

지오셀 보강체를 이용한 고화토 기층의 지지력 특성

유인균

한국건설기술연구원 도로교통연구본부

Characteristics of bearing capacity of solidified soil base using geocell composite

In-Kyoon Yoo

Department of Highway and Transportation Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요 약 도로건설은 물로 인한 피해를 막기 위해 암석과 쇄석을 이용하여 건설되고 있다. 그러나 석산개발과 운반으로 인한 환경파괴와 운송비용 그리고 다양한 민원 발생으로 인해 골재의 공급이 어려워지고 있다. 이에 따라 현지의 토사를 이용한 도로건설이 관심을 끌고 있으나 지금까지 현지토사를 경화시킨 고화토를 자동차 도로에 적용한 사례는 없다. 본 연구에서는 지오셀 보강체와 고화토를 도로기층에 적용하기 위한 실험연구를 수행하였다. 지오셀과 철근으로 형성된 충전 공간에 고화토를 채운 보강기층과 일반 시멘트로 충전된 보강기층의 지지력을 평가하였다. 현장에 3.3m x 10m 면적의 4개 단면을 구성하고 고화토 세 구간과 일반 시멘트 한 구간을 시공하고 7일 양생 후에 LWD로 지지력을 측정하였다. 실험결과 고화토 보강기층은 시멘트 보강기층에 비해 분산이 크게 발생하였다. 동일한 두께 20cm로 보강된 고화토 기층과 시멘트 기층은 95% 신뢰도에서 유의한 차이가 발생하였다. 동일한 두께 20cm에 서로 다른 첨가제를 적용한 고화토 기층은 유사한 지지력을 발현하여 첨가제의 차이가 지지력의 차이를 발생시키지 못하는 것으로 나타났다. 그리고 시멘트 바인더와 규산염 첨가제를 증가시키고 두께를 20cm에서 40cm로 증가시키면 시멘트 보강기층 20cm와 유사한 지지력을 확보할 수 있음을 확인하였다.

Abstract Crushed stones can prevent damage to the road from the water. However, it's difficult to get the aggregate materials due to environmental issues. Accordingly, local soil is drawing much attention, but there has been no case on this case to report. In this study, we conducted a test that applied the geocell composite and solidified soil (SS) to the laying of a road. We measured the bearing capacity of the base layer filled with solidified soil or cement formed from geocells. We prepared four sample areas of size 3.3m x 10m on site. Three of the areas were SS sections, and one was the cement-filled section. Subsequently, we measured the bearing capacity of these areas using the LWD (Light Weight Deflectometer) after seven days of laying them. The results of the measurement suggest that the SS base had higher dispersion than the cement base. There was a significant difference in the 95% reliability between the soil base and the cement base of the same 20 cm thickness. The SS base applied with different additives to make up the same thickness of 20 cm showed no difference in bearing capacity. With more binder and additive and a thicker base, the bearing capacity of the SS base can be similar to that of the cement base.

Keywords : Solidified Soil, Geocell Composite, Pavement Bearing Capacity, Light Weight Deflectometer, T-Test

*Corresponding Author : In-Kyoon Yoo(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)
email: ikyoo@kict.re.kr

Received September 13, 2021

Revised October 6, 2021

Accepted December 6, 2021

Published December 31, 2021

1. 서론

도로건설은 평탄하고 안전한 노면을 지속적으로 확보하고자 건설하는 토목구조물이다. 평탄하고 안전한 노면은 도로의 기능을 의미하며 이의 지속성을 확보하는 일은 노면 아래에서의 구조적인 지지를 필요로 한다.

도로포장의 구조를 취약하게 만드는 가장 큰 요소는 물이며 물에 가장 강한 재료가 암석이고 암석을 대신하는 것이 쇄석이다. 즉, 쇄석을 이용하거나 골재를 아스팔트나 시멘트 바인더로 결합하여 필요로 하는 포장구조의 지지력을 제공하고 있으며 설계법도 이들 재료에 맞춰져 있다.

그러나 환경문제와 경제적인 문제로 인해 쇄석의 구입이 어려운 상황에서 현지의 토사를 이용하여 도로를 건설하고자하는 노력은 오랫동안 지속되었으나 산책로나 자전거 도로에 부분적으로 적용되고 있는 실정이다. 그 이유로는 다양한 현지 토사에 대한 품질관리의 어려움과 초기 지지력과 지속성을 확보해야하는 어려움을 갖고 있다.

친환경적인 도로건설과 지속가능성이 강조되고 고화토에 대한 기술이 발전하면서 다양한 고화제가 개발되고 있고 고화제의 단점을 구조적으로 보완하려는 노력도 이루어지고 있다. 이러한 노력으로 인해 현지토사로 도로건설이 가능하다면 석산개발과 골재의 이동으로 인한 수많은 환경문제를 완화할 수 있을 것으로 보인다.

본 연구에서는 지오셀 보강체에 현지토사를 채워 경화시킨 고화토를 도로기층으로 적용하기 위한 실험연구로서 고화토 종류와 두께를 다르게 시공하고 이를 콘크리트로 충전했을 때와 비교하여 이들의 지지력 특성을 평가하고자 하였다.

2. 관련연구

건설현장에서 발생하는 토사나 연약지반을 경화시켜 도로로 이용하고자 하는 연구는 미국에서는 1900년대 초반에 시작되었고 우리나라에서도 1970년대에 도로건설이 시작될 때에 염가포장을 위한 다양한 연구가 국립건설시험소를 중심으로 이루어 졌으나 그 적용이 지속되지는 못했다. 왜냐하면 다양하게 변화하는 재료는 품질관리가 어렵고 특히 미국 AASHTO포장 설계법이 도입되면서 쇄석을 이용한 포장공법이 자리를 잡게 되면서 고화토는 산책로 등에서만 명맥을 유지해 오고 있다.

그러나 석산개발로 인한 환경문제와 민원의 발생으로

쇄석의 생산이 점점 어려워지고 특히 동남아시아의 특수지형에서는 쇄석을 구하기 어려운 지역도 있어 고화토를 이용한 도로건설에 대한 연구가 관심을 끌고 있다.

국내에서는 Oh[1] 등이 소일시멘트를 도로의 기층과 보조기층에 사용할 경우 피로특성에 대한 연구를 수행하고 소일시멘트가 도로의 기층과 보조기층으로 사용되는데 피로파괴는 문제가 되지 않는다는 것을 증명하였다. 다만 정확한 설계법을 개발하고 기계를 이용한 시공기술을 향상시킬 필요가 있다고 조언하였다.

고화토를 도로의 기층과 보조기층으로 적용하기 위해서는 품질관리의 개선과 함께 재령에 따른 강도의 약화가 발생하지 말아야 한다. Kim[2]등은 소일시멘트에 대한 압축강도의 시간적 변화에 대해 연구하고 재령 14일까지 뚜렷한 증가세를 보이다가 28일까지 완전한 증가세를 보이는 것으로 발표하였다. 물론 시멘트의 함량이 증가할수록 강도가 증가하고 세립분이 많을수록 강도가 저하한다고 보고 하였다.

시멘트나 고화제를 이용하여 경화된 기층을 건설하면 이들은 하나의 슬래브가 되어 건조수축과 온도변화에 따라 균열이 발생하게 된다. Kang[3]등은 시멘트 안정처리 기층에서 균열을 억제할 수 있는 재료의 개발에 대해서 실험하고 새로운 배합방법을 제시하였다.

또한 경화토를 이용한 포장을 적용하면 특히 도시에서 도로포장으로 인한 열섬현상을 저감할 수 있다며 Yoo[4]등은 경화토포장의 온도저감 특성을 보고하였다.

고화토가 주로 지반공학에서 연약지반을 개량하는 분야에서 발전해왔기 때문에 고화토를 도로포장설계법에 적용하는 연구는 한계가 있었다. 도로전문가들은 미국의 AASHTO포장 설계법을 적용하며 대량의 도로건설을 소화하기에 바빴다. 도로포장 설계법에 반영되어 있지 않은 고화토를 실제 설계에 반영하기는 어려웠다.

도로기층을 보강하기 위한 연구로는 Lee[5] 등이 투수성포장의 구조적인 지지력을 증진시키기 위하여 지오셀을 이용하는 방법을 제안하고 지오셀을 이용하면 변위가 크게 발생할 때 지지력 증가효과를 볼 수 있다고 보고 하였다.

지오셀을 도로보강용으로 적용한 해외사례는 Sara[6] 등이 대나무로 지오그리드와 지오셀을 제작하고 아스팔트를 코팅한 후에 재활용 아스팔트혼합물을 적용하면 연약지반의 도로건설에 효과적으로 활용될 수 있다고 보고 하였다. George[7] 등은 재활용 아스팔트를 고밀도 폴리에틸렌(HDPE; High Density Polyethylene) 지오셀로 보강하여 아스팔트포장의 기층으로 사용하면 포장체의

물리적인 특성을 크게 향상시킨다고 보고하였다. 지오셀을 이용하여 도로포장을 보강하는 방법은 변형이 크게 발생하는 연약지반에서 효과가 있고 변형이 작은 도로포장에서는 보강효과가 확인되지 못하고 있는 실정이다. 도로포장의 지지력에 대한 보강효과를 평가하는 방법으로는 Yoo[8,9] 등이 도로분야에 적용하고 있는 통계적 분산분석방법을 이용하였다.

지오셀을 이용하여 도로구조를 보강하는 방법으로 Lee[10] 등은 지오셀을 관통하는 철근을 배치하고 셀 내부에 시멘트나 아스팔트를 충전하여 도로포장의 기층으로 활용하는 방법을 제안하였다. 이것은 콘크리트포장의 기층에 아스팔트표층을 건설하는 공법으로 가장 이상적인 포장공법이라 할 수 있다.

콘크리트포장을 건설하고 그 위에 아스팔트포장을 하면 콘크리트포장에 발생하는 균열이 아스팔트포장에 반사균열로 올라와 포장의 수명을 단축시키게 된다. 지오셀로 미리 작고 균질하게 균열을 만들고 철근으로 이들이 서로 연결되도록 하여 기층의 수축균열로 인한 반사균열을 억제하고자하는 공법이다.

본 연구에서는 도로의 기층에 골재가 필요 없는 고화토를 이용하면서 지오셀과 철근을 이용하여 균열을 억제하는 포장공법에 대한 지지력 특성을 연구하였다.

서울시에서는 투수성포장의 지지력을 향상시키기 위하여 콘크리트 슬래브를 포설하고 보링기계로 천공한 후에 투수성 아스팔트 포장을 건설하는 방법도 취하고 있다. 본 연구에서는 투수성포장을 구조적으로 보강하기 위해 Lee[8] 등이 개발한 도로 보강체의 구조적 지지력 보강효과를 검증하기 위해서 수행되었다.

3. 시험포장과 계측

3.1 시험포장의 목적

본 시험은 지오셀 보강체를 이용한 고화토의 지지력 특성을 평가하기 위하여 고화토 세 종류와 일반 시멘트 콘크리트를 지오셀 보강체에 포설하고 7일 양생 후에 지지력 측정장비인 LWD(Light Weight Deflectometer)로 처짐량을 측정하여 지지력을 평가하고자 실시되었다.

지오셀 보강체는 Lee[8] 등의 특허공법이며 투수공간을 두면 투수성포장의 기층에도 적용할 수 있고 투수공간을 두지 않으면 기층 보강용으로 적용할 수 있는 구조이다.

일반 시멘트 콘크리트를 적용한 구간을 기준으로 두께의 변화와 고화토의 변화에 따른 지지력 특성을 평가하고자 하였다.

3.2 지오셀 보강체

지오셀을 이용한 보강체는 도로포장의 표층 하부에 적용되는 포장층으로서 Fig. 1과 같이 규칙적인 충전 공간을 갖는 3차원 지오셀에 각각의 충전공간의 중앙을 관통하는 철근과 같은 보강철선을 설치하고 충전공간에는 고화토나 시멘트 콘크리트가 타설된다.

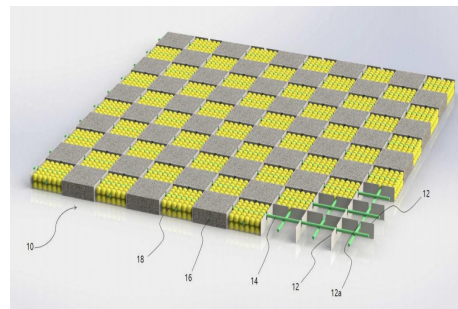


Fig. 1. reinforcement structure of roads(Lee[2])

일부 충전 공간에 골재를 채우고 나머지 구간에 시멘트콘크리트를 채우면 투수성포장에 적용할 수 있고 모두 시멘트나 고화토로 채우면 도로포장의 지지력 보강층으로 적용될 수 있다. 본 연구에서는 고화토와 시멘트를 채워 지지력 보강용으로 적용하였다.

사용된 지오셀 보강체는 지오셀과 철근 그리고 콘크리트 구조되었다. 지오셀은 고밀도 폴리에틸렌(HDPE)으로 제작되었으며 높이 10cm, 폭 30cm, 두께 0.8mm인 지오셀을 사용하였다. 철근은 직경 10mm철근을 사용하였으며 콘크리트는 압축강도 21MPa인 콘크리트를 사용하였다.

3.3 고화토의 종류와 특성

본 연구에서 이용한 고화토는 건설현장에서 쉽게 만나게 되는 사질토 계통의 실트질 토사를 선정하였다. 선정된 토사의 입도분포는 Fig. 2와 같다. 통일분류법에 의하면 #200 체의 통과량이 50% 이하인 45.9%이고 비소성(non-plastic)이므로 실트질 모래를 의미하는 SM으로 분류된다.

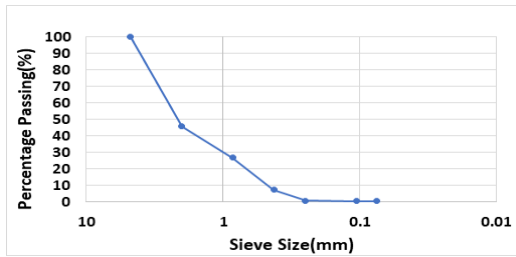


Fig. 2. Gradations for the in-Site Soil

지반의 강도를 경화시킨 고화토는 시멘트와 같이 광물의 특성을 갖는 흙 입자와 흙 입자를 연결해주는 결합재와 흙 입자 주위에 붙어서 결합을 방해하는 유기물질인 휴미드산(humid acid)의 작용을 억제하는 첨가제로 구성된다. 즉, 첨가제로 휴미드산의 작용을 억제해서 시멘트의 양이온(+)과 흙 입자의 음이온(-)의 결합을 용이하게 하여 고화토를 얻게 되는 것이다.

본 연구에서는 규산염을 기반으로 한 액상 첨가제와 석회를 기반으로 한 분말 첨가제를 사용하였으며 선정된 토사에 대해 3가지 유형의 고화토와 일반 시멘트 콘크리트를 이용한 유형에 대해 Table 1과 같이 선정하였다.

Table 1. Properties of Selected Solidified Soil Type

	Cement Binder (kg/m ³)	Additive (kg/m ³)	Property
Type A	230	2	Silicate based Liquid
Type B	115	1	Silicate based Liquid
Type C	150	14	Lime based Powder
Type D	Only	None	Ready Mixed Concrete

A유형은 시멘트와 규산염이 상대적으로 많이 사용된 고화토이고 B유형은 시멘트와 규산염이 적게 사용된 고화토이며 C유형은 시멘트가 적게 사용되고 석회를 첨가제로 사용한 고화토이다. 그리고 일반 시멘트 콘크리트를 적용한 것이 유형 D이다.

3.4 시험포장 시공

본 시험시공은 현장에서 발생하는 토사를 고화재와 지오셀 보강재로 보강하여 골재를 대체하기 위한 공법을 검증하기 위해서 실시되었다. 시험 위치는 경기도 연천에 위치하고 있는 한국건설기술연구원 SOC실증센터에서 실시되었다. 규모는 폭 3.3m, 길이 10m씩 4개 구간, 4 가지의 다른 재료에 대해서 실시되었다.



Fig. 3. Construction Site(Yellow)



Fig. 4. Preparation for Test Pavement



Fig. 5. Placement of Geocell Composite



Fig. 6. Mixing of In Site Soil with Binder and Additive



Fig. 7. Placing and Compaction of Solidified Soils

Fig. 3은 한국건설기술연구원의 현장 사진이며 Fig. 4는 50cm 터파기를 실시하고 기층 포설을 위한 준비작업이며 Fig. 5는 지오셀 보강체를 포설한 장면이고 Fig. 6은 고화토를 배합하는 모습이며 Fig. 7은 고화토를 지오셀 보강체에 투입하고 다짐하는 모습을 보여주고 있다.

3.5 LWD 지지력 시험

LWD시험은 낙하추(Falling weight)를 특정 높이에서 재하판>Loading plate)으로 떨어뜨려, 재하판에 가해진 충격하중과 재하판의 최대침하량으로부터 지반의 지지력을 평가하는 실험장비이며 성토 및 도로 건설현장에서 주로 쓰인다. 평판재하시험과 비교하였을 때, 재하를 위한 반력장치가 필요 없고, 시험장비 휴대가 용이하며, 시험법이 간단하고 시험시간이 짧다는 장점이 있다.



Fig. 8. Placement of Loading Plate on the Solidified Soil Base

Fig. 8은 시험 전 지반을 평평하게 고른 후, 재하판을 놓고 힘을 가하거나 회전시켜 지반에 적절히 고정시키는 장면이며 Fig. 9는 안착된 재하판 위에 재하장치를 수직이 되도록 설치하고 낙하추를 정해진 높이에서 재하판으로 자유낙하시켜 시험하는 장면을 보여주고 있다.

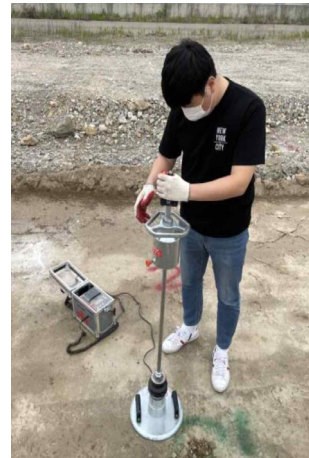


Fig. 9. Test of Bearing Capacity Using Light Weight Deflectometer(LWD)

4. 시험결과 및 통계적 분석

지오셀 보강체를 이용한 고화토 3종류와 시멘트 콘크리트로 충전된 도로기층에 대해 LWD 시험을 실시하고 얻은 침하량 데이터를 정리한 것이 Table 2이다. 유형 A가 두께 40cm이며 나머지는 모두 20cm의 두께이다. 유형 A에 바인더인 시멘트가 상대적으로 많이 투입되었다. 유형 D는 일반 콘크리트를 투입한 보강기층이다.

Table 2. Test Results of Deflection for Solidified Soils

	Deflection (mm)	Remark
Type A	0.236	Binder : Cement 230 Additive : Silicate Thickness : 400mm
	0.482	
	0.190	
	0.180	
	0.151	
	0.419	
Type B	0.745	Binder : Cement 115 Additive : Silicate Thickness : 200mm
	0.358	
	0.466	
	0.363	
	0.602	
	0.827	
Type C	0.629	Binder : Cement 150 Additive : Lime Thickness : 200mm
	0.404	
	0.767	
	0.751	
	0.850	
	0.317	

Type D	0.170	Binder : Cement only Additive : None Thickness : 200mm
	0.204	
	0.234	
	0.296	
	0.236	
	0.239	

LWD에 의한 처짐량 시험결과를 시각적으로 판별하기 쉽게 표현한 것이 Fig. 10의 휘스커 다이어그램(Box and Whisker Diagram)이다. 이 그림을 보면 먼저, 유형 D, 즉 일반 콘크리트로 충전한 보강기층이 크고 안정적인 지지력을 제공하고 있음을 알 수 있다. 고화토로 보강된 기층이 콘크리트로 보강된 기층에 비해 분산이 크게 나타났다. 인력배합으로 인해 발생한 것으로 판단된다. 기계화 시공을 통해 이러한 분산을 줄여갈 필요가 있다.

두께가 시멘트 콘크리트로 충전한 기층의 두배인 40cm이고 시멘트가 상대적으로 많이 투입된 유형 A의 지지력이 시멘트 콘크리트와 비교해 볼 때, 분산이 크기는 하지만 유사한 지지력을 얻을 수 있음을 확인하였다.

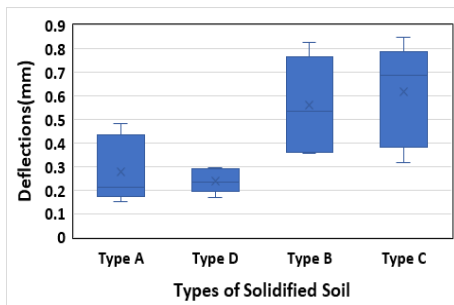


Fig. 10. Box and Whisker Diagram of Deflections for Various Types of Solidified Soils

유형 B와 C는 처짐량이 크고 분산이 크다는 점에서 유사하며 콘크리트 보강기층과는 지지력과 분산에서 확연한 차이를 보이고 있다.

이를 정량적으로 분석하는 방법이 F검증과 t-검증이 있다. F검증은 t-검증에 필요한 등분산과 이분산을 구분하는 검증이며 t-검증은 두 개의 반복 자료가 동일한 집단이라고 할 수 있는가, 없는가를 검증하는 방법이다.

유형 A와 D는 분산만 차이가 만 뿐 평균에서는 차이가 거의 없다. 그러므로 이들은 서로 다르다고 말할 수 없다. 또한 유형 B와 C는 지지력도 비슷하고 분산마저도 비슷한 경향을 보이고 있다. 이들 또한 서로 다르다고 말할 수 없다.

그러나 유형 A와 B 그리고 유형 D와 B는 서로 다르게

보이기는 하지만 F검정과 t-검정을 통해서 정량적으로 분석할 수 있다. 먼저 Table 3이 유형 A와 B에 대한 F검정 결과이며 P Value가 0.05보다 큰 0.22이므로 등분산으로 평가되었다. P값은 측정치와 결론이 틀릴 확률값을 의미한다. F값은 차이가 있다고 인정할 기준비율을 의미하며 F기각치(F critical)가 F값보다 작으면 변수간에 유의미한 차이가 있음을 의미한다.

Table 3. F-test: Between Type B and Type A

	Type B	Type A
Mean	0.560167	0.276333
Variance	0.039145	0.019344
Observations	6	6
df	5	5
F	2.023616	
P(F<=f) one-tail	0.228818	
F Critical one-tail	5.050329	

이를 근거로 등분산으로 가정된 t-검정을 유형 A와 B에 대해 실시한 결과가 Table 4이다. 여기서 P value가 0.05보다 작은 0.008이므로 이 둘 사이는 같다고 할 수 없으며 유의한 차이를 나타낸다고 말할 수 있다. t-검정에서도 F검정과 마찬가지로 차이가 있다고 인정할 기준 비율 t통계량(Stat)을 이용한다. t기각치(t critical)가 t통계량보다 작으면 변수간에 유의한 차이가 있다는 것을 의미한다. 가설평균 차이(Hypothesized Mean Difference)는 두 변수사이의 평균차이를 임의로 가정하고 검정할 수 있다.

즉, 규산염의 고화제와 시멘트 양의 투입을 증가시키고 두께를 두 배로 증가시키면 유의한 차이가 있는 지지력을 얻을 수 있다는 사실을 확인하였다.

Table 4. t-test: Between Type B and Type A, Assuming Equal Variances

	Type B	Type A
Mean	0.560167	0.276333
Variance	0.039145	0.019344
Observations	6	6
Pooled Variation	0.029245	
Hyperthesized Mean Difference	0	
df	10	
t Stat	2.874747	

P(T<=t) one-tail	0.008267
t Critical one-tail	1.812461
P(T<=t) two-tail	0.016534
t Critical two-tail	2.228139

그리고 유형 B와 D에 대해 F검정을 실시한 것이 Table 5이다. Table 5에서 P value가 0.05보다 작은 0.0040이므로 이분산으로 평가 되었다. 이를 근거로 이 분산으로 가정된 t-분석을 실시한 결과가 Table 6이다. Table 6을 보면 0.05보다 작은 0.0083이므로 이 둘 사이는 같다고 할 수 없으며 유의한 차이를 나타낸다고 말할 수 있다.

Table 5. F-test: Between Type B and Type D

	Type B	Type D
Mean	0.560167	0.2385
Variance	0.039145	0.002394
Observations	6	6
df	5	5
F	16.3494	
P(F<=f) one-tail	0.004068	
F Critical one-tail	5.050329	

Table 6. t-test: Between Type B and Type D, Assuming Unequal Variances

	Type B	Type D
Mean	0.560167	0.2385
Variance	0.039145	0.002394
Observations	6	6
Hyperthesized Mean Difference	0	
df	6	
t Stat	3.865896	
P(T<=t) one-tail	0.004153	
t Critical one-tail	1.94318	
P(T<=t) two-tail	0.008305	
t Critical two-tail	2.446912	

즉, 동일한 두께 20cm로 보강했을 경우 고화토 보강 공법은 콘크리트 보강공법과 95% 신뢰도에서 유의한 차이를 나타내었다. 아직 고화토를 시멘트 대체용으로 사용하기에는 강도가 미흡하고 변동성이 크다는 것이 확인되었다.

그리고 규산염과 석회를 이용하는 두 가지 고화제를 이용하여 동일한 두께, 20cm로 시공된 보강기층은 서로 유사한 지지특성을 나타내어 고화제의 변화가 지지력 특성에 유의한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

마지막으로, 규산염을 이용한 고화제에 시멘트와 규산염의 투입량을 증가시키고 두께를 증가시키면 분산이 크기는 하지만 콘크리트 수준의 지지력을 얻을 수 있음을 확인하였다.

5. 결론

본 연구에서는 지오셀 보강체를 이용한 고화토를 도로 기층에 적용하기 위하여 고화토의 종류와 두께에 변화를 주면서 시험포장을 실시하고 지지력 특성을 평가하였다. 본 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 고화토로 보강된 기층이 콘크리트로 보강된 기층에 비해 분산이 크게 나타났다. 플랜트 배합과 현장 인력배합의 차이로 인해 발생한 것으로 판단된다. 기계화 시공을 통해 이러한 분산을 줄여갈 필요가 있다.

둘째, 동일한 두께 20cm로 보강했을 경우 고화토 보강 공법은 콘크리트 보강공법과 95% 신뢰도에서 유의한 차이를 나타내었다. 아직 고화토를 시멘트 대체용으로 사용하기에는 강도가 미흡하고 변동성이 큰 것으로 나타났다.

셋째, 규산염과 석회를 이용하는 두 가지 고화제를 이용하여 동일한 두께, 20cm로 시공된 보강기층은 서로 유사한 지지특성을 나타내어 고화제가 지지력 특성에 유의한 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

넷째, 시멘트와 규산염의 투입량을 증가시키면 지지력을 증가시키고 분산을 줄일 수 있음을 확인하였다.

다섯째, 규산염을 이용한 고화제에 시멘트와 규산염의 투입량을 증가시키고 두께를 증가시키면 분산이 크기는 하지만 콘크리트 수준의 지지력을 얻을 수 있음을 확인하였다.

본 연구에서는 지오셀 보강체를 이용한 고화토를 도로 기층에 적용하기 위한 연구를 수행하고, 적절한 양의 결합재와 첨가제 그리고 지오셀 보강체를 이용하고 두께를 증가시킨다면 일반 시멘트 콘크리트 수준의 지지력을 얻을 수 있음을 확인하였다. 고화토를 도로건설에 이용하고자 하는 지속적인 연구를 통해 쇄석개발로 발생하는 환경 문제를 해결하고 지속가능한 개발이 이루어지기를 기대한다.

References

- [1] B. H. Oh, H. J. Lee, M. G. Lee, I. H. Yang, Fatigue Characteristics of Soil-Cement Based Pavement, *Korea concrete society*, Proceeding of the 1993 Fall Conference, pp. 273-277, Oct. 1993(in Korean)
- [2] J. R. Kim, H. B. Kang, H. Y. Kang, and D. H. Kim, Unconfined Compressive Strength Characteristics and Time Dependent Behavior of Soil-Cement, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol. 8, No. 4, pp. 87-96, Oct. 2004(in Korean)
- [3] S. C. Kang, K. W. Lee, Y. H. Cho, The Development of Cement Treated Base Material with Restraint reflection Crack, *Journal of the Korean Society of Highway Engineers*, Vol. 7, No. 2, pp. 33-43, Jun. 2005(in Korean)
- [4] J. H. Yoo, S. W. Lee, D. S. Kim, Temperature Characteristics of Wet-mixing Solidified Soil Pavement, *Journal of the Korean Society of Highway Engineers*, Vol. 8, No. 1, pp. 45-54, Mar. 2006(in Korean)
- [5] S. H. Lee, I. K. Yoo, D. Y. Lee(2012), Evaluation of Bearing Capacity for Permeable Pavement using Geocell, *Journal of the Korean Geosynthetics Society*, Vol. 11, No. 3, pp. 11-17, Sep. 2012(in Korean)
- [6] D. C. Saha, J. N. Mandal(2018), Performance of reclaimed asphalt pavement reinforced with Bamboo geogrid and Bamboo geocell, *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 21, Issue 5, pp.571-582, Aug. 2018
DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1502432>
- [7] A. M. George, A. Banerjee, A. J. Puppala, M. Saladhi (2019), Performance evaluation of geocell-reinforced reclaimed asphalt pavement(RAP) bases in flexible pavements, *International Journal of Pavement Engineering*, Vol. 22, Issue 2, pp. 181-191, Mar. 2019
DOI: <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1587437>
- [8] I. K. Yoo, S. H. Lee, K. S. Park, K. H. Yoon, Effect of Maximum Aggregate, Porosity, and Temperature on Crack Resistance and Moisture Susceptibility of Porous Asphalt Mixtures, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 22, No. 3 pp. 611-619, 2021(in Korean)
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.3.611>
- [9] I. K. Yoo, S. H. Lee, D. S. Han, Tire/road Noise Characteristics of General Asphalt Pavement, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 22, No. 4 pp. 175-182, 2021(in Korean)
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.4.175>
- [10] K. S. Lee, I. K. Yoo, S. H. Lee, reinforcement structure of roads, *Korea Patent Office*, Registered Number 10-1934884, Dec. 2018(in Korean)
DOI: <https://doi.org/10.8080/1020160125775>

유 인 균(In-Kyoon Yoo)

[정회원]



- 1986년 2월 : 고려대학교 공대대 학원 토목공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 고려대학교 공대대 학원 토목공학과 (공학박사)
- 1995년 10월 : 도로 및 공항 기술사, 한국산업인력공단
- 1987년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 도로교통연구본부 선임 연구위원

<관심분야>

도로공학, 포장공학, 도로환경