

# 토양의 다짐도와 재령기간에 따른 E.S.B. 혼합토의 일축압축강도특성

## Unconfined Compressive Strength Characteristics of E.S.B. Mixed Soil Based on Soil Compactness and Curing Period

오 세 옥<sup>1)</sup> · 김 흥 석<sup>2)</sup> · 방 성 택<sup>†</sup>

Sewook Oh · Hongseok Kim · Seongtaek Bang

Received: April 2<sup>nd</sup>, 2019; Revised: April 9<sup>th</sup>, 2019; Accepted: April 29<sup>th</sup>, 2019

**ABSTRACT** : This study aims to provide basic data for soil packaging differing in accordance with the strength characteristics of mixed soil, using E.S.B. (Eco Soil Binder), an eco-friendly hardening agent, based on the type of soil. The soil used in this study is weathered granite soil readily collected in and around Korea, and is classified into SW, SP and SC according to soil classification systems. The test piece for the unconfined compressive strength test has dimensions of 50 mm in diameter and 100 mm in height, with the mix ratio of E.S.B. proportional to the weight of mixed soil changed from 5% to 10%, 15%, 20%, 25%, and 30%, where compactness of 90% and 100% were applied according to each condition to analyze the unconfined compressive strength characteristics at material ages of 3, 7, and 28 days. Also, the ratio of soil packaging standard strength and unconfined compressive strength was calculated to determine the optimal E.S.B. mix ratio, whereby the field applicability of the unconfined compressive strength using the estimation equation of ACI209R was evaluated.

**Keywords** : Unconfined compressive strength, Compactness, Unconfined compressive strength ratio, E.S.B. mixed soil

**요 지** : 본 연구에서는 토양의 종류에 따라 친환경고화제인 E.S.B.(Eco Soil Binder)를 사용하여 혼합토의 강도특성과 활용목적에 따른 흙 포장의 기초자료를 제공하고자 한다. 연구에 사용된 토양은 우리나라 주변에서 흔히 채취되는 화강풍화토로 토질분류법에 의한 SW, SP, SC로 구분된다. 일축압축강도 시험을 위한 공시체는 지름 50mm, 높이 100mm의 크기로 혼합토 중량대비 E.S.B.의 혼합비율을 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%로 변화시키고 각 조건에 따라 다짐도를 90%, 100%를 적용하고 재령기간 3, 7, 28일에 따른 일축압축강도 특성을 분석하였다. 또한 흙 포장 기준강도와 일축압축강도의 강도비를 산정하여 최적의 E.S.B.혼합비율을 결정하고 ACI209R의 추정식을 활용한 일축압축강도의 현장 적용성을 평가하였다.

**주요어** : 일축압축강도, 다짐도, 강도비, E.S.B.혼합토

## 1. 서 론

우리나라의 경우 고속도로, 국도, 자진거도로 및 주차장, 입도 등 대부분의 장소에 접근이 원활하도록 포장이 되어있고, 대부분은 내구성 및 내후성에 대비하기 위해 아스팔트 및 콘크리트 포장을 이용하고 있다. 그러나 아스팔트 및 콘크리트 포장공법은 제조, 운반 및 시공과정에서 많은 탄소 배출량을 나타내고 있다(Hwang et al., 2015). 이러한 문제점을 해결하기 위해 아스팔트 및 콘크리트 포장의 단점을 보완할 수 있는 대체 재료개발이 필요하다.

흙 포장공법은 현장에서 발생하는 흙을 주재료로 이용하여 포장하는 공법으로써 운반 및 시공과정에서 탄소배출량을 감소시킬 수 있으며, 비교적 간단한 시공방법으로 인해

접근성이 용이하다. 흙 포장은 주재료인 흙, 무기계 고화제, 혼합수 등을 혼합하고 단면에 포설 후 다짐을 하여 포장단면을 완성하는 공법이다. 무기계고화제는 대표적으로 시멘트, 석회, 석고, 석분 등이 사용되고 있다. 특히 시멘트의 경우 가격이 대체적으로 저렴하며 성능 발현이 확실하여 많이 활용되고 있지만 포장체에서 6가크롬 용출(Ju et al., 2003; Jung et al., 2009) 등 유해성분이 검출됨에 따라 친환경고화제의 개발을 통한 흙 포장 연구가 활성화되고 있다.

우리나라에서 다양한 친환경고화제를 활용한 흙 포장 연구가 진행되었으며, Kwon & Oh(2012)는 풍화토와 천연섬유에서 추출한 단섬유와 석회 등을 혼합한 친환경고화제를 일정 비율로 혼합비를 증가시켜 일축압축강도시험을 통해 적정 혼합비를 결정하고 CBR 시험을 통해 포장재료로서의 활

1) Professor, Department of Construction & Disaster Prevention Engineering, Kyungpook National University

2) Researcher, Department of Construction & Disaster Prevention Engineering, Kyungpook National University

† Lecturer, Department of Construction & Disaster Prevention Engineering, Kyungpook National University (Corresponding Author : bst91@knu.ac.kr)

용성 연구를 수행하였다. Park et al.(2014)의 연구에서는 친환경고화재를 이용한 흙 포장재의 공학적 특성을 평가하고 현장 적용성을 검토하였으며, Kim et al.(2014)의 연구에서는 다공성 실리카를 활용하여 일축압축강도시험을 수행하고 습윤건조 반복과정을 통해 다공성 실리카를 혼합한 경우 평균 강도의 15% 미만의 강도감소를 보여 기후변화에 의한 영향이 크지 않다고 제안하였다. Lee et al.(2015)의 연구에서는 현장 흙과 친환경 고화재와 목재칩과 같은 자연재료를 이용한 혼합토의 포장재 적정 배합비 결정과 GB/SB 계수의 비를 평가하여 보행감 및 현장적용성에 대한 연구를 진행하였다.

흙 포장공법 적용을 위한 강도평가 측면에서 우리나라의 경우 조경공사 표준시방서에서는 혼합토 및 경화토포장 강도는 7일 압축강도 기준 3MPa 이상으로 규정하고 있으며, 또한 타 기준에서는 10.0MPa 이상까지 제시되고 있으며 시공현장에 따라 보행자와 자전거 통행을 목적으로 하는 경우 8.0MPa를 적용하기도 하며, 관리용 차량이나 주차장 등에 사용하는 차도용은 4.0Ton 이하의 기준으로 12.0MPa를 적용하는 등 명확한 규정이 없는 실정이다(Lee, 2012). 일본의 경우 일본토목연구소(PWRI: Public Works Research Institute)에서는 비교적 낮은 0.3~0.7 MPa를 제시하고 있으며, 다구치기술연구소에서는 과거의 시험과 시공실적 및 표층에 작용하는 하중을 기준으로 1.0~1.3MPa를 제시하고 있다(Lee, 2012).

본 연구는 우리나라 대다수의 현장에서 채취되는 대표적인 토질특성을 가진 자연토와 친환경고화재인 E.S.B.(Ec o Soil Binder)를 활용하여 사용목적에 따른 흙 포장의 기초자료를 제공하고자 한다. 특히, E.S.B. 혼합비(5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%) 및 재령기간(3일, 7일, 28일), 흙 포장의 다짐도(90%, 100%)에 따른 혼합토의 일축압축강도 특성을 규명하고자 한다. 또한 ACI 209R-92에서 제시한 재령에 따른 압축강도 추정식과 비교하여 실제 강도와 추정강도에 따른 상관관계를 분석하여 일축압축강도의 현장 적용성을 평가하였다. 따라서 본 연구에서는 환경과 경관을 고려하여 6가크롬 등 중금속이 포함되어있지 않으며 자연토의 색과 모양을 유지할 수 있는 친환경고화재인 E.S.B. 개발과 활용을 통해 혼합토의 강도특성을 제공함으로써 차후 사용목적에 맞는 흙 포장 기준강도의 비교분석을 통한 현장 적용성을 확보하는데 연구의 목적을 두고 있다.

## 2. 실험개요

### 2.1 대상시료의 역학적 특성

본 실험에 사용된 현장토는 우리나라 대부분의 산지에 발생하는 입도양호한 모래(SW), 점토질 모래(SC), 강 유역

에서 발생하는 입도불량한 모래(SP)를 활용하였으며, 대상 시료의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

UCSC 분류법상 SW의 입도분석 결과 0.075mm 이하의 통과백분율이 7%, 액성한계 29.3%, 소성지수는 4.5, 균등계수 10.2, 곡률계수 1.2로 나타났으며, SP는 입도분석결과 0.075mm 이하의 통과백분율이 5.0% 미만, 액성한계 및 소성한계는 N/P, 균등계수 5.9, 곡률계수 0.8로 분석되었다. SC의 입도분석결과 0.075mm 이하의 통과백분율이 15.0% 이상이며 액성한계 33.1%, 소성지수 11.3으로 평가되었다.

Fig. 1과 2는 각각 다짐특성 및 입도분석 결과를 보여주고 있다.

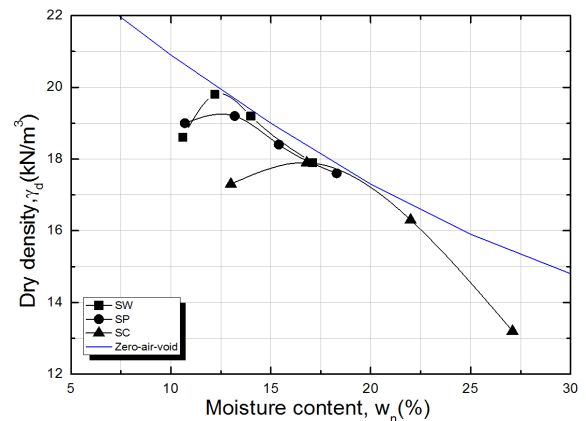


Fig. 1. Compaction test result

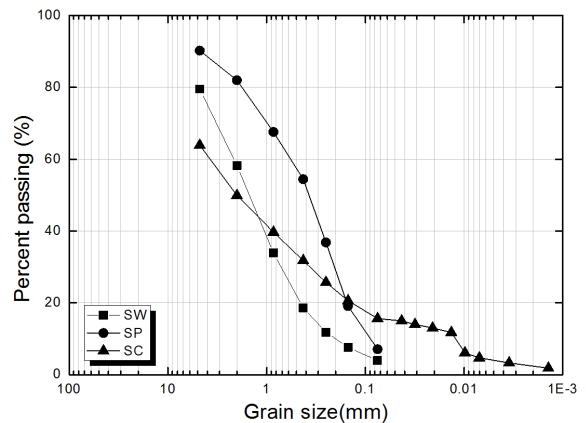


Fig. 2. Particle size analysis result

Table 1. Physical properties of soil

Property	Unit	SW	SP	SC
Unit weight, $\gamma_t$	kN/m <sup>3</sup>	19.8	21.5	19.9
Liquid limits, LL	%	29.3	-	33.1
Plastic limits, PL	%	24.7	-	21.9
Plastic index, PI	-	4.5	-	11.3
Specific weight, $G_s$	-	2.65	2.65	2.7
Uniformity coefficient, $C_u$	-	10.2	5.9	-
Coefficient of curvature, $C_c$	-	1.2	0.8	-

## 2.2 E.S.B. 고화재료 특성

본 실험에 사용된 E.S.B.를 개발하기 위해 기존 상용되고 있는 보통포틀랜드시멘트의 구성성분을 분석하였다. 보통포틀랜드시멘트의 주 구성 원소는 실리카(Si), 칼슘(Ca), 알루미늄(Al), 탄소(C)로 구성되어 있으며, 강도증가에 영향을 미치는 주요인자는 탄소와 칼슘의 결합체인 탄산칼슘( $CaCO_3$ )과 실리카와 산소의 화학적 결합체( $SiO_2$ )의 형태임을 고려할 수 있다. Table 2는 보통포틀랜드시멘트 성분 분석결과를 보여주고 있다.

일반적으로 다양한 실리카 추출방법이 있으며, 대표적으로 천연규사, 인조규사, 다공성 실리카 제작 방법이 있다. 특히 다공성 실리카는 고체 내부 또는 표면에 작은 빈틈을 많이 가진 상태로 경량성을 띄고 있으며 단열 및 흡음 등의 효과를 지니고 있어 산업분야에 많이 응용되고 있다. 연구결과 다공성실리카에 수분을 흡착시키는 특성을 이용하여 콘크리트의 수분함유량을 조절하여 내구성을 향상시키는 토목소재로의 활용성에 대하여 기준을 제시하였다. 다공성실리카 추출은 식물의 노후화된 세포일수록 고 순도의 다공성 실리카를 다량으로 추출가능하다(Park et al., 2013). 따라서 다공성실리카를 추출하기 위해 왕겨를 이용하여 약 800~1,000°C에서 소각 후 생산되는 다공성실리카를 활용하였다.

또한 다공성실리카와 결합되는 탄산칼슘은 일반적으로 석고를 지칭하며 석회질 광물로 자연에서 채취할 수 있으나 본 연구에서는 균질한 품질의 탄산칼슘을 채취하기 위해 염화칼슘과 탄산수소나트륨을 용화하여 화학적 결합을 통해 생산된 탄산칼슘을 활용하였다. E.S.B.와 보통포틀랜드시멘트의 물리적 특성을 분석한 결과 E.S.B.에서는 다공성실리카와 탄산칼슘의 혼합비율이 1:3인 것에 비해 보통포틀랜드시멘트에서는 1:1.2로 나타나 탄산칼슘의 혼합비율이 더욱 높은 것을 알 수 있다. 또한 응결시간을 초결과 종결로 분석한 결과 E.S.B.의 경우 초결 50분, 종결 4시간 20분으

Table 2. Portland cement composition analysis

Element	Property	Atomic weight (g)	Element ratio (%)
Si		7.17	13.65
Na		0.50	0.96
K		0.21	0.39
Ca		30.36	57.8
Mg		0.34	0.65
Cr		0.01	0.01
Fe		0.09	0.17
Mn		0.01	0.01
Al		4.72	9.0
C		9.10	17.3

로 나타났으나 보통포틀랜드시멘트의 경우 초결 1시간 15분, 종결 7시간 45분으로 나타나 E.S.B.의 응결 시간이 빠른 것으로 분석되었다. Table 3은 화학적 결합은 통한 E.S.B.와 보통포틀랜드시멘트의 물리적 특성을 나타내고 있다.

E.S.B.의 친환경성을 평가하기 위해 용출시험을 통해 유해물질로 인한 토양의 우려 및 대책기준과 비교하였으며, 어독성 시험을 수행하여 요출되는 pH를 측정하였다. Table 4는 토양환경보전법에 의한 중금속 용출량 기준을 보여주고 있으며, Table 5는 용출시험에 의한 시멘트와 E.S.B.의 용출시험 결과를 나타내고 있다. 표에서 나타나듯이 시멘트의 경우 6가 크롬과 비소의 용출량에서 우려기준을 상회하

Table 3. Physical properties of soil stabilizers

Element	Property	E.S.B.	Ordinary portland cement
	$SiO_2$	20.07	33.8
	$Al_2O_3$	5.21	12.9
	$Fe_2O_3$	2.96	3.2
	$CaCO_3$	63.08	40.6
	$MgO$	2.67	4.2
	$SO_3$	2.97	2.6
	Specific weight	3.08	2.84
	Heat of hydration (cal/g)	12.59	39
	Initial set (h:m)	00:50	04:20
	Ended set (h:m)	01:15	07:45

Table 4. Physical properties of soil stabilizers

Element	Property	Soil environment conservation act	
		Apprehension (mg/kg)	Measures (mg/kg)
Cd		12	30
Pb		400	1000
Cu		200	500
Hg		16	40
Cn		120	300
$C_r^{6+}$		12	30
As		20	50

Table 5. Physical properties of soil stabilizers of soil stabilizer

Element	Property	Cement (mg/kg)	E.S.B. (mg/kg)
Cd		5	1
Pb		217	9
Cu		132	0
Hg		0.02	0.005
Cn		0	0
$C_r^{6+}$		13	0.05
As		23	5

는 것으로 나타나 기존의 문헌의 6가 크롬이 용출되는 동일한 결과를 보이며, E.S.B.의 경우 중금속 용출량의 우려기준을 충분히 만족하는 것으로 나타났다. Table 6은 어독성 시험을 수행한 결과를 나타내고 있으며 시멘트의 경우 초기 24시간 동안 80% 정도의 치사율이 관측되고 48시간 이내에 모두 치사되는 것으로 분석되었다. 반면 E.S.B.의 경우 24시간 이내에 60%의 치사율이 관측되며, 96시간 동안 70%의 치사율이 관측되었다. 또한 어독성 시험 종료 후 pH 특성을 분석한 결과 시멘트에서는 10.9~11.7까지 분석되지만, E.S.B.는 8.7~8.8로 나타나 보다 환경 친화적인 고화재로 평가할 수 있다.

Table 6. Toxicity to fish test result

Division	24hour		48hour		96hour	
	Cement	E.S.B.	Cement	E.S.B.	Cement	E.S.B.
Lethality (%)	80	60	100	70	100	70
pH	10.9	8.7	11.7	8.8	11.8	8.8

## 2.3 실험방법

본 연구에 사용된 일축압축강도실험 장치는 Fig. 3과 같으며, 최대하중 200ton까지 측정이 가능하며, 일축강도 공시체는 직경 50mm, 길이 100mm의 크기로 제작하고 하중은 1mm/min으로 측정하였다.

다양한 현장토와 E.S.B. 혼합토가 흙 포장의 역학적 특성에 미치는 영향을 분석하기 위해 각각의 현장토를 기준으로 E.S.B.의 혼합비율은 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%로 변화시키고 재령기간은 3일, 7일, 28일의 동일한 조건을 적용



Fig. 3. Experimental apparatus

Table 7. Experimental condition

Specimen	E.S.B. Mixing ratio (%)	Compactness (%)	Curing time
SW	5, 10, 15, 20, 25, 30	90, 100	3, 7, 28
SP			
SC			

하여 비교하였다. 또한 흙 포장체의 다짐도에 따른 강도분석을 위해 최대단위중량을 기준으로 다짐도 90%, 100%에 따른 강도변화를 비교하였으며 실험조건은 Table 7과 같다.

또한 ACI 209R-92(1997)은 ACI에서 제안하는 콘크리트 실험 매뉴얼이며, 이 중 재령기간에 따른 추정압축강도를 Eq. (1)과 같이 정의하였으며, 추정식에 의한 일축압축강도와 실험을 통한 일축압축강도의 상관관계를 분석하여 추정 일축압축강도의 정확도 및 적용성을 검토하였다.

$$f_{c(t)} = \frac{t}{\alpha + \beta t} f_{c(t^*)} \quad (1)$$

## 2.4 흙 포장의 목표 강도

흙 포장은 산책로, 보행로, 공원도로, 자전거도로 등의 도로포장 및 주차장 등 차량의 통행보다는 보도 및 자전거 통행에 주로 적용되고 있어 일반적인 자동차의 통행을 주목적으로 하는 콘크리트 포장과 달리 소요강도에 차이가 있다. 그러나 흙 포장 또한 요구되는 기본적인 기능은 유사하기 때문에 강도 설정은 매우 중요하다.

본 연구에서는 보도와 자전거도로 및 소형트럭 통행을 대상으로 조경공사 표준시방서(2016)의 친환경 흙 포장의 일축강도를 참고하여 재령기간 7일 강도 기준 3.0MPa을 흙 포장의 목표 강도로 설정하고자 한다.

## 3. 실험결과

### 3.1 다짐도에 따른 혼합토의 일축강도특성

각각의 시료에 대하여 재령기간 7일 조건에서의 목표강도와 비교하였다.

Fig. 4와 Fig. 5는 토양 종류에 따른 각각의 다짐도 90%, 100%에 따른 E.S.B. 혼합토의 재령기간 7일에서의 강도변화를 보여주고 있으며, 그림에서 나타난 바와 같이 다짐도 90%의 경우 SW와 SP는 E.S.B. 혼합비율이 15% 이상에서 각각 4.30Mpa, 4.80Mpa 목표 강도를 만족하며, SC는 E.S.B. 혼합비율 20% 이상에서 목표 강도에 도달하는 것으로 나타났다. 또한 다짐도 100%의 경우 토양의 종류와 관계없이

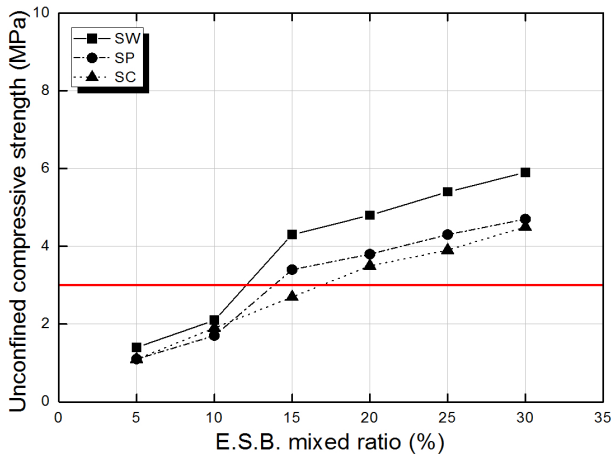


Fig. 4. Unconfined compressive strength according to the compactness 90%

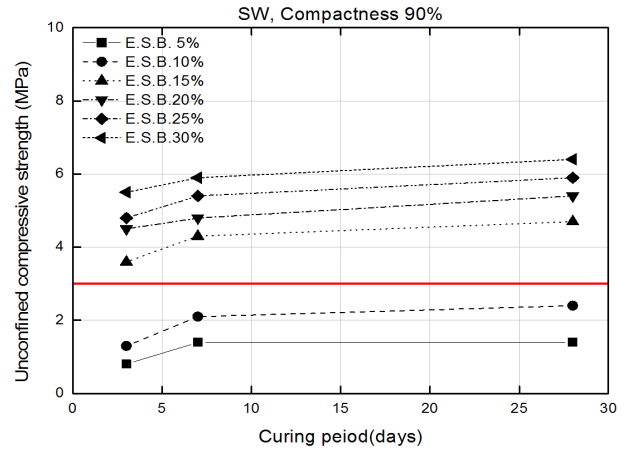


Fig. 6. Unconfined compressive strength according to the curing time (SW, compactness 90%)

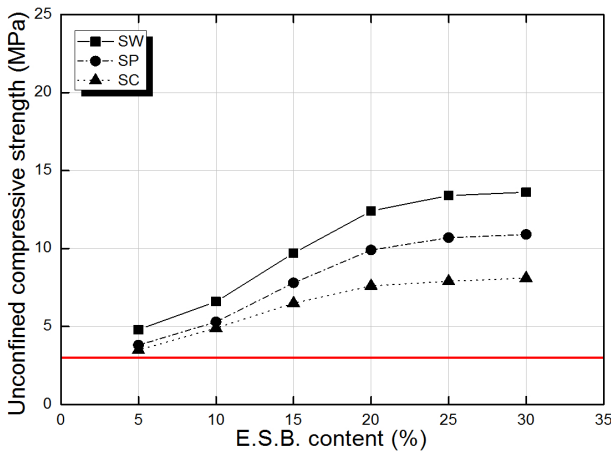


Fig. 5. Unconfined compressive strength according to the compactness 100%

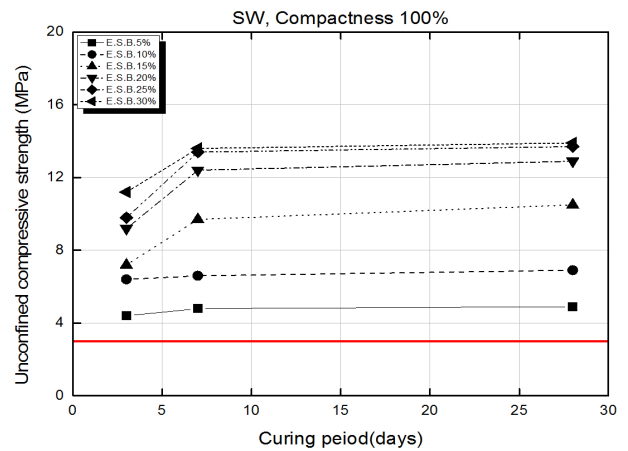


Fig. 7. Unconfined compressive strength according to the curing time (SW, compactness 100%)

E.S.B. 혼합비율 10% 이상에서 각각 6.6MPa, 5.1MPa, 4.2 MPa으로 목표 강도를 만족하는 것으로 나타났다.

따라서 E.S.B. 혼합토의 압축강도는 포장체의 다짐도에 따라 강도에 영향을 미치는 것으로 분석되어 높은 다짐도를 적용하는 것이 압축강도에 효과적인 것으로 판단된다.

### 3.2 재령기간에 따른 혼합토의 일축강도특성

Fig. 6~11은 다짐도 조건과 E.S.B. 혼합토의 재령기간에 따른 강도변화를 나타내고 있다. SW의 경우 다짐도 90%에서는 E.S.B. 혼합비율 15%에서 목표 강도를 만족하는 것으로 나타났으며 특히 재령기간 3일에서 목표 강도를 만족하는 것으로 분석되었다. 다짐도 100%에서는 E.S.B. 혼합비율 5%와 재령기간 3일의 조건에서 목표 강도를 만족하는 것으로 나타났다. SP의 경우 다짐도 90%에서는 E.S.B. 혼합비율 10%와 재령기간 28일에서 목표 강도를 만족하나 강도의 효율을 고려하였을 경우 혼합비율 15%와 재령기간

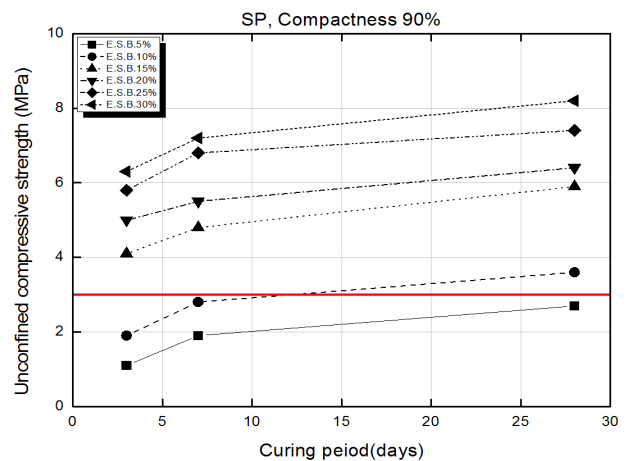


Fig. 8. Unconfined compressive strength according to the curing time (SP, compactness 90%)

3일이 적정한 것으로 판단된다. 다짐도 100%에서는 E.S.B. 혼합비율 10%와 재령기간 3일에서 효과적인 목표 강도를 만족하는 것으로 분석되었다. SC의 경우 다짐도 90%에서

는 E.S.B. 혼합비율 15%와 재령기간 28일에서 목표 강도를 만족하지만 강도의 효율을 고려하여 혼합비율 20%와 재령기간 7일을 적용하는 것이 타당한 것으로 평가된다. 또한

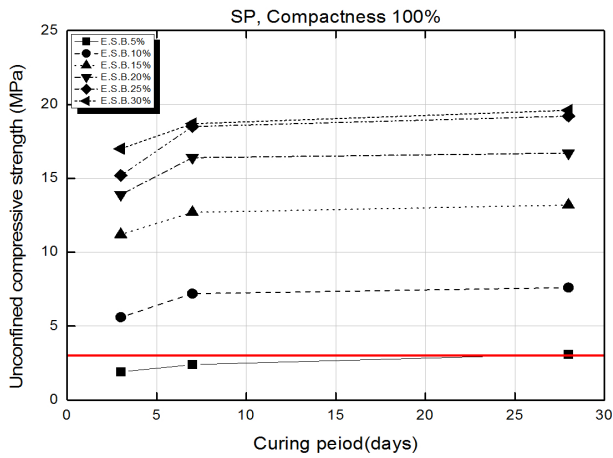


Fig. 9. Unconfined compressive strength according to the curing time (SP, compactness 100%)

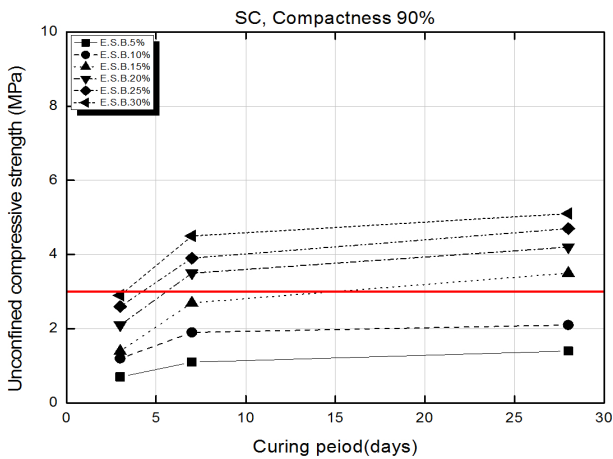


Fig. 10. Unconfined compressive strength according to the curing time (SC, compactness 90%)

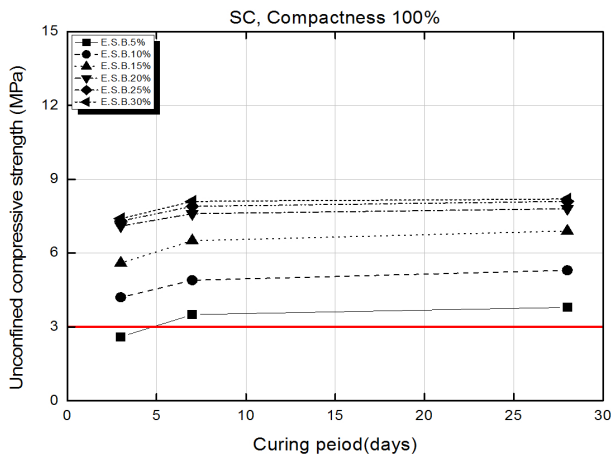


Fig. 11. Unconfined compressive strength according to the curing time (SC, compactness 100%)

다짐도 100%에서는 E.S.B. 혼합비율 15%와 재령기간 3일에서 목표 강도를 만족한다. 위의 결과에서 나타나듯이 다짐도가 일축강도특성에 영향을 미치는 것으로 평가되었으며, 특히 재령기간 3일에서 목표 강도에 만족하는 것으로 평가되어 초기 강도발현이 우수한 것으로 분석된다.

따라서 흙 포장 적용을 위한 최적의 조건은 높은 다짐도와 E.S.B. 혼합비율 10% 이상이며, 재령기간은 7일에서 효과적인 강도특성이 나타나지만 초기 강도발현이 우수함으로 인해 현장여건에 따라 재령기간 3일을 적용해도 무관할 것으로 판단된다.

### 3.3 강도비 분석결과

Fig. 12~14는 본 연구의 목표 강도에 대한 일축압축강도 강도비를 나타내고 있으며, 강도비(Unconfined compressive strength ratio, UCR)는 Eq. (2)와 같이 정의하였다.

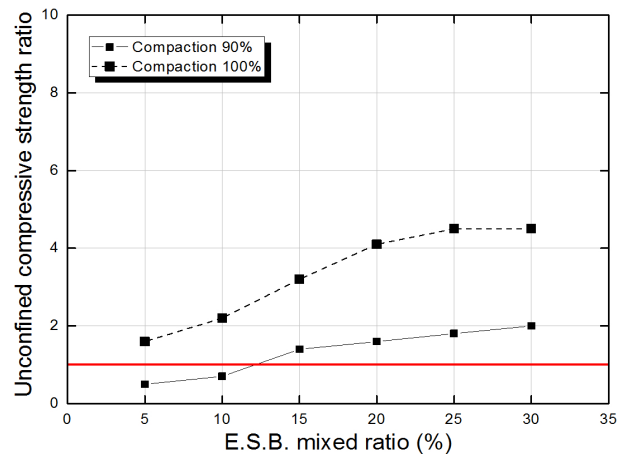


Fig. 12. Strength ratio (UCR) according to the E.S.B. mixing ratio (SW)

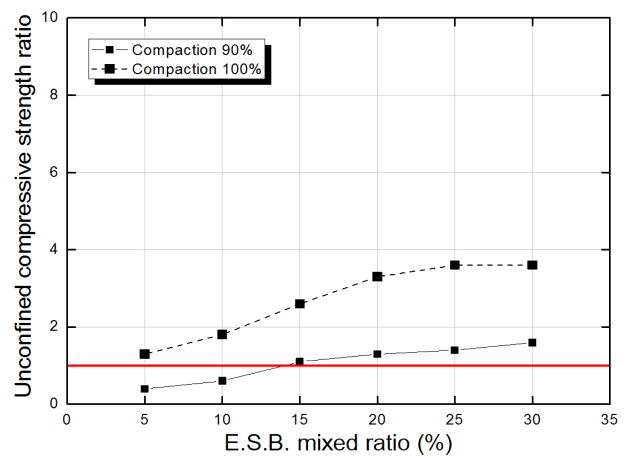


Fig. 13. Strength ratio (UCR) according to the E.S.B. mixing ratio (SP)

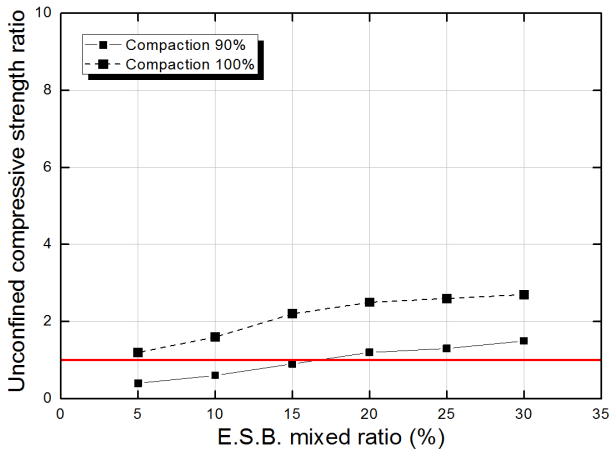


Fig. 14. Strength ratio (UCR) according to the E.S.B. mixing ratio (SC)

$$UCR = \frac{\text{재령기간 7일 실제 일축압축강도}}{\text{목표강도(재령기간 7일 : 3MPa)}} \quad (2)$$

SW의 경우 다짐도 90%에서는 약 0.5~2.0배의 강도비가 나타나며, 다짐도 100%에서는 약 1.6~4.5배의 강도 증가비가 나타났다. SP의 경우 다짐도 90%에서는 약 0.4~1.6배의 강도비가 나타나며, 다짐도 100%에서는 약 1.3~3.6배의 강도 증가비가 나타났다. SC의 경우 다짐도 90%에서는 약 0.4~1.5배의 강도비가 나타나며, 다짐도 100%의 경우 약 1.2~2.7배로 나타났다. 위의 분석에서 나타나듯이 다짐도 90%에서는 토양의 종류와 관계없이 유사한 강도 증가비로 분석되지만 다짐도 100%에서는 토양의 종류에 따라 강도증가비는 상이한 결과 값을 얻을 수 있다. 이는 다짐도가 높을수록 E.S.B. 혼화제가 강도에 영향을 미치는 것으로 분석할 수 있으며, 세립분이 많은 토양에서는 강도증가비가 감소되는 것을 확인할 수 있다.

따라서 강도비의 조건을 2.0으로 기준하여 분석한 결과 E.S.B.의 혼화비율이 10% 이상의 조건에서 효과적인 강도를 발현하는 것으로 평가할 수 있다.

### 3.4 압축강도추정식 적용성 분석

Table 8은 ACI209R-92에서 제안한 일축압축강도 추정식에 대한 재령기간에 따른 압축강도 추정표를 나타내고 있

Table 8. Estimated compressive strength according to curing period

Time ratio	Constant	Curing period coefficient				
		3day	7day	14day	21day	28day
$\frac{(f_c)_t}{(f_c)_{28}}$	a=2.30 b=0.92	0.59	0.80	0.92	0.97	1.00

다. 표에서 나타나듯이 시멘트 종류에 따라 상수 a, b 값은 구분되어 있다. 본 연구에 사용된 E.S.B.는 3종 시멘트와 유사한 특성을 나타내고 있어 3종 시멘트의 상수 값을 적용하였다.

Fig. 15~17은 ACI209R-92 추정식에 따라 일축압축강도를 산정하고 실험 일축압축강도 결과 값을 기준하여 재령기간 7일에 대한 목표 강도의 적용성을 검토하였다.

토양의 종류와 관계없이 재령기간 3일 조건에서 추정식에 의한 일축압축강도는 실제 측정값에 비해 약 50~133% 범위로 신뢰성이 떨어지는 것으로 평가되었으나 재령기간 7일 조건에서 약 88~122%의 일축압축강도가 산정되었다.

재령기간 7일 조건에서 SW의 경우 결정계수는 0.96으로 압축강도 결과에 대한 신뢰성을 만족하며, SP의 경우 결정계수 0.94로 유사한 경향이 나타나며 일축압축강도 결과에 대한 신뢰성이 높은 것으로 판단된다. SC의 경우 결정계수 0.89로 나타나 추정식에 의한 일축압축강도 산정이 가능할

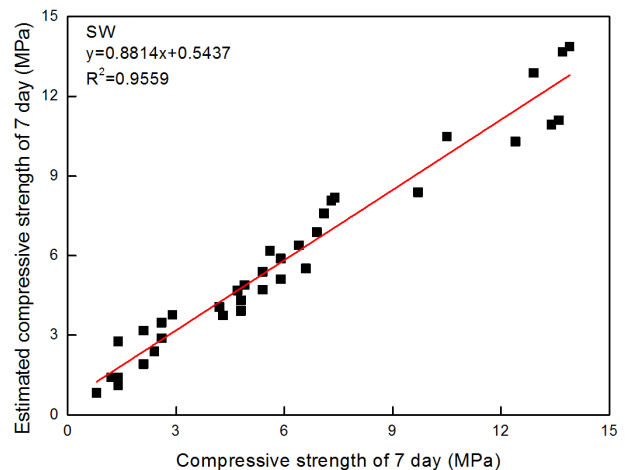


Fig. 15. Comparison between estimated and compressive strength of SW

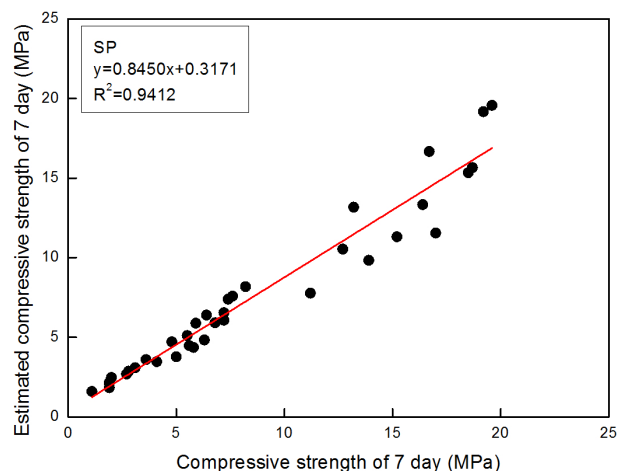


Fig. 16. Comparison between estimated and compressive strength of SP

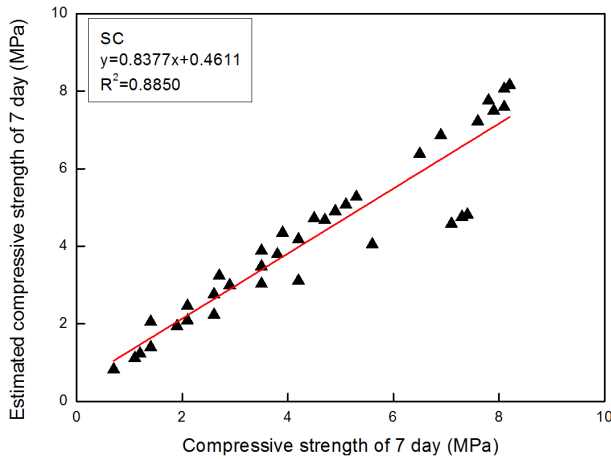


Fig. 17. Comparison between estimated and compressive strength of SC

것으로 평가된다.

따라서 추정식에 의한 일축압축강도 산정 시 재령기간 7일의 조건에서 신뢰성을 만족하므로 현장토의 조건에 따른 일축압축강도 추정이 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

흙 포장 적용을 위한 기준 목표 강도는 재령기간 7일 기준 3.0MPa로 설정하였으며, 토양 종류에 따라 친환경고화재인 E.S.B.를 혼합하여 일축강도특성을 분석하고 추정식을 통한 일축강도 적용성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 토양의 종류에 따라 다짐도를 90%, 100%를 적용하였으며, 다짐도 90%에서는 E.S.B. 혼합비율이 15%일 때 SW와 SP에서 각각 4.30MPa, 4.80MPa의 강도로 목표 강도를 만족하며, SC의 경우 E.S.B. 혼합비율이 20%일 때 3.5MPa로 기준강도에 도달한다. 다짐도 100%에서는 토양의 조건에 관계없이 E.S.B. 혼합비율 10%일 때 각각 6.6MPa, 5.1MPa, 4.2MPa로 기준강도를 만족하므로 E.S.B. 혼합비율은 약 2배의 절감효과로 인해 경제적인 다짐도는 100%에 가까울수록 우수한 것으로 판단된다.
- (2) 재령기간에 따른 일축강도특성 분석을 위해 3, 7, 28일의 조건으로 연구를 수행하였으며 다짐도 90%인 경우 E.S.B.혼합비율이 15~20%일 때 재령기간 7일에서 목표 강도를 만족하는 것으로 나타나며 다짐도 100%인 경우 E.S.B.혼합비율이 5~10%일 때 목표 강도를 만족한다. 특히 다짐도가 높을수록 재령기간 3일에서 목표

강도를 만족하는 것으로 평가되어 초기 강도발현이 우수한 것으로 분석된다. 따라서 현장여건에 따라 재령기간 3일의 기준강도를 적용이 가능할 것으로 판단된다.

- (3) 본 연구의 목표 강도와 재령기간 7일의 실제 일축압축강도 강도비를 분석한 결과 다짐도 90%에서는 E.S.B. 혼합비율에 따라 약 0.4~2.0배의 강도 증가비가 나타나 토양의 종류와 관계없이 유사한 결과로 분석되지만 다짐도 100%에서는 토양의 종류에 따라 약 1.2~4.5배로 최대 3배 이상의 강도비로 분석되었다. 이는 세립분이 많은 토양에서는 강도 증가가 감소되는 것을 확인할 수 있다. 또한 강도비의 조건을 2.0으로 기준하여 E.S.B. 혼합비율이 10% 이상의 조건에서 효과적인 강도를 발현하는 것으로 평가할 수 있다.
- (4) ACI209R-92 추정식에 따라 일축압축강도를 산정하고 실험 일축압축강도 결과 값을 기준하여 재령기간 7일에 대한 목표 강도의 적용성을 검토한 결과 재령기간 3일 조건에서는 약 50~133%로 신뢰성이 떨어지는 것으로 평가되며 재령기간 7일 조건에서는 약 88~122%로 비교적 신뢰성을 갖는 것으로 평가할 수 있다. 또한 각각의 토양의 종류에 따라 회귀분석한 결과 결정계수는 0.89~0.96으로 평가되어 현장토의 조건에 따른 재령기간 7일의 일축강도 추정이 가능할 것으로 판단된다.

#### References

1. ACI209R (1997), Prediction of creep, shrinkage, and temperature effects in concrete structures, pp. 4~7.
2. Hwang, S. P., Jeong, J. H., Lee, Y. S. and Lee, T. H. (2015), Experimental study on usability of soil pavement using weathered granite soil and organic solidification agent, Journal of Korean Geosynthetics Society, Vol. 14, No. 4, pp. 11~21 (In Korean).
3. Ju, J. W., Park, J. B., Ju, J. Y. and Lee, D. S. (2003), Production of soil mixed pavement using hydronium, Journal of Korean Society of Civil Engineers, Vol. 23, No. 4C, pp. 213~219 (In Korean).
4. Jung, H. S., Jang, C. H., An, B. J. and Chun, B. S. (2009), A study on environmentally friendly soil pavement materials using weathered soil and inorganic binder, Journal of Korean Geo-Environmental Society, Vol. 10, No. 4, pp. 25~31 (In Korean).
5. Kim, D. G., Bang, S. T. and Oh, S. W. (2014), Characteristic of cyclic drying-wetting on strength of solidified soil mixed porosity silica, Journal of Korean Geo-Environmental Society, Vol. 15, No. 10, pp. 29~34 (In Korean).
6. Kwon, Y. C. and Oh, S. W. (2012), Strength characteristics of the soil mixed with a natural stabilizer, Journal of Korean Geo-Environmental Society, Vol. 13, No. 1, pp. 45~51 (In Korean).
7. Lee, G. H. (2012), Engineering properties and applicability of



- soil mixed pavement with natural soil stabilizer, Incheon National University, Ph.D. Theses, pp. 20~51 (In Korean).
8. Lee, J. D., Bang, S. T. and Bae, W. S. (2015), Evaluation of field applicability of pavement materials using wood chips, *Journal of Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 16, No. 11, pp. 13~19 (In Korean).
  9. MOLIT (2016), *Landscape Construction Standard Specification*, pp. 169~181.
  10. Park, K. S., Oh, S. W. and Bae, W. S. (2014), Field applicability evaluation of eco-friendly mixed soil, *Journal of Korean Geo-Environmental Society*, Vol. 15, No. 2, pp. 17~25 (In Korean).
  11. Park, S. S., Park, C. R., Oh, S. W. and Chang, S. H. (2013), Extraction for porosity silica from fallen leaves, 2013 Korean Geo-Environmental Society Conference, September 27, pp. 313~315 (In Korean).