

흙막이 구조물 (X)

이 상 덕*

12. 지반굴착과 지하수

12.1 개 요

지반굴착공사에서 지하수의 처리 문제는 재해방지와 안전시공 및 주변구조물에 대한 안정등에 직접관련된 중요한 과제이다. 지하수 처리 방법은 지하수의 상태와 지반 및 주변여건에 따라 결정되며 설계자 및 시공자의 능력에 따라 공사의 난이도와 공기 및 공사비가 달라진다. 지하수의 처리가 잘못 되면 흙막이 벽이 붕괴되거나 배면 지반이 유출되어 공사가 중단되거나 설계를 변경해야 할 경우가 있으며 뒷지반이 함몰되거나 주변지반이 침하되며 인근구조물 또는 공공 매설물이 손상되며 주변에 있는 우물이 고갈되어 주변사람들과¹⁾ 분쟁의 원인이 되기도 한다. 따라서 구조물을 설계하고, 터파기가 필요한 경우에는 주변지반의 여건을 최대한 고려하여 이를 설계에 반영하여야 한다.

무엇보다도 지하수 처리를 위해서는 지하수위의 측정 뿐만아니라 현장투수계수 및 현장지반의 구조골격에 대한 충분하고 정밀한 자료가 필요하며 이를 위한 초기 투자가 이루어져야 한다.

지하수의 배수공법 및 차수 공법을 적용할 때는 우선적으로 주변에 미치는 영향을 신중히 검토해야 한다.

특히 주변지반 조건이 피압수 상태일 경우에는 지반의 굴착 단면이 교란되어 지지력이 감소되는 일이 발생할 우려가 있으므로 특별히 이러한 가능성을 사전에 조사해야 한다. 지하수 처리 문제는 일단 실패하면 대형사고가 일어나거나 손해가 주변의 넓은 지역에서 발생하여 돌이킬수 없는 크나큰 경제적 손실을 가져다 줄수 있으므로 사전 예방차원에서 계획하여야 하고 완전한 설계를 위해서는 지하수에 대한 풍부한 지식과 정확한 현장 정보가 선행되어야 한다.

12.2 지반과 지하수

1) 개 요

보통 지반은 여러가지 형태의 물을 포함하고 있으며 그 생성 원인과 지반내의 존재 상태에 따라 다음과 같이 분류한다.

지하수 : 지속적으로 일정한 수위를 유지할 수 있는 흙속의 물

침투수 : 강우등에 의하여 지반으로 유입되어 압력없이 지반을 흐르는 물

절리수 : 불연속 지반에서 침투에 의해 유입

* 정희원, 아주대학교 공과대학 토목공학과, 부교수

되어 절리를 따라 흐르는 물

지층수 : 지층의 특성상 지반내에 고여 있는 물

모관수 : 모세관 현상에 의해서 지하수면 위로 형성되는 물

지하수는 침투수나 절리수에 의해 생성되며 지층중에서 가장 투수성이 커서 가장 많은 지하수를 함유하고 지하수의 거동 특성을 대표하는 층을 대수층이라고 한다. 지하수가 지표에 노출되는 경우는 샘이나 지하수를 이룬다. 대수층의 상부지층이 불투수층이면 대수층내의 지하수가 지형적인 원인으로 수두차가 발생되어 압력이 높아지거나 지표수 수위의 상승으로 압력이 높아지면 피압지하수라 한다. 지반굴착공사에서 굴착저면이 지하수면 아래에 놓이게 되면 수중 작업을 하거나 굴착공간을 노출 시킨후에 작업해야 한다. 굴착공간을 노출시키는 방법은 다음과 같은 것들이 있다.

- 지하수위 강하

- 널말뚝, 코퍼댐, 주입벽등으로 지하수 차수

- 폐쇄공간을 조성하여 지하수를 압출

지하수에 잠기는 부분은 방수처리를 하거나 기초아래에 배수층을 설치한다. 물에 잠긴 부분은 콘크리트 유해 물질로부터 구조물을 보호해야 한다. 공극의 지하수는 경계조건이 비교적 명확하여 그 흐름 특성과 유량을 어느정도 예측할수 있다. 일반적으로 굴착시 지하수 문제는 지반에 따라 투수성 지반과 불투수성지반으로 나누어 생각할 수 있다. 투수성 지반에서는 투수속도가 비교적 빠르기 때문에 지반 굴착시에 지하수가 유출되고 주변지반의 지하수위가 변화한다. 따라서 투수성지반에서는 지반 굴착에 따른 지하수위 변화를 관측정을 통하여 관찰할 수 있다.

그러나 불투수성 지반에서는 지하수의 흐름속도가 느리기 때문에 굴착중에 지하수 유출을 거의 느끼지 못하며 굴착으로 인한 지하수위 변화를 관측하기가 거의 불가능하다.

이 때에는 지하수 유출보다는 지반의 유동이 주요 관심사가 되며 수압이 그대로 흠막이 벽에 작용하므로 흠막이벽의 변위에 주의하여야

한다.

2) 지하수 생성

지구상의 물은 바다, 호수, 빙하, 하천, 지하수등의 형태로 존재하며 이 중에서 지하수는 지구상의 전체 수량의 4%에 해당한다. 지하수는 크게 3가지 원인에 의하여 생성된다.

- 강우에 의한 생성

- 지표수의 유입

- 인위적 유입

강우에 의하여 생성되는 지하수는 강우의 종류, 집중도, 대기의 온도 및 증발량등의 기상학적인 요인과 지반의 종류, 구조, 간극, 지표경사등 지반의 영향에 의하여 그 양이 결정된다. 그 밖에 지표의 식생이나 토지의 이용 및 평지의 면적 등에 의한 영향을 받게 된다. 지표를 흐르는 지표수는 단위면적당 지표수량으로 표시하며 하천이나 호소의 구성 및 저면의 투수성과 지표수와 지하수의 수두차에 의하여 유입량이 결정된다. 그 밖에 지반내 주입정을 굴착하거나 유입지를 설치하는 등 인위적으로 지하수를 생성할 수 있다.

지하수의 생성 원인과 그 수량은 국지적 특성이 강하여 조사한 자료는 특정지역에 한정하여 적용할수 있다. 그 밖에 지반의 함수량을 측정하여 간접적으로 지하수 생성량을 판정할 수 있다.

3) 지반의 공극과 지하수

지반에는 여러가지 원인에 의하여 공간 즉, 공극이 있으며 지하수의 수량및 흐름특성은 지반의 공극 특성에 크게 의존한다. 지반의 공극은 크게 두가지로 나누어 생각할 수 있다.

- 1차 공극(primary porous)

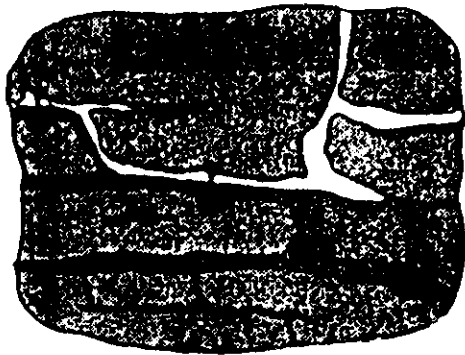
- 2차 공극(secondary porous)

1차 공극이란 지반에서 가장 자연스럽게 생성된 공간으로 흠입자간의 구조적 공간, 마그마의 가스 배출로 생성된 공간 및 화학적 생물학적 퇴적지반에서 입자의 배열 특성에 의하여 생성된 공간을 말한다.

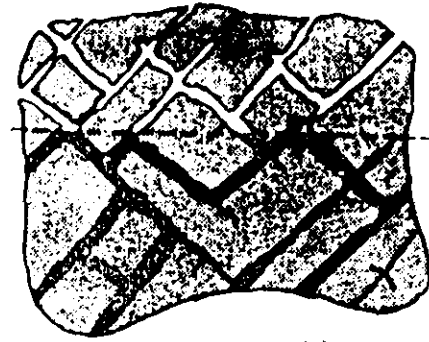
2차 공극이란 외부영향을 받아서 지반에 생성된 절리 편리 및 층리등의 공간, 지반파괴에 의한 파쇄대 등의 공간, 수용성 광물이나 특정 광물의 풍화로 인하여 지반에서 광물질의 용해로 생성된 공간과 그밖에 조직, 결정등의 왜곡으로 생성된 공간을 말하며 초기 지반 생성시에는 없다가 후천적으로 지반에 생성된 공간을 말한다.

2차 공극은 판정하기가 상당히 어렵다. 흡입

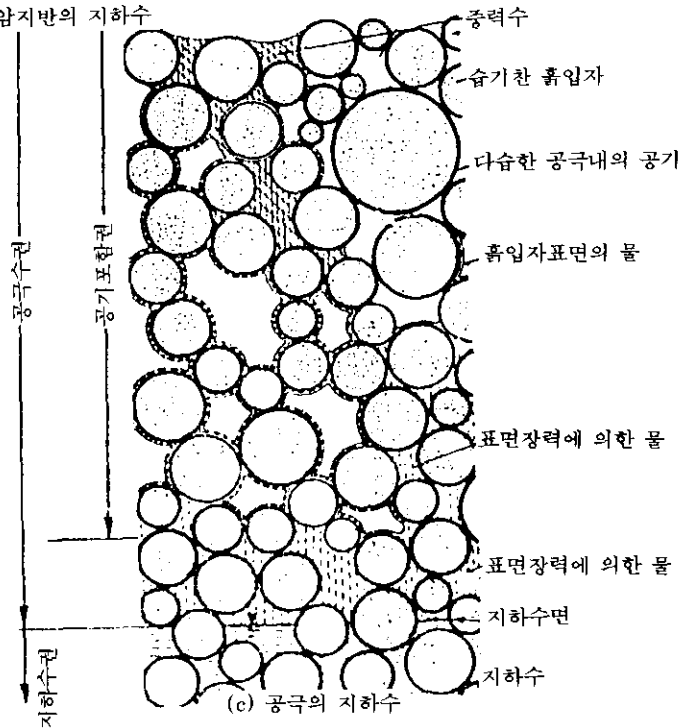
자 간의 구조적 공간 즉 공극은 입자의 배열과 형태 분포 및 퇴적 방법에 따라 다르며 일반적인 다공질체에서는 공극이 서로 연결되어 있고 공극의 크기, 분포 모양이 위치별로 다르나 일반적으로 공극은 한가지 이상의 유체로 채워져 있다. 지하수는 공극의 형태에 따라 다음과 같이 3가지로 구분할수 있으며 일반적으로 지반공학에서 다루는 지하수 처리는 공극의 지하수 문제이다.



(a) 석회암지반의 지하수



(b) 절리의 지하수



(c) 공극의 지하수

그림 1. 공극의 형태에 따른 지하수

표 1 공극에 따른 지하수 흐름특성

	석회암지반의 지하수	질리의 지하수	공극의 지하수
공극	석회암균열	질리	공극
평균유속	높음	질리형태, 크기에 따라 다르다.	낮음
저수능력	낮음	낮음	양호
온도	차이가 큼	작음	일정
내부표면적	작음	작음	매우 큼
필터작용	나쁨	보통	양호

4) 지형조건과 지하수

지하수를 포함하는 지반은 대체로 피압수대와 자유수대로 분류할 수 있다. 일반적으로 지반의 공극내에 있는 지하수는 수두차에 의하여 흐르며 투수계수가 작으면 흐르는데 상당한 시간이 필요하다. 예를 들어서 실트섞인 일반적인 점성토는 투수계수가 $k = 10^{-6} \text{cm/sec}$ 정도이며 이는 연간 약 30cm를 흐르는 속도에 해당한다. 따라서 보통의 굴착공사 기간을 따져 볼 때에 굴착공사중에 지하수 문제가 대두되는 경우에는 투수성이 큰 지반을 굴착할 경우이다. 보통 투수층이라 함은 투수계수가 $k = 10^{-4} \text{cm/sec}$ 이상인 지층을 의미한다고 생각해도 좋다. 또한 여러개의 지층으로 구성된 층상지반에서는 인접한 층을 상대적으로 비교하여 투수계

수가 1/5이하인 층은 불투수층으로 판단해도 거의 무방하다. 따라서 표토층의 투수계수보다 하부층의 투수계수가 5배이상인 경우에는 피압 상태인 경우가 많다.

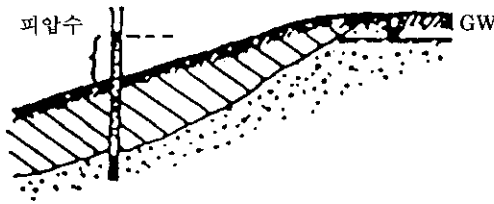
지하수를 많이 포함하는층 즉, 공극이 큰 조립토 지반을 대수층이라고 말하며 이 대수층에 있는 물이 위치수두 이외에 압력수두를 가지면 이를 피압대수층이라 하고 그때의 지하수를 피압지하수라고 한다. 이러한 피압 대수층은 주변 지반의 투수계수의 5배 이상 큰 투수계수를 갖는 대수층이 중간에 끼어 있는 경우에도 발생된다. 피압대수층은 대개 지형적인 특성에 의하여 형성되거나 인위적인 굴착으로 인하여 형성되기도 한다.

5) 지반의 투수계수

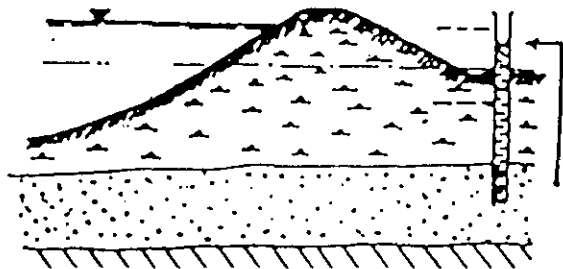
지반의 투수계수는 지하수의 유량과 유속을 결정할수 있는 중요한 계수이며 지반의 구조 골격에 따라 크게 다르므로 반드시 흐트러지지 않은 상태에서 결정해야 한다. 따라서 투수계수 결정은 매우 중요하고 어려운 일이다. 일반적인 실내 시험에서는 구조 골격의 교란을 피할 수 없을 때가 많다. 따라서 대개 현장 시험을 택하여 실시한다. 그러나 현장 시험에는 많은 경비와 시간이 필요하므로 몇몇 중요한 공사에만 실시되고 있다.

투수계수를 결정할수 있는 방법은 다음과 같은 것들이 있다.

- 실내시험(정수두 시험, 변수두시험, 압밀시험)



(a) 지형적인 원인



(b) 지표수위의 상승

그림 2. 피압지하수

- 현장시험(양수시험)

- 경험식 사용

지반의 골격을 흐트러트리지 않고 실험실로 운반하여 실험하기는 불가능하며 현장 시험 또한 많은 시간과 비용이 필요하므로 보통 경험식을 적용할수 있으며 다음과 같이 다양한 식이 있다.

Hazen(d_{10}) :

$$k = 0.0116 d_{10}^2 \div \frac{d_{10}^2}{100} \text{ [m/s]}$$

여기에서 d_{10} : 유효입경 [mm]

Slichter(d_{10}, c) :

$$k = 0.0071 \frac{d_{10}^2}{c} \text{ [m/s]}$$

여기에서 d_{10} : 유효입경 [mm]

c : 간극률에 따른 계수

n	0.25	0.3	0.35	0.4
c	100	53	32	25

Kazen - Carman 식 (n_e, s_i) :

$$k = 200 \frac{n_e^2}{s_i^2(1-n_e)^2} \text{ [m/s]}$$

s_i = Internal Surface Area per cm^3

Soil Volume [cm^{-1}]

n_e = Effective Porosity

6) 지하수위의 결정

지하수위는 관측정이나 주변우물에서 수위를 관측하여 결정하며 수위계측은 지하수위가 충분히 안정된 후에 실시해야 한다. 관측정을 굴착하는 경우에는 지하수가 회복되는데에 상당한 시간을 필요로 하므로 부정확한 지하수위 측정의 원인이다. 최근에는 피에조콘으로 지하수위의 압력으로부터 판단할수 있게 되어 널리 쓰이고 있다. 점성토나 실트층에서는 지하수위가 원상회복하는데에 매우 긴시간이 필요하여 사실상 수위측정을 신뢰하기가 매우 어려우며 현장 주변에 있는 우물의 수위는 중요한 자료가 된다.

7) 세굴에 의한 안정

사질지반을 굴착할때에 굴착부의 수위가 본래의 지하수위보다 높거나 같으면 굴착부에는 안정하다. 그러나 굴착부의 수위가 본래의 지하수위보다 낮으면 동수경사가 커져서 흩입자에 침투력이 작용한다. 이때에 토류벽의 배면에서는 중력과 같은 방향으로 침투력이 작용하지만 굴착면에서는 침투력의 방향이 상향이 되어서 지반이 느슨해지면서 세굴과피가 일어날 가능성이 있다. 이에 대한 안정은 그림과 같이 유선망을 그려서 검토한다.

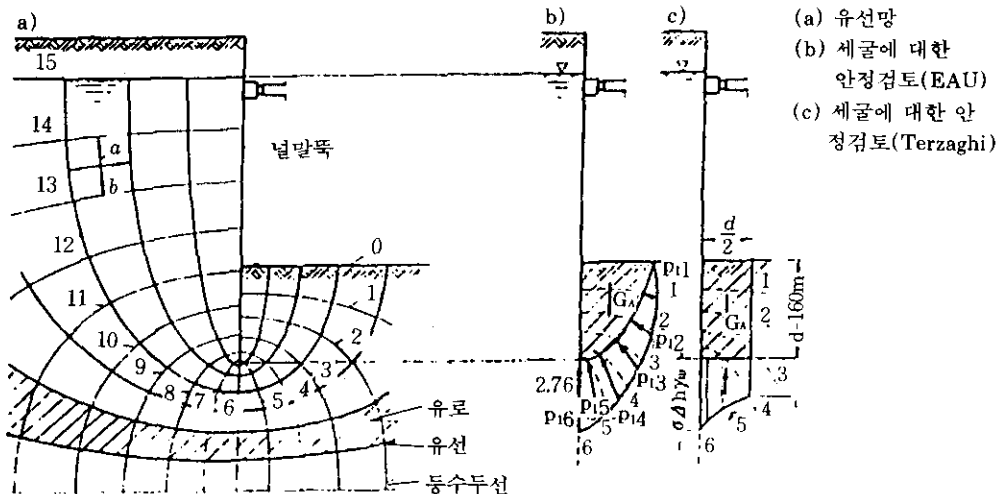


그림 3. 토류벽주변의 지하수 흐름

이때에 세굴을 방지하기 위하여 다음과 같이 조치할수 있다.

- 필터설치
- 배수우물 설치(중력배수)

- 배수우물 설치(강제배수)
- 불투수층 설치
- 수중콘크리트 바닥설치
- 압축공기로 가압

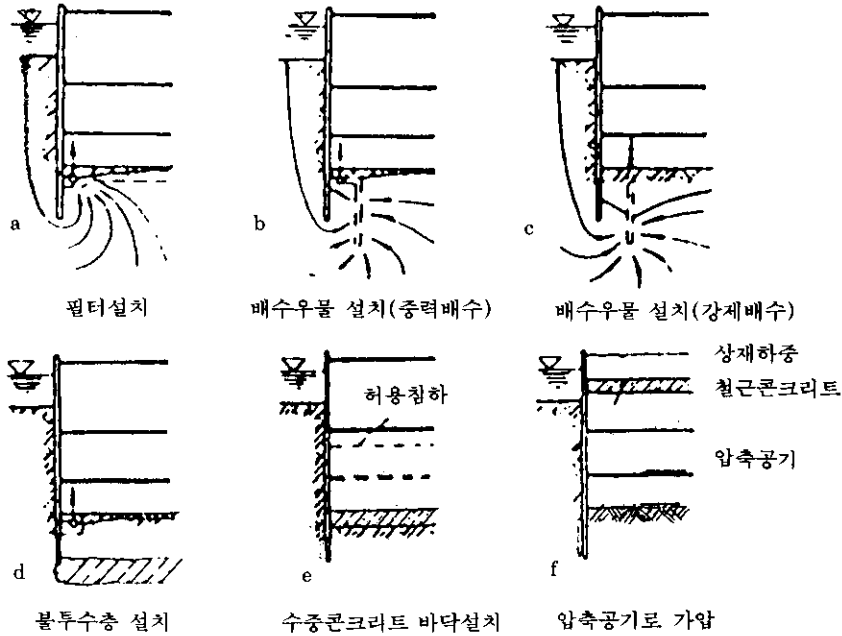


그림 4. 세굴파괴 방지대책

12.3 지반굴착과 지하수 처리

1) 개요

지반을 지하수위면 이하로 굴착할 때에 지반 내에 있거나 지반으로부터 용출하는 지하수를 배출하여 굴착공간을 건조한 상태로 유지하고 구조물을 축조해야 한다.

이 때에 지하수를 처리하는 방법은 대개 3가지가 있다.

- 배수로 설치
- 수평배수
- 연직배수

구조물을 축조하는 동안 또는 그 후에 구조물을 지하수로 부터 보호하기위하여 지하수가

구조물에 직접 접촉하지 않도록 배수나 방수를 해야 한다. 또한 되도록 구조물 바닥에 수압이 작용하지 않도록 구조물의 바닥면에서도 수평 배수를 설치한다.

2) 단일 수평배수

지하수를 포함하는 수평지층은 상부에 덮개 지층이 없고 하부에 불투수층이 있으면, 물은 수평지층을 흘러 수평배수관으로 유출되므로 이를 집수정에 모아서 펌프로 배수한다. 이때에 지하수 흐름을 층류라 하고 Darcy의 법칙을 따르며, 다음과 같은 가정을 하면 Dupuit (1863)의 이론으로 유량과 수위를 계산할 수 있다.

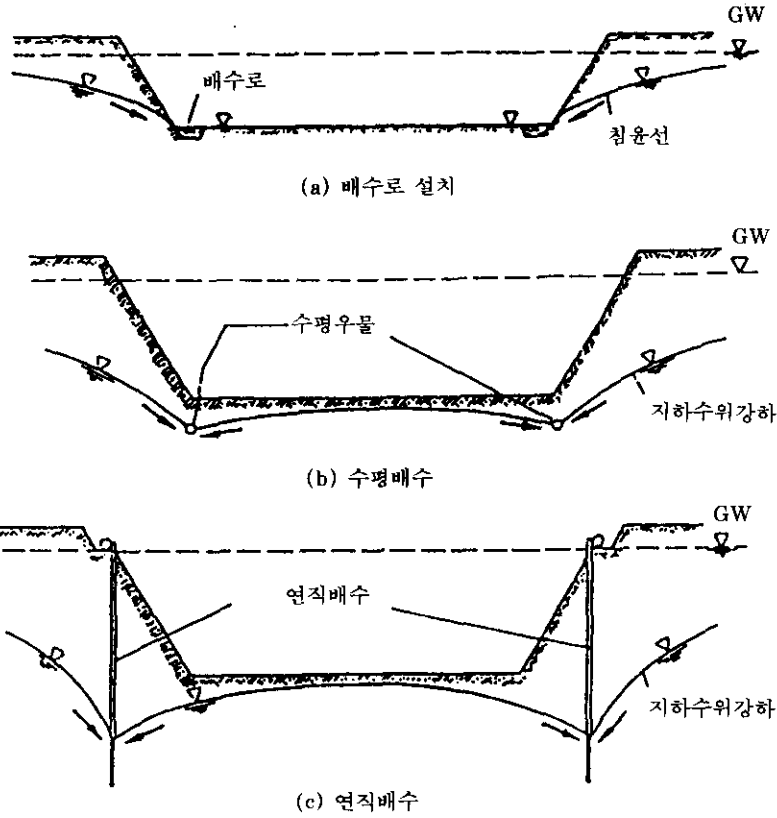


그림 5. 굴착시 지하수 배수

- 흙의 구조골격과 물은 비압축성이다.
- 투수계수, 점성, 밀도는 일정하다.
- 표면장력과 모관력은 무시한다.
- 지하수의 유입, 유출이 없어서 수직방향의 속도 변화가 없다.

그림 6과 같은 수평배수상태에서 임의의 위치 x 에서 수위 y 는 다음의 식으로 부터 구할 수 있다.

$$\frac{y^2 - h^2}{H^2 - h^2} = \frac{x}{R}$$

여기서 H 는 원래의 지하수위이고 R 는 영향권이다.
또한 이때의 유량을 다음의 식으로 계산할 수 있다.

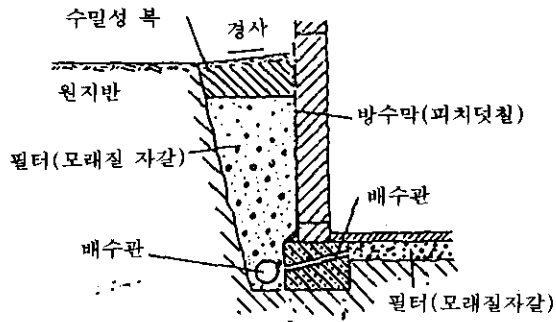
$$q = \frac{k}{2} \cdot \frac{H^2 - h^2}{R} \text{ [m}^3/\text{s]}$$

3) 단일 축대칭 우물

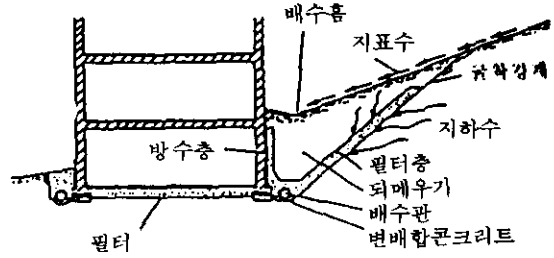
균질한 지반에 굴착한 원형단면의 축대칭우물에서 양수량은 Thiem(1870)의 식으로 구할 수 있다.

$$q = k\pi \frac{H^2 - h^2}{\ln \frac{R}{r_0}}$$

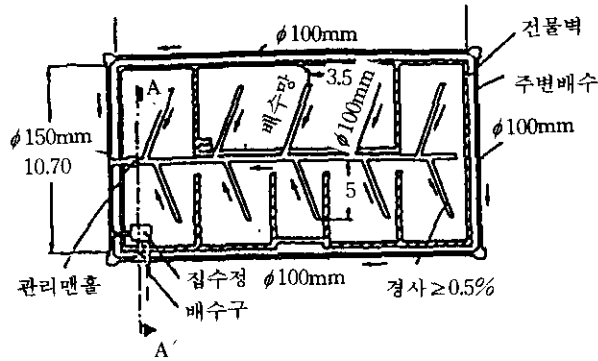
이때에 우물의 바닥이 불투수층경계이면 지하수의 유입이 우물의 측면에서만 가능하며 이러한 경우를 완전우물이라고 한다. 그러나 우물의 바닥이 불투수층 경계가 아니면 지하수의



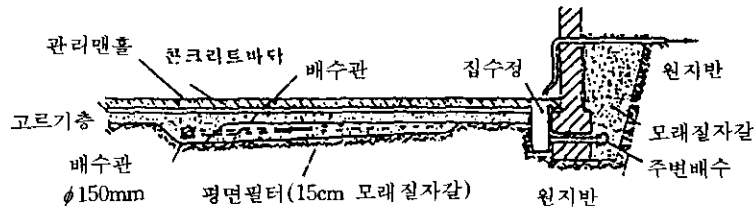
(a) 일반적인 배수



(b) 사면방향 배수



(c) 수평배수



(d) 단면 A-A

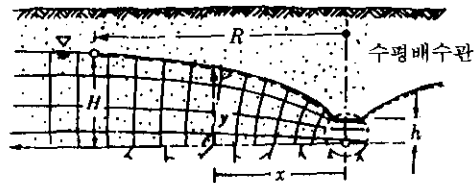


그림 6. 수면 배수 상태

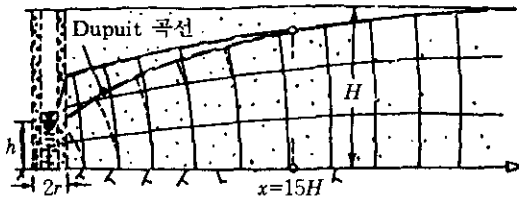
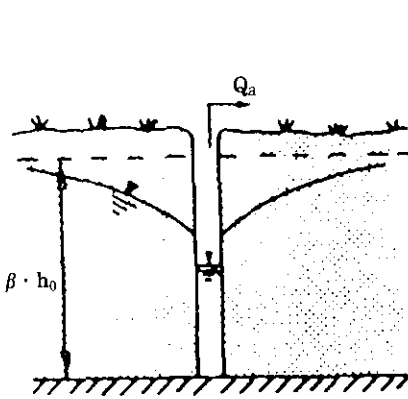
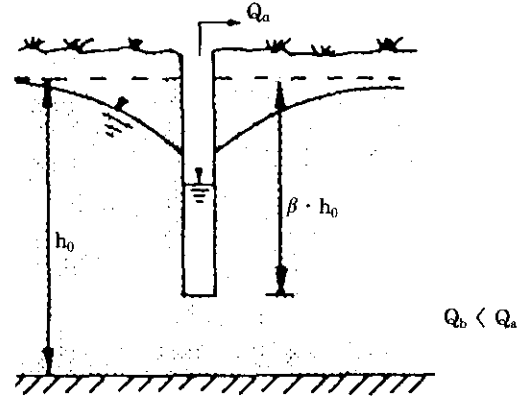


그림 7. 축대칭 우물

유입은 우물의 바닥에서도 일어나므로 Thiem의 양수량보다 큰 수량이 유입된다. 이러한 우물을 불완전우물이라고 한다. 그러나 실제의 우물에서는 지하수 유입이 주로 측면에서 일어나므로 Thiem의 식으로 계산해도 무방하며 다만 유량을 20% 증가시키면 된다.



(a) 완전우물과 유선망



(b) 불완전우물과 유선망

그림 8. 완전 우물과 불완전우물

우물에서의 유량 q 는 유선의 영향을 받지 않는 깊이므로 지하수 유량은 이론의 정확성보다는 투수계수 k 의 영향을 더 크게 받으므로 투수계수를 정확히 측정하는 것이 중요하다.

4) 영향권 R

우물등을 통하여 지하수를 양수하면 지하수위의 강하는 대개 일정한 범위 이내에서만 일어난다. 이렇게 지하수위가 변하는 범위에 대한 반경을 영향권이라고 하며 이를 현장시험으로 정하기 위해서는 시간과 비용이 많이 들기 때문에 일반적으로 경험식을 자주 사용한다.

- 수평배수조건

$$R = 1500(H-h)\sqrt{k}$$

(US Corps of Engineers)

- 축대칭 우물조건

$$R = 3000(H \cdot h)\sqrt{k}$$

(Sichardt, 1972)

그러나 이 경험식들은 영향권의 단위가 [m]인데 반하여 투수계수가 [m/s]이어서 차원이 일치하지 않는 불완전한 식이다.

5) 다수의 양수정에 의한 지하수위 강하

일반적으로 지반굴착 공사시에는 지반을 가능한한 건조 상태로 유지하기 위하여 다수의 양수정을 굴착한다. 이때에 우물은 굴착공간 밖에 설치하고 대개 우물을 동일 원주상에 배치할 때는 하나의 대구경 우물로 대체하여 계산할 수 있다. 대구경 대체 우물의 양수량은 n 개의 작은 우물의 양수량을 합한 양이 되며 대체 우물의 반경은 작은 우물들이 이루는 원의

반경 A로 한다. 일반적으로 굴착 저면보다

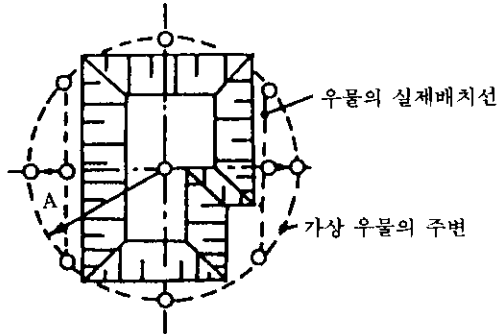


그림 9. 대체 우물

50cm 낮게 지하수위가 유지되도록 한다.

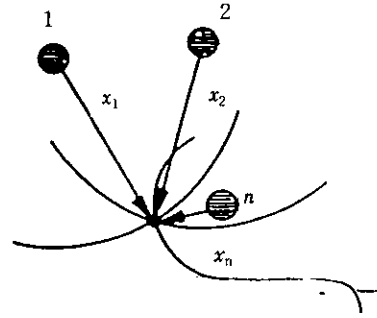


그림 10. 작은 우물의 영향권

Forchheimer(1898)는 n개의 작은 우물에 의한 지하수위 강하량을 계산할수 있는 식을 제시하였다. 지하수위를 검토하고자 하는 지점의 지하수위를 y라 하고 그점에서 작은 우물까지의 거리는 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ 이라 한다. 작은 우물들이 모두 영향권 R이 같고 반경 r_0 인 작은 우물의 유량을 각각 q_1, q_2, \dots, q_n 이라고 하면

$$nk\pi(H^2 - y^2) = q_1 \ln \frac{R}{x_1} + q_2 \ln \frac{R}{x_2} + \dots + q_n \ln \frac{R}{x_n}$$

이때에 작은 우물들의 용수량이 $q_1 = q_2 = \dots = q_n = q$ 로 같다고 하면 위의 식은 다시 다음과 같이 간단해진다.

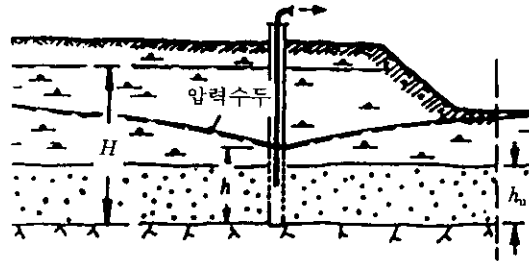
$$nk\pi(H^2 - y^2) = q \{ \ln R - (\ln x_1 + \dots + \ln x_n) \}$$

6) 특수조건에서의 지하수위 강하

(1) 감압우물

투수계수가 큰 지층위에 투수계수가 작은 상부 지층이 있는 지반에서 상부지층을 굴착하면 하부층의 지하수는 피압수가 된다. 사질토 상부에 점토층이 있거나 거친 모래층의 상부층이 가는 모래층이면 이러한 경우에 해당하며 이때에는 지하수에 의한 지반파괴가 일어날수 있으므로 지하수압을 감압시켜야 한다. 이러한 우

물을 감압우물이라고 한다. 감압우물에서는 작은 수량을 양수하여도 지하수압이 상당히 감압된다.



굴착경계 콘크리트바닥

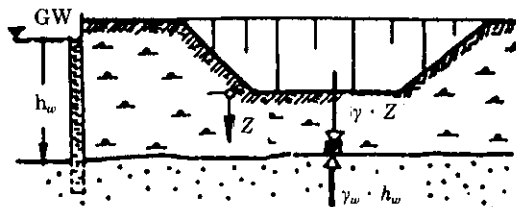


그림 11. 굴착으로 인한 피압수 상태

감압우물의 유량은 다음과 같다.

$$q = 2\pi kh_u \frac{H-h}{\ln R - \ln r_0}$$

(2) 자유수 인접 지역에서의 지하수위 조절

호수 또는 하천등 자유수면에 인접하여 지반을 굴착하면 굴착공간으로 물이 직접 흘러들어 올 위험이 있다. 이때에는 호수면을 대칭축으로 하여 자유수면을 대칭인 가상의 우물로 대체하여 우물의 식을 적용하며, 영향권은 $R=2e$ 로 한다.

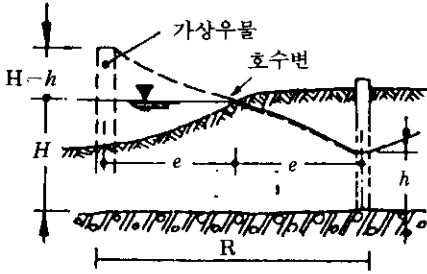


그림 12. 자유수면에 인접한 배수

12.4 지하수 배수방법의 선택

지반굴착시에 지하수 배수방법은 지반의 입도분포와 투수성에 따라 결정하며 정확한 한계가 있는 것이 아니므로 대개 다음의 여러가지 인자를 고려하여 현장에 가장 적합하고 경제적

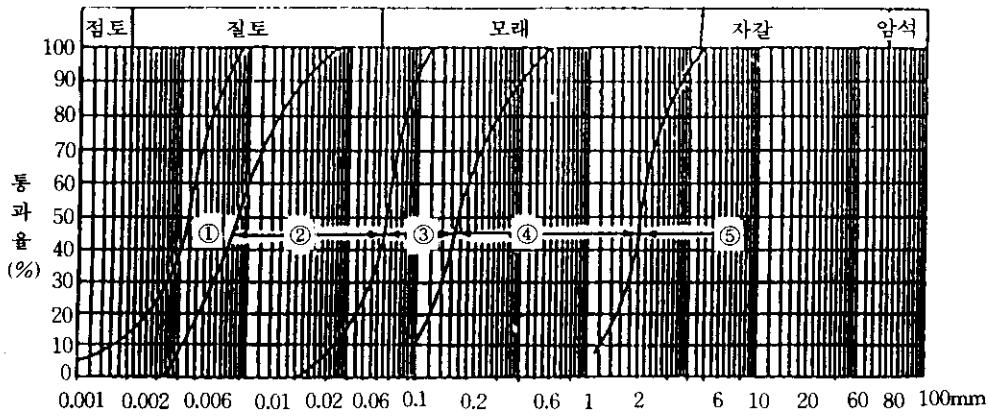
인 방법을 택한다.

- 굴착공간의 크기 및 형태
- 지하수 대수층의 양성
- 굴착면의 지형 및 지하수 형성
- 지층의 투수성
- 지하수위 강하 크기
- 소요기간
- 기존구조물의 예상 피해 정도
- 현장의 사용 가능한 장비 및 설비
- 경제성
- 굴착중 동원 가능한 장비

1) 입도분포 기준

지하수의 흐름은 지반의 공극의 상태에 의존하므로 지반의 입도분포가 매우 큰 영향을 미친다. 투수계수가 작은 점성토에서는 배수에 많은 시간이 소요되므로 중력에 의한 흐름에 의존할 수 없으므로 진공등을 가하여 인위적으로 수두차를 크게하거나 전기적인 특성을 이용해야 한다.

투수성이 좋은 사질토에서는 중력에 의한 흐름으로도 단기간에 배수할 수 있어서 개수로를 통한 배수가 가능하다. 그림 13에는 현장에서 가장 자주 이용되는 배수공법과 입도분포를 나타낸다.



① 전기적 방법 ② 진공공법, 웰포인트 ③ 웰포인트-필터우물의 중간 ④ 필터우물 ⑤ 개수로, 수중콘크리트, 주입

그림 13. 입도분포기준의 지하수 배수방법

2) 투수계수 기준

지반의 투수계수는 지반의 공극과 지하수의

점성등에 따라 다르므로 배수방법은 투수계수를 기준으로 하여 판정할 수 있다.

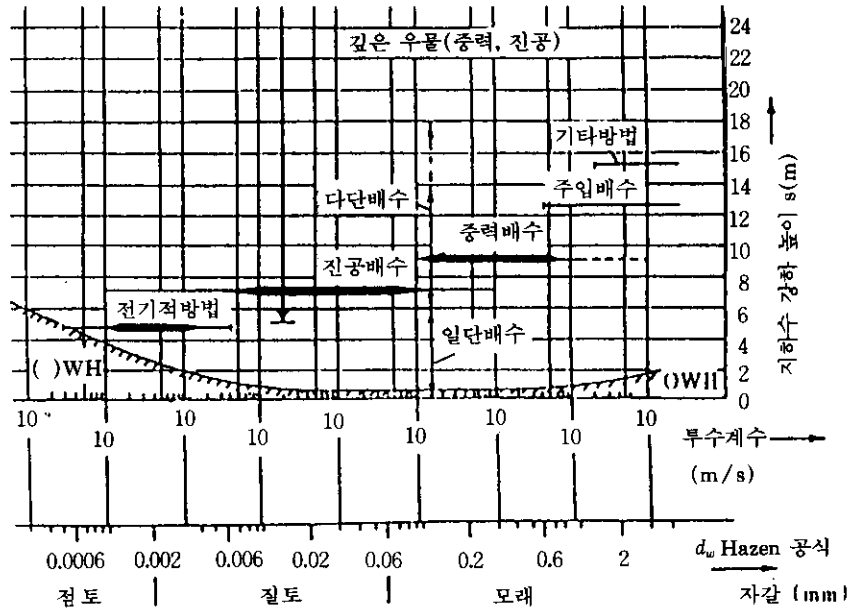


그림 14. 투수계수 기준의 지하수 배수방법

12.5 지하수 처리의 특수공법

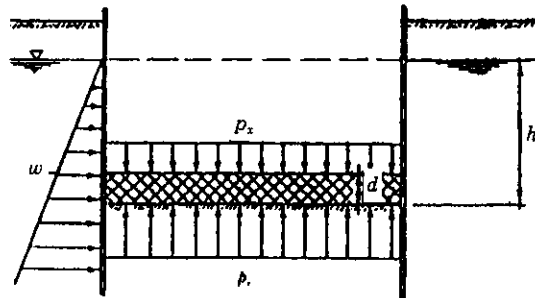
1) 수중콘크리트 바닥설치

지하수를 배수하지 않고 수중에서 굴착하고 굴착저면을 수중 콘크리트로 처리하여 양생한 후에 양수하여 굴착공간을 확보하는 방법으로 부력을 고려하여 콘크리트의 소요두께를 설계해야 하며 소요두께는 콘크리트의 자중과 바닥면의 수압으로부터 다음과 같이 결정한다.

$$d = \frac{\gamma_w}{\gamma_c} \cdot h \cdot \eta$$

여기에서 γ_c 는 콘크리트 단위중량이며 안전율 $\eta=1.3$ 으로 한다.

2) 주입재를 이용하여 굴착저면을 처리한 후에 굴착을 진행하며 건조상태에서 지반을 굴착할 수 있다. 굴착전에 주입을 한다. 다음의 내용을 종합하여 주입재를 판정한다.



수중콘크리트 바닥설치

그림 15. 수중콘크리트 바닥설치

- 지반의 주상도 및 굴착공간모델
- 입도분포
- 상대밀도
- 지하수위 및 그 변화

- 지하수의 화학성분
- 지반의 함수비
- 지반의 투수성
- 지하수위 흐름방향 및 유속

(1) 주입재

주입재는 지반의 종류와 투수계수에 따라 알맞게 선택하며 주요 주입재는 다음과 같다.

- 시멘트 혼탁액 : 시멘트를 주성분으로 하여 물, 골재, 첨가재(석분, 플라이애쉬), 혼화제(유동화제, 고결제, 지연제) 등을 혼합하여 조제한다. 지하수에 황산염이 포함되면, 황산염에 저항할수 있는 시멘트를 사용한다.

- 점토시멘트 혼탁액 : 점토에 시멘트와 물을 혼합한 혼탁액으로 경우에 따라 첨가재와 혼탁제를 혼합한다. 시험혼합이나 경험에 의하여 조제한다.

- 실리카겔 : 물유리계의 알칼리 실리케이트 용액이다. 표 2는 지반에 따른 주입재를 나타낸다.

표 2 지반에 따른 주입재

지 반	투수계수 k [m/s]	주 입 재	사용목적	
			차수	강도증가
자갈 거친모래 사질자갈	$>5 \times 10^{-3}$	시멘트 혼탁액	○	○
		점토시멘트 혼탁액	○	○
		점토혼탁액	○	○
		점토시멘트 혼탁액 및 실리카겔	○	○
모래 실트질모래	$5 \times 10^{-3} > k > 5 \times 10^{-4}$	점토혼탁액	○	○
		실리카겔	○	○
		고결제	○	○
가는모래 시질실트	$5 \times 10^{-4} - 5 \times 10^{-7}$	실리카겔	○	○
		고결제	○	○

(2) 주입방법

분사봉을 타입, 보링, 워터젯트등으로 지반에 관입시킨후에 주입재를 분사한다. 주입간격을 조정하여 충분히 겹치도록 한다. 주입간격을 지반의 투수선과 주입재의 종류에 따라 결

정한다.

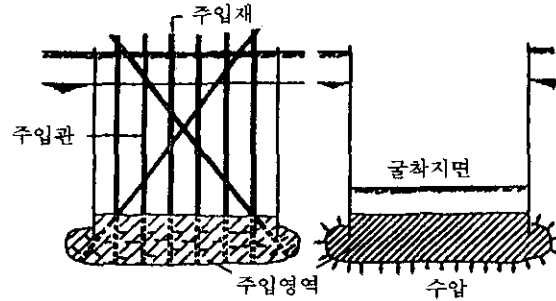
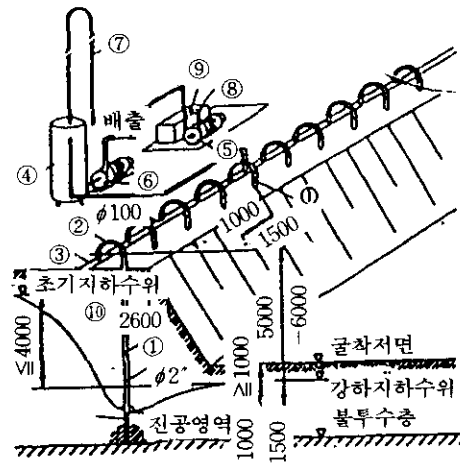


그림 16. 약액의 주입방법

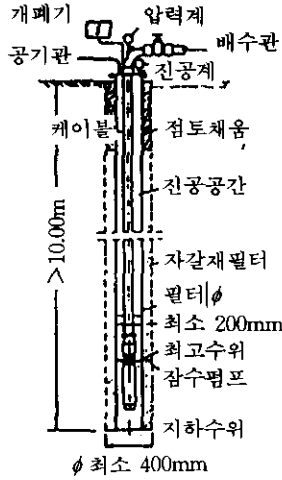
(3) 부압을 이용한 배수

우물을 통한 배수는 투수계수가 $k > 1.0 \times 10^{-4} \text{m/s}$ 이상인 비교적 투수성이 좋은 지반에 한정되며, 전석이나 쇄석층의 배수는 아직 적당한 방법이 없다. 셰럴토 지반에서는 모관력 때문에 중력에 의한 배수를 기대하기 어렵다. 미세한 모래나 실트지반은 미소한 과잉간

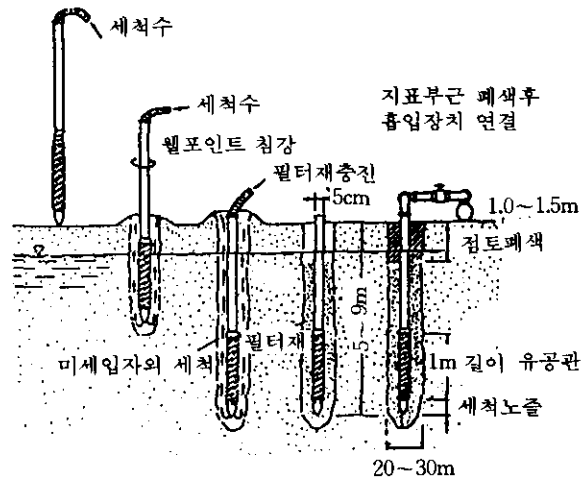


- ① 브러쉬 필터 ② 고무 호스 ③ 집수관 ④ 진공관
- ⑤ 진공펌프 ⑥ 배수 펌프 ⑦ 가압피로 ⑧ 냉각수조
- ⑨ 진공펌프의 압력배관 ⑩ 점토 폐쇄

(a) 부압배수 시스템



(b) 진공우물 상세도



(c) 진공우물의 시공과

그림 17. 부압을 이용한 배수 system

극수압이 발생해도 지반이 유동상태가 되므로 진공을 이용한 부압 방법이 효과가 있다.

진공설비는 설치가 간단하고 신속하며, 진공 흡입구를 많이 설치하여 지하수위를 조절할 수 있다. 부압배수 방법에 의한 유량은 다음과 같으며 물은 모아지면 펌프로 퍼낸다.

$$Q = k\pi \left[1 + \frac{\Delta p}{s\gamma} \right] \frac{H^2 - h^2}{\ln R - \ln A}$$

s : 지하수 강하깊이

Δp : 부압

(4) 동결 공법

지반에 보령을 하고 냉각 파이프를 주입한 후에 냉매를 순환시켜서 주변 지반내에 있는 지하수를 동결시키는 방법을 지반동결공법이라고 하며, 터널이나 수직갱에 자주 적용된다. 지반이 동결되면 얼음벽이 형성되고 이로 인해 지하수가 차단되고 얼음벽은 강도가 커져 완전한 차수 효과를 볼 수 있다. 굴착깊이가 깊을수록 경제성이 있으며 널말뚝을 타입할 수 없는 경우에 적합하다.

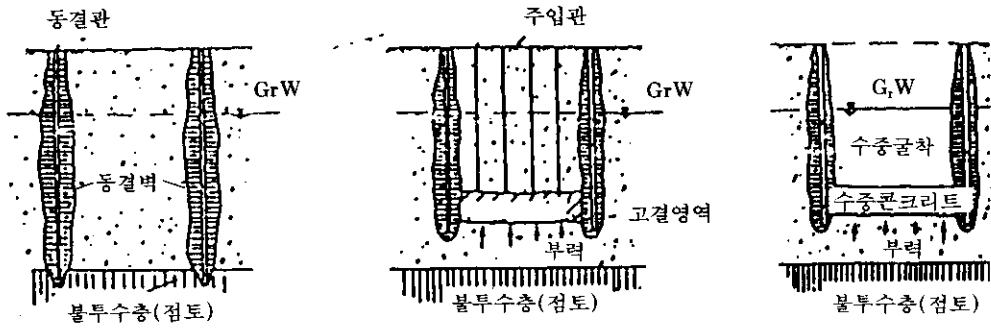
주입공법의 효과가 불확실한 미세한 실트에 적용가능하며 큰 동력이 필요하고 비용이 많이 드나 가장 완전한 차수공법이다.

지하수 유속이 2~3m/day 이상 빠른 경우에는 에너지 유실이 많아서 적용하기 어려우며 공사후 철거 비용이 들지 않으며, 해빙후에도 지반의 특성이 거의 변하지 않으므로 앞으로 전망이 좋은 공법이다. 냉매로 암모니아 탄산가스를 이용한다. 얼음벽이 생성된후에 지반을 굴착하며, 바닥을 수중 콘크리트로 처리할 수 있다.

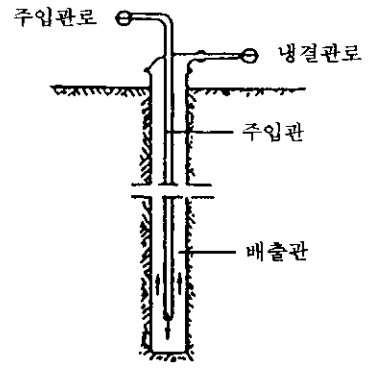
(5) 전기 침투공법(Electro-Osmos)

지반에 직류전기를 걸어주면 전위차에 의하여 음극의 주변에 함수비가 증가하는 원리를 이용하여 지하수를 배수하는 방법으로, 에너지 가격문제로 잘 사용하지는 않으며, 함수비가 액성한계 정도이어서 함수비를 몇 %만 낮추어도 충분한 효과를 볼 수 있을 경우에 경제적으로 적용할 수 있다. (Smolczyk, 1980)

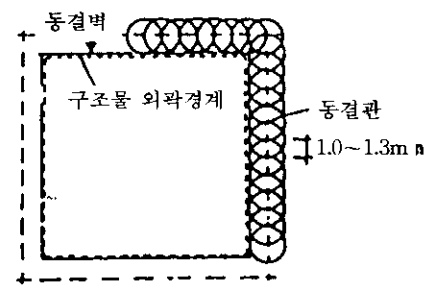
현재 활동중인 무한사면의 안정화나 투수계수가 $k < 1.0 \times 10^{-7} \text{m/s}$ 인 지반의 과잉간극수압을 낮추는데 이 방법을 적용할 수 있다.



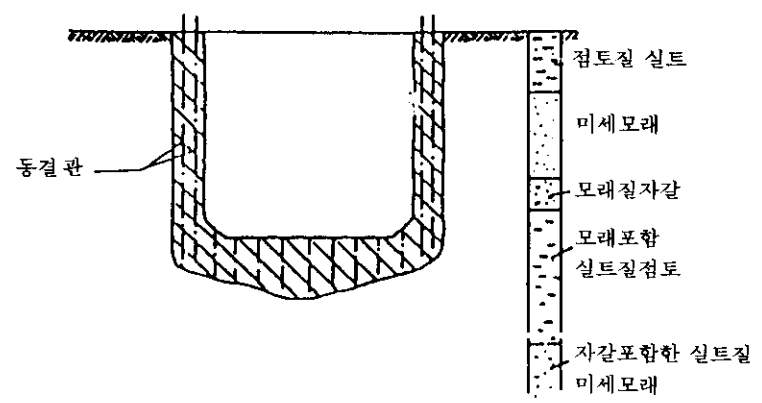
(a) 동결공법의 적용



(b) 동결관 상세도



(c) 동결관 배치



(d) 동결후 굴착 동결관 동결벽 불투수층(점토)

그림 18. 동결공법

(6) 지중차수벽

지하수의 흐름이나 침투를 차단하기 위하여 지층에 벽체를 설치할 수 있으며 이를 지중차수벽이라고 한다. 또한 쓰레기 처리장등에서는 오염된 지하수가 주변으로 확산되지 않도록 차수벽을 설치하며, 자주 사용되는 차수벽으로 지중연속벽, 차수격벽, 주열식벽등을 설치한다.

12.6 지하수 배수에 의한 문제발생

지하수위 강하는 넓은 지역에서 일어나며, 지하수위가 낮아지면 유효응력이 증가하고 이로인하여 광범위한 지반침하나 구조물침하가 일어난다. 지하수위가 낮아지면, 나무말뚝이 부패되거나 강말뚝의 부식이 급격히 진전된다.

또한 인근의 수목이 고사할 수도 있다. 따라서 주변에 미치는 영향이 클 경우에는 지하수위 강하를 방지하기 위하여 양수한 물을 지하로 유입시켜야 한다.

압축성이 큰 점성토에서는 압력이 증가하여 압밀이 촉진될 수 있다. 투수계수가 작은 점성토 지반에서는 압밀이 진행되면서 전단응력은 서서히 증가하는데 반하여 압력은 급격히 증가한다. 양수되는 물에 흙의 미세입자가 유출되면 지반의 전단강도가 급격히 감소할 수 있으므로 양수정에는 역필터층을 설치해야 한다.

또한 지하수위가 넓은 지역에서 낮아지면 지하수의 사용량과 공급량이 평형을 이루지 못하여 구조물이 횡방향힘을 받을 수 있으므로 이런 경우에는 구조물 하부나 주변에 자갈층등을 설치하여 구조물의 모든 방향에서 같은 지하수위가 유지되도록 해야한다.

지하수는 한번 평형이 깨지면 회복하는데 시간이 많이 걸리며 지하수위가 강하되면서 오염물질이 지반 깊숙이 확산될 수 있다. 따라서 지하수위 강하시에는 지반과 구조물의 안정, 환경문제등 다각적인 검토가 필요하다.

참 고 문 헌

Cadegren, H.R.(1967)
Seepage, Drainage and Flow Nets. John Wiley &

Sons, New York/London.

Cambefort, H. (1969)
Bodeninjektionstechnik(Deutsche Bearbeitung B-
ack, K.), Bauverlag Wiesbaden/Berlin

Dupuit, T.(1863)
Etudes theoriques et pratiques sur le mou-
vement des eaux dans les canaux de couverts et
a travers les terrains permeables, Paris.

Forcheimer, p.(1898)
Diss. TH Berlin.
Grundwasserspiegel bei Brunnenanlagen, z. Ost.
Ing-Verein.

Grueter, R./Liening/Wittke, W./Ri ler, P.
/Jonuscheit(1976)
S-Bahn Stuttgart. Planung und Bau der
Haltestelle Schwabstrasse, Baulos 11, Baulos 12,
Baugrundtagung Nuernberg.

Harr, M.e.(1962)
Groundwater and seepage, Mcgraw-hill

Herth/Arndts(1973)
Theorie und Praxis der Grundwasserabsenkung.
Verlag W. Ernst und Sohn, Berlin.

Knaupe(1979)
Baugrubensicherung und Wasserhaltung. Verlag
fuer Bauwesen, Berlin.

Sichardt(1927)
Das Fassungsvermögen von Rohrunnen und seine
Bedeutung für die Grundwassera bsenkung
insbesondere für grössere Absenktiefen.

Simmer, K. (1980)
Bodenmechanik, Erdstatische Berechnungen, Teil
1. B.G. Teubner, Stuttgart

Smoltczyk, H. -U. (1980)
Grundbau-Taschenbuch, Teil 1.3.Aufl. Berlin-
Muenchen-Duesseldorf

Smoltczyk, H. -U. (1988)
Vorlesungsumdruck. Uni Stuttgart

Szechy (1956)
Beitrag zur Theorie der Grundwasserabsenkun-
gen, Bautechnik H2

Terzaghi, K/Peck (1961)

Die Bodenmechanik in der Baupraxis, Berlin-
Goettingen-Heidelberg

Thiem (1870)

Über die Ergiebigkeit artesischer Bohrlöcher,
Schachtbrunnen und Filtergalerien, Z. Gas- und
Wasserversorgung.

Weber, H (1928)

Die Reichweite von Grundwasserabsenkungen
mittels Rohrbrunnen, Berlin, Julius Springer

Wittke, W./Breder, R. (1985)

Injektionsverfahren zur Abdichtung von Fels-
und Lockergestein unter Verwendung von
Zementpasten, Taschenbuch fuer den Tunnelbau,
1985, S. 203-234.