



습식 경화교반토 포장의 공학적 특성

Engineering Characteristics of Wet-mixing Solidified Soil in Pavement Surfacing

유 지 형* 서 동 혁** 이 승 원***
Yoo, Ji Hyeung Shu, Dong Hyuk Lee, Seong Won

Abstract

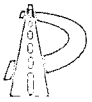
Roads, like bikeways, parkways and walks, are to be just capable of supporting light traffic and traveling public, but they are required to be human friendly and environmental-oriented. Lately soil-solidifier mixture, a kind of soil-cement, has developed and has been applied to the recycling and environment-oriented pavement as the surfacing material. Soil-solidifier pavement structure has been designed by only experience. To design this pavement mechanically, it is necessary to find out basic engineering properties of soil-solidifier mixture. This study focuses on finding out mechanical characteristics of the mixture according to mixture proportions and aging. Test molds with various mixture proportions are made, and then unconfined strength tests are performed for test molds with aging of the mixture. As the result of this study, it is found that the strength of the mixture increases with amount of cement and that maximum strength is achieved at 6%- 8% of the ratio of solidifier and water. The strength increase rapidly until 14 days, after then slowly. After 28 days the strength of the mixture approaches to the constant value. The heat of hydration during curing of the mixture is measured no significantly. It also shows that temperature characteristics of the mixture is similar to that of soil. Since this mixture is mixed with soil and is able to improve engineering problems in pavement due to temperature, this mixture is expected to use effectively in the environment-oriented pavement for light traffic.

Keywords : pavement, solidified soil, amount of sement, engineering characteristics

요 지

관광지의 도로, 산책로 등과 같이 중차량이 통과하지 않고 많은 사람들이 통행하는 도로는 큰 내하력을 갖추지 않아도 되며, 인간공학적이고 환경친화적이어야 한다. 이를 위하여 최근에 흙을 주재료로 하여 특수한 경화재와의 혼합물을 사용한 도로 포장공법이 개발되어 사용되고 있지만, 역학적인 해석과 설계가 이루어지지 않고 경험적인 방법에 의존하고 있다. 따라서 흙-경화재 혼합물의 기본적인 공학적 특성을 규명할 필요가 있다. 본 연구에서는 흙-경화재 혼합

* 정희원 · 경일대학교 토목공학과 교수
** 학생엔지니어링 대표이사
*** 정희원 · 경북대학 토목설계과 교수



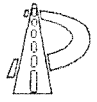
물의 주재료에 대한 혼합비를 달리하는 일련의 배합을 실시하여 공시체를 제작하고, 이에 대하여 재령별로 강도시험을 실시함으로써 혼합비와 재령에 따른 혼합물의 역학적 특성을 규명하였다. 또한 시멘트콘크리트포장에서는 양생하는 과정에서 수화열이 발생할 뿐만 아니라 그 지지기반인 흙과의 온도에 따른 거동의 차이로 인한 공학적 문제들이 야기됨으로, 흙-경화재 혼합물과 흙의 온도 특성을 비교 분석하였다. 본 연구 결과, 혼합물은 시멘트의 증가에 따라 강도가 증가하고, 수화열을 억제하기 위하여 제한된 시멘트량에 대해서는 경화재와 물의 혼합비가 6%~8%일 때 가장 큰 강도를 나타내었다. 또한 혼합물의 강도는 14일까지는 재령에 따라 비교적 급격하게 증가하다가 그 이후에는 증가율이 감소하여 28일 후에는 증가율이 급격히 저하되었다. 그리고 본 연구에서 사용한 시멘트량에 대해서는 수화열이 매우 미미하게 나타났으며, 흙과의 온도 특성이 비슷한 것으로 나타났다. 따라서 본 혼합물은 시멘트 콘크리트보다 내하력에서는 크게 못미치지만 온도 변화에 따른 공학적 문제들을 개선할 수 있으며, 흙을 주재료로 사용하므로 경하중이나 교통량이 적은 포장도로에서 환경친화적인 포장재료로서 우수하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 도로포장, 경화교반토, 시멘트량, 공학적 특성

1. 서론

국내 건설산업은 1970년대 이후로 지속적인 성장을 이룩하여 왔다. 그러나 최근 환경문제가 심각하게 대두되고 콘크리트의 유해한 성분들이 환경에 미치는 영향이 제기되면서 인체에 무해하고 친환경적인 흙을 건설 재료로서 사용하는데 관심을 가지기 시작하였다. 흙의 성질을 개량하기 위한 노력은 일찍이 고대 로마인이 석회를 혼합하여 처리한 것이 시초가 되어, 2차대전 이후에는 고속도로의 건설에 이용되는 등 흙의 안정처리공법이 급속히 발달되면서 실용화되기 시작하였다. 흙을 개량한다는 것은 현위치 흙을 흙 구조물의 용도에 부응하면서 경제적인 방법으로 처리될 수 있도록 하는 것이다. 그 방법으로서 입도의 조정과 같은 기계적인 방법과 어떤 첨가제를 가하는 화학적인 방법, 그리고 흙의 함수량을 감소시켜서 흙의 성질을 개선하는 전기적인 방법 등 여러 가지 방법이 고안되어 있다. 그러나 흙의 종류가 다양하면서 가장 효과적인 개량공법을 일률적으로 선택할 수 없는 불가피성이 대두되고 있다. 따라서 흙을 주재료로 한 공법을 이용할 시는 반드시 많은 실험에 의한 공학적 특성의 규명과 경험을 통해서 가장 경제적이고 효과적인 방법을 선택해야 할 것이다. 흙의 공학적인 성질을 개선하기 위한 화학적인 방

법으로서 시멘트를 상용한 흙-시멘트 혼합물이 1935년 미국에서 도로건설에 처음 사용된 이후 미국을 비롯한 일본과 국내에서 흙의 안정처리방법으로 많이 사용되고 있다. 흙-시멘트 혼합물은 재료분리가 발생할 뿐만 아니라 환경적인 문제를 야기시킬 가능성이 있으나, 최근에는 유해물을 무해화하여 경화시키는 특수경화재가 개발되어 흙-경화재 혼합물이 여러 용도로 사용되고 있다. 또한 공원 산책로, 농로, 관광지의 도로, 자전거 전용도로 등과 같이 중차량이 통행하지 않는 도로에서는 환경에 무해하고 친환경적인 포장이 요구되고 있다. 따라서 이러한 포장에 흙을 주재료로 하여 환경에 무해한 경화재를 혼합하는 흙-경화재 혼합물인 경화교반토가 포장재료로 사용되고 있다. 경화교반토를 사용한 도로포장은 실제적으로 우수한 것으로 평가되고 있지만, 현재 설계와 시공이 주로 경험에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 과학적인 설계와 시공이 이루어지기 위해서는 경화교반토에 대한 공학적인 특성을 규명할 필요가 있다. 본 연구에서는 흙-경화재 혼합물의 구성요소인 각 재료의 배합비를 변화시켜 공시체를 제작하고, 강도시험과 온도특성시험을 수행하여 흙-경화재 혼합물의 배합비와 재령에 따른 강도특성과 온도특성을 규명함으로써 최적의 배합비를 도출하고 포장설계를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.



2. 습식 경화교반토 도로포장 공법

흙을 이용한 건설산업은 국내를 비롯한 미국, 일본 등 세계 각국에서 이루어져 왔다. 특히 최근 환경문제가 대두되면서 흙의 이용은 더욱더 많아 질 것이다. 이러한 환경친화적인 흙을 주재료로 하는 습식혼합 경화교반토를 이용한 도로포장이 최근에 성공적으로 시공되고 있다. 이는 도로 등의 원지반 흙이나 공사현장 주변의 흙을 가까운 레미콘 공장 등의 장소로 운반한 후, 흙에 일정 배합비의 시멘트와 산화철 그리고 경화제 수용액을 혼합기에서 혼합하여 함유율이 높은 경화교반토를 생산하고, 이를 시공 장소로 운반, 포설 및 다짐과 표면정리를 행한 후, 습윤 양생을 통한 고화처리하는 도로포장 공법이다. 이 공법은 모래, 자갈 등의 외부골재의 반입 없이 시공하고자 하는 도로의 원지반 흙 또는 부근의 흙을 포장재료로 활용함과 동시에 간단한 공정과 저렴한 시공비를 통하여 콘크리트 못지 않는 상당한 강도를 유지하면서 견고하게 포장할 수 있는 장점이 있다. 또한 다양한 토질의 지반에도 두루 적용할 수 있는 시공성의 향상과 공사후 환경친화적인 면까지의 효과를 기대할 수 있다.

경화교반토에 사용되는 무해한 특수경화제는 점성토를 함유한 흙을 경화시키는 것으로부터 기술개발이 시작되었다. 점토를 구성하는 미세토립자는 주로 전기적으로 음(-)대전을 일으켜 여기에 무기의 양이온을 첨가함으로써 안정된 가교체를 얻게 된다. 이 가교체에 시멘트를 혼합함으로써 보다 안정된 강도를 갖게 된다. 특수경화제가 흙과 혼합하게 되면 흙 입자내의 무기질성분이 조암작용에 필요한 성분을 얻어 수화반응으로 응결되며, 액성이온 농도의 변화에 따라 이온전하가 수정되어 이에 따른 침전이 시작된다. 흙의 액상과 기상 그리고 유기질의 경화에 대한 장애가 없어지게 되고 시멘트 효과가 최대한으로 발휘되게 됨으로써 경화가 촉진되어 흙은 하나의 조암체로 형성되게 된다. 즉, 특수경화제는 암석이 풍화되어 흙이 되는 과정을 고찰하여 그것의 성분조성

을 연구함으로써 조암의 과정을 역추론하여 개발된 경화제라 할 수 있다.

최근에 일본에서는 하천에 퇴적된 오니를 준설하여 이를 특수경화제와 혼합하여 통학로, 공원산책로 포장과 벽돌 등으로 재활용하고 있다. 우리나라에서도 흙-시멘트에 경화제를 혼합한 경화교반토를 사용하여 공원 산책로, 농로, 임도 등에 성공적으로 시공되어 사용되고 있다. 그림 1은 경북 영주시 소재 초암사 진입로를 경화교반토로 시공하는 현장 전경이다.

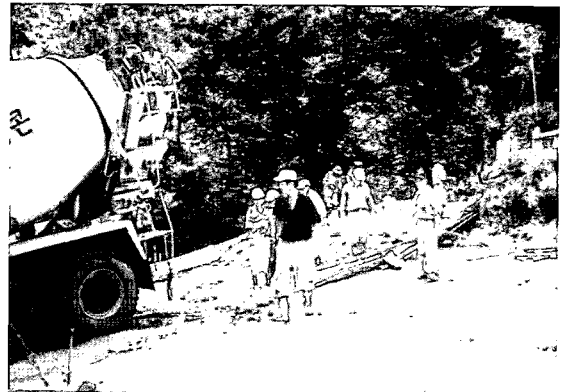


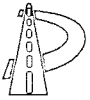
그림 1. 습식 경화교반토 도로포장 포설현장 전경

3. 시험에 적용된 경화교반토 배합설계

흙-경화제 혼합물인 경화교반토는 주재료인 흙, 시멘트, 경화제, 물을 혼합하여 경화시킨 재료로서 그 공학적 특성은 재료의 구성비, 혼합방법, 혼합시간, 양생조건 등에 영향을 받게 된다. 혼합물의 공학적 특성은 일차적으로 주재료의 배합비에 크게 의존하게 된다. 따라서 본 연구에서는 경화교반토의 배합비에 따른 공학적 특성을 살펴보기 위해서 압축강도 시험과 온도특성시험 등을 실시하였다.

3.1 경화교반토 구성재료의 성질

흙-경화제 혼합물인 경화교반토의 주재료인 흙은



우리나라에 가장 널리 편재되어 있고 현장에서 손쉽게 얻을 수 있는 화강풍화토로 본 연구대상으로는 경북 왜관에 분포된 화강풍화토를 사용하였다. 이에 대한 토성시험 결과는 표 1에 나타난 바와 같으며, 입도분포는 그림 2와 같다.

표 1. 토성시험 결과

비 중	2.54
#200 통과 백분율	3.5%
에테베르그 한계	N.P
함수비	6%
통일분류	SP

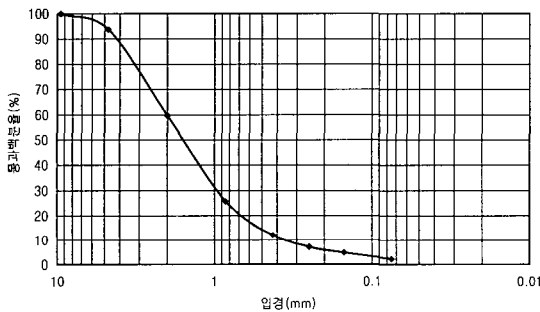


그림 2. 입경가적곡선

시멘트는 비중이 3.16인 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 물은 불순물이 없는 깨끗한 수돗물을 사용하였다. 경화재는 알칼리근족, 탄산족, 할로겐족, 철족 등의 각 원소를 적절하게 혼합시킨 무기계 화합물로 된 특수경화재로 일본에서 개발된 경화재를 사용하였다.

3.2 경화교반토 배합 비율

도로포장 재료로 경화교반토를 사용할 때, 시공경험을 바탕으로 시멘트는 흙 1m³당 약 200kg, 경화재는 18 l 를 사용하고 있다. 따라서 본 연구에서는 시공경험에서 얻은 배합비를 기준으로 표 2와 같이 화강풍화토 1m³당 시멘트는 180, 200, 240kg으로

변화시키고, 경화재는 18 l 를 고정하고, 희석율을 조정하기 위해 경화재와 물의 용적비인 경화재/물비를 5, 6, 7, 8, 9%로 변화시켜 15가지 경우의 배합을 실시하였다. 각 배합에 대해서 재령당 3개와 온도 특성시험용 1개인 24개씩 총 360개의 공시체를 각각 제작하여 강도시험과 온도 특성시험을 실시하였다. 공시체는 몰드에 혼합물을 넣고 다짐봉으로 다져 제작하였다.

표 2. 각 재료의 배합범위

흙(kg/m ³)	1400
경화재(l)	
시멘트(kg/m ³)	180, 200, 240
경화재/물 용적비(%)	5, 6, 7, 8, 9

4. 각종 시험결과 분석

4.1 재령에 따른 강도특성

흙-경화재 혼합물은 시멘트 콘크리트와 같이 시간이 경과함에 따라 강도가 발현된다. 따라서 경화재/물비와 시멘트량의 변화에 대하여 시간에 따른 경화교반토의 압축강도의 발현을 살펴보기 위하여 압축강도시험을 실시하고 그 결과를 분석하였다. 그림 3과 그림 4는 시멘트량이 240 kg인 경우 경화재/물비 변화에 대하여 재령에 따른 탄성계수와 압축강도를 도시한 것이다.

각각의 그림에서 보는 바와 같이 재령 3일 까지는 일축강도와 탄성계수가 급격하게 증가하여 약 49%의 강도를 발현하고, 그 이후에는 완만하게 증가하여 재령 28일에는 약 90%의 압축강도를 발현하는 것으로 나타났다.

4.2 시멘트량에 따른 강도특성

경화교반토에서 시멘트는 강도를 발현시키는데 기

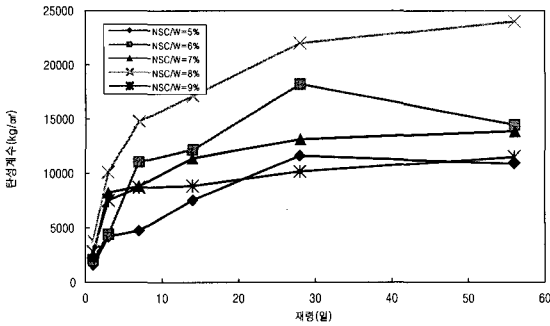


그림 3. 경화재/물비에 대한 경화교반토의 재령에 따른 탄성계수

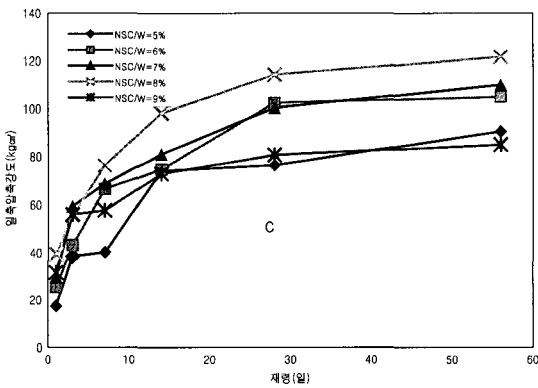


그림 4. 경화재/물비에 대한 경화교반토의 재령에 따른 압축강도

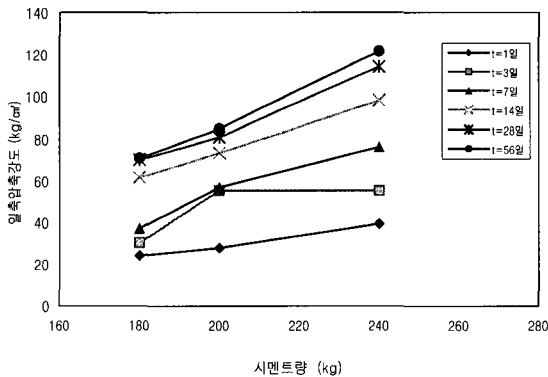


그림 5. 재령에 대한 경화교반토의 시멘트량에 따른 압축강도

여하지만 수화작용에 의하여 수화열을 발생시킴으로 시멘트량을 적절하게 조절할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 시멘트량에 따른 경화교반토의 강도특성을 살펴봄으로써 적절한 시멘트량을 제시하고자 하였다. 그림 5는 경화재와 물의 용적비인 경화재/물비

가 8%인 경우 각 재령에 대하여 시멘트량에 따른 압축강도를 도시한 것이다.

그림 5에서 보는 바와 같이 경화교반토의 강도특성치인 압축강도는 시멘트량이 180kg에서 200kg로 증가함에 따라 비교적 크게 증가하지만, 그 이후 240kg까지는 비교적 완만하게 증가하는 것으로 판단된다. 또한 시멘트량이 증가함에 따라 압축강도가 증가하지만 시멘트량이 많게 되면 수화열이 발생하는 등 온도특성 측면과 경제적 측면에서 바람직하지 않은 것으로 예상되므로 경화교반토의 배합시 시멘트량은 200kg으로 하는 것이 바람직 한 것으로 사료 된다.

4.3 경화재/물비에 따른 강도특성

환경친화적인 도로포장용 재료로 사용하기 위한 경화교반토는 무해한 특수경화재를 사용하게 되는데, 경화재의 배합비율이 경화교반토의 강도특성에 미치는 영향을 규명하는 것은 매우 중요하다. 따라서 경화재/물비를 변화시켜 배합설계한 공시체에 대해서 압축강도시험과 온도시험자료를 분석함으로써 적절한 경화재/물비를 제시하고자 한다. 그림 6과 그림 7은 시멘트량 200kg인 경우, 재령에 대한 경화재/물비에 따른 탄성계수와 압축강도를 도시한 것이다.

그림에서 보는바와 같이 시멘트량이 200kg인 경우 일축압축강도가 경화재/물비가 6%일 때 가장 크게 나타나며, 시멘트량이 180kg과 240kg인 경우에는 경화재/물비가 각각 6%와 8%일 때 압축강도가 가장 크게 나타났다. 또한 탄성계수는 시멘트량에 관계없이 경화재/물비가 6%와 8%에서 크게 나타나고 있다.

따라서 본 연구에서 사용한 화강풍화토와 경화재에 대해서 경화교반토를 도로포장용으로 사용할 때, 강도 특성과 경제성을 고려하여 경화재/물비는 비교적 고가인 경화재가 적은 6%를 사용하여 타설하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

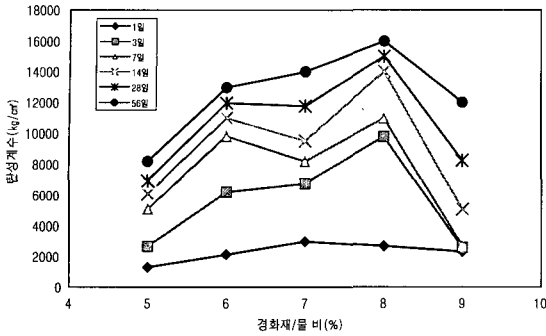


그림 6. 경화교반토의 경화재/물비에 따른 탄성계수

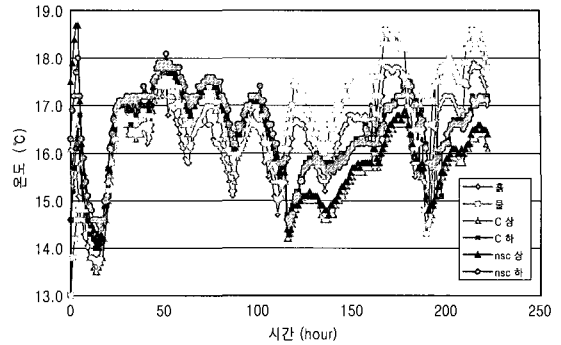


그림 8. 경화재/물비에 따른 시간-온도곡선

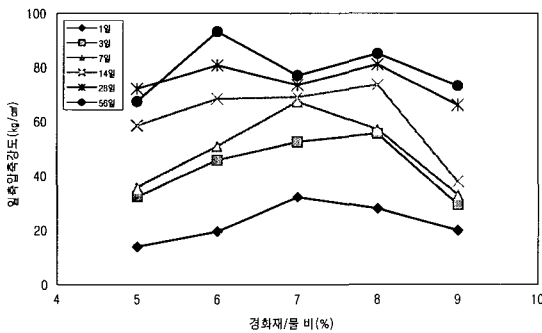


그림 7. 경화교반토의 경화재/물비에 따른 압축강도

4.4 경화에 따른 온도변화 특성

경화교반토의 온도특성을 살펴보기 위하여 배합설계에서 사용된 시멘트량에 대해서 경화재/물비를 변화시켜 제작한 공시체에 계측기 thermocouple를 매입하여 시간에 따라 측정된 온도를 분석하였다. 그림 8은 시멘트량 200kg인 경우, 경화재/물비 변화에 따라 경화되는 동안 온도변화를 도시한 것이다.

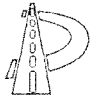
경화재를 사용하지 않은 경우와 비교해서 경화재/물비 변화에 경화교반토의 온도차이는 최대 2°C로 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다. 초기에는 경화재를 함유한 쪽이 약 1°C 정도 높게 나타났으나, 시간 경과를 지켜보면 본 연구에서 배합설계한 화강풍화토 1m³당 시멘트량 240kg이하로 사용할 때 특수경화재에 의해 혼합물이 경화되는 동안 수화열이 거의 발생하지 않는 것으로 사료된다.

5. 결론

공원, 산책로, 임도 등과 같이 주로 사람이나 차량량이 통행하는 큰 내하력이 필요치 않은 도로에는 환경에 무해하고 환경친화적인 포장에 요구된다. 이를 위하여 특수경화재가 개발되어 흙, 시멘트와 혼합하여 도로포장용으로 사용되고 있다. 시공결과 우수한 것으로 평가되고 있지만, 혼합물의 공학적 특성이 규명되고 있지 않아 시공경험에 전적으로 의존하고 있다.

본 연구에서는 흙-경화재 혼합물인 경화교반토의 공학적 특성을 규명하기 위해서 화강풍화토 1m³을 기준으로 시멘트, 경화재/물비를 변화시켜 배합설계를 실시하고, 이에 따른 공시체를 제작하여 재령별로 강도특성시험과 온도특성시험을 실시하였다. 본 연구에서 수행한 배합설계에 대한 시험결과를 분석하고, 흙-경화재 혼합물을 사용한 습식혼합 혼합교반토 포장의 시공사례를 토대로 얻은 결론은 다음과 같다.

경화교반토를 사용한 도로포장은 무기질 성분인 경화재와 흙을 혼합하여 포설한 것으로 안정된 도로면을 유지하면서 환경에 무해한 친환경적인 도로포장으로 여러 시공사례에서 우수한 것으로 나타나고 있다. 습식혼합(wet mixing) 경화교반토를 이용한 도로포장은 도로의 포장공사시 시공대상이 되는 원



지반의 흙에 경화재를 혼합하여 경화처리하기 때문에 종래 산림 및 농사용 도로 등의 포장에 적용되는 아스팔트 또는 콘크리트 포장에 비하여 자재조달의 번거로움을 피할 수 있고, 인건비, 운반비 또는 장비의 사용에 따른 비용을 대폭 절감할 수 있게 된다. 본 연구에서 사용된 경북 왜관에 분포된 화강풍화토에 대하여 연구결과, 경화교반토의 공학적인 특성으로서 흙-경화재 혼합물의 압축강도는 재령 3일에 약 49%가 발현되며, 그 이후 완만하게 증가하여 재령 28일일 때는 약 90%가 발현되는 것으로 나타났으며, 경화재의 회석의 정도를 나타내는 경화재와 물의 용적비인 경화재/물비가 6~8%일 때 가장 큰 압축강도를 나타내었다. 또한 화강풍화토 1m³ 당 시멘트량 240kg이하 사용시 흙-경화재 혼합물이 경화되는 동안 수화작용에 의한 수화열이 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Chadda, L .R.(1970), "Phenomenon of Aggregation in the Stabilization of Soils with Cement", *Indian Conc. J. Vol. 44, No.5.*

2. Clare, K.E. and A.E. Ollard(1954), "The Effect of Curing Temperature on the Compressive Strength of Soil Cement Mixtures", *Geotechnique 4*, PP.97~103.

3. Joakim, G. L.(1963), "Effect of Temperature on some Engineering Properties of Clay Soils," *Proc. Int. HRB Special Report 103*, pp.186-193.

4. Filsofov, A.V.(1981), "Effect of Portland cement of Properties of Clays", *J. Appl. Che., 4*, pp. 773~776.

5. AASHTO(1993), "AASHTO Guide for Design of Pavement structures", published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.

6. Yang H. Huang(1993), "Pavement Analysis and Design", Prentice Hall.

〈접수 : 2003. 11.17〉