

화강풍화토와 무기질 결합재를 활용한 친환경 흙포장에 관한 연구

A Study on Environmentally Friendly Soil Pavement Materials Using Weathered Soil and Inorganic Binder

정혁상¹⁾ · 장철호²⁾ · 안병제³⁾ · 천병식[†]

Jung, Hyuksang · Jang, Cheolho · An, Byungjae · Chun, Byungsik

ABSTRACT : In this study, the problem of existing soil pavement is a long-term durability lack and crack occurrence. It complements in order to develop the environmental soil pavement material which composites readily blended mineral binder of liquid and decomposed granite soils. It was estimated optimal mixture proportion for unconfined compressive strength, permeability, CR⁶⁺ detection test, SEM test with age, freezing and thawing test. It resulted mixture proportion of powder types mineral binder for rates of cement : fly ash : plaster was optimal rates of 50 : 33 : 7, and CR⁶⁺ detection test as a result was a slight production. SEM test with 3days as a result was made Ettringite. It was found that this material was early development of early-strength for chemical. This study indicated that it will execute field applicability Evaluation test, examination of soil pavement method with decomposed granite soils and mineral binder.

Keywords : Ground improvement, Cr⁶⁺, Weathered soil, Inorganic binder

요 지 : 본 연구의 목적은 기존 흙 포장의 문제점인 장기적인 내구성 결여 및 균열발생을 보완한 친환경적 흙포장재를 개발하기 위한 것이다. 액상형태의 혼합이 용이한 무기질 결합재와 화강풍화토를 첨가량별로 배합하여 일축압축시험 및 투수시험을 실시하였다. 시험결과에 따라 적정 배합비를 산정하고 6가크롬(Cr⁶⁺)검출시험, 재령별 SEM촬영, 동결융해시험을 실시하여 적정성을 검증하였다. 연구 결과, 분말형 무기질 결합재의 배합비는 시멘트:플라이애시:석고의 비율이 각각 50:33:7이 가장 적합한 것으로 판단되었다. 그리고 6가크롬(Cr⁶⁺) 검출시험결과 6가크롬(Cr⁶⁺)의 발생량이 미미하였고, SEM촬영 결과 재령 3일에 에트링자이트 형성이 확인되어 재료가 화학적으로 조기강도 발현이 가능함을 알 수 있었다.

주요어 : 지반개량, 6가크롬(Cr⁶⁺), 풍화토, 무기질결합재

1. 서 론

국내의 자동차 보급률은 국민 3인당 1대 수준으로 급속히 확대됨에 따라 교통량이 급속도로 증가하고 있을 뿐만 아니라 산업화와 도시화에 따른 소비수준이 향상되고 생활양식의 다양화가 이루어져 도로망 확충에 있어서도 생활주변 모든 장소에 이용이 편리하도록 포장을 하고 있으며 고속도로, 국도, 및 지방도로는 물론 자전거 전용도로, 주차장, 광장, 공원 및 체육시설 등과 같은 근린 생활공간에도 포장 보급률 및 수요가 크게 증가하고 있다.

한편 환경문제에 관한 의식이 고조되고 있는 가운데 환경보전과 경관향상을 전제로 하는 도시개발 및 지역개발은 지극히 당연하게 받아들여지고 있으며, 지구환경저해 요인의 저감에 기여함과 동시에 생태계의 조화 혹은 공존을 도모하는 것이 가장 중요한 것이라 할 수 있다. 그리고 21세

기의 도로정비는 적극적인 환경보전 및 향상을 지향하는 미래도로로서의 발상 전환이 필요하며, 미래의 도로는 인간과 자연 및 도로가 공존하는 도로의 시설구조와 공법상의 대책을 마련하여 생태계의 연속적인 파괴를 최소화하는 도로포장기술개발이 절실히 요구되고 있다.

반면에 지금까지의 도로포장은 지중에 대한 물의 침투를 막고 노상의 지지력을 저하시키지 않는 것이 내구성을 높이는 방책의 제일로 생각하여 대부분 아스팔트포장 또는 시멘트 콘크리트포장이 적용되고 있다. 이와 같은 포장체는 지중에 미생물이 서식하지 못하고 토양이 사막화되는 등 여러 가지 문제점을 내포하는데 일례로 연구조사에 의하면 도심지의 나무성장속도가 크게 둔화되었다는 조사결과가 있다. 그 이유는 토양의 산성화가 진행됨에 따른 영양물질이 부족하기 때문이며, 또한 도로와 터널이 건설되면서 지하수맥이 끊어지거나 지하수위가 낮아져 일부지역에

1) 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

2) 비회원, 비엔에이건설(주) 이사

3) 정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

† 정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail : hengdang@unitel.co.kr)

서는 토양의 건조화가 초래되었기 때문이다.

이러한 포장이 가지는 여러 가지 환경적인 문제점을 보완하고, 아스팔트와 같은 고강도 포장재료 보다는 경차와 보도 등에 사용되는 환경친화적인 도로포장 중의 하나로 화강풍화토를 이용한 흙포장을 들 수 있다(이윤규 등, 2008).

흙포장이란 흙, 무기질계 특수혼화재료, 골재, 혼합수를 최적배합함으로써 일반포장용 콘크리트에 준하는 중·저강도로부터 구조물용도의 고강도까지 발현가능한 특수콘크리트포장이다. 기존의 콘크리트와는 달리 상대적으로 높은 탄성력을 지니고있어 고내구성 제품으로 기대되며 아울러, 공법개선을 통하여 포장단면상의 변화를 기할 수 있으므로 경제적이다. 또한, 자연상태의 화강풍화토를 주원료로 하는 만큼 자연친화적이며 주변 환경을 개선할 수 있는 신재료 및 신공법의 포장이라 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 기존 흙포장의 문제점인 장기적인 내구성결여 및 균열방생을 보완한 친환경적 흙포장재를 개발하기 위하여 액상형태의 혼합이 용이한 무기질 결합재와 화강풍화토를 첨가량별로 배합하여 일축압축시험 및 투수시험을 통하여 배합비를 산정하고 6가크롬(Cr^{6+})검출시험, 재령별 SEM촬영, 동결융해시험을 실시하여 공학적 특성을 검증하였다.

2. 흙포장의 적용 메커니즘

현재 널리 사용되고 있는 콘크리트와 달리 흙포장은 잔골재 대신 흙을 사용하는데, 흙에 시멘트계 고화제를 첨가하면 흙의 성질 및 구조에 상당한 변화가 발생한다. 이러한 변화는 고화제의 수화작용에 의하여 토립자가 덩어리 형태가 되기 시작하며 첨가량이 증가하면 토립자는 그 자체의 형태를 잃어버리고 큰 덩어리 형태로 변해서 새로운 형태의 재료가 된다고 보고된 바 있다(Catton, 1940). 흙에 고화제를 첨가하면 수화반응에 의해서 발생한 가변성을 띤 Ca^{+2} 이온이 증가하게 되어 칼륨(K^+), 나트륨(Na^+)이온을 완전히

대체하게 되는데, 이는 양전하를 띤 Ca^{+2} 이온이 음전하를 띤 토립자의 표면으로 흡착되어지는 현상이다(Chadda, 1970).

흙과 고화제의 상호작용은 주로 응집력을 증가시키고 고화제함량이 증가될수록 고화제의 수화작용으로 인하여 흙덩어리 사이의 공극을 채우게 되는 결과가 되어 역학적으로 큰 강도와 불투수성인 흙포장이 된다고 하였다(Moh, 1965). 흙포장의 장기강도에 대한 설명에서 수화작용을 하는 고화제의 gel로부터 수산기 이온들이 초기에는 강한 결합을 이루면서 부분적으로 막을 형성하고 있는 Silicon 이온에 의해서 흡착되어 시간이 경과할수록 입자의 표면은 활발한 복극현상(Depolarization)이 일어나 강도가 증가된다(Handy, 1958). 흙포장의 수화작용이 진행됨에 따라 점토는 칼슘형태로 전환하며 점토속에서 Silica와 Alumina가 용해되어 단단한 재료가 형성된다(Jack, 1965).

이렇듯 국외의 연구는 과거 1900년대 중반에 활발한 연구가 진행던데 비해 국내는 최근들어 연구가 진행되는 것으로 조사되었다. 백승철(2008) 등은 “레드머드가 첨가된 흙-시멘트 포장의 일축압축강도”의 연구에서 알루미늄 제조 시 발생하는 산업부산물인 Red mud가 첨가된 흙-시멘트 포장 재료를 개발하기 위하여 일축압축강도시험을 수행하였으며 Red mud 함유율, 시멘트 함유율, Fly ash 대체 비율 및 모래의 대체 비율이 일축압축강도에 미치는 영향을 검토한 바 있다. 미진한 학술적 연구에 비해 특허개발은 2000년대 초반에 비교적 활발히 진행되었다. 선행기술로 장병규(2004)가 “친환경적으로 개량된 토양의 포장 시공 방법” 연구를 통해 흙과 시멘트의 혼합을 통하여 고화를 시키는 기술로서 친환경적으로 개량된 토양의 포장시공방법 제안을 시작으로 임동혁(2001)의 “에코지반조성공법”, 진대식(2002)의 “도로포장용 흙포장 조성물”이 있으며 내용에 따라서는 생석회, 안료 및 무기계 경화제를 부가적으로 첨가하나 대부분 현장에서 다져진 흙과 시멘트의 혼합토에 수용성 고화제를 분무기로 살포하여 혼합고화하는 방식이며 더 나아가 흙과 시멘트와의 반응성을 높이기 위하여 팽창성인 칼슘설펀알루미네이트(Calcium Sulfoaluminate, CSA, 아원)를 핵심

표 1. 화강풍화토 흙포장의 특징적 반응

· 에트링자이트 수화물 생성	에트링자이트(Ettringite)는 $3C_3A \cdot CaSO_4 \cdot 32H_2O$ 의 화학식을 갖는 화합물로 생성 시 32분자의 물분자를 구속하여 결과적으로 토양 입자의 이동을 구속하여 결합을 강화시키는 작용을 함. 이러한 에트링자이트의 생성반응은 비교적 초기단계에 이루어지므로 초기에 흙 고화체의 강도 발현을 유도함.
· 칼슘실리케이트수화물 생성에 의한 경화의 증진	수화가 진행됨에 따라 조직이 치밀하게 되므로 입자간의 접합이 증가하고 강도가 증가.
· 포졸란 반응 촉진	무기 반응성 결합재는 에트링자이트 화합물의 생성을 촉진시킬 뿐만 아니라 토양중에 함유되어 있는 실리카, 알루미늄 등의 가용성분이 장기간에 걸쳐 수산화칼슘과의 포졸란 반응을 촉진시켜 토양과의 일체화 및 장기적으로 안정한 강도발현을 나타냄.
· 토양 입자의 응집	무기반응성 결합재로부터 용출된 다량의 칼슘 이온은 토양입자를 응집, 고결시켜 소성지수를 저하시킴. 이러한 토양입자 자체의 응집력으로 인해 토양 네트워크를 형성하여 고화체의 강도 발현에 기여함.

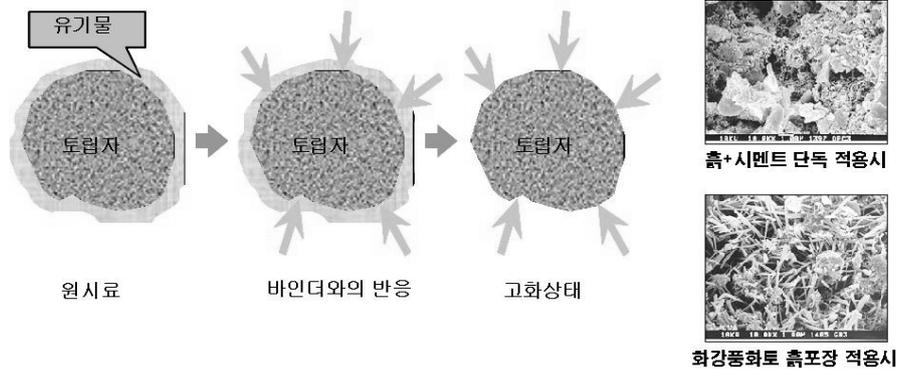


그림 1. 토립자와 무기바인더와의 반응 및 수화물생성

조성물로 제시한 기술들, 김남호(2006)의 “환경친화적이며 속경성 및 고강도 특성을 가지는 흙포장용 조성물”, 최연왕(2006)은 “흙포장 도로용 흙 고화방법 및 고화재”의 개발에서 고화재 개발에 대한 기술 개발을 이룬바 있다.

화강암화토 흙포장은 화강암화토 입자와 무기 반응성 결합재와의 반응에 기본 원리를 두고 있는데, 일반적으로 토양의 유기물은 시멘트의 수화반응을 억제시켜 초기에는 경화 지연, 장기에는 풍화로 인한 내구성결여 등의 문제점을 야기 시킨다. 화강암화토 흙포장재료에 사용되는 무기 반응성 결합재는 시멘트의 수화반응을 촉진시키며 아울러 유기물의 수화반응 저해작용을 억제시켜 조기경화 및 조기강도발현이 가능하게 한다. 아울러 화강암화토의 주성분인 SiO₂와 Al₂O₃와도 직접 반응하여 수화물을 형성시키며 이로 인해 화강암화토 입자를 고화시키는 역할을 한다. 그 특징적인 반응은 표 1 및 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

3. 실내시험

3.1 실내시험 방법

친환경 흙 포장 재료 개발을 위해 배합토 제조와 모르타르 제조를 하였다. 배합토 제조는 배합별 함수비 변동을 조절하기 위하여 화강암화토를 건조기에 24시간 건조시켜 화강암화토 토립자내의 수분을 완전히 제거하여 사용하였고, 모르타르 제조는 KS L 5105에서 제시한 모르타르 제조방법에 의거하여 결합재, 화강암화토, 혼합수를 저속 및 고속 믹싱을 하여 모르타르를 제조 하였다.

실내시험은 일축압축강도시험, 투수시험, 6가크롬 용출시험, 동결융해 시험, 흡수율 시험을 실시하였다. 일축압축강도(KS L 5105)시험은 재령별 강도를 분석하기 위해 50×50×50mm 공시체를 제작하여 실시하였고, 투수시험(KS F 2322)은 화강암화토를 대상으로 무기질계 결합재를 혼합한 시편에 대해 투수특성을 변수위 투수시험기를 이용하여 실

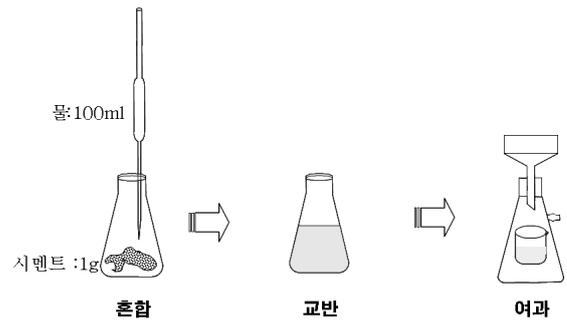


그림 2. 6가크롬 측정 방법

험하였다. 6가크롬 용출시험(JCAS I-51-1981)은 일본시멘트 협회의 「시멘트 및 시멘트 원료중의 미량 성분의 정량 방법」 중의 「흡광 광도법에 따르는 시멘트중의 수용성 6가크롬 정량 방법」 실험하였고, 분석순서를 그림 2에 나타내었다. 일반적으로 흙포장이 동해에 의한 내구성 열화현상이 심하게 발생되므로 본 연구에서는 소정의 배합에 의해 제조된 화강암화토 흙포장시편에 대해서 -20℃±3℃에서 8시간 냉각 및 10시간 용해를 1사이클로 하여 25회 반복시킨 뒤 외관 및 균열발생을 육안으로 조사하는 동결융해 시험을 실시하였다. 또한 초기 수화반응에서 생성되는 수화물을 관찰하기 위하여 SEM을 이용하여 수화생성물을 관찰하였다.

3.2 무기계 결합재 배합산정시험

시멘트의 수화반응을 촉진시키고 아울러 토립자와의 결합력을 증대시키기 위하여 분말형 무기계 결합재를 적용하였으며 아래 표 2의 배합에 따라 실험적으로 최적의 배합비를 일축압축강도시험 및 투수계수시험을 통하여 산정하고자 하였다. 시멘트량을 고정시키고 첨가제인 플라이애시 대비 무수석고의 양을 3~10%까지 2 또는 3% 증가시켜가며 첨가제를 혼합하여 제조하였다. 이는 초기의 토립자의 고정능력과 장기적인 내구성을 동시에 확보할 수 있는 최적배합을 결정하기 위함이며 이 실험을 통하여 분말형 무

기계 결합재의 최적 혼합비율을 산정하고자 하였다.

소정의 배합비로 혼합된 무기계 결합재는 표 3과 같이 화강암풍화토 대비 15%로 첨가되어 혼합하였으며 혼수량을 13%로 하여 시편을 제조하고 일축압축강도와 투수계수를 측정하였다.

소정의 배합비로 혼합된 화강암풍화토 흙포장 시편에 대해 각각 재령 28일에 있어서의 일축압축강도 및 투수계수를 측정된 결과는 표 4와 같다.

석고의 함량이 증가할수록 일축압축강도도 비례증가하는 것을 알 수 있었다. 즉 초기의 에트린자이트의 생성량이 증가됨에 따라 토립자의 구속 및 시멘트의 수화반응을 촉진시키는 것으로 사료되며 이는 플라이애시의 포졸란 반응에 의한 장기강도개선 측면에서 본다면 초기에 충분히 잘 혼합된다면 장기재령으로 갈 수록 그 차이가 크지 않을 것으로 예상된다.

한편 투수계수의 결과는 압축강도의 결과와 다소 상이한 점을 알 수 있었는데 이는 플라이애시 입자의 마이크로 충전으로 인하여 투수계수가 우수하게 나타난 때문으로 사료

된다. 아울러 투수계수의 결과로만 볼 때 석고함량이 10%인 경우를 제외하면, 즉 플라이애시의 함량이 30%이상인 경우에 있어서 배합비에 관계없이 투수계수 $\alpha \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 을 만족하고 있다.

결과적으로 투수계수가 유사한 조건에서 시공변수 및 대상재료의 초기 반응성을 증가시키는 측면에서 3번 배합이 적합할 것으로 판단되며 이 배합을 근거로 하여 무기계 결합재를 제조하고자 하였다.

3.3 화강암풍화토 흙포장 배합비 산정시험

무기계결합재 배합비 산정시험 결과를 토대로 하여 분말형 무기계 결합재를 제조하고 여기에 화강암풍화토와 액상형 무기계 결합재 및 안료 등을 혼합한 뒤 소정의 물-시멘트비(W/C)에 의해 제조된 화강암풍화토 흙포장에 대해 일축압축강도, 동결융해 및 흡수율을 측정하였으며 그 결과는 표 5와 같다.

화강암풍화토의 첨가량을 고정시키고 여기에 분말형 무기계 결합재의 양을 2.0~2.5kg까지 3단계로 변화시켜 A, B, C배합으로 하였으며 양생조건에 따라 기건양생 및 수중양생으로 구별하였다.

표 5의 배합으로 제조된 시편에 대해 일축압축강도, 동결융해 및 흡수율을 측정된 결과는 다음의 표 6과 같다. 실험결과 무기질 결합재의 함량이 증가할수록 기건양생 보다는 수중양생에서의 압축강도가 높게 나타남을 알 수 있었다. 따라서 현장에서의 시공 시 양생 중에 급격한 수분 증발 및 무기질계 결합재의 충분한 수화반응 및 양생을 위하여 습윤조건을 유지해 주는 것이 필요할 것으로 사료된다.

일축압축강도의 결과에서도 마찬가지로 무기질 결합재의 함량이 증가할수록 당연히 압축강도는 증가하는 경향을 보였으나 굳지 않는 모르타르의 작업성을 확인한 결과, 다소 점성으로 인한 유동성이 저하되는 것을 느낄 수 있었다. 따라서 실제현장에서 적용시 작업성을 감안하여 무기계 결합재의 첨가량과 W/C의 조절을 통하여 소요 유동성을 확보해야 할 것으로 사료된다.

한편 동결융해 측정결과, 배합별 뚜렷한 차이는 보이지 않았으나 이 실험 또한 무기질 결합재의 함량이 증가할수

표 2. 무기계 결합재 선정배합

구 분	첨가량(Wt%)			
	시멘트	플라이애시	석고	기타
1	50	37	3	10
2	50	35	5	10
3	50	33	7	10
4	50	30	10	10

표 3. 흙포장 적용배합

구 분	중량부		
	화강암풍화토	무기계 결합재	물
배합량	100	15	13

표 4. 각 배합별 시험결과배합

구 분	(재령 28일)	
	압축강도(MPa)	투수계수(cm/sec)
1	10.3	5.5×10^{-6}
2	11.2	3.9×10^{-6}
3	12.7	3.3×10^{-6}
4	12.4	3.4×10^{-5}

표 5. 화강암풍화토 흙포장 선정배합

공시체명	화강암풍화토(ℓ)	분말결합재(kg)	액상결합재(kg)	안료(kg)	물(ℓ)	W/C(%)	양생조건
A 2.00	12	2.00	0.18	0.05	2.12	106.0	기건양생
B 2.25	12	2.25	0.18	0.05	2.12	94.2	
C 2.50	12	2.50	0.18	0.05	2.12	84.8	
a 2.00	12	2.00	0.18	0.05	2.12	106.0	수중양생
b 2.25	12	2.25	0.18	0.05	2.12	94.2	
c 2.50	12	2.50	0.18	0.05	2.12	84.8	

표 6. 각 화강암풍화도 흙포장 배합의 실험결과

공시체명	일축압축강도(MPa)	동결융해	흡수율(%)
A 2.00	8.72	<ul style="list-style-type: none"> 10cycle에서 박리발생 25cycle에서 균열발생 	11.57
B 2.25	9.84	<ul style="list-style-type: none"> 10cycle에서 박리발생 표면조각 느슨해짐 	12.01
C 2.50	10.12	<ul style="list-style-type: none"> 11cycle에서 박리발생 표면조각 느슨해짐 	12.37
a 2.00	8.34	-	-
b 2.25	10.97	-	-
c 2.50	11.82	-	-

록 표면 박리 및 균열 발생시점이 지연되는 것을 알 수 있었다. 따라서, 압축강도의 증가에 따라 동결융해 저항성도 증가하는 것으로 분석할 수 있다.

화강암풍화도는 화강암의 풍화과정에서 발생하는 토양으로서 자체가 흡수율이 높아 흙포장의 대상으로 적용될 시 우수에 의한 표면 수막현상을 줄여줄 수 있어 보행 및 주행안정성 확보가 가능한 것이 장점이다. 본 실험결과에서도 화강암풍화도를 활용한 공시체의 흡수율이 11%를 상회하는 결과를 보였다.

3.4 6가크롬(Cr⁶⁺)제거 실험

화강암풍화도 흙포장공법의 무기계 결합재에는 보통 포틀랜드 시멘트가 사용되고 있으므로 실제로 현장에서의 시

표 7. Cr⁶⁺ 제거시험 결과

Cr ⁶⁺ 제거제 첨가량 (시멘트 중량 대비 %)	Cr ⁶⁺ 함유량 (ppm)
0.4	0.0
0.2	0.0
0.1	0.1
0.05	2.3
0.025	5.9
0.0	10.2

공 시멘트 수화과정에서 용출되어 나오는 6가크롬(Cr⁶⁺)으로 인하여 작업인부 및 사용자로 하여금 해로운 영향을 미칠 수가 있다.

본 연구에서는 이러한 유해성분을 제거하고 사용자로 하여금 안심하게 보행할 수 있는 친환경 포장공법을 개발하기 위하여 시멘트수용액 중의 6가크롬(Cr⁶⁺)을 인체에 무해한 3가크롬으로 환원시켜주는 재료를 첨가하여 제조 하였으며 첨가량별로 용출된 6가크롬(Cr⁶⁺)량을 측정하였다. 그 결과는 표 7과 같다.

3.5 화강암풍화도 흙포장 최종 배합비 선정

실내시험을 통한 배합비산정 및 분석결과, 현장에서의 작업성을 감안하여 최종 배합비를 표 8과 같이 산정하였다. 최종 산정된 배합비로 제조된 화강암풍화도 흙포장시편의 재령

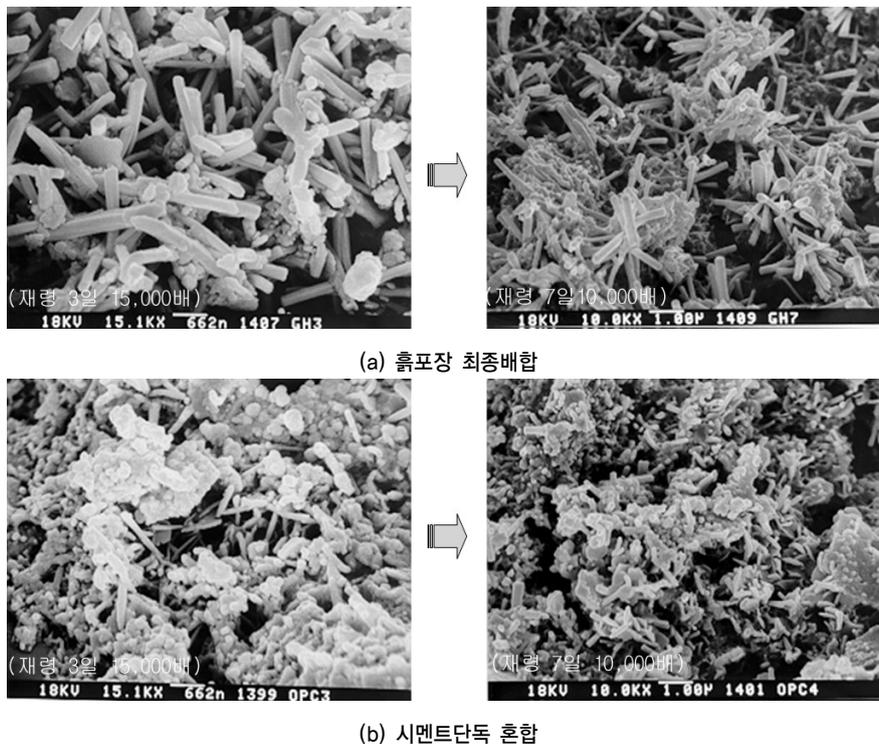


그림 3. 재령별 수화조직 SEM결과

표 8. 화강암풍화토 흙포장 최종 배합

구 분	배합수	시멘트	화강암풍화토	액상 경화제	색상 안료
배합 1	250~270ℓ	200kg	1.15m ³	18.0ℓ	3.0~5.0kg

별 수화구조물의 수화조직을 관찰하기 위하여 SEM(scanning electron microscope)사진을 촬영하였고, 그 결과는 그림 3과 같다. SEM사진을 통해서 알 수 있듯이 화강암풍화토 흙포장공법은 시멘트를 단독 혼합한 소일시멘트공법대비 재령 3일 및 7일에서 침상의 에트린자이트가 다량발생된 것을 알 수 있으며 이는 초기재령에서 흙포장의 강도 및 구속력을 강화시켜줄 뿐만 아니라 시멘트의 수화반응의 촉진에 따른 풍화에 따른 열화를 저감시켜 줌으로서 장기 내구성 확보에도 일조할 것으로 기대된다.

4. 현장시험

현장시험은 실험실적 결과를 토대로 실제 현장에 적용성을 평가하고자 실시하였다.

아래와 그림 4에서와 같이 사전조사 및 전처리과정을 거치고 실험실적 최적배합으로 혼합한 화강암풍화토 흙포장을 포설한 뒤 사후조사를 실시하였다.

현장에 화강암풍화토 흙포장을 적용한 결과 아래의 표 9에 나타난 것과 같이 실험실내에서 측정된 결과를 상회하는 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 이는 실내실험에서 제대로 이루어 지지 않았던 대상토의 함수율 조절 및 다짐이 완벽하게 잘 이루어 졌으며 무기계 바인더와 기타재료들이

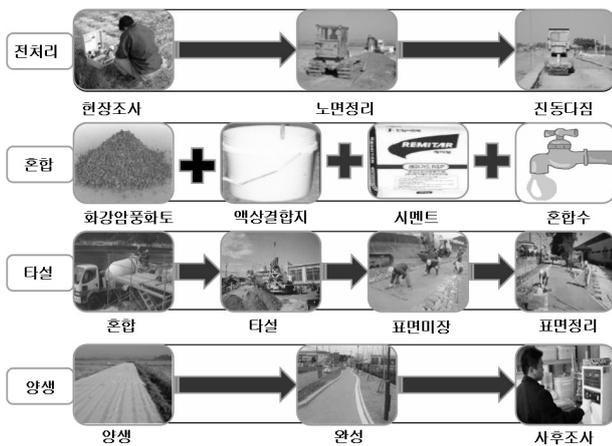


그림 4. 화강풍화토 흙포장 현장 시험시공 순서

표 9. 화강풍화토 흙포장 현장적용 시험결과

공사명	일축압축강도 (MPa)	투수계수 (cm/sec)	6가크롬 함유량 (ppm)	흡수율 (%)
OO산책로 정비공사	12.47	3.7×10 ⁻⁶	0.0	12.04

공장에서 프리믹싱(Pre-Mixing)되어 현장에 도착됨으로써 충분한 혼합이 이루어진 것으로 판단된다.

재령 28일의 일축압축강도에 있어서는 실험실에서 얻은 최고 강도인 11.82MPa를 상회하는 12.47MPa를 얻었으며 이는 초기강도 뿐만 아니라 재령 경과 후에도 일정 압축강도를 계속 유지 및 상승시키고 있음을 알 수 있었으며 일부 미세균열은 발견되었으나 관통 건조수축 균열 및 표면 박리 등은 찾아 볼 수가 없었다.

한편 친환경적인 측면에 있어서는 실험실내에서 선정된 6가크롬 제거제의 적정 함유량인 시멘트 중량의 0.2%의 투입으로 인하여 제조된 화강암풍화토의 모르타에서 6가크롬의 발생이 전혀 나타나지 않았다.

아울러 화강암풍화토를 대상으로 하고 여기에 시멘트와 무기계 결합제, 무기안료를 혼합하고 기존의 흙 도로 포장의 단점으로 거론되는 장기 내구성 결여 및 풍화현상을 극복하기 위해 새로운 개념의 무기계 풍화방지제인 액상 첨가제를 혼합수에 용해시켜 습식제조하는 순환자원형 포장공법에 관한 것으로서 콘크리트 및 아스팔트 콘크리트 포장과는 달리 천연토양이 부여하는 자연미를 극대화시키면서도 액상형의 무기계 첨가제가 기존의 유기계 첨가제가 지닌 경시열화를 극복하여 경과 년수에 상관없이 풍화작용을 방지하여 장기간 고내구성을 유지하며 구조체가 노후화되어 철거 시는 별도의 처리 없이 단순 파손으로 토양으로 재사용이 가능한 100% 순환자원형 조성물 및 공법으로서 기존의 경관용 포장재가 갖고 있는 내구성 문제 및 환경부하 문제의 해결에 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결 론

본 연구에서는 기존 흙포장의 문제점인 장기적인 내구성 결여 및 균열방생을 보완한 친환경적 흙포장재를 개발하기 위하여 액상형태의 혼합이 용이한 무기질 결합제와 화강암 풍화토를 첨가량별로 배합하였다. 일축압축시험 및 투수시험을 통하여 최적의 배합비를 산정하고 6가크롬검출시험, 재령별 SEM촬영, 동결융해시험을 실시하여 검증하였으며, 그

결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 분말형 무기계 결합재의 최적배합비를 산정하기 위한 실내시험 결과, 시멘트 : 플라이애시 : 석고의 비율이 50:33:7이 적합할 것으로 판단되었으며, 이 경우 재령 28일에서의 일축압축강도는 12.47MPa 이고 투수계수는 $3.3 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 을 나타내었다.
- (2) 화강풍화토 흙포장의 배합비를 결정하기 위해 일축압축강도시험, 동결융해시험, 흡수율시험을 실시한 결과, 무기질 결합재의 함량이 증가할수록 물리적 특성이 향상되는 경향을 보였다.
- (3) 친환경적인 ECO포장 개발을 목적으로 시멘트 수용액 중의 6가크롬(Cr^{6+})을 제거하기 위하여 시멘트수용액 중의 6가크롬(Cr^{6+})을 인체에 무해한 3가크롬으로 환원시켜주는 재료를 첨가하여 제조하고자 하였으며, 첨가량 별로 용출된 6가크롬(Cr^{6+})량을 측정된 결과, 6가크롬(Cr^{6+})제거제를 시멘트량의 0.2%이상 첨가한 경우 6가크롬(Cr^{6+})이 발생되지 않음을 알 수 있었다.
- (4) 최종 산정된 배합비로 제조된 화강암풍화토 흙포장시편의 재령별 수화구조물의 수화조직을 관찰하기 위하여 SEM사진을 촬영한 결과 화강암풍화토 흙포장공법은 시멘트단독 혼합한 소일시멘트공법대비 재령 3일 및 7일에서 침상의 에트린자이트가 다량발생된 것을

알 수 있었다.

- (5) 개발된 화강풍화토 흙포장에 대한 현장 적용성 평가 결과 실험실적 결과 및 설계기준을 상회하는 우수한 결과를 얻었을 수 있었으며 이는 내구연한 이후 토양으로 재사용이 가능한 100% 순환자원형 조성물 및 공법으로서 기존의 경관용 포장재가 갖고 있는 내구성 문제 및 환경 부하 문제의 해결에 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 이윤규, 백승철, R.D.Holtz 정동영 (2008), Unconfined Compressive Strength of Soil-Cement Pavement with Recycled Red Mud, 한국지반환경공학회, 한국지반환경공학회논문집, Vol. 9, No. 7, pp. 37~43.
2. Catton, M.D. (1940), Research on the Physical Relations of Soil & Soil Cement Mixtures, H.R.B. Proc.23, pp. 821~855.
3. Chadda, L.R. (1970), Phenomenon of Aggregation in the Stabilization of Soils with Cement, Indian Concr. J. Vol. 44, No. 5, pp. 210~212.
4. Handy, R.L. (1958), Cementation of Soil Mineral with Portland Cement or Alkalis, H.R.B. Bull. Vol. 198, pp. 81~98.
5. Jack, E.L. (1965), A Study of Cement-Clay Interaction, Univ. of Calif. Berkely, Engineering, Civil Vol. 12, pp. 272~273.
6. Moh, Z.C. (1965), Reactions of Soil Minerals with Cement and Chemicals, H.R.R. Vol. 86, pp. 39~61.

(접수일: 2008. 11. 5 심사일: 2008. 11. 19 심사완료일: 2009. 4. 3)