

# 농촌건축물 사면 안정성 확보를 위한 블록식 옹벽의 거동분석

## Behavior Analysis of Block Type Wall Constructed for Maintaining the Slope Stability of Rural Structure

신 방 응\* 오 세 욱\*\* 권 영 철\*\*\*  
Shin, Bangwoong Oh, Sewook Kwon, Youngcheul

### Abstract

Retaining walls are used to prevent excessive movement of retained soils. Typical retaining walls include gravity, reinforced concrete, reinforced earth and tie-back. However, from a practical viewpoint there are still drawbacks among these often constructed retaining walls.

New types of retaining walls constructed with precast concrete blocks are proposed. This type of retaining wall is incorporates each blocks interconnected with adjacent block by connecting unit to build up a flexible retaining-wall system.

This paper focus to behavior characteristics includes deformation and distribution of lateral earth pressure by loading tests and FEM analysis.

For model tests, a 1/10 scale reduce models are manufactured include unevenness part, drainage hole and connecting unit and steel wire used to connect each blocks with adjacent block. To simulate the real retaining walls closely, uneven parts are interconnected each other and the construction type of blocks and wall front inclination are varied to investigate the relative displacement of individual block and the location of maximum deformation of wall as increasing surcharging. Additionally, PENTAGON3D, which solve the geotechnical and other problem, used for verifying and comparing with model tests.

키워드 : 블록식 옹벽, 사면안정, 농촌 구조물, 유한요소해석

Keywords : block type wall, slope stability, rural structure, FEM analysis

### 1. 서론

사회의 전반적인 생활 수준의 향상과 더불어 농촌사회도 높은 생활환경수준을 요구하고 있다. 특히 농촌사회는 기존의 풍부한 수자원, 삼

림 등 수려한 경관을 유지한 상태에서 더욱 안정적인 생활환경을 구축하는 것이 무엇보다도 중요한 사안임에 틀림없다.

하지만 농촌생활공간 활용에 있어 효율성을 기하기 위해서는 소정의 경사를 갖는 사면의 발생은 불가피한 일이다. 또한 우리나라 수리특성상 여름에 강우가 집중되어 있어 사면에서의 토사의 이동에 의한 재해가 빈번히 발생하고 있으

\* 충북대학교 토목공학과 교수

\*\* 한국표준과학연구원 시설안전계측센터 연구원

\*\*\* 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

며 이에 대한 대비가 필요한 실정이다.

현재 농촌지역에 주로 분포하고 있는 자연사면 혹은 인공적인 절취사면에 대해 안정성을 확보하기 위한 토류공법에는 기존에 주로 사용되고 있는 중력식 옹벽, 철근 콘크리트 옹벽, 보강토 옹벽, 그리고 tie-back 옹벽 등이 있다. 그러나 실용적인 관점에서 실제로 많이 사용되고 있는 이들 형식의 옹벽은 배수를 위해 설치한 파이프는 시간이 흐름에 따라 막힘현상이 발생하고 이에 따라 배면토에 높은 수압과 과도한 포화도를 유발시키며 시공 공간적인 문제, 보강재의 부식 등의 결점을 여전히 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 시공속도가 빠르며 경제성이 높고 농촌지역에서 빈번히 발생하는 사면붕괴 등 자연재해에 대한 대처능력이 뛰어난 프리캐스트 콘크리트 블록을 이용하여 세하 하중이 증가함에 따른 옹벽체의 변위와 배면에 작용하는 토압분포를 구명하고자 한다.

## 2. 구축용 블록식 옹벽공법

본 연구에서는 블록을 적층되게 설치하는 구축용 블록(Block for construction, BFC)을 대상으로 하였으며, 이는 정육면체의 형상을 갖는 구축용 블록 상·하면에 소정의 폭과 깊이로 요철부를 대칭되게 형성하여 이를 맞물림으로써 직립시키는 공법이다.

구축용 블록은 프리캐스트된 콘크리트 블록으로서 절도, 도로의 사면에 시공하여 소정의 안정성을 확보하고 혹은 교량 건설시 가시설물로서도 역할을 할 수 있는 옹벽공법이다.

### 2.1 블록의 구성

[그림 2.1]은 개별블록에 대한 실물 모델을 나타낸 것이며 [그림 2.2]는 본 공법에서 사용한 블록을 적용시킨 상태를 도시한 측면도이다.

[그림 2.1] 및 [그림 2.2]에서 도시한 바와 같이 본 공법은 블록의 상·하면에 소정 폭과 소정 깊이로 대칭되게 형성되어 상·하 맞물려 직

립시키기 위한 요철부가 형성된다. 요철부가 형성되는 상·하면으로부터 수직되는 면의 소정 위치에 각 돌레를 따라 소정의 폭과 깊이를 갖고 형성되는 요홈부가 형성된다.

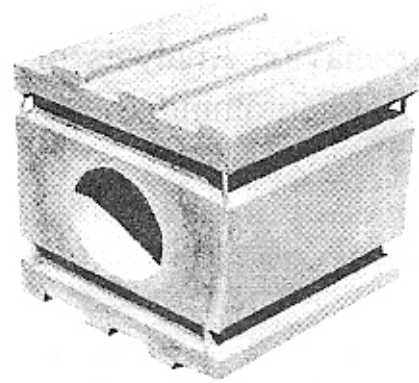


그림 2.1 개별 블록의 실물모델

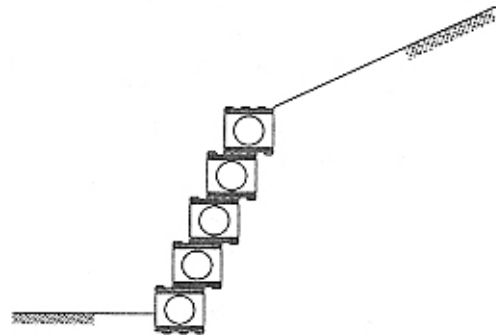


그림 2.2 블록을 적용시킨 상태의 측면도

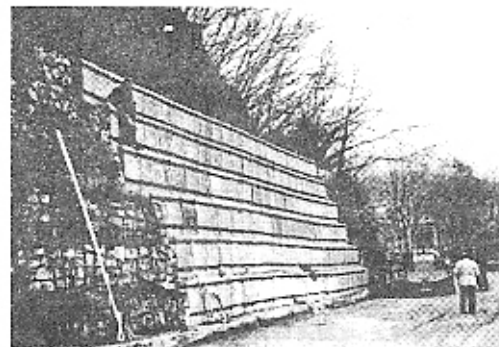


그림 2.3 Gabion 옹벽과 함께 시공된 시공단면

### 3. 구축용 블록공법에 대한 실내모형실험

#### 3.1 대상 시료의 공학적 특성

구축용 블록공법 실험에 사용된 외재용 시료는 No. 10 등과 No. 200인 종류의 자연 건조 모래를 사용하였으며 통일분류법(USCS)에 의한 분류 결과는 SP에 해당하는 빈입도의 완결 모래로 판명되었다. 실험에 사용된 모래의 물리적 특성은 [표 3.1]과 같다.

표 3.1 시료의 물리적 특성

Physical properties	Quantity
Specific gravity, Gs	2.67
Coefficient of uniformity, Cu	3.65
Coefficient of curvature, Cg	1.64
Maximum dry unit weight(t/m <sup>3</sup> )	1.70
Minimum dry unit weight(t/m <sup>3</sup> )	1.35

#### 3.2 실험장치

본 실험에서 사용된 실험장치는 모형토조, 구축용 블록, 하중지하장치와 하중제한장도를 측정할 수 있는 로드셀(loadcell), 변형량을 측정하는 다이얼게이지(dial gauge)로 크게 구분해 볼 수 있다.

본 연구에서 사용된 모형토조는 현장 실험크기의 1/10 축척의 모형실험이 가능하도록 가로 120cm×세로 120cm×높이 90cm의 강재로 제작하였다. 옹벽 백면지반의 파괴형태를 관찰하기 위하여 모형 토조 측면에 플렉시글라스가 부착된 모형토조를 이용하여 모형실험을 실시하였다. 모형옹벽은 실험의 1/10의 축척대로 제작하였으며 연결구의 체결을 위해 연결장치를 늘줄시키고 모형옹벽 축조시에는 강선을 이용하여 연결하였다. 실제 블록식 옹벽의 거동을 최대한 모사하기 위해 요철부와 요홈부를 축소모형에도 적용하였으며 요철부의 맞물리도를 조정하였다.

재하 중에 발생하는 옹벽의 수평변위량을 계측하기 위하여 50mm(정도 0.01mm)의 다이얼게이지(dial gauge)를 사용하였으며, 다이얼게이지는 하중 작용 중심부를 중심으로 총 9개소에 장착하여 각 높이별 수평변위량을 측정하였으며

재하된 하중의 권측을 위해 500kgf와 1000kgf의 s자형 로드셀을 장착하였다. 수평변위량 및 재하하중은 데이터 수집장비인 다채널 데이터로거(datalogger)를 이용하여 수집된다.

하중의 재하를 위해서는 유압식 재기를 사용하였으며 최대 하중 용량은 50ton으로 견고한 강철 관재로 제작된 재하관에 편심의 영향을 최소화하며 하중이 균등하게 가해질 수 있도록 한다. 또한 하중 재하에 따른 반력을 받는 역할을 하는 반력보(reaction beam)를 제작하였으며 이를 위해 토조 상단에 200mm×200mm의 H-beam을 장착하였다.

#### 3.3 실험지반의 조성

등상 실내 실험에 있어서 지반을 조성하는 방법은 크게 강사법(raining method)과 체적다짐법이 있다. 본 실험에서는 시료 조성 전에 조성한 시료의 체적과 시료의 중량을 측정하여 단위 체적에 일정량의 시료가 조성될 수 있도록 체적다짐법을 적용하였다. 또한 시료 조성시 승법모입역사를 모선하여 재하시에 발생하는 지반 내부의 파괴모드의 권측이 가능하도록 하였다.

[그림 3.1]은 모형실험장치의 개요도 및 치수를 표시하였으며 [그림 3.2]는 모형옹벽의 축조 및 실험 지반의 조성이 완료된 후 재하장치가 장착된 최종적인 광경을 보이고 있는 그림이다.

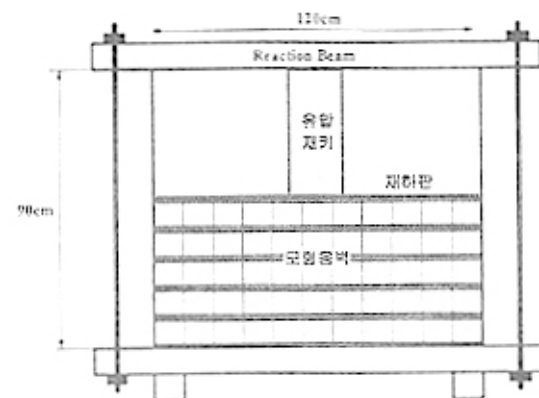


그림 3.1 모형 실험장치 개요도

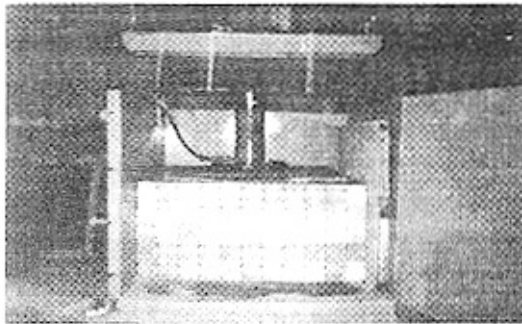


그림 3.2 모형 블록의 구축 완료 및 재하장치 상하

### 3.4 실험방법

블록식 옹벽 공법으로 축조된 옹벽의 거동 특성을 규명하기 위해 옹벽의 경사 및 높이를 변화하여 하중재하에 따른 변위와 이에 따른 거동 특성에 대해 관찰하였으며 실험에 따른 단계별 과정은 다음과 같다.

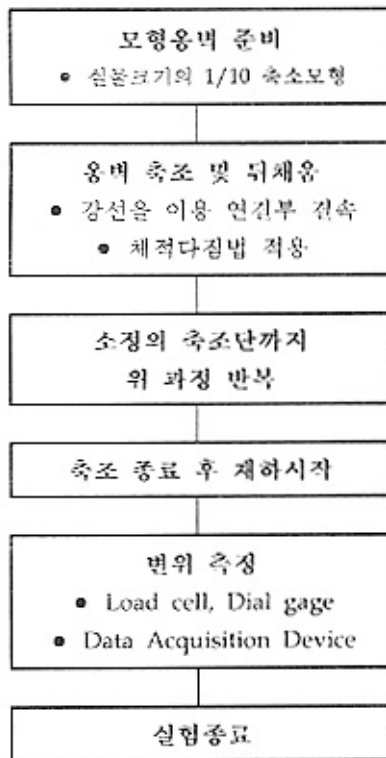


그림 3.3 실험에 따른 단계별 과정

### 3.5 실험결과 및 분석

본 옹벽 공법의 변위 특성을 평가하기 위하여 전면경사를 0° 와 19.16° 로 유지하여 축조하였으며 옹벽높이는 5단과 7단으로 결정하였다. 또한 각각의 높이에서 폭 방향으로 블록을 1단만 구축하여 실험을 실시하여 변위양상과 최대 수평변위의 위치를 분석하였다.

파괴하중의 산정방법은 하중-변위 곡선에서 비교적 변곡점이 확연히 구분되는 점 또는 곡률반경이 최소를 보이는 점을 파괴하중으로 가정하였다.

블록식 옹벽은 개별적인 블록으로 구성되어 있으며 따라서 국부적인 안정성이 매우 중요하고 고려사항으로 작용하게 된다. 블록식 옹벽의 대표적인 파괴유형은 연결부의 파괴, 배부름, 그리고 상부 전도와 같이 국부적인 파괴 형태를 주로 보이고 있으며 아울러 옹벽 전체가 움직여 파괴되는 전체적 안정성 파괴가 있을 수 있다. 이러한 파괴 유형은 연약한 기초지반, 지하수위 상승, 과도한 외부하중의 작용 등에 기인한다. Brandl(1985)은 강체 옹벽이 아닌 인성체 옹벽의 경우 대부분의 경우 변형은 전면이 불룩하게 불려오는 파괴, 이른바 벌징(bulging) 현상이 나타남을 제안한 바 있다.

#### 3.5.1 구축용 블록 옹벽의 변형특성

##### 1) 5단 직립으로 축조한 옹벽의 경우

[그림 3.4]는 배면을 최적단면으로 축조한 5단 직립 옹벽의 경우에 대한 재하 실험결과를 보이고 있는 것으로 각각 옹벽의 높이-수평변형 분포와 재하하중-수평변위 분포를 나타내고 있다.

[그림 3.4]에서 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 진도파괴형태를 보이고 있으며 하단부는 수평적으로 이동하는 파괴 양상을 보이고 있다. 최종적으로 상부 2단이 국부

직 진도 탈락하는 파괴양상을 보였다. 따라서 본 경우의 최대 변위는 상부 1, 2단 즉 옹벽전체 높이의 0.6H~1.0H에서 최대 변위를 보이고 있었다.

옹벽의 하중-수평변위 양상은 초기 직선적인 증가를 유지하다가 특정 하중을 넘으면서 급격히 증가하는 양상을 보이고 있으며 이때의 하중을 파괴하중으로 간주할 때 이 경우의 파괴하중은 대략  $9t/m^2$ 으로 나타났다.

#### 2) 5단 경사로 축조한 옹벽의 경우

[그림 3.5]는 전면의 경사를 19.16°로 유지한 상태에서 블록을 구축하고 5단 높이의 옹벽에 대한 재하시험결과를 도시한 그림이다.

직립으로 구축한 블록의 경우와는 달리 이 경우의 파괴 양상은 재하 초기 최상단부의 수평변위가 최대로 증가하다가 재하 2단계부터 제 3단 블록이 전면방향으로 돌출되어 최종 성토단계에서는 옹벽 높이의 0.4H~0.6H의 위치에서 최대의 수평변위를 보이고 있으며 이는 팽창성 파괴(bulging failure)의 양상을 보이는 것으로 판단되며 최하단 수평변위량도 최상단의 변위 증가에 따라 지속적으로 증가하고 있어 전체 옹벽의 활동파괴와 팽창성 파괴가 동시에 진행되고 있음을 알 수 있다. 참고로 본 연구에서 옹벽 전면에는 최하단 블록을 구축하는 어떠한 장치도 설치되지 않았다. 이 경우에는 최종적인 옹벽의 붕괴를 관찰할 수는 없었으며 하중제하와 옹벽의 변위가 분화되는 시점에서 하중제하를 중지하고 실험을 종료하였다.

재하하중-수평변위 양상은 직립인 경우와 비슷하게 초기 급격한 증가 후 변곡점을 지나 그 변형은 증가하고 하중의 제하는 느리게 진행되고 있으며 이 때의 하중을 파괴하중으로 간주할 경우 대략  $13t/m^2$  내외의 파괴하중을 나타내고 있음을 알 수 있다.

#### 3) 7단 직립으로 축조한 옹벽의 경우

[그림 3.6]은 전면의 경사를 직립으로 축조한

7단 옹벽의 재하시 변형거동 특성을 나타내고 있다.

직립으로 축조한 5단 옹벽의 변형거동과 양적인 차이는 있었으나 그 양상에서는 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 재하 초기 하부 2단의 블록을 제외하고는 모두 전면부 방향으로 변위가 진전되고 있었으며 최상단의 변형이 가장 크게 나타나고 있었다. 7단 옹벽의 경우에는 하중이 증가함에 따른 상단부의 국부적인 붕락이 주요한 파괴 형태였으며 실제로 하중제하 최종단계에서는 상부 블록 2단이 전면부로 붕락하면서 파괴되어 실험을 중단하였다.

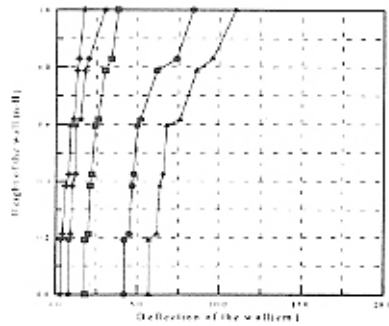
상술한 바와 같이 최대 수평변위를 보이는 옹벽 높이는 거의 1.0H에 가까웠으며 5단 옹벽과 비교하여 설명하면 옹벽 하단부의 수평 변형량에 비해 최상단의 변형량이 약 3배에 이르는 정도로 전형적인 국부파괴의 양상을 띠고 있었으며 하중-수평변위 분포 곡선에서도 확실한 변곡점을 확인할 수 있었다. 이 경우의 파괴하중은 5단 축조 옹벽에 비해 약 20%정도 감소한 약  $7t/m^2$  내외인 것으로 판단된다.

#### 4) 7단 경사로 축조한 옹벽의 경우

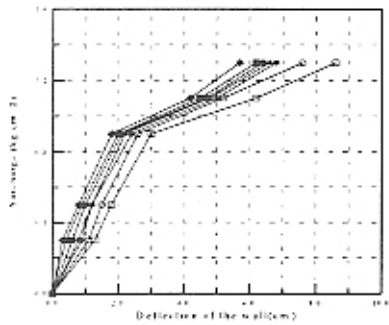
[그림 3.7]은 전면의 경사를 19.16°로 축조한 7단 옹벽의 재하시 변형거동 특성을 나타내고 있다.

7단으로 축조된 경사 옹벽의 경우 변형거동이 나 파괴 양상이 일치하고 있으며 단지 양적인 면에서 차이를 보이고 있다. 하중이 증가하여 최종 성토단계에 이르러서는 최상단 블록이 최전하면서 블록의 변위가 오히려 음의 방향으로 진행되는 경향을 띠고 있다. 최대 수평변위량은 옹벽의 중앙부인 약 0.5H~0.7H에서 발생하고 있으며 팽창성 파괴 양상과 활동 파괴의 양상을 동시에 보이고 있다.

옹벽의 파괴하중도 5단 옹벽의 파괴하중에 비해 약 15% 정도 감소한  $11t/m^2$  내외에서 관측되고 있음을 알 수 있다.

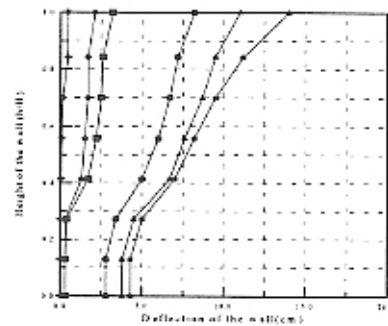


(a)

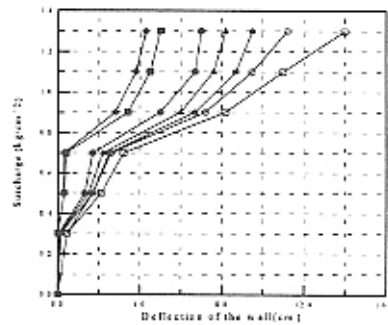


(b)

그림 3.4 직립으로 축조한 5단 옹벽의 변형 특성

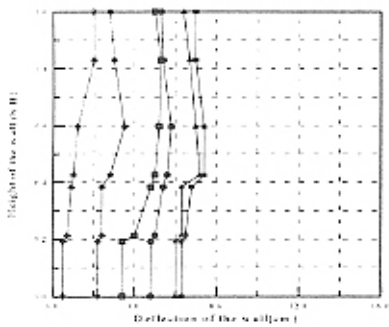


(a)

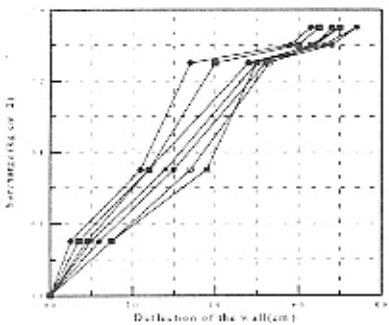


(b)

그림 3.6 직립으로 축조한 7단 옹벽의 변형 특성

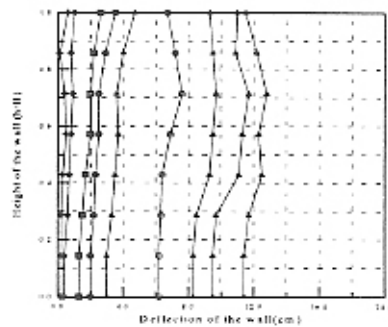


(a)

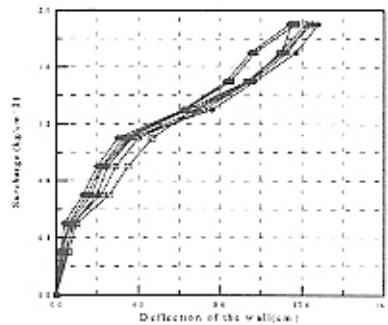


(b)

그림 3.5 경사로 축조한 5단 옹벽의 변형 특성



(a)

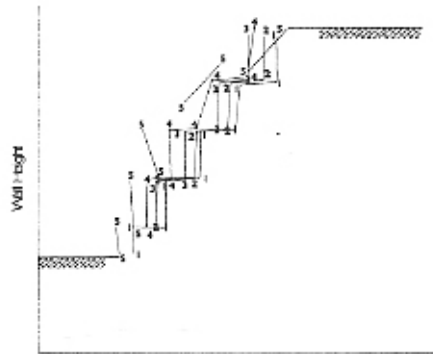


(b)

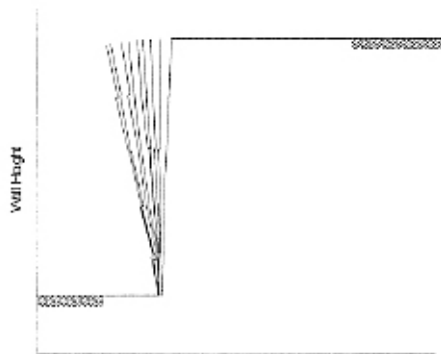
그림 3.7 경사로 축조한 7단 옹벽의 변형 특성

(a) 높이별 수평변위 분포 (b) 하중-수평변위 분포

구축용 블록의 파괴양상을 종합적으로 정리하기 위해 비교적 파괴형태를 명확하게 드러내고 있는 두 가지 경우에 대한 하중 단계별 개별블록의 변위 특성을 [그림 3.8]에 도시하였다.



(a) 경사지게 축조된 구축용 블록의 대표적 변형 양상



(b) 직립으로 축조된 구축용 블록의 대표적 변형 양상

그림 3.8 구축용 블록의 대표적인 변형 양상

[그림 3.8] (a)은 전면 경사를 19.16°로 유지한 상태에서 실시한 경우이며 3단계 재하시까지는 블록이 거의 수평적인 이동만을 보이는 전체 활동성 변형양상을 보이다가 재하 4단계부터서는 중앙부 블록인 3단 블록부터 전면으로 돌출되어 나오고 4단 블록과 5단 블록은 오히려 변형이 뒤채움 쪽으로 진행되는 것을 알 수 있다. 최종 하중 단계인 5단계에서는 이러한 변형특성

이 보다 확실하게 발생되고 있으며 상부 4단과 5단 블록은 뒤채움쪽으로 역전도되는 양상을 보여 팽창성 파괴의 가능성이 높다는 것을 알 수 있었으며 국부적인 붕괴는 관측할 수 없었다.

[그림 3.8] (b)는 전면 경사가 0°, 즉 직립으로 구축된 옹벽의 변형특성을 보이고 있으며 재하 단계가 계속되어도 최하단부를 중심으로 전도 변형하는 양상을 보이고 있으며 본 공법의 경우 상·하단의 인위적인 결속은 없고 단지 요철부의 맞물림만으로 저항하고 있으므로 블록의 변위가 진행되어 요철부의 맞물림력을 넘어서는 경우에는 상단부가 국부적으로 전도되는 파괴의 가능성을 예측해 볼 수 있다.

또한 본 연구에서 수행된 실험결과만으로 판단해 보았을 때 파괴하중의 경우에도 동일한 물량을 이용해 직립으로 구축한 경우에 비해 경사로 축조된 경우가 약 1.5배정도 증가하는 것으로 나타났으며 배면의 용지가 충분하고 경사로 시공하는데 큰 무리가 없는 경우에는 직립으로 구축하기보다는 전면에 경사를 두어 상부블록이 하부의 두 블록사이에 맞물려(interlocking) 시공되는 것이 경제적으로나 구조적인 안정성을 꾀할 수 있는 방안이라고 사료된다.

### 3.5.2 옹벽 배면 지반의 파괴모드

옹벽에 작용하는 토압은 뒤채움재의 변형 및 벽체의 변위 형태에 따라 달라지게 된다. 따라서 옹벽 배면 지반의 파괴 모드 또한 중요한 요소 중의 하나라고 할 수 있다. 본 연구에서는 옹벽 뒤면의 지반 변형을 계측하기 위해 측면에 플렉시글라스를 부착한 모형토조에서 실험을 실시하였으며 평면변형을조건에 최대한 접근하기 위하여 흙과 직접 접촉되는 벽면에는 그리스를 바른 비닐을 부착하였다. 또한 변형의 관측을 위해서는 직색으로 염색된 염색사를 일정 높이마다 포선하여 플렉시글라스를 통해 내부 변형을 관측할 수 있도록 하였다.

Chen(1975)에 의하면 옹벽 배면의 파괴형태는 대수나선형(logspiral) 파괴를 보이고 있으며

이에 해당하는 토체가 옹벽에 직접 작용한다고 제안하였고 후에 많은 연구가 수행되었다. 이와는 달리 일반적으로 제안되고 있는 바는 옹벽 배면의 파괴각이  $45 + \phi/2$ 라고 알려져 있다.

[그림 3.9]에서 [그림 4.13]에서는 재하실험을 통해 얻어진 구축용 블록 옹벽 배면에 형성된 파괴면을 도시한 그림이다. 동일한 높이의 모형 옹벽에서 옹벽체를 폭 방향으로 1단만 축조한 경우에는 파괴형태가 상단 축조부에서는 급하게 그리고 하단으로 내려올수록 완만하게 이루어진 곡선상의 파괴 형태를 보이고 있으며 파괴 영역 또한 배면에 추가적으로 블록을 축조한 경우에 비해 매우 넓게 분포하고 있다.

이는 축조된 블록의 단면이 작아 배면에 재하된 하중에 효과적으로 저항하지 못하고 변형이 급격히 증가하는데 원인이 있는 것으로 판단된다. 또한 직립과 경사 옹벽의 경우에서도 약간의 차이를 발견할 수 있었는데 이는 직립옹벽의 경우 전술한 바와 같이 벽체가 전체적으로 전도되어 파괴에 이르는 변형기동을 하고 있으나 경사진 옹벽의 경우 상단의 블록이 하중단계가 올라갈수록 후방으로 변형을 진행하여 최상단에는 수동상태가 유지되게 되고 이에 따른 영향으로 파괴선의 기울기가 증가하는 것으로 사료된다.

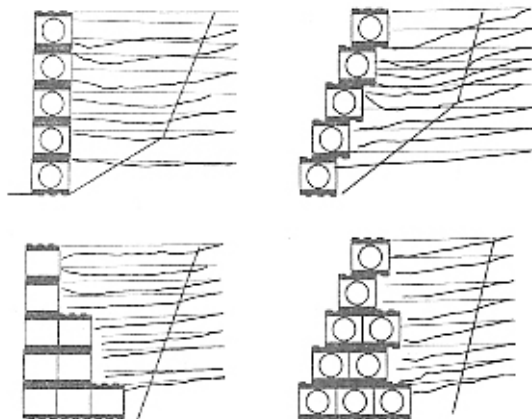


그림 3.9 배면의 파괴형태

#### 4. 유한요소해석법(FEM)에 의한 수치해석

##### 4.1 사용 프로그램

본 연구에 사용된 해석 프로그램은 한국의 Emerald Soft社에서 개발한 PENTAGON<sup>3D</sup>이며 3차원 연속체를 이루는 구조물이나 지반에 외적인 경계조건이 주어지면 그에 해당하는 내부변수를 계산해 주는 유한요소해석 프로그램이다.

PENTAGON3D는 흙의 일반적인 구성모델인 Mohr-Columb 파괴규준, Duncan-chan, Druker-Prager, Hoek-Brown, 등 다양한 구성모델의 적용이 가능하고 여러 가지 형태의 요소를 제공하는 범용 프로그램이다.

특히, 본 해석 프로그램은 mesh를 생성하는 PENTMESH 프로그램을 이용하여 굴차이나 성토 등 건설현장에서 실시되는 시공 단계를 실제와 가장 가깝게 고려하여 입력할 수 있다는 장점을 갖고 있다.

##### 4.2 해석 모델링

본 연구에서는 유한요소해석을 하기 위해 QUAD4 4절점(Hexa 8절점) solid 요소를 이용하여 모델링하였으며 기초지반과 뒤체음 영역은 충분히 확보하여 해석의 합리성을 도모하였다. 또한 해석단면의 좌단과 우단은 수평구속, 연직 자유 시켰으며 최하단 절점은 연직방향으로 구속, 수평을 자유로, 내부 절점은 수평, 연직 모두 자유로 경계조건을 적용하였다. 파괴규준은 콘크리트 블록의 경우 선형탄성(Linear Elastic), 지반의 경우 흙의 일반적인 파괴규준인 Mohr-Columb의 탄소성 구성모델을 사용하였다. [그림 4.1]은 본 해석에서 사용된 유한요소망을 보여주고 있다.

블록식 옹벽의 경우 일체식 옹벽과는 달리 옹벽 구축 부재가 서로 분리되어 거동하기 때문에 기존의 옹벽과는 응력-변형 거동이 상당히 달라질 것이며 이를 충분히 감안한 모델링이 수행되어야 하며 모델링 과정의 합리성을 찾는 과정이 해석에서 가장 중요한 부분이 될 수 있을 것이다. 블록식 옹벽에 대한 수치해석적 접근은 1971



년 Cundall에 의해 처음 시도되었으며, 본 연구에서는 유한요소해석법을 이용하여 블록식 옹벽을 해석하고자 1970년대 초 미국의 Goodman등이 처음 개발 개별절리요소(discrete joint model) 사용하였다. 개별절리 요소법이란 유한요소를 이용해 절연속면을 모사하기 위해 개발된 방법으로서 주로 암반공학에서 이용되고 있으며 유한요소의 기본 1차원요소와 비슷하게 아주 얇은 절리요소를 직접 배치에 넣고, 절리물성을 넣는 것이다. 이 방법에서는 절리의 두께가 고려될 수도 있고, 그렇지 않을 수도 있다. 이 방법은 절리를 물리적으로 직접 고려하므로 여러 가지 장점이 많지만 절리군이 많은 경우에는 엄청난 계산 용량의 한계가 있다.

본 연구에서는 서로 분리된 블록을 모델링하기 위해 블록과 블록 사이에 얇은 interface element를 형성하고 아주 작은 물성정수를 적용시켰으며 블록과 블록사이에는 스프링을 설치하여 블록이 강체 변형을 할 수 있도록 하였다.

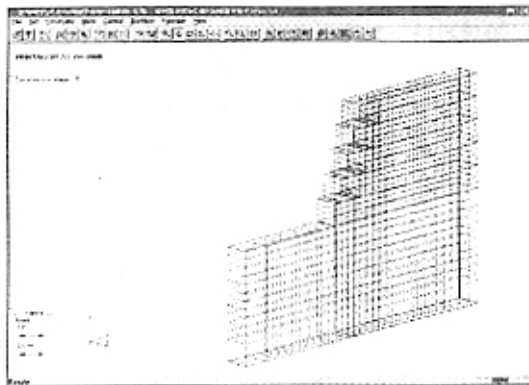


그림 4.1 해석에 사용된 유한요소망

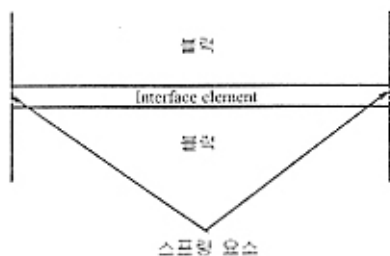


그림 4.2 블록 단면의 모델링 상세도

국부적으로 확대시킨 블록 단면의 모델링 상세도는 [그림 4.2]과 같다.

본 해석에 사용된 기초기반, 블록, 뒤채움 지반에 적용된 물성정수 및 해석 단면은 [표 4.1, 4.2]에 제시하였다. 기초지반의 경우 매우 견고한 지반으로 모델링하여 지반의 파괴가 뒤채움 지반 내부에 머물도록 하였으며 블록의 경우 제시된 3가지 형태의 블록 중 단위중량이 1.8t/m<sup>3</sup>인 블록을 대상으로 하였다. 해석 단면은 배면의 축조 없이 시공된 5m 단면과 배면을 안정성 검토에 의해 산출한 단면을 기준으로 축조한 높이 5m, 7m의 옹벽을 기준으로 삼고 각각의 경우 전면의 경사가 직각인 경우와 경사진 경우를 고려하여 길정하였다.

표 4.1 해석에 사용된 물성정수

구분	체적 단성 계수 B (t/m <sup>3</sup> )	전단 탄성 계수 S (t/m <sup>2</sup> )	단위 중량 γ (t/m <sup>3</sup> )	점착력 c (t/m <sup>2</sup> )	내부 마찰각 φ (°)	포아 송비 ν
뒤채움	2.50 × 10 <sup>2</sup>	1.15 × 10 <sup>2</sup>	1.9	0.1	30	0.3
기초 지반	6.67 × 10 <sup>4</sup>	4.00 × 10 <sup>4</sup>	2.3	20	30	0.25
구축용 블록	4.94 × 10 <sup>5</sup>	3.25 × 10 <sup>5</sup>	1.8	N/A	N/A	0.23

표 4.2 해석상에 고려된 단면특성

구분	옹벽의 높이	전면경사	비고
배면축 조 유무	5m	직립	BFC_Case_1
		19.16	BFC_Case_2
	7m	직립	BFC_Case_3
		19.16	BFC_Case_4
부	5m	직립	BFC_Case_5
		19.16	BFC_Case_6

해석 모델링 과정에서는 현장에서 시공되는 일련의 과정을 그대로 모델링 할 수 있으며 이를 해석에 감안하여 단계적인 해석을 수행하였다. 초기에 기초지반을 형성하고 초기조건을 형

성하여 초기단계(initial stage)에 저장하였으며, 1단계 블록설치를 완료하여 동시에 배면에 뒤채움을 시공하는 것을 시공단계 1(construction stage 1)에 각각에 중력가속도를 적용하여 하중을 재하하여 재하단계 1(loading stage 1)에 저장하였다. 소정의 축조단계까지 상기의 과정을 반복하고 해석을 수행하여 최종적으로 결과를 출력(output) 받는 과정이 본 해석의 주요 흐름이 되며 이를 흐름도로 도시하면 [그림 4.3]와 같다.

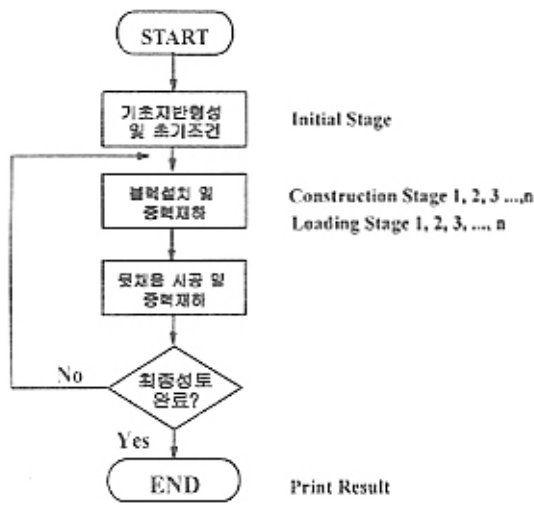


그림 4.3 해석의 흐름도

### 4.3 해석결과 분석

#### 4.3.1 옹벽 배면의 토압분포 비교

일반적인 토류지지 구조물들은 지반과 벽체의 상대적인 강성(rigidity)에 따라 강성 벽체(rigid wall)와 연성 벽체(flexible wall)로 구분한다. 강성벽체에 작용하는 수평토압을 신장함에 있어서는 대부분의 경우 벽체의 움직임이 충분하다는 가정 하에 한계평형(limit equilibrium)상태를 바탕으로 제한된 Rankine 토압이나 Coulomb 토압으로부터 주동토압과 수동토압을 산정하여 설계에 반영하고 있는 실정이다.

구축용 블록공법의 경우 안정성 평가시에 토압의 크기 및 작용점의 신장이 비교적 양호한 Rankine의 토압을 주로 적용하였다. 본 연구에서는 5m과 7m 높이의 옹벽에 작용하는 토압분포를 해석적인 방법을 통해 구했으며 이를 Rankine의 토압 분포 곡선과 비교연구 하였다.

[그림 4.4]부터 [그림 4.7]까지는 배면에 작용하는 토압의 분포를 나타낸 그림으로서 높이비(h/H)에 따른 배면토압을 구축용 블록공법, Ka 상태, Ko 상태 그리고 기존 연구결과로 산출된 강성벽체의 경우에 대해 비교 도시하였다. 여기서 Ka 상태의 토압분포는 Rankine의 이론에 의해 산출하였으며 Ko 상태의 토압이론은 Jaky의 이론에 근거하여 산출하였다.

그림을 통해 높이에 따른 구축용 블록의 토압 분포를 볼 수 있으며 대부분의 경우, 강성옹벽의 토압분포와는 상당한 차이를 보이고 있으며 오히려 Rankine의 토압분포에 매우 유사한 분포를 보이고 있었다. 또한 토압의 크기 측면에서 보면 토압감소효과는 크게 기대할 수 없을 것으로 판단된다. 그러나 토압의 작용점은 기존 강성옹벽에 비해 약간 낮은 곳에 위치하고 있다는 것을 알 수 있으며 이는 진도에 대한 안정성을 확보하는 데 매우 효율적으로 대처할 수 있을 것이다.

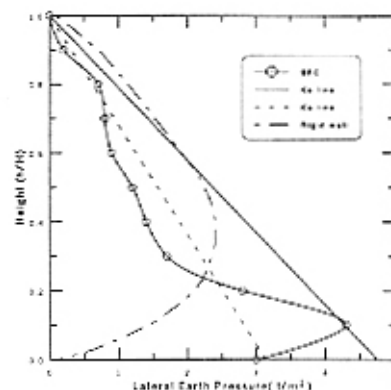


그림 4.4 길이별 토압분포(BFC\_Case\_1)

### 5. 결론 및 제언

농촌 구조물의 사면 안정성 확보를 위한 블록식 옹벽공법(Block For Construction, BFC)을 이용한 옹벽공법의 제하시 변위 특성과 이때 발생하는 배면토압 등을 실험적, 수치해석적 접근법을 통해 시도하고자 한다. 이를 통해 얻어낸 결론 및 제언을 요약하면 다음과 같다.

1. 블록식 옹벽공법은 기존의 옹벽공법에 비해 시공이 용이하고 신속하며 단면의 변화가 용이할 뿐 아니라 부대공이 필요 없이 경제적인 측면에서도 매우 유리한 공법이다. 따라서 농촌 구조물 시공시에 발생하는 사면의 안정성 확보에 매우 능동적으로 대처할 수 있으며 보수보강이 필요하지 않는 경우에는 자연의 미관을 최대한 보존할 수 있는 환경 친화적인 공법이다.

2. 모형 구축용 블록을 적층시켜 모형제하실험을 실시한 결과 적립옹벽은 전체적 전도에 따라 상단 블록이 국부적으로 탈락하는 파괴형태를 보이고 있으며, 경사지게 구축한 경우에는 옹벽 중앙부에 배부름 현상이 발생하는 팽창성 파괴(bulging failure) 현상을 보이고 있었고 이는 유한요소해석에서도 유사하게 나타났다.

3. 옹벽체에 작용하는 토압을 유한요소해석을 통해 산출하고 이를 주동상태와 정지상태 그리고 기존연구결과에 의한 강성벽체에 작용하는 토압분포와 비교하였을 때 Rankine 이론의 적용도 타당할 것으로 판단되며 실제 토압감소 효과는 얻을 수 없었지만 토압의 작용점이 약간 아래쪽에 위치하여 전도에 대한 안정성을 확보하는 데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 블록식 옹벽공법은 단위 블록체로 조립된 구조물이므로 각 축조마다 개별적인 블록의 안정성을 평가함이 타당하다. 따라서 안정성 분석이나 설계시에는 반드시 개별블록의 전도에 대한 안정분석을 실시하고 이를 바탕으로 최적단면을 산정해야 한다.

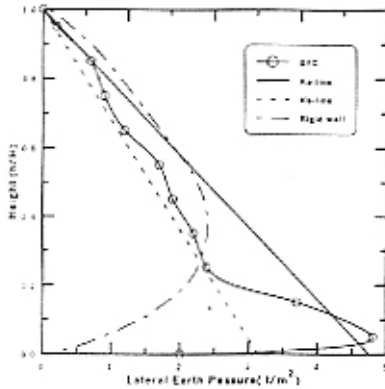


그림 4.5 깊이별 토압분포(BFC\_Case\_2)

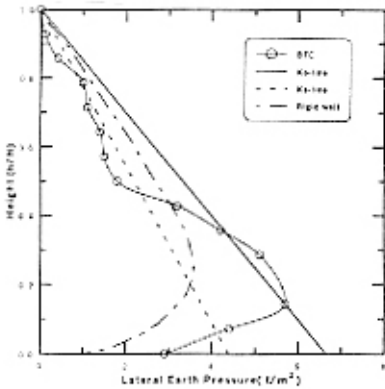


그림 4.6 깊이별 토압분포(BFC\_Case\_3)

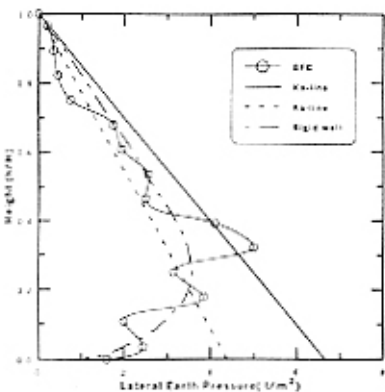


그림 4.7 깊이별 토압분포(BFC\_Case\_4)

5. 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  $9t/m^2$ ,  $13t/m^2$ ,  $7t/m^2$ ,  $11t/m^2$ 으로 나타났다.

### 참고문헌

1. Brandl, H. "Raumgitter-Stützmauern", Bundesministerium für Bauten und Technik, Straßenforschung Heft 208, 1982.
2. Chen W. F. Limits Analysis and Soil Plasticity, Elsevier Science Publisher, 1975
3. Candall, P. A. "A Computer Model for Simulating Progressive Large-scaled movements in Blocky Rock Systems.", Proceedings of International Symposium on the Rock Fracture, ISRM, Nancy, France, Vol. II, No.8, pp.11~18, 1971
4. Fang, Y. S. and Ishibishi, I. "Static earth pressures with various wall movements." Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE, pp.317~333, 1986
5. Greco, V. R. "Stability of Retaining walls Against Overturning", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 123, No. 8, August, pp.778~780, 1997
6. Handy, R. L. "The arch in Soil Arching" Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 3, pp.302~318, 1983
7. Jaky, J. "Earth Pressure in Soils." Proceedings of the 2nd Internation Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering., Rotterdam, The Netherlands, Vol. 1, pp.103~107, 1948
8. Shi, G. H. and Goodman, R. E. "Two Dimensional Discontinuous Deformation Analysis." International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, Vol. 9, No. 6, pp.541~556, 1985
9. Tien-kuen Huang. "Mechanical Behavior of Interconnected Concrete Block Retaining Wall", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 123, No. 3, March, 1997, pp.197~203, 1997
10. 社団法人 日本道路協會, 道路土工, "擁壁、カルヘート、仮設構造物工指針"
11. 社団法人 全日本建設技術協會, 建設省制定, 土木構造物標準設計2, 擁壁(石築, もたれ式, 重力式, 片持ばり式, 控え壁式)
12. 日本土質工學會, "傾斜地の侵食防止工法", 1976
13. 川口將雄, 森野亮吾, 牛島 榮, "PrecastBlockを利用した擁壁の設計と施工対策", Technical data, 土木施工, pp. 79~87, 2000
14. 신명용, 김상수, 이재영, 김용원, 변동진. "모형 실험에 의한 조립식 지지용벽의 거동특성", 한국지반공학계 학술발표회논문집, pp.449~456, 1999
15. 유충식, 이광문, 신현강. "블록식 보강토 용벽의 거동" 한국지반공학회 학술발표회 논문집, pp. 319~326, 1995
16. 정철호, 권형식, 백영식, "농방대석축의 변형거동 및 전단특성 비교" 한국지반공학회지, Vol. 10, No. 4, pp.181~190, 1994
17. 한국건설기술연구원, "옹벽분류개발에 관한 연구", 1988