

신속개방형 콘크리트 도로포장재의 설계를 위한 평가 연구(3)

A Study and Evaluation of Super High Early Strength Concrete as Pavement Overlay Materials for Early Traffic Opening(3)

임 채 용^{*} 엄 태 선^{**} 유 재 상^{***} 이 종 열^{****} 엄 주 용^{*****} 조 윤 호^{*****}
Lim, Chae Yong Um, Tae Sun 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. 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 developed special cement developing 1 day strength of over 30.0N/mm² to open the road within 1 day and workable time is maintained over 1 hour so that it can be used as ready mixed concrete. We performed experimental overlay construction with the cement and evaluated the mechanical property and the durability. At curing temperature of 8~18°C, the flexural strength was 6.4N/mm² at 1 day, so that the road can be open to traffic within 1 day. In durability test, the hardened concrete showed higher durability than Portland cement concrete.

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 유리하나, 콘크리트 포장은 양생하는 동안에 차량의 통제와 지체로 도로이용자의 민원이 부담으로 작용하여 널리 시공되지 않고 있다. 당 연구소에서는 이러한 문제의 해결을 위해 1시간 이상의 작업성 확보로 레미콘화가 가능하고, 1일 양생으로 교통개방

* 정회원, 쌍용기술연구소 연구원

*** 정회원, 쌍용기술연구소 수석연구원

***** 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 쌍용기술연구소 책임연구원

**** 정회원, 쌍용기술연구소 소장

***** 정회원, 한국도로공사 도로연구소 책임연구원

이 가능한 콘크리트 포장재료 및 설계법을 중앙대학교 및 도로공사와 공동개발 추진 중이다.
본 연구는 당사에서 개발한 콘크리트 재료를 고속도로 폐도 구간에 시험시공한 결과이다.

2. 1일 공용 콘크리트의 요구조건

레미콘화가 가능하여 대량타설이 가능하며, 1일 교통개방이 가능한 1일 공용 덧씌우기 콘크리트 포장재료의 요구특성은 표 1과 같다.

표 1 일 공용 콘크리트 포장용 레미콘의 요구특성

	운송시간	1일 설계강도 (kgf/cm ²)		1일 배합강도 (kgf/cm ²)		슬럼프 (cm)	공기량 (%)
		압축	휨 인장	압축	휨 인장		
기계시공	1시간 이상	↑240	35	↑300	44	5-8	4.5±1.0
기계시공	"	"	"	"	"	15~18	"

인력시공의 경우 타설시 원활한 작업과 다짐을 위해서는 슬럼프 15cm 이상의 콘크리트 배합이 필요하며, 18cm으로 과다한 경우 다짐시 재료의 분리와 경사면에서 콘크리트가 흘러내릴 가능성이 있어 콘크리트의 품질 확보 및 작업에 어려움이 있다. 기계시공의 경우 슬럼프 페이퍼를 사용하는 신설포장시 슬럼프 3~5cm 정도이나, 본 연구에서 대상으로 하는 덧씌우기 포장의 경우 기존 포장을 절삭하여 시공하게 되므로 콘크리트가 흘러내리거나 무너질 우려가 적어 슬럼프가 5~8cm 정도가 되더라도 문제가 없을 것으로 판단된다.

3. 시험시공 개요

3.1 사용 재료

결합재는 조강시멘트와 당사에서 개발한 조강혼화재를 사용하였으며, 비교 조건으로 보통시멘트와 조강시멘트를 단독으로 사용하는 조건에 대해서도 시험하였다. 조강시멘트는 보통시멘트에 비해 경우 보통시멘트에 비해 초기 수화활성이 커서 응결시간이 빠르고 초기 강도발현이 우수한 특성을 가지고 있다. 조강시멘트 화학성분 및 물리성능은 표 2, 표 3과 같다.

표 2 조강시멘트의 화학성분

구 분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	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 ² /g)	용 결		압 축 강 도 (kgf/cm ²)			
		초결(min)	중결(h:m)	1 일	3 일	7 일	28 일
조강시멘트	4520	200	5 : 05	162	318	409	489

당사에서 개발된 조강혼화제는 시멘트의 성분 중 C3A와 C3S 광물의 수화반응을 촉진하여 조강시멘트의 강도발현을 촉진하게 된다. 조강혼화제는 회백색의 분말로 분말도는 Blaine 5,000~6,000cm²/g 이다.

유기혼화제는 시험실적 검토를 통해 작업성 유지성능과 조기 강도발현을 모두 만족하는 K사의 폴리카본산계 고성능AE감수제 표준형을 사용하였으며, 굵은 골재의 최대크기는 19mm 이다.

3.2 시험시공구간 현황 및 시공 Flow

시험시공 구간은 경기도 이천시 영동고속도로 선형개량 사업에 따른 폐도 구간으로 시험시공 구간의 총 길이는 140m, 폭 3.6m이며, 타설량은 47m³이다.

배치플랜트에서 현장까지 운반시간은 약 30분이 소요되었으며, 믹서트럭 1대당 수송량은 4~6m³로 하였고, 타설 소요시간은 10~15분이었다. 콘크리트 타설은 인력식 시공으로 하여 타설 목표 슬럼프는 18cm 이상으로 맞추기 위해 배치플랜트에서 22~23cm로 출하하였다.

시험일 최고기온은 약 18℃, 최저기온은 약 8℃이었으며, 시험시공일 이전에는 포장 구간에 대한 상태 조사를 실시하고, 도로공사의 절삭장비를 이용하여 아스팔트 표면에 대한 밀링 작업을 실시하였다. 또한 배치플랜트를 선정하여 시험시공 계획 및 일정에 대한 협의와 물성 평가 시험을 실시하여 최종 적용 배합을 선정하였다. 물성평가는 압축강도, 휨인장강도와 내구성시험으로 동결융해저항성, 길이변화, 표면마모 및 촉진탄산화시험을 실시하였다.

타설 당일 콘크리트 생산은 08:00에 시작하여 14:00에 타설 완료하였으며, 이후 줄눈절삭과 강도측정, 계측을 수행하였다. 시험시공의 전체 및 시간대별 시험시공 흐름도는 그림 1과 같다.

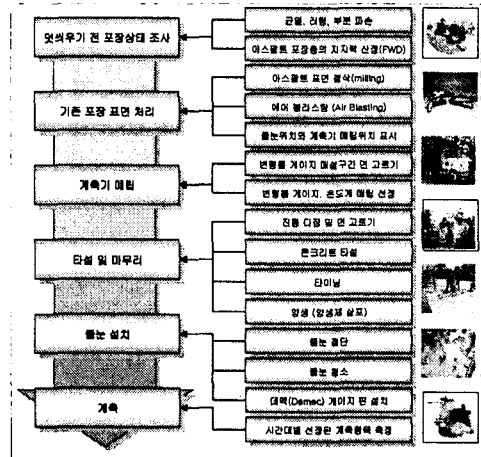


그림 1 시험시공 흐름도

3.3 콘크리트 배합조건 및 강도시험 결과

타설에 사용한 콘크리트 배합조건과 콘크리트 물성시험 결과는 표 6, 표 7과 같다. 본 연구에서 개발된 재료를 사용한 '배합 A'는 단위결합재량 460kg/m³으로 하고 조강혼화재를 2.5% 사용하였으며, 물-시멘트비는 37.6%로 하였다.

비교용으로 타설한 3종시멘트와 1종시멘트를 적용한 배합 B,C는 단위시멘트량 472kg, 물-시멘트비는 각각 35.0, 34.1%로 하였다.

표 6 콘크리트 배합조건

구분	S/A (%)	W/C (%)	Cement Type	Cement	SP (%)	F (%)	AE (%)	시공 구간	Slump(cm)		공기량(%)	
									생산지	타설	생산지	타설
A	45 %	37.6	3종	460	1.5	3.5	0.030	115m	22.0	19.0~22.0	4.8	3.4
B		35.0	3종	472	1.5	-	0.030	15m	23.0	21.0	4.5	3.4
C		34.1	1종	472	1.5	-	0.028	15m	22.5	21.0	4.0	3.0

표 7 콘크리트 강도시험 결과

구분	압축강도(N/mm ²)						휨인장강도(N/mm ²)				
	12Hr	18Hr	1D	3D	7D	28D	12Hr	18Hr	1D	3D	28D
목표			24.0						3.5		4.5
A	9.4	21.9	27.8	47.8	52.9	58.7	3.4	5.9	6.4	7.5	8.1
B	-	-	8.2	48.4	-	60.8	-	-	3.4	7.3	
C	-	-	-	41.9	49.7	54.8	-	-	-	5.6	7.4

타설시 기온은 12~18℃를 나타냈으나, 야간 기온이 약 7℃까지 낮아 1종시멘트를 단독으로 사용한 경우는 1일 탈형이 불가능할 정도로 응결, 경화가 지연되었고, 3종시멘트의 경우도 압축강도 10N/mm² 이하로 불량하였다. 참고로 동일 배합조건에서 양생온도가 20℃인 경우 1일 압축강도는 1종시멘트 14N/mm², 3종시멘트는 30N/mm² 정도의 강도발현을 나타낸다.

조강재를 사용한 배합은 1일 압축강도 27.8N/mm², 휨인장강도 6.4N/mm²으로 28일 휨인장강도 목표인 45kg/cm²을 크게 상회하는 결과를 나타냈으며, 따라서 낮은 온도에도 불구하고 1일 이전에 교통개방이 가능한 것으로 평가되었다.

그림 2는 타설 이후부터 40시간까지의 기온 및 콘크리트의 온도변화를 나타낸다. 1차 Peak로 표시된 부분은 조강시멘트와 조강재를 사용한 배합 모두 비슷한 시간에 나타나고 있는데, 이는 시멘트의 초기 수화열과 기온의 상승의 의한 것으로 판단된다. 2차 Peak로 표시된 부분은 시멘트 광물중 C₃S의 수화에 의한 Peak로 판단되며, 조강재를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우 약 6시간 정도 Peak 위치가 차이가 나고 있다. 따라서 온도 Data에 의하여 시멘트의 수화속도를 분석하면, 24시간에 조강재를 사용한 콘크리트는 C₃S의 수화가 상당히 일어난 이후이나, 조강시멘트만을 사용한 경우는 C₃S의 수화도가 낮은 상태이며, 따라서 1일 강도발현도 낮은 것으로 판단된다.

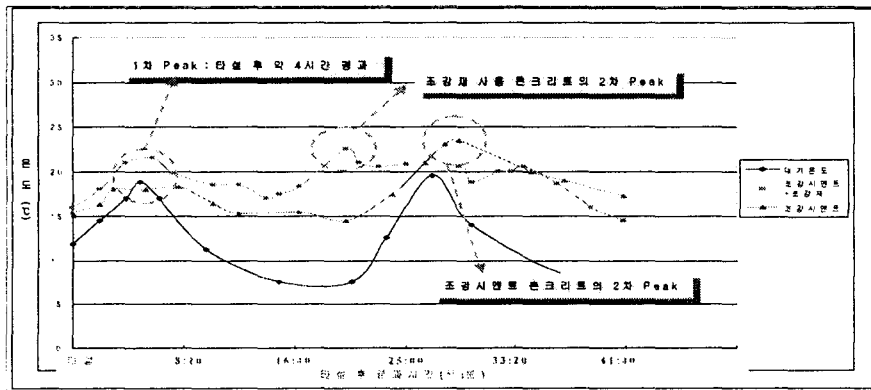


그림 2 양생기간중 기온 및 콘크리트온도 변화

한편, 1일 압축강도와 휨인장강도를 비교하면 휨인장강도가 압축강도의 1/3~1/4 수준 높게 나타나고 있는데, 일반적으로 콘크리트의 휨인장강도는 압축강도의 1/5~1/8 정도인 것으로 알려져 있어, 교통개방 시간 결정시 압축강도를 기준으로 설정하는 경우 이에 대한 고려가 필요함을 알 수 있다.

4. 내구성 시험

4.1 개요

일반적으로 속경성 콘크리트의 경우 수화속도가 빠름으로 인해 수화물이 치밀하지 못하여 내구성이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 목표로 하는 1일 공용 콘크리트의 경우도 조기 강도발현을 목적으로 개발된 재료로 초기 수화가 빠르게 진행되어 장기 내구성에 대한 평가가 필요하다. 특히 도로 포장의 경우 각종 화학적, 물리적 침식이 크게 작용하는 열악한 환경에 노출되므로 내구성에 대한 평가가 중요하다.

도로포장 시험시공에 사용된 재료 및 배합에 대한 내구성평가 항목으로 KS F 2456에 의한 동결융해저항성, KS F 2424에 의한 길이변화, 탄산화 및 표면마모 시험을 선정하였다.

4.2 시험방법

시험체는 모두 제작 1일 후에 탈형하고, 동결융해저항성시험용 공시체는 2주간 수중양생을 하여 수중동결 수중융해의 방법에 의해 시험하였으며, 촉진탄산화시험용 공시체는 4주간 수중양생을 하고, 온도 20℃, 상대습도 60%, CO₂농도 5% 조건에서 시험하였다. 길이변화시험용 공시체 1주간 수중양생 후 기건 상태에서 재령별로 측정하였다.

표면마모시험은 콘크리트표 5mm 철펀 깔러 모르타르를 채취하여 $\Psi 100 \times 5 \text{mm}$ 몰드를 제작하고, 4주간 양생 후 시험기에 장착하고, 연마용 강구의 진동에 의한 마모량을 측정하는 것으로 회전수는 20,000회로 하였다.

특히, 동결융해저항성 시험은 겨울철 음빙제로 사용되는 염화칼슘에 의한 침식을 고려하여 염화칼슘 용액 0, 2, 5, 10% 조건에서 실시하였다.

4.3 시험결과 및 고찰

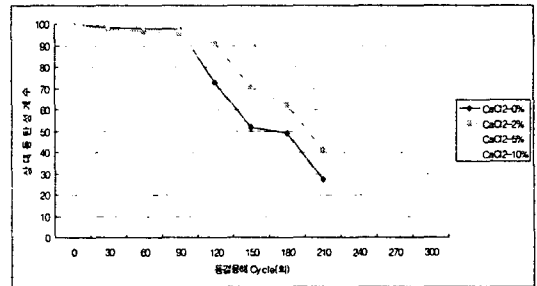
4.3.1 동결융해저항성 시험

동결융해저항성 시험결과는 그림 3과 같다.

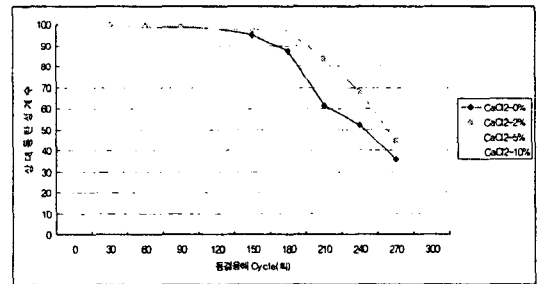
보통 포틀랜드시멘트를 사용한 경우 150~210 cycle에서, 조강 포틀랜드시멘트의 경우 210~270 cycle에 60% 이하로 측정되었으며, 이는 공기량이 3.0~3.4%로 낮아 동결융해에 의한 손상이 크게 나타난 원인으로 판단된다.

그러나, 조강재를 사용한 콘크리트의 경우 270 cycle 현재 상대동탄성계수 90% 이상으로 300 cycle에서도 90% 이상을 유지할 수 있을 것으로 예상되며, 3.4%로 다소 낮은 공기량에도 불구하고 포틀랜드 시멘트 단독으로 사용한 콘크리트 보다 우수한 상대동탄성계수를 나타내 시멘트 수화의 촉진에 의한 동결융해저항성 저하의 우려가 없는 것으로 나타났다. 따라서 현장 적용시 공기량을 4~5% 정도로 관리한다면 90% 이상의 내구성지수 확보가 가능할 것으로 판단된다.

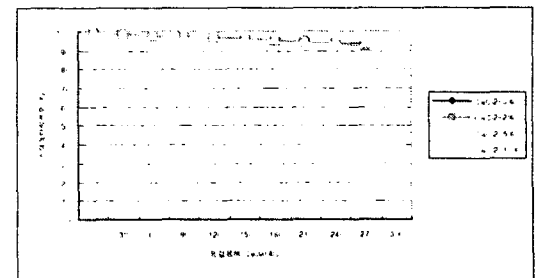
염화칼슘용액 내에서 동결융해시험을 실시한 경우는 5% 용액의 경우가 가장 심한 손상을 받는 것으로 나타났다. 그러나 2%와 10%의 경우는 염화칼슘이 없는 조건에 비해 오히려 우수한 특성을 나타내었으며, 10% 조건에서 보다 우수한 동결융해저항성을 나타내었다.



(a) 보통 포틀랜드시멘트



(b) 조강 포틀랜드시멘트



(c) 조강 포틀랜드시멘트+조강재

그림 3 동결융해저항성 시험결과

4.3.2 길이변화

각 조건별 길이변화 시험결과는 그림 4 과 같다. 보통콘크리트의 경우 건조수축에 의한 길이변화가 약 500~700 $\mu\epsilon$ 이며, 본 시험에서 사용한 콘크리트 배합이 단위시멘트량이 높기는 하지만 고성능감수제의 사용으로 단위수량이 낮아 일반 콘크리트와 동등 이하의 수축을 나타내는 것으로 판단되며, 조강재를 사용한 콘크리트도 길이변화 특성이 미사용 콘크리트와 비슷한 정도의 수축량을 나타내고 있다.

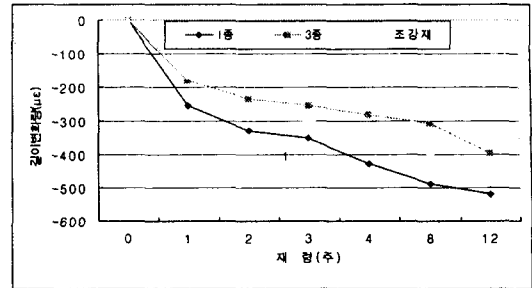


그림 4 길이변화 시험결과

4.3.3 촉진탄산화 및 표면마모

촉진탄산화시험 결과 12주까지 전 수준에서 탄산화 깊이가 1mm 이하로 나타나 일반콘크리트에 비해 매우 우수한 특성을 나타내고 있으며, 이는 단위시멘트량이 460kg/m³ 이상으로 높고, 물-시멘트비가 38% 이하로 낮아 콘크리트의 미세조직이 치밀하여 CO₂의 확산계수가 낮은 때문인 것으로 판단된다.

표면마모시험결과 마모량은 보통 및 조강포틀랜드시멘트를 사용한 콘크리트의 경우 0.028g/cm², 조강재를 사용한 콘크리트의 경우 0.031g/cm²로 조강재를 사용한 콘크리트의 표면마모가 약간 심하게 나타나고 있으나, 일반 콘크리트의 경우 0.030~0.050g/cm²의 마모량을 나타내는 것과 비교하면 우수한 내마모성 갖는 것으로 판단된다.

5. 결론

- (1) 본 연구에서 최종적으로 결정된 신속개통형 콘크리트 포장재의 현장시험 결과 양생온도 8~18℃의 조건에서 1일 압축강도 278kg/cm², 휨인장강도 64kg/cm²으로 28일 휨인장강도 목표인 45kg/cm²을 크게 상회하는 결과를 나타냈으며, 따라서 일평균 기온 13~15℃ 이상의 조건에서는 1일 이전에 교통개방이 가능한 것으로 평가된다.
- (2) 촉진 시험에 의한 장기내구성 예측 결과 당사에서 개발된 신속개통형 콘크리트 포장재료는 일반 콘크리트와 동등 이상의 내구성을 갖는 것으로 평가되어, 기존 속경성 콘크리트 포장재료의 단점이 조기 열화의 문제가 없는 것으로 평가된다.
- (3) 본 연구의 결과를 바탕으로 향후 도로 본선에의 적용을 추진하고 이에 대한 내구성 평가를 추진할 계획이다.

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 III, 한국도로공사, 1997.
3. RILEM, Admixtures for Concrete Improvement of Properties, 1990.
4. 임태선의5, 신속개방형 콘크리트 도로포장재의 설계를 위한 평가 연구(2), 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 제11권2호, 1999.