노후 조적조 벽체의 지진성능에 대한 실험연구

Experimental Study on Seismic Performance of Old Masonry Walls

김회진* · 이정준** · 박종섭*** · 강준석****

Kim, Hoijin* · Yi, Zheongzun** · Park, Jongsup*** · Kang, Junsuk****

Abstract

Due to the increase in the frequency and intensity of earthquakes and the number of old buildings and in Korea, there is an expected increase in the damage to life and property. Therefore, we intend to derive an indicator to evaluate the risk level by conducting a seismic test on old buildings. An initial crack was generated in the masonry structure to reflect the deterioration. The effect of the deterioration on the building was subsequently analyzed by comparing it with the uncracked control group. As a result, the masonry wall, which was the specimen, satisfied the seismic performance, but local failure occurred along the initial crack in the specimen considering the aging. The safety was significantly decreased due to the occurrence of additional cracks. This demonstrates that the cracks caused by the aging of the masonry building greatly damaged the seismic performance of the building.

Key words : Crack, Earthquake, Masonry Wall, Seismic Performance

요 지

노후건축물과 국내 지진 발생빈도 및 강도의 증가에 따른 인명·재산 피해의 증가가 예상되어, 노후건축물의 지진 취약성 및 위험성 분석이 요구되고 있다. 이에 노후건축물 지진 실험을 진행하여 위험도 도출을 위한 지표를 도출하고자 한다. 조적조 구조물에 초기 균열을 발생시켜 노후도를 반영하고, 노후되지 않은 대조군과 비교하여 노후도가 건물에 미치는 영향을 분석하였다. 그 결과, 실험체인 조적벽은 내진성능을 만족하였으나 노후도를 고려한 실험체에서 초기 균열을 따라 국부적 파괴가 발생하였고, 추가적인 균열이 발생하여 안전성이 크게 감소하였다. 이를 통하여 조적조 건축물의 노후화로 인한 균열이 건축물의 내진성능을 크게 훼손시키는 것을 보여준다.

핵심용어 : 균열, 지진, 조적벽, 내진성능

1. 서 론

2019년 국토부가 발표한 전국 건축물 동향에 따르면 준공 후 30년 이상 된 건축물은 전국 266만 6,723동으로 전체 719만 1,912동의 37.1%를 차지하고 있다(MOLIT, 2020). 지역별로는 수도권 건축물의 27.5%가, 지방 건축물의 40.8%

가 노후 건축물로 수도권을 제외한 지방 건축물의 노후화가 더 진척된 것으로 조사되었으며, 특히 주거용 건물의 노후화가 심각하다. 30년 이상 된 주거용 건축물은 서울, 경기, 인천 등 서울 및 서울 인접지역에 32.8%인데, 20~30년 된 주거용 건축물의 비율은 26.2%인 것으로 조사되었다.

노후건축물의 증가와 국내 지진 발생빈도와 강도의 증가

*정회원, 유비이엔씨 대표 토목공학 박사(E-mail: lalala1968@naver.com)

Member, Ph.D., CEO, Department of Civil Engineering, UB E&C

**서울대학교 협동과정 조경학전공 & 융합전공 스마트시티 글로벌 융합 전공과정 박사과정(E-mail: lcappy@snu.ac.kr)

Ph.D. Student, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture & Transdisciplinary Program in Smart City Global Convergence, Seoul National University

***정회원, 상명대학교 건설시스템 교수(E-mail: jonpark@smu.ac.kr)

Member, Professor, Department of Civil Engineering, Sangmyung University

****교신저자, 정회원, 서울대학교 조경·지역시스템공학부 & 농업생명과학연구원 부교수(Tel: +82-2-880-4872, Fax: +82-2-873-5113,

E-mail: junkang@snu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Associate Professor, Department of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering & Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University

로 향후 지진 재난 발생 시 국내 노후건축물로 인한 인명 및 재산 피해는 크게 늘어날 것으로 예상되고 있다(Lee, 2015; Lee, 2017). 노후건축물의 지진 취약성과 위험성을 분석하고자 노후건축물의 지진 실험이 실시되었다. Chung et al. (2006)은 내진설계 되지 않은 노후 구조물의 축소모형을 진동대 실험하여 내진성능을 분석하였다. 그 결과 노후구조물의 내진성능이 부족한 것으로 나타났다. 위의 실험 연구는 대형 건축물(철근콘크리트 등)의 안전성 검토를 목적으로 진행이 되었다.

국내에서 조적조구조물과 내진성능의 상관관계에 대한 여러 연구가 시행되어 왔다. Yi et al. (2005)은 비보강 순수 조적벽체의 거동 및 강도를 시험하여, 내진진단을 위한 평균전단응력도를 제시하였다. Choi (2010)는 비내력 조적벽이 구조물에 미치는 영향을 지진하중의 크기에 따라 분석하여, 비내력 조적벽이 강진에 대하여 내진성능을 약화시킨다는 결론을 얻었다. Shin (2013)은 증능력스펙트럼법을 사용하여 조적벽이 구조물의 내진성능에 미치는 영향을 평가하였다. 조적채움벽은 구조물의 강도와 강성의 증가에 영향을 주며, 조적허리벽은 기둥의 전단파괴에 영향을 주는 것으로 나타났다. 그러나 위의 연구에선 오래된 조적조 구조물의 노후도를 반영하지 못하였다.

조적조 구조물 지진영향을 고려한 위의 연구결과들은 노후도(균열)를 반영하지 못한 결과들이다.

본 연구에서는 균열이 존재하는 조적조벽체 노후구조물과 균열이 존재하지 않는 구조물의 실물실험을 통하여 정량적인 성능비교를 수행하였다.

2. 조적조 지진실험 과정

조적조 구조물에 대한 내진성능 실험은 가력실험(Yi et al., 2005; Yu and Wallace, 2007; Choi, 2009; Kim et al., 2018) 혹은 진동대 실험(Crisafulli, 1997; Chung et al., 2006; Mojiri et al., 2014; Seif Eldin and Galal, 2018; Shabdin et al., 2020)을 통해 이루어져 왔다.

노후도를 반영하기 위해 기본구조체와 실험체의 균열을 구현한 실험체 균열 변형한 실험체 등으로 구성하여, 기본 실험체에서 지진 분석을 위한 실험체 기본값을 도출하고 균열을 구현하여 노후건축물의 지진 실험을 통한 노후건축물의 지진 취약성 및 위험성을 도출하고자 한다.

따라서 본 연구에서는 노후에 의한 균열이 지진하중에 대하여 어떠한 영향을 주는 가를 확인하기 위하여 가력 실험이 아니라, 진동대 실험을 진행하였다.

3. 조적조 지진실험 준비

3.1 실험체 제작 및 구성

Crack이 없는 건축물 벽체(Uncracked masonry wall 1,

UUT-1)에 대한 성능과 Crack이 있는 건축물 벽체(Uncracked masonry wall, UUT-2)에 대한 성능을 확인하는 실험을 수행하였다. UUT-1, 2는 너비 2,690 mm, 높이 2,230 mm, 길이 1,990 mm이며, 상세한 도면 및 진동대 설치 현황은 Fig. 1, Fig. 2와 같다.

Fig. 1. Shake Table

Fig. 2. Sensor and Installation

조적조는 스탠다드 표준형($57 \times 90 \times 190$)을 사용하였으며, 몰탈은 1:3 배합비를 사용하였다. 사용한 진동대는 3 자유도 진동대로 2개의 transitional axes와 1개의 rotational axes로 구성되어 있으며, 가로세로의 폭은 5 m이다. 가속도 범위는 ± 3.0 g이며, 진동수는 0.1 – 60.0 Hz 범위에서 작동한다.

3.2 실험체 설치

실험체에 작용하는 하중을 계측하기 위하여 Load cell을 사용하였다. 각 실험체와 진동대 사이에 Load cell을 위치시

키며, Load cell의 연결을 위하여 load cell 상부와 하부에 지그 판넬을 사용하였다(Fig. 1 참조). Load cell에 진동대의 연결이 가능한 하부 지그 판넬을 M20 볼트 4개를 이용하여 결합하였으며, 각 실험체에 연결이 가능한 상부 지그 판넬을 M20 볼트 4개를 이용하여 결합하였다(Load cell 개당 적용 볼트 수). 진동대와 하부 지그 판넬은 M30 고력볼트 16개로 체결하였고, 상부 지그 판넬과 각 실험체의 연결은 M20 고력볼트 32개로 체결하였다. 설치 형상은 Fig. 1과 같다.

3.3 계측 센서 위치 설정 및 설치

측정에는 총 3종(가속도계: 5개, 변위계: 19개, Load cell: 4개)의 센서를 28개 사용하였으며 각 센서의 위치는 Fig. 2와 같다.

가속도계는 계측범위 ± 30 g으로 진동대와 슬래브 및 관통부(전면)를 제외한 3면에 대하여 바닥으로부터 1 m 높이와 상단에 X축과 Y축으로 설치하였다. 변위계는 계측 범위 1,000 mm인 Wire LVDT로 X축 방향의 변위응답을 계측할 수 있도록 슬래브와 벽체의 상단 총 4개를 설치하였다. 변형률계는 관통부를 제외한 3면 16개소에 설치하였다.

3.4 실험방법

진동대(Shake Table)를 이용한 2방향(전후, 좌우) 가진, 소요반응스펙트럼(Required Response Spectra, RRS) 수평 성분에 대한 인공지진파를 생성하여 기준 지진파(EQ_100%)로 설정하고, 기준 지진파의 가속도 스케일을 조정하여 점증 가진 하였다.

지진파의 가속도 스케일을 조정하여 점증 가진함 지반으로 가정하였다(Fig. 3 참조).

설계스펙트럼가속도는 건축물내진설계기준(AIK, 2019)의 Eqs. (1), (2)에 의하여 산정하였다.

$$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times 2 / 3 \quad (1)$$

$$S_{DI} = S \times F_v \times 2 / 3 \quad (2)$$

여기서 S_{DS} =단주기 설계스펙트럼 가속도, S_{DI} =주기 1초의 설계스펙트럼가속도, S =재현주기 2400년인 지진의 유효지반가속도, F_a =단주기 지반증폭계수, F_v =장주기 지반증폭계수이다.

지진구역 I 일 때, $S=0.22$ 를 적용하며, 지반종류 S3일 때 $F_a=1.46$, $F_v=1.58$ 이다. 이 조건을 적용하여 산정하면 $S_{DS}=0.536$, $S_{DI}=0.232$ 이다.

$$T_o = 0.2 S_{DI} / S_{DS} \quad (3)$$

$$T_s = S_{DI} / S_{DS} \quad (4)$$

$$T_L = S_{DI} / S_{DS} \quad (5)$$

Eqs. (3), (4), (5)에 의하여, $T_s=0.4329$, $T_L=5$ 가 된다.

스펙트럼은 Fig. 3과 같으며, 가진 Case는 Table 1과 같이 설정하여, 지진하중 시간은 30초, 가진 지속시간은 20초로 하였다. 각 구간은 0-5초 상승, 5-25초 강진, 25-30초 하강구간으로 설정하였다.

(a)

(b)

Fig. 3. Response Spectrum (a) Design Response Spectrum of Korea (AIK, 2019) (b) Calculated Design Response Spectrum

3.5 실험 진행과정

진동대 실험을 실시하기 전 육안검사를 통하여 대상 실험체의 시공 상태, 시공 및 설치 균열을 검사하였다. 또한 실험체의 치수 및 설치배치가 의뢰자가 제공한 설치도면과 일치하는지에 대한 여부를 확인하였고, 센서의 설치 위치 및 상태를 검사하였다.

내진성능실험 전에 방향별 공진검색실험을 수행하였다. UUT-1의 X축 방향에 대한 1차 공진검색실험(Test 1)에서 변위계 중 1채널(D1)의 데이터가 수집되지 않아 2차 공진검색실험(Test 3)을 수행하였다.

가진방법은 지진파의 25%, 50%, 80%, 100% 스케일에 대하여 순차적으로 가진하고, 100% 스케일 실험 이후에는 UUT-1은 50%씩, UUT-2는 25%씩 증가시켜가며 가진 하였다. 실험 전 검사와 공진검색실험은 실험의 초기에만 수행하였으며, Step 2부터는 각 Step에서 내진성능실험과 실험 후 검사만을 실시하였다(Table 1).

Table 1. Experiment Steps

Step	Test Name	Test Method
1	Pre-test inspection	Visual inspection
	Resonance search test	Random Waves (Dir. = X, Y, Z)
	Seismic simulation test (EQ 25%)	2 Axial time history test
	Post-inspection	Visual inspection
2~7	Seismic simulation test (EQ 50% ~ 250%)	2 Axial time history test
	Post-inspection	Visual inspection

공진검색 실험은 RMS 0.05 g, 주파수 1.0 ~ 50.0 Hz의 수평방향의 불규칙파(Random wave)를 통하여 실험체의 고유진동수를 측정하였다.

Table 1과 Fig. 3의 요구응답스펙트럼을 이용하여 가속도 시간이력을 작성한 후, 내진성능 실험을 실행하였다. 가속도 시간이력의 진동지속시간은 30초이며, 강진지속시간은 20초이다. 작성된 인공지진파(EQQ 100%)를 기준으로 가속도를 조정하여 점증 가진 하였다. 그 후, 실험체의 구조적 변형 및 파손을 확인하였다.

(a)

(b)

Fig. 4. Basic Specimen (a) Picture of Specimen (b) Plan and Section of Specimen

3.6 지진 실험체 제작

조적조 실험체는 기본 실험체(UUT-1)와 균열을 구현한 실험체(UUT-2)를 제작하여 실험을 진행하였다. Fig. 4는 균열이 없는 실험체 전체 모습 및 평면도, 입체도, 단면도를 나타내고 있다. Fig. 5는 균열이 존재하는 실험체의 모습을 나타내고 있다. Fig. 5(b) 도면상에서 균열은 적색으로 표기하였으며, 몰탈이 벽돌을 접합하지 못하도록 이물질(이물질을 삽입하였다.

(a)

(b)

Fig. 5. Cracked Specimen (a) Picture of Initial Crack (b) Initial Crack Plan

3.7 표본공명주파수

실험체의 공진 주파수를 추정하기 위해 실험체에서 계측한 가속도 응답을 이용하여 진동대 입력가속도에 대한 전달함수를 산정하였다. 실험체의 공진 주파수는 공진검색시험 중 진동대에서 입력된 가속도(base, a)에 대한 실험체의 각 위치에서 응답가속도(Unit, b)의 전달함수를 산정함으로써 결정하였다. 전달함수(T_{ab})는 입력된 신호의 전력 스펙트럼 밀도(Power Spectral Density, P_{aa})에 대한 입, 출력신호의 상호 전력 스펙트럼 밀도(Cross Power Spectral Density, P_{ba})에 의해 계산된다. 공진 분석의 정밀도를 향상시키기 위하여 각 신호는 대칭 해밍 윈도우(Symmetric Hamming Window)가 적용되었다. 공진검색실험을 통하여 계산된 실

Table 2. Natural Frequency of UUT-

UUT- No.	Direct- ion	Resonant Frequency (Hz)					
		A3	A4	A5	A6	A7	A8
UUT-1	X	27.50	27.50	27.50	27.50	27.50	27.50
	Y	14.00	14.00	24.50	24.75	12.50	12.75
UUT-2	X	23.25	23.25	23.75	23.75	23.25	23.50
	Y	13.00	13.75	27.50	27.50	8.25	8.25

Fig. 6. Transfer Function and Phase Average of Specimen (a) Transfer Function of UUT-1, X-axis (b) Phase Average of UUT-1, X-axis (c) Transfer Function of UUT-2, X-axis (d) Phase Average of UUT-2, X-axis

협체의 전달함수는 Fig. 6과 같으며, 이를 통하여 산정한 실험체의 고유진동수는 Table 2와 같다.

$$T_{ab}(f) = \frac{P_{ba}(f)}{P_{aa}(f)} \quad (6)$$

3.8 실험결과

조적벽의 실험적 내진 해석은 진동대를 사용하였고 초기 균열 여부를 고려하여 수행되었다. 그런 점에서 서로 다른 지진의 시간이력이 Y-방향으로 적용되었고, 상응하는 응답 스펙트럼이 도출되었다. Fig. 7과 Fig. 8은 각각 UUT-1과 UUT-2에 적용된 두 가속도와 그에 대응하는 응답 스펙트럼을 보여준다. Figs. 7(a)와 7(b)는 EQ 50%이며, Figs. 7(c)와 7(d)는 EQ 250%의 지진파이다. 그리고 Figs. 8(a)와 8(b)는 EQ 25%이며, Figs. 8(c)와 8(d)는 EQ 225%의 지진파이다.

두 시험 모두에서 시험응답스펙트럼(Test Response Spectra, TRS)가 1.4 Hz 미만의 영역에서 RRS보다 작게 나타났다.

Fig. 7. Illustration of the Applied Loads in the Form of Acceleration and Their Corresponding Response Spectra of UUT-1; (a) Low-magnitude Acceleration, (b) Low-magnitude Response Spectra, (c) High-magnitude Acceleration, (d) High-magnitude Response Spectra

Fig. 8. Illustration of the Applied Loads in the Form of Acceleration and Their Corresponding Response Spectra of UUT-2; (a) Low-magnitude Acceleration, (b) Low-magnitude Response Spectra, (c) High-magnitude Acceleration, (d) High-magnitude Response Spectra

(a)

(b)

Fig. 9. Photos of the Cracked Wall (UUT-2) after Completion of the Shaking Table Test; (a) Wall with Diagonal Crack, (b) Wall with a Vertical Crack along Y-direction

그러나 Fig. 7(b)에서는 TRS가 1.4 Hz 이상에서 항상 RRS 보다 크게 나타났으나, Fig. 7(d)의 2 Hz 부근에서 RRS의 90% 까지 나타냈다. 그러나 KEPIC END (2000)에 따르면 최소공진주파수가 5 Hz 이상이면 TRS가 3.5 Hz 이상에서만 RRS를 포락하면 되므로, 최소공진주파수가 12.50 Hz인 UUT-1은 내진시험기준을 만족하고 있다. UUT-2도 마찬가지로 최소공진주파수가 8.25 Hz이며, 3.5 Hz 이상에서 TRS가 RRS를 포락하고 있으므로 내진시험기준을 만족하고 있다. 그러나 두 시험의 TRS를 비교하여 보면, UUT-2의 TRS가 UUT-1보다 작게 나타나며, 최대 80%까지 작게 나타난다.

육안검사 결과, 두 시험체에서 동일하게 EQ 150% 지진파에서 전면 슬래브와 벽체 사이 균열이 발생하였다. EQ 200% 지진파에서 UUT-1은 추가적 균열이 발생하지 않은 데 비하여, UUT-2는 좌우측 벽체에서 추가적인 균열이 발생하였다. EQ 225% 지진파에서 UUT-2는 초기 수직 균열 및 대각 균열이 확장되었으며, 벽돌의 교란이 발생하였다. 반면, UUT-1은 EQ 250% 지진파에서 추가 균열 및 벽돌 교란이 발생하기 시작하였다.

추가적으로 UUT-2에서는 UUT-1과 달리 EQ 175%에서 흔들림이 육안으로 확인되어 붕괴의 위험이 직접 확인되었다.

초기 균열이 있는 UUT-2는 UUT-1의 80% 크기의 지진파에서 균열이 발생하기 시작하였으며, 이는 내진성능이 80% 가량 저하되었다고 볼 수 있다.

Fig. 9는 UUT-2의 초기 균열이 지진하중에 의하여 확장되고 전파된 모습을 보여준다. 대각 균열이 Fig. 9(a)에 보이고, Y-방향으로의 균열이 Fig. 9(b)에 보인다. Fig. 9에서 보이듯, Fig. 5와 같은 초기 균열의 존재는 조적벽의 국부적 파괴로 이어질 수 있다. Fig. 9(a)에서 지진 하중이 부수적인 균열과 함께 초기 균열을 따라 진행된 주 대각 균열을 발생시켰음을 보여준다. Fig. 9(b)는 가속도에 의해 초기 균열을 따라 발생한 주 수직 균열 및 주변의 작은 균열을 보여준다. 대각 균열에서는 추가적인 자극 하에서 균열을 전파하고 추가 파괴를 유발할 수 있는 작은 균열들이 발생하였다.

4. 결 론

최소 공진주파수가 5 Hz 이상이며, 3.5-60 Hz 의 주파수영역에서 TRS가 RRS를 포락하여, 실험체인 조적벽이 KEPIC END (2000)의 기준을 만족하고 있다. 그러나 초기 균열을 가진 조적벽에 지진파가 가해졌을 때, 기존의 80% 크기의 지진파에서 균열이 발생하기 시작하였다. 또한 EQ 175%에서 붕괴 위험이 발생하여 EQ 250%까지 견뎌낸 UUT-1의 70% 이하까지 내진성능이 낮아진 것으로 보인다. 이로 보아 초기 균열은 균열의 확산과 발생을 유발하여 전체 조적 구조물의 붕괴를 유도한다. 따라서 조적벽의 균열은 전체 안전성에 심대한 위험이 되며, 조적벽의 노후화에 따라 안전성이 20%~30% 이상 감소한다고 볼 수 있다.

노후화 정도가 조적벽의 안전성에 미치는 영향을 확인하기 위하여, 추가적으로 균열의 크기가 균열의 확산 및 안전성 감소에 미치는 영향을 검증할 필요성이 있다.

감사의 글

본 연구는 쇄퇴지역 재생역량 강화를 위한 기술개발연구사업(20TSR-B151228-02)의 연구비지원(국토교통부 연구사업)에 의해 수행되었습니다. 실험을 진행해준 국토교통연구원프라운영원 지진방재센터에 감사의 말씀을 전합니다.

References

- Architectural Institute of Korea (AIK). (2019). *Seismic building design code*. Seoul: Kimoonddang.
- Chung, L., Lee, J.W., and Park, T.W. (2006). Shaking table test for seismic performance evaluation of non-seismic designed wall-type apartment. *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 18, No. 6, pp. 721-728. doi:10.4334/JKCI.2006.18.6.721

- Choi, B.T. (2010). *Evaluation of seismic performance of RC structures with asymmetric masonry infill walls*. Master's thesis, Sungkyunkwan University.
- Choi, H. (2009). Residual seismic capacity evaluation of RC frames with URM infill wall based on residual crack width and damage class. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol. 13, No. 5, pp. 41-50. doi:10.5000/EESK.2009.13.5.041
- Crisafulli, F.J. (1997). *Seismic behavior of reinforced concrete structures with masonry infills*. Ph.D. dissertation, University of Canterbury, New Zealand.
- KEPIC END (2000). *Recommended practice for seismic qualification of class IE equipment for nuclear power generating station*.
- Kim, K.M., Cheon, J.H., Baek, E.B., Oh, S.H., and Hwang, C.S. (2018). An experimental study on the influence of masonry infilled walls on the seismic performance of reinforced concrete frames with non-seismic details. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol. 21, No. 3, pp. 114-120. doi:10.11112/jksmi.2017.21.3.114
- Lee, H.S. (2017). *Disaster prevention measures in remodelling of aged housing for earthquake: Focusing on cases Japan*. Master's thesis, TongMyong University.
- Lee, S.W. (2015). *Seismic fragility evaluation of reinforced concrete frames with masonry infill*. Master's thesis, University of Seoul.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2020). *Total 7,243,472 buildings nationwide / 3.86 billion m²* (February 28, 2020, Press Release). Retrieved from http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcmspage=1&id=95083620
- Mojiri, S., Tait, M.J., and El-Dakhkhni, W.W. (2014). Seismic response analysis of lightly reinforced concrete block masonry shear walls based on shake table tests. *J. Struct. Eng.*, Vol. 140, No. 9, 04014057. doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000967
- Seif ElDin, H.M., and Galal, K. (2018). Effect of reinforcement anchorage end detail and spacing on seismic performance of masonry shear walls. *Engineering Structures*, Vol. 157, pp. 268-279. doi:10.1016/j.engstruct.2017.11.073
- Shabdin, M., Attari, N.K.A., and Zargaran, M. (2020). Shaking table study on the seismic performance of an Iranian traditional un-reinforced masonry (URM) building. *Structures*, Vol. 27, pp. 424-439. doi:10.1016/j.iistruc.2020.06.002
- Shin, I.J. (2013). *A study on the evaluation of the seismic performance of masonry wall structures*. Master's thesis, Dong-Eui University.
- Yi, W.H., Lee, J.H., Oh, S.H., Yang, W.J., and Kang, D.E. (2005). A study on evaluation of shear capacity of unreinforced masonry wall. *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol. 21, No. 10, pp. 3-10.
- Yu, E.J., and Wallace, J.W. (2007). Forced vibration testing of a four-story reinforced concrete frame building. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol. 11, No. 2, pp. 27-38. doi:10.5000/EESK.2007.11.2.027

Received	October 27, 2020
Revised	October 28, 2020
Accepted	November 5, 2020