

# 신속개방형 콘크리트 도로포장재의 설계를 위한 평가 연구(2)

## A Study on Evaluation of High Early Strength Concrete as Pavement Overlay Materials for Early Traffic Opening(2)

엄태선\* 임채용\*\* 유재상\*\*\* 이종열\*\*\*\* 엄주용\*\*\*\*\* 조윤호\*\*\*\*\*  
Um, Tae Sun Lim, Chae Yong Lee Jae Sang Lee, Jong Ryul Um, Joo Yong Cho, Yoon Ho

### ABSTRACT

In road pavements, it is known that cement concrete pavement has superior durability, safety compared with asphalt 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 special cement and concrete developing 1 day strength of over  $300 \text{ kg/cm}^2$  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 compressive strength was over  $400 \text{ kg/cm}^2$  and tensile at 1 day and workable time was maintained for over 1 hour.

### 1. 서론

#### 1.1 연구배경

중차량 교통이 많은 일반국도는 약 90%가 아스팔트 포장으로 이루어져 있다. 이들 도로는 중하중 교통차량에 의해 러팅(rutting), 쇼빙(shoving), 코루게이션(corrugation) 등의 영구 변형으로 통계상 5-8년에 한번씩 덧씌우기 등과 같은 유지보수를 시행하고 있다. 중차량이 많은 도로에 지속적인 덧씌우기는 도로유지보수를 위한 중복투자를 가져오고 경제적인 손실로 국민에게 세 부담을 증가시키는 요인이 되고 있다.

반면에 콘크리트의 경우 영구변형에 의한 파손이 발생하지 않아 중차량 교통량이 많고 정체가 많이 발생하는 신설도로 또는 도로보수에 채택하는 것이 유리하다. 하지만 콘크리트 포장은 양생하는 동안에 차량의 통제와 지체로 도로이용자의 민원이 부담으로 작용하여 널리 시공되지 않고 있다. 그러나 잦은 보수에 따른 도로 통제와 재시공에 따른 유지관리비를 고려한다면 콘크리트 포장이 유리한 면도

\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 책임연구원    \*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 연구원  
\*\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 수석연구원    \*\*\*\* 정회원, 쌍용양회공업(주) 기술연구소 소장  
\*\*\*\*\* 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수    \*\*\*\*\* 정회원, 도로공사연구소 책임연구원

있다. 일반국도 및 고속도로의 포장율이 거의 100%에 육박함에 따라 국내 도로관리의 중요성이 부각되고 있다.

덧씌우기가 대표적인 유지보수공법으로 채택되고 있는 현실에서 콘크리트 덧씌우기의 필요성이 선진국으로부터 도입되고 있다. 따라서 도로포장 보수를 위한 콘크리트 덧씌우기 공법을 보급하기 위해서는 조기개방을 위한 조강형 시멘트재료, 관련 시공법 및 보수, 설계기술 등의 개발이 필요하다. 선진국에서는 조기 개통이 가능하고 1시간 이상 작업시간 확보가 가능한 시멘트와 시공법의 개발이 다각도로 진행되고 있다. 일본은 91년에 건설성 토목연구소 주도로 1일 공용 강성포장재의 개발을 추진하여 1시간 이상의 작업시간을 확보하고, 1일 강도 300kg/cm<sup>2</sup> 이상 되는 콘크리트개발을 발표하였으며<sup>1</sup>, 미국은 1986년 7월에 미국 아이오와주 71번 고속도로에서 18cm의 콘크리트 포장에 10cm두께의 덧씌우기 포장을 11km 연장에 걸쳐 건설하고, 12시간 172kg/cm<sup>2</sup>, 16kg/cm<sup>2</sup>, 24시간 237kg/cm<sup>2</sup>, 20kg/cm<sup>2</sup>의 압축강도와 부착강도 결과를 보였다<sup>2</sup>. 이 후 계속적인 기술의 발전을 거듭하여 6시간 교통개방이 가능한 콘크리트 시공기술을 보유하고 있다.

국내 조기개방 콘크리트의 연구는 1990년대 중반 연구를 시작하였으나 조기 교통개방과 대량 타설이 가능한 콘크리트 덧씌우기 포장재료 개발은 미흡한 실정이다. 본 연구는 1일 공용 콘크리트 포장재료 개발을 위한 실험적 연구를 수행하였다.

## 2. 실험계획 및 방법

1일 공용과 1시간의 작업 가능시간 확보를 목표로 시속개방형 콘크리트의 품질설계를 추진하였다. 품질설계를 위한 조건은 3종 시멘트 단독 사용하는 경우와 3종시멘트에 강도 증진을 위해 조강제, 촉진제를 사용하는 경우로 구분하여 콘크리트 배합설계 시험을 통해 시험실적 1일 공용 특성 및 적용성을 평가하였다.

조강제는 아원클링커와 무수석고를 사용하였고 이의 화학성분은 표 1과 같다.

표 1 아원클링커와 무수석고의 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>	lg-loss
무수석고	3.7	0.7	0.1	38.3	0.0	0.01	0.03	54.4	2.9
아원클링커	7.8	35.9	0.8	42.0	1.3	0.25	0.32	10.3	1.3

표 2 사용재료별 특성

첨가제의 종류	성 분	특 성	비 고
고성능AE감수제	폴리카본산계	갈색 액상	* 유기 첨가제는 혼합수에 희석 첨가
	나프탈렌계	갈색 액상	
지연제	SG, BA	백색 분말	
촉진제	NS, LC, CN	백색분말 및 결정	

지연제는 Sodium Gluconate와 Boric Acid 2종, 촉진제는 NS, LC, CN 3종에 대해 검토하였다. 감수제는 감수율과 유동성 유지를 고려하여 폴리카본산계 4종, 나프탈렌계 1종을 선정하여 시험하였다. 실험에 사용한 재료의 특성은 표 2와 같다.

굵은 골재와 잔골재의 물성은 표 3 과 같다.

표 3 골재의 물성

항 목	산지	최대골재크기(mm)	표면수(%)	비중	흡수율(%)	조립율
S	공주	5	0.8	2.60	0.8	2.8
G	청원	19	0.9	2.70	0.6	6.9

1일 강도 300Kg/cm<sup>2</sup> 이상 및 1시간 이상 작업시간 유지를 목표로 단위시멘트량, 잔골재율, 조강재 및 지연제, 촉진제, 고성능 AE감수제의 종류와 사용량을 변경하면서 시험을 추진하였다. 또한 혼합 방법에 따른 초기 강도발현의 영향도 병행하여 평가하였다.

### 3. 실내 실험 결과

#### 3.1 조강재 및 지연제

아원클링커와 무수석고를 사용한 조강재를 3종 시멘트에 사용하는 경우 급결현상이 나타나 유동성을 유지하기 위한 방안이 필요하였다. 이에 따라 지연제를 함께 사용하였으며 종류와 양에 따른 강도 특성과 유동성을 평가하였다. 이에 따른 실험 조건은 표 4 와 같다.

그림 1은 조강재 및 지연제 양에 따라 압축강도가 변화하는 양상을 나타낸 것으로 1일 강도는 조강재가 단위부피당(m<sup>3</sup>) 사용량이 증가하면 강도에 유리하며 지연제를 0.4% 사용한 배합에서는 1일 강도가 크게 감소하여 1일 탈형이 불가능하였으며 0.2%인 경우 강도발현을 크게 저해하지 않고 작업성 개선이 가능하여 조강재 40kg/m<sup>3</sup>과 지연제 0.2%인 경우가 가장 적정할 것으로 판단된다.

표 4 조강재/지연제 조건별 콘크리트 배합조건

NO	실험 조건	슬럼프 (cm)	S/a (%)	W/C (%)	F/CF(%)			시멘트량 (kg/m <sup>3</sup> )	조강재량 (Kg/m <sup>3</sup> )	SP-8K CF%	RT*2	
					HY	AG	계				종류	CF%
1	Pain	16.0	42	42	0	0	0	400	0	1.2	B/A	0
2	H10R0	17.5	42	42	6	4	10	360	40	1.2		0
3	H10R2	20.1	42	42	6	4	10	360	40	1.2		0.2
4	H10R4	22.0	42	42	6	4	10	360	40	1.2		0.4
5	H05R0	20.0	42	42	3	2	5	380	20	1.2		0
6	H05R2	20.7	42	42	3	2	5	380	20	1.2		0.2
7	H05R4	20.1	42	42	3	2	5	380	20	1.2		0.4

RT\*2 : Retarder(지연제), B/A : Boric Acid, H10,H05 : 조강재량(10, 5%), R0,R2,R4 : 지연제량(0, 0.2, 0.4)

#### 3.2 촉진제 영향

아원클링커와 무수석고를 조합한 조강재를 사용하여 3종시멘트의 조강성 및 고강도성을 증진하고자 하였으나, 응결이 빠르고, 슬럼프로스가 크게 나타남에도 불구하고 초기 강도발현이 낮아 그의 개선방안으로 비염화물계 촉진제인 NS와 LC촉진제의 사용성을 검토하였다. 이에 따른 시험 조건은 표 5 와 같다.

표 5 축진제(NS/LC)평가를 위한 콘크리트 배합조건

구분	실험 조건	배합비					단위재료량						
		S/a (%)	W/CF (%)	F/CF(%)			C	F	W	SP(%)	AE(%)	NS(%)	LC(%)
				HY	AG	계							
1	P	42	40	0	0	0	440	0	176	1.5	0.05	0	0
2	PL	42	40	0	0	0	440	0	176	1.5	0.05	0	1
3	HN	42	40	3	2	5	420	20	176	1.5	0.05	0.3	0
4	HNL	42	40	3	2	5	420	20	176	1.5	0.05	0.3	1

그림 3 은 축진제를 사용하였을 때의 압축강도를 나타내는 것으로 목표치인 1일 강도 300kg/cm<sup>2</sup>은 만족하였으나 슬럼프의 로스가 심하여 축진제양의 조정 대책이 필요하였다.

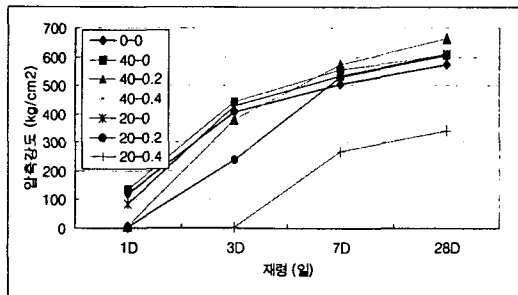


그림 1 조강제/지연제 조건별 압축강도

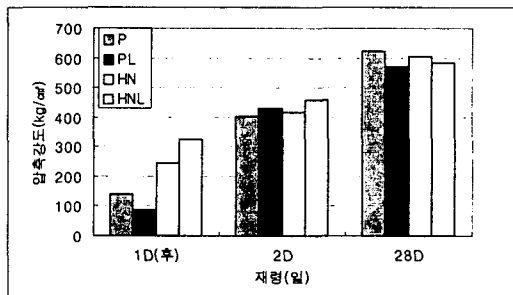


그림 2 축진제 조건별 압축강도

### 3.3 고성능 감수제 영향

화학 혼화제는 시멘트 종류에 따라 감수율, 슬럼프 유지성능에 다른 특성을 보이며 장기 강도의 영향은 비교적 적은 것으로 알려져 있으나 조기 강도에는 큰 영향을 미치므로 본 연구에서는 1일 강도 향상과 적정 작업성을 확인하는 혼화제를 선정하고자 하였다. 콘크리트 슬럼프 로스의 원활한 측정을 위해 W/C비는 40%내외에서 실시하였다. 실험 결과 폴리카본산계와 나프탈렌계가 비슷한 감수율을 보였으나 슬럼프 유지성능은 폴리카본산계 혼화제가 월등히 양호하였으며, 조기강도에서는 나프탈렌계 혼화제가 보다 양호하였지만 그 차이가 크지 않아 작업성을 유지하기 위하여 폴리카본산계 혼화제를 선정하였다. 그러나 폴리카본산계 혼화제의 경우도 타설방법 및 사용배합, 재료에 따라 물성치의 큰 변화를 보여 최적화 및 제조 표준화가 요구되었다.

### 3.4 배합조건

폴리카본산계 혼화제는 혼합시간을 길게 하는 것이 분산성 및 강도발현에 우수하다. 따라서 배합방법과 공시체 제작 시간에 따른 물성을 평가하였다. 표 6은 혼합조건에 따른 압축강도의 측정 결과로 혼화제의 충분한 분산이 강도에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였다.

표 6 혼합방법별 물성평가 콘크리트 배합 및 혼합조건 및 압축강도 결과

실험 조건	배 합 비					단 위 시 료 량 (Kg/m <sup>3</sup> )							압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )			
	S/a (%)	W/CF (%)	F/CF(%)			C	F	W	SP (%)	AE (%)	NS (%)	LC (%)	1D (즉시)	1D (30분)	1D (60분)	2D
			HY	AG	계											
A	39	36	2	3	5	440	22	168	1.5	0.02	0.2	0.2	345	367	385	503
B	39	36	2	3	5	440	22	168	1.5	0.02	0.2	0.2	316	344	373	452
C	39	36	2	3	5	440	22	168	1.5	0.02	0.2	0.2	250	301	334	467

A : 건(30s)-물탈(3분)-정치(3분)-본(2분), B : 건(30s)-물탈(3분)-정치(8분)-본(2분), C : 건(30s)-본(1.5분)

4. 현장 실험

실내실험 결과를 기초로 하여 시험실적 조강재 시제품을 제조하고, 이의 검증을 위해 현장 배치 플랜트에서 재료 조건별 물성평가를 실시하였다. 콘크리트 배합 조건은 표 7과 같다. 슬럼프 및 공기량 경시변화 측정은 배치플랜트에서 콘크리트를 제조한 후 트럭 애지타이터를 이용하여 혼합을 하면서 10분, 30분, 60분, 80분에 각각 측정하였으며, 공시체는 30분에 제작하였다.

표 7 현장시험 콘크리트 배합조건

실험 조건	W/C (%)	S/a (%)	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )						
			시멘트	조강재	찬골재	굵은 골재	SP	AE	ACC
Plain	36.0	45%	472	-	736	930	7.08	0.151	-
SS1	38.7		427	13.2	747	944	7.04	0.141	8.8
SS2	37.0		453	6.9	736	931	6.90	0.147	9.2
SS3	37.6		446	13.8	736	930	6.90	0.147	9.2

조건별 미경화 콘크리트의 특성은 그림 3, 4와 같다.

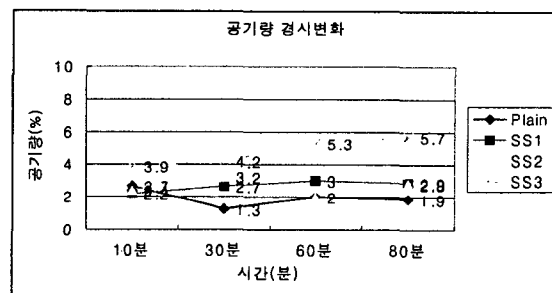
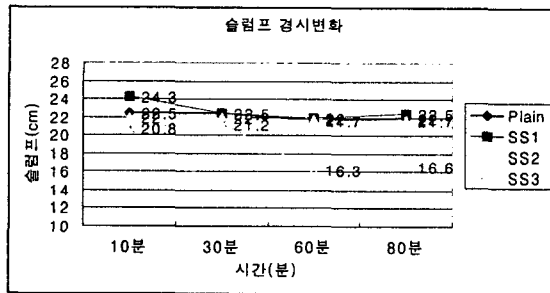


그림 3 슬럼프 경시변화

그림 4 공기량 경시변화

슬럼프 경시변화 측정결과 SS3 조건이외에는 80분 까지 슬럼프 로스가 3cm 미만으로 일반 콘크리트와 동등 이상의 작업성 유지 성능을 나타내었다. SS3의 경우도 80분에 16cm 이상으로 인력타설에 문제가 없는 작업성을 유지하는 것으로 평가된다. 공기량은 4.5±1.0%를 목표로 하였으나 SS3 조건 이외의 경우 다소 낮았다. 이는 배치플랜트에서 생산시 혼합 시간이 Plain~SS2의 경우 1분으로 설정하여 공기포 형성이 원활이 이루어지지 못한 때문이며, SS3 조건에서는 혼합시간을 2분으로 늘려줌으로써 원활한 공기량 확보가 가능하였다. 따라서 현장 적용시 사전 시험을 통해 골재조건, 믹서의 조건에 맞는 혼화제 사용량, 혼합시간 등을 결정하는 것이 필요하다. 경화콘크리트의 압축강도 및 휨인장

강도 측정결과는 그림 5, 6 과 같다.

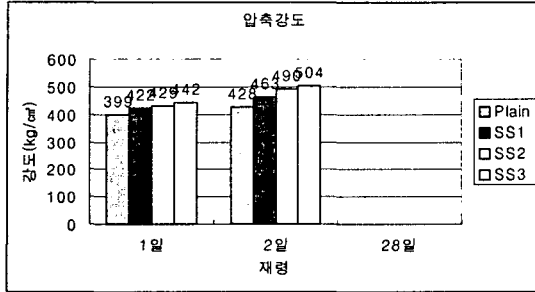


그림 5 재령별 압축강도

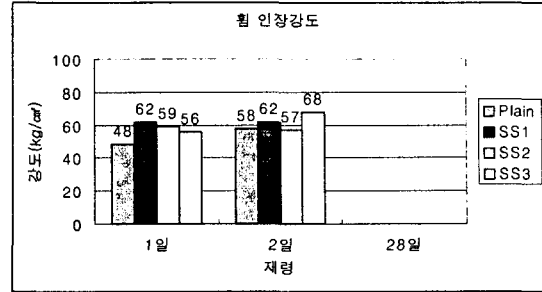


그림 8 재령별 휨인장강도

압축강도는 전 수준에서 약 400kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 목표강도 300kg/cm<sup>2</sup>를 30% 이상 크게 상회하였다. 이는 시험 시험일에 일평균 온도가 약 25℃ 정도로 시험실 조건에 비해 초기 강도발현이 우수하였다. 또한 휨인장강도도 전 수준에서 1일 45kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 1일 교통개방에 문제가 없는 것으로 판단되며, 조강재를 사용한 조건에서는 55kg/cm<sup>2</sup> 이상으로 조기에 고강도 발현이 가능하였다.

### 5. 결론

(1) 1일 개통이 가능한 포장 콘크리트의 제조를 위해서는 조강, 고강도 발현이 우수한 3종 조강시멘트의 사용이 필요하며, 배합은 단위시멘트량은 400~480kg/m<sup>3</sup>의 부배합 콘크리트와 조강재, 촉진제를 사용하며, 실험실적 시제품을 개발하였다.

(2) 이때의 물성은 1일강도 300kg/cm<sup>2</sup> 이상과 1시간의 가사시간이 확보되는 물성으로 1일 개통을 목표로 하는 콘크리트 덧씌우기 요구 물성에 적합한 것을 확인하였다.

(3) 실험실적으로 검토된 시제품을 현장 B/P에서 시험생산한 결과 실내시험에 비해 작업성 유지성능은 우수하여, 80분까지 슬럼프 로스 3cm 이하의 콘크리트 제조가 가능하였고, 1일 강도도 우수하여 압축강도 400kg/cm<sup>2</sup>, 휨인장강도 45kg/cm<sup>2</sup> 이상의 조강, 고강도 특성을 나타내었다.

(4) 본 시제품은 영동고속도로 덕평지역 (서울기점 29km)에서 도로 덧씌우기 포장 보수를 통한 공용성을 평가할 예정이다.

### 참고문헌

1. 日本建設省土木研究所, 現場打ち超早強コンクリートの實用化する共同研究報告書 1992.3.
2. 콘크리트 덧씌우기에 의한 포장보강방안 연구 II, 한국도로공사, 1996
3. RILEM, Admixtures for Concrete Improvement of Properties, 1990
4. ACI, 4th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, 1990
5. 엄태선외5인, “아연계 조강재를 이용한 1일 공용 콘크리트 개발 연구,” 한국콘크리트학회 학술발표회논문집 제11권2호, 1999