

공동 매립 충전 재료 및 공법 시공사례

김 경 덕 (한일시멘트 중앙연구소 건설재료2팀 연구원)

1. 배경 및 목적

경부고속철도 제1-2공구 조남터널 시공계획서를 작성하고자 현장조사 과정에서 폐광이 발견되어 안정성에 따른 보강방법을 연구하게 되었는데 조남1터널의 상부에 폐광이 위치한 관계로 시공중은 물론 준공 후 열차의 운행에도 그 안정성이 우려되는 바 이에 대한 근본적인 대책수립이 필요하다고 판단되었다. 따라서 동 광산에 대한 정밀조사 후 완전한 보강시공을 함에 그 목적이 있다.

2. 개요 및 범위

본 광산은 경기도 시흥군 수암면 목감리에 위치하고 안양 지적 78호에 해당하는 단위형의 단일 광구로 구성되어 광구등록번호 33069호로 금, 은, 구리, 납, 아연 등의 광종이 등록되어 있다. 하지만 정확한 등록시기는 파악되지 않고 인접한 시흥광산의 광구설정 시기 등과 비교할 때 이보다 조기에 등록되었을 가능성이 있으며 광업등록사무소 광업권 등록 현황 자료에 의하면 1988년 12월 13일자로 광업권이 소멸된 이후 폐광된 상태이다.

광산명은 수암광산으로 알려져 있으며 대질항이라 불리는 단일갱도와 1개소의 사수갱 및 보조 사수갱으로 이루어진 소규모 광산이다.

이 광산의 연장은 268m로 총단면적 1,902m³로 산출되었고 폐광형태의 안정성 검토는 대한 광업진

홍공사에서 조사를 하였다. 고속철도의 항구적 안정성 확보를 위해서는 상부 채굴동굴이라 할지라도 반드시 보강조치가 필요하다고 판정이 되어 상부 채굴 영향권내에 있는 수암광산의 채굴적 형상, 규모 등을 감안할 때 제방안, 시공성, 경제성, 신뢰성 등을 고려하여 공동 충전공법이 반드시 필요하다고 판정되었다.

3. 현황 분석

가. 채굴 및 공동 규모

조사된 결과에 의하면 지하채굴 공동의 전체 체적은 약 1,902m³에 해당하는 것으로 갱내 측량에 의한 맥상광체의 채굴 공동폭(진폭)은 약 2~4m 정도에 이르며 수직 채굴고는 약 3m에서 최대 16m 정도에 해당한다. 각 개소별로 채굴된 채굴적의 폭은(연장방향) 8m 내외이며 모든 경우에 있어 철도터널의 직상부에 채굴공동이 위치하고 있다. 갱도노선 및 단면측량 자료에 근거하여 각 갱도별 체적을 산출한 결과 총 1,902m³로 확인되었다.(〈그림-1,2〉) 〈표-1〉은 산출된 갱도별 체적을 요약한 것이다.

나. 지질

(1) 지질 및 지반조사 결과

지하구조물을 체계적으로 건설하기 위해서는 구

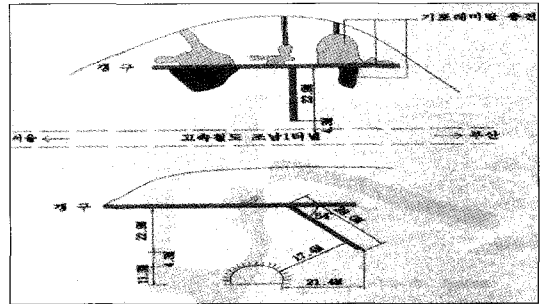
〈표-1〉 갱도별 거리 및 체적

구분	갱도명	거리(m)	체적(m ³)	
북부 주갱도	AN1	AN1	35.6	158.76
		CdAN1	9.0	217.92
		CuAN1	5.5	133.18
	AN2	28.0	197.53	
	소계	79.0	707.39	
남부 주갱도	AS1	AS1	34.5	202.72
		AS3	3.0	12.51
		CuAS1	14.0	145.49
		CdAS1	8.0	92.64
	AS2	13.5	71.67	
	소계	73.0	524.98	
Cross 갱도	CR1	40.0	219.30	
	CR2	14.0	51.57	
	소계	54.0	271.01	
사수갱	SH1	30.3	238.00	
	SH2	13.7	51.05	
	소계	44.0	289.05	
중단 채굴적	U	AN1u1	13.0	87.81
		AN1u2	5.0	21.38
	소계	18.0	109.19	
총계		268.0	1901.62	

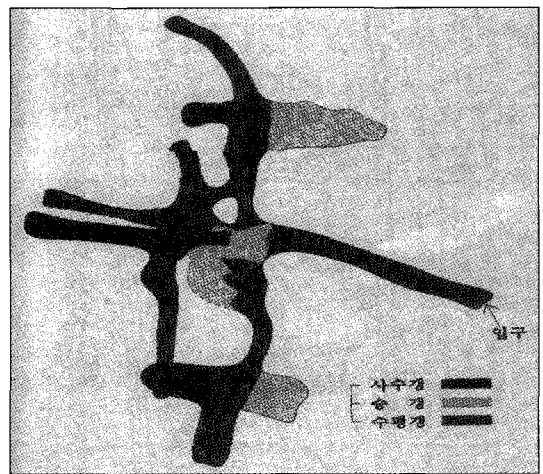
* 상기 표는 광산갱도 및 고속철도 예정노선에 대한 중심좌표 자료, 표고 성과표 등에 근거하여 광산갱도와 고속철도 예정노선간의 이격거리가 산출되었다.

조물의 계획, 설계, 시공에 필요한 암반의 특성을 공학적으로 판정하는 것이 필요하다. 암반 분류는 이러한 판단을 기초로 암반의 조건을 수치로 정량화함으로써 경제적이고 능률적인 굴착과 지보설계에 필요한 자료를 제공하고, 분류기준에 의한 암반의 등급분류는 시공단계에서 계측에 의한 판정을 종합적으로 보완하는데 유용하게 사용된다.

고속철도 제1-2공구 조남터널 시공지역 일대는 선캄브리아기에 형성된 경기 편마암 복합체(Kyeongki Gneiss Complex)의 일부에 해당하는 지역으로 주로 편암류, 석회규산염암 그리고 관입한 중생대의



〈그림-1〉 폐광 단면도



〈그림-2〉 폐광 평면도

화성암류로 구성되어 있다. 조사지역내의 편암류들은 백운모편암, 흑운모편암, 석영편암으로 대개 북동의 주향과 남동의 경사를 나타내며 발달, 분포하고 있으며 동일 시대에 형성된 석회암과 석회규산염암은 편암류내에 협재되거나 부분적으로는 전이되며 나타난다. 또한 관입암류들은 시대상으로 중생대에 관입한 것으로 규장암, 반화강암, 석영맥이다.

4. 폐광 보강공법의 선정

가. 공법 선정시 고려사항

폐광 보강공사는 조남1터널 위에 폐광이 위치한

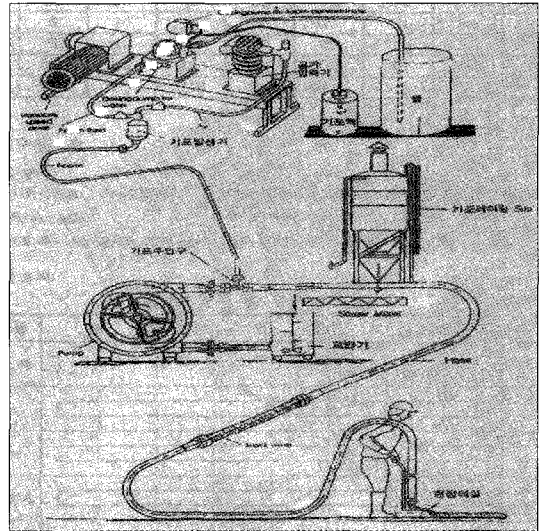
관계로 폐광보강 시공중 과도한 하중을 발생시키거나 시공 후 고속철도가 고속운행시 터널내에 바람진동을 일으키기 때문에 터널의 안정성을 고려하여 폐광 보강공법을 선정해야 한다.

따라서 공동매립 충전시 공동내 시공목적, 조건 및 재료 특성에 따른 장, 단점 등을 검토하여 시공 공법을 선정하여야 되는데, 본 폐광의 경우 충전물 직접투입(토사, 암석, 자갈, 폐기물 및 기타)으로 공동충전 검토를 하였으나 충전율이 낮고 추가로 충전 그라우팅이 필요하며, 콘크리트로 공동 충전할 경우 재료의 단위용적중량이 무거워 2차적인 안정성을 고려하여야 한다.

또한, 콘크리트가 공동바닥에서 퍼지는 정도가 불명확하므로 많은 투입공이 요구되어, 본 폐광의 공동매립 충전은 유체물 압송법으로 재료의 비중이 가볍고, 유동성이 뛰어난 재료(에어물탈 및 에어믹크)로 선정할 경우 완전 충전이 가능하며 공기단축과 적은 인원으로 시공할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 향후 공동의 안정성도 우수할 것이라 판단되어 이상의 조건에 부합되는 재료를 선정하기로 하였다.

나. 보강공법 선정

가의 공법 선정시 고려사항에서 공동매립충전법 검토 결과, 유체물 압송법으로 재료의 비중이 가볍고, 유동성이 뛰어난 재료를 선정하여야 된다고 검토되었기 때문에 이에 부합되는 재료를 조사하던 중, 기포레미탈이 가장 적합할 것으로 나타났다. 기포레미탈은 비중조절, 압축강도 조절, 연속시공, 작업공간이 협소하여도 시공이 가능하며 우천시에도 시공이 가능하므로 공기단축이 된다. 따라서 여러 측면에서 기타 다른 공법에 비해 장점이 많은 것으로 나타났다. 경제성 검토에서도 재료비, 공기단축, 시공인원 최소 등 기타 다른 공법에 비해 경제적인 것으로 나타나, 본 폐광 보강시공에서는 기포레미탈을 이용하여 FIRM 공법으로 공동을 충전하기로 결정하였다.



〈그림-3〉 FIRM 공법 시공도

다. 기포레미탈의 특성

(1) 레미탈이란?

레미탈은 시멘트와 건조선별(모래입도별 선별)된 모래 및 각종 특성 개선제를 과학적인 공정을 거쳐 이상적인 배합비율에 따라 혼합되었으며, 레미탈은 공사현장에서 물만 부어 사용할 수 있는 드라이 몰탈이다.

(2) 기포레미탈의 특성

기포레미탈의 시공은 일정량의 시멘트, 모래 및 혼합재를 공장에서 정량 계량 생산한 기포레미탈을 현장 싸이로에 운반, 저장후 기포레미탈 전용 시공 장비를 이용하여 무수히 많은 기포군을 몰과 혼합되어진 기포레미탈 슬러리에 정량 혼입하여 고압펌프로 타설 장소로 압송하는 경량 기포 콘크리트의 새로운 과학적 시공방법으로 한일시멘트가 특허로(특허 제 187431) 보유하고 있는 일명 FIRM(Foam Injected Ready-mixed Mortar) 공법으로 시공하였다.〈그림-3〉 이러한 FIRM 공법으로 생산되어진 경량 기포레미탈은 다음과 같은 특성이 있다.

〈표-2〉 기포레미탈 배합설계시의 공시체 실험 결과

(kg/m³)

구 분	기포레미탈			혼합수	기 포 균	Wet 밀도	Dry 밀도	압축강도	
	시멘트	모 래	혼합재					7일	28일
실험결과	450	113	23	234	33.51(670,2ℓ)	970	729	48	58

주) 상기 도표의 수치는 온도 20℃, 습도 85%에서 양생한 직후의 결과임.

(가) 경량성(Light Weightness)

미세한 기포조직으로 밀도 300~1,200kg/cm³로 일반 콘크리트 제품(약 2,300kg/m³)보다 1/2~1/8 정도의 경량제품이다.

(나) 압축강도(Compressive Strength)

용도와 비중에 따라 광범위한 배합의 조정생산이 가능하며 소비자가 원하는 강도를 선택적으로 사용할 수 있다.(압축강도 5~150kg/cm²)

(다) 작업성(Pumpability/High Workability)

기포액, 슬러리량의 정량투입 조정이 가능하고 자동 연속식으로 장비를 운용할 수 있어 작업성이 뛰어나고, 이에 따라 시공비가 절감된다.(1일 기포작업량:150~200m³)

(라) 단열성(Thermal Insulaton)

용도와 비중에 따라 광범위한 배합의 조정생산이 가능하여 소비자가 원하는 열전도율을 선택적으로 사용할 수 있으며 단열 및 결로방지에 우수하다.(열전도율 0.07~0.30kcal/mh℃)

(마) 흡음 및 차음성(Sound Proofing)

다공성의 무수한 기포 형성으로 흡음성은 보통 콘크리트보다 매우 양호한 효과가 있다.

승강에 대한 보강시공은 A와 B의 위치에 주입공과 확인공을 천공하여 완전 충전이 되도록 〈그림-4〉와 같이 하였다. 폐광산 정상에서 승강이 위치한 곳에 크로라 드릴(Alttag)을 사용, Ø 6' (15.25mm) Hole을 L=7.55m, L=8.37m 천공하여 PVC Pipe (Ø 150mm)를 투입하였다. 주입공과 검사공 사이는 1m의 간격으로 천공, 주입공으로 주입시 주입량을 확인하고 검사공에서는 완전 충전시 검사공으로 공기가 빠져나가는 역할과 완전 충전시 검사공으로 기포레미탈이 차올라오는 것을 확인하게 된다.

나. 시공관리

(1) 격벽설치

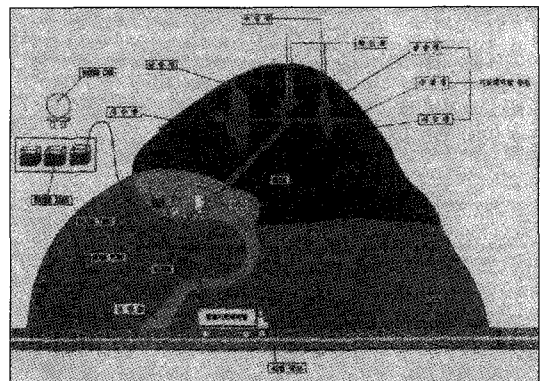
승강 및 사수갱 타설시는 격벽설치가 필요 없으나 수평갱 타설시는 격벽을 설치하여 구간을 만들어 타설하였다. 이 격벽은 총 12Ea를 설치하였는데 격벽 설치 방법은 견고성을 감안하여 각목으로 별도 지지대를 만들었고, 단위용적중량이 큰 제품 타설시는

라. 기포레미탈 배합설계

경부고속철도 기포레미탈(폐광채움용)의 배합설계 기준설정을 위해 감리단에서 요구되는 품질수준으로 확인실험을 진행하였다.〈표-2〉

5. 시 공

가. 상부에서 지표면 천공 현황



〈그림-4〉 조남1터널 폐광 보강공사 작업장 배치도

Wire Rope 나 반선을 이용하여, Anchor를 심고 타설되도록 할 경우 견고한 격벽이 될 것이다. 타설방법은 1층 타설 양생후 2층 타설 완충을 시켰는데 타설시 중요한 사항은 격벽에 틈이 없도록 시멘트 페이스트(Cement Paste)로 틈새를 완전히 밀폐시켜야 작업을 할 수 있다. 만약 밀폐되지 않은 부분이 있을 경우 기포레미탈이 흘러나와 작업을 지연시킨다.

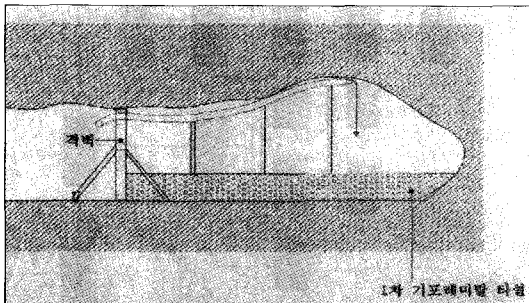
(2) 양수작업

사수갱 30m내에 고여있는 물을 $\phi 2'$ 양수기로 밑바닥까지 내려가 물이 없도록 철저히 양수작업을 하였고 바닥과 벽면에 물기를 제거하기 위해 드라이 레미탈을 뿌려 페이스트(paste) 형태로 응결시켜 바탕작업을 한 후 기포레미탈을 투입하였다.

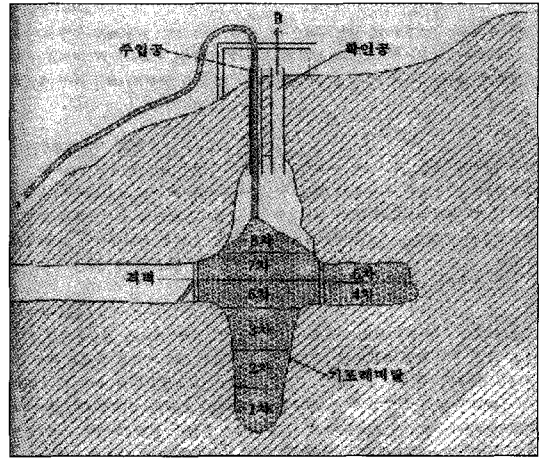
(3) 기포레미탈을 타설하기 전에 <그림-5>에서 보는 바와 같이 수평갱 타설시 격벽설치와 <그림-6>에서 보는 바와 같이 수직갱 타설시의 주입공 및 확인공을 천공하여 사수갱에서 5m, 수평갱에서는 1~1.5m씩 타설하였다.

(4) 양생관리

갱도 내부의 온도는 평균 10~12°C의 기온을 유지하고 있었고 공동에 기포레미탈을 투입시 재료 분리를 막기 위해 연속배합으로 혼합 후 즉시 타설하여 균일한 충전이 되도록 System을 선정하였다. 타설시 Laitance가 없도록 함과 동시에 타설시 침하가 어느 정도인지 확인한 결과 수직갱 5m 타설시 1.2cm 정도의 미세한 침하량을 보였다. 공시체는 48시간 갱도 내부에서 양생후 탈형, 실험실에서 지속



<그림-5> 수평갱 타설시 격벽설치도



<그림-6> 수직갱 타설시 격벽설치도

적으로 양생후 압축강도 측정을 하였다.

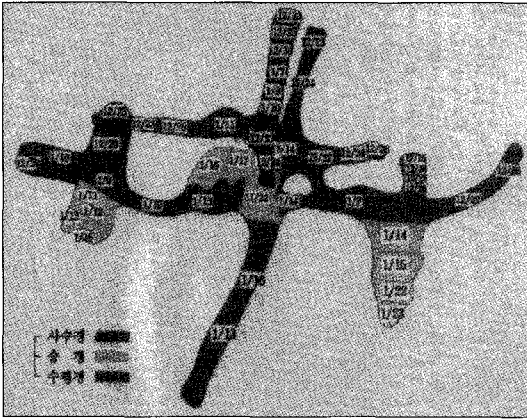
6. 시공 진행 현황

가. 시공량

조남1터널의 폐광시공은 '97년 12월 15일부터 사수갱 충전 시공을 시작으로 '98년 1월 23일까지 승갱부를 완전 충전, 40일간의 폐광 보강시공을 완료하였다.<그림-7>) 본 폐광의 공동규모를 조사하였을 때 약 1,902m³로 산출되었으나 기포레미탈을 충전하면서 공동규모가 약 2,210m³로 약 308m³의 차이가 나타났다. 따라서 시공설계시 예상되었던 레미탈의 사용량(1,902m³에 대한 레미탈 1,115톤)이 공동규모가 2,201m³로 되면서 레미탈이 180톤 증가되어 레미탈을 총 1,295톤 사용하였다.

나. 폐광 보강시공 결과

폐광 시공이 완료되면서 Boring Sample을 상부와 갱입구에서 채취, 압축강도를 실험한 결과, 평균 70kg/cm²의 압축강도가 발현되어 좋은 결과로 나타났다.



〈그림-7〉 폐광 시공 진행 일정표

7. 결론 및 제언

가. 결론

21세기 미래의 교통수단이 되어질 경부고속철도는 최고시속 300km로 달리기 때문에 고도의 첨단 기술과 정밀시공이 요구되며, 이러한 고속철도의 안정성 확보를 위하여 차량과의 상호 연계성을 감안한 노반 구조물의 설계 및 설계기준에 따른 완벽한 시공이 필수적이라 하겠다.

금번 고속철도 제1-2공구의 조남터널 공사도중 발견되어진 폐광공동은 고속철도의 특성상 일반철도보다 훨씬 큰 동하중과 풍압을 감안할 때 터널 안정성에 심각한 위협을 초래할 것으로 판단되어 각 분야의 전문가들에 의하여 폐광도 정밀 실태조사에 따른 보강설계가 이루어졌다. 폐광공동 보강설계시 우선적으로 고려되었던 항목들은 다음과 같다.

- (1) 적정강도(압축강도 $\sigma_{28} = 50\text{kgf/cm}^2$ 이상)를 유지하며 단위용적중량(비중 0.65~0.75)이 가볍고, 공동부분은 완전히 충전시킬 수 있는 유동성이 우수한 재료의 선정.
- (2) 폐광의 구조상 사수갱, 수평갱, 승갱으로 이루어진 각 부분의 공동을 완전히 충전시킬 수 있는

- 시공계획 수립 및 이에 적합한 시공장비의 선정.
- (3) 최종 타설 제품의 품질 수준을 확인할 수 있는 현장 품질관리 지침 마련.

상기와 같은 조건을 만족시키기 위하여 여러가지 재료와 시공방안이 검토되어진 바, FIRM공법을 이용한 경량 기포레미탈 시공방법은 원재료 자체가 전자동 생산시스템에 의한 레미탈 전용공장에서 배합되어지므로 제품품질의 신뢰성을 기할 수 있고, 싸이로 시스템에 의한 제품공급으로 전체적인 공사기간 단축과 함께 쾌적한 현장환경을 유지하며 공사가 진행되어졌고, 현장 시공장비 또한, 완전 자동화 기계에 의한 제품 타설이 이루어져 최소한의 인력투입으로 구간별 타설 일정표에 의하여 엄격한 현장품질 관리로 주입공 및 확인공을 통하여 구간별 완전 충전상태를 확인하며 성공적으로 시공이 완료되었다.

나. 제언

본 폐광시공 수행결과 전 항의 결론을 내리면서 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

- (1) 지하체굴 공동보강시 현장 여건에 따른 최적의 충전재료 선정으로 갱내 강관기둥 설치나 토사 투입 등과 같은 일시적인 보강대책보다는, 주변 토질 특성에 맞는 보강설계로 장기적인 지반 안정성을 기대할 수 있으며, 완전 충전이 가능하고 시공성이 우수한 기포레미탈과 FIRM 시공방법을 지속적으로 연구 개발하는 한편,
- (2) 국내 최초로 적용되어진 금번의 폐광 보강공사 시공 사례를 토대로 국내 여타지역에 산재하여 문제가 되고 있는 폐광 개발지구에 대한 해결방안을 제시할 수 있도록 노력하고,
- (3) 기타 연약지반 보강, 급경사지 및 터널배면 채움 등과 같은 토목분야에도 적용되어질 수 있도록 유관 전문가관과 협조하여 향후 국토개발에 기여할 수 있도록 무한한 노력을 하여야 할 것으로 사료된다. ▲