

KEPIC 가이드

원전설계(ND)

우 중 운

대한전기협회 전력기준처 기준개발실 실장

1. 제정배경

우리 나라의 원전건설 초기에는 원전 노형 공급국에 따라 서로 다른 외국 기술기준이 적용되어 왔다. 미국의 웨스팅하우스가 공급한 고리 1, 2, 3, 4 호기와 영광 1, 2 호기 등은 미국의 규제관련 안전기준인 10 CFR 50의 부록 A에 있는 “일반 설계기준(General Design Criteria, GDC)”과 산업 기술기준인 “PWR형 원전의 설계를 위한 원자력안전기술기준”인 ANSI N18.2와 N18.2a가 적용되었으며, 프랑스의 프라마툼사가 공급한 울진 1, 2 호기의 경우는 “900MWe급 PWR형 원전의 계통설계를 위한 설계 및 시공 기술기준”인 RCC-P가 적용되었다. 이들 외국 기술기준들은 원전의 1차측(Nuclear Island)과 그 인접구역의 구조물이나 기기에 대한 설계요건을 포함하고 있다.

국내 기준으로는 “원자로시설의 위치, 구조 및 설비에 관한 기술기준”인 과기부 고시 83-5에서 “원자로시설의 주요 부품 및 이를 지지하는 구조물의 재료 및 구조에 대한 안전성 등급별 규격”으로 ANSI N18.2를 준용하도록

규정하였으며, “원자로시설에 설치하는 안전 밸브 및 릴리프밸브에 관한 기준”으로 ANSI N18.2a를 준용하도록 규정하였으나, 외국의 원자로시설 또는 기술의 공급국이 별도의 기술기준을 보유하고 있는 경우 그 기술기준의 적용으로 안전성과 성능이 결여되지 아니함이 입증될 때에는 과학기술부 장관의 승인을 받아 그 기술기준을 당해 공급 원자로 시설에 적용할 수 있도록 하여 사실상 외국에서 도입하는 노형에는 외국 기술기준의 적용을 허용하였다.

1980년대 후반부터 추진한 원전기술 자립계획에 따라 원전설비를 국내업체가 주 계약자로서 설계, 제작 및 시공하게 된 한국 표준형원전인 영광 3, 4호기부터는 미국의 규제관련 안전기준인 10 CFR 50 부록 A의 GDC와 ANSI N18.2와 N18.2a를 전면적으로 개정하고 조합하여 작성한 산업기술기준인 “PWR형 원전의 설계를 위한 원자력 안전 기술기준” ANSI/ANS 51.1이 부분적으로 적용되었으며, 실제 설계시에는 이들의 내용을 기본으로 작성한 계통 설계요건(NSSS 설계)과 설계기준지침(A/E 설계)이 적용되고 있다. 국내기준으로는 ANSI

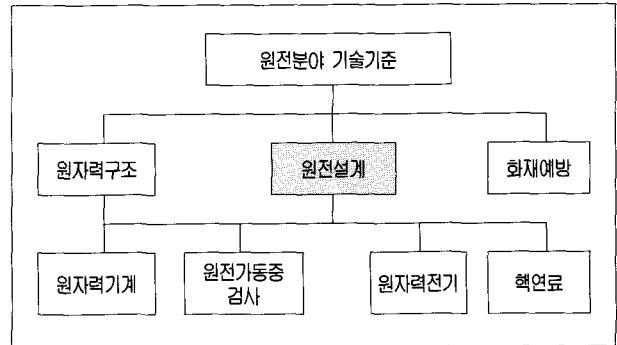
N18.2와 N18.2a의 준용을 대체하여 사용할 수 있도록 미국의 산업 기술기준인 ANSI/ANS 51.1의 일부를 채택하여 작성한 “원자로시설의 안전등급과 등급별 규격에 관한 규정”인 과기부 고시 94-10에서 원자로시설에 속하는 기기와 격납건물에 관한 안전등급과 등급별 규격을 정하였다.

원전설계 기술기준 개발은 원전 표준화와 기자재 국산화를 원자력 정책의 기초로 삼고 KEDO원전 건설 및 해외원전건설 진출을 추진하고 있는 우리나라의 입장에서 포괄적인 원전설계 개념을 제시해 주는 원전설계 기술기준의 정립이 요구되었으며 또한, 과기부 고시 94-10으로 “원자로시설의 안전등급과 등급별 규격에 관한 규정”이 발표되어 안전등급 분류의 원칙은 정해졌으나 상세사항이 없어 보완이 필요하여 원전설계(Nuclear Power Plant Design)의 기본사항을 제시할 기술기준 개발의 필요성이 대두되었다.

2. 제정방향

원전 표준화의 대상인 PWR형 원전의 표준설계를 위해서는 포괄적인 원전설계 개념을 제시해 주는 설계기준의 개발이 필요하다. 이를 위하여 과기부 고시 94-10의 근거가 되는 ANSI/ANS 51.1의 내용을 기본으로 하고, 10 CFR 50 부록 A GDC와 프랑스 원전의 설계 기술기준인 RCC-P를 참조하여 한국표준형원전(개선원전 포함) 및 차세대원전에 공통으로 적용 가능한 기술기준을 제정했다.

원전설계 기술기준은 원자력발전소의 일반설계기준과 계통설계기준에 대한 것으로 기기의 설계, 제조, 시험 및 검사 등에 관한 기술기준인 원자력기계, 가동중검사, 원자력전기, 핵연료 등을 포괄하며, 구조관련 기술기준인 원자력구조, 화재관련 기술기준인 화재예방과 함께 원전



〈그림 1〉 타기술기준과 상호관계

분야 기술기준을 형성하는 주요 기술기준이 되며, 상호관계는 그림 1과 같다.

3. 구 성

원전설계 기술기준의 구성체계는 국내실정을 반영하여 다음과 같이 다섯부분으로 구성되어 있고 ANSI/ANS 51.1 및 RCC-P의 구성체계를 근간으로 하였다.

가. 일반사항

NDA 기술기준의 적용범위 및 목적을 규정한다.

나. 재해방지 및 배치기준

원자력발전소의 자연재해 및 인적재해의 가능성을 검토하여 설계기준을 설정하는 방법, 재해를 방지하거나 재해발생 시 원자력발전소의 구조물, 계통 및 기기의 안전성을 유지하기 위한 기준을 규정한다.

다. 일반안전기준

원자력발전소의 설계에 적용되는 원자력 안전개념과 안전기준을 규정하고 이에 대한 적용방법을 특히, 원자력발전소의 각 기기에 안전성 등급을 부여하는 방법과 발전

소의 운전상태를 구분하고, 분류하는 방법을 규정한다. 원자력발전소의 모든 기기는 각 기기의 안전상 중요도에 따라 안전등급 1, 2, 3과 비안전등급으로 분류한다. 원자력발전소의 운전상태는 정상운전상태를 포함하여 설계의 기준이 되는 여러 사건(Event)에 따라 네가지 상태로 구분되며, 각 운전상태에 상응하는 설계요건을 규정한다.

라. 구조물 및 계통 설계기준

원자력발전소의 안전관련 구조물 및 계통의 설계기준을 규정한다. 또한, 구조물이나 기기의 설계 등에 관한 적용 가능한 다른 기술기준을 제시한다.

마. 용어의 정의

NDA 기술기준에서 사용되는 중요한 용어들을 정의한다.

4. 적용방법

NDA 기술기준에서는 가압 경수로형 원자력발전소의 안전성 확보를 위하여 구조물, 계통 및 기기의 설계시 적용해야 하는 원자력 안전기준과 기능적 일반적이고 종합적인 설계기준으로서 원자력발전소 용량에 관계없이 공통적으로 적용된다.

가. 참조기준

○ANSI/ANS 51.1

Nuclear Safety Criteria for the Design of Stationary Pressurized Water Reactor Plants

○10 CFR 50 App. A

General Design Criteria for Nuclear Power Plants

○RCC-P

Design and Construction Rules for System Design of 900 MWe PWR NPP

나. 용어

NDA 기술기준에서 사용되는 용어는 가능한 법규 등의 규제 요건상의 용어를 우선하여 다음의 기준에 따라 선택하였다. 그러나 기존용어라도 NDA 기술기준의 활용상 필요하다고 판단되는 경우에는 용어를 제정하여 통일적으로 사용하고, 번역이 곤란한 용어의 경우 원음을 한글 맞춤법에 따라 표시하고 원어를 필요에 따라 괄호 안에 병기하였다.

용어선택기준

- (1) 법규용어(법, 시행령, 시행규칙, 고시의 순서)
- (2) KS 용어
- (3) 한국형원전 경수로 표준용어집(한전발행)의 용어
- (4) 전력산업 기술기준 용어
- (5) 전문분과위원회에서 제정한 용어

다. 단위

NDA 기술기준에서 사용하는 단위는 SI 단위의 적용을 원칙으로 하되 편의를 위하여 참조 기술기준에서 사용하고 있는 ft-lb 및 MKS 단위를 병기하였다.

5. 기술기준 주요내용

가. NDA 1000 일반사항

일반사항에서는 NDA 기술기준의 적용범위와 목적에 대하여 규정하였다. 적용범위는 가압경수로형 원자력발전소의 안전성 확보를 위하여 구조물, 계통 및 기기의 설계시 적용해야 하는 원자력 안전기준과 기능적 설계기준

을 규정하였다. 목적은 원자력법, 동 시행령, 동 시행규칙, 및 과학기술부 고시에 규정된 인허가기준, 해당 산업기술 기준 및 기술적 관행을 충족시키는 현실적 설계기준을 규정하였다.

나. NDA 2000 재해방지 및 배치기준

(1) NDA 2200 재해방지

자연재해와 인적재해의 가능성을 검토하여 설계기준을 설정하는 방법, 재해를 방지하거나 재해 발생시 원전의 구조물, 계통 및 기기의 안전성 유지에 대하여 규정하였다. 자연재해로는 지진, 홍수, 태풍, 비정상 기상조건에 대하여 기술하였으며, 비정상 기상조건에서는 적설, 강우, 최저기온 및 해수온도를 언급하였다. 인적재해로는 항공기 충돌, 산업환경 및 운송시설에 의한 재해와 외부 비산물에 대한 방호에 대하여 규정하였다.

(2) NDA 2300 배치

원자력발전소에서 건물과 설비의 배치는 각 건물 및 설비의 기능과 상호 관련성, 인원, 기기 및 장비 출입의 편리성, 방사성물질의 유출 가능성 등을 고려하여 결정한다. 배치 기준은 가압 경수로형 원자력발전소의 각 건물과 설비의 일반적인 배치기준을 규정하였다. 각 건물 및 설비들의 공유에 대하여 언급하고 보안과 관련한 설계요건을 규정하였다.

다. NDA 3000 일반안전기준

(1) NDA 3100 일반사항

원자력발전소의 설계와 관련된 재료선정과 품질보증에 적용되는 사항을 규정하였다. 원자력발전소 구조물, 계통 및 기기의 등급분류와 해당 재료기술기준에 대하여 언급하고 있다. 품질보증은 원자력발전소의 구조물, 계통 및 기기가 만족할 만한 기능을 수행함을 보증하기 위한 계획

적이고 체계적인 모든 업무를 대상으로 한다. 품질보증 계획 및 관련 절차의 수립과 이의 시행에 대한 상세한 사항은 NDA 3331.5에 따른다.

(2) NDA 3200 부지선정

원전 부지의 조건을 제시하였으며 조건의 충족여부에 대한 세부적인 조사와 평가의 방법과 허용기준인 과학기술부 고시 제83-5호에 따른다.

(3) NDA 3300 안전기준

○발전소 상태(Plant Conditions : PC)

원자력발전소에서 발생가능한 모든 사건들은 그들의 발생빈도에 따라 네 단계로 구분된다.

발전소	상태 사건/사과의 구분
1	정상운전 및 운전과도상태
2	보통빈도 사건
3	희귀빈도 사건
4	한계 사고

발전소상태-1에 해당하는 사건들은 발전소의 정상적인 운전이나, 핵연료 교체 및 발전소 보수 중에 자주 혹은 정기적으로 발생할 것으로 예상되는 것들이다. 발전소상태-2에 해당하는 사건들은 최악의 경우에도 발전소가 운전 상태로 되돌아 갈 수 있도록 원자로 정지를 야기하는 사건들이다. 이 범주의 사건들은 발전소상태-3 및 발전소상태-4로 확산되지 않는 사건들로 정의한다. 이 범주의 사건들은 핵연료봉 고장, 원자로냉각계통 고장 또는 2차 계통 과압을 유발시킬 것으로 예상되지는 않는다. 발전소상태-3에 해당하는 사건들은 발전소 수명기간 동안 거의 발생하지 않을 것으로 추정되는 것들이다. 이 범주의 사건들이 발생시 핵연료손상이 발생할 수 있다. 그러나 방사성물질의 유출이 발전소 외부주민의 활동을 중지하거나 제한할 정도는 아니다. 발전소상태-4에 해당하는 사고

들은 실제로는 발생 가능성이 없으나, 발생하는 경우 심각한 방사성물질 유출이 추정되는 사건들을 말한다. 이 범주에 속하는 사건들은 설계에 고려하는 가장 심각한 가상 사건들로서 발전소 설계제한조건이 된다.

○안전등급(Safety Class : SC)

원자력발전소의 모든 설비는 원자력 안전기능의 수행여부에 따라 안전등급이나 비안전등급으로 분류되어야 하며 안전등급으로 분류되는 설비는 안전기능에 미치는 중요도에 따라 다시 세가지 안전등급 즉, 안전등급 1, 2 및 3으로 분류된다. 원자로냉각재 압력경계의 일부를 형성하는 기계 기기의 압력 유지부분 및 지지물로서 KEPIC-MN의 범위에 속하는 설비들을 안전등급 1로 분류한다. 안전등급 2로 분류되는 설비는, 격납건물 및 기타 기계 기기의 압력 유지 부분과 그 지지물로, 안전등급1에 속하지 않고 원자력 안전기능을 수행하는 것으로 KEPIC-MN의 범위에 속하는 것들이다. 안전등급 1, 2에 속하지 않고, 다음의 원자력 안전기능을 수행하는 설비들은 안전등급 3으로 분류한다. 안전등급 1, 2, 3에 속하지 않는 설비는 비안전등급으로 분류한다. 이 등급의 설비는 원자력 안전기능을 수행하지 못하는 것으로 간주한다.

(4) NDA 3400 내진설계 및 내진검증

원자력 발전소에 설치되는 모든 구조물, 계통 및 기기는 지진으로 인한 손괴시 원자력 안전에 미치는 결과에 따라 내진범주를 구분하고 각 기기의 내진성은 내진검증(내진시험, 해석, 경험자료, 시험 및 해석의 조합의 방법 중 적절한 방법 선택)에 의하여 입증되어야 한다.

(5) NDA 3500 내환경검증

원자로 안전정지에 요구되는 기기는 기기 설계수명 동안의 정상운전 조건과 설계기준사고에 견딜 수 있도록 설계하여야 한다. 이들 기기는 기기설계 수명기간 동안의 정상운전 환경 조건과 설계수명 말기에 발생한다고 가정

하는 설계기준사고 환경에 대하여 검증되어야 한다.

(6) NDA 3600 방사선방호

방사선방호 설계는 종사자와 주민은 물론 환경을 방사선 위해로부터 보호함을 목표로 방사선 방호최적화(As Low As Reasonably Achievable, ALARA)를 구현한다.

(7) NDA 3700 안전성분석

원자력발전소의 구조물, 계통 및 기기는 고장의 가능성이 있으며, 고장 정도가 다양한 만큼 다양한 대처방안이 수립되어야 한다. 설계자는 각 운전상태에 해당하는 사건 집단 각각에 대하여 상세한 안전성분석을 수행하여야 하며, 그 결과로 원자력발전소가 공중에 대한 과도한 방사선 장해를 일으키지 않고 운전될 수 있음을 입증하여야 한다.

(8) NDA 3800 확률론적안전성평가

확률론적안전성평가의 목적은 주도적 위험도 기여인자를 식별하고 위험도 저감대책에 대한 비교와 평가를 가능하게 하는 등 발전소 설계와 성능에 대한 개괄적, 정량적, 정성적 정보를 제공하는데 있다. 또 확률론적 안전성평가는 심각한 노심손상을 방지하거나 경감시킬 수 있는 설계적 대안(기계적, 전기적, 구조적 변경이나 운전방법 또는 상태의 변화)을 평가하거나 비교하는데 필요한 합리적인 정보를 제공한다.

확률론적 안전성평가는 평가의 목표에 따라 1단계, 2단계 및 3단계의 확률론적 안전성평가로 구분한다.

라. NDA 4000 구조물 및 계통 설계기준

원자력발전소를 구성하는 원자력 안전관련 구조물, 계통 및 기기의 설계기준을 규정한다. 비안전등급 설비일지라도 원자력 안전성과 관련이 있는 경우에는 그 기능을 명확히 규정하기 위하여 설계기준의 범위에 포함하였다.

기술기준

각 항목은 ANS 51.1의 관련내용을 참조하여 우리 실정에 맞게 수정하였으며 주요항목은 아래와 같다.

- NDA 4100 일반사항
- NDA 4200 구조물
- NDA 4300 원자로
- NDA 4400 원자로냉각재계통 및 보조계통
- NDA 4500 공학적안전설비
- NDA 4600 보조계통
- NDA 4700 전력계통

- NDA 4800 계측제어계통
- NDA 4900 동력변환계통

마. NDA 5000 용어의 정의

NDA 기술기준에서 사용되는 중요한 용어들의 정의에 대하여 규정하였다.

6. 각 항목별 참조 기술기준 대비표

〈NDA 각 항목별 참조기술기준 대비표〉

KEPIC-NDA	참 조 기 술 기 준	비 고
NDA 1000 일반사항		
NDA 1100 적용범위	ANS-51.1, 1.1 Scope Foreward 일부	
NDA 1200 목적	ANS-51.1, 1.2 Purpose, Foreward 일부	
NDA 2000 재해방지 및 배치기준		
NDA 2100 재해방지	ANS-51.1, 3.2.8 Natural and Man-made Hazards RCC-P 1.2.1 Introduction GDC 2, Disign Basis for Protection against Natural Phenomena	
NDA 2200 배치		
NDA 2210 일반사항		
NDA 2220 부지별 단위 발전소의 호기수	RCC-P 1.1.2 Number of Units per Site	
NDA 2230 주요 건물의 배치	RCC-P 1.1.3 Main Bldg. Layout	
NDA 2240 건물 층고의 결정	RCC-P 1.1.5 Determination of Various Building Levels	
NDA 2250 공유	ANS-51.1 4.20 Multi Unit Stations GDC Sharing of Structures, systems and components	
NDA 2260 보안	원자력법 96조 및 103조	
NDA 3000 일반안전기준		
NDA 3100 일반사항		
NDA 3110 재료선정	과기부고시 제94-10호"원자로 시설의 안전등급 과 등급별 규격에 관한 규정"	
NDA 3120 품질보증	10 CFR 50 App. B Quality Assurance Criteria	
NDA 3200 부지선정	과기부 고시 제 83-5 ANS-51.1, 3.2.7 Site Condition	
NDA 3300 안전기준		
NDA 3301 일반사항	ANS-51.1 3.1 General Approach	
NDA 3310 발전소 상태	ANSI-N18.2 2.1 Conditions for Design (2.1 - 2.1.4)	
NDA 3320 설비 등급분류	ANS-51.1 3.3 Equipment Classification	
NDA 3330 산업기술기준	ANS-51.1 3.4 Industry Codes and Standards	

KEPIC-NDA	참 조 기 술 기 준	비 고
NDA 3400 내진 설계 및 내진 검증	GDC 4 Environmental and Dynamic Effects Design Bases RCC-P 1.2 Protection Against Externally Generated Hazards	
NDA 3500 내환경 검증	GDC 4 Environmental and Dynamic Effects Design Bases RCC-P 1.2 Protection Against Externally Generated Hazards	
NDA 3600 방사선 방호	원자력법 시행령 103 방사선 관리 구역 등에 관한 조치 원자력법 시행령 104 피폭 방사선량에 관한 조치 GDC 60 Control of Releases of Radioactive Materials to the Environment GDC 61 Fuel Storage and Handling and Radioactivity Control GDC 64 Monitoring Radioactivity Releases RCC-P V. Radiation Protection	
NDA 3700 안전성 분석	ANS-51.1 3.5 Safety Analysis RCC-P 4.4 Accident Analysis	
NDA 3800 확률론적안전성 평가	NUREG/CR 2300 PRA Procedures Guide	
NDA 4000 구조물 및 계통 설계기준		
NDA 4100 일반사항	ANS-51.1 4 Design criteria 일부	
NDA 4200 구조물	ANS-51.1 4.18 Other structures	
NDA 4300 원자로		
NDA 4310 원자로심 및 원자로 내부구조물	ANS-51.1 4.1 Reactor core and internals	
NDA 4320 반응도제어 계통	ANS-51.1 4.2 Reactivity control systems	
NDA 4400 원자로냉각재계통 및 보조계통		
NDA 4410 원자로냉각재계통	ANS-51.1 4.4 Reactor coolant systems	
NDA 4420 원자로냉각재 보조계통	ANS-51.1 4.6 Reactor coolant auxiliary systems	
NDA 4430 원자로정지 냉각계통	ANS-51.1 4.5 Shutdown heat removal systems	
NDA 4500 공학적안전설비		
NDA 4510 비상노심냉각계통	ANS-51.1 4.8 Emergency core cooling systems	
NDA 4520 격납건물계통	ANS-51.1 4.9 Primary containment	
NDA 4530 격납건물 보조계통	ANS-51.1 4.11 Containment auxiliary systems	
NDA 4540 비상 2차 열제거 계통	ANS-51.1 4.10 Emergency secondary heat removal systems	
NDA 4600 보조계통		
NDA 4620 냉각수계통	ANS-51.1 4.7 Cooling water systems	
NDA 4630 화재방호계통	ANS-51.1 4.15 Fire protection systems	
NDA 4640 방사성폐기물 처리계통	ANS-51.1 4.17 Radioactive waste processign systems	
NDA 4650 안전관련 구역 냉각계통	ANS-51.1 4.12 Safety-Related area cooling systems	
NDA 4700 전력계통	ANS-51.1 4.14 Electrical power systems	
NDA 4800 계측제어계통		
NDA 4810 보호계통	ANS-51.1 4.3 Protection system	
NDA 4820 발전소 주 제어실	ANS-51.1 4.16 Control complex	
NDA 4900 동력변환계통	ANS-51.1 4.19 Power conversion system	
NDA 5000 용어의 정의	ANS-51.1 2. Definition RCC-P 1.3.2 Definition	