

Eurocode 8에 의해 설계된 건축물의 평가

Evaluation of RC Building Structures Designed According to Eurocode 8

이한선*
Lee, Han-Seon

허윤섭**
Heo, Yun-Sup

이주은***
Lee, Joo-Eun

ABSTRACT

The devastating earthquake which occurred in Turkey on August 17, 1999, reminds again us the necessity of the preparedness for the earthquake hazard. The level of earthquake engineering in Korea is still low due to the short period of the research and development in this field. Therefore, the most efficient way of promoting our technology in this field is considered to collect the information on the state of the art and practice, developed in the advanced countries in earthquake engineering and to analyze the advantages and disadvantages and then reflect these to the new seismic codes.

For this purpose, this study reviews the concept and main characteristics of Eurocode 8, and the findings of many researches that have been performed for the improvement of EC8. Finally, the seismic performance evaluation of the building structures designed according to EC8, and the relevant recommendations are summarized.

1. 서론

지난 8월 17일에 발생한 터키 지진에 대한 충격으로 지진에 대한 일반인의 관심이 크게 높아졌다. 그 동안 우리나라는 지진에 대해 안전한 것으로 간주되어 왔다. 그러나 지진과 관련한 국내 연구결과들이 축적되면서 이러한 가설은 더 이상 사실과 다를 수 있다는 인식이 확산되고 있다. 우리나라에 지진계가 처음으로 설치된 것은 1905년으로, 이로부터 1999년 6월말까지 관측된 지진은 총 917회에 달한다. 기상청이 공식 지진집계를 시작한 78년부터 지금까지 관측된 지진은 431회이다. 이러한 지진발생 빈도의 수적인 증가는 단순히 지진계 설치의 증가에 따른 결과로 볼 수만은 없다. 그 동안 세계적으로 발생한 대지진이 판경계 지역에서 발생하였으나, 76년 판내부에 속하는 중국의 탕산에서 규모 7.9의 지진이 발생한 점을 염두해 본다면, 우리나라와 같은 판내부 지역에서의 강진 발생가능성을 완전히 배제할 수는 없다. 또한 지난 78년부터 99년까지 규모 4.0 이상의 지진이 28회나 발생하였다는 사실은 시사하는 바가 크다고 할 수 있다^[1].

강진이 자주 발생하는 국가의 경우, 지진에 대한 대비책이 비교적 체계적으로 마련되어 있다. 국내에서는 최근 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 아직 초보적인 단계에 머물러 있으

* 고려대학교 건축공학과 부교수, 정회원

*** 고려대학교 건축공학과 석사과정

** 고려대학교 건축공학과 박사과정

며, 중약진 지역에 대한 연구자료가 빈약한 국내 실정을 염두해 볼 때, 내진공학에 대한 연구가 활발히 수행되고 있는 해외의 연구자료를 수집하고, 이를 분석하여, 국내 내진규준 작성의 기초자료로 활용할 수 있을 것이다. 이에 따라 본 논문에서는 유럽의 내진공학에 대한 최근 연구결과를 수집하고, 이를 종합적으로 분석하여, 유럽 통합규준으로 제시되고 있는 Eurocode 8의 기본 개념 및 이에 따라 설계된 구조물의 거동특성을 분석·정리하였다.

2. Eurocode 8

Eurocode 8(EC8)^[2]은 구조물에 대한 내진규준으로 1988년 5월에 CEC에서 초안을 작성하여, 현재 그 개념 및 실무적용에 대한 타당성이 검토되고 있는 유럽 통합규준에 대한 규준안이다. 강도감소 계수(거동계수: Behaviour Factor, q)에 근거한 내진설계법을 채택하고 있으나, CEB 모델 규준, 뉴질랜드 규준^[3,4] 및 최근의 연구결과 등을 반영하고 있는 보다 발전된 형태의 규준으로, 그 특징을 요약하면 다음과 같다^[5].

- (1) 구조물의 고유주기와 같은 동적특성의 변화를 고려한 설계스펙트럼 정의
- (2) 다양한 연성등급(Ductility Class "Low"(DCL), "Medium"(DCM), 및 "High"(DCH))의 정의
- (3) 다양한 구조형식 및 연성등급에 대한 능력설계(Capacity Design)의 적용
- (4) 구조형식 뿐만 아니라, 구조물의 연성등급과 비정형성 등에 따른 거동계수의 결정
- (5) 다양한 해석기법의 사용 허용
- (6) 채움골조(Infilled Frame)에 대한 규정

이러한 여러 가지 특징 중 연성등급 및 거동계수에 대한 정의, 기동에 대한 능력설계법의 적용 방법, 및 채움골조에 대한 규정을 간단히 살펴보기로 한다.

연성등급(Ductility Class : DC)

철근과 콘크리트 등 건축 주요재료의 연성거동에 의한 에너지 소산능력과 선형 및 비선형 단자유도 시스템의 동적응답에 대한 수많은 연구에 근거하여 현재의 내진공학 기본개념이 정립되어 왔다. 강도와 연성에 대한 연구^[6]로부터, 구조물의 연성을 확보함으로써, 지진하중을 크게 감소시킬 수 있음을 알고 있다. 그러나 연성은 건축재료의 소성거동을 의미하는 것으로 곧, 구조재 또는 비구조재의 손상을 수반하게 된다. 그리고 사용성에 대한 제한으로 강성이나 강도를 임의로 감소시킬 수도 없다. 따라서 합리적인 내진설계를 수행하기 위해서는 적절한 기준을 통해 강도와 연성 간의 상호 균형을 유지할 필요가 있다^[5]. 이러한 두 가지 구조물 성능 사이에 어느 정도의 상호조율이 가능하다는 인식에 따라 EC8에서는 철근콘크리트(Reinforced Concrete: RC) 구조물에 대해 3가지 연성등급(DCL, DCM, DCH)을 도입하고 있다. 즉, 설계자로 하여금 각 설계여건에 맞는 연성등급을 선택할 수 있도록 허용함으로써, 최적의 설계를 도출할 수 있도록 설계의 유연성을 부여하고 있다.

거동계수(Behaviour Factor, q)

구조물의 저항능력과 연성은 비선형응답의 발생정도와 관련이 있다. 이러한 저항능력과 연성의 상호관계를 고려하여, 전세계적으로 사용되고 있는 대부분의 내진규준에서는 탄성설계스펙트럼에 대한 감소계수를 사용하여 연성을 고려하고 있다. 그러나 대부분의 내진규준에서 구조시스템별로 한가지의 계수값을 규정하고 있는데 반해, EC8에서는 구조시스템(q_0)뿐만 아니라, 연성등급(k_D),

입면 비정형성(k_R), 및 벽체의 영향(k_W) 등을 고려하여 거동계수(식 (1))를 규정함으로써, 결과적으로 다양한 상세설계에 대한 요구조건을 제시하고 있다.

$$q = q_0 \cdot k_D \cdot k_R \cdot k_W \geq 1.5 \quad [\text{EC8, Part 1-3, 식 (2.2)}] \quad (1)$$

기둥에 대한 능력설계

기둥에서의 소성힌지 발생을 방지함으로써 극한상태에서 강기둥/약보에 의한 횡쓰러짐(Side-Sway) 메카니즘을 유도하는 것이 일반적인 기둥설계의 목표이다. 이러한 목표를 만족시키기 위해, ACI 318-95^[7]에서는 접합부에서 기둥 모멘트의 합이 보 모멘트 합보다 20% 이상이 되도록 요구하고 있다(식 (2)). 반면에 뉴질랜드의 콘크리트 구조물에 대한 표준인 NZS 3101^[3]에서는 능력설계법을 도입한 보다 엄격한 규정을 두고 있다. 소성힌지의 발생을 보에 한정함으로써, 접합부와 기둥은 탄성거동하는 것으로 가정할 수 있으며, 이에 따라, 기둥에 요구되는 공칭강도(M_u)는 식 (3)으로 계산된다. 여기에서, ω 는 동적 응답 확대계수로 고유주기에 따라 1.3~1.8의 값을 가지며, ϕ_0 는 일반적으로 1.25의 값을 갖는, 철근의 변형을 경화영역을 고려한 비선형거동에 의한 지진 수요와 보의 공칭 모멘트 능력의 비를 의미하는 보에 대한 초과강도계수(Overstrength Factor)이며, M_E 는 탄성해석에 의해 계산된 기둥의 휨 모멘트이다. 이렇게 능력설계법을 적용하여 기둥의 소성힌지 발생가능성을 배제하는 경우에 대해서, 표준에서는 기둥 횡철근량을 내진규준에서 규정하고 있는 값의 약 70% 정도로 감소시킬 수 있도록 허용하고 있다. 단, 1층 기둥의 상·하부와 횡쓰러짐 메카니즘이 발생할 수 있는 층에 대해서는 이러한 규정이 적용되지 않는다.

$$\sum M_e \geq (6/5) \sum M_g \quad [\text{ACI 식 (21-1)}] \quad (2)$$

$$M_u = \omega \phi_0 M_E \quad [\text{NZS 3101, 부록 A, B}] \quad (3)$$

이에 대해 EC 8에서는 NZS와 같이 능력설계법을 적용하고 있으나, 모든 경우에 대해 일관되게 이를 적용하고 있지는 않다. 즉, NZS에서 동적효과를 고려하기 위해 사용된 ω 계수가 포함되어 있지 않으며, 따라서 능력설계법을 적용하고는 있으나, 기둥의 탄성거동을 완전히 보장하지는 못한다. 따라서 EC8에서는 기둥의 횡철근에 대한 요구조건을 매우 엄격하게 적용하고 있다^[8].

조적 채움골조

현재 사용되고 있는 대부분의 내진규준에서는 비구조 조적벽의 영향을 무시하거나, 매우 제한적으로만 이를 고려하고 있다. 그러나, 비구조 조적채움벽에 의해서 구조물의 전체거동이 크게 달라질 수 있다는 사실이 밝혀지고 있다^[7,9,10,11]. 조적채움벽에 의한 에너지 소산능력 및 강도(strength) 증진 효과에 의해 구조물의 전체적인 성능이 크게 개선될 수도 있으며, 비정형 채움벽이 사용된 경우, 국부적으로 골조에 큰 손상을 야기할 수도 있다. 이에 따라 조적 채움벽의 영향을 평가하기 위한 연구^[9,10,11,12,13]가 수행되어 왔으며, EC8의 Part 1.3, 2.9절에서는 “본 조항은..... 조적 채움벽을 가진 DCH와 DCM에 해당하는 골조-등가 이중시스템(Frame-Equivalent Dual System)과 골조 시스템(Frame System)에 적용한다.”라고 규정함으로써, 조적채움벽을 갖는 철근콘크리트 건축물에 대한 설계원칙과 이에 대한 적용 방법을 제시하고 있다. 이에 따라, EC8은 채움골조의 영향을 중요한 구조 거동으로 간주하여 내진규준에 포함시키고 있는 최초의 규준으로, 다음과 같은 내용을 다루고 있다.

- (1) 조적채움벽에 의한 영향을 고려한 일반적인 사항
- (2) 평면 및 입면 비정형에 대한 고려
- (3) 조적채움벽에 의한 구조물의 고유주기 감소를 고려한 세부 규정
- (4) 조적채움벽의 인접 부재에 대한 국부적인 영향을 고려한 규정

한가지 주목할 점은 채움골조 시스템에 대한 기본 거동계수(q_0)를 5.0으로 규정함으로써, 순수 골조(Bare Frame) 시스템과 동일한 값을 사용할 수 있도록 규정하고 있다는 점이다. 이는 조적채움벽에 의해 전체 구조물의 내진성능이 크게 향상될 수 있다는 최근의 연구결과를 반영한 결과이다.

1개 층 이상이 다른 층에 비해 채움벽량이 크게 감소하는 경우, 채움벽량의 감소에 의한 강도 손실량(ΔV_{Rw})과 해당 층에 작용하는 총 설계전단력($\sum V_{sd}$)을 사용하여 α 계수(식 (4))를 정의하고, 이 계수값만큼 증가된 설계지진하중에 대해 보와 기둥을 설계하도록 규정하고 있다. 즉, 연약층 골조의 저항능력을 증가시킴으로써, 조적채움벽에 의한 입면 비정형을 고려하고 있다.

$$\alpha = (1 + \Delta V_{Rw} / \sum V_{sd}) \quad [\text{EC8, Part 1-3, 식 (2.36)}] \quad (4)$$

이상에서 살펴본 바와 같이 EC8은 최신의 연구결과가 반영된 가장 현대적인 기준이라고 할 수 있으며, 또한 지진에 대한 구조물의 성능이 인명안전("Human lives are protected"), 손상제한("Damage is limited"), 및 기능유지("Structures important for civil protection remain operational")에 대한 요구조건을 만족하도록, 그 설계목표를 분명히 제시함으로써, 성능(Performance)에 기초한 내진 기준이라고 할 수 있다. 그러나, 현행 기준에 따라 설계된 건축물의 내진성능이 성능에 기초한 내진공학(Performance-Based Seismic Engineering)에서 요구하고 있는 제반사항을 만족하는지에 대해서는 아직 뚜렷하게 검증되지 않았다. 따라서, EC8에 의해서 설계된 구조물이 기준에서 정의하고 있는 성능목표 및 요구조건을 충분히 만족하는지에 대한 검증이 요구되며, 이러한 연구에는 안전성 검토뿐만 아니라 사회적, 경제적 측면이 포함되어야 한다^[5]. 이에 따라 본 논문에서는 유럽에서 진행되고 있는 실험 및 해석연구 결과를 종합하고, EC8에 의해 설계된 RC 건축물에 대한 평가가 어떠한 방법으로 수행되고 있으며, 또한 그 연구결과를 바탕으로 기준을 보다 발전·개선시키기 위해 어떠한 의견들이 제시되고 있는지를 소개하고자 한다.

3. EC8에 의해 설계된 구조물의 성능평가에 관한 연구

수치해석 및 실험에 근거하여, EC8의 설계기준에 대한 타당성을 검증하기 위한 연구가 유럽에서 활발히 수행되고 있다. 이러한 예로 1996년부터 1997년 사이에 수행된 ECOEST-PREC8 (European Consortium Of European Shaking Tables-Prenormative Research in Support of Eurocode 8)^[9,14]의 연구가 있으며, 그 일환으로 ELSA(European Laboratory for Structural Assessment)에서 실물 크기 구조물에 대한 실험 및 수치해석이 수행되었다. 비선형 해석결과, 모델에 대한 실험결과, 기준의 조항 및 일반적으로 허용되고 있는 성능수준(Performance Level) 등을 상호 비교하였으며 그 결과, 설계하중뿐만 아니라 설계하중의 2배 정도가 되는 하중조건에 대해서도, 구조물은 안정적인 소산 메커니즘을 통해 매우 만족스러운 에너지 소산능력을 보여주었다. 또한 강도와 연성간의 상호조율을 의미하는 연성등급과 거동계수로 표현되는 구조물의 비정형성 등에 대해서도 만족할만한 수준의 구조물 성능이 확인되었다.

Negro^[15]는 PREC8 연구의 일환으로 현행 기준안에 의한 구조물의 성능수준을 평가하기 위해 4

층 철근콘크리트 구조물에 대한 실험 및 해석을 수행하였다. 유사동적 실험(pseudodynamic test)에서 구조물은 설계지진하중의 1.5배에 대해서도 우수한 거동을 보였으며, 예상보다 에너지 소산능력이 작게 측정되었으나, 극히 제한적인 손상이 발생하였다. 이러한 실험결과에 대한 분석을 위해 수치해석을 사용하였으며, 구조물의 에너지소산능력이 작게 나타나는 이유가 부착메카니즘의 성능저하임을 확인하였다. 또한 골조의 전반적인 거동에 미치는 비구조 조적벽의 영향을 평가하기 위해 정형 및 비정형 채움벽을 가진 구조물에 대한 실험을 수행하였다^[9,15]. 실험결과로부터 조적채움벽이 균일하게 분포된 정형구조물의 내진성능은 순수골조(Bare Frame) 보다 우수한 것으로 나타난 반면, 비정형 조적 채움골조는 취약한 성능을 가지고 있음을 확인하였다.

Fardis 등^[9,11,13]은 개방층을 가진 조적 채움골조에 대한 연구를 수행하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다. 첫째, EC8의 식 (4) 관련조항을 개방층의 기둥에만 적용한다면, 연약층 효과에 의한 기둥의 손상을 매우 효과적으로 감소시킬 수 있을 것이다. 그러나, 이 조항을 규준에서 규정하고 있는 바와 같이 개방층의 보와 기둥 모두에 적용한 경우, 기둥에서 얻을 수 있는 이러한 효과가 감소함으로써, 오히려 비합리적인 결과를 초래할 것이다. 이는 보의 탄성 및 비탄성 휨 요구량이 감소하게 되어, 기둥에 변형이 집중될 수 있는 가능성을 높이기 때문이다. 또한 채움벽량이 적은 층의 보에 대해서는 특별한 조치가 필요하지 않은데, 이는 채움벽량이 많은 인접층의 면내 강성에 의해서 이러한 보 단부에서의 큰 회전각 발생이 제한되기 때문이다. 둘째, EC8(식 (4))을 따를 경우, 매우 큰 α 값이 계산될 수 있다^[13]. 저층건물로 1층에 개방층이 있는 경우에는 약 3정도의 값을 보이며, 최상층이 개방되어 있는 경우에는 5에서 10 사이의 값을 나타낸다. 후자의 경우, 이러한 계수에 의한 설계법이 매우 부적절함을 알 수 있다. 반면, 전자의 경우 기둥을 보강함으로써, 순수골조에서보다 기둥의 손상이 작게 발생할 수 있다. 따라서 이러한 방법은 수정되어야 하며, 이에 대한 대안으로 능력설계에 기초한 접근법이 Fardis^[9]에 의해 제안되었다.

Kappos^[16,17]는 내진성능과 경제성의 관점에서 EC8에 따라 설계된 10층 철근콘크리트 건축물에 대한 평가를 수행하였다. EC8 및 EC2에 따라 연성등급 별로 골조 시스템 및 이중(벽체+골조)시스템을 설계하여 그 거동을 분석하였다. 연구결과, 요구되는 콘크리트량은 연성등급에 따라 큰 차이가 없었으나, 철근량에서는 좀 다른 양상을 보여주고 있다. 연성등급이 커짐에 따라 종방향 철근량은 감소하는 반면 횡철근의 양은 증가함으로써, 총 철근량은 거의 일정하게 유지됨을 볼 수 있다. 이중골조에서도 비슷한 양상을 보여주고 있으나, 특이한 사항은 DCM에서 요구되는 철근량이 가장 크다는 점이다. 이는 DCL에서 DCM으로 연성등급이 증가하면서 지진하중은 33%가량 감소하나 벽체에 대해 능력 설계법이 적용되어 해석으로부터 요구되는 휨철근량이 2배에서 많게는 3배까지 산정된 반면, DCH의 경우 DCM에 비해 지진하중은 25%가량 감소하나 벽체에 대해서 동일한 능력설계기준이 적용되었기 때문이다. 전체적으로, EC8에 따라 설계된 RC구조물의 내진성능은 만족스러운 것으로 나타났으나, EC8의 가장 취약한 점으로, 기둥과 벽체의 경계요소, 및 기타 부재들의 지진에 대한 신뢰성이 일정치 않음을 지적하고 있다. DCL에 대한 구조물의 성능은 전반적으로 적절한 것으로 나타나고 있으나, 이에 대해 2가지 문제점을 제시하고 있다. 즉, 골조시스템에서 설계하중에 대해 기둥의 힌지발생이 매우 광범위하게 발생하고 있으며, 보다 큰 지진하중에 대해 기둥의 횡쓰러짐 메카니즘 발생가능성을 배제하지 못한다는 것이다. 또한 이중골조의 경우, 벽체의 전단저항능력이 다소 부적절한 것으로 드러났다.

Jankovic, 등^[8]은 EC8, ACI 318-95와 UBC-94 및 콘크리트 구조물에 대한 규준인 NZS 3101과 하중에 관한 규준인 NZS 4203에 따라 설계된 실물크기 8층 철근콘크리트 사무소 건물에 대한 정적 일방향 가력 및 시간이력 해석을 수행하여 구조물의 응답을 서로 비교하였다. EC8에서 밀면전단력이 타 규준에 비해 크게 산정됨으로써, EC8에 의해 설계된 구조물이 경제성 측면에서 다소 비

경제적인 것으로 밝혀졌다. EC8 구조물에 대한 일방향가력 해석 수행결과, 2층에서 8층 사이의 모든 보에서 소성힌지가 먼저 발생하고, 그 다음에 2층 기둥에, 그리고 마지막으로 1층 기둥 하단부에서 소성힌지가 발생하였다. 이러한 사실은 EC8에 의해 설계된 구조물에서 바람직하지 못한 연약층 파괴메카니즘이 발생할 가능성이 있음을 확인시켜주고 있다. 이에 비해 UBC와 NZS에 의해 설계된 구조물의 변형을 살펴보면 강기둥/약보에 의한 횡쓰러짐 메카니즘이 발생하였다. 일방향가력해석 및 시간이력해석으로부터 각 기준에 따라 설계된 구조물의 공통적인 문제점을 발견하였는데, 이는 보와 기둥의 단면이 감소하는 중간층에서 소성힌지 회전각이 크게 발생함으로써, 연약층 파괴현상이 발견된다는 점이다. 이러한 강성의 급격한 변화는 1995년 Hyogoken-Nanbu (Kobe)지진에서 관찰된 중간층 파괴와 같은 결과를 불러올 수 있다. 따라서 중간층에서의 급격한 강성변화를 적절하게 고려할 수 있는 기준정립이 시급히 요구된다.

4. 구조물 성능평가 연구에 관한 결론 및 제안사항

EC8에 의해 설계된 구조물의 내진성능 평가를 위해 수행된 여러 가지 연구결과를 앞에서 소개하였으며, 본 장에서는 EC8을 유럽 통합 내진기준으로 발전시키기 위해 수행된 PREC8 프로젝트의 결과물인 ECOEST/PREC8 보고서^[14]의 내용을 중심으로 구조물 성능평가에 대한 결론 및 제안사항을 정리하였다.

연성 등급(Ductility Class)

세 가지 연성등급에 따라 설계된 구조물에 대한 평가결과^[9,16,17], 모두 안정된 응답을 나타내는 것으로 나타났다. 구조성능 및 철근과 콘크리트에 대한 요구량 등의 관점에서 세 가지 연성등급은 매우 유사한 결과를 보여주었다. 이에 따라 연성등급을 세 가지로 구분할 필요성이 있는지에 대한 의문이 제기되고 있으며, 설계규정과 거동계수를 두 가지 연성등급으로 축소·조정하는 것이, 기준을 보다 간결하게 할 수 있는 합리적인 방법으로 제안하고 있다^[14].

거동계수(Behaviour Factor)

연구결과로부터 설계지진하중의 2배에 상당하는 하중조건에 대해서도 EC8에 따라 설계된 구조물의 내진성능이 우수한 것으로 보고되고 있다^[9]. 이는 현재 EC8의 거동 계수값을 증가시킬 수 있음을 의미한다고 볼 수 있다. 그러나 해석모델, 재료특성, 구조물 형상, 및 입력 지진데이터 특성 등에 대한 불확실성을 고려해 볼 때, 이에 대한 좀 더 체계적인 연구가 수행되어야 할 것으로 보인다. 이에 대해, 거동계수값을 증가시키기보다는 오히려 내진설계 요구조건을 완화시키는 것이 보다 적절할 것으로 제안하고 있다^[14].

조적 채움골조

EC8에서는 순수골조에 대해 계산된 고유주기와 조적 채움벽을 구조요소로 간주하여 계산된 고유주기의 평균값을 사용함으로써, 순수골조에서 보다 더 큰 지진하중에 대해 조적 채움골조를 설계하도록 규정하고 있다. 그러나, 정형 채움벽은 철근 콘크리트 구조물의 응답에 유리하게 작용하며, 지진에 대한 위험도를 증가시키지 않는 것으로 확인되었다^[9,15,16,17]. 따라서, 정형 조적 채움골조를 순수골조로 간주하여 설계하고 채움벽은 순수골조에 추가로 제공되는 요소로 간주함으로써, 정형 채움벽에 의한 내진성능 향상효과를 반영하는 것이 보다 합리적인 방법으로 제안되고 있다^[14].

입면 비정형에 관해서, EC8에서는 인접층에 비해 조적채움벽이 덜 들어간 층(약층)의 보와 기둥에 대해 그 저항능력을 증가시키도록 요구하고 있다. 이 규정은 개방층의 층간변위비를 효과적으로 감소시킬 수 있으나, 반면에 상대적으로 큰 층 전단력과 에너지 수요를 발생시킬 것이다. 이에 따라 구조 손상은 보 보다는 기둥에 집중되는 경향이 발생하여, 규준에서 채택하고 있는 능력설계 원리와는 부합되지 않는다. 그러나 α 계수를 기둥에만 적용시킨다면 좀 더 나은 응답을 기대할 수 있다^[13,14]. 즉, 층 변위는 다소 크게 발생할 수 있으나, 보가 좀 더 연성적으로 거동함으로써, 층 변위에 대한 보의 회전각 기여도는 상당히 증가하게 된다. 그 결과 기둥의 손상은 크게 감소한다. 따라서, 이러한 규정을 개방층의 기둥에 대해서만 적용함으로써, 규준을 보다 합리적으로 개선시킬 수 있을 것이다^[14].

채움벽에 대한 내용을 포함시켰다는 점에서 EC8은 분명 발전된 형태의 규준으로 볼 수 있다. 그러나, EC8에는 이와 관련하여 아직도 시급히 개선되어야 할 점이 있다. 첫째, 순수골조 시스템에 대해서 내진해석을 수행하도록 규정하고 있으며, 추가조치를 규정함으로써 채움벽의 영향을 고려하도록 되어 있다는 점에서 채움골조를 하나의 완전한 독립 구조시스템으로 간주하지 못하는 한계를 드러내고 있다. 둘째, 여러 연구결과로부터 조적채움벽이 전체 구조물의 거동성능을 크게 향상시킨다는 사실이 밝혀지고 있다. 그러나, EC8을 포함한 대부분의 내진규준에서는 조적채움벽에 의해 발생하는 평면 및 입면 비정형성에 의한 영향에 주안점을 둠으로써, 조적채움벽에 의한 긍정적인 영향이 대체로 반영되어 있지 않다^[15,17]. 셋째, 조적채움골조에 대한 EC8의 규정은 그 적용상에 다소 부정적인 면을 포함하고 있다^[17]. 즉, (1)조적채움벽의 영향을 고려하여, 순수골조에 대해 계산된 고유주기를 감소시킴으로써, 결과적으로 지진하중을 증가시키도록 규정하고 있으며, (2)평면 비정형으로 분류되지는 않지만 조적채움벽이 완전하게 등분포로 배치된 건물에 대해서도 우발편심을 두 배로 증가시키고 있으며, (3)입면 비정형에 대해 α 계수(식 (4))를 사용하여 순수골조에 대한 하중을 증가시키도록 규정하고 있다. 이러한 제약은 조적채움벽의 사용을 기피하게 할 수 있다. 따라서, 조적채움벽이 널리 사용될 수 있도록 이러한 사항에 대한 재평가가 이루어져야 한다.

5. 맺는말

유럽 내진규준 정립을 위해 수행된 여러 연구결과로부터 공통적으로 지적되고 있는 중요한 사항을 다음과 같이 정리하였다. 첫째, 구조물의 손상 상태와 극한상태에서의 능력평가를 위해 일반적으로, 요소(element) 수준 또는 몇몇 경우에 부분구조물(sub-assembly) 수준에서의 검토가 수행되고 있으나, 아직도 EC8의 몇몇 설계 규정과 상세 설계에 대한 적절한 평가가 수행되지 않았다^[13]. 둘째, 간단하고, 포괄적이면서도 합리적인 설계규준을 작성하고 이를 수행하기 위해서는 각 요소수준에서 내진성능에 대한 신뢰도를 충분히 확보하고 있는지, 그리고 전체적으로 일관된 수준을 보여주는지를 반드시 검토해야 한다^[14]. 뿐만 아니라, 구조물 전체의 내진성능에 대한 신뢰성 검토를 위해, 구조물 전체의 거동특성을 확인해 볼 필요가 있다.

현대사회에 있어서 지진에 의해 막대한 재산상의 피해가 발생할 수 있으므로, 구조물의 붕괴방지를 보장하는 것만으로는 충분하지 않다. 사회가 복잡해지고, 상호 긴밀하게 연관됨에 따라, 단순히 건축주 또는 사용자 개인뿐만 아니라, 사회전체에 미치는 지진피해의 영향을 고려해야 하므로, 내진규준을 새롭게 정립하는 경우에는 이러한 경제성 및 효율성 등에 대한 검토가 반드시 병행되어야 할 것으로 보인다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부의 자연재해방재 기술개발사업의 소과제 일부로 수행되었으며, 이 연구지원에 대해서 감사드립니다.

참고문헌

1. 기상청, <http://www.kma.go.kr/seismic>.
2. CEN Techn. Comm. 250/SC8(1995), "Eurocode 8: Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures-Part 1: General Rules (ENV 1998-1-1/2/3)", CEN, Brussels.
3. Standard Association of New Zealand(1995), "Concrete Structures Standard: Part 1-The Design of Concrete Structures and Part 2-Commentary on The Design of Concrete Structures (NZS 3101: 1995), Wellington.
4. Standard Association of New Zealand(1992), "Code of Practice for General Structural Design and Design Loadings for Buildings (NZS 4203: 1992), Wellington.
5. Pinto, A.V.(1998), "Earthquake Performance of Structures : Behavioural, Safety and Economical Aspects", Special Publication No. I.98.111, EC, JRC, Ispra, Italy.
6. Newmark, N.M. and W.J. Hall(1987), "Earthquake Spectra and Design", EERI Monograph. EERI, El Centro, California, USA.
7. ACI Committee 318(1995), Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95), Detroit.
8. Jankovic, S., Stojadinovic, B. and Wight, J.K.(1998), "Comparative Non-Linear Analysis of an R/C Frame Building Designed following the EC8, NZS 3101 and ACI 318 Codes", 11th European Conference on Earthquake Engineering.
9. Fardis, M.N.(ed.)(1996), "Experimental and Numerical Investigation on the Seismic Response of RC Infilled Frames and Recommendations for Code Provisions", ECOEST/PREC8 Report No.6, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbon, 1996.
10. Fardis, M.N. and Panagiotakos, T.B.(1997), "Seismic Design and Response of Bare and Masonry-Infilled Reinforced Concrete Buildings. Part I: Bare Structures", Journal of Earthquake Engineering, Vol. 1, No. 1, pp.219-256.
11. Fardis, M.N. and Panagiotakos, T.B.(1997), "Seismic Design and Response of Bare and Infilled Reinforced Concrete Buildings, Part II: Infilled Structures", J. Earthquake Engng. IC Press 1(3), pp. 475-503.
12. Vitelmo Bertero and Steven Brokken(1983), "Infills in Seismic Resistant Building", Journal of Structural Engineering, Vol. 109, No. 6, pp. 1337-1361.
13. Fardis, M.N., Negro, P., Bousias, S.N., and Colombo, A.(1999), "Seismic Design of Open-Storey Infilled RC Buildings", Journal of Earthquake Engineering, Vol. 3, No. 2, pp.173-197.
14. Calvi, G.M.(ed.)(1998), "European Activities for the Development of Eurocode8 - Summary of Recommendations for Code Improvement (PREC8 Project)", ECOEST/PREC8 Report No.9b, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbon.
15. Negro, P.(1997), "Combined Experiment and Computation for Dynamic Testing of Structures", Thesis submitted to the University of Wales in candidature for the degree of doctor of philosophy, University of Wales Swansea.
16. Kappos, A.J.(1998), "Influence of Ductility Class on the Seismic Reliability and Cost of EC8-Designed Structures", 11th European Conference on Earthquake Engineering.
17. Penelis, G.G. and Kappos, A.J.(1997), "Earthquake-Resistant Concrete Structures", E & FN SPON (Chapman & Hall), London, pp.592.