

## 岩盤의 補强工法(Ⅳ)

金 周 範\*

### 제 5 장 주입공법(Grouting)

Grouting 은 유동성이 있는 재료를 펌프나 중력의 힘으로 암반의 틈, 공극, 공동에 주입한 후 주입된 재료의 침전이나 경화에 의하여 지수를 시킴과 동시에 강도를 증강시키는 공법이다.

#### 1. Grouting 의 목적

원유비축 목적으로 시공하는 터널등의 Grouting 목적은 다음과 같다.

- (1) 시공상의 문제를 해결하기 위한 목적
  - ㄱ) 과도한 침출수로 인하여 시공이 어려울 때,
  - ㄴ) 침출수 배수를 위한 펌프설비와 동력비 절감
- (2) 암반의 안정을 얻기 위한 目的
  - ㄱ) 절리면 충전재의 파이핑방지
  - ㄴ) 파쇄된 암반의 강도증대
- (3) 지하수위의 유지를 위한 目的
  - ㄱ) 지하수위의 강하를 방지하여 지상시설물의 침하를 방지
- (4) 콘크리트 구조물과 암반과의 밀착을 위한 目的
  - ㄱ) 푸러그(plug) 주변에 지수를 위하여

#### 2. Grouting 의 방법

Grouting 을 하기 위하여서는 암반을 천공하

고 공내 청소를 한뒤 수압시험으로 주입의 정도를 가늠하고 주입하게 된다. Grouting 은 실시시기, 사용재료 및 주입방법에 따라 아래와 같이 분류할 수가 있다.

(1) 실시시기에 따라

ㄱ) Pregrouting

파쇄대나 대수층에 이르러 누수가 예상될 때 굴착단장에서 진행방향에 대하여 굴착전에 미리 주입을 시행하는 방법이다.

ㄴ) After grouting

굴착을 한후에 발견되는 누수지점에 대하여 실시되는 데 Pregrouting 에 비하여 시공이 대단히 어렵다.

(2) 주입재료에 따라

ㄱ) 콘크리트

콘크리트는 유동성이 적고 재료분리가 쉽게 일어나므로 대규모의 공동을 충전할 때만 사용한다.

ㄴ) 시멘트 몰탈

암반의 작은 틈으로 주입이 되지 않으므로 비교적 큰 공동에 충전할 때 사용한다.

ㄷ) 시멘트 풀(paste)

시멘트와 물과의 혼합액으로써 배합비가 1:2.5 보다 묽으면 유동성이 좋아지므로 작은 균열이나 먼 거리에 까지 주입이 가능하며 경화하면 자체강도를 가진다.

ㄹ) 점토와 벤토나이트

다량의 물을 흡수하여 유동성을 가지며 콘시

\* 正會員, 南元建設엔지니어링(株) 副社長

스텐시가 좋기 때문에 미세한 균열이나 먼 거리까지 주입이 가능하다.

자체강도가 없기 때문에 시멘트 현탁액에 첨가하여 사용하면 효과가 높다.

ㄱ) 화학제품

규산소다(water glass), 합성수지系 아스팔트계 등의 화학제품을 공극에 주입하여 경화시키는 방법으로서 고가이나 사용이 불가피할때 사용된다.

(3) 공내의 주입되는 위치와 방법에 따라

ㄱ) 1 단 grouting(single stage)

grouting 하고자 하는 전 길이를 1 회에 천공하고 묽은 배합비와 낮은 압력으로 주입을 시작하여 배합을 점점 짙게하고 압력을 높여 최종압력에 달할때까지 실시하는 방법으로서, 표면의 암질이 나쁠때는 주입된 재료의 손실이 많고 변형이 일어날 우려가 있으므로 높은 압력을 가할 수 없다.

ㄴ) 다단 grouting(successive stage)

얇은 공을 천공하여 낮은 압력에 의하여 주입하고 경화되면 더 깊게 재천공하여 좀더 높은 압력으로 주입하고, 이 방법을 반복하여 필요한 깊이까지 주입하는 방법이다.

(4) 일시에 주입되는 공수에 따라

ㄱ) 공별 grouting

매공별로 실시되는 grouting 이며 1 개의 공에 grouting 될 때 인접공으로 누출되어 폐쇄되는 경우가 있으며 시간이 많이 소요된다.

ㄴ) 다공식 grouting(Multi-hole grouting)

1 개의 펌프에 의하여 5~6 개 공을 동시에 grouting 하는 방법. 이 밖에도 주입압력에 따라 고압 grouting 과 저압 grouting 이 있다.

### 3. Grouting 장비

Grouting 에 필요한 장비와 기구는 믹서, 에지테이터, 펌프, 압력계, 팩커(packer), 파이프 연결부속품과 기타 공급설비로 구성되며 grouting 작업이 연속적으로 진행될 수 있도록 충분한 용량을 가지고 정비가 완전히 되어 있는 것이어야 한다.

(1) 믹서(Mixer)

믹서는 시멘트와 물과 혼화제를 일정한 비율

로 섞어서 유동성을 가지게 하는 기계로서, 원통속에서 몇개의 패들(paddle)을 가진 축이 전동기에 의하여 회전하므로서 교반하는 형과, 원통속에 원심펌프가 장치되어 있어 이것으로 교반하는 형이 있으며 믹서로서의 일반적인 요구조건은 아래와 같다.

ㄱ) 배합하고자 하는 시멘트, 물 및 혼화제를 배합비대로 정확하게 배합할 수 있으며 임의로 배합비를 조절할 수 있어야 한다.

ㄴ) 시멘트 현탁액이 유동상태를 유지할 수 있도록 고속으로 교반할 것.

ㄷ) 펌프에 연속적으로 공급할 수 있는 충분한 용량을 가져야 한다.

(2) 에지테이터(Agitator)

에지테이터는 이미 혼합된 시멘트 현탁액의 침전을 방지하기 위하여 믹서와 펌프의 사이에 배치되며, 형식은 믹서와 같으나 회전속도가 다소 느리다. 이것은 믹서의 고장시 믹서대용으로 사용할 수 있으며 소규모의 grouting 에서는 사용하지 않을수도 있다.

(3) 펌프

펌프는 소규모의 grouting 에 사용되는 핸드펌프에서 부터 다공식 grouting 에 사용되는 대형의 펌프가 있다. 작동하는 형식에 따라서

ㄱ) 왕복펌프(Reciprocating pump)

피스톤의 왕복운동에 의하여 배출밸브를 통하여 주입

ㄴ) 나선형펌프(screw pump)

나선형의 축이 회전함으로써 주입재료가 나선의 진행방향으로 배출

ㄷ) 압력탱크(Airpot)

주입재료를 용기에 넣고 압력을 가하여 배출구를 통하여 배출되는 재료를 주입하는 형식들이 있다.

주입재료는 보통의 유체에 비하여 점성이 크고 비교적 큰입자를 포함하므로 왕복펌프가 주로 사용되며 펌프로서의 일반조건은 다음과 같다.

ㄱ) 설계 주입압력 이상의 것

ㄴ) 충분한 용량을 가질 것. 100 l/分 이상

ㄷ) 배출량과 압력을 최고치에서 0 까지 정확하게 연속적으로 조정가능해야 한다.

ㄷ) 주입하는 공에 따라서 최고압력을 줄수 있어야 하고 펌프가 이 압력 이상으로 되지 않도록 by pass 장치가 되어 있어야 한다.

ㄹ) 다공식 주입펌프에서는 6개의 공을 동시에 주입할 수 있는 충분한 용량을 가져야 한다.

왕복펌프에서는 피스톤의 왕복운동으로 인한 압력의 맥동(pulse)에 의한 압력변동을 감쇄시키기 위하여 토출구측에 공기 감쇄기(Air chamber)가 부착되어야 한다.

### (3) 팩 카

공내의 주입하고자 하는 위치에는 외부와 차단시키는 기구가 필요한데 이러한 목적을 수행하는 것이 팩카이다.

#### ㄱ) Cup Leather

컵형으로 생긴 가죽 제품으로서 pipe sleeve 에 3~4개가 부착되어 공내에 삽입되고 grouting 의 압력에 의하여 이것이 공벽으로 확장되어 외부와 차단시키는 장치

#### ㄴ) 기계적으로 확장되는 고무링

긴 고무링을 주입관 외부에 끼우고 공내에서 나사를 조여 고무링의 길이를 축소시키면 공벽 쪽으로 팽창하여 밀폐시키는 형으로서 많이 사용된다.

#### ㄷ) 공기압에 의하여 확장되는 고무슬리브 (Rubber sleeve)

주입 파이프의 외부에 얇은 고무슬리브를 끼우고 파이프와 슬리브의 틈에 압축공기를 넣으면 고무슬리브가 확장되어 밀폐시키는 형으로서 파쇄대에서 공벽이 무너져서 파이프와 외벽사이에 공간이 클 때 유효하게 사용된다.

팩카는 제품에 따라 얇은 공에 주로 사용되는 것과 깊은 공에 주로 사용되는 것. 또 회수하여 재사용 가능한 것과 재사용 불가능한 것이 있다.

### (4) 파이프 및 접합부속품

Grouting 을 위한 파이프, 호스 및 접합부속품의 직경은 2.5~5.0 cm 정도로서 소모압력에 견디는 것이어야 한다.

### (5) 측정기구

Grouting 에 필요한 측정기구는 주입량을 측정하는 유량계(Flow Meter)와 압력을 재는 압

력계가 있어야 한다. 압력계는 펌프의 토출구와 주입되는 공입구의 두곳에 있어야 하고 유량계는 혼화제, 시멘트, 물, 주입량을 각각 측정할 수 있어야 한다.

### (6) 자동 기록장치

Grout 압력과 주입량과의 관계로부터 주입된 암반의 특성을 추정할 수 있는 자료를 얻기 위하여 또한 주입된 재료의 양과 소요된 시간을 쉽게 파악하기 위하여 자동 기록장치가 있으면 편리하다.

## 4. 시공법

### 4.1 감지공의 천공(Drilling of pilot Hole)

지반조사 결과 대수층이나 파쇄대에 이를 것으로 예상되면 정확한 대수층의 위치와 공극의 크기를 알기 위하여 굴착작장에서 진행방향에 대하여 수압시험을 시행할 Pilot Hole 을 천공한다.

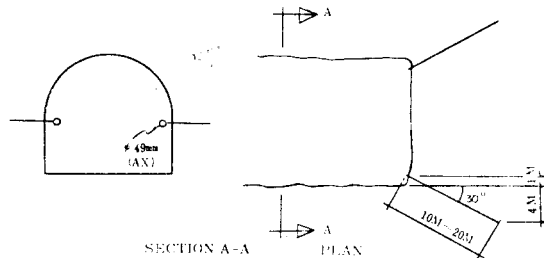


Fig. 1 Pilot Hole 의 천공

천공된 Pilot Hole 은 암편이나 불순물이 없도록 그라우팅 펌프의 압력수에 의하여 나오는 물이 깨끗해 질때까지 청소되어야 한다.

### 4.2 주수시험

청소된 Pilot Hole 에서는 주수시험이 실시되어야 한다.

주수시험 결과에 의하여 그라우팅의 여부와 압력, 배합비등을 결정할 수 있다.

#### 주수시험의 순서(예)

(1) 공의 깊이 1~2 m 되는 지점에 팩카를 설치한다.

(2) 그라우팅 펌프에 의해서 압력수를 주입한다.

초기에는 5~6 kg/cm<sup>2</sup> 의 압력으로 시작하여 압력을 조금씩 증가시켜 암반의 안정을 해치지

않는 적당한 압력에 도달하면 같은 압력으로 계속 주입한다.

이 압력은 보통 지하수압+5~7 kg/cm<sup>2</sup>이다. 터널표면의 암반에 균열이 많아 물이 많이 누출될 때는 이것을 톱밥, 형겁 또는 나무뻬기로 막아야 한다.

### (3) 손실량 측정

이 압력에 의하여 최소 15분간을 주입하면서 주입된 물의 양을 측정한 후 손실율을 계산한다.

$$Q = \frac{q}{T \cdot p \cdot l}$$

여기서

q : 총주입량(l)

T : 주입시간(분)

p : 주입압력(kg/cm<sup>2</sup>)

l : 공의 깊이(cm)

### (4) 그라우팅 실시여부의 판단

손실율에 따라 그라우팅의 실시 여부를 결정한다.

ㄱ) Q가 0.05l/분·kg/cm<sup>2</sup>/m 미만……불필요  
파이롯드홀은 1:0.5의 시멘트 페이스트로 채운다.

ㄴ) Q가 0.05~0.5 l/분 일때……Pilot Hole에서만 주입하며 굴착후에 발견되는 누수는 After grouting으로 처리

ㄷ) Q가 0.5 l/분 이상 일때……전면 그라우팅을 실시

## 4.3 Grouting

(1) 주수시험결과 전면 그라우팅이 실시될 것으로 판단되면 막장전방에 대하여 아래 그림과 같이 천공한다.

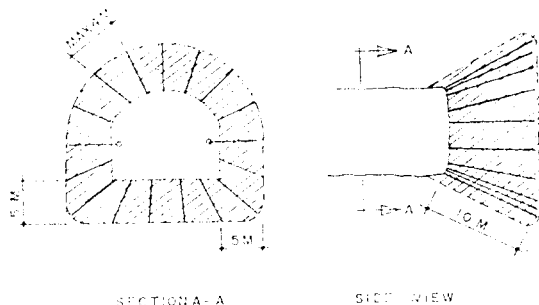


Fig. 2 Grout Hole의 배치

(2) 각 공에서는 파이롯드홀에서와 같은 방법으로 청소한 후 주수시험을 행하고 손실율 Q에 따라 주입여부를 판단한다.

### (3) Grouting 실시

믹서와 펌프, 호스 및 팩카를 사용하여 주입을 실시한다. 주입은 1:5 정도의 묽은 배합과 낮은 압력에서 시작하여 초기 약 30분간 주입한 후 최고 주입압력에 도달하지 않으면 배합비를 1:1까지 조금씩 올리면서 20분간을 더 주입하고 주입량이 별로 줄어들지 않으면 배합비를 1:0.5로 올린다.

이 배합비에서 암반내의 공동이나 큰균열 때문에 최고 주입압력에 도달하지 않으면 주입은 약 10분간 주입한 후 다시 주입한다. 암반표면에 균열을 통하여 주입재가 누출될 때는 주수시험에서와 같은 방법으로 막아야 한다.

팩카나 파이프는 주입재의 초기 경화가 끝나기 전에 움직여서는 안되며 최소 2시간이 소요된다.

주입이 끝난공은 1:0.5의 시멘트 페이스트로 표면까지 채운다.

## 5. 약액주입(Cheical grouting)

암반의 균열이 미세하거나 지하수압이 크고 누출량이 많아 시멘트주입으로 불가능할 경우에는 화학제품을 주입하여 고결시키는 약액주입이 사용된다.

약액재료로는

(1) 규산소다

(2) 합성수지

(3) 아스팔트 유제

(4) 시멘트+점토+규산소다

등을 사용한다.

약액주입은 작업이 복잡하고 고가이며 대부분의 제품과 시공법은 특허로 되어 있다.

## 6. 주입시 유의사항

앞에서 설명한 공법들은 일반적인 경우에 대한 것으로서 현장의 암반상태와 지하수의 상태에 따라 적절한 방법으로 시행되어야 한다.

공법의 결정이나 파이롯드 홀의 천공밀도, 주입공의 배치방법, 주입재료의 배합비와 혼화제

사용, 주입압력등은 현장에서 유능한 기술자에 의하여 판단되어야 한다. 특히나 화공약품 사용시에는 공해측면에 대한 충분한 검토가 사전에 이루어져야겠다.

## 제 6 장 요 약

일반보강은 종래에는 강재 지보공이나 콘크리트 라이닝에 의하여 암반의 이완 하중이 지지되는 것으로 되었으나, 신공법에서는 Rock Bolt 와 Shotcrete 와 같은 가요성 있는 보강수단이 암과 일체로 된 합성구조체로서 하중에 저항하도록 하는 것이다. 구조체의 주요소는 암자체이며 보강수단은 구조체의 일부로서 힘을 발휘하거나 암질을 개선하여 암자체가 충분한 힘을 발휘할 수 있도록 보강하는 수단이다.

### 1. Rock Bolt 는

- (1) 낙하 하려는 암괴의 지보
- (2) 암반과의 일체작용 기능
- (3) 보형성 작용
- (4) Arch 형성작용
- (5) 암반보강 기능등

이며 간격과 길이가 적절해야 하며 정착이 확실하고 내구성이 있어야 한다.

2. Shotcrete 는 공기에 의하여 뿜어 붙인 콘크리트로서 압축강도, 부착강도 및 전단강도가 크고 뿜어 붙일때 탈락이 적어야 한다.

- (1) 암반의 균열이나 요철면에 채워져서 접합 작용을 하여 암반이 이완되는 것을 방지하며
- (2) 누수를 억제하고
- (3) 부착력과 전단력에 의해 암괴의 낙하를

방지하고

- (4) 폐합된 원환이나 고정된 아치부재로서 구조적인 지보능력 등을 발휘한다.

3. 주입은 암반에서의 과도한 누수나 지하수위의 저하, 암의 강도저하 등에 대하여 시멘트 페이스트를 주입하여 보강한다. 즉 대수층이나 파쇄대가 예상되면 굴착을 중지하고 Pregrouting 을 시행해야 하며 굴착된 후에 발견된 누수는 Aftergrouting 으로 처리 되어야 한다.

수압이 크거나 누수량이 많아서 시멘트주입이 어려울때는 약액주입을 하여야 한다. 주입의 종류와 방법은 암반의 상태와 지하수에 따라 그때 그때 결정되어야 한다.

신공법을 유효하게 사용하면 안전하게 공사를 수행할 수 있으며 공기를 단축하고 고가의 굴착장비의 가동효율을 높이며 지보공이 필요없을 뿐 아니라 사용재료가 강재 동바리나 콘크리트에 비하여 염가이므로 공사비가 저렴하다. 그러나 이것을 유효하게 사용하지 못하면 실패하게 되는데 신공법에서 보강에 실패하는 원인은

- (1) 보강시기가 너무 늦었을 때
- (2) Rock Bolt 의 간격이 너무 넓거나 길이가 짧았을 때
- (3) Rock Bolt 의 설치방향이 잘못 되었을 때
- (4) 위험요소가 Shotcrete 속에 덮힘으로서 보이지 않게되고 이것이 적절히 처리되지 못하였을 때 등이다.

따라서 터널의 거동을 계속 점검하는 것이 필요하며 위험요소가 발견되면 다른 작업에 우선하여 보강해야 한다.