



## 垂坑 防水工法에 관한 연구(其-2)

The Method of Shaft Grout

金 鎮 源\*

Kim, Jin Won

### I. 垂坑 坑口로부터 142m 지점 出水

1985年 9月 23日 당초 出水량 40L/分이던 것이 12L/分로 감소 되었으나 出水되고 있는 地點은 142m 지점과 98m 지점뿐이다. 따라서 142m 지점과 98m 지점을 屢히 止水하느냐만이 垂坑 防水의 마지막 단계가 된다 하겠으며 最終적으로 砂岩層內에서 한방울 한방울씩 누수현상은 完全 止水가 불가하니 100% 가까이 止水시켜서 出水量을 감소 시켜보자는데 그 목적이 있다. 마지막 정리단계에서는 미세한 틈을 매꾸기 위한 미립질 시멘트와 규산소다를 주입할 계획이다.

142m 지점까지 出水를 막기 위하여

#### 가. 地表에서 142m 까지 천공

本 方法을 시도하였던바 당초 罅터스러웠던 點은 시추孔이 孔曲이 되어 垂坑 벽체로 貫通을 피하고자 세심한 注意를 要했다.

시추작업중 Core 中에서 Cement Concrete 가 채워질때는 작업을 즉시 중지시키고하고 수경 벽체에서 2.5m 떨어진 위치에서 수경과 平行로 시추작업을 시도 施工하였다.

계획은 150m 천공해서 Grout 하기전에 Rodamin 을 150m 지점에 주입하여 水壓시험을 겸용

하고, 수경 內壁에 漏水狀況을 살피면서 工法을 결정코저 하였다.

시추공내 천공작업을 순조로히 진행되었는데 시추심도 75m 지점에서 시추 “코아”중에 철근이 채워되어 수경 벽체를 통과하는 것이 아닌가 하여 천공작업을 중지하고 조사하여보니 수경 굴 하작업 당시 75m 지점에 세일과 炭質세일 지대라서 崩落위험이 있어 Wire Net 설치후 Rock Bolt 작업을 시공하고 Concret 작업하고 다시 Wire Net 작업을 하고 Rock Bolt 와 Concrete 벽체 작업을 실시 하였던 곳이라는 것이 판명되었다. 따라서  $\phi 22\text{mm}$  의 Rock Bolt 는 무시하고 계속 천공하여야 하였다. 이런 지층조건하에서 계속 천공한다는 것은 붕괴를 자초하는 결과가 되므로 차라리 炭質 세일층을 Cementing 시켜 놓고 재 천공하기로 하고 60m 지점에 Packer (파카)를 설치하고 Cementing(씨멘딩)하여 2日間 쉬었다가 재천공 하였으나, 92m 지점 通過中 孔內가 무너져서 시추공내 Rod 가 꺾음을 하지 않아 원인을 분석하여보니 60m 지점의 炭質 세일은 Grout 가 잘 되지 않았던 것이 原因이 되었던 것이다. 孔內 붕괴 Jaming 은 순간적으로 발생되었음을 알 수 있었다.

붕괴를 막기위한 작업으로 시추 천공시에 泥水를 사용하지 않은 것은 천공완료후 Cement

\* 産業應用技術士(應用地質)·長省鑛業所 地質課長

mortar 注入時 화공약품을 전부 불어내어 씻어 내고 주입이 되도록 해야 하는데 그렇게 하면 孔內가 붕괴되기 때문에 化工性 泥水를 사용하지 않고 천공하였다.

#### 나. 복구작업

① 일차적으로 Rod 인양작업을 서서히 실시하였으나 시추기 Body가 기울어 질 정도로 인양이 되지를 않았다. 시추기를 좀 더 무거운 시추기인 Ly 38 형으로 교체하고 Spindle 과 Rod 의 중심을 맞추고 시추기를 지표에 Rock Bolt 하여 고정시키고서 Rod 인양 작업을 시도하였으나 전혀 움직이지 않았다.

② 겨우 92m 지점에서 81m 지점까지는 Rod 孔內로 물을 注入하면서 인양하였으나 82m 지점부터는 전혀 움직이지를 않아 방법을 바꾸어 지상에서 Rod 에 대고 Hammering 작업을 하고 Rod 를 인양하고 보니 28m 지점에서 Rod 가 절단되어 28m 지점 상부의 Rod 만 인양되었다. 다시 28m 지점에 Rod 를 연결하여 Hammering 을 하고 인양작업을 시도하였으나 꼼짝하지 않았다. 그리고 수갱 벽체에 50m 지점에 出水가 되기 시작, 문제는 Hammering 에 의한 진동으로 지층이 붕괴되어 기존 Grouting 충전제가 붕괴되어 유로가 형성되었던 것이다. 그것은 시추공 수직하부 50m 지점에서만 出水되는 것은 재 Grout 하면 문제 해결은 간단하다고 생각되었다. 따라서 Hammering 작업을 중지 할수밖에 없었다.

③ 방법을 바꾸워 시추공을 確孔하는 방법으로 하고 천공을 하니 3m, 5m, 6m 지점에 wire Net 가 걸려서 Bit 3개가 손상되었다. 이는 수갱 Collar 구간에 Wire Net 를 설치하였으므로 확공을 하니 孔의 직경이 커지니까 Bit 를 당해 낼수가 없어서 확공 방법을 중지하기로 하였다.

④ 마지막으로 Core Barrel 과 Bit 만은 매물시키고 63m 지점에 Packer 설치하고 上向式 단계적으로 Grout 시공 하였다.

주입결과를 보면 63m 54m 지점에 Packer 를 설치하여 주입실시 시멘트 1 포씩 물 160L 에 섞어서 주입하다가 壓力이上昇하면 2 포씩 섞어 넣다가 3 포씩 농도를 증가시켜서 수갱 벽체로 나오는 Cement 를 出水가 중지되도록 하였으며

이 구간 주입완료시의 주입 압력은 60kg/cm<sup>2</sup> 까지 시행하였다. 같은 방법으로 44m, 41m, 32m 지점에 파카를 설치하여 주입하여 수갱벽체로 Cement 出水를 중지시켜 놓으므로 Grout 效果는 얻은 셈이었다.

#### 다. 향후대책

142m 지점의 出水를 止水시키기 위한 대책은 어떻게 해야 할 것인가.

① 75m 까지는 Bx Rod 로 천공하고 Ax Casing 을 삽입후 150m 까지는 Ax 로 천공하여 Ax 파카로 주입하는 방법도 있었다. 허나 케싱인양후 공내가 붕괴되면 주입이 불가하므로서 이 방법이 좋지는 않다.

② 수갱내에 142m 지점에 Skip 를 설치하고 공휴작업시 작업대를 설치하여 착암기로 2m 씩 수갱 벽체에 3개공을 천공 실시하고 φ1" PE Pipe 50m (100m)짜리 5 Set 를 긴급 구입하여 설치후 Oml 로 유도시켰다.

이때 工期는 없고 氣溫은 강하되고 수갱의 Skip 가동은 정상화 시켜서 책임 目標量을 달성해야 하므로 물을 유도하여 기계류에 떨어짐을 防止하여야 하였다.

매년 太白지역의 평균 기온을 보면

10 月 末日頃	-1°C
11 月 " "	-5°C
12 月 " "	-10°C
1 月 " "	-15°C~-18°C
2 月 " "	-20°C
3 月 " "	-15°C

③ 수갱 142m 지점에서의 出水되는 것을 Oml 인 600m 下部지점으로 PE Pipe 를 설치하는 작업도 그렇게 쉬운 작업이 되지 못하였다. 수갱벽체에 PE Pipe 를 묶어서 고정시켜야 하였으며 공휴일에만 Skip 를 가동하면서 작업대를 설치하고 600m 까지 내려가면서 계속적인 出水를 유도하려면 出水量은 점차 증가할 우려가 있어 PE Pipe 의 막힘에도 처리 곤란한 점이 있어 방법을 바꾸도록 하였다. 142m 지점 수갱 벽체를 V 字形으로 Cut 하는데는 착암기를 사용하기로 하였다. 1.6m 길이의 파카를 설치하기 위하여 착암기로 뚫고서 V Cut 한테와 함께 급

결재 Cement로 벽체를 Grout 하고 Packer로 出水를 유도하여 보니 압력을 받지 않아 Packer 발부를 잠거도 他벽체로 出水되는 것을 볼 수 없었으므로 142m 지점은 Grout의 성과는 있는 것으로 생각되었다.

## II. Unloading 건물 하부 Grout

수갱에서 Skip를 이용하여 運搬된 석탄을 다시 Conveyor에 下降시켜야 하는 Unloading 시설물 하부도 Grout 시공을 하기로 하였다.

### ① 각도시추 주입공법 적용

이미 주입된 시추공내에서 씨멘트가 견고하게 굳어지려면 1日 정도는 지나야 하므로 주입공 부근에서 바로 천공하여 주입하는 것은 좋지 않아 위치변경 하였다.

건물 하부 Grout를 각도 시추를 먼저 한 것이나 수직시추를 직접할 것이냐에 Grout의 効果는 어느 것이 더 있는지 검토한바 역시 수직시추를 先行할 필요가 있다고 생각되었다.

각도 시추에서도 80도 이상 90도 사이의 각도 시추는 孔曲이 심하므로 가능한한 피하는 것이 좋았다. 특히 Bedding 방향과 비슷한 지역은 더욱 위험하였다. 수갱의 Collar 자체가 원형인 데다가 Collar내에서 각도 시추를 하자면 정확한 측량이 필요하며 정밀 측량을 시행하여 공의 위치와 각도를 확정지었다. 특히나 시추기 Setting시에 주의 할것은 시추기 Spindle의 方位角이 산출되고 사거리 시추 심도가 결정되어 수갱 벽체로 시추가 공공되지 않고 천공되어야 하며 벽체에 영향을 미치지 않는 범위내에서 투격한 지점에서의 Grout가 되도록 시추孔이 천공이 되어야 할 것이다.

### ② 수직시추 천공결과

천공심도 101m 실시하여 본 결과 炭質 세일이 45m 와 50m 사이에서 출현하였다. 상향식 주입을 Packer가 잘 물리는 압질이 좋은 구간에 설치하여 주입하였다. 총 주입량은 일반 씨멘트 488 포와 크로이드 씨멘트 225 포를 주입하였다. 탄질세일의 주입이 일반 씨멘트로는 양호한 결과 잘 얻지 못하는 것은 공극이 2m/m이하로 원활한 충전이 불가능하므로 크로이드 씨

멘트를 사용하게 된 것이다. Colloid Cement는 주입 파카를 36m 지점과 58m 지점에 설치하여 炭質세일층이나 취약지층에 주입효과가 아주 좋았다. 보통 씨멘트를 사용하면 얼마 안 있어 재차 붕괴현상이 일어나는 것이 상례이다.

참고적으로 각종 씨멘트 입도를 분리하면 다음과 같다.

초 미립자 씨멘트 : 4  $\mu$ m

크로이드 씨멘트 : 10  $\mu$ m

일반 포트랜드 씨멘트 : 20  $\mu$ m

입도분석 결과는 습도 50%를 기준으로 한 것이다. 부강 씨멘트라는 것은 입도가 15  $\mu$ m이며 이들 씨멘트를 각종 압질에 맞도록 배합을 하여야 그 Grout 효과를 더욱 증대시킬 수 있을 것이다.

초미립자의 씨멘트는 比表面積이 종래의 씨멘트의 2.5배나 되며 침투성이 있고 압축강도가 높아서 해저 터널 공사나 지하 구조물, 특히 갯내 시설물로 천양기 기초라든가, 펌프실등 면압력 확대를 방지하기 위한 지반 그라우팅 공법에 유익한 씨멘트로 활용가치가 크다.

이들 씨멘트의 blaine finness를 보면 더욱 참고가 될 것이다.

초미립자 씨멘트 8,150  $\text{cm}^2/\text{g}$

크로이드 씨멘트 6,270  $\text{cm}^2/\text{g}$

조 강 씨멘트 4,320  $\text{cm}^2/\text{g}$

보통일반 씨멘트 3,170  $\text{cm}^2/\text{g}$

## 결 언

1. 최초주입시 물과 씨멘트의 배합비를 10~5:1로 하고 만일 유동성 크다고 인지되면 2~5:1의 배합비로 전환시키고 균일이 크다고 인지되면 1:1의 배합비를 적용 톱밥을 섞는것도 하나의 방법이며 최종적인 효과를 볼 수 있으나 주의할 것은 펌프의 가동상태를 보아 배합비를 조정할 필요가 있다.

2. 주입압력은 허용압력 이상인 60kg/cm<sup>2</sup>까지 시공한바 있다. 압반의 두께, 압반상의 구조물 중량, 압반의 종류와 물리적 성질, 씨멘트 밀크의 농도, 주입목적등에 따라 5kg/cm<sup>2</sup>에서 60kg/cm<sup>2</sup>까지 사용하였다. 통상적으로는 2kg/

cm<sup>2</sup>에서 50kg/cm<sup>2</sup>의 주입압력을 사용하였다.

주입공 간격, 주입孔 심도, 주입공의 크기는 상황에 맞추어 조절시행 할 수 있었음이 천만다행이었다.

3. 실제 주입시 보통 2l에서 20l가 1분간에 주입되었으며 최소 분당 1l, 최대 분당 40l가 주입되었다. 수갱 Collar 부근은 Silt 층과 Clay 층이 성토구간에 있어서 주입이 불가 할 것으로 보았으나 주입이 무한정 될 정도였다. Silt는 입자가 0.1mm~0.005mm 이고 clay는 0.001mm에서 0.0005mm 이었다. 성토구간에는 순수한 silt와 clay가 아니고 자갈과 모래가 섞인 성토구간이 있기 때문이다.

시추 Core를 조사하여 본 결과 역시 Groutability는 암석의 간극이

0.2mm~0.1mm는 10%의 주입

2mm~0.1mm는 50%의 주입.

10mm~0.1mm는 70%의 주입 능력이 있음을 알 수 있었다.

초미립질 시멘트보다 퇴적이 2배나 빠른 코로이드 시멘트(60分소요)의 압축강도는 3日후 147kg/cm<sup>2</sup> 7日 후 263kg/cm<sup>2</sup>. 28日 441kg/cm<sup>2</sup>를 나타내므로 岩盤 그라우트 공사에는 적극 추천한다.

4. 제 2수갱은 총천공 1,047m, 천공수 17개공, 주입량은 일반시멘트 5,205포 코로이드 시멘트 225포, 주입하브로서 당초 출수량 40l/min을 8.2l/min으로 준공되었다. 소요 공사비는 5,300만원이었다. 그이외의 수갱의 출수 방지 방법이 있겠으나 거의 100% 지수가 가능한 방법을 모색 시공할 수 있을 것으로 사료된다. 끝

마음마다 창의 정신

손끝마다 기술 혁신