

친환경 고결제와 저회를 활용한 유동성 복토재의 공학적특성

Engineering Characteristics of CLSM Using Bottom Ash and Eco-friendly Soil Binder

박 기 호¹⁾ · 김 태 연²⁾ · 이 용 수²⁾ · 이 봉 직[†]

Giho Park · Taeyeon Kim · Yongsoo Lee · Bongjik Lee

Received: February 25th, 2019; Revised: March 8th, 2019; Accepted: April 8th, 2019

ABSTRACT : In general, pipe laying works are performed by constructing underground facilities such as pipes and then refilling the rest of the area with sand or soil. However, there are many problems in the compaction process such as difficulties in tampering around the underground facility and low compaction efficiency. Such problems cause deformation and damage to the underground pipes during refilling work and ultimately cause road sinks. Construction methods using CLSM are one of the typical methods to solve these issues, and recently, studies on CLSM using coal ash, which has similar engineering properties as sand, have been actively performed to protect environment and recycle resources. While many studies have been conducted to recycle fly ash in many ways, the demand for recycling bottom ash is increasing as most of the bottom ash is not recycled and reclaimed at ash disposal sites. Therefore, in order to find bottom ash applications using eco-friendly soil binders that are environmentally beneficial and conform with CLSM standards, this study investigated flow characteristics and strength change characteristics of eco-friendly soil binders, weathered granite soil, a typical site-generated soil, bottom ash, and fly ash mixed soil and evaluated the soil pollution to present CLSM application methods using bottom ash.

Keywords : Bottom ash, Weathered granite soil, Eco-friendly soil binder, CLSM

요 지 : 일반적으로 관매설공사는 관 등의 매설물을 시공하고 나머지 부분을 모래나 토사를 이용하여 되메우는 방식으로 진행된다. 그러나 매설물 주변의 다짐이 어렵거나 다짐효율이 떨어지는 등 다짐 시 많은 문제가 발생하고 있으며, 되메우기 공사 시 매설관의 변형과 파손을 유발하여 궁극적으로 도로함몰의 원인으로 발전하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안 중 대표적으로 유동화토를 활용한 공법이 있으며, 최근 환경보호와 자원 재활용의 차원에서 모래와 공학적 성질이 유사한 석탄회를 활용한 유동화토에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 석탄회 중 비회는 많은 연구가 진행되어 여러 방면으로 재활용이 이루어지는 반면, 저회는 대부분 재활용되지 못하고 회처리장에 매립됨에 따라 저회에 대한 재활용 요구가 증가되고 있다. 이에 본 연구는 친환경 고결제를 활용하여 환경적으로 유리하며 유동화토 기준에도 적합한 저회의 활용방안을 모색하기 위하여 친환경 고결제와 대표적인 현장발생 토사인 화강풍화토 및 저회, 비회 혼합토를 대상으로 유동특성, 강도변화 특성 등을 구명하고, 토양오염도 평가를 수행하여 저회를 활용한 유동성 복토재의 활용방안을 제시하였다.

주요어 : 저회, 화강풍화토, 친환경 고결제, CLSM

1. 서 론

일반적으로 관매설공사는 관 등의 매설물을 시공하고 나머지 부분을 모래나 토사를 이용하여 되메우는 방식으로 진행된다. 그러나 매설물 주변의 다짐이 어렵거나 다짐효율이 떨어지는 등 여러 가지 문제가 발생하고 있으며, 도심지에서 수행되고 있는 많은 굴착공사는 통행의 편의를 위해 야간시간대에 작업완료를 목표로 수행되므로 공사의 품질이 저하되는 주요한 원인이 되고 있다. 또한 되메우기 공사 시 매설관이 증첩되어 있거나 관의 접속부와 관하부의 틈새 등

은 다짐효율을 급격히 저하시켜 궁극적으로 도로함몰의 원인으로 발전하게 된다. 이러한 현상은 매설관의 굴착뿐 아니라 지역난방, 가스 및 송유 등의 수송을 위한 수송관은 물론 박스구조물과 옹벽 등과 같이 다짐효율이 좋지 않은 구조물의 되메우기 공사에서도 유사하게 나타난다(Lim, 2009).

이와 같은 문제점을 해결하기 위해 여러 공법이 제시되어 왔으며, 그 중 대표적인 공법으로 유동화토를 활용한 공법이 있다. 유동화토는 모래를 사용한 채움재보다 자기수평성(self-leveling), 자기다짐성(self-compacted), 유동성(flowability), 강도조절, 시공 후 재굴착, 시공비 절감 및 공기의 단축 등

1) Master's Student, Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation

2) Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation

† Professor, Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation (Corresponding Author : bjlee@ut.ac.kr)

많은 장점이 있으며(ACI committee 229, 1994), 최근 환경 보호와 자원 재활용의 차원에서 모래와 공학적 성질이 유사한 석탄회를 활용한 유동성 채움재에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 석탄회는 화력발전소에 따른 산업부산물로 석탄회 중 비회의 재활용을 위한 연구는 지속적으로 수행되어 왔으나, 저회는 대부분 재활용되지 못하고 회처리장에 매립됨에 따라 저회에 대한 재활용 요구가 증가하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 친환경 고결제를 활용하여 환경적으로 유리하며 유동화토 기준에도 적합한 저회의 활용방안을 모색하기 위하여 대표적인 현장발생 토사인 화강풍화토와 저회, 비회 및 친환경 고결제 혼합토를 대상으로 유동특성, 강도변화 특성 등을 구명하고, 토양오염도 평가를 수행하여 저회를 활용한 유동성 복토재의 활용방안을 제시하였다.

2. 유동성 복토재 설계기준

2.1 유동성 복토재 설계기준

ACI committee 229(1994)에서는 유동성 복토재의 압축강도는 8.3MPa 이하로 정의되고 있으나, 최근 향후 재굴착을 고려하여 일축압축강도를 2.1MPa 이하로 요구하고 있으며, TBR(2008)에서는 0.35~1.0MPa로 제시하고 있다. 또한 ASTM D 6103 시험법에 의하여 유동성에 대한 설계기준으로 플로우 값은 보통 150~200mm 범위에서, 저유동 복토재는 150mm 이하, 고유동 복토재의 플로우 값은 200mm 이상을 기준으로 하고 있다.

일본은 유동성 복토재를 “유동성 처리토”라고 명명하여 사용하고 있으며, 유동화 처리토는 일반적으로 건설현장 발생토에 물과 고화제를 혼합하여 슬러리 상태로 제조한다. 일본에서 사용되고 있는 유동화 처리토의 강도는 0.1MPa~0.6MPa까지 다양하게 요구되고 있으며, 매설관의 되메움용은 차도하부의 교통개방 직후 0.14MPa 이상, 28일 이후 0.6MPa 이하의 강도를 요구하며, 소규모 공동충전 목적의 채움재는 0.3MPa 이상, 지하동공 충전 시 0.1MPa 이상의 강도품질을 요구한다. 유동성은 110mm~200mm 이상까지 요구하고 있으며, 200mm 이상의 고유동성을 요구하는 용도로는 지하공간 및 소규모 공동의 충전 등이 있다(Japan Civil Engineering Research Institute, 2007).

2.2 본 연구의 적용기준

본 연구에서는 해외의 다양한 유동성 복토재의 기준을 참고하여 Table 1과 같이 유동성 복토재의 설계기준을 설정

Table 1. CLSM design criteria

Flowability	Greater than 200mm
Compressive strength	Curing 1 day : greater than 0.1MPa
	Curing 7 day : greater than 0.3MPa
	Curing 28 day : less than 0.7MPa

하였다. 유동성 복토재의 사용목적이 대부분 지하 매설물이나 기초의 뒷채움재로 사용되는 것을 감안하여 유동성의 경우 ASTM D 6103에 의거 플로우 값 200mm 이상, 일축압축강도의 경우 향후 재굴착을 고려하여 28일의 일축압축강도를 0.7MPa 이하로 설정하였다. 또한 유동성 복토재의 빠른 경화특성을 만족하기 위해 1일 재령 후 0.1MPa 이상, 7일 재령 후 0.3MPa 이상으로 설정하였다.

3. 실내시험 및 방법

3.1 주요 재료특성

3.1.1 화강풍화토

실험에 사용된 화강풍화토는 인근 현장의 화강풍화토를 이용하였으며, 지반의 물리적특성을 평가하기 위하여 체분석, 비중 및 다짐시험을 실시한 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Characteristics of weathered granite soil

USCS	SW-SM
Specific gravity	2.53
O.M.C. (%)	11.5
$\gamma_{dmax} (kN/m^3)$	18.4

3.1.2 석탄회

실험에 사용된 저회는 남동발전에서 운영하는 영흥화력 발전소에서 발생한 산업부산물로 분쇄기를 사용하여 입경

Table 3. Chemical characteristics of bottom ash and fly ash

Chemical components	Bottom ash (%)	Fly ash (%)
SiO_2	54.6	37.3
Al_2O_3	23.4	23.9
Fe_2O_3	8.6	3.38
MgO	4.97	0.533
CaO	1.5	1.95

Table 4. Physical characteristics of bottom ash and fly ash

	BA	FA
USCS	SP	SW
Specific gravity	2.05	2.21

이 4mm 이하가 되도록 1차 가공한 상태로 사용하였으며, 비회의 경우에는 정제회를 사용하였다.

3.1.3 친환경 고결제

실험에 사용된 친환경 고결제는 시멘트계열의 고결제를 대체하기 위한 재료로 다공성 실리카(SiO_2)와 탄산칼슘($CaCO_3$)을 배합하여 제작된 재료이다. 구성성분이 일반 저발열 시멘트와 유사하며, 초기강도의 발현이 우수하다. 또한 용출 시험 시 고결제가 포함하고 있는 납(P_b)과 시안(CN)이외의 유해물질이 검출되지 않으며, 시멘트에 비해 낮은 pH지수를 갖는 장점이 있다(Oh et al., 2016).

Table 5. Physical and chemical characteristics of eco-friendly soil binder

Chemical component (%)		Physical characteristics		
SiO_2	20.07	Specific gravity		3.08
Al_2O_3	5.21	Blaine (cm^2/g)		120
Fe_2O_3	2.96	Hydration heat (cal/g)		14
MgO	2.67	Setting time (min)	Initial	50
CaO	63.08			
SO_3	2.98		Final	75
IG-LOSS	2.67			

3.2 실험방법

3.2.1 배합비

각 사용재료의 배합비에 따른 특성을 파악하기 위하여 Table 6과 같이 친환경 고결제를 결합재로 하는 유동성 복토재 시료를 조성하였으며, 저회와 화강풍화토의 혼합비(저회 : 화강풍화토(중량비(%)) = 25 : 75, 50 : 50, 75 : 25)와 저회의 일부를 비회로 치환하는 비회치환율(비회/저회(중량비(%)) = 0, 10, 20) 및 친환경 고결제 첨가량(친환경 고결제 첨가량/총 중량(%) = 3, 5, 7)을 주요변수로 하였다.

Table 6. Summary of CLSM mixing design

Mixture type	Mixing ratio		Fly ash replacement rate (wt, %)	Eco-friendly soil binder (wt, %)	Curing time (days)
	Bottom ash (wt, %)	Weathered granite soil (wt, %)			
BA75WGS25	75	25	0	3, 5, 7	1, 7, 28
BA75WGS25 FA10			10		
BA75WGS25 FA20			20		
BA50WGS50	50	50	0		
BA50WGS50 FA10			10		
BA50WGS50 FA20			20		
BA25WGS75	25	75	0		
BA25WGS75 FA10			10		
BA25WGS75 FA20			20		

3.2.2 유동성시험

혼합비에 따른 유동성 복토재의 유동성을 파악하기 위하여 ACI committee 229에서 규정하고 있는 ASTM D 6103 (2004) 방법에 의거하여 시험을 진행하였다. 가로 600mm, 세로 600mm의 비흡수성 판위에 직경 75mm, 높이 150mm의 원통을 올리고 혼합한 유동성 복토재 시료를 무다짐으로 채운 후 2~4초에 걸쳐 원형몰드를 수직으로 올렸을 때 흘러나온 시료의 흐름직경의 가장 큰 방향과 직각 방향을 측정하여 두 지름의 평균값을 플로우 값으로 하였다. 또한 시험은 함수비를 변화시켜가며 진행하였으며, 각 함수비에서 3회씩 시험을 실시하였고, 플로우 양 지름의 측정 차이가 10% 이상인 경우에는 재시험을 실시하였으며, 시험종료 후 시료를 채취하여 함수비를 측정하였다.

3.2.3 단위중량시험

각각의 혼합비에 따른 단위중량을 측정하기 위해 배합조건에 따라 시료를 조성 후 28일 동안 양생하고, 경화된 각 시료의 중량과 부피를 측정하여 단위중량을 평가하였다.

3.2.4 일축압축시험

배합조건에 따라 혼합 후 양생 1일 후 탈형하여 재령일까지 기건양생을 실시하였다. 시료 제작 시 공시체의 크기에 따른 강도의 영향을 배제하기 위하여 직경과 높이의 비율을 유지하여 높이가 20cm이고 내경이 10cm인 몰드를 사용하여 제작하였다.

공시체의 압축은 축방향으로 일정한 속도로 압축을 가하는 변형률제어법을 사용하였으며, 1분간 공시체의 높이의 1%의 압축이 일어나도록 재하속도를 유지하며, 일정 변형률마다 축하중을 측정하면서 공시체의 파괴가 발생할 때까지 시험을 실시하였다.

3.2.5 중금속 검출시험

유동성 복토재의 중금속(*As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn*) 검출여부를 파악하기 위해 재령 28일, 친환경 고결제 첨가량이 5%인 BA50WGS50 시료를 대상으로 분석을 실시하였다. 플라즈마 파워는 2.0kW, 냉각수 유속은 15L/min, 분무가스 유속은 1.0L/min, 압력은 22kPa로 고정시킨 후 분석하였으며, 표준첨가법을 사용하여 시료에 포함된 불순물에 의한 간섭효과를 배제하였다(Koh et al., 2010).

4. 실험결과 및 분석

4.1 유동성시험 결과 및 분석

유동성 복토재의 유동특성을 파악하기 위해 배합조건에 따라 저회와 화강풍화토를 혼합한 시료를 조성 후 함수비를 변화시켜가며 실험을 진행하였다. Fig. 1은 유동성 실험결과를 나타낸 것으로 모든 경우에서 함수비가 증가할수록 플로우 값은 증가하는 것으로 나타났으며, 유동성 최소기준(flow 200mm)을 만족하는 함수비는 BA75WGS25의 경우에는 43.23%, BA50WGS50의 경우에는 37.00%, BA25WGS75의 경우에는 30.42%로 저회의 혼합비가 증가할수록 유동성 기준을 만족하기 위한 함수비가 증가함을 알 수 있다. 이는 골재로 사용된 저회가 다공성 구조인 미연소탄소에 의해 비표면적이 크고, 흡수성이 좋은 산화칼슘 성분을 포함하고 있기 때문이라 판단된다.

또한, BA50WGS50, BA25WGS75의 경우 함수비가 증가할수록 플로우 값은 비교적 일정하게 증가하는 경향으로 나타났으나, BA75WGS25의 경우 함수비 증가에 따른 플로우 값의 변화는 일정한 경향을 보이지 않았다. 따라서 저회의 혼합비가 75% 이상인 경우 유동성에 대한 품질관리가 어려워 유동화토로 사용하기에 적합하지 않은 것으로 판단된다.

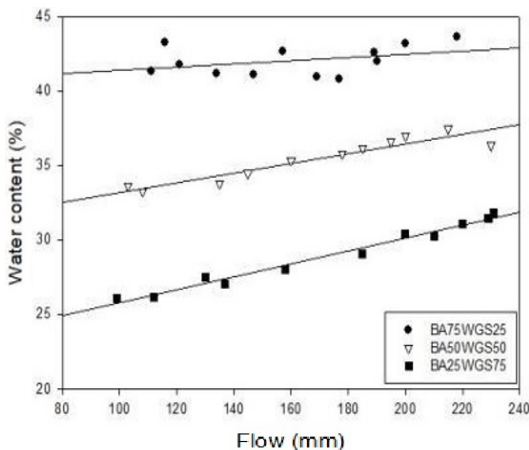


Fig. 1. Flow test results according to the bottom ash mixing ratio

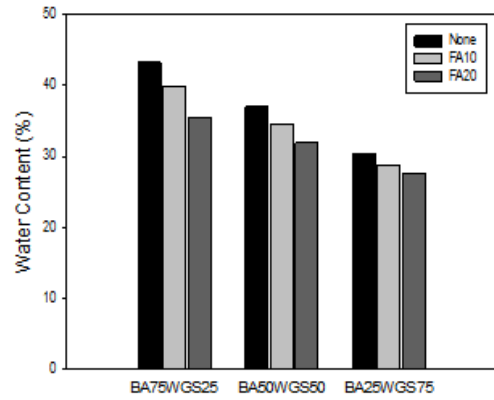


Fig. 2. Flow test results according to the fly ash replacement ratio

Fig. 2는 저회와 화강풍화토를 혼합한 시료를 대상으로 비회치환율에 따른 유동성 실험결과로 비회치환율이 10%씩 증가함에 따라 유동성 최소기준에 필요한 함수비는 BA75WGS25의 경우 약 4%, BA50WGS50의 경우 약 3%, BA25WGS75의 경우에는 약 1%씩 감소하는 경향을 보였다. 이는 부분적으로 저회를 비회로 치환함으로써 상대적으로 저회의 양이 감소하고 골재로 사용된 저회와 화강풍화토보다 작은 입경과 구형형태의 입자형성을 갖는 비회의 물리적 특성에 의한 것으로 판단된다.

4.2 단위중량시험 결과 및 분석

재령 28일 후 유동성 복토재의 배합비에 따른 단위중량 측정결과는 Fig. 3과 같이 저회의 혼합율이 증가할수록 단위중량은 감소하였으며, 비회치환율과 친환경 고결제의 첨가량이 증가할수록 단위중량은 증가하는 경향을 보였다. 특히, 친환경 고결제에 의한 단위중량의 변화는 저회의 혼합율이 높을수록 더욱 뚜렷하게 나타났다.

배합조건에 따라 단위중량은 $11.20 \sim 14.53 \text{ kN/m}^3$ 으로 일

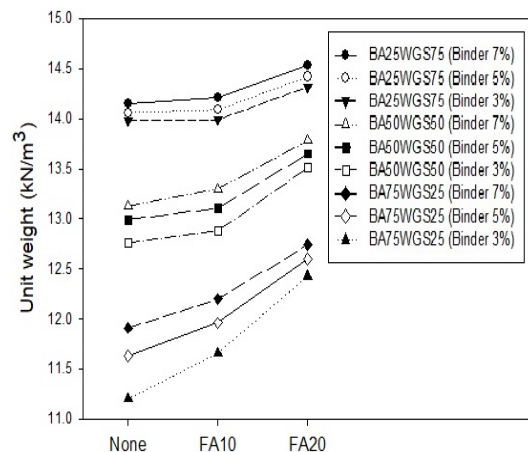


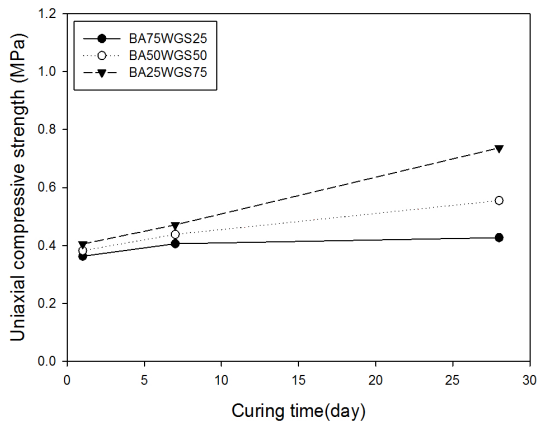
Fig. 3. CLSM unit weight according to the mixing ratio

반적으로 사용되는 복토재에 비해 낮은 단위중량으로 저회를 활용한 유동성 복토재 활용 시 토압의 감소효과도 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

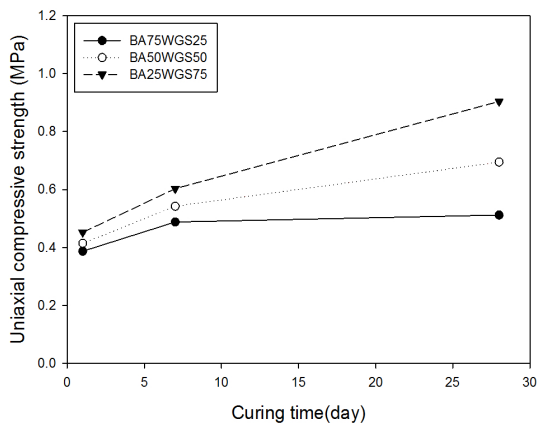
4.3 일축압축강도시험 결과 및 분석

4.3.1 저회혼합비와 재령에 따른 강도변화 특성

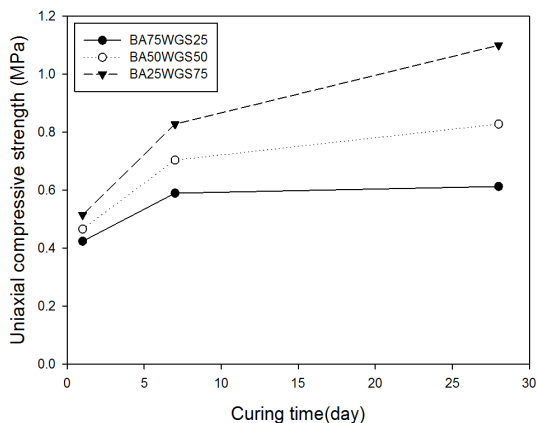
저회혼합비 변화와 재령일에 따른 일축압축강도 시험결



(a) When 3% soil binder is added



(b) When 5% soil binder is added



(c) When 7% soil binder is added

Fig. 4. Uniaxial compression strength according to the bottom ash mixing ratio

과 모든 경우에서 재령 7일의 강도기준인 0.3MPa 이상의 일축압축강도를 보였으나, 재령 28일에서 BA25WGS75에 친환경 고결제를 첨가한 모든 경우와 BA50WGS50에 친환경 고결제를 7% 첨가한 경우가 재령 28일의 강도기준인 0.7MPa를 상회하는 것으로 나타났다. 또한 친환경 고결제의 첨가량이 증가함에 따라 일축압축강도는 증가하는 것으로 나타났으나, 동일한 고결제 첨가량에서 저회의 혼합비가 증가할수록 강도는 저하되는 것으로 나타났다.

재령일에 따른 강도증가를 역시 저회의 혼합비가 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 특히 재령 7일 이후 강도증가는 급격하게 둔화됨을 알 수 있었다. 이러한 현상은 고결제의 첨가량이 증가할수록 더욱 크게 나타났으며, 이는 저회가 함유하고 있는 삼산화황에 의해 발생된 황산염이 수화반응을 방해하기 때문으로 판단된다(Irassar et al., 2005).

4.3.2 비회치환율에 따른 강도변화 특성

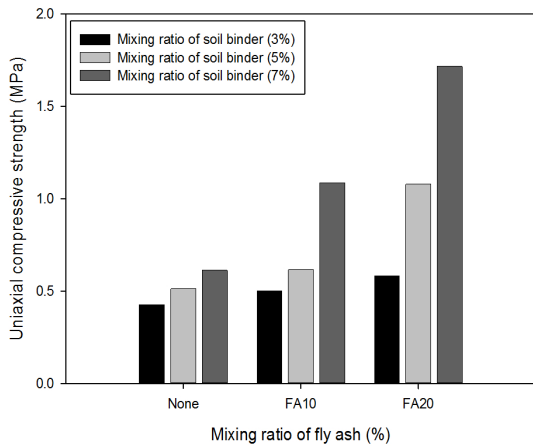
동일한 저회혼합비에서 비회치환율에 따른 재령 28일에서의 일축압축강도는 Fig. 5와 같이 저회에 비회를 첨가한 BA75WGS25 및 BA50WGS50의 일부 경우와 BA25WGS75의 모든 경우에서 재령 28일의 강도기준인 0.7MPa를 상회하는 것으로 나타났다.

또한 저회의 혼합비와 친환경 고결제 첨가량이 동일한 경우 비회치환율이 증가할수록 일축압축강도는 증가하는 것으로 나타났으며, 친환경 고결제의 첨가량과 저회의 혼합비가 높을수록 이러한 경향은 더욱 뚜렷하게 나타났다. 이는 저회를 비회로 치환함으로써 수화반응을 방해하는 황산염의 생성이 감소함과 동시에 비회 첨가에 의해 수화 반응과 축중합 반응이 더욱 활성화되었기 때문이라 판단된다(Lim et al., 2016).

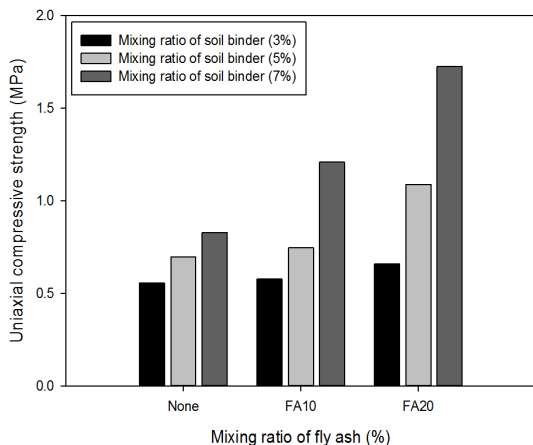
4.4 최적배합비

유동성 복토재 기준에 적합한 배합비와 고결제의 적정 첨가량을 결정하기 위한 일축압축강도 평가결과, 모든 경우에서 재령 1일의 일축압축강도 기준인 0.1MPa 이상을 만족하는 것으로 나타났으며, 재령 7일에서는 BA50WGS50과 BA25WGS75에 친환경 고결제를 7% 첨가한 경우 유동성 복토재 기준 최대강도인 0.7MPa를 상회하는 것으로 나타났다. 또한 재령 28일에서는 BA25WGS75의 모든 경우와 저회를 비회로 치환한 BA75WGS25 및 BA50WGS50의 일부 경우에서 기준치를 상회하는 것으로 나타났다.

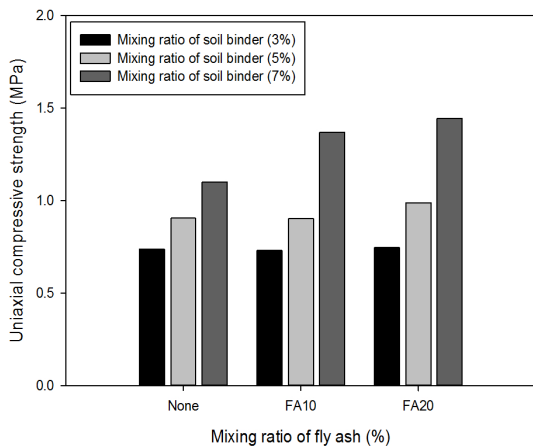
이상의 결과를 종합하면 강도기준으로 유동성 복토재로 활용하기 위한 저회와 화강풍화토의 적정 혼합비는 75 : 25와 50 : 50이며, 또한 경제성과 강도증가 및 강도발현의



(a) BA75WGS25



(b) BA50WGS50



(c) BA25WGS75

Fig. 5. Uniaxial compression strength according to the fly ash replacement ratio

범위를 고려할 때 친환경 고결제는 5%, 비회치환율은 0~20%로 배합하는 것이 적정한 것으로 판단된다. 그러나 유동성 실험결과 BA75WGS25의 경우 함수비 증가에 따른 플로우 값이 일정한 경향을 보이지 않아 유동성에 대한 품질관리가 어려우므로 유동성 복토재로 활용하기에는 다소 부적합한 것으로 판단된다.

따라서 저회의 재활용율을 고려한 유동성 복토재의 최적 배합비는 저회와 화강풍화토의 혼합비를 50 : 50으로 하고 친환경 고결제의 혼합율이 5%인 경우 가장 적합하다고 판단된다.

4.5 중금속검출 시험결과 및 분석

유동성 복토재 사용 후 발생할 수 있는 중금속에 의한 오염 가능성을 평가하여 토양환경기준법에 규정된 토양 환경 우려기준 및 토양환경대책기준과 비교 평가한 결과는 Table 7과 같이 토양오염 기준치 이내인 것으로 나타났다.

Table 7. Result of Heavy metals leaching test

Elements	Concerned criteria (mg/kg)		BA50WGS50 (soil binder 5%)
	A	B	
As	6	20	N.D.
Cd	1.5	12	N.D.
Cu	50	200	7.6
Cr	4	12	10.6
Ni	40	160	11.3
Pb	100	400	5.01
Zn	300	800	20.4

5. 결 론

산업부산물 중 저회의 활용방안을 모색하고자 저회와 화강풍화토 혼합토에 친환경 고결제, 비회를 첨가하여 친환경적이며 유동화토 기준에 적합한 최적의 배합비를 도출하기 위하여 저회와 화강풍화토의 혼합비, 비회치환율 및 친환경 고결제의 첨가량에 따른 유동성 복토재의 공학적특성과 환경충격성 평가를 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 유동성 복토재의 배합비별 유동성 평가결과, 모든 배합비에서 함수비가 증가할수록 플로우 값은 증가하는 것으로 나타났으며, 최소 유동성 기준을 만족하는 함수비는 BA75WGS25는 43.23%, BA50WGS50은 37.00%, BA25WGS75의 경우에는 30.42%로 나타나, 저회의 혼합비가 증가할수록 최소 유동성 기준을 만족하기 위한 함수비가 증가함을 알 수 있다. 그러나 BA75WGS25의 경우 함수비 증가에 따른 플로우 값이 일정한 경향을 보이지 않음에 따라 저회의 혼합율이 75%인 경우에는 유동성에 대한 품질관리가 어려워 유동성 복토재로 적합하지 않은 것으로 판단된다.
- (2) 배합비에 따른 유동성 복토재의 일축압축강도 평가결

과, 모든 경우에서 재령 7일의 강도기준인 0.3MPa 이상의 일축압축강도를 보였으나, 일부 경우에서 28일의 강도기준인 0.7MPa를 상회하는 것으로 나타났다. 또한 친환경 고결제의 첨가량과 비회치환율이 증가할수록 일축압축강도는 증가함을 알 수 있다.

- (3) 유동성 복토재의 품질관리, 강도발현 범위, 강도증가율, 경제성 및 저회의 재활용량 등을 고려할 때, 유동화토로 활용하기 위한 저회와 화강풍화토의 적정 혼합비는 중량비 기준으로 50 : 50이며, 친환경 고결제 첨가량은 5%인 경우가 가장 적합한 것으로 판단된다.
- (4) 최적배합비로 제작된 유동성 복토재의 토양오염도 분석을 실시하여 저회와 화강풍화토를 활용한 유동성 복토재 사용 후 발생할 수 있는 오염 가능성을 평가한 결과, 모든 항목에서 기준치 이내인 것으로 나타났다.

References

1. ACI Committee 229 (1994), Controlled Low Strength Materials (CLSM), American Concrete Insitute, 229R-2, pp. 1~12.
2. ASTM D 6103 (2004), Standard test method for flow consistency of controlled low strength material (CLSM), West conshohocken, PA.
3. Irassar, E. F., Bonavetti, V. L., Trezza, M. A. and Gonzalez, M. A. (2005), Thaumaside formation in limestone filler cements exposed to sodium sulphate solution at 20°C, Cement and Concrete Composites, Vol. 27, No. 1, pp. 77~84.
4. Japan Civil Engineering Research Institute (2007), Technical Notes of Fluidization Surplus Soil.
5. Koh, T. H., Lee, S. G., Shin, M. H., Kim, B. S., Lee, J. K. and Lee, T. Y. (2010), Evaluation for contents of contaminants and leaching characteristics of bottom ash, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 11, No. 6, pp. 77~83 (In Korean).
6. Lim, S. H., Choo, H. W., Lee, W. J. and Lee, C. H. (2016), The Characterization of Controlled Low Strength Material (CLSM) using high CaO fly ash without chemical alkaline activator, Journal of the Korean Geo-Environmental Society, Vol. 17, No. 12, pp. 17~26 (In Korean).
7. Lim, Y. J. and Seo, C. B. (2009), Evaluation of engineering properties of CLSM using weathered granite soils, Journal of Disaster Management, Vol. 9, No. 3, pp. 19~26 (In Korean).
8. Oh, S. W., Kim, H. S., Bang, S. T. and JO, H. D. (2016), Evaluation on the effect of soil pavement mixing friendly-soil binder, Annual Conference of Korean Geo-Environmental Society, Vol. 17, No. 3, pp. 18~25 (In Korean).