



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

2023년 2월

석사학위 논문

순서도(Flowchart) 기반
원자력발전소 운영기술지침서 개발

조선대학교 대학원

원자력발전학과

윤 보 상

순서도(Flowchart) 기반

원자력발전소 운영기술지침서 개발

Development of Flowchart-based Technical Specification

2023년 2월 24일

조선대학교 대학원

원자력발전학과

윤 보 상

순서도(Flowchart) 기반
원자력발전소 운영기술지침서 개발

지도교수 김 종 현

이 논문을 공학 석사학위 신청 논문으로 제출함

2022년 10월

조선대학교 대학원

원자력발전학과

윤 보 상

윤보상의 석사학위논문을 인준함

위원장	조선대학교	교수	이 경 진	(인)
위 원	조선대학교	교수	송 종 순	(인)
위 원	조선대학교	교수	김 종 현	(인)

2022년 12월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT	i
제1장 서론	1
제1절 배경 및 필요성	1
제2장 운영기술지침서	3
제1절 개요	3
제2절 주요 구성과 내용	3
제3장 순서도	7
제1절 개요	7
제2절 순서도 형식	7
제4장 운영기술지침서 순서도 적용	18
제1절 현행 운영기술지침서 순서도 적용 전·후	18
제2절 원자력발전소 방사선 비상	29
제3절 순서도 기반의 장점	30
제5장 결론	31
[참고문헌]	32

표 목차

표 1. 최종안전성분석보고서(FSAR) 관련 내용	2
표 2-1. 원자로시설의 운전	4
표 2-2. 운전제한조건의 선정기준	4
표 2-3. 운영기술지침서의 주요 구성과 내용	5
표 2-4. 원자력발전소의 운전모드	6
표 3-1. 순서도 작성의 일반적 기호	9
표 3-2. 순서도 작성의 기타 기호	10
표 4-1. 원자로특성시험 예외사항 운영기술지침서	19
표 4-2. 가압기 운영기술지침서	21
표 4-3. 최종 열제거원 운영기술지침서	23
표 4-4. 원자로냉각재계통 운전누설 운영기술지침서	26
표 5-1. 방사선비상계획구역	29
표 5-2. 방사선비상의 종류	30

그림 목차

그림 3-1. 버스 노선의 지도	8
그림 3-2. 순서도 작성 예시	11
그림 3-3. 기본적인 순서도	12
그림 3-4. 논리 트리	13
그림 3-5. 전형적인 순서도	15
그림 3-6. 전형적인 순서도(계속)	16
그림 3-7. 큰 그림 순서도	17
그림 4-1. 원자로특성시험 예외사항 운영기술지침서 순서도	20
그림 4-2. 가압기 운영기술지침서 순서도도	22
그림 4-3. 최종 열제거원 운영기술지침서 순서도	24
그림 4-4. 원자로냉각재계통 운전누설 운영기술지침서 순서도	27
그림 4-5. 방사선비상 발령상황5	28

ABSTRACT

Development of Flowchart-based Technical Specification

Bo Sang Yun

Advisor : Prof. Jonghyun Kim, Ph.D.

Department of Nuclear Engineering

Graduate School of Chosun University

In operating a nuclear power plant in accordance with the Nuclear Safety Act, the operator of a nuclear power plant and its employees must comply with the Technical Specification.

Operational Technical Specification(TS) are applied according to the operation mode of the power plant, and power plant operators are concerned about whether or not to apply the operation Technical Specification in the event of a system or facility failure. Such a decision is known to be a difficult job for operators or business operators, and it is expected that writing in a schematic flowchart so that it is easy to understand the application point in each item when a problem occurs can alleviate these difficulties.

제1장 서론

제1절 배경 및 필요성

‘원자력안전법’에 따라 원자력발전소를 운전함에 있어 운영에 관한 안전조치를 위해 발전용원자로 운영자 및 종업원이 운영기술지침서(Technical Specification)를 준수하도록 규정하고 있다.

원자력안전규제기관인 원자력안전위원회는 안전조치가 부족하다고 인정하면 해당 발전용원자로운영자에게 운영기술지침서의 변경이나 오염제거와 그 밖의 안전을 위하여 필요한 조치를 명할 수 있다.

운영기술지침서(TS)는 ‘원자로시설의 운전’, ‘원자로시설의 방사선 및 환경관리’, ‘원자로시설의 운영관리’에 관한 사항으로 구분하고 있다. ‘원자로시설의 운전’에서는 ‘사용 및 적용’, ‘안전제한치(Safety Limits)’, ‘운전제한조건(Limiting Condition for Operation) 및 점검요구사항(Surveillance Requirements)’, 설계상 중요한 안전특성 등 발전소의 운전에 필요한 주요 사항을 명시하고 있다.

운영기술지침서(TS)는 발전소의 다양한 운전모드에 따라 적용하며, 발전소 사업자는 계통 및 설비 고장 발생 시 운영기술지침서를 적용할지 안할지에 대해 고민하게 된다. 이러한 결정은 운전원 내지는 사업자에게 어려운 직무로 알려져 있으며, 문제 발생 시 각 항목에서 적용 시점을 쉽게 이해할 수 있도록 도식화된 순서도(Flowchart)로 작성하는 것은 이러한 어려움을 완화시켜 줄 수 있다.

이 논문에서 원자력발전소에서 설비·계통 고장시 적용시점에서 쉽게 접근하여 주제어실 운전원으로 하여금 빠른 판단으로 안전운전의 여유시간을 확보할 수 있도록 주요 고장 항목에 대해 적용여부를 순서도(Flowchart)화 하는 운영기술지침서를 개발하여 운영기술지침서 적용하는데 있어 편리함을 제공하고자 한다.

운영기술지침서: 최종안전성분석보고서(FSAR) 16장 수록

장	내용
Chapter 1	Introduction and General Description of Plant
Chapter 2	Sites Characteristics
Chapter 3	Design of Structures, Components, Equipment, and Systems
Chapter 4	Reactor
Chapter 5	Reactor Coolant System and Connected Systems
Chapter 6	Engineered Safety Features
Chapter 7	Instrumentation and Controls
Chapter 8	Electric Power
Chapter 9	Auxiliary Systems
Chapter 10	Steam and Power Conversion System
Chapter 11	Radioactive Waste Management
Chapter 12	Radiation Protection
Chapter 13	Conduct of Operations
Chapter 14	Initial Test Program
Chapter 15	Accident Analysis
Chapter 16	Technical Specifications
Chapter 17	Quality Assurance
Chapter 18	Human Factors Engineering
Chapter 19	PSA and Severe Accidents

표 1. 최종안전성분석보고서(FSAR) 관련 내용

제2장 운영기술지침서

제1절 개요

원자력발전소에서는 발전소의 안전운영에 필요한 설비와 운전변수가 안전성분석에 의해 결정된 운전제한조건 이내에 유지되고 있음을 보장하기 위하여 발전소운영자가 준수해야 할 기본적인 사항을 기술한 운영기술지침서를 보유하고 있다. ‘원자력안전법’에서는 운영에 관한 안전조치의 일환으로 발전용원자로 운영자 및 종업원이 운영기술지침서를 준수하도록 규정하고 있다.

또한 원자력안전규제기관인 원자력안전위원회는 안전조치가 부족하다고 인정하면 해당 발전용원자로운영자에게 운영기술지침서의 변경이나 오염제거와 그 밖의 안전을 위하여 필요한 조치를 명할 수 있다.

제2절 주요 구성과 내용

운영기술지침서는 아래 표에서 보는 바와 같이 크게 ‘원자로시설의 운전’, ‘원자로시설의 방사선 및 환경관리’, ‘원자로시설의 운영관리’에 관한 사항으로 구분하고 있다. ‘원자로시설의 운전’에서는 ‘사용 및 적용’, ‘안전제한치(Safety Limits)’, ‘운전제한조건(Limiting Condition for Operation) 및 점검요구사항(Surveillance Requirements)’, 설계상 중요한 안전특성 등 발전소의 운전에 필요한 주요 사항을 명시하고 있다. ‘사용 및 적용’에서는 노심반응도, 출력 준위, 원자로냉각재 저온관 온도에 따라 발전소의 다양한 운전모드를 정의하고 있다.

원자로 시설의 운전	정 의
안전 제한치	① 운영기술지침서에는 방사능물질의 누출에 대한 물리적 방어벽의 건전성을 확보하는데 필요한 주요 공정변수의 안전제한치를 기술 ② 원자로가 안전제한치를 초과할 경우 운영자는 원자로를 정지시키고 사건경위·원인분석 및 조치내용 등을 규제기관에 보고하여야 하며 규제기관의 승인 후 원자로를 재가동 ③ 자동보호설비가 요구된 기능을 하지 않았을 경우에 운영자는 적절한 조치를 취한 후 사건경위·원인분석 및 조치내용 등을 규제기관에 보고
운전 제한조건	① 운영기술지침서에는 원자로시설이 안전한 상태를 유지하기 위한 최소한의 기능 또는 성능 수준인 운전제한조건을 기술하여야 하며 이를 충족하지 못하는 경우 원자로를 정지시키거나 조건이 만족될 때까지 요구되는 조치사항을 기술 ② 운전제한조건의 선정기준(표 2-1 참조)
점검 요구사항	① 계통 및 기기가 필요한 수준의 품질을 유지하고 있고 안전제한치 범위에서 운전되고 있으며 운전제한조건을 만족하고 있음을 확인하기 위한 시험·교정 및 검사에 관계되는 점검요구사항을 기술 ② 운전경험 또는 확률론적 안전성 분석등을 반영하여 설정된 점검주기를 기술
설계 특성	안전제한치·운전제한조건 및 점검요구사항에 포함되어 있지 않으나 변경 또는 수정시 안전성에 중대한 영향을 주는 배치등과 같은 설계상 중요한 안전특성을 기술

표 2-1. 원자로시설의 운전

기 준	정 의
1	주제어실에서 원자로냉각재압력경계의 현저한 성능저하를 감시 및 지시하기 위해 설치된 계기
2	핵분열생성물 방벽의 결함이나 건전성 위협을 가정하는 설계기준사고 또는 과도상태 해석의 초기조건에 해당되는 공정변수·설비 및 운전제한사항
3	핵분열생성물 방벽의 결함이나 건전성 위협을 가정하는 설계기준사고 또는 과도상태를 완화시키기 위해 기능을 수행하거나 작동하면서 주성공경로(primary success path)의 일부에 해당되는 구조물·계통 및 기기
4	운전경험 또는 확률론적 안전성 평가 결과, 공공의 건강과 안전성확보에 중요한 구조물·계통 및 기기

표 2-2. 운전제한조건의 선정기준

구성	내용	
1편 . 원자로 시설의 운전	1) 사용 및 적용	· 용어의 정의, 제한시간, 점검주기
	2) 안전제한치	· 안전제한치, 제한치 위반
	3) 운전제한조건 및 점검요구사항	<ul style="list-style-type: none"> · 반응도제어계통 · 출력분포제한 · 계측설비 · 원자로냉각재계통 · 비상노심냉각계통 · 격납건물계통 · 발전소계통 · 전력계통 · 연료재장전운전
	4) 설계특성	· 부지위치, 노심, 핵연료저장
2편 . 원자로 시설의 방사선 및 환경관리	1) 방사선 방호	<ul style="list-style-type: none"> · 원자로시설보전 · 방사선 안전관리 · 방사선 측정기 관리
	2) 방사성물질 등의 관리	<ul style="list-style-type: none"> · 방사성폐기물 관리 · 배기 및 배수 감시설비 · 핵연료물질의 수불, 운반, 저장 및 취급 · 방사성 동위원소 취급
	3) 원자로시설로부터의 환경보전	· 환경감시
3편 . 원자로 시설의 운영관리	1) 조직 및 기능	· 부서별 기능, 인원편성, 운영관리책임, 발전소 원자력안전위원회, 절차서
	2) 원자로시설의 순시점검	· 순시원 배치, 기기설비 순시점검, 조치
	3) 비상시 운전원 조치사항	· 비상상황 조치, 원자로정지 후 조치, 수동 비상노심냉각계통 기동
	4) 계획서 및 지침서	· 안전기능결정지침서, 가동중검사/시험, 계획서, 화재방호계획서 등
	5) 보고 요구사항	<ul style="list-style-type: none"> · 환경방사능 조사 및 평가보고서 · 방사선관리보고서 · 가동중검사 결과보고서 · 사고 및 고장 보고서 · 교체노심 안전성 평가보고서 등

표 2-3. 운영기술지침서의 주요 구성과 내용

노심의 반응도조건, 출력 준위, 원자로냉각재계통의 저온관 온도에 따른 운전모드는 표 2-1에서 보는 바와 같다.

MODE	TITLE	REACTIVITY CONDITION (k_{eff})	% RATED THERMAL POWER ^(a)	AVERAGE REACTOR COOLANT TEMPERATURE (°F)
1	Power Operation	≥ 0.99	> 5	NA
2	Startup	≥ 0.99	≤ 5	NA
3	Hot Standby	< 0.99	NA	$\geq [350]$
4	Hot Shutdown ^(b)	< 0.99	NA	$[350] > T_{avg} > [200]$
5	Cold Shutdown ^(b)	< 0.99	NA	$\leq [200]$
6	Refueling ^(c)	NA	NA	NA

(a) Excluding decay heat.

(b) All reactor vessel head closure bolts fully tensioned.

(c) One or more reactor vessel head closure bolts less than fully tensioned.

표 2-4. 원자력발전소의 운전모드

제3장 순서도(Flowchart)

제1절 개요

순서도(Flowchart)는 텍스트와 그래픽을 결합하여 절차를 표현하는 수단이다. 순서도에 기록된 단계는 일반적으로 흐름 경로를 형성하기 위해 선으로 연결된다. 사용자는 흐름 경로를 따르고 발생하는 단계를 수행하여 절차를 수행한다. 이러한 단계는 일반적으로 단계 유형을 나타내는 기호로 묶여 있다. 예를 들어 결정 단계는 일반적으로 다이아몬드 모양의 기호로 둘러싸여 있다. 그러나 순서도에 대한 표준 형식은 없다. 일부 순서도는 선으로만 구성되고 기호를 포함하지 않는다. 다른 것들은 완전히 기호이고 선을 포함하지 않는다(Richards and Johnson, 1980).

순서도는 수년 동안 엔지니어와 회계사에 의해 사용되었지만 컴퓨터 프로그래머가 컴퓨터 코드를 표현하는 수단으로 가장 일반적으로 사용한다. 컴퓨터 프로그램에서 일반적인 결정, 루프 및 분기는 순서도에서 비교적 간단한 방식으로 표현할 수 있다.

제2절 순서도 형식

순서도는 작업(즉, 절차)을 수행하기 위한 지침을 제시하기 위해 텍스트와 그래픽이 결합된 다이어그램으로 정의된다. 텍스트는 사용자가 따라야 하는 지침과 사용자가 작업을 수행하는 동안 내려야 하는 결정을 제공한다. 그래픽은 한 텍스트에서 다음 텍스트로 사용자를 안내하고 작업을 수행하는 데 필요한 작업 유형에 대한 정보를 전달하는 역할을 하는 기호(예: 화살표가 있는 상자 및 선)이다.

그래픽 형식으로서 순서도는 네트워크와 맵을 포함하는 집합에 속한다. Bertin(1981, 1983)은 그래픽 표현에 표시되는 정보 집합의 수에 따라 네트워크, 순서도 및 지도를 다른 유형의 차트 및 그래프와 구별한다. 많은 차트와 그래프는 일반적으로 두 가지 정보 세트를 처리한다. 그 중 하나는 차트의 X축을 따라 표시되고 다른 하나는 Y축을 따라 표시된다.

대조적으로 네트워크, 지도 및 순서도는 단일 정보 집합 내에서 상호 관계를 표시하는 데 중점을 둔다. Winn과 Holiday(1982)도 이러한 차이점에 주목하지만 순서도와 다이어그램이 다른 정보보다 더 유사하다는 점을 강조한다. Blaiwes(1973)와 Twyman(1980)은 또한 지도, 흐름도, 조직도와 같은 트리 구조 데이터 프레젠테이션이 공통적인 특성을 가지고 있음을 지적한다. 경우에 따라 맵과 순서도가 매우 유사해 보인다. 예를 들어 버스 노선의 지도(또는 흐름도)인 그림 3-1을 참조하라

이 지도 및 이 장르의 다른 지도에서 항목의 정확한 위치는 중요하지 않지만 수역과 같은 특정 주요 랜드마크가 표시되고 사용자에게 유용할 수 있다. 또한 중요하지 않은 세부 사항이 많이 생략되었다. 사용자에게 중요한 것은 버스 노선(즉, 플라이오라인)을 따라 위치의 상대적인 위치이다. 이 지도는 장소가 물리적으로 어디에 있는지 정확하게 보여주기보다는 한 위치에서 다른 위치로 어떻게 이동(흐름)할 수 있는지를 보여주도록 설계되었다. 그림 3-1에 표시된 것과 같은 맵은 그래픽으로 순서도와 유사하다.

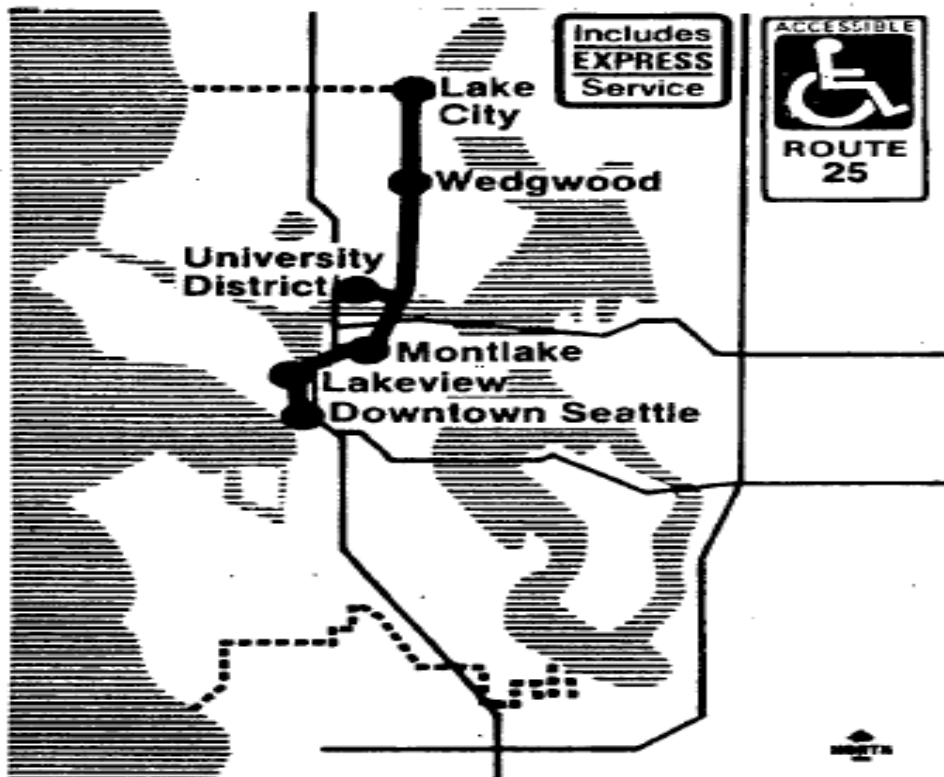


그림 3-1. 버스 노선의 지도










ANSI/ISO 형태	명칭	설명
	흐름선	프로세스의 실행 순서를 나타낸다.
	터미널	하위 프로세스나 프로그램의 시작과 끝을 나타낸다.
	처리	데이터의 값, 형태, 장소를 변경하는 한 세트의 실행을 표현한다.
	판단	프로그램이 실행되는 두 가지 경로 중에 하나를 결정하는 조건부 실행을 나타낸다. 일반적으로 예/마니오 질의이거나 참/거짓 검사이다.
	입력/출력	데이터를 입력하거나 결과를 출력하는 경우와 같이 데이터의 입력과 출력을 나타낸다.
	주석	
	서브루틴	다른 곳에 정의되어 명명된 프로세스를 나타낸다.
	페이지 내 연결자	정보가 기재된 연결자의 쌍은 순서도의 한 페이지에서 길거나 혼란스러운 선을 대체하며, 내부에 글자가 기재된 작은 원으로 표현된다.
	페이지 간 연결자	연결하려는 대상이 다른 페이지에 있을 때 사용하는 연결자로, 내부에 정보가 기재된다.

표 3-1. 순서도 작성의 일반적 기호



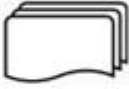



형태	명칭	설명
	데이터 파일 또는 데이터베이스	실린더로 표현되는 데이터
	문서	단일한 문서
		다수의 문서
	메뉴얼 실행	수동으로만 실행되는 경우
	메뉴얼 입력	
	준비 또는 초기화	

표 3-2. 순서도 작성의 기타 기호

순서도를 검토하면 "흐름도"라는 용어가 위에서 설명한 특성을 공유하는 다양한 구조를 포함하는 것으로 나타난다. 기능(즉, 제공하려는 요구 사항)과 형식(즉, 표시 방식)이 모두 다른 이러한 구조는 두 가지 기능 그룹으로 나눌 수 있습니다. (1) 알고리즘 결정으로 작성된 순서도 보조 및 (2) 순서도 기술을 사용하여 둘 이상의 작업을 동시에 수행하기 위한 지침을 제시하는 다이어그램.

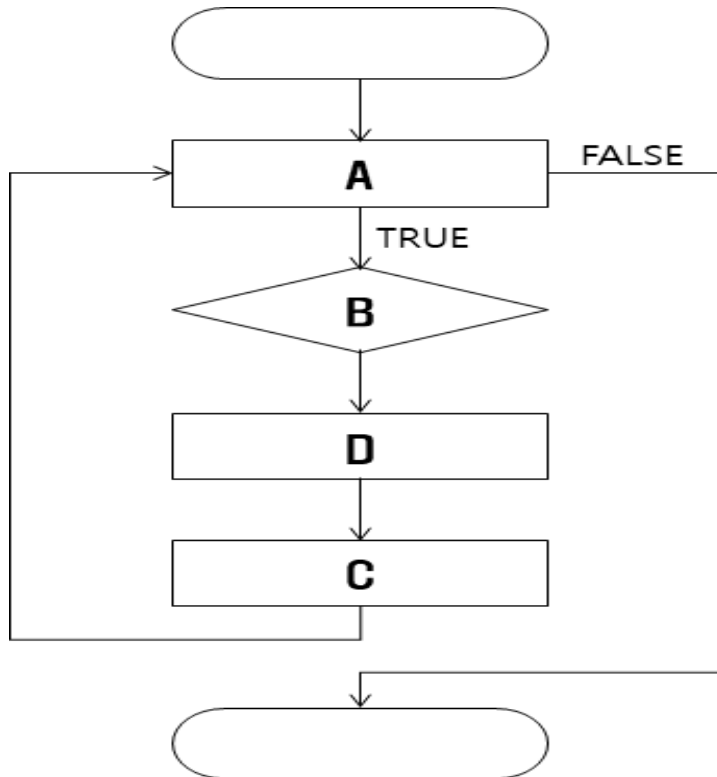


그림 3-2. 순서도 작성 예시

전형적인 순서도는 다양한 모양의 기호를 작은 텍스트 본문을 둘러싸는 상자로 사용한다. 전형적인 순서도의 예는 그림 2에 나와 있다. 주어진 모양의 상징은 주어진 의미를 전달한다. 가장 단순한 형태의 순서도는 결정 상자, 흐름 경로 및 작업 상자의 세 가지 구성 요소를 포함한다(Krohn, 1983). 결정 단계는 일반적으로 마름모 모양의 상자로 표시되고 작업 단계는 직사각형으로 표시된다. 단계의 순서는 화살표가 있는 흐름선으로 표시된다.

전형적인 순서도의 사용자는 흐름선의 지시에 따라 한 기호에서 다음 기호로 이동한다. 결정 지점에서 흐름 경로는 둘 이상의 흐름 경로로 분기되며 사용자는 이러한 경로 중 하나를 선택해야 한다.

이 선택을 하는 데 필요한 결정 기준은 질문 형식으로 결정 기호 내에 배치된다. 모서리가 둥근 타원형, 원 또는 직사각형은 진입점과 퇴장점을 표시한다. Twyman(1980)은 "선형 분기"라는 용어를 사용하여 전통적인 순서도 형식을 설명한다. 액션 심볼에서 액션 심볼로의 정보 흐름은 선형이지만 단일 경로가 두 개 이상의 경로로 분리되는 결정 지점에서 분기된다. 그러나 선형 분기라는 용어는 이동의 흐름이 흐름 경로의 병합을 포함할 수 있기 때문에 전통적인 흐름도 구조에 대한 불완전한 설명이다.

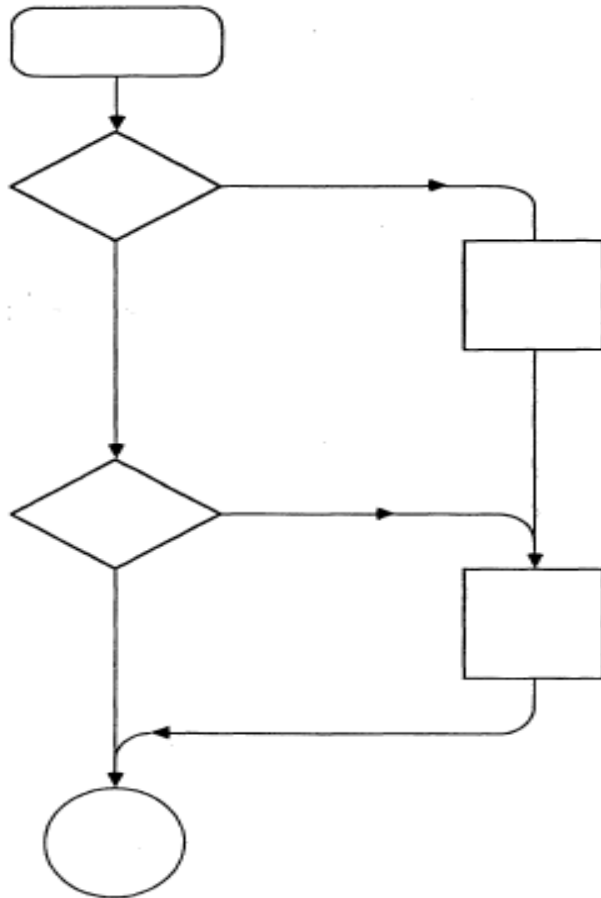


그림 3-3. 기본적인 순서도

논리 트리는 기존 순서도와 매우 유사하다. 두 형식의 주요 차이점은 논리 트리가 진정한 선형 분기 구조를 갖는다는 것이다. 흐름 경로는 논리 트리에서 병합되지 않는다. 논리 트리의 예는 그림 3-4에 나와 있다. 논리 트리는 일반적으로 기존 순서도와 동일한 기호를 사용한다.

흐름도를 통한 이동은 흐름선으로 지시되며 흐름선 분기점(즉, 결정 기호)의 결정 기준은 질문 형식으로 제공된다.

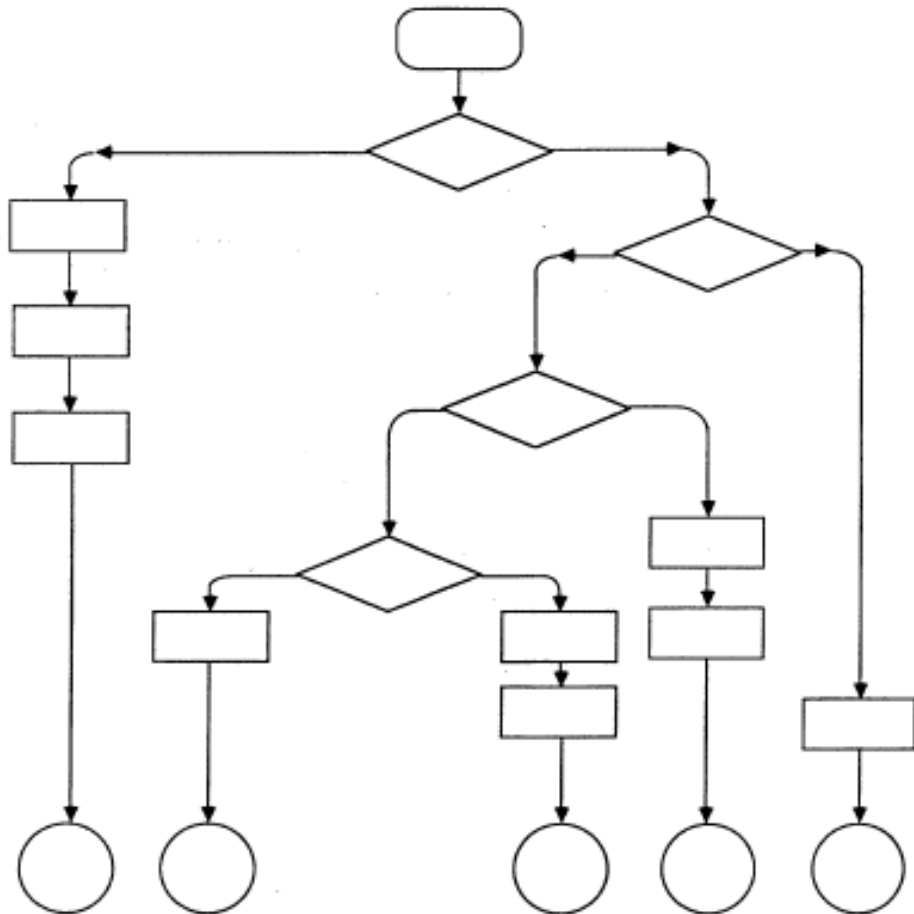


그림 3-4. 논리 트리

그림 3-5는 알고리즘 흐름도의 일부를 보여준다. 텍스트 절차와 달리 이와 같은 순서도는 의사 결정의 오류를 확실히 줄여야 하지만 그래픽 단순성을 희생해야 한다. 운영자가 모니터링하고 동시에 수행해야 하는 몇 가지 유사한 절차 중 하나라고 가정한다.

의사 결정은 간단하지만 이전 단락의 네 가지 사항 각각을 위반하기 때문에 오류가 발생할 수 있다. (1) 복잡한 유로 사이를 이동하는 동안 작업자가 위치를 잃을 수 있다. (2) 꼬불꼬불 구부러진 흐름 경로는 단순한 열에 속하지 않으며, (3) 운영자는 복잡한 흐름 경로를 살펴보고 앞으로 무엇이 있는지 빠르게 볼 수 없다. (4) 흐름도가 매우 크다.

그림 3-7은 논리문을 사용하여 결정 기준을 하나의 기호로 그룹화한다. 그래픽으로 훨씬 간단하고 전체 흐름도에 더 쉽게 맞출 수 있다.

(1) 결정 기준이 그룹화되기 때문에 큰 그림의 순서도는 위에서 논의된 알고리즘 순서도의 몇 가지 단점을 극복한다. (2) 결정 기준이 그룹화되어 순서가 엄격하지 않다. (3) 결정과 행동을 그룹화할 수 있기 때문에 이들 간의 관계가 더 명확해진다. 그러나 의사 결정의 용이성과 정확성은 확실히 문제가 있다.

극단적인 경우 큰 그림을 그리는 순서도의 단계는 그래픽으로 매우 간단할 수 있지만 따르기가 매우 어려울 수 있다. 동시 작업을 수행하는 데 사용할 수 있는 절차를 생성하기 위해 원자력 산업의 특정 요구를 충족시키기 위해 큰 그림의 순서도가 개발되었다.

전통적인 순서도의 그래픽 특성 중 일부를 공유하지만 전통적인 순서도보다 텍스트 절차와 더 유사하다.

동시 작업을 표시하는 방법으로 텍스트 절차보다 개선된 것일 수 있지만 한번에 최대 8개의 흐름 경로에서 진행 상황을 모니터링하기 위한 큰 그림 흐름도의 요구 사항은 운영자에게 과부하를 줄 수 있다.

또한, 큰 그림 순서도는 선형 분기 구조를 가지지 않기 때문에 알고리즘 순서도만큼 의사 결정에 유용하지 않다.

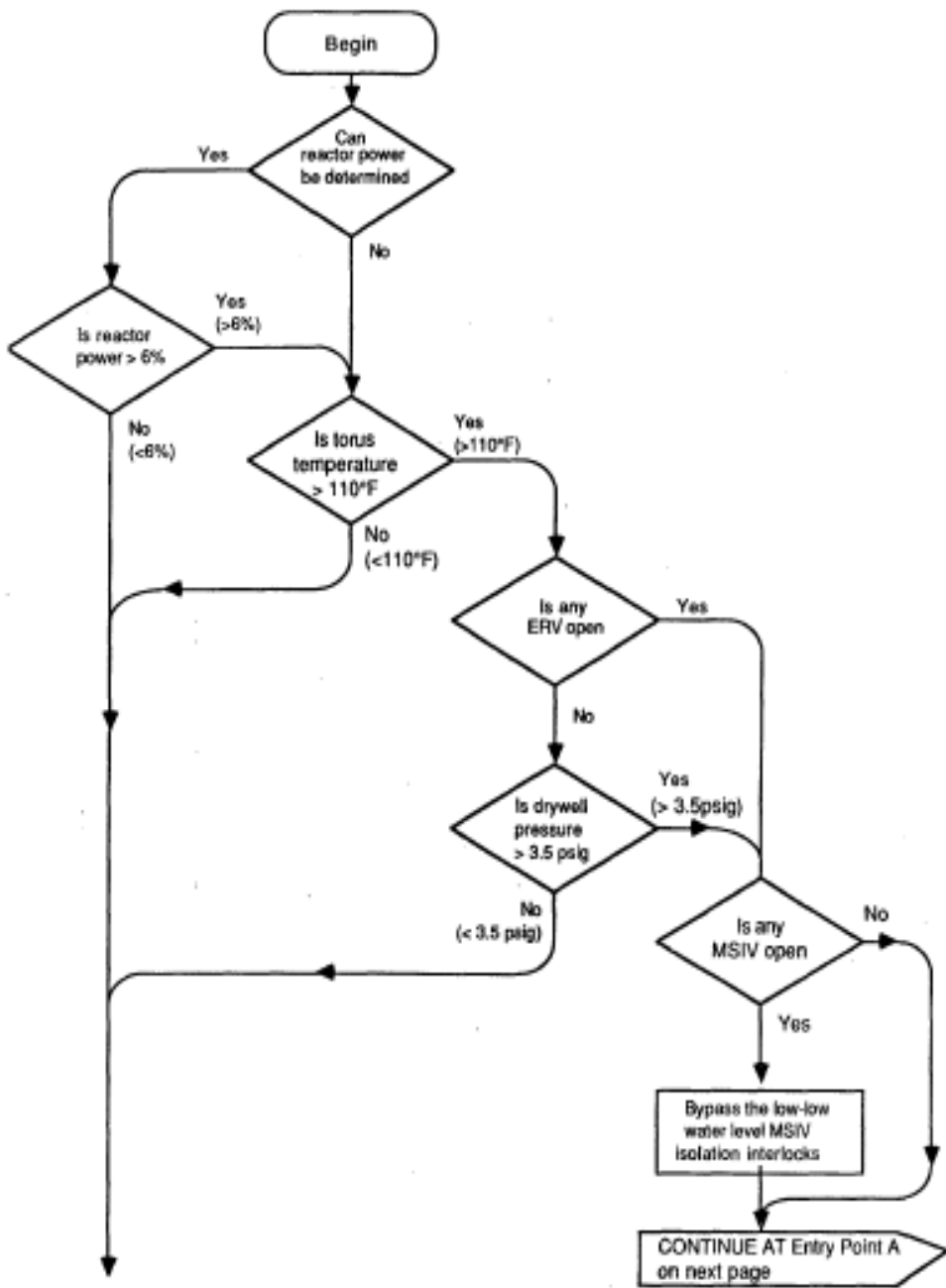


그림 3-5. 전형적인 순서도

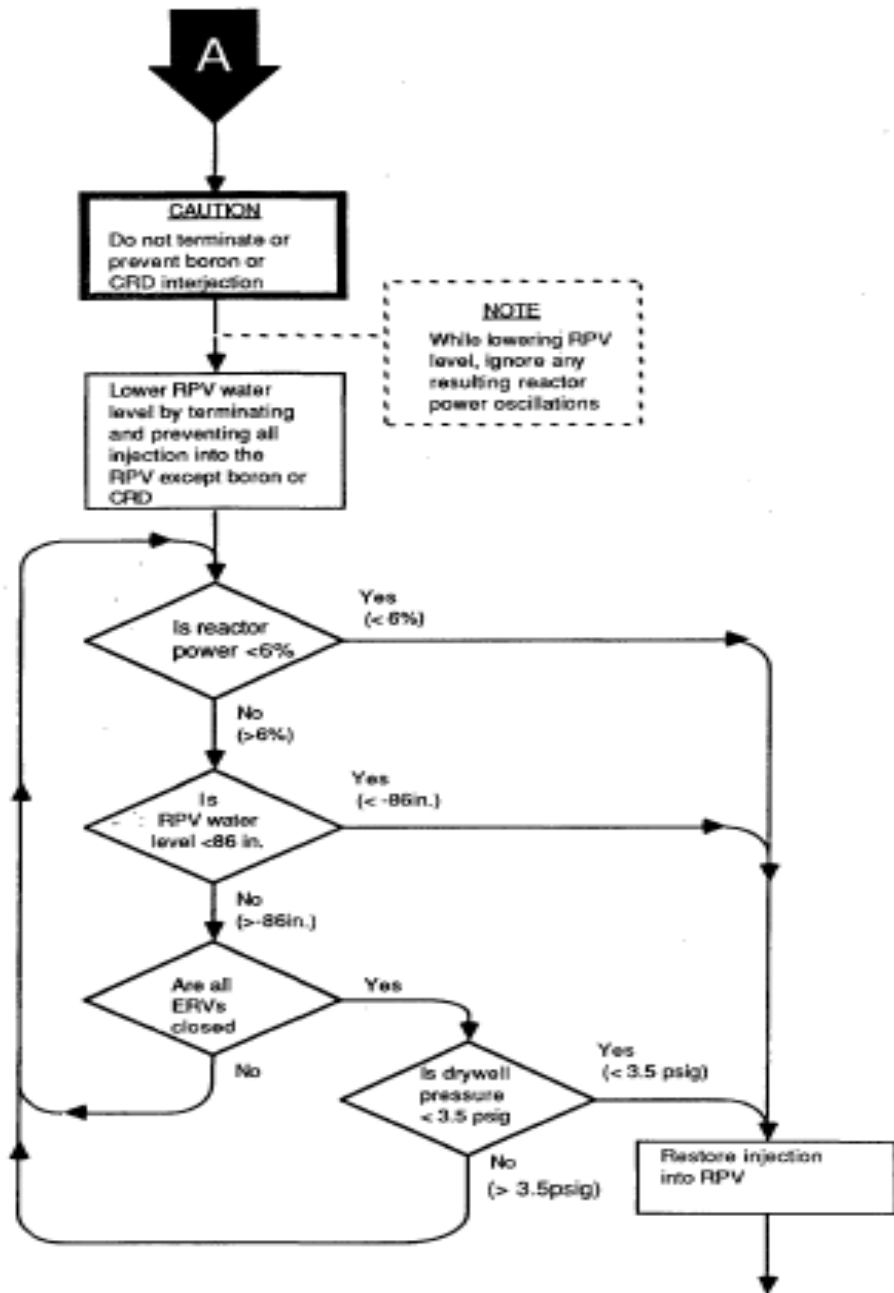


그림 3-6. 전형적인 순서도(계속)

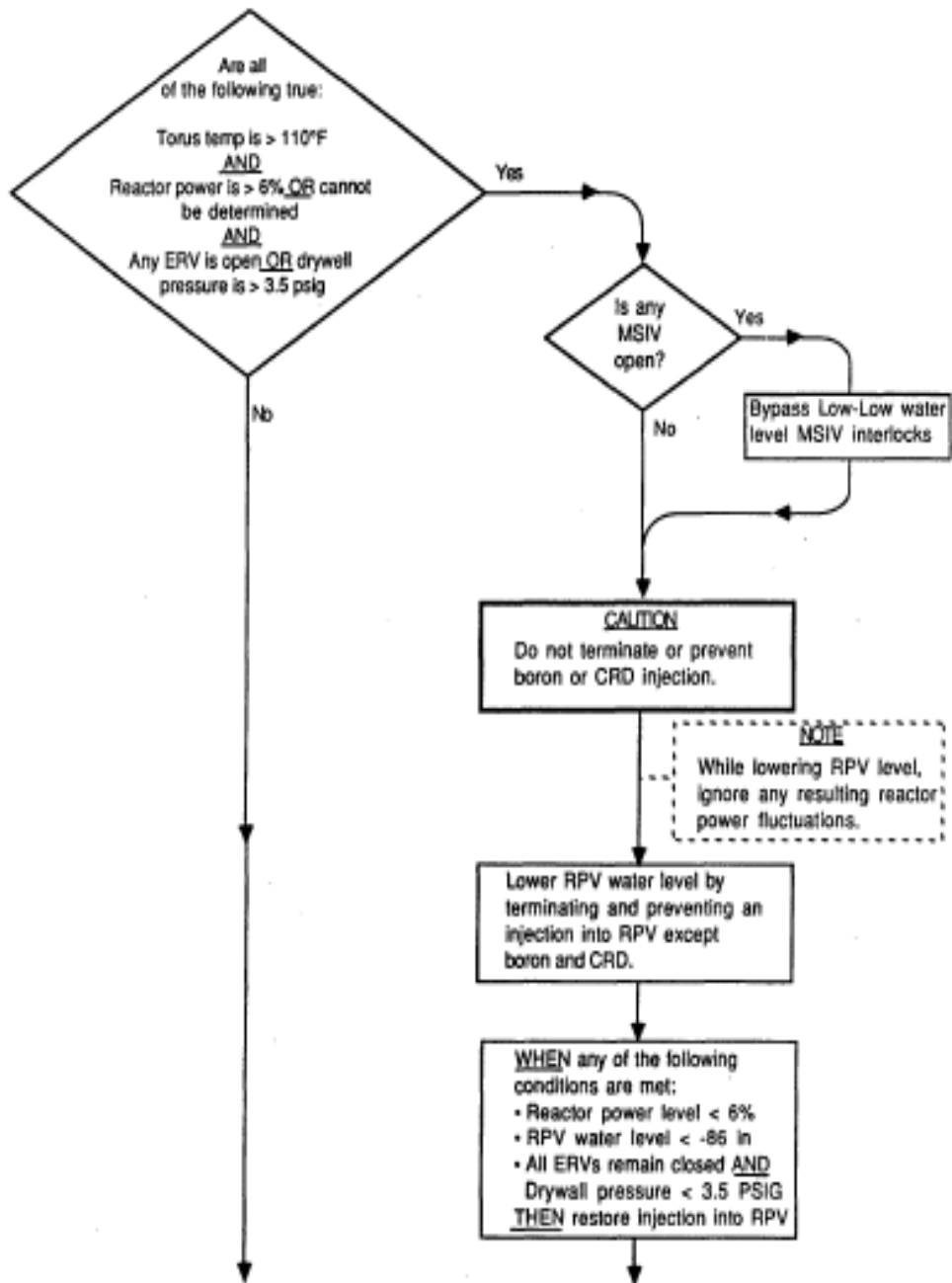


그림 3-7. 큰 그림 순서도

제4장 운영기술지침서 순서도(Flowchart) 적용

제1절 현행 운영기술지침서와 순서도 적용 전 · 후

1. 원자로특성시험 예외사항 - 운전모드 2

3.1.8 PHYSICS TESTS Exceptions – MODE 2

LCO 3.1.8 During the performance of PHYSICS TESTS, the requirements of:

LCO 3.1.3, "Moderator Temperature Coefficient,"
 LCO 3.1.4, "Rod Group Alignment Limits,"
 LCO 3.1.5, "Shutdown Bank Insertion Limits,"
 LCO 3.1.6, "Control Bank Insertion Limits," and
 LCO 3.4.2, "RCS Minimum Temperature for Criticality"

may be suspended and the number of required channels for LCO 3.3.1, "RTS Instrumentation," Functions 2, 3, 6 and 18.e, may be reduced to 3 required channels, provided:

- a. RCS lowest loop average temperature is $\geq [531]^{\circ}\text{F}$.
- b. SDM is within the limits specified in the COLR, and
- c. THERMAL POWER is $\leq 5\%$ RTP.

APPLICABILITY: During PHYSICS TESTS initiated in MODE 2.

ACTIONS

CONDITION	REQUIRED ACTION	COMPLETION TIME
A. SDM not within limit.	A.1 Initiate boration to restore SDM to within limit.	15 minutes
	<u>AND</u> A.2 Suspend PHYSICS TESTS exceptions.	1 hour
B. THERMAL POWER not within limit.	B.1 Open reactor trip breakers.	Immediately
C. RCS lowest loop average temperature not within limit.	C.1 Restore RCS lowest loop average temperature to within limit.	15 minutes

CONDITION	REQUIRED ACTION	COMPLETION TIME
D. Required Action and associated Completion Time of Condition C not met.	D.1 Be in MODE 3.	15 minutes

SURVEILLANCE REQUIREMENTS

SURVEILLANCE		FREQUENCY
SR 3.1.8.1	Perform a CHANNEL OPERATIONAL TEST on power range and intermediate range channels per [SR 3.3.1.7, SR 3.3.1.8, and Table 3.3.1-1].	Prior to initiation of PHYSICS TESTS
SR 3.1.8.2	Verify the RCS lowest loop average temperature is $\geq [531]^{\circ}\text{F}$.	[30 minutes <u>OR</u> In accordance with the Surveillance Frequency Control Program]
SR 3.1.8.3	Verify THERMAL POWER is $\leq 5\%$ RTP.	[30 minutes <u>OR</u> In accordance with the Surveillance Frequency Control Program]
SR 3.1.8.4	Verify SDM is within the limits specified in the COLR.	[24 hours <u>OR</u> In accordance with the Surveillance Frequency Control Program]

표 4-1. 원자로특성시험 예외사항 운영기술지침서

운전제한조건(LCI) 적용 운전모드 : 2(원자로특성시험 중)

원자로특성시험 실시중에는 아래의 운전제한조건 요구사항

- 운전제한조건 3.1.4 “감속재온도계수(MTC)”
- 운전제한조건 3.1.5 “제어봉 정렬한계”
- 운전제한조건 3.1.6 “정지군 삼입한계”
- 운전제한조건 3.1.7 “제어군 삼입한계”
- 운전제한조건 3.4.2 “원자로냉각재계통 임계 최저온도”

들이 다음 조건하에서는 **적용되지 않을 수 있음**

1. 원자로냉각재계통 최저온도 유로의 평균온도가 282.8°C [541°F] 이상일 때; 그리고
2. 열출력이 정격열출력의 5% 이하일 때

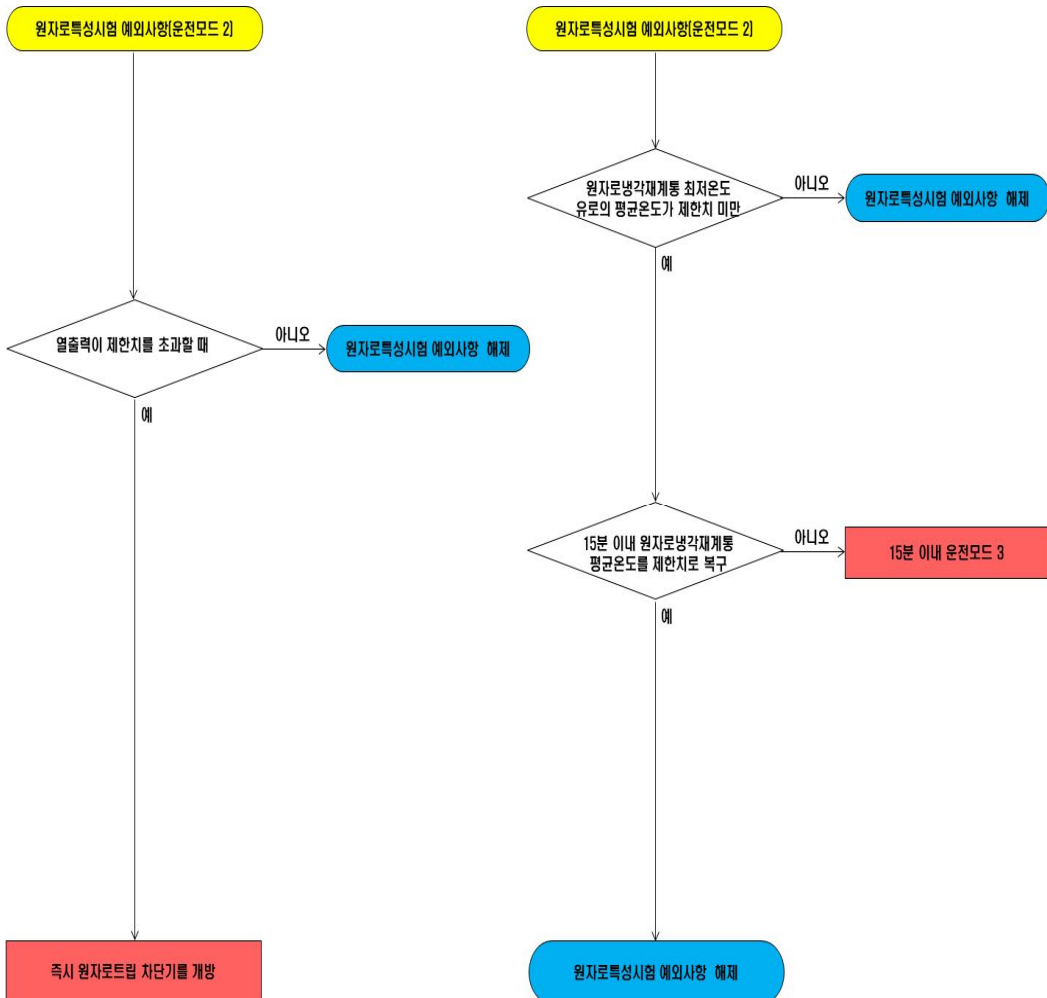


그림 4-1. 원자로특성시험 예외사항 운영기술지침서 순서도

2. 가압기

3.4.9 Pressurizer

- LCO 3.4.9 The pressurizer shall be OPERABLE with:
- a. Pressurizer water level < [60]% and
 - b. Two groups of pressurizer heaters OPERABLE with the capacity [of each group] ≥ [150] kW [and capable of being powered from an emergency power supply].

APPLICABILITY: MODES 1, 2, and 3.

ACTIONS

CONDITION	REQUIRED ACTION	COMPLETION TIME
A. Pressurizer water level not within limit.	A.1 Be in MODE 3 with reactor trip breakers open.	6 hours
	<u>AND</u> A.2 Be in MODE 4.	[12] hours
B. One required group of pressurizer heaters inoperable.	B.1 Restore required group of pressurizer heaters to OPERABLE status.	72 hours <u>OR</u> In accordance with the Risk Informed Completion Time Program]

ACTIONS (continued)

CONDITION	REQUIRED ACTION	COMPLETION TIME
C. ----- NOTE ----- Not applicable when second group of required pressurizer heaters intentionally made inoperable. Two required groups of pressurizer heaters inoperable.	C.1 Restore at least one group of required pressurizer heaters to OPERABLE status.	24 hours
D. Required Action and associated Completion Time of Condition B or C not met.	D.1 Be in MODE 3.	6 hours
	<u>AND</u> D.2 Be in MODE 4.	[12] hours

SURVEILLANCE REQUIREMENTS

SURVEILLANCE		FREQUENCY
SR 3.4.9.1	Verify pressurizer water level is < [60]%.	[12 hours <u>OR</u> In accordance with the Surveillance Frequency Control Program]

표 4-2. 가압기 운영기술지침서

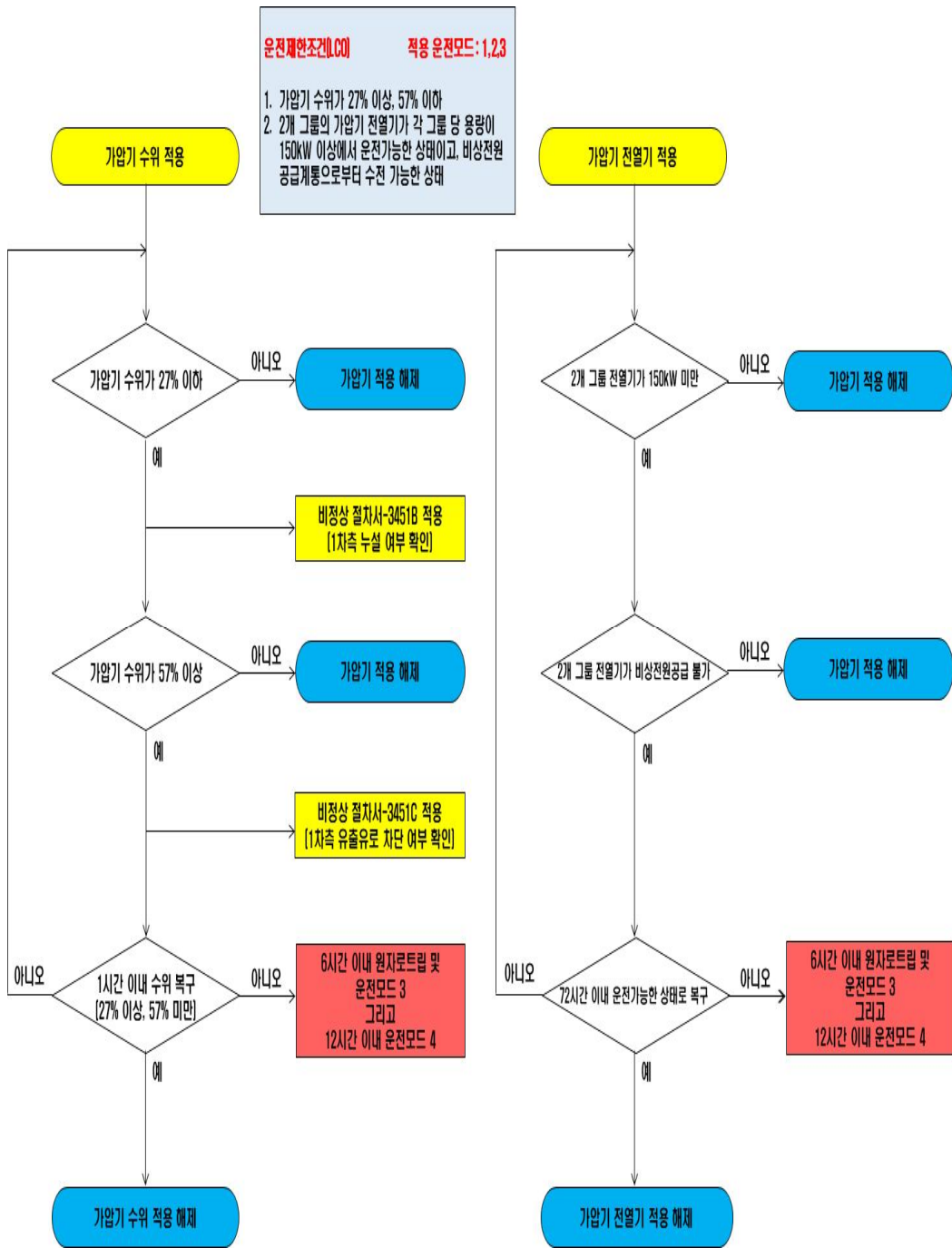


그림 4-2. 가압기 운영기술지침서 순서도

3. 최종 열제거원

3.7.9 Ultimate Heat Sink (UHS)

LCO 3.7.9 The UHS shall be OPERABLE.

APPLICABILITY: MODES 1, 2, 3, and 4.

ACTIONS

CONDITION	REQUIRED ACTION	COMPLETION TIME
A. [One or more cooling towers with one cooling tower fan inoperable.	A.1 Restore cooling tower fan(s) to OPERABLE status.	7 days <u>OR</u> In accordance with the Risk Informed Completion Time Program]
B. Required Action and associated Completion Time of Condition A or B not met.	B.1 Be in MODE 3.	6 hours
	B.2 -----NOTE----- LCO 3.0.4.a is not applicable when entering MODE 4. ----- Be in MODE 4.	12 hours
-----REVIEWER'S NOTE----- The []°F is the maximum allowed UHS temperature value and is based on temperature limitations of the equipment that is relied upon for accident mitigation and safe shutdown of the unit. ----- C. [Water temperature of the UHS > [90]°F and ≤ []°F.	C.1 Verify water temperature of the UHS is ≤ [90]°F averaged over the previous 24 hour period.	Once per hour]
D. [Required Action and associated Completion Time of Condition C not met. <u>OR</u>] UHS inoperable [for reasons other than Condition A or C].	D.1 Be in MODE 3.	6 hours
	AND D.2 Be in MODE 5.	36 hours

표 4-3. 최종 열제거원 운영기술지침서

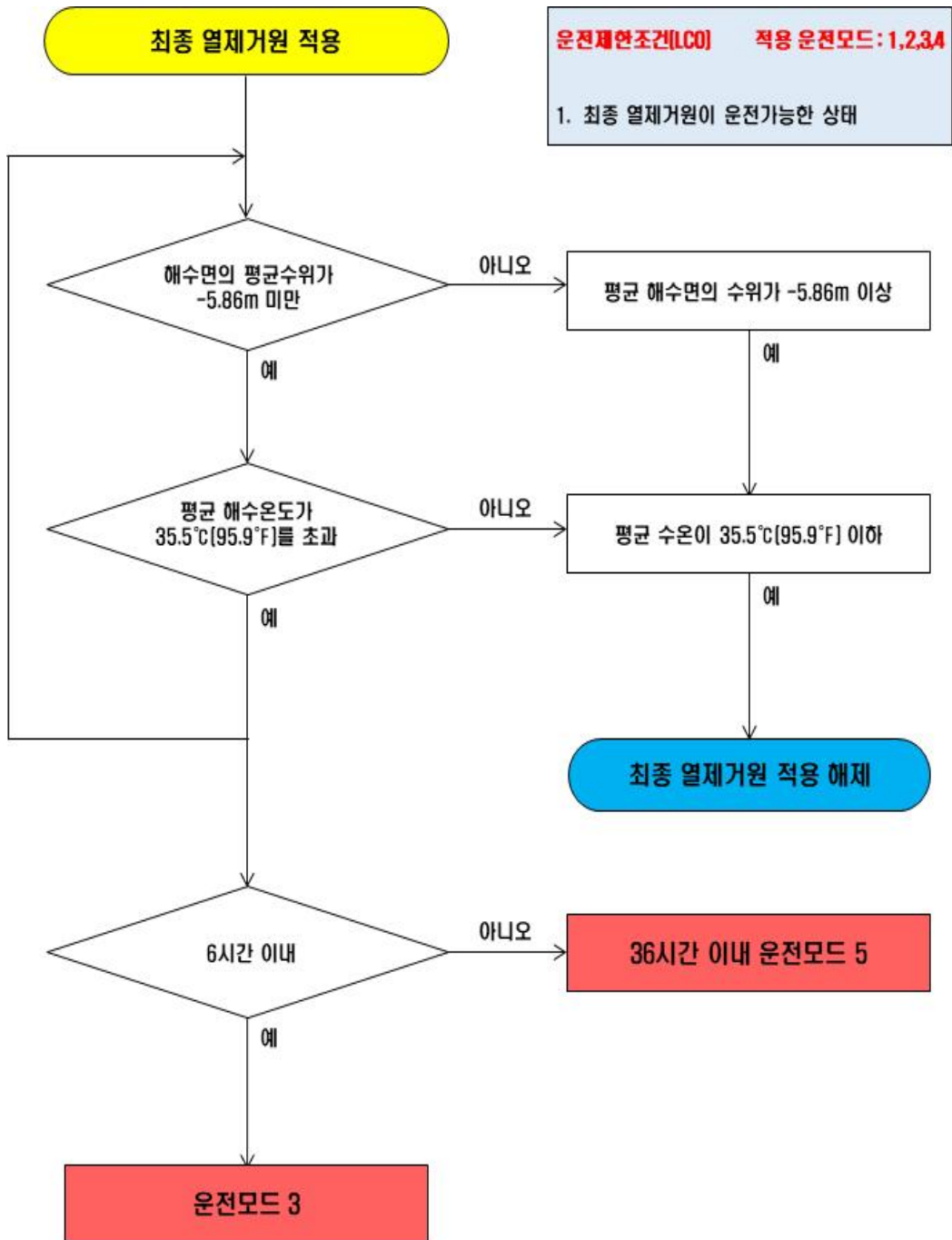


그림 4-3. 최종 열제거원 운영기술지침서 순서도

4. 원자로냉각재계통 운전누설

3.4.13 RCS Operational LEAKAGE

LCO 3.4.13 RCS operational LEAKAGE shall be limited to:

- a. No pressure boundary LEAKAGE,
- b. 1 gpm unidentified LEAKAGE,
- c. 10 gpm identified LEAKAGE, and
- d. 150 gallons per day primary to secondary LEAKAGE through any one steam generator (SG).

APPLICABILITY: MODES 1, 2, 3, and 4.

ACTIONS

CONDITION	REQUIRED ACTION	COMPLETION TIME
A. Pressure boundary LEAKAGE exists.	A.1 Isolate affected component, pipe, or vessel from the RCS by use of a closed manual valve, closed and de-activated automatic valve, blind flange, or check valve.	4 hours
B. RCS operational LEAKAGE not within limits for reasons other than pressure boundary LEAKAGE or primary to secondary LEAKAGE.	B.1 Reduce LEAKAGE to within limits.	4 hours
C. Required Action and associated Completion Time not met. <u>OR</u> Primary to secondary LEAKAGE not within limit.	C.1 Be in MODE 3. <u>AND</u> C.2 Be in MODE 5.	6 hours 36 hours

SURVEILLANCE REQUIREMENTS

SURVEILLANCE	FREQUENCY
<p>SR 3.4.13.1</p> <p>-----NOTES-----</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Not required to be performed until 12 hours after establishment of steady state operation. 2. Not applicable to primary to secondary LEAKAGE. <p>-----</p> <p>Verify RCS operational LEAKAGE is within limits by performance of RCS water inventory balance.</p>	<p>[72 hours</p> <p><u>OR</u></p> <p>In accordance with the Surveillance Frequency Control Program]</p>
<p>SR 3.4.13.2</p> <p>-----NOTE-----</p> <p>Not required to be performed until 12 hours after establishment of steady state operation.</p> <p>-----</p> <p>Verify primary to secondary LEAKAGE is ≤ 150 gallons per day through any one SG.</p>	<p>[72 hours</p> <p><u>OR</u></p> <p>In accordance with the Surveillance Frequency Control Program]</p>

표 4-4. 원자로냉각재계통 운전누설 운영기술지침서

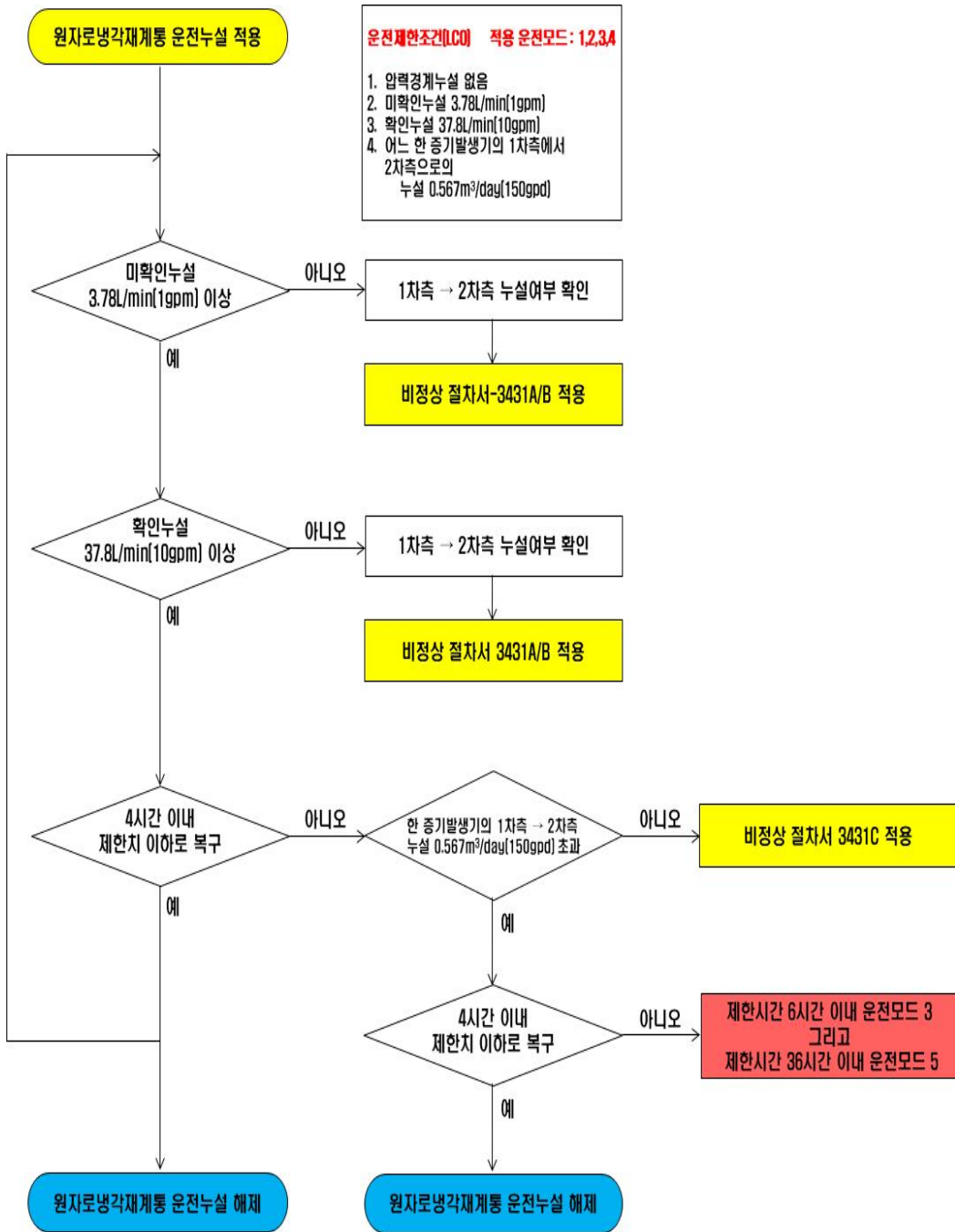


그림 4-4. 원자로냉각재계통 운전누설 운영기술지침서 순서도

5. 방사선 비상 예시

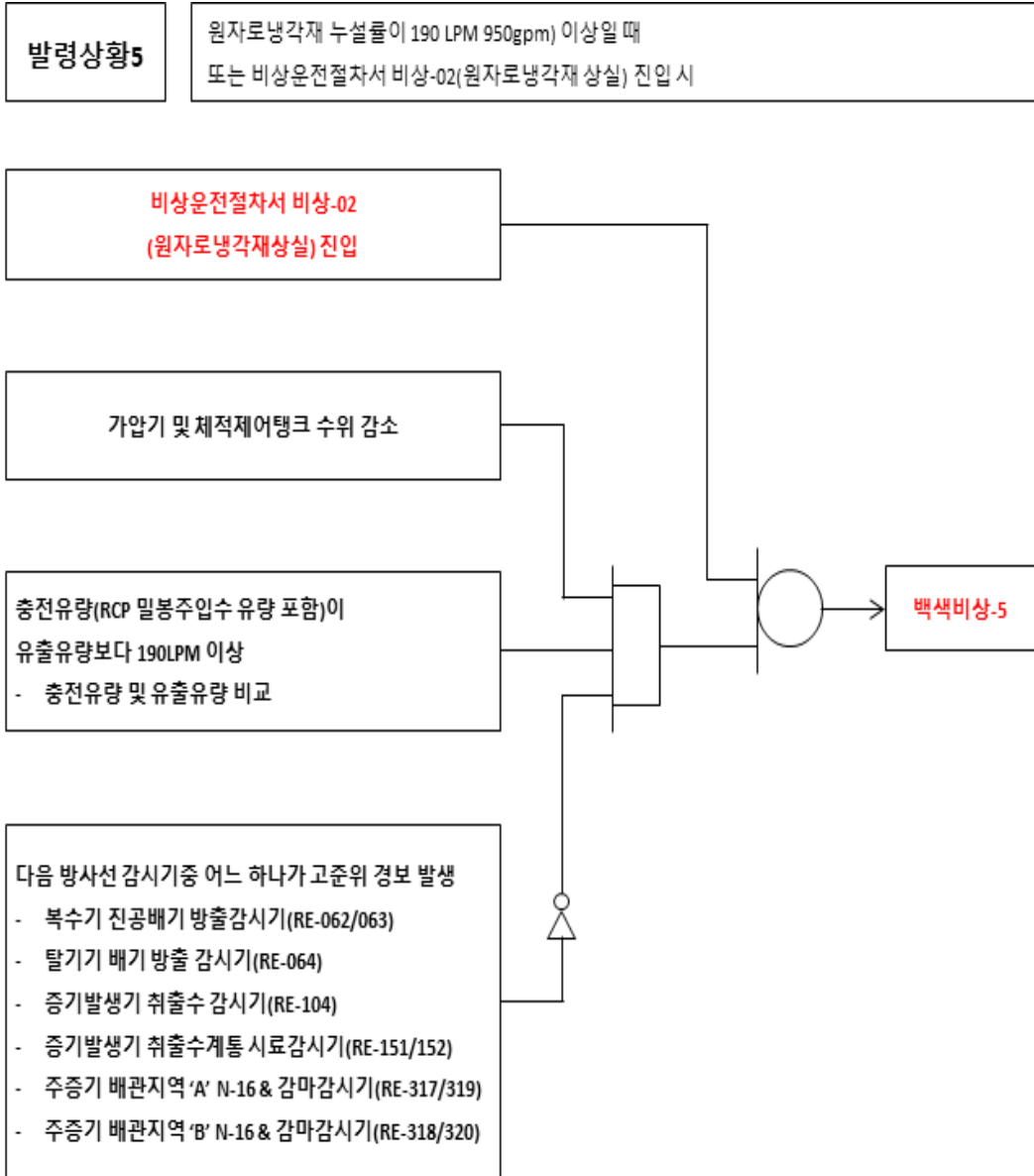


그림 4-5. 방사선비상 발령상황5

제2절 원자력발전소 방사선 비상

원자력발전소의 방사선 비상이란 방사성물질 또는 방사선이 누출될 우려가 있어 긴급한 대응조치가 필요한 상황을 말하며 비상이 발령되면 원자력발전소, 지자체, 정부의 비상 대응조직이 발족되어 방사선비상대응 매뉴얼에 따라 긴급복구 및 주민보호조치 등을 취한다.

방사선비상의 종류는 사고의 정도와 그 상황에 따라 백색비상, 청색비상 및 적색비상으로 구분한다. 방사선 비상이 발생하면 해당 시설 운영자는 사고 발생 15분 이내에 방사선 비상을 발령한다. 비상발령기준 적용 예외 사항으로는 연료손상감시기, 방사선(능) 감시기, 지진감시기, 풍속경보계 등의 경보발생은 다음 경우 비상발령기준 적용대상에서 제외한다.

- 1) 기기결함에 의한 고장으로 발생한 경보
- 2) 점검·시험 중에 발생한 경보

1. 방사선비상계획구역

원자력시설에서 방사선비상 또는 방사능재난이 발생할 경우 주민보호 등을 위하여 비상대책을 집중적으로 마련할 필요가 있어 원자력시설 등의 방호 및 방사능방재 대책법에 따라 설정된 구역

명 칭	정의
예방적보호 조치구역	원자력시설에서 방사선비상이 발생할 경우 사전에 주민을 소개하는 등 예방적으로 주민보호 조치를 실시하기 위하여 정하는 구역
발전용 원자로 및 관계시설이 설치된 지점으로부터 반지름 3km 이상 5km 이하	
긴급보호조치 계획구역	원자력시설에서 방사선비상 또는 방사능재난이 발생할 경우 방사능영향평가 또는 환경감시 결과를 기반으로 하여 구호와 대피 등 주민에 대한 긴급보호 조치를 위하여 정하는 구역
발전용 원자로 및 관계시설이 설치된 지점으로부터 반지름 20km 이상 30km 이하	

표 5-1. 방사선비상계획구역

2. 방사선 비상

방사성물질 또는 방사선이 누출되거나 누출될 우려가 있어 긴급한 대응조치가 필요한 상황을 의미한다.

비상 종류	정의
백색비상	방사성물질의 밀봉상태의 손상 또는 원자력시설의 안전상태 유지를 위한 전원공급기능에 손상이 발생하거나 발생할 우려가 있는 등의 사고로서 방사성물질의 누출로 인한 방사선영향이 원자력시설의 건물 내에 국한될 것으로 예상되는 비상사태
청색비상	백색비상 등에서 안전 상태로의 복구기능의 저하로 원자력시설의 주요 안전기능에 손상이 발생하거나 발생할 우려가 있는 등의 사고로서 방사성물질의 누출로 인한 방사선영향이 원자력시설 부지 내에 국한될 것으로 예상되는 비상사태
적색비상	노심의 손상 또는 용융 등으로 원자력시설의 최후방벽에 손상이 발생하거나 발생할 우려가 있는 사고로서 방사성물질의 누출로 인한 방사선영향이 원자력시설 부지 밖으로 미칠 것으로 예상되는 비상사태

표 5-2. 방사선비상의 종류

제3절 순서도 기반의 장점

1. 순서도화의 장점

운영기술지침서(TS)는 발전소의 계통 및 설비 고장 발생 시 어떻게 적용할지 안할지에 대해 고민하게 된다. 기존의 운영기술지침서를 순서도 형식으로 작성하면 운영기술지침서 내용을 해석할 필요가 없고, 난해한 표기를 쉽게 표기(판단에서 예, 아니오)하여 적용시점을 명확하게 구분하였으며 운전원에게 빠른 판단으로 안전운전을 위한 여유시간을 확보할 수 있다.

제5장 결론

본 연구는 국내 원자력발전소의 운영기술지침서 적용하는 방법에서 최근 한빛1호기 원자로특성시험 중 일부 부주의한 제어봉 조작으로 원자로 출력이 증가한 사례 등이 발생하여 운전원으로 하여금 운영기술지침서를 언제 어떻게 적용할 지에 대한 상당한 고민을 하게한다.

운영기술지침서를 도식화된 순서도(Flowchart)로 표기하기 하여 적용 항목마다 여러 문장이 연결되어 내용이 명확하지 않은 항목에 대해 해석이 불필요하여 시간이 절약되었고 비상 또는 비정상절차서 적용시 전략에 도움이 되었다.

본 연구에서는 국내 원자력발전소 운전원에게 사용의 편리함을 제공하고 있다. 다음으로 운영기술지침서에 기술된 내용이 명확하지 않은 부분에 대해 이해도를 향상시켰고, 이에 대한 사항은 발전소에 의견을 요청하였다.

추후 연구 내용은 순서도 기반으로 작성된 운영기술지침서에 대해 규제기관과 협의가 필요하고 운영기술지침서 작성에 관한 기준에 적용 여부와 주제어실 운전원에게 개선된 운영기술지침서를 적용해 보는 것이다.

본 연구결과는 원자력발전소 운영기술지침서 적용함에 있어 편리함을 제공할 수 있을 것으로 예상되며, 이는 주제어실에 근무하는 운전원에게 비상 또는 비정상 대응 전략에 도움이 될 것으로 기대된다. 향후 운영기술지침서 적용시점과 불만족시 조치, 조치요구사항, 제한시간 등을 바로 판단할 수 있는 순서도(Flowchart)를 기반한 운영기술지침서가 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] NUREG/CR-5228 P N L-6653 BHARC-700/88/017 Vol. 1
Techniques for Preparing Flowchart-Format Emergency Operating Procedures
- [2] NUREG-1432, “Standard Technical Specifications Combustion Engineering Plants”
- [3] 한국수력원자력, 한빛1발전소 운영기술지침서
- [4] 한국수력원자력, 한빛2발전소 운영기술지침서
- [5] 한국수력원자력, 한빛2발전소 최종안전분석보고서
- [6] 원자력안전위원회, “운영기술지침서의 작성에 관한 기준”, 원자력안전위원회 고시 제2017-5호, 2017. 2.
- [7] 한국수력원자력, 한빛본부 방사선비상계획서
- [8] 원자력시설 등의 방호 및 방사능방재대책법, 동법 시행령 및 시행규칙
- [9] 발전용원자로 방사선비상 발령 기준에 관한 기술지침서(KINS/GT-N021-1)