

早強 시멘트 및 膨脹 · 土質安定材의 活用性

金 容 國

〈雙龍洋灰中央研究所技術情報室長〉

1. 서 언

현재 사용하는 포틀랜드 시멘트는 1824년 영국의 아습딘(Joseph Aspdin)이 석회와 점토를 섞어서 수직로에 넣어 가열해서 만들기 시작했으나 시멘트 공업이 기업의 형태를 갖게 된 것은 19세기 후반이다. 포틀랜드 시멘트의 제조는 프랑스가 1848년, 독일 1850년, 미국 1971년, 일본 1885년, 우리나라가 1919년이다.

이후 인접 과학기술이 발달하면서 발명 당시 압축강도가 약 50 kg/cm^2 에 지나지 않던 것이 지금은 400 kg/cm^2 를 상회한다. 현재 전세계 생산량은 연간 약 10억톤에 달한다.

시멘트는 타 소재에 비해 생산에 필요한 석회석, 점토 등의 광물자원이 지구상에 널리 분포되어 있으며, 생산에너지도 6~29배가 적게 소비되는 이점이 있어 건설 및 토목재료로서 왕좌를 차지하고 있다. 가까운 장래에 시멘트를 대체할 수 있는 획기적인 소재가 출현한다는 것은 거의 기대할 수 없는 만큼 시멘트의 장래는 낙관적이다.

그러나, 휨강도 및 접착강도가 낮아 인성이 약하다든가 목재 등과 같은 즉시 시공성을 갖고 있지 못하다든가 하는 약점 때문에 시멘트의 사용범위는 제한받고 있는 것이 사실이기도 하다.

본고에서는 시멘트의 약점을 극복하는 한편 시멘트의 사용범위를 확대시키려는 노력의 결

과로 개발되어 실용적으로 사용될 수 있다고 보이는 몇가지 제품의 특성과 용도를 알아보고자 한다.

2. 조강형 시멘트

시멘트가 타 건축용 결합재에 비하여 경화속도가 늦다는 단점이 있어 시멘트의 초기경화 특성개선을 위해 시멘트 연구자나 생산자들은 많은 연구 노력을 한 결과 1920년대에 유럽의 몇몇 시멘트 선진국에서는 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 초기수화 속도가 상당히 빠른 조강시멘트를 개발하였고 1960년대 후반기에는 1일 압축강도 발현이 조강 시멘트의 2배, 보통 포틀랜드 시멘트의 7일 압축강도에 달하는 초조강시멘트를 일본 및 유럽에서 개발, 생산되어 많은 발전을 가져 왔었다.

1970년대 초에는 1~2시간만에 실용강도를 발현하고 또 작업시간을 자유롭게 조절할 수 있는 초속경 시멘트(Regulated Set Cement or Jet Cement)가 발명되어 이제 시멘트도 타 유기 접착재에 못지 않은 초기 경화성을 발휘하는 결합재로서 전기를 맞게 된 것이다.

우리나라의 경우도 이러한 시대적 요구에 대응하여 지난 81년 조강 포틀랜드 시멘트 규격이 제정된 이래 몇몇 제조회사에서 이를 개발, 시판하게 되었으며 1985년에는 초조강 시멘트의 생산 판매가 이루어졌고 가까운 장래에 초

속경 시멘트가 개발, 생산되리라는 전망이다.

조강 및 초조강 시멘트의 제조는 일반적으로 화학조성에서 높은 석회포화도(LSF), 규산율(SM), 철률(IM)을 유지시켜 초기강도 발현 및 경화를 주도하는 C₃S, C₃A 광물함량을 증대시켜서 크링카의 수화활성을 높이는 반면 시멘트 분쇄시 적정수준의 석고첨가와 고분말도로 미분쇄하여 제조한다.

조강 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트에 비하여 상당히 높은 초기강도를 나타낼 뿐 아니라 기타 다른 특성으로는 저온 수화성, 휨강도, 콘크리트 수밀성 및 동결융해 저항성 등이 양호하다. 따라서 이러한 특성을 이용하여 공사기간의 단축, 한중공사, 도로용, prestressed concrete 등에 이용할 수 있다.

초조강 시멘트의 경우는 전술한 특성이 조강 시멘트에 비해 월등히 우수하며 이들 용도뿐만 아니라 도로 및 활주로 등의 긴급보수 공사에 적합하다. 또 콘크리트 파일 제조 등의 2차제품 생산에서 증기양생 없이도 초기에 생산을 할 수 있는 이점이 있다.

초속경 시멘트는 현재 여러 종류가 생산, 판매되고 있으나 주류를 이루고 있는 것은 미국 포틀랜드시멘트협회(PCA)의 연구소에서 개발한 RSC(Regulated Set Cement) 계의 초속경 시멘트라 할 수 있다. 일본의 경우, Onoda 및 Sumitomo 시멘트회사가 신재료 연구개발 센터를 통해 PCA로부터 RSC의 일본내 출원권을 1971년 10월에 구입한 후 여기에 과거 수년 동안 독자적인 연구개발로 얻어진 특허와 know-how를 조합시켜 개발한 것이기 때문에 양사의 제품은 비슷한 성질을 갖고 있었으나 현재

는 상당한 차이를 나타내고 있다.

포틀랜드 시멘트계의 시멘트는 광물조성이 C₃S 고용체, C₂S 고용체, C₃A 고용체 및 철 고용체로 구성되어 있는 반면 초속경 시멘트는 C₃S 고용체와 C₁₁A₇CaF₂ 고용체를 주광물로 하고, 소량의 C₂S 고용체 및 철 고용체로 구성되어 있다. 초속경 시멘트는 이러한 광물로 구성된 크링카에 무수석고를 첨가하여 Blaine 비표면적을 높게 하여 활성을 더해주어서 제조하게 된다. 초속경 시멘트가 물과 접촉하게 되면 속경성의 C₁₁A₇CaF₂ 광물이 물에 곧 용해하여 Calcium silicate 광물에서 용해된 Ca(OH)₂와 곧바로 반응하여 수십초 내에 Calciumaluminate 수화물 및 Aluminate 수화물을 생성한 후 다시 수분내에 첨가된 석고와 반응하여 Calcium sulfoaluminate 수화물을 생성, 초기강도를 발현케 하여 속경성을 나타내게 한다.

이 이후의 강도발현은 보통 포틀랜드 시멘트에서와 같이 Calcium silicate 광물의 수화반응에 의한 것으로서 높은 강도를 유지하게 해주어 장기 재령에서 높고 안정된 강도를 발현하게 된다.

초속경 시멘트는 신속한 강도발현 특성 외에도 저온에서도 단시간에 실용강도를 발현할 수 있는 특성과 또 응결지연제의 사용에 의해 자유로이 작업시간을 조절할 수 있다는 장점과 Bleeding이 전혀 없고 건조수축이 매우 작으며 콘크리트 부착강도 또한 매우 큰 특성을 갖는다.

이러한 특성을 이용한 초속경 시멘트의 용도는 일반적인 콘크리트 구조 재료로서 긴급, 토목, 건축공사뿐만 아니라 폐기물의 고화처리, Grout 재 등 종래 보통 포틀랜드 시멘트로 이

각종 시멘트의 물리성능

<表-1>

CEMENT	분 말 도 (cm ² /g)	응 결			압축강도(kg/cm ²)					
		물량(%)	초결(분)	종결(분)	2 HR	6 HR	1 일	3 일	7 일	28 일
초 속 경	5,500	28.0	10	15	253	264	399	420	457	506
초 조 강	5,500	30.1	90	150	-	-	250	342	393	460
조 강	4,500	28.6	130	200	-	-	180	262	371	449
일 반	3,000	27.0	200	300	-	-	82	186	263	370

용이 어려운 분야까지 광범위하게 사용될 수 있다. 즉 도로, 교량, 활주로 등의 긴급 보수공사나 기계기초 등의 긴급공사뿐만 아니라 대형 주물에서 광물사점결재, 금형, 산업폐기물, 하수오물 등의 고화처리재, Anchoring 및 Rock bolt 등의 충전재료 등에 이용되고 있으며 앞으로 초속경 시멘트의 이용분야는 점점 더 확대되리라 기대된다.

3. 팽창재

시멘트 콘크리트는 인장강도와 탄성률이 작기 때문에 외부 응력 외에 건조수축 응력에 의해서도 균열이 발생될 수 있다. 이러한 균열은 구조물의 미관과 내구성에 영향을 주며 수로, 도로포장, 차폐벽 등에는 그 구조물의 이용목적에 막대한 지장을 초래하게 된다.

콘크리트 시공시 균열을 줄이기 위해서는 W/C 비의 감소, 재료의 세심한 선정, 철근비의 증가 등으로 균열을 분산시키거나 균열폭을 줄이고는 있으나 이는 콘크리트 균열방지의 근본대책일 수는 없는 셈이다. 그러므로 이러한 균열을 방지할 목적에서 팽창재 또는 유기수축 저감제의 사용 필요성이 대두되었다.

팽창재에 있어서 팽창성능을 나타내는 광물로서는 $C_4A_3\bar{S}$, F-CaO, $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$, C_3AH_6 , F-MgO가 있으며 이들은 수화반응을 통해 Ettringite 또는 $Ca(OH)_2$, $Mg(OH)_2$ 등을 생성하여 팽창력을 나타내게 된다.

그러나 이들 팽창재의 팽창압 발현시기는 콘크리트의 경화과정과 적당히 일치하여야 한다. 즉 콘크리트의 수화 초기에는 팽창력을 발휘해도 유효하지 않으며, 콘크리트가 응결하기 시작

해 유동성이 상실되고 수화반응이 활발히 진행되는 기간에는 팽창반응에 의한 팽창력이 유효하게 전달된다. 또한 경화체가 이미 치밀한 조직을 형성한 이후에는 경화체 조직을 파괴하므로 강도 및 내구성을 현저하게 저하시키는 요인이 될 수도 있다. 따라서 팽창재의 팽창반응기를 적절히 조절하는 것이 제조 과정에서 매우 중요하며, 입도조절, 소성온도, 지연제 사용, 팽창광물의 피복 등의 방법이 사용되고 있다.

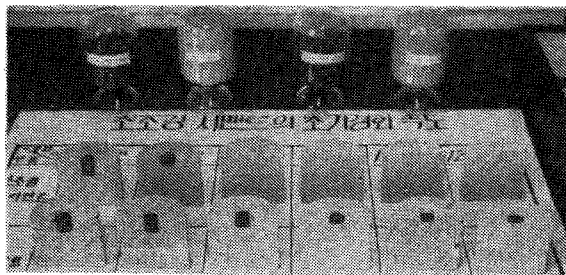
팽창재는 균열방지 목적으로 일반 콘크리트에 사용되고 있으며 도로포장, 원심력 철근 콘크리트(prestressed concrete), 방사선 차폐용 콘크리트 등에 쓰일 수 있다.

4. 토질안정재

일반적으로 토질안정재라 함은 공학적으로 이용 불가능한 불량토를 화학반응 내지는 경화성을 이용하여 흙의 성질을 개선시키는 재료이다.

종래 토질안정법은 주로 불량토를 양질토로 전부 교환하는 방법(강제치환공법), 흙의 입도분포가 나빠 지지력이 저하한 흙에 부족한 입도부분을 보충하는 방법(흙의 입도조정), 기계적 다짐으로 흙의 밀도를 높이는 방법(다짐법), 다중수를 제거하여 강도를 높이는 방법(배수공법) 제약(소음, 분진)을 받거나 시간상의 제약(긴급공사), 경제성 등을 이유로 화학적 처리방법인 토질안정제 사용이 급증되고 있어 일본의 경우 시멘트 제조업체가 전부 제조 판매하고 있는 실정이다.

물리적 방법은 탈수 또는 다짐 등에 의해 흙의 공극 감소 효과로 흙의 지지력을 발휘하는데 반하여 화학적 공법에서는 흙입자의 액성한



<그림-1> 흑한거나 긴급공사에 필요한 초조강 시멘트(상단이 초조강 시멘트)

팽창재의 사용 예 (일반 콘크리트)

<表-2>

용도	설계강도(kg/m ²)	팽창재량(kg/m ³)	단위시멘트(kg/m ³)	W/C(%)	혼화제
지하구조물	180 ~ 270	30 ~ 35	270 ~ 320	48 ~ 60	AE, 감수제
플, 정수장, 사이로	210 ~ 240	25 ~ 35	270 ~ 320	50 ~ 60	AE, 감수제
원형구조	300 ~ 400	45 ~ 60	300 ~ 380	40	감수제
수로터널	300 ~ 400	60 ~ 70	330 ~ 390	40 ~ 50	감수제

계와 소성한제의 성질을 변화시켜 개량재로서의 자경성과 흙과의 화학적 반응에 의한 경화효과를 발휘하기 때문에 점착효과가 커서 지반의 지지력을 향상시킨다. 따라서 토질안정제는 지반의 부가가치를 높이고 공기의 단축, 불량토의 재자원화시킬 수 있다는 관점에서 필요성을 크게 느끼고 있다.

토질안정처리 역사는 약 2000 년전 고대 로마 시대부터 시작되었다고 볼 수 있으나 그 당시 흙을 안정처리하는 목적이 아니고 현재의 콘크리트와 같은 의미의 구조재료로 이용되었다.

1930 년대부터 미국에서는 흙과 보통 시멘트를 혼합한 soil cement 를 토질안정처리재로서 도로의 노반재료로 이용되기 시작하였으나 점토, 유기질토, 고함수비토에서는 그 효과가 작고, 비경제적이기 때문에 특히 연약지반이 많은 일본에서는 1960 년대에 독자적인 석회계 토질안정재를 개발하게 되었다. 그러나 시공시 수화발열이 크고 분진이 심한 단점이 있어 1970 년대부터 시멘트계 토질안정재가 개발, 실용화되었다.

시멘트계 토질안정재에서 시멘트에 의한 점토질 토양의 안정화는 시멘트 자체경화로 인한 접착력 증대와 Ettringite 생성으로 수분의 흡수, 부피팽창으로 인한 압밀효과 등이 주효과이며, 시멘트 수화시 생성되는 Ca(OH)₂ 가 토양중 용해된 성분과의 반응 생성물의 석출 및 점토층간의 이온교환에 의한 것이다.

석회계 토질안정재는 흙에 석회를 3 ~ 20 % 첨가하여 흙의 안정성, 내구성을 증대시키는 공법으로 고대중국, 유럽 등에서 이용되어 새로운 공법이라 말할 수 없지만 최근 석회물질의 개

량, 대량 산 및 시공법 개발 등으로 새로운 공법이라 말할 수 없지만 최근 석회물질의 개량, 대량생산 및 시공법 개발 등으로 새로운 형으로서 흙의 안정처리에 이용되었다. 석회계는 점성토와 반응성이 좋아 점성토 중 가수 halloysite, montmorillonite, kaolinite 를 함유한 토질은 안정처리가 용이하나 illite 계, allophane 점토, chlorite 계 점토와 세립분이 적은 토질, 유기물을 다량 함유한 토질, PH가 낮은 토질 등은 안정처리가 어렵다.

국내의 경우 토질안정재는 1979 년도부터 수입되어 주로 도로의 표층처리, 간이도로포장 등에 소량만 이용되어 왔으나 기존의 연약지반의 개량용 외에 산업폐기물의 고화처리 및 하수오니처리 등 공해처리 분야에의 용도도 기대되므로 재료 및 시공기술의 본격적 개발이 시급하다고 여겨진다.

5. 결 어

현재로는 시멘트와 콘크리트가 철과 알루미늄보다 훨씬 덜 이해되고 있으며 높은 신뢰성을 갖고 이들의 성능을 예측할 수 있는가에 대한 기술적 당면과제가 있는 것이 사실이다. 그러나 시멘트 재료의 결합 극복 및 사용영역 확장을 위한 노력은 고강도화, 급경화, 수축결합의 보완 등을 주축으로 하여 내해수성 및 내한성의 증대와 복합재료의 개발 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. 따라서 새롭고 향상된 재료의 개발과 성능의 균일성에 대한 연구와 관심은 시멘트 제조와 용도 측면에서 계속되어야 할 것이다. ♣