

# 시멘트 · 콘크리트의 조강화, 속경화 기술



임 채 용 | 정회원 · 쌍용기술연구소 콘크리트연구실 연구원  
 엄 태 선 | 정회원 · 쌍용기술연구소 콘크리트연구실장  
 이 종 열 | 정회원 · 쌍용기술연구소 연구소장

## 1. 서론

1824년 영국의 Joseph Aspdin에 의해 포틀랜드 시멘트가 발명된 이래, 포틀랜드 시멘트는 값싸면서도 토목·건축의 구조용 재료로서 현대 사회를 발전 시키는데 중요한 역할을 해 왔고, 현재 세계적인 생산량은 연간 약 18억여 톤(2002년 기준)에 이르고 있다. 국내의 경우는 해방전 승호리에 시멘트 공장이 세워진 이후, 현재 시멘트 생산량은 약 5천만 톤에 이르고 있으며, 생산량은 중국, 인도, 미국 및 일본에 이어 5위이고, 1인당 시멘트 소비량은 10위에 달하고 있다(한국양회공업협회).

한편, 산업사회의 발달로 시멘트 산업도 다양한 기술개발이 이루어져 왔으며, 건설현장의 요구에 따라 포틀랜드 시멘트는 보통 시멘트, 중용열 시멘트, 조강 시멘트, 저열 시멘트, 내황산염 시멘트 등 다양한 성능의 포틀랜드 시멘트가 개발되어 사용되고 있다. 포틀랜드 시멘트 계열의 시멘트는 칼슘 실리케이트 광물(C<sub>3</sub>S 및 C<sub>2</sub>S)과 칼슘 알루미늄 실리케이트 광물(C<sub>3</sub>A 및 C<sub>4</sub>AF)을 주성분으로 하는 클링커에 일정량의 석고를 첨가하여 제조하는 시멘트로서, 클링커 광물의 구성비나 분말도에 따라 다양한 특성의 시멘

트가 제조되고 있다.

포틀랜드계 시멘트 이외에도 폐자원 활용, 내구성 증진의 목적으로 플라이애시, 고로 슬래그 미분말, 실리카흙 등의 혼합재를 포틀랜드 시멘트와 혼합한 혼합계 시멘트도 사용되고 있다. 또한 긴급공사용으로 타설 후 3~4시간의 양생으로도 보통 포틀랜드 시멘트의 28일 강도 정도의 강도발현이 가능한 초속경 시멘트가 개발되어 긴급공사용 시멘트로 사용되고 있다.

그림 1은 시멘트 종류별로 양생재령에 따른 압축 강도 발현 특성을 나타내는 것으로, 조강 및 초조강 포틀랜드 시멘트는 수 일, 알루미늄 시멘트와 초속

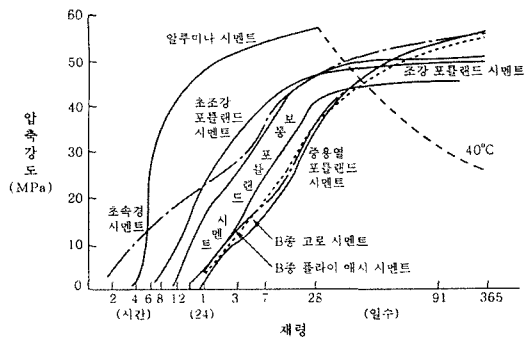


그림 1. 포틀랜드 시멘트 및 속경성 시멘트의 재령별 압축강도

경 시멘트는 수 시간 내에 실용 강도의 발현이 가능하도록 제조된 시멘트이다(山田順治, 1983). 이에 비해 중용열 포틀랜드 시멘트 및 혼합 시멘트(고로 시멘트, 플라이애시 시멘트)는 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 초기 강도발현은 낮고, 장기강도는 높은 특성을 나타낸다.

이러한 다양한 종류의 시멘트 중에서 도로포장의 보수공법 분야에서 주목을 받고 있는 시멘트가 조강성, 속경성 계열의 시멘트이다. 신설도로의 콘크리트 포장의 경우는 28일 이상의 충분한 양생기간 확보가 가능하므로 보통 포틀랜드 시멘트, 중용열 포틀랜드 시멘트 또는 혼합계의 시멘트를 사용하여도 공사기간이 충분하다면 사용상에 문제는 없을 것이다. 그러나 공용중인 도로를 보수하는 경우, 교통 차

단은 교통체증, 사고위험의 증가 및 민원의 발생 등으로 이용자의 비용 증가를 초래하므로, 조기에 교통개방이 가능한 시멘트·콘크리트 재료 및 시공법의 개발이 필요하다.

본 자료는 조기에 실용강도 발휘되는 콘크리트를 제조하는데 필요한 시멘트를 조강성 시멘트(조강·초조강 시멘트)와 속경성 시멘트(초속경 시멘트)로 구분하여 시멘트의 특성 및 용도에 관해 소개하고자 한다.

## 2. 조강성 시멘트의 종류 및 특성

콘크리트의 요구특성으로는 여러 가지를 들 수 있

표 1. 수경성화합물의 특성과 함유량

수경성화합물	특성의 상대적 비교						포틀랜드 시멘트의 함유량 (%)		
	수화 속도	강도		수화열	화학 저항성	건조 수축	보통	조강	초조강
		초기	장기						
Alite (3CaO · SiO <sub>2</sub> )	약간 빠름	높음	높음	약간 높음	중간	중간	50 (45~55)	61 (56~65)	67 (65~70)
		1~28일 강도 발현성 큼							
Belite (2CaO · SiO <sub>2</sub> )	늦음	낮음	높음	낮음	조금 큼	작음	26 (21~31)	14 (9~19)	7 (5~10)
		28일 이후 강도 발현성 큼							
Calcium Aluminate (3CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	빠름	높음	낮음	높음	작음	큼	9 (7~11)	8 (6~10)	8 (7~10)
		1일 강도에 영향							
Calcium Alumino Ferrite (4CaO · Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	빠름	낮음	낮음	낮음	큼	작음	9 (8~11)	9 (7~10)	8 (7~9)
		전 재령에서 강도 낮음							

표 2. 보통 및 조강·초조강 포틀랜드 시멘트의 물리특성

종류	특성	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	응결시간(분)		압축강도(MPa)			
			초결	종결	1일	3일	7일	28일
보통 시멘트		3,000	200	300	8.2	18.6	26.3	37.0
조강 시멘트		4,500	130	200	18.0	26.2	37.1	44.9
초조강 시멘트		5,500	90	150	25.0	34.2	39.3	46.0

으나, 기본적인 요구특성은 가사시간, 작업성 및 강도이다. 보통 포틀랜드 시멘트는 콘크리트 제조에 가장 일반적으로 이용되는 시멘트이지만 콘크리트가 경화하여 실용 가능한 강도를 얻기 위해서는 타설 후 적어도 14일 내지는 28일 정도의 양생기간을 필요로 한다. 이를 보완하기 위해 1920년대에 유럽을 중심으로 조강형 포틀랜드 시멘트가 개발되었고, 1970년대에는 일본과 유럽에서 초조강형의 포틀랜드 시멘트가 생산되기 시작했다(송태웅, 1994).

표 1은 포틀랜드 시멘트를 구성하는 주요 수경성 화합물의 특성 및 시멘트 종류별 함유량을 나타내는 것으로, 이 화합물의 구성 비율과 분말도에 따라 시멘트의 응결·경화 특성이 달라진다(山田順治, 1983). 표 2는 보통 및 조강·초조강 시멘트의 응결·경화 특성을 나타낸다(김용국, 1987).

## 2.1 조강 포틀랜드 시멘트

### (1) 시멘트의 특성

조강 포틀랜드 시멘트는 응결, 경화속도를 빠르게 하기 위해 보통 포틀랜드 시멘트에 비해  $C_3S$ 의 양이 많게 하고,  $C_2S$ 의 양을 적게 한 시멘트로 더욱 강도 발현을 빠르게 하기 위해 분말도를 보통 포틀랜드 시멘트의 분말도인  $2,800\sim 3,500\text{cm}^2/\text{g}$ 에 비해  $4,000\sim 4,500\text{cm}^2/\text{g}$ 로 분말도를 크게 하고 석고의 첨가량도 많게 하여 제조한다. 조강 포틀랜드 시멘트는 조기에 강도발현을 할 뿐만 아니라, 장기간에 걸쳐서도 강도 증진이 이루어지며, 보통 포틀랜드 시멘트와 비교하면 1일강도가 약 3배, 3일강도가 약 2배, 7일강도가 약 1.5배, 28일강도가 약 1.1배에 달하여 재령 1일에 보통 포틀랜드 시멘트의 3일 재령 강도를, 3일에 7일 재령 강도를 발현하는 특성을 갖는 시멘트로써 공사기간의 단축용 시멘트로 적합하다. 또한 저온에도 강도발현성이 커서 동절기 시공에서 동해의 우려를 줄일 수 있고 분말도가 높아 치밀한 수화물을 형성하므로 수밀성도 우수하다. 단, 보통 포틀랜드 시멘트에 비해서 수화열이 커서 매스

콘크리트용으로 사용할 경우 수화열에 의한 균열을 검토할 필요가 있다(Neville, 1981; 정재동, 1992; Barnes, 1983).

조강 시멘트는 빠른 응결, 경화 및 강도발현성을 이용하여 레디믹스트콘크리트로서는 공기단축용, 한중콘크리트용 등으로 사용되고 있으며, 콘크리트제품용으로 사용하는 경우는 몰드의 탈형이 조기에 가능하도록 하여 몰드 회전율을 높일 수 있으며, 고강도 제품의 제조에도 적당한 시멘트로 알려져 있다. 프리스트레스트 콘크리트용으로 사용하는 경우는 양생시간을 단축하거나 증기양생 온도를 낮출 수 있는 것은 물론, 프리스트레스트를 도입하는 시기를 앞당길 수 있고 시멘트의 수화가 빠르게 진행되므로 크리프가 작은 장점이 있다.

### (2) 국내의 생산 및 적용 예

국내에서는 1980년대 초에 개발된 이래 콘크리트 2차제품, 교량용 PC 박스, 세그먼트(segment), 장경간 PSC 보 및 고속철도 침목 등 조강·고강도성을 필요로 하는 콘크리트 제조에 이용되고 있다. 그 대표적인 적용 예는 표 3과 같으며, 사진 1은 용도별 적용 예를 나타낸다.

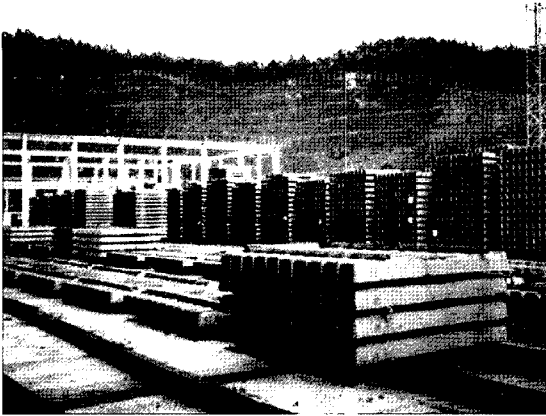
(a)는 고속철도 침목 제조에 적용한 예로 상압증기양생 후 1일 압축강도 45MPa 이상, 28일 압축강도 67~70MPa 이상의 조강·고강도 콘크리트 제품 제조가 가능하다.

(b)는 서해대교 건설시 사용된 프리캐스트 세그먼트

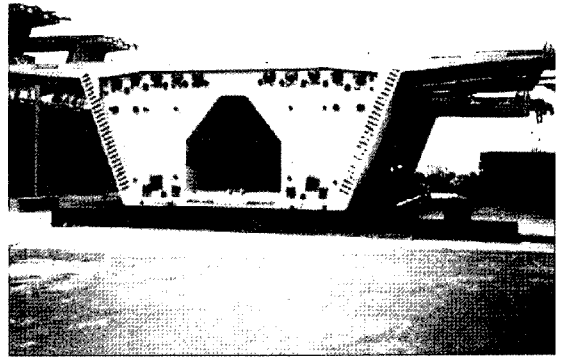
표 3. 국내 조강 포틀랜드 시멘트의 적용 사례

용도	배합 조건 <sup>1)</sup>	적용 시기
올림픽대교 PC 박스	19-40-15	'87~'89
서해대교 프리캐스트 세그먼트	19-45-15	'97~'99
고속철도 침목	19-60-8	'98~현재
중부내륙 금당교 PSC 보	19-60-18	2001
속경성 화이트타핑	19-3.5(휨)-12 <sup>2)</sup>	'03~현재

1) 배합조건: 굵은골재 최대크기(mm)-설계강도(MPa)-슬럼프(cm)  
2) 설계강도는 1일 휨강도(MPa) 기준



(a) 고속철도 침목 제조



(b) 서해대교 프리캐스트 세그먼트



(c) 경간 40m의 교량용 PSC보



(d) 속경성 화이트타핑 시공

사진 1. 조강 포틀랜드 시멘트의 적용 사례

트로 현장 증기양생을 실시한 것으로 설계강도 45MPa의 고강도 콘크리트 제조에 적용된 예이다.

(c)는 국내에서 최초로 장경간 교량에 적용된 길이 40m의 PSC 보가 완성된 사진으로 설계강도 60MPa의 고강도 콘크리트 제품을 공장에서 제조하여 중부내륙고속국도 금당교 건설에 적용되었다.

(d)는 1일 이내에 교통개방이 가능하도록 설계된 신속개통형 화이트타핑 콘크리트 제조에 적용된 예이다. 콘크리트 제조에는 조강 포틀랜드 시멘트의 조강성을 더욱 높이기 위해 특수한 조강 혼화제를 사용하였으며, 타설 후 12~16시간 이내에 교통개방이 가능하다.

표 4는 조강 시멘트를 사용한 콘크리트의 표준 배합조건과 강도발현 특성을 나타낸 것으로, 건축·토목공사에서 공기단축, 한중공사용 및 고강도용 콘크리트 제조에 적용이 가능하다.

2.2 초조강 포틀랜드 시멘트

(1) 시멘트의 특성

초조강 포틀랜드 시멘트는 조강 포틀랜드 시멘트와 같이 클링커 중의 C<sub>3</sub>S 량과 석고 사용량을 높게 하고, 시멘트의 분말도를 5,000~6,000cm<sup>2</sup>/g으로 하여 상향하여 제조되는 시멘트이다. 초조강 포틀랜드

표 4. 조강 시멘트의 표준 배합 예

설계강도 (MPa)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	배 합 조 건				압 축 강 도 (MPa)			
			W/C (%)	S/a (%)	W (kg/m³)	C (kg/m³)	1일	3일	7일	28일
460	11	4.0	38	40~44	177~180	466~474	225	354	451	562
	14			39~43	181~182	476~479				
410	15		45	41~44	176~180	391~400	177	303	382	505
	17			38~42	178~183	396~407				
370	16		50	42~44	177~181	354~362	141	273	345	455
	18			39~43	178~183	354~366				
330	16		55	43~44	177~180	322~327	109	243	303	405
	19			40~42	177~182	322~331				

시멘트는 1일에 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 4배 (보통 포틀랜드 시멘트의 7일 재령강도)의 강도를 발현하고, 7일에는 약 2배(보통 포틀랜드 시멘트의 28일 재령강도)의 강도를 발현하는 시멘트이다. 조기 강도발현성이 커서 한 시간 시멘트(one hour cement)라고도 불리며, 건축, 토목, 도로포장 분야에서 긴급공사용 콘크리트 제조에 주로 사용되며, 콘크리트제품용이나 한중 콘크리트용으로도 성능이 우수한 시멘트라 할 수 있다.

일본의 경우 1973년에 JIS R 5210에 규격화되었으며, 규격치는 표 5와 같다.(단, 국내의 시멘트 규격과는 표준사의 규격, 배합조건 및 시험방법에 차이가 있음)

(2) 국내의 생산 및 적용 예

국내에서는 KS에 규격화되어 있지는 않으나, 국내에서는 1988년 S사에서 개발되어 적용이 시작된 이래 도로, 교량, 터널 및 활주로 등의 긴급보수용,

표 5. 포틀랜드 시멘트의 JIS 규격

종류	특성	분말도 (cm²/g)	응 결 시 간		압 축 강 도 (MPa)			
			초결(분)	종결(시간)	1일	3일	7일	28일
보통 시멘트		2,500이상	60이상	10이상	-	12.5이상	22.5이상	42.5이상
조강 시멘트		3,300이상	45이상	10이상	10이상	20이상	32.5이상	47.5이상
초조강 시멘트		4,000이상	45이상	10이상	20이상	30이상	40이상	50이상

표 6. 초조강 시멘트의 콘크리트 표준 배합비

1일 설계강도 (MPa)	슬럼프 (cm)	배 합 조 건				압 축 강 도 (MPa)			
		W/C (%)	S/a (%)	W (kg/m³)	C (kg/m³)	1일	3일	7일	28일
14	8±1	47.4	40	180	380	16.6	29.3	38.2	41.6
18		41.7	38	175	420	21.0	37.4	44.5	48.6
21		38.0	38	175	460	25.0	42.0	47.0	52.3



(a) 자갈층 제거

(b) 초조강 콘크리트 타설

(c) 1일 후 (24MPa 이상)

사진 2. 초조강 콘크리트의 시공 예 (서울시 지하철 도상개량공사)

토목공사의 공기단축용, 터널 및 연약지반의 그라우팅용 및 지하철 등 철도레일 하부 도상개량용 등으로 사용되고 있다.

표 6은 초조강 시멘트를 사용한 콘크리트 표준 배합비의 예로서 조기 강도발현 뿐만이 아니고, 장기적인 강도발현도 우수한 시멘트이다.

사진 2는 초조강 시멘트를 지하철 도상개량공사에 적용한 예로 1일 양생으로 압축강도 24MPa 이상의 초조강 콘크리트 제조가 가능하다.

표 7. 초조강성 시멘트를 사용한 경우의 압축강도 사례

양생시간	압축강도 (MPa)		
	W/C=0.40	W/C=0.45	W/C=0.50
8 hr.	12	10	7
16 hr.	33	26	22
24 hr.	39	34	30
28 day	59	57	52
1 yr.	62	59	57

### 2.3 기타 초조강성 시멘트

조강·초조강 포틀랜드 시멘트 이외에도 다양한 형태의 초조강성 시멘트가 개발되어 사용되었으며, 그 대표적인 예를 간단히 소개하고자 한다.

포틀랜드계 시멘트로서 초조강 포틀랜드 시멘트보다 분말도가 높은 7,000~9,000cm<sup>2</sup>/g의 시멘트가 제조되어 "Swiftcrete"란 상품명으로 판매되었다. 이 시멘트는 조강 포틀랜드 시멘트 제조시 분말도가 높은 부분을 분급하여 제조한 시멘트로서 조강 포틀랜드 시멘트의 3일 재령 강도를 16시간에, 7일 재령 강도를 24시간에 발현하는 시멘트로 초조강 포틀랜드 시멘트에 비해 더욱 조강성이 큰 시멘트이다. 표 7은 이 시멘트의 재령별 콘크리트 강도발현 특성을 나타낸다(Neville, 1981).

일본은 JIS R 5210에 초조강 포틀랜드 시멘트가

규정되어 있으나 적용 실적은 많지 않은 것으로 알려져 있다(長岡誠一, 1996). 한편, 1990년을 전후하여 건설성의 "건설사업에의 신소재·신재료 이용기술의 개발"이라는 종합기술개발 프로젝트의 일환으로 건설성 토목연구소와 시멘트 제조사가 공동으로 "현장타설 초조강 콘크리트의 실용화에 관한 공동연구"를 수행하여 일반 레디믹스트콘크리트와 동일한 방법으로 생산, 시공이 가능하면서 1일에 30MPa 이상의 강도를 발휘하는 초조강 시멘트·콘크리트를 개발하였다. 이후, 일본 건설성의 특정기술 활용 실용화 사업으로 수행된 "초조강 콘크리트를 이용한 콘크리트 포장"의 도로포장 보수에 적용되어 종합적인 평가를 수행한 결과 1시간 슬럼프로스가 3~4cm 이하로 레디믹스트콘크리트로의 제조 및 출하, 시공이 가능하며, 1일강도 30~50 MPa의 초조강성을 발휘하는 콘크리트의 제조가 가능한 것

표 8. 초조강 시멘트·콘크리트의 종류 및 특징(日)

종 류	제 조 회 사	특 징	비 고
DAY300	住友大阪 시멘트(주)	조강성 특수클링커 사용	고성능AE감수제를 병용
COD	小野田 시멘트(주)	칼슘실포알루미네이트계 광물을 주성분으로 하는 고강도계 혼화제 사용	전용의 초조강 콘크리트용 고성능 감수제를 병용
DAY300ad	住友大阪 시멘트(주)		
DD-1	電氣化學(주)		

으로 보고하였다. 그 중 실용화된 초조강 시멘트·콘크리트의 특성을 표 8에 나타낸다. DAY300은 조강성 특수클링커를 높은 분말도로 분쇄하여 제조한 시멘트계의 제품이며, COD, DAY300ad 및 DD-1은 초조강콘크리트용 혼화제를 제조하고 조강 포틀랜드 시멘트와 조합하여 사용하는 혼화제계의 제품이다(建設省土木研究所, 1992; 伊藤平和, 1996).

이외에도 다양한 조강성 및 급결성 광물질 혼화제를 포틀랜드 시멘트에 적절하게 혼합하여 사용하면 조강성, 초조강성 및 급결성의 시멘트 제조가 가능한 것으로 알려져 있다(Odler, 2000).

### 3. 속경성 시멘트의 종류 및 특성

#### 3.1 속경성 시멘트의 반응기구

초속경 시멘트는 수 시간 내에 실용강도를 발현할

수 있는 콘크리트를 제조할 목적으로 개발된 시멘트로서 클링커의 성분이나 응결·경화의 반응 메커니즘에 따라 표 9와 같이 나눌 수 있다.(Neville, 1981; 福林幸雄, 1991; Brown & Lacroix, 1989)

#### (1) 알루미나 시멘트의 수화반응

알루미나 시멘트는  $C_{12}A_7$ , CA,  $CA_2$ 의 3가지 광물로 구성되어 있으며, 각 성분별 특성은 표 10과 같다(荒井康夫, 1984).

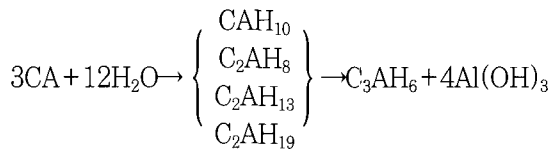
작업성이나 강도발현의 면에서 CA의 성능이 우수하므로 CA이 주성분이 되도록 시멘트를 제조하며, 화학 및 광물 조성에 따라 시멘트의 성능이 달라진다. 알루미나 시멘트는 석고 등의 다른 성분을 포함하지 않고 칼슘알루미네이트 클링커를 단독으로 분쇄하여 사용하며, 물과 혼합하면 다음 식과 같이 반응하며, 준안정상인  $CAH_{10}$ ,  $C_2AH_8$  등의 중간화합물을 거쳐 최종적으로  $C_3AH_6$ 와  $Al(OH)_3$ 라는 수화물을 형성하게 된다.

표 9 초속경 시멘트의 분류

분 류	성 분	반응 메커니즘	제 조 방 법
시멘트계	알루미나 시멘트계 $12CaO \cdot 7Al_2O_3(C_{12}A_7)$ $CaO \cdot Al_2O_3(CA)$ $CaO \cdot 2Al_2O_3(CA_2)$	칼슘알루미네이트 수화물의 급속 생성	칼슘알루미네이트광물을 용융 제조하여 미분쇄
	칼슘플로로 알루미네이트계 $11CaO \cdot 7Al_2O_3 \cdot CaF_2$ ( $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ )	에트린자이트의 급속 생성	초속경성 성분을 함유하는 클링커를 소성하고 석고와 혼합 분쇄
혼화제계	알루미나계 $12CaO \cdot 7Al_2O_3 (C_{12}A_7)$	에트린자이트의 급속 생성	초속경성 성분의 클링커 분쇄물을 혼화제로 사용, 포틀랜드 시멘트, 석고, 석회 등을 혼합
	아원계 $3CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot CaSO_4$ ( $C_4A_3SO_3$ )		
	칼슘플로로 알루미네이트계 $CaO \cdot Al_2O_3(CA)$ , $11CaO \cdot 7Al_2O_3 \cdot CaF_2$		

표 10. CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 조성별 알루미늄 클링커의 특성

화합물	용점 (℃)	초결 (시:분)	종결 (시:분)	Flow (mm)	압축강도 (MPa)
C <sub>12</sub> A <sub>7</sub>	1420	0:05	0:07	180	150
CA	1600	7:00	8:00	260	600
CA <sub>2</sub>	1750	18:00	20:00	260	250



(2) 에트린자이트 생성계의 수화반응

칼슘 알루미늄에이트와 아원계 클링커는 석고 (CaSO<sub>4</sub>)와 석회(Ca(OH)<sub>2</sub>)의 존재 하에서 수화반응이 이루어지면 Ca<sup>2+</sup> 및 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 이온의 농도에 따라 에트린자이트(C<sub>3</sub>A · 3CaSO<sub>4</sub> · 32H<sub>2</sub>O), 모노설페이트(C<sub>3</sub>A · CaSO<sub>4</sub> · 12H<sub>2</sub>O) 또는 칼슘 알루미늄에이트수화물 등을 생성하게 된다. 수화물 중 에트린자이트는 침상결정으로 수화 생성시 팽창압을 발생하는데, 그림 2와 같이 생성시기를 제어함으로써 급경성 · 고강도성 · 팽창성의 특성으로 그의 성능과 기능을 조절할 수 있다.

에트린자이트계 초속경 시멘트는 필요한 시기에 강도발현이 가능하도록 속경성 클링커 광물의 화학조성을 변경하거나 석고, 석회 및 포틀랜드 시멘트의 양을 조절하여 제조된다. 또한 필요한 작업시간

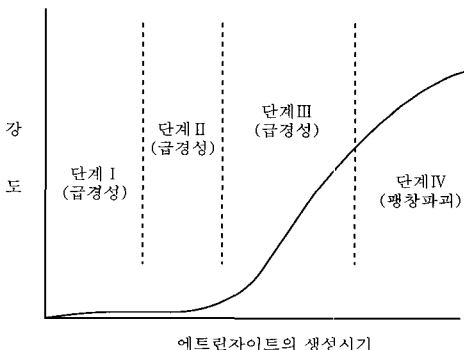


그림 2. 에트린자이트 생성시기가 물성에 미치는 영향

의 확보나 유동성을 얻기 위해 적절한 종류에 지연제, 감수제가 병용하여 사용된다.

3.2 속경성 시멘트의 종류 및 특성

(1) 알루미늄계 초속경 시멘트

포틀랜드 시멘트계가 아닌 특수 시멘트로서 속경성을 나타내는 시멘트는 1908년 프랑스에서 개발된 것이 알루미늄 시멘트이다. 이 시멘트는 칼슘 알루미늄에이트계 광물인 CaO · Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 12CaO · 7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 및 CaO · 2Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등을 주성분으로 하는 시멘트로 포틀랜드 시멘트에 비해 강도 발현이 매우 빠르고 물과 혼합 후 6~12시간에 보통 포틀랜드 시멘트의 28일 재령강도와 같은 강도를 나타낸다. 그러나 응결시간은 포틀랜드 시멘트와 차이가 거의 없어 초속경 시멘트에 비해 작업성이 우수한 특징이 있다. 또한 알루미늄 시멘트는 포틀랜드 시멘트계는 물론, 혼합계 시멘트에 비해서도 황산염이나 산에 대한 화학저항성이 우수하여 내화성의 골재와 함께 사용하면 높은 내화성을 가질 수 있다.

알루미늄 시멘트는 수화열이 높고 초기 강도발현이 우수하여 긴급공사, 보수공사, 한중공사 및 내식성을 필요로 하는 구조물용으로 사용되었으나 준안정상태의 수화물에서 안정상태의 수화물로의 전이가 이루어지면서 장기강도의 저하현상이 현저한 문제점이 있다. 또한 제조 과정이 어렵고 가격이 높아 현재에는 일반 건축, 토목용으로는 거의 사용되지 않고 내화물용인 캐스터블에 주로 사용되고 있다.

한편, 알루미늄 시멘트의 반응특성을 이용하여 포틀랜드 시멘트와 혼합 제조함으로써 초속경 시멘트를 제조하기도 한다. 이 경우 칼슘 플로로 알루미늄에이트(C<sub>11</sub>A<sub>7</sub> · CaF<sub>2</sub>) 광물을 사용하는 초속경 시멘트의 반응과 같이 짧은 시간 내에 다량의 에트린자이트를 형성함으로써 초속경성을 발휘하게 된다.

국내에서는 1980년대 말~1990년대 초에 U시멘트사 및 S시멘트사가 알루미늄계 초속경 시멘트를 상품화하였다.



(2) 칼슘 플로로 알루미늄네이트계 초속경 시멘트

칼슘 플로로 알루미늄네이트계 초속경 시멘트는 초속경 시멘트의 시초가 된 것으로 1960년대 후반 미국 포틀랜드 시멘트 협회(PCA) 연구소가 개발하였으며, 레귤레이티드 세트 시멘트(RSC: Regulated Set Cement) 또는 제트 시멘트(Jet Cement)로 알려져 있다. RSC는 칼슘알루미늄네이트 광물로 이루어진 알루미늄 시멘트와는 달리 칼슘 플로로 알루미늄네이트( $C_{11}A_7 \cdot CaF_2$ )를 주성분으로 하는 클링커와 석고를 혼합 분쇄하여 분말도를 약  $5,000cm^2/g$  정도로 한 시멘트이다. 이 시멘트는 응결·경화속도가 매우 빠르므로 작업시간 조절을 위해 시트릭애씨드(Citric Acid) 지연제를 적당량 첨가하여 사용한다. 일본에서는 오노다(Onoda) 시멘트사와 수미토모(Sumitomo) 시멘트사가 1971년 PCA로부터 RSC의 특허를 구입하고 독자적인 기술과 결합하여 더욱 개선된 성능의 초속경 시멘트를 개발하였다. RSC의 제조기술을 이용한 시멘트는 오스트리아, 독일 등에서도 제조, 판매가 이루어졌으며, 국내에서는 1980년대 후반에 S 시멘트사에서 칼슘 플로로 알루미늄네이트계 초속경 시멘트를 생산하였다.

(3) 아원계 초속경 시멘트

1990년대에는 시공성능 및 내구성이 우수한 초속경 시멘트를 개발하기 위한 연구가 이루어져 아원(Hauyne)계 광물을 주성분으로 하는 새로운 형태의 초속경 시멘트가 개발, 판매되기 시작하였다.

아원계 광물이란  $4CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot SO_3$ 의 조성을 갖는 광물로서, 분말도를 조정하여 반응속도를 다르게 하거나 그림 3과 같이 시멘트 화학조성을 변화시키는 것에 의해 팽창성, 급경성 및 급경성의 시멘트 제조가 가능하다. 이러한 성질을 이용하여 팽창재, 급결재 및 초속경 시멘트용 혼화재 등으로 다양하게 이용되고 있다.

국내에는 1990년대에 아원계 초속경 시멘트의 제조를 위한 연구가 이루어져 1996년경에 S 시멘트사가 상품화하였다.

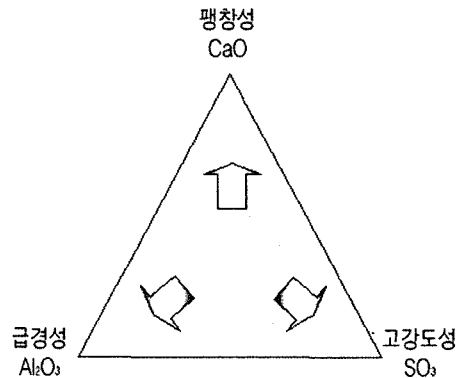


그림 3. 아원 클링커를 사용한 시멘트의 화학조성이 물성에 미치는 영향

3.3 초속경 시멘트의 용도

초속경 시멘트의 큰 단점은 3~4시간의 조기에 실용강도를 발휘하는 특성으로 인하여 응결·경화시간이 매우 빠르기 때문에 가사시간(작업이 가능한 시

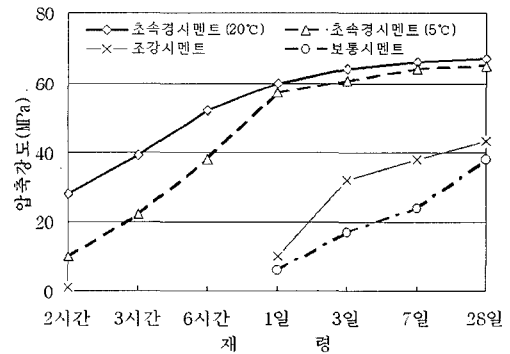


그림 4. 초속경 콘크리트의 압축강도 발현 성상

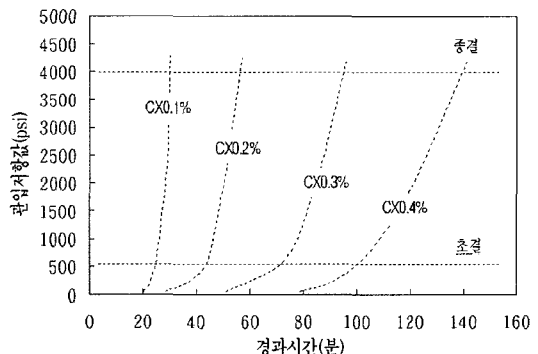


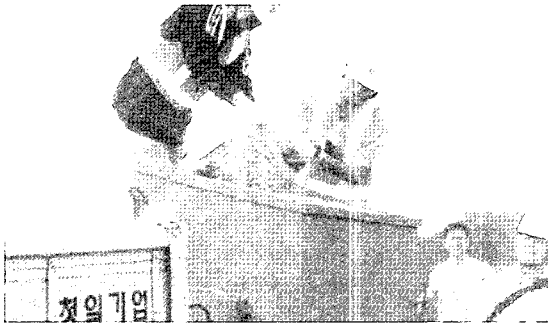
그림 5. 각종 초속경 시멘트의 응결시간

표 11. 초속경 콘크리트 제품의 용도

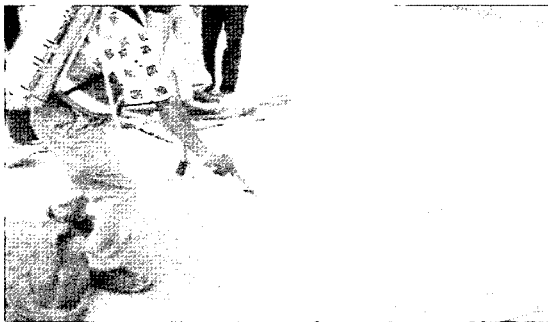
제품종류	용도
초속경 시멘트	긴급 콘크리트·모르타르 공사, 뽐칠 공사, 주입 그라우트, 결합부 보수공사, 한중 콘크리트 공사, 콘크리트 제품, 산업폐물 고화
프리믹스 모르타르	콘크리트 구조물 보수, 제품 보수 및 앵커 볼트 고정
폴리머 시멘트 모르타르	결합부 보수 공사, 접합부 충전 보수공사
무수축그라우트재	그라우트 모르타르, 접합부 충전 보수 공사
지수 및 보수재	지수 및 충전 보수



(a) 교량 바닥판 치핑(Chipping)



(b) 콘크리트 혼합 및 타설



(c) 양생제 살포

(d) 양생

사진 3. VES-LMC공법에 의한 콘크리트 교량바닥판 긴급 보수공사

간)이 충분하지 않아 시공에 어려움이 있다. 또한, 대부분 인력에 의해 콘크리트의 제조 및 타설이 이루어짐으로 인해 혼합수가 과다하게 투입되는 등의 문제로 콘크리트 시공품질이나 장기 내구성이 저하하는 문제가 있었다.

그러나, 최근 초속경 시멘트 품질의 개선, 감수율 및 유동성 유지성능이 우수한 고성능감수제의 개발 및 지연제의 개발, 그리고 전용 타설 장비의 개발에 의해서 과거에 비해 우수한 품질의 초속경 시멘트·콘크리트 시공이 가능하게 되었다. 그림 4는 초속경 콘크리트의 온도별 압축강도 발현 특성을 나타낸다(한국콘크리트학회, 2004). 그림 5는 지연제 첨가량에 따른 초속경 시멘트 응결시간의 예를 나타내는 것으로, 첨가량의 조절에 의해 콘크리트 작업시간 조절이 가능하다(한국콘크리트학회, 2004).

표 11은 초속경 시멘트의 주요 용도를 나타내는 것으로, 주로 도로, 공항활주로 및 교량의 긴급 보수공사 등에 사용된다(한국콘크리트학회, 2004).

최근에는 초속경 시멘트와 라텍스 개질 콘크리트(LMC, Latex Modified Concrete)공법의 기술을 결합하여 RS-LMC(Rapid Set-LMC) 공법이 개발되었으며, 초속경성, 고수밀성 및 고성능 콘크리트 재료로서 교량 및 도로포장 보수에 사용되고 있다. 국내에는 S 시멘트사에서 아원계 클링커를 이용하여 작업성과 강도발현성이 우수한 LMC 보수공법 전용의 초속경 시멘트를 개발하였으며, 이를 사용한 VES-LMC(Very Early Strength -LMC)공법이 개발되어 노후된 교량의 보수에 사용하고 있다. 사진 3은 VES-LMC공법을 이용한 교량 바닥판 긴급 보수공사 작업상황을 나타낸다(한국콘크리트학회, 2004).

#### 4. 맺음말

현대사회의 발전은 토목 및 건축분야에서 새로운 재료 및 공법의 개발을 요구하고 있다. 특히, 시멘

트·콘크리트 분야에 있어 새로운 성능을 가진 시멘트, 혼화제 및 혼화제가 다양한 특수 콘크리트의 제조에 적용되고 있다. 특수 시멘트·콘크리트는 공급과 그의 특성에 대한 이해 부족, 그리고 특수 시멘트를 사용한 콘크리트의 특기 시방서의 미비로 인해 소규모 특수 구조물에 한정되어 사용되어 왔다.

최근 콘크리트관련 기술발전, 구조물의 내구성을 증시하는 사회적 분위기와 다양한 설계·시공법이 도입되어 특수 시멘트에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히, 도로포장, 철도, 공항 등 물류 기반시설 분야에서 기존시설의 신속 보수·보강을 위한 재료나 공법의 수요는 더욱 증가 추세인데 도로포장의 보수·보강분야에서 교통차단으로 인한 사용자의 손실을 최소화하기 위해 조강성·속경성 콘크리트를 사용한 새로운 공법이 적용되고 있다.

그의 대표적 예로는 Fast-Track 공법, RS-LMC 공법 등을 들 수 있는데 이러한 조강성·속경성 콘크리트의 제조기술이나 설계·시공법에 대한 연구가 더욱 활발하게 이루어져, 사회기반시설 유지·보수의 생력화와 비용절감에 기여할 수 있기를 기대한다.

#### 참고문헌

1. [http://www.cement.or.kr/stati2002/nation\\_view6.asp](http://www.cement.or.kr/stati2002/nation_view6.asp), 한국양회공업협회 통계자료.
2. 山田順治編著~“セメント・コンクリートの知識-商品と流通の解説”, 財團法人經濟會, pp. 62~76, 1983.
3. 송태웅, 조강형 특수 시멘트의 개발동향-급결 및 속경성 시멘트 재료, 요업재료의 과학과 기술, Vol. 9, No. 4, pp. 394~402, 1994.
4. 김용국, 조강 시멘트 및 팽창·토질안정제의 활용성, 시멘트, 한국양회공업협회, pp. 30~33, 1987. 9.
5. A.M. Neville, “Properties of Concrete” 3rd Edition, Pitman Publishing Inc. 1981.

6. 정재동, 콘크리트재료공학, 성문각, pp. 52~63, 1992.
7. B. Barnes, Structure and Performance of Cements, Applied Science Publishers Ltd. pp. 477~500, 1983.
8. 長岡誠一, 超早強性・超速硬性とセメント, セメント・コンクリート, No. 594, pp. 35~40, 1996. 8.
9. 建設省土木研究所 외, 現場打ち超早強コンクリートの實用化に關する共同研究報告書, 1992.
10. 工程短縮によるスピードアップでトータルコストを輕減, 超早強コンクリートを用いた交差点部舗裝修繕工事, 伊藤平和 외2, セメント・コンクリート, No. 633, pp. 20~26, 1996. 8.
11. Ivan Odler, "Special Inorganic Cements" Pub. E&FN Spon, pp. 7~286, 2000.
12. 福林幸雄 "速硬性セメント", セメント・コンクリートNo.535, pp. 65~70, 1991.
13. Brown P.W, Lacroix P., "The kinetics of ettringite formation", Cement & Concrete Res., Vol. 19, pp. 879~884, 1989.
14. 荒井康夫, "セメントの材料化學", 大日本圖書株式會社, pp. 215~218, 1984.
15. 松永喜久 渡邊芳春, 中川晃次坂, 井悅郎 "エトリンガイト系混和材料の作用と多孔性制御", 石膏と石灰, No. 240, pp. 38~44, 1992.
16. 한국콘크리트학회, "특수콘크리트공학", 기문당, p.p. 113~135, 2004. 10.
17. JIS R 5210 ポルトランドセメント.

### 학회지 원고접수 안내

학회지 편집위원회에서는 다음과 같은 내용으로 여러분을 초대하고자 합니다. 언제든지 참여하시어 알찬 학회지를 만듭시다. 여러분의 원고를 기다리겠습니다. (연락처 : 학회사무국 또는 편집위원)

컬 럼	내용 및 형식	비 고
권두언/축사/제언/격려사	시사성 있는 내용으로 A4 2쪽이내 분량으로 작성	편집위원회 주관
특집	회원들에게 도로포장내용과 최신동향소개 : 특집편집위원회 주관하여 연재	게재원고료 지급 심의 후 게재
기술기사	도로 및 도로포장과 관련된 기술보고서로서 A4 10쪽 이내 분량으로 작성 : 사례연구, 공사지, 성공 및 실패사례, 지역별 도로특성, 국내 산학연 합동 연구, 국내외 관련연구소 소개 등	심의 후 게재
기술위원회 세미나 주요내용	기술위원회 세미나 내용을 자세히 요약하여 그 내용을 회원들에게 알리는 컬럼	기술위원회 제공
해외기술동향	도로 및 도로포장관련 해외의 최신 연구내용 및 결과로 A4 4쪽 이내	
국내외 학술회의	도로 및 도로포장과 관련된 학술 및 기술강좌, 세미나 등의 내용 소개	E-mail 이용 가능
문화산책(교양)	교양과 관련된 내용으로 A4 4쪽 이내 : 수필, 취미생활(등산, 낚시 등), 독후감 및 의견제시 등 자유내용	게재원고료 지급 심의 후 게재
국내외 신간도서 소개	최근 발간된 도로 및 도로포장 도서 내용소개 및 총평과 국내 회귀 입수 서적 소개	E-mail 이용 가능
학교 및 업체연구소 소개	도로 및 도로포장관련 학교 연구실 및 업체 연구소의 A4 2쪽 내외 소개	게재분량 엄수
학회소식	정기총회 및 학술발표회 소식, 이사회 회의록, 기술위원회 활동소식 등	학회 사무국 제공
Q/A	도로 및 도로포장 관련 문제에 대한 질문과 답변	E-mail 이용 가능
회원동정	주소변경, 직장변경, 경조사, 회원가입, 박사 및 석사학위 취득자 등	E-mail 이용 가능

\* 집필자는 필히 본인 및 공동집필자 사진을 첨부하십시오.

E-mail : kospe@hanmail.net