팽창재를 혼입한 콘크리트의 특성

홍상희 공학박사 | 협회 건축진단부

1. 서언

콘크리트 구조물에 발생하는 가장 큰 문제 중의 하나는 균열이다. 다양하게 발생하는 균열은 콘크리트의 숙명으로 불리워 왔으며, 이미 오래전부터 이러한 균열문제는 많은 연구자에 의해 연구되어 왔는데, 현재까지도 균열저감에 많은 노력을 기울이고 있다. 특히, 최근에 많은 건설현장에서는 소비자 및 시공자의 요구수준 향상 등에 따라 콘크리트 구조물에서 발생되는 각종 수축균열을 제어할 목적으로 팽창재가 사용되어지고 있다.

그러나 이와같은 팽창재의 사용량에 대하여는 시공자의 인식부족으로 인하여 경우에 따라서는 적정량 이상이 혼입되어 과대팽창으로 인한 시공부실 사례도 발생되고 있다.

따라서 본고에서는 팽창재를 사용한 콘크리트 구조물 진단 업무 수행시 올바른 진단에 활용토록 팽창재를 혼입한 콘크리트의 특성을 고찰하고자 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 팽창재의 정의 및 종류

팽창재란 KS F 2562(콘크리트용 팽창재)에 '시멘트 및 물과 함께 혼합하였을 경우 수화반응에 의해 에트린가이트(Ettringite) 또는 수산화칼슘 등을 생성하고 모르터 또는 콘크리트를 팽창시키는 작용을 하는 혼화재료를 말한다.'로 정의되고 있다. 또한 팽창 시멘트는 KS F 5217「팽창성 수경시멘트」에 "포틀랜드 시멘트와 같이 수경성 칼슘실리케이트를 함유하며, 칼슘알루미네이트 및 황산칼슘을 함유하여 물로 반죽하였을 때 응결 후 초기 경화기간중 부피가 현저하게 증가하는 시멘트로, 기본적으로 이 팽창은 칼슘알루미네이트와 황산칼슘에 의하여 일어난다."라고 정의되어 있다. 따라서 팽창 콘크리트란 건설교통부제정(토목학회) 콘크리트 표준시방서에 '팽창재를 시멘트, 물, 잔골재 및 굵은골재 등과 같이 비빈 것으로 경화한 후에도 체적 팽창을 일으키는 모든 콘크리트를 가르킨다.'라고 정의하고 있는데, 실은 팽창재뿐만 아니라 팽창시멘트를 이용한 경우도 포함하여 정의되게 된다.(그러나 실무에서는 팽창시멘트를 이용할 경우 팽창성분의 가감불가능 등의 단점으로 팽창시멘트보다는 팽창재가 널리 사용되고 있는 추세임)

표 1. 팽창재에 대한 KS F 2562의 규정

항 목			규정치
화학성분	산화 마그네슘 %		5.0 이하
	강열감량 %		3.0 이하
물리적 성질	비표면적 ㎠/g		2,000 이상
	1.2mm체 잔분 %		0.5 이하
	응 결	초결(분)	60 이후
		종결(시간)	10이내
	팽창성 (길이변화율)	7일	0.00030 이상
		28일	-0.00020 이상
	압축강도 kg/㎠(MPa)	3일	70(6.9) 이상
		7일	150(14.7) 이상
		28일	300(29.4) 이상

팽창재의 종류로는 팽창을 일으키는 기구에 따라 몇 가지로 나눌 수 있지만 KS F 2562에는 팽창재의 종류별로 구분하지 않고 〈표 1〉과 같이 화학성분과 물리적 성질만을 품질로 규정하고 있다. 단, KS F 5217인 팽창성 수경시멘트에는 K, M, S형의 3종류로 구분하고 있고, 일본의 경우에는 O형

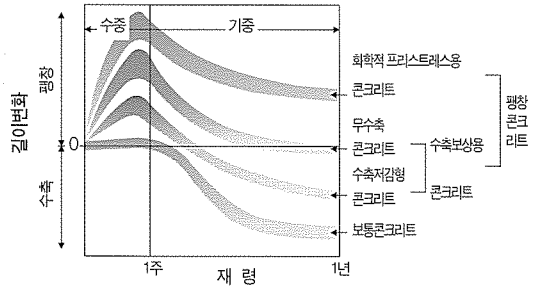
표 2. 팽창재의 종류와 주요 구성화합물 및 수화생성물

종류	사용방법	수화생성물	사용방법	판매형태
K형	Calcium Sulfa Aluminate (3CaO · Al2O3 · CaSO4) · CaO · CaSO4	Ettringite	Portland cement에 혼입 5~15%	팽창시멘트 팽창재
M형	· alumina cement 또는 Calcium Aluminate (수화물) · CaSO4	Ettringite	Portland cement에 혼입 5~15%	팽창재
S형	Portland cement 중의 3CaO Al2O3와 CaSO4를 많게 함	Ettringite	이것을 직접 사용	팽창시멘트
O형	CaO	Calciumhydroxide Ca(OH)2	Portland cement에 혼입 8~10%	팽창재

도 규정하고 있는데 그 구성화합물 및 수화생성물은 〈표 2〉와 같다.

팽창 콘크리트는 〈그림 1〉과 같이 팽창되는 정도(팽창재 사용량 등)에 따라 화학적 프리스트레스용과 수축보상용으로 분류되며, 수축보상용은 무수축 콘크리트와 수축저감형 콘크리트로 나누어진다.

그림 1. 팽창 콘크리트의 개념 및 분류



2.2 팽창기구(Mechanism)

팽창재(팽창시멘트)가 팽창을 일으키는 기구로는 K, M, S형은 에트린가이트의 생성에 있고, O형은 수산화칼슘의 생성에 있는데 각 종류별 팽창물질 생성화학식은 〈표 3〉과 같다.

이때 에트린가이트와 수산화칼슘의 생성은 수화반응 전후의 부피변화율은 10.5% 및 5.7%의 수축이 발생하게

표 3. 팽창재의 화학식

종류	화학식
K형	3CaO · 3Al2O3 · CaSO4 + 8CaSO4 + 6CaO + 96H2O → C4A3S + 8CaSO4 + 6CaO + 96H2O → 3 (3CaO · Al2O3 · 3CaSO4 · 32H2O)
M형	CaO · Al2O3 + 3(CaSO4+2H2O) + 2Ca(OH)2 + 24H2O → 3CaO · Al2O3 · 3CaSO4 · 32H2O)
S형	3CaO · Al2O3 · 3(CaSO4 +2H2O) + 26H2O → 3CaO · Al2O3 · 3CaSO4 · 32H2O
O형	CaO + H2O → Ca(OH)2

됨을 알 수 있다. 그러나 수화반응에 필요한 물은 모세관 공극 등에 존재하는 것으로 물의 부피를 제외하고 고상부분의 부피변화만을 계산하면 오히려 수화전의 약 2배 정도가 됨을 알 수 있다. 결국 수화반응으로 인한 고상의 용적증가로 부피팽창이 일어난 것으로 볼 수 있을 것이나 이러한 것은 단지 이론일 뿐이지 실제로는 수화반응에 참여한 물도 단순한 공극 속의 물뿐만 아니라 어느 정도 부피를 차지하고, 또한 시멘트 경화체에도 많은 공간이 존재하므로 이 공간에서 수화생성물이 석출될 수 있다. 따라서 이 석출물이 주위의 매트릭스(matrix:시멘트와 물)를 흐트러 뜨리지 않고 그 공간내에서만 생성된다면 팽창은 일어나지 않고 조직이 치밀해져 수밀성 및 강도증진 등에 효과가 있을 것이지만, 반대로 석출물이 고상내에서 석출되면서 주위 미세구조를 밀어낸다면 고상은 팽창할 것이다. 따라서 고상의 부피변화와 공간을 갖는 다공체의 부피변화와의 관계는 단순하게 비교 · 설명할 수 없기 때문에 팽창메카니즘을 이해하려면 그 수화생성물의 석출이 어떻게 미세구조에 영향을 미치는지를 충분히 검토해야만 할 것이다.

2.3 팽창 콘크리트의 특성

팽창재를 이용한 팽창콘크리트는 보통콘크리트와 달리 많은점에서 색다른 특성을 갖고 있다. 따라서 팽창 콘크리트를 효과적으로 진단하기 위해서는 별도로 충분히 검토되어야 하겠지만, 주로 팽창정도의 대소(大小)와 관

그림 2. 단위 팽창재량 변화에 따른 압축강도

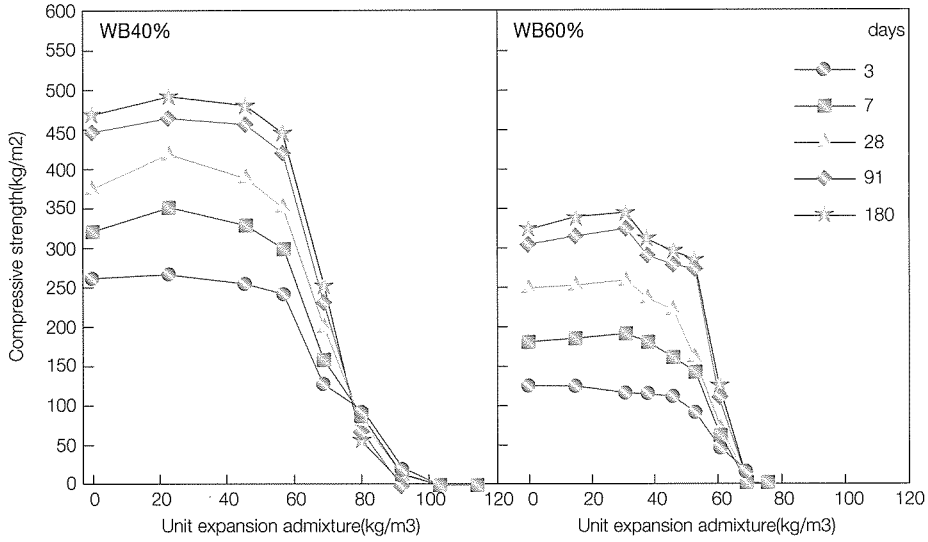
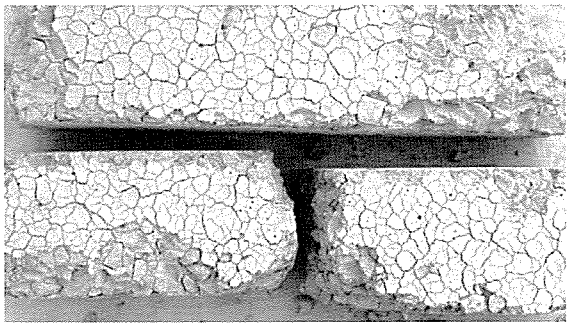


사진 1. 팽창재 혼입량에 따른 팽창 특성



련하여 중요한 영향요인만을 고찰하면 다음과 같다.

1) 팽창재 사용량이 많을수록 팽창량은 크다. 단, 지나친 팽창재량의 사용은 강도를 크게 저하시켜 경우에 따라서는 스스로 붕괴되는 경우도 있으므로 정량 사용은 대단히 중요한 사항이므로, 레디믹스트 콘크리트 배합보고서를 반드시 확인한다.(사진 1참조)

2) 팽창재의 성분, 제조회사에 따라 팽창량이 다르므로 사전에 충분히 검토한다. 또한 일부회사는 단순한 팽창재만이 아니라 다양한 첨가물이 혼입된 경우도 있으므로 이점에 유의한다.

3) 팽창재의 최대 팽창시점은 7일 전후이다. 따라서 7일 정도까지 충분히 수중양생을 실시하지 않은 경우는 팽창효과가 충분히 발휘되지 않을 수 있음에 유의한다.

4) 10~20℃와 같은 일정온도일 때 팽창콘크리트는 팽창을 일으키고, 겨울철 혹은 고온인 여름철에도 오히려 팽창량이 작아질 수 있으므로 이점에 유의한다.

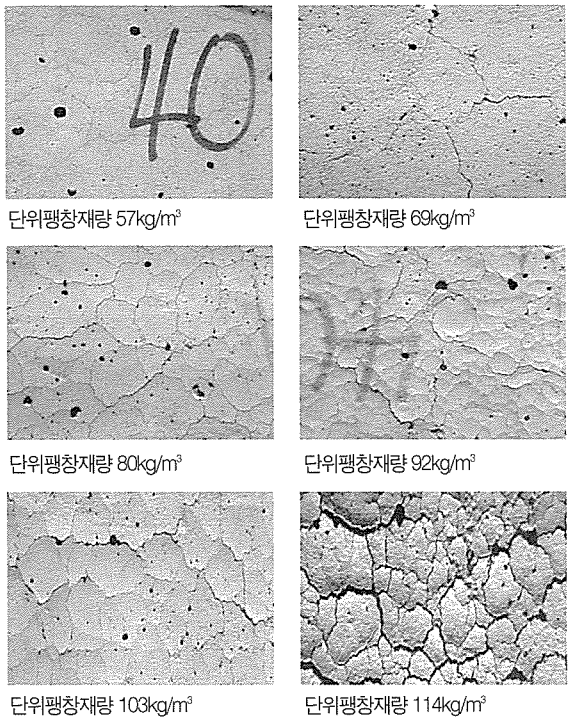
5) 철근 등 콘크리트가 구속조건에 놓이게 되면 팽창량은 줄어든다.

6) 팽창재가 풍화되면 성능이 저하되고, 보통콘크리트보다 혼합시간을 길게 하여야만 하며, 혼화재 및 혼화제의 종류에 따라서도 팽창량은 크게 영향을 받는 등 팽창콘크리트의 활용은 매우 세심한 주의 및 검토가 요구된다.

3. 팽창재를 사용한 콘크리트의 압축강도 및 팽창균열 특성

〈그림 2〉는 고강도 및 일반강도 콘크리트의 강도특성을 비교하기 위한 것으로 W/B 40%, 60% 및 재령별에 있어 단위팽창재량 변화에 따른 압축강도를 비교한 그래프이다.

사진 3. 단위팽창재량에 따른 팽창균열 (W/B 40%)



단위팽창재량 57kg/m³ | 단위팽창재량 69kg/m³

단위팽창재량 80kg/m³ | 단위팽창재량 92kg/m³

단위팽창재량 103kg/m³ | 단위팽창재량 114kg/m³

전반적인 경향으로는 W/B별 단위팽창재량이 증가할수록 초기 3일 재령에서는 모두 감소하는 것으로 나타났는데, 특히, W/B 40%에서는 단위팽창재량 57kg/m³ 이상, W/B 60%에서는 단위팽창재량 46kg/m³ 이상에서는 강도저하가 크게 나타났다. 이는 〈사진 2〉에서 보여주듯이 팽창재가 과량 혼입되면 콘크리트 내부조직의 과대 팽창압으로 인하여 골재의 부착강도를 저해할 뿐만 아니라 팽창압으로 체적이 증가하므로 콘크리트 조직이 스스로 붕괴되어 강도발현이 작게 나타난 것으로 분석된다. 단, 재령이 경과함에 따라 상기의 일정 팽창재 사용량 이하에서의 압축강도는 조직 치밀화에 기인하여 약간 크게 증진되었다.

〈사진 3〉은 W/B 40% 표준양생(20℃ : 수중 7일 후 기주양생)인 경우 재령 7일에서의 단위팽창재량 증가에 따른 팽창균열 발생 양상으로 단위팽창재량이 증가함에 따라 균열 폭, 크기 및 균열량의 증가를 확인할 수 있었는데, 단

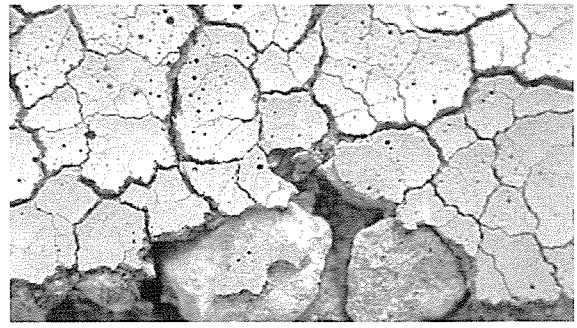


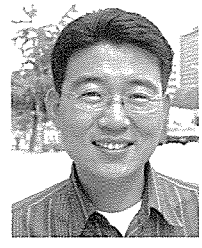
사진 2. 팽창재의 과량 혼입으로 인한 팽창파괴

위팽창재량 46kg/m³ 이하에서는 균열은 나타나지 않은 반면 단위팽창재량 114kg/m³에서는 과팽창으로 인하여 팽창재를 혼입하지 않은 경우보다 약 10~13%의 부피팽창과 공시체의 표면에 복잡한 모양의 팽창균열을 보이면서 자연파괴됨을 확인할 수 있었다.

4. 결언

콘크리트 구조물에서 균열발생은 콘크리트의 특성상 피할 수 없는 것이라고 한다. 균열은 어떤 조건에서 어떤 균열이 생기는지 그 자체가 문제되는 것은 구조물의 안전성을 해치고 콘크리트의 내구성을 크게 저하시킨다는 점에서 매우 중요하다. 따라서 안전진단시 균열을 올바르게 판단하여 균열의 종류에 따라 보수를 할 것인지, 보강을 할 것인지를 정확히 지적해야 한다.

특히, 팽창재를 사용한 콘크리트의 경우 배합의 실수로 단위팽창재량을 과도하게 혼입한 경우 치명적인 구조적 손상을 초래하므로 진단시 팽창재를 혼입한 콘크리트의 특성을 이해하는 것이 무엇보다도 중요하다.



홍상희 (공학박사)
· 우리협회 건축진단부