

터널의 지하수 고려 방안

A Study of Underground Water problem in Tunneling

이 인 모*
I. M. Lee

1. 서 언

최근 국토의 효율적인 이용을 위하여 고속철도, 지하철 등의 교통시설을 위한 터널과 산업폐기물 처리시설, 에너지 저장시설, 공장 및 발전소 등을 위한 지하공간에 대한 수요가 증대되고 있다. 과거에 필요했던 터널은 도로 및 철도 터널이 주종을 이루었으므로 터널이 산악지에 주로 건설되었다. 특별한 경우가 아니고는 산악터널에서 지하수 문제가 크게 대두되지 않았다. 그러나 작그르메는 지하철 터널, 위락 및 상업시설등 도심지에 지하공간을 설치하는 경우가 빈번하게 되었다. 도심지는 그 지대가 높지 않을 뿐 아니라 각종 하천 인근으로 터널을 건설해야 하는 경우도 왕왕 발생한다. 따라서, 과다 지하수로 인한 제반 문제가 도심지 터널 시공시, 또한 시공후 사용할 때에 빈번하게 발생되고 있다. 특히, 한강 하부나 한강주변에 터널을 설치해야 하는 경우는 그 수위가 높아서, 수압으로 인한 제반 문제를 처리해야 하는 당면과제들이 있었다. 옛날은(殷)나라 시대에는 치산치수(治山治水)라고 산과 물을 잘 다스릴 수 있는 사람이 황제가 된 역사를 우리는 잘 알고 있다. 자연의 물은 워낙

거대하여 인위적으로 그 힘을 막는 것은 현명하지 못하다. 물은 잘 모셔야 하는 것이 Engineering이 아닌가 싶다. 도심지 터널 현장에 가보면 물이 유출되는 경우 무조건 Grouting으로 물을 막으려 한다. 특별한 경우가 아니면 물은 인위적으로 막도록 고생할 것이 아니라, 잘 유도 처리하여 배수가 되도록 하는 것이 전체적인 안정상 유리할 때가 많다. 도심지 터널 설계개념은 대별하여 두 가지가 있다. 그 하나는 배수 개념에 의한 설계요, 다른 하나는 비배수 개념(완전 방수)에 의한 설계를 말한다. 이제까지 서울 지하철 터널 설계의 경우 1~5호선까지는 주로 배수개념에 의하여 지하철 터널이 설계되었으나, 6호선에 가서는 완전 방수로 설계하도록 기본 요구 조건이 이루어져, 각 설계회사들이 고심하는 것을 종종 보아 왔다.

한편, 배수 개념에 의한 터널 설계의 개념은 실제로 산악지와 같이 지하수가 터널의 아래부분에 존재하는 경우를 주로 일컬어 왔으나, 비록 터널 내로 지하수가 흘러들어서 궁극적으로 터널 외부 Filter재에 이르러서는 수압이 '0'이 되어서 전술한 완전 배수상태와는 완전히 다른 경우가 있다. 즉, 지하수의 공급원이 충분하기 때문에 지하수위의 하강이 크지 않은 경우 지하수가 계속적으로 터널로 흘러 들어와서 지하수가 흐르는

* 고려대학교 토목환경공학과 교수

방향으로 침투압이 작용되는 경우가 있기 때문이다. 따라서, 본 고에서는 이제까지도 계속적으로 문제되어 왔고, 앞으로도 도심지에 터널을 뚫는 한 계속 문제가 발생할 것으로 생각되어지는 터널설계시 지하수의 고려방안에 대하여 서술하고자 한다.

2. 지하수를 고려한 터널 설계기본

2.1 배수조건에 따른 터널의 종류

라이닝 배면 부에 지하수가 체류하면 라이닝 배면에 과대한 수압이 작용하게 되어 터널의 안정성을 저하시킬 뿐만 아니라 누수에 의하여 내부설비의 기능저하, 라이닝의 재질약화 및 유지관리상의 문제 등을 초래할 수 있으므로, 터널설계시 지하수의 합리적인 고려방안이 요구된다.

〈표 1〉

배수조건에 따른 터널의 비교

| | 배 수 공 법 | 비배수 공법(완전한 방수 공법) |
|-----|--|---|
| 형 식 | 방수포를 터널의 천정부와 측벽부에 설치하고 유입수를 배수층을 통하여 터널내부로 유도하여 배수처리 | 터널 전단면에 방수포에 의한 차수층을 설치하여 지하수의 유입을 완전차단 |
| 장 점 | <ul style="list-style-type: none"> 라이닝의 수압을 고려하지 않으므로 구조적으로 얇은 무근 콘크리트 라이닝도 가능하다. 특수 대단면의 시공이 가능하다. 누수시 보수가 용이하다. 시공비 적게 된다. | <ul style="list-style-type: none"> 유지비가 적게 든다. 터널 내부가 청결하며 관리가 용이하다. 지하수위의 변화가 없으므로 주변환경에 영향을 미치지 않는다. |
| 단 점 | <ul style="list-style-type: none"> 자연배수가 불가능한 경우에 유지비가 많이 든다. 지하수위의 저하로 주변지반 침하와 지하수 이용에 문제가 생길 수 있다. | <ul style="list-style-type: none"> 시공비가 많이 든다. 특수 대단면에서는 단면이 커서 비경제적이다. 누수가 발생하면 보수비가 많이 들고 완전보수가 어렵다. 라이닝의 두께가 커지고 때에 따라 철근이 요구된다. |
| 적 용 | <ul style="list-style-type: none"> 지질조건이 양호 주변에 구조물이 없을 때 지하수가 낮을 때 | <ul style="list-style-type: none"> 지질조건이 불량 지하수가 높거나, 지하수의 공급이 많을 때 도심 등 주변에 중요 구조물이 존재할 때 |

일반적으로 지하수를 고려한 터널의 설계방법은 크게 두 가지로 분류하는데 라이닝배면에 지하수를 유도하는 배수공을 매설하는 배수공법과 터널 굴착후 라이닝의 주변을 완전방수 처리하여 라이닝 내부로 지하수가 침투하지 못하도록 하는 비배수공법(완전방수공법)이 있다.

두 공법의 특징은 <표 1>에 수록한 바와 같이 배수공법은 라이닝의 수압을 고려하지 않으므로 시공비가 적게 드는 장점이 있으나 지하수 위의 저하를 초래하여 지표침하 문제를 야기할 뿐만 아니라 시공후 운영중에 항상 배수시설을 가동하여야 하는 문제점이 있다. 이에 반하여, 완전방수터널은 라이닝에 정수압이 작용하므로 단면보

강으로 인한 시공비가 증가하는 문제점이 있다.

2.2 배수조건에 따른 터널의 설계개념

배수조건에 따른 터널의 설계 개념은 표 2.에 보인 바와 같이 배수개념의 경우에 지중응력을 전응력으로 고려하고 라이닝에 수압이 걸리지 않는 것으로 NATM에서는 라이닝에 작용하는 하중을 거의 무시할 수 있다. 비배수 개념은 지중응력을 유효응력과 정수압으로 고려하므로, 라이닝에 정수압이 작용하게 되며, NATM에서도 수압에 견딜 수 있도록 라이닝의 단면을 보강하여야 한다.

<표 2> 배수 조건에 따른 터널의 설계 개념

| | 배 수 개 념 | 비배수 개념(완전 방수 개념) |
|--------------|---|---|
| 지 중 응 력 | <p>r_1: 습윤단위중량</p> <p>$K_o \cdot r_1 \cdot Z$</p> <p>$r_1 \cdot Z$</p> | <p>$r_{sub} \ r_w$</p> <p>D</p> <p>$(K_o \cdot r_{sub} + r_w) \cdot Z$</p> <p>$(r_{sub} + r_w) \cdot Z$</p> |
| 라이닝에 작용하는 수압 | Zero | <p>$r_w \cdot Z$</p> <p>D</p> <p>$r_w \cdot (Z + D)$</p> |

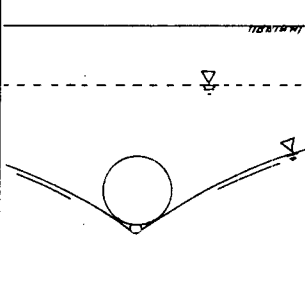
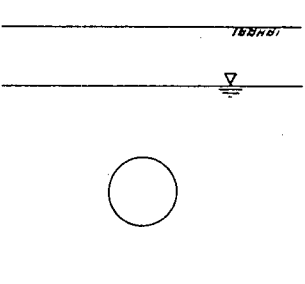
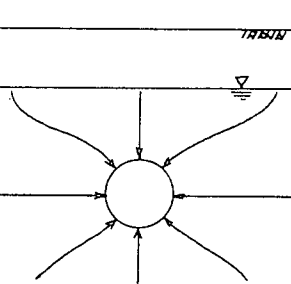
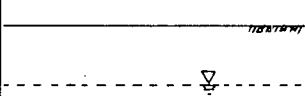
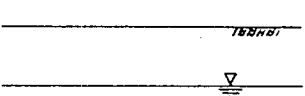
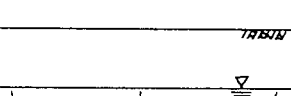
2.3 지하수를 고려한 터널 설계

배수터널의 설계개념은 배수시설이 정상적으로 가동된다는 가정 하에서 수압의 영향을 고려하지 않는 것이 일반적이다. 이 가정은 지하수위가 터널 하단부 아래로 저하되는 경우에는 합당하지만, 지하수의 공급원이 충분하여 지하수위의 저하가 크지 않은 하천 인접구간 등에서는 침투력(Seepage Force)이 라이닝에 작용하므로 수압을 고려하지 않으면 터널 안정성에 문제가 발생할 수 있다. 또한 국내의 지하철 터널에서 실제 배수층을 Shotcrete층과 라이닝 사이에 설치함으로써 투수계수가 적은 Shotcrete층에 상당한

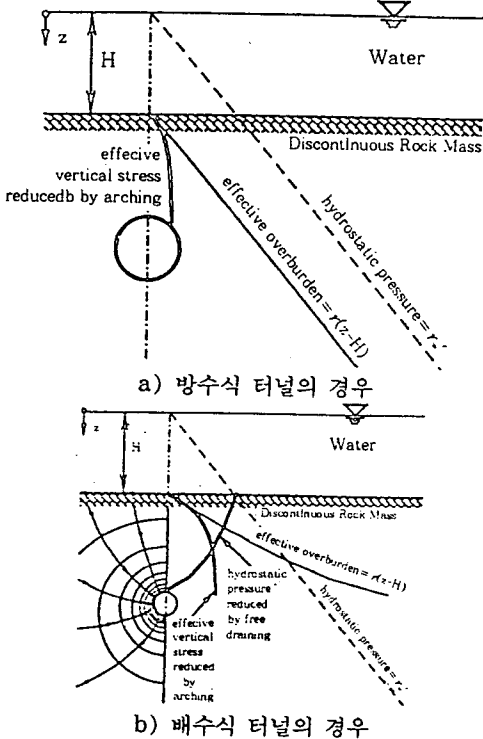
수압이 작용하게 될 가능성도 존재한다.

〈표 3〉에 나타낸 바와 같이 지하수위의 저하가 크지 않은 배수 터널에서는 지하수의 흐름이 발생하며 이로 인하여 지중응력의 상태가 변하므로 라이닝에 영향을 끼친다. 〈표 4〉에 보인 바와 같이 침투가 발생하는 터널의 지중응력은 유효응력과 침투압이며, 침투 경계에서는 정수압이 작용하다가 라이닝 배수층에서 수압이 0이 된다. 이와 같이 라이닝 배수층에 걸리는 수압이 0이나, 지하수가 터널 하단부 이하로 하강한 배수터널과 비교해 보면 지중의 응력상태는 현저하게 다르다.

〈표 3〉 배수 조건에 따른 터널 해석

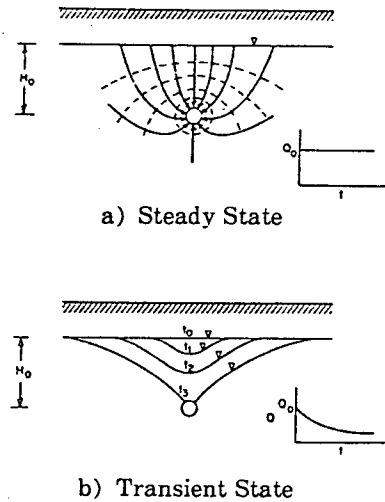
| | | 배수 관계 | 비배수 개념 (완전 방수 개념) | 침투를 고려한 배수 개념 |
|------------------|--------------|---|---|--|
| 개 념 | |  |  |  |
| | |  |  |  |
| 지하수위 | | 배수에 의한 강하 | 변동 없음 | 변동 없음 |
| 침투 | | 발생 | 발생 없음 | 발생 |
| 해 석 조 건 | 해석경계부 | 전응력 (= 유효응력) | 유효응력 + 정수압 | 유효응력 + 정수압 |
| | 지중응력 | 유효응력 (= 전응력) | 유효응력 + 정수압 | 유효응력 + 정수압 |
| | 라이닝에 작용하는 수압 | 0 | 정수압 | 0 |

상기에서 언급한 바와 같이 실제 침투가 발생하는 터널의 라이닝 설계는, 해석 경계부는 유효 응력과 정수압이 작용하는 방수개념을 적용하고, 라이닝에 걸리는 수압은 0이며, 지중에는 해석경계부와 라이닝과의 수두차(터널 중심에서의 지하수위)로 인한 정상류(Steady State)의 흐름으로 인한 유효응력과 침투압을 적용해야 한다. 흙 자체는 Arching 현상에 의하여, 투압의 감소를 가져올 수 있으나, 침투압은 물이 흙사이로 흘러감으로 인하여 생성되는 압력이기 때문에 Arching 현상이 존재하지 않아 큰 압력이 터널의 Support System에 작용될 수 있다. 해저(海底) 터널에 대하여 Arching으로 토압이 감소한 경우와 침투압으로 인하여 흙의 무게가 증가하게 된 예가 <그림 1>에 표시되어 있다.



<그림 1> 해저 터널에서 배수조건에 따른 터널 상부의 연직응력 비교

그렇다면 실 현장의 조건은 어떨 것인지 유추해 보자. 만일, 하저(河底), 해저(海底)터널 등 아예 수위선이 지표면보다 높은 경우에는 당연히 정상류 조건이다. 한편, 산악 부근과 같이 비록 지하수위가 처음에 존재하였다 해도 터널굴착으로 인하여 지하수가 저하되고 지하수의 뚜렷한 공급원이 없다면 이는 완전 배수 개념으로 설계하여도 무방할 것이다. 다만, 궁극적으로 배수개념으로 간다고 하더라도 처음에는 <그림 2>(b)에서와 같이 부정류 흐름(Transient Flow)이 되어 이때의 지하수 유입량에 대한 검토는 해볼 필요가 있다.

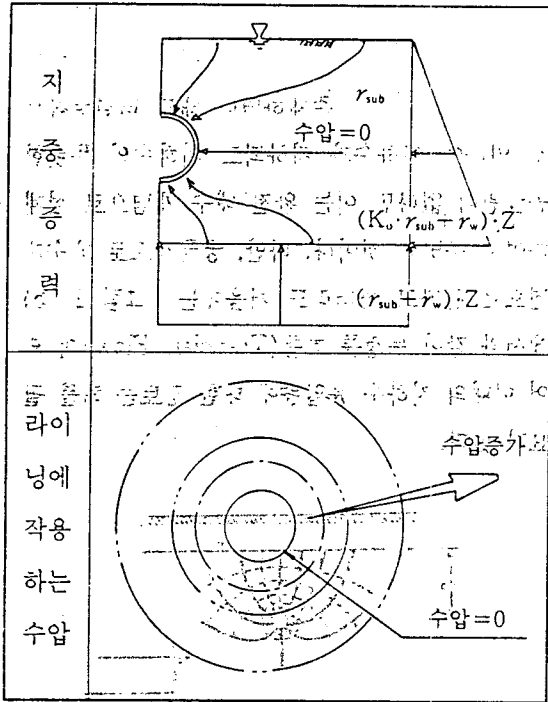


<그림 2> 배수터널에서의 지하수 유입형태

2.4 터널 유도 배수층의 통수 능력

배수형 터널에서 완전히 공사가 완료된 후에, 콘크리트 라이닝과 1차 Support System에서 주된 역할을 하는 숏크리트 사이에 설치된 부직포로 된 유도 배수층으로 지하수가 유입되고 이 유도층을 따라서 터널 저부에 있는 측방 배수관 또

〈표 4〉 침투를 고려한 터널 설계

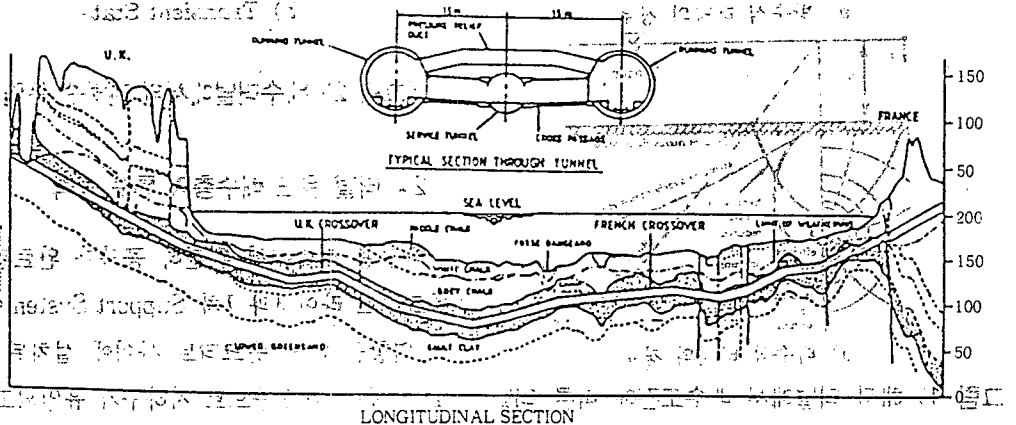


는 중앙 배수관까지 흐르게 되고, 배수관으로 유입된 지하수는 다시 '집수정'으로 흘러서, 집수정으로부터 펌핑작업으로 외부로 배출되어진다. 여기에서 우리가 짚고 넘어가야 할 문제들이 있다. 첫째는, 라이닝과 숏크리트 사이에 설치된 부직

포가 지하수를 유도 배수하기에 충분한 통수능력이 있는가 하는 점이다. 3mm의 두께로 된 부직포는 만일에 부직포에 외부로부터 압력이 가해져서 압착되는 경우 통수능력이 급격히 떨어지는 것으로 보고되어 있다(이 상호, 1992). 또한 물재로 만일 '외부 원지반이 이산현상(Dispersiv)'을 띄는 경우 부직포의 간극이 막힐 가능성(Clogging)도 있으며, 이 경우 '더더욱 통수능력이 저하되어 터널 라이닝에 추가적인 압력이 작용할 수'있음을 밝혀 둔다.

3. 외국의 하저·해저 터널 시공 사례

터널의 설계·시공에서 물의 흐름에 대한 고려를 해야 하는 가장 대표적인 예가 '하저' 또는 '해저'에 터널을 뚫는 경우일 것이다. 전 세계적으로 가장 대표적인 해저터널을 꼽아보면 영국과 불란서를 잇는 Channel 터널과 일본에서 완성한 '세이칸' 터널일 것이다. 두 개의 터널을 그 지질구조가 판이하여 전혀 다른 개념으로 설계·시공되었다. 본 장에서는 두 터널의 기본적인 설계 개념의 차이를 서술하고자 한다.

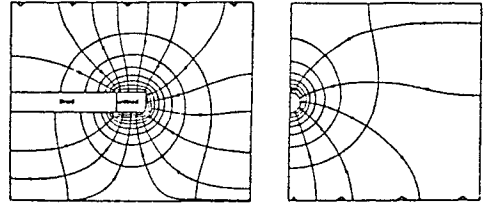


〈그림 3〉 Channel 터널의 지질 개요

3.1 Channel 터널(유로 터널)

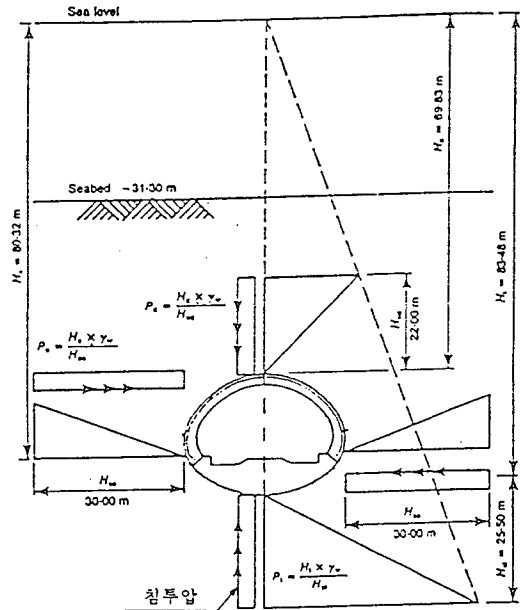
터널은 가능한 얇게 뚫어야 길이가 짧아지므로 경제적이 된다. 그러나 무한정 얇게 할 수만은 없다. 얇은 지층일수록 지반의 풍화가 많이 되어 시공이 어려울 뿐만 아니라, 지하수 유입량도 많아지게 되기 때문이다. 물론, 이 경우 완전방수로 계획할 수 있지만 아무리 뚫수록 얇게 터널을 설치해도 그 수압이 대단하므로 라이닝의 두께가 상상할 수 없을 정도로 두꺼워져야 한다는 문제가 대두된다.

Channel터널은 그 지질구조가 비교적 안정되고 간단하여 잔층에 터널이 계획된 경우이다. <그림 3>에서와 같이 지층은 주로 Chalk로 이루어져 있으며, 특히 지표하 40m 되는 곳의 투수성이 급격히 감소하여 배수터널로 설계하더라도 유입량이 극소할 것으로 판단되는 'Chalk Marl' 층이 존재한다<그림 4>. 따라서 본 터널은 이 Chalk Marl층에 건설되었고, 또한 해저수위도 지표면으로부터 25~30m 정도에 불과하였다. 이 경우에도 비록 그 양이 많지는 않을지라도 지하수는 계속하여 터널 내로 유입할 수 밖에 없고, 따라서 Channel 터널 설계시 <그림 5>와 같은 침투류 해석을 실시하여, <그림 6>에 표시된



<그림 5> Channel 터널의 침투류 해석

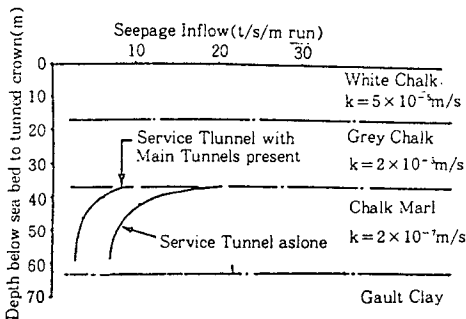
바와 같이 터널 방향으로 작용되는 침투압(Seepage Force)을 고려한 것으로 보고되었다.



Initial rock stresses:
 Vertical $P_v = \gamma_w \times H_0$
 Horizontal $P_h = \gamma_w \times H_0 \times K_0$
 H_0 Depth below seabed
 K_0 Coefficient of lateral pressure
 γ_w Density of water
 γ_m Bouyant density of rock mass

P_v, P_h Water seepage forces acting on rock mass
 H_w, H_{wv}, H_{wh} Distances vary depending on geotechnical parameters, typical values shown

<그림 6> Channel 터널에 작용하는 침투압

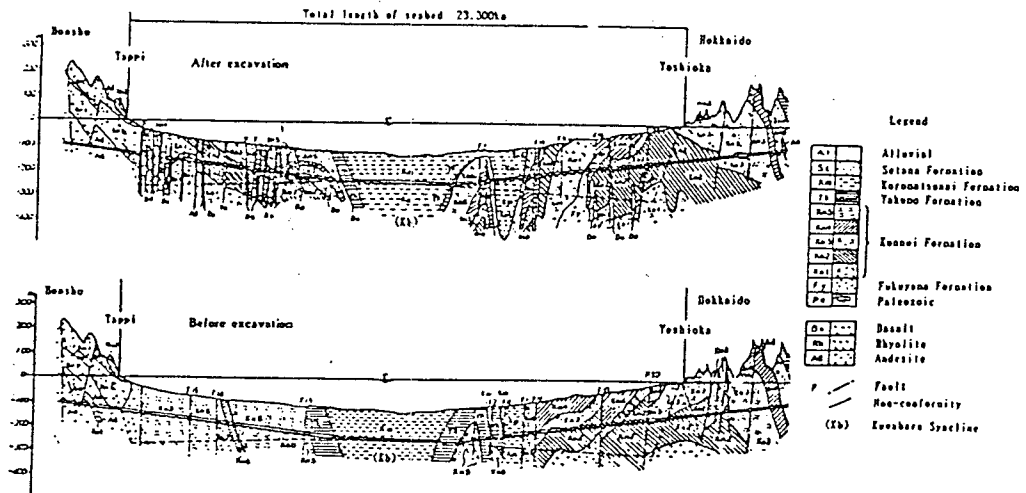


<그림 4> 지반단면도와 유입량(Channel 터널)

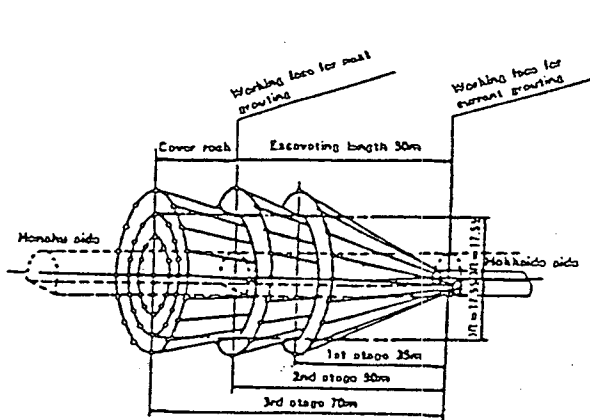
3.2 세이칸 터널

일본에서 시공한 세이칸 터널 설계의 기본 개념은 전술한 Channel 터널과 판이하게 다른 것으로 알려져 있다. 우선 이 지역의 지질상황은 <그림 7>에 표시한 바와 같이 아주 복잡하고, 배수 터널로 설계할 경우 유입량 또한 만만치 않은 것으로 판단되었다. 따라서, 그래도 비교적 안정된 지층까지 이르고자 지표하 100여m에 터널이 설치되는 것으로 계획되었으며, 수위선은 지표면

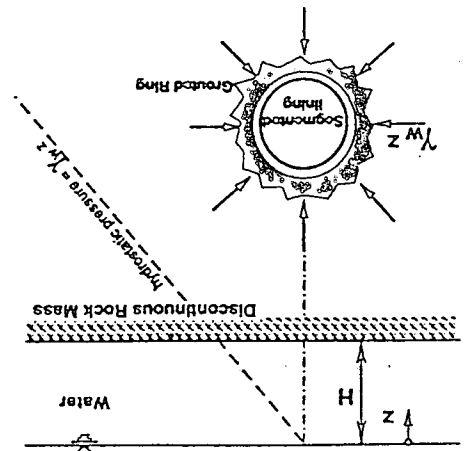
으로부터 140m까지 이르는 악조건인 것으로 알려져 있다. 물론 이 경우 방수터널로 설계하는 것은 불가능하다. 최악의 경우 240t/m²까지에 이를 수도 있는 엄청난 수압을 라이닝이 받아 주는 것이 공학적인 견지에서 불가능하기 때문이다. 따라서 <그림 8>은 같은 방법으로 터널 주위로 Grouting을 해 주어 터널 내로 유입되는 지하수 양을 최대로 막고, 최후로 유입되는 양만 집수정에 모아 유출시킨다는 개념을 도입하였다.



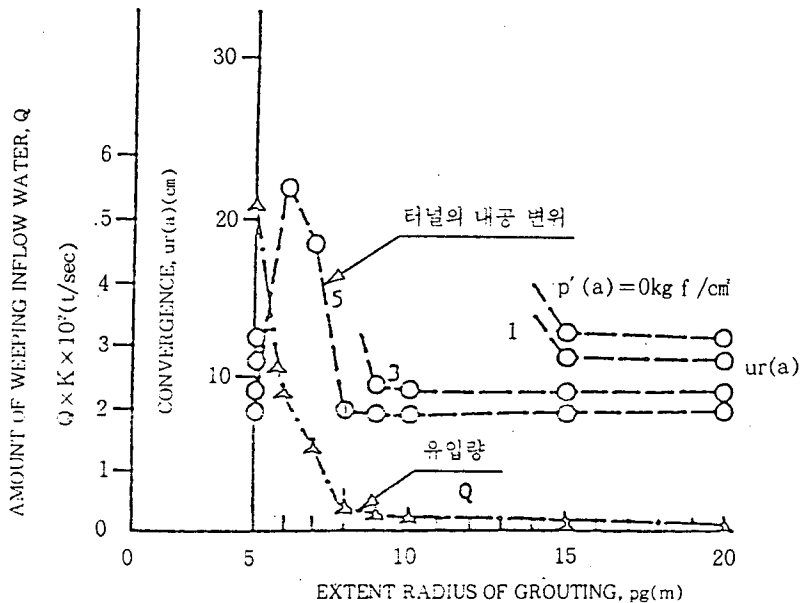
<그림 7> 세이칸 터널의 지질 개요



<그림 8> 세이칸 터널의 Grouting Scheme



<그림 9> Grouting Scheme 외부에 작용하는 수압(세이칸 터널)



〈그림 10〉 Grouting의 최적 두께 결정

여기에서 한가지 반드시 기술적으로 검토되어야 할 사항이 있다. 터널 주위로 Grouting 작업을 해 주면 그라우팅 실시지역은 여타의 지역보다 상대적으로 불투수성 성향이 크므로 〈그림 9〉에서 보여주는 것과 같이 오히려 Grouting Ring 외부에 $\gamma_w \cdot z$ 의 큰 수압이 작용된다는 점이다. 이 큰 수압이 Grouting Zone을 지나면서 소산되는 이 Zone에 큰 투수력이 작용되는 결과를 가져오게 된다. 따라서, 〈그림 10〉에서와 같이 Grouting의 두께에 대한 설계는 유입량이 작아지는 정도뿐만 아니라, Grouting Zone 외부에 작용되는 수압으로 인하여 발생하는 변위를 제어할 수 있는 정도까지 해 주어야 한다는 두 가지 요건을 다 만족시키는 방향으로 이루어졌음을 말해준다. 즉, 터널에 작용되는 투수력이 전체 터널 설계를 지배하는 큰 인자가 되었다는 결론에도 도달한다.

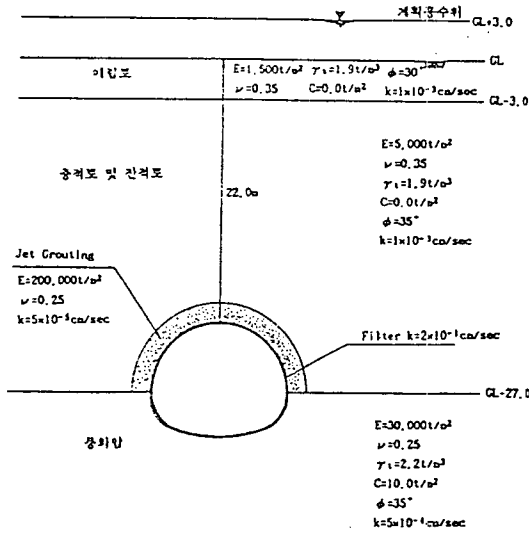
4. 국내의 터널에 적용된 사례

전술한 바와 같이 국내에서는 사실상 최근까지도 배수터널에 대한 개념이 정립되지 않았으나, 도심지에 지하수위가 높고 또 터널내로 배수가 된다 하더라도 지하수위가 크게 영향을 받지 않는 지역에 터널을 설치해야 하는 경우가 빈번히 생겨, 필자가 침투류 해석을 근거로 지하철터널의 안정성 검토를 새로이 실시했던 예를 들어 그 중요성을 부각시키고자 한다.

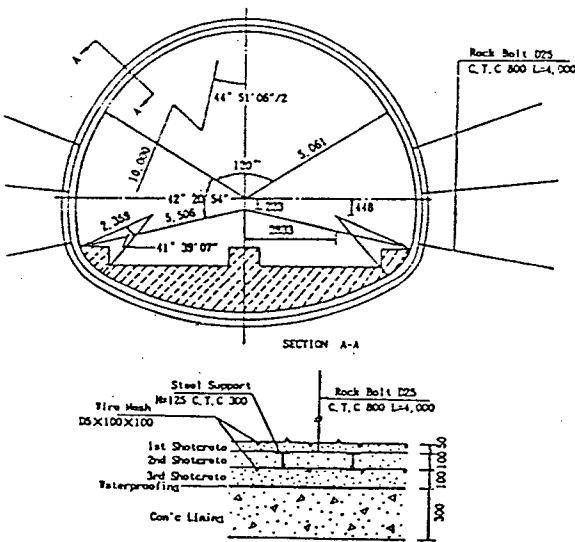
4.1 서울 지하철 침투해석 예제

서울 지하철 ○○공구를 그 예로 침투해석을 실시하여 완전배수 조건과 비교한 예는 다음과 같다. 지반은 매립토, 충적토, 풍화암 순으로 구성되어 있으며, 지하수위는 계획홍수위(GL+3

m)를 기준으로 하였다(그림 11) 참조. 터널 굴착 전에 토사층 단면의 주변에 직경 80cm의 분사식 시멘트 그라우팅을 2열로 시공하여 굴착시 지보공으로 활용하고 차수효과를 기대하고 있으며 25cm 두께의 Shotcrete는 Wire Mesh와 강지보재로 하였고 천정부와 측벽부는 30~110cm



〈그림 11〉 지반조건(마제형 단면)

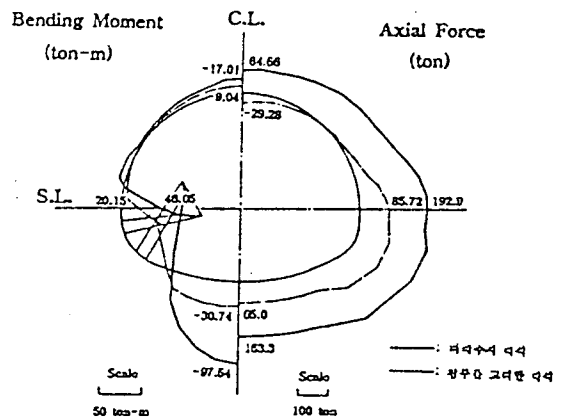


〈그림 12〉 터널 단면도(마제형 단면)

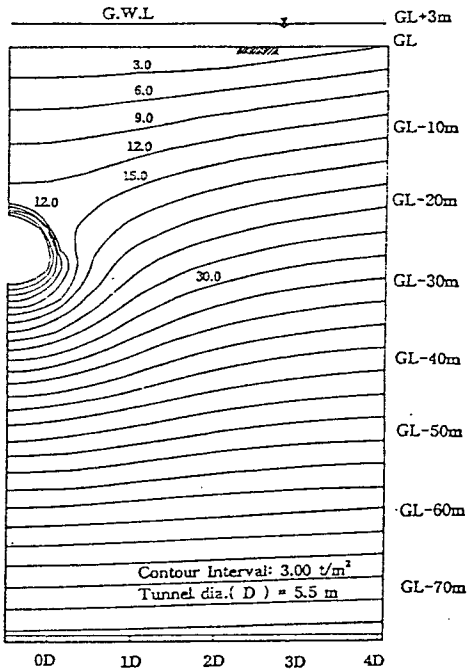
(평균 : 70cm), 저부에는 30cm 두께의 무근 콘크리트 라이닝을 설치하였다. 그라우팅층의 투수계수는 5×10^{-5} cm/sec로 층적토의 1/20로 가장하였다(그림 12) 참조. 터널단면은 마제형이다.

터널굴착은 6분할 단면으로 이루어지며 각 분할 단면에서 하중분담율은 지반물성치를 변화시켜 굴착시 50%, 1st Shotcrete 75%, 2nd Shotcrete 100%를 적용시켰다. 이러한 조건을 토대로 배수조건에 따라 라이닝에 작용하는 하중을 비교 검토하였다. 〈그림 13〉에서 보듯이 원형단면에서와 같이 수압을 고려하지 않은 배수개념 해석에서는 라이닝에 거의 하중이 작용하지 않으며, 계획홍수시 비배수 개념의 해석에서는 모멘트 97.54 ton-m/m, 축력 192.9 ton/m가 라이닝에 작용한다. 계획홍수위의 정상류 상태의 지하수 흐름을 고려한 배수 개념해석에서는 모멘트 30.74 ton-m/m, 축력 85.72 ton-m/m가 라이닝에 작용한다.

〈그림 14〉는 정상류 흐름시 수압을 나타내었으며, 이로부터 그라우팅으로 인한 지하수의 차수효과를 알 수 있다.



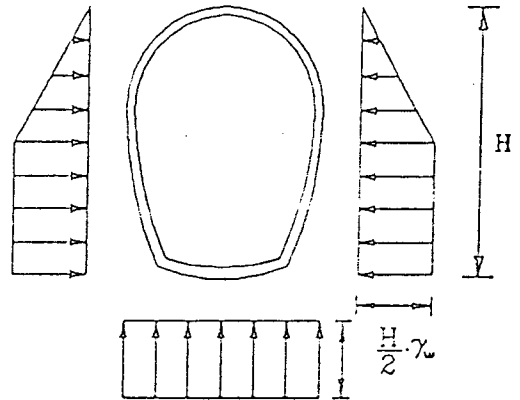
〈그림 13〉 마제형 단면에서 배수조건에 따른 라이닝의 축력 및 모멘트



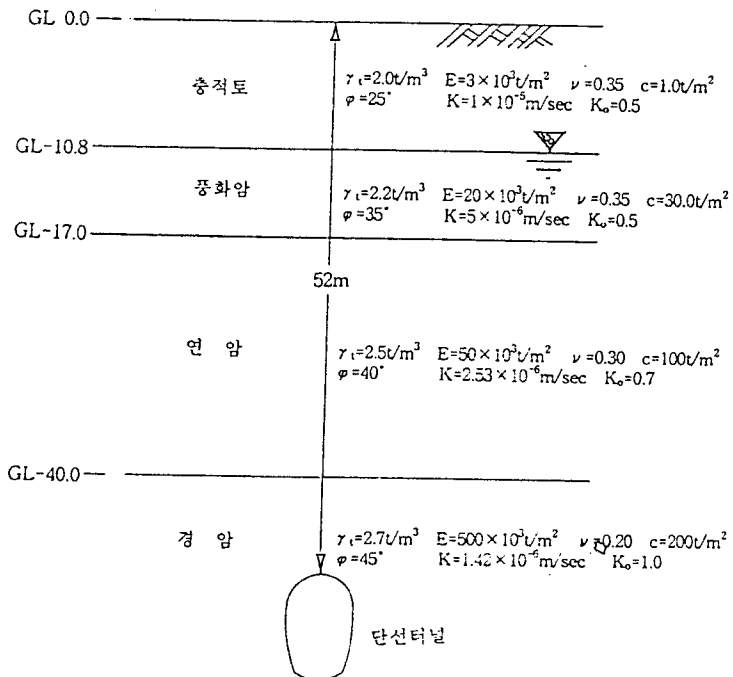
〈그림 14〉 마제형 단면에서 지하수 정량류 흐름 시 수압(그라우팅층 투수계수 = $5 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$)

4.2 고속철도용 터널단면에 대한 잔류수압 고려

2장에서 서술했던 것과 같이 아무리 배수개념으로 터널설계가 이루어졌다고 해도, 부직포의 통수능력이 충분치 못한 경우, 순간적인 지하수위의 상승에 의하여 혹은 부직포에 Clogging 현상이 일어나 라이닝에 수압이 작용될 수도 있다. 본 고에서는 가상적으로 고속철도용터널이 한강



〈그림 15〉 잔류수압 분포도



〈그림 16〉 대상 지반 단면도(고속철도 터널)

하저를 통과한다고 보고 잔류수압에 의한 영향을 검토해 보았다. 잔류수압은 <그림 15>와 같이 터널라이닝 주변에 작용한다고 보았다. 대상지역의 지반의 단면은 <그림 16>과 같다. 해석결과를 정리하여 보면 라이닝에 작용하는 잔류수압으로 인하여 Concrete Lining에 휨모멘트 9.7 ton-m, 축력 49.4 ton, 전단력 12.3 ton이 작용되었다. 이러한 소요하중을 견디기 위하여는 철근보강까지도 고려해야 하는 형편에 이르게 된다.

5. 터널내 지하수 유입량 검토

배수형 터널에서 터널이 완성된 후에는 부직포로 유입된 지하수가 중국에 가서는 집수정으로 보내진 후 외부로 배출된다. 따라서 집수정용량과 펌프용량을 결정하기 위하여, 터널내로 들어오는 유입량을 예측하는 것이 필수적이다. 이 유입량을 예측하는 것은 너무나도 많은 불확정요인들로 인하여 대단히 어렵다. <그림 2>에서 보면 부정류 흐름과 정상류 흐름중 어느 여건에 해당되는지의 판단도 쉽게 하기가 어려울 뿐만 아니라, 또한 유입량 검토에 가장 핵심적으로 영향을 미치는 지반의 투수계수를 예측하는 것 또한 쉽지가 않다. 특히 지반조건이 암으로 이루어진 지역에서는 지하수 흐름이 절리를 타고 흐르기 때문에 더욱 어려워진다.

어찌 되었든지 가장 손쉽게 접근할 수 있는 유입량 산정 공식은 다음과 같다.

- 1) <그림 2> a)에서와 같이 정상류(Steady State)흐름인 경우

$$Q(t) = \frac{2\pi KH_0}{\ln\left(\frac{2H}{\gamma}\right)}$$

여기서, Q : 유입량($m^3/sec/m$)

K : 투수계수(m/sec)

r : 터널반경(m)

H_0 : 터널중심으로부터 지하수위까지의 수두차(m)

H : 지하수의 침투거리(m)

- 2) <그림 2> b)에서와 같이 부정류(Transient Flow) 흐름인 경우 :

$$Q(t) = \left(\frac{8c}{3} KH_0 S_y t\right)^{\frac{1}{2}}$$

여기서, S_y : Specific Yield

C : An Arbitrary Constant
= 0.75

K : 투수계수(m/day)

H_0 : 터널 중심으로부터 지하수위까지의 수두차(m)

$Q(t)$ 시간 t 일때의 단위폭당 누가 유입량(m^3/m)

지하수 유입량의 예측을 위하여 가장 신뢰할만한 자료는 기존의 터널 집수정에 유입되는 집수량을 실측한 자료일 것이다. 다음이 3호선 중에서 하천주변 집수정에서 측정된 집수량 현황의 예를 나타낸 것이다.

| | |
|-----|-------------------------------|
| 3호선 | { 경북궁(북악산 지류) 2.25 m^3/min |
| | { 종로3가(청계천 지류) 2.39 m^3/min |

6. 결 언

본 고에서는 도심지 터널의 설계에서 핵심적인 문제로 대두되는 각종의 지하수에 의한 터널에 미치는 제반 문제들에 대하여 개략적으로 서술하였다. 늘 느끼는 바이지만 지반공학의 문제는 여

타의 학문처럼 설계기준, 또는 시방서만으로 해결되는 것이 아니다. 무궁무진한 지반의 불확정요인이 항상 존재하기 때문에 이러한 여러 문제들을 종합적으로 검토하고 중국에는 그중에 최선을 택하는 소위 'Engineering Judgement'가 이루어져야 한다. 불확정요인 중에서도 완전히 정복하기 가장 어려운 분야가 지하수 문제일 것이다. 필자는 터널뿐만 아니라 여러 지반공학 분야에서 물에 동반하여 발생되어진 제반 문제들의 해결을 위한 Project에 참여하였었다. 역시 이러한 문제들은 어려운 것 같다. 따라서 터널을 설

계한 기술자나, 시공을 하는 기술자나 물의 문제를 절대로 간과하지 말고, 본 고에서 개략적으로 제시한 예에서와 같이 근본적인 이해를 통하여, 발생될 지도 모를 제반 역학적, 수리학적 문제들을 짚고 넘어가길 바란다. '터널과 지하수 문제'를 합리적으로 조합하여 완벽한 도심지 터널의 대역사가 이루어지길 빌며, 극동건설도 이제 건설시장 개방에 대비하여 기술의 극대화를 앞세워 무엇보다도 기술로 외국회사와 경쟁하여 당당한 위치를 차지하는 명실상부한 '세계적인 건설회사'로 발돋움하길 바란다.

常 識 用 語

PCS(Personal Communication Service: 개인휴대통신)

PCS는 셀룰라전화와 함께 이동통신의 일종이다. 셀룰라전화(차량전화)가 고속 차량에서의 통신을 목적으로 하는데 비하여 PCS는 보행자와 저속 차량을 서비스 대상으로 한다. 셀룰라전화에 비하여 PCS는 단말기 및 기지국의 전송출력이 작고 소형이며 하나의 기지국이 담당하는 면적이 좁다. 그 결과로 셀룰라전화에 비하여 PCS는 단말기 가격 및 서비스 요금이 낮다. PCS의 성능과 서비스의 정의는 나라 또는 지역에 따라 다소 차이가 있다. 현재 세계 각국에서 셀룰라전화에 할당된 주파수가 400MHz 대역 또는 800, 900MHz 대역인데 비하여 PCS에 할당된 주파수는 1.2, 1.5, 1.8 또는 2 GHz대역으로 높다.

CT-2(Cordless Telephone-2)

마치 공중전화에 무선전화를 연결한 것과 같은 구조를 갖는 발신전용 이동전화이다. 사용자가 기지국에 가까운 거리에 있을 때만 사용할 수 있는데 기지국은 대체로 공중전화 박스 위 또는 전신주 등에 설치된다. 착신전용인 무선호출기를 CT-2 단말기에 내장시킴으로써 발신전용이라는 기능적 한계를 다소 극복할 수 있다.

TRS(Trunk Radio System: 주파수 공용통신 시스템)

복수의 무선채널을 다수의 이용자가 공동으로 사용하는 무선통신이다. 一對多통신 기능을 특징으로 하며, 일제통화, 그룹통화, 개별통화 및 긴급통화를 할 수 있다. 자가통신망용 TRS와 일반가입자가 사용료를 내고 사용할 수 있는 公衆用 TRS로 구분된다.

FPLMTS(Future Public Land Mobile Telecommunication Systems: 미래公衆육상이동통신)

UN 산하의 국제전기통신연합(ITU)이 1992년부터 세계표준화를 추진하고 있는 제3세대 이동통신시스템이다. 지상 전송수단 및 위성을 통하여 2Mbps까지의 음성, 데이터 및 영상을 이동 중에 송수신할 수 있는 시스템으로 2000년경에 표준화와 구현을 목표로 하고 있다. 현재 셀룰라전화와 PCS의 표준이 나라와 지역에 따라 서로 다른 점을 고려할 때, FPLMTS의 세계 단일 표준이 이루어 질 경우 국제적 이동성이 부여되어 이동통신 서비스 및 제조산업의 양상이 크게 달라질 것으로 전망된다. IMT2000(International Mobile Telecommunication 2000)이라고도 한다.

CDMA(Code Division Multiple Access: 부호분할 다원접속)

둘 이상의 사용자가 주어진 주파수 대역을 사용하여 동시에 통신하는 것을 다원접속이라 하는데 방식에 따라 FDMA, TDMA 및 CDMA로 구분된다. 첫째, 주어진 주파수대역을 여러 개의 작은 주파수대역으로 나누어 각각의 사용자가 그 중 하나를 연속적으로 사용하는 것이 FDMA(Frequency Division Multiple Access: 주파수분할 다원접속)이다. 둘째, 全 주파수대역을 사용하되 시간을 일정간격으로 나누어 각 사용자가 순차적으로 사용하는 것이 TDMA(Time division Multiple Access: 주파수분할 다원접속)이다. 셋째, 全 주파수대역을 연속적으로 사용하되 사용자가 고유한 부호로 신호를 변화시켜 송신하고 동일한 부호를 사용하는 수신기만이 그 신호를 수신할 수 있게 하는 것이 CDMA이다. TDMA와 CDMA는 디지털통신에만 적용할 수 있다.