nabo

국민에게 힘이 되는 국회

재난안전 관리 현황과 주요 대책 분석 Ⅳ

[지진방재 실태 분석]

국회예산정책처
National Assembly Budget Office

재난안전 관리 현황과 주요 대책 분석 Ⅳ

지진방재 실태 분석

- 시설물 내진대책을 중심으로

2017. 10.

국회예산정책처
National Assembly Budget Office

이 보고서는「국회법」제22조의2 및「국회예산정책처법」제3조에 따라 국회의원의 의정활동을 지원하기 위하여, 국회예산정책처「보고서발간심의위원회」의 심의를 거쳐 발간되었습니다.

발 간 사

정부의 「2016 재해연보」에 따르면, 지난 10년간 태풍, 지진 등 자연재난으로 인한 피해 복구액의 규모는 연평균 7,356억원으로 나타나고 있습니다. 재난은 불확실성이 큰 사건이지만, 국민의 생명 및 신체의 안전과 재산보호에 직접적인 영향을 미치고 있기 때문에 정부와 민간이 함께 대처 역량을 키워야 하는 대표적 분야라고 할 수 있습니다.

정부는 각종 재난에 대한 예방, 대응, 복구를 위하여 「재난 및 안전관리 기본법」을 중심으로 재난·안전관리체계를 구축하여 운영하고 있습니다. 하지만 최근 들어 발생하고 있는 재난은 복합적 양상을 보이며 증가하고 있는 추세여서 보다 총괄적이고 유기적인 대책 추진이 필요한 시점입니다.

국회예산정책처에서는 "모든 재난은 사회적인 것이다(All disasters are social)" 라는 인식 하에 우리나라 재난·안전관리시스템을 재난·안전 관리 재원배분 체계, 주요 분야별 안전관리 실태, 재난보험 운영 현황 등으로 범주화하여 분석하고, 이를 5권의 보고서로 발간하였습니다.

먼저, 기획보고서 1권에서는 재난·안전 예산 관리체계 및 성과평가제도에 대하여 검토하였습니다. 2·3·4권에서는 분야별 안전관리 실태를 점검하였습니다. 2권은 사회재난 분야의 유해화학물질 안전관리, 3권은 시설물 안전관리, 4권은 자연재난 분야의 지진방재를 주제로 정하고, 각 분야 운용실태와 그 간의 성과를 점검하여 시사점을 도출하였습니다. 마지막으로 5권에서는 재난위험을 분산하기 위하여 정부가 재정을 지원하고 있는 재난보험에 대하여 분석하였습니다.

분석 결과를 바탕으로 현행 재난·안전관리체계가 재난 예방을 위하여 효과적으로 작동하기 위한 제도개선 방향과 발생한 재난의 피해에 대해서 정부 재정이 효율적으로 투입될 수 있는 방안을 모색하였습니다.

본 기획보고서가 재난·안전 관리에 대한 국민적 관심을 높이고, 재난 관리 분야에 관심을 갖고 계신 국회의원님들의 의정활동에 기여하기 바랍니다.

2017년 10월

국회예산정책처장 김춘순

요 약

Ⅰ. 분석 배경 및 개요

❑ 경주 지진(2016.9.12. 발생) 이후 지진재해 관리에 대한 사회적 관심이 증대되었으며, 정부는 지진재해 관리를 위한 지진방재를 강화

- ○ 행정안전부(구 국민안전처)는 「지진·화재재해대책법」에 따라 '지진방재종합계획'을 수립
- ○ 지진방재종합계획은 '지진·지진해일 관측', '내진설계 상위기준 설정', '시설물 내진대책 추진', '지진해일 대책', '대응 및 복구', '교육 및 훈련', '연구기능 강화 및 산업육성' 및 '지진방재 기반구축 지원' 등으로 구성

❑ 본 보고서에서는 지진방재를 위해 중요한 대비책 중의 하나가 내진 설계 및 보강이므로, '시설물 내진대책 추진' 관련 사업을 분석

- ○ 지진 발생시 피해의 대부분은 건축물 등 시설물의 붕괴로 사회기능 유지의 근간이 되는 시설들의 기능이 중지되거나 붕괴되어 이를 수습하기 위한 기간에 발생
- ○ 복구를 위한 사회·경제적 비용을 최소화하기 위해 가장 기본적이고 중요한 대비책이 시설물의 내진설계 및 내진보강임
- ○ '시설물 내진대책 추진' 사업은 '신규 시설물에 대한 내진설계'와 '기존 시설물에 대한 내진보강'으로 구성

Ⅱ. 지진방재 정책 및 재정 현황

1. 주요 정책 추진 현황

❑ 행정안전부(구 국민안전처)는 「지진·화산재해대책법」에 따른 「제1차 지진방재종합계획(2015~2019)」에서 대규모 지진발생시 국가차원에서 관

리가능한 정도의 피해규모를 산정하고, 이에 따라 시설물별 중요도를 고려한 내진설계기준 정비 필요성 제시

○ 내진설계기준 정비에 따른 기대효과는 국가 차원의 내진성능 목표를 설정하여 각 시설물별로 하향식으로 체계적 관리를 하고, 대규모 지진발생시 전체적인 내진성능 및 피해산출 가능성 확보임

○ 정부는 민간건축물 내진보강 활성화를 위해 내진보강 대국민 홍보 및 2013년 8월부터 민간건축물 내진보강시 지방세 감면 등의 인센티브 추진

❑ '기존 공공시설물 내진보강 기본계획'은 「지진·화산재해대책법」 제15조 및 시행령 제11조에 근거하여 지진재해로부터 국민의 생명·신체·재산을 보호하기 위하여 기존 공공시설물 내진보강 정책의 기본방향을 제시하는 최상위 계획

○ 각 중앙행정기관과 지방자치단체는 2011년부터 2015년까지 1단계 내진보강 기본계획을 수립·추진

○ 2차 내진보강 기본계획에서는 앞선 5년간의 추진경험을 바탕으로 향후 5년간 기존 공공시설물 내진보강 정책을 통합적으로 운영할 수 있는 방안과 이를 이행하기 위한 중점 추진과제들을 제시함과 동시에 중앙행정기관과 지방자치단체를 포함한 각종 재난관리책임기관들이 세부 이행계획을 수립·운영할 수 있는 지침을 제공

2. 재정투자 현황

❑ 지진방재예산은 '지진대비 인프라 구축', '지진조기 경보체계 강화' 및 '내진보강'으로 구분되며, 행정안전부, 국토교통부 및 기상청 등 관련 부처의 소관 예산으로 구성

○ 2018년도 지진방재 예산안은 전년대비 13.7% 감소한 3,165억원이며, 내진보강 예산은 전체 예산의 77.7%인 2,467억원임

[지진방재 예산 현황]

(단위, 백만원)

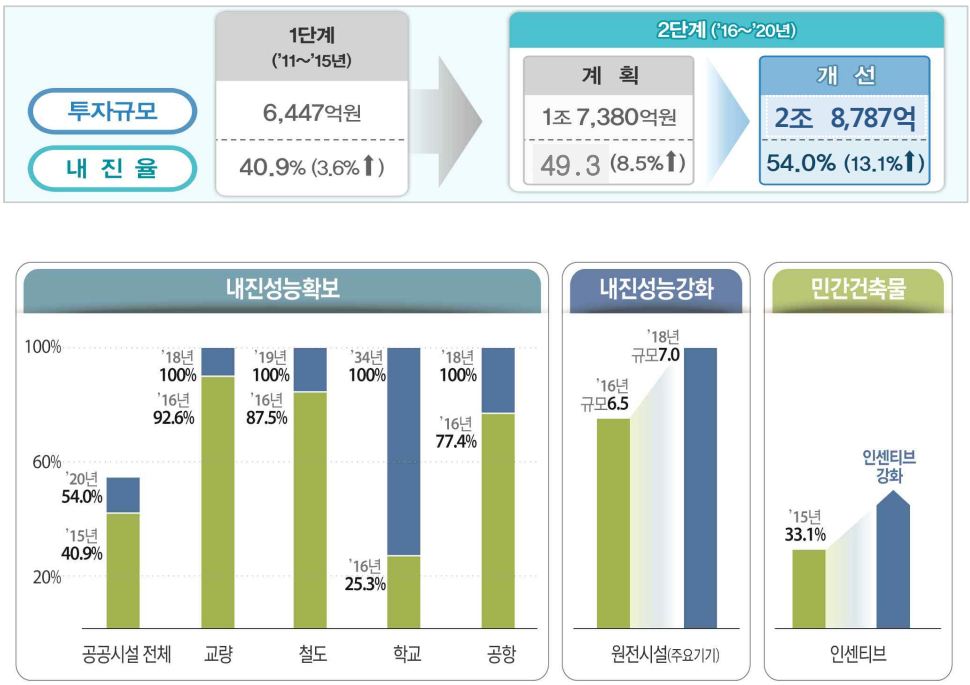
	2016	2017 (A)	2018안(B)	증감(B-A)	
					%
합 계	116,299	366,853	316,537	△50,316	△13.7
지진대비 인프라 구축	24,953	50,142	51,473	1,331	2.7
지진조기 경보체계 강화	8,915	28,913	18,402	△10,511	△36.4
내진 보강	82,431	287,798	246,662	△41,136	△14.3

자료: 기획재정부 제출자료, 2017.

○ 지진방재 관련 중장기 재정투입계획은 「지진방재종합계획」에 제시되어 있으며, 「지진방재종합계획」은 「지진·화산재해대책법」에 근거한 지진방재 분야 최상위 계획임

○ 경주지진 이후, 정부는 내진보강 투자 규모를 확대하여 2020년까지 지진대응체계 완비, 2030년까지 지진방재 종합인프라를 구축할 계획

[「지진방재 종합대책」 상 내진보강 투자 규모]



Ⅲ. 해외 주요국 사례

1. 내진대책 관련 규정

❑ 미국의 내진관련 규정은 Federal Emergency Management Agency(FEMA)와 Building Seismic Safety Council(BSSC)의 지원을 받아 지속적으로 개선

- ○ FEMA는 50년 동안 구조물이 붕괴할 확률이 1%인 기준지진(MCER)에 대해서 구조물의 중요도 및 기능에 따라 각기 다른 한계상태에 대한 허용위험도를 설정
- ○ 미국 시설물의 내진설계기준은 시설물의 내진성능목표, 내진등급 및 설계지진에 대해 일률적이지 않음

[미국의 시설물 별 내진설계기준 비교]

시설물	기준	내진등급	내진성능수준	설계지진세기 (재현주기, 년)	설계응답 스펙트럼
건축물	IBC (ASCE 7)	3개 등급 그룹 I 그룹 II 그룹 III	명시 규정 없음 그룹 I: 인명안전 그룹 II: 인명안전과 즉시거주의 중간정도 그룹 III: 즉시거주	2,400년 재현주기 지진의 2/3수준의 지진	0.2초 및 1.0초 진동주기 구조물의 응답가속도를 기반
도로교	AASHTO	3개 등급 Critical Essential Other	붕괴방지	명시적 규정 없음/응답수정계수로 반영 500, 1000, 2500 수준	0.2초 및 1.0초 진동주기 구조물의 응답가속도를 기반으로 함.
	Caltrans	명시 규정 없음	붕괴방지	1000년 이상	단층파괴, 지진규모 고려
철도	AREMA	명시 규정 없음	사용한계, 극한한계, 붕괴방지	Level 1 : 50~100 Level 2 : 200~500 Level 3 : 1000~2400	$C_m = \frac{1.2ASD}{T_m^{2/3}}$

- European Committee for Standardization은 1990년부터 유럽공동체가 공통으로 적용할 수 있는 설계기준을 개발하여 1998년에 *Eurocode 8; Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures*를 발행
  - 이 규범은 각 나라의 특수한 여건과 관계없이 공통으로 적용될 수 있는 기술적 사항을 규정하고 있으며, 각 나라에 특수한 조건들은 National Application Document에 포함되는 체계를 취하고 있음
- 2004년에 *Eurocode 8; Design of Structures for Earthquake Resistance*가 발행되었으며 도로교에 대한 내진설계기준은 *Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 2. Bridge(2005)*에서 규정하여, 일관성 있는 시설물의 내진성능목표를 부여
  - Eurocode 8은 구조물에 대한 내진기준을 제시하고 있으며, 성능기반기준으로 지진에 대한 구조물의 목표성능을 제시하고 이를 만족할 것을 요구

2. 일본의 내진보강 현황

- 일본에서는 1995년에 「건축물의 내진개수촉진에 관한 법률」을 제정하여 기존 건축물의 내진보강사업을 지속적으로 추진
  - 일본의 「건축기준법」에서 정하고 있는 '내진 기준'이란 과거에는 리히터 규모 5 정도의 지진에 거의 손상되지 않음을 검증하는 것이었으나, 1981년 6월 이후로는 리히터 규모 6~7에 달하는 진도의 지진에도 도괴·붕괴되지 않음을 검증하는 것으로 강화
- 일본 정부에서는 건축물에 대한 내진보강사업을 강화하기 위하여 2013년 11월에 「건축물의 내진개수촉진에 관한 법률」을 개정·시행
  - 2013년 현재까지 약 900만호의 주택과 약 6만호의 다중이용건축물에서 여전히 내진성능이 확보되지 않은 것으로 조사
  - 개정된 「건축물의 내진개수촉진에 관한 법률」은 주택 및 다수가 이용하는 건축물, 예컨대 학교, 체육관, 병원, 극장, 공동주택, 집회장, 백화점, 사무소 등의 내진화율을 2020년까지 95%로 상향시키는 것을 목표

3. 우리나라에 대한 시사점

❑ 해외 내진설계기준들을 활용하여, 우리나라의 특수한 조건을 반영한 내진설계 기준을 마련하는 방안을 검토할 필요

○ 미국과 유럽의 내진설계기준은 지질학적 특성이 상이한 넓은 면적을 대상으로 하므로, 지역별 특수한 여건과 관계없이 공통으로 적용될 수 있는 기술적 사항을 규정하고 지역별 특수한 조건들을 반영하는 체계를 취하고 있음

❑ 행정안전부는 국내 내진기준을 개선하였으나, 개선된 내진기준에 맞추어 내진성능 확보율을 높이기 위해서는 합리적인 대책 마련이 요구됨

○ 지진이 빈번한 일본은 1981년에 내진기준을 상향시킴에 따라 2013년 현재까지 약 900만호의 주택과 약 6만호의 다중이용건축물에서 여전히 내진성능이 확보되지 않은 것으로 조사

Ⅳ. 주요 쟁점 분석

1. 기존 시설물의 내진보강 실효성

❑ 내진보강의 기준이 되는 지진하중 결정을 위해 적정한 지반조사를 수행할 필요가 있으며, 관련 예산도 적절히 편성될 필요

○ 지진하중은 지반종류에 따라 달라지는데, 지반종류는 지반조사 결과에 의해 결정됨

– 아래 [표]의 지반종류 IV인 지반 위에 건설된 교량의 지진하중은 동일한 지역에서 지반종류 I인 지반 위에 건설된 교량의 지진하중보다 2배 크게 됨

[지반분류체계(「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」 기준)]

지반 종류	지반종류의 호칭	지표면 아래 30m 토층에 대한 평균값		
		전단파 속도 (m/sec)	표준관입시험 (N치)	비배수전단 강도(kPa)
Ⅰ	경암지반, 보통암지반	760 이상	-	-
Ⅱ	매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반	360 - 760	> 50	> 100
Ⅲ	단단한 토사지반	180 - 360	15 - 50	50 - 100
Ⅳ	연약한 토사지반	180 미만	< 15	< 50
Ⅴ	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반			

○ 현행 내진보강을 위한 지반종류 선택은 대부분 시공 당시 시행된 표준관입시험 결과를 기준으로 이루어지고 있는데, 시공된 시설물의 내진보강을 위해서는 지반의 전단파 속도를 측정할 수 있는 탄성파탐사를 통해 지반종류를 결정하는 것이 바람직할 것임

2. 내진보강 시기 조정

❑ 국토교통부는 2017년 3월에 발표된 '내진설계기준 공통적용사항'에 맞추어 각 시설물들의 내진설계기준을 개정한 이후 내진보강을 추진하는 방안을 고려할 필요

○ 「지진·화산재해대책법」 제15조제1항은 내진설계기준에 미달하는 기존 시설물의 내진보강계획을 수립하도록 규정하고 있으나, 행정안전부는 '내진설계기준 공통적용사항'에 따라 기준 강화 이전에 기보강한 시설은 내진성능이 확보된 것으로 인정할 수 있다는 방침을 수립

○ 일본은 「건축기준법」에서 정하고 있는 '내진 기준'을 과거에 리히터 규모 5 정도의 지진에 거의 손상되지 않음을 검증하는 것으로 규정하였으나, 1981년 6월 이후로는 리히터 규모 6~7에 달하는 진도의 지진에도 도괴·붕괴되지 않음을 검증하는 것으로 강화

– 1995년 1월 발생한 고베 대지진의 경우, 사망자의 약 90%가 건축물 붕괴 및 가구의 전도에 기인한 것으로 조사되었으며, 그 가운데 현행 내진기준에 미달하는 1981년 이전의 건축물에서 피해가 집중

3. 신설 구조물에 대한 내진설계 적정성

❑ 구조물의 내진성능은 적정한 내진설계 및 시공을 통해 확보되는 것이므로, 원자력 발전소, 원전수거물관리센터(방폐장), 교량, 댐, 터널에 대한 관련 규정을 보완하여 내진설계 적정성 확보할 필요

○ 내진설계를 위한 지진해석은 정적해석과 동적해석으로 수행되는데, 정적 지진해석은 적정한 방식으로 수행되고 있으나 동적해석 방식은 보완될 필요

– 정적해석은 시간에 따라 변하는 지진진동을 하나의 고정하중으로 변환하여 수행하는 내진해석

❑ 내진설계 관련 기술기준 보완 필요

○ 정부는 내진설계에 사용되는 동적해석 등을 위한 세부적인 기술기준들을 보완하고, 실무 차원에서 사용할 수 있는 지진하중을 제공할 필요

– 해외에서는 기존에 자국에서 발생한 지진자료에 근거하여 지진하중을 산정하고 있지만, 국내에서는 내진설계에 사용할 수 있는 지진자료가 없어 지진하중 산정에 어려움

– 터널에 대한 지진해석의 경우, 지진해석 방법론이 정립되지 않아 설계기술자마다 다른 방법론으로 지진해석을 수행하고 있으므로, 발주청들은 지진해석 방법론의 적정성에 대하여 충분히 검증할 필요

– 관련 규정에 따라 주요 사회기반시설에 대한 내진설계를 위해서는 기본적으로 3차원 지진해석이 이루어져야 하므로, 국토교통부는 3차원 지진해석을 수행할 수 있는 세부 기술기준을 마련할 필요

○ ‘원자력안전위원회규칙’인 「원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙」은 원자로시설을 “지진 또는 지각의 변동이 일어날 가능성이 희박하다고 인정되는 곳에 설치”하도록 규정하고 있으므로, 원자력안전위원회는 이에 대한 하위 기술기준을 마련하거나 최신 내진설계기준을 반영하여 동 규정의 개정을 검토할 필요

Ⅴ. 정책 시사점

❑ 정부는 실효성 있는 지진방재를 위한 재정투자 및 정책 수립 필요

- ○ 국토교통부는 2017년 3월에 발표된 '내진설계기준 공통적용사항'을 반영한 내진설계기준을 수정한 이후 내진보강을 추진하는 방안을 검토할 필요
- ○ 내진보강의 기준이 되는 지진하중을 결정하기 위해서는 적정한 지반조사를 수행할 필요가 있으므로, 관련 예산이 편성될 필요
- ○ 관련 규정에 따라 주요 사회기반시설에 대한 내진설계를 위해서는 기본적으로 3차원 지진해석이 이루어져야 하므로, 국토교통부는 3차원 지진해석을 수행할 수 있는 세부 기술기준을 마련할 필요

❑ 내진설계 기준의 개선에는 막대한 자원이 소요되므로, 원자력 관련 내진설계기준과 같이 일반 시설물의 내진설계 기준도 해외 기준을 준용하는 방안을 신중히 검토할 필요

- ○ 미국과 유럽의 내진설계기준은 지질학적 특성이 상이한 넓은 면적을 대상으로 하므로, 지역별 특수한 여건과 관계없이 공통으로 적용될 수 있는 기술적 사항을 규정하고 지역별 특수한 조건들을 반영하는 체계를 취하고 있음

차 례

CONTENTS

I. 분석 배경 및 개요 / 1

II. 지진방재 정책 및 재정 현황 / 3

1. 주요 정책 추진 현황 ····· 3
가. 지진방재종합계획에 따른 내진설계기준 정비 ····· 3
나. 기존 공공시설물 내진보강 ····· 3
다. 내진설계 기준 현황 ····· 4
2. 재정투자 현황 ····· 7
가. 예산 현황 ····· 7
나. 중장기 재정계획 ····· 7

III. 해외 주요국 사례 / 11

1. 지진방재 관련 규정 ····· 11
가. 미국 ····· 11
나. 유럽 ····· 13
다. 일본 ····· 14
2. 일본의 내진보강 현황 ····· 16
3. 우리나라에 대한 시사점 ····· 17

IV. 주요 쟁점 분석 / 19

1. 기존 시설물의 내진보강 실효성 ····· 19
2. 내진보강 시기 조정 ····· 21
3. 신설 구조물에 대한 내진설계 적정성 ····· 23

V. 정책 시사점 / 25

참 고 문 헌 / 27

부 록 / 29

표 차례

CONTENTS

[표 1] 국토교통부 소관 시설물별 내진설계 기준 현황 ····· 6
[표 2] 지진방재 예산 현황 ····· 7
[표 3] 제1차 지진방재종합계획 재정 투자계획('15~'19년) ····· 8
[표 4] 미국의 시설물별 내진설계기준 비교 ····· 12
[표 5] Eurocode 8 내진등급 ····· 13
[표 6] 일본의 시설물별 내진설계기준 비교 ····· 15
[표 7] 지반증폭계수(「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」 기준) ····· 19
[표 8] 지반분류체계(「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」 기준) ····· 20
[표 9] 지반분류체계(「내진설계기준 공통적용사항」 기준) ····· 21
[표 10] 지반증폭계수(「내진설계기준 공통적용사항」 기준) ····· 21

그림 차례

[그림 1] 「지진방재 종합대책」 상 내진보강 투자 규모 ····· 9
[그림 2] 「내진설계기준 공통적용사항 공표(안)」의 가속도
표준설계응답스펙트럼 ····· 22

I. 분석 배경 및 개요

경주지진이 발생한 이후,[1] 한반도가 지진에 관해서 안전지대라고 볼 수 없게 되었다. 그러나 지진이 일어난다고 항상 지진피해가 발생하는 것은 아니다. 미국 지질조사국(United States Geological Survey)의 자료에 따르면 규모 4.5 이하의 지진에 의해서는 지진 피해가 거의 발생하지 않는다고 한다.[2] 그 이유는 규모 5[3] 이하의 지진에 의해서는 유의미한 구조적 피해가 거의 발생하지 않기 때문이다.[4]

규모의 하한을 5.0으로 정하면 이에 해당하는 우리나라에서 발생한 지진의 수는 극히 적다. 그러나 우리나라 지진학자들은 우리나라에서 예상되는 최대지진의 크기를 규모 6.8로 추정하고 있다. 우리나라에서는 향후 발생할 수도 있는 지진재해를 최소화하기 위해 안전 확보 측면에서 내진설계를 시행하고 있다.

국내 내진설계는 1988년부터 이루어졌으며, 정부는 「지진·화산재해대책법」에 근거하여 '내진설계기준 설정·운영 및 적용실태 확인'을 시행해야 한다.[5] 그런데 국토교통부에서는 건축 인·허가 과정의 내진설계 전문성을 보완하기 위해 지역별로 건축안전센터를 설립하고[6] 국가SOC안전관리본부를 한국시설안전공단 내에 설치하는 방안을 추진하고 있다.[7] 정부의 지진대응 현황을 고려할 때, 현재 국내 내

1) 2016년 9월 12일 발생

2) 재난안전기술개발사업단, 「지진가속도 분석 등을 통한 설계지반운동 표시방법 고도화기술 개발」, 구) 국민안전처, 2016, 63쪽.

3) 강진국가에서 지진위험도 해석과 설계스펙트럼 도출에는 일반적으로 규모 5 이상의 지진에 의한 기록이 사용되고 있다.

4) Nakamura Y. *Real-Time Information Systems for Hazard Mitigation. 11th World Conference on Earthquake Engineering*, Acapulco, Maxico; 1996 Jun 23~28: Paper No.2134, 1996.

5) 「지진·화산재해대책법」[(타)일부개정 2016.3.29 법률 제14113호 시행일 2017.3.30]
제3조(국가와 재난관리책임기관의 책무) ③ 「재난 및 안전관리 기본법」 제3조제5호에 따른 재난관리책임기관(이하 "재난관리책임기관"이라 한다)의 장은 지진·화산재해를 줄이기 위하여 다음 각 호의 업무 중 소관 사항에 대하여 필요한 조치를 취하여야 한다.<개정 2015.7.24>
2. 내진대책
다. 내진설계기준 설정·운영 및 적용실태 확인

6) 국토교통부, 「내진설계확인서, 국토부에서 전문기관과 공동 검증」, 보도참고자료, 2016.10.20.

7) 국토교통부, "SOC 6,209곳 내진성능 특별점검…"지진 피해 없어" GIS 기반 안전정보체계·시설물 상시 안전망 구축 등 지진대응체계 확보 추진", 「보도자료」, 2016.12.28.

진설계의 적정한 관리를 위해서는 추가적인 개선이 요구될 수 있다.

지진 발생시 피해의 대부분은 건축물 등 시설물의 붕괴로 사회기능 유지의 근간이 되는 시설들의 기능이 중지되거나 붕괴되어 이를 수습하기 위한 기간에 발생되는데, 복구를 위한 사회·경제적 비용을 최소화하기 위해 중요한 대비책 중의 하나가 시설물의 내진설계 및 내진보강이다.[8] 따라서 본 보고서에서는 '시설물 내진대책 추진' 관련 사업을 검토한다. '시설물 내진대책 추진' 사업은 '신규 시설물에 대한 내진설계'와 '기존 시설물에 대한 내진보강'으로 구성된다.

8) 구) 국민안전처, 「2단계(2016~2020) 기존 공공시설물 내진보강 기본계획」, 2016, 3쪽.

II. 지진방재 정책 및 재정 현황

1. 주요 정책 추진 현황

가. 지진방재종합계획에 따른 내진설계기준 정비

행정안전부(구 국민안전처)는 「지진재해대책법」에 근거한 「제1차 지진방재종합계획(2015~2019)」[9]에서 대규모 지진발생시 국가차원에서 관리가능한 정도의 피해규모를 산정하고, 이에 따라 시설물별 중요도를 고려한 내진설계기준 정비 필요성을 제시하였다.[10] 정비에 따른 기대효과는 국가 차원의 내진성능 목표를 설정하여 각 시설물별로 하향식으로 체계적 관리가 가능하고, 대규모 지진발생시 전체적인 내진성능 및 피해산출 가능성을 확보할 수 있다는 것이다.

한편 정부는 민간건축물 내진보강 활성화를 위해 내진보강 대국민 홍보 및 2013년 8월부터 민간건축물 내진보강시 지방세 감면 등의 인센티브를 추진하고 있다.

나. 기존 공공시설물 내진보강

정부는 지진으로 인한 국민의 생명과 재산을 보호함과 동시에 사회·경제적 피해를 최소화하기 위하여, 국가차원에서 시설물의 내진설계를 위한 법적 근거를 지속적으로 마련하였다. 특히 「지진·화산재해대책법」에서는 내진설계기준이 제정되기 이전이나 내진설계기준이 강화되기 이전에 준공되어 현행 내진설계기준에서 요구하는 내

---

9) 「지진·화산재해대책법」
제9조의2(지진방재종합계획의 수립·추진 등) ① 중앙대책본부장은 지진재해로부터 국민의 생명과 재산, 주요 기간시설을 보호하고 지진방재업무의 지속적인 발전을 위하여 5년마다 다음 각 호의 사항이 포함된 지진방재종합계획(이하 "종합계획"이라 한다)을 수립하여 「재난 및 안전관리 기본법」 제9조에 따른 중앙안전관리위원회에 보고하여야 한다.
1. 지진방재정책의 기본방향에 관한 사항
2. 지진방재업무의 체계적 발전방안에 관한 사항
3. 지진방재 연구개발의 촉진에 관한 사항
4. 지진방재업무의 국내외 관계 기관 간 협력에 관한 사항
5. 그 밖에 중앙대책본부장이 지진방재정책에 필요하다고 인정하는 사항

10) 구) 국민안전처, 「제1차 지진방재종합계획(2015~2019)」, 2015, 38쪽.

진성능수준을 달성하기 어렵다고 판단되는 건축물, 학교시설, 도로시설, 가스시설, 철도시설 등 31종 기존 공공시설물에 대한 내진성능 확보를 위해 내진보강 기본계획[11]을 5년마다 수립·시행하도록 의무화하였다.

이에 각 중앙행정기관과 지방자치단체는 2011년도부터 2015년도까지 1단계 내진보강 기본계획을 수립·추진하였으며, 기존 공공시설물 내진보강 정책을 통합적으로 운영할 수 있는 방안과 이를 이행하기 위한 중점 추진과제들을 제시함으로써 중앙행정기관과 지방자치단체를 포함한 각종 재난관리책임기관들이 세부 이행계획을 수립 운영할 수 있는 지침을 제공하였다.

2차 내진보강 기본계획에서는 앞선 5년간의 추진경험을 바탕으로 향후 5년간(2016~2020) 기존 공공시설물 내진보강 정책을 통합적으로 운영할 수 있는 방안과 이를 이행하기 위한 중점 추진과제들을 제시함과 동시에 중앙행정기관과 지방자치단체를 포함한 각종 재난관리책임기관들이 세부 이행계획을 수립·운영할 수 있는 지침을 제공한다.

다. 내진설계 기준 현황

국내 내진설계는 1988년부터 시설물별[12]로 독자적인 설계기준에 따라 이루어졌다. 1995년에 「자연재해대책법」을 제정하여 지진에 대한 시설물의 안전성을 확보하도록 하였고, 「지진재해대책법」 제정 이후 한국지진공학회에서는 일관성 있는 내진설계기준을 정립하기 위하여 모든 시설물에 공통적으로 적용될 수 있는 공통사항을 정의한 성능기준[13]을 1997년에 발간하였다. 이후 내진설계기준을 새롭게 제정하는 시설물의 경우에는 이를 따르도록 하였다.

상위기준에서 적용되고 있는 시설물의 내진성능수준은 작은 지진에 대해서는 기능수행수준, 큰 지진에 대해서는 붕괴방지수준으로 국외의 다른 내진설계기준의 내진성능목표와 유사하다.[14] 상위기준은 수정 없이 현재까지 사용되면서 최신의 연구성과가 반영되지 않고 있다. 반면 시설물에 따라서는 과거의 설계관습을 유지하

11) '기존 공공시설물 내진보강 기본계획'은 「지진·화산재해대책법」 제15조 및 시행령 제11조에 근거하여 지진재해로부터 국민의 생명·신체·재산을 보호하기 위하여 기존 공공시설물 내진보강 정책의 기본방향을 제시하는 최상위 계획이다.

12) 1988년 건축물, 고속철도 1991년, 도로교 1992년, 댐 1993년

13) 내진설계기준연구 II('상위기준'으로도 명명된다.)

14) 국립재난안전연구원, 「내진설계 기준 정비 방안」, 2013, 1~2쪽.

거나 국내외의 새로운 연구성과를 반영하여 내진설계기준을 수차례 개정하면서 시설물 간의 일관성이 결여되어 있다.[15]

행정안전부(구 국민안전처)는 시설별[16]로 서로 다른 내진설계기준의 통일성 확보를 위해 「지진·화산재해대책법」에 따라 2017년 3월에 '내진설계기준 공통적용사항'[17]을 마련·통보[18]하였다. 국토교통부는 행정안전부의 내진설계기준 공통적용사항 설정 이후에 소관 시설분야의 내진 설계기준에 대한 재조정 여부를 검토할 예정이다.

국토교통부는 [표 1]과 같이 건축, 도로, 철도, 공항, 댐 등 11개 시설물의 내진설계기준을 제정·운영 중에 있다. 시설물의 내진설계 적용은 시설물이 위치한 지역의 지진 위험수준(지반운동 가속도)을 기준으로 정한 지진구역[19]과 시설물별로 중요도(인명·재산피해 등)를 기준으로 정한 내진등급[20]을 고려하여 내진성능을 적용하고 있다.

---

15) 국립재난안전연구원, 「내진설계 기준 정비 방안」, 2013, 3~4쪽.

16) 11개 기관 소관 31종 시설

17) [내진설계기준 공통적용사항] ① 국가 내진성능의 목표 ② 지역에 따른 설계지진의 세기 ③ 지반분류 ④ 설계지반운동의 특성표현 ⑤ 내진성능수준 분류체계⑥ 설계지진 분류체계 ⑦ 내진등급 분류체계

18) (근거) 「지진·화산재해대책법」 제14조(내진설계기준의 설정) 및 같은법 시행령 제10조의2(내진설계기준 공통적용사항)

19) (지진구역) 지반운동 가속도를 반복적으로 측정하여 각 지역의 위험수준을 Ⅰ지역, Ⅱ지역으로 구분 ☞ 제주도·강원도 북부(Ⅱ지역)를 제외한 전지역은 Ⅰ지역

20) (내진등급) 각 시설물별로 인명·재산피해 정도, 경제활동에 미치는 영향 등 중요도를 고려하여 특등급, Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분(시설별로 지정)

[표 1] 국토교통부 소관 시설물별 내진설계 기준 현황

No	대상시설		설계기준	내진 등급	설계지진 가속도
1	건축물	·3층이상 ·연면적 500㎡이상	·건축구조기준(88)	특,I,II	0.07~ 0.22g
2	공항시설	·비행장시설 ·건축물 ·교량 ·지중구조물 ·기타시설물	·공항시설 내진설계기준(04) ·건축구조기준(88) ·도로교설계기준(92) ·터널설계기준(99)		
3	도로시설물	·교량 ·터널	·도로교설계기준(92) ·터널설계기준(99)	I,II	0.07~ 0.154g
4	철도시설	·교량 ·터널 ·역사	·철도설계기준(01) ·터널설계기준(99) ·건축구조기준(88)		
5	고속철도	·교량 ·터널 ·역사	·철도설계기준(01) ·터널설계기준(99) ·건축구조기준(88)		
6	수문 (국가하천)	·수문	·하천설계기준(05)		
7	다목적댐	·다목적댐	·댐 설계기준(93)	특,I	0.07~ 0.154g
8	일반댐	·용수전용 ·홍수조절	·댐 설계기준(93)		
9	도시철도	·교량 ·터널 ·역사	·도시철도 내진설계기준(05) ·터널설계기준(99) ·건축구조기준(88)	I	0.098 ~ 0.154g
10	공동구	·공동구	·공동구 설계기준(04)		
11	궤도	·사면 ·옹벽 ·기초구조물 ·지주(강지주) ·정거장 및 건축	·궤도시설의 건설에 관한 설비기준(10)	II	0.07~ 0.11g

주: ( ) 내진설계기준 도입연도
자료: 국토교통부

2. 재정투자 현황

가. 예산 현황

지진방재예산은 '지진대비 인프라 구축', '지진조기 경보체계 강화' 및 '내진보강'[21]으로 구분되며, 행정안전부, 국토교통부 및 기상청 등[22] 관련 부처의 소관 예산으로 구성된다. 2018년도 지진방재 예산안은 전년대비 13.7% 감소한 3,165억원이며, 이 중 내진보강 예산은 전체 예산의 77.9%인 2,467억원이다.

[표 2] 지진방재 예산 현황

(단위, 백만원)

	2016	2017 (A)	2018안(B)	증감(B-A)	
					%
합 계	116,299	366,853	316,537	△50,316	△13.7
지진대비 인프라 구축	24,953	50,142	51,473	1,331	2.7
지진조기 경보체계 강화	8,915	28,913	18,402	△10,511	△36.4
내진 보강	82,431	287,798	246,662	△41,136	△14.3

자료: 기획재정부 제출자료, 2017.

나. 중장기 재정계획

지진방재 관련 중장기 재정투입계획은 「지진방재종합계획」[23]에 제시되어 있다. 「제1차 지진방재종합계획」은 [표 3]과 같이 2015~2019년 재정 투자 규모를 5조 7,952억원으로 제시하고 있다. 재정 투자의 대부분은 '기존 시설물 내진보강 활성화'이다.[24]

---

21) '내진보강'은 지진으로부터 각종 시설물이 견딜 수 있는 내진성능을 향상시키는 일체의 행위를 의미한다.

22) 행정안전부, 국토교통부, 기상청, 문화재청, 미래창조과학부, 산업자원통상부, 원자력안전위원회, 해양수산부, 교육부, 경찰청, 농림축산식품부, 대법원, 문화체육관광부, 보건복지부, 산림청, 여성가족부

23) 「지진재해대책법」
제9조의2(지진방재종합계획의 수립·추진 등) ① 중앙대책본부장은 지진재해로부터 국민의 생명과 재산, 주요 기간시설을 보호하고 지진방재업무의 지속적인 발전을 위하여 5년마다 다음 각 호의 사항이 포함된 지진방재종합계획을 수립하여「재난 및 안전관리 기본법」제9조에 따른 중앙안전관리위원회에 보고하여야 한다.

24) 구) 국민안전처, 「제1차 지진방재종합계획 2015~2019」, 2015, 132쪽.

[표 3] 제1차 지진방재종합계획 재정 투자계획('15~'19년)

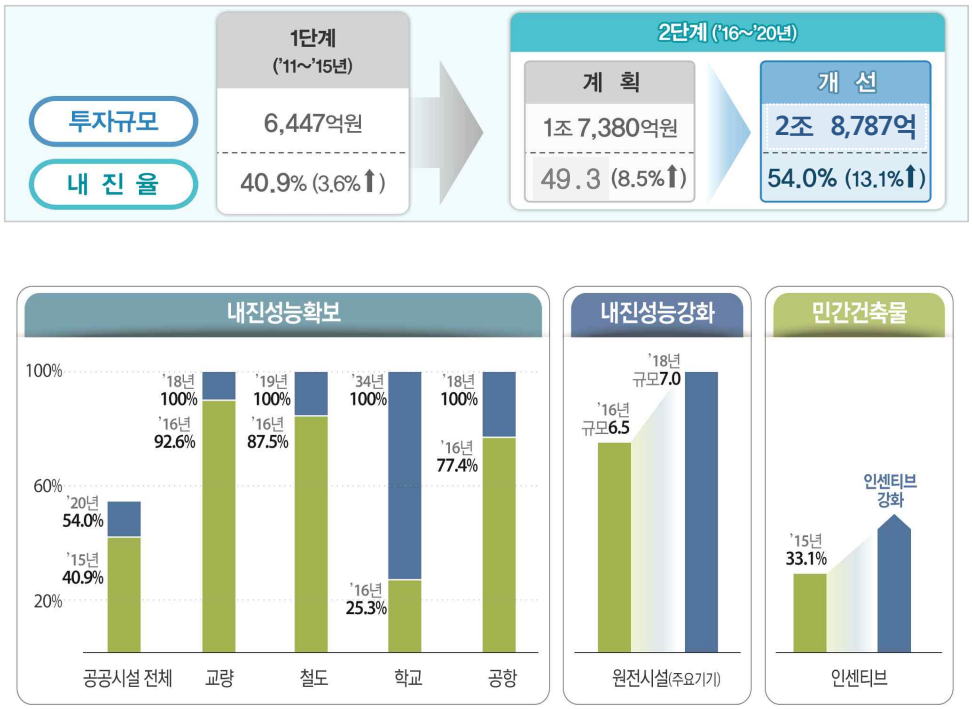
(단위: 억원)

8대 분야	추진과제 (중분류)	소요예산
1. 지진· 지진해일 관측시스템	지진정보 통보체계 고도화 외 1개 과제	1,354
2. 내진설계 상위기준설정	국가 활성단층지도 제작 외 4개 과제	80
3. 내진대책 추진	3-1. 기존 시설물 내진보강 활성화	53,162
	3-2. 민간건축물 내진보강 활성화	-
	3-3. 지진재해 대응 컨트롤타워 기능 연속성 확보	15
	3-4. 시설물 내진성능 평가 활성화	-
	3-5. 시설물별 내진설계기준 재정비	-
	3-6. 지진안전성 표시제 확대	-
4. 지진해일 대책	지진해일 대비 구조적 대책 외 3개 과제	3,236
5. 대응 및 복구	지진재해대응시스템 고도화 외 5개 과제	31
6. 교육 및 훈련	지진방재 종합훈련 실시 외 1개 과제	6
7. 연구기능 강화	기관별 R&D 사업 추진 외 1개 과제	28
8. 지진방재 기반구축 지원	지진전담 인력·조직 보강 추진 등 2개 과제	40
총 계		57,952

자료: 구) 국민안전처, 「제1차 지진방재종합계획 2015~2019」, 2015, 131쪽.

정부는 2016년 12월에 '제11차 국민안전 민관합동회의'를 열어 「지진방재 종합대책」을 확정하고, [그림 1]과 같이 공공시설 조기 내진보강을 위해 2020년까지 당초 정부계획대비 65.6% 증가한 2조 8,787억원을 투자하여 내진율을 현행 40.9%에서 54.0%까지 높인다고 발표하였다.

[그림 1] 「지진방재 종합대책」 상 내진보강 투자 규모



자료: 대한민국 정부, 「정부, 지진방재 종합대책 발표 - 2020년까지 지진대응체계 완비, 2030년까지 지진방재 종합인프라 구축 -」, 보도자료, 2016.12.16., 4쪽.

III. 해외 주요국 사례

1. 지진방재 관련 규정[25]

가. 미국

미국의 내진관련 규정은 Federal Emergency Management Agency(FEMA)와 Building Seismic Safety Council(BSSC)의 지원을 받아 지속적으로 개선되어 왔다.

FEMA는 「Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures」을 발행하였는데, 이 보고서에서는 50년 동안 구조물이 붕괴할 확률이 1%인 Risk-targeted Maximum Considered Earthquake(MCER)로 정의되는 기준지진에 대해서 구조물의 중요도 및 기능에 따라 그 구조물의 전체붕괴, 부분 또는 전체적 붕괴, 독극물 누출, 부착물 추락, 경제적 손실 등의 가능성을 확률적으로 제한하는 허용위험도를 설정하고 있다. 즉, 하나의 기준지진(MCER)에 대해서 구조물의 중요도 및 기능에 따라 각기 다른 한계상태에 대한 허용위험도를 설정하고 있다는 것이 큰 특징이다.

미국 시설물의 내진설계기준은 [표 4]와 같이 시설물별의 내진성능수준, 내진등급 및 설계지진세기에 대해 일률적이지 않다. 설계지반운동을 표현하는 설계응답스펙트럼과 관련해서는 부지응답특성을 고려할 필요가 있는 경우 이를 적용하도록 하고 있지만, 부지응답특성을 특별히 고려하지 않는 경우에 제공되는 설계스펙트럼에도 시설물에 따라 차이를 보인다.[26]

---

25) 국립재난안전연구원, 「내진설계 기준 정비 방안」, 2013, 27쪽.

26) 국립재난안전연구원, 「국가 지진재난 관리 연구개발사업 중장기 기획 연구; 내진설계 기준 정비 방안」, 2013, 60쪽.

[표 4] 미국의 시설물별 내진설계기준 비교

시설물	기준	내진등급	내진성능수준	설계지진세기 (재현주기, 년)	설계응답 스펙트럼
건축물	IBC (ASCE 7)	3개 등급 그룹 I 그룹 II 그룹 III	명시 규정 없음 그룹 I: 인명안전 그룹 II: 인명안전과 즉시거주의 중간정도 그룹 III: 즉시거주	2,400년 재현주기 지진의 2/3수준의 지진	0.2초 및 1.0초 진동주기 구조물의 응답가속도를 기반
도로교	AASHTO	3개 등급 Critical Essential Other	붕괴방지	명시적 규정 없음/응답수정 계수로 반영 500, 1000, 2500 수준	0.2초 및 1.0초 진동주기 구조물의 응답가속도를 기반으로 함.
	Caltrans	명시 규정 없음	붕괴방지	1000년 이상	단층파괴, 지진규모 고려
철도	AREMA	명시 규정 없음	사용한계, 극한한계, 붕괴방지	Level 1 : 50~100 Level 2 : 200~500 Level 3 : 1000~2400	$C_m = \frac{1.2ASD}{T_m^{2/3}}$
댐	미국대댐회 국제대댐회	4개 등급 low moderate high extreme	기능수행 붕괴방지	명시적 규정 없음. 기능수행은 200년 붕괴방지는 1000년 이상	부지특성 반영 별도 지반운동 지정
항만	국제항해협회 (2001)	4개등급 Grade S Grade A Grade B Grade C	수준 I(사용가능) 수준 II(복구가능) 수준 III(붕괴임박) 수준 IV(붕괴)	L1(구조물의 설계수명내 50%의 초과확률) L2(구조물의 설계수명내 10%의 초과확률)	시설물 중요도 등급에 따른 부지응답해석

자료: 국립재난안전연구원, 「국가 지진재난 관리 연구개발사업 중장기 기획 연구; 내진설계 기준 정비 방안」, 2013, 61쪽.

나. 유럽

European Committee for Standardization은 1990년부터 유럽공동체가 공통으로 적용할 수 있는 설계기준을 개발하여 1998년에 Eurocode 8; Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures를 발행하였다. 이 규범은 각 나라의 특수한 여건과 관계없이 공통으로 적용될 수 있는 기술적 사항을 규정하고 있으며, 각 나라에 특수한 조건들은 National Application Document에 포함되는 체계를 취하고 있다. 이를 개정하여 2004년에 Eurocode 8; Design of Structures for Earthquake Resistance를 발행하였으며 도로교에 대한 내진설계기준은 Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 2. Bridge(2005)에서 규정하고 있다. 따라서 일관성 있는 시설물의 내진성능수준을 부여할 수 있다.

Eurocode 8은 구조물에 대한 내진기준을 제시하고 있으며, 성능기반기준으로 지진에 대한 구조물의 목표성능을 제시하고 이를 만족할 것을 요구한다.

Eurocode 8은 [표 5]와 같이 내진등급을 4개로 구분하며, 내진성능수준을 2개로 설정하고 있다. 첫째, 붕괴방지수준은 재현주기 50년에 초과확률이 10%인 지진 즉, 재현주기 475년 지진발생 후에도 건축물은 국부적 혹은 전면적인 붕괴 없이 하중재하능력을 보유하고 있어야 한다는 것이다. 둘째, 손상제한수준은 재현주기 10년에 초과확률이 10%인 지진 즉, 재현주기 95년의 발생확률이 높은 지진에 의한 손상발생 및 이로 인한 사용성(Serviceability) 제한을 방지하기 위한 것이다. 이러한 기본적인 요구조건에 대해 2가지 한계상태 즉, 극한한계상태(Ultimate Limit State) 및 손상한계상태(Damage Limit State)를 제시하고 있으며, 이러한 한계상태에 대해 구조물의 성능수준(Performance)을 검토하도록 규정하고 있다.

[표 5] Eurocode 8 내진등급

중요도 등급	내 용
I	평균 이하 중요도
II	일반건축물
III	다중이용시설
IV	매우 중요한 건축물

자료: 국립재난안전연구원, 「국가 지진재난 관리 연구개발사업 중장기 기획 연구; 내진설계 기준 정비 방안」, 2013, 76쪽.

대부분의 규정은 각 국가의 지진발생 현황 및 정치·경제·사회적인 여건을 고려하여 각 회원국에서 자율적으로 규정할 수 있도록 유연성을 부여하고 있다. 지진지역의 규정 및 기타 계수 값에서 이러한 예를 찾아볼 수 있다.[27]

다. 일본

일본은 내진성능수준[28]에 기반을 둔 내진설계를 실시하고 있다. 일본 지진공학회에서는 「성능규정형 내진설계법」에 관한 연구위원회를 두고 2003년부터 3개년 간 성능규정형 내진설계에 대해 연구하였다.

일본은 「성능규정형 내진설계법」(일본지진공학회, 2004)에서 도시의 내진성능목표를 설정 후 개별시설물의 내진성능목표를 설정하도록 제안하였다. 시설별로 산재한 기준에 대해 시설물간 상호 관련 내진성능목표를 정하여 도시 전체의 내진성능 매트릭스를 제안하고, 시설물별 요구사항을 정립하도록 한 것이다. 즉, 도시 전체의 내진성능은 개별 시설물마다 내진성능목표가 쌓여서 확보되는 것이 아니라 도시의 내진성능목표를 설정하고 이를 만족하도록 개별 시설물을 설계함으로써 달성하는 개념이다.

일본의 경우는 미국과 달리 법규의 위임을 받아 내진설계기준의 개선을 주도하는 전문기관이 별도로 존재하지 않는다.[29] 토목시설물의 경우에는 일본토목학회가 내진설계기준의 개선을 주도한다고 할 수 있다. 일본토목학회는 고베지진시(1995. 1. 17.) 많은 토목구조물에 심대한 피해가 발생한 것을 교훈 삼아 토목구조물을 내진설계하는 경우에 일반적인 설계기본을 제시하기 위하여 「토목구조물의 내진설계가이드라인(안)-내진기준작성을 위한 지침」(일본토목학회, 2001)을 작성하였다.[30]

일본 시설물의 내진설계기준은 [표 6]과 같이 시설물의 내진성능수준, 내진등급 및 설계지진세기에 대해 일괄적이지 않다. 설계지반운동을 표현하는 설계응답스펙트럼도 시설물에 따라 큰 차이를 보인다.[31]

---

27) 국립재난안전연구원, 「국가 지진재난 관리 연구개발사업 중장기 기획 연구; 내진설계 기준 정비 방안」, 2013, 77쪽.

28) 기능수행수준 및 붕괴방지수준 등

29) 국립재난안전연구원, 「내진설계 기준 정비 방안」, 2013, 28쪽.

30) 국립재난안전연구원, 「내진설계 기준 정비 방안」, 2013, 28쪽.

31) 국립재난안전연구원, 「국가 지진재난 관리 연구개발사업 중장기 기획 연구; 내진설계 기준 정비

[표 6] 일본의 시설물별 내진설계기준 비교

시설물	기준	내진등급	내진성능수준	설계지진세기 (재현주기, 년)	설계응답스펙트럼
건축물	건축기준법	3개 등급 그룹 I 그룹 II 그룹 III	레벨 I 지진-기능수행 레벨 II-인명안전	2,400년 재현주기 지진의 2/3수준의 지진	전단파속도 400m/s 공학적 기반암의 가속도스펙트럼을 기반으로 함
도로교	도로교 시방서·동해설	2개 등급 B종 A종	내진성능1(건전성)/내진성능2(한정손상)/내진성능3(붕괴방지)	명시적 규정 없음/ 레벨I(내진성능1확보) 레벨II(내진성능2/3확보) 타입I(PLATE경계형); 규모 8.0 타입II(내륙직하형); 고베지진(규모 7.0급)	지진세기별, 타입별, 지반 종류별로 스펙트럼 규정; 지진규모 및 진원특성 및 토질증폭특성 반영
철도	철도구조물 등 설계표준, 동해설-내진설계	명시규정 없음	내진성능1(기능수행-손상불허) 내진성능2(기능수행-손상허용) 내진성능3(붕괴방지)	명시규정 없음. Level 1 : 내진성능 1 확보 Level 2 : 내진성능 2 또는 3 확보	지진세기별, 스펙트럼 규정; 지진규모 및 진원특성 및 토질증폭특성 반영
댐	일본토목학회	1개 등급 중요도에 대한 구분 없음.	기능수행, 붕괴방지 (극대지진 고려시만 적용)	기능수행수준 지진(1~2회/100년) 붕괴방지(수천 년)	부지특성 반영 별도 지반운동 지정
항만	항만시설 기준(2009)	3개등급 특별설계(긴급수송) 특별설계(본선수송) 표준설계(긴급수송)	즉시 기능수행/단시간 내 기능수행/특정시간 내 기능수행	L1(설계수명 동안 높은 확률로 일어나는 지반운동) L2(L1과 시나리오 지진 중 최대지반운동)	설계지진동(L1, L2)에 따른 해석법으로 설계지반운동 결정

자료: 국립재난안전연구원,「국가 지진재난 관리 연구개발사업 중장기 기획 연구; 내진설계 기준 정비 방안」, 2013, 75쪽.

방안」, 2013, 74쪽.

2. 일본의 내진보강 현황[32)]

1995년 1월에 발생한 고베 대지진의 경우, 사망자의 약 90%가 건축물 붕괴 및 가구의 전도에 기인한 것으로 조사되었으며, 그 가운데 현행 내진 기준에 미달하는 1981년 이전의 건축물에서 피해가 집중된 것으로 나타난 바 있다. 이러한 조사 결과를 바탕으로 일본에서는 1995년에 「건축물의 내진 개수 촉진에 관한 법률」(이하 "내진개수촉진법")을 제정하여 기존 건축물의 내진 보강 사업을 지속적으로 추진하여 왔다. 그러나 2013년 현재까지 약 900만호의 주택과 약 6만호의 다중이용건축물에서 여전히 내진 성능이 확보되지 않은 것으로 조사되고 있다.

일본의 「건축기준법」에서 정하고 있는 '내진 기준'이란 과거에는 리히터 규모 5 정도의 지진에 거의 손상되지 않음을 검증하는 것이었으나, 1981년 6월 이후로는 리히터 규모 6~7에 달하는 진도의 지진에도 도괴·붕괴되지 않음을 검증하는 것으로 강화된 바 있다.

일본 정부에서는 이러한 건축물에 대한 내진보강사업을 강화하기 위하여 2013년 11월에 「내진개수촉진법」을 개정·시행한 바 있다. 개정된 「내진개수촉진법」에 의하면, 주택 및 다수가 이용하는 건축물, 예컨대 학교, 체육관, 병원, 극장, 공동주택, 집회장, 백화점, 사무소 등의 내진화율을 2020년까지 95%로 상향시키는 것을 목표로 하고 있다. 동시에 2025년까지 내진성이 불충분한 주택을 대부분 해소하는 것을 목표로 기존 건축물의 재건축이나 내진 개수를 추진할 예정이다. 또한 동 법령 개정에 따라 병원이나 학교, 호텔, 대형 점포 등 불특정 다수가 이용하는 대규모 건축물 등에 대하여 내진진단의 실시 및 결과 보고가 의무화되었다. 나아가 정부와 지방 공공단체에서는 각종 지원제도를 확충하고 있다.[33)]

---

32) 국립재난안전연구원, 「내진설계 기준 정비 방안」, 2013, 20쪽.

33) 최민수, "지진피해 대비 기존 건축물의 내진성능 확보를 위한 정책 방향", 부동산 포커스 2016 November Vol.102, 2016, 18~26쪽.

3. 우리나라에 대한 시사점

미국과 유럽의 내진설계기준은 지질학적 특성이 상이한 넓은 면적을 대상으로 하므로, 지역별 특수한 여건과 관계없이 공통으로 적용될 수 있는 기술적 사항을 규정하고 지역별 특수한 조건들을 반영하는 체계를 취하고 있다. 또한 유럽 내진설계기준의 대부분은 각 국가의 지진발생 현황 및 정치·경제·사회적인 여건을 고려하여 각 회원국에서 자율적으로 규정할 수 있도록 유연성을 부여하고 있다. 따라서 미국과 유럽의 내진설계기준에 따라 우리나라의 특수한 조건을 반영한 내진설계 기준을 마련하는 방안을 고려할 필요가 있을 것이다.

그러나 내진설계 기준을 마련하였다고 하여, 모든 시설물이 내진 성능을 확보하는 것은 아니다. 지진이 빈번한 일본에서 2013년 현재까지 약 900만호의 주택과 약 6만호의 다중이용건축물에서 여전히 내진성능이 확보되지 않은 것으로 조사된 결과를 고려할 때, 상향된 내진기준에 맞추어 내진성능 확보율을 높이기 위해서는 합리적인 대책 마련이 요구된다.

IV. 주요 쟁점 분석

1. 기존 시설물의 내진보강 실효성

정부는 '내진성능 평가요령'에 따라 기존 시설물의 내진보강을 수행하고 있다. 내진보강 여부 및 규모는 지진하중이 크기에 따라 결정되기 때문에, 실효성 있는 내진보강을 위해서는 지진이 시설물에 미치는 영향을 나타내는 지진하중을 산정하는 것이 중요하다.

지진하중 산정에 필요한 지반증폭계수는 부지고유(Site Specific)의 지진응답해석을 수행하여 결정할 수 있다.[34] 그러나 대부분 지반증폭계수는 [표 7]과 같이 지반분류에 의해 결정된다. 예를 들어 지반종류 IV인 지반 위에 건설된 시설물의 지진하중은 지반종류 I인 지반 위에 건설된 교량의 지진하중보다 2배 크게 된다.

[표 7] 지반증폭계수(「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」 기준)

지반계수	지 반 종 류			
	I	II	III	IV
S	1.0	1.2	1.5	2.0

자료: 한국시설안전공단, 「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」, 2017.

「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」에서 제시하고 있는 지반분류는 [표 8]과 같이 경암, 보통암, 연암, 단단한 토사 및 연약한 토사 등이다. 지반분류방법은 지반 분류의 기준면으로부터 보통암(지층의 전단파속도, V_S = 760m/s 이상)까지의 지반에 대한 평균지반특성으로 분류하며, 보통암의 위치가 기준면[35]으로부터 5m 이하 혹은 30m 이상인 경우에는 상부 30m에 대한 평균지반특성으로 분류한다.[36]

34) 국토교통부, 「건축구조기준」, 국토교통부 고시 제2016-317호, 2016, 137쪽.

35) 국토교통부, 「건축구조기준」, 국토교통부 고시 제2016-317호, 2016, 135~136쪽.
"일반적으로 지반분류는 지표면을 기준면으로 정한다. 다만, 지하층을 가진 구조물로서 직접기초를 사용하고 기초저면의 지반종류가 S_C 이상의 단단한 지반인 경우에는 기초면을 지반분류의 기준면으로 사용할 수 있다. 이때 지진에 의하여 지하층 구조벽에 작용하는 횡토압에 대하여 상부구조의 안전성을 확보하여야 한다. 말뚝기초를 사용하는 경우에는 지하구조의 저면의 지반종류가 S_C 이상이고, 건물 진동의 입력이 지하구조의 저면을 통하여 전달되도록 설계·시공되는 경우에 한하여 지하구조의 저면을 기준면으로 사용할 수 있으며, 그렇지 않은 경우에는 지표면을 기준면으로 사용하여야 한다."

[표 8] 지반분류체계(「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」 기준)

지반 종류	지반종류의 호칭	지표면 아래 30m 토층에 대한 평균값		
		전단파 속도 (m/sec)	표준관입시험 (N치)	비배수전단 강도(kPa)
I	경암지반, 보통암지반	760 이상	-	-
II	매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반	360 -760	> 50	> 100
III	단단한 토사지반	180 - 360	15 - 50	50 - 100
IV	연약한 토사지반	180 미만	< 15	< 50
V	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반			

주: 비점착성 토층만을 고려한 평균 N치[37]
자료: 한국시설안전공단, 「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」, 2017.

지진하중 결정을 위한 지반분류를 위해서는 기준면에서 지반종류 I까지 전단파 속도를 측정하기 위한 탄성파탐사, 표준관입시험 혹은 비배수전단강도 시험이 이루어져야 한다. 그러나 대부분 지반조사는 표준관입시험을 연암까지 시행하여 지반분류 I의 위치를 파악하지 않고 있다.[38] 보통암의 위치를 파악하지 못한다면, 지진하중을 산정하기 위한 적정한 지반분류가 이루어질 수 없다.

또한 지진하중 결정을 위한 지반분류를 위해서는 탄성파탐사 결과가 중요한데, 대부분 지반조사는 표준관입시험으로 시행되어 표준관입시험 결과에 근거하여 부적정한 지진하중을 결정할 가능성이 있다. 지진하중을 결정하기 위해서는 탄성파탐사를 수행해야 하는데, 예산 미편성 등으로 지반조사가 이루어지지 않고 있다. 결과적으로 지진하중이 과잉 혹은 과소 산정될 수 있으므로, 적정한 내진보강이 이루어지기 어려울 수 있다.

36) 국토교통부, 「건축구조기준」, 국토교통부 고시 제2016-317호, 2016, 135쪽.

37) 'N치'는 표준관입시험용 샘플러를 로드에 끼우고 75cm의 높이에서 63.5kg의 떨공이를 자유낙하시켜 30cm 관입시키는데 필요한 타격회수를 의미한다.

38) KBC(건축구조기준, Korea Building Code)2009의 경우 지반등급은 기준면 이하 30m의 전단파 속도 평균치로 규정되어 있다. 그러나 KBC2016의 경우 기준면으로부터 보통암(지층의 전단파 속도, V_S = 760m/s 이상)까지의 지반에 대한 평균지반특성으로 분류한다. 여기서 보통암지반(Vs>760m/sec)즉 전단파 속도가 760m/sec이상인 지반을 보통암이라 지칭하고 있다. 대부분의 경우 보통암의 속도는 1000m/sec를 상회한다. 따라서 연암이더라도 전단파 속도가 760m/sec이상이면 보통암지반으로 정리한다. 전단파도 760m/sec이상의 지진파를 고려하여 Sorting되었으며, 대표적인 지진파 증폭프로그램인 Shake, ProShake 등도 760m/sec이상의 지반이 연속하는 상태에서 지진파 입력점을 잡으면 최초 발생점으로 회귀하는 성질을 가진다. 즉, 일반적인 보통암과 KBC2016에서 일컫는 보통암지반은 전단파 속도에서 차이를 보인다.

2. 내진보강 시기 조정

행정안전부(구 국민안전처)는 2017년 3월에 발표한 「내진설계기준 공통적용사항」에서 기존 내진설계기준과 다른 내용들을 제시하였다.

먼저 「내진설계기준 공통적용사항」은 [표 9]와 같이 앞 절에서 살펴본 「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」의 지반분류체계와 다른 지반분류체계를 제시하고 있다.

[표 9] 지반분류체계(「내진설계기준 공통적용사항」 기준)

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암[1] 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, VS,Soil (m/s)
S1	암반 지반	1 미만	-
S2	얕고 단단한 지반	1~20 이하	260 이상
S3	얕고 연약한 지반		260 미만
S4	깊고 단단한 지반	20 초과	180 이상
S5	깊고 연약한 지반		180 미만
S6	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반		

주: 1. 기반암 깊이와 무관하게 토층 평균 전단파속도가 120m/s 이하인 지반은 S5 지반으로 분류
1) 전단파속도 760m/s 이상을 나타내는 지층
자료: 구)국민안전처 공고 제2017-000호, 「내진설계기준 공통적용사항 공표(안)」

또한 「내진설계기준 공통적용사항」의 지반증폭계수는 [표 10]과 같이 「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」의 지반증폭계수와 분류체계부터 다르다.

[표 10] 지반증폭계수(「내진설계기준 공통적용사항」 기준)

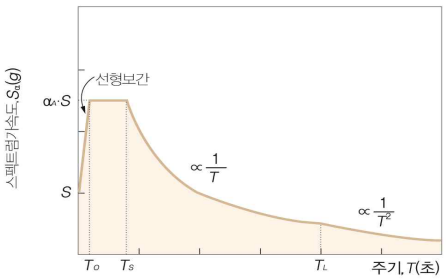
지반분류	단주기 증폭계수, Fa			장주기 증폭계수, Fv		
	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3	S ≤ 0.1	S = 0.2	S = 0.3
S2	1.4	1.4	1.3	1.5	1.4	1.3
S3	1.7	1.5	1.3	1.7	1.6	1.5
S4	1.6	1.4	1.2	2.2	2.0	1.8
S5	1.8	1.3	1.3	3.0	2.7	2.4

주: S는 유효수평지반가속도
자료: 구)국민안전처 공고 제2017-000호, 「내진설계기준 공통적용사항 공표(안)」

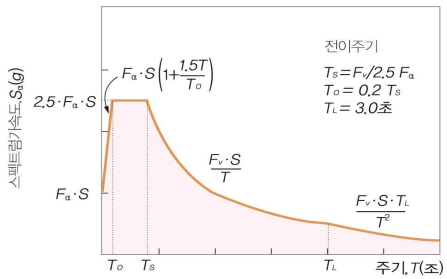
「내진설계기준 공통적용사항」은 지진하중을 [그림 2]에 따라 산정하여, 지진하중 산정 방식도 「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」과 다르다.

[그림 2] 「내진설계기준 공통적용사항 공표(안)」의 가속도 표준설계응답스펙트럼

(a) 암반지반



(b) 토사지반



자료: 국민안전처 공고 제2017-000호, 「내진설계기준 공통적용사항 공표(안)」

이와 같이 설계기준이 변경되었으나, 행정안전부(구 국민안전처)는 「내진설계기준 공통적용사항」 적용에 따른 조치사항으로 '시설별 내진설계기준' 시행일[39] 이전에 보강한 시설은 내진성능이 확보된 것으로 인정할 수 있다고 제시하였다. 새롭게 제시된 내진기준이 이전보다 상향되었다면, 기 보강된 시설물이 안전하다고 볼 수 없다. 결과적으로 '시설별 내진설계기준' 시행일 이전에 내진보강한 시설은 '시설별 내진설계기준'에 따라 재보강이 요구될 수 있다.

「지진·화산재해대책법」 제15조제1항은 내진설계기준에 미달하는 기존 시설물의 내진보강계획을 수립하도록 규정하고 있다. 법률 규정 외에도 일본 사례를 고려할 때, 내진설계기준 강화에 따른 보강은 중요할 수 있다. 일본은 「건축기준법」에서 정하고 있는 '내진 기준'을 과거에 리히터 규모 5 정도의 지진에 거의 손상되지 않음을 검증하는 것으로 규정하였으나, 1981년 6월 이후로는 리히터 규모 6~7에 달하는 진도의 지진에도 도괴·붕괴되지 않음을 검증하는 것으로 강화하였다. 1995년 1월 발생한 고베 대지진의 경우, 사망자의 약 90%가 건축물 붕괴 및 가구의 전도에 기인한 것으로 조사되었으며, 그 가운데 현행 내진 기준에 미달하는 1981년 이전의 건축물에서 피해가 집중되었기 때문이다.

39) 내진보강공사 인·허가(협의)일을 기준으로 한다.

따라서 국토교통부는 2017년 3월에 발표된 '내진설계기준 공통적용사항'에 맞추어 각 시설물들의 내진설계기준을 개정한 이후 내진보강을 추진하는 방안을 고려할 필요가 있다.

3. 신설 구조물에 대한 내진설계 적정성

구조물의 내진성능은 적정한 내진설계 및 시공을 통해 확보되는 것이며, 내진성능 확보 여부는 실제로 설계 목표의 지진이 발생하였을 경우에 확인될 수 있다.[40] 따라서 동 평가에서는 원자력 발전소, 원전수거물관리센터(방폐장), 교량, 댐, 터널에 대한 내진설계 적정성을 검토하였다. 검토 결과, 내진설계를 위한 지진해석은 정적해석과 동적해석으로 수행되는데,[41] 정적해석은 적정한 방식으로 수행된 것으로 검토되었다. 그러나 부수적으로 수행한 동적해석과 내진설계 규정과 관련하여 다음과 같은 문제점들이 발견되었다.

첫째, 내진설계 기술기준이 보완될 필요가 있다. 해외에서는 기존에 자국에서 발생한 지진자료에 근거하여 지진하중을 산정하고 있지만, 국내에서는 내진해석에 사용할 수 있는 지진자료가 없어 지진하중 산정에 어려움이 있다. 또한 관련 규정에 따라 주요 사회기반시설에 대한 내진설계를 위해서는 기본적으로 3차원 지진해석이 이루어져야 하므로, 3차원 지진해석을 수행할 수 있는 세부 기술기준을 마련할 필요가 있다.

둘째, 동적해석 방법론의 적정성을 검증할 필요가 있다. SOC 내진설계에 많이 사용되는 동적해석을 위한 세부적인 기술기준들이 미비하여, 실무 차원에서 지진하중을 자체적으로 선정하여 내진설계를 수행하고 있었다.[42] 또한 터널에 대한 지진해석의 경우, 설계기술자마다 다른 방법론으로 지진해석을 수행하고 있었다. 그러나 발주청들은 지진해석 방법론의 적정성에 대하여 충분히 검증하지 않고 있다.

---

40) 현행 내진설계는 설계지진하중 작용시 붕괴방지를 예방하는 수준에서 이루어진다. 따라서 내진성능확보 여부는 해당 시설물에 설계지진하중을 적용하였을 때 확인된다.

41) 부록 참조

42) 예상되는 지진의 진앙과 비교적 근접한 부지에서는 설계응답스펙트럼을 사용할 수 없다.(KINS/RG-N04.08 4.8 원자력발전소 내진설계를 위한 설계응답스펙트럼)
비선형 다자유도계 시스템의 경우, 구조물의 응답을 구하기 위해 모드별 응답의 선형 조합을 근간으로 하는 모드중첩법을 사용할 수 없다.(김두기, 「제2판 구조동역학」, 2009, 242쪽.)

셋째, ‘원자력안전위원회규칙’인 「원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙」은 원자로시설을 “지진 또는 지각의 변동이 일어날 가능성이 희박하다고 인정되는 곳에 설치”하도록 규정하고 있으므로, 원자력안전위원회는 이에 대한 하위 기술기준을 마련하거나 최신 내진설계기준을 반영하여 위 규정의 개정을 검토할 필요가 있다.[43]

43) 원자력안전위원회는 「원자로시설의 위치에 관한 기술기준」(고시 제2014-10호)은 준용규정인 10CFR100 Appendix A(원자력발전소의 지질 및 지진학적 부지선정 기준)를 통해 활동성단층이 원전부지와 근접할 경우 가까이에서 발생하는 지진이 부지에서의 안전정지지진 응답스펙트럼 특성에 미치는 영향을 고려(동적해석)하도록 하고 있으며, 그 세부적인 기술기준도 마련되었다고 밝히고 있다.(2017. 9. 14. 답변자료) 원자력안전위원회 답변은 부지의 적합성 판단에 대한 내용이다.

V. 정책 시사점

정부는 지진재해 관리를 위한 내진 설계 및 보강 강화를 추진하고 있으므로, 실효성 있는 지진방재를 위한 재정투자 및 정책 수립이 필요하다. 따라서 국토교통부는 2017년 3월에 발표된 '내진설계기준 공통적용사항'을 반영한 내진설계기준을 수정한 이후 내진보강을 추진하는 방안을 검토할 필요가 있다. 특히 내진보강의 기준이 되는 지진하중 결정을 위해서는 적정한 지반조사를 수행할 필요가 있으며, 관련 예산도 적절히 편성될 필요가 있다. 또한 관련 규정에 따라 주요 사회기반시설에 대한 내진설계를 위해서는 기본적으로 3차원 지진해석이 이루어져야 하므로 국토교통부는 3차원 지진해석을 수행할 수 있는 세부 기술기준을 마련할 필요가 있다.

또한 내진설계 기준을 개선하기 위해서는 막대한 자원이 소요된다. 따라서 국내 자체적으로 내진설계 기준을 마련하는 것도 바람직하겠지만, 원자력 관련 내진설계기준과 같이 일반 시설물의 내진설계 기준도 해외 기준을 준용하는 방안을 비교·검토할 필요가 있을 것이다. 앞에서 살펴본 바와 같이 미국과 유럽의 내진설계기준은 지질학적 특성이 상이한 넓은 면적을 대상으로 하므로, 지역별 특수한 여건과 관계없이 공통으로 적용될 수 있는 기술적 사항을 규정하고 지역별 특수한 조건들을 반영하는 체계를 취하고 있다. 따라서 미국과 유럽의 내진설계기준에 따라 우리나라의 특수한 조건을 반영한 내진설계 기준을 마련하는 방안을 고려할 필요가 있을 것이다.

지진 발생시 피해의 대부분은 건축물 등 시설물의 붕괴로 사회기능 유지의 근간이 되는 시설들의 기능이 중지되거나 붕괴되어 이를 수습하기 위한 기간에 발생되는데, 수습를 위한 사회·경제적 비용을 최소화하기 위해 가장 기본적이고 중요한 대비책이 시설물의 내진설계 및 내진보강이다. 지진피해는 규모가 크고 광범위하게 발생하므로, 정부는 지진방재에 대한 재정투자 효율성 및 정책 효과를 높이는 방안을 강구할 필요가 있다.

참 고 문 헌

국립재난안전연구원,「국가 지진재난 관리 연구개발사업 중장기 기획 연구; 내진설계 기준 정비 방안」, 2013.

국민안전처,「제1차 지진방재종합계획 2015~2019」, 2015.

_____,「2단계(2016~2020) 기존 공공시설물 내진보강 기본계획」, 2016.

국민안전처 공고 제2017-000호,「내진설계기준 공통적용사항 공표(안)」

국토교통부,「내진설계확인서, 국토부에서 전문기관과 공동 검증」, 보도참고자료, 2016.10.20.

_____,「건축구조기준」, 국토교통부 고시 제2016-317호, 2016.

_____, "「국토부, SOC 내진성능 특별점검 실시한다. - 주요 교량, 터널, 댐 등 전면 특별점검…내진기준 재조정 필요성 검토 -」", 보도자료, 2016.9.22.

_____, "「SOC 6,209곳 내진성능 특별점검…"지진 피해 없어" GIS 기반 안전정보체계·시설물 상시 안전망 구축 등 지진대응체계 확보 추진」", 보도자료, 2016.12.28.

대한민국 정부,「정부, 지진방재 종합대책 발표 - 2020년까지 지진대응체계 완비, 2030년까지 지진방재 종합인프라 구축 -」, 보도자료, 2016.12.16.

재난안전기술개발사업단,「지진가속도 분석 등을 통한 설계지반운동 표시방법 고도화기술 개발」, 국민안전처, 2016.

최민수, "지진피해 대비 기존 건축물의 내진성능 확보를 위한 정책 방향", 부동산 포커스 2016 November Vol.102, 2016, 18~26쪽.

한국시설안전공단,「기존 시설물(교량) 내진성능 평가요령」, 2017.

McGuire RK. Seismic Hazard and Risk Analsis, EERI Monograph MNO-10. Oakland, California, USA: Earthquake Engineering Research Institute; c2004. p.221, 2004.

Nakamura Y. Real-Time Information Systems for Hazard Mitigation. 11th World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Maxico; 1996 Jun 23~28: Paper No.2134, 1996.

이호건,「[단독] '지진 활성단층' 따라 수서-평택 KTX 노선 시공」, SBS, 2016.09.25 22:30 2016.09.25 22:30

하종숙, "지진대비 건축물 내진설계.보강기준 강화 시급하다. 건축도시공간硏, 국내 내진설계 문제점 분석… 해법 제시",「국토일보」, 2016.06.23. 09:49:09.

[부 록] 지진해석 종류와 원리

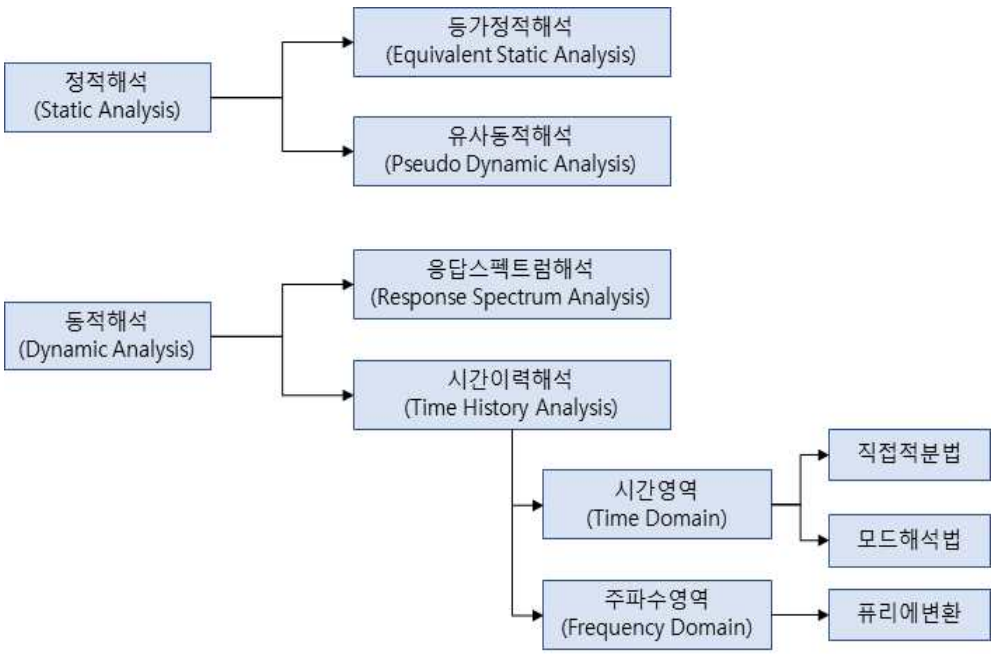
1. 개요

건축물에 대한 지진해석 방법은 매우 다양하다. 이것을 크게 분류하면 선형 지진해석과 비선형 지진해석으로 구분할 수 있다. 선형 해석과 비선형 해석에 대한 개념적인 차이는 성능에 기초한 내진설계에서 적용하고 있는 비선형 해석을 이해하는데 핵심적인 부분이다. 본 보고서에서는 지진해석의 종류를 살펴보고 각 해석방법의 원칙과 특징에 대해서 간단히 정리하도록 한다.

2. 선형 지진해석

선형지진해석은 다음 그림과 같이 크게 정적해석과 동적해석으로 구분할 수 있다.

[선형탄성 지진해석의 종류]



가. 등가정적해석 (Equivalent Static Analysis)

건축물에 작용하는 지진하중은 지반의 움직임에 의한 구조물의 상대변위와 구조물 질량의 상호작용에 의하여 발생하는 관성력이다. 이러한 동적인 특성을 실무단계에서는 파악하기 힘들고 지진하중 자체를 정확하게 정량적으로 나타내는 것이 불가능하기 때문에 내진설계에서는 구조물 전체 중량에 대한 비율로서 지진하중을 횡하중으로 간주하는 방법을 고려하여 왔다.

등가정적해석이란 말 그대로 동적인 특성을 포함하고 있는 지진하중을 등가의 정적하중으로 치환을 하여 정적해석을 수행하겠다는 의미이다. 등가의 지진하중은 건축물의 동적특성, 특히 진동주기에 따라서 관성력의 크기를 가정하고 그 분포는 구조물의 높이에 따라서 적절하게 분배하는 방식을 택한다. 관성력의 크기와 분포를 가정하기 때문에 이 해석은 일반적으로 거동예측이 가능해야 한다. 그러므로 구조물의 강성과 질량의 분포가 수직적으로 또는 수평적으로 균일한 정형구조물이나 고차모드의 영향을 덜 받는 저층 구조물에 주로 적용할 수 있다.

일반적으로 구조물의 동적거동은 1차모드가 지배적이라고 할 수 있다. 고유치해석에 의한 질량참여율을 확인하면 지진하중의 가력방향에 대한 그 방향의 질량참여율이 1차모드에서 90%이상 기여를 한다면 이 해석법은 유효하다고 생각한다. 근사적으로 지진하중을 산정할 수 있고 해석방법이 단순하기 때문에 대부분의 내진설계기준에서 제시하고 있는 방법이다. 당연한 이야기겠지만 부정확성을 포함할 수 있는 확률이 높기 때문에 이 해석법은 지진하중을 과대평가하는 경향이 있다.

등가정적해석은 구조물의 예비평가 단계에서 활용할 수 있는 방법이라고 생각한다. 대부분의 경우에는 등가정적해석법에 의한 결과보다 동적해석인 응답스펙트럼해섭법에 의한 결과가 변위, 층전단력 및 구조재가 받는 응력 등에서 작게 평가되지만 때에 따라서는 구조물의 일부분에서 응답스펙트럼해석법에 의한 결과가 더 크게 나타나는 경우가 발생한다. 구조물이 비정형인 경우에 주로 볼 수 있는 현상이다.

나. 응답스펙트럼해석 (Response Spectrum Analysis)

응답스펙트럼 해석은 다자유도 구조물의 거동에 대하여 모드 분리를 통하여 여러 개의 단자유도 시스템에 대한 모드로 분리한 후에 단자유도 시스템들의 최대 응답을 미리 마련해 놓은 응답스펙트럼을 이용하여 쉽게 구한 다음 이를 조합하여 다자유도 시스템의 최대 응답을 구하는 해석이다.

이 해석 방법은 특정 지진에 대한 시간이력을 필요로 하지 않고 보편적으로 사용할 수 있는 설계기준인 설계스펙트럼을 사용할 수 있으며 주요한 모드의 조합만으로도 비교적 정확한 최대응답을 구할 수 있기 때문에 내진설계를 위한 지진해석으로서는 가장 보편적으로 상요되고 있는 동적해석법이다. 그러므로 각 나라에서 적용하고 있는 대부분의 내진설계기준에서는 이 방법에 의한 지진해석을 추천하고 있다. 구조물의 진동주기와 진동모드 형상을 제대로 고려할 수 있는 때문에 비정형구조물이나 고층 건문에 대해서도 정확한 해석결과를 얻을 수 있다는 장점이 있기 때문이다.

그러나, 응답스펙트럼해석은 구조요소를 이용하여 해석모델을 사용하는 경우에 실제 구조물보다 진동주기를 과대평가하는 경향이 있다. 주지하다시피 해석모델에서 고려할 수 없는 계단실이나 비구조체에 의한 강성효과 그리고 실제 강막 가정으로 처리되는 슬래브의 강성효과 등이 해석모델에서는 제외되기 때문이다. 실제로 비구조체 요소를 모델링에 반영할 수 있으므로 이를 반영하지 않고 구조해석시 항상 실제보다 진동주기가 과대평가 된다고 말하는 것은 부적절하다.

진동주기에 대한 과대평가는 지진하중을 과소평가할 수 잇기 때문에 지진응답 역시 과소평가될 수 있다. 이렇나 현상을 방지하고자 하는 것이 바로 설계기준에서의 보정계수 도입이다. 등가정적해석에 의한 밑면전단력과의 비교를 통하여 보정을 하는데 이때의 등가정적 밑면전단력은 진동주기를 의도적으로 크게 하여 다소 작게 산정한다. 우리나라 기준의 경우에는 산식에 의한 진동주기에 정형인 경우는 50%를 크게 하고 비정형인 경우에는 20%를 크게 하여 밑면전단력을 계산한다.

사실 동적해석 결과를 믿고 싶지만 왠지 미심쩍은 면이 있기에 다소 안전하다고 판단되는 등가정적하중만큼 보정하자는 의도이다. 그것도 그냥 등가정적하중에 의한 밑면전단력을 사용하면 보정계수가 너무 크게 평가되기 때문에 진동주기를 좀 더 키운 다음 보정계수를 키우는 방법을 사용한다.

이러한 방법은 내진설계기준마다 조금씩 다른다. 1.2배 또는 1.5배 진동주기를 키워 주는 것은 우리나라 방식이다. 합리적인 근거나 이유는 다소 부족하다. ATC 3-06에선느 정형과 비정형 구조물의 구분 없이 1.4배를 제시하며 UBC-97에서는 정형구조물의 경우에는 동저해석에 의한 밑면전단력은 등가정적해석의 절차에 따라서 밑면전단력의 90%보다 작아서는 안 되고 비정형구조물의 경우에는 등가정적해석에 의한 밑면전단력과 같거나 그 이상이어야 한다는 내용이다.

구조물의 동적해석에 대한 결과는 각각의 진동모드에 동적거동을 SRSS 또는 CQC등의 방법에 의하여 조합하며 모든 해석 결과는 절대치로 표현된다. 모든 응답에 대한 부호의 개념이 사라지게 되는 것이다. 이러한 동적해석 결과는 양 또는 음의 부호를 가지고 고정하중과 적재하중에 의한 해석결과와 조합되어야 하므로 부재설계를 수행하는 구조기술자들에게 많은 어려움을 주고 있다. 실제로 설계를 수행하고 있는 구조기술자는 자중과 적재하중에 대한 정적해석 결과와 지진하중에 대한 동적해석 결과를 따로 산출하여 기술자의 판단에 의해 이들을 조합하는 방법을 사용하곤 한다.

구조해석 프로그램과 전산기기의 발달로 응답스펙트럼 해석법을 이용하여 지진해석을 수행하는 것이 보편화 되었다. 그러나 이 해석법에서도 아직까지 해결하지 못한 문제점들이 많다. 예를 들면, 주축(Principal Axis) 문제, 양방향 지진에 대한 직교효과, 직교효과를 고려한 하중조합, 동적해석에서의 우발편심모멘트 등이 있다.

다. 유사동적해석 (Pseudo Dynamic Analysis)

응답스펙트럼해석법에서는 각각의 진동모드에 대하여 지진이 미치는 영향을 산출하고 이들을 적절하게 조합하여 구조물의 최대응답을 산정한다. 이때 여러 가지 진동모드에 대한 구조물의 응답을 하나로 조합하는 과정에서 모든 응답은 부호를 잃어

버리고 절대값으로 표시된다. 이것은 특정한 부재에서 발생하는 한가지 부재력만을 생각한다면 양과 음의 값은 아무런 문제가 되지 않는다. 그러나 구조물의 내진설계를 위하여 축력, 전단력, 휨모멘트 등 여러 가지의 부재력에 관하여 고정하중과 적재하중에 대한 정적해석 결과와 지진해석에 의한 동적해석 결과를 조합하는 과정을 따져보면 동적해석 의한 결과가 절대값으로 표현되는 것은 모순임을 알 수 있다.

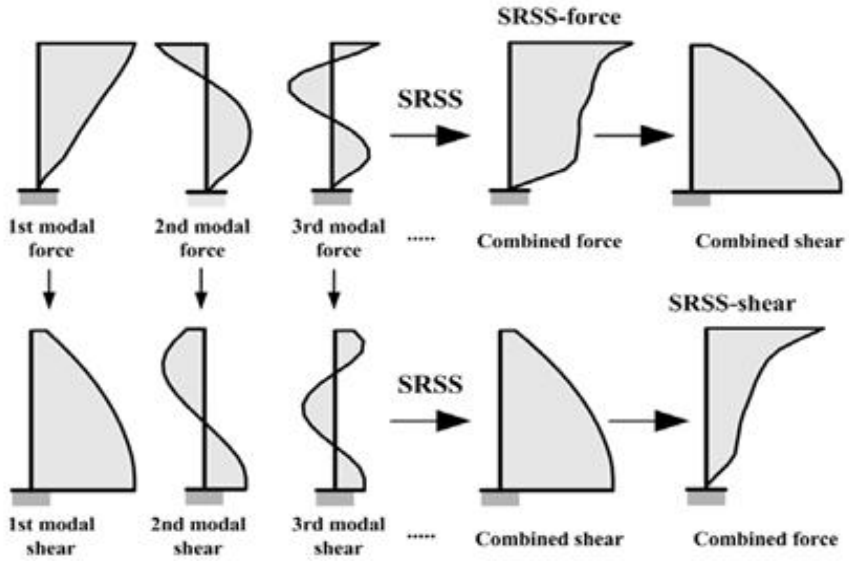
휨모멘트에 대한 조합의 경우에 기둥에서 발생하는 휨모멘트 크기는 알 수 있지만 방향을 알 수 없어서 현실적이지 못한 결과가 나타날 수 있다. 또한 축력과 휨모멘트의 조합에서는 지진하중에 의한 부재력과 중력하중에 의한 부재력을 조합할 때에 축력의 크기는 정해져 있지만 축력이 작용하는 방향이 압축력인지 인장력인지 알 수 없다. 수많은 하중조합조건에서 부재력의 조합결과에 대하여 단면설계를 위한 가장 불리한 경우를 판단하여 반영해야 하는 어려움이 있다. 이러한 문제점에 대한 대안으로 2000년 대한건축학회 “건축물 하중기준 및 해설”의 제6장 지진하중 해설부분에 보면 유사동적해석법을 제시하고 있다.

건축구조물에서 횡방향으로 하중이 작용할 경우에 각 부재에서 발생하는 휨모멘트의 크기는 주로 층전단력의 크기에 의하여 결정되며 기둥에 작용하는 축력의 크기는 전도모멘트의 크기에 의하여 결정된다. 각 층의 전도모멘트의 크기는 그 층의 전단력과 바닥에서 그 층까지의 높이를 곱합으로써 얻어진다. 즉, 기둥에 작용하는 축력의 크기도 층전단력에 의해 결정됨을 알 수 있다. 그러므로 지진해석에 의한 구조물의 지진응답 특히, 부재력을 산정하는데 있어서 층전단력은 절대적인 영향을 미친다고 할 수 있다. 응답스펙트럼해석법에서 SRSS 형태에 의한 층지진하중은 부재력에서 발생하는 부호의 영향을 고려할 수 없다는 단점이 있다.

핵심은 바로 정적해석에서 사용할 수 있는 새로운 층분포하중을 구하자는 것인데 구하는 방법이 바로 응답스펙트럼 해석에 의한 층전단력 분포를 이용하자는 것이 유사동적해석법에서 가장 중요한 내용이다. 다음 그림에서 살펴보면 층하중을 SRSS 조합하여 산정한 하중과 각 모드별 층전단력을 조합한 층전단력에서 산정된 층하중은 다른 하중 분포형상을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다. 응답스펙트럼해석에 의하여 나타나는 층전단력은 바로 모드별 전단력의 조합인 Combined Shear 부분이다. 이 층단력의 차를 이용하여 층분포하

중을 역으로 계산할 수 있다. 즉, 이러한 층분포하중을 이용하여 정적해석을 수행하면 응답스펙 해석에 의한 층전단력 분포와 동일한 층전단력을 얻을 수 있다.

[유사동적해석법에 의한 층분포하중의 산정]



라. 시간이력해석 (Time History Analysis)

구조물의 지진해석을 위해서 사용할 수 있는 여러 가지의 해석방법 중에서 가장 정확한 결과를 주는 방법이다. 지진에 의한 구조물의 거동이 시간에 따라서 어떻게 변하는가를 상세하게 계산할 수 있다. 구조물의 동적거동 특성인 질량에 의한 관성력, 감쇠에 의한 감쇠력, 강성에 의한 탄성복원력과 지진하중의 특성을 정확하게 고려할 수 있는 이 해석법은 계산량이 방대하여 해석에 소요되는 시간이 지나치게 길어지는 경우가 발생한다. 실제 각 나라의 내진설계기준에서는 시간이력해석법을 사용하도록 제시하고 있다. UBC-97의 경우 지진해석을 수행하기 위해 원칙적으로 대상 부지에서 계측된 시간이력을 사용해야 하지만 필요시에는 대상 부지에서 기대되는 시간이력과 유사하다고 판단되는 다른 지역의 계측기록을 사용할 수 있으며 인공가속도 시간이력을 사용할 수 있다고 언급하고 있다.

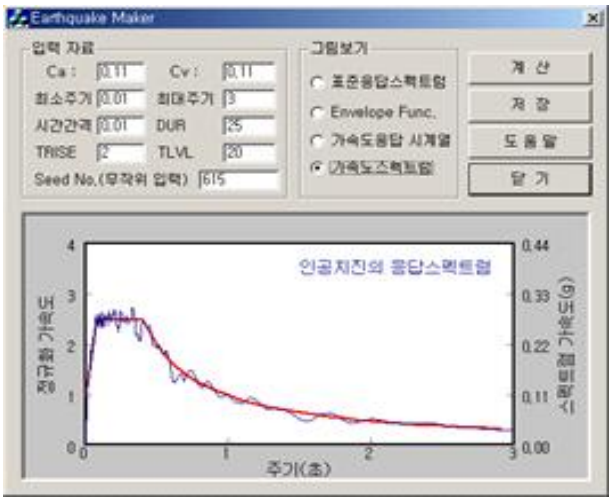
인공가속도 시간이력이라는 것은 지반특성, 지진원에 대한 발진기구의 특성 및 전파경로, 부지의 국지적인 영향 등을 고려한 응답스펙트럼과 잘 부합되도록 생성

되어야 한다. 인공가속도 시간이력을 이용하여 지진해석을 수행하는 것에 대해 ① 국내에는 시간이력해석을 수행하기 위해 적합한 지진데이타가 없으며 설사 있다하더라도 선택하기가 어렵다. ② 시간이력해석시 구조물 각 부재에서 발생하는 부재력의 최대치들은 동시에 발생하지 않으므로 가장 불리한 경우에 대해서 수 많은 경우에 대해 부재 설계를 수행해야 한다. 그러므로 보수적인 측면에서 등가정적해석법이나 응답스펙트럼 해석을 이용하는 것이 효율적이다. 라는 의견도 존재한다.

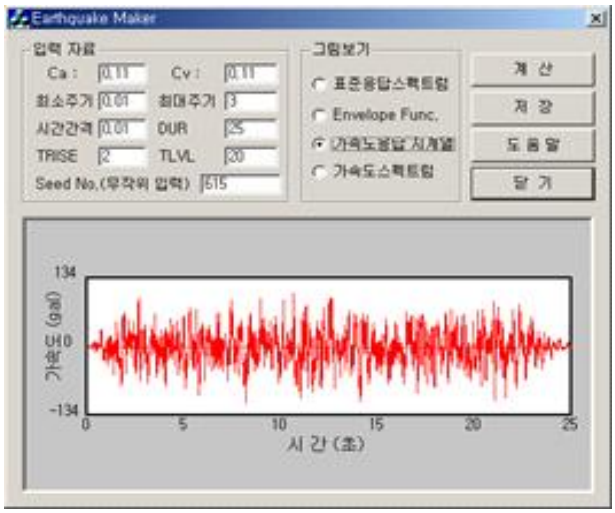
그러나, 국내에서 적용 가능한 가속도 시간이력 데이터는 외국에서 발생한 많은 역사적 지진파들 중에서 우리나라 지반의 특성과 비슷한 가속도 시간이력 데이터를 수집하여 확률적으로 통계 처리하는 방법으로 통해 획득이 가능하다. 물론 구조기술자들이 이러한 데이터를 수집하여 확률 통계적으로 처리하는 것은 어려운 일이므로 학회 차원에서 수행해야 하는 한다.

또 한가지 방법은 지반특성, 지진원에 대한 발진기구의 특성 및 전파경로, 부지의 국지적인 영향 등을 고려한 응답스펙트럼과 잘 부합하도록 인공지진파를 생성하는 방법이다. 인공지진파를 생성하는 방법은 ① 응답스펙트럼에 부합하는 지진파를 랜덤 진동론에 의하여 작성하는 방법 ② 진원, 전달경로 및 부지특성을 종합적으로 모델링하고 랜덤 진동론을 이용하는 추계학적 방법으로 얼마든지 생성이 가능하다.

[목표 응답스펙트럼 형상]



[인공 가속도 시간이력 생성]



시간이력해석은 앞서 기 언급한 해석방법보다 이론적으로 정확하다는 것은 이론의 여지가 없다. 또한 시간이력해석을 수행하면 등가정적해석이나 응답스펙트럼해석에서 고려하지 못하는 지진응답들을 획득할 수 있는 장점이 있다. 물론 선형탄성이라는 한계는 있지만 특정한 부재에서의 지진응답은 등가정적 및 응답스펙트럼해석에 의한 지진응답을 훨씬 초과하는 경우가 발생한다는 것이다. 특히 주요부재나 국부적으로 지진에 의한 손상을 정밀하게 평가해야 하는 층에 대해서는 반드시 검토할 필요가 있다.

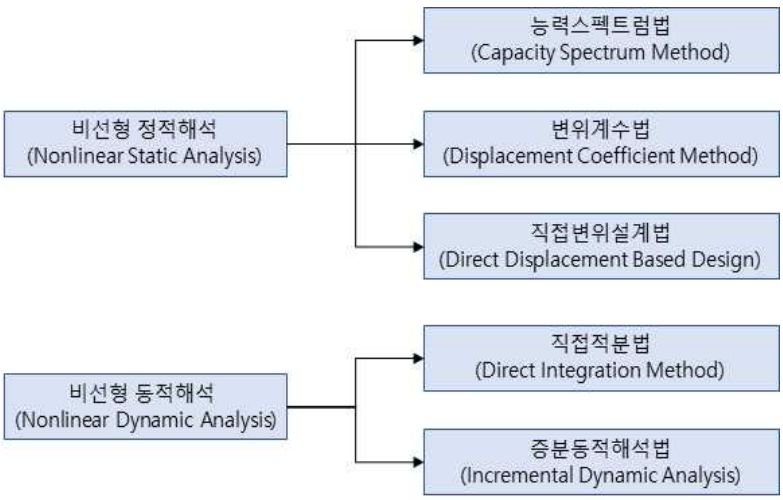
응답스펙트럼해석이 동적해석이라고 할지라도 이 해석법은 구조물의 동적특성만을 반영한 것이지 지진하중의 동적특성은 해석상에 반영할 수 없다. 앞서도 언급했듯이 설계응답스펙트럼에 부합하는 인공 지진파는 무수히 많이 생성할 수 있으며 각각의 지진파마다 시간영역 측면에서 서로 다른 동적특성을 반영하기 때문이다. 구조물의 동적특성과 지진하중의 동적특성이 일치하는 경우 공진과 같은 동적으로 구조물에 치명적인 거동이 발생할 수 있다. 그리고 각 질량에 작용하는 관성력의 방향이 구조물의 1차 모드와 같이 일치하는 경우에는 밑면전단력은 단순한 모든 관성력의 합이 되지만, 각 질량에 작용하는 관성력의 방향이 고차모드에서처럼 서로 다를 때에는 서로 상쇄되는 부분이 존재하며 밑면전단력이 줄어 들게 된다. 이러한 현상들은 각 모드응답을 SRSS 조합하여 합산하는 응답스펙트럼해석에서는 얻을 수 없는 효과이다.

그러므로 질량과 질량간에 작용하는 관성력의 차이이며 질량간의 상대변위에 의하여 계산되는 층전단력은 충분히 시간이력해석과 응답스펙트럼해서 사이에서는 차이가 발생할 수 있다. 관성력의 방향에 따라서 서로 상쇄되는 부분이 존재한다는 것이다. 그러므로 안정성에 대한 정밀 평가를 위해서는 특히 중요한 구조물에 대한 국부적 실계를 위해서 시간이력해석은 매우 유효하게 적용할 수 있는 해석수단이라고 판단된다.

3. 비선형 지진해석(Nonlinear Seismic Analysis)

비선형 지진해석은 다음 그림과 같이 크게 정적해석과 동적해석으로 구분할 수 있다. 비선형 해석의 종류는 매우 다양하고 적용되는 분야에 따라서 세분화 될 수 있으므로 아래의 구분은 건축물에서 적용할 수 있는 비선형 지진해석에 대해야 대략적으로 분류한 것이다.

[비선형 지진해석의 종류]



지진의 규모가 클수록 구조물과 각 부재는 비선형 거동을 보이기 때문에 정확한 지진응답을 구하기 위해서는 비선형 해석이 필수적이다. 건축구조물은 작용하는 지진하중은 정확히 예측할 수 있는 성질이 아니다. 그렇다고 모든 구

조물에 대하여 선형 탄성적으로 거동하도록 설계한다는 것 자체는 경제적으로 매우 비효율적이다. 그러므로 건축구조물에 대한 대부분의 설계개념은 사용성이 요구하는 정도의 하중까지는 선형 탄성거동이 보장되도록 하며, 그 이상의 특별한 하중의 경우에는 비선형 또는 비탄성 영역에서의 거동을 허용하도록 설계할 필요가 있다는 것이다.

비선형 해석은 해석적으로 고려해야 하는 사항들이 매우 많으며 해석시간 역시 매우 길며 지진응답에 대한 내용분석과 설계에 적용할 수 있는 구체적인 방법들이 거의 제시되어 있지 않다. 또한 해석시 많은 가정의 도입이 필요하기 때문에 해석적 결과가 실제 구조물의 비선형 거동과 정확하게 일치한다고 말하기가 어렵기에 구조기술자들이 실무에 적용하는 것에 부담을 갖는 경우가 있으나 이미 미국의 비롯한 선진국의 경우 보편화되어 효과적으로 평가할 수 있는 방법을 고민하는 단계이다.

더군다나 이후 언급하겠지만 대상 건물의 내진성능 평가를 통해 소요의 목표를 달성하고 건축주의 요구사항을 만족시키기 위해서 비선형 해석은 더 이상 선택사항이 아니라고 말할 수 있다.

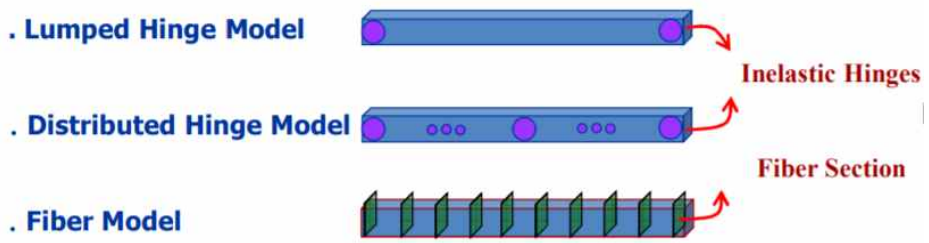
가. 비선형 동적해석(Nonlinear Dynamic Analysis)

각 부재의 비선형 거동을 반영하면서 실제의 지진이력에 대하여 시간대 별로 구조물의 동적 이력특성을 구하는 방법이다. 비선형 지진해석은 기본적으로 모드의 분리 및 중첩의 원리가 적용되지 않으므로 미분방정식에 대하여 시간대별로 적분을 수행하여 응답을 구하는 직접적분법을 사용해야 한다.

특정한 입력지진운동에 대한 응답을 구하는 것으로 대상지점에 있어서 지진운동의 세기, 지속시간, 진동수성분, 시공간적인 변화와 같은 불확정적인 요소를 많이 포함하고 있다. 이것은 지진공학의 근본적인 불확실성에 대한 문제이다. 또 한가지 비선형 지진해석에서 어려운 부분이 바로 부재의 비선형 이력 특성을 정의하는 부분이다. 각 부재의 이력특성은 재료의 비선형 특성을 고려하여 모멘트-곡률 또는 모멘트-회전각 관계로 정의해야 한다. 그러므로 입력데이타를 작성하기 위해서는 부재단면에 대한 해석이 내부적 또는 외부적으로 선행되어야 한

다. 각 부재에 대한 정확한 지진거동은 많은 연구들에 의하여 해석적으로 또는 실험적으로 규명하여 왔다. 이러한 연구 및 실험에 의하여 경험적인 이력특성 모델들이 제시되어 있고 또는 더욱 더 정확한 해석을 위하여 Fiber 요소의 사용과 같은 접근 방법도 제시되어 있다.

[비선형 해석 요소 모델]



비선형 동적해석을 수행하면 얻을 수 있는 해석결과들은 여러 가지고 있다. 이중에서 선형시간이력해석에서는 평가할 수 없는 항목들이 바로 구조물의 비선형 능력 또는 요구연성비, 이력특성, 소성힌지, 에너지 응답 등일 것이다. 약간은 낯설은 단어들이지만 지진공학과 내진설계의 근본적인 이론과 원리를 구성하고 있는 핵심적인 요소이다. 현재 내진설계기준에서 제시하는 많은 사항들은 대부분 비선형 지진해석과 실험 등에 근거한 역학적이고 해석적인 접근과 이에 따른 전문가들의 경험적인 견해를 바탕으로 정해진 것이다. 특히 건축물의 시스템 변수 중의 하나인 응답수정계수는 비선형 지진해석과는 너무나도 밀접한 관련성을 가지고 있다는 것은 주지하는 사실이다.

현재 미국, 일본 및 뉴질랜드와 같은 소위 지진공학 연구의 선진국에서는 실무 적용의 내진설계단계에서 비선형 동적해석을 활용하는 경우도 있으며 현재 국내 내진설계 기술력과 현격한 격차를 보이고 있다. 이들은 지진공학의 근본적인 문제를 따진다. 설계하고자 하는 구조물이 지진에 대하여 제대로 거동할 수 있는지를 분석한다. 지진에 대한 구조물의 거동 평가라는 것이 지진해석에 의한 요구량의 예측과 함께 특정재료와 특정단면의 구조물이 보유하고 있는 능력

(Capacity)를 제대로 평가할 수 있어야 한다는 의미이다. 다시 말하면, 밑면전단력, 층전단력 및 전도모멘트는 그러한 크기의 힘이 발생될 때 구조물에 상당하는 저항능력이 있는지를 검토할 수 있어야 한다. 또한 변위에 대해서도 구조물에 발생하는 크기를 수용할 수 있는지, 비선형의 경우에 소성힌지의 회전능력이 동적해석에 의한 변위응답의 크기를 수용할 수 있는지를 알아야 한다는 것을 의미한다. 이미 뉴질랜드에서는 이와 같은 소성메카니즘의 대한 설계 철학을 반영한 내진역량설계법이 실무에서도 흔하게 적용하고 있으며 이에 대한 내용 역시 내진설계기준에 충실히 반영되어 있다.

나. 비선형 정적해석(Nonlinear Static Analysis)

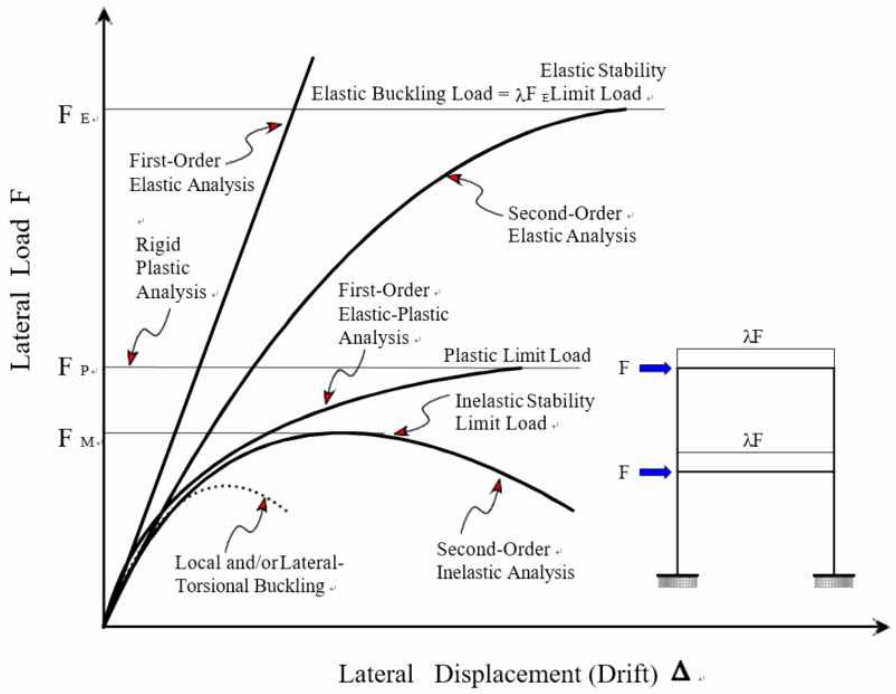
비선형 동적해석을 수행하는데 있어 발생하는 여러 가지 문제점을 해결하기 위하여 비선형 동적해석보다 간편하고 쉽게 실무자들이 접근할 수 있는 비선형 해석방법(Pushover 해석법)이 적극적으로 활용하게 되었다. 이 해석은 실험에서도 일방향 가력실험이라고 해서 적용해 오고 있던 방법이다. 부재의 항복이후에 대한 이력특성을 정의하여 해석에 적용한다는 의미에서 비선형 해석이며 시간 변수와 무관하다는 의미에서 정적해석이다. 시간이라는 변수와 무관하다는 말은 구조물의 질량에 의하여 발생하는 관성력과 감쇠에 의한 감쇠력은 해석에 반영되지 않으며 응답 결과에는 포함되지 않는다는 것을 의미한다. 바로 이점이 Pushover해석의 단점이라고 할 수 있다.

Pushover 해석은 일명 소성힌지법(Plastic Hinge Method)이라고 한다. 이 방법은 재료의 연성과 구조물의 부정적성을 해석에 반영하여 구조물의 비탄성 거동을 해석하는 가장 일반적인 방법이다.

Pushover 해석법의 메커니즘을 간략히 서술하면 다음과 같다. 부정정 구조물에서는 부재의 어느 한 부분의 응력이 항복점에 도달하면, 그 절점은 항복함으로써 하중을 더 증가시켜도 항복점 응력이 거의 일정한 응력상태에 있지만 항복점에 도달하지 않은 다른 절점은 탄성범위내에 존재한다. 구조시스템은 응력의 재분배에 의하여 불안정 상태에 도달할 때까지 하중을 지지할 여력을 가지기 때문에 하중의 증분에 따라서 구조물의 비선형 거동을 효과적으로 파악할 수 있다. 아래 그림 7은 구조물에 대한 Pushover 해석을 수행함으로써 얻을 수 있는

하중과 변위와의 관계를 표현한 것이다. Pushover 해석에는 다양한 방법이 존재하며 어떠한 해석조건을 적용하느냐에 따라서 하중-변위 관계의 유형 또한 여러 가지 형태로 나타난다.

[Pushover 해석에 의한 구조물의 하중-변위 관계]



재료의 연성과 구조물의 부정정성을 이용하여 시스템이 불안정 상태에 도달하기까지의 거동을 효과적으로 파악할 수 있기 때문에 구조물의 소성거동과 파괴메커니즘에 대한 분석이 가능하다.

Pushover 해석의 가장 기본적인 개념을 예제를 이용하여 설명하면 다음과 같다. 구조물의 모든 부재들이 항복할 때까지 계속해서 하중을 증가시킨다는 의미로 각 단계별로 하중과 변위관계에 대한 선형탄성해석을 순차적으로 수행한다고 이해하면 된다. 대상 모델은 역학적으로 3차원 부정적 구조물이다. 소성해석에서 고려해야 하는 3가지 조건은 다음과 같다.

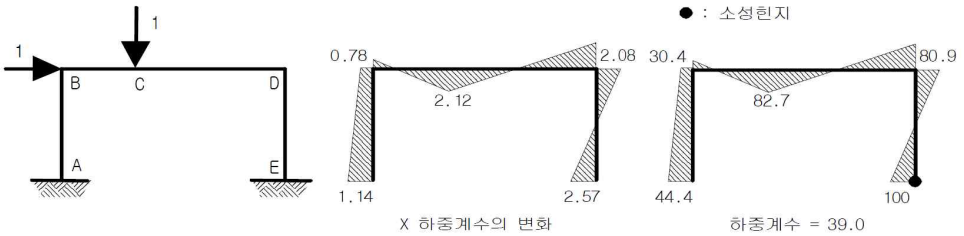
① 평형조건 : 외력에 의한 하중과 각 부재에서 발생하는 내력의 합은 항상 동일하다.

② 항복조건 : 가정된 부재의 항복조건을 만족하면 더 이상 부재는 힘을 받지 못하고 다른 부재로 재분배한다.

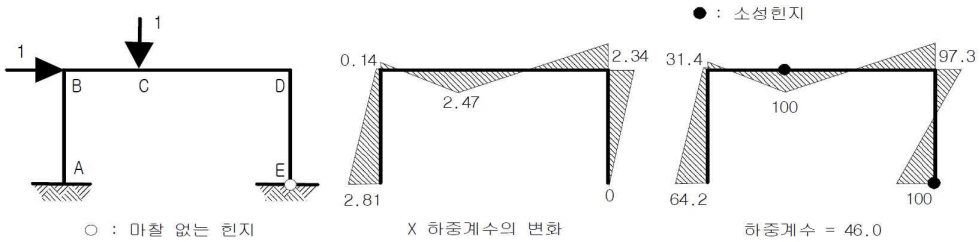
③ 파괴조건 : 구조물은 '부정정차수 + 1'개의 소성힌지가 발생하면 파괴된다.

각 단계별로 하중계수를 구하고 소성힌지의 분포에 따라서 힘의 흐림이 달라지는 것을 확인할 수 있다. 4단계에서 4번째 소성힌지가 발생할 때 강성행력이 '0'이 되고 구조물이 파괴된다. 이때의 최종적인 하중계수 λ=50이 된다. 이때의 하중이 붕괴하중(Collapse Load)이라고 할 수 있다.

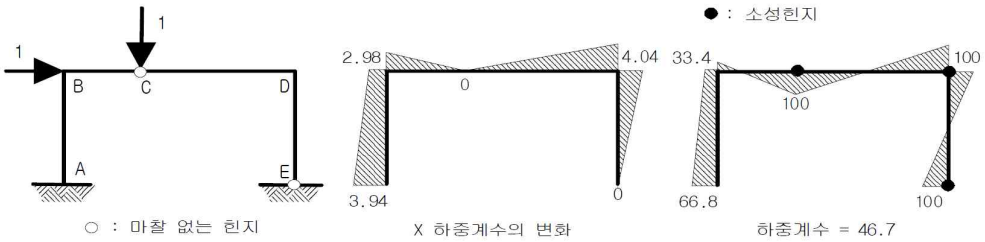
[하중증분 해석에 의한 골조의 파괴메커니즘]



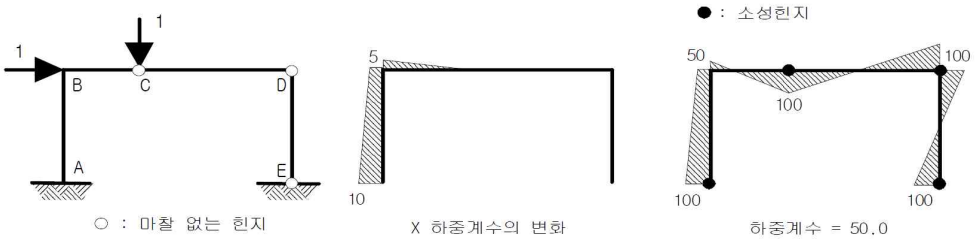
(a) 1단계 해석



(b) 2단계 해석



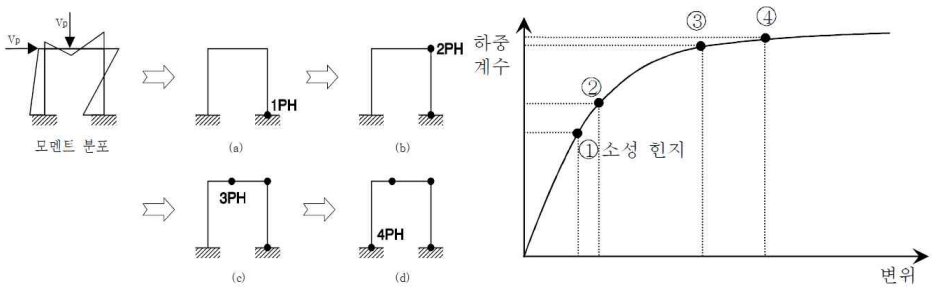
(c) 3단계 해석



(d) 4단계 해석

아래 그림은 이러한 순차적 소성힌지 발생에 의한 골조의 하중과 변위사이의 관계를 나타낸 것이다. 소성이론의 3가지 조건 중에서 파괴조건은 실제 구조물에서는 그대로 적용될 수 없다. 무한 부정정차수를 가지는 건축물이 '부정정차수 + 1'개의 소성힌지 발생할 때에 파괴되지는 않기 때문이다. 바로 파괴 메커니즘이라는 것이 존재하기 때문이다. 건축물의 경우에는 보와 기둥의 파괴, 접합부의 파괴 및 복합적인 파괴에 의하여 붕괴될 수 있다.

[골조의 소성힌지 발생과정 및 하중-변위 관계]



성능에 기초한 내진설계에서 Pushover해석은 핵심적인 역할을 하며 구조물이 보유하고 있는 능력(Capacity)과 고려하는 지진하중의 대한 요구(Demand) 정도를 매우 효과적으로 비교할 수 있기 때문에 내진성능평가 분야에서 실무적인 적용이 가능하다.

4. 결론

지금까지 지진해석의 종류와 원리에 대해서 개괄적으로 정리를 하였다. 지진해석은 지진과 구조물의 동적특성에 대한 이해가 증가하고 정확한 거동분석의 요구가 높아지면서 선형해석에서 비선형해석으로 그리고 정적해석에서 동적해석으로 지속적으로 발전하고 있다.

지진설계시 기본적인 입력자료인 지진에 대한 불확실성이 큰 상태에서 구조물의 동적응답의 불확실성을 최소화하여 구조물의 안전성을 확보하는 것이 내

진설계의 기본적인 목적이다. 이에 더불어 요구하는 성능을 경제적인 방법으로 확보해야하는 합리적인 방법을 찾는 것이 내진해석 방법의 발전 이유라고 판단된다.

전산해석 기법 및 관련 소프트웨어의 발전으로 과거의 보수적이고 적용이 쉬운 해석방법에서 지진이라는 극한하중 상태에서 단계별로 변동하는 구조물의 비선형성을 반영하는 해석방법으로의 전환은 당연한 것으로 판단된다.

더구나, 건축물이 고층화되고 다양한 건축재료와 다양한 입면형태를 갖는 구조물을 경제적으로 설계하기 위해서 구조물의 내진설계와 내진성능평가시 비선형 해석을 통한 구조물의 동적거동을 정확히 파악하는 것은 반드시 필요하다고 판단된다.

집 필

총 괄 | 조 용 복 예산분석실장

심 의 | 고 기 석 사업평가심의관
상 지 원 예산분석총괄과장
서 세 욱 산업예산분석과장
임 종 수 사회예산분석과장
박 혜 진 행정예산분석과장
정 연 수 경제산업사업평가과장
김 수 옥 사회행정사업평가과장
박 홍 엽 공공기관평가과장

작 성 | 안 태 훈 예산분석관

지 원 | 양 희 열 행정실무원
이 병 주 자료분석지원요원

재난안전 관리 현황과 주요 대책 분석 Ⅳ
지진방재 실태 분석
-시설물 내진대책을 중심으로

발간일 2017년 10월 31일
발행처 **국회예산정책처**

이 책은 국회예산정책처 홈페이지(www.nabo.go.kr)에서 보실 수 있습니다.

ISBN 978-89-6073-491-3 93350

© 국회예산정책처, 2017

나라살림 지킴이
나라정책 길잡이

대한민국국회

National Assembly Budget Office
(07233) 서울특별시 영등포구 의사당대로 1
Tel. 02-2070-3114 www.nabo.go.kr

발 간 등 록 번 호
31-9700487-001579-14