

## 광산 대규모 갱도에 대한 레디믹스트 쏘크리트의 현장 적용성 평가 A Study on the Field test of the Ready-mixed Shotcrete using in the Large-scale Mine

김동민<sup>1)</sup>, Dong-Min Kim, 이흥수<sup>1)</sup>, Heung-Soo Lee, 신흥준<sup>2)</sup>, Hong-Jun Shin, 강동준<sup>3)</sup>, Dong-Jun Kang

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 지반연구실 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering & Tunnelling Research Division, KICT

<sup>2)</sup> 한국광물자원공사 기술지원팀 팀장, Team Manager, Technology Support Team, KORES

<sup>3)</sup> 한국광물자원공사 연구개발팀 대리, Assistant Manager, Research & Development Team, KORES

**SYNOPSIS** : In recent years, the large-scale shaft have been applying in domestic mine for mass production using a large machine, the safety of mine also have been increasing. And the new trial that shotcrete of tunnel field was apply to mine support was progressed. But, the conditions of domestic mine was different from that of tunnel, so, the batch plant of tunnel could not be installed in mine field because of low economical efficiency and difficulty for selection of site. Ready-mixed Shotcrete that mixed with high quality materials and could be controled shotcrete quality is produced in plants and transported to field, so do not need to batch plant. In this study, The Field test of the Ready-mixed Shotcrete was performed in the large-scale mine and was compared with the quality of Field mix shotcrete. As the result of the Field test, compressive strength and rebound of Ready-mixed Shotcrete were superior to these of Field mix shotcrete.

**Keywords** : Large-scale Mine, Ready-mixed Shotcrete, Field test, High quality

### 1. 서론

최근 국제 원유 가격의 상승과 국가 연료 자원의 확보 등의 이유로 국내 광산에 대한 재개발이 계획되고 있고, 재개발되는 광산의 경우 대규모 장비를 이용한 채광 및 대량 생산을 목적으로 대규모 갱도 형식이 적용되고 있다. 대규모 갱도 적용으로 갱도 안정성 확보가 특히 요구됨에 따라 다양한 형식의 광산 지보재(록볼트 및 강지보재)를 이용하여 갱도 보강을 실시하고 있는 상황이나, 국내 광산업체 대부분이 영세업체이고 광물 채굴기간에만 갱도가 유지되는 광산의 특성상 연약지반 일부 갱도에만 지보가 설치되고 있는 상황이다. 특히, 일부 구간에는 무지보 상태로 갱도가 운용되고 있는 경우도 대부분이다. 록볼트 및 강지보재는 시공 및 활용 면에서 지보효과가 부족하고 공사기간이 장기화 되어 경제성에서도 효율이 낮기 때문에, 최근 터널 공사에서 지보재로 사용되고 있는 쏘크리트를 광산 갱도에 적용하고자 하는 시도가 이루어지고 있다. 그러나 광산 여건상 지반 상태 및 작업 안전성에 의해 연약지반에만 쏘크리트를 타설하기 때문에 고정적인 현장 배치플랜트를 확보하기에는 경제성 저하, 부지확보의 어려움 등의 문제가 있다. 따라서 인근 레미콘 제조 공장에서 배합된 쏘크리트 재료를 공급받아 시공하게 되는 데, 이러한 경우 이동 거리 및 시간에 따라 쏘크리트 품질이 저하되고, 광산 현장에 상주하는 전문 품질 관리자가 없기 때문에 현장 시공 품질 관리도 전혀 되지 않고 있는 실정이다.

레디믹스트(Ready-mixed) 쏘크리트란 재료의 배합 및 제조를 모르타르 전문업체에서 사전에 미리 실시하여, 골재의 철저한 토립분 관리, 확실한 입도관리, 재료 규격화 등을 거쳐 시공 품질을 극대화 시킬

수 있게 제조되는 숏크리트 재료이다. 따라서 기존 현장 배치플랜트에서 배합되던 숏크리트의 품질 저하 문제를 효과적으로 개선할 수 있다. 현재 고정적인 현장 배치플랜트가 없는 광산의 경우 품질관리가 우수한 레디믹스트 숏크리트를 톤백 형식으로 이송하여 현장에서 물만 배합하여 타설할 경우, 우수한 시공 품질 확보가 가능하며, 록볼트 및 강지보재에 비해 갱도 전면에 보강효과 발휘가 가능한 광역적인 보강재료로서 대규모 갱도의 안정성 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 광산 갱도에 대한 레디믹스트 숏크리트의 타설실험을 통해 광산 갱도 적용성을 평가하고자 하였다.

## 2. 국내 광산 갱도 특성

### 2.1 석탄광산 갱도

국내 석탄광산 갱도의 크기는 대부분 1.8×1.8m~2.1×2.1m로 협소하며, 현재 가행중인 일부 대규모 광산의 경우에는 3.0×2.5m~3.8×2.8m로 비교적 넓은 편이다. 석탄광산에서 사용되는 주요 지보재는 철재 및 목재지보가 대부분이며 갱도의 사용목적에 따라 콘크리트, PSC, 록볼트가 사용되기도 하는데, 철재 및 목재지보가 전체의 약 88%를 차지하고 있다.

### 2.2 금속광산 갱도

국내 금속광산 갱도는 표 1에서 살펴보듯이 대부분 2.0×2.0m 내외로 협소하며 대규모 광산갱도의 경우에는 2.4×2.1m 혹은 5.0×5.0m 규격으로 개발되고 있다. 갱도주변의 암석은 광종에 따라 다르나 대부분 견고한 암석으로 되어 있어, 일부 광산갱도를 제외하고는 지보시공 없이 갱도가 유지되고 있다.

표 1. 국내 주요 금속광산 갱도 규격

지역	광산명	암종	갱도규격(m)	지보재	심도	비고
경북 봉화	연화(연,아연)	석회암 등	2.4×2.1	무지보	-800m	휴광
	금호(연,아연)	석회암 등	2.1×2.1(5.0×5.0)	무지보	-300m	가행중
강원,영월	상동(중석)	석회암 등	4.0×3.0	록볼트	-600m	석회석 개발중
양양	양양(철광)	편마암	2.4×2.1	무지보	-400m	폐광
정선	신예미(철광)	석회암 등	5.0×5.0×25	무지보	-200m	가행중
경기 연천	연천(철광)	편암 등	4.5×4.5	무지보	수평	가행중

표 2. 국내 주요 비금속광의 갱내 규격

지역	광산명	암종	갱도규격(m)	지보재	연장
강원, 정선	청수, 성신, 정선	석회암 등	5.0×25.0~15.0×27.0	무지보	500~1,000m
	예미	석회암 등	10.0×6.0	무지보	300m
삼척	삼도	석회암	13.0×5.5	무지보	600m
충북,제천	장자, 제천, 청림 등	석회암 등	5.0×5.0~10.0×10.0	무지보	500m
단양	백광	석회암	9.0×6.0	무지보	600m
전남,해남	부곡	납석	(5.0×4.5)×15 m 높이	록볼트	1,500m

### 2.3 비금속광산 갱도

대형장비를 이용하여 개발되고 있는 국내 비금속광의 경우에는 표 2와 같이 갱도 규격이 5.0×5.0×5.0m 이상이며, 채광작업을 병행하고 있는 갱도는 폭이 10m 이상되는 넓은 갱내공간을 확보하고 있다. 갱도는 채광 중에 굴착하므로 석회석 광산의 경우 균열대가 아닌 지역은 무지보로 갱도를 유지하고 있으며, 보강 구간은 록볼트 등에 의해 갱도를 보강하고 있다.

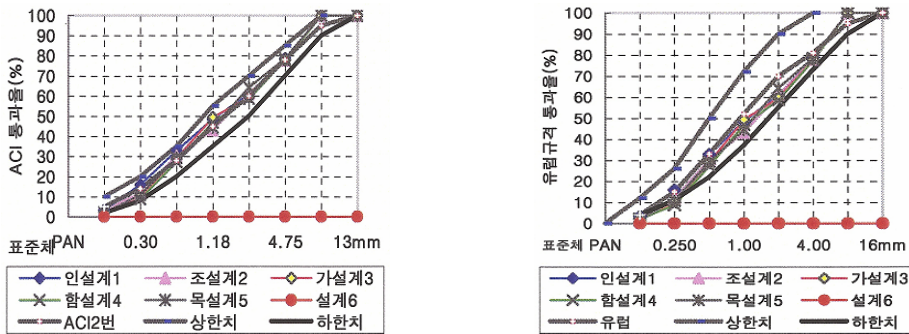
### 3. 광산 갱도 적용성 평가

#### 3.1 레디믹스트 슛크리트 재료 생산

광산 갱도 적용성 평가를 위해 생산된 레디믹스트 슛크리트 재료는 국내 H사의 생산지별 골재를 수집하여 표 3과 같이 7개로 분류한 뒤, ACI 및 유럽규격의 슛크리트 골재 입도기준에 맞게 입도조정을 실시하였다. 그림 1은 굵은 골재 최대치수 10mm를 적용하는 국외 규격의 입도분포를 나타낸 것으로 입도조정시험 결과 생산지별 7곳 모두 적합한 입도범위를 만족하였다. 그리고 재료를 체분석한 결과 적당한 양의 미립분을 포함한 OOO 공장 골재가 가장 적합한 것으로 나타났다.

표 3. 레디믹스트 슛크리트 재료(국내 H사)

생산지별 구분	S1	S2	S3	S4	계
	0.1~0.8mm	0.8~2.4mm	2.4~5.6mm	6~8mm	
1	486.8	380.5	318.9	334.0	1,520.2
2	486.8	380.5	318.9	334.0	1,520.2
3	486.8	380.5	318.9	334.0	1,520.2
4	486.8	380.5	318.9	334.0	1,520.2
5	486.8	380.5	318.9	334.0	1,520.2
6	494.2	386.3	323.7	339.1	1,543.3
7	495.2	387.1	324.3	339.8	1,546.4



(a) ACI 규격 적용 (b) 유럽통합규격 적용  
그림 1. 레디믹스트 슛크리트 재료 입도 분석 결과

#### 3.2 적용성 평가 실시

현장 적용성 평가는 강원도 삼척 △△광업소의 석회석 광산에서 실시하였는데, 타설 갱도는 15.0~20.0m 정도의 대규모 갱도로서 대형 장비 운행이 가능한 전형적인 비금속광산 갱도였다. 사전에 공장에서 제작된 레디믹스트 슛크리트와 광산 및 터널 현장에서 일반적으로 사용되고 있는 현장배합 슛크리트의 품질을 비교하고자 하였다. 특히, 장기내구성에 영향을 미치지 않으며 경제성 있는 혼화재료를 선택하여 유동성을 개선시키고자 혼화제로 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 혼입하였고 보강섬유는 합성섬유를 사용하였다.

적용성 평가에 사용한 고로슬래그 미분말은 광양 제철소 발생된 것으로 3종 고로슬래그 미분말을 사용하였는데, 물리적 특성은 표 4와 같다. 합성섬유는 레디믹스트 슛크리트에 적용 가능한 종류를 선별하여 품질평가 후 사용하였는데, 합성섬유의 물리적 특성은 표 5와 같으며 실내시험을 통해 혼입량은 5kg/m<sup>3</sup>을 적용하였다. 급결제는 알칼리 프리계를 사용하였으며 혼입량은 시멘트량 대비 약 8%(wt)를 모든 배합에 동일하게 적용하였다. 표 6은 현장 적용성 평가에 사용된 실험배합을 나타낸 것이다.

현장 적용성 평가는 레디믹스트 슛크리트 재료를 사일로에 충전하고 이동식 믹서트럭을 이용하여 믹싱과 동시에 타설장비에 투입하는 과정으로 실험을 실시하였는데, 그림 2는 실험 모습을 나타낸 것이다.

표 4. 고로슬래그 미분말의 물리적 특성

종류	밀도(g/cm <sup>3</sup> )	잔분(>45 $\mu$ m,%)	평균입경( $\mu$ m)	비표면적(cm <sup>2</sup> /g)	수분(%)
고로슬래그 미분말(3종)	2.88~2.94	2.0 이하	12~16	4,000~6,000	0.4 이하

표 5. 합성섬유의 물리적 특성

종류	탄성계수(GPa)	비중	섬유길이(mm)	인장강도	형상	적정 혼입량(kg/m <sup>3</sup> )
모델명 H사	4~6	0.90	50	300~500	날개타입	4.0~8.0

표 6. 현장 적용성 평가 실험배합

배합명		Gmax (mm)	slump (cm)	W/C (%)	W	C	골재				섬유 합성 섬유(kg)	혼화제		혼화제 유동화제 (분말)	
							S1	S2	S3	S4		BFS C*30%	F/A		
															골재
레디믹스트	1	8	12	45.6	212	465	1124		600		5	-	-	1.67	
	2						(잔골재)		(굵은골재)						
	3						560 347 332 347		557 344 330 345						
현장배합	광산용	K	13	15	42.0	146	450	1047		617		40	-	-	1.67
	터널용	N	13	12	34.6	129	489	(잔골재)		(굵은골재)					

비고) BFS : 고로슬래그 미분말 F/A : 플라이애쉬



(a) 사일로 재료 충전



(b) 이동식 믹서트럭 믹싱



(c) 슬럼프 측정



(d) 슛크리트 타설



(e) 리바운드 측정



(f) 타설 완료

그림 2. 현장 적용성 평가 모습

### 3.3 적용성 평가 결과

표 7은 배합별 리바운드율 측정 결과를 나타낸 것인데, 레디믹스트 슛크리트 배합이 현장배합에 비해 3~4% 정도의 리바운드 감소 효과를 나타내었다. 레디믹스트 슛크리트의 경우 골재 최대치수가 8mm까지 감소하

면서 최초 암반면에 타설될 때 모르타르와 함께 골재가 섞여서 암반면에서 리바운드가 잘 되지 않은 반면, 현장배합의 경우에는 골재 최대치수가 13mm로 상대적으로 크기 때문에 암반면에 모르타르가 어느 정도 붙을 때까지는 골재가 모르타르 속에 섞이지 못하고 리바운드되는 양이 많이 발생하였다. 골재 최대치수를 감소시킴으로 인해 리바운드를 확실하게 줄일 수 있었고, 국외 터널 선진국의 경우를 살펴봐도 골재 최대치수를 줄이고자 하는 연구가 많이 진행되고 있으며, 국가 품질 규정에도 골재 최대치수를 8~10mm로 제안하고 있다.

압축강도는 재령 1, 7, 28일 마다 각 배합별로  $\phi 10 \times 20\text{cm}$  크기의 코어를 채취하여 측정하였는데, 표 8은 재령에 따른 각 배합별 압축강도를 나타낸 것이다. 초기 재령에서 레디믹스트 쏫크리트 배합은 현장배합에 비해 상대적으로 월등한 압축강도 발현을 나타내었는데, 고로슬래그 치환 배합인 RM-BFS2, RM-BFS3의 경우에도 21MPa 가까이 나타내어 골재 품질의 개선으로 인한 강도 증가를 확인할 수 있었다. 재령 28일에서는 현장배합의 경우 터널설계기준의 기준강도(21MPa)를 가깝스로 넘긴 하였지만, 레디믹스트 쏫크리트에 비해서는 상당히 낮은 값을 나타내었다. 공장생산을 통해 철저한 품질관리와 입도관리가 이루어지고 골재 최대치수를 줄인 레디믹스트 쏫크리트는 고로슬래그 치환으로 인해 시멘트량이 감소하였음에도 불구하고, 강도 발현은 기존 현장배합에 비해 우수함을 알 수 있었다.

표 9는 재령 28일에서의 배합별 휨강도를 나타낸 것이다. 모든 배합의 경우 터널 설계기준(4.5MPa)은 상회하는 것으로 나타났는데, 광산용 및 터널용 현장배합에 비해 레디믹스트 쏫크리트의 휨강도가 상대적으로 적게 나타났다. 쏫크리트 보강섬유는 매트릭스의 최초 균열 발생 후 발휘되는 인성에 영향을 미치는 것이 일반적인 견해이나, 섬유 종류, 혼입량, 인성 등에 따라 휨강도에도 영향을 미치는 실험 결과들을 자주 확인할 수 있다. 추가적인 연구와 실험을 통해 확인되어야 하겠지만, 합성섬유와 강섬유의 종류 차이와 혼입량의 차이에 의해 레디믹스트 쏫크리트의 휨강도가 상대적으로 적게 나타난 것으로 예상된다.

표 7. 배합별 리바운드 결과

배합		리바운드율(%)
레디믹스트 쏘크리트	RM-P1	5.3
	RM-BFS2	5.0
	RM-BFS3	4.5
광산용	K	8.9
터널용	N	8.2

표 8. 배합별 압축강도 결과

배합명	재령	압축강도 (MPa)		
		1일	7일	28일
레디믹스트 쏘크리트	RM-P1	20.03	33.08	42.55
	RM-BFS2	21.09	33.43	45.20
	RM-BFS3	21.11	33.57	45.00
광산용	K	10.81	19.69	28.60
터널용	N	7.88	15.54	25.80

표 9. 배합별 휨강도 결과

배합	레디믹스트 쏫크리트			광산용	터널용
	RM-P1	RM-BFS2	RM-BFS3	K	N
휨강도(MPa)	4.6	5.1	4.6	6.5	5.5

## 4. 결론

본 연구에서는 광산 갱도에 대한 레디믹스트 쏫크리트 타설실험을 통해 광산 갱도 적용성을 평가하고자 하였다. 강원도 삼척의  $\Delta\Delta$ 광업소 석회석 광산에서 실시된 적용성 평가에서는 공장 제작된 레디믹스트 쏫크리트와 광산 및 터널 현장에서 일반적으로 사용되고 있는 현장배합 쏫크리트의 품질을 비교였다. 적용성 평가에서는 리바운드율, 압축강도 및 휨강도를 측정하여 비교하였는데, 본 연구의 종합적인 연구요약 및 결론은 다음과 같다.

- (1) 광산 대규모 갱도에서의 레디믹스트 쏫크리트 적용성 평가를 위해 실제 광산 갱도에서 현장타설 실험을 실시하였고, 광산용 및 터널용 현장배합 쏫크리트와의 품질 비교를 통해 리바운드율, 압축강도 및 휨강도 등을 평가하였다.

- (2) 리바운드율 평가결과 레디믹스트 슛크리트 배합이 현장배합에 비해 3~4% 정도의 감소한 것으로 나타났는데, 골재 최대치수가 8mm로 감소하면서 최초 암반면에 타설될 때 골재와 모르타르가 함께 섞여서 암반면에서 리바운드되는 양이 적은 반면, 현장배합의 경우에는 골재 최대치수가 13mm로 상대적으로 크기 때문에 모르타르가 암반면에 어느 정도 두께의 피복을 형성하기 전까지는 골재가 모르타르에 붙지 못하고 리바운드되는 양이 많이 발생하였다.
- (3) 압축강도 평가결과 초기 재령에서 레디믹스트 슛크리트 배합이 현장배합에 비해 2배 정도 크게 나타났는데, 시멘트 일부를 고로슬래그로 치환한 배합의 경우에도 21MPa 가까이 발휘되어 골재 품질의 개선으로 인한 강도 증가를 확인할 수 있었고, 재령 28일에서는 현장배합의 경우 터널설계기준의 기준강도(21MPa)를 가까스로 넘긴 하였지만, 레디믹스트 슛크리트 배합은 최소 42MPa로 현장배합에 비해 2배 이상 크게 나타났다.
- (4) 휨강도 평가결과 레디믹스트 슛크리트 배합은 실험적 오차로 판단되는 3번 배합을 제외하고는 모두 4.5~5.0MPa 정도로 나타났고, 현장배합의 경우도 4.5MPa 이상으로 나타나 휨강도 차이는 크지 않는 것으로 나타났다.
- (5) 광산 대규모 갱도 적용으로 인해 갱도 안정성 확보가 요구됨에 따라 터널 슛크리트의 광산 적용이 시도되고 있으나, 광산 여건상 현장 배치플랜트 확보가 불가능하고 공급되는 현장배합 슛크리트의 품질 저하로 인해 공장 생산 방식의 고품질 레디믹스트 슛크리트를 사용함으로써 대규모 갱도 안정성 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국광물자원공사의 2009 광물공 위탁연구의 지원으로 수행된 것으로 연구를 가능케 한 한국광물자원공사에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 건설교통부(1999), **도로설계편람(터널편)**
2. 김맹기(1995), “콘크리트 혼화재료용 Fly-Ash 성능검토 및 레미콘 제조용으로 사용시 품질관리 방법에 대한 고찰(II)”, **한국전자제시협연구원** 여름호
3. 마상준, 최재석, 김동민, 김재신(2005), “고성능 슛크리트 적용 가능성 파악을 위한 슛크리트 품질특성 검토”, **한국터널공학회 학술발표회 논문집**, pp.131~133.
4. 한국도로공사 도로연구소(2001), **강섬유보강 슛크리트의 성능향상 및 품질기준 정립(II)**, 도로연 01-37.
5. Austrian Concrete Society(1990), *Guideline on shotcrete*
6. EFNARC(1996), *European Specification for Sprayed Concrete*
7. EFNARC(2002), *Draft EN 14488 : Part 7 Testing Sprayed pART 7 : Fiber content of reinforced concrete.*
8. Norwegian Tunneling Society & Norwegian Rock Mechanics Group(1999), *Sprayed Concrete for Rock Support-Technical Specification, Guideline and Test methods.*