

1 일반교량의 내진설계

글 조현준 \ 토목기술팀 과장 \ 공학박사 \ 전화 02-3433-7918 \ E-mail hjcho@ssyenc.com

글 선우윤호 \ 토목기술팀 대리 \ 전화 02-3433-7787 \ E-mail layncenix@ssyenc.com

1. 머리말

지난 2016년 9월에 발생한 경주지진과 2017년 11월에 발생한 포항 지진은 최대 규모가 각각 5.8과 5.4의 지진으로 우리나라 기상청 계 기관측 역사 이래 가장 큰 지진이었다. 이로 인하여, 주택, 학교와 같은 건축물을 비롯해 도로, 항만 등의 인프라 구조물까지 적지 않은 피해가 발생하였고 진앙지와 멀리 떨어진 수도권에서도 건물이 흔들거리는 진동이 감지되었다.

이번 두 사건을 통해 지진에 대한 사회적 관심도는 한층 더 크게 증가하였다. 또한 우리나라도 지진으로부터 안전지대가 아님을 실감하게 되었으며 국내 기술자들에게는 국내 지진 특성의 확인을 통해 방재기술 확보 방안에 대해 다시 한번 고찰하게 된 사건으로 생각된다.

지진은 자연적 원인으로 인해 진원지에서 발생한 에너지가 지각을 통해 전달되면서 흔들리는 현상이다. 그래서 지반에 지지되어 있는 구조물은 직접적인 영향을 받게 되고, 설계 시 이로 인한 손상을 최소화하기 위해 대비하여야 하지만 지진은 발생형태가 불규칙적이면서 복잡할 뿐 아니라 시작 및 종료 시점과 강도를 정확히 예측하기 어렵기 때문에 이를 설계에 적절히 반영하기란 쉽지 않다.

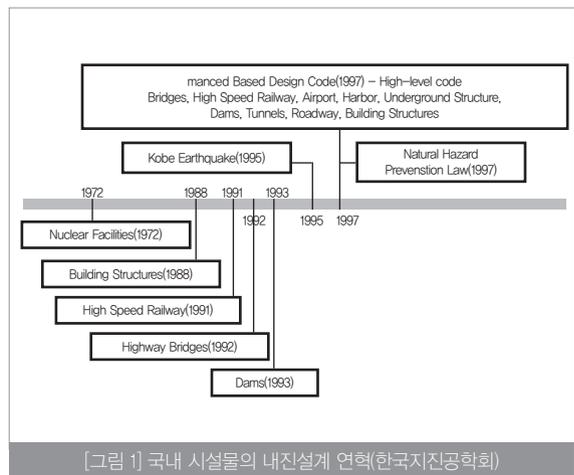
지진에 대한 성능 확보는 계획 및 설계단계만의 문제는 아니다. 근래에는 설계기준 정립 이전에 시공된 노후화 시설물의 내진성능 확보에도 관심이 모아지고 있다. 교량의 경우, 국토교통부와 한국도로공사의 조사 내용에 따르면 국도교량은 내진설계의 적용율이 86%로 고속도로 교량에 비해 상대적으로 낮은 수준이며 민간공사가 주를 이루는 건축물의 경우 대상 건축물에 대한 내진설계 적용율이

33%에 그친다는 한 언론의 조사결과가 보도된 바가 있다. 실제로 정부에서는 기존 인프라 구조물의 내진성능 확보를 위한 예산을 매년 편성하고 있어, 기존 구조물의 내진보강에 대한 중요도와 관심 또한 지속적으로 높아질 것으로 예상된다.

본 고에서는 내진 성능확보를 위한 기술적 관심이 커지고 있는 현 시점에서 국가 중요 공공시설물 중 하나인 일반 교량을 대상으로 내진설계의 현황과 절차를 소개하고 내진설계 방법 등을 기술하여 관련 업무를 위한 기본적인 이해를 도모하고자 한다.

2. 국내 내진설계기준 현황

2-1. 내진설계기준 연혁



[그림 1] 국내 시설물의 내진설계 연혁(한국지진공학회)

국내 내진설계는 최초 원전 구조물에 적용하기 위해 1970년대 초반에 도입되었지만 발생빈도가 낮은 지진을 보편적으로 고려하기에는 경제적인 여유와 기술적 어려움이 컸다. 이후 국가의 발전과 함께 사회기반시설이 대량으로 건설되었으며 고층건물과 장대교량 등의 대형 구조물이 일반화되면서 내진설계의 중요성이 대두되었고 1978년 10월에 발생한 규모 5.0의 충청남도 홍성 지진, 1985년 12월에 발생한 규모 8.0의 멕시코시티 대지진 등을 계기로 지진으로 인한 인명 및 간접피해의 피해를 예방하고자 하는 공감대가 형성되면서 1980년대부터 점진적으로 주요 시설물의 설계에 적용되기 시작하였다. 건축물의 경우, 1988년에 내진설계 의무규정을 도입하였고 교량에 있어서는 1991년 경부고속철도의 건설에 내진설계의 필요성이 인식되어 설계하중으로 지진력을 고려하였으며 1992년 도로교 시방서에 내진설계가 적용되기 시작하였다.

1995년에 우리나라와 가까운 일본에서는 규모 6.9의 한신·아와지 대지진(고베 대지진)이 발생하여 6,400명의 사망자와 약 10조엔의 재산피해를 입게 되었는데 이를 계기로 국내에서도 1996년 자연재해대책법이 제정되고 대통령이 정하는 시설에 대한 관계법령 등에 내진설계 기준을 적용함으로써 법제화되었다. 또한 1997년 국토교통부와 한국지진공학회에서 상·하위 개념의 기술기준을 도입하여 일관성 없이 시설물별로 진행되었던 내진설계를 체계화하였는데 상위개념에서는 내진성능 목표를 규정하고 내진성능 목표를 달성할 수 있는 기술적 방법과 절차에 대한 기술기준을 하위개념에서 규정하였다(표 1) 참조.

표 1 내진설계 기준 체계의 상·하위 개념

상위개념 기준	하위개념 기준
<p>내진성능기준</p> <ul style="list-style-type: none"> · 중앙부처의 장이 규칙으로 제정 · 규제의 최소화 	<p>내진설계기술기준</p> <ul style="list-style-type: none"> · 관련학회, 협회에서 시방서 및 표준서로 작성 · 대안 선택의 자유
<ul style="list-style-type: none"> · 시설물의 분류와 등급 · 하중수준 · 성능목표 설정 · 내진성능 확보 절차 · 품질보증 	<ul style="list-style-type: none"> · 내진성능 확보를 위한 구체적인 기술적 요구 사항 · 국제적으로 공통되는 자연과학적, 공학적 사항

2008년에는 지진방재에 대한 재정적, 기술적 지원근거를 마련하는 종합적인 대책을 수립하고자 지진재해대책법(현 지진·화산재해대책법)이 자연재해법에서 확대·개정되어 공포되었으며 31개 시설물에 대하여 내진설계기준을 적용하도록 규정하였다. 이러한 기초를 바탕으로 대부분 해외 강진지역의 내진개념과 설계법이 그대로 도입되어 지진 강도가 상대적으로 낮은 국내 실정과 부합되지 않는 요소가 있었던 제정 당시의 국내 내진설계기준은 활발한 연구와 기

준 개정을 통해 우리나라의 실정을 반영한 내진설계개념과 설계법이 정립되고 있다.

2-2. 교량의 내진설계기준 현황

앞서 언급하였듯이 국내 교량 설계에 지진이 고려되기 시작한 것은 1991년에 경부고속철도를 시공하기 위해 제정된 '고속철도 철근콘크리트 구조물설계 표준시방서(안)'에 지진의 영향을 등가정적하중으로 정의하면서이다. 이후 1992년 AASHTO 내진규정의 설계개념을 도입하여 도로교 표준시방서에 내진설계편이 별도로 수록되었으며, 2000년에 개정된 도로교설계기준에 1997년 건설교통부와 한국지진공학회에서 수행한 내진설계기준연구 결과가 반영되었다. 도로교의 내진설계는 1992년 도로교표준시방서에서 최초 편성이 된 후 (표 2)와 같이 수차례 개정되는 과정을 거쳐 현재는 2016년에 공시된 도로교설계기준(한계상태설계법)에 수록되고 있다. 2016년 설계기준에서는 성능기반 내진설계를 도입한 케이블교량편을 별편으로 구성하여 장경간 케이블교량에 대한 내진설계기준을 제시하고 있다.

표 2 도로교설계기준 주요 개정 내용

연도	주요 개정내용
1992	도로교표준시방서의 내진설계편 신설
1996	1차개정
2000	2차 개정 상위기준의 성능기초 내진설계개념의 일부 도입
2005	지반의 액상화 평가 관련내용 구체화 등 기본개념의 연성거동 유도 및 지진격리교량 설계기준 신설
2010	안전성 확보를 위한 낙교방지 개념 도입 지진격리시스템의 적용확대에 따른 각종 장치의 신뢰성 확보방안 제시 철근콘크리트 기둥의 연성도 내진설계 신설(부록)
2012	철근콘크리트 기둥의 연성도 내진설계를 본편으로 구성
2014	중공원형 교각에 대한 내용 신설 장경간 케이블교량에 대한 내진설계를 별도 구성 (성능기반 내진설계 도입)

철도교에 대한 내진설계기준은 철도설계기준(2016, 국토교통부, 한국철도시설공단)의 교량 일반사항편에서 다루고 있으며 기본적으로 도로교의 내진설계기준(2010)과 대부분 동일하다.

3. 교량 내진설계

3-1. 내진설계 일반사항 및 내진성능기준

교량에서의 내진설계는 교량의 정상적인 수명 이내에 발생할 가능성이 매우 적은 지진을 하중 대상으로 하고 있으며, 이로 인한 인명 피해를 최소화하고 교량 전체의 붕괴를 방지하는 것을 기본 개념으로 두고 있다. 여기에는 중소규모 지진에는 교량의 탄성영역에서 거동을 하고 큰 규모의 지진에서는 지반진동으로 일부 부재의 손상

은 입을 수 있으나 교량의 붕괴는 발생하지 않는 상태를 의미하며, 이를 위해 낙교 방지와 교량의 연성거동을 확보하도록 하고 있다.

1) 시설물의 내진등급

국내 시설물의 내진등급은 중요도에 따라 내진 II등급, 내진 I등급, 내진 특등급으로 분류하고 있으며 일반교량에서는 아래 <표 3>과 같이 내진 II등급과 내진 I등급으로 규정하고 있다.

표 3 내진등급과 설계지진

내진 등급	도로교	철도교
I등급 (1000년*)	- 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도 또는 일반국도상의 교량 - 지방도, 시도 및 군도 중 지역의 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량, 해당도로의 일일계획교통량을 기준으로 판단했을 때 중요한 교량 - 내진등급교가 건설되는 도로 위를 넘어가는 고가교량	설계지진 발생후에도 교통수단을 유지하기 위한 중요시설물
II등급 (500년*)	내진 I등급교에 속하지 않는 교량	내진 I등급에 속하지 않는 철도구조물

* 설계지진의 평균재현주기

2) 내진성능수준

내진성능수준은 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 나누어지며 각 시설물은 내진등급별로 차등을 둔 재현주기를 갖는 설계지진에 대하여 기능수행과 붕괴방지라는 두 가지 성능수준을 만족하도록 설계되어야 한다. 기능수행수준은 구조물에 심각한 구조적 손상이 발생하지 않고 지진 시나 지진경과 후에도 시설과 구조물의 기능은 정상적으로 유지할 수 있는 성능수준을 의미하며, 붕괴방지수준은 구조물에 상당한 정도의 손상이 발생하는 것은 허용하나 구조물이 붕괴되어 대규모 인명손실이나 재산피해가 초래되는 것은 방지할 수 있는 성능수준을 의미한다. 내진 II등급의 경우에는 평균재현주기 50년 지진에 의해서 발생할 수 있는 지반운동에 대해서는 구조물이 기능수행수준을 유지할 수 있도록 설계하고 평균재현주기가 500년인 지반운동에 대해서는 구조물이 붕괴방지수준의 성능을 유지할 수 있어야 한다. 내진 I등급의 경우에는 평균재현주기 100년 지진에 의해서 발생할 수 있는 지반운동에 대해서는 구조물이 기능수행수준을 유지할 수 있도록 설계하고 평균재현주기 1,000년의 높은 크기의 지반운동에 대해서는 구조물이 붕괴방지수준의 성능을 유지할 수 있도록 설계하게 된다. 내진 I등급 시설보다 높은 내진특등급시설의 경우에는 평균재현주기 200년 지진에 대하여 구조물이 기능수행수준을 유지할 것을 요구하고 평균재현주기 2,400년의 높은 크기의 지반운동에 대해서 구조물이 붕괴방지수준을 유지할 수 있도록 설계되어야 한다.

표 4 재현주기에 따른 내진수준

재현주기	성능수준	기능수행	붕괴방지
50년(500년내 초과확률 10%)		II등급	
100년(100년내 초과확률 10%)		I등급	
200년(200년내 초과확률 10%)		특등급	
500년(500년내 초과확률 10%)			II등급
1,000년(1,000년내 초과확률 10%)			I등급
2,400년(2,400년내 초과확률 10%)			특등급

3) 설계지반운동 수준

우리나라에서는 지진도의 세기에 따라 지진구역 I, 지진구역 II의 2개 구역으로 구분하고 있으며, 각 구역의 재현주기 500년 지진의 지반운동가속도 크기(지진구역계수)를 0.11g, 0.07g로 규정하고 있는데 재현주기가 다른 설계지진의 지반 운동은 <표 6>의 위험도 계수를 곱하여 지진구역계수를 산정한다.

표 5 지진구역 구분 및 구역계수(Z)

지진 구역	구역 계수	행정구역
I	0.11	시 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시
		도 경기도, 강원도 남부, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부
II	0.07	도 강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도

* 행정구역의 경계를 통과하는 교량의 경우에는 구역계수가 큰 값을 적용

표 6 위험도 계수(I)

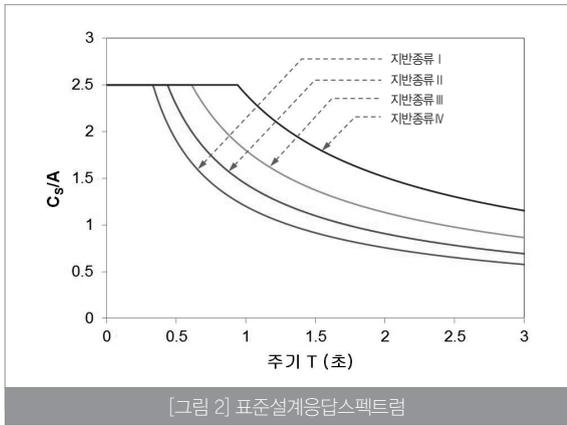
재현주기(년)	50	100	200	500	1,000	2,400
위험도계수	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0

4) 설계응답스펙트럼

복잡한 거동을 보이는 지진거동을 내진설계에서는 기본적으로 설계응답스펙트럼을 이용하여 반영하도록 규정하고 있다. 지진이 발생할 때 단자유도 구조물의 고유주기에 따른 응답거동(변위, 속도, 가속도)의 최고치를 응답스펙트럼이라고 하는데, 고유주기에 대한 함수로 표현된다. 이러한 응답스펙트럼은 구조물 및 지반 특성과 같은 많은 환경적 변수를 가질 수 있으므로 설계자 개인의 오차를 줄이고 보편적으로 적용될 수 있도록 정규화한 응답스펙트럼을 설계응답스펙트럼이라고 한다.

국내 교량의 내진설계는 미국의 방법을 채택하여 (식 1.1) 및 [그림 2]와 같은 5%의 감쇠비가 적용된 탄성설계응답스펙트럼을 사용하고 있으며 여기서 S는 <표 7>의 지반종류에 따른 계수이고, A는 지진구역과 재현주기를 고려한 위험도 계수이다.

$$C_s = \frac{1.2 AS}{T^{2/3}} \leq 2.5 A \quad (\text{식 1.1})$$



[그림 2] 표준설계응답스펙트럼

표 7 지반종류에 따른 계수

지반 종류	지반 계수	지반종류의 호칭	지표면 아래 30m 토층에 대한 평균값		
			전단파속도 (m/s)	표준관입시험 (N치 ⁽⁰⁾)	비배수전단강도 (kPa)
I	1.0	경암지반 보통암지반	760 이상	-	-
II	1.2	매우조밀한 토사지반 또는 연암지반	360 ~ 760	> 50	> 100
III	1.5	단단한 토사지반	180 ~ 360	15 ~ 50	50 ~ 100
IV	2.0	연약한 토사지반	180 미만	< 15	< 50
V	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반				

주⁽⁰⁾: 비점착성 토층만을 고려한 평균 N치

5) 응답수정계수

불확실성이 내포된 지진하중에 대해 구조물 거동을 탄성영역만 고려하면 단면이 커지는 등의 비경제적인 설계가 이루어지기 때문에 어느 정도의 손상은 허용하더라도 연성적인 거동을 하도록 설계된다면 효율적일 것이다. 따라서 탄성해석으로 얻은 탄성부재력을 응답수정계수 R을 사용하여 감소시킴으로써 부재의 소성거동을 반영한다. 응답수정계수는 지진의 거동에 대한 중요도, 구조형식, 재료에 따른 변위 연성비와 곡률 연성비, 여유력(Redundancy)을 고려하여 규정한 값으로 교량의 설계에서는 <표 8>의 값을 사용하고 있다.

표 8 지반종류에 따른 계수

하부구조	R	연결부분 ⁽⁰⁾	R	
벽식교각	2	상부구조와 교대	0.8	
철근콘크리트 말뚝 기구(Bent)	3	상부구조의 한 지간 내의 신축이음	0.8	
				1. 수직말뚝만 사용한 경우 2. 한 개이상의 경사말뚝을 사용한 경우
단일기둥	3	기둥, 교각 또는 말뚝 기구와 캡빔 또는 상부구조	1.0	
강재 또는 합성강재와 콘크리트 말뚝 기구	5	기둥 또는 교각과 기초	1.0	
				1. 수직말뚝만 사용한 경우
				2. 한 개이상의 경사말뚝을 사용한 경우
다주 기구	5			

주⁽⁰⁾: 연결부분은 부재간에 전단력과 압축력을 전달하는 기구를 의미하며 교량받침과 전단기구에 해당된다. 이때, 응답수정계수는 구속된 방향으로 작용하는 탄성지진력에 대하여 적용된다.

3-2. 교량 내진설계

1) 내진설계 및 면진설계

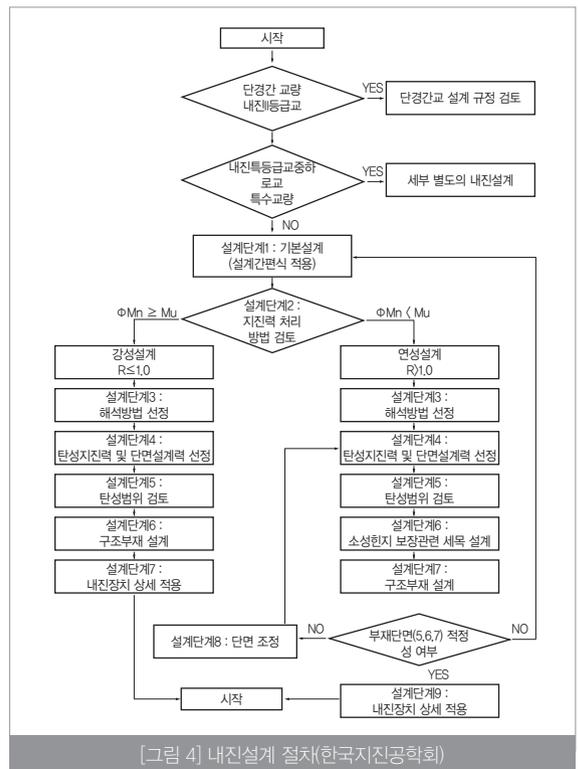
교량의 내진설계는 지진동에 의한 수평하중에 저항할 수 있는 부재의 능력을 향상시키는 통상적인 내진설계와 구조물의 동특성과 지진력의 관계를 이용하여 지진력을 감소시키는 면진설계로 구분할 수 있다. 통상적으로 내진설계는 교각의 연성 확보를 통해 지반의 진동을 감쇠시켜 에너지를 흡수하도록 하며 면진설계에서는 지진 격리받침 또는 지진격리장치 등의 특수장치의 감쇠효과를 통해 에너지를 흡수함으로써 주요 부재에 대한 지진동의 영향을 최소화시킨다.



[그림 3] 지진격리받침 예

2) 교량의 내진설계 설계절차

교량의 내진설계 절차는 다음 [그림 4]와 같은 절차로 진행된다. 단경간교의 경우, 2경간 이상의 교량과 분리하여 설계 규정이 되어 있는데 이는 교대와의 상호작용 등으로 정확한 진동주기를 산정하기 어렵고 강성이 크다고 가정되기 때문이다.



[그림 4] 내진설계 절차(한국지진공학회)

3-3. 내진설계 해석방법

내진설계 시 지진의 거동을 해석하는 방법에는 크게 정적해석 방법과 동적해석방법으로 구분되며, 동적해석법으로는 미국 UBC(Uniform Building Code)에서 제안하는 응답스펙트럼법과 시간이력해석법이 있다. 도로교설계기준에서 내진설계는 일반적으로 응답스펙트럼해석법을 사용하도록 하고 있으며, 지진격리교량 설계에 있어서 등가정적하중법, 응답스펙트럼해석법 및 시간이력해석법을 사용하도록 규정하고 있다. 다음은 각각의 해석법에 대한 특징이며, 이를 <표 9>에 정리하였다.

1) 등가정적하중법

등가정적하중법은 구조물에 가해지는 동적지진력을 등가의 정적지진력으로 환산하여 간단한 선형정적해석으로 접근하는 방법으로 지진 시 관성력의 종량 W(지진 발생 시 지지해야 하는 상부구조물의 종량과 지진거동에 영향을 주는 하부구조물의 종량의 합)와 탄성지진응답계수 C_s 의 곱으로 산정한다. 등가정적하중법은 구조물의 거동이 기본진동모드(1차 모드)에 의해 지배적이거나 특정범위 내일 때 사용할 수 있다.

2) 응답스펙트럼해석법

응답스펙트럼해석법은 동적해석 방법 중에서 가장 보편화된 방법으로 시간이력해석법에 비해 시간이 적게 소요되면서 정밀해석이 가능하다. 그러나 가하형상이 복잡하여 직교좌표축으로 모드분리가 힘든 교량은 적절한 응답을 기대하기 곤란하다. 응답스펙트럼해석법은 단일모드스펙트럼해석법과 다중모드스펙트럼해석법으로 구분되는데 단일모드스펙트럼해석법은 첫 번째 진동모드가 진동응답을 지배하는 교량의 설계지진력을 계산하는데 사용한다. 다중모드스펙트럼해석법은 기본모드 이외의 모드들이 동적응답에 대한 기여도가 큰 경우에 사용하며, 여러 개의 진동모드가 구조물의 전체 거동에 기여하는 구조형식이나 중간 정도 지간의 연속교와 장대교량 및 특수교량에도 적용 가능하다.

3) 시간이력해석법

시간이력해석법은 구조물의 동적특성과 가해지는 지진하중을 사용하여 임의의 시간에 대한 구조물 실제적인 거동(변위, 부재력 등)을 계산하는 방법으로 모드간 구분이 명확하지 않거나 비선형해석이 필요할 경우 사용한다. 시간이력해석법에는 크게 직접적분법(Direct Integration)과 모드중첩법(Modal Superposition)으로 나눌 수 있는데 직접적분법은 한 시점에서의 거동이 구해져 있을 때 다음 시점에서의 거동을 구하는 작업을 반복하여 전체시간 구간에 걸친 거동

을 구하는 방법이고, 모드 중첩법은 구조물의 거동을 각 모드의 거동으로 분리하여 모든 모드에서의 응답을 전부 중첩시킴으로써 이론상 정확한 응답의 시간이력을 구하는 방법이다.

표 9 지진응답해석법의 비교

구분	정적해석방법 등가정적해석	동적해석방법	
		응답스펙트럼해석	시간이력해석
정의	지진하중을 등가의 정적하중으로 산정하여 정적해석 수행	지진하중을 받았을 때 구조에 발생하는 응답의 최대치를 얻기 위해 사용	지진하중을 받는 경우 구조물에 발생하는 시간에 따른 응답을 얻기 위한 방법
장점	1. 시간 적게 소요 2. 해석이 간단함	1. 시간 적게 소요 2. 내진설계에 필요 한 변위, 응력의 최대치를 얻으므로 지진해석에서 일반적으로 사용됨	2. 구조물의 실제적인 거동 파악
단점	다른 방법에 비해 정확도가 가장 낮음	비선형 해석인 경우 사용할 수 없음	1. 저반기속도에 관한 자료를 얻기 어려움 2. 해석시간이 많이 소요

4. 교량 주요 부재의 내진설계

교량의 주요부재로서 RC교각, 독립식 교대, 기초에 대한 내진설계 내용에 대해 간략히 알아보고자 한다.

4-1. RC교각

교각의 내진설계는 지진 발생시 취성파괴 없이 연성거동을 통해 지진 에너지를 흡수하는 것이 주요 골자이다. 이는 심부구속 철근을 이용하는데 심부구속철근이 배근된 경우에는 축방향철근이 항복한 이후 파괴에 도달할 때까지 휨강도를 유지한 상태로 변형이 크게 증가하는 소성거동을 보인다. 소성설계 시 구조해석방법으로 선형탄성해석을 사용하는 경우에는 실제의 소성거동을 예측하기 위하여 응답수정계수 R의 개념을 적용한다.

기둥에서 소요 응답수정계수가 1.0을 초과하는 소성힌지구역의 콘크리트 심부는 소요철근량 이상의 횡방향철근으로 구속하도록 규정하고 있으며, 원형기둥의 경우 나선철근비 ρ_s 는 (식 4.1)로 정의되는 체적비를 적용한다.

$$\rho_s = \frac{4 A_{sp}}{d_s s} \quad (\text{식 4.1})$$

여기서, $\rho_s = d_s$ 를 기준으로 결정된 콘크리트

심부 부피에 대한 나선철근 체적비

$A_{sp} =$ 나선철근의 단면적(mm²)

$d_s =$ 나선철근 외측표면을 기준으로 한

콘크리트 심부의 단면 치수(mm)

$s =$ 나선철근의 수직간격(mm)

또한, 연성도설계법에서는 기둥의 소요 응답수정계수값을 통해 소요연성도를 직접적으로 산정하여 합리적인 심부구속 철근식을 제시하고 있다.

4-2. 독립식 교대

독립식 교대의 설계에서는 지진에 의한 수평토압과 교대의 관성력을 고려하며, 상부구조물의 변위가 허용되지 않는 고정단 받침으로 지지된 경우 상부구조물로부터 전달되는 지진력을 함께 고려한다. 교축방향 변위를 수용하는 교대에 있어서 지진 시 작용하는 토압은 Mononobe-Okabe의 등가정적하중법을 적용한다.

4-3. 기초

기초의 내진설계는 지반의 액상화에 대한 안전이 우선 확보되어야 하며, 얕은기초에서는 등가정적해석에 의한 활동, 지지력, 전도의 안전율을 각각 1.2, 2.0, 편심이 기초폭의 1/3이내에 들어오도록 설계하고, 말뚝기초에서는 기초지반과 상부구조물의 특성을 고려하여 지진하중을 말뚝머리에 작용하는 등가의 정적 하중으로 치환한 후 해석을 수행한다. 일반적인 경우에는 지반-구조물상호작용을 고려하지 않는 쪽이 더 보수적인 결과를 보이고 특수한 상황에서는 동적해석방법을 수행한다.

5. 지진격리설계

지진격리설계는 지진 시 수평지진력에 의한 교량의 응답을 줄일 목적으로, 주로 지진격리받침을 사용하여 설계기준에서 요구하는 내진성능을 확보하는 방법이다. 지진격리받침은 교량의 고유주기를 길게 함으로써 교량에 작용하는 지진력을 줄여주고 지진에너지 흡수 성능 향상을 통해 지진 시 응답을 감소시키는 역할을 한다. 그러나 교량의 장주기화로 공진의 가능성이 있거나 상부구조의 변위가 교량의 기능에 불리해지지 않도록 해야 한다.

지진격리설계가 적용되는 교량의 가속도계수, 내진등급과 설계지진수준은 3-1절에서 기술한 일반교량의 규정과 동일하나 연약한 지반에서는 공진이 발생할 가능성에 대비하여 지반계수는 <표 10>과 같이 증가시킨 값이 사용된다. 또한 지진격리교량에서 응답수정계수를 적용할 때 줄어든 지진하중에 의한 구조부재가 과소설계되는 위험을 감소하기 위해 <표 11>과 같이 하부구조의 값은 감소된 값을 적용하도록 하고 있다.

표 10 지진격리교량의 지반계수

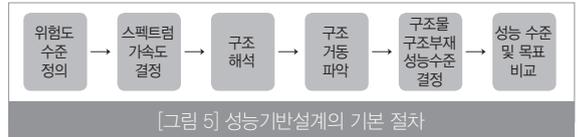
지진격리교량의 지반계수	지반종류			
	I	II	III	IV
S	1.0	1.5	2.0	2.7

표 11 지진격리교량의 응답수정계수, R

하부구조	R	연결부분	R
벽식교각	1.5	상부구조와 교대	0.8
철근콘크리트 말뚝 기구(Bent)	1.5	상부구조의 한 시간 내의 신축이음	0.8
1. 수직말뚝만 사용한 경우 2. 한 개이상의 경사말뚝을 사용한 경우	1.5		
단일기둥	3	기둥, 교각 또는 말뚝 기구와 캡빔 또는 상부구조	1.0
강재 또는 합성강재와 콘크리트 말뚝 기구	2.5	기둥 또는 교각과 기초	1.0
1. 수직말뚝만 사용한 경우 2. 한 개이상의 경사말뚝을 사용한 경우	1.5		
다주 기구	2.5		

6. 성능기반 내진설계

성능기반 내진설계는 미국 노스리지 지진(1994년)과 일본의 고베지진(1995년) 이후 보다 합리적인 내진설계 접근을 위한 패러다임 변화로 최근 도입되기 시작한 방법이다. 이는 구조물의 내진성능을 정량적으로 평가하여 저항능력과 지진하중에 대한 요구수준을 비교하고 설계자가 목표로 하는 성능수준을 만족하도록 설계하는 것으로 지진하중에 대한 구조물의 안전성을 중심으로 수행되는 기존 설계법에 비해 구조물의 성능을 포함하여 부재 중요도, 상황 등에 따른 다양한 내진성능을 확보하도록 하여 설계의 유연성을 고려할 수 있다.



7. 맺음말

본 고에서는 일반교량의 내진설계기준, 해석방법과 절차 등에 대해 간략하게 살펴보았다. 최근 잦아든 국내 지진의 발생 빈도와 세계적으로도 증가되고 있는 대규모 지진의 발생빈도를 볼 때, 국내외적으로 지진에 대한 관심은 계속 뜨거울 것으로 예상된다. 이에 내진설계 방법 및 기준에 대한 관심은 설계 및 시공 기술자가 가져야 할 기본적인 사안이 되었고, 관련 실무 능력의 배양이 필요할 것으로 판단된다. S

참고문헌

- 1 한국지진공학회(<http://www.eesk.or.kr>) 지진관련정보
- 2 도로교설계기준 2010, 한국도로교통협회
- 3 도로교설계기준(한계상태설계법) 2012, 한국도로교통협회
- 4 토목시설물의 내진설계 및 내진성능, 대한토목학회지 Vol.65 No.4
- 5 국내 시설물 내진설계기준의 개선방향에 대한 고찰, 한국지진공학회
- 6 철근콘크리트 교각의 연성도 내진설계 기술, 교량핵심기술설계연구단 2008
- 7 일반교량 하부구조의 내진설계, 한국전산구조공학회 논문집 제24권 제3호
- 8 성능기반 내진설계의 기본 개념과 절차, 한국강구조공학회지 25권 4호
- 9 구조물의 성능기반설계를 위한 성능평가방법, 한국콘크리트학회