

비내진 근린생활시설의 노후도를 고려한 내진성능평가

Seismic Performance Evaluation of Nonseismic Neighborhood Living Facilities Considering Deterioration

이 영 천¹⁾ 정 채 명²⁾ 이 은 진³⁾ 김 명 훈⁴⁾ 최 기 봉^{5)*}
Lee, Young Cheon Jeoung, Chae Myeoung Lee, Eun Jin Kim, Myung Hoon Choi Ki Bong

Abstract

In this study, seismic performance was evaluated considering the deterioration level for the low-rise and moderate buildings with non-seismic details which are most common in Korea. Evaluation results showed that the deterioration condition is relatively good even after 24 years of construction but the seismic performance did not satisfy the protection index in the first and second evaluation. In case of the third evaluation, the goal performance was satisfied based on the interstory drift ratio but reinforcement is found to be necessary. Seismic performance was evaluated after the target buildings were reinforced in the walls, bracing, and damper. Results showed the interstory drift ratio drastically reduced regardless of reinforcement methods and satisfied the level of immediate occupancy. In case of wall reinforcement, however, base shear increased more than double which requires review on the existing foundation.

Keywords : Seismic designed, Deterioration, Seismic performance evaluation, Seismic retrofit, Nonlinear static analysis

1. 서론

최근 중국과 일본 등 주변국가에서 대지진으로 인한 피해 규모가 커지는 것으로 보아, 이들과 매우 가까운 거리에 있는 한반도에도 지진으로 인한 직접적인 피해뿐만 아니라, 2차 피해 발생 가능성을 무시할 수 없는 실정이다.

국내에서는 교육과학기술부의 그린스쿨 사업 일환으로 학교 건축물에 대한 내진 성능 확보를 위한 사업이 꾸준히 진행되고 있고, 일부 공동주택에 대한 내진 성능 평가 및 보강을 위한 연구가 초기단계에 있을 뿐, 다른 용도의 건축물에 대해서는 많은 연구가 진행되지 않고 있는 실정이다. 중소규모의 근린생활시설들은 대부분 1970~1990년대 초반에 지어진 건축물로서 6층 미만(이하 중소규모 건축물이라 칭함)에 해당되어 내진설계기준이 만들어진

1988년 이후에 지어진 건축물이라도 내진설계가 적용되지 않은 건축물들이다. 국토해양부에서 2011년 발표한 층수별 건축물 현황 통계표에 의하면 우리나라의 건축물 673만 여동 중 6층 미만에 해당하는 건축물은 전국 평균 97.5%에 해당하는 656만동 가량 존재한다. Fig. 1은 전국 자치단체별로 6층 미만 건축물들의 비율을 나타내었다. 서울을 포함한 전국의 광역시 및 경기도 지역은 6층 미만의 건축물이 94~97%를 차지하고, 나머지 자치단체들은 대부분 98~99%가량 해당된다.

우리나라에 존재하는 건축물 중 가장 많은 분포를 차지하는 중소규모 건축물들은 지진발생 시, 피해 또한 엄청날 것으로 예상된다. 이러한 건축물 중 비내진 상세를 가진 건축물에 대한 내진성능평가 및 보강에 대한 평가가 절실하게 필요하다.

1) 정회원, 가천대학교 구조 및 시공 연구실 박사과정
2) 정회원, (주)토담하이텍구조 대표이사 구조기술사, 공학박사
3) 정회원, (주)동양구조 E&R 기술연구소장, 공학박사
4) 학생회원, 가천대학교 구조 및 시공 연구실 석사과정
5) 정회원, 가천대학교 건축공학과 교수, 교신저자

* Corresponding author : kbchoi@gachon.ac.kr 031-750-5338

• 본 논문에 대한 토의를 2013년 2월 28일까지 확회로 보내주시면 2013년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

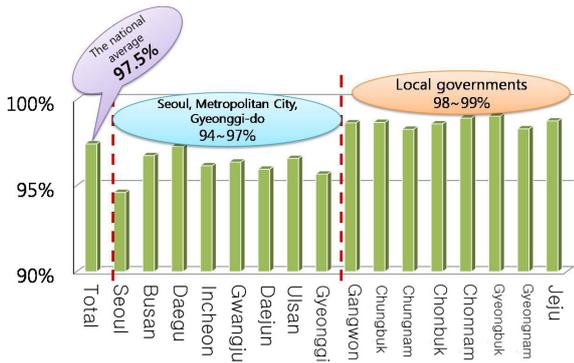


Fig. 1 The ratio of buildings less than 6 stories by region in Korea

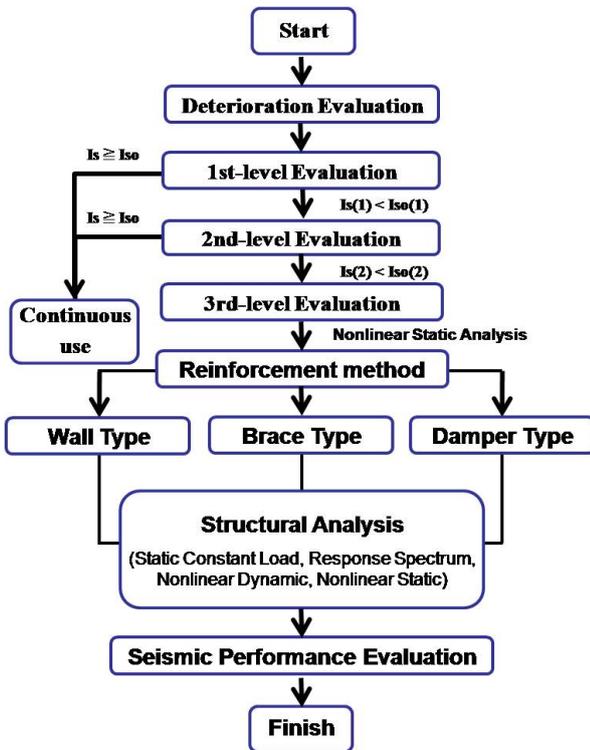


Fig. 2 Seismic performance evaluation flowchart

따라서 본 연구에서는 1988년 이전에 설계된 6층 미만 규모의 일반적인 중소규모 건축물인 근린생활시설을 대상으로 건축물에 대한 노후도 평가와 이를 고려한 내진성능을 평가하였다. 또한 건축물의 내진설계기준에 적합하도록 보강 방법을 제시하였고, 보강 방법별 성능을 비교하였다.

향후 비내진 상세를 가진 건축물들을 구조형식별, 용도별, 규모별로 분류하여 대표적인 건축물들에 대해 효율적인 내진보강 방안을 제안하기 위한 연구의 일부로서, 국

내 중소규모 건축물들의 내진 보강 지침을 마련하기 위한 자료로 활용될 것이다.

2. 기존의 관련 연구 및 기준

2.1 국내 연구

Woo. Woon Taek 등(2000)의 “기존 철근콘크리트 건축물의 내진성능평가” 연구에서 지상 3층의 근린생활시설물을 일본내진진단 기준으로 평가하였는데, 건축물의 경년에 따른 노후화에 대한 평가 여부에 따라서 내진성능이 좌우된다는 것을 결론으로 얻었다.

Lee. Kang Seok 등(2002)은 “현존 철근콘크리트 건물의 내진성능 평가 및 지진피해율의 상정” 연구에서 학교건축물을 일본 내진진단 기준에 의해 평가하였는데, 일본 내진진단 기준에 의한 국내 철근콘크리트 건축물의 인성지표는 과대평가될 가능성이 있다고 판단하였다.

Song. Jin Kyu 등(2010)은 “노후도를 고려한 학교건물의 내진성능평가 및 내진보강에 관한 연구”에서 3층 규모의 철근콘크리트 학교건축물을 N2법(Faifar가 제안한 N2 Method)을 통하여 내진성능평가 후 각 재현주기에 대한 댐퍼보강과 가새보강 방안을 제시하였다.

2.2 일본 내진진단 관련기준

일본 건축 방재 협회의 기존 콘크리트 건축물의 내진진단 기준·부해설(2001)은 식 (1)과 같이 건축물의 구조내진지표(I_S)가 구조내진판정지표(I_{SO}) 이상이면 안전한 것으로 판단한다. 또한 I_{SO} 산정 시, 내진판정기본지표인 E_S 값은 1차 내진성능평가에서 0.8, 2차 내진성능평가 및 3차 내진성능평가에서 0.6으로 설정하고 있다. 이 값은 내진진단기준 값으로, 1968년 Tokachi-Oki 지진 및 1978년 Miyagi-Oki 지진에서 피해를 입은 철근콘크리트 건축물의 I_S 를 근거로 하여 설정한 것이다. I_S 는 아래 식 (2)에 의해 구할 수 있다.

$$I_{SO} \leq I_S \quad (1)$$

여기서, $I_{SO} = E_S \cdot Z \cdot G \cdot U$

E_S : 내진판정기본지표

Z : 지역지표, G : 지반지표,

U : 용도지표

$$I_s = E_o \cdot S_D \cdot T \quad (2)$$

여기서, E_o : 보유성능기본지표(= $C \cdot F$)

S_D : 형상지표, T : 경년지표,

C : 강도지표, F : 인성지표

1차 내진성능평가 방법에서는 건축물의 기둥율(기둥단면적/전층바닥면적) 및 벽율(벽단면적/전층바닥면적)을 이용하여 강도지표 C 를 산정한 후, 극단주($h_o/D \leq 2$)와 일반 기둥, 벽체를 구분하여 인성지표 F 를 결정한다. 이를 이용하여 극단주가 있는 경우와 없는 경우를 구분하여 보유성능기본지표(E_o)를 산정하게 된다.

2차 내진성능평가 방법에서 각 연직부재(기둥 및 벽)의 중국 휨전단내력(Q_{Mu}) 및 중국 전단내력(Q_{Su})을 산정하고, 양자의 비교를 통해 수평력에 대한 중국 보유내력(Q_u)을 산정하여 C 를 평가한다. F 는 연직부재의 파괴형식에 따라 다르며, $F=1.27$ 은 철근콘크리트 건축물의 항복 소성율($\mu=1.0$)에 해당하며, 이때의 부재각(R)은 약 $1/150$ 정도이다. F 는 최대 $3.2(\mu=5.0)$ 이며, F 값이 크면 클수록 건축물의 인성능력이 탁월하다. 2차 내진성능평가의 E_o 는 식 (3)에 의한 E_{O1} 및 식 (4)에 의한 E_{O2} 중 큰 값을 채택하여 평가한다.

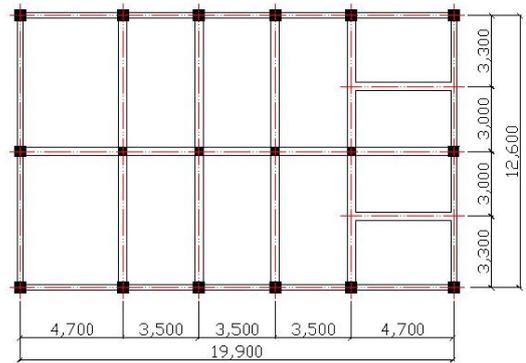
$$E_{O1} = \frac{n+1}{n+i} \sqrt{(C_1 \times F_1)^2 + (C_2 \times F_2)^2 + (C_3 \times F_3)^2} \quad (3)$$

$$E_{O2} = \frac{n+1}{n+i} (C_1 + a_2 C_2 + a_3 C_3) \times F_1 \quad (4)$$

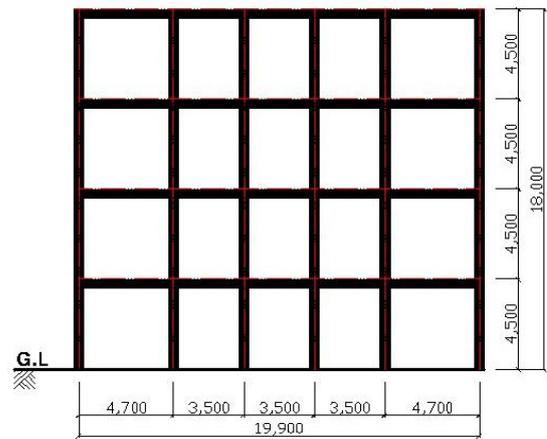
3. 보강 전 내진성능평가

3.1 대상 건축물 개요

본 건축물은 1988년 5월에 준공되었으며, 내진설계가 적용되지 않았다. 1층은 업무시설, 2~3층은 종교시설, 4층은 주거시설로 이용되고 있는 총 4층 규모의 전형적인 근린생활시설이다. 구조형식은 철근콘크리트조이며 평면도 및 단면도는 Fig. 3과 같다.



(a) Plan



(b) Section

Fig. 3 Plan and elevation view of building

3.2 노후도 평가

일본 내진진단 기준에서 노후도 평가는 경년지표 T 로 건축물의 보유성능 기본지표 값을 감소시켜준다. 경년지표는 시간의 흐름에 따라 생기는 구조체의 균열, 변형, 변질, 노후화 등 구조적 결함이 건축물의 내진성능에 미치는 영향을 반영하는 지표이다. (일본 건축 방재 협회의 기준 콘크리트 건축물의 내진 진단 기준·부해설(2001)의 각 평가 경년지표 T 산정표 참조)

본 건축물은 안전진단을 통해 건축물의 변형, 부재의 균열 등에 대한 조사를 실시하였고, 화재경험, 용도, 마무리 상태 등에 특별한 문제가 없었으므로, 1차 내진성능평가에서는 건축물연수에 대한 평가만을 실시하였다. 따라서 준공된 지 20년 이상 항복에 해당 되어 1차 내진성능평가에서 노후도 평가의 경년지표 T 는 0.9로 산정되었다.

2차 내진성능평가에서 경년지표 T 는 2차 조사항목에 대한 결과를 식 (5)에 의해 구한다.

$$T = (T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_N)N \quad (5)$$

$$T_N = (1 - P_1)(1 - P_2)$$

여기서, T_N : 조사한 층의 경년지표.

N : 조사한 층수.

P_1 : 조사층의 구조 균열, 변형의 감점수 합계.

P_2 : 조사층의 구조변질, 노후화 감점수 합계.

조사결과를 층별, 부재별로 구분하여 볼 때, 구조 균열, 변형 항목에서 바닥과 큰 보는 1/9 미만이었지만, 벽과 기둥에서 1/3~1/9 에 해당하는 항목들이 있었으며, 변질 노후화 항목의 경우는 모두 경미하게 조사되었다. 이를 반영한 2차 내진성능평가에서의 노후도 평가 경년지표 T 는 0.92로 산정되었다.

3.3 내진성능평가

3.3.1 1차 평가

층별로 산정된 강도지표(C)와 인성지표(F)에 의해 보유성능 기본지표 E_O 를 산정하였다. 노후도 평가에 의한 경년지표 T 를 반영한 1차 구조 내진지표 I_S 를 Table 1에 나타냈다.

하부층에서 상부층으로 갈수록 구조내진지표가 커지는데, 이는 상부층으로 갈수록 고정하중이 감소되기 때문이다. 각 층별 구조 내진지표는 0.198 ~ 0.486으로 모두 0.8보다 작은 값을 가지므로 1차 내진진단기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 2차 내진성능을 평가하였다.

3.3.2 2차 평가

Table 2에 1층 각 기둥 부재의 강도(M_u, Q_{Mu}, Q_{su}), 인성지표 F 를 나타냈다.

1층의 모든 부재에서 전단파괴보다 휨파괴가 지배적인

것으로 나타났다. 이에 의해 Q_u 값이 휨전단내력(Q_{Mu})으로 결정되었으며, 인성지표(F)의 값도 휨파괴 기둥에 의한 식으로 결정되었다. 인성지표의 크기 순서를 기준으로 총 3개의 Group으로 분류하였다.

2,3,4층에 대해서도 기둥의 휨내력이 전단내력보다 작은 값으로 계산되어, 이에 의해 인성지표(F) 값을 산정하고, Group을 분류하였다. Group별 중국 보유내력(Q_u)으로 계산한 강도지표(C), 인성지표(F), 그리고 2차 보유 성능내진 지표 E_O 를 Table 3에 나타냈다. 또한, 노후

Table 2 Second-level evaluation result(F)

| 1st Floor columns | M_u (tonf · m) | Q_{Mu} (tonf) | Q_{su} (tonf) | Q_u (tonf) | F | Group | |
|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-------|-------|---|
| Y1 | Cx1,y1 | 16.36 | 15.22 | 23.30 | 15.22 | 2.71 | 3 |
| | Cx2,y1 | 21.54 | 20.04 | 25.42 | 20.04 | 1.27 | 1 |
| | Cx3,4,y1 | 19.85 | 18.47 | 24.69 | 18.47 | 1.65 | 2 |
| | Cx5,y1 | 21.54 | 20.04 | 25.42 | 20.04 | 1.27 | 1 |
| | Cx6,y1 | 16.36 | 15.22 | 23.30 | 15.22 | 2.71 | 3 |
| Y2 | Cx1,y2 | 23.14 | 21.53 | 26.15 | 21.53 | 1.27 | 1 |
| | Cx2,y2 | 20.67 | 19.22 | 22.83 | 19.22 | 1.27 | 1 |
| | Cx3,4,y2 | 19.93 | 18.54 | 21.38 | 18.54 | 1.27 | 1 |
| | Cx5,y2 | 20.67 | 19.22 | 22.83 | 19.22 | 1.27 | 1 |
| Y3 | Cx6,y2 | 23.14 | 21.53 | 26.15 | 21.53 | 1.27 | 1 |
| | Cx1,y3 | 16.36 | 15.22 | 23.30 | 15.22 | 2.71 | 3 |
| | Cx2,y3 | 21.54 | 20.04 | 25.42 | 20.04 | 1.27 | 1 |
| | Cx3,4,y3 | 19.85 | 18.47 | 24.69 | 18.47 | 1.65 | 2 |
| | Cx5,y3 | 21.54 | 20.04 | 25.42 | 20.04 | 1.27 | 1 |
| Cx6,y3 | 16.36 | 15.22 | 23.30 | 15.22 | 2.71 | 3 | |

Table 3 Second-level evaluation result(E_O)

| Story | Group | C | F | $E_{O1,2}$ | | E_O |
|-------|-------|------|------|------------|----------|-------|
| | | | | E_{O1} | E_{O2} | |
| 4 | 1 | 0.07 | 1.91 | 0.995 | 0.560 | 0.995 |
| | 2 | 0.07 | 2.24 | | | |
| | 3 | 0.49 | 3.20 | | | |
| 3 | 1 | 0.10 | 1.27 | 0.449 | 0.286 | 0.449 |
| | 2 | 0.05 | 2.71 | | | |
| | 3 | 0.10 | 2.95 | | | |
| | 4 | 0.17 | 3.20 | | | |
| 2 | 1 | 0.08 | 1.27 | 0.275 | 0.265 | 0.275 |
| | 2 | 0.04 | 1.62 | | | |
| | 3 | 0.08 | 2.08 | | | |
| | 4 | 0.07 | 2.49 | | | |
| | 5 | 0.06 | 3.16 | | | |
| 1 | 1 | 0.17 | 1.27 | 0.270 | 0.309 | 0.270 |
| | 2 | 0.06 | 1.65 | | | |
| | 3 | 0.05 | 2.71 | | | |

Table 1 First-level evaluation result

| Story | W (tonf) | A (cm^2) | C | F | E_0 | T | I_S |
|-------|---------------|-------------------|------|-----|-------|-----|-------|
| 4 | 300.89 | 41400 | 0.87 | 1 | 0.54 | 0.9 | 0.486 |
| 3 | 601.77 | 41400 | 0.44 | 1 | 0.32 | 0.9 | 0.288 |
| 2 | 902.66 | 41400 | 0.29 | 1 | 0.24 | 0.9 | 0.216 |
| 1 | 1203.55 | 41400 | 0.22 | 1 | 0.22 | 0.9 | 0.198 |

Table 4 Second-level evaluation result (I_s)

| Story | C | F | E_o | S_D | T | I_s |
|-------|------|------|-------|-------|------|-------|
| 4 | 0.63 | 1.91 | 0.995 | 1.0 | 0.92 | 0.915 |
| 3 | 0.42 | 1.27 | 0.449 | 1.0 | 0.92 | 0.413 |
| 2 | 0.33 | 1.27 | 0.275 | 1.0 | 0.92 | 0.253 |
| 1 | 0.28 | 1.27 | 0.270 | 1.0 | 0.92 | 0.248 |

도 평가에 따른 경년지표를 반영한 2차 구조 내진지표 I_s 는 Table 4에 나타냈다.

1차 내진성능평가와 마찬가지로 상부층으로 갈수록 내진지표가 커지는 것을 알 수 있다. 하지만 각 층의 E_o 값이 1차 내진성능평가의 값보다 높은 이유는 벽율의 반영 비율이 높아져 벽체가 없는 건축물에 대한 내진성능을 과소평가하는 경향을 보이기 때문이다.

2차 내진성능평가 결과, 4층의 구조내진지표는 0.915로 내진기준을 만족하지만, 1층, 2층, 3층은 각각 0.248, 0.253, 0.413으로 2차 구조내진판정지표인 0.6미만으로 나타나 내진기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

2차 내진성능평가 결과에서도 전체 건축물에 대한 내진기준을 만족하지 못하므로, 3차 평가가 필요하다.

3.3.3 3차 평가

3차 내진성능평가는 비선형 정적해석으로 ATC(1996)의 능력스펙트럼법(CSM)을 사용하였다. 능력스펙트럼법은 탄성스펙트럼법에 비하여 구조물의 비탄성 응답을 조금 더 현실적으로 평가할 수 있고, 구조물의 내진성능에 대한 기존 건축물의 평가와 성능목표에 대한 설계검토에 적합하기 때문이다. 주기하중에 의한 성능저하를 고려하지

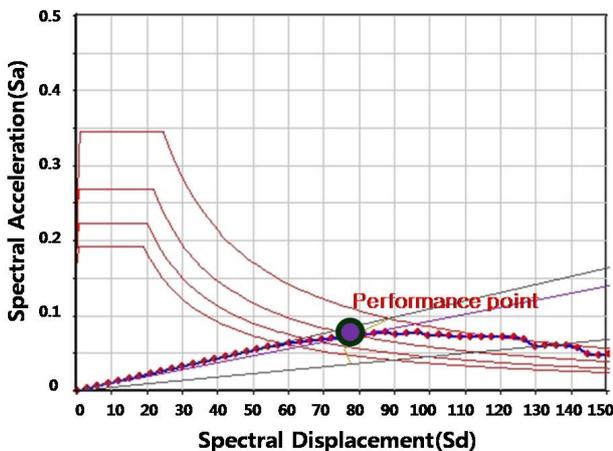
못하고 고차모드의 효과를 고려하지 못한다는 단점이 있지만, 대상건축물의 경우 X, Y방향 1차 모드의 질량 참여율이 각각 95%와 94%로 고차모드의 영향이 적어 결과의 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 판단되어 본 연구에서는 비선형 정적 해석의 능력스펙트럼법으로 성능점을 구하고 내진성능평가를 수행하였다.

대상건축물의 성능목표는 2400년 재현주기의 2/3수준에서 인명안전, 2400년 재현주기에 대해서는 붕괴방지수준을 유지하여야 하는 것을 성능목표로 삼았다. 구조 해석의 결과 얻어진 능력스펙트럼과 KBC 2009의 설계요구스펙트럼을 이용하여 산정된 성능점은 Fig. 4와 같다.

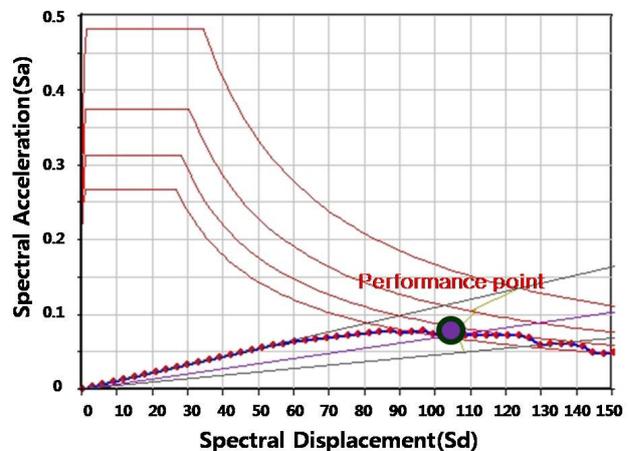
2400년 재현주기의 2/3수준의 경우, 성능점에서 파괴부재는 없었으나, 보 21개와 기둥 17개에 소성힌지가 발생하였다. 2400년 재현주기의 경우, 성능점에서 기둥1개 소 파괴와 보 27개, 기둥 28개에 소성힌지가 발생하였다.

각 재현주기 하중에 대한 층간변위비는 Fig. 5와 같다. Vitelmo V. Bertero(2002)가 제안한 층간변위비(IDI)의 지표로 평가할 때, 2400년 재현주기에 대해 1층은 붕괴방지(CP), 2층은 인명안전(LS), 3층과 4층은 즉시거주(IO)수준으로 나타났다. 2400년 재현주기의 2/3수준에서는 1층과 2층 모두 인명안전(LS), 3층과 4층은 즉시거주(IO)수준으로 나타났다.

층간변위비로 평가하면 2400년 재현주기 2/3 수준과 2400년 재현주기에 대하여 성능목표를 만족하는 것으로 판단된다. 그러나 2400년 재현주기 지진하중에 대한 1층에서 기둥이 파괴되고, 주로 1~2층 부재들에서 소성힌지가 발생되었는데, 전체 부재 중 기둥은 약 20%, 보는 약



(a) Recurrence period at 2/3 level of 2400 year



(b) Recurrence period of 2400 year

Fig. 4 Performance point

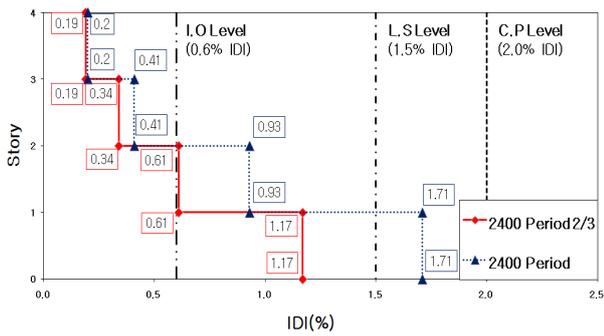


Fig. 5 Vitelmo V. Bertero(IDI)

10%가량 소성힌지가 발생하였다. 소성힌지 발생 부재의 위치 및 발생 후 거동에 대해서는 정밀한 해석이 필요하나, 발생 비율로 볼 때 구조물의 내진 보강이 필요하다고 판단할 수 있다.

4. 내진보강 방법 및 보강 후 내진성능평가

4.1 보강 방법

1차, 2차 및 3차 내진성능평가 결과, 대상건축물은 충분한 내진성능을 보유하지 못하는 것으로 판단되어 내진 보강을 하였고, 보강 후 성능을 비교하였다.

보강 방법은 첫째, 횡력저항부재로 강도와 강성을 증가시키기 위해 벽체로 보강한 경우. 둘째, 주로 강성을 증가시키기 위한 가새 보강. 셋째, 지진 하중을 감소시키기 위한 댐퍼 보강 등 총 3가지 방법으로 보강하였다.

벽체보강은 1차 내진성능평가에서 부족한 벽량을 산정하여 적용하였고, 가새보강은 건축물 전체의 비틀림 등을

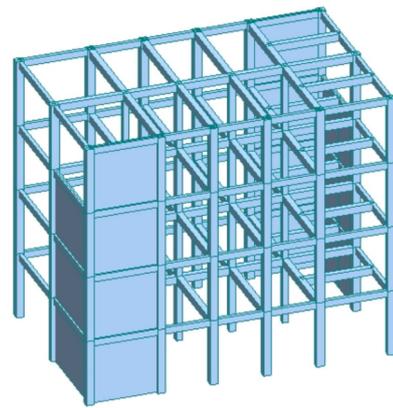


Fig. 6 Wall type modeling

고려하여 벽체보강과 같은 위치에 적용하였다.

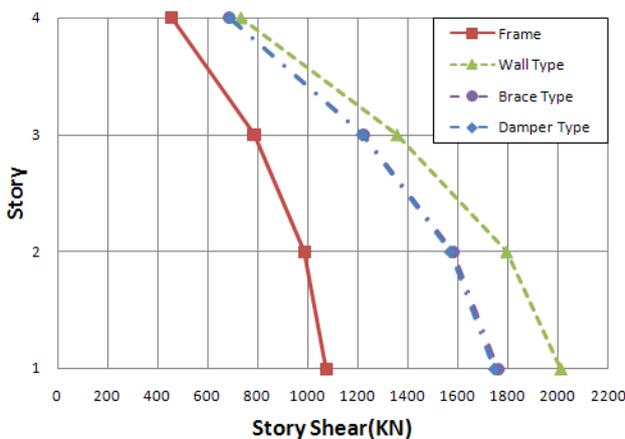
댐퍼보강은 El-Centro(NS) 지진파에 의한 비선형 동적해석을 통해 건축물의 응답 감쇠비를 산정하여 비선형 정적해석에 적용하였다.

4.2 보강 후 내진성능평가

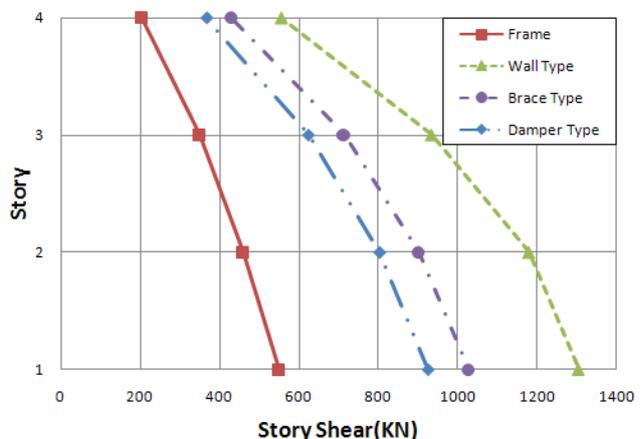
내진보강을 실시하지 않은 골조와 횡력저항부재인 벽체, 가새, 댐퍼를 이용하여 내진보강한 건축물의 등가정적해석과 응답스펙트럼해석에 대한 밀면전단력과 층간변위비를 비교하여 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다.

내진보강을 한 경우는 보강하지 않은 골조보다 층간변위가 현저히 줄어들고, 밀면전단력은 증가됨을 알 수 있다.

등가정적해석에서, 대상건축물인 골조에 비해 밀면전단력의 증가율은 벽체보강의 경우 1.88배, 가새보강의 경우 1.64배, 댐퍼보강은 1.63배 증가하였다. 층간변위비는 벽



(a) Equivalent Static Analysis



(b) Response Spectrum Analysis

Fig. 7 Story shear

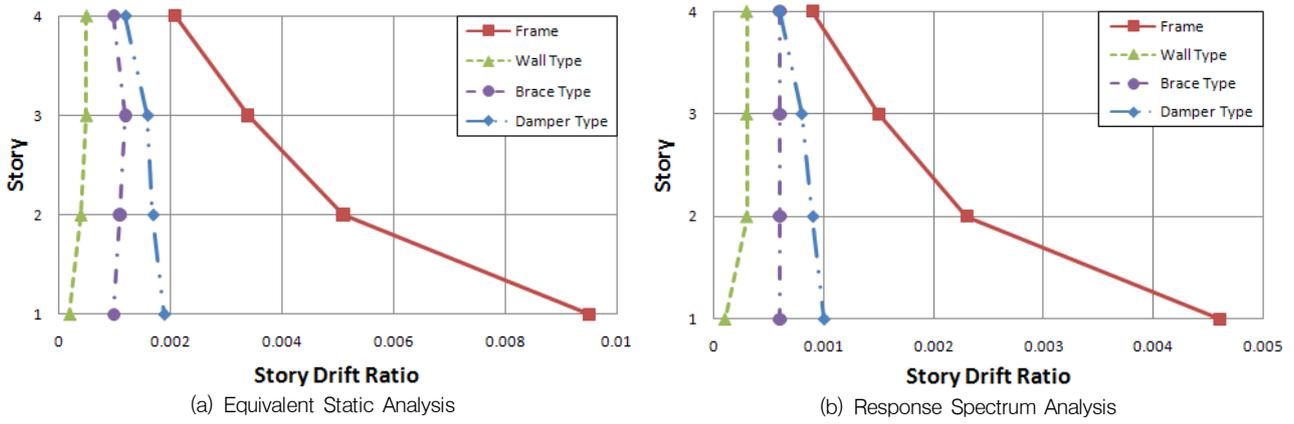


Fig. 8 Story drift ratio

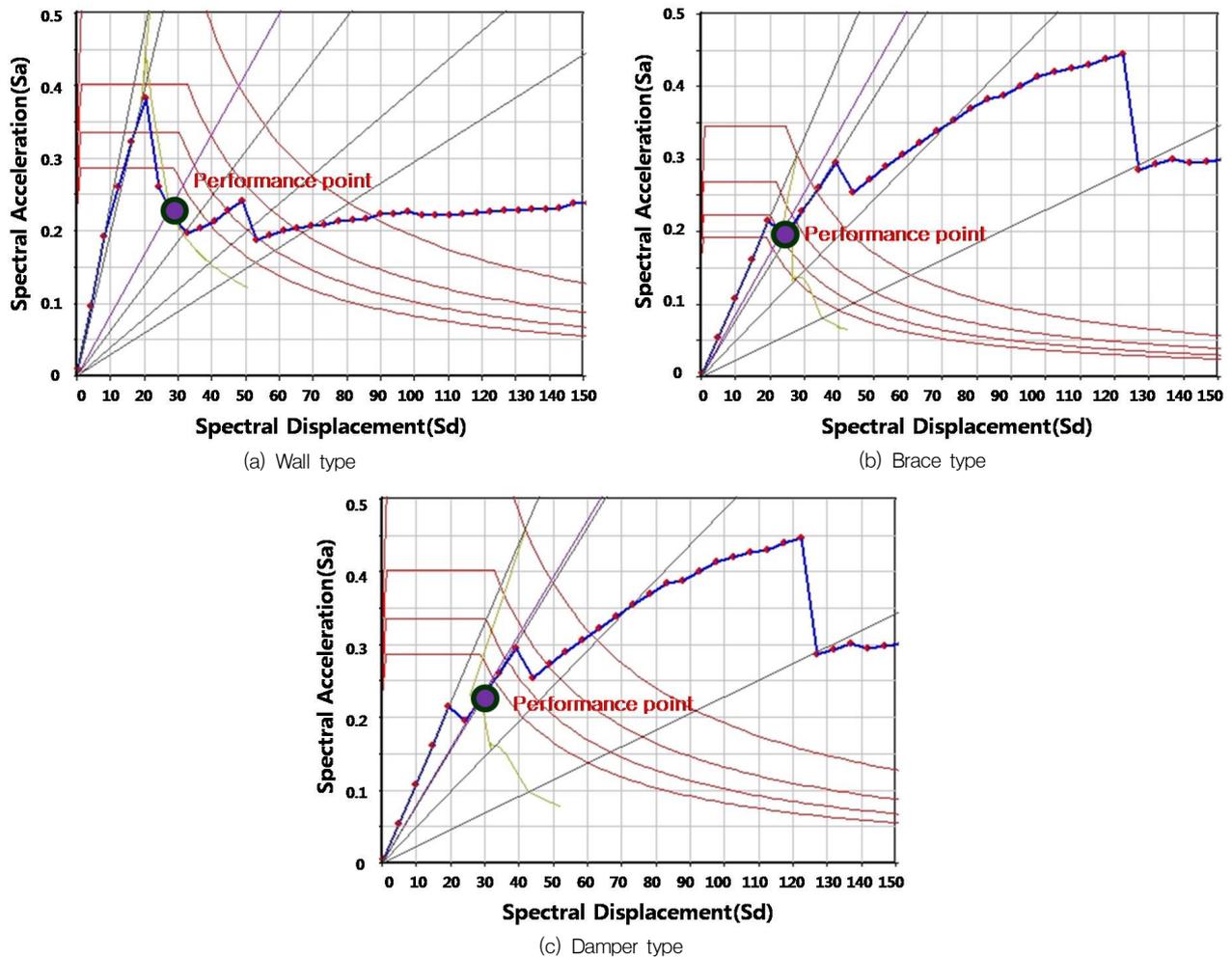


Fig. 9 Seismic retrofit of the building performance point

체보강의 경우 48%, 가새보강은 10%, 댐퍼보강은 5% 감소되었다.

응답스펙트럼해석에서는 골조에 비해 밀면전단력이 벽

체보강 2.38배, 가새보강 1.87배, 댐퍼보강 1.68배 증가하였다. 층간변위비는 벽체보강의 경우 46%, 가새보강은 8%, 댐퍼보강은 5% 감소되었다.

Table 5 Recurrence period at 2/3 level of 2400 year(IDI)

| Type | Story Drift (max) | V.Bertero |
|------------|-------------------|-----------|
| Frame | 0.0117 | LS Level |
| Wall | 0.0010 | IO Level |
| Brace | 0.0011 | IO Level |
| Damper 20% | 0.0009 | IO Level |

Table 6 Recurrence period of 2400 year(IDI)

| Type | Story Drift (max) | V.Bertero |
|------------|-------------------|-----------|
| Frame | 0.0171 | CP Level |
| Wall | 0.0012 | IO Level |
| Brace | 0.0017 | IO Level |
| Damper 20% | 0.0013 | IO Level |

전체적으로 층간변위비는 벽체보강이 가장 많이 감소하고, 가새보강, 댐퍼보강의 순으로 감소율이 크게 나타나므로, 벽체보강일 경우가 가장 효과적이라 할 수 있다. 이는 신설벽체로 인해 구조물의 강도와 강성이 모두 커지기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 밀면전단력은 벽체보강의 경우 기존 골조에 비해 2배 이상 증가되어, 기존 건축물의 기초에 대한 검토가 반드시 수반되어야 할 것이다.

건축물의 내진보강 시 기초에 대한 보강이 수반되면 신축건축물과 달리 복잡한 공정으로 인해 공사비의 증가를 초래할 수 있다. 따라서 변위 응답의 감소와 밀면전단력의 증가를 적절히 수용할 수 있는 범위 내에서 보강방안을 결정해야 할 것이다.

내진보강 후 건축물에 대한 비선형 정적해석 결과는 Fig. 9와 같다.

2400년 재현주기의 2/3 수준의 성능점에서 보강 구조물 모두 보강된 부재 기둥 1개소에서 소성힌지가 발생하였고 파괴부재는 없었다. 2400년 재현주기의 벽체보강은 벽체와 벽체를 지지하는 기둥 3개소에서 소성힌지가 발생하였으며, 가새와 댐퍼보강 구조물은 가새와 댐퍼를 지지하는 기둥 2개소에서 소성힌지가 발생하였다.

보강하지 않은 골조와 각각의 방법으로 보강된 구조물의 성능점에서 최대 층간변위비를 비교하고, Vitelmo V. Bertero(2002)가 제안한 층간변위비(IDI)를 적용한 결과, Table 5 및 Table 6과 같다. 보강한 구조물들은 2400년 재현주기의 2/3수준뿐만 아니라, 2400년 재현주기의 지진에 대해서도 즉시거주(IO) 수준으로 내진성능이 매우 향상되었음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 내진설계가 반영되지 않은 중소규모의 근린생활시설 건축물에 대하여 노후도를 고려한 내진성능평가를 수행하였고, 횡력보강부재인 벽체, 가새와 지진하중 감소장치인 댐퍼로 보강을 실시하여 보강 후 건축물에 대한 내진성능을 평가하였다.

- (1) 1차 내진성능평가에서 노후도 평가에 의한 경년지표 T 는 0.9점, 2차 내진성능평가에서는 0.92점으로, 준공 연도에 비해 구조적 결함이 적다고 판단되며, 이 값은 각 내진성능평가에 적용하였다.
- (2) 1차 내진성능평가 결과 구조내진지표 I_S 값은 0.198~0.486로 구조내진판정지표 I_{S0} (0.8 이상)를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.
- (3) 2차 내진성능평가 결과 구조내진지표 I_S 는 4층 0.915, 3층 0.413, 2층 0.253, 1층 0.238으로, 4층을 제외한 나머지 층에 대해서는 구조내진판정지표 I_{S0} (0.6이상)를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.
- (4) 응답스펙트럼해석에 의한 보강 전후 건축물의 층간변위비는 벽체보강의 경우 46%, 가새보강은 8%, 댐퍼보강은 5% 감소되었고, 밀면전단력은 골조에 비해 벽체보강 2.38배, 가새보강 1.87배, 댐퍼보강 1.68배 증가하였다.
- (5) 2400년 재현주기의 지진하중에 대한 성능점에서 보강 후 건축물은 3가지 보강방법 모두 즉시거주(IO) 수준으로 내진보강성능이 매우 우수하게 나타났다.

감사의 글

본 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구이며, 이에 감사드립니다. (과제번호:2012-0001547)

참고문헌

1. ATC, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1, 2, ATC-40, Applied Technology Council, 1996.
2. Bertero, R. D, Bertero, V. V, Performance-based seismic engineering : the need for a reliable conceptual

comprehensive approach, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2002, pp.627-650.

3. FajFar, Peter, Capacity Spectrum Method Based On Inelastic Demand Spectra, 1999.
4. Japan Architectural Disaster Prevention Association, "Seismic Diagnosis Criterion and Explanation of the Existing Concrete Building", Sin Yang Publisher, Tokyo, 2001.
5. Lee. Kang Seok, Choi. Ho, Yi. Waon Ho, "Earthquake Damage Ratio Estimation and Seismic Capacity Evaluation of Existing Reinforce Concrete Buildings in Korea(in Korean)", Architectural Institute of Korea, vol. 18, No. 1, 2002, pp.11-20.
6. MIDAS IT, MIDAS GENw Analysis and Design, MIDAS IT.
7. MLTM, "STATISTICAL YEARBOOK OF MLTM", MLTM-

related statistics, 2011.

8. Song. Jin Kyu, Hwang. Jae Seung, Kim. Geon Woo, Song. Ho Beom, Lee. Jae Hyeok, "Seismic Performance Evaluation and Seismic Retrofit of School Building Considering Deterioration(in Korean)", Architectural Institute of Korea, vol. 26, No. 8, 2010, pp.3-7.
9. Woo. Woon Taek, Kwon. Yong Hun, Chung. Lan, "Evaluation of The seismic Performance of Existing Building Structures (in Korean)", Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, vol. 3, No. 4, 2000, pp.106-108.

Received : 08/20/2012

Revised : 11/12/2012

Accepted : 11/15/2012

요 지

본 연구는 우리나라에서 가장 일반적인 중소규모의 비내진 상재를 가진 건축물을 대상으로, 노후도를 고려하여 내진성능을 평가하였다. 평가결과, 준공 후 24년이 경과되었으나 노후도는 대체로 양호한 것으로 평가되었고, 1차, 2차 내진성능평가는 기준 지표를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 3차 내진성능평가에서는 층간변위비를 기준으로 목표성능은 만족하지만 보강이 필요한 것으로 판단되었다. 대상 건축물에 벽체보강, 가새보강, 댐퍼보강을 한 후 내진성능평가를 실시한 결과, 보강방법에 상관없이 층간변위비는 현저히 감소하여 즉시거주수준을 만족하는 수준으로 나타났다. 그러나 벽체보강의 경우 밀면전단력이 2배 이상 증가 되어 기존기초에 대한 검토가 필요하다.

핵심 용어 : 내진 설계, 노후도 고려, 내진성능평가, 내진보강, 비선형 정적 해석