

# 저층 철근 콘크리트 시설물 선형 내진 성능 평가

## Linear Seismic Performance Evaluation Procedure of the Low-Rise Reinforced Concrete Facilities

김 두 환\*  
Kim, Doo-Hwan

정 의 도\*\*  
Jeong, Ui-Do

송 관 권\*\*\*  
Song, Kwan Kwon

김 성 필\*\*\*\*  
Kim, Seong Pil

### Abstract

Following a 5.8 magnitude earthquake on September 12, 2016 in Gyeongju Province, a magnitude 5.4 earthquake occurred in the northern region of Pohang City on November 15, 2017 in South Korea. Only 7.9 % of the building structures are earthquake-resistant, according to the recent survey conducted by the government agencies in October 2017. In this paper, the linear analysis seismic performance evaluation procedure of the existing school structures presented in the revised methodology(Seismic Performance Evaluation Procedure and Rehabilitation Manual for School Facilities) was introduced. In this paper, the linear analysis evaluation procedure presented in the revised methodology was introduced and the seismic performance index of the example structure was evaluated using the linear analysis evaluation procedure. The seismic retrofit was verified by the linear and nonlinear dynamic analyses using Perform 3D. The analysis results show that the dissipated inelastic energy is concentrated on the retrofitted shear wall and the maximum inter-story drift of the stadium model structure with damping system satisfies the requirement of the current code.

*Keywords : Linear analysis, Seismic evaluation, Rehabilitation, Low rise facility, School structure*

## 1. 서론

포항 지진으로 인한 피해 사례로 인해 정부는 학교 시설물의 내진 보강 예산 지원을 확대하여 2016년 내진 설계 의무 대상을 2층 이상 또는 연면적 200m<sup>2</sup> 건축물로 확대하고, 2018년 지진 안전 시설물 인증제의 민간 확대 및 지진·화산재해 대책법 등 다양한 정책을 신설하였다. 행정안전부의 조사 자료에 따르면 2017년 학교 시설물의 내진 성능 확보율은 24.9%이며 추경예산 편성 및 지속적인 내진 보강 사업을 추진하고 있다.

학교 시설물의 내진 보강을 위한 성능 평가 방법은 기존 교육과학기술부에서 발간된 평가 방안과 시설안전관리공단의 '기존 건축물 내진성능평가 요령 및 향상요령(2014)<sup>1)</sup>을 수용하여 교육부(교육시설재난공제회)에서 2017년 12월 '학교시설 내진성능 평가 및 보강 매뉴얼<sup>2)</sup>을 새로 발간하였다. 이 방법론에서는 코어 채취 등 현장 조사 필수 항목을 정리하고, 조적채움벽, 허리벽의 내진 성능 평가식을 제안하였다. 또한 기존 철근 콘크리트 구조 부재별 유효 휨 강성을 개정하여 요구 지진 하중이 저평가되는 것을 방지하였다. 내진 성능 평가 절차는 선형 해석 평가 방법, m계수법, 비선형 정적 및 동적 해석으로 구분되며, 일반 공법과 특수 공법을 분리하여 공법별 상세 보강안을 제시하였다.

본 논문에서는 개정된 방법론에 제시된 기존 학교 구조물 내진 성능 평가 절차 중 선형 해석 평가 절차를 소개하고 예제 구조물의 내진 성능 보유 지수를 평가하였다. 또한 평가 결과를 바탕으로 보유 성능 지수가 낮은 구조 부재에 내진 보강을 위한 방안을 제시하였다.

\* 교신저자, 정회원, 서울과학기술대학교 건설시스템공학과 교수, 공학박사  
Department of Civil Engineering, Seoul National University of Science and Technology  
Tel: 02-970-6504 Fax: 02-948-0043  
E-mail: kdh6504@seoultech.ac.kr

\*\* 정회원, (주)지성건설 이사  
Jisung ENC. Lnc.

\*\*\* 정회원, 진온이엔시 대표이사  
Jinon ENC. Lnc.

\*\*\*\* 정회원, (주)한승엔지니어링 대표이사  
Hanseung Eng. Lnc.

## 2. 저층 학교 시설물 선형 해석 절차

학교 시설물의 내진 등급 및 중요도 계수는 아래 <Table 1>과 같이 세 등급으로 분류하고 재난 피해 시설인 시설물의 경우 내진 등급 Special로 규정한다. 내진 등급별 성능 목표는 현행 설계 기준인 KBC-2016<sup>3)</sup>에 제시된 시설물 내진 등급별 최소 내진 성능 수준을 만족해야 한다<Table 2>. 설계 스펙트럼 가속도는 해당 지역의 지진 위험도에 따라 결정되는 최대예상지진(2400년 재현 주기 지진)의 2/3 수준이며, 내진 설계 범주 'II'인 구조물의 경우 목표 성능을 만족하지 못할 경우 재현 주기별 위험도 계수를 고려하여 재현 주기를 낮추어 기존 시설물이 저항할 수 있는 최대 유효 지반 가속도를 평가하고 성능 목표에서 규정된 유효 지반 가속도에 대한 비율을 제시하도록 규정하고 있다. 내진 설계되지 않은 기존 구조물의 반응수정 계수는 조적채움벽과 허리벽에 있는 철근 콘크리트 모멘트 골조는 '2.5'를 적용하며 보통 철근 콘크리트 모멘트 골조는 '3.0'을 적용하여 요구 스펙트럼을 결정한다. 초과강도 계수

및 변위중폭 계수는 현행 설계 기준과 동일하다. 허리벽이 설계에 고려되지 않은 경우 단주효과에 의해 기둥의 전단 파괴가 발생하여 연성 능력이 크게 저하될 수 있기 때문이다. 또한 요구 지진 하중 결정에 필요한 구조물의 주기는 모든 채움벽과 허리벽을 고려하여 산정한다.

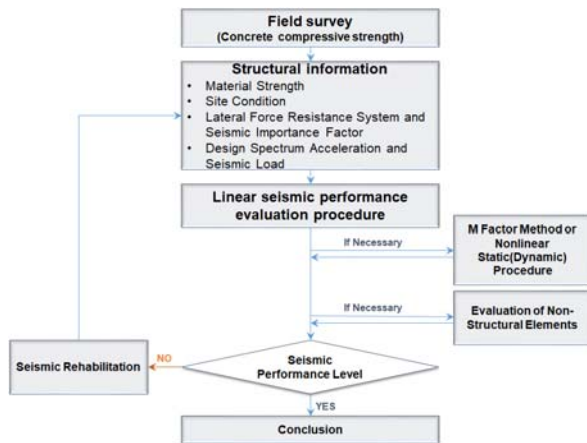
교육부 매뉴얼에 제시된 학교 구조물 내진 성능 평가 방법론은 크게 선형 해석 평가, m계수법, 비선형 정적 및 동적 해석 절차로 구성된다<Fig. 1>. 선형 해석 평가 방법은 실무 엔지니어가 통상적으로 사용하는 해석 프로그램을 이용하여 신축 구조물 설계와 유사한 방법으로 현행 설계 기준에 따라 신속하게 학교 구조물의 내진 성능을 평가하기 위한 방법이다. 선형 해석 평가는 비탄성 변형이 발생하면서 힘의 재분배가 가능한 5층 이하의 모멘트 골조 혹은 전단벽과 가새가 혼합된 구조 시스템에 적용 가능하다. 이는 높은 차수의 부정정 모멘트 골조에서는 국부적으로 조기 항복이 발생해도 인근 부재가 충분한 초과 강도를 가지고 있으면 힘의 재분배에 의해 전체적으로 충분한 내진 성능을 발휘할

<Table 1> Seismic design category and importance factor

Seismic design category		Importance of structure	Importance factor ( $I_E$ )
Special	Structures that have important facilities necessary for restoration after earthquake or store large amounts of harmful substances	Importance (Special)	1.5
I	Structures that can cause great danger to the public if they are damaged by earthquakes	Importance (1)	1.2
II	Structures not in seismic design category 'special' or 'I'	Importance (2)	1.0

<Table 2> Seismic design category and performance objectives

Seismic design category	Performance objectives	
	Target building performance levels	Seismic hazard level
Special	Immediate occupancy	Design based earthquake $\times 1.0$
	Life safety or collapse prevention	Design based earthquake $\times 1.5$
I	Life safety	Design based earthquake $\times 1.2$
	Collapse prevention	Design based earthquake $\times 1.5$
II	Life safety	Design based earthquake $\times 1.0$
	Collapse prevention	Design based earthquake $\times 1.5$



<Fig. 1> Seismic performance evaluation procedure

수 있기 때문이다. 이러한 힘의 재분배 효과를 고려하여 일부 부재의 보유 강도(Capacity)가 요구 강도(Demand)를 만족하지 못하더라도 보유 강도를 요구 강도로 나눈 값(CDR; Capacity to Demand Ratio)이 1.0 미만인 부재가 제한적이고 층별 평균 강도비가 1.0 이상인 경우는 힘의 재분배를 고려하여 전체 구조물의 내진 성능이 안전하다고 판단할 수 있다.

선형 해석 평가 시 학교 구조물의 구조 시스템에 따라 규정된 중요도 계수 및 반응수정 계수가 고려된 지진 하중을 사용하고, 강도감소 계수( $\phi$ )를 적용하여 해석한다. 내진 설계가 적용되지 않은 학교 구조물의 반응수정 계수는 조적채움벽, 허리벽과 내력벽 및 전단벽 등을 고려하여 1.5~4.0으로 제시되어 있다. 강도감소 계수는 휨 강도의 경우 인장지배단면은 1.0, 압축지배단면은 나선 철근으로 보강된 경우 0.85, 기타 부재는 0.8을 적용한다. 전단 강도 및 비틀림 강도의 강도감소 계수는 0.8을 적용한다.

각 구조 부재의 유효 강성은 최대한 구조물의 최대 강성을 고려해야 지진 하중의 저평가를 방지할 수 있으므로 철근 콘크리트 보의 휨 강성은  $0.35E_cI_g$ , 기둥은  $0.70E_cI_g$ , 비균열 벽체는  $0.70E_cI_g$ , 균열 벽체는  $0.35E_cI_g$ 를 각각 적용한다. 단, T형 보의 웹 부분 단면 2차 모멘트의 2배를 적용할 수 있다.

구조물의 주기 산정과 주기에 의한 지진력은 모든 구조 요소와 비구조 요소 및 유효 강성을 적용하여 산정되어야 한다. 밀면 전단력은 KBC-2016에 제

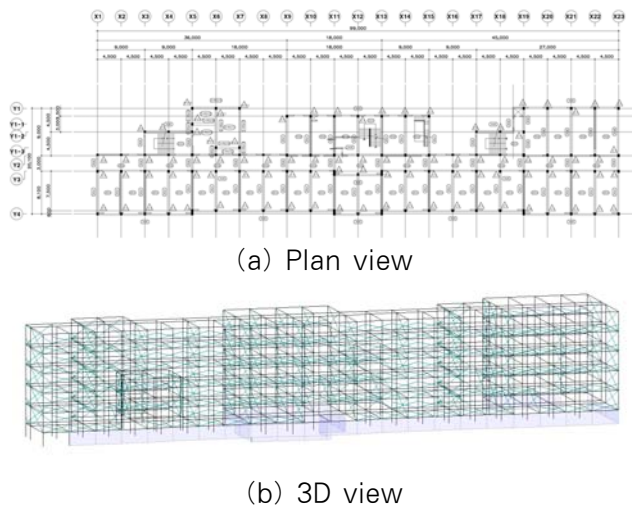
시된 등가정적해석법 또는 응답스펙트럼법을 사용할 수 있다. 선형 해석 수행 후 각 층에서 부재 종류별 평균 강도비를 계산한다. 모멘트 골조에서는 휨 강도비, 전단 강도비, 연결 부위 강도비 중 가장 작은 값을 각각 기둥과 큰 보의 강도비로 정의한다. 기둥과 큰 보의 평균 강도비 중 작은 값을 지배 강도비로 정한다. 또한 철근 콘크리트 벽체는 휨 압축 강도비, 전단 강도비, 연결 부위 강도비 중 최소값으로 강도비를 지배 강도비로 결정하며, 조적채움벽은 등가 가새로 모델링 되므로 축 강도비, 휨 강도비, 전단 강도비, 연결 부위 강도비 중 최소값을 지배 강도비로 정한다. 모멘트 골조, 전단벽, 채움벽이 혼합된 경우 지진 하중에 의한 밀면 전단력에 대해 각 요소 수직재 전단력의 합의 비율을 휨 강성 기여도로 정의하며 요소별 지배 강도와 곱하여 합한 값을 층 평균 강도비로 정의한다. 건물 평균 강도비는 층 평균 강도비 중 최소값으로 결정하며 각 방향에 대한 학교 구조물의 보유 성능 지수이다. 보유 성능 지수가 1.0을 초과할 경우 중간 변위 검토 후 평가를 종료하며, 미만일 경우 m계수법 혹은 비선형 해석 방법을 통해 상세 해석을 수행한다.

### 3. 보강 전 예제 구조물 선형 해석 평가

선형 해석 평가 방법론에 의한 구조물의 보유 성능 지수 산정을 위해 5층 철근 콘크리트 모멘트 골조를 선정하였다. 현장 조사 결과, 콘크리트의 강도는  $18MPa$ 이며 철근 강도는  $300MPa$ 이며, 예제 구조물의 대표층 구조 평면도, 입면도 및 내진 성능 계수를 <Fig. 2>와 <Table 3>에 정리하였다. 예제 구조물은 조적채움벽과 허리벽이 장변 및 단변 방향에 있으므로 방법론에 제시된 등가 대각가새로 치환하여 모델링하였다.

유효 강성을 고려한 예제 구조물의 고유치 해석 결과 1차 모드는 Z축에 대한 비틀림이며 0.934초이다. 2차 모드는 Y방향, 3차 모드는 X방향이며 각각 0.888초, 0.881초이다. 중력 하중 조합에 의한 구조 부재의 안정성 검토 결과, 보 부재는 48개소, 기둥 부재는 11개소에서 각각 전단력 및 휨 모멘트에 대해 내력이 확보되지 못하는 것으로 조사되었다.

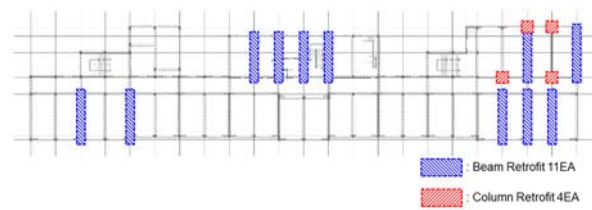
<Fig. 3>에 나타난 바와 같이 중력 하중에 대해 내력이 부족한 부분은 별도의 보강을 수행하는 것으로 가정하여 중력 하중 조합에 대해 구조 안정성을 확보한 후 선형 해석 평가를 수행하였다.



<Fig. 2> 5-story RC MRF for numerical analysis

<Table 3> Seismic design variables for model structure

Site class	$S_D$
Site coefficient	$F_a = 1.44, F_v = 2.08$
Design earthquake	$S_{DS} = 0.432g, S_{D1} = 0.250g$
Seismic design category	<i>Special</i>
Importance factor	1.50
Seismic design category	<i>D</i>
Response modification factor	2.5
Displacement amplification factor	2.5



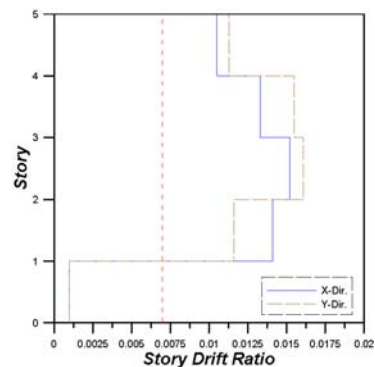
<Fig. 3> 1st story retrofit plan for gravity load

선형 해석 평가 결과, X방향의 보유 성능 지수는 0.24점, Y방향은 0.23으로 판정되어 내진 보강이 필요한 것으로 나타났다<Table 4>. 철근 콘크리트 모

멘트 골조의 횡 강성비는 X방향의 경우 평균 59%, Y방향은 평균 67%이며 조적벽체는 각각 41%, 33%이므로 기존 구조물 내진 성능 평가에 조적벽체가 고려되어야 함을 알 수 있다. 층 평균 강도비는 0.23~0.73이며 모든 층에서 내력이 부족하여 보강이 필요한 것으로 나타났다. 1층 X방향의 경우 모멘트 골조의 횡 강성비가 0.67로 큰 비율을 차지하고 있으므로 보와 기둥을 보강하여 지배 강도비를 1.40으로 올릴 경우 층 평균 강도비가 1.00에 도달한다. 그러나 내력이 부족한 모든 보 부재와 기둥 부재의 DCR을 0.714로 맞추기는 경제적으로 불가능하므로 전단벽이나 가새 골조로 보강하여 횡 강성비 분담율을 나누어 부담하는 방안이 필요한 것으로 판단된다. <Fig. 4>는 등가 지진 하중에 대해 변위중폭 계수가 고려된 층간 변위 결과이며 현행 설계 기준에 제시된 내진 등급 '특'에 해당하는 구조물의 최대 층간 변위의 70%를 초과하여 내진 보강이 필요한 것으로 나타났다.

<Table 4> Linear seismic performance evaluation results

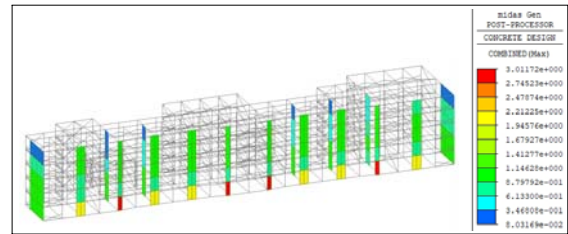
Story	Dir.	Average Strength Ratio								Average Strength Ratio		
		RC Moment Frame				Shear Wall		Masonry Wall				
		Column	Girder	Dominant Ratio	Stiffness Ratio	Wall	Stiffness Ratio	End Column	Brace	Dominant Ratio	Stiffness Ratio	
5	x	0.73	0.57	0.57	0.58	0.00	0.00	0.97	1.48	0.97	0.42	0.73
	y	0.70	0.64	0.64	0.66	0.00	0.00	0.52	1.03	0.52	0.34	0.60
4	x	0.44	0.47	0.44	0.57	0.00	0.00	0.60	0.84	0.60	0.43	0.51
	y	0.41	0.39	0.39	0.64	0.00	0.00	0.45	0.64	0.45	0.36	0.41
3	x	0.31	0.38	0.31	0.57	0.00	0.00	0.50	0.25	0.25	0.43	0.29
	y	0.33	0.28	0.28	0.64	0.00	0.00	0.38	0.48	0.38	0.36	0.32
2	x	0.26	0.33	0.26	0.57	0.00	0.00	0.39	0.21	0.21	0.43	0.24
	y	0.27	0.24	0.24	0.64	0.00	0.00	0.34	0.25	0.25	0.36	0.24
1	x	0.29	0.30	0.29	0.67	0.00	0.00	0.31	0.21	0.21	0.33	0.26
	y	0.35	0.22	0.22	0.77	0.00	0.00	0.26	0.48	0.26	0.23	0.23
	x	Performance Index										0.24
	y	Performance Index										0.23



<Fig. 4> Interstory drift ratio

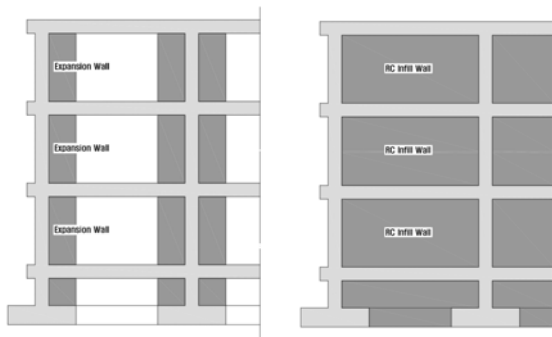
### 4. 예제 구조물의 내진 보강

학교 구조물의 특성상 장변 방향은 창호 및 허리벽이 있으므로, X방향은 방법론에 제시된 기둥 날개벽 증설 공법<Fig. 5 (a)>을 이용하여 내진 보강을 수행하였다. 고유치 해석 결과, 1차 모드가 Z축에 대한 비틀림 거동이므로 질량 중심과 가까운 Y4 열에 배치하였다. Y방향은 철근 콘크리트 전단벽 끼움벽<Fig. 5 (b)>과 기둥 날개벽 증설 공법을 혼합하여 내진 보강을 수행하고 선형 해석 평가를 수행하였다<Fig. 5 (c)>. 평가 결과, Y방향의 경우 RC 채움벽과 기둥 날개벽 신설의 횡 강성비는 평균 58%이며, 모멘트 골조와 조적채움벽의 횡 강성비는 31%, 12%로 보강 전에 대해 감소하였다. 또한 보유 성능 지수가 0.23에서 0.90으로 증가하였으나 추가 벽체 신설이 필요하다. X방향은 1층 출입구로 인해 횡 강성이 작으므로 신설된 날개벽에 응력이 집중되어 강도비가 크게 산정되었다<Fig. 6>.

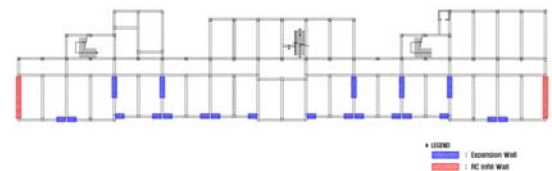


<Fig. 6> Shear wall demand-capacity ratio

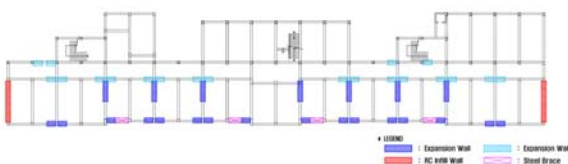
X방향으로 추가된 전단벽은 층수가 높아질수록 횡 강성비가 0.59에서 0.11까지 작아지므로 다른 부재의 보강을 통해 구조물의 보유 성능 지수를 높여야 한다. 조적채움벽과 연결된 단부 기둥의 성능 지수가 X, Y방향에 대해 각각 평균 0.48, 0.67에 불과하며 주로 축력과 휨 모멘트에 의해 항복이 발생하였다. 그러므로 단부 기둥에 날개벽을 추가하여 <Fig. 5 (d)>와 같이 보강을 수행하였다. 허리벽을 치환한 등가 가새 요소와 내진 보강 기둥 날개벽이 연결될 경우 해당 절점에 전단벽 요소를 분리하여 해석을 수행하고 보유 성능 지수를 산정한다<Table 6>.



(a) Column wing wall extension (b) RC infill wall



(c) Retrofit floor plan (Trial-1)



(d) Retrofit floor plan (Trial-2)

<Fig. 5> Seismic retrofit plan

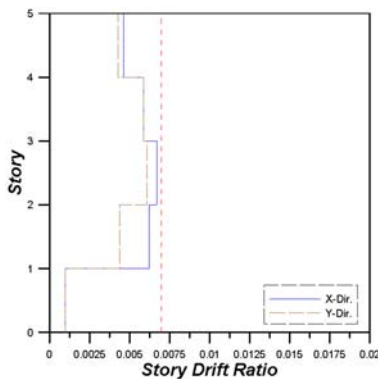
<Table 5> Linear seismic performance evaluation results (Trial-1)

Story	Dir.	Average Strength Ratio											Average Strength Ratio
		RC Moment Frame				Shear Wall		Masonry Wall					
		Column	Grder	Dominant Ratio	Stiffness Ratio	Wall	Stiffness Ratio	End Column	Brace	Dominant Ratio	Stiffness Ratio		
5	x	0.52	0.36	0.36	0.54	1.00	0.20	0.64	1.02	0.64	0.26	0.57	
	y	0.88	0.65	0.65	0.35	2.86	0.54	0.80	1.49	0.60	0.12	1.83	
4	x	0.40	0.36	0.36	0.60	1.05	0.11	0.53	0.72	0.53	0.30	0.48	
	y	0.81	0.59	0.59	0.35	1.52	0.54	0.88	1.34	0.88	0.12	1.12	
3	x	0.38	0.31	0.31	0.57	1.17	0.15	0.42	0.22	0.22	0.29	0.41	
	y	0.70	0.58	0.58	0.35	1.10	0.54	0.85	1.31	0.85	0.12	0.89	
2	x	0.39	0.26	0.26	0.54	1.09	0.22	0.36	0.21	0.21	0.21	0.42	
	y	0.78	0.61	0.61	0.35	1.01	0.54	0.88	1.42	0.88	0.12	0.86	
1	x	0.35	0.30	0.30	0.33	0.40	0.59	0.43	0.34	0.34	0.08	0.36	
	y	0.91	0.69	0.69	0.35	0.99	0.54	0.94	1.91	0.94	0.12	0.88	
Performance Index												0.36	
Performance Index												0.86	

<Table 6> Linear seismic performance evaluation results (Trial-2)

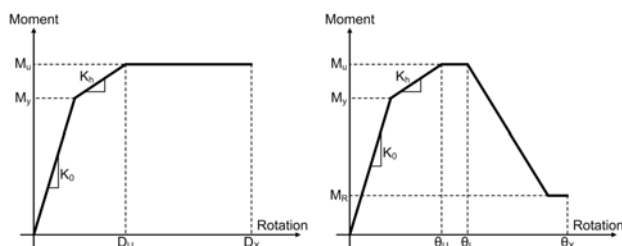
Story	Dir.	Average Strength Ratio											Average Strength Ratio
		RC Moment Frame				Shear Wall		Masonry Wall					
		Column	Grder	Dominant Ratio	Stiffness Ratio	Wall	Stiffness Ratio	End Column	Brace	Dominant Ratio	Stiffness Ratio		
5	x	0.92	0.86	0.86	0.46	1.56	0.26	0.76	1.30	0.76	0.28	1.01	
	y	1.36	1.36	1.36	0.46	3.38	0.40	1.38	1.89	1.38	0.13	2.17	
4	x	0.80	0.77	0.77	0.42	1.61	0.30	0.79	1.05	0.79	0.28	1.02	
	y	1.38	1.37	1.37	0.20	2.23	0.73	1.43	1.77	1.43	0.08	2.00	
3	x	1.57	0.72	0.72	0.39	1.50	0.36	0.70	0.96	0.70	0.25	1.00	
	y	1.36	1.38	1.36	0.17	1.44	0.77	1.47	1.64	1.47	0.06	1.43	
2	x	1.01	0.76	0.76	0.32	1.46	0.51	0.68	1.22	0.68	0.17	1.11	
	y	1.44	1.37	1.37	0.15	1.36	0.79	1.42	2.07	1.42	0.06	1.36	
1	x	1.04	1.06	1.04	0.08	1.46	0.89	0.92	3.46	0.92	0.03	1.41	
	y	1.57	1.37	1.37	0.13	1.28	0.84	1.34	3.09	1.34	0.03	1.29	
Performance Index												1.00	
Performance Index												1.29	

X방향 1층 출입구의 경우 신설된 기둥 날개벽에 철골 브레이스를 추가하여 내진 보강을 수행하였다 <Fig. 5 (d)>. 선형 해석 평가 결과, 일부 구조 부재에서 보유 성능 지수가 1.0을 만족하지 못하지만 전체 구조물의 평균 보유 성능 지수가 1.0을 초과하므로 방법론에 따라 보강이 완료되었음을 알 수 있다. 변위중폭 계수가 고려된 층간 변위는 내진 보강 후 현행 설계 기준의 70%를 만족한다<Fig. 7>.



<Fig. 7> Interstory drift ratio

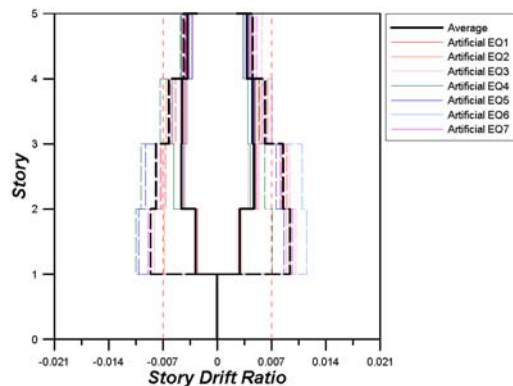
방법론에 제시된 전단벽 신설 및 날개벽 증설 일반 공법으로 내진 보강된 예제 구조물의 내진 성능을 확인하기 위해 'Perform 3D Ver. 5.0<sup>4)</sup>'을 이용하여 비선형 동적 해석을 수행하고 층간 변위 및 지붕층 변위를 검토하였다. 비선형 해석에 사용된 기둥의 이력 모델은 ASCE/SEI 41-06<sup>5)</sup>에 제시되어 있는 Cord-rotation방식에 따라 정의하였고, 보 요소는 양단에 Moment hinge(Rotation type)를 배치하였다<Fig. 8>. 예제 구조물의 전단벽은 모멘트 및 회전을 담당하는 Fiber요소와 전단힌지를 사용하였고 Fiber요소는 콘크리트와 철근의 복합 거동을 3선형



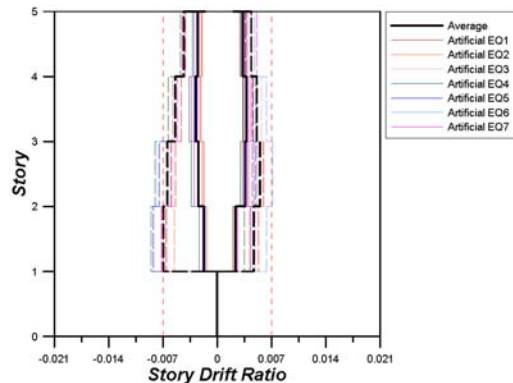
(a) Beam element (b) Column element

<Fig. 8> Nonlinear property

으로 모델링되었다. 콘크리트의 인장 강도는 무시하였고, 감쇠비는 Rayleigh감쇠를 적용하였다. 해석에 사용된 지진파는 DBE(Design Based Earthquake) 설계 스펙트럼에 예제 구조물의 중요도 계수와 반응수정 계수가 고려된 스펙트럼에 맞게 배율 조정된 인공지진파 7개를 각 X, Y방향으로 해석하였다. <Fig. 9>는 보강 전·후 비선형 동적 해석에 의한 층간 변위 결과이며 각각 점선과 실선으로 표현하였다. X방향 층간 변위는 7개 지진파 평균 +0.935%, -0.858%로 1층에서 가장 크게 나타났고, 보강 후 +0.470%, -0.460%로 2층에서 층간 변위가 가장 크며 목표 성능 층간 변위 0.7%를 만족하였다. Y방향 층간 변위는 보강 전 +0.55%, -0.64%이며, 보강 후 +0.36%, -0.28%로 나타났다. X방향에 대해 상대적으로 내진 보강이 과한 것으로 판단된다. 비선형 동적 해석에 의한 지붕층 변위 분석 결과, X방향은 보강 전 94.81mm이며 보강 후 47.16mm로 49.7% 감소되었다. Y방향 지붕층 변위는 보강 전 70.22mm, 보강 후 42.33mm이며 60.28% 감소되었다<Fig. 10>.

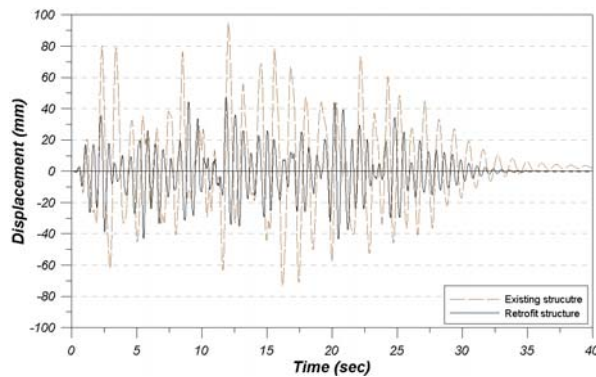


(a) X-Dir.

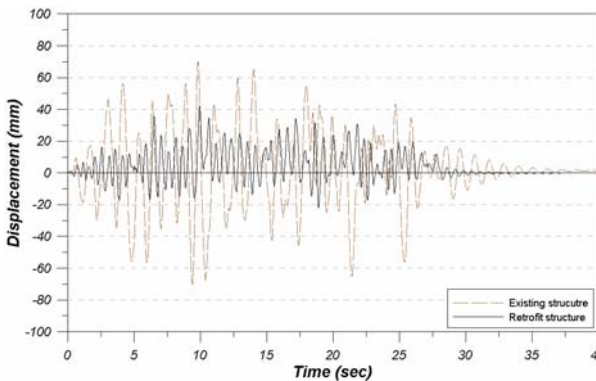


(b) Y-Dir.

<Fig. 9> Story drift ratio



(a) X-Dir.



(b) Y-Dir.

〈Fig. 10〉 Roof displacement

## 5. 결론

본 논문에서는 교육과학기술부의 ‘학교시설 내진 성능평가 및 보강 매뉴얼<sup>2)</sup>’에 제시된 선형 해석 평가 방법을 이용하여 5층 시설물의 내진 성능 보유 지수를 평가하고 단계별 내진 보강을 수행하였다. 선형 해석 평가 방법은 실무 엔지니어가 통상적으로 사용하는 해석 프로그램을 이용하여 현행 설계 기준에 따라 신속하게 학교 구조물의 내진 성능을 평가하기 위한 방법이다. 그러나 구조 부재의 역학적 거동 이해 부족과 모델링의 불확실성, 평가 시트의 불확실성으로 인해 불필요한 보강이 결정될 수 있으나, 기존의 방법론에 비해 실무 엔지니어가 적용하기 익숙하다. 예제 구조물을 통한 선형 해석 법 적용 결과, 구조물의 보유 성능 지수가 1.0을 만족하지 못하여 전단벽 신설 및 기둥 날개벽 증설 공법을 시행착오법에 의해 구조물의 내진 성능을 확보하였다. 또한 비선형 동적 해석을 수행하여 보강 전·후 층간 변위 및 지붕층 변위를 검토한 결과, 전

단벽 및 기둥 날개벽 증설을 통한 내진 보강안은 예제 구조물의 목표 성능을 만족하였다.

## 감사의 글

본 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비에 의해 수행되었습니다.

## References

1. KISTEC, "Assessment of Seismic Performance of Existing Facilities (Buildings)", Korea Infrastructure Safety Corporation, 2013.
2. MOE, "Seismic Performance Evaluation Procedure and Rehabilitation Manual for School Facilities", Ministry of Education, 2017.
3. KBC-2016, "Korean Building Code and commentary", Architectural Institute of Korea, 2016.
4. Computer and Structures, Inc. PERFORM User Guide ver 5, CSI: Berkeley, CA. ; 2006.
5. ASCE/SEI 41-06 Seismic Rehabilitation of Existing Buildings, Reston Virginia: American Society of Civil Engineers; c2007.

- Received : May 17, 2018
- Revised : June 04, 2018
- Accepted : June 04, 2018