

선형구조해석을 통한 노후된 학교시설 내진성능평가

Seismic Performance Evaluation of An Old School Building Through Linear Analysis

이도형^a, 김태완^{b*}, 김승래^b, 추유림^b, 김현식^b

Do Hyung LEE^a, Taewan Kim^{b*}, Seung Re Kim^b, Yurim Chu^b, Hyun Sik Kim^b

^a NARA Structural Engineers. Co., Ltd, 208, BAUMOE-ro, Seocho-gu, Seoul, Korea(06746)

^b Department of Architectural Engineering, Kangwon University, Gangwondaehak-gil 1, Chuncheon-si, Gangwon-do, Republic of Korea(24341)

Received 27 September 2018; Revised 18 October 2018; Accepted 19 October 2018

Abstract

In January 2018, the Ministry of Education published "Seismic design criteria for school buildings" and "Manual for seismic performance evaluation and retrofit of school buildings" to evaluate seismic performances through linear analysis. This paper evaluates the seismic performance of an old school building through the linear analysis. The target building was constructed in the late 1970s, and the seismic-force-resisting system was assumed to be a reinforced concrete moment frame with an un-reinforced masonry wall. As a result of the evaluation, the target building does not satisfy the 'life safety' level of 1.2 times the design spectrum. The average strength ratio of moment frames, an indicator of the level of seismic performance tends to be controlled by beams. However, through the Pohang earthquake, it was known that the short column effect caused by the partially infilled masonry wall caused shear failure of the columns in school buildings. Therefore, it is necessary to improve the linear analysis so that the column controls the average strength ratio of moment frames.

Keywords: Linear analysis, School building, Seismic performance evaluation, Moment frame, Masonry wall

1. 서론

2016년 9월 경주지역의 지진, 2017년 11월 포항지역의 연이은 지진발생으로 최근 국내 건축물의 내진성능에 대한 관심이 증대되고 있다. 특히 포항지역에서 발생한 규모 5.3의 지진으로 많은 건물의 구조피해가 발생하였다. 그 중 학교시설의 경우에는 조적허리벽이 위치해 있는 기둥에 단주효과로 인한 전단파괴가 발생하는 등의 피해를 입었다¹⁾. 다행히도, 구조물이 완전히 붕괴되거나 학생들이 사망하는 불운한 사고는 발생하지 않았지만 기존학교내진보강의 중요성을 일깨워준 소중한 경험이었다. 기존 학교시설의 내진성능평가²⁾에서는 비선형정적해석을 주로 사용해왔다. 비선형정적해석은 1차

모드에 지배되는 저층건물의 경우 사용가능하며, 비선형동적해석에 비해 비교적 절차가 용이하고 해석시간이 짧은 장점이 있다.

하지만 비선형정적해석을 통한 건물의 내진성능평가를 수행할 때, 해석결과 판단에 대한 고난이도 지식이 요구됨과 모델링 및 구조해석에 많은 노력과 시간이 요구되는 등 몇가지 단점이 존재한다.

2018년 1월, 교육부에서는 학교시설 내진설계 기준 고시를 시행하며 “학교시설 내진설계 기준”⁴⁾와 이에 따른 내진성능평가와 내진보강설계의 절차 및 기술적인 세부사항을 규정하는 “학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼”(이하 매뉴얼)⁵⁾을 발간했다. 이로 인해 기존 및 신축 학교시설의 내진성능평가 및 내진설계안에 대한 성능평가를 적용하도록 하였다.

* Corresponding author. Tel.: +82-10-9949-5519

E-mail address: tkim@kangwon.ac.kr (Taewan Kim).

매뉴얼에 따른 선형구조해석을 통한 내진성능평가는 일반적으로 건축구조기준⁵⁾에 따라 내진설계에 사용하는 방법과 거의 동일한 방법을 따른다. 교육부는 선형구조해석을 이용한 학교시설의 내진성능평가 방법을 통해 다수의 학교시설들을 짧은 시간 안에 평가할 수 있을 거라는 기대를 가지고 있다. 또한, 기술적으로 난이도가 높은 비선형해석평가 결과를 검증하는 비교대상으로 사용하며 보강전략과 설계에서 활용하는 등의 다양한 측면에서 장점을 기대한다.

본 논문에서는 매뉴얼⁵⁾에서 제시하고 있는 선형구조해석절차를 사용하여 1970년대 후반에 준공된 학교건물의 내진성능평가를 실시하였다.

2. 선형해석평가

2.1 선형해석평가 방법

선형해석평가법이란 신축 건물 설계와 거의 동일한 방법으로 건축구조기준⁶⁾에 따라 건축물의 내진성능을 평가하는 방법이다. 이와 같은 방법은 횡력에 대하여 비탄성변형이 발생하면서 힘의 재분배가 가능한 철근콘크리트 또는 강재의 보, 기둥으로 구성된 모멘트골조 또는 모멘트골조와 벽체 또는 가새골조와의 혼합구조에 적용이 가능하다.

선형해석평가방법은 건축구조기준에서 제시되는 구조물의 내진설계와 동일한 방법을 따르기 때문에 건축구조기준에서 규정하고 있는 지진하중의 산정, 하중조합과 부재강도 및 강도감소계수를 원용한다. 하지만 지진력저항시스템에 대한 설계계수는 매뉴얼⁵⁾을 따른다.

건축구조기준에서는 설계지진하중에 대해서 인명안전(LS, Life Safety)의 성능목표를 만족하도록 규정되어 있다. 따라서 매뉴얼에 따라 선형해석평가에 사용되는 성능목표는 2400년 재현주기 지진의 2/3 수준인 설계스펙트럼가속도의 1.2배 지진에 대해 인명안전으로 정의된다.

선형해석의 평가절차는 각 방향의 지진하중에 대하여 선형구조해석을 수행하고 그 결과에 근거하여 골조의 횡강성기여도와 평균강도비를 곱하여 각 층의 층평균강도비를 산정한다. 건물의 보유성능지수는 최소값을 갖는 층의 평균강도비로 정의한다. 평균강도비는 각 층에서 부재별 휨, 전단 등의 강도비(CDR, Capacity to Demand Ratio)중 가장 지배되는 값의 평균으로 정의한다. 이때, 각 층에서 각 하중 방향과 평행한 부재만을 고려한다. 모멘트골조의 경우에는 기둥과 큰 보의 평균강도비를 각각 계산하며, 이 중 최소값으로 모멘트골조의 평균강도비를 정한다. 각 골조의 횡강성기여도는 각층의 전단력에 대한 각 수직부재의 전단력의 합을 나타낸다. 이와 같이 산정된 보유성능지수가 1.0을 초과하는 경우에는 구조물의 내진성능을 만족하는 것으로 판단하며, 추가적으로 층간변위를 검토한다.

3. 예제건물

3.1 예제건물

예제건물은 1977년에 준공된 건물로 가정하였으며, 4층 건물로 층고는 3.3 m으로 건물 높이는 13.2 m이다. 평면은 Fig. 1에서 알 수 있듯이 X방향으로 4.5 m인 기둥경간이 15개로 이루어져 있으며 Y방향의 복도측 경간은 2.54 m, 교실위치의 경간은 7.55 m로 이루어져 있다.

예제건물의 구조형식은 철근콘크리트 모멘트골조로서 모멘트골조가 횡력을 지지한다. 교실과 계단실, 화장실 사이의 칸막이벽은 조적채움벽으로 되어 있으며, 건물의 전면부와 후면부의 창문 밑 부분에는 조적허리벽이 위치해있다. 따라서 매뉴얼에 따른 지진력 저항시스템은 ‘무보강 조적채움벽이 있는 철근콘크리트 모멘트골조’로 정하였으며 매뉴얼에 따른 반응수정계수와 초과강도계수, 변위증폭계수는 모두 2.5이다.

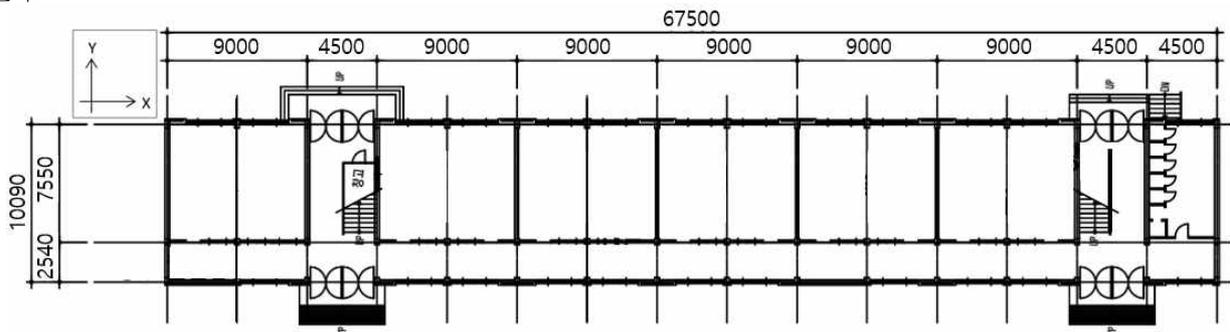


Fig. 1 First floor plan of example building

지진하중은 KBC2016^[6]에 따라 산정하였다. 예제건물은 서울시에 위치하고 있는 것으로 가정하여 지역계수 0.22의 80%인 0.176 g를 적용하였으며, 지반조건은 S_c (보통암까지 깊이 20 m이하)를 적용하였다. 중요도는 교육시설이며 지진 후 피해복구에 필요한 중요시설을 갖춘 긴급 대피수용시설로 지정되지 않았다고 가정하여 내진등급 1, 이에 따른 중요도계수는 1.2로 적용하였다. 내진성능평가에 사용된 예제건물의 중력하중은 일반적인 학교시설의 실 구성에 따라 Table 1과 같이 고정하중과 활하중을 산정하였다. 옥탑층은 모델에 포함시키지 않았으나 해석모델의 질량을 유지하기 위해 하중으로 입력하였다.

예제건물의 기둥의 크기는 400 mm x 400 mm이며 주철근은 8-D19로 배근되었으며, 보조철근은 직경 10 mm인 철근 간격 300 mm로 배근되어 있다. 기둥의 크기와 배근상세는 모든 기둥에 동일하게 적용하였다. 보 부재의 크기는 깊이 550 mm를 넘지 않도록 하였으며 폭은 350 mm를 넘지 않도록 하였다. 보 부재의 주철근 배근은 D19를 사용하여 철근비가 1%를 넘지 않도록 하였다.

Table 1 Gravity loads for linear analysis model

USE	Dead Load (kN/m ²)	Live Load (kN/m ²)
Roof Top	3.98	1.00
Roof	6.30	2.00
Water Tank	5.40	10.00
Boiler room	5.40	10.00
Class Room	4.50	3.00
Science Room	4.50	5.00
Computer room	4.50	5.00
Document Room	4.50	7.50
Toilet	4.70	3.00
Passage	4.50	3.00
Stair case	6.70	3.00

3.2 해석모델 작성

해석모델은 범용 구조해석 프로그램인 Midas Gen^[7]을 사용하였으며 이를 이용하여 작성한 3차원 구조해석모델을 Fig. 2에 나타내었다. 대상건축물의 재료강도는 설계도서가 존재하지 않아 매뉴얼에서 제시하고 있는 건설연도별 재료의 기본값을 사용하였다. 대상건축물은 1977년에 준공된 건물이므로 매뉴얼^[8]에 따른 콘크리트 압축강도의 하한값과 평균값은 각각 15 MPa, 18 MPa 이다. 철근의 항복강도는 매뉴얼에 따른 건설연도별 기본값을 적용하면 하한값은 240 MPa이다.

해석모델에서 철근콘크리트 구조물의 부재 거동은 균열을 고려한 유효강성을 적용해야한다. 유효강성은 균열발생이후 항복 혹은 그 이상의 비선형거동이 발행하여 그때의 비선형 강성과 전체 단면의 강성에 대한 비율을 유효강성비로 정의된다. 해석모델에 반영한 유효강성비는 매뉴얼에 따라 보는 $0.35 E_c I_g$, 기둥은 $0.7 E_c I_g$ 로 적용하였다.

구조해석 시 구조체와 밀착되어 하중을 전달하는 조적 채움벽과 허리벽을 고려하였다. 대상건물의 조적채움벽은 장변방향으로 건물전면에 2층 제외한 각 층에 길이 4.5m인 채움벽이 2개씩 위치하고 있으며, 단변방향으로는 계단실, 교실의 칸막이벽 등으로 이루어져 있으며 각 층에 길이 7.5 m인 채움벽이 10개씩 위치해있다. 허리벽은 장변방향으로 대부분의 기둥사이에 위치해있다.

대상건물의 조적채움벽 및 허리벽의 상태는 ‘양호’로 가정하였다. 매뉴얼에 따른 조적의 상태가 ‘양호’인 설계기준 압축강도는 6.2 MPa, 설계기준 인장강도는 0.14 MPa, 설계기준 전단강도는 줄눈의 상태에 따라 밀실하게 채워진 경우에는 0.19 MPa, 밀실하게 채워지지 않은 경우에는 0.076 MPa이다. 등가스트럿의 폭 산정은 매뉴얼에 따라 식 3-1와 식 3-2를 통해 산정하여 모델링에 반영하였다. Table 2는 조적채움벽 및 허리벽의 등가스트럿의 폭을 산정한 결과이다.

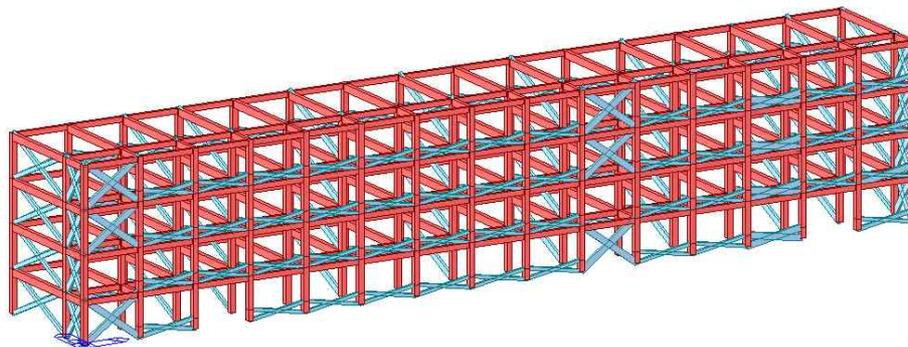


Fig. 2 Midas gen analytical model

$$b_m = [0.175(\lambda_m h)^{-0.4}]d_m \quad (3-1)$$

$$\lambda_m = \left[\frac{E_m t_m \sin 2\theta_{st}}{4E_c I_c h_m} \right] \quad (3-2)$$

E_m : 조적채움벽의 탄성계수

I_c : 기둥의 단면이차모멘트

b_m : 등가스트럿의 폭

t_m : 조적채움벽의 두께

d_m : 조적채움벽의 대각선 길이

조적채움벽 및 허리벽은 면내방향 거동특성을 고려하여 전단력만 전달하는 요소로 모델링하기 위해 축력에 의해 하중이 전달되도록 등가스트럿으로 치환하여 모델링에 반영하였다. 또한, 구조해석 모델에는 양방향으로 모델링하여 강성과 강도를 각각 절반을 줄여 모델링에 반영하였다.

3.3 부재강도산정

선형해석평가를 위해 보, 기둥, 조적채움벽의 부재강도를 산정하였다. 부재의 강도산정시 강도감소계수는 KBC2016⁶⁾을 따라 적용하였다. 보의 경우 일반적으로 사용되는 방법으로 보 양단의 모멘트 강도와 전단강도를 산정하였다. 기둥의 휨, 압축 및 인장강도는 철근콘크리트 압축연단의 변형률이 종국변형률 0.003에 도달할 때의 축력과 모멘트 상관관계를 고려하여 산정하였다. 기둥의 전단강도는 후프간격이 넓은 기둥이 휨항복 이후 비선형 거동구간에서 전단강도가 급격히 감소하는 현상을 고려한 경험식인 식 3-3~식 3-5를 사용하였다.

$$V_n = V_c + V_s \quad (3-3)$$

$$V_c = \lambda \left(\frac{0.5 \sqrt{f_{ck}}}{M/Vd} \sqrt{1 + \frac{N_u}{0.5 \sqrt{f_{ck}} A_g}} \right) 0.8 A_g \quad (3-4)$$

$$V_s = k_1 \frac{A_v f_y d}{s} \quad (3-5)$$

여기서, k_1 은 전단철근간격이 $0.5d$ 이하일 경우 1, d 보다 클 경우 0을 사용하며 그 사이의 값을 갖는 경우에는 0.5를 사용한다. λ 는 일반 콘크리트를 사용한 것으로 가정하여 1을 사용하였으며, N_u 는 기둥의 압축력을 나타낸다. 기둥이 인장력을 받는 경우에는 0을 사용한다. M/Vd 는 강도 산정의 간편성을 위하여 3으로 적용하였다.

등가스트럿의 강도는 조적채움벽의 전단강도가 가로줄눈과 파괴강도로 산정한다. 단 조적채움벽의 전단강도는 대각균열강도와 지압강도를 초과할 수 없다. 조적채움벽의 가로줄눈과 파괴강도는 식 3-6을 통해 산정할 수 있다.

$$V_{bjs} = A_n f_{vi} \quad (3-6)$$

여기서 A_n 은 채움벽 수평방향의 모르타르 접합 혹은 그라우트 접합면의 순면적을 나타내며 f_{vi} 는 조적채움벽의 전단응력을 나타낸다. Table 3은 평가에 사용된 채움벽의 전단강도를 나타내었다.

Table 3 Equivalent strut compression strength

NO	Depth (m)	bed-joint shear strength (kN)	ϕV_{bjs} (kN)	Compression Strength of Strut (kN)
1	0.3	59.2	35.5	43.5
2	0.47	102.5	61.5	66.0
3	0.21	30.3	18.2	30.3

Table 2 Modeling of infilled or partially filled masonry walls substituted with equivalent compression struts

NO	Classify	Thickness (m)	state	Compression Strength (MPa)	Modulus of elasticity (MPa)	θ (rad)	Depth (m)
1	Partially filled masonry wall	0.19	Good	6.2	1240	0.19	0.24
2	Partially filled masonry wall	0.19	Good	6.2	1240	0.20	0.27
3	Partially filled masonry wall	0.19	Good	6.2	1240	0.28	0.25
4	Partially filled masonry wall	0.19	Good	6.2	1240	0.28	0.5
5	Infill Masonry wall	0.19	Good	6.2	1240	0.62	0.3
6	Infill Masonry wall	0.19	Good	6.2	1240	0.37	0.47
7	Infill Masonry wall	0.19	Good	6.2	1240	0.94	0.21

4. 내진성능평가

4.1 하중조합

본 연구는 매뉴얼^[5]에 따라 선형구조해석평가방법을 사용하여 내진성능평가를 실시하였다. 평가시에는 하중조합별 보유성능지수를 산정하며 이 중 최소값이 예제건물의 최종 보유성능지수로 판정하였다. 예제건물은 내진설계범주 ‘C’에 해당되기 때문에 ‘등가정적해석법’을 사용하여 내진성능평가를 수행하였다.

KBC2016^[6]에 따라 산정한 하중조합은 Table 4에 나타내었다. 이때 지진하중인 EX와 EY에는 지진력 작용방향에 직각인 평면치수의 5%에 해당하는 우발편심이 고려되었다.

4.2 조적채움벽 면외방향 전도 평가

조적채움벽이 면외방향으로 전도될 경우 전체 구조물은 즉시거주와 인명안전의 성능수준을 만족하지 못하는 것으로 판정한다. 따라서 조적채움벽의 면외방향을 검토하여 보강여부를 확인해야한다. 조적채움벽의 상태가 양호하기 때문에 대상건물의 조적채움벽은 아치작용이 가능할 것이라 가정하였다.

조적채움벽의 면외방향에 대한 전도는 면외강도(Q_{CL})가 관성력(F_p)보다 클 경우 성능목표를 만족하는 것으로 판정한다. 조적채움벽의 면외방향 강도는 아치작용을 고려할 경우 식 3-7을 통해 산정할 수 있으며, 관성력은 식 3-8을 통해 산정할 수 있다.

Table 4 Load combination for seismic evaluation

Classify	Load Combination
LCB1	1.2D + EX + 1.0L
LCB2	1.2D - EX + 1.0L
LCB3	1.2D + EY + 1.0L
LCB4	1.2D - EY + 1.0L
LCB5	0.9D + EX
LCB6	0.9D - EX
LCB7	0.9D + EY
LCB8	0.9D - EY

$$Q_{CL} = \frac{0.7f'_m \lambda_2}{(h_m/t_m)} \quad (3-7)$$

$$F_p = 0.4\chi S_{XS} W_p \geq 0.1\chi W_p \quad (3-8)$$

여기서 f'_m 은 조적채움벽의 압축강도의 하한값을 의미하며 λ_2 는 벽체의 높이-두께비에 대한 계수, χ 는 목표성능수준에 따른 계수로서 인명안전의 경우 1.3을 사용한다. 평가 결과는 Table 5와 같으며, 모든 조적채움벽은 면외방향의 전도에 대한 보강이 필요하지 않을 것으로 판단된다.

4.3 횡강성 기여도

횡강성기여도는 각층의 전단력에 대한 각 수직부재의 전단력의 합을 나타낸다. 대상건물은 무보강 조적채움벽이 있는 철근콘크리트 모멘트골조로서 매뉴얼^[5]에 따라 모멘트골조와 채움벽골조로 분류하였다. 모멘트골조의 횡강성기여도는 조적허리벽과 기둥이 받는 전단력의 합으로 산정하였으며 채움벽골조는 조적채움벽의 단부기둥과 조적채움벽이 받는 전단력의 합으로 산정하였다. Table 6은 각 골조의 횡강성기여도를 나타낸 표이다.

4.4 내진성능평가 결과

대상건물의 보유성능지수는 X방향으로 약 0.40(LCB2), Y방향으로 약 0.48(LCB3)로 내진성능을 만족하지 못하며, 구조보강이 필요한 것으로 판정하였다. 대상건물은 1977년에 준공된 건물로, 부재의 재료강도가 낮으며, 구조설계시 내진설계가 이루어지지 않았다. 따라서 본 내진성능평가 결과는 타당한 것으로 사료된다. 하중조합별 보유성능지수는 Table 7을 통해 확인할 수 있다.

대상건물에서 각 방향별 가장 지배되는 하중조합의 층별 평균강도비를 평가하였다. X방향에 대한결과는 하중조합 LCB2에서 가장 지배적이며, Y방향에 대한 결과는 하중조합 LCB3에서 가장 지배적으로 평가되었다. Table 8와 Table 9은 각각 LCB2와 LCB3의 층평균강도비를 산정한 표이다.

Table 5 Evaluation of out-of-plane of infill masonry wall for rocking

NO	Thickness, t_m (mm)	Height, h_m (mm)	h_m/t_m	χ	λ_2	Q_{CL} (kPa)	F_p (kPa)	State
1	190	2,900	15.3	1.3	0.0334	9.5	1.0	OK
2	190	2,800	14.7	1.3	0.0354	10.4	1.0	OK
3	190	2,750	14.5	1.3	0.0367	11.0	1.0	OK

Table 6 Lateral stiffness contribution

Story	Dir.	Moment frame	Infill Masonry wall frame
1F	X	0.94	0.06
	Y	0.64	0.36
2F	X	1.00	0.00
	Y	0.64	0.36
3F	X	0.95	0.05
	Y	0.62	0.38
4F	X	0.95	0.05
	Y	0.62	0.38

Table 7 Performance index for each load combination

Load Combination	X-dir.	Y-dir.	
LCB1	1.2D + EX + 1.0L	0.40	2.04
LCB2	1.2D - EX + 1.0L	0.40	2.00
LCB3	1.2D + EY + 1.0L	1.88	0.48
LCB4	1.2D - EY + 1.0L	1.90	0.49
LCB5	0.9D + EX	0.42	3.56
LCB6	0.9D - EX	0.41	3.52
LCB7	0.9D + EY	2.93	0.53
LCB8	0.9D - EY	2.95	0.55
MIN	0.40	0.48	

두 결과를 통해 알 수 있듯이, X방향은 모든층에서 1.0미만의 층 평균강도비를 보유하고 있는 것으로 평가되었으며, Y방향은 맨 윗층인 4층을 제외한 모든 층에서 1.0미만의 층 평균강도비를 보유하고 있는 것으로 평가되었다.

4.5 층간변위각 평가

해당 학교는 내진성능을 만족하진 못하였지만 층간변위를 검토해 보았다. 해당 건물은 내진설계를 수행하지 않은 구조물로 허용층간변위는 내진 I 등급의 허용층간변위(0.015h)의 70% 수준인 0.0105h로 평가하였다. 검토 결과 본 구조물은 허용 층간변위를 만족하는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 2018년 1월 교육부에서 고시한 학교시설 내진설계기준^[4]와 학교시설 내진성능평가 및 보강매뉴얼^[5]에서 제시하는 선형구조해석법을 따라 내진성능평가를 실시해보았다. 대상건물은 1970년대 후반 준공된 건물로서 조직채움벽과 모멘트골조가 횡력에 대해 저항하는 무보강 조직채움벽이 있는 구조다. 매뉴얼에 따라 성능평가한 결과 대상건물은 내진성능목표를 만족하지 못하는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 대상건물이 노후됨에 따라 재료강도가 낮으며 전단벽과 같은 큰 횡력을 저항할 수 있는 부재가 없고 골조가 모든 횡력을 부담하기 때문으로 사료된다.

대상건물의 내진성능목표를 만족하는지 여부를 판단하는 보유 성능지수에 대한 결과에 대해 살펴보자면, 층평균강도비를 산정하는 과정에서 모멘트골조가 모두 보에 의해 지배되는 결과가 나타났다. 이와 같은 원인은 보가 중력하중을 견디기에 단면성능이 부족한 것으로 판단된다. 포항지진의 사례를 통해 확인할 수 있듯이, 학교건물에서 지진발생시 조직허리벽이 위치해있는 기둥의 전단 파괴가 발생하였다. 조직허리벽이 위치해있는 기둥은 강성이 커지고 허리벽의 면내방향으로 기둥의 거동을 저항하기 때문에 기둥의 길이가 짧아지는 단주효과로 인해 전단파괴가 발생할 우려가 크다. 따라서 실제 모멘트골조에서는 기둥의 강도비가 지배적일 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 비선형해석과의 비교 및 설계계수의 조절 등의 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

References

- [1] Pohang city hall, 2017, 11. 15 Eathquake damage investigation and damage control, Pohang City Disaster Safety Countermeasures Headquarters, Korea.
- [2] Korean educational development institute, 2011, Guideline on Seismic Evaluation and Upgrading of School Buildings, Korea.
- [3] Korea infrastructure safety corporation, 2013, Seismic Performance Evaluation for Existing Facilities(Buildings), Korea.
- [4] Ministry of Education, 2018, Seismic design criteria for school buildings, Korea.
- [5] Ministry of Education, 2018, Manual for seismic performance evaluation and retrofit of school buildings, Korea.
- [6] AIK, 2016, Korean building code-structural, Korea.
- [7] MIDAS IT, 2017, MIDAS GEN - User Manual. ver 860, MIDAS IT inc.

Table 8 Average CDR at each story for LCB2

LCB2		Average of CDR								Avg. CDR
Floor	Dir.	Momnet Frame				Infill Masonry wall frame				
		Col.	Gir.	CDR	Lateral Stiffness contribution	Col.	Strut	CDR	Lateral Stiffness contribution	
1F	X	0.65	0.40	0.40	0.94	0.75	0.30	0.30	0.06	0.40
	Y	9.55	2.79	2.79	0.64	17.97	5044.38	17.97	0.36	8.23
2F	X	1.02	0.43	0.43	1.00					0.43
	Y	3.58	3.10	3.10	0.64	5.52	5349.35	5.52	0.36	3.97
3F	X	1.24	0.58	0.58	0.95	1.19	0.31	0.31	0.05	0.56
	Y	3.58	1.78	1.78	0.62	6.26	5361.46	6.26	0.38	3.47
4F	X	2.00	0.86	0.86	0.95	1.43	0.53	0.53	0.05	0.84
	Y	2.07	1.67	1.67	0.62	2.55	8019.93	2.55	0.38	2.00
X		Performance index								0.40
Y		Performance index								2.00

Table 9 Average CDR at each story for LCB3

LCB3		Average of CDR								Avg. CDR
Floor	Dir.	Momnet Frame				Infill Masonry wall frame				
		Col.	Gir.	CDR	Lateral Stiffness contribution	Col.	Strut	CDR	Lateral Stiffness contribution	
1F	X	16.64	1.93	1.93	0.94	20.95	-	20.95	0.06	3.13
	Y	0.68	0.48	0.48	0.64	0.47	0.51	0.47	0.36	0.48
2F	X	41.48	1.91	1.91	1.00					1.88
	Y	1.27	0.53	0.53	0.64	1.32	0.50	0.50	0.36	0.52
3F	X	62.26	1.93	1.93	0.95	7.87	24.71	7.87	0.05	2.24
	Y	1.98	0.79	0.79	0.62	2.10	0.67	0.67	0.38	0.74
4F	X	77.45	1.60	1.60	0.95	11.97	31.15	11.97	0.05	2.08
	Y	5.26	1.74	1.74	0.62	2.03	1.20	1.20	0.38	1.53
X		Performance index								1.88
Y		Performance index								0.48

Table 10 Evaluation of story drift at each story

Dir.	Floor	Load Case		Drift (mm)	Drift Ratio	Acceptance Criteria	State
X	4F	sLCB1	1.2(D) + 1.0EX + 1.0(L)	10.70	0.32%	1.05%	OK
	3F	sLCB5	0.9(D) + 1.0EX	17.92	0.54%	1.05%	OK
	2F	sLCB5	0.9(D) + 1.0EX	22.74	0.69%	1.05%	OK
	1F	sLCB1	1.2(D) + 1.0EX + 1.0(L)	18.11	0.55%	1.05%	OK
Y	4F	sLCB2	1.2(D) + 1.0EY + 1.0(L)	10.07	0.31%	1.05%	OK
	3F	sLCB2	1.2(D) + 1.0EY + 1.0(L)	15.74	0.48%	1.05%	OK
	2F	sLCB2	1.2(D) + 1.0EY + 1.0(L)	17.79	0.54%	1.05%	OK
	1F	sLCB6	0.9(D) + 1.0EY	15.94	0.48%	1.05%	OK