

## 금정산지역의 정상류상태 지하수 모델링

정재연, 함세영, 류상민, 송원경\*, 우윤정  
부산대 지질학과  
\*한국지질자원연구원  
jjy@pusan.ac.kr

### 요약문

부산 금정산 일대의 평균 수리전도도는  $1E-6m/sec \sim 1E-8m/sec$  차수의 범위로 시험공별로 차이를 보이고 있다. 이 지역에서 지표면의 해발고도(X)에 따른 지하수위(Y)의 상관식  $Y = 1.00024 * X - 3.26725$  으로부터 지하수위를 추정하였다. 이 지역에 내린 총 강수량은 함양지역 ( $24,524,131m^3$ )에 연 평균강수량( $1477.5mm$ )를 곱한 값( $36,234,404m^3/yr$ )이고, 총 함양량은 기저유출량까지 합한 양( $9,073,254m^3/yr$ )이다. 증발산량은 강수량의 약 49%이므로  $17,754,858m^3/yr$ 이다. 온천수 사용량은  $2,500m^3/day$ 이고, 산성마을의 지하수 사용량은  $1,000m^3/day$ 으로 보면, 인위적인 양수량은  $1,095,000m^3/yr$ (강수량의 3%)가 된다. 3차원 지하수유동 모델링 소프트웨어인 GMS package의 MODFLOW를 사용하여 분석한 결과, 금정터널 예정 구간( $9.99km$ )에서의 최대 유출량은  $99,200m^3/day$ 이다.

**Key word** : 수리전도도, 정상류상태, 지하수 모델링, 함양량, 유출량

### 1. 서론

금정산지역에는 경부고속전철 통과를 위하여 고속전철 14-2공구 구간의 금정터널( $9.99km$ ) 굴착이 예정되어 있으며, 굴착에 의한 터널 주변지역의 지하수위 변동 특히, 산성마을 지하수공의 수위하강과 동래온천의 온천수위 하강을 예측하고 터널내로 유입되는 유출량을 알기 위하여 지하수 유동 모델링을 수행하였다.

금정터널은 최대 단면적  $166.14m^2$ (너비  $14.2m \times$  높이  $11.7m$ )이며, 평균 단면적은 약  $143m^2$ (너비  $13m \times$  높이  $11m$ )이다.

연구지역(Fig. 1)의 수리적 특성을 파악하기 위하여 현장수리시험을 실시하고 시험결과를 분석하였으며 이로부터 수리상수(수리전도도, 투수계수, 저류계수)를 산출하였다. 또한 지하수공 및 시험공으로부터 지하수위를 측정하여 지하수위 등고선도를 작성하였으며 물수지분석에서는 자연적인 지하수 함양량과 함께 산성마을의 지하수 사용량을 분석하였다. 이들 자료와 함께 기상자료를 이용하여 수문평형분석과 동래 온천수사용량, 지난 3년 간의 지하수위 변동을 분석하였다.

금정터널 굴착으로 인한 지하수 및 온천수에 미치는 영향을 평가하기 위해서 터널내 지하수 유출량을 산정하였다. 지하수 유동 모델링에 사용된 모델은 MODFLOW로써 U.S.G.S.의 McDonald와 Harbough(1983, 1988)가 개발한 유한차분법 지하수 유동 모델이다. MODFLOW는 여러 차례의 수정 보완을 거쳐 현재 세계적으로 가장 널리 사용되고 있는 지하수 유동모델이다. MODFLOW는 Visual MODFLOW, GMS, PMWIN 등의 S/W로 시판되고 있는데, 본 연구에서는 3차원 지하수유동 모델링 소프트웨어인 GMS package내의 MODFLOW를 사용하였다.

우리나라에서 터널굴착과 관련된 지하수모델링 연구로는 강동환 외(2002), 이병대(2001)

등이 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 금정산 지역의 수리적 특성

금정산 지역에 위치한 6"의 시추공 13공과 3"의 시추공 14공을 대상으로 현장수리시험을 실시한 결과 평균 투수계수는  $1E-6m/sec \sim 1E-8m/sec$  차수의 범위로 시험공별로 차이를 보이고 있다.

2002년 6월 5일에 측정된 26개 지하수공의 수위자료로부터 지하수위 등고선도를 작성하였다(Fig. 2). 측정 자료수는 조사지역에 비하여 비약한 편이지만, 지하수위는 지표면의 고도와 거의 1에 가까운 상관성을 보이므로 해발고도에 따른 지하수위의 상관식으로부터 지하수위를 추정하였다. 이 지역에서 지표면의 해발고도(X)와 지하수위(Y)의 상관식은  $Y = 1.00024 * X - 3.26725$ 로 표현된다.

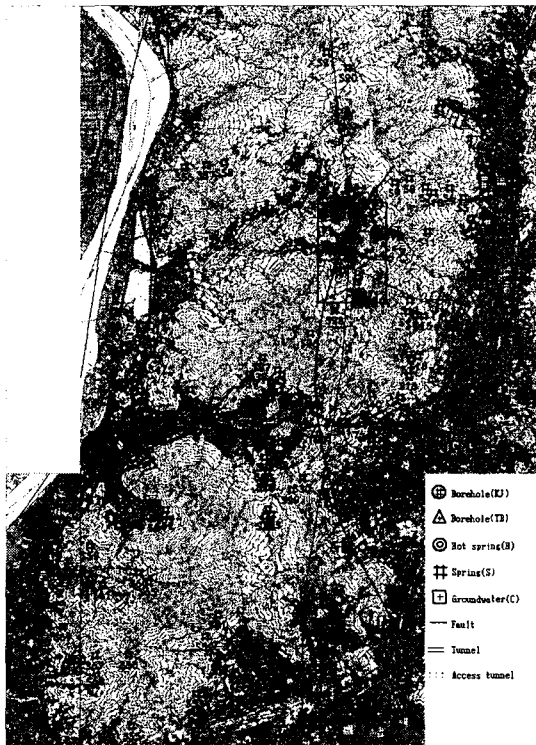


Fig. 1. Location of the study area.

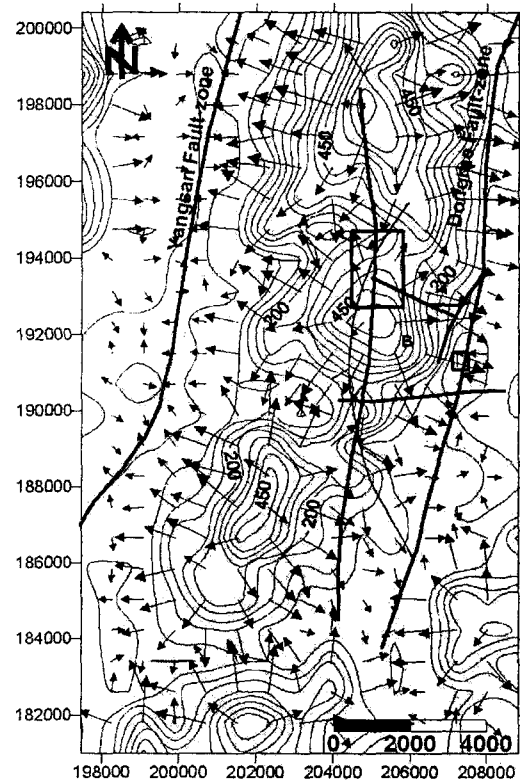


Fig. 2. Groundwater level contours.

### 2.1 지하수 유동 모델링

모델지역의 면적은  $64,915,464m^2$ 이고, 이중 지하수 함양지역의 면적은  $24,524,131m^2$ 이다(Fig. 3). 모델영역의 격자수는 6000개(= 100행 x 60열)로 구성되며, 격자점의 개수는 12,322개이다. 모델지역의 서측은 낙동강을 경계조건으로 두고 북측과 남측은 금정터널을 포함하는 범위의 정상부를 따라서 불투수경계를 설정하였으며, 동측은 온천천을 drain 경계로 설정하였다. 모델지역의 총 지하수 함양량은  $9,022,366m^3/yr$  (강수량의 24.9%)를 입력하였다(Cho, 2001). 산성마을 지하수 사용량은  $365,000m^3/yr$  그리고 동래온천의 온천수 사용량은  $912,500m^3/yr$ 을 입력하였다. 계곡 유출량은  $3,949,550m^3/yr$ 이며, 이것은 기저유출량에 해당되는 것이다. 하명동쪽 계곡은  $5,000,000m^3/yr$  그리고 나머지 5군데의 계곡에는 각각 약  $1,500,000m^3/yr$ 씩 산정하였다. 수리전도도

는 3 등급으로 구분하여 가장 높은 값은 1E-6m/sec, 중간 값은 1E-7m/sec 그리고 가장 낮은 값은 1E-8m/sec를 입력하였다. 수리전도도 1E-6m/sec는 산성마을(금정터널 A구간 393.5~395.8km)과 남문부근(금정터널 C구간 397.9~398.8km)에 지역에 대하여 입력하였다. 그리고 금정산 동측 동래온천쪽(B구간 395.8~397.9km)에는 1E-7m/sec를 입력하였으며, 나머지 지역(금정터널 D구간 398.8~403.49km)에 대해서는 1E-8m/sec를 입력하였다.

Table 1. Water balance.

Flows		Quantity (m <sup>3</sup> /yr)		Quantity (m <sup>3</sup> /day)	Percentage (%)
Precipitation(P)		36,234,404		99,272	100
Natural recharge(R)		5,072,816		14,038	14
Evapotranspiration(ET)		17,754,858		48,643	49
Stream discharge(SD)	Overland flow	12,138,525	8,188,975	33,256	33.5
	Baseflow		3,949,550		
Spring discharge(SP)		67,854		185.9	0.02
Pumpage	Geothermal water(HP)	912,500		2,500	2.5
	Groundwater(GP)	365,000		1,000	1

정상류 유동 모델링에서는 2002년 6월 5일의 지하수위 등고선도를 기준으로 하여, 지하수 평형상태가 유지되고 있다고 가정하였다. 실제로는 풍수기와 갈수기에 따라서 지하수 함양량과 하천유출량이 달라지고 이에 따라 지하수위도 달라지지만, 여기서는 계절적인 지하수위 변동을 고려하지 않았다. 그 이유는 계절에 따른 지하수위 변동을 분석하기 위해서는 계절별로 상당히 많은 지하수위 측정값을 가지고 있어야 하지만 실제로는 한정된 지하수위 측정값을 가지고 있기 때문이다. 획득된 자료 중에서 2002년 6월 5일의 자료가 가장 많으므로 준 평형상태의 기준으로 삼았다.

경계조건, 지하수 함양량, 수리전도도, 계곡 유출량, 산성마을의 지하수 사용량과 동래온천의 온천수 사용량을 입력하여(Table 1) 정상류 모델링을 수행하였다. 이때 2002년 6월 5일의 지하수위 분포를 얻을 때까지 모델링을 수행하였다. 정상류 모델링 결과, 터널 시점에서부터 종점 쪽으로 A구간 (393.5~395.8km), B구간(395.8~397.9km), C구간(397.9~398.8km), D구간(398.8~403.49km)에 대하여 컨덕턴스를 90%까지 감소시켰을 때 터널내 유출량은 각각 5,178m<sup>3</sup>/day, 4,932m<sup>3</sup>/day, 1,608m<sup>3</sup>/day, 2,430m<sup>3</sup>/day이다. 따라서, 산성마을과 동래온천쪽으로 흐르는 A, B구간에서 지하수 유출이 많이 일어나고 있음을 알 수 있다.

그라우팅과 라이닝 후 터널내로 유출되는 양을 평가하기 위하여 터널 컨덕턴스가 0%, 25%, 50%, 75%, 90%, 100%로 감소시켜서 모델링하였다. 터널 전 구간에서의 유출량은 컨덕턴스를 0%, 25%, 50%, 75%, 90%로 줄여감에 따라 99,200m<sup>3</sup>/day, 79,473, 57,520m<sup>3</sup>/day, 32,155m<sup>3</sup>/day, 14,148m<sup>3</sup>/day로 감소함을 보여준다.

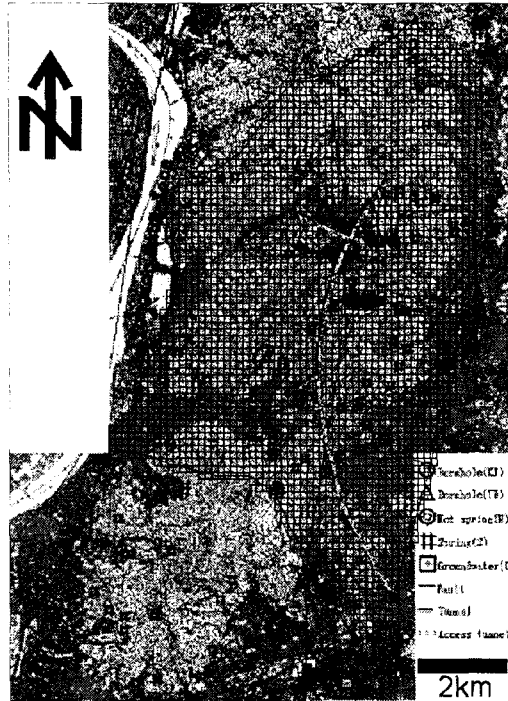


Fig. 3. Model area.

### 3. 결론

(1) 금정산 지역에 위치한 시추공 27공의 현장시험 결과, 평균투수계수는 현장시험 결과  $1E-6m/sec \sim 1E-8m/sec$  차수의 범위로 시험공별로 차이를 보이고 있다. 이 지역에서 지표면의 해발고도(X)에 따른 지하수위(Y)의 상관식  $Y = 1.00024 * X - 3.26725$  로 나타났다.

(2) 정상류 모델링 결과, 터널 시점에서부터 종점쪽으로 A구간 (산성마을 393.5~395.8km), B구간(동래온천 쪽 구간 395.8~397.9km), C구간(남문구간 397.9~398.8km), D구간(기타 구간 398.8~403.49km)에 대하여 컨덕턴스를 90%까지 감소시켰을 때 터널내 유출량은 각각  $5,178m^3/day$ ,  $4,932m^3/day$ ,  $1,608m^3/day$ ,  $2,430m^3/day$ 이다. 따라서, 산성마을과 동래온천쪽으로 흐르는 유역에서 지하수 유출이 많이 일어나고 있음을 알 수 있다.

(3) 그라우팅과 라이닝 후 터널내로 유출되는 양을 평가하기 위하여 터널 컨덕턴스가 0%, 25%, 50%, 75%, 90%, 100%로 감소시켜서 모델링한 결과, 터널 전 구간에서의 유출량은 컨덕턴스를 0%, 25%, 50%, 75%, 90%로 줄여감에 따라  $99,200m^3/day$ ,  $79,473$ ,  $57,520m^3/day$ ,  $32,155m^3/day$ ,  $14,148m^3/day$ 로 감소함을 보여준다.

### 5. 참고문헌

1. 강동환, 정상용, 심병완, 김병우, 정상원, 산악지역의 터널건설에 의한 지하수위 변동분석, 대한지질공학회 2002년 정기총회 및 학술발표대회, 137-146, 2002.
2. 이병대, 영천댐 도수로터널 굴착과 관련된 수리지질학적 특성 연구, 부산대학교 대학원 이학박사학위 논문, 302p, 2001.
3. McDonald, M.G. and Harbaugh, A.W., A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model, U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 6, chap. A1, 586p., 1988.