

저수축 시멘트 안정처리 기층지반 개발

Development of Low-shrinkage Cement Treated Base

전 상 민* · 전 범 준* · 김 남 철* · 이 승 우** · 김 종 원*** · 이 종 성***

Chon, Sang M · Jeon, Beom J · Kim Nam C · Lee, Seung W · Kim, Jong W · Lee, Jong S

1. 서론

화학적 지반안정처리공법은 도로 및 공항포장 공사시 고가의 쇄석등을 대체하여 현장토사를 화학적으로 고결 기층재료로 활용하거나, 연약지반 개량 과정의 장비진입을 위한 표층의 강도증진등 친층지반의 개량공법으로 활용되고 있다. 시멘트 안정처리법, 아스팔트 안정처리법, 석회 안정처리법등 다양한 화학적 지반 안정처리 공법이 있지만, 시멘트 안정처리법은 강도발현, 내구성, 강성, 동상저항등 재료적인 우수성을 갖고 있으며, 경제성 및 현장적용의 용이하여 많은 기술자들이 관심을 갖고 있는 공법이다. 특히 2000년대 들어와서 유지보수가 적은 장수명 도로포장 설계 및 시공기술 확보차원에서 미국등 선진국에서는 시멘트 안정기층의 활용을 위한 많은 연구가 진행되고 있다. [미도로연방국의 LTPP (Long Term Performance Pavement) 연구, 미국 아스팔트포장 연구소의 Perpetual Pavement 연구(2002)]. 시멘트 안정 처리층을 아스팔트 콘크리트 포장의 기층으로 활용할 경우 경제성, 시공성, 강도특성면 등에서는 장점을 갖고 있지만, 건조수축으로 인한 시멘트 안정 처리층 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 1%정도 이어서, 미국, 유럽등 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 안정 기층지반의 배합설계를 제시하고 이에 따른 강도, 탄성계수, 건조수축특성을 고찰하고자 한다.

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 오고있다. 미국에서는 1950년대부터는 공항포장에도 적용되기 시작하였다.(Ronald 1979) 특히 중차량이 사용이 빈번하거나 교통량이 많이 예상되는 고속도로, 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, 동상저항등이 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.

-
- | | | | |
|--------|--------------------|---------|-------------------------------------|
| *정회원 | · 강릉대학교 토목공학과 석사과정 | · 공학사 | · E-mail: chon@kangnung.ac.kr - 발표자 |
| *정회원 | · 강릉대학교 토목공학과 석사과정 | · 공학사 | · E-mail: najunya@kangnung.ac.kr |
| *정회원 | · 강릉대학교 토목공학과 석사과정 | · 공학사 | · E-mail: kno@kangnung.ac.kr |
| **정회원 | · 강릉대학교 토목공학과 전임강사 | · 공학박사 | · E-mail: swl@kangnung.ac.kr |
| ***정회원 | · (주)대림산업 | · 선임연구원 | · E-mail: kjw9147@dic.co.kr |
| ***정회원 | · (주)대림산업 | · 부장 | · E-mail: jslee@dic.co.kr |



2.2. 시멘트 안정처리층의 재료적 특성

(가)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. 일반적으로 흙의 밀도는 조립토 $1.6 \sim 2.2t/m^3$, 세립토 $1.4 \sim 2.0t/m^3$ 정도이다.

(나)건조수축특성: 쇄석기층이나 아스팔트 안정 처리층보다 경계성이나, 강도특성이 우수한 시멘트 안정 처리층의 단점은 건조수축특성이다. 시멘트 안정처리된 지반 종류 및 시멘트 함유율에 따라 건조수축 변형율은 0.1%에서 1%로 보고되고있다.

(다)강도특성: 강도특성은 파괴모드, 시멘트함량, 양생조건, 토질특성 등에 영향을 받는다 시멘트 안정 처리층의 강도특성의 일반사항은 인장강도는 압축강도의 1/5~1/3 수준이다.

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)

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

a), 방안은 건조수축자체를 감소시키는 방안인데 비하여 b, c, d, e, f는 건조수축균열은 허용하되 표층으로의 반사균열을 억제하는 방안이다. 본 연구에서는 현재까지 시도되지 않은 시멘트에 무수축 혼화제 또는 팽창제를 사용하여 건조수축을 줄일 수 있는 방안에 대하여 고찰하고자 한다.

3. 저수축 시멘트 안정토의 개발

3.1 실험계획

(가)대상 흙의 선정: 실험에 사용한 흙은 통일분류법으로 분류해보았을 때 소성이 낮은 점토질(CL)의 흙으로 나타났다. 이는 시멘트 안정처리를 할 경우 건조수축이 크게 예상되어 포장의 기층지반으로 부적합한 조건이다. 본 연구에서는 건조수축을 저감시켜서 기층재료로 활용할 수 있는지 고찰하고자 한다.

(나)배합비 선정: 적정강도를 발휘하면서 건조수축을 최소화시킬 수 있는 시멘트 안정처리 토를 개발을 위해 시멘트 혼합비 및 혼화제의 혼합비를 달리한 시편을 제작하여 강도/탄성계수/건조수축 실험을 하였다. 실험에는 일반적인 포틀랜드 시멘트를 10% 혼합하였고, 건조수축을 최소화하기 위하여 무수축 혼화제와 팽창제를 각각 5%, 10%비율로 사용하였다.

(다)무수축혼화제 선정

(a)세일콘(무수축 혼화제): 비철계분의 무수축제로 빠른 강도 발현에 의한 공사기간 단축효과가 있고 시공후 장기강도가 높고 유동성이 좋아 완벽한 충전시공이 가능하고 Bleeding 및 Laitance가 없으므로 양생 후에도 시공 표면이 깨끗하다. 또한 부착력이 우수하고 내약품성, 내마모성, 내수 내유성의 증진효과가 있다.

(b)웨스콘 Type-I(팽창제): 높은 팽창성으로 (1~3%) 작업여건에 맞추어 사용량 정이 가능하고 조기강도의 발현으로 고강도를 얻을 수 있다. Bleeding이 전혀 발생치 않아 수축이 전혀 없고, 작은 물 비로써 소요하는 강도를 낼 수가 있어 현장 배합으로 공사경비를 줄일 수 있다.

(라)실험항목 및 방법

시멘트 첨가량 10%, 혼화제 종류 및 혼합률 다짐조건에 따른 시멘트 안정처리지반의(양생시간별)강도, 건조수축특성 파악을 위한 토질 실험을 수행하고 분석한다.



표 1. 실험에 사용된 시편의 배합비

구 분	내 용
Case 0	흙
Case 1	흙 + 시멘트
Case 2	흙 + 시멘트 + 혼화제 (세일콘5%)
Case 3	흙 + 시멘트 + 혼화제 (세일콘10%)
Case 4	흙 + 시멘트 + 혼화제 (웨스콘5%)
Case 5	흙 + 시멘트 + 혼화제 (웨스콘10%)

(a) 다짐실험: 다짐시험은 KSF 2312에 규정으로 3층 25회 다짐으로 했으며 실험시 시멘트 함유중량비를 10% 경우로 하였다.

(b) 강도 및 탄성계수: 재령 1일, 3일, 7일, 28일 강도를 측정하였다. 강도 측정시 만능재료시험기(UTM)에 Load-Cell을 설치하였고, 탄성계수 측정을 위해 시편에 Compressor metre와 변형률게이지(LVDT)를 장착하고 DATA-LOGGER를 이용하여 각 하중에 대응하는 변위를 측정하였다. 측정의 신뢰성을 높이기 위하여 각 Case별로 3개 이상의 시편을 만들었다. 탄성계수 측정은 재령 7일 강도와 28일 강도를 응력-변형률 관계를 이용하여 산출하였다.

(c) 건조수축실험: 시멘트량과 무수축 혼화제 및 팽창제의 건조수축에 대한 실험은 항온25℃ 습도50% 조건에서 이루어졌으며, 시편에 매립형 게이지를 설치하고 DATA-LOGGER를 이용하여 측정하였다.

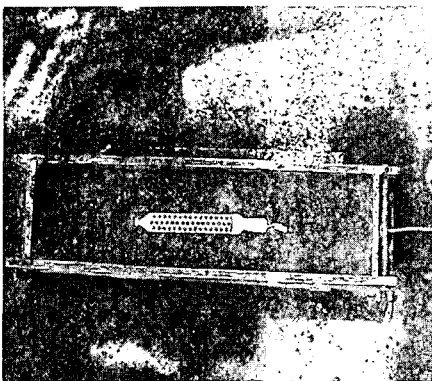


그림 1. 건조수축 측정을 위한 매립형 게이지 매립

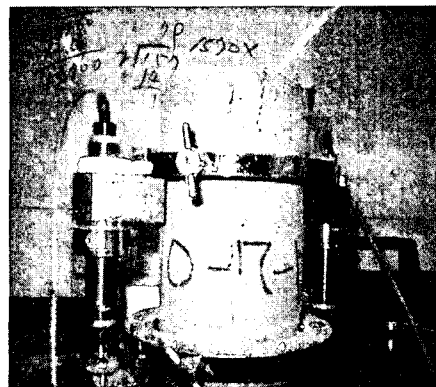


그림 2. 탄성계수 측정을 위한 LVDT 부착

3.2 배합조건별 특성

(가) 다짐특성 및 연경도 특성: 무수축 혼화제를 사용하지 않은 경우 시멘트 안정 처리 결과 최적함수비가 감소하는 경향을 볼 수 있다. 최대 건조단위중량은 CTB 다짐특성에서 시료에 따라서 결과 약간의 차이가 있음을 볼 수 있다. 시멘트 안정 처리 및 혼화제의 첨가량이 증가할수록 소성지수(PI)가 점차 줄어드는 것을 볼 수 있다.



표 2. 다짐 실험결과

구분	Case 0	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
	흙	시멘트10%	시멘트10% 세일콘5%	시멘트10% 세일콘10%	시멘트10% 웨스콘5%	시멘트10% 웨스콘10%
최적함수비	13.5	10.5	13	11	10	12
최대건조단위중량	1.77	1.86	1.81	1.85	1.81	1.86

표 3. 흙시료의 연경도 실험 결과

구분	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

(다)강도특성: 초기 재령 1일 강도는 혼화제의 종류와 상관없이 큰 차이가 없었으나 재령이 증가할수록 그 차이는 커졌다. 무수축 혼화제의 경우 빠른 강도 발현과 고강도를 얻을 수 있었다. 팽창제의 경우 팽창제 10%를 첨가한 Case 5가 고강도를, 팽창제 5%를 첨가한 Case 4번은 가장 작은 값을 보였다. 이와 반대로 무수축 혼화제의 경우 5%를 첨가한 Case 2가 10%를 첨가한 Case 3보다 높게 나타났다. 이는 저수축 시멘트 안정처리 기층개발에 있어서 혼화제의 비율에 따라 그 강도가 달라질 수 있음을 보여준다.

표 4. 시편의 재령별 강도(kg/cm²)

구분	시편의 재령별 강도				
	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

(라)탄성계수: 탄성계수 또한 강도와 비슷한 모습을 보인다. 탄성계수는 구조적 안정성과 연관 있다. 아스팔트 콘크리트 포장기층에 사용하기에 매우 우수한 탄성계수를 확보할 수 있음을 알 수 있다.

표 5. 재령별 탄성계수(kg/cm²)

구분	탄 성 계 수				
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
7일	40038.37	50983.61	48405.08	32816.78	43224.12
28일	54059.00	69128.72	56754.28	38502.77	71541.58



(라)건조수축특성: 건조수축결과를 보면 팽창제를 사용한 시편들은 건조수축을 감소시키는데 약간의 차이는 있었지만 거의 건조수축을 감소시키지 못한 것을 볼 수 있다. 반면 무수축 혼화제 5%를 혼합한 case 2의 경우 혼화제를 섞지 않았을 때보다 80%정도 건조수축이 감소되는 것으로 나타났다. 본 연구에 사용된 토질에 대하여서는 무수축 혼화제 5%배합이 건조수축 저감효과가 가장 우수하다. 그러나 대상 토질조건에 따른 혼화제의 종류 및 혼합량이 달라질 수 있기 때문에 본연구결과는 본 연구에 사용된 토질에 제한하고자 한다.

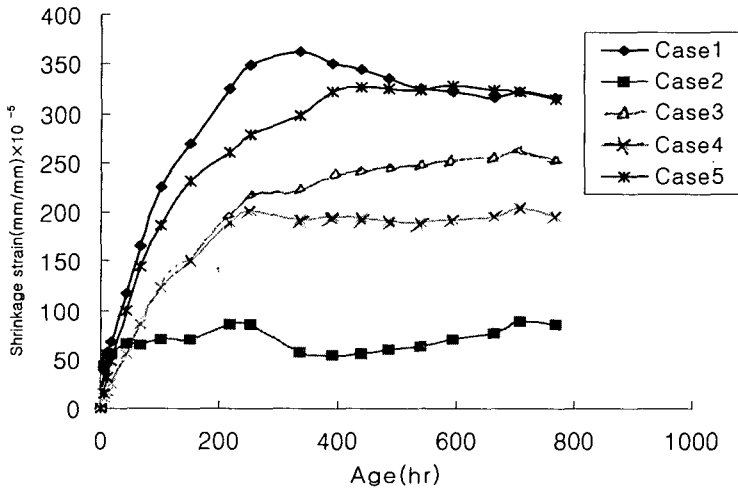


그림 4. 건조수축 결과 (시멘트 10%)

5. 결론

시멘트 안정 처리층을 아스팔트 콘크리트 포장기층으로 활용할 경우 경제성, 시공성, 강도특성면 등에서는 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. 2000년대 들어서는 유지보수가 적은 장수면 도로포장 설계 및 시공기술 확보 차원에서 미국등 선진국에서는 시멘트 안정기층의 활용을 위한 연구가 진행되고 있다. 본 연구에서는 무수축 혼화제 및 팽창제를 섞어 시멘트 안정 처리층의 건조수축을 최소화하는 저수축 시멘트 기층지반에 대한 적절한 혼화제 배합비에 대해 고찰하였다. 시멘트에 혼화제를 섞었을때 혼화제의 혼합량을 증가시킬수록 소성지수(PI)가 줄면서 활성도가 낮아지는 것을 보았다. 또한 적절한 배합을 통하여 기층재료로서의 우수한 강도, 탄성계수를 유지하면서 일반 시멘트 안정 처리층의 건조수축을 80%이상 저감시킬 수 있는 저수축 시멘트 안정처리 개발이 가능함을 확인하였다. 단 토질의 특성에 따라 시멘트 혼합량과 그에 따르는 혼화제의 혼합량이 달라질 수 있기 때문에 차후 다양한 토질 조건에 대한 연구가 필요하다.

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" Ronald L. Terrel , Jon A. Epps, Ernest J. Barenerg, James K. Mitchell, Marshall R. Thompson "Soil Stabilization In Pavement Structures A User's Manual", 1979.
7. 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.
8. Sherwood. p. T., "Effect of Sulfates on Cement-and Lime-Stabilized Soils,"highway Research Board Bulletin 353.
9. Teng, T.C., and J. P. Fulton, "Field Evaluation Program of Cement-Treated Bases," Transportation Research Record 501, 1974.