



반사균열을 억제한 시멘트 안정처리 기층 재료개발

The Development of Cement Treated Base Material with Restraint Reflection Crack

강 성 철* 이 강 원** 조 윤 호****
Kang, Sung Cheul Lee, Kang Won Cho, Yoon Ho

Abstract

This paper describes a new approach to minimize the amount of shrinkage cracking in cement treated base(CTB). CTB is a stiffness base having lots of merits such as higher rutting resistance, minimizing fatigue cracking, and the ability to distribute upper loads. However, It is not applied to asphalt pavement system in Korea because of possible cracks caused by dry shrinkage. The goal of this study is the development of cement treated base with lower shrinkage for preventing reflection cracks and rutting. After identifying factors affecting dry shrinkage and analyzing mechanism of each admixture, the laboratory and field tests were designed and performed. Through the preliminary tests, the mix design containing 25 percent of fly ash and 7 percent of cement was suggested. This mix design was satisfied with strength for Korea specification standard. According to the results considering strength, shrinkage, and economical efficiency, two mix designs were selected; 1) containing 25 percent of fly ash and 2) containing 25 percent of fly ash with 10 percent of expansive additive. For field test based on the result of laboratory test, the optimized alternative in cement treated base with lower shrinkage was the mix design containing 25 percent of fly ash with 10 percent of expansive additive

Keywords : cement treated base, fly-ash, admixture, dry-shrinkage

요 지

시멘트 안정처리 기층은 강성기층으로 러팅 저항성이 크고 상부하중 분산, 피로균열저항, 기층·보조기층의 파손 감소의 효과가 있으며 경제성이 뛰어나다는 장점이 있다. 그러나 건조수축에 의한 반사균열로 인하여 국내에서는 CTB가 전혀 적용되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구는 국내에 CTB 적용을 위한 기초연구로써 반사 균열을 최소화하기 위해 건조수축을 억제할 수 있는 저수축 시멘트 안정처리 기층 재료개발을 시도하였다. 건조수축 이론을 고찰하여 건조수축 저감방안을 수립하였고 건조수축에 미치는 영향인자를 선정하였으며, 각 혼화제의 메커니즘을 분석한 후 실내 실험 및 현장실험을 수행하였다. 예비실험을 통하여 플라이 애쉬 첨가비율은 25%로 제안하였고 시멘트

* 비회원 · 중앙대학교 공과대학 토목공학과 석사
** 정회원 · 중앙대학교 공과대학 토목공학과 석사과정
*** 정회원 · 중앙대학교 공과대학 건설환경공학과 부교수



량은 모든 배합이 도로공사 린 기층의 허용강도를 만족하는 7%로 하였다. 본 실험 결과를 바탕으로 강도, 건조수축율, 경제성을 고려한 결과, 플라이 애쉬 25%, 플라이 애쉬 25%에 팽창재를 10%를 혼합한 배합을 대안으로 결정하였다. 실내실험에서 결정된 대안을 현장 실험에 적용한 결과 플라이 애쉬(25%)+팽창재(10%)가 최적의 저수축 시멘트 안정 처리 기층 배합임을 제시하였다.

핵심용어 : 시멘트 안정처리 기층, 플라이 애쉬, 혼화재, 건조수축

1. 서론

공간을 이동하기 위한 1차원적 수단이었던 도로는 인간이 삶을 영위하며 살아 숨쉬는 공간영역으로 자리 잡고 있다. 도로에 대한 관점도 기존의 이동성 및 경제성 확보의 관리자 영역에서 안전성 및 환경친화성의 사용자 편의 중심으로 변화하고 있다.

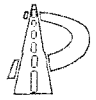
도로의 의식변화에 부합하기 위해 유럽에서는 1970년대 후반부터 배수성/투수성 아스팔트 포장을 개발하여 보도, 주차장, 광장, 경교통로 등에 시공하였으며 기술개발을 통해 고속도로 및 일반도로의 시공실적도 매년 증가하고 있다. 국내에서도 1980년대 초 배수성/투수성 포장개념을 도입하여 보도를 중심으로 시공되고 있으며 다양한 개질재가 개발되어 중차량 도로에 적용되고 있다. 배수성 포장은 강우시 미끄럼 마찰저항의 확보, 물 튀김 방지, 도로교통 소음저감 등의 장점이 있지만 구조적으로 취약한 단점이 있다.

아스팔트 포장의 문제를 해결하기 위해 미국이나 남아공 및 중국의 경우 시멘트, 석회석 및 기타 신소재를 활용하고 있다. 또한 다양한 시멘트 안정처리 기층(Cement Treated Base, CTB)재료에 대한 적용성이 활발하게 진행되고 있으며 공용성이 우수함을 발표했다(David J. White, 2001), (HL Theyse, 2001).

CTB는 고속도로, 공항, 활주로, 승강장 등의 포장 기층에 입상골재, 시멘트 그리고 물을 혼합하여 다져진 강성기층을 말한다. 일반적으로 CTB가 흙 시멘트 안정처리층과 다른 점은 흙 대신에 입상골재를 사용하고 있다는 것이다(GEARS, inc, 2004). CTB

가 도입된 주된 이유는 중차량의 증가로 인해 아스팔트 포장의 러팅이 포장수명을 저하함에 따라 경제적 대체재가 필요했기 때문이다. 중국의 경우에는 아스팔트 포장의 100%가 CTB를 사용하고 있는 것으로 보고되고 있다(중국교통부도로국, 2004). 또한, CTB는 강성기층이기 때문에 아스팔트처리기층(Plant Mix Bituminous Base, PMBB)과 같은 연성기층이 표층과 같이 변형함으로써 생기는 러팅을 현저히 감소시킨다. 이러한 강성기층은 수직회과 인장변형을 감소시켜 피로균열 발생도 저감시킨다(PCA, 2003).

와이오밍대학에서는 CTB와 아스팔트 처리기층과의 공용성 비교평가를 진행하였다. 세 개의 다른 도로를 선정하여 54개 구간에는 CTB층을 38개 구간에 아스팔트 처리기층을 적용한 결과 CTB 일부 구간에서는 반사균열이 발생하였으나 CTB나 아스팔트 처리기층의 공용성 평가에서는 차이가 없다고 결론지었다. 실례로 와이오밍 도로국(WTD)에서는 CTB에 플라이 애쉬를 이용한 안정처리기층을 도로에 적용해 왔다. 와이오밍 도로국은 플라이 애쉬가 시멘트와 같은 강도를 나타내면서 현격한 경제적, 환경적 효과를 보이고 고속도로 및 일반도로에서 25% 적용 후에도 공용성이 매우 좋다고 평가하고 있다(K. Ksaibati, P.E, 2001). 또한 텍사스 도로국에서는 중하중 교통으로 인하여 포장상태가 악화되자 25개의 구간에 25cm 높이로 석회안정처리(Lime Stabilized Base: LCB)와 CTB를 시험도로에 적용, 공용성을 평가하였다. 대부분의 구간에서 하중에 대하여 높은 저항성을 나타냈으며 환경에 대한 포장 피해도 줄일 수 있음이 보고 되었다(Imran M.



Syed, 2001).

그러나 이런 장점이 있음에도 불구하고 건조수축에 의한 반사균열이 문제가 되어 국내 CTB 기층사용은 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 포장의 구조적 능력을 보강할 수 있고 반사균열을 억제할 수 있는 저수축 CTB를 연구하였다. 저수축 CTB를 아스팔트에 적용할 경우 포장성능 및 수명의 향상, 초기공사비 및 유지관리비용 절감을 기대할 수 있다고 판단된다.

2. 건조수축 균열저감대책

CTB를 아스팔트 포장에 적용하는데 있어 가장 큰 문제점은 반사균열이다. CTB의 건조수축으로 인해 균열이 발생하고 이것이 아스팔트 층에 전달되어 아스팔트 표층의 균열로 나타난다. 반사균열은 심할 경우 평탄성 및 도로구조 파괴를 야기할 수 있으며 유지보수비용을 증가시킨다. 본 연구는 반사균열을 방지하기 위해서 무수축 혹은 저수축의 시멘트 안정처리기층용 재료개발을 통해 균열을 방지하거나 혹은 적게 발생하도록 유도하는 것이다.

2.1 건조수축 메커니즘

시멘트 경화체의 수축형태는 시멘트의 수화에 의한 자기수축(*autogenous shrinkage*), 공극수의 증발에 의한 건조수축(*dry shrinkage*) 및 공기중의 CO₂의 유입에 의한 중성화 수축(*carbonation shrinkage*)으로 분류된다. 이러한 수축형태에서 자기수축 및 건조수축은 시멘트 경화체 중에 존재하는 수분의 변화에 의해 일어나며, 중성화에 의한 수축은 시멘트 경화체 중의 Ca(OH)₂와 공기중의 CO₂의 반응에 의하여 생성된 수분의 증발에 의하여 발생한다 (A. M. Neville, 1995).

수분의 변화는 공극중의 수분이 시멘트의 수화반응에 의해 수화물로 고착되는 고체로의 상 변화와 외

부 환경에 노출되었을 때 공극수의 증발에 의한 기체로의 상 변화로 분류된다. 수화물의 형성에 의한 고체로의 상 변화를 자기수축, 공극수의 증발에 의한 기체로의 상 변화를 건조수축이라 한다. 시멘트 경화체에서 이러한 수축이 중요시되는 것은 재료적인 특성상 압축강도에 비하여 인장강도가 상대적으로 낮아 수축에 의한 균열의 발생가능성이 증가하기 때문이다(김진철, 2003).

2.2 건조수축 저감방안

건조수축을 저감하는 방법은 크게 2가지로 구분될 수 있다. 첫째는 물, 시멘트, 골재 등의 배합설계를 통한 저감방법과 둘째는 시멘트 이외의 플라이 애쉬 또는 혼화재를 통하여 저감하는 방법이다(심현보, 1999). 본 연구에서는 혼화재를 이용한 건조수축저감의 방법을 선택하였으며 혼화재가 콘크리트 강도와 건조수축에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

2.2.1 플라이 애쉬 영향

플라이 애쉬란 석탄화력발전소에서 미분탄을 약 1,400~1,500℃의 고열로 연소시켰을 때 발생하는 분말이다. 플라이 애쉬는 입자의 비표면적이 시멘트와 거의 비슷하여 장기강도 확보, 내구성 증진 및 알칼리 골재반응 억제, 내투수성 증가 및 작업성 개선에도 좋은 재료로 알려져 있다. 플라이 애쉬의 포졸란 반응을 살펴보면 시멘트의 주성분인 C₃S, C₂S가 물과 반응하여 C-S-H 수화물과 Calcium Hydroxide를 생성하게 된다. Calcium Hydroxide는 플라이 애쉬의 주성분인 Silica와 물과 반응하여 C-S-H 수화물을 생성하게 된다. 수화반응에서 생성된 Calcium Hydroxide는 물에 잘 녹는 성질을 가지며 플라이 애쉬와 반응하여 C-S-H 수화물을 재생성하며, Calcium Hydroxide가 차지하는 공간을 C-S-H 수화물로 대체하기 때문에 건조수축에 대한 저항성을 높여준다.

계명대학교의 이승환 교수는 '시멘트 경화체의 건



조수축 저감방안에 관한 실험적 연구'에서 플라이 애쉬 치환율에 따른 건조수축에 따른 실험을 수행하였다. 15주 동안 길이변화를 측정결과 플라이 애쉬 치환율이 10% 증가시 마다 약 10%씩 건조수축량을 저감시켜 건조수축 저감방안으로 플라이 애쉬의 사용이 효과적이라고 제시하였다(이승환, 1996).

한전산업개발의 발표에 의하면 2000년에 200만 톤 이상의 플라이 애쉬가 발생되고 있으나 대부분 폐기물로 처리되고 15% 정도만이 레미콘, 벽돌제조, 도로포장 등에 이용되는 것으로 추정된다. 따라서 CTB에 플라이 애쉬를 적용할 경우 건조수축 저감뿐만 아니라 플라이 애쉬 처리에 대한 경제적 부담과 폐기물처리 문제도 해결할 수 있어 환경적인 측면에서도 유리하다.

2.2.2 혼화재 영향

건조수축을 저감하기 위해 혼화재를 콘크리트에 첨가하여 사용하는데 일반적으로 팽창재와 수축저감재가 널리 사용되고 있다.

한국산업규격 KS F 2562(콘크리트용 팽창재)에서는 팽창재를 "시멘트 및 물과 함께 혼합하였을 경우 수화반응에 의해 에트링가이트(Ettringite) 또는 수산화칼슘 등을 생성하고 모르타르 또는 콘크리트를 팽창시키는 작용을 하는 혼화재료"라고 정의하고 있다. 팽창재는 그림 1에 나타난 것과 같이 시멘트의 주성분인 C_3S , C_2S 가 물과 반응하여 C-S-H 수화물과 Calcium Hydroxide를 생성한다. 수화반응에서 생성된 Calcium Hydroxide와 팽창재의 주성분과 반응하여 팽창하는 성질을 가지는 Ettringite를 생성

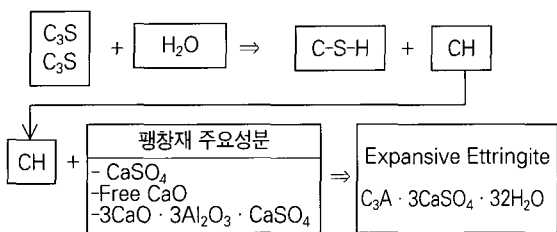


그림 1. 팽창재의 메커니즘

한다. 이렇게 생성된 에트링가이트는 시멘트 페이스트 경화과정에서 콜로이드 상태로 겔간의 미세한 공극에 밤송이 형태로 발달되어 조직이 치밀해지고 겔의 경화에 따른 수축 및 건조에 의한 수축을 방지하고, 나아가서 팽창시키는 작용을 한다. 이것은 팽창재에 의해 생성된 에트링가이트의 공극충진 효과에 의해 팽창 이후에 나타나는 수축에 있어서도 강한 저항성을 가지기 때문에 건조수축을 최소화하여 균열 발생을 억제해 준다(심현보, 1999).

수축 저감재는 비이온계 계면활성제의 일종으로 콘크리트 중에 잔류하는 모세관수의 표면장력을 저하시켜 콘크리트 건조수축저감에 따른 균열방지, 충전성 향상 및 박리방지 등을 목적으로 사용된다. 수축저감재의 메커니즘은 그림 2와 같이 시멘트 겔 층간에 남아있는 겔 공극수가 증발하게 되고, 겔 공극수가 모세구멍 중 가는 부분으로 후퇴하여 표면장력이 커짐에 따라 시멘트 겔을 끌어들이 수축이 발생한다. 따라서 계면활성제가 시멘트 페이스트에 첨가되면 계면활성제의 친수기 분자가 물분자의 표면에 달라붙어 표면의 물분자를 끌어당기는 힘(F_{AS})이 발생하여 원래 표면의 물분자가 내부로 끌리는 힘(F_{AA})이 작아지게 되어 표면장력이 감소하게 된다. 이는 일반 시멘트 페이스트 추출액의 표면장력 71.1 dyne/cm를 40dyne/cm로 떨어뜨려 경화체의 건조수축을 저감시키며, 국내 연구에서 수축저감재의 1.52%사용은 시멘트 경화체내 모관수(毛管水)의 표면장력을 40~50% 저하시켜 시멘트 경화체의 자유수축변형률을 30%정도 감소시켰다(이승환, 1996).

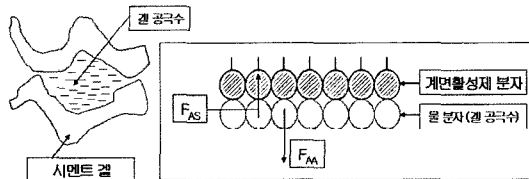


그림 2. 수축저감재의 메커니즘



3. 저수축 시멘트 처리기층 재료개발

길이변화 등의 재료별 상대적인 평가는 실내시험실의 제한된 조건하의 예비실험을 통해 살펴보고, 온도와 습도가 제어가 되는 환경조건에서 본 실험을 통해 정확한 거동을 살펴보았다. 예비실험으로는 국내에서 판매되고 있는 수축저감재와 팽창재 각각 2개 회사 제품 및 H사의 플라이 애쉬를 사용하여 길이변화 실험을 실시하였다. 최적의 플라이 애쉬 치환량을 결정하기 위하여 기존의 문헌조사를 기초로 0, 10, 20, 30% 변화시키며 강도와 길이변화를 측정하였다.

3.1 예비실험

1차로 실시된 예비실험은 온도 조절이 되지 않는 상온에서 팽창재 및 수축저감재의 성능을 살펴보고 환경친화적이며 건조수축 저감효과가 있는 플라이 애쉬에 대한 예비평가를 진행하였다. 예비실험에서는 각 회사에서 제시하는 권장사용량을 첨가하여 각 혼화재에 대한 길이변화를 조사하였다. 본 실험에서 사용된 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 H사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고 플라이 애쉬는 H 발전소에 발생하는 Type F를 사용하였으며 굵은골재와 잔골재는 경기도 양주군의 쇄석골재

표 1. 실험재료의 물리적 특성

골재	골재치수 (mm)	표준비중	흡수율(%)	마모율(%)
굵은골재	25	2.60	0.57	29
잔골재	5	2.76	0.83	-
시멘트	-	3.15	-	-
플라이 애쉬	-	2.1	-	-

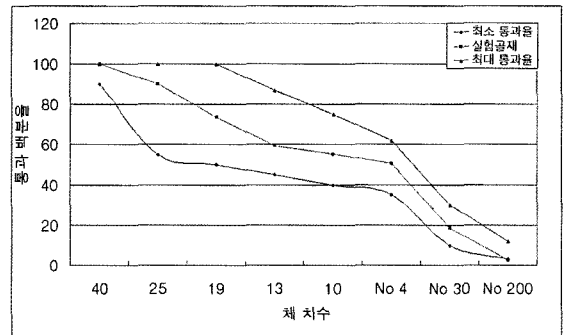


그림 3. 입도곡선

를 사용하였다. 표 1은 골재 및 혼화재에 대한 물리적 특성을 보여주고 있다. 또한 그림 3은 도로공사된 콘크리트 최대 및 최소입도범위와 본 실험에 사용한 골재의 입도범위를 나타내고 있으며, 입도가 기준 범위 안에 있음을 알 수 있다.

표 2는 예비실험에 사용된 CTB층의 배합설계를 보여주고 있는데, 제품공급사에서 제시하는 양을 근

표 2. 배합설계

종 별	최대 골재치수 (mm)	단위수량 (kg)	시멘트 (kg)	잔골재 (kg)	굵은골재 (kg)	플라이 애쉬(kg)	혼화재 (kg)	비고
일반 린	40	125	151	730	1397	0	-	-
플라이 애쉬 (E사)		125	136	730	1397	15	-	10%
		125	113	730	1397	38	-	20%
		125	105	730	1397	45	-	30%
팽창재(A사)		125	136	730	1397	-	15	10%
팽창재(B사)		125	151	730	1397	-	1.5	1%
저감재(C사)		125	136	730	1397	-	15	10%
저감재(D사)		125	136	730	1397	-	15	10%



거로 하여 양을 조절하였다. 특히 플라이 애쉬 치환 양이 클수록 건조수축저감 및 경제적 효과는 크지만 강도저하가 초래되기 때문에 플라이 애쉬 사용량 최대한도를 30%로 제한하였다. 제시된 배합은 도로공사 표준시방서의 린 콘크리트를 적용하였다.

한국산업규격 KS F 2424에는 모르타르 공시체 또는 콘크리트 공시체의 길이 변화를 콤퍼레이터 방법, 콘택트 게이지 방법 또는 다이얼 게이지 방법 등으로 규정하고 있다. 위의 방법 중에 측정이 쉽고, 설치 및 측정이 간편한 콘택트 게이지 방법을 선택하여 예비실험을 수행하였다.

3.1.1 압축강도 특성

본 실험은 KS F 2405에서 제시하는 압축강도 측정법에 따라 실시하였고, 배합당 3개의 공시체를 제작하여 강도를 측정하였다. 3일과 7일 강도는 3개의 공시체를 평균한 값을 측정하였다. 일반 린 콘크리트의 강도기준은 도로공사 시방서에 제시되어 있는 재령 7일 50 kg/cm²이다.

그림 4는 팽창재와 수축저감재 첨가시 강도에 미치는 영향을 보여주고 있다. 재령 3일 압축강도는 팽창재의 경우, 일반 린과 비슷하였지만 수축저감재는 20% 이상 증가하였다. 또한 재령 7일에는 팽창재 및 수축저감재 모두 목표강도를 만족하였을 뿐만 아니라 A사 제품을 제외하고는 일반 린에 비해 강도가 20% 이상 증가하였다.

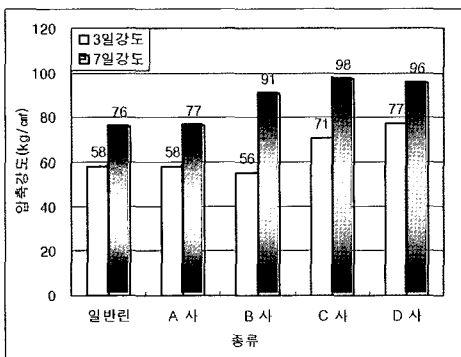


그림 4. 각 혼화재의 강도실험결과

그림 5는 플라이 애쉬함량에 따른 3일, 7일 압축강도 측정결과를 보여주고 있다. 3일과 7일 강도는 플라이 애쉬의 첨가량에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 플라이 애쉬의 포졸란 반응에 의한 조기강도의 저하로 판단된다. 그러나 모든 배합이 시방기준에 만족함을 알 수 있었다.

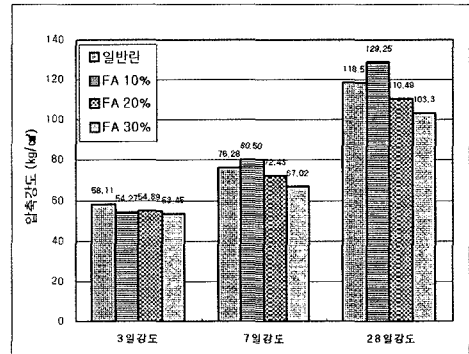


그림 5. 플라이 애쉬 함량별 강도실험결과

3.1.2 길이변화 특성

일반적으로 건조수축에 의한 길이변화시험은 10×10×40cm 콘크리트 표준공시체를 제작하여 재령 7일까지는 수중양생한 후 항온항습에서 측정하도록 한국산업규격에서는 제시하고 있다. 그러나 본 실험은 각 혼화재에 대한 민감도를 분석하기 위한 예비실험으로 한국산업규격에서 제시하는 방법 중 설치 및 측정이 간편한 콘택트 게이지 방법을 선택하여 상온에서 실험을 실시하였고 린 콘크리트 최대골재 치수가 40mm이므로 표준공시체가 맞지 않다고 판단하여 일반 힘 몰드 15×15×55cm를 사용하여 배합당 2개의 공시체를 제작하여 1일 탈형 후 약 한달 동안 측정하였다. 예비실험에서 공시체의 길이변화는 데 맥 게이지를 사용하여 매 일정 시간마다 측정하였다.

팽창재의 경우 그림 6에서 보듯이 초기에 일반린에 비해 매우 수축저감율이 매우 큼을 알 수 있다. 이는 팽창재가 수화반응에 의해 에트링가이트 또는 수산화칼슘 등을 생성하여 콘크리트를 팽창시키는 작

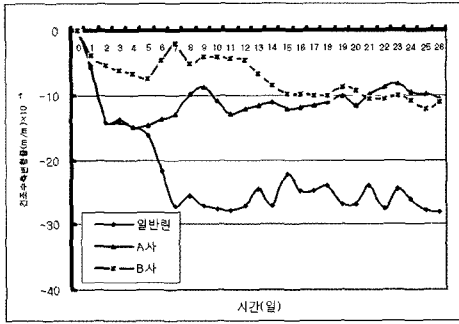


그림 6. 혼화제에 대한 영향 - 팽창재

용을 하기 때문이라고 판단된다.

그림 7의 수축저감제도 팽창제와 비슷하게 양생초기에 상당한 수축저감효과를 보였으나, 시간이 지남에 따라 팽창제 보다는 조금 큰 건조수축 거동을 보이고 있다. 또한 두 회사 제품이 초기에는 차이를 보이고 있지만 20일이 지난 후부터는 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

그림 8은 플라이 애쉬를 시멘트 양에 10, 20, 30%로 치환했을 때 길이변화를 측정 한 결과이다.

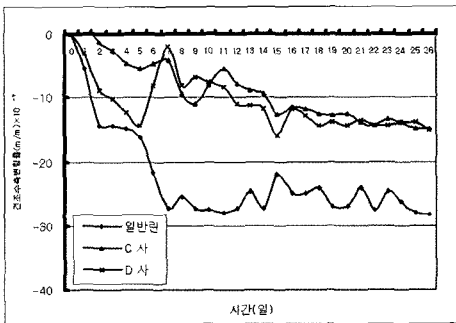


그림 7. 혼화제에 대한 영향 - 수축저감제

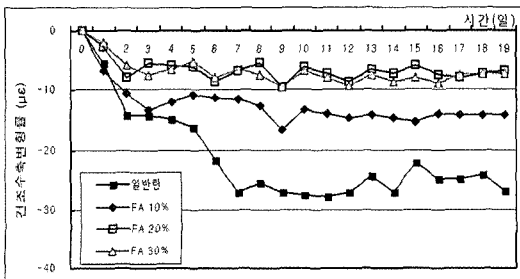


그림 8. 플라이 애쉬 첨가량에 대한 길이변화 특성

일반 린에 비해 플라이 애쉬 콘크리트의 길이변화는 30~55% 저감됨을 알 수 있었다. 실험결과 20%, 30%에서는 수축저감효과면에서 큰 차이가 없음을 또한 알 수 있다. 플라이 애쉬를 25% 사용하여 공용성을 조사한 와이오밍 결과(K. Ksaibati, P.E, 2001)와 30% 치환시 약 12% 강도저하 그리고 20~30% 동일한 건조수축 등을 고려할 때 25% 정도가 타당하다고 판단하였다.

3.2 본 실험

문헌조사와 예비실험 결과를 바탕으로 강도실험 및 길이변화 실험을 수행하였다. 예비실험을 통해 혼화제 종류와 양에 따른 상대적 길이변화 추이를 볼 수 있었고 본 실험에서는 정확한 실험값을 찾기 위해 항온항습실을 이용하였다. 또한 기존 KS 방법에 의한 길이변화 실험은 오차가 크다고 판단하여 보다 정확하고 정밀한 스트레인 게이지를 사용하여 실험을 하였다.

표 3은 시멘트 양과 플라이 애쉬의 유·무, 팽창제와 수축저감제의 양에 따른 강도 및 길이변화를 측정하기 위한 실험계획표이다. 시멘트 양을 줄여 건조수축을 최소화하되 강도특성을 함께 살펴보기 위하여 5%의 시멘트양을 추가하였다. 특히 수축저감제와

표 3. 실험계획표

구 분		시멘트 5%(106kg/m ³)		시멘트 7%(151kg/m ³)	
		플라이 애쉬 0%	플라이 애쉬 25%	플라이 애쉬 0%	플라이 애쉬 25%
수축저감제 0%	팽창제 0%	●-1	●-7	●-1	●-7
	팽창제 5%	●-2	●-8	●-2	●-8
	팽창제 10%	●-3	●-9	●-3	●-9
수축저감제 5%	팽창제 0%	●-4	●-10	●-4	●-10
	팽창제 5%	●-5	●-11	●-5	●-11
	팽창제 10%	×	×	×	×
수축저감제 10%	팽창제 0%	●-6	●-12	●-6	●-12
	팽창제 5%	×	×	×	×
	팽창제 10%	×	×	×	×



팽창재는 시멘트 수축저감시 메커니즘이 서로 다르므로 본 실험에서는 함께 첨가하였으나 경제성을 고려하여 수축저감재와 팽창재 혼합은 각각 5% 일 때만 실험에 적용하였다.

실험에 사용한 골재와 혼화재는 예비실험과 동일한 재료를 사용하였다. 시험체 제작은 15×15×55cm인 휨몰드를 이용하여 배합당 2개의 공시체를 제작하여 1일 탈형 후 항온항습실(온도20℃, 습도 55%)의 데이터 로거를 이용하여 일정 시간마다 길이변화를 측정하였다.

3.2.1 압축강도 특성

공시체의 강도측정은 1일 탈형 후 6일간 20℃에서 수중 양생을 하고 7일 강도를 측정하였다. 그림 9와 그림 10에서 보듯이 시멘트 5%의 경우 플라이 애쉬

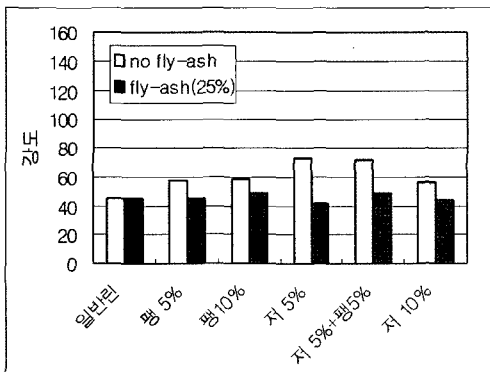


그림 9. 플라이 애쉬 혼화재의 영향(시멘트 5%)

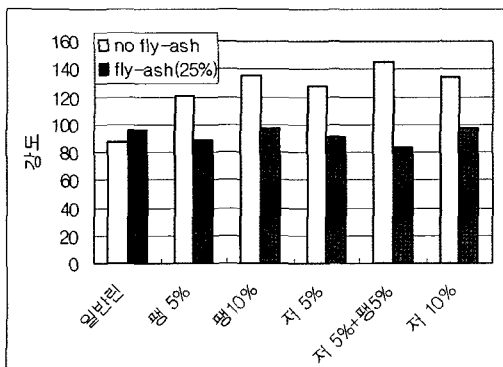


그림 10. 플라이 애쉬 혼화재의 영향(시멘트 7%)

가 첨가된 배합과 일반 린은 허용강도를 만족하지 못했다. 그러나 플라이 애쉬가 없이 혼화재만을 사용한 모든 배합은 허용강도를 만족했다. 이는 적은 양의 시멘트(5%)에도 각각의 혼화재들이 반응하여 시멘트 7%의 강도추이와 유사함을 보이고 있다. 플라이 애쉬 유·무에 따른 강도변화를 살펴보면 플라이 애쉬를 사용하지 않고 혼화재만을 첨가한 콘크리트는 모두 큰강도의 증가를 보여 주고 있으나 플라이 애쉬를 첨가한 경우에는 일반 린과 큰강도의 변화는 나타나지 않았다. 이는 플라이 애쉬의 초기강도 저하와 혼화재의 강도증가가 상쇄됨으로 판단된다. 시멘트 7%의 경우 5%의 강도추이와 유사하지만 모두 허용 강도 50kg/cm²에 만족함을 알 수 있다.

3.2.2 길이변화 특성

예비실험에서 사용한 길이변화실험은 오차가 크다고 판단하여 보다 정확하고 정밀한 스트레인 게이지를 사용하여 실험을 하였다. 몰드제작은 ASTM D1632-63에서 제시하는 시멘트 처리기층의 길이변화 시험방법에 따라 휨몰드에 90회 3층 다짐을 하여 제작하였다. 특히 정확한 길이변화 측정을 위하여 시험체의 크기는 15×15×55cm인 일반 휨몰드에 게이지를 매립하였다. 예비실험을 통하여 24시간 탈형 후 탈형하여 항온항습실에서 습윤(20℃, 습도 55%) 양생과 동시에 데이터로거를 이용하여 일정 시간마다 길이변화를 측정하였다.

그림 11은 시멘트 7%에 플라이 애쉬 25%를 넣고

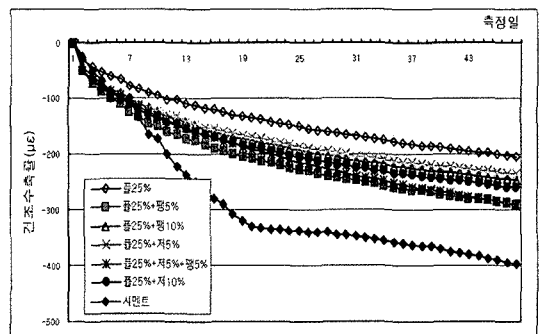


그림 11. 플라이 애쉬와 혼화재에 따른 영향

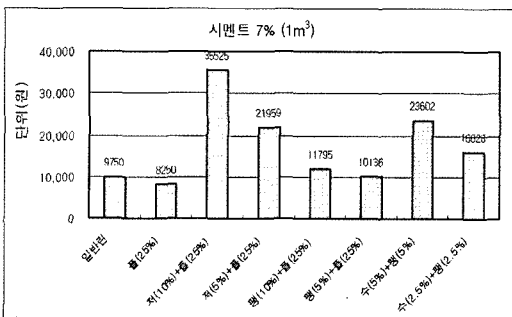


혼화재 종류와 양에 따른 길이변화 실험결과를 보여 주고 있다. 플라이 애쉬 첨가시 48%의 저감율을 보이고 있으며, 플라이 애쉬와 혼화재를 동시에 첨가했을 때에도 약 25~40% 정도의 저감을 보이고 있다.

본 실험의 건조수축효율이 가장 좋은 배합은 플라이 애쉬 25%, 플라이 애쉬 25%에 수축저감재 5%를 혼합한 것, 플라이 애쉬 25%에 팽창재를 10% 혼합한 순으로 수축저감효과를 나타냈다.

3.2.3 재료비용 분석

저수축 시멘트 안정처리기층을 현장에 적용시 경제성은 매우 중요하다. 그림 12는 기존 시멘트 안정처리기층에 플라이 애쉬, 팽창재, 수축저감재 적용시 재료비 상승을 보여주고 있다. 플라이 애쉬 25% 치환 시에는 15% 정도 재료비용 절감효과를 볼 수 있다. 플라이 애쉬와 함께 혼화재 적용시 재료비용을 살펴보면, 수축저감재와 플라이 애쉬 5% 사용시 재료비용이 2배 증가하며, 10% 증가시 3.5배의 가격이 상승함을 알 수 있다. 그러나 팽창재를 플라이 애쉬와 함께 적용했을 경우에는 팽창재 10% 사용시에도 1.2배 정도 증가함을 알 수 있다. 따라서 현장 적용시 경제성을 고려한다면 팽창재 적용이 타당하다고 판단되었다.



※ 플:플라이 애쉬, 저:수축저감재, 팽:팽창재

그림 12. 재료비용 분석(1m³)

4. 현장실험 및 결과

실내에서 실시한 압축강도와 길이변화 실험에서 양호한 결과를 나타낸 FA(25%)+팽창재(10%), FA(25%)를 최적 대안으로 선정하였다. 따라서 실내실험과 동일한 배합으로 2004년 5월에 중부 내륙 고속도로 현장에 적용하여 압축강도, 간접인장강도, 균열조사를 실시하였다.

4.1 현장실험

그림 13은 현장시공 7일 후에 현장조건과 동일한 공시체의 압축강도 측정결과를 나타낸 것이며, 실내 실험결과와 마찬가지로 FA(25%)+팽창재(10%) > 일반 린 > FA(25%) 순으로 나타났다. 그림 14는 시공 28일 후에 각 배합당 3개의 코어를 채취하여 간접인장강도 실험결과를 나타낸 것이며 압축강도와 동일한 특성을 나타내었다.

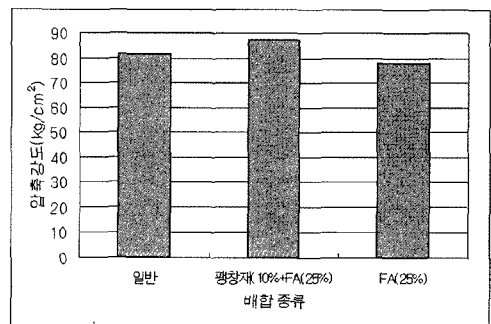


그림 13. 압축강도

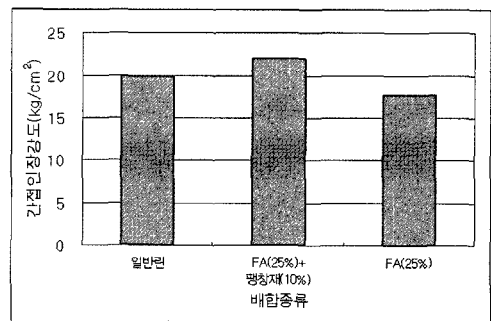
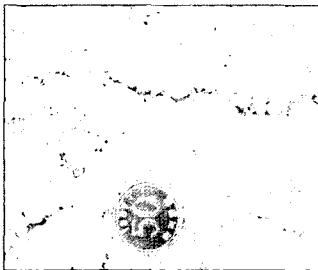


그림 14. 간접인장강도

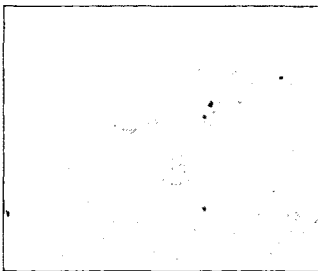


4.2 균열조사

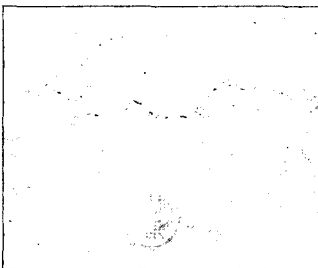
현장에 적용한 플라이 애쉬(25%)+팽창재(10%) 구간, 플라이 애쉬(25%) 구간, 일반 린 구간을 구분하여 배합별로 120m씩을 타설 후 콘크리트 표층을 타설하기 까지 7주간 균열을 조사하였다. 그림 15, 그림 16에 나타난 것과 같이 일반 린 구간은 많은 균열이 발생하였고 플라이 애쉬 구간은 소수의 균열이 발생하였다. 그러나 플라이 애쉬와 팽창재를 혼합한 구간은 전혀 균열이 발생하지 않았다. 실내실험과 현장실험을 통하여 플라이 애쉬(25%) + 팽창재(10%)가 최적의 재료임을 알 수 있었다.



(일반 린)



<FA(25%+팽창재(10%))>



<FA(25%)>

그림 15. 현장시험 시공구간의 균열사진(현장시공 4일후)

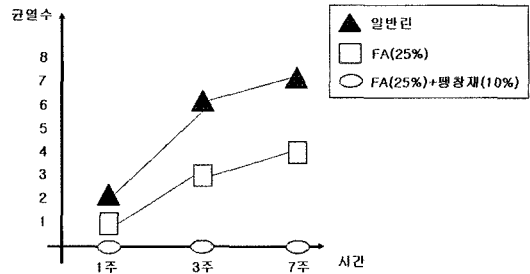


그림 16. 현장시험 시공구간의 균열현황

5. 결론

본 연구는 시멘트 안정처리기층을 아스팔트 포장 적용시 문제가 되는 반사균열을 해결하기 위하여 저수축 시멘트 처리기층 재료개발을 연구하였다. 상온과 항온항습실의 다른 환경조건에서 양생조건에 따른 길이변화, 그리고 혼화재 종류와 양에 따른 수축저감율을 측정하였다. 실내실험결과를 바탕으로 현장실험에 적용하여 평가한 결과 최적의 저수축 시멘트 안정처리기층 배합을 제시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 예비실험을 통하여 강도와 수축저감율을 고려하여 플라이 애쉬 치환 양을 25%로 제안하였다.
- (2) 본 실험에서 강도, 건조수축, 경제성을 고려한 결과 플라이 애쉬 25%, 플라이 애쉬 25%에 팽창재를 10% 혼합한 배합이 대안으로 선정되었다.
- (3) 현장실험의 압축강도, 간접인장강도, 균열조사를 통해 시멘트(7%)+플라이 애쉬(25%)+팽창재(10%)를 혼합한 재료배합이 최적 저수축 시멘트 안정처리기층의 재료배합임을 결정하였다.
- (4) 본 실험은 제한된 지역에서 비교적 단기간 환경하중에 노출된 상태에서 진행되었다. 본격적인 실용화를 위해서는 다양한 환경조건 및 장기간 공용성 관측으로 연구가 확대되어야 할 것이다.



감사의 글

이 논문은 2004년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의해 수행하였습니다.

참고문헌

1. 김진철, 2003, "콘크리트의 건조수축 메커니즘과 예측모델", 도로포장공학회지
2. 심현보, 1999, "팽창재를 혼입한 콘크리트의 건조수축특성에 관한 실험적 연구", 건국대학교 대학원
3. 이승환, 1996, "수축저감재의 건조수축 저감특성", 토목학회논문집 제 16권 1~4호
4. 중국교통부도로국, 2004, "제9회 한중도로기술교류회 논문집"
5. A. M. Neville, 1995, "Properties of Concrete"
6. David J. White and Kenneth L. Bergeson, 2001, "Long term strength and durability of hydrated fly-ash road bases", Transportation Research Board Washington, D.C
7. G. B. Sherman, 1974, "A laboratory study of

factors affecting the shrinkage characteristics of cement treated base", FHWA

8. GEARS, inc, 2004, *SPECIALTY MIXING & PLACEMENT CONSTRUCTION SERVICES*, <http://www.gearsinc.com>
9. H L Theyse, 1996, "Overview of the South Africa Mechanistic pavement design analysis method" Transportation Research Board
10. Imran M.Syed and Tom Scullion, P.E, 2001, "Performance evaluation of recycled and stabilized bases in Texas" Transportation Research Board
11. K. Ksaibati, P.E and Melinda. M. Bowen, 2001, "Evaluating the performance of cement treated bases in Wyoming", *2nd International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavement and Technological Control*
12. PCA, 2003, "Reflective cracking in cement stabilized pavements", Portland Cement Association

〈접수 : 2004. 11. 4〉