

# 성능 기반 설계 코드와 예시

## Performance Based Design codes and Examples

공 정 식<sup>\*</sup>                      이 학<sup>\*\*</sup>                      이 도 형<sup>\*\*\*</sup>                      박 선 규<sup>\*\*\*\*</sup>                      박 대 효<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Kong, Jung Sik              Lee, Hak                      Lee, Do Hyung              Park, Sun Kyoo              Park, Dae Hyo

---

### ABSTRACT

현재 국내에서는 기존에 사용되었던 안전성 위주인 사양중심의 설계(prescriptive code)에서 구조물의 성능을 고려하여, 인명피해 뿐 아니라 구조물의 기능도 설계의 감안요소로 하는 성능 기반 설계기준(Performance-based design)이 도입되고 있는 추세이다. 본 연구에서는 일본 토목학회(JSCE), 캘리포니아 도로연방국(Caltrans), 유럽코드(Eurocode 8), 뉴질랜드 교량설계(NZ code)에서 어떤 식으로 성능기반 설계기준을 제시하고 있으며, 각 국가 간의 성능(performance)과 레벨(performance level)에 대한 접근 방식을 비교하고 국내의 성능기반 설계 도입의 필요성에 대해 논하는데 그 목적이 있다.

---

#### 1. 서론

콘크리트는 19세기 초에 포틀랜드시멘트(Portland cement)가 발명되고, 독일을 중심으로 철근콘크리트의 개발이 계속되어 근년에는 댐이나 도로포장 등의 토목공사의 중심이 되고 있다. 콘크리트의 개발이 지속적으로 이루어지고 있는 가운데, 40Mpa이상의 압축강도를 갖는 고강도콘크리트가 현장에 타설되고 있으며, 2003년에는 일본에서 Meata Bridge에서 200Mpa의 초고강도콘크리트가 타설되기도 하였다. 그러나 콘크리트는 강도가 커질수록 내구성이나 내진성에 취약해지는 경향이 있어, 세계적으로 단순히 콘크리트의 강도에 의한 안전성 위주의 설계에서 내구성, 내진성 등의 다양한 특성을 갖는 성능기반 설계 개념이 도입되고 있다.

국내에서는 건설교통부에서 2006년 1월 9일부터 주택성능등급 표시 제도를 시행하도록 하여 구조물 건설에 보다 본격적인 성능 기반 설계기준의 도입 필요성이 시급히 대두되고 있다. 본 과업에서는 JSCE, Caltrans, Eurocode 8, NZ code의 성능기반설계 중 내진성을 고려한 부분을 다룰 것이며, 각 국가에서 성능(performance)이나 레벨(performance level)을 어떤 식으로 정의하고, 성능기반 설계에 접근하고 있는지 알아보려고 한다. 본 논문은 문헌 조사결과를 중심으로 작성되었으나, 연구가 진행됨에 따라 성능중심 설계기법의 내용을 심도 있게 비교 분석할 예정이며, 이러한 연구결과를 바탕으로 성능중심 기반설계를 위한 모형을 제시하고 기초 설계기법을 개발할 예정이다.

#### 2. JSCE, Caltrans, Eurocode 8, NZ code에서의 지진거동과 내진성능 레벨

표1은 JSCE에서 제안하는 지진의 거동과 이에 상응하는 지진 성능을 묘사하고 있다. 지진의 거동에 대한 레벨을 Level 1, Level 2로 나누어져 있으며, 전자는 구조물의 생애주기 동안에 수차례 발생할

---

\* 정회원, 고려대학교 사회환경시스템공학과 조교수

\*\* 정회원, 고려대학교 사회환경시스템공학과 대학원

\*\*\* 정회원, 배재대학교 건설환경·철도공학과 조교수

\*\*\*\* 정회원, 성균관대학교 토목환경공학과 교수

\*\*\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 부교수

수 있는 일반적인 지진이며, 후자는 발생할 확률은 미비하지만 큰 손상을 일으킬 수 있는 강한 지진이다. 이에 상응하는 구조물의 내진 거동은 seismic performance 1, 2, 3 으로 분류하였는데, seismic performance 1은 지진이 발생한 후, 구조물에 손상이 없으며, 별다른 보수가 필요 없는 수준이다. seismic performance 2는 지진 발생 후, 단 기간 내에 구조물의 기능은 회복되며, 보강은 필요 없다. 마지막으로 seismic performance 3은 지진으로 인한 구조물의 붕괴가 없는 수준이다.

표1. JSCE의 seismic motion level과 seismic performance level

Code	Seismic Motion	Requirement of Seismic Performance(Limit State)	
JSCE	Level 1	seismic performance 1	After seismic event, the structure should be fully functional, and should be usable without any repairs.
	Level 2	seismic performance 2	After seismic event, the function of the structure should be restored within days and some temporary repairs may be required
		seismic performance 3	After seismic event, the structure should not collapse, although damage may be extensive.

Caltrans에서도 JSCE에서와 같이 지진 거동에 대하여 두 종류의 레벨을 두었으며, 각 레벨에 대하여 중요도가 높은 Important Bridge category와 일반적인 교량인 Ordinary Bridge category로 구분하였다. 표2는 Caltrans에서 제안하는 지진거동과 이에 대한 내진 성능을 묘사한 것이다. 보는 바와 같이, 지진거동이 두 종류의 레벨로 되어 있으며, 각각의 레벨에 구조물의 기능적인 면과 손상에 대한 항목이 포함되어 있다. 또한 그 범주 안에 구조물의 중요도에 따라 다른 성능을 보이고 있다.

표2. Caltrans의 seismic motion level과 seismic performance level

Code	Seismic Motion	Requirement of Seismic Performance(Limit State)		
Caltrans	Functional evaluation (Level 1)	Service level	Ordinary	Immediate : Full access to normal traffic is available almost immediately following the earthquake.
			Important	ditto
		Damage level	Ordinary	Repairable damage : Damage that can be repaired with a minimum risk of losing functionality.
			Important	Minimal damage : Essentially elastic performance
	Safety evaluation (Level 2)	Service level	Ordinary	Limited : Limited access is possible within days of the earthquake. Full service is restorable within months.
			Important	Immediate : Full access to normal traffic is available almost immediately following the earthquake.
		Damage level	Ordinary	Significant damage : A minimum risk of collapse, but damage that would require closure to repair.
			Important	Repairable damage : Damage that can be repaired with a minimum risk of losing functionality

표3에서는 EC 8에서 제시하는 지진거동과 내진성능을 보여주고 있다. EC8에서는 극한상태와 사용성의 두 종류로 레벨을 나누었다. 사용 한계상태(Serviceability Limit State)의 구조물은 level 1지진에 관한 것으로 기능적으로 이상은 없고, 보수하는데 드는 비용은 그리 높지 않은 경우인 일반적인 지진을 말하며, 극한상태(Ultimate Limit State)는 500년에 한번 오는 확률의 지진으로 거의 붕괴 직전까지 가는 상태를 말한다.

표3. Eurocode 8의 seismic motion level과 seismic performance level

Code	Seismic Motion	Requirement of Seismic Performance(Limit State)	
Eurocode 8	Level 1	Serviceability limit state (Minimization of damage)	The parts of structure intended to contribute to energy dissipation during the design seismic event, shall only undergo minor damage without giving rise to any reduction of the traffic or the need of immediate repair
	Level 2	Ultimate limit state (Non-collapse requirement)	After the occurrence of the design seismic event, the structure shall retain its structural integrity and adequate residual resistance, although at some parts of the structure considerable damage may occur.

표4. NZ code의 seismic motion level과 seismic performance level

Code	Seismic Motion	Requirement of Seismic Performance(Limit State)	
NZ Code	Level 1	Serviceability limit state	Damage in the structure should be minor and there should be no disruption to traffic.
	Level 2	Ultimate limit state	The structure shall be usable by emergency traffic, although damage may have occurred, and some temporary repairs may be required.
	Level 3		The structure should not collapse, although damage may be extensive. It should be usable by emergency traffic after temporary repairs and should be capable of permanent repair, although a lower level of loading may be acceptable.

뉴질랜드 교량 설계 매뉴얼(New Zealand code)에서 제시하는 지진거동과 내진성능은 표4와 같다. 뉴질랜드 코드는 다른 국가들의 코드와는 달리 세 종류의 지진거동레벨을 두었다. 이 중 2개는 다른 설계코드의 레벨1, 레벨 2와 비슷하며, 레벨 3이라고 하는 레벨 2보다 훨씬 강한 지진거동을 하나 더 추가하였다. 또한, 다른 코드에서는 붕괴, 손상, 구조물의 기능에 국한되어 있는 반면, 뉴질랜드 코드에는 지진과 같은 극한하중이 가해졌을 때, 이에 대응할 수 있도록 긴급구조차량의 통행에 대한 항목도 삽입되어 있다.

### 3. 결론

JSCE, Caltrans, Eurocode 8은 내진 설계의 목적에 맞춰 지진이 발생할 때, 어느 정도의 손상을 허용하는 상황에서 인명을 보호하고, 구조물의 기능적 손실을 최소화하는데 있으며, 또한 NZ코드는 지진 발생 후, 구조물이 그들의 기능 유지를 확실히 할 수 있도록 하는데 있다. 위에 언급한 설계기준 모두 구조물에 가해지는 하중(Demand)과 구조물의 거동(Capacity)에 각각의 국가에서 정의한 상황에 맞춘 레벨이 정해져 있고, 이렇게 정해진 레벨이 각 구조물의 기능성, 경제성, 역사적, 문화적 가치 등에 따라 결정된다.

성능기반 설계는 기준의 작성 및 적용이 어려운 단점이 있지만, 단순히 붕괴방지에만 국한되어 있었던 사양중심설계와는 달리 하중의 가해지는 상태와 각 구조물, 그리고 구조물의 구성성분에 등급을 정의하여, 인명피해, 붕괴방지는 물론, 구조물의 기능, 가치, 중요성에 따라 설계방식을 달리 함으로써, 보다 안정적이고, 최적의 설계를 할 수 있는 장점이 있다. 또한 과거의 강성에만 치중했던 설계와는 달리 구조물의 사용성, 편리성 그리고 극한하중이 발생하는 사건의 발생 후에 대한 대책을 고려하여 사용자가 더욱 신뢰할 수 있다. 또한 이는 국내의 토목기술이 한 단계 더 도약할 수 있는 미래지향적 설계이며, 국제 기준의 흐름에 부합하는 기준이므로 앞으로 나아갈 방향임에 틀림없다.

향후 수 년 이내에 고강도, 고성능 콘크리트가 콘크리트 산업을 주도할 것이고, 미래지향적인 건설 관련 기준으로 성능 중심의 설계기준의 개발이 필요하다고 판단된다. 이를 위해 성능중심 설계의 기본

이 되는 성능 단계에 대한 연구와 성능평가 모델개발을 위한 연구가 선행되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부의 건설핵심기술연구개발(05건설핵심D11)의 일환인 “고성능·다기능 콘크리트 개발 및 활용기술”연구과제로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분들에게 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Comparative performance of seismic design codes for concrete structure, Tada-aki Tanabe, 1999
2. 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조설계기준, 한국콘크리트학회, 2003
3. 한국콘크리트학회, 콘크리트 표준시방서(내구성편), 한국콘크리트학회, 2004
4. ASCE, "Performance-Based Design Approach in Seismic Analysis of Bridge", Amy Floren and Jamshid Mohammadi, Jan 2001
5. 한국콘크리트학회, “성능중심의 건설기술기준 개발의 필요성”, 구재동, 김태송, 송화원, 2006.7
6. 한국콘크리트학회, “콘크리트 구조물의 내구성능 설계의 도입배경 및 발전방향”. 송화원, 2006.7