

포스트텐션 콘크리트 포장 적용을 위한 실리카흄과 플라이 애시를 사용한 삼성분계 콘크리트의 특성

Characteristics of Ternary Blended Cement Concrete Using Fly Ash and Silica Fume for Post-Tensioned Concrete Pavement Application

최판길* · 심도식** · 이봉학***

Choi, Pan-Gil · Shim, Do-Sick · Lee, Bong-Hak

Abstract

Post-tensioned concrete pavement (PTCP) was developed to built long-span concrete pavement (120 m span) and to maintain long-term service life (over 40 years) of concrete pavement. In the present study, research for high-durable concrete was conducted to utilize the advantage of PTCP construction method efficiently. First of all, 20% of fly ash (by binder weight) was replaced to control alkali silica reaction. Second, silica fume was applied to improve the water-permeability and early-age strength. Results of tests for mechanical properties, water-permeability resistance, and surface-scaling resistance of ternary blended cement concrete showed that the early-age strength was improved significantly with addition of silica fume. The water-permeability resistance was improved from "Low" to "Very Low" (ASTM C 1202). However, surface-scaling resistance was decreased with an increase of silica fume, therefore, content of silica fume should be kept in less than 5% (by binder weight) to assure field application considering durability. The results of air-void analysis showed that durability factors were improved since spacing factors were estimated as 250 ± 15 micron in adjusted mixtures.

Key words : Concrete pavement, Post-tensioned concrete pavement, Silica fume, Fly ash.

요 지

포스트텐션 콘크리트 포장 (post-tensioned concrete pavement ; PTCP)은 초장스팬 콘크리트 포장 ($l=120$ m)을 구현하고 장기 공용성 (40년 이상)을 확보하기 위해 개발되었다. 본 논문에서는 PTCP공법의 장점을 효율적으로 활용하기 위하여 고내구성 콘크리트 재료개발에 대한 연구를 수행하였다. 첫째로, 알칼리 골재반응을 억제할 수 있도록 플라이 애시를 20% 치환 (단위바인더량 대비)하고, 둘째로, 초기강도확보 및 투수저항성을 개선하기 위하여 실리카흄을 적용하였다. 삼성분계 콘크리트의 역학적 특성, 투수저항성 및 표면박리저항성을 평가한 결과, 실리카흄 첨가에 따라 초기강도가 현저히 개선되고, 투수저항성이 "Low"에서 "Very Low" 등급으로 개선되는 (ASTM C 1202 기준) 것으로 나타났다. 그러나 실리카흄 첨가량이 증가함에 따라 표면박리저항성이 저하되므로, 내구성을 고려한 현장 적용성을 확보하기 위해서는 단위바인더량 대비 5%이하로 첨가되는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 공극구조 분석결과, 개선배합에서 간격계수 (spacing factor)가 $250 \pm 15 \mu\text{m}$ 로 평가되어 내구성 지수가 향상된 것으로 나타났다.

핵심용어 : 콘크리트 포장, 포스트텐션 콘크리트 포장, 실리카흄, 플라이 애시

1. 서 론

콘크리트 포장은 표면바리, 줄눈부 파손, 균열 및 동결융해 등의 원인으로 인해 파손이 빈번하게 일어난다 (FHWA-RD-03-031, 2003). 본 연구에서는 이러한 파손의 원인을 제거하여 콘크리트 포장의 공용성을 40년 이상 유지할 수 있는 콘크리트 포장공법인 포스트텐션 콘크리트 포장 (post-tensioned

concrete pavement ; PTCP)에 적합한 콘크리트 재료개발 연구를 수행하였다 (Friebert, 1973, Powers, 1987). PTCP 포장의 가장 큰 장점은 세로줄눈과 가로줄눈이 없으므로, 이와 관계되는 콘크리트의 파손이 발생하지 않는다는 것이며, 콘크리트 포장 전 구간이 일체화 거동을 할 수 있다는 것이다. 더불어 2회에 거쳐 실시되는 긴장작업은 콘크리트에 발생하는 인장응력을 최소화하여 균열을 방지하게 된다. 긴장재의 1

*정희원 · 강원대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : pangil@kangwon.ac.kr)

**정희원 · 강원도립대학 건설토목과 교수

***강원대학교 토목공학과 교수

차 긴장은 콘크리트의 압축강도가 대략 7 ± 1 MPa가량 발현될 때 실시되므로, 콘크리트의 수화열이 하강하는 시기와 일치한다. 따라서 수화열 하강곡면에 발생하는 온도 및 수축으로 인한 응력을 완화시키는 작용을 하여 콘크리트에 발생하는 초기결함을 방지하는 효과가 있다(최관길, 2009). 2차 긴장은 콘크리트의 압축강도가 대략 21 MPa이상 발현될 때 실시되므로, 해당 재령까지 발생한 건조수축과 온도응력을 제어하는 역할을 한다. 따라서 본 논문에서는 일반 줄눈콘크리트 포장 콘크리트 배합에 플라이 애시를 혼입하여 알칼리 골재반응을 억제할 수 있도록 기준배합을 선정하고(홍승호, 2006), 시험 시공을 실시하였다. 현장 콘크리트의 재료특성을 평가하고 균열조사를 실시한 결과를 토대로 취약점을 보완하기 위한 방법으로 실리카흙을 추가로 혼입한 삼성분계 콘크리트 재료의 최적배합에 관한 연구를 수행하였다.

2. 실험

2.1 시험시공

본 논문에서는 줄눈콘크리트 포장에 적용되는 콘크리트 배합에 플라이 애시를 20%첨가한 배합을 기준배합(Control Mixture)으로 선정하여 시험시공을 실시하고, 현장 재료특성 및 균열조사를 실시하였다. 시험시공의 목적은 공법측면에서 PTCP 포장공법의 적용성을 평가하고, 재료측면에서 줄눈콘크리트 포장(단위시멘트량 $C=342 \text{ kg/m}^3$)과 비교하여 단위바인더량을 420 kg/m^3 으로 증가시킨 콘크리트 배합의 적용가능성을 평가하기 위하여 실시하였다. 일반적으로 단위시멘트량이 커지게 되면 콘크리트에 발생하는 수화열, 초기 건조수축 및 자기수축의 영향이 커지게 되어 초기균열을 유발하게 된다. 그러나 단위시멘트량이 작아지게 되면 내구성이 저하되므로, 균열이 발생하지 않는 범위에서 단위시멘트량의 증가시킬 필요가 있다. 더불어 콘크리트 포장은 장기 건조수축, 크리프 및 환경하중 등에 의해 수축팽창 거동을 반복하므로 균열이 발생한다. 따라서 줄눈콘크리트 포장에서는 이러한 거동으로부터 안정성을 확보하기 위하여 줄눈을 설치하는데, 본 시험 시공에서는 긴장재에 작용하는 프리스트레스 힘이 줄눈을 대체할 수 있다고 가정하였다. 이를 증명하기 위한 방법으로 균열조사를 실시하였고, 조사결과 일부 소성수축 균열과 시공



Fig 1. Concrete placement in field.



Fig 2. Cracking in pocket.

오류로 인한 포켓부 횡방향 균열 1개소를 제외하면, PTCP 콘크리트 포장 전 구간에서 균열이 발생하지 않은 것으로 조사되었다. 따라서 PTCP 포장공법에 적용되는 콘크리트는 단위바인더량에 크게 구애받지 않음을 확인할 수 있었다. 시험 시공은 2008년 10월 13일과 14일 양일간 동수원 IC 폐광장에서 실시되었다. 콘크리트 포장의 스패 길이는 120 m이고 포장 구간 중앙에 포켓을 설치하여 긴장력을 도입하는 방법을 적용하였다. Fig 1은 PTCP 시험시공 전경을 나타내고, Fig 2는 포켓부에 발생한 균열을 나타내는 사진이다.

Table 1. Physical properties and chemical composition of fly ash

Classification	Items	Requirement	Result	
Chemical composition	SiO ₂ (%)	above 45.0	55.8	
	Water content (%)	below 1.0	0.14	
	Ig. loss (%)	below 5.0	3.9	
Physical Properties	Density (g/cm ³)		above 1.95	2.25
	Fineness	45 μm Sieve (³%) ; Sieve method	below 40	30
		Specific surface area (cm ² /g) ; brain method	above 3,000	3,495
	Flow rate(%)		above 95	101
	Index of activity (%)	28 days	above 80	94
		91 days	above 90	112

Table 2. Physical properties of admixtures

Item	Requirement	Superplasticizer (Applied in Field)	Flowmix 3000H	HRAEWR
Density (g/cm ³)	1.050±0.02	1.055	1.04	1.056
pH		6.31	2.50	
Depletion Rate (%)		24.3		20.0
Bleeding Rate (%)		48.0		46.0
Total Alkali (kg/m ³)	below 0.3	0.008	0.10	0.05
Relative Elasticity	above 80	94.1		

Table 3. Physical properties and chemical composition of undensified silica fume

Classification	Items	Requirement	Results (%)
Chemical composition	SiO ₂	>85%	93.21
	Fe ₂ O ₃		0.60
	Al ₂ O ₃		0.47
	SO ₃	<2%	0.85
	CaO	<1%	0.58
	MgO		0.36
	K ₂ O		0.39
	Na ₂ O		0.37
	TiO ₂		0.21
	P ₂ O ₅		0.15
	LOI	<6%	2.81
Physical properties	pH		5
	Specific Gravity		2.22
	Specific Surface		30 m ² /g
	Bulk Density		345 kg/m ³
	Particle Size		0.05~1 micron

시멘트를 사용하였고, 플라이 애시는 KS L 5405기준을 만족하는 국내생산 2종 플라이 애시(분말도 3,495 cm²/g)를 사용하였다. Table 1은 실험에 사용된 플라이 애시의 물리화학적 특성을 나타낸다. 잔골재는 잔골재 입도표준을 만족하는 강모래를 사용하였고, 굵은 골재는 최대치수 25 mm의 쇠석골재를 물로 세척하여 사용하였다. Table 2는 실험에 사용된 폴리카르본산계 고성능 감수제 2종과 나프탈렌계열 고성능 감수제 1종의 물리적 특성을 나타낸다. 실리카흙은 비중이 2.22이고 분말도가 30 m²/g 제품으로, 실험에 사용된 실리카흙의 물리화학적 특성은 Table 3과 같다.

2.3 콘크리트 배합설계

시험시공에 적용된 기준배합(Control Mixture)은 단위바인더량 420 kg/m³에 알칼리 골재반응 억제를 위해 플라이 애시가 20% 치환된 배합이다. 기준배합에 대한 실험결과 재령 28일 투수저항성이 “보통(Moderate)”으로 평가되어 동결융해 및 표면박리에 쉽게 노출될 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 콘크리트 내부 조직 개선이 요구되어, 실리카흙을 단위시멘트량 대비 0%, 5%, 및 10% 추가로 혼합한 삼성분계 콘크리트에 대해 검토하였다. 실리카흙 치환방법은 시멘트와 플라이 애시 중량대비 치환량을 결정하고, 골재의 절대용적에서 치환하는 방법을 적용하였다. Table 4는 콘크리트 배합표를

2.2 사용재료

시멘트는 KS L 5201규격을 만족하는 1종 보통 포틀랜드

Table 4. Concrete mix proportions

Variables		W/B (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)								Estimated results		
				Fly ash (kg)	Silica fume (kg)	Cement (kg)	Water (kg)	Sand (kg)	Gravel (kg)	S.P* (%)	Flowmix 3000H** (%)	HRAEWR*** (%)	Slump (mm)	Air content (%)
Control mixture	C336-FA20%-SF0%	36	40	84	-	336	151	687	1,050	0.9%			70	2.0
Adjusted mixtures	C352-FA20%-SF0%	33	40	88	-	352	145	686	1,048		0.5%	0.4%	80	4.0
	C352-FA20%-SF5%	33	40	88	22	352	145	675	1,032		0.5%	0.5%	45	4.0
	C352-FA20%-SF10%****	34	40	88	44	352	150	660	1,009		0.5%	0.5%	40	4.7

S.P* ; superplasticizer(applied in field)

Flowmix 3000H** ; poly-carbonic S.P

HRAEWR*** ; high-range air entraining water reducer

C352-FA20%-SF10%**** ; unit cement weight 352 kg - rate of fly ash replacement 20% - rate of silica fume 10%

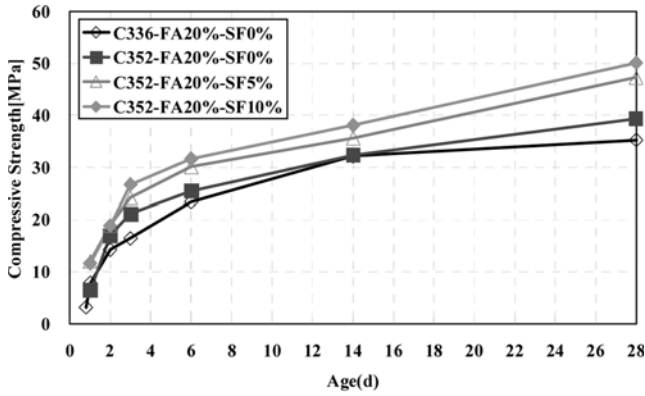


Fig 3. Compressive strength.

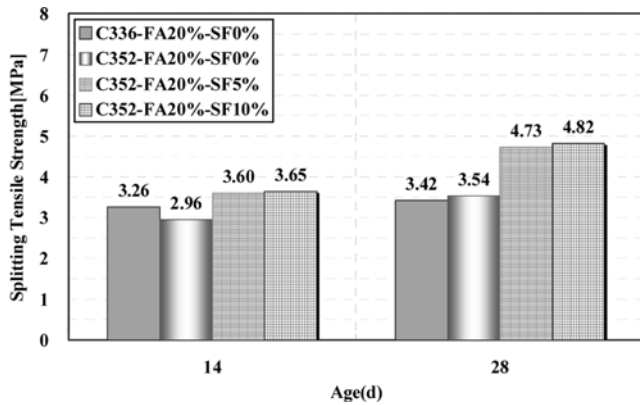


Fig 4. Splitting tensile strength.

나타낸다. 구분에서 “Control Mixture” 표기한 배합은 동수원 폐광장 시험시공에 적용된 기준배합을 나타내고, “Adjusted Mixtures”로 표기한 배합은 시험시공 실험결과를 토대로 개선된 배합표를 나타낸다.

3. 실험결과

3.1 압축강도 및 쪼갬인장강도

Fig 3은 재령별 압축강도 특성을 나타내는 그래프이다. 실리카흙이 첨가됨에 따라 조기강도 증진 현상이 나타나고 있으며, 기준배합과 비교하여 재령 1일 강도는 대략 1.5배 이상으로 향상되었고, 재령 28일 강도는 대략 1.3배 이상 증진된 것으로 나타났다. 실리카흙 치환율 5% 및 10% 변수에서는 재령 2일까지 동일한 강도발현 특성을 보이고, 재령 3일부터 실리카흙 치환으로 인한 강도증진 현상이 나타났음을 알 수 있다. 그러나 재령 28일 강도가 실리카흙 치환율 5%

와 10%에서 각각 47.3 MPa 및 50.1 MPa로 평가되어 장기 재령 압축강도는 유사한 것으로 나타났다. Fig 4는 재령별 쪼갬인장강도를 나타내는 그래프이다. 압축강도대비 대략 9~10% 수준에서 강도가 형성되었고, 실리카흙 첨가로 인한 인장강도 증가율이 일부 확인되었지만, 그 폭이 매우 작게 나타났다. 따라서 강도측면에서 경제성을 고려한 적정 실리카흙 함량은 5%가 적절한 것으로 판단된다.

3.2 투수저항성

기준배합의 재령 28일 염소이온 통과전하량이 3,172쿨롱(C)으로 측정되어, ASTM C 1202 기준 “보통(Moderate)” 등급으로 평가되었다. 따라서 장기내구성 확보측면에서 투수저항성을 향상시킬 필요성이 제기되었고, 실리카흙을 혼입을 혼입한 삼성분계 콘크리트에 대한 연구를 수행하였다.

실리카흙을 혼입한 콘크리트의 재령 14일 염소이온 통과전하량은 실리카흙 5% 및 10% 변수에서 각각 1,434 쿨롱(C)과 1,478 쿨롱(C)으로 평가되어, 실리카흙이 혼입되지 않은 변수(4,835C & 4,789C)와 비교하여 3.3배 이상 투수저항성이 향상된 것으로 나타났다. 상기의 실험결과는 ASTM C 1202 기준 “낮음(Low)”에 해당하는 결과로써 투수저항성이 매우 향상되었음을 알 수 있다. 그러나 재령 14일까지 실리카흙 혼입을 변화에 따른 영향은 나타나지 않았다.

재령 28일 염소이온 통과전하량은 실리카흙 5%와 10% 변수에서 각각 1,057 쿨롱(C)과 534쿨롱(C)으로 측정되어 기준배합대비 각각 3배 및 6배 이상 투수저항성이 향상된 것으로 평가되었다.

Table 5는 ASTM C 1202 기준에 의거한 투수저항성 실험결과와 이에 따른 투수성 평가등급을 나타낸 표이다. 실리카흙 5% 및 10% 변수 모두 우수한 특성을 보이고 있다.

3.3 공극구조 분석결과

3.3.1 경화전후 콘크리트 공기량 비교

경화전 콘크리트 공기량은 일반적으로 사용하는 압력법으로 측정하였고, 경화후 공기량은 시편의 화학분석(Image Analysis) 실험을 이용하여 측정하였다. ASTM C 457-82a, 1982). Table 6은 콘크리트의 경화전후 공기량을 비교한 표로써, 실험방법에 관계없이 공기량이 유사하게 평가되었고, 시편의 층별(Top-Bottom) 공기량도 유사하게 측정되어, 공시체 다짐으로 인한 공기량 변화는 없는 것으로 나타났다. 경화 콘크리트의 공기량은 시편의 상부(Top)와 하부(Bottom) 두 지점의 평균값을 사용하였다. 경화전후 공기량이 유사하게

Table 5. Results of water-permeability resistance test

Variables		14-days		28-days		56-days	
		Results	Level	Results	Level	Results	Level
Control mixture	C336-FA20%-SF0%	4,835	High	3,172	Moderate	1,082	Low
Adjusted mixtures	C352-FA20%-SF0%	4,789	High	3,174	Moderate	1,229	Low
	C352-FA20%-SF5%	1,434	Low	1,057	Low	810	Very low
	C352-FA20%-SF10%	1,478	Low	534	Very low	483	Very low

Table 6. Comparison of air content between fresh and hardened concrete

Variables		Air content(%) in fresh concrete	Air content(%) in hardened concrete		
		Pressure method	Image analysis		
			Tom	Bottom	Avg.
Control mixture	C336-FA20%-SF0%	1.3	1.27	1.30	1.29
Adjusted mixtures	C352-FA20%-SF0%	4.0	4.00	4.35	4.18
	C352-FA20%-SF5%	4.0	4.05	4.30	4.18
	C352-FA20%-SF10%	4.7	4.30	4.20	4.25

*Top ; 5 mm position from upper surface of cylindrical specimen
 **Bottom ; 55 mm position from upper surface of cylindrical specimen

측정되었으므로, 화상분석을 이용한 내부 공극구조, 간격계수 및 공극의 비표면적에 대한 정보가 유효한 데이터로 활용될 수 있다.

3.3.2 공극크기별 분포 특성

일반적으로 콘크리트의 공기는 연행 공기(entraining air)와 갇힌 공기(entrapped air)로 구분된다. ASTM C 125에서는 연행 공기와 갇힌 공기의 기준을 1,000 μm 로 구분하고 있다.

Fig 5는 경화 콘크리트의 공극 크기별 공기량 분포를 나타내는 그래프이다. 그래프에서 볼 수 있듯이, 개선배합에서 1,000 μm 를 기준으로 하여 연행 공극이 다량 분포하고 있음을 알 수 있으며, 특히 350 μm 이하 크기의 공극이 고르게

분포하고 있는 것으로 나타났다. 2,000~3,000 μm 범위에서 관찰되고 있는 갇힌 공극은 공극의 수가 매우 적으므로 다짐 불량으로 인해 발생한 공극으로 유추할 수 있다. Fig 6은 공극 크기별 공극 개수 분포를 나타내는 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이, 갇힌 공극의 수는 일부에 불과하며 대부분의 공극이 연행 공극임을 알 수 있다. 동결융해 저항성 평가는 공극간 거리, 즉 간격계수(spacing factor)에 관계하므로, 소수의 갇힌 공극이 콘크리트의 간격계수 변화에 미치는 영향은 매우 작다. 따라서 내구성에 미치는 영향은 매우 제한적일 것이다.

공극구조 분석결과 PC계열 고성능감수제와 나프탈렌 계열 고성능감수제의 적절한 혼합을 통해 양호한 공극구조를 확보할 수 있는 것으로 나타났다.

3.3.3 간격계수 및 공극의 비표면적

동결기 타설된 모르타르는 기온의 변화와 함께 동결융해의 반복 작용을 받는다. 동결 작용으로 인해 콘크리트 내부의 자유수는 표면으로부터 동결하여 이동하고, 9%의 체적 팽창 현상을 수반하므로 모르타르에 팽창압을 유발하여 조적을 열화시킬 수 있다. 그러나 모르타르 내부에 일정한 크기와 분포를 갖는 연행공기가 존재한다면, 자유수 동결에 따른 내부 구속압력의 발생완화, 그리고 자유수의 이동이 가능하게 되어 열화 저항성이 현저히 개선될 수 있다. 이러한 관점에서 간격계수 개념이 등장하게 되었다(Attigbe, 1993, Attigbe, 1996).

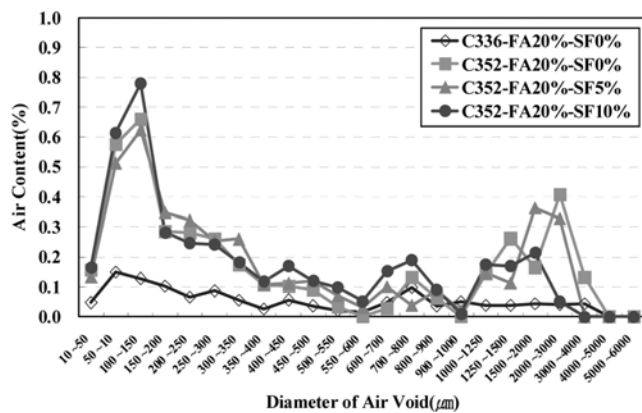


Fig 5. Distribution of air content with air-void size.

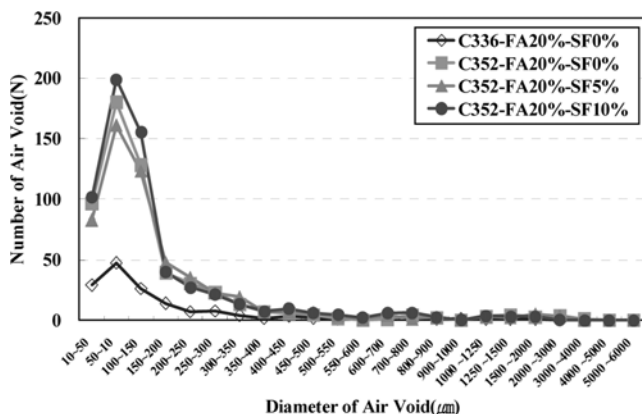


Fig 6. Distribution of air-void number with air-void size.

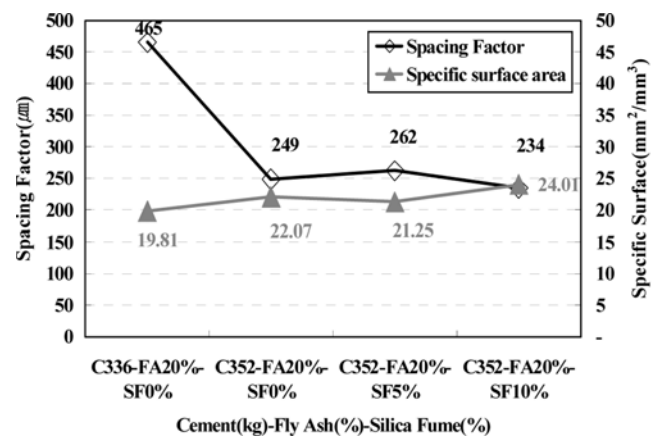


Fig 7. Relationship spacing factor and specific surface area of air-void.

Fig 7은 실리카흙 치환률 변화에 따른 간격계수와 비표면적의 관계를 나타내는 그래프이다. 개선배합 세 변수 모두 간격계수가 250 μm 내외로 평가되어 Kansas DOT 기준을 만족하여, 동결융해 저항성이 우수할 것으로 예측된다(Kansas DOT Specification, 2007).

일반적으로 연행 공극이 잘 분포되어 있는 콘크리트에서 간격계수가 작다는 것은 연행 공극이 다량 분포하여 공극간 거리가 가까워짐을 의미하므로, 공극의 비표면적과 간격계수는 반비례 관계를 형성한다. 그래프에서 볼 수 있듯이 간격계수와 비표면적이 반비례 관계에 있으므로 콘크리트의 공극 구조가 매우 양호한 상태임을 이들의 관계에서도 유추할 수 있다.

3.4 내구성지수 평가

Fig 8은 “US Bureau of Reclamation Concrete Laboratory Report No. C-824” 기준에 의거하여 간격계수에 따른 내구성지수 평가결과를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 하한계선(Lower Limit)과 상한계선(Upper Limit)은 각각 수많은 실험을 통하여 얻어진 간격계수와 내구성지수의 허용범위를 나타낸다. Kansas DOT에서는 이를 토대로 간격계수와 내구성지수(durability factor)에 관한 연구를 수행하여 자체 기준을 마련하였고, 콘크리트의 간격계수가 250 μm 이하가 되도록 규정하였다(Kansas DOT Specification, 2007). 즉, 간격계수가 250 μm 이상 확보되면 내구성지수가 최소 80% 이상 확보됨을 의미한다.

본 논문에서는 내구성지수 예측방법으로 그래프의 상한계선과 하한계선의 중앙선(Mid Line)을 작도하여 이를 기준으로 간격계수와 내구성지수가 일대일 대응이 되도록 하는 방법을 적용하였다. 이를 근거로 간격계수의 범위를 총 4개의 범위로 구분하여 각각 범위의 내구성지수 예측식 Eq.(1)~(4)을 찾아내고 실험을 통해 측정된 간격계수를 대입하여 내구성지수를 계산하였다. 그러나 본 방법은 중앙선(Mid Line)을 작도하여 예측한 방법이므로, 간격계수가 480 μm 를 초과하면 내구성지수를 평가하지 못하는 단점이 있다. 따라서 간격계수가 480 μm 를 초과하는 범위에서는 내구성지수를 “0(Not

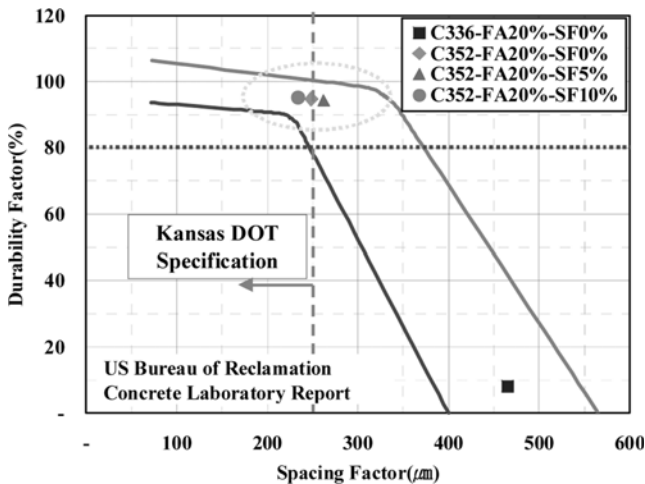


Fig 8. Estimation of durability factor with spacing factor.

Table 7. Durability factor with spacing factor

Variables	Spacing factor (μm)	Specific surface area (mm^2/mm^3)	Durability factor (%)
C336-FA20%-SF0%	465	19.81	8.2
C352-FA20%-SF0%	249	22.07	94.7
C352-FA20%-SF5%	262	21.25	94.3
C352-FA20%-SF10%	234	24.01	95.1

available)”)으로 표기하였다.

$$[\text{Range \#1}]D.F = -0.0298 \times S.F + 102.12$$

$$\{S.F ; S.F \leq 262\} \quad (1)$$

$$[\text{Range \#2}]D.F = -0.0045 \times S.F^2 + 2.3076 \times S.F - 199.74$$

$$\{S.F ; 262 < S.F \leq 288\} \quad (2)$$

$$[\text{Range \#3}]D.F = -0.461 \times S.F + 222.55$$

$$\{S.F ; 288 < S.F \leq 480\} \quad (3)$$

$$[\text{Range \#4}]D.F = 0 \text{ (Not available)}$$

$$\{S.F ; S.F > 480\} \quad (4)$$

중앙선 방법에 의거한 내구성지수 평가결과를 Table 7에 표기하였다. 내구성지수 평가결과 3변수(개선배합) 모두 내구성지수가 95% 내외로 예측되었다. 따라서 동결융해 저항성이 양호할 것으로 판단된다(Pigeon, 1995).

3.5 표면바리 저항성

줄눈콘크리트 포장에서 발생하는 주요한 파손의 형태는 균열, 조인트 결함, 표면 결함 및 기타 복합파손으로 구분된다(FHWA-RD-03-031, 2003). 본 논문에서는 표면 결함중 하나인 표면바리 저항성을 평가하기 위하여 “Boras method” 방법에 준하여 가로×세로 250×200 mm^2 의 시험편을 제작하여 총 50-cycle 동안 실험을 실시하였다 (Pigeon, 1995). 1 m^2 의 면적에 해당하는 바리량을 기준으로 실리카흙 첨가에 따른 표면바리 저항성을 평가한 결과, 실리카흙 첨가량이 증가함에 따라 표면바리 저항성이 저하되는 것으로 나타났다. 그러나 실리카흙이 5% 첨가된 경우에도 “Good” 등급 범위에 근접하여 우수한 것으로 나타났으나, 실리카흙이 10% 첨가된

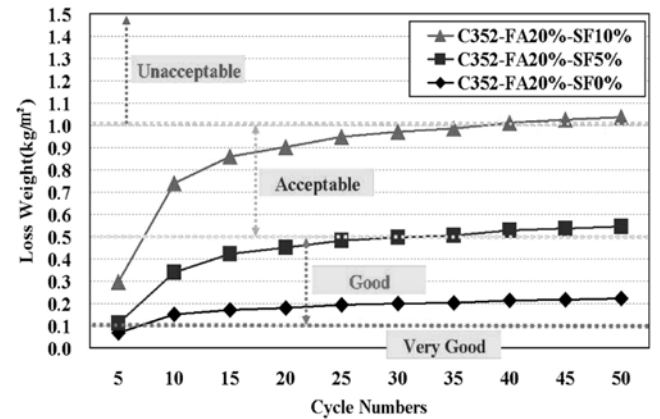


Fig 9. Deicing salt-scaling resistance.

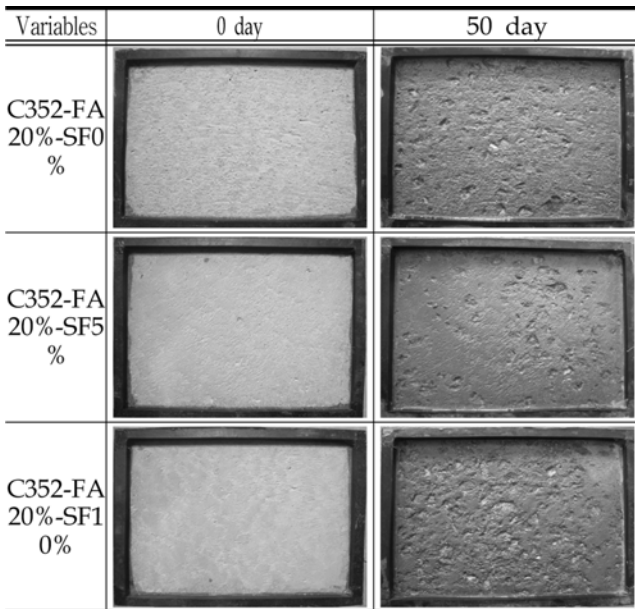


Fig 10. Specimen pictures of surface scaling test.

변수에서는 “Acceptable” 등급으로 평가되어 내구성이 확보되지 않는 것으로 나타났다. Fig 9는 표면박리 저항성 실험결과를 나타낸 그래프이고, Fig 10은 표면박리 저항성 실험전-후 시험편의 사진을 나타낸다.

조기강도 발현특성, 투수저항성 및 표면박리 저항성 모두를 고려할 때, 최적의 실리카흙 첨가량은 5%가 타당할 것으로 사료되며, 표면마모에 쉽게 노출되는 구조물에 실리카흙을 5%이상 사용하는 것은 바람직하지 않을 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 논문에서는 포스트텐션 콘크리트 포장(PTCP)에 적합한 콘크리트 배합을 도출하기 위하여 플라이 애시와 실리카흙을 혼입한 삼성분계 콘크리트에 대해 연구하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 시험시공 균열조사 결과, 콘크리트 포장 전 단면(길이 120 m×폭8.2 m)에 걸쳐 줄눈이 설치되지 않았음에도 불구하고, 재료 및 구조적 원인의 복합작용에 의해 발생하는 균열이 발생하지 않아, PTCP공법이 콘크리트의 초기 건조수축 및 수화열로 인한 응력제어에 효과적인 것으로 나타났다.
- 2) 실리카흙이 첨가됨에 따라 재령 1일 압축강도는 기준배합과 비교하여 1.5배 이상, 재령 28일 강도는 대략 1.3 배 이상 증진되었으나, 실리카흙 치환률 5% 및 10%에 따른 강도변화가 매우 작게 나타났다. 따라서 경제성을 고려할 때, 실리카흙은 5% 혼입되는 것이 타당하다.
- 3) 실리카흙 5% 및 10% 변수에서 재령 28일 염소이온

통과전하량이 각각 1,057쿨롱과 534쿨롱으로 측정되어 기준배합대비 각각 3배 및 6배 이상 투수저항성이 향상된 것으로 나타났다.

- 4) 본 연구의 콘크리트 배합에서는 실리카흙의 첨가량이 증가함에 따라 표면박리 저항성이 저하되는 것으로 나타났으므로, 실리카흙은 단위바인더량 대비 5%이하의 범위에서 첨가량이 결정되어야 한다.
- 5) 조기강도 발현특성, 투수저항성 및 표면박리 저항성 모두를 고려할 때, 최적의 실리카흙 첨가량은 5%가 타당할 것으로 사료되며, 표면마모에 쉽게 노출되는 구조물에 실리카흙을 5%이상 사용하는 것은 바람직하지 않을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2008년 중소기업청 산학 공동기술개발지원사업의 연구비와 석재복합신소재제품 연구센터(RRC)의 연구장비 지원에 의하여 수행되었습니다.

참고문헌

최관길, 이봉학, 정범석, 김동호 (2009) 포스트텐션 콘크리트 포장에서 고내구성 콘크리트의 적용. 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집, 한국콘크리트학회, 제21권, 제1호, pp. 435-436.

홍승호 (2006) 국내 콘크리트의 알칼리-실리카 반응에 대한 조사 및 억제방안, 박사학위 논문, 강원대학교 대학원.

ASTM C 457-82a (1982) *Standard Practice for Microscopical Determination of Air-Void Content and Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete*. ASTM.

Attiogbe, E.K. (1993) Mean Spacing of Air Voids in Hardened Concrete. *ACI Materials Journal*, Vol. 90, No. 2, pp. 174-181.

Attiogbe, E.K. (1996) Predicting Freeze-Thaw Durability of Concrete-A New Approach. *ACI Materials Journal*, Vol. 93, No. 5, pp. 457-464.

FHWA (2003) *Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program*, FHWA-RD-03-031, pp. 35-59

Friberg, B. F. and Pasko, T.J. (1973) *Prestressed Concrete Highway Pavement at Dulles International Airport*. Highway Research Record, No. 466, Highway Research Board, pp. 1-19

Kansas DOT Specification (2007) *Division 400 Concrete Standard Specifications, 401 Concrete, 401-5 Commercial Grade Concrete*, pp. 400-1-400-14.

Pigeon, M. and Pleau, R. (1995) *Durability of Concrete in Cold Climates*, Taylor and Francis, pp. 74-78

Powers, R. and Zaniewski, J. (1987) *Nine Year Performance Evaluation of Arizona's Prestressed Concrete Pavement*. Transportation Research Record, No. 1136, Washington, D.C., pp. 1-11

- ◎ 논문접수일 : 09년 05월 27일
- ◎ 심사의뢰일 : 09년 05월 27일
- ◎ 심사완료일 : 09년 06월 08일