

## 진동대 모형실험을 통한 보강토 옹벽의 거동 특성

### Behavior of Reinforced Earth Retaining Wall by Shaking Table Test

윤원섭<sup>1\*</sup>, 윤부열<sup>2</sup>

Won-Sub Yoon<sup>1\*</sup>, Bu-Yeol Yoon<sup>2</sup>

#### 〈Abstract〉

In this study, we analyzed seismic behavior of reinforced earth retaining wall through the model test in order to characterize the behavior of reinforced earth retaining wall during earthquake. A scale model test was performed based on similitude ratio in accordance with law of similitude due to time and financial constraints on real scale modeling experiments. Seismic resistance characteristics of each seismic waves were analyzed by assessing the variations measured through excitation of the excited acceleration of 0.05g, 0.1g, 0.15g, and 0.2g. The results of this study, it would be important to obtain reasonable and abundant data on ground properties and seismic design in preparation for earthquakes when assessing the safety of block type reinforced earth retaining wall confined to model experiment. Acquisition of those data and systematic analytical techniques are considered likely to have a significant effect on the decrease of structure damage caused by earthquakes in Korea which has recently witnessed frequent occurrence of earthquakes.

*Keywords : Reinforced Earth Retaining Walls, Earthquake, Shaking Table Tests*

---

1\* 교신저자, 정회원, 창신대학교 토목공학과 교수  
E-mail: totoma13@cs.ac.kr

1\* Dept. of Civil Engineering, Chang-Shin University  
2 Dept. of Civil Engineering, Chang-Shin University

2 정회원, 창신대학교 토목공학과 교수

## 1. 서론

우리나라에서도 최근 지진에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있지만, 그동안의 지진에 대한 연구와 자료는 많지 않으며, 국내에서의 지진 관측 자료는 1978년 이후부터 약 40여년의 기록뿐이다. 1978년 홍성지진이 발생되면서 국내에서도 규모 5이상의 지진이 발생할 가능성이 있음을 확인하였으며, 한반도도 지진에 대해 안전한 곳이 아님을 깨달았다(Yoo, 2016).

일명 고베지진으로 알려진 1995년 Hyogo-Ken-Nanbu 지진은 지진가능성이 매우 낮다고 알려진 지역에서 발생한 지진으로 우리나라에서도 국가적 차원에서 지진에 대한 대비를 시작한 계기가 되었다.

2016년 9월 12일 경북 경주에서 리히터 규모 5.8의 지진이 발생하였고, 그 후로 400회 이상의 여진이 계속해서 발생이 되면서 한반도가 더 이상 지진에 대해 안전지대가 아님을 한 번 더 깨닫게 해주었다. 지진에 의한 피해는 단순히 구조물의 피해뿐만 아니라 인근 지역에 위치한 산업 시설물의 피해도 유발하기 때문에 지진의 규모에 따라 심각한 인명피해나 재산상의 피해가 발생할 수 있다.

본 연구에서는 국내에서 연구가 미진한 보강토 옹벽의 지진시 안전성에 대한 연구를 수행하였다. 보강토 옹벽은 지오텍스타일, 지오그리드 및 띠형 보강재를 성토흙 사이에 설치하여 안전성을 확보하는 구조물로 정의된다. 이 구조물은 1966년 H. Vidal에 의해 처음으로 개발되었으며, 그 당시에는 강판(steel strip) 보강재를 사용하였다. 이후 프랑스에서 1971년에 지오텍스타일을 사용하여 연약한 노상 상부 성토체를 보강하였으며, 이후 보강효과가 알려져 수많은 토목섬유 보강토 옹벽이 전 세계에서 시공되어 왔다(Elias et al., 1997).

특히 자체 중량과 구조체의 강성으로 토압에 저항하는 콘크리트 옹벽과는 달리 소형 벽체 블록과 보강재의 연결 및 흙과 보강재 사이의 마찰에 의해 저항하는 유연한 구조물이기 때문에 지진 시에도 안정성이 우수한 토류구조물로 알려져 있다. 보강토 옹벽의 내진 안정성은 NCMA(National Concrete Masonry Association) 및 FHWA(Federal Highway Administration)에서는 보강토 옹벽의 내진설계기준을 정립하였으며, 이를 통해 전 세계적으로 보강토 옹벽의 내진구조물로서 활용에 대한 관심이 커지고 있는 추세이다.

모형실험에 대한 기존의 연구로 Christopher et al.(1990)은 수치해석과 원심모형실험, 실내모형실험을 이용하여 견고한 지반층에 축조된 보강토 옹벽의 벽체에서 시공이 완료되었을 때 예상되는 최대수평변위 예측 방법을 제시하였다.

Iai(1989)는 지반-구조물-유체시스템의 평형방정식, 구성법칙, 그리고 변위와 변형을 관계 등의 기본방정식을 이용하여 이 시스템에 대한 1g 진동대 모형실험을 위한 상사법칙에 대한 이론식을 성립하였다.

Hwang(2005)은 진동대 실험을 이용하여 Hachinohe 지진 및 El Centro 지진의 2가지 설계 지진파를 이용하여 진동대 지반 최대 가속도에 0.3g~0.9g까지 적용하여 콘크리트 댐의 구조적 안정성을 판단하였다.

Chun et al.(2006)은 여러 가지 토목구조물에 대하여 다양한 축소비율로 진동대 실험과 해석을 실시하여 1:50 이하인 상사단면이 실제 현장에서의 거동을 모사하는데, 더 높은 신뢰성을 제공하는 것으로 판단하였다.

Kang(2008)는 진동대 실험을 통해 모형토조의 동적거동 특성의 결과를 진폭을 통하여 강널말뚝 인발에 따른 진동 침하의 분석으로 진동의 적용 시간에 따른 지반의 침하량을 예측하였다.

Choi(2011)는 진동대 실험을 통해 저수지 등의

중·소형 fill dam의 3가지 대표단면에 대해 변위, 가속도와 간극수압을 측정함으로써 내진 안정성을 판단하였다.

Sim(2012)은 5m 높이의 보강토 옹벽에 대해 보강재 포설길이에 따른 지진시 거동특성에 대한 진동대 모형실험 및 수치해석 선행연구를 수행하였다. 연구 결과 지진에 저항하기 위해 1.0H이상의 보강재 길이를 제한하였다.

Park(2016)는 모형실험을 통해 파괴면을 보강한 보강토 옹벽 상부에 하중을 재하한 후 전단기의 설치에 따른 거동 특성에 대한 선행 연구를 실시하였다. 연구 결과 전단기를 설치한 경우 변위와 토압의 감소를 확인하여 보강토 옹벽의 안정성을 파악하였고, 보강재의 간격과 파괴면 보강 길이에 따른 거동 특성을 분석하였다. 보강토 옹벽의 지진 시 기존 국내 연구는 미진한 상황이며, 앞으로 다양한 조건에 대한 연구는 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 블록식 보강토 옹벽의 지진 시 거동 특성을 진동대 실험으로 분석하였다. 진동대 실험은 토조에 모형을 거치하고, 지진파 종류에 따른 수평 지진하중을 가하여 변위와 토압, 가속도의 특성을 비교 분석하였다.

## 2. 지진 시 보강토 옹벽의 토압

보강토 옹벽에서는 지진이 발생하는 경우 정적토압 이외에도 보강영역 내의 관성력과 보강토 옹벽의 배면으로부터 오는 동적 토압이 작용한다. 따라서 보강토 옹벽에서의 지진 시 안정성에 대한 평가는 정적토압과 동적토압의 증가분이 더해져야 한다.

Mononobe(1929)와 Okabe(1926)의 의사정적 해석법은 토류 구조물에 작용하는 동적토압을 계산할 경우에 주로 사용되며, 이 방법은 Coulomb 썩기 해석법의 추가적인 해석법이라 할 수 있다.

Fig. 1은 지진 시 보강토 옹벽에 작용되는 토압 분포이다. 지진 시 발생하는 토압은 정적토압과 지진 시 발생된 토압의 합으로 계산되며, 이 동적 토압은 0.6H에서 50%가 발생하는 것으로 제안하였다(Elias et al., 2001).

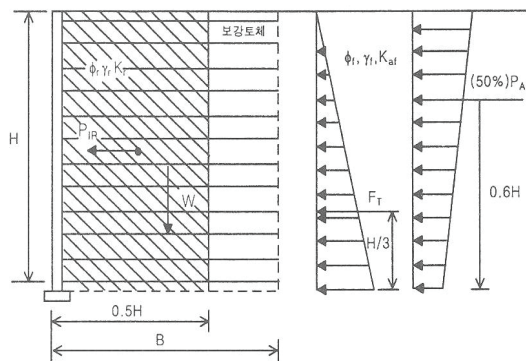


Fig. 1 Earth pressure on the retaining wall during earthquakes(Elias et al., 2001)

## 3. 실험방법

### 3.1 뒷채움재

진동대 모형실험에 사용된 시료가 상사율에 의한 조건에 만족하는지 분석하기 위해 실내 물성시험을 실시하였다. 흙 입자의 크기와 입도분포를 확인하기 위해 체가름시험, 뒷채움재의 밀도를 확인하기 위해 상대밀도시험, 다짐시험을 실시하였다. 실험에 사용된 시료는 모래 재료를 사용하였다.

뒷채움재의 시험결과 최대입경은 4.75mm, 균등계수는 4.09, 곡률계수는 0.77이었다. 10번체 통과량은 87%, 40번체 통과량은 34%, 200체 통과량은 1.2%로 나타났다. 시험결과 본 연구에서 적용한 전두입도법의 상사법칙에 따른 뒷채움재의 조건에 부합되는 시험결과로 분석되었다.

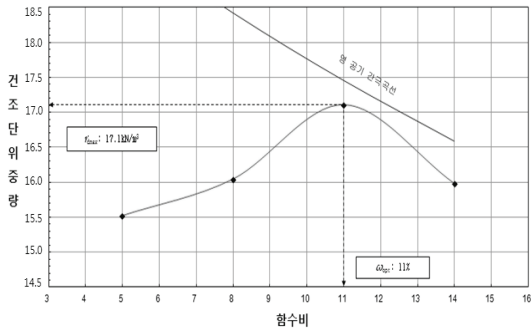


Fig. 2 Compaction test result

Fig. 2와 같이 다짐시험을 실시한 결과 최대건조 단위중량( $\gamma_{dmax}$ )는  $17.1\text{kN/m}^3$ , 최적함수비 (OMC)는 11%의 결과를 얻을 수 있었다. 상대밀도에 대한 시험결과 최소건조단위중량( $\gamma_{dmin}$ )은  $13.9\text{kN/m}^3$ 의 결과를 얻을 수 있었다.

### 3.2 진동대 실험

본 연구는 블록식 보강토 옹벽의 지진 시 거동 특성을 평가하기 위한 것으로 상사율이 고려된 지진파에 따른 모형실험을 실시하였다. 1/20의 상사율로 실험을 수행하였으며, 모형제작의 순서는 보강토 옹벽의 시공순서와 같은 방식으로 설치한 후 지진하중에 따른 변위, 토압 및 가속도의 결과를 분석하였다.

연구에 적용된 지진파는 장주기파, 단주기파, 인공지진파를 적용하였으며, 가진 가속도 크기는 0.05g, 0.1g, 0.15g, 0.2g를 적용하였다. 실험결과 안전성 분석을 위해 국내 수평변위기준을 분석하였으며, 수평변위 중 가장 작은 기준인 1/300H(H:옹벽의 높이)를 적용하여 변위 허용치는 30mm를 기준으로 보강토 옹벽의 지진 시 안정성에 대해 평가하였다.

제작된 토조 내에 옹벽은 1/20의 상사율로 조성하였으며, 뒷채움재를 실제 지반에서의 밀도와

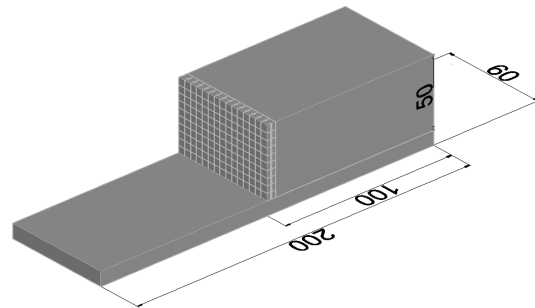


Fig. 3 Mimetic diagram

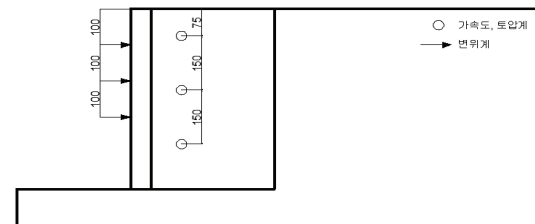


Fig. 4 Measuring location

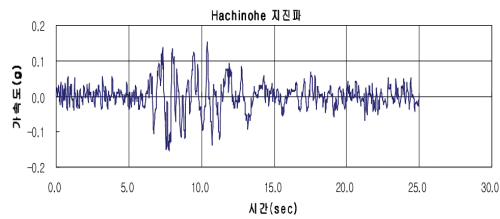
같도록 모래를 채워 지반을 조밀하게 조성한 모형 실험의 모식도는 Fig 3과 같다.

Fig. 4는 진동대 모형실험의 계측기 위치로 수평 변위계는 벽체와 토압계, 가속도계는 상부, 중간, 하부에 설치하였다. 토압계와 가속도계는 옹벽 하부를 기준으로 하부는 75mm, 중간 275mm, 상부 425mm에 설치하였다. 모형실험에 사용된 블록의 높이는 10mm로 500mm 높이의 옹벽을 조성하기 위해 총 50층의 블록을 설치하였다. 변위계는 보강토 옹벽 하부를 기준으로 하부 200mm, 중간 300mm, 상부 400mm에 설치하였다.

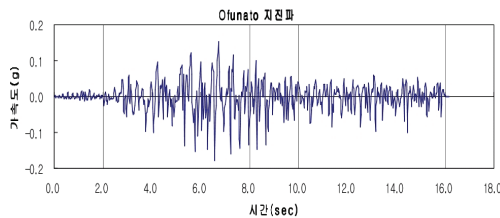
### 3.3 적용지진파

내진 설계에서는 해당 부지의 지역적인 특성을 반영하는 인공적인 지진기록을 작성하여 내진설계에 반영하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 1등급 지반을 기준으로 Artificial earthquake waves(인

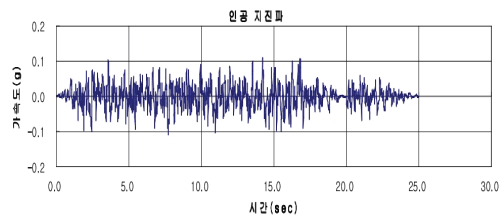
공지진파)를 작성하였으며, 인공지진파는 응답스펙트럼을 포괄하는 지진지반운동을 확률적으로 구해 응답스펙트럼에 상응하는 가속도 시간이력 데이터를 권오순(한국해양과학기술원)이 제작한 Eqmaker 프로그램을 통해서 생성하여 사용하였다.



(a) Hachinohe model



(b) Ofunato model



(c) Artificial model

Fig. 5 Acceleration hysteresis loop by the earthquake

또한, 대표적인 장주기파와 단주기파는 실지진파를 적용하였으며, 과거에 기록된 지진파형을 이용하였다. 과거에 발생된 지진파형은 장주기의 경우 hachinohe 지진파형, 단주기의 경우 Ofunato 지진파형을 선정하여 적용하였다. Fig. 5는 본 연구에서 적용한 지진의 가속도 시간이력곡선이다.

### 3.4 적용상사비

본 연구에서는 실제 구조물에 대한 축소된 모형을 제작하여 동적거동을 분석하므로 실제 구조물과 모형 사이의 상사법칙을 합리적으로 결정하는 것이 필요하다. 따라서 Iai(1989)가 제안한 상사법칙을 이용하여 진동대 모형실험을 실시하고, 구조물의 지반구조물의 상호작용을 파악하였다.

상사법칙은 실험 대상 지반의 동적인 거동 특성상 반복 유동성 거동의 특성을 보이고, 모형의 전단파 속도를 판단할 수 없기 때문에 Iai(1989)가 제안한 상사법칙 제2형태를 사용하였다. 진동대의 제원 및 제반 실험 조건을 고려하여 모형실험에서는 실제 높이 10m를 1/20 크기로 축소하였다.

실험 측정항목은 변위, 토압, 가속도로 Iai(1989)가 제안한 상사법칙에 주어진 상사법칙의 물리량에서 길이, 시간, 변위, 응력, 가속도를 고려하였으며, 축소된 단면의 크기에 영향을 받는 물리량은 가속도를 제외한 나머지 모든 항목이 영향을 받는다. Table 1은 각 단면의 실제 구조물과 모형실험에서의 상사법칙이다.

Table 1. Applied similitude laws

division	similitude laws (Type II; Iai, 1989)	1/20 similitude laws of scale model test
length	$\lambda$	20
time	$\lambda^{0.75}$	9.46
displacement	$\lambda^{1.5}$	89.44
stress	$\lambda$	20
acceleration	1	1

### 3.5 보강재

현장에서 일반적으로 사용되는 보강재에 대한 상사율이 적용된 보강재를 사용해야 한다. 하지만

현실적으로 상사율이 적용된 재료를 얻기가 어려워 강도가 작은 부직포를 실험에 사용하였다. 실험에 사용된 부직포는 폭 7.5mm, 두께 0.5mm로 Fig. 6과 같이 인장시험을 실시하였다. 시험 결과 5.6kN/m의 인장강도가 도출되었고, 상사율을 적용하여 인장강도를 계산한 결과 약 112kN/m의 인장강도로 계산되었다. 현장에서 일반적으로 사용되고 있는 보강재의 인장강도가 100kN/m임을 감안하면, 실험에 사용된 보강재는 실제 현장에서 사용된 재료를 상사율로 계산한 보강재와 강도가 유사하여 모형실험에 사용하였다.



Fig. 6 Tensile test

### 3.6 모형실험 순서

보강토 옹벽 구조물의 모형실험 시공순서는 전면에 블록을 설치한 후 뒤채움재를 조밀하게 다짐을 하여 조성했다. 블록 한 층이 조성되면 그 위에 보강재를 설치한 후 그리드를 설치하였다. 보강토 옹벽 시공과정 중 토압계와 가속도계를 매설하였다. 모든 블록 설치가 완료가 되면, 보강토 옹벽 바닥을 기준으로 하부, 중간, 상부에 변위계를 설치하였다.

## 4. 모형실험 결과

### 4.1 토압

Table 2, Table 3, Table 4, Fig. 7은 가속도 크기에 따른 토압 측정결과이다. 실험결과 토압은 장주기파 하부에서 가속도가 증가하는 동안 토압은 약 27%, 단주기파의 경우 31%, 인공지진파의 경우 48% 증가하였다.

Table 2. Earth pressure measurement result in case of Hachinohe model

test acceleration(g)	top (kPa)	middle (kPa)	lower (kPa)
0.05	182.06	149.69	44.50
0.1	210.38	163.85	48.55
0.15	258.93	216.45	56.64
0.2	281.18	234.65	60.69

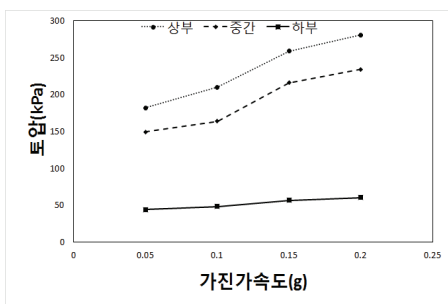
Table 3. Earth pressure measurement result in case of Ofunato model

test acceleration(g)	top (kPa)	middle (kPa)	lower (kPa)
0.05	186.1	155.76	44.5
0.1	230.61	169.92	48.55
0.15	269.04	222.52	56.64
0.2	287.25	244.77	64.73

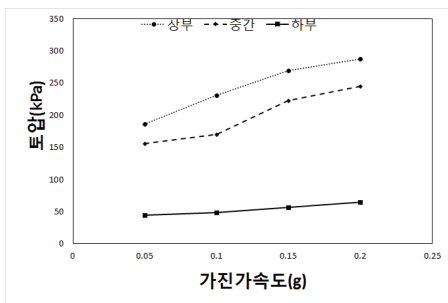
Table 4. Earth pressure measurement result in case of Artificial model

test acceleration(g)	top (kPa)	middle (kPa)	lower (kPa)
0.05	194.2	159.81	46.53
0.1	238.7	173.97	52.59
0.15	279.16	224.54	58.66
0.2	305.45	267.02	89.73

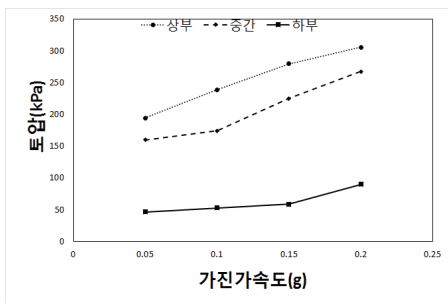




(a) Hachinohe model



(b) Ofunato model



(c) Artificial model

Fig. 7 Earth pressure measurement result

중간구간 장주기파에서는 가속도가 증가된 경우 토압은 약 36% 증가하였으며, 단주기파 36%, 인공지진파는 40%가 증가하였다. 상부구간 장주기파에서는 약 35%, 단주기파 35%, 인공지진파 36%가 증가하여 모든 구간에서 인공지진파 가진 시 토압이 가장 크게 증가하였다. 장주기파의 경

우 중간부에서 토압의 증가가 가장 컸으며, 단주기파는 중간부, 인공지진파의 경우 하부지점에서 토압 증가율이 컸다.

## 4.2 가속도

Table 5~Table 7, Fig. 8은 가진 가속도 크기에 따른 발생가속도 측정결과이다. 실험결과 가속도는 하부구간 장주기에서 가진 가속도가 증가하는 동안 약 71% 증가하였으며, 단주기파의 경우 67%, 인공지진파의 경우 68%가 증가하여 장주기에서 가속도 증가율이 가장 컸다.

Table 5. Acceleration measurement result in case of Hachinohe model

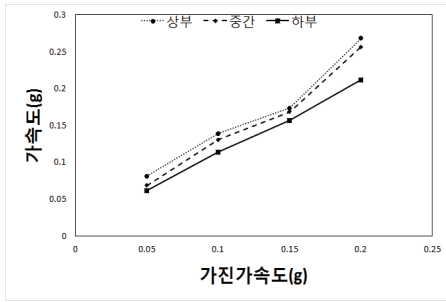
test acceleration(g)	top(g)	middle(g)	lower(g)
0.05	0.081	0.069	0.061
0.1	0.139	0.131	0.114
0.15	0.174	0.168	0.157
0.2	0.268	0.257	0.212

Table 6. Acceleration measurement result in case of Ofunato model

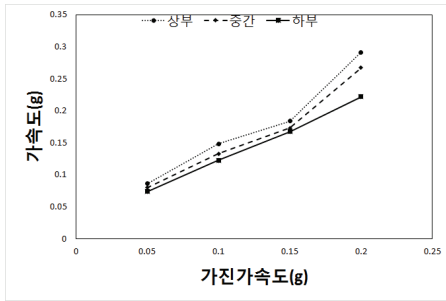
test acceleration(g)	top(g)	middle(g)	lower(g)
0.05	0.086	0.080	0.074
0.1	0.148	0.133	0.122
0.15	0.184	0.173	0.167
0.2	0.291	0.267	0.222

Table 7. Acceleration measurement result in case of Artificial model

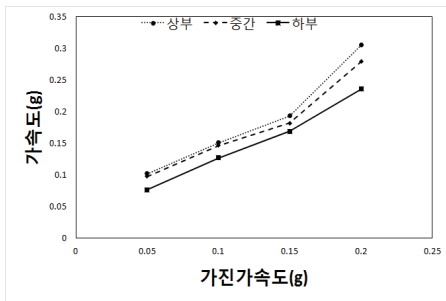
test acceleration(g)	top(g)	middle(g)	lower(g)
0.05	0.102	0.097	0.076
0.1	0.151	0.146	0.127
0.15	0.193	0.182	0.169
0.2	0.305	0.279	0.236



(a) Hachinohe model



(b) Ofunato model



(c) Artificial model

Fig. 8 Acceleration measurement result when shear key is not installed

중간구간에서는 장주기파 가진 시 약 73%, 단주기파 70%, 인공지진파는 65%가 증가하여 인공지진파에서 가장 크게 증가하였다. 상부구간에서는 장주기파 가진 시 약 70% 증가하였으며, 단주기파의 경우 70%, 인공지진파의 경우 67%가 증

가하여 인공지진파에서 발생가속도 증가율이 가장 컸다. 하부와 중간구간의 경우 장주기, 상부의 경우 단주기와 장주기에서 가속도 증가율이 크게 나타났다.

장주기파의 경우 중간구간에서 가진 가속도 증가에 따른 발생가속도가 가장 컸으며, 단주기에서는 상부, 인공지진파에서는 하부지점에서 발생량 증가율이 크게 발생되었다.

### 4.3 변위

Table 8~Table 9, Fig. 9는 가진 가속도 크기에 따른 변위 측정결과이다. 실험결과 하부구간 장주기파일 때 가진 가속도 증가에 따른 변위 증가율은 약 73% 증가하였으며, 단주기파의 경우 72%, 인공지진파의 경우 75%가 증가하여 인공지진파에서 가장 크게 증가하였다.

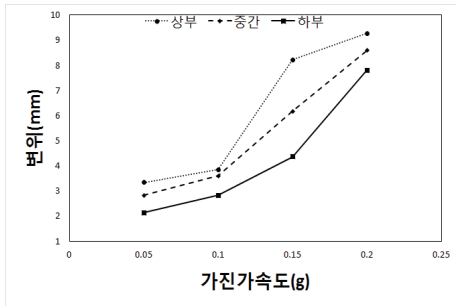
중간부에서 장주기파는 약 67%, 단주기파 69%, 인공지진파는 68%의 변위가 증가하여 단주기파에서 변위 증가가 가장 컸다. 상부구간 장주기파에서는 약 64%, 단주기파 67%, 인공지진파는 64%의 변위가 증가하여 단주기파에서 가장 크게 증가하였다.

하부구간의 경우 인공지진파, 중간부와 상부의 경우 단주기파에서 변위가 가장 크게 나타났다. 장주기파의 경우 하부에서 가장 많이 변위가 증폭되었으며, 단주기와 인공지진파에서는 하부지점에서 발생변위가 가장 많이 증폭하였다.

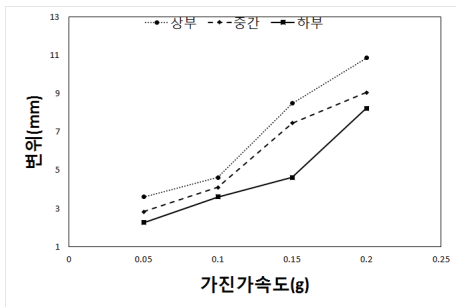
Table 8. Displacement measurement result in case of Hachinohe model

test acceleration(g)	top (mm)	middle (mm)	lower (mm)
0.05	3.337	2.827	2.143
0.1	3.855	3.598	2.827
0.15	8.223	6.167	4.368
0.2	9.279	8.593	7.812

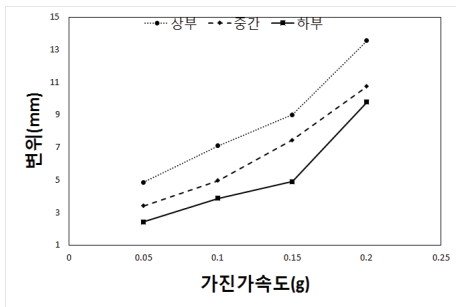




(a) Hachinohe model



(b) Ofunato model



(c) Artificial model

Fig. 9 Displacement measurement result when shear key is not installed

가속도 크기에 따른 실험결과를 종합하면 가진 가속도가 증가할수록 변위와 발생가속도, 토압은 증가하였다. 토압의 증가율이 가장 크게 나타났으며, 발생가속도의 증가율은 측정구간에 따른 차이는 없었다.

Table 9. Displacement measurement result in case of Ofunato model

test acceleration(g)	top (mm)	middle (mm)	lower (mm)
0.05	3.598	2.827	2.269
0.1	4.625	4.112	3.598
0.15	8.480	7.452	4.625
0.2	10.848	9.045	8.223

Table 10. Displacement measurement result in case of Artificial model

test acceleration(g)	top (mm)	middle (mm)	lower (mm)
0.05	4.838	3.392	2.415
0.1	7.096	4.962	3.855
0.15	8.994	7.452	4.882
0.2	13.552	10.741	9.765

## 5. 결론

본 연구에서는 상사법칙을 적용하여 10m의 보강토 옹벽을 1/20로 축소한 모형구조물에 대해 국내 지반운동수준에 부합하는 0.05g, 0.1g, 0.15g, 0.2g의 가속도로 지진파를 가진하여 진동대 모형 실험을 실시하였다. 실험을 통해 구조물에서 발생되는 토압, 가속도 증폭과 동적변위를 분석한 결과는 다음과 같다.

1. 보강토 옹벽의 진동대 실험 결과 변위와 발생가속도, 토압은 대체적으로 상부구간에서 가장 크게 발생되었다.
2. 보강토 옹벽의 발생된 토압은 0.55H에서 65%~82%의 토압이 발생되었는데, 이는 기존 이론(M-O 토압)에서 제시한 0.6H 높이에서 50%의 동적토압 발생특성보다 크게 나타났다.

3. 콘크리트 구조물에 비해 비교적 연성 구조물인 보강토 옹벽은 장주기파를 가진한 경우 가속도 증폭이 가장 크게 나타나 장주기파에서 취약하였다.
4. 가진가속도가 증가할수록 변위, 가속도보다 토압의 증가율이 가장 크게 나타났으며, 가속도의 증가율은 계측 위치에 따라 큰 차이가 없었다. 변위의 경우 계측 위치에 따라 변위 결과 차는 확연히 나타났다.
5. 가속도 측정결과 하부와 중간구간의 경우 장주기, 상부의 경우 단주기와 장주기에서 가속도 증가율이 가장 컸으며, 변위 측정결과 하부구간의 경우 인공지진파, 중간부와 상부의 경우 단주기파에서 가장 크게 발생되었다. 토압은 장주기파는 중간부, 단주기는 중간부, 인공지진파는 하부구간에서 토압 증가율이 크게 나타났다.

## 사 사

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2018R1D1A1B07043961).

## 참고문헌

- [1] Christopher, B. R., Gill, S. A., Giroud, J. P., Juran I., Schlosser, G., Mitchell J. K. and Dunnycliff. J., Reinforced Soil Structure: Vol. II Summary of Research and System Info., U.S. Department of Transportation, FHWA Report #FHWA-RD-89-043, 1990.
- [2] Choi, J. W., Evaluation of the Seismic Stability of Fill Dam by Shaking Table Test, Master, The University of Suwon, 2011. (in Korean with English abstract)
- [3] Elias, V., Barry, R. and Christopher, B. R., Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design & Construction Guidelines, FHWA Report, #FHWA-SA-96-071, Washington, D. C., USA, 1997.
- [4] Elias, V., Christopher, B. R. and Berg, R. R., Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes, Design & Construction Guidelines, Publication No.FHWA-NHI-00-043, U.S. CoT, FHWA, 2001.
- [5] Hwang, S. C., “A Study on the Dynamic Behavior of Concrete Dam by Shaking Table Tests”, Journal of KSNVE, Vol. 15, No. 7, pp.806-812, 2005. (in Korean with English abstract)
- [6] Iai, S., “Similitude for Shaking Table Tests on Soil-Structure-Fluid Model in 1g Gravitational Field”, Soils and Foundations, JGS, Vol. 29, No. 1, pp.105-118, 1989.
- [7] Jeon, N. S., Choe, M. J., Kwon, O. K. and Kim, D. S., “A Study on Size Effect of Model Test by 1g Shaking Table Test and One-Dimensional Ground Response Analysis”, Conference of KSCE, pp.4116-4119, 2006. (in Korean with English abstract)
- [8] Kang, H. H., Dynamic Characteristic of Coastal Dredged Soil through Shaking Table Test, Master, Incheon National University, 2009.
- [9] Mononobe, N. and Matsuo, H., “On the Determination of Earth Pressures during Earthquakes”, Proceedings, World Engineering Conference, pp.275, 1929.
- [10] Okabe, S., “General Theory of Earth Pressures”, Journal of Japan Society of Civil Engineers, 1926.
- [11] Park, J. K., Characteristics of Retaining Wall Behavior Depending on Reinforcing Methods of the Failure Surface, Ph.D Thesis, The University of Suwon, 2016. (in Korean with English abstract)
- [12] Schlosser, F., “La Terre Amée” Historique

- Development, Actuel and Futur, Proceedings Symposium. Soil Reinforced.. Stabilizing Technology, NSWST/NSW, pp.5-28, 1978.
- [13] Sim, J. S., A Model Test Study on the Behavior of Reinforced Earth Retaining Wall Considering Earthquake Magnitude and Reinforcement Length, Ph.D Thesis, The University of Suwon, 2012. (in Korean with English abstract)
- [14] Sim, T. B., Behavior of Reinforced Retaining wall with Passive Resistance, Master, Ajou University, 2010. (in Korean with English abstract)
- [15] Yoo, H. S., Seismic Resistance Characteristics of Reinforced Earth Retaining Wall Installed Shear Key by Using Model Test, Master, The University of Suwon, 2016. (in Korean with English abstract)

---

(접수: 2019.10.08. 수정: 2019.11.19. 게재확정: 2019.11.22.)