

3단계 절차를 이용한 비보강 조적조 건물의 내진성능평가

Seismic Performance Evaluation of Unreinforced Masonry Buildings By Using a Three-Step Procedure

김태완¹⁾ · 민찬기²⁾ · 이희만³⁾

Kim, Tae Wan · Min, Chan Gi · Lee, Hui Man

국문 요약 >> 본 연구에서는 기존 건물의 내진성능평가 요령의 개선안을 바탕으로 비보강 조적조 건물의 내진성능을 평가하였다. 평가 절차는 예비평가, 1차상세평가, 2차상세평가의 3단계로 구성되어 있으며, 보수적인 평가로 시작하여 점차 상세한 평가를 실시한다. 본 연구의 목적은 이와 같은 단계적 평가의 실효성을 검증하고 평가결과와 조적조 벽량과의 상관관계를 분석하는 것이다. 연구를 위해 10개의 2층 비보강 조적조 건물을 선택한 후 3단계 절차를 이용하여 단계별로 성능평가를 수행하였다. 연구 결과, 예비평가와 1차상세평가 간에 성능수준이 절차의 의도와 역행해서 나타났다. 따라서 앞으로 본 연구 결과에서 나타난 각 평가 단계별 문제점을 보완할 필요가 있다.

주요어 비보강 조적조, 내진성능평가, 성능수준

ABSTRACT >> In this study, a seismic performance evaluation of unreinforced masonry buildings was conducted based on a revised draft of the outline of the seismic performance evaluation of existing buildings. The procedure of the performance evaluation is composed of three-steps, which are a preliminary evaluation, a first-level detailed evaluation, and a second-level detailed evaluation, where evaluation is conservatively conducted in the beginning and then more detailed evaluations are gradually conducted. For the study, ten two-story unreinforced masonry buildings were selected and evaluated using the three-step evaluation. The result showed that the performance levels between the preliminary and the first-level detailed evaluations were reversed, which is different from the intent of the procedure. Therefore, in the near future, the problems in each evaluation step that are presented in the results of this study need to be refined.

Key words Unreinforced masonry, Seismic performance evaluation, Performance level

1. 서론

국내에서는 1960년대 이후 빠른 경제성장에 힘입어 공업화 및 도시화가 급격히 진전되었다. 이에 따라 이촌향도의 인구이동현상이 대대적으로 일어났으며 특히 수도권에는 전입초과현상이 발생하였다. 이 때 이주민을 위한 주택을 신속하게 보급하려는 목적으로 저렴한 공사비와 짧은 공기의 이점을 가지고 있는 비보강 조적조 건축물이 대규모로

건설되었다. 방재연구소⁽¹⁾의 내용에 따르면 전체 건축물에서 저층(1~3층)건축물의 차지하는 비중은 91.3%달하며 이중 비보강 조적조 건물은 45.1%를 차지하고 있다고 한다.

비보강 조적조 건물은 철골이나 철근콘크리트 구조에 비해서 횡력에 취약하고 특히 횡보강이 안 되어 있어 지진발생시 붕괴가 발생할 가능성이 크며 붕괴로 인한 대규모 인명피해가 예상된다(그림 1 참조). 일본이나 칠레 등의 환태평양 지진대에 위치하지 않지만 강진이 발생한 중국 쓰촨성 지진의 예를 볼 때 국내에서도 물적·인적 피해를 방지하기 위한 대책 마련이 시급하다. 또한 최근 국내에서는 과거에 비해 지진의 빈도와 강도가 높아지고 있으며 백두산의 분화 우려에 따른 지진 여파를 좌시 할 수 없게 되어 더 이상 국내가 지진 안전지대라는 의식을 버리고 앞으로 일어날 수 있는 재난에 대비해야 한다.

2000년대 이후 국내에서도 내진설계 기준을 강화하고 있

¹⁾ 정희원 · 강원대학교 건축공학과, 조교수
(교신저자: tkim@kangwon.ac.kr)

²⁾ 강원대학교 건축공학과, 석사과정

³⁾ 강원대학교 건축공학과, 석사과정

본 논문에 대한 토의를 2011년 8월 30일까지 학회로 보내 주시면 그 결과를 게재하겠습니다.

(논문접수일 : 2011. 3. 15 / 수정일 : 2011. 4. 28 / 게재확정일 : 2011. 4. 29)



〈그림 1〉 2011년 뉴질랜드 지진에 의한 비보강조적조 파괴
(출처: Yonhap news)

지만 과거에 이미 건설된 비보강 조적조 건축물들은 지진 대비가 전혀 되어있지 않다. 따라서 비보강 조적조 건축물들의 지진에 대한 정확한 성능평가가 이루어져 적절한 보강을 해야 할 것이다. 하지만 비보강 조적조의 성능평가를 위해 반드시 필요한 재료 특성 및 해석 모델은 조적조 자체의 불확실성이 매우 커 특정한 값이나 모델을 결정하기가 쉽지 않다. 국내 여러 연구자들은 이를 해결하고자 다양한 시도를 하였다.

국내에서 조적조 성능평가에 대한 연구 결과는 서울시립대학교, 방재연구소⁽²⁾, 한국시설안전공단^{(3),(4)}, 및 송동엽⁽⁵⁾ 등이 있다. 한국시설안전공단⁽³⁾을 제외한 나머지는 모두 일본의 내진성능 평가기법과 기본적 맥락을 같이 하고 있다. 즉, 조적조 구조체의 해석 모델 작성을 통한 구조해석 없이 간단한 식들로 평가를 수행하였다. 이 방법은 복잡한 구조해석을 통하지 않고서 성능평가를 수행할 수 있는 장점이 있으나 판정 기준이 국내와 맞지 않을 수 있다. 더불어 개별 벽체의 성능은 알 수 없기 때문에 보수, 보강까지 확장하기 어려운 단점이 있다.

한국시설안전공단⁽³⁾에서는 조적조의 성능평가를 철근콘크리트 및 철골조와 동일한 절차를 따라 수행하도록 하고 있다. 이 평가방법은 예비평가, 1차상세평가, 2차상세평가로 이루어진 3단계로 이루어져 있다. 이 방법은 절차가 체계적으로 이루어진 듯 보이나 실제 수행에 있어서는 문제점이 많다. 예비평가에서는 조적조의 노후도 점수가 낮아도 다른 항목의 점수가 높으면 성능이 좋은 것으로 나타난다. 1, 2차 상세평가는 각각 탄성해석과 비선형해석을 수행하는데 특히 1차 상세평가의 경우 구조설계 절차를 평가에 적용함으로써 개념적으로 합치하지 않는다.

이에 따라 한국시설안전공단에서는 개선된 성능평가방법

⁽⁶⁾을 제안하였다. 기존 방법과 개선된 방법의 차이 중 가장 큰 특징으로는 낮은 단계에서 보수적으로 평가하며 단계가 높아질수록 엄격한 기준을 적용한다는 것이다. 즉, 예비평가에서 성능을 만족하면 평가가 완료되며, 그렇지 않으면 상세평가 절차를 계속 수행한다. 기존 방법은 예비평가에서 만족하더라도 상세절차에서 만족하지 않는 경우가 많았다.

또 다른 특징으로 기존 방법은 강도, 강성, 형상 및 노후도 각 항목별로 점수를 부여한 후 점수의 총합으로 등급을 결정하였다. 이 방법의 결정적인 문제는 어느 한 항목의 점수가 낮더라도 총합의 점수가 높으면 등급이 좋게 나올 수 있다는 것이다. 개선된 방법은 강도만을 사용하여 구조해석 없이 간단한 수계산으로 평가하도록 하였다. 1차 상세평가에서는 구조설계 절차를 따르는 것이 아니라 성능에 기반을 둔 평가절차를 따르도록 하였다. 2차 상세평가는 기존과 동일한 절차를 사용하지만 보다 상세한 지침들을 추가하였다. 마지막으로 기존에 제공되지 않았던 비보강 조적조 건물의 평가에 대한 상세한 지침을 제공하고 있다. 따라서 본 연구에서는 개선된 성능평가 절차를 이용하여 비보강 조적조 건물을 평가하고 단계별 절차의 실효성을 검증하는 것을 목표로 하였다.

2. 평가방법

2.1 예비평가

개선된 방법에서는 오로지 조적조의 강도만을 사용한 Demand/Capacity 비(DCR)로 성능 수준을 결정하였다. DCR 식은 다음과 같다.

$$DCR_i = \frac{Demand_i}{Capacity_i} = \frac{S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i}{(0.8) \sum V_i} \quad (1)$$

$$\gamma_i = \frac{\sum_{\ell=1}^n w_{\ell} h_{\ell}^k}{\sum_{\ell=1}^n w_{\ell} h_{\ell}^k} \quad (2)$$

식 (1)에서 $\sum V_i$ 는 i 층, 전단저항력의 합으로 각 층마다 따로 구하며 W 는 건물의 유효중량이다. 전단저항력은 지진 하중에 저항하는 전단응력과 단면적을 토대로 전단력의 저항여부를 중심으로 평가하며 조적조는 연성능력이 타 구조 시스템에 비해 떨어지므로 전단저항력에 0.8을 곱하여 보수적으로 평가하였다. 여기서 평균전단응력은 한국시설안전공단⁽⁴⁾을 따라 개구부가 없을 때 2.0MPa, 개구부가 있을 때 1.0MPa을 사용하였다. 이 값은 경과 년 수와 재료상태에 따라서 표 1과 같은 보정계수를 곱한다.

〈표 1〉 경과연수 및 재료상태에 따른 강도 보정계수

구분		조적조 압축강도	조적조 전단강도
경과 연수	30년 이상	0.5	0.7
	20년 이상	0.6	0.8
	20년 미만-10년 이상	0.8	0.9
	10년 미만	1.0	1.0
재료 상태	양호	1.0	1.0
	보통	0.8	0.85
	불량	0.5	0.7

〈표 2〉 조적조 성능수준 판정을 위한 DCR 기준

DCR 범위	성능수준
$DCR \leq 0.25$	즉시거주(IO)
$0.25 < DCR \leq 0.75$	인명안전(LS)
$0.75 < DCR \leq 1.0$	붕괴방지(CP)
$1.0 < DCR$	붕괴

S_{Ds} 는 KBC 2009⁽⁷⁾를 따른 단주기설계스펙트럼 가속도다. γ_i 는 층 전단력 분포계수로 식 (2)와 같으며, w_ℓ 은 층 중량, h_ℓ 는 밑면으로부터 ℓ 층까지 높이, k 는 건물주기에 따른 횡력분포계수로 예비평가에서는 횡력분포를 역삼각형으로 가정하여 1.0을 사용하였다. 이렇게 구한 DCR을 사용하여 표 2의 기준에 따라 성능 수준을 결정하였다.

2.2 1차상세평가

기준과 동일하게 탄성 해석을 이용하나 개선 방법에서는 구한 부재력(Q_{UD})을 변형 능력을 반영하는 m 값으로 나눈 값과 그 부재의 강도(Q_{CE})를 비교하여 내진성능을 평가한다. 이 방법은 ASCE41⁽⁸⁾을 따랐으며 수식은 다음과 같다.

$$Q_{CE} \geq Q_{UD}/m \quad (\text{kN}) \quad (3)$$

부재력(Q_{UD})은 고정하중과 활하중(25%만 고려) 합에 1.1배를 한 중력하중과 반응수정계수 및 중요도계수를 사용하지 않은 지진하중의 조합에 의한 결과이다. 여기서 m 은 부재의 변형 능력을 반영하는 값이다. 본 논문의 주제인 비보강 조적조의 경우 ASCE41에 1.0보다 큰 m 값이 지정되어 부재력을 감소시키나 국내 비보강 조적조의 열악한 상황을 고려하여 보수적으로 하중지배거동으로 간주하였다. 하중지배거동일 경우 변형 능력을 고려하는 m 값은 의미가 없으나 최종 결과를 성능 수준으로 표현하기 위해 붕괴방지 수준일 때 m 값을 1.0으로 하고 인명안전 및 즉시거주 수준을 이 보다 낮은 값을 사용하였다(표 3 참조).

〈표 3〉 비보강 조적조 용 m 값

IO	LS	CP
1/4	3/4	1

부재의 강도(Q_{CE})는 파괴모드별로 전단 강도를 구한 후 그 중 작은 값을 최종강도를 산정한다. FEMA356⁽⁹⁾에는 비보강 조적조의 파괴모드를 강제회전파괴, 가로줄눈파괴, 대각인장파괴, 양단부압괴파괴와 같이 4가지로 제시하고 있다. 국내 연구⁽⁴⁾에 의하면 대부분의 비보강 조적조는 강제회전파괴와 가로줄눈파괴의 2가지로 나타났다. 따라서 이 2가지 파괴모드의 전단강도를 비교하여 작은 값을 부재의 전단강도(V)로 정하였다. 개구부가 있는 벽체의 경우 개구부길이/벽체길이를 곱하여 강도를 감소하였다.

강제회전파괴 시 전단강도(V_r)는 한국시설안전공단⁽⁴⁾에서 제시한 식을 따랐으며 가로줄눈파괴 시 전단강도(V_{bjs})는 FEMA356⁽⁹⁾의 식을 SI 단위로 변환하여 사용하였다. 두 파괴모드의 전단강도 식은 다음과 같다.

$$V_r = 1.764\alpha \sqrt{101.97P_{ce}} \left(\frac{L}{H} \right) \left(1 + \frac{f_a}{0.5f'_m} \right) \quad (\text{kN}) \quad (4)$$

$$V_{bjs} = v_{me} A_n = v_{me} \frac{Lt}{1.5} \quad (\text{kN}) \quad (5)$$

$$v_{me} = 0.003448 \left(\frac{108.75v_t + 224.8P_{ce}}{39.37^2 Lt} \right) \quad (\text{kN}) \quad (6)$$

여기서 P_{ce} 은 벽체의 축하중(kN)이며 α 은 경계조건에 따라서 고정단-자유단일 경우 0.5, 고정단-고정단일 경우 1로 한다. L/H 은 벽체 길이/높이 비이며, f_a 은 축응력(MPa)이다. 모르타르 접촉 순면적(A_n)은 벽체의 길이(L)와 벽두께(t)로 나타낼 수 있다. 모르타르 접촉면의 미끄러짐 유효 전단강도(v_{me})는 식 (6)과 같이 구하며 모르타르 전단강도(v_t)는 양호, 보통, 불량으로 분류하여 각각 0.2MPa, 0.15MPa, 0.1MPa로 한다.

f'_m 는 프리즘 객체의 압축강도로서 벽돌 압축강도(f'_{brick})와 모르타르 압축강도(f'_{mortar})의 식으로 나타내었다.

$$f'_m = 0.46f'_{brick} + 0.16f'_{mortar} - 2.64 \quad (\text{MPa}) \quad (7)$$

$$f'_{mortar} = 39 - 13M_c \quad (1:1 \sim 1:2) \quad (\text{MPa}) \quad (8)$$

$$= 20 - 3.2M_c \quad (1:2.5 \sim 1:5) \quad (\text{MPa}) \quad (9)$$

여기서 1:1, 1:2.5~1:5는 물:모르타르 배합비이다.

이때 부재 강도를 산정하기 위한 재료특성으로는 기건양

생일 때 배합비 기준으로 모르타르 압축강도는 배합비에 따라 식 (8),(9)와 같으며 M_c 는 1/배합비이다. 그리고 콘크리트 벽돌 압축강도는 KS에서 규정하는 제한이 있지만 제조사별 편차를 고려하여 10MPa로 가정한다. 부재력 계산을 위한 해석에 필요한 탄성계수(E_m)는 프리즘 압축강도에 따라 식 (10),(11)과 같다.

$$E_m = 88f'_m, \quad f'_m \leq 26 \quad (\text{MPa}) \quad (10)$$

$$= 172f'_m, \quad f'_m > 26 \quad (\text{MPa}) \quad (11)$$

개별 벽체의 Q_{CE} 값이 Q_{CE}/m 보다 크면 조적벽은 해당 m값의 성능수준을 만족한 것으로 판정한다. 반대로 작으면 성능수준을 만족하지 못한 것으로 판정한다. 하지만 이는 개별 벽체의 결과이므로 전체 건물의 성능을 나타내지는 못한다. 기존 방법에서는 이에 대한 구체적인 지침을 제공하고 있지 않다. 개선 방법에서는 다음과 같은 방법을 사용하였다. 특정 성능수준을 만족하는 벽체의 연직하중을 모두 합한 후 전체 연직하중에 대한 비를 구한다. 이를 연직하중 부담율이라고 하고 이 값이 75% 이상이 되는 성능수준을 최종 성능 수준으로 판정하였다(표 4 참조).

〈표 4〉 성능수준의 판정

성능수준	판정기준
즉시거주	부재별 성능수준이 즉시거주인 부재가 부담하는 연직하중부담율이 75%이상
인명안전	부재별 성능수준이 인명안전, 즉시거주인 부재가 부담하는 연직하중부담율이 75%이상
붕괴방지	부재별 성능수준이 붕괴방지, 인명안전, 즉시거주인 부재가 부담하는 연직하중부담율이 75%이상
붕괴	부재별 성능수준이 붕괴인 부재가 부담하는 연직하중부담율이 25%이상

〈표 6〉 조적조 건물 개요(방재연구소⁽¹⁾)

구분	연번	총벽체길이(m)		건축면적(m ²)	층고(m)	층수	높이(m)
		x	y				
단독주택	2	28.80	21.10	79.54	3.00	2	6.00
단독주택	7	25.40	34.00	84.70	3.65	2	7.30
단독주택	18	17.00	37.80	72.00	2.90	2	5.80
단독주택	30	11.80	19.50	30.51	2.65	2	5.70
다세대주택	36	20.80	33.20	71.74	3.60	2	7.20
다세대주택	40	25.60	20.40	56.79	3.95	2	7.90
다세대주택	46	27.70	29.50	76.20	3.45	2	6.90
근린생활시설	68	15.00	23.30	44.75	2.75	2	5.50
근린생활시설	72	10.10	15.30	30.09	3.35	2	6.70
근린생활시설	79	19.70	19.70	75.74	3.93	2	7.85

2.3 2차상세평가

기존과 동일하게 역량스펙트럼법을 이용하여 성능을 평가한다.^{(10),(11)} 역량스펙트럼법을 통해 성능점을 산정한 후 성능점에 해당하는 층간변위각을 구한다. 개별 벽체의 성능수준 별 허용기준과 성능점에 해당하는 층간변위각을 비교하여 허용기준을 초과하면 벽체가 수직하중을 부담하지 못한 것으로 간주한다. 기존과 다른 점은 1차상세와 마찬가지로 벽체가 부담할 수 있는 연직하중의 합이 전체 연직하중의 75%이상이면 그 성능수준을 만족하는 것으로 판정하는 것이다. 성능곡선을 그리기 위한 모델링 파라미터와 개별 벽체의 성능수준별 허용기준은 표 5와 같다. 여기서 c는 최대강도에 대한 파괴될 때의 강도 비, d는 최대 강도에 도달할 때의 변형비, e는 파괴되는 시점의 변형비이다. 이 값들은 ASCE41⁽⁸⁾을 기본으로 하면서 국내 조적조 실태를 반영하여 보수적으로 책정하였다.

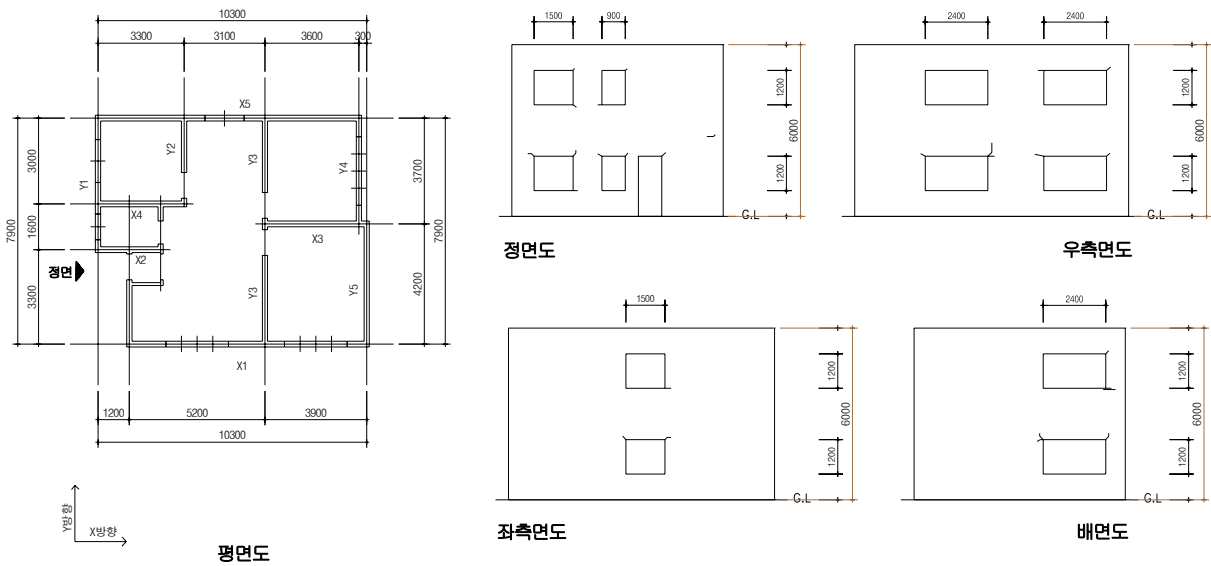
3. 비보강 조적조 성능평가

3.1 예제건물

방재연구소⁽¹⁾에서는 기존연구⁽¹²⁾로부터 조적조 건물을 선정하여 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 그 중 예제건물로 2층 조적조 건물 10개를 선정하였다(표 6 참조). 이는 단독주택, 다세대주택, 근린생활시설로 구성되어 있으며 2.65~3.95m의 다양한 층고로 구성되어 있다. 그림 2는 이들 중 NO. 2 건물의 평면도와 입면도를 보여주고 있다.

〈표 5〉 비보강 조적조의 2차상세평가 모델링 파라미터와 허용기준(%)

모델링 파라미터			허용기준		
c	d	e	IO	LS	CP
0.3	0.2	0.4	0.1	0.15	0.2



〈그림 2〉 NO.2 건물 평면도 및 입면도(방재연구소⁽¹⁾)

〈표 7〉 NO.2건물 예비평가(S_c 지반)

방향	층	구역	지진구역 I	지진구역 II
		S_{DS}	0.433	0.280
X	1	DCR	1.07	0.69
		성능수준	붕괴	인명안전
	2	DCR	1.42	0.92
		성능수준	붕괴	붕괴방지
Y	1	DCR	1.26	0.82
		성능수준	붕괴	붕괴방지
	2	DCR	1.58	1.02
		성능수준	붕괴	붕괴

〈표 8〉 NO.2건물 예비평가(S_D 지반)

층	방향	구역	지진구역 I	지진구역 II
		S_{DS}	0.50	0.35
X	1	DCR	1.23	0.86
		성능수준	붕괴	붕괴방지
	2	DCR	1.64	1.15
		성능수준	붕괴	붕괴
Y	1	DCR	1.46	1.02
		성능수준	붕괴	붕괴
	2	DCR	1.82	1.27
		성능수준	붕괴	붕괴

3.2 평가과정

예비평가의 경우 구조해석 없이 전단벽의 단면 크기만을 사용하여 간단히 평가할 수 있다. NO.2건물 예비평가 결과는 표 7 및 표 8과 같다. 1, 2차 상세평가는 구조 모델 작성

및 해석이 필요하기 때문에 김태완, 민찬기⁽¹³⁾와 같이 MIDAS GEN 프로그램⁽¹⁴⁾을 이용하였다. 평가를 위해 KBC2009⁽⁷⁾를 이용하였고 기본변수로 지진구역 I, II, 지반종류(S_c , S_D), 반응수정계수는 평가용이므로 1.0을 사용하였다.

상세평가를 수행하기 위해서는 조적조 재료 특성이 필요하다. 모르타르 압축강도는 배합비를 1:3으로 하여 구한 값 10.4MPa를 사용하였고, 전단강도는 조적조를 양호한 수준으로 가정하여 0.2MPa, 벽돌 압축강도는 벽돌의 평균 압축강도수준⁽⁴⁾으로 보고 10MPa, 프리즘 압축강도는 3.6MPa, 프리즘 탄성계수는 318.9MPa를 사용하여 상세평가를 하였다.

조적조를 MIDAS GEN으로 구조해석을 하기 위해서 김태완, 민찬기⁽¹³⁾에서는 조적조에 맞는 재료특성을 user로 따로 입력시켜 주었다. 조적벽 두께를 0.1m로 하여 콘크리트 단면 설계가 자동으로 수행되지 않게 하면서 대신 조적조 벽체의 탄성계수를 2배로 늘려 조적조 1.0B두께를 대체하였다. 이렇게 모델링한 조적조의 전단력과 축력을 구하여 1차 평가를 하였다. 2차평가를 위해 조적조 벽체마다 소성한지 특성을 따로 입력시켜 pushover 해석을 통해 성능점을 구하였다. NO. 2건물의 상세평가 결과를 표 9와 표 10에 나타내었다. 그림 3 및 그림 4는 각 방향의 ADRS이다.

3.3 평가 결과 및 분석

평가 결과를 지진구역과 지반조건별로 표 11에서 표 14에 나타내었다. 결과에서 우선적으로 확인해야 하는 사항은 예비평가에서 1, 2차 상세평가로 넘어가는 과정에서 성능수준이 더욱 나빠져서는 안 된다는 것이다. 왜냐하면 예비평

〈표 9〉 NO.2 건물 각 벽체에 작용하는 연직하중과 총부담을 (지진구역 I, S_c지반)

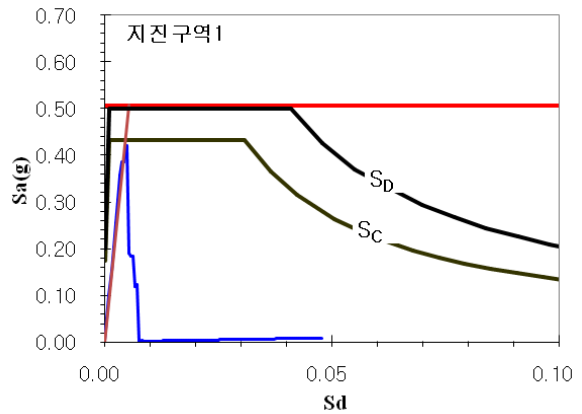
NO.2 벽 ID	1차상세평가			2차상세평가		
	IO	LS	CP	IO	LS	CP
1110	0	0	0	0	102	102
1111	0	0	0	0	62.6	62.6
1120	0	42.3	42.3	0	42.3	42.3
1121	0	46.2	46.2	0	46.2	46.2
1130	0	0	127.5	0	127.5	127.5
1131	0	0	0	0	10.4	10.4
1140	0	92.3	92.3	0	92.3	92.3
1141	0	42.2	42.2	0	42.2	42.2
1150	0	0	94.5	0	95.5	119.8
1151	0	0	0	0	42.2	42.2
1152	0	0	119.8	0	119.8	119.8
1160	0	50.2	50.2	0	50.2	50.2
1210	0	0	0	0	0	0
1211	0	0	0	0	0	0
1220	0	0	80.1	0	0	0
1230	0	0	174.4	0	0	0
1231	0	0	135.1	0	0	0
1240	0	0	0	0	0	0
1250	0	0	0	0	0	0
1260	0	0	0	0	0	0
1270	0	36	36	0	0	0
X방향(%)	0	33	74	0	100	100
Y방향(%)	0	5	56	0	0	0

*벽ID: 1000단위(층), 100단위(1:X축, 2:Y축), 10-1단위(벽번호)

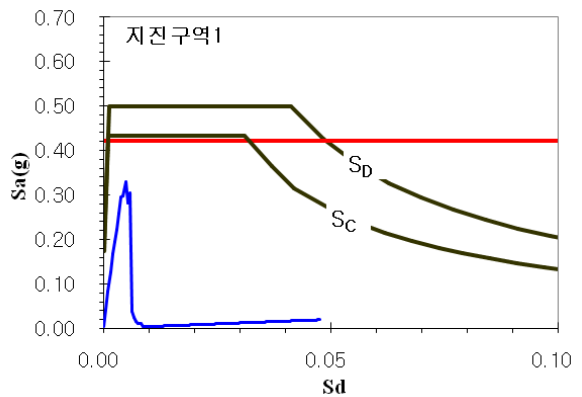
〈표 10〉 NO.2 건물 각 벽체에 작용하는 연직하중과 총부담을 (지진구역 I, S_b지반)

NO.2 벽 ID	1차상세평가			2차상세평가		
	IO	LS	CP	IO	LS	CP
1110	0	0	0	0	0	102
1111	0	0	0	0	0	62.6
1120	0	0	42.3	0	0	42.3
1121	0	46.2	46.2	0	0	46.2
1130	0	0	0	0	0	127.5
1131	0	0	0	0	0	10.4
1140	0	0	92.3	0	0	92.3
1141	0	42.2	42.2	0	0	42.2
1150	0	0	0	0	0	119.8
1151	0	0	0	0	0	42.2
1152	0	0	0	0	0	119.8
1160	0	50.2	50.2	0	0	50.2
1210	0	0	0	0	0	0
1211	0	0	0	0	0	0
1220	0	0	80.1	0	0	0
1230	0	0	174.4	0	0	0
1231	0	0	0	0	0	0
1240	0	0	0	0	0	0
1250	0	0	0	0	0	0
1260	0	0	0	0	0	0
1270	0	36	36	0	0	0
X방향(%)	0	17	33	0	0	100
Y방향(%)	0	5	38	0	0	0

*벽ID: 1000단위(층), 100단위(1:X축, 2:Y축), 10-1단위(벽번호)



〈그림 3〉 NO.2 건물의 X방향 ADRS



〈그림 4〉 NO.2 건물의 Y방향 ADRS

가는 가장 보수적으로 판단하여 성능이 좋게 나타났을 경우 1,2차 상세평가를 수행할 필요가 없이 예비평가의 결과를 최종 성능으로 판정하는 것이 주된 방침이기 때문이다.

표 11에서 표 14까지 4가지 경우를 분석하면 전체적으로 예비평가와 1차상세평가 결과의 성능수준이 절차의 방침에 역으로 나타났다. 대부분 예비평가에서 붕괴방지 또는 인명 안전 성능수준을 보였는데 1차상세평가에서는 붕괴 또는 붕괴방지로 나타난 것이다. 지진구역 I에서 S_D 지반조건 일 때를 제외하고 나머지 경우는 모두 이런 결과가 나타났다. 특히 지진구역II에서 S_C 지반일 때 많은 경우 예비평가에서 인명안전으로, 1차상세에서 붕괴방지 또는 붕괴로 나타났다. 즉, 단주기설계스펙트럼 가속도가 가장 높은 경우를 제외하고 모두 절차의 방침에 역행하였다.

1차와 2차상세평가 결과는 방침대로 2차로 갈수록 성능 수준이 좋게 나타났다. 물론 이 결과의 원인은 1차상세평가의 결과가 매우 좋지 않게 나타난 것일 수 있다. 예비와 2차상세평가의 결과를 비교하면 개선된 방법에서 추구하는 방침과 대부분 일치하는 결과를 보였다. 즉, 1차상세평가를 제외하고 예비와 2차상세평가는 점차 덜 보수적인 평가를 하

〈표 11〉 지진구역 I 비보강 조적조 건축물의 성능수준판정(S_c 지반)

No.	X						Y					
	1층			2층			1층			2층		
	예비	1차상세	2차상세	예비	1차상세	2차상세	예비	1차상세	2차상세	예비	1차상세	2차상세
2	붕괴	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	즉시거주	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴
7	붕괴방지	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴
18	붕괴방지	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	즉시거주	붕괴	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	즉시거주
30	붕괴방지	붕괴	붕괴방지	붕괴방지	붕괴	인명안전	붕괴방지	붕괴	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주
36	붕괴방지	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	인명안전	붕괴	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주
40	붕괴방지	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	즉시거주	붕괴방지	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	붕괴방지
46	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴방지	붕괴방지	인명안전	붕괴	붕괴	인명안전
68	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	즉시거주	붕괴방지	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	즉시거주
72	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	인명안전	붕괴방지	인명안전	인명안전	붕괴방지	인명안전
79	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	인명안전	붕괴	인명안전	붕괴방지	붕괴	즉시거주

〈표 12〉 지진구역 I 비보강 조적조 건축물의 성능수준판정(S_b 지반)

No.	X						Y					
	1층			2층			1층			2층		
	예비	1차상세	2차상세	예비	1차상세	2차상세	예비	1차상세	2차상세	예비	1차상세	2차상세
2	붕괴	붕괴	붕괴방지	붕괴	붕괴	즉시거주	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴
7	붕괴	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴
18	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴
30	붕괴방지	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주	붕괴	붕괴	즉시거주
36	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	인명안전	붕괴	인명안전	붕괴방지	붕괴	즉시거주
40	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴
46	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴방지	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	즉시거주
68	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	즉시거주
72	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	붕괴방지	붕괴방지	인명안전
79	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴방지	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	즉시거주

〈표 13〉 지진구역 II 비보강 조적조 건축물의 성능수준판정(S_c 지반)

No.	X						Y					
	1층			2층			1층			2층		
	예비	1차상세	2차상세	예비	1차상세	2차상세	예비	1차상세	2차상세	예비	1차상세	2차상세
2	인명안전	붕괴방지	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주	붕괴방지	붕괴방지	즉시거주	붕괴	붕괴방지	즉시거주
7	인명안전	붕괴방지	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주	붕괴	붕괴	즉시거주
18	인명안전	붕괴방지	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주	인명안전	붕괴	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주
30	인명안전	붕괴방지	즉시거주	인명안전	붕괴방지	즉시거주	인명안전	인명안전	즉시거주	인명안전	인명안전	즉시거주
36	인명안전	붕괴	붕괴방지	붕괴방지	붕괴	인명안전	인명안전	붕괴방지	즉시거주	인명안전	붕괴방지	즉시거주
40	인명안전	붕괴방지	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주	인명안전	붕괴	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주
46	인명안전	붕괴방지	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주	인명안전	인명안전	즉시거주	인명안전	붕괴방지	즉시거주
68	인명안전	붕괴방지	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주	인명안전	붕괴	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주
72	붕괴방지	붕괴	인명안전	붕괴방지	붕괴	즉시거주	인명안전	인명안전	즉시거주	인명안전	인명안전	즉시거주
79	붕괴방지	붕괴	붕괴방지	붕괴	붕괴	인명안전	인명안전	인명안전	즉시거주	인명안전	붕괴	즉시거주

〈표 14〉 지진구역 II 비보강 조적조 건축물의 성능수준판정(S_b 지반)

No.	X						Y					
	1층			2층			1층			2층		
	예비	1차상세	2차상세	예비	1차상세	2차상세	예비	1차상세	2차상세	예비	1차상세	2차상세
2	붕괴방지	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	즉시거주	붕괴	붕괴방지	인명안전	붕괴	붕괴	즉시거주
7	붕괴방지	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	즉시거주	붕괴	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	즉시거주
18	붕괴방지	붕괴방지	인명안전	붕괴	붕괴	인명안전	붕괴방지	붕괴	즉시거주	붕괴	붕괴	즉시거주
30	인명안전	붕괴방지	즉시거주	붕괴방지	붕괴	인명안전	인명안전	인명안전	즉시거주	붕괴방지	붕괴방지	즉시거주
36	붕괴방지	붕괴	붕괴방지	붕괴	붕괴	인명안전	인명안전	붕괴방지	즉시거주	인명안전	붕괴	즉시거주
40	인명안전	붕괴	인명안전	붕괴방지	붕괴	즉시거주	인명안전	붕괴	인명안전	붕괴방지	붕괴	인명안전
46	붕괴방지	붕괴방지	인명안전	붕괴	붕괴	즉시거주	인명안전	인명안전	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주
68	붕괴방지	붕괴	인명안전	붕괴	붕괴	인명안전	인명안전	붕괴	즉시거주	붕괴방지	붕괴	즉시거주
72	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	인명안전	인명안전	즉시거주	인명안전	인명안전	인명안전
79	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	붕괴	인명안전	붕괴방지	즉시거주	인명안전	붕괴	즉시거주

려는 개선된 방법의 방침과 일치하고 있다. 강도만을 사용하는 예비평가와 변위능력을 사용하는 2차상세평가가 서로 밀접한 관련이 있는 반면, 가장 정확하다고 할 수 있는 탄성 해석을 사용하는 1차상세평가의 결과가 매우 상이한 결과를 보인다는 것은 매우 특이한 현상이다. 이를 분석하면 다음과 같은 원인을 예측할 수 있다.

1차상세평가는 탄성구조해석을 통해 결과를 도출하는데, 일반적으로 탄성구조해석은 매우 정확하나 조적조와 같은 벽식 구조는 반드시 그렇지는 않다. 특히 조적 벽체의 면외 강성은 무시할 수 있는 수준인데 만약 두 벽체가 수직으로 교차한다면 이를 어떤 식으로 모델링할지 결정이 쉽지 않다. 또한 조적조 건물의 외부는 창호가 설치되어 있어 이를 구조해석모델에 정확하게 반영하는 것은 불가능하다. 따라서 탄성구조해석을 통해 나타는 부재력의 신뢰성에 문제가 있을 수 있다.

더불어 성능수준의 판정에도 문제가 있을 수 있다. 표 4의 성능수준의 판정에서 각 성능수준을 만족하기 위한 기준을 해당 성능수준인 부재의 연직하중분담율 75%로 정하고 있다. 이 부담률 기준에 대한 명확한 근거가 있는 것은 아니다. ASCE41⁽⁸⁾에서는 개별 부재의 성능수준만을 판정하고 전체 시스템의 성능수준을 판정하지 않고 있다. 따라서 전체 시스템의 성능수준 판정은 공학적 판단에 근거할 수밖에 없는 한계가 있다.

표 9와 표 10에서 알 수 있듯이 2차상세평가에서는 연직하중분담율 기준이 거의 의미가 없었다. 1차상세평가만 연직하중분담율에 따라 성능수준이 결정되었다. 연직하중분담율 기준 75%는 조적조를 포함하여 다른 구조형식에도 동일하게 적용하고 있으나 본 연구 결과에 따르면 조적조에는 다른 기준을 적용할 필요가 있다. 결국 개선된 방식에서 위 두 가지 문제를 집중적으로 보완할 필요가 있는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 최근 제안된 한국시설안전공단의 기존 건축물 내진성능평가 요령 개정안의 절차를 10개의 2층 비보강 조적조 건물에 적용하여 그 실효성을 검증해보았다. 예비평가, 1차 및 2차상세평가의 3단계로 이루어진 절차는 가장 보수적으로 평가를 시작해서 점차 상세한 평가를 실시하는데, 이를 분석한 결론은 다음과 같다.

1. 예비평가와 2차상세평가의 결과는 평가절차의 기본 방침에 맞게 나타났다. 반면 예비와 1차상세평가의 결과는 기본 방침에 역행해서 1차평가 결과가 더 좋게 나타난 경우가 많았다. 따라서 1차상세평가 절차에서 부재력을 구하기 위한 조적조 해석 모델을 보완하고 성능수준을 결정하기 위한

기준을 조정할 필요가 있다. 더불어 조적조 건물의 성능수준을 결정하는 연직하중분담율도 함께 조정할 필요가 있다.

2. 조적조 건물의 성능 수준은 X, Y축 건물 길이, 건물 면적, 벽체 수 및 위치 등과 같은 변수와 큰 상관관계가 없었다. 이들 변수보다는 지진구역 및 지반조건, 즉 횡력의 크기가 더욱 성능수준 결정에 영향을 미쳤다. 특히, 지진구역 I에 지반조건이 S_D 인 경우에는 비보강 조적조 건물이 적절치 않은 것으로 나타났다.
3. 3단계로 이루어진 내진성능평가 절차의 비보강 조적조 건물에 대한 적용성은 현재 매우 높지 않은 것으로 판단된다. 앞으로 본 연구 결과에서 나타난 각 평가 단계별 문제점을 보완할 필요가 있다. 이들이 해결된다면 수많은 불확실성을 내포하고 있는 국내 비보강 조적조 건물일지라도 내진성능평가를 체계적이고 명확하게 수행할 수 있을 것이다.

참고 문헌

1. 방재연구소, 비보강 조적조 건축물의 지진취약도 함수개발, 2008.
2. 서울시립대학교, 지진방재연구소, 조적조 건축물에 대한 내진성능평가 기법, 2001.
3. 한국시설안전공단, 기존건축물의 내진성능 평가 및 향상 요령, 2004.
4. 한국시설안전공단, 국내 실정에 맞는 취성파괴형 및 삼중수평저항 시스템 건축물의 내진성능평가 개발, 2008.
5. 송동엽, “국내실정에 맞는 조적조 및 중·저층 RC조 건축물의 내진성능평가기법,” 한국지반환경공학회 학술발표회 논문집, 203-213, 2009.
6. 유은종, 김태진, 박상윤, “기존 건축물 내진성능평가 및 향상요령 개정방향,” 한국지진공학회 워크샵발표 논문집, 347-369, 2010.
7. 대한건축학회, 건축구조설계기준, 2009.
8. ASCE41, *Seismic rehabilitation of existing buildings*, American Society of Civil Engineers, 2006.
9. FEMA356, *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*, Federal Emergency Management Agency, 2000.
10. FEMA440, *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures*, Federal Emergency Management Agency, 2004.
11. ATC-40, *Seismic evaluation and retrofit of concrete building*, Applied Technology Council, 1996.
12. 간삼파트너스 주택연구소(주), 조적조 건물의 내진성능 향상 및 고층화 실현방안을 위한 연구, 건설교통부, 2006.
13. 김태완, 민찬기, “MIDAS GEN을 이용한 조적조 건물의 비선형 정적해석,” 한국지진공학회 대학원생 학술발표회 논문집, 521-524, 2010.
14. MIDAS GEN, *MIDAS GEN User's Manual*, ver 7.1.1, 마이다스 아이티, 2006.