

보강토 옹벽의 거동에 대한 원심모형실험

-보강재 변화에 의한 연구-

Centrifuge Model Experiments on Behavior
of Reinforced Earth Retaining Walls

-A Study due to Variation of Reinforcements-

허	열*1	
Heo,	Yol	
안	상	로*2
Ahn,	Sang - Ro	
이	치	근*3
Lee,	Cheo - Keun	

Abstract

In this paper, the behaviors of reinforced earth retaining walls according to material properties of reinforcement were performed through the centrifuge model tests. Skin element was used flexible aluminum plate in the process of tests. And reinforcements were used with aluminum foil strips and non-woven polyester sheets. As a result of it, model retaining wall utilizing non-woven polyester sheets than aluminum foil strips was supported at high stress level, and maximum horizontal displacement value of skin element was 0.6H height at model walls. In the other hand, coefficient relation diagram for evaluation of horizontal displacement according to skin element location was proposed using test results.

요 지

본 논문에서는 원심모형실험을 통하여 보강재의 재질 특성에 따른 보강토옹벽의 거동을 연구하였다. 이 연구에서 전면판은 가요성 알루미늄판을 사용하였으며, 보강재는 알루미늄 호일 스트립(aluminum foil strip)과 비직물 폴리에스터 시트(non-woven polyester sheet)를 이용하였다. 실험결과, 알루미늄 호일보다 폴리에스터 시트를 이용한 모델옹벽이 더 높은 응력에서 지지되었으며, 전면판의 수평변위는 높이 0.6H 인 지점에서 최대치를 나타내었다. 한편, 본 연구결과를 이용하여 전면판의 위치에 따른 수평변위산정을 위한 계수관계도를 제안하였다.

*1 정희원, 충북대학교 공과대학 토목공학과 부교수

*2 정희원, 한국건설기술연구원 선임연구원

*3 정희원, 충북대학교 대학원 토목공학과 박사과정

1. 서 론

새로운 건설 기술의 요구와 함께 최근에 이르러서는 보강토 구조물에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 이용 또한 급속히 확산되고 있는 추세이다. 그러나 이에 대한 연구는 현재까지 많은 가정사항을 내포하고 있으며, 여러 가지 보강재의 개발로 실제 현장에 적용 가능한 보강토 옹벽의 설계 및 시공에는 많은 어려움이 있는 실정이다.

보강토에 대한 연구는 프랑스 LCPC에서 Vidal(1969)을 중심으로 축소평면변형 모형옹벽에 대한 실험이 본격화된 이래¹⁾, Long(1972)은 원형관상 보강재를 이용한 축소모형실험을 실시하여 보강토의 파괴특성을 연구함으로써 경제성에 있어서 재래식옹벽보다 약 50~75%의 비용을 절감할 수 있다고 발표한 바 있다²⁾. 또한 Banerjee(1975)는 Coulomb의 췌기이론을 이용한 설계방법을 제시하기도 하였다³⁾. 한편 UMIST에서 Bolton(1978)은 원심모형시험기를 이용하여 보강토에 대한 모형실험을 수행하였으며, 여기서 그는 보강토 옹벽설계를 위한 수정된 앵커이론을 제안하기도 하였다⁴⁾.

Boden(1977)은 실내모형실험에 있어서 보강재에 발생하는 최대인장력은 벽면에서 약간 뒤떨어진 위치 즉 벽면으로부터 $0.3H$ 이내에서 발생하고, 벽체하단부에서는 수평면과 $45^\circ + \phi/2$ 의 각을 이루며 이러한 최대인장력점을 연결하는 선은 직선이 아닌 나선으로 된다고 하였다. 이때 최대인장력점을 기준으로 보강재에 작용하는 전단응력의 방향이 반전하고, 최대인장력점 연결나선으로부터 전면판쪽의 영역은 보강재의 인장에 대해 저항하는 반면 반대영역은 벽면쪽으로 압출된다고 제시하였다⁵⁾.

지금까지 많은 토질구조물에 이용되어 온 실내축소 모형실험은 현장실물실험에 비하여 경제성이 있으나 현장구조물의 거동을 충분히 표현할 수 없다는 단점이 있으며 또한 현장실물실험은 토질구조물의 실제 거동을 모델링한

다는 이점이 있으나, 경제적·시간적으로 많은 어려움이 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 근래에는 인위적으로 중력을 발생시킬 수 있는 원심모형시험기로 실내실험을 행함으로써 가능하게 되었다^{2), 6)}.

본 연구는 원심모형시험기를 이용하여 구조물의 규모와 시간효과를 고려한 보강재 특성에 따른 보강토 옹벽의 거동 및 파괴 메카니즘을 구명하고자 하는 것으로 가요성 전면판과 알루미늄 호일 또는 폴리에스터 시트 보강재를 사용한 보강토 옹벽의 파괴시 전면판의 변형 및 옹벽배면의 파괴위치와 파괴응력수준에 대하여 연구하였다. 단, 본 연구에서는 외력을 고려하지 않고 응력수준의 증가에 따른 뒷채움재의 자중증가에 의한 모델옹벽의 거동에 한정하여 실험을 수행하였다.

2. 흙과 보강재의 공학적 특성

원심모형실험에 사용한 뒷채움재와 보강재의 공학적 특성을 알아보기 위하여 물리적, 역학적 실험을 수행하였다. 보강토공법에서 뒷채움재는 통상 배수가 용이하고, 마찰력을 충분히 발휘할 수 있는 모래질 자갈이 풍부한 재료를 사용하는 것이 효과적이거나 본 연구에서는 우리나라에 널리 분포되어 있는 화강풍화토를 사용하였으며, 실험결과는 표 1과 같다.

또한 본 실험에서는 보강재를 두께 $17\mu\text{m}$ 인 알루미늄 호일과 두께 $12\mu\text{m}$ 인 비직물 폴리에스터 시트를 사용하였다. 이들 보강재에 대한 인장실험은 직접전단시험기를 이용하여 인장속도와 그에 따른 변형률을 산정하였으며, 실험시 인장속도는 $1\text{mm}/\text{min}$ 의 속도로 하였다. 한편 알루미늄 호일에 대한 인장속도와 파괴변형률을 산정하기 위해 strain gage를 부착하여 측정하였으며, 폴리에스터 시트는 신장율이 크기 때문에 변형율을 측정하기 위해 dial gage를 부착하여 측정하였다. 또한 흙과 보강재사이의 마찰각 δ 를 산정하기 위해 직접전단시험기를 이용하였으며, 실험 결과 알루미늄

호일의 경우 23°, 폴리에스터 시트의 경우 22°로 나타났다. 각 보강재의 인장실험으로부터 산정된 특성들을 표 2에 나타내었다.

한편 전면판은 일반적으로 독립 panel을 사용하나 본 실험에서는 작은 모델박스내의 설치 여건상 단일재 전면판을 사용하였다. 이는 전면판이 구조물 자체의 역학적 안정역할은 적으며, 주로 뒷채움재의 유실을 방지하고 보강재

를 연결시키는 효과를 가지고 있으므로 이와 같은 기능을 최대로 발휘할 수 있고 전면판의 변형과 옹벽배면의 파괴면을 규명하는 데 효과적인 가요성 알루미늄 panel을 전면판으로 사용하였으며 공장 제작시 제시된 특성은 표 3과 같다.

3. 원심모형실험

3.1 실험장치

본 연구에서 이용한 원심모형시험기는 20g-ton의 용량을 갖고 있는 기기로 개요도 및 주요 제원은 각각 그림 1과 표 4와 같다. 원심모형시험기는 크게 4개의 구성요소 즉, 본체, slip ring 및 계측장치, 회전 바스켓 및 모델박스, 삼상모터와 control box로 이루어져 있다.

본체는 시험기의 구성 장치를 설치하기 위한 기본구조물로 회전 팔과 회전대가 주축을 이루고 있다. 회전바스켓은 양쪽 팔의 끝에 힌지로 연결되어 있으며, 하나는 모델박스를 설치하기 위한 것이고, 다른 하나는 평형추로 이용된다. slip ring은 계측기로부터 시험기 외부에 위치한 데이터 수집 체계로 기계적 신호를 보내는데 이용되며, 삼상 모터는 원심모형시험기를 가동시키는 장치로서 speed control box의 조작으로 일정한 회전속도(RPM)를 유지시키는 기능을 갖고 있다. 모델박스는 양측면과 후면 그리고 밑면이 2mm 두께의 스테인레스로 되어 있고, 전면은 두께 2cm의 아크릴판으로 되어 있어 관찰을 용이하게 할 수 있다. 또한 두께 1mm의 plexiglass에 1.5cm 간격의 격자

표1 뒷채움재의 기본적 특성

Uniformity coefficient	6.43
Specific gravity	2.61
Internal friction angle(°)	31.0
Maximum dry density(g/cm ³)	1.71
Minimum dry density(g/cm ³)	1.01
Natural moisture content(%)	6.60
Optimum moisture content(%)	14.5

표2 보강재의 특성

Variety	Alum. Foil	Poly. Sheet
σ_y (kg/cm ²)	474.12	1477.5
E(kg/cm ²)	557600.0	19000.0
ϵ_{ult} (%)	0.11	35.0
δ (°)	23.0	22.0

표3 전면판의 특성

Moment of inertia(cm ⁴)	0.521
Section modulus(cm ³)	0.208
Elasticity modulus(kg/cm ²)	7.031×10^5
Weight(kg/cm ³)	2.251×10^{-3}
Poisson's ratio	0.33
Thickness(cm)	0.05
Yield stress(kg/cm ²)	1400

표4 원심모형시험기의 주요제원

Manufacturer	Dong-Ah Testing Machine Co. & Seikensha
G-Range	1 to 200g at 920mm
Motor	10 HP Hydraulic Motor
Working Radii	920mm - Center to Basket Hinge 1,280mm - Center to Basket Floor
RPM Range	0 - 500 RPM
Payload Capacity	20g-ton
Test Package Size	450mm × 450mm × 300mm in max

형 스케일을 그려 아크릴판 전면에 부착함으로써 실험 모델의 거동을 관측할 수 있도록 하였다.

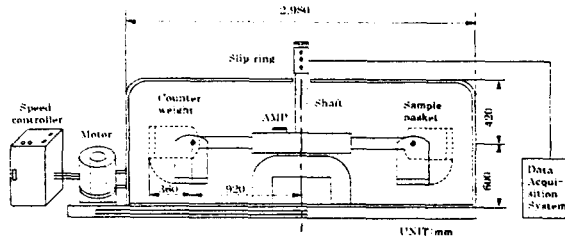


그림 1 원심모형시험기의 개요도

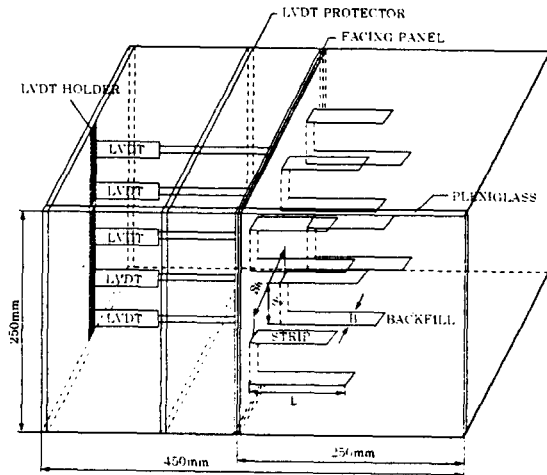


그림 2 모델박스의 개요도

3.2 실험방법 및 과정

본 실험에 이용한 전면판은 높이 250mm, 폭 198mm인 가요성 알루미늄판을 이용하였으며, 보강재의 길이는 용벽의 안정성에 있어서 마찰에 의한 충분한 인장강도를 발휘할 수 있도록 모델용벽 높이의 0.6H인 150mm로 하였다. 실험시 뒷채움재의 단위중량 γ_d 는 $1.41\text{g}/\text{cm}^3$, 함수비는 자연함수비에 근접한 약 6.5%였으며, 모델박스내에 높이 250mm의 모델용벽을 동일 밀도가 되도록 정적 다짐을 하여 축조하였다. 용벽 축조후의 모델실험의 개요도는 그림 2와 같으며 그림에서 $S_v = 60\text{mm}$, $S_h = 50\text{mm}$, $B = 10\text{mm}$, $L = 150\text{mm}$ 이다. 한편 실험하는 동안 전면판의 수평변위를 측정하기 위해 LVDT를 그림 2에서와 같이 부착하고 회선을 수평변위계 AMP에 연결시켰다.

한편 전면판의 수직 지지대를 제거한 후 시험기를 가동시켰으며, 원심모형시험기의 가동은 보강토 용벽이 파괴에 이를 때까지 1g 상태에서 계속적으로 g-level을 증가시키면서 각 g-level에서 전면판의 변위를 측정하였다. 용벽의 파괴가 감지된 후 시험기의 가동을 서서히 중지시키고, 용벽의 상부층부터 조심스럽게 흙을 제거하면서 각 층의 보강재 파단위치를 관찰하였다. 단, 본 연구에서는 단일재로 된 전면판을 사용하였고, 중앙의 연직선상에서의 전

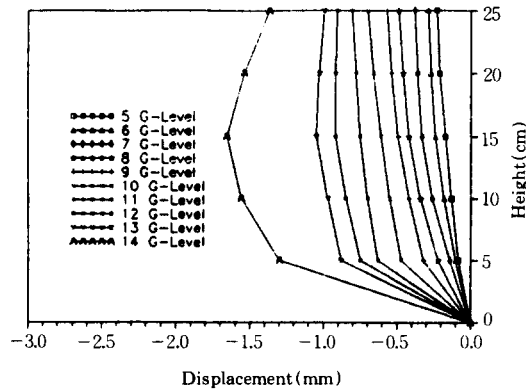
면판 밑은 모델박스에 고정시켜 실험을 수행하였다.

3.3 실험결과

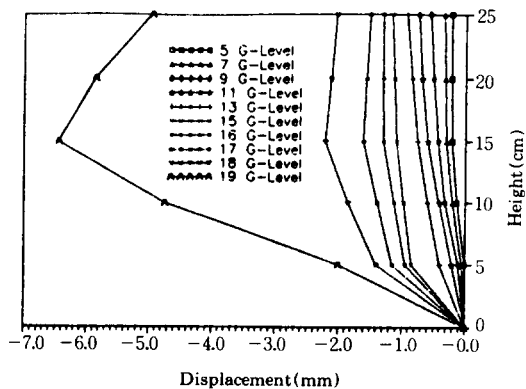
알루미늄 호일 보강재와 비직물 폴리에스터 시트 보강재를 이용한 각각의 모형 용벽을 g-level을 증가시키면서 파괴시까지 전면판 중앙의 연직선상에서 측정한 변위를 그림 3과 같이 나타냈다.

그림 3(a)에서 알 수 있는 바와 같이 알루미늄 보강재인 경우 파괴가 발생하기 전까지인 11g-level까지의 수평변위는 0.7mm 이내인 범위에서 용벽바닥으로부터 상부측으로 갈수록 점차 증가하는 경향을 나타내며, 12g-level과 13g-level에서는 높이 15cm까지의 변위가 증가하는 경향으로 나타났으나, 그 이상에서는 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 파괴시점인 14g-level에서의 수평변위는 최대 1.65mm로 용벽높이의 0.6H인 지점에서 나타나고 있으며, 용벽상부측에서의 수평변위는 1.35mm로 용벽의 중앙부위보다 작은 값을 나타내었다. 또한 그림 3(b)에서처럼 폴리에스터 보강재인 경우 15g-level까지는 1.15mm 이하인 수평변위를 나타내었으며, 알루미늄 보강재에서의 변위의 경향과 같게 나타났다. 그러

나 파괴시점인 19g-level에서의 변위는 0.6 H에서 6.45mm인 큰 변형을 나타내므로써 파괴시 전면판 변위는 폴리에스터 시트 보강재를 사용한 모델용벽보다 약 3배 정도 많은 변위를 일으키며 파괴되었다. 이는 폴리에스터 보강재가 알루미늄 보강재보다 약 300배의 변형률을 나타낸다는 점과 항복응력이 약 3배에 가까운 값을 가지고 있다는 점으로 보아 폴리에스터 보강재를 사용한 경우가 알루미늄 보강재를 사용한 경우보다 높은 g-level에서 큰 변형을 나타내며 파괴된다는 것을 보여주고 있으며, 결국 Young's Modulus 값의 차이에서도 이를 뒷받침함을 알 수 있다. 한편 그림 3의 분석결



(a) 알루미늄 보강재를 사용한 경우



(b) 폴리에스터 보강재를 사용한 경우

그림 3 G-Level에 따른 보강토용벽 전면판의 수평변위

과로부터 마찰각 δ 로써 알루미늄 23°, 폴리에스터 22°의 값은 본 모델실험에서 보강재의 역할을 충분히 발휘한 것으로 나타났다.

또한 그림 4는 모델용벽 배면의 파괴면을 알아보기 위하여 보강재 파단면의 위치를 나타낸 것으로 파괴면은 알루미늄 호일 보강재를 사용한 경우가 폴리에스터 시트 보강재를 사용한 경우보다 전면판 가까이에서 발생하였으며, 배면상단에서 최대 2.1cm의 차이를 나타내면서 두가지의 파괴면은 서로 유사한 형상을 나타내었다.

이는 용벽의 천단부에서 파괴의 발생위치는 용벽전면으로부터 알루미늄 보강재인 경우에는 약 0.2H 그리고 폴리에스터 보강재인 경우에는 약 0.27H인 지점인 것으로 나타났으며, 용벽의 천단부로부터 바닥으로 내려갈수록 전면판으로부터의 거리가 가까운 것으로 나타났다.

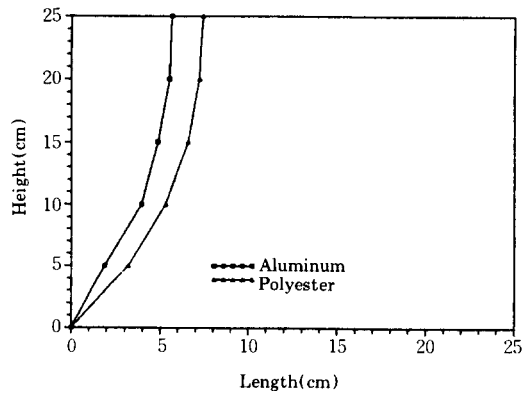


그림 4 보강토용벽 배면의 파괴형상

4. 결과분석 및 고찰

4.1 모델과 현장과의 상사비 분석

4.1.1 시간과 변위

원심모형실험결과 전면판의 각 무차원 위치별 실제 경과시간에 따른 변위의 경향을 알아보기 위하여 식 (1)을 이용, 실제 현장에서 보

강도옹벽 축조후의 경과시간으로 환산하여 검토하였다⁷⁾.

$$T = tN^2 \quad (1)$$

여기서, T : 현장경과시간

t : 원심모형실험시 가속경과시간

N : 원심모형실험시 중력가속도

또한 원심모형실험 결과를 실제 현장 규모로 환산하기 위하여 식 (2)를 사용함으로써 옹벽 전면판의 실제변형을 구하여 검토하였다⁷⁾.

$$L = l \times N \quad (2)$$

여기서, L : 현장에서의 길이

l : 원심모형실험에서 모델옹벽의 길이

4.1.2 강도와 기하학적 형상

일련의 실험을 수행하므로써 다음과 같은 상사법칙을 적용할 수 있다^{7), 8)}.

$$\frac{(E)_m (t)_m}{(E)_p (t)_p} = \frac{(S_v)_m}{(S_v)_p} = \frac{(S_h)_m}{(S_h)_p} = \frac{(B)_m}{(B)_p} = \frac{(L)_m}{(L)_p} = \frac{1}{N} \quad (3)$$

여기서, E : 보강재의 탄성계수

t : 보강재의 두께

S_v, S_h : 보강재의 수직 및 수평배치간격

B : 보강재의 폭

L : 보강재의 길이

N : 상사비 즉, g - level

단, 첨자 m과 p는 각각 모델과 현장을 나타낸다.

식 (3)을 이용하여 본 연구에서 사용한 보강재에 대한 모델과 현장에서의 상사비는 표 5와 같다. 식 (3)에서 첫번째 항은 탄성계수가 다른 경우에 유용하게 사용될 수 있다.

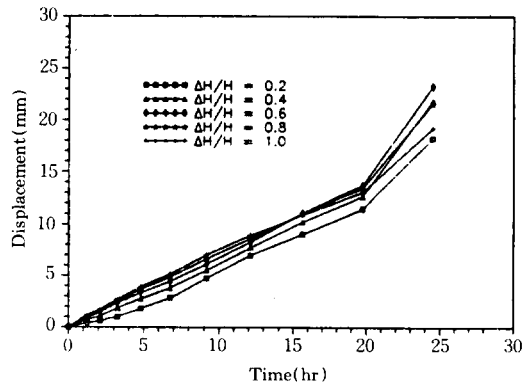
4.2 시간경과에 따른 전면판의 수평변위

그림 5는 알루미늄 보강재와 폴리에스터 보강재를 사용했을 때의 보강토 전면의 각 무차원 위치별 수평변위를 나타낸 것이다. 그림 5(a)에서 알 수 있는 바와 같이 알루미늄 보강재를 사용했을 때의 전면판의 변위는 15시간 30분 경과시까지 무차원 위치가 높은 순으로 9mm에서 최대 11mm 사이내에서 변위가 크게 일어났으며, 15시간 30분에서 19시간 30분 경과까지는 0.6H 위치에서 14mm로 가장 크게 일어났으며, 20시간 경과후에는 모든 위치에서 큰 변형으로 증가되고 있음을 알 수 있었다.

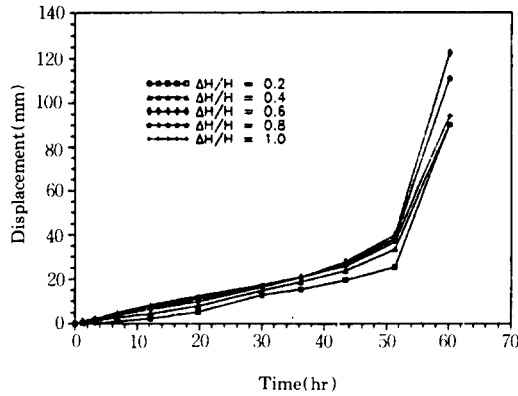
한편 그림 5(b)는 폴리에스터 보강재를 사용했을 경우로 36시간 경과까지는 무차원 높이가 높을수록 20mm 범위내에서 알루미늄 보강재를 사용한 경우와 같은 경향을 나타내고 있으며, 36시간에서 51시간까지는 알루미늄 보강재에서와 마찬가지로 0.6H 위치가 가장 큰 변형을 나타내었고, 그 이후에는 모든 위치에서의 변형이 매우 큰 값으로 나타났다. 한편 알루미늄 보강재를 사용한 경우 파괴직전으로

표5 보강재의 모델과 현장에서의 상사비

Reinforcements	Quantity	Model	Prototype
Aluminum	$E \times t$ (kg/cm)	948	13,270
	S_v (mm)	60	840
	S_h (mm)	50	700
	B(mm)	10	140
	L(mm)	150	2,100
Polyester	$E \times t$ (kg/cm)	22.8	432
	S_v (mm)	60	1,140
	S_h (mm)	50	950
	B(mm)	10	190
	L(mm)	150	2,850



(a) 알루미늄 보강재를 사용한 경우



(b) 폴리에스터 보강재를 사용한 경우

그림 5 용벽 축조후 경과시간에 따른 전면판의 변위

볼 수 있는 19시간 30분 경과시 전면판의 변위는 폴리에스터 보강재를 사용했을 때 동일 경과시간에서의 변위보다 약 1.2배의 변위를 나타내었다.

4.3 현장 보강토옹벽에서의 전면판의 위치별 횡방향변위

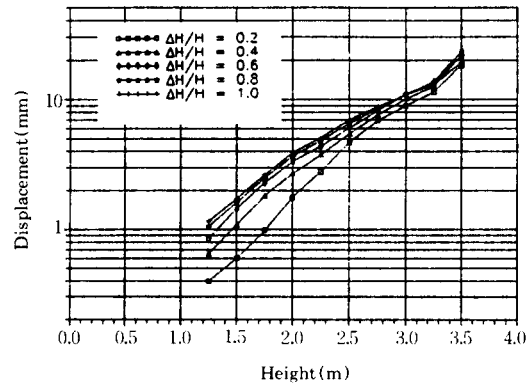
원심모형실험에서 수행된 전면판의 위치별 수평변위를 g -level을 고려하여 실제 보강토옹벽에서 수평변위로 환산하여 나타내면 그림 6과 같다.

그림 6(a)는 알루미늄 보강재를 사용했을 경우의 각 위치별 전면판의 수평변위를 나타낸 것이며 실제 보강토옹벽의 높이는 최대 3.5m까지로 산정된다. 옹벽의 높이가 1.25m에서 3m까지의 모든 옹벽에 대해서 각각 옹벽의 높이별 옹벽의 각 위치마다 수평변위는 1.0H, 0.8H, 0.6H, 0.4H 그리고 0.2H 순으로 변위가 작게 나타났으나 3m 이상의 옹벽높이에서는 옹벽의 규모에 따라 다소의 차이는 보이나 0.6H인 지점에서 크게 변형됨을 알 수 있다.

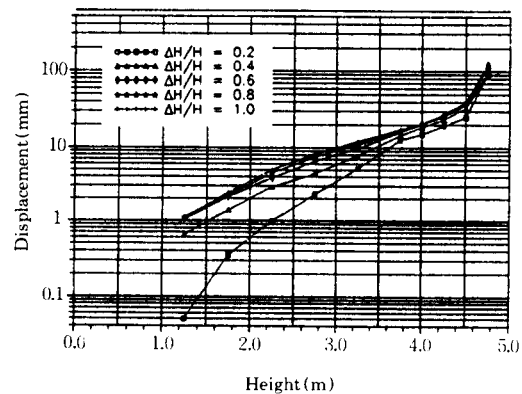
한편 그림 6(b)는 폴리에스터 보강재를 사용했을 경우의 옹벽의 크기에 따른 전면판의 위

표6 보강재에 따른 전면판의 무차원 위치별 수평변위 관계식

보강재	$\Delta H/H$	관계식
Aluminum	0.2	$Y = \text{EXP}(1.71422 X) \times 0.052099$
	0.4	$Y = \text{EXP}(1.47753 X) \times 0.124565$
	0.6	$Y = \text{EXP}(1.36330 X) \times 0.189479$
	0.8	$Y = \text{EXP}(1.26582 X) \times 0.256139$
	1.0	$Y = \text{EXP}(1.19369 X) \times 0.312406$
Polyester	0.2	$Y = \text{EXP}(1.84599 X) \times 0.010450$
	0.4	$Y = \text{EXP}(1.24805 X) \times 0.145821$
	0.6	$Y = \text{EXP}(1.16452 X) \times 0.248971$
	0.8	$Y = \text{EXP}(1.11620 X) \times 0.303434$
	1.0	$Y = \text{EXP}(1.07427 X) \times 0.351613$



(a) 알루미늄 보강재를 사용한 경우



(b) 폴리에스터 보강재를 사용한 경우

그림 6 전면판의 수평변위 산정을 위한 계수관계도

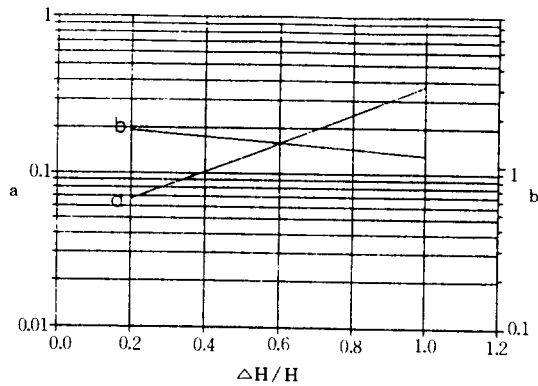
치별 수평변위를 나타낸 것으로 전체적으로 알루미늄 보강재를 사용하였을 때보다 큰 변형을

나타내고 있으며, 값의 차이는 있으나 그림 6 (a)와 유사한 경향을 나타내었다.

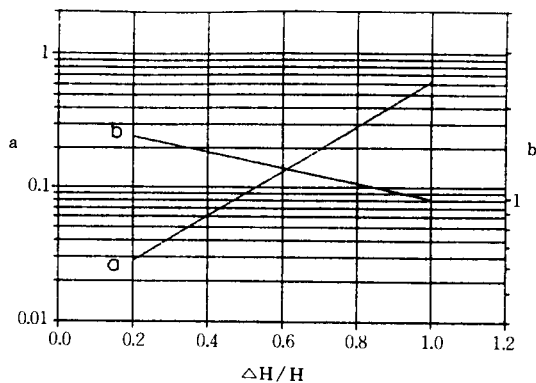
본 연구에서 수행한 원심모형실험을 실제 용벽으로 환산하여 비교하면 그 규모면에서 제한적이기는 하나 본 실험에서 수행한 용벽 규모 내에서 전면판의 위치별 수평변위량을 추정하기 위하여 그림 6에서 제시된 각각의 그래프를 표 6과 같이 지수식으로 나타내었다.

또한 표 6의 관계식을 기본식 $Y = EXP(bX) \times a$ 로 간주하여 계수 a, b에 대하여 용벽 전면판의 무차원 위치별 수평변위를 알 수 있도록 그림 7과 같이 계수관계도를 제안하였다.

따라서 본 계수관계도를 사용하여 실제 현장



(a) 알루미늄 보강재를 사용한 경우



(b) 폴리에스터 보강재를 사용한 경우

그림 7 전면판의 수평변위 산정을 위한 계수관계도

에서 알루미늄 보강재 또는 폴리에스터 보강재와 유사한 공학적 특성을 가진 보강재를 사용하는 경우 전면판의 변형을 고려한 설계 및 시공 그리고 사후 보강토옹벽 관리에 활용할 수 있으리라 보며, 본 원심모형실험에서 제한적으로 수행되었다고 간주되는 보강재의 선택, 뒷채움재의 선택, 원심모형실험의 다양화, boundary condition 등을 고려한 지속적인 연구와 함께 기존해석방법과의 비교, 분석을 통하여 향후 보다 실용적인 연구를 수행코저 한다.

4.4 현장 보강토옹벽에서 배면의 파괴형상

원심모형실험에서 구한 용벽배면의 파괴위치를 실제 용벽의 규모에서의 파괴면으로 전환하면 그림 8과 같이 나타낼 수 있다. 알루미늄 보강재를 사용한 경우 용벽배면의 파괴면은 0.7m의 용벽높이에서 전면판으로부터 0.27m 배면에서 파괴가 일어났으며, 용벽의 천단부인 3.5m 높이에서는 전면판으로부터 0.78m 후면에서 파괴가 일어나는 것으로 나타났다. 또한 폴리에스터 보강재를 사용했을 경우에는 0.95m 높이에서 전면판으로부터 0.8m 배면에서 파괴가 일어났으며, 용벽의 천단부인 4.8m 높이에서는 1.5m 후면에서 파괴되는 것으로 나타났다.

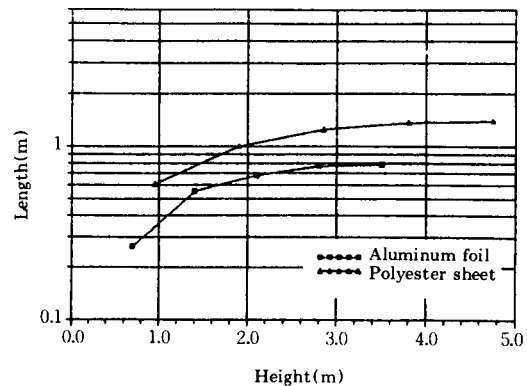


그림 8 보강토옹벽 배면의 파괴면

5. 결 론

보강재 특성에 따른 보강토 옹벽에 대한 원심모형실험결과를 이용하여 전면판의 변형과 옹벽 배면의 파괴형상을 분석, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 전면판의 수평변위는 일반적으로 g -level이 높을수록 그리고 전면판에서의 위치가 높을수록 크게 나타났으나, 보강재의 종류에 따라서 각각 일정한 경과시간 이후부터는 무차원 위치 $0.6H$ 에서 가장 큰 변위를 나타내었다.

(2) 전면판의 변형은 알루미늄 보강재를 사용한 경우 $14g$ -level에서 급속히 증가하였고, 폴리에스터 보강재를 사용한 경우에는 $19g$ -level에서 급속히 증가하므로써 이때 보강재가 파단되고 있음을 알 수 있었으며, 파단되기 이전의 응력수준에서는 $0.6H$ 이하에서 g -level이 높을수록 변형이 크게 나타났으나 $0.6H$ 이상에서는 오히려 g -level이 낮을수록 변형이 큰 경향을 나타내었다.

(3) 옹벽의 높이별 실제 보강토옹벽에서 전면판의 무차원 위치별 수평변위량을 검토한 결과 사용된 보강재의 종류에 따라 각각 어느 일정한 옹벽높이 이하까지는 위치가 높을수록 큰 변형을 나타내나 그 이상에서는 $0.6H$ 에서 가장 큰 변형을 나타내었다. 본 연구에서는 지수관계도를 제안하여 보강재의 종류에 따른 전면판의 위치별 수평변위산정방안을 제시하였다.

(4) 폴리에스터 시트를 이용한 모델옹벽의 파괴면은 알루미늄 호일을 이용한 경우보다 전면판으로부터 보다 멀리 떨어진 지점에서 발생하였으며, 또한 폴리에스터 시트를 이용한 모델옹벽이 더 높은 응력레벨에서 파괴됨을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Vidal, H.(1969). "The Principle of Reinforced Earth", Highway Research Report, No. 282, pp.1-16.
- 2) Pang, P.L.R.(1979), "Centrifugal Model Tests of Reinforced Earth Walls," Ph. D. Thesis, University of Manchester Institute of Science and Technology.
- 3) Schlosser, F. and N.T. Long,(1972), "Behavior of Reinforced Earth for Retaining Structures," Proc. 5th European Conf. on SMFF, Vol. 1, pp.299-306.
- 4) Banerjee, P.K.(1975), "Principle of Analysis and Design of Reinforced Earth Retaining Walls", J. Instn, Highw. Engrs., 22, No. 1, pp.13-18.
- 5) Bolton, M.D. and P.L.R. Pang,(1978), "Reinforced Earth Walls - A Centrifuge Model Study," Proc. ASCE Symp. Earth Reinforcement, Pittsburgh, pp.252-281.
- 6) Boden, J.B., Irwin, M.J. and R.G. Pocock. (1977), "Construction of Experimental Reinforced Earth Wall," TRRL Symp. Reinforced Earth and Other Composite Soil Techniques, Supplementary Report, No. 457, TRRL, Edinburgh, UK.
- 7) Craig, W.H., James, R.G. and A.N. Schofield,(1988), "Centrifuge in Soil Mechanics," Balkema, pp.11-18.
- 8) E. Taniguchi and Y. Koga,(1988), "Centrifugal Model Tests on Reinforced Embankments by Non-woven Fabric," Balkema, 253-258.
- 9) N.J. Yoo.(1988), "Centrifugal Model Experiment of Reinforced Earth Retaining Walls," Ph. D. Thesis, University of Colorado, USA
- 10) Schofield, A.N.(1980), "Cambridge Geotechnical Centrifuge Operations," Geotechnique 30, pp.227-268.

(접수일자 1993. 9. 13)