

폐 EPS 입자를 활용한 경량성토공법의 지지력 평가

Bearing Capacity Characteristics of the Light Weight Method Used Recycled EPS Beads

이종규[†] · 이봉직* · 오세욱**
Lee, Jongkyu[†] · Lee, Bongjik* · Oh, Sewook**

Abstract

Light weight filling method prevents settlement of ground by decreasing the weight of fills. This method is increasingly used for its convenience and workability. Styrofoam is increasingly used as a lightweight filling material in soft ground. The beneficial effects of the use of EPS derive from minimizing the stress increment, increasing the bearing capacity and reducing the settlement. For this study, model test and FEM analysis of bearing capacity is carried out composing two-layered ground with clay in the lower layer and lightweight filling material in upper layer. Based on the results obtained here in this study, it is concluded that the use of recycled EPS beads is acceptable lightweight fill. Light weight fills used for disposal is superior to typical embankment fills in bearing capacity.

Keywords : Light weight soil, Recycled stylofoam, Stabilizer, Strength, Bearing capacity

요 지

경량성토공법은 성토체 자중을 감소시켜 지반의 침하를 감소시키는 공법으로 작업의 편리성 등의 이유로 적용사례가 증가하고 있다. 이와 관련하여 스티로폼은 연약지반상에 경량성토재로서 활용할 수 있는 것으로 알려져 있다. 경량성토재로서 스티로폼의 사용은 응력증가를 최소화 할 수 있으며, 안정재 사용을 통하여 지지력 증대와 침하감소효과를 얻을 수 있다. 이에 본 연구에서는 연약점성토층 상부에 경량성토재를 포설하고 모형 지지력 실험과 유한요소해석을 실시하였으며, 그 결과를 바탕으로 경량성토재로서의 지지력 특성을 평가하였다. 실험결과 일반적인 성토재 보다 폐스티로폼을 이용한 성토재가 더욱 우수한 특성을 발휘하는 것으로 나타났다.

주요어 : 경량성토재, 폐 스티로폼, 안정재, 강도, 지지력

[†] 정회원, (주)진산이엔지 이사(E-mail : jklee91@hanmail.net)
^{*} 정회원, 충주대학교 토목공학부 부교수
^{**} 정회원, 영재이엔씨(주) 기술연구소장

1. 서론

급속한 산업화에 따른 폐기물은 국내·외에서 많은 문제를 야기하고 있으며, 각국에서는 이를 해결하기 위하여 폐기물 감량화와 동시에 발생하는 폐기물을 재활용하여 가용자원화하는 정책을 병행하여 실시하고 있다.

여러 건설 폐기물 중 폐 EPS는 무게는 가볍지만 부피가 크기 때문에 수송의 어려움으로 수거를 기피하는 현상이 발생하고 있으며, 매립할 경우 매립지의 부숙, 소각을 할 경우 공해 문제를 야기할 수 있어 근본적인 재활용 방안이 요구된다(최주섭, 1997).

이와 관련하여 최근에 폐 EPS 입자를 건설잔토와 혼합하여 경량성토재로 활용하고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 경량 성토 공법은 성토자중을 경감함으로써 구조물에 작용하는 하중과 토압을 경감하는 공법으로 지금까지 경량토사와 경량폐기물 등을 사용하여 왔지만 재료의 공학적 특성이 미흡하거나 원활한 재료확보가 어려운 실정이다(신방웅, 2002).

폐 EPS 입자를 흙과 혼합한 경량 성토 공법은 혼합 비율에 따라 단위중량을 자유롭게 조정할 수 있으며, 안정재의 첨가량에 의해 강도를 조정할 수 있다. 따라서, 기존의 EPS블록공법에서 문제가 되었던 부력 발생에 따른 문제와 부속 공정이 많은 단점을 개선할 수 있을 것으로 기대된다. 더욱이 폐 EPS는 가볍고 단열성이 좋으며 진동차단효과도 우수하기 때문에 경량 성토재로서의 활용이 가능하다(윤중수, 1998). 더욱이 1996년 이후로 재활용 품목으로 선정되어 있어 토공재료로서의 적합성만 확인된다면 원활한 공급이 가능하다.

따라서, 폐 EPS입자와 건설 잔토를 활용한 경량 성토재의 사용은 자원의 적극적인 재활용과 효율적인 경량 성토재 확보를 위하여 실용화가 필요한 실정이다(이종규, 2005).

이에 본 연구는 폐 EPS 입자와 우리나라에서 널리 분포하고 있는 화강 풍화토를 이용하여 경량성토재를 구성하고, 경량성토재로서 사용하였을 경우의 지지력 특성을 평가하고자 하였다. 지지력 특성은 연약지반상에 경량 성토재로 사용하였을 경우 지지력 증가효과를 평가하기 위하여 단층 및 다층지반을 대상으로 하였으며 기존의 다층지반의 지지력 이론 및 수치해석결과와

비교하였다.

2. 모형실험장치 및 방법

되메움 완료후 하중 재하에 따른 지반변위를 측정하기 위하여 하중 재하 장치를 제작하였다. 재하판은 좌우로 이동이 가능한 60 cm×30 cm, 두께 15 mm의 철제 재하판으로써 로드셀을 부착시켰으며, 일정한 속도로 재하 및 제하를 할 수 있도록 전동식 모터를 장착하였다. 그림 1과 2는 재하장치를 나타낸 것이다.

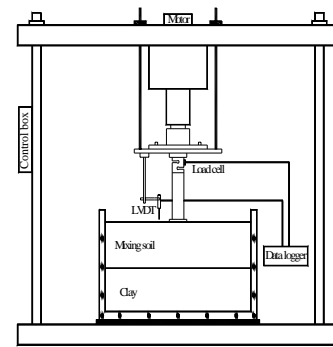


그림 1. 모형재하시험장치



그림 2. 재하장치

지지력 시험을 위하여 제작된 토조는 길이 50cm, 높이 30cm, 폭 20cm이며 전면은 투명 plexiglass를 사용하여 하중재하 시 지반의 거동을 계측하고자 하였으며, 토조의 내부 벽면은 마찰을 최소화하기 위하여 윤활제를 도포하여 평면변형조건을 만족도록 하였다.

지층 내부는 지표면과 평행하게 납선을 설치하여 실험 후에 지반의 파괴모양을 관찰하였으며 강성기초는 하중재하에 따른 변형을 막기 위하여 폭 5cm, 길이 20cm의 철제를 사용하였다.

하중은 상술한 하중재하장치를 사용하였으며, 하중의 재하에 따라 발생된 침하량은 1/100 mm까지 측정할 수 있는 다이얼 게이지를 이용하여 측정되었으며, 다이얼 게이지로부터 읽은 값은 LVDT를 통하여 수치화되어 계측되었다.

하중제어방식은 변위제어방식으로 0.2 mm 마다 발생하는 침하량과 하중을 측정하였으며 하중재하속도는 2 mm/min를 유지하였다. 실험에 사용된 토조는 그림 3과 같다.

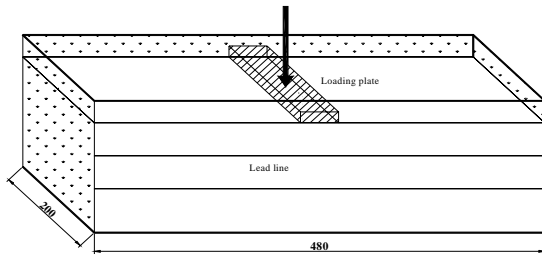


그림 3. 지지력평가를 위한 모형박스

본 실험에서 상부지층은 화강 풍화토와 폐 EPS 입자를 혼합한 성토재를 사용하였으며, 정적 다짐 시험결과로부터 얻은 최대건조밀도의 80 % 상대다짐도로 조성하였다. 하부점성토층으로 사용된 시료는 점토 광물의 뚜렷한 특성을 나타내고 있는 벤토나이트이며, 벤토나이트의 전단강도를 측정하기 위하여 베인 시험을 실시하였다.

혼합된 시료는 토조로 이동되었으며, 토조 내에서 함수비가 일정하게 유지되도록 박층으로 포설하였다. 흙을 쌓은 후에 표면은 일정한 높이를 유지하기 위하여 편평하게 다듬어졌다. 함수비와 전단강도가 일정하게 유지되었는가를 점검하기 위하여 층별로 함수비와 전단강도를 계측하였다.

지지력 실험의 실험항목을 요약하면 표 1과 같다.

표 1. 모형실험계획

layer	S_c (kN/m^3)	RSB_c (%)	h/B_f
One	0.69	40, 50, 60	-
Two		40	0.5, 1, 2, 4

S_c : 안정재 양, RSB_c : 폐 EPS입자 혼합비(부피)

3. 사용재료의 특성

3.1 토사

실험에 사용된 토사는 국내에서 가장 널리 분포하고 있는 화강 풍화토로서 공사가 진행중인 청주 일원의 절취사면에서 채취하였으며 그 물리적 특성은 표 2와 같다.

표 2. 화강풍화토의 물리적 특성

Test items	Values
G_s	2.63
ω (%)	8.85
PI (%)	NP
USCS	SM
γ_{dmax} (kN/m^3)	16.83
$O.M.C$ (%)	14.72
C_u	9.6
C_g	1.13

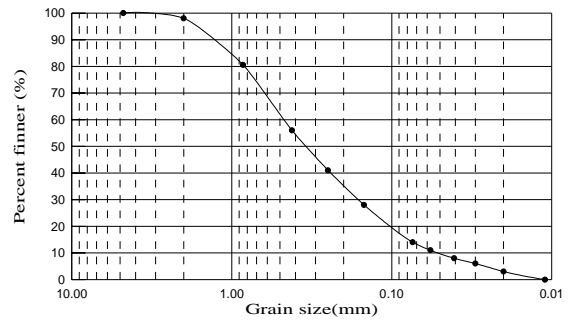


그림 4. 화강풍화토의 입도분포곡선

점성토는 벤토나이트를 사용하였으며, 벤토나이트는 팽윤성이 강한 점토로서 주성분 광물은 몬모로나이트이다(표 3 참조).

표 3. 점토의 물리적 성질

G_s	ω (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
2.65	115	130	50	80

3.2 폐 EPS 입자

실험에 사용된 폐 EPS 입자는 ○○시 스티로폼 제생업체에서 생산된 것으로써 수거된 각종 스티로폼 제품을 파쇄하여 만들어진다. 입경 범위는 0.8~5 mm의 구상의 입자로 되어있으며, 단위중량은 0.16~0.275 (kN/m³)의 범위에서 분포하는 것으로 나타났다.

3.3 안정재

본 연구에 사용된 시멘트는 U사의 초속경 시멘트로서 특징으로는 시공 3시간 경과 후 압축강도 19,613.3 kPa이상으로 보통시멘트의 7일 강도를 발현하며 응결 시간 조절가능, 수축 및 블리딩이 거의 없으며 지속적인 강도발현이 된다.

표 4. 초속경시멘트 재료 특성

Specific surface (cm ² /g)	Compressive strength (kPa)		Bending strength (kPa)	
	3 hours	1 day	3 hours	1 day
4,565	27,654.7	33,538.7	4,805.3	5,491.7

본 연구에서는 실험시 단계별 되메움에 따른 기 배합된 시료의 경화를 방지하기 위하여 경화지연제 (3.9g/kg · cement)를 사용하였다. 표 4는 본 연구에 사용된 시멘트에 대한 한국건자재시험연구원의 시험결과이다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 모형실험 결과

4.1.1 폐 EPS 혼합율에 따른 지지력 시험

단층 지반의 폐 EPS 혼합율을 0, 40, 50, 60 %로 변화시켜가며 실시한 지지력 시험의 하중-침하곡선을 도시하면 그림 5와 같다. 그림에서와 같이 다짐 풍화토 지반의 경우 다소 진행성 파괴양상을 보이지만 침하량

이 0.15 B_f를 기준으로 항복하는 경향을 찾을 수 있다. 하지만 경량 성토재의 경우 1.0 B_f까지 하중을 재하하였으나 모든 폐 EPS 혼합율에서 뚜렷한 파괴양상을 보이지 않는 것으로 나타났다.

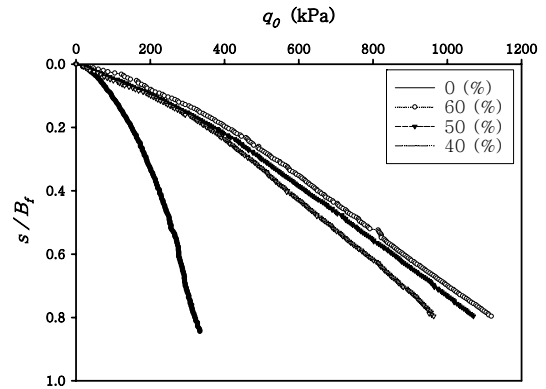


그림 5. 단일층의 하중-변위 곡선

일반적으로 항복하중 산정을 위해서는 P-S 곡선법, logP - logS 곡선법 등이 사용되며 본 연구에서는 P-S 곡선에서 초기직선과 후기직선이 만나는 교차점을 통하여 항복하중을 산정하였다.

극한 지지력 산정결과, 풍화토의 경우 극한지지력은 0.12 B_f부근에서 형성되는 것으로 나타났으며, 경량 성토재의 경우 0.14B~0.16 B_f사이에서 극한지지력이 형성되는 것으로 나타났다.

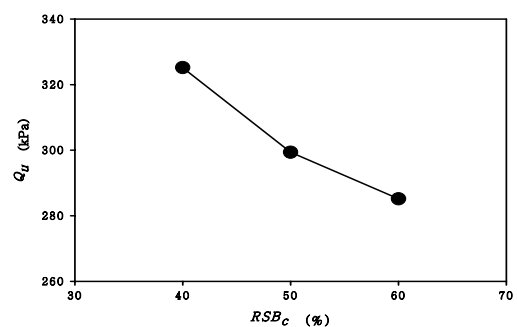


그림 6. 혼합비에 따른 지지력

경량 성토재와 풍화토의 지지력을 산정한 결과 풍화토의 경우 108.84 kPa, 폐 EPS 혼합율 60 %일 때 285.16 kPa, 50 %일 때 299.38 kPa, 40 %일 때 325.17 kPa로 나타나 경량 성토재가 일반 다짐풍화토에 비하여 2배 이상의 극한 지지력을 발휘하는 것으로 예측되

었다. 폐 EPS 혼합물에 따른 지지력을 비교한 결과는 그림 6과 같이 폐 EPS 혼합율이 증가할수록 극한지지력은 선형적으로 감소하는 경향을 보였다.

지반파괴형상은 풍화도의 경우 항복 후 지표면까지 전단파괴가 진행되며 파괴면이 지표면까지 확장되는 전반전단파괴 형상을 관찰 할 수 있었다. 하지만 경량 성토재의 경우에는 하중을 받는 부분을 중심으로 연직 방향의 침하만이 지속적으로 발생하였으며 지표면까지 파괴선이 발달하지 못하는 것으로 관찰되었다. 이는 지반의 전단파괴력이 경량 성토재의 강도에 미치지 못함에 따라 기초하부방향으로 지속적인 변위가 발생하면서 명확한 항복점을 형성하지 못하는 것으로 판단된다.

4.1.2 경량 성토재 두께에 따른 지지력 시험

일반적으로 경량 성토재가 적용되는 지반은 하부 지반이 연약한 점성토로 구성되어 있는 지반이 다수이다. 따라서 경량성토재의 지지력은 약한 하층지반의 영향을 받게되기 때문에 지지력 산정시 지반의 다층성을 고려하여야 한다. 이에 본 연구에서는 이층지반으로 구성되어 있는 지반을 대상으로 지지력을 평가하였다.

실험은 하부지반을 점성토로 구성하고 상부를 경량 성토재로 조성하였으며 상부의 경량 성토재 두께를 변화시켜가며 지지력 시험을 실시하였다.

지지력 시험 결과 하중-침하곡선을 도시하면 그림 7과 같다.

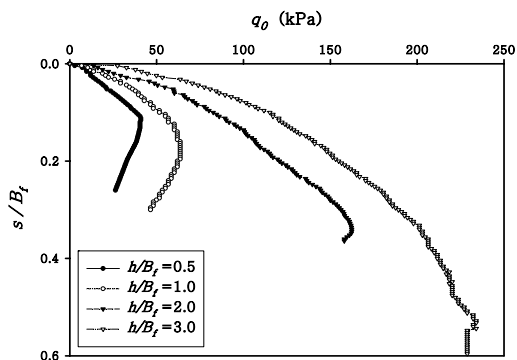


그림 7. 이층지반의 하중-변위곡선

그림에서와 같이 단일지반과는 달리 하중-침하곡선은 명백한 항복점을 보이며 파괴양상 역시 파괴면이 뚜렷하게 지표면까지 발달하는 전단파괴양상을 보였다.

따라서, 극한 지지력은 하중-침하곡선의 곡률반경이 최소가 되는 지점을 산정하였으며 실험결과 기초폭에 대한 상부층 두께비(h/B_f)가 0.5일 경우 40.89 kPa, 1일 경우 63.64 kPa, 2일 경우 161.01 kPa, 3일 경우 233.97 kPa로 나타나 상부의 경량 성토재 성토높이가 증가할수록 극한 지지력은 증가하는 경향을 보였다.

하중재하에 따른 기초하부의 지반변위는 모든 두께비에서 파괴면이 지표면까지 확장되어 파괴가 발생하였으며, 파괴면 저부는 인접한 점성토지반의 경계면을 기점으로 발생하는 것으로 나타나 사다리꼴 형태의 파괴가 확인되었다.

기초중심으로부터 지표면에 발생하는 파괴면까지의 거리(L_f)는 상부층 두께비 0.5에서는 2B, 1.0에서는 2.3B, 2.0에서는 2.5B, 3.0에서는 2.56B로 두께비에 따라 증가하는 것으로 나타나 지지력은 활동하는 토체의 크기에 비례하는 관계를 관찰할 수 있었다.

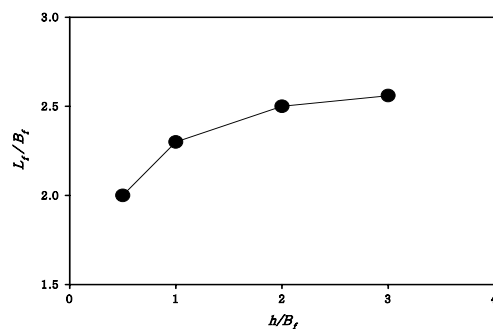


그림 8. 상부층 두께에 따른 파괴길이

기초중심으로부터 표면에 발생한 파괴면까지의 거리는 층두께 2를 전후로하여 증가경향이 완만해지며, 상부층 층후에 따른 지표면의 융기는 두께비 0.5B에서 관찰되었으며, 이후의 두께비에서는 명확한 지표면의 융기현상은 관찰 할 수 없었다.

4.2 유한요소해석결과

다층 지반의 지지력 모형실험을 통하여 얻어진 결과를 비교·분석하기 위하여 유한요소해석을 수행하였으며, 해석에는 2차원 응력 변형해석 프로그램인 AFIMAX-2D를 사용하였다.

해석을 위하여 지반은 4절점 사변형요소를 이용하였

으며, 기초지반을 중심으로 가로방향은 1.1의 등비간격을 두었으며 하중작용방향은 등간격으로 메쉬를 형성하였다. 또한, 다층지반의 해석을 위하여 상부지층의 두께비(h/B_f)를 0.5, 1, 2, 3으로 변화시켜가며 해석을 실시하였으며 각 단계별로 하중을 증가하는 방법으로 등분포하중을 재하하였다.

구속조건은 좌우경계에서는 수평변위만을 고정하기 위하여 연직물라조건을, 바닥의 경우에는 수직, 수평 모두를 고정으로 설정하였다.

해석방법은 Mohr-Columb 파괴규준을 적용하였으며, 해석에 필요한 지반정수는 실험을 통하여 구해진 측정치를 사용하였다. 해석에 사용된 지반정수를 요약하면 표 5와 같다.

상부지층의 두께비를 각각 변화시켜가며 해석한 결과는 그림 10과 같다. 해석결과 층후가 증가할수록 지지력은 증가하며 하중변위곡선이 선형양상을 보이는 것으로 나타났다. 해석결과 상부지층의 두께비(s/B_f)가 0일 경우 16.01 kPa, 0.5일 경우 31.2, 2일 경우 186.3, 3일 경우 284.76 kPa로 나타나 실험결과와 비교할 때 층후가 작은 경우 지지력이 과소평가되며 층후가 큰 경우에는 실험치와 비교하여 크게 평가되는 것으로 나타났다.

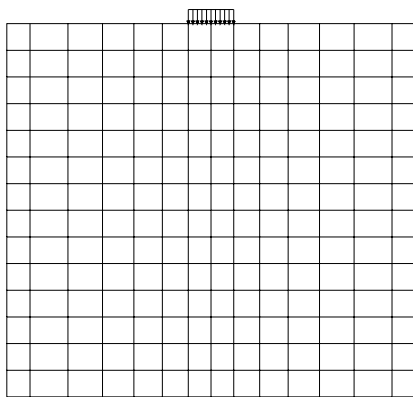


그림 9. 유한요소메쉬망

표 5. 유한요소해석에 적용된 지반정수

	E (kN/m ²)	ν	ϕ ($^{\circ}$)	c (kN/m ²)	γ_t (kN/m ³)
Light weight soil	1800	0.31	43	2.1	1.1
Clay	300	0.42	0	0.6	1.65

4.3 경량 성토 공법 적용을 위한 지지력 평가

4.3.1 폐 EPS 혼합율에 따른 지지력 평가

폐 EPS 혼합율과 극한 지지력의 관계는 폐 EPS 혼합율이 증가할수록 극한지지력이 감소하는 것으로 나타났다. 그림 11은 경량 성토재의 지지력 증대 효과를 나타낸 것으로 실험을 통하여 구한 화강 풍화토의 지지력과 혼합율에 따른 경량 성토재의 지지력을 식 (1)을 이용하여 지지력 증대효과를 고찰하고자 하였다.

$$BCR_u = \frac{Q_{u(rs)}}{Q_{u(s)}} \quad (1)$$

여기서 $Q_{u(s)}$: 토사의 지지력

$Q_{u(rs)}$: 혼합지반의 지지력

BCR_u : 보강지지력비 이다.

보강지지력비는 폐 EPS 혼합율 40 %일 때 3.0, 50 %일 때 2.76, 60 %일 때 2.63으로 나타나 경량 성토재가 일반 다짐풍화토에 비하여 2배 이상의 극한 지지력을 발휘하는 것으로 나타났다.

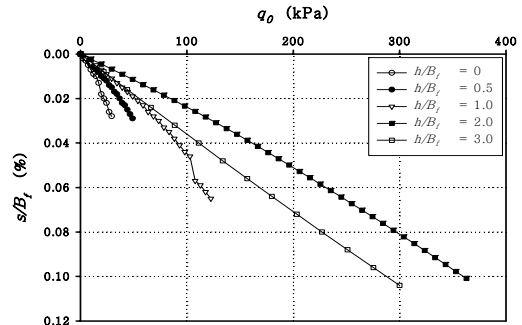


그림 10. 상부층에 따른 지지력 변화

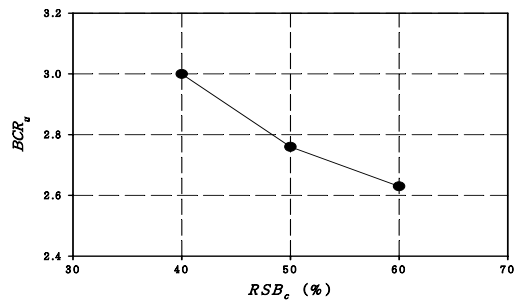


그림 11. 혼합비에 따른 지지력비

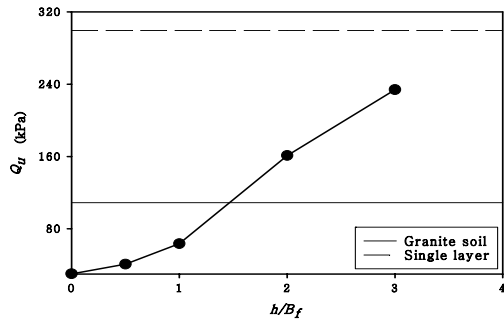


그림 12. 상부층 두께에 따른 극한지지력

4.3.2 경량 성토재 두께에 따른 지지력 평가

경량 성토재 두께에 따른 지지력은 그림 12와 같이 경량 성토재 두께가 증가 할수록 지지력이 증가하는 경향을 보였다. 또한 점성토 지반에 영향이 미치지 않은 상부지층의 두께 즉, 모래층의 증가에 따라 다층지반의 지지력은 점점 증가하며 어떤 한계의 두께에 이르면 다층지반의 지지력은 더 이상 증가하지 않게 된다. 이때의 상부지층의 두께를 한계두께비 (h/B_f)*라 하며 지층을 이루는 각 지층의 전단강도에 영향을 받는 것으로 알려져 있다

상부층의 두께가 증가할수록 지지력이 증가하지만 두께비 (h/B_f) 3 에서도 한계두께비에 이르지 못하는 것으로 나타났다.

일반적인 성토재의 경우 하부점토층이 동일한 조건 일 때 상부모래층의 전단 저항각이 증가할수록 한계두께비가 증가하는 것을 고려한다면 경량 성토재의 전단 저항각이 일반적인 성토재에 비해 크에 따라 한계두께비가 증가한 것으로 판단된다. 따라서, 경량 성토재의 한계두께비는 3 이상에서 형성될 것으로 예측된다. 하지만 일반적인 화강 풍화토를 상부지지층으로 사용할 경우에 비해서는 큰 지지력을 발휘하는 것으로 나타났으며 두께비가 2일 경우 극한 지지력은 161.01 kPa로, 풍화토 단일지반일 경우의 극한지지력 108.78 kPa를 상회하는 것으로 나타났다. 따라서, 단일층의 풍화토 지반에 대한 극한지지력에 도달하는 근입두께 (h/B_f)는 1.5를 전후로 하여 형성되는 것으로 나타났다.

같은 두께의 풍화토를 상부지지층을 사용할 경우와 비교하여 볼 때 경량 성토재가 더욱 큰 지지력을 발휘

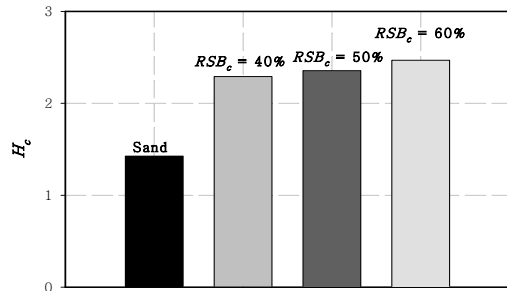


그림 13. 혼합비에 따른 한계성토고

하며, 단일풍화토지반의 지지력에 이르는 한계두께비를 감소할 수 있어 성토체의 두께감소효과가 있는 것으로 나타났다.

연약지반상에 성토시 보강없이 쌓을 수 있는 최대 성토고인 한계성토고를 산정하였다. 한계성토고 산정시 필요한 지반물성은 실험결과를 이용하였으며 안전율은 1.2를 적용하여 분석하였다. 한계성토고 산정결과는 그림 13과 같이 양질의 모래를 사용 할 경우 1.43 m, 폐 EPS 혼합율 40 %일 경우 2.29 m, 50 %일 경우, 2.35 m, 60 %일 경우 2.47 m로 나타나 일반적인 성토재에 비하여 1.6 ~ 1.73배의 한계성토고 증대효과를 얻을 수 있었다.

4.3.3 수치해석 및 기존이론과의 비교 분석

지지력 실험 결과와 수치해석 결과를 비교하면 그림 14와 같이 경량 성토재의 두께비가 0.5보다 작을 경우에는 해석결과가 실험결과를 과소평가하는 반면에 두께비가 1이상에서는 과다하게 평가되는 것으로 나타났다. 하지만 전체적으로 해석과 실험 결과의 차이는 30% 이내로 평가되는 것으로 나타나 비교적 근접한 결과를 얻을 수 있었다.

다층지반의 지지력 산정에 관한 연구는 실제 적용지반이 많기 때문에 여러 연구자들에 의해 다양하게 시도 되어왔다. 하지만 그 대부분의 연구가 상부지층의 전단 저항각만을 고려하는 연구에 집중되어왔으며 점착력이 큰 토사의 경우에 관한 연구는 제한적인 실정이다.

이에 본 연구에서는 점착력이 일반토사에 비하여 큰 경량 성토재의 다층지반의 지지력을 합리적으로 산정

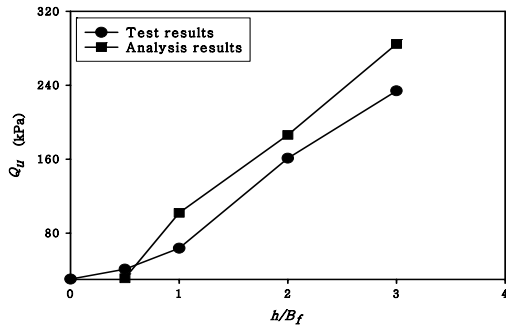


그림 14. 실험 및 해석결과비교

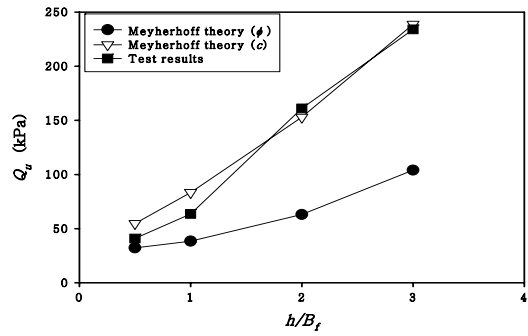


그림 16. 편칭파괴이론과의 비교 결과

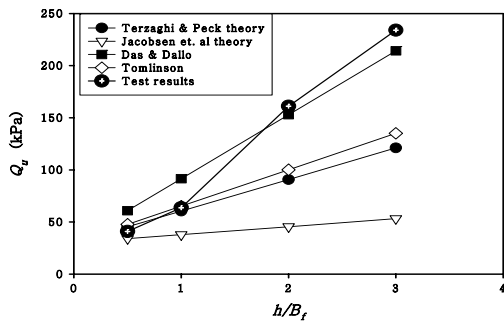


그림 15. 기존이론식과 비교 결과

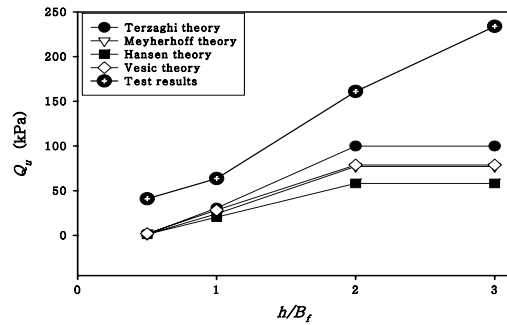


그림 17. 등가깊이이론과의 비교 결과

하기 위하여 여러 이론들과 실험결과를 비교하고자 하였다.

그림 15는 여러 학자들이 제안한 하중확산각 이론과 실험결과를 비교한 것으로 여러 이론 중에 Das와 Dallo (1984)가 제안한 지지력 식이 실험결과와 비교적 일치하는 것으로 나타났다. 하지만 전체적으로 하중확산각 이론을 이용하여 구한 지지력에 비하여 실험결과가 크게 분포하는 것으로 나타났다.

지반 용기 및 상부토층에 매설된 납선을 통하여 하중확산각을 측정된 결과 하중확산각은 36~40° 범위에 분포하는 것으로 나타났다. 실험을 통하여 실측한 하중확산각은 Das와 Dallo(1984)가 제안한 확산각에 가장 근접한 값으로 실험결과가 Das와 Dallo(1984)의 제안치에 가장 근접한 결과를 뒷받침해주고 있다. 하지만 실측치를 이용하여 지지력을 산정하였을 경우 실험치에 비해 작은 값을 보이고 있다. 이는 하중확산각을 이용하여 이층지반의 지지력을 산정하는 경우 전단 저항각만을 함수로 하는 확산각의 산정은 지지력을 과소평가하는 것으로 판단된다. 따라서, 폐 EPS를 혼합한 경량 성토재를 이용하여 이층지반의 지지력을 산정하는 경

우 점착력을 고려한 하중확산각의 산정이 필요한 것으로 나타났다.

그림 16는 관입전단파괴 이론과 실험 결과치를 비교한 것으로 관입전단파괴 이론으로 널리 사용되는 상부의 지반의 전단 저항각만을 고려하는 경우와 점착력과 전단 저항각을 모두 고려하는 경우의 지지력 산정식을 비교하였다.

상부토사가 점착력과 전단 저항각을 포함하는 중간 토인 경우에 Hanna와 Meyerhof(1980)가 제안한 관입전단계수는 점착력을 고려하지 않는 경우 과소평가되며 점착력을 고려하였을 경우 실험치와 비교적 유사한 경향을 보이고 있다. 따라서, 실무에서 관용적으로 사용되는 상부토질의 점착력을 무시하는 지지력 산정 방법을 경량 성토재에 적용하였을 경우 지지력을 과소하게 평가할 가능성이 있는 것으로 나타났다.

그림 17은 등가전단깊이 이론에 근거하여 구한 등가전단깊이를 고려하여 Terzaghi(1943), Meyerhof(1963), Hansen(1970), Vesic(1973)의 지지력 이론에 근거하여 구한 지지력을 실험결과와 비교한 것이다. 분석결과 등가전단깊이 이론에 의하여 구한 지지력은 지지력을 과

소하게 평가하는 것으로 나타났다.

따라서, 다층지반의 지지력 산정에 사용되는 하중확산 이론, 관입전단파괴 이론, 등가전단깊이 이론 중 주요한 연구결과와 비교하여 보았을 때 상부토사의 점착력을 고려한 Meyerhof의 관입전단파괴 이론이 실험결과와 가장 근접한 경향을 보이는 것으로 분석되었으며 하중확산각 이론과 등가전단깊이 이론은 경량 성토재의 지지력을 과소하게 평가되는 것으로 나타났다. 이는 기존 이론의 대부분이 상부지층을 점착력을 고려하지 않는 모래지반을 연구대상으로 하여온데서 그 원인을 찾을 수 있다.

5. 결론

폐기물을 활용한 경량 성토재의 지지력 특성을 평가하기 위하여 모형실험과 해석을 실시하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 폐 EPS를 혼합한 경량 성토재는 화강 풍화토에 비하여 2배 이상의 극한 지지력을 발휘하는 것으로

예측되었으며, 폐 EPS 혼합율이 증가할수록 극한지
지력은 감소하는 경향을 보였다.

2. 점성토지반 상부에 설치된 경량 성토재는 두께가 증가할수록 극한 지지력은 증가하며, 단일풍화토지반의 지지력에 이르는 한계두께비를 감소할 수 있는 효과가 있는 것으로 나타났다.
3. 경량 성토재를 연약지반상에 적용하였을 경우 일반적인 성토재에 비하여 1.6 ~ 1.73배의 한계성토고 증대효과를 얻을 수 있었다
4. 모형실험과 기존의 이론식, 유한요소해석 결과 폐기물을 활용한 지지력 예측방법 중 상부토사의 점착력을 고려한 Meyerhof의 관입전단파괴 이론이 실험결과와 가장 근접한 경향을 보이는 것으로 분석되었다.

(접수일 : 2006. 3. 28 심사일 : 2006. 8. 14 심사완료일 : 2006. 9. 15)

참고 문헌

1. 신방웅, 이봉직, 이종규(2002), 페스티로폼 혼합토의 다짐 및 환경 특성, *한국지반환경공학회 논문집*, 제2권, 2호, pp. 61~71.
2. 윤중수, 김영진(1998), 지반공학 분야에서의 폐기물 재활용 기술, *대한토목학회지*, 제46권, 제8호, pp. 34~38.
3. 이종규, 이봉직, 신방웅(2005), 폐기물을 활용한 유동성 복토재의 특성 평가, *한국지반환경공학회 논문집*, 제6권, 2호, pp. 31~38.
4. 최주섭(1997), 스티로폼의 회수·재활용 현황, *첨단환경기술*, pp. 2~30.
5. Das, B. M. and Dallo K. F.(1984), Bearing Capacity of Shallow Foundations on a Strong Sand Laye, *Civil Engineering for Practicing & Design Engineering*, pp. 417~438.
6. Hanna, A. M. and Meyerhof, G. G.(1980), Design Charted for Ultimate Bearing Capacity of Foundations on Sand Overlying Soft Clay, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 17, No. 2, pp. 300~303.
7. Hansen, J.B(1970), A revised and Extended Formula for Bearing Capacity, *Danish Geotechnical Institute, Bulletin 28*, Copenhagen. pp. 5~11.
8. Meyherhof, G. G.(1963), Some Recent Research on the Bearing Capacity of Foundations, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 1, pp. 16~26.
9. Terzaghi, K.(1943), *Theoretical Soil Mechanics*, Wiley, New York. pp. 200~230.
10. Vesic, A. S. (1973), Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations, *Highway Research Record No. 39*, National Academy of Sciences, pp. 113~153.