비보강 조적벽체의 쌓기방법에 따른 내진성능 비교

Comparisons of Seismic Performances According to Masonry Stack Patterns

윤동진* · 임광모** · 이주하***

Yoon, Dong-Jin*, Lim, Kwang-Mo**, and Lee, Joo-Ha***

Abstract

Recently, a large-scale earthquake occurred in Korea, confirming that Korea is no longer an earthquake-safe zone. Accordingly, interest in seismic design and reinforcement of structures has increased; however, most of the existing masonry structures are not seismic-resistant. In this study, therefore, the seismic performance of unreinforced masonry walls was evaluated. The main variable was the stacking method of the unreinforced masonry walls. The masonry walls were divided into five types according to the stacking method, and a synthetic load corresponding to that of the Kobe earthquake was applied. A numerical analysis was performed, which focused on the displacement of the masonry wall. From the comparative-analysis results, we confirmed that the seismic performance clearly differed according to the stacking method of the masonry walls.

Key words : Masonry Wall, Earthquake, Seismic Performance, Stack Patterns, Design Response Spectrum

요 지

최근 들어 국내에서도 큰 규모의 지진이 연이어 발생하면서 우리나라도 더 이상 지진 안전지대가 아님이 확인되었다. 이에 구조물의 내진설계와 내진보강에 관심이 높아지고 있으나 대다수의 조적조 건축물은 내진성능이 확보되지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 비보강 조적벽체의 내진성능을 평가하고 이를 조적조 건축물의 내진설계를 위한 기초자료로 활용하고자 한다. 주요변수로서 비보강 조적벽체의 쌓기방법에 따른 내진성능을 평가하였다. 대상 조적 벽체는 쌓는 방식에 따라 총 5가지의 형태로 구분하였으며, 고베지진을 대상 하중으로 적용하였다. 조적벽체에 발생한 변위를 중심으로 해석적인 분석을 수행하였으며, 비교분석 결과 조적벽체의 쌓기방법에 따라 거동 및 내진성능의 차이가 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 조적벽체, 지진, 내진성능, 쌓기방법, 설계응답스펙트럼

1. 서 론

최근 리히터규모 5.4의 포항지진(2017년), 리히터규모 5.8의 경주지진(2016년)과 같이 우리나라에서도 지진피해로 인한 심각한 인명피해 및 경제적 손실이 발생하고 있다. 기상청 기록에 의하면 국내내륙과 해안지역에서 1978년~1998년 평균 19.2회가 기록되었으나, 1999년~2016년

사이에는 평균 59.6회의 지진이 기록된 바 있다(KMA, 2018). 이러한 지진 발생추이를 미루어보았을 때 국내에서도 지진에 대한 위협이 지속적으로 증가하고 있음이 확인된다. 따라서, 국내에서도 향후 추가적으로 발생할 수 있는 지진피해를 대비하기 위한 기술 개발 및 축적이 요구될 것이다.

국내에서는 내진설계기준을 1988년 최초로 적용하여, 일반 시설물 및 건축물에서 내진성능을 확보하고자 하였다.

*정회원, 수원대학교 건설환경에너지공학부 석사과정(E-mail: yoondj@suwon.ac.kr)

Member, Master's Course, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Suwon

**정회원, 고려대학교 초대형건설기술연구소, 연구원, 공학박사

Member, PhD, Researcher, Research Institute for Mega Construction, Korea University

***교신저자, 정회원, 수원대학교 건설환경에너지공학부 교수(Tel: +82-31-220-2159, Fax: +82-31-220-2522, E-mail: leejooha@suwon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Associate Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Suwon

내진설계기준은 초창기에는 연면적 10,000 m² 이상의 건물을 대상으로 하였으며, 2005년에는 적용범위를 확장시켜 연면적 1,000 m² 이상의 건물을 대상으로 설정하였다. 현재에서는 모든 구조물을 대상으로 내진설계를 수행하도록 되어있다(Moon et al., 2012). 이러한 이유로 내진설계의 적용범위가 확장되기 이전에 건설된 대부분의 사회시설물에서는 내진설계가 반영되어 있지 않아 내진성능을 기대하기에는 다소 어려움이 있을 것이다. 더불어, 이러한 사회시설물은 주로 관공서, 학교건물 등 다중이용시설물로 재난 발생 시 인명과 재산에 막대한 피해가 발생할 수 있을 것이다. 재난에 대비하기 위한 기존 시설물들의 내진보강을 위해서는 내진성능평가 결과를 바탕으로 결정되어야 할 것이다.

국내 서울시가 관리하고 있는 재난관리 시설물 중 조적조가 D급 44.6%, E급 85.7%를 차지하고 있으며, 모두 위험등급으로 구분되어 있다(MOLIT, 2010). 이러한 조적조는 일반적으로 강구조, 철근콘크리트 구조에 비해 지진 발생 시 더 큰 피해가 발생할 수 있을 것이다. 더불어, 이러한 시설물에 주로 사용되는 조적조 채움벽은 구조설계 시 명시적으로 다루고 있지 않으며 하중으로서만 고려되어 왔다(Park et al., 2012). 내진성능평가에서 조적벽체는 구조거동에 상당한 영향을 미칠 것이며, 별도의 구조체로 취급되어야 할 것이다. 본 연구에서는 이러한 조적조의 내진 성능을 파악하기 위해 수행되었으며, 조적벽체의 형태를 중심으로 해석적인 연구를 수행하였다.

2. 국내외 조적조의 설계기준

조적조의 내진설계와 관련하여 국내 국토교통부에서는 건축물내진설계 기준을 제공하고 있다(MOLIT, 2018). 다만, 국내기준에서는 조적채움벽을 비구조요소로 간주하며, 일반적으로 구조설계에서 조적채움벽은 지진에 의한 영향을 고려하지 않는다. 또한, 조적조의 내진설계는 미국연방재난관리청(Federal Emergency Management Agency, FEMA), 미국토목학회(American Society of Civil Engineers, ASCE)의 설계와 유사하게 4가지 전단모드에 대한 검토를 수행하지만, 기본적으로는 경험적 설계를 바탕으로 하고 있다(MOLIT, 2016, 2019).

FEMA에서는 1996년부터 지진으로 손상된 콘크리트 및 조적조의 평가 및 보수를 위한 프로젝트를 시작하였으며, 1998년 FEMA 306을 발표하였다. FEMA 306에서는 비보강 조적조(Un-Reinforced Masonry, URM) 벽체의 강도는 경계 조건, 자중의 크기, 종횡비, 축방향 응력의 비 및 조적 벽돌의 강도 등에 의하여 영향을 받는다고 언급되어있다. 또한, 조적조의 수평하중에 대한 거동을 수평줄눈 미끄러짐(Bed-Joint Sliding), 대각인장균열(Diagonal Cracking), 코너 압축(Corner Compression), 면외 파괴(Out-of-Plane Failure)로 구분하고

있다(FEMA 306, 1998).

FEMA 356에서는 조적조의 4가지 파괴모드에 대하여 설계 강도 방정식을 제시하고 있으며, 축력, 종횡비 및 재료 특성을 포함한 함수로 구성되어있다(FEMA 356, 2000). 여기서 4가지 파괴모드를 고려한 전단강도는 미끄러짐 전단 파괴(Sliding-Shear Failure), 등가 대각스트럿 압축파괴(Compression strut Failure), 조적채움벽의 대각인장파괴(Diagonal Tension Failure of Panel), 조적채움벽의 일반적인 파괴(General Shear Failure of Panel)로 구분할 수 있다.

캐나다의 Canadian Concrete Masonry Producers Association (CCMPA)에서는 NBC-2015 (National building code of Canada)와 CSA S304 (Design of masonry structures)를 기반으로 조적조의 내진설계 관련문헌을 제공하고 있다. 하중에 대하여 면내하중, 면외하중 및 수직하중으로 구분하여 설계방법을 제시하고 있으며, 주로 철근보강 조적벽체의 설계와 관련된 내용을 제시하고 있다. CCMPA에서는 세로줄눈이 수직으로 정렬되는 Stack pattern wall에 대하여 내진성능에 부합하지 않기 때문에, 사용하지 않도록 권장하고 있다(CCMPA, 2018).

이 외에도 ASCE 7-10 (2013), ASCE 41-17 (2017) 등 다양한 문헌에서 조적조의 내진설계 및 성능평가와 관련된 내용을 제공하고 있다. 다만, 이러한 문헌에서는 조적조의 강도 및 설계방법을 조적조의 쌓는 방식에 구분하지 않고 있다. 다만, 정하중 조건에서도 조적조의 쌓기방식에 따라 강도에 차이를 보이고 있기 때문에, 지진하중을 받는 조적조에서도 성능차이가 있을 것이다(NCMA, 2004). 또한, 일부 조적조의 쌓기 방식은 내진성능을 충족시키기에는 부적합할 것이다(CCMPA, 2018). 따라서, 본 연구에서는 지진하중을 받는 조적조의 쌓기방식에 따른 성능을 비교분석하고자 하였다.

3. 해석을 위한 조적조 모델링

3.1 조적조의 형태

조적조의 쌓기방식은 전 세계적으로 수십가지 이상으로, 실제 현장에서는 매우 다양한 형태가 사용되어왔다. 본 연구에서는 일반적으로 사용되는 조적조 쌓기형태 중 일부 중 Table 1의 5가지 변수를 선정하였으며, Fig. 1에 상세 그림을 함께 표시하였다(NCMA, 2004; MIW, 2012).

Table 1. Analysis Variables

Specimens	Description
RB	Running bond
HB	Header bond
CB	Common bond
FB	Flemish bond
EB	English bond

Fig. 1. Masonry Stack Patterns for Analysis

3.2 조적조의 모델링

해석을 위한 조적벽체의 크기는 Fig. 2와 같이 2,700 mm × 2,700 mm으로 모델링 하였으며, 각각의 조적벽돌의 크기는 KS F 4004 (2015)를 참고하여 결정하였다. 또한, 해석을 위한 조적벽돌 및 모르타르의 물성은 Midas Gen에서 제공하고 있는 기본값을 사용하였으며 이를 Table 2에 표시하였다. 여기서, Bed Joint, Head Joint는 각각 가로줄눈, 세로줄눈을 의미하여 Fig. 3에 표시하였다.

Fig. 2. Masonry Wall and Brick

Table 2. Material Properties

Material	Brick	Bed Joint	Head Joint
Tensile Strength (MPa)	1.85	0.32	1.15
Young's Modulus (MPa)	22,528	7,400	
Poisson's Ratio	0.3		
Density (t/m ³)	2.1

Fig. 3. Bed Joint and Head Joint

4. 조적조의 내진해석결과

4.1 설계응답스펙트럼을 고려한 거동

모델링 된 조적 벽체에 국내건축구조기준의 설계응답스펙트럼(KBC 2016)을 적용하여 면내(In-Plane), 면외(Out-of-Plane)방향에 대한 성능을 평가하였다. 다만, Fig. 4와 같이 0.1의 scaled effect를 반영하였다.

Fig. 4. Design Response Spectrum of KBC2016

Table 3 및 Fig. 5에서는 면내 및 면외방향으로의 변위를 나타내고 있다. Fig. 5에서 좌측은 면내방향 우측은 면외방향으로 구분하고 있다. 해석결과 조적조의 쌓기 방법에 따라서

Table 3. Displacement results by KBC2016

Specimens	In-Plane (mm)	Out-of-Plane (mm)
RB	20.5	159.8
HB	21.4	111.5
CB	21.6	88.7
FB	7.5	59.7
EB	21.8	102.1

Fig. 5. Displacement by KBC2016

거동에 차이가 있음이 확인되었다. 모든 시험체에서 면외방향의 변위가 더 크게 발생하고 있음이 확인되었다. 일반적으로 조적벽체는 면외방향의 저항력이 매우 작기 때문에 구조 해석의 대상으로 취급하지는 않는다(KISTEC, 2019). 본 연구의 해석 조적벽체는 비보강 조적벽체이기 때문에 면외방향의 변위가 면내방향의 변위보다 더 크게 발생하고 있는 것이 확인되었다.

조적벽체의 쌓기방식에 따른 면내방향 비교에서 시험체 EB, CB 그리고 HB의 변위가 각각 21.8, 21.6, 그리고 21.4 mm로 유사하게 확인되며 가장 크게 확인되었다. 이어서 시험체 FB의 경우 면내방향 변위가 비약적으로 낮게 발생하고 있음이 확인되었다.

면외방향의 변위에서도 시험체 FB가 59.7 mm로 가장 낮은 변위를 보이고 있다. 가장 일반적으로 사용되는 형태인 시험체 RB의 면외방향 변위가 가장 크게 발생하고 있었다. 시험체 RB를 제외한 시험체들의 경우 Fig. 1에서 볼 수 있듯이 조적벽체의 두께가 180 mm로 설계되었지만, 시험체 RB의 두께는 90 mm로 모델링되었기 때문에, 상대적으로 저항성이 낮게 발현된 것으로 판단된다.

4.2 지진하중에 의한 면외방향 검토

모델링 된 각 조적벽체에 지진하중을 가하여 거동을 분석하고자 하였다. 다양한 지진관련 연구에서 일반적으로 사용되는 1995년 효고현 남부지진(고베 대지진)을 대상 지진하중으로 선정하였고, 이를 Fig. 6에 표시하였다. 다만, 제공된 지진하중 데이터에 0.1의 scale effect를 고려하여 최대 지진 가속도 0.081g를 작용시켰다. 지진하중에 의한 거동 분석은 각 조적벽체에 대하여 지진하중에 대한 검토를 상대적으로 취약한 방향인 면외방향에 대하여 수행하였으며 그 결과를 Fig. 7 및 Table 4에 정리하였다.

조적벽체의 쌓기방법에 따라서 30 sec동안의 지진하중 (Fig. 6)을 가한 결과를 300 sec (5 min)까지 비교 · 분석하였다. 각 시험체의 가속도는 변수별로 큰 차이를 보이지 않았다. 다만, 지진하중의 크기가 대지진으로 모든 조적벽체가 지진하중에 저항하지 못했다고 판단하는 것이 합당할 것이다.

Fig. 6. Hyougoken (Kobe) Earthquake

(a) Displacement Out-of-plane

(b) Acceleration Out-of-plane

— Specimen RB — Specimen HB — Specimen EB
 Specimen FB Specimen CB

Fig. 7. Analysis Results of Earthquake

Table 4. Displacement Results by Earthquake

Specimens	Displacement (mm)	Ratio (x)/RB (%)
RB	87.7	-
HB	83.7	95.5%
CB	85.9	98.0%
FB	82.0	93.5%
EB	87.2	99.5%

변위 분석에서 가장 일반적인 조적벽체형태인 시험체 RB에서 가장 큰 변위가 발생한 것이 확인되었다. 또한, 시험체 FB가 가장 적은 변위가 발생하고 있음이 확인되었다. 이러한 시험체 RB의 변위를 기준으로 각 시험체의 거동을 상대 분석하였을 때의 결과를 Table 4에 함께 표시하였다. 시험체 EB의 경우 1열로 제작된 시험체 RB와 큰 차이를 드러내지는 못하였다. 또한, 시험체 FB는 약 6.5%의 변위가 감소한 것이 확인되며 상대적으로 가장 우수한 성능이 확인되었다.

5. 결 론

본 연구에서는 조적벽체의 쌓기방법에 따른 내진성능을

해석적으로 평가하였다. 총 5개의 조적벽체의 형태에 대하여 상대비교를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 가장 일반적인 형태인 Running bond 방법이 지진하중에 가장 취약한 것으로 확인되었다. 면내방향의 거동 분석에서는 중간수준의 성능을 보이나, 1열로 제작되기 때문에 면외방향에 대하여 다른 조적벽체에 비하여 상대적으로 가장 큰 변위가 발생하였다.
- (2) Flemish bond 방법이 가장 우수한 내진성능을 보이고 있었다. 면내방향, 면외방향에서 다른 조적벽체 쌓기 방법에 비하여 상당한 크기의 변위가 감소한 것이 확인되었다.
- (3) 조적조의 쌓기 방법이 내진성능에 영향을 미치고 있음이 확인되었다. 내진성능 평가의 정확도 및 신뢰도 확보를 위해서, 조적조의 쌓기방법에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 내진성능의 향상을 위해서는 조적조의 형태에 따른 성능차이를 반영할 필요가 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(19CTAP-C152069-01)에 의해 수행되었습니다.

References

- ASCE 7-10. (2013). *Minimum design loads for buildings and other structures*. American Society of Civil Engineers (ASCE).
- ASCE 41-17. (2017). *Seismic evaluation and retrofit of existing buildings*. American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Canadian Concrete Masonry Producers Association (CCMPA). (2018). *Seismic design guide for masonry buildings*.
- FEMA 306. (1998). *Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings*. Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, American Society of Civil Engineers. Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- Korea Infrastructure Safety Corporation (KISTEC). (2019). *Research on the previous facilities (building) seismic performance evaluation and improvement methods*.
- Korea Meteorological Administration (KMA). (2018). *Domestic earthquake in 2017, 223 times more than*

average (March 29, 2018, Press Release).

KS F 4004. (2015). *Concrete bricks*. Korean Agency for Technology and Standards.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2010). *20 Points for seismic reinforcement of small-scale buildings*.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2016). *KDS 41 34 06: Empirical design of masonry structures*.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2018). *Seismic building design code and commentary (Korean building code)*.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2019). *KDS 41 34 03: General design of masonry structure*.

Masonry Institute of Washington (MIW). (2012). *Pocket guide to brick and CMU construction*.

Moon, K.H., Jeon, Y.R., Lee, C.S., and Han, S.W. (2012). Evaluation of performance of Korean existing school buildings with masonry infilled walls against earthquakes. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol. 16, No. 6, pp. 37-46

National Concrete Masonry Association (NCMA). (2004). *TEK 14-6: Concrete masonry bond patterns*.

Park, J.H., Jeon, S.H., and Kang, K.S. (2012). Seismic performance evaluation of masonry-infilled frame structures using equivalent strut models. *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol. 16, No. 1, pp. 47-59.

Received	October 17, 2019
Revised	October 18, 2019
Accepted	October 29, 2019