

원전구조물 설계 기술기준

김 재 희*

1. 머릿말

우리나라에는 총 9기의 원자력발전소가 가동중에 있으며, 7기가 건설중에 있다. 이를 원자로형으로 분류하면 캐나다가 공급한 가압중수로(PHWR)가 4기이며, 미국 및 프랑스가 공급한 가압경수로가 12기이다.

우리나라에는 원자력발전소의 구조물이나 기기의 설계, 제작, 검사 등에 필요한 기술기준이 없기 때문에 원자로 공급국(미국, 캐나다, 프랑스)의 기술기준을 적용하고 있다. 이처럼 외국 기술기준을 적용할 수 있었던 법적근거로는 과학기술처 고시 83-5호와 동 고시 1994-10호를 들 수 있다. 과거 처 고시 83-5호 2항에는 “원자로시설의 공급국이 자국의 기술기준을 보유하고 있는 경우 그 기술기준의 적용으로 안정성과 성능이 결여되지 아니함이 입증될 때에는 과거 처 장관의 승인을 얻어 외국의 기술기준을 그대로 적용할 수 있다”라고 되어 있으며, 동 고시 1994-10호 제9조 3항에는 안전등급 2, 3의 구조물에 대해 ASME Section III, ACI 349 및 ANSI-AISC-N690을 적용하도록 되어 있다.

이 글에서는 원자력발전소의 구조물 설계에 적용되고 있는 기술기준에 대하여 설명하고자 한다.

2. 원전산업 기술기준의 체계

원전산업 기술기준은 원칙적으로 법령 및 안전요건을 만족하기 위해 기기, 계통 및 구조물의 설계, 시공, 시험, 검사, 설치 등에 관한 상세요건 또는 방법을 규정하고 있다. 안전기준은 규제기관에서 발행하는 건설허가에 필요한 기본 요건들이며, 대체로 전기사업자를 대상으로 하고 있는 반면 산업 기술기준은 설계자 및 기자재 공급자에 적용된다.

안전기준은 규제기관에서 주관하며, 산업 기술기준은 학술단체, 기자재 공급자 단체 및 전기사업자에게 주관한다.

외국의 기술기준 체계를 표시하면 표 1과 같다.

3. 구조물의 분류

원자력발전소의 발전설비 건물은 미국의 안전기준(Regulatory Guide 1.29)에 따르면 내진범주 I급 구조물과 비내진범주 I급 구조물로 분류하고 있으나 우리나라에서는 이것을 근거로 내진범주 I급, II급, III급으로 분류하고 있다.

내진범주 I급 구조물이란 운전기준지진(OBE)은 물론 안전정지지진(SSE)이 발생하더라도 원전의 안전에 관련된 기기 및 부품들이 그 기능을 발휘할 수 있도록 수용하고 지지하는 구조물로서

* 한국전력기술(주) 토목구조기술처 책임기술원

표 1. 원전 기술기준 체계

	미 국	프 랑 스	일 본	한 국
법	원자력법	원자력법	전기사업법 원자력기본법	원자력법
안전 기준	<ul style="list-style-type: none"> 연방규제법(CFR) 규제지침서(Regulatory Guide) 표준 검토지침(Standard Review Plan) 	프랑스 안전기준(RFS)	<ul style="list-style-type: none"> 원자력설비 기술기준령 및 고시 전기설비 기술기준령 및 고시 경수형 원자로 시설의 심사지침 	안전기준
기술 기준	<ul style="list-style-type: none"> 학회/협회 기술기준 <ul style="list-style-type: none"> -미국기계학회(ASME) -미국재료학회(ASTM) -미국전기·전자기술자협회(IEEE) -미국콘크리트학회(ACI) -미국원자력학회(ANS) 	<ul style="list-style-type: none"> 원자로계통(RCC) 터빈/발전기계통(RRC) 	<ul style="list-style-type: none"> 전기기술규정 전기기술지침 	없음
공업 규격	-미국국립표준협회(ANSI)	프랑스 공업규격(NF)	일본 공업규격(JIS)	한국공업규격(KS)

격납건물, 보조/제어건물, 핵연료건물, 디젤발전기건물 등과 그 내부 지지구조물들이 이에 해당한다.

내진범주 II급 구조물은 원전의 안전성에는 직접적인 연관이 없으나 내진범주 I급 구조물에 인접함으로써 안전정지지진이 발생할 경우 붕괴되어 영향을 미치지 않도록 설계 건설되는 구조물로서 출입통제건물, 스위치기어건물, 터빈건물 등이 그 대표적인 경우이다.

내진범주 III급 구조물은 내진범주 I급과 II급에 해당되지 않는 구조물 등을 포함한다.

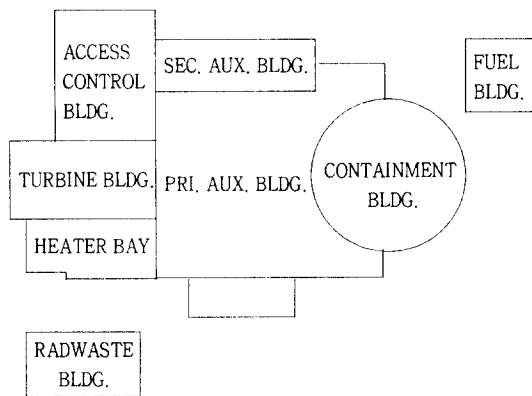


그림 1. 영광 3, 4호기의 건물 배치

발전소의 구조물을 설계할 때는 내진범주에 따라 적용요건이 다르기 때문에 기술기준을 달리 적용하고 있다. 그림 1에는 영광 3, 4호기의 전력생산구역(Power Block)내의 건물배치를 나타낸 것이다.

4. 토목구조 기술기준 적용현황

원자력발전소의 구조물 설계에 사용되는 기술기준은 지금까지 미국, 프랑스, 캐나다의 기준을 적용하여 왔다.

일반적으로 구조물은 구조재의 종류에 따라 크게 콘크리트구조와 강구조로 분류하고, 산업기술기준도 이에 따라 개발되어 있다.

격납건물은 지진시나 냉각재 상실사고(LOCA)시에 발생하는 높은 압력에 견디도록 압력용기 개념으로 설계된 프리스트레스 콘크리트 구조이며, 그 외의 건물은 콘크리트 구조이거나 강구조 또는 두가지 복합구조로 되어 있다. 이러한 구조별로 국내 원자력발전소의 구조물 설계 및 시공에 적용된 외국 기준들을 비교하면 다음과 같다.

4.1 캐나다의 기술기준

우리나라에서 캐나다의 기술기준을 적용한 원

자력발전소로는 월성 1, 2, 3, 4호기를 들 수 있다. 표 2에서 볼 수 있듯이 캐나다 기술기준의 특징은 원자로건물의 관통부에 ASME Sec. III Div.1, Subsec. NE를 칼란드리아 볼트(Calandria Vault)에 ASME Sec. VIII Div.1을, 콘크리트 거푸집의 설계에 ACI 347 등 미국기준을 준용하고 있다는 점이다.

이는 캐나다가 미국의 기술기준을 참조하여 자국의 기술기준을 제정해 나가는 과정에서 나타난 현상이다.

표 2. 캐나다의 기술기준

구 분	기술 기준	적 용 분 야
내진 I급	격납구조 CSA N287.1 CSA N287.3 CSA N287.4 ASME Sec. III Div.1 NE	격납구조 일반요건 격납구조 설계요건 격납구조 시공요건 관통부
	콘크리트구조 CSA A23.3 ASME Sec. VIII Div.1	일반콘크리트구조 설계 칼란드리아 볼트
	강 구조 CSA S16 CISC	강구조 설계 강구조 설계편람
내진 II급	콘크리트구조 CSA A23.3	일반콘크리트구조 설계
	강 구조 CSA S16 CISC	강구조 설계 강구조 설계 편람
공 통	NBCC CSA A23.1 CSA A23.2 CSA W186 CSA W59.1 ACI 347	설하중 및 풍하중 콘크리트 시공 콘크리트 시험방법 철근용접 구조용접 거푸집

CSA : Canadian Standard Association
NBCC : The National Building Code of Canada
ASME : American Society of Mechanical Engineers

4.2 프랑스의 기술기준

프랑스가 설계한 원자력발전소는 울진 1, 2호기를 들 수 있다. 내진범주 I급 구조물에는 프랑스의 RCC-G가 적용되었는데, RCC-G는 900MW급 PWR 원전의 내진범주 I급 토목구조물 전반에 대한 건설재료, 설계, 시공 및 내진해석방법 등을 규정하고 있다. RCC-G는 원전특성에 따른 사항과 보완내용을 자체적으로 규정하되 다른 사항 즉, 풍하중 및 적설하중은 NV65-67, 콘크리트구조는 CCBA 68 및 CEB 70, 프리스트레스트 콘크

리트는 IP 65, 강구조는 CM 66, 자재는 NF 등과 같이 기존의 프랑스 및 국제 기술수준을 인용하는 방식으로 개발된 것이다. 터빈건물에 대하여는 미국과 같이 내진범주 II급으로 건설한다는 명확한 규정은 없으며, 풍하중 및 적설하중은 NV 65-67, 하부 콘크리트구조는 CCBA 68, 상부 강구조에는 CM 66을 적용하고 있다.

울진 1, 2호기에 적용된 토목구조 기술기준은 표 3과 같다.

표 3. 프랑스의 기술기준

구 분	기술 기준	적 용 분 야
내진범주 I급 구조물	원자로건물 외부구조 RCC-G CODE SNCTTI 69 REGLES CCBA 68	내진범주 I급 구조물의 설계, 시공 및 시험 관통부 일반콘크리트구조의 설계기준 프리스트레스트 콘크리트
	콘크리트구조 RCC-G REGLES CCBA 68	내진범주 I급 구조물의 설계, 시공 및 시험 일반콘크리트구조의 설계기준
	강 구조 RCC-G REGLES CM 66	내진범주 I급 구조물의 설계, 시공 및 시험 일반 강구조 설계기준
내진범주 II급 구조물	콘크리트구조 REGLES CCBA 68 강 구조 REGLES CM 66	일반콘크리트구조의 설계기준 일반 강구조 설계기준
공 통	REGLES CM 66 REGLES IV 65-67	일반 강구조 설계기준 적설 및 풍하중

RCC : Regles de Conception et de Construction
REGLES : Rules in English

4.3 미국의 기술기준

현재 국내에 가동중이거나 건설중인 원자력발전소는 미국의 기술기준을 적용한 가압형경수로(PWR)가 가장 많다. 내진 II급 콘크리트구조물과 강구조물에 적용되는 ACI 318이나 AISC-ASD와 같은 기술기준은 원자력발전소 뿐만 아니라 국내 산업구조물에도 적용한 적이 있는 기준이다.

미국의 경우, 내진범주 I급에 적용되는 기술기준은 내진범주 II급에 적용되는 기준에 원자력발전소의 특수성을 감안하여 발전시킨 것이기 때문에 구성체계나 그 내용이 서로 비슷한 점이 많다.

표 4에는 영광 3, 4호기에 적용된 미국의 기술기준을 표시하였다.

표 4. 미국의 기술기준

구분	기술기준	적용분야	
내진범주 I 급구조	격납구조	ASME Sec. III Subsec. CC ASME Sec. III Subsec. NCA	격납건물 외벽 콘크리트 격납건물 일반요건
		ASME Sec. III Subsec. NE ASME Sec. IX	관통부 용접
	콘크리트구조	ACI 349	원자력구조물의 콘크리트 설계
	강구조	AISC-N690	원자력구조물의 강구조 설계
내진범주 II 급구조	콘크리트구조	ACI 318	일반구조물의 콘크리트 설계
	강구조	AISC ASD	일반구조물의 강구조 설계
공통	ACI 211.1	보통 콘크리트의 배합	
	ACI 214	콘크리트의 현장시험	
	ACI 301	구조용 콘크리트 요건	
	ACI 304	콘크리트 측정·배합·운반 및 타설	
	ACI 305	서중콘크리트 타설	
	ACI 306	한중콘크리트 타설	
	ACI 308	콘크리트 양생	
	ACI 309	콘크리트 다짐	
	ACI 315	철근 상세	
	ACI 347	거푸집	
	ANSI A58.1/ASCE 7	설하중 및 풍하중	
	AWS D1.1	강구조용접	
	AWS D1.4	철근용접	
UBC	지진력산정		

5. 맺음말

그동안 원자력발전소의 꾸준한 건설로 인하여 국내 원자력 산업계에서는 많은 기술적 발전이 이루어졌으며, 1987년 영광 3, 4호기부터는 국내 업체들이 주도하여 원자력 설비를 설계, 제작, 시공, 검사, 운전하게 되었다. 그러나 우리나라에는 해당 기술기준이 없는 관계로 외국 기술기준들을 적용하여 왔다.

미국, 프랑스, 일본, 캐나다와 같은 원자력 선진국들은 자국의 실정에 맞춘 기술기준들을 개발하여 적용 발전시켜 나가고 있다. 따라서 우리나라도 그동안의 축적된 기술을 바탕으로 우리나라 실정에 적합한 기술기준들을 개발하는데 상당한 노력을 기울여야 할 것으로 판단된다.

ASME : American Society of Mechanical Engineers

ACI : American Concrete Institute

AISC : American Institute of Steel Construction

AWS : American Welding Society

UBC : Uniform Building Code

ANSI : American National Standards Institute