Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 19, No. 12 pp. 258-264, 2018

https://doi.org/10.5762/KAIS.2018.19.12.258
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

기능성 첨가재를 적용한 급경사면용 녹생토의 경도 및 리바운드 특성

이병재[1], 김효정[2], 김윤용[3*]
[1]대전대학교 토목공학과, [2]제이엔티아이엔씨 기술연구소, [3]충남대학교 토목공학과

Hardness and Rebound Properties of Sprayed Green Soil Produced with Functional Additives for the Application to Steep Slopes

Byung-Jae Lee[1], Hyo-Jung Kim[2], Yun-Yung Kim[3*]
[1]Dept. of Civil Engineering, Daejeon University
[2]R&D Center, JNTINC Co. Ltd.
[3]Dept. of Civil Engineering, Chungnam National University

요 약 본 연구에서는 급경사면서의 식생기반재 부착 및 녹화성능 확보를 위해 혼입한 기능성 첨가재의 성능 평가를 수행하였다. 기능성 첨가재의 혼입조건에 따른 평가 결과, 급경사면의 부착이 가능하면서 식물의 생육에 원활히 수분 공급을 위한 기능성 첨가재로서 증점제 및 고흡수성 폴리머의 적정 혼입율은 각각 5%, 1% 인 것으로 판단된다. 시멘트 계열의 경화재로 인하여 높아진 pH에 대한 대책으로서 킬레이트 수지 10% 이상 혼입시 pH가 약알칼리에서 중성으로 회복되었다. 토양 전도도 평가 결과, 모든 배합조건에서 254~340mS/m으로 측정되어 기준인 1,000mS/m이하인 기준을 만족하였다. 기능성 첨가재의 최적 배합조건으로 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침에서 제시하는 경도를 측정한 결과 1bar의 압력으로 시공할 때, 18~23mm의 기준을 만족하였다. 급경사면에 대한 부착강도 평가를 위해 경사면 각도조건에 따라 분사 후 리바운드량과 산중식 경도계를 이용한 경도를 측정한 결과, 75도 각도에서도 리바운드율 15%미만, 경도 18mm이상의 성능 확보가 가능하였다.

Abstract In this study, the improved performance of sprayed green soil was evaluated by incorporating functional additives. The optimal mixing ratio of the thickener and super-absorbent polymer, as an additive for moisture supply to the growth of plants within the range of mixing ratios that gives sufficient strength of green soil, was 5% and 1%, respectively. Using Portland cement as a main binder, the pH of the green soil was 9.1. To solve this alkali problem, the mixing proportion was improved so that the pH of the green soil was approximately 7.2 by mixing more than 10% of the chelate resin. The soil conductivity was measured to be 280 ~ 350mS/m under all the mixing conditions. This satisfied the criterion of less than 1000mS/m on the slope surface. As a result of measuring the soil hardness of the green soil prepared under the optimal mixing conditions of functional additives, it satisfied the criteria of 18 ~ 23mm when sprayed under a 1 bar pressure. The rebound rate was less than 15% when spraying green soil on a 75 % slope, and the hardness of the sprayed green soil was more than 18 mm.

Keywords : Steep slopes, Sprayed green soil, Functional additives, Rebound raito, Hardness

본 논문은 2015년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2015R1A5A1037548).
*Corresponding Author : Yun-Yung Kim(Chungnam Univ.)
Tel: +82-42-821-7004 email: yunkim@cnu.ac.kr
Received July 23, 2018 Revised (1st August 6, 2018, 2nd October 15, 2018, 3rd December 3, 2018)
Accepted December 7, 2018 Published December 31, 2018

1. 서론

전국적으로 개설되는 각종의 도로는 주택 및 산업단지 등의 조성과 함께 대규모 훼손비탈면을 발생시키는 주요한 원인이 되어 이로 인한 자연환경의 파편화 현상도 매우 심각하게 나타나고 있다. 이런 인위적으로 생성된 비탈면들은 침식방지와 경관미 회복, 종다양성 회복과 증진을 위해 훼손되기 이전의 모습으로 복원시키는 것이 바람직하다. 이에 대한 대책으로 생태복원과 사면보강을 동시에 해결 할 수 있는 녹화공법에 대한 연구와 적용기술 개발이 활발히 이루어지고 있으며, 식생 생육의 기반이 되는 녹생토 조성과 관련된 많은 기술들이 개발되고 있는 추세이다[1-3]. 우리나라의 경우 공사로 조성된 인공사면은 식생의 생육 기반이 양호하지 못하고 자연 복원력만으로 복원되기 힘들며 장기간이 소요된다. 또한 기존의 사면용 녹생토를 사용한 식생의 경우, 건조수축에 따른 표면 탈락으로 장기부착 능력이 저조하게 발현되며, 우천 시 강우 강도가 높을 경우 사면의 세굴 및 훼손에 대한 내구성 및 안정성이 열악한 실정이다[4-6]. 이에 따라 환경 친화적이며 안정성을 확보한 사면안정대책 개발의 필요성이 증대되고 있으며, 식생의 생육기반을 인공적으로 조성하는 사면안정공법인 사면 식생공법은 콘크리트면까지 적용 범위를 확대하고 있다.

본 연구에서는 국내산 천연부엽토와 바크퇴비, 코코피트, 질석을 혼합하여 제조된 식생기반재와 친환경적인 경화재 및 기능성 첨가재 적용 연구를 수행을 하였다. 경화재의 경우 시멘트 기반으로 CSA(calcium sulfo aluminate), 플라이애시, 석고 등을 혼합하는 형태로 선정하였으며 기능성 첨가재는 녹생토의 함수율, 전기전도도, 산도 등을 제어할 수 있는 재료를 선정하여 평가하였다.

따라서, 본 연구에서는 급경사면서의 식생기반재 부착 및 녹화성능 확보를 위해 혼입한 기능성 첨가재의 최적 배합을 도출하고, 토양경도 및 리바운드 성능을 평가하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

본 연구에서는 급경사면 녹화용 녹생토의 관계요인별 성능 평가를 위해서 Series Ⅰ, Ⅱ로 나누어 실시하였다. Series Ⅰ에서는 기능성 첨가제를 혼입한 녹생토에 대하여 함수율, 토양산도 및 토양전도도를 평가하였으며, Series Ⅱ에서는 최적배합조건 녹생토의 역학적 성능을 검증하였다.

2.1 사용재료

2.1.1 식생기반재

본 연구에서는 국내산 천연부엽토와 바크퇴비를 혼합하여 제조된 식생기반재를 사용하였다. 천연 부엽토와 바크퇴비는 수목 초화류의 생육과정 기간 동안 충분한 유기물과 양분을 공급해주며, 혼입된 점토 성분은 보수력, 보비력을 향상시켜 불량환경에 대한 적응력을 강화시킬 수 있다.

2.1.2 경화재

본 연구에서는 사전실험으로 도출된 시멘트 계열의 경화재를 사용하였다[3]. 경화재는 마이크로시멘트, CSA, 반수석고, 플라이애시 등을 적정량 혼합하여 급경사면에서 녹생토 부착성능을 개선할 수 있게 배합설계하였다.

2.1.3 증점제

증점제는 물과 반응하여 본래 체적보다 13～16배정도 팽창하며 무게의 5배까지 물의 흡수가 가능한 몬모릴로나이트(montmorillonite)계 벤토나이트(bentonite)를 사용하였다.

2.1.4 고흡수성폴리머

고흡수성 폴리머는 자체 무게의 500～1,000배 정도의 수분을 흡수할 수 있는 기능을 가진 합성 고분자 물질로서, 본 연구에서는 셀룰로우스 계열 중합체인 고흡수성 폴리머를 사용하여 녹생토의 수분 함수율을 증가시키고자 하였다. 증점제 및 고흡수성폴리머의 화학적 특성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical characteristics of thickener and super absorbent polymer(%)

	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	SO_3	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	Cl
thickener	1.90	2.25	13.3	46.8	0.284	0.124	0.522	2.93	2.30	0.239	28.8	0.314
Super absorbent polymer	4.80	1.20	11.4	55.6	0.310	0.490	2.91	4.57	1.32	0.343	16.4	0.175

2.1.5 킬레이트 수지(Chelate resin)

킬레이트 수지는 3차원 가교된 고분자기재에 해당 중금속과 배위결합 결합이 가능한 관능기(N, S, O, P)를 결합시킨 재료로서, 건설재료로 활용시 중금속 흡착이 우수하며, 알칼리물질의 중성화 효과를 도모할 수 있는 특징을 가진다. 본 연구에서는 국내 J사에서 개발한 ECG-1000제품을 사용하였으며 특성은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Environmental characteristics of chelate resin

pH growth rate	Turbidity	Cr6+	Cd	Hg	Pb
+1.72	15	Non-detection	Non-detection	Non-detection	Non-detection

2.2 실험방법

2.2.1 기능성 첨가재 성능 평가

기능성 첨가재 성능평가를 위해 선행 연구결과에서 도출된 결과를 바탕으로 경화재에 대한 기능성 첨가재의 최대 대체율은 20% 미만을 목표로 설정하였다[3]. 함수율 개선 목적의 증점제, 고흡수성 폴리머의 경우 흡수성의 효과가 5(증점제):1(고흡수성폴리머) 비율로 혼합시 우수하였고 경제성을 고려하여 대체율은 최소로 설정하였다. 또한 킬레이트 수지의 경우 20%까지 경화제 대체 실험에서도 강도저하가 경향이 크지 않아 최대 혼입율을 20%로 설정하였다.

친환경 녹생토 제조는 모르타르 믹서를 사용하여 분체 재료(식생기반재, 기능성 첨가재)를 30초간 건비빔 한 후 액상재료인 킬레이트 수지와 혼합수를 투입하고 150초간 혼합하였다. 시험체는 아스팔트 마샬 시험에 사용되는 마샬용(∅100mm×h100mm) 몰드를 사용하여 제작하였다.

Series 1에서 적용한 기능성 첨가재의 배합조건은 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Mix proportion of binder

No.	Hardener (%)	PT[1] (%)	SAP[2] (%)	CR[3] (%)
S-1	100	-	-	-
S-2	95	5	-	-
S-3	90	10	-	-
S-4	99	-	1	-
S-5	98	-	2	-
S-6	90	-	-	10
S-7	80	-	-	20
S-8	84	5	1	10

[1] Powder thickener, [2] Super absorbent polymer, [3] Chelate resin

2.2.1.1 함수율

친환경 녹생토의 수분공급 및 사면부착성능 확보를 위해 토양의 함수율은 중요한 평가기준이 된다. 본 연구에서는 제조된 시편의 재령에 따른 함수상태를 측정하여 평가하였으며 함수율 측정은 다음 식(1)에 의해 계산하였다.

$$\text{함수율} = \frac{\text{자연상태시료무게} - \text{건조후시료무게}}{\text{건조후시료무게}} \times 100 \quad (1)$$

2.2.1.2 토양산도(pH)

경화재의 주성분이 시멘트로 이루어져 있으며, 이는 강알칼리 특성을 나타낸다. 따라서 식물의 생장에 영향을 미치지 않도록[7] 중성화 효과가 있는 킬레이트수지의 효과를 검증하고자 토양오염공정시험기준에서 제시하는 시험방법을 준용하여 녹생토의 산도를 측정하였다.

2.2.1.3 토양전도도

본 연구에서는 배합조건에 따라 녹생토 시료를 제조하여 KS I ISO 11265 토양의 질-비전도도의 측정방법[8]에 따라 비전도도를 측정하였으며, 하기의 식에 의해 저항을 계산하였다.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} (\rho\text{는 비례상수}) \quad (2)$$

2.2.2 급경사용 녹생토 역학적 성능 평가

급경사용 녹생토 적용을 위한 역학적 성능 평가는 Series 1에서 도출된 최적 배합에 대하여 적용조건별로 시험체를 제작하여 토양경도(강도) 및 부착성능을 평가하였다. 친환경 녹생토의 배합표는 Table 4에 나타내었다. 친환경 녹생토 제조는 모르타르 믹서를 사용하여 분체 재료(식생기반재, 기능성 첨가재)를 30초간 건비빔 한 후 액상재료인 킬레이트 수지와 혼합수를 투입하고 150초간 혼합하였다. 시험체는 아스팔트 마샬 시험에 사용되는 마샬용(∅100mm×h100mm) 몰드를 사용하여 제작하였다. 다짐방법은 에어콤프레샤에 중량식 분사건을 사용하고, 압축공기의 압력을 달리하여 압력을 이용하여 다짐하였다. 제작된 시험체의 양생은 습도 60% 조건에서 기건 양생하였다.

Table 4. Mix proportion of green soil

No.	Water (%)	Leaf mold (%)	Hardener and Functional Additives(%)
Unit weight (kg/m^3)	160	1,600	160

2.2.2.1 토양 경도 및 강도

녹생토의 경도 및 강도 성능평가는 산중식 경도계를 사용하였으며, 도로 비탈면 녹화공사의 설계 시공지침에서 제시하는 식물의 근계생장에 적절한 경도값인 18~23mm 범위를 목표로 하였다[9-10]. 또한, 산중식경도계값과 강도값의 상관관계식에 의해 압축강도를 추정하고 실험실에서 재령별 측정된 압축강도와의 비교연구를 수행하였다.

2.2.2.2 부착성능

시험체 제작은 공기압축기를 사용하여 1bar의 압력을 일정하게 분사 할 수 있는 중력식 모르타르건을 사용하였으며, 약 50cm거리에서 암반사면을 모사할 수 있는 콘크리트 벽면에 분사하여 부착성능(리바운드량 및 부착유무)을 평가하였다. 경사면의 각도 조건은 45°, 60°, 75°, 90° 로 변화시켜 평가 하였다.

3. 기능성 첨가재 성능 평가

3.1 함수율

친환경 녹생토 배합조건별 함수율 측정결과는 Fig. 1에 나타내었다. 재령 증가에 따라 함수율은 저하되는 것으로 나타났으며, 재령 28일 이후에는 감소경향이 둔화되는 것으로 나타났다. 경화재 만을 사용한 배합조건에서 재령 56일 함수율은 20%정도로 나타나 식물의 생육조건에 적합하지 못하였다.

증점제 및 고흡수성폴리머 혼입율 증가에 따라 함수율은 증대되는 것으로 나타났고, 증점제는 초기 함수율 증대에 효과적이었으며, 고흡수성폴리머는 장기 흡수율이 증가되는 것으로 확인되었다. 따라서, 증점제와 고흡수성폴리머를 동시에 적용한 배합이 가장 우수한 함수율 효과를 나타내었다. 킬레이트수지 혼입시 함수율이 미미하게 증가하였지만, 증점제 및 고흡수성폴리머의 효과에는 미치지 못한 것으로 나타났다. 친환경 녹생토의 강도조건 및 경제성을 감안 하였을 때, 본 시험조건에서의 최적 혼입율은 증점제 5%, 고흡수성폴리머 1%가 적절한 것으로 판단된다.

3.2 토양 산도(pH)

토양의 산도를 측정한 결과를 다음 Fig. 2에 타내었다. 친환경 녹생토의 배합에서 바인더는 약 10%정도 혼입되며, 경화재의 주성분이 시멘트계열로서 산도가 증가되는 경향을 나타내 경화재 만을 사용한 배합조건에서 산도는 pH 9.1로 측정되었다. 이는 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침의 기준인 6~8의 산도 기준을 초과하여 식물의 생장에 적합하지 못한 결과를 나타내었다.

배합조건별 평가 결과, 기능성 첨가재의 혼입율이 증가함에 따라 산도는 낮아지는 경향을 나타내었으며, 킬레이트 수지의 흡입에 따라 최대 pH 6.9까지 감소되는 것으로 확인되었다. 또한, 본 연구범위에서 최적 배합으로 도출한 S-8 배합에서 7.3의 산도를 나타내, 녹생토로 적용이 가능할 것으로 판단된다.

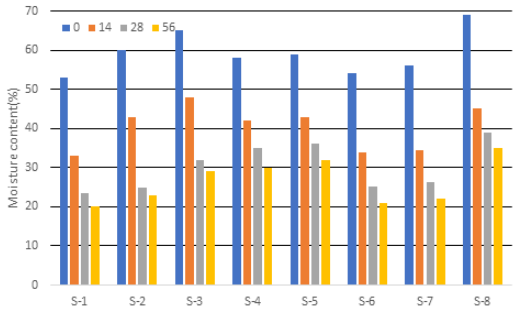


Fig. 1. Moisture content

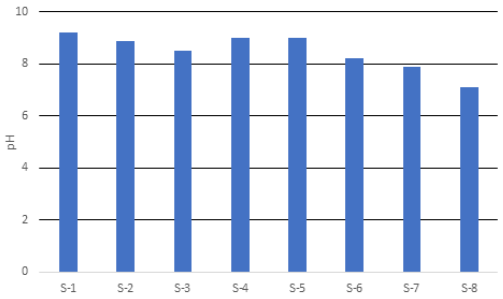


Fig. 2. Soil acidity(pH)

3.3 토양 전기전도도

토양의 전도도 측정은 토양 내부의 이온상태 염류를 측정하여, 양질의 토양 유무를 판별하는 방법으로서, 도

로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침에서는 전기전도도를 1dS/m 이하로 규정하고 있다[11].

친환경 녹생토의 배합조건별 전기전도도 시험결과를 Fig. 3에 나타내었다. 본 연구조건의 배합에서는 식생기반재의 혼입률이 90%로서, 식생기반재의 특성이 토양전기전도도를 좌우 하며, 측정결과 배합조건별로, 토양전도도의 유의미한 결과를 나타내지는 않았다. 하지만, 모든 배합조건에서 식생기반재 기준인 전기전도도 1,000mS/m를 만족하는 것으로 나타나 친환경 녹생토로 적용 가능함을 확인하였다.

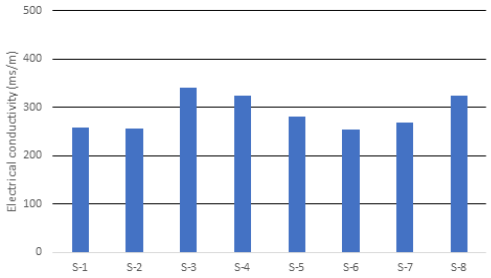


Fig. 3. Electrical conductivity

4. 급경사용 녹생토의 역학적 성능평가

성능검증방법 도출을 위해 현장에서 압력분사 되는 시공공법을 모사할 수 있도록 모르타르건의 분사 조건별 강도 성능을 평가하였다.

4.1 토양경도 및 강도

녹생토의 시험체 제작 조건별 경도 및 강도는 측정값은 Fig 4에 나타내었다.

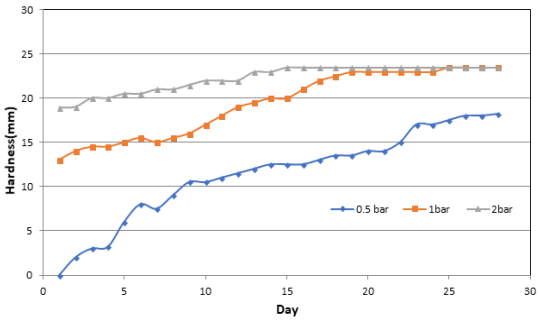
산중식 경도계를 이용하여 재령별 경도 측정결과, 재령의 증가 및 녹생토 분사 압력이 높을수록 경도가 높아지는 경향을 나타내었다. 0.5bar의 압력에서는 녹생토 시공지침에서 제시하는 기준 이하의 경도를 나타내었고, 1bar 이상의 압력에서는 14일 재령기준으로 20~23mm의 경도값을 나타내어 목표경도를 만족하는 것으로 나타났다. 경도는 14일 이후 증가 경향이 둔화되어 23.5정도에서 수렴되는 것으로 확인되었다. 또한, 산중식경도계에서 제시하는 일축압축강도 환산식으로 환산한 강도값은 재령별 측정된 실측 압축강도와 유사한 경향을 나타내어 실험이 적절하게 수행된 것으로 판단된다.

4.2 부착성능

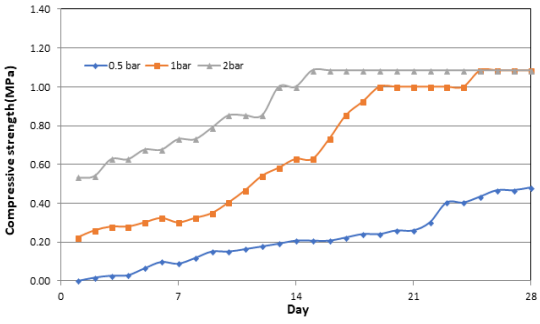
친환경 녹생토의 급경사면 적용가능성을 검증하기 위해 진행한 사면부착 실험전경은 Fig. 5에 나타내었다.

부착정도 평가를 위해, 동일량, 동일압력(1bar)으로 사면기울기에 따라 분사한 경우, 리바운드량을 측정한 결과는 Fig. 6에 제시하였다. 사면기울기가 급해질수록 리바운드량이 증가하는 경향을 나타내었으나, 수직경사인 90°에서도 평균 리바운드량이 20.7%정도로 약 80% 정도 부착이 가능한 것으로 나타났다. 또한 도로공사표준시방서에서 제시하는 발파암의 경사각도가 63.4°임을 감암할 때, 사면각도 75°이하에서 녹생토 15%이하의 리바운드율을 나타내어 부착성능이 우수한 것으로 판단된다.

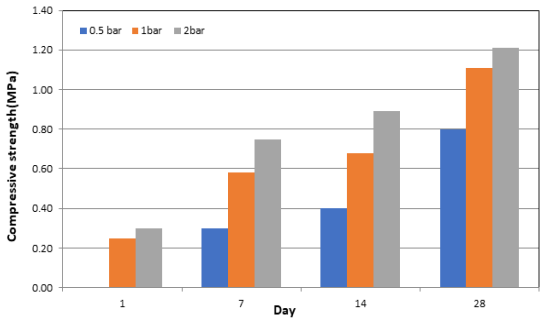
친환경 녹생토 경사면 조건별 부착시험 후, 재령에 따른 경도 측정한 결과는 Fig. 7에 나타내었다. 사면 기울기 45°, 60° 및 75°에서는 재령 14일 이후, 식생기반재의 경도 조건인 18~23mm를 만족하는 것으로 나타났다. 사면 기울기 90°에서도 재령 28일 이후에는 경도 조건을 만족하는 것으로 확인하였다.



(a) Mountain Hardness



(b) conversion compressive strength



(c) compressive strength

Fig. 4. Hardness and compressive strength test results

(a) 45°

(b) 90°

Fig. 5. Green soil spray photograph by slope condition

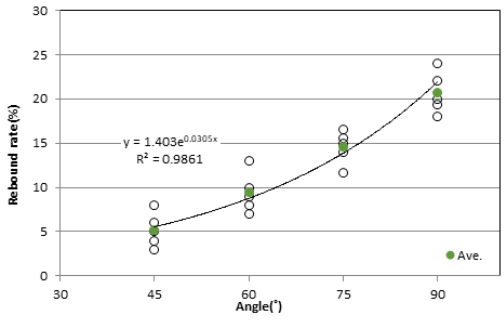


Fig. 6. Rebound rate test results

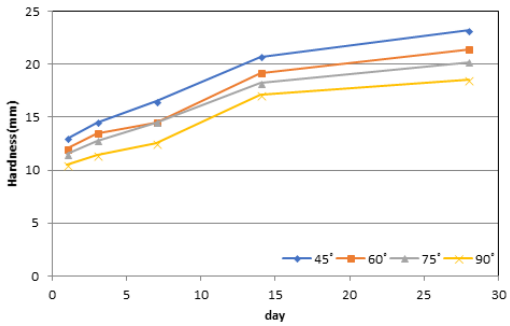


Fig. 7. Hardness test results

5. 결론

본 연구에서는 사면 보호를 위한 녹생토용 결합재의 최적배합을 도출하고, 식생기반재에 기능성 첨가재 혼입에 따른 녹생토 성능 평가를 수행하였다.

(1) 기능성 첨가재로서, 증점제 및 고흡수성폴리머의 혼입율이 증가함에 따라 녹생토의 함수율이 증가되었다. 증점제는 초기재령, 고흡수성폴리머는 장기 재령에서 함수율 개선에 효과적인 것으로 나타났다.

(2) 시멘트 계열의 경화재로 인하여 높아진 pH에 대한 대책으로서 킬레이트 수지 10% 이상 혼입시 pH가 7.5~6.9로 나타나 중성화 되는 것으로 확인하였다.

(3) 녹생토의 이온상태 염류 함유정도를 평가할 수 있는 토양 전도도 측정 결과, 모든 배합조건에서 254~340mS/m으로 측정되어 1,000mS/m이하인 기준을 만족하였다.

(4) 녹생토의 원활한 녹화를 위해 식물의 근계성장에 적다한 기준인 경도 18~23mm조건은 1bar이상의 압력으로 분사하여도 14일 재령 이상에서 기준을 만족하는 것으로 나타났으며, 압축강도 측정값과의 유사한 경향의 실험결과를 나타내었다.

(5) 급경사면에 대한 부착성능 검증을 위해 리바운드량 및 재령별 경도 측정결과, 75°의 경사에서도 리바운드량 15%미만, 14일 재령의 경도 18mm이상의 결과를 나타내 급경사면의 적용이 가능함을 확인하였다.

References

[1] Y. T. Kim, H. S. Kang, "Shear and CBR characteristics of dredge soil-bottom ash-waste tire powder-mixed lightweight soil", *Journal of Ocean Engineering and Technology*, Vol. 25, No. 3, pp. 34~39, 2011.
DOI: https://www.doi.org/10.5574/ksoe.2011.25.3.034

[2] K. H. Kim, Y. T. Kim, S. H. Lee, "A Study on Slope Reinforcing Effects Using Soil Stabilizer", *J. of the Korean Geotechnical Society*, Vol. 26, No. 10, pp5-14, 2010

[3] B.J. Lee, H.S. Heo, J. H. Noh, Y. I. Jang, "The Verification Of Green Soil Material Characteristics For Slope Protection" *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology,* Vol.7, No.6, pp.681-692, 2017
DOI: https://www.doi.org/10.14257/ajmahs.2017.06.15

[4] S. W. Oh, J. C. Jeon, D. G. Kim, H. H. Lee, Y.C. Kwon, "Shear Strength and Erosion Resistance Characteristics of Stabilized Green Soils", *J. of the Korea Geoenvironmental Society*, Vol. 16, No. 12, pp45-52, 2015
DOI: https://www.doi.org/doi.org/10.14481/jkges.2015.16.12.45

[5] B. Lowery, J. E. Morrison, JR. 2002. Soil penetromaters and penetrabliity in method of Soil Analysis Part 4. Physical Method (ed). Dick, W.A., Published by Soil Science Socisty of America Book Series. Madison, Wisconsin, USA.

[6] S. Y. Seong, E. C. Shin, "Evaluation of Erosion Resistance Capability with Adhesive Soil Seeding Media", *J. of the Korea Geosynthetics Society*, Vol. 14, No. 2, pp71-79, 2015.
DOI: https://doi.org/10.12814/jkgss.2015.14.2.071

[7] K. H. Lee, K. H. Yang, "Evaluation of pH and Compressive Strength Development of Alpha-Calcium Sulfate Hemihydrate-based Binder", *J. Korea Inst. Build. Const*, Vol. 16, No. 1, pp59-65, 2016.
DOI: https://www.doi.org/doi.org/10.5345/jkibc.2016.16.1.059

[8] KS I ISO 11265 "Soil quality – Determination of the specific electrical conducticiy" Korean Standard, 1994.

[9] NIAST. "Analytical methods of soil and plant" National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, 2000.

[10] B. J. Lee, S. L. Lee, H. S. Heo, J. S. Kim, J. H. Noh, "An Experimental Study on the Establishment of Indoor Test and Evaluation Method of Eco-friendly Seed Spraying Soil for Slope Reinforcement", *Proceedings of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol.20, No.2, pp.113-114, 2016.

[11] Molit, "Road slope road greening construction design and construction guideline", 2009.

이 병 재(Byung-Jae Lee) **[정회원]**

- 2005년 2월 : 대전대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2011년 2월 : 충남대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2014년 6월 ~ 2018년 2월 : (주) 제이엔티아이엔씨 책임연구원
- 2018년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
콘크리트 구조, 친환경 건설재료

김 효 정(Hyo-Jung Kim) **[정회원]**

- 2018년 2월 : 청운대학교 대학원 토목환경공학과 (공학석사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 대학원 토목공학과 박사과정
- 2017년 1월 ~ 현재 : (주)제이엔티아이엔씨 연구원

<관심분야>
콘크리트 구조 및 재료

김 윤 용(Yun-Yung Kim) **[정회원]**

- 1993년 2월 : 한국과학기술원 대학원 토목공학과 (구조공학석사)
- 1998년 2월 : 한국과학기술원 대학원 토목공학과 (구조공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 충남대학교 토목공학과 교수

<관심분야>
콘크리트 구조 및 재료