섬유 보강 CSG 식생블록의 식생 및 강도 특성

Vegetation and Strength Characteristics of Planting Blocks Prepared Cemented Sand and Gravel Reinforced by Geosynthetics

윤용선* · 김용성** · 연규석*** · 김기성***

Yoon, Yong Sun · Kim, Yong Seong · Yeon, Kyu Seok · Kim, Ki Sung

Abstract

This study was performed to evaluate the strength characteristics, the planting properties and root potential of planting block with seeding three species of grasses in CSG blocks manufactured by cemented sand and materials (CSG) in order to develop CSG planting blocks reinforced by geosynthetics. Four types of CSG mix designs with cement contents were determined, and the mechanical properties of CSG materials with polyvinyl alcohol were studied experimentally. To analyze growth properties of plants within CSG block, visual cover, plant height, root potential and the flexural strength were measured at 28 days after seeding. The visual cover of kinds of plants evaluated by visual rating system were in the range of 7.5~9.5 in case of seeding three species of grasses in 4 weeks after seeding. The flexural strength of planting blocks prepared with CSG and Polyvinyl alcohol (PVA) were in the range of 1.02~3.76 MPa in 28 days. It is expected that this study will contribute to increasing application of CSG materials as well as to increasing the utilizing of PVA materials as a environmentally friendly CSG method.

Key words : CSG, Polyvinyl alcohol, Planting block, Strength, Root potential

요 지

본 연구에서는 세 종류의 잔디를 혼합 파종한 CSG 식생블록에 섬유를 첨가한 후 강도 특성, 식생 특성, 근계력 특성 등의 분석을 통해 섬유 보강 CSG 식생 블록의 식생 및 강도 특성을 고찰하였다. 네 종류의 CSG 배합설계로 하여 CSG재료의 역학적 특성을 실험을 통해 고찰하였으며, CSG 식생블록의 식생 성장 특성 분석을 위해 식생 28일 후의 피복도 및 생장량, 근계력, 휨강도 등을 측정하였다. 식생에 따른 블록의 피복도는 시각적 평가방법을 이용하여 세 종류의 잔디 파종 4주후 측정 결과 7.5~9.5점 정도로 나타났으며, PVA가 첨가된 CSG 식생 블록의 재령 28일 휨강도는 1.02~3.76 MPa 정도를 나타냈다. 본 연구를 통해 기존에 수행된 많은 PVA 관련 연구 성과들을 CSG공법에 접목할 수 있는 계기를 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : CSG, Polyvinyl alcohol, 식생 블록, 강도, 근계력

1. 서 론

최근 친환경적인 하천관리를 위해 호안 설계 시에도 친수성을 고려한 자연형호안, 생태계보전을 고려한 자연형호안, 경관보전 호안 등으로 구분하여 윗가지덮기, 쉼단, 나무말뚝·녹색마대, 돌바구니, 나무말뚝·사석쌓기, 사석·야자섬유두루마리, 녹색마대·돌망태, 돌망태·거석농기 호안 등이 시공되고 있다.

소방방재청에 따르면 최근 10년간 자연재난으로 해마다 약 1조 9,642억원의 재산 피해를 입고 있으며 이 중 태풍으로 1조 427억원, 호우로 5,747억원 등 대부분의 피해가 풍수해로

조사되었다. 풍수해 중에서 많은 부분을 차지하는 것이 중·소하천의 제방 붕괴 등과 같은 피해인데 수충부에서 많이 발생하고 있다. 특히 하천 상류유역에서 식생으로 보호된 제방 및 돌망태, 사석쌓기 등 홍수류에 취약한 자연형 호안 제방에서 이러한 피해 양상이 두드러지고 있다. 따라서 하천관리기관에서는 수충부 등 취약구간에 콘크리트 구조물을 이용한 제방 보강공법을 적용하고 있으나 친환경적이지 못한 단점이 있다.

흙의 결합력과 강도를 증진시키기 위하여 흙에 시멘트를 혼합한 시멘트 혼합토는 도로, 주차장 및 광장 등의 포장 뿐만 아니라 사면보호공 및 연약지반 개량 등 다양한 분야에

*정회원 · 강원대학교 대학원 지역건설공학과 박사과정(E-mail : yysun111@korea.kr)

**정회원 · 강원대학교 지역건설공학과 부교수(교신저자)

***강원대학교 지역건설공학과 교수

활용되고 있다(성찬용 등, 2003; 성찬용, 2004). 일반 흙을 주원료로 하여 강도 개선을 목적으로 흙의 일부를 시멘트 또는 시멘트계 고화제 등을 사용하기 때문에 콘크리트에 비하여 경제적인 동시에 환경친화적 건설재료로 인식되고 있다(연규석 등, 2010). 그러나 시멘트 혼합토는 취성적인 파괴 형태를 나타내기 때문에 폴리프로필렌 섬유, 폴리비닐알코올(Polyvinyl alcohol, 이하 'PVA'라 약칭 한다) 섬유 및 나일론 섬유 등을 혼합토에 랜덤 분포시켜 강도 뿐만 아니라 연성파괴를 유도하는 섬유보강 혼합토에 대한 연구가 최근 주목을 받고 있다(장병욱 등, 1999; 박성식 등, 2008; Park, 2011).

실제로 섬유혼합 보강토는 혼합이 용이하고 강도의 지속성이 우수하며, 토목섬유공법의 단점인 보강재를 따라 진전되는 잠재적인 취약점이 없는 등의 장점을 가지고 있어 최근 선진 외국에서는 이에 관한 연구가 활발한 실정이다(Kumar et al., 2006; Tang et al., 2007, 2010; Consoli et al., 2009, 2010; Zaimoglu, 2010).

단섬유를 무작위로 혼합한 토목섬유 혼합토에 대한 기존 연구는 주로 사질토에 자연섬유 또는 폴리프로필렌과 같은 알칼리성에 약한 인공섬유를 이용한 연구가 주를 이루었으나 본 연구에서는 시멘트와 친화성이 좋은 폴리비닐알코올섬유를 사용하였으며, 시멘트와 모래, 자갈의 혼합토(Cemented sand and Gravel, 이하 'CSG'라 한다)재료에 PVA를 혼합하여 CSG 식생블록을 제작하고 강도 및 식생 특성에 주목하였다. CSG 재료는 하상자갈 등의 토사를 물, 시멘트와 함께 혼합한 재료를 충전하며 주로 댐 분야에서 사용되는 용어로서 가령, 가물막이 댐을 축조할 경우 CSG공법으로 축조하게 되는데 이 때 이러한 CSG재료를 사용하게 된다.

보다 구체적으로, 본 연구는 호안보호 또는 사면보호용으로 활용하기 위한 강도 및 내구성이 우수하고 친환경적이며 경제적인 식생블록을 개발하기 위한 사전 연구로써, CSG 식생블록의 파괴강도 및 식생 특성을 분석하였다. CSG재료를 기본으로 PVA를 혼합한 후 잔디를 식재하여 CSG식생블록을 제조하였으며, 식생블록에 식재된 식생의 생장 특성 분석 및 식생블록의 휨강도 실험을 통한 파괴강도 특성을 고찰하였다.

본 연구를 통해 기존에 수행된 많은 PVA 관련 연구 성과들을 CSG공법에 접목할 수 있는 계기를 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 재료 및 방법

2.1 사용 재료

본 연구에 사용된 토사는 OO대학교 인근 현장의 터파기시 발생된 굴착토를 사용하였으며, Table 1 및 Fig. 1은 본 연구에 사용된 토사의 기본 물성 및 입도분포곡선을 나타낸다.

시멘트는 국내 H사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, Table 2~3은 각각 사용된 골재 및 시멘트의 역학적 특성과 화학적 성분을 나타낸다. 식생블록의 인장강도 증대를 위하여 사용된 섬유는 PVA(RECS100L)를 사용하였고 식생은 팽범위한 토양 조건에 잘 적응하는 한지형 잔디로서 툴레

Fig. 1. Grain size distribution curve

Table 1. Physical properties of coarse aggregates

Type	Size (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	Fineness modulus	Bulk density (kg/m ³)
Coarse	4.75~40	2.73	1.36	6.77	1,592
	0.15~4.75	2.66	1.62	6.54	1,559

Table 2. Mechanical properties of normal portland cement (After Yeon et al., 2010)

S.G	Setting time (h-min)		Compressive strength (MPa)		
	Initial	Final	3 days	7 days	28 days
3.15	5-7	7-20	19.4	21.6	32.3

Table 3. Chemical compositions of ordinary portland cement (After Yeon et al., 2010)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
21.09%	4.84%	63.85%	3.32%	3.09%	1.13%	0.29%	2.39%

스큐(Tall fescue), 페레니얼 레이그라스(Perennial ryegrass), 켄터키 블루그라스(Kentucky bluegrass)를 혼합하여 적용하였다.

2.2 CSG 재료의 배합설계 및 공시체 제작

2.2.1 배합설계

CSG 재료에 대한 배합설계는 CSG 재료가 목표설계기준강도와 경제성을 만족하는 합리적인 단위재료량을 결정하는 것이 중요하다. 즉 다짐 및 강도시험과 같은 실내시험을 통하여 설계기준강도를 확보할 수 있는 시멘트량, 물량 및 골재량을 결정하고 시험배합을 통하여 이를 확인하여 최적배합을 도출해야 한다. 일반적으로 CSG 배합설계에 대한 명확한 기준이 제시되고 있지 않으나 크게 다짐시험을 활용한 토질역학적인 방법과 콘크리트 배합설계방법으로 분류된다. 본 연구에서는 토질역학적인 방법으로서 CSG재료의 배합은 총 재료의 중량에 4%, 6, 8, 10%의 시멘트를 혼합하여 일축압축강도 특성을 분석하였다.

2.2.2 공시체 제작

시멘트량 및 재령에 따른 CSG 재료의 일축압축강도 특성을 분석하기 위하여 다짐시험에서 산출된 최적함수비와 최대 건조단위중량을 기준으로 하여 토질역학적 삼상관계를 이용

하여 수량 및 물량을 산정한 후 다짐시험과 동일한 수준의 다짐에너지를 나타낼 수 있도록 $\phi 100 \times 200$ mm 몰드에 CSG 재료를 투입하고 재료분리가 발생하지 않도록 5층으로 나누어 다짐을 실시하여 공시체를 제작하였다. 또한, 재령에 따른 강도 특성을 구명하기 위하여 재령 3일 및 7, 28일 동안 양생을 실시하였다. 양생방법에는 대기 중 양생, 밀봉 양생, 습윤 양생, 수중 양생 등의 방법이 있으나 본 연구에서는 대기 중 양생 방법을 적용하였다.

2.3 CSG 블록의 배합설계 및 제작

2.3.1 배합설계

CSG 재료의 배합은 시멘트의 사용량에 따른 파괴강도 특성을 분석하기 위하여 총 중량의 4%, 6%, 8%, 10%의 시멘트량을 혼입한 4종류로 하였으며, PVA는 총 중량의 0.6%, 0.8%, 1.0% 등의 3종류로 하였다. Table 4는 본 연구에 사용된 재료의 배합비를 나타낸 것이다.

2.3.2 공시체 제작

식생 블록의 단면은 식생 후 발아율, 피복도 및 식물의 성장 특성 등의 평가가 용이하도록 20×20 cm의 크기로 하였으며, 블록의 높이는 식생 후 식물의 뿌리가 고착되어 성장할 수 있는 공간을 확보할 수 있도록 5 cm로 하였다. 식생 블록의 제작을 위한 재료의 혼합은 가정식 믹서기를 사용하여 1분간의 예비혼합을 실시하고 가수한 후 3분간 재혼합을 실시하였다. 블록 제작은 혼합된 CSG 재료를 블록용 몰드에 투입하여 재료분리가 발생하지 않도록 3층으로 나누어 수정 E 다짐시험과 동일한 다짐에너지가 발현될 수 있도록 다짐을 실시하였다. Fig. 2는 CSG 블록 제작에 사용된 HILTI TE805 브레이커 및 CSG 블록 몰드를 나타낸다.

식생블록에 대한 휨시험 공시체에 대한 양생방법에는 대기 중 양생, 밀봉 양생, 습윤 양생, 수중 양생 등의 방법이 있으나 본 연구에서는 CSG 재료의 일축압축강도 공시체와 동일하게 대기 중 양생 방법을 적용하였다.

Table 4. Mix designs of PVA materials with cement contents
(unit: g)

Cement content	Aggregate			Cement	PVA	Water
	Sand	9.5 mm>	4.75 mm>			
4%	1900	1292	711	168.3	15.2	304
					22.8	304
					30.4	304
6%	1900	1292	711	252.4	15.2	304
					22.8	304
					30.4	304
8%	1900	1292	711	336.5	15.2	304
					22.8	304
					30.4	304
10%	1900	1292	711	420.7	15.2	304
					22.8	304
					30.4	304

Fig. 2. Hilti vibrating machine and CSG block mould

2.4 시험 방법

2.4.1 CSG 재료 특성 시험

(1) 다짐

국내의 경우 CSG 재료에 대한 다짐시험 방법은 명확한 기준은 제시되어 있지 않으며, 기존의 토질역학적 다짐시험 방법을 그대로 채택하고 있다. 미국의 경우에도 CSG 재료에 대한 다짐 기준이 제시되어 있지 않으며, 본 공법과 유사한 RCC(Roller compacted concrete) 공법의 경우 배합설계에 사용되는 다짐기준을 표준다짐(ASTM D 698)과 수정다짐(ASTM D 1557)으로 규정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 CSG 재료에 대한 다짐 시험 방법 및 시공법에 관한 명확한 기준이 아직까지 제시되어 있지 않기 때문에 A다짐 방법($\phi 100 \times 200$ mm)에 의하여 다짐에너지가 일정하도록 다짐횟수를 조정하여 다짐시험을 실시하였다.

(2) 일축압축강도

일축압축강도시험(Unconfined compressive strength, 이하 'UCS'라 한다)은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 재령 3, 7일 및 28일에 $\phi 100 \times 200$ mm인 공시체를 Instron사의 만능시험기를 사용하여 1 mm/min의 속도로 하중을 재하하여 측정하였다.

2.4.2 CSG 블록의 식생 특성 실험

식생을 위한 블록 위에 배양토를 1 cm로 포설하여 씨앗 파종시 씨앗의 유실을 방지하고 발아가 원활히 진행될 수 있도록 하였다. 파종량은 발아율 및 식물의 성장에 따른 피복도를 고려하여 블록 한 개당 톨레스큐(Tall fescue), 페레니얼 레이그라스(Perennial ryegrass), 켄터키 블루그라스(Kentucky bluegrass)를 각각 0.8 g씩 혼합하여 적용하였다.

식생 적용 후 온도 및 외부 환경 조절을 위하여 비닐 하우스내에서 생육이 진행될 수 있도록 하였으며, 씨앗의 발아 및 생육을 촉진하기 위하여 충분한 수분을 공급하였다. 씨앗의 발아 및 초기 생육 상태를 육안으로 매일 관찰하여 초기 발아율, 생장량 및 피복도를 측정하였으며, 파종 후 4주가 경과한 시점에는 뿌리길이를 측정하였다.

식생특성은 재령 28일에 따른 각각의 피복도, 생장량, 뿌리길이 측정 및 근계력 실험 등을 통하여 분석하였다. CSG 재료를 이용한 식생 블록 내 식물의 성장 특성을 분석하기 위하여 발아율, 피복도, 생장량 및 뿌리길이 등을 파종 후 4

(a) Cover view

(b) Root potential testing view

Fig. 3. Cover view and root potential testing view

주 동안 측정하였다. 발아율 및 피복도는 육안으로 관찰하여 시멘트의 혼입 유무 및 식물의 종류에 따른 생육 특성을 분석하였으며, 특히 피복도는 시각적 평가방법(visual rating system)을 이용하여 생장 후기(파종 후 4주)에 조사하였다. Fig. 3(a)는 근계력 측정을 위해 근계력 측정용 케이스가 장착된 완성된 식생블록을 나타내며, Fig. 3(b)는 근계력 측정 후 식생블록과 탈락된 케이스 및 식생을 보여준다.

시각적 평가방법에 의한 가시적 피복도 평가 시 점수는 발아 직전 피복이 전혀 되지 않은 나지 상태를 1점, 피복이 가장 양호한 상태를 9점으로 하여 1~9점 사이에서 피복도를 평가하였다(김경남 등, 2003). 또한, 생장량 및 뿌리길이는 식물의 성장에 따른 초장의 길이와 뿌리길이를 직접 측정하여 정성적 평가를 실시하였다.

한편 CSG 재료를 활용한 식생블록에서 단위시멘트량 및 식생 종류에 따라 식물 뿌리의 원지반과의 고착 및 근입에 따른 근계력을 정량적으로 분석하기 위하여 1.96 MPa 및 4.90 MPa 용량의 인장력 시험기를 이용하였다.

2.4.3 CSG 블록의 휨강도 시험

시료를 Fig. 4와 같이 놓고 지점간 거리를 170 mm로 취하여 지점 간 중앙에 하중을 가하여 휨 강도를 측정하였으며 KS F 2408(콘크리트의 휨강도 시험방법)에 준하여 20×20×5 cm 인 공시체를 압축강도 시험기로 0.1mm/min의 속도로 하중을 재하하여 측정하였다(Fig. 5 참조).

Fig. 4. Schematic diagram of testing method

Fig. 5. Testing view

3. 결과 및 고찰

3.1 CSG 재료 특성

3.1.1 다짐

시멘트량에 따른 CSG재료의 다짐 특성에 의한 최적함수비 및 최대건조단위중량을 분석하기 위하여 시멘트량을 0, 4, 6, 8, 10%로 달리하여 A다짐에 의한 다짐시험을 실시하고 각 단위시멘트량에 따른 최대건조단위중량 및 최적함수비를 도출하였다. Fig. 6은 시멘트량에 따른 최적함수비 및 최대건조단위중량을 나타낸다.

시멘트량에 따른 A다짐시험 결과 시멘트량 0, 4, 6, 8, 10%에 대한 최대건조밀도 및 최적함수비는 각각 2.14, 2.05, 2.05, 2.02, 2.04 g/cm³ 및 8, 10, 10.65, 11.38, 10.29%로 나타나 시멘트량에 따른 최대건조밀도 및 최적함수비는 근소한 차이를 보이는 등 전반적으로 유사한 경향을 나타내었다. Watanabe et al. (2003)은 2.5%의 시멘트를 사용한 CSG 재료에서 최적함수비는 다짐방법에 따라 차이가 있으나 대략 5~8.7%, 최대건조단위중량은 2.15~2.2 g/cm³정도 인 것으로 발표한 바 있는데, 본 연구 결과는 10~11.38% 및 2.02~2.05 g/cm³정도를 나타내어 시멘트 혼합비 등을 고려한다면 거의 유사한 결과를 나타내고 있다.

3.1.2 일축압축강도

CSG재료에서 시멘트량은 강도 특성과 밀접한 관계가 있으

Fig. 6. Optimum water content curve by a compaction

며, 일반적으로 시멘트량이 많을수록 강도는 증가하지만 경제성 및 설계기준강도 등을 고려하여 시멘트량에 대한 최적배합비를 도출하는 것이 중요하다. Fig. 7은 CSG 재료의 재령 및 시멘트량에 따른 일축압축강도를 나타낸다.

(a) Curing time vs. average UCS

(b) Cement content vs. average UCS

Fig. 7. Variation of average UCS due to curing time and cement content

Fig. 7(a)은 재령 3일, 7일, 28일에서의 압축강도를 나타낸 것으로 재령 3일에서 급격한 강도 발현을 볼 수 있고 7일 이후부터는 강도의 증가율은 둔화되는 것을 볼 수 있다. 재령 7일 강도는 재령 28일 강도의 70% 수준 이상으로 나타나고 있다. 김창우(2010)는 대기 중 3일간 양생한 시멘트 혼합비 4, 8, 12, 16%의 시멘트 혼합토의 일축압축강도시험 결과 각각 0.54 MPa, 2.04 MPa, 3.91 MPa, 6.49 MPa로 나타났다고 보고한 바 있다. 본 연구 결과에서는 대기 중 3일간 양생한 시멘트 혼합비 4, 6, 8, 10%의 시멘트 혼합토의 일축압축강도시험 결과 각각 1.84 MPa, 2.58 MPa, 2.99 MPa, 3.71 MPa로 나타났다. 동일한 혼합비인 4%와 8%에서 본 연구결과와 김창우(2010)의 연구결과를 비교해 보면 4%에서는 본 연구결과가 약간 높은 결과를 나타냈고 8%에서는 거의 유사한 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7(b)는 시멘트 함유량에 따른 일축압축강도의 관계 나타낸 것으로 0.997이상의 높은 상관성을 갖는 것을 알 수 있다. 시멘트의 함유량이 많을수록 일축압축강도는 커지며 소량의 시멘트량이라 하더라도 시멘트가 강도특성에 미치는 주요 인자임을 알 수 있다.

시멘트 함유량 10%에서 28일 강도는 6.3 MPa, 7일 강도로는 5.2 MPa에 이르고 있는데, 영국 및 미국에서 고속도로 기능으로 Soil cement를 사용할 때 압축강도의 기준으로 7일 양생하여 1.75 MPa의 압축강도를 취하고 있으며 미국공병단의 연구에 의하면 $\sigma = 1.4 \sim 2.1$ MPa만 있으면 파괴는 일어나지 않고 P.A.C에 의하면 $\sigma = 2.1$ MPa이상의 Soil cement는 항상 각종 내구성 시험에 합격한다고 한다(조진구, 1974). 건축 자재로 사용한다면 우리나라의 시멘트 벽돌을 기준으로

Table 5. Average UCS ratio of the specimens

Curing time	Cement 0%	Cement 4%	Cement 6%	Cement 8%	Cement 10%
3 days	0.60	0.67	0.64	0.57	0.59
7 days	0.69	0.83	0.81	0.84	0.85
28 days	1	1	1	1	1

하여 28일 강도 5.0 MPa정도이면 충분하므로 8%이상의 시멘트를 혼합하면 소요 강도의 CSG 호안블록 등 CSG 재료를 이용한 블록 제품을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

Table 5는 28일 강도에 대한 각 시료 크기별 강도비를 나타낸 것으로 3일 강도의 경우 28일 강도의 약 57~67%, 7일 강도의 경우 28일 강도의 약 69~85%수준의 강도를 나타내고 있다.

3.2 식생 특성

Table 6은 PVA를 혼합한 CSG 식생블록 내 성장량, 피복도, 근계력 등 식생 특성을 나타낸다. 식생 실험에서 시멘트량에 따른 배합에 관계없이 모든 식생블록에서 약 4~7일 사이에 초기발아가 시작되었으며, 초기발아율은 약 60~65%를 나타내었다. 이와 같이 초기발아율이 높게 나타난 것은 잔디를 혼파하였기 때문으로 판단되는데, 김경남 등(2003)은 켄터키 블루그라스, 페레니얼 레이그라스 및 톨웨스큐 중 페레니얼 레이그라스가 가장 빠른 발아속도를 나타내며, 켄터키 블루그라스가 가장 발아속도가 느리다고 발표한 바 있다.

한편, 시멘트량에 관계없이 모든 식생블록에서 모두 높은 초기발아율을 나타낸 것은 CSG 식생블록 제작 시 블록 위에 배양토를 포설함으로써 식생의 발아 조건을 개선하였을 뿐만 아니라 초기 발아가 파종 후 1주일 이전에 진행되어 CSG 지반이 완전하게 경화하지 않은 상태였기 때문으로 판단된다. 따라서 시멘트를 혼합한 모든 CSG 배합에서도 식물의 종류에 관계없이 발아가 이루어지는 것을 고려할 때 초기 발아 측면에서 시멘트의 혼입량에 관계없이 CSG 재료의 식생 적용이 가능한 것으로 판단된다.

Table 6에서 보는 바와 같이 파종 후 4주가 경과한 시점에서 잔디 3종을 파종한 식생블록에서 식물의 지상부 성장량은 CSG 배합에 관계없이 모든 블록에서 6~10 cm를 나타내었다. CSG 배합에 따른 지상부 성장량의 차이는 거의 없는 것으로 나타나 시멘트의 혼입이 CSG 식생블록에 식재된 식물의 성장특성에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된

Table 6. Growth properties within CSG planting block after mixed seeding

Cement content	PVA (%)	Growth length (cm)		Cover view		Root length (cm)	
		No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2
4%	0.6	8.5	7	8	8	3.5	1.5
	0.8	8	8	8	7.5	3	2
	1.0	7.5	8	9.5	8	3.3	2
6%	0.6	8	7	7	8	3	3
	0.8	10	6	8	8	5.5	5
	1.0	9	5.5	9.5	7.5	4.5	3
8%	0.6	10	7.5	8	8.5	3.5	1.5
	0.8	9.5	6	8	8.5	4.5	2
	1.0	9	5.5	9	7.5	4	1.5
10%	0.6	10	6.5	9.5	7.5	3.5	3
	0.8	9	6.5	9.5	8.5	3.5	1.2
	1.0	9	6.5	8.5	7.5	3.5	2.5

다. 한편, 잔디계열과 초본식물을 혼합 파종할 경우 잔디계열의 높은 초기 성장속도와 초기 성장속도는 늦지만 성장기간이 길어짐에 따라 줄기와 잎에 의한 피복 면적을 증가시킬 수 있는 초본식물의 상호작용에 의해 녹화공법에 유리할 것으로 판단된다.

또한 시멘트량에 관계없이 파종 후 4주가 경과한 시점에서 잔디 3종을 파종한 식생블록에서 피복도 7.5점 이상의 높은 피복도를 나타내었다. 상기의 결과를 비추어볼 때 초기성장속도가 우수한 잔디계열을 혼합 파종 할 경우 녹화 공법 적용시 매우 유리할 것으로 판단된다.

3.3 근계력 특성

Fig. 8은 PVA가 혼입된 CSG 식생블록 내에서 파종 후 4주가 경과한 시점에서 근계력 측정 결과를 나타낸다.

본 연구 결과 28일 재령의 시멘트 함유량 4%, 6%, 8%, 10%의 CSG 식생블록에 대한 PVA(0.6%, 0.8%, 1.0%) 혼합 비율에 따른 각각의 근계력은 1.08~1.46kPa, 0.77~1.16 kPa, 0.69~1.46 kPa 및 0.78~1.08 kPa의 범위를 나타내었으며, 시멘트 4%를 배합한 식생블록에서 대체적으로 높은 근계력을 나타내었는데, 식생블록을 절단하여 유관 관찰한 결과 시멘트를 적게 혼입한 식생블록은 식물의 뿌리가 상대적으로 조금 더 깊게 관입하는 것을 볼 수 있었으며 이러한 현상이 부착력을 높이는 결과를 초래하여 근계력도 높게 나타나는 것으로 판단된다. 또한 PVA 혼합 비율이 높을수록 근계력도 높아지는 것을 알 수 있어 섬유는 식생블록의 인장력을 증진시켜 근계력을 높이는데 일조하는 것으로 사료된다.

3.4 CSG 블록의 휨강도 특성

일반적으로 시멘트량은 강도 특성과 밀접한 관계가 있으며 일반적으로 시멘트량이 많을수록 강도는 증가하지만 경제성 및 설계 기준 강도 등을 고려하여 시멘트량에 대한 최적 배합비를 도출하는 것이 중요하다.

Fig. 9는 재령 28일의 토목 섬유 및 시멘트 함유량에 따른 CSG블록의 휨강도 나타낸다. Fig. 9(a)의 시멘트 혼합비 4%에서 PVA 0.6%, 0.8%, 1.0일 때의 휨강도는 각각 1.02 MPa, 1.29 MPa, 1.26 MPa이며, Fig. 9(b)의 시멘트 혼합비 6%에

Fig. 8. Root potential vs. cement content with PVA

Fig. 9. Flexural strength of CSG blocks with PVA

서 PVA 0.6%, 0.8%, 1.0일 때의 휨강도는 각각 1.04 MPa, 1.69 MPa, 1.97 MPa로 나타났다. 또한 시멘트 혼합비 8%인 Fig. 9(c)의 경우 PVA 0.6%, 0.8%, 1.0일 때의 휨강도는 각각 2.17 MPa, 2.40 MPa, 2.54 MPa이며, Fig. 9(d)의 시멘트 혼합비 10%에서 PVA 0.6%, 0.8%, 1.0일 때의 휨강도는 각각 3.14 MPa, 3.25 MPa, 3.76 MPa로 나타났다.

시멘트 함유량이 많아질수록 파괴강도가 증가하며 특히 시멘트 함유량 10%에서 급격하게 파괴강도가 증가하며, 응력-변형률 거동이 최대 강도에 도달한 후 급작스럽게 응력이 떨어지는 취성적인 파괴현상을 보임을 알 수 있다. 또한, 시멘트비가 증가할수록 강도는 증가하고 섬유비가 클수록 강도도 크나 섬유비 보다는 시멘트비에 영향을 더 많이 받음을 알 수 있다. 이는 시멘트에 의하여 생성된 수화생성물은 흙과의 결합력을 증가시킬 뿐만 아니라 혼입된 PVA 섬유와의 부착력 향상에도 기여하여 섬유 보강 혼합토 재료의 파괴강도 증진에 효과적일 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 섬유 보강 CSG 블록에 식재된 식생의 생장 특성 분석 및 식생블록의 휨강도 실험을 통한 파괴강도 특성을 고찰하였으며, 본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 파종 후 4주가 경과한 시점의 CSG 식생블록에서 시멘트 배합에 관계없이 식재된 잔디의 생장량 차이는 거의 없는 것으로 나타나 시멘트의 혼입이 CSG 식생블록에

식재된 식물의 지상부 생장 특성에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

- 2) CSG 식생블록에서 초기성장 속도가 우수한 잔디계열을 혼합 파종 할 경우 녹화 공법 적용시 매우 유리할 것으로 판단된다.
- 3) CSG 식생블록에서 PVA를 0.6~1.0% 혼합한 경우 PVA 비율이 높을수록 근계력도 높아져, PVA는 식생블록의 인장력을 증진시켜 근계력을 높이는데 일조하는 것으로 판단된다.
- 4) CSG 식생블록에서 시멘트 혼합비를 4%, 6%, 8%, 10%로 하고 PVA를 0.6~1.0% 혼합한 경우 최대 휨강도는 시멘트 혼합비 10%, PVA 1.0%일 때 3.76MPa를 기록하였으며, 시멘트비가 증가할수록 휨강도는 증가하고 섬유비가 클수록 휨강도도 크나 섬유비 보다는 시멘트비에 영향을 더 많이 받는 것으로 판단된다.
- 5) CSG 식생블록에서 PVA를 혼합한 경우 시멘트에 의하여 생성된 수화생성물은 흙과의 결합력을 증가시킬 뿐만 아니라 혼입된 PVA 섬유와의 부착력 향상에도 기여하여 섬유 보강 혼합토 재료의 파괴강도 증진에 효과적일 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품기술기획평가원 생명산업기술개발사업[과제번호: 111112-1] 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 김경남, 박원규, 남상용 (2003) 모래 토양에서 켄터키블루그라스, 퍼레니얼라이그라스, 톨레스큐 및 한지형 혼합구 뗏장의 피복도, 균일도, 근계형성력 및 잔디품질 비교, **한국잔디학회지**, 제17권, 제4호, pp. 129-146.
- 김창우 (2010) **시멘트 혼합토의 일축압축강도에 관한 연구**, 원광대학교, 석사학위논문, pp. 1-46.
- 박성식, 김영수, 최선규, 신시연 (2008) 단섬유를 사용한 시멘트 혼합토의 일축압축강도 특성, **대한토목학회 논문집**, 제28권, 4C호, pp. 213-220.
- 성찬용 (2004) 폴리프로필렌 섬유보강 흙콘크리트 포장재료의 투수 특성, **한국농공학회 논문집**, 제46권, 제6호, pp. 13-19.
- 성찬용, 김영익 (2003) 폴리프로필렌 섬유보강 환경친화형 포장재료의 개발, **한국농공학회 논문집**, 제46권, 제1호, pp. 35-40.
- 연규석, 김영익, 현상훈, 김용성 (2010) CSG 재료의 압축강도 특성 및 동결융해 저항성, **한국농공학회 논문집**, 제52권, 제1호, pp. 51-59.
- 조진구 (1974) Soil-Cement의 물리적 성질에 관한 연구, **한국농공학회 논문집**, 제16권, 제3호, pp. 3533-3538.
- 장병욱, 박영근, 우철웅, 김강석 (1999) 섬유혼합보강토의 일축강도 특성, **한국농공학회 논문집**, 제41권, 제1호, pp. 72-78.
- Consoli, N.C., Bassani, M.A., and Festugato, L. (2010) Effect of Fiber-reinforcement on the Strength of Cemented soils, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 28, pp. 344-351.
- Consoli, N.C., Vendruscolo, M.A., Fonini, A., and Rosa, F.D. (2009) Fiber Reinforced Effects on Sand Considering a Wide Cementation Range, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 27, pp. 196-203.
- Kumar, A., Walia, B.S. and Mohan, J. (2006) Compressive Strength of Fiber Reinforced Highly Compressible Clay, *Construction and Building Materials*, Vol. 20, pp. 1063-1068.
- Park, S.S. (2011) Unconfined Compressive Strength and Ductility of Fiber-reinforced Cemented Sand, *Construction and Building Materials*, Vol. 90, No. 5, pp. 441-451.
- Tang, C.S., Shi, B. Chan, F. and Chi, Y. (2007) Strength and Mechanical Behavior of Short Polypropylene Fiber Reinforced and Cement Stabilized Clayey Soil, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 25, pp. 194-202.
- Tang, C.S., Shi, B. and Zhao, L.Z. (2010) Interfacial Shear Strength of Fiber Reinforced Soil, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 28, pp. 54-62.
- Watanabe, K., Tateyama, M. Jiang, G.L. Tatsuoka, F. and Lohan, T.N. (2003) Strength Characteristics of Cement Mixed Gravel Evaluated by Large Triaxial Compression Test. Proc. 3rd Int. Symp. on Deformation Characteristics of Geomaterials. Di, B. ed., Lyon, pp. 683-693.
- Zaimoglu, A.S. (2010) Freezing-thawing Behavior of Fine-grained Soils Reinforced with Polypropylene Fibers, *Cold Regions Science and Technology*, Vol. 60, pp. 63-65.

◎ 논문접수일 : 2012년 09월 07일
 ◎ 심사의뢰일 : 2012년 09월 07일
 ◎ 심사완료일 : 2012년 09월 28일