

원자력발전소 안전관련 콘크리트 구조물의 내진설계

Seismic Design of Safety Related Concrete Structures of Nuclear Power Plant



조성국*
Sung-Gook Cho



이상훈**
Sang-Hoon Lee

1. 개요

세계원자력협회(WNA)의 보고에 의하면 2008년 말을 기준으로 전 세계에서 원전을 운영하고 있는 나라는 총 31개국으로서 각국이 운전중인 원전은 총 436기에 달한다. 현재 중국, 러시아, 인도 등 12개 국가에서도 총 43기의 원전을 건설 중에 있으며, 2030년까지 건설할 것으로 현재 계획 중이거나 제안된 원전은 370여 기에 이른다. 우리나라에서도 1978년 4월 29일부터 고리원전이 처음으로 상업운전을 시작한 이래, 2010년을 기준으로 4개의 부지에서 총 20기의 원전이 상업운전을 계속해 오고 있다. 금년 2월 28일부터는 고리와 인접한 신고리 부지에서 신고리1호기가 추가로 상업운전을 시작하였고, 신규 부지에서 9개의 추가 원전이 건설 예정되어 있다.

지구상의 곳곳에서 에너지 문제에 대한 해결책으로 원자력발전을 거론하면서 지금은 원자력의 르네상스시대라고 외치고 있는 동안 세계사에 남을 중대한 자연재해가 발생하였다. 2011년 3월 11일 금요일 14:45분경 일본 도호쿠(東北) 지방 부근 해저(동경 북동쪽 370 km 거리)에서 규모 9.0의 지진이 발생한 것이다. 진앙지와 인접한 후쿠시마 원전 부지에는 최고 10미터가 넘는 쓰나미(지진해일)에 의한 피해로 발전소의 소외전력이 상실되고, 비상디젤발전기의 가동이 정지하여 방사선 비상이 발생하는 사태로 이어졌다. 이 사고로 유럽 국가들은 유럽 내에 운전 중인 전체 원전의 안전점검을 계획하고, 독일은 1980년 이전에 가동을 시작한 원전 7기를 일시 가동 중지하는 특단의 조치도 단행하였다. 그 이전에 발생한 1979년 미국의 드리마일아일랜드 원전사고나 1986년 체르노빌 원전사고에서 얻었던 교훈처럼 이번 사건은 원자력산업이 극복해야 할 또 다른 안전성 강화 노력

의 시작을 촉구하였다. 더 강력한 지진재해로부터 안전하게 원전시설을 지켜내야 할 과제가 공학자들에게 부과되었다.

현재 우리나라를 포함한 세계 각국에서는 중요한 산업시설물 및 공공시설물에 대해 내진설계를 의무적으로 요구하고 있다. 특히, 원전의 경우는 만일에 발생할 지도 모를 방사능 물질의 유출이 인근 주민과 환경에 치명적인 피해를 입힐 수 있으므로 다른 산업시설에 비하여 보다 엄격하고도 정밀한 지진해석과 설계요건을 적용하고 있다. 1950년대 말부터 이미 상업용 원전에 적용하던 간단한 내진설계 절차는 이후 지진의 특성분석 및 해석기술이 발전함에 따라 계속적으로 개정되고 있다. 우리나라의 경우는 원자력법 시행령 및 교육과학기술부(구, 과기처) 고시 등을 통하여 원전 시설물의 내진설계를 요구하고 있으며, 세부적인 내진해석 및 설계절차는 현재 미국에서 적용되고 있는 수준과 거의 일치한다.

원자력시설물의 내진안전성 확보는 원전의 내진설계로부터 시작된다. 원전을 구성하는 중요 구조물들은 <사진 1>에 보인 바와 같이 대부분 두꺼운 콘크리트 전단벽 구조물이므로 내진설계의 중요성이 더 크다. 이 원고에서는 원전 구조물의 지진 거동에 대한 특성을 소개하고, 원전 구조물의 내진설계 과정에 대하여 전반적인 사항을 기술하고자 한다.



사진 1. 원전 구조물의 외부 형상

* 정회원, (주)제이스코리아 기술연구소 소장
sgcho@jacekorea.com

** 한국전력기술(주) 책임기술원

2. 원전 구조물의 구조 특성

원전 구조물은 원자력발전에서 필요한 각종 설비와 기기 및 기계구조물 등을 그 내부에 수용하면서 어떠한 극심한 환경조건이나 사고 시나리오에서도 최종적으로 방사성위험물질을 외부에 노출시키지 않고 차폐하는 기능을 담당한다. 원전 구조물들은 몇 개의 안전관련 중요 구조물과 비안전 구조물로 구성되어 있다. 대표적인 안전관련 구조물은 원자로건물로 국내 원전의 대부분은 반구형 돔을 갖는 원통형 벽체의 PSC구조이다. 그리고 원자로건물 주위에는 몇 개의 안전관련 구조물이 인접하여 배치되어 있다<그림 1>. 원자력발전에서 필요한 각종 설비나 기기류 중에서 일부는 독립된 건물에 수용되고 있으나 대부분의 주요 설비는 보조건물에 수용되어 있다. 보조건물은 수많은 콘크리트 격실로 구성되어 있으며, 각 격실에는 고유의 기능을 갖는 수많은 전기기기, 기계기기 및 제어계측설비들이 수용되어 있다.

내진설계 관점에서 볼 때 원전 구조물은 다음과 같은 고유의 동적특성 및 구조적 특성을 갖는다.

(1) 높은 설계지진의 수준

일반 산업시설에 비해 더 낮은 지진발생확률에 대비하기 위하여 더 높은 수준의 지진운동을 설계지진으로 정한다.

(2) 지진에 의한 공진가능성이 큰 진동특성

지금까지 세계 도처에서 발생한 지진의 주진동수 범위가 주로 2.0~10.0 Hz인데, 원전 구조물들의 기본 고유진동수는 <표 1>에 보인 바와 같이 4.0~10 Hz 범위에 속해 있으므로 지진에 대한 공진 가능성이 크고 지진의 증

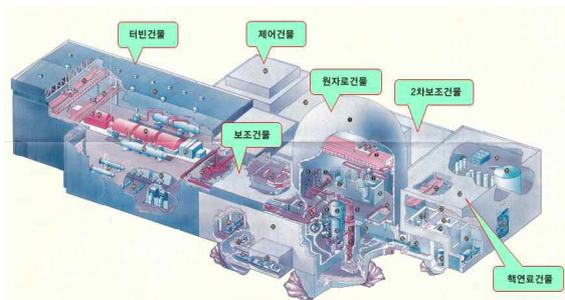


그림 1. 표준 원전의 구조물 배치

표 1. 주요 구조물의 기본고유진동수

구조물 종류		고유진동수(Hz)
한국 표준 원전	원자로건물	4.5
	보조건물	7.5
	핵연료건물	10.3
일반 구조물	20층 RC 건물	0.5~1.0
	지간 100m 교량	0.5~1.0

폭 효과를 더 크게 받는다.

(3) 질량에 비하여 상대적으로 낮은 구조물 높이

원전 구조물은 질량이 커서 큰 관성력을 유발하는 반면에 건물의 높이가 낮아 풍하중 작용면적이 작기 때문에 수평 방향 동적하중의 관점에서 풍하중보다 지진에 대한 위험성이 크다.

(4) 낮은 설계 감쇠값

원전은 대부분 견고한 지반상에 건설되고 상부구조는 엄격한 품질관리요건에 따라 시공되는데, 이러한 사실은 동적시스템의 감쇠 능력을 감소시킬 수 있다. 그리고 원전 구조물은 특수한 경우를 제외하고, 비선형 거동을 제한해 탄성범위 내에서 거동하도록 설계되었다. 이는 구조시스템의 전체적인 감쇠작용을 감소시키는 요인으로 작용한다. 구조물의 감쇠가 감소되면 지진으로 인한 동적 증폭이 더 커지게 되므로 더 큰 지진하중을 받게 된다.

(5) 조밀한 구조물 배치

원전 구조물들은 그 기능적 요건상 여러 구조물들이 서로 인접하거나 혹은 접촉한 상태로 배치된다. 이와 같이 인접하거나 연결된 구조물들은 지진시 구조물의 거동이 복잡해지고, 해석이 어려워진다. 서로 인접한 구조물들은 충돌 혹은 손상의 우려가 있으므로 구조물 상호작용해석과 같은 별도의 대책이 요구된다.

3. 원전의 내진안전성 확보

3.1 법적 근거 및 관련 규정

국내 원전의 내진설계는 원자력법, 교과부 고시 2009-37호, 미국의 연방법규 10CFR Part 100 부록 A를 따라 수행한다. 이 법령에서는 원전의 모든 안전관련 설비가 지진을 포함하는 모든 자연재해 발생시 혹은 그 후에도 원래의 안전기능을 상실하지 않도록 설계 및 시공되어야 한다고 명시하고 있다. 이 외에도 국내 원전의 내진설계에 영향을 주는 관련 법령 및 규제요건, 설계기준과 표준은 다음과 같다.

(1) 국내 원자력법 및 관련규정

- 원자력법 시행령 및 시행규칙
- 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙(교육과학기술부령)
- 경수로형 원자력발전소 안전심사지침(한국원자력안전기술원)
- 대한전기협회, KEPIC STA & STB

(2) 미국 연방법 및 관련규정

- US 10CFR(미국연방법규)
- USNRC Reg. Guides(미국 원자력규제위원회 규제 지침)
- USNRC Standard Review Plan(미국 원자력규제위원회 표준심사지침)
- 일반산업기준: ASCE, IEEE Standard 등

3.2 원전의 내진성능확보 체계

원전의 내진성능확보체계란 원전의 모든 안전관련설비(구조물, 배관, 시스템, 부품 등)를 대상으로 내진안전성을 확보하고 유지관리하는 등의 전체 활동을 지칭하는 것으로서 다음과 같은 업무를 포함한다.

- 1) 설계지진 결정
- 2) 지반구조물상호작용(SSI)을 포함한 지진해석
- 3) 확률론적 지진위험도 평가(SPRA)
- 4) 지진 계측 및 기록
- 5) 지진 발생 후 안전성 평가 및 조치

단순히 내진설계만을 지정할 때는 <그림 2>에 보인 지진해석 및 구조단면 설계 그리고 기기의 내진검증 업무를 의미한다.

3.3 원전의 설계지진하중

원전은 미국의 연방법(10CFR100, App. A, SRP2.5.2)과 국제원자력기구 IAEA의 Safety Guide(50-SG-S1)에서 규정한 두 단계의 지진하중을 적용하여 설계된다.

- 1) 안전정지지진(Safe Shutdown Earthquake, SSE)
 - 원전 부지에서 발생 가능한 최대지진으로써 원전의 안전에 중요한 시설물은 이러한 지진이 발생하더라도 다음과

- 같은 기능을 유지할 수 있도록 설계, 건설되어야 한다.
- 원자로 냉각계 압력한계의 완전한 기능 유지
- 원자로를 즉각 정지할 수 있고 또한 완전한 정지상태로 계속 유지할 수 있는 능력
- 불의의 사고로 인하여 법정한계 이상의 방사능 방출현상이 발생할 때 발전소 부지 밖으로 미치는 영향을 방지하거나 완화할 수 있는 능력

- 2) 운전기준지진(Operating Basis Earthquake, OBE)
 - 원전 수명기간동안 발생 가능하여 발전소 시설물에 영향을 줄 수 있을 것으로 예상되는 지진으로 원전의 안전에 중요한 시설물은 이러한 지진이 발생하더라도 공중의 안전과 건강에 영향 없이 정상적인 가동이 가능하도록 설계, 건설되어야 한다.

3.4 원전 시설물의 내진분류

원전에 속한 모든 구조물, 기기 및 시스템은 자신의 고유 기능과 그에 따른 중요도에 따라 다음과 같은 내진분류 체계에 따라 분류되고, 각 분류에 해당하는 지진해석 및 내진설계절차를 적용한다.

- 1) 내진범주 I급(Seismic Category I)
 - 원자로의 안전에 중요한 시설물로서, 원자로계통, 이를 보조하는 모든 계통 및 이들을 수용하고 있는 건물들
 - 안전정지지진 발생시 기능을 유지할 수 있도록 설계
 - 완전한 탄성범위의 지진해석과 내진설계 수행
- 2) 내진범주 II급(Seismic Category II)
 - 원자로의 안전에 직접적인 관련은 없으나 파손시 안전 관련 기능을 저해할 수 있는 시설물
 - 안전정지지진 발생시 건전성을 유지할 수 있도록 설계
 - 탄성범위의 지진해석을 수행하지만 일부 비선형거동을 허용하는 내진설계 허용
- 3) 내진범주 III급(Seismic Category III)
 - 위의 내진범주 I, II급에 속하지 않는 나머지 모든 시설물
 - 일반 산업기준에 따른 내진설계

4. 원전 구조물의 내진설계

4.1 설계지반가속도

원전의 내진설계에 적용하는 최대설계지진의 크기는 원전 주변의 반경 320 km 지역을 포함한 광역지질조사, 과거에 발생한

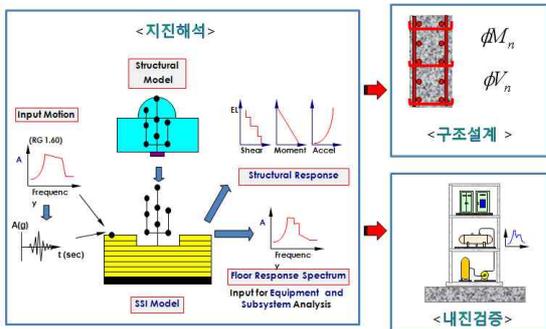


그림 2. 원전의 내진설계

지진 등에 대한 상세한 조사 및 검토, 단층으로부터 발생 가능한 지진의 규모 평가, 그리고 부지까지 전달되는 거리 및 경로상의 지반 특성을 고려하여 부지에서 발생할 수 있는 최대잠재지진을 고려하여 결정한다. 설계지진운동의 크기는 지진가속도를 중력 가속도(g)에 대한 비율로 표시하는 g 단위를 이용하여 표현한다. 설계지진으로 설정하는 안전정지지진(SSE)의 연간 발생확률은 약 $10^{-4} \sim 10^{-3}/\text{yr}$ 정도이다. 운전기준지진의 수준은 안전정지지진의 1/3 ~ 1/2 값을 사용한다. 국내 원전에 적용되고 있는 설계지반운동의 최대가속도는 <표 2>와 같다.

4.2 설계지반응답스펙트럼

원전의 내진설계에 적용하는 설계응답스펙트럼은 크게 부지고유응답스펙트럼과 표준지반응답스펙트럼으로 구분된다. 부지고유응답스펙트럼은 특정 부지의 지진성 평가를 통하여 결정된 그 부지에 고유한 형태의 지반응답스펙트럼이다. 일반적으로 부지고유의 지반응답스펙트럼을 얻기 위해서는 대상 부지에 적용할 수 있는 충분히 많은 지진기록과 지반응답스펙트럼이 필요하다. 그러나 국내에서는 이용 가능한 지진기록이 충분치 않으므로 이를 대신하여 부지특성에 무관하게 적용할 수 있는 표준지반응답스펙트럼을 원전 설계에 적용한다.

표준지반응답스펙트럼은 다양한 지반조건에서 기록된 다수의 지진기록으로부터 통계적 처리를 통하여 결정된 대부분의 부지에 적용할 수 있는 지반응답스펙트럼이다. 우리나라 원전은 미국원자력규제위원회(USNRC)의 Regulatory Guide 1.60에 제시된 표준지반응답스펙트럼을 사용한다. <그림 3>은 원전에서 사용하는 수평방향 지진의 표준지반응답스펙트럼의 형상을 보인 것으로 Regulatory Guide 1.60에서는 수직방향 응답스펙트럼의 형상도 별도로 제공하고 있으며, 이와 유사한 형태를 보인다.

4.3 설계가속도시간이력 입력운동

원전설계에서는 정밀한 비선형해석이 요구되는 경우보다는 주

표 2. 국내 원전의 설계지진 크기

원전 호기	SSE(g)	OBE(g)	리히터 규모	
가동중 원전	고리 1 ~ 4호기	0.2	0.1	M6.5
	월성 1 ~ 4호기	0.2	0.1	
	영광 1 ~ 6호기	0.2	0.1	
	울진 1 ~ 6호기	0.2	0.1	
건설중 원전	신고리 1, 2호기	0.2	0.1	M7.0
	신월성 1, 2호기	0.2	0.1	
	신고리 3, 4호기	0.3	0.1	
	신울진 1, 2호기	0.3	0.1	

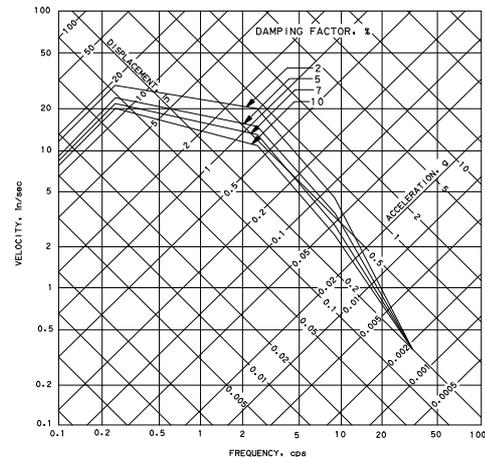


그림 3. 원전의 수평방향 표준지반응답스펙트럼

로 지반-구조물 상호작용해석 또는 유체-구조물 상호작용해석과 같은 동적 연계효과 해석이 필요하거나 기기의 입력운동으로 사용할 층응답스펙트럼의 작성이 필요한 경우에 동적 시간이력해석을 수행한다. 이때 설계가속도시간이력이 입력운동으로 사용되며, 가속도시간이력은 인공지진을 발생시켜 얻어진다. 이는 실제 지진파와 유사한 형태이지만 규제기준을 만족하도록 적절한 변형과정을 거친다. 일반적으로 두 개의 수평방향과 한 개의 수직방향 성분으로 구성된 3개의 시간이력 곡선이 한 세트이다.

규제기준에서는 단일 세트 또는 복수 세트의 시간이력을 사용하는 경우에 대한 설계가속도시간이력 작성요건을 명시하고 있다. 실무에서는 복수의 시간이력을 사용하면 해석의 경우가 지나치게 많아지기 때문에 대부분 단일 세트의 설계가속도시간이력을 이용하여 지진해석을 수행한다. 단일 세트의 시간이력은 복수 세트의 시간이력보다 엄격한 규제기준이 적용된다.

4.4 지진해석모델링

지진으로 인한 원전 구조물의 거동을 설계단계에서 최대한 정확히 예측하기 위하여 복잡한 형태의 구조물을 수학적으로 이상화 시킨다. 원전 구조물의 지진해석모델을 작성할 때, 인접한 구조물 혹은 시스템이나 설비를 대상 구조물의 해석모델과 연계시킬 것인지의 여부는 주구조물과 부계통의 질량비(R_m)와 진동수비(R_f)를 이용하여 판단하는데, 다음의 조건에 따라 판별한다.

- $R_m < 0.01 : R_f$ 에 상관없이 비연계 (1)
- $0.01 \leq R_m < 0.1 : R_f \leq 0.8$ 혹은 $R_f \geq 1.25$ 이면 비연계 (2)
- $R_m \geq 0.1 : R_f$ 에 관계없이 주구조물 모델에 연계 (3)

연계될 모델의 범위가 결정되면, 대상 구조물은 다음의 방법으로 모델링한다.

1) 유한요소모델

벽체, 슬래브, 프레임과 같은 구조 부재를 보요소, 판요소, 쉘요소, 솔리드요소 등과 같은 유한요소를 사용하여 모델링하는 방법이다. <그림 4>는 유한요소를 사용하여 모델링된 원전의 한 예이다. 가장 많은 자유도가 고려되므로 해석이 복잡하고 장시간의 해석시간이 소요되며, 특히 구조물이 변경되거나 재료특성 또는 강성에 관련된 변화가 있는 경우 이를 모델에 반영하기 위해서는 많은 노력이 필요하다.

2) 집중질량-보요소모델

전체적인 구조물의 동적 특성을 단순한 등가의 보요소와 집중질량의 조합으로 이상화한 모델이다. 원자로 건물 등과 같이 모멘트 거동이 지배적인 구조물이거나, 혹은 단층의 전단벽 구조물 등에 주로 사용된다. <그림 5>는 원전 건물을 집중질량-보요소모델로 이상화한 예이다.

3) 슬래브-전단벽 모델

집중질량-보요소모델과 유사하지만 원전 구조물과 같이 두꺼운 슬래브와 전단벽으로 이루어진 구조물에 효과적으로 적용할 수 있는 모델이다. 각 층 슬래브는 3개의 평면 내 자유도(두 수평 병진방향과 비틀방향)와 필요한 경우 평면의 진동모드를 갖는 강체 다이아프램으로 모델링되며, 전단벽은 두 층 사이를 연결하는 탄성 전단스프링으로 모

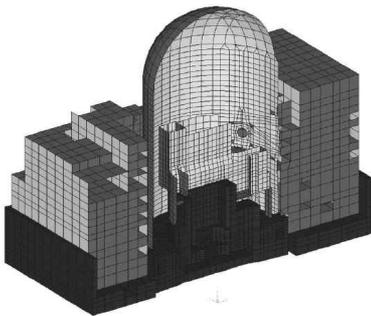


그림 4. 원전 구조물의 유한요소해석모델

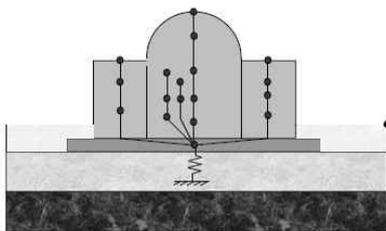


그림 5. 원전 구조물의 집중질량-보요소모델

델링한다. <그림 6>은 슬래브-전단벽 모델을 이용하여 표준원전의 보조건물을 모델링한 예이다.

4.5 지진해석방법

원전구조물의 지진해석에서 사용되는 보편적인 지진응답해석 방법은 다음과 같다.

1) 모드해석(modal analysis)

모드해석으로부터 지진해석모델의 고유진동수 및 모드형상과 같은 동특성을 파악할 수 있으며, 모드를 이용한 시간이력해석 또는 응답스펙트럼해석과 연계해서 수행된다.

2) 응답스펙트럼해석(response spectrum analysis)

시간이력해석법에 비하여 간단하며, 고정지반위에 놓인 구조물의 설계단면력을 구하는데 많이 사용된다.

3) 시간이력해석(time history analysis)

각 층에서 계산된 응답시간이력을 이용하여 2차구조물 해석의 입력운동이 되는 층응답스펙트럼을 작성할 때 주로 사용된다.

4) 복소진동수응답해석(complex frequency response analysis)

구조물과 입력운동 특성을 진동수영역으로 변환하여 동적 응답을 얻는 방법으로 지반-구조물 상호작용시스템과 같은 대규모 해석모델의 동적해석에 주로 적용한다.

5) 등가정적해석(equivalent static analysis)

간단하지만 정확도가 떨어져 원전의 안전관련 구조물 설계에는 적용될 수 없으며, 내진범주 III급 또는 단순한 구조물의 예비 설계단계에서 활용될 수 있다.

4.6 구조물의 내진설계

원전 구조물의 지진해석으로부터 구조물의 지진응답인 변위, 부재력, 층응답스펙트럼 등과 같은 결과를 얻을 수 있다. 층응답

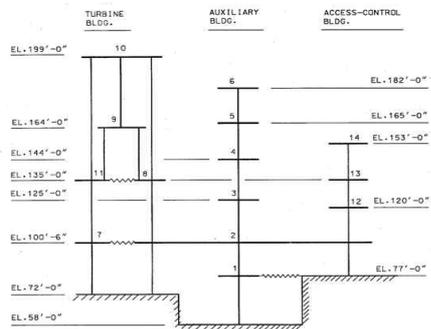


그림 6. 전형적인 슬래브-전단벽 모델

스펙트럼은 건물의 특정 위치 혹은 층에 놓인 부계통의 최대지진응답을 나타내며, 주구조물에 지지되거나 부착된 부계통의 지진해석 또는 내진검증시 입력운동으로 사용된다. 변위는 인접 구조물간의 간섭사항 검토 혹은 구조물간에 연결된 부계통의 안전성 검토 등에 사용된다. 건물의 주요 위치에서 계산된 부재력으로서 축력, 전단력, 휨모멘트 등은 콘크리트 구조물의 벽체 혹은 슬래브와 같은 구조 부재의 설계단면력으로 사용된다.

원전의 콘크리트 구조물 설계는 <표 3>에 보인 설계기준을 적용하여 수행한다. 원전 구조물의 설계지진력은 고정하중, 활하중, 온도하중, 풍하중 등의 다른 하중과 조합되며, 구조물이 조합된 하중에 견디도록 설계된다. 원전 산업에서는 지진하중을 포함하는 하중조건이 구조물의 단면설계를 지배하는 경우가 대부분이다. 미국 원자력규제위원회의 표준심사지침에서는 원전의 PSC 격납구조물, RC 구조물 및 강구조물의 설계시 적용하는 하중조건과 하중조합이 제시되어 있다. 원전 구조물의 설계에 적용하는 하중상태는 ① 정상운전상태(normal condition), ② 중대 환경상태(severe environmental condition), ③ 극한 환경상태(extreme environmental condition), ④ 비정상상태(abnormal condition), ⑤ 비정상 및 중대 환경상태, ⑥ 비정상 및 극한 환경상태 등으로 구분하고 있으며, 각 조건의 하중조합 식을 각각 제시하고 있다. 지진하중이 포함된 하중조합은 심한 환경상태나 극심한 환경상태의 하중상태이다.

5. 결론

일반 산업 시설물의 설계에서는 구조물의 안전성을 보장하는 동시에 경제성이 확보되도록 균형있는 설계를 도모한다. 그러나 원전에서는 그 특성상 안전성이 절대적으로 먼저 보장되어야 하는 특수성이 존재한다. 최근에 우리와 가장 가까이 인접한 일본에서 대일본지진이라는 쓰라린 경험을 하고, 많은 논란거리와 인류가 해결해야할 숙명적인 과제를 안겨주었다. 전 세계적으로 원자력의 평화적이고, 안전한 이용을 위한 노력은 앞으로 더욱 체계적이고 확실하게 이행되어 나갈 것이다. 인간이 상상할 수 있는 최고의 극심한 자연재해 조건에 대해서도 안전한 원전을 건설하기 위한 노력이 필요하다는 것을 새삼 인식하였다. 극심한 지진조건에 대해서도 원전의 방사능 누출과 같은 최악의 상

황을 최종적으로 방어하고, 원전의 안전을 지켜내기 위하여 보다 엄격하고 신뢰성 있는 콘크리트 구조물의 설계기술과 시공기술이 필요하다는 중요성을 제고할 때이다.

이 특집 기사에서는 원전 구조물의 지진해석과 내진설계 방법 전반에 대해서 개략적으로 소개하였다. 기술적 사항을 보다 깊이 있게 다루지 못한 것은 할애된 지면의 양적 제약으로 인한 것이다. 보다 깊이 있고, 전문적인 기술의 습득은 기술자의 노력에 달려있다. 그리고 안전한 원전 구조물의 건설은 관련 기술자들의 끈기 있는 노력에 의해 얻어질 것이다. 앞으로 새로운 내진 설계기술에 대한 연구개발 노력과 투자가 증가하고, 토목공학 여러 분야의 전문가들의 기술역량이 집결하여 보다 완벽한 안전성을 보장하는 원전을 건설할 수 있을 것으로 기대한다. □

참고문헌

1. ACI Committee 349, Requirements for Nuclear Safety-Related Structures, American Concrete Institute.
2. ASCE Standard 4-98, Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures and Commentary on Standard for Seismic Analysis of Safety-Related Nuclear Structures, ASCE, 1998.
3. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Division 2 (ACI-359), Code for Concrete Reactor Vessels and Containments, American Society of Mechanical Engineers.
4. USNRC, Reg. Guide 1.60, Design Response Spectra for Nuclear Power Plants.
5. USNRC, Reg. Guide 1.61, Damping Values for Seismic Analysis for Nuclear Power Plants.
6. USNRC, Reg. Guide 1.142, Safety-Related Concrete Structures for Nuclear Power Plants.
7. Seismic and Geologic Siting Criteria for Nuclear Power Plants, USA, 10 CRF 100, Appendix A.
8. USNRC, Standard Review Plan, NUREG-0800
9. 이종립, 장천중, 주광호, '원자력발전소의 내진 안전성 확보', 한국지진공학회 2000년도 춘계학술대회 논문집, 2000, pp. 3 ~ 16.
10. 조양희, '원자력발전소의 내진설계', 콘크리트학회지, Vol. 5, No. 2, 1993.6. pp. 46 ~ 53.

표 3. 원전 콘크리트 구조물에 적용되는 설계기준의 종류

건물의 종류	설계기준
격납건물	ASME Section III, Division 2, CC-3000
내진범주 I급 구조물	ACI 349
비내진범주 I급 구조물	ACI 319

담당 편집위원 :
양인환(군산대학교) ihyang@kunsan.ac.kr