

# 성능기반설계에서의 요구성능의 개념 정의 및 필요성

## Introduction and Necessity of concept of Demand for Performance-Based Design

이 병 국\*      박 대 효\*\*      이 상 열\*\*\*  
Lee, Byung Goog    Park, Tae Hyo    Lee, Sang Youl

---

### ABSTRACT

Studies for structure design has conducted in many research institutions. A basic concept of Performance-Based Design for structures was presented in seismic fields. Hereafter, Demand were defined to communicate owner's demand to designer by several research institution.

Performance-Based Design is guaranteed by an accurate analysis from hazard affected to structures and from social, economical and environmental effects. It is essential to define Performance Level and Performance Objective to grasp accurate demand for structures. In this study, Performance Level and Performance Objective in ATC-40, FEMA-273 and Eurocode were defined to introduce Performance-Based Design.

### 요 약

오늘날 많은 연구기관에서 구조물 설계에 관한 연구가 수행되고 있는 가운데 내진분야에서 처음으로 구조물에 대한 성능기반설계에 대한 기본개념이 제시되었다. 이후 여러 연구기관에서 성능기반설계를 수행하기 위해 사용자와 설계자 간의 의사소통을 원활히 이루어지게 하기 위해 요구성능에 대한 기준을 정립을 하였다.

성능기반설계는 구조물이 위치하게 될 지역적 특성이나 구조물의 특성에 따라 구조물에 발생될 수 있는 위험에 대한 정확한 분석과 구조물에 대한 사회적·경제적·환경적 영향에 대한 분석을 통하여 구조물에 요구되는 요구성능에 맞추어 구조물을 설계하여 공용기간동안 구조물에 대한 안전을 보장하는 설계방법이다. 구조물에 대한 정확한 요구성능을 파악하기 위해 성능수준 및 성능목표에 대한 정의가 필요하여 본 연구에서 성능기반설계를 수행하기 위해 ATC-40(2002), FEMA-273(1997), Eurocode(1998)에서의 요구성능기준에 관한 기초자료를 조사하였다.

---

\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 석사과정  
\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 부교수  
\*\*\* 정회원, 한양대학교 토목공학과 BK 계약교수

## 1. 서론

성능기반설계(Performance-Based Design, 이하 PBD)의 기본개념은 사용자의 요구성능(Demand)을 달성하기 위해 설계자의 능력에 따라 다양한 설계방법을 이용하여 설계를 수행하는 방법으로써, 구조물이 위치하게 될 지역적·환경적 특성에 따른 외부하중으로부터 발생하는 위험수준범위를 규정하여 구조물의 손상상태가 사용자의 요구성능을 초과하지 않도록 보유능력(Capacity)을 설계하는 방법이다. 즉, 설계자는 사용자의 요구성능에 따른 구조적·비구조적 성능수준을 설정하여 구조물의 사용성, 해당 구조물이 수행하는 기능의 중요성, 구조물의 보수나 업무 정지로 인해 발생하는 경제적, 역사적, 문화적 중요성 등에 의해 분류하여 구조 시스템 선정, 부재의 크기 및 상세, 배치계획 등을 결정하는 과정을 말한다.

PBD는 비선형 해석을 수행하여 보유능력을 산정하여 성능평가방법인 능력스펙트럼법(Capacity Spectrum Methods)이나 변위계수법(Displacement Coefficient Methods) 등을 이용하여 요구성능을 평가한 후, 보유능력곡선과 요구성능곡선으로부터 성능점(Performance Point) 및 목표변위(Target Displacement)를 산정하여 안정적·경제적 설계를 수행하는 방법이다. 다시 말해, PBD를 수행하기 위해 구조물의 재료 및 구조적 특성 변화를 파악한 후 비탄성해석을 통해서 보유능력을 결정하고, 구조물이 위치하게 될 지역 특성과 지반 상황을 고려하기 위해 기존에 기록된 자료를 바탕으로 외부하중을 설정한 후 외부하중으로부터 발생할 수 있는 인명피해나 구조물붕괴 등의 위험수준을 고려한 요구성능을 산정하는 과정을 말한다.

국외의 선진국들은 경제적, 환경적, 안정적인 설계를 위해 PBD 관련 연구를 활발히 수행하고 있으며 보유능력결정 및 요구능력산정을 위한 기준 및 방법이 계속적으로 제시되고 있지만, 국내에서는 요구성능에 관한 정확한 개념 및 기준이 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 ATC(Applied Technology Council)-40(2002), FEMA(Federal Emergency Management Agent)-273(1997), Eurocode(1998) 등의 국외로부터 PBD를 위한 요구성능수준 관련 자료조사를 수행하였다.

## 2. 요구성능수준

### 2.1 ATC-40(2002) 및 FEMA-273(1997)

ATC-40(2002) 및 FEMA-273(1997)에서는 요구성능을 크게 성능목표(Performance Objective)와 성능수준(Performance Level)로 분류하고 있다. 성능목표는 16개의 성능목표로 정의될 수 있는데 이는 하중의 빈도와 성능수준을 기반으로 설정된 것이며, 이러한 성능목표는 하나의 성능목표를 만족하는 것이 아니라 여러 가지의 성능목표를 만족할 수 있는 다중 성능목표에 근거를 두고 있다.

성능수준에 따라 구조물에 발생할 수 있는 외부하중의 재현주기와 외부하중의 크기를 결정하고 이에 따라 구조물에 발생할 수 있는 피해상황에 대한 구조적 매트릭스에 대해서 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

그림 1에서 예를 들면 500년주기의 지진에 대하여는 구조물이 인명안전 수준의 성능목표를 달성하여야 하고 2500년주기 지진에 대해서는 붕괴방지수준의 성능목표를 만족하여야 하는 수준 K, P

		성능수준			
		원전기능	기능수행	인명안전	붕괴방지
설계지진수준	자주 F100/50%	A	B	C	D
	가끔 F100/20%	E	F	G	H
	드문 F100/10%	I	J	K	L
	아주드문 F100/5%	M	N	O	P

A: 신축건물에 허용되지 않는 성능  
 B: 기본안전목표  
 C: 필수요구시설물의 성능목표  
 D: 인명안전목표  
 E: 구조물 붕괴 또는 위험시설물의 성능목표  
 F: 인명안전목표  
 G: 인명안전목표  
 H: 인명안전목표  
 I: 인명안전목표  
 J: 인명안전목표  
 K: 인명안전목표  
 L: 인명안전목표  
 M: 인명안전목표  
 N: 인명안전목표  
 O: 인명안전목표  
 P: 인명안전목표

그림 1 성능 매트릭스

는 기본적인 성능목표이다. 또한 주요구조물의 경우 E,J,O의 성능목표를 만족하여야 하며, 인류사회의 영위와 피해발생시 사회시스템의 최소피해를 보장하기 위해 필수적인 에너지시설, 통신시설, 의료시설, 소방시설, 주요교통로 등에 대해서는 성능목표 I,J를 만족시키는 절대안전목표를 만족하도록 한다. 이에 더불어 구조물의 사용자나 발주처의 요구와 설계자의 판단에 따라 다양한 성능목표를 추가할 수 있다.

성능수준이란 주어진 건물과 주어진 지진동에 대하여 허용되는 구조물의 한계손상상태를 말하며, 이러한 한계상태는 건물 내부의 물리적인 손상 및 이에 의해 야기되는 거주자의 인명 안전에 대한 위험도, 지진후의 건물 사용성 등에 의해서 정의된다.

성능수준은 크게 구조적성능수준과 비구조적 성능수준으로 구분하며, 구조적 성능수준에는 즉시거주(Immediate Occupancy), 손상제어(Damage Control), 인명안전(Life Safety), 제한적 안전(Limited Safety), 구조적 안정(Structural Stability), 고려안함(Not Considered)으로 분류되고, 비구조적 성능수준에서는 완전기능(Operational), 즉시거주(Immediate Occupancy), 인명안전(Life Safety), 재해감소(Reduced Hazards), 고려안함(Not Considered)으로 분류되며, 각각의 의미는 표 1에서 나타나 있다.

표 1 ATC-40(2002) 및 FEMA-273(1997)에 규정된 구조물성능수준

Structural Performance Level	Range	Non-Structural Performance Level	Range
Immediate Occupancy, (SP-1)	The post-earthquake damage in which only very limited structural damage has occurred.	Operational, (NP-A)	The post-earthquake damage state in which nonstructural elements and systems are generally in place and functional.
Damage Control, (SP-2)	A range of post-earthquake damage states vary from SP-1 to SP-3	Immediate Occupancy, (NP-B)	The post-earthquake damage state in which nonstructural elements and systems are generally in place
Life Safety, (SP-3)	The post-earthquake damage state in which significant damage to the structure may have occurred but in which some margin against either total or partial structural collapse remains.	Life Safety, (NP-C)	The post-earthquake damage state could include considerable damage to nonstructural components and systems but should not include collapse or falling of items heavy enough to cause severe injuries either within or outside the building.
Limited Safety, (SP-4)	A range of post-earthquake damage states vary from SP-3 to SP-5	Reduced Hazards, (NP-D)	This post-earthquake damage state could include extensive damage to nonstructural components and systems but should not include collapse or falling of large heavy items
Structural Stability, (SP-5)	This level is the limiting post-earthquake structural damage state in which the building's structural system is on the verge of experiencing partial or total collapse.		

## 2.2 EUROCODE(1998)

Eurocode(1998)에서의 요구성능은 한계상태에 따라 크게 극한한계상태와 사용성한계상태로 분류되어 있다. 극한한계상태는 거주자의 안정성을 위협하는 구조물의 여러 가지 파괴나 붕괴와 관련된 수준으로써, 그 구조적 시스템은 Eurocode(1998)에 규정된 저항성(Resistance)과 연성(Ductility)을 갖는 상태를 말하고, 사용성한계상태는 Eurocode(1998)에서 정의되어 있는 변형한계(Deformation Limit)나 다른 여러 가지 한계에 따른 초과손상으로부터 확실한 안정성이 보장되어지는 상태를 말한다.

성능수준은 거의붕괴한계상태(Limit State of Near Collapse), 충분한손상한계상태(Limit State of Significant Damage), 손상제한한계상태(Limit State of Damage Limitation)으로 분류되어 있고, 표 2에서 각각의 의미가 나타나 있다.

표 2 Eurocode(1998)에 규정된 구조물성능수준

Performance Level	Range
Limit States of Near collapse	The structure is heavily damaged with low residual lateral strength and stiffness, although vertical element are still capable of sustaining vertical loads. Most non-structural component have collapsed. Large permanent drifts are present.
Limit States of Significant Damage	The structure is significantly damaged, with some residual lateral strength and stiffness, and vertical element are capable of sustaining vertical loads. Non-structural components are damaged, although aprtitions and infills have not failed out-of-plane. Moderate permanent drifts are present.
Limit States of Damage Limitation	The structure is only lightly damaged, with structural element prevented from significant yielding and retaining their strength and stiffness properties. Non-structural components, such as partitions and infills, may show distributed cracking, but the damage could be economically repaired . Permanent drift are negligible.

### 3. 필요성

국내의 구조물 설계 절차 및 방법은 설계자의 실무경험을 통한 판단 없이 설계기준, 시방서 등에 의존하여 설계를 하기 때문에 구조물 주변의 환경 및 지형적 조건에 따라 안정성이 감소될 수 있고, 구조물의 사용성 및 중요도에 따른 성능목표를 정확히 판단하기 어렵다. 사회적·경제적 구조물을 설계하기 위해 설계자의 판단에 따라 요구성능에 맞는 성능평가방법을 선택하여 신뢰성 있는 구조물을 설계하여야 하며, 그러기 위해 국내 실정에 맞는 요구성능 기준을 설정하여야 한다.

### 4. 결론

본 연구에서는 국외에 정립된 성능기반설계의 개념과 성능기반설계 수행을 위한 요구성능의 개념 및 기준에 대한 기초조사를 수행하였고, 각 연구기관에서 규정하고 있는 요구성능수준을 분석하였다. 사용성 및 안정성을 고려한 구조물의 설계를 위해서 성능기반설계의 국내도입과 이를 위해 국내 실정에 맞는 요구성능의 기준정립이 필요하다. 향후 연구로 국내 실정에 맞는 요구성능기준을 확립한 후 이용하여 성능기반설계를 수행할 것이다.

### 감사의 글

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

### 참고문헌

1. ATC (2002) FEMA-Sponsored Workshop on Communicating Earthquake Risk, ATC-58 Project, Applied Technology Council, Redwood City , California.
2. CEN (1998) Eurocode 8:Design of structures for earthquake resistance Part 1:General rules, seismic actions and rules for buildings BS EN 2001
3. FEMA(1997) "NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings," FEMA-274, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.