

# 고강도 · 고유동 · 저발열 콘크리트용 특수 시멘트

정 재 동

〈대구대학교 건설환경공학부〉

## 1. 서론

최근 건설시장이 복잡 다양해짐에 따라 콘크리트 구조물의 대형화, 고층화, 고성능화 등의 요구가 급속히 발생되고 있다. 최근의 국내 건설시장의 예에서도 이전에는 볼 수 없었던 대형의 특수공사가 증가하고 있다.

서해대교나 고속전철 건설현장에서는 장스판 대형교각의 시공과 이 과정에서 피드백 되는 각종의 기술적 요구 즉 메스콘크리트의 수화열저감방안, 앵커레인지 등에 있어서의 고밀도 철근배근에 따른 고유동성 혹은 고내구성성의 확보 등이 있고, 영종도 국제공항에서는 공항터미널 등의 대형구조물에서의 고강도, 고유동 및 균열저감 등의 요구 그리고 메스컴에서 자주 언급되는 한강교각 하부의 부실문제 - 고품질 수중콘크리트, 내마모성 콘크리트의 필요성, 혹은 콘크리트제 고속도로의 메인 터널스 프리 혹은 장수명화 요구등이 언급되고 있으며 그 외에도 상하수도, 보도블럭 등의

콘크리트 제품에 있어서도 각종의 고품질화 요구가 새롭게 등장하고 있다.

이러한 최근의 기술적 요구에 대응하기 위해 최근의 콘크리트에 있어서는, 단순한 슬럼프값과 압축강도를 만족시키는 것 이외에 고유동, 재료분리저항성, 고강도, 저발열 및 고내구성 등의 세부적인 기술 확보가 필연적으로 필요로 하게 되었다.

본고에서는 이러한 최근의 변화에 대응하기 위하여 고강도, 고유동 및 저발열 관련 특수시멘트의 재료적, 공법적 최근의 연구결과를 정리하였다.

## 2. 벨라이트 시멘트

### 1) 개요

최근 콘크리트 구조물이 대형화됨에 따라 수화열에 의한 온도균열을 억제할 수 있는 저발열 시멘트에 대한 수요가 점차 증가하고 있으며, 건설현장에서의 노동인력의 감소 및 구

조물의 고층화에 따른 과밀 철근콘크리트에 시공성의 향상 등을 위한 고유동·고강도의 특성의 개발이 콘크리트의 3대 추세가 되었다.

이러한 수요에 대응한 시멘트로서 향후 각 광받을 것으로 예상되는 것이 벨라이트 시멘트이다. 벨라이트 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트보다 시멘트제조시의 소성온도가 낮아

너지 절감의 관점에서 1980년대 초부터 연구가 진행되었으나, 그 후 벨라이트 시멘트가 지닌 저발열성에 주목하여 저발열 시멘트로서의 개발이 진행되었다.

최근에 널리 사용되고 있는 저발열 시멘트로서는 고로시멘트와 2·3성분계의 혼합시멘트가 있는데, 이런 종류의 시멘트는 혼합재의

[표 1] 각종 시멘트의 용도

용도	종류	보통포틀랜드시멘트	조강포틀랜드시멘트	중용열포틀랜드시멘트	고로시멘트	플라이애쉬시멘트	중용열플라이애쉬시멘트	벨라이트시멘트		GRC시멘트	제올라이트	백색포틀랜드시멘트
								저열포틀랜드시멘트	하이플로우시멘트			
건축 공사용	기초(基礎)	○			⊙	○						
	구체(構體)	⊙	○		○							○
	내외장	⊙	○						○			○
	초고층 RC조	○	○					○	⊙			
	원자력 발전소 시설	○		⊙		○	○	○				
지반개량 오폐물 고화재	○			○							⊙	
주입 공사용	○	○		○	○							
뿔침 콘크리트용	⊙			○								
포장공사용 (항만, 고속도로, RCCP)	⊙	○	○	○	○							
해양 항만 수리(水理)구조용	○		○	⊙	○			○	○			
고유동 콘크리트	○			○	○			○	⊙			
매스 콘크리트용	일반			○	○	○		⊙	○			
	대형교각 하부 구조물							○				
	RCD 댐						⊙	○				
	지하 연결벽, LNG 지하용기						○	○	○			
고강도 지하 연결벽							⊙	○				
콘크리트 제품	건축용	⊙	○							○		○
	토목용	⊙	○		○					○		○
	커튼월	○	○							⊙		

(⊙ : 최적 ○ : 적합)

품질을 관리하기가 어려울 뿐만 아니라, 양생 온도 등에 크게 영향을 받는 등 품질 안정성이 떨어지고, 더구나 중성화에 약한 단점이 나타나게 되었다. 그러나 벨라이트 시멘트는 이러한 문제점을 해결하면서 장기 재령에서의 고강도와 고유동성 등의 좋은 장점들을 발휘할 수 있으므로, 저발열 시멘트 용도에 주로 사용되던 고로시멘트나 2·3성분계 혼합시멘트를 서서히 대체할 것으로 전망되고 있다. 또한 벨라이트 시멘트를 기본 시멘트로 한 2·3성분계 혼합시멘트는 초저발열, 초유동성의 특성을 지니고 있어 이 분야에서도 연구가 상당히 진척되고 있다. 특히, 이 벨라이트 시멘트는 그린라운드에 의해 환경규제가 심해지고 있는 가운데, 보통 포틀랜드 시멘트보다 CO<sub>2</sub> 배출량이 적어 환경부담 절감형 시멘트로서도 각광을 받고 있다.

일본에서는 이미 십여년전부터 벨라이트 시멘트를 연구하기 시작하였으나 본격적으로 연구를 시작한 것은 1988년부터로 일본 건설성이 주관하면서부터이다. 또한 시멘트협회 산하에 각 시멘트사를 중심으로 위원회를 구성하여 연구를 수행하여 왔다. 이러한 연구결과, 1992년 이래로 상품화되기 시작하여 여러 저발열 및 고유동·고강도를 요구하는 대형 실 구조물에 일부 적용을 하고 있다.

미국에서는 이미 1941년에 일본에서의 벨라이트 시멘트 계열에 해당하는 저열 포틀랜드 시멘트(ASTM의 포틀랜드 시멘트 Type IV로 규정)가 규정되었다. 최근에는 일본이나 독일보다 벨라이트 함량이 많은 벨라이트 시멘트에 실리카폼이나 CSA와 벨라이트상을 주 상으로 하는 시멘트가 연구되고 있다.

일본에서 벨라이트 시멘트의 사용 용도는 [표1]에서 보는 것과 같이 일반 포틀랜드시멘트로 사용이 제한되는 댐이나 대형교각 같은

매스 콘크리트용으로 주로 사용되고, 초고층 RC구조물, 해중 연속벽 공사, 고유동 콘크리트용 등 고강도·고유동의 특성을 요구하는 구조물에 이용되고 있음을 알 수 있다.

국내의 경우, S사 T사에서 6~7년 전부터 벨라이트 시멘트에 대한 연구를 수행하기 시작하여 최근에는 신제품의 생산과 함께 시험 적용이 시작되고 있다.

## 2) 벨라이트 시멘트의 기본 성질

본 장에서는 일본에서의 연구결과를 정리하여 벨라이트 시멘트의 기초적 특성을 간단히 설명한다.

### ① 발열 특성 및 압축강도

포틀랜드 시멘트를 구성하는 주요한 화합물은 잘 알려진 바와 같이 알라이트(C<sub>3</sub>S), 벨라이트(C<sub>2</sub>S), 알루미늄이트(C<sub>3</sub>A), 및 페라이트(C<sub>4</sub>AF)가 있고, 그 화합물들의 여러 가지 특성을 [표2]에 나타내었다. 시멘트 경화체의 강도발현성은 알라이트와 벨라이트에 의해 대부분 발현되는데, 알라이트는 단기에서 장기에 걸쳐 강도발현성이 우수하고 수화발열량이 비교적 큰 화합물인데 반해, 벨라이트는 단기의 강도발현성은 적지만 장기강도가 크고, 수화

[표 2] 시멘트를 구성하는 화합물과 그 특성<sup>1)</sup>

특 성	강도 발현		수화열	화학저항성	건조 수축
	단기	장기			
알라이트 (C <sub>3</sub> S)	大	大	中	中	中
벨라이트 (C <sub>2</sub> S)	小	大	小	大	小
알루미늄이트 (C <sub>3</sub> A)	中	小	極大	小	大
페라이트 (C <sub>4</sub> AF)	小	小	中	中	小

발열량이 적은 화합물이다.

시멘트 화합물의 강도발현과 수화열을 [표 3]<sup>2),3)</sup>에 나타내었다. 시멘트 수화열은 구성화합물의 수화열에 비례하지만, 강도발현은 수화에 따라 생성되는 수화물의 종류와 경화체 조직에 큰 영향을 받으므로, 수화열과는 비례관계가 성립되지 않는다. 알루미늄네이트상과 페라이트상은 수화속도와 수화열이 크지만 강도발현성은 적기 때문에 저발열 및 장기재령에서의 고강도발현을 위하여 이상들을 감소시키는 것이 바람직하지만, 공업적으로는 그것을 완전히 없애는 것이 불가능하다.

「벨라이트(포틀랜드) 시멘트」라는 것은 그 이름에서 알 수 있듯이, 일반적인 포틀랜드 시멘트의 기본조성에서 벨라이트 함량을 늘이고 알루미늄네이트를 줄여서, 낮은 수화발열 등의 특성을 기대하여 만든 시멘트라고 볼 수 있다.

이러한 저발열의 특성으로 인하여 벨라이트 시멘트는 저발열 포틀랜드 시멘트 용도로 가장 먼저 상품화되었고, 가장 큰 특성으로 인식되고 있다. 또한 기존에 저발열 용도로 많이 사용되어온 고로 슬래그 시멘트가 양생시의 양생온도에 따라서 단열온도상승이 많은 차이를 보이고 있다. 그러나 벨라이트 시멘트의 경우 양생온도에 따른 품질 변동이 적고, 슬래그 시멘트에 비하여 중성화 저항성이 좋은 것으로 보고되고 있다.

또한, 강도면에서는 강도발현에 기여하는 실리케이트상(C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S)의 함량이 늘어나기 때문에 결국에는 장기재령에서 고강도를 얻는 것도 가능하다. 또한, 벨라이트 시멘트는 수화에 의한 Ca(OH)<sub>2</sub>의 생성이 적어서 골재표면에서 전이영역(transition zone)의 생성이 적어지므로 경화콘크리트의 기공구조는 현저

[표 3] 시멘트 화합물의 강도발현<sup>2)</sup>과 화수열<sup>3)</sup>

화합물	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )					수화열(cal/g)				
	3일	7일	28일	90일	1년	3일	7일	28일	90일	1년
C <sub>3</sub> S	197	419	499	499	724	58	53	90	104	117
C <sub>2</sub> S	4	10	64	363	721	12	10	25	42	54
C <sub>3</sub> A	63	70	111	90	93	212	372	329	311	279
C <sub>3</sub> AF	27	31	51	78	100	69	118	118	98	90

[표 4] 벨라이트 시멘트의 광물조성과 물성<sup>4)</sup>

(JIS R 5201, 5203)

시멘트의 종류 (기호)	화합물(%)				비중 (%)	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)	물탈 압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )				수화열 (cal/g)		
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF			3일	7일	28일	91일	7일	28일	91일
벨라이트계 (저발열)	27	58	2	8	3.22	3,350	76	115	322	609	48.3	63.6	74.7
벨라이트계 (고유동)	35	46	3	9	3.20	4,080	127	178	416	647	61.7	73.7	80.8
중용열(M)	44	33	4	12	3.21	3,040	116	170	365	526	64.6	76.3	84.0
보통(N)	52	23	9	9	3.16	3,250	151	257	423	491	78.0	89.2	95.8
JIS 규격	중용열	≤50	—	≤8	—	≥2,500	≥50	≥100	≥230	—	≤70	≤83	—
	보통	—	—	—	—	≥2,500	≥70	≥150	≥300	—	—	—	—

히 개선된다. 그러므로 이런 강도발현 특성을 이용한 고강도 콘크리트용 시멘트로서도 적용이 가능하여 실제로 일본에서는 고유동·고강도용 벨라이트 시멘트가 최근에 와서 시판되기 시작하였다.

일본에서 시판되고 있는 벨라이트 시멘트의 광물조성과 물성을 중용열 포틀랜드 시멘트와 보통 포틀랜드 시멘트와 비교하여 나타내었다. [표4]<sup>4)</sup>에 예시된 벨라이트 포틀랜드 시멘트는 벨라이트/알라이트 비와 시멘트 분말도를 높게 설정한 것에 따라, 수화열을 낮게 유지시키고 중용열 포틀랜드 시멘트 등의 JIS규격 시멘트 강도를 만족하게 된다. 이로써 일본에서는 현재까지 벨라이트 포틀랜드 시멘트를 중용열 포틀랜드 시멘트의 규정에 적합하도록 맞춰 별도의 규정을 개정하지 않고 시판할 수 있었다.

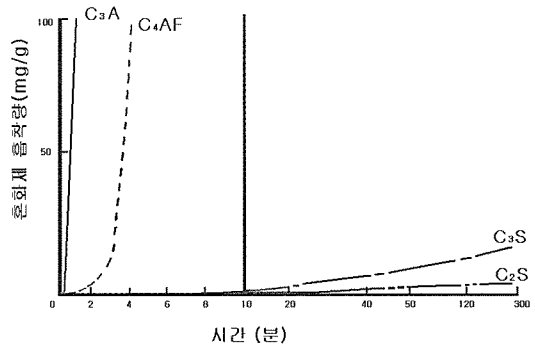
벨라이트 시멘트는 여러 나라에서 저발열 포틀랜드 시멘트로 구분하여 공업규격에 규정되어 있는데, 한 예로 미국에서는 ASTM규격에 포틀랜드 시멘트의 Type IV의 저발열 포틀랜드 시멘트라고 구분하여 규정되어 있다.

## ② 유동 특성

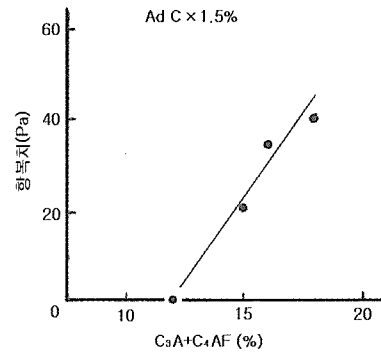
벨라이트 시멘트의 유동 특성은 두가지 관점에서 볼 수 있는데, 하나는 유동화제의 흡착에 대한 관점이고 다른 하나는 입자의 형상에 대한 관점이다.

시멘트 화합물은 유기질 혼화제의 흡착 특성이 [그림1]<sup>5)</sup>과 같이 각각 다르게 나타난다. 이 그림에서 볼 수 있듯이  $C_3A > C_4AF \gg C_3S > C_2S$ 로 혼화제의 흡착거동을 보이고 있다. 이런 측면에서 알루미늄이트( $C_3A$ )상은 시멘트의 유동성 측면에서 악영향을 끼친다.

벨라이트 시멘트는 혼화제의 흡착속도 및 흡착량이 큰 알루미늄이트상을 가능한 감소시켜, 혼화제의 분산효과를 더욱 향상시킨다. [그림



(그림 1) 시멘트 화합물에서의 혼화제 흡착거동



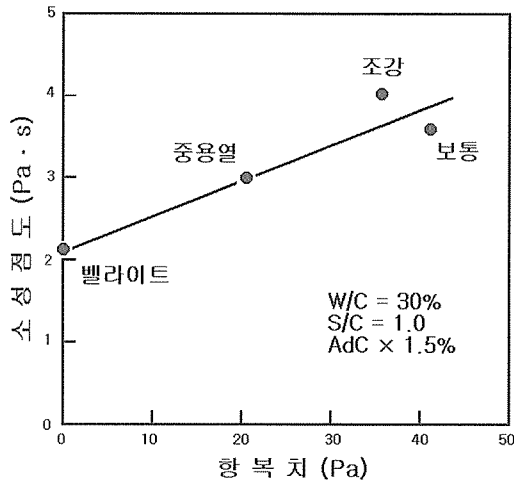
(그림 2) 모르타르의 유동성에 미치는 알루미늄이트상의 영향

2]<sup>6)</sup>에서처럼 알루미늄이트( $C_3A$ )상과 페라이트( $C_4AF$ )상의 함유량이 적을수록 몰탈 항복치가 작게되어 유동성이 향상됨을 알 수 있다.

시멘트 클링커는 간극 물질과 함께 분쇄된다. 알라이트와 벨라이트 결정으로 구성된 입자의 표면에 부착된 간극물질은 분쇄에 의해 떨어진다. 그리하여 알라이트와 벨라이트 본래의 형태를 갖는 입자가 증가하게 된다. 따라서 보통 포틀랜드 시멘트에 비하여 벨라이트의 양이 많은 벨라이트 시멘트는 벨라이트의 형태가 거의 구상에 가깝기 때문에 혼합수량이 줄고 유동성이 향상되고 슬럼프 로스 (slump loss)의 감소가 가능하게 되며, 벨라이트의 수화 속도가 느리기 때문에 작업시간이 길어지게 된다.

그러나 이 특성은 벨라이트의 함유량이 상

대적으로 많은 종류보다 거의 알라이트를 벨라이트로 대체한 종류의 벨라이트 시멘트에서 확실히 나타난다. 그래서 벨라이트 시멘트는 혼화제의 사용시 유동성을 향상시킬 수 있다.



(그림 3) 크리커 조성이나 다른 포틀랜드 시멘트를 사용한 몰탈의 레올로지 정수<sup>7)</sup>

[그림3]<sup>7)</sup>은 광물조성이 서로 다른 4종류의 포틀랜드 시멘트에 폴리칼본산계의 고성능 AE감수제를 첨가한 몰탈의 레올로지 정수를 표시한 것이다. 이 결과에 따르면 항복치는  $C_3A + C_4AF$  양의 순서로 보통 > 조강 > 중용열 > 벨라이트 시멘트의 순이고, 특히 벨라이트 시멘트는 0에 가까운 항복치를 갖는다. 이로써 고유동 콘크리트용 시멘트로서 중용열 시멘트나 벨라이트 시멘트가 적절하다고 말할 수 있다. 덧붙여 벨라이트 시멘트는 수화발열이 작아서 고유동 콘크리트에 가장 적합하다고 사료되며, 실제로 고유동·고강도 콘크리트용 시멘트로서 상품화되고 있다.

### ③ 기타

벨라이트 시멘트는 골재와 페이스트 사이에 주로 생성되는  $0.05\mu m$  이상의 공극이 작고,

$Ca(OH)_2$ 의 생성이 적어 치밀한 경화체 구조를 이루고 있다. 이런 공극은 콘크리트의 강도 및 이온 투과성에 밀접하게 관계하고 있다고 알려져 있다. 그러므로 이온투과성에 의한 내화학적 및 염해 등이 보통 포틀랜드 시멘트보다 양호한 것으로 알려지고 있다.

벨라이트 시멘트를 사용한 콘크리트에 대한 동결융해 시험결과, 콘크리트의 공기량이 1.6%로 적게 함에도 불구하고 강도발현이 양호하기 때문에 동결융해 200사이클 및 300사이클 후의 상대 동탄성 계수는 각각 95% 및 89%로 양호한 동결융해 저항성을 나타내었다. 또한 벨라이트 시멘트는 동일한 압축강도의 혼합계 저발열 시멘트보다 중성화에 강한 저항성을 가지고 있다고 보고되고 있다.

## 2. 3 성분계 혼합시멘트<sup>8)</sup>

### 1) 개요

2, 3성분계 혼합시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트(1종)에 고로슬래그 미분말 혹은 플라이 애쉬를 최적의 비율로 혼합하여 수화열 및 수화발열속도를 최소로 억제시키고 내해수성을 크게 향상시킨 혼합시멘트이다. 여기서 첨가 혼합재의 수에 따라 2성분계 혹은 3성분계로 불리워지며 기존의 슬래그 시멘트도 2성분계에 속한다고 할 수 있다.

그러나 기존의 혼합시멘트와 다른 점은 특정공사에서 필요로 하는 확실한 목적에 의해 범용이 아닌 세분된 사용 목적을 지닌다는 점이다. 특히 메스콘크리트의 온도상승방지를 위해 발열량의 최소화에 목적을 두거나, 혹은 사용 혼합재의 분말도 및 혼합비율의 최적화 그리고 혼화제와의 적합성을 고려하여 최적의 유동성을 발휘하기 위한 목적(고유동콘크리트용), 혹은 내해수성, 내화학적저항성 등의 콘크

리트의 고내구성의 달성에 사용하기 위한 목적 등에 사용될 수 있다. 2) 주요 특성과 용도

[표 5] 3성분계 혼합시멘트의 주요 특성과 용도

주요 특성	비 교	기대효과	용도
초저발열	1종, 5종 대비 수화발열량 30% 이상저감	* 수화열에 의한 균열발생방지 * 파이프 쿨링 공정 생략 * 타설높이 상승으로 공기단축	* 매스콘크리트 구조물
내화학성	1종 ≪5종≦저발열	* 화학물질에 의한 콘크리트부식방지 * 철근부식 억제	* 화학물질, 하수처리장
해수저항성	1종 <5종≪저발열	* 해수환경하에서 염분침투를 억제하 여 내구성 유지	* 해양구조물
작업성	고유동콘크리트 제조에 최적	* 다짐작업을 하지 않고 고품질 콘크 리트 타설	* 다짐작업이 어려운곳

※ 주요 사용처

- ◎ 장대교량의 교각 기초, 앵커리지
- ◎ LNG 지하저장 탱크의 연속벽, 측벽, 바닥판
- ◎ 단면이 큰 지중연속벽이나 케이스, 쉘버트
- ◎ 원자력발전소의 기초 매트, 원자로 격납 용기
- ◎ 고층 건물의 기초, 지중보
- ◎ 산악터널 및 도시터널의 2차 복공
- ◎ 항만 등 거대 해양구조물 등

### 3) 화학조성 및 물리적성능

[표 6] 시멘트의 화학조성 비교

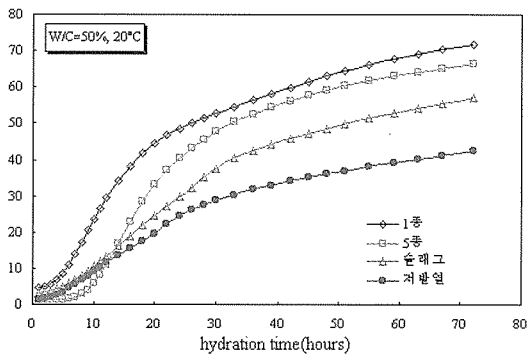
시멘트의 종류		화학조성(%)						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	강열감량
포틀랜드 시멘트	1종	20.4	5.1	3.0	61.6	4.7	2.4	1.4
	5종	22.5	3.5	4.7	62.3	2.6	1.9	1.2
혼합 시멘트	슬래그	25.0	8.3	2.0	53.8	5.0	3.1	0.7
	저발열	35.3	12.2	3.3	39.3	4.4	2.3	1.1

(주) KS L 5120의 화학분석에 의한.

[표 7] 시멘트 물리성능과 수화열

시멘트의 종류		비중	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	주도 (%)	응결(시:분)		압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )				수화열(cal/g)*		
					초결	종결	3일	7일	28일	91일	24시간	48시간	72시간
포틀랜드 시멘트	1종	3.15	3,438	24.5	03:08	05:18	242	343	401	444	49	63	72
	5종	3.21	3,492	23.5	03:48	08:13	230	309	397	506	41	59	66
혼합 시멘트	슬래그	3.01	3,928	25.0	03:40	07:30	167	264	399	535	33	50	55
	저발열	2.77	4,020	27.0	03:27	07:37	93	168	339	479	25	36	43

3성분계 혼합시멘트의 주요 화학조성은 실리카( $\text{SiO}_2$ )와 알루미나( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )의 함량이 높은 반면 석회( $\text{CaO}$ )량이 상대적으로 적다. 다른 시멘트와 비교하여 상대적으로 비중이 작고 분말도가 크기 때문에 비교적 큰 주도값(normal consistency)을 나타낸다. 또한, 보통 포틀랜드 시멘트에 비하여 응결이 다소 늦고 초기강도 발현이 상대적으로 작게 나타나지만 28일 이후의 장기강도 발현이 크다. 특히 혼화재 첨가의 영향으로 1종 시멘트의 약 1/2~2/3 정도의 매우 작은 수화발열량을 나타낸다.



(그림 4) 각종 시멘트의 수화발열량 비교

#### 4) 사용 콘크리트의 특징

3성분계 혼합시멘트의 주요 화학조성은 실리카( $\text{SiO}_2$ )와 알루미나( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )의 함량이 높은 반면 석회( $\text{CaO}$ )량이 상대적으로 적다. 그리고 다른 시멘트와 비교하여 상대적으로 비중이 작고 분말도가 크기 때문에 비교적 큰 주도값(normal consistency)을 나타낸다. 그리고 보통 포틀랜드 시멘트에 플라이애쉬와 슬래그 분말을 혼합하여 만들므로 시멘트화합물중에서 차지하는 알루미늄이트상( $\text{C}_3\text{A}$ ,  $\text{C}_4\text{AF}$ )의 함량이 상대적으로 적음에 따라 혼화재의 흡착이 줄어들어 유동성이 높아지고, 혼합재로 사용된 미분말들의 효과에 의해 접

성이 증가한다. 따라서, 낮은 물시멘트비에서 유동성과 재료분리저항성이 우수하여 진동다짐 작업이 불필요한 초유동 콘크리트를 제조하는데 적합한 특성을 발휘하게 된다.

그리고 초기 수화열이 많이 발생되는 알루미늄이트상의 함유량이 적으므로 수화열 발생이 매우 작아 대규모 매스 콘크리트 공사시 수화열에 의한 균열발생을 저감시킨다.

또한, 3성분계 혼합시멘트는 장시간에 걸쳐 블리딩이 조금씩 발생하기 때문에 양호한 시공성을 확보할 수 있을뿐 아니라 경화후 콘크리트의 품질저하를 예방할 수 있다. 콘크리트의 응결은 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트의 경우보다 지연되는 특성이 있으며, 고성능감수제 등 혼화재 사용량이 많아질수록 응결지연 경향은 커진다.

그리고 3성분계 혼합시멘트는 수화생성물인 칼슘실리케이트( $\text{C-S-H}$ )와 혼화재의 포졸란 반응에 의하여 치밀한 미세구조를 형성하기 때문에 황산염, 염화물 등 화학용액의 침식을 억제할뿐 아니라, 화학적 침식을 받는 환경하에서도 지속적인 강도 증진현상을 보인다. 특히 해수에 침지한 경우는 포졸란 반응에 의해 생성된 수화물의 미세한 구조형성과 수화물의 이온 흡착으로 이온의 침투를 억제하기 때문에 다른 시멘트와 비교하여 강도저하가 거의 없다.

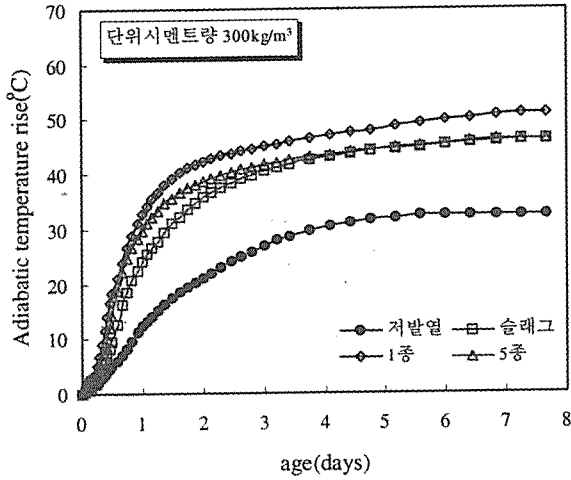
또한, 3성분계 혼합시멘트는 혼합재의 포졸란반응에 의하여 시멘트수화반응시 생성되는 알칼리(수산화칼슘)가 소모되어 콘크리트중의 pH가 낮아지므로 알칼리 골재반응을 억제시키는 효과가 있다.

#### - 단열온도상승량

3성분계 혼합시멘트를 사용한 콘크리트의 단열온도상승량은 단위시멘트량  $500 \text{ kg/m}^3$ 인 경우가 1종 보통 포틀랜드 시멘트의  $300 \text{ kg/m}^3$



(그림 5) 콘크리트의 단열온도 상승



시멘트종류	K	$\alpha$
저발열	35.5	0.43
슬래그	46.9	0.65
1종	49.6	0.94
5종	45.7	0.90

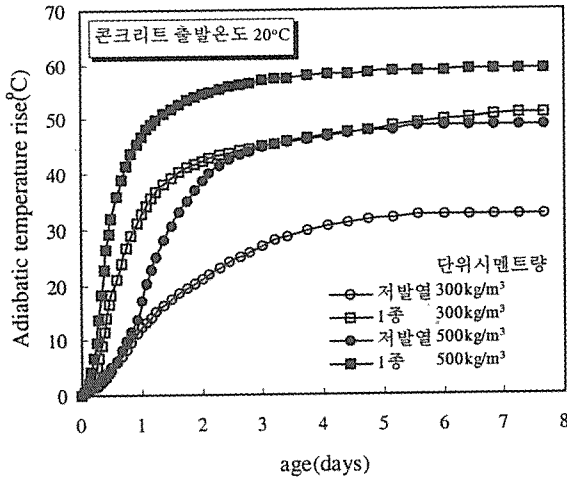
$$T = K(1 - e^{-\alpha t})$$

T: 시간 t에서의 단열온도상승치(°C)

K: 최대상승온도치(°C)

$\alpha$ : 반응속도

t: 재령(일)



시멘트 종류	단위시멘트량 (kg/m³)	K	$\alpha$
저발열	300	35.5	0.43
	500	53.6	0.49
1종	300	49.6	0.94
	500	58.9	1.39

의 경우와 같은 수준의 수화발열량을 나타낸다. 즉, 저발열 시멘트를 사용한 콘크리트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 콘크리트에 비해 단열온도상승 모델식의 최종적인 온도상승값(K)은 20% 이상 감소하고, 온도상승 기울기( $\alpha$ )는 1/3 이하로 작아 수화열 저감 효과가 매우 크다.

### 3. DSP 시멘트

포틀랜드시멘트 경화체 중에 포함되어 있는 기공 안에 초미립자의 물질을 균일하게 분산시켜 치밀화합으로서 고강도를 얻기 위한 것을 DSP 시멘트라 한다.

DSP 시멘트 경화체는 포틀랜드시멘트를 주원료로 하고, 여기에 실리카푼과 같은 초미립자의 물질과 고유동화제 등을 첨가하여 물 시멘트비를 0.15~0.2 정도로 하여 제조한다.

DSP 시멘트의 낮은 물시멘트비에서 유동성을 향상시키기 위하여 초미립자 물질과 분산제를 효과적으로 사용하면 분산된 초미립자 물질이 물과 같은 역할을 하여 유동성을 갖게 된다. 이와 같이 잘 혼합된 DSP 시멘트는 유동성이 좋아 주입성형이 가능하고, 미립자 분체의 충전율을 높임으로써 공극률은 감소되고, 1000~3000kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 압축강도를 얻을 수 있다.

이들 초고강도 시멘트 경화체는 내마모성이나 치밀성이 높은 것을 이용하여 내화확성, 내약품성이 요구되는 화학공장, 냉동실, 중기계공장 등의 바닥에 이용된다. 건축재료 분야 이외에도 금속 대체품으로의 이용이 검토되어, 공작기계를 올려놓는 받침대, 분체 수송관의 내장재, 정밀한 기계부품, 여러 가지 종류의 금형에 대한 이용이 검토되고 있다.

#### 4. 결론

최근 콘크리트 구조물의 대형화, 고층화, 고성능화 등의 요구가 급속히 발생됨에 따라 최근의 국내 건설시장의 예에서도 이전에는 볼 수 없었던 대형의 특수공사가 증가하고 있다.

각 시도에서 건설되는 지하철, 장대형 교량 및 고속전철 등의 건설현장에서는 매스 콘크리트의 수화열 문제, 그리고 고층건물, 교량

등에 있어서의 고밀도 철근배근에 따른 고유동성 혹은 고내구성의 확보 문제 등 콘크리트 구조물의 고품질화가 계속적으로 요구되고 있다. 이러한 기술적 요구에 대응하기 위해 최근의 콘크리트에 있어서는, 단순한 슬럼프값과 압축강도를 만족시키는 것 이외에 고유동, 재료분리저항성, 고강도, 저발열 및 고내구성 등의 세부적인 기술 확보가 필연적으로 필요로 하게 되었다.

따라서 레미콘 관련 종사자들도 최근의 이러한 관련 기술의 변화를 예의 주시하며 건설사의 수요에 적극적으로 대응할 필요가 있다.

#### 참 고 문 헌

- 1) P. K. Metha, World Cem. Technol., 11, pp166(1980)
- 2) R. B. Williamson, Progress in materials Science, 15, pp189(1972)
- 3) G. J. Verbeck, ASTM Proc, 50, pp1235(1950)
- 4) 田中光男, 콘크리트工學, 31, pp18 (1990)
- 5) 名和豊春 セメント・コンクリート論文集, No.43, pp90(1989)
- 6) 名和豊春 콘크리트工學年次論文報告集, 15, pp143(1993)
- 7) 名和豊春 セメント・コンクリート論文集, No.578, pp10(1995)
- 8) 동양시멘트, 기술자료, 1998