

준설 실트질 점토를 이용한 경량기포혼합토의 압축강도 특성

Compressive Strength Characteristics of Light-weight Air Foamed Soil Using Dredged Silty Soils

김 동 규¹⁾ · 윤 여 원[†] · 윤 길 립²⁾

Donggyu Kim · Yeowon Yoon · Gillim Yoon

Received: January 6th, 2017; Revised: January 13th, 2017; Accepted: March 30th, 2017

ABSTRACT : In this research, laboratory tests were carried out to investigate the engineering properties of Light-Weight Air Foamed Soil (LWAS) based on silty clays with the animal foaming agent and cement. LWAS has been used as an embankment material over soft ground for road and side extension of the existing road. In field, unit weight and flow value is measured right after producing in mixing plant in order to control the quality of LWAS, and laboratory tests are carried out to confirm the quality through compressive strength of LWAS as well. In this research, direct estimation of the specification requirement of strength using flow values in field is the main purpose of the study together with other characteristics. From the test results, it can be seen that flow values increase with the initial water content and unit weight increases with the depth due to material segregation. Compared to the upper specimen, lower end of 60 cm specimen shows about 2 times higher compressive strength. Relationship between flow values and normalized factor presented by Yoon & Kim (2004) was presented. With that relationship, compressive strength can be predicted from flow values in field. From the relationship, the normalized factor was calculated. Thereafter calculated compressive strengths according to the flow values were compared to measured strengths in the laboratory. The higher the initial water content of the dredged soil has, the better relationship between predicted and measured shows. Therefore it is necessary to predict the compressive strength in advance through the relationship between the flow value and the normalized factor to reflect it in the design stage.

Keywords : Light-Weight Air foamed Soil (LWAS), Flow value, Compressive strength, Material segregation, Silty clay

요 지 : 본 연구에서는 실트질 점토와 동물성 기포제 및 시멘트로 제작한 경량기포혼합토의 공학적 특성을 고찰하는 시험을 수행하였다. 현장의 경량기포혼합토는 도로를 위한 연약지반상 성토 및 기존도로의 확장 구간에 성토재료로 사용되어 왔다. 현장에서는 주로 제작 직후의 단위중량과 흐름치를 측정하여 품질관리를 하고 있으며, 실내 시험을 통해 압축강도시험으로 확인한다. 본 연구의 주목적은 경량혼합토의 다른 특성과 흐름치 관계와 더불어 흐름치로부터 시방서에서 요구하는 압축강도를 예측하고자 하는 것이 주요 목적이다. 연구 결과, 준설토의 함수비가 클수록 높은 유동성으로 인해 흐름치가 증가하였고 재료분리로 인해 타설 깊이에 따른 단위중량이 증가하였다. 60cm의 시료 하부는 상부에 비하여 약 2배의 압축강도를 나타내었다. 현장에서의 품질관리는 주로 흐름치에 의존하게 되므로 흐름치와 혼합토의 압축강도를 선행적으로 예측할 수 있도록 Yoon & Kim(2004)이 제시한 정규화계수와 상관관계를 제시함으로써 흐름치로부터 압축강도를 예측할 수 있도록 하였다. 또한, 흐름치와 정규화계수와 관계를 제시하였으며 이관계로부터 정규화계수를 산정하고, 이로부터 계산한 압축강도와 실내시험 압축강도를 비교한 결과, 준설토의 초기함수비가 높을수록 유사한 관계가 나타났다. 따라서, 흐름치와 정규화계수의 상관관계를 통해 압축강도를 사전에 예측하여 설계 단계에서 반영할 필요성이 있다고 판단된다.

주요어 : 경량기포혼합토, 흐름치, 압축강도, 재료 분리, 실트질 점토

1. 서 론

매년 국내외적으로 대규모 해양항만건설 사업과 해상항로 유지 등을 위한 준설공사와 오염해역준설로 인해 해양 준설토 발생량이 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 준설토는 골재 성분을 분리하여 적절한 처리과정을 거쳐 건설용 자재 및 복토재 자재 등으로 재활용되고 나머지 세립토는

폐기물로 간주되어 해양에 투기하거나 매립한다. 이렇게 국내에서는 일반적으로 투기장에 매립하거나 외해 투기를 통해 해양준설토를 처리하고 있는 실정이다. 하지만 근래에는 처리기준을 만족하는 준설 토사만을 해양에 배출할 수 있게 되었으며, 발생 준설토 처리를 위한 대규모 부지를 확보하는데 많은 어려움이 있어 준설토의 재활용에 대한 요구가 증가하고 있다. 최근 국내에서는 해양 준설토를 재활용하기

1) Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Inha University

† Professor, Dept. of Civil Engineering, Inha University (Corresponding Author : yoonyw@inha.ac.kr)

2) Senior Researcher, Development & Ocean Energy Research Division, Korea Institute of Ocean Science & Technology

위해 택지개발, 산업시설의 확충과 항만 등과 같은 기반시설의 신설 및 확장사업에 건설 재료로서 다양한 방법으로 활용되고 있다. 특히, 항만과 공항건설사업 중 대심도 연약지반처리 대책으로 해양 준설토를 경량혼합토로 제작하여 재활용하는 방안이 주목받고 있다.

현장에서 제작되는 경량기포혼합토의 경우, 혼합재료 간 비율뿐만 아니라 각각의 재료 비율 증감에 따른 흐름치 특성 및 강도 특성을 알기 어렵고, 혼합시료의 압축강도 시험 결과는 기준치를 훨씬 상회하는 경우가 대부분이어서 최적의 배합설계라 보기는 어렵다. 또한, 현장에서의 1일 타설 두께는 50~60cm이며 타설 직후 높은 함수비로 인해 경량혼합토의 재료분리현상이 발생하는 것이 확인되었다.

따라서 본 연구에서는 경량기포혼합토의 정규화계수(해양수산부, 2003)와 현장 시공에서 품질관리에 적용되는 흐름치와의 상관관계를 제시하여 혼합토 내의 흐름치로부터 압축강도를 선형적으로 예측하여 이로부터 시방서에 제시된 강도의 만족여부를 알 수 있도록 하는데 목적이 있다. 이 관계로부터 현장에서 경량혼합토 시공성과 밀접하게 관련되는 흐름치가 미달 혹은 초과되는 경우 즉시적으로 시멘트나 기포, 물의 양을 조절할 수 있을 것으로 예상된다. 정규화계수와 압축강도의 관계는 Yoon & Kim(2004)이 제시한 제시한 바 있으며, 흐름치와 정규화계수의 관계를 연구하여 궁극적으로는 흐름치로부터 압축강도를 예측하는 것이 연구목표이다. 또한, 현장에서의 혼합토 타설 깊이에 따른 재료분리와 이에 따른 깊이 간 단위중량 및 강도 변화특성을 고찰하고자 한다. 영종도 시험시공 현장에서 제작한 경량기포혼합토(Yoon, 2016)와 동일한 배합비로 실내에서 경량기포혼합토를 제작하여 현장과 동일한 조건에서 양생시켜 강도 특성을 비교하고, 준설토의 함수비에 따른 경량혼합토의 흐름치 특성, 재료분리에 따른 강도 변화 등 역학적 거동을 고찰하고자 한다.

2. 경량기포혼합토

2.1 경량기포혼합토의 정의 및 적용성

경량혼합토는 일반적인 흙의 구조와 달리 흙의 단위중량을 감소시키고 강도를 증가시킬 목적으로, 추가적인 재료를 흙과 혼합하여 제작한 것이다. 경량혼합토는 함수비를 액성한계 이상으로 조정하여 슬러리화 시킨 준설토, 건설 발생토 등의 원료토와 고화재 및 경량화재료인 기포를 혼합하여 (Fig. 1) 매립과 뒤채움 등의 지반 재료로 사용한다.

기포제는 혼합한 재료의 경량화와 유동성을 가지게 하기 위



Fig. 1. Materials of MWAS

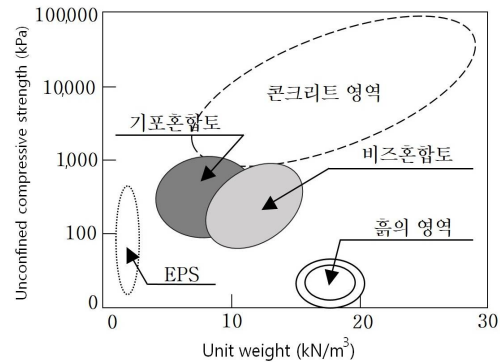


Fig. 2. Unconfined compressive strengths of various material (Song et al., 2008)

한 것으로 일반적으로 물에 희석하여 혼합 전에 발포하는 방식을 사용한다. 경량기포혼합토는 Fig. 2와 같이 6~12 kN/m³ 정도의 단위중량을 갖는 지반재료를 말하며 혼합물은 제작 직후에는 유동성을 나타내나 고화재의 반응에 따라 최종적으로 양질의 토양재료와 같거나 그 이상의 강도특성을 가지는 고화처리토로 되어 하중을 경감할 수 있다(Song et al., 2008). 경량기포혼합토는 사용목적에 따라 시멘트 함유량을 조절하여 필요 강도를 얻을 수 있으며 기포제의 함유량을 조절하여 소요 단위중량을 확보할 수 있는 특징이 있다. 또한, 높은 유동성을 가지고 있기 때문에 좁은 공간이나 복잡한 장소에서도 쉽게 시공이 가능하며 타설 현장까지 펌프 압송이 가능하여 시공에 용이하다.

2.2 경량기포혼합토의 연구 고찰

경량혼합토에 관한 연구는 일본에서 1990년대 시작되었으며 다양한 기술자료가 발표되었다. Tsuchida et al.(1995)의 안벽배면에 적용된 경량혼합토, Jounouchi et al.(2009)은 경량기포혼합토의 적설한랭지 적용성, Watabe et al.(2009)은 경량혼합토의 내구성에 대하여 연구하였으며, 준설토를 이용한 경량기포혼합토의 시공 10년 후의 특성을 분석한 결과 충분한 내구성을 갖는 것으로 알려졌다.

국내에서는 준설토를 이용한 경량기포혼합토 연구로 Kim & Lee(2002), 석분을 이용한 터널뒤채움용 경량기포혼합토 (Ma, 2003), Yoon & Kim(2004)의 강도특성, Yoon & Yoo

(2005)에 의한 양생조건에 따른 특성을 비롯하여 국내 연구자에 의한 다수의 연구가 있다. 원료토에 따른 강도특성(Song et al., 2008), 모래를 원료토로 제작한 Lee et al.(2010)의 인장 특성, Park et al.(2011)에 의한 경량혼합토 공학적 특성, Lee et al.(2012)에 의한 양생온도가 경량혼합토의 강도에 미치는 영향, Park & Vo(2015)에 의한 도로보조기층 재료로서 경량기포혼합토의 특성에 관한 연구가 있다.

최근 경량기포혼합토와 관련한 현장적용을 위한 연구사례로서 Yoon & Kim(2004)이 준설풍토와 식물성 기포제, 보통포틀랜드 시멘트를 혼합하여 제작한 경량기포혼합토의 실투질 준설풍토의 혼합율, 준설풍토의 초기함수비, 시멘트 함유율, 기포의 함유율 등에 의한 압축성과 강도 특성에 대해 실험을 통해 연구하였다. 이 연구에서는 배합조건에 따라 변하는 압축강도를 추정하기 위하여 Fig. 3에 제시한 바와 같이 정규화계수(Normalized Factor)와 경량기포혼합토의 압축강도간의 관계를 제시하였다. 정규화계수는 시멘트 중량비(C_i)에 대한 초기함수비(W_n)와 기포 중량비(A_i) 곱을 계산한 값으로 $NF = (W_n \times A_i) / C_i$ 와 같이 정의된다. 정규화계수가 증가할수록 경량기포혼합토의 압축강도는 비선형적으로 감소한다. Yoon & You(2005)는 수중에 경량기포혼합토를 타설하는 경우, 수압으로 인한 경량기포혼합토 내에 존재하는 기포의 수축에 따른 밀도 증가와 강도특성의 변화를 파악하기 위해 삼축 및 일축압축 강도시험을 통한 연구를 수행하였다.

또한 Hwang et al.(2010)은 도로 성토체로서 현장에 적용된 경량기포혼합토 연구하며 위치별, 구간별로 강도차이가 발생함을 지적하며 타설 및 양생 과정에서 주의하여 관리할 것을 당부하였다. Ahn(2011)은 경량혼합토와 타이어 분말혼합 경량토를 연구한 바 있다. Kang & Shin(2016)은 해성 점토를 이용한 경량기포혼합토의 동결융해 및 수침 조건에 따른 환경적 변화특성에 대한 연구를 수행하였다.

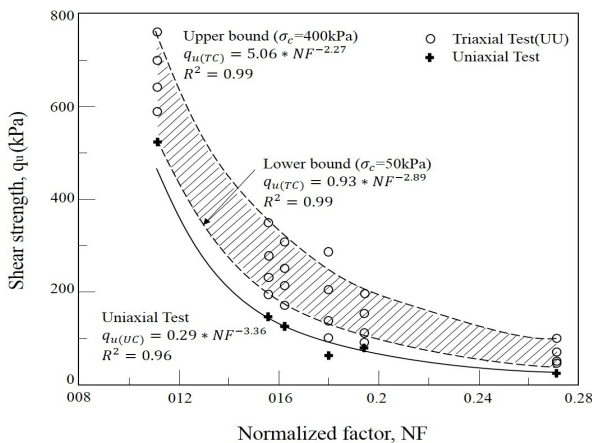


Fig. 3. Variation of shear strength with normalized factor Yoon & Kim (2004)

3. 재료 및 공시체

3.1 경량기포혼합토의 재료

본 연구에 사용된 준설풍토의 기본적인 물리적 특성을 파악하기 위하여 입도분석시험(KS F 2302)과 비중시험(KS F 2308), 액성한계, 소성한계(KS F 2303) 등을 수행하였다. 결과는 Table 1에 나타내었다.

기포제는 동물성 기포제의 한 종류로 H사의 HIFA 독립 기포용 기포제를 사용하였으며, 물과 1:20 비율로 사전에 혼합하여 발포시킨 기포를 사용하였다. 시멘트는 KS L 5201에 규정된 규격에 맞춰진 S사의 보통포틀랜드 시멘트를 이용하여 경량기포혼합토를 제작하였다.

3.2 공시체 제작

본 연구에서는 준설풍토요소기술 현장적용(Yoon, 2016)을 위해 영종도에서 사용한 경량혼합토와 같은 원료토 및 혼합비(준설풍토 70%, 시멘트 15%, 물 15%)로 양생 전 목표 단위중량 $8.4kN/m^3 \pm 20\%$ 로 시료를 제작하였다. 현장 경량기포혼합토는 원료토인 준설풍토와 해수를 교반한 후 토조에 넣고 시멘트를 일정 중량비로 넣어 추가로 교반한 후 기포발생장치를 이용하여 기포를 추가하여 충분히 교반한 후 품질관리를 위해 단위중량과 흐름치를 측정하는 절차를 거친다. 경량기포혼합토의 양생 후 설계 단위중량은 $7kN/m^3$ 이며 제작 직후 단위중량은 수분으로 인해 설계치 대비 10~20% 정도 큰 것을 고려하여 $8.4kN/m^3$ 로 제작하였으며 오차범위 20%를 만족하도록 배합품질을 관리하였다. 흐름치는 Flow 시험을 통해 펌프압송에 필요한 기준 흐름치($200mm \pm 10\%$)를 만족하는지 확인하였다.

본 연구에서는 도로성토재료 및 기준도로 확폭재료로서 현장에서 제작한 경량기포혼합토와 공학적 특성을 비교하고자 현장 현장과 같은 배합비를 사용하여 동일한 단위중량으로 현장 목표 단위중량 $8.4kN/m^3$ 로 제작하였다. 또한, 현장 배합은 정확한 함수비 조절이 힘들며, 배합비는 준설풍토 초기함수비 50% 이상을 기준으로 하기 때문에 매 혼합 때마다 달라지는 준설풍토의 초기함수비에 따른 경량기포혼합토의 거동을 확인할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 준설풍토의 초기함수비에 따른 공학적 특성을 고찰하고자 50%

Table 1. Material properties of dredged soil

Type	Specific gravity	Liquid limit	Plastic limit	USCS	Water content (%)	Passing rate of sieve No.200
Silty clay	2.69	47.57	26.07	CL	70.95	80.35

이상의 함수비인 50%, 75%, 100%로 준설토를 교반하여 경량기포혼합토를 제작하였다.

또한, 타설 높이에 따른 재료분리 가능성 확인을 위해 직경 5cm인 폴리염화비닐 튜브를 이용하였다. 현장에서는 넓은 지역에 경량기포혼합토 1일 타설 높이 50~60cm로 수행되므로 일차원적인 침강이 이루어지는 것으로 가정하고 이를 모사하기 위하여 폴리염화비닐 튜브에 제작한 경량기포혼합토를 높이 55cm가 되도록 담아 공시체를 제작하였다. 교반된 공시체는 폴리염화비닐 튜브에 밀봉하여 흔들 후 수직으로 매달아 7일, 14일, 28일 습윤양생하였으며, 경화된 경량기포혼합토는 상부(0~10cm), 중간부(22.5~32.5cm), 하부(45~55cm)로 나누어 절단하여 시험을 수행하였다. Fig. 4는 실내에서 제작한 경량기포혼합토 공시체이다.

4. 시험결과 및 고찰

4.1 단위중량 및 흐름치

경량기포혼합토는 준설매립요소기술 현장 적용을 위해 실시한 시험시공 현장재료와 동일한 배합비로 제작된 것이며, 현장에서 채취한 경량기포혼합토와 실내에서 제작한 경량기포혼합토의 양생 기간에 따른 단위중량의 변화를 분석한 결과, 현장 제작의 경우 양생 28일 후에는 시방서 기준 단위중량 $7kN/m^3$ 을 만족하며 약 18% 감소하는 것을 알 수 있다. 실내 제작의 경우 15%~19%의 단위중량 감소를 나타내어 차이가 거의 없음 알 수 있다. 현장 경량기포혼합토의 경우 양생 과정에서 단위중량이 수분 증발로 인하여 감소할 것을 감안하여 제작 직후 단위중량을 설계값에 비하여 20% 높게 관리하였으며 이는 현장 및 실내 계측 결과와 비교할 때 타당한 것으로 판단된다.

Fig. 5는 횡축에 타설 깊이, 종축에 단위중량의 변화를 나타내어 깊이에 따른 단위중량의 변화를 나타내었다. 상대적으로

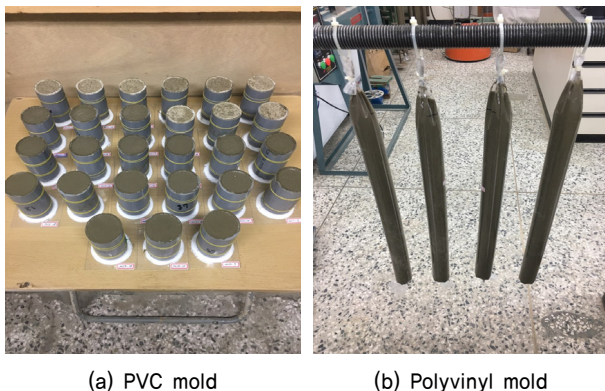


Fig. 4. Specimen of LWAS

낮은 함수비인 50%에서는 유동성이 적어 타설 깊이에 따른 뚜렷한 단위중량의 변화가 나타나지 않았지만, 함수비가 증가함에 따라 타설 깊이가 깊어질수록 단위중량이 증가함을 확인할 수 있다. 함수비 100%일 때, 상부를 기준으로 중간부의 단위중량은 17.4~21.6%, 하부의 단위중량은 45.1~59.4% 증가하였다. 이로부터 초기함수비가 클수록 깊이에 따른 재료분리 현상이 뚜렷하여 단위중량의 변화가 큼을 알 수 있다.

현장에서의 경량기포혼합토의 평균 흐름치는 18.11cm였으며, 시험시공 현장과 배합비를 동일하게 하고 준설토 초기함수비를 50%, 75%, 100%로 사전에 조정하여 실내 제작한 경량기포혼합토의 Flow 시험 결과이다. 초기함수비 50%일 때 평균 흐름치는 15.3cm, 75%일 때 18.7cm, 100%일 때 27.3cm였다. 현장의 준설토 초기함수비가 약 70%인 것을 고려하면, 혼합토는 준설토 초기함수비 75% 이상으로 배합해야 펌프 압송에 필요한 흐름치 20cm를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 6에는 Yoon & Kim(2004)이 제시한 정규화계수와 실내제작 함수비 50, 75, 100%인 경량혼합토의 흐름치와의 상관관계를 나타내었다. 정규화계수(NF)가 증가할수록 흐름치가 증가하는 경향을 보이고 있으며 상관성이 큼을 알

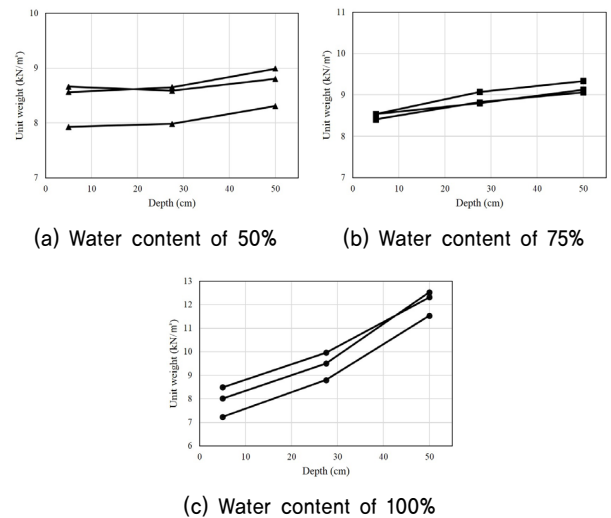


Fig. 5. Unit weight depending on the depth of casting

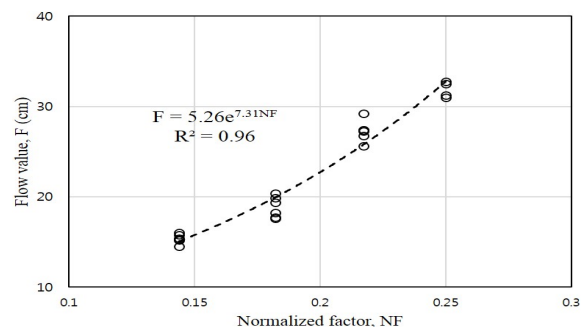


Fig. 6. Variation of flow values with normalized factor, NF

수 있다. 관계식은 Eq. (1)과 같이 나타낼 수 있다. Eq. (1)에서 F 는 흐름치이다.

$$F = 5.26e^{7.31NF} \quad (1)$$

4.2 경량기포혼합토의 압축강도

본 연구에서는 현장에서의 경량기포혼합토와 동일 원료 토와 배합비로 실내에서 제작한 경량기포혼합토의 일축압축강도 특성을 비교하기 위해 일축압축강도 시험(KS F 2314)을 수행하였다.

Table 2는 현장 경량기포혼합토의 구간과 양생 기간에 따른 일축압축강도를 나타내고 있다. 경량기포혼합토의 일축압축강도는 시멘트의 고화효과로 인하여 양생 기간이 경과함에 따라 증가함이 일반적이나, 시료 운반에 따른 교란이나 현장에서의 재료 배합이 대형 토조에서 이루어짐에 따라 균질성 미흡, 양생 과정에서 표면에서의 건조 균열 등의 원인으로 인해 시방서에 제시된 강도를 만족하지만 일부 시험에서는 양생 28일 강도가 감소하는 현상이 나타났다. 현장에서의 목표 흐름치와 설계 단위중량 미충족 시 재배합에 의한 시공을 감안하면 균질성 미흡이 가장 큰 원인으로 판단된다.

Table 3에 실내에서 배합한 경량기포혼합토를 대기 양생을 통한 함수비와 양생기간에 따른 일축압축강도를 나타내었다. 양생 7일 강도와 양생 28일 강도를 비교하였을 때 초기함수비 50%에서는 104.7%, 초기함수비 75%에서는 148.6%, 초기함수비 100%에서는 116.8%(16.8% 증가)로 나타났다. 초기함수비 75%, 100%에서의 일축압축강도는 양생기간에 따른 증가가 뚜렷이 나타나지만 초기함수비 50%일 때는 양생 14일 이후 강도 증가가 부진한 것으로 나타났다. 또한, 준설토의 초기함수비 75%에서의 압축강도의 크기와 증가

율이 가장 높은 것을 확인하였다.

현장에서 타설되는 경량기포혼합토의 양생과정에 따른 재료 분리현상을 분석하기 위해, 영종도 시험시공 현장에서 1일 타설 깊이 55cm를 모사하여 실내에서 직경 5cm의 폴리염화비닐 튜브에 교반된 혼합토를 넣어 혼든 후 붓에 매달아 양생시킨 후 공시체를 제작하여 일축압축강도의 변화를 분석하였다.

Fig. 7에 타설 깊이에 따른 각 구간에서의 일축압축강도의 변화를 나타내었다. 유동성이 낮은 초기함수비 50%에서는 재료 분리 현상은 거의 나타나지 않았으며 낮은 유동성으로 인해 깊이에 따른 재료의 균질성이 확보되지 않아 각 구간마다 상이한 압축강도를 나타내는 것으로 보인다. 하지만 초기함수비 75%와 100%에서는 타설 깊이에 따른 일축압축강도의 변화가 뚜렷하게 나타났다. 초기함수비 75%일 때, 상부를 기준으로 중간부와 하부의 일축압축 강도는 각각 6.6~10.0%, 15.0~24.7% 증가하였다. 또한, 초기함수비 100%의 경우, 상부의 일축압축강도를 기준으로 중간부와 하부의 강도는 각각 39.2~57.5%, 95.6~128.3%로 증가하여 하부에서는 상부의 약 2배 강도를 나타내고 있다.

특히 초기함수비 100%에서는 타설 높이에 따른 재료 분리 현상으로 인해 강도 변화가 크게 발생하며 상부에서의 강도가 매우 작기 때문에, 이를 감안하여 시방서에서의 강도기준을 높이거나 높은 함수비로 제작 및 타설을 하는 경우 상부에서 소요의 강도를 확보할 수 있도록 타설 높이를 제한해야 할 것으로 판단된다. 또한, 초기함수비 75%에서의 일축압축 강도가 가장 크게 측정되는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 기포에 의한 간극과 준설토 및 시멘트의 혼합률을 고려하였을 때, 본 배합비에서 최적함수비는 75%인 것으로 나타났다.

Fig. 8의 곡선은 Yoon & Kim(2004)이 제시한 정규화계수와 압축강도의 관계식을 나타낸 것이며, 기호는 영종도 준설토를 이용하여 제작한 경량기포혼합토의 타설 깊이에 따른 압축강도를 기존의 정규화계수와 압축강도 간의 상관관계와 함께 나타내었다. 이 그림에서, W는 준설토의 초기함수비를 의미하며 T, M, B는 폴리염화비닐로 제작한 길이 55cm의 원통형 공시체에서 상부 0~10cm, 중간부 22.5~32.5cm, 하부 45~55cm를 의미한다. 상대적으로 낮은 함수비 50%로 제작한 경량기포혼합토의 경우, 기존의 정규화계수와 압축강도간의 관계와 잘 맞지 않으며, 이는 같은 정규화계수를 갖더라도 함수비가 낮고 기포량이 많아 연속적인 간극이 형성되어 압축강도가 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

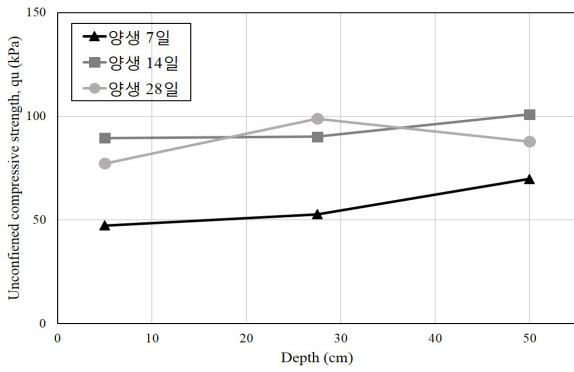
정규화계수 약 0.18 정도인 초기함수비 75%에서는 기존에 제시한 관계와 매우 잘 맞았으며, 정규화계수 약 0.22를 갖는 초기함수비 100%로 제작한 경량기포혼합토는 상부와

Table 2. Unconfined compressive strength of LWAS in Yengjong site (Unit: kN/m^2) (Yoon, 2016)

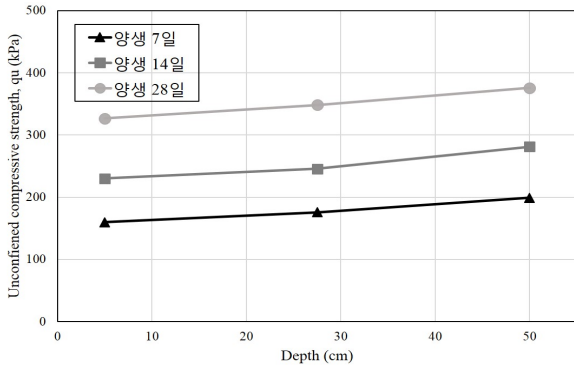
Curing days (days)	Embankment of new road	Widening of existed road
7	383.85	394.95
14	423.73	470.56
28	248.43	229.28

Table 3. Unconfined compressive strength of laboratory mixed LWAS (Unit: kN/m^2)

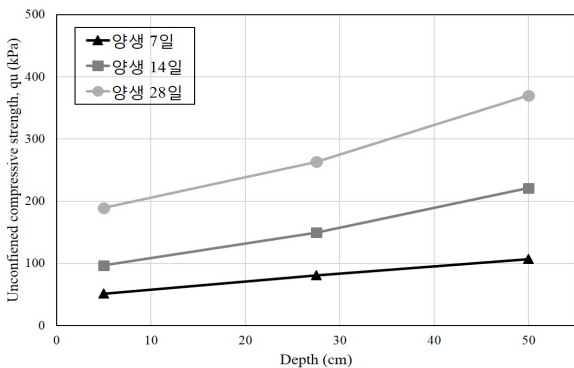
Curing days (days)	Water content 50%	Water content 75%	Water content 100%
7	52.07	136.51	117.00
14	95.67	254.90	172.64
28	106.59	344.18	253.70



(a) Water content of 50%



(b) Water content of 75%



(c) Water content of 100%

Fig. 7. Variation of unconfined compressive strength of LWAS with depth

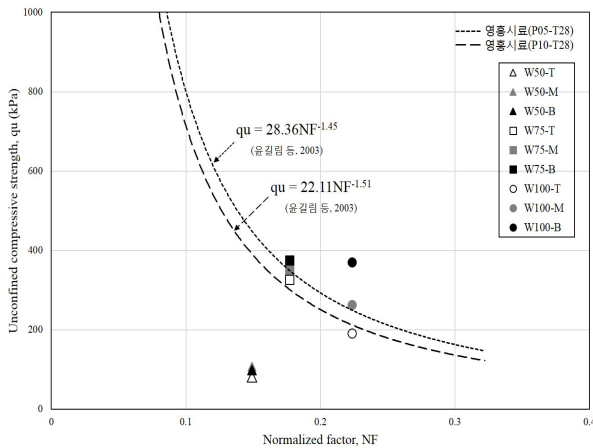


Fig. 8. Variation of compressive strength with normalized factor

중간부의 압축강도는 기존의 관계와 유사하였지만 하부의 경우에는 재료분리로 인한 강도 증가로 다소 상이한 관계를 보였다. 따라서, 정규화계수와 압축강도 간의 관계는 준설토 초기함수비 75%(액성한계의 약 1.5배) 이상의 경우 적용이 가능하였으며, 함수비가 높을수록 재료분리가 크게 나타나 타설깊이가 증가할수록 압축강도가 증가하기 때문에 하부 시료는 기존의 관계식과 차이가 크나 상부와 중간부에서는 기존의 관계와 매우 유사한 것을 확인하였다.

따라서, 현장 1회 타설 깊이를 현재의 50~60cm보다 줄이고 같은 혼합분량일 경우 넓은 지역 타설이 바람직할 것으로 보인다.

5. 결론

본 연구는 현장에서 제작한 경량기포혼합토와 동일 배합 비로 실내에서 경량기포혼합토를 제작하여 공학적 특성을 비교하였다. 이를 위하여 경량기포혼합토의 단위중량과 흐름치를 분석하였으며 일축압축강도 시험을 수행하였다. 이로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 준설토의 초기함수비 50%에서는 재료분리 및 강도 변화가 거의 없었으나, 초기함수비 75% 이상에서는 함수비가 높을수록 재료 분리 현상이 발생하여 타설 깊이에 따라 경량기포혼합토의 단위중량과 압축강도가 증가하였다. 초기함수비 100%의 경우 상부 압축강도를 기준으로 중간부 39.2~57.5%, 하부 95.6~128.3% 증가하였다. 따라서 재료분리 경감을 위해서는 타설깊이를 줄이는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- (2) 또한, 초기함수비가 높을수록 흐름치는 증가하였으며 펌프 압송에 필요한 흐름치를 확보하기 위해서는 준설토 초기함수비를 액성한계의 약 1.5배인 75% 이상으로 배합해야 될 것으로 판단된다. 또한, 정규화계수와 흐름치와의 상관관계를 제시하였으며, 정규화계수가 증가할수록 흐름치가 증가하는 경향을 보였다.
- (3) 흐름치와 정규화계수 간의 상관관계를 제시하였다. 이를 이용하여 흐름치로부터 구한 압축강도와 혼합토에 대한 압축강도를 비교한 결과, 함수비가 낮은 경우에는 상이한 결과를 보였지만, 준설토 초기함수비가 액성한계의 1.5배인 75% 이상의 경우 매우 유사한 관계를 보여 현장관리에 있어 흐름치 적용 가능성을 확인하였다. 특히, 재료분리가 큰 하부를 제외한 상부와 중간부의 압축강도는 매우 밀접한 관계를 보였다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원에서 지원하는 “환경친화적 준설토 확보, 매립 및 운송거리 30km 이상급 이송 기술 개발(과제번호 : 15CCCTI-B064664-04)” 연구성과의 일부와 인하대학교의 재정지원에 의해 수행되었습니다.

References

1. Ahn, G. H. (2011), Engineering characteristics of light-weight soils mixed with air foam and waste tire powder, Master Thesis, Inha University, 75p (in Korean).
2. Hwang, J. H., Ahn, Y. K., Lee, Y. J. and Kim, T. H. (2010), “Characteristics of the expanded road embankment constructed by lightweight air-mixed soils for a short-term”, J. of KSCE, Vol. 30, 4D, pp. 377~386 (in Korean).
3. Jounouchi, K., Wada, Y. and Tateyama, T. (2009), “On the adaptability of air foam-mixed light weight soil construction method to snowy cold area”, National Institute of Civil Engineering - Cold Region, 2009 Research Conference, Tech-52 (in Japanese).
4. Kang, D. G. and Shin, E. C. (2016), “Experimental study on behavior of the lightweight air-foamed soil considering freezing-thawing and soaking conditions”, J. of KGES, Vol. 17, No. 5, pp. 37~46.
5. Kim, Z. C. and Lee, C. K. (2002), “Mechanical characteristics of light-weighted foam soil consisting of dredged soils”, J. of the KGS, Vol. 18, No. 4, pp. 309~317 (in Korean).
6. KS F 2314, Uniaxial Compression Test Method of Soil (in Korean).
7. Lee, M. A., Kim, S. W., Choi, D. K., Park, L. K. and Kim, T. H. (2012), Effect of curing temperature on the strength characteristics of lightweight air-trapped soil, Journal of the Korean Geotechnical Society, Vol. 28, No. 4, pp. 43~53 (in Korean).
8. Lee, Y. J., Kim, S. W., Park, L. K. and Kim T. H. (2010), “Compression and tensile characteristics of lightweight air-trapped soil”, J. of KGS, Vol. 26, No. 9, pp. 59~69 (in Korean).
9. Ma, S. J. (2003), “A study on development of lightweight foam filling material for the voids behind tunnel liner using stone-dust and application to the old tunnel”, J. of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol. 7, No. 4, pp. 139~147 (in Korean).
10. Ministries of Oceans and Fisheries (2003), A study on recycling of dredged soil [IV], pp. 20~50 (in Korean).
11. Park, D. W. and Vo, H. V. (2015), “Evaluation of air-foam stabilized soil of dredged soil waste as a pavement subgrade layer”, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 19, Issue 7, pp. 2091~2097.
12. Park, L. K., Kim, T. H. and Seo, Y. K. (2011), “Engineering characteristics of the Lightweight Air-Mixed Soil (LWS) containing silty marine sediment”, Marine Georesources & Geotechnology, 29:3, pp. 202~217.
13. Song, J. H., Lim, J. C. and Hong, S. W. (2008), “Analysis of compressive strength of lightweight air-mixed soil according to the properties of soil”, J. of KGS, Vol. 24, No. 11, pp. 157~166 (in Korean).
14. Tsuchida, T., Nagai, K., Okumura, T., Kishda, K. and Funada, K. (1995), Mechanical properties of lightweight geo-matrical used for the backfill of quaywalls (Part 1), Proceedings of 31st Conference on Geotechnical Engineering, pp. 2525~2528.
15. Watabe, Y., Tanaka, M., Saegusa, H., Shinsha, H. and Tsuchida, T. (2009), “Long-term properties of airfoam-treated lightweight soil made from dredged clay”, J. of ASTM International, Vol. 6, No. 4, pp. 1~10.
16. Yoon, G. L. (2016), “Eco-friendly dredged soil and its reclamation and transportation more than 30km”, Internal Research Report of Korea Institute of Ocean Science and Technology, pp. 3~10 (in Korean).
17. Yoon, G. L. and Kim, B. T. (2004), “Compressibility and strength characteristics of light-weighted foam soil”, J. of KGS, Vol. 20, No. 4, pp. 5~13 (in Korean).
18. Yoon, G. L. and You, S. K. (2005), “Behaviors of lightweight foamed soils considering underwater curing and water pressure conditions”, J. of KGS, Vol. 21, No. 4, pp. 21~29 (in Korean).