KSCE magazine

국가 내진설계기준의 현황 및 개선방향

Current Status and Improvement of National Seismic Design Standards

김익현 | Ickhyun Kim | 울산대학교 건설환경공학부 교수, 우리 학회 지진위원회 위원장
조경식 | Kyungsik Cho | ㈜DM엔지니어링 대표이사, 우리 학회 구조위원회 위원장

1. 서론

우리나라 국가 주요기반시설물에 대한 내진설계는 자연재해(태풍, 풍수해 및 지진)로부터 시설물의 안전성을 확보하기 위하여 「자연재해대책법」을 제정(1996)하면서 본격화 되었다. 「자연재해대책법」에 따라 20종의 시설물이 내진설계 법정시설물로 지정되었으며, 2008년에는 지진에 대한 중요성을 인식하여 「자연재해대책법」에서 지진을 분리하여 독립적인 「지진재해대책법」으로 전면 개정(2008)하고 내진설계 법정시설물을 31종으로 확대하였다. 2016년에는 「지진·화산재해대책법」(2016년, 이하 '지진대책법')'으로 개정하였으며 2018년에 2종의 시설물을 추가하여 현재에는 33종의 시설물이 내진설계 법정시설물로 지정되어 있다.
한편, 행안부에서는 시설물의 내진설계기준의 일관성을 확보하기 위하여 「지진·화산재해대책법 시행령」 제10조의 2에 의거하여 「내진설계기준 공통적용사항」을 공표(2017)하였으며, 2018년 말까지 이를 적용하여 내진설계기준을 재정비(제·개정)하도록 요구하였다. 이에 따라 대부분의 내진설계기준이 재정비되었으나([표1] 참조) 이 과정에서 몇몇 문제점들이 노출되었다.
여기에서는 주요기반시설물에 대한 내진설계기준 현황과 이번 재정비를 통해 나타난 문제점을 파악하고, 향후 시설물 내진설계기준의 합리적인 정비방안에 대해 기술하였다.

소관부처	대상시설	설계기준
국토교통부	건축물	건축구조기준
	공항시설	공항시설 내진설계기준
	수문(국가하천)	하천설계기준
	다목적댐	댐 설계기준
	일반댐	
	도로시설물	도로교 설계기준, 터널 설계기준
	도시철도	도시철도 내진설계기준
	철도시설	철도설계기준
	고속철도	
	공동구	공동구 설계기준
	궤도시설	궤도시설의 건설에 관한 설비기준
	물류터미널	건축구조기준 준용
산업통상자원부	가스공급시설, 고압가스저장소, 액화석유가스 저장시설	가스시설 및 지상 가스배관 내진설계기준 지하매설 가스배관 내진설계기준
	석유정제·비축 및 저장시설	가스시설 및 지상 가스배관 내진설계기준 위험기계·기구 의무안전 인증고시(압력용기) API 650
	송유관	송유관설치공사의 내진설계기술기준
	발전용 수력·화력설비, 송전·배전·변전설비	전기설비 기술기준 송변전설비 내진설계지침
	열수송관	열수송관 내진설계기준
환경부	산업단지 공공폐수 처리시설	폐수종말처리시설 설치 및 운영관리지침 (하수도 시설기준 준용)
	수도시설	상수도시설기준
	폐기물매립시설	폐기물 매립시설 내진설계기준
	공공하수처리시설	하수도시설기준
고용노동부	압력용기	위험기계·기구 의무안전 인증고시
	크레인	
	리프트	
농림축산식품부	배수갑문	농업생산기반정비사업계획 설계기준
	농업생산기반시설	
해양수산부	어항시설	항만 및 어항 설계기준
	항만시설	
교육부	학교시설	학교시설 내진설계기준
문화체육관광부	유기시설	유기시설·유기기구 안전성검사의 기준 및 절차
과학기술정보통신부	방송통신설비	방송통신설비의 안전성·신뢰성 및 통신규약에 대한 기술기준에 관한 규정
원자력안전 위원회	원자로 및 관계 시설	원자로시설의 위치에 관한 기술기준 고시
보건복지부	종합병원, 병원, 요양병원	건축구조기준 준용

표 1. 내진설계 대상시설물 및 내진설계기준 현황

2. 내진설계기준 재정비(제·개정) 관련 문제점

내진설계기준 현황을 파악하기 위해서는 관계법령을 이해할 필요가 있다. 「지진·화산재해대책법」([표2])에서는 대통령령으로 정하는 시설물(현 33종 시설물)에 대해서는 관계법령 등에 내진설계기준을 정하고 그 이행에 필요한 조치를 취하도록 하고 있으며, 동법 시행령 제10조의 2에 규정한 '내진설계기준 공통적용사항'을 반영하여야 한다. 따라서, 각 시설물은 그 시설물의 중요도에 따라서 요구되는 내진성능수준과 구조 거동 특성을 고려하여 독자적인 내진설계기준을 제정하여 운영하는 것이 원칙이다.

이번 시설물의 내진설계기준의 재정비에서 나타난 주요 문제점은 다음과 같다.

① 산업시설 또는 공항시설은 많은 주요설비를 포함하고 있다. 이들 시설은 설계지진에 대해도 손상이 작아서 조속한 시일 내에 기능을 회복하는 것이 중요하다. 따라서 이들 시설에서의 설비는 매우 중요한 시설물(주 구조물)이고 이를 수용하고 있는 건물은 부수적인 시설물(부 구조물)에 해당한다. 그럼에도 불구하고 이들 설비의 내진설계를 「건축구조기준('인명보호수준')」을 인용함으로써 요구 내진성능을 확보하지 못한다.

② 상하수도시설, 공항시설과 같이 하나의 시설 내에 토목시설물과 건축물이 혼재되어 있는 경우, 심지어 하나의 구조물임에도 불구하고 일부는 「건축구조기준」을 따르고 다른 일부는 토목시설의 관련 기준을 따르는 경우, 일관성 있는 내진성능을 확보하는데 문제점이 발생한다.
시설물의 내진설계기준에서는 행안부의 「내진설계기준 공통적용사항」을 적용하는 것이 원칙이지만 시설물에 따라 보다 높은 수준의 내진성능을 확보한다면 「내진설계기준 공통적용사항」과 다른 규정도 일부 허용하고 있다.
'설계지진'의 분류, '설계응답스펙트럼'의 형상, 요구 '내진성능수준' 등에서 「건축구조기준」은 다른 시설물의 내진설계기준과 다르게 규정되어 있다. 따라서 하나의 사이트에 놓인 토목시설물과 건축물의 내진성능에 차이가 있으며 하나의 구조물에 대해서도 다른 내진성능이 확보되는 문제점이 발생한다. 이를 해결하기 위해서는 토목구조설계와 건축구조설계를 하나로 통합하는 설계기준이 필요하다. 우리나라와 같이 토목전공과 건축전공이 엄격히 구분되어 있는 환경에서는 이를 단기간에 통합하는 것은 쉽지 않지만 장기적인 계획을 가지고 지속적으로 노력할 필요가 있다.

③ 관계법령에 의거하여 33종의 시설물에 대해서는 독자적인 내진설계기준을 구비하여야 한다. 국토부, 해수부 등의 소관 시설물에 대해서는 오래전부터 내진설계기준이 잘 정비되어 있었지만 산업부, 환경부 등의 소관 시설물은 상대적으로 내진설계기준이 잘 정비되어 있지 않다. 일부 시설물에서는 내진설계에 대한 선언적 수준의 규정만 있을 뿐 실제 이 기준을 적용하여 시설물을 내진설계 할 수 없는 미흡한 기준도 많이 있다. 이는 시설물을 소관하는 중앙부처별로 내진설계기준을 운영하고 있기때문으로 시설물 전반에 대한 합리적인 내진설계기준을 정립하기 위해서는 소관부처별이 아닌 시설물 중심(그룹화)의 통합기준을 확립할 필요가 있다. 이에 대해서는 다음 절 이하에서 상세히 기술하였다.

지진·화산재해대책법(법률 제15460호)
제4장 내진대책, 제14조(내진설계기준의 설정) ① 관계 중앙행정기관의 장은 지진이 발생할 경우 재해를 입을 우려가 있는 다음 각 호의 시설 중 **대통령령으로 정하는 시설**에 대하여 **관계 법령 등에 내진설계기준을 정하고 그 이행에 필요한 조치를 취하여야 한다.** ④ 행정안전부장관은 제1항의 내진설계기준 등에 활용하기 위하여 국가 내진성능의 목표와 **내진설계기준별로 공통적으로 적용되는 설계지반운동 등** 대통령령으로 정하는 사항에 대하여 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 정할 수 있다.
지진·화산재해대책법 시행령(대통령령 제29617호)
제4장 내진대책 제10조의 2**(내진설계기준 공통적용사항)** 1. 국가 내진성능의 목표 2. **내진설계기준 공통적용사항** 가. 지역에 따른 설계지진의 세기 나. 지반분류 다. 설계지반운동의 특성표현 라. 내진성능수준 분류체계 마. 설계지진 분류체계 바. 내진등급 분류체계

표 2. 지진·화산재해대책법 및 동법 시행령

3. 현 내진설계기준에서의 기술적 문제점(미비점)

과거부터 내진설계기준이 잘 정비되어 있는 교량, 항만, 건축물 등을 제외하면 많은 다른 시설물의 내진설계기준은 그 내용면에서 미흡하다. 특히 산업 관련시설물은 더욱 그러하다. 내진설계 대상시설물 중 내진설계기준이 미흡한 시설물을 몇몇 시설물로 그룹화하여 문제점(미비점)과 개략적인 개선사항을 분석하면 다음과 같다.

• 유체탱크

구분	현황	개선사항
적용범위	• 다양한 물탱크의 내진기준 부재 • 금속재, 방파판이 있는 경우만을 대상으로 함	• 지붕 유무의 고려
타하중 고려 및 조합	• 벽체의 설계하중, 바닥면의 마찰력, 앵커설계하중, 기초설계하중, 슬로싱(sloshing) 하중 등의 고려가 미흡	• 다른 하중의 적절한 고려 • 유체의 선형과 비선형 거동 고려
지진해석법	• 벽체는 강체로 가정	• 유체탱크의 형상(원형, 사각형) 고려 • 재료(스테인레스, 콘크리트, FRP, PE 등)의 고려 • 강체벽과 유연벽의 고려

• **압력용기**

구분	현황	개선사항
적용범위	• 동체의 길이가 5m 이상인 수직형 압력용기	• 모든 용량 포함, 모든 형태 (수직, 수평, 평저 등)
내진등급	• 명시규정 없음 (위험도계수=1.0 --> 내진II등급만 고려)	• 내진등급 상세화 - 처리 물질 특성(위험도) 고려 - 압력 크기, 저장용량, 피해시 영향도 고려 - 개별 시설물이 아닌 전체 공정단위 또는 유틸리티 단위로 내진등급을 분류
내진성능 수준	• 명시규정 없음(붕괴방지만 고려)	• 내진성능수준 다양화 - "내진설계기준 공통적용사항(행안부, 2017)"에 의거 최소한 2개 이상의 내진성능수준 정의 - 추후 4개의 내진성능수준(기능수행, 즉시복구, 장기복구/인명보호, 붕괴방지)에 대해 확장
지진하중	• 단일모드해석에 의한 지진하중 산정	• 구조형태 및 진동특성을 반영한 지진하중 결정법 채택
타하중고려 및 조합	• 미고려	• 내부 압력, 기타 운전하중 등
지진해석법	• 해석모델 미제시, 주기산정법 미제시	• 구조 특성별 해석모델 및 내진성능수준별 해석법 제시
설계법	• 구체적 설계법 미제시	• 내진성능수준별, 부재별 설계거동한계 설정 • 내진성능수준별 설계법 제시 • 단면상세, 연결부, 접속부, 앵커부, 국부좌굴 영향 등 고려
성능기반 설계		• 필요시 허용(성능 검증 절차 제시)

• **전력, 전기통신, 가스공급, 열수송관 시설**

구분	현황	개선사항
가스공급시설	• 액화석유가스 생산시설에 대한 내진설계 부재 • 지상 배관과 매설 배관 내진설계기준의 통합이 필요	• 가스 생산, 저장 및 배송 시설의 내진설계 기준 제정 • 석유화학시설의 내진설계기준 제정
발전시설	• 화력, 수력, 신재생 에너지 생산 시설에 대한 내진설계기준 부재 • 발전소 구조물의 내진설계기준이 부재하여 건축구조기준 내용을 인용 • 발전설비의 내진검증 인허가 제도 부재	• 전력시설의 내진설계기준 제정 • 송전시설편, 변전시설편, 배전시설편, 발전시설편으로 구성 • 설비의 내진검증 혹은 성능인증 제도 마련
송변전시설	• 송전, 배전, 변전 설비에 대한 구조 내진설계기준 부재 • 변전소 구조물 및 시설에 대한 내진 설계기준 부재 • 배전, 변전 설비에 대한 내진 기능성능 인증제도 부재	
전기통신시설	• 국내 환경조건이 배제된 내진시험기준 • 전기통신시설에 대한 내진설계기준 부재	• 전기통신시설의 내진설계기준 제정 • 구조설계 기준 제정 • 설비의 기능 성능 입증제도 규정 보완

• **종합병원, 병원, 요양시설**

구분	현황	개선사항
내진설계기준 일반과 연계성	• 2016년에 마지막 개정	• 내진설계기준 일반과 일관되도록 개정 필요
개정 주체	• 보건복지부, 한국의료복지시설학회의 비전문가가 관리기관임	• 보건복지부, 한국의료복지시설학회와 관련학회의 관계 설정 전략 수립 필요
내진기준		• 비구조요소를 구체적으로 명시하고 설계 절차를 제시할 필요
내진보강 (평가포함) 메뉴얼		• 구조체의 보강은 특등급에 맞춘 차별화된 절차 및 방법 제시 • 비구조요소의 기능유지를 위한 구체적인 보강 방법 제시

• 기계 및 전기설비

구분	현황	개선사항
전기설비 기준 체계	• 전기설비기술기준은 유럽의 IEC 기준을 참조하고 있으므로 미국의 기준 체계를 따르는 토목건축 시설물과의 차이가 있는지 파악해야 함.	• 전기설비기준의 내진기준 체계화
기계설비	• 기계설비의 경우 소방설비에 대해서만 기준이 있고 그 외는 별도의 기준이 제시 되어있지 않음.	• 기계설비에 대한 내진기준 신설
내진등급	• 대부분 설비의 정착부(앵커볼트)에 대한 내진설계기준임. 기능적 손상을 판단하기 위해서는 진동대 실험이 필요하지만 국내에서 합의된 실험 절차가 없음.	• 구조관점이 아닌 기능유지 관점의 공통된 내진성능실험 기준 작성 필요
기반시설물의 내진안전 확보	• 건축물에 속하는 설비와 기반시설물(발전설비, 수도설비 등)에 속하는 설비의 구분 필요	• 기반시설물(발전설비, 수도설비 등)에 속하는 설비의 내진설계기준 제시

• 농업생산기반시설

구분	현황	개선사항
해석방법	• 해석방법의 소개만 있고 구체적으로 제시하지 않음	• 구체적인 해석방법 제시
설계방법	• 구체적인 설계방법 및 허용기준을 제시하지 않음.	• 구체적인 설계방법 및 허용기준을 제시

• 수문(국가하천)

구분	현황	개선사항
해석방법	• 해석방법의 소개만 있고 구체적으로 제시하지 않음	• 구체적인 해석방법 제시
설계방법	• 설계거동한계의 정성적 설명만 제시하고 허용기준을 제시하지 않음	• 구체적인 설계방법 및 허용기준을 제시

4. 개선방향

시설물의 내진설계기준은 관계법령의 위임을 받아 이를 관리하는 중앙부처에서 기준(고시)을 제정하여 운영하고 있다. 따라서, 내진설계 대상 시설물이 추가될 때 마다 새로운 내진설계기준이 제정되어야 한다.
시설물에 따라서는 과거부터 축적된 경험과 설계기술을 바탕으로 내진기준이 잘 정비된 시설물도 있지만 최근에 추가되었거나 설계기술 및 내진관련 전문지식이 부족하여 설계기준이 미흡한 시설물도 있다. 이들 시설물의 내진설계기준에 대한 문제점(미비점)을 요약하면 다음과 같다.

- 시설 기준간에 큰 기술적 편차가 존재
- 중앙부처의 소관시설별(33종)로 많은 기준이 정립되어 있어 일관성, 통합성이 부족
- 시설물 간 요구내진성능수준, 설계방법 및 내진상세 등의 차이에도 불구하고 타 시설 기준의 부적절한 인용
- 하나의 시설(예/압력저장탱크 등)이지만 여러 시설기준(예/가스시설, 석유시설, 압력용기 등)이 적용되어 적용 상 오류가 발생할 가능성이 크며, 기준간 일관성에도 문제가 있음

이와 같은 문제점을 개선하기 위해서는 해외의 모델코드([표3])와 같이 여러 다양한 시설물에 적용할 수 있으면서 설계자가 쉽게 준용할 수 있는 구체적인 통합설계기준(모델코드)을 확립 필요하다.

이와 같은 모델코드를 작성함에 있어서 고려하여야 할 기본원칙은 다음과 같다.

- 적절성 : 시설물의 거동특성에 따라 분류
- 확장성 : 새로운 시설물이 추가되어도 적용 가능
- 용이성 : 설계자가 쉽게 준용

시설물의 거동 특성에 따라 분류하면 [표4]와 같이 분류할 수 있으며, 이들 시설물별로 요구내진성능수준을 구현할 수 있는 구체적인 해석법, 설계법, 내진상세 등을 포함하는 구체적인 모델코드를 작성하는 것이 중요하다.

구분	분류	분석
Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance	– Part 1 : General rules, seismic actions and rules for buildings – Part 2 : Bridges – Part 3 : Assessment and retrofitting of buildings – Part 4 : Silos, tanks and pipelines – Part 5 : Foundations, retaining structures and geotechnical aspects – Part 6 : Towers, masts and chimneys	– Parts 1, 2 & 3에 건물과 교량 다룸 – 그 외는 Parts 4, 5 & 6에서 다룸 – 거동특성이 유사한 시설물 끼리 묶어서 기준 제시 – 다양한 시설을 다루지 못함
ASCE 7 Minimum Design Loads For Buildings and Other Structures	– Ch. 12 Building Structures: ▼ Diaphragms, ▼ Chords, ▼ Collectors, ▼ Walls, ▼ Foundation – Ch. 13 Nonstructural Components: ▼ Architectural Components, ▼ Mechanical and Electrical Components – Ch. 15 Nonbuilding Structures: ▼ Nonbuilding Structures Supported by Other Structures, ▼ Nonbuilding Structures Similar to Buildings, ▼ Nonbuilding Structures Not Similar to Buildings ▼ Tanks and Vessels	– 거동특성에 따라 3개의 대분류: 건물, 비구조요소, 건물외구조로 분류 – 대분류 하에서 거동특성에 따라 다시 중분류 및 소분류하여 기준 제시

표 3. 해외 기술기준

대분류	중분류
저장탱크(storage tanks)	유체저장탱크, 가루저장탱크, 압력탱크, 석유화학저장탱크 등
압력용기(pressure vessel)	유체저장용기, 가스저장용기 등
배관	매설배관, 지상배관, 타 시설물 부착 배관 등
지주구조	타워, 지주, 굴뚝, 철탑, 송전탑, 통신탑, 지지용탑 등
일반구조	지지구조물, 선반구조물 등
특수구조	보호구조물, 유기시설 등
지하구조	공동구, 터널 등
지반구조	기초, 옹벽, 사면, 제방 등
수변구조	취수탑, 수문 등
기계설비	회전기계, 피스톤기계, 보일러 등
전기설비	전기캐비닛, 변압기, 전기제어장치 등
지진보호장치	면진장치, 감쇠장치, 충격완화장치, 낙교방지장치 등

표 4. 모델코드의 시설물 분류안(거동특성에 따른 분류)

5. 결론

우리나라 주요 시설물의 내진설계기준은 관계법령(「지진·화산재해대책법」)에 따라 그 대상시설물이 엄격히 정해져 있으며, 이 법령에 위임을 받아 중앙부처의 소관시설물별로 내진설계기준을 제정하여 운영하고 있다. 최근에 행안부의 「내진설계기준 공통적용사항」을 반영하여 내진설계 법정시설물(33종)의 내진설계기준이 재정비 되었으며 이 과정에서 많은 문제점이 노출되었다.
이 기사에서 살펴본 바와 같이 현행 시설물들의 내진설계기준은 일관성, 통합성, 확장성, 적용성 등에 문제가 있으며, 이에 대한 개선책으로 모델코드의 작성을 제시하였다. 중앙부처의 소관시설물별이 아닌 시설물의 거동 특성별로 유형화하고 이에 적합한 통합 모델코드를 확립하는 것이다. 현행 법·제도 아래에서는 이와 같은 모델코드의 당위성을 인정받기는 쉽지 않지만 법·제도의 개선과 함께 많은 설계기술자가 이를 인용하기 쉽도록 구체적이면서 통합성 있는 모델코드를 작성한다면 자연스럽게 그 당위성을 인정받을 것으로 생각된다. 이와 같은 일련 작업은 토목학회가 중심이 되어 추진하여야 할 중심과제(사명)일 것이다.

WRITER INTRODUCTION

김익현 교수는 동경대 토목공학과에서 입체 프레임구조의 내진성능평가에 관한 연구로 박사학위를 취득한 후 서울대 지진공학연구센터 및 BK21 계약교수를 거쳐 2001년부터 울산대학교 건설환경공학부 교수로 재직하고 있다. 주관심 연구 분야는 토목구조물의 내진설계, 내진평가/보강, 콘크리트구조물의 비선형해석이며, 우리 학회 지진위원회 위원장을 맡고 있다.

ickhyun@ulsan.ac.kr

조경식 대표이사는 서울대 토목공학과에서 Beam-Tendon 요소와 관련된 프로그램개발로 박사학위를 취득하였고, ㈜삼우기술단, ㈜유신을 거쳐, 1992년부터 특수교량전문 설계회사인 ㈜DM엔지니어링에서 케이블교량의 계획 및 설계를 담당하였다. 서해대교, 거금도연도교, 천사대교, 고군산대교(단등교) 등 국내의 대표적인 사장교와 현수교 설계에 참여했으며 2019년 현재 대한토목학회 구조위원회 위원장을 맡고 있다.

drchoks@dm-eng.com

기획 | 정원석 편집부위원장 wschung@khu.ac.kr