

# 시험시공을 통한 친환경 고성능 3성분계 시멘트 콘크리트 교면 포장의 성능 평가

## Evaluation of Environment Friendly High Performance Ternary Cement Concrete Deck Overlay Pavement by Experimental Construction

최 인 혁 Choi, In Hyeok  
김 대 성 Kim, Dae Seong  
이 준 호 Lee, Jun Ho

정희원 · (주)다길산업 대표이사 · 공학박사 (E-mail : ihchoi@btcont.co.kr)  
정희원 · (주)다길산업 포장사업부 과장 · 공학석사 (E-mail :kds8190@naver.com)  
(주)다길산업 포장사업부 이사 · 공학석사 (E-mail : leejunho21@daroad.co.kr)

### ABSTRACT

This study experimented to evaluate the environment friendly high performance ternary cement concrete deck overlay pavement using mineral admixture such as fly ash and ground granulated blast-furnace slag. It was measured to find best binder mixing according to replacement rate of mineral admixture with compressive strength and flexural strength. After finding best binder, it is also experimented to evaluate durability on chloride penetration resistance, freezing- thawing resistance, scaling resistance of deicing chemicals, abrasion resistance, alkali-silica reactivity test and bonded environment friendly high performance ternary cement concrete deck overlay pavement experimented to evaluate bonded old deck and new concrete overlay pavement using special polymer cement mortar. In additions, bonded environment friendly high performance ternary cement concrete deck overlay pavement by experimental construction was evaluated at interchange bridge of North Yeosu. Result, examination was indicated better binding with binder replacement of cement 70%, ground granulated blast-furnace slag 15% and fly ash 15%. And special polymer cement mortar used in old deck and new overlay concrete was indicated better bonding both laboratory and construction.

### KEYWORDS

*ground granulated blast-furnace slag, fly ash, ternary cement concrete, deck overlay pavement, durability*

### 요지

본 연구에서는 고로슬래그 미분말 및 플라이애시와 같은 광물질 혼화재를 사용한 친환경 고성능 3성분계 시멘트 콘크리트 교면 포장의 성능을 평가하기 위하여 실험을 하였다. 광물질 혼화재의 혼입률 변화에 따른 3성분계 시멘트 콘크리트의 최적배합을 찾기 위하여 압축강도 및 휨강도 시험을 하였으며 최적배합을 사용하여 내구성 시험인 염소이온 침투저항성, 동결융해, 박리 저항성, 균열 저항성 및 알칼리골재반응 시험으로 친환경 고성능 3성분계 시멘트 콘크리트 교면 포장의 내구성 평가 및 신·구 콘크리트의 부착력을 평가하기 위하여 부착강도 시험을 하였다. 시험결과, 시멘트 70%, 고로슬래그 미분말15% 및 플라이애시 15%의 배합 바인더에서 압축강도 및 휨강도가 우수하게 나타났으며 이를 최적배합으로 도출하였다. 실내 및 시험시공에서 최적 배합을 사용한 실험결과는 염소이온 침투 저항성, 동결융해 저항성, 표면박리 저항성, 알칼리골재 반응 억제 및 내마모성이 우수하게 나타났다. 또한, 특수 제작된 Polymer Cement Mortar(Brooming)를 사용한 신·구 콘크리트의 부착력에서도 우수한 성능을 나타냈다.

### 핵심용어

*고로슬래그 미분말, 플라이애시, 3성분계 시멘트 콘크리트, 교면포장, 내구성*

# 1. 서론

교면 포장은 교량의 상판을 보호하고, 쾌적한 주행성을 확보하는 것을 목적으로 하는 구조물이다. 이러한 교면 포장은 얇은 판상의 구조를 취하므로 사용기간 동안 차량하중 및 주행과정에서의 물리적인 편마모, 동결기 제설제 및 동결융해의 반복 작용 등과 함께 외기의 피로하중도 누적으로 도로교량의 공용수명 연장을 위해서 교량바닥판 내구성 확보가 중요하며 교면포장공법으로 아스팔트 대신 콘크리트를 이용한 포장 공법이 적용되어지고 있다.

또한, 현재 산업부산물물의 포장 적용을 위한 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 사용한 시멘트 콘크리트가 연구 되어지고 있으며(국토해양부, 2008), 물리적 및 역학적 성능의 개선·보완 효과(한국건설기술연구원, 2006)와 자원의 재활용을 통한 경제적이며 친환경적인(한승환, 2010) 재료로서 효율성이 높다고 연구 보고되어 지고 있다.

본 연구에서는 친환경, 고성능 및 경제적으로 우수한 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 사용한 시멘트 콘크리트 포장의 물리적 및 역학적 특성을 시험하여 시멘트 콘크리트 교면 포장 성능 및 적용성을 평가하고자 한다.

## 2. 실험개요

### 2.1. 사용재료

본 연구에서 사용한 시멘트는 KS L 5201에 준하는 보통 포트랜드 시멘트이며, 광물질 혼화제는 고로슬래그 미분말 및 정제 플라이애시를 사용하였다. 시멘트 및 광물질 혼화제의 화학조성 및 물리적 성질은 다음 표 1과 같다.

표 1. 시멘트 및 광물질 혼화제 화학성분 및 물리적 성질

	Chemical composition(%)							Physical properties	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fel <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	lg.loss	density	Braine
Cement	20.6	4.9	3.2	61.5	3.5	2.3	1.7	3.14	3,150
Fly Ash	59.5	25.4	5.8	3.7	0.7	-	1.6	2.38	3,710
Slag	33.1	17.8	0.4	40.3	4.1	2.8	0.3	2.91	4,150

잔골재는 강사를 사용하였으며, 굵은 골재는 쇄석골재를 사용하였다. 골재의 물리적 성질은 다음 표 2와 같으며 혼화제는 고성능AE감수제, 섬유보강제 및 방수제를 사용하였다.

표 2. 골재의 물리적 성질

Type	G <sub>max</sub> (mm)	Absorption(%)	F.M	Density
Sand	<5	1.32	2.6	2.61
Cushed gravel	<13	0.83	2.7	2.63

사용된 혼화제의 물리적 특성은 다음 표 3, 4 및 5와 같다.

표 3. 고성능 AE감수제 물리적 특성

Type	Color	S.G	Soild content(%)	Acidity(PH)
Polycarbonic Acid	dark brown	1.08	20	7.0

표 4. 섬유 보강제 물리적 특성

Type	Color	S.G	T.S(MPa)	E.M(MPa)
Polyamide Fiber	White powder	1.15	800	3500

표 5. 방수제 물리적 특성

Type	Color	B.D(g/l)	R.M(%)	Acidity(PH)
Silane	White powder	220	Max 1	7.0

또한, 신·구 콘크리트의 부착력 증가를 위하여 특수 제작된 Polymer Cement Mortar(Brooming)를 사용하였으며 물리적 성능은 다음 표 6과 같다.

표 6. Polymer Cement Mortar(Brooming) 물리적 특성

Title	Color	Bond Strength (MPa)	Water Hygroscopic Coefficient	Compressive Strength (MPa)
Brooming	Gray slurry	2.1	0.3	42

### 2.2. 콘크리트 배합

본 연구에서 배합은 광물질 혼화제를 사용하지 않은 OPC(Original Portland Cement) 배합과 SG(Ground blast furnace Slag powder) 및 FA (Fly ash)를 사용한 총 7종류의 콘크리트를 배합하여 실험을 수행하였다. 콘크리트 배합구성은 다음 표 7과 같다.

표 7. 콘크리트 배합

Types	G <sub>max</sub>	slump (cm)	Air (%)	W/B	S/a	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )					
						W	C	SG	FA	S	G
OPC	13	210	7±1	40	56	168	426	0	0	936	741
O70SG30FA0							298	128	0	932	737
O70SG15FA15							298	64	64	923	734
O60SG30FA10							256	128	43	925	732
O80SG0FA20							341	0	85	933	739
O65SG15FA20							277	64	85	921	729
O50SG30FA20							213	128	85	919	727

### 2.3. 실험방법

1. 압축강도 : KS F 2405에 준하여  $\phi 10 \sim 20$ cm 원주형 공시체를 사용하여 채령 7일, 28일의 압축강도를 측정 하였다.
2. 휨강도 : KS F 2408에 준하여 10×10×40cm 각주형 공시체를 사용하여 채령 7일, 28일에서 휨강도를 측정

하였다.

3. 건조수축 : KS F 2424에 준하여 10×10×40cm 각 주형 공시체를 사용하여 양생 7일 후, 7일, 14일, 28일, 56일 및 90일에 건조수축에 따른 길이변화를 측정하였다.
4. 염소이온침투 저항성 : NT Build T492 및 ASTM C 1202에 준하는 양생 28일 및 56일의 시험을 통하여 총통과 전하량(ASTM C 1202) 및 염소이온 확산계수(NT Build T492)를 산정하였다. 총통과 전하량 산출 및 평가 방법은 다음 식 (1) 및 표 8과 같으며, 염소이온 확산계수는 다음 식 (2)와 같이 산출하였다.

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360}) \quad (1)$$

여기서,  $Q$  = 총통과 전하량(coulombs),  $I_0$  = 초기 전류값(A),  $I_t$  =  $t$  분에서의 전류값(A)

표 8. 총통과량에 기초한 염화물이온 침투 등급(ASTM C 1202)

Chare Passed	Chloride Ion Penetrability
> 4,000	High
2,000~4000	Moderate
1,000~2000	Low
100~1,000	Very Low
<100	Negligible

$$D_{nssm} = \frac{RT}{zFE} \cdot \frac{x_d - a\sqrt{x_d}}{t} \quad (2)$$

여기서,  $E = \frac{U-2}{L}$ ,  $a = 2\sqrt{\frac{RTL}{zFU}} \cdot \text{erf}^{-1}(1 - \frac{2c_d}{c_0})$

$D_{nssm}$  : 비정상상태에서 염소이온 확산계수( $m^2/s$ ),  $z$  : 이온 원자가( $z=1$ , 염소이온의 경우),  $F$  : 페러데이상수( $F=9.648 \times 10^4 J(V \cdot mol)$ ),  $U$  : 전압차(V),  $R$  : 기체상수,  $T$  : 용액의 온도(K),  $L$  : 시편두께(m),  $x_d$  : 염소이온 침투깊이(m),  $t$  : 실험기간(s),  $\text{erf}$  : 오차함수,  $c_d$  : 비색법 반응 농도 및  $c_0$  : 음극셀의 염소이온 농도

5. 동결융해 : KS F 2456에 준하여 A법(수중)으로 1cycle(-16℃~4℃, 4hr)에서 300cycle까지 적용하였고 30cycle 간격으로 동탄성계수를 측정하였다. 동결융해 30cycle 주기의 상대동탄성계수 산정은 식 (3)과 같다.

$$P_c = [n_1^2 / n_0^2] \times 100 \quad (3)$$

여기서,  $P_c$  : 동결융해 cycle(n) 후의 상대동탄성계수(%),  $n$  : 동결융해 0cycle의 가로 1차 진동 주파수(Hz),  $n_1$  : 동결융해 cycle(n)의 가로 1차 진동 주파수(Hz).

6. 박리저항성 : ASTM C 672에 준하여 제조한 염화칼슘 용액을 공시체 표면 침지하여 1cycle(-16℃~4℃, 4hr)에서 50cycle까지 10cycle 주기로 무게손실량 측정 및 ASTM C 672기준의 표면손상 상태를 측정하였다. 표면손상 상태등급은 다음 표 9와 같다.

표 9. 표면손상 상태등급(ASTM C 672)

Rating	Condition of Surface
0	no scaling
1	very slight scaling(3mm[1/8 in], depth, max no coarse
2	slight to moderate scaling
3	moderate scaling(some coarse aggregate visible)
4	moderate to severe scaling
5	severe scaling(coarse aggregate visible over entire surface)

7. 마모저항성 : 포장 콘크리트의 마모저항성을 측정하기 위하여 KSM ISO 9352 및 ASTM C 944에 준하여 콘크리트 표면에 직접적인 연마륜에 의한 마모감량을 측정하였다.
8. 균열저항성 : AASHTO PP34-99에 준하여 습도 45% 및 온도 23℃ 조건의 O-Ring을 사용한 콘크리트의 60일 기건양생 후 균열저항성을 육안 조사하였다.
9. 알칼리골재반응성 : ASTM C 1260에 준하여 80±1.0℃의 1N NaOH 수용액에 침지하여 실험하였으며 반응성 골재 및 현장 골재를 사용하였다.
9. 부착 강도 : KS F 2762에 준하여 시험배합에 따른 실내 부착강도 및 시험시공을 통한 현장 부착강도를 측정하였다.

### 3. 친환경 고성능 3성분계 시멘트 콘크리트 교면 포장의 최적배합

#### 3.1. 압축강도 및 휨강도

플라이애시 및 고로슬래그를 사용한 3성분계 시멘트 콘크리트 교면포장의 비교배합 중 우수한 수화반응 및 2차 수화반응의 배합을 찾기 위하여 혼입비율을 서로 다르게 하여 배합설계를 하였으며 그림 1은 보통포틀랜드(OPC)기준 7종류의 콘크리트 재령별 압축강도 및 휨강도 특성을 나타낸 것이다. 재령의 증가와 함께 FA 및 SG을 사용한 콘크리트의 강

도 발현이 향상됨을 알 수 있으며 FA만을 혼입한 경우 SG 및 SG+FA 혼입한 시멘트 콘크리트보다 압축강도 발현이 다소 늦어지는 것을 알 수 있으며 이러한 현상은 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 반응률 및 분말도가 서로 다르기 때문이라 판단된다. 元 丈 외(2003)는 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 치환 및 재령에 따른 반응률 연구에서 고로슬래그 미분말은 플라이애시 보다 반응률이 크며 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 20% 혼입한 경우 다른 혼입비율 보다 반응률이 크게 나타났으며 또한, Masaki Daimon et al. (2005)의 연구에서도 플라이애시 20% 혼입시 반응률이 가장 크게 나타났다.

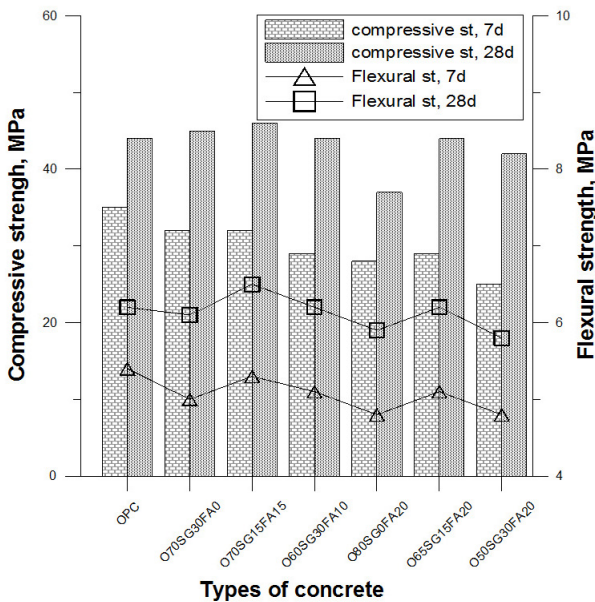


그림 1. 압축강도 및 휨강도

본 연구에서 고로슬래그 미분말과 플라이애시의 복합사용에 따른 물리적 특성에 대한 결과를 도출하기 위하여 OPC와 6가지 배합의 종류를 선정하여 그림 1과 같이 압축강도 및 휨강도 실험을 하였으며 실험결과 재령 28일의 플라이애시 15%와 고로슬래그 미분말 15% 혼입 콘크리트에서 압축강도 45MPa를 상회하는 결과가 나타났으며 휨강도에서도 압축강도의 경향과 유사한 결과가 나타났다.

### 3.2. 건조수축 및 길이변화

콘크리트 포장에 발생하는 균열은 콘크리트 구조 성능 저하의 주요 원인으로 타설 초기 미경화 콘크리트의 내부 구속 및 수분증발에 따른 인장 응력 발생으로 인한 균열(박대근 외, 2004)과 콘크리트 수화열에 의한 팽창 및 콘크리트 내부와 외기 온도차에 의한 수축변형 균열 등이 있다(P.Kumar Mehta et al., 2000).

본 연구에서는 콘크리트 건조 수축 및 수화열에 의한 균열

을 제어하기 위하여 섬유보강재(Nylon fiber)를 사용하여 콘크리트 구조 내부의 수분이동 제어 및 인장력 보강과 고로슬래그 미분말과 정제 플라이애시를 시멘트에 대체 혼입하여 수화열 저감효과와 콘크리트 포장 구조의 수축에 따른 균열 저감 효과를 나타내고자 하였다.

실험결과 다음 그림 2와 같이 건조수축에 의한 길이변화시험결과 O70SG15FA15는 OPC보다 길이변화율이 적게 나타났으며, O70SG15FA15의 O-Ring시험에 의한 건조수축시험 결과 다음 그림 3과 같이 60일 경과 후에도 무균열 상태로 나타났다.

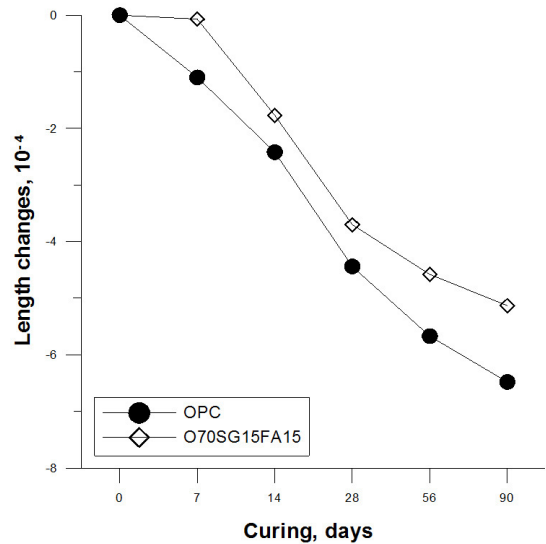


그림 2. 건조수축에 따른 길이변화 결과



그림 3. O-Ring test 실험결과

## 4. 친환경 고성능 3성분계 시멘트 콘크리트 교면 포장의 내구성능의 실내실험 결과



### 4.1. 염화물 노출환경 저항성

교면 포장은 내구적으로 여러 가지 열화 요인을 고려해야 하며 그 요인중 하나가 염화물 환경에 대한 노출이다. 콘크리트 교면 포장의 경우 동절기 잦은 제설제 살포로 인한 염화물 피해 및 해안가 인접 교량과 해상 교량의 경우 염화물 외부 노출 환경에 따른 열화에 직면하게 되며 염화물 침투는 교면 포장층 하부 콘크리트의 열화 및 철근의 부식으로 이어질 수 있다. 이러한 염화물 열화에 대한 내구성의 향상을 위하여 광물질혼화재인 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 혼입한 시멘트 콘크리트를 사용하는 경우 일반 콘크리트보다 염화물 저항성이 증진되는 연구 결과들이 있다(Michael D.A. Thomas et al, 2009).

본 연구에서는 염화물 노출 환경에 대한 저항성을 판단하기 위하여 총통과전하량 평가 및 염소이온 확산계수를 산출하였으며 동절기의 제설제로 인한 염화물 저항성을 판단하기 위하여 표면 박리 저항 실험을 하였다.

실험결과 염화물 이온 저항성은 다음 그림 4와 같이 28일 및 56일재령에서 O70SG15FA15는 ASTM C 1202기준 Low 및 Very low영역의 낮은 총통과 전하량과 염소이온 확산계수에서 OPC에 비하여 낮은 확산계수를 보였다.

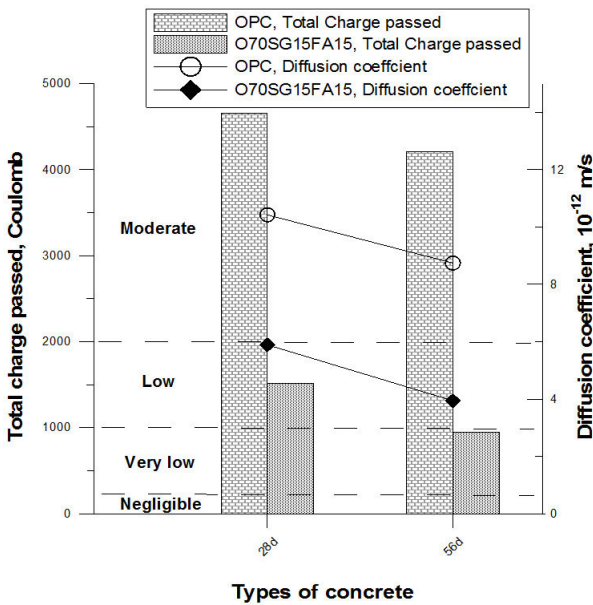


그림 4. 염소이온 침투저항성 실험 결과

또한 그림 5와 같이 동절기 제설제에 의한 표면 박리실험 결과, O70SG15FA15는 OPC보다 낮은 질량감소 경향 및 그림 6과 같이 염화물 노출에 의한 표면 박리실험 결과, OPC는 ASTM C 672기준 Rating 3으로 표면이 열화 되어 골재가 노출 되어진 것을 볼 수 있는 반면 O70SG15FA15에서는 Rating 0으로 표면열화가 거의 없는 것으로 나타났다. 염소이온 침투 저항성 실험 및 표면박리저항성 실험결과 광

물질 혼화재인 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 혼입한 3 성분계 시멘트 콘크리트 포장은 염화물 노출 환경조건에서 일반 콘크리트 포장보다 염화물에 대한 저항성이 우수한 것으로 판단된다.

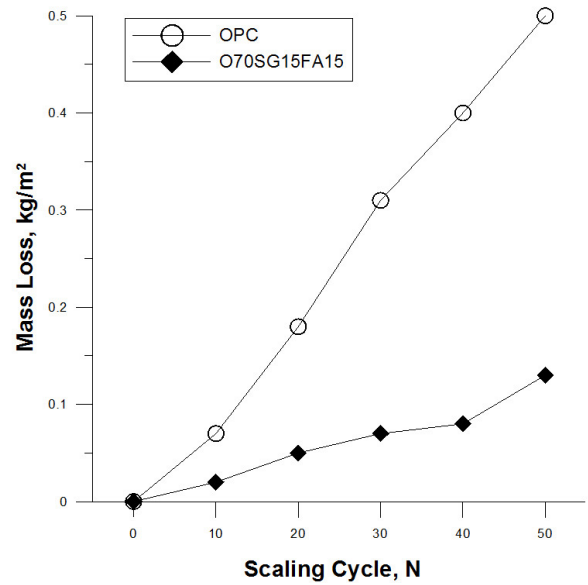


그림 5. 표면박리 저항성 실험결과

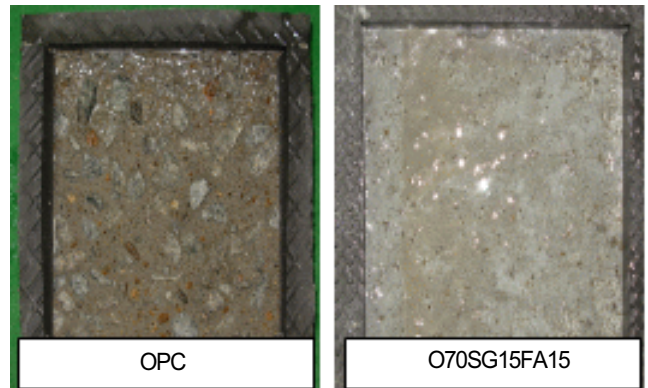


그림 6. 표면박리실험에 의한 열화상태

### 4.2. 콘크리트 교면 포장의 마모 저항성

콘크리트 포장은 반복되는 차량하중의 강제 물리적인 마모 환경에 노출되어 마모에 대한 저항성이 요구된다. 이러한 콘크리트 포장의 마모저항성은 콘크리트의 수화구조와 직결되며 치밀한 수화구조에 따른 수밀성과도 관계된다고 볼 수 있다(원종필, 2009). 이러한 콘크리트 포장 구조를 치밀화할 수 있는 광물질 혼화재인 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 사용하여 잠재수경성반응과 포졸란반응의 효과에 의한 콘크리트 내부의 수화구조를 밀실화하고자 하였다. 콘크리트 포장 구조의 마모저항성실험 결과 그림 7과 같이 OPC에서

0.63mg/mm<sup>2</sup>이 감량되었으며 O70SG15FA15에서는 0.47mg/mm<sup>2</sup>으로 나타났다. 이러한 결과는 플라이애시(FA) 및 고로슬래그 미분말(SG)을 사용한 콘크리트 교면포장의 마모 저항성이 우수하다는 것을 나타낸다(J. Mat et al, 2002).

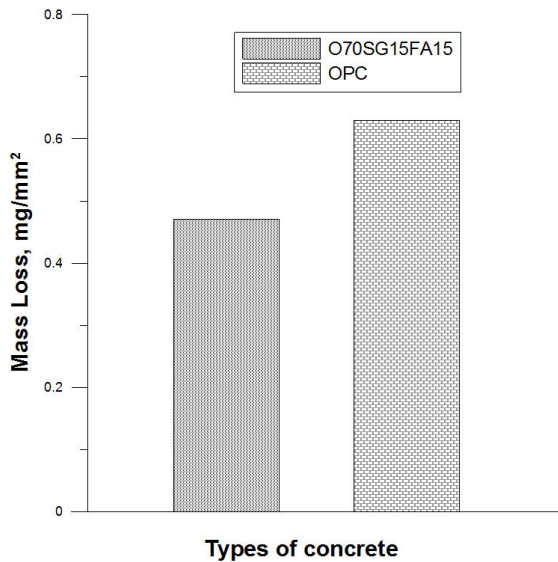


그림 7. 마모 저항성 실험에 의한 중량변화

### 4.3. 동결융해

일반적으로 콘크리트 포장은 비, 바람, 눈, 일조 등과 같은 여러 종류의 기상작용의 영향을 받고 있으며, 이로 인하여 동해, 온도변화 및 건조와 수분의 반복 침투 작용에 의한 수축팽창이 발생하며 동결융해 작용은 매년 겨울이 되면 발생되기 때문에 장기간동안 콘크리트의 내구성을 저하시킨다. 이러한 동결융해는 큰 공극 속 물의 동결로 생기는 수압 및 모세관 공극 속 용액의 부분적인 동결로 인한 침투압 상승영향으로 인한 내부 팽창 및 균열 현상의 원인이 되며(T.C. Powers,1958) 본 연구에서는 광물질 혼화제인 고로슬래그 미분말(SG) 및 플라이애시(FA)를 사용한 3성분계 시멘트 콘크리트 교면 포장의 동결융해 저항성을 평가하기 위하여 OPC와 O70SG15FA15를 비교하여 동결융해 시험을 하였다.

실험 결과는 그림 8 및 그림 9와 같이 O70SG15FA15에서 우수하게 나타났으며 이는 광물질혼화제로 인한 콘크리트 세공구조의 치밀화 및 균열 억제 구조로 내동해성을 향상시킨 것으로 판단된다.

### 4.4. 알칼리골재 반응성

최근 서해안 고속도로의 일부 시멘트 콘크리트 포장에서 알칼리골재 반응에 의하여 포장노면에 균열이 나타나는 열화가 발생하였다(홍승호 외, 2006). 이러한 알칼리 골재반응은 시멘트에 존재하는 알칼리 성분인 Na<sup>+</sup> 과 K<sup>+</sup>이온이 pH가 높은 환경에서 경화된 콘크리트 구조의 공극 용액 속에 존재

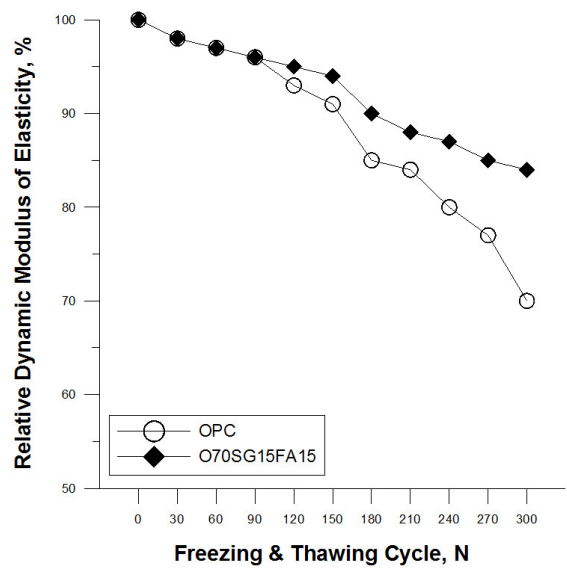


그림 8. 동결융해 저항성 실험결과

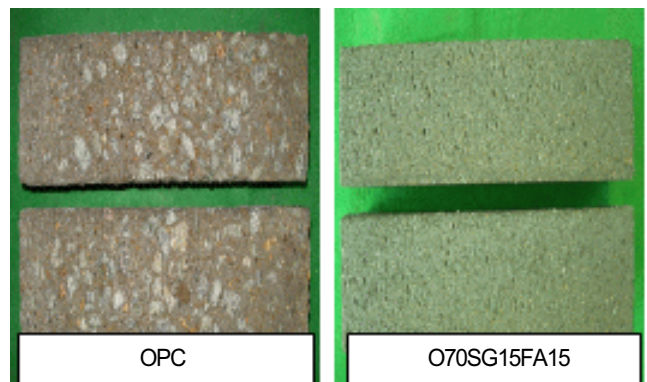


그림 9. 동결융해 저항성 실험 육안평가

하면서 골재의 반응성 실리카와 반응하여 겔(ASR gel)을 생성한다. 이러한 팽창성 겔은 내부 및 외부로부터 수분이 공급될 때 팽창이 발생하게 되며 일정량 이상 생성되는 경우 콘크리트 내부의 반응성 겔의 팽창력이 콘크리트의 인장응력을 초과하게 되면 균열이 발생하게 된다.

본 연구에서는 광물질혼화제인 플라이애시 및 고로슬래그 미분말을 시멘트 대체혼입으로 시멘트 콘크리트의 등가알칼리(Na<sub>2</sub>O+0.658K<sub>2</sub>O)량 감소와 포졸란 반응 및 잠재수경성 반응에 따른 콘크리트 포장 내부 수화구조의 치밀화 효과로 알칼리금속 이온과 수분의 이동을 억제하여 팽창성겔의 생성 억제 및 팽창성겔의 2차적인 수분흡수에 따른 팽창을 억제하고자 하였다.

그림 10은 반응성골재를 사용한 16일간의 실험결과이다. 일반콘크리트(OPC)의 경우 0.312%의 팽창량을 보이며 ASTM C 1260의 유해 기준인 0.2%를 상회하는 결과가 나타났지만 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 사용한 3성분계 시멘트 콘크리트에서는 0.072%를 나타내며 ASTM C

1260의 무해 기준인 0.1%보다 낮게 나타났다. 이러한 결과는 플라이애쉬와 고로슬래그 미분말의 혼입에 따른 영향으로 판단되어진다.

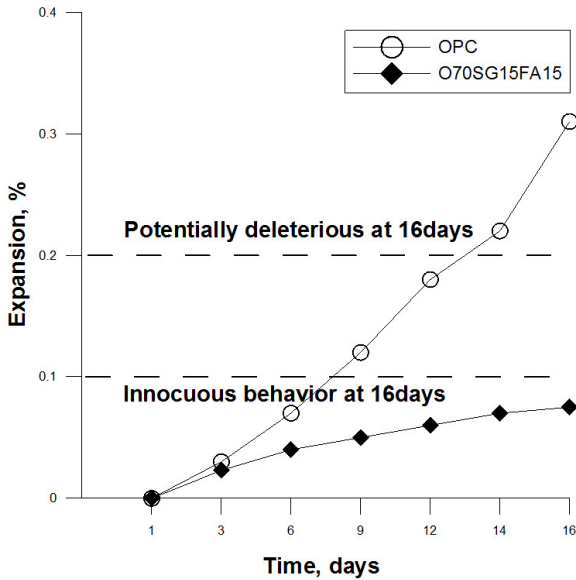


그림 10. 알칼리골재 반응성 실험 결과

#### 4.5. 부착성능

교량 상판의 덧씌우기나 노후된 도로의 보수처럼 콘크리트 포장 구조물은 새로운 콘크리트가 기존 콘크리트에 적용되어 신·구 콘크리트로 구성된 복합 구조체를 이루며 두 가지의 서로 다른 콘크리트로 구성된 구조물의 성능은 이 두가지 구조체의 부착강도에 의해서 구조물로서의 성능이 크게 좌우된다. 부착강도시험은 경사전단시험, 직접전단시험, 할렬인장시험, 직접인발시험의 네 가지 방법이 있으며 건설현장에서

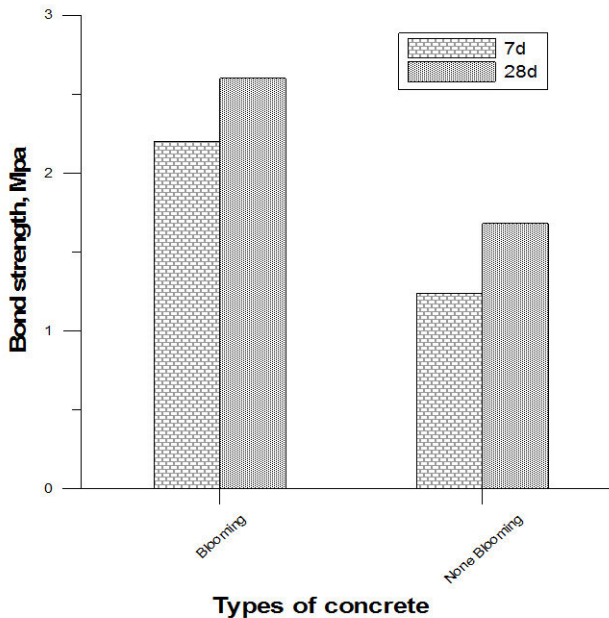


그림 11. 실내 부착강도 실험결과

는 실제 보수나 덧씌우기한 부분을 평가하기 위하여 시험체의 인장강도에 의한 실제적 부착강도를 측정할 수 있는 일축인장에 기초한 직접 인발시험을 사용하고 있다.

본 연구에서는 3성분계 시멘트 콘크리트 교면 포장층과 바닥층과의 부착강도 증진을 위하여 시멘트계 분말 및 폴리머 라텍스로 구성된 Polymer Cement Mortar인 Brooming를 사용하였으며 부착 성능을 평가하기 위하여 직접 인발시험을 시험 배합 및 시공 조건인 O70SG15FA15를 사용하여 Brooming의 사용 유무에 따른 실내시험 및 Brooming을 사용한 현장 시험시공을 통한 각각의 부착성능을 실험하였다.

실내시험결과 그림 11과 같이 Brooming를 사용한 시험체의 채령 7일 및 28일에서 모두 우수한 결과를 나타냈다.

### 5. 친환경 고성능 3성분계 시멘트 콘크리트 교면 포장의 현장시험 시공 평가

#### 5.1. 현장시공 개요

콘크리트 교면 포장에 광물질 혼화제인 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬를 사용함으로써 경제적, 환경적 이익 및 내구성능을 증진함으로써 공용성을 우수하게 하는것에 현장시험 시공의 목적이 있다. 현장시험 시공 위치는 경기도 여주군 금사면 금사리 225-2 여주~양평간 건설공사(2공구) 현장의 고속도로 45호선 중부내륙 고속도로 북여주IC교에 시험시공을 하였다. 또한 광물질 혼화제인 고로슬래그 미분말 및 플라이애쉬를 사용한 친환경 고성능 3성분계 시멘트 콘크리트 교면 포장의 평가를 위하여 기존 고속도로 전문시방서와 국내 및 국제 시험 규격을 사용하였다. 다음 표 10은 시험시공에 사용된 최종 배합이며 고성능 AE감수제(D사), AE제(D사) 및 섬유보강제(A사)는 실내 시험과 동일한 기준으로 첨가하였다.

표 10. 시험시공 배합

G <sub>max</sub>	Slump (cm)	Air (%)	W/B	S/a	Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	SG	FA	S	G
13	180±25	6.0±1.5	40	56	168	298	64	64	923	734

#### 5.2. 현장시험시공

친환경 고성능 3성분계 시멘트 콘크리트 교면 포장의 현장 시험시공은 총 621m<sup>2</sup>을 평균 슬럼프 180±25cm 및 공기량 6.0±1.5%로 고속도로공사 전문시방서 접착식 교면 포장용 시멘트 콘크리트 배합기준에 만족하도록 하였으며 부착강도 증진 및 바닥판 보강을 위한 전용 함침재료인 Polymer Cement Mortar인 Brooming을 그림 12와 같이 포설하였다.



친환경 고성능 3성분계 시멘트 콘크리트는 다음 그림 13과 같이 테크피니셔를 사용하여 포설 및 마감하였다. 또한 그림 14의 양생제는 고속도로 전문시방서의 0.4 l/m<sup>2</sup>를 기준으로 하여 살포하였다.



그림 12. 함침재(Brooming) 작업



그림 13. 콘크리트 포설



그림 14. 양생제 살포

### 5.3. 친환경 고성능 3성분계 시멘트 콘크리트 교면 포장 현장시험시공 결과 및 평가

표 11은 친환경 고성능 3성분계 시멘트 콘크리트 교면 포장 현장시험의 공용성 및 내구성 평가를 위한 실험 항목별 기

준 및 결과이며 압축강도, 휨강도 및 부착강도는 고속도로 전문시방서에 기술되어 있으며 염소이온 침투 저항성에 대한 기준은 ASTM C 1202에 표 8과 같이 명시되어 있다.

겨울철 제설제 사용에 따른 열화에 대한 기준은 SS 137244(Swedish testing standard)의 표면박리저항성의 등급을 사용하였으며 동결융해 저항성은 SHRP(Strategic Highway Research Program)에서 정의한 High Performance Concrete의 동결융해 내구성지수인 80%이상을 기준으로 하였다. 또한 알칼리골재반응에 대한 기준은 현장 13mm 골재를 사용하여 표 11에 나타난것과 같이 ASTM C 1260의 팽창성 0.1% 이하를 기준으로 하였다.

시험시공 시험결과 압축강도, 휨강도 및 부착강도에서 고속도로전문시방서의 기준을 상회하는 우수한 결과를 나타냈으며 표면박리저항성은 Acceptable 등급, 염소이온침투 저항성 983 Coulomb, 동결융해저항성 내구성 지수 80% 및 알칼리골재반응실험의 팽창성 0.041% 미만으로 알칼리골재반응에 대하여 무해한 것으로 나타났다.

표 11. 공용성 및 내구성 평가를 위한 실험 항목별 기준 및 결과

시험명	시험규격	단위	시험시공 결과	평가기준	
				기준치	비고
압축강도( $f_{28}$ )	KS F 2405	MPa	35.4	21 이상	고속도로
휨 강 도( $f_{28}$ )	KS F 2408	MPa	6.40	4.5 이상	공사전문
부착강도( $f_{28}$ )	KS F 9001	MPa	1.99	1.4 이상	시방서
동결융해 저항성	ASTM C 666	%	81.0	80% 이상	SHRP
염소이온침투 저항성	ASTM C 1202	Coulombs	983	1000 이하 (Very Low)	ASTM
표면박리저항성	SS 137244	Rating	Acceptable	Acceptable	SS
알칼리골재반응	ASTM C 1260	%	0.041	0.1% 이하	ASTM
현장건조수축균열	현장 추적 조사	Visual	무균열	균열 유·무	육안조사

또한, 다음 그림 15 및 16은 현장시험시공 후 복여주IC교의 전경을 나타낸 것으로 육안조사 결과 균열에 대한 문제가 없는 것으로 나타났다.



그림 15. 복여주IC교 시험시공후 전경





그림 16. 복여주IC교 시험시공후 교면상태

## 6. 결론

본 연구는 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 시멘트 대체 혼입하여 사용한 3성분계 시멘트 콘크리트 교면 포장의 성능 및 적용성 평가를 하기 위하여 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 고로슬래그 미분말 및 플라이애시를 사용한 3성분계 시멘트 콘크리트 교면 포장의 강도 특성을 고찰한 결과, 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 혼입률 변동에 따라 압축강도의 거동이 다르게 나타났으며 O70SG15FA15를 사용한 현장 시험시공의 압축강도 및 휨강도는 고속도로 전문시방서의 기준을 상회하는 우수한 결과를 나타냈다.
2. 염화물에 의한 열화 및 매년 반복적인 기온 낙차에 대한 내구성을 판단하기 위한 염소이온 침투저항성, 표면 박리저항성 및 동결융해에 대하여 실험결과 O70SG15FA15는 매우낮은 염소이온 침투성과 우수한 표면 박리저항성 및 동결융해저항성을 나타내며 염화물 및 동해에 따른 복합적인 열화에 대한 저항성을 가지는 것으로 판단되어진다.
3. 차량 하중에 의한 물리적인 마모 저항성 실험결과 O70SG15FA15는 OPC보다 약 1.3배 정도의 우수한 마모 저항성을 나타냈으며 현장시험시공의 추적조사를 통한 육안조사결과 균열에 대한 문제가 없는 것으로 나타났다.
4. 알칼리 잠재 반응성을 가지고 있는 골재를 사용한 ASTM C 1260 실험결과 OPC에서 0.312%의 유해결과를 나타내었지만 O70SG15FA15에서는 0.072%의 무해한 기준을 나타냈다. 이러한 결과는 플라이애시 및 고로슬래그 미분말의 혼입의 영향으로 알칼리 골재반응이 억제 되어진 것으로 판단된다.
5. 부착강도 증진 및 바닥판 보강을 위한 Polymer Cement Mortar인 Brooming을 사용한 O70SG15FA15의 실내 시험 및 현장시공 부착강도 시험결과 국내기준인 2.1MPa

을 상회하는 우수한 결과가 나타났다.

6. 종합적인 실험 및 시험시공결과 광물질 혼화제인 고로슬래그 미분말과 플라이애시를 교면 콘크리트 포장에 적용함으로써 산업부산물의 재활용에 따른 친환경성, 경제적 효과 및 우수한 내구성의 향상을 가져올 것이라 판단된다.

## 참고 문헌

- 고속도로공사 전문시방서 토목편(2006), 한국도로공사, 10-26
- 국토해양부(2008) “한국형 포장설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구”, 2단계 4차년도 최종보고서.
- 박대근(2004) “무근콘크리트포장 초기균열 거동 연구”, 한국도로학회 논문집, No.6-2, pp.47-59
- 원종필(2009) “질산칼륨 혼화제를 사용한 대단면 급속 포장 콘크리트의 균열 및 내구 특성”, 콘크리트학회 논문집, 제 29호 14편 pp.101~108
- 한국건설기술연구원(2006) “콘크리트 교량의 내구성 향상 기술 개발”, 2006-086
- 한승환(2010) “친환경 시멘트 콘크리트포장 연구 개발 동향”, 한국도로학회, No.12-2
- 홍승호, 한승환, 윤경구(2006) “알칼리-실리카 반응에 의한 시멘트 콘크리트 포장 파손사례”, 콘크리트학회 논문집, 18권 제3호 pp.355~360
- 元 丈, 悦郎, 宮原茂, 大門 機(2003) “セメントの水反応に及ぼすの類とキャラクターの影”, セメント・コンクリート論文, No.57, pp.30-37
- J. Mat(2002) “Effect of Source of Fly Ash on Abrasion Resistance of Concrete”, American society of civil engineers, Volume 14, Issue 5, pp. 417-426
- Masaki Daimon, Seung-Heum Lee(2005) “Hydration of fly ash cement”, Cement and Concrete Research 35, pp.1135-1140
- Michael D.A. Thomas, Phil B.Bamforth(1999) “Modelling chloride diffusion in concrete effect of fly ash and slag”, cement and concrete research 29, pp.487-495
- P.Kumar Mehta, Paulo J.M.Monteiro(2006) “concrete microstructure properties and materials”, pp110-120
- P.S Song, S. Hwang, B.C. Sheu(2005) “Strength properties of nylon and polypropylene fiber reinforced concretes”, cement and concrete research 35, pp.1546-1550
- T.C. Powers(1958) “The Physical Structure and Engineering Properties of Concrete”, Portland Cement Association, Bulletin 90
- Zia, P., Leming, M.L., Ahmad, S.H.(1991), “High Performance Concrete A State of the Art Report”, Strategic Highway Research Program, SHRP C/FR 91-103.

접 수 일 : 2011. 1. 27

심 사 일 : 2011. 2. 9

심사완료일 : 2011. 3. 14