

## 보강토옹벽의 배부름현상 분석 및 보강 방법에 대한 실험적 연구

이원홍<sup>1</sup>, 문병조<sup>2\*</sup>, 이승열<sup>3</sup>

### A Study on Reinforcement Method of Reinforced Soil Retaining Wall Through Field Experiment

Won-Hong Lee<sup>1</sup>, Byeong-Jo Mun<sup>2\*</sup>, Seuong-Yeol Lee<sup>3</sup>

**Abstract:** This study proposes a system to control the bulging phenomenon occurring in the reinforced earth retaining wall and to evaluate the reliability of the system by field experiment. In this study, drainage facilities were not installed in order to induce reinforcement earth retaining wall bulging, and the bulging was induced by rainfall. The induced bulging displacement exceeded the horizontal displacement criterion during the construction of FHWA. The retaining wall block was drilled and grouting was performed by inserting the nail into the drilling hole. The wire mesh is installed on the reinforcing surface and the head of the nail is connected horizontally so that the blocks of the reinforcing earth retaining wall can be supported with each other. In order to protect the reinforcements, the reinforcement surface was closed with shotcrete and a measuring device was installed to detect the progress of the displacement. After the reinforcement, the bulging were not found to progress any more, confirming the reliability of the system.

**Keywords:** Earth retaining wall, shotcrete, Bulging, Reinforcement

## 1. 서론

### 1.1 연구배경

보강토옹벽은 시공성과 경제성 그리고 미관상 측면에서 기존 콘크리트 옹벽을 대체할 수 있는 구조물로서 그 사용량이 급속도로 증가하고 있다. 이러한 공법의 장점에도 불구하고 국내에서는 설계기준의 미비와 설계 S/W검증미흡, 업체의 과다경쟁, 지반조사 상세검토 결여 등에 따른 품질저하가 빈번하게 발생하고 있다. 아울러 보강토옹벽 시공 시 기술자의 공법에 대한 인식부족으로 품질 및 시공(다짐)관리가 제대로 시행되지 않아 시공 중 또는 시공 후에 보강토옹벽의 붕괴(활동) 현상이 뉴스나 학회지면을 통하여 보고되고 있으나 보강토옹벽의 유지관리에 있어 붕괴 징후에 대한 선제적 예방 방법이 현실적으로 부족하며 이에 대한 연구도 미흡한 실정이다.

보강토옹벽의 붕괴 징후 중 하나인 배부름 현상의 공용 중 기준이 되는 수평 변위에 대한 기준은 없으나 시공 중 수평 변

위에 대해서는 다음과 같은 기준이 제시되고 있다.

현재 미국 연방도로청(FHWA, 2001)에서 수평변위기준은 Precast wall facing의 경우 높이 1m당 6.2mm이하로 Flexible wrapped wall의 경우 높이 1m당 16.7mm로 제한하고 있다. 또한 BS 8006(1995)기준에 따르면 4.5m당  $\pm 20\text{mm}$ 로 제한하고 있다.

국내 보강토옹벽의 경우에는 수평변위에 관한 기준으로 현재 0.03H(H는 옹벽높이)와 미국 연방도로청(FHWA) 기준을 대부분 현장에서 적용하고 있다.

따라서 국내의 보강토옹벽의 공용 중 횡방향 변위에 대한 관련 시방기준을 마련하는 것이 시급하다고 판단되며, 보강토옹벽의 배부름 현상을 억제할 수 있는 연구가 필요한 실정이다.

### 1.2 연구 목적 및 내용

현재 공용 중인 보강토옹벽은 주로 설계 하중을 초과하는 하중들이 배면에 작용하거나 옹벽 배수구(측면 배수, 유공관)의 성능 저하로 보강토옹벽 배면 수압의 작용으로 변형이 발생된다. 이러한 변형은 보강토옹벽의 배부름 현상으로 나타나지만 제어하기 위한 기술의 미비로 보강토옹벽의 배부름 현상을 방지하는 경우가 많이 발생하였다. 이에 본 연구에서는 보강토옹벽의 배부름 현상의 진행을 억제하고 보강토옹벽의 손실된 성능을 보강하여 인적·물적 손실에 대해 선제적 대응을 하고자 한다.

본 연구에서는 보강토옹벽의 배부름 현상을 유도하기 위

<sup>1</sup>정회원, 경남과학기술대학교 토목공학과 교수

<sup>2</sup>정회원, (주)상회토건 대표이사

<sup>3</sup>정회원, 경남과학기술대학교 겸임교수

\*Corresponding author: munbj0411@hanmail.net

munbj0411@hanmail.net, 1882, Sacheon-daero, Sacheon-eup, Sacheon-si, Gyeongsangnam-do, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2019년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 9월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

해 배수구가 없는 건전한 보강토옹벽을 시공한다. 시공 후 주기적으로 157일 동안 변위계측을 통해 배부름의 진행정도를 파악하고 위에서 언급한 수평 변위를 초과하게 되면 배부름 억제 방법을 적용한다. 본 연구에서 제시하는 배부름 현상이 발생한 보강토옹벽의 보강은 다음과 같다. 먼저 배부름 현상이 발생한 보강토옹벽 배면의 그리드는 잔존 마찰력이 없는 것으로 가정한다. 계산된 네일의 간격과 길이는 네일의 인발력과 보강토옹벽의 변위억제를 고려하여 결정한다. 네일 삽입은 보강토옹벽 블록을 일정 간격으로 천공하고 그리드가 파손되지 않게 3~5°의 경사로 삽입 후 정착한다. 변형된 부분의 응력의 분산을 위해 와이어메쉬와 삽입된 네일의 두부를 철근으로 연결한다. 또한 보강토옹벽 전면 일부를 천공하여 배수구를 확보하고 숏크리트로 변형된 부분에 마감한 후 미관을 위해 미장하여 마무리 한다.

숏크리트 양생 후 변위 계측을 실시하여 보강 후 보강의 유무를 판단하였다.

### 1.3 연구 동향

보강토옹벽 배부름 제어에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았으나 보강토옹벽 배부름의 원인과 보강토옹벽 붕괴 사례 분석에 대한 연구는 진행되어 왔다.

강주원(2013)은 보강토옹벽의 배부름 변위에 대한 설계기준 마련의 필요성과 보강토옹벽의 배부름 현상에 대한 대책 방안으로 보강토옹벽 배면의 성토하중을 제거하고, 옹벽의 높이를 보다 낮추어 전체적인 안정성을 확보하는 것이 합리적인 방법이라고 판단하였다.

김진만 등(2001)은 전면 블록의 문제점을 보완을 위해 EPS (Expandable PolyStrene) 블록을 이용한 새로운 배부름 방지 전면블록을 제안하였다.

유충식 등(2004)은 옹벽의 수평변위 및 보강재 유발변형은 시공 중 많이 발생하였고, 시공이 완료된 후에도 지속적으로 증가하여 수평변위 및 보강재 유발 변형률이 수렴하기까지는 상당한 시간이 걸린 것으로 분석하였다. 그리고 유발인장력 부분을 검토한 결과 각 단의 상단부분은 설계기준 이상의 유발인장력이 발생하고 있어서 상단부분의 보강 및 현 설계기준에 대한 검토가 요구된다고 하였다.

한중근 등(2005)은 고속국도 ○○현장 보강토옹벽 전면 활동 붕괴원인분석에 관한 연구를 통해 정확한 지반과 지층구조를 제대로 반영하지 않고 성토구조물을 시공한 것이 원인으로 분석하였다.

송영석(2006)은 사면붕괴가 발생된 절개사면에서의 억지말뚝 보강 사례연구를 통해 도로공사 일부구간에서 발생된 붕괴사면을 대상으로 사면안정해석을 수행하고 사면보강대책공법을 제시하였다.

남관우 등(2006)은 속초정수장 건설공사 떡밭재 도시계획도로 도로공사 중 붕괴현상을 분석한 결과 집중호우에 의한 암반 절리면의 붕괴가 상호 순차적으로 발생하여 응집력 감소가 주원인인 것으로 도출하였다. 이는 강우에 의한 지하수의 이동경로는 혼재비탈면의 풍화정도에 따라 불규칙적이며, 토사와 암의 경계지점을 제외하고는 절리 등의 불규칙성으로 파괴발생지점을 예측하기 어려운 문제점을 지적하고 있다.

## 2. 보강토옹벽설계 및 시공

### 2.1 보강토옹벽 실험체 시공 장소

보강토옹벽 실험체의 위치는 산청군 신안면 하정리 10으로 하천에 인접한 곳이며 작업 차량 진입이 용이한 곳으로 결정하였으며 보강토옹벽이 설치된 후 약 2~3년 동안 거동을 관찰할 수 있어 장기 변형에 대한 데이터를 확보할 수 있도록 장소를 선정하였다.

### 2.2 지반정수 실내실험

본 연구에 적용한 지반상수는 실내실험결과 및 문헌자료 등을 종합적으로 검토하여 Table 1 과 2에 나타난 바와 같이 적용하였다.

Table 1 Ground integer for stability analysis

division	unit weight ( $\gamma_t$ , kN/m <sup>3</sup> )	cohesion (C, kN/m <sup>2</sup> )	angle of friction ( $\phi$ , °)	remarks
Reinforced soil	19	0	30	-
Backfill soil	19	0	30	-
foundation ground	17.39	15.85	25.36	95% of maximum wetting unit weight

Table 2 Laboratory soil test results of sampling

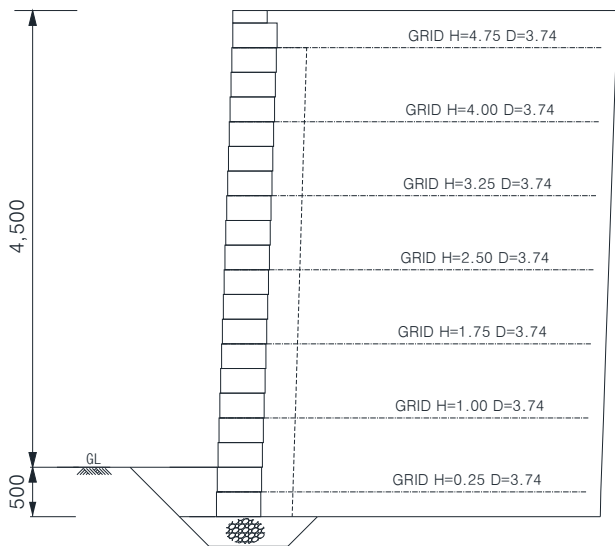
location	unified soil classification system	grain size analysis			atterberg limit		natural moisture content (%)
		gravel (%)	sand (%)	#200 fines (%)	LL (%)	PL (%)	
	SM	1.19	51.19	47.62	N.P	N.P	1.20
In the field	compaction test			direct shear test			
	maximum dry unit weight (rdmax, kN/m <sup>3</sup> )	Optimum Moisture Content (OMC, %)		cohes-ion(C, kN/m <sup>2</sup> )	angle of friction ( $\phi$ , °)		
	18.09	15.20		15.85	25.36		

### 2.3 실험용 보강토옹벽 설계단면

현장 실험용 보강토옹벽 설계는 보강토옹벽 범용설계 프로그램인 MSEW를 사용하여 계산하였으며 그 결과는 Table 3과 같다. 또한 설계 단면은 Fig. 1에 나타내었으며, 실험의 목적을 위해 배부름을 유도하고자 배수시설은 고려하지 않았다.

**Table 3** Results of structural calculation for reinforced soil retaining wall

Division	H (m)	Safety rate ( F.S )				
		External stability			Internal stability	
		bearing capacity	activity	overturn -ing	tensile rupture	pullout failure
Review section	5.0m	≥2.5	≥1.5	≥2.0	≥1.0	≥1.5
		5.36	2.593	5.04	1.52	2.833



**Fig. 1** Design section(Unit: mm)



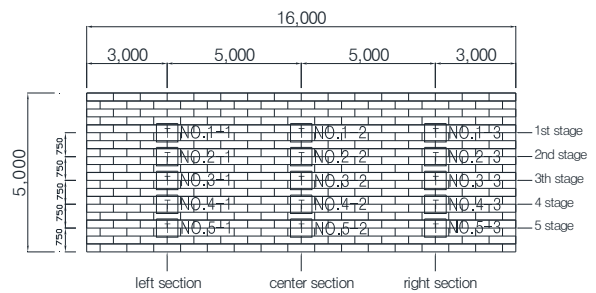
**Photo 1** Reinforced soil retaining wall

### 3. 보강토옹벽 실험체 및 계측장치 시공

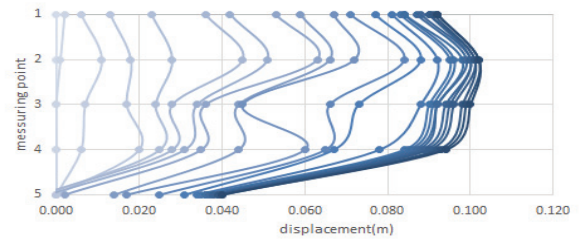
#### 3.1 계측장치

광과타켓을 Fig. 2와 같이 설치하여 실험기간 중 보강토 옹벽에 발생하는 변위를 계측하였다.

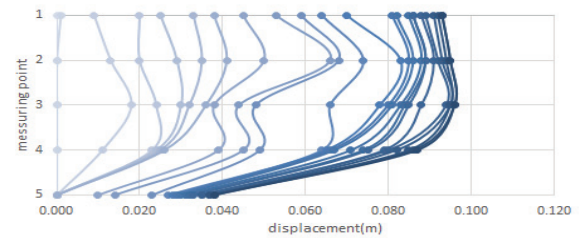
각 광과타켓 측정점의 수직간격은 750mm이고 수평간격은 5,000mm이다. 측정점은 NO. A-B로 표기하였고 여기서 A는 행수를 나타내었으며 제일 위 상단이 1이고 맨 아래 하단이 5가 되도록 표기하였다. 또한 B는 좌측단면, 중앙단면, 우측단면을 나타내며, 각 1, 2, 3으로 표기하였다.



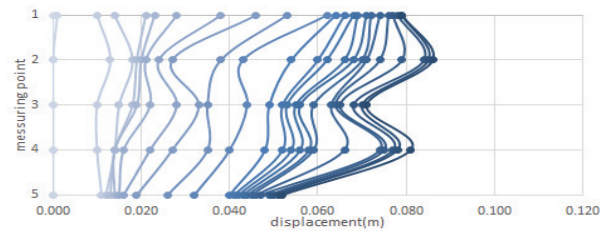
**Fig. 2** Target arrangement



(a) left section



(b) center section



(c) right section

**Fig. 3** Horizontal displacement result of longitudinal section

보강토옹벽 변위계측은 2016년 6월 17일부터 11월 21까지 15개 측점에 대해 총 23회의 계측을 실시하였으며, 1회당 각 측점에 대해 3회 계측하고 그 평균값으로 변위를 검토하였다.

측정된 변위 값이 양수이면 보강토옹벽의 벽체 전면으로 변위가 발생하였음을 의미한다.

### 3.1.1 보강토옹벽 벽체 종단면 수평변위

Fig. 3 에서는 광파타켓이 설치된 종방향으로 각각 좌측단면, 중앙단면, 우측단면으로 하고 각 단면당 5개의 측정점으로 구성하였다. 아래의 그래프는 측정일자에 대한 각 측정점의 누적변위이며 시간이 자남에 따라 명암을 진하게 하여 도식화 되었다.

Fig. 3에서 나타난 각 단면별 최대 변위와 해당 측정점은 아래의 Table 4와 같다.

**Table 4** Horizontal displacement result of longitudinal section

Section	Measure point	Max. displacement	Hight from bottom of wall(m)
Left	NO.2-1	0.102mm	3.00
Center	NO.3-2	0.096mm	2.25
Right	NO.2-3	0.086mm	3.00

### 3.1.2 보강토옹벽 벽체 횡단면 변위

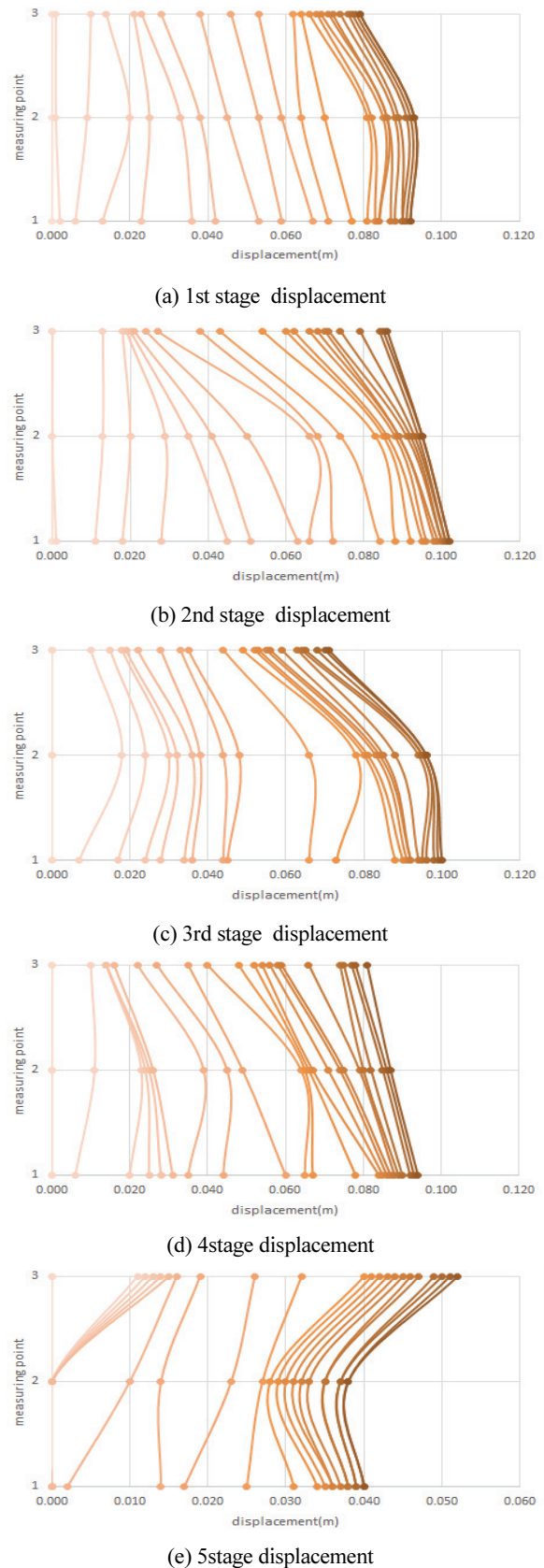
Fig. 4 에서는 광파타켓이 설치된 횡방향으로 벽체 상단부터 아래로 각각 1단에서 5단으로 구분하고 각 단은 3개의 측정점으로 구성하였다. 아래의 그래프는 측정일자에 대한 각 측정점의 누적변위이며 시간이 자남에 따라 명암을 진하게 하여 도식화 되었다.

Fig. 4에서 나타난 각 단별 최대 변위와 해당 측정점은 아래의 표와 같다.

**Table 5** Horizontal displacement result of horizontal section

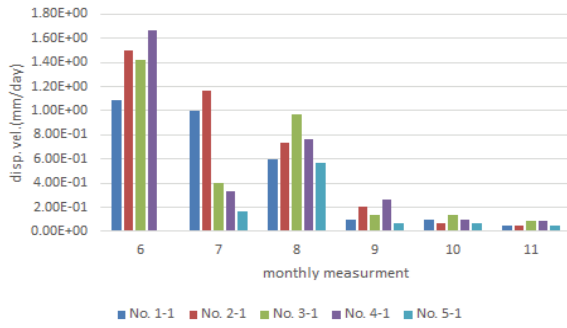
Stage	Measure point	Max. displacement
1	NO.1-1	0.092mm
2	NO.2-1	0.102mm
3	NO.3-1	0.100mm
4	NO.4-1	0.094mm
5	NO.5-3	0.052mm

벽체의 측정위치 1단에서 4단까지는 좌측종단면에서 최대 변위가 발생하였고 5단에서는 우측종단면에서 최대 변위가 발생하였다.

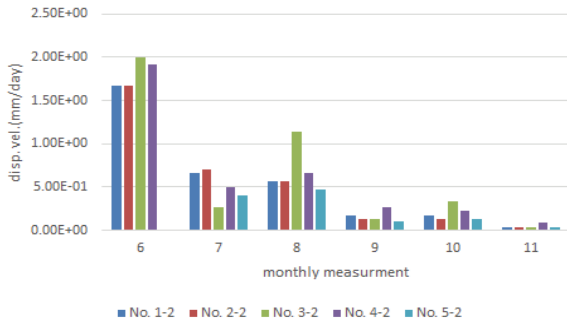


**Fig. 4** Horizontal displacement result of horizontal section to each stage

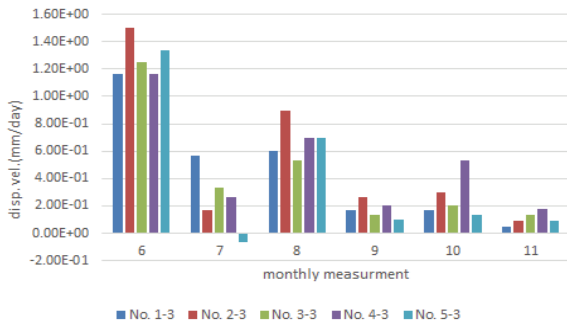




(a) left section



(b) center section



(c) right section

Fig. 5 Monthly bulging velocity

### 3.2 보강토 벽체 배부름 속도 분석

본 연구에서는 배부름 억제를 위한 보강 방법의 적용 시기를 판단하고자 각 월별(6월, 7월, 8월, 9월, 10월, 11월) 배부름 변형 속도를 계산하였다.

배부름 속도 계산은 각 월별 누적 변위를 30일 또는 31일로 나누어 mm/day로 표현하고 아래와 같이 Fig. 5의 그래프에 나타내었다.

Fig. 5의 (a)는 6월에 측정점 NO. 4-1의 배부름 속도가 1.67 mm/day로 가장 빠른 것으로 계산되었고, (b)는 6월에 측정점 NO. 3-2의 배부름 속도가 2.0mm/day로 가장 빠른 것으로 계산되었으며, (c)는 6월에 측정점 NO. 2-3의 배부름 속도가 1.5 mm/day로 가장 빠른 것으로 계산되었다.

보강토옹벽 실험체가 시공되어 있는 경상남도 산창군의 월

별 강수량과 강우일수를 파악한 결과, 6월 73.1mm, 13일, 7월 217.6mm, 15일, 8월 114.1mm, 9일, 9월 347mm, 18일이었다. 따라서 6월의 변위속도는 초기 안정화와 강우에 의한 변위로 발생하였으며, 8월의 변위속도는 7월과 8월의 강우에 의한 변위가 중첩되어 7월의 변위속도보다 높게 나타난 것으로 판단된다. 9월의 강우량과 강우일수는 계측기간 중 가장 많고 길었으나 변위속도가 6월부터 8월까지 발생한 변위속도가 낮은 것은 배면토의 안정화로 인한 것으로 판단된다.

본 연구의 보강토옹벽 실험체에는 배수 시설을 시공하지 않아서 시공 초기 우수에 의한 변형과 배면토 안정화에 의한 변형이 집중되고 있으나 그 변형은 지속적으로 일어남을 알 수 있다.

### 3.3 보강토옹벽 벽체 변위 예측

보강토옹벽의 벽체 배부름이 발생한 후 보강 유무 판단을 위해 완공 후 각 측정점들의 157일 간의 누적변위에 대한 추세선을 계산하고 이 추세선을 이용하여 각 측정점의 향후 변위를 예측하였다. 그리고 배부름 변형에 대한 허용 변형 기준이 아직 설정되어 있지 않아서 미연방 도로국(FHWA, Federal Highway Administration, 2001)에서 제시한 Precast wall facing 수평변위

Table 6 Displacement prediction to left section

point	Trend line	FHWA (day)	0.03H (day)
NO.1-1	$y=2E-08x^3-1E-05x^2+0.0018x-0.0046(R^2=0.9965)$	27	275
NO.2-1	$y=-1E-13x^5+3E-10x^4-5E-08x^3-5E-06x^2+0.0018x-0.0024(R^2=0.9952)$	20	170
NO.3-1	$y=5E-10x^4-2E-07x^3+2E-05x^2+0.0005x+0.0027(R^2=0.9783)$	33	234
NO.4-1	$y=-4E-06x^2+0.0013x-0.0026(R^2=0.9842)$	33	-
NO.5-1	$y=-2E-06x^2+0.0006x-0.0084(R^2=0.9018)$	70	-

Table 7 Displacement prediction to center section

point	Trend line	FHWA (day)	0.03H (day)
NO.1-2	$y=2E-10x^4-6E-08x^3+4E-07x^2+0.0012x+0.0004(R^2=0.9947)$	27	242
NO.2-2	$y=2E-08x^3-1E-05x^2+0.0018x-0.0039(R^2=0.9929)$	20	274
NO.3-2	$y=-1E-08x^3-1E-06x^2+0.0011x+0.0039(R^2=0.9706)$	27	-
NO.4-2	$y=2E-10x^4-5E-08x^3+9E-07x^2+0.001x+0.0018(R^2=0.9825)$	33	196
NO.5-2	$y=9E-10x^4-3E-07x^3+3E-05x^2-0.0007x+0.0015(R^2=0.978)$	93	210

**Table 8** Displacement prediction to right section

point	Trend line	FHWA (day)	0.03H (day)
NO.1-3	$y=5E-09x^3-5E-06x^2+0.0012x-0.0016$ ( $R^2=0.9903$ )	33	-
NO.2-3	$y=-1E-06x^2+0.0008x+0.0012$ ( $R^2=0.975$ )	52	295
NO.3-3	$y=7E-11x^4-2E-08x^3-6E-08x^2+0.0007x+0.0016$ ( $R^2=0.9885$ )	52	262
NO.4-3	$y=1E-10x^4-5E-08x^3+6E-06x^2+0.0004x+0.0027$ ( $R^2=0.9857$ )	59	318
NO.5-3	$y=-1E-06x^2+0.0006x+0.0014$ ( $R^2=0.9412$ )	63	-

기준인 높이 1m당 6.2mm이하 허용규정을 적용하여 계측일로부터 옹벽의 높이를 고려한 31mm를 초과하게 되는 일수와 일반적으로 현장에서 적용되는 0.03H(H; 옹벽 높이)에 해당하는 150mm를 초과하게 되는 일수를 계측 데이터와 추세선을 이용하여 각각 아래의 Table 6, Table 7와 Table 8에 측정별로 나타내었다. 또한 아래 표의 일수는 보강토옹벽 완공 후부터 각각의 기준을 초과하는 시점의 일수를 나타낸 것이다. 완공 후 154일 이내는 직접 계측한 데이터에 의해 각각의 기준에 대한 초과여부를 판단하였고, 154일을 초과한 경우는 추세선에 의해 예측하였다.

위의 Table 6, 7, 8에서 318일 이내에 15개 측정 중 10개의 측점이 기준을 초과하는 것으로 계산되었고, 0.03H(H; 옹벽 높이)의 기준에 예측 일수가 표시되지 않은 측정들은 현재 최종 계측된 변위 이상으로 추가변위가 발생하지 않는 것을 의미한다.

### 3.4 보강토 벽체 변위에 대한 보강여부 판단

배수시설을 시공하지 않은 보강토 옹벽에 대해 2016년 6월 17일부터 2016년 11월 21일까지 보강토 옹벽 벽체의 변위를 측정하여 보강토 옹벽 배부름 현상을 고찰하였다. 그 결과 아래의 사실들을 근거로 보강토옹벽 배부름에 대한 보강이 필요할 것으로 판단하였다.

- (1) 15개 측정에서 계측기간 동안 벽체의 변위가 지속적으로 발생하였고, 2016년 11월 21일 기준으로 배부름 변위가 100mm 이상인 측점이 2개소, 90~99mm는 5개소, 80~89mm는 3개소, 70~79mm는 2개소, 69mm 이하는 3개소로 계측되었다.
- (2) 측정들의 변위속도는 시공 후 15일 동안 가장 크게 발생하였고 시간이 지남에 따라 변위속도는 감소하였으나, 2016년 11월 21일까지 지속적으로 변위속도가 발생하였다.
- (3) 각 측정들의 계측된 변위와 변위를 이용한 추세선을 검토한 결과, FHWA(2001)의 수평변위기준에 대해 모든

측점의 변위는 93일 이내에 초과하였고, 일반적으로 현장에서 적용되는 0.03H 수평변위 기준에 대해서는 318일 이내에 15개 측정 중 10개의 측정 변위가 기준을 초과하는 것으로 계산되었다.

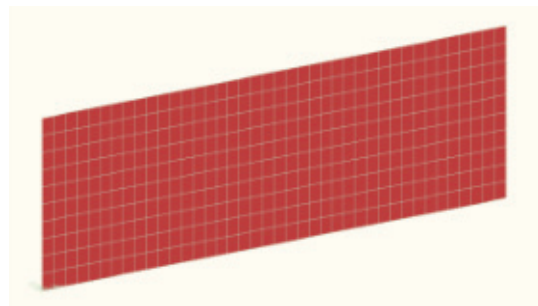
- (4) 본 연구에서 시공된 보강토 옹벽은 2016년 11월 21일까지의 계측 데이터를 분석한 결과, 측정들이 1년 이내에 0.15m(=150mm)의 많은 변위가 발생하는 것으로 예측되어 보강토 옹벽의 보강을 결정하였다.

## 4. 보강 방법의 설계와 시공

### 4.1 보강토옹벽 실험체 보강 방법 설계

#### 4.1.1 보강토옹벽 보강 네일간격 계산

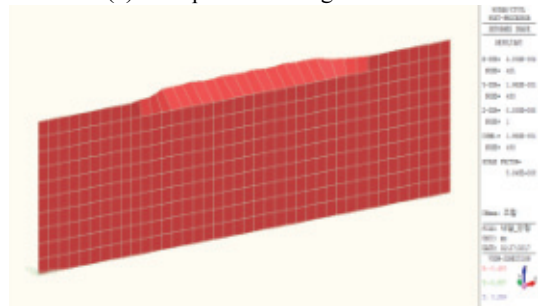
보강 방법의 배부름 현상을 억제하기 위한 네일의 간격과 슛크리트의 두께 결정의 최적화 설계를 위해 범용해석 프로그램인 MIDAS CIVIL을 이용하여 보강 방법을 판해석으로



(a) plate modeling for reinforcement



(b) earth pressure acting on the wall



(c) displacement by working loads

**Fig. 6** Modeling and analysis

계산하였다. 하중으로는 토압(토사 단위중량:18.09kN/m<sup>3</sup>, 내부마찰각:25.36°)과 슛크리트의 자중을 고려하였고 보강 방법에서 전면 배수구가 확보되는 것으로 간주하여 수압은 고려하지 않았다.

본 계산과정에서는 네일 두부를 단순화하여 힌지 요소로 모델링하여 네일에 발생하는 반력을 계산하여 인발저항력 만족을 검토하고 보강토옹벽의 변위가 가장 최소가 되는 네일의 위치를 선정하는데 목적이 있다.

해석에서는 최소 변위 0.19mm(FHWA 횡변위 기준 만족)와 최소 인발저항력55.6kN(고강도 네일 평균 인발 저항력 156.67kN 만족)을 가지는 네일 간격은 1.50m로 계산되었다.

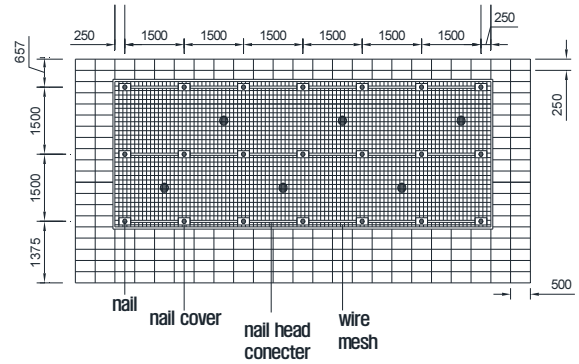


Fig. 8 Reinforced section

#### 4.1.2 네일 길이 및 안정성검토 결과

검토단면에 대하여 범용해석프로그램인 SoilWorks를 사

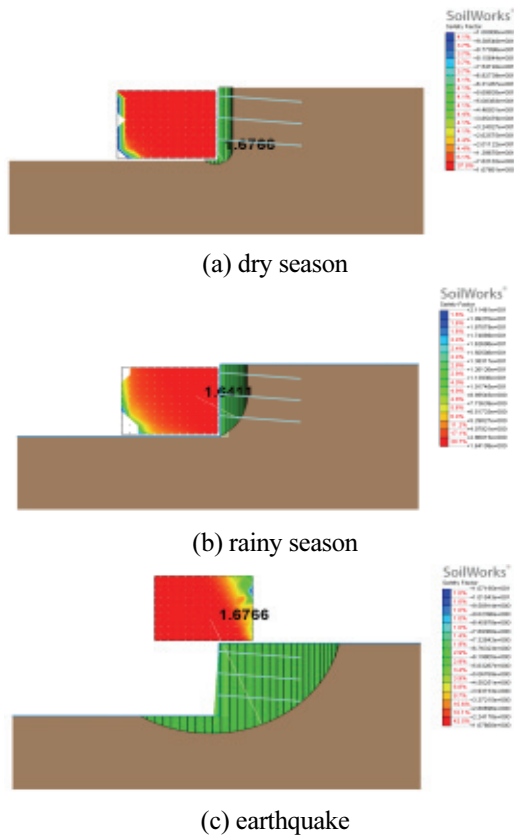


Fig. 7 Slope analysis

Table 9 Analysis results for slope

Consider section			
Analy-sis result	dry	F.S	1.6766 > 1.5
		judgment	O.K
	rainy	F.S	1.6411 > 1.3
		judgment	O.K
	earth qua.	F.S	1.6766 > 1.1
		judgment	O.K

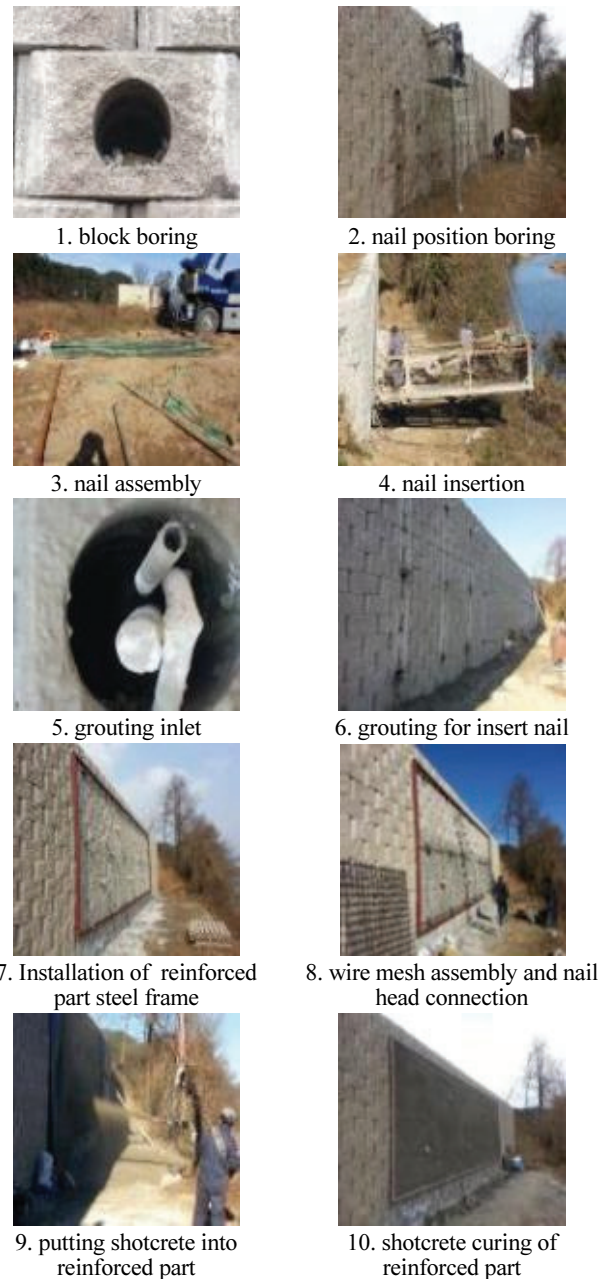


Photo 2 Construction of reinforced soil retaining wall

용하여 네일 길이 5.0m, 네일 간격 1.5m로 모델링하여 비탈면 활동을 검토한 결과 건기시, 우기시, 지진시 모두 기준안전율을 만족하는 것으로 나타났다.

Fig. 8에서처럼 보강부에 길이가 5.0m인 쏘일 네일 총 21개소 설치하였으며, 전면 배수구는 총 6개소를 설치되었다.

## 4.2 보강토옹벽 실험체 보강 방법의 시공

먼저 보강토옹벽 블록을 천공하고 천공에 네일을 삽입한다. 그라우팅 주입구에 그라우팅을 한 후 네일의 형성하고 와이어매쉬를 전면에 설치하고 네일의 두부를 철근으로 용접하여 연결한다. 보강부 외형틀을 조립하여 설치하고 슛크리트를 타설하여 미장 후 양생한다.

## 5. 보강 단면 변위계측 및 분석

### 5.1 보강 단면 변위 계측 위치

보강단면 계측은 보강 전 계측과 같이 광파타켓과 광파기를 사용하여 실시하였다.

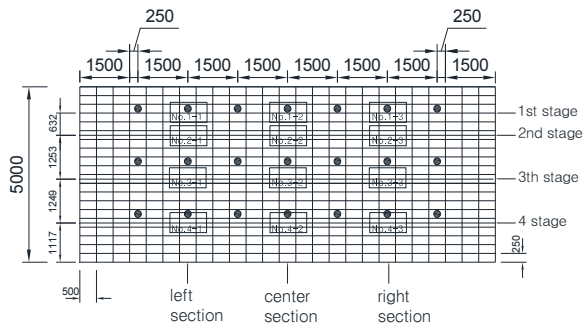


Fig. 9 Target attachment location to forward side



Photo 3 Site view of target attachment location

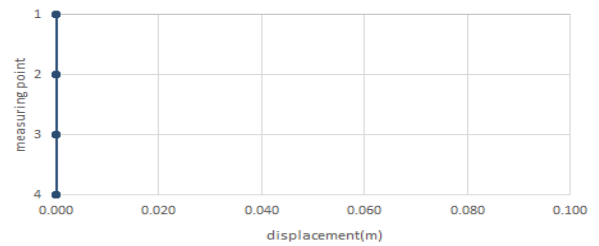
보강 단면의 변위 계측을 위해 Fig. 9 및 Photo 3과 같이 광파타켓을 총 12개소를 부착하였다. 설치된 광파타켓은 보강부 좌측, 보강부중앙, 보강부우측에 수직방향으로 각각 4개씩으로 하였다.

## 5.2 보강 단면별 변위 분석

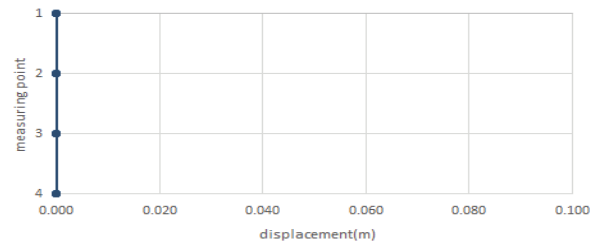
보강토옹벽의 배부름 변위가 발생한 후 보강토옹벽 벽체에 배부름 보강 방법을 적용하고 변위의 추이를 관찰하기 위해 벽체에 타켓을 설치하여 2016년 12월 15일부터 2017년 2월 27일까지 74일 동안 24회 변위를 계측하였다.

### 5.2.1 종단면 변위 분석

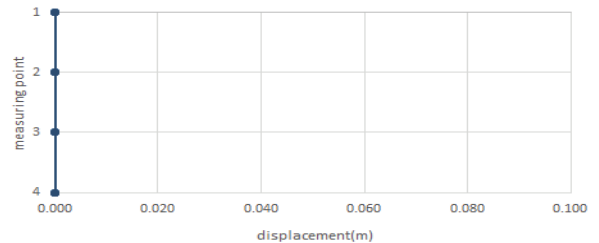
벽체 측점은 4행 3열로 되어 있어 각 열을 벽체 좌측단면부터 좌측단면, 중앙단면, 우측단면으로 구분하고 계측결과를 Fig. 10과 같이 그래프로 도식화하였다.



(a) left section



(b) center section



(c) right section

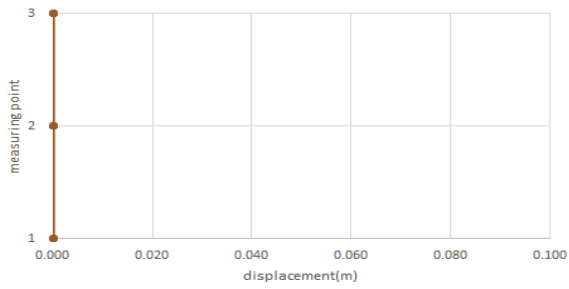
Fig. 10 Horizontal displacement of longitudinal section

### 5.2.2 횡단면 변위 분석

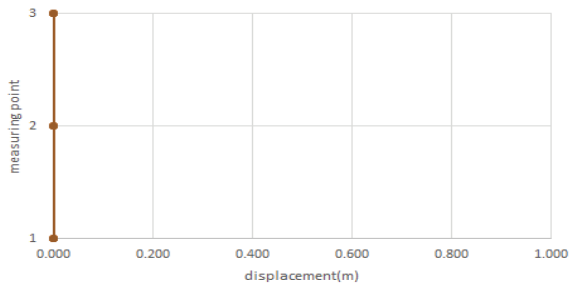
벽체 측점은 4행 3열로 되어 있어 각 행을 벽체 상단부터 1단에서 4단으로 구분하고 계측결과를 Fig. 11에 그래프로 도식화하였다.

각 측점을 계측한 결과 보강토옹벽 보강 후 수평과 수직 변위가 거의 계측되지 않았으며, 몇몇 측점에서 1mm 이하의 변위가 잠시 발생한 것은 측량 오차인 것으로 판단되었다.

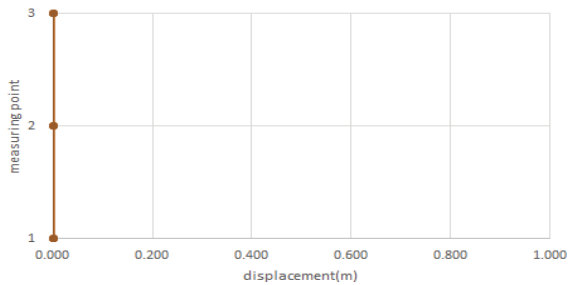




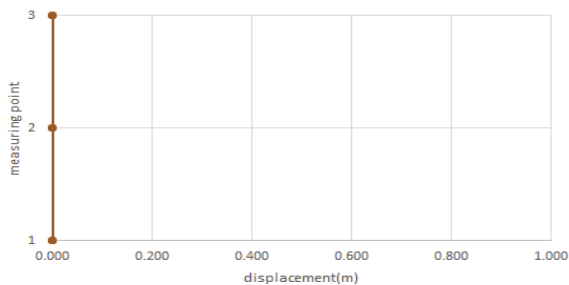
(a) 1st stage displacement



(b) 2nd stage displacement



(c) 3th stage displacement



(d) 4th stage displacement

Fig. 11 Horizontal displacement result of horizontal section to each stage

## 6. 결론

보강토옹벽 배부름현상을 유도하기 위한 보강토옹벽 실험체를 길이 30m, 높이 5m로 시공하고, 이를 보강하기 위한 방법을 적용하여 다음과 같은 내용을 알 수 있었다.

- 1) 보강토옹벽 실험체는 취성파괴를 방지하기 위해서 안전률을 확보하도록 설계되었다. 보강토옹벽의 배부름 현상을 유도하기 위해 현장토를 유용하여 시공하였으며, 배수시설을 시공하지 않았다. 배부름 현상을 확인하기 위하여 벽체의 변위를 157일 동안 계측하였으며, 상대적으로 실험체의 좌측 구간과 상부 구간이 변위가 크게 나타나는 경향이 있었다.
- 2) 보강토옹벽의 배부름 현상의 변위 속도는 시공 후 15일 동안 가장 크게 발생하였고 시간이 지남에 따라 변위속도는 감소하였으나, 보강 전 마지막 측정 일까지 지속적으로 발생하였다. 이는 현장토의 유용과 배수시설의 미설치로 지속적인 변위가 발생한 것으로 판단된다. 발생한 변위에 대해 보강의 판단은 미국 연방도로청(FHWA, 2001) 수평변위기준으로 하였다.
- 3) 보강토옹벽의 배부름 현상을 보강하기 위한 소일네일의 길이와 간격은 범용해석 프로그램을 사용하여 네일 길이가 5.0m, 네일 간격 1.5m로 계산되었고 네일의 배치는 3단으로 하고 각 단에 7개의 네일을 설치하도록 계산되었다. 보강토옹벽 배면의 배수를 위해 보강토 블록 6곳을 천공하고 배수관을 삽입하여 배수시설을 확보하였다.
- 4) 보강토옹벽의 배부름 변위가 발생한 후 보강토옹벽 벽체에 배부름 보강 방법을 적용하고 변위의 추이를 관찰하기 위해 벽체에 타켓을 설치하여 2016년 12월 15일부터 2017년 2월 27일(74일 동안)까지 24회 변위를 계측하였다. 그 결과 보강 후 수평변위는 거의 일어나지 않았으며, 보강토옹벽 배부름 보강 방법의 신뢰성을 확인할 수 있었다.
- 5) 보강토옹벽 배부름에 대한 보수 및 보강의 기준이 될 수 있는 보강토옹벽의 공용 중 허용수평변위에 대한 기준이 마련되어야 하며 이를 근거로 보강토옹벽에 대한 주기적 안전진단을 실시하여 인적 물적 손실에 대한 선제적 대응이 필요하다.

## 감사의 글

이 논문은 2018년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

## References

1. 강주원 (2013), 보강토옹벽의 배부름 원인분석 및 대책방안 연구, 순천대학교 석사학위논문.
2. 김진만, 조삼덕, 최봉혁 (2001), 배부름방지 기법을 이용한 블록형

- 보강토옹벽의 현장계측, 대한토목학회 2001년도 학술발표회 논문집, 1-4.
3. 유충식, 정혁상 (2004), 계단식 형태의 실대형 블록식 보강토옹벽의 거동, 대한토목학회 논문집, 24(4C), 213-222.
  4. 도종남, 남문석, 2017년, 보강토옹벽의 염해에 의한 손상 및 보수 보강 사례, 한국구조물진단유지관리공학회 학술발표대회 논문집, 2017, 13-14.
  5. 도종남, 남문석, 이병주, 최영철, 박창호 (2015), 보강토옹벽 손상 원인 분석 사례 연구, 한국구조물진단유지관리공학회 학술발표대회 논문집, 2015, 602-603.
  6. 한중근 외 3인 (2005), 보강토옹벽 전면 활동 붕괴원인분석에 관한 사례연구, 대한토목학회 정기학술대회, 3393-3396.
  7. 송영석 (2006), 사면붕괴가 발생된 절개사면에서의 역지말뚝 보강 사례연구, 한국지반공학회 논문집, 189-199.
  8. 남관우 외 2인 (2006), 흔재비탈면 붕괴의 사례조사, 한국지반공학회 논문집, 129-130.
  9. 김 동 (2005), 연약지반에 설치된 보강토옹벽의 치환보강공법 사례연구, 전남대학교 산업대학원 석사학위논문.
  10. 김인석 외 2인 (2006), 보강토옹벽 붕괴 정밀안전진단 사례, 한국구조물진단학회, 10(2).
  11. 김지선 (2006), 배면상재하중의 이격거리를 고려한 다단식 보강토옹벽의 거동, 중앙대학교 대학원 석사학위논문.
  12. 주재우 외 4인 (2007), 보강재의 신장특성에 따른 보강토옹벽의 거동 연구, 대한토목학회 정기학술대회, 903-908.
  13. Palmeira, et al. (1989), Scale and other factors aggedting theresults of pullout tests of grids buried in sand, Geotechnique, 39, 511-524.
  14. Peterson et al. (1980), Pull-out resistance of welded wire mesh embedded in soil, Dept. of Civil Engineering, Logan, UT, U.S.A.
  15. Jeewell, R. A., Reinforcement band capacity, Geotechnique, 40(3), 513-518.
  16. Toriihara, et al., Construction and measurement of embankment reinforced with geogrid using in-situ cohesive soil, Proc, Recent Case Histories of Permant Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Walls Balkema, Rotterdam, 295-299.
  17. Dov Leshchinsky, E.B., Perry (1989), On the Design Geosynthetic Reinforced Walls, Geotextiles and geomembranes, 8(4), 311-323.
  18. Elias, V., and Christopher, B.R. (1997), Mechanically Stabilized earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines, Federal Highway Administration, Publication No. FH WA-SA-96-071.
  19. Elias, V., and Christopher, B. R. (2001), Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced soil Slopes Design and Construction Guidelines, Federal Highway Administration, Publication No. FH WA-NHI-00-043.
  20. K. Z., Andrawes, A., McGOWN, F., AHMAD (1990), Influence of lateral boundary movements on erath pressure, PERFORMANC OF REINFORCED SOIL STRUCTURES, PT, 359-364.
  21. Mitchell, J. K., and Christoper, B. R. (1990), North American Practice in Reinforced Soil Systems, Proceeding of a Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures, Geotechnical Special Publication, 25, ASCE, 322-346.

Received : 03/04/2019

Revised : 03/27/2019

Accepted : 06/04/2019

**요 지:** 본 연구는 공용 중 보강토옹벽에 발생하는 배부름현상을 보강하기 위한 방법을 제안하고 현장실험으로 보강방법의 신뢰성을 파악하고자 하였다. 보강토옹벽의 배수시설을 미설치하여 강우에 의해 배부름현상이 유도되도록 하였으며, 시공 후 15일간 변위속도가 크게 발생한 후 점차적으로 감소하였다. 유도된 배부름현상의 변위는 미연방도로국(FHWA)의 시공 중 수평변위 기준을 적용하여 판단하였다. 배부름현상을 보강하기 위해 보강토옹벽에 소일네일을 설치하고, 네일의 두부를 수평으로 서로 연결하여 보강토 옹벽의 블록들을 서로 지지할 수 있도록 하였다. 보강재들의 보호를 위해 슛크리트로 보강면을 마감하고 계측장치를 설치하였다. 배부름현상 보강방법의 신뢰성을 확인하기 위하여 변위의 진행을 검증한 결과 보강 후 수평변위는 거의 발생하지 않았으며, 보강방법의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

**핵심용어:** 보강토옹벽, 슛크리트, 보강토 벽체블록, 배부름, 보강