



저수축 시멘트 안정처리 기층의 특성분석

Analysis of Characteristics in Low-shrinkage Cement Treated Base

이 승 우* 전 범 준** 김 종 원***
 Lee, Seung Woo Jeon, Beom Jun Kim, Jong Won

Abstract

Cement treated Soil has superior characteristics as pavement-base including strength, curability, hardness, freezing resistance. However drying shrinkage of Cement treated base has been indicated as disadvantage, since reflection crack of surface layer is induced from drying shrinkage of cement treated base. This study propriety about low-shrinkage cement treated base that can control shrinkage of cement and control reflection crack at asphalt overlay & concrete slab.

Keywords : cement treated base, drying shrinkage, reflection crack, pavement

요 지

시멘트 안정처리는 우수한 강도발현, 내구성, 강성, 동상저항 등의 우수한 능력을 발휘하지만 건조수축으로 인해 표층부로의 반사균열을 발생시키는 단점을 가지고 있다. 이에 본 연구에서는 시멘트의 건조수축을 억제하여 표층부로의 반사균열을 억제할 수 있는 저수축 시멘트 안정처리방법에 대한 타당성을 연구하였다.

핵심용어 : 시멘트 안정처리, 건조수축, 반사균열, 포장

1. 서론

화학적 지반안정처리공법은 도로 및 공항포장 공사시 고가의 쇄석 등을 대체하여 현장토사를 화학적으로 고결하여 기층재료로 활용하거나, 연약지반 개

량 과정의 장비 진입을 위한 표층의 강도증진 등 천층지반의 개량공법으로 활용되고 있다. 시멘트 안정처리법, 아스팔트 안정처리법, 석회 안정처리법 등 다양한 화학적 지반 안정처리 공법이 있지만, 이중 시멘트 안정처리법은 강도발현, 내구성, 강성, 동상

* 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 조교수
 ** 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 대학원생
 *** (주)대림산업 과장



저항등에 우수함을 보이고 있으며, 경제성 및 현장적용이 용이하여 많은 기술자들이 관심을 갖고 있는 공법이다. 특히 2000년대 들어 유지보수가 적은 장수명 도로포장 설계 및 시공기술 확보차원에서 미국 등 선진국에서는 시멘트 안정기층의 활용을 위한 많은 연구가 진행(미도료연방국의 LTPP (Long Term Performance Pavement) 연구, 미국 아스팔트포장 연구소의 Perpetual Pavement 연구 (2002)) 되고 있다. 시멘트 안정 처리층을 아스팔트 콘크리트 포장의 기층으로 활용할 경우 경제성, 시공성, 강도특성 등에서는 장점을 갖고 있지만, 건조수축으로 인한 시멘트 안정처리층 내에 균열을 억제하기가 어렵고, 이러한 균열부의 움직임은 상부 표층에 균열(반사균열)을 전파할 수 있다는 문제점을 갖고 있다. 일반적으로 시멘트 안정처리된 모래질지반의 경우 건조수축은 0.5%, 시멘트 안정 처리된 점토질지반의 경우 건조수축은 1% 정도이다. 미국, 유럽 등 선진국에서는 반사균열을 억제하는 방안을 도입하여 시멘트 안정 처리층을 활발하게 사용하고 있는 반면 국내에서는 관련 연구개발의 미비로 시멘트 안정 처리층을 기층재료로서 활용하지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 시멘트 안정 처리층의 건조수축을 최소화하는 저수축 시멘트 안정처리 기층의 현장적용성 여부 및 저수축 시멘트 안정처리 기층의 강도, 탄성계수, 건조수축특성을 고찰하여 보았다.

2. 시멘트 안정처리 지반개량공법의 적용 및 연구동향

2.1 시멘트 안정처리 지반개량공법의 원리 및 적용성

시멘트 안정 처리공법은 1915년 미국 플로리다에서 느슨한 토사층에 포틀랜드 시멘트를 배합하여 사용된 이후로 도로포장의 현장재료를 안정 처리하는 대표적인 공법으로 사용되어 오고 있으며 1950년대부터는 공항포장에도 적용되기 시작하였다.(Ronald

et al., 1979) 특히 중차량의 비율이 높거나 교통량이 많이 예상되는 고속도로나 공항포장에서는 시멘트 안정 처리층이 선호되고 있다. 시멘트의 C_2S (Tricalcium Silicate) 등과 흙의 SiO_2 성분, 물의 화학적 결합(수화작용)에 의해 발생하는 시멘트 페이스트는 흙 입자간의 부착력을 증진시켜서 강도발현, 내구성, 강성, 동상저항 등이 우수한 시멘트 안정 처리층을 형성한다. 시멘트 안정처리기법의 적용에 적합한 토질조건으로는 모래, 점토질 모래, 소성지수가 작은 점토이다. 소성지수가 큰 점토에서는 다짐이 어렵고 건조수축이 커서 활용하지 못하고 있다.

2.2 시멘트 안정처리층의 재료적 특성

2.2.1 다짐특성

동일한 다짐에너지조건에서 흙에 시멘트를 첨가하면 최적함수비와 최대건조단위 중량이 달라진다. 최적함수비와 최대건조단위 중량은 토질조건에 따라 증가하는 경우도 감소하는 경우도 있다. 단지 배합과 다짐간의 시간경과가 클수록 최대건조단위 중량 및 강도를 저하시키는 경향이 있다.

2.2.2 강도특성

시멘트 안정처리 지반의 특징을 알아보면 일축압축강도와 시멘트 함유량의 상관관계는 그림 1과 같이 선형 관계를 보이며, 시멘트 함유량이 증가할수록 일축압축강도는 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 그림 2에서는 일축압축강도와 휨강도 사이의 상관관계를 볼 수 있는데 일축압축강도가 증가할수록 휨강도 역시 같이 증가하는 것을 볼 수 있다. 시멘트 안정처리 지반의 강도특성은 파괴모드, 시멘트함량, 양생조건, 토질 특성 등에 많은 영향을 받는다. 시멘트 안정 처리층의 인장강도는 일반적으로 콘크리트 압축강도의 1/3~1/5 수준이다.

2.2.3 탄성계수 특성

일반적으로, 시멘트 안정토의 응력-변형률은 비선

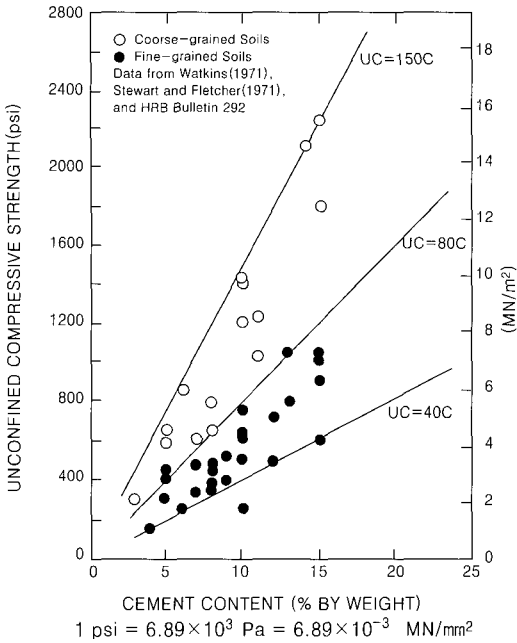


그림 1. 시멘트 함유량과 시멘트 안정처리토의 일축압축강도 관계 (Ronald et al., 1979)

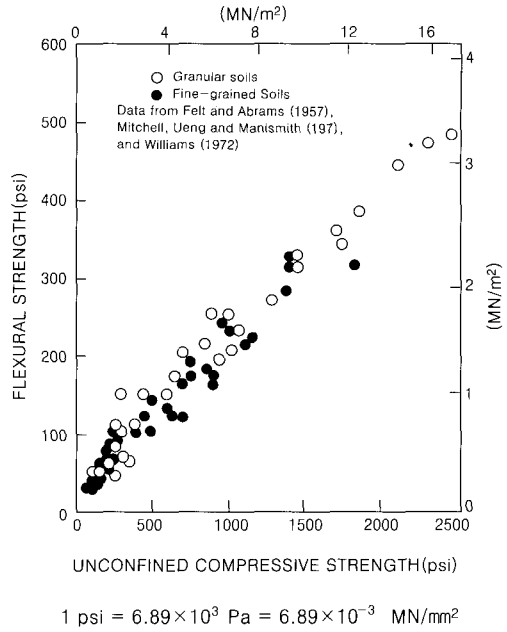


그림 2. 시멘트 안정처리토의 일축압축강도와 휨강도의 관계 (Ronald et al., 1979)

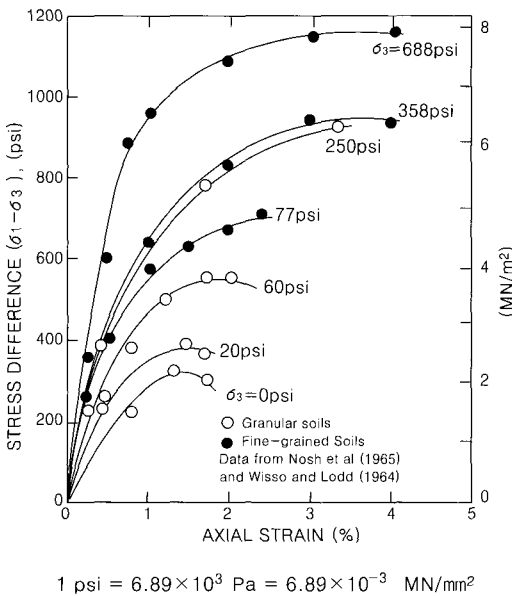


그림 3. 시멘트 안정처리 지반의 응력-변형률 관계 (Ronald et al., 1979)

형이고 응력은 종속적인 값이 된다. 그러나 대부분의 흙과 처리 단계별 그리고 제한된 하중 범위의 재료들은 반복하중 하에서 선형탄성으로 가정한다. 변형률은 흙의 종류, 처리 정도, curing time, 함유량, 실험 조건에 영향을 받는다. 또, 그림 3과 같이 시멘트 안정처리 지반의 응력-변형률 관계 그래프를 볼 수 있으며, 강도가 클수록 곡선의 기울기가 급해지는 것을 볼 수 있다.

2.2.4 건조수축 특성

시멘트 안정처리토의 건조수축은 시멘트 함량비, 흙의 종류, 함수량, 다짐정도, 휨 상태의 영향을 받는다. 도로에서 이러한 건조수축으로 인한 크랙은 고려되어야 하며, 현장에서는 이러한 크랙의 폭은 3~6mm를 넘지 않고, 크랙 간격은 3~6m의 범위에 들 것을 권장하고 있으며, 시멘트 안정 처리된 지반 종류 및 시멘트 함유율에 따라 건조수축 변형률은 0.1%에서 1%로 보고되고 있다. 하지만 이런 균열



은 시멘트 안정처리 기층의 단점으로 지적되고 있다.

2.3 시멘트안정처리층의 건조수축균열로 인한 표층의 반사균열 억제방안

시멘트 안정 처리층의 건조수축균열로 인한 표층의 반사균열을 억제하는 방안으로 선진국에서는 다음과 같은 방안이 적용되고 있다.(Ashrsf et al., 1999)

- ① 시멘트 안정처리 지반내 세립토 함량을 제한하여 건조수축 감소.
- ② 건조수축과정이 상당히 진행될 때까지 표층의 포설을 연기하는 방안.
- ③ Pre-Cutting으로 건조수축균열 패턴을 조절하여 폭이 큰 건조균열 억제.
- ④ 반사균열 전파방지층을 시멘트 안정 처리층과 표층사이에 설치
- ⑤ 표층두께를 증가
- ⑥ 건조수축균열의 발생빈도를 증가시켜서 폭이 큰 건조균열 억제

① 방안은 건조수축자체를 감소시키는 방안인데 비하여 ②, ③, ④, ⑤, ⑥은 건조수축 균열은 허용하되 표층으로의 반사균열을 억제하는 방안이다. 본 연구에서는 시멘트에 무수축 혼화제 또는 팽창제를 사용하여 건조수축을 줄일 수 있는 방안에 대하여 고찰하여 보았다.

3. 저수축 시멘트 안정토의 개발

3.1 저수축 시멘트 안정처리 재료특성 평가

3.1.1. 실험계획

(가) 대상 흙의 선정

실험에 사용된 흙은 통일 분류법으로 분류해 보았

을 때 액성한계의 값이 50% 이하, 소성지수가 7~24%의 범위 내에 있는 낮은 점토질(CL)의 흙으로 분류되었으며, 이 흙을 이용하여 저수축 시멘트 안정처리 기층지반에서 건조수축 저감 효과에 대하여 알아보았다.

(나) 배합비 선정

지반 공학적 우수성을 유지하면서 건조수축을 최소화시킬 수 있는 시멘트 안정처리 기층 개발을 위해 시멘트 혼합비 및 혼화제의 혼합비를 달리하여 배합비를 선정하였다. 본 실험에서는 기층의 강도 증진을 위해 일반적으로 사용되어지는 포틀랜드 시멘트를 10%(by weight) 혼합하였고, 건조수축을 최소화하기 위하여 사용한 무수축 혼화제와 팽창제의 혼합 비율은 시멘트량에 대해 각각 5%, 10% (by weight)로 하였으며, 표 1과 같이 6가지의 배합비를 선정하였으며, case 0의 경우는 최소 소성, 액성 및 다짐특성 실험까지만 포함되고 이후의 강도, 탄성계수, 건조수축 특성실험에서는 case 1부터 case 5까지의 5가지 배합비에 대해서만 실험하였다.

(다) 시멘트의 선정

본 실험에서 사용되어진 시멘트는 일반적으로 많이 사용되어지는 S사의 비중이 3.15인 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

(라) 혼화제 선정

㉠ 무수축 혼화제

비철계분의 무수축제로 빠른 강도발현에 의한 공사기간단축효과가 있고 시공 후 장기강도가 높고 유동성이 좋아 완벽한 충전시공이 가능하고 Bleeding 및 Laitance가 없으므로 양생 후에도 시공 표면이 깨끗하다. 또한 부착력이 우수하고 내약품성, 내마모성, 내수성, 내유성의 증진효과가 있다.

㉡ 팽창제

높은 팽창성으로 (1~3%) 작업여건에 맞추어 사용량 변화가 가능하고 조기강도의 발현으로 고강도

표 1. 실험에 사용된 시편의 배합비

구 분	내 용
Case 0	흙
Case 1	흙 + 시멘트
Case 2	흙 + 시멘트 + 무수축혼화제-5%
Case 3	흙 + 시멘트 + 무수축혼화제-10%
Case 4	흙 + 시멘트 + 팽창제-5%
Case 5	흙 + 시멘트 + 팽창제-10%

를 얻을 수 있다. Bleeding이 전혀 발생하지 않아 수축이 전혀 없고, 작은 물 비로써 소요하는 강도를 낼 수가 있어 현장배합으로 공사경비를 줄일 수 있다.

(마) 실험항목 및 방법

시멘트 첨가량 10%에서의 혼화제 종류 및 혼합률을 달리하고 다짐조건에 따른 시멘트 안정치리치반의(양생시간별)강도, 건조수축특성 파악을 위한 토질실험을 수행하고 분석하였다.

㉓ 다짐실험

다짐시험은 KSF 2312에 규정에 의해 실시하였으며 3층 25회로 다짐시험시 시멘트 중량비를 10%로 하였다.

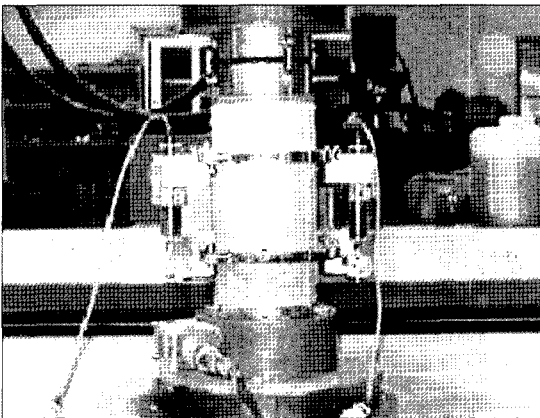


그림 4. 탄성계수 측정을 위한 Load Cell(10ton), LVDT 설치모습

㉔ 강도 및 탄성계수

각 재령 1일, 7일, 28일의 강도를 KSF 2405 시험법에 의해 측정하였다. 강도 측정시 저장도에 대한 데이터 측정의 오차를 줄이기 위하여 만능재료시험기(UTM)에 Load-Cell(용량 10ton)을 설치하였고, 탄성계수 측정을 위해 그림 4와 같이 시편에 변형률 게이지(LVDT) 2개를 장착하고 DATA-LOGGER를 이용하여 각 하중에 대응하는 변위를 측정하였다. 그리고 측정의 신뢰성을 높이기 위하여 각 실험 Case별로 3개 이상의 시편을 만들어 실험하였다. 강도측정은 1일, 7일, 28일에 측정하였으며, 탄성계수 측정은 1일은 제외한 재령 7일과 28일에서 응력-변형률 관계를 이용하여 산출하였다.

㉕ 건조수축실험

Case 1~Case 5에 대한 건조수축에 대한 실험(KSF 2424)은 시편 제작시 그림 5와 같이 시편중앙에 매립형 게이지를 설치하여 시편을 제작한후 항온항습기를 항온 25℃, 습도 50%로 유지하며 실험을 실시하였다. 각 시편의 건조수축변화는 매립형 게이지로부터 DATA-LOGGER로 그 값을 실시간으로 측정하여 시간별 건조수축변화를 측정하였다.

㉖ Slab Test

건조수축실험 결과에서 저수축 특성을 가장 잘 보이는 배합에 대하여 저수축 효과를 비교해 보기 위하여

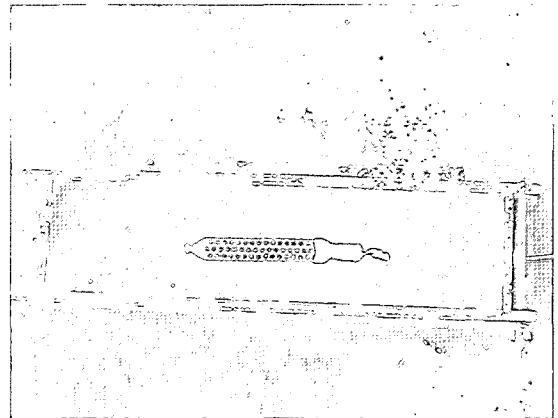


그림 5. 건조수축 측정을 위한 매립형게이지 매립

Slab Test를 실시하였다. Slab Test는 노상층위에 저수축 시멘트 처리기층과 시멘트 처리기층을 각각 시공하여 비교해보았다.

3.1.2 배합조건별 특성

(가) 다짐특성 및 연경도 특성

표 2와 표 3에서 보면 무수축 혼화제를 사용하지 않은 경우 시멘트 안정처리 결과 최적함수비가 감소하는 경향을 보인다. 그리고 최대 건조단위중량은 다짐특성에서 시료에 따라 결과에 약간의 차이가 있음을 볼 수 있으며, 시멘트 안정 처리 및 혼화제의 첨가량이 증가할수록 소성지수(PI)가 점차 줄어드는 것을 볼 수 있다.

(나) 강도 특성

이러한 시멘트 안정처리 지반의 강도특성을 실험을 통하여 알아본 결과 표 4에서 보는 바와 같이 초기 재령 1일 강도는 혼화제의 종류와 상관없이 큰 차이가 없었으나 재령이 증가할수록 그 차이는 커졌으며 강도증가의 폭 또한 혼화제의 영향에 따라 그 차이를 보이는 것을 보임을 알 수 있다. 시멘트만을 넣은 Case 1의 경우 재령 7일의 압축강도가 재령 28

일의 압축강도의 약 80%의 값을 가지며 압축강도의 증가폭이 완만한 것을 볼 수 있다. Case 2의 무수축 혼화제를 넣은 경우 빠른 강도 발현과 고강도를 얻는 것을 볼 수 있는데 시멘트만을 넣은 Case 1의 7일강도와 비교하였을때 8kgf/cm² 정도 크게 나온 것을 볼 수 있으며 28일 강도의 경우는 약 16.5kgf/cm² 크게 나온 것을 볼 수 있다. 하지만 10%의 혼화제를 넣은 Case 3의 경우는 오히려 각 재령별 강도 값이 Case 1과 별 차이 없는 값을 나타내고 있으며, 이는 무수축 혼화제를 적정 비율의 배합을 해 주어야 빠른 강도 발현 및 고강도를 발현한다는 것을 보여주는 것으로 과도한 혼화제의 사용은 오히려 강도의 저하를 가져오는 것을 알 수 있다. 팽창제의 경우 무수축 혼화제와는 반대로 팽창제를 많이 첨가한 팽창제 10%의 Case 5가 고강도를 보였고, 팽창제 5%를 첨가한 Case 4는 오히려 Case 1보다 더 적은 강도 값을 보였다. Case 5의 경우 조기강도발현은 보이지 않으나 이후 장기강도 발현에 있어 가장 높은 64.7 kgf/cm²의 값을 보였다.

(다) 탄성계수 특성

각 실험별 시편 모두 재령이 증가할수록 탄성계수 값이 커지는 것을 볼 수 있으며, 표 5에서 볼 수 있듯

표 2. 다짐 실험결과

구 분	Case 0	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
	흙	시멘트10%	시멘트10% 무수축제5%	시멘트10% 무수축제10%	시멘트10% 팽창제5%	시멘트10% 팽창제10%
최 적 함 수 비	13.5	10.5	13	11	10	12
최대건조단위중량	1.77	1.86	1.81	1.85	1.81	1.86

표 3. 시료의 연경도 실험 결과

구 분	Case 0	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
LL(%)	44	43	44	50	33	32
PL(%)	20	21	33	40	25	25
PI(%)	24	22	11	10	8	7

표 4. 시편의 재령별 강도 (kg/cm²)

구 분	시 편 의 재 령 별 강 도				
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
1일	11.2	16.4	14.1	8.71	11.6
3일	17.9	27.8	23.2	13.9	22
7일	29.6	37.4	29.4	17.2	31.7
28일	37.3	53.8	43.4	30.7	64.7

표 5. 재령별 탄성계수 (kg/cm²)

구 분	탄 성 계 수				
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
7일	40038	50983	48405	32816	43224
28일	54059	69128	56754	38502	71541

Case 2, Case 3, Case 5의 경우는 모두 시멘트와 혼화제의 영향으로 탄성계수 값이 Case1 보다 커진 것을 볼 수 있으나, 팽창제 5%를 첨가한 Case4의 경우는 오히려 그 값이 줄어든 것을 볼 수 있다. 그리고 Case3 역시 혼화제를 5% 더 적게 넣은 Case2가 더 큰 탄성계수 값을 보임을 볼 수 있다. 이는 혼화제의 배합비율이 강도뿐만 아니라 탄성계수에도 영향을 줌을 나타내는 것이며, 또한 배합비율에 따라 탄성계수 값이 상이하게 나타날 수 있음을 보여주는 것이다. 실험결과 Case2와 Case5의 두 경우가 탄성계수 값이 가장 좋게 나온 것을 볼 수 있다. 그림 6에서

Case 2, Case 3, Case 5의 경우는 모두 시멘트와 혼화제의 영향으로 탄성계수 값이 Case 1 보다 커진 것을 볼 수 있으나, 팽창제 5%를 첨가한 Case 4의 경우는 오히려 Case 1보다 적은 값을 나타냄을 볼 수 있다.

(라) 건조수축 특성

본 실험에서 각각의 Case별 건조수축 실험 결과는 그림 7과 같다. 이 그래프에서 보면 팽창제를 사용한 Case 4와 Case 5의 시편의 경우 건조수축을 감소시키는데 있어 우수한 강도와 탄성계수 특성을 보여주었던 Case 5의 시편은 Case 1과 별차이 없는 건조수축값을 보였으며, 강도와 탄성계수 값이 적었던 Case 4가 건조수축저감 효과에 있어선 더 우수한 결과를 보이는 것을 알 수 있다. 반면, 무수축 혼화제를 혼합한 Case 2와 Case 3의 경우는 팽창제를 혼합한 경우 보다 건조수축 저감효과가 더 뛰어난 것으로 나타났다으며, 특히 무수축 혼화제를 5% 혼합한 Case 2의 경우 혼화제를 섞지 않은 Case 1 보다 80%정도 건조수축이 감소되는 것으로 나타났으며, 모든 케이스중 가장 우수한 건조수축 저감 효과를 보이고 있는 것을 볼 수 있다. 본 연구결과 실험에서 사용되어진

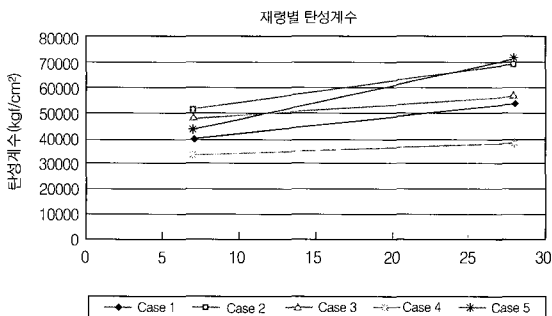


그림 6. 시편의 재령별 탄성계수의 변화

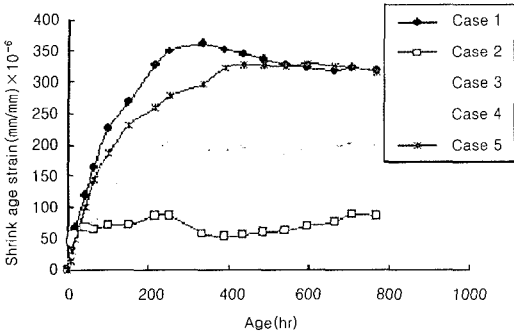


그림 7. 건조수축실험 결과

흙을 안정화시키는 적정 배합비는 무수축 혼화제 5%의 Case 2로 배합하는 것으로서 강도, 탄성계수, 건조수축 저감효과등의 모든 면에서 가장 우수한 성능을 보여주었다.

3.1.3 무수축 안정처리기층 Slab Test

(가) 실험개요

흙 + 시멘트 10%(Case 1)와 흙 + 시멘트 10%

+ 무수축 혼화제 5%(Case 2)의 두 가지 경우에 대하여 현장 Slab Test를 실시하였으며, 현장테스트 모식도는 그림 8과 같다.

(나) 실험순서

- ㉠ 연구실에서의 실험을 통한 최적 배합비 선정
- ㉡ 노상토에 100kgf의 롤러를 사용하여 30회 왕복다짐.
- ㉢ Case 1 배합비의 시료 배합후 노상토위에 시험시료를 성토후 롤러를 사용하여 30회 왕복다짐하여 5cm의 기층완성.
- ㉣ Case 2 배합비의 시료 배합후 노상토위에 시험시료를 성토후 롤러를 사용하여 30회 왕복다짐하여 5cm의 기층완성.
- ㉤ 기층지반 완성후 매일 1회 이상 육안조사 실시.

(다) 실험결과

각 기층을 기층처리후 육안에 의해 추적 조사한 결과 26일이 지난 후 그림 9와 같이 시멘트 안정처리

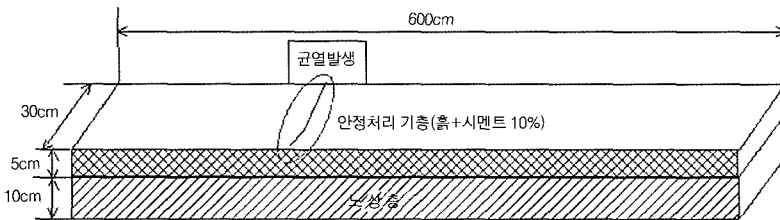


그림 8. 건조수축 필드실험 모식도

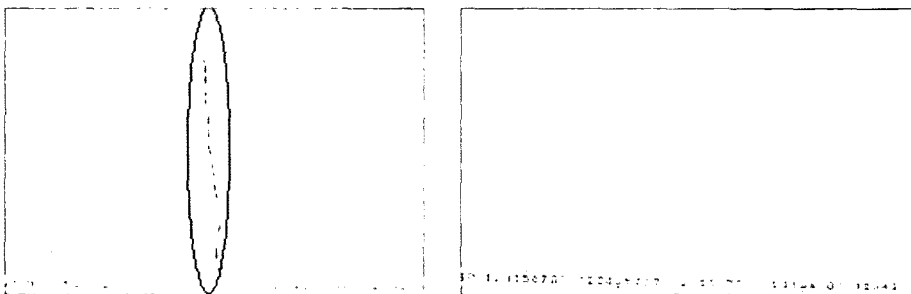


그림 9. 건조수축 필드 실험 결과 (a):시멘트10%, (b) 시멘트 10%+무수축혼화제5%

층의 6m 슬래브의 중간부분(왼쪽에서부터 약 2.5m 부분)에 크랙이 발생하였지만 저수축 시멘트 안정처리의 경우는 슬래브 전체중 어느 곳에서도 크랙이 발생하지 않은 것을 볼 수 있었다. 크랙이 발생한 이후 주에 한번 조사를 실시하여 6개월 동안 추적조사를 실시하였고 6개월 이후에도 저수축 시멘트 안정처리 기층에는 크랙이 발생하지 않는 것을 볼 수 있었다. 이는 무수축 혼화제가 건조수축을 상당부분 저감시킴으로써 현장시공시 건조수축으로 인한 기층의 균열을 상당부분 억제할 수 있음을 보여주는 것이다.

4. 결 론

시멘트 안정 처리층은 아스팔트 콘크리트포장 기층으로 활용할 경우 경제성, 시공성, 강도특성 등에서 장점을 갖고 있지만, 건조수축으로 인한 시멘트 안정 처리층내에 균열을 억제하기가 어렵고, 이러한 균열부의 움직임은 상부 표층에 균열(반사균열)을 전파할 수 있다는 문제점을 갖고 있다. 이에 본 연구에서는 무수축 혼화제 및 팽창제를 섞어 시멘트 안정 처리층의 건조수축을 최소화하는 저수축 시멘트 기층지반의 특성에 대해 고찰하여 보았으며, 그 결과 흙의 특성에 맞는 시멘트와 저수축 혼화제의 적절한 배합을 통하여 포장기층재료로서의 우수한 강도와 탄성계수를 유지하면서 일반 시멘트 안정처리 기층의 건조수축을 80%이상 저감시킬 수 있는 저수축 시멘트 안정처리 기층개발이 가능함을 확인하였다. 그리고 현장테스트 결과에서는 이러한 저수축 시멘트 안정처리층이 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 하지만, 실용화를 위해서는 다양한 토질조건에 대한 연구와 함께 동결융해 저항성에 대한 더 많은 특성연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. *A Synthesis of Perpetual Pavements*,

Asphalt Pavement Alliance, 2002.
 2. Ashraf M.Abd El-rahin & K. P. George "optimum cracking for improved performance of cement-treated bases", *Transportation Research Board*, 1999.
 3. Cordon, W. A, "resistance of Soil-Cement Exposed to Sulfates", *Highway Research Board Bulletin* 309, 1962.
 4. Dunlap, W. A., J. A. Epps, B. R. Biswas, and B. M. Gallaway, "United States Air Force Soil Stabilization Index System-A Validation", AFWL-TR-73-150, Air Force Weapons Laboratory, Air Force Systems Command, Kirtland Air Force Base, NM 87117, 1975.
 5. George, K. P., "Characterization and Structural Design of Cement - Treated Base, *Transportation Research Record, No. 1288 :Geotechnical Engineering 1990*", Transportation Research Board, 1990.
 6. Melinda M.Bowen and Khaled Ksaibati., "Performance Evaluation of Cement-Treated Roadway Bases", University of Wyoming. P.O. Box 3295. November 2000., 2000.
 7. Ronald L. Terrel , Jon A. Epps, Ernest J. Barenerg, James K. Mitchell, Marshall R. Thompson, "Soil Stabilization In Pavement Structures A User's Manual", FHWA department of transportation washington, D.C. 20590, 1979.
 8. Shahid, M. A. and Thom, N. H., "performance of Cement Bound Bases With Controlled Cracking", *Proceedings third International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements*, Maastricht, 1996.



9. Sherwood, p. T., "Effect of Sulfates on Cement-and Lime-Stabilized Soils," *Highway Research Board Bulletin* 353.
10. Teng, T.C., and J. P. Fulton, "Field Evaluation Program of Cement-Treated Bases," *Transportation Research Record* 501, 1974.

〈접수 : 2004. 3. 22〉