

Rotary Dump Grout

金 鎮 源*
Kim, Jin Won

<目 次>

- I. 서언
- II. 지질개요
- III. Lining 구간과 천반가블
- IV. Grout 設計
- V. Grout 孔別 作業現況
- VI. Grout의 유지기간(천반보완작업)
- VII. 結言

I. 서언

장성 제 2 수갱 Rotary dump의 천반 Grout는 갱도유지를 위하여 필수적인 것으로 6000여톤/일을 수갱 SKIP으로 送炭하도록 Lining 공사를 시공하였으나 천반 Concrete 벽체가 갈라져서 반 및 붕괴의 우려가 極甚하여 위험을 내포하고 있는 시설물을 사전에 미연 방지하므로써 생산지장을 예방하자는데 있었다.

지하 600m 심도에 구조 시설물은 근년에 점차 증가 추세이므로 지하심 부경도 설계에 관심이 많은 분들에게 연구에 박차가 가해질 것으로 생각되어 기재하니 많은 충언을 기대합니다.

II. 지질개요

본 지역의 지질은 紅占統의 세일과 砂岩層 구

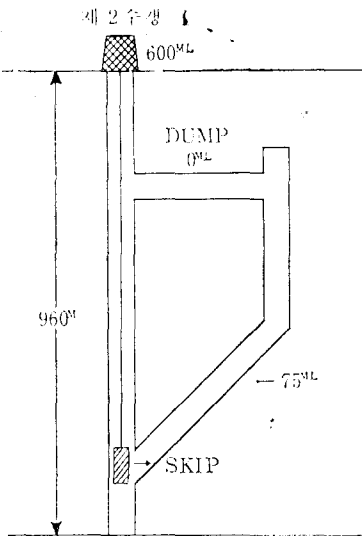
간으로서 연약한 지층이므로 발파과정에 가블 고락이 되었고 Rock Bolt가 되지 않는 악조건에 천반 시설상 문제점을 안고있다.

紅占統 암석이 SiO_2 가 45%, K-feldspar 운모가 40%의 화학성분을 나타내는 것으로 보아도 암석의 강도나 변형도가 홍점통>장성층하반암>장성층상반암>함백산층의 순으로 간주될 수 있다.

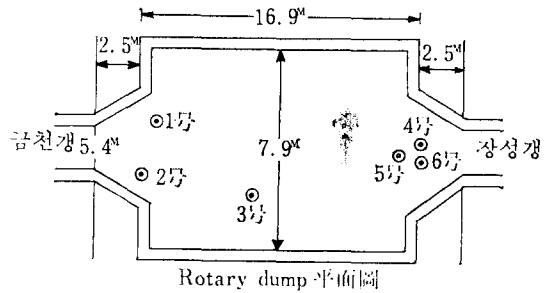
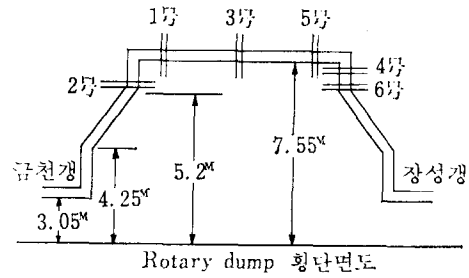
홍점통의 사암 전단강도 寺洞統의 사암보다 전단강도가 약하니 부득이한 경우를 제외하고는 시설물 설치에 가급적 삼가해야 할 것이다. 석탄층 상·하반층 압질은 STRESS의 방향이 함백산 대단층을 따라서 문곡갱 지구로 부터 금천갱 장성갱, 철암갱 지구로 이동함에 따라 90° 변화되었다. 이에 따라 습곡축의 방향이 90° 이동되었고 철암갱 지구는 과습곡 현상으로 M Type을 형성하였고 문곡단층과 철암단층, 여러가지의 습곡구조가 간섭현상을 이루었다.

이런 조건에서 수갱 Rotary dump 홍점통 지대는 Cleavage가 우세하며 세일은 대부분 파쇄되었다. 수평적인 STRESS는 3차 이상의 영향을 받은 지역이다. 좌측 습곡과 우측 습곡의 방향이 상반되므로 세일대는 교란되었고 사암대는 균열되었다. 장석질이 우세하고 활석을 함유하므로 강도면에는 매우 약하므로 천반 암석이 잘 빠지는 조건이다.

* 産業應用技術士(應用地質). 大韓石炭公社地質課長.

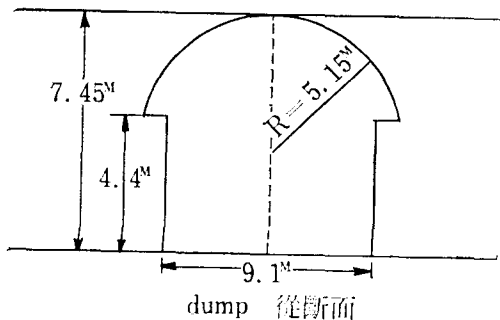
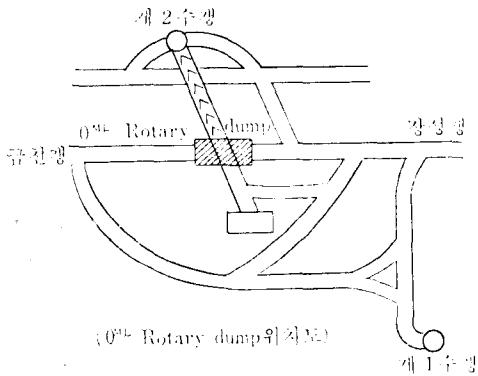


더우기 심도 600M에서 홍점통 암석이 잘 빠지는 조건이다. 더우기 심도 600M에서 홍점통 암석이 굴착단면의 증가는 지압적인 면에서도 문제의 대상이 될 것은 당연한 귀결이다.



Ⅲ. Lining 區間과 天盤가블

- 가) 가블량 : 145M³
- 나) 天盤과 Lining 구간 : 2.5M
- 다) 천반과 Lining 구간의지주 : 木積시공
- 라) Lining 시공상태 : GI 100 BEAM 으로 원형 Lining 후에 목적지주로 시공하였다. Lining GI BEAM 에 베니아판을 대고 Cement Concrete 와 골재의 혼합 불량한 개소의 출현으로 철망을 부착시켜으나 붕괴가 우려되었다. 축벽이 밀려나와서 배부른 장성측은 안전에 우려되었으며 천반이 갈라진 틈이 많아서 도괴의 위험은 極甚한 실정이었다(1985. 10 월).



Ⅳ. Grout 設計

가) 施工方法

145M³의 충전시 고려할점은 천반의 면압권의 확대는 방지 가능하다고는 할수있으나 또한 木績을 쌓아놓은 경목 부패 방지의 효과는 있다고 하나 기 시공된 Cement Concrete 벽체가 푸석 푸석 하고 견고하지 못하므로 Packer 를 부설하여 압력을 최대한 상승 시킬수가 없으니 암석틈

까지 충전은 불가능한 실정이다. 따라서 갱목의 100% 완전 부패 방지는 불가한 것이다.

수분 함수로 당초 하중이상으로 증가하고 wire net 가 치질 우려가 있으며 차라리 급결제 사용이 유리한 방법으로 판단되나 단점은 골고루 채워서 충전하기가 곤란하다.

시공상의 위험부담을 안고 경험 부족으로 성공여부에 담변하는것은 모두 기피하는 입장, 기생산중 가동적인 시설물에 피해가 가해지면 천반이 내려앉아 장성공업소의 생산은 수일간 중지 될것은 기정사실, 책임감에 시공자로서의 결단으로 시공하기란 쉬운 일이 아니다. 송장치우고 살인 난다는 격언처럼 천반의 공동이 평균 2M 내외이니 워낙 공동이 커서 강도있는 Shotcrete 방법이 유리하나 이미 木積들이 Arch 지주 위에 세워져 있는 상태이므로 Shotcrete 공법 적용은 불가하다. 注入前에 ①누수시험 ②습수로 인한 구조물의 지지능력 시험 ③주입압력이 주입 Pipe(nozzle) 끝에만 걸려서 내려갈수 있도록 수압 시험이 필요하다.

주입계획공의 위치를 1案은 천반 제일 한가운데 시공하는 방법과 2案은 측부를 먼저 해보는 방법중에서 2案을 택하기로 결정했는데 그것은 중심부가 하중이 걸리면 지주상에 취약점이 있기 때문이었다. 단 주입을 하되 주입이 완료되면 반드시 보완지주·시공을 하는 조건하에서 공지로 결정하였다. 그리고 주입이 되면 측벽이 세워지고 최종적으로 천반이 채워지면 일종의 Dome 狀이 되므로 순수한 천반 하중을 면하게 될것으로 판단된다.

나) 주입재의 선택

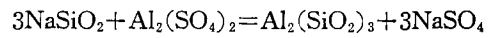
① 약액 주입재 검토

주입공법의 결정은 핵심이 되는 것이며 이의 선택 여하에 따라 성패가 판가름나므로 세밀하게 검토한 후에 공법을 결정해야 한다. 주입재의 固化를 단축 시키기 위하여 각종 주입재의 재

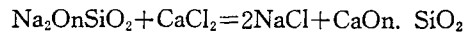
로 선택은 매우 중요한 사항의 하나이다. 藥液 注入工法 시행 여부를 검토 하였으나 과거 日本에서 1974년에 藥害사건으로 사용이 금지된바 있었던 점으로 미루어 약액주입공법은 합당하지 않다고 생각되었다.

약액주입재는 구미에서 시작되었으며 그 보급이 경이적이었으며 도시 토목 공사에도 활발히 이용되고 있었으나 문제점을 등한시 할수는 없었다.

1960 년도에 약액주입재의 사용은 $Al_2(SO_4)_2$ 에 물을 첨가하면 gel 상태의 규산을 발견하여 이점을 이용 약액주입재가 활발히 사용하게 된 것이 시초라고 한다.



不溶性 침전 gel이 생성된다.



1974년 일본 九州지방의 하수도 공사에서 규산소다를 사용하여 부근 우물에 오염, 인명에 중독을 일으키므로서 위험성이 있어 사용 금지령이 내려 졌었다.

약액주입 공법의 선택은 不可한 실정이었고 특히 Epoxy, Urethan, Polymethan, Acrylate Polymer 등은 gel time을 연장 시키고 깊이 암석에 침투하기 위해서도 강점이 있으나 독성때문에 사용이 不可하였다.

② 시멘트 주입재 검토

약액 주입재를 검토하지 않고 시멘트 주입재를 사용할 경우 시멘트의 종류별 선택성을 검토하였다.

②-1 초미립자 시멘트

초미립자 Cement는 대부분 평균입도가 $4\mu m$ 이나. 최대 $10\mu m$ 이다. 비중은 3.0으로서 투수 계수가 10^{-2} , $10^{-4} cm/sec$ 인 세립질 사암에 침투가 가능하다($1\mu = 100$ 만분의 1m).

유기물질이 없고 지하수나 지층 암석에 오염되지 않는다. 화학 조성을 검토하면 보통 Cement와 대차가 없다.

化 學 組 成

組 成	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Igoloss	계
%	29.3	13.2	1.2	49.3	5.6	1.2	0.3	99.7%

②-2 코로이드 시멘트는 대부분 평균입도가 $10\mu\text{m}$ 이나 최대 $15\mu\text{m}$ 이다.

비중은 3.02로서 토양의 작은 공간도 침투가 가능하다. 注入 후 30분 후에 주입량의 $1/3$ 이 퇴적하고 60분 후에는 $2/3$ 가 퇴적하고 120분 후에는 주입량의 전체가 퇴적하는 특성을 가지고 있으나 주입량이 뛰어나다는 강점이 있다. 化學組成은 초미립자 Cement와 큰차가 없다.

②-3 포트랜드 시멘트

포트랜드 시멘트는 대부분 평균 입도가 $20\mu\text{m}$ 이나 $15\mu\text{m}$ 에서 $30\mu\text{m}$ 이내이다. 비중은 3.1로서 사암이나 제일중에 Crack이나 Joint에 주입된 Core에서 확인하여 보면 1mm 이상의 균열에 시멘트가 주입되어 고결되어 있음을 자주 볼 수 있다.

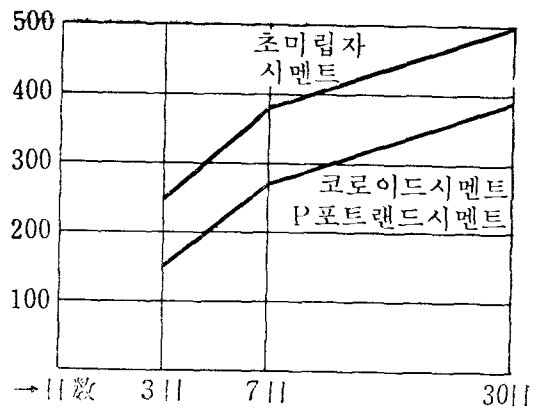
Rotary dump 부근의 지질은 紅店統의 세일과 사암지대로서 연약지반으로 발파에 의한 영향권 파쇄대를 생각하면 Joint 균열틈까지 충진을 위해서라면 입도상으로 보아, 포트랜드 시멘트 정도면 충분히 조건이 될 것으로 판단 되었다.

②-4 Cement 주입재별 압축강도시험.

Rotary dump의 천반은 시간이 갈수록 면압권의 확대라는 차원에서 빠른 시일에 지지하여 주지 않으면 하부에 설치된 기물에 손실은 生産에 중대한 지장을 우려하지 않을 수 없었다. 그러므로 주입재의 역할은 강도면에서 충분 조건을 갖추어야 할 것이다. 압축강도가 사암이나 세일에 못미치나 순수시멘트의 강도를 강하게 할 필요는 있는 것이다. 보통시멘트는 3일이면 양성이 된다.

3일 후에 압축강도를 보면 초미립자 시멘트는 압축강도가 $250\text{kg}/\text{cm}^2$ 이고 7일 후의 압축강도가 $400\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상이 됨을 알 수 있다. 코로이드 시멘트나 포트랜드 시멘트는 공히 3일 후면 양성되는데 압축강도는 $120\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 $150\text{kg}/\text{cm}^2$ 에 이르며 7일 후에는 $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 $220\text{kg}/\text{cm}^2$ 이상이 된다. 그러므로 강도면에서 초미립자 시멘트가 포트랜드 시멘트에 비하여 약간 강도가 더 있음이 확인되었다.

지압이라는 측면에서 무시할 수 있을 정도의 강도이며 다만 면압권 확대의 방지라는 차원에서 주입재 역할은 가능한 것으로 판단된다.



(시멘트 주입재별 압축강도시험)

특히 약액재의 압축강도는 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 에서 $20\text{kg}/\text{cm}^2$ 내외이므로 강도면에서는 시멘트가 강점이 있다.

②-5 Cement 別 침전속도 시험

초미립자 시멘트와 포트랜드 시멘트를 프라스코에 담아서 흔들어 침전되는 속도를 측정하였다. 이는 시추기의 Mixer 통을 지나서 注入호스를 통과하는 사이에 호스에 침전되는 것을 사전에 알아야 하고 주입 되어야 할 체적에 침전되는 양을 계산 하자는데 기초자료를 얻고자 검토한 것이다.

초미립자 시멘트는 물과 분리되어 완전침전될 때 약 70분이 소요되나 포트랜드 시멘트는 약 30분이면 침전이 완전히 됨을 확인하였다. 이런 점으로 보아 침전속도가 빠른 포트랜드 시멘트가 양호한 것은 틀림 없다고 생각되나 注入하는 호스의 길이가 가급적이면 짧은것이 유리하며 최대한으로 그 길이는 감소 시켜서 시공하여야 겠다고 판단하였다.

다) 주입공법의 선택

Cement 注入工法은 암반의 공극을 채우고 누수 및 용수를 방지하는데 사용할 뿐만 아니라 암반을 강화하는데도 사용된다. Cement의 농도와 암반의 성질, 주입압력, 주입속도에 따라 결정하며 일반적으로 주입개시 때는 水 : Cement 比가 최소 10 : 1, 15 : 1의 비율로 농도를 낮추어 주입하여 시험하며 보아야 한다(투수시험 위한

것).

間隙과 유동성이 크면 水 : Cement 비율을 2 ~ 5 : 1의 비율로 주입 하여야 하나 위낙이 균열이 크면 톱밥을 사용하여야 한다.

주입압력은 최고 허용 압력을 제한하는 이상으로 시공하여야 하며 암반의 두께, 암반상 구조물의 중량, 암반의 종류와 물리적인 성질, 시멘트의 밀크농도, 주입 목적에 따라 주입 압력을 2kg/cm²에서 70kg/cm²로 사용 가능하다.

주입공 간격, 주입공 長, 주입심도는 작업 상황을 보아서 적절히 조절해야 한다.

① S.G.R 공법

Space Grout Rocket 공법은 적용이 불가의 실정이다. 특수 선단장치로 유도 공간을 설치하여 저압으로 주입하고 지반을 균일하게 개량시키는 공법이나 천반에는 갱목이 쌓여 있어서 홍점통의 세일이나 사암에 천공이 불가하므로 본 공법은 적용이 부적합하다.

② J.S.P 공법

Jambo Special Grout 공법은 多重管에 100kg/cm² 내지 200kg/cm² 이상의 초고압 강제치환 공법으로 지반을 교란시켜 밀크 고압 주입하므로 지반의 용기 현상에 인접 시설물에 파괴될 우려가 있으므로 주입효과 기대가 불리 할뿐 아니라 200kg/cm²의 압축공기의 공급이 도저히 不可하다.

③ Strainer Packer 주입공법

주입대상 구조물이 갱목으로 벽을 영성하게 채워져 있으므로 Open Joint의 상태와 같은 조건이라 생각된다. 그러므로 일종의 아치형인 Dome 상의 Grout 형태가 될것이다.

이러한 Dome 상의 Grout 형태를 만들기 위해서는 Strainer Packer 주입공법이 가장 유효한 방법이 되겠다. 이는 10 Lugeon 내지 100 Lugeon 値에 해당된다.

Joint의 크기가 2mm 이상의 폭을 갖고 있으며 먼거리 이동은 불가하나 침투는 양호하다.

0.5mm 이하는 사실상 침투가 매우 힘들다. Joint가 30°나 60°가 서로 교차하면 수직 Grout가 양호하다. 수평 Grout는 매우 불리하다.

주입재가 板狀이면 주입관 이동에는 불리하나 5mm 이하 75μm의 모래는 300m의 거리까지

펌프로서 이동이 가능하다.

라) 주입 대상물 침전시 문제점 검토.

① 침전도 검토

시멘트를 Mixer 하는 동안에 입자는 分散(disperse)하고 물과 합쳐서 진한 죽(粥)과 같은 형태가 아닐 경우에는 시멘트는 중력에 의해 가라앉는다. 이를 침전도(bleeding mechanism)라고 하는데 Grout 설계에서 매우 중요한 것이다. 초기의 Bleeding rate는 다음 算式에서 구할 수 있다.

$$I = \frac{9}{32} \cdot \frac{dm^2}{Y} \cdot \frac{DC - DW}{DW} \cdot \frac{W^2}{1 + 3W}$$

dm : 시멘트입자의 직경

Y : 물의 Viscosity

DC : 시멘트의 밀도

DW : 물의 밀도

W : 물과 시멘트의 무게비

시멘트는 보통 120분이면 무게가 물과 합쳐져 2배로 증가한다.

물과 시멘트의 배합 비율은 주입하면서 수시로 상황을 판단하여 예의 적절히 조절 하여야 한다.

② 시멘트의 유동성 검토

시멘트는 입자간의 견인력에 영향받고 진한 용액은 사용하여야 할 Grout에서는 움직이는 시멘트 입자의 분리 능력에 의하여 쉽게 Pumping이 된다.

그러므로 Pump 성능을 높이기 위하여 팽윤방지제를 이용하여 팽윤을 지속화 시키는 방법도 있다. 시멘트의 유동성을 높이는 데는 미립질 시멘트가 유리하나 입자의 표면적을 증가 시키고 또는 물과의 분리를 늦게하여 즉 固化를 늦추기 위한 작업을 포트랜드 시멘트에는 할 필요가 없다. 왜냐하면 어떤 層狀의 Joint에 주입 하는 것이 아니기 때문이다. 그러나 Grout 되어야 할 Dome 상의 구조물 측면은 Joint 충전성의 Grout가 이루어져야 한다. 시멘트의 이동은 Bingham 유동성을 갖고 있으므로 Grout 유동이 일어나기 위하여서는 Shear Stress가 일정한 비율의 Strain이 이루어도록 가해져야 한다.

Shear Stress의 조건은

$$T = T_s + Y_p \cdot \frac{ds}{dt}$$

T : Shear Stress

T_s : 초기 Shear Strength (dyne/cm²)

Y_p : 프라스틱 점성과 동일 (CP)

$\frac{ds}{dt}$: Shear Strain의 비율 또는 유동성의 속도
구배.

시멘트의 유동성은 시멘트와 물의 배합 비율이 0.9보다 작은 수치가 될수록 Shear Strength, Viscosity가 급격히 증가됨을 보아 알수 있다.

물의 배합과 Shear Strength

물의비율	Shear Strength T _s (dyne/cm ²)	Plastic Viscosity Y _p (C _p)	비 고
0.3	3840	4.03	
0.4	670	0.9	
0.5	230	0.37	
0.6	120	0.2	
0.7	70	0.13	
1.0	29	0.06	
2.0	10	0.025	
5.0	5.3	0.014	
10.0	4.3	0.012	
20.0	3.9	0.011	

수배합의 비율이 증가하면 Shear Strength-Viscosity가 감소한다는 것은 당연한 것으로 비율이 5일때가 Grout 하기가 가장 알맞다.

주입관내의 시멘트의 응상 유동성은 다음 식으로 가능하다.

$$V = \frac{D}{8} \cdot \frac{ds}{dt}$$

V = 유동속도
D = Pipe의 ϕ
 $\frac{ds}{dt}$ = Strain Strength
dp : 압력증가
d₁ : Pipe의 Unit 길이
 $T = \frac{ds}{dt}$ = 거리 / 시간

시멘트의 수배합비율이 1시간후에 0.35인 것이 2시간 3시간 후에는 0.45, 0.55가 되는데 이는 계속적인 Agitation에서 입자와 Shear Strength와 수화(hydration)에 의하여 증가 되기 때문이다. 그러므로 주입관의 호스를 100m 이내에서 주입 Packer가 설치 되어야 하므로 주입 Mixer Tank를 경도대로 이동시켜서 가장 가까운

곳에 설치하여야 한다고 판단 하였다.

③ 시멘트의 수축과 온도 검토

시멘트 주입후 주입벽 체내의 시멘트가 수축하면 탈수가 되면서 온도가 상승할 것이 예상된다. 이는 양성 열로서 최대 60micro Strain이 된다고 한다.

기존 벽체의 시멘트와 재 반응이 예상되므로 벽체 주변의 온도의 상승이 예상된다.

양성온도의 최고 온도는 3일째 생기고 열은 수화(hydration)에 의한 것이다. 저온 시멘트를 사용할 경우도 있다. 즉 회분(SiO₂)를 섞는 경우가 있으며 시멘트의 5%만 섞는다. 온도는 1.5M의 두께 벽체에서는 온도차가 7일 내지 10일내에 생기고서는 점차 감소한다.

시멘트는 16°C~18°C에서 열이 최대로 변하고 100kg/m³ 시멘트에서는 12°C에서 최대의 열이 발생하고 지온이 21°C인 지역에서는 100kg/m³ 시멘트가 16°C일때 최대의 양성 열이 발생한다.

또한 지온이 10°C 증가시 마다 양성 열이 2배로 생성된다. 시멘트의 입도가 작을수록 표면 장력이 증가됨에 따라 열의 생성은 증가된다.

본 지역에서는 시멘트를 주입해도 열에 대한 문제는 신경을 필요가 없을것으로 간주했다. 수축도 Steel Arch가 이미 시공되어 있으므로 사실상 문제의 소재는 없다고 판단하였다.

④ 注入壓力 검토

주입 압력은 저압주입 5kg/cm²
중압주입 15kg/cm²
변압주입 30~100kg/cm²
최고압주입 400kg/cm² 이상

주입압력은 이상 4Type으로 구분할수 있으나 보유하고 있는 Grout 장비가 최대 70kg/cm² 이내의 주입 압력의 성능을 발휘할 수 없으므로 최대 고압주입 공법을 이용하도록 하였다.

또한 주입공의 주변 변화에 대처하여 주입 압력을 탄력성있게 시정해야 할 것을 작업 요원들에게 교육하였다.

문제는 이런 변수가 있는 작업에 대하여 Grout가 시공중 발생이 예상되는 제반사항을 사전에 교육 하였으며 그 후에 Grout 작업에 임하게 되었다.

V. 各 Grout 孔別 作業현황

Rotary dump의 천반 Grout를 위하여 dump 상부에 기 시설되어 있는 Clain을 이동 시켜야 한다. 중앙갱에서 벽체가 지압에 의하여 튀어나와 있는 곳을 절삭하여야 한다. 그래야 Clain이 금천측으로 이동이 가능하다. Clain 상부에 받침대를 제작하여 설치하고 천반 전체를 천공하고 주입을 실시하기로 하였다.

1985년 11월 9일(토요일)

1號孔 : 착암기로 천공하자 1.4M가 쉽게 천공이 되고 실제로 Cement Concrete 벽체의 두께는 20cm 내외에 지나지 않는다. 직경 1인치 Pipe를 삽입하고 Pipe 주위를 급결재 Cement로 바르고서 양성될 때까지 기다렸다가 1차적으로 시멘트를 물 160ℓ에 Cement 2포(80kg)씩 넣어서 Mixer에 혼합하여 주입을 시작하였으나 90% 이상이 누수되어 제 2수갱의 Back Woll Grout와 비슷한 현상이 나타났다.

Cement 농도를 높이기 위하여 주입 압력을 물 160ℓ : 160kg(Cement)로 주입하였으나 예상했던대로 Pump의 Ball이 있는 곳이 막혀서 주입이 되지를 못한다. 다시 3포씩 주입하였더니 주입에는 이상이 없으나 벽체 천장에서 천반이 점차 하부로 이동하면서 좌우 측벽에서 Cement가流水되며 주입량의 90%가 유수, 과다 유수 되는것은 주입 효과가 없는 것으로 주입량의 10%~20% 유수 되는것은 유리한 것이다.

대책으로 주입량의 90%가 유실되는 것을 10%로 전환시키는 방법은 ① 톱밥을 사용하는 방법—이는 Cement의 강도가 저하되는 문제점을 안고있다.

② 규산소다를 사용하는 방법—주입 지점에서 원거리까지 주입재가 이동하기 전에 고결되는 문제와 수축되는 문제를 안고 있으며 강도도 저하된다.

③ 벽체를 발라보는 방법—시공후에 낙반사고의 위험이 있으므로 곤란하다.

④ 주입후 24시간 중지했다가 주입하는 방법—3개공 천공후 교대하여 주입하는 방법—시멘트의 유출이 너무나 많았다.

1차적으로 ④번의 주입후(1시간동안) 중지하고 일요일 1日 경과후 월요일 주입할 예정으로 시행하였다.

11월 11일(월요일)

역시 80~90%가 전량 누수됨을 확인하여 재 주입 하더라도 주입효과는 전무한 상태임 무압 상태로 주입효과는 없으며 Cement의 양이 무한정 손실을 감안할 수가 없었다.

주입재를 톱밥과 섞어서 주입하는 방법을 채택하여 주입하니 누수가 중지되었다.

11월 9일 : 28 포

11월 11일 : 266 포를 주입 완료했다. 물론 24시간 막장 교대 작업을 한것으로 초기에만 주입하고 나중에는 톱밥을 사용하지 않았다. 그 이유는 함수된 시멘트의 하중 때문에 300 포/일 이상을 주입하지 않기로 하였다. 또한 인력으로 갱내에서 시멘트 운반상 최대 주입능력이기도 하다. 톱밥을 시멘트와 혼합하니 거품이 생기고 Cement 2포에 1 Basket을 넣어 혼합하였다. 무압상태에서 한없이 주입되므로 일단 중지하고 2:호공을 천공하여 주입하였다.

11월 12일(화요일)

2號孔 : 주입 개시 한다음 쉬는 시간없이 계속 주입한 11월 14일까지 951포가 주입되어도 Rotary dump 운전원실 벽체로 시멘트는 유실이 과다 하였다.

본, Rotary dump는 Computer 장치가 되어 정밀한 기계로서 주입 시멘트의 오염이 되면 수많은 전선에 문제가 생길 우려가 있었으며 운전원의 안전도 염려되어 주입압력 15kg/cm² 상승으로 2號孔 주입을 일단 중지하고 다음 3號孔 주입을 지시하였다. 3號孔을 주입하려고 Packer를 설치 준비 작업중 Cement Concrete가 부서져서 설치가 불가능하여 급결재 Cement로 Packing 작업하는데 3시간이나 소요되므로 2號孔을 재주입하기로 하고 주입 실시한지 10분만에 7kg/cm²의 압력으로 유지하면서 금천갱측에 설치되어 있는 集塵機室 측벽에서 시멘트가 유실되고 있어 급결재 시멘트로 외벽을 다니면서 막았다.

수일간 주입하면서 급결재 시멘트를 들고 다니면서 외벽을 바르는 작업도 이제는 지치는 작

업이다. 점차 주입구역이 확대되고 유실구역이 원거리로 퍼져나가는것 뿐만 아니라 집진기실로 너무 원거리에서 시멘트가 누수되니 재고할 필요가 있게 되었다.

급결재 시멘트로 밥낫을 가리지 않고 바로고 막았으나, 그것은 2號孔 상부가 충전되려면 집진기실측이 완전히 충전되어야 한다는 결론이니 이제는 그 이상 할 수가 없으며 당초 주입 목적이 천반의 古坑木이 썩지 않도록 충전하는데 그 목적이 있는 것이므로 주입을 중지하였다.

3號孔 : Packer 장치의 고정을 확인하고 수일간 계속 주입하니 충전되는 과정을 살펴보면 Rotary dump의 측벽이 먼저 충전이 되고 차차 상승하여 천반으로 상승하면서 시멘트가 누수되는 것을 확인할 수가 있었기 때문이다. 역시 급결재 시멘트를 가지고 다니면서 바로고 막으면서 주입을 계속하고 모든 누수되는 천반은 주입하면서 바로고 막는 작업은 계속 되었다. 시멘트의 양성열로 천반측을 바를때는 온몸에 땀으로 흠뻑 젖는 작업이다.

계속적인 작업으로 주입된 시멘트가 도대체 어디로 다 가는 것인지 이제는 채워질 때도 되었는데 궁금하여 -25ML Rotary dump 하부 구조물 누수 여부 조사를 실시하였다. 그러나 하부에는 다행히도 누수되는 구역은 없었으며 암반의 균열을 충전 시킬만한 주입압력은 가해지고 있지 않는 거의 무압 상태의 주입이므로 계속적인 주입을 수일간 실시하였다.

드디어 수일만에 1號孔에서 주입하였던 孔으로 시멘트가 누수되기 시작한다는 보고를 새벽 2시에 접하고 3號孔 주입은 계속하되 1號孔의 Packer의 Valve를 잠그도록 지시하였다. 이런 상황을 예상하고 당초 Packer 설치시에 Packer Pipe를 구멍이 많이 뚫린 것으로 설치하였으며 길이 1.8M로서 시멘트벽을 통과하여 천반의 암반에 직접 접촉하지 않도록 고정하였으며 주입시 공동이 채워지지 않은 상태에서는 Pipe의 옆구멍으로 시멘트가 주입되도록 장치가 되었던 것이며 최종단 Pipe 구멍에서 무압 상태에서 주입이 되면 하부로 내려오면서 모든 공동을 충전시킬 수 있도록 Design하였던 것이 실효를 보게 된것이다.

즉 3號孔이 충전되면서 1號孔 Pipe의 구멍으로 시멘트가 충전되고 있음은 주입된 시멘트의 충전 구배가 1號의 구배보다 높아졌다는 사실과 어느정도 충전되었다는 것을 입증하고 있었던 것이다.

계속적인 주입압력 10kg/cm²인 상태에서 간헐적으로 주입 압력이 40kg/cm²로 순간 주입압력을 받을 때가 있어 놀라서 작업을 중지하였다 Rotary dump의 천반은 양성열로 온도가 대단히 덩다.

4號孔 : 측벽이 배가 부르게 튀어 나왔던 곳으로 6일만에 주입을 완료하였다.

5號孔 : 주입 2일만에 주입 완료하였다.

6號孔 : 천공후 주입하였으나 주입 압력이 상승하면서 Packer가 밀려 나왔다.

5號孔을 주입하고저 천공하여도 역시 암반과 시멘트 고결된 것만이 나오므로 이제는 시멘트의 충전이 완료된 것이 확인된 상태이다.

각 주입공별 주입량을 살펴보면 다음과 같다.

주 입 실 적

孔 別	시멘트량(포)
1 號 孔	2311
2 號 孔	328
4 號 孔	39
5 號 孔	145
6 號 孔	5
계	5880

Ⅵ. 天盤 補完作業

시멘트의 포당 무게가 40kg이니 주입된 시멘트의 양의 무게도 대단한 하중임은 물론 향후 오랜기간 보존되어야 할 OML Rotary dump 시설의 안전을 위하여 철재 지보가 시설되었으므로 가히 안전도는 양호한 상태이나 처음 시공한 사례이고 향후 그 시공상태를 잠정적으로 지켜 볼 필요가 있다고 본다.

가) Cement Grout의 유지기간

시멘트 그라우팅의 유지기간은 장기간이 가능하나 비정상적인 환경에서 붕괴된다. 유지기간

이 Rotary dump의 사용기간까지만 유지된다면 일차적인 성공이 될수 있다고 본다.

갱목의 부패에 의한 면압권 확대시기가 가장 문제점의 핵심이 되겠으며 2차적인 사항으로는 영구보존이 가능해야 겠으나 지하수의 산성으로 인한 화학적인 붕괴에 유의하여야 되겠다.

따라서 다음 사항에 관심을 갖고 있어야 한다.

첫째 항시 Rotary dump의 진동에 의한 시멘트 벽체의 유지상태를 점검할 것이며, 둘째 보강공사를 대비하여 그라우트 장비를 기름칠하고 보관 관리를 철저히 하여 유사시에 즉시 사용할 수 있도록 장비관리에도 만반의 준비를 갖추어 주기를 바란다.

Ⅶ. 結 言

Grout는 생명이 설계(design)에 있으며 그의 성패가 달려있다. 시행착오는 오히려 하지 않는 것보다 더욱 악화시켜놓는 것이니 당초 설계 당

시에 충분한 시간을 갖고 재삼 숙고하여 결정함이 무리가 없다.

작업이 완공된후 긴장감이 풀리면서 허탈감에 빠지는 것은 모든 작업이 대부분 그러하리라 믿으나 미지의 조건에 도전하여 보고 후에 오는 감정은 거센 파도가 지나가고 캄캄한 밤에 조용해진 파도를 홀로 보고 있는 인간처럼 느껴진다.

끝으로 본 공사가 끝날때 까지 시멘트 가루를 계속 마스크를 쓰고 마시면서 수고하여준 고운석우계장(1986. 9月 작고)과 시추요원에 공로를 돌리고 싶다.

많은 조언과 공사지원을 하여준 중앙 갱장 최재운씨, 안전감독실장 김광식씨에게 감사의 말씀을 드린다.

문득문득 몸은 멀어져 있더라도 Rotary dump의 안전(?)은 하고 잊지 못하는 것을 밝히지 않을 수 없다.

아직도 부족한 점이 많은 것으로 생각됩니다만 많은 조언과 高見을 기대합니다. 끝.