

## 조립식 블록 옹벽의 거동특성에 관한 연구

### A Study on Behavior Characteristics of Segmental Retaining Wall

이 준 대<sup>†</sup>

Lee, Jundae

**ABSTRACT** : From the practical point of view, general retaining wall systems, such as gravity wall, cantilever wall and reinforced wall, have several problems. As a countermeasure, precast block type retaining wall systems have been developed and used for the various purposes of construction. The retaining wall systems can be applied not only for mechanical purpose but environmentally friendly aspects by changing the shapes of surface plates and planting on the surface plates. On the other hand, the bulging failure was dominant near the center of wall height. Therefore, an individual block has to be estimated for the stability problem related to turnover and the for design of gravity block type wall. On the basis of this result, the optimum section of the wall has to be determined.

**Keywords** : Block retaining wall systems, Bulging failure, Optimum section

**요 지** : 실용적인 관점에서 현재 주로 사용되고 있는 중력식 옹벽, 캔틸레버식 옹벽 및 보강토 옹벽은 원활한 배수의 확보가 어렵고 뒷채움 토공량이 증가하고 현장타설에 의해 공기가 길어지는 등 현실적인 문제점을 갖고 있다. 이에 대한 대안으로서 프리캐스트 콘크리트를 이용한 블록식 옹벽공법이 개발되어 왔다. 이들 블록식 옹벽은 공학적 안정성을 유지함과 동시에 다양한 전면판의 구성 및 녹화의 가능성 등의 이점을 갖고 있으므로 도심지나 주택지에서의 옹벽공사에 자주 사용되고 있다. 많은 장점에도 불구하고 블록식 옹벽은 모형 실험결과 옹벽 중앙부에서 발생하는 배부름 현상이 주로 관찰되었으며, 따라서 안정성 분석이나 설계시에는 반드시 개별블록의 전도에 대한 안정분석을 실시하고 이를 바탕으로 최적단면을 산정해야 한다는 점을 알 수 있었다.

**주요어** : 조립식 블록 옹벽, 배부름 현상, 최적단면

## 1. 서 론

옹벽은 절토 혹은 성토로 발생하는 횡방향 토압을 유효하게 지지하기 위한 구조물이다. 따라서 중력식 옹벽을 비롯하여 캔틸레버식 옹벽까지 다양한 형태의 옹벽이 개발되어 현장 조건에 맞게 시공되어 왔다. 그러나 실용적인 관점에서 이들 옹벽은 여전히 현실적인 문제점을 갖고 있다. 특히, 강성 옹벽인 콘크리트 옹벽의 경우에는 철근으로 보강되어 있으므로 부등침하에 대응할 수 있으나 옹벽 시스템의 안정성에 밀접하게 관련되어 있는 배수 문제를 해결하기 어렵다는 점이 지적되며 배면토에 과도한 수압이 작용할 우려가 있다. 보강토 옹벽의 특성은 연성에 의해 부등침하에도 제 기능을 해낼 수 있다. 그러나 보강재의 정착을 위해서 기타의 옹벽에 비해 많은 공간을 필요로 하며, 보강재의 부식 문제가 유발될 수 있다(Clayton 등, 2007).

이에 대한 대안으로서 프리캐스트 콘크리트를 이용한 블록식 옹벽공법이 개발되어 왔다. 이들 블록식 옹벽은 공

학적 안정성을 유지함과 동시에 다양한 전면판의 구성 및 녹화의 가능성(조용성 등, 2006) 등의 이점을 갖고 있으므로 도심지나 주택지에서의 옹벽공사에 자주 사용되고 있다. 블록식 옹벽 공법은 하부 지반으로 전달되는 하중을 경감하고 옹벽체의 운반 및 시공이 용이하도록 하기 위하여 단면을 줄이고 배면을 보강재를 이용하여 보강하는 공법을 주로 사용하고 있다. 이때 형성되는 옹벽체는 연속체로 간주하기 어려우므로 이에 대한 모형실험, 실험실실험, 수치해석 등을 수행하여 거동에 대한 연구를 실시하고 있다(유충식 등, 1999; 유충식 등, 2002; 유충식 등, 2004; 김진만 등, 2004; 안광국 등, 2007).

본 연구에서는 배면에 보강토 공법이 배면 공간을 많이 차지하는 문제점과 또한 보강재의 부식문제 등을 해결하기 위해 개발된 조립식 블록옹벽을 연구 대상으로 설정하였으며, 이 공법은 배수효과를 극대화할 수 있다는 점과 현장에서의 공정을 최소화할 수 있다는 장점도 있으므로 현장 적용성이 매우 뛰어날 것으로 기대된다. 본 연구에서는 조립식 블록옹벽에 대한 모형실험을 실시하여 이러한

<sup>†</sup> 정희원, 세명대학교 토목공학과 교수(E-mail : jdlee@semyung.ac.kr)

옹벽에서 나타나는 변형패턴 및 파괴형태를 규명하고자 하였다.

## 2. 조립식 블록 옹벽의 개요

조립식 블록 옹벽 공법은 블록을 적층되게 설치하는 공법으로 정육면체의 형상을 갖는 블록 상·하면에 소정의 폭과 깊이로 요철부를 대칭되게 형성하여 이를 맞물림으로써 적층시키는 공법이다. 또한, 조립식 블록 옹벽 공법은 프리캐스트 콘크리트 블록을 사용함으로써 철도, 도로의 사면에 시공하여 소정의 안정성을 확보하고 혹은 교량 건설시 가시설물로서도 역할을 할 수 있는 일종의 의지식 옹벽공법이다.

블록을 설치함에 있어 한 번의 시공으로 영구적으로 사용이 가능하여 잦고 자연재해가 발생되더라도 블록이 지반으로부터 견고하게 지지되어 있어 블록의 유실을 줄일 수 있으며 블록의 유실로 인한 재시공 비용을 크게 줄일 수 있는 효과가 있다. 또한 하천 및 산사태의 우려가 있는 경사진 제방에 축조되는 블록으로서 블록의 요철부를 맞물려 연장 및 적제함으로써 블록을 견고하게 밀착시킬 수 있으며 측면에 형성된 관통공과 블록사이에 자연 발생된 소정의 공간을 이용하여 원활한 배수를 유도할 수 있다. 또한 기성 콘크리트 블록을 사용함으로써 기존에 시공하던 돌망태공법과 같이 블록 자체의 전단변형 등을 최대한 줄일 수 있으며 배면토의 유실을 방지할 수 있도록 하였다. 그림 1(a)는 개별블록에 대한 실물 모델을 나타낸 것이며 그림 1(b)는 이 공법에서 사용한 블록을 적층시킨 상태의 측면도이다.

그림 1에서 나타낸 바와 같이 본 공법은 블록의 상·하면에 소정 폭과 소정 깊이로 대칭되게 형성되어 상·하 맞물려 적층시키기 위한 요철부가 형성된다. 요철부가 형성되는 상·하면으로부터 수직되는 면의 소정 위치에 각 들

레를 따라 소정의 폭과 깊이를 갖고 형성되는 요홈부가 형성된다. 이 블록공법에서 요홈부의 사이를 포함하는 요철부 내에 대각선 방향으로 교차하여 연결구가 매설되어 설치되고, 요홈부 사이에 노출되어 있는 연결구를 체결하기 위한 연결부재로 구성된다. 그리고 길이가 짧은 U자형 고리부와 2개의 연결공이 형성되어 상기 고리부의 양선단이 각각 삽입되는 패널과 상기 고리부의 나사산에 체결되는 너트로 구성되어 인접 블록과의 결속을 체결한다.

## 3. 조립식 블록 옹벽에 대한 실내 모형실험

조립식 블록 옹벽의 거동 특성을 규명하기 위해 실험에서는 강재로 제작한 모형 토조를 이용하여 블록 옹벽 공법의 위치별 변위특성 및 옹벽 배면지반의 파괴형태를 계측하여 비교 연구를 실시하였다.

### 3.1 대상 시료의 공학적 특성

조립식 블록 옹벽의 모형실험에 사용된 뒤채움 시료는 No. 10체에는 통과되며 No. 200번에는 잔류하는 자연 건조 모래를 사용하였으며 통일 분류법(USCS)에 의한 분류 결과는 SP에 해당하는 빈 입도의 균질 모래이다. 실험에 사용된 모래의 물리적 특성은 표 1과 같으며, 그림 2는 시료의 입도분포를 나타내고 있다.

표 1. 시료의 물리적 성질

물리적 성질	값
비중, $G_s$	2.67
균등계수, $C_u$	3.65
곡률계수, $C_g$	1.64
최대건조밀도( $tf/m^3$ ), $\gamma_{dmax}$	1.70
최소건조밀도( $tf/m^3$ ), $\gamma_{dmin}$	1.35

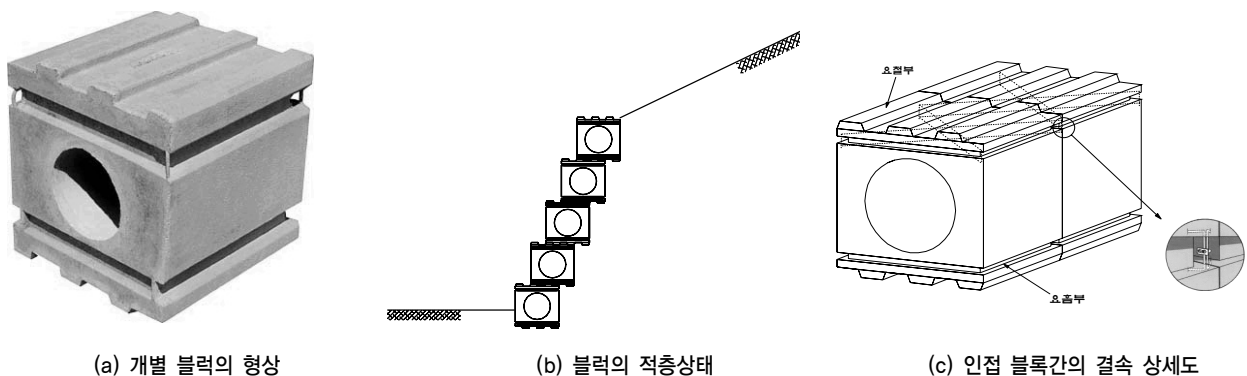


그림 1. 블록의 형상 및 적층 상태

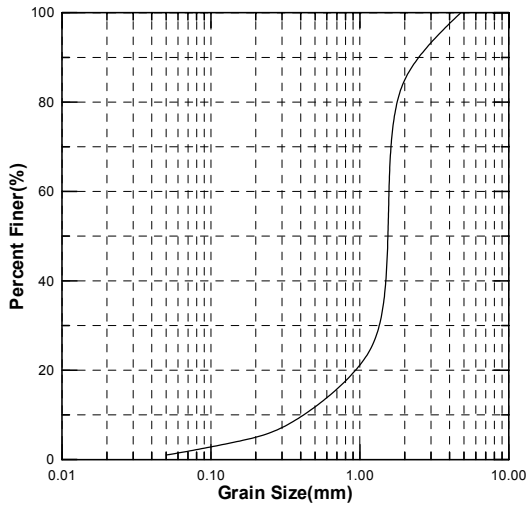


그림 2. 실험에 사용된 시료의 입도분포곡선

### 3.2 실험장치 및 실험지반의 조성

실험에서 사용된 장치는 모형 토조, 블럭, 일체식 옹벽체, 하중 재하 장치와 하중재하 정도를 측정할 수 있는 로드셀, 변형량을 측정하는 다이얼게이지등으로 구성된다.

사용된 모형 토조는 가로 120cm × 세로 120cm × 높이 90cm의 강재로 제작하였으며, 전면은 옹벽 축조를 위하여 개방시킬 수 있도록 고안하였고 옹벽 배면지반의 파괴형태를 관찰하기 위하여 모형 토조 측면에 플렉시글라스를 부착하였다.

모형블럭은 현장 실물크기 1/10의 축척(10×10×10cm)으로 제작하였으며 연결구의 체결을 위해 연결 장치를 돌출시키고 모형옹벽 축조 시에는 강선을 이용하여 연결하였다. 실제 블럭식 옹벽의 거동을 최대한 모사하기 위해 요철부와 요홈부를 축소모형에도 적용하였으며 요철부가 맞물리도록 조적하였다. 재하 중에 발생하는 옹벽의 수평 변위량을 계측하기 위하여 정밀도가 0.01mm인 50mm의 다이얼 게이지를 사용하였으며, 다이얼게이지는 하중 작용 중심부를 중심으로 옹벽 높이를 10등분하여 최하단부를 제외한 총 9개소에 장착하여 각 높이별 수평 변위량을 측정하였다.

하중 재하 장치는 실험강철판재로 제작된 재하판에 편심의 영향을 최소화하며 하중이 균등하게 가해질 수 있도록 한다. 대형토조실험은 그림 3과 4에 나타낸 바와 같이 가로를 11단으로 구축할 수 있는 토조를 이용하였다. 대형 토조실험에서는 유압식 재키를 사용하였으며 최대 하중 용량은 50ton으로 하중 재하에 따른 반력을 받는 역할을 하는 반력보(reaction beam)를 제작하였으며 이를 위해 토조 상단에 200mm × 200mm의 H-beam을 장착하였다. 재

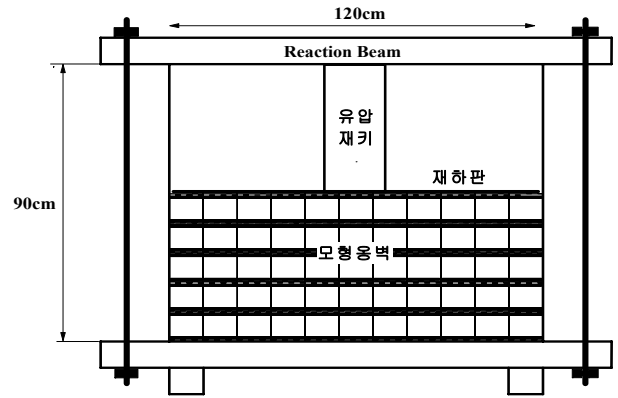


그림 3. 모형 실험장치 개요도

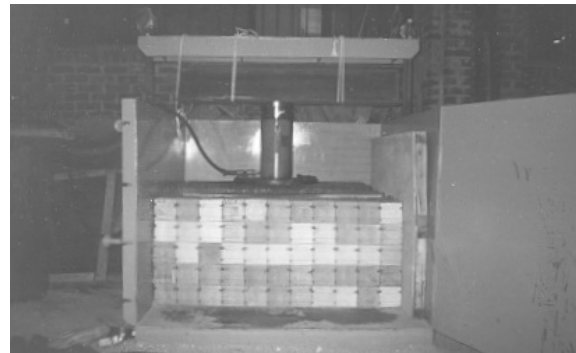


그림 4. 모형 옹벽의 구축 완료 및 재하 장치 장착

하면적은 배면 전단면에 재하중이 등분포로 작용할 수 있도록 하였으며 재하는 일정 크기의 하중을 단계적으로 가하는 방법을 사용하였다.

통상 실내 실험에 있어서 지반을 조성하는 방법은 크게 강사법(raining method)과 체적다짐법이 있다. 실험을 위해 조성할 시료의 체적과 중량을 측정하여 단위체적에 일정량의 시료가 조성될 수 있도록 체적 다짐법을 적용하였다. 본 실험에서는 다짐 확인을 위해 함수비 측정용 캔을 지반에 삽입하여 지반을 조성한 후 실험이 종료된 후에 캔을 회수하여 단위중량을 산정한 후 다짐 정도를 평가하였다.

그림 3은 모형실험장치의 개요도 및 치수를 표시하였으며 그림 4는 모형옹벽의 축조 및 실험 지반의 조성이 완료된 후 재하 장치가 장착된 최종적인 모습의 그림이다.

### 3.3 실험방법

블럭식 옹벽 공법의 거동 특성을 규명하기 위해 옹벽의 경사 및 높이를 변화하여 하중재하에 따른 변위와 이에 따른 거동특성에 대해 관찰하였으며 실험에 따른 단계별 과정은 다음과 같다.

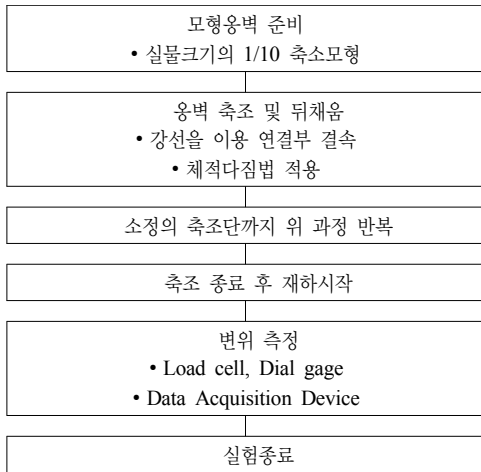


그림 5. 실험에 따른 단계별 과정

## 4. 실험결과 및 분석

조립식 블럭옹벽공법의 거동특성을 규명하기 위하여 옹벽 경사와 높이의 변화에 따른 변위 양상을 측정하고 배면의 파괴 형태를 고찰하여 재하 시 거동 특성을 규명하고자 하였다. 본 연구를 수행함에 있어서 절토나 사면 표토 제거 후 시공하는 경우는 가변적인 요소가 매우 많아 이를 해석이나 실험적으로 고려하기가 어려워 배면에 축조된 흙은 성토의 경우로만 국한하였다.

이 실험에서 변위 특성을 평가하기 위하여 전면경사를 0°와 19.16°로 유지하여 축조하였으며 옹벽높이는 5단과 7단으로 하였다. 또한 각각의 높이에서 폭 방향으로 블럭을 1단만 구축하고 실험을 실시하여 변위양상과 최대 수평변위의 위치를 분석하였다.

파괴하중의 산정방법은 하중-변위 곡선에서 비교적 변곡점

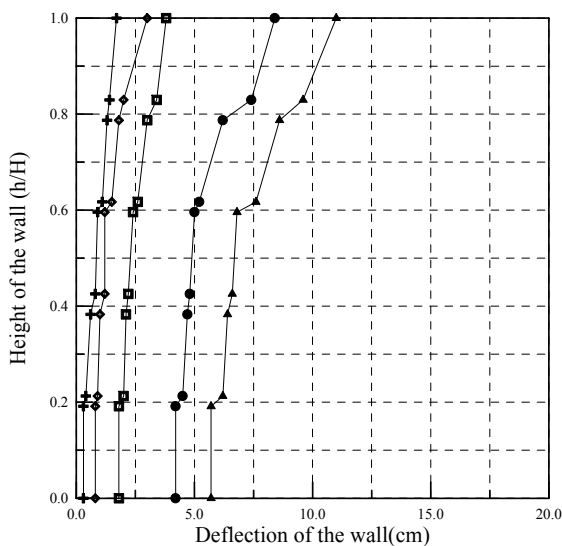
이 확연히 구분되는 점 또는 곡률반경이 최소를 보이는 점을 파괴하중으로 가정하였다. 블럭식 옹벽은 개별적인 블럭으로 구성되어 있으며 따라서 국부적인 안정성이 매우 중요한 고려사항으로 작용하게 된다. 블럭식 옹벽의 대표적인 파괴유형은 연결부의 파괴, 배부름 현상, 그리고 상부 전도와 같이 국부적인 파괴 형태를 주로 보이고 있으며 아울러 옹벽 전체가 활동하여 파괴되는 전체적 안정성 파괴가 있을 수 있다. 이러한 파괴 유형은 연약한 기초지반, 지하수위 상승, 과도한 외부하중의 작용 등에 기인한다. Brandl(1982)은 강체 옹벽이 아닌 연성체 옹벽의 경우 대부분의 변형은 전면이 불룩하게 불리오는 파괴, 이른바 벌징(bulging) 현상이 나타남을 확인한 바 있다.

### 4.1 5단 직립으로 축조한 옹벽의 경우

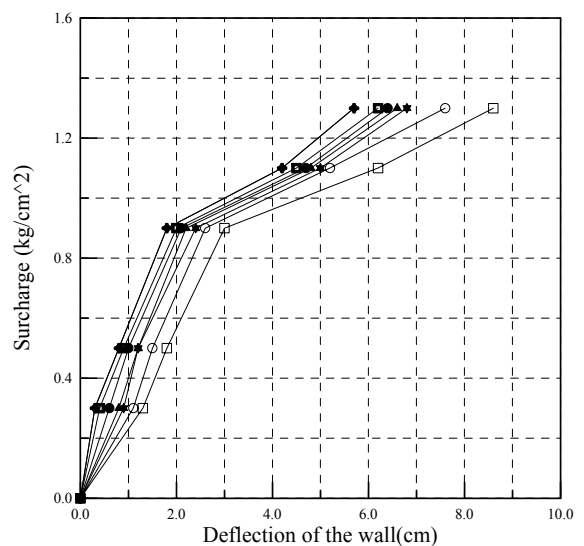
그림 6은 배면을 최적단면으로 축조한 5단 직립 옹벽의 경우에 대한 재하 실험결과로서 각각 옹벽의 높이-수평변형 분포와 재하하중-수평변위 분포를 나타내고 있다.

그림 6에서 알 수 있듯이 5단 직립 옹벽의 경우에는 하중 재하 초기에는 옹벽 전체가 전면으로 밀려오는 활동변형의 양상을 보이다가 하중이 점차로 증가함에 따라 최상단 축조단의 변위가 급격하게 증가하는 전도파괴 형태를 보이고 있다. 하단부는 수평적으로 이동하는 파괴 양상을 보이고 있으며 최종적으로 상부 2단이 국부적 전도 탈락하는 파괴 양상을 보였다. 따라서 이 경우의 최대 변위는 상부 1, 2단 즉 옹벽전체 높이의 0.6H ~ 1.0H에서 최대 변위를 보이고 있다.

옹벽의 하중-수평변위 양상은 초기 직선적인 증가를 유지하다가 특정 하중을 넘으면서 급격히 증가하는 양상을 보이고 있으며, 이때의 하중을 파괴하중으로 간주할 때 대략  $9\text{tf}/\text{m}^2$ 로 나타났다.



(a) 높이별 수평변위 분포



(b) 하중-수평변위 분포

그림 6. 직립으로 축조한 5단 옹벽의 변형 특성

## 4.2 5단 경사로 축조한 옹벽의 경우

그림 7은 전면의 경사를 19.16°로 유지한 상태에서 블럭을 구축하고 5단 높이의 옹벽에 대한 재하시험결과를 나타낸 그림이다.

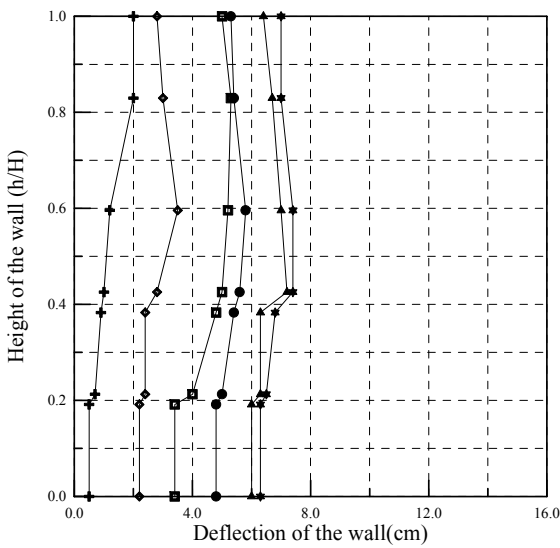
직립으로 구축한 블럭의 경우와는 달리 이 경우의 파괴 양상은 재하 초기 최상단부의 수평변위가 최대로 증가하다가 재하 2단계부터 제 3단 블럭이 전면방향으로 돌출되어 최종 성토단계에서는 옹벽 높이가 0.4H ~ 0.6H의 위치에서 최대의 수평변위를 보이고 있다. 이는 배부름 현상(bulging failure)의 양상을 보이는 것으로 판단되며 최하단 수평 변위량도 최상단의 변위 증가에 따라 지속적으로 증가하고 있어 전체 옹벽의 활동파괴와 배부름 현상이 동시

에 진행되고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서 옹벽 전면에는 최하단 블럭을 구속하는 어떠한 장치도 설치되지 않았다. 이 경우에는 최종적인 옹벽의 붕괴를 관찰할 수는 없었으며 하중재하와 옹벽의 변위가 둔화되는 시점에서 하중재하를 중지하고 실험을 종료하였다.

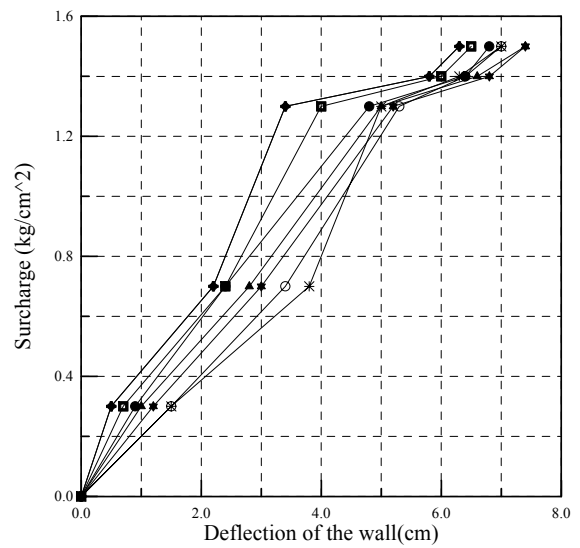
재하하중-수평변위 양상은 직립인 경우와 비슷하며, 이때의 하중을 파괴하중으로 간주할 경우 대략  $13\text{tf}/\text{m}^2$  내외의 파괴하중을 나타내고 있다.

## 4.3 7단 직립으로 축조한 옹벽의 경우

그림 8은 전면의 경사를 직립으로 축조한 7단 옹벽의 재하 시 변형거동 특성을 나타내고 있다.

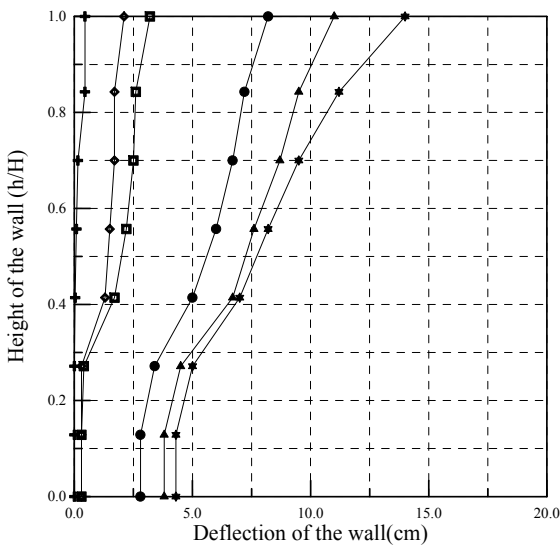


(a) 높이별 수평변위 분포

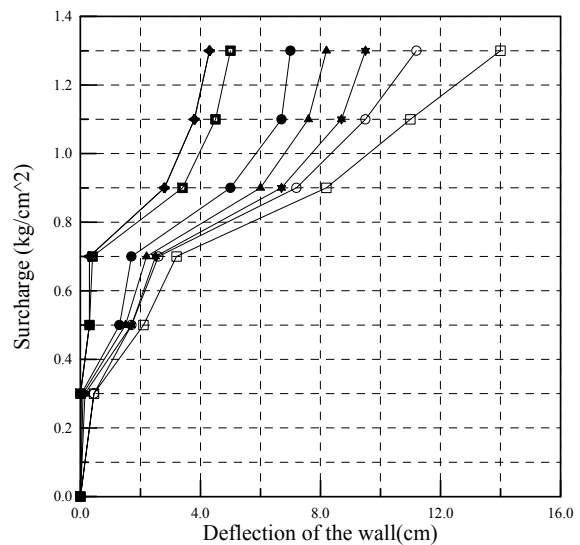


(b) 하중-수평변위 분포

그림 7. 경사로 축조한 5단 옹벽의 변형 특성



(a) 높이별 수평변위 분포



(b) 하중-수평변위 분포

그림 8. 직립으로 축조한 7단 옹벽의 변형 특성

직립으로 축조한 5단 옹벽의 변형거동과 양적인 차이는 있으나 그 양상에서는 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 재하 초기 하부 2단의 블럭을 제외하고는 모두 전면부 방향으로 변위가 진전되고 있었으며 최상단의 변형이 가장 크게 나타났다.

7단 옹벽의 경우에는 하중이 증가함에 따른 상단부의 국부적인 붕락이 주요한 파괴 형태였으며 하중재하 최종 단계에서는 상부 블럭 2단이 전면부로 붕락하면서 파괴되어 실험을 중단하였다. 최대 수평변위는 옹벽의 최상단에서 관찰되었으며 5단 옹벽과 비교하여 설명하면 옹벽 하단부의 수평 변위량에 비해 최상단의 변위량이 약 3배에 이를 정도로 전형적인 국부파괴의 양상을 띠고 있으며 하중-수평변위 분포 곡선에서도 확실한 변곡점을 확인할 수 있었다. 이 경우의 파괴하중은 5단 축조 옹벽에 비해 약 20%정도 감소한 약  $7\text{tf}/\text{m}^2$  내외인 것으로 나타났다.

#### 4.4 7단 경사로 축조한 옹벽의 경우

그림 9는 전면의 경사를  $19.16^\circ$ 로 축조한 7단 옹벽의 재하 시 변형거동 특성을 나타내고 있다. 7단으로 축조된 경사 옹벽의 경우 변형거동이나 파괴 양상이 일치하고 있으며 단지 양적인 면에서 차이를 보이고 있다. 하중이 증가하여 최종 재하단계에 이르러서는 최상단 블럭이 회전하면서 블럭의 변위가 상대적으로 줄어드는 현상을 나타내었다. 최대 수평 변위량은 옹벽의 중앙부인 약  $0.5H \sim 0.7H$ 에서 발생하고 있으며 배부름 현상과 활동 파괴의 양상을 동시에 보이고 있다.

옹벽의 파괴하중도 5단 옹벽의 파괴하중에 비해 약 15%

정도 감소한  $11\text{tf}/\text{m}^2$  내외인 것을 알 수 있다.

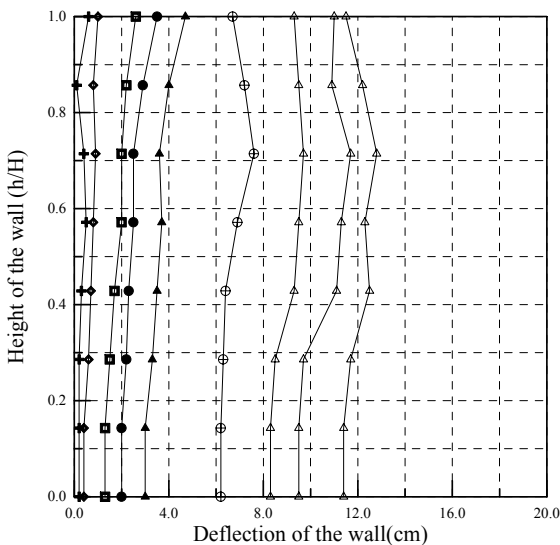
#### 4.5 블럭식 옹벽의 파괴형태

블럭의 파괴양상을 종합적으로 정리하기 위해 비교적 파괴형태를 명확하게 드러내고 있는 두 가지 경우에 대한 하중 단계별 개별블럭의 변위 특성을 그림 10에 나타내었다.

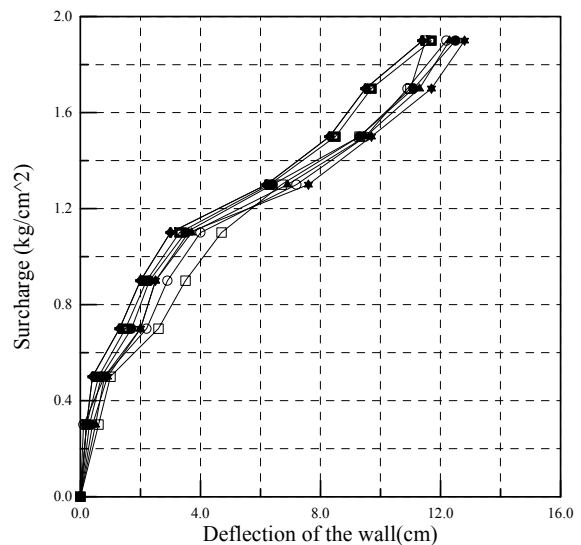
그림 10(a)는 전면 경사를  $19.16^\circ$ 로 유지한 상태에서 실시한 경우이며 3단계 재하 시까지는 블럭이 거의 수평적인 이동만을 보이는 전체 활동성 변형양상을 보이다가 재하 4단계부터서는 중앙부 블럭인 3단 블럭부터 전면으로 돌출되어 나오고 4단 블럭과 5단 블럭은 오히려 변형이 뒤채움 쪽으로 진행되는 것을 알 수 있다. 최종 하중 단계인 5단계에서는 이러한 변형특성이 보다 확실하게 발생되고 있으며 상부 4단과 5단 블럭은 뒤채움 쪽으로 역전도 되는 양상을 보여 배부름 현상(bulging failure)의 가능성이 높다는 것을 알 수 있었으며 국부적인 붕괴는 관측할 수 없었다.

그림 10(b)는 전면 경사가  $0^\circ$ , 즉 직립으로 구축된 옹벽의 변형특성을 보이고 있으며 재하 단계가 계속되어도 최하단부를 중심으로 전도 변형하는 양상을 보이고 있다. 이 공법의 경우 상·하단의 인위적인 결속은 없고 단지 요철부의 맞물림만으로 저항하고 있으므로 블럭의 변위가 진행되어 요철부의 맞물림 힘을 넘어서는 경우에는 상단부가 국부적으로 전도되는 파괴의 가능성을 예측할 수 있다.

또한 실험 결과로 판단할 때 파괴하중의 경우에도 동일한 물량을 이용해 직립으로 축조한 경우에 비해 경사로 축조된 경우가 약 1.5배정도 증가하는 것으로 나타났으며, 배면의 용지가 충분하고 경사로 시공하는데 큰 무리가 없

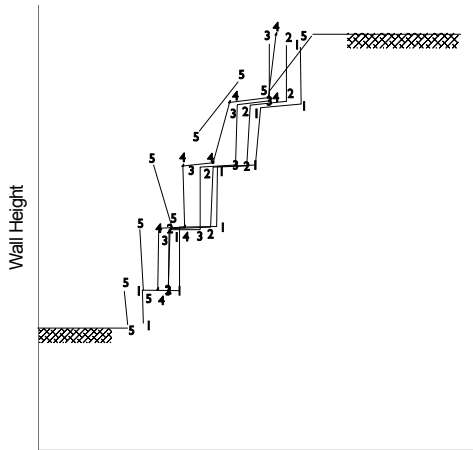


(a) 높이별 수평변위 분포

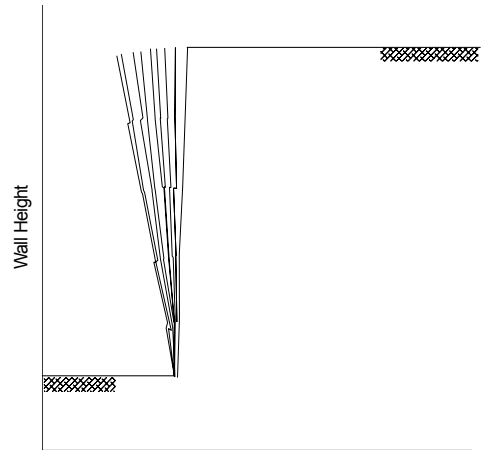


(b) 하중-수평변위 분포

그림 9. 경사로 축조한 5단 옹벽의 변형 특성



(a) 경사진 조립식 블록 옹벽의 대표적 변형 양상



(b) 직립 조립식 블록 옹벽의 대표적 변형 양상

그림 10. 직립으로 축조한 7단 옹벽의 변형 특성

는 경우에는 직립으로 축조하기 보다는 전면에 경사를 두어 상부블럭을 하부의 두 블럭 사이에 맞물려(interlocking) 시공하는 것이 경제적이며 구조적으로도 안정할 것이다.

## 5. 결 론

조립식 블록 옹벽 공법에 대한 적용성 및 공학적 안정성 검토를 위해 실험적 접근을 시도하고 이를 통해 얻어낸 결론은 다음과 같다.

- (1) 모형 블럭을 적층시켜 모형재하실험을 실시한 결과 직립옹벽은 전체적 전도에 따라 상단 블럭이 국부적으로 탈락하는 파괴형태를 보이고 있으며, 경사지게 구축한 경우에는 옹벽 중앙부에 배부름 현상이 발생하는 배부름 현상을 보이고 있었다.
- (2) 파괴하중의 산정방법은 하중-변위 곡선에서 비교적 변곡점이 확연히 구분되는 점 또는 곡률반경이 최소를 보이는 점을 파괴하중으로 가정하였을 경우 파괴하중은 5단 직립 및 경사, 7단 직립 및 경사의 경우 각각  $9tf/m^2$ ,  $13tf/m^2$ ,  $7tf/m^2$ ,  $11tf/m^2$ 으로 나타났다.
- (3) 파괴하중의 경우 직립으로 축조한 경우에 비해 경사로 축조된 경우가 약 1.5배정도 증가하므로 전면에 경사를 두어 시공하는 것이 경제적이고 구조적으로도 안정할 것이다.
- (4) 실제로 블럭식 옹벽에서 가장 우려되는 파괴형태는 배부름에 의한 파괴라는 것이 일반적인 견해이다. 따라서 차후에 조립식 블럭 옹벽을 설계·시공함에 있어 이

러한 파괴 형태를 고려하여 적절한 대책이 강구되어야 할 것이다.

## 감사의 글

이 논문은 2007학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행된 연구이며, 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 김진만, 이정재, 조삼덕, 백영식(2004), 블록형 보강토 옹벽의 토압 특성 연구, *한국지반공학회논문집*, Vol. 20, No. 1, pp. 83~90.
2. 안광국, 김재일, 이치근, 정태익(2007), 원심모델링을 이용한 보강재 침하형 보강토 옹벽의 거동, *대한토목학회 논문집*, Vol. 27, No. 2C, pp. 99~109.
3. 유충식, 이광문(1999), 블럭식 보강토 옹벽의 거동 특성연구, *한국지반공학회 논문집*, Vol. 15, No. 1, pp. 53~62.
4. 유충식, 전영우(2002), 계단식 보강토 옹벽의 거동에 관한 유한요소해석, *대한토목학회 2002년 학술발표회*, pp. 474~478.
5. 유충식, 정희상(2004), 계단식 형태의 실대형 블럭식 보강토 옹벽의 거동, *대한토목학회논문집*, Vol. 24, No. 4C, pp. 213~222.
6. 조용성, 구호본, 이춘길(2006), 부지포를 활용한 급경사 녹화 보강토공법의 적용 가능성에 관한 연구, *대한토목학회 논문집*, Vol. 26, No. 4C, pp. 239~245.
7. Brandl, H.(1982), Raumbgitter-Stützmauern, Bundesministerium für Bauten und Technik, Straßenforschung, Heft 208, pp. 99~103.
8. Clayton, R. I., Milititsky, J. and Woods, R. I.(2007), *Earth Pressure and Earth-Retaining Structures*, Spon Press, New York, pp. 289~296.

(접수일: 2008. 1. 11 심사일: 2008. 1. 11 심사완료일: 2008. 4. 10)