



## 교량 바닥판 콘크리트의 내구성 증진을 위한 실험적 연구

서진원<sup>1)\*</sup> · 이지영<sup>1)</sup> · 구본성<sup>1)</sup> · 신도철<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>한국도로공사 <sup>2)</sup>한국건설품질시험원

## An Experimental Study for Improving the Durability of Concrete Bridge Decks

Jin-Won Suh<sup>1)\*</sup>, Ji-Young Rhee<sup>1)</sup>, Bon-Sung Ku<sup>1)</sup>, and Do-Chul Shin<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Korea Expressway Corporation, Hwaseong 445-812, Korea

<sup>2)</sup>Korea Construction Quality Test, Pyeongtaek 451-851, Korea

**ABSTRACT** Concrete bridge decks are directly exposed to the severe environmental conditions such as rain water and deicing chemicals resulting in the freeze-thaw action and the rebar corrosion during their service life. These deteriorations of bridge decks shorten the service life and consequently they are the major concerns of the maintenance. The high performance concrete (HPC) deck is proposed as the alternative to minimize the deterioration problems. To develop more durable concrete deck, the performance characteristic tests of HPC mixtures were carried out. In this study, 4 different concrete mixtures were used varying the mineral admixtures as the cement replacement; ordinary portland cement (OPC), 20% fly ash (FA), 20% fly ash with 4% silica fume (FS), and 40% ground granulated blast-furnace slag (BS). The design compressive strengths of HPC specimens were 27 MPa and 35 MPa, respectively. The results showed that the compressive strength of concrete did not much affect the durability of concrete. HPC with fly ash and silica fume (FS) were turned out to have the good durability and crack resistance.

**Keywords :** bridge deck, high performance concrete, durability, mineral admixtures

### 1. 서 론

교량 바닥판은 공용 기간 동안 차량하중 및 다양한 환경 조건 (동결융해, 우수 및 용빙제)에 직접적으로 노출되어 있는 부재이다. 이로 인해, 교량 바닥판은 다른 주요 부재에 비해서 다양한 결함 및 손상이 자주 발생하여, 고속도로상의 문제 교량은 대부분 바닥판에 결함을 지니고 있다. 따라서 바닥판의 내구성 증진은 교량의 수명 연장으로 이어지는 가장 직접적인 대책이라고 할 수 있다. 이러한 이유로 외국의 경우는 콘크리트 바닥판을 지속 가능 콘크리트, 즉, 고성능콘크리트 (high performance concrete, HPC)로 시공하는 사례가 늘어나고 있는 추세이다<sup>1)</sup>. 특히 덧씌우기 포장이 없는 포장 일체식 (노출) 콘크리트 바닥판의 경우, 염화이온 침투에 의한 상부철근의 부식으로 박락 및 동결융해에 의한 박리 등의 손상이 발생하는 경우가 지배적이므로, 요구되는 가장 중요한 성능은 고내구성이라 할 수 있다<sup>2)</sup>.

그러므로, 고속도로 교량의 콘크리트 바닥판에 적용할 수 있는 고성능 콘크리트의 배합비를 도출하고자, 혼화재를 포함한 다양한 배합 조건에 대하여 굳지 않은 콘

크리트 성능, 경화 후 내구 성능 및 균열 저항 성능을 비교 평가하였다.

### 2. 사용 재료와 배합설계

#### 2.1 사용 재료

##### 2.1.1 시멘트와 광물질 혼화재

시험에 사용된 시멘트는 KS L 5201 (포틀랜드시멘트)에 나타나 있는 규정을 준수한 제품을 사용하였으며, 광물질 혼화재로 플라이애쉬 (FA), 실리카폼 (SF), 고로슬래그미분말 (BS)을 사용하였다.

본 시험에서 플라이애쉬는 국내산 중 그 품질이 비교적 안정적이라고 알려진 당진산을 사용하였으며, KS L 5405에 준해서 품질시험을 실시하였다. 실리카폼은 국내에 시공 실적이 있는 K사의 제품으로 KS F 2567에 준하는 재료를 사용하였다. 고로슬래그미분말은 KS F 2563의 고로슬래그미분말 Type 1에 해당하는 제품을 사용하였다.

본 연구에 사용된 시멘트 및 광물질 혼화재의 화학 성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

##### 2.1.2 골재

잔골재는 비중 2.6, 조립률 2.76인 세척사를 사용하였

\*Corresponding author E-mail : jw\_seo@ex.co.kr

Received July 15, 2006, Accepted April 30, 2007

©2007 by Korea Concrete Institute

**Table 1** Chemical compositions and physical properties of cements and mineral admixtures

Items Types	Chemical composition(%)							Physical properties	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Ig. loss	Specific gravity	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
OPC	19.88	4.87	3.11	61.56	2.95	2.82	2.93	3.15	3,120
FA	52.30	25.50	6.10	3.40	0.90	-	4.30	2.39	3,590
SF	93.20	0.33	0.53	0.10	0.35	-	-	2.20	190,000
BS	31.88	12.64	0.39	42.46	6.38	3.63	0.65	2.92	4,930

으며, 굵은골재는 바닥판의 골재최대치수 기준인 25 mm 쇄석골재를 사용하였다. 각 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

2.1.3 혼화제

본 시험에서는 최근에 고강도콘크리트에 주로 사용되고 있는 폴리칼본산계 고성능AE감수제를 사용하였으며, 기본 배합시험에 사용된 혼화제의 특성은 Table 3과 같다. 이때 결합재 사용 조건에 따른 공기량 조절을 위해 별도의 AE제를 추가로 사용하여 공기량이 5.5±1.0% 범위에 들어오도록 조정하였다.

2.2 배합설계

현행 고속도로 교량의 콘크리트 바닥판에 적용되는 배합비 기준을 근거로, 슬럼프, 공기량 등의 기본적인 배

**Table 2** Physical properties of aggregates

Items Types	G <sub>max</sub> (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	F.M.
Fine Agg.	-	2.602	0.76	2.76
Coarse Agg.	25	2.617	0.62	6.86

**Table 3** Properties of admixture

Agent	Main component	Color	Specific gravity	Decrease	Quantity (cement × %)	Note
Superplasticizer	Polycarboxylic	Light yellow	1.19	20~23%	0.5~1.5%	<ul style="list-style-type: none"> <li>Standard type</li> <li>Solidity : 21.1%</li> </ul>

**Table 4** Conditions of concrete mixture

G <sub>max</sub> (mm)	Design strength (MPa)	W/B	Slump (mm)	Air content (%)	Agent
25	27, 35	0.37~0.41	120~150	5.5±1	Superplasticizer

**Table 6** Mixture proportions

Classification	W/B (%)	S/A (%)	Water (kg)	Binder (kg)				Fine agg. (kg)	Coarse agg. (kg)	Superplasticizer (kg)	
				Cement	Fly ash	Silica fume	Blast-furnace slag				
27 MPa	OPC	42.2	42.5	154	365	-	-	-	774	1,059	2.19
	FA	41.4	42.4	151	292	73	-	-	766	1,044	2.19
	FS	42.2	42.5	152	272	72	14	-	765	1,043	2.15
	BS	42.3	42.5	150	213	-	-	142	777	1,060	2.13
35 MPa	OPC	35.6	38.9	155	436	-	-	-	684	1,083	2.62
	FA	35.1	38.9	153	349	87	-	-	674	1,067	2.62
	FS	35.8	38.9	154	327	86	17	-	672	1,064	2.58
	BS	34.1	38.7	151	252	-	-	168	689	1,091	2.52

합 조건을 Table 4에 나타내었다.

고성능콘크리트 배합을 위한 혼화제별 적정 치환율을 얻기 위해서, 기존의 적용 실적 및 연구 자료를 분석한 결과, 혼화제 별로 최적의 성능을 발휘할 수 있는 혼입량이 일정한 범위 내에서 결정되고 있는 것으로 나타났다<sup>3-5)</sup>. 또한, 교량 바닥판의 내구성 저하에 가장 주된 요인 중의 하나가 균열이기 때문에, 이를 최소화할 수 있는 혼화제 별 치환율을 Table 5와 같이 정하여, Table 6과 같이 배합을 실시하였다. 실험 변수는 보통시멘트 (OPC)를 기준으로 플라이애쉬 (FA), 플라이애쉬 + 실리카폼 (FS), 고로슬래그미분말 (BS)을 혼입한 계열 등 4가지의 경우를 고려하였으며, 각 계열당 27 MPa, 35 MPa의 두 가지 강도를 변수로 하여 총 8종의 배합에 대해 내구성을 평가하였다.

**Table 5** Mixing proportion of binders

Classification	Mix proportion (%)			
	Cement	Fly ash	Silica fume	Blast-furnace slag
OPC	100	-	-	-
FA	80	20	-	-
FS	76	20	4	-
BS	60	-	-	40

### 2.3 실험 항목

본 연구에서는 경화 전, 후의 콘크리트 내구 성능을 평가하기 위해서 Table 7과 같이 11가지 항목에 대해서 실험을 실시하여 분석하는 것으로 하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 압축강도

결합재 사용 조건에 따른 콘크리트 강도발현 특성은 Table 8과 같이, 시멘트 단독 사용 조건 (OPC 27, 35)에 비해 혼화제로 플라이애쉬와 고로슬래그미분말을 사용하는 조건이 초기 3, 7일 강도발현은 낮지만 28, 56일 장기로 진행함에 따라 강도 증진율이 높게 나타나고 있다. 28일 강도 기준으로는 시멘트 중량의 일부를 혼화제로 치환하여 사용하는 조건이 장기강도에서는 더 높게 나타났다.

결합재 종류에 따라서는 고로슬래그미분말을 40%로 혼합 사용하는 조건이 강도가 가장 높게 나타났으며, 특히 장기강도 증진율이 높은 것으로 나타났다. 1종 시멘트에 플라이애쉬를 20% 단독 혼합하는 조건에 비해 포졸란 작용이 우수한 실리카폼 4%를 함께 사용하는 조건이 다소 양호한 경향을 보여주고 있다.

Table 7 Test items

Items		Standard	Day	Note
Fresh	Slump	KS F 2402	Mixing	-
	Air content	KS F 2401	Mixing	-
	Compressive strength	KS F 2405	3, 7, 28, 56 days	-
	Cracking tendency	AASHTO designation PP.34-98	28 days	O-ring test
Hardened	Length change	KS F 2424	12 weeks	-
	Freeze-thaw resistance	KS F 2456	Every 30 cycles	Type a 300 cycles
	Permeability	KS F 2711	28, 56, 90 days	RCPT
	Chloride ion penetration	KS F 4930	40 days ponding	Penetration depth
	Scaling resistance	ASTM C 672	50 cycles	Visual inspection
	Abrasion test	JIS K 7204	1,000 g, 500 cycles	Taper type
	Air-void	Magnifying glass	28 days	-

Table 9 Length change ratio

Classification		Length change ratio( $\times 10^{-4}$ )						
		1week	2weeks	3weeks	4weeks	6weeks	8weeks	12weeks
27 MPa	OPC	-0.64	-1.23	-1.64	-2.86	-3.48	-4.27	-5.06
	FA	-0.70	-1.31	-1.75	-2.67	-3.20	-4.10	-4.56
	FS	-0.39	-0.83	-1.26	-2.36	-3.13	-4.02	-4.70
	BS	-0.55	-1.14	-1.58	-2.57	-3.26	-4.25	-5.13
35 MPa	OPC	-1.58	-2.22	-2.64	-3.64	-4.61	-5.59	-6.22
	FA	-1.31	-2.22	-2.78	-3.78	-4.17	-5.21	-5.79
	FS	-1.78	-2.54	-3.07	-4.01	-4.28	-5.38	-5.84
	BS	-0.73	-1.40	-2.01	-3.28	-4.32	-5.50	-6.31

Table 8 Properties of fresh concrete and compressive strength of hardened concrete

Classification	Slump (mm)	Air content (%)	Compressive strength (MPa)				
			3 days	7 days	28 days	56 days	
27 MPa	OPC	120	5.4	24.5	28.4	34.2	38.5
	FA	115	5.2	22.5	27.1	33.8	41.6
	FS	125	5.3	20.5	26.8	35.3	40.4
	BS	110	5.6	22.6	26.2	34.7	43.9
35 MPa	OPC	125	5.4	30.1	35.1	42.6	45.9
	FA	130	5.5	30.0	34.3	42.4	48.6
	FS	125	5.2	27.2	33.9	44.0	50.5
	BS	115	5.0	25.0	33.6	43.1	53.1

### 3.2 콘크리트 길이 변화

시험 결과는 Table 9와 같이, 강도에 따라서 콘크리트 건조수축에 의한 길이변화는 단위 결합재 함량에 영향을 주로 많이 받으며, 단위 결합재량이 많은 35 MPa 조건이 27 MPa 조건에 비해 전체적인 건조수축 값이 약 23% 정도 큰 것으로 나타났다.

결합재 사용 조건에 따라서는 시멘트 단독 사용 조건에 비해 플라이애쉬 (FA)를 혼합 사용하는 조건이 건조수축량이 약 10% 정도 적은 것으로 나타났다. 고로슬래그미분말 (BS)을 혼합하는 조건도 동일한 배합 조건에서

상대적으로 단위 결합재 사용량의 저감으로 인해 건조수축량이 시멘트 단독 사용하는 조건에 비해 동등 이하 수준으로 나타났으나 장기 재령으로 갈수록 건조수축량이 증가하여 마지막 12주에는 일반 시멘트를 사용한 조건(OPC)의 길이 변화율보다 더 높은 증가 양상을 보였다.

따라서, 슬래브와 같이 건조수축이 많이 일어나는 부위에서 건조수축에 의한 균열 저감을 위해서는 단위 결합재 사용량의 저감 (또는 강도 조정)이나 시멘트 일부를 플라이애쉬로 대체하여 사용하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

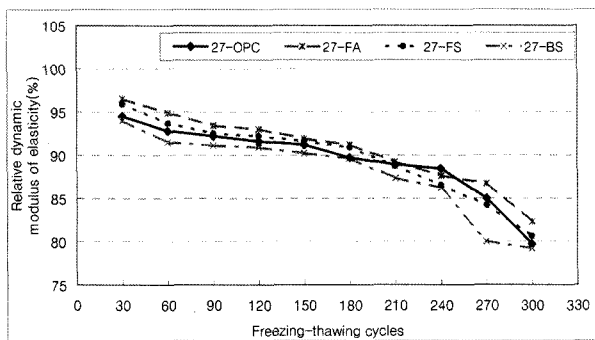
### 3.3 동결융해저항성

강도 수준에 따른 동결융해저항성은 Fig. 1에 나타난 바와 같이, 27 MPa 배합에 비해 고강도인 35 MPa 배합이 다소 양호한 것으로 나타났지만, 그 증진 효과는 전체적으로 2~6% 수준으로 작게 나타나고 있다.

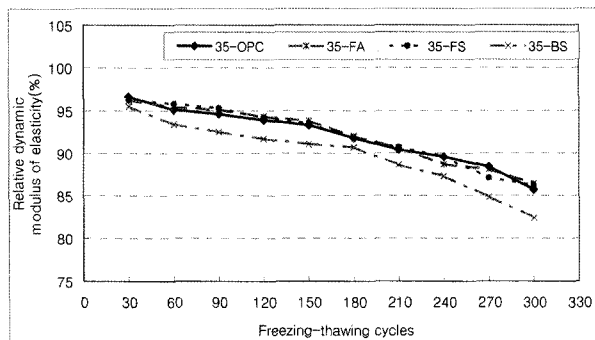
또한, 고로슬래그미분말 사용 조건 (BS)은 시멘트 단독 사용에 비해 동결융해저항성이 감소하는 것으로 나타났으나, 다른 혼화재 사용 조건은 시멘트 단독 사용 조건과 전반적으로 유사한 것으로 나타났다.

### 3.4 염소이온 침투 저항성

실험 결과는 Table 10에 정리하였다. 강도 수준에 따라서는 35 MPa 배합 조건이 낮은 물/결합재비, 높은 결합재 사용량 등의 영향으로 27 MPa 배합의 83% 수준으로 염소이온 침투 저항성이 더 양호한 것으로 나타났다. 결합



(a) 27 MPa



(b) 35 MPa

Fig. 1 Freezing-thawing cycle and relative dynamic modulus of elasticity

Table 10 Results of rapid chloride permeability test

Classification		Measurement result (coulomb)			Chloride ion permeability
		28 days	56 days	90 days	
27 MPa	OPC	2,158	1,747	1,583	Low
	FA	1,953	1,453	1,173	Low
	FS	1,299	1,032	874	Very low
	BS	1,416	1,079	850	Very low
35 MPa	OPC	1,670	1,475	1,381	Low
	FA	1,657	1,287	1,124	Low
	FS	1,153	1,054	830	Very low
	BS	1,184	1,031	864	Very low

재 사용 조건에 따라서는 시멘트를 단독으로 사용하는 조건에 비해 혼화재를 사용하는 것이 양호한 것으로 나타났다.

특히, 플라이애쉬를 단독으로 혼합 사용하는 조건 (FA)은 염소이온 투과성 (coulomb)이 시멘트 단독 사용 조건 (OPC)의 77% 정도로 나타났으나, 플라이애쉬를 실리카 폼과 함께 혼합 사용하는 조건 (FS)은 54%로 나타나 실리카폼을 혼입하여 사용하는 것이 염소이온 침투 저항성을 크게 향상시키는 것으로 나타났다. 고로슬래그미분말을 혼합하는 조건 (BS)도 47%로 나타나 염소이온 침투 저항 성능이 크게 향상되는 것으로 나타났다.

이상의 결과로부터 염소이온 침투 저항성 향상을 위해서는 콘크리트 강도의 고강도화나 단위 시멘트 사용량을 증가시키는 방향보다는, 혼화재로 고로슬래그미분말 또는 플라이애쉬와 실리카폼을 혼합 사용하는 조건 (BS, FS)에서 효과가 큰 것으로 나타났으며, 혼화재를 사용하는 조건은 강도를 높여도 염소이온 투과 저항 성능에 미치는 효과가 크지 않은 것으로 나타났다.

### 3.5 염분침투 깊이

염소이온에 대한 침투 저항 성능을 3.4 절의 RCPT와는 별도로 KS F 4930에 따라 수행하여 Fig. 2에 정리하였다. 실험 결과, 강도에 따라서는 35 MPa의 배합 조건이 시멘트 단독 사용 조건에서 염분침투 깊이가 감소하는 경향을 보여 주었으며, 전체적으로는 27 MPa 배합에 비해 염분침투 깊이가 86% 수준으로 나타났다.

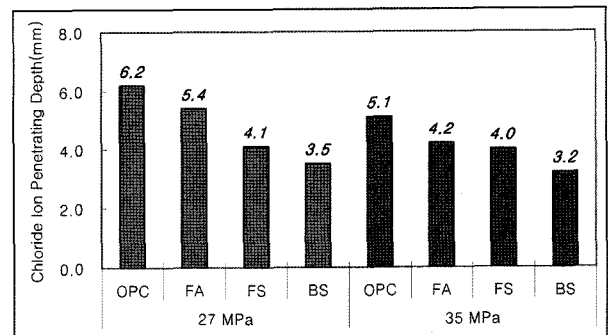


Fig. 2 Chloride ion penetrating depth

염분침투 깊이는 혼화재를 사용하는 경우 그 차이가 뚜렷하게 나타나는데, 플라이애쉬 혼합 조건 (FA)은 보통시멘트 (OPC)의 약 87%, 플라이애쉬와 실리카폼 혼합 조건 (FS)는 66%, 고로슬래그미분말 혼합 조건 (BS)은 약 57% 수준으로 나타났다.

RCPT 시험의 결과와 유사하게, 콘크리트 내부로 침투하는 염소이온을 억제하기 위해서는 콘크리트의 고강도화 보다는 혼화재 사용이 유효하다는 것을 보여주고 있으며, 첨가재 조건에서는 고로슬래그미분말 40% (BS) > 플라이애쉬 20% + 실리카폼 4% (FS) > 플라이애쉬 20% (FA) 순으로 나타났다.

### 3.6 박리 저항성

염화칼슘 용액을 상면의 다이크에 넣고 50회 동결융해를 반복한 후, 상부 표면에 대한 육안 관찰하여 ASTM C 672 기준에 따라 평가하였다. 실험 결과, Table 11과 Fig. 3에서와 같이, 결합재량을 증가시켜 강도를 증진시키는 경우에, 박리 저항성은 유사하거나 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 단순히 강도를 증진시키는 것은 박리 저항성 향상에 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다.

또한, 결합재로 실리카폼 + 플라이애쉬 (FS) 또는 고로

슬래그미분말 (BS)을 혼합사용한 경우가 시멘트만을 사용한 경우에 비해서 박리 저항성이 양호해지는 것으로 나타났다.

### 3.7 마모 저항성

콘크리트 마모 저항성 실험은 주택공사 표준시방서의 바닥 강화재에 대한 시험 방법인 JIS K 7204에 따라 수행하였으며 이때의 콘크리트 재령은 28일이었다. 실험 결과, Fig. 4와 같이, 강도 조건에 따라서는 고강도 조건이 다소 양호한 것으로 나타났으나, 그 차이는 크지 않

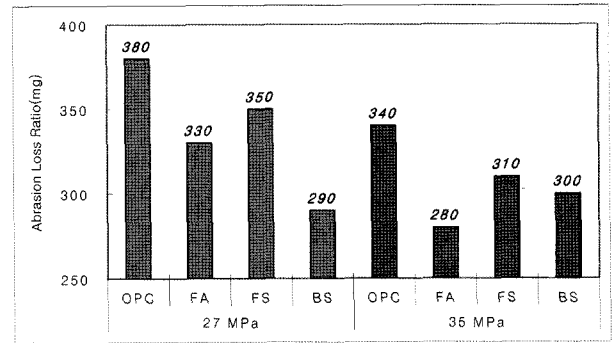


Fig. 4 Taper type abrasion test result

Table 11 Condition of surface after 50 cycles

Classification		Survey result	Rating
27 MPa	OPC	- Overall scaling, aggregate exposing	III
	FA	- Scaling in the center, aggregate exposing	II
	FS	- Aggregate exposing at the center, partially scaling	II
	BS	- Partially scaling and exposing aggregate	I
35 MPa	OPC	- Overall scaling and exposing aggregate	III
	FA	- Overall scaling and exposing aggregate	III
	FS	- Aggregate exposing at the center, partially scaling	II
	BS	- Partially scaling and exposing aggregate	II

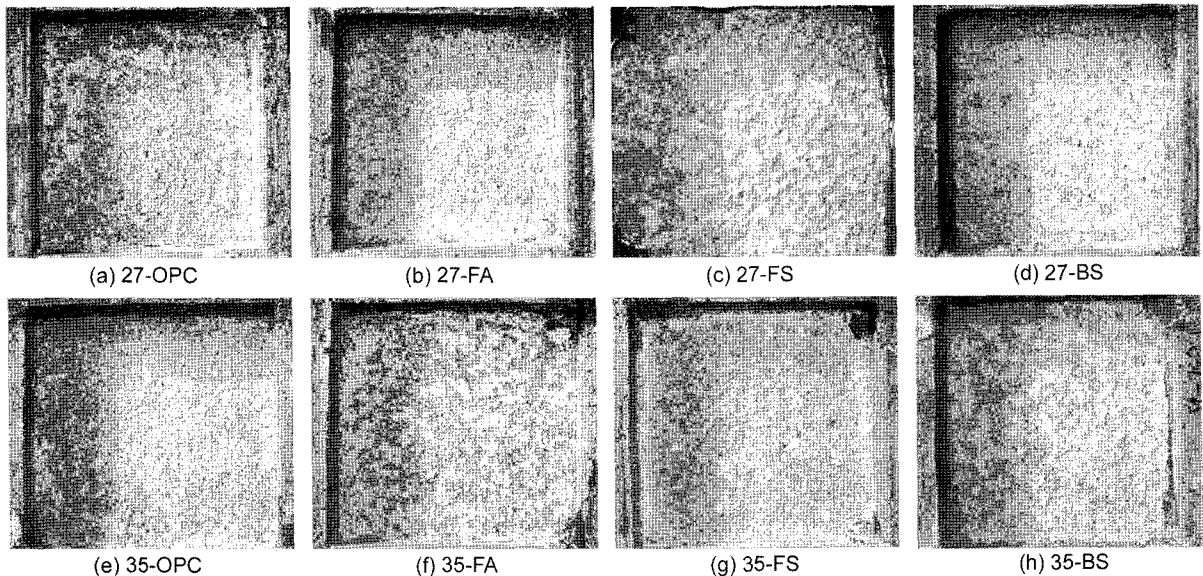


Fig. 3 Visual inspection result

았으며 혼화재의 첨가가 마모 저항성 측면에서 개선 효과가 있는 것으로 나타났다.

### 3.8 균열 저항성

콘크리트의 수축에 의한 균열 특성을 평가하기 위하여 O-ring 실험을 실시하였다. 본 실험은 내경과 외경을 갖는 도우넛 형태의 강재틀의 도우넛 내부에 콘크리트를 타설한 후, 실온에 방치하여 최초의 균열을 관측하는 것으로 AASHTO designation PP34-99에 따라 실험을 수행하고 그 결과를 Table 12에 정리하였다.

재령 21일 경과한 27 MPa 배합 중 고로슬래그미분말을 사용하는 조건을 제외하고는 콘크리트 균열이 발생하지 않았다. BS 조건에서는 상부 표면에 0.08 mm 정도의 헤어크랙이 10일 경과 후에 나타났으며, 발생된 균열에 대해 더 이상의 진행이나 폭의 변화는 나타나지 않았다. 재령 21일 이 경과한 35 MPa 배합에서는 일반 시멘트 조건 (OPC)과 고로슬래그미분말을 사용한 조건 (BS)에서 균열이 발생하였다. 균열의 폭은 27 MPa에서와 마찬가지로 미세한 형상을 취하고 있었고 추가 진전은 나타나지 않았다.

본 실험은 최초 균열발생 시기를 평가할 목적으로 실험을 진행하였으나, 예상보다 균열발생이 지연되거나, 일어나지 않았고 발생된 균열도 비교적 미세하게 나타났으며, 모든 강도의 배합에서, 플라이애쉬를 혼입하지 않은 조건에서 균열이 발생하였다.

이러한 이유는 고성능콘크리트의 경우, 낮은 물/결합재비와 단위 결합재양의 증가로 콘크리트의 건조수축 및 자기수축이 증대되는 경향이 있으나, 고성능AE감수제 사용과 자기수축 저감에 효과가 좋은 플라이애쉬를 혼입함으로써 수축에 의한 초기균열이 억제된 것으로 판단된다<sup>6)</sup>.

### 3.9 실측 현미경 관찰

콘크리트 중에 차지하는 공극률과 자연 상태에서의 수분 흡수율을 시험한 결과, Table 13에서와 같이, 강도에 따라서는 35 MPa 배합이 27 MPa 배합에 비해 다소 높은 경향을 보이고 있다. 시멘트 사용량이 많은 고강도

Table 12 Test result of cracking tendency

Classification	Measurement result	
	Crack occurrence (day)	Crack width (mm)
27 MPa	OPC	None
	FA	None
	FS	None
	BS	10.4
35 MPa	OPC	17.6
	FA	None
	FS	None
	BS	8.7

Table 13 Air void and absorption ratio

Classification	Measurement result		
	Air void (%)	Density	Absorption (%)
27 MPa	OPC	11.3	2.257
	FA	11.4	2.252
	FS	10.1	2.265
	BS	10.5	2.300
35 MPa	OPC	11.5	2.238
	FA	11.0	2.276
	FS	10.7	2.266
	BS	11.2	2.301

조건에서 공극률과 흡수율이 높게 나타난 것은 고강도일수록 치밀할 것이라는 일반적인 생각과는 상반되는 결과로 나타났다.

본 실험에서 혼화재 첨가에 따른 특성은 슬래그의 잠재수경성이나 포졸란 물질들의 포졸란반응으로 경화 조직 내부의 겔공극과 모세관공극을 채워주어 겔공극 크기 분포가 작은 쪽으로 전이함으로써 치밀해지는 효과를 나타내 공극률과 흡수율이 작아지는 것이라고 판단된다. 그러나 강도 수준에 따른 결과는 전반적으로 결합재 사용량이 높은 배합 조건이 공극률과 흡수율이 높은 경향을 보이고 있어 현 시험 수준의 강도 범위에서 결합재 함량이 높을수록 공극률이 적어지는 것은 아닌 것으로 나타났다.

Fig. 5에서 콘크리트 경화체 시편을 실체 현미경에 의한 공극과 경화 조직을 관찰한 결과에서는 혼화재를 혼합 사용하는 조건이 공극과 기포의 크기가 작고, 비교적 시멘트 단독 사용 조건에 비해 치밀한 상태를 보여주고 있다.

## 4. 결 론

내구성있는 교량 바닥판을 적용하기 위하여 고성능 콘크리트를 배합하여 내구성 시험을 실시한 결과,

- 1) 염분침투 저항 성능은 콘크리트의 강도 증진보다는 사용된 혼화재의 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.
- 2) 슬래그미분말을 혼화재로 사용하는 경우에 전반적인 내구성은 향상되는 것으로 나타났으나, 균열 저항성이 저하되는 것으로 나타나는 문제가 있었다. 따라서, 슬래그미분말을 사용하는 경우에는 균열 저항성 검토가 필요한 것으로 판단된다.
- 3) 플라이애쉬를 혼입 사용되는 조건에서는 균열 저항성이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 슬래그미분말을 플라이애쉬와 함께 혼화재로 사용하는 3성분계 결합재를 사용하는 경우에 내구성과 균열 저항성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단되므로, 이에 대해서 향후에 검토할 계획이다.
- 4) 균열 저감과 내구 성능을 종합적으로 고려한 결과,

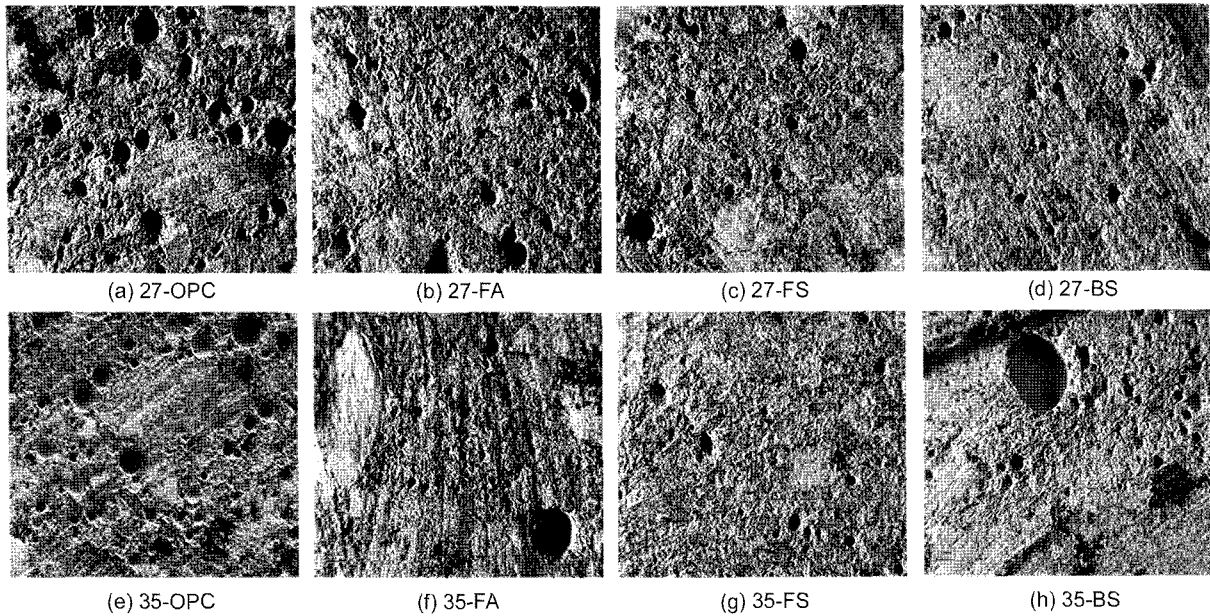


Fig. 5 Microscope images

시험 배합한 결과 중 플라이애쉬 20%와 실리카폼 4%를 결합재로 함께 사용하는 경우가 가장 효과적인 것으로 판단되어, 향후에 시험 시공을 실시하여 현장 적용성을 분석할 계획이다.

### 참고문헌

1. HPC Bridge News, FHWA and NCBC, <http://hpc.fhwa.dot.gov>.
2. 서진원, 이지영, 정해문, 콘크리트 노출 바닥판의 적용 및 유지관리에 관한 연구, ST04-03, 한국도로공사 도로교통기술원, 2005, pp.45~157.
3. H. G. Russell, R. A. Miller, H. C. Ozyildirim, and M. K. Tadros, *Compilation and Evaluation of Results from High Performance Concrete Bridge Projects*, FHWA-HRT-05-060, Federal Highway Administration, Washington, 2005.
4. Yunping Xi, et al, *Assessment of the Cracking Problem in Newly Constructed Bridge Deck*, CDOT-DTD-R-2003-3, Colorado Department of Transportation, Denver, 2003.
5. Edwin G. Burdetee, Rohi Salem, *Development of High Performance Concrete Mixture for Tennessee Bridge Deck*, TNSPR-RES1236, Tennessee Department of Transportation, Nashville, 2005.
6. 고경택, 박정준, 이종석, 김성욱, “광물질 혼화제를 사용한 고성능 콘크리트의 수축특성”, 대한토목학회 논문집, 23권 6A호, 2003, pp.1133~1141.

**요약** 교량 바닥판은 공용 기간 동안 차량하중 및 다양한 환경 조건 (동결융해, 우수 및 용빙제)에 직접적으로 노출되어 있는 부재이다. 이로 인해, 교량 바닥판은 다른 주요부재에 비해서 다양한 결함 및 손상이 자주 발생하여, 고속도로 상의 문제 교량은 대부분 바닥판에 결함을 지니고 있다. 따라서 교량 바닥판의 내구성을 확보하기 위한 방안으로 고성능콘크리트 (high performance concrete, HPC)가 대안으로 제시되었다. 교량 바닥판의 내구성을 향상하기 위해, 배합된 고성능콘크리트에 대한 내구성 실험이 수행되었다. 본 연구에 사용된 배합 변수는 총 4가지로, 1) 보통시멘트 (OPC), 2) 시멘트 중량의 20%의 플라이애쉬 치환(FA), 3) 20%의 플라이애쉬와 4%의 실리카폼 치환 (FS), 그리고 4) 40%의 고로슬래그미분말 치환 (BS)에 대해서 내구성 실험을 실시한 후 비교 평가를 실시하였으며, 사용된 설계 압축강도는 각각 27 MPa와 35 MPa이다. 고성능콘크리트를 시험 배합한 결과, 결합재의 양을 증가시켜 강도를 증진시키는 것보다는 혼화제를 사용하는 것이 내구 성능이 크게 향상되는 것으로 나타났다. 특히 혼화제 중, 플라이애쉬와 실리카폼을 함께 결합재로 사용하는 경우가 균열 저감 및 내구 성능 증진에 가장 효율적인 것으로 나타났다.

**핵심용어** : 교량 바닥판, 고성능콘크리트, 내구성, 혼화제