

국내 콘크리트의 품질개선을 위한 각 방면에서의 제안

## 국내 콘크리트의 품질개선을 위한 시멘트 측면에서의 제안

Opinion for Improving Quality of Domestic Concrete With a View of Cement



박춘근\*

### 1. 서 론

시멘트의 역사는 그 나라의 산업화 역사이기도 하다. 우리나라에서 처음으로 시멘트가 선보이기 시작

산업이 발달됨에 따라 요구 특성이 다양화되고 대형 건설사업이 추진되면서 특수 시멘트가 개발되었다. 또한 고성능 콘크리트 필요성이 시급히 요구되어 혼합재, 혼화재, 시멘트 재료의 선정에 대한 연구가 활

고내구성 등의 기능들이 요구되고 있고 이들의 요구성을 만족하기 위하여 혼화제, 혼합재의 사용이 활발히 연구되고 있으나 아직은 범용화 되지 못하고 있으나 일부에서는 상품화가 이룩되기도 하였다.

본 고에서는 시멘트 변천과정과 종류별 생산추이를 검토하고 콘크리트 특성 중 가장 중요한 기능을 발현키 위한 시멘트에서의 기능화 및 콘크리트 품질 향상 측면에서 ① 포틀랜드 시멘트 ② 혼합 시멘트 ③ 특수 시멘트를 중심으로 논하고자 한다.

## 2. 시멘트 개발동향 및 주요 시멘트 생산량

시멘트는 1824년 영국의 J. Aspdin이 현재의 포틀랜드 시멘트를 처음 개발한 이후<sup>1)</sup>로 과학 및 건설 기술의 발달에 따라 요구 특성들이 다양화되면서 이에 부응코자 여러 특성을 발현하는 시멘트들이 개발

되었다. 이렇게 개발된 시멘트는 각 나라에서 산업발전에 지대한 영향을 미치게 되었고 급기야는 기간산업으로 자리잡았으며 현재는 철근 소비량과 함께 시멘트의 소비량이 그 나라 산업화의 척도로 사용되고 있다. 우리나라는 1919년 일본에 의해 평양근교 승호리에 보통포틀랜드 시멘트공장이 처음 세워진 후 광복전까지 6개 공장에 년산 170만톤의 생산을 하게 되었다.<sup>1)</sup> 그러나 광복후 국토분단으로 남한에는 동해안 삼척에 년산 8만톤이 남게 되었으며 전후의 국토개발부흥 사업과 경제개발 계획에 따른 시멘트 수요의 증가에 힘입어 64년에 100만톤을 넘었고 75년에 1,000만톤을 돌파하게 되었다. 그 이후로 지속적인 경제개발과 급격한 산업발달로 93년에 5,000만톤을 넘어섰고 올해는 6,000여 만톤을 기록할 것으로 예상되는데 이는 중국, 러시아, 일본, 미국에 이어 세계 5위이다.<sup>1)</sup> 1인당 시멘트 소비량도 60년대초 100kg

표 1 시멘트 개발과정의 변천

시 대	세 계	일 본	한 국
1824	• 영국 J. Aspdin 포틀랜드 시멘트 발명		
1862	• 혼합시멘트 개발		
1890	• 포틀랜드시멘트 종류별 분류시작 (1, 2, 3, 4, 5종)	• 포틀랜드시멘트 생산 시작	
1870~1910	• 알루미나 시멘트 개발(1907)		
1911~1945	• 미국 중용열, 저열 시멘트 댐공사에 대 규모 적용 • 팽창시멘트 개발(1930) • 슬래그 시멘트 생산(1940) • 플라이애쉬 시멘트 개발(1945)	• 백시멘트 개발 • 중용열 시멘트 개발(1935)	• 최초 승호리 시멘트 공장 건설(1919)
1946~1980	• 플라이애쉬 시멘트 생산(1950) • 초속경 시멘트 개발(1968)	• 포틀랜드시멘트 보통, 중용열, 조강, 고로, 실리카, 플라이애쉬 시멘트 규격화(1950~1951) • 초조강 시멘트개발(1965) • 초조강 시멘트 규격화(1973) • 팽창 시멘트 생산(1976) • 초속경시멘트생산(1980)	• 포틀랜드시멘트 본격생산 • 포틀랜드시멘트 보통, 중용열, 조강, 내황산염 시멘트 규격화(1962) • 고로슬래그, 플라이애쉬시멘트 규격화(1975~1976) • 백시멘트 생산(1964) • 내황산염시멘트 생산(1976) • 고로슬래그시멘트 생산(1978)
1981~현재		• 내황산염 시멘트 규격화(1978) • 저열 시멘트 규격화(1997)	• 중용열시멘트 생산(1983) • 조강시멘트 생산(1983) • 초조강시멘트 생산(1984) • 초속경시멘트 생산(1986) • 알루미나시멘트 생산(1987)

이하에서 70년대 500kg을 거쳐 90년대초 1,000kg을 초과하고 96년에는 1,300kg으로 대만에 이어 세계 2위로 시멘트에 관한한 세계적이라 할 수 있다. 표 1에 시멘트의 개발 과정을 세계 및 일본과 비교하여 나타내었다.

세계 시멘트 변천은 1900년 전후로 시멘트 화학에 대한 연구가 활발히 진행되어 포틀랜드 시멘트의 범위가 정해지게 되면서 특성에 따라 종류가 분류되기 시작하였다. 포틀랜드시멘트가 용도에 따라 본격적으로 사용되는 시기는 미국에서 대공황때 대규모 토목공사가 진행되면서 부터이고 슬래그나 플라이애쉬 등이 혼합재로 본격적으로 검토된 시기는 2차대전 전후로 에너지 절감이 큰 역할을 하였다. 70년대 들어 사막이나 해안지방 공사에서 내황산염시멘트의 사용이 활발해지면서 일본에서 1978년 규격화<sup>65)</sup> 되었으며 최근들어 에너지절감 및 환경문제로 인하여 산업부산물인 슬래그나 플라이애쉬를 혼합한 혼합시멘트의 사용이 국가적으로 장려 및 지원되면서 급격히 증가되고 있다.

현재 우리나라에서 건축 토목에 사용되고 있는 시멘트는 크게 포틀랜드시멘트와 혼합시멘트, 특수시멘트로 대별된다. 포틀랜드시멘트는 제일 많이 범용으로 사용되고 있으며, KS에 I, II, III, IV, V종으로 규격화<sup>66)</sup> 되어 있다. 두 번째로 포틀랜드시멘트에 잠재수경성 물질(알칼리 분위기하에서 불과 반응하여 경화하는 성질)을 혼합하여 혼합재의 특성을 심분 발휘시켜 사용하는 혼합시멘트 즉, 고로 슬래그 혼합시

멘트<sup>67)</sup>와 플라이애쉬 혼합시멘트<sup>68)</sup>가 있다. 세 번째로 포틀랜드시멘트나 혼합시멘트가 발휘할 수 없는 독특한 특성이 발휘되는 특수시멘트 (속경성, 수축저감, 고강도, 고유동)가 있는데 이는 뒤에서 자세하게 언급하기로 하겠다.

표 2에 최근 국내 주요 시멘트 종류별 생산량<sup>11)</sup>을 일본과 비교하여 나타내었다. 우리나라 및 일본 모두 저열 포틀랜드시멘트를 제외한 모든 종류의 포틀랜드시멘트를 생산하고 있다. 생산량은 우리나라의 경우 산업발전이 급격하게 증가됨에 따라 1종 보통시멘트의 생산이 비약적으로 증가되고 있음을 알 수 있다. 반면, 중용열 시멘트는 우리나라의 경우 주문 생산형이기 때문에 미주수출 및 충주댐 공사가 끝남에 따라 그 수요는 급격하게 감소되었으며 일본의 경우도 그 추이는 비슷하다. 내황산염 시멘트도 거의 같은 현상이나 우리나라는 원자력발전 및 해양구조물에서 지속적인 수요증가로 생산량이 늘고 있으나 일본의 경우 최근들어 그 생산량은 환경 및 산업 부산물의 활용측면에서 정부차원에서 지원, 시멘트 생산성 향상 등의 이유<sup>70)</sup>로 매우 미미한 실정이다. 반면, 조강시멘트는 공사기간단축 및 긴급공사의 증가 등 시대적 흐름으로 증가추세는 뚜렷하나 전체 건설시장에서 차지하는 부분은 아직은 매우 작다. 혼합시멘트는 에너지 저감 및 환경보호적인 차원에서 증가세가 확연하게 나타난다. 슬래그시멘트는 슬래그의 품질이 비교적 일정하기 때문에 지속적으로 증가하고 있는 반면 플라이애쉬는 그렇지 않음을 보여준다. 우리나라

표 2 품종별 시멘트 생산량

단위 : 천톤

구분	국 내			일 본			
	1986년	1990년	1995년	1986년	1990년	1995년	
포틀랜드 시멘트	보 통	21,524	31,268	51,135	56,192	64,302	68,953
	중 용 열	686	108	5	252	1,139	213
	조 강	1	19	40	2,326	3,552	3,765
	내 황 산 염	311	126	339	553	7	11
혼 합 시멘트	고 로 슬 래 그	714	2,051	3,609	10,317	14,621	16,372
	플 라 이 애 쉬	-	-	-	1,108	527	647

표 3 우리나라 레미콘 생산 실적

단위 : 천m<sup>3</sup>

년도	65	70	75	80	85	90	91	92	93	94
레미콘 생산실적	4	243	988	5,878	22,983	55,415	81,130	87,217	91,071	106,592

라에서는 플라이애쉬 시멘트가 아직은 본격적으로 생산되고 있지 않으나 일부 콘크리트에서 플라이애쉬를 혼합하여 사용하고 있는 실정으로 타시멘트에 비하여 플라이애쉬의 사용량은 매우 적다.

표 3에 우리나라의 레미콘 생산실적<sup>12)</sup>을 나타내었다. 레미콘 생산은 짧은 기간내에 매우 급격히 증가되어 왔고 특히 80년대말에서부터 고속도로확장 및 신설, 지하철 건설 등 대규모 공사의 지속과 주택 200만호 건설 등으로 급격한 증가세를 보이고 있으며, 최근 들어서는 대형 SOC 사업으로 꾸준히 증가하고 있음을 알 수 있다.

### 3. 시멘트 종류별 규격 및 국내 품질 수준

#### 3.1. 포틀랜드 시멘트

앞에서 언급한 바와 같이 국내에서 유통되고 있는 포틀랜드시멘트는 저열시멘트를 제외하고 4 종류이다. 표 4와 5에 품종별 규격 및 국내 시멘트 각사가 제조한 시멘트의 평균 유통품질을 나타내었다. 포틀랜드시멘트에 대한 KS 규격은 ASTM 규격과 동일하다.

화학성분에서 포틀랜드시멘트 II 종의 경우 엄격한 규격이 적용되고 있는데 이는 화학조성이 시멘트 구성광물인 C<sub>3</sub>S, C<sub>2</sub>S, C<sub>4</sub>A, C<sub>4</sub>AF (엄격히 말하면 이들을 주성분으로 하는 고용체이며 이들 광물은 각각 alite, belite, calcium aluminate, calcium ferroaluminate라 불리움)의 생성에 큰 영향을 미치며 이들 광물들은 시멘트 수화반응시 수화발열 특

성에 영향<sup>13)</sup>이 크다.

화학성분중 SO<sub>3</sub> 함량은 C<sub>4</sub>A 함량에 따라 변하는데 이는 C<sub>4</sub>A가 수화반응시 석고와 반응하여 calcium sulphoaluminate 수화물 (ettringite 또는 calcium monosulphate 수화물)을 생성하기 때문에 적절한 화학반응을 위하여 석고량이 조절되어야 하기 때문<sup>14)</sup>이다. 그리고 이 광물은 수화반응시 수화 발열량이 높고 수화반응물이 매우 약한 내화학적성을 나타내기 때문에 특수 용도에 부적합<sup>15)</sup>하여 시멘트 광물함량중 유일하게 C<sub>4</sub>A에 대한 함량 규제가 있다.

국내 시멘트 제조업체 모두 KS규격 제조업체로서 국내 시중유통 품질은 모든 종류에서 각각의 규격을 만족하고 있다.

KS 규격에 시멘트의 물리성능으로는 시멘트 blaine 비표면적, 응결, 압축강도 및 안정도에 대해 제한 조건을 두고 있으며 (표 5 참조) 국내 각사가 제조한 시멘트는 이들 규격을 충분히 만족하고 있다. KS규격중 압축강도의 경우 1일 강도에서 조강시멘트에 대해서만 규정이 있으며 국내 유통시멘트는 이를 훨씬 상회하여 만족시키고 있다. 안정도는 시멘트 수화물이 장기간에 걸쳐 얼마나 안정한 가를 나타내는 내구성으로 시멘트 수화물을 가혹한 조건으로 처리했을 때 구조물의 부피변화를 수치화한 것이다. 국내 유통 시멘트의 안정도는 0.1% 이내로 규격을 충분히 만족한다.

콘크리트의 품질개선을 위해서 포틀랜드시멘트의 역할은 제시된 규격이상의 품질을 보유하는 것은 물론 균질한 품질을 갖는 것이 무엇보다도 중요하다.

표 4 각종 포틀랜드 시멘트의 화학성분 KS규격 및 국내 유통 품질

구분		화 학 성 분 (%)							광 물 조 성 (%)				
		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> ±		Loss on lg.	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>4</sub> A	C <sub>4</sub> AF
							1	2					
I 종	KS	-	-	-	-	< 5	< 3	< 3.5	< 3	-	-	-	-
	품질	21.0	6.4	3.2	61.9	3.0	2.2		1.5	38.4	31.2	11.5	9.7
II 종	KS	> 20	< 6	< 6	-	< 5	< 3		< 3	-	-	< 8	-
	품질	23.2	4.8	3.6	62.1	2.8	1.6		0.6	34.4	40.5	6.6	10.9
III 종	KS	-	-	-	-	< 5	< 3.5	< 4.5	-	-	-	< 15	-
	품질	19.7	5.8	3.2	62.5	2.7	4.1		1.0	49.5	19.2	10.0	9.6
IV 종	KS	-	-	-	-	< 5	< 2.3		-	-	-	< 5	-
	품질	22.7	4.1	4.4	62.7	2.7	1.8		0.9	43.7	32.2	3.4	13.4

± 1: C<sub>4</sub>A 8% 이하, 2: C<sub>4</sub>A 8% 이상

표 5 각종 포틀랜드 시멘트의 KS규격 및 국내유통 시멘트의 물리성능

구 분	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	응 결 시 간		압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )				안정도 (%)	
		초 결(분)	종 결(시간)	1일	3일	7일	28일		
I 종	KS	> 2800	> 60	< 10 : 00	-	> 130	> 200	> 290	< 0.8
	품질	3200	280	6 : 50	95	190	280	370	0.10
II 종	KS	> 2800	> 60	< 10 : 00	-	> 110	> 180	> 285	< 0.8
	품질	2980	345	8 : 00	63	161	236	363	0.06
III 종	KS	> 3300	> 60	< 10 : 00	> 130	> 250	> 280	> 310	< 0.8
	품질	4700	210	5 : 50	186	310	380	461	0.10
V 종	KS	> 2800	> 60	< 10 : 00	-	> 90	> 160	> 210	< 0.8
	품질	3250	320	8 : 10	89	217	302	402	0.03

표 6 고로 슬래그 혼합 시멘트의 KS규격 및 국내유통 슬래그 시멘트의 품질

구 분		특급*	1급**	유통품질	
SO <sub>3</sub> (%)		3.0 ;	4.5 ;	2.2	
강열감량(%)		3.0 ;	3.0 ;	1.3	
S (%)		2.0 ;		0.7	
분 말 도	비표면적 (cm <sup>2</sup> /g)	각각 평균	2600 이상 2800 이상	2600 이상 2800 이상	3.948
안 정 도	오토클레이브팽창도 또는 수축도(%)		0.20 이하	0.20 이하	0.04
응 결 시 간	길모아시험	초결 (분) 종결(시간)	60 이상 10 이하	60 이상 10 이하	305 8 : 45
강 도	압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	3일 7일 28일	130 이상 200 이상 250 이상	100 이상 160 이상 250 이상	180 270 428
수 화 열		7 일(cal/g) 28일(cal/g)	70 이하 80 이하	70 이하 80 이하	65 75
모르타의 공기 함유량(%)			12 이하	-	3

\* 특급 : 슬래그 함량 25~65%, \*\* 1급 : 슬래그 함량 5~25%

즉, 콘크리트는 경화된 구조체의 기계적특성 및 내구성도 중요하지만 굳지않은 콘크리트의 특성이 시공성과 굳은 콘크리트의 특성에 지대한 영향을 미치므로 시멘트에서 기인되는 특성들 즉, 낮은 소요물량, 둔감한 slump 경시변화, 낮은 수화발열량, 정상적인 수화반응에 의한 응결 및 경화과정들을 발휘하여야 한다. 또한 용도에 맞는 콘크리트를 제조하기 위해서는 요구특성을 얻기 위하여 적절한 시멘트재료를 선택함이 중요하다. 물론, 시멘트재료에 대한 충분한 배합및 시공성 검토가 선행되어야 한다.

### 3.2 혼합 시멘트

국내에서 상품화되어 소비자가 직접 선택하여 사

용할 수 있는 혼합시멘트는 아직까지는 고로슬래그 혼합시멘트 한 종류다. 고로슬래그 혼합시멘트에 대한 규격 및 국내 유통 슬래그 혼합 시멘트의 품질은 표 6에서 보는 바와 같다. 국내에서 생산되는 고로 슬래그 혼합시멘트는 KS 특급으로 ASTM 및 JIS 에서 규정한 고로 슬래그 혼합시멘트 B종에 해당하는 슬래그 함량이 40~55% 정도이다. 국내 제조 고로 슬래그 혼합시멘트는 기본적으로 규격을 만족하고 있으나 콘크리트 제조시 품질안정 및 원하는 기능을 얻기 위해서는 여러 가지 해결해야 할 문제점<sup>16)</sup>들이 있다. 시멘트의 혼합재료 사용되는 슬래그는 제철공장의 고로에서 부산되는 부산물로서 제철공정에서 슬래그의 화학조성이 1차적으로 조정되기 때문에 부산되는 슬래그의 화학성분이 크게 변하지는 않는다<sup>17)</sup>.

이러한 연유로 슬래그는 비교적 안정된 품질이 유지되어 전세계적으로 시멘트 혼합재로 사용되고 있으나 슬래그가 제철공장에서는 산업부산물이고 슬래그 자체가 풍화작용을 받기 때문에 균질한 품질을 얻기 위해서는 품질관리가 필요하다. 또한 시멘트 제조시 균질한 입도관리 및 혼합량 관리와 균질한 혼합시멘트의 물성을 발현하기 위한 품질관리도 요구된다. 콘크리트 제조시 굳지않은 상태에서 bleeding 발생량과나, slump 경시변화 심화, 연행공기량 감소, 초기 경화 지연, 굳은 상태에서 중성화 속도증진 및 표면 내마모성이 나쁘다는 등 여러가지 문제점들이 해결되어야 슬래그를 혼합한 시멘트를 사용한 콘크리트가 혼합시멘트의 장점들이 심분 발휘되어 그 용도가 넓어질 것으로 예측된다.

플라이애쉬 혼합시멘트에 대해서는 규격화 (표 7 참조) 되어 있지만 플라이애쉬를 혼합한 혼합시멘트는 아직 상품화되어 있지 않다. 단지 플라이애쉬를 콘크리트 제조시 시멘트대체 및 세골재를 대체하여 첨가 사용이 일부 시행되고 있는 실정<sup>13)</sup>이다. 플라이애쉬는 고로 슬래그에 비하여 품질 산포가 크고 특히 화학성분과 미연탄소의 함량 변동이 크다. 플라이애쉬는 화력발전소에서 사용하는 석탄의 종류, 연소 조건, 공정조건 등에 따라 품질이 변하기 때문에 이를 정제하여 사용하고자 하는 연구가 국내에서 활발히 진행중<sup>14)</sup>이고, 일부 정제된 플라이애쉬가 콘크리트 제조시 사용되고 있다. 플라이애쉬를 콘크리트 제조에 사용함에 있어서 야기되는 문제점들은 먼저 언급한 슬래그의 경우와 비슷하나 그 현상들은 좀더 심각

하다. 이러한 연유로 인하여 플라이애쉬의 첨가량이 슬래그와는 달리 최고 30% 이내로 규정되어 있다.

#### 4. 시멘트 종류의 다양화

##### 4.1 속경성 시멘트

산업이 발전됨에따라 보수 및 긴급공사가 다수 발생되고 공사기간의 단축 등의 요구가 심화되고 이에 대응하고자 속경성시멘트가 개발<sup>15) 16)</sup>되었다. 현재 국내에서 유통되고 있는 속경성 시멘트는 초속경시멘트, 초조강시멘트, 조강시멘트가 있고 이들 시멘트의 화학성분 및 물리성능은 표 8 과 표 9 에서 보는 바와 같다.

속경성 시멘트는 일반적으로 활발한 수화반응을 일으키게 하기 위하여 시멘트의 분말도를 매우 높게 하여 물과의 반응할 수 있는 반응 비표면적을 높게 해 준 것이 일반적인 특징이다. 따라서 속경성 시멘트는 포틀랜드시멘트에 비하여 소요물량이 많이 필요하고 수화발열량이 많기 때문에 감수제 등 유기혼화제를 사용하여야 좋은 품질의 콘크리트를 제조할 수 있다.

또한 시공후 양생도 수시간 내에 매우 높은 수화발열이 나타나므로 피막양생제를 사용하거나 비닐, 모직포 등을 사용하여 수분증발을 방지하여 쪼미 바람 적하다. 속경성 시멘트의 주요특성 및 용도는 표 10 에 나타내었다.

초속경시멘트는 초기에 수화반응을 일으켜 시멘트

표 7 플라이애쉬 혼합 시멘트의 KS규격

구 분		A 종 ※	B 종 ※※	C 종 ※※※
비표면적(cm <sup>2</sup> /g)		2500 이상	2500 이상	2500 이상
용 결 (길모아시험)	조결 (분)	60 이상	60 이상	60 이상
	종결(시간)	10 이하	10 이하	10 이하
안정도 (오트클레이브 팽창도 또는 수축도)(%)		0.5 이하	0.5 이하	0.5 이하
압축강도 (kgf/cm <sup>2</sup> )	3일	80 이상	70 이상	60 이상
	7일	140 이상	120 이상	100 이상
	28일	240 이상	220 이상	200 이상
화학성분 (%)	산화마그네슘	5.0 이하	5.0 이하	5.0 이하
	삼산화황	3.0 이하	3.0 이하	3.0 이하
	강철함량	3.0 이하	-	-

플라이애쉬 함유량 ※ A종 : 5~10%, ※※ B종 : 10~20%, ※※※ C종 : 20~30%

표 8 속경성시멘트 화학성분

구 분	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>	Ig.loss	C.S	C.S	C.A	C <sub>2</sub> AF
초속경 <sup>*)</sup>	13.8	11.4	1.5	59.1	0.9	10.2	0.6	50	2	21*	5
초조강	20.8	5.8	2.8	64.9	2.3	4.5	1.1	55	17	11	9
조 강	19.7	5.2	3.2	62.5	2.7	4.0	1.3	50	19	10	10

\* 초속경시멘트 광물조성 : C<sub>3</sub>A-C<sub>2</sub>F

표 9 속경성시멘트 물리성능

구 분	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	응 결(분)		압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )					
		초 결	중 결	2시간	12시간	1일	3일	7일	28일
초속경	5300	10	15	230	300	340	370	430	540
초조강	6300	243	6:30	--	--	300	420	458	534
조 강	4700	210	6:50	--	--	186	310	380	461

표 10 속경성 시멘트의 특성 및 용도

구 분	특 성	용 도
초속경시멘트	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기강도 발현(2시간에 실용강도 발현)</li> <li>부피안정성</li> <li>장기강도 향상</li> <li>지온수화 및 경화성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>긴급 보수공사</li> <li>환중공사</li> <li>2차제품 등 특수용도</li> </ul>
초조강시멘트	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기강도 발현(3일에 28일강도 발현)</li> <li>장기강도 향상</li> <li>수밀성과 내구성 향상</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>도로, 교량, 환수로 등의 긴급보수용</li> <li>기계기초 및 바닥보수 공사</li> <li>터널라이닝, 예차집속 등 특수용도</li> </ul>
조강시멘트	<ul style="list-style-type: none"> <li>초기강도 발현(7일에 28일강도 발현)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>공기 단축 (도로, 교량 등)</li> <li>PC segment 등 2차 제품</li> </ul>

경화체가 2~3시간 내에 실용강도를 발현하게 하기 위하여 특별한 광물을 생성시켜 제조하기 때문에 포틀랜드시멘트와 시멘트 구성광물이 다르다. 초기 수화반응은 포틀랜드시멘트에 존재하지 않는 calcium aluminofluorite 와 무수석고의 반응에 의해 지배되며 이때 생성되는 주요 수화생성물은 ettringite 및 monocalcium aluminosulphate 로 수축이 거의 일어나지 않는 특성이있다. 장기에는 포틀랜드시멘트의 주광물인 calcium silicate 의 수화반응에 의해 calcium silicate 수화물이 생성되기 때문에 안정적으로 강도가 지속적으로 증진되어 결과적으로 안정한 구조체를 제조할 수 있다. 초조강 시멘트는 포틀랜드시멘트의 광물 조성을 그대로 가지고 있고, 화학적으로 조강성을 나타내는 광물의 함량을 증가시키고 물리적으로 시멘트 입자를 아주 작게 분쇄한 시멘트로 콘크리트 타설 후 1일에 실용강도를 발현한다. 조강 시멘트는 포틀랜드시멘트 계열로 KS 나 ASTM 에서 III 종으로 규정되어 있다.

#### 4.2 특수 목적형 시멘트

특수 목적형 시멘트는 KS 나 ASTM, JIS 등 주요 규격에는 없으나, 주로 포틀랜드시멘트를 사용하고자 하는 목적으로 개질하거나 시멘트 광물을 변화시켜 사용하고 있다. 이들 제품중 벨라이트시멘트는 일본에서 97년 4월 JIS화 하여 저열시멘트<sup>22)</sup>로 규정하였고 KS나 ASTM 에서는 이미 IV 종으로 규정되어 있는 시멘트이다. 고강도 시멘트는 포틀랜드시멘트를 기본으로 증기양생을 하는 콘크리트 2차제품 즉, 고강도 파일 등을 제조하는데 사용한다.

조강슬래그시멘트는 고분말도의 슬래그 분말을 포틀랜드시멘트에 혼합한 일종의 혼합 시멘트로 조강성을 나타내며 도로포장이나 보수, 해양공사의 초기공사 등에 사용되고 있다.

표 11에 특수 목적형 시멘트의 물리성능을 나타내었다.

표 11 특수 목적형 시멘트의 물리 성능

구분	응결(시간:분)		압축강도(ku/cm <sup>2</sup> )				수화열(cal/g)			
	초 결	종 결	1일	3일	7일	28일	3일	7일	28일	
조강슬래그 시멘트	260	7:10	-	236	368	536	-	82	89	
벨라이트 시멘트	고유동	365	8:45	105	235	302	505	55	65	73
	저발열	375	9:20	56	152	220	425	41	53	71
고강도 시멘트	219	5:52	138	222	272	369	-	-	-	

표 12 고강도 발현이 요구되는 용도에 사용되는 시멘트

시멘트 종류	주요 특징	적용용도 및 주의점
고강도 시멘트	• 증기양생에 의한 고강도 발현	• 고강도 콘크리트 제품(PIIC 파일, 침목, 흡관 등)
벨라이트 고유동시멘트	• 고유동성 발휘 • 낮은 수화열 • 초기강도 발현은 낮으나 장기 고강도 발현 • 수밀성 우수	• 다짐불요사공(파면배근) • 초고중 RC • 고강도 구조물(교속전철, 교량 등)
조강/조조강 시멘트	• 초기 고강도 발현 • 수화열이 높음 • 유동성 손실이 심함	• 공기단축(간급, 보수공사) • PC segment 등 콘크리트 제품 • Mass 시공 지양 • 유동성 손실 및 수화열대책 필요
조강슬래그 시멘트	• 초기 고강도 발현 • 중성화 빠름 • 건조수축이 큼	• 초기개통 도로포장 및 보수 • 항만시설 등의 공기단축 • 철근 콘크리트 시공 지양

### 5. 기능화 콘크리트를 위한 시멘트재료

콘크리트의 기능 부여를 위하여 유기물 혼화제, 무기물 혼합제, 특수 시멘트 등에 대하여 세계적으로 70년대부터 활발히 연구되어왔다. 우리나라는 80년대 후반부터 부분적으로 시도되어 오다가 90년대 중반에 본격적으로 연구가 수행되어 일부 상용화 되었지만 아직은 기능화 수준이나 상용화 수준이 그다지 괄목할 만하지는 못하다. 그러나 일본이나 미국 등 선진국에서의 고기능성 콘크리트의 연구결과는 유동성, 고강도, 저발열성 등에 대하여 시멘트 및 혼화제, 혼합제를 적절히 사용하여 특수 목적형의 기능성 콘크리트가 개발되었고, <sup>23,24</sup> 상당한 수준의 기능화 콘크리트가 상용화되기에 이르렀다. 우리나라도 산업의 현대화에 의해 구조물의 복잡화 및 대형화, 고층화로 인하여 더욱 기능화된 콘크리트의 요구가 어느때 보다 절실하다. 이러한 요구에 대응하기 위해 현재 우리나라에서 유통되고 있거나 사용 가능한 시멘트 재료를 기반으로 사용 목적에 따른 고기능 콘크리트의 제조시 시멘트 재료선정과 주요 특징, 적정 용도를 기술하였다.

표 12, 표 13, 표 14 에 각각 고강도발현, 저수화

발열, 내화학 및 내해수성이 요구되는 용도<sup>25</sup>에 적합한 시멘트를 주요 특징과 함께 나타내었다.

현재 우리나라의 고기능화 콘크리트는 보통 포틀랜드 시멘트 사용 일변도라 하여도 과언이 아니다. 그러나 국내에 다양한 포틀랜드시멘트와 특수 성능을 가진 특수 시멘트가 생산되고 있어 자유로운 구입이 가능하기 때문에 고기능 콘크리트 제조시 요구 특성을 맞는 시멘트를 선정, 활용하여 보통 포틀랜드시멘트의 한계를 극복하여야 하겠다.

표 13 저발열성이 요구되는 용도에 사용되는 시멘트

시멘트 종류	주요 특징	적용용도 및 주의점
Ⅱ종	• 수화열: 중간 > 보통 • 양호한 장기강도	• Mass 콘크리트 일반
슬래그/플라이애쉬 혼합시멘트	• 수화열: 중간 • 강도발현 느림 • 중성화 및 내마모성 불량 • 동결융해저항성 취약	• 해중, 해저 mass 콘크리트 • 내륙시공 지양
벨라이트 저발열 시멘트	• 수화열: 저열, 초저열 • 초기강도 발현은 느리나 장기 고강도 발현 • 유동성 우수	• Mass 콘크리트 • 고유동/초유동화 시공 • 고강도화 시공(초고중 RC)



표 14 내화학적 및 내해수성이 요구되는 용도에 사용되는 시멘트

시멘트 종류	주요 특징	적정용도 및 주의점
II 중/V 중	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 우수한 내황산염성</li> <li>• 양호한 초기 및 장기강도 발현</li> <li>• I 중 대비 낮은 수화발열</li> <li>• CI형식에 다소 약함(슬래그 대비)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 원자력 발전소(해안 공사)</li> <li>• 해양일반(도서, 해안)</li> </ul>
슬래그/플라이애쉬 혼합시멘트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CI형식에 강함</li> <li>• 수화열 낮음</li> <li>• 중성화 속도 빠름</li> <li>• 내마모성 등 내구성 취약</li> <li>• 강도발현이 느림</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해저, 해중 mass구조물</li> <li>• 조수간만대, 파랑대 사용지양(내마모성, 동결융해취약)</li> </ul>
벨라이트 시멘트	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 수화열 낮음</li> <li>• 유통성 우수</li> <li>• 장기에 높은 강도 발현</li> <li>• 초기강도 발현이 느림</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양 Mass구조물 및 일반구조물(도서, 해안)</li> </ul>

## 6. 종합 및 결론

우리나라에서 현재 제조되고 있는 콘크리트의 품질개선 및 기능화 방안에는 여러가지가 있으나 시멘트 재료측면에서 본다면 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫번째로 시멘트 자체 품질증진도 중요하지만 균질한 품질이 무엇보다도 중요하다. 시멘트 품질면에서는 수치상으로 세계 어느 시멘트와 비교하여도 손색이 없다. 즉, 포틀랜드시멘트나 혼합시멘트 규격상에는 하한선만 제정 되어 있으나 규정에 나타나지 않는 항목들이 실제 콘크리트를 제조하여 안정한 구조물을 건설하는 입장에서는 중요하다. 아직은 우리나라의 콘크리트 기술수준이 가시적으로 나타나는 부분에 중점을 두고 있고 이러한 특성들을 요구하고 있으나 실제 시멘트가 최종적으로 콘크리트로 사용되는 점을 감안한다면 지금까지 시멘트 제조회사에 요구하는 항목들도 변경되어야 할 것이다. 예를들면 지금까지는 콘크리트를 제조하여 일반구조물 내지 저급구조물을 건설할 때 초기 및 장기 압축강도가 중요한 항목이었다. 따라서 시공사나 콘크리트 제조가 시멘트 제조사에 요구하는 품질은 초기 및 28일 압축강도가 높은 시멘트를 요구하여 왔고 제조시멘트 회사들은 소비자의 요구에 따라 물리적으로나 화학적으로 시멘트의 수화반응을 활발하게 하여 초기 및 장기 압축강도를 높여왔다. 그러나 포틀랜드시멘트로 강도발현에는 한계가 있으므로 이러한 조치로는 콘크리트

리트 제조시 초기수화 반응열을 높여 온도에 의한 응력발생으로 균열의 위험이 있고 높은 분말도의 영향으로 소요분량의 증가를 초래하여 굳지않은 콘크리트의 성질을 나쁘게 하고 있다. 따라서 시멘트 재료적인 측면에서 보면 적정 분말도 및 시간에 따른 강도 증진성이 중요한 인자이며 현재와 비교하여 낮은 초기강도로 품질을 관리하고 편차가 적은 품질의 시멘트가 고품질의 콘크리트를 생산한다고 볼 수 있다. 향후 시멘트의 품질관리도 이러한 관점에서 수행되어야겠다.

두 번째로는 건설공사에서 요구되는 특성을 콘크리트에서 발현하기 위해서 지금까지는 보통 포틀랜드시멘트를 사용하여 기능을 발현하고자 하는 시도가 대부분이었다. 우리나라의 레미콘 제조회사의 환경이나 시공사의 경제적인 여건 등을 감안한다면 보통포틀랜드시멘트를 이용하여 기능화를 부여하는 방향도 매우 중요하지만 보통포틀랜드 시멘트로 기능을 부여하는데에는 한계가 있다. 국내의 시멘트 수준은 앞에서 언급한 바와 같이 세계적이고 또한 용도에 맞게 특수 시멘트들이 이미 개발되어 시중에 유통되거나 주문생산 형식으로 공급 가능하다. 따라서 기능성 콘크리트 제조시 적절한 시멘트를 선택하여 특성에 맞는 콘크리트를 제조 사용하여야 하겠다. 우리나라의 경우 특수시멘트에 대한 시공성 및 활용 연구가 외국의 경우와 비교하여 미미한 실정이나 이제부터라도 특수 시멘트의 기능을 심층 발휘할 수 있는 연구들이 보통시멘트에 기능을 부여하는 연구 못지않게 수행되어야 하겠다. 이렇게 함으로써 우리나라의 콘크리트의 기술이 비약적으로 발전할 수 있고 이를 기반으로 우리나라의 건설기술이 진일보하여 선진국의 건설기술과 대응하고 나아가 세계 건설시장에 진출하는데 일익을 기여할 것이다.

끝으로 우리나라도 환경문제 등으로 산업부산물의 활용측면에서 좀더 적극적인 필요가 있겠다. 즉, 고로슬래그 및 플라이애쉬는 시멘트 혼합제로는 아주 이상적인 포졸란 물질이고 이를 혼합한 혼합시멘트는 저발열성, 장기강도 증진성, 내화학적 등이 우수하여 혼합 시멘트의 단점을 극복할 수 있는 시공성 연구가 활발히 이루어지고 이들 결과를 토대로 혼합재를 고급 대형구조물에 활용할 수 있게 균질한 품질을 제공하고 이를 활용할 수 있어야 되겠다.

## 참고문헌

1. 최상훈, "시멘트", 한국양회협회, 1975
2. 레미콘 품질관리, "콘크리트의 특성", 1997, 쌍용양회
3. F.M. Lea "Cement and Concrete Chemistry", Chemical Publishing Co. Inc., 1970, New York
4. 박춘근, "시멘트 수급 및 투자전망", 월간세라믹스 No.2, 1996
5. 박춘근, "시멘트 재해전망", 월간세라믹스 No.1, 1997
6. 荒井康夫, "耐硫酸 ポルトランド セメント, セメントの材料化学, 1984, 大日本 書
7. 名和豊春, "Cement ルネサンス-セメントの種類と位置づけの 變遷と展望", セメント・コンクリト No.495, 1986, 10-17
8. 한국산업규격 KSL 5201 포틀랜드시멘트
9. 한국산업규격 KSL 5210 고로슬래그시멘트
10. 한국산업규격 KSL 5211 플라이애쉬시멘트
11. 시멘트연감, 한국양회협회, 1996
12. 최상훈, "시멘트공업의 현재와 장래", 한국세라믹스 연감, 86-90, 1996
13. H.F.W. Taylor, "Hydration of Portland Cement" in Cement Chemistry, Academic Press, 1990, NewYork
14. 박춘근 外, "Behavior of Water in Cement and Concrete", vol. 1, 12-44 Korea-Japan Colloquim, 1995
15. 荒井康夫, "セメントクリンカーの 組成と構造", セメント 材料化学, 1984, 大日本 書
16. 임태선, "슬래그시멘트의 적정 사용연구", 쌍용연구보고, 1984
17. 레미콘품질관리, "혼화재료", 쌍용양회, 1997
18. 최광일 外, "고유동 콘크리트 개발", 쌍용연구보고, 1996
19. 노갑수 外, "석탄회 정제기술 개발 연구", 쌍용연구보고, 1996
20. 박춘근 外, "초속경 시멘트 개발", 쌍용연구보고, 1986
21. 서명창 外, "초조강 시멘트 개발", 쌍용연구보고, 1984
22. 永嶋正久, "セメントのJIS 小史", セメント・コンクリト Vol. 594, No. 8, 1996, 18-22
23. 最近 のコンクリト 製造技術, 콘크리트工學, Vol. 31, No.3, 1993
24. Y. Malier, "High Performance Concrete from Material to Structure", E & FN SPON, 1992, NewYork
25. 박춘근 外, "Belite 시멘트 개발", 쌍용연구보고, 1996 