

特殊 시멘트의 利用

권 극 현

상용 중앙연구소 신제품 개발실장

1. 서 언

영국의 J. Aspidin이 1824년 포틀랜드 시멘트를 개발한 이후 160여년이 지난 현재 까지도 시멘트는 구조재료로서 확고한 위치를 차지하고 있으나, 산업의 발달과 더불어 구조물 설치의 Speed화, 성능의 다양화, 콘크리트의 결점인 균열방지, 노후 구조물의 해체시 무진동 파괴등 필요성에 부응하여 특수시멘트인 초속경시멘트, 팽창시멘트, 비폭성 파쇄제등의 재료가 개발 이용되고 있는 실정이다. 이에 이 재료들의 특성과 용도등에 대하여 소개함으로써 토목재료의 이용측면에 도움을 주고자 한다.

2. 초속경 시멘트

콘크리트 구조물의 공사기간 단축을 위한 시멘트의 부強化 노력으로 조강 시멘트, 초조강시멘트, 초속경시멘트 등의 개발이 이루어져 왔으며, 1~2시간만에 실용강도를 발현하는 초속경시멘트는 "one hour cement"라고도 불려지고 있다.

초속경시멘트는 1968년 미국 시멘트협회(PCA) 연구소의 Grening에 의하여 개발되었으며, 곧바로 일본에서 기술도입하여 1971년부터 시판되기 시작하였고 국내에서도 2~3

년전부터 개발되어 상품화 되고있는 실정이다. 초속경시멘트는 보통시멘트 제조용 원료외에 알루미늄산화물로서 카올린, 보오크사이트 등과 불소원으로 형성등을 사용하여 소성한후, 플링커에 석고를 첨가하고, Blaine 비표면적을 5500cm²/g 정도로 분쇄하여 제조된다.

초속경시멘트의 주요광물은 C₃S고용체와 C₁₁A₇CaF₂ 고용체이며 소량의 C₂S 및 철 고용체로 구성되어 있다.

2.1 초속경시멘트의 특성

2.1.1 화학성분 및 물리성능

초속경시멘트의 일반적인 화학성분 및 물리성능은 표1 및 표2와 같다.

초속경시멘트는 C₃S가 약 50% 전후, C₁₁A₇CaF₂가 약 20% 정도 들어 있으며 CA광물은 보통시멘트와는 달리 거의 없다.

물리성능에서 보면 초속경시멘트의 응결시간은 조강과 종결시간의 차가 크지 않으며, 보통시멘트에 비해서 10~15분 정도로 매우 빠르게 나타나고 있다. 또한 초기 2시간에 실용강도의 수준에 도달하고 있음을 볼수있다.

표1. 화학성분

시멘트	화 학 성 분 (%)					광 물 조 성 (%)				
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	C ₃ S	C ₂ S	C ₁₁ A ₇ ·CaF ₂	C ₃ A	C ₄ AF
초속경	14.3	11.9	0.9	58.7	1.0	46.2	2.3	20.8	--	2.5
보통	21.0	6.0	2.8	62.1	3.4	43.1	27.9	--	11.2	8.5

표2. 물리성능

항목	Blaine (cm ² /g)	응결시간 (분)		압축강도 (kg/cm ²)					
		초결	종결	2h	12h	1d	3ds	7ds	28ds
시멘트									
초속경	5,100	10	15	235	290	350	410	450	530
보통	3,200	280	6:50	-	-	90	190	270	350

(분말 압축강도로서 W/C=48.5%)

2.2 초속경시멘트의 수화특성

초속경시멘트 수화반응의 개략적 메카니즘은 그림1과 같으며, 초속경시멘트가 물과 접촉하게 되면 활성이 크고 속경성인 C₁₁A₇CaF₂ 광물이 물에 잘 용해하여 Calcium Silicate (C₃S와 C₂S) 광물에서 용해된 Ca(OH)₂와 반응하여 Calcium Aluminate 수화물을 생성한후 다시 수분내에 석고와 반응하여 Calcium sulfo aluminate 수화물을 생성하여 조기강도를 발휘케하여 속경성을 나타내게된다. 이 이후의 강도 발현은 보통 시멘트에서와 같이 Calcium Silicate 광물의 수화 반응에 의한 것으로서 장기재령에서도 높고 안정된 강도를 발휘하게 된다.

2.3 초속경시멘트 콘크리트의 특성

초속경시멘트는 응결지연제의 첨가에 의하여 작업시간을 적절히 조절할수 있으나, 과량첨가하면 초기 2시간 강도에 영향을 주게 된다. 각종 시멘트 종류별 콘크리트의 강도 발현을 나타낸 결과가 그림2이다. 그림에서 알수 있듯이

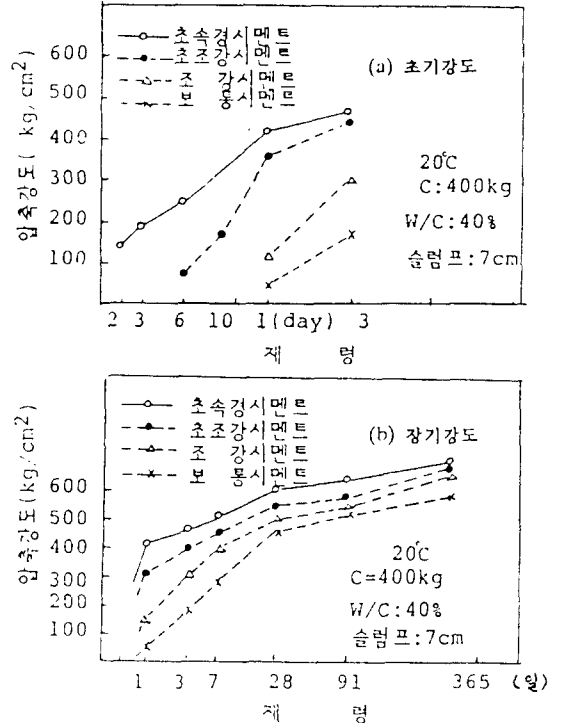


그림2. 초속경 시멘트 콘크리트 및 각종 시멘트 콘크리트의 재령에 따른 압축강도.

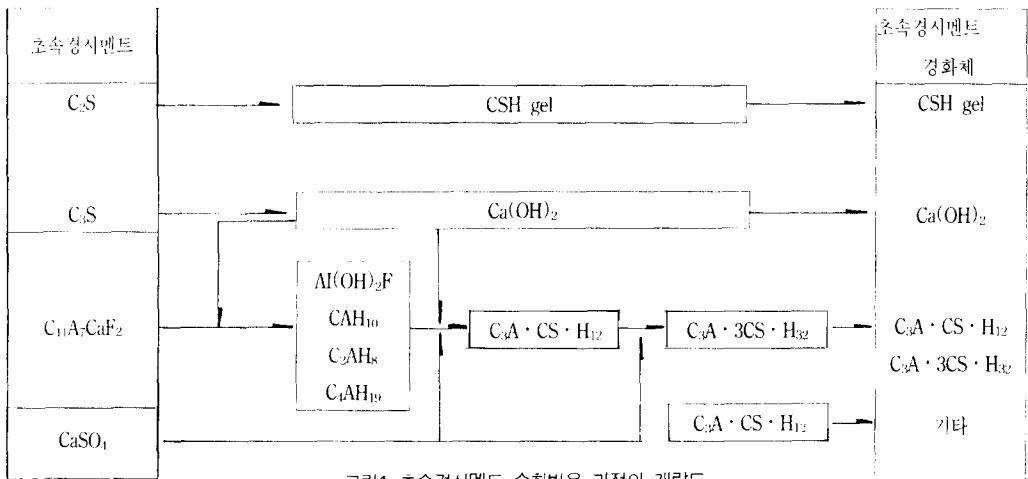


그림1 초속경시멘트 수화반응 과정의 개략도

초속경시멘트 콘크리트는 초기나 장기 어느 제령에 있어서도 다른 종류의 시멘트보다 훨씬 고강도를 나타내고 있다.

2.4 초속경시멘트의 용도

초속경시멘트는 2~3시간내에 실용강도 발현이 가능하며 주로 긴급보수 공사에 이용되고 있으며, 저온에서도 강도 발현성이 좋아 한중공사에도 이용된다. 또한 공장의 조업중단 기간을 단축하기 위하여 기계기초의 보수에도 많이 사용된다.

기타 용도로는

- 1) 도로포장 및 Joint 보수 공사
- 2) 산업폐기물 및 방사선평기물 처리.
- 3) 크라우트 모르타르
- 4) 뿔어붙이기용 콘크리트
- 5) 기타 콘크리트제품 및 지수제 등에 이용되고 있다.

3. 팽창시멘트

팽창시멘트란 팽창성 혼합재를 10% 전후로 보통시멘트에 혼합한 시멘트를 말하며, 시멘트의 건조수축에 따른 균열발생을 감소내지 방지하고, 콘크리트의 팽창과 철근의 구속력에 의한 케미칼 프리스트레스를 도입하여 균열내력을 향상시키며, 불탈 또는 콘크리트로 사용시 그 팽창력 또는 부수축성에 따라 주변의 구조물이나 암반등과 밀착, 일체화 시키기 위한 목적으로 사용된다.

팽창성 재료의 역사는 비교적 오래되었으며, 알루미늄 분말이 시멘트중에서 유리하는 수소화칼슘과 반응하여 발생하는 수소가스의 발포작용에 의한 팽창압을 이용하여 프리팩트콘크리트용 주입 모르타르에 사용되고 있다. 또한 철이 산화할 때의 팽창성을 이용하는 질분계 팽창재, 기타 마그네슘, 석회계 혼화재등이 이용되기도 한다. 그러나 가장 많이 이용되는 팽창재는 에트리자이트계와 석회계로 분류되고 있다.

3.1 팽창성 혼합재의 종류 및 특성

팽창성 혼합재의 종류는 표3과 같으며 미국에서는 에트리자이트의 팽창성을 이용한 K, M, S, 3가지 형태의 팽창시멘트가 ASTM에 규격화 되어 있으며, 일본에서는

주로 석회계의 혼화재로서 콘크리트 제조시 믹싱플랜트에서 혼합사용하는 차이가 있다.

표3 혼합재의 종류

구 분	종류	주요구성광물	수화결정
CaO-Al ₂ O ₃ -SO ₃ 계	K형	Ca ₂ S	에트리자이트
	M형	CaSO ₄ +CA	〃
	S형	CaSO ₄ +C ₂ A	〃
CaO계	O형	CaO	Ca(OH) ₂

팽창재의 수화반응을 살펴보면 수화초기에 팽창성 수화물인 에트리자이트(C₂A 3CaSO₄·32H₂O) 또는 소석회(Ca(OH)₂)가 생성되어 시멘트 경화체에 팽창압을 발생시키게 되며, 이러한 팽창압은 시멘트의 수축 응력을 보상하게 되어 균열을 방지 할 수 있게된다. 이때 팽창량은 팽창재의 사용량, 화학성분 및 분말도, 콘크리트 배합조건, 양생조건 등에 따라 영향을 받게되며, 팽창재의 팽창압 발현시기와 콘크리트의 응결 경화과정이 잘 일치하여야 한다. 그림3은 팽창시멘트의 제령과 팽창수축과의 관계를 모델적으로 나타낸 것이며 초기 팽창속도와 팽창량을 잘 조절하여야 한다.

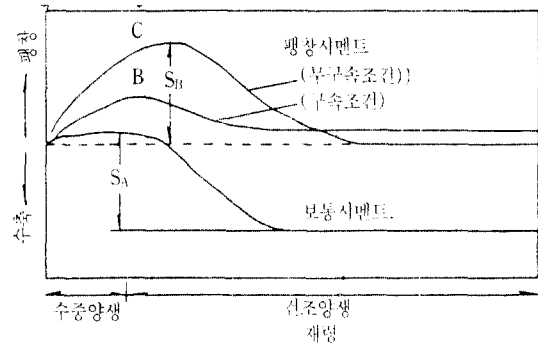


그림3 팽창시멘트의 팽창효과

3.2 팽창시멘트의 용도.

팽창시멘트는 주로 팽창콘크리트로서 사용되며, 기능상 수축보상 콘크리트와 케미컬프리스트레스(Chemical Prestress)로 분류된다. 진자는 콘크리트의 팽창력을 건조수축에 상당하는 양 만큼 발생시켜 건조 수축에 의한 인장응력을 상쇄 내지 감소시키는 것이며, 후자는 철근비를 크게한 철근 콘크리트에 큰 팽창을 부여해서 콘크리트가 수축하

여도 압축응력이 잔존되도록 설계하여 콘크리트의 인장 및 팽창도를 향상시키는 것이다. 팽창제 또는 팽창시멘트의 이용분야를 사용목적별로 보면 다음과 같다.

- (1) 수축보상에 의한 균열저감 목적
 - 풀장, 정수조등의 수리구조물
 - 철근콘크리트 구조물의 바닥, 벽, 지붕슬라브 (균열 방지, 방수성)
 - 콘크리트 포장의 수축줄눈 감소 및 간격증대
 - 미장 몰탈 및 뿔철콘크리트
- (2) 케미칼 프리스트레스 도입에 의한 균열내력의 향상 목적
 - 휴관, 박스컬버트, 널말뚝등 제품
 - 강관라이닝용의 몰탈 및 콘크리트
 - 원형수조 및 수로터널

상기 용도외에도 댐의 기초지반의 그라우트 몰탈, 방사선 차폐용 콘크리트, 원심력 철근 콘크리트등에도 응용되며, 일본의 경우 1978년 일본 건축학회에서 팽창제를 사용한 콘크리트의 설계 및 시공에 관한 지침이 제정되고, 1980년에는 팽창제의 규격이 제정되어 사용이 일반화 되고 있는 실정이다.

4. 비폭성 파쇄제

도시의 주택 밀집지역에서 콘크리트 구조물을 파괴한 다거나, 노후건물 해체공사, 지하 또는 지상의 거대한 암 석등을 파괴하는 경우 화약류를 사용하고 있으나 소음, 진동, 분진, 비석등의 환경공해, 안전성등의 측면에서 공 해규제나 민원이 자주 발생하고 있어, 현장에서 많은 어 려움을 겪고있는 실정이다. 이와같은 문제점을 해결하기 위하여, 광물의 수화반응시에 발현하는 팽창압을 이용하여 취성물체를 파쇄할수 있도록 개발된 제품이 비폭성파쇄제 (일명 정적 파쇄제)이다.

4.1 비폭성파쇄제의 성분

비폭성파쇄제의 주성분은 산화칼슘(CaO)이며, 물과 반응하여 생성하는 수산화칼슘(Ca(OH)₂)에 의한 체적팽창 (약2배)에 기인되는 팽창압이 효과적으로 나타나도록 광 물조성이나 첨가제등을 적당히 조절하여 제조하고 있으며, 화학성분의 일례는 표4과 같다.

표 4 비폭성파쇄제의 화학성분에

g.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total
1.2	8.5	2.4	1.1	81.3	0.7	4.5	99.7

(%)

4.2 비폭성파쇄제의 파쇄기구

암석 및 콘크리트등의 취성물체는 다음 표5에서 보는바와 같이 압축강도에 비해 인장강도가 낮다.

표 5 암석종류와 소요 팽창력 사이의 관계

암종	압축강도 (kg/cm ²)	인장강도 (kg/cm ²)	공직경 (cm)	공간격 (cm)	소요팽창압 (kg/cm ²)
연암	600	30~60	4	65	84~167
중 경 암	600~1200	60~100	4	55	157~262
경암	1200	100~130	4	40	230~299

따라서 적은 팽창압을 가지고도 취성물체를 파쇄하는 것이 가능하며 그 파쇄과정을 보면 다음과 같다.

- 암반이나 콘크리트등 피파쇄체를 천공하고 물과 혼합한 비폭성파쇄제 슬러리를 충전한다.
- 시간의 경과와 함께 그림4와 같이 공 주변으로 팽창압이 작용하고 피파쇄체에 압축변형이 발생한다.
- 동시에 압축방향과 직각방향으로 인장 변형이 생기며 이 변형량이 피파쇄체의 고유 인장강도를 초과하는 시 점에서 균열이 발생하게 된다.
- 또한 그림5와 같이 균열의 발생후에도 계속되는 재료의 팽창에 의하여 피파쇄체에 생긴 균열폭은 점차 확대된다.

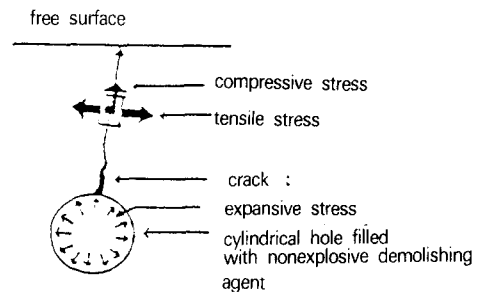


그림 4 비폭성파쇄제의 팽창력에 의한 파괴기구

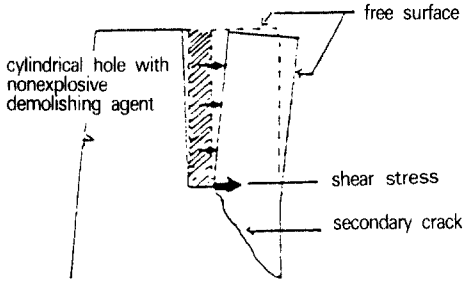


그림 5. 2개의 자유면을 가진 물체의 균열 생성과정 단면

4.3 비폭성파쇄제의 특징과 용도

비폭성파쇄제는 위험물이 아니므로 화약류와 같은 법적규제를 받지 않고 보관, 취급이 용이하며, 파쇄시 소음이나 진동, 깨스발생등이 없어 파쇄작업이 용이하다. 또한 파쇄공사시 대피할 필요가 없어 작업의 효율화를 기할수 있는 점등이 특징이다.

용도로서는 콘크리트 구조물 또는 암석이나 암반등의 파쇄시 환경공해나 안전문제등의 제약조건이 있는 경우에 사용되고 있으며, 점차 환경문제에 대한 인식이 높아지고 있는 현실을 감안할때 많이 이용될 것으로 생각된다.