

시멘트페이스트와 모르타르의 화학 수축과 자기수축 실험연구

An Experimental Study on Chemical and Autogenous Shrinkage of Cement-paste and Mortar

조경래* 박신일* 최진영* 전철송** 임병호*** 김화중****

Chao, kyung lai Park, Shin il Choi, Jin young Tian, Zhe song Lim, Byung ho Kim, wha jung

ABSTRACT

The chemical shrinkage and the autogenous shrinkage have been determined experimentally for cement pastes incorporating different W/C ratio and different amount of the following addition: silica fume, fly ash and sand. The measurement method of the chemical shrinkage and autogenous shrinkage both were the volumetric technique. The silica fume has a effect of increasing the autogenous shrinkage while have a minor effect on the chemical shrinkage. The addition of fly-ash and sand both decreased the amount of chemical shrinkage and autogenous shrinkage.

Keywords: chemical shrinkage, autogenous shrinkage, cement paste, silica fume, fly ash

1. 서론

고성능 콘크리트는 초기 균열에 아주 민감하다는 기존의 연구결과에서 많이 지적되었다. 그리고 이러한 고성능 콘크리트의 특성은 초기재령에서의 용적의 변화에 많은 관계가 있다는 주장되어 지고 있다. 콘크리트의 용적변화는 주로 콘크리트의 결합재인 시멘트의 용적의 변화에서 비롯된다. 용적의 변화를 초래하는 콘크리트의 수축에서는 초기 재령에서의 화학 수축이 많은 비중을 차지하고, 또한 고성능 콘크리트에서는 화학 수축에 뒤따르는 자기수축도 많은 비중을 차지한다고 지적되고 있다.

화학 수축은 시멘트와 물이 반응하여서 생성된 산물의 용적이 반응물의 용적보다 작은 현상을 표시하는 것이다. 자기수축은 수화된 시멘트의 미세구조에서 생성된 미세 공극에 차있는 물이 시멘트의 수화에 의하여 소비되면서 미세 공극 내에 부압이 형성되어 발생하며 이것을 또는 자체건조라고 한다. 화학 수축과 자기수축은 아주 밀접한 관계가 있으며 후자의 주요발생원인이 화학 수축이라고 봐도 무리가 없다. 시멘트페이스트의 화학 수축과 자기수축은 용적변화 측정의 방식을 많이 택하고 있으며 콘크리트의 자기수축 용적변화는 선형측정방법 즉 외부와의 수분교환을 차단한 상태에서의 콘크리트 시험체의 길이변화를 측정하는 방식으로 많이 실험되어오고 있다. 기존의 콘크리트

* 경북대학교 건축공학과 석사과정

** 경북대학교 건축공학과 박사과정

*** (주)화성산업 pc구조팀

**** 경북대학교 건축공학과 교수, 공학박사

의 자기수축에 대한 실험에서 선형 길이변화측정방법으로 측정된 결과에서는 초기재령에서 일정한 팽창의 단계를 거치는 것으로 나타나고 있다.[3] 그러나 이러한 현상은 시멘트페이스트의 수축의 측정결과에서는 발견되지 않고 있다고 다른 연구결과가 보고되고 있다.[1] 본 실험에서는 시멘트페이스트와 모르타르의 전체 용적변화를 화학 수축으로 간주하고 자기수축은 콘크리트의 용적의 외부적 변화 즉 외관상의 부피의 변화로 간주하고 실험을 진행하였다.

본 연구는 시멘트페이스트의 화학수축과 자기수축에 대한 실험적 연구를 통하여 콘크리트의 자기수축 특성 파악의 연구에 기초적 연구를 제공하고자 한다. 물시멘트비의 변화에 따른 화학수축과 자기수축을 고찰하였으며, 낮은 물시멘트비의 배합에서 실리카흄 및 플라이애쉬를 치환한 시험체들과 모래를 첨가한 모르타르에 대하여 화학수축과 자기수축을 용적변화측정방법을 사용하여 고찰하였다.

2. 실험

2.1 실험계획

본 연구는 시멘트페이스트의 화학수축과 자기수축을 고찰하기 위해 물시멘트비가 각각 50%, 40%, 25%인 순수 시멘트페이스트를 제작하였고, 물시멘트비가 25%인 mix-3번 배합을 참조 배합으로 하여 실리카흄을 5%, 12%, 20%로 치환한 시멘트페이스트와 플라이애쉬를 10%, 15%, 20%로 치환한 배합도 제작하였으며, 강모래를 시멘트와의 체적비를 1:1로 첨가한 배합도 제작하였다. 실험의 배합상황은 표1과 같다. 모든 배합에 대하여서는 화학 수축 측정용 시험체 세 개와 자기수축 측정용 시험체를 세 개씩 제작하였다.(이하 자기수축 시험체에 대하여서는 mix-ne로 표기한다)

표 1 실험변수 및 배합표

	변수			
	W/C	S.F	F.A	C/S(Vol.)
mix-1	50	-	-	-
mix-2	40	-	-	-
mix-3	25	-	-	-
mix-4	25	5	-	-
mix-5		12	-	-
mix-6		20	-	-
mix-7	25	-	10	-
mix-8		-	15	-
mix-9		-	20	-
mix-10	25	-	-	1/1

2.2 재료

실험에 사용된 재료들의 일반적인 물성은 표2와 같다.

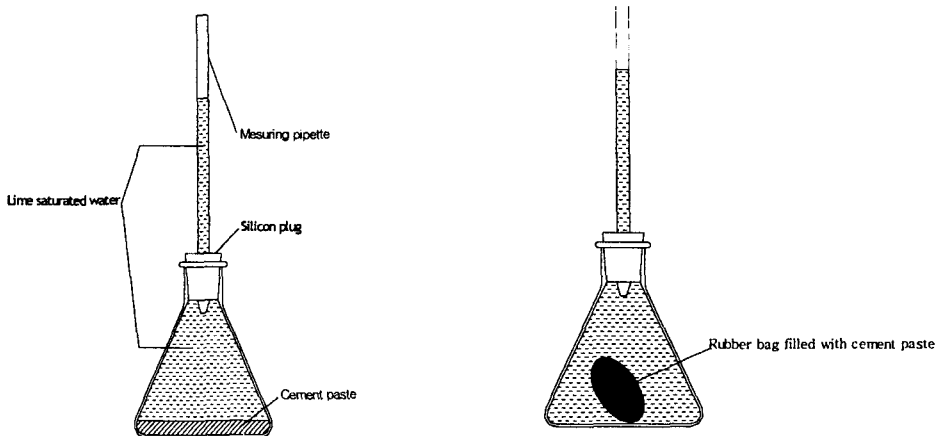
표 2 실험에 사용된 재료들의 기본 물성

	산지	물성
시멘트	국내 H사 보통포틀란트시멘트1종	분말도: 3318cm ³ /g 비중: 3.15
플라이애쉬	충남보령산	분말도: 3850cm ³ /g 비중: 2.22
실리카흙	체코산	비표면적: 19260cm ² /g 비중: 2.21
모래	경기도 안양산	표건비중: 2.63 흡수율: 0.62% 조립율 2.8

2.3 실험방법 및 순서

(1) 화학수축의 실험방법 및 실험순서

본 연구에서는 화학수축을 용적변화 측정방법을 사용하여 측정하였다. 먼저 용적이 50ml 인 빈 삼각플라스크의 무게를 최소 눈금이 0.1g인 저울로 측정하여 그 값을 W_1 로 기록한다. 다음 삼각플라스크에 시멘트페이스트를 약 2cm 두께로 넣고 잘 흔들어서 페이스트 내의 공기를 최대한 방출하고, 그 무게를 측정하여 W_2 로 기록한다. 다음 포화 석회수를 난류가 발생하지 않게 삼각플라스크의 벽을 따라 용기 내에 가득 넣는다. 그리고 피펫을 관통한 고무마개로 삼각플라스크를 막고 삼각플라스크입구와 피펫과 고무마개의 접촉부를 방수성접착제로 잘 밀봉한다. (여기에서 피펫은 최소눈금이 0.05ml인 것을 사용하였다) 다음 주사로 피펫의 위 끝으로 물을 넣어 기록시작점까지 도달하게 하고 그 눈금을 L_0 으로 기록한다. 마지막으로 피펫의 위 끝을 테이프로 밀봉하여 물의 증발을 방지하였다. 그리고 삼각플라스크를 온도가 $24 \pm 2^\circ\text{C}$ 인 항온항생실에 설치하고 측정을 시작한다. 예정된 측정간격인 t 시간이 지난 후 피펫의 눈금을 L_1 로 기록한다. 실험에 사용된 장치는 그림1에 보여준다.



다음 식은 시멘트페이스트의 W/C, 사용한 시멘트의 비중 ρ_c , W_1 및 W_2 를 이용하여 시료의 초기 체적을 계산하는 공식이다

시료초기체적:

$$V_p = \frac{(W_2 - W_1)(W/C + 1/\rho_c)}{W/C + 1} \quad (1)$$

그리고 수화수축율을 계산하는 공식은 다음 식과 같다.

$$S_t = \frac{L_t - L_0}{V_p} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

(2) 자기수축의 실험방법 및 실험순서

본 연구에서는 자기수축도 용적변화를 측정하는 방법을 사용하여 측정하였다. 그 실험방법과 순서도 시멘트페이스트의 화학 수축을 측정하는 것과 비슷하다. 단 외부수축을 측정하기 위하여 잘 찢어지지 않는 고무 재질의 얇은 주머니로 시멘트페이스트를 담고 끈으로 매어 밀봉하여 삼각플라스크에 넣은 다음 위의 화학 수축을 측정하는 순서대로 실험을 진행하였다. 단 W_1 에 고무 주머니와 끈의 질량을 추가하여 고려하였다. 그림2는 자기수축 측정실험장치 설명도이다.

3. 실험결과

그림3은 물시멘트비를 변화시킨 순수 시멘트페이스트의 화학수축과 자기수축 값을 보여준다. mix-1,2,3 세 배합 모두 재령 6시간정도까지 약 2%의 용적변화를 보여주면서 신속한 화학수축을 보여주었고 그 후로는 완만한 수축을 진행하여 재령 42시간에서 3.13%~3.51%의 수축을 나타내었다. 자기수축시험체는 모두 재령 16시간까지 최대로 약 1%정도 팽창하는 것으로 나타났으며 그 후로는 수축이 진행되었다.

그림 4는 실리카흙을 치환한 시험체들의 화학수축과 자기수축을 보여준다. 실리카흙을 치환한 mix-4,5,6 세 시험체들은 모두 참조배합 mix-3에 비하여 화학수축율이 증가하는 것으로 나타났으나 실리카흙을 12%로 치환한 시험체와 20%로 치환한 시험체의 화학수축율은 비슷한 값을 나타내었다. 실리카흙을 치환한 자기수축시험체들은 모두 8~16시간까지 최대로 약 1.2%의 팽창을 나타내다가 수축을 하는 것으로 나타났다.

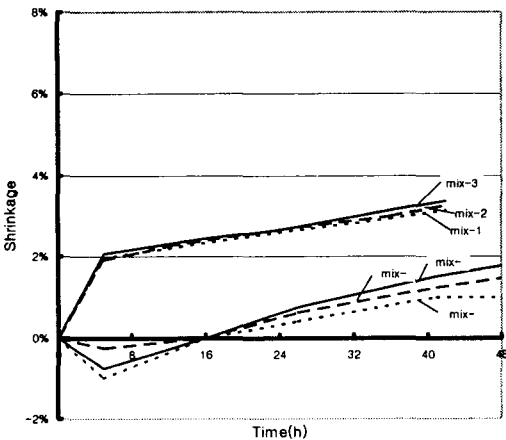


그림 3 mix-1부터 mix-3까지의 화학수축과 자기수축

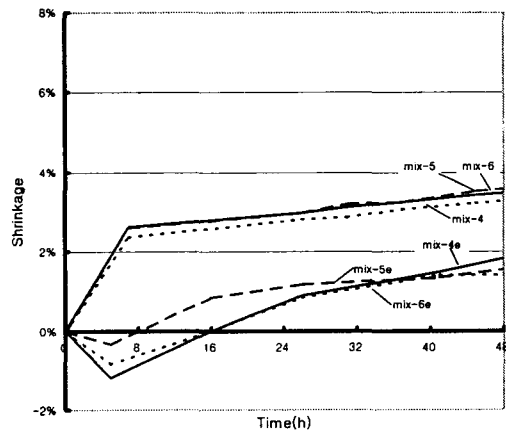


그림 4 mix-4부터 mix-6까지의 화학수축과 자기수축

그림 5는 플라이애쉬를 치환한 시험체들의 화학수축과 자기수축을 보여준다. 플라이애쉬를 치환한 mix-7,8,9 시험체들은 모두 참조배합 mix-3에 비하여 화학수축의 증가는 완만하였으며 재령 48시간에서의 수축율은 감소되는 것으로 나타났으며 자기수축시험체들은 10~16시간까지 최대 약 0.7%의 팽창을 하다가 수축을 하는 것으로 나타났다.

그림 6은 모래를 첨가한 시험체의 화학수축과 자기수축을 보여준다. mix-10 시험체는 참조배합에 비하여 화학수축의 증가폭은 완만하였으며 재령 48시간에서의 수축율은 감소되었으며 자기수축은 32시간까지 최대 약 1.4%의 팽창을 하다가 다시 수축을 하는 것으로 나타났다.

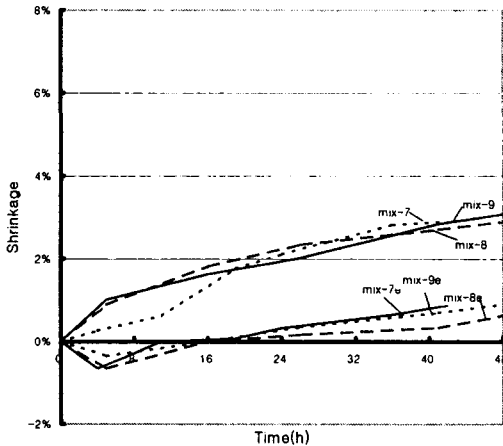


그림 5 mix-7부터 mix-9까지의 화학수축과 자기수축

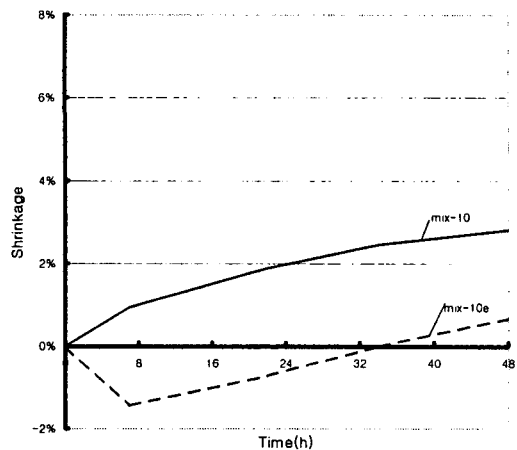


그림 6 mix-10의 화학수축과 자기수축

4. 결론

본 연구에서의 용적변화측정방법으로 측정한 자기수축은 전체 배합에 대하여 모두 수화 초반에 일정한 기간동안 팽창단계를 보여주었으며 특히 모르타르에서 비교적 긴 팽창 단계를 나타내었다.

실리카흙의 치환한 배합에서는 수화초기에 화학수축의 증가를 가속시키는 것으로 나타났으나 48시간에서는 참조배합과 비슷한 화학수축 용적변화율을 나타내었다. 또한 재령 48시간에서 자기수축 용적변화율은 참조배합에 비하여 약 30%정도 증가되는 것으로 나타났다.

플라이애쉬를 치환한 배합에서는 수화초기에 화학수축의 증가를 완만해지게 하는 것으로 나타났으며 48시간의 화학수축율은 참조배합에 비해 17.6%정도 감소되는 것으로 나타났다. 또한 재령 48시간에서의 자기수축 용적변화도 참조배합에 비하여 35%정도 감소하는 것으로 나타났다.

모래를 첨가 한 배합에서는 수화초기에 화학수축의 증가율을 완만해지게 하는 것으로 나타났으며 48시간에서는 참조배합의 84%정도의 화학수축 용적변화율을 나타내었으며, 자기수축 용적변화도 참조배합의 약 72%로 감소되는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. H.Justnes and T.Hammer, "Chemical Shrinkage of Cement paste," Mortar and Concrete,

Autogenous Shrinkage of Concrete, 1999.

2. K.B.Park, T.Noguchi, "A Study on the Hydration Ratio and Autogenous Shrinkage of Cement Paste," *Autogenous Shrinkage of Concrete*, 1999.
3. Takahashi,T., Nakata,H.,Yoshido,K., Goto,S. (1997) Autogenous Shrinkage of Cement Paste During Hydration, *Proceedings of the international congress on the chemistry of cement*, Vol. II, 2ii070
4. 社団法人 日本コンクリート工學協會, 自己收縮委員會報告書, 1996.11