

超早強 시멘트 施工에 關한 研究

李 宗 烈

〈雙龍洋灰工業(株) 中央研究所
2次製品研究室 先任研究員〉

目 次

1. 서 론
2. 초조강 시멘트의 특징과 용도
 - 2.1 제품의 특징
 - 2.2 용 도
3. 초조강 시멘트 품질수준
4. 시공사례
 - 4.1 동결기 도로보수 실험
 - 4.2 하절기 도로보수 실험
5. 결 론

1. 서 론

보통 시멘트는 제품특성상 범용성을 갖고 있기 때문에 여러 용도에 걸쳐 광범위하게 사용되고 있지만 도로와 활주로 보수같이 최단시간 내에 개통이 요구되는 장소에서는 보통 시멘트의 특성으로는 성능발휘에 한계가 있다.

이들 특성을 보완하고자 초기 경화속도를 빠르게 하여 높은 강도를 발현케 하고 장기에 걸쳐 안정된 강도향상을 발휘토록한 제품이 초조강(超早強) 시멘트이다.

초조강 시멘트로는 콘크리트 포장도로의 긴급보수나 시멘트 2차제품을 생산하는 업체에서 생산성 증대등에 적합한 획기적인 제품으로 알려져 있어 오래전 부터 국산화 개발이 요구되어 왔었다.

이에 폐사에서 신제품으로 개발한 초조강 시멘트의 특징과 용도, 품질수준, 시공사례 등을 살펴본다.

2. 초조강 시멘트의 특징과 용도

2.1 제품의 특징

- 1) 초기 경화속도가 빨라 1일만의 경화로 보통 콘크리트의 7일 강도를 발현한다.
- 2) 장기에도 안정된 고강도를 발현하고 그밖의 물리성능도 매우 우수하다.
- 3) 저온에서도 강도 발현성이 우수하여 동계공사가 가능하다.
- 4) 콘크리트의 수밀성이 높아 구조물의 내구성이 좋으며 화학 저항성이 크다.
- 5) 사용상 범용성이 크다.

2.2 용 도

- 1) 긴급 보수공사 : 도로및 활주로 보수
- 2) 각종 토목및 건축공사 : 공기단축
- 3) 시멘트 2차제품 : 생산성 증대
- 4) 한층공사

3. 초조강 시멘트 품질수준

초조강 시멘트의 품질 수준을 보통시멘트 품질규격과 비교하여 표1에 나타내었다.

표 1. 초조강 시멘트 품질수준

시멘트 항목	응결시간(길모아)		안정도 (%)	압축강도(kg/cm ²)			
	초결(분)	종결(시간)		1일	3일	7일	28일
KS 규격(보통)	60이상	10 이하	0.8 이하	-	130이상	200이상	290이상
쌍용시멘트 보통	280	6:50	0.1	90	180	250	350
쌍용시멘트 초조강	220	6:00	0.1	250	350		460

4. 시공 사례

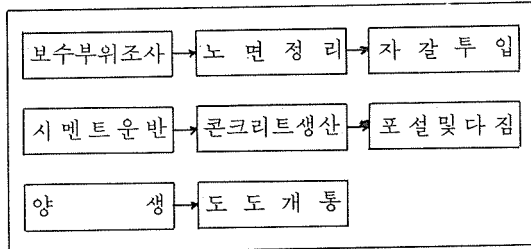
4.1 동절기 도로보수 실험

4.1.1 현장실험 개요

- 1) 도로보수구간: 신탄지 유원지 진입로
- 2) 도로보수일정(1986. 2. 17~18)
- 3) 보수규모: 9m×6m×0.2m(12m³)
- 4) 포장단면 구성: 콘크리트 포장판(20cm), 보조기층(25cm)

4.1.2 보수작업 공정

표 2 보수작업 공정흐름도



단 계	일 자	2/11	2/17	2/18												
				9hr	10	11	12	13	14	15	16	17	18			
시 료 입 수		→														
노 면 정 리			→													
자 갈 투 입			→													
초 시 멘 트 운 강 반				→												
콘 크 리 트 생 산 (보 통)					→											
포 설 및 다 짐						→										
중 식							→									
콘 크 리 트 생 산 (초 조 강)								→								
포 설 및 다 짐									→							
양 생										→						
도 로 개 통													→			

4. 1. 3 콘크리트타설 및 양생방법

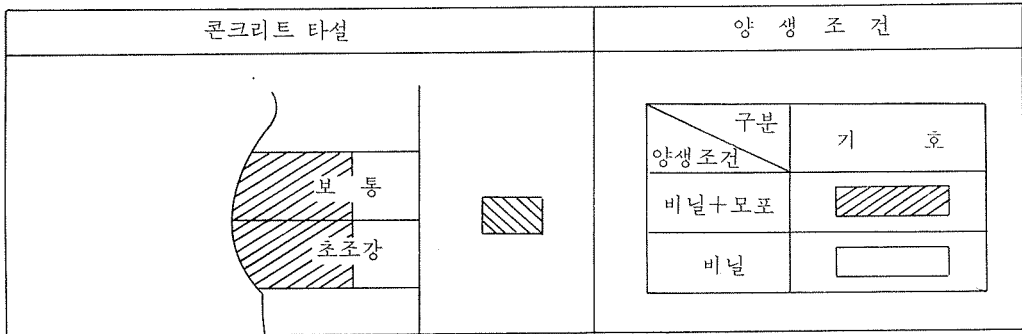


그림 1. 콘크리트 타설 구분 및 양생조건

<참고> 실험기간중 기상상태 자동 온습도계를 이용 대기온도 변화를 측정한 결과 콘크리트를 타설한 일자를 제외하고는 모두 0℃ 이고의 가혹한 조건이었다.(표3)

표 3. 실험기간중 온도 변화

온도		일 자							
		일 자 별(2월)							
		18	19	20	21	22	23	24	25
온도 (℃)	최 고	5	3.0	4	3.5	6.0	3.5	3.2	6.2
	최 저	0.5	-2	-3	-7	-5.8	-5.9	-9.0	-8.0
	평 균	2.7	0.3	0.9	-1.4	0.1	-1.5	-3.5	-1.1

* 콘크리트 타설후 새벽 최저기온은 0.5℃ 였음

4. 1. 4 사용재료 및 콘크리트배합

1) 사용재료

당사에서 생산되는 보통 시멘트와 신개발제품인 초조강 시멘트를 사용하였고 골재는 충북 부강 산. 혼화제는 AE 감수제인 Paric KS 를 각각 사용하였다.(표4, 5)

2) 콘크리트 배합

포장 콘크리트 도로보수에 사용되는 배합은 단시간내 교통이 개방되어야 하는 특수성을 고려 비교적 부 배합을 추천하고 있으므로 표6와 같이 시험하였다.

표 4. 시멘트 물리성능

항목 시멘트	응 결 시 간		안정도 (%)	압 축 강 도(kg/cm ²)			
	초결(분)	종결(시간)		1 일	3 일	7 일	28 일
보 통	220	6 : 30	0.14	127	214	244	324
초 조 강	290 190	5 : 10	0.10	264	340	385	488

표 5. 골재 시험 결과

골재	항목	골재최대치수(mm)	비중	흡수율(%)	단위용적(kg/m ³)	조립율	산지
모래		5	2.59	1.51	1620	2.75	부강
자갈		25	2.60	1.70	1593	6.57	부강

표 6. 콘크리트 배합

시멘트	항목	최대골재크기(mm)	Slump(cm)	공기량(%)	W/C(%)	S/A(%)	타콘크리트온도(°C)	단위재료량(kg/m ³)				
								C	W	S	G	AD
목표		25	8 ± 1	4 ± 0.5	-	36	-	380	-	-	-	-
보통		25	9.0	4.2	38	36	3.5	380	144	686	1224	0.494
초조강		25	7.1	3.9	40	36	6.5	380	153	677	1209	0.988

* 보 * 보통시멘트: 설계기준 강도 240kg/cm² 배합과 유사

4.1.5 실험결과 고찰

1) Fresh Concrete 의 성질

① 단위수량

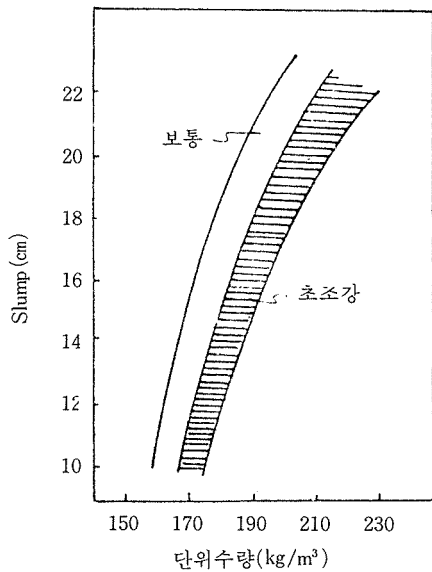


그림 2. 단위수량과 Slump

일반적으로 그림 2에서 보는 바와 같이 초조강 시멘트는 분말이 매우 Fine 하므로 소요 Slump

를 얻기 위하여 단위수량이 보통 시멘트 사용 시보다 5~10% 증가된다.¹⁾

② Bleeding 및 콘크리트 침하

초조강 콘크리트의 Bleeding 은 보통 콘크리트와 비교시 거의 발생치 않는다.

따라서 콘크리트는 적게되고 Laitance 로 인한 표면박리와 재료 분리를 감소시킬 수 있다. (그림3, 표7)

표 7. 초조강 시멘트의 Bleeding

시멘트	항목	Slump (cm)	Bleeding	
			양(ml/cm ²)	율(%)
보통		4.7	0.17	2.94
초조강		4.0	tr.	tr.

③ 응결시간

초조강 시멘트는 분말도가 높고 초기 수화활성이 크기 때문에 응결시간은 보통 시멘트보다 약간 빠른 편이다. (표8)

④ Slump loss

초조강 시멘트의 Slump loss 는 표9와 같이

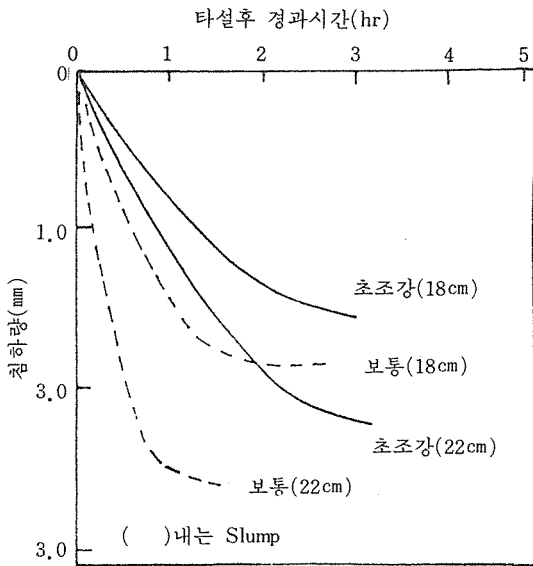


그림 3. 침하량

표 8. 콘크리트 응결시간

시멘트	항목	Slump (cm)	혼화제사용량 (kg/m ³)	응 결 시 간	
				초결(hr : min)	종결(hr : min)
보 통		9.0	0.498	9 : 05	11 : 30
초 조 강		7.1	0.997	8 : 10	10 : 30

표 9. 시간경과에 따른 Slump loss와 공기량

시멘트	혼화제	W/C (%)	S/A (%)	Slump (cm)				공기량(%)	
				0분	15	30	60	0	60
초조강	AE 감수제	62	42.0	21.0	20.0	19.4	18.3	4.1	4.0
보통	AE 감수제	62	44.6	20.9	20.1	19.6	18.1	4.2	3.9

표 10. 양생조건별 압축강도

양생조건	항목	양생방법	시멘트	재 령(일) : kg/cm ²							
				1	2	3	4	5	7	28	
표준양생	수 증	초조강		146	245	290	332	348	368	429	
		보통		35	94	155	178	197	232	317	
자연양생	보 온 시 (모 포)	초조강		88	97	180	222	266	307	435	
		보통		-	27	66	88	123	166	287	
	옥외노출	초조강		63	81	157	211	247	291	352	
		보통		-	23	56	81	111	156	254	

*자연양생 : 시험체 제작후 현장조건과 동일하게 옥외 양생

보통 시멘트와 거의 유사한 경향을 나타내고 있다.

2) Hardened 콘크리트 물성

① 압축강도

초조강 시멘트의 가장 큰 특징은 초기에 높은 강도를 얻을수 있다. 또한 저온에서도 충분히 수화가 진행되기 때문에 동절기 도로 보수시에도 최소한 3일 이내에 도로 개통이 가능하다.

한편 표10를 이용하여 콘크리트 압축강도와 대기온도와의 관계를 이용하여 maturity (적산온도)를 구하면 그림 4와 같으며 이는 초조강 콘크리트의 도로 개통시기를 결정하는데 이용 가능한 것으로 판단된다.

② 콘크리트 표면 경화도

사진 1은 콘크리트 타설후 재령 1일 경과후 경화과정을 나타낸 것으로 초조강 시멘트는 타설 1일부터 우수한 강도 발현을 나타낸다.

③ 도로개통 시기

콘크리트 타설후 3일만에 차량을 주행(약 28톤) 시켜본 결과 초조강 콘크리트 포장노면은 결점이 없었지만 보통 콘크리트 포장판은 약간의 바퀴 흔적을 나타내고 있었다.

주 1) 적산온도($M: ^\circ\text{Dhr}$)의 계산

$$M = \sum_{z=1}^Z (\theta_z \cdot 10) (^\circ\text{Dhr})$$

z : 재령 (hr)

Z : 필요한 강도를 얻기 위한 기간(hr)

θ_z : 재령 Z 일에서 콘크리트 일평균 양생온도($^\circ\text{C}$)

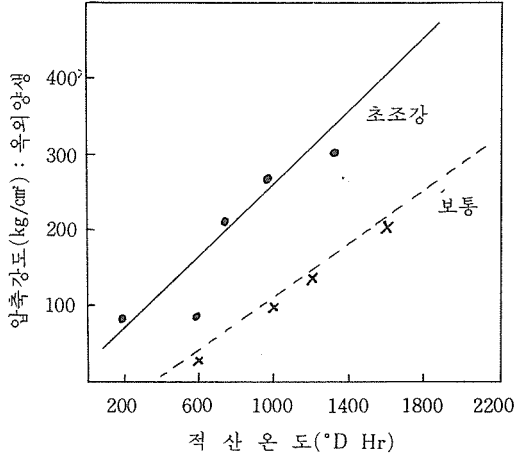


그림 4. 적산온도와 압축강도와의 관계

주 2) 도로개통 시기결정 계산 예

(초조강 시멘트의 경우)

- 조건 : 도로 개통 요구강도 $140\text{kg}/\text{cm}^2$,
대기온도 1°C 기준

- 계산 : $M : 650$ (그림 4에서)

$$M : (1^\circ\text{C} + 10) \times X = 650$$

$$X = 59\text{hr} \quad 59\text{hr}/24\text{hr} = 2.45\text{일}$$

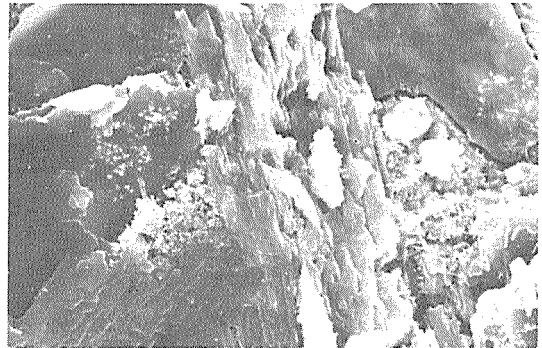


사진 1. 재령 2일 경과후 포장단면 상태
(보통 : 좌, 초조강 : 우)

또한 그 당시 타설되었던 콘크리트 시편을 채취 전자주사 현미경을 관찰하여 본 결과 초조강 시멘트 콘크리트의 수화물은 조직이 치밀한 반면 보통 시멘트 콘크리트는 조직이 매우 기공이 많음을 보여주고 있다.(사진 2)



배율 $\times 3000$
수화재령 : 5 일



배율 $\times 3000$
수화재령 : 5 일

사진 2. 전자현미경 관찰결과

(초조강(상), 보통(하))

④ 단열온도 상승시험

그림 5는 현장조건을 Simulation 하여 실험실에서 콘크리트 온도변화를 측정된 결과로 최고 온도에 도달하는 시점은 콘크리트 타설후 12시간-1일 범위였으며 온도치는 초조강 시멘트 경우가 약 8°C 높다. 한편 그 이후는 외부 조건에 의해 저하하는 추세이다.(방열로 인한 열손실은 무시하였음)

또한 초조강 시멘트는 저온(-5°C 정도)

에서도 가열 양생 대신 보온 양생만으로도 동절기 도로보수가 가능할 것으로 보인다. (자체 수화열, 조기경화에 기인)

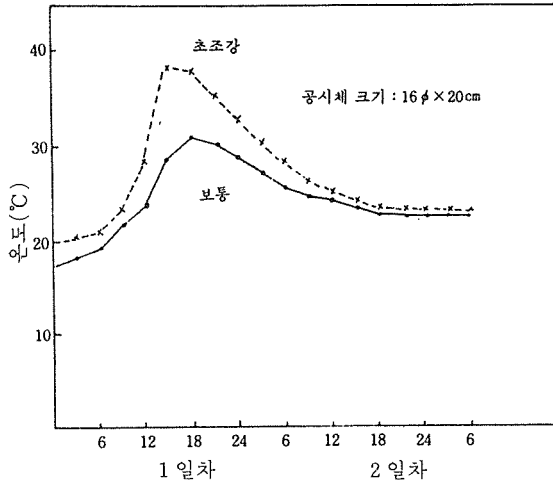


그림 5. 콘크리트 온도변화

⑤ 건조수축

초조강 시멘트는 일반적으로 분말도가 높기 때문에 수축이 클 것이라고 예상되지만 선행연구결과 등을 종합하면 보통 시멘트와 동등하다. (표11)

표 11. 건조수축 시험결과

시멘트	건 조 수 축 ($\times 10^{-4}$)					
	1W	2W	1M	2M	3M	6M
보 통	1.76	2.81	4.01	4.88	4.95	5.04
초조강	1.94	3.04	4.07	4.81	4.95	5.03

4.2 하절기 도로보수 실험

4.2.1 시험배경

초조강 시멘트를 이용한 동절기 도로 보수 실험결과 타설후 3일 이내 도로개통이 가능하나, 하절기 도로보수시 시멘트 지체의 높은 수화열로 인한 균열발생이 우려되는 바, 이에 대한 균열발생여부확인 및 그 시공특성을 검토하고자 혹서기인 8월에 88고속도로 구간을 설정하여 시험 포장한 사례임

4.2.2 보수공사 개요

- 1) 보수일정 : 1986. 8.20~23
- 2) 실험구간 : 88고속도로 하자보수구간
- 3) 공사규모 (표 12)

4.2.3 보수작업 공정

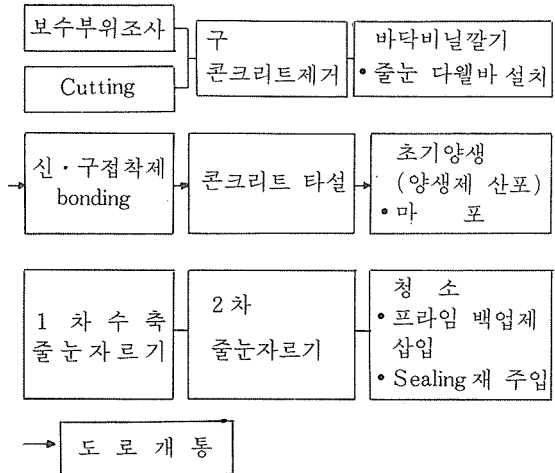


표 12. 보수공사규모

항목	성산 I/C		옥포-현풍	비 고
	大	小		
위 치(km)	10,560	10,560	2,140	옥포기점 광주방향
규 모(m)	8 × 9	8 × 0.6	4 × 4	
포 장 두께(cm)	30	18	30	
콘크리트타설량(m ³)	22.9	1.1	6	
Dowel(Tie) bar	설 치	-	-	

*특히 성산 I/C 구간은 초조강 시멘트 사용전 2차레에 걸쳐 하자보수된 구간임.

4.2.4 콘크리트 양생조건

생산 I/C 구간		양 생 조 건	
		부위	내 용
		A	피막양생+모포+Vinyl
		B	" +Vinyl
		C	" +대기노출

표 13. 골재 물성결과

항목	골재최대치수 (mm)	비 중	흡 수 율 (%)	단위용적중량 (kg/m ³)	조 립 율	산 지
모 래	5	2.55	1.59	1557	2.67	옥 포
자 갈	25	2.60	0.78	-	7.56	경산(석산)

표 14. 시멘트 물리성능

시 멘 트	응 결 시 간		안 정 도	압 축 강 도			
	초 결	중 결		1 일	3 일	7 일	28 일
초 조 강	265	7:10	0.08	285	356	405	511

4.2.5 실험재료 및 배합

1) 실험재료

대구지방에서 생산되는 석산골재와 강모래와 당사 신개발 제품인 초조강 시멘트를 사용하여 생산된 레미콘으로 시험하였다.(표13, 14)

2) 콘크리트 배합

당사에서 제시한 배합을 근거로 하여 단위 시멘트량 380kg/m³ 잔골재율(S/A) 37% 조건에서 Slump 8±1cm, 공기량 4±0.5%를 얻기 위한 배합으로 실시하였다.

4.2.6 실험결과

1) 도로개통시기

콘크리트 타설후 24시간 만에 도로를 개통한 결과 포장판은 양호한 상태를 유지하고 있었다.(표15)

표 15. 압축강도 시험결과

재령	15h	24h	2 일	3 일	7 일	28일
측정치 (kg/cm ²)	강도기 고 장	198	224	258	287	351

*시험체 양생: 제작후 대기노출(현장 조건 동일)

5. 결 론

지금까지 초조강 시멘트를 이용, 긴급도로 보수재로 특성을 검토키 위하여, 계절별 현장시공 실험을 실시한 결과를 종합하여 보면 아래와 같다.

1) 초조강 시멘트는 저온에서도 강도 발현이 우수하여 동절기 도로보수 시공에는 최소 3일 이내에 가능하며 하절기에는 1일 이내 도로개통이 가능하다.

2) Bleeding 과 침하량이 적어 Laitance로 인한 표면박리와 재료 분리가 적고 특히 표면 마

무리가 깨끗하다.

3) 초조강 시멘트는 Slump loss 가 보통시멘트와 비슷하므로 레미콘 타설로 시공이 가능하다.

3) 초조강 시멘트의 몰탈 압축강도 발현효과는 보통시멘트 7일 압축강도가 초조강 시멘트 1일 강도에 해당하는 높은 강도를 얻을 수 있다.

5) 초조강 시멘트의 용도는 긴급도로보수 이외에 Grouting 재, 시멘트 2차제품, 한중공사 등에서 사용이 가능할 것으로 사료된다.

참고 : 시공시 주의사항

1) 시공시 Beelding 이 적고 경화시간이 보통시멘트 보다 빠르다.

2) 콘크리트 수화열이 보통 시멘트에 비해 크므로 부재 두께가 1m 이상인 Mass Concrete 에는 부적합하다.

3) 고분말도이며 수화활성이 크기 때문에 보관에 주의해야 하며 개봉된 시멘트는 조기에 사용한다.

4) 도로 보수용 콘크리트 시공배합은 보통시멘트와 크게 차이가 없으나 목표 Slump 를 얻기 위한 단위수량이 보통시멘트에 비해 약 5~10% 증가하므로 양질의 A.E 감수제를 병용하여 사용하여야 한다.

또한 초조강 시멘트는 분말이 곱기 때문에 세 골재율(S/A)을 보통시멘트 경우보다 약 2~3% 낮추어서 사용하여도 충분한 작업성을 얻을 수 있다. *

질서지켜 민주시민

차례지켜 문화국민