

# 초속경 시멘트의 특성과 용도

권극현 · 이종열 · 한기석\*

〈쌍용중앙연구소〉

## 1. 개 요

1824년 영국의 J. Aspdin이 포틀랜드 시멘트를 발명한 이후 160년이 지난 오늘날까지 시멘트는 인간생활에 없어서는 안될 기초재료로서 확고한 위치를 지속하고 있는 가운데 과학의 발전과 더불어 산업구조가 복잡화됨에 따라 성능의 다양화와 고도화 요구가 점점 더 커지고 있는 것이 오늘날의 현실이다. 그러나 시멘트가 타 건축용 결합재에 비하여 경화속도가 늦다는 단점이 있어 시멘트의 초기 경화 특성 개선을 위해 시멘트 연구자나 생산자들은 많은 연구 노력을 한 결과 1920년대에는 조강 시멘트가, 1960년대에는 초조강 시멘트가 개발되어 상품화 됨에 따라 실용강도 발현을 위한 양생기간이 7일에서 각각 3일, 1일로 단축될 수 있게 되었다.

시멘트 조강화의 연구는 이후에도 계속되어 1968년 미국 PCA 연구소에서 1~2시간만에

실용강도를 발휘할 수 있는 획기적인 초속경 시멘트를 개발하여 Regulated Set Cement라는 명칭으로 발명특허를 획득하였다. 일본의 Onoda와 Sumitomo사는 이 특허권을 1971년에 신재료 연구 개발센터를 통하여 공동 도입하고 각자 제조공정, 특성개선 및 이용기술을 개발하여 실용화함으로써 Jet Cement라는 명칭으로 독점 생산하여 상품화하여 왔다.

초속경시멘트는 경화시간이 매우 짧고 또한 단시간내에 높은 강도를 발현하는 새로운 타입의 시멘트로서 “ONE-HOUR CEMENT”라고도 표현된다. 배합에 따라서는 1시간내에 50~100 kg/cm<sup>2</sup>, 2시간에 200~250 kg/cm<sup>2</sup>의 강도발현도 가능하며, 또한 장기에 있어서도 종래의 포틀랜드 시멘트와 같은 안정한 강도증진을 나타내는 것 이외에 일반적인 물리적 성질에 있어서도 우수한 특성을 나타내는 제품이다. 따라서 본 보고에서는 초속경시멘트의 제반 품질특성과 용도, 제조기술에 대하여 기술하고 아울러 대표적 보수공사의 시공예를 소개하고자 한다.

## 2. 초속경시멘트의 성질

### 2-1 화학 성분

#### 화 학 성 분

〈표-1〉

시멘트	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	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>11</sub> A <sub>7</sub> ·CaF <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
초속경	14.3	11.9	0.9	58.7	1.0	46.2	2.3	20.8	-	2.5
보통	21.0	6.0	2.8	62.1	3.4	43.1	27.9	-	11.2	8.5

2-2 물리 성능

물리 성능

<표-2>

시멘트 항 목	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	응결시간(분)		압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )					
		초 결	종 결	2 h	12 h	1 d	3 ds	7 ds	28 ds
초 속 경	5,100	6	12	235	290	350	410	450	530
보 통	3,200	280	6 : 50	-	-	90	190	270	350

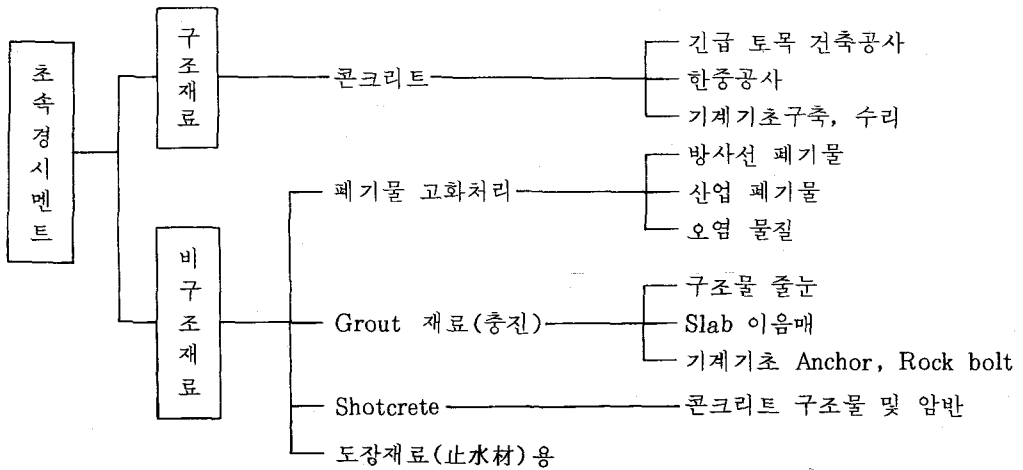
\* 압축강도(W/C = 48.5 % 기준)

3. 초속경시멘트의 특징 및 용도

3-1 특 징

- 2~3시간내에 실용강도 발현
- 장기간에 걸쳐 안정된 강도발현 및 고강도 유지
- 저온에서도 단시내에 실용강도 발현
- 응결지연제에 의해 작업시간 조절이 가능
- Bleeding 이 전혀없고 건조수축이 매우 작음

3-2 용 도



4. 초속경시멘트의 제조기술

4-1 제조 방법

초속경시멘트는 일반적으로 초속경시멘트 크링카에 석고를 첨가하고 Blaine 비표면적이 5,500 cm<sup>2</sup>/g 정도로 분쇄하여 제조한다. 초속경시멘트 크링카는 보통 포틀랜드 시멘트 크링카 제조용 원료 이외에 알루미나원으로 보오크 사이트나 카올린 등을, 불소원으로서 형석을 추

가 사용하여 C<sub>3</sub>S와 C<sub>11</sub>A<sub>7</sub>CaF<sub>2</sub>가 주광물이 되도록 배합하고 1,350℃ 부근에서 소성하여 제조한다.

초속경시멘트 크링카에서 C<sub>3</sub>S는 장기적으로 안정된 강도증진 특성을 갖도록 하는 중요한 역할을 하며 초속경성 발현에도 일부 기여하는 중요한 광물이다. 다른 시멘트의 크링카에서와는 달리 특징적으로 함유된 광물인 C<sub>11</sub>A<sub>7</sub>CaF<sub>2</sub>는 비교적 수화활성이 크지만 불안정하여 생성시키기 어려운 C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>의 CaO 1몰을 CaF<sub>2</sub>로 전환

고착시킴으로써 쉽게 생성되도록 유도한 광물이며 초속경성 발현에 주된 역할을 하고 있다. 이때 첨가된  $\text{CaF}_2$ 는 용제 및 광화제적인 역할을 하므로 보통 포틀랜드 시멘트 크링카에서는  $1,450^\circ\text{C}$  정도에서 생성시키는  $\text{C}_3\text{S}$ 를  $1,350^\circ\text{C}$  정도에서도 다량 생성시켜주고 있으나 소성 작업의 온도 범위를 협소하게 하므로 초속경시멘트 크링카의 공업적인 생산을 위해서는 소성기술의 개발이 필요하게 된다.

4-2 크링카광물 생성과정

1)  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaF}_2$  계의 상평형

초속경시멘트의 특징인 급경성은  $\text{C}_{12}\text{A}_7$ 의 고용체인  $\text{C}_{11}\text{A}_7\text{CaF}_2$  광물에 의해서 발현된다. 또한 이 광물은 크링카 중 액상 성분의 대부분을 차지하고 있고 실제 크링카 중에서는  $\text{CaF}_2$ 량의 변화에 따라  $\text{C}_{11}\text{A}_7\text{CaF}_2$ 의 생성 영역과 생성 온도가 달라지게 된다.

$\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$  계에  $\text{CaF}_2$ 의 첨가량이 증가하면  $\text{C}_3\text{A}$ 의 초정역은 협소하여지게 되고  $\text{CaF}_2$ 가 5% 첨가되면 완전히 소멸하여 생성되지 않는다. 반면  $\text{C}_3\text{S}$  및  $\text{C}_{11}\text{A}_7\text{CaF}_2$ 의 초정역은  $\text{CaF}_2$ 의 첨가량 증가에 따라 초정역이 확대되고 생성 온도는 저온측으로 이동됨을 알 수 있다. 이와 같이  $\text{CaF}_2$ 량이 소량 첨가되면  $\text{C}_3\text{A}$ 가 생성하여 응결이 불량하게 되고 따라서 고용체량이 감소하여 초기강도 발현이 불량해지며, 과량의 경우에는  $(\text{C}_3\text{S})_3\text{CaF}_2$ ,  $(\text{C}_2\text{S})_2\text{CaF}_2$  등의 광물이 생성된다(〈그림-1〉).

2) 소성기구

(1)  $\text{C}_{11}\text{A}_7\text{CaF}_2$

$\text{C}_{11}\text{A}_7\text{CaF}_2$ 는  $840^\circ\text{C}$  부근에서 생성되어  $1,380^\circ\text{C}$ 까지는 생성량이 일정하며  $1,380^\circ\text{C}$  이상에서는 불안정상이 되어 안정상인  $\text{C}_3\text{A}$ 로 전이현상이 일어나 양이 급격히 줄어든다.

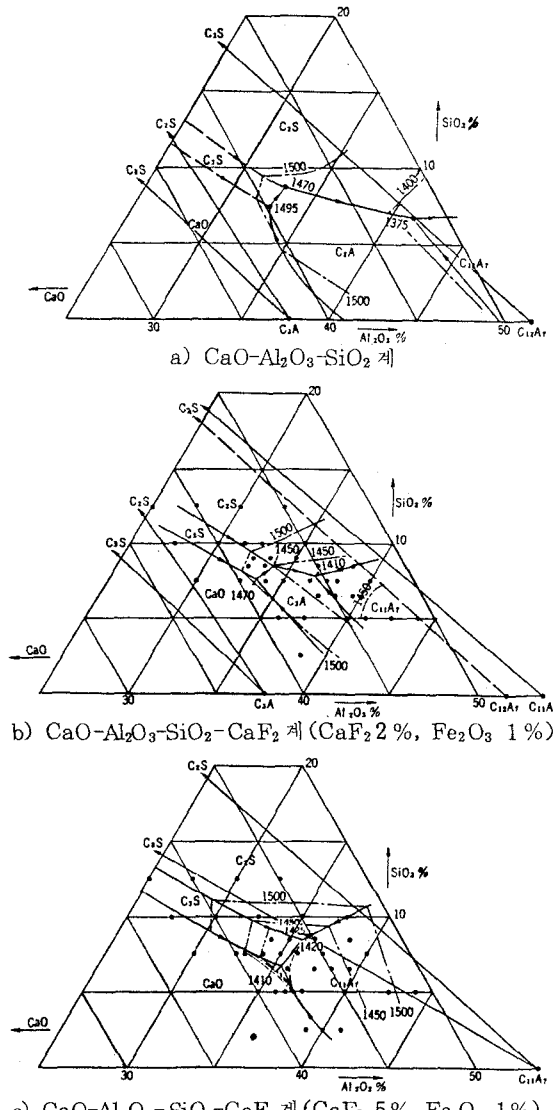
(2) Calcium silicate

Raw mix내의 불소가 flux 역할을 하면서  $\text{C}_3\text{S}$ 의 중간 생성물인 불소고용 calcium silicate (F상으로 지칭,  $(\text{C}_3\text{S})_3 \cdot \text{CaF}_2$  or  $\text{C}_{11}\text{A}_4\text{CaF}_2$ )를 형성하며  $850^\circ\text{C}$  부근에서 생성되어  $1,100^\circ\text{C}$  이상에서는  $\text{C}_3\text{S}$ 로 전이된다. belite도 F상

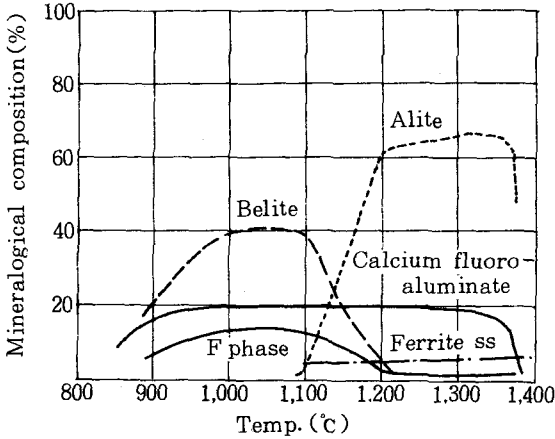
과 비슷한 온도에서 생성하여  $\text{CaO}$ 와 반응하여  $1,100^\circ\text{C}$  부근에서 alite를 생성한다. alite는 F상,  $\text{C}_2\text{S} + \text{CaO}$ 로부터  $1,100^\circ\text{C}$  부근에서 생성되기 시작하여  $1,200^\circ\text{C}$  부근에서 급격히 생성되는데 양적으로 볼 때 F상에서 오는 것이 1/3,  $\text{C}_2\text{S} + \text{CaO} \rightarrow \text{C}_3\text{S}$ 로 되는 것이 2/3 정도된다.

(3) Ferrite

$1,100^\circ\text{C}$  부근에서 현저히 생성되어 고온까지 양적으로 서서히 증가한다(〈그림-2〉).



〈그림-1〉  $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{CaF}_2$  계의 평형 상태도

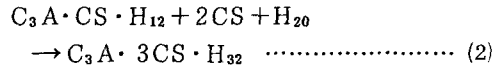
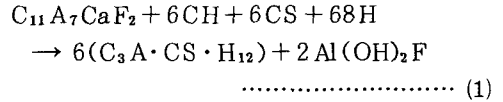


<그림-2> 소성온도에 따른 크링카의 광물상 변화

4-3 시멘트의 수화반응

초속경시멘트에 물이 가해지면 크링카 성분 중 활성이 큰  $C_{11}A_7CaF_2$ 가 calcium silicate 상 ( $C_3S$ 와  $C_2S$ )에서 용해된  $Ca(OH)_2$ 와 반응하여  $Al(OH)_2F$ ,  $CAH_{10}$ ,  $C_2AH_8$ ,  $C_3AH_6$ ,  $C_4AH_{19}$  등 calcium aluminate 수화물을 생성하기 시작한다. 이 수화물은 석고의 용해분과 곧바로 다음 식과 같이 반응하여 초기의 석고 용해량이

적을 때는 calcium monosulfate 수화물( $C_3A \cdot CS \cdot H_{12}$ )이 생겨지나 석고 용해량이 많아지면 ettringite ( $C_3A \cdot 3CS \cdot H_{32}$ )가 생성된다.



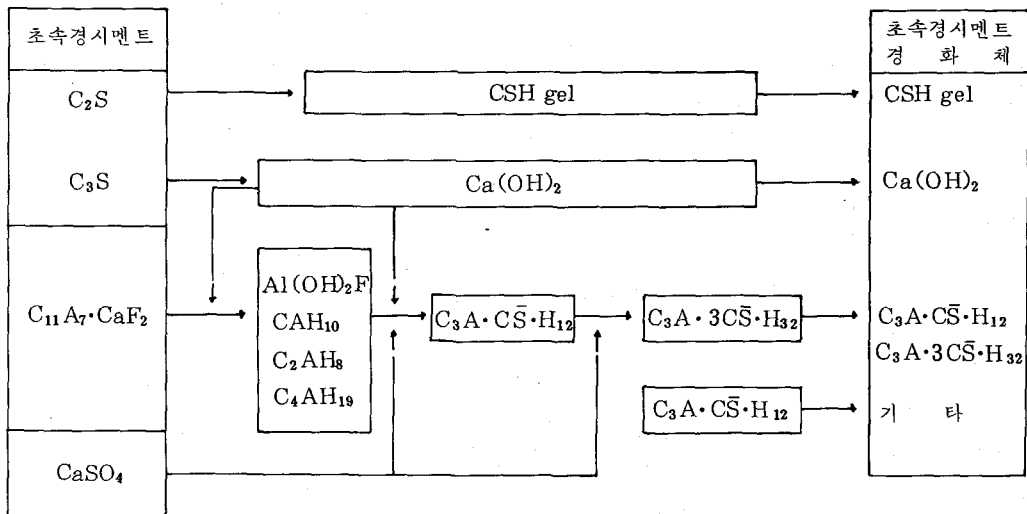
이러한 수화반응이 일어나는 시기는 초속경시멘트 중의  $CaSO_4$ 의 농도 및 용해속도와 밀접하게 관련되어 일어나기 때문에 초속경시멘트에서 강도발현 속도를 적절하게 하고 팽창 등의 이상현상이 나타나지 않게 하기 위하여  $CaSO_4/Al_2O_3$ 의 mole 비가 최적치가 되도록 석고를 첨가한다.

$C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_4AF$ 의 수화반응은 보통 포틀랜드 시멘트의 경우와 크게 다르지 않다(<그림-3>).

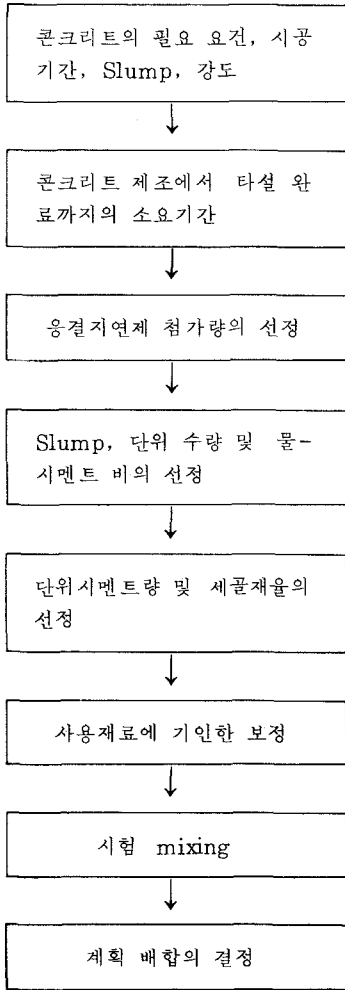
5. 콘크리트 배합 및 콘크리트 성질

5-1 배 합

보수공사는 대부분 안전관리가 용이한 시간



<그림-3> 초속경시멘트 수화반응 과정의 개략도



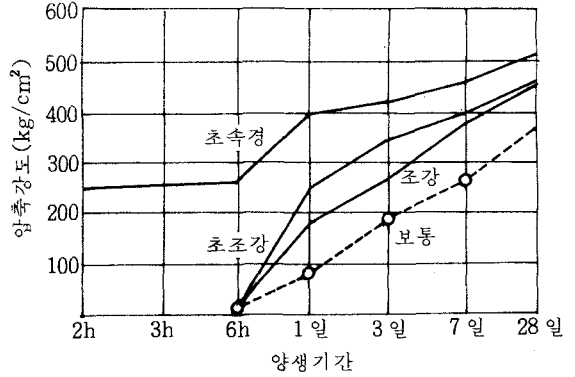
<그림-4> 초속경 콘크리트의 배합 순서

내에 이루어지도록 하기 위하여 주간에 실시하는 경우가 많고 소규모로 이루어지고 있다. 또한 현장에서는 콘크리트 관리시험의 여건이 충분치 않은 상황임을 감안하여 강도의 변동계수에 어느 정도 여유있는 값을 예상하여 배합설계를 행한다.

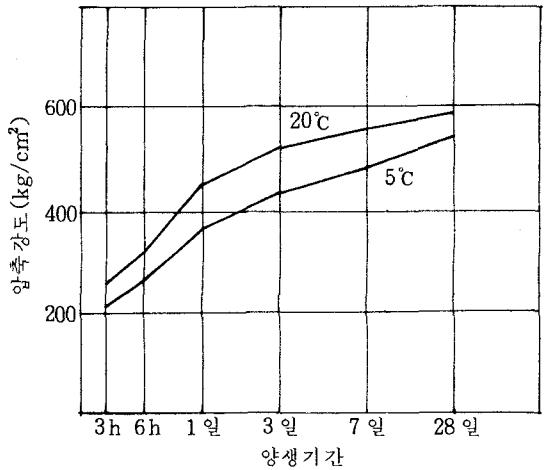
초속경 콘크리트의 일반적인 배합순서를 도표로 요약하면 <그림-4>와 같다.

### 5-2 압축강도

초속경시멘트의 초기강도는 시멘트 중의  $C_{11}$



<그림-5> 각종 콘크리트의 압축강도 발현 특성



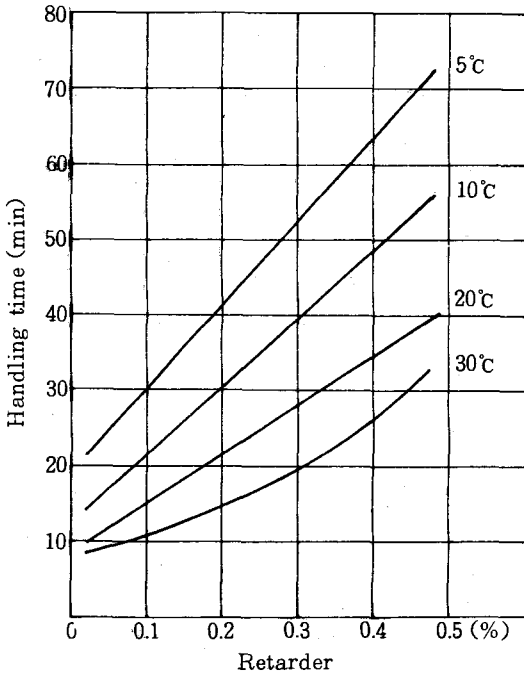
<그림-6> 양생 온도에 따른 초속경 콘크리트의 압축강도 발현 특성

$A_7CaF_2$  광물의 반응에 의해 종래 포틀랜드 시멘트를 이용한 콘크리트에 비해 그 강도 발현성이 현저하게 다르다. 그리고 그 이후 강도는 종래의 포틀랜드 시멘트 중의 조성광물과 동일한  $C_3S$  수화에 의해 안정하게 증진하며 알루미늄 시멘트와 같은 광물 전이에 의한 강도 저하는 전혀 없고 종래 포틀랜드 시멘트 이상의 강도를 기대하는 것이 가능하다. 또한 초속경시멘트는 초기 발열의 상승 효과로 인하여 양생 온도의 영향이 적게 나타나며 저온 양생시 유리하게 사용할 수 있다(<그림-5, 6>).

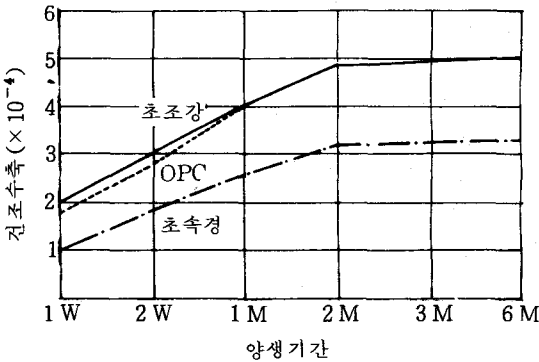
5-3 응결시간

초속경시멘트는 보통 시멘트와는 달리 응결이 매우 빠르기 때문에 이를 그대로 현장 작업에 사용하는 경우는 거의 없고 시공 규모에 따라 응결지연제를 첨가해서 작업시간을 조정하는 방법이 사용되고 있다.

한편 응결지연제의 첨가량은 <그림-7>에서



<그림-7> 응결지연제 함량변화에 따른 작업시간 조절



<그림-8> 초속경시멘트 건조 수축

보는 바와 같이 배합, 기온, 소요 작업시간 등에 따라 차이가 있으므로 통상 시멘트 중량의 0.2~0.6% 범위에서 첨가된다.

5-4 건조수축

초속경시멘트는 보통 시멘트에 비해 초기 수화열이 높고 분말도가 매우 fine 하여 콘크리트의 건조수축이 클 것으로 생각되지만 실재는 그렇지 않다. 초속경시멘트에서는 일반 포틀랜드 시멘트에서는 생성되지 않는 특수 수화 생성물의 특성 때문에 건조수축이 작다(<그림-8>).

5-5 Bleeding

Bleeding으로 인해 표면에 나타난 미세한 물 질층을 laitance라고 말하며 laitance는 콘크리트의 부착 특성을 현저히 저해시키는 요인이 되므로 반드시 제거하여야 한다. 이런 관점에서 초속경시멘트는 laitance가 전혀 발생치 않고 접착 특성이 매우 우수하며 침하 현상이 없어 기계기초용 또는 앵커볼트 매립 등에 사용하면 효과가 좋다(<표-3>).

6. 초속경시멘트를 이용한 시공 예

초속경 콘크리트를 이용한 보수공사는 재료의 사용 시간이 짧아 작업시간이 보통시멘트 사용 시보다 충분치 않다는 점과 교통량이 많은 경우는 일부 교통을 개방해서 시공해야 되는 점 등 작업조건이 양호한 조건은 아니다. 따라서 본 고에서는 초속경 시멘트의 많은 용도 중에서 보수 공사의 대표적인 시공 예를 소개하고자 한다.

초속경시멘트 Bleeding

<표-3>

시멘트	Slump (cm)	Bleeding	
		양 (ml/cm <sup>2</sup> )	율 (%)
보통	8	0.17	2.94
초조강	8	tr	tr
초속경	8	전혀 발생 안됨	

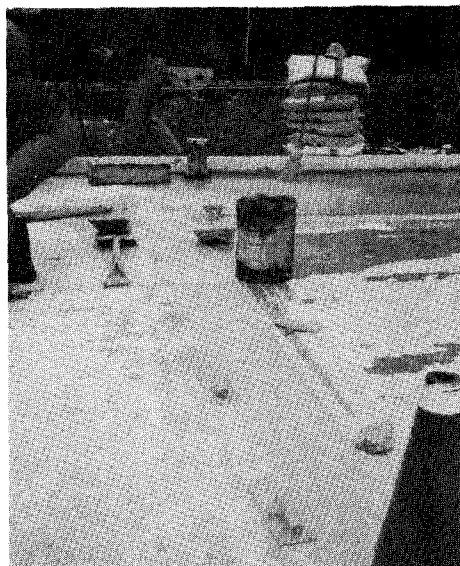
\* 단위시멘트량 : 400 kg/m<sup>3</sup> 기준시

1) 긴급 도로 보수

내용 항목	세 부 내 용									
실험 목적	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 콘크리트 포장도로에서 patching 부위 도로 보수 가능성 검토(작업시간, 시공성 측면)</li> </ul>									
공사 규모	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일 시 : '87. 6. 24 ~ 6. 25</li> <li>• 장 소 : '88 올림픽 고속도로</li> <li>• 규 모 :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 크 기 ; 0.3 mW × 4 mL</li> <li>- 포장두께 ; 30 cm</li> <li>- 타 설 양 ; 0.4 m<sup>3</sup></li> </ul> </li> </ul>									
배 합	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )					응결조절제 (cx %)	W/C (%)	S/A (%)	Slump (cm)	
	C	W	S	G	adm.					
	400	160	643	1,195	8	0.1	40	34	8.0	
* 작업시간 : 15 ~ 20 분 기준										
시공 결과	항 목	내 용			비 고					
	작 업 성	시공상태 양호			진동봉 사용 추천					
	압축강도	190 kg/cm <sup>2</sup>			2시간 재령					



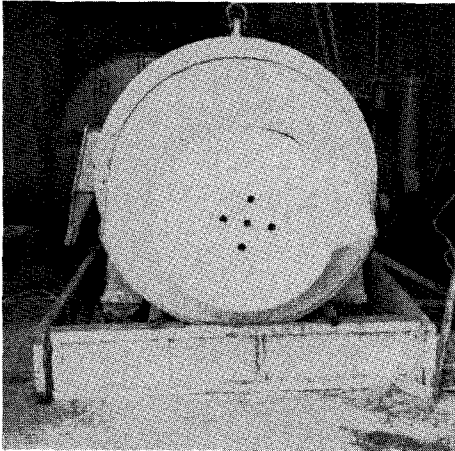
<시 공 전>



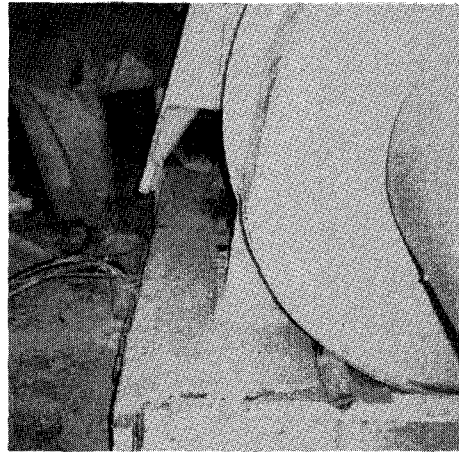
<시 공 후>

## 2) 기계기초대 보수 공사

내용 항목	세 부 내 용									
목 적	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 제지 제조과정 중 펄프 제조용 쇄목기의 회전운동으로 인한 콘크리트 기초 대 열화로 조업 중단</li> <li>• 일본 제품 사용 → 국산품 변경</li> </ul>									
개 요	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 일 시 : '88. 7. 4</li> <li>• 규 모 :               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 크 기 ; 1.7 mL × 1.6 mW × 0.45 mH</li> <li>- 콘크리트량 ; 1.2 m<sup>3</sup></li> </ul> </li> </ul>									
배 합	단 위 재 료 량(kg/m <sup>3</sup> )						W/C (%)	S/A (%)	Slump (cm)	
	C	W	S	G	adm.	J. S				
	400	160	643	1,195	cx 2	cx 0.2	40	35	9	
시공 결과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 작업성 양호</li> <li>• 외국 제품보다 품질 우수 인정</li> </ul>									



〈시 공 전〉



〈시 공 후〉

## 7. 결 언

지금까지 초속경시멘트의 보수용 재료로서의 물성과 이것을 이용한 긴급 보수공사의 예를 소개했다. 초속경시멘트는 우수한 초속경성을 이용하여 긴급보수 재료로 뿐만 아니라 기계기초, 주물사, Grout재 등 용도가 다양화 되어가고

있다. 제품 특성상 작업 시간이 짧고 slump loss가 보통 시멘트 사용시보다 빠르게 진행되어 Remicon에 의한 대량 수송이 곤란한 점은 대량 타설이 가능한 특수 장비인 연속 mixer 차의 개발이 이루어지면 가능할 것이다. 또한 지속적인 시멘트 특성 보완으로 타 결합재보다 사용하기 쉽고 성능이 우수하며 값싼 보수재료의 범용화가 되도록 노력하여야 할 것이다.