

철근콘크리트 모멘트 골조 저층형 학교건축물의 내진성능 평가

황지현¹, 박태원², 한주연^{2*}

¹한국건설기술연구원 SOC성능연구소, ²단국대학교 건축공학과

Seismic Performance Evaluation of Reinforced Concrete Moment Framed Low-story School buildings

Ji-Hyun Hwang¹, Tae-won Park² and Ju-Yeon Han^{2*}

¹SOC Institute, Korea Institute of Construction Technology

²Department of Architectural Engineering, Dankook University

요 약 대부분의 학교 건물은 내진설계기준이 적용되기 이전인 1988년 이전에 설계되었으며, 이후에 지어진 학교의 경우도 내진설계 적용대상에서 제외된 5층 이하의 건물로서 내진성능이 없을 것으로 판단된다. 건물의 특성상 많은 아이들이 밀집하여 있고, 재난 시 대피시설로 이용된다는 점에서 학교 건물의 내진성능보유는 특히 중요하다.

본 연구에서는 우리나라 학교건물의 대표적인 유형을 모델구조물로 선정하여 학교건축물에 대한 내진성능 평가를 수행하였다. 보유강도와 보유성능을 기초로 내진성능을 평가한 결과 모두 내진성능이 미흡한 것으로 나타났다.

Abstract Many school buildings are not applied seismic code because of small size structures. But it must be designed to show enough structural performance when subject to earthquake due to the fact that most of school buildings are generally used as public shelters when the natural disasters.

In this study, the seismic risk of the reinforced concrete school building structure which is the most common types of school structures was evaluated by using the seismic performance evaluation methods. As a result, model structures don't have enough seismic performance.

Key Words : School buildings, Seismic design, Seismic performance evaluation, Moment frame

1. 서론

2010년 아이티 및 페루에서 발생한 지진은 내진설계의 중요성을 시사하고 있다. 내진설계가 전혀 이루어지지 않은 아이티에서의 지진은 막대한 인명 및 재산피해가 발생한 반면, 건축물 및 사회간접시설물에 내진설계가 어느 정도 적용된 칠레에서는 지진의 규모가 8.0[1]으로 아이티의 7.0에 비해 컸으나 그 피해 규모는 매우 작은 것으로 보고되었기 때문이다. 특히, 중국의 스완성 지진 시 약 7,000여개의 학교가 피해를 입었으며 1,900명 이상의

학생이 매몰된 것으로 보도된 바 있어 학교건물의 내진성능에 대한 필요성이 강하게 제기되었다.

한편 국내의 대부분의 학교 건물은 내진설계기준이 적용되기 이전인 1988년 이전에 설계되었으며[2], 이후에 지어진 학교의 경우도 내진설계 적용대상에서 제외된 5층 이하의 건물로서 내진설계의 적용기준에 미흡하여 내진성능이 없을 것으로 판단된다[3].

이와 관련하여 현재까지 국내 학교 건물의 내진성능 평가 및 보강에 대한 많은 연구가 진행 중에 있다. 박태원(2009)등은 상세재해지도를 고려하여 학교건축물의 내

본 논문은 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원('09 첨단도시A01)으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Ju-Yeon Han(Dankook Univ.)

Tel: +82-31-8005-2641 email: hanzzu@dankook.ac.kr

Received August 2, 2013 Revised (1st August 21, 2013, 2nd September 5, 2013) Accepted September 6, 2013

진성능을 평가하였고[4], 한국교육환경연구원(2009)에서는 학교시설의 안전관리를 위하여 내진성능을 평가하고 이에 대한 보강시스템을 구축하였다[5]. 김혜진(2010)등은 이러한 학교 건물의 내진성능을 보강하기 위한 실험적 연구를 수행하였다[6].

본 연구에서는 내진설계 되지 않은 국내 학교 건물 중 대부분을 차지하는 대표 유형의 학교건물에 관한 내진성능 평가를 수행하여 실무에서 적용할 수 있도록 기초자료를 제시하고자 하였다. 이를 위하여 경기도 교육청이 경기도 관내 1,530개 학교를 평면유형별, 증축방법별, 건축시점별로 분류한 결과를 참고하여[5] 국내 가장 많은 형태인 직렬형의 수직 증축된 1970~1979에 세워진 학교 건물 중 한 건물을 모델구조물로 선정하여 학교건축물에 대한 내진성능 평가를 수행하였다. 평가결과를 통해 그 위험성을 판정하고 우리나라 학교건축물의 내진성능에 대한 현황을 제시하였다.

2. 내진성능평가 개요

본 연구에서는 일본의 보유강도법에 의한 내진성능평가와 미국의 보유성능법에 의한 평가를 수행하고, 이를 비교하여 모델구조물의 내진성능을 평가하였다.

2.1 보유강도법에 의한 내진성능평가법

보유강도법은 식(1)과 같이 건물이 보유한 내진성능(I_s)이 구조내진판정지표(I_{so}) 보다 큰 값을 가질 때 내진안정성을 가진 것으로 판단한다[7]. 이때 보의 강도는 무한값을 갖는 것으로 가정하여 각 층 별 구조내진지표(I_s)를 식(2)와 같이 산정한다.

$$I_s / I_{so} \geq 1 \tag{1}$$

$$I_s = E_o \times S_D \times T \tag{2}$$

$$E_o = \frac{n+1}{n+i} \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2} \tag{3}$$

[Table 1] Based on failure mode for ductility index (F)

failure mode	ductility index(F)
Bending Column	1.27~3.2(according to ductility ratio)
shear column	1.0

보유성능지표(E_o)는 식 (3)과 같이 산정하며, n층 건물의 i층의 보유성능(E_i)은 C_i 와 F_i 의 곱으로 표현된다. 강도지표(C)는 원칙적으로 보는 층분히 강하다고 가정하여,

각 연직부재(기둥 및 벽)의 수평력에 대한 휨중국시의 전단강도(Q_{Mu})와 전단중국강도(Q_{Su})중 작은 값을 강도지표로 산정하며, 기둥의 전단중국강도(Q_{Mu})는 식 (4)에 의해 구한다.

$$Q_{Su} = \left\{ \frac{0.053 P_t^{0.23} (180 + f_{ck})}{M / (Q \cdot d) + 0.12} + 2.7 \sqrt{P_w \cdot \sigma_{wy} + 0.1 \sigma_o} \right\} \cdot b \cdot j \tag{4}$$

여기서, P_t 는인장철근비, σ_{wy} 는 전단보강근의 항복강도이며, P_w 는 전단보강비(최대 0.012), M/Q 는 $h/2$ 로 산정한다. 이 때, 각 연직부재의 전단중국강도(Q_{Su})와 휨중국시 전단강도(Q_{Mu})를 비교하여 파괴형식을 결정하며 결정되어진 파괴형식에 따라서 Table 1과 같이 인성지표(F)를 산정한다[7].

본 연구에서 기둥의 유형은 하중전달 면적과 기둥의 단면적에 따라 분류하였으며, 분류된 기둥의 그룹별로 평가결과를 합하여 강도지표를 나타내었다. 또한 실측된 자료를 바탕으로 형상지표(S_D)와 경년지표(T)를 산정하여 구조내진지표를 평가하였다.

구조내진판정지표(I_{so})는 층의 위치에 관계없이 식 (5)에 의해 구하며 우리나라의 경우 대체적으로 0.42의 값을 갖는다[8].

$$I_{so} = E_s \cdot Z \cdot G \cdot V \tag{5}$$

여기서 E_s 는 내진판정지표(0.6)이며 Z 는지역계수, G 는 지반계수, V 는 용도계수이다.

2.2 보유성능법에 의한 내진성능평가

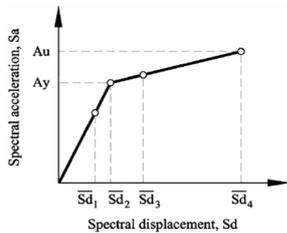
소방방재청의 지진재해 대응시스템에서는 Table 2와 같이 지진피해를 손상상태를 전파, 반파, 부분손실의 3단계로 구분하고 있으며[8], 미국 HAZUS의 손상도 기준을 도입하여 적용하고 있다[9].

[Table 2] Damage evaluation Relation between NEMA(KOREA) and HAZUS(U. S)

	NEMA	HAZUS
damage states	earthquake damage	damage description
Slight	partial loss	partial cracks
Moderate		total cracks, Yielding of partial members
Extensive	half failure	Yielding of total members, ultimate state of partial members
Complete	total failure	collapse or just before collapse

HAZUS에서는 전반적인 피해상황을 평가하기에 적합하도록 Slight, Moderate, Extensive, Complete의 4단계로 손상상태를 나타내고 있다. 지진재해대응시스템에서는 지진피해가 3단계로 분류되므로, 부분손실을 입은 건물은 Moderate 또는 Slight에 해당되는 손상도가 발생한 건물을 모두 포함한다.

이러한 손상도 기준은 구조해석을 통해 파악된 결과를 바탕으로 하고 있는 것이 아닌 내진설계기준을 통해서 얻어진 자료와 다수의 경험적 자료를 조사하여 산출한 결과를 사용하고 있다[9]. 따라서 본 연구에서는 Fig. 1과 같은 선행 연구를 통해 제시된 Pushover해석을 통해 산출된 능력스펙트럼을 사용한 손상도 기준을 적용하여 해석 결과를 분석하였다.



$\bar{S}_{d1} = 0.7D_y$	Slight
$\bar{S}_{d2} = D_y$	Moderate
$\bar{S}_{d3} = D_y + 0.25(D_u - D_y)$	Extensive
$\bar{S}_{d4} = D_u$	Complete

[Fig. 1] Definition of damage evaluation base on capacity spectrum[10]

3. 예제구조물의 내진성능평가

3.1 예제구조물

본 건축물(이하 A학교)은 1970년 준공 후 현재까지 교육연구시설로 사용 중이며, 지상 3층의 철근콘크리트 모멘트 골조로 구조평면은 Fig. 2와 같다.

대상구조물의 개요는 Table 3에 나타내었다.

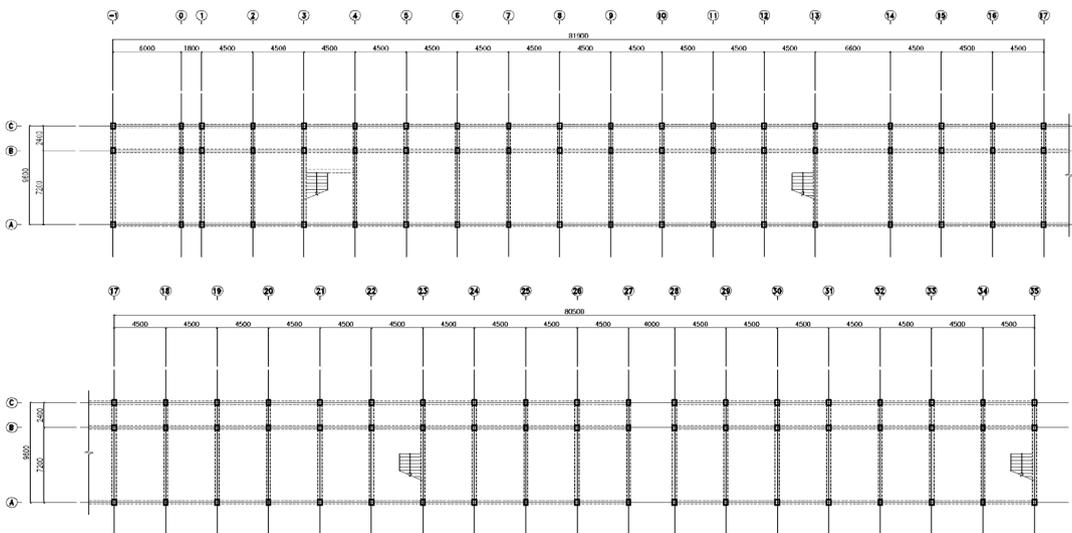
[Table 3] model building descriptions

use of building	education facilities	
total floor area	4,677m ²	
structure	RC FRAME	
stories	three stories above the ground	
column description (all columns)	cross-sectional area	50x35cm
	distribution of reinforcement	10-D19, D10@250
completion time	1970.12.30	

3.2 보유강도 평가형 내진성능평가

3.2.1 보유성능지표(E₀) 산정

각 기둥을 하중을 부담하는 양과 기둥의 장·단주의 거동에 따라 장변방향 19개 기둥형태와 단변방향 13개의 형태로 분류한 후, 장주형태의 거동을 하는 기둥의 경우 순층간 높이인 2.7m로 반영하고, 단주형태의 거동을 하는 기둥의 경우 1.2m로 반영하여 평가를 수행하였다.



[Fig. 2] Structural Framing Plan of model school

장변방향의 경우, 모든 기둥에서(C1~C19) 전단파괴를 나타내었으며, 이를 기초로 각 기둥의 중국전단강도를 산정하여 강도지표를 산정하였다. 또한 단변방향의 경우 일부 기둥에서 휨파괴 양상을 나타내었다.

휨파괴 기둥은 전단기둥조건과 축력조건으로 인하여 각 기둥의 인성지표는 각 층별로 모든 기둥에서 1로 나타났다. 이를 기초로 A학교의 장변방향 보유성능지표는 1층 0.429 2층 0.482, 3층 0.741이었으며, 단변방향 보유성능지표는 1층 0.294, 2층 0.324, 3층 0.516으로 나타나 장변방향으로는 보강이 필요하지 않지만 단변방향으로는 1,2층에 보강이 필요할 것으로 산정되었다. 각 기둥별 전단강도 산정결과는 Table 4에 나타내었다.

[Table 4] Seismic Index for strength(E_0)

	long side direction					short side direction					
	Tributary area (m ²)	height (cm)	Q _{SM} (t)	Q _{SU} (t)	type of failure	Tributary area (m ²)	height (cm)	Q _{SM} (t)	Q _{SU} (t)	type of failure	
C1	21.6	270	23.2	12.4	shear	3.15	120	23.2	12.4	shear	
C2	21.6	120	30.1	14.6		10.98	120	30.1	14.6		
C3	16.2	120	34.0	16.1		15.97	120	33.9	16.0		
C4	20.4	270	37.6	17.6		21.38	120	37.5	17.5		
C5	15.3	120	32.8	15.6		14.4	120	32.8	15.6		
C6	5.4	120	40.5	19.1		26.64	120	40.4	19.0		
C7	3.15	270	11.2	11.8		5.31	270	11.2	11.7		
C8	10.8	270	11.8	12.2		6.66	270	11.7	12.1		
C9	8.1	270	16.7	16.4		21.6	270	16.7	16.3		
C10	4.96	120	15.2	14.9		16.2	270	15.1	14.8		
C11	14.4	270	18.0	17.8		26.64	270	17.9	17.8		
C12	18.72	120	16.1	15.8		19.35	270	16.1	15.7		
C13	14.04	120	14.5	14.3		14.04	270	14.4	14.2		
C14	3.78	120	22.2	12.1		Bending					
C15	15.12	270	27.1	13.6							
C16	11.37	120	29.9	14.6							
C17	6.66	120	32.7	15.6							
C18	26.64	270	29.0	14.3							
C19	19.98	120	35.2	16.6							

3.2.2 형상지표(S_D) 산정

형상지표는 정형비, 변장비, 익스펜션조인트 등과 같은 평면형상에 관한 a-g항의 경우 A학교가 세장한 직사각형 형태의 평면을 가지고 있어 변장비에서만 값점이 있었으며, 지하실유무, 비틀림, 필로티유무 등과 같은 단면형상을 평가한 h-k항의 경우 동일한 층고와 동일한 입/단면을 가지고 있었으나 지하층이 없어 h항만이 값점의 대상이 되었다. 평면의 비틀림을 고려하는 i항목의 경우 각 층별로 0.005의 편심율을 나타내어 편심에 의한 영향은 없는 것으로 나타나 각층의 형상지표는 0.95로 산정되었다.

3.2.3 노후도지표(T) 산정

노후도지표는 현장조사를 수행한 후, 평가결과를 도출하였다. A학교의 경우 준공 후 30년이 경과한 시설물이지만, 시설관리가 잘 이루어져 특별한 노후 현상이 없는 것으로 나타났다. 수 개소의 바닥슬래브와 조적벽체 기둥에서 누수 및 박리현상이 발견되었으며, 그 개소도 전체 부재의 1/3~1/9 이내로 판정되었다. 조사 결과 구조 균열 및 변형 항에서 0.034점, 변질 및 노후화 항에서 0.037점 감점이 이루어져 경년지표는 0.93으로 산정되었다.

3.2.4 구조내진지표(I_s) 산정

보유성능지표와 형상 및 노후도지표를 통하여 A학교의 구조내진지표를 산정하여 Table 5에 나타내었다. 각 지반별 구조내진성능판정지표 I_{so} 값을 참조할 때, S_A (경암지반, $I_{so}=0.28$), S_B (보통암지반, $I_{so}=0.35$), S_C (매우 조밀한 토사지반 또는 연암지반, $I_{so}=0.42$), S_D (단단한 토사지반, $I_{so}=0.51$) 및 S_E (연약한 토사지반, $I_{so}=0.72$) 정도의 값을 기초로 A학교의 내진성능을 판정해 볼 수 있다. A학교의 경우 지반조사 보고서가 없어, 우리나라의 평균지반특성을 고려하여 평가를 수행하였으며 우리나라의 평균지반특성이 S_C 지반 이상의 조건이라는 것을 고려하여 A학교의 내진성능을 판정하였다. 장변방향으로는 1층의 I_s 가 0.379로 나타나 이에 대한 보강공사를 수행해야 할 것으로 나타났으며, 단변방향의 경우 1층 0.260 및 2층 0.286으로 판정되어 S_C 지반의 구조내진판정지표인 0.42에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 단변방향으로는 1층과 2층에 내진성능보강공사가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 특히 S_D 및 S_E 지반에 있을 경우 전 층에 대한 보강이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

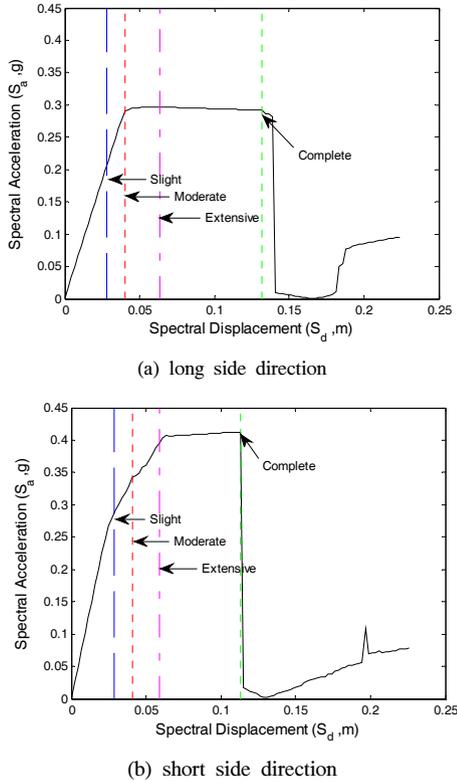
[Table 5] Performance Index(I_s) of seismic for "A"school

floor	long side direction			
	E_0	S_D	T	I_s
1	0.429	0.95	0.93	0.379
2	0.482	0.95	0.93	0.426
3	0.741	0.95	0.93	0.655
floor	short side direction			
1	0.294	0.95	0.93	0.260
2	0.324	0.95	0.93	0.286
3	0.516	0.95	0.93	0.456

3.3 보유성능평가형 내진성능 평가

비선형정적해석(Pushover Analysis)을 통해 파악된 능력스펙트럼을 바탕으로 손상도를 각 방향별로 추정하였다. Fig. 3은 Pushover 해석을 통해 나타난 기준모델의 보강전 능력스펙트럼으로 HAZUS에서 제시한 손상도 기준

에 따라 4단계 손상상태를 도시화한 것이다. 손상도를 기준으로 항복 및 종국 변위와 스펙트럴 가속도는 Table 6에 나타내었다.



[Fig. 3] Capacity spectrum of "A" school

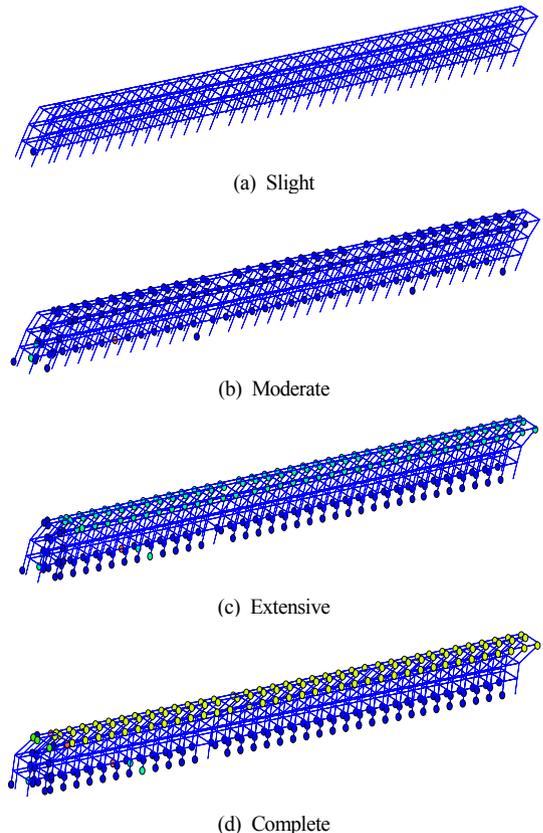
[Table 6] Calculation of capacity spectrum value

	spectral acceleration(g)		spectral displacement(cm)	
	Ay (yield)	Au (ultimate)	Dy (yield)	Du (ultimate)
long side direction	0.29	0.29	4.03	13.2
short side direction	0.34	0.41	4.07	11.3

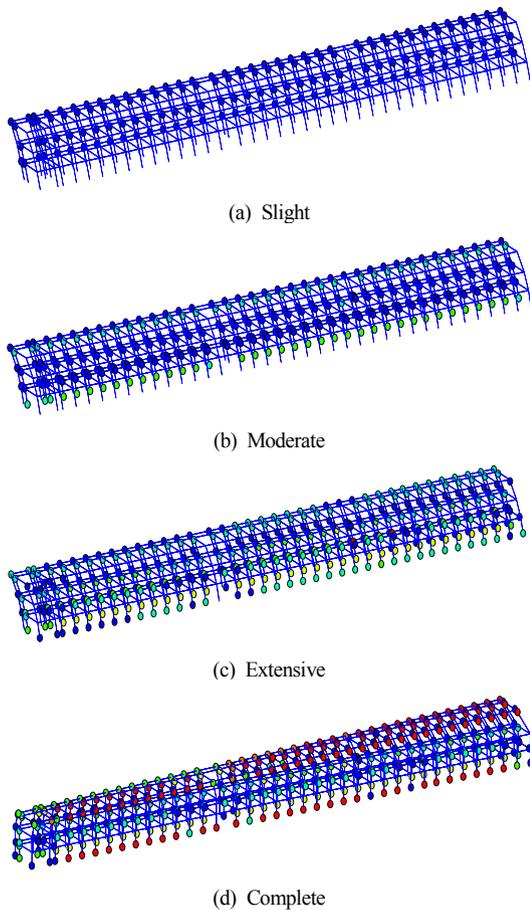
Fig. 3에서와 같이 장변방향에 경우 탄성거동이후, 항복이 발생하는 횡변위 4.03cm 구간을 Moderate 손상으로 규정한 후, 이를 기준으로 Slight 손상구간이 2.82cm, Extensive 손상구간이 6.32cm에서 발생함을 알 수 있다. 이후 구조물의 파괴구간인 Complete 구간은 파괴 후 급격한 하중저하가 발생하여 극한하중이 발생한 13.2cm 변위구간에서 발생하였다. 단변방향의 능력스펙트럼은 탄성거동이후, 항복이 발생하는 횡변위 2.49cm 구간을 Moderate 손상으로 규정한 후, 이를 기준으로 Slight 손상

구간이 1.74cm, Extensive 손상구간이 4.69cm에서 발생함을 알 수 있다. 이후 구조물의 파괴구간인 Complete 구간은 파괴 후 급격한 하중저하가 발생하여 극한하중이 발생한 11.3cm 변위구간에서 발생하였다.

이러한 각 손상도 구간별 소성힌지의 상태를 각 방향별로 구분하여 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 4에서와 같이, 각 장변방향에 대한 손상도별 소성힌지 분포는 Slight 구간에서 소성힌지가 발생하지 않고 있으며, 이후 Moderate 구간에서 1층 지점의 기둥과 3층의 대부분의 보에서 즉시 사용단계의 소성힌지가 발생하고 있는 것을 알 수 있다. 이후 Extensive 구간에서는 기둥의 소성힌지는 더 이상 진행되지 않으나, 3층 보의 소성힌지가 인명안전수준으로 진행되고 Complete 구간에서 3층 보부재의 대부분이 붕괴방지 수준으로 진행되고 일부 파괴되는 것을 확인하였다. 또한 모든 파괴의 집중현상이 3층 보에 집중되고 있어, 3층에 대한 평가가 안전한 것으로 파악된 경우라도 전 층을 보강하는 것이 효율적일 것으로 판단된다.



[Fig. 4] Range of Plastic hinge on each step (long side direction)



[Fig. 5] Range of Plastic hinge on each step (short side direction)

단변방향의 손상도별 소성힌지 분포는 Fig. 5와 같이 Slight 구간에서 3층 복도에 위치한 보와 2층 복도의 기둥이 즉시사용 단계의 소성힌지가 발생하였고, Moderate 손상도 구간에서 3층 보의 소성힌지가 진행되고 1층 복도의 기둥 인명안전수준의 소성힌지가 발생하였다. 이후 Extensive 손상구간을 거쳐 Complete 구간에서는 1기둥의 인장축이 붕괴수준의 소성힌지와 함께 3층 보의 붕괴수준의 소성힌지가 분포하면서 비틀림이 발생하는 것으로 나타났다. 단변방향의 경우, 장변방향의 변형이 3층 보에 집중되었던 것과 달리 1층 기둥의 중앙부와 인장축 기둥의 소성힌지 집중과 3층 보의 소성에 의한 구조물의 비틀림 현상이 있음을 알 수 있다.

평가결과, 장변방향의 부재력 중 축력과 회전모멘트가 평균 2배 이상이 요구 부재력을 초과하고 있는 것으로 나타났다. 전단력은 대체로 허용치를 만족하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 장변방향에 대한 보강은 강도 및 모

멘트 저항 요소의 배치와 함께 3층부의 변형 집중을 방지할 수 있는 보강방안이 검토되어야 할 것으로 판단된다. 단변방향도 장변방향과 동일하게 축력과 모멘트가 2배 이상 초과하고 있으며, 장변방향에 비해 전단력이 더 크게 초과되고 있는 것을 알 수 있다.

4. 결론

대부분의 학교건축물은 철근콘크리트 골조형식을 가지고 있으며 3~5층 규모의 저층으로 설계되어 있다. 이러한 구조물은 최근까지 적용된 내진설계기준에 의하여 내진설계가 적용되지 않아, 이에 대한 내진성능을 평가할 필요가 있다. 본 연구에서는 내진설계가 적용되지 않은 대표적인 철근콘크리트 구조물의 내진성능을 보유강도를 중심으로 한 일본식 내진성능평가와 보유성능을 중심으로 한 미국식 내진성능평가를 수행한 후, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 보유강도를 기초로 한 일본식 내진성능평가는 장변방향으로 1층의 I_s 가 0.379, 단변방향의 경우 1층 0.260 및 2층 0.286으로 판정되어 Sc지반의 구조내진판정지표인 0.42에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 단변방향으로는 1층과 2층에 내진성능보강공사가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 특히 S_D (단단한 토사지반, $I_{so}=0.51$) 및 $S_E(I_{so}=0.72)$ 지반에 있을 경우 전층에 대한 보강이 수행되어야 할 것이다.
- 2) 보유성능을 기초로 한 미국식 내진성능평가를 기초로 내진성능을 평가하면 장변방향의 부재력 중 축력과 회전모멘트가 평균 2배 이상이 요구 부재력을 초과하고 있는 것으로 나타났으나, 전단력은 대체로 허용치를 만족하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 장변방향에 대한 보강은 강도 및 모멘트 저항 요소의 배치와 함께 3층부의 변형 집중을 방지할 수 있는 보강방안이 검토되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 단변방향도 장변방향과 동일하게 축력과 모멘트가 2배 이상 초과하고 있으며, 장변방향에 비해 전단력이 더 크게 초과되고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 보유성능면에서도 내진성능 보강이 시급히 수행되어야 할 것으로 판단된다.
- 3) 이와 같이 본 연구에서 대상으로 한 장방향 일자형 학교건물의 내진성능평가를 보유강도평가법과 보유성능평가법에 의해 수행한 결과 모두 유사한 결과가 도출되었다. 그러나 두 평가법의 상호 신뢰성

을 확보하기 위해서는 다른 여러 형태의 학교건물의 내진성능평가 등 형태별 기초데이터를 비교하는 추후 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Reference

- [1] Website of Korea meteorological administration (<http://www.kma.go.kr/>)
- [2] T.W. Park, "Seismic retrofitting and performance evaluation of bearing wall structures", Doctoral thesis, Dankook University, 2005
- [3] AIK, Korean Building Code-Structural, KBCS, (KBC-2009), Architectural Institute of Korea, 2009
- [4] H. G. Ryu, T. W. Park, S. H. Lee, L. Chung, "Seismic Performance Evaluation of School Buildings in Gyunggi Region Considering Seismic Hazard Map" Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 24, No.4, pp. 66~73, 2009.
- [5] Korea Institute of Educational Environment "Study on advanced system establish of school facilities ", 2009
- [6] H. J. Kim, T. W. Park, S. H. Cho, L. Chung, "Experimental study on seismic retrofitting methods for school building using aramid strip" Journal of the Korean Society of Safety, Vol. 25, No.3, pp. 100~106, 2010.
- [7] Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, manual for Seismic Retrofit of school facility, 2003
- [8] National Emergency Management Agency "Development of Seismic Fragility Functions in Korea structures" Earthquake Engineering Society of Korea, 2009
- [9] FEMA, HAZUS99 Technical manual, 1999
- [10] Barbat A,H, L.G. Pujades, N Lantada "Seismic damage evaluation in urban areas using the capacity spectrum method: Application to barcelona" Soil dynamics and earthquake engineering 28, pp. 851-865, 2008
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soildyn.2007.10.006>

황 지 현(Ji-Hyun Hwang)

[정회원]



- 2011년 2월 : 단국대학교 건축공학과 (공학사)
- 2012년 8월 : 단국대학교 대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2012년 10월 ~ 현재 : 한국건설 기술연구원 SOC성능연구소 인 프라구조연구실 연구원

<관심분야>
구조성능평가, 내진보강

박 태 원(Tae-won Park)

[정회원]



- 1998년 2월 : 단국대학교 건축공학과 (공학사)
- 2000년 2월 : 단국대학교 대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2005년 8월 : 단국대학교 대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 2008년 7월 : University of California, Irvine (Post-Doc)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 단국대학교 건축공학과 교수

<관심분야>
구조물 보수보강, 구조성능평가, 내진보강

한 주 연(Ju-Yeon Han)

[정회원]



- 1991년 2월 : 조선대학교 건축공학과(공학사)
- 1995년 2월 : 아주대학교 대학원 건축학과 (건축학석사)
- 2005년 8월 : 아주대학교 대학원 건축학과 (건축학박사)
- 2010년 8월 ~ 현재 : 단국대학교 건축공학과 연구교수

<관심분야>
리모델링, 건축현장관리, 건설정보화, 초고층건축물설계