

## 산업부산물을 이용한 비소성 고화제 혼합토의 역학적 특성

윤대호\* · 문경주\*\* · 김운태\*

\*부경대학교 해양공학과

\*\*㈜씨앤디기술단

## Engineering Characteristics of Non-sintering Binder-stabilized Mixture using Industrial By-Products

Dae-Ho Yun\*, Kyoung-Ju Mun\*\* and Yun-Tae Kim\*

\*Department of Ocean Engineering, Pukyong University, Busan, Korea

\*\*CMD Group-technica R&D Center, Wanju-gun, Jeollabuk-do, Korea

**KEY WORDS:** Recycling 재활용, Lightweight soil 경량토, Waste fishing net 폐어망, Bonding effect 본딩 효과

**ABSTRACT:** This study investigated the engineering characteristics of non-sintering binder-stabilized mixtures consisting of different ratios of a hardening agent(3%, 6%, 9%, 12%) for recycling industrial by-products through several series of laboratory tests. The hardening agents consisted of two kinds of non-sintering binders(NSB-1, NSB-2), which were developed by using inter-chemical reactions among blast furnace slag, phospho-gypsum, and an alkali activator. In addition, ordinary Portland cement(OPC) was used to compare the engineering characteristics of the stabilized mixture. An unconfined compressive test showed that the unconfined compressive strength increased with the curing time and mixing ratio. Experimental test results indicated that the 7-day strength of the NSB-1 mixture was similar to that of the OPC mixture. However, its 28-day strength was higher than that of the OPC mixture. The secant module of elasticity showed a range of  $E_{50}=(42-109)q_u$  regardless of the agents. Based on the results of triaxial tests, the cohesion and friction angle increased with the mixing ratio.

### 1. 서 론

연안 및 해양 개발에 대한 관심이 급부상함에 따라 항만건설, 해상항로유지 및 오염해역준설 등 다양한 해양·항만 건설 사업이 진행되고 있다. 특히 부산은 지리적으로 한반도 남동부 끝에 위치하여 동쪽과 남쪽에 바다를 접하고 있어, 해양 산업의 눈부신 발전을 이뤘다. 하지만 이로 인해 매년 대량의 준설토가 발생하고 있으며, 이렇게 발생하는 준설토는 대부분 대규모 투기장에 단순투기 및 매립에만 의존하고 있는 실정이다(Nam and Yun, 2004; Kim et al., 2005; Lim and Kim, 2012; Kang, 2006). 이렇게 단순 투기된 준설토는 연안환경 피해, 어장의 황폐화 및 갯벌의 파괴 등 다양한 영향을 미치게 된다. 또한 오염된 준설토를 그대로 방치할 경우 중금속 용출 등으로 인한 2차 오염이 유발되므로 준설토의 적극적인 재활용이 필요한 실정이다. 준설토 활용에 대한 국외 연구 동향을 살펴보면 북미, 유럽, 일본 등과 같은 선진국은 준설토 재활용에 대한 필요성을 실감하여 단순 매립하여 처리하는 것이 아니라 방파제, 호안 및 안

벽의 시공시 적절하게 사용될 수 있는 신기술 공법을 개발하여 적용하고 있다(Hirasawa et al, 2000; Kikuchi and Yoshino, 1998; Otani et al, 2002; Tang et al, 1996; Tsuchida and Kang, 2002; Tsuchida and Kang, 2003; Tsuchida, 1995; Tsuchida et al., 1996; Tsuchida et al., 2000; US EPA and US Army Corps of Engineers, 2007)하지만 국내의 경우 준설토 재활용은 아직 초보적인 단계이며, 시공 사례 또한 국외에 비해 현저히 낮아 보다 다양한 방법을 통한 연구가 수행될 필요가 있다.

한편 전세계적으로 이상기후로 인한 자연재해 빈도수가 점차 증가하면서 지구 온난화에 대한 인식이 확산되고 있다. 지구온난화는 대기 중의 온실가스 농도가 증가하면서 유발된다. 온실가스에는 이산화탄소, 메탄, 아산화질소, 수소화불화탄소류, 과불화탄소류, 육불화황, 오존, 수증기 등이 있는데 1985년 세계기상기구(World meteorological organization, WMO)와 국제연합환경계획(United nations environment programme, UNEP)이 이산화탄소가 온난화의 주범임을 공식적으로 선언하였다. 이로 인해 전세계적으로 이산화탄소의 배출량을 규제하기 위하여 교

Received 2 October 2013, revised 4 April 2014, accepted 10 April 2014

Corresponding author Yun-Tae Kim: +82-51-629-6587, yuntkim@pknu.ac.kr

© 2014, The Korean Society of Ocean Engineers

토의정서 가입국들에 한해 탄소배출권 거래제도를 도입하였으며, 우리나라의 경우 2015년부터 도입할 예정이다. 지구 온난화의 주범인 이산화탄소의 배출 원인 중 하나로 시멘트 산업을 들 수 있다. 시멘트 생성시 주원료인 석회석의  $\text{CaCO}_3$ 가 고온(900~1000°C)에서 분해되어  $\text{CaO}$ 가 생성되며 이때 이산화탄소가 발생하게 된다. 1톤의 시멘트를 제조하는 경우 약 0.8~1.0톤의 이산화탄소가 배출된다. 이렇게 배출된 이산화탄소는 온실가스 중 55%를 차지하는 이산화탄소의 약 8%를 차지한다(Kim et al., 2012). 따라서 시멘트 산업에서 이산화탄소 저감은 매우 중요하며, 이는 녹색산업 추진을 위한 국가적 차원의 문제이기도 하다. 이런 문제로 인해 천연자원 사용량 감소와 더불어 소성 공정을 거치지 않는 새로운 개념의 비소성 무기계 바인더(Nonsintering inorganic binder)의 개발이 세계적으로 관심이 집중되고 있는 실정이다.

따라서 본 논문에서는 해양환경오염 및 처리 등에 많은 문제를 안고 있는 준설토를 적극적으로 활용하고자 현장에서 발생하는 준설토에 고화제를 혼합하여 성토재나 뒷채움재 등에 사용하기 위한 적합성을 보고자 하였다. 또한 탄소배출의 주범인 시멘트의 사용량을 저감하고자 고로슬래그, 인산석고, 기타 자극제 혼합물을 기본재료로 제조된 비소성 무기 고화제의 지반공학적 개량효과를 검토하였다. 이를 위해 유동성 시험, 일축압축시험, 삼축압축시험 등 다양한 실내시험을 수행하여 비소성 고화제 혼합토의 역학적 특성을 알아보았다. 또한 국내 지반 산업에 많이 활용되고 있는 포틀랜드시멘트에 의한 역학적 특성과 비교하여 준설토의 재활용과 더불어 산업부산물로 제조된 비소성 고화제의 유용성에 대해 평가 및 검토하였다.

## 2. 재료특성 및 시험방법

### 2.1 재료특성

본 연구에서 사용된 준설토(Dredged soil, DS)는 부산신항 배후부지에서 채취된 것으로 기본적인 물리적 특성은 Table 1과 같다. 액성한계는 45.52%, 비중은 2.72이며, 통일분류법(Unified soil classification system, USCS)으로 분류한 결과 실트질 점토인 CL로 나타났다. 산업부산물로 제조된 2종류의 고화제는 고로슬래그 미분말을 기본재료로 인산석고 및 알칼리 복합 활성화제를 이용하여 제작된 것으로서 배합비는 Table 2와 같다. Fig. 1은 산업부산물로 제조된 2종류의 고화제(Non sintering

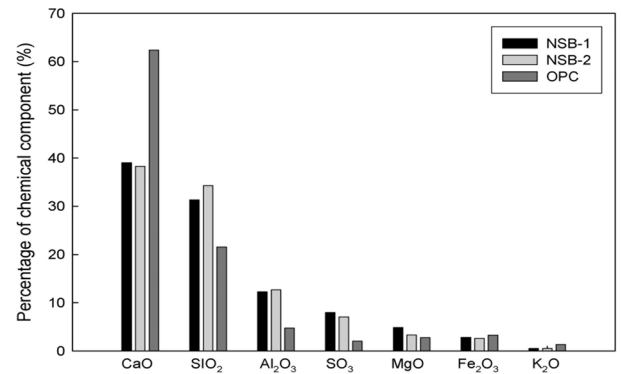
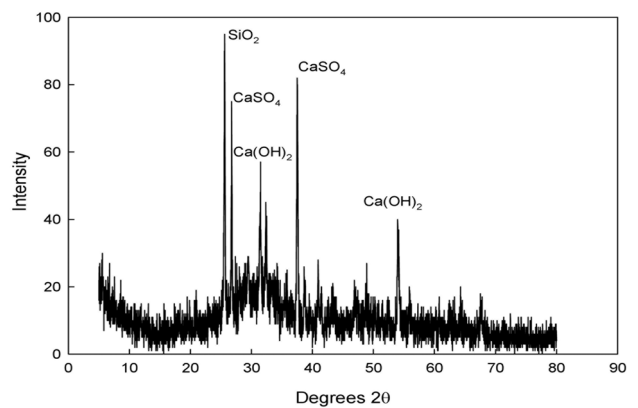
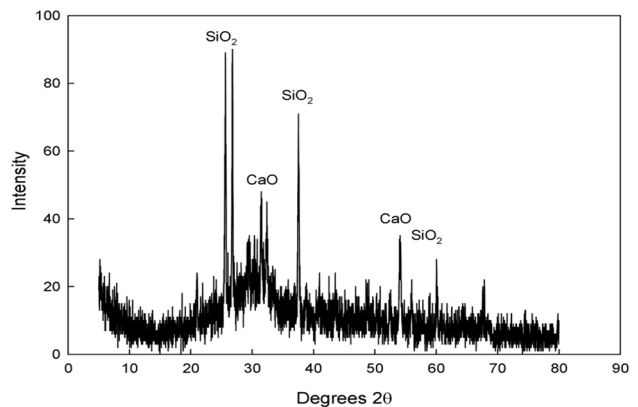


Fig. 1 Result of XRF



(a) NSB-1



(b) NSB-2

Fig. 2 Result of XRD

Table 1 Properties of dredged soil

Initial water content (%)	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Specific gravity	Percent passing No. 200 sieve (%)	USCS
53.06	45.52	24.36	2.72	93	CL

Table 2 Mixed ratio of ingredients of hardening agent

Type	Granulated blast furnace slag	Gypsum	Alkali activator	Total
NSB-1	55	5	40	100
NSB-2	60	5	35	100

binder, NSB-1 & NSB-2)와 포트랜드 시멘트(Ordinary portland cement, OPC)의 XRF(X-ray fluorescence) 분석 결과이다. 주요 구성성분은 Silica(SiO<sub>2</sub>), Alumina(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)와 Lime(CaO)으로 나타났다. SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 CaO는 물과 반응시 포졸란 반응(Pozzolan effect)을 일으키는 구성성분으로 CaO의 경우 OPC에서 크게 나타난 반면 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 SiO<sub>2</sub>의 경우 NSB-1과 NSB-2에서 그 구성성분이 더 크게 나타났다. 고화제로 사용된 NSB-1과 NSB-2의 주요결정상을 알아보기 위해 XRD(X-ray diffraction) 분석을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. NSB-1과 NSB-2 고화제의 주요 결정상은 SiO<sub>2</sub>로 검출되었다.

2.2 시험방법

각 고화제에 따른 혼합토의 역학적 특성을 규명하기 위해 준설토에 다양한 배합비로 고화제를 혼합하여 유동성 시험을 수행하였다. 또한 양생일에 따른 일축압축시험, 삼축압축시험 등 다양한 실내시험을 실시하였다. 준설매립이 완료된 직후의 표면함수비에 대한 범위(An, 2009; Kim et al., 2000; Hong et al., 1999)와 예비시험 결과를 바탕으로 현장조건과 더불어 혼합토의 적정한 유동성을 고려하기 위하여 준설토의 초기 함수비를 175%로 하였다. 시험에 사용된 배합비 및 시험조건을 Table 3에 나타내었다. 고화제 배합비는 건조 준설토 무게를 기준으로 산정되었다. 또한 제작된 모든 공시체는 항온·항습 상태(20±2°C)에서 습윤양생을 실시하였다. 시험시 제작된 공시체는 높이 100mm, 직경 50mm의 원통형 몰드를 이용하였으며, 일축압축시험 및 삼축압축시험시 축 변형률은 0.5%/min으로 하였다. 또한 모든 시험은 축 변형률이 약 11%일 때 중지하였다. 삼축압축시험시 구속압은 50kPa, 100kPa, 150kPa 또는 200kPa이다.

3. 실내시험 결과 및 분석

3.1 유동성 및 단위중량 특성

다양한 고화제가 혼합된 혼합토의 배합비에 따른 유동성 및 단위중량 특성을 알아보기 위해 흐름값 및 단위중량을 측정하였다. 흐름값 측정은 JHS A 313(직경 : 80mm, 높이 : 80mm)의 시험방법을 적용하였다. Fig. 3은 유동성 시험을 통해 구한 흐름값 측정 결과이다. 배합비가 3%에서 12%로 증가함에 따라 흐름값은 감소하였으며 그 값의 범위는 NSB-1 혼합토의 경우 325mm에서 175mm, NSB-2 혼합토의 경우 310mm에서 175mm이다. NSB-1과 NSB-2의 경우 배합비가 약 6~12%정도 혼합될 경우에 저강도 유동성 재료(Controlled low strength material, CLSM)의 기준값인 20±5cm(Japan highway public corporation, 1992)에 만족하는 것으로 판단된다.

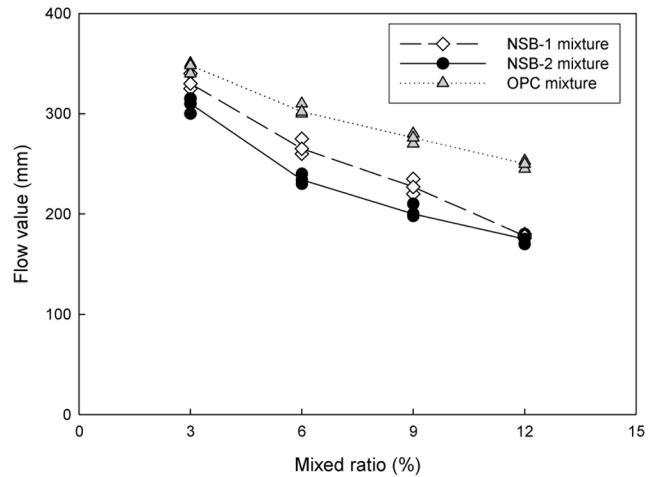


Fig. 3 Result of flow value

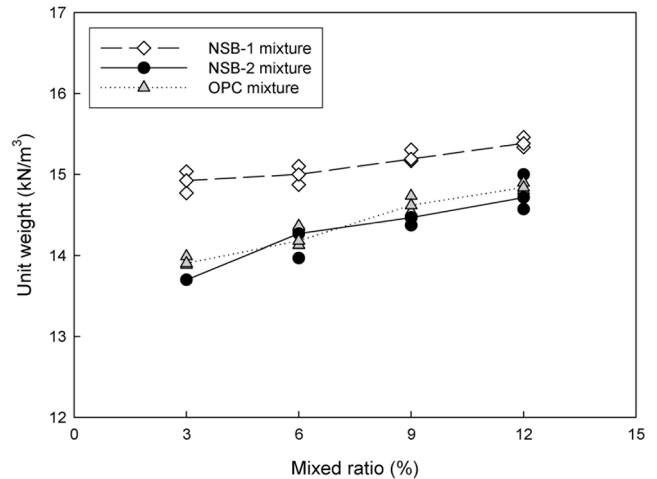


Fig. 4 Variation of unit weight according to mixed ratio

Fig. 4는 각 고화제의 배합비에 따른 흐름값을 측정한 후 소정의 몰드에서 콘크리트 구조물의 설계기준인 28일 양생 후 단위중량을 측정할 결과이다. NSB-1 혼합토의 단위중량은 배합비에 따라 14.8kN/m<sup>3</sup>에서 15.2kN/m<sup>3</sup>, NSB-2 혼합토의 단위중량은 13.6kN/m<sup>3</sup>에서 14.7kN/m<sup>3</sup>이다. 이 값은 기포나 EPS 등 경량성 재료를 혼합한 혼합토의 일반적인 단위중량의 범위인 10kN/m<sup>3</sup>에 비해 다소 무거운 편이지만 일반적인 토사의 단위중량 값인 18~20kN/m<sup>3</sup> 보다는 작은 값이다. 고화제의 배합비가 3%에서 12%로 증가할수록 단위중량은 전체적으로 약 0.5kN/m<sup>3</sup> 가량 증가하였다. NSB-1 혼합토의 단위중량이 NSB-2 혼합토와 OPC 혼합토에 비해 약 0.8kN/m<sup>3</sup> 가량 높게 나타났다.

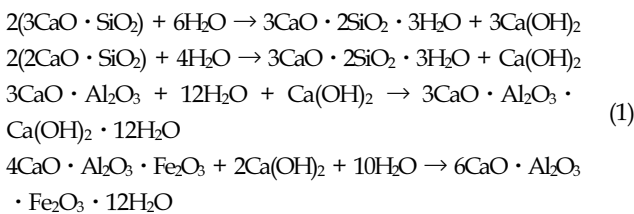
Table 3 Mixing and test conditions of this study

Type	Mixed ratio(%)	Curing time(day)	Confining pressure(kPa)	Initial water content of dredged soil : 175%
NSB-1 mixture	3, 6, 9, 12	7, 14, 28	50, 100, 150	
NSB-2 mixture	3, 6, 9, 12	7, 14, 28	50, 100, 200	
OPC mixture	3, 6, 9, 12	7, 14, 28	50, 100, 200	

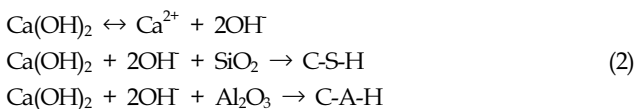
3.2 압축강도 특성

Fig. 5(a)는 각각의 고화제가 12% 혼합된 혼합토의 양생일에 따른 압축강도 특성을 나타낸다. 양생기간에 따른 압축강도시험 결과 양생일이 증가함에 따라 압축강도는 증가하는 경향을 나타냈다. 28일 양생시 압축강도는 OPC 혼합토의 경우 7일 양생시 강도의 약 2.0배, NSB-2 혼합토의 경우 약 2.15배로 유사한 값을 나타내었다. NSB-1 혼합토의 경우 28일 양생시 압축강도는 7일 양생시 압축강도의 약 4배의 값을 나타내었다. NSB-1 혼합토의 경우 7일 및 14일 강도는 OPC 고화제와 NSB-2 고화제에 비해 낮은 값을 나타내었으나, 28일 양생된 혼합토의 강도는 가장 높게 나타나 장기강도의 우수성을 보였다. NSB-1 혼합토의 경우 초기 강도에 비해 양생일이 증가할수록 강도발현이 크게 나타나는 것을 볼 수 있으며, NSB-2 혼합토의 경우 양생일에 따른 압축강도 증가량이 OPC 혼합토와 유사한 것을 알 수 있다.

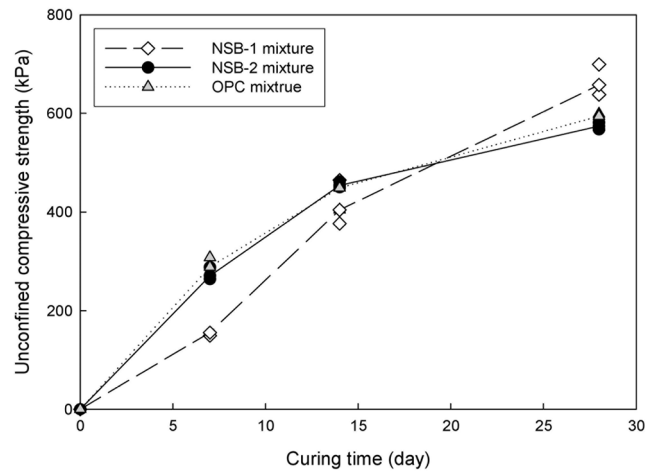
Fig. 5(b)는 OPC, NSB-1 및 NSB-2 고화제의 배합비(3%, 6%, 9%, 12%)에 따른 혼합토의 28일 압축강도를 나타낸다. NSB-2 고화제가 3% 혼합된 혼합토의 경우 공시체의 경화가 잘 이루어지지 있지 않아 일축압축시험이 불가능하였다. 배합비에 따른 강도의 변화를 보면 배합비가 3%, 6%, 9%, 12% 일 때에는 NSB-1 혼합토와 OPC 혼합토의 압축강도가 유사하게 나타났다. 또한 배합비가 3%, 6%, 9% 12%일 때 NSB-2 혼합토의 압축강도는 NSB-1의 압축강도보다 약간 작은 값을 가진다. 압축강도의 증가는 각 고화제에 함유된 석회(CaO), 실리카(SiO<sub>2</sub>)와 알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 성분이 수화 반응(Hydration reaction)과 포졸란 반응(Pozzolan reaction)을 일으키며 고화되어 생성된 것으로 판단된다. 수화 반응은 고화제의 구성 요소(3CaO · SiO<sub>2</sub>, 2CaO · SiO<sub>2</sub>)가 물과 접촉하는 순간부터 진행되며 반응식은 식 (1)에 나타내었다.



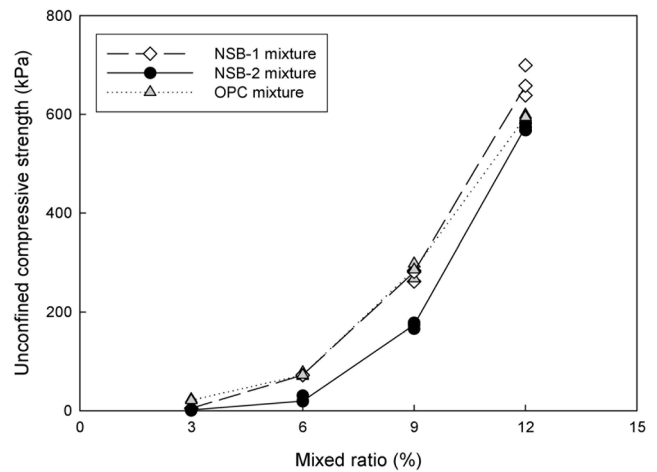
포졸란은 활성이 큰 무정형의 실리카와 알루미늄을 가지는 미세한 분말로서 그 자체는 수경성(Hydraulicity)이 없지만 수분이 존재할 때는 수산화 칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)과 상온에서 서서히 화합·반응하여 C-S-H(CaO · SiO<sub>2</sub> · 2H<sub>2</sub>O), C-A-H(CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> · 2H<sub>2</sub>O)를 형성하는 물질을 말하며, 이와 같은 반응을 포졸란 반응이라 한다. 포졸란 반응식은 식 (2)에 나타내었다(Shin et al., 2011; Xing et al., 2009).



이와 같은 반응을 통해서 규산칼슘수화물(C-S-H, CaO-SiO<sub>2</sub>-



(a) Unconfined compressive strength curing time



(b) Unconfined compressive strength mixed ratio

Fig. 5 Variation of unconfined compressive strength

2H<sub>2</sub>O계 화합물, 알루미늄산 칼슘수화물(C-A-H, CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2H<sub>2</sub>O계 화합물) 등의 새로운 포졸란 반응생성물이 형성된다. 이러한 반응은 비교적 장기간에 걸쳐 다양한 접착성 물질을 생성하며 이에 따라 토립자의 간극이 채워짐으로써 더 조밀한 구조로 된다(Lee et al., 2005; Zhu et al., 2007). 이를 통해 산업부산물기반으로 제작된 고화제는 기존 고화제인 OPC와 비교시 적절한 배합비에서는 비슷한 강도 발현을 보여, 경제적으로 활용가능성이 높은 것으로 판단된다.

3.4 활선탄성계수와 일축압축강도와의 관계

Fig. 6은 고화제에 따른 활선탄성계수(E<sub>50</sub>)과 일축압축강도(q<sub>u</sub>)와의 관계를 나타낸다. 각 고화제에 따라 활선탄성계수와 일축압축강도의 관계를 살펴보면 NSB-1 혼합토의 경우 48~84배, NSB-2 혼합토의 경우 42~109배, OPC 혼합토의 경우 56~93의 범위로서 고화제에 따른 활선탄성계수와 일축압축강도의 관계에 대한 차이는 크게 나타나지 않았다. Tang et al.(1996)은 기포를 혼합한 경량혼합토의 활선탄성계수는 압축강도의 40~260배 정도의 범위를 제시하였으며, Kim et al.(2005)은 낙동강 준

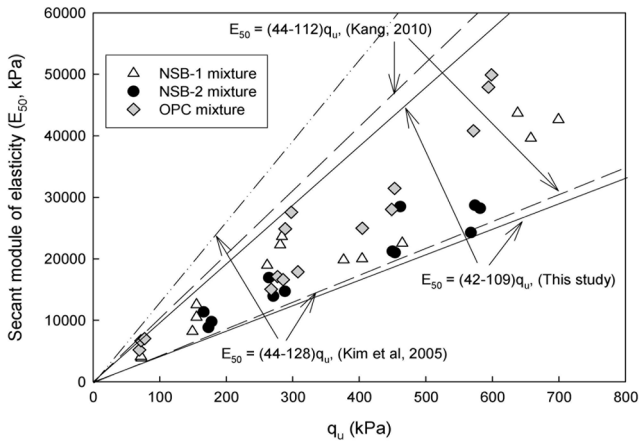
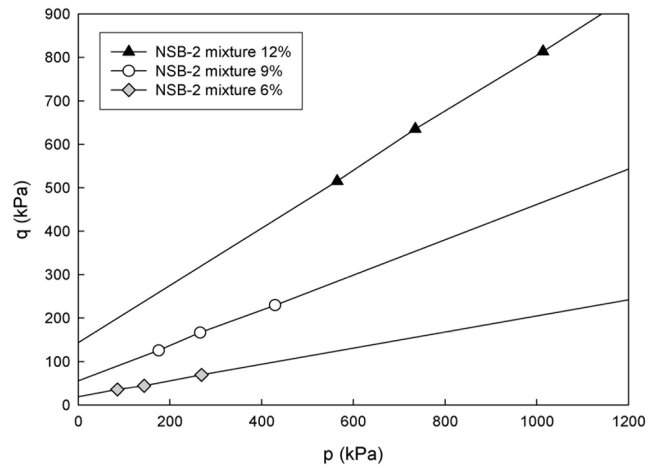


Fig. 6 The relationship between secant modulus and unconfined compressive strength

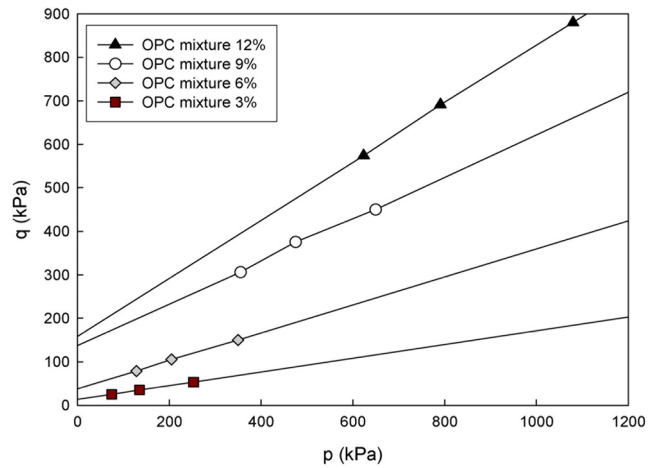
설토에 기포를 혼합한 경량혼합토에 대해 44~128배의 범위를 가진다고 나타난 바 있다. 또한 Kang(2010)은 페타이어 혼합 경량토의 경우 약 44~112배 정도의 범위를 가진다고 제시하였다. 본 연구의 할선탄성계수와 압축강도의 범위 역시 선행 연구자들이 제시한 결과와 유사하게 나타났다.

3.5 전단강도정수

각 고화제에 대한 삼축압축시험 결과를 p-q 도에 나타내어 전단강도를 산정하였으며, 이에 대한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 표 3과 같이 삼축압축시험시 구속압은 50kPa, 100kPa, 150kPa 또는 200kPa이다. 구속압이 증가함에 따라 p-q 값이 증가하였으며, 배합비가 3%에서 12%로 증가할수록 p-q 곡선의 기울기가 증가하였다. NSB-2 혼합토의 경우 배합비가 3%일 때에는 공시체의 경화가 잘 이루어지지 않아 삼축압축시험이 불가능하여 강도를 측정할 수 없었다. p-q 곡선을 통해 전단강도정수를 도출하였다(Fig. 8). 점착력과 내부마찰각 모두 배합비가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다. NSB-1 혼합토와 OPC 혼합토의 경우 배합비가 3%에서 12%로 증가함에 따라 점착력



(b) NSB-2 mixture



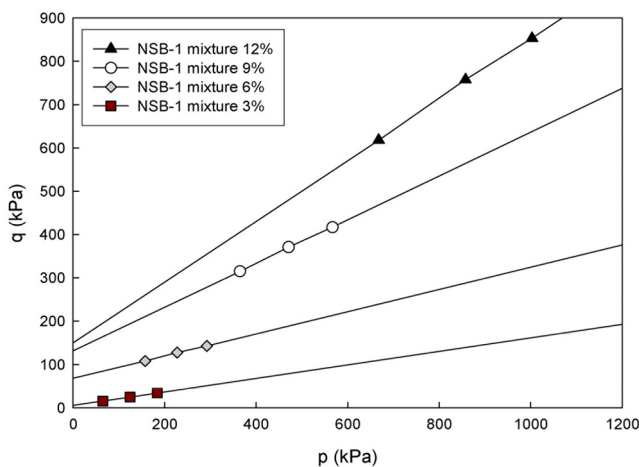
(c) OPC mixture

Fig. 7 p-q curve according to hardening agents

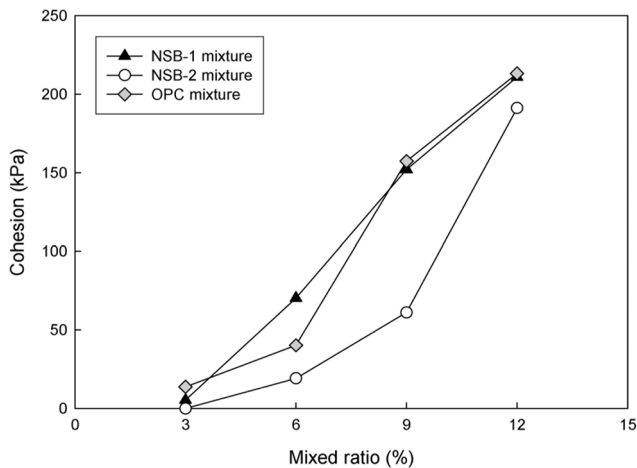
은 각각 5.2kPa에서 210.8kPa과 13.7에서 213.1kPa의 범위를 나타내었다. 내부마찰각은 NSB-1 혼합토의 경우 9.0°에서 44.7°, OPC 혼합토의 경우 9.1°에서 42.0°의 범위를 가진다. NSB-1 혼합토와 OPC 혼합토의 전단강도정수는 비슷한 값을 가진다. 이와 같은 결과는 일축압축시험 결과와 일치한다. NSB-2 혼합토의 경우 배합비가 6%에서 12%로 증가함에 따라 점착력은 19.1kPa에서 191kPa, 내부마찰각은 10°에서 41.5°로 증가하였으나, OPC 혼합토에 비해 작은 값을 가진다. NSB-1 혼합토와 NSB-2 혼합토 모두 시멘트의 개량효과와 유사한 결과가 나타나 산업부산물을 재활용하고, 이산화탄소를 저감하는 측면에서 충분히 활용 가능한 것으로 판단된다.

4. 결 론

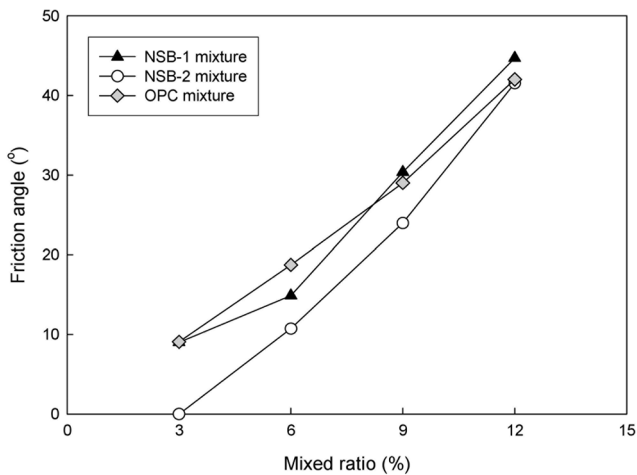
본 연구에서는 준설토의 재활용 및 이산화탄소 배출 저감을 위해 연약지반용 고화제로 개발된 NSB-1과 NSB-2의 적용성을 평가하기 위해 단위중량 분석, 유동성 시험, 일축압축시험, 삼축압축시험 등 다양한 실내시험을 실시하였다. 시멘트 혼합토를



(a) NSB-1 mixture



(a) Cohesion with mixed ratio



(b) Friction angle with mixed ratio

Fig. 8 Variation of strength parameters of various mixtures with different mixing ratios

대조군으로 제작하여 NSB-1 및 NSB-2 혼합토의 역학적 특성을 비교·분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 유동성 시험을 통해 흐름값을 측정된 결과 배합비가 3%에서 12%로 증가함에 따라 흐름값이 감소하였다. NSB-1 혼합토의 흐름값은 325mm~175mm의 범위, NSB-2 혼합토는 310mm~175mm의 범위로서 배합비가 약 6%~12%인 경우 유동성 기준(200±50mm)을 만족하는 값을 보였다. 단위중량은 NSB-1 혼합토의 경우 14.8kN/m<sup>3</sup>~15.2kN/m<sup>3</sup>, NSB-2 혼합토의 경우 13.6kN/m<sup>3</sup>~14.7kN/m<sup>3</sup>로서 기포나 EPS 혼합토에 비해 무거운 편이지만 일반적인 토사의 단위중량 값인 18~20kN/m<sup>3</sup> 보다는 작은 값을 보였다.

(2) 일축압축시험 결과, NSB-1 혼합토와 OPC 혼합토의 28일 압축강도는 거의 유사하게 나타났다. NSB-1 혼합토의 경우 초기 강도 발현은 낮으나 28일 강도가 NSB-2에 비해 크게 나타났다.

(3) 각 고화제에 따른 할선탄성계수(E<sub>50</sub>)와 일축압축강도(q<sub>u</sub>)와의 관계를 보면 NSB-1 혼합토의 경우 48~84배, NSB-2 혼합

토의 경우 42~109배, OPC 혼합토의 경우 56~93의 범위로 선행 연구자들이 제시한 범위 내에 존재한다.

(4) 삼축압축시험 결과, NSB-1 혼합토와 OPC 혼합토의 점착력과 내부마찰각은 비슷한 크기를 가졌다. 또한 NSB-2 혼합토의 점착력과 내부마찰각은 OPC 혼합토에 비해 값이 작았으며, 이와 같은 경향은 일축압축시험 결과와 유사하였다.

## 후 기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(NRF-2011-0029426)과 기초연구사업(NRF-2011-0007023)의 성과이며 이에 깊은 감사사를 드립니다.

## References

- An, J.H., 2009. The Study on the Optimum Design Method by Analyzing the Applied Surface Reinforcement Examples at the Dredged Soil Disposal Area. Master's Thesis, Korea University, 10-63.
- Hirasawa, M., Saeki, S., Kodama, S., Yakuwa, T., Tsuchida, T., 2000. Development of Light-weight Soil using Excavated Sand and Its Application for Harbor Structures in Cold Regions. Coastal Geotechnical Engineering in Practice, Proceedings of IS-Yokohama 2000, 1, 559-604.
- Hong, B.M., Kim, S.K., Kim, S.Y., Kim, S.W., Kim, H.T., Kang, I.K., 1999. A Study on Characteristics of the Desiccation Shrinkage in Reclaimed Hydraulic Fills. Journal of the Korean Geotechnical Society, 15(6), 219-238.
- Japan Highway Public Corporation, 1992. Mortar Flow Test. Japan Highway Public Corporation Test Method, JHS A 313-1992.
- Kang, H.S., 2010. Engineering Properties of Waste Tire Powder-Added Lightweight Soil for Recycling Industrial By-Products. Master's Thesis, Pukyong National University, 41-90.
- Kang, Y.K., 2006. Experimental Study on the Stability of Dredged Soil bed under Cyclic Wave Actions. Journal of Ocean Engineering and Technology, 20(4), 43-49.
- Kikuchi, Y., Yoshino, H., 1998. Permeability of Lightweight Soil Made of Dredged Slurry Mixed with Air Foam. Report of the Port and Harbor Research Institute, 37(1), 33-56.
- Kim, S.Y., Kim, S.W., Kim, H.T., Kang, I.K., 2000. A Study on the Prediction of Increased Strength due to Desiccation Shrinkage and Determination of Deposit Time for Equipments in Dredged Fills. KGS Spring 2000 National Conference, 591-598.
- Kim, Y.S., Yu, G. M., Mun, K.J., 2012. Strength Characteristics

- of Solidified Soil with Hardening Agents made of Industrial By-Products. *Journal of Korean Geo-Environmental Society*, 13(6), 19-26.
- Kim, Y.T., Kwon, Y.K., Kim, H.J., 2005. Comparison of Compressive Behavior Characteristics between Unreinforced and Reinforced Lightweight Soils for Recycling of Dredged Soils. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 19(6), 44-49.
- Lee, Y.S., Cho, J.W., Yoo, J., Kim, S.H., Chung, H.I., 2005. The Reactivity of By-Product Pozzolans and Engineering Properties of Soil Stabilization Agent. *Journal of Korean Solid Wastes Engineering Society*, 22(1), 17-26.
- Lim, B.K., Kim, Y.T., 2012. Development of Strength Prediction Model for Lightweight Soil Using Polynomial Regression Analysis. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 26(2), 39-47.
- Nam, J.N., Yun, J.M., 2004. The Improvement of Surface Layer Using Cement-hardening Agents in Dredged and Reclaimed Marine Clay. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 18(4), 46-51.
- Otani, J., Mukunoki T., Kikuchi Y., 2002, Visualization for Engineering Property of In-Situ Light Weight Soils with Air Foams. *Soils and Foundations*, 4(3), 93-105.
- Shin, E.C., Kang, J.K., Ahn, M.H., 2011, Geoenvironmental Influence on the Recycled Soil from Demolition Concrete Structures for using in Low Landfilling. *Journal of Korean Geo-Environmental Society*, 12(12), 21-30.
- Tang, Y.X., Tsuchida, T., Shirai, A., Ogata, H., Shiozaki, K., 1996. Triaxial Compression Characteristics of Super Geo-Material Cured Underwater. *Proceedings of 31<sup>st</sup> Conference on Geotechnical Engineering*, 2493-2494.
- Tsuchida, T., 1995. Super Geo-Material Project in Coastal Zone. *Proceedings of the International Symposium on Ocean Space Utilization COSU'95*, Yokohama, 22-31.
- Tsuchida, T., Fujisaki, H., Makibuchi, M., Shinsha, H., Nagasaka, Y., Hikosaka, K., 2000. Use of Light-Weight Treated Soils made of Waste Soil in Airport Extension Project. *Journal of Construction Management and Engineering*, JSCE 644(VI-46), 3-23(in Japanese).
- Tsuchida, T., Kang, M.S., 2002, Use of Lightweight Treated Soil Method in Seaport and Airport Construction Projects. *Proceedings for the Nakase Memorial Symposium (Soft Ground Engineering in Coastal Areas, A.A. Balkema)*, Yokosuka, 353-365.
- Tsuchida, T., Kang, M.S., 2003, Case Studies of Lightweight Treated Soil Method in Seaport and Airport Construction Projects. *Proceedings of the 12<sup>th</sup> Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Singapore, 249-252.
- Tsuchida, T., Takeuchi, D., Okumura, T., Kishida, T., 1996. Development of Lightweight Fill from Dredging. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Congress on Environmental Geotechnics*, 1, 415-420.
- US EPA, US Army Corps of Engineers, 2007. Identifying, Planning, and Financing Beneficial use Projects using Dredged Material : Beneficial Use Planning Manual. 5-61.
- Xing, H., Yang, X., Xu, C., Ye, G., 2009. Strength Characteristics and Mechanisms of Salt-Rich Soil-Cement. *Engineering Geology* 103(1), 33-38.
- Zhu, W., Zhang, C.L., Chiu, A.C.F., 2007,. Soil-Water Transfer Mechanism for Solidified Dredged Materials. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 113(5), 588-598.