

철근콘크리트 구조물의 성능기반 평가방법

이도형

배재대학교 공과대학 건설환경·철도공학과

Methodology for Performance-Based Evaluation of a RC Structure

Lee, Do Hyung

Dept. of Computer Science, PaiChai Univ.

ABSTRACT

In order to evaluate the seismic performance of a reinforced concrete building structure, four different analyses are carried out. Firstly, conventional pushover analysis with code-specified inverted triangular load pattern is conducted. Secondly, the pushover analysis with uniform load pattern is performed. Thirdly, adaptive pushover analyses with spectral amplification for both EC 8 artificial and Northridge earthquake are carried out. Lastly, incremental dynamic analyses under a number of scaled PGA for both EC 8 artificial and Northridge earthquake record are performed. Comparative studies demonstrate that the adaptive pushover analysis may be able to explain the response characteristics that conventional pushover analysis with fixed load distribution fails to capture.

1. 서 론

최근 일련의 큰 지진들(1994년 미국 노스리지 지진, 1995년 일본 고베지진)로부터 알 수 있듯이 최근의 내진설계 규정에 의해서 설계된 건물들조차도 지진하중에 대해 여전히 취약한 양상을 보여주었다. 이에 따라 지진이 빈번한 나라들에서는 내진설계개념에 대한 근본적인 변화를 시도하고 있는 실정이다. 현재의 내진설

계절차는 지진하중에 대한 구조물의 요구도(demand)와 지지능력(capacity)의 산정과 관련하여 많은 불확실성을 포함하고 있다. 따라서 최근, 설계기준에 의해 제시된 지진재해수준에 도달했을때 제시된 성능목표에 도달하도록 하는 성능기반설계(Performance-based design)법이 일반화되는 추세이다. 성능기반설계법은, 구조물의 설계기준들이 일련의 제시되는 성능목표에 도달하는 정도에 의해서 표현되는

방법론들을 내포하고 있다. 지진하중을 받는 구조물의 성능을 보다 정확하게 조사하기 위해서는 지역특성에 잘 부합되는 일련의 입력지진파를 이용한 비선형 시간이력 해석이 수행되어야 한다. 하지만 비선형 시간이력 해석은, 입력지진파 선택에 있어서의 어려움, 점성 및 이력 감쇠에 대한 부정확한 이해도, 구조물 내에서의 질량 및 강성분포에 대한 모델링의 어려움 그리고 중요한 구조요소에 대한 주기적인 하중-변위 모델 선정에 대한 복잡성 등으로 인하여 실무에서 적절하게 이용할 수 있기에 어려운 실정이다. 따라서 본 연구에서는 성능기반설계중 내진성을 고려한 설계기준을 제시하고 있는 JSCE(일본토목학회), Caltrans, Eurocode 8, NZ(뉴질랜드) code 에 대해 각 설계기준에서 성능(performance) 및 레벨(performance level) 을 정의하는 접근방

법들에 문헌조사를 수행하고, 아울러 본 연구에서는 실무에서 일반적으로 사용하는 정적 pushover 해석법에서 고차모드 및 하중증가에 따른 강성감소 효과를 보다 포괄적으로 고려한 정적 adaptive pushover 해석법을 이용하여 기존의 내진설계기준에서 제시된 하중분포에 따른 성능평가곡선 및 점진증가동적해석(incremental dynamic analysis)을 통한 성능평가곡선과의 비교를 수행하여 향후 보다 진보된 비탄성 응답 해석 결과를 제공하고자 한다.

2. 국가별 설계기준에 따른 내진성능 레벨

2.1 Caltrans code

표 1은 Caltrans code 에서 제안하고 있는 성능레벨을 나타내고 있다.

표 1. Caltrans code 의 성능레벨 구분

Seismic Motion	Requirement of Seismic Performance(Limit State)		
Functional Evaluation (Level 1)	Service Level	Ordinary	Immediate: full access to normal traffic is available almost immediately following the earthquake
		Important	Immediate: full access to normal traffic is available almost immediately following the earthquake
	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

표 1에서 볼 수 있는 바와 같이 지진거동이 기능역할수행평가와 안전성평가의 두단계 레벨로 구분되어 있다. 먼저 기능역할수행평가의 경우 사용상태와 손상상태 두단계로 나누어지고 지진하중을 경험한 후 최소한의 손상을 허용하되 즉각적인 보수가 이루어질 수 있음과 동시에 정상적인 차량등의 통행이 원활한 상태를 나타내고 안전성평가단계의 경우 또한 지진하중을 겪은 후 즉각적인 보수가 이루어져서 구조물이 구조물로서의 역할을 수행할 수 있는, 즉 붕괴가 방지되는 단계를 나타내고 있다.

2.2 JSCE(일본토목학회) code

일본토목학회 code 의 경우, 아래 표 2

에 나타나 있는 것과 같이 지진의 거동을 두 단계로 나누었으며 구조물의 생애주기 동안에 발생할 수 있는 지진에 대한 성능레벨 1과 발생할 확률은 미약하지만 아주 큰 손상을 발생시킬 수 있는 지진에 대한 성능레벨 2로 나누어져 있다. 내진성능의 경우에는 세 가지로 구분하였는데 performance 1의 경우에는 지진 발생 후 구조물에 손상이 없어 즉각적인 구조물의 역할수행이 되는 경우이고, performance 2의 경우에는 지진발생 후 임시적인 보수를 통해 구조물의 기능이 회복되는 경우이고, performance 3의 경우에는 지진에 의한 손상은 허용되나 붕괴는 방지되는 수준을 나타낸다.

표 2. 일본토목학회 code 의 성능레벨 구분

Seismic Motion	Requirement of Seismic Performance(Limit State)	
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.

2.3 Eurocode 8

Eurocode 8에서 제안하는 내진성능레벨은 표 3에 나타나 있다. Eurocode 8에서는 사용한계상태와 극한한계상태의 두 단계 레벨로 성능을 구분하였다. 사용한계상태 구조물의 성능레벨은 즉각적인 보수가 필

요없는 미미한 손상을 허용하고 있는 반면에 극한한계상태 구조물의 성능레벨은 500년에 한번 오는 확률을 가진 지진으로 구조물의 일부가 심각하게 손상된다 하더라도 구조시스템으로서의 하중저항성은 유지되는 상태를 의미한다.

표 3. Eurocode 8 의 성능레벨 구분

Seismic Motion	Requirement of Seismic Performance(Limit State)	
Level 1	Serviceability limit state (minimizing 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.

2.4 뉴질랜드 code

뉴질랜드 code에서 제안하고 있는 내진 성능구분은 표 4에서 볼 수 있는 바와 같이 사용한계상태의 한단계와 극한한계상태의 두단계로 나누어 진다. 사용한계상태란 지진하중으로 인해 구조물에 발생하는 손상이 아주 미미함과 동시에 교통에 장애를 유발하지 않는 상태로 묘사하고 있다. 극한한

계상태의 2단계는 지진하중으로 인해 구조물에 어느정도의 손상이 발생할 수 있지만 즉각적인 임시보수와 함께 비상차량들의 소통이 원활이 되는 단계를 나타내고, 단계 3은 지진하중으로 인해 구조물에 심각한 손상이 발생하더라도 붕괴는 방지되어야 하는 단계를 나타내고 있다.

표 4. 뉴질랜드 code 의 성능레벨 구분

Seismic Motion	Requirement of Seismic Performance(Limit State)	
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.

3. 성능평가를 위한 대상구조물

위에서 언급된 것처럼 구조물의 성능평가는 설계단계에서 제안된 성능레벨을 충분히 만족하여야 한다. 따라서 설계단계에서의 기본적인 성능평가가 매우 중요시 되는데 본 연구에서는 설계실무에서 많이 사용하고 있는 해석방법들을 이용하여 철근콘크리트 구조물의 기초적인 성능평가를 수행하고자 한다. 본 연구에서 고려된 대상구조물은 그림 1에서 볼 수 있는 바와 같이 총 높이 24m의 8층으로 된 철근콘크리트 뼈대구조물이다. 이 철근콘크리트 구조물은 Eurocode 2 와 8 에 의해서 설계되어진 건물로써, 연성도 M(Medium), 설계지반가속도 0.15g로 설계되었다. 이 건물구조물에서 모든 보 요소들은 같은 단면을 가지고 있는 반면에 종방향 주철근비가 각각 다르게 설계되어졌고, 기둥의 경우에는 내측기둥의 단면이 바깥기둥의 단면보다는 약간 큰 반면에 각각의 기둥에서의 종방향 주철근비는 동일하였다. 보다 자세한 내용은 참고문헌 Lee and Elnashai(1995) 에 언급되어 있다.

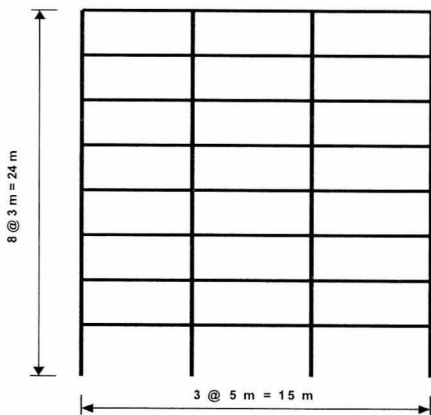
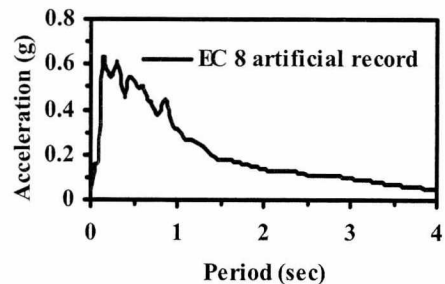


그림 1. 해석대상 철근콘크리트 구조물(8층 뼈대구조물)

4. 해석방법

본 해석대상 구조물의 고유치 해석결과 1차모드에 대응되는 탄성주기는 $T=0.596$ (초)를 나타내었다. 본 연구논문에서는 다양한 해석방법들을 이용하여 하중-변위 성능곡선을 구한 후, 그 결과를 비교검토하기 위하여 4가지의 해석방법들을 사용하였다. 첫 번째 해석방법은 설계기준에서 제시된 역삼각형 모양의 하중형상을 적용한 기존의 pushover 해석방법이고, 두 번째는 일정한 등분포하중형상을 적용한 기존의 pushover 해석방법, 세 번째는 고차모드의 효과를 고려하기 위해서 매 하중단계마다 하중분포형상이 다른 adaptive pushover 해석방법, 그리고 마지막으로 최대지반가속도를 0에서부터 점진적으로 증가시켜 가면서 최대값을 얻는 incremental dynamic 해석방법을 사용하여, 위의 네가지 방법들로부터 얻어진 해석결과를 비교하였다. 위의 네가지 해석방법중 adaptive pushover 해석방법과 incremental dynamic 해석방법에서는 결과의 차별성을 고려하기 위하여 Eurocode 8 에 따른 인공지진파와 1994년 미국 노스리지 지진파를 사용하였고 응답스펙트럼은 그림 2에 나타나 있다.



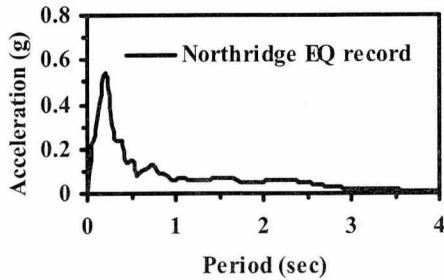
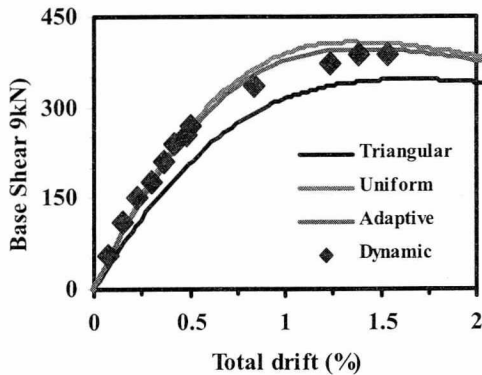
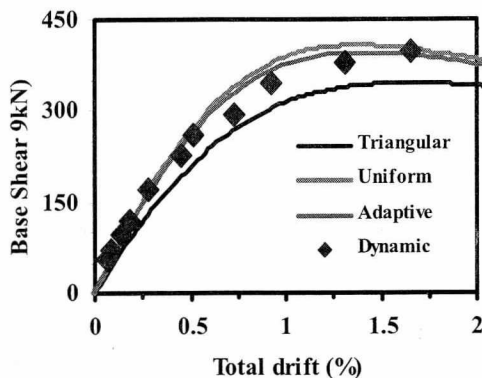


그림 2. 사용된 입력지진파의 응답스펙트럼



(a) EC 8 Earthquake



(b) Northridge Earthquake

그림 3. 하중-변위 곡선의 비교

그림 3의 (a) 와 (b) 는 각각 EC 8 지진파와 Northridge 지진파에 대해서 위에서 언급된 네가지 방법들로부터 얻어진 하중-변위 곡선들을 나타내고 있다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 설계기준에서 명시하고 있는 역삼각형 하중분포는 그 결과값이 보수적인 경향을 알 수 있으며, adaptive pushover 해석결과와 incremental dyanmic 해석결과는 좋은 상관관계를 보여주고 있다.

5. 결론

본 연구에서는 네가지 방법들을 이용하여 철근콘크리트 건물구조물에 대한 하중-변위곡선들을 비교검토하였다. 검토결과 고정된 하중형태를 갖는 기존의 pushover 해석결과는 보수적인 경향을 보여준 반면에, 하중분포가 변화하는 adaptive pushover 해석방법은 incremental time-history 해석결과와 좋은 상관관계를 보여주었다. 따라서 adaptiv pushover 해석결과는 향후 구조물의 성능곡선 평가에 좋은 자료를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 이도형, 2003. '성능기초평가를 위한 Adaptive pushover 해석방법', 전산구조공학회 가을학술발표회.
- [2] Elnashai, A.S., Papanikolaou, V. and

- Lee. D.H., 2001. 'ZeusNL-A program for inelastic dynamic analysis of structures', MAE Center, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA.
- [3] Lee, D.H. and Elnashai, A.S., 1995. 'Analytical evaluation of behaviour factor(q) for a ductility class M reinforced concrete structure', Prenormative Research in Support of Eurocode 8, Imperial College.