

# 신속개방형 콘크리트 도로포장재의 설계를 위한 실험실적 평가 연구

## A Study on Design of High Early Strength Cement and Concrete for Road Way Pavements

임 채 용\*    엄 태 선\*\*    신 국 재\*\*\*    이 종 열\*\*\*\*    엄 주 용\*\*\*\*\*    조 윤 호\*\*\*\*\*  
Lim, Chae Yong    Um, Tae Sun    Shin Kook Jae    Lee, Jong Ryul    Um, Joo Yong    Cho, Yoon Ho

### ABSTRACT

In road pavements, it is known that cement concrete pavement has superior durability, safety in compared with asphalt concrete pavement. But in repairing pavement cement concrete pavement is not usually applied because of the length of time while the road is interrupted when using Ordinary and Rapid-hardening Portland Cement. And Super High Early Strength Cement and Ultra Super High Early Strength Cement are not favorable for ready mixed concrete because of rapid setting time, high slump loss and other restrictions. We aim to develop specific cement and concrete developing 1 day strength of over 300 kg/cm<sup>2</sup> to open the road within one day and workable time is maintained over 1 hour that can be used as ready mixed concrete. In this study, we produced cement using rapid-hardening cement, Hauyne clinker, anhydride gypsum and accelerator and studied on its properties. The concrete strength was over 300 kg/cm<sup>2</sup> at 1 day and 550 kg/cm<sup>2</sup> at 28 day and workable time was maintained for over 1 hour.

### 1. 서론

국가 산업의 대동맥으로 확고한 위상을 정립한 고속도로와 일반국도는 1999년말 현재 고속국도 2,040km, 일반국도 12,418km에 이르고 있으며, 두 도로의 포장율은 거의 100%에 이르고 있다. 그러나 고속국도와 일반국도는 물동량 및 중하중 차량의 증가 등에 따라 잦은 파손이 발생하여 개보수가 빈번하게 이루어지고 있으며, 1999년 일반국도와 고속도로의 포장 보수비 총액은 거의 900억원에 이르고 있다.

고속도로를 제외하고 국내 도로는 대부분 아스팔트 포장으로 이루어져 있으며, 특히 일반국도의 경우 약 99%가 아스팔트 포장이다. 아스팔트 포장에 중하중 교통이 재하될 경우 Rutting, Shoving, Corrugation 등과 같은 영구변형이 발생하여 안전에 큰 위협이 되고 있으며, 잦은 유지보수로 인한 교통 통제는 이용자의 비용 증가를 가져온다. 또한 88고속도로 이후 콘크리트 포장으로 도로를 건설해온 고속도로는 공용연한의 도래로 인해 수명 연장을 위한 포장재료의 개발이 요구되고 있는 상황이다.

콘크리트 포장은 내구성이 뛰어나며 유관리 비용이 저렴하다는 장점이 있음에도 불구하고, 양생기간에 의한 조기개방이 곤란하여 덧씌우기 포장재료로서 채택되지 않고있는 실정이다. 그러나 최근에 시멘트 재료화학의 발달로 콘크리트 도로포장에서도 조기개통을 목적으로 속경성시멘트

\* 정회원, 쌍용중앙연구소 연구원  
\*\*\* 정회원, 쌍용중앙연구소 위촉연구원  
\*\*\*\*\* 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

\*\* 정회원, 쌍용중앙연구소 책임연구원  
\*\*\*\* 정회원, 쌍용중앙연구소 수석연구원  
\*\*\*\*\* 정회원, 도로공사연구소 책임연구원

또는 유기질 폴리머를 사용해 신속 보수공사가 되고 있다. 그러나 초속경 시멘트의 경우는 30분 이내의 작업완료를 요구하고, 레미콘화가 불가능하여 현장 혼합에 의한 소규모시공에 국한하여 적용되고 있다. 또한 유기질 폴리머는 보수하는 포장재료와의 이질적인 특성으로 신규접착면의 부착강도의 저하 및 경제적인 불리함으로 인하여 대규모 보수시공에 부적합할 뿐만 아니라 운전자의 시각적인 이질감에 대한 불리한 문제점이 제기되고 있다. 따라서 레미콘과 같은 수송방법 및 아스팔트와 같이 1일 공용성을 갖는 속경성/고내구/고강도 콘크리트의 개발에 대한 요구가 증대되고 있다.

본 연구는 시공가능시간이 1시간 이상 유지고, 1일 공용화가 가능한 콘크리트 개발을 목적으로 아원계 조강재를 이용한 다른 콘크리트 배합별 물성 및 적용성의 영향을 평가하였다.

## 2. 이론적 고찰

Ettringite는 침상결정으로서, 생성시기와 결정크기를 제어함으로써 급경성·고강도성·팽창성을 부여할 수 있다(그림 1, 2). Hauyne계 클링커와 석고의 반응성을 제어하여 Ettringite결정의 형성시기 및 크기를 제어하고, 이후 시멘트 광물인  $C_3S$  및  $C_2S$ 의 반응에 의해 Ettringite 침상결정의 공간에 C-S-H gel을 형성될 경우 급경성 및 고강도성을 부여가 가능하며, 적절한 감수제 및 무기 혼화제를 사용하여 시공성을 부여할 경우 레미콘화가 가능하여 대량타설이 가능한 1일 공용 콘크리트의 제조가 가능해 질 것으로 판단된다.

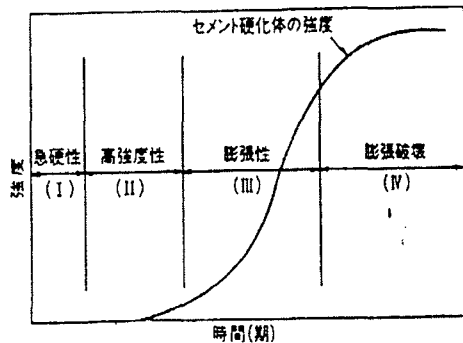


그림 1 에트링자이트 생성시기와 기능발현의 관계

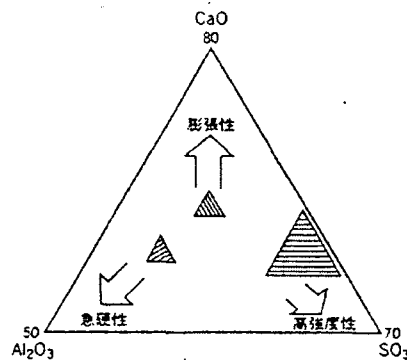


그림 2 CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SO<sub>3</sub>계 기능과 화학조성

## 3. 실험개요

대량타설이 가능한 1일공용 콘크리트 포장재료의 레미콘 요구특성은 표 1과 같으며, 콘크리트 제조에 필요한 시멘트 개발을 목적으로 시멘트에 5%의 조강재를 첨가하여 시험하였으며, 조강재의 조성 변화에 따른 콘크리트 몰탈 및 콘크리트의 물성을 평가하였다.

표 1 레미콘 요구특성

	운송시간	압축강도(kgf/cm <sup>2</sup> )		슬럼프 (cm)	공기량 (%)
		1일	28일		
목표	1시간 이상	1300	1600	14-12	4.5±1.0

### 3.1 재료

Base 시멘트로는 조강시멘트를 사용하였다. 1일공용 콘크리트의 개발을 위해서는 보통시멘트에 비해 초기 수화활성이 큰 시멘트의 사용이 필요하며, 조강시멘트의 경우 보통시멘트에 비해 응결시간이 빠르고 초기 강도발현이 우수한 특성을 가지고 있다. 시멘트 품종별 화학성분 및 물리성능은 표 2, 3 와 같다.

표 2 조강시멘트의 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	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Ig-loss
조강시멘트	19.3	5.6	3.0	63.4	2.6	0.09	0.86	3.9	1.3

표 3 조강시멘트의 물리적 특성

구 분	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	응 결		압 축 강 도 (kgf/cm <sup>2</sup> )			
		초결(min)	종결(h:m)	1 일	3 일	7 일	28 일
조강시멘트	4520	200	5 : 05	162	318	409	489

조강재 개발을 목적으로 사용된 아원클링커와 무수석고의 화학성분은 표 4와 같다.

표 4 아원클링커 및 무수석고 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	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Ig-loss
무수석고	3.7	0.7	0.1	38.3	0.0	0.01	0.03	54.4	2.9
아원	7.8	35.9	0.8	42.0	1.3	0.25	0.32	10.3	1.3

### 3.3 실험방법

#### 3.3.1 물리시험

아원클링커와 무수석고와의 결합비에 따른 조강성을 검토하기 위하여 몰탈시험을 통해 조강재의 적정비(HY/F)를 구하기 위해 시멘트의 5%를 조강재로 치환 첨가하여 KS L 5103에 의해 시멘트의 응결 및 KS L 5105에 의해 몰탈 압축강도를 시험하였다.

각 수준별 시멘트의 혼합비는 표 5 와 같다.

표 5 응결 및 몰탈시험 배합

구 분	P	M3-00	M3-40	M3-60
조강시멘트	100	95	95	95
아원클링커	-	-	2	3
석고	-	5	3	2

#### 3.3.2 콘크리트 시험

조강재 사용에 따른 콘크리트 물성평가를 위해 몰탈시험에서 결정된 M3-60의 시멘트 배합으로 조강재는 조건을 변경하여 SS-A1~4를 제조하였다. 수준별 콘크리트 물성을 평가하였다. 혼화제는 K사의 폴리카본산계 고성능감수제를 사용하였으며, 콘크리트 배합은 표 6 과 같다.

표 6 콘크리트 배합

수준	구분	S/a (%)	W/B (%)	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )			HRWR CF%	조강재 Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	비고
				C	F	W			
1	조강시멘트	42	40	440	-	176	1.5		
2	초조강시멘트	42	40	440	-	176	1.5		
2	SS-A1	42	40	420	20	176	1.5	4000	
4	SS-A2	42	40	420	20	176	1.5	5000	
5	SS-A3	42	40	420	20	176	1.5	6000	
6	SS-A4	42	40	420	20	176	1.5	6000	촉진제첨가

콘크리트 특성은 슬럼프 및 공기량의 경시변화와 재령 1, 2, 28일 압축강도를 측정하였다.

#### 4 실험결과

##### 4.1 응결 및 몰탈압축강도

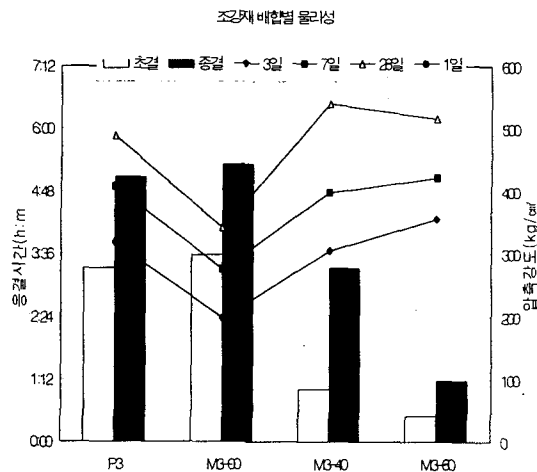
각 수준별 응결 및 몰탈시험 결과는 그림 3 과 같다.

조강시멘트에 무수석고만 5% 치환하는 경우 응결시간은 Plain에 비해 지연되는 경향을 나타내며, 압축강도는 전 재령에서 감소하였다. 조강재의 아원클링커 함량이 증가할수록 응결시간이 짧아졌으며, 특히 아원클링커의 양이 6% 에서는 급결현상을 나타냈다. 압축강도는 1일강도는 아원과 무수석고의 비가 MS-60인 경우에서, 28일강도는 MS-40인 경우에서 가장 우수하게 나타났다. 아원클링커의 치환량이 증가할수록 응결시간이 급격히 감소하는 것은 아원클링커의 수화시 석고의 SO<sub>3</sub>와 시멘트의 Ca<sup>2+</sup> 이온에 의해 급격하게 Ettringite를 형성함으로써 다량의 물을 소모하며 침상결정을 형성하기 때문으로 판단되며, 이 경우 기존 연구결과에 의하면 전체 시멘트에 대해 적당한 SO<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 의 몰비는 1.0 정도인 것으로 발표되고 있으며, 본 시험결과에서 몰비가 1.0인 아원:무수석고비 6:4의 경우에서 가장 우수한 초기강도를 보이고 있다. 또한 몰비가 1.2정도인 아원:무수석고비 4:6인 경우 1일강도는 낮으나 28일강도는 가장 높은 값을 나타내 고강도 발현을 위해서는 몰비가 1.1~1.3정도이어야 할 것으로 판단된다.

##### 4.2 콘크리트 물성

조강재 사용에 따른 슬럼프 경시변화 및 압축강도는 그림 4, 5 와 같다. 조강시멘트의 경우 슬럼프 유지는 양호하여 1시간 이후에도 초기 슬럼프를 유지하였으나, 초기 압축강도 발현은 낮아 목표강도인

그림 3 응결 및 몰탈시험 결과



300kg/cm<sup>2</sup>의 50% 수준으로 시멘트 불비를 높임으로써 어느 정도 압축강도 향상의 가능성은 있으나 1일 공용 콘크리트로서 적용에는 어려움이 있을 것으로 판단된다. 초조강 시멘트의 경우 1일강도가 380kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 초기 압축강도 발현이 매우 우수하였으나, 슬럼프 저하가 크게 나타나 레미콘화하여 대량타설을 목적으로 하는 경우 작업성 문제로 인해 적용에 어려움이 있을 것으로 판단된다.

조강재를 사용하는 경우 조강시멘트에 비하여 슬럼프 경시변화가 크게 나타났으나, 초조강시멘트에 비하여 우수한 성능을 발휘하였다. 조강재의 분말도 증가에 따라 슬럼프 경시변화는 증가하였으며, 이는 조강재의 성분중 특히 아인클링커의 분말도 증가로 비표면적이 증가하여 초기 고성능감수제의 흡착량이 증가하고, 또한 Ettringite 생성량도 크게 증가하여 슬럼프 경시변화가 큰 것으로 판단된다. 또한 무기 축진제를 사용하는 경우 더욱 슬럼프 경시변화가 증가하였는데 이는 축진제에 의해 초기 수화가 더욱 활성화되었기 때문으로 판단된다.

압축강도는 조강재의 분말도 증가에 따라 크게 증가하여 SS-A4의 경우 1일 압축강도가 300kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 목표 강도를 상회하였으며, 특히 무기 축진제를 사용하는 경우 초조강시멘트 정도의 초기강도 발현이 가능하였다. 28일강도는 무기 축진제를 사용하는 경우 미사용의 경우에 비해 약간 저하하였으나, 이 경우도 조강시멘트 단독 사용의 경우에 비해 동일수준 이상의 강도가 발현되었다.

그림 3 콘크리트 슬럼프 경시변화

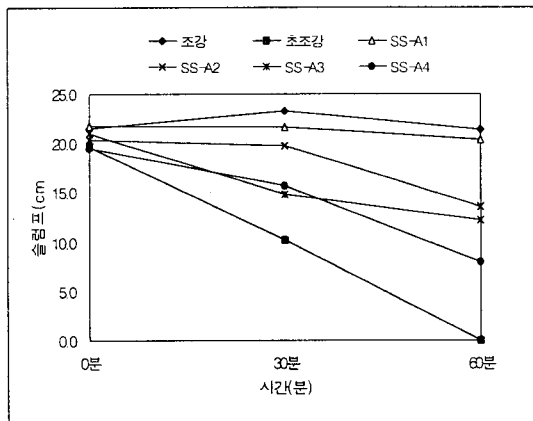
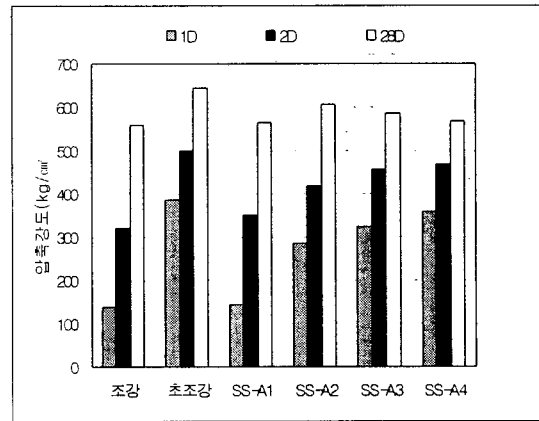


그림 4 재령별 콘크리트 압축강도



### 5. 실험실적 시작용 제조 및 품질

콘크리트 도로포장을 위해서는 Slipform Paver를 사용한 기계 시공시 덤프트럭을 사용하여 운송하여 현장 Slump 기준 2~5cm의 콘크리트를 사용하고, 인력시공의 경우 Agitator 트럭을 사용하여 운송하여 현장 Slump 10~13cm의 콘크리트 배합을 사용하고 있다.

현장 적용을 위한 1일공용 도로포장용 콘크리트의 제조를 위해 시멘트 시작용을 제조하고, 두 가지 시공법에 대한 배합을 선정하였다. 콘크리트 배합 및 물성은 다음과 같다. 배합설계시 설계 압축강도는 1일 재령을 기준으로 하였다.

표 6 콘크리트 배합

구분	S/a (%)	WB (%)	단위재료량(kg m <sup>-3</sup> )			HRWR B%
			C	F	W	
A(25-300-12)	45	40	420	20	167	1.5
B(25-300-5)	45	36	420	20	158	1.0

표 6 콘크리트 물성

구 분	공기량(%)			슬럼프(cm)			압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )		
	0분	30분	60분	0분	30분	60분	1일	2일	28일
A(25-300-12)	4.2	4.7	4.3	21.8	15.4	11.5	344	452	-
B(25-300-5)	3.6	3.8	4.6	18.3	8.5	2.3	331	513	-

시험결과 기계시공을 위한 A배합 및 인력시공을 위한 B배합 모두에서 양호한 작업성 및 1일강도 확보가 가능하였다. 그러나 B배합의 경우 단위수량이 물/시멘트비가 낮아 슬럼프 경시변화가 크게 나타났으며, 따라서 현장에 적용시 아직은 어려움이 있을 것으로 판단된다. 따라서 기계시공을 위한 배합 선정에 대해서는 혼화제의 선정, 콘크리트 배합 조정, 조강재의 배합 조정 등 추가적인 슬럼프 경시변화 저감 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 5. 결론

1일 공용 및 1시간 이상의 작업시간 유지가 가능한 신속개통형 콘크리트 도로포장재료 개발을 목적으로 아원계 조강재의 물성을 평가한 결과는 다음과 같다.

- 1) 조강재 제조시 아원:무수석고 비는 전체 시멘트의 SO<sub>3</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 비가 1~1.3 정도의 수준에서 가장 우수한 특성을 나타내었으며, 낮은 경우 초기강도발현에, 높은 경우 작업성 유지 및 고강도 발현에 유효하게 작용하였다.
- 2) 아원계 조강재를 사용하여 1시간 이상의 작업시간 확보 및 1일강도 350kg/cm<sup>2</sup> 이상, 28일 강도 550kg/cm<sup>2</sup> 이상의 콘크리트 제조가 가능하였으며, 따라서 1일공용 콘크리트 포장재로서 적용이 가능할 것으로 판단된다.
- 3) 시험실적 1일공용 콘크리트 도로포장재료에 대한 배합설계 및 시험결과 기계시공 및 인력시공에 필요한 작업성 확보 및 강도확보가 가능하였다. 그러나 아직 슬럼프 경시변화가 일반 콘크리트에 비해 큰 수준으로 슬럼프 경시변화 저감을 위한 추가적인 시험이 이루어져야 할 것으로 판단된다.
- 4) 시작용에 대한 내구성 평가 및 현장 적용을 통한 성능평가를 추진하여 지속적으로 제품 성능개선을 추진할 예정이다.

### 참고문헌

1. 長岡 誠一, 超早強性・速硬性とセメント, セメント・コンクリート No.594, Aug.1996
2. 松永 嘉久, エトリンゲイト系混和材料の作用と多孔性制御, Gypsum & Lime No.240, 1992, pp38-44
3. RILEM, Admixtures for Concrete Improvement of Properties, 1990
4. ACI, 4th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, 1994
5. 임태선외5, 아원계 조강재를 이용한 1일 공용 콘크리트 개발 연구, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집 제11권2호, 1999