

온돌바닥 모르타의 건조수축보상을 위한 팽창제의 품질특성 연구

A Study on the Quality Properties of the Expansive For Dry-Shrinkage Compensation of the Floor Mortar

이 웅 종* 이 종 열** 정 연 식*** 이 순 기**** 정 성 철*****
Lee, Woong Jong Lee, Jong Ryul Chung, Youn Sik Lee, Soon Ki Jung, Sung Cheol

ABSTRACT

In this paper, we investigated quality properties for the expansive of the CaO-CaSO₄ family which used to compensate dry-shrinkage in the floor mortar of On-Dol heating System. This experimental study established the mix condition with quantity of the expansive and is to investigate the relativity between the compress strength and the length change and the relativity between the chemical properties and the length change with the analysis of the physical and chemical properties. As a result of the study, the expansive performance of the expansive is controlled by more the CaO than the CaSO₄. The relativity between the compress strength and the length change is expressed by exponential function, showing that if the expansive performance is increased, the compress strength is decreased. And the relativity between the chemical properties and the length change is only relative the quantity of the F-CaO among the chemical properties, is expressed by the second order function, showing that if the F-CaO is increased, the expansive performance is increased.

1. 서론

우리 나라의 공동주택 난방방식은 온돌난방시스템으로 온돌구조는 하중을 지탱하는 슬래브층, 축열성 및 차음성을 부여하기 위한 기포 콘크리트층, 온수파이프를 고정·보호시키고 상부로 열기를 방출하는 온돌바닥 모르타층으로 구성되어 있다. 온돌바닥 모르타층은 기본자재(시멘트, 모래, 혼화제 등)로부터 시공 중, 시공 후까지 각종 재료, 시공 및 환경적인 요인에 의해 크게 품질산포가 크게 발생하며, 이로 인해 각종 품질하자(예들들면 균열과다 혹은 과팽창)가 많이 발생한다.

온돌바닥 모르타의 균열저감을 위해 현재까지 재료적인 측면에서 적용된 방안은 메탈라스 또는 섬유보강재 등을 시멘트와 혼합하여 건조수축에 의한 균열을 구속시키는 물리적인 재료와 CaSO₄계, CaO-CaSO₄계, CSA계 및 수축저감제 등을 시멘트와 혼합하여 적절한 팽창을 유도하고 궁극적으로 건조수축을 보상하는 화학적인 재료로 구분하여 볼 수 있다.

본 연구에서는 온돌 바닥모르타의 건조수축을 보상하기 위해 화학적인 재료중 CaO-CaSO₄계 팽창제의 품질특성을 팽창제 함량별 배합조건을 설정하여 물리/화학특성치 분석을 실시하였다. 또한 압축강도와 길이변화율과의 상관관계, 화학성분 특성치와 길이변화율 특성치 상관관계를 분석함으로써 온돌바닥 모르타용 팽창제의 품질관리에 기초적인 연구 토대를 마련하고자 한다.

*정회원, 쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 주임연구원

**쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 실장

***쌍용중앙연구소 콘크리트연구실 선임연구원

****쌍용양회공업(주) 특수시멘트팀 부장

***** (주)대우건설 건축기술팀 부장

2. 연구 내용

2.1 CaO-CaSO₄계 팽창재의 팽창원리

CaO-CaSO₄계 팽창재의 팽창원리는 CaO자체가 활성도가 높기 때문에 CaSO₄를 이용하여 CaO의 수화를 지연시키고, 모르타의 경화체 조직이 형성되는 시기(유효팽창시기)에 미반응 CaO가 수화하여 Ca(OH)₂의 결정생성압으로 팽창을 유도하는 것으로 보는 것이 가장 일반적인 학설이다.

2.2 실험개요

본 연구에서는 온돌바닥 모르타의 건조수축을 보상하기 위해 사용되는 CaO-CaSO₄계 팽창시멘트의 품질특성을 분석하고자 하며, 선정된 팽창시멘트의 배합조건은 표 1과 같다. 배합조건은 CaO의 함량 3~5%와 CaSO₄의 함량 4~7%의 범위에서 혼합한 팽창재와 CaO없이 CaSO₄만을 6~18%범위의 팽창재를 OPC와 혼합하여 팽창시멘트를 조제하였다.

표 1. 팽창시멘트의 배합조건

팽창재 사용량	시 료 명															비고
	B01	B02	B03	B04	B05	B06	B07	B08	B09	B10	B11	B12	B13	B14	B15	
CaO(%)	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3	0	0	0	
CaSO ₄ (%)	7	7	7	6	6	6	5	5	5	4	4	4	6	12	18	
OPC	88	89	90	89	90	91	90	91	92	91	92	93	94	88	82	

한편 온돌바닥 모르타의 품질특성 중에 가장 중요한 인자는 길이변화율 특성치이며, 본 연구에서는 길이변화율 특성치를 중심으로 기타 물성과의 상관관계를 분석하고자 표 2와 같은 시료분석항목을 설정하였다.

표 2. 시험분석 항목 및 실험조건

구 분	내 용		비고
분석항목	화학성분	분말도, 잔사, F-CaO, SO ₃ , Ig.Loss	
	물리성능	압축강도, 응결시간, 길이변화율	
배합비(C:S비)	1 : 3.0, 모래는 주문진 표준사		
W/C비	70%		
양생방법	압축강도 : 1일 습기함, 28일 수증양생 길이변화율 시험 : 기건양생(온도 : 20±1℃, 상대습도 : 60±5%)		

2.3 사용재료

본 연구에서 사용한 시험재료인 OPC(1종시멘트), 석회(CaO), 석고(CaSO₄)의 화학조성은 표 3와 같다.

표 3 시험재료의 화학조성

시료명	화 학 조 성 (%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig. loss
OPC	21.22	5.73	3.07	61.29	2.76	2.57	2.02
CaO	5.72	0.99	0.46	89.03	0.93	-	2.66
CaSO ₄	2.80	0.22	0.02	37.05	-	57.6	1.44

3. 결과 및 분석

3.1 물리화학특성치 분석결과

팽창시멘트의 물리/화학특성치 분석결과는 표 4와 같다. 물리특성은 전반적으로 CaSO₄의 함량이 증가할수록 응결시간이 지연되고, 압축강도는 저하되는 것을 확인할 수 있었고(특히 B13, B14, B15참조), 동일한 CaSO₄함량에서는 CaO의 사용량이 증가할수록 응결시간이 짧아지고, 압축강도는 저하되는 것을 확인할 수 있었다.

표 4 물리/화학특성치 분석결과

Series	화학분석			비표면적 (cm ² /g)	44μmR	압축강도			응결시간	
	SO ₃	F-CaO	L.O.I			30	70	280	초결	종결
B01	5.9	4.98	2.14	3730	9.3	36	51	115	2:50	6:25
B02	6.0	4.31	2.13	3840	9.0	43	61	137	3:15	7:15
B03	6.0	3.60	1.97	3700	9.6	50	63	148	3:30	7:10
B04	5.2	5.14	2.14	3740	10.3	42	61	135	3:20	6:55
B05	5.5	4.23	2.02	3980	10.5	44	62	137	3:30	7:40
B06	5.3	3.56	2.09	3830	9.9	52	94	158	3:15	7:30
B07	4.5	5.09	2.11	3790	10.6	45	77	146	3:30	6:35
B08	4.9	4.48	2.06	3630	10.0	56	97	164	3:25	6:45
B09	4.7	3.84	2.22	4050	9.1	57	97	176	3:25	6:45
B10	4.3	5.03	2.16	3880	9.0	66	105	171	3:40	6:40
B11	4.2	4.30	2.15	3840	8.8	75	115	179	3:25	6:15
B12	4.2	3.85	2.12	3860	7.9	71	110	202	3:25	6:55
B13	5.7	1.36	2.02	3840	7.6	67	76	215	3:50	7:40
B14	8.9	1.12	2.07	3790	9.4	48	73	114	3:55	7:55
B15	12.5	1.15	2.02	4090	8.3	45	112	122	4:10	8:05

3.2 길이변화율특성 실험결과

팽창시멘트의 길이변화율 특성치 실험결과는 그림 1~그림 8과 같다. 분석결과에 의하면, 모르타의 팽창성능은 석회(CaO)의 함량에 의해 지배되는 것을 확인할 수가 있었으며, 석고의 동일 수준에서 석회가 3%에서 5%로 증가시 선형적인 증가가 아닌 비선형 증가형태로 나타났다(그림 1~그림 4). 또한 석회의 동일 수준에서 석고의 양이 증가(4%→7%)함에 따라 팽창량도 증가하고, 석고의 사용량이 5~7%수준에서는 팽창량이 거의 유사한 값을 나타내지만, 석고 4%사용은 뚜렷이 더 낮은 팽창량을 나타내 석고의 사용량 4%와 5%사이에 팽창성능의 발휘시 전이영역이 존재하는 것으로 분석되었다.(그림 6~그림 8). 한편 석회없이 석고만을 단독으로 사용시 석고의 사용량이 증가함에 따라 재령 초기는 팽창으로 나타났으나, 재령 5주에서는 석고의 양에 관계없이 수축으로 나타났다.(그림 6). 따라서 팽창성능은 석회가 주요 지배인자로 작용하고, 석고가 보조적으로 작용하는 것을 본 실험을 통해서 확인할 수 있었다.

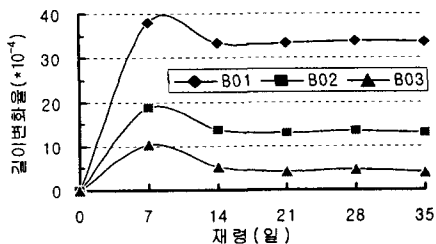


그림 1 석고(7%) 고정-석회변동(3, 4, 5%)

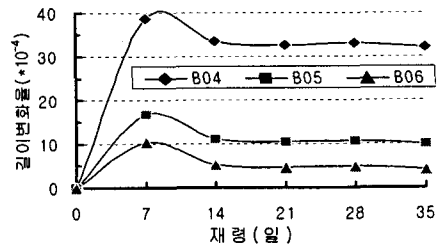


그림 2 석고(6%) 고정-석회변동(3, 4, 5%)

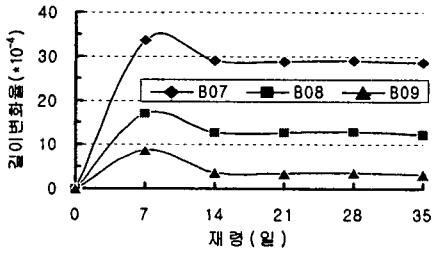


그림 3 석고(5%) 고정-석회변동(3, 4, 5%)

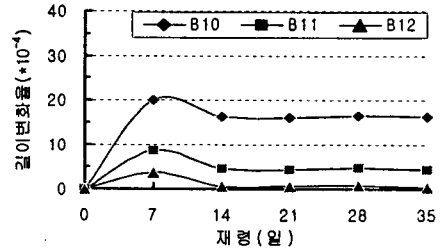


그림 4 석고(4%) 고정-석회변동(3, 4, 5%)

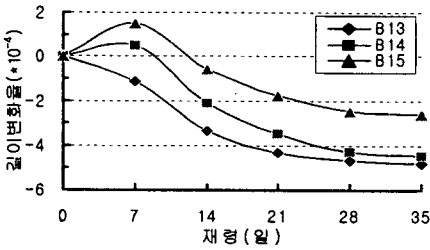


그림 5 석회(0%)-석고변동(6, 12, 18%)

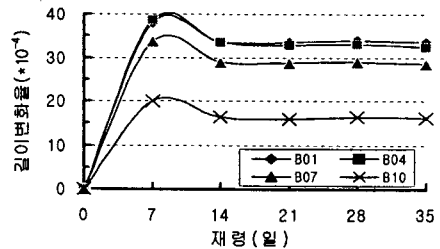


그림 6 석회(5%)고정-석고변동(4,5,6,7%)

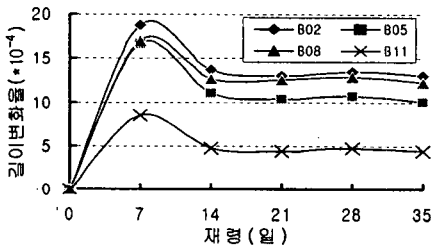


그림 7 석회(4%)고정-석고변동(4,5,6,7%)

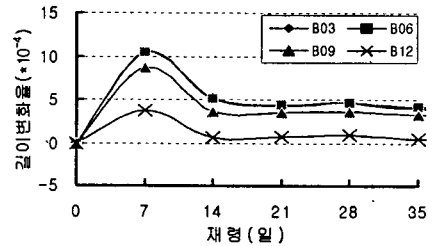


그림 8 석회(3%)고정-석고변동(4,5,6,7%)

3.3 길이변화특성치와 물리화학특성치와의 상관관계 분석

3.3.1 길이변화특성치와 압축강도와의 상관성

길이변화율 특성치와 재령별 압축강도 특성치와의 상관성을 분석결과는 그림 9~12와 같으며, 상관관계 분석결과는 표 5와 같다. 분석결과에 의하면 길이변화율과 압축강도의 상관성은 아주 높게 나타났다. 특히 28일 재령의 압축강도와 7일 길이변화율의 상관성이 가장 높게 나타났다. 전체적으로 팽창성의 증가는 압축강도의 저하로 나타났고, 지수함수($Y = Ae^{-x}$)관계를 갖는 것으로 분석되었다.

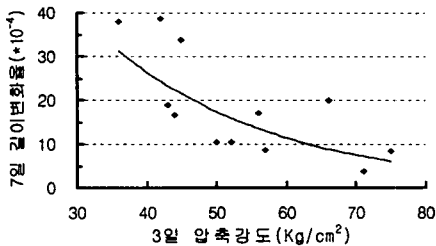


그림 9 압축강도(3D)와 길이변화율(7D)

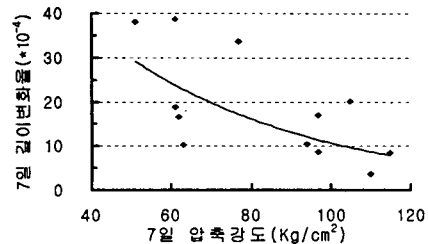


그림 10 압축강도(7D)와 길이변화율(7D)

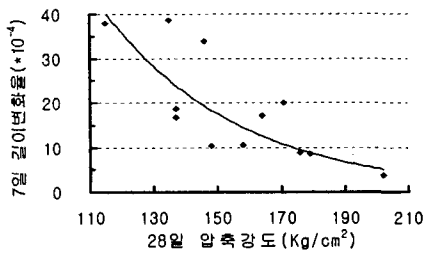


그림 11 압축강도(28D)와 길이변화율(7D)

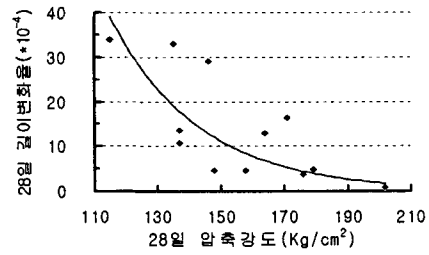


그림 12 압축강도(28D)와 길이변화율(28D)

표 5 압축강도특성치와 길이변화율 상관관계(회귀분석) 분석

구분	회귀식	상관계수(r)	n	비고
7일 길이변화율과 3일 압축강도관계	$y = 140.97e^{-0.042x}$	0.7390	12	$r(0.05,10) = 0.576$
7일 길이변화율과 7일 압축강도관계	$y = 81.78e^{-0.022x}$	0.6569	12	
7일 길이변화율과 28일 압축강도관계	$y = 633.96e^{-0.024x}$	0.8243	12	$r(0.01,10) = 0.708$
28일 길이변화율과 28일 압축강도관계	$y = 2397.80e^{-0.036x}$	0.7940	12	

3.3.2 길이변화율 특성치와 화학성분특성치와의 상관성

길이변화율 특성치와 화학성분 특성치중에서 F-CaO, SO₃, 강열감량(L.O.I), 블레인(비표면적), 44 μ m간사사이의 상관관계 분석결과는 그림 13~그림 17에 제시해 놓았다. 분석결과에 의하면, F-CaO함량만이 길이변화율과 상관성이 아주 높게 나왔으며, 그외 특성치는 상관성이 낮은 것으로 분석되었다. F-CaO함량이 증가함에 따라 팽창성능은 증가하고 2차함수 관계를 갖는 것으로 분석되었다.

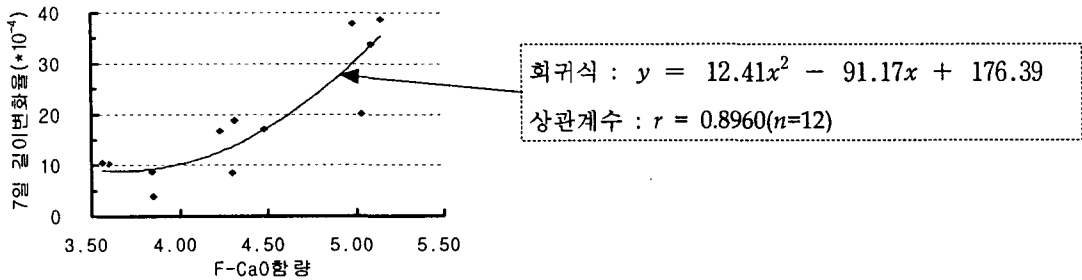


그림 13 길이변화율(28D)과 F-CaO함량

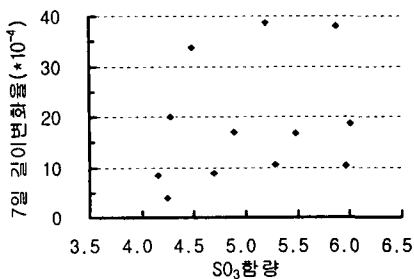


그림 14 길이변화율(7D)과 SO₃함량

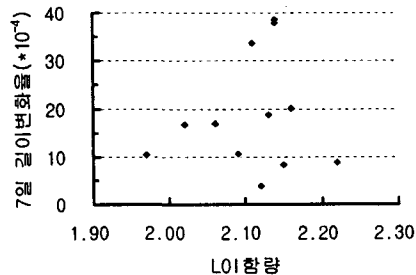


그림 15 길이변화율(7D)과 L.O.I함량

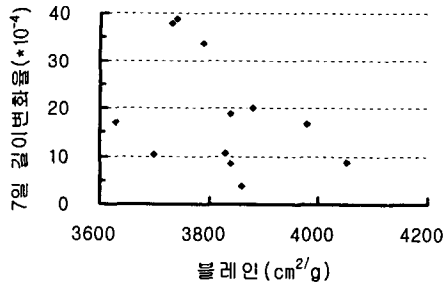


그림 16 길이변화율(7D)과 블레인

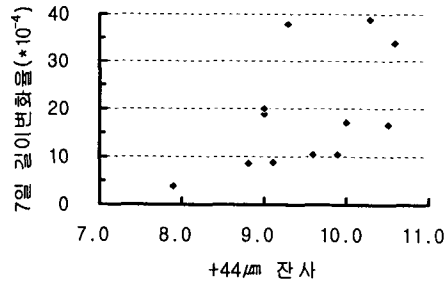


그림 17 길이변화율(7D)과 +44µm 잔사

4. 결론

본 연구에서는 온돌바닥모르터용 팽창재의 품질특성을 분석하기 위해 팽창재 함량별 배합조건을 설정한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 팽창재 함량별 물리특성분석결과는 석고함량의 증가는 용결시간이 지연되고, 압축강도는 저하되었고, 석회 함량의 증가는 용결시간이 짧아지고 압축강도는 저하되는 것으로 분석되었다.
- 2) 팽창재의 함량별 길이변화율 특성분석결과에 의하면 팽창성능은 석회(CaO)함량의 의해 지배받으며, 석고(CaSO₄)는 보조적으로 영향을 미치는 것으로 확인되었다.
- 3) 압축강도와 길이변화율과는 상관성이 매우 높으며, 특히 재령 7일 압축강도와 재령 28일 압축강도와의 상관성이 가장 높은 것으로 나타났고, 팽창성능이 증가하면 압축강도가 저하되며 지수함수관계를 갖는 것으로 분석되었다.
- 4) 길이변화율과 화학성분 특성치와의 상관성 분석결과에 의하면, 화학성분치 중에서 F-CaO함량만이 상관성이 있었으며, F-CaO함량이 증가하면 팽창성능도 증가하고 2차 함수관계를 갖는 것으로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 건설교통부 국책과제인 “공동주택 온돌구조의 바닥모르터 균열방지 및 내구성 연구”의 일부로 수행되었음을 밝히며 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. 山崎之典의 3인, 膨脹セメントの水和および膨脹機構, セメント・コンクリート, No. 404, Oct, 1980
2. 山崎之典, 膨脹性混和材を用いたコンクリートの膨脹機構, セメント・コンクリート, No. 352, June, 1976
3. 한국콘크리트학회, 콘크리트 혼화재료, 기문당, 1997. 3
4. 이종열의 4인, 균열저감형 바닥마감전용 모르터의 건조수축 특성연구, 1999년도 봄 학술발표회논문집, 제 11권 1호(통권 제 20집)
5. 고성석, 이재룡, 온수온돌 바닥구조체의 마감모르터의 균열방지에 관한 실험적 연구, 대한건축학회지, 구조계 14권 4호, 1998. 4
6. 정성철의 2인, 액상 균열방지제에 의한 공동주택 바닥모르터의 균열저감에 관한 실험적 연구, 대한건축학회지, 구조계 15권 1호, 1999. 1.