

실리카퍽을 혼합한 교면 포장용 고성능 콘크리트의 단기 및 장기 성능 평가

원종필^{1)*}·서정민¹⁾·이창수²⁾·박해균³⁾·이명섭³⁾

¹⁾ 건국대학교 사회환경시스템공학과 ²⁾ 서울시립대학교 토목공학과 ³⁾ 삼성물산(주)건설부문 토목사업본부

(2005년 3월 25일 원고접수, 2005년 8월 30일 심사완료)

Short and Long-Term Properties of High-Performance Concrete Containing Silica Fume for Bridge Deck Overlay

Jong-Pil Won^{1)*}, Jung-Min Seo¹⁾, Chang-Soo Lee²⁾, Hae-Kyun Park³⁾, and Myeong-Sub Lee³⁾

¹⁾ Dept. of Civil & Environmental System Engineering, Konkuk University, Seoul, 143-701, Korea

²⁾ Dept. of Civil Engineering, University of Seoul, Seoul, 130-743, Korea

³⁾ Samsung Corporation Engineering & Construction Group, Civil Engineering Technology Team, Sungnam, 463-721, Korea

(Received March 25, 2005, Accepted August 30, 2005)

ABSTRACT

High performance concrete containing silica fume for use in bridge deck overlay emerged as a viable type of bridge deck overlay that economic advantage in construction. They have gained acceptance in Europe, America, and Canada in a relatively short time due to their low cost. In this study, high-performance concretes containing silica fume were tested and evaluated in the laboratory to assess their applicability for use in bridge deck overlay. It was conducted with experiments of mechanical and durability characteristics in compressive strength, flexural strength, chloride permeability, abrasion resistance, repeated freezing and thawing cycles and deicing salt scaling resistance. Laboratory test result describe that high-performance concrete containing silica fume for bridge deck overlay application shows most outstanding capacity.

Keywords : silica fume, bridge deck overlay, high-performance concrete

1. 서 론

교량 구조물에서 교면 포장은 매우 열악한 환경에 노출 될 뿐 아니라 일반 토공부에 비하여 가설되는 교량의 위치가 대부분 교통의 요지에 위치하게 되므로 보수에 따른 교통차단이나 우회가 대단히 어렵다. 이 때문에 교면 포장은 건설 당시에 장기적인 공용성을 갖도록 설계하고 시공되어야 한다. 아울러 동절기에는 융빙제로 인한 염화물 이온의 침투로 인한 교량 바닥판에 심각한 영향을 주기 때문에 고내구성의 콘크리트를 요구한다. 이에 내구성 개선을 위해 시멘트계 재료에 혼화재를 첨가하여 밀실한 콘크리트를 만들거나 시멘트 자체 성질의 개선을 통한 재료의 개발 등 다각적인 연구가 진행되고 있다.

실리카퍽을 혼합한 고성능 콘크리트는 1950년대부터 구주지역에서 실험적으로 사용하였으며 유럽과 일본에서 고성능 감수제의 발전으로 인하여 낮은 물-시멘트비를 가지

고도 고성능 콘크리트를 생산할 수 있게 된 후 콘크리트 구조물에 있어 그 사용이 현저하게 증가하였다¹⁾. 교면 포장에 고성능 콘크리트의 적용은 1980년대 중반까지는 본격적으로 시작되지는 않았으나 1984년 초기에 미국 12개 주 교통국에서 교면에 적용하기 위하여 평가를 시작하였다. 그 후 실리카퍽을 사용한 교면 포장용 고성능 콘크리트는 낮은 염소이온 투과성, 경제성 및 현장적용성의 용의함으로 인하여 그 적용은 급속도로 늘어나게 되었다. 이에 본 연구에서는 내구성 및 염소이온 침투저항성을 향상시키기 위해 실리카퍽을 혼합한 고성능 콘크리트 교면 포장의 적용성을 검토하기 위하여 실시하였다. 실리카퍽을 혼합한 적정 배합을 결정하기 위하여 물-시멘트비, 실리카퍽의 혼합율, 결합재의 양을 변수로 하였으며 교면 포장에서 가장 중요한 염소이온 투과성 및 압축강도를 평가하여 적정 실리카퍽 및 결합재량을 찾았다. 또한 적정 배합비에 따른 단기 및 장기 성능 평가를 실시하였으며 실험결과는 현재 국내의 교면 포장에서 적용되고 있는 라텍스 개질 콘크리트(LMC) 및 버니지아 교통국에서 제시하고 있는 교면 포장용 콘크리트의 성능 기준과 비교 평가하여 적용성을 평가하였다.

* Corresponding author

E-mail : jpwon@konkuk.ac.kr

©2005 by Korea Concrete Institute

2. 교면 포장용 고성능 콘크리트의 국외 적용 현황

교면에서의 고성능 콘크리트의 사용은 1970년대 후반 북유럽에서 시작 되었으며 미국에서 처음으로 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트를 시공한 사례는 1983년 1월 교량과 유사한 구조물의 접근 슬래브에 약 1.5m³를 타설 한 것이다²⁾. 그와 동시에 1984년 초반 미국 12개 주의 교통국에서는 교면 포장용 고성능 콘크리트에 대한 경제성, 시공성 및 역학적인 성능 평가를 실시하였으며 그 결과로 여러 주에서 교면 포장용 고성능 콘크리트를 사용하고 있다³⁾. 대부분의 미국 주 교통국에서는 경제성의 고려 사항으로 LMC의 대체 공법으로 연구가 시작되었다. LMC는 교면 포장 재료로서 뛰어난 성능을 가지고 있지만 경제성이 문제로 지적되어 성능이 LMC와 유사하면서도 경제적인 공법을 찾기에 이른 것이다. 뉴욕주 도로교통국에서는 미 연방 도로교통국(FHWA)에 "Syracuse overlay" 보고서를 제출하였는데 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트의 교면 포장 시공 방법에 대한 설명과 실리카폼의 고성능 콘크리트가 LMC의 대체재료로서의 사용을 설명하였다⁴⁾. 아울러 미래의 교면 포장 재료로서 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트의 사용을 강력히 추천하였으며 다른 많은 주에서도 교면 포장 공법에 적용을 실시하였다. 특히 오하이오주에서 많은 사용 실적으로 보이고 있다⁵⁾. Table 1은 오하이오주의 교면 포장을 종류별로 나타낸 것이다. Table 1에서와 같이 LMC는 1960년대부터 시작되었지만 현재는 실리카폼을 혼합한 교면 포장 공법과 비슷한 것으로 보아 1980년대 이후에는 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트가 많이 시공되었음을 보여준다. 1990년대 이후에는 캐나다에서도 사용되기 시작하였는데 이는 국토의 대부분이 동절기가 길고 하절기가 짧기 때문에 포장에 있어서 용빙제의 사용이 많아 콘크리트 구조물의 빠른 열화현상으로 문제를 지니고 있었다⁶⁾. 따라서 내구성을 개선

Table 1 The quantity and type of material used for overlay in Ohio, USA²⁾

Overlay type	No. of bridge deck
Concrete overlay (non specific)	196
LMC overlay	1616
Dense concrete overlay	224
Epoxy overlay	173
Asphalt overlay	4010
Superplasticized dense concrete	621
Silica fume concrete	1242

Table 2 Physical and chemical properties of silica fume

Items Type	Specific gravity	Ig. loss	Fineness (cm ² /g)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)
SF	2.2	2.8	180,000 ~ 200,000	94.0	0.3	0.8	-	0.3	0.4	0.8	0.2

하고 교량의 공용년수를 증가시키기 위해 교량에 있어서 고성능 콘크리트를 사용할 수 있는 프로그램을 수행하였고 많은 전문가 회의와 워크샵을 통해 기술을 습득한 결과 많은 구조물들이 고성능 콘크리트로 건설되었다⁶⁾.

3. 사용 재료

3.1 시멘트

본 연구에서는 비중 3.15의 H사의 1종 포틀랜드시멘트를 사용하였다.

3.2 골재

본 연구에서는 굵은골재로 최대 치수 13mm, 비중 2.65의 부순골재를 사용하였으며, 잔골재는 비중 2.60, 조립률 2.99의 강모래를 사용하였다.

3.3 혼화재료

혼화재로서 실리카폼이 사용되었으며 물리·화학적 성질은 Table 2와 같다.

4. 실리카폼 혼합율에 따른 교면 포장용 고성능 콘크리트의 영향인자 분석

4.1 배합설계

본 연구에서는 국외 연구 문헌 및 적용사례를 통하여 교면 포장용으로 사용되는 여러 배합 기준을 참고하여 물-시멘트비는 0.35, 0.37 0.40, 실리카폼의 혼합율을 6%, 9% 12

Table 3 Performance specification of bridge overly concrete

Type of concrete	Test method	Performance specification	
		LQL	UQL
LMC	Air contents (%)	3	7
	Compressive strength (MPa, at 28 days)	26.2	-
	Permeability(coulombs, at 28 days)	-	1,000
Silica fume concrete	Air contents (%)	4	8
	Compressive strength (MPa, at 28 days)	36.5	-
	Permeability(coulombs, at 28 days)	-	1,000

%, 결합재의 양 400 kg/m³, 415 kg/m³, 425 kg/m³을 변수로 하여 미국 버지니아주 교통국에서 제시하고 있는 Table 3 과 같은 교면 포장용 콘크리트의 성능 기준을 목표로 설정 하였다. 교면 포장용 콘크리트의 슬럼프는 18~22 cm로 고 정하였다. 목표 슬럼프를 맞추기 위해서 폴리카본산계 고유 동화제를 첨가하였으며 공기량 확보를 위하여 공기 연행제 를 사용하였다. 배합설계는 Tables 4~6과 같다.

4.2 시험 방법

4.2.1 압축강도

교면 포장용 고성능 콘크리트의 압축강도는 KS F 2405 에 의하여 측정하였다. $\phi 100 \times 200$ mm의 공시체를 제작하여 재령 7일, 14일, 28일에 3개씩 2회 반복하여 실시하였다.

4.2.2 염소이온 투과시험

교면 포장용 고성능 콘크리트의 간접적인 투수성을 평 가하기 위하여 ASTM C 1202-97에 준하여 시험을 실시 하였다. 시험은 재령 7일, 14일, 28일 2개씩 2회 반복하여 실시하였다.

4.3 시험 결과

실리카폼을 혼합한 교면포장 고성능 콘크리트는 목표 슬럼프 및 공기량을 만족시키기 위하여 고유동화제와 공 기연행제를 사용하였다. 사용한 고유동화제와 공기연행제 의 양은 물-결합재비가 증가할수록 감소하였고, 실리카폼 의 치환율이 증가할수록 증가하는 경향을 보여주었다 (Tables 4~6).

4.3.1 압축강도

실리카폼을 혼합한 교면 포장 고성능 콘크리트의 재령

Table 4 Mixture proportions (W/B=40 %)

Mix. no.	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)							
			W	B	C	Silica fume	S	G	SP*	AE**
1	40	55	160	400	376	24(6 %)	933	778	3.8	0.025
2					364	36(9 %)			3.9	0.025
3					352	48(12 %)			4.7	0.025
4			166	415	390	25(6 %)	918	766	4.0	0.028
5					378	37(9 %)			5.0	0.028
6					365	50(12 %)			5.3	0.030
7			170	425	399	26(6 %)	908	757	3.8	0.028
8					387	38(9 %)			4.1	0.028
9					374	51(12 %)			4.5	0.028

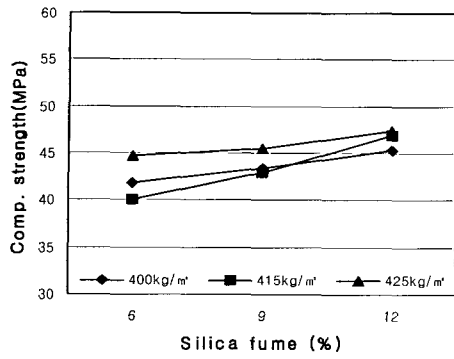
Table 5 Mixture proportions (W/B=37 %)

Mix. no.	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)							
			W	B	C	Silica fume	S	G	SP*	AE**
1	37	52	148	400	376	24(6 %)	899	845	3.8	0.027
2					364	36(9 %)			3.9	0.027
3					352	48(12 %)			4.5	0.027
4			153.5	415	390	25(6 %)	885	833	4.2	0.029
5					378	37(9 %)			5.1	0.028
6					365	50(12 %)			5.2	0.028
7			157	425	399	26(6 %)	876	824	5.3	0.026
8					387	38(9 %)			5.9	0.026
9					374	51(12 %)			6.3	0.026

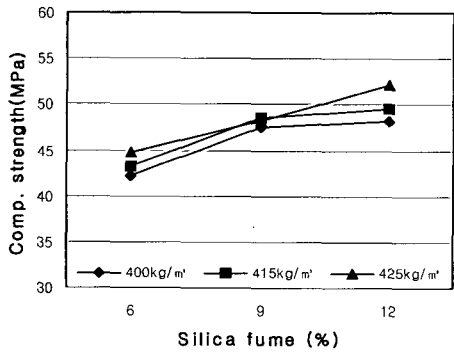
Table 6 Mixture proportions (W/B=35 %)

* superplasticizer, ** air entraining admixture

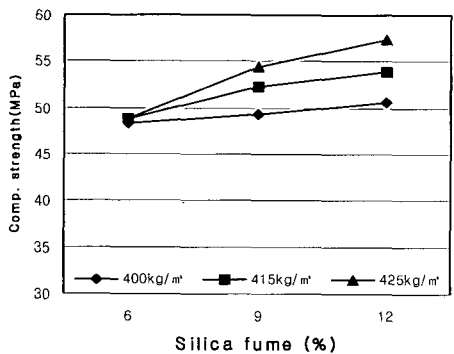
Mix. no.	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)							
			W	B	C	Silica fume	S	G	SP*	AE**
1	35	50	140	400	376	24(6 %)	875	892	5.6	0.028
2					364	36(9 %)			5.9	0.030
3					352	48(12 %)			6.1	0.029
4			145	415	390	25(6 %)	862	879	5.9	0.028
5					378	37(9 %)			6.9	0.028
6					365	50(12 %)			6.8	0.028
7			149	425	399	26(6 %)	853	869	6.1	0.030
8					387	38(9 %)			6.6	0.030
9					374	51(12 %)			7.0	0.030



(a) W/B=0.4



(b) W/B=0.37

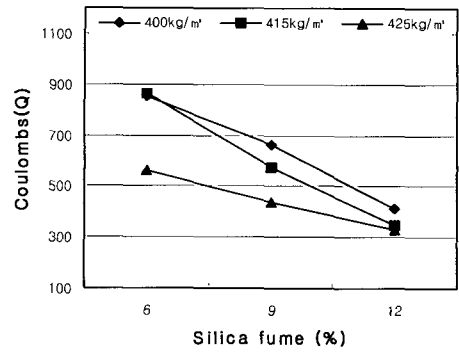


(c) W/B=0.35

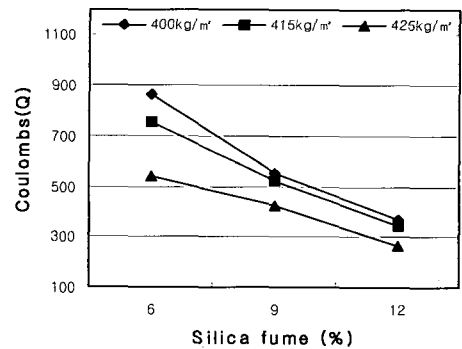
Fig. 1 Compressive strength of high-performance silica fume concrete for bridge deck overlay

에 따른 압축강도는 Fig. 1과 같다. 실리카폼을 혼합한 교면 포장용 실리카폼 콘크리트는 모든 배합에서 28일 재령의 압축강도는 40MPa가 넘는 수치를 보여주어 목표 성능 기준을 만족하였다. 그리고 물-시멘트비가 낮아질수록, 결합재의 양과 실리카폼의 혼합율이 증가할수록 높은 강도 발현을 보여 주었다. 결합재량이 콘크리트의 압축강도에 미치는 효과를 분석하기 위하여 통계학의 분석 기법인 분산분석을 실시하였다.

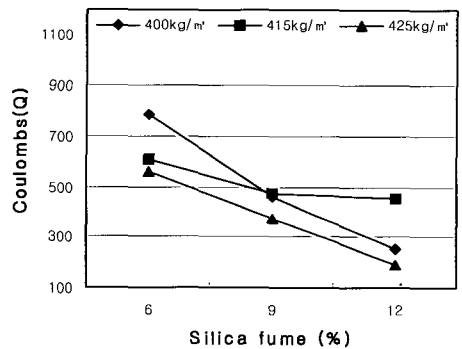
분산분석 결과 물-결합재비 0.4에서 실리카폼 치환율이 6%, 12%일 때 결합재량이 400 kg/m³, 415 kg/m³, 425 kg/m³으로 증가할수록 통계적으로 95%의 신뢰수준에서



(a) W/B=0.4



(b) W/B=0.37



(c) W/B=0.35

Fig. 2 Chloride permeability of high-performance silica fume concrete for bridge deck overlay

압축강도가 증가하는 것으로 나타났으며, 물-결합재비 0.37에서는 실리카폼 치환율이 12%일 때만 결합재량이 증가할 때 통계적으로 95% 신뢰수준에서 압축강도를 증가시키는 효과를 가지고 있었다. 또한 물-결합재비 0.35에서 결합재량의 증가는 모든 실리카폼 치환율에서 통계적으로 95% 신뢰수준에서 압축강도를 증가시키는 효과를 보여주었다. 물-결합재비에서 결합재량을 고정시키고 실리카폼 치환율에 따른 효과를 알아보기 위하여 분산분석을 실시하였다. 실리카폼 치환율이 6%, 9%, 12%로 증가하면 통계적으로 95% 신뢰수준에서 압축강도가 증가하는 효과를 보여 주었다.

4.3.2 염소이온 투과성

실리카폼을 혼합한 교면포장 고성능 콘크리트의 재령에 따른 염소이온 투과시험 값은 Fig. 2와 같다. 모든 배합에서 28일 재령의 염소이온투과는 1,000 coulombs 이하로 ASTM 1202에 따라 매우 낮은 투과율을 나타내었으며 목표 성능 기준도 모두 만족하였다. 또한 물-시멘트비가 낮아질수록 결합재의 양과 실리카폼의 치환율이 증가할수록 낮은 투과성을 보여 주었다. 결합재량에 따른 염소이온 투과저항성의 영향을 평가하기 위하여 분산분석을 실시하였다. 또한, 물-결합재비에서 결합재를 고정시키고 실리카폼 치환율의 변화가 염소이온투과저항성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 분산분석을 실시하였다. 분석 결과 동일한 결합재량에서 실리카폼 치환율의 증가는 통계적으로 95% 신뢰수준에서 염소이온 투과저항성을 증가시키는 효과가 있었다. 또한 동일한 실리카폼 치환율에서 결합재량이 증가할수록 통계적으로 95% 신뢰수준에서 염소이온 투과저항성을 증가시키는 것으로 나타났다.

4.4 실리카폼을 혼합한 교면 포장용 고성능 콘크리트의 적정 배합비 도출

실리카폼을 혼합한 교면 포장용 고성능 콘크리트의 적정배합비를 도출하기 위하여 배합인자들을 고려한 실험 결과를 분석해 보면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

4.4.1 물-결합재비

물-결합재비는 낮을수록 압축강도 및 염소이온 투과저항성은 우수하지만 물-결합재비가 0.4가 되어도 목표로 했던 역학적 특성을 만족하였다. 또한 물-시멘트비가 높을수록 작업성이 우수하며 혼화제의 양을 줄일 수가 있어 경제적이다.

4.4.2 결합재량

압축강도와 염소이온 투과시험의 결과에서 통계적으로 95% 신뢰수준에서 단위 결합재량이 많은 배합일수록 우수한 성능을 발현하였다.

4.4.3 실리카폼 혼합률

실리카폼의 치환율이 증가할수록 압축강도 및 염소이온 투과저항성이 향상되는 경향을 보인다. 그러나 치환율에 따라 성능 향상이 비례적이지 않으며 가격대비 목표 성능 기준을 고려하여 실리카폼의 혼합률을 6%로 결정하였다. 따라서 목표강도 36.5 MPa 이상, 염소이온 투과율이 1,000 coulomb 이하를 설계기준을 만족하면서 성능이 우수한 배합은 물-시멘트 비 0.4, 실리카폼 혼입률 6%, 결합재량 425 kg/m³로 결정하였다.

Table 7 Mixture proportions (unit: kg/m³)

Type of concrete	W/B (%)	S/a (%)	G _{max} (mm)	W	Binder			S	G	SP	AE
					C	SF	Latex				
LMC	35	58	13	140	400	-	125	960	719	-	-
SF	40	55	13	170	399	26	-	908	757	3.8	0.0028

Table 8 Visual rating of the concrete surface

Rating	Condition of surface
0	No scaling
1	Very slight scaling (3.2 mm depth, max, no coarse aggregate visible)
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)

5. 교면 포장용 고성능 콘크리트의 적정 배합비에 따른 성능 평가

실리카폼을 혼합한 교면 포장용 고성능 콘크리트의 적정 배합비에 따른 성능평가를 실시하였다. 배합의 최종 목표는 Table 7과 같으며, 슬럼프는 18~22 cm로 하였다. 또한 실리카폼을 혼입한 교면 포장용 고성능 콘크리트 포장의 적용성을 평가하고자 현재 국내에서 널리 적용되고 있는 LMC 교면포장과 비교하였다. Table 8은 결정된 적정 배합비 및 비교 평가를 위한 LMC 배합을 나타냈다. 배합에서 목표 슬럼프치 및 공기량을 맞추기 위해서 폴리 카본산계 고성능감수제 및 AE제를 첨가하였다.

5.1 압축강도

실리카폼을 혼합한 고성능 교면 포장용 콘크리트의 압축강도시험 결과는 Fig. 3과 같다. 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트 및 LMC는 매우 높은 강도발현을 보여주었는데 28일 재령에 각각 40 MPa 및 32 MPa이 넘는 수치를 보여 주어 목표 성능을 모두 만족하였다. 또한 실리카폼을 혼입한 고성능 콘크리트 배합과 LMC 배합의 압축강도 결과의 통계적인 유의성을 평가하기 위하여 분산분석을 실시하였다. 분석 결과 LMC와 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트 배합의 압축강도는 통계적으로 차이가 있는데, 통계적으로 95%신뢰 수준에서 실리카폼을 혼입한 콘크리트가 LMC보다 압축강도가 크게 나타났다.

5.2 휨강도

5.2.1 시험 방법

교면 포장용 고성능 콘크리트의 휨강도를 평가하기 위해

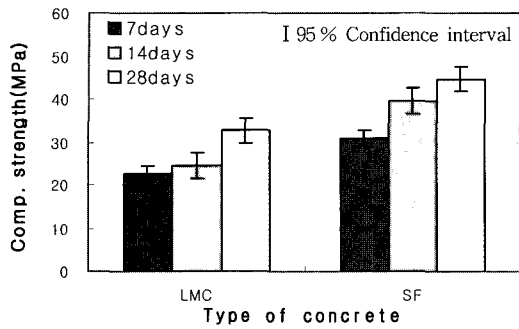


Fig. 3 Compressive strength of latex modified and high performance concrete for bridge deck overlay

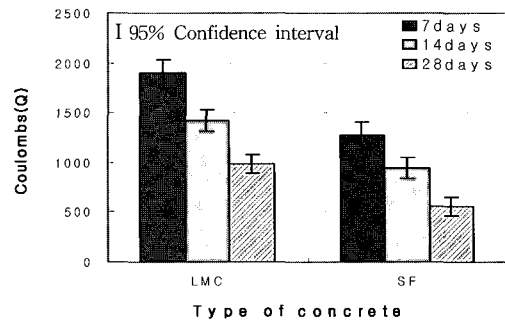


Fig. 5 Chloride permeability of latex modified and high performance concrete for bridge deck overlay

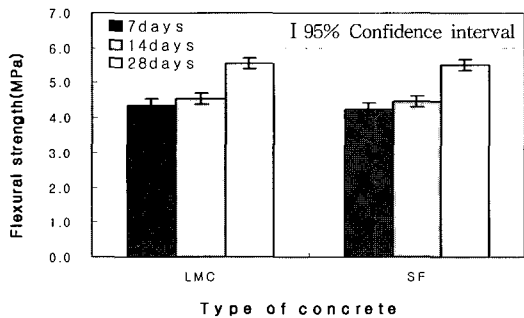


Fig. 4 Flexural strength of latex modified and high performance concrete for bridge deck overlay

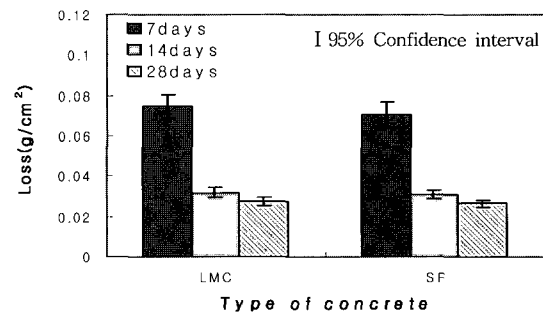


Fig. 6 Abrasion resistance of latex modified and high performance concrete for bridge deck overlay

JCI-SF4 (Method of tests for flexural strength and flexural toughness of fiber reinforced concrete)에 의하여 실시하였다. 실험은 재령별로 2개씩 2회 반복하여 실시하였다.

5.2.2 시험 결과

실리카폼을 혼합한 고성능 교면포장용 콘크리트 휨강도 시험 결과는 Fig. 4와 같다. 시험결과 두 배합은 재령이 증가함에 따라 휨강도 발현이 증가하는 경향을 보였다. 휨강도에서는 LMC 배합이 실리카폼 배합보다도 크게 나타났다. 콘크리트 내 라텍스의 혼입은 압축강도보다는 휨강도의 뛰어난 발현특성을 보이는 것으로 보고되고 있다¹⁾. 하지만 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트 역시 높은 휨강도를 나타내었는데 한국도로공사에서 제시하고 있는 포장 콘크리트 설계기준인 4.5MPa를 만족하였다. 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트 배합과 LMC 배합의 휨강도의 차이의 유의성을 분석하기 위하여 분산분석을 실시하였다. 분산분석 결과 LMC와 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트의 배합의 휨강도는 통계적으로 95% 신뢰 수준에서 차이가 없는 것으로 나타났다.

5.3 염소이온 투과성

교면포장용 고성능 콘크리트 배합의 염소이온 투과시험 결과는 Fig. 5와 같다. 시험 결과 고성능 콘크리트 및

LMC배합 모두 낮은 투과성을 보여주었으며 목표 성능 기준인 1,000 coulombs 이하를 만족하였다. 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트 배합은 LMC에 비해 우수한 염소이온투과저항성을 보여주었다. LMC와 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트의 염소이온 투과저항성의 차이가 있는지를 분석하기 위하여 분산분석을 실시하였다. 실험결과 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트 배합은 LMC에 비해 통계적으로 95%의 신뢰 수준에서 염소이온 투과저항성이 우수하다는 것을 알 수 있었다.

5.4 마모저항성

5.4.1 시험 방법

교면 포장용 고성능 콘크리트의 마모저항성능을 측정하기 위해서 ASTM C 944의 시험 방법으로 마모 시험을 실시하였다. $\phi 150 \times 60$ mm의 공시체를 각 재령별로 2개씩 제작하여 7일, 14일, 28일에 시험을 실시하였으며 2회 반복하였다.

5.4.2 시험 결과

실리카폼을 혼합한 교면 포장용 고성능 콘크리트의 배합에 대한 마모저항성에 대한 시험 결과는 Fig. 6과 같다. 재령 7일에서는 에트린자이트($C_3A \cdot 3CS \cdot H_{12}$)의 생성이 불안정하여 장기재령 보다 상대적으로 콘크리트내의 수밀

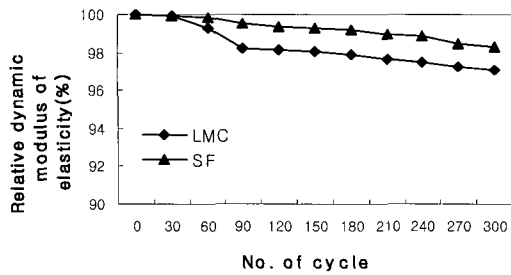


Fig. 7 Relative dynamic modulus of elasticity of latex modified and high performance concrete for bridge deck overlay

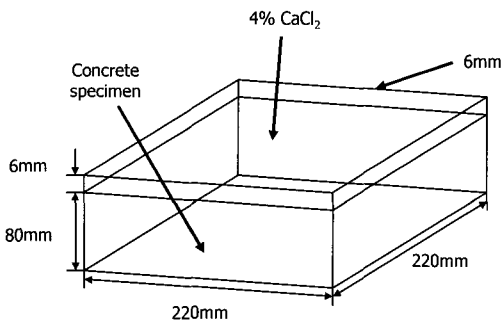


Fig. 8 Test specimen for deicing salt scaling resistance of concrete surface

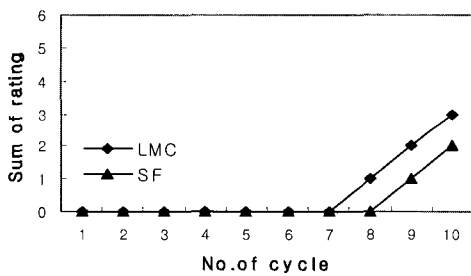


Fig. 9 Visual rating of latex modified and high performance concrete for bridge deck overlay

성이 떨어지기 때문에 마모저항성에 있어서 낮은 결과가 나타났다. 하지만 재령이 지남에 따라 수밀성이 증가하여 마모저항성 역시 증가하였다. LMC와 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트와 마모저항성의 차이를 비교, 분석하기 위하여 분산분석을 실시하였다. 분산분석 결과 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트와 LMC의 마모저항성은 통계적으로 95% 신뢰수준에서 차이가 발생하지 않았다.

5.5 동결·융해저항성

5.5.1 시험 방법

실리카폼을 혼합한 교면 포장용 콘크리트의 동결·융해 저항성을 측정하기 위해서 100×100×400 mm의 각주형 공시체를 제작하여 23 °C의 양생수조에서 14일간 양생한 후

KS F 2456에 따라 동결·융해 시험을 실시하였다. 실험은 매 30사이클에서 동탄성계수를 측정하였으며 시험 결과는 공시체 2개를 제작하여 평균값을 사용하였다.

5.5.2 시험 결과

실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트의 동결·융해 시험 결과, 혼화재의 첨가로 인해 내적 요인의 강화로 동결·융해 피해가 거의 없는 것으로 나타났다. 실리카폼을 혼합한 고성능 교면 포장용 콘크리트 배합의 동결·융해 반복 시험결과는 Fig. 7과 같다. 시험 결과를 살펴보면 재령이 증가함에 따라 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트의 배합은 LMC 배합과 마찬가지로 상대 동탄성 계수에 있어서 95%의 높은 수치를 나타내었다. 300 cycle이 지난 후에도 육안으로 관찰하기에도 매우 좋은 상태를 유지하였다. 이는 동결융해에 필요한 적절한 공기량을 확보하고 있으며 고강도보다는 내구성능 향상에 중점을 둔 배합이기 때문에 동결·융해 저항성이 매우 좋은 성능이 발휘되었다. 300 cycle 후에 상대 동탄성 계수는 고성능 콘크리트에서 98.27%, LMC에서 97.09% 잔류 상대 동탄성 계수를 나타내었다.

5.6 표면박리저항성

5.6.1 시험 방법

우리나라에서 현재 동절기에 제설재로 제빙염을 사용하고 있어 이로 인한 교면 포장용 콘크리트포장 표면에 박리현상이 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 포장 콘크리트 표면의 표면박리저항성을 측정하기 위해서 ASTM C 672에 준하여 시험을 실시하였다. Fig. 8은 본 시험에 사용된 공시체이고 표면 육안판독에 의한 등급은 Table 8과 같다.

5.6.2 시험 결과

Fig. 9는 표면박리저항성에 대한 육안판독 결과를 각 사이클에서 합산하여 그래프로 나타낸 것이다. 육안판독 결과 두 배합이 모두 표면박리저항성이 모두 우수한 것으로 나타났다. 또한 실리카폼을 혼합한 콘크리트는 LMC 보다 약간 우수한 저항성을 보여주었으나 두가지 배합 모두 밀실한 구조를 이루고 있기 때문에 차이는 크지 않았다.

6. 결 론

본 연구는 기존에 시공된 교면 포장의 경제적, 역학적 성능의 단점을 해결하기 위하여 실리카폼을 혼합한 고성능 교면 포장 콘크리트의 적정 배합비를 도출하고 적정 배합비를 통한 콘크리트의 역학적 성능 및 내구성능 평가를 통하여 그 적용성을 평가하였다. 평가 결과 실리카폼

을 혼합한 고성능 콘크리트는 교면 포장에 적용하기에 우수한 공학적 성능을 나타내었다. 실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 실리카폼을 혼합한 교면 포장용 고성능 콘크리트의 최적배합비를 결정하였다. 이를 통해 고성능 콘크리트 배합에서의 물-결합재비는 낮을수록 성능이 우수하지만 최대한 0.4가 되어도 목표로 했던 역학적 특성을 만족하며, 단위 결합재량이 높을수록 우수한 성능을 발휘하기 때문에 결합재양은 425 kg/m³ 으로 결정하였다. 실리카폼의 치환율이 높아질수록 성능이 증가하는 경향을 보이지만 치환율에 따라 성능 발현이 비례적이지 않으며 가격대비 성능비를 고려하여 실리카폼의 혼입율을 6%로 결정하였다.
- 2) 휨시험 결과 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트 배합은 재령이 증가함에 따라 휨강도 발현이 증가하였으며 재령 28일에서 한국도로공사 포장콘크리트설계기준강도 4.5 MPa를 만족하였다.
- 3) 염소이온투수시험 결과 재령이 증가함에 따라 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트 배합은 낮은 투과성을 나타내었으며 목표 성능인 1,000 coulombs를 만족하였다. 또한 LMC 배합과 비교하여 통계적으로 95%의 신뢰수준에서 염소이온 투과저항성이 우수하게 나타났다.
- 4) 마모 저항성 시험 결과 실리카폼을 혼합한 배합에서 재령이 지남에 따라 수밀성이 증가하여 마모저항성 역시 증가하였으며 LMC 배합과는 통계적으로 차이가 없었다.
- 5) 동결·융해 시험 결과를 살펴보면 동결·융해 사이클이 반복되어도 실리카폼 단독으로 치환한 배합과 LMC 배합이 상대 동탄성 계수에 있어서 95%의 높은 수치를 나타내었다.

- 6) 표면박리저항성의 육안판독 결과, 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트 배합과 LMC 배합은 모두 표면박리저항성이 우수하였으며 상대적으로 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트가 약간 우수하게 나타났다.

이상과 같이 실리카폼을 혼합한 교면 포장용 고성능 콘크리트는 교면 포장에서 요구하는 성능을 모두 만족하며, LMC와 비교할 때도 동등하거나 약간 우수한 공학적 성능을 발휘하기 때문에 교면 포장에 적용하기에 적합하다고 본다.

참고문헌

1. Ohama, Y., "Principal of Latex Modification and Some Typical Properties of LMC", *ACI Material Journal*, Vol.84 No.6, 1987, pp.511~518.
2. Ozyildirim, C., "High Performance Concrete for transportation Structures", *Concrete International*, Vol.15, No.1, 1993, pp.33~38.
3. Luther, M. D., "Silica Fume Concrete in Bridge", *Concrete International*, Vol.15, No.4, 1993, pp.29~33.
4. Luther, M. D., *Silica Fume Concrete in Bridges in the United States*, Transportation Research Record 1204, Transportation Research Board, 1988, pp.11~20.
5. Bunke, D., *ODOT, "Experience with Silica-Fume Concrete"*, *Transportation Research Record 1204*, Transportation Research Board, 1988, pp.27~35.
6. Rico F., "HPC Bridge in Canada", *Bridge Views, High Performance Concrete*, 2002, No.24, pp.1~4.
7. Whiting, D. A., Detwiler, R. J., and Lagergren, E. S., "Cracking Tendency and Drying Shrinkage of Silica Fume Concrete for Bridge Deck Application", *ACI Material Journal*, Vol.97, No.1, 2000, pp.71~77.
8. Communicated by Ohio Department of Transformation.

요 약

교량 교면에 적용되는 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트는 경제성이 향상된 교면 포장 방법이다. 실리카폼 콘크리트는 기존의 LMC와 비교하여 경제성 향상으로 미국, 유럽, 캐나다 지역에서 비교적 짧은 기간에 널리 사용하고 있다. 본 연구에서는 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트의 교면 포장에 대한 적용성을 알아보기 위하여 실내 실험을 실시하였다. 실내 실험은 물리, 역학적 및 내구성능을 평가하였는데 실험 결과 실리카폼을 혼합한 고성능 콘크리트는 우수한 성능을 발휘하였다.

핵심용어 : 실리카폼, 교량 교면 포장, 고성능 콘크리트