

팽창재의 입도분포에 따른 팽창특성에 대한 기초연구

A Study on the Expansive Properties With Particle Size Distribution of Expansive Additives in Mortar

이 종 열^{*} 이 웅 중^{**} 박 정 준^{***} 박 경 상^{***} 김 기 수^{***}
Lee, Jong Ryul Lee, Woong Jong Park, Jeong Jun Park, Kyung Sang Kim, Ki Soo

ABSTRACT

Concrete structures is appeared the shrinkage after being harden because of the hydration effect of cement. To overcome this disadvantage, expansive additives are used. In our country, the most popular expansive additives are haayne(CSA) or free lime(free-CaO) systems. These expansive additives are used to expansive cement mortar or concrete materials

In this study, we analyzed the expansive property mechanism about the hydration reaction of the free lime systems and in particular we convinced size distributions of the free lime size affect the expansion ratio with experiments. We carried out the experiment for the expansive properties by using the soundness molds and with various the humidity and dry setting conditions. The hydration reactions of the free lime affect the reaction properties according to the relative humidity by laboratory experiments.

1. 서론

시멘트를 베이스로한 건설재료(모르타 및 콘크리트)는 시멘트의 수화반응에 의해 수산화칼슘, 수산화칼륨, 수산화나트륨, 에트린가이트, 토버모라이트등이 생성되어 골재의 결합재 역할을 하나, 이들 생성물을 만들기 위해 사용된 단위수량보다 부피가 적어지기 때문에 전체적으로 볼 때 체적은 감소하게 되어 시멘트의 수화반응을 체적감소반응이라고도 한다. 이러한 체적감소현상은 구조물의 균열발생에 직접적으로 기여하게 된다. 시멘트재료의 팽창은 일반적으로 에트린자이트($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$)의 생성에 의해 팽창하는 경우와 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)의 결정에 의해 팽창하는 것이 있다. 일명 아인계(CSA계)와 생석회(CaO계)로 불리운다. 이들 팽창재의 용도는 특히 철근콘크리트의 슬라브구조물이나 바닥마감재 등 Joint부 없이 넓은 면적에 연속타설할 경우 수축을 보상할 목적으로 사용하거나 케미칼 프리스트레스의 도입을 목적으로 하는 분야에 사용된다.

본 연구에서는 생석회계를 주대상으로 팽창메커니즘을 분석해보고, 생석회의 입도변동에 따른 팽창특성을 검토하고자 한다.

2. 연구 내용

*정회원, 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 수석연구원

**쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 주임연구원

***쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 연구원

****쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 실장

2.1. 실험개요

2.1.1 생석회계의 팽창메커니즘

생석회의 팽창원리는 표 1에서 보는 바와 같이 생석회와 물이 화학반응하여 소석회가 생성될 때 발생하는 팽창을 이용하는 것으로 물을 가할 때의 초기에는 미세한 콜로이드상의 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 생성하며, 이 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 는 시간의 경과와 함께 CaO 입자 주위에 2중, 3중으로 이방성의 육각판상으로 성장하여 체적팽창을 일으킴으로써 팽창압이 발생한다.

표 1 CaO 와 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 물리적 성질

항목 \ 반응	$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + 15.6\text{kcal/mole}$	
분자량	56	+ 18 = 74
비중	3.32	1 2.23
중량비	1	+ 0.32 = 1.32
용적비	1	1.99

2.2.2 생석회계 팽창재 특성

팽창제로서 생석회 단독으로 1종시멘트와 혼합하여 사용하면, 포틀랜드 시멘트에 의한 생석회의 수화지연효과가 크지 않기 때문에 응결과정중에 생석회가 모두 반응하여 경화 시멘트 매트릭스에 팽창력을 부여할 수 없다. 따라서 응결과정중에 생석회의 수화지연효과를 발휘하기 위해 석고를 첨가하는 것이 일반적이다. 한편 생석회계 팽창재의 원료들의 적정배합비를 선정한다하더라도 팽창력의 발휘는 상당한 편차가 발생할 것으로 예상되어 입도변동에 따른 팽창도실험을 실시하였다.

실험요인 및 내용은 표 2에 나타내었다. 여기서 생석회의 입도변동을 고려하기 위하여 $88\mu\text{m}$ 체를 이용하여 생석회가 통과한 시료를 $-88\mu\text{m}$ 로 표현하고, 잔류한 시료는 $+88\mu\text{m}$ 로 표현하였다. 석고의 경우는 입자가 fine한 관계로 $88\mu\text{m}$ 체에서는 잔류량이 작은 관계로 $44\mu\text{m}$ 체를 이용하여 잔류량의 시료를 이용하였다.

표 2 실험요인 및 내용

실험요인	수준	내용
배합비(C:S비)	1	1 : 2.45
W/C	1	55%
모래	1	주문진 표준사
석고(M)	3	$-88\mu\text{m}$, 원시료, $+44\mu\text{m} \Rightarrow \text{MF, MO, MC}$ 로 명명
생석회(S)	3	$-88\mu\text{m}$, 원시료, $+88\mu\text{m} \Rightarrow \text{SF, SO, SC}$ 로 명명
시험체	1	안정도 몰드($2.54\text{cm} \times 2.54\text{cm} \times 28.65\text{cm}$)
양생방법	2	1. 습윤양생 = 온도 : $23 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 : 95%이상
		2. 기건양생 = 온도 : $20 \sim 27.5^\circ\text{C}$, 상대습도 : 50~65%

2.2.2 실험재료

본 연구에서 사용한 시험재료의 화학조성은 표 3과 같다. 생석회와 석고를 입도 분석한 결과는 그림 1에 나타내었고, 평균 입경측정결과는 표 4에 나타내었다. 표 4로부터 알 수 있듯이 생석회의 경우는 원시료의 경우 $\pm 88\mu\text{m}$ 의 잔사 및 통과량의 중간정도의 입경을 갖고 있으나, 무수석고는 입자가 fine한 관계로 동일한 체를 이용하지 못했기 때문에 원시료는 fine한 측에 치우치는 경향을 나타냈다.

표 3 시험재료의 화학분석결과

시료명	화학조성(%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg.loss
OPC	21.9	5.6	3.1	61.0	2.5	1.9	2.2
S	5.4	1.0	0.4	89.3	0.5		2.5
M	5.8		0.1	36.1	0.2	55.7	1.6

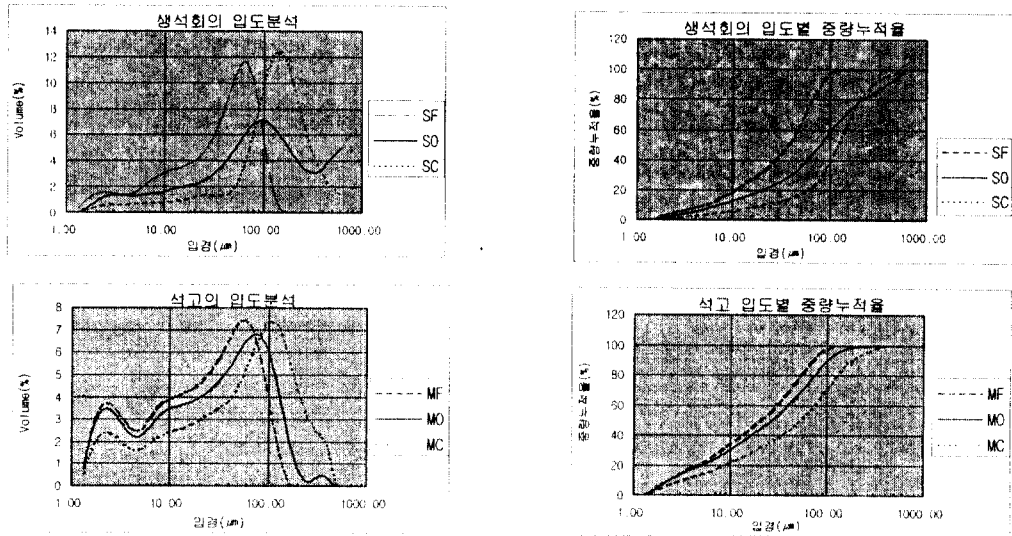


그림 1 생석회와 석고의 입도분석결과

표 4. 생석회와 석고의 평균입경 측정결과

구분	S			M		
	fine	original	coarse	fine	original	coarse
평균입경(μm)	37.1	78.4	120.3	21.4	27.0	53.1

2.2.3 실험방법

본 연구에서는 팽창재원료의 입도변동이 팽창률에 미치는 영향을 검토하는 것이 주목적이기 때문에 일반적인 길이변화몰드(4×4×16cm)를 이용하지 않고 안정도 몰드(2.54×2.54×28.65cm)를 이용하여 팽창율을 측정하였다.

시료의 조제는 육각믹서를 이용, 충분한 혼합이 되도록 하여 시료를 제조하였다. 몰탈의 혼합은 KS L 5105방법에 따랐고, 팽창을 측정은 1일 양생후 초기치를 설정하고 7일 까지 채령별로 변형량을 측정하였다. 양생조건은 2가지 조건 즉, 습윤상태와 기건상태를 고려하여 실험하였다.

3. 결과 및 분석

3.1 양생조건 I(습윤 양생)

3.1.1 측정결과 및 결과분석

시편의 양생조건은 온도 23±2℃로 유지하고, 상대습도 95%이상에서 양생시켰을 경우의 길이변화

측정결과는 표 5에 나타내었다. 그림 2에는 석고를 고정시키고, 생석회를 Fine, Original, Coarse상태에 따른 길이변화율을 그래프로 나타낸 것이다. 측정결과에 의하면 생석회의 입도가 coarse할수록 길이변화가 크게 발생한 것으로 나타났다. 이러한 현상은 생석회의 입도가 fine할수록 반응성이 커 모르타르가 경화되기 전에 거의 대부분 수화됨으로서 경화후에는 유효하게 팽창을 일으키지 못하는 것으로 판단되며, 반대로 coarse할수록 경화전 굵은 입자 주변에 있는 미세한 입자가 수화반응을 일으키고 경화 후에는 미반응된 극미량의 잔존 생석회가 추가로 반응하여 팽창에 기여하는 것으로 추정된다.

그림 3의 경우는 생석회를 고정시키고, 석고의 입도변동에 따른 길이변화율을 나타낸 것으로 대체로 원시료의 경우가 팽창에 유효하게 기여하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 석고의 역할이 생석회의 수화반응지연효과에 크게 관계한 결과로서 석고의 입자가 coarse할수록 수화지연작용에 제 역할을 하지 못했기 때문으로 판단된다.

표 5 습기함 양생일 경우의 길이변화율 측정결과

시료명	길이변화율($\times 10^{-4}$)										
	1D	2D	3D	4D	5D	6D	7D	\bar{x}	Max	Min	R
MF-SF	17	20	25	27	28	28	25	24	28	17	11
MF-SO	15	20	25	27	27	28	25	24	28	15	13
MF-SC	30	36	44	45	44	44	44	41	45	30	15
MO-SF	10	11	14	15	15	15	12	13	15	10	5
MO-SO	19	27	34	37	39	38	35	33	39	19	20
MO-SC	66	79	91	94	94	94	90	87	94	66	28
MC-SF	5	5	7	7	7	7	4	6	7	4	3
MC-SO	13	17	20	20	20	20	17	18	20	13	7
MC-SC	27	33	41	42	42	42	38	38	42	27	15

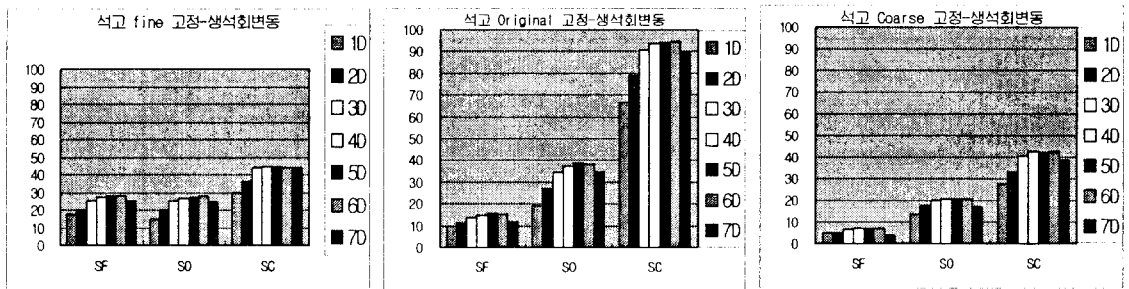


그림 2 생석회의 입도변동에 따른 길이변화율(석고 고정)

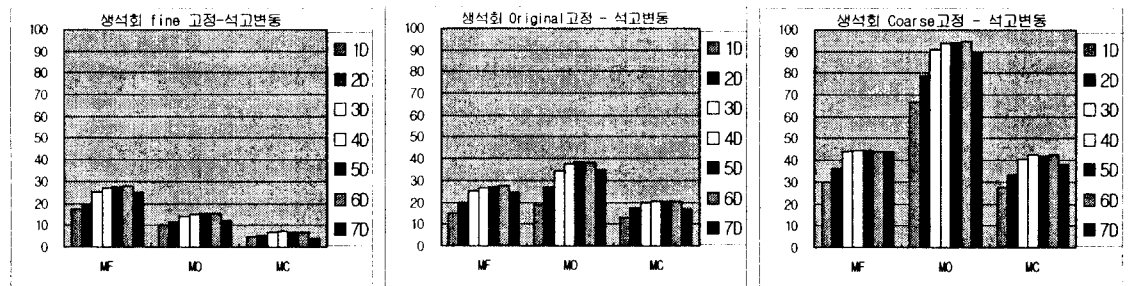


그림 3 무수석고의 입도변동에 따른 길이변화율(생석회고정)

3.2 양생조건 II(기건 양생)

3.2.1 측정결과 및 결과분석

시편의 양생조건은 온도 20~27.5℃로 유지하고, 상대습도 50~65%범위에서 양생시켰을 경우의 길이변화 측정결과는 표 6에 나타내었다. 그림 4는 석고를 고정시키고, 생석회를 Fine, Original, Coarse 상태에 따른 길이변화율을 그래프로 나타낸 것이다. 측정결과를 분석해보면 습윤 양생조건일 경우의 측정결과와 같이 뚜렷한 경향을 확인할 수 없었으나, 대체로 생석회가 coarse할수록 길이변화도 증가하는 경향을 확인할 수가 있었다. 이러한 현상은 온도의 변동과 상대습도의 변동에 의한 영향이 크기 때문인 것으로 판단된다. 또한 습기함 양생일 경우의 길이변화는 5~6일 까지 지속적으로 증가하다가 둔화되는 경향을 나타냈고, 기건양생일 경우는 2~3일까지만 증가하고 그 이후에는 수축하는 현상이 나타났으며, 이러한 현상은 모르타르 표면의 건조에 의한 수축현상으로 판단된다.

표 6 기건양생일경우의 길이변화측정결과

시료명	길이변화율($\times 10^{-4}$)										
	1D	2D	3D	4D	5D	6D	7D	\bar{x}	Max	Min	R
MF-SF	12	18	21	20	21	20	19	19	21	12	9
MF-SO	9	13	13	11	10	10	9	11	13	9	4
MF-SC	12	20	24	24	24	24	23	22	24	12	12
MO-SF	13	17	17	15	14	14	13	15	17	13	4
MO-SO	11	16	17	15	15	14	13	14	17	11	6
MO-SC	16	25	26	26	26	25	25	24	26	16	11
MC-SF	12	14	13	12	11	10	10	11	14	10	4
MC-SO	10	12	11	11	10	9	9	10	12	9	3
MC-SC	14	20	19	18	18	18	18	18	20	14	5

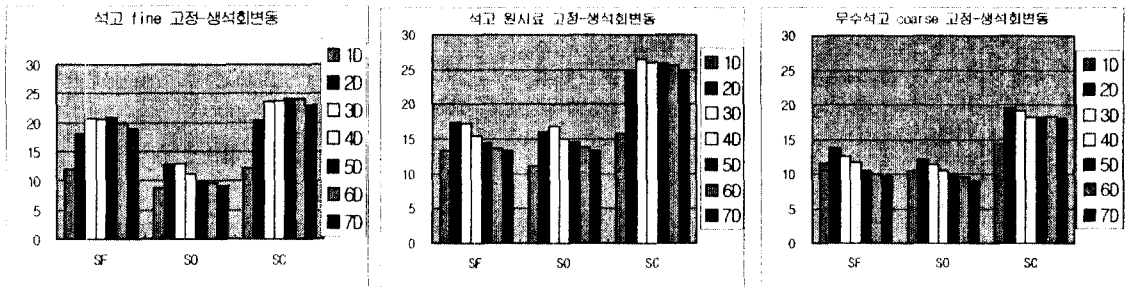


그림 4 생석회의 변동에 따른 길이변화율(석고고정)

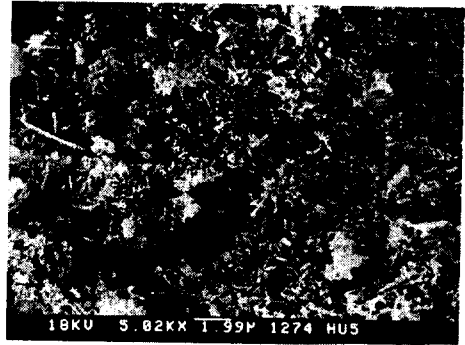
3.3 수화조직 관찰결과

7일간의 길이변화 측정후 기건상태에서 28일간 보존한 후에 수화조직을 관찰한 결과를 사진 1에 나타내었다.

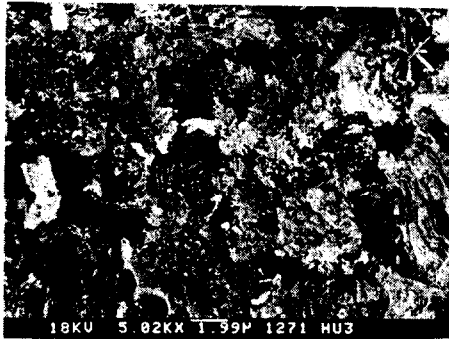
수화조직 관찰결과에 의하면 기건상태보다는 습기함상태의 수화조직이 좀더 치밀상태에 있음을 확인할 수 있었다.



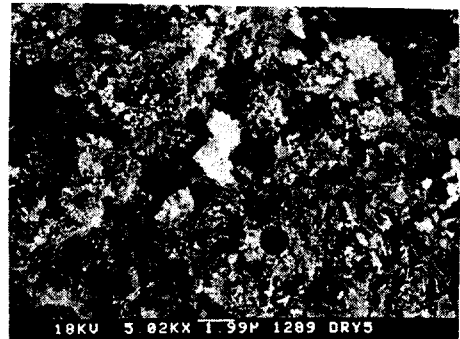
<습윤양생 : MC-SF>



<습윤양생 : MO-SO>



<습윤양생 : MF-SC>



<기건양생 : MO-SO>

사진 1 수화조직관찰 결과

4. 결론

본 연구에서는 팽창재의 원료로 사용되는 생석회와 석고의 입도변동에 따른 길이변화실험을 실시하였으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 생석회의 입도는 coarse할수록 팽창성이 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었으며, fine할수록 모르타가 경화되기전에 수화반응이 대부분이 진행되어 팽창력에 기여하지 못한 것으로 판단된다.
- 2) 석고의 coarse한 입자는 생석회의 수화지연작용에 영향이 적게 주어 팽창성에 유효하게 작용하지 못하는 것으로 나타났다.
- 3) 습윤양생일 경우 5~6일까지 지속적으로 팽창하는 반면에 기건상태일 경우에는 2~3일까지만 팽창하다가 건조에 의한 수축현상이 발생하는 것으로 나타났다.
- 4) 수화조직 관찰결과에서 기건양생조건보다는 습윤양생조건이 조직이 좀더 치밀한 것으로 나타나, 시멘트계 팽창재를 이용하여 시공할 경우 양생조건도 중요한 인자로 작용할 것으로 사료된다.

5. 참고문헌

1. 山崎之典 外3人, セメント・コンクリト No.404, 26-31(1980)
2. 榮技長男, 勝原正道, Gypsum & Lime No. 100, 12-20(1969)