

콘크리트블록으로 건식조립된 벽체의 수평반복하중에 대한 구조거동 연구

이중원
신안산대학교 건축과

A Study on the Structure Behavior of Dry-assembled Wall with Concrete Blocks subjected to Cyclic Lateral Load

Joong-Won Lee
Department of Architecture, Shin Ansan University

요약 조적구조는 소규모 건축물에서는 내력벽으로 사용되거나 일반적으로 비내력벽으로 간주되어 건축물 골조구조의 내부공간을 구분하는 칸막이벽으로 활용되어진다. 또한 조적공사에서 블록이나 벽돌간의 접착제로 모르타르를 사용하는 습식공법은 양생시간이 필요하여 기후조건에 영향을 받으며, 특히 지진과 같은 횡력에 대해 모르타르의 균열로 벽체의 전도붕괴 등이 발생할 수 있어 매우 취약한 구조이다. 본 연구에서는 이러한 조적구조의 약축방향 전단강성을 보완하고 습식공법의 단점을 개선하는 건식 콘크리트블록 공법을 제안하고 그 구조거동을 규명하고자 한다. 이에 본 연구에서는 콘크리트블록의 재료물성을 살펴보고 수평반복하중에 대한 구조거동실험을 통해 제안된 건식조립 콘크리트블록 벽체의 내진성능을 검증하고자 한다. 본 연구결과에 의하면 첫째로, 콘크리트블록은 KS규준에 C종 블록의 재료성능 이상을 확보하고 있어 습식공법을 대신하는 건식공법에 적용할 수 있을 것이다. 둘째로, 수평반복하중에 대한 벽체의 구조성능은 벽체의 수평길이가 길어짐에 따라 사용된 표준형블록의 증가로 다수의 대각선방향 균열대를 형성하면서 조립블록벽체의 내력이 커짐을 알 수 있다. 끝으로 제안된 건식조립 콘크리트블록 벽체구조는 높이와 길이에 의한 벽체의 형상비가 수평하중에 받는 구조거동에 주요 영향변수로 판단되어 이를 고려한 내진성능평가가 필요하다.

Abstract Masonry structures are used as bearing walls in small buildings, but they are generally considered non-bearing walls. They are used as partition walls that divide the interior spaces of the frame structures of buildings. In addition, wetting techniques that use mortar as an adhesive between blocks or bricks in construction are vulnerable to climatic conditions, especially cracks in mortar, which can cause conduction collapse of the walls in seismic loading. The purpose of this research was to propose a dry concrete block construction method that complements the weak axial shear stiffness and improves the weakness of the wet construction method as well as to investigate its structural behavior. In this study, the material properties of concrete blocks were examined, and the seismic performance of the proposed dry assembly structure was verified by structural behavior tests on horizontal cyclic loads. First, in these study results, concrete blocks can be applied to the dry block construction method instead of wet construction methods because they secure more than C-type blocks in KS regulations. Second, the structural performance of the wall against a horizontal cyclic load indicates that the resisting force of the assembly block wall is increased by increasing the horizontal length of the wall, forming several diagonal cracks. Finally, the proposed dry block wall structure requires a seismic performance assessment considering that the ratio of the shape of the wall by height and length is considered a major influence variable on the structural behavior under a horizontal load.

Keywords : Concrete Block, Mortarless, Dry Assembly Wall, Material Properties, Structure Performance

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 20, 2020

Revised April 2, 2020

Accepted June 5, 2020

Published June 30, 2020

1. 서론

조적구조는 소규모 건축물에서는 내력벽으로 사용되거나 일반적으로 비내력벽으로 간주되어 건축물 골조구조의 내부공간을 구분하는 칸막이벽으로 활용되어진다. 또한 조적공사에서 블록이나 벽돌간의 접착제로 모르타르를 사용하는 습식공법은 양생시간이 필요하여 기후조건에 영향을 받으며, 특히 지진과 같은 횡력에 대해 모르타르의 균열로 벽체의 전도붕괴 등이 발생할 수 있어 매우 취약한 구조이다. 조적구조가 지진을 받을 때 파괴형태는 FEMA 306규정에 의하면 조적개체의 재료적 성질뿐만 아니라 단부 구속조건, 벽체의 형상비, 작용하중의 크기 및 형태 등에 따라 달라지며, 조적 벽체의 주요 파괴모드는 강제회전파괴(Rocking), 양단부 압괴파괴(Toe Crushing), 미끄러짐파괴(Sliding), 대각선인장 파괴모드(Diagonal Tension) 등으로 설명하고 있다[1].

습식조적벽체는 건축물의 내진성능 평가시에 철근콘크리트구조와 달리 모르타르 접합부의 불균질성으로 강성평가가 어렵고 그 조적벽체 배치가 평면에서 불규칙하면 구조물의 지진거동을 왜곡하기도 한다. 이에 조적벽체의 내진강성평가를 위한 많은 연구들이 수행되었으나 아직도 구조물의 강성이나 내진성능평가를 위해서 추가 연구들이 필요하다.

건식 조적공법에 대한 국내외 연구동향을 살펴보면, 먼저 국내에서는 건축물에 무량판구조와 함께 내부 공간의 가변성을 고려하여 건식 경량콘리트 벽체에 대한 연구[2]가 수행되었으나 대다수의 연구가 습식조적조 벽체의 재료물성연구나 철근콘크리트 골조와 조적채움벽체의 내진구조거동 연구[3,4]가 진행되었다. 반면 국외의 경우는 다양한 인터락킹 형상을 갖는 건식벽돌간에 마찰거동 분석 연구[5], 건식조적벽체로 채워진 철근콘크리트 골조에 층간 벽돌간의 움직임을 허용하여 면내 구조연성거동에 대한 연구[6], 다양한 형태를 갖는 건식조적벽돌의 압축 및 전단강도 분석 연구[7], 건식조적구조의 주파수나 댐핑계수 등의 동적응답 분석연구[8] 등 건식조적벽체에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다.

이에 조적구조의 취약한 약축방향 전단강성을 보완하고 모르타르의 불확실성을 배제함으로써 조적벽체를 갖는 구조물의 내진성능을 정확하게 평가할 수 있도록 습식공법을 개선하는 건식공법을 제안하고자 한다.

본 연구에서는 콘크리트블록으로 조립한 건식조적벽체가 지진과 같은 횡력을 받을 때의 구조성능을 규명하기 위해, 먼저 콘크리트블록의 재료물성을 살펴보고 수평

반복하중에 대한 조립된 벽체의 구조거동실험을 통해 제안된 건식블록벽체의 내진성능을 검증하고자 한다.

2. 건식 콘크리트블록의 특성

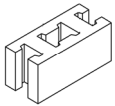

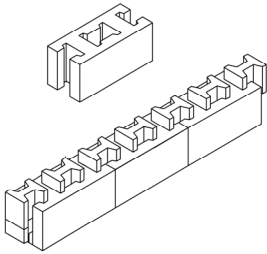
2.1 콘크리트블록의 설계

건식 콘크리트블록벽체의 조립을 위해 표 1과 같이, 200 mm(W) x 400 mm(L) x 200 mm(H) 크기의 표준형블록(standard block)과 129 mm(W) x 129 mm(L) x 200 mm(H) 크기의 핀블록(pin block)을 설계하였으며 최상단과 하단부, 양단부를 마감하기 위해 별도의 1/2 크기의 콘크리트블록을 고안하였다.

모르타르를 사용하지 않고 건식벽체를 만들기 위해서 표준형블록에 삽입되는 핀블록은 표준형블록의 높이에 대하여 상, 하 1/2만큼의 깊이로 삽입되어 상하, 좌우로 조립하여 벽체를 완성하게 된다.

모르타르를 사용하는 일반 속빈블록 조적식 벽체에는 속채움 모르타르와 인장재인 철근을 삽입하여 벽체를 보강하지만, 본 건식 콘크리트블록 벽체구조는 표준형블록과 핀블록 간의 결속 및 각 재료간의 유격을 통해 벽체의 구조성능을 발휘하도록 설계되었다.

Table 1. Outline of dry stack block wall

	Standard Block	Pin Block
Type		
Assembly Concept		

2.2 콘크리트블록의 재료물성

건식블록벽체의 형상, 성능기준 및 시험법에 대해서 현재 국내기준은 없는 상태로 이와 유사한 'KS F 4002 속빈 콘크리트블록'에 대한 성능기준을 살펴보고 이를 제

안된 건식 콘크리트블록의 표준형블록을 기준으로 측정 한 재료물성 값과 허용기준을 비교해 분석하였다.

2.2.1 배합설계

콘크리트블록의 배합설계를 위해 공시체 실험체 기준 설계강도를 KS F 2405에 따라 21 MPa 목표로 하고 그에 따른 배합비는 표 2와 같다.

Table 2. Mix design of dry concrete block

G. max. (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/A (%)	Weight (kg)				Total weight (kg)
					W	C	S	G	
13	5	6	21.15	70.52	55	260	1,280	220	1,815

2.2.2 제작허용치수

KS규준에서 소개되는 속빈 콘크리트블록의 종류는 길이 390 mm와 높이 190 mm를 갖고 두께가 100, 150, 190 mm와 같이 3가지 종류를 제시하고 있으며 제작시 크기의 허용오차는 ±2 mm 이하로 규정하고 있다. 이에 3개 표준형 콘크리트블록의 제작치수는 표 3과 같고 높이(H)치수가 진동압축성형 제작으로 설계된 치수 200 mm보다 평균 1.7 mm 정도 작아졌으나 전체적으로 허용치수내에 있음을 알 수 있다.

Table 3. Comparison of production permit dimension

No	Dimension (mm)			Criteria	Decision
	W	L	H		
1	400	200	198	≤ ± 2mm	OK
2	400	200	199		
3	400	200	198		
Average	400	200	198.3		

2.2.3 흡수율

KS규준에 의하면 보통골재를 사용한 C종 블록이 있으며 압축강도 8 MPa이상과 흡수율 10 % 이하로 제시 되어 있다. 본 연구에서 3개 표준형 콘크리트블록에서 측정된 흡수율은 표 4와 같고, 측정결과 평균 3.8%를 나타내 나 기준 허용치를 만족하고 있음을 알 수 있다.

Table 4. Comparison of Absorption ratio

No	Absorption ratio (%)	Criteria	Decision
1	4.2	≤ 10%	OK
2	3.6		
3	3.5		
Average	3.8		

2.2.4 압축강도

표준형블록의 압축강도 실험결과를 표 5와 같고, 콘크리트블록의 압축강도 평균은 12.1 MPa를 나타내고 있어 기존 속빈 콘크리트블록의 C종의 강도를 51% 초과하였음을 알 수 있다.

Table 5. Comparison of compressive strength

No	Strength (MPa)	Criteria	Decision
1	10.9	≥ 8MPa	C type block
2	11.5		
3	14.1		
Average	12.1		

3. 실험계획

3.1 실험체 제작

건식블록벽체 실험체의 제작을 위해 그림 1과 같이 높이가 1.6 m(블록 8단)을 고정하고 길이(L)를 1.2 m, 1.6 m, 2.0 m로 변화시켜 벽체 형상비(H/L)가 0.75, 1.0, 1.25를 갖는 3종류의 블록벽체를 조립하였고 그림 1과 같이 수평반복하중 실험용 구조물과의 접합을 위해 접합 볼트구멍을 갖는 연결철물을 제작하여 콘크리트블록의 최상부면과 최하부면에 에폭시본드로 접착하여 설치하였다. 실험체 세팅시 움직임을 방지하기 위해 임시용 수직 볼트 6개를 수직으로 설치하여 고정하고 실험체 세팅이 완료된 후 제거하였다.

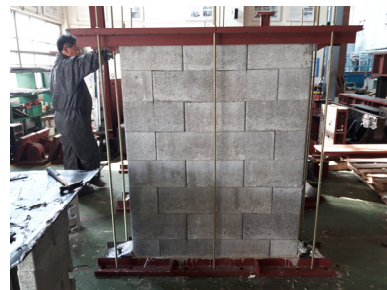


Fig. 1. Specimen wall assembly for L=1,200mm

3.2 실험체 세팅

수평반복하중에 대해 건식 콘크리트블록 벽체구조의 구조거동을 규명하기 위해 건식블록벽체 실험체 설치는 그림 2와 같다. 건식블록벽체 실험체는 상, 하부 철골구조프레임과 고력앵커볼트로 조여서 일체화시켰으며, 측면에 2,000 kN 용량의 Actuator로 수평반복하중을 가력하도록 설치하고 정·배면에 500 kN 용량의 Actuator로 상부프레임의 부가하중을 축력에 포함하여 일정축력이 유지되도록 수직가력을 하였다. 수평반복하중의 가력 방향은 그림 2에서 수평 Actuator가 왼쪽 방향으로 밀어내는 것을 정가력, 반대방향으로 당기는 것을 부가력 방향으로 하여 실험결과를 분석하였다.

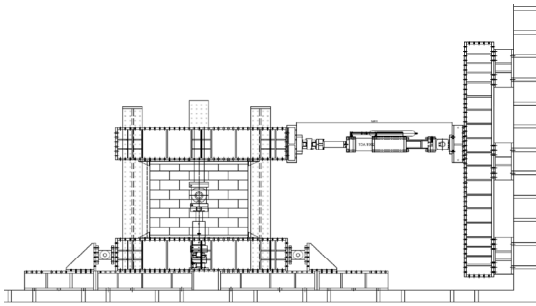


Fig. 2. Experimental setting of dry stack block wall

실험체에 발생하는 변위를 측정하기 위해서 그림 3과 같은 위치에 총 9개의 변위계(LVDT)를 설치하여 벽체 수평변위(L1), 미끄러짐 변위(L9), 회전거동에 의한 변위(L2~L4), 전단변형(L7, L8)을 측정하였다.

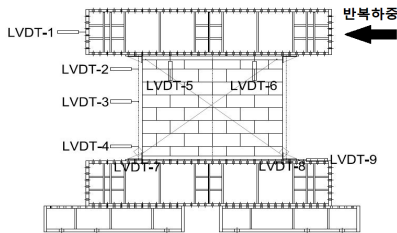


Fig. 3. LVDT Installation position

건식블록벽체의 수평하중에 대한 구조성능을 확인하기 위해 그림 4와 같이 2점 점중가력 변위제어방식으로 수평하중을 반복가력 하였고, 가력변위는 실험체 높이에 변위증분(0,125%)을 곱하여 12 cycle까지 고려하여 가력을 하였다.

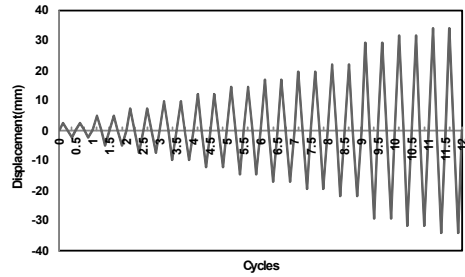


Fig. 4. Applied cyclic lateral load pattern

4. 실험결과

4.1 균열양상

건식조립된 콘크리트블록 벽체 각 실험체별 수평반복하중에 의해 발생한 균열의 전체 양상은 그림 5, 6, 7과 같다. 여기에서 앞면(front side)은 그림 2에 보이는 벽체면에 발생한 균열양상을 나타냈고 뒷면(back side)은 그 반대면에 발생한 균열양상을 표시하였다. 대체로 앞, 뒷면의 균열이 대칭적으로 발생하여 여기에서는 앞면 균열양상을 기준으로 분석하였다.

그림 5와 같이 길이 1,200 mm 벽체 실험체의 균열양상을 살펴보면, 정가력시에는 3 cycle 하중 24 kN에서 하부에서 7단열 콘크리트 표준블록 중앙부에 경사균열이 처음으로 발생하였고 6 cycle 하중 36 kN에서 경사방향 균열이 벽면에 다수 발생하였다. 이후 하중레벨이 증가하면서 벽체 실험체의 대각선 방향 위쪽에 전반적으로 발생하였고 그 균열폭이 점점커지면서 오른쪽 옆면 하단부의 블록벽체가 탈락되면서 12 cycle에 벽체가 더 이상의 하중지능력을 상실하여 실험을 중지하였다. 부가력시에는 4 cycle 하중 10 kN에서 오른쪽 하단부 면 수직방향 균열을 시작으로 4 cycle 하중 17 kN에서 수직방향 균열이 전반적으로 벽체에 발생하였다.

전반적으로 정가력시에는 벽체의 균열이 실험체 대각선 45도선 위부분에 집중되어 사선균열이 발생하였고 부가력시에는 실험체의 오른쪽 면에 집중하여 수직방향 균열이 발생하여 수평반복하중에 대해 건식조립 벽체 실험체의 균열방향이 좌우 대칭이 아님을 확인하였다. 또한 가력시 벽체에는 락킹현상으로 벽체 상단부 위치에 블록이 위쪽으로 들리다가 다시 가력방향이 바뀌면 원위치로 돌아가는 현상도 볼 수 있었다.

그림 6과 같이 길이 1,600 mm 벽체 실험체의 균열양상을 살펴보면, 정가력시에는 4 cycle 하중 32 kN에서

경사균열이 발생이 시작되어 발생했고 하중레벨이 올라 갈수록 벽체 전면에 2개의 대각선 균열대가 형성되면서 균열이 확대 전개되었고 12 cycle에 벽체 오른쪽 옆면에 콘크리트블록이 크게 탈락되면서 벽체가 파괴되었다. 부가력시에는 일부 사선균열과 함께 실험체의 오른쪽 면에 집중하여 수직방향 균열이 발생하였다.

그림 7과 같이 길이 2.000 mm 조적실험체의 균열양상을 살펴보면, 정가력시에는 1 cycle 하중 28 kN에서 경사균열이 하부에서 2단 오른쪽 표준블록에서 수직균열이 시작되어 4 cycle 하중 51 kN에서 경사균열이 확대되고 하중레벨이 증가할수록 벽체 전면에 3개의 대각선 균열대가 형성되면서 전반적으로 균열이 확대되어 발생하고 12 cycle에 벽체 왼쪽 옆면에 콘크리트블록이 탈락되면서 벽체가 파괴되었다. 부가력시에는 1 cycle 하중 28 kN에서 벽체에 균열 발생이 시작되어 실험체의 오른쪽 면에 집중하여 경사와 수직방향 균열이 발생하면서 오른쪽 하단부 벽체가 크게 탈락되면서 파괴되었다.

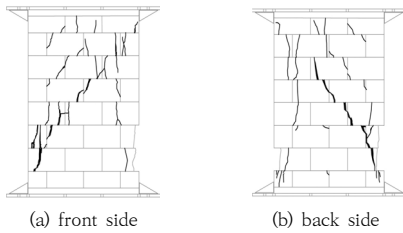


Fig. 5. Wall crack pattern (L=1,200 mm)

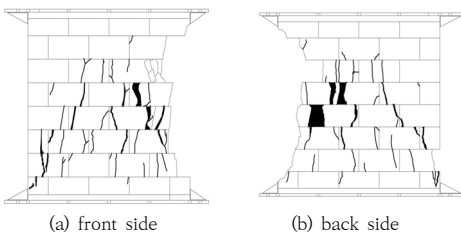


Fig. 6. Wall crack pattern (L=1,600 mm)

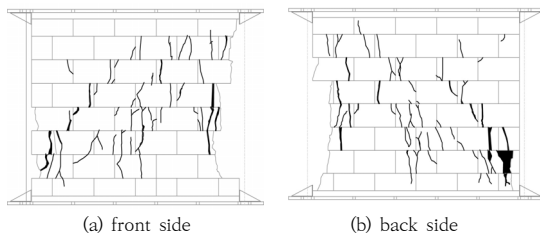


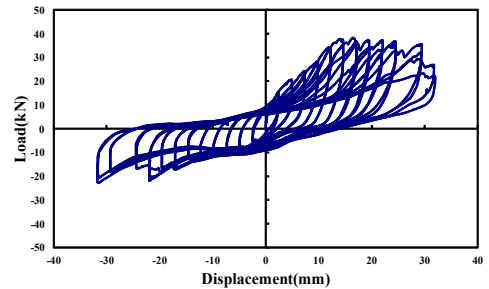
Fig. 7. Wall crack pattern (L=2,000 mm)

4.2 수평반복하중 실험결과

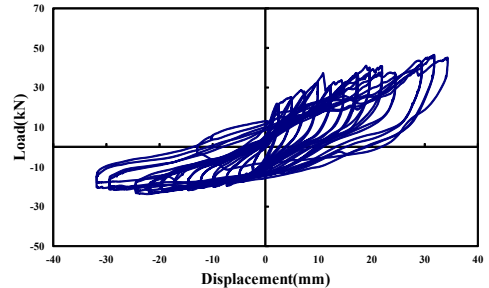
4.2.1 하중-변위 곡선 (LVDT 1 기준)

12 cycle 레벨의 수평반복하중에 대해 LVDT 1번에서 측정된 하중-변위 곡선은 그림 8과 같고 각 그래프에서 하중과 변위의 최대값을 중심으로 분석하였다.

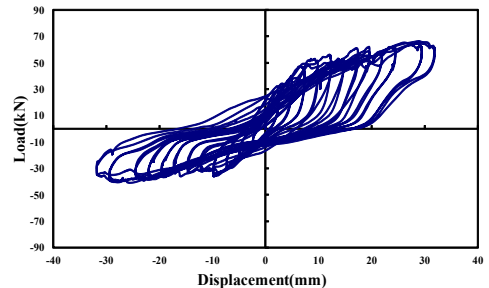
그림 8(a)에서 길이 1,200 mm 벽체의 하중-변위 실험결과를 살펴보면, 정가력시에는 6 cycle에서 최대하중 38.31 kN, 변위 16.41 mm 를 나타냈고 그 이후로 비슷한 하중레벨을 유지되다가 최대 변위 31.96 mm를 보이는 12 cycle에서 벽체 오른쪽 하단부 콘크리트블록이 탈락되면서 작용수평하중의 감소가 있었다. 부가력시에는 12 cycle에서 최대하중 -22.75 kN에서 변위가 최대값 31.78 mm를 나타냈다. 정가력과 부가력의 최대하중비는 1.68로 정가력시에 조립블록벽체가 더 큰 저항내력을 보였다.



(a) wall with L=1,200 mm



(b) wall with L=1,600 mm



(c) wall with L=2,000 mm

Fig. 8. Load-Displacement curve for LVDT 1

그림 8(b)에서 길이 1,600 mm 벽체를 살펴보면, 정가력시에는 11 cycle에서 최대하중 46.47 kN, 변위 31.67 mm를 나타냈고 벽체 오른쪽 부분에 콘크리트블록의 탈락이 발생하여 12cycle에서 파괴되었다. 부가력시에는 10cycle에서 최대하중 -23.81 kN과 변위 22.21 mm를 보였고 이후 하중크기가 감소되면서 12 cycle에서 최대 변위 31.82 mm를 나타내며 벽체가 파괴되었다. 정가력과 부가력의 최대하중비는 1.95로 정가력시가 더 큰 벽체내력을 보였다.

그림 8(c)에서 길이 2,000 mm 벽체를 살펴보면, 정가력시에는 12 cycle에서 최대하중 66.41 kN 변위 31.82 mm를 나타냈고 벽체 오른쪽 부분에 콘크리트블록이 크게 탈락되어 벽체가 파괴되었다. 부가력시에는 11cycle에서 최대하중 -40.8 kN와 변위 28.96 mm를 나타냈고 이후 하중크기가 감소되면서 12 cycle에서 최대 변위 31.82 mm를 나타내며 벽체가 파괴되었다. 정가력과 부가력의 최대하중비는 1.62로 정가력시가 더 큰 벽체내력을 보였다.

벽체의 길이가 길어질수록 정가력시에는 벽체의 저항내력이 길이 1,200 mm 벽체 대비 1,600 mm 벽체는 1.21배, 2,000mm 벽체는 1.73배 최대하중이 증가되는 경향을 나타냈다. 또한 부가력시는 1,200 mm 대비 1,600 mm 벽체는 1.05배, 2,000mm 벽체는 1.79배 벽체내력이 증가하였다. 이에 벽체의 길이가 길어질수록 저항내력은 대각선 저항대의 발생수가 증가되면서 벽체의 내력이 커짐을 알 수 있다.

4.2.2 하중-변위 곡선 (LVDT 7, 8 기준)

12 cycle 수평반복하중에 대해 LVDT 7, 8번에서 측정된 변위값으로 나타난 하중-변위 곡선은 그림 9, 10과 같고, 각 그래프에서 하중과 변위의 최대값을 표 6으로 정리하였다.

LVDT 7에서 측정된 하중-변위 관계를 나타낸 그림 9를 살펴보면, 정가력과 부가력시에 최대변위는 벽체길이에 따라 일관된 경향을 나타내지는 않지만 정가력에서 부가력을 뺀 값으로 분석을 하면 벽체길이가 길어질수록 27.76 mm, 28.28 mm, 32.04 mm 변동폭으로 커지고 있어 건식블록벽체의 전단저항 변형능력이 커짐을 알 수 있다.

LVDT 8에서 측정된 측정된 하중-변위 관계를 나타낸 그림 10에서도 정가력에서 부가력을 뺀 값은 27.47 mm, 29.46 mm, 33.15 mm로 그 변동폭이 유사하게 커지고 있음을 알 수 있다.

표 6에서 LVDT 7에서 LVDT 8의 값을 뺀 값을 분석해보면, 벽체길이 1,200 mm에서 정가력시 6.83 mm, 부가력시 6.54 mm 차이가, 벽체길이 1,600 mm에서 정가력시 3.34 mm, 부가력시 4.52 mm 차이, 벽체길이 2,000 mm에서 정가력시 3.86 mm, 부가력시 4.97 mm 차이가 발생하였다. 이에 형상비 0.75를 갖는 벽체 길이 1,200 mm 실험체는 벽체의 락킹거동으로 좌우 대각선방향 변위비의 차이가 2.5로 가장 크게 나타났고, 형상비 1.0을 갖는 벽체 길이 1,600 mm 실험체가 1.24, 형상비 1.25를 갖는 벽체 길이 2,000 mm 실험체가 1.37을 보였다.

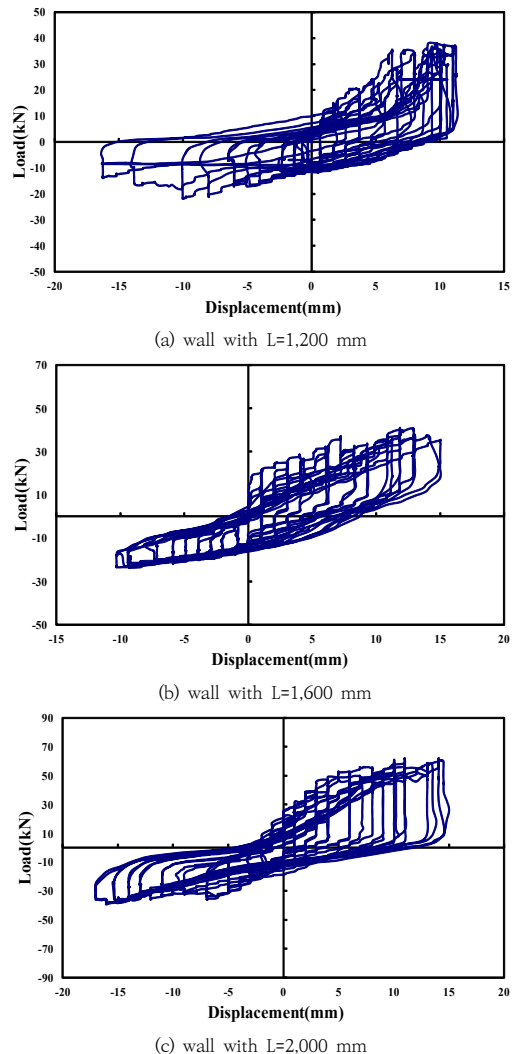


Fig. 9. Load-Displacement curve for LVDT 7

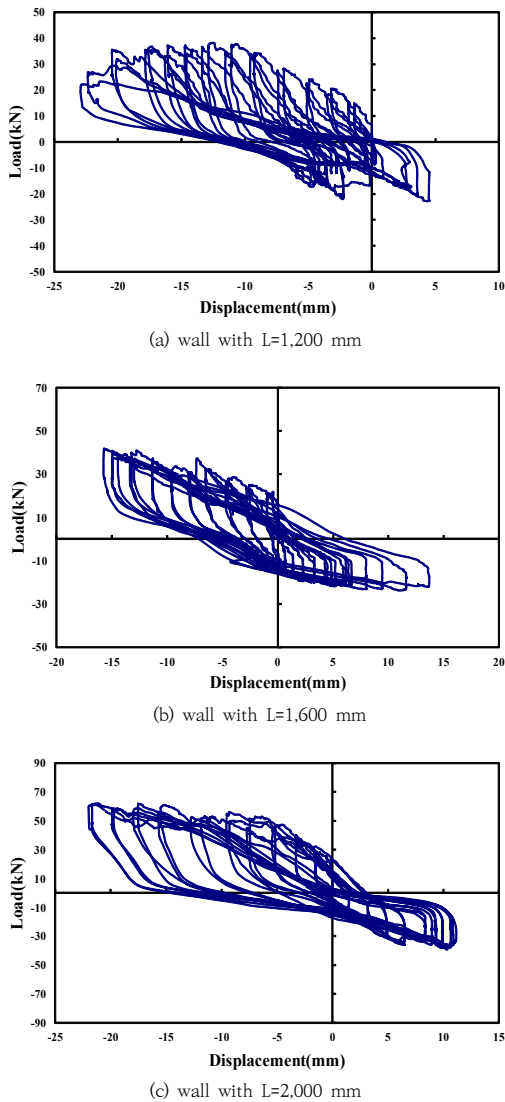


Fig. 10. Load-Displacement curve for LVDT 8

Table 6. Experimental results from LVDT 7, 8

LVDT	Maximum Displacement (mm)					
	Positive Loading			Negative Loading		
	1200	1600	2000	1200	1600	2000
7	11.37	17.05	15.01	-16.4	-11.2	-17.0
8	4.54	13.71	11.15	-22.9	-15.8	-22.0
7-8	6.83	3.34	3.86	6.54	4.52	4.97

5. 결론

본 연구에서 건식으로 조립된 콘크리트블록 벽체를 상

하부를 구속하고 수평반복하중에 대한 벽체 구조거동규명을 위한 실험연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째로, 제안된 건식 콘크리트블록은 흡수율 3.8 % 와 강도 12.1 MPa을 나타내고 있어 KS규준에 C종 속빈콘크리트블록의 기준치 이상을 확보하고 있었다.

둘째로, 수평반복하중에 대한 건식 콘크리트블록 벽체의 구조성능은 벽체의 수평길이가 길어짐에 따라 다수의 대각선방향 균열대가 증가되면서 벽체의 내력이 최대 1.79배 커짐을 알 수 있었다.

끝으로 건식조립 콘크리트블록 벽체구조는 벽체의 높이와 길이비에 의한 형상비가 수평하중을 받는 벽체의 구조성능에 주요 영향변수로 판단되어 이를 고려한 내진 성능평가가 필요함을 알 수 있었다.

References

- [1] ATC, Evaluation of earthquake damaged concrete and masonry wall buildings, FEMA 306, 1998. <https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1506-20490-1995/fema-306.pdf>
- [2] J. H. Jang, "Evaluation of Productivity and Environmental Loads in Apartment Housing by using Extrude Concrete Panels", Ph.D. thesis, Department of Architectural Engineering Graduate School, Hanyang University, pp. 12-25, 2013. <http://www.riss.kr/link?id=T13236379>
- [3] J. H. Park, S. H. Jeon, K. S. Kang, "Seismic Performance Evaluation of Masonry-Infilled Frame Structures using Equivalent Strut Models", Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, v.16 issue 1, pp. 47-59, 2012. DOI:<http://dx.doi.org/10.5000/EESK.2012.16.1.047>
- [4] K. H. Moon, Y. R. Jeon, C. S. Lee, S. W. Han, "Evaluation of Performance of Korean Existing School Buildings with Masonry Infilled Walls Against Earthquakes", Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea, v.16 issue 6, pp. 37-46, 2012. DOI:<https://doi.org/10.5000/EESK.2012.16.6.037>
- [5] H. Liu, P. Liu, K. L., S. Zhao, "Cyclic Behavior of Mortarless Brick Joints with Different Interlocking Shapes", Materials, v.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, v.9(2) 108, pp. 1-17, 2016. DOI:<https://doi.org/10.3390/ma9020108>
- [7] M. Ali, R. J. Gultom, N. Chouw, "Capacity of innovative interlocking blocks under monotonic loading", Construction and Building Materials, v.37,

pp. 812-821, 2012.

DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.08.002>

- [8] M. Ali, R. Briet, N. Chouw, "Dynamic response of mortar-free interlocking structures", Construction and Building Materials, v.42, pp. 168-189, 2013.

DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.010>

이 중 원(Joong-Won Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 연세대학교 건축공학
학과 (공학석사)
- 2009년 8월 : 연세대학교 건축공학
학과 (공학박사)
- 1991년 3월 ~ 2001년 8월 :
쌍용건설, SK건설 과장
- 1996년 12월 : 건축구조기술사
- 2001년 9월 ~ 현재 : 신안산대학교 건축과 교수

<관심분야>

철근콘크리트 내화성능, 조적조 내진거동