

高 빌라이트系 포틀랜드시멘트

~시멘트의 性質과 低熱, 高流動, 高強度 콘크리트에의 適用~

立 學 哲 (譯)

〈德山시멘트製造(株) 企劃部 次長〉

1. 序 論

시멘트는 크링카를 소성하여 이에 적당량의 석고를 첨가하고 또한 고로슬래그나 플라이애쉬를 혼합하여 분쇄함으로써 제조되고 있는데 최근에는 크링카에 혼합재의 첨가량을 높여 조합한 2성분 또는 3성분계의 규격의 혼합시멘트의 연구개발이 활발히 진행되어 실용화되고 있다. 일본에서 개발된 이른바 「초저발열시멘트」 등 최근에 개발된 신종시멘트의 대부분은 혼합재에 의존하는 경향이 높은 편이다.

그러나 혼합재의 성능이나 사용상에는 아직 문제점이 있기 때문에 이를 해결하기 위한 크링카 자체의 개선 필요성에서 수년전부터 시멘트 메이커들은 고 빌라이트계 포틀랜드시멘트의 연구개발에 착수, 현재는 실구조물의 적용시험에서 그 성과를 올리고 있다.

또한 최근의 연구에 따르면 이 시멘트에 고성능 AE감수제가 효과적으로 작용한다는 사실이 밝혀졌고 혼합재나 증점제를 사용하지 않고도 低熱, 高流動, 高強度의 콘크리트를 얻을 수 있음이 재평가되어 이의 새로운 전개가 기대되고 있다.

2. 高 빌라이트系 포틀랜드 시멘트의 性質

1) 시멘트 화합물의 조성 및 성질

〈表-1〉에서와 같이 포틀랜드시멘트를 구성하는 주요 조성물은 엘라이트(C_3S), 빌라이트(C_2S), 알루미늄에이트(C_3A) 및 페라이트(C_4AF)로서 그 각각의 특성이 있다. 시멘트의 가장 중요한 성질인 강도발현은 엘라이트와 빌라이트로서 결정되는데 엘라이트는 단기에서 장기에 이르기까지 강도발현이 탁월하나 수화열은 비교적 높으며 이에 비해 빌라이트는 단기강도 발현은 저조하나 장기강도가 우수하고 또한 수화열이 낮다.

「高 빌라이트系 포틀랜드시멘트」는 그 조성물 구성에 있어서의 통칭이며 본고에서는 빌라이트의 함유량을 엘라이트보다 높여서 수화열을 저감시킨 시멘트로 정의한다. 알루미늄에이트 상의 함유량은 수화열 저감 및 유동성 증진을 목적으로 낮추었다.

각종 포틀랜드시멘트 조성물의 구성 및 품질의

시멘트의 組成物과 特性

〈表-1〉

조 성 물		강도 발현		수화열
		단 기	장 기	
규산 칼슘	엘라이트 (Alite : C_3S)	대	대	중
	빌라이트 (Blite : C_2S)	소	대	소
間 隙 相	알루미늄에이트 (Aluminate : C_3A)	중	소	대
	페라이트 (Ferrite : C_4AF)	소	소	중

포틀랜드 시멘트 조성물의 구성 및 품질에

<表-2>

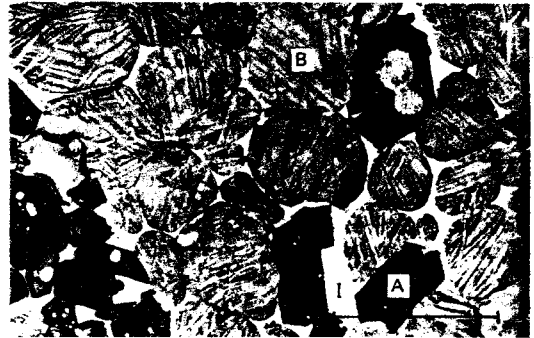
종 류(기호)	조 성 물 (%)				비 중	비표면적 (cm ² /g)	모르타르 압축강도 (kgf/cm ²)				수 화 열 (cal/g)		
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF			3일	7일	28일	91일	7일	28일	91일
高빌라이트系(L)	27	58	2	8	3.22	3,350	76	115	322	609	48.3	63.6	74.7
高빌라이트系(HFL)	35	46	3	9	3.20	4,080	127	178	416	647	61.7	73.7	80.8
중 용 열(M)	44	33	4	12	3.21	3,040	116	170	365	526	64.6	76.3	84.0
보 통(N)	52	23	9	9	3.16	3,250	151	257	423	491	78.0	89.2	95.8

예를 <表-2>에 나타냈다. 시멘트의 강도는 조성물의 구성비나 시멘트 분말도 등의 조정에 따라 변하게 되는데 表에서와 같이 高 빌라이트시멘트(이하 빌라이트 시멘트로 略記)는 빌라이트/엘라이트비와 시멘트 분말도를 높게 설정하였다.

2) 빌라이트의 성질

빌라이트는 안정된 화합물로서 溫度域에 따라 고온형에서 저온형에 이르기까지 크게 나뉘어 α, α', β 및 γ 相의 4종류가 있는 것으로 알려져 있으며 고온변태는 특정한 미량성분이 불순물로서 함유되면 실온까지 준안정화된다. 대체로 고온형의 수화활성은 크지만 γ相에 있어서는 수화활성이 없다. 포틀랜드 시멘트 크링카에 함유된 빌라이트는 <사진-1>에서 보는 바와 같이 10~40μm의 球狀 결정으로서 소량의 α相이 공존하는 경우도 있으나 대개는 거의가 β相이다.

<그림-1>은 시멘트 조성물에 대한 수화율을 비교한 것으로서 재령 7일까지는 C₃A > C₃S > C₄AF >

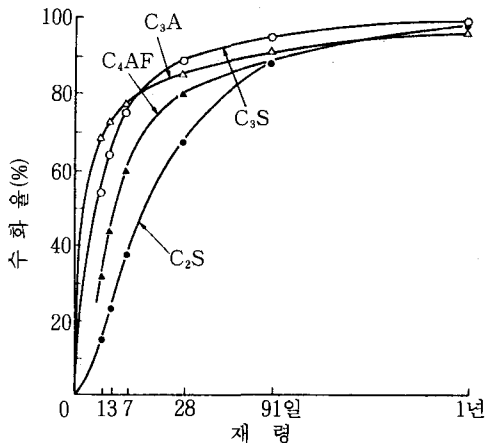


<사진-1> 高빌라이트系 포틀랜드 시멘트 크링카의 반사 현미경 사진(A : 엘라이트, B : 빌라이트, I : 간극상)

C₂S의 순으로 커지다가 재령 91일에 달하면 각 조성물이 거의 동시에 90% 전후의 수화율을 나타낸다. 빌라이트는 단기간의 수화율은 적게 나타나고 있으나 장기간에 있어서는 여타 조성물과 유사하게 나타나는 강도발현 및 수화열의 특징을 보여주고 있다. 원소의 종류의 따라서 또는 불순물의 함유량이 증가할수록 빌라이트의 수화활성이 높아지는 것이 있는데 그 메카니즘은 格子缺陷의 증가, 결정구조의 변화, 粒界析出 화합물의 영향 때문인 것으로 해석된다.

3) 강도 발현성과 수화열

시멘트 조성물의 강도발현과 수화열을 <表-3>^{2,3)}에 나타냈다. 시멘트의 수화열은 조성물 전체의 수화열에 비례하지만 강도발현은 수화에 의해 생성된 수화물의 종류나 경화체의 조직으로부터 큰 영향을 받으며 수화열과의 비례관계는 성립되지 않는다. <그림-1>과 <表-3>을 대비해 보면 알루미나 상이나 페라이트 상은 수화속도나 수화열이 크지만 강도발현은 작게 나타나고 있다. 따라서 빌라이트 시멘트



<그림-1> 시멘트 조성물의 수화속도

시멘트 조성물의 강도와 수화열

〈表-3〉

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

로서는 두 화합물, 특히 알루미늄 상을 가능한한 저감시키는 것이 필요하나 공업적으로는 달성하기가 어렵다. 그러므로 Al₂O₃나 Fe₂O₃는 크링카 소성과정에서 액상으로 하고 엘라이트와 빌라이트의 정출을 빠르게 함과 동시에 크링카 형성을 촉진시켜 경제적인 크링카를 제조할 수 있어야 한다. 한편 엘라이트나 빌라이트에 함유되는 미량성분으로서 양자의 수화활성을 높이는 방법도 있다.

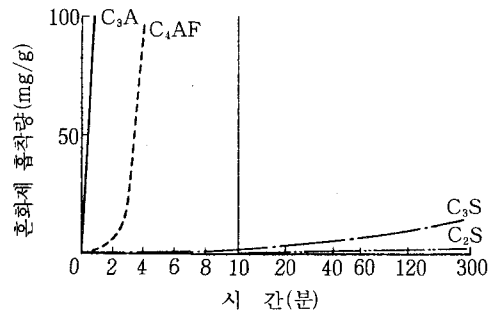
빌라이트 시멘트의 조성물 구성과 강도발현, 수화열과의 관계를 혼합시멘트계의 저발열시멘트 및 초저발열시멘트와 비교하여 〈表-4〉에 나타냈다. 빌라이트량은 80% 이상, 엘라이트량을 10% 이하로 낮춘 저발열의 경우는 재령 28일에 있어서는 초저발열시멘트와 대등한 수화열을 나타내고 있다. 그러나 재령 28일까지의 강도발현이 작아서 재령 7일까지 10kgf/cm² 정도의 강도에 불과한 반면 재령 91일에서는 500kgf/cm² 이상의 고강도가 되는 것도 문제점이다. 재령 3일에서 50kgf/cm², 재령 7일에서 100kgf/cm² 정도의 압축강도를 얻고자 할

때는 빌라이트량을 60%, 엘라이트량을 25% 정도로 하면 되나 수화열은 3성분계 초저발열시멘트보다 크다.

포틀랜드시멘트와 혼합시멘트의 강도발현과 수화열 또는 단열온도 상승의 관계가 같지 않은 것은 각각을 구성하는 물질에 따라 수화반응이나 수화생성물이 이루는 경화체 조직이 서로 다르기 때문이라는 견해도 없지 않다.

4) 혼화제의 흡착과 유동성

〈그림-2〉⁵⁾에서와 같이 시멘트 조성물은 유기질 혼화제의 혼합특성이 각기 다르다. 빌라이트시멘트는 혼화제의 흡착속도 및 흡착량이 큰 알루미늄네이트 상을 극도로 저감시키므로 특히 시멘트 배합비가 높은 고강도 콘크리트에 있어서는 혼화제의 분산효과가 탁월하게 작용한다. 그리고 〈그림-3〉에서와 같이 알루미늄네이트 상과 페라이트 상의 함유량이 적을 수록 모르타르의 降伏值 또한 작아지므로 빌라이트



〈그림-2〉 시멘트 조성물에서의 혼합제 흡착

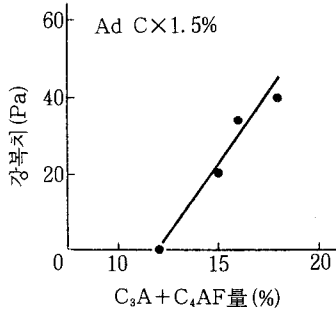
빌라이트시멘트 및 3성분계 저발열시멘트의 강도와 수화열

〈表-4〉

종 류	조 성 물 (%)				모르타르 압축강도 (kgf/cm ²)				수 화 열 (cal/g)		
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	3일	7일	28일	91일	7일	28일	91일
高빌라이트系	43	45	2	10	110	162	368	568	58	76	87
	30	58	2	10	99	134	394	641	50	65	78
	21	67	2	10	68	97	320	632	45	60	77
	10	80	2	8	8	11	126	532	25	53	71
	0	90	2	8	5	8	200	543	19	42	65
3 성 분 계	저 발 열(MBF) ¹⁾				65	117	311	509	47	65	72
	초 저 발 열 ²⁾				70	165	325	426	41	47	50

주) 1. 중용열시멘트 : 코로슬래그 미분말 : 플라이애쉬 = 40 : 40 : 20

2. 보통시멘트 : 코로슬래그 미분말 : 플라이애쉬 = 17 : 60 : 23



〈그림-3〉 모르타르의 유동성에 미치는 $C_3A + C_4AF$ 量의 영향

시멘트는 혼화제 사용시 유동성을 향상시키게 된다.

3. 低熱콘크리트에의 利用

1) 일반 매스콘크리트용 블라이트시멘트

크링카 함유량이 적은 2성분계 또는 3성분계의 저발열시멘트는 응결의 지연이나 중성화가 빠르다는 단점이 지적되고 있으나 혼합제를 사용하지 않는 블라이트시멘트는 이러한 문제점이 없으므로 범용성의 저발열시멘트로서 유망할 것으로 보인다.

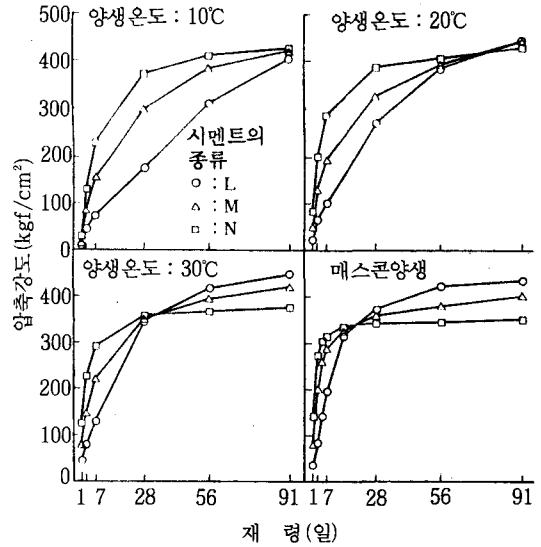
이하에 일반 매스콘크리트로서의 블라이트시멘트 적용사례를 열거하였다.

(1) 시멘트의 품질과 콘크리트의 성질

〈表-2〉에서의 저발열 블라이트시멘트(L)는 전술한 바와 같이 조성물중 블라이트 량의 최적화 및 간극상의 저감으로 인해 저수화열 및 적당한 단기강도를 확보하여 중용열시멘트 규격을 만족시키고 있다. 그 결과 수화열은 중용열시멘트(M)에 비해 재령 28일에서 17%, 91일에서는 11%. 또한 보통시멘트(N)에 비해 재령 28일은 29%, 91일에서는 22%가 작고 압축강도에 있어서는 재령 3일, 7일, 28일에서 각각 70, 100, 300kgf/cm² 이상의 수치를 기록하였다.

다음에 이와 같은 블라이트시멘트(L)를 사용한 콘크리트의 제 특성을 소개해 보기로 한다.

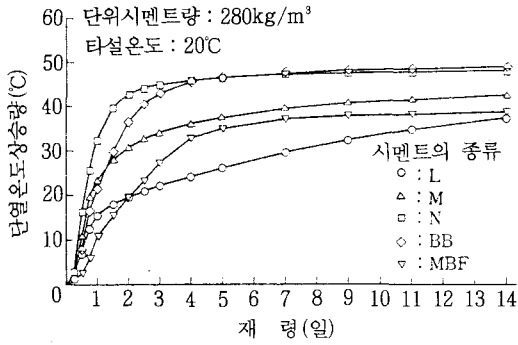
〈그림-4〉는 조골재의 최대치수 20mm, W/C비 55%, 슬럼프 12cm, 공기량 4%의 콘크리트에 대한 압축강도 발현성을 10°C, 20°C, 30°C에서 수중양생 및 두께 2m의 매스콘크리트 슬래브 중심부의 온도



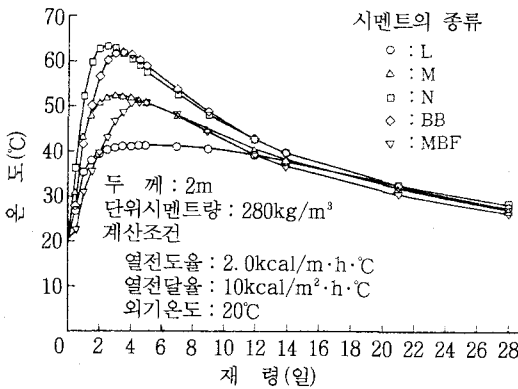
〈그림-4〉 양생온도 변화에 따른 콘크리트의 강도발현성 (W/C 55%)

이력을 추정하여 양생할 경우에 대해 나타낸 것이다. 여기서 양생온도가 30°C인 경우에는 초기재령에서보다 강도발현이 양호하고 재령 28일에서는 여타 시멘트와 동등, 그 이후의 재령에서는 이들보다 높은 강도를 나타내고 있다. 매스콘크리트 양생에 대해서는 다른 시멘트에서는 재령 7일까지 급격한 강도발현을 보이다가 그 이후에는 강도 증가가 둔화되는데 비해 재령 14일에는 여타 시멘트와 유사한 수준을 나타내고 그 이후에는 더 높은 장기강도를 나타내고 있다. 블라이트시멘트는 단열온도상승 이력을 추정해 볼때 콘크리트 강도의 발현성이 양호한 것으로 보고된 바 있으며^{9, 10)} 매스콘크리트의 온도 이력을 추정해본 결과에서도 탁월한 강도발현을 나타내는 것으로 확인되었다.

〈그림-5〉는 단위 시멘트량을 280kg/cm³으로 했을 때의 단열온도 상승 시험결과를 나타낸 것으로서 그림 중에는 고로시멘트(BB) 및 〈表-4〉에서의 3성분계 저발열시멘트(MBF)의 결과도 나타났다. 재령 7일에서 비교해 보면 블라이트시멘트(L)는 중용열시멘트(M)에 비해 10°C, 보통시멘트(N), 고로시멘트(BB)에 비해 18°C, 또한 3성분계 저발열시멘트(MBF)보다도 7°C 정도 온도상승 저감효과가 있다. 또한 〈그림-6〉은 이러한 콘크리트를 두께 2m의 매스콘크리트 기초슬래브에 리프트에서 타



〈그림-5〉 단열온도상승 시험결과⁸⁾



〈그림-6〉 매스콘크리트 부재의 온도이력 시뮬레이션 결과⁸⁾

설했을 때 중심부의 온도이력을 계산한 결과를 나타낸 것이다. 중용열시멘트를 사용했을 때에 비해 10℃ 정도, 또한 보통시멘트에 비해 20℃ 이상의 온도상승 저감효과가 예상된다.

〈그림-7〉은 W/C비 55%에서의 촉진중성화 시험 결과를 나타낸 것이다. 빌라이트시멘트(L)의 중성화 속도는 보통시멘트(N) 보다 약간 빠르나 중용열시멘트(M)와는 거의 같다. 또한 3성분계 저발열시멘트(MBF)와는 응결시간에 대해서도 중용열시멘트와 큰 차이가 없는 경향을 보이고 있다.

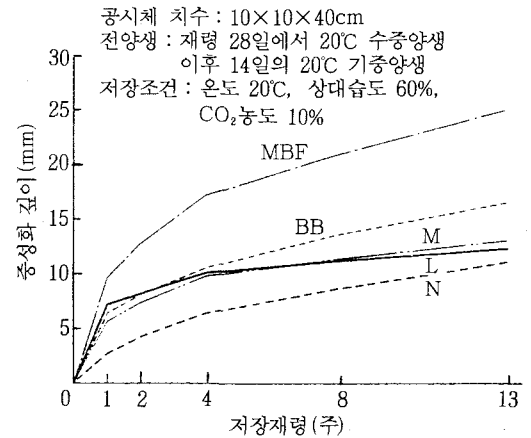
빌라이트시멘트(L)는 낮은 W/C비의 고강도 콘크리트에 대해서도 우수한 강도발현성과 온도상승 저감효과를 나타낸다.^{12, 13)} 〈그림-8〉은 W/C비 30%, 단위시멘트량 550kg/m³의 콘크리트 기둥을 타설했을 때 온도이력을 계산한 것이다. 빌라이트시멘트(L)를 사용한 고강도 콘크리트는 재령 28일에서 770kgf/cm², 91일에서 990kgf/cm² 정도의 압축강도를 보이고 있다. 중심부의 최대온도는 보통

시멘트(N)가 75℃인데 비해 50℃ 정도를 나타내며 빌라이트시멘트의 적용은 고강도 콘크리트의 온도상승 저감에 대해서도 효과적인 것으로 생각된다.

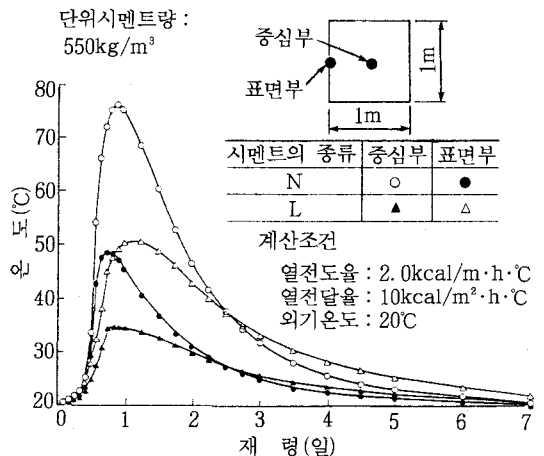
(2) 실구조물에서의 적용

〈表-2〉에서 나타낸 저발열형 빌라이트시멘트(L)를 실구조물에 적용한 예로서 두께 2.4m, 직경 29m의 시멘트 사일로 기초매트슬래브의 매스콘크리트 공사에 대한 시험결과를 소개한다.

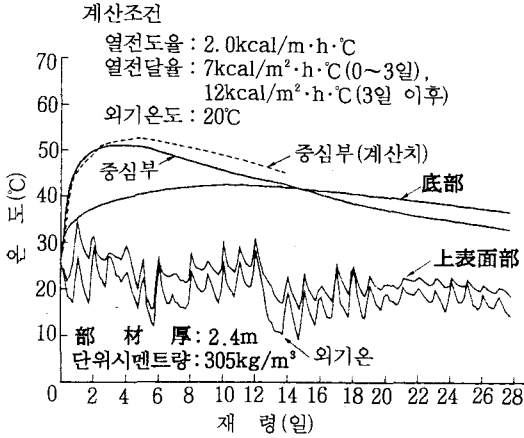
본 공사에 사용된 콘크리트는 설계기준강도 240 kgf/cm², 조골재 최대치수 25mm, 슬럼프 15cm, 공기량 4%이며 강도관리재령을 56일로 하고 W/C 비를 보통시멘트를 사용할 때와 같이 57%로 설정하였다.



〈그림-7〉 촉진중성화 시험결과(W/C 55%)



〈그림-8〉 고강도 콘크리트의 온도이력 시뮬레이션¹³⁾



〈그림-9〉 빌라이트시멘트(L)를 적용한 실제 매스콘크리트의 온도이력

〈그림-9〉에 기초슬래브 중심위치에 대한 바닥두께방향 세곳(슬래브 윗면에서 5cm, 중심부, 바닥면에서 5cm)의 온도측정 결과를 나타냈다. 그림에는 타설콘크리트와 재료, 배합, 타설온도조건을 동일하게 하여 측정된 단열온도상승 시험결과까지 계산하여 중심부의 온도 이력을 동시에 나타냈다. 이에 의하면 중심부의 온도는 타설후 4일에서 최고온도 51°C에 이르며 타설온도 26°C에서의 상승량은 25°C가 된다. 특히 〈그림-6〉의 결과로부터 추정해 보

면 본 공사에 보통시멘트를 적용한 경우에는 중심부의 최고온도가 70°C 정도에 달할 것으로 생각된다.

이와 같이 저발열형 빌라이트시멘트를 실제 매스콘크리트 구조물에 적용하여 본 결과는 그 온도상승 저감효과를 확인하는 과정이었다.

2) 댐콘크리트용 빌라이트시멘트

저발열시멘트의 진보는 댐콘크리트용 시멘트의 연구개발과 분리하여 생각하면 안된다. 최근에는 댐용 시멘트 사양을 만족하는 저열 고로시멘트나 중용열 플라이애쉬 시멘트는 보통의 고로시멘트나 플라이애쉬 시멘트와 구분하여 공급되고 있다.

근년들어 일본은 대규모 댐공사가 많아졌으나 온도균열억제 측면에서 한층더 시멘트의 저열화가 요구되고 있기 때문에 일본 시멘트협회는 建設省, (財)土木研究센터 및 (財)國土開發技術研究센터의 지도를 받아 빌라이트크링카를 기본재료로 한 댐용 빌라이트시멘트(L100)와 저열고로시멘트(LS60)를 개발하였다.¹⁶⁾ 〈表-5〉와 〈表-6〉에 나타낸 바와 같이 시멘트의 기본구성재료의 내용과 시멘트의 성질은 현재 많은 댐건설에 적용되고 있는 RCD(롤러轉壓 댐콘크리트) 공법용 시멘트로서 중용열 플라이애쉬 시멘트(MF30)에 비해 ① 단열온도 상승량의 저감 ② 콘크리트의 장기강도는 동등 이상

빌라이트 크링카를 사용한 댐용 저발열시멘트의 구성 기본재료

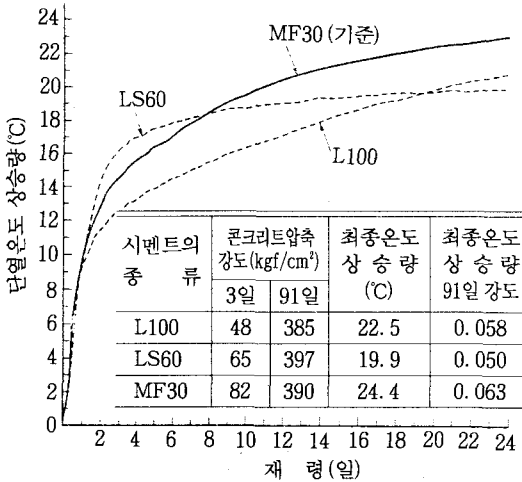
〈表-5〉

시멘트의 종류 (기 호)	기본재료의 구성비	시멘트 구성 기본재료의 내용	
		크링카중의 빌라이트 함량	혼합재의 분말도(비표면적)
빌라이트시멘트(L100)	빌라이트시멘트 100%	58 ~ 62 %	-
저열고로시멘트(LS60)	빌라이트시멘트 40% 고로슬래그 미분말 60%	52 ~ 57 %	슬래그 미분말 4,000~4,500cm ² /g
중용열 플라이애쉬 시멘트(MF30)	중용열 시멘트 70% 플라이애쉬 30%	31~35%	플라이애쉬 4,000~4,500cm ² /g

빌라이트 크링카를 사용한 댐용 저발열시멘트의 SO₃, 물리성능, 수화열 예¹⁶⁾

〈表-6〉

시멘트의 종류 (기 호)	S ₂ O (%)	비 중	비표면적 (cm ² /g)	모르타르 압축강도 (kgf/cm ²)				수 화 열 (cal/g)		
				3일	7일	28일	91일	7일	28일	91일
빌라이트시멘트(L100)	3.0	3.19	3,470	51	90	240	533	51.0	60.5	72.5
저열고로시멘트(LS60)	2.6	3.02	4,030	56	118	312	563	42.1	52.1	62.5
중용열 플라이애쉬 시멘트(MF30)	1.4	2.84	3,280	72	102	174	339	51.2	62.1	66.9



〈그림-10〉 콘크리트의 강도 및 단열온도 상승시험 결과 등의 목표 품질에 맞추어 설계한 것이 있다. 〈그림-10〉은 콘크리트 강도와 단열온도 상승시험 결과를 나타낸 것으로서 각각의 시험은 외부용과 내부용 시방배합에 의한 40mm wet screening 배합으로 시공된 것이다. 시멘트(L100)를 사용한 RCD공법에 의한 시험시공은 93년도 長島댐에서 실시된 바 있다.

4. 高流動·高強度 콘크리트에의 적용

콘크리트의 분리저항성을 증진시키기 위해서는 페이스트나 모르타르 등의 매트릭스 부분의 점성을 증가시키는 것이 중요하다.¹⁸⁾ 그 방법으로서서는 물/분체 비를 저감시키거나¹⁹⁾ 증점제를 사용하는 경우가 있는데 보통시멘트를 사용하여 물/분체 비를 저감시키는 경우에는 유동성에 문제가 있으므로 플라이애쉬나 고로슬래그 미분말 등의 혼합재를 병용하는 것이 필요하나 레미콘공장에서의 제조상 번잡한 문제가 발생될 수도 있다. 한편 증점제를 사용하는 경우는 동결융해 저항성이 저하된다는 보고가 있으며 또한 미량의 증점제를 첨가할 때도 일일이 수작업을 해야하기 때문에 고유동 콘크리트를 제조할 때 혼합제를 사용하지 않는 시멘트의 개발이 요망되고 있다. 따라서 낮은 W/C비에서도 고성능 AE감수제를 첨가하여 우수한 유동성과 분리저항성을 나타내는 빌라이트시멘트를 사용하는 고강도 콘크리트가 일부 시공되기도 한다.²²⁾

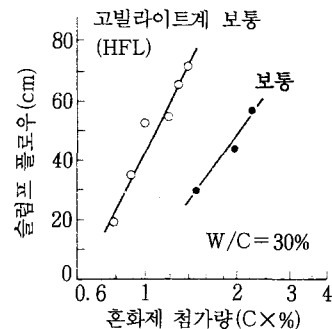
1) 고유동·고강도 콘크리트용 빌라이트시멘트의 품질

빌라이트의 함량이 높으면 초기강도가 저하되므로 건축용 고유동 콘크리트로서는 거푸집 탈형기간이 길어진다. 또한 분말도의 증대는 페이스트의 점도를 증가시켜 W/C비나 세골재의 표면수율 변동에 의해 모르타르의 점도변동을 억제하기도 한다. 이와 같은 특성을 감안하여 빌라이트크리트를 사용하여 개발한 고유동·고강도 콘크리트용 시멘트(HFL)의 품질 예를 〈表-2〉에 나타냈다. 빌라이트 함량이 많기 때문에 분말도가 4,080cm²/g으로 높은 편이지만 수화발열량은 중용열시멘트보다 적다. 또한 강도발현에 있어서 초기강도는 낮으나 재령 28일 이후에는 보통시멘트보다도 높고 중용열시멘트(M)나 보통시멘트(N)의 규격 모두를 만족시키고 있다.

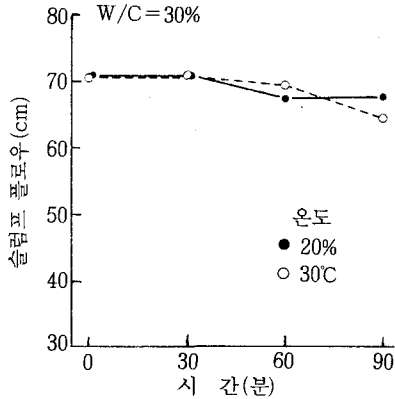
2) 콘크리트의 성질

〈그림-11〉에 폴리카르본산계 고성능 AE 감수제를 첨가했을 때의 콘크리트의 슬럼프 플로우를 나타냈다.²³⁾ 빌라이트시멘트(HFL)는 보통시멘트(N)에 비해 적은 혼화제의 첨가량으로도 큰 슬럼프 플로우를 나타내고 있다.

〈그림-12〉는 슬럼프 플로우의 시간에 따른 변화를 나타낸다. 그림에서와 같이 90분 경과후에도 양호한 유동성을 나타내며 특히 콘크리트의 유동성은 슬럼프 플로우가 60~70cm의 범위에서 플로우 선단부에 조골재가 포함되어 분리되지 않은 상태를 나타내며 고로슬래그 미분말을 첨가한 2성분계 시멘트에 의한 고유동 콘크리트와 비슷한 정도의 충전성을 나타낸다.



〈그림-11〉 혼화제의 첨가에 따른 콘크리트 슬럼프 플로우의 변동²³⁾



〈그림-12〉 슬럼프 플로우의 시간에 따른 변화

〈表-7〉은 콘크리트의 응결시간이다. 빌라이트 시멘트(HFL)는 같은 W/C의 보통시멘트(N)와 응결 시간이 거의 같다. 한편 플라이애쉬 등의 혼화제나 증점제를 사용한 고유동 콘크리트는 보통시멘트에 비해 늦어지고 심한 경우에는 종결이 3일에 달할 때도 있다.^{24, 25)}

〈그림-13〉은 W/C 30%에서 빌라이트시멘트(HFL), 보통시멘트(N) 및 3성분계 고유동 시멘트(보통시멘트 30%, 고로슬래그 미분말 30%, 플라이애쉬 40%)의 강도발현 예를 나타낸 것이다. 빌라이트시멘트(HFL)는 재령 7일 이후의 강도발현이 우수하고 장기에서는 보통시멘트를 상회하여 1,000 kgf/cm² 이상의 고강도를 발현한다. 또한 단열온도상승은 C₃A의 저감과 C₂S 증가의 상승효과로 인해 보통시멘트보다 상승속도가 완만하다. 상승량도

콘크리트의 응결시간

〈表-7〉

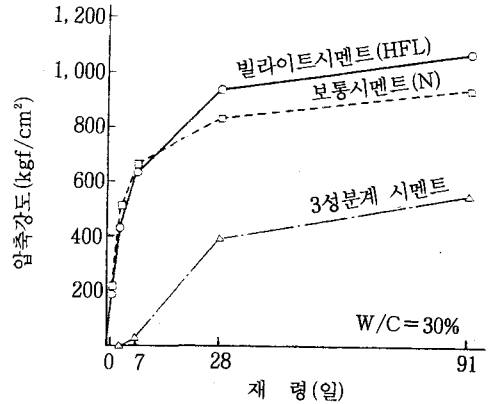
종 류	응결시간(시:분)	
	초 결	종 결
빌라이트(HFL)	6 : 45	8 : 45
보 통(N)	7 : 15	8 : 30

콘크리트의 배합

〈表-8〉

W/C (%)	S/A (%)	단 위 량 (kg/m ³)				혼화제첨가량 (C×wt.%)	목 표 치	
		물	시멘트	세골재	조골재		슬럼프 플로우	공 기 량
30	50	170	567	826	842	1.25	65±5cm	2±0.5%

주) 혼화제 : 폴리카르본산계 고성능 AE 감수제



〈그림-13〉 압축강도 발현 특성

W/C 30% (단위시멘트량 533kg/cm³)에서 약 8°C가 낮아진 결과로 나타났다.

3) 실구조물에서의 적용

고유동·고강도 콘크리트용 빌라이트시멘트(HFL)를 실제 구조물에 적용한 예로서 시멘트 사일로 엘리베이터 지하부분(콘크리트 타설량 125m³)에 크기 6.15×8.55m, 높이 3.60m, 최소 벽두께 300mm, 그리고 D16형 철근을 가로·세로 150mm 피치로 이중배근한 것이 있다.

〈表-8〉은 고유동 콘크리트의 배합예이며 그의 생 콘크리트 성질을 〈表-9〉에 나타냈다. 또한 콘크리트의 혼련시간은 90초~10분이며 이에 대한 슬럼프 플로우의 변동은 ±5cm 정도에 불과하다. 콘크리트는 펌프압송 후에 타설하여 진동다짐은 하지 않는다.

5. 結 論

장대한 구조물 또는 고강도 콘크리트 구조물이 대량으로 건설되고 있는 시점에서 일본은 고성능 시멘트의 개발지향으로 초저발열시멘트로는 최초로 크링카 타입의 빌라이트시멘트 연구가 활발히 진행

신선한 콘크리트의 성질²²⁾

〈表-9〉

채취시기	슬럼프 (cm)	슬럼프플로우 (cm)	공기량 (%)	온도 (°C)
출하시	28.0	65.0	1.3	23.0
도착시	28.0	71.0	1.8	22.5
60분후	28.0	67.0	1.7	23.0
90분후	28.0	67.5	1.8	22.0

되고 있다. 이는 혼합시멘트에 내구성이나 품질관리면에서 불안한 요소가 아직도 상존하고 있기 때문이다.

본고에서는 빌라이트시멘트의 성질과 저열 또는 고유동·고강도 콘크리트내의 적용에 대해 해설하고 저발열시멘트로써도 손색없는 이러한 시멘트에 고성능 AE감수제가 낮은 W/C 영역에서도 효과적으로 작용한다는 사실과 고유동·고강도 콘크리트용 시멘트로써도 적합하다는 사실에 대하여 논하였다. 향후 경제적·기술적 과제가 해결될 때까지 더욱 새롭게 전개시킬 수 있을 것으로 기대된다.

〈資料：콘크리트공학, Vol.31 9월號, 1993〉

〈참 고 문 헌〉

- 1) 小野吉雄：未水和セメントの鑛物相と水和特性, 콘크리트공학, Vol. 19, No. 11, pp. 10~14, 1981. 11.
- 2) Williamson, R. B. : Progress in Materials Science, Vol. 15, p. 189, 1972.
- 3) Verbeck, G. J. and Foster, C. W. : Long-Time Study of Cement Performance in Concrete with Special Reference to Heats of Hydration, ASTM Proc., Vol. 50, pp. 1235~1262, 1950.
- 4) 宇智田俊一郎：第249回 콘크리트講演會テキスト, pp. 35~43, 1990. 2.
- 5) 名和豊春·江口仁：セメント·콘크리트論文集, No. 43, pp. 90~95, 1989.
- 6) 名和豊春·深谷泰文·鈴木清志·柳田克巳：콘크리트공학年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, pp. 143~148, 1993.
- 7) 羽原俊祐·飛内圭之：低發熱セメント, セメント콘크리트 No. 535, pp. 12~24, 1991.
- 8) 原田宏·羽木隆·高橋重松·青木史朗：低熱ポルトランドセメントを用いた콘크리트の特性とマス 콘크리트への適用, セメント技術大會講演集, No. 47, pp. 346~351, 1993.

- 9) 加藤和巳·松崎茂·澤木省一郎：斷熱溫度上昇過程におけるセメントの強度發現性, セメント·콘크리트論文集, No. 45, pp. 116~121, 1991.
- 10) 五十畑達夫·竹村英樹·内田清彦：ピーライト系低發熱セメントの熱/強度特性と硬化體組織, セメント·콘크리트論文集, No. 45, pp. 134~139, 1991.
- 11) 低熱ポルトランドセメント技術資料, 秩父セメント(株), 平 5.3.
- 12) 江原恭二·橋大介·山崎庸行·西田 朗·羽木隆·原田宏：低熱ポルトランドセメントを用いた高強度콘크리트の基礎的検討, その1, 日本建築學會學術講演梗概集, pp. 361~362, 1992. 8.
- 13) 羽木隆·江原恭二·橋大介·山崎庸行·西田 朗·原田宏：同上, その2, 同上, pp. 363~364, 1992. 8.
- 14) 廣瀬利雄·柳田力：ダム콘크리트の歴史, 土木學會論文集, Vol. 17, No. 451, pp. 13~19, 1992. 8.
- 15) 田代信雄·是石俊文：壱原ダム콘크리트の材令30年試験, セメント·콘크리트, No. 304, pp. 14~23, 1972. 6.
- 16) セメント協會：RCD工法用低熱セメントの開発·低熱ポルトランドセメントを使用した各種タイプの低熱セメント, 材料開發専門委員會報告L-4, 1993. 1.
- 17) 江村 甫：新しい콘크리트材料への期待, セメント·콘크리트, No. 475, pp. 2~5, 1986. 9.
- 18) 岡村 甫·小澤一雅：締固め不要콘크리트の可能性と課題, 콘크리트工学, Vol. 30, No. 2, pp. 5~14, 1992. 2.
- 19) 小澤一雅·前川宏一·岡村 甫：ハイパフォーマンス콘크리트の開発, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol. 11, No. 1, pp. 699~704, 1989.
- 20) 竹下治之·佐原晴也·横田季彦：締固め不要高流動콘크리트に関する基礎的研究, 콘크리트工学論文集, Vol. 1, No. 1, pp. 143~153, 1990. 1.
- 21) 大和竹史：水中不分離콘크리트の耐凍害性, 水中不分離 콘크리트に関するシンポジウム論文集, pp. 161~166, 1990. 8. 濱園喜代一·生野千力·大矢一雄·西山直洋：ハイパフォーマンス콘크리트の實構造物における製造と品質管理, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol. 14, No. 1, pp. 39~44, 1992.
- 22) 依田和久·援本文敏·閑田徹志·名和豊春：高流動·高強度콘크리트の實構造物への適用に関する實驗, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, pp. 221~226, 1993.
- 23) 名和豊春·深谷泰文·鈴木清志·柳田勝巳：高ピーライト系セメントに関する研究, 콘크리트工学年次論文報告集, Vol. 15, No. 1, pp. 143~148, 1993.