

경주 9.12지진의 피해 및 비구조요소 내진설계기준

Damage of Gyeongju 9.12 Earthquakes and Seismic Design Criteria for Nonstructural Elements

이수현¹⁾ · 조태구¹⁾ · 임환택²⁾ · 최병정^{3)*}

Lee, Su Hyeon¹⁾ · Cho, Tae Gu¹⁾ · Lim, Hwan Taek²⁾ · Choi, Byong Jeong^{3)*}

¹⁾경기대학교 일반대학원 건축공학과, ²⁾경기대학교 플랜트건축공학과 교수

¹⁾Graduate School of Architectural Engineering, ²⁾Department of Plant Architectural Engineering, Kyonggi University

/ A B S T R A C T /

After the Gyeong-ju 9.12 earthquake, we found the necessity of seismic design of nonstructural element is important to reduce damages in view of properties and economic losses. This study focused on the investigation of damages including both properties and human beings. It was found that most of the damages are leaking of water pipe line, rupture of glasses, spalling of roof finishing, cracks of building, and falling from roof. It was also found that the seismic design force of nonstructural elements is taking account into the natural periods, amplification factors, response modification factors to foresee inelastic behaviors. From this studies, it is recommended that more studies are necessary on the seismic design force of nonstructural element.

Key words: Seismic design, Earthquake, Nonstructural elements, Seismic design codes, Design Seismic force

1. 서론

2016년 9월 12일 한반도 관측 이래 최대인 5.8규모의 지진이 경주에서 발생했다. 이 지진은 진앙지인 경상북도 경주시는 물론 전국에서 진동이 감지되었으며, 육상지진으로는 국내에서 1978년 충북 속리산에서 규모 5.2, 충남 홍성에서 규모 5.0의 지진이 일어난 뒤 38년만에 발생한 대형 지진이다.

본 지진의 영향으로 남부지방을 중심으로 30년에서 20년 정도의 연식을 가진 건물의 내·외장재가 파손되거나 균열이 발생하는 피해가 있었으며, 특히 문화재가 많은 경주에서는 100건이 넘는 문화재 피해가 보고되었다.

지진은 국내뿐만 아니라 세계 각지에서 발생하는 자연재해 중 가장 예측이 어려운 재해이기 때문에 국내의 경우 2008년 지진재해대책법을 수립하여 내진설계를 의무화하고 있다.

그러나 2008년도 기준으로 내진설계가 적용된 건축물은 16.3%로 절반

도 미치지 못하는 수준으로 국내 대부분의 건축물들은 지진에 취약하다. 따라서 내진설계가 미적용 된 건축물들에 대해서는 정확한 내진성능평가를 하여 안전성 확보가 필요하므로, 국내에서는 2014년도부터 내진성능평가가 의무화되어 준공인가 또는 사용승인 후 20년이 경과한 1종 시설물의 정밀안전진단 시 내진성능평가를 의무적으로 실시하도록 하고 있다.

하지만 지진의 피해는 구조물의 파괴에 국한되는 것이 아니라, 비구조요소의 파괴로 인해 추가적으로 피해가 발생하기도 하며, 특히 비보강 조적 난간 및 외벽으로부터 떨어지는 파편들에 의하여 건물 밖에서 다치거나 생명을 잃은 사람들의 수가 건물 내에서 다치거나 죽은 사람들의 수가 비슷하였다는 연구보고[1]를 참고할 때 비구조요소의 내진설계는 지진시 안전성 확보에서 매우 중요한 요소이다.

이에 건축구조기준에서는 2006년도부터 비구조요소에 대한 내진설계 기준을 반영하여 활용할 수 있도록 하였지만 일반적으로 내진설계 및 평가의 대상은 철근콘크리트, 철골, 조적조 및 목조 구조물들에 국한되어 적용되고 있으며, 건축구조물에 설치된 건축, 기계, 전기 비구조요소에 대한 고려는 시설물을 설치하는 공급자의 몫으로 인식되어 설계대상에서 제외되고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 경주 지진 피해상황을 비구조요소의 관점에서 확

*Corresponding author: Choi, Byong Jeong

E-mail: bjchoi@kgu.ac.kr

(Received November 25, 2016; Revised December 15, 2016; Accepted December 15, 2016)

인하고, 국내 기준에 따른 비구조요소 내진설계기준과 함께 해외기준의 비교분석을 통해 비구조요소의 내진설계를 보완할 수 있는 방안을 모색하고자 하였다.

2. 경주 지진 피해조사 및 비구조요소 설계

2.1 경주지진의 비구조요소 피해상황

국민안전처에 따르면 경주 지진 발생 후 다음날인 9월 13일 발표한 경주 지진 발생현황에 따르면 인명피해 6건, 재산피해 103건으로 피해유형은 건물의 유리파손, 수도배관 파열, 천정 내장재 탈락, 건물 균열, 낙하물로 인한 차량 파손 등이 주를 이루었으며, 문화재 또한 피해가 발생하였다. 경주 지진피해에서 나타난 비구조요소의 피해상황을 Fig. 1에 나타내었다.

비구조요소란, 우리나라 건축구조기준(KBC2016. 0306.10.1.)에 따르면 구조물에 영구히 설치되는 건축, 기계 및 전기설비 또는 부착물, 고정 부착물 등을 일컫는다. 그 사항들을 간단히 Table 1과 같이 정리하였다.

Fig. 1에서와 같이 지진으로 인한 직접적인 피해를 입은 건물에서 내 외부로 대피를 해도 건물 내부의 천장재나 사무기기, 건물 외부의 간판, 벽면 타일과 같은 비구조요소들이 파괴나 전도, 탈락으로 인해 인명피해가 발생한다면 결코 안전한 구조물로 볼 수 없다. 즉, 건물 외부로 대피 할 수 없는 상황에서 내부 벽체의 붕괴로 인한 파편낙하, 천장의 붕괴로 인한 압사 등의 피해를 불러올 수 있으며, 역시 건물 외부로 대피를 하였다 하더라도 유리

Table 1. Classifications and types of nonstructural elements

| Classification | Types |
|--|--|
| Architectural nonstructural elements | Interior and exterior nonstructural walls, partition walls, cantilever members, ceilings, cabinets, signs, billboards, etc. |
| Mechanical and electrical nonstructural elements | General machinery equipment, boiler, transport equipment, piping system, HVAC system equipment, moving stairs, elevator, cable rack, electric lighting equipment, etc. |
| Etc | Furniture, household appliances, etc. |

Table 2. Damages caused by nonstructural elements

| Classification | Contents of damage |
|--|--|
| Architectural nonstructural elements | Destruction and fall, damage caused by evacuation, equipment destruction, etc. |
| Mechanical and electrical nonstructural elements | Fire due to equipment damage, exposure of hazardous materials, electric shock, etc. |
| Etc | The damage caused by falling at the high position, the difficulty of evacuation outside the building, etc. |

파편, 벽돌 낙하로 인한 피해가 일어날 수 있는 것이다. 또한 병원, 발전소, 관공서에서 지진 피해로 인한 비구조요소들의 기능 마비는 2차 피해를 불러올 수 있게 된다. 외관이나 구조적으로 피해, 손상 정도가 적더라도 비구조요소로 인해 인명피해가 발생 할 수 있다. 이에 대한 대표적인 피해 사례를 Table 2와 같이 정리하였다.

2.2 비구조요소의 국내외 설계기준

국내외 비구조요소 내진설계를 위한 설계지진하중(F_p)은 증폭계수, 지진력, 중요도계수, 반응수정계수, 높이 등을 고려하여 결정한다. 대부분의 설계지진하중은 등가정적하중으로 설계하고 있다. 주로 쓰이는 국내외 내진설계 기준을 다음과 같이 정리하였다.

2.2.1 KBC 2016(Korean Building Code, 2016, 한국)

우리나라 건축구조기준(KBC 2016)에서는 설계지진하중(F_p)을 비구조요소에 작용하는 가동중량과 함께 고려하되, 축 방향 및 축 직교방향에 대하여 각각 독립적으로 적용하도록 되어있다.

비구조 외벽에 작용하는 풍하중이 F_p 를 초과하는 경우에는 풍하중에 대하여 설계하여야 한다. 설계지진하중을 구하는 방법은 식 (1)과 같다.

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{DS} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) \tag{1}$$

F_p 는 식 (2)값을 초과할 필요는 없다.

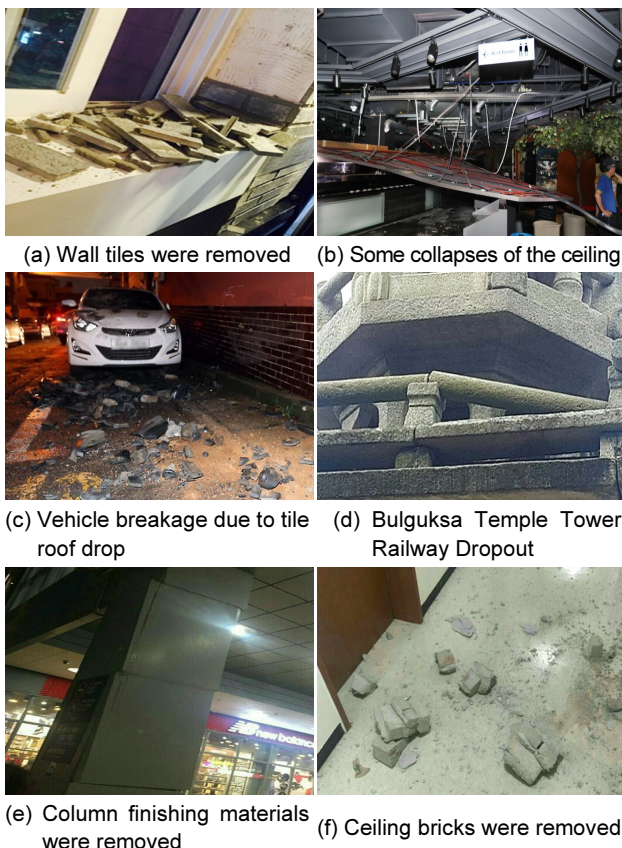


Fig. 1. Damage situation of nonstructural elements caused by earthquake damage

$$F_p = 1.6S_{DS}I_p W_p \quad (2)$$

그러나 F_p 는 식(3)값 이상이 되어야한다.

$$F_p = 0.3S_{DS}I_p W_p \quad (3)$$

즉, 식(4)와 같이 정리 할 수 있다.

$$0.3S_{DS}I_p W_p \leq F_p \leq 1.6S_{DS}I_p W_p \quad (4)$$

여기서, a_p : 1.0~2.5 사이의 값을 갖는 증폭계수, R_p : 1.0~3.5 사이의 값을 갖는 비구조요소의 반응수정계수, I_p : 1.0 또는 1.5의 값을 갖는 비구조요소의 중요도계수, h : 구조물의 밑면으로부터 지붕 층까지의 평균높이, S_{DS} : 단주기에서의 설계스펙트럼가속도, W_p : 비구조요소의 가동중량, z : 구조물의 밑면으로부터 비구조요소가 부착된 높이

2.2.2 ASCE 41-13(Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, US)

미국설계기준 ASCE 41-13에서는 비구조요소의 설계지진하중을 다음과 같이 구한다.

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{XS} W_p \left(1 + \frac{2x}{h}\right)}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \quad (5)$$

다음 식(6)을 초과하지 않으며, 식(7)보다 작지 않아야한다.

$$F_p(\text{Maximum}) = 1.6S_{XS}I_p W_p \quad (6)$$

$$F_p(\text{Minimum}) = 0.3S_{XS}I_p W_p \quad (7)$$

이는 다음 식(8)과 같이 정리할 수 있다.

$$0.3S_{XS}I_p W_p \leq F_p \leq 1.6S_{XS}I_p W_p \quad (8)$$

여기서, a_p : 1.0~2.5 사이의 값을 갖는 증폭계수,

R_p : 1.0 ~ 12.0 사이의 값을 갖는 비구조요소의 반응수정계수,

I_p : 1.0 또는 1.5의 값을 갖는 비구조요소의 중요도계수,

h : 구조물의 밑면으로부터 지붕 층까지의 평균높이

S_{XS} : 단주기에서의 설계스펙트럼가속도,

W_p : 비구조요소의 가동중량 x : 구조물의 밑면으로부터 비구조요소가 부착된 높이

우리나라 건축구조기준(KBC 2016)과 미국의 ASCE 41-13 규정의 지진하중을 구하는 식은 동일하며 반응수정계수와 다른 계수들의 값을 상황에 따라 일부 조정하여 사용하고 있다.

Table 3. ASCE 41-13 seismic design regulations

| Architectural Components | a_p | R_p |
|--|-------|-------|
| Interior nonstructural walls and partitions | | |
| Plain masonry walls | 1.0 | 1.5 |
| All other walls and partitions | 1.0 | 2.5 |
| Cantilever components, unbraced or braced(to structural frame) below their centers of mass | | |
| Parapets | 2.5 | 2.5 |
| Chimney and stacks | 2.5 | 2.5 |
| Cantilever components, braced(to structural frame) above their centers of mass | | |
| a. Parapets | 1.0 | 2.5 |
| b. Chimney and stacks | 1.0 | 2.5 |
| c. Exterior non structural walls | 1.0 | 2.5 |
| Exterior nonstructural wall components and connections | | |
| a. Wall components | 1.0 | 2.5 |
| b. Body of wall-panel connections | 1.0 | 2.5 |
| c. Fasteners of the connecting system | 1.25 | 1.0 |
| Ceilings | 1.0 | 2.5 |
| Laboratory equipment | 1.0 | 2.5 |
| Storage racks | 2.5 | 4.0 |
| Access floor | | |
| a. Special access floors | 1.0 | 2.5 |
| b. All other | 1.0 | 1.5 |
| Appendings and ornamentation | 2.5 | 2.5 |
| Signs and billboards | 2.5 | 2.5 |
| Stairways | 1.0 | 2.5 |

미국의 ASCE 41-13 규정의 건축비구조요소 설계계수인 증폭계수(a_p)와 반응수정계수(R_p)의 몇 가지 주요 값 비교를 다음 Table 3과 같이 나타내었다.

앞에서 언급한 것과 같이 KBC2016은 ASCE 41-13의 사항을 대부분 차용해서 사용하고 있으며, 계수가 같은 부분은 같은 사항으로 묶거나 반응수정계수를 낮춰 사용하고 있다.

2.2.3 Eurocode 8 (Design of structures for earthquake resistance, 유럽)

유럽설계기준 Eurocode 8에서는 지진하중, 비구조요소의 자중, 비구조요소의 진도와 중요도계수, 거동계수를 사용하여 다음 식(9)와 같이 설계지진하중을 산정한다.

$$F_a = (S_a \cdot W_a \cdot \gamma_a) / q_a \quad (9)$$

여기서, F_a : 비구조요소의 질량중심에 작용하는 지진력,

W_a : 비구조요소의 무게,

S_a : 비구조요소의 지진계수(Seismic Coefficient),

γ_a : 중요도계수, q_a : 비구조요소의 거동계수

Table 4. Nonstructural element behavior coefficient(q_n) of Eurocode 8

| Types of non-structural elements | q_n |
|--|-------|
| Cantilever parapets or ornaments Signs and billboards Over 1/2 of the total length of the chimney or unsupported cantilever | 1.0 |
| Exterior, interior wall partition Chimneys smaller than 1/2 of the total length or unsupported cantilevers Anchors in cabinets or bookshelves supported by floors | 2.0 |

중요도계수(γ_n)의 경우, 생명과 관련된 기계나 장비, 폭발, 독성을 가진 위험요소의 경우 1.5를 넘지 않아야 하며, 이외의 요소는 1.0을 사용하도록 하고 있다.

비구조요소의 지진계수는 다음 식(10)과 같이 산정한다.

$$S_n = \alpha \cdot S \cdot [3(1+z/H)/(1+(1-T_n/T_1)^2) - 0.5] \quad (10)$$

여기서, α : 설계지반가속도,

S : 지반계수,

T_n : 비구조요소의 고유주기,

T_1 : 관련 방향 건물의 고유주기,

z : 지진이 작용하는 곳(지면)에서의 비구조요소 부재까지의 높이,

H : 건물의 높이

비구조요소의 거동계수(q_n)는 다음과 Table 4와 같이 규정하고 있다.

2.2.4 IBC 2015(International Building Code, 2015, 미국)

미국의 IBC 2015에서는 구조물 및 지지물, 부착물에 영구적으로 부착된 비구조요소를 포함한 모든 구조물 및 그 일부는 ASCE 7에 따라 설계 및 제작하도록 되어있다. ASCE 7에 따라 다음 식(11)과 같이 설계지진하중을 산정하며, ASCE 41-13과 같다.

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{DS} W_p \left(1 + \frac{2z}{h}\right)}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \quad (11)$$

다음 식(12)을 초과하지 않으며, 식(13)보다 작지 않아야 한다.

$$F_p(\text{Maximum}) = 1.6 S_{DS} I_p W_p \quad (12)$$

$$F_p(\text{Minimum}) = 0.3 S_{DS} I_p W_p \quad (13)$$

이는 다음 식(14)과 같이 정리할 수 있다.

$$0.3 S_{DS} I_p W_p \leq F_p \leq 1.6 S_{DS} I_p W_p \quad (14)$$

여기서, F_p : 설계지진하중, S_{DS} : 단주기에서의 설계스펙트럼가속도, a_p : 1.0~2.5 사이의 값을 갖는 증폭계수, I_p : 1.0 또는 1.5의 값을 갖는 비구조요소의 중요도계수, R_p : 1.0~12.0 사이의 값을 갖는 비구조요소의 반응수정계수, h : 구조물의 밑면으로부터 지붕 층까지의 평균높이, z : 구조물의 밑면으로부터 비구조요소가 부착된 높이, W_p : 비구조요소의 가동중량.

예외 사항으로, 식(11)에 따라 결정된 설계지진하중 대신에, 모든 단계에서 가속도는 진동해석 절차에 의해 반응수정계수(R)의 값을 1.0으로 할 수 있으며, 그때의 설계지진하중(F_p)은 다음 식(15)를 따른다. 식(15) 또한 식(14)의 범위 내에 적용되어야 한다.

$$F_p = \frac{a_i a_p W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} A_x \quad (15)$$

여기서, a_i : 진동해석으로부터 얻은 i 단계에서의 가속도, A_x : 비틀림 증폭계수, $A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{avg}}\right)^2$

2.2.5 UBC 1997(Uniform Building Code, 1997, 미국)

UBC 1997의 경우, 2000년을 기점으로 ICC(International Code Council)에서 발행하는 IBC로 대체되면서 기준이 통합되었으나, 일부 현장 및 해석 프로그램에서는 아직 UBC 1997을 사용하는 경우가 있어, 다른 기준과 같이 비교하기 위하여 수록하였다. UBC에서는 바닥이나 지붕에 부착되는 비구조요소가 400파운드(약 181kg) 이하일 경우 설계대상에서 제외된다. 비구조요소는 앵커 및 가새가 포함되어야 하며, 지진에 의해 저항하는 마찰력은 비고려대상이다. 설계지진하중(F_p)을 증폭계수, 반응수정계수, 기초로부터 비구조요소까지의 높이, 비구조요소의 무게 등 두 식(16), (17)으로 나타내었다.

$$F_p = 4.0 C_a I_p W_p \quad (16)$$

$$F_p = \frac{a_p C_a I_p}{R_p} \left(1 + 3 \frac{h_x}{h_r}\right) W_p \quad (17)$$

여기서, C_a : 수평지진계수,

a_p : 1.0~2.5 사이의 값을 갖는 증폭계수,

I_p : 비구조요소의 중요도계수,

R_p : 1.0~4.0 사이의 값을 갖는 반응수정계수,

W_p : 비구조요소의 무게,

h_x : 지면에서 비구조요소가 부착된 높이, h_r : 지면에서 지붕까지의 높이(건물 전체 높이)

식 (16)의 경우 간단한 식으로 적용하기 쉬우며, 비구조요소의 설치 위치에 상관없이 최대 지반 가속도의 4배를 곱하기 때문에 상당히 보수적인 결과를 얻게 된다. 반면 식 (17)의 경우 비구조요소의 위치, 증폭계수, 반응수정계수 등을 고려하기 때문에 보다 정확한 값을 도출할 수 있다.

또한, 식 (16), (17)은 식 (18)의 범위 내에서 설계 되어야한다.

$$0.7C_a I_p W_p \leq F_p \leq 4.0C_a I_p W_p \quad (18)$$

3. 각 기준에 따른 비구조요소 설계지진하중 비교

3.1 기준건물설계

각 기준별 비구조요소 설계지진하중 비교에 앞서, 내진설계 된 8층의 기준 건물을 먼저 설계하였다. 본 건물은 중간모멘트 골조와 철골 특수 중심가새골조로 이루어진 이중 골조시스템으로 높이 31.2 m 8층 건물로 설계하였다.

Table 5. Building design assumptions for design seismic load calculation

| | |
|------------------------------|--|
| Category | q_a |
| Zone Coefficient | A = 0.22 (Zone Factor I) |
| Soil profile type | S_c (soft rock ground) |
| Seismic Category | I |
| Importance Factor | $I_E = 1.2$ (Seismic Category I, City planning area) |
| Seismic Design Category | D |
| Height of building | $H_n = 31.2m$ |
| Width of building | $B_x = 36m, B_y = 27.6m$ |
| Response modification factor | $R = 6$ (Special concentrically braced frames) |

지진하중 설계는 우리나라 건축구조기준(KBC 2016) 기준으로 Table 5와 같이 설계하였다.

건물의 용도는 주거용 및 업무용으로 사용 가능한 일반 건물로 설계하였으며, 서울지역(지진구역 I), 중요도계수 I_E 는 1.2의 내진등급 I 로 가정하였다. 내진설계범주는 D에 속하며, 층고는 1층 6 m, 2~3층 5 m, 4~8층 3.8 m으로 총 31.2 m로 저층부(2~3F)는 주거시설, 고층부(4~8F)는 업무 시설로 사용할 수 있는 복합건물로 가정하였다. 비구조요소의 높이는 각 층에 위치해 있는 것으로 가정하였다. 지진력저항시스템은 특수중심가새 골조로, 반응수정계수 $R = 6$ 으로 설계하였다.

3.2 각 기준에 따른 지진하중

각 기준에 따른 지진하중 산정을 위하여 변수를 설정하였다. 비구조요소는 증폭계수(a_p)의 값을 최대로 고려할 수 있는 표지판 및 광고판, 장식물 등을 가정하여 증폭계수(a_p)는 2.5로, 비구조요소의 가동중량(W_p)은 10 kN(1 tonf)로 가정하였다. 이에 따른 변수들은 Table 6과 같이 산정하였다.

Table 6의 변수에 따른 비구조요소의 설계지진하중은 Table 7과 같이 나타내었으며, 그 그래프는 Fig. 2와 같다.

설계지진하중은 처음에는 세 기준 모두 약간의 차이가 있었으나, 지붕 층에서 UBC1997이 가장 크게 산정 되었으며, KBC2016과 Eurocode는 층수가 증가할수록 비슷한 값이 산정 되었다.

KBC2016의 경우 건물의 주기가 설계에 반영이 되고 Eurocode의 경우 건물의 주기와 비구조요소의 주기까지 고려되어 설계되는 반면, UBC1997의 경우 건물에서 비구조요소의 설치 위치만 고려되기 때문에 고층으로 갈수록 차이가 나는 것으로 보인다. 따라서 건물의 강성에 따른 효과를 반영하지 못하는 것으로 보인다.

앞서 살펴본 각 기준별 비구조요소 설계지진하중에는 대부분 비구조요

Table 6. Variables for design seismic load calculation

| | Seismic zone | Soil profile type | Structural fundamental period | Structural system | Nonstructural importance factor |
|---------------------|--------------|-------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| KBC2016 (ASCE, IBC) | I | S_c (Soft Rock) | 0.65 | $R = 6.0$ | 1 |
| Eurocode | 0.22* | C(Soft Rock) | 0.65 | $q = 4.8$ (Behavior factor) | 1 |
| UBC1997 | 2B** | S_c (Soft Rock) | 0.65 | $R = 6.4$ | 1 |

0.22*: Seismic zone factor of Eurocode 8 P.G.A (Peak Ground Accleration) is used as 0.22, 2B**:Seismic zone factor Z of UBC1997 is used as 2B (= 0.20g)

Table 7. Floor seismic design load(kN) according to each standard.

| | 1F (F_{p1}) | 2F (F_{p2}) | 3F (F_{p3}) | 4F (F_{p4}) | 5F (F_{p5}) | 6F (F_{p6}) | 7F (F_{p7}) | 8F, Roof floor (F_{pr}) |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|
| KBC-2016 및 ASCE | 7.18 | 9.95 | 12.25 | 14.55 | 16.3 | 18.06 | 19.81 | 21.56 |
| Eurocode* | 10.7 | 12.77 | 14.48 | 16.2 | 17.51 | 18.81 | 20.11 | 21.4 |
| UBC 1997** | 9.19 | 14.50 | 18.82 | 23.23 | 26.66 | 29.99 | 33.42 | 36.75 |

Eurocode*: The S (Soil factor) of Eurocode is 1.15, UBC1997**:Seismic coefficient factor of UBC1997 is 2B in the seismic zone, 0.24g in the ground

Floor seismic design load according to each standard

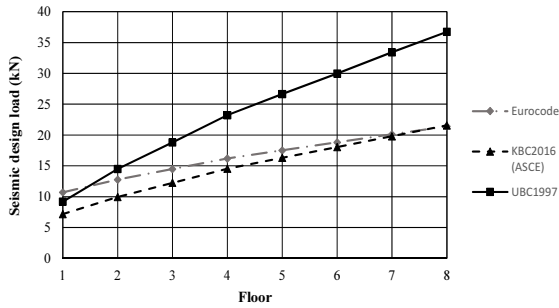


Fig. 2. Comparison of design seismic load according to each standard

소의 증폭계수(a_p)와 반응수정계수(R_p)을 사용하여 초과강도와 비탄성 거동에 대하여 고려한 것임을 알 수 있었다.

우리나라 건축물 하중기준 및 해설(2000) 6.5 비구조부재 일반사항에 따르면, 비구조 부재란 구조체에 영구적으로 부착된 시설물을 말한다. 또한 비구조 부재가 바닥 또는 지붕에 부착되어 무게가 180 kgf 미만인 되는 시설물은 설계지진하중에서 제외하는 것으로 UBC 1997 기준과 흡사하다. 우리나라 건축구조기준(KBC 2016)과 건축물 하중기준 및 해설(2000)을 참고할 때, 지진이 발생한 후 구조물 자체의 파괴로 인한 피해뿐만 아니라, 건물 내부의 책장 전도나 천장 붕괴 그리고 건물 외부의 간판, 유리 파편으로 인한 건물 사용자들의 피해와 기능 마비로 인한 2차 피해에 대해서도 인식하고 있다. 하지만 국내 기준의 경우 ASCE7-10 또는 41-13을 그대로 차용한 부분이 많아 우리나라의 지반 조건 및 지역에 따른 계수가 세부적으로 반영이 되어 있지 않다. 따라서 이번 경주 지진피해를 통해 우리나라 실정에 맞는 비구조요소의 내진설계 기준을 재검토해야 할 것이다.

3.2 비구조요소의 성능수준 분류

상기의 예제를 통한 분석에서는 비구조요소의 성능목표에 대한 분석을 수행을 하지 못하였다. 따라서 성능목표에 대한 기준의 평가를 살펴볼 필요가 있다. 건물의 성능목표는 내진등급에 따라 구분하여 결정된다. 특등급인 경우 성능수준은 기능수행, 인명안전 및 붕괴방지를 만족하여야 한다. I 등급의 경우 인명안전 과 붕괴방지 성능수준을 만족하여야 한다. 또한 II 등급의 경우도 I등급과 동일한 성능수준을 만족하여야 한다. 비구조요소의 경우 건물이 기능수행 (또는 즉시거주)의 성능수준이라면 기계, 전기, 배관 등이 정상적으로 작동할 수 있도록 건물의 기능수행수준이 충분히 만족되어야 할 것이다.

건축물이 인명안전수준이라면 비구조요소에는 심각한 손상이 발생 될 수도 있다. 현재까지 국내의 연구에 의하면, 비구조요소의 성능기반설계는 강진, 중진, 약진으로 나누어서 각 지진의 세기별로 인명안전 과 즉시사용 성능요건을 맞추도록 하자는 의견이 제시된 연구가 있다 (최재성, 2014).

비구조요소 또한 특등급, I등급 및 II등급의 건축물내진등급과 연계하여 인명안전 및 즉시사용의 성능수준을 맞출 수 있도록 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. 왜냐하면 비구조요소에는 건물의 특등급 처럼 생명에 심각한 영향을 미치는 비구조요소가 있고, 비구조요소의 기능을 상실하는

요소도 있으며 지엽적인 국부적인 파손인 경우 등 있기 때문이다(김장훈, 2004).

비구조요소의 성능기반 내진설계는 건물 및 거주자 또는 기기 자체의 심각한 손상으로 인해서 많은 연쇄적인 파괴에 따른 피해를 줄 수도 있다. 따라서 건물의 설계 초기부터 목표성능을 명확히 하여 비구조요소의 사용자 및 설계자에 대한 책임도 부여할 수 있는 체계가 갖추어 져야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

이번 경주 지진피해로 인해 건물의 내진설계를 비롯하여, 부가적인 피해를 입힐 수 있는 비구조요소에 대해서도 그 설계에 대한 필요성이 높아지고 있다. 비록 건물의 손상이 적더라도 비구조요소로 인해 생명을 위협할 수 있으며, 건물의 기능마비로 인한 경제적인 손실까지 고려할 때 심각하게 눈여겨 봐야 할 것이다. 연구를 통해서 다음의 사항을 요약해 볼 수 있다.

- 1) 비구조요소의 피해조사는 국민안전처의 조사에 따르면 인명피해 6건, 재산피해 103건으로서 피해유형은 건물의 유리파손, 수도배관파열, 천정내장재 탈락, 건물균열 및 낙하물의 피해였다. 특히 식당 등 천정의 일부 붕괴에서 살펴보았듯이 이런 부분에 대해서도 비구조요소 내진설계 수행을 좀 더 심도있게 살펴보아야 할 것으로 판단된다.
- 2) 비구조요소의 설계지진하중은 KBC2-16, ASCE 41 및 IBC 2015의 경우 건물의 주기 및 비구조요소의 주기까지 설계에 고려되나 기존의 UBC 97에서는 건물에의 설치위치만 고려되었었기 때문에 높이(H)가 높아질수록 설계지진하중이 크게 나타났다.
- 3) 국내 비구조요소의 설계지진하중은 비구조요소의 증폭계수(a_p)와 반응수정계수(R_p)를 사용하여 초과강도와 비탄성거동을 고려함을 알 수 있었다. 비보강조적벽 및 표면마감재는 반응수정계수를 낮추어 사용하고 있음을 알 수 있었다. 지진하중의 분석에서는 저층에서는 Eurocode에 따른 비구조요소의 지진하중이 높았던 반면에 중층으로 올라가면서 그 값은 유사하게 일치하는 것으로 분석되었다. 따라서 저층에 대한 비구조요소의 지진하중에 대한 다양한 변수를 포함한 분석이 필요하다고 판단된다.

/ 감사의 글 /

본 논문은 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제이며(No. 20151520400600), 2016학년도 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었습니다.

/ REFERENCES /

1. Kim JH, Seismic resistant design of non-structural components, Review of Architecture and Building Science, 2004 Aug;48(8):53-56
2. Chang KK, Lim YC, Seo DW, Comparison of building code for design

- of non-structural elements for buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2013 Jan;29(1):23-30.
3. Architectural Institute of Korea, Korea Building Code and Commentary, c2016.
 4. ASCE41-13, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Standards ASCE/SEI 41-13, c2014.
 5. British Standard, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings, BS EN1998-1, c2004.
 6. International Code Council, IBC: International Building Code, c2015.
 7. International Code Council, UBC; Uniform Building Code, c1997
 8. Choi JS, Seismic Evaluation and Retrofit design of non-structural elements for Earthquake Damage Reduction, Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 2014 Jun;43(6):68-83.