

무모르타르로 건식조립된 콘크리트블록 벽체의 성능평가 연구

이중원
신안산대학교 건축과

A study for the performance evaluation of concrete block assembly wall without using mortar

Joong-Won Lee
Department of Architecture, Shin Ansan University

요약 최근 한반도에 발생하는 지진으로 인해 조적조 건물에 대한 피해가 많이 발생하고 있어 이에 대한 성능평가 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 조적조 건축은 일반적으로 습식공사로 수행되어 온도에 영향을 받기 때문에 시공의 효율성이 떨어지는 단점이 있다. 본 연구에서는 모르타르를 사용하지 않고 콘크리트블록을 조립하여 벽체를 완성하는 건식조적공법을 제안해 보고 이를 실험과 해석연구를 통해 그 성능을 평가하고자 한다. 콘크리트블록 벽체의 성능을 평가하기 위해 건식조립벽체의 프리즘 압축강도, 직접 전단강도, 대각선 인장강도 실험을 수행하였고, ABAQUS FEM 해석을 통해 단면형상의 적정성을 검토하였다. 연구수행결과 모르타르를 사용하지 않고 콘크리트블록을 조립하는 건식 콘크리트블록 벽체의 압축강도와 대각선 인장강도가 일정 강도 이상을 발휘할 수 있음을 알 수 있었고, 특히 키블록의 H형 모듈이 전체 콘크리트블록의 전단기 역할을 하여 건식 콘크리트블록으로 전단강도 성능이 우수함을 알 수 있었다. 또한 주블록의 형상과 두께가 각각의 강도성능에 주된 영향을 주고 있어 최적형상과 제안된 건식공법의 현장시공성이나 내진 성능에 대한 연구를 통해 현장에서 습식공법을 대체할 수 있는 공법으로 적용할 수 있을 것이다.

Abstract A recent earthquake on the Korean Peninsula caused much damage to masonry buildings, and research on performance evaluation has been underway. A masonry building is generally constructed using wet construction and is affected by temperature, which reduces the efficiency of the construction. In this study, we propose a dry construction technique for assembling concrete blocks without using mortar and evaluated its performance through experimental and analytical research. To evaluate the performance, experiments were carried out for the prismatic compressive strength, direct terminal strength, and diagonal tensile strength of the dry construction wall. The adequacy of the cross section shape was also reviewed through FEM analysis. The results show that the compressive strength and diagonal tensile strength could exert a certain intensity or higher. Furthermore, the H-type module of a key block acted as a shear key for the entire concrete block, which resulted in excellent shear strength performance. In addition, the shape and thickness of the main block have a major effect on the strength performance of each block. Therefore, an optimal shape and the proposed dry construction method could be applied to replace the wet method by studying the construction or seismic performance of the proposed method.

Keywords : Concrete Block, Dry Stack Masonry, Mortarless, Assembly, Performance Evaluation

본 논문은 2017년도 교육부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.(NRF-2017R1D1A1B03028404)

*Corresponding Author : Joong-Won Lee(Shin Ansan Univ.)

email: jwlee@sau.ac.kr

Received March 19, 2019

Accepted July 5, 2019

Revised May 13, 2019

Published July 31, 2019

1. 서론

최근 국내 경주나 포항 등에서 발생한 지진으로 건축물에 구조체 균열이나 마감재 탈락 등 많은 피해가 발생하였는데, 특히 국내 건축물의 많은 부분을 차지하는 조적조 건축물은 횡력에 취약하기 때문에 그 피해가 집중되어 발생하고 있다. 이에 따라 조적조 건물의 지진 안정성 확보에 대한 국민적 관심이 높아지고 있고 조적벽체의 내진성능평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

건축 현장에서 일반적으로 조적조 시공은 모르타르를 이용하여 조적개체를 습식으로 접착하는 공법이 적용되는데 이 습식공법은 접착 모르타르의 양생시간이 필요하고 일일 쌓기 높이 제한이 있으며, 지진하중 등에 대해 벽체의 면외 수평내력이 취약한 단점이 있다.

이에 기존 습식조적공법의 단점을 개선하기 위해 조적조 접합부를 모르타르를 사용하지 않는 건식공법을 제안하여 계절의 변화에 따른 온도의 영향을 받지 않고 전천후 시공이 가능하도록 하며, 또한 습식조적조 접합부의 면외 수평내력을 보강하기 위해 블록간의 전단연결재를 이용하여 조립 연결함으로써 기존 습식조적조의 내진성능을 향상시키는 대안공법을 개발하고자 한다.

건식조적조 공법개발과 성능평가에 대한 국내의 연구 동향을 살펴보면, 먼저 국내에서는 저층 규모의 습식조적조의 재료물성, 순수조적조 구조거동, 철근콘크리트 골조와의 끼움벽 구조거동 연구[1]와 비보강 조적조 건축물의 내진성능평가와 유리섬유와 와이어를 이용한 내진보강연구가 진행되었다[2]. 또한 기존 습식조적조의 성능을 개선하기 위해 육각형 블록을 개발하여 골조와의 채움벽 구조거동에 대한 실험연구[3]와, 습식조적조의 재료특성과 부재특성에 대한 유한요소 해석연구[4] 등 주로 습식조적조를 대상으로 연구가 진행되었다.

반면 국외의 경우는 무모르타르 벽돌의 연결형상에 따른 접합부의 반복하중거동 분석[5], 건식조적조 끼움벽과 철근콘크리트 골조와의 면내 구조거동 연구[6], 건식조적조의 접합부에 반복하중속도에 따른 마찰거동 분석 연구[7], 건식조적벽체의 수직면 시공상태에 따른 벽체의 하중전달능력 분석연구[8] 등 다양하게 건식벽체에 대한 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 습식조적공법의 대안으로 제안된 건식조적조공법의 성능평가를 위해, 콘크리트블록 벽체를 모르타르를 사용하지 않고 건식으로 제작하여 수직 및 수평방향하중에 대한 건식벽체의 하중저항능력을 실험 및 해석적 방법을 통해 평가하고자 한다.

2. 건식 콘크리트블록 벽체

2.1 콘크리트블록의 단면형상

건식 콘크리트블록은 그림 1과 같이 주블록(main block)인 크기 200 mm(폭) x 400 mm(길이) x 200 mm(높이)와 키블록(key block)인 크기 129 mm(폭) x 129 mm(길이) x 200 mm(높이)와 같이 2개의 모듈로 구성되며, 키블록을 주블록에 있는 상하좌우 2mm씩 여유를 갖는 H형상 홈(133 mm x 133 mm)에 끼워서 모르타르 없이 전단연결재로 설치함으로써 콘크리트블록 벽체를 건식으로 조립할 수 있는 공법이다. 그림 2는 콘크리트블록이 건식으로 조립되는 시공사진을 나타내고 있다.

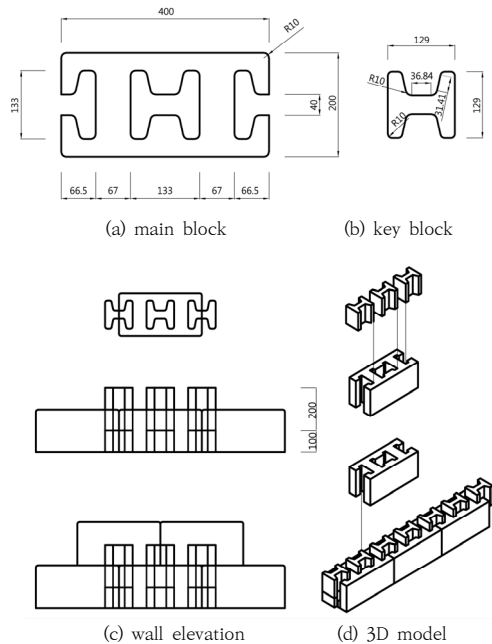


Fig. 1. Configuration of dry assembly masonry wall

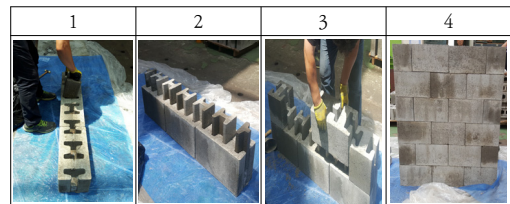


Fig. 2. Assembly construction of concrete block

2.2 콘크리트블록의 배합설계

사용재료별 최적의 배합비를 설정하고자 표 1과 같이 설계기준강도 21 MPa 목표 배합으로 각기 다른 물·시멘트비와 재료총량의 변화를 가지는 다수의 배합비를 도출하여 콘크리트블록의 강도와 흡수율을 측정된 결과는 표 2와 같다.

콘크리트블록의 KS F 2405에 따른 압축강도 결과는 평균 29.54 MPa를 나타내면서 흡수율은 T2 실험체가 6%로 가장 낮게 나타나 본 연구에 적용한 콘크리트블록 실험체의 배합비로 결정하였다.

Table 1. Mix design of concrete block

No	G. max. (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/A (%)	Weight(kg)				Total weight (kg)
						W	C	S	G	
T1	13	5	6	20.00	71.11	50	250	1,280	220	1,800
T2	13	5	6	21.15	70.52	55	260	1,280	220	1,815
T3	13	5	6	22.22	69.94	60	270	1,280	220	1,830

Table 2. Compression strength of concrete block

No.	T1	T2	T3	Average (Mpa)
Compression Strength (Mpa)	27.84	29.84	30.96	29.54
Absorption ratio (%)	6.7	6.0	6.1	6.47

3. 실험계획

3.1 프리즘 압축강도 실험

그림 3과 같이 건식 콘크리트블록 벽체의 프리즘압축강도 측정실험은 KBC 2016에 근거하여 주블록을 3단으로 쌓아 내부에 키블럭을 설치하고 실험체를 만들었다. 또한 실험체의 압축변형도를 측정하기 위해 중앙부 블록에 수직방향으로 스트레인게이지를 설치한 후 2000 kN UTM으로 압축가력실험을 하였다.

압축강도 실험시 편심이 걸리지 않도록 가력면과 실험체 사이에 고무판을 깔고 3개의 실험체를 대상으로 실험을 하였다.



Fig. 3. Prism compression test of concrete block

3.2 직접 전단강도 실험

그림 4와 같이 건식 콘크리트블록 벽체의 직접 전단성을 평가하고자 3단으로 주블록을 쌓고 내부에 키블럭을 설치한 후, 실험체를 90도 돌려서 2단계 콘크리트블록 상단을 100 kN UTM으로 가력을 하였다.

3개의 실험체를 대상으로 직접 전단실험을 수행하였고, 가력 시 수직변위 측정을 위해 LVDT를 중앙부에 2개 설치하였다.

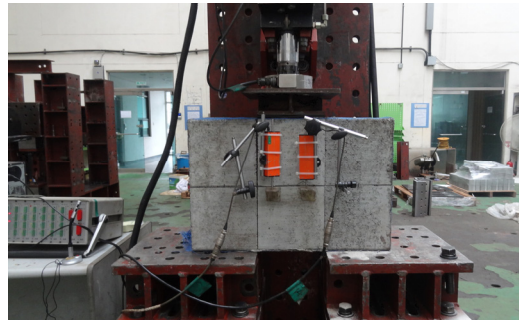


Fig. 4. Direct shear test of concrete block

3.3 대각선 인장강도 실험

건식 콘크리트블록 벽체의 대각선 인장강도를 평가하기 위해 ASTM E-519 실험법에 따라 그림 5와 같이 1200 mm x 1200 mm 크기의 실험체를 2개 제작하여 가력프레임에 설치하고 500 kN UTM을 이용하여 실험체의 대각선 방향으로 수직가력을 하였다. 또한 수직 및 수평방향 LVDT를 통해 변위를 측정하였고, 변형도 측정을 위해 실험체의 중앙부에 수직, 수평, 및 대각선방향으로 스트레인게이지를 설치하였다.

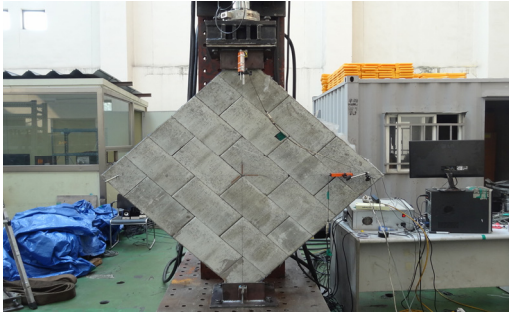


Fig. 5. Diagonal tension test of concrete block

4. 실험결과

4.1 프리즘 압축강도

4.1.1 균열양상

프리즘 압축강도 실험 후 실험체에 발생한 균열 양상을 살펴보면, 그림 6과 같이 3개의 실험체의 균열양상이 유사하게 압축력이 증가함에 따라 주블록의 얇은 단면 부분에서 균열이 발생하여 수직으로 확장되면서 실험체가 파괴되고 탈락되는 양상을 보였으며 키블록은 하부에 1/2높이 블록에 압축파괴를 보였다.

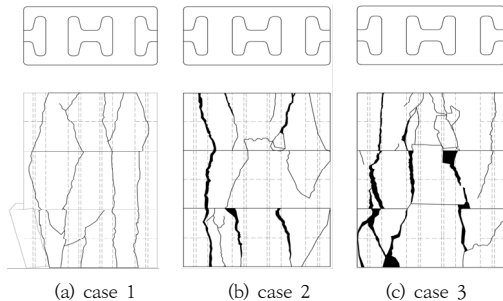


Fig. 6. Crack pattern after prism compression test

4.1.2 압축강도

그림 7을 살펴보면 3개의 실험체는 평균 576 kN의 압축력을 나타내며, 실험체 3은 다른 실험체에 비해 압축력이 가장 낮게 520 kN과 수직변위는 가장 크게 16.13 mm를 나타내고 있다. 이러한 차이는 콘크리트블록면의 평활도 및 수직도에 따라 압축하중이 고르게 전달되는 차이와 블록 간에 건식접합으로 일체화되지 못해 블록의 국부적인 파괴양상에 따라 변위 차이가 크게 나타나는 것으로 판단된다.

실험체의 중앙부에 설치된 스트레인게이지를 통한 압축변형도는 실험체의 균열과 탈락 등으로 하중재하 시 콘크리트블록의 일체 거동이 불가하여 의미 있는 경향을 나타내지 못하고 있었다.

실험체의 전단면 200 mm x 400 mm에 대해 압축응력을 계산하여 보면 3개의 실험체는 평균 7.19 MPa를 보이고 있어 KS F 4002에 따른 습식 속 빈 콘크리트 블록 B 등급(압축강도 6 MPa이상)은 확보하고 있음을 알 수 있었다.

따라서 본 연구에서 제안된 콘크리트블록의 압축저항은 먼저 주블록의 얇은 두께부분에서 균열이 발생하고 집중되어 전체적인 압축성능을 좌우되고 있어 콘크리트블록의 적절 두께를 유지하는 단면형상의 결정과 균질한 재료배합, 블록 평활도 확보 등에 대한 개선이 필요할 것이다.

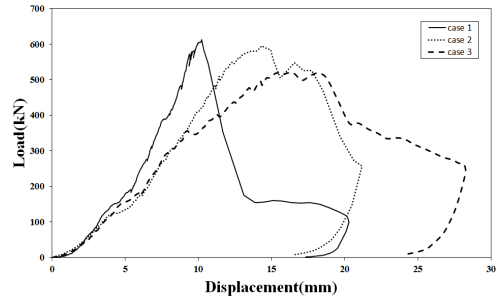
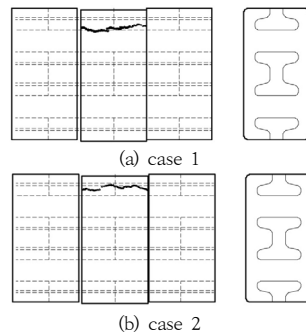


Fig. 7. Load-displacement curve for prism compression test

4.2 직접 전단강도

4.2.1 균열양상

직접 전단실험 후 실험체에 발생한 균열을 살펴보면, 그림 8과 같이 3개의 실험체의 파괴는 공통적으로 키블록의 절단으로 최종파괴 되었고 하중이 재하된 주블록의 상단부에 수평균열이 동반하였다.



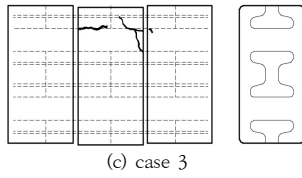


Fig. 8. Crack pattern after direct shear test

4.2.2 전단강도

그림 9와 같이 실험체의 최대하중은 평균 78.56 kN 을 나타냈고 이를 키블록의 단면적으로 환산한 응력은 1.54 MPa를 보였다. 따라서 건식 콘크리트블록의 직접 전단에 대해서는 키블록이 주로 저항함을 알 수 있고 이는 모르타르를 사용하는 습식조적조에 수평력이 작용 시 줄눈모르타르의 파괴 등으로 인한 저항능력관련 연구에 의한 일반 콘크리트블록에서 0.63 MPa에 비해 2배 이상 큰 전단성능을 나타내고 있다.

건식 콘크리트블록에 대한 전단강도식에 대해서는 관련 기준에 언급된 것이 없어 키블록 단면의 콘크리트가 전단력에 저항한다고 가정하고 KBC-2016에 따라 콘크리트 전단강도식 $V_c = (1/6)\lambda\sqrt{f_{ck}}bd$ 을 이용하여 f_{ck} 를 21 MPa로 가정하고 표에 키블록의 단면적을 고려하여 계산하면 전단강도는 39 kN으로 계산되어 실험 시 최대하중이 1.7~2.3배 크게 나타나고 있다.

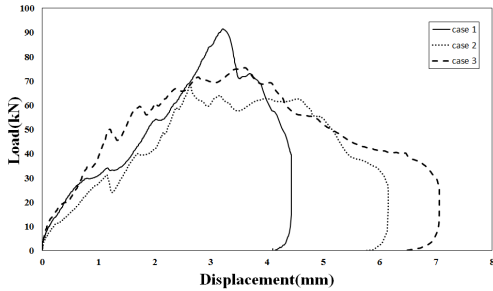


Fig. 9. Load-displacement curve for direct shear test

4.3 대각선 인장강도

4.3.1 균열양상

그림 10과 같이 대각선 인장실험 후 실험체에 발생한 균열양상을 살펴보면, 전체적으로 실험체의 중앙부에 대각선 방향으로 균열이 발생하였으며 주블록 중앙부에 가장 큰 폭의 균열이 발생하고 그 주변부로 균열이 확대되는 경향을 나타냈다. 또한 실험체의 대각선 방향으로 주블록 층간에 수직으로 벌어지는 경향도 관찰되었다.

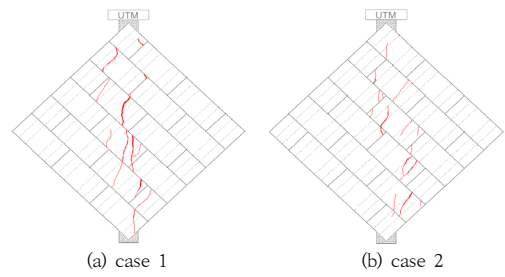


Fig. 10. Crack pattern after diagonal tension test

4.3.2 대각선 인장강도

대각선 인장강도 실험결과를 살펴보면, 그림 11, 12와 같이 실험체 1은 최대 수직하중 56.9 kN에 9.34 mm(y축 변위), 8.8 mm(x축 변위)를 나타냈고, 실험체 2는 최대 수직하중 67.96 kN에 8.13 mm(y축 변위), 4.6 mm(x축 변위)를 나타냈다. 최대하중을 지나 완만하게 실험체는 하중이 저하되는 경향을 보였다.

실험체의 전단강도를 계산하기 위해 ASTM E 519에서 제시된 Eq. 1을 이용하였다. Eq. 1은 실험체 상부에 가력된 압축하중을 적용하여 전단강도를 구하는 식으로, 계수인 0.707은 $1/\sqrt{2}$ 와 같은 값을 나타내며 단순히 작용수직하중에 대해 단면적으로 나누는 식으로 표현할 수 있다.

$$\text{전단강도: } S_s = \frac{0.707P}{A_n} \tag{1}$$

$$\text{단면적: } A_n = \left(\frac{w+h}{2}\right)tn \tag{2}$$

여기서 P는 작용수직하중, w 는 실험체 폭, h 는 실험체의 높이, t 는 실험체두께, n 은 채움률로 건식 콘크리트블록 실험체 제작 시 주블록의 H형 홈에 키블록을 원활히 끼우기 위해 키블록보다 4 mm 크게 H형 홈을 제작하였기 때문에, 이를 고려하여 채움률을 계산하면 0.98 정도가 된다. 이를 적용하여 최대수직하중에 대해서 대각선 인장강도를 계산하면 0.204 MPa를 나타내고 있다.

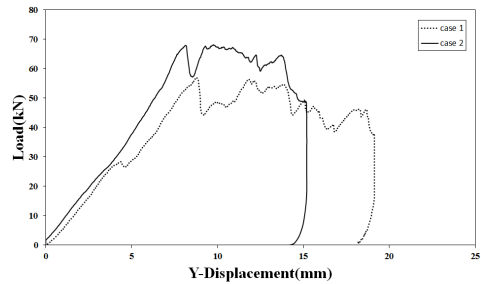


Fig. 11. Load-displacement curve for diagonal tension test(Y-direction)

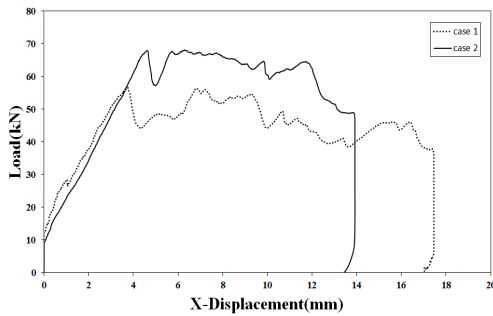


Fig. 12. Load-displacement curve for diagonal tension test(X-direction)

5. 해석결과

5.1 유한요소해석

5.1.1 해석모델의 가정

본 연구에서는 주블록과 키블록의 단면형상에 따른 압축강도의 변화를 살펴보기 위해 개별 블록을 대상으로 유한요소해석을 수행하여 압축하중 전달시 하중수준에 따라 취약한 단면부위를 평가하고자 하였다.

주블록과 키블록 단일 실험체를 대상으로 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS 6.12를 이용하여 모델링하고 비선형 유한요소해석을 수행하였다. 각각의 실험체는 모두 콘크리트 부재로 이루어져 있으며 1개의 적분점을 가지는 8절점 Solid 요소(C3D8R)를 사용하였다. 하중은 실험조건과 동일하게 변위 제어 방식으로 재하 하였다.

경계조건은 주블록과 키블록의 하부면이 완전 구속된 것으로 가정하였다.

5.1.2 콘크리트의 재료모델

콘크리트의 Solid 요소에 적용시킨 구성모델은 ABAQUS 내 제공하고 있는 콘크리트 손상 소성 모델 (Concrete Damaged Plasticity Model)을 사용하였다. 해석을 위해 사용된 콘크리트의 압축강도는 실험체의 설계기준 압축강도인 21 MPa로 설정하였으며, 응력-변형을 관계는 Eq. 3, 4와 같이 콘크리트의 압축응력이 최대 압축강도까지 포물선 형태로 증가하고 최대 압축강도 이후 선형으로 감소하는 Modified Hognestad 응력-변형을 곡선을 사용하였다. 본 해석에서 콘크리트는 최대 압축강도의 30% 까지는 탄성거동을 하는 것으로 가정하였으며, 그 때의 강도와 변형률을 이용하여 콘크리트의 탄

성계수를 도출하였다. 최대 압축강도 발현 시 변형률(ϵ_0)은 0.0025, 콘크리트의 최대 변형률(ϵ_{cu})을 0.0033으로 가정하였다. 인장강도는 압축강도의 10%로 가정하였으며 포아송 비는 0.18로 가정하였다.

$$f_c = f'_c \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_0} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_0} \right)^2 \right] \quad 0 < \epsilon_c < \epsilon_0 \quad (3)$$

$$f_c = f'_c \left[1 - 0.15 \left(\frac{\epsilon_c - \epsilon_0}{\epsilon_{cu} - \epsilon_0} \right) \right] \quad \epsilon_0 < \epsilon_c < \epsilon_{cu} \quad (4)$$

여기서, f_c 는 콘크리트의 일축 압축응력(MPa), ϵ_c 는 콘크리트의 일축 압축변형률, f'_c 는 콘크리트의 일축 압축강도(MPa), ϵ_0 는 f'_c 에서의 압축변형률, ϵ_{cu} 는 콘크리트의 최대 압축변형률을 나타낸다.

5.2 해석결과분석

이론적 최대 압축강도는 Eq. 5와 같이 산정하였으며, 해석결과와 비교하였을 때, 키블록의 해석값/이론값의 비는 0.92로 이론값이 해석값에 비해 크게 나타났다. 반면, 주블록의 해석값/이론값의 비는 1.04로 해석값이 이론값에 비해 크게 나타났다.

그림 13은 각 모듈 별 최대하중 대비 30%, 50%, 80%, 100% 하중에서의 Von-Mises 응력의 분포를 나타낸다. Von-Mises 응력은 물체의 파괴를 예측하는 기준으로 널리 쓰이고 있으며 스칼라량을 가진다. 본 연구에서는 응력 분포 스펙트럼의 최대값을 콘크리트의 최대 압축강도인 21 MPa, 최소값을 0 MPa로 설정하였다. 그림에서 회색으로 표시되는 부분은 응력이 21 MPa를 초과한 것을 의미하고, 실험 시에도 이 부분에 파괴가 선행되고 있음을 알 수 있다.

키블록의 해석결과를 살펴보면 가력부 및 경계조건과 개체의 중앙부를 제외하고는 전반적으로 고른 응력분포가 나타난다. 반면 주블록의 해석결과는 키블록을 끼워 넣기 위한 H형 증공부로 인해 얇아진 부분 단부에 응력이 크게 집중되어 내부로 전파되는 것을 알 수 있다.

이에 주블록의 얇은 부분이 압축하중에 취약한 것 나타나 이에 대해 두께 보강이 필요하나 자중 증가로 인한 시공성 등을 고려하여 적정 두께의 결정이 중요함을 알 수 있다.

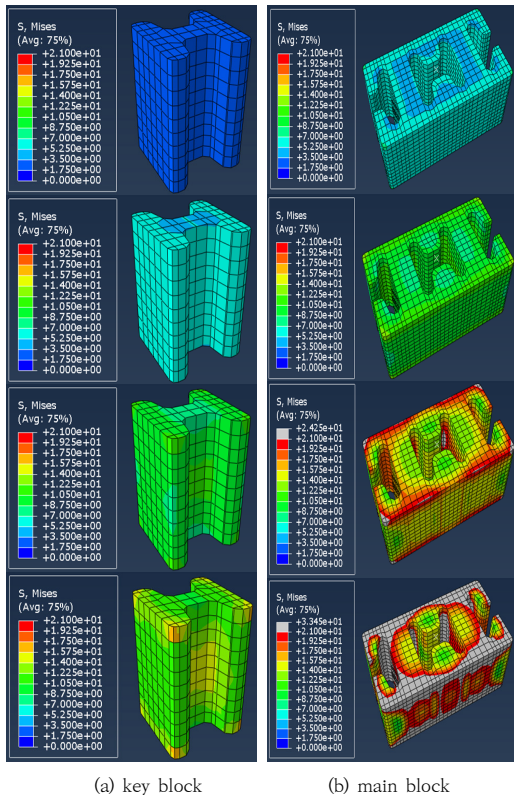


Fig. 13. Von-Mises stress distribution for load level

Table 3. Maximum compression strength

	Analysis (kN)	Theory (kN)	Analysis/Theory
Key block	225.12	245.97	0.92
Main block	1242.25	1185.60	1.04

$$P = f'_c A_c \quad (5)$$

여기서, P 는 최대 압축하중(N), f'_c 는 콘크리트의 일축 압축강도(MPa), A_c 는 각 블록모듈의 전 단면적을 나타낸다.

6. 결론

본 연구에서 제안된 건식공법으로 콘크리트 블록 벽체를 제작하여 수직 및 수평방향 하중에 대한 콘크리트블록 벽체의 하중저항능력을 평가하기 위해 실험 및 해석

연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째로, 모르타르를 사용하지 않고 콘크리트블록을 조립하는 건식 콘크리트블록의 압축강도, 직접 전단강도, 대각선 인장강도 성능을 실험을 통해 검증한 결과 일정 강도 이상을 발휘할 수 있음을 알 수 있고, 주블록의 형상과 적정 두께가 수평 및 수직방향 하중저항능력에 주된 영향을 주고 있는 것으로 나타났다.

둘째로, 키블록의 H형 모듈이 전체 콘크리트블록의 벽체의 수평 전단기 역할을 하여 습식조적조에 비해 건식 콘크리트블록 벽체의 전단강도 성능이 2배 이상 큰 것으로 나타났다.

끝으로 제안된 건식조립 콘크리트블록 벽체 공법의 현장 시공성 확인과 순수조적조 구조거동, 골조와의 끼움벽의 반복하중 구조거동 등에 대한 추가 연구를 통해 기존 습식조적공법을 대체할 수 있는 경제적 공법으로 적용할 수 있을 것이다.

References

- [1] J. H. Lee, "Seismic Capacity and Seismic Retrofitting of Low Rise Buildings", Ph.D. thesis, Department of Architectural Engineering Graduate School, Kwangwoon University, pp. 42-61, 2005.
- [2] S. C. Lee, "An Experimental Study on the Improvement of Seismic Resistant Capacity for the Unreinforced Masonry Building", Ph.D. thesis, Department of Architectural Engineering Graduate School, University of Seoul, pp. 37-40, 2006.
- [3] G. K. Chang, D. W. Seo, T. K. Han, "An Estimation of Shear Capacity of Hexagonal Masonry Walls Under Cyclic Loading", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, v.14 no.6, pp. 205-214, 2010.
- [4] J. S. Heo, S. H. Lee, "Analytical Study on the Seismic Capacity for Existing Masonry Building in Korea", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, v.13 no.6, pp. 75-87, 2009.
- [5] H. Liu, P. Liu, K. L., S. Zhao, "Cyclic Behavior of Mortarless Brick Joints with Different Interlocking Shapes", Materials, 9(3) 166, pp. 1-12, 2016. DOI:<https://doi.org/10.3390/ma9030166>
- [6] K. Lin, Y. Z. Totoev, H. Liu, T. Guo, "In-Plane Behaviour of a Reinforcement Concrete Frame with a Dry Stack Masonry Panel", Materials, 9(2) 108, pp. 1-17, 2016. DOI:<https://doi.org/10.3390/ma9020108>
- [7] K. Lin, H. Liu, C. Wei, Q. Huang, "Effects of shear rate on cyclic behavior of dry stack masonry joint",

Construction and Building Materials, v. 157, pp. 809-817, 2017.

DOI:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.062>

- [8] G. G. C. Ngapeya, D. Waldmann, F. Scholzen, "Impact of the height imperfections of masonry blocks on the load bearing capacity of dry-stack masonry walls", Construction and Building Materials, v. 165, pp. 898-913, 2018.

DOI:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.183>

이 중 원(Joong-Won Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 연세대학교 건축공학과의 (공학석사)
- 2009년 8월 : 연세대학교 건축공학과의 (공학박사)
- 1991년 3월 ~ 2001년 8월 : 쌍용건설, SK건설 과장

- 2001년 9월 ~ 현재 : 신안산대학교 건축과 교수

<관심분야>

철근콘크리트 내화성능, 조적조 내진거동