

# 신속개통형 (1일공용) Whitetopping포장재의 설계 및 시공성에 관한 평가연구

## A Study on the Application Properties of Super High Early Strength Concrete for Whitetopping Pavements

임채용 \* · 엄태선 \*\* · 유재상 \*\*\* · 조윤희 \*\*\*\* · 엄주용 \*\*\*\*\*  
Lim, Chae Yong · Um, Tai Sun · Ryu, Jae Sang · Cho, Yoon Ho · Um, Joo Yong

### 1. 서론

Whitetopping이란 기존 아스팔트 포장 위에 콘크리트 덧씌우기를 하는 공법으로 중차량 교통이 많은 도로에서 러팅(rutting), 쇼빙(shoving), 코루게이션(corrugation) 등의 영구 변형으로 인해 손상된 아스팔트 포장 도로를 5~15cm 두께의 콘크리트로 보수하는 공법이다. Whitetopping 공법에 의해 덧씌우기가 실시된 도로는 타설 후 1일 이내에 교통개방이 가능하여 기존 아스팔트 덧씌우기 공법에 대해서도 경쟁력이 있는 것으로 보고되고 있다. 또한 아스팔트 포장은 통계상 5-8년에 한번씩 덧씌우기 등과 같은 유지보수를 시행하고 있는 반면, 콘크리트 포장은 아스팔트 포장에 비해 공용가능 년수가 길어 40년 이상의 수명을 갖는 포장 설계가 가능하여 연간 25~50% 정도의 보수비를 절감할 수 있다. 따라서 생애주기비용을 고려할 경우 시공 및 유지비용에서 큰 장점이 있다. 또한 콘크리트 포장은 러팅 등에 의한 변형이 적음으로써 운전자에게 안전하고 쾌적한 환경을 제공하며, 아스팔트 포장과 같이 잦은 보수로 인한 교통체증이 적게 발생하고, 높은 반사율로 인한 야간 운전시의 안전성 확보 등에 장점이 있다.

미국에서는 1989년을 시작으로 꾸준히 Whitetopping에 관한 연구개발을 수행중이며, 2001년까지 총 287건의 프로젝트가 수행되어 약 80만m<sup>2</sup>의 도로 포장이 이루어졌다. 또한 일본에서는 1일 공용 도로포장용 콘크리트로 개발된 초조강콘크리트를 이용하여 일본 시멘트협회의 주도로 Whitetopping 공법에 관한 연구를 수행하고 있다.

국내에서도 일반국도의 포장율이 거의 100%에 육박함에 따라 도로관리의 중요성이 부각되고 있으며, 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.

본 연구는 신속개통형 Whitetopping 포장재료의 개발 및 실용화를 목적으로 타설 후 1일 이내에 교통개방이 가능하며, 1시간 이상의 작업시간 확보가 가능하여 레미콘화가 가능한 콘크리트 포장재료를 개발하고, Slipform Paver를 이용한 기계 시험시공을 통해 적정 작업성과 조기 교통개방의 가능성을 평가한 결과이다.

### 2. 신속개통형(1일 공용) Whitetopping 콘크리트의 요구 성능

레미콘으로 대량타설과 1일 교통개방을 위한 목적에 1일 공용 덧씌우기 콘크리트 포장재료의 요구특성은

- \*정회원 · 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 연구원 · 042-865-1714
- \*\*정회원 · 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 책임연구원 · 공학박사 · 042-865-1755
- \*\*\*정회원 · 쌍용양회공업(주) 기술연구소 콘크리트연구실 실장 · 공학박사 · 042-865-1673
- \*\*\*\*정회원 · 중앙대학교 건설환경공학과 조교수 · 공학박사 · 02-820-5336
- \*\*\*\*\*정회원 · 한국도로공사 도로연구소 책임연구원 · 공학박사 02-2230-4856



표 1과 같다.

표 1 신속개통형(1일 공용) Whitetopping 콘크리트 포장용 레미콘의 요구특성

시공 방법	운반방법	1일 설계강도 (N/mm <sup>2</sup> )		1일 배합강도 (N/mm <sup>2</sup> )		슬럼프 (cm)	공기량 (%)
		압축	휨 인장	압축	휨 인장		
기계 시공	믹서트럭	↑24.0	3.5	↑30.0	4.4	3~5	4.5±1.0
	덤프트럭	↑24.0	3.5	↑30.0	4.4	8~10	4.5±1.0

Sliform Paver를 이용한 기계시공은 인력시공에 비해 Paver의 진동다짐에 의한 재료분리가 작고 경사구간에서의 포장면의 평탄성 확보가 가능하도록 요구 슬럼프는 10cm 이하의 낮은 슬럼프의 콘크리트가 필요하다.

콘크리트 수송은 타설 및 요구 성능에 따라 믹서트럭 또는 덤프트럭 수송이 모두 가능해야 하며, 믹서트럭의 수송은 콘크리트 배출이 가능한 범위의 슬럼프 8~10cm를 목표로 하였으며, 덤프트럭 수송경우는 3~5cm를 목표로 하였다.

### 3. 신속개통형(1일 공용) Whitetopping 콘크리트의 품질 설계

#### 3.1 개요

Sliform Paver를 이용한 Whitetopping 시공은 타설 슬럼프가 낮아 슬럼프 로스가 크므로 슬럼프 유지능력이 우수한 콘크리트 재료 및 배합의 적용이 요구된다.

본 시험에서는 슬럼프 유지성능이 우수한 고성능 AE감수제와 각종 혼화제료를 선정하여 성능을 평가하고, 기계시공에 적합한 콘크리트를 설계하고자 하였다.

배합조건은 표 2와 같으며, 혼화제는 유통되고 있는 고성능AE감수제 SP와 당사가 개발한 고성능AE감수제 SPR을 비교 검토하였다. Plain 조건은 3종시멘트를 단독으로 사용하는 조건에서 SP를 결합재의 2% 사용하였으며, 조강재를 사용하는 조건에서는 SPR을 3.0% 사용하였다. 슬럼프 경시변화는 초기 슬럼프 측정 후 1시간 동안 정지하고 삼비빔만 실시하는 경우와 믹서에서 되비빔하는 조건에 대해 슬럼프를 측정하였다.

표 2 고성능AE감수제 SPR 사용 콘크리트 배합조건

구분	W/C (%)	S/a (%)	배합조건(kg/m <sup>3</sup> )				
			C(시멘트)	F(조강재)	W(물)	SP	SPR
Plain	41.8	45.0	400.0	16.0	167	8.0	-
3FLSC1	41.8	45.0	384.0	16.0	167	-	12.0
3FLSC2	39.3	45.0	403.2	16.8	165	-	12.6
3FLSC3	37.0	45.0	422.4	17.6	165	-	13.2

#### 3.2 물성평가 결과

콘크리트 배합시험 결과는 표 3 및 그림 1, 그림 2와 같다.

고성능감수제 SPR을 사용하는 경우 SP에 비해 다량의 혼화제를 사용함에도 불구하고 SP를 사용한



Plain 조건에 비해 비배 초기 슬럼프는 약 10cm 감소하여 혼화제의 감수율은 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 슬럼프 경시변화 시험결과 Plain 조건은 10cm 이상의 슬럼프 로스가 발생하였으나, SPR을 사용한 조건에서는 시멘트 수화 촉진을 위해 4cm 이내로 나타나 우수한 슬럼프 유지성능을 나타냈다.

표 3 고성능AE감수제 SPR 사용 콘크리트 배합조건

	공기량(%)		슬럼프(cm)			압축강도(N/mm <sup>2</sup> )		
	0	60	0	60(습)	60(막서)	1D	2D	28D
3FC1	3.0	3.4	18.0	6.0	7.0	38.4	44.0	57.8
3FLSC1	2.9	3.4	7.5	3.5	5.0	32.8	42.6	58.1
3FLSC2	2.9	3.2	5.5	3.5	5.0	36.8	41.8	60.0
3FLSC3	2.8	3.1	5.5	3.0	6.0	38.8	44.9	53.1

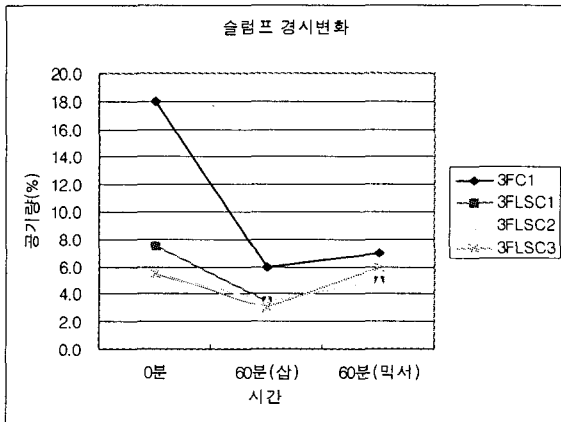


그림 1 슬럼프 경시변화 시험결과

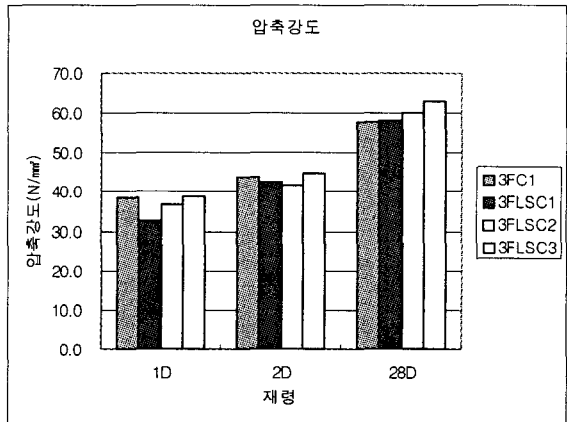


그림 2 재령별 압축강도 시험결과

1일 압축강도는 SP를 사용한 Plain 조건에 비해 약 15% 감소하나, 단위시멘트량을 40kg 증대하여 물-시멘트비를 약 4% 정도 낮게 함으로써 SP 사용조건과 동일 수준의 압축강도 38.0 N/mm<sup>2</sup>의 발현이 가능하였으며, 낮은 물-시멘트비에서도 슬럼프 유지성능이 우수하여 기계시공용 Whitetopping 콘크리트로서의 적용성이 우수하다.

#### 4. 현장 시험

##### 4.1 사용 재료

결합제는 조강시멘트와 당사 개발 조강혼화제를 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 물리성능은 표 4와 같다.

당사에서 개발된 조강혼화제는 시멘트의 성분 중 C<sub>3</sub>A와 C<sub>3</sub>S 광물의 수화반응을 촉진하여 조강시멘트의 강도발현을 촉진하게 된다. 조강혼화제는 회백색의 분말로 분말도는 Blaine 5,000~6,000cm<sup>2</sup>/g 이다. 유기혼화제는 작업성 유지성능과 조기 강도발현을 모두 만족하는 고성능AE감수제를 개발 사용하였으며, 굵은 골재의 최대크기는 타설 두께를 고려하여 19mm로 하였다.



표 4 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

#### 4.2 배치플랜트 생산시험 개요

개발된 재료 및 콘크리트 배합의 특성평가를 위해 배치 플랜트에서 생산 시험을 실시하고 적정 콘크리트 배합조건을 선정하고자 하였다. 시험은 경기도 이천시의 T 공장 구내에서 실시하였으며, 믹서트럭 및 덤프트럭에 의한 콘크리트 운송조건을 가정하여 콘크리트 생산 후 50분까지의 슬럼프, 공기량 경시변화를 측정하고, 경화 콘크리트의 특성 및 내구성을 평가하였다. 믹서트럭 및 덤프트럭 운송의 콘크리트 배합조건은 표 5와 같다.

표 5 콘크리트 배합조건

구분	배합조건		단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )						
	W/C(%)	S/a(%)	B	W	S	G	F	SP	AE
믹서트럭	40.0	45	431.2	176	740	936	17.6	13.2	0.528
덤프트럭	38.6	45	411.6	162	764	966	16.8	12.6	1.411

#### 4.3 시험시공 개요

시험시공 구간은 경기도 이천시 영동고속도로 선형개량 사업에 따른 폐도 구간으로 시험시공 구간의 총 길이는 210m, 폭 3.6m이며, 타설량은 약 80m<sup>3</sup>이다. 배치플랜트에서 현장까지 운반시간은 약 30분이 소요되었으며, 믹서트럭의 1대당 수송량은 6m<sup>3</sup>로 하였고, 덤프트럭은 4~5m<sup>3</sup>로 하였으며, 타설 소요시간은 10~15분이었다. 콘크리트 배합조건은 표 6과 같다.

표 6 콘크리트 배합조건

구분	배합조건		단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )						
	W/C(%)	S/a(%)	C	W	S	G	F	SP	AE
믹서트럭	38.2	45	431	168	749	947	17.6	13.2	0.088
덤프트럭	38.1	45	412	160	766	969	16.8	12.6	0.105

콘크리트 생산시 슬럼프는 믹서트럭의 경우 운반중 지속적인 콘크리트 혼합이 이루어지므로 슬럼프 경시변화가 적고 또한 수송 시간이 30분 내외로 짧으므로 슬럼프 로스가 적어 생산시 슬럼프는 타설 목표 슬럼프와 비슷한 정도인 10cm 내외가 되도록 배치플랜트 생산시험의 배합에 비해 단위수량을 낮게 하였다.

덤프트럭 수송의 경우 운반시 콘크리트슬럼프 경시변화가 약 1시간 까지 5cm 내외로 크므로 이를 고려하여 생산시 슬럼프를 약 10cm 내외로 하였다. 덤프트럭 운반시 콘크리트의 슬럼프가 과다할 경우 콘크리트 누출 및 재료분리의 우려가 있으므로 슬럼프를 크게 할 수 없으며, 따라서 믹서트럭 운송에 비해 슬럼프 로스가 큰 재료는 사용이 곤란하며, 콘크리트 누설, 재료분리가 없도록 하기 위해서는 슬럼프 12~14cm 이하로 하여야 할 것으로 판단된다.



5. 실험결과 및 고찰

5.1 배치플랜트 생산시험

신속개통형 Whitetopping 포장재료의 배치플랜트 생산시험 결과는 표 7와 그림 3 ~ 그림 6과 같다.

표 7 배치플랜트 생산시험 콘크리트 물성평가 결과

목표	Slump	슬럼프(cm)			공기량(%)			압축강도(N/mm <sup>2</sup> )			휨강도(N/mm <sup>2</sup> )		
		초기	30분	50분	초기	30분	50분	1D	2D	28D	1D	2D	28D
믹서	8~10	14.5	9.5	9.5	3.0	3.7	2.4	42.9	47.5	69.7	5.3	5.2	8.0
덤프	3~5	9.0	7.5	5.5	5.7	2.0	2.0	39.2	47.6	62.9	5.5	5.2	8.3

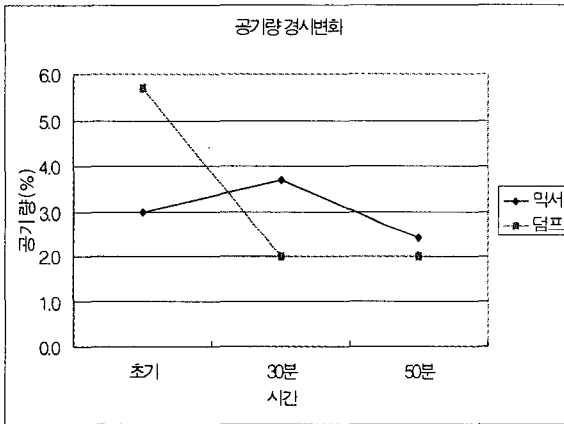


그림 3 공기량 경시변화

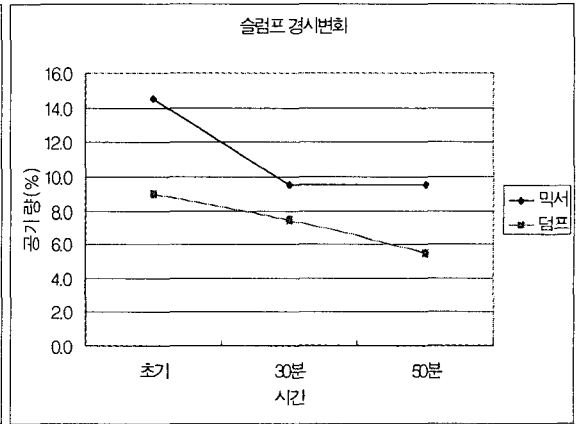


그림 4 슬럼프 경시변화

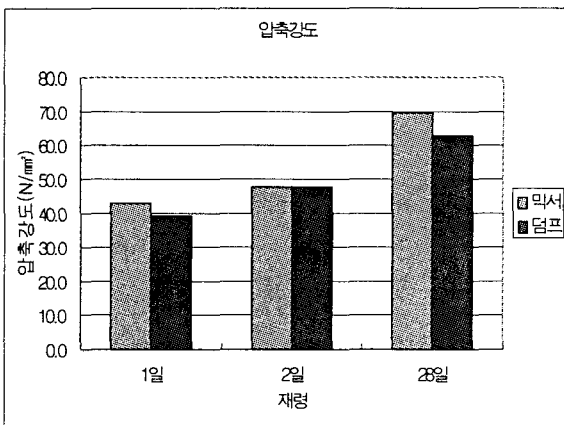


그림 5 재령별 압축강도 시험결과

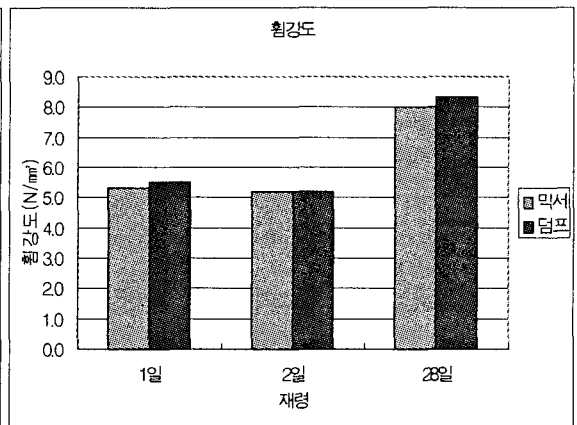


그림 6 재령별 휨강도 시험결과

믹서트럭 운송 경우, 생산시 슬럼프가 14.5cm로 다소 높게 생산되었으며, 이후 30분 슬럼프 경시를 측정 한 결과, 슬럼프 로스는 약 5cm로 50분까지 동일 정도의 슬럼프를 유지하였다. Whitetopping 기계시공의 경우 믹서트럭으로 운송하는 콘크리트의 적정 타설 슬럼프는 약 8cm 내외인 것으로 판단되며, 따라서 초기 슬럼프는 10~12cm가 적절한 것으로 판단된다.



덤프트럭 운송의 경우 적정 타설 슬럼프는 5cm 내외로 판단되며, 초기 슬럼프가 9cm인 경우 50분에 5.5cm를 나타내 운반 및 타설에 소요되는 시간을 고려할 경우 적정 생산 슬럼프로 설정한 8~10cm가 적절한 것으로 판단된다. 그러나 현장 적용시 콘크리트의 슬럼프는 운반시간, 기온 및 시멘트, 혼화제, 골재 등의 재료 변동 등 다양한 요인에 의해 경시변화 경향이 달라질 수 있으므로 타설 초기에 적정 생산 슬럼프를 설정하는 것이 필요하다.

압축강도 및 휨강도 시험결과 강도발현은 운반조건에 따라 큰 차이는 없으며, 1일에 압축강도 약 39N/mm<sup>2</sup> 이상, 휨강도 5.0N/mm<sup>2</sup> 이상으로 교통개방에 문제가 없는 수준으로 목표 배합강도를 크게 상회하는 수준의 강도발현을 나타내었다. 28일 강도 또한 압축강도 60N/mm<sup>2</sup> 이상, 휨강도 80N/mm<sup>2</sup> 이상의 고강도성을 나타내었다. 콘크리트 신설포장에 비해 슬래브의 두께가 작은 Whitetopping의 경우 하중의 지지를 위해서는 고강도 콘크리트의 적용이 필요하므로, 따라서 본 시공법에 적용한 콘크리트는 매우 이상적이라고 판단된다.

## 5.2 시험시공

신속개통형(1일공용) Whitetopping 포장의 물성시험 결과는 표 8과 같다.

표 8 시험시공 콘크리트 물성평가 결과

	목표 Slump	슬럼프(cm)		공기량(%)		압축강도(kg/cm <sup>2</sup> )				휨강도(kg/cm <sup>2</sup> )			
		생산	타설	생산	타설	18Hr	1D	2D	28D	18Hr	1D	2D	28D
믹서트럭	8~10	12~15	9~14	5.2	4.9	23.5	31.4	35.7		4.2	5.4	5.8	
덤프트럭	3~5	12.0	7.0	5.2	3.4	-	-	-	-	-	-	-	-

믹서트럭 운송의 경우 믹서트럭에서의 배출을 고려하여 타설 슬럼프를 10cm 내외로 하고자 하였으나 장마로 인한 골재의 표면수 변동으로 인해 9~14cm로 슬럼프 변동이 심하였다. 생산 후 현장 타설까지 소요된 시간은 약 30분으로 슬럼프 로스는 거의 없었으며, 타설 슬럼프도 비슷한 정도로 유지되었다.

타설 슬럼프가 12cm 이상인 경우 Paver의 진동 다짐에 의해 재료분리의 경향이 크게 나타났으며, 특히 타설 부위가 경사구간으로 바이브레이터의 진동에 의해 굽은골재와 모르타의 분리가 심하게 나타났으며, 표면 평탄성 또한 불량하였다. 슬럼프가 9cm인 경우는 진동에 의한 재료분리의 문제는 없었으며, 평탄성 또한 우수하였다.

Slipform Paver에 의한 콘크리트 포장의 경우 타설 슬럼프를 3~5cm의 범위로 하고 있으나, Whitetopping의 경우 일반 콘크리트 포장에 비해 슬래브의 두께가 작고 기존 아스팔트 포장을 절삭한 후 채워 넣는 방식으로 시공이 이루어지므로 본시공에서는 콘크리트의 부착 및 다짐을 고려해서 타설슬럼프를 8cm 내외하였고 시공성이 오히려 양호하였다.

덤프트럭은 콘크리트 포장에서 Slipform Paver를 이용하여 된배합 대량타설을 할 경우에 수송용으로 사용된다. Whitetopping의 경우에서도 Slipform Paver를 이용하여 된배합의 대량 시공하는 경우 낮은 슬럼프의 콘크리트 수송이 가능하며, 이 경우 운반 중에 콘크리트의 누출을 방지하기 위해 타설 슬럼프 약 3cm 이상 낮은 슬럼프의 콘크리트가 적당하다.

시험시공에서는 초기 슬럼프를 5cm이하로 생산한 경우 수송과정에서 슬럼프 로스로 인해 작업성 확보가 불가능하였고, 슬럼프가 14cm인 경우 타설 슬럼프가 약 9cm로 타설에는 문제가 없었으나 운반시 재료분리의 경향이 나타났다. 생산 슬럼프가 12cm 인 경우는 타설 슬럼프가 약 7cm 정도로 타설이 양호하게 이루어 졌다. 따라서 향후 현장 적용시 슬럼프 로스를 고려하여 약 8~10cm 정도의 슬럼프로 생산하여 수송하면 약 1시간 이내 수송에서 타설 슬럼프 3~5cm 조건을 만족할 수 있을 것이다. 또한 강도시험 결과 1일 이내에 교통개방이 가능한 수준이었다.

## 6. 내구성 시험

### 6.1 개요



속경성 콘크리트는 수화속도가 빠르므로 수화물이 치밀하지 못하여 내구성이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 본 연구의 1일 공용 콘크리트도 조기 강도발현을 목적으로 개발된 재료로 초기 수화가 빠르게 진행되므로 장기 내구성에 대한 검증하였다. 특히 도로포장의 경우 각종 화학적, 물리적 침식이 크게 작용하는 열악한 환경에 노출되므로 내구성에 대한 평가가 중요하다.

시험체는 모두 제작 1일 후에 탈형하고, 동결융해저항성시험용 공시체는 2주간 수중양생을 하여 수중동결 수중융해의 방법에 의해 시험하였으며, 겨울철 용빙제로 사용되는 염화칼슘에 의한 침식의 영향을 평가하기 위해 염화칼슘 용액 0, 2, 5, 10% 조건에서 실시하였다.

### 6.2 시험결과

동결융해저항성 시험결과는 그림 9와 같다.

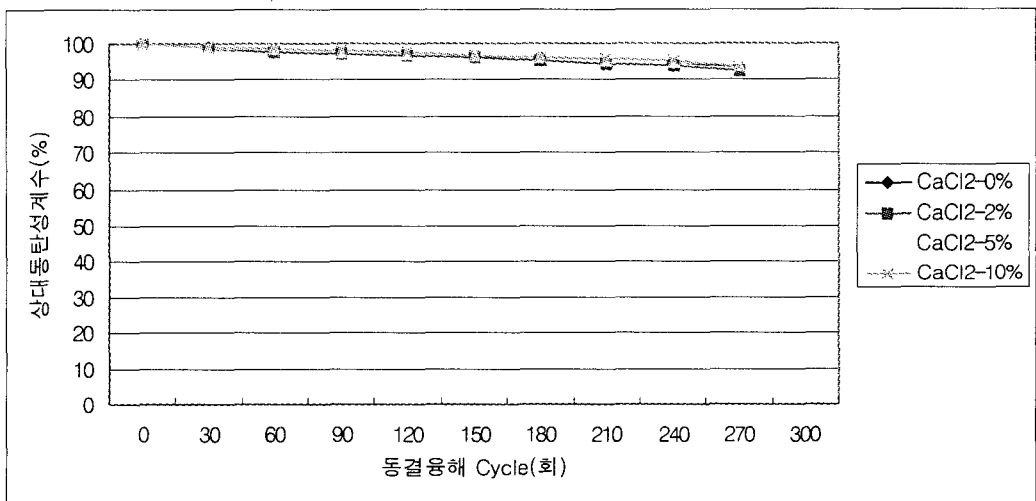


그림 9 동결융해저항성 시험결과

270 cycle 현재 상대동탄성계수 90% 이상으로 300 cycle에서도 90% 이상을 유지할 수 있을 것으로 예상된다. 일반적으로 시멘트 수화를 촉진하는 경우 치밀하지 못한 시멘트 수화물의 형성으로 인해 동결융해저항성 저하의 우려가 있는 것으로 알려져 있으나 개발된 콘크리트 재료는 이러한 우려는 없는 것으로 나타났다. 따라서 현장 적용시 공기량을 3~5% 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.

### 7. 결론

(1) 개발된 신속개통형 콘크리트 포장재는 배치 플랜트를 이용한 생산시험을 수행한 결과 Slipform Paver를 이용하여 콘크리트 덧씌우기 포장을 하는 경우 덤프트럭 및 믹서트럭 수송은 물론 요구한 평탄성 확보에 무리가 없는 품질에 Whittetopping포장재를 생산할 수 있었다.



(2) 배치플랜트에서 생산 후 1시간까지 슬럼프 로스 약 5cm 이내로 나타났으며, 덤프트럭 수송에 비해 믹서트럭수송이 슬럼프 로스가 적게 발생하며, Slipfom Paver를 이용한 적정 타설 슬럼프는 3~8cm 정도인 것을 확인하였고 도로의 구배, 시공법, 시공장비에 따라서 타설 슬럼프가 다소 조정될 필요성이있었고 개발 포장재는 품질 표준화 작업이 완료되면 이에 대한 대응이 충분하다.

(3) 개발 포장재는 1일 압축강도 30N/mm<sup>2</sup> 이상, 휨강도 5.0N/mm<sup>2</sup> 이상으로 타설 후 1일 이내에 교통개방이 가능하며, 대량, 대형의 도로 보수에 적용이 적합하다.

(4) 개발된 신속개통형 콘크리트 포장재는 일반 콘크리트와 동등 이상의 내구성을 갖으며, 기존 속경성 콘크리트 포장재와 달리 조기 열화의 문제가 없다.

(5) 향후 도로 본선 보수용에의 적용을 추진함으로써 실제 차량 하중이 가해지는 조건에서의 조기 교통개방 및 장기 공용성 평가를 추진할 예정이다.

본 내용은 건설교통부의 '00년 산학연 공동연구개발사업 2년차의 연구결과에 일부임을 알립니다.

#### 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. 薄層付着型 ホワイトトツピング工法に 關する 調査研究, 일본 시멘트협회, 2001.12