

## 터널 굴착 주변지역의 지하수유동 모델링을 위한 지하수 함양량 산정



**이병대**  
한국지질자원연구원  
환경지질연구부 선임연구원



**성익환**  
한국지질자원연구원  
환경지질연구부 책임연구원



**조병욱**  
한국지질자원연구원  
환경지질연구부 선임연구원



**신희순**  
한국지질자원연구원  
탐사개발연구부 책임연구원

### 1. 서론

오늘날과 같은 고도 산업사회에서는 방사성 폐기물 저장소, 유류 저장탱크를 위한 대규모 동굴건설 및 고속전철의 지하 터널공사, 도수로터널 등의 각종 지하구조물 시설은 필수적이라 할 수 있다. 이와같은 지하구조물 건설시 거의 반드시 발생하는 현상중의 하나는 지하수 유출 현상이다.

특히 도수로터널 주변지역에서의 지하수 고갈현상은 매우 일반적인 현상이다. 이러한 지하수 고갈현상은 터널 굴착으로 인한 터널내로의 지하수 유출에 기인된다. 도수로터널과 같은 장대터널인 경우, 실시설계를 할 때 치수 그라우팅의 공정을 감안한 공정계획 및 주변 환경 변화에 대한 조사와 이를 최소화 할 수 있는 방안이 수립되어야 한다. 그러나 이제까지 거의 모든 터널 및 토목구조물 공사에서는 구조물의 안정성, 경제성, 시공성 등에 실시설계의 주안점을 두었으며, 터널 내부로 유입되는 지하수로 인한 지하수 고갈, 지하수위 변화 양상, 그리고 농작물의 생육에 직접적인 영향을 미치는 지표수의 변화 양상에 대한 조사는 거의 없었다. 연구지역과 같이 터널 굴착으로 인하여 짧은 기간동안에 많은 양의 지하수 유출은 지하수

자원의 고갈 문제와 이차적으로 지상 오염물질 및 하수 유입 등으로 인해 지하수질의 오염문제를 초래할 수 있다.

연구지역은 경북 청송군, 현서면과 안덕면 일대로 임하댐-영천댐 도수로터널 시공구간 내에 위치하고 있다(그림 1). 이 지역은 임하댐-영천댐까지의 지하 도수로 터널 굴착으로 인하여, 터널 주변 지역 대수층의 지하수가 터

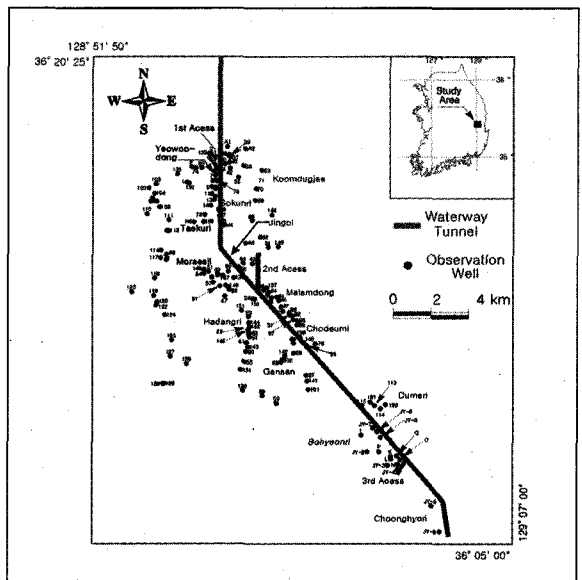


그림 1. 연구지역의 위치도

널내로 유출되어 지하수위가 수 m에서 최고 250m까지 하강되었다. 터널 공사로 인한 주변 지역의 지하수 유동 변화가 향후 라이닝 및 그라우팅 등의 터널 굴착 공사가 완전히 완료된 이후, 하강되었던 지하수위가 어느 정도 회복될 것인가에 대한 모델링을 수행하는 것이 본 연구의 목적이다. 본 연구를 수행하기 위해서는 터널 굴착으로 인한 터널내로의 지하수 유출량 변화와 수리지질 매개변수, 지하수위, 지질구조, 그라우팅 및 라이닝, 강수량 등과의 관련성, 지하수 함양량 등을 정확히 파악하여 터널 완공후의 주변지역의 지하수위 회복 여부 및 그 정도를 예측하는 것이 매우 중요하다. 이를 위하여 본 연구에서는 지하수 모델링을 위한 입력자료의 하나인 지하수 함양량을 산정하였다.

## 2. 터널개요

영천댐 도수로터널은 경북 안동시 길안면 송사리 터널 입구로부터 청송군 및 포항시 일부지역을 지나 영천시 자양면 충효리의 출구까지 총 32.97km에 달하는 장대터널로 본 터널과 3개의 사갱으로 형성되어 있다. 이 도수로 터널 건설사업은 임하댐 및 길안천의 물을 영천댐으로 도수하여 경북 동남부지역에 용수를 공급하고 금호강의 수질을 개선하기 위한 것으로 지표하 100m~800m 깊이에 서 굴착되고 있다(김남중, 1992; 장화일, 1997). 터널의

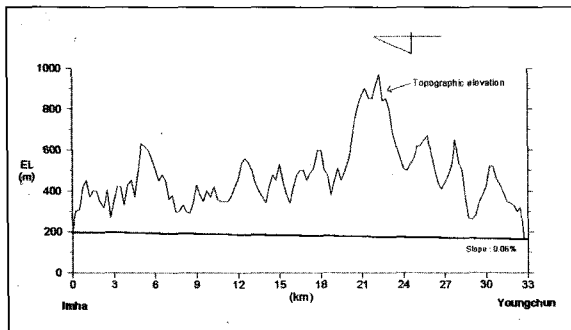


그림 2. 영천댐 도수로터널 단면도

방향은 남북 방향과 남동 방향으로, 입구쪽의 안동시 길안면 송사리에서 청송군 현서면 백자리 사이의 구간은 남북 방향이고, 백자리에서 출구쪽의 영천시 자양면 충효리 사이의 구간은 남동(N40°W) 방향이다. 이 터널은 자연 유하식 수로 터널로서, 터널 입구의 표고는 183m이고 터널 출구의 표고는 162m로 입구와 출구의 고도차는 21m로서 약 0.06%의 경사를 가지는 아주 완만한 경사의 터널이다(그림 2). 터널 굴착공법은 약 11km 구간은 발파에 의한 굴착공법(NATM)과 22km 구간은 TBM(Tunnel Boring Machine) 공법으로 굴착되었다.

## 3. 지하수 함양량 개요

지하수의 함양은 지하로 침투한 물이 포화대까지 도달하는 것을 말하며, 지하수 함양량은 대수층의 저장량의 변화에 영향을 미친다. 강수량이 줄어들면 지하 침투량이 줄어들고, 따라서 지하수 함양량은 감소한다. 지하수 함양의 감소는 대수층내 저수량의 감소를 뜻한다. 현재는 인간이 많은 양의 지하수를 대수층으로부터 토출시키며, 이 토출량은 자연적인 함양량을 초과하는 경우가 많다. 장기적인 관점에서 자연적인 함양량은 일정하다고 볼 때, 인위적인 양수량의 증가는 지하수위의 지속적인 하강과 함께 대수층 고갈의 위험성이 높아지게 된다. 따라서, 지하수 보전 및 관리의 가장 중요한 요건 중의 하나는 지하수 양수량을 자연적인 함양량 이하로 유지시키는 것이다. 특히, 암반대수층의 경우에는 지표로부터 지하 심부까지 도달하는 데에는 적어도 수십년 또는 수백년이 걸리므로, 한번 고갈된 지하수가 다시 함양되기 위해서는 오랜 시간이 요구된다. 그러므로, 정확한 함양량을 산출하고, 이에 의거하여 적정양수량을 사용하는 것이 지하수 보전의 가장 중요한 요건이다.

지하수 함양량을 산정하기 위해서는 여러 가지 방법들이 이용된다. 그중에는 물수지분석에 의한 방법, 장기적

인 지하수위 변화에 근거한 방법, 무강우 지속일수 동안 지하수위 감수곡선을 이용하는 방법(최병수, 1997), 그리고 기저유출(baseflow) 분리법에 의한 지하수함양을 산정방법 등이 있다.

지하수 함양량은 강우로부터의 자연함양량과 지표수원으로부터의 함양, 그리고 인공함양으로 나누어 생각할 수 있는데 이 중에서 자연함양량이 가장 중요한 함양원이다. 자연함양량의 계산은 수문조사의 물수지 분석방법을 적용하여 대상기간 중 강우량에서 유출량을 빼서 손실량을 구하고 손실량에서 증발산량을 제하여 침투량(자연함양량)을 구할 수 있다. 그러나 이 방법은 대상구역의 유출량과 증발산량에 대한 조사자료가 있어야 분석이 가능하다. 그러므로 보통 지하수 영향조사의 물수지 분석에서는 통계적인 방법으로 강우의 지하수 함양을 전국 평균값 18%를 적용하여 자연함양량을 추정하기도 한다. 그러나 이 방법은 대상지역을 정확히 해석하지 못하는 문제점이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 소유역에서 관찰 측후소의 장기 강우량자료만 있으면 유출량과 증발산량에 대한 자료 없이도 지역단위의 지하수 함양량을 추정할 수 있는 방법이 1970년대 미국의 토양보전국(SCS: Soil Conservation Service ; 현재의 NRCS: Natural Resources Conservation Service)에 의해 개발되었다. 이 방법은 유출량 분석을 위하여 개발한 SCS-CN방법으로 지표의 토양구분과 토지이용상태에 따라서 대상지역에 내린 강우에 대한 지하침투량을 산정하는 방법으로서 이를 적용하여 조사지역에 대한 지하수의 자연함양량을 산정하였다.

## 4. SCS-CN방법의 이론

### 4.1 침투 이론

침투(浸透, Infiltration)란 물이 지표면을 통해 토양 속

으로 스며드는 현상으로 침투가 발생하는 비율은 식생의 피복상태, 면적, 지표면의 상태, 온도, 강우강도, 토양의 물리적 성질과 같은 요소에 의해 영향을 받는다. 또한 지표면을 통과한 물이 지하로 저류되는 양은 하부 토양층의 물 전달 특성에 의해 조절된다. 이렇게 여러 가지 요소들의 상관관계로 볼 때 정확한 침투량을 산정하는 일반적인 관계식은 존재하지 않는다.

경험공식에 의한 침투는 Horton(1933, 1945)에 의해 다음과 같은 방정식으로 제시되었다.

$$f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (1)$$

여기서  $f$  : 임의 시각  $t$ 에서의 침투능 (mm/hr)

$f_c$  : 종기 또는 평형침투능 (mm/hr)

$f_0$  : 강우 시작초기의 침투능( $t = 0$ )

$k$  : 토양의 종류와 식생 피복에 따라 결정되는 감쇠상수

$t$  : 강우발생 시점부터의 경과시간

침투능(Infiltration capacity)이란 토양이 흡수할 수 있는 최대침투량을 말한다. 위 식(1)을 강우시간에 대하여 적분하면 누가침투량(Accumulated infiltration)  $F$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$F = \int_0^t f dt = f_c t + \frac{1}{k} (f_0 - f_c) (1 - e^{-kt}) \quad (2)$$

여기서  $f_c$ ,  $f_0$ ,  $k$ 의 값은 토양의 종류 및 식생의 상태에 따라 달라지나, 주어진 토양조건에서 최종침투율  $f_c$ 은 일정하다고 가정하였다. 이 식에서는 강우 발생전의 토양습윤 상태는 고려되지 않았으나 그 후 Philip(1957, 1958)은 강우전의 토양습윤상태를 침투능 산정에 반영하기 위하여 다음과 같은 방정식을 제시하였다.

$$f(t) = \frac{1}{2} St^{-\frac{1}{2}} + A \quad (\text{cm/hr}) \quad (3)$$

여기서, A : 토양종류에 따른 정수,  
S : 토양의 습윤상태에 따른 정수로 표현하였다.

## 4.2 침투율과 함양율

흔히 침투율과 함양율이란 용어를 혼용하고 있으나 기술적으로는 아주 다른 개념이다. 침투율(Infiltration rate)은 단위 시간당 토양 표면을 투과하는 물의 침투량이며, 앞의 식 (1)에서의 침투능과 같이 단위시간당 침투량 크기를 비교하는 개념이다.

미국 ASCE에서는 침투율을 [in/hr] 단위로 표시하고 있으며 표 1은 ASCE에서 조사된 토양의 종류별 대표적인 침투율을 나타낸 것이다. 여기서 대표적 침투율  $f_i$ 은 강우 시작 후 1시간 경과시의 침투율을 말한다.

함양율(Recharge rate)은 장기간동안 토양 표면을 투과한 누가 침투량을 뜻하는 개념으로 연간 침투량(mm/y, 또는  $m^3/y$ )의 의미를 가지고 있으나 강우량과의 비교 개념 즉, 자연함양율(Natural recharge ratio)로 사용될 때는 강우량과 함양량의 백분율로 표시한다.

$$\alpha = \frac{\sum F}{\sum P} \times 100 \quad (4)$$

여기서  $\alpha$ 는 함양율(%), P는 강우량(mm), F는 침투량(mm)이다. 침투율과 함양율의 관계는 아주 밀접하기 때문에 혼용하기도 하는데 백분율로 표시된 침투율은 어느 기간의 침투량 누계를 그 기간의 강우량에 대한 비율로 표시한 것이므로 이것은 자연함양율과 같은 것이다.

표 1. 토양종류별 침투율

토양군	$f_i$ (in/hr)
높다 (사질토)	0.5 ~ 1.00
중간 (양토, 점토, 실트)	0.10 ~ 0.50
낮다 (점토, 점토질양토)	0.01 ~ 0.10

## 5. SCS의 침투량 모형

### 5.1 기초 이론

미국의 토양보전국에서는 소유역에 대한 유출량 산정을 위하여 많은 토질보전 연합단체들에 의하여 측정된 유출량과 토양자료를 광범위하게 수집하여 분석함으로써 소위 SCS 유출모형을 개발하였다. SCS 모델의 세 가지 기초적 가정은 다음과 같다.

- ① 유역의 특성으로 강우 시 차단, 지표저류, 토양저류 등에 의한 최대저류량(Potential retention, S)이 있다.
- ② 실 저류량(Actual retention, F)이 최대저류량(S)에 대하여 갖는 비율은 직접유출량(Q)이 강우량(P)에서 초기손실(Initial abstraction,  $I_a$ )을 뺀 값에 대한 비율과 같다. 즉,

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (5)$$

- ③ 초기손실( $I_a$ )은 최대저류량(S)의 크기에 비례한다.

$$I_a = \alpha S \quad (6)$$

여기서  $\alpha$ 는 상수로서 SCS에서는  $\alpha=0.2$ 를 채택하였다. 한편 물 수지로 볼 때 다음 식이 성립한다.

$$F = P - I_a - Q \quad (7)$$

위의 식 (5), (6), (7)에서  $P > \alpha S$ 에 대하여 Q를 풀면 다음과 같다.

$$Q = \frac{(P - \alpha S)^2}{P + (1 - \alpha)S} \quad (8)$$

단,  $P \leq \alpha S$ 일 경우  $Q = 0$

$\alpha = 0.2$ 를 택하면

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (9)$$

위 식은 S변수 하나만으로 유출량을 구할 수 있어 무계측 유역에서도 강우자료만 있으면 사용할 수 있게 되었다. 변수 S는 강우와 유역특성에 따라 결정되며 SCS(1972)에서는 소위 유출곡선지수(Runoff Curve Number, CN) 방법을 개발하여 S와 CN의 관계를 다음과 같이 제시하였다.

$$CN = \frac{1000}{(S + 10)} \quad (\text{inch}) \quad (10)$$

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (\text{mm}) \quad (11)$$

그림 3은 SCS 모형의 강우량과 유출량, 저류량의 상호관계를 보여주고 있다.

한편, 식(5), (6), (7)과 식(8)에서 F는 다음 식으로 유도된다.

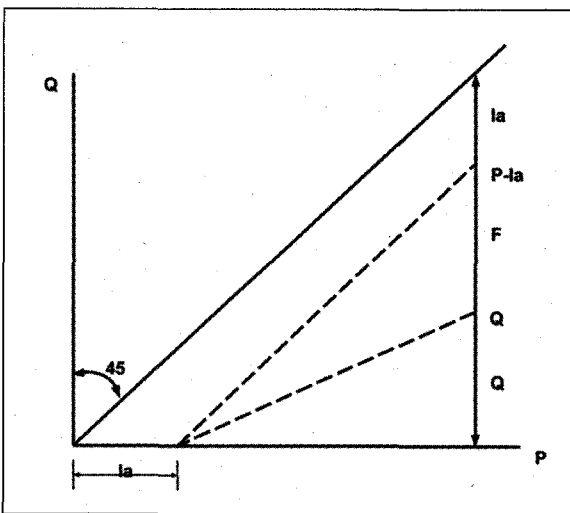


그림 3. SCS 모형의 강우량, 유출량, 저류량의 상호관계

$$F = P - I_a - \frac{(P - \alpha S)^2}{P + (1 - \alpha)S} = \frac{(P - \alpha S)S}{P + (1 - \alpha)S} \quad (12)$$

단,  $P \leq \alpha S$  일 경우  $F = 0$

$\alpha = 0.2$ 를 적용하면

$$F = \frac{(P - 0.2S)S}{(P + 0.8S)} \quad (13)$$

이 된다.

본래 SCS 모델은 유출량 분석을 목적으로 개발되었으나, 식 (12)와 (13)은 강우중 실 저류량 즉 누가 침투량을 추정할 수 있음을 보여주고 있다.

강우의 침투는 지하수 함양과 직접적인 관계가 있다. 지하수함양 분석에 있어서는 장기적인 분석이 필요하며 따라서 각 강우사상별 침투량보다 계절별 또는 연간 침투량을 추정하여야 한다. SCS-CN 방법은 강우사상별로 유역상황에 상응하는 침투량을 구할 수 있고 장기간의 침투량을 합하여 그 기간 중 강우량 총량으로 나누면

$$\alpha = \frac{\sum F}{\sum P} \times 100 \quad (14)$$

에 의하여 지하수 함양율을 구할 수 있다.

## 5.2 수문학적 토양피복군 (Hydrological Soil Group)

유출에 영향을 미치는 토양의 종류나 토지이용 및 관리 상태 등을 기초로 하여 수문학적인 토양피복군을 분류하였다. 따라서 여러 가지의 유출곡선지수를 토양의 종류에 따라 4가지 그룹으로 나누었고 수문학적인 토양종류에 따라 경작을 위한 용수공급은 제외하고 사전강우에 의하여 습윤 상태가 된 후의 장기간 호우기간 동안 강우가 침투할 수 있는 것을 기초로 하여 분류된 것이다.

적용기준을 위하여 정리해 보면 침투율은 물이 흠 속으

로 들어가거나 또는 지표면의 조건에 의해 조절되는 비율을 말하며 투수율은 물이 흠 속으로 이동되는 정도를 표현한 것으로서 흠이 수평면으로 조절되는 양을 말한다. SCS의 토양전문가들에 의하여 수문학적 토양피복군은 아래와 같이 정의되었다.

#### 가. A 피복군

지표 유출가능성이 낮은 토양으로서 이 그룹은 자갈 또는 모래로 구성되어 있어 높은 침투율을 나타낸다. 따라서 물에 대한 투수율이 매우 높다.

#### 나. B 피복군

중간 정도의 침투율을 가진 토양으로서 지면아래의 배수도 중간정도의 능력을 가진 토양이다. 이와 같은 토양은 물의 투수율도 중간 정도이다. 토양의 구성성분도 미세한 입자에서부터 자갈정도의 크기까지 골고루 분포되어 있다.

#### 다. C 피복군

침투율이 전체적으로 낮은 토양그룹이며, 토양의 층별로 물이 수직으로 이동함에 있어 다소 방해를 받거나 물의 투수율도 다소 느린 토양 피복군을 말한다.

#### 라. D 피복군

높은 유출의 가능성을 지닌 토양으로서 매우 느린 침투율을 나타내는 주로 점성토의 토양을 말한다. 지표면의 상태가 대부분 점토층으로 구성되어 있고 토층이 얇을 경우 불투수층을 이루고 있다. 이와 같은 토양은 매우 느린 투수율을 나타낸다.

### 5.3 토양의 선행 함수조건(Antecedent Soil Moisture Condition : AMC)

선행 토양 수분상태란 분석을 하는 시점을 중심으로 하

여 그 이전의 강우에 의해 유역 토양층의 수분함량을 지수로 표시한 것이다. 이 지수는 유출량과 유출율을 결정하는 중요한 인자가 되는데 그 이유는 유역에 동일한 강수가 내린다고 가정할 때 선행강우량이 많으면 유역 토양의 습윤도가 높으므로 유출율 즉 유효우량이 상대적으로 많아지며, 선행강우량이 적을 경우 저류손실이 커지므로 유효우량이 적어져서 유출율은 저하하기 때문이다. 일반적으로 토양의 선행함수조건은 대체로 아래와 같은 경우로 각각 구분한다.

#### 가. AMC I

유역내 토양은 대체로 건조상태에 있으나 시들점(Wilting point)에는 도달하지 않고 경작작업이 만족할 정도로 이루어 질 수 있으며 유출율이 대단히 낮은 상태(Lowest runoff potential). 다만 이 경우 설계 홍수량 계산을 위한 조건에는 적용하지 않는다.

#### 나. AMC II

가장 일반적인 토양의 습윤상태로 유출율이 보통인 상태(Average runoff potential).

#### 다. AMC III

호우발생전 5일간에 크고 혹은 작은 강우가 빈번히 발생하여 토양이 거의 포화되어 있어서 유출율이 대단히 높은 경우(Highest runoff potential).

위의 3개의 선행 토양 함수조건은 5일 선행강우량의 크기에 의하여 유역의 습윤정도를 분류하는 기준이 되며 SCS에서는 토양의 선행함수조건을 성수기(Growing

표 2. 토양 선행 함수조건 분류

AMC	5일간의 선행강우량, P <sub>5</sub> (mm)	
	비 성수기	성수기
I	P <sub>5</sub> < 13	P <sub>5</sub> < 35
II	13 < P <sub>5</sub> < 28	35 < P <sub>5</sub> < 53
III	P <sub>5</sub> > 28	P <sub>5</sub> > 53

season : 5월~10월)와 비성수기(dormant season : 11월~4월)로 나누어 각 경우에 대하여 5일간에 대한 선행강우량의 크기에 따라 토양의 함수조건을 표 2와 같이 분류하였다.

## 6. 연구지역의 지하수 함양률 산정

### 6.1 유역구분

연구지역의 지하수 함양률을 산정하기 위하여 지형적 분수령을 경계로 연구지역을 청송군 현서면 서부 일대, 안덕면 남서부 일대, 현서면 남동부 일대, 현동면 남부 일대의 4개의 소유역으로 나누었다.

청송군 현서면 서부 일대의 총 유역면적은 약 75.97km<sup>2</sup>, 청송군 안덕면 남서부 일대의 총 유역면적은 약 49.411km<sup>2</sup>, 청송군 현서면 남동부 일대의 총 유역면적은 약 41.545km<sup>2</sup>, 청송군 현동면 남부 일대의 총 유역면적은 약 51.25km<sup>2</sup>이다. 유역면적은 지형도를 참고하여 주변 분수령을 지하수 함양유역의 경계로 삼고 이에 기초하여 극식 보상구적계(Koizumi)를 사용하여 산정하였다. 각 유역의 지하수 함양률 산정 과정은 다음과 같다.

#### ① 토지이용상태

본 연구지역의 토양구분별 토지이용상태는 크게 농경지, 산림지, 주거 및 기타지역의 세 가지 기준으로 분류하였다.

#### ② 지하수 자연함양률 산정

연구지역의 자연함양률을 구하기 위하여 안동지방의 1989~1999(11년)기간의 일별 강우량자료를 이용하였다.

### 6.2 각 소유역에 대한 지하수 함양률

연구지역의 4개의 각 소유역에 대한 토양구분별 토지이용상태는 크게 세 가지의 기준으로 분류하였으며 소유역의 토지이용상태, 토양피복군에 따른 CN 지수를 구였다.

각 소유역의 자연함양률을 구하기 위하여 안동기상대의 1989~1999(11년)기간의 일별 강우량자료를 토대로 선행강우량 조건별로 분류하여 침투량산정을 위한 공식을 적용하였고, CN값 변화에 대응하는 연도별 침투량을 계산한 결과를 표 3과 같이 정리할 수 있다. 또한 11년간의 평균 침투량을 구하여 평균 강우량으로 나눈 결과, CN값 변화에 대응하는 함양율을 산정하였으며 이를 그림으로 도시하였다(그림 4).

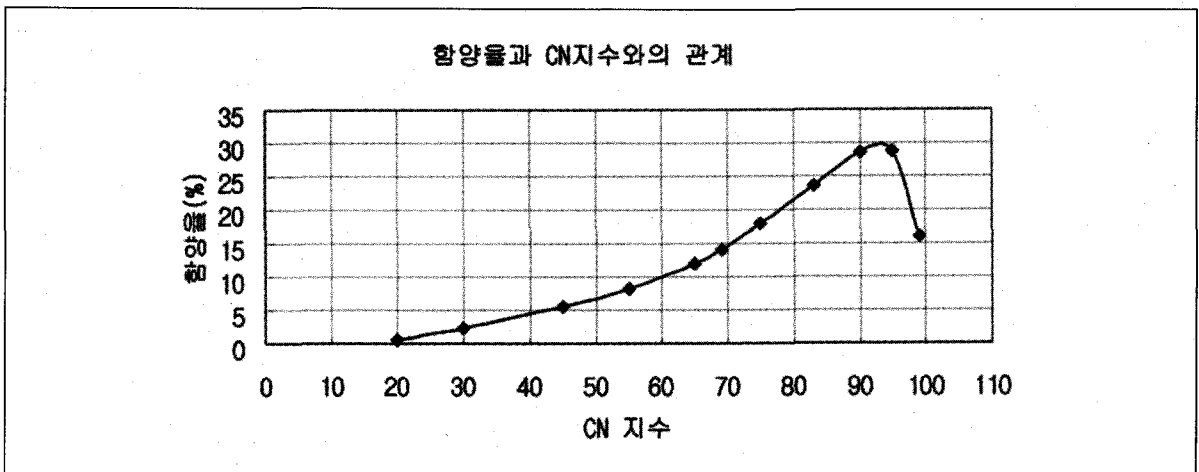


그림 4. 대상지역의 함양률과 CN지수와의 관계

표 3. CN지수 변화에 따른 대상구역의 함양률 변동(단위 : mm)

	강우량 (mm)	침 투 량									
		CN30	CN45	CN55	CN65	CN69	CN75	CN83	CN90	CN95	CN99
1989	1092.7	0.00	12.72	26.31	39.95	58.26	139.29	271.10	371.12	365.80	190.77
1990	1289.8	24.69	117.61	158.31	173.66	182.19	198.61	248.62	337.62	368.82	215.62
1991	1042.1	0.00	9.29	50.81	110.39	129.27	173.87	252.59	317.39	325.97	174.40
1992	795	21.99	40.06	48.34	68.43	83.11	112.40	144.54	190.54	211.98	159.76
1993	1300.6	42.34	88.06	136.35	202.27	239.44	297.61	356.02	377.52	351.95	177.28
1994	635.4	16.62	31.83	32.25	34.04	37.65	51.76	90.21	169.42	210.36	124.66
1995	793.3	0.00	62.78	84.57	92.60	108.88	143.23	184.60	228.79	217.64	128.17
1996	887.2	0.00	29.35	47.39	82.72	98.21	131.67	173.36	230.04	272.83	168.53
1997	1103	53.47	71.52	95.00	140.38	175.90	218.42	292.41	337.46	312.95	150.01
1998	1387.9	75.91	127.46	173.75	238.12	267.05	309.75	350.78	350.14	340.93	198.07
1999	1386	38.91	63.94	104.16	218.56	266.79	334.12	399.11	440.44	399.32	176.64
평균	1064.82	24.90	59.51	87.02	127.37	149.71	191.89	251.21	304.59	307.14	169.45
함양률(%)		2.34	5.59	8.17	11.96	14.06	18.02	23.59	28.60	28.84	15.91

표 4. 대상지역의 자연함양률 산정

토지이용구분		면적(km <sup>2</sup> )	CN값	함양율(%)	평균값(%)	비고
농경지	논	6.52	77.13	19.67	14.91	-
	밭	19.465	67.65	13.32		
산림지역	보 통	44.549	57.78	9.24	9.24	-
주거 및 기타지역	주거지	1.051	81.39	22.54	14.79	-
	도로	2.49	98	22.35		
	저수지	0.19	100	0		
	학교	0.04	87	26.66		
	하천범람지	1.665	100	0		
계		75.97	-	-	11.58	-

표 5. 대상지역의 자연함양률 산정

토지이용구분		면적(km <sup>2</sup> )	CN값	함양율(%)	평균값(%)	비고
농경지	논	9.045	77.31	19.8	16.30	-
	밭	13.855	68.93	14.02		
산림지역	보 통	23.0865	36	3.59	3.59	-
주거 및 기타지역	주거지	0.112	81.11	22.36	2.57	-
	도로	0.2138	98	22.35		
	저수지	0.557	100	0		
	학교	0.057	87	26.66		
	하천범람지	2.485	100	0		
계		49.411	-	-	9.41	-



표 6. 대상지역의 자연함양율 산정

토지이용구분	면적(m <sup>2</sup> )	CN값	함양율(%)	평균값(%)	비고
농경지	논	2.58	76.45	14.95	-
	밭	4.5715	66.3		
산림지역	보 통	33.279	60	10.05	-
주거 및 기타지역	주거지	0.165	79.97	5.26	-
	도로	0.0845	98		
	저수지	0	0		
	학교	0.015	87		
	하천범람지	0.85	100		
계	41.545	-	-	10.77	-

표 7. 대상지역의 자연함양율 산정

토지이용구분	면적(m <sup>2</sup> )	CN값	함양율(%)	평균값(%)	비고
농경지	논	3.225	78.99	16.01	-
	밭	7.8	68.82		
산림지역	보 통	38.929	36	3.59	-
주거 및 기타지역	주거지	0.0317	79.81	3.70	-
	도로	0.184	98		
	저수지	0.06	100		
	하천범람지	1.02	100		
	계	51.25	-		

표 8. 연구지역의 각 소유역에 대한 지하수 자연함양률

소유역	면적(km <sup>2</sup> )	지하수 함양량(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	지하수 자연함양률(%)
청송군 현서면 서부 일대	75.97	11.324	11.58
청송군 안덕면 남서부 일대	49.411	7.665	9.41
청송군 현서면 남동부 일대	41.545	5.538	10.77
청송군 현동면 남부 일대	51.25	4.384	6.26

표 3에서 제시된 본 지역의 토지이용상태에 따른 각각의 CN값에 따라 그림 4에서 해당 함양율을 적용하고 유역 면적비로 가중평균하여 소유역별 함양율을 구하여 표 4, 5, 6, 7에 정리하였다.

표 4, 5, 6, 7에서 산정된 각 소유역의 평균 함양율은 현서면 서부 일대가 11.58%, 안덕면 남서부 일대 9.41%, 현서면 남동부 일대 10.77%, 현동면 남부 일대가 6.26%이다. 평균 함양률을 적용하여 산정된 연구지역의 강우에 의한 지하수 함양량은 표 8과 같다.

## 7. 결론

연구지역은 영천댐 도수로터널 주변을 대상으로 지하수 함양량을 산정하기 위한 것으로써 터널 주변의 토양이용상태별 면적을 계산하여 SCS-CN법을 적용하였다. 본 연구에 적용된 SCS-CN법 이외에도 일반적으로 지하수 함양량을 산정하는 방법으로는 물수지 분석법, 지하수위 강하곡선법, 유출수문곡선법 등이 있다. 이와 같이 지하수 함양량을 산정하기 위한 방법들을 살펴보면 지하수위

강하곡선법의 경우 관측공으로부터 지하수위 자료를 이용하여 지하수 함양량을 산정할 수 있으며, 유출수문곡선법을 적용하기 위해서는 다년간의 수위·유량곡선 자료가 이용된다. 그리고 SCS-CN법과 물수지 분석법은 연구 지역 주변 기상대 혹은 기상관측소로부터 10년 이상의 강우자료와 토양정밀도를 이용하여 산정할 수 있다. 전자의 경우는 관측공에서 많은 자료를 수집하여야 하는 등의 어려움이 있으나 후자의 방법은 자료수집이 용이한 편이다.

### 참고문헌

- 1) 김남중, 1992, 지질공학적 분석기술의 터널설계 적용에 관한 연구, 이학석사 학위논문, 서울대학교 지질학과, 148p.
- 2) 장화일, 1997, 영천댐 도수로 건설사업 -터널굴착과 인근지역의 용수부족 민원을 중심으로, 한국수자원학회지, 30, p.67-71.
- 3) 최병수, 1997, 소유역 지하수 함양량 산정에서 SCS-CN 방법의 적용, 농공기술 제 56호, p. 11-20.
- 4) Liu, Y. & Zhang, C., 1993, "A Comparative Study of Calculation Methods for Recharge of Rain Fall Seepage to Ground-water in Plain Area", Ground Water, 31(1), p.12-18.