

産業副産物을 利用한 鑛山 스프레이 콘크리트의 物性研究

*馬 相 準

韓國建設技術研究院 SOC性能研究所 지오인프라研究室

A Study on the Specialized Mix Design of Mine Sprayed Concrete Using Industrial Byproducts

*Sang-Joon Ma

Geotechnical Engineering Research Dept., KICT, Goyang 411-712, Korea

요 약

본 연구에서는 광산 스프레이 콘크리트에 대한 연구개발의 일환으로 산업부산물을 구조재료인 시멘트에 혼입하여 산업부산물의 재활용 극대화 방안을 제시하였다. 또한 이를 통해 안정성과 경제성을 모두 만족할 수 있는 친환경적인 광산 스프레이 콘크리트의 배합비를 도출하고 평가하였다. 연구 결과 광물성 혼화재를 사용한 콘크리트 강도는 증가하였으며, 현장시험에서도 양호한 결과가 도출되었다. 그러므로 산업부산물을 이용한 광산 스프레이 콘크리트는 향후 현장적용이 가능할 것으로 판단되었다.

주제어 : 광산, 스프레이 콘크리트, 특성화 배합, 산업부산물, 재활용

Abstract

In this study, it was developed eco-friendly mix design of mine sprayed concrete, which satisfies both the stability and economics by mixing the industrial in cement, for development of the mine sprayed concrete and recycling of industrial. From this research, it is found that mixing of mineral admixture is effective on strength enhancement. Also, it is considered that designed mixing ratio of sprayed concrete using industrial byproducts should be applied to the field through field test.

Key words : mine, recycling, design specialized mixing, sprayed concrete, industrial byproducts

1. 서 론

인구의 폭발적인 증가와 산업의 지속적인 발전으로 인한 천연자원의 고갈, 산업 폐기물 발생, 환경오염 등은 범세계적으로 해결해야할 문제로 대두되고 있다. 이 중 '산업 제품의 제조, 가공, 수리, 판매나 에너지의 공

급 또는 토목, 건축공사에서 부수적으로 생겨난 물건'으로 정의 되는 산업부산물의 처리는 사회 전반에 걸쳐 인식의 전환이 이루어 지고 있으며, 정부의 시책도 산업부산물의 재활용을 적극적으로 장려하고 있다.¹⁾ 한편, 광산의 경우 대규모 갱도의 적용으로 인해 갱도 안정성 및 채광작업시 안전에 영향을 미치게 되어, 다양한 형

* Received : September 12, 2012 · 1st Revised : October 18, 2012 · 2nd Revised : January 21, 2013 · Accepted : February 20, 2013

*Corresponding Author : Sang-Joon Ma (E-mail : sjma@kict.re.kr)

Geotechnical Engineering Research Division, SOC Research Institute, Korea Institute of Construction Technology, 283 Goyangdae-ro, Ilsanseo-Gu, Goyang-Si, Gyeonggi-Do, 411-712, Korea
Tel : +82-31-9100-222 / Fax : +82-31-9100-561

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

식의 광산 지보재(록볼트 및 강지보)를 이용하여 광산 갱도의 보강을 실시하고 있는 상황이다. 일반적으로 광산 지보재로 적용되고 있는 록볼트 및 강지보재는 시공 및 활용면에서 지보효과가 부족하고 공사기간이 장기화되어 경제성에서도 효율이 낮기 때문에, 최근 터널 공사에서 다양한 용도로 적용되고 있는 스프레이 콘크리트 공법이 광산갱도에도 활용되고 있다. 그러나 광산 갱도는 굴착 목적 자체가 터널과는 상이하고 갱도의 내구연한, 요구 안정성, 운용 목적 등이 다르기 때문에, 터널에서 사용되고 있는 시공 및 품질 규정을 그대로 준용하는 데에는 현실과 괴리가 있다. 따라서 광산 스프레이 콘크리트 재료 및 배합의 개발이 요구되고 있다. 현재 광산 갱도 지보 보강의 중요성이 확대되고 있는 상황에서 기존 지보재보다 우수한 스프레이 콘크리트 갱도 적용이 시도되고 있지만, 재료, 배합, 시공기술, 장비, 품질 규정 등 모든 면에서 규격화된 제반여건이 마련되어 있지 않다.

본 연구에서는 광산 스프레이 콘크리트에 대한 연구개발의 일환으로 산업부산물인 실리카흙, 플라이애시, 고로슬래그, 메타카올린을 구조재료인 시멘트에 혼입하여 광산 스프레이 콘크리트의 배합비를 도출하였다. 산업부산물을 혼입한 광산 스프레이 콘크리트의 최적 배합비 산정을 통해 광산 지보 본래의 역할인 광산 갱도의 안정성을 확보함과 동시에 최근 문제가 되고 있는 산업부산물의 재활용 극대화 방안을 제시함으로써 안정성과 경제성을 모두 만족할 수 있는 친환경적인 광산 스프레이 콘크리트의 배합비를 도출하고 평가하였다.

2. 시료 및 실험방법

2.1. 실험재료

광산 스프레이 콘크리트의 산업부산물 적용성을 평가하기 위해 실내에서 4종류 혼화제의 혼입을 별 강도 및 투수특성에 대한 실험을 계획하였다. 배합시에는 타설 전 공기량 확보를 목적으로 AE제를 혼입하였다.

(1) 시멘트

실험에는 KS L 5201 규격에 적합한 국내 H사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

(2) 골재

본 실험에 사용된 잔골재는 양질의 하천사(강모래)와 양질의 부순모래(CS1), 잔입자량이 많은 부순모래(CS2)를 사용하였다. 굵은 골재는 최대치수 13, 10 mm 쇄석(부순 골재)과 4종(쇄회석1종, 장석1종, 규석2종)의 광산

채굴 골재를 사용하였다.

(3) 혼화제

- 플라이애시

KS L 5405에서 규정된 국내생산 1종 플라이애시를 사용하였다. Table 1은 실험에 사용된 플라이애시의 물리화학적 특성 및 플라이애시의 모습을 나타내고 있다.

- 실리카 흙

Table 2는 실험에 사용된 실리카 흙의 물리화학적 특성을 나타내는 것으로 분말도가 20,047 m²/kg인 제품으로 SiO₂함량이 90.4%인 분말상(Undensified) 종류의 KS F 2567 콘크리트용 실리카 흙을 사용하였다.

- 메타카올린

Table 3는 메타카올린의 일반적인 물리화학적 성질을 보여주며, 물리적 특성으로 밀도가 2.63 g/cm³인 재료를 사용하였다.

- 고로슬래그

Table 4는 고로슬래그의 물리적 특성 및 화학조성을 나타내고 있다. 실험에는 KS F 2563 콘크리트용 고로슬래그 미분말 3종을 사용하였다.

(4) 혼화제

본 실험에 사용된 혼화제는 폴리카본산계열(PC계열)을 주성분으로 하는 슛크리트용 고유동화제와 음이온계열 AE제를 사용하였다.

2.2. 실험방법

(1) 슬럼프 및 공기량시험

콘크리트의 반죽질기를 알기 위해 슬럼프 시험은 KS F 2402에 의거하여 수행하였으며, 본 실험에서는 단위 시멘트량 변화 변수에서는 슬럼프 12±2cm 목표로 유동화제를 조절하였고, 다른 배합은 유동화제를 고정하여 콘크리트 반죽질기 평가를 실시하였다. 또한 굳지 않

Table 1. Physicochemical characteristics of fly ash

Classification		KS standard	Result
Chemical ingredients	SiO ₂ (%)	≥ 45.0	46.1
	C (%)		16.80
	Al ₂ O ₃ (%)		22.90
	CaO (%)		4.91
	Fe ₂ O ₃ (%)		1.84
Physical performance	Density (g/cm ³)	≥ 1.95	2.25

Table 2. Physicochemical characteristics of silica-fume

Classification		KS standard	Result
Chemical ingredients	SiO ₂ (%)	≥ 85	90.4
	CaO (%)		2.0
	Fe ₂ O ₃ (%)		3.0
	Al ₂ O ₃ (%)		1.5
Physical performance	Moisture (%)	< 3.0	1.15
	Steel heat loss (%)	≤ 5.0	2.72
	Particle size (%), 0-45 μm	≤ 5.0	2.0
	Density (g/cm ³)	≥ 2.8	3.0~3.5

Table 3. Physicochemical characteristics of meta kaolin

Surface area (cm ² /g)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)
12,000	56	37	2.4	0.2	0.3	0.8	0.2

Table 4. Chemical composition and physicochemical characteristics of blast-furnace slag

Classification		Unit	KS	Result	
Physical performance	Density	g/cm ³	≥ 2.80	2.90	
	Surface area	cm ² /g	40006000	4,306	
	Activity index	7 days	%	≥ 55	70
		28 days		≥ 75	103
		91 days		≥ 95	117
Flowing value	%	≥ 95	102		
Chemical ingredients	Magnesium oxide(MgO)	%	< 10.0	5.61	
	Sulfur trioxide(SO ₃)	%	< 4.0	1.00	
	Steel heat loss	%	< 3.0	0.43	
	chloride ion	%	< 0.02	0.007	
Etc.	Basicity	-	≥ 1.60	1.76	
	Plaster	Additoin			

은 콘크리트의 공기량 시험을 KS F 2421에 준하여 압력법에 의해 실시하였다.

(2) 압축강도

각 변수의 28일 압축강도 $\phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 가지고 KS F 2405의 제규정에 따라 압축강도를 수행하였다.

(3) 염소이온 침투 저항성 시험

염소이온 침투 저항성 시험은 콘크리트의 염화물 투과성의 정도를 파악하여 수밀성과 간접 내구특성을 평가하기 위해 수행된다. 일반적으로 콘크리트의 투수시

험은 높은 압력으로 물을 강제 투수시켜 Darcy의 법칙에 의하여 투수계수를 결정하는 방법이 있으나 조직이 치밀한 콘크리트의 경우 투수되는 수량이 극히 적으며 실험에 장시간이 요구되는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 수압에 의한 촉진 실험보다 효율적인 염소이온의 투과를 전압차에 의하여 촉진하는 시험법을 채택하였다. 따라서 본 실험은 다양한 스프레이 배합에 대하여 염소이온의 침투에 대한 저항성을 측정함으로써 각 배합의 투수성을 간접적으로 알아내는데 그 목적이 있다. 염소이온 투과시험은 KS F 2711과 ASTM

Table 5. Mixing ratio of admixture

Name	Mixing rate(%)	Symbol
Silica Fume	5, 10, 15	SF5%, SF10%, SF15%
Fly Ash	10, 20, 30	FA10%, FA20%, FA30%
Ground Granulated Blast Furnace Slag	30, 40, 50	GGBF30%, GGBF40%, GGBF50%
Metakaolin	5, 10, 15	MK5%, MK10%, MK15%

Table 6. Mix Design by variables

Variable	G _{max}	W	C	S	G	Admixture	AE	SP
		Unit volume (kg/m ³)						
REF	13	184	460	982.7	421.2	-	0.138	1.38
SF 5%			437	977.0	418.7	23		
SF 10%			414	971.3	416.3	46		
SF 15%			391	965.5	413.8	69		
FA 10%			414	970.4	415.9	46		
FA 20%			368	958.0	410.6	92		
FA 30%			322	945.7	405.3	138		
GGBF 30%			322	975.9	418.2	138		
GGBF 40%			276	973.6	417.2	184		
GGBF 50%			230	971.3	416.3	230		
MK 5%			437	980.1	420.0	23		
MK 10%			414	977.5	418.9	46		
MK 15%			391	974.9	417.8	69		

C1202-91에 의거하여 수행하였다.

(4) 레올로지 시험

콘크리트의 작업성(반죽질기 및 유동성)의 대표적 평가방법은 슬럼프 시험이다. 그러나 최근 콘크리트 혼화재료 다양화와 펌프차량의 콘크리트 이송능력 즉 펌핑성을 슬럼프 값으로만 판단하기에는 불충분하여 콘크리트 레올로지의 측정이 가능한 레오미터를 이용하여 판단한다. 특히 스프레이 콘크리트는 저슬럼프 콘크리트를 펌프차량으로 노즐 끝으로 펌핑하여 생산되는 시스템으로 펌핑성 평가가 필요하다. 콘크리트의 레올로지 시험 장치 중 캐나다에서 개발된 IBB Rheometer를 본 연구에서 사용하였다.

(5) 배합변수 및 배합설계

Table 5는 실내시험의 배합변수를 나타낸 것이며, Table 6은 변수별 실험 배합표를 나타낸 것이다. Table 8의 Ref는 기본 배합을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 실험 결과

(1) 슬럼프 및 공기량

Table 9는 슬럼프 및 공기량 시험 결과를 나타낸 것이다. 실리카 흙 혼입 변수를 살펴보면 전체적으로 슬럼프 수치가 줄어드는 경향을 보인다. 실리카 흙을 사용한 변수에서는 적정 슬럼프를 확보하지 못한다면 작업성이 급격히 저하될 것으로 판단된다. 플라이애시는 전체적으로 공기량 수치가 줄어드는 경향을 보이고 있다. 그러나 공기량이 8.5에서 8로 갈 때 슬럼프는 90에서 120으로 변화하였는데 이는 플라이애시가 AE제를 흡착하여 공기량이 감소하나 그 혼입량이 증가할수록 플라이애시의 형상에 따른 불베어링 효과로 슬럼프가 다소 상승된 것으로 판단된다. 고로슬래그 미분말 혼입 변수에서는 공기량, 슬럼프가 줄어드는 경향을 보였다.

Table 7. Result of slump test and air contents test of industrial byproducts

Variable	Air content (%)	Slump(mm)
REF	15	125
SF5%	15	95
SF10%	15.5	80
SF15%	10	30
FA10%	11	100
FA20%	8.5	90
FA30%	8	120
GGBF30%	14	110
GGBF40%	13	105
GGBF50%	11	65
MK5%	14	100
MK10%	12	70
MK15%	8.5	30

Table 8. Rheology and slump by variable

Variable	Slump(mm)	H(Nm.s)	G(Nm)
REF	125	2.599	5.487
SF5%	95	2.281	5.486
SF10%	80	2.226	6.965
SF15%	30	3.279	10.789
FA10%	100	3.694	10.309
FA20%	90	6.854	11.113
FA30%	120	6.949	9.597
GGBF30%	110	3.219	9.064
GGBF40%	105	3.101	6.973
GGBF50%	65	4.494	13.156
MK5%	100	2.293	6.917
MK10%	70	3.077	11.738
MK15%	30	3.479	18.673

메타카올린 혼입 변수에서는 공기량, 슬럼프가 줄어드는 경향을 보인다. 적정 공기량과 슬럼프를 확보하기 위해서는 적정 혼입량을 선정하여 최적 변수를 도출 할 필요성이 있으며, 이 공기량 및 슬럼프의 스프레이 콘크리트

작업성을 평가하기 위해 레올로지 평가를 실시하였다.

(2) 압축강도

Fig. 1은 산업부산물 혼입 배합의 압축강도 결과를 나타낸 것이다. 압축강도 시험결과 혼화재료 혼입에 따라 압축강도가 증가되는 경향을 보였다. 특히 플라이애

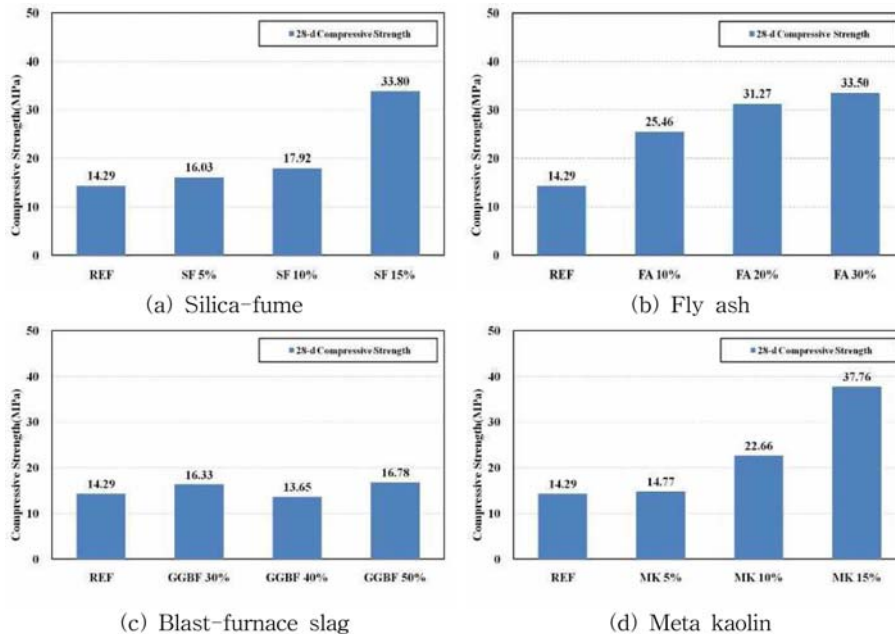


Fig. 1. Compressive strength results by mixing ratio of industrial byproducts.

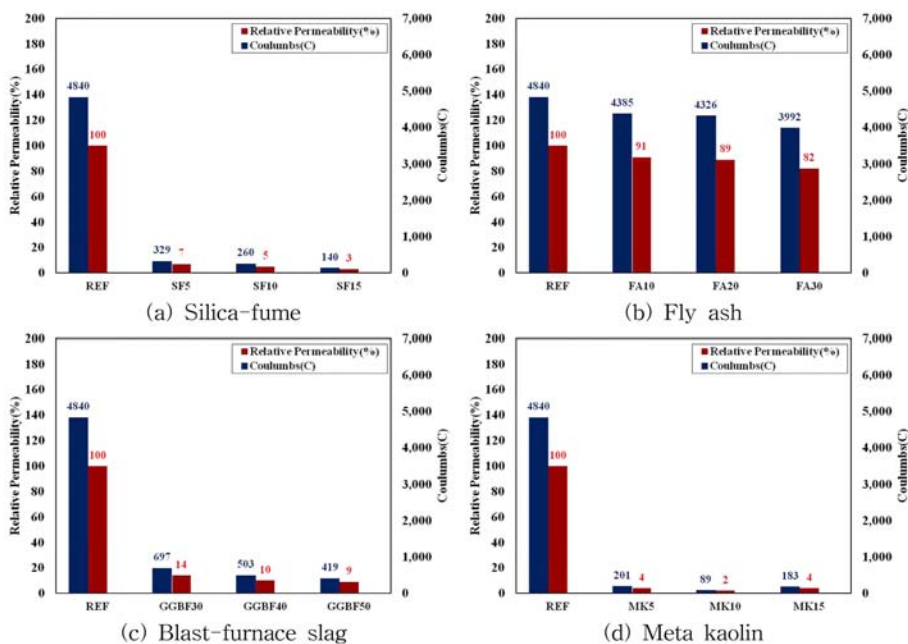


Fig. 2. Relative permeability by mixing ratio of industrial byproducts.

시와 메타카올린인 경우 혼화재료가 공기량을 감소시키고 함께 압축강도가 크게 증대되고, 실리카 흙은 공기량의 영향으로 혼입률 15% 경우를 제외하고는 혼입률에 따른 압축강도 발현효과가 저하된 것으로 판단된다. 고로슬래그의 혼입률에 따른 강도발현효과는 매우 미미한 결과를 얻었다.

(3) 염소이온 투과율

Fig. 2는 산업부산물의 혼입율별 염소이온 투과율 시험결과를 나타낸 것이다. 실리카 흙과 메타카올린 혼화재는 혼입률이 증가함에 따라 수밀성이 양호해지는 것으로 나타났으며, 반면 플라이애시는 혼입률에 따른 수밀성 즉 염소이온 투과율을 저하가 미미한 것을 알 수 있다. 따라서, 강도 및 수밀성 결과를 통해 스프레이 콘크리트 용 혼화재료는 실리카흙과 메타카올린이 가장 적합한 재료인 것으로 판단된다.

(4) 레오미터를 이용한 산업부산물 종류 및 혼입율별 작업성 평가

H(토크점성), G(흐름저항) 다음의 레올로지 정수를 이용하여 스프레이 콘크리트의 점성과 그에 따른 항복저항값을 측정하였다. Table 8과 Fig. 3은 레올로지 특성을 나타내고 있다. 토크점성 결과를 보면, 실리카 흙과 메타카올린은 혼입을 증대에 따라 토크점성 증가량이

크지 않고, 플라이애시는 혼입율에 따라 토크점성이 매우 크게 증대된다. 이 결과는 관(호스)내 재료를 이송시 재료상 점성토크가 작게 평가될수록 펌핑능력이 우수해 지므로 실리카 흙과 메타카올린의 펌핑능력이 우수할 것으로 판단된다. 또한 항복치인 흐름저항치는 클수록 불입성능은 좋아지나, 초기 펌핑압력이 크게 요구되고, 막힘현상이 발생할 우려가 있다. 따라서 플라이애시 및 고로슬래그는 항복치가 매우 높아 초기 이송압력 및 호스막힘이 발생할 가능성이 높다. 따라서 레올로지 지수에 의한 작업성을 간접적으로 평가하였을 때 실리카 흙과 메타카올린이 우수하며, 향후 직접 펌핑압 실험을 통해 혼화재료에 따른 펌핑성능을 평가하고자 한다.

3.2. 광산 스프레이 콘크리트 특성화배합 도출

고강도, 경제성 특성화 배합 도출을 위해 앞서 수행된 실험 결과를 바탕으로 광물성 혼화제(실리카흙, 메타카올린, 플라이 애시)를 혼입하여 고강도, 경제성 특성화 실내배합을 도출하고자 하였다. 또한, 도출된 배합을 바탕으로 현장 적용성 평가를 수행하였다.

(1) 고성능 특성화 배합

고강도, 고내구성 특성화 배합을 도출하기 위하여 광물성 혼화제인 실리카 흙과 메타카올린을 혼입하여 실

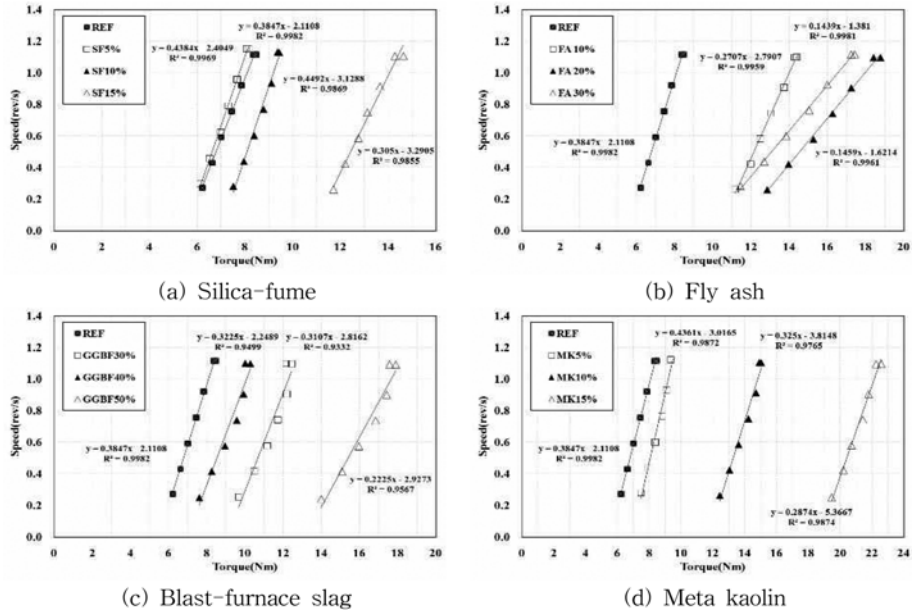


Fig. 3. Rheological Properties by mixing ratio of industrial byproducts.

Table 9. Mix design for high-performance characterization

Variable	W/B (%)	Gmax (mm)	S/a (%)	Unit volume (kg/m ³)								
				water	cement	fine aggregate	Coarse aggregate	Steel Fiber	addition		SP	
									SF	MK		
1	REF	40	13	65	192	480	1102	565	40	0	0	3.84 (0.8%)
2	SF5	40	13	65	192	456	1097	562	40	24	0	4.08 (0.85%)
3	SF10	40	13	65	192	432	1091	559	40	48	0	4.80 (1.0%)
4	MK5	40	13	65	192	456	1100	564	40	0	24	4.80 (1.0%)
5	MK10	40	13	65	192	432	1097	562	40	0	48	5.76 (1.2%)

내배합을 실시하였다. Table 9는 실내실험을 통하여 고성능 특성화 배합을 도출하기 위하여 실리카 흡과 메타 카울린을 각각 5, 10%로 혼입하여 나타낸 배합표이다. 고성능 배합을 위하여 W/B를 40%로 낮추고 단위 시멘트량을 480 kg/m³으로 높게 설정하였다.

Fig. 4는 고성능 특성화 배합의 슬럼프 및 공기량 시험결과이다. 무혼입 변수에 비하여 광물성 혼화제의 혼입량이 증가함에 따라 슬럼프가 감소하는 결과를 얻었

다. 메타카울린 10% 혼입의 경우 가장 낮은 70 mm의 슬럼프를 나타내었다. 공기량의 경우 1215% 사이로 나타나 비교적 차이가 없는 것으로 측정되었다.

Fig. 5는 고성능 특성화 배합의 압축강도 결과이다. 혼화제를 혼입한 모든 변수가 기본 변수보다 높게 측정되어 실리카흡과 메타카울린의 혼입이 강도 증진에 효과가 있는 것으로 판단되며 혼화제의 혼입량이 증가할수록 강도가 증가하는 것으로 나타났다.

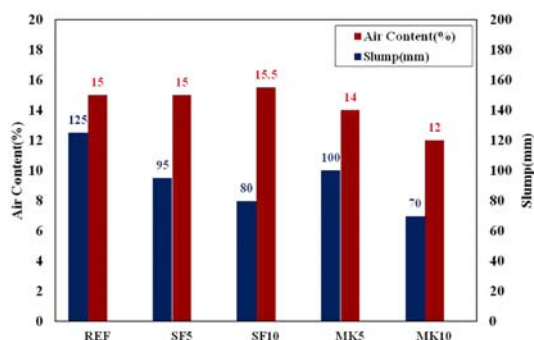


Fig. 4. Result of slump and air contents test of mix design for high-performance characterization.

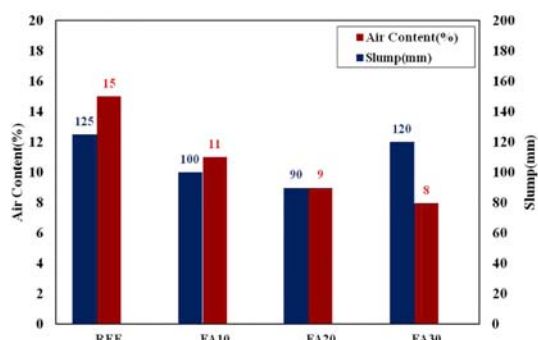


Fig. 6. Result of slump test and air contents test of mix design for economical characterization.

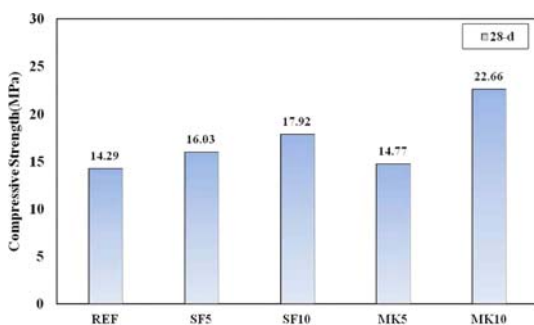


Fig. 5. Compressive strength of mix design for high-performance characterization.

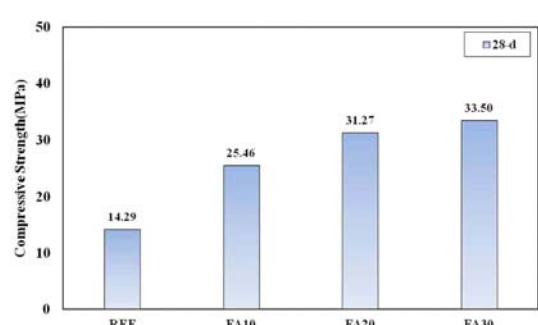


Fig. 7. Compressive strength of mix design for economical characterization.

(2) 경제성 특성화 배합

경제성 특성화 배합을 도출하기 위하여 광물성 혼화제인 플라이애시를 혼입하여 실내배합을 실시하였다. Table 10는 실내실험을 통하여 경제성 특성화 배합을 도출하기 위하여 플라이애시를 10, 20, 30%로 혼입하여 나타난 배합표이다. 이 배합의 경우 경제성 배합을 위하여 단위 시멘트량을 460 kg/m³으로 고성능 배합에 비하여 낮게 설정하였다.

Fig. 6은 경제성 특성화 배합의 슬럼프 및 공기량 시

험결과이다. 슬럼프의 경우 12590 mm로 측정되어 비교적 일정하게 유지되는 반면 공기량의 경우에는 혼화제의 혼입량이 증가함에 따라 낮아진다. 이러한 결과는 혼화제의 혼입량이 늘어나면서 굳기 전 콘크리트가 밀실해져 갇힌 공기의 감소로 인한 것으로 판단된다. 특히 플라이애시의 경우에는 AE제를 흡착하는 성질이 있기 때문에 혼입량이 증가할수록 공기량이 감소하는 경향을 보이는 것으로 판단된다.

Fig. 7은 경제성 특성화 배합의 압축강도 결과이다.

Table 10. Mix design for economical characterization

Variable	W/B (%)	Gmax (mm)	S/a (%)	Unit volume (kg/m ³)							
				water	cement	fine aggregate	Coarse aggregate	Steel Fiber	addition	SP	
									FA		
1	REF	40	13	65	184	460	982.7	421	40	0	1.38
2	FA10	40	13	65	184	460	970.4	415	40	46	1.38
3	FA20	40	13	65	184	460	958	410	40	92	1.38
4	FA30	40	13	65	184	460	945.7	405	40	138	1.38

Table 11. Mix design of field test

Variable	W/B (%)	Gmax (mm)	S/a (%)	Unit volume (kg/m ³)									
				water	cement	fine aggregate	Coarse aggregate	Steel Fiber	addition			SP	
									FA	SF	MK		
1	REF	40	13	65	192	480	1102	565	40	0	0	0	3.84 (0.8%)
2	SF5	40	13	65	192	456	1097	562	40	0	24	0	4.08 (0.85%)
3	SF10	40	13	65	192	432	1091	559	40	0	48	0	4.80 (1.0%)
4	MK5	40	13	65	192	456	1100	564	40	0	0	24	4.80 (1.0%)
5	MK10	40	13	65	192	432	1097	562	40	0	0	48	5.76 (1.2%)
6	FA20	40	13	65	192	384	940	558	40	96	0	0	5.28 (1.1%)

혼화제를 혼입한 모든 변수가 기본 변수보다 높게 측정되어 플라이 애시의 혼입이 강도 증진에 효과가 있는 것으로 판단된다. 또한 혼화제의 혼입량이 증가할수록 강도 값도 증가하는 것으로 나타났다.

(3) 현장 적용성 평가

현장실험을 통해 실내에서 도출된 고성능 특성화 배합 및 경제성 특성화 배합에 대한 적용성 평가를 실시하였다. Table 11은 현장 타설 시험에 사용된 실험 배합표를 나타낸 것이다. 특성화 배합 평가를 위한 배합에는 SF5, SF10, MK5, MK10을 적용하였으며, 경제성 배합에는 가장 적절하게 판단되는 FA20을 적용하였다. 또한 모든 배합은 압축강도 30MPa를 목표로 하여 설계하였다.

Fig. 8은 현장실험에 적용된 배합의 슬럼프 및 공기량 실험결과를 나타내고 있다. 고성능 특성화 배합의 경우 AE제를 혼입하지 않은 상태로 공기량은 1.21.7%로 측정되었다. 또한 경제성 특성화 배합인 FA20은 AE 감수제를 사용하여 12.5%의 공기량을 얻었다. 슬럼프 측정 결과 실리카 흡을 혼입한 변수가 메타카올린에 비해 상대적으로 낮은 값을 보였으며, 메타카올린에 비해 단시간에 배합이 잘 이루어 지는 것으로 판단된다. FA20 배합의 슬럼프는 150 mm로 측정되었다. 타설 현장과 B.P 거리가 3 km임을 고려하여 160 mm를 목표 슬럼프치로 하였으며 모든 배합이 비교적 적당한 슬럼프치를 보이고 있다.

현장에 타설된 스프레이 콘크리트의 코어를 채취하여

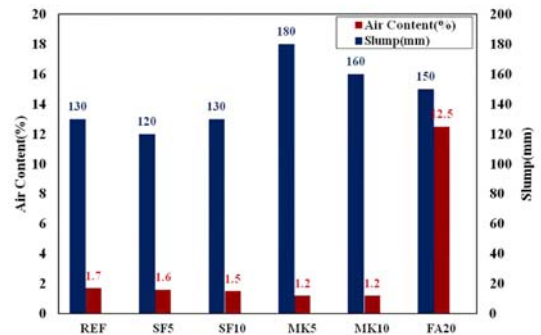


Fig. 8. Result of slump test and air contents test of mix design of field test.

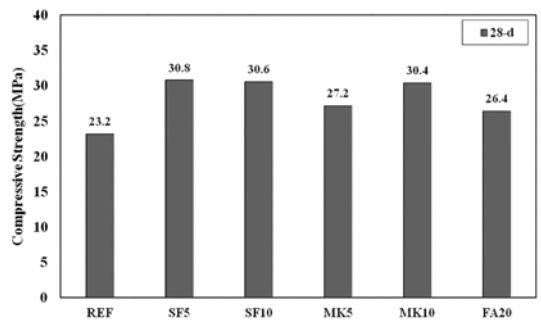


Fig. 9. Compressive strength of mix design of field test.

압축강도를 측정하였다. Fig. 9는 특성화 배합의 압축강도 결과를 나타내고 있다. 광물성 혼화제를 혼입한 모든 변수에서 기본배합보다 높은 압축강도를 갖는 것으

로 나타났으며, 광산 콘크리트의 고성능 특성화 배합 생산에 있어 광물성 혼화제의 혼입은 중요한 요인인 것으로 판단된다. 현장 시험에 사용된 배합의 압축강도는 26.230.08 MPa로 목표 압축강도인 30 MPa와 비교했을 때 고성능 배합 및 경제성 배합 모두 적절한 값을 얻을 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 광산 스프레이 콘크리트에 대한 연구 개발의 일환으로 산업부산물을 구조재료인 시멘트에 혼입하여 광산 스프레이 콘크리트의 산업부산물에 대한 적용성 평가를 실시하였고, 광산 스프레이 콘크리트의 배합비를 도출하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 슬럼프 및 공기량 시험 결과 혼입률이 증가함에 따라 전체적으로 슬럼프 수치와 공기량이 줄어드는 것을 확인하였다. 적정 공기량과 슬럼프를 확보하기 위해서는 최적 변수를 도출할 필요성이 있으며, 이 공기량 및 슬럼프의 스프레이 콘크리트 작업성을 평가 하기 위해 레올로지 평가를 실시하였다.

(2) 산업부산물 4종류에 대해 혼입율별 강도 및 염소 이온 투과시험을 수행한 결과 실리카 흙과 메타카올린이 스프레이콘크리트 적용에 적합한 것으로 판단된다.

(3) 산업부산물 4종류의 혼입율별 레올로지 시험 결과 펌핑성능 및 붙임성능을 레올로지수수로 간접평가한 결과 실리카 흙과 메타카올린의 성능이 우수할 것으로 판단된다.

(4) 고성능 특성화 배합의 경우 광물성 혼화제 무혼입 변수에 비하여 혼입률이 증가함에 따라 슬럼프가 감소하는 결과를 얻었다. 메타카올린 10% 혼입의 경우 가장 낮은 70 mm의 슬럼프를 나타내었으며, 공기량의 경우 1215% 사이로 나타나 비교적 차이가 없는 것으로 측정되었다. 따라서 실리카흙과 메타카올린의 혼입이 슬럼프와 공기량에는 영향력이 적은 것으로

판단된다.

(5) 경제성 특성화 배합의 경우 플라이 애시 혼입량의 증가에 따라 슬럼프는 12590 mm로 측정되어 비교적 일정하게 유지되는 반면 공기량의 경우에는 광물성 혼화제의 혼입률이 증가함에 따라 낮아지는 경향을 보이는데 이는 혼입률이 늘어나면서 굳기 전 콘크리트가 밀실해져 갇힌 공기의 감소에 기인한 것으로 판단된다.

(6) 실험에서 실시한 모든 변수는 각각의 기본 변수보다 압축강도 측정값이 높게 나타나 광물성 혼화제의 혼입이 강도 증진에 효과가 있는 것으로 판단된다. 실리카 흙과 메타카올린의 경우 혼입률이 증가함에 따라 강도 값도 증가하는 것으로 나타났으나, 플라이 애시의 경우 상대적으로 압축강도가 낮아 고성능 혼화제로써는 사용성이 떨어지는 것으로 판단된다.

(7) 고성능 특성화 배합 4개와 경제성 특성화 배합 1개를 현장 시험을 통해 현장 적용성 평가를 수행한 결과, 목표 압축강도와 유사한 강도를 발현하였으며 광산 스프레이 콘크리트의 배합에 적절한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부에서 시행한 지식경제 기술혁신 사업(과제명 : 광산 스프레이 콘크리트 최적배합 도출 및 설계등급화 제안을 통한 국내광산 적용성 평가)에 의한 것임을 밝히며 지면을 통해 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

1. Kamon, et al., 1999 : Solution Scenarios of Geoenvironmental Problems, Proc., 11th. ARC.. Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Seoul, Vol. 2, pp 207-226.
2. EFNARC, 2002 : Draft EN 14488, *Testing Sprayed, Fiber content of reinforced concrete.*
3. Melbye, 2000 : Sprayed Concrete for Rock Support, MBT International Underground Construction Group.
4. Austrian Concrete Society, 1990 : Guideline on shotcrete.

馬 相 準



- Univ. of Leeds, Mining & Mineral Eng. Dept. 공학박사
- 현재 한국건설기술연구원 연구위원