전등급 3 및 내진범주 I급으로 설계되었으며, 사용후연료 저장조 “A” 및 “B”에 저장된 사용후연료의 붕괴열을 제거하는 기능을 수행한다. 사용후연료저장조 냉각계통 배관은 사용후연료저장조 냉각 및 차폐를 위한 최소수위를 유지하기 위해 저장조 벽을 관통하는 모든 배관을 사용후연료 저장대에 저장된 사용후연료집합체 상부로부터 10 ft(3.05 m) 이상 위에 위치한다. 사용후연료저장조 냉각계통 기기는 사용후연료저장조 “A”, “B” 각각에 대해 100 % 용량의 펌프 2대, 100 % 용량의 열교환기 2대 등으로 구성되어 있다.

사용후연료저장조 A에 설치되는 사용후연료 저장대는 8x9 모듈 4개로 구성된 지역 I 영역 저장대와 9x9 모듈 4개, 9x10 모듈 4개, 10x9 모듈 5개, 10x10 모듈 2개로 구성된 지역 II 영역 저장대로 구성되며 최대 1,694다발의 사용후연료집합체를 저장할 수 있으며, 사용후연료저장조 B의 경우 10x11 모듈 20개, 11x11 모듈 4개로 구성된 지역 II 영역 저장대로 구성, 최대 2,684다발을 저장할 수 있다. 사용후연료저장조는 내진범주 I급으로 분류된다.

원자로에서 인출된 사용후연료는 사용후연료저장조로 이송되어 수면 아래에 저장된다. 사용후연료저장조의 물은 사용후연료에서 방출되는 방사선을 차폐하고 사용후연료에서 발생하는 붕괴열을 제거한다. 사용후연료저장조의 냉각기능이 모두 상실되면 사용후연료저장조 내의 연료가 손상되기 전까지 다음과 같은 순서로 사건이 진행된다. 이때 사용후연료저장조 수위는 보수적인 평가를 위해 비내진범주 배관의 파단을 고려하여 설정한다.

- 사용후연료저장조 비등 발생(초기 수위, EL. 148.83 ft (45.36 m))
- 방사선 차폐기능 상실(EL. 140 ft(42.67 m))
- 사용후연료 상부 노출(EL. 130 ft(39.62 m))

##### 4.1.1.9.1 관리능력 평가

최대열부하는 사용후연료저장조 A의 경우 정상, 재장전 및 비정상 시나리오에 대하여 각각 238, 594, 69.6 MBtu/hr로, 사용후연료저장조 B의 경우 13.8 MBtu/hr로 평가되었고 수위감소 시간 계산에 적용되었다. 사용후연료저장조 비상보충수의 설계유량으로는 NEI 06-12의 사용후연료저장조 사고완화를 위한 보충수 공급전략에서 권고된 500 gpm을 비상 보충유량으로 선정하였다. 이는 선정된 유량이 시나리오별로 계산된 최대증발률 중 가장 크게 평가된 비정상 시나리오의 최대증발률인 170.06 gpm을 충분히 만족하므로 대처방안에 대한 설계기준 유량으로 500 gpm을 채택하였다.

사용후연료저장조 수위는 사용후연료저장조 냉각 및 정화계통 절차서에 따라 일정하게 유지되어 과도사건을 포함한 정상운전 상태에서 방사선 차폐기능이 유지된다. 교류전원 완전상실 등과 같은 설계기준을 초과하는 사고에 따른 사용후연료저장조 냉각기능 상실 사고로 인해 저장조 수위가 감소할 경우, 운영절차서 사용후연료저장조 냉각계통 비정상 및 다중방어운영지침서 MOG-11(대체 사용후연료저장조 충수 및 냉각)에 따라 봉산저장탱크, 탈염수저장탱크 및 복수저장탱크, 원수저장조로부터 사용후연료저장조 정화펌프, 봉산보충펌프, 1차측기기냉각수보충펌프 및 탈염수이송펌프를 통해 보충수를 공급하여 정상 수위를 유지한다. 상기 펌프들의 사용이 불가능할 경우 디젤구동 소방펌프 또는 이동형 디젤구동 펌프를 이용하여 내진범주 I급으로 설계된 사용후연료저장조 비상보충수 공급배관을 통해 비상보충수를 공급한다.

사용후연료저장조 냉각기능 상실 후 비등온도 도달 시간은 사용후연료저장조 A, B에 대해 각각 [ ] 과 [ ] 으로 예상되며, 최대 증발률은 저장조내 사용후연료 저장조건에 따라 저장조 A의 경우 70.58 ~ 170.06 gpm으로 저장조 B의 경우 60.33 gpm으로 예상된다. 최소차폐수위 EL. 140 ft(사용후연료저장대 상부로부터 10 ft 위) 도달 시간은 사용후연료 저장조건에 따라 저장조 A의 경우 [ ], 저장조 B의 경우 [ ] 으로 예상된다. 저장조 냉각기능 상실 후 최소차폐수위 도달시간은 절차서에 따라 조치를 수행하여 저장조 수위를 회복하는데 충분하다. 만일 최소차폐수위 도달 이후에도 지속적으로 수위가 감소한다면 사용후연료저장대 상부 도달시간은 사용후연료 저장조건에 따라 저장조 A의 경우 [ ], 저장조 B의 경우 [ ] 으로 예상되며, 이 시간은 저장조 비상보충수 공급 조치를 수행하여 저장조내 사용후연료 상부 노출이 발생하기 이전에 저장조 수위를 회복하는데 충분하다.

#### 4.1.1.9.2 평가결과

발전소 수명기간동안 예상할 수 있는 사용후연료의 최대 저장량 및 붕괴열 발생량

사용후연료저장조 A 및 B는 각각 최대 1,694 다발과 2,684 다발의 사용후연료집합체를 저장할 수 있고, 사용후연료 저장조건에 따라 발생가능한 최대 붕괴열 발생량은 사용후연료저장조 A의 경우 정상, 재장전 및 비정상 시나리오에 대하여 각각 23.8, 59.4, 69.6 MBtu/hr로, 사용후연료저장조 B의 경우 13.8 MBtu/hr로 평가되었으며 이 열부하는 사용후연료저장조 냉각수의 온도상승 및 비등에 의한 수위감소 계산에 적용된다.

운전기간중 최저수위에서의 냉각기능 상실시 냉각수 보충이 없는 상태에서 사용후연료 노출수위까지 도달 시간

냉각기능 상실이후 냉각수 보충이 없는 상태에서 사용후연료 노출수위까지 도달시간은 사용후연료 저장조건에 따라 저장조 A의 경우 [ ], 저장조 B의 경우 [ ]

으로 평가되었다.

사용후연료저장조에 냉각수를 안정적으로 공급하는 수단, 소요시간 및 여유도

냉각기능 상실은 저수위경보로 알수 있으며, 사용후연료 노출시간 저장조 A의 경우 , 저장조 B의 경우 까지는 운영절차서 비정상-3463A(사용후연료저장조 냉각계통 비정상)에 따라 운전원이 냉각수 보충을 하는데 충분한 시간적 여유가 있음을 확인하였다.

## 4.1.2 설계기준을 초과하는 외부 재해에 대한 평가

### 4.1.2.1 설계기준을 초과하는 자연재해

신고리 부지에서의 설계기준초과 자연재해와 관련하여 1.1.3절에 설계기준초과 지진(지진동 [ ]) 등 일곱 개 범주의 자연재해 종류 및 재해의 규모를 요약 기술하였다. 설계기준초과 자연재해들에 의하여 발생할 수 있는 영향은 6.1.1 및 6.1.2절에 기술되어 있으며, 평가 결과 신고리 부지에서의 다양한 설계기준초과 자연재해에 의해 심각한 영향이 유발되는 안전성 관련 구조물, 계통 및 기기는 없는 것으로 확인되었다. 하지만, 그럼에도 불구하고 이 절에서는 일본 후쿠시마 사고의 경험을 바탕으로 최소한 극한재해로 인하여 원자로시설에서 최소한 발전소 안전등급 교류전력과 최종열제거원은 장기적으로 상실되는 손상이 발생하는 것으로 간주하여 발전소의 관리능력을 평가한다. 더불어 설계기준을 초과하는 자연재해를 동반할 경우에 대한 영향을 평가한다.

#### 4.1.2.1.1 발전소 대응능력 평가

이 절에서는 설계기준초과 자연재해에 의한 안전기능상실사고 시나리오 중 장기교류전원 상실(Extended Loss of All AC Power, ELAP)을 동반한 최종열제거원상실(Loss of Ultimate Heat Sink, LUHS) 사고 및 장기교류전원상실과 최종열제거원상실 사고를 동반한 설계기준초과 자연재해에 대한 발전소 대응 능력 평가 결과를 요약하였다. 상세 평가결과는 “신고리 5,6호기 극한재해 관리능력 평가”보고서에 수록되어 있다(참고문헌 9).

##### 4.1.2.1.1.1 대체교류디젤발전기상실을 포함한 소내정전과 최종열제거원상실 사고

대체교류디젤발전기상실을 포함하는 모든 교류전원 완전상실 및 최종열제거원상실 사고 발생시 교류전원 상실로 인해 원자로정지, 터빈정지, 원자로냉각재펌프 정지, 주급수펌프 정지, 충전펌프 정지 등이 사고발생 즉시 발생하며, 원자로냉각재펌프 밀봉누설 또한 즉시 발생한다고 가정한다.

대체교류디젤발전기상실을 포함하는 모든 교류전원 완전상실 및 최종열제거원상실 사고가 발생하여 원자로가 정지되면 운전원은 비상운전지침서 [ ]에 따라 먼저 필수대처기능 상태점검을 수행하고, 최소한 1계열의 안전등급 4.16 kV 교류 모선을 복구하기 위한 조치를 수행한다. 만약 최소한 1계열의 안전등급 4.16 kV 교류 모선 복구가 불가능할 경우 모든 교류전원 완전상실을 선언한 후, 1 MW 이동형 발전차 배치를 지시한다.

다음 다중방어운영지침서(MOG)에 따라 모든 교류전원 완전상실시 직류전원 가용시간 연장을 위해 필수 직류전원을 제외한 모든 직류모선의 부하를 탈락시킨다. 사고발생 2시간 후에는 원자로냉각재계통 냉각 및 감압에 착수하며, 시간 당 [ ]의 냉각률로 냉각하는



것으로 가정하였다.

정상운전 조건에서 원자로냉각재펌프당 누설유량은 [ ] 으로 가정하였다. 원자로냉각재펌프 밀봉누설에도 불구하고 충전펌프에 의한 냉각재보충이 불가능하여 원자로냉각재계통 거동은 매우 작은 파단크기의 소형파단사고와 유사하게 진행된다. 원자로냉각재 재고량의 손실이 발생하므로 가압기 압력이 서서히 감소하며 [ ] 증기발생기를 통한 제어냉각과 원자로냉각재배기계통의 작동에 따라 압력이 급격히 감소하게 된다. 이후 원자로냉각재계통 온도 및 압력은 사고발생 [ ] 이전에 정지냉각계통 운전진입 조건에 도달한다.

1 MW 이동형 발전차가 연결된 이후, 다중방어운영지침서(MOG)에 따라 노심냉각 및 원자로냉각재계통 냉각재 재고량을 유지하기 위해 보조충전펌프를 운전하고, 기기 건전성을 확보하기 위해 보조충전펌프실의 출입문을 개방한다. 또한, 안전주입탱크가 주입된 후 원자로냉각재계통 내 질소가스가 유입되는 것을 막기 위하여 안전주입탱크 격리를 수행한다.

원자로냉각재재고량 손실로 인해 가압기 수위는 사고발생 이후 계속 감소하여 결국 고갈되지만, [ ] 보조충전펌프의 가동으로 냉각재보충이 시작되면 점차 정상운전 수위로 복구된다. 원자로냉각재계통 감압에 의해 안전주입탱크 봉산수가 주입되고, 가압기가 정상수위에 도달하는 시점까지 보조충전펌프는 계속 작동하며 그 이후는 작동과 중지 반복하게 된다.

이 과정에서 노심수위는 [ ] 부터 원자로용기 상부공간에서 기포발생이 시작되면서 응축수위가 감소하는 것으로 보이나 유효노심에서는 기포가 발생하지 않는다. 따라서 핵연료 냉각은 잘 유지되어 핵연료가열이 발생하지 않는다.

이후 소내 자원만으로 발전소를 안전하게 제어하여 [ ] 정지냉각진입 조건을 유지할 수 있으며, 3.2 MW 이동형 발전차와 고유량 이동형 펌프의 이동을 지시, 배치한 후 정지냉각계통이 복구되면 정지냉각계통을 운전하여 상온정지 상태를 유지할 수 있다.

#### 4.1.2.1.1.2 대체교류디젤발전기상실을 포함한 소내정전과 최종열제거원상실 조건을 동반한 지진해일

신고리 부지에서의 10,000년 빈도 지진동은 [ ] 이하이다. 또한 10,000년 빈도 지진해일에 의한 가능 최고 해수위는 부지정지고 보다 낮다. 따라서 해일에 의한 외부침수는 없음을 가정하였다. 본 시나리오에서는 10,000년 빈도 지진해일을 고려하여 [ ] 의 지진동을 가정하였고, 이는 필수대처기능 유지를 위한 대처설비의 내진성능 값([ ]) 이 내이다.

따라서 대체교류디젤발전기상실을 포함한 소내정전과 최종열제거원상실 조건을 동반한 지진해일 발생시, 필수대처기능 유지를 위한 주요설비 및 보조설비, 연료, 전원, 수원, 열

제거원의 가용성은 자연재해를 동반하지 않은 단순한 장기교류전원상실 및 최종열제거원 상실 사고와 동일하며, 결과적으로 필수대처기능 유지를 위한 대응능력 역시 동일하다.

#### 4.1.2.1.1.3 대체교류디젤발전기상실을 포함한 소내정전과 최종열제거원상실 조건을 동반한 해일 및 강우

신고리 부지에서 10,000년 빈도의 지진해일 또는 폭풍해일 발생시 가능 최고 해수위는 부지정지교보다 낮은 것으로 평가된다. 또한 안전관련 구조물의 출입구에는 방수문이 설치되고, 지표로부터 정수위 3 m까지는 침수영향이 발생하지 않도록 지표면 기준 3 m 이하에 위치한 개구부에는 차수벽 또는 차수설비가 설치되므로 설계기준초과 해일 및 강우시 외부침수는 발생되지 않는다. 따라서 자연재해에 의해 필수대처기능 유지를 위한 주요설비 및 보조설비, 연료, 전원, 수원, 열제거원의 가용성이 영향 받지 않으며, 결과적으로 필수대처기능 유지를 위한 대응능력 및 한계사항은 자연재해를 동반하지 않은 단순한 장기교류전원상실 및 최종열제거원상실 사고와 동일하다.

#### 4.1.2.1.1.4 대체교류디젤발전기상실을 포함한 소내정전과 최종열제거원상실 조건을 동반한 0.3g 지진

신고리 부지에서 10,000년 빈도를 초과하는 0.3g 지진 발생시, 필수대처기능 유지를 위한 주요설비 및 보조설비, 연료, 전원, 수원, 열제거원의 가용성에 영향을 주지 않는다. 원수저장조는 내진으로 설계되어있어, 본 시나리오에서 가용하다. 이동형발전차를 포함한 이동형 설비들의 경우 내진설계된 이동형 설비 통합보관고에 보관되므로 본 시나리오에서 모두 가용한 것으로 평가된다. 따라서 필수대처기능 유지를 위한 대응능력 및 한계사항은 자연재해를 동반하지 않은 단순한 장기교류전원상실 및 최종열제거원상실 사고와 동일하다.

#### 4.1.2.1.2 평가결과

장기교류전원상실을 동반한 최종열제거원상실사고 및 장기교류전원상실과 최종열제거원 상실 사고를 동반한 설계기준초과 자연재해에 대한 발전소 대응능력을 평가하였다.

터빈구동보조급수펌프를 이용한 냉각, 주증기대기방출밸브를 이용한 원자로냉각재계통의 제어냉각으로 노심냉각은 잘 유지되며 보조충전펌프의 복구에 의해서 가압기 수위복구 및 유지가 가능함을 확인하였다. 노심노출과 핵연료가열이 방지되어 노심내 핵연료의 손상이 방지된다.

평가한 모든 시나리오에 대해 소내 고정형 또는 이동형 설비만으로 [ ] 이전에 원자로 냉각재계통을 냉각하여 발전소를 안전하게 제어할 수 있으며, [ ] 이상까지 정지냉각 진입 조건에서 유지할 수 있음을 확인하였다. 이후 정지냉각계통이 복구되면 최종적으로

정지냉각계통을 운전하여 안전정지 상태를 유지할 수 있다.

#### 4.1.2.2 설계기준을 초과하는 인위적재해

원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제85조의19제1항제3호는 설계기준으로 고려한 외적 요인을 초과하는 자연재해 및 인위적재해(이하 “극한재해”라 한다)를 사고관리의 대상으로 규정하고 있다. 원자력안전위원회 고시 제2017-34호 (원자로, 42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 제4조(설계기준으로 고려한 외적요인을 초과하는 자연재해 및 인위적재해의 범위)에서는 극한재해에 대해 지질 및 지진, 기상, 수문 및 해양 현상 등에 의한 자연재해, 테러행위(의도적인 항공기 충돌 등)와 같이 발생가능성을 예측할 수 없는 인위적재해 그리고 자연재해 또는 인위적재해로 유발되는 복합재해로 정의한다. 동 고시 제6조제2항에 의하면 제4조에 따른 재해가 발생하더라도 원자로 및 사용후연료저장시설 내 핵연료 냉각기능 등 필수안전기능이 복구·유지되어야 한다.

본 보고서 6.1.3절은 신고리 5,6호기에 대하여 항공기충돌 등 인위적재해에 의한 화재 및 폭발로 발생하는 광역손상 영향을 평가하였다. 평가결과에 따라 신고리 5,6호기는 인위적재해 발생시 필수안전기능을 상실하며 필수안전기능을 유지 및 복구하기 위해 광역손상 완화전략의 개발 및 수행이 필요함을 확인하였다. 6.1.3절의 평가는 해당 발전소가 인위적재해에 대해 필수안전기능을 유지할 수 있는지를 확인하고 광역손상 완화전략의 개발이 요구되는 지를 판단하기 위한 절차이다. 광역손상 완화전략을 개발하기 위해서는 인위적재해에 의한 발전소 손상상태를 평가하여야 하나 인위적재해 및 복합재해는 다양한 불확실성을 내포하고 있으며 발전소 손상상태 및 그에 따른 발전소의 대응 등을 정확히 예측하는 것은 불가능하다. 따라서 잠재적인 발전소 손상상태를 무한히 조합하거나 특정 발전소 손상상태로 제한하여 전략을 수립하는 것은 바람직하지 않다. 그러므로 인위적재해 및 복합재해에 대한 대응전략은 발전소 손상상태에 대한 합리적인 가정을 바탕으로 수립하며 다양한 불확실성에 대하여 유연하게 적용할 수 있도록 개발한다. 광역손상 완화전략 개발을 위한 발전소 손상상태는 다음과 같이 고려할 수 있다.

- 발전소는 전출력운전 중이다.
- 인위적재해 발생 가능성을 알리는 사전 경고는 없다.
- 광범위한 화재가 발생할 수 있다.
- 제어실 접근이 불가능하다.
- 제어실 및 제어실을 포함하는 건물 내부에 배치된 장비/물자의 기능은 상실한다.
- 제어실을 포함하는 건물에 대한 접근이 불가능하다.
- 평상시 제어실 내부에 상주하는 인원은 상실한다.
- 발전소 계통운전에 필요한 모든 직류 및 교류전원은 상실한다.
- 인위적재해 발생시 소내 종사자는 최소 인원이 근무하고 있다.



- 전략수행은 제어실 외부의 운전원에 의해 수행할 수 있다.
- 일반적인 절차를 수행하기 위한 지휘명령체계를 상실하였다.
- 발전소 감시 및 제어기능을 상실하였다.
- 인위적재해 발생지점에서 최소 92 m(100 yard) 이상 이격된 지점에 있는 기기 및 종사자는 생존성이 유지된다.

#### 4.1.2.2.1 화재 진압 전략

화재진압전략은 인위적재해로 인해 발생하는 화재를 진압하는 전략을 포함한다. 인위적재해로 발생하는 화재는 압력을 동반한 화염이 광범위하게 전파될 수 있다. 이러한 화재의 영향범위를 예상하는 것은 불가능하므로 발전소 소내·외 화재방호자원을 파악하고 신속하고 효율적인 화재진압이 가능하도록 전략을 구성한다. 또 화재진압전략은 화재진압뿐만 아니라 비상조직의 구성, 대외협조, 방사선피폭관리 등 인위적재해 발생시 요구되는 사고관리절차를 기술한다.

가) 화재를 진압하기 위한 소방대 장비(방화복, 개인별 공기호흡기, 무전기 등)는 본부소방대에 준비되어 있으며 본부소방대는 주요 표적지역(원자로건물, 보조건물 및 사용후연료저장조 등)으로부터 92 m(100 yard) 이상 떨어진 곳에 위치하고 있다.

나) 항공기 충돌과 같은 위협에 대한 사전경고가 있을 경우를 대비하여 사고발생 이전에 지정된 위치로 대응요원들을 배치하는 계획이 수립되어 있다. 소내 종사자는 방사선 비상계획수행절차서 8.2절 ‘소내인원의 대피 및 소개’에 따라 대상자 별로 정해진 1차 집결지로 대피한다. 발전소교대근무자와 관리구역내 근무자는 대피시간 및 사고이후 발전소 안정화를 위한 조치를 취하기 위해 현장사무실 및 보건물리실이 1차 대피소로 지정되어 있다.

다) 화재진압, 부상자 수송 및 방사능감시 등을 위해 항공자원을 활용할 수 있다. 항공자원은 요구되는 기능에 따라 국방부 또는 소방방재청의 지원을 받는다. 사고발생 직후 2시간 이내 사고 대응에 필요한 장비는 소내 또는 발전소 인근의 유관기관으로부터 충분한 수량을 확보할 수 있으므로 항공자원의 지원은 필요시 현장지휘센터장(원자력안전위원회위원장)의 판단에 의해 결정한다.

라) 항공기충돌 등 인위적재해 발생시, 초기 비상조직이 구성되어 사고 초기 비상업무를 수행한다. 정규 비상조직이 발족되면 초기 비상조직을 흡수통합하여 사고대응을 위한 지휘업무를 총괄한다. 비상통신설비는 비상연락, 비상정보교환, 비상활동 지휘, 방사선 감시활동을 신속하고 효과적으로 수행할 수 있도록 사내·외 통신설비를 갖추고 있다. 소방활동을 위한 비상통신장비로 무전기 및 페이지폰 등이 사용되며 화재방호 운영계획서에 따라 외부 소방관서와 유효한 교신방법을 확보하고 있다. 대형화재 발생시, 소화구호조장은 소외 화재진압조직에 지원을 요청하고 방사선비상계획수행절차

서의 동시화재시 출동 우선순위에 따라 화재진압을 수행한다. 동시화재시 출동 우선 순위는 본부 소방대장의 결정에 의해 변경할 수 있다.

- 마) 광역손상 사고 시, 소내 사고대응조직은 외부 전문기관의 지원을 받을 수 있다. 기장 병원 및 울산대학교병원은 환자발생 시 인명피해를 최소화하기 위하여 필요한 구급차, 의사 및 간호사 등을 지원한다. 기장소방서 및 온산소방서는 화재진압 및 응급구조 등을 지원한다. 울주경찰서, 기장경찰서 및 울산해양경비안전서는 치안 및 교통통제 등을 지원한다.
- 마) 사고대응을 지원하는 외부 기관은 지원협약 또는 관련 법령에 의해 지원이 가능하다. 외부 지원 기관은 비상조직의 지휘 및 안내에 따라 약속된 역할을 수행한다.
- 바) 발전소 필수안전기능을 복구하기 위해 사용되는 장비는 본부내 통합보관고에 자체 보유하고 있다. 통합보관고의 장비는 사고발생후 2시간 이내 광역손상 완화전략 이행을 위한 배치가 가능하다. 또 소화구호조를 지원하기 위한 외부 소방대 역시 2시간 이내 사고지역으로 이동 할 수 있는 거리에 위치하고 있다.
- 사) 비상대응차량은 본부내 통합보관고 및 자체소방대 건물에 배치되어 있으며 외부 자원 장비는 정해진 집결지로 배치되도록 계획되어 있다. 발전소 인근지역 및 소내 교통통제는 비상대응조직의 보안조에 의해 수행되며 소외장비의 진입을 위한 외부도로 교통통제는 경찰에서 수행한다. 평상시 대내·외 비상요원으로 지정된 발전소종사자 및 외부기관요원은 임무숙지상태를 점검하고 비상교육시 습득한 지식과 실질적 대응능력을 제고하기 위해 주기적으로 훈련을 실시한다.
- 아) 사고대응을 위한 비상요원 및 지원요원들은 열형광선량계(TLD) 및 자동선량계(ADR)를 착용한다. 각 비상대응시설별 피폭선량관리조직이 구성되며 긴급작업 종사자를 제외한 일반 비상요원이 방사선작업종사자의 선량한도를 초과하지 않도록 관리한다. 소내에는 비상요원에 지급하기 위한 충분한 수량의 선량계를 보유하고 있다.
- 자) 소방활동을 위해 사용하는 통신장비 무전기 등을 이용한 무선통신을 주로 활용하며 필요시 비상통신시설의 다양한 통신장비를 사용할 수 있다. 화재방호운영계획서에 따라 외부 소방관서와 유효한 교신방법을 확보하고 있다. 소방활동을 위한 통신장비는 소방대 장비와 마찬가지로 표적지역으로부터 92 m(100 yard) 이상 떨어진 곳에 보관되어 있다.
- 차) 통신지원조는 발전소내 비상통신망 확보 및 손상설비 조치, 소내 유무선 통신, 방송 및 경보설비 유지의 임무를 수행한다. 통신지원조는 비상대책본부 방송 및 통신망 운영을 지원한다. 운전 복구를 위해 사용되는 통신장비는 표적지역으로부터 92 m(100 yard) 이상 떨어진 곳에 보관되어 있다.

- 카) 비상의료지원센터(REMC)는 비상요원들의 건강상태를 감시하고, 응급의료 지원을 수행한다. 비상대책실 발족후 비상의료지원센터(REMC)는 비상대책실 의료반으로 편입되며, 방사선보건원의 현장대응반과 함께 현장방사선비상진료소를 운영한다. 현장방사선비상진료소는 부상자 응급처치, 오염제염, 비상요원 감상선방호약품 복용관련 모니터링, 비상요원 건강관리 등을 수행한다. 방사선보건원 현장대응반은 합동방사선비상진료센터로 필요한 인원을 파견하여 응급 환자 후송기관 협의 등 대외 협력업무를 수행한다. 현장방사선비상진료소는 합동방사선비상진료센터와 협의하여 부상자 이동 및 초동의료대응을 수행한다. 긴급부상자는 방사능 오염여부에 상관없이 응급조치 후 지역협약병원으로 긴급 후송한다. 현장방사선비상진료소 설치 이후 발생하는 모든 부상자는 현장방사선비상진료소에서 중증도 평가 및 응급처치를 받고 합동방사선비상진료센터에서 확인한 후송기관으로 이송한다. 방사선 피폭 부상자는 1, 2차 방사선비상진료기관(지역협약병원 및 원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법에 따라 원자력안전위원회로부터 방사선 사고환자는 치료를 위해 전국에 지정한 의료기관)으로 이송하며 비오염 부상자는 일반 의료기관으로 이송한다. 현장방사선비상진료소의 역할을 벗어나는 다수의 부상자를 처치해야 하는 경우, 합동방사선비상진료센터로 인력 및 차량 등의 지원을 요청한다.
- 타) 비상의료지원센터는 제염실, 처치실, 건강관리실, 회복실 등의 설비를 보유하고 있다. 비상의료지원센터는 동일한 위치에서 현장방사선비상진료소로 전환되어 업무를 수행한다. 만약 현장방사선비상진료소의 구성이 불가능하다면 방사선보건원의 현장대응반은 안전한 장소(예:EOF 의료실 등)에 현장방사선비상진료소를 설치하여 운영한다. 비상시 설치되는 의료시설은 50여명의 부상자를 처리하기 충분한 장비와 공간을 확보하고 있다.
- 파) 연소가속 화재(accelerant-fed fire)에 대응하기 위한 소방계획을 수립하고 훈련을 수행한다. 소방대 훈련은 소내 및 소외 화재대응요원들 간 조정된 화재대응 역할에 대한 사항을 포함하여야 한다. 소외 대응요원들에게는 발전소 친숙화 훈련을 제공한다.
- 하) 소화수 공급배관은 소방펌프에 의해 소내 지역으로 소화용수를 공급하며 소방차 또는 이동형펌프를 이용하여 소방펌프를 대체 할 수 있다.
- 거) 발전소는 화재 확산 방지를 위해 안전에 중요한 구역이 방화벽에 의해 분리되어 있다. 평상시 방화구역의 출입문은 닫힘 상태를 유지하며 화재발생시 공조시스템의 격리가 이루어진다.
- 너) 발전소 보전구역 외부로 이동하는 인원에 대한 오염검사를 실시하여, 오염된 인원은 방사선대책반 방사선방호조원의 안내에 따라 제염한다. 본부 부지경계선 외부로 소개되는 인원에 대한 오염검사는 방사성물질의 소외 누출여부에 따라 방사선대책반장이

결정하여 필요시 구호소에서 방사선방호조원이 오염검사를 실시하며 오염된 자는 방사선방호조원의 안내에 따라 제염한다. 발전소 보전구역 외부로 이동하는 차량 및 물품은 발전소 정문에 파견된 방사선방호조원이 오염검사를 하며 오염된 차량 및 물품은 방사선방호조원의 안내에 따라 제염을 하거나 발전소 보전구역 내에 주차 또는 보관한다. 본부 부지경계선 외부로 이동하는 차량 및 물품에 대한 오염검사는 방사성 물질의 소외 누출여부에 따라 방사선대책반장이 결정하며, 필요시 본부 정·후문에 파견된 방사선방호조원이 오염검사를 실시하며 오염된 차량 및 물품은 방사선방호조원의 안내에 따라 제염을 실시하거나 본부 부지 내에 주차 및 보관한다. 살수 세정 및 유출수관리에 필요한 장비는 표적지역으로부터 92 m(100 yard) 이상 떨어진 곳에 보관되어 있다.

#### 4.1.2.2.2 사용후연료저장조 내 사용후연료 손상 완화전략

4.1.2.2절의 발전소 손상상태를 고려하면 사용후연료저장조 내부 진입이 불가능하며 사용후연료저장조 냉각계통은 기능을 상실할 수 있다. 그러나 사용후연료저장조 내 사용후연료 손상 완화전략은 다양한 상황에 효과적으로 대응하기 위해 다음의 상태를 추가로 고려하여 대처 전략을 개발한다.

- 사용후연료저장조 내부 진입이 가능할 수 있다.
- 화재방호계통 등 대체 냉각수를 공급할 수 있는 계통의 기능이 유지될 수 있다.
- 저장조 구조의 물리적 손상으로 인해 냉각수의 누설이 발생할 수 있다.

사용후연료저장조는 사용후연료를 습식저장하는 철근 콘크리트 구조물이다. 사용후연료 저장조내에서 냉각수는 자연대류 순환되도록 설계되어 있으며 저장조의 온도가 균일한 상태를 유지한다.

사용후연료저장조 내 핵연료 손상 완화를 위해 사용후연료저장조 내부 및 외부에서 충수 또는 살수수단을 활용한다. 비상대응조직은 사용후연료저장조 냉각계통의 가용성을 평가하고 냉각기능유지 가능성을 확인한다. 고정설비에 의한 사용후연료저장조 냉각기능 유지가 불가능하여 광역손상 완화지침서의 수행이 필요한 경우, 사용후연료저장조 주변 접근성을 판단한다. 국부적 손상 또는 방사선량이 접근성에 영향을 줄 수 있다. 해당지역 접근이 가능하다면 사용후연료저장조 내부 충수 및 살수를 위해 저장조 근처에 설치된 화재방호계통을 사용한다. 화재방호계통은 자동 스프링클러설비 요구유량에 수동 진압용 소화전 유량인 1,893 L/min(500 gpm)을 더한 유량을 최소 2시간 이상 공급할 수 있으며, 화재방호계통 수원의 용량은 1,305,967 L(345,000 gallon) 이상으로 사용후연료저장조 내부충수 및 살수를 위한 충분한 용량을 확보하고 있다.

해당지역 접근이 용이하지 않다면 모든 가용수단을 동원해 사용후연료저장조 외부 충수

및 살수를 시작한다. 사용후연료저장조 외부충수 및 살수를 위한 외부주입관은 각각 2계열을 설치하고 동시손상을 방지하기 위해 최대한 이격시켜 배치한다. 외부 살수 및 충수를 위한 이동형펌프를 평상시 보조건물 및 사용후연료저장조건물에서 92 m(100 yard) 이상 떨어진 지역에 보관되며 사고발생 이후 2시간 이내 충수 및 살수를 위한 위치로 배치될 수 있다. 외부 충수 및 살수에 사용되는 이동형 펌프 및 보충수원은 외부 지원 없이 12시간 동안 냉각수공급을 보장한다. 외부충수는 최소 1,893 L/min(500 gpm)의 유량을 공급할 수 있으며 외부살수는 최소 758 L/min(200 gpm)의 유량으로 공급할 수 있다.

사용후연료저장조의 누설률이 충수 및 살수전략에서 제공하는 충수율을 초과하는 경우 누설률을 감소시키기 위해 소내 또는 소외 자재를 사용하여 적절한 조치를 수행한다. 사전에 발전소에 적절한 자재를 파악하고 구비하거나 외부지원 여부를 확인한다. 비상요원은 자재를 이용한 조치방법을 숙지한다.

#### 4.1.2.2.3 원자로건물 내 필수안전기능 확보 및 유지

4.1.2.2절의 발전소 손상상태를 고려하면 제어실 및 보조건물 내부 진입이 불가능하며 필수안전기능을 상실할 수 있다. 위의 상태에 대응하기 위해 이동형장비를 이용한 대처 전략을 개발한다. 그러나 원자로건물 내 필수안전기능 확보 및 유지를 위한 대처 전략은 다양한 상황에 효과적으로 대응하기 위해 다음의 상태를 추가로 고려하여 대처 전략을 개발한다.

- 현장 수동운전이 가능한 기기에 대한 접근성은 유지될 수 있다.
- 광역손상 완화전략을 수행하더라도 노심의 손상이 발생할 수 있다.
- 필수안전기능을 위한 계통을 포함하는 건물에 심각한 구조적 손상이 발생할 수 있다.

인위적재해 및 복합재해의 대응 전략은 수립시 노심 냉각 및 방사성 물질 누출 최소화를 위하여 확보되어야 하는 원자로건물 내 필수안전기능을 선정하였다. 필수안전기능은 다음을 포함한다.

1. 원자로냉각재계통 재고량 제어
2. 원자로냉각재계통 열제거
3. 원자로건물 격리
4. 원자로건물 건전성 유지
5. 방사성 물질 누출완화

대형화재 및 폭발(항공기충돌 등의 인위적재해 포함)로 인한 광역손상 발생에 의해 신고

리 5,6호기의 필수안전기능이 상실될 경우, 필수안전기능 복구 및 유지를 위한 완화전략을 수행한다.

#### 인위적재해 사전조치

사전경고가 가능한 인위적재해(예 : 항공기충돌 등)와 같이 발전소와 작업자의 안전에 심각한 손상이 사전에 예상되는 경우, 인위적재해 사전조치지침에 따라 비상경보를 발령하고 작업자 대피 및 발전소를 안전정지 상태로 유지하기 위한 최소한의 조치를 신속히 수행한다.

#### 인위적재해 초기대응

인위적재해 발생 후 비상기술지원실이 구성되기 전 인위적재해 초기대응지침에 따라 책임을 가진 발전소 종사자의 판단에 의해 사고초기에 필요한 조치를 즉시 수행한다.

#### 발전소 상태 판단 및 전략수행지침

발전소 상태 판단 및 전략수행지침은 발전소의 손상상태를 평가하는 절차를 포함하고 있으며 핵연료 손상 방지 및 방사성물질 누출완화에 필요한 전략을 판단하는 기준을 제시한다. 전략의 필요성을 확인하면 지침서에 포함된 세부 수행 절차서에 따라 현장에서 전략이 수행되도록 지침을 전달하고 전략의 이행 상황 및 사고 복구상황을 지속적으로 감시하여 상황에 적절한 전략을 적용하도록 지시한다.

#### 원자로건물내재장전수저장탱크 충수

장기비상노심냉각 운전을 위해 원자로건물내재장전수저장탱크를 충수한다. 소내 교류전원의 공급으로 장기비상노심냉각이 가능한 경우, 원자로건물내재장전수저장탱크는 장기노심냉각을 위한 냉각수를 공급하며 지속적인 냉각수 공급을 위해 재고량을 유지해야한다. 원자로건물내재장전수저장탱크 충수를 위해 화학 및 체적제어시스템의 주입관 연결부 근처에 설치된 화재방호계통을 사용하여 최소 1,136 L/min(300 gpm)으로 충수한다.

#### 증기발생기 수동 감압

원자로냉각재계통 재고량 손실 감소를 위해 증기발생기를 수동으로 감압시킨다. 주증기배관에 설치된 주증기대기방출밸브(MSADV) 수동 개방을 통해 증기발생기를 감압한다. 전략수행시 증기발생기 수위와 압력을 고려하여 주증기대기방출 밸브를 조절해야 하며, 노심손상이 예상되는 경우에는 주증기대기방출밸브(MSADV)를 닫아 방사능 물질의 외부방출을 방지한다.

#### 터빈구동보조급수펌프 수동 운전

교류 및 직류전원 없이 터빈구동보조급수펌프 수동 운전을 통해 원자로냉각재계통 열 제거능력을 유지한다. 교류 및 직류전원 없이 터빈구동보조급수펌프를 수동운전하여 원자로냉각재계통을 냉각한다. 이동형 계측기 또는 이동형 발전기 등을 이용하여 증기발생기 수위를 측정 하거나, 급수량 및 붕괴열에 따른 증기발생기 수위 예측이 가능하며 터빈구

동보조급수펌프 운전을 위해 필요한 제어전원도 이동형 발전기를 이용할 수 있다.

#### 이동형 펌프를 이용한 증기발생기 급수 공급

이동형 펌프를 사용해 증기발생기에 급수를 공급하여 증기발생기를 통한 원자로냉각재계통 열 제거 능력을 유지한다. 증기발생기 외부 급수를 위한 외부주입관 연결부에 이동형 호스와 이동형 펌프를 연결하고 최소 758 L/min(200 gpm)으로 급수한다. 증기발생기 감압을 함께 수행한다. 보충수원은 소내 화재방호계통을 이용하며 화재방호계통에 의한 용수 확보가 불가능 한 경우, 소내 또는 소외의 보충수원으로부터 용수를 확보한다. 증기발생기 급수 공급을 위한 이동형 펌프, 이동형 펌프의 지원 장비, 급수 공급을 위한 기타 장비를 보조건물로부터 92 m(100 yard) 이상 떨어진 곳에 보관한다. 외부주입관 연결부는 각 계열별로 설치되었다. 소내전원상실시에도 증기발생기 수위를 적절하게 유지 할 수 있도록 대체 계측방법을 활용하여 증기발생기 수위를 측정하거나, 급수량 및 붕괴열에 따른 증기발생기 수위 예측이 가능하다. 이동형펌프와 보충수원은 외부지원 없이 12 시간 동안 충수를 위한 능력을 확보하고 있다.

#### 보조급수저장탱크 충수

보조급수펌프 장기운전을 위해 보조급수저장탱크에 보충수를 제공한다. 보조급수저장탱크 충수를 위한 외부주입관 연결부에 이동형 호스와 이동형 펌프를 연결하고 최소 758 L/min(200 gpm)으로 충수한다. 보충수원은 소내 화재방호계통을 이용하며 화재방호계통에 의한 용수 확보가 불가능 한 경우, 소내 또는 소외의 보충수원으로부터 용수를 확보한다. 보조급수저장탱크 충수를 위한 이동형 펌프, 이동형 펌프의 지원 장비, 충수를 위한 기타 장비는 보조건물로부터 92 m(100 yard) 이상 떨어진 곳에 보관한다. 이동형펌프와 보충수원은 외부지원 없이 12시간 동안 충수를 위한 능력을 확보하고 있다.

#### 원자로공동 충수

노심용융물을 냉각하기 위해 원자로공동을 침수시킨다. 원자로공동 침수전략은 중대사고 현상을 완화하기 위한 목적으로 수행한다. TSC는 광역손상 완화전략의 수행상황을 검토하고 노심 내 핵연료의 중대사고 발생 가능성을 판단하여 원자로공동의 침수전략의 적용 여부를 판단한다. 이동형 발전기를 이용한 중간저장조 침수밸브 및 원자로공동 침수밸브를 구동하여 원자로공동을 충수한다. 원자로공동 충수를 위한 이동형 발전기, 충수를 위한 기타 장비를 보조건물로부터 92 m(100 yard) 이상 떨어진 곳에 보관한다. 원자로공동 충수를 확인할 수 있도록 대체 계측방법을 활용하여 원자로건물내재장전수탱크 수위를 측정한다.

#### 고압 이동형 살수차를 이용한 살수

방사성물질 누출을 최소화 할 수 있는 살수 수단을 제공한다. 고압 이동형 살수차를 이용한 살수전략은 인위적재해로 인해 발생하는 원자로건물 및 원자로냉각재계통의 손상으로 대량의 방사성물질이 누출되는 상황에서 적용한다. 원자로건물 및 보조건물에서 대량의 방사성물질 누출이 일어날 때 비상대응조직은 현장상황을 고려하여 누출지점을 파악

하고 고압 이동형 살수차를 사용하여 누출지점에 살수한다. 살수수원은 소내 화재방호계통을 이용하며 화재방호계통에 의한 살수 용수 확보가 불가능 한 경우, 소내 또는 소외의 보충수원으로부터 살수 용수를 확보한다. 살수를 위한 고압 이동형 살수차, 지원 장비, 또는 화재방호계통 연결을 위한 장비는 대상건물로부터 92 m(100 yard) 이상 떨어진 곳에 보관한다.



#### 4.1.3 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 다중고장사고 관리능력 평가보고서, 한국수력원자력(주)
2. 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서, 한국수력원자력(주)
3. 규제지침 9.13 발전소정전사고, KINS/RG-N09.13
4. 규제지침 16.1 다중고장에 의한 사고의 평가, KINS/RG-N16.01
5. 규제기준, 제3장 설계공통, KINS/RS-N03.00
6. 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가 종합보고서, 한국수력원자력(주)
7. Analysis of Loss of RHR Events during Reduced Inventory Operation for APR1400, 한국전력기술(주), 2015.
8. 신고리 5,6호기 인위적 광역손상 완화 기본운영지침서, 한국수력원자력(주)
9. 신고리 5,6호기 극한재해 관리능력 평가, 한국수력원자력(주)

## 4.2 중대사고 완화능력의 평가

신고리 5,6호기는 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제85조의22, 원자력안전위원회 고시 “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 제5조(노심의 현저한 손상 이후 발생하는 위협요인의 범위) 및 별표 2 “노심의 현저한 손상 이후 발생하는 위협요인”, 경수로형 원자력발전소 규제기준(참고문헌 1)에 근거하여 경수로형 원전의 중대사고 현상에 대한 완화능력을 평가한다. 본 절에서는 중대사고 완화 능력 평가와 관련하여 다음의 원자로건물 건전성 위협요인에 대한 중대사고 완화 능력 평가 결과를 기술한다(참고문헌 2).

- 가연성기체의 연소 또는 폭발
- 원자로건물 고온 또는 과압
- 노심용융물과 콘크리트의 반응
- 노심용융물의 고압 분출/원자로건물 직접가열
- 노심용융물과 냉각수의 반응
- 증기발생기 전열관 크리프 파손 등 원자로건물 격리경계 우회

### 4.2.1 가연성기체의 연소 또는 폭발

원자로건물에서 중대사고시 생성되는 가연성기체의 제어를 통해 연소 또는 폭발 가능성과 원자로건물의 방호벽기능을 보장할 수 있는지에 대해 평가한다.

#### 4.2.1.1 분석 목표

가연성기체의 연소 또는 폭발에 대해 평가하기 위해 100 % 핵연료피복재 금속-냉각수 반응에 등가하는 수소생성량에 대하여, 원자로건물 내 평균수소농도가 10 v/o 미만임을 확인한다. 또한 가연성기체 연소에 의한 과압이 발생하더라도 원자로건물의 방호벽기능유지를 확인한다.

#### 4.2.1.2 분석 방법론

공학적 판단과 확률론적 안전성평가 결과 등을 종합적으로 고려하여 선정한 사고경위에 대하여 [ ] 을 이용하여 수소 생성을 계산한다. 또한 원자로용기 파손 전 핵연료 피복재 금속 100 %와 물의 반응에 의한 수소 생성 및 방출을 고려하여 분석하였다.

가연성기체의 연소에 의한 과압은 단열등체적완전연소(AICC, Adiabatic Isochoric Complete Combustion) 분석 방법론에 따라 수소 연소하중을 분석하였다.

#### 4.2.1.3 분석결과

가연성기체 연소 또는 폭발 평가 결과 다양한 분석대상 사고 경위 하에서도 원자로건물 내 평균 수소농도가 10 v/o 미만으로 유지되어 원자로건물 내 가연성기체 제어 능력을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 가연성기체 연소 과압 평가 역시 가연성기체 연소에 의한 과압이 발생하더라도 원자로건물의 방호벽기능을 유지할 수 있는 것으로 평가되었다(참고문헌 2).

#### 4.2.2 원자로건물 고온 또는 과압

원자로건물은 중대사고 발생시 공중의 방사선 피해를 방지할 수 있는 가장 중요한 구조물이다. 원자로건물 고온 또는 과압 평가는 원자로건물이 사고 기간 동안 발생 가능한 원자로건물 고온 또는 과압 환경에서 핵분열생성물 누출에 대처할 수 있는 방벽기능을 유지할 수 있는 지를 평가한다.

##### 4.2.2.1 분석 목표

신고리 5,6호기 중대사고에서 발생할 수 있는 고온 또는 과압의 환경에서 원자로건물의 구조적 건전성이 유지되어 사고 기간 동안 핵분열생성물의 누출에 대처할 수 있는 방벽기능을 만족하는지 평가한다.

##### 4.2.2.2 분석 방법론

신고리 5,6호기 설계특성을 모사하기 위하여 [ ] 을 이용하여 중대사고의 영향을 정량적으로 분석한다. [ ] 의 입력문 및 매개변수는 신고리 5,6호기 설계사항들을 반영하여 작성한다. 원자로건물 성능평가는 공학적 판단과 확률론적안전성평가 결과 등을 종합적으로 고려하여 주요 사고경위를 선정하여 분석을 수행하였다.

##### 4.2.2.3 분석 결과

원자로건물 고온 또는 과압 분석결과에 따르면 모든 사고경위에서 원자로건물은 초기사건 발생 후 사고 대응 전략을 통한 최종열제거원 복구가 예상되는 72시간까지 핵분열생성물 방출 방벽 기능을 유지하는 것으로 확인되었다. 따라서, 신고리 5,6호기 원자로건물은 중대사고에 따른 고온 또는 과압 조건에서 핵분열생성물의 누출에 대처할 수 있는 방벽기능을 유지할 수 있는 것으로 확인되었다(참고문헌 2).

#### 4.2.3 노심용융물-콘크리트 반응

노심용융물-콘크리트 반응(MCCI, Molten Core-Concrete Interaction)은 원자로용기 파손 후 원자로공동에서 노심용융물의 온도가 콘크리트의 용융점을 초과하였을 때 접촉하는 콘크리트를 용융 및 분해시키는 중대사고 현상으로 잠재적으로 많은 양의 증기 및 비응축성 기체를 방출하여 원자로건물의 압력을 증가시킬 수 있으며, 고온의 용융물이 콘크리트를 침식시켜 원자로건물 건전성을 저해하는 원인이 될 수 있다.

##### 4.2.3.1 분석 목표

노심용융물-콘크리트 반응 평가는 노심용융물과 콘크리트의 반응에 따라 발생하는 비응축성 기체 및 증기에 의한 과압이나 콘크리트 용융관통 또는 원자로건물 라이너 파손에 의한 원자로건물 건전성의 위협요소에 대한 대처능력이 있음을 확인한다.

##### 4.2.3.2 분석 방법론

분석은 [ ] 을 이용하여 노심용융물-콘크리트 반응에 의한 원자로공동 바닥 및 측면 콘크리트 침식깊이 및 노심용융물 냉각여부를 정량적으로 평가한다. 분석 대상 사고경위는 공학적 판단과 확률론적 안전성평가 결과 등을 종합적으로 고려하여 선정하였다.

##### 4.2.3.3 분석 결과

노심용융물-콘크리트 반응 평가 결과, 원자로공동 내 노심용융물에 의한 바닥 및 측면 콘크리트의 침식깊이는 원자로건물 매설철판까지 도달하지 않으며, 그 이전에 노심용융물의 냉각이 완료되는 것으로 평가되었다. 따라서 노심용융물-콘크리트 반응에도 원자로건물의 건전성이 유지되는 것을 확인하였다(참고문헌 2).

#### 4.2.4 노심용융물 고압분출 및 원자로건물 직접가열

중대사고시 원자로압력용기 손상으로 인해 원자로공동으로 노심용융물이 분출되는 형태는 원자로냉각재계가 고압인 상태에서 분출되는 고압분출과 저압상태에서 분출되는 저압분출로 구분될 수 있다.

노심용융물 고압분출(HPME, High Pressure Melt Ejection) 현상은 노심 손상이 발생하는 중대사고시에 원자로냉각재계가 고온/고압으로 유지된 상태에서 원자로냉각재계가 파손되어 고온의 노심용융물이 원자로냉각재계통 외부로 분출되는 현상을 일컫는다. 노심용융물 분출에 이어 원자로냉각재계통 내 고압의 증기가 원자로공동을 경유하여 원자로건물로 방출되는 과정에서 노심용융물이 원자로건물 대기 중으로 이

송, 분산된다. 이렇게 원자로공동을 이탈한 고온의 노심용융물은 원자로건물 대기와 직접 접촉하여 급격한 열전달을 일으킴으로써 원자로건물을 가압하는데 이러한 현상을 원자로건물직접가열(DCH, Direct Containment Heating)이라 한다.

원자로건물직접가열에 의해 원자로건물에 가해지는 원자로건물직접가열 압력하중은 노심용융물의 방출량 및 원자로공동을 통과하는 방출분율, 원자로건물 대기 내의 입자이송과 열전달 및 기타 노심용융물 입자의 거동 등에 의해 지배되며, 특히 노심용융물이 고압분출되는 초기 과정 및 원자로공동구조물 형태에 따라 크게 달라진다.

#### 4.2.4.1 비상원자로감압 성능 평가

중대사고시 노심용융물 고압분출에 따른 원자로건물 직접가열 하중 대처 및 완화를 위해 원자로용기 파손이전 원자로냉각재계통 압력을 신속하게 감압시킬 수 있는 감압설비가 요구된다. 비상원자로감압계통은 중대사고시 원자로냉각재계통 급속감압기능을 수행한다.

##### 4.2.4.1.1 분석 목표

신고리 5,6호기 비상원자로감압 성능 평가는 비상원자로감압계통이 경수로형 원자력발전소 규제기준 등에 근거하여 다음의 요건을 준수하는지 평가한다.

- 가. 원자로냉각재계통이 고압으로 유지되는 사고시 충분히 감압시킬 수 있는 안전등급의 감압설비를 구비하여야 한다. 또한 고압노심용융사고 기간에 노심용융물의 고압분출 및 원자로냉각재계통 배관, 증기발생기 전열관 등의 크리프 파손을 방지할 수 있는 충분한 급속감압능력을 가져야 한다.
- 나. 노심용융물 고압분출에 따른 원자로건물 직접가열 현상을 완화시키기 위해서는 원자로용기 파손이전에 원자로냉각재계통 압력을 일정 수준 이하로 유지하여 원자로공동으로 분출된 노심용융물의 동반이탈을 적절히 줄일 수 있어야 한다.

##### 4.2.4.1.2 분석 방법론

신고리 5,6호기 설계특성을 모사하기 위하여 [ ] 을 이용하여 중대사고의 영향을 정량적으로 분석한다. [ ] 의 입력문 및 매개변수는 신고리 5,6호기 설계사항들을 반영하여 작성한다. 급속감압 성능 평가에서는 공학적 판단과 확률론적안전성평가 결과 등을 종합적으로 고려하여 사고경위를 선정하였으며, 선정된 사고경위에 대하여 비상원자로감압계통의 급속감압 능력 분석을 수행하였다.

#### 4.2.4.1.3 분석 결과

분석방법론에 따라 선정된 주요 사고에 대해 급속 감압 분석 결과 중대사고 진입 후 운전원이 적절한 시점에 비상원자로감압밸브를 수동개방하면 원자로용기 하부 파손 발생 시점에서 원자로냉각재계통 압력이 일정 수준 이하로 유지됨을 확인하였다(참고문헌 2).

#### 4.2.4.2 원자로건물직접가열 하중 평가

중대사고시 원자로건물직접가열에 의해 가해지는 압력하중은 원자로건물을 조기에 파손시킬 수 있는 중대사고 위험요소 또는 현상 중의 하나이다. 신고리 5,6호기는 노심용융물 고압분출 및 원자로건물직접가열 과정에서의 원자로건물 위험 요소를 완화할 수 있는 비상원자로감압계통의 급속감압 기능과 노심파편물 억류를 위한 원자로공동 설계를 갖추고 있다. 원자로건물직접가열에 의한 하중 평가는 원자로공동 침수와 같은 완화 효과를 고려하지 않고 노심용융물 고압분출을 가정하여 분석을 수행하였다.

##### 4.2.4.2.1 분석 목표

신고리 5,6호기에서 발생할 수 있는 원자로건물직접가열에 의해 가해지는 압력하중에서 원자로건물의 건전성을 평가한다.

##### 4.2.4.2.2 분석 방법론

직접가열 하중 평가에서 원자로냉각재계통 및 원자로건물 구조, 초기 노심물질의 양, 원자로용기 파손시 원자로냉각재계통 및 원자로건물의 열역학적 조건, 원자로용기 하부 공간에 존재하는 용융물의 양 그리고 원자로공동에서 노심용융물의 분산 특성에 관련된 초기조건 및 사고 시나리오는 미국 원자력규제위원회의 원자로건물직접가열 현안 해결 방법론을 준용하였다.

사고 시나리오는 상기 방법론에 따라 원자로건물직접가열 측면에서 3가지 한계사고를 선정하였으며, 이들 시나리오는 운전원 개입으로 원자로냉각재계통의 재가압이 발생하는 소형냉각재상실사고로 모사하며 각각 V, Va 및 VI로 명명하였다. 시나리오 V는 노심의 하부에 냉각수가 존재하는 경우에 전개되는 노심용융사고로 노심내 각질층이 형성되고, 각질층이 파괴되면 상당량의 노심용융물이 원자로 공동으로 방출되는 경우이다. 동 시나리오에서 파생된 시나리오 Va는 원자로건물살수계통이 정상적으로 작동하는 경우이다. 시나리오 VI는 원자로냉각재계통의 압력이 부분적인 재가압이 발생하는 사고이다.

각 시나리오에 대한 원자로건물직접가열에 의한 원자로건물 건전성 평가는 TCE/LHS(Two-Cell Equilibrium/Latin Hypercube Sampling) 모델을 사용하여 확률적으



로 계산된다.

#### 4.2.4.2.3 분석 결과

신고리 5,6호기 원자로건물직접가열에 의한 원자로건물 건전성 평가를 수행한 결과 원자로 건물직접가열에 따른 하중에 대해 신고리 5,6호기의 원자로건물 건전성이 유지됨을 확인하였다(참고문헌 2).

#### 4.2.5 노심용융물과 냉각수의 반응

노심용융물과 냉각수 반응(FCI, Fuel-Coolant Interaction)은 노심용융물이 주변의 냉각수에 열에너지를 전달하는 과정에서 발생할 수 있다. 냉각수와 접촉한 고온의 노심용융물은 파편화되어 급격한 증기폭발로 전개될 수 있다. 증기폭발은 노심용융물이 핵연료 영역으로부터 원자로용기 하부플레넘으로 재배치될 때 또는 원자로용기가 파손되어 원자로공동에 있는 냉각수로 노심용융물이 유입될 때 발생 가능하다.

노심용융물과 냉각수 반응 현상에 대한 광범위한 연구에 의하면 가압경수로에서 증기폭발의 발생 가능성은 매우 낮다고 평가되었다. 특히, 노내 증기폭발에 의해 발생하는  $\alpha$  모드 원자로건물 파손확률은 중대사고 전문가 그룹 1, 2차 회의(SERG-1, SERG-2)에서 무시할 만하고 위험관점에서 해결되었다고 결론지었기에 노외에서 발생하는 동적하중에 대한 원자로 공동 구조 건전성평가를 수행하였다.

증기급증 현상의 경우 원자로공동 지역에서 원자로용기 파손 부위를 통해 방출되는 노심용융물과 냉각수간의 비폭발성 반응으로 초기 급격한 열전달이 이루어져 증기가 발생하지만 노심용융물은 아래로 침전되어 폭발이 실패한 경우에 해당한 경우이며, 급격한 가압현상이 격납 건물에 미치는 영향을 평가하였다.

##### 4.2.5.1 분석 목표

신고리 5,6호기에서 발생할 수 있는 증기폭발하중 및 증기급증에 대한 원자로공동 건전성을 평가하여 구조적 건전성을 만족하는지 평가한다.

##### 4.2.5.2 분석 방법론

을 이용하여 공학적 판단과 확률론적안전성평가 결과 등을 종합적으로 고려한 사고경위의 초기조건을 분석한 후, 증기폭발이 가능할 것으로 예상되는 시나리오를 선정하여 증기폭발 분석을 수행하였다. 원자로공동 노외 증기폭발 위해도 평가는 보수적인 계산방법인 과 일차원 증기폭발 코드인 를 사용하여 수행하였다. 를 이용한 해석은 에너지 인덱스 개념을 도

입하였으며 별도의 불확실성 평가를 수행하였다.

중기급중 평가의 경우 [ ] 을 이용하여 수행하였으며, 노심용융물이 원자로용기 밖으로 방출되는 순간 격납 건물의 압력을 측정하여 건전성 평가를 하였다.

#### 4.2.5.3 분석 결과

노외 증기폭발 하중에 대한 구조 건전성 평가는 중대사고 관리능력평가 대상 사고경위를 고려하였으며, 증기폭발하중 및 증기급중에 영향이 큰 주요인자를 선정하여 평가를 수행하였다. 분석된 노외 증기 폭발하중에 대한 구조물의 평가 결과 원자로공동의 건전성이 유지되는 것으로 확인되었다(참고문헌 2).

#### 4.2.6 증기발생기 전열관 크리프 파손 등 원자로건물 격리경계 우회

증기발생기 전열관의 크리프 파손 등 원자로건물 격리경계 우회사고가 발생하는 경우, 원자로건물이 구조적으로 건전하더라도 핵분열생성물이 환경으로 직접 방출될 수 있기 때문에 적절한 완화 방안을 구비하여야 한다.

##### 4.2.6.1 분석 목표

원자로건물 격리경계 우회 능력 평가는 다음 사항의 만족 여부를 확인한다.

- 가. 원자로건물 격리경계 우회사건의 발생확률이 충분히 낮거나, 평가 결과 우회사건이 발생하지 않는다.
- 나. 원자로건물 격리경계 우회가 발생하였을 경우, 완화를 위한 설비가 확보·작동되어 부지 인근 주민의 방사선 피폭 선량이 허용기준을 만족한다.

##### 4.2.6.2 분석 방법론

분석 목표를 달성하기 위하여 다음과 같은 분석 방법론을 적용하여 평가하였다.

##### 가. 중대사고 진행 분석 수행

- 1) [ ] 을 사용한 원자로건물 격리경계 우회 평가
- 2) 공학적 판단과 확률론적 안전성평가 결과 등을 종합적으로 고려하여 선정한 사고 중 ① 원자로냉각재시스템의 압력이 상대적으로 고압인 사고경위와 ② 기타 중대사고로 유발되는 원자로건물 격리경계 우회 사고가 우려되는 사고경위 고려



나. 원자로건물 격리경계 우회 평가

- 1) 원자로건물 격리경계 우회사건의 발생확률이 충분히 작음을 입증
- 2) 또는, 완화를 위한 설비가 작동요구시간 이내에 확보되어 부지 인근 주민의 방사선 피폭선량의 허용기준 만족 여부 입증

4.2.6.3 분석 결과

분석결과, 원자로건물 격리경계 우회사건의 발생확률이 충분히 작거나 우회사고가 발생할지라도 완화를 위한 설비가 작동요구시간 내에 확보되어 핵분열생성물의 환경 직접 방출을 방지할 수 있음을 확인하였다(참고문헌 2).

4.2.7 참고문헌

1. 규제기준 제19장, 사고관리, KINS/RS-N09.00
2. "신고리 5,6호기 중대사고 관리능력 평가보고서", 한국수력원자력(주)

### 4.3 중대사고 예방 및 완화 설비의 기기생존성 평가

#### 4.3.1 중대사고 예방 설비의 평가

중대사고 예방 설비는 해당 사고로 인하여 발생하는 사고 조건에서 사고관리를 위하여 요구되는 기능을 수행할 수 있어야 한다. 설계기준사고에 대해서는 사고대응을 위한 기존의 안전등급 사고완화 계통 및 기기들의 내환경검증이 모두 완료되어 있으므로, 본 절에서는 다중고장사고와 설계기준으로 고려한 외적요인을 초과하는 자연재해에 대한 중대사고 예방 설비의 기기생존성 평가결과를 요약하였다. 상세 평가결과는 “신고리 5,6호기 기기생존성평가 프로그램 보고서”에 중대사고 완화 설비에 대한 기기생존성 평가 결과와 함께 수록되어 있다(참고문헌 1).

##### 4.3.1.1 다중고장사고

다중고장사고에 대한 중대사고 예방 설비의 기기생존성 평가결과는 다음과 같다.

###### 4.3.1.1.1 평가대상 설비 선정

신고리 5,6호기에서 중대사고 예방을 위해 사고관리의 대상으로 선정된 다중고장사고 각각에 대한 사고관리능력 분석 결과는 4.1.1절에 제시되어 있으며, 중대사고로의 진행을 방지하기 위해 다음과 같은 필수 안전기능 및 보조기능들이 요구되는 것으로 평가되었다.

- 원자로정지
- 반응도제어
- 원자로냉각재계통 재고량제어
- 원자로냉각재계통 압력제어
- 노심 및 원자로냉각재계통 열제거
- 원자로건물의 방사성물질 격리
- 사용후연료저장조내 핵연료의 냉각
- 기기냉각
- 수원 제공
- 전원 제공

각각의 다중고장사고에서 요구되는 안전기능을 수행하기 위한 주요 계통 및 기기 목록은 표 1.2-2에 정리되어 있다. 또한 선정된 각각의 주요 계통 내의 모든 성공경로를 기준으로 수동격리밸브 및 소구경 분기 배관 상에 있는 배기밸브, 배수밸브 등과 같이 작동이 요구되지 않는 밸브들은 배제하되, 중대사고 예방을 위해 안전기능을 수행하는 필수적인 기기들을 모두 선정하여 각 계통내의 상세기기목록을 작성하였다.

#### 4.3.1.1.2 다중고장사고 환경조건

중대사고 예방을 위해 사고관리의 대상으로 선정된 다중고장사고 중 원자로건물 내 환경에 영향을 주는 다중고장사고는 다음과 같다.

- 급수완전상실사고(TLOFW)
- 정지냉각기능 상실사고(LOSC)
- 안전주입계통상실을 동반한 소형냉각재상실사고(SBLOCA + SI Fail)

원자로건물 내 환경에 영향을 주는 다중고장사고시 원자로냉각재 방출에 따른 원자로건물 대기의 환경조건 분석을 위하여 설계기준사고의 원자로건물 압력 및 온도 분석에 사용되는 [ ] 전산코드 기반의 원자로건물 열수력 모델을 이용하였다. 설계기준사고시 보수적으로 고려된 초기조건, 가정 사항 및 세부모델을 다중고장사고에 대한 환경조건 분석에 동일하게 적용하여 분석한 결과, 정지냉각기능상실 사고 및 소형냉각재상실사고와 동시에 발생하는 안전주입 상실사고를 제외하고 다중고장사고에 대해서 원자로건물 온도 및 압력이 설계기준사고시 기기내환경 허용기준에 포괄됨을 확인하였다. 이에 따라 다중고장사고 대처 설비 중 원자로건물 내에 위치한 안전등급 설비에 대한 생존성평가 기준으로 설계기준사고에 대한 내환경기기검증 곡선을 적용하였다.

원자로건물에 위치하고 있는 안전등급 필수 대처설비들의 방사선 조건은 설계기준사고의 기기검증 조건을 기준으로, 상대습도는 원자로건물 최대 상대습도 100 %를 기준으로, 침수 조건은 설계기준사고 발생시의 최대 침수위를 기준으로 평가하였고, 화학적 환경조건은 원자로건물 살수계통이 작동하는 경우 설계기준사고시의 기기검증 살수환경조건을 적용하였다.

다중고장사고의 경우 일부 사고를 제외하고 사고로 인해 발전소 건물 내 환경조건에 영향을 미치지 않는다.

#### 4.3.1.1.3 기기생존성 평가 방법론

각 다중고장사고시에 사용되는 모든 필수 대처기기에 대하여 각각 해당 사고로 인해 유

발되는 환경조건에서 필수 안전기능을 유지하고 중대사고를 예방하는데 요구되는 기능을 수행할 수 있는지 여부를 평가하여야 한다.

이를 위하여 각 설비들의 위치에 따라 원자로건물 내와 원자로건물 외 구역으로 지역을 구분하고, 해당 다중고장사고 시나리오에 따라 구역별로 가혹환경이 유발되는지 또는 정상운전조건을 유지하는지 평가하였다. 또한 각 설비별로 작동이 요구되는 기간 동안의 해당 다중고장사고 환경조건에 따라 기존의 내환경검증 자료 또는 설계자료에 근거하여 기기생존성을 평가하였다.

다중고장사고시 압력 및 온도조건에 대해서는 시간경과에 따른 환경조건 추이를 살펴보면, 그 외 환경인자인 방사선, 상대습도, 침수 및 화학적 환경 등은 시간 경과에 따른 추이가 의미가 없으므로 발생 최대값을 기준으로 평가하였다.

다중고장사고에 사용되는 안전등급 설비는 다중고장사고시에 발생하는 환경조건이 설계기준사고시의 환경조건 허용범위 이내로 유지한다면 다중고장사고 조건에서 안전 기능을 수행할 수 있는 설비로 평가하고, 유지되지 않는 경우에는 해당기기에 대해서는 별도의 기기생존성평가를 수행하였다. 만일 환경검증을 수행하지 않는 기기라면 설계요건이 다중고장사고시의 환경조건을 포괄하는지 여부를 비교하여, 다중고장사고시의 환경 조건을 포괄하는 경우 해당 다중고장사고 환경조건에서 안전 기능을 수행할 수 있는 설비로 평가하였다.

#### 4.3.1.1.4 기기생존성 평가결과

신고리 5,6호기에서 중대사고 예방을 위해 사고관리의 대상으로 선정된 다중고장사고에 대해서 모든 필수 대처 설비에 대하여 설비별 작동요구 시간과 각 설비들이 위치한 발전소 내 구역의 다중고장사고 환경조건을 고려하여 기기생존성을 평가하였다.

중대사고 예방 기능을 수행하는 기기생존성 평가대상 기기 및 계기에 대해, 그 설치 위치에 따라 다음과 같이 세 가지 범주로 구분하여 기기생존성을 평가하였다.

- 원자로건물 내부에 있으며 설계기준사고 환경을 고려한 기기 및 계기
- 원자로건물 내부에 있으며 정상상태 환경을 고려한 기기 및 계기
- 원자로건물 외부에 설치된 기기 및 계기

원자로건물 내부에 있으며 설계기준사고 환경을 고려한 기기 및 계기는 설계기준사고의 환경조건 하에서 이미 검증이 되었고, 다음의 경우를 제외하고 다중고장사고의 환경조건이 설계기준사고 환경조건에 포괄됨을 확인하였으므로 다중고장사고의 환경에서 그 기능을 수행할 수 있을 것으로 판단되었다. 다만, 정지냉각기능 상실사고와 안전주입계통상실을 동반한 소형냉각재상실사고의 온도 환경조건의 경우 설계기준사고 환경조건을 일부

초과한다. 하지만 사고시 기능이 요구되는 기기에 대한 해당 온도환경에서의 평가 결과 기기생존성에 영향을 미치지 않는다. 또한 설계기준사고 환경의 방사선 값이 다중고장사고시의 방사선 환경조건 값보다 크므로 평가대상 기기 및 계기의 기기생존성에 영향을 미치지 않는다. 설계에 적용된 상대습도가 최대 100 %이므로 다중고장사고시 원자로건물 상대습도 역시 기기생존성에 영향을 미치지 않는다.

안전등급 기기 및 계기의 경우 설계기준사고에 의한 원자로건물 내부 바닥의 설계 최대 침수위 이상의 위치에 설치되어 있으므로 다중고장사고의 침수 환경조건이 기기생존성에 영향을 미치지 않는다. 설계기준사고시 원자로건물살수시스템의 작동에 따른 화학적 환경에 대한 평가를 통해 기기가 설계되었으므로 다중고장사고시의 화학적 환경은 기기생존성에 영향을 미치지 않는다.

원자로건물 내부에 있으며 정상상태 환경을 고려한 기기 및 계기의 경우 정상운전조건을 초과하는 SBLOCA with SI Fail 사고 시 기능이 요구되며 해당 사고의 환경조건을 포괄하도록 검증되어 있어 기기생존성에 영향을 받지 않는 것으로 평가되었다. 또한 해당 기기 및 계기는 다중고장사고에 의한 최대 침수위 이상의 위치에 설치되어 있어 침수위 영향도 받지 않는다.

원자로건물 외부에 있는 기기 및 계기의 경우 다중고장 사고로 인한 압력, 온도, 습도, 침수, 및 화학적 환경 등 대부분의 환경은 정상운전조건에 해당하며 이 환경에서 기기생존성에 영향을 미치지 않는다. 방사선 환경 역시 동 기기 및 계기들이 다중고장사고시의 방사선 환경조건 이상으로 설계되었으므로 기기생존성에 영향을 미치지 않는다.

#### 4.3.1.15 기기생존성평가 프로그램

다중고장사고시 중대사고 예방을 위해 사용되는 설비를 대상으로 체계적이고 합리적인 보증을 제공할 수 있는 기기생존성평가의 유지관리를 위하여 표준절차서 “기기생존성평가 프로그램 유지관리 절차서”에 따라 기기생존성평가 프로그램이 수립되고 이행된다. (참고문헌 2)

#### 4.3.1.16 시험 및 검사

다중고장사고시 중대사고 예방을 위해 사용되는 설비의 시험 및 검사에 대한 계획은 3.2절에 기술되어 있다.

#### 4.3.1.2 설계기준초과 자연재해

신고리 5,6호기에 영향을 줄 수 있는 설계기준초과 자연재해는 1.1.3절에서 제시된 바와 같이 다음의 일곱 개 범주로 분류된다.

- 설계기준초과 지진(지진동 0.3g)
- 설계기준초과 지진해일(재래주기 10,000년 빈도)
- 설계기준초과 폭풍해일(재래주기 10,000년 빈도)
- 설계기준초과 강우[가능최대강우(Probable Maximum Precipitation, PMP)의 1.5배]
- 설계기준초과 강풍(재래주기 10,000년 빈도)
- 설계기준초과 토네이도
- 설계기준초과 가능 최저해수위(재래주기 10,000년 빈도)

또한, 경수로형 원전 규제지침 19.2 “극한재해의 평가 및 완화지침서”에서는 일본 후쿠시마 사고의 경험을 바탕으로 최소한 극한재해로 인하여 원자로시설에서 최소한 발전소 안전등급 교류전력과 최종열제거원은 장기적으로 상실되는 손상이 발생하는 것으로 간주하도록 하고 있다. 따라서 설계기준초과 자연재해에 의해 발전소 안전등급 교류전력과 최종열제거원이 장기적으로 상실되는 사고 시나리오를 기본적으로 가정하고, 설계기준초과 자연재해에 의한 영향 평가 결과를 반영하여 사고대응을 위한 필수 대처 설비들에 대한 기기생존성 평가를 수행하였다.

#### 4.3.1.2.1 평가대상 설비 선정

설계기준초과 자연재해시 안전등급 교류전력과 최종 열제거원이 장기적으로 상실되는 사고에 대한 사고관리능력 분석 결과는 4.1.2.1절에 제시되어 있으며, 중대사고로의 진행을 방지하기 위해 다음과 같은 필수 안전기능 및 보조기능들이 요구되는 것으로 평가되었다.

- 반응도제어
- 전원제공
- 원자로냉각재계통 재고량제어
- 원자로냉각재계통 압력제어
- 노심 및 원자로냉각재계통 열제거
- 원자로건물 격리 및 제어
- 최종열제거원 제공

설계기준초과 자연재해에 의한 최종열제거원 상실사고를 동반한 장기간 발전소 교류전원 완전상실 사고시 요구되는 안전기능 들을 수행하기 위한 주요 계통 및 기기들이 표

1.2-3에 정리되어 있다.

발전소 안전정지 달성 및 유지를 위한 계통의 성공경로는 적어도 한 가지 이상이며, 가장 선호되는 성공경로를 포함한 모든 성공경로의 계통 및 기기를 고려하였다. 각 성공경로의 주배관에 있는 수동격리밸브 및 소구경 분기 배관 상에 있는 배기밸브, 배수밸브 등과 같이 사고완화를 위한 작동이 요구되지 않는 밸브들은 포함시키지 않고, 사고완화를 위해 안전기능을 수행해야 하는 필수적인 기기들을 기준으로 각 계통내의 상세기기목록으로 선정하였다.

#### 4.3.1.2.2 설계기준초과 자연재해 환경조건

설계기준초과 자연재해, 설계기준초과 자연재해에 따른 복합재해에 대한 영향 평가 결과는 각각 6.1.1 및 6.1.2에 기술되어 있다.

신고리 부지에서의 10,000년 빈도 지진동은 [ ] 로 [ ] 이하이며, 설계기준초과 자연재해시 중대사고 예방 기능을 수행하는 설비의 내진성능 값(HCLPF)은 [ ] 이상이다. 따라서 10,000년 빈도를 초과하는 0.3g 지진 발생시 필수대처기능 유지를 위한 주요설비 및 보조설비, 연료, 전원, 수원, 열제거원의 기기생존성에 영향을 주지 않는다. 원수저장조는 내진으로 설계되어 있어 [ ] 의 지진하중에서도 건전성 유지가 가능하다. 이동형 발전차를 포함한 이동형 설비들의 경우, 국내건축구조기준에 따라 영주기 수평지반가속도가 [ ] 인 이상인 설계응답스펙트럼으로 내진설계된 이동형 설비 통합보관고에 보관되므로 역시 기기생존성에 영향이 없다.

재현주기 10,000년 빈도의 지진해일 또는 폭풍해일 발생시 가능 최고 해수위는 부지정지고보다 낮은 것으로 평가되었다. 또한 안전관련 구조물 출입구에는 방수문을 설치하므로 설계기준초과 해일 및 강우 발생시 외부침수는 발생되지 않는다. 원자로건물 및 보조건물 외벽은 토네이도 비산물에 의한 영향을 방지할 수 있는 충분한 두께로 설계되었으며, 재현주기 10,000년 빈도의 강풍은 안전정지지진 하중에 의하여 설계된 원자로건물 및 보조건물의 안전성에 영향을 주지 못한다.

따라서 중대사고 예방 기능을 수행하는 설비는 설계기준을 초과하는 지진, 해일, 강우, 토네이도 및 강풍에 의한 자연재해 발생 시에도 기기생존성이 유지된다. 그러므로 설계기준 초과 자연재해에 의한 최종열제거원 상실사고를 동반한 장기간 발전소 교류전원완전상실 사고시 필수 대처기능 유지를 위한 주요설비 및 보조설비, 연료, 전원, 수원, 열제거원 등의 가용성은 자연재해에 의하지 않는 최종열제거원 상실사고를 동반한 장기간 발전소 교류전원완전상실 사고와 동일하다.

최종열제거원 상실사고를 동반한 장기간 발전소 교류전원완전상실 사고시 원자로냉각재 방출에 따른 원자로건물 대기의 환경조건 분석을 위하여 설계기준사고의 원자로건물 압



력 및 온도 분석에 사용되는 [redacted] 전산코드 기반의 원자로건물 열수력 모델을 이용하였다. 설계기준사고시 보수적으로 고려된 초기조건, 가정 사항 및 세부모델을 적용하여 분석한 결과, 원자로건물 온도 및 압력 곡선이 기존의 설계기준사고에 대한 내환경기기검증 곡선에 제한됨을 확인하였다.

원자로건물에 위치하고 있는 중대사고 예방설비들의 방사선 조건은 설계기준사고의 기기검증 조건을 기준으로, 침수는 급수완전상실, 정지냉각기능상실사고 및 소형냉각재상실사고와 동시에 발생하는 안전주입 또는 재순환상실사고에 대해 설계기준사고 발생시의 최대 침수위를 기준으로 평가하였고, 화학적 환경조건은 급수완전상실사고 및 정지냉각기능상실사고에 대해 설계기준사고의 기기검증 조건을 적용하였다.

최종열제거원 상실사고를 동반한 장기간 발전소 교류전원완전상실 사고시 보조건물의 필수 대차 기기 격실의 온도가 상승할 수 있다. 보조건물 격실 환경조건에 대해서는 최종열제거원 상실사고의 분석 결과를 준용하였다.

#### 4.3.1.2.3 기기생존성 평가 방법론

신고리 부지에 영향을 줄 수 있는 모든 설계기준초과 자연재해, 설계기준초과 자연재해에 따른 복합재해시 환경조건 평가 결과, 발전소 안전관련 구조물·계통·기기가 받는 영향은 없는 것으로 확인되었다. 즉, 대체교류디젤발전기상실을 포함한 소내정전과 최종열제거원상실 조건을 동반한 설계기준초과 자연재해 발생시, 필수대차기능 유지를 위한 주요설비 및 보조설비, 연료, 전원, 수원, 열제거원의 가용성은 자연재해를 동반하지 않은 단순한 최종열제거원 상실사고를 동반한 장기간 발전소 교류전원완전상실 사고와 동일하다.

따라서 설계기준초과 자연재해를 동반한 안전등급 교류전력과 최종 열제거원이 장기적으로 상실되는 사고에 대한 기기생존성 평가 방법론은 다중고장사고와 동일하며, 해당 내용은 4.3.1.1.3에 기술되어 있다.

#### 4.3.1.2.4 기기생존성 평가결과

설계기준초과 자연재해를 동반한 안전등급 교류전력과 최종열제거원이 장기적으로 상실되는 사고에 대해서는 평가대상으로 선정된 모든 필수 대차 설비에 대하여 설비별 작동 요구 시간과 각 설비들이 위치한 발전소 내 구역의 해당 사고 환경조건을 고려하여 기기생존성을 평가하였다.

중대사고 예방 기능을 수행하는 기기생존성 평가대상 기기 및 계기에 대해, 그 설치 위치에 따라 다음과 같이 세 가지 범주로 구분하여 기기생존성을 평가하였다.

- 원자로건물 내부에 있으며 설계기준사고 환경을 고려한 기기 및 계기
- 원자로건물 내부에 있으며 정상상태 환경을 고려한 기기 및 계기
- 원자로건물 외부에 설치된 기기 및 계기

각 범주에 속한 평가대상 기기 및 계기들에 대하여 다중고장사고시 기기생존성 평가와 동일한 논리로 각각의 기기생존성이 유지됨을 확인할 수 있으며, 또한 4.3.1.2.2절의 환경조건 평가에서 검토한 바와 같이 설계기준을 초과하는 지진, 해일, 강우, 토네이도 및 강풍에 의한 극한 자연재해 발생시에도 기기생존성에 영향을 미치지 않는다.

#### 4.3.1.2.5 시험 및 검사

설계기준초과 자연재해 및 인위적재해시 중대사고 예방을 위해 사용되는 설비의 시험 및 검사에 대한 계획은 본 보고서 3.2절에 기술되어 있다.

#### 4.3.1.3 인위적재해

테러행위와 같이 발생가능성을 예측할 수 없는 의도적인 항공기 충돌이 발생하여 원자로 비상정지, 보조급수계통 운전, 사용후연료저장조 냉각계통이 정상 작동되지 않으면 원자로 및 사용후연료저장시설 내 핵연료 손상을 초래할 수 있다. 그러나 신고리 5,6호기에서는 항공기 충돌 평가를 통하여 물리적 손상, 충격진동 손상, 화재 손상이 발생하더라도 필수안전기능 확보를 위하여 원자로건물 및 보조건물 외벽 보강, 충격진동 저감장치, 화재전파 방지 설비를 보강하여 필수안전기능이 보장됨에 따라, 항공기 충돌시 기기생존성은 검토하지 않는다.

인위적재해는 설계기준을 초과하는 테러 위협의 범위 및 시나리오를 특정할 수 없다. 신고리 5,6호기에서는 인위적재해 평가를 통하여 임의의 인위적재해시 필수안전기능 복구 및 유지를 위하여 고정형 설비 이용 전략 및 이동형 설비 이용 전략을 수립하였다. 고정형 설비 이용 전략은 고정형 설비가 인위적재해에 의해 직접적으로 손상받지 않고, 고정형 설비에 접근성이 유지되는 경우에 수행한다. 고정형 설비 이용 전략이 불가능할 경우 이동형 설비 이용 전략을 수행하며, 이를 통해 인위적재해 상황에서 요구되는 필수안전기능을 복구 및 유지한다. 따라서 인위적재해시 기기생존성은 이동형 설비에 대해 평가하며 고정형 설비의 기기생존성은 검토하지 않는다.

##### 4.3.1.3.1 평가대상 설비 선정

광역손상 완화전략에 사용되는 이동형설비는 저압 이동형 펌프, 고압 이동형 살수차, 이동형 호스, 10 kW 이동형 발전기, 30 kW 이동형 발전차, 이동형 계측기가 있다. 10

kW 이동형 발전기, 1 MW 이동형 발전차는 고정형 설비를 이용한 전략을 지원하기 위한 보조설비이다. 저압 이동형 펌프, 고압 이동형 살수차는 증기발생기 외부급수공급, 사용 후연료저장조 외부충수 및 외부살수 등 인위적재해 대응전략에 필요한 모든 기능을 수행할 수 있다. 따라서 저압 이동형 펌프, 고압 이동형 살수차, 이동형 호스, 이동형 계측기는 인위적재해 발생시 기기생존성이 유지되어야 한다.

#### 4.3.1.3.2 설계기준 초과 인위적재해 환경조건

4.3.1.3 절에서 기술한 바와 같이 항공기 충돌시 물리적 손상, 충격진동 손상, 화재 손상이 발생하더라도 필수안전기능 확보를 위하여 원자로건물 및 보조건물 외벽 보강, 충격진동 저감 장치, 화재 전파 방지 설비를 보강하여 한 구역의 필수안전기능을 수행하는 계통 및 기기의 건전성이 보장된다. 또한, 인위적재해의 경우 발생가능성 및 위협의 범위를 예측할 수 없으므로 환경조건을 정의할 수 없으나, 인위적재해시 필수안전기능 복구 및 유지를 위하여 고정형 설비 및 이동형 설비를 이용하는 필수안전기능을 복구 및 유지 전략을 수립하였다. 다만, 이동형 설비의 경우 고정형 설비(즉, 인위적재해 예상 지점)로부터 92 m(100 yard) 이내에 위치하는 경우에는 인위적재해에 의한 대규모 화재 및 폭발에 의해 건전성을 보장할 수 없으므로 92 m(100 yard) 이상 이격된 장소에 보관된다. 따라서, 기기생존성평가를 위하여 특정 환경조건에 대한 분석은 불필요하다.

#### 4.3.1.3.3 기기생존성 평가 방법론

인위적재해에 의한 화재 및 폭발에 의한 손상 여부를 확인하기 위해 인위적재해 광역손상 완화전략에 사용되는 기기의 배치와 필수안전기능을 수행하는 계통을 포함하는 건물과의 이격거리를 확인한다. 필수안전기능을 수행하는 계통은 원자로건물과 보조건물이 해당되며 이들 건물 최외곽으로부터 최소 92 m(100 yards) 이상 이격되어 있거나 인위적재해의 영향으로부터 기기를 보호할 수 있는 강화콘크리트 건물에 보관되고 있다면 해당 기기는 인위적재해에 의한 폭발 및 화재에 의한 영향으로 기능을 상실하지 않는 것으로 평가한다.

#### 4.3.1.3.4 기기생존성 평가결과

인위적재해시 화재 및 폭발에 의한 손상 여부를 확인하기 위해 이동형 설비 이용 전략에 사용되는 기기와 고정형 설비가 위치한 건물과의 이격거리를 확인하였다. 인위적재해에 의해 고정형 설비의 기능이 상실되어 이동형 설비 이용 전략이 요구되는 경우, 이동형 설비는 고정형 설비가 위치한 건물로부터 최소 92 m(100 yards) 이상 이격된 지점에 보관되어 있으므로 인위적재해시 이동형 설비는 건전한 것으로 평가되었다.

#### 4.3.1.3.5 시험 및 검사

설계기준 초과 인위적재해시 중대사고 예방을 위해 사용되는 설비의 시험 및 검사에 대한 계획은 본 보고서 3.2절에 기술되어 있다.

#### 4.3.2 중대사고 완화 설비의 평가

중대사고 완화설비에 대한 기기생존성 평가는 중대사고시 발전소를 안전하고 안정된 상태로 유지하는데 필요한 기기 및 계기들의 이용가능성을 노심손상 후 원자로건물 환경조건에서 평가하는 것을 목적으로 한다. 중대사고시 원자로건물은 가연성기체를 포함하는 고온, 고압, 고방사능의 열악한 환경조건이 될 수 있다. 국부적인 또는 전체적인 가연성기체의 연소가 발생할 수도 있다. 중대사고가 발생하더라도 공공의 피해가 최소화 될 수 있음을 입증하기 위해서는 중대사고 완화설비가 해당 환경조건에서 요구되는 기간 동안 의도된 기능을 수행할 수 있음을 보여야 한다.

##### 4.3.2.1 평가대상 설비 선정

중대사고 완화설비에 대한 기기생존성 평가대상 기기 및 계기의 선정절차는 중대사고 완화 기능을 수행하는 기기생존성 대상계통을 선정하고, 각 계통에서 중대사고시 생존하여야 할 기기 및 계기를 선정하고, 이들 기기 및 계기에 대한 부속기기를 파악하여, 최종적으로 기기생존성 평가대상 기기 및 계기 목록을 작성하는 것으로 진행된다. 선정된 기기생존성 평가대상 기기 및 계기는 기능 요구 기간을 고려하여 기기생존성 평가를 수행한다.

중대사고시 요구되는 기기생존성 대상기능은 다음과 같다.

- 가. 원자로 안전정지 기능
- 나. 중대사고 현상 및 결과의 완화 기능
- 다. 원자로건물 건전성 유지 기능
- 라. 중대사고시 발전소 상태 감시 기능
- 마. 중대사고 완화 전략 수행 지원 기능

중대사고에서 요구되는 대상기능을 수행하기 위한 설비 목록은 표 1.2-4에 정리되어 있다. 해당 목록에서 필수 계통을 기기생존성 평가 대상계통으로 선정하였으며 각 계통에서 중대사고시 생존해야 하는 기기 및 계측기를 선정하였다.

##### 4.3.2.2 중대사고 환경조건

중대사고 완화설비에 대한 기기생존성 평가대상 기기 및 계기에 적용하는 환경조건은 다

음 변수를 포함하여 적용한다.

- 가. 온도(가연성기체의 연소, 고에너지배관 파단, 에어로졸 침적 등의 영향 포함)
- 나. 압력(중대사고 현상에 따른 동적 및 정적 압력 포함)
- 다. 습분 또는 습도
- 라. 방사선(기기의 재료 특성과 관련한 방사선의 종류 고려 포함)
- 마. 침수(초기사건 및 사고관리 전략 수행에 따른 침수 포함)
- 바. 화학물질(살수용액에 포함된 화학성분, 에어로졸 거동 등의 영향 포함)

원자로용기 내부 및 원자로건물의 환경조건에 대해 원자로용기 파손 전과 후로 구분하여 적용한다. 원자로용기 파손전의 환경조건은 원자로 안전정지에 필요한 기기들에 대한 기기생존성을 평가하는데 사용되며 원자로용기 내부 환경조건과 원자로건물 환경조건으로 구분된다. 원자로용기 파손후의 환경조건은 원자로건물 건전성을 유지하기 위한 기기들에 대한 생존성 평가에 사용되며 원자로건물 환경조건에 국한된다.

중대사고시 원자로냉각재계통 및 원자로건물 내에 있는 기기 및 계기의 생존성 평가를 위한 환경조건 분석은 [ ] 을 사용하여 수행되었다. 기기생존성 환경조건 분석을 위한 중대사고 시나리오는 확률론적 안전성 평가에서의 사고경위별 노심손상 빈도에 기초한 확률론적 방법론 및 결정론적 방법론에 따른 주요 초기사건을 적용하여 사고경위를 선정하였다.

중대사고 환경조건 분석 결과를 바탕으로 전체 사고경위를 포괄할 수 있는 격실 온도 곡선을 생산하였으며, 전체 시나리오에 대한 최대 압력을 도출하였다. 또한 중대사고 기간 중 방사성핵분열생성물 방출에 따른 격실별 누적 방사선량을 평가하였으며 이동형 설비에 의한 냉각수 주입 및 ECSBS 작동을 고려한 최대 침수위를 도출하였다. 중대사고 기간 중의 원자로건물 상대습도는 100 %로 가정하였으며, 화학적 조건은 원자로건물 살수시 기존 원자로건물살수계통에서 사용하는 봉산수를 동일하게 사용할 것으로 가정하여, 설계기준사고시의 기기검증 살수환경 조건을 적용하였다(참고문헌 1).

#### 4.3.2.3 기기생존성 평가방법론

중대사고 완화설비에 대한 기기생존성 평가 방법에는 해당 기기/계기가 설치되는 위치에서의 중대사고 환경조건과 기기공급자 자료와의 비교평가, 기기생존성 관련 연구기관들의 연구 및 실험결과와의 비교평가, 해석적 방법, 대체수단을 적용한 방법 등이 있다.

##### 기기공급자 제시자료와의 비교 평가

기기공급자 제시자료를 바탕으로 한 기기생존성 평가는 다음과 같은 방법론을 적용하여 진행된다.

- 가) 기기공급자의 제시 자료와 중대사고 환경조건을 비교 검토하여 기기생존성 평가를 수행하며 다음의 경우 중대사고 환경조건에서 생존 가능한 것으로 판단
- 중대사고 환경조건 < DBA EQ Test
  - 중대사고 환경조건 < Type Test의 최대 압력/온도
  - 중대사고 환경조건 < 기기의 재질 중 온도에 취약한 Non-metal(Organic) Material의 Degradation Temp.
- 나) 기기공급자가 제시한 자료가 중대사고 환경조건을 만족하지 못할 경우 기기생존성 평가 환경조건을 공급자에게 제시하여 기기생존성 여부 확인

#### 기기생존성 시험자료에 기초한 기기생존성 평가

중대사고시 기기생존성과 관련한 주요 연구 및 실험 결과는 주로 수소연소 및 고방사선 환경에서 전기케이블, 계측기, 데이터송수신기, 밸브 등의 생존성에 관한 것이다. 이들 연구 및 실험은 주로 미국 Sandia 국립연구소, EPRI 및 HCOG에서 수행되었으며, 대표적인 실험으로는 NTS 실험, CRTF 실험, SCETCh 실험, HCOG 1/4 Scale 실험 등이 있다. 대부분의 중대사고 환경조건을 모의한 실험에서 기기들의 작동성이 확인되었다. 기기생존성 평가대상 기기에 대한 중대사고 환경조건과 이들 실험 결과를 비교 검토하여 기기생존성을 평가한다.

#### 해석적 방법을 사용한 기기생존성 평가

중대사고시 원자로건물 대기의 환경조건(온도)은 수소 연소에 의해 일시적으로 높으나 기기 표면에서는 열전달로 인해 온도가 낮아지게 된다. 즉, 원자로건물 대기와 기기 표면 및 기기 내부의 온도 구배에 기초한 해석적 평가 방법론, 열지연 분석(Simplified Thermal Lag Analysis), 을 사용하여 기기생존성을 평가한다.

#### 대체 수단을 적용한 기기생존성 평가

기기생존성 평가 대상 기기가 고온 지역 또는 원자로건물 내 수소연소로 인한 화염 지역에 설치되어 있을 경우, 이 기기의 설치 위치를 완화된 환경조건 또는 비 화염지역으로 변경하여 기기생존성을 평가한다.

기기생존성 평가 대상 기기가 열악한 환경조건에 설치되어 있고 기기의 설치 위치를 변경하지 못할 경우, 다음과 같은 방식을 적용하여 기기생존성을 평가한다.

- 가. 전기케이블의 경우, 높은 온도 조건에서 기능을 보장하기 위해 방화랩 설치 또는 Embedment에 설치
- 나. 필요시, 화염의 전파를 방지하고 기기를 보호하기 위해 기기에 소염망 설치

다. 다중 트레인 기기 및 계기의 경우, 최소 1 트레인 기기/계기를 생존케 하는 전략 적용

#### 4.3.2.4 기기생존성 평가 결과

중대사고 완화설비에 대한 기기생존성 평가 대상 기기 및 계기는 그 설치 위치에 따라 다음과 같이 다섯 가지 범주로 구분하여 기기생존성을 평가하였다.

- 가. 원자로냉각재계통내에 있는 감지 부품을 가진 계기
- 나. 원자로냉각재계통에 접하는 기기 및 계기
- 다. 원자로건물 내부에 있는 기기 및 계기
- 라. 원자로건물 경계에 있는 관통부
- 마. 원자로건물 외부에 있는 기기 및 계기

##### 원자로냉각재계통 내에 있는 감지부품을 가진 계측기

원자로냉각재계통 내에 있는 감지부품을 가진 계측기로는 노심출구열전대, 고온관 및 저온관 저항식 온도감지기 등이 있으며, 동 범주에 속하는 계측기는 중대사고 환경조건에서 요구되는 기간동안 의도된 기능을 수행할 수 있는 것으로 평가되었다.

##### 원자로냉각재계통에 접하는 기기 및 계측기

원자로냉각재계통에 접하는 기기 및 계측기로는 가압기 POSRV, 비상원자로감압밸브, 원자로냉각재계통 압력전송기, 가압기 압력전송기 등이 있으며, 동 범주에 속하는 기기 및 계측기들은 중대사고 환경조건에서 요구되는 기간동안 의도된 기능수행에 영향을 미치지 않는다.

##### 원자로건물 내부에 있는 기기 및 계측기

원자로건물 내부에 있는 기기 및 계측기로는 원자로건물 고준위방사선감시기, 일차시료 채취계통 격리밸브, 피동측매형수소재결합기, 수소점화기, 원자로건물 온도감지기, 원자로건물 수소감시기 인입밸브, 원자로공동침수계통의 MOV, 비상원자로건물살수보조계통 등이 있으며, 동 범주에 속하는 기기 및 계측기는 중대사고 환경조건에서 요구되는 기간동안 의도된 기능을 수행할 수 있는 것으로 평가되었다.

##### 원자로건물 경계에 있는 관통부

원자로건물 경계에 있는 관통부로는 원자로건물 기기반입구 및 인원출입구, 전기관통부, 기계관통부 등이 있으며, 동 범주에 속하는 기기는 중대사고 환경조건에서 요구되는 기

간동안 의도된 기능을 수행할 수 있는 것으로 평가되었다.

#### 원자로건물 외부에 있는 기기 및 계측기

원자로건물 외부에 있는 기기 및 계측기로는 보조급수계통, 안전주입계통, 원자로건물살수계통, 원자로건물 압력전송기, IRWST 수위감지기, 원자로건물 수소감시기 및 중대사고 완화 전략의 수행을 지원하는 계통 등이며, 동 범주에 속하는 모든 기기 및 계측기는 원자로건물 외부에 설치되어 중대사고 환경조건에 노출되지 않기 때문에 기기생존성에 영향이 없는 것으로 평가되었다.

#### 평가결과

신고리 5,6호기는 중대사고시 발전소를 안전하고 안정된 상태로 유지하기 위하여 생존하여야 할 기기 및 계기들을 합리적 보증(Reasonable Assurance)에 기초한 기기생존성 평가 방법을 사용하여 기기의 생존 여부를 평가한 결과, 모든 평가대상 기기 또는 계측기가 중대사고 환경조건에서 필요한 시간동안 의도된 기능을 수행할 수 있는 것으로 평가되었다(참고문헌 1).

#### 4.3.2.5 기기생존성 확보조치

신고리 5,6호기의 경우 모든 평가대상 기기 또는 계측기에 대하여 기기생존성이 확인되었거나 대체 변수의 감시를 통해 의도된 기능을 수행할 수 있는 것으로 확인되었으므로 추가적인 기기생존성 확보조치는 불필요하다.

#### 4.3.2.6 기기생존성평가 프로그램

중대사고 완화를 위해 사용되는 설비를 대상으로 체계적이고 합리적인 보증을 제공할 수 있는 기기생존성평가의 유지관리를 위하여 표준절차서 “기기생존성평가 프로그램 유지관리 절차서”에 따라 기기생존성평가 프로그램이 수립되고 이행된다. (참고문헌 2)

#### 4.3.2.7 시험 및 검사

중대사고 완화를 위해 사용되는 설비의 시험 및 검사에 대한 계획은 본 보고서 3.2절에 기술되어 있다.



#### 4.3.3 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 기기생존성평가 프로그램 보고서, 한국수력원자력(주)
2. 표준절차서, 기기생존성평가 유지관리, 한국수력원자력(주)

#### 4.4 사고 영향의 평가

사고 영향의 평가는 다중고장사고, 설계기준을 초과한 외부재해, 중대사고 발생시 제한구역 경계에서 부지 인근 주민의 방사선 피폭선량을 결정론적 방법으로 평가하고 평가된 피폭선량이 원자력안전위원회 고시 제2017-34호(원자로.42) “사고관리 범위 및 사고관리능력 평가의 세부기준에 관한 규정” 제8조(사고 영향의 평가)를 만족하는지 평가하기 위한 목적으로 수행하였다.

##### 기상자료 및 대기확산인자

사고 영향 평가에 사용되는 대기확산인자는 현실적인 가정 및 방법론을 적용하기 위해 선행 원자로시설 환경영향평가 인허가에 적용한 방법을 준수하였다. 이 방법에 따라 방향별 50백분율수(percentile)에 해당하는 대기확산인자 값과 방향을 고려하지 않는 부지 전체의 50백분율수에 해당하는 대기확산인자 값 중 큰 값으로 사용하였다. 대기확산인자 산출을 위한 기상자료는 서울부지에서 2017년 1월 1일부터 2018년 12월 31일까지 2년 동안 관측된 10 m 기상자료를 이용하였다.

사고 후 30일까지의 제한구역경계에서의 대기확산인자 평가는 미국 규제지침서(Regulatory Guide) 1.145의 방법론을 기준으로 실제 기상조건을 적용하여 수행하며 TEDII-60 전산프로그램을 이용하였다.

대기확산인자( $X/Q$ )는 대기안정도, 풍향 및 풍속의 빈도분포를 나타내는 결합빈도분포(Joint Frequency Distribution)를 사용하여 제한구역경계에서 방향 및 시간대 별로 지표면에서의 상대적 방사능 농도로 평가한다. 또한 대기로 방출되는 방사성물질이 방사능운의 중심선을 따라 정규분포를 이루며 방출점과  $X/Q$  값이 계산되는 모든 지점들 사이에서 방사능운이 직선 이동하는 것으로 가정하여 계산된다.

TEDII-60 전산프로그램은 제한구역경계에서 16개 방향 별로 풍속과 대기안정도의 각 조합에 따른  $X/Q$  값을 계산하고, 이를 각 방향별 크기순으로 나열하여 누적빈도분포를 계산한다. 계산된 값으로부터 해당 방향별 50백분율수에 해당하는  $X/Q$  값을 선정하고 이들 중 가장 큰 값이 미국 규제지침서 1.145에 언급된 최대 방향  $X/Q$  값으로 이용된다.

상기의 방법과 동일한 방법으로 방향에 무관하게  $X/Q$  값의 누적빈도분포를 구하여 전체 빈도의 50백분율수 이상의 빈도를 갖는  $X/Q$  값을 결정하고 이 값과 방향별 최대  $X/Q$  값중 큰 값이 사고 후 2시간 동안의  $X/Q$  값으로 결정된다. 중간 시간대의  $X/Q$  값은 미국 규제지침서 1.111에 기술된 연평균  $X/Q$  값과 2시간대의  $X/Q$  값을 대수적으로 내삽하여 결정된다.

TEDII-60의 평가방법은 미국 규제지침서 1.4의 보수적인 평가방법보다 좀 더 실제에 가깝게 수정된 미국 규제지침서 1.145의 방법을 이용한 것으로 건물의 와류효과와 풍속이 6 m/s

보다 작고 대기안정도가 D, E, F, G형일 때 발생하기 쉬운 사행효과(Meandering Effect)가 고려되는데, 그 식들은 다음과 같다.

$$\chi/Q = \frac{1}{U_{10}(\pi\sigma_y\sigma_z + A/2)} \quad (1)$$

$$\chi/Q = \frac{1}{U_{10}(3\pi\sigma_y\sigma_z)} \quad (2)$$

$$\chi/Q = \frac{1}{U_{10}(\pi\Sigma_y\sigma_z)} \quad (3)$$

여기서,

$\chi/Q$  : 대기확산인자(sec/m<sup>3</sup>)

$U_{10}$  : 지상 10 m에서의 평균풍속(m/sec)

$\sigma_y, \sigma_z$  : 수평 및 수직 확산계수(m)

$A$  : 건물의 최소 단면적(m<sup>2</sup>)

$\Sigma y$  : 대기안정도, 풍속, 풍하거리의 함수로 사행효과를 고려한 수평 확산 보정인자

지표면 방출에 있어서 대기안정도가 중립 또는 안정이고 풍속이 6 m/s 이하일 때는 식 (1)과 (2)에서 계산된  $\chi/Q$  값 중 큰 값을 선택하고 이 값과 식 (3)에서 계산된 값 중 작은 값을 사고 후 2시간 내의  $\chi/Q$  값으로 결정한다. 그 외의 기상조건의 경우에는 식 (1)과 (2)에서 계산된  $\chi/Q$  값 중 큰 값을 사고 후 2시간 내의  $\chi/Q$  값으로 결정한다.

한편, 중간 시간대의  $\chi/Q$ 를 결정하기 위한 연평균 대기확산인자는 다음 식에 의하여 계산된다.

$$\chi/Q = \frac{2.032}{x} \sum_{ij} F_{ijk} [U_{10}(\sigma_{zj}^2(x) + C \cdot D^2/\pi)^{1/2}]^{-1} \quad (4)$$

$$\chi/Q = \frac{2.032}{x} \sum_{ij} F_{ijk} [\sqrt{3} U_{10} \sigma_{zj}(x)]^{-1} \quad (5)$$

여기서,

$\chi/Q$  : 대기확산인자(sec/m<sup>3</sup>)

$x$  : 풍하거리(m)

$F_{ijk}$  : 풍속군  $i$ , 대기안정도  $j$  및 풍하방향  $k$ 에 대한 바람의 결합빈도분포

$U_{10}$  : 지상 10 m에서의 평균풍속(m/s)

$D$  : 건물높이(m)

$C$  : 건물의 와류효과를 고려한 회석상수(0.5)

$\sigma_{zj}$  : 안정도별 연직확산계수

상기 두 식으로부터 계산된  $\bar{X}/Q$  값 중 큰 값이 연평균 대기확산인자로 사용되며 앞에서 결정된 사고 후 2시간대의  $\bar{X}/Q$  값과 연평균  $\bar{X}/Q$  값을 대수적으로 내삽하여 중간 시간대 (0~2시간, 2~8시간, 8~24시간, 1~4일, 4~30일)의  $\bar{X}/Q$  값을 결정한다.

#### 선량환산인자

본 보고서에서 사용하는 내부피폭 선량환산계수는 ICRP-72(참고문헌 1)를 사용하며, 방사능운 및 지표오염에 의한 외부피폭 선량환산계수는 Federal Guidance Report 13(참고문헌 2)에 제시된 값을 사용한다.

#### 호흡률

제한구역경계에서 호흡률은 RG 1.183(참고문헌 3)에 따라 사고 후 0~8시간에  $3.5 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/sec, 8~24시간에  $1.8 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/sec, 1일~30일에  $2.3 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/sec를 적용한다.

#### 피폭경로

방사성물질의 대기방출에 의한 피폭선량 평가는 다음 피폭경로를 고려한다.

- 1) 방사능운으로부터 직접 외부피폭
- 2) 오염 공기 흡입에 의한 내부피폭
- 3) 지표 오염으로부터 직접 외부피폭

#### 피폭선량 계산 전산코드

방사능운으로부터 직접 외부피폭 및 오염공기 흡입에 의한 내부 피폭 선량을 계산할 때는 RADTRAD 전산코드를 사용한다. 동 전산코드는 미국 샌디아 국립연구소에서 미국 원자력규제위원회의 지원으로 개발되어, 미국 신규 원전 및 가동 중 원전의 설계기준사고 방사선 결말 분석용으로 널리 사용되고 있고, 국내 원전에서도 APR+ 표준심사와 건설원전의 설계기준사고, 한울3,4 및 신한울1,2 사고관리계획서의 방사선결말 분석코드로 사용한 사례가 있다.

지표오염으로부터 직접 외부피폭 선량은 RADTRAD 전산코드에서 계산된 소외방출량을 이용하여 수 계산으로 평가한다.

#### 4.4.1 다중고장에 의한 사고 영향의 평가

##### 4.4.1.1 선량 평가 대상 사고

다중고장사고에 의한 사고 영향의 평가는 원자력안전위원회 고시 “사고관리 범위 및 사고관

리능력 평가의 세부기준에 관한 규정”에서 규정하고 있는 9가지 다중고장사고를 필수적으로 고려한다.

원자력안전위원회 고시 사고 중 본 보고서에 고려한 선량평가 대상 사고는 4.4.1.3절에 제시된 5개 사고이며 그 외의 사고의 방사선 결말 분석은 선량 평가 대상 사고 결과에 제한된다.

#### 4.4.1.2 소외선량 평가시 가정사항

다중고장사고 선량평가는 다음의 가정 사항을 고려하여 평가를 수행한다.

- 방사능 누출은 배출지점에 무관하게 지표면 방출로 간주한다.
- 피폭 대상은 국제방사선방호위원회(ICRP)에서 권고한 표준인으로 한다.
- 방사능운이 제한구역경계로 이동하는 동안 방사능 붕괴는 없는 것으로 간주한다.
- 원자로냉각재계통 내 초기 방사성핵종농도는 운영기술지침서 운전제한치를 기준으로 한다. 이 운전제한농도를 I-131의 등가선량으로 환산하면  $3.7 \times 10^4$  Bq/g ( $1.0 \mu$  Ci/g)과 같다. 불활성기체와 세슘의 방사성핵종농도는 운영기술지침서의 총 비방사능 제한치인  $3.7 \times 10^6$  E-bar Bq/g에 따라 계산한다.
- 사고 전 요오드 스파이크(iodine spiking)로 인한 원자로냉각재 내 등가 I-131의 농도는 운영기술지침서상의 운전제한치인 2.2 MBq/g( $60 \mu$  Ci/g)으로 가정한다.
- 이차계통 내 초기 방사성핵종농도는 운영기술지침서 운전제한치를 기준으로 한다. I-131의 등가선량으로 환산하면  $3.7 \times 10^3$  Bq/g( $0.1 \mu$  Ci/g)과 같다.
- 증기발생기에서 대기로의 방사능방출 계산에서는 증기발생기 1차측에서 2차측으로의 증기발생기 전열관 누설을 고려하며, 전열관누설률은 운영기술지침서에 제시된 2.27 L/min( $0.6$  gpm)을 가정한다. 누설냉각재의 밀도는  $1.0 \text{ g/cm}^3$ ( $62.4 \text{ lbm/ft}^3$ )으로 사고 전 기간 동안 동일하다고 가정한다.
- 제한구역경계에서 호흡률은 RG 1.183에 따라 사고 후 0~8시간에  $3.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$ , 8~24시간에  $1.8 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$ , 1일~30일에  $2.3 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sec}$ 를 적용한다.
- 증기발생기를 통하여 환경으로 방출되는 요오드의 화학적 형태는 RG 1.183에 따라 원소형 97 %, 유기형 3 %로 가정한다.
- 증기발생기가 고갈되는 경우에는 증기발생기 내의 방사성핵종의 제염계수를 1로 가정한다. 증기발생기 전열관이 파단되어 전열관으로부터 누설되는 1차 냉각재 증기화되는 분율을 계산하여 기화된 냉각재에 대해서는 제염계수 1을 가정한다. 증기발생기가 고갈되지 않을 경우 증기발생기의 물과 증기 사이의 제염계수는 요오드와 세슘핵종에 대하여 100으로 가정한다.

#### 4.4.1.3 소외선량 평가 결과

##### 증기발생기 전열관 다중파단사고 선량 평가

증기발생기 전열관 다중파단사고의 선량 평가는 사고 전 요오드 스파이크를 고려하여 평가한다. 사고 후 운전원이 파단측 증기발생기를 격리시키고, 정지냉각 진입조건에 도달하여 방사성물질 방출이 종료되는 시점까지 선량을 평가하였다. 운영기술지침서에 명시된 증기발생기 누설률은 건전한 측 증기발생기를 통하여 누설된다고 가정하였다. 제한구역경계에서 평가된 유효선량은 원자력안전위원회 고시에 근거한 중대사고 예방단계의 방사선 피폭선량 관리기준 이하이다(참고문헌 4).

#### 급수완전상실사고 선량 평가

급수완전상실사고의 선량 평가는 사고 전 요오드 스파이크를 고려하여 평가한다. 사고 후 증기발생기를 통하여 사고시 증기발생기 누설률에 따라 1차 냉각재가 누설되어 환경으로 방출된다. 원자로건물 내부로 1차 냉각재가 대량 방출되고 방출된 방사성물질은 DBA LOCA의 가정사항과 같이 사고 후 1일 동안 설계누설률인  $0.1 \text{ v\%/day}$ 로 환경으로 방출되며 이 후에는 설계누설률의 절반 값으로 방출된다고 가정한다. 사고 기간은 DBA LOCA의 평가기간인 30일로 가정한다. 방사성물질의 방출이 종료되는 시점까지 제한구역경계에서 평가된 유효선량은 원자력안전위원회 고시에 근거한 중대사고 예방단계의 방사선 피폭선량 관리기준 이하이다(참고문헌 4).

#### 정지냉각기능상실사고 선량 평가

정지냉각기능상실사고의 선량 평가는 원자로가 정지한 상태에서의 정지냉각기능상실을 가정한 사고이므로 운전 중에 발생하는 사고와 달리 원자로 냉각재의 온도, 압력이 정상운전시 보다 낮아 사고전·후 요오드 스파이크가 발생할 가능성은 낮다. 따라서 정지냉각기능상실사고의 평가는 1차냉각재의 농도로 운영기술지침서에 제시된 운전제한치를 고려하여 평가한다. 사고 30분 후 운전원이 원자로건물을 격리하고 이후 사고 후 1일 동안 설계누설률인  $0.1 \text{ v\%/day}$ 로 환경으로 방사성물질이 방출되며 이 후에는 설계누설률의 절반 값으로 방출된다고 가정한다. 방사성물질의 방출이 종료되는 시점까지 제한구역경계에서 평가된 유효선량은 원자력안전위원회 고시에 근거한 중대사고 예방단계의 방사선 피폭선량 관리기준 이하이다(참고문헌 4).

#### 소형냉각재상실사고와 동시에 발생하는 안전주입 또는 재순환상실사고 선량 평가

소형냉각재상실사고와 동시에 발생하는 안전주입 상실사고의 선량 평가는 사고 전 요오드 스파이크를 고려하여 평가한다. 사고 후 증기발생기 누설률에 따라 1차 냉각재가 누설되어 환경으로 방출되며, 증기발생기와 복수기를 통하여 환경으로 2차계통 증기가 방출된다. 사고시 원자로건물 내부로 1차 냉각재가 대량 방출되고 사고 후 1일 동안 설계누설률인  $0.1 \text{ v\%/day}$ 로 환경으로 방사성물질이 방출되며 이 후에는 설계누설률의 절반 값으로 방출된다고 가정한다. 사고 기간은 DBA LOCA의 평가기간인 30일로 가정한다. 방사성물

질의 방출이 종료되는 시점까지 제한구역경계에서 평가된 유효선량은 원자력안전위원회 고시에 근거한 중대사고 예방단계의 방사선피폭선량 관리기준 이하이다(참고문헌 4).

#### 사용후연료저장조 냉각기능 상실사고 선량 평가

사용후연료저장조 냉각기능 상실사고는 사용후연료저장조의 냉각기능이 상실되는 기간 동안 사용후연료저장조에서 비등이 일어나 환경으로 방출되는 방사성물질에 의한 제한구역경계에서의 피폭선량을 평가한다. 사용후연료저장조 냉각수의 비방사능은 1 % 핵연료 결함을 가정한 방사능 농도를 적용하였다.

본 평가에서는 사용후연료저장조에서 증발이 일어나 사용후연료저장대 상부 도달시간 동안 증발된 방사성물질에 대하여 소외선량 평가를 수행한다. 이 후 사용후연료저장조의 냉각수가 보충되어 방사성물질의 방출은 더 이상 일어나지 않는 것으로 가정한다. 사용후연료저장조의 비등이 종료되는 시점까지 제한구역경계에서 평가된 유효선량은 원자력안전위원회 고시에 근거한 중대사고 예방단계의 방사선피폭선량 관리기준 이하이다(참고문헌 4).

#### 4.4.2 설계기준을 초과하는 외부 재해의 평가

##### 4.4.2.1 외부 자연재해에 의한 사고의 평가

신고리 5,6호기에서 설계기준을 초과하는 외부 자연재해로 인한 사고의 목록은 아래와 같다.

- 소외전원상실사고(LOOP)
- 소내정전사고(SBO)
- 장기교류전원상실사고(ELAP)
- 최종열제거원상실사고(LUHS)
- 최종열제거원 + 대체열제거원상실사고(LUHS + LAHS)
- 장기교류전원상실 + 최종열제거원상실사고(ELAP + LUHS)

외부 자연재해로 인한 사고 중 선량평가 대상 사고는 장기교류전원상실을 동반한 최종열제거원상실사고(ELAP + LUHS)이다.

##### 4.4.2.1.1 소외선량 평가시 가정사항

설계기준을 초과하는 외부재해로 인한 사고 선량 평가시 가정사항은 본 보고서 4.4.1.2에 제시된 다중고장사고 소외선량 평가시 가정사항과 동일하다.

##### 4.4.2.1.2 선량 평가 결과

장기교류전원상실을 동반한 최종열제거원상실사고(ELAP + LUHS)의 선량 평가는 사고 전 요오드 스파이크를 고려하여 평가한다. 사고 후 증기발생기를 통하여 환경으로 누설되는 1차 냉각재의 양은 증기발생기 설계누설률을 적용하여 평가된다. 사고 후 원자로냉각재펌프 밀봉 누설(RCP Seal Leakage)에 의하여 원자로건물 내부로 1차 냉각재가 방출되고 방출된 방사성물질은 사고 후 1일 동안 원자로건물 설계누설률인 0.1 v%/day로 환경으로 방출되며 이 후에는 설계누설률의 절반 값으로 방출된다고 가정한다.

선량 평가 기간은 보수적으로 DBA LOCA의 평가기간인 30일로 가정하였다. 선량평가 기간인 30일까지 제한구역경계에서 평가된 유효선량은 원자력안전위원회 고시에 근거한 중대사고 예방단계의 방사선평폭선량 관리기준 이하이다(참고문헌 4).

##### 4.4.2.2 인위적재해에 의한 사고의 평가

신고리 5,6호기에서 설계기준을 초과하는 인위적재해로 인한 사고는 본 보고서 4.1.2.2절에서 가정한 사고 시나리오에 대하여 소외선량을 평가한다.



#### 4.4.2.2.1 소외선량 평가시 가정사항

설계기준을 초과하는 인위적재해로 인한 사고 선량 평가시 가정사항은 다음의 입력 및 가정사항을 고려하여 평가를 수행한다.

- 인위적재해로 인한 사고는 발전소 전출력 운전 중에 발생하여 필수안전기능이 손상되었다고 가정한다.
- 증기발생기에서 대기로의 방사능방출 계산은 증기발생기 1차측에서 2차측으로의 증기발생기 전열관 누설을 고려한다. 증기발생기 누설률은 운영기술지침서에 제시된 누설률을 적용한다.
- 인위적재해로 인한 사고는 광역손상에 따른 전원 및 열제거원의 상실, 원자로건물의 건전성 유지 등에 비추어 외부 자연재해에 의한 사고 중 장기교류전원상실을 동반한 최종열제거원상실사고(ELAP + LUHS)와 유사하다. 따라서 인위적재해의 선량 평가 기간은 장기교류전원상실을 동반한 최종열제거원상실사고(ELAP + LUHS)와 같은 30일을 적용한다.
- 사고 후 원자로건물로 방출된 방사성물질에 대한 원자로건물의 누설률은 사고 후 1일 동안 원자로건물 설계누설률로 환경으로 방출되며 이 후에는 설계누설률의 절반값으로 방출된다고 가정한다.

#### 4.4.2.2.2 선량 평가 결과

인위적재해로 인한 사고의 선량 평가는 사고 전 요오드 스파이크를 고려하여 평가한다. 선량 평가 기간인 30일까지 제한구역경계에서 평가된 유효선량은 원자력안전위원회 고시에 근거한 중대사고 예방단계의 방사선피폭선량 관리기준 이하이다(참고문헌 4).

#### 4.4.3 중대사고의 평가

##### 4.4.3.1 선량 평가 대상 사고

중대사고 선량평가는 본 보고서 4.2절 “중대사고 완화능력의 평가”에서 선정한 사고 시나리오에 대하여 제한구역경계에서의 소외선량을 평가한다. 이 중에서 중대사고 분석 모사가 중복되는 사고경위와, MAAP5 전산프로그램 분석결과 원자로건물 대기로 방사성물질이 방출되지 않는 사고경위는 제외하였다.

##### 4.4.3.2 소외선량 평가시 입력 및 가정사항

중대사고 선량평가는 다음의 입력 및 가정 사항을 고려하여 평가를 수행한다.

- 중대사고 분석에 사용된 핵분열 생성물의 노심재고량은 발전소의 출력 및 연소도를 고려한 최적값을 사용한다.
- 각 시나리오 별로 노심에서 원자로건물 대기로 기화되는 핵종 분율은 MAAP5 전산프로그램을 사용하여 분석하였다. MAAP5 전산프로그램을 사용하여 원자로건물 대기로 기화되어 환경으로 방출될 수 있는 노심재고량 분율을 계산하고 원자로건물에서 환경으로 방출되는 핵종 분율은 수계산으로 계산하였다. 계산된 핵종분율은 RADTRAD 전산코드의 입력으로 사용한다.
- 중대사고시 원자로건물 누설률은 설계기준 누설률을 기반으로 원자로건물 내부 압력 변화를 고려하여 결정한다.
- 노심 내 방사성 요오드의 화학적 구성은 RG 1.183에 따라 입자형 95 %, 원소형 4.85 %, 유기형 0.15 %를 가정하였다.
- 원자로건물 내부의 원소형 요오드의 침적 및 제거는 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서 6.5절을 참조하여 RADTRAD 전산코드로 계산하였다. 그 외 핵분열 생성물의 침적 및 제거는 MAAP5 전산프로그램으로 계산하였다.
- 방사성 물질의 대기방출에 의한 피폭선량 평가는 본 보고서 4.4절에 제시된 ‘피폭 경로’를 고려하여, 방사능운으로부터 직접 외부피폭 및 오염공기 흡입에 의한 내부 피폭선량은 RADTRAD 전산코드를 사용하고, 지표오염에 의한 외부피폭은 RADTRAD 전산코드에서 계산된 소외방출량을 이용하여 수 계산으로 평가한다.
- 제한구역경계에서의 대기확산인자는 표 4.4-1에 제시되어 있다.

##### 4.4.3.3 선량 평가 결과

본 보고서 4.2절 “중대사고 완화능력의 평가”에서 선정한 사고 시나리오에 대하여 4.4.3.2절의 입력 및 가정사항을 적용하여 선량평가를 수행하였다. 제한구역 경계에서 방사능운에 의한 외부피폭과 오염공기 흡입에 의한 내부피폭 선량, 지표오염에 의한 외부 피폭 선량을 합산하여 선량영향을 평가하였다.

모든 사고 시나리오에 대하여 평가된 제한구역경계에서의 유효선량은 원자력안전위원회 고시에 근거한 중대사고 완화단계의 방사선피폭선량 관리기준 이하이다(참고문헌 4).

표 4.4-1 제한구역경계에서의 대기확산인자

사고 후 2시간(sec/m <sup>3</sup> )		사고 후 시간대별(sec/m <sup>3</sup> )			
방향	2 hr	0~8 hr	8~24 hr	24~96 hr	96~720 hr
N	7.57E-05	4.89E-05	3.93E-05	2.44E-05	1.23E-05
NNE	7.59E-05	4.82E-05	3.84E-05	2.35E-05	1.16E-05
NE	7.58E-05	4.36E-05	3.30E-05	1.81E-05	7.64E-06
ENE	8.98E-05	4.81E-05	3.52E-05	1.79E-05	6.76E-06
E	1.01E-04	5.54E-05	4.11E-05	2.15E-05	8.51E-06
ESE	7.59E-05	4.55E-05	3.52E-05	2.02E-05	9.09E-06
SE	1.32E-04	8.48E-05	6.80E-05	4.21E-05	2.11E-05
<b>SSE</b>	<b>1.92E-04</b>	<b>1.44E-04</b>	<b>1.25E-04</b>	<b>9.16E-05</b>	<b>5.86E-05</b>
S	1.13E-04	8.03E-05	6.76E-05	4.66E-05	2.73E-05
SSW	7.55E-05	4.98E-05	4.04E-05	2.57E-05	1.34E-05
SW	5.67E-05	3.67E-05	2.95E-05	1.84E-05	9.32E-06
WSW	4.97E-05	3.06E-05	2.40E-05	1.42E-05	6.69E-06
W	5.67E-05	3.33E-05	2.55E-05	1.43E-05	6.23E-06
WNW	7.56E-05	4.18E-05	3.10E-05	1.63E-05	6.47E-06
NW	7.60E-05	4.40E-05	3.35E-05	1.86E-05	7.94E-06
NNW	1.04E-04	6.23E-05	4.84E-05	2.79E-05	1.27E-05

#### 4.4.4 참고문헌

1. ICRP, ICRP Publication 72, "Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides : Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients", 1995.
2. Federal Guidance Report No. 13, "Cancer Risk Coefficients for Environmental Exposure to Radionuclides", EPA, 1999
3. NRC, Regulatory Guide 1.183, "Alternative Radiological Source Terms for Evaluating Design Basis Accidents at Nuclear Power Reactors", 2000.
4. "신고리 5,6호기 사고영향 평가보고서", 한국수력원자력(주)

#### 4.5 확률론적 안전성 평가

확률론적 안전성평가(Probabilistic Safety Assessment, PSA)의 목적은 리스크 정량화를 통하여 중대사고에 대한 원전의 안전성을 종합적으로 평가하는 것이다. 전출력 및 정지/저출력 모드 중 내, 외부사건으로 인한 노심손상 및 원자로건물 손상 사고경위들을 파악하고 그 발생 빈도를 평가하는 것이 주요 분석 대상이며, 이 과정을 통하여 노심손상에 영향을 미치는 주요 기여 인자들을 파악하고 그 대처방안을 도출함으로써 궁극적으로 원전의 안전성을 향상시키는 것이다. 또한, 중대사고로 인한 외부 주민 및 환경에 대한 리스크가 극히 낮은 수준으로 유지됨을 확인한 결과를 제시하는 것이다.

1단계 확률론적 안전성평가에서는 중대사고의 발생 원인이 되는 사건(내부 및 외부 기인 사건)의 발생빈도와 각종 안전 및 보조 설비의 기능상실 확률의 분석체계를 설명하고, 노심손상사고의 발생 가능성과 영향을 종합적으로 평가하였다. 또한 노심손상을 일으키는 데 주요하게 기여하는 사고경위, 이와 관련된 기기의 운전모드, 계통 기능 및 운전절차를 기술하고 다음의 각 분석범위에 대한 노심손상사고 분석결과를 제시하였다.

- 내부사건 분석
- 외부사건 분석
- 전출력 및 정지/저출력 사건 분석
- 노심손상 평가결과로 도출된 개선방안

2단계 확률론적 안전성평가에서는 노심손상사고 발생 후 원자로건물로부터 환경으로 방사성 물질의 방출을 야기하는 사고들의 진행과정, 원자로건물 손상경위의 발생빈도와 방출되는 방사성 물질의 종류와 양의 분석결과를 기술하였다. 방사성 물질의 원자로건물 외부 누출에 주요하게 기여하는 방출모드를 파악하고 개선가능성을 확인하기 위해 다음에 대한 사항을 기술하고 향상 방안을 제시하였다.

- 원자로건물 손상경위 분석기준
- 주요 신뢰도 모델 및 가정사항
- 원자로건물 손상경위 발생빈도
- 원자로건물 외부로의 방사성물질 대량조기방출 빈도
- 원자로건물 손상에 관한 취약점, 도출된 개선방안
- 방사성 핵종 Cs-137의 원자로건물 외부 방출량이 100 TBq을 초과하는 사고의 발생빈도

3단계 확률론적 안전성평가에서는 2단계 확률론적 안전성평가 분석결과로부터 파악된 원자로건물 외부로의 방사선원향 누출에 의한 소외 방사선학적 영향을 평가하였다. 방사선원향, 기상자료, 부지자료 및 건강영향 평가 등의 분석을 수행하였으며, 다음의 평가 범위

에 대한 소외주민 위험도 평가 결과를 제시하였다.

- 소외주민 선량평가
- 조기사망 위험도 평가
- 암사망 위험도 평가

신고리 5,6호기의 확률론적 안전성평가 결과는 다음의 원자력안전위원회고시 및 규제기준의 리스크 평가 목표치를 만족함을 확인하였고, 해당 결과를 바탕으로 안전성 개선 방안 및 이행 계획을 제시하였다.

- 부지 인근 주민의 발전용원자로시설 사고로 인한 조기사망 위험도 및 암사망 위험도가 각각의 전체 위험도의 0.1 % 이하이거나, 이에 상응하는 성능목표치(노심손상빈도  $< 1.0 \times 10^{-5}/\text{년}$ , 대량조기방출빈도  $< 1.0 \times 10^{-6}/\text{년}$ )를 만족할 것.
- 방사성 핵종 Cs-137의 방출량이 100 TBq을 초과하는 사고 발생 빈도의 합이  $1.0 \times 10^{-6}/\text{년}$  미만일 것.

분야별 평가 방법 및 결과의 요약은 다음 절에서 기술하였으며, 상세한 내용은 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가 보고서(참고문헌 1 ~ 12)에 수록되어 있다.

| 1

#### 4.5.1 전출력 1단계 확률론적 안전성평가

전출력 1단계 확률론적 안전성평가에서는 발전소가 전출력 운전 중 발생할 수 있는 내부사건 및 외부사건으로 인한 노심손상사고 분석결과를 제시하였다.

##### 4.5.1.1 전출력 1단계 내부사건 확률론적 안전성평가

전출력 1단계 내부사건 확률론적 안전성평가에서는 전출력 운전시 원자로 정지를 유발하는 발전소의 기계적 고장 혹은 인적오류 등에 의해 초래될 수 있는 주요 노심손상 사고경위 파악, 발생빈도를 정량화한 결과를 제시하였으며, 수행된 내용은 다음과 같다.

- 발전소 자료 수집 및 분석
- 초기사건 분석
- 사고경위 및 성공기준 분석
- 계통 분석
- 신뢰도자료 분석
- 인간신뢰도 분석

- 노심손상빈도 정량화
- 민감도 분석 및 불확실성 분석
- 평가결과의 해석

본 평가는 사고경위를 파악하기 위해 사건수목분석 방법과 계통 이용불능도를 평가하기 위해 고장수목분석 방법을 사용하였다. 사고경위는 소형 사건수목/대형 고장수목 방법이라 불리는 기능적 사건수목에 의해 나타내었고, 정량화는 단일고장수목연결방법에 의하여 수행하였다.

확률론적 안전성평가 결과로 파악된 주요 인자들에 대한 리스크 기여도를 분석하고 발전소의 내부사건에 대한 전체적인 리스크를 확인하였다. 향후 발전소의 안전성 향상 방안, 설계변경사항 등을 반영하여 리스크의 변동사항을 확인하는데 활용될 수 있다.

#### 4.5.1.1.1 발전소 자료 수집 및 분석

확률론적 안전성평가는 최종안전성분석보고서, 설계문서 및 발전소 고유자료를 활용하였다. 확률론적 안전성평가에 활용하는 신뢰도자료는 초기사건 빈도, 기기 신뢰도데이터, 공통원인고장 확률, 시험 및 정비로 인한 이용불능도, 인적오류확률, 특별사건 등으로 구성되어 있다.

#### 4.5.1.1.2 초기사건 분석

초기사건은 정상 운전 중인 발전소가 기기 혹은 계통의 고장이나 인적오류로 인하여 원자로 정지가 유발되는 사건이다. 초기사건이 발생하면 원자로 보호 및 노심손상 예방을 위하여 안전 계통들이 작동하여 원자로를 안전하게 정지시키고 노심의 잔열을 제거하여 발전소를 안전하게 유지하게 된다.

초기사건 분석에서는 지진, 홍수 등과 같은 계통 외부적 요인은 고려하지 않고, 계통 내부적 요인에 의한 초기사건만을 대상으로 분석하였으며, 기본적으로 다음과 같이 원자로 냉각재상실사고 및 과도사건으로 구분하였다.

- 원자로냉각재상실사고(Loss of Coolant Accident, LOCA) : 원자로냉각재 계통의 냉각수 상실을 초래하는 1차계통의 파손(Rupture)이나 파단(Break) 사고로서, 파손 부위의 크기나 위치 혹은 방사성 물질의 원자로건물 밖으로의 누출 가능성 등에 따라서 분류
- 과도사건(Transient) : 원자로냉각재상실사고가 아니면서 원자로 정지를 초래하고 노심의 건전성을 유지하기 위해 관련 안전 계통들의 작동을 필요로 하는



사건으로서, 2차측 혹은 보조계통들의 가용성에 따라 분류

초기사건은 다음과 같은 수행절차에 따라 분류하였다.

- 논리적 평가에 의한 초기사건 식별
- 경험에 의한 초기사건 식별
- 최종 초기사건 그룹화

논리적 평가에 의한 초기사건 식별에서는 초기사건 범주를 정의하고 초기사건을 선정하였으며 초기사건 선정 과정에서의 누락 가능성을 줄이기 위한 주 논리도를 개발하였다. 주 논리도는 가상의 사건과 그 잠재적 원인 사이의 논리적 관계를 연역적으로 표현한 고장수목 모델이다. 방사성 물질의 소외 누출과 같이 가상의 정점사건을 정의하고 이 정점사건의 발생을 초래할 수 있는 계통의 고장을 논리적으로 표현함으로써 초기사건 그룹을 파악하였다.

경험에 의한 초기사건 식별에서는 초기사건 목록을 작성하기 위해 일반 원전산업계에서 제시하고 있는 초기사건 목록을 비롯하여 최종안전성분석보고서, 해외 원전의 일반데이터, 국내 가동 중 원전의 정지이력 등을 종합하여 발생 가능한 초기사건을 식별하였다.

식별된 예비 초기사건 목록 중 발전소 설계특성을 고려하여 분석대상에서 제외될 수 있는 초기사건들은 선별제거하고, 선별된 예비 초기사건 목록에 대하여 발전소의 거동과 원자로를 안전하게 정지시키기 위해 필요한 안전계통의 기능적 대응에 기초하여 유사한 사고진행 특성을 보이는 초기사건들을 그룹화 하였다.

초기사건 선정 및 그룹화 결과로 최종 결정된 각 초기사건에 대하여 발생빈도를 정량화 하였다. 국내 원전에서 발생 경험이 없는 초기사건, 국내 원전에서 1회 이상 발생 경험이 있는 초기사건, 다른 초기사건에 대한 사건수목에서 전이되어 발생하는 초기사건은 발전소의 설계 및 운영 특성을 반영하여 고유 분석이 필요한 초기사건 등으로 초기사건별 특성을 고려하여 평가하였다.

#### 4.5.1.1.3 사고경위 분석

사고경위 분석은 선정된 초기사건에 대하여 사건수목을 구성하여 노심손상을 초래하는 모든 중요 사고경위를 논리적으로 밝혀내는 과정이다. 각 초기사건별로 노심을 건전한 상태로 유지하기 위해 필요한 안전기능을 파악하고 작동이 요구되는 안전계통 및 조치를 정리하여 사건수목으로 나타내었으며, 각 분기의 성공 혹은 실패에 따라 이분수목 형태로 사고 시나리오를 전개하여 발생 가능한 노심손상 사고경위를 논리적으로 구성하였다.

노심을 안전한 상태로 유지하기 위해 필요한 다음과 같은 안전기능을 고려하여 사건수목을 개발하였다.

- 반응도 제어
- 원자로냉각재 재고량 유지
- 원자로냉각재 압력제어
- 노심 붕괴열 제거
- 원자로건물 과압방지 또는 열 제거

안전기능을 유지하기 위해 필요한 계통들이 파악되면, 이를 사건수목 표제로 정의하고 각 표제의 성공기준 및 계통별 작동 시점을 결정한다. 각 초기사건에 대한 계통 및 성공기준, 표제순서 등이 결정되면, 이들 표제의 성공 혹은 실패에 따라 각 초기사건에 대하여 발생가능한 모든 사고경위를 논리적으로 도출하게 된다.

사고경위 분석에 사용된 기본 가정은 다음과 같다.

- 초기사건은 전출력 운전 중 발생할 수 있는 내부사건
- 핵연료피복재온도가 982 °C 초과시 노심손상 발생
- 사고경위 분석에 사용된 계통의 작동요구시간은 기본적으로 24시간 적용
- 냉각재상실사고 발생시 파단부위는 원자로냉각재펌프와 원자로용기 사이의 원자로냉각재계통 저온관으로 가정

발전소 상태가 다음 조건 중 하나를 만족할 경우 노심손상 없이 성공적으로 종결된 것으로 가정하였다.

- 노심 붕괴열이 1차측 냉각수의 자연순환에 의해 제거되고 2차측 열제거에 의해 노심 잔열제거가 수행되고 있는 상태에서 발전소가 안정된 고온정지 상태 유지
- 2차측 열제거 상실시 주입 및 방출 운전 후 재순환 운전으로 노심잔열을 제거하고 원자로건물 열제거 수행
- 냉각재상실사고시 안전주입 운전에 의한 손실된 원자로냉각재를 보충한 후 재순환 운전을 통하여 원자로냉각재 재고량을 유지

각 초기사건의 완화조치에 필요한 계통 및 운전원 조치 등은 발전소 사고관리전략과 일관성을 유지하여 수행하였다. 사고관리전략 및 절차에 활용되는 사고관리 설비를 이용하여 노심손상 예방이 가능한 경우 관련 설비의 시험·감시·검사·정비 계획과 이를 운영하기 위한 인력의 확보, 지휘 및 통제 체계 등과 같은 이행체계를 반영하여 분석하였다.

#### 4.5.1.1.4 성공기준 분석

발전소 고유의 중대사고 진행과정에서 발생하는 주요 현상을 파악하고 주요 사고경위의 성공기준을 분석하기 위하여 사고 현상 관점에서 사고진행이 상이하고 중요한 초기사건에 대해 열수력 분석을 수행하였다.

초기사건 시나리오별 성공 기준 및 사고 전개에 따른 시간 정보는 최종안전성분석보고서의 사고해석 결과 또는 발전소 고유설계에 대한 열수력 분석결과에 근거하여 결정되었다.

사고경위 분석의 일관성 유지에 필요한 사고 종료기준은 다음과 같다.

- 초기사건의 영향을 완화시키기 위하여 더 이상의 운전원 행위나 계통 작동이 요구되지 않고 운전원이 발전소 재기동, 또는 발전소 정지로 진행할 수 있는 고온 정지 이상 일 때
- 사고 발생 후 24시간 동안 노심이 미임계 상태를 유지하고 노심손상이 없으며 노심이 지속적으로 냉각되고 있을 때

#### 4.5.1.1.5 계통분석

계통분석을 위해 분석대상 계통에 대한 계통도, 운영기술지침서, 운영 및 정·주기 시험 절차서 등 발전소 자료를 수집 및 검토하였다. 계통경계를 정의하고 계통의 운전, 연계 및 종속성, 운전제한조건, 시험 및 정비, 성공기준에 관한 정보를 파악하여 계통이 이용 불가능한 상태가 되는 모든 경우를 고장수목으로 구성하였다.

고장수목을 구성하기 위해 계통의 성공기준에 따라 정점사건을 정의하였다. 정의된 각 정점사건의 원인을 연역적으로 추적하여 고장수목을 구성하였으며, 고장수목의 논리를 가용한 신뢰도자료가 있는 기기 단위까지 전개하였다. 고장수목 분석시 고려한 계통고장의 원인은 다음과 같은 기본사건 유형으로 분류하였다.

- 기기의 기계적인 고장
- 공통원인고장
- 인적오류
- 시험 및 정비로 인한 기기의 이용 불능

전위계통의 기능상실은 계통 자체 고장에 의하여 발생할 수도 있고, 전력계통 혹은 기기 냉각수계통과 같은 보조계통의 이상에 의해 발생할 수도 있다. 계통간의 상관성은 계통 종속성으로 고려하였다.

#### 4.5.1.1.6 인간신뢰도 분석

인간신뢰도 분석 수행체계 및 절차는 사고 전 인적오류 분석과 사고 후 인적오류 분석으로 분류하고 각 인적오류 분석에 필요한 오류영향인자와 분석 규칙을 제시하였다. 기본적으로 인적오류사건은 진단오류와 수행오류로 구분하고 수행오류는 일련의 단위작업의 오류가능성을 고려하여 다음과 같이 평가하였다.

- 인적오류 파악 : 발생 가능한 모든 인적오류 도출
- 선별분석 및 선별 정량화 : 상세분석 할 인적오류 선별 및 인적오류 선별값 평가
- 상세 정량화 : 인적오류 상세 분석에 필요한 정보 수집 및 상세 정량화
- 종속성 분석 : 운전원행위 사이에 존재할 수 있는 상호 연관성 평가
- 문서화 : 분석 과정 및 결과 정리

상세분석 대상 인적오류에 대해 발전소 고유의 설계 특성, 열수력학적 분석 결과, 운전 환경 영향 등의 정보를 사용하여 분석하였다. 회복조치의 경우 절차서 관련 정보, 가용시간 및 조치시간 등을 활용하였다.

#### 4.5.1.1.7 신뢰도자료 분석

신뢰도자료는 일반 데이터베이스와 발전소 고유 데이터베이스로 구분된다. 일반 데이터베이스는 해외 여러 참조 원전들의 운전 이력 데이터들을 수집하여 개발된 데이터베이스이며, 발전소 고유 데이터베이스는 국내 원전의 운전 및 정비 경험 자료를 수집하여 개발한 데이터베이스이다.

확률론적 안전성평가에 사용되는 신뢰도자료는 초기사건 빈도, 기기고장 확률, 공통원인 고장 확률, 시험 및 정비 이용불능도, 인적오류 확률, 특수 기본사건 확률 등으로 다음과 같이 구성하였다.

- 초기사건 빈도 : 초기사건 분석을 통해 선정된 초기사건들의 연간 발생빈도
- 기기고장 확률 : 운전 중 기기의 고장률 및 대기 중 기기의 동작 요구시 고장 확률
- 공통원인고장 확률 : 동일 기능/사양의 다중 기기들이 동일 고장 원인에 의해 동시에 고장이 발생할 확률
- 시험 및 정비 이용불능도 : 기기의 고장으로 인한 정비 또는 예방 정비 업무의 수행 등으로 인한 기기의 이용불능 확률
- 인적오류확률 : 운전원에 의한 조치가 실패하는 확률(사고전 인적오류, 사고 후 인적오류 확률을 포함)

- 특수 기본사건 확률 : 사건수목 분석 또는 고장수목 분석에서 고려되는 특수 기본사건에 대한 발생 확률

신뢰도자료는 운전 및 정비 경험 자료의 수집 및 검토와 통계 처리를 통해 다음과 같이 개발하였다.

- 국내 가압경수로 원전의 고유 운전이력을 반영한 기기고장 데이터 개발
- 국내 운전이력을 반영한 시험 및 정비 이용불능도 데이터 개발
- 일반 데이터베이스를 기반으로 공통원인고장 데이터의 개발
- 특수 기본사건 데이터 개발

기기의 신뢰도자료는 국내 원전의 고유 기기별 운전 및 고장이력을 수집, 평가한 후 최근의 미국 원전 운전경험이 반영된 일반데이터를 사용하여 베이지안 처리를 수행하여 분석하였다.

특수 기본사건은 일반적인 기기 고장률이나 시험 및 정비 이용불능도 등의 신뢰도 데이터베이스에서 구할 수 없는 특수한 사건으로, 발전소의 특성 또는 사고의 특수성을 고려하여 확률 값을 도출하였다.

#### 4.5.1.1.8 정량화

정량화 분석에서는 파악된 노심손상 사고경위들의 발생빈도를 평가하고, 각 기본사건이나 계통, 운전원 행위가 발전소 안전성에 미치는 영향을 정량적으로 평가하였다. 각 사고경위를 유발하는 기본사건들의 조합인 최소단절집합을 구하고, 기본사건의 데이터를 이용하여 사고경위별 발생빈도를 평가하였다.

사고경위 정량화 분석에서는 전산코드를 사용하여 최소단절집합을 도출하였으며, 리스크 영향이 무시될만한 수준의 절삭치를 사용하였다. 정량화 과정에서 생성된 최소단절집합 중 논리상 모순이 되는 상호배타적인 사건들을 검토하여 배제하였다. 최종 정량화 단계에서 최소단절집합에 대한 정성분석을 통하여 선별적으로 회복조치를 고려하였다.

전체 노심손상빈도에 기본사건 또는 계통 등 특정 인자가 미치는 영향에 대한 중요도를 파악하기 위해 Fussel-Vesely 중요도, 위험도감소가치, 위험도달성가치의 세 가지의 척도를 사용하여 기본사건의 중요도 분석을 수행하였다.

#### 4.5.1.1.9 불확실도 및 민감도 분석

정량화 분석에 사용된 신뢰도 데이터 및 분석과정의 불확실성으로 인한 영향은 초기사건

빈도, 인적오류 확률 및 기타 기본사건에 주어진 확률분포로부터 표본을 추출하는 몬테-카를로 시뮬레이션 방법을 이용하여 수행하였다.

주요 가정사항, 신뢰도 데이터 등 요소별 특성에 따른 노심손상빈도 변화를 평가하고, 전체 노심손상빈도에 기여도가 큰 항목에 대해서는 리스크 저감을 위한 안전성 향상 방안 도출을 위해 민감도 분석을 수행하였다.

#### 4.5.1.1.10 평가결과의 해석

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

1



I

#### 4.5.1.2 전출력 1단계 외부사건 확률론적 안전성평가

전출력 1단계 외부사건 확률론적 안전성평가에서는 전출력 운전중 외부적 요인인 지진, 화재, 침수 등에 의해 초래될 수 있는 주요 노심손상 사고경위과악 및 관련 발생빈도 정량화를 수행하였다. 기타 외부사건으로 기상재해, 해일을 포함한 홍수, 강풍, 항공기 충돌, 폭발, 독성 액체 및 기체를 선정하고 기타 외부사건에 대한 위해도 평가를 근거로 확률론적 안전성평가 대상에서 선별 제외하였다.

외부사건 분석 과정을 통하여 중대사고에 대한 안전성을 종합적으로 평가하고, 외부사건 분석 과정을 통하여 외부사건에 대한 원전의 안전성 관점에서 구조물, 계통, 기기 및 운전원 직무의 상대적 중요도를 평가하며, 노심 손상 사고에 대한 주요 영향 인자들을 파악하여 안전성 향상 방안을 제시하였다.

##### 4.5.1.2.1 지진사건 확률론적 안전성평가

지진사건 분석절차는 다음과 같은 평가과정으로 수행하였다.

- 지진사건 자료 수집 및 분석
- 지진 재해도 분석 : 지진 지반 운동 가속도에 따른 발생 빈도 분석
- 지진 취약도 분석 : 특정 지반 운동 가속도에 대한 구조물과 기기의 지진 내력 평가, 계전기 오동작 분석
- 지진사건 경위 분석 : 지진에 기인한 노심손상빈도 평가
- 불확실도 및 민감도 분석
- 평가결과의 해석

#### 4.5.1.2.1.1 지진사건 자료 수집 및 분석

지진 재해도 분석결과는 서울부지 고유의 지진재해도 분석결과를 적용하였으며 지진 취약도 분석은 다음과 같은 자료를 활용하였다.

- 내진해석보고서
- 내진검증보고서
- 최종안전성분석보고서
- 지진시험자료 및 지진경험자료
- 취약도 분석자료

#### 4.5.1.2.1.2 지진 재해도 분석

확률론적 지진 재해도 분석은 서울부지 고유의 지진 재해도 분석결과를 적용하였다. 지진 재해도 곡선은 논리수목 방법에 의하여 산출된 결과들의 누적확률분포를 이용하여 평가하였다. 안전정지지진의 보수성 평가 및 이를 초과할 지진이 발생할 확률을 결정하기 위하여 지질 분석 결과를 통해 지반가속도 준위의 초과확률로서 나타내어진 지진 재해도 곡선을 지진사건 분석시 활용하였다. [11]

| 1

#### 4.5.1.2.1.3 지진 취약도 분석

지진 취약도 분석에서는 특정한 지점에 위치해 있는 대상 설비의 지진응답이 저항내력을 초과하여 파손될 때의 최대지반가속도 값으로 지반가속도내력을 평가하였다. 대상 설비의 지반가속도내력은 발전소 기본설계, 설계 및 해석단계에서 계산된 지진응답, 시공된 대상 설비의 크기, 재료특성 등을 근거로 계산된 확률분포이다.

구조물과 기기의 지진 취약도는 서울부지의 최대지반가속도 방법으로 표현된 조건부 파손 확률로서 메디안 지반가속도내력, 무작위성을 나타내는 대수 표준편차, 불확실성을 나타내는 대수 표준편차의 변수로 계산하였다.

#### 4.5.1.2.1.4 계전기 오작동 분석

일반적으로 계전기는 발전소의 비정상 상태를 감지하여 기기의 작동, 보호 및 상태지시를 위한 기능을 수행한다. 따라서 계전기는 기능에 따라 크게 보호 계전기(Protective Relays)와 보조 계전기(Auxiliary Relays)로 분류된다. 보호계전기는 배선 또는 기기 및 전원계통의 단락(Short Circuit), 과부하(Overload) 등의 비정상 상태를 감지하여, 전동기, 송풍기(Blower), 공기압축기, 발전기, 원심펌프 및 히터 등의 기기들에 연결된 전기 회로를 개방시키거나 스위치, 차단기(Circuit Breaker)를 트립시켜 기기 및 회로를 보호한다. 보조 계전기는 다른 계전기나 기기의 기능을 보완하기 위해 회로의 보호계전기의



상태에 따라 작동한다. 만약, 발전소에 지진이 발생하여 계전기가 오동작을 일으키게 되면, 발전소의 안전정지 및 사고완화 기기들이 기능을 수행하지 못하기 때문에 발전소의 안전성을 저해시키거나 노심손상을 유발하는 주요 인자로 작용할 수 있다. 따라서 계전기 오동작 분석에서는 발전소 안전정지 및 사고완화 기능을 수행하는 계통 및 기기와 연계된 제어 및 보호 계전기들을 기능 및 내진 성능에 따라 선별하여 지진 사고경위 정량화에 고려해야 할 계전기들의 확인하였다.

#### 4.5.1.2.1.5 지진 사고경위 분석

지진사건수목 개발은 지진으로 인한 사고경위를 파악하기 위해 예비 사건수목을 구성하고 직접적인 지진사고의 영향을 받는 구조물과 기기의 기능상실을 검토하였다. 예비 사건수목에서 파악된 지진사고별로 가용한 계통들의 특성을 고려하여 작동 가능한 안전 정지 계통들을 최종 사건수목에 반영하여 노심손상 발생 여부를 결정하고 노심손상빈도를 정량화하였다.

지진으로 인한 인적오류 확률은 1단계 확률론적 안전성평가 내부사건의 인간신뢰도분석 결과에 지진으로 인한 영향을 고려하여 분석하였다.

#### 4.5.1.2.1.6 불확실도 및 민감도 분석

정량화 분석에 사용된 신뢰도 데이터의 불확실성으로 인한 영향은 초기사건 빈도, 인적 오류 확률, 기타 기본사건에 주어진 확률분포로부터 표본을 추출하는 몬테-카를로 시뮬레이션 방법을 이용하여 불확실도 분석을 수행하였다.

전출력 1단계 지진사건 모델을 구성하는 요소 중 지진 재해도 및 인적오류 확률 등의 특성에 따른 노심손상빈도 변화를 평가하고, 전체 노심손상빈도에 기여도가 큰 항목에 대해서는 리스크 저감을 위한 안전성 향상 방안 도출을 위해 민감도 분석을 수행하였다.

#### 4.5.1.2.1.7 평가결과의 해석


#### 4.5.1.2.2 화재사건 확률론적 안전성평가

화재사건 확률론적 안전성평가에서는 정성적선별, 정량적선별, 상세분석을 통해 화재사건으로 인한 노심손상 사고경위분석 및 정량화를 다음과 같이 평가하였다.

- 화재사건 자료 수집 및 분석
- 화재구역의 선별분석
- 상세분석
- 불확실도 및 민감도 분석
- 평가결과의 해석

##### 4.5.1.2.2.1 화재사건 자료 수집 및 분석

[Redacted content]

##### 4.5.1.2.2.2 화재구역의 선별분석

발전소의 화재구역 정보를 기반으로 점화원의 유무, 화재사건 확률론적 안전성평가 대상 기기의 유무, 화재가 확산되어 이웃한 화재구역으로 전파되는 추가적인 영향 등을 고려하여 화재가 발생하여도 발전소의 운전 또는 사고의 완화에 영향을 주지 않는 화재구역

을 정성적으로 선별제거 하였다.

정성적 선별분석에서 선별제거 되지 않은 화재구역은 화재사건으로 인한 리스크 영향을 정량적으로 평가하였다. 화재구역 내 화재 발생시 해당 구역 내 모든 기기의 손상을 가정하여 발생 가능한 초기사건을 도출하였다. 화재가 발생한 구역의 노심손상빈도를 평가하여 해당 화재구역과 화재 전파로 인한 이웃 화재구역의 리스크 영향이 무시할만한 수준인 경우 추가적으로 선별제거 하였다.

#### 4.5.1.2.2.3 상세분석

정량적으로 선별제거 되지 않은 화재구역에 대해서 보수적으로 평가한 다음의 항목들을 고려하여 상세분석을 수행하였다.

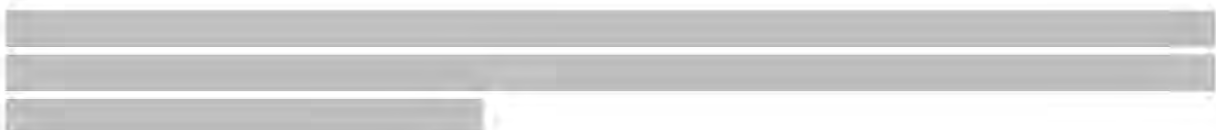
- 화재구역의 화재방호특성
- 화재구역 내 점화원의 상세정보
- 화재의 성장가능성
- 화재 감지 및 진압 실패 확률
- 화재진압 실패시 이웃한 화재구역으로의 전파 확률

#### 4.5.1.2.2.4 불확실도 및 민감도분석

정량화 분석에 사용된 신뢰도 데이터의 불확실성으로 인한 영향은 화재발생빈도에 주어진 확률분포로부터 표본을 추출하는 몬테-카를로 시뮬레이션 방법을 이용하여 불확실도 분석을 수행하였다.

전출력 1단계 화재사건의 민감도 분석 방법은 전출력 1단계 내부사건과 동일하다. 전출력 1단계 화재사건 모델을 구성하는 요소 중 주요 가정사항, 화재구역, 화재전파경로 및 화재발생빈도 등의 특성에 따른 노심손상빈도 변화를 평가하고, 전체 노심손상빈도에 기여도가 큰 항목에 대해서는 리스크 저감을 위한 안전성 향상 방안 도출을 위해 민감도 분석을 수행하였다.

#### 4.5.1.2.2.5 평가결과의 해석



#### 4.5.1.2.3 침수사건 확률론적 안전성 평가

침수사건 확률론적 안전성평가에서는 정성적선별, 정량적선별, 상세분석을 통해 침수사건으로 인한 노심손상 사고경위분석 및 정량화를 다음과 같이 평가하였다.

- 침수사건 자료 수집 및 분석
- 침수구역의 선별분석
- 상세분석
- 불확실도 및 민감도 분석
- 평가결과의 해석

##### 4.5.1.2.3.1 침수사건 자료 수집 및 분석

침수사건분석에서 침수구역, 침수원, 발전소 안전정지 및 사고완화에 필요한 기기의 설치 위치, 침수전파경로, 침수구역의 구분 등을 확인하기 위하여 발전소의 일반배치도면, 배관배치도면, 전기계통도면, 침수구역 경계의 특성, 개구부의 밀봉형태 등을 검토하였다.

##### 4.5.1.2.3.2 침수구역의 선별분석

발전소의 침수구역 정보를 기반으로 침수원과 안전성 관련 기기들을 파악하여 타 침수구역과의 전파경로를 고려하여 침수가 발생하여도 발전소의 운전 또는 사고의 완화에 영향을 주지 않는 침수구역을 정성적으로 선별제거 하였다.

정성적 선별분석에서 선별제거 되지 않은 침수구역은 침수사건으로 인한 리스크 영향을 정량적으로 평가하였다. 침수구역 내 침수 발생시 해당 구역 내 모든 기기의 손상을 가정하여 발생 가능한 초기사건을 도출하였다. 침수가 발생한 구역의 노심손상빈도를 평가하여 해당 침수구역과 침수 전파로 인한 타 침수구역의 리스크 영향이 무시할만한 수준인 경우 추가적으로 선별제거 하였다.

##### 4.5.1.2.3.3 상세분석

정량적으로 선별제거 되지 않은 침수구역에 대해서 보수적으로 평가한 다음의 항목들을 고려하여 상세분석을 수행하였다.

- 침수구역의 기하학적 특성
- 침수구역 내의 분석대상 상세 배관 정보
- 침수구역 내의 분석대상밸브, 확장연결부 등 잠재적 침수원이 될 수 있는 기기정보
- 침수구역에 설치된 침수 방어 설비 특성 정보
- 침수구역으로의 운전원 접근성 정보, 운전원 조치

#### 4.5.1.2.3.4 불확실도 및 민감도 분석

정량화 분석에 사용된 신뢰도 데이터의 불확실성으로 인한 영향은 침수발생빈도에 주어진 확률분포로부터 표본을 추출하는 몬테-카를로 시뮬레이션 방법을 이용하여 불확실도 분석을 수행하였다.

전출력 1단계 침수사건 모델을 구성하는 요소 중 전체 노심손상빈도에 기여도가 큰 항목을 확인하고, 리스크 저감을 위한 안전성 향상 방안 도출을 위해 민감도 분석을 추후 수행할 예정이다.

#### 4.5.1.2.3.5 평가결과의 해석



#### 4.5.1.2.4 기타 외부사건 확률론적 안전성평가

확률론적 안전성평가에서 외부사건으로 고려한 지진사건, 화재사건, 침수사건 이외의 외

부사건에 대해서는 신고리 5,6호기의 기타 외부사건에 대한 위해도 평가 결과를 적용하였다. 기타 외부사건에 대한 위해도 평가에서는 번개, 부지내 심각한 온도변화, 흑독한 기후, 소외화재, 대기권 밖으로부터의 위험, 화산활동, 강풍, 소외홍수, 운송 및 인근 설비에서의 사고를 기타 외부사건으로 선정하여 평가를 수행하였다.

#### 4.5.2 전출력 2단계 확률론적 안전성평가

전출력 2단계 확률론적 안전성평가는 내부사건 및 외부사건으로 인한 노심손상시 원자로 건물 내에서 발생 가능한 사고 진행과정을 파악하고, 원자로건물 손상 시점과 유형을 예측하여 각 사고경위에 대하여 발생확률과 방사선원항을 다음과 같이 평가하였다.

- 발전소 자료 수집 및 분석
- 발전소 손상군 분석 및 정량화
- 원자로건물 손상특성 분석
- 원자로건물 사건수목 분석 및 정량화
- 방사선원항 분석 및 정량화
- 불확실도 및 민감도 분석
- 평가결과의 해석

##### 4.5.2.1 발전소 자료 수집 및 분석

전출력 2단계 확률론적 안전성평가에 활용된 설계 입력자료는 최종안전성분석보고서와 관련 설계 문서들이며, 분석 시점에서 부족한 운전 관련 자료들은 참조원전인 신한울 1,2호기의 운전 관련 문서를 참조하였다.

원자로건물건전성평가는 원자로건물 극한내압능력분석, 중대사고 진행 분석 및 방사선원항 거동 평가 등을 위하여 발전소 고유 자료를 활용하였다. 분석과 관련된 일부 항목의 경우, 합리적인 가정사항이 적용되었다.

##### 4.5.2.2 발전소 손상군 분석 및 정량화

전출력 1단계 확률론적 안전성평가에서 밝혀진 노심손상 사고경위들을 대상으로 원자로 건물의 건전성을 분석하기 위해 발전소 손상군을 정의하였다. 발전소 손상군은 사고 진행, 원자로건물 파손 및 방사선원 분석 등에 중요한 영향을 미치는 계통의 기능적 특성들의 집합이며, 노심이 손상되는 시점에 유사한 발전소 거동을 가지는 사고경위들을 군집화하였다.

발전소 손상군 정량화 분석을 위해 먼저 전출력 1단계 확률론적 안전성평가의 노심손상 사고경위를 발전소 손상군으로 군집화하기 위하여 원자로건물 안전설비들을 포함하여 확

장한 발전소 손상군 사건수목을 개발하고, 유사한 발전소 거동을 가지는 사고경위들을 군집화하기 위해 발전소손상군 군집화 논리도를 개발하였다. 발전소 손상군 사건수목의 정량화는 전출력 1단계 사건수목과 동일한 방법으로 정량화되며 발전소 손상군 군집화 논리에 따라 분류하여 발전소 손상군 빈도를 계산하였다.

#### 4.5.2.3 원자로건물 손상특성 분석

발전소 고유의 원자로건물 구조분석은 원자로건물 극한내압능력을 평가하고 원자로건물 정적하중에 의한 원자로건물 손상특성에 적용하기 위해 수행되었다. 원자로건물 극한내압능력분석을 위해 고려되는 원자로건물 정적하중에 의한 원자로건물손상유형은 다음과 같이 고려된다.

- 막응력에 의한 벽, 돔의 전단 및 휨 파손
- 바닥에서 원통형 벽의 전단 및 휨 파손
- 바닥의 전단파손
- 라이너 플레이트 파손
- 출입구 구형 hatch cover 및 기기 출입구 airlock assembly 파손
- 운전원 출입구 및 비상운전원 출입구 airlock assembly 파손
- 핵연료이송관 파손
- 기기출입구 관통부 주위에서 라이너 플레이트 파열 및 누출
- 운전원 출입구 및 비상운전원 출입구 관통부 주위에서 라이너플레이트 파열 및 누출

원자로건물 손상유형은 손상크기에 의해 부분손상과 완전손상의 두 가지 형태로 분류하였으며 원자로건물 손상유형은 다음과 같은 파손모드들을 고려하여 평가하였다.

- 원자로건물 우회
- 원자로건물 격리 실패
- 증기 폭발
- 가연성 기체 연소
- 증기 과압
- 원자로건물 바닥 용융관통
- 분사력
- 라이너 용융관통
- 원자로건물 관통부 파손

#### 4.5.2.4 원자로건물 사건수목 분석 및 정량화

원자로건물 사건수목은 중대사고 현상의 발생, 원자로건물 및 원자로건물 사고 완화 계

통의 상태 등 중대사고 진행과정을 논리적으로 구성하기 위하여 작성되었다. 원자로건물 사건수목 분석은 중대사고 환경 하에서 발생할 수 있는 다양한 물리화학적 현상, 원자로건물 안전계통 상태 및 원자로건물 파손모드 등 다음과 같은 사건 진행에 따른 시점을 고려하여 평가하였다.

- (만일 있다면) 노심노출 이전의 사건
- 노심노출 이후 원자로용기 파손 이전 사건
- 원자로용기 파손시 또는 파손 직후의 사건
- 사고 후기의 사건

원자로건물 사건수목은 원자로건물의 건전성과 관련된 현상과 계통 및 원자로건물 손상시 방출되는 방사선원항에 영향을 미치는 요인들을 포함하였다. 원자로건물 사건수목에서 포함해야 할 주요한 원자로건물 거동 및 손상특성을 고려하여 원자로건물 파손모드를 선정하였다.

#### 4.5.2.5 방사선원항 분석 및 정량화

방사선원항 분석에서는 원자로건물 사건수목의 각 사고경위를 방사선원항 관점에서 유사한 사고경위로 분류하여 방출군으로 군집화하고 각 방출군의 대표 사고경위를 선정하여 분석하였다.

방출군 및 방사선원항 분석은 선정된 원자로건물 손상 대표 사고경위에 대하여 방출빈도, 방출핵종, 방출량, 방출시기, 방출기간 등을 고려하여 평가하고 방출군 분석, 방사선원항 분석 및 정량화 결과를 활용하여 장주기 방사성 핵종 (Cs-137)의 방출량이 100 TBq을 초과하는 사고 발생 빈도의 합을 도출하였다.

원자로건물 사건수목 사고경위를 각 방출군의 군집화 논리에 의하여 방사선원항 특성을 분류하기 위한 군집화 변수를 고려하였다. 방출군 군집화 변수는 발전소의 고유한 특성에 따라 원자로건물 사건수목의 주요 사고경위와 핵분열생성물 방출에 영향을 주는 변수로 선정하였다. 방사선원항 분석을 위하여 각 방출군의 대표사고경위를 선정하고 방출군별로 핵분열생성물 방출량, 구성 핵종, 방출시기 등을 평가하였다.

#### 4.5.2.6 불확실도 및 민감도 분석

발전소손상군빈도의 정량분석은 초기사건별, 사고경위별, 발전소손상군별 신뢰도 데이터를 가지고 수행된다. 이렇게 정량분석에 사용된 신뢰도데이터는 불확실성을 가지고 있으므로 이들의 전체 조합으로 도출된 결과에 대한 불확실성 분석이 필요하다.

불확실성 분석은 발전소손상군 정량화 분석 결과를 가지고 원자로건물사건수목 및 분해



발전소순상군 군집화 과정에서 물리적으로 불확실성이 크거나 중요한 현상이 분석결과에 미치는 영향을 파악하기 위한 민감도 분석을 수행하였다. 또한 원자로건물사건수목/분해사건수목 정량화 과정에서 분해사건수목 분기확률의 가능한 변화에 대해 분석결과 혹은 방출군 빈도가 크게 영향을 받는다면 이를 민감도 항목으로 선정하여 민감도 분석을 수행하였다.

[illegible]

[Redacted]	
[Redacted]	
[Redacted]	
[Redacted]	
[Redacted]	
[Redacted]	
[Redacted]	
[Redacted]	
[Redacted]	
1	[Redacted]
	[Redacted]
	[Redacted]
1	[Redacted]
	[Redacted]
	[Redacted]
1	[Redacted]
	[Redacted]
	[Redacted]
[Redacted]	
[Redacted]	
[Redacted]	
1	[Redacted]
	[Redacted]
	[Redacted]
1	[Redacted]
	[Redacted]
	[Redacted]
1	[Redacted]
	[Redacted]
	[Redacted]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

### 4.5.3 전출력 3단계 확률론적 안전성평가

3단계 확률론적 안전성평가는 내부사건 및 외부사건으로 인한 원자로건물 손상시 주변 주민 건강영향평가, 소외 환경영향 및 결말분석을 다음과 같이 수행하였다.

- 방사선원항
- 소외 결말분석 코드
- 기상 및 부지 자료
- 대기 확산 및 침적 모델링
- 피폭경로별 피폭선량 평가
- 비상대응조치 및 주변 주민 건강영향평가
- 소외 결말분석 결과
- 불확실도 및 민감도 분석

#### 4.5.3.1 방사선원항

소외로 유출되는 방사선원의 유출특성은 원자로건물 내부에서의 사고 추이 및 물리적 현상을 분석하는 2단계 확률론적 안전성평가의 방사선원 분석을 고려하여 평가하였다.

방사선원 분석에서는 식별된 사고경위를 방사선원 방출특성이 유사한 방출군으로 군집화

하고 방출군 별로 대표사고경위를 선정하여 선정된 대표 사고경위별로 방사선원을 다음과 같은 변수를 포함하여 평가하였다.

- 방출량 및 방출빈도
- 방출된 방사성물질의 동위원소 구성
- 방출 개시 및 지속 시간
- 방출 방사성물질의 현열
- 방출 고도 및 방출건물의 제원

중대사고시 원전 주변주민의 선량 및 위험도 평가에서는 사고발생 기준으로 각각 24시간 및 72시간 동안 방출되는 방사선원을 적용하였으며, 모든 방출군은 지표면에서 방출되는 것으로 가정하였다.

#### 4.5.3.2 소외 결말분석 코드

소외 결말분석 전산코드에서 적용하는 주요 분석/평가 모델은 다음과 같다

- 기상자료 표본추출 모델
- 대기확산 및 침적 모델
- 피폭경로별 피폭선량 평가모델
- 비상대응
- 건강영향 평가모델

소외 결말분석 전산코드는 노심의 핵종별 방사능농도, 발전소 주변지역을 반경 방향으로 나눈 공간격자 설정, 건식 및 습식 침적 자료, 기상샘플링방법 선정, 기상조건, 유출 방사능운의 특성자료, 인구분포, 차폐인자, 호흡률, 방호인자, 대피, 소개, 및 이주구역의 설정, 조기사망 및 상해에 영향을 미치는 대상 장기에 대한 피폭선량 평가자료, 비상대응자료, 경제적 영향 및 장기선량 평가와 관련된 자료, 암 유발 관련자료, 기상자료, 인구분포 자료, 해당 지역의 지면비와 같은 지형의 형태와 관련된 자료, 선량환산인자, 지역경제 자료 등을 입력자료로 사용하였다.

#### 4.5.3.3 기상자료

기상자료는 1년 기준으로 날짜, 시간, 풍향, 풍속, 대기안정도 및 강우량 등을 매 시간단위로 측정된 서울부지의 기상자료를 활용하였다. 방사성물질의 대기확산에 대한 분석은 사고시 핵종 초기량, 방사선원항 관련 자료 및 부지기상 특성자료를 활용하여 평가하였다.

#### 4.5.3.4 부지자료

새울부지의 인구자료는 방사선환경영향평가서에 수록된 인구자료를 활용하였으며, 원자료를 중심으로 반경의 동심원을 그려 동심원 중심에서 일정 거리별로 구역을 나누고 정북방향에서 시계방향으로 일정한 간격의 방위로 구분하였다. 지형비율은 같은 방위로 구분하여 입력자료로 활용하였다. 주민이 섭취하는 식품의 생산과 관련된 자료는 코드의 기본자료를 활용하였다.

#### 4.5.3.5 대기 확산 및 침적 모델링

대기 중 방사성 물질의 이동 및 확산을 분석하기 위해 가우시안 방사능운 모델을 사용하였다. 기상자료는 1년간 일정 시간별 풍속, 대기 안정도, 강우거리 및 강도 등에 의해 정의된 표본을 추출하였다. 확산모델은 방출점의 풍향으로 방출되고 회전 가능한 방법을 선정하였다.

건식침적 모델은 입자를 특정한 침적속도로 지정하였으며, 습식침적 모델은 강우기간과 강우강도를 코드에서 제공하는 기본값으로 이용하였다. 혼합층은 특정한 높이를 입력자료로 사용하였으며 현열로 인한 부력효과는 보수성을 위해 고려하지 않았다.

#### 4.5.3.6 피폭경로별 피폭선량 평가

방사성물질의 환경누출에 의한 사고 초기의 방사선 피폭경로는 다음과 같다.

- 이동 중인 방사능운내 방사성물질로 인한 외부피폭
- 지표면에 침적된 방사성물질로 인한 외부피폭
- 피부나 의복에 침적된 방사성물질로 인한 외부피폭
- 이동 중인 방사성 구름 내 방사성물질의 호흡으로 인한 내부피폭
- 지표면에 침적된 방사성물질 재부유시 호흡으로 인한 내부피폭
- 오염된 식품의 섭취로 인한 내부피폭

방사능운 내 방사성핵종의 흡입에 의한 내부피폭선량은 피폭 이후 기간별로 초기 피폭기간과 생애예탁선량기간으로 구분되며 초기흡입선량은 초기 건강영향을 평가하고 생애흡입선량은 암사망 위험도 평가에 사용하였다.

#### 4.5.3.7 비상대응조치

보수적 평가를 위해 비상대응 및 보호조치는 고려하지 않았으며, 피폭경로별 차폐인자와 흡입 및 피부의 방어인자는 코드에서 제공하는 기본값을 적용하였다.

#### 4.5.3.8 건강영향평가

초기 건강영향은 주요 신체기관을 고려하여 평가하였으며, 24시간 이내의 높은 피폭의 경우 갑상선, 태아의 상해를 제외한 대부분의 초기 건강영향은 피폭에 의한 반치사량값의 1/4에서 1/2까지의 선량문턱값을 갖게 되므로 초기 건강영향 평가시 선량문턱값을 고려하였다. 조기사망 위험도 인자 및 생애주기 암사망 리스크 변환인자는 코드에서 제공하는 기본값을 적용하였다.

#### 4.5.3.9 소외 결말분석

2단계 확률론적 안전성평가에서 분석한 방사선원 방출군의 특성 및 방출 빈도와 원자로 건물에서 누설이 시작되는 시점을 기준으로 72시간 동안 방출되는 방사선원을 적용하여 새울부지 인근에 거주하는 소외주민의 조기사망 리스크, 암사망 리스크 등을 전출력 내부사건, 지진사건, 화재사건 및 침수사건을 고려하여 평가하였다.

#### 4.5.3.10 불확실도 및 민감도 분석

3단계 확률론적 안전성평가에서 기상자료와 같은 주요 입력자료 및 가정사항 등 분석과정에서 존재할 수 있는 여러 가지 형태의 불확실성 요소들에 대해서는 민감도 분석을 통해 그 영향을 제시하였다.

#### 4.5.3.11 평가결과의 해석

부지주변에 거주하는 일반대중의 조기사망 및 암사망 리스크를 포함하는 일반대중의 보건학적 영향을 평가를 통해 소외주민 리스크 관점에서의 설계 취약점을 도출하고 필요시 이를 보완함으로써 원전의 안전성을 확보할 수 있었다.

중대사고 시 소외주민 리스크 평가에서 수행한 주요 내용은 다음과 같다.

- 조기사망 리스크 평가
- 암사망 리스크 평가
- 불확실도 및 민감도 분석

조기사망 리스크 평가는 원전 부지로부터 1 mile 내에 거주하는 소외주민을 대상으로 한다. 평가 결과에 따르면 외부 환경으로 방출되는 21개의 방출군 가운데 3번 방출군의 방사선원항이 ‘조기사망’관련 보건영향에 가장 크게 기여한 것으로 평가되었으나, 발생빈도를 고려한 조기사망 리스크에서는 높은 발생빈도로 인해 21번 방출군의 기여도가 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 평가되었다. 연도별 기상자료에 따른 소외주민의 조기사망 리스크는 연도별로 큰 차이가 없는 것으로 평가되었으며, 궁극적으로 소외주민의 조기사

망 리스크에 대한 보건목표치를 만족하였다.

암사망 리스크 평가는 원전 부지로부터 10 mile 내에 거주하는 소외주민을 대상으로 한다. 평가 결과에 따르면, 외부 환경으로 방출되는 21개의 방출군 가운데 7번 또는 8번 방출군의 방사선원항이 암사망관련 보건영향에 가장 크게 기여한 것으로 평가되었으나, 발생빈도를 고려한 조기사망 리스크에서는 높은 발생빈도로 인해 1번과 6번 방출군의 기여도가 가장 높은 비중을 차지하는 것으로 평가되었다. 연도별 기상자료에 따른 소외주민의 암사망 리스크는 연도별로 큰 차이가 없는 것으로 평가되었으며, 궁극적으로 소외주민의 암사망 리스크에 대한 보건목표치를 만족하였다.

민감도 분석에서는 원자로건물 손상의 기준시점에 따른 소외방출 분율의 변화와 부지 주변의 인구자료 변화가 소외주민의 조기사망 리스크와 암사망 리스크에 미치는 영향을 평가하였다. 평가 결과에 따르면, 소외방출 분율의 변화에 대한 민감도 분석의 경우, 기본 분석 대비 소외주민의 조기사망 리스크는 최대 약 10%, 소외주민의 암사망 리스크는 최대 약 15%로 다소 증가나 정량적 보건목표치는 충분히 만족하는 것으로 평가되었다.

부지 주변의 인구자료 변화에 대한 민감도 분석의 경우, 소외주민의 조기사망 리스크는 기본 분석 대비 최대 약 32% 증가한 반면, 소외주민의 암사망 리스크는 기본 분석과 거의 차이가 없는 것으로 평가되었으며, 궁극적으로 보건목표치를 만족하였다.

#### 4.5.4 정지/저출력 1단계 확률론적 안전성평가

정지/저출력 확률론적 안전성평가는 정지저출력 운전 전반에 걸친 발전소의 운영상태를 반영하고 각 계통들의 정비 및 시험 사항들을 고려하여 발전소 운전상태 변화에 따른 리스크 변화를 평가하였다.

##### 4.5.4.1 정지/저출력 1단계 내부사건 확률론적 안전성평가

정지/저출력 1단계 내부사건 확률론적 안전성평가에서는 원자로가 저출력 운전상태나 정지된 이후에 발생하는 초기사건들을 선정하고 발생빈도를 평가하였다. 전출력 1단계 내부사건 확률론적 안전성평가 초기사건 중 정지/저출력 운전관점에서 고려되어야 하는 사건들을 추가로 평가하였다.

정지/저출력 1단계 내부사건 확률론적 안전성평가는 다음과 같이 수행하였다.

- 발전소 운전상태 분석
- 초기사건 분석
- 사고경위 분석

- 성공기준 분석
- 계통분석
- 신뢰도자료 분석
- 정량화 및 평가결과의 해석

#### 4.5.4.1.1 발전소 운전상태 분석

정지/저출력 1단계 내부사건 확률론적 안전성평가에서는 발전소 정지/저출력 운전 중 수행되는 다양한 운전형태를 반영하기 위해 운전모드에 따라 연속적으로 일어나는 모든 공정과 상태의 변화를 고려하여 각 운전 특성이 고려된 발전소 운전상태를 구분 및 정의하였다.

#### 4.5.4.1.2 초기사건 분석

정지/저출력 발전소 운전상태는 계통병해에서부터 원자로 정지, 냉각 및 감압시 냉각재 배수, 개구부가 존재하는 배수상태, 가열 및 기동 등으로 구분된다. 원자로 냉각을 위한 열제거는 발전소 운전상태에 따라 증기발생기를 이용한 열제거와 정지냉각계통을 이용한 열제거로 수행된다. 초기사건을 선정하기 위해 정지/저출력의 운전특성을 확인하여 전출력에서 고려된 초기사건 뿐만 아니라 전출력과 다른 형태로 발생 가능한 사고들을 검토하여 최종 초기사건을 선정하였다.

#### 4.5.4.1.3 사고경위 분석

사고경위는 초기사건과 초기사건의 완화를 위한 발전소 및 운전원의 조치를 고려한 사건 수목으로 나타내었으며, 사건수목은 각 발전소 운전상태의 특성에 따른 발전소의 배열상태와 사고완화를 위하여 필요한 운전원 조치들을 고려한 고장수목으로 구성하였다.

#### 4.5.4.1.4 성공기준 분석

초기사건 발생 이후 원자로냉각재계통이나 증기발생기 2차측 압력, 온도 등 공정 변수의 변화 추이 및 운전원 조치 허용시간을 평가하기 위해 열수력 분석을 수행하여 사고완화를 위해 필요한 계통을 파악하고 사건수목에서 사용된 각 계통의 성공기준을 정의하였다.

정지/저출력 사고경위 분석에서 고려한 사고 종료기준은 다음과 같다.

- 정지냉각펌프의 운전에 의해 냉각재가 순환되며, 1차측 붕괴열은 정지냉각 열교환기에 의해 제거
- 2차측 열제거가 수행되며, 1차측은 열대류에 의한 자연순환으로 원자로냉각재



계통의 냉각재가 순환

- 냉각재상실사고시 노심손상 전에 원자로에 냉각재를 보충하여 원자로의 수위를 잔열제거계통의 운전 최소 수위 이상으로 회복시키고 냉각재상실 경로를 격리한 후 잔열제거기능 복구

4.5.4.1.5 계통분석

정지/저출력 운전 중에는 전출력 운전과는 달리 계통의 배열 상태 및 운전방법이 발전소 운전상태에 따라 변경된다. 고장수목에서는 원자로냉각재계통의 운전 변수의 변화에 따라 특정 계통에 대한 운전상태가 다르게 구성되며, 안전성 관련 계통의 자동 운전이 불가능하므로 수동 운전을 고려하였다. 계통들의 점검이나 정비 등으로 인한 운전불능 상태, 발전소 배열변화에 따른 유로 변경 운전 및 전원 차단 등 운전 변수를 고려하여 각 계통 운전에 미치는 영향을 계통분석에 반영하였다.

4.5.4.1.6 신뢰도자료 분석

신뢰도자료는 인간신뢰도, 기기신뢰도, 초기사건의 발생빈도로 구분된다. 인간신뢰도와 기기신뢰도 분석은 전출력 1단계 내부사건 분석과 동일한 방법으로 수행하였으며, 초기사건 발생빈도는 발전소 고유 경험데이터와 일반데이터를 고려하여 분석하였다.

4.5.4.1.7 정량화 및 평가결과의 해석

4.5.4.1.7.1 정량화

발전소 운전상태별로 정량화를 수행하였으며, 정량화 과정은 전출력 1단계 내부사건과 동일한 방법으로 수행하였다.

4.5.4.1.7.2 불확실도 및 민감도 분석

정량화 분석에 사용된 신뢰도데이터 및 분석과정의 불확실성으로 인한 영향은 초기사건 빈도, 인적오류확률 및 기타 기본사건에 주어진 확률분포로부터 표본을 추출하는 몬테-카를로 시뮬레이션 방법을 이용하여 수행하였다.

주요 가정사항, 신뢰도 데이터 등 요소별 특성에 따른 노심손상빈도 변화를 평가하고, 전체 노심손상빈도에 기여도가 큰 항목에 대해서는 리스크 저감을 위한 안전성 향상 방안 도출을 위해 민감도 분석을 수행하였다.

#### 4.5.4.1.7.3 평가결과의 해석

[Redacted content]

1

#### 4.5.4.2 정지/저출력 외부사건 확률론적 안전성평가

##### 4.5.4.2.1 지진사건 확률론적 안전성평가

정지/저출력 운전중 지진사건 분석은 전출력 운전중 지진사건 분석에서 분석된 지진 재해도와 주요 안전기기 및 구조물들에 대한 취약도를 이용하여 정지/저출력 운전중 지진으로 인한 노심손상빈도를 평가하였다.

발전소 운전상태별로 초기사건에 대해 정량화를 수행하였으며 정량화 과정은 전출력 지진사건과 동일한 방법으로 수행하였다. 정지/저출력 1단계 지진사건 확률론적 안전성평가를 통해 노심손상의 주요 기여 인자를 파악하고 발전소 안전성 향상 방안에 대한 민감도 분석을 통해 정량적인 개선효과를 확인하고 중대사고 예방 및 완화 능력을 향상시키기 위한 활용 방안을 제시하였다.

#### 4.5.4.2.1.1 평가결과의 해석

[Redacted text block]

[Redacted text block]

1

#### 4.5.4.2.2 화재사건 확률론적 안전성평가

정지/저출력 화재사건 확률론적 안전성평가에서는 전출력 화재사건 분석자료 및 정지/저출력 내부사건에서 고려하는 특성 등을 조합하여 평가하였으며, 정지/저출력 운전조건에 대한 화재발생빈도는 정지/저출력 일반데이터를 반영하였다.

발전소 운전상태별로 화재구역에 대하여 정량화를 수행하였으며 정량화 과정은 전출력 화재사건과 동일한 방법으로 수행하였다. 정지/저출력 1단계 화재사건 확률론적 안전성 평가를 통해 노심손상의 주요 기여 인자를 파악하고 발전소 안전성 향상 방안에 대한 민감도 분석을 통해 정량적인 개선효과를 확인하고 중대사고 예방 및 완화 능력을 향상시키기 위한 활용 방안을 제시하였다.

##### 4.5.4.2.2.1 평가결과의 해석

[Redacted text block]

1

#### 4.5.4.2.3 침수사건 확률론적 안전성평가

정지/저출력 침수사건 확률론적 안전성평가에서는 전출력 침수사건 분석자료 및 정지/저출력 내부사건에서 고려하는 특성 등을 조합하여 평가하였다.

발전소 운전상태별로 침수구역에 대하여 정량화를 수행하였으며 정량화 과정은 전출력 침수사건과 동일한 방법으로 수행하였다. 정지/저출력 1단계 침수사건 확률론적 안전성 평가를 통해 노심손상의 주요 기여 인자를 파악하여, 중대사고 예방 및 완화 능력을 향상시키기 위한 활용 방안을 제시하였다.

#### 4.5.4.2.3.1 평가결과의 해석



#### 4.5.5 정지/저출력 2단계 확률론적 안전성평가

정지/저출력 2단계 확률론적 안전성평가는 정지/저출력 운전 전반에 걸친 발전소의 운영 상태 반영 및 노심손상시 원자로건물 내에서 발생 가능한 사고 진행과정을 파악하고, 원자로건물 손상 시점과 유형을 예측하여 각 사고경위에 대하여 발생확률과 방사선원함을 평가하였다.

- 발전소 자료 수집 및 분석
- 발전소 손상군 분석 및 정량화
- 원자로건물 손상특성 분석

- 원자로건물 사건수목 분석 및 정량화
- 방사선원항 분석 및 정량화
- 불확실도 및 민감도 분석
- 평가결과의 해석

#### 4.5.5.1 발전소 자료 수집 및 분석

정지/저출력 2단계 확률론적 안전성평가에 사용된 설계 입력자료들은 최종안전성분석보고서와 관련 설계 문서들이며, 분석 시점에서 부족한 운전 관련 자료들은 참조원전인 신한울 1,2호기의 운전 관련 문서를 참조하였다.

원자로건물건전성평가는 원자로건물 극한내압능력분석, 중대사고 진행 분석 및 방사선원항 거동 평가 등을 위하여 발전소 고유 자료를 활용하였다. 분석과 관련된 일부 항목의 경우, 합리적인 가정사항이 적용되었다.

#### 4.5.5.2 발전소 손상군 분석 및 정량화

정지/저출력 2단계 확률론적 안전성평가의 발전소 손상군 분석은 정지/저출력 1단계 확률론적 안전성평가에서 밝혀진 발전소 운전상태별 및 초기사건별로 노심손상 사고경위들을 대상으로 원자로건물의 건전성을 분석하기 위해 발전소 손상군을 정의하였다. 발전소 손상군은 사고 진행, 원자로건물 파손 및 방사선원 분석 등에 중요한 영향을 미치는 계통의 기능적 특성들의 집합이며, 노심이 손상되는 시점에 유사한 발전소 거동을 가지는 사고경위들을 군집화하였다.

발전소 손상군 정량화 분석을 위해 먼저 정지/저출력 1단계 확률론적 안전성평가의 노심손상 사고경위를 발전소 손상군으로 군집화하기 위하여 원자로건물 안전설비들을 포함하여 확장한 발전소 손상군 사건수목을 개발하고, 유사한 발전소 거동을 가지는 사고경위들을 군집화하기 위해 발전소손상군 군집화 논리도를 개발하였다. 발전소 손상군 사건수목의 정량화는 정지/저출력 1단계 사건수목과 동일한 방법으로 정량화되며 발전소 손상군 군집화 논리에 따라 분류하여 발전소 손상군 빈도를 계산한다. 정지/저출력 2단계 확률론적 안전성평가에서의 발전소 손상군 군집화 기준은 다음과 같다.

- 원자로냉각재계통 : 대형 개구부 존재상태, 초기냉각재량, 노심 냉각 및 감압상태, 냉각재 주입상태
- 원자로건물 : 원자로건물 격리상태, 살수에 의한 열제거, 원자로공동침수계통, 수소제어계통
- 열수력 분석결과 : 사고진행 및 손상군별 열수력 분석결과

#### 4.5.5.3 원자로건물 손상특성 분석

정지/저출력 2단계 확률론적 안전성평가에서의 발전소 고유의 원자로건물 구조분석은 원자로건물 극한내압능력을 평가하고 원자로건물 정적하중에 의한 원자로건물 손상특성에 적용하기 위해 수행되었다. 분석방법은 전출력 2단계 확률론적 안전성평가 분석방법과 동일하며 계획예방정비시 원자로건물 내압능력에 영향을 주는 부분에 대한 추가 분석이 수행되었다.

계획예방정비시 원자로건물 내압능력에 영향을 주는 부분은 원자로건물 장비반입구이다. 운전모드 1, 2, 3, 4시 모든 볼트가 체결되나 운전모드 5, 6에서는 체결조건이 완화되기 때문이다. 나머지 관통부는 짧은 시간 내에 폐쇄조치가 가능하고 폐쇄시 운전모드 1 ~ 4와 동일하다. 따라서 운전모드 5와 6의 원자로건물 장비반입구에 대한 상세 원자로건물 내압능력이 평가되어야 한다.

#### 4.5.5.4 원자로건물 사건수목 분석 및 정량화

원자로건물 사건수목은 중대사고 현상의 발생, 원자로건물 및 원자로건물 사고 완화 계통의 상태 등 중대사고 진행과정을 논리적으로 구성하기 위하여 작성되었다. 원자로건물 사건수목 분석은 중대사고 환경 하에서 발생할 수 있는 다양한 물리화학적 현상, 원자로건물 안전계통 상태 및 원자로건물 파손모드 등 다음과 같은 사건 진행에 따른 시점을 고려하여 평가하였다.

- (만일 있다면) 노심노출 이전의 사건
- 노심노출 이후 원자로용기 파손 이전 사건
- 원자로용기 파손시 또는 파손 직후의 사건
- 사고 후기의 사건

원자로건물 사건수목은 원자로건물의 건전성과 관련된 현상과 계통 및 원자로건물 손상시 방출되는 방사선원항에 영향을 미치는 요인들을 포함하였다. 원자로건물 사건수목에서 포함해야 할 주요한 원자로건물 거동 및 손상특성을 고려하여 원자로건물 파손모드를 선정하였다.

#### 4.5.5.5 방사선원항 분석 및 정량화

방사선원항 분석에서는 원자로건물 사건수목의 각 사고경위를 방사선원항 관점에서 유사한 사고경위로 분류하여 방출군으로 군집화하고 각 방출군의 대표 사고경위를 선정하여 분석하였다.

방출군 및 방사선원항 분석은 선정된 원자로건물 손상 대표 사고경위에 대하여 방출된

도, 방출핵종, 방출량, 방출시기, 방출기간 등을 고려하여 평가하고 방출군 분석, 방사선 원형 분석 및 정량화 결과를 활용하여 장주기 방사성 핵종 (Cs-137)의 방출량이 100 TBq을 초과하는 사고 발생 빈도의 합을 도출하였다.

원자로건물 사건수목 사고경위를 각 방출군의 군집화 논리에 의하여 방사선원형 특성을 분류하기 위한 군집화 변수를 고려하였다. 방출군 군집화 변수는 발전소의 고유한 특성에 따라 원자로건물 사건수목의 주요 사고경위와 핵분열생성물 방출에 영향을 주는 변수로 선정하였다. 방사선원형 분석을 위하여 각 방출군의 대표사고경위를 선정하고 방출군별로 핵분열생성물 방출량, 구성 핵종, 방출시기 등을 평가하였다.

#### 4.5.5.6 불확실도 및 민감도 분석

정지/저출력 2단계 확률론적 안전성평가에서의 발전소손상군빈도의 정량분석은 초기사건별, 사고경위별, 발전소손상군별 신뢰도 데이터를 가지고 수행된다. 이렇게 정량분석에 사용된 신뢰도데이터는 불확실성을 가지고 있으므로 이들의 전체 조합으로 도출된 결과에 대한 불확실성 분석이 필요하다.

정지/저출력 2단계 확률론적 안전성평가에서의 불확실성 분석은 발전소손상군 정량화 분석 결과를 가지고 원자로건물사건수목 및 분해사건수목의 정량분석을 통해 얻어진 대량조기방출빈도에 대하여 수행하였다. 대량조기방출빈도의 정량분석에 사용된 신뢰도 데이터의 불확실성 분석을 위한 방법은 해당 정량화 분석에 사용된 신뢰도 데이터를 가지고 몬테-카를로 시뮬레이션 방법에 의한 표본추출을 통해 수행하였다.

또한 정지/저출력 2단계 확률론적 안전성평가에서는 원자로건물 건전성에 큰 영향을 미치는 사항에 대한 민감도 분석을 수행하였다.

#### 4.5.5.7 평가결과의 해석

정지/저출력 2단계 평가결과로 원자로건물 손상빈도, 대량조기방출빈도, Cs-137의 방출량이 100 TBq을 초과하는 사고 발생 빈도에 대한 결과 및 각 정량적 결과들에 대한 주요 사고경위, 주요 기여 인자 등을 파악하였다. 이러한 평가결과들은 정량적인 개선효과 및 중대사고 예방 및 완화 능력을 향상시키기 위한 방안 도출에 활용한다.



[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

- [Redacted list item]
- [Redacted list item]

[Redacted text block]

- [Redacted list item]




는 1% 미만이다.



#### 4.5.6 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가 전출력 1단계 내부사건 보고서
2. 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가 전출력 지진사건 보고서
3. 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가 전출력 화재사건 보고서
4. 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가 전출력 침수사건 및 기타 외부사건 보고서
5. 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가 전출력 2단계 보고서
6. 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가 전출력 3단계 보고서 | 1
7. 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가 정지/저출력 1단계 내부사건 보고서
8. 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가 정지/저출력 지진사건 보고서
9. 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가 정지/저출력 화재사건 보고서
10. 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가 정지/저출력 침수사건 보고서
11. 신고리 5,6호기 확률론적 안전성평가 정지/저출력 2단계 보고서
12. 신고리 5,6호기 확률론적 지진재해도분석 보고서, 개정 3 | 1

## 5 비상운전절차서의 작성시 적용할 기술적 근거 및 검증방법에 관한 설명서

### 5.1 비상운전지침서 및 기술배경서

#### 5.1.1 비상운전지침서 및 기술배경서 개요

비상운전지침서는 발전소 고유 비상운전절차서 개발을 위한 기술적 배경을 제공하는 지침서로서 원자로 정지가 발생되었거나 정지가 요구될 경우 발전소 사고를 완화시키기 위해 필요한 조치를 제공하기 위한 기술지침서이다.

신형경수로1400 비상운전지침서는 신형경수로1400형 원전 모든 발전소에 공히 적용 가능한 일반기술지침서로 개발되었으며, 신형경수로1400형 원전의 비상운전절차서 개선사항 및 발전소 운전경험을 반영하였다.

일반기술지침서는 발전소 고유 비상운전절차서 작성을 위한 기술적 배경을 제공하기 위하여 일련의 유사하게 설계된 발전소를 위해 작성된 기술지침서로서, 기준발전소(Base Plant)의 과도상태 및 사고 분석 등을 통해 얻어진 공학적 데이터를 근거로 사고의 결과를 완화하고 안전기능을 회복하기 위해 작동이 요구되는 기기 및 계통과 운전원의 조치사항을 제공하는 기술지침서이다.

현재 신고리 5,6호기 비상운전절차서의 근거가 되는 비상운전지침서는 참고문헌 1과 같다.

#### 5.1.2 비상운전지침서 및 기술배경서 구성

신고리 5,6호기에 적용되는 신형경수로1400 비상운전지침서는 비상운전지침서 체계, 주요 사고전략, 안전기능 개념, 안전기능 상태점검 및 수행경로와 같은 필수 요소를 포함한다. 신형경수로1400 비상운전지침서의 체계는 다음과 같으며, 그림 5.1-1은 비상운전지침서의 체계를 나타내고 있다.

- 원자로 트립후 조치 (EOG-01)
- 사고진단 (EOG-02)
- 최적복구지침서 (EOG-03 ~ EOG-09)
- 기능회복지침서 (EOG-10)

원자로 트립후 조치(EOG-01)는 비상운전지침서에 대한 진입점으로 사고가 발생하면 진입한다. 원자로 트립후 조치(EOG-01)는 원자로 정지 이후 운전원에 의해 수행되는 즉각적인 조치이며, 각각의 안전기능을 점검하기 위한 지침과 위험상태에 있는 안전기능을 복구하기

위한 신속하고 쉽게 수행할 수 있는 불만족시 조치로 구성되어 있다.

원자로 트립후 조치(EOG-01) 수행 완료 후, 사고진단(EOG-02) 지침서로 진입한다. 사고 진단은 운전원이 발생한 사고 종류를 판단하는데 도움을 준다. 운전원은 진단결과에 따라 최적복구지침서 또는 기능회복지침서를 선택할 수 있다. 사고진단 지침서는 흐름도 형식으로 제공되며, 흐름도는 정보를 제공하기 위해 기호 체계를 사용한다. 이 정보는 운전원에게 제공되어 결정 및 조치에 대한 잘못된 이해가 없어야 하기 때문에 이러한 오류를 없애기 위해 흐름도는 명확하고 일관성이 있으며 이해할 수 있는 형식으로 기술되어 있다.

#### 5.1.2.1 최적복구지침서

최적복구지침서는 고유의 증상에 대응하기 위해 작성된 지침서이다. 지침서의 수를 최소화 하고 혼동을 방지하기 위해 단기간에 서로 구별하기 힘든 사고(즉, 부적절하게 개방된 대기 방출밸브 및 증기관 파단) 또는 어느 기간 동안 핵증기공급계통에 비슷한 영향을 미치는 사고는 동일한 집단으로 분류한다. 신형경수로1400 비상운전지침서는 다음의 최적복구지침서를 제공한다.



#### 5.1.2.2 기능회복지침서

기능회복지침서는 원자로 정지 이후 진단할 수 없는 사고가 발생하였을 경우에 수행하는 비상운전지침서이다. 또한 기능회복지침서는 사고 초기에 최적복구지침서를 수행했지만 사고를 잘못 진단했거나, 최적복구지침서의 조치에도 불구하고 사고를 적절히 완화할 수 없는 경우에 사용하는 지침서이다. 기능회복지침서는 위험상태에 있는 안전기능을 복구하고 유지하기 위한 조치를 제공한다.





기능회복지침서 진입 절차(Entry)는 기능회복지침서에 대한 진입점이다. 이 절차는 절차진행 확인표 및 발전소의 운전상태 감시를 강화하고 발전소를 안전한 상태로 유지시키기 위하여 가용한 모든 수행경로를 수행하도록 지시하는 특정 조치단계를 포함하고 있다. 모든 안전기능에 대해 선정된 수행경로의 안전기능 상태점검을 수행하여 조치의 우선순위를 결정한다.

기능회복지침서는 진입 절차에서 결정한 우선순위에 따라 먼저 위험 상태에 있는 안전기능에 대한 조치단계를 수행하고 그 다음 위협받는 안전기능에 대한 조치단계를 수행한다. 마지막으로 나머지 모든 안전기능에 대하여는 우선순위에 따라 조치단계를 수행한다.

안전기능 상태점검의 판정기준이 만족되고 사용 중인 모든 수행경로에 대해 적절한 조치단계를 완료한 후 장기적 조치를 수행한다.

### 5.1.3 비상운전지침서 및 기술배경서 주요 운전전략

설계기준사고 및 다중고장사고 발생시 사고 대응을 위한 비상운전지침서 및 기술배경서 주요 운전전략은 크게 최적복구전략과 기능회복전략으로 나눌 수 있다. 최적복구전략은 사고진단을 통하여 발생한 사고가 명확한 경우, 그 특정 사고에 대한 복구 조치를 수행하는 전략으로서 복구 조치의 목표는 발전소를 안전하고, 안정된 상태로 유지하는 것이다. 기능회복전략은 최적복구전략과는 달리 사고진단을 통하여 발생한 사고가 특정 사고로 명확하게 진단되지 않을 경우에 사고 대응을 위하여 안전기능을 기반으로 하는 복구전략이다. 또한 사고 초기에 최적복구전략을 수행했지만 사고를 잘못 진단했거나, 최적복구전략에 따른 조치에도 불구하고 안전기능을 적절하게 유지하지 못하고 있을 경우에도 기능회복전략을 수행하여 사고를 복구한다.

또한, 신형경수로1400 비상운전지침서는 설계기준초과 자연재해 발생시 사고 대응을 위하여 개발된 MACST(Multi-barrier Accident Coping STRategy) 설비를 사용하는 다중방어운영지침서와 연계되어 있다. 그러나 신형경수로1400 비상운전지침서에는 중대사고에

진입하여 손상된 노심 상태 관리를 위한 지침은 포함되지 않는다. 중대사고에 대한 지침은 각 발전소별 중대사고관리지침서에 별도 기술되어 있다.

비상운전지침서와 다중방어운영지침서 및 중대사고관리지침서는 그림 5.1-2와 같이 연계되어 있다. 비상운전지침서 수행 중 MACST 전략 수행을 위하여 이동형 설비가 필요할 경우, 다중방어운영지침서를 수행하도록 연계하였으며, 비상운전지침서 수행 중 중대사고 진입조건에 도달할 경우, 중대사고관리지침서로 전환되도록 연계되어 있다.

각 비상운전지침서 및 기술배경서의 주요 운전전략은 부록 5A에 상세히 기술되어 있다.

#### 5.1.4 비상운전지침서 검증 및 유지관리 계획

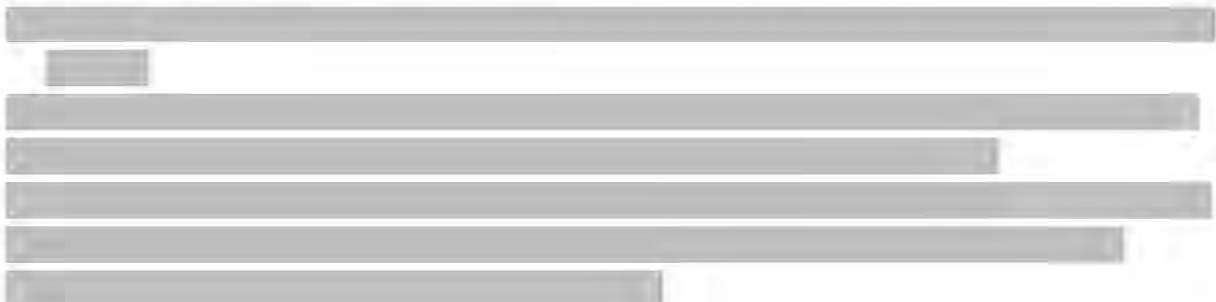
##### 5.1.4.1 비상운전지침서 검증

신고리 5,6호기에 적용되는 신형경수로1400 비상운전지침서 최신 개정본의 비상운전전략이 사고를 복구하는데 적절한지 검증하기 위하여 시뮬레이터에서 모사가 가능한 사고에 대하여 시뮬레이터 검증을 수행할 예정이며, 검증과정에서 도출된 검토의견은 평가 후 비상운전지침서에 반영될 예정이다.

##### 5.1.4.2 비상운전지침서 유지관리 계획

비상운전지침서 유지관리계획은 신형경수로1400 비상운전지침서를 근거로 신고리 5,6호기 비상운전절차서를 작성할 경우 신형경수로1400 비상운전지침서가 신고리 5,6호기에 적용하기에 적절한 상태로 유지되고 있다는 것을 보증하기 위해 필요하다. 또한 유지관리계획은 발전소 운전경험 반영, 규제요건 변경 및 적용시점 이후 현재 상태의 현안사항을 제대로 반영하고 있음을 보증한다.

비상운전지침서 개정 절차, 비상운전지침서를 근거자료로 사용한 비상운전절차서로의 전환 절차, 비상운전지침서 확인 및 검증을 수행하는데 사용되는 방법론을 포함한 다음의 유지관리 절차는 ‘신형경수로1400 비상운전지침서 유지관리계획’에 따라 수행된다.



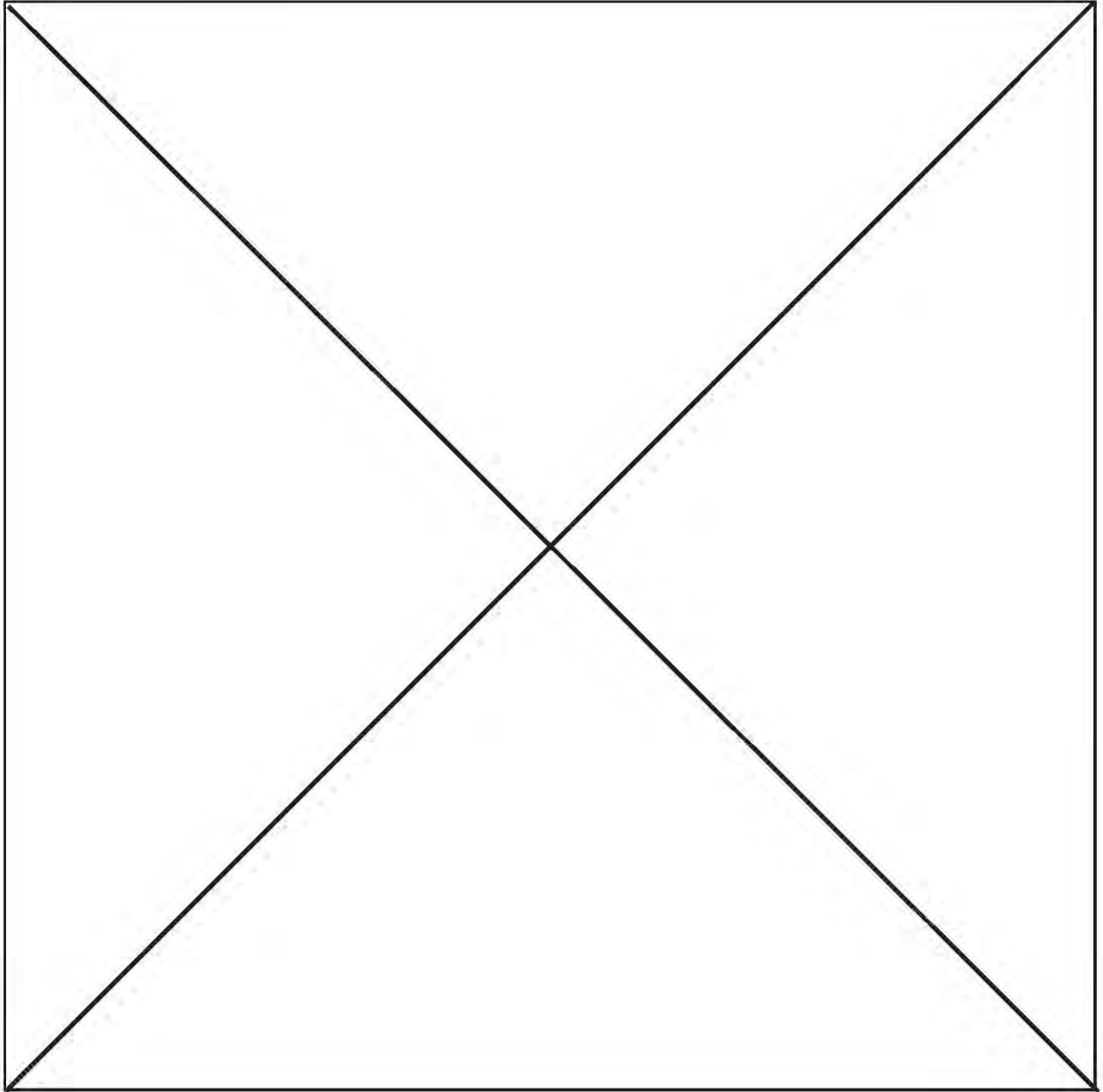


그림 5.1-1 비상운전지침서 체계



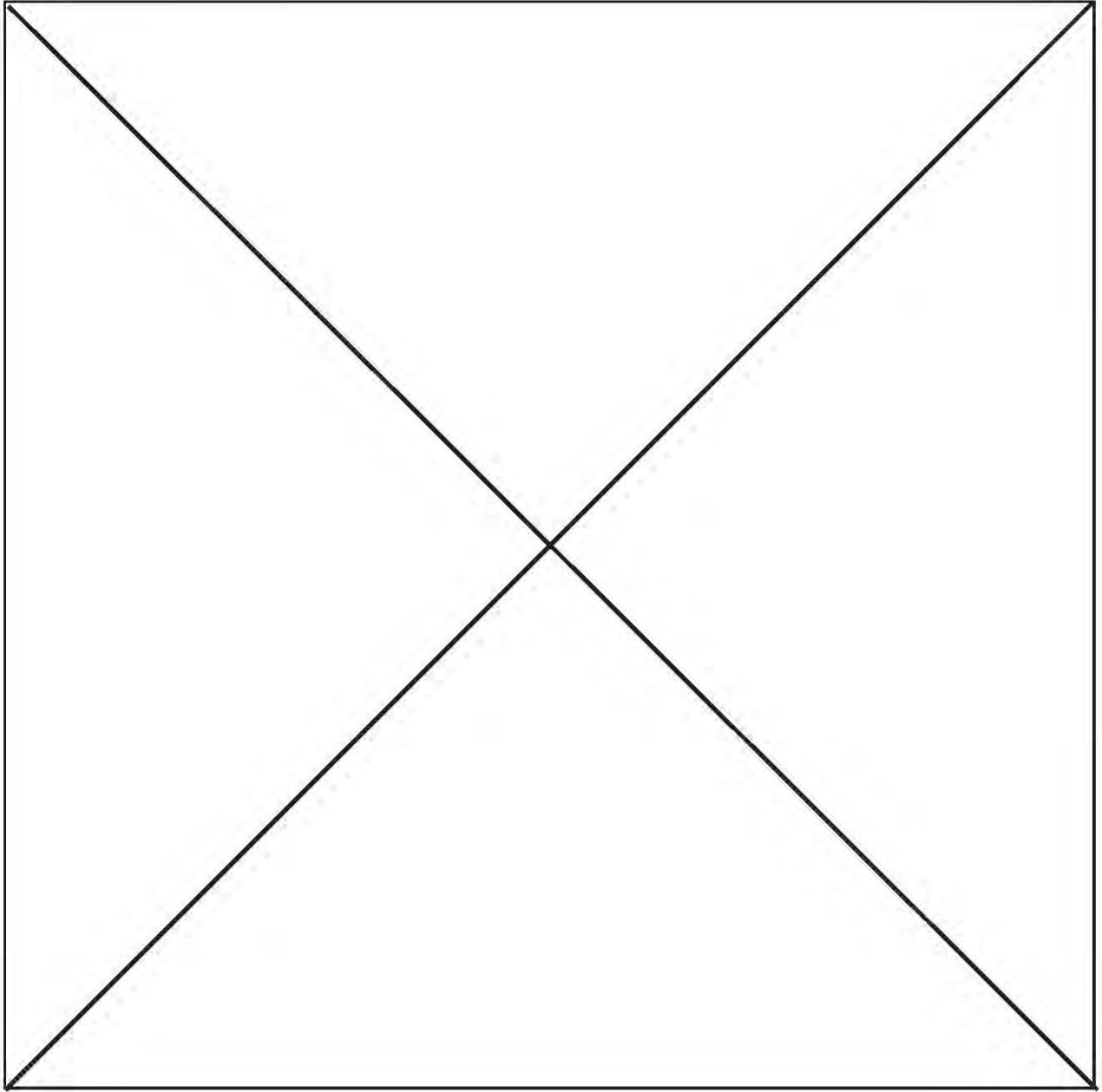


그림 5.1-2 비상운전지침서와 연계되는 지침서

5.1.5 참고문헌

1. 신형경수로1400 비상운전지침서, 개정 2.1, 한국수력원자력(주)

## 5.2 발전소 고유 기술배경서

### 5.2.1 발전소 고유기술배경서 개요

신형경수로1400 전 발전소에 공히 적용 가능한 신형경수로1400 비상운전지침서(일반기술지침서)를 사용하는 신고리 5,6호기 발전소는 발전소 고유 비상운전절차서 개발에 필요한 발전소 고유기술배경서가 작성된다. 신고리 5,6호기 발전소 고유기술배경서는 발전소 고유 정보(설비, 운전 특성, 또는 설계로 인한 신형경수로1400 비상운전지침서와의 차이점)를 포함하고 있다.

발전소 고유기술배경서는 설정치 배경서, 고유항목 기술배경서 및 운전절차 변경 내역서로 구성되며, 비상운전지침서와 함께 신고리 5,6호기 비상운전절차서에 반영된다.

신고리 5,6호기 비상운전절차서에 근거가 되는 고유항목 기술배경서, 설정치 배경서 및 운전절차배경서는 참고문헌 1, 2 및 3과 같다.

### 5.2.2 발전소 고유기술배경서 구성

#### 5.2.2.1 고유항목 기술배경서

고유항목 기술배경서는 신고리 5,6호기의 고유항목에 대한 기술배경을 문서화한 것이다. 그러므로, 신고리 5,6호기 발전소 고유기술지침서의 다른 문서들과 함께 고유항목 기술배경서는 비상운전절차서의 작성과 운전원 훈련에 사용될 수 있다.

고유항목 기술배경서는 다음의 비상운전지침서 관련 고유항목에 대한 기술배경을 포함하고 있다.



또한, 비상운전절차서를 작성하기 위해 신고리 5,6호기 주요 계통, 최적복구지침서 및 기능회복지침서의 주요 조치 개요가 고유항목 기술배경서에 포함되어 있다.

#### 5.2.2.2 설정치 배경서

설정치 배경서는 비상운전절차서에서 사용되는 설정치에 대한 기술적인 근거로서 모든 공학적 운전 제한치에 대한 상세기술이 제공된다. 비상운전절차서 작성시에는 일반기술지침서에 표기된 설정치 관련 부분을 발전소 고유기술배경서의 설정치 배경서에 제시된 값을 참조하여 적용해야 한다. 따라서, 설정치 배경서는 발전소 고유기술배경서의 다른 문서들과 함께 비상운전절차서의 작성 및 운전원 훈련에 사용될 수 있다.

또한, 설정치 배경서에 제공되는 운전 제한치 및 그 배경은 설정치 배경서에 사용된 계측기 불확실도가 최종안전성분석보고서 작성에 사용된 최종 설계 자료를 근거로 하기 때문에 신고리 5,6호기 비상운전절차서에만 적용할 수 있다.

#### 5.2.2.3 운전절차 변경 내역서

운전절차 변경 내역서의 목적은 신형경수로1400 비상운전지침서로부터 변경되어야 하는 운전절차에 대한 기술적 배경을 제공하는데 있다. 따라서, 운전절차 변경 내역서는 발전소 고유기술배경서의 다른 문서들과 함께 비상운전절차서의 작성 및 운전원 훈련에 사용될 수 있다.

#### 5.2.3 발전소 고유기술배경서 주요 운전전략

발전소 고유기술배경서를 구성하고 있는 고유항목 기술배경서, 설정치 배경서 및 운전절차 변경 내역서의 주요 운전전략은 부록 5B에 상세히 기술되어 있다.

#### 5.2.4 발전소 고유기술배경서 검증 및 유지관리 계획

##### 5.2.4.1 발전소 고유기술배경서 검증

발전소 고유기술배경서는 비상운전지침서에 반영하여 비상운전지침서와 동시에 검증이 수행된다.

신고리 5,6호기에 적용되는 신형경수로1400 비상운전지침서 및 발전소 고유기술배경서 최신 개정본의 비상운전전략이 사고를 복구하는데 적절한지 검증하기 위하여 시뮬레이터에서 모사가 가능한 사고에 대하여 시뮬레이터 검증을 수행하였으며, 검증과정에서 도출

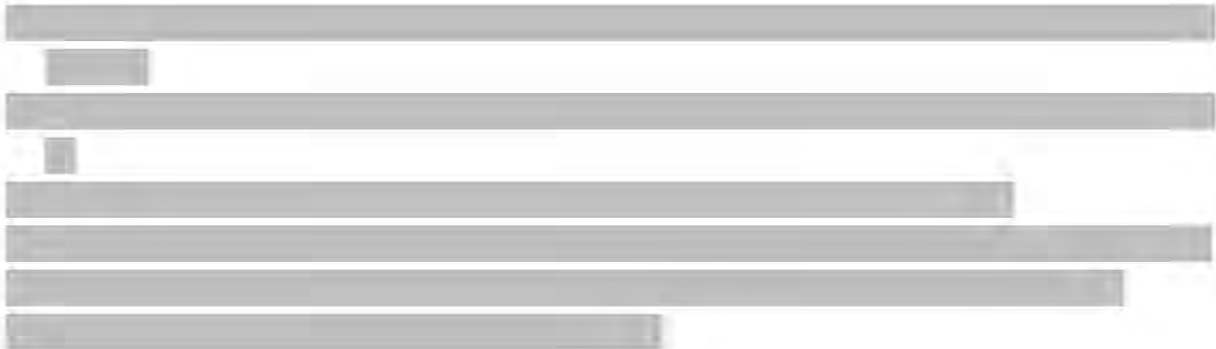
된 검토의견은 평가 후 비상운전지침서 및 발전소 고유기술배경서에 반영되었다.

비상운전지침서 검증을 통하여 비상운전지침서 및 발전소 고유기술배경서에 대한 사용 적합성과 운전 적합성에 대한 평가가 적절히 수행되었다. 따라서 비상운전지침서 및 발전소 고유기술배경서는 운전원에 의해 성공적으로 사용될 수 있으며, 비상사고가 실제로 발생하였을 경우에도 동일한 조치가 가능하다는 것을 보장할 수 있는 것으로 평가되었다.

#### 5.2.4.2 발전소 고유기술배경서 유지관리 계획

비상운전지침서 유지관리계획은 신형경수로1400 비상운전지침서를 근거로 신고리 5,6호기 비상운전절차서를 작성할 경우 신형경수로1400 비상운전지침서 및 발전소 고유기술배경서가 신고리 5,6호기에 적용하기에 적절한 상태로 유지되고 있다는 것을 보증하기 위해 필요하다. 또한 유지관리계획은 발전소 운전경험 반영, 규제요건 변경 및 적용시점 이후 현재 상태의 현안사항을 제대로 반영하고 있음을 보증한다.

비상운전지침서 및 발전소 고유기술배경서 개정 절차, 비상운전지침서를 근거자료로 사용한 비상운전절차서로의 전환 절차, 비상운전지침서 확인 및 검증을 수행하는데 사용되는 방법론을 포함한 다음의 유지관리 절차는 ‘신형경수로1400 비상운전지침서 유지관리계획’에 따라 수행된다.



5.2.5 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 발전소 고유기술배경서 설정치 배경서, 개정 0, 한국수력원자력(주)
2. 신고리 5,6호기 발전소 고유기술배경서 고유항목 기술배경서, 개정 0, 한국수력원자력(주)
3. 신고리 5,6호기 발전소 고유기술배경서 운전절차 변경 내역서, 개정 0, 한국수력원자력(주)

### 5.3 비상운전절차서 작성 지침

비상운전절차서 작성지침은 비상운전지침서 및 기술배경서와 발전소 고유기술배경서를 근거로 비상운전절차서를 작성하는데 필요한 제반사항들을 상세하게 기술하고 있다. 또한, 비상운전절차서가 사용가능하고, 정확하며, 일관성을 확보하고, 판독 가능하며, 사용하기 편리하게 작성될 수 있도록 지침을 제공하고 있다.

아울러, 비상운전절차서 작성지침을 기술하고 있는 참고문헌 1에는 비상운전절차서 작성과 관련된 행정적인 절차 및 책임, 비상운전절차서 작성 체계 및 절차, 양식 그리고 비상운전절차서 작성방법 및 주의사항을 상세히 기술하고 있다.

각 비상운전절차서 제목 및 번호체계는 절차서의 작성, 검토, 개정, 분배 및 사용 등의 제반과정들이 쉽게 관리될 수 있도록 하며, 각각의 절차서 번호는 “우선-OO”, “비상-OO” 및 “회복-OO” 등으로 그 사용목적에 따라 2자리 아라비아 숫자의 일련번호로 표기한다(예, 우선-01, 비상-01, 회복-01).

비상운전절차서 작성 대상은 다음과 같다.

- 우선 절차서 : “우선-OO” 로 표기되며 비상 발생 시, 복구를 위한 후속 비상운전절차서의 적용에 앞서 발전소 트립 시의 표준화된 조치 수행 및 발전소 증상에 따른 사고 진단 과정을 기술한 절차서이다.
- 최적복구절차서(Optimal Recovery Procedure) : “비상-OO” 로 표기되며 원자로 트립 후 조치나 사고진단 수행결과 사고의 종류를 분명하게 구분할 수 있는 단일 사고인 경우, 또는 고온대기나 고온정지 상태에서 비정상절차서 수행 중 비상절차서의 진입이 요구될 때 최적 복구가 가능하도록 기술한 절차서이다.
- 기능회복절차서(Functional Recovery Procedure) : “회복-OO” 로 표기되며 “우선 절차서”에 의한 사고 진단 결과 또는 고온대기나 고온정지 상태에서 사고의 종류를 분명하게 구분할 수 없거나 복합적인 경우에, 수행 경로에 따라 안전기능을 회복할 수 있는 절차를 기술한 절차서이다.

비상운전절차서 주요 작성방법 및 주의사항은 다음과 같다.

#### 가. 철자

철자는 현대 문법에 맞는 표준말을 사용하되 운전원이 이해할 수 있어야 한다.

#### 나. 하이픈(-)

다음과 같이 복합어의 사용이 요구될 때 복합어를 구성하는 단어 사이에 사용한다.

- 단어 사이, 영문과 단어, 화학기호와 원자량이 연결된 경우  
예) 사고 후 압력-온도 곡선/ X-선, O-링/ 우라늄-235 등

- 부가적인 설명이 요구되거나 필요한 경우

다. 구두법

구두법은 내용을 명백히 이해할 수 있고 쉽게 읽을 수 있도록 하기 위해 필요한 경우에 사용되어야 한다. 문장은 구두점의 사용을 최소화하도록 구성하여야 하며, 많은 구두점이 필요할 경우는 가능한 한 문장을 여러 개로 작성한다. 구두점의 사용은 다음 방법에 따른다.

- 콤마( , )

콤마의 사용이 많다는 것은 지시 사항이 너무 복잡하다는 것을 의미하므로 이 경우에는 문장을 분리해서 작성할 필요가 있다. 콤마는 분명하고 읽기 쉽게 하기 위해 조건구문의 뒤에 사용한다. 또한, 쉼표는 큰 크기의 숫자를 표기할 때 천 단위 간격으로 사용할 수 있다.

예) 수위가 60 % 이하로 감소하면, 펌프를 기동한다.

- 괄호( ( ) )

괄호는 절차서, 지침 혹은 기기 번호의 다른 표현을 나타낼 때 사용하거나 단위 환산 등의 경우에 사용한다.

예) 15 °C(27 °F)

- 마침표( . )

마침표는 완성된 문장의 끝부분이나 소수점 이하 숫자 표시를 할 때 사용한다.

라. 어휘

절차서 내의 어휘는 훈련받은 운전원이 정확하게 이해할 수 있도록 간단명료한 어휘를 사용하여야 하며 다음의 기준에 따른다.

- 통상적으로 사용되는 짧은 음절로 이루어진 간단한 단어를 사용한다.
- 문어체 및 공식적인 단어보다는 주제어실의 의사전달에 일반적, 일상적으로 사용되는 용어와 약어를 사용한다.
- 동의어는 혼란을 유발하므로 하나의 대상이나 조치에는 동일한 용어를 일관되게 사용한다.
- 추상적이거나 포괄적인 의미의 단어보다는 구체적이고 명확한 의미의 단어를 사용한다.
- 하나 이상의 의미로 해석될 수 있는 애매한 단어보다는 명확한 단어를 사용하거나 의미를 명확하게 정의하여 사용한다.
- 부정적 문장보다는 긍정적인 문장을, 수동적인 표현보다는 능동적인 표현방식을 사용한다.



5.3.1 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 운영절차서, 비상운전절차서 작성, 기행-2400C, 한국수력원자력(주)

#### 5.4 비상운전절차서 확인 절차서

비상운전절차서 확인 절차서는 비상운전절차서가 “비상운전절차서 작성” 절차서에 따라 정확하게 작성되었고 비상운전절차서 기초 자료의 기술적 내용을 적절히 반영하였는지를 확인하고, 확인 과정에서 도출된 문제점을 해결하기 위한 제반 절차를 제공하기 위한 절차서이다.

비상운전절차서 확인 절차서(참고문헌 1)에는 비상운전절차서 작성의 정확성 및 기술정보의 정확성, 비상운전절차서 확인 체계, 절차 및 책임, 비상운전절차서 작성 전반의 일반적 평가, 비상운전절차서 단계별 평가 및 확인 중 도출된 불일치사항에 대한 처리 절차 및 문서화에 대한 사항이 상세히 기술되어 있다.

비상운전절차서 확인에 대한 전체적인 업무체계는 준비 단계, 확인평가 단계, 문제해결 단계, 문서처리 단계 등 4단계로 이루어진다.

준비 단계에서는 확인팀을 임명, 구성하고 확인과정에 대하여 교육을 실시한다. 확인팀은 비상운전절차서 작성지침 및 기초 자료를 입수하고 이들 자료가 최신의 완전한 것인지와 확인과정에 적용가능한지 여부를 검토하고 그 목록을 기록한다.

확인평가 단계에서의 상세 내용은 아래와 같다.

##### 가. 절차서 전반의 일반적 평가

- 1) 작성의 적합성
  - 판독의 명료성
  - 절차서 형식의 일관성
  - 정보식별의 적합성

##### 나. 절차서 단계별 평가

- 1) 작성의 적합성
  - 정보표현(조치단계 내용의 적절성 및 정확성)
  - 절차서의 참조 및 전환
  - 보조절차서 적합성
- 2) 기술정보의 정확성
  - 진입 조건 또는 증상
  - 단계별 조치사항, 주의, 참고
  - 수치정보
  - 발전소 설비 정보
  - 보조절차서 정확성

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

문제해결 단계에서는 불일치사항에 대한 해결방안을 제시하고 이에 대한 해결방안을 검토한 후 의견조정을 거쳐 해결방안을 작성한다. 문서처리 단계는 승인된 확인관련 서류를 문서화하고 관리한다.

5.4.1 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 운영절차서, 비상운전절차서 확인, 기행-2400D, 한국수력원자력(주)

## 5.5 비상운전절차서 검증 절차서

비상운전절차서 검증 절차서는 비상운전절차서가 비상운전 상황 하에서 운전원의 능력 및 한계가 고려된 적절한 정보를 제공하는지와 발전소 설비의 동작특성, 운전조의 인적 능력 및 행정체제와 일치하는지를 검증하고, 검증과정에서 도출된 문제점을 해결하기 위한 제반 절차를 제공하기 위한 절차서이다.

비상운전절차서 검증 절차서(참고문헌 1)에는 비상운전절차서의 유효성 평가를 위한 설명, 비상운전절차서에 대한 사용적합성 및 운전적합성 검증 방법, 비상운전절차서 검증 체계, 자격, 절차 및 책임, 검증을 통해 도출된 불일치사항에 대한 조치절차 및 문서화 등에 대해 기술한다.

비상운전절차서 검증절차의 전체적인 업무체계는 준비 단계, 검증평가 단계, 문제해결 단계, 문서처리 단계 등 4단계로 이루어진다.

준비 단계에서는 검증팀을 임명, 구성하고 전반적인 검증과정에 대하여 교육을 실시한다. 또한, 다음과 같은 검증방법 중 한 가지 이상의 방법을 선택한다.

- 토의 검증법(Table-Top Method) : 준비된 시나리오 또는 실제 운전경험을 기초로 검증팀 주관 하에 운전원들이 각 단계별 조치사항을 설명하고 토의하면서 검증을 진행하는 방법
- 현장답사 검증법(Walk-Through Method) : 준비된 시나리오에 따라 주제어실 운전원들이 실제 제어기능은 수행하지 않고 절차서 단계별로 가상 운전조치를 수행하면서 검증팀에 의해 검증하는 방법
- 시뮬레이터 검증법(Simulator Method) : 준비된 시나리오에 따라 주제어실 운전원이 시뮬레이터를 이용, 실제 제어기능을 수행하면서 검증팀에 의해 검증하는 방법
- 참조발전소 검증법(Reference Method) : 유사한 참조발전소의 검증프로그램에서 개발된 자료를 이용하여 검증하는 방법

검증평가 단계에서는 검증절차 및 검증 시나리오에 따라 검증평가를 수행하고, 선택된 검증방법에 따라 각 절차서 단계별로 사용 적합성과 운전 적합성을 평가한다. 아울러, 평가의 수행 도중 또는 사후 토론 과정에서 도출된 부적합사항에 대해 불일치 사항을 작성한다.

문제해결 단계에서는 불일치사항에 대한 원인을 분석하고 그 해결방안을 제시하고 이에 대한 해결방안을 검토한 후 최선의 해결방안을 작성한다. 문서처리 단계는 승인된 확인 관련 서류를 문서화하고 관리한다.

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 5.5.1 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 운영절차서, 비상운전절차서 검증, 기행-2400E, 한국수력원자력(주)

## 5.6 비상운전절차서 교육훈련 계획서

원자력안전위원회 고시 제2017-35호(원자로.43) “사고관리계획서 작성방법에 관한 규정” 제10조(비상운전절차서 작성 시 적용할 기술적 근거 및 검증방법에 관한 설명서)에 따라 비상운전절차서 교육훈련 계획서에 의한 교육 및 훈련 프로그램이 수립되고 이행되어야 한다. 교육훈련 프로그램은 제3장 사고관리이행체계에 기술된 비상운전 조직의 모든 구성원에 대한 교육 및 훈련이 실시될 수 있도록 작성되어야 한다. 비상운전절차서 교육훈련 프로그램은 관련 교육훈련절차서(참고문헌 1)에 따라 교육훈련계획이 수립되고 이 행된다.

### 5.6.1 책임

비상운전절차서 교육훈련 절차서의 작성 및 개정을 승인하는 책임은 발전소장에게 있다. 운영실장은 비상운전절차서 교육훈련 과정의 전반적인 관리감독 책임을 지며 개정 비상운전절차서 교육계획서를 승인한다. 교육담당 부서장은 비상운전절차서 교육훈련 계획의 수립 및 시행에 따른 실무를 총괄한다.

### 5.6.2 교육훈련체계

비상운전절차서 교육훈련은 최초 연료 장전 전 초기교육을 시행하고 재교육 및 개정사항 교육을 시행한다.

#### 5.6.2.1 초기 교육

##### 5.6.2.1.1 교육목적

최초 연료 장전에 앞서 모든 운전원이 비상운전절차서의 구성, 사용법, 사고완화 전략 및 기술적 배경을 이해하고 실제 상황 하에서 충분한 비상운전 수행능력을 갖출 수 있도록 교육하기 위함이다.

##### 5.6.2.1.2 교육내용

비상운전절차서 개발과정, 구성 및 체계, 사용자 지침서 및 FSAR 15장 사고해석, 각 비상운전절차서 사고완화 전략 및 기술배경, 각 단계별 조치사항 및 기술배경, 발생 가능한 유형별 사고 및 다중사고시 비상운전 수행방법, 전산화 비상운전절차서의 특성 및 사용방법 등을 포함하여 교육한다.

#### 5.6.2.1.3 교육시기 및 방법

교육 담당부서는 최초 연료 장전 전에 승인된 비상운전절차서 초기교육이 완료될 수 있도록 교육계획을 수립하여 교육을 시행한다. 비상운전절차서 초기교육은 강의실 교육과 현장답사 교육 또는 시뮬레이터 교육을 병행하여 실시한다.

#### 5.6.2.2 재교육

##### 5.6.2.2.1 교육목적

최종안전성분석보고서 13.2 “교육훈련”에 따른 재교육 기간 중, 비상운전절차서의 반복 교육 및 국내외 운전경험 교육을 통해 운전원이 비상운전절차서의 구성, 사용방법, 사고 완화전략 및 기술적 배경에 대한 이해도를 계속 유지하고, 비상운전 수행능력을 향상시킬 수 있도록 하기 위함이다.

##### 5.6.2.2.2 교육내용

비상운전절차서의 구성 및 체계, 기본적인 사고완화 개념, 사고완화 전략 및 기술배경, 주요 비상운전절차서 개정사항, 국내외 운전경험 사례 등을 포함하여 교육한다.

##### 5.6.2.2.3 교육주기 및 방법

교육부서에서는 관련 교육훈련절차서에 따라 2년 이내의 주기로 교육될 수 있도록 교육계획을 수립하여 집합교육을 시행한다. 운전원 교육에는 설계기준사고 및 다중고장사고 시나리오를 기반으로 한 모의제어반 또는 토의식 교육이 포함되어야 한다.

#### 5.6.2.3 개정사항 교육

##### 5.6.2.3.1 교육목적

비상운전절차서가 개정되어 최종승인이 완료되면, 그 내용 및 사유에 대해 교육함으로써 운전원이 최신 비상운전절차서를 수행할 수 있도록 교육한다.

##### 5.6.2.3.2 교육내용

비상운전절차서 개정내용 및 사유, 변경된 사고완화 전략 및 기술배경, 변경된 비상운전절차서 단계별 조치사항 및 기술배경, 변경된 비상운전절차서에 따른 비상운전 수행능력 등을 포함하여 교육한다.



#### 5.6.2.3.3 교육시기 및 방법

경미한 개정사항에 대해서는 개정 비상운전절차서가 최종승인이 완료된 후 자율학습을 통해 3주 이내에 교육을 완료한다. 사고완화 전략의 변경 등 그 사안이 중요한 개정사항에 대해서는 개정 비상운전절차서가 최종승인이 완료된 후 3주 이내에 교육 계획을 수립하고 6개월 이내에 강의실 교육을 완료한다.

#### 5.6.3 교육훈련 결과의 피드백

##### 5.6.3.1 문서화

비상운전절차서 교육계획, 교육시행 및 교육결과와 관련된 모든 서류를 문서화하고 관리한다.

##### 5.6.3.2 비상운전절차서 개정 반영

교육훈련 과정에서 발견된 비상운전절차서와 비상운전절차서 기초자료의 오류 및 개선점에 대해서는 관련 절차서에 따라 개정한다.

##### 5.6.3.3 비상운전절차서 교육훈련 계획 반영

교육담당부서는 실제 운전과정 및 교육평가 결과에서 나타난 운전원 취약분야와 교육훈련 개선점에 대해 차기 년도의 교육훈련계획에 반영한다.

5.6.4 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 운영절차서, 비상운전절차서 교육훈련 계획서, 기행-2400F, 한국수력원자력(주)

## 5.7 비상운전절차서 사용자 지침서를 포함한 이행계획

비상운전절차서 이행계획을 위한 지침은 비상운전절차서 사용 절차서 및 비상운전절차서 유지관리 절차서로 구성되어 있다.

비상운전절차서 사용 절차서(참고문헌 1)는 비상운전절차서의 구조와 사용방법 및 비상운전 수행시 운전원의 임무를 기술하고 있다. 세부내용으로는 최적복구 절차서 및 기능회복 절차서 사용지침, 안전기능 상태점검, 비상운전절차서 운영체계, 비상운전절차서 구조 및 적용범위, 비상운전 조직과 임무 등에 대해 상세히 기술하고 있다.

방사선 비상 발령에 따른 비상운전 조직의 임무는 방사선 비상계획서에서 정하는 바에 따른다. 비상운전 조직은 발전부장, 안전차장, 주제어실 운전원(원자로운전원, 터빈운전원, 전력설비 운전원)을 포함하여, 주제어실 운전원으로부터 지시받은 현장 기기의 조작을 수행하고 그 결과를 담당 주제어실 운전원에게 보고하는 현장 운전원, 발전부장의 지시를 받아 비상운전절차 수행중의 긴급 시료분석, 제염, 정비 등의 지원업무를 수행하는 기타 지원부서 인원으로 구성된다.

비상운전절차서 적용 범위는 아래와 같다.

가. 핵증기 공급계통(NSSS) 및 관련계통에 대해 기술된다.

나. 자연재해를 대상으로 기술되지는 않았으나, 안전기능을 유지하여 재해의 영향을 완화하기 위해 회복절차서를 사용할 수 있다.

다. 손상된 노심에 대한 중대사고 복구 절차는 기술하지 않는다.

라. 사고 시에 방사선비상계획서 등의 다른 계획서나 지침서가 동시에 수행될 수 있으나, 혼란을 방지하기 위해 비상운전절차서 내에 관련 내용을 기술하지는 않는다. 단, 방사선비상계획서 수행임을 확인하는 절차는 기술 가능하다.

마. 출력운전 또는 기동 중에 발전소가 정지되면, 우선-01 “원자로 트립후 조치”를 수행 후 필요시 우선-02 “사고 진단”을 수행하여 해당 비상절차서 또는 회복절차서로 진입한다.

바. 고온대기나 고온정지 상태에서 사건이 발생되면 사고 진단을 통하여 해당 비상절차서 또는 회복절차서로 진입한다.

비상운전절차서 유지관리 절차서(참고문헌 2)는 비상운전절차서의 개정 및 유지관리를 위한 제반 절차를 기술하고 있다. 세부 내용으로는 비상운전절차서 개정절차, 개정요구서의 발행, 개정요구서 번호부여, 개정여부 및 개정작업 범위의 검토, 절차서 개정작업의 승인 및 불채택처리, 발전소 고유기술배경서의 개정, 비상운전절차서의 비치 관리 등에 대해 상세히 기술하고 있다.

모든 비상운전절차서의 개정은 비상운전절차서 개정요구서의 발행으로 개정작업이 착수된다. 접수된 개정요구서 순으로 연도별 일련번호를 부여하고 개정요구 내용의 경중에 따라 원자로조종감독자면허(SRO)를 보유한 운전원 중에서 개정자 또는 개정팀과 그 책임자를 임명한다.

개정자 또는 개정팀은 개정요구서의 내용, 비상운전절차서 기초자료 및 관련 근거서류를 검토 후 개정요구서 채택 여부, 발전소 고유기술배경서 개정 필요 여부와 개정 절차서에 대한 확인 및 검증과정의 수행 필요성 여부를 검토한다. 이러한 검토내용과 검토결과를 확인한 후, 비상운전절차서 개정을 위해 최종 승인된 개정 절차서는 운전원에 대해서 교육훈련을 실시한 후 사용된다.

또한, 승인된 비상운전절차서는 주제어실, 기술지원실(TSC) 및 원격정지제어반실에 신속히 배부, 비치하여 최신 개정본이 사용되도록 한다. 비상운전용 절차서는 다른 절차서와 구분하여 주제어실(봉인된 별도 보관함 이용), 기술지원실(TSC) 및 원격정지제어반실에 비치하며, 운전원의 교육 및 참고용 절차서는 그 용도를 명확히 표기하여 주제어실에 별도 비치된다. 비상운전절차서의 개정 및 유지관리와 관련된 일체의 서류는 문서화되고 관리된다.

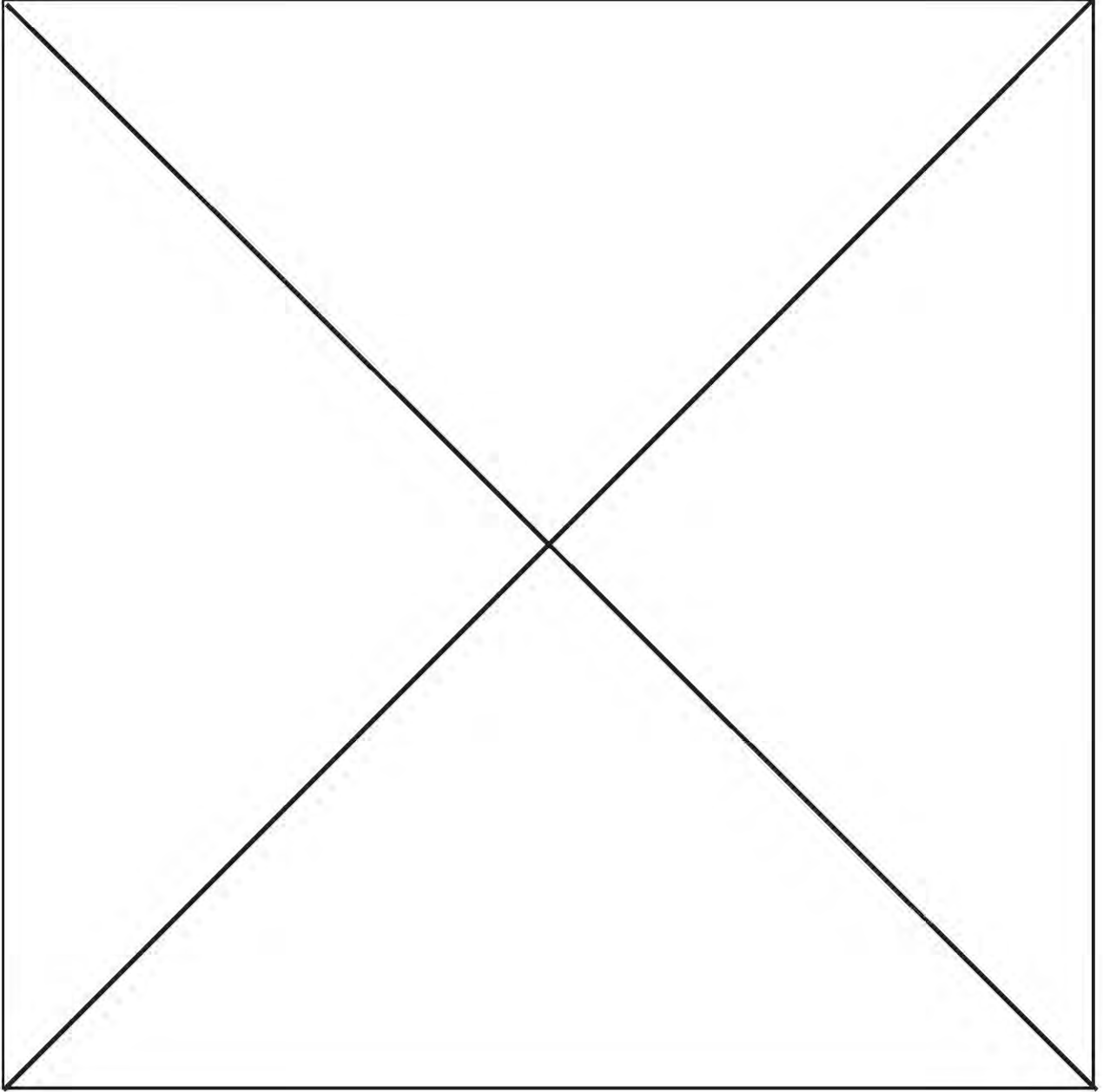
5.7.1 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 운영절차서, 비상운전절차서 사용, 기행-2400G, 한국수력원자력(주)
2. 신고리 5,6호기 운영절차서, 비상운전절차서 유지관리, 기행-2400H, 한국수력원자력(주)

## 부록 5A



## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

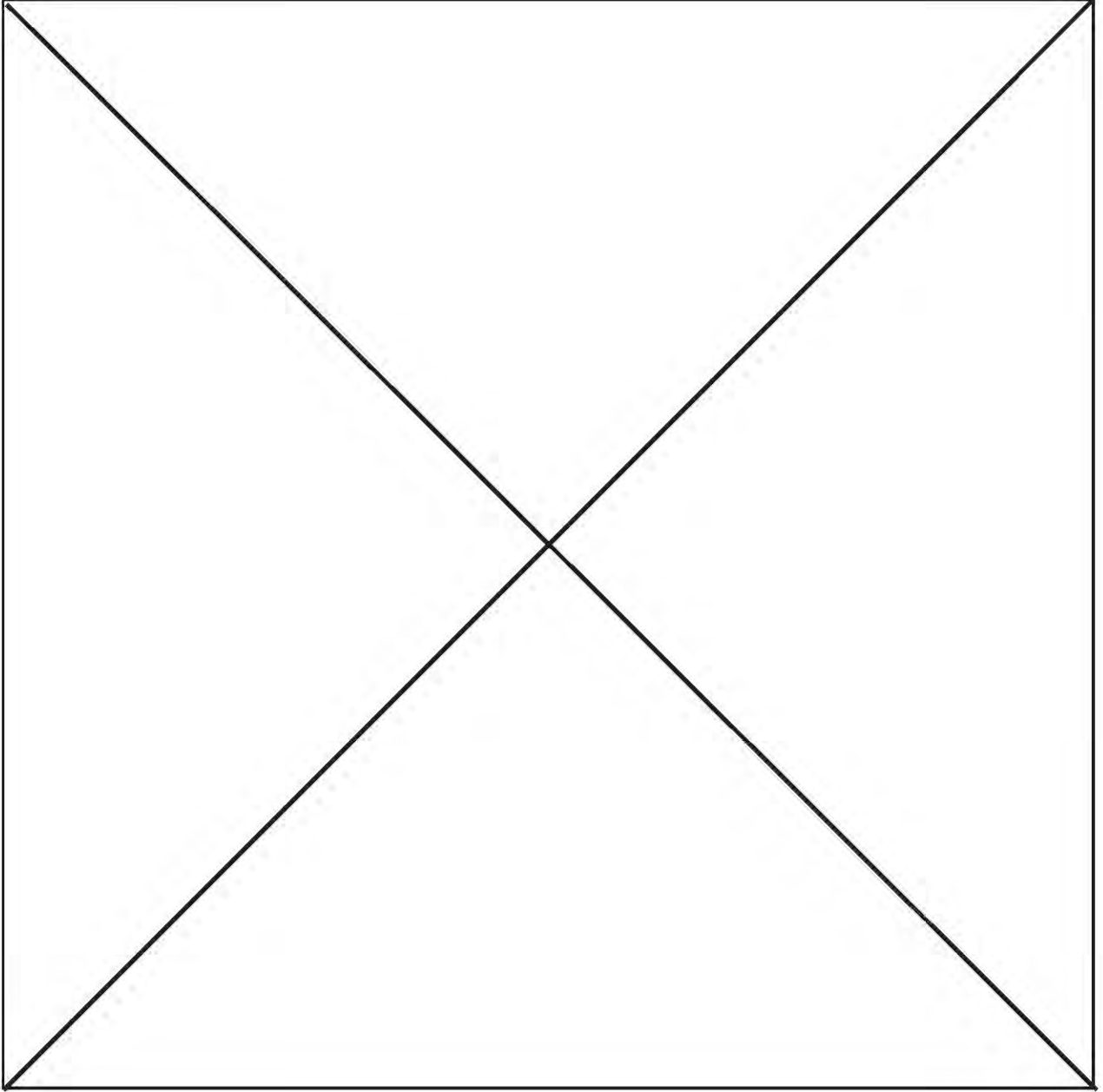


## 부록 5B





## 신고리 5,6호기 사고관리계획서



## 6 극한재해 완화지침서 작성에 관한 설명서

### 6.1 외부재해의 선정 및 영향 평가

#### 6.1.1 설계기준초과 자연재해에 의한 영향 평가

극한 자연재해인 설계기준초과 자연재해와 관련하여 1.1.3절에는 설계기준초과 지진(지진동 0.3g) 등 일곱 개 범주의 자연재해 및 재해의 규모(또는 크기)를 각각 기술하였다. 이러한 극한 자연재해들에 의하여 발생할 수 있는 영향은 다음과 같다.

설계기준초과 자연재해는 같은 지역에 위치한 고리 및 신고리 부지에 동일한 규모로 발생하므로 고리 1,2,3,4호기와 신고리 1,2호기 및 신고리 3,4,5,6호기에도 동시에 영향을 주게 된다. 그러나 발전소 배치, 냉각수 구조물이 위치한 해안 배치, 하천수계 및 배후사면 등을 고려했을 때 고리부지 및 신고리 1,2호기 부지와 신고리 3,4,5,6호기 부지는 자연재해 영향 평가 측면에서 다른 부지이다.

상기 사항을 고려하여 설계기준초과 자연재해가 필수 대처설비에 주는 영향을 신고리 5호기와 6호기로 구분하여 검토하였다.

이에 호기별로 필수 대처설비의 내진성능 값을 각각 확인하여 대응능력을 확인하였고, 홍수에 의한 침수수준도 호기별로 별도 확인하는 등 발전소 별 평가를 모두 독립적으로 진행하였다. 그 결과 다수호기 영향이 단일호기 평가결과에 영향을 끼치지 않음을 확인하였다. 이러한 설계기준초과 자연재해들에 의하여 신고리 5,6호기에서 발생할 수 있는 영향은 다음과 같다.

##### 6.1.1.1 설계기준초과 지진(지진동 0.3g) 발생이 안전관련 구조물·계통·기기에 끼치는 영향

설계기준초과 지진인 수평최대지반가속도 0.3g는 확률론적 지진재해도 분석결과 연초과빈도는 평균값에 대해  $3.63 \times 10^{-5}$ /년이며(참고문헌 2), 이를 재래주기로 환산하면 약 28,000년에 해당되므로 재래주기가 10,000년 이상인 지진동이다. 신고리 5,6호기의 지진동 감시설비인 지진감시계통 설비들은 내진범주 I급 기기로서 안전정지지진(0.3g)으로 내진검증된 설비이므로 0.3g 지진동 발생시에도 고유기능을 유지할 수 있다. 신고리 5,6호기 부지에 0.3g의 지진동이 발생하여도 최종안전성분석보고서(FSAR) 2.5.4.8절(참고문헌 2)에 따르면 안전관련 구조물들은 대부분 견고한 암반층(연암~경암)에 위치하며 내진범주 I급 구조물의 뒷채움은 구역 A 뒷채움으로서, 이 같은 뒷채움은 배수가 양호한 과립상의 채움재를 평균 상대밀도 85 % 이상으로 다져 뒷채움 하므로 액상화 현상은 발생하지 않는다. 또한 부지 내 영구사면은 최종안전성분석보고서(FSAR) 2.5.5절(참고문헌 2)에 따르면 설

계시부터 0.3g 지진동의 정적 및 동적 설계 하중하에서 사면안정성이 고려되었으므로 0.3g의 지진동 발생시에도 영구사면의 진전성은 유지되는 것으로 검토되었다. 한편 0.3g 지진동하에서 안전관련 구조물 하부 암반 지지력도 문제가 없어 침하에 의한 영향은 발생하지 않는다.

그리고 신고리 5,6호기의 안전관련 구조물 및 필수 안전정지기능을 보증하는 안전정지경로 상의 기기, 사용후연료냉각시스템의 기기 및 격납시스템의 격리기능을 수행하는 기기들에 대하여 FA(Fragility Analysis) 또는 CDFM(Conservative Deterministic Failure Margin) 방법을 이용하여 고유 내진성능을 분석하였다. 지진 PSA 분석 결과 모든 안전관련 구조물의 내진성능 값인 HCLPF(High Confidence of Low Probability of Failure)는 0.5g 이상으로 평가되었다.

또한 필수 안전정지기능을 보증하는 안전정지경로 상의 기기, 사용후연료냉각시스템의 기기 및 격납시스템의 격리기능을 수행하는 기기들은 0.3g 지진동으로 설계되었으므로 HCLPF는 모두 0.3g 이상을 확보한다. 따라서 상기에서 보듯이 설계기준초과 지진(지진동 0.3g) 발생으로 안전관련 구조물·시스템·기기가 받는 영향은 없다.

#### 6.1.1.2 설계기준초과 지진해일(재래주기 10,000년 빈도)에 의한 홍수 영향

동해동연부에서 재래주기 10,000년 빈도 해저지진(규모 Mw=8.2) 발생시 신고리 5,6호기 부지 전면에서의 가능최고해수위는 안전관련 구조물이 위치한 본관의 부지정지고 EL.(+)9.5 m 보다 낮으므로 지진해일에 의한 홍수영향은 발생하지 않는다.

#### 6.1.1.3 설계기준초과 폭풍해일(재래주기 10,000년 빈도)에 의한 홍수 영향

부지에 영향을 줄 수 있는 재래주기 10,000년 빈도 태풍 규모(진로, 최대풍 반경, 최대풍속, 이동속도)를 검토하였고, 그 결과 선정된 태풍들로부터 수치모의를 수행하여 평가된 부지에서의 가능최고해수위는 EL.(+)9.5 m 미만이다(처오름높이 포함). 이 수위는 안전관련 구조물이 위치한 본관의 부지정지고 EL.(+)9.5 m 보다 낮으므로 폭풍해일에 의한 홍수영향은 발생하지 않는다.

#### 6.1.1.4 설계기준초과 강우(PMP의 1.5배)에 의한 홍수 영향

설계기준초과 강우 발생시 안전관련 구조물에서의 홍수 영향을 XP-SWMM의 내부 2D 모형인 TUFLOW 모형을 사용하여 2차원 수치모의를 수행하여 검토하였다. 평가결과 각 안전관련 구조물 출입구에서는 강우로 인한 수위가 출입구 높이보다 높은 것으로 검토되었다. 그러나 안전관련 구조물 출입구에는 방수문이 설치되므로 강우로 인한 침수영향이 발생하지 않는다.

#### 6.1.1.5 설계기준초과 강풍(재래주기 10,000년 빈도)에 의한 영향

신고리 5,6호기 부지에서의 재래주기 10,000년 빈도 최대풍속은 54.21 m/s, 10,000년 빈도 최대순간풍속은 66.52 m/s로 검토되었으며, 이에 의한 풍압은 신고리 5,6호기 설계 풍압에 비해 크다. 그러나 상기 최대풍속에 의한 풍압은 안전정지지진(0.3g) 하중보다 작다. 따라서 안전관련 구조물이 상기와 같이 안전정지지진 하중에 의해 설계되었음을 고려할 때 풍속의 증가가 구조물의 안전성에 끼치는 영향은 없는 것으로 검토되었다.

한편 재래주기 10,000년 빈도 최대순간풍속(66.52 m/s)에 의한 비산물 영향을 평가한 결과 안전관련 구조물의 외벽은 USNRC SRP(NUREG-0800) 3.5.3(Barrier design procedures)에 제시된 콘크리트 방호벽의 최소 두께기준으로 13 in 이상이어야 하는 것으로 검토되었다. 신고리 5,6호기 안전관련 구조물 외벽의 최소 두께는 18 in 이상이므로 강풍으로 인한 비산물 영향이 발생하지 않는 것으로 평가되었다.

#### 6.1.1.6 설계기준초과 토네이도에 의한 영향

설계기준초과 토네이도로서 F2 급의 토네이도가 부지에서 발생하는 상황을 가정하여 발전소의 대응능력을 평가하였다. 부지에서 설계기준을 초과하는 F2급(풍속 50~70 m/s)의 토네이도가 발생할 경우 비산물이 발생할 수 있다. 이에 대하여 USNRC SRP(NUREG-0800) 3.5.3(Barrier design procedures)에서는 Reg. Guide 1.76의 Region I, II, III에 해당하는 각각의 콘크리트 방호벽의 최소 두께를 제시하였다. 제시된 콘크리트 두께는 콘크리트의 전·후면파쇄(Scabbing/Spalling)까지 고려하여 NDRC식 등 여러 경험식으로 평가한 결과이다. F2급의 토네이도는 Reg. Guide 1.76의 Region III보다도 작으므로 보수적으로 Region III를 적용할 경우 콘크리트의 최소 두께는 11.1 in(28.2 cm)이다. 신고리 5,6호기 격납건물, 보조건물 등의 비산물 방호벽 기능을 수행하는 안전관련 구조물의 외벽 두께는 최소 11.1 in(28.2 cm) 이상으로서 토네이도 비산물의 영향이 발생하지 않는 것으로 검토되었다.

#### 6.1.1.7 설계기준초과 가능최저해수위(재래주기 10,000년 빈도)에 의한 영향

재래주기 10,000년 빈도의 가능최저해수위는 1차측기기냉각해수 취수펌프의 유효흡입수두 설계에 고려된 최저수위인 EL.(-)1.8 m 보다 높으므로 가능최저해수위에 의한 영향은 없다.

#### 6.1.2 설계기준초과 자연재해에 따른 복합재해에 의한 영향 평가

극한 자연재해에 따른 복합재해로는 1) 설계기준초과 지진발생시 안전관련 구조물 내부에서의 침수 발생, 2) 설계기준초과 지진발생시 안전관련 구조물에서의 지진화재 발생이 있다. 한편 선박 좌초에 의한 기름 유출, 취수구에서의 선박 충돌 및 해양생물/개펄 유입의 경우 오직 최종열제거원의 기능 상실만을 유발하며, 지진 등과는 달리 최종열제거원 기능 외에 다른 기능이나 기기에 영향을 주지 않는다. 또한 최종열제거원 기능 상실의 경우 발전소 내 용수탱크들의 급수원을 통하여 노심냉각 및 사용후연료냉각이 가능하므로 평가대상 복합재해로 고려하지 않는다. 상기 2가지 복합재해들에 의하여 발생할 수 있는 영향을 다음과 같이 검토하였다.

##### 6.1.2.1 설계기준초과 지진발생시 안전관련 구조물 내부에서의 침수 발생

원자로건물 내부 배관은 내진범주 I 또는 II로 설계되어 안전정지지진 및 설계기준초과 지진발생시 0.3g 지진동 수준까지는 배관 파손이 발생하지 않으므로 이에 의한 내부 침수 영향은 발생하지 않는다.

보조건물 등 안전관련 구조물 내부에는 고에너지 유체계통 배관, 중에너지 유체계통 배관 및 화재방호계통 배관이 존재한다. 상기 배관들은 대부분이 내진범주 I 또는 II로 설계되어 있으며 비안전등급의 배관도 안전관련 지역에 있는 배관은 내진범주 II로 설계되었다. 따라서 안전정지지진 및 설계기준초과 지진시 0.3g 지진동 수준까지는 배관 파손이 발생하지 않으므로 이에 의한 내부 침수 영향은 발생하지 않는다.

##### 6.1.2.2 설계기준초과 지진발생시 안전관련 구조물에서의 지진화재 발생

신고리 5,6호기의 안전정지기기와 계통은 4개 계열로 구성되어 있으며 공간적으로 분리되어 있으므로 지진에 의해 화재가 발생할 가능성이 있는 지역 중에서 화재 발생시 필수 대처기능의 상실을 초래할 수 있는 취약지역은 주제어실과 사용후연료저장조 지역이다. 이에 2곳의 지진화재 취약지역에는 내진비상조명등 설치 등의 개선사항을 반영할 예정이다.

한편 신고리 5,6호기는 운영 단계에서 초동소방대, 자체소방대, 자위소방대를 조직하여 발전소 내 화재진압에 대비할 예정이며, 외부소방대와 응원협정을 통하여 발전소 내 화재 확대에 대비할 것이다. 이러한 소내·외 소방대의 화재에 대비한 역량과 상기 개선사항의 조치가 완료될 경우 부지에서 발생하는 설계기준초과 지진에 의한 내부 광역화재를 효과적으로 진압할 수 있는 것으로 검토되었다.

### 6.1.3 설계기준초과 인위적재해에 의한 영향 평가

신고리 5,6호기에 대하여 항공기충돌 등 인위적재해에 의한 화재 및 폭발로 발생하는 광역손상 영향을 평가하였다. 인위적재해에 의해 발생할 수 있는 복합적인 손상유형은 물리적 손상, 충격손상 및 화재손상이 있다. 이러한 손상유형은 발생위치, 폭발위력 등에 따라 복합적이고 광범위하게 나타날 수 있다. 신고리 5,6호기 인위적 광역손상 완화 기본운영지침서는 신고리 5,6호기 필수안전기능을 정의하고 관련 계통 및 기기의 배치설계 및 광역손상에 의한 기능상실 여부를 평가한 결과를 제시하고 있다. 신고리 5,6호기의 광역손상 영향 평가에서 고려한 필수안전기능은 다음과 같다.

- 원자로 내 핵연료 냉각기능
- 사용후연료저장조 내 핵연료 냉각기능
- 원자로건물 방호벽 기능

상기 필수안전기능에 대해 각 필수안전기능을 수행하는 계통을 검토하였다.

#### 원자로 내 핵연료 냉각기능

원자로냉각재계통 열 제거의 1차 수단은 보조급수계통을 이용한 증기발생기 2차측 급수를 통한 자연 순환을 유지하는 것이다. 보조급수계통은 안전성관련 계통으로서 발전소 비상운전 상황 동안 원자로 노심의 노출 방지 및 열제거를 위하여 독립적인 급수를 증기발생기 2차측에 공급한다. 터빈구동보조급수펌프의 운전에 필수적인 모든 제어, 계장 및 밸브들은 축전지의 지원을 받은 1E급 전원에 의해서 작동된다.

증기발생기 2차측 급수가 가용하지 않는 설계기준초과사고에 대한 붕괴열 제거를 위한 원자로냉각재계통 열 제거의 2차 수단은 안전주입계통 및 안전감압배기계통으로 원자로냉각재계통의 주입 및 방출을 통해 냉각운전을 하는 것이다. 안전주입계통 및 안전감압배기계통의 운전에 필수적인 모든 기기, 제어, 계장 및 밸브들은 1E급 전원에 의해서 작동된다.

원자로 내 핵연료 냉각기능을 위한 1차 및 2차 수단은 동일 건물 내에 있고, 비상디젤발전기(EDG) 및 소외 전원에서 공급되는 교류 전원을 보조건물 78'-0"에 위치하고 있는 4.16kV 1E급 스위치기어로부터 공급받는다. 1차 및 2차 수단은 보조건물 55'-0" 및 78'-0"에 주요 기기 및 케이블들이 위치해 있다. 1차 수단과 동일한 높이에 위치한 2차 수단의 전기 설비와 전원 및 제어 케이블은 인위적재해 발생시 동시에 손상되는 것으로 평가하므로, 본 안전기능을 위한 1차 및 2차 수단은 이적기준을 충족하지 못하고 있다.

### 사용후연료저장조 내 핵연료 냉각기능

사용후연료저장조는 핵연료 저장구역과 핵연료취급지역들로 구성된다. 즉, 사용후연료 운반용기 하역조, 사용후연료저장조 구역 A와 B 및 핵연료운반계통 수로구역이다. 각 구역은 탄성 중합체의 밀봉물을 갖추고 경첩이 달린 수문으로 인접구역을 차단할 수 있다. 그 수문들은 사용후연료저장조 구역 내 수위에 영향을 주지 않고 사용후연료 운반용기 하역조와 핵연료운반계통 수로구역에서 배수시킬 수 있다. 그 수문들은 인접구역에서 배수되고 있을 때 수문이 닫힌 상태에서 사용후연료저장 구역 내 수압이 유지되도록 설계한다. 사용후연료저장조는 중성자흡수체가 포함된 조밀저장대로서 핵연료 저장셀을 갖는 모듈로 구성되며, 각 저장셀은 핵연료집합체의 조밀저장을 위해 독물질을 가지고 있다. 저장대는 정방형의 핵연료 저장셀들이 격자모양으로 구성된 스테인리스강 구조물이며, 저장셀 외벽에 독물질 판이 부착된다.

사용후연료저장조 A, B에는 각각 2계열의 냉각계열이 있다. 사용후연료저장조 A, B에 대한 각각의 냉각계열은 1대의 열교환기, 1대의 펌프, 관련 배관, 밸브 및 계측설비로 구성된다. 사용후연료저장조 A의 각 냉각계열은 저장조 A를 냉각시켜 저장조 포괄온도(bulk temperature)를 발전소 정상출력운전시 48.9 °C(120 °F) 이하로 유지하고, 재장전 운전시 60 °C(140 °F) 이하로 유지하며, 비상운전시 양 계열 동시운전으로 저장조 포괄온도를 60 °C(140 °F) 이하로 유지한다. 사용후연료저장조 B의 각 냉각계열은 저장조 B를 냉각시켜 발전소 정상운전 동안 저장조 포괄온도를 48.9 °C(120 °F) 이하로 유지한다. 사용후연료저장조냉각펌프의 운전을 위해서는 4.16 kV 1E급 교류 전원이 필요하다.

사용후연료저장조 A, B내 핵연료 냉각기능을 위한 2계열의 냉각계통은 동일 건물 내에 있고, 비상디젤발전기(EDG) 및 소외 전원에서 공급되는 교류 전원을 보조건물 78'-0"에 위치하고 있는 4.16 kV 1E급 스위치기어로부터 공급받는다. 2계열의 냉각계열은 동일한 높이에 위치하므로 2계열의 전기 설비와 전원 및 제어 케이블은 인위적재해 발생시 동시에 손상되는 것으로 평가하므로, 본 안전기능을 위한 2계열의 냉각계통은 이격기준을 충족하지 못하고 있다.

### 원자로건물 방호벽 기능

신고리 5,6호기 원자로건물은 대형건식 원자로건물형으로 설계되었다. 원자로건물 구조는 철근 콘크리트 기초슬래브, 프리스트레스 콘크리트 원동형 셀, 반구형 돔 및 철근콘크리트 내부구조물로 구성된다. 압력경계는 원자로건물 셀(shell)과 여러 기계적 및 전기적 관통부로 이루어져 있다. 이들 관통부에는 장비 반입구(equipment hatch), 출입문, 원자로건물 배관 관통부, 전기 관통부 및 핵연료이송튜브가 있다. 원자로건물 열 제거는 원자로건물 건전성 유지를 위해 설계기준 압력 및 온도의 초과 방지를 위해 필요하다. 원자로건물 격리를 위한 특정 계통은 없으나, 원자로건물 격리설비 설계시 유체계통의 원자로건물 관통부에 허용하는 공통 기준을 적용하고 적절한 원자로건물 격리밸브가 자동적

으로 작동한다.

원자로건물을 관통하는 배관과 연계 기기에는 다중성을 갖는 격리기능이 제공된다. 1차 수단은 원자로건물 내부 격리밸브이다. 2차 수단은 원자로건물 외부에 위치한 격리밸브이다. 이들 밸브는 단힘이 유지되거나 자동으로 격리되는 밸브이다. 자동밸브를 제어하기 위해 소내전원 그리고/또는 소외전원 그리고 비상전원(비상디젤발전기)으로부터 전원을 공급한다. 모든 자동 격리밸브는 작동신호나 구동력이 상실되었을 때 안전한 상태(Fail-safe)를 유지할 수 있도록 설계되어 있다.

자동 격리밸브는 작동신호나 구동력이 상실되었을 때 안전한 상태를 유지하기 위해 단힘 상태를 유지한다. 전원상실시 계통의 특성에 따라 열림 상태를 유지하는 격리밸브가 있으나 이는 방사성물질 누출방지를 위한 원자로건물 격리기능에 영향을 미치지 않는다. 격리밸브의 제어 및 전원상실시 원자로건물격리기능은 영향이 없으나 인위적재해에 의한 직접적인 물리적손상은 광역손상의 한 형태로 원자로건물 관통부에 설치된 배관 및 밸브에 영향을 줄 수 있다. 이 경우 원자로건물 격리기능을 상실할 수 있다.

원자로건물 건전성 유지를 위한 원자로건물 열제거의 주요 수단은 원자로건물살수계통으로 원자로건물 내부로 냉각수를 주입하는 것이다. 원자로건물 살수계통은 원자로건물내 재장전수탱크, 2대의 원자로건물살수펌프, 2대의 원자로건물 살수 열교환기, 2대의 독립된 주살수 모관, 배관, 계측 장비들로 구성되어 있다.

원자로공동충수계통은 중대사고시 노심용융물과 원자로공동 콘크리트와의 상호작용에 의한 콘크리트 침식으로부터 원자로건물 압력 경계를 유지하기 위해 원자로공동을 충수한다. 원자로공동충수계통은 원자로건물내재장전수탱크의 냉각수를 직접 원자로공동 지역으로 전달하며, 밸브 개방을 통해 중력에 의해 충수된다.

원자로건물살수계통 및 원자로공동충수계통은 비상디젤발전기(EDG) 및 소외 전원에서 공급되는 교류 전원을 보조건물 78'-0"에 위치하고 있는 4.16 kV 1E급 스위치기어로부터 공급받아 사용한다. 1차 및 2차 수단에 필수적인 모든 기기, 제어, 계장 및 밸브들은 보조건물 78'-0"에 위치해 있다. 원자로건물살수계통과 동일한 높이에 위치한 원자로공동충수계통의 전기 설비와 전원 및 제어 케이블은 인위적재해 발생시 동시에 손상되는 것으로 평가하므로, 본 안전기능을 위한 이격기준을 충족하지 못하고 있다.

각 필수안전기능을 수행하는 계통의 필수기기의 배치설계를 검토하고 광역손상범위 평가방법에 따라 평가를 수행한 결과 인위적재해에 의한 광역손상 발생시 신고리 5,6호기의 전원 및 계측제어기능의 상실 또는 물리적손상에 의한 직접적인 영향으로 고유의 고정형 설비에 의해 필수안전기능이 유지가 되지 않음을 확인하였다. 상세한 평가결과는 신고리 5,6호기 인위적 광역손상 완화 기본운영지침서(참고문헌 1)에 포함되어 있으며 상세 평가 결과는 보안관련 사항으로 관련규정에 따라 본 계획서와는 별도로 관리된다.



## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 6.1.4 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 인위적 광역손상 완화 기본운영지침서, 한국수력원자력(주)
2. 신고리 5,6호기 최종안전성분석보고서(FSAR), 한국수력원자력(주)

## 6.2 안전기능 복구 수단 및 사고 완화 기능

### 6.2.1 설계기준초과 자연재해

설계기준초과 자연재해시 노심냉각, 사용후연료저장조 냉각 및 원자로건물 건전성에 대한 안전기능을 복구하기 위해 고정형 설비 뿐만 아니라 이동형 설비를 이용한다. 특히, 설계기준초과 자연재해시 모든 교류전원 및 최종열제거원의 장기간 상실을 대처하기 위한 복구 수단을 구비함으로써 상기 안전기능을 복구할 수 있다.

설계기준초과 자연재해시 원자로는 안전하게 정지되고, 전체 과도상태에 걸쳐 충분한 수준의 정지여유도를 확보하여 미임계가 유지된다. 대체교류디젤발전기상실을 포함한 소내 정전과 최종열제거원상실시 모든 교류전원이 상실되나, 안전등급 축전지가 A,B 채널 8시간, C,D 채널 24시간 동안 125 VDC 안전모선에 연결된 원자로제어 및 보호계통에 전력을 공급할 수 있다.

원자로정지 및 터빈정지 직후 증기발생기 압력이 주증기안전밸브 개방 설정치까지 도달하여 발전소는 고온대기상태에서 안정된다. 원자로가 정지된 후 노심 붕괴열이 증기발생기 전열관을 통해 증기발생기 2차측으로 전달되며, 모든 교류전원 상실로 원자로냉각재 펌프가 작동하지 않는 상황에서 노심 열제거는 자연순환냉각 현상에 의해 이루어진다.

모든 교류전원 및 순환수계통의 기능 상실로 인해 주급수펌프가 정지되면 증기발생기로의 급수공급이 상실되지만, 증기발생기 수위가 보조급수펌프의 작동설정치에 도달하면 터빈구동보조급수펌프가 자동으로 기동하여 증기발생기에 급수공급이 재개되어 자연순환냉각이 가능하다.



## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

[Redacted text block]

#### 6.2.2 설계기준초과 인위적재해

인위적재해에 의한 광역손상 발생시 신고리 5,6호기의 모든 전원 및 계측제어기능의 상실 또는 물리적손상에 의한 직접적인 영향으로 고유의 고정형 설비에 의해 필수안전기능이 유지 되지 않음을 확인하였다. 신고리 5,6호기는 광역손상 발생시 상실 될 것으로 예상되는 각 필수안전기능을 복구하고 유지하기 위한 완화전략필수안전기능 상실시 핵연료의 손상을 방지하고 방사능물질의 누출을 최소화하기 위해 적절한 운전원 조치가 필요하며 이를 위해 광역손상 완화전략을 개발하였다. 필수안전기능에 대응하는 광역손상 완화전략의 목록은 아래와 같다.

필수안전기능		광역손상 완화전략
KINS/RG-N19.02	NEI 06-12	
원자로 내 핵연료 냉각기능	원자로냉각재계통 재고량제어	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원자로건물내재장전수탱크 충수</li> <li>• 재고량 손실 감소를 위한 증기발생기 수동감압</li> </ul>
	원자로냉각재계통 열제거	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 터빈구동 보조급수펌프 수동운전</li> <li>• 이동형 펌프를 사용한 증기발생기 급수공급</li> <li>• 보조급수저장탱크 충수</li> </ul>
사용후연료저장조 내 핵연료 냉각기능	사용후연료저장조 손상 완화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사용후연료저장조 내부 충수/살수 전략</li> <li>• 사용후연료저장조 외부 충수/살수 전략</li> <li>• 누설 제어전략</li> </ul>
원자로건물 방호벽 기능	원자로건물 격리	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인위적재해 초기대응지침</li> </ul>
	원자로건물 건전성 유지	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 이동형 발전기를 이용한 원자로공동충수계통 밸브 구동 및 원자로공동 충수</li> </ul>
	방사성물질 누출최소화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고압이동형살수차를 이용한 살수</li> </ul>

#### 원자로건물내재장전수탱크 충수

원자로건물내재장전수탱크 충수는 기본적인 인위적재해에 의한 광역손상에서 고려하는 모든 직류 및 교류전원 상실과는 다르게 교류전원에 의한 안전주입펌프의 운전이 가능한 상황에 적용한다. 비상운전절차서에 의한 안전주입계통은 운전 중 원자로건물내재장전수탱크의 재고량 감소로 안전주입운전을 지속하는 것이 불가능한 상황에서 원자로건물내재장전수탱크 주입관 연결부에 이동형 호스를 연결하고 최소 1,136 L/min(300 gpm)으로 충수한다. 원자로건물내재장전수탱크 충수를 통해 지속적으로 원자로냉각재계통의 재고량을 유지한다.

#### 증기발생기 수동감압

원자로냉각재계통 재고량 감소를 방지하기 위해 증기발생기를 수동감압한다. 증기발생기 수동감압을 통해 원자로냉각재계통의 압력과 온도를 제어함으로써 원자로 과압에 의한 냉각재 상실을 방지할 수 있다. 증기발생기 수동감압은 주증기 배관에 설치된 주증기대기방출밸브를 수동 개방하는 것에 의한 이뤄진다. 전략 수행을 위해 주증기대기방출밸브 주변부에 대한 접근이 가능한지를 확인하며 증기발생기 감압에 필요한 장비는 주증기대기방출밸브 주변부나 접근이 용이한 지역에 보관한다. 전략수행시 증기발생기 수위와 압력을 고려하여 주증기대기방출밸브를 조절해야 하며, 노심손상이 예상되는 경우에는 주증기대기방출밸브를 닫아 증기발생기튜브 손상을 방지한다.

#### 터빈구동보조급수펌프 수동 운전

인위적재해로 인한 모든 전원 및 제어시스템의 상실은 원자로냉각재계통 열 제거 기능의 상실을 발생시킨다. 이 경우, 교류 및 직류전원 없이 터빈구동보조급수펌프 수동 운전을 통해 원자로냉각재계통 열 제거능력을 확보한다. 터빈구동보조급수펌프 수동운전을 위해 이동형 배터리 또는 이동형 발전기 등을 이용하여 증기발생기 수위를 측정하거나, 급수량 및 붕괴열에 따른 증기발생기 수위 예측할 수 있으며 터빈구동보조급수펌프 운전을 위해 필요한 제어전원도 이동형발전기를 이용할 수 있다. 이 전략의 목적은 터빈구동보조급수펌프의 장기운전과 증기발생기 수위제어 가능성을 강화시킨다. 터빈구동보조급수펌프의 작동으로 원자로의 잔열을 제거함으로써 연료의 손상을 방지하고 사고진행을 상당히 지연시킬 수 있다.

#### 이동형 펌프를 이용한 증기발생기 급수

터빈구동보조급수펌프의 수동운전을 위한 이동형 전원이 확보할 수 없거나 펌프제어를 위한 격실의 진입이 불가능한 경우, 이동형 펌프를 사용해 증기발생기에 급수를 공급하여 증기발생기를 통한 원자로냉각재계통 열 제거 능력을 확보한다. 증기발생기 외부 급수를 위한 외부주입관 연결부에 이동형 호스와 이동형 펌프를 연결하고 최소 758 L/min(200 gpm)으로 급수한다. 이 전략은 증기발생기 감압과 함께 수행한다. 보충수원은 소내 화재방호계통을 이용하며 화재방호계통에 의한 용수 확보가 불가능한 경우, 소내 또는 소외의 보충수원으로부터 용수를 확보한다. 이동형 배터리를 활용하여 증기발생기 수위를 측정하거나, 급수량 및 붕괴열에 따른 증기발생기 수위를 예측한다. 고정설비를 이용한 원자로냉각재계통 열 제거 기능의 상실시, 이동형 펌프를 이용한 증기발생기 외부급수 공급을 통하여 원자로냉각재계통 열 제거 기능을 복구하고 유지할 수 있다.

#### 보조급수저장탱크 충수

보조급수펌프의 장기운전을 위한 보조급수저장탱크를 충수한다. 보조급수저장탱크 충수를 위한 외부주입관 연결부에 이동형 호스와 이동형 펌프를 연결하고 최소 758 L/min(200 gpm)으로 충수한다. 보충수원은 소내 화재방호계통을 이용하며 화재방호계통에 의한 용수 확보가 불가능한 경우, 소내 또는 소외의 보충수원으로부터 용수를 확보한다. 보조급수계통이 건전하거나 복구를 통하여 계통의 운전이 가능한 경우 보조급수계통의 공급수를 지속적으로 제공함으로써 원자로냉각재계통 열 제거 기능을 강화할 수 있다.

사용후연료저장조 냉각유지를 위해 다음의 전략을 개발하였다.

- 사용후연료저장조 내부 충수/살수 전략
- 사용후연료저장조 외부 충수/살수 전략
- 누설 제어전략

#### 사용후연료저장조 내부 충수/살수 전략

광역손상에 의해 사용후연료저장조 냉각시스템이 상실된 경우, 발전소 내·외부의 가용한 자원을 이용하여 저장조를 충수함으로써 저장조 내의 연료손상을 완화한다. 사용후연료저장조 내부 충수/살수 전략은 사용후연료저장조 주변으로의 진입이 가능하고 저장조 주변의 방사선량이 높지 않은 경우에 수행한다. 사용후연료저장조 충수는 저장조 내부 지역으로 진입하여 이동형 호스를 사용후연료저장조 주변의 소화전에 연결한다. 이동형 호스를 사용후연료저장조에 1,893 L/min(500 gpm)으로 충수할 수 있는 위치에 배열하고 이동형 호스는 고정장치를 이용하여 고정한다. 사용후연료저장조 살수는 운전원이 사용후연료저장조 내부 지역으로 진입하여 이동형 호스를 이용하여 사용후연료저장조 주변의 소화전과 살수노즐을 연결한다. 살수범위가 사용후연료저장조의 모든 구역을 포함할 수 있도록 살수노즐을 조절한다. 이동형 호스는 고정장치를 이용하여 고정한다.

#### 사용후연료저장조 외부 충수/살수

사용후연료저장조의 주변지역 진입이 불가능한 경우, 사용후연료저장조 외부 충수/살수 전략을 수행한다. 사용후연료저장조 외부 충수를 위해 사용후연료저장조 외부에 설치된 이동형 호스와 이동형 펌프를 외부주입관에 연결하여 사용후연료저장조에 1,893 L/min(500 gpm)이상으로 충수한다. 이동형 호스는 고정장치를 이용하여 주변 시설에 고정한 후 충수를 수행한다. 이동형 펌프의 충수원은 옥외 화재방호시스템을 사용한다. 화재방호시스템에 의한 보충수원의 확보가 불가능한 경우 소내의 가용한 보충수원을 이용한다. 사용후연료저장조 외부 살수를 위해 사용후연료저장조 살수노즐이 설치된 외부주입관 연결부에 이동형 호스와 이동형 펌프를 연결하여 사용후연료저장조에 살수한다. 살수노즐은 사용후연료저장조의 모든 구역을 살수할 수 있도록 조절하여 고정되어 있다. 사용후연료저장조 구조물의 손상으로 외부주입관이 손상된 경우, 고압 이동형 살수차를 이용하여 외부에서 살수할 수 있다.

#### 사용후연료저장조 누설제어

사용후연료저장조의 누설물이 충수 및 살수전략에서 제공하는 충수율을 초과하는 경우 누설물을 감소시키기 위해 소내 또는 소외 자재를 사용하여 적절한 누설완화 조치를 수행한다. 사전에 발전소에 적절한 자재를 파악하고 구비하거나 외부지원 여부를 확인한다. 비상요원은 자재를 이용한 조치방법을 숙지한다.

#### 원자로공동 충수

노심 내 연료의 손상으로 노심 용융물이 누출된 경우, 노심 용융물을 냉각하기 위해 원자로진물을 침수시킨다. 노심 용융물은 원자로 하부의 원자로공동으로 쌓이므로 원자로공동 침수를 위해 이동형 발전기를 이용한 중간저장조 침수밸브 및 원자로공동 침수밸브를 구동하여 최소 1,136 L/min(300 gpm)으로 충수한다.

#### 고압 이동형 살수차를 이용한 외부살수

방사성물질의 대량 방출이 발생한 경우, 비상대응조직은 현장상황을 고려하여 누출 지점

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

을 파악하고 고압 이동형 살수차를 이용하여 누출지점에 살수한다. 살수에 사용된 물을 회수하고 보관하기 위한 절차를 함께 수행하며 살수에 사용되는 물은 수용할 수 있는 범위에서 살수 유량을 최대로 사용한다. 실제 사고 발생시, 비상대응조직은 현장상황을 고려해 이동형 펌프운전에 대한 결정을 판단한다. 고압 이동형 살수차에 의한 살수를 통하여 방사성물질의 누출을 완화할 수 있다.



6.2.3 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 인위적 광역손상 완화 기본운영지침서, 한국수력원자력(주)
2. 신고리 5,6호기 광역손상완화지침서, 한국수력원자력(주)

### 6.3 완화전략 설비의 보호 및 운영

완화전략에 사용되는 설비는 1.2.3절에 기술되어 있다.

#### 6.3.1 완화전략에 사용하는 설비의 보호

상기 설비들은 새울본부 부지 내 고지대에 위치한 통합보관고 내에 보관되어 운영된다. 통합보관고는 0.3g 이상의 지진동에 견딜 수 있도록 내진설계 되어 있으므로 설계기준초과지진(0.3g)에도 영향을 받지 않는다. 또한 통합보관고 주변에는 지진 발생시 보관고에 영향을 줄 수 있는 비내진 건물, 기타 구조물 및 영구사면이 존재하지 않는다.

한편 통합보관고가 위치한 부지는 신고리 5,6호기 부지정지고 보다 고지대에 위치하고 있어 부지에서 발생할 수 있는 설계기준초과 지진해일, 폭풍해일에 의한 영향을 받지 않으므로 침수가 발생하지 않는다. 또한 가능최대강우(PMP) 및 PMP의 1.5배 강우가 발생하더라도 강우가 발전소 부지(EL. 9.5 m) 및 바다(EL. 0.0 m)로 즉시 배수되므로 통합보관고에는 침수가 발생하지 않는다.

또한 통합보관고는 원자로건물 및 보조건물로부터 92 m(100 yard)이상 이격되어 있다. 인위적재해에 의한 화재 및 폭발로부터 장비를 보호하기 위한 최소 이격거리 기준은 92 m (100 yard)이다. 따라서 원자로건물 및 보조건물에서 발생하는 인위적재해에 의한 화재 및 폭발로 인하여 통합보관고 내에 저장된 설비에 대한 영향은 없다.

아울러 설계기준초과 자연재해 및 인위적재해의 완화전략에 사용되는 설비가 혹은 또는 혹서의 경우에도 의도된 기능을 수행할 수 있도록 통합보관고 내부에는 공기조화 설비가 갖추어져 있다.

### 6.3.2 완화전략에 사용하는 설비의 운영

새울본부 부지 인근 고지대에 위치한 통합보관고 내 설비들은 설계기준초과 자연재해 및 인위적재해 발생시 발전소에 소내정전과 최종열제거원 상실 등의 비상 상황 하에서 필요시 사용된다. 통합보관고에 보관된 설비들 중 견인식 설비는 견인차량에 의해, 차량 탑재형 설비들은 자체 운전을 통해 발전소 배치 위치까지 2개의 이동경로 중 가용한 경로로 이동한다.

통합보관고로부터 발전소까지의 2개 이동로 주변에는 영구사면이 일부 존재하나 영구사면은 0.3 g의 지진동으로 설계되어 있으므로 이동로의 건전성은 보장된다.

한편 설계기준초과 태풍 및 설계기준초과 강풍 또는 토네이도 발생시에는 비산물(장애물)에 의한 도로 상 통행 장애가 발생할 경우, 설계기준초과 자연재해 및 인위적재해의 완화전략에 사용되는 설비를 통합보관고에서 사용 장소까지 이송할 수 있는 복구방안으로 중장비가 준비되어 있다. 따라서 이들 중장비가 이동로 상 비산물을 제거함으로써 견인차량 또는 차량 탑재형 설비들의 통행을 보장한다.

폭설 및 결빙의 경우에도 중장비를 사용하여 설계기준초과 자연재해 및 인위적재해 완화전략에 사용되는 설비를 통합보관고에서 사용 장소까지 이송할 수 있도록 한다.

이러한 이동경로 손상시 복구 방안을 마련함으로써 설계기준초과 자연재해 및 인위적재해의 완화전략에 사용되는 설비를 발전소의 해당 연결부에 접근하기 위한 경로는 확보되며, 설비를 설치하기 위한 지역은 내진범주 I 구조물 내부 또는 내진범주 I 구조물 주변의 옥외지역으로서 지진 등에 의한 영향으로부터 보호된다.

또한 자체 냉각수원이 고갈되거나 부족할 경우 추가 수원을 확보하는 방안으로 해수 또는 하천수를 정수하여 발전소에 냉각수를 공급하기 위한 이동형 정수설비가 준비되어 있다. 또한, 본 설비는 혹한기, 혹서 및 우천시 실외에서도 기동 성능 및 운전 성능이 확보되어 있다.

현장에 배치된 각종 이동형 설비에 연료 공급의 대체 방안으로 차량탑재 형태의 연료 이송 및 저장 설비가 확보되어 있다.

## 6.4 완화지침서 작성지침 및 비상운전절차서와의 연계 방안

### 6.4.1 설계기준초과 자연재해

#### 6.4.1.1 다중방어운영지침서 작성지침

원자력안전위원회 고시 제 2017-35호(원자로,43) “사고관리계획서 작성방법에 관한 규정” 제 11조(극한재해 완화지침서 작성에 관한 설명서)에 따라 다중방어운영지침서 개발하는데 사용한 방법들을 상세하게 기술하는 작성지침을 구비하여야 한다. 다중방어운영지침서 작성지침은 다음의 표준절차서를 따르고 있다.

- 다중방어운영지침서 작성지침(표준절차서 표준기행-○○○○)

##### 6.4.1.1.1 다중방어운영지침서 제목 및 번호체계

각 다중방어운영지침서 제목 및 번호체계는 참고문헌3 “붙임 8.1 다중방어운영지침서 목록”과 같이 분류하여 지침서의 작성, 검토, 개정, 분배 및 사용 등의 제반 과정들이 쉽게 관리될 수 있도록 한다.

##### 표지

각각의 다중방어운영지침서를 운전원이 쉽게 찾을 수 있고 필요사항을 쉽게 확인할 수 있도록 표지에 대한 내용을 기술한다.

##### 제목, 명칭, 번호 및 목록체계

각각의 다중방어운영지침서를 운전원이 쉽게 찾을 수 있도록 그 지침서의 적용 범위를 함축적으로 나타낼 수 있는 제목에 대한 내용을 기술한다. 그리고 명칭, 번호 및 목록체계는 참고문헌3 “붙임 8.1 다중방어운영지침서 목록”에 따른다.

##### 개정번호의 표기

정확하고 효율적인 지침서 유지관리를 위해 각 지침서의 개정번호를 어떻게 부여할 것인지 기술하고, 자세한 작성 양식을 기술한다.

##### 페이지 표기

각 지침서의 페이지를 어떻게 표시할 것인지 자세한 양식을 기술한다.

#### 6.4.1.1.2 다중방어운영지침서 형식

##### 페이지 형식

지침서 각 페이지의 형식은 이중 칼럼 형식으로 작성하고 왼쪽 란에는 운전원의 “예상반

응 및 조치”를 오른쪽 란에는 “불만족시 조치”를 기술할 수 있도록 한다.

#### 지침서 구성

지침서의 구성을 어떻게 할 것인지 작성하고 각 구성이 갖는 의미와 자세한 설명을 기술한다.

#### 6.4.1.1.3 절차(단계별 조치사항)의 기술

##### 형식

각 절차의 형식에 대해 자세하게 기술하며, 연결성, 유형 및 각 칼럼에서 갖는 의미를 자세하게 기술한다.

##### 조건적 단계의 논리용어

각 절차에서 사용되는 조건적 단계의 논리용어를 구체적으로 기술하고 각 용어들이 갖는 의미와 주의사항 등을 기술한다.

##### 열거(list) 형식

여러 개의 항목을 열거할 때의 형식에 대해 구체적으로 기술하고 권장되는 용어를 제시하도록 기술한다.

##### 수행 순서

필요시 계속 수행 단계 또는 비순차적인 단계, 필수 확인 단계를 사용하며 각 단계의 의미 및 형식에 대해 기술한다.

##### 주의 사항 및 참고 사항

운전원에게 주의나 설명을 덧붙이기 위해 주의 사항이나 참고 사항을 사용할 수 있으며 각각의 의미와 형식에 대해 기술한다.

##### 계산

수학적 계산이 필요한 내용은 절차에 가능하면 제외하며, 절차의 수행을 위해 수치가 필요할 경우에는, 가능하면 도표나 그래프를 이용한다.

##### 강조

강조가 필요한 경우 강조의 형식 및 내용을 기술한다.

##### 참조 및 전환

지침서에서 사용하는 참조와 전환에 관하여 각각의 의미와 내용에 대해 기술하며, 각각의 주의점에 대해 기술한다.

#### 기기명칭

기기명칭을 사용하는 양식과 기타사항에 대해 기술한다.

#### 상세 정도

지침서의 효율적인 수행을 위한 상세 정도를 어느 정도로 할지에 대해 기술하며, 필요시 규칙을 적용할 수 있도록 한다.

#### 연속 및 종료 표시

지침서의 연속과 종료의 표시 방법에 대해 기술한다.

#### 6.4.1.2 비상운전절차서와의 연계방안

다중방어운영지침서(참고문헌 1)는 비상운전절차서 전략 수행을 지원하기 위하여 연계되어 있으며, 각 개별 다중방어운영지침서를 통해 이행하는 사고관리 전략은 연계되는 비상운전절차서에서 수행하는 사고관리 전략과 배치되지 않는다. 또한, 각 개별 다중방어운영지침서에 적용시점 및 종료시점을 명확히 기술하여 운전원이 다중방어운영지침서로 진입 및 종료하여 수행 중이던 다른 절차서로의 진입을 쉽게 판단할 수 있도록 2중 컬럼(Column) 형식으로 개발되었다.

다중방어운영지침서 수행 중 발전소의 고정형 설비가 복구되었을 경우                     에 따라 사고관리 전략에서 수행 중이던 이동형 설비를 고정형 설비로 전환한 후, 비상기술지원실 및 발전소 비상 대응조직의 결정에 따라 다른 절차서/지침서를 사용하여 발전소를 안전하게 운전하도록 한다.

MACST 전략에 따른 다중방어운영지침서의 구성 체계는 그림 2.4-3과 같으며, 비상운전절차와의 연계성을 알 수 있다. 예를 들어, 장기교류전원 완전상실시 원자로 정지에 따라 교류전원 완전상실 비상운전절차서로 진입한 후, 사고복구 수행 중 장기교류전원 완전상실 사고로 판단된 경우 이동형 설비를 사용하기 위하여 다중방어운영지침서와 연계 수행하여 복구조치를 수행한다. 또한 최종열제거원 상실에 따라 소외전원/강제순환/최종열제거원 상실 비상운전절차서 수행 중 이동형 설비를 사용하여 최종열제거원을 복구할 경우에도 상기 기술된 다중방어운영지침서를 연계 수행하여 사고를 완화한다.

다중방어운영지침서는 2.1.2절에서 언급한 설계기준초과 자연재해에 대한 3단계 대응완화전략을 기본운영지침으로 하고 있으며, 이러한 설계기준초과 자연재해시 대응전략을 수행하기 위해서 사고 대응 조직이 별도로 구성되어 있다.

또한 다중방어운영지침서는 설계기준초과 자연재해시 사용하는 이동형 설비에 대한 운전절차를 포함하고 있으며, 각 수행 조치에 대한 주의사항 또는 참고사항이 있을 경우 해당 조치 바로 앞에 위치하도록 작성되어 있다. 아울러, 다중방어운영지침서와의 다른 절차서/지침서 상호 연계에 따라 비상운전절차서 등과 연계될 수 있도록 작성되어 있다.

## 6.4.2 실제기준초과 인위적재해

### 6.4.2.1 광역손상완화지침서 작성지침

원자력안전위원회 고시 제 2017-35호(원자로.43) “사고관리계획서 작성방법에 관한 규정” 제 11조(극한재해 완화지침서 작성에 관한 설명서)에 따라 광역손상완화지침서를 작성하는 데 사용한 방법들을 상세하게 기술하는 작성지침서를 구비하여야 한다.

표준절차서 표준안전-1410G(참고문헌 4) “광역손상완화지침서 작성”은 지침서간의 일관성을 유지하기 위하여 작성자에게 지침서의 구성, 형식, 서술방법 및 강조기법 등의 작성지침을 제공하는데 목적이 있다.

광역손상완화지침서 작성에 관한 절차는 다음의 내용을 포함하고 있다.

#### 제목, 지침서 번호체계 및 구성

지침서의 제목은 그 적용범위를 나타낼 수 있도록 함축적으로 작성해야 하고, 지침서 번호는 2자리 아라비아 숫자의 일련번호로 표기한다. 지침서는 표지와 본문, 개정이력서와 개정요약서 및 절차서 작성/개정 검토서의 순서로 구성하며 이외에 표지, 머리말, 개정번호 표기, 쪽번호, 작성항목에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

#### 작성일반

각 지침서 작성은 각각에 일반 페이지 양식과 단계별 조치사항 번호체계에 따라 작성한다. 혼동을 방지하기 위하여 하나의 절차(단계)에는 하나의 조치사항만을 정확히 기술한다. 이외에 작성에 사용되는 단위, 기호, 그림, 그래프, 표 등 작성일반사항에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

#### 용어의 사용

작성자는 최신판 「원전 표준용어집」의 용어를 사용하고, 구체적이고 명확한 용어를 사용해야 한다. 또한 주제어실에서 일상적으로 쓰는 용어를 사용하고, 각 명칭은 정확하고 통일된 용어로 작성한다. 이외에 기기명칭 및 논리용어 등에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

#### 문장 작성기법

지침서의 문장은 의미를 쉽게 이해할 수 있도록 간단명료하고 논리적으로 작성해야 한다. 또한 사용자로 하여금 의미를 추정하지 않고 정확하게 전달하기 위해 쉬운 문장으로

구성하며 되도록 긍정문, 능동형으로 문장을 표현해야 한다. 이외에 문장의 상세정도와 문장기호 등에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

#### 수치 및 단위

지침서의 수치는 아라비아 숫자로 표기하고 판정기준, 측정값, 운전범위 등은 근거가 확실한 수치로 표기하며, 계측기를 판독할 경우 일반적으로 소수점 둘째자리까지 표기해야 한다. 이외에 허용값, 공학단위 등 수치 및 단위에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

#### 주의사항 및 참고사항

지침서 전반에 적용되는 주의 및 참고사항은 지침서 앞부분에 기술하고 동시 적용할 경우는 주의사항, 참고사항 순으로 작성한다. 이외에 주의사항 및 참고사항에 관한 상세 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

#### 강조

강조가 필요한 문장이나 혼동을 유발할 수 있는 어휘는 강조기법을 사용하여 모든 지침서에 일관성있게 적용해야 한다. 밑줄, 인용부호, 굵은 글씨, 글상자, 기울기 및 색상적용 등 강조기법에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

#### 주석

주석은 특정 용어에 대해 뜻을 쉽게 풀이하거나 추가적인 설명을 덧붙일 경우에 사용하며, 관련 용어가 포함된 단계, 표 및 그림의 뒷부분에 위치시킨다. 동일한 단계, 표 및 그림에서 주석이 복수로 존재하면 주석 번호체계를 표기한다.

#### 지침서 또는 단계의 참조 및 전환

참조란 현재 사용중인 지침서의 보완을 위해 다른 지침서 및 단계를 참고하는 것으로, 최소화하되 그 내용이 간단하면 바로 기술한다. 또한, 현재 지침서나 단계를 떠나서 다른 지침서나 단계로 전환할때는 구체적인 지침서를 명시해야한다.

완화지침서 형식에 관한 절차는 다음의 내용을 포함하고 있다.

#### 지침서의 구성

완화지침서는 다중방어운영지침서와 광역손상완화지침서가 있다 완화지침서의 페이지 형



식은 단일 및 이중 칼럼 형식으로 기술되어 있으며, 구성형식은 진입시점 및 종료시점 단계수행 등으로 구성된다.

#### 지침서 세부항목 작성지침

지침서에는 그 적용조건과 성취 목적을 간략하게 기술한다. 적용시점/진입조건에는 해당 사고 발생시의 명확한 증상이 기술되어야 하고, 종료시점에는 분명히 확인해야 할 사항이 기술되어야 한다. 이외에 운전원 조치 단계 수행사항, 세부 불임(부록) 절차 등 지침서 세부항목 작성지침에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

#### 운전 보조자료

그래프, 표 및 그림 등의 운전 보조자료는 해당 자료의 사용이 예상되는 운전조건에서 운전원 및 비상기술지원실 요원이 독자적으로 정확하고 쉽게 판독할 수 있도록 작성한다.

#### 불임(부록)의 번호체계 및 페이지 표기

불임(부록)에는 그래프, 표, 그림 등의 운전 보조자료와 운전원 상세조치 절차를 포함하고, 알파벳을 순차적으로 부여한 별도의 일련 번호체계를 사용한다. 이외에 불임(부록)의 번호체계 및 페이지 표기에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

#### 연속과 종료의 표시

단계를 나누어 기술할 때에는 문장의 중간에서 끊기지 않도록 유지하며, 연속임을 알 수 있도록 첫 페이지의 하단과 다음 페이지의 상단에 ‘-다음 페이지에 계속-’을 표기한다. 내용이 많은 절차 등의 끝에는 해당 사항의 마지막임을 알 수 있도록 중앙에 ‘- 끝 -’을 표기한다.

#### 편집기준

완화지침서는 편집기준에서 규정하고 있는 편집 기본형식, 머리말, 글자모양 및 문단모양의 형식을 따라야 한다. 이외에 편집 기본형식, 머리말, 완화지침서의 스타일에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

광역손상 완화지침서(참고문헌 2)는 발전소의 광역손상으로 모든 직류 및 교류전원의 상실과 주제어실 및 원격제어반의 제어기능 상실 상황에 대응하기 위한 운전지침을 제공한다. 광역손상 완화지침서는 인위적재해의 사전인지 또는 발생 이후 발전소 및 종사자의 안전을 위해 필요한 지침을 제공한다. 광역손상 완화지침서는 별도의 제약이 없는 경우

비상운전절차서와 연계할 수 있으며 광역손상 완화지침서의 진입조건이 해소된 경우 비상운전절차서로 전환할 수 있다.

#### EDMG-1(사전조치) 광역손상완화지침서 사전조치지침

발전소와 종사자의 안전에 심각한 손상을 발생시킬 수 있는 인위적재해(항공기충돌 등)가 사전에 예상되는 경우, 종사자 대피 및 발전소를 안전정지 상태로 유지하기 위한 최소한의 조치사항을 포함한다. 이때 발전소 운전절차는 비상운전절차서를 연계할 수 있다. 사전조치를 모두 완료하거나 인위적재해가 발생하지 않음이 확인되면 현재 발전소의 상태에 적절한 운전절차서로 전환한다. 사전조치 상황은 광역손상이 발생한 상황이 아니므로 모든 조치는 발전부장의 지시에 따르며 절차서의 연계 및 전환시 추가적인 제한사항은 없다.

#### EDMG-2(초기대응) 광역손상완화지침서 초기대응지침

인위적재해 발생 후 초기비상조치가 수행해야 하는 사고초기에 필요한 조치사항을 포함한다. 초기대응은 발전소정지 확인, 경보, 종사자대피, 외부통보 및 지원요청, 화재진압, 사상자관리 등을 포함한다. 초기대응지침은 사고 발생 초기 발전소 운전 전에 필요한 절차를 제공하며 타 지침서 및 절차서의 연계는 발생하지 않는다. 단, 종사자대피, 외부통보 및 지원요청, 화재진압, 사상자관리 등 사고관리를 위한 조치는 방사선비상계획수행절차서를 연계하여 수행한다.

#### EDMG-3(완화조치) 발전소 상태판단 및 전략수행지침

발전소의 손상상태를 평가하고 광역손상 완화전략의 수행 판단 지침을 제공한다. 광역손상 완화전략의 이행을 위한 세부 운전절차서는 지침서의 부록으로 제공하며 상세 절차서는 다음과 같이 구성된다.

- 2차측 열제거에 의한 노심냉각 절차서  
증기발생기를 수동 감압, 터빈구동보조급수펌프 수동 운전, 이동형 펌프를 이용한 증기발생기 급수 공급, 및 보조급수저장탱크 보충수 공급 절차를 제공한다.
- 사용후연료저장조 충수 및 살수절차서  
사용후연료저장조 내 연료 손상 완화를 위해 사용후연료저장조 내부 및 외부에서 충수 또는 살수절차를 포함한다. 사용후연료저장조의 누설률이 충수 및 살수전략에서 제공하는 충수율을 초과하는 경우 누설률을 감소시키기 위해 소내 또는 소외 자재를 사용하여 적절한 조치절차를 제공한다.
- 원자로건물내재장전수탱크 충수 절차서  
장기비상노심냉각 운전을 위해 원자로건물내재장전수탱크를 충수하는 절차를 제공한다.

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

- 원자로공동 충수절차서  
노심용융물을 냉각하기 위해 원자로공동을 침수시키기 위한 운전절차를 포함한다.
- 고압 이동형 살수차를 이용한 살수절차서  
방사성물질 누출을 최소화할 수 있는 살수 절차를 포함한다.

비상기술지원실이 구성되면 EDMG-03을 수행하며 발전소의 상태를 판단하고 판단결과에 따라 지침서에서 지시하는 절차를 수행한다. EDMG-03이 수행되는 동안 필요한 절차는 부록에 포함된 절차서가 제공하며 타 지침서 및 절차서의 연계는 발생하지 않는다. 발전소 주요계통이 복구되어 고정설비에 의한 필수안전기능의 유지가 가능한 경우 비상기술지원실의 판단에 의해 발전소의 상태에 맞는 지침서 및 절차서로 전환한다. 이때 노심손상이 발생하지 않았다면 비상운전절차서로 전환할 수 있다.

6.4.3 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 다중방어운영지침서, 한국수력원자력(주)
2. 신고리 5,6호기 광역손상완화지침서, 한국수력원자력(주)
3. 다중방어운영지침서 작성지침, 한국수력원자력(주)
4. 광역손상완화지침서 작성, 한국수력원자력(주)

## 6.5 완화지침서 교육훈련 계획서

원자력안전위원회 고시 제2017-35호(원자로.43) “사고관리계획서 작성방법에 관한 규정” 제11조(극한재해 완화지침서 작성에 관한 설명서)에 따라 극한재해완화지침서 교육훈련 계획서에 의한 교육 및 훈련 프로그램이 수립되고 이행되어야 한다. 교육훈련 프로그램은 제3장 사고관리이행체계에 기술된 사고관리 조직의 모든 구성원에 대한 교육 및 훈련이 실시될 수 있도록 작성되어야 한다. 극한재해완화지침서 교육훈련 프로그램은 관련 교육훈련절차서(참고문헌 1)에 따라 교육훈련계획이 수립되고 이행된다. 조직간 연계 훈련에 관한 내용은 8.2절 “훈련계획”에 기술되어 있다.

### 6.5.1 책임

극한재해완화지침서 교육훈련 절차서의 작성 및 개정을 승인하고 극한재해완화지침서의 최초교육 훈련계획을 승인하는 책임은 발전소장에게 있다. 교육담당부서장은 극한재해완화지침서 최초, 재교육, 개정사항 교육훈련계획을 수립하여 시행하고 실적을 관리한다.

### 6.5.2 교육훈련체계

극한재해완화지침서 교육훈련은 사고관리계획서에 따라 신규 작성된 사항에 대한 최초교육을 시행하고 재교육 및 개정사항 교육을 시행한다.

#### 6.5.2.1 최초 교육

##### 6.5.2.1.1 교육목적

최초 연료 장전에 앞서 모든 운전원 및 방사능 방재요원이 극한재해완화지침서의 구성, 사용법, 사고 완화전략 및 기술적 배경 등을 이해하고 유사시 실제적인 극한재해 사고관리능력을 갖출 수 있도록 교육하기 위함이다.

##### 6.5.2.1.2 교육내용

교육 대상에 따라 극한재해완화지침서 구성 및 체계, 각 극한재해완화지침서 사고완화 전략 및 기술배경, 각 극한재해완화지침서 단계별 조치사항 및 기술배경, 극한재해 완화운전 관련기기의 위치확인 및 조작법, 이동형설비 이동/배치/연결 실습 등을 포함하여 교육한다.

##### 6.5.2.1.3 교육시기 및 방법

교육담당부서는 최초 연료 장전 전에 승인된 극한재해완화지침서 최초교육이 완료될 수 있도록 교육계획을 수립하여 강의실 교육을 시행한다.

## 6.5.2.2 재교육

### 6.5.2.2.1 교육목적

운전원 및 방사전 비상요원이 극한재해완화지침서의 구성, 사용방법, 사고완화전략 및 기술적 배경에 대한 이해도를 계속 유지하고 극한재해사고 대처능력을 향상시킬 수 있도록 하기 위함이다.

### 6.5.2.2.2 교육내용

교육대상에 따라 극한재해완화지침서의 구성 및 체계, 기본적인 사고완화 개념, 사고완화 전략 및 기술배경, 주요 극한재해완화지침서 개정사항, 국내외 운전경험 사례, 이동형설비 이동/배치/연결 실습 등을 포함하여 교육한다.

### 6.5.2.2.3 교육주기 및 방법

교육부서에서는 관련 교육훈련절차서에 따라 2년 이내의 주기로 교육될 수 있도록 교육계획을 수립하여 집합교육을 시행한다. 운전원 교육에는 극한재해사고 시나리오를 기반으로 한 모의제어반 또는 토의식 교육이 포함되어야 한다. 이동형 설비의 운영, 현장 기기위치 확인 및 조작법에 대한 교육은 현장 실습을 통한 훈련을 포함한다.

## 6.5.2.3 개정사항 교육

### 6.5.2.3.1 교육목적

극한재해완화지침서가 개정되어 최종승인이 완료되면, 그 내용 및 사유에 대해 교육함으로써 운전원이 최신 극한재해완화지침서를 수행할 수 있도록 교육한다.

### 6.5.2.3.2 교육내용

극한재해완화지침서 개정내용 및 사유, 변경된 사고완화 전략 및 기술배경, 변경된 극한재해완화지침서 단계별 조치사항 및 기술배경 등을 포함하여 교육한다.

### 6.5.2.3.3 교육시기 및 방법

경미한 개정사항에 대해서는 개정 극한재해완화지침서가 최종승인이 완료된 후 자율학습을 통해 3주 이내에 교육을 완료한다. 사고완화 전략의 변경 등 그 사안이 중요한 개정사항에 대해서는 개정 극한재해완화지침서가 최종승인이 완료된 후 3주 이내에 교육계획을 수립 후 6개월 이내에 강의실 교육을 완료한다.

### 6.5.3 교육훈련 결과의 피드백

#### 6.5.3.1 문서화

극한재해완화지침서 교육계획, 교육시행 및 교육결과와 관련된 모든 서류를 문서화하고 관리한다.

#### 6.5.3.2 극한재해완화지침서 개정 반영

교육훈련 과정에서 발견된 극한재해완화지침서와 극한재해완화지침서 기초자료의 오류 및 개선점에 대해서는 관련 절차서에 따라 개정한다.

#### 6.5.3.3 극한재해완화지침서 교육훈련 계획 반영

교육담당부서는 실제 운전과정 및 교육평가 결과에서 나타난 운전원 취약분야와 교육훈련 개선점에 대해 차기 년도의 교육훈련계획에 반영한다.

#### 6.5.4 참고문헌

1. 발전소 운영절차서, 극한재해완화지침서 교육훈련, 한국수력원자력(주)



## 7 중대사고 관리지침서 작성에 관한 설명서

### 7.1 발전소 고유기술배경서 및 중대사고 관리지침서

중대사고 관리란 중대사고의 발생으로 노심손상이 발생하더라도, 노심 손상의 진행을 완화하고 가능한 한 원자로용기 내에 가두어 원자로건물의 건전성을 유지하며, 소외로의 방사성물질의 누출을 최소화하기 위해 사고관리조직의 취해야 할 제반 조치 행위이다. 중대사고관리지침서는 이러한 중대사고 관리를 위해 수립된 전략을 이행하기 위한 체계적인 지침을 제공할 수 있도록 개발되어야 한다. 원자력안전위원회 고시 제2017-35호(원자로, 43) “사고관리계획서 작성방법에 관한 규정” 제12조(중대사고관리지침서 작성에 관한 설명서)에 따라 발전소 고유 기술배경서 및 중대사고관리지침서를 구비하여야 한다.

#### 7.1.1 후쿠시마 원전사고 후속조치의 반영

국내에서는 일본 후쿠시마 원전사고 이후 교육과학기술부 주관으로 최악의 사고 시나리오를 가정하여 국내 원자력시설 안전성에 대한 전체적인 안전점검을 수행하였으며, 동 안전점검에 따라 6개 점검분야별로 총 46개의 장·단기 개선대책이 도출되었다. 그 중에서 중대사고관리지침서에 반영될 수 있는 개선사항을 검토하여 반영하였다.(참고문헌 2)

#### 7.1.2 중대사고관리지침서 개발을 위한 자료 검토

중대사고관리지침서 및 발전소 고유기술배경서 작성을 위해 기본적으로 요구되는 구체적인 수치 및 출처의 확인이 요구되는 데이터들을 수집하였다. 계통설계 일반 자료의 경우 중대사고관리지침서에서 사용되는 설정치들의 수치를 결정하는데 요구되는 자료를 포함하고 있으며, 계산보조도구 자료는 중대사고관리지침서의 계산표를 개발하는데 활용되는 자료를 포함한다. 또 중대사고관리지침서에서 활용하는 계기들의 정보를 포함하고 있으며, 각 완화 전략들에서 활용하는 기기와 관련된 세부 정보를 포함함으로써, 중대사고관리지침서의 완화 수단 선정 및 관련 확인표에 적용된다.

#### 7.1.3 중대사고관리지침서관련 기술문서

중대사고관리지침서 관련 기술문서는 설정치 문서와 계산지원도구가 있다.

설정치 문서는 중대사고관리지침서에서 사용되고 있는 설정치의 기술적 근거를 제시하고 발전소 고유의 설정치를 결정하는 방법을 제공한다. 설정치 문서는 약어를 사용하여 설정치를 종류별로 알아보기 쉽게 구분하였다.

계산지원도구(CA, Computational Aid)는 사고관리전략 수행시 비상기술지원실의 의사결정에 참고가 되도록 발전소 상태를 형상화하고 특히 사고시 유효한 정보를 제공하는 계기가 가용하지 않는 상황에서 발전소의 상태를 파악하는 데 사용된다.

#### 7.1.4 중대사고 완화능력 및 기기생존성평가

확률론적안전성평가 및 공학적인 판단기준에 따라 선정된 사고경위에 대하여 중대사고가 발생한 경우에도 원자로건물의 건전성을 유지하고 방사성 물질의 방출을 최소화하고 발전소를 안전한 상태로 회복하기 위한 조치가 가능한지 확인하였다. 중대사고 완화를 위한 발전소 고유 설비를 확인하고, 다양한 중대사고 현상에 대한 분석 및 사고전략들의 유효성을 4.2절에서 확인하였다.

중대사고시 사고 완화를 위해 생존해야 할 주요기기 및 계기가 중대사고 사고경위에 대해 원자로용기 및 원자로건물의 환경조건에서 합리적 보장(Reasonable Assurance)에 기초한 기기생존성 평가방법을 사용하여 기기 및 계기에 주어진 성능을 수행 또는 감시할 수 있는 지를 평가하였다. 또한 기기 생존성 평가 프로그램을 통해 기기생존성 평가대상 기기들을 지속적으로 관리할 수 있음을 4.3절에서 확인하였다.

#### 7.1.5 발전소 고유기술배경서 및 중대사고관리지침서

발전소 고유기술배경서는 세부기술문서 및 발전소 고유 설계정보를 기반으로 중대사고관리지침서에 요구되는 세부전략들의 기술적 배경을 담고 있다. 발전소 고유기술배경서에는 각 세부 지침서에 대한 개요뿐만 아니라, 전략수행의 긍정적 효과 및 부정적 영향에 대한 기술배경 및 주요 조치/결정 사항을 포함한 의사결정내용, 전략수행 각 단계별 상세 설명을 포함하며, 계산표에 대해서는 각각의 목적, 근거, 사용법, 가정사항, 발전소 고유 정보, 계산방법 및 결과에 대한 기술이 포함되어 있다.

중대사고관리지침서는 응급-01~02, 제어-01, 완화-01~07, 감시-01, 종료-01 및 계산표-01~07로 구성되어 있다. 응급지침서는 사고 진행이 신속히 이루어져 노심이 손상되었을 때 비상기술지원실이 발족되지 않았을 경우 발전소를 안정한 상태로 유지하기 위한 조치들을 수행하는 주제어실 지침과 비상기술지원실이 발족한 이후 주제어실에서 수행하는 조치들에 대한 지침을 제공한다.

전략수행제어도(제어-01)는 비상기술지원실에서 중대사고가 발생한 이후 일어날 수 있는 주요 발전소 상태에 대하여 적절한 완화 지침서를 선정할 수 있게 해주는 도구이다. 전략수행제어도(제어-01)에서 확인된 특정 발전소 상태에 해당하는 완화 지침서는 그 상태를 제어하는 데 사용할 수 있는 여러 가지 전략들을 제시하고, 각 전략들의 긍정적 효과와 부정적 영향을 평가하고, 최종적으로 전략 수행 여부를 결정하는 데 사용한다.

완화지침서는 발전소의 특정 변수가 사전에 정의된 범위를 초과하였을 때 이 변수를 안정된 값 이하로 유지하는데 필요한 지침을 제공한다. 감시지침서는 완화지침서에 포함된 전략 수행과 관련된 장기 관심사항을 감시하는데 필요한 지침을 제공한다. 종료지침서는 중대사고 상황이 종료된 후 회복조치들을 수행하는데 중요한 정보들을 취득하기 위한 지침을 제공한다.

#### 7.1.6 중대사고관리지침서 확인 및 검증

중대사고관리지침서에 대하여 중대사고 상황 하에서 운전원 및 비상기술지원실 등 요원의 능력 및 한계가 고려된 적절한 정보를 제공하는지와 발전소 설비의 동작 특성, 지침서 사용자의 인적능력 및 행정체계와 일치하는지를 살펴보고 동 과정에서 도출된 문제점을 해결하기 위해 확인 및 검증 평가를 수행할 예정이다. 중대사고관리지침서 확인 및 검증은 7.3절에 명시된 검증프로그램을 활용하여 수행할 예정이다.

중대사고관리지침서에 대한 적합성 검증은 인간공학 및 운전전문가의 주관하에 실사용자를 대표하는 발전운전팀을 대상으로 각 지침서의 단계별 미비점 및 개정필요사항을 불일치사항으로 도출하여 중대사고관리지침서 검증평가보고서를 작성할 예정이다. 중대사고관리지침서 검증보고서에는 “중대사고 완화시 사용되는 설비, 계통명을 구체적으로 제시”하는 등 인간공학적 평가요소를 반영할 예정이다.

#### 7.1.7 안전개선사항의 반영

중대사고관리지침서는 통합적이고 체계적인 사고관리를 위하여 비상운전절차서 및 다중방어운영지침서에서 효율적으로 전환될 수 있도록 구성되었다. 또한, 설계기준초과 극한자연재해 발생시 사고 대응을 위하여 도입될 예정인 MACST(Multi-barrier Accident Coping Strategy) 설비를 중대사고시 사고완화 전략을 위해 사용할 수 있도록 개선하였다.

7.1.8 참고문헌

1. KINS/RS-N19.00, "경수로형 원자력발전소 규제기준 및 규제지침" - 규제기준 제19장 '사고관리', 한국원자력안전기술원, 11. 2016.
2. 후쿠시마 후속조치(4-6), 전원전 정지·저출력 운전중 중대사고관리지침서 개발용역 최종보고서, 한국수력원자력, 12. 2016.
3. 신고리 5,6호기 중대사고관리지침서, 한국수력원자력(주)
4. 신고리 5,6호기 중대사고관리지침서 기술배경서, 한국수력원자력(주)
5. 신고리 5,6호기 통합 중대사고관리지침서 검증평가보고서, 한국수력원자력(주)

## 7.2 작성자지침서

원자력안전위원회 고시 제2017-35호(원자로.43) “사고관리계획서 작성방법에 관한 규정” 제12조(중대사고관리지침서 작성에 관한 설명서)에 따라 중대사고관리지침서 및 발전소고유기술배경서를 작성하는 데 사용한 방법들을 상세하게 기술하는 작성자지침서를 구비하여야 한다. 중대사고관리지침서 작성자지침서는 다음의 두 가지 표준절차서를 따르고 있다.

- 중대사고관리지침서 작성(표준절차서 표준안전-1410A)
- 중대사고관리지침서 사용(표준절차서 표준안전-1410B)

### 7.2.1 중대사고관리지침서 작성

표준절차서 표준안전-1410A “중대사고관리지침서 작성”은 지침서간의 일관성을 유지하기 위하여 작성자에게 지침서의 구성, 형식, 서술방법 및 강조기법 등의 작성지침을 제공하는데 목적이 있다.

작성 및 개정된 중대사고관리지침서 작성 절차서의 승인과 중대사고관리지침서 및 기술배경서의 최종 승인 책임은 발전소장에게 있다. 발전운영부장은 중대사고관리지침서의 작성 및 개정 과정의 전반적인 업무를 총괄한다. 중대사고관리지침서를 작성하거나 개정할 때의 관련도면 및 자료는 최근 개정된 것을 사용하여야 하며, 이를 발전소에 적용할 시 발전소 절차서 승인절차에 따라 승인 후 적용하여야 한다.

중대사고관리지침서 작성에 관한 절차는 다음의 내용을 포함하고 있다.

#### 제목, 지침서 번호체계 및 구성

지침서의 제목은 그 적용범위를 나타낼 수 있도록 함축적으로 작성해야 하고, 지침서 번호는 2자리 아라비아 숫자의 일련번호로 표기한다. 지침서는 표지와 본문, 개정이력서와 개정요약서 및 절차서 작성/개정 검토서의 순서로 구성하며 이외에 표지, 머리말, 개정번호 표기, 쪽번호, 작성항목에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

#### 작성일반

각 지침서 작성 방법과 관련하여, 응급지침서와 그 이외에 지침서는 각각에 맞는 페이지양식과 번호체계에 따라 작성한다. 혼동을 방지하기 위하여 하나의 절차(단계)에는 하나의 조치사항만을 정확히 기술한다. 이외에 작성에 사용되는 단위, 기호, 그림, 그래프, 표 등 작성일반사항에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

## 용어의 사용

작성자는 최신판 『원전 표준용어집』의 용어를 사용하고, 구체적이고 명확한 용어를 사용해야 한다. 또한 주제어실에서 일상적으로 쓰는 용어를 사용하고, 각 명칭은 정확하고 통일된 용어로 작성한다. 이외에 기기명칭 및 논리용어 등에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

## 문장 작성기법

지침서의 문장은 의미를 쉽게 이해할 수 있도록 간단명료하고 논리적으로 작성해야 한다. 또한 사용자로 하여금 의미를 추정하지 않고 정확하게 전달하기 위해 쉬운 문장으로 구성하며 되도록 긍정문, 능동형으로 문장을 표현해야 한다. 이외에 문장의 상세정도와 문장기호 등에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다

## 수치 및 단위

지침서의 수치는 아라비아 숫자로 표기하고 판정기준, 측정값, 운전범위 등은 근거가 확실한 수치로 표기하며, 계측기를 판독할 경우 일반적으로 소수점 둘째자리까지 표기해야 한다. 이외에 허용값, 공학단위 등 수치 및 단위에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

## 주의사항 및 참고사항

지침서 전반에 적용되는 주의 및 참고사항은 지침서 앞부분에 기술하고 동시 적용할 경우는 주의사항, 참고사항 순으로 작성한다. 이외에 주의사항 및 참고사항에 관한 상세 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

## 강조

강조가 필요한 문장이나 혼동을 유발할 수 있는 어휘는 강조기법을 사용하여 모든 지침서에 일관성있게 적용해야 한다. 밑줄, 인용부호, 굵은 글씨, 글상자, 기울기 및 색상적용 등 강조기법에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

## 주석

주석은 특정 용어에 대해 뜻을 쉽게 풀이하거나 추가적인 설명을 덧붙일 경우에 사용하며, 관련 용어가 포함된 단계, 표 및 그림의 뒷부분에 위치시킨다. 동일한 단계, 표 및 그림에서 주석이 복수로 존재하면 주석 번호체계를 표기한다.

### 지침서 또는 단계의 참조 및 전환

참조란 현재 사용 중인 지침서의 보완을 위해 다른 지침서 및 단계를 참고하는 것으로, 최소화하되 그 내용이 간단하면 바로 기술한다. 또한, 현재 지침서나 단계를 떠나서 다른 지침서나 단계로 전환할 때는 구체적인 지침서를 명시해야한다.

중대사고관리지침서 형식에 관한 절차는 다음의 내용을 포함하고 있다.

### 지침서의 구성

중대사고관리지침서는 응급, 제어, 완화, 감시, 종로지침서와 계산표로 구성되어 있으며, 지침서에서의 단계수행은 이용가능 수단확인, 전략 수행여부 결정, 전략 수행방법 결정, 전략 수행, 전략 종결 등으로 구성된다.

### 지침서 세부항목 작성지침

지침서에는 그 적용조건과 성취 목적을 간략하게 기술한다. 적용시점/수행조건/진입조건에는 해당 사고 발생시의 명확한 증상이 기술되어야 하고, 종료시점에는 분명히 확인해야 할 사항이 기술되어야 한다. 이외에 단계수행, 발전소 상태, 예상 발전소 거동, 계산보조도구, 제한 및 가정사항 등 지침서 세부항목 작성지침에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

### 운전 보조자료

그래프, 표 및 그림 등의 운전 보조자료는 해당 자료의 사용이 예상되는 운전조건에서 운전원 및 비상기술지원실 요원이 독자적으로 정확하고 쉽게 판독할 수 있도록 작성한다.

### 붙임의 번호체계 및 페이지 표기

붙임에는 그래프, 표, 그림 등의 운전 보조자료를 포함하고, 알파벳을 순차적으로 부여한 별도의 일련 번호체계를 사용한다. 이외에 붙임의 번호체계 및 페이지 표기에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

### 연속과 종료의 표시

단계를 나누어 기술할 때에는 문장의 중간에서 끊기지 않도록 유지하며, 연속임을 알 수 있도록 첫 페이지의 하단과 다음 페이지의 상단에 ‘-다음 페이지에 계속-’을 표기한다. 내용이 많은 절차 등의 끝에는 해당 사항의 마지막임을 알 수 있도록 중앙에 ‘- 끝 -’을

표기한다.

### 편집기준

중대사고관리지침서는 편집기준에서 규정하고 있는 편집 기본형식, 머리말, 글자모양 및 문단모양의 형식을 따라야 한다. 이외에 편집 기본형식, 머리말, 중대사고관리지침서의 스타일에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

### 7.2.2 중대사고관리지침서 사용

표준절차서 표준안전-1410B “중대사고관리지침서 사용”은 중대사고관리지침서의 구성과 사용방법 및 중대사고 관리 수행시 운전원의 임무를 기술함으로써 실질적으로 중대사고 대응조직이 중대사고관리지침서를 효과적으로 사용할 수 있도록 하는 목적이 있다.

작성 및 개정된 중대사고관리지침서 작성 절차서의 승인과 중대사고 관리 운전이 가능하도록 필요한 조직과 인원 등을 확보하는 책임은 발전소장에게 있다. 발전운영부장은 중대사고관리지침서 사용절차서의 개정 및 유지관리 실무와 운전원 교육에 대한 실무를 총괄한다.

중대사고관리지침서별 사용에 관한 절차는 다음의 내용을 포함하고 있다.

#### 응급지침서(주제어실 사용) 사용 기준

주제어실에서는 비상 운전절차서 또는 비정상 운전절차서에 따라 발전소를 제어하다가 응급지침서로 전환할 수 있다. 이때에는 지체없이 비상기술지원실에 보고하고 발전소를 제어한다. 만약 비상기술지원실이 구성되기 이전이면 주제어실에서 응급으로 해야할 조치를 취하고 비상기술지원실이 발족된 후 지시를 따른다.

#### 제어, 완화, 감시, 종료지침서(비상기술지원실 사용) 사용 기준

중대사고관리지침서로 전환되면 비상기술지원실은 먼저 제어-01을 사용한다. 이후 발전소 중대위험 변수군 진단에 따라 완화지침서로 진입하여 일련의 조치들을 취해야 한다. 최종적으로 발전소가 제어된 안정한 상태인지를 확인하며, 종료지침서로 중대사고관리를 종료한다. 이외에 제어, 완화, 감시, 종료지침서의 사용 기준에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.



중대사고 대처 조직 및 임무

비상기술지원실을 중대사고 대처 조직으로 활용하기 위하여 기존의 임무에 중대사고시 대처 임무를 추가로 부과하여 운영한다. 비상기술지원실, 비상운전반, 운전지원반, 안전분석조, 방사화학조 및 기타 비상운영지원실과 비상대책실의 임무에 관한 내용은 표준절차서의 세부 항목을 따른다.

### 7.2.3 참고문헌

1. KINS/RS-N19.00, "경수로형 원자력발전소 규제기준 및 규제지침" - 규제기준 제19장 '사고관리', 한국원자력안전기술원, 11. 2016.
2. 신고리 5,6호기 표준절차서, 중대사고관리지침서 작성, 표준안전-1410A, 한국수력원자력(주)
3. 신고리 5,6호기 표준절차서, 중대사고관리지침서 사용, 표준안전-1410B, 한국수력원자력(주)

### 7.3 검증 프로그램

원자력안전위원회 고시 제2017-35호(원자로.43) “사고관리계획서 작성방법에 관한 규정” 제12조(중대사고관리지침서 작성에 관한 설명서)에 따라 중대사고관리지침서의 유효성을 검증하기 위한 검증프로그램을 구비하여야 한다. 중대사고관리지침서 검증 프로그램은 다음의 두 가지 표준절차서를 따르고 있다.

- 중대사고관리지침서 확인(표준절차서 표준안전-1410D)
- 중대사고관리지침서 검증(표준절차서 표준안전-1410E)

#### 7.3.1 중대사고관리지침서 확인

표준절차서 표준안전-1410D “중대사고관리지침서 확인”은 중대사고관리지침서를 확인(Verification)하기 위한 제반 절차를 기술하는데 그 목적이 있다.

작성 및 개정된 중대사고관리지침서 확인 절차서의 승인 책임은 발전소장에게 있다. 발전운영부장은 중대사고관리지침서 확인 계획의 수립, 시행에 대한 전반적인 업무를 총괄하며, 확인팀을 임명하여 중대사고관리지침서 확인 결과 보고서를 최종 승인한다. 확인팀장, 선임확인자 및 확인자로 구성된 확인팀은 중대사고관리지침서 확인 실무작업 전반에 대한 책임을 갖고, 주관하여 수행하며 도출된 부적합사항에 대해 불일치사항 기록지를 작성한다.

중대사고관리지침서 확인절차는 준비단계, 평가단계, 문제해결단계, 문서처리단계의 4단계로 이루어지며 각 절차는 다음의 내용을 포함하고 있다.

##### 준비단계

발전운영부장은 주제어실 운전원 중에서 확인팀장 및 확인팀원을 임명하며, 확인팀장은 확인업무에 대한 전반적인 교육을 실시한다. 확인팀은 중대사고관리지침서 작성지침 및 기초자료를 입수하고 이들 자료가 최신의 완전한 것인지와 확인과정에 적용가능한지 여부를 검토한다.

##### 평가단계

확인자는 지침서 전반의 작성 적합성을 평가하며, 부적합 판정시 불일치사항 기록지를 작성한다. 지침서 단계별 평가시 각 단계의 작성 적합성 및 기술정보의 명확성을 평가하며, 부적합 판정시 불일치사항 기록지를 작성한다.

### 문제해결단계

선임확인자는 불일치 내용 및 확인자가 제시한 해결방안을 검토한 후 의견조정을 거쳐 해결방안을 작성한다. 확인팀장은 불일치사항 기록지의 내용을 검토하고, 그 해결방안을 승인하며 중대사고관리지침서 작성자와 협의하여 개정 등 필요한 조치를 수행한다.

### 문서처리단계

확인팀장은 지침서별로 확인결과 보고서를 작성하고 확인평가 점검표와 불일치사항 기록지를 첨부하여 발전운영부장의 최종 승인을 받는다. 승인된 확인관련 서류 일체는 문서화하여 관리한다.

### 7.3.2 중대사고관리지침서 검증

표준절차서 표준안전-1410E “중대사고관리지침서 검증”은 중대사고관리지침서를 검증(Validation)하기 위한 제반 절차를 기술하는데 그 목적이 있다.

작성 및 개정된 중대사고관리지침서 검증 절차서의 승인 권한은 발전소장에게 있다. 발전운영부장은 중대사고관리지침서 검증 계획의 수립, 시행에 대한 전반적인 업무를 총괄하며, 검증팀을 임명하여 중대사고관리지침서 검증 결과 보고서를 최종 승인한다. 검증팀장, 선임검증자 및 검증자로 구성된 검증팀은 중대사고관리지침서 검증 실무작업 전반에 대한 책임을 갖고, 주관하여 수행하며 도출된 부적합사항에 대해 불일치사항 기록지를 작성한다. 운전조는 준비된 중대사고관리지침서 검증 시나리오에 따라 지침서의 사용적합성과 운전적합성에 대한 의견을 제시한다.

중대사고관리지침서 검증절차는 준비단계, 평가단계, 문제해결단계, 문서처리 단계의 4단계로 이루어지며 각 절차는 다음의 내용을 포함하고 있다.

#### 준비단계

발전운영부장은 주제어실 운전원 중에서 검증팀장 및 검증팀원을 임명하며, 검증팀장은 검증업무에 대한 전반적인 교육을 실시한다. 선임검증자는 검증계획서를 작성하고 검증시나리오를 첨부하여 검증팀장의 검토 및 승인을 받으며, 검증자는 검증 시나리오를 검토하여 적합성을 확인한다.

#### 평가단계

검증자는 지침서 단계별로 사용적합성과 운전적합성을 평가하며, 평가수행 도중 또는 사후 토론과정에서 도출된 부적합사항에 대해 불일치사항 기록지를 작성한다.

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 문제해결단계

선임검증자는 불일치 내용 및 검증자가 제시한 해결방안을 검토한 후 의견조정을 거쳐 해결방안을 작성한다. 검증팀장은 불일치사항 기록지의 내용을 검토하고, 그 해결방안을 승인하며 중대사고관리지침서 작성자와 협의하여 수정 등 필요한 조치를 수행한다.

### 문서처리단계

검증팀장은 지침서별로 검증결과 보고서를 검토 후 검증계획서, 검증평가 점검표, 불일치사항 기록지 및 검증 시나리오를 첨부하여 발전운영부장의 최종승인을 받는다. 승인된 검증관련 서류 일체는 문서화하여 관리한다.

### 7.3.3 참고문헌

1. KINS/RS-N19.00, "경수로형 원자력발전소 규제기준 및 규제지침" - 규제기준 제19장 '사고관리', 한국원자력안전기술원, 11. 2016.
2. 신고리 5,6호기 표준절차서, 중대사고관리지침서 확인, 표준안전-1410D, 한국수력원자력(주)
3. 신고리 5,6호기 표준절차서, 중대사고관리지침서 검증, 표준안전-1410E, 한국수력원자력(주)

#### 7.4 훈련 프로그램

원자력안전위원회 고시 제2017-35호(원자로.43) “사고관리계획서 작성방법에 관한 규정” 제12조(중대사고관리지침서 작성에 관한 설명서)에 따라 중대사고관리지침서에 대한 교육 및 훈련 프로그램이 수립되고 이행되어야 한다. 훈련프로그램은 제3장 사고관리이행체계에 기술된 중대사고관리에 필요한 사고관리 조직의 모든 구성원에 대한 교육 및 훈련이 실시될 수 있도록 작성되어야 한다. 중대사고관리지침서 훈련 프로그램은 관련 교육훈련절차서(참고문헌 2)에 따라 교육훈련계획이 수립되고 이행된다.

##### 7.4.1 책임

중대사고관리지침서 교육훈련 절차서의 작성 및 개정을 승인하는 책임은 발전소장에게 있다. 교육담당부서장은 운전원 및 방사선 비상요원에 대한 중대사고관리지침서 최초, 개정사항 및 현장 OJT 교육훈련계획을 수립하여 시행하고 재교육을 포함하여 실적을 관리한다. 교육훈련센터장은 운전원의 연간 교육훈련계획 수립시 중대사고관리지침서 재교육을 반영하여 시행한다.

##### 7.4.2 교육훈련체계

중대사고관리지침서 교육훈련은 최초 연료 장전 전 신규 작성된 사항에 대한 최초교육을 시행하고 재교육 및 개정사항 교육을 시행한다.

###### 7.4.2.1 최초 교육

###### 7.4.2.1.1 교육목적

중대사고관리지침서가 작성되면, 최초 연료 장전에 앞서 운전원 및 방사능 방재요원이 중대사고관리지침서의 구성, 사용법, 사고 완화전략 및 기술적 배경 등을 이해하고 유사시 실제적인 중대사고 관리능력을 갖출 수 있도록 교육하기 위함이다.

###### 7.4.2.1.2 교육내용

중대사고관리지침서의 개발과정, 구성 및 체계, 사용자 지침, 각 지침서의 사고완화 전략 및 기술배경, 각 지침서의 단계별 조치사항 및 기술배경 등을 포함하여 교육한다.

###### 7.4.2.1.3 교육시기 및 방법

교육담당부서는 최초 연료 장전 전에 승인된 중대사고관리지침서 최초교육이 완료될 수 있도록 교육계획을 수립하여 강의실 교육을 시행한다.

#### 7.4.2.2 재교육

##### 7.4.2.2.1 교육목적

운전원 및 방사선 비상요원이 중대사고관리지침서의 구성, 사용방법, 사고완화전략 및 기술적 배경에 대한 이해도를 계속 유지하고 중대사고 대처능력을 향상시킬 수 있도록 교육한다.

##### 7.4.2.2.2 교육내용

중대사고관리지침서의 구성 및 체계, 사고완화 전략 및 기술배경, 주요 중대사고관리지침서 개정사항, 국내외 운전경험 사례 등을 포함하여 교육한다.

##### 7.4.2.2.3 교육주기 및 방법

교육부서에서는 관련 교육훈련절차서에 따라 2년 이내의 주기로 교육될 수 있도록 교육계획을 수립하여 집합교육을 시행한다. 운전원 교육에는 중대사고 시나리오를 기반으로 한 모의제어반 또는 토의식 교육이 포함되어야 한다.

#### 7.4.2.3 개정사항 교육

##### 7.4.2.3.1 교육목적

중대사고관리지침서가 개정되어 최종승인이 완료되면, 그 내용 및 사유에 대해 교육함으로써 운전원 및 방사선 비상요원이 최신 중대사고관리지침서를 수행할 수 있도록 교육한다.

##### 7.4.2.3.2 교육내용

중대사고관리지침서 개정내용 및 사유, 변경된 사고완화 전략 및 기술배경, 변경된 중대사고관리지침서 단계별 조치사항 및 기술배경, 변경된 중대사고관리지침서에 따른 중대사고 완화운전 수행방법 등을 포함하여 교육한다.

##### 7.4.2.3.3 교육시기 및 방법

경미한 개정사항에 대해서는 개정 중대사고관리지침서가 최종승인이 완료된 후 자율학습을 통해 3주 이내에 교육을 완료한다. 사고완화 전략의 변경 등 그 사안이 중요한 개정사항에 대해서는 개정 중대사고관리지침서가 최종승인이 완료된 후 3주 이내에 교육계획을 수립 후 6개월 이내에 강의실 교육을 완료한다.



#### 7.4.3 교육훈련 사후관리

##### 7.4.3.1 문서화

중대사고관리지침서 교육계획, 교육시행 및 교육결과와 관련된 모든 서류를 문서화하고 관리한다.

##### 7.4.3.2 중대사고관리지침서 개정 반영

교육훈련 과정에서 발견된 중대사고관리지침서와 중대사고관리지침서 기초자료의 오류 및 개선점에 대해서는 관련 절차서에 따라 개정한다.

##### 7.4.3.3 중대사고관리지침서 교육훈련 계획 반영

교육담당부서는 실제 운전과정 및 교육평가 결과에서 나타난 운전원 취약분야와 교육훈련 개선점에 대해 차기 년도의 교육훈련계획에 반영한다.

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 7.4.4 참고문헌

1. KINS/RS-N19.00, "경수로형 원자력발전소 규제기준 및 규제지침" - 규제기준 제19장 '사고관리', 한국원자력안전기술원, 11. 2016.
2. 신고리 5,6호기 표준절차서, 중대사고관리지침서 교육훈련, 표준안전-1410F, 한국수력원자력(주)

## 7.5 유지관리 프로그램

원자력안전위원회 고시 제2017-35호(원자로.43) “사고관리계획서 작성방법에 관한 규정” 제12조(중대사고관리지침서 작성에 관한 설명서)에 따라 중대사고관리지침서를 효과적으로 개선할 수 있는 새로운 중대사고 관련 정보에 대한 평가를 주기적으로 수행하고 그 결과를 중대사고 관리지침서에 반영시킬 수 있는 체계적인 유지관리 프로그램을 구비하여 중대사고 관리 조직이 항상 사용할 수 있도록 최신의 상태로 유지 및 관리되어야 한다. 중대사고관리지침서 유지관리 프로그램은 표준절차서 표준안전-1410C “중대사고 관리지침서 유지관리”를 따르고 있다.

중대사고관리지침서 유지관리 프로그램은 중대사고관리지침서, 중대사고관리지침서 기술배경서를 효율적으로 개정, 유지관리하기 위한제반 절차 및 방법을 기술하는데 그 목적이 있다.

작성 및 개정된 중대사고관리지침서 유지관리 절차의 승인과 중대사고관리지침서 및 중대사고관리지침서 기술배경서 개정분의 최종 승인 책임은 발전소장에게 있다. 발전운영부장은 중대사고관리지침서 개정 및 유지관리 과정에 대한 전반적인 업무를 총괄한다. 또한, 중대사고 관리지침서 개정요구서 제출에 따른 개정필요성 여부, 관련 발전소 중대사고관리지침서 기술배경서의 개정여부, 확인 및 검증과정의 수행여부를 최종 승인하고, 개정자 또는 개정팀을 임명할 책임이 있다. 발전부장은 개정자 또는 개정팀이 작성한 중대사고관리지침서 개정요구서 검토결과를 확인한다.

중대사고관리지침서 유지관리에 관한 절차는 다음의 내용을 포함하고 있다.

### 중대사고관리지침서 개정 절차

발전운영부장은 절차서 개정 필요에 의해 발행된 개정요구 내용의 경중에 따라 개정팀과 책임자를 임명하고, 개정팀은 필요성을 확인하여 개정요구 검토서를 작성한다. 발전운영부장은 최종적으로 지침서 개정여부 및 개정 지침서에 대한 확인/검증과정의 시행여부를 최종 승인한다.

### 중대사고관리지침서 개정번호 부여 및 관리

중대사고관리지침서 및 중대사고관리지침서 기술배경서는 각각의 지침서별로 개정번호를 부여한다. 최초 작성 지침서에는 개정번호 ‘00’을 부여하며, 이후 개정 시마다 아라비아 숫자 01, 02, 03,..을 순차적으로 부여한다.

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 중대사고관리지침서의 비치관리

중대사고관리지침서는 다른 절차서와 구분하여 비치한다. 운전원의 교육 및 참고용 지침서는 그 용도를 명확히 표기하여 주제어실에 별도로 비치한다.

### 배부

중대사고관리지침서는 배부표에 따라 배부한다.

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 7.5.1 참고문헌

1. KINS/RS-N19.00, "경수로형 원자력발전소 규제기준 및 규제지침" - 규제기준 제19장 '사고관리', 한국원자력안전기술원, 11. 2016.
2. 신고리 5,6호기 표준절차서, 중대사고관리지침서 유지관리, 표준안전-1410C, 한국수력원자력(주)

## 제7장 부록 1. 원자로용기 외벽냉각 및 노심용융물 노내 역류

### 7.부록 1.1 원자로용기 외벽냉각 및 노심용융물 노내 역류 개요

신고리 5,6호기는 중대사고시 완화기능을 확보하기 위하여 APR1400 개발단계에서 수행되었던 원자로용기 외벽냉각 및 노심용융물 노내 역류(IVR-ERVC, In-Vessel corium Retention-External Reactor Vessel Cooling) 전략을 중대사고 관리전략 차원에서 적용하고자 한다. 노심용융물 노내 역류란 노심이 손상되는 중대사고시 원자로용기를 노외침수·냉각시켜 원자로용기 건전성을 확보함으로써 원자로용기 하부공간으로 재배치된 노심용융물을 원자로용기 내에서 보유하게 하는 개념으로, 중대사고시 사고의 진행을 원자로 내에서 종결함으로써 원자로 용기의 파손에 따른 일련의 중대사고 현상에 의한 원자로건물의 파손 가능성을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 즉 급속냉각(Quenching)으로 인한 원자로용기 파손을 방지하기 위해 노심용융물이 원자로용기 하부공간으로 재배치되기 전에 원자로용기를 노외침수 냉각시키며, 하부공간으로 재배치된 노심용융물의 붕괴열이 자연대류, 전도 열전달, 단상 열전달, 핵비등 열전달 등을 통해 원자로용기 벽을 거쳐 외부의 냉각수로 충분히 전달되게 하여 원자로용기의 변형파손(Creep Rupture)을 방지하는 개념이다. 동 부록에서는 신고리 5,6호기 원자로용기 외벽냉각 전략의 평가 계획을 제시한다.

### 7.부록 1.2 원자로용기 외벽냉각 및 노심용융물 노내 역류 성능평가

신고리 5,6호기의 원자로용기 외벽냉각 평가는 MAAP5 전산코드를 이용하여 수행할 예정이며, 1단계 확률론적안전성평가(PSA, Probabilistic Safety Analysis) 결과에 근거한 확률론적 방법론과 공학적 판단에 근거한 결정론적 방법론을 적용하여 분석 대상 사고 경위를 선정할 예정이다. 노내 노심용융물 거동분석에서는 노심용융물 거동에 대한 불확실성을 고려하여 최종상태(final end state)에서의 노심이 용융되는 상태까지 진행되는 보수적인 조건을 가정하여 분석을 수행할 예정이다. 본 평가와 관련하여 상세한 사항은 “신고리 5,6호기 IVR-ERVC 종합보고서[참고문헌 1]”에 기술될 예정이다.

분석 결과 원자로용기 외벽냉각 전략만을 고려한 경우 원자로용기 하부 헤드 관통부에서 취약점이 나타났다. 단, MAAP 전산코드를 이용한 분석에서는 보수적인 평가를 위하여 노내계측 관통부 지지대에 의한 파손 지연 효과를 고려하지 않았기에, 실제 중대사고 상황에서 원자로용기 하부 헤드 관통부 파손 가능성은 계산 결과보다 더 낮을 것으로 예상된다. 중대사고 관리전략에 따라 1차측 비상냉각수 외부주입 전략이 조기에 수행될 경우 원자로용기 하부 헤드로의 노심용융물 재배치 이전에 냉각수 주입이 가능할 것으로 보이며, 원자로용기 외벽냉각 전략을 함께 고려하였을 때, 원자로용기 건전성을 유지할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 보다 실효성 있는 원자로용기 외벽냉각 전략 수행을 위해서는 1차측 비상냉각수 외부주입 전략을 병행하는 것이 유리함을 확인하였다. 본 평가와 관련하여 상세한 사항은 “신고리 5,6호기 IVR-ERVC 종합보고서[참고문헌 1]”에 기술되어 있다.

### 7.부록.1-1

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

### 7.부록 1.3 참고문헌

1. 신고리 5,6호기 IVR-ERVC 종합보고서, 한국수력원자력(주)

## 8. 사고관리 교육훈련계획

본 장에서는 제1장에 기술된 사고관리의 범위에 해당하는 사고 즉 설계기준사고 및 다중고장사고, 설계기준초과 자연재해 및 인위적재해, 중대사고 발생시 제3장에 기술된 사고 대응조직 구성원의 임무수행에 필요한 지식 및 기술을 습득하기 위해 수립되는 교육 및 훈련계획에 대하여 기술한다. 발전소 종사자에 대한 일반적인 교육훈련에 대해서는 최종 안전성분석보고서 13.2장 “교육훈련”에 기술되어 있으며 비상대응조직의 임무 중 방사선 비상계획서 수행에 필요한 지식 및 기술은 방재법에 따른 방재교육 및 훈련을 통해 습득되며 본장에는 별도로 기술하지 않는다.

### 8.1 교육계획

본 절에서는 사고관리를 수행하는 조직의 구성원이 사고시 그 책임 및 권한에 대한 역할을 이해하고 적시에 수행할 수 있도록 관련 지식 및 기술에 대해 주기적으로 교육을 받을 수 있기 위한 교육계획에 대해 기술한다.

#### 8.1.1 설계기준사고 및 다중고장사고

설계기준사고 및 다중고장사고시에는 비상운전절차서에 따라 운전원에 의해 사고대응이 이루어진다. 따라서 비상운전절차서의 구성, 사고완화 전략 및 기술적 배경과 비상운전절차를 수행하는데 필요한 실무지식을 운전원이 습득할 수 있도록 교육계획을 수립한다. 비상운전 전반에 대한 교육은 최종안전성분석보고서 13.2.2 “운전원 재교육 및 보충요원 교육”에 따라 시행된다. 비상운전절차서에 대해 최초 연료장전 전에 초기교육을 시행한 후 2년 이내 주기의 재교육을 시행하며, 개정사항 발생시 개정교육을 시행한다.

##### 8.1.1.1 비상운전절차서 초기교육

###### 8.1.1.1.1 교육목적

모든 운전원이 비상운전절차서의 구성, 사용법, 사고완화 전략 및 기술적 배경을 이해하고 실제 상황 하에서 충분한 비상운전 수행능력을 갖출 수 있도록 교육하기 위함이다.

###### 8.1.1.1.2 교육대상

주제어실 및 현장 운전원 전원이 그 대상이다.

###### 8.1.1.1.3 교육내용



#### 8.1.1.1.3.1 주제어실 운전원

- 비상운전절차서 개발과정
- 비상운전절차서 구성 및 체계
- 최종안전성분석보고서 15장 사고해석
- 각 비상운전절차서의 사고완화 전략 및 기술배경
- 각 비상운전절차서의 단계별 조치사항 및 기술배경
- 발생 가능한 유형별 사고 및 다중사고시 비상운전 수행방법
- 전산화 비상운전절차서의 특성 및 사용방법

#### 8.1.1.1.3.2 현장 운전원

- 비상운전절차서 구성 및 체계
- 기본적인 사고완화 개념
- 현장답사 교육을 통한 비상운전 관련기기의 위치확인 및 조작법
- 전산화 비상운전절차서의 특성 및 사용방법

#### 8.1.1.1.4 교육시기 및 방법

교육 담당부서는 초기 연료장전 전에 승인된 비상운전절차서 최초교육이 완료될 수 있도록 교육계획을 수립하여 교육을 시행한다. 비상운전절차서 최초교육은 강의실 교육과 현장답사 교육 또는 시뮬레이터 교육을 병행하여 실시한다.

#### 8.1.1.2 비상운전절차서 재교육

##### 8.1.1.2.1 교육목적

비상운전절차서의 반복 교육 및 국내·외 운전경험 교육을 통해 운전원이 비상운전절차서의 구성, 사용방법, 사고완화전략 및 기술적 배경에 대한 이해도를 계속 유지하고 비상운전수행능력을 향상시킬 수 있도록 하기 위함이다.

##### 8.1.1.2.2 교육대상

주제어실 및 현장 운전원 전원이 그 대상이다.

##### 8.1.1.2.3 교육내용

##### 8.1.1.2.3.1 주제어실 운전원

- 비상운전절차서 구성 및 체계
- 비상운전절차서 사용자 지침
- 최종안전성분석보고서 15장 사고해석
- 각 비상운전절차서의 사고완화 전략 및 기술배경
- 각 비상운전절차서의 단계별 조치사항 및 기술배경
- 발생 가능한 유형별 사고 및 다중사고시 비상운전 수행능력
- 국내외 운전경험 사례
- 주요 비상운전절차서 개정사항
- 실제 운전과정에서 나타난 운전원 취약분야

#### 8.1.1.2.3.2 현장 운전원

- 비상운전절차서 구성 및 체계
- 기본적인 사고완화 개념
- 현장답사 교육을 통한 비상운전 관련기기의 위치확인 및 조작법

#### 8.1.1.2.4 교육주기 및 방법

2년 이내 주기의 계속된 교육훈련 계획으로 적어도 년 50시간 이상의 집합교육 시간을 포함하여야 한다. 교육부서에서는 관련 절차서에 따라 연간교육계획을 수립하여 집합교육을 시행한다. 또한 설계기준 및 다중교장사고 시나리오를 기반으로 한 모의제어반 또는 토의식 교육이 포함되어야 한다.

#### 8.1.1.3 비상운전절차서 개정사항 교육

##### 8.1.1.3.1 교육목적

개정된 비상운전절차서의 내용 및 사유에 대한 교육을 통해 운전원이 최신 절차서 내용에 따라 비상운전을 수행할 수 있도록 하기 위함이다.

##### 8.1.1.3.2 교육대상

주제어실 및 현장 운전원 전원이 그 대상이다.

##### 8.1.1.3.3 교육내용

- 비상운전절차서 개정 내용 및 사유
- 변경된 사고완화 전략 및 기술배경
- 변경된 비상운전절차서 단계별 조치사항 및 기술배경

- 변경된 비상운전절차서에 따른 비상운전 수행능력

#### 8.1.1.3.4 교육시기 및 방법

경미한 개정사항의 경우 개정 비상운전절차서가 발전소 원자력안전위원회(PNSC)에서 승인되면 자율학습을 통해 3주 이내에 교육을 완료한다. 사고완화 전략의 변경 등 그 사항이 중요한 개정사항에 대해서는 개정 비상운전절차서의 PNSC 승인 후 3주 이내에 교육계획을 수립 후 6개월 이내에 강의실 교육을 완료한다.

#### 8.1.1.4 비상운전절차서 교육 프로그램에 대한 평가 및 피드백

##### 8.1.1.4.1 비상운전절차서 개정 반영

교육훈련과정에서 발견된 비상운전절차서와 비상운전절차서 기초 자료의 오류 및 개선점에 대해서는 관련 절차서에 따라 개정한다.

##### 8.1.1.4.2 비상운전절차서 교육훈련계획 반영

실제 운전과정 및 교육평가 결과에서 나타난 운전원 취약분야와 교육훈련 개선점에 대해서는 차기년도 교육훈련 세부계획 수립시 반영한다.

## 8.1.2 극한재해 사고

극한재해 사고시에는 극한재해 완화지침서에 따라 운전원 및 방사선 비상요원에 의해 사고대응이 이루어진다. 따라서 극한재해 완화지침서의 구성, 사고완화 전략 및 기술적 배경과 극한재해 완화지침서를 수행하는데 필요한 실무지식을 운전원 및 방사선 비상요원이 습득할 수 있도록 교육계획을 수립한다. 여기서 방사선 비상요원은 사고관리계획서 제3장 사고관리이행체계에 기술된 극한재해 사고 관리에 필요한 요원을 의미하며 극한재해 완화지침서는 다중방어운영지침서와 광역손상완화지침서로 구성된다.

최초 연료 장전 전, 승인된 극한재해완화지침서에 대해 최초교육을 시행한 후 2년 이내 주기의 재교육을 시행하며, 개정사항 발생시 개정교육을 시행한다.

### 8.1.2.1 극한재해 완화지침서 최초교육

#### 8.1.2.1.1 교육목적

극한재해 완화지침서의 구성, 사용법, 사고 완화전략 및 기술적 배경 등을 이해하고 유사시 실제적인 극한재해사고 관리능력을 갖출 수 있도록 교육하기 위함이다.

#### 8.1.2.1.2 교육대상 및 교육내용

##### 8.1.2.1.2.1 주제어실 운전원

- 극한재해 완화지침서 구성 및 체계
- 각 극한재해 완화지침서의 사고완화 전략 및 기술배경
- 각 극한재해 완화지침서의 단계별 조치사항 및 기술배경

##### 8.1.2.1.2.2 현장 운전원 및 방사선 비상요원

- 극한재해 완화지침서 구성 및 체계
- 기본적인 사고완화 개념
- 이동형 설비의 운영(기기의 이동/매치/연결에 참여하는 요원)
- 현장 기기위치 확인 및 조작법(기기를 조작하는 요원)

#### 8.1.2.1.3 교육시기 및 방법

교육부서에서는 최초 연료 장전 전 승인된 극한재해완화지침서 최초교육이 완료될 수 있도록 교육계획을 수립하여 강의실 교육을 시행한다. 이동형 설비의 운영, 현장 기기위치 확인 및 조작법에 대한 교육은 현장 실습을 통한 훈련을 포함한다.

### 8.1.2.2 극한재해 완화지침서 재교육

#### 8.1.2.2.1 교육목적

극한재해 완화지침서의 반복교육을 통해 사고관리 조직 구성원의 극한재해 완화지침서에 대한 이해도를 계속 유지하고 극한재해 사고 대처능력을 향상시킬 수 있도록 하기 위함이다.

#### 8.1.2.2.2 교육대상 및 교육내용

##### 8.1.2.2.2.1 주제어실 운전원

- 극한재해 완화지침서 구성 및 체계
- 각 극한재해 완화지침서의 사고완화 전략 및 기술배경
- 각 극한재해 완화지침서의 단계별 조치사항 및 기술배경
- 국내외 운전경험 사례
- 주요 극한재해 완화지침서 개정사항

##### 8.1.2.2.2.2 현장 운전원, 방사선 비상요원

- 극한재해 완화지침서 구성 및 체계
- 기본적인 사고완화 개념
- 주요 극한재해 완화지침서 개정사항
- 이동형 설비의 운영(기기의 이동/배치/연결에 참여하는 요원)
- 현장 기기위치 확인 및 조작법(기기를 조작하는 요원)

#### 8.1.2.2.3 교육주기 및 방법

교육부서에서는 관련 절차서에 따라 2년 이내의 주기로 교육될 수 있도록 연간교육계획을 수립하여 집합교육을 시행한다. 운전원 교육에는 극한재해 시나리오를 기반으로 한 모의제어반 또는 토의식 교육이 포함되어야 한다. 이동형 설비의 운영, 현장 기기위치 확인 및 조작법에 대한 교육은 현장 실습을 통한 훈련을 포함한다.

### 8.1.2.3 극한재해 완화지침서 개정사항 교육

#### 8.1.2.3.1 교육목적

개정된 극한재해 완화지침서의 내용 및 사유에 대한 교육을 통해 운전원 및 방사선 비상요원이 최신 극한재해 완화지침서를 수행할 수 있도록 하기 위함이다.

#### 8.1.2.3.2 교육대상

주제어실, 현장 운전원 및 방사선 비상요원이 그 대상이다.

#### 8.1.2.3.3 교육내용

- 극한재해 완화지침서 개정 내용 및 사유
- 변경된 사고완화 전략 및 기술배경
- 변경된 극한재해 완화지침서 단계별 조치사항 및 기술배경

#### 8.1.2.3.4 교육시기

경미한 개정사항의 경우 개정 극한재해 완화지침서가 발전소 원자력안전위원회(PNSC)에서 승인되면 자율학습을 통해 3주 이내에 교육을 완료한다. 사고완화 전략의 변경 등 그 사안이 중요한 개정사항에 대해서는 개정 극한재해 완화지침서의 PNSC 승인 후 3주 이내에 교육 계획을 수립 후 6개월 이내에 강의실 교육을 완료한다.

#### 8.1.2.4 극한재해 완화지침서 교육 프로그램에 대한 평가 및 피드백

##### 8.1.2.4.1 극한재해 완화지침서 개정 반영

교육훈련과정에서 발견된 극한재해 완화지침서와 극한재해 완화지침서 기초 자료의 오류 및 개선점에 대해서는 관련 절차서에 따라 개정한다.

##### 8.1.2.4.2 극한재해 완화지침서 교육훈련계획 반영

실제 운전과정 및 교육평가 결과에서 나타난 운전원 취약분야와 교육훈련 개선점에 대해 차기년도 교육훈련 세부계획 수립시 반영한다.

### 8.1.3 중대사고

중대사고시에는 중대사고관리지침서에 따라 운전원 및 방사선 비상요원에 의해 사고대응이 이루어진다. 따라서 중대사고관리지침서의 구성, 사고완화 전략 및 기술적 배경과 중대사고관리지침서를 수행하는데 필요한 실무지식을 운전원 및 방사선 비상요원이 습득할 수 있도록 교육계획을 수립한다. 여기서 방사선 비상요원은 사고관리계획서 제3장 사고관리이행체계에 기술된 중대사고 관리에 필요한 요원을 의미한다.

최초 연료 장전 전 승인완료된 중대사고관리지침서에 대해 최초교육을 시행한 후 2년 이내 주기의 재교육을 시행하며, 개정사항 발생시 개정교육을 시행한다.

#### 8.1.3.1 중대사고 최초교육

##### 8.1.3.1.1 교육목적

중대사고관리지침서가 최초로 작성되어 운전원 및 방사능 방재요원이 중대사고관리지침서의 구성, 사용법, 사고 완화전략 및 기술적 배경 등을 이해하고 유사시 실제적인 중대사고 관리능력을 갖출 수 있도록 교육하기 위함이다.

##### 8.1.3.1.2 교육대상 및 교육내용

###### 8.1.3.1.2.1 주제어실 운전원

- 중대사고관리지침서 개발과정
- 중대사고관리지침서 구성 및 체계
- 중대사고관리지침서 사용자 지침
- 각 중대사고관리지침서의 사고완화 전략 및 기술배경
- 각 중대사고관리지침서의 단계별 조치사항 및 기술배경

###### 8.1.3.1.2.2 현장 운전원, 방사능 비상요원

- 중대사고관리지침서 구성 및 체계
- 기본적인 사고완화 개념
- 중대사고 완화운전 관련기기의 위치확인 및 조작법

##### 8.1.3.1.3 교육시기 및 방법

교육담당부서는 최초 연료 장전 전에 승인된 중대사고관리지침서 최초교육이 완료될 수 있도록 교육계획을 수립하여 강의실 교육을 시행한다.

### 8.1.3.2 중대사고관리지침서 재교육

#### 8.1.3.2.1 교육목적

사고관리 조직의 구성원이 중대사고관리지침서의 구성, 사용방법, 사고완화전략 및 기술적 배경에 대한 이해도를 계속 유지하고 중대사고 대처능력을 향상시킬 수 있도록 하기 위함이다.

#### 8.1.3.2.2 교육대상 및 교육내용

##### 8.1.3.2.2.1 주제어실 운전원

- 중대사고관리지침서 구성 및 체계
- 중대사고관리지침서 활용
- 각 중대사고관리지침서의 사고완화 전략 및 기술배경
- 각 중대사고관리지침서의 단계별 조치사항 및 기술배경
- 국내외 운전경험 사례
- 주요 중대사고관리지침서 개정사항
- 실제 운전과정에서 나타난 운전원 취약분야

##### 8.1.3.2.2.2 현장 운전원, 방사선 비상요원

- 중대사고관리지침서 구성 및 체계
- 기본적인 사고완화 개념
- 주요 중대사고관리지침서 개정사항
- 현장 기기위치 확인 및 조작법(기기를 조작하는 요원)

#### 8.1.3.2.3 교육주기 및 방법

교육부서에서는 관련 절차서에 따라 2년 이내의 주기로 교육될 수 있도록 연간교육계획을 수립하여 집합교육을 시행한다. 운전원 교육에는 중대사고 시나리오를 기반으로 한 모의제어반 또는 토의식 교육이 포함되어야 한다.

### 8.1.3.3 중대사고관리지침서 개정사항 교육

#### 8.1.3.3.1 교육목적

개정된 중대사고관리지침서의 내용 및 사유에 대한 교육을 통해 운전원 및 방사선 비상요원이 최신 중대사고관리지침서를 수행할 수 있도록 하기 위함이다.



#### 8.1.3.3.2 교육대상

주제어실, 현장 운전원 및 방사선 비상요원이 그 대상이다.

#### 8.1.3.3.3 교육내용

- 중대사고완화지침서 개정 내용 및 사유
- 변경된 사고완화 전략 및 기술배경
- 변경된 중대사고완화지침서 단계별 조치사항 및 기술배경

#### 8.1.3.3.4 교육시기 및 방법

경미한 개정사항의 경우 개정 중대사고완화지침서가 발전소 원자력안전위원회(PNSC)에서 승인되면 자율학습을 통해 3주 이내에 교육을 완료한다. 사고완화 전략의 변경 등 그 사안이 중요한 개정사항에 대해서는 개정 중대사고완화지침서의 PNSC 승인 후 3주 이내에 교육 계획을 수립 후 6개월 이내에 강의실 교육을 완료한다.

#### 8.1.3.4 중대사고관리지침서 교육 프로그램에 대한 평가 및 피드백

##### 8.1.3.4.1 중대사고관리지침서 개정 반영

교육훈련과정에서 발견된 중대사고관리지침서와 중대사고관리지침서 기초 자료의 오류 및 개선점에 대해서는 관련 절차서에 따라 개정한다.

##### 8.1.3.4.2 중대사고관리지침서 교육훈련계획 반영

실제 운전과정 및 교육평가 결과에서 나타난 운전원 취약분야와 교육훈련 개선점에 대해 차기년도 교육훈련 세부계획 수립시 반영한다.

8.1.4 참고문헌

1. 발전소 운영절차서, 비상운전절차서 교육훈련, 한국수력원자력(주)
2. 발전소 운영절차서, 극한재해완화지침서 교육훈련, 한국수력원자력(주)
3. 발전소 표준절차서, 중대사고관리지침서 교육훈련, 한국수력원자력(주)

## 8.2 훈련계획

본 절에서는 사고관리 조직의 구성원에 대한 임무와 책임에 상응하는 훈련계획을 수립하기 위해 훈련의 목적, 내용, 훈련주기, 훈련시나리오의 선정 등에 관한 내용을 기술한다. 훈련은 개별 조직에 대한 훈련과 조직간 연계훈련으로 구분된다. 개별 조직에 대한 훈련은 조직구성원의 사고대응능력을 제고하기 위함이 주목적이며 조직간 연계훈련은 사고관리 전략, 사고관리 조직 및 이행체계의 유효성을 확인하는 것이 주목적이다. 개별조직에 대한 훈련은 모의제어반, 이동형 설비에 대한 현장 실습 등을 통해 시행되며 8.1 “교육계획”에서 수립되는 연간교육계획에 포함되므로 본 절에서는 조직간 연계훈련에 대해서만 기술한다.

### 8.2.1 훈련목적

- 사고관리계획서의 유효성 확인
- 원전 사고관리체계 실효성 점검 및 확립
- 고정형 및 이동형 필수대처설비의 유용성 확인
- 훈련을 통한 사고관리계획서의 보완 및 개선사항 도출

### 8.2.2 훈련대상

운전원 및 방사선 비상요원이 훈련대상이며 방사선 비상요원은 사고관리계획서 제3장 사고관리이행체계에 기술된 사고 관리에 필요한 요원을 의미한다.

### 8.2.3 훈련내용

- 소내 고정형 설비를 이용한 사고 대응
- 소내 이동형 설비의 이동, 연결 및 작동절차
- 사고관리 절차서 및 지침서간의 효율적인 연계 및 전환
- 훈련시나리오 전개에 따른 사고관리 조직구성원의 사고대응능력 확인

### 8.2.4 훈련 방법 및 훈련시나리오 선정

사고관리 절차서와 지침서간 연계 및 전환의 유효성을 확인하고 사고관리체계의 실효성을 점검할 수 있도록 모의제어반 또는 토론식 방법으로 사고시나리오 진행, 비상대응조직의 발족, 이동형 설비의 이동 및 배치를 포함하여 훈련을 시행한다.

훈련 시나리오는 상당한 수의 사고관리 절차서 및 지침서를 적용해야 하는 시나리오를 기반으로 하고, 다양한 사고 상태(설계기준사고, 다중고장사고, 극한재해 및 중대사고)를 대표할 수 있도록 아래 예시와 같이 사고관리 절차서 및 지침서간의 효율적인 연계 및 전환의 유효성을 확인 할 수 있는 시나리오를 선정한다.

## 신고리 5,6호기 사고관리계획서

- 설계기준사고에서 설계기준을 초과하는 자연재해로 전파된 후 중대사고로 확대
- 설계기준을 초과하는 인위적재해에 이은 중대사고

또한, 부지단위 훈련의 경우 공유설비 및 이동형 설비에 대한 우선 배분 순위 결정 절차가 포함된 다수기 동시사고를 가정하여 훈련시나리오를 작성한다.

### 8.2.5 훈련시기 및 주기

발전소 단위 훈련은 최초 정격열출력 5% 이전에 최초훈련을 실시하고 이후에는 2년 이내의 주기로 실시한다. 부지 단위 최초훈련은 사고관리계획서 인허가 완료 시점에서 1년 이내에 1개 부지를 선정하여 시행하고 이후 2년 마다 순차적으로 타부지 순환하여 시행한다. 또한, 발전소 또는 부지별 방재훈련과 연계하여 실시할 수 있다.

### 8.2.6 훈련 평가 피드백, 결과기록 및 유지관리

훈련이 종료되면 평가 회의를 갖고며 회의결과는 문서화하여 기록으로 관리한다. 훈련과정에서 발견된 사고관리 절차서 및 지침서의 오류 및 개선점에 대해서는 관련 절차서에 따라 개정한다.