

팽창재를 포함한 시멘트 모르타르의 팽창 요인

황인동* · 엄희남** · 정윤중

*(주)세일콘 부설연구소

**기술표준원 무기화학과

명지대학교 무기재료공학과

(2000년 3월 3일 접수)

Expansion Factors of Cement Mortar Containing Expanding Admixture

In Dong Hwang,* Hee Nam Youm** and Yun Joong Chung

*Seil Con R&D Center, Ansung-Si. 456-930, Korea

**Inorganic Chemistry Division of Agency for Technology & Standard, Kyunggi-do, 427-760, Korea

Dept. of Ceram. Eng., Myongji Univ., Uongin, 449-728, Korea

(Received March 3, 2000)

초 록

팽창성 시멘트의 팽창재(Expanding Admixture)는 2가지 부류로 대별된다. Hauyne($3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$)을 이용한 CSA계와 Quick lime(CaO)계는 대표적인 팽창재로써 사용하고 있는 재료들이다. CSA계의 Hauyne은 CaO , CaSO_4 존재 하에 에트링자이트(Ettringite)를 생성하는 반응으로 유도되며 CaO 의 경우 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 로 반응이 유도된다. 현재의 시멘트 산업중 무수축(Non-shrink)과 팽창(Expansion)은 매우 유사한 메카니즘(Mechanism)을 이용하여 적절한 양만큼의 팽창을 확보하여 시멘트의 수축 성능을 개선시킨다. 시멘트는 이론적 수량을 초과하는 수분의 양에 따라 미세한 수축을 발생시킬 수 있으며 몇몇의 구조에서 이의 보상에 요구되기도 한다. 이러한 수축 보상의 체계에 있어 두 가지의 물질이 이용되고 있으며 이들의 적절한 사용은 단지 시멘트의 총량에 대해 규정하나 동일 첨가량에서 사용수량의 변화에 따른 다른 팽창률이 측정되었다. 본 연구는 이러한 구성 재료 및 W/C와 팽창성 시멘트의 사용에 따른 모르타르 경화체의 팽창률의 변화를 관찰하였고 이들은 각각 W/C의 변화나 사용되는 무기 혼화제에 따라 그 팽창률이 변화하였다. 이는 팽창에 관하여 재료 구성 및 팽창 요인을 검토한 후 시행되어야 함을 보여주었다.

ABSTRACT

Two type of expanding cement generally referred to as CSA with Hauyne($3\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4$) and Quick lime(CaO). Hauyne is formed to ettringite when there are presented with CaO and CaSO_4 , and CaO reacts with water to form $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Recently, the mechanism of compensation and expand mortar or concrete tend to same and it has been used improving on its shrink property. The volume of cement paste varies with its water content shrink with drying and re-wetting. Concrete and mortar works are required shrinking compensation and expansion properties to reduce of potential crack. The use of expansion cement may improve on its shrinking volume changes. CSA dosages for shrinking compensation limited by cement weight, but obtained difference expansion rate with varied W/C or inorganic admixture. This paper studies expansion rate according to expansion cement dosages, water and inorganic admixtures as Silica fume. Therefor, the expansion factor has to considered before the application.

Key words : Expansion admixture, Ettringite, Expansion factor, Expansion rate

1. 서 론

시멘트에서의 수축은 시멘트의 함수량에 의존된다. 시멘트의 수중저장은 팽창을 가져오며 건조는 수축을 발생시킨다. 시멘트는 건조 초기에 최대의 수축을 발생시키며 이 부분은 상당 부분 회복되지 않는다.¹⁾ Verbeck과 Helmut²⁾는 시멘트 풀(Cement paste)의 W/C 비에서 물의 량에 따라 건조 수축율이 달라짐을 보고하였다. 또한 반복되는 습윤과 건조는 회복성 수축(Reversible shrinkage)와 비회복성 수축

(Irreversible shrinkage)를 일으킨다. 이러한 시멘트 풀의 거동은 콘크리트, 모르타르에서 정도의 차이는 있으나 동일하게 발생한다. 콘크리트와 모르타르는 최초 건조시기에 가장 많은 수축이 발생된다. 따라서 작업 현장에서는 주위의 환경에 따라 균열억제를 위해 적어도 며칠간 수분이 보존되어야 한다.

또, 이들의 보고에 의하면 상대습도가 100%인 경우의 시멘트 풀의 건조 수축이 발생되지 않는다. 상대습도가 55%로 감소되면 시멘트 풀 내의 물의 양은 약 12%로 감소되며 0.4% 정도 수축한다. 그러나 이 보다 낮은 습도범위에서

는 물의 양 감소가 매우 크게되며 1.2%까지 수축하게 된다. Haller³⁾는 W/C에 의한 시멘트 풀의 건조 수축률에 대해 연구 보고한 바 있다. 이에 의하면 W/C가 높으면 높은 건조 수축을 발생시킨다. 즉, 이론적 수량인 W/C=0.26와 W/C=0.65의 재령 180일에서의 수축률은 각각 약 1.6×10^{-3} 과 2.8×10^{-3} 으로 거의 2배에 이르며 이러한 건조수축은 초기에는 모세관수의 탈출에서 발생하고 이후의 수축은 겔 공극의 겔수의 증발에 의해 발생한다고 보고하였다. 따라서 작은 공극에서의 장력 발생이 좀 더 강한 수축력으로 발생하는 것이므로 이러한 모세관 장력을 감소시킬 수 있는 계면활성제의 첨가하여 유용한 재료로써 이용할 수 있는 가능성을 제시하였다. 좀 더 유용한 자료로 Verbeck과 Helmut²⁾는 수중양생을 1일~365일까지 실시한 후 1일, 7일, 28일, 365일 이후 건조수축을 관찰하여 시멘트 풀은 수화도가 클수록 수축이 크게 발생한다는 결과를 제시하였다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 CSA계 팽창제는 Hauyne($3CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot CaSO_4$)와 CaO(Free lime), $CaSO_4$ (Free anhydrous Gypsum)이 혼합된 제품으로 그 조성은 Table 1과 같다.

이들의 반응 기구는 아래와 같다.

Hauyne과 유리 석회, 석고는 반응하여 밀도가 매우 낮은 (1.73 Kg/cm^3) 에트링자이트를 형성한다.

한편 BS12에는 SO_3 의 첨가량이 규정되어 있는데, C_3A 가 7% 이하인 경우에는 시멘트 량의 2.5% 그리고 C_3A 량이 7% 이상인 경우는 3%이다. 이에 의하면 유리 석회는 이상 팽창을 야기시켜 균열이나 열화의 원인이 되지만 이러한 팽창을 적절하게 이용하여 시멘트의 수축을 보상하는 것이 CSA계 팽창제의 주된 사용 이유이다.

팽창제의 기준은 KS F 2562(콘크리트용 팽창제)에 규정되어 있다. 또한 정의는 “수화 반응에 의하여 에트링자이트 또는 수산화 칼슘을 생성하고 모르타 또는 콘크리트를 팽창시키는 작용을 하는 재료”로 규정하고 있다.

한편 팽창제를 이용하여 제조되는 대표적인 제품으로 non-shrink mortar, prestress용 팽창제, non-shrink concrete등이 있다. 이중 가장 정밀한 제품으로 기계 기초 등에 이용되는 non-shrink mortar는 그 성능에 대하여 CRDC-621(Corps of engineers specification for non-shrink grout)(Table 2)⁴⁾에 규정되어 있다.

또한 적절한 수축 보상을 위한 CSA량은 시멘트에 대하여 8~11% 첨가를, prestress용으로 사용하기 위한 경우 12~17% 첨가를 추천하고 있다. 그리고 lime의 경우에는 균열 방지를 위해서는 6~7%를 prestress에는 8% 이상을 추천하고 있다. 사용상에서의 권장 사항을 살펴보면 다음과

같다

1. 사용량에 있어 시멘트를 대체하지 않고 모래의 양을 감소시킬 것을 권장하고 있으며 팽창량은 시멘트와 물의 사용량에 의존하므로 실험 후 사용량을 결정하여야 한다.

2. 다른 혼화제와의 혼용 적합성 여부는 팽창량 시험 후 사용되어야 한다.

3. 팽창량은 팽창제의 사용량과 양생조건, 구조물의 구속 여부에 따라 달라질 수 있다. 보통의 경우 적절한 양생이 어렵다면 약간 많은 양을 사용하는 것이 좋다.

4. 수량의 증가는 초기 용액 반응속도를 증가시켜 팽창을 유도하고 팽창량을 증가시킨다.

5. 35°C 이상의 온도에서는 에트링자이트의 생성속도를 증가시켜 초기의 팽창량을 증가시킨다.

6. 충분한 수축보상을 위하여 구속을 위한 압축 응력을 작용시켜야 한다.

이러한 사용상의 권장 사항에 따라 본 연구에서는 물-시멘트 비율에 따른 팽창률의 변화와 실리카 흙(Silica fume) 등의 무기질 혼화제의 영향을 관찰하여 모르타 중에서의 거동을 확인하였으며 그 요인을 규명하였다.

2. 실험

2.1. 출발 재료

시멘트는 Portland cement로 국내산 S 양회 시판품을 사용하였다. 모래는 SiO_2 함량이 98%이상인 가공된 규석사로 입도 분포는 최대 수평을 위한 구성을 위해 Fuller's equation에 따라 산정된 것으로 Table 3과 같다.

$$Faction(\%)=100\sqrt{(d/D)}$$

d=maximum particle size in each particle size fraction

D=maximum desired particle size

$$0.00-0.3(\%)=100\sqrt{(0.30/2.00)}-100\sqrt{(0.00/2.00)}=38.7-0.00=38.7$$

$$0.06-0.30(\%)=100\sqrt{(0.60/2.00)}-100\sqrt{(0.30/2.00)}=54.8-38.7=16.1$$

$$1.00-0.60(\%)=100\sqrt{(1.18/2.00)}-100\sqrt{(0.60/2.00)}=76.8-54.8=22.0$$

$$2.00-1.00(\%)=100\sqrt{(2.00/2.00)}-100\sqrt{(1.18/2.00)}=100.0-76.8=23.2$$

이들의 조합에 따른 입도 분포 곡선은 Fig. 1과 같으며 조립율은 2.70이었다. 실리카 흙은 미국산 SKW제조 시판품을 사용하였으며 그 조성은

Table 1. Chemical Compositions and Physical Properties of Calcium Sulfo-aluminate Expansion Admixture

Oxide	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ignition loss	Insoluble component	Free CaO	Specific gravity	Specific Surface area
	1.4%	13.1%	0.6%	47.8%	0.5%	32.2%	0.9%	1.4%	19.4%	2.93	2,280 cm ² /g

Table 2. Requirements of Non-shrink Grout (CRD-C 621 Corps of Engineers Specification for Non-shrink Grout)

Item		Requirement
Expansion, %, 3, 14 and 28 days		not greater than 0.3 at any of these ages
Shrinkage, %, 28 days		none
Compressive strength, psi(MPa), min	7 days	2500(17.2)
	28 days	5000(34.5)
Time of final setting, hr max		8
Fluidity	High fluidity(fluid)	10-30sec
	Moderate fluidity(flowable)	124-145 flow
	Minimum fluidity(plastic)	100-125 flow

Table 3. Particle Size Distribution of Quartz Sand

Size (mm)	0.0-0.30	0.30-0.60	0.60-1.18	1.18-2.00	sum
Fraction(%)	38.7	16.1	15.9	29.3	100

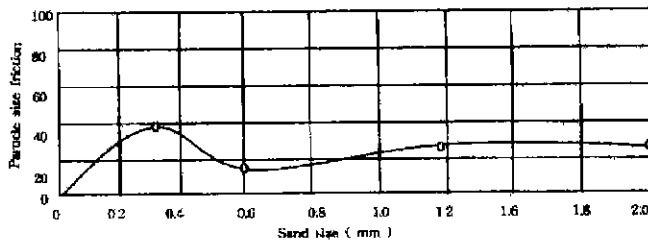


Fig. 1. Particle size distribution of quartz sand.

Chemical component

SiO₂ ; 95%
 MgO ; 1.0%
 FeO₃ ; 0.5%이고
 비표면적 Blaine 값은 200,000 cm²/g이다.
 유동화제로는 국내산 K화학 Powercon 100 grade의 분말을 이용하였다. 그리고 팽창제로는 Calcium Sulfoaluminate 계의 DENKA CSA #10을 사용하였다.

2.2. 모르타르의 팽창률 측정

팽창률 측정은 1/100 mm 측정이 가능한 dial gage (Mitutoyo No 2046F)를 이용하였다. 측정 장치는 CRDC 621

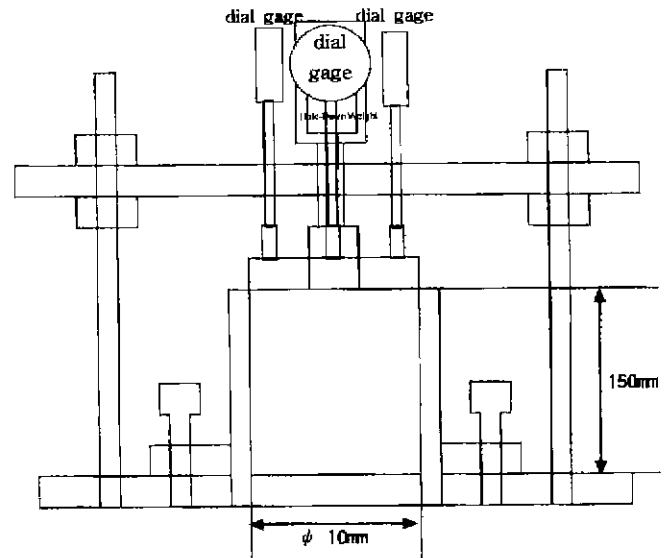


Fig. 2. Equipment measuring expansion for modified mortar.

과 동일하나 unrestrained 측정을 위하여 상측 부에 Fig. 2와 같이 고정된 dial gage를 설치하여 팽창률을 측정하였다. 팽창률 측정을 위한 mortar의 구성은 Table 4와 같이 하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 팽창제를 사용한 모르타르의 restrained와 unrestrained 상태에서의 팽창

시멘트의 수화 반응은 휴지기(dormant period)를 거쳐 응결한 후 경화되는 것이 일반적이다. 이때 시멘트 조성물 중 C₃A는 용액중 CaSO₄ 존재하에서 순간적인 반응으로 고허산형 Calcium Sulfoaluminate(3CaO · Al₂O₃ · 3CaSO₄ · 31H₂O)의 침상 결정이 형성된다. 이는 보통 시멘트에 물을 가하고 난 후 24시간 동안에 발생하며 SO₄²⁻ ion이 소모된 후에는 저 황산형으로 변환하거나 C₄ASH₁₂와 C₄AH₁₃의 육면체 고용체로 전환하게 된다. 그러나 이와는 달리 CSA의 경우는 에트링자이트의 형성이 용액 상태에서는 진행하지 않고 C₄A₃S와 lime이 고용(solid solution)반응을 일으킨 후 monosulfate가 sulfate에 의해 에트링자이트 침상 결정을

Table 4. Batch Composition of Cement Mortar with Various Expanding Admixture

	NOC4	C42	C44	C46	NOC5	C52	C54	C56	C440	C540
Cement	40	40	40	40	45	45	45	45	40	45
Quartz sand	57.60	55.58	53.56	49.54	52.55	50.53	48.51	44.49	55.56	50.51
CSA	0	2	4	8	0	2	4	8	4	4
Silica fume	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0
Superplasticizer	0.40	0.42	0.44	0.46	0.45	0.47	0.49	0.51	0.44	0.49

형성시킨다. 여기에서 monosulfate는 팽창에 기여하지 않는다.⁵⁾ 그러나 에트링자이트의 생성에 의한 부피의 변형은 팽창압을 증가시켜 인장 응력을 감소시키는 원인이 되어 균열 및 부피의 변화를 줄여 주는 것으로 알려져 있다.⁸⁾ 이외는 달리 적어도 종결부터 지속적으로 팽창하여 초기 팽창에 의한 부 적절성을 감소시켜 수차 안정성을 부여하는 것으로 알려져 있다.⁶⁾

모르타에서의 팽창 발생 속도는 시공시 각 구조물의 특정 부위에 채워 넣는 그라우팅(grouting)에 매우 중요한 역할을 한다. 그라우팅이란 구조물의 틈새를 메꾸는 작업으로 수축 보상 효과가 적절하여야만 적어도 구조물에 손상을 주지 않을 뿐만 아니라 안정하게 된다. 예를 들어 기계를 설치한 후 수평을 이룬 기계의 바닥 부위에 고강도의 모르타를 채우면 기계의 동적 안정성이 부여된다. 이러한 방법은 교량, 기계, plant등에 폭넓게 이용되는 것으로 여기에 이용되는 재료들은 상당히 중요한 것으로 평가받고 있다. 이들의 성능은 CRD C 621에 규정되어 있으나 현장에서의 시공은 상당한 문제를 야기 시키고 있다. 무수축 그라우트의 규정 중 팽창량에 대한 평가는 주로 restrained에 의해 시행되고 있다. 그러나 실제 시공에 있어서는 대부분 상부가 노출되어 있는 unrestrained가 평가 된다. 이는 팽창량이 증대되고 대기에 노출되기 때문에 수분 탈출이 쉬워 균열의 발생 소자가 매우 높은 요인을 갖추고 있기 때문으로 이 부위에서의 균열은 현장에서의 가장 큰 문제로 지적되고 있다. Fig. 3은 기계 기초 그라우팅의 일반적인 모식도를 나타낸 것이

다. 그림에서 ㉑부분은 restrained, 그리고 ㉒부분은 unrestrained에 해당한다. ㉑ 및 ㉒ 두 부분에서의 팽창력 차이와 모르타에서의 수분 탈출 정도의 차이로 인하여 균열이 발생하게 된다. 따라서 대부분의 균열은 ㉒부분에서 발생하여 성장한다. 균열 성장의 정도는 대략 0.01 mm생성하여 시간 경과에 따라 수 mm 까지 발달하는 경우가 관찰되었다. 이는 앞서 기술한 초기 수축이 대개 3~7일 이내에서 관찰되는 정도로 모르타의 일반적인 균열 발생 성향과 동일하다.

팽창제인 CSA를 사용한 경우에서의 모르타의 팽창률 결과는 Table 5와 같으며 표의 각 조성중 시멘트의 양을 40%로 하고 이에 대한 팽창제의 첨가량에 따른 팽창률의 응결시간 변화 곡선을 도시하면 Fig. 4와 같다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 팽창제가 들어가지 않은 경우와 시멘트의 양에 대한 5% 미만 첨가인 경우 팽창이 일어나지 않았다. 또한 restrained 부분의 경우 거의 팽창이 일어나지 않음을 알 수 있다. 팽창제가 시멘트의 양에 대해 5% 이상 첨가된 C42, C44 및 C48의 경우 unrestrained 부분에서 초기 팽창이 일어났다. 특히 팽창제량이 시멘트 량에 대해 10% 첨가된 C44의 경우는 초기 응결이 발생한 후 종결점까지 수축하는 경향을 보였으나, C48의 경우 14일 이후의 후기 응결에서 팽창이 계속되었다.

Fig. 5는 시멘트의 양을 45%로 하고 이에 대한 팽창제의 첨가량 변화에 따른 팽창률의 변화를 도시한 결과이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 첨가량이 증가할수록 unrestrained의 3일 이내의 팽창률이 증가하였다. 또한 팽창률에 있어 C540을 제외하고 unrestrained에서 초기 3일까지의 팽창 후 시간에 따라 팽창률이 감소하였고 restrained부분과 unrestrained부분을 비교하면 전체적으로 약 2~2.5배의 팽창률 증가를 보였으며 수축량이 시간에 따라 감소하는 정도도 매우 크게 관찰되어 시공에 있어 균열의 발생가능성이 높을 것으로 예측되었다.

미세입자의 공극 충전은 모르타의 팽창률의 변화를 초래할 것으로 생각되며 많은 경우 실리카 흙, 플라이 애쉬, 기타의 포졸란 반응물질은 강도 증가 및 화학 저항성의 증대를 목적으로 사용되고 있어 시멘트와 팽창제량을 고정시키고 실리카흙을 첨가하여 미세입자를 증가시켜 공극을 감소

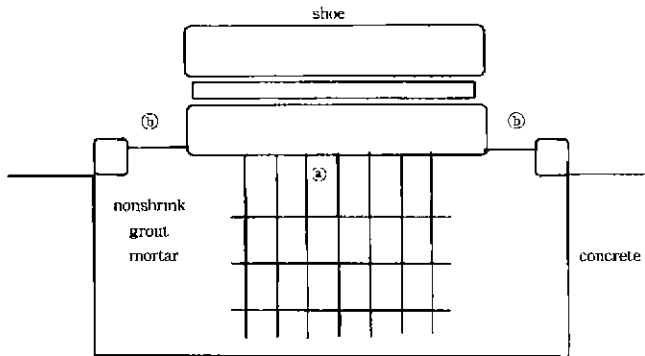


Fig. 3. Conception diagram of machinery grout.

Table 5. Expansive Rate of Cement Mortar with Various Expanding Admixture

		NOC4	C42	C44	C440	C46	NOC5	C52	C54	C56	C540
Restrained expansion	3 days	-0.010	0.000	0.005	0.000	0.000	-0.020	-0.020	0.030	0.70	0.010
	14 days	-0.050	-0.004	0.018	0.010	0.000	-0.038	-0.020	0.036	0.60	0.015
	28 days	-0.050	-0.004	0.022	0.010	0.51	-0.038	-0.020	0.038	0.60	0.017
Un-restrained expansion	3 days	-0.01	0.000	0.060	0.012	0.42	-	-0.010	0.035	0.88	0.012
	14 days	-0.05	-0.008	0.018	0.012	0.62	-	-0.010	0.101	0.80	0.012
	28 days	-0.05	-0.007	0.022	0.012	0.44	-	-0.020	0.101	0.12	0.012

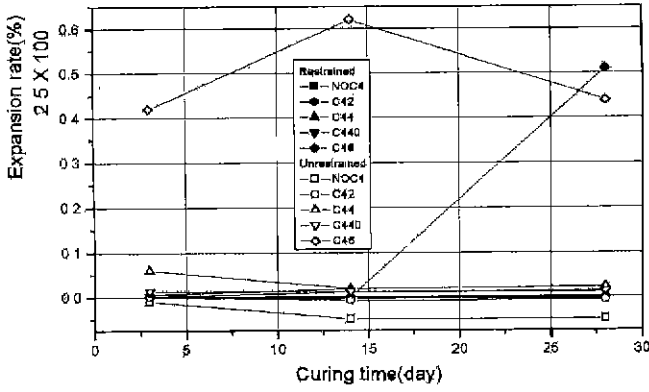


Fig. 4. Volume change at various ages for 40 parts portland cement mortar with various CSA dosages and without.

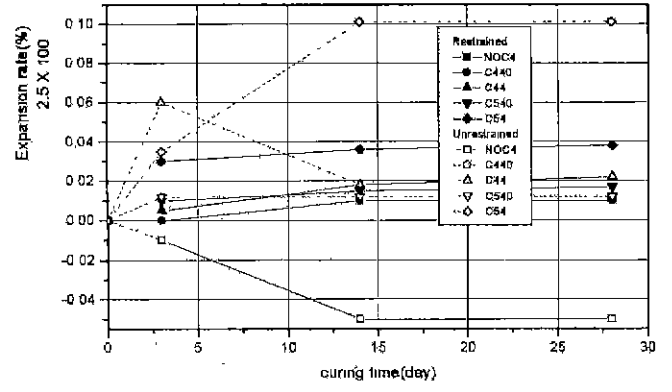


Fig. 6. Volume change at various ages for 40 and 45 parts portland cement mortar with silica fume.

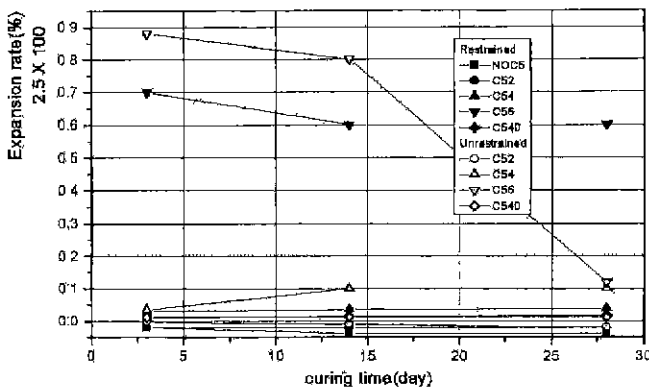


Fig. 5. Volume change at various ages for 45 parts portland cement mortar with various dosages CSA and without.

Table 6. Composition of Mortar according to Expanding Admixture as same Fluidity

	C16	C18	C20	C2	C4	C6	C8
Cement	40	40	40	40	40	40	40
Quartz sand	58	58	58	58	58	58	58
CSA	4	4	4	4	4	4	4
Silica fume	0	0	0	2	4	6	8
Water (total × wt%)	14	18	22	18	18	18	18

시킨 후의 팽창률을 측정하였다. C44와 C440은 시멘트를 40%로 한 것이며 C54와 C540은 cement를 45%하여 실리카 함을 각 2%씩 모래와 치환한 팽창률의 변화는 Fig. 6과 같다. restrained와 unrestrained에서 모두 실리카 함이 첨가될수록 팽창률이 증가하였으며 unrestrained에서 C540과 C54의 팽창률은 0.012와 0.101로 현저히 증가함을 볼 수 있다. 이는 실리카 함이 공극 모두 충전되므로 생성된 에트링사이트가 모르타의 부피변화에 민감하게 작용하기 때문으로 생각된다. 그러므로 Fig. 3의 ㉑부분의 크기를 감소시켜 unrestrained부분의 면적을 작게 하는 것이 균열 발생의 억제에 도움이 되리라 본다.

3.2. 팽창제를 사용한 모르타의 restrained와 unrestrained 상태에서의 W/C에 따른 팽창률의 변화

팽창제의 첨가량을 시멘트 중량의 10%로 하고 흐름값을 모르타 흐름 시험기에 의한 흐름 값으로 135%가 되게한 후 각 W/C에 따른 팽창률의 변화를 관찰하기 위해 제조된 모르타의 조성을 Table 6에 나타내었다.

C16, C18, C20 은 총 물량을 증가시킨 후 팽창률을 측정하였으며 사용수량에 따른 팽창률의 변화를 관찰하여 Fig.

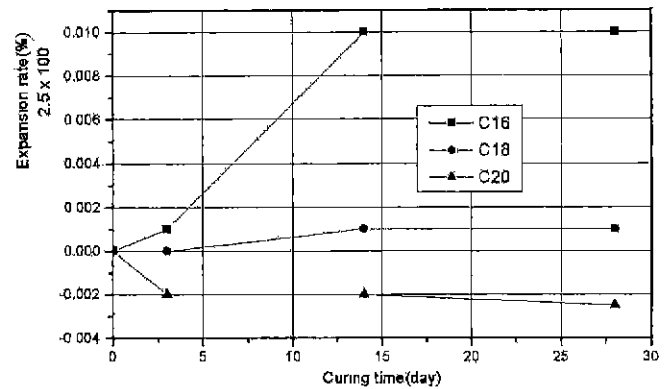


Fig. 7. Volume change at various ages for portland cement mortar with CSA according to water.

7에 도시하였다. 총 수량이 증가하는 C20에서 -0.002% 수축하였으며 수량이 작은 C16의 경우 약 0.01% 증가하였다. 이는 흐름값이 동일할 경우 사용수의 량이 작아 조밀한 조직에서 보다 팽창률이 증가하는 것으로 생각된다.

또한 조직의 수밀성에 따른 팽창률의 변화를 관찰하기 위한 C2, C4, C6, C8의 경우 실리카함의 사용량이 높을수록 팽창률은 증가하였다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 C8의 경우 팽창률이 C2보다 2배정도 높았다. 이는 앞서 실시된 실험의 결과와 일치하였으며 팽창성 시멘트인 CSA는 사용되는 수량 및 모르타에 이용되는 구성 재료의 특성에

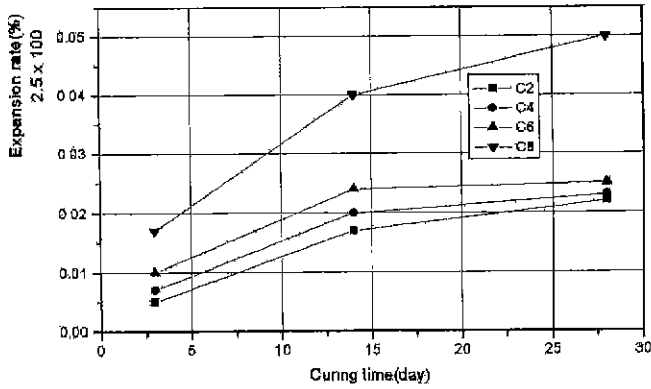


Fig. 8. Volume change at various ages for portland cement mortar with CSA according to silica fume dosage (restrained).

상당한 영향을 받는 것으로 생각된다. 그러므로 이들을 무수축 콘크리트에 사용하기 위해서는 반드시 길이변화 또는 팽창량에 대한 시험이 이루어져야만 하며 적절한 팽창이 되도록 팽창재의 량과 시멘트 첨가제의 량 및 무기 혼화제의 량을 결정 한 후 부피의 변화를 측정해야 할 것으로 생각된다.

3.3. 팽창재의 모르타 강도 기여도

일반적으로 팽창재에 의한 강도기여는 그다지 크지 않는 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 대개 팽창은 부피 팽창을 수반하기 때문에 이에 따라 밀도가 감소하고 강도가 저하된다. 팽창재에 의한 강도 기여도는 Table 7과 같다. 이를 기초로 하여 팽창재량에 대하여 모래를 치환하였을 때 강도 값은 크게 증가하지 않았다. 이를 비교하여 보면 C44의 경우 28일에서 645Kgf/cm²로 C54의 경우 28일에서 666Kgf/cm²로 측정되었다. 또한 팽창재의 량이 증가한 C46에서는 압축강도는 감소하였다. 따라서 강도를 유지하기 위해서는 시멘트의 량을 줄이는 것보다는 모래의 량을 줄이는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 압축강도값이 약간 증가하는 것은 팽창재가 적절한 점성을 유지하여 좁으로써 경화체 구조를 균일하게 형성시키기 때문으로 생각된다. 또한 C2,C4,C6,C8에서 실리카 흡은 사용량에 따른 압축강도의 변화는 실리카 흡의 량이 증가할수록 압축강도는 증가하였다. 이는 실리카 흡이 미세 공극을 충전하여 팽창률뿐 만 아니라 압축강도에도 기여하기 때문으로 생각된다.

Table 7. Compressive Strength with Expanding Admixture

		NOC4	C42	C44	C46	NOC5	C52	C54	C56	C440	C540
Compressive strength(Kgf/cm ²)	7 days	534	511	489	498	503	523	597	525	503	508
	28 days	604	621	645	578	633	644	666	615	610	640
Fluidity	%	140	141	137	140	137	135	127	135	133	129

4. 결 론

팽창재인 CSA는 그 기능이 팽창에 의한 시멘트의 수축에 대한 보상과 팽창에 국한되어 사용이 권장되고 있으나 시멘트의 수축이 W/C와 기타의 혼화제의 영향에 의하여 매우 밀접하게 영향을 받으므로 팽창재의 적절한 사용에 대하여 관찰한 결과는 다음과 같다.

1. 팽창재인 CSA는 시멘트 중량의 약 10% 사용에서 적절한 팽창에 의한 수축 보상을 발생시켰으며 7일 이후의 수축 량은 크게 증가하지 않았다.
2. 팽창재인 CSA를 시멘트 중량의 10% 사용하여도 물의 사용량이 총 중량의 22%에서 0.002% 수축하였으며 시멘트 중량의 20%를 사용한 경우 0.4% 이상 팽창하였다.
3. 팽창재인 CSA는 실리카 흡등의 무기 혼화제의 사용에 따라 팽창량이 변화하였으며 물량을 총 량의 18%로 하고 8%의 실리카 흡을 사용하였을 때 2%의 실리카 흡을 사용했을 때보다 약 2배의 팽창률을 발생시켰다.
4. 무기질 혼화재인 실리카 흡의 사용량 및 팽창재인 CSA의 사용량에 따른 모르타의 압축강도 특성의 변화에서 실리카 흡은 8%까지 사용량이 증가할수록 압축강도는 증가하였으나 CSA는 모래 치환 량에 따라 강도 증가하였으나 높은 사용량에서 강도는 감소하였다. 그러므로 적절한 수축 보상을 위하여서는 반드시 사용량 결정 후 부피의 변화량을 측정하여 시행 착오에 의하여 결정하여야 한다.

이상의 결론을 종합하면 팽창재인 CSA에 의한 수축 보상은 반드시 그 팽창량이 시험에 의해 실시된 후 적용되어야 할 것으로 판단되며 콘크리트에서의 수축 보상은 모르타에서 보다 민감하게 작용할 수 있으므로 길이변화 또는 부피 변화를 장기간에 걸쳐 측정 한 후 사용되어야 구조적 결함을 수반하지 않을 것으로 생각된다. 또한 앞으로 장기간에 걸친 부피의 변화와 수분 존재 유무에 따른 팽창량의 변화의 관찰이 필요할 것으로 생각되어 계속된 연구를 콘크리트에 대하여 실시할 계획이다.

REFERENCES

1. 윤재환, "포틀랜드 시멘트 및 콘크리트," p. 139, 세진사, 1994.
2. G. J. Verbeck and R. A. Helmuth, "Structure and Physical Properties of Cement Paste," Pro. Symp. Chem. Cement Tokyo, 3, pp 1-37 (1968).
3. P. Haller, "Shrinkage and Creep of Mortar and Concrete,"

- Diskussionbericht, No. 124, EMPA, Zurich (1940).
4. CRDC 621, "Corps of Engineers Specification for Non-shrink Grout," p. 1 (1980).
 5. A. Rosett, G. Chiochio and A. E. Paoliui, "Expansive Properties of the Mixture C4ASH-2CS Part I, A Hypothesis on Expansion Mechanism," Cement and Concrete Research, **12**, pp. 577-585 (1982).
 6. Denka, "CSA. Manual," Introduction edition, Denki Kagaku Kabushiki, Kaisha company, Tokyo, Japan (1982).
 7. V. S. Ramachandran, "Concrete Admixtures Handbook: Properties, Science and Technology," p. 504, Noyes Publications, New Jersey, 1984.