

# 준설토 재활용을 위한 무보강 및 보강 경량토의 압축거동특성 비교

김운태\* · 권용규\* · 김홍주\*  
\*부경대학교 해양공학과

## Comparison of Compressive Behavior Characteristics between Unreinforced and Reinforced Lightweight Soils for Recycling of Dredged Soils

YUN-TAE KIM\*, YONG-KYU KWON\* AND HONG-JOO KIM\*  
\*Dept. of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

**KEY WORDS:** Reinforced Lightweight Soil 보강 경량토, Waste Fishing Net 폐어망, Dredged Soil 준설토, Unconfined Compression Test 일축압축강도시험

**ABSTRACT:** This paper investigates strength characteristics and stress-strain behaviors of unreinforced and reinforced lightweight soils. Lightweight soil, composed of dredged soil, cement, and air-foam, was reinforced by a waste fishing net, in order to increase its compressive strength. Test specimens were fabricated by various mixing conditions, such as cement content, initial water content, air content, and waste fishing net; then, unconfined compression tests were carried out on these specimens. From the test results, it was shown that reinforced lightweight soil had different behavior after failure, even though it had similar behavior as unreinforced lightweight soil before failure. The test results also showed that stress became constant after peak strength in reinforced lightweight soil, while the stress decreased continuously in unreinforced lightweight soil. It was observed that the strength was increased due to reinforcing effect by the waste fishing net for most cases, except high water content greater than 218%. In the case of high water content, a reinforcing effect is negligible, due to slip between waste fishing net and soil particles. In reinforced lightweight soil, secant modulus (E50) was increased, due to the inclusion of waste fishing net.

### 1. 서 론

최근 우리나라는 연안 해안을 중심으로 대규모 개발공사가 진행되고 있으며 이와 관련하여 해마다 많은 양의 준설토가 발생되고 있지만 준설토 처리 및 재활용과 관련된 기술부족으로 상당량의 준설토가 매립 또는 외해투기 등으로 처리되고 있어 자원의 낭비와 해양환경의 오염 문제를 야기하고 있다.

그러나 일본의 경우에는 준설토를 단순 매립하기보다는 안벽이나 호안의 뒷채움재로서 재활용될 수 있도록 경량혼합토가 개발되어 적극적으로 이용되고 있다 (Tsuchida and Egashira, 2004).

경량혼합토는 준설토와 같은 슬러리 상태인 지반 재료에 물과 시멘트 등의 고화제를 혼합하여 유동성과 강도를 확보하고 기포나 발포스티로폴을 혼합하여 경량화한 흙으로서 일반토사에 비해 적절한 단위중량과 강도를 임의로 조절할 수 있는 균질한 지반 재료이다. 경량혼합토의 특징은 습윤 밀도를 0.6~1.2g/cm<sup>3</sup> 정도의 범위로 조절할 수 있고, 압축강도를 1000kPa 정도까지 임의의 설정할 수 있으며 배합 직후에는 슬러리 상태이기 때문에 시공성과 현장 적용성이 우수하다. 또한 경량혼합토는 일반 토사와 비교하여 경량화된 재료이므로 안벽이

나 용벽의 뒷채움재로 사용시 토압을 저감할 수 있는 큰 장점이 있다 (태평양 Soil, 2004).

경량혼합토와 관련하여 국내의 기존연구를 살펴보면 EPS를 이용한 경량성토공법에 관한 연구 (장용채, 1994), 폐 EPS조각을 혼합한 경량성토재의 토질공학적 특성에 관련된 연구 (김홍택 등, 1996), 준설토와 EPS를 혼합한 경량혼합처리토의 강도 특성에 관한 연구 (김수삼 등, 2002), 준설토를 활용한 경량혼합토의 역학적 특성 연구 (윤길림과 김병탁, 2002) 등이 수행된 바 있다. 그리고 기포를 이용한 경량혼합토에 대한 연구는 준설토를 이용한 경량기포혼합토의 역학적 특성 연구 (김주철과 이종규, 2002), 경량기포혼합토의 압축 및 강도특성 연구 (윤길림 과 김병탁, 2004), 준설토와 기포를 혼합한 인공지반의 연약지반개량 적용성 평가에 대한 연구 (윤길림 등, 2004)등이 수행된 바 있다.

지금까지 준설토 재활용을 위한 경량혼합토에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으나 실제 현장 적용시 여러가지 문제점이 드러나고 있어 적용성이 떨어진다. 발포스티로폴을 이용한 EPS 공법은 EPS 입자의 낮은 단위중량 특성 때문에 침수시 부력으로 인한 문제 및 시공성의 한계가 드러나고 있다 (윤길림 등, 2004). 기포 혼합경량토의 경우 국내 시공사례가 없고 대부분 압축강도 특성에 대한 연구로서 기초적인 단계이다. 따라서 보다 적극적인 준설토 재활용을 위해서는 압축강도 특성 뿐만 아니라 압밀 특성, 현장 배합설계 특성, 다른 보강재료와의 혼합에 따른 거동 특성 등에 대한 연구도 이루어져야만 한다.

제1저자 김운태 연락처 : 부산광역시 남구 대연3동 599-1번지  
051-620-6229 yunkim@pknu.ac.kr

한편 폐어망은 최근까지 관행처럼 해양에 무분별하게 투기되어 왔으며 점차 연안에 축적되면서 환경 문제를 야기하고 있는 실정이다. 김승도와 박상열 (2001)의 연구에 따르면 폐어망은 200만톤 정도가 연안 해역에 축적되어 있으며 연간 4만톤 가량이 새로이 해양에 투기되는 것으로 추정하고 있다. 폐어망의 주 성분은 합성수지 계열로서 폴리에틸렌(polyethylene)과 나일론(nylon)으로 이루어져 있으며 비중과 흡수성이 낮으며 마찰에 강하고 인장강도는 건·습기에 변하지 않는 특성이 있다.

따라서 본 연구에서는 현장발생 준설토와 보강재료로서 해안가에 무분별하게 버려지고 있는 폐어망을 활용한 보강경량토를 제작하여 기존의 무보강 경량토와 폐어망이 혼합된 보강경량토의 거동특성을 비교·분석하였다. Fig. 1은 무보강 경량토와 경량토의 전단강도를 증가시키기 위하여 폐어망으로 보강된 보강경량토의 개념도를 나타낸다.

재료별 특성을 고려하여 다양한 배합조건에서 일축압축강도 시험을 수행, 그 결과를 바탕으로 기존의 무보강 경량토와 보강경량토의 거동 특성을 분석함으로써 보강 경량토가 응력-거동 및 강도 증진에 효과가 있음을 확인하였다.

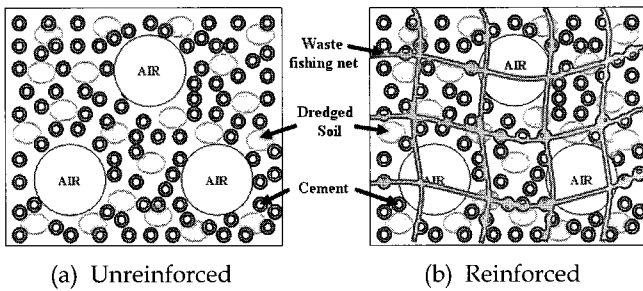


Fig. 1 Conceptual diagram of lightweight soil

2. 실험재료 및 방법

2.1 재료 특성

본 연구에서 사용된 재료는 해양 준설토, 시멘트, 기포제, 폐어망이다. 해양 준설토는 부산신항 배후부지에서 채취하였으며 실내 물리특성 시험결과는 Table 1과 같다. 통일분류법에 의한 흙의 분류는 소성이 낮은 점토(CL)이다.

강도발현과 고형화를 위해 사용되는 고화제는 일반적으로 점성토와 결합하여 강도발현이 좋은 1종 보통포틀랜드 시멘트와 고로 B종 시멘트 등이 사용되고 있다. 본 연구에서 사용된 고화제는 1종 보통포틀랜드 시멘트이며 그 화학성분은 Table 2와 같다.

경량성과 유동성 확보를 위해 사용되는 기포제는 공기압, 온도, 유기물 함량, 발포 후 경과시간 등에 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 사용된 기포제는 공기압을 이용하여 기포를 발포시키는 계면활성제이며 그 화학성분은 Table 3과 같다. 기포의 소포율을 최소화하고 균일한 혼합을 위하여 Fig. 2와 같이 자체 제작한 기포발생장치를 사용하여 사전에 기포를 발포시켜 준설토와 혼합하였다.

고화제와 함께 보강경량토의 강도 증가를 위하여 사용된 보강재료는 폐어망 조각이다. 폐어망은 연안어업의 감소와 함께 주변 연안해역에 쉽게 버려지는 폐기물이다. 폐어망의 재질은 합성섬유 제품으로 Polyethylene이 주원료이다.

Table 1 Physical properties of the dredged soil

Water content (%)	Specific gravity	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Plastic index	Passing of No.200 (%)
125	2.60	39.2	20.7	18.5	81.2

Table 2 Chemical properties of cement

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	FCaO	IgLoss	K <sub>2</sub> O	Sum
20.9	5.67	2.74	62.5	3.36	0.14	2.34	0.5	1.32	1.05	100

Table 3 Properties of air-foam

Specific gravity	Ph (4°C)	Saponifiva-tion value	Precipita-tion value	Salinity (%)	Unit weight (g/cm <sup>3</sup> )
1.03	7.1	5.30	0	1.7	0.047

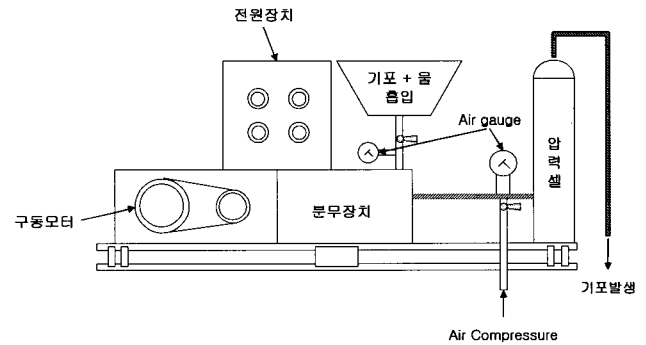


Fig. 2 Schematic diagram of the air foam generation device

2.2 공시체 제작

본 연구에서는 무보강 및 보강 경량토의 거동특성 분석을 위하여 직경 72mm, 높이 148mm의 공시체를 제작하였으며 공시체 몰드는 자체 제작한 투명 PVC원통을 사용하였다.

재료별 특성에 따른 거동특성을 파악하기 위하여 Table 4와 같이 준설토의 초기 함수비, 시멘트 함량, 기포 함량, 보강재의 유무에 따라 배합 및 시험조건을 달리 적용하였다. 이때 재료별 함량은 건조된 준설토의 중량비로서 결정되었으며 목표강도나 목표밀도는 고려되지 않았다.

경량성 확보를 위하여 사용되는 기포제는 시간이 지남에 따라 소포가 되기 때문에 공시체 제작과정에서 기포의 혼합은 5분 이내로 실시하였다. 또한 시멘트 경화에 대한 영향을 고려하여 전체 공시체 제작 시간은 10분 이내로 조절하였다.

기존연구 결과에 따르면 이와 비슷한 섬유재를 혼합한 경우 섬유재의 배치형태나 함량에 따라 최대강도가 발현되는 적정함

량이 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 본 연구에 앞서 같은 배합조건에서 페어망을 2, 3, 4, 5개층으로 혼합한 예비시험에서 4개층으로 혼합할 경우에 가장 강도가 크게 나타났다. 따라서 본 논문에서는 4개층으로 보강된 페어망 보강 경량토의 압축거동 특성에 대하여 정밀한 분석을 실시하였다. 보강재로서 사용된 페어망은 가로, 세로 각각 5cm 길이로 절단하여 공시체를 5등분할 수 있도록 일정한 간격으로 배치하였다.

Table 4 Mixing conditions

Catalog	Mixing conditions
Initial water content, $W_i$ (%)	125, 156, 187, 217, 250
Cement content, $C_i$ (%)	8, 12, 16, 20
Air-form content, $A$ (%)	1, 2, 3, 4, 5
Waste fishing net	O, X
Curing time, $T$ (day)	28

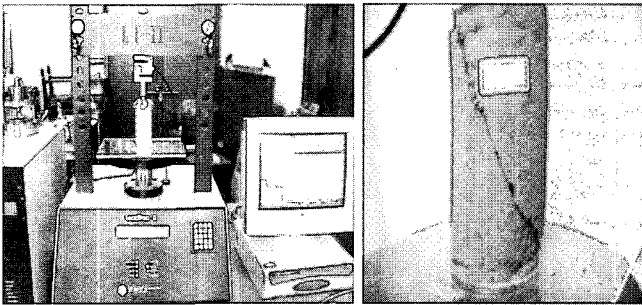


Fig. 3 Unconfined compression test

2.3 일축압축강도 시험

다양한 배합조건에 따라 제작된 무보강 및 보강 경량토에 대하여 일축압축강도 시험을 수행하였다(Fig. 3). 일축압축강도 시험은 변형률 제어가 가능한 Geocomp사의 일정변형률(CRS) 시험기를 사용하였으며 이때 축변형률은 0.7%/min으로 제어하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 무보강 및 보강 경량토의 응력-변형 거동특성 비교

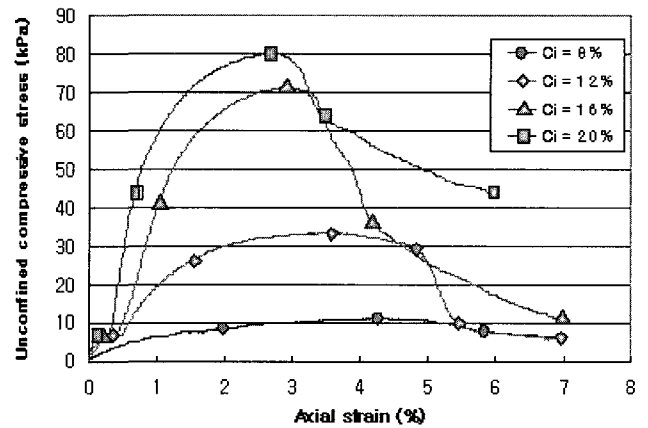
3.1.1 시멘트 함량의 영향

항로유지 준설과 항만건설을 위해 채취된 준설토는 낮은 압축강도 특성 때문에 강도증가를 위하여 시멘트와 같은 고화제가 사용되며, 이와 같은 고화제는 경량토의 응력-변형 거동 및 강도 특성에 중요한 영향을 미친다. 낙동강 하구역에서 채취된 준설토에 대한 무보강 경량토의 응력-변형 거동 특성은 기존 연구(김운태 등, 2005)에서 수행된 바 있으며 본 연구에서는 페어망 보강에 따른 응력-변형 거동 특성을 무보강 경량토와 비교 분석하였다.

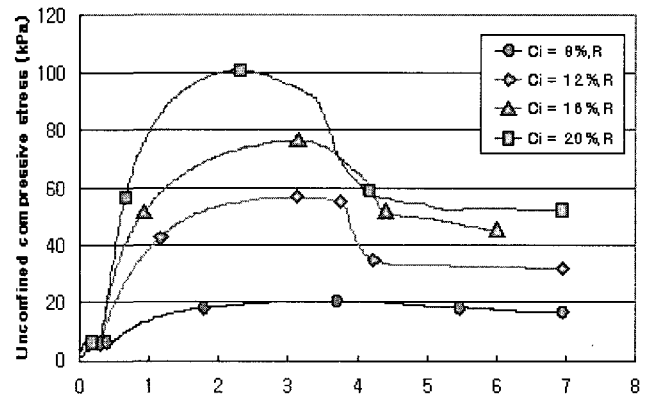
초기 함수비 156%, 기포 함량 2% 일 때 시멘트 함량에 따른 무보강 및 보강 경량토의 응력-변형 거동을 Fig. 4에 도시하였다. 두 경우 모두 시멘트 함량이 증가할수록 최대강도까지의 기

울기는 증가하며 파괴시 축변형률은 미소하게 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 보강 경량토의 경우 페어망 보강에 의하여 최대 20kPa의 강도 증가가 있었으며 파괴시 축변형률도 약간 감소되는 것으로 나타났다. 시멘트 함량이 8%인 경우, 강도증가는 있으나 일반적인 점토의 응력-변형 거동과 유사한 완만한 응력 곡선을 나타내었다.

최대강도 이후의 응력-변형 거동에는 약간의 차이가 나타난다. 무보강 경량토의 경우에서는 파괴 후 축변형률이 증가함에 따라 급격한 응력 감소를 보이는 취성파괴 거동을 보이며 지속적인 응력감소가 일어난다. 그러나 페어망 보강 경량토의 경우에는 축변형률이 증가함에 따라 어느정도 취성파괴는 일어나지만 파괴 후 축변형률 증가해도 강도가 유지되는 잔류강도에 수렴되었다. 이는 취성파괴후 페어망과 경량토 사이의 지속적인 마찰작용에 의한 것으로 판단된다.



(a) Unreinforced lightweight soil



(b) Reinforced lightweight soil

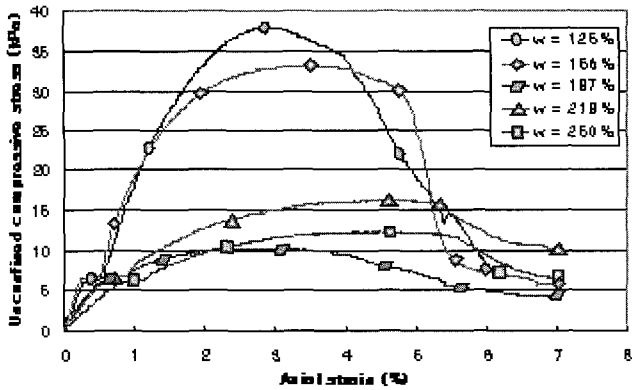
Fig. 4 Characteristics of stress-strain behavior with respect to the cement content

3.1.2 초기 함수비의 영향

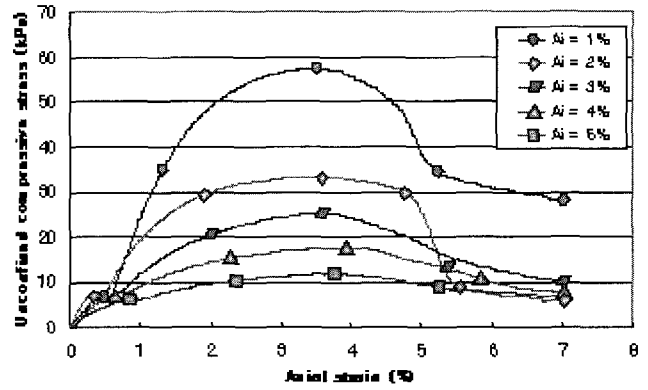
초기 함수비의 변화에 따른 무보강 및 보강 경량토의 응력-거동 특성을 파악하기 위하여 시멘트 함량 12%, 기포 함량 2%일

때 현장 준설토 초기 함수비를 1.0(125%), 1.25(156%), 1.5(187%),

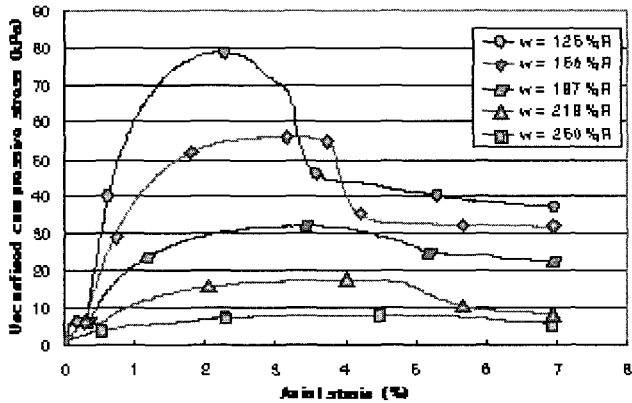
최대강도 이후 응력-변형 거동은 시멘트 함량의 영향과 마찬가지로



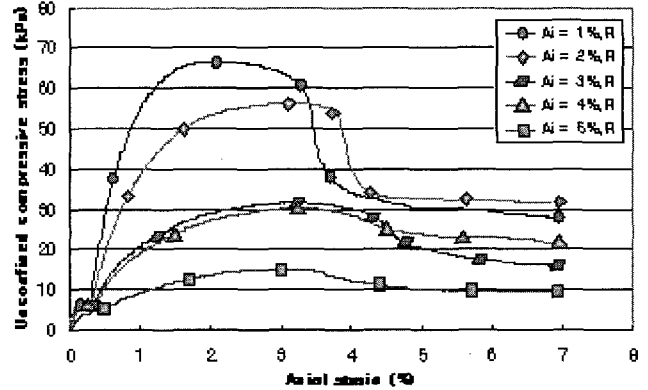
(a) Unreinforced lightweight soil



(a) Unreinforced lightweight soil



(b) Reinforced lightweight soil



(b) Reinforced lightweight soil

Fig. 5 Characteristics of stress-strain behavior with respect to the initial water content

Fig. 6 Characteristics of stress-strain behavior

1.75(218%), 2.0(250%)배로 변화시켜 일축압축강도 시험을 수행하였다. 그 결과는 Fig. 5와 같다.

초기 함수비에 따른 무보강 경량토의 응력-변형 거동은 초기 함수비가 증가할수록 압축강도는 감소하며 파괴시 축변형률은 약간 증가하는 것으로 나타났다. 초기 함수비 156% 이하인 경우에는 압축강도 증가가 현저히 나타나며 파괴 후 거동은 축변형률 증가에 대하여 급격한 강도 감소를 나타내었다.

폐어망 보강 경량토의 경우 함수비 증가에 따른 강도 감소와 파괴시 축변형률 증가 경향은 무보강 경량토와 비슷한 경향을 나타내었다. 그러나 파괴시 축변형률은 약 0.5~0.7% 정도 감소하며 응력-변형 곡선의 기울기는 증가하는 것으로 나타났다. 특히 강도증가의 비는 초기 함수비가 125%인 경우 무보강 경량토에 비하여 2배까지 증가하였으며 초기 함수비 218%인 경우에는 강도 증가가 거의 없는 것으로 나타나 낮은 함수비에서 폐어망에 의한 보강 효과가 큼을 알 수 있었다. 이러한 이유는 고표함수비 시료의 경우 폐어망과 흙입자 사이의 미끄러짐으로 인한 강도 감소 때문이라고 판단된다.

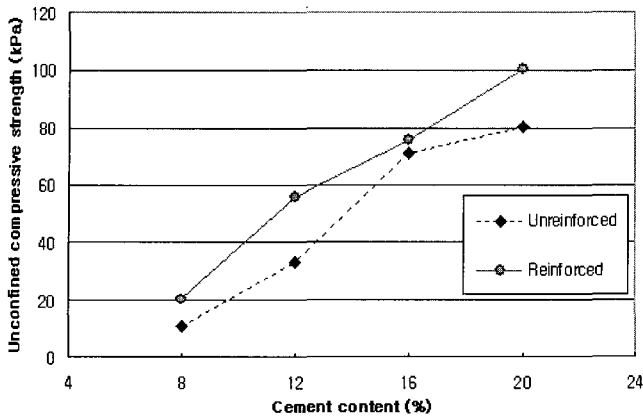
가지로 무보강 경량토의 경우에는 축변형률 증가에 대하여 지속적인 응력 감소를 보이는 반면 보강 경량토에서는 파괴후 강도가 일정한 값에 수렴되는 잔류강도가 존재함을 알 수 있었다.

### 3.1.3 기포함량의 영향

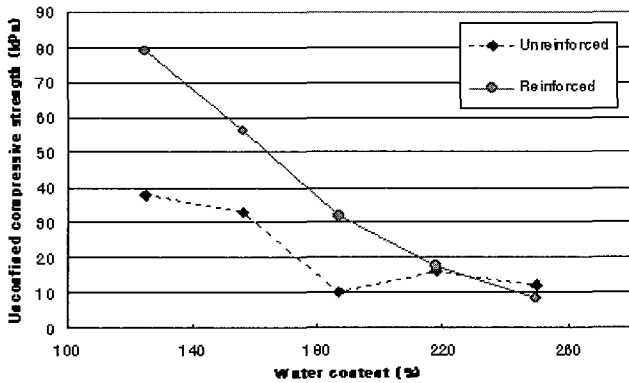
기포함량에 따른 응력-변형 거동 특성을 파악하기 위하여 시멘트 12%, 함수비 156%일 때 기포함량을 1, 2, 3, 4, 5%로 변화시켜 재령 28일에 대하여 일축압축강도 시험을 수행하였으며 그 결과는 Fig. 6과 같다.

두 경우 모두 기포함량이 증가할수록 최대강도는 감소하며 파괴시 축변형률은 약간 증가하거나 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 폐어망에 의한 강도 증가는 기포 함량에 따라서 약간의 차이는 있으나, 일반적으로 폐어망이 강도 증가에 영향을 미치는 것으로 나타나며 응력-변형 곡선의 기울기도 커지는 것을 알 수 있었다.

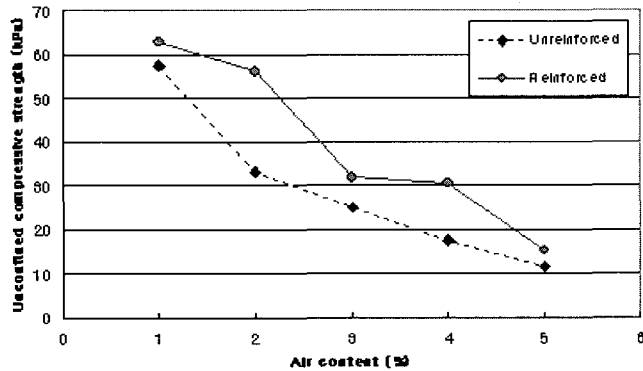
최대강도 이후 거동은 시멘트 함량 및 초기함수비의 경우와 비슷한 경향을 나타내었다.



(a) Variation of cement content



(b) Variation of water content

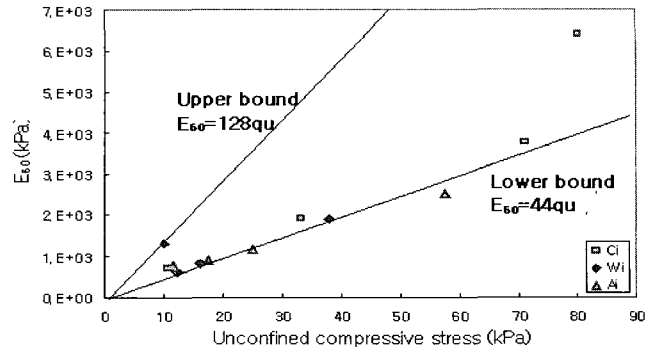


(c) Variation of Air-foam content

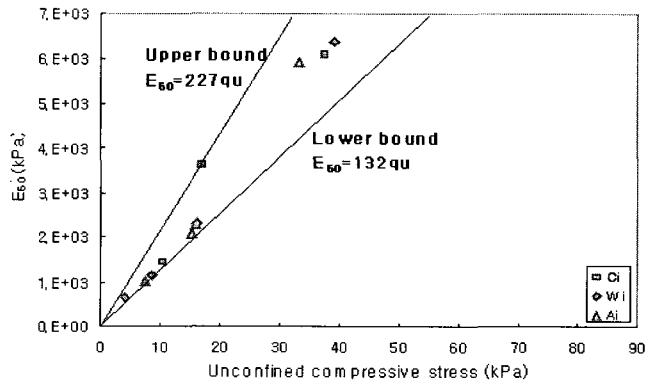
Fig. 7 Unconfined compressive stress with respect to material of properties

3.2 무보강 및 보강 경량토의 압축강도 특성 비교

무보강 및 보강 경량토의 압축강도 특성은 Fig. 7과 같다. 시멘트 함량이 증가할수록 일축압축강도는 거의 선형적으로 증가하는 것으로 나타났다. 폐어망으로 보강된 경량토의 경우 무보강 경량토에 비하여 압축강도는 최대 약 20kPa까지 증가하는 것으로 나타났으며 증가비는 일정한 경향을 나타내었다.



(a) Unreinforced lightweight soil



(b) Reinforced lightweight soil

Fig. 8 Relationship between deformation modulus and unconfined compression strength

Fig. 7 (b)는 초기 함수비에 따른 압축강도 특성을 나타낸 것이며 초기 함수비가 증가할수록 압축강도는 감소한다. 보강 경량토의 경우 초기 함수비에 따라 강도변화가 매우 크며 특히, 초기 함수비 125%의 경우 무보강 경량토의 2배까지 강도가 증가하여 나타났다. 그러나 초기 함수비 218% 이상에서는 압축강도의 증가가 미소한 것으로 나타나 폐어망에 의한 보강효과가 미비한 것으로 나타났다.

Fig. 7 (c)는 기포함량에 따른 압축강도의 변화를 나타내는 그림으로서 기포함량이 증가할수록 압축강도는 비선형적으로 감소하며 폐어망에 의한 보강효과는 5~25kPa 정도인 것으로 나타났다.

3.3 E50과 일축압축강도의 관계

무보강 및 보강 경량토의 변형계수와 일축압축강도의 관계는 Fig. 8과 같다. 무보강 경량토의 경우 변형계수는 일축압축강도의 44~128배 정도의 범위를 가지는 것으로 나타났으며 보강 경량토의 경우에는 132~227배 정도의 범위로 1.7~5.1배 정도 증가하였다. 이것은 폐어망 보강에 의한 강성도 증가의 영향으로 보강 경량토에서 더 큰 탄성계수값을 가지기 때문이다. 변형계

수 값의 차이는 재료별 함량 특성에 따라 보강효과의 영향이 각각 다르기 때문에 분산되어 나타났다.

변형계수와 일축압축강도의 관계에 대한 기존 연구결과를 살펴보면, Tsuchida (1996, 1999)은 변형계수의 값을 (40~240)qu 정도의 범위를 제시한 바 있으며 김주철과 이종규 (2002)는 양생기간에 따른 변형계수의 값을 일축압축강도의 82~91배 정도의 범위로 제시한 바있다. 이러한 차이는 경량토 혼합시 준설토의 성분이나 배합비에 따라 응력-변형 거동 및 강도특성이 달라지기 때문이라고 판단된다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 무보강 및 보강 경량토의 응력-거동 특성을 분석하기 위하여 다양한 배합조건에 따라 제작된 공시체에 대하여 일축압축강도 시험을 수행하였다. 여기서 무보강 경량토의 강도증가를 위하여 보강재료로서 사용된 폐어망은 가로, 세로 각각 5cm 길이로 절단하여 공시체를 5등분할 수 있도록 일정한 간격으로 배치하였다. 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 배합 특성에 따른 무보강 및 보강 경량토의 최대 압축강도는 시멘트 함량이 증가할수록, 초기 함수비와 기포 함량이 감소할수록 증가하였으며, 파괴시 축변형률은 다소 감소하였다.
- 2) 파괴 후의 응력-변형 거동은 무보강 경량토의 경우, 파괴 후 축변형률이 증가함에 따라 급격한 응력 감소를 보이는 취성 파괴의 거동을 보이는 반면, 폐어망 보강 경량토의 경우에는 축변형률 증가에 대하여 취성파괴 후 응력이 일정한 값에 수렴 하는 잔류강도를 나타내었다.
- 3) 폐어망 보강에 의한 압축강도 증가는 낮은 함수비에서 강도 증가가 현저하게 나타나지만 초기함수비 218%이상의 고함수비에서는 강도증가 미비한 것으로 나타났다. 이러한 이유는 고함수비 시료의 경우 폐어망과 흡입자 사이의 미끄러짐으로 인한 강도 감소 때문이라고 판단된다.
- 4) 무보강 및 보강 경량토의 일축압축강도와 E<sub>50</sub>의 관계는 회귀 분석결과 각각 E<sub>50</sub>=(45~128)q<sub>u</sub>, E<sub>50</sub>=(132~227)q<sub>u</sub>로 나타났다. 이는 Tsuchida (1996,1999)이 제시한 40~240배 정도의 범위에 있음을 알 수 있으며 Tsuchida의 제시값과 다소 차이가 나는 이유는 경량토 혼합시 보강재의 특성, 준설토의 성분, 배합비에 따라 응력-변형 거동 및 강도특성이 달라지기 때문이라고 판단된다.

#### 후 기

본 논문은 해양수산부 해양수산개발원의 수산특정연구 “연

안 생태환경공간 복원/조성 기술(1차-2004년)” 과제의 연구결과 중 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

김수삼, 김병일, 한상재, 신현영 (2002). “준설토와 EPS를 혼합한 경량혼합처리토의 강도 특성”, 한국철도학회지, 제5권, 제2호, pp 61~69.

김승도, 박상열 (2001). “폐어망류의 열분해 특성에 대한 연구”, 한국폐기물학회지, 제18권, 제4호, pp 397-409.

김운태, 김홍주, 권용규 (2005). “낙동강 하구역 준설토 재활 용을 위한 시멘트 혼합경량토의 거동특성 분석”, 한국 해양공학회지, 제출심사중.

김주철, 이종규 (2002). “준설토를 이용한 경량기포혼합토 의역학적 특성 연구”, 한국지반공학회 논문집, 제18권, 제4호, pp 309-317.

김홍택, 방운경, 박사원, 윤기웅 (1996). “폐 EPS 조각 혼합경량 토의 토질공학적 특성 연구”, 대한토목학회 학술발표회 논문 집, 토질 및 기초 분야, pp 429~432.

윤길림, 김병탁 (2002). “준설토를 활용한 경량혼합토의 역 학적 특성 연구”, 한국지반공학회 논문집, 제18권, 제4 호, pp 75-83.

윤길림, 김병탁 (2004). “경량기포혼합토의 압축 및 강도 특성 연구”, 한국지반공학회 논문집, 제20권, 제4호, pp 5-13.

윤길림, 채광석, 김병탁, 김대학 (2004). “준설토와 기포를 혼합한 인공지반의 연약지반개량 적용성 평가”, ISSMGE ATC-7 SYMPOSIUM 2004년 9월, pp 139-150.

장용채 (1994). “EPS를 이용한 경량성토공법”, 한국지반공학회 논문집, 제10권, 제3호, pp 149-172.

태평양 Soil(주) (2004). 발생토를 이용한 경량혼합토 공법, 동서 화학공업(주).

Tsuchida, T. (1996). “Development and Application Example of Lightweight Soil Method in Harbor and Airport Work,” The Port and Airport Research Institute.

Tsuchida, T. (1999). “Application of Lightweight Soil Method to Airport Work Using By-product of Construction Work,” The Port and Airport Research Institute.

Tsuchida, T. and Egashira, K. (2004). The Lightweight Treated Soil Method. A.A. Balkemea.

2005년 10월 14일 원고 접수

2005년 12월 7일 최종 수정본 채택