

## 창원시 북면 낙동강 주변 하성퇴적층의 지하수유동 모델링 연구

함세영<sup>1\*</sup> · 정재열<sup>1</sup> · 김형수<sup>2</sup> · 한정상<sup>3</sup> · 류수희<sup>1</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 지질학과, <sup>2</sup>한국수자원공사 수자원연구원, <sup>3</sup>연세대학교 지구시스템과학과

## A Study on Groundwater Flow Modeling in the Fluvial Aquifer Adjacent to the Nakdong River, Book-Myeon Area, Changwon City

Se-Yeong Hamm<sup>1\*</sup>, Jae-Yeol Cheong<sup>1</sup>, Hyoung-Su Kim<sup>2</sup>, Jeong-Sang Hahn<sup>3</sup> and Su-Hee Ryu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Geology, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

<sup>2</sup>Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 306-711, Korea

<sup>3</sup>Dept. of Earth System Sciences, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

Changwon City first constructed riverbank filtration plants in Book-Myeon and Daesan-Myeon in Korea in the year 2001. This study evaluated hydrogeological characteristics and groundwater flow simulation between the Nakdong River and the fluvial aquifers adjacent to the river in Book-Myeon, Changwon City. The groundwater simulation calculated the influx rate from the Nakdong River and the fluvial aquifers to pumping wells through the riverbank filtration system. The groundwater flow model utilized drilling, grain size analysis, pumping test, groundwater level measurements, river water discharge and rainfall data. Hydraulic heads calculated by the steady-state model closely matched measured heads in pumping and observation wells. According to the transient flow model, using a total pumping amount of 14,000 m<sup>3</sup>/day, the flux into the pumping wells from the Nakdong River accounts for 8,390 m<sup>3</sup>/day (60%), 590 m<sup>3</sup>/day (4%) is from the aquifer in the rectilinear direction to the Nakdong River, and 5,020 m<sup>3</sup>/day (36%) is from the aquifer in the parallel direction to the Nakdong River. The particle tracking analysis shows that a particle from the Nakdong River moves toward the pumping wells at a rate of about 1.85 m/day and a particle from the aquifer moves toward the pumping wells at a rate of about 0.75 m/day. This study contributes to surface water/groundwater management modeling, and helps in understanding, how seasonal change affects pumping rates, water quality, and natural recharge.

**Key words** : hydrogeology, riverbank filtration, groundwater flow modeling, Nakdong River, Book-Myeon

창원시는 전국에서 최초로 2001년에 북면과 대산면에 강변여과수 취수장을 건설하여 운영하고 있다. 본 연구는 창원시 북면 낙동강 본류 하안의 강변여과수 취수장 주변에 대해서 수리지질 특성을 평가하고 낙동강과 강변대수층간의 지하수유동 모델링을 수행하였다. 이를 통하여 강변여과수 취수에 따른 낙동강물과 지하수 유입량을 평가하였다. 지하수모델링에서는 시추자료, 입도분석자료, 양수시험분석자료, 지하수위 측정자료, 낙동강 수위 측정자료, 강수량 자료를 이용하였다. 정상류 모델링으로 강변여과수 취수 이전의 자연상태의 지하수위를 잘 모사할 수 있었다. 부정류 상태 모델링에서는 7개 취수정의 최대 양수량인 총 14,000 m<sup>3</sup>/day로 취수시의 지하수위 하강을 모사하였으며, 이때 낙동강으로부터의 유입량, 배후지쪽의 지하수 유입량 그리고 강변대수층의 동측과 서측으로부터 유입량은 전체 유입량의 각각 8,390 m<sup>3</sup>/day(60%), 590 m<sup>3</sup>/day(4%), 5,020 m<sup>3</sup>/day(36%)이다. 입자 추적 모사 결과, 낙동강쪽으로부터 취수정 쪽으로의 유입속도는 약 1.85 m/day이고, 배후지로부터 취수정 쪽으로의 유입속도는 약 0.75 m/day이다. 본 연구는 지표수/지하수 연계관리 모델링에 공헌하며, 강변여과수 취수량, 수질, 자연적인 함양량이 계절적으로 어떻게 영향을 받는지를 이해하는데 도움을 줄 것이다.

**주제어** : 수리지질, 강변여과, 지하수 모델링, 낙동강, 북면

## 1. 서 론

강변여과수 취수방법은 일종의 간접 인공함양방법으로서 강물을 강변의 층적층에 통과시켜 취수하는 방법이다. 독일, 네덜란드, 프랑스, 오스트리아, 스웨덴, 미국, 호주, 일본, 이스라엘, 미국 등 선진국에서는 오래 전부터 강변퇴적층의 저장능력을 이용한 취수원 개발을 시행하여 왔다. 특히, 독일에서는 19세기 후반부터 라인강변을 따라 굴착된 취수정으로부터 강변여과수를 개발하여 음용수로 사용하여 왔다.

우리나라에서 강변여과수에 대한 조사·연구로는 한국수자원공사(1995; 1996; 1998; 1999; 2002), 창원시(2003), 환경부 등(1996), 환경부와 경상남도(1998) 등이 있으며, 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강 유역의 강변여과수 개발타당성 조사가 실시되었다.

낙동강 권역은 강변여과수 개발성이 높은 지역으로 판단되며, 특히 낙동강 하류의 함안군, 창원시, 김해시에서는 강변여과수를 취수 중이거나 개발사업을 진행 중에 있다. 창원시에서는 낙동강 원수가 수돗물의 주 공급원이지만 원수의 오염취약성 및 배분량 한계로 인해 앞으로는 용수 공급량이 절대적으로 부족할 것으로 예상된다. 따라서 자체수원 확보방안의 일환으로 오염에 상대적으로 안전하고 갈수기에도 풍부한 물을 공급할 수 있는 강변여과수 개발 타당성 조사를 수행하게 되었다(창원시 상수도사업소, 2003). 창원시 주변 낙동강변 지역에 대하여 지표지질조사, 지구물리탐사, 시추 및 착정 조사, 현장수리시험 등의 강변여과수 개발 타당성 조사 결과, 창원시 동읍, 북면, 대산면의 낙동강 본류 하안 지역이 강변여과수 개발지역으로 선정되었다. 현재 창원시에는 북면 신촌리와 대산면 갈전리 지역의 강변여과수 취수장으로부터 각각 3,000 m<sup>3</sup>/일과 2,000 m<sup>3</sup>/일씩 강변여과수를 취수하여 주민들에게 수도물로 공급하고 있다. 취수장별로 1개 취수정의 최대 취수용량은 2,000 m<sup>3</sup>/일이며, 총 취수용량은 14,000 m<sup>3</sup>/일이다. 그러나 취수장별로 2공의 취수정은 예비 취수정이므로 대산면과 북면의 시설용량은 각각 10,000 m<sup>3</sup>/일이다. 창원시 계획에 의하면, 1단계 확장공사(2000~2005년)에 의해서 대산면에 60,000 m<sup>3</sup>/일의 강변여과수를 추가로 개발하게 되고, 2단계 확장공사(2006~2010년)에 의해서 대산면에 60,000 m<sup>3</sup>/일, 북면에 40,000 m<sup>3</sup>/일을 개발하게 되며, 3단계 확장공사(2011~2016년)에는 대산면에 60,000 m<sup>3</sup>/일 추가로 개발하여 창원시의 강변여과수 총 개발량은 240,000 m<sup>3</sup>/일에 이를 것으로 예상된다. 그리고 경우에 따라서는 강변여

과수 개발량을 더 늘릴 가능성도 있다.

창원시 북면 신촌리 강변여과수 취수장 주변에 대해서는 지하수유동 모델링 연구가 수행된 바 있다(정재열 등, 2004b). 창원시 대산면 갈전리 강변여과수 취수장 주변에 대해서도 다수의 수리지질학적 연구가 수행되었다(정재열 등, 2003, 2004a; 함세영 등, 2002a, 2002b, 2002c, 2003a, 2003b; 현승규 등, 2003; Cheong *et al.*, 2003; Hamm *et al.*, 2003). 그 외에도 함안군 칠서면 강변여과수 개발 지역의 수리지질학적 연구(함세영 등, 2003c)와 수리지화학적 연구(김주환 등, 2003), 그리고 경북 고령군 강변여과수 조사지역에 대한 수리지화학적 연구(김건영 등, 2002)가 있다.

본 연구지역은 행정구역상으로는 경상남도 창원시 북면 신촌리 낙동강 본류 남측 하안지역이다(Fig. 1). 창원시 북면 강변여과수 취수지역에는 낙동강으로부터 약 500 m 정도 떨어져 있는 7개의 취수정(PW1~PW7)이 있다. 그리고 지하수위 관측을 위한 5개의 관측정(BM1~BM4, OW2-2)이 위치하고 있다(Fig. 2). 본 연구는 창원시 북면 강변여과수 취수장 주변 층적층의 수리지질 특성, 지하수유동 그리고 강변여과수 취수시의 지하수위 하강 및 유입량을 고찰하고자 한다. 정상류모델링을 통해서 강변여과수를 취수하기 전의 지하수유동을 고찰하였으며, 부정류 모델링에서는 7개 취수정으로부터 총 14,000 m<sup>3</sup>/일을 취수할 때의 지하수 유동, 지하수위 하강, 유입량 등을 고찰하였다.

## 2. 수리지질

### 2.1. 지질 및 수리지질

본 연구지역의 지질은 중생대 백악기 유천층군의 화산암류(안산암질 응회암과 유문암질 응회암, 역질응회암)와 퇴적암류(석회암, 장석질 사암, 녹색 세일, 쳐어트질 세일)로 이루어져 있으며 이를 중생대말기 불국사관입암류가 부분적으로 관입하고 있다(김남강과 이홍규, 1964). 그리고 최상부에는 이들 제 지층들을 부정합으로 피복하고 있는 제4기 하성충적층이 낙동강의 연변부에 넓게 분포하고 있다. 백악기 유천층군에 속하는 화산암은 주로 낙동강 남측에 분포되어 있고, 유천층군의 퇴적암류는 주로 서측에 분포하고 있으며 이 퇴적암류는 화강암류 주변에서 변질되어 차별침식에 강한 비교적 높은 지형을 형성하고 있다. 불국사관입암류는 화강암, 화강섬록암 및 산성암맥과 석영암맥과 석영변암으로써 주로 유천층군의 퇴적암류를 관입하고 있다.

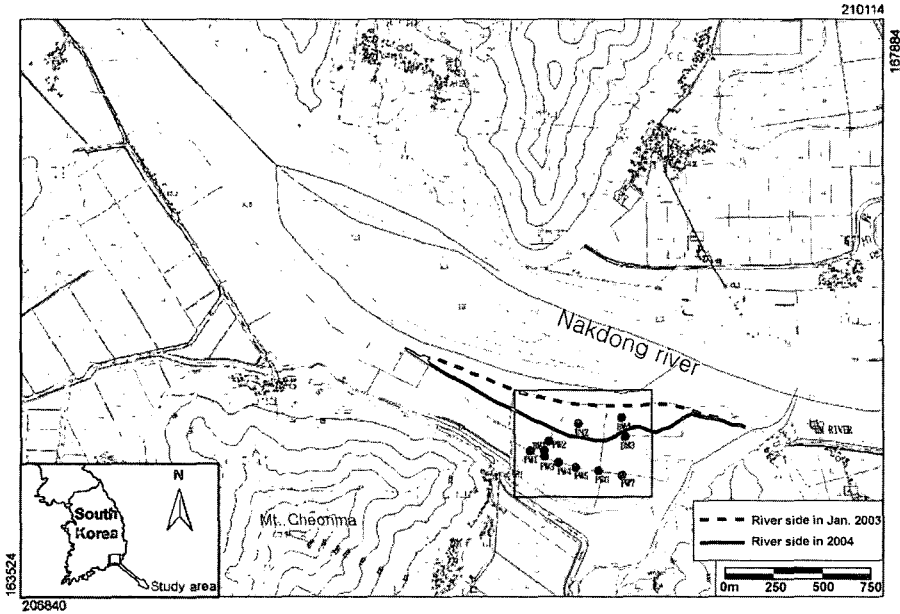


Fig. 1. Location of the study area.

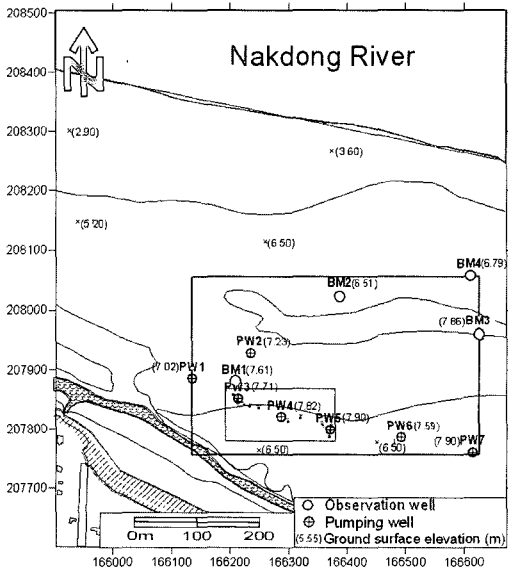


Fig. 2. Location of pumping and observation wells.

서에서 동으로 사행천의 형태를 보이면서 흐르는 낙동강 주변에는 하성퇴적층이 분포하고 있다. 낙동강은 사행하고 있으며 시간에 따라 그 형태가 변한다. 현재 북면 강변여과수 취수장부지는 낙동강 사행천의 침식면에 위치하고 있어서 지속적으로 강변침식이 일어나고 있으며(Fig. 1), 풍수기(하절기)에 강변침식이 심하다. Fig. 1의 점선은 2003년 1월까지의 낙동강변을 나

타내며, 실선은 2004년 현재의 낙동강변을 나타낸다. 창원시에서는 2004년에 낙동강변의 침식을 방지하기 위한 구조물을 설치하였다. 취수정 부지 배후지역에는 지류의 형태로 낙동강의 고 하도가 남아 있으며, 남쪽으로부터 이 지류에 지표수가 공급되고 있다. 한편 북면 강변여과수 취수지역에는 홍수기에 낙동강이 범람할 때 마다 하성퇴적층의 퇴적이 일어난다. 이때 퇴적층의 입도와 두께는 공간적으로 달라지며, 따라서 하성퇴적층의 층서는 복잡하다(Woessner, 2000). 또한 하성퇴적층은 수리지질학적으로 불균질한 지층이므로 주 유동대가 존재한다(Woessner et al., 1998; Rossi et al., 1994). 하성퇴적층내 지하수의 주 유동 방향은 퇴적구조와 연관되며 일반적으로 하천 유로와 평행하다(Woessner, 2000). 하성퇴적층과 평행한 흐름은 수십 m의 폭으로 일어나거나(Wroblicky et al., 1998) 또는 수 km의 폭으로 일어난다(Rosenshein, 1988). 또한 하성퇴적층내에서는 지표수와 지하수의 교환이 일어난다. 본 연구의 시추자료에서 얻어진 공간적인 퇴적층의 분포나 위치에 따라서 상당한 값의 차이를 보이는 수리전도도에 의해서도 하성퇴적층의 이와 같은 층서적인 그리고 수리지질학적인 불균질성을 잘 알 수 있다.

시추자료 및 입도분석에 의하면, 취수정(PW1~PW7호정)과 관측정(BM1~BM4)의 지질은 지표로부터 상부 세립질 모래층(두께 9~24 m), 중립질 모래층(두



는 것이 원칙이지만, 본 연구지역에서는 대수층의 포화대 두께(38.8 m)에 비해서 수위하강이 40 cm 미만이고, 양수시간 30분 이내에 수위가 안정되므로 보정수위하강(Kruseman and DeRidder, 1983)을 이용한 Theis 식을 적용하였다. 보정된 수위하강은

$$s' = s - s^2/2b \quad (2)$$

과 같다. 여기서  $s$ 는 수위하강,  $b$ 는 포화대의 두께이다. 그리고 양수정에 대해서는 우물저장효과를 고려하기 위해서 Papadopulos-Cooper식(1967)을 적용하였으며 역시 수위하강을 보정하였다. 그러나 우물손실효과는 크지 않은 것으로 판단되어 고려하지 않았다. 함세

영 외(2002c)는 창원시 대산면 강변여과수 취수지역의 양수시험분석에서 관측정에서는 수위하강을 보정한 Theis식이 Neuman(1974)식과 Theis(1935)식보다 관측 수위와 잘 일치하며, 취수정에서는 수위하강을 보정한 Papadopulos-Cooper식(1967)이 Neuman(1974)식과 Papadopulos-Cooper식(1967)보다 관측 수위와 잘 일치함을 확인하였다.

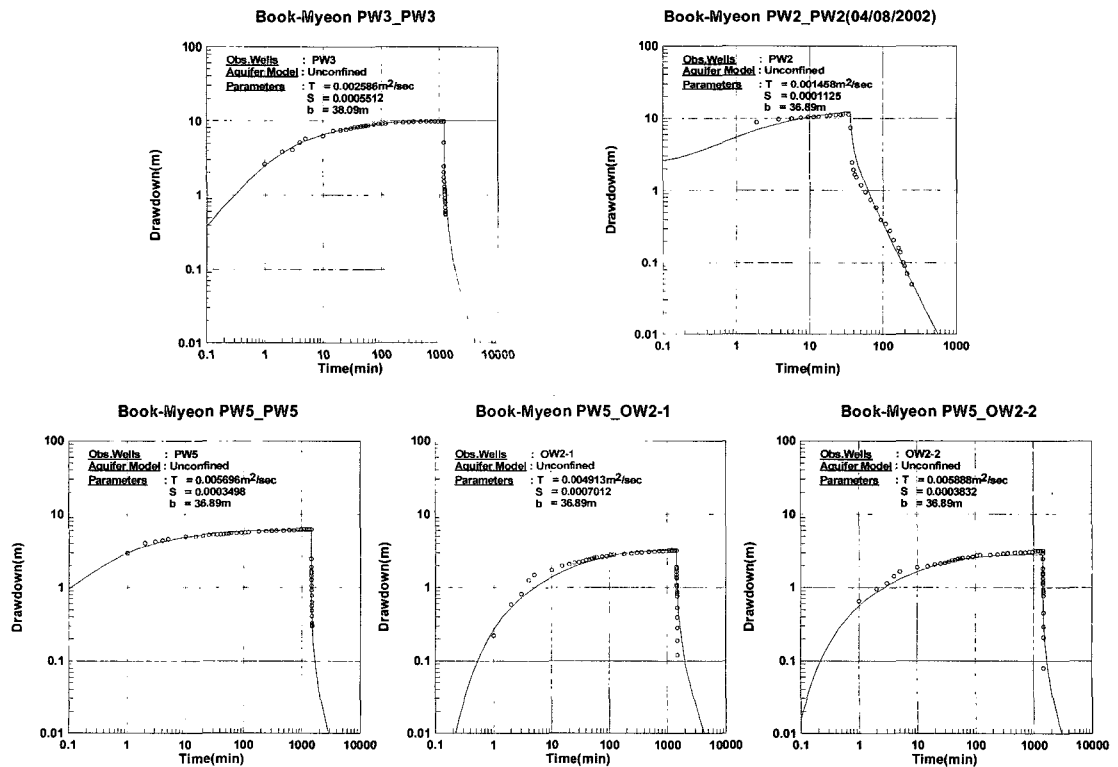
취수정 PW2, PW3, PW5호정에 대하여 양수시험분석을 실시하였다. 취수정 PW5호정과 취수정 PW3호정은 주식회사 동남지질(1999)의 지하수위 측정자료를 이용하였으며, 취수정 PW2에서는 양수시험을 실시하였다. 양수시험분석결과, 투수량계수는  $1.46 \times 10^{-3} \sim 5.89 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ 이고 저류계수는  $1.13 \times 10^{-4} \sim 7.01 \times 10^{-4}$ 이다 (Table 2, Fig. 3).

**Table 2.** Transmissivity and storativity by the pumping test analyses.

Well no.		Transmissivity (m <sup>2</sup> /s)	Storativity
Pumping well	Obs. well		
PW3	PW3	$2.59 \times 10^{-3}$	$5.51 \times 10^{-4}$
PW5	PW5	$5.70 \times 10^{-3}$	$3.50 \times 10^{-4}$
PW5	OW2-1	$4.91 \times 10^{-3}$	$7.01 \times 10^{-4}$
PW5	OW2-2	$5.89 \times 10^{-3}$	$3.83 \times 10^{-4}$
PW2	PW2	$1.46 \times 10^{-3}$	$1.13 \times 10^{-4}$

### 3. 모델링 입력자료

지하수유동 모델로는 3차원 유한차분법 모델인 MODFLOW(McDonald and Harbaugh, 1988)를 이용하였다. 기본도로는 1:25,000 수치지형도를 이용하였으며, 지층의 3차원적인 형태에 관한 자료는 시추자료로



**Fig. 3.** Observed data vs. theoretical values by the pumping tests.

부터 획득하였다. 또한, 하천수위와 지하수위 관측 자료, 강수량 자료, 양수시험 분석 자료를 입력자료로 이용하였다. 모델영역은 강변여과수 취수시 지하수위의 변동의 영향을 받을 것으로 판단되는 충분한 범위로 설정하였다(Fig. 4).

**3.1. 모델영역**

모델지역의 면적은 741,841 m<sup>2</sup>이다. 모델 지역은 5개의 층으로 구성되며, 모델영역의 격자는 32,010개의 절점과 24,960개의 셀로서 65개의 행과 96개의 열로 구성되어 있다(Fig. 4). 취수정과 관측정이 위치하는 지역에는 각 공들이 하나의 셀에 들어갈 수 있도록 작은 격자를 설정하였으며 그 외 지역에는 큰 격자를 설정하였다.

**3.2. 경계조건**

북면 강변여과수 취수부지 북측경계인 낙동강을 따라서는 하천경계, 동쪽과 남쪽은 소하천을 따라 배수 경계, 서쪽은 수두중속 경계를 설정하였다(Fig. 5). 동쪽과 남쪽에 배수 경계를 설정한 이유는 평상시에 대수층의 수위가 소하천의 수위보다 높아서 소하천이 배수로의 역할을 하기 때문이다. 그리고 서쪽의 수두중속 경계는 낙동강과 평행한 방향으로 복류수가 흐르고 있기 때문이다.

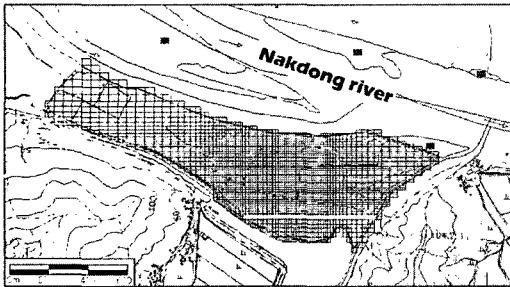


Fig. 4. Model area and grids.

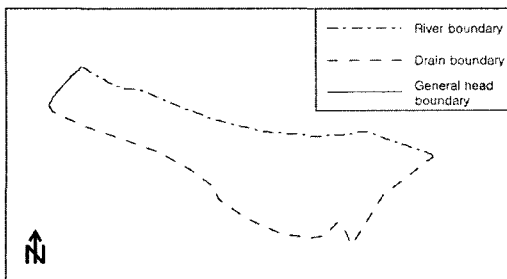


Fig. 5. External boundaries of the model area.

**3.3. 지하수함양량**

지하수 모델링에서의 중요한 입력요소 중 하나인 지하수 함양량은 강수량으로부터 증발산량, 직접유출량, 기저유출량을 뺀 양을 말한다. 본 연구에서는 연구지역과 가장 가까운 밀양 기상관측소의 10년간의 연평균 강수량인 1,251.32 mm/년으로부터 증발산량, 직접유출량, 기저유출량을 뺀 값을 지하수 함양량으로 하였다. 증발산량은 Thornthwaite법을 이용하여 산출하였으며, 직접 유출량은 단위유역의 직접 유출량 산정에 사용하고 있는 SCS 방법을 적용하였다. 상기 방법을 이용하여 산정된 조사지역의 함양량은 246.26 mm/년(강수량의 약 19.68%)이다.

**3.4. 대수층의 수리지질 특성**

모델지역의 지층은 입도분석자료와 시추자료를 바탕으로 5개의 지층(상부 세립질 모래층, 중립질 모래층, 하부 세립질 모래층, 모래자갈층, 풍화대)으로 구분하였다(Table 3). 하부 세립질 모래층은 위치에 따라 나타나기도 하고 결층이 되기도 한다. 따라서 모델 입력 자료에서도 이를 고려하였다. 각 층의 수리전도도와 저류계수는 Table 1을 최초 입력자료로 이용하였으며, 정상류 모델링을 통하여 최종적으로 결정된 1층, 2층, 3층, 4층, 5층의 수리전도도는 각각  $2.3 \times 10^{-4}$  m/s,  $4.9 \times 10^{-4}$  m/s,  $2.2 \times 10^{-4}$  m/s,  $1.5 \times 10^{-3}$  m/s,  $1.0 \times 10^{-6}$  m/s 이다(Table 3). 1, 2, 3층은 수리전도도의 차이가 그렇게 크지는 않으나 시추자료에서 얻어진 지층의 수리적 특성을 상세히 모사하기 위하여 층을 세분하였다.

**4. 정상류 모델링**

연구지역의 지하수위 관측자료를 이용하여 강변여과수 취수 이전의 지하수위자료와 수치해석에 의한 지하수위값을 일치시키는 모델 보정을 수행하였다. 이때 경계조건, 수리전도도, 함양량을 변화시켜가며 관측공의 지하수위와 계산된 수위를 일치시키는 모델보정을 수행

Table 3. Hydraulic properties of the model layers in the study area.

Layer	Geology	Hydraulic conductivity(m/s)	Storage coeff.
Layer1	Fine sand	$2.3 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$
Layer2	Medium sand	$4.9 \times 10^{-4}$	$3 \times 10^{-4}$
Layer3	Fine sand	$2.2 \times 10^{-4}$	$5 \times 10^{-4}$
Layer4	Sand/gravel	$1.5 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-4}$
Layer5	Weathered zone	$1.0 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$

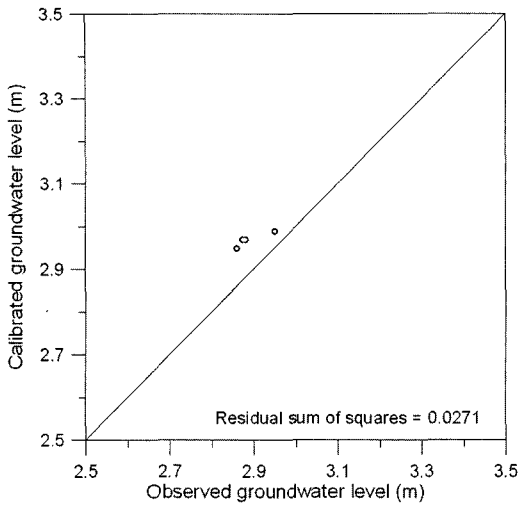


Fig. 6. Observed vs. calibrated groundwater levels.

하였다. 모델보정에 의하면 잔차제곱합이 0.0271이며, 관측공의 지하수위와 계산값은 2.95 m 정도에서 가장 잘 맞고, 2.85 m이하에서는 최대 9 cm 정도의 차이를 보인다(Fig. 6). 따라서 모델보정이 비교적 잘 되었다는 것을 알 수 있다. Fig. 7은 정상류 상태 지하수위 분포를 보여주고 있다. Fig. 7에서 전체적인 지하수 유동 방향은 낙동강쪽으로 향하고 있다.

### 5. 부정류모델링

정상류 상태에서 보정된 수위를 강변여과수 취수시의 초기 수위로 하여 부정류 상태 모델링을 수행하였다. 취수정(PW1~PW7)의 양수량은 각 2,000 m<sup>3</sup>/day, 총 양수량은 14,000 m<sup>3</sup>/day로 설정하였다. 10년 동안의 양수에 의한 부정류 상태의 모델링 결과, 취수정

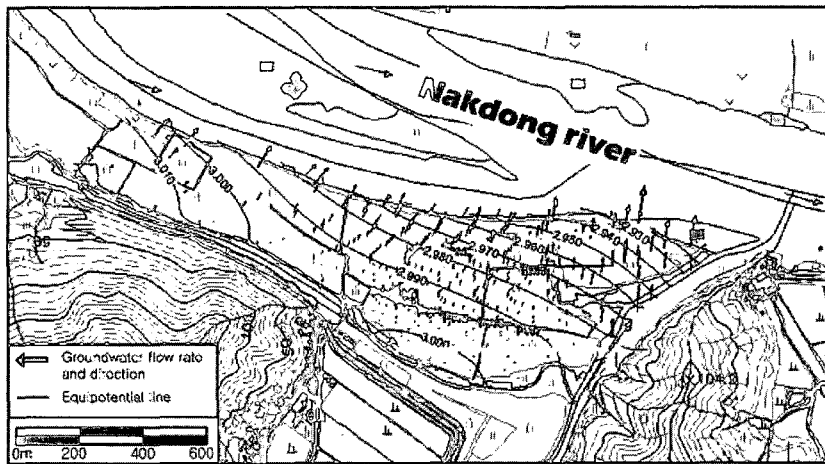


Fig. 7. Groundwater level in steady state.

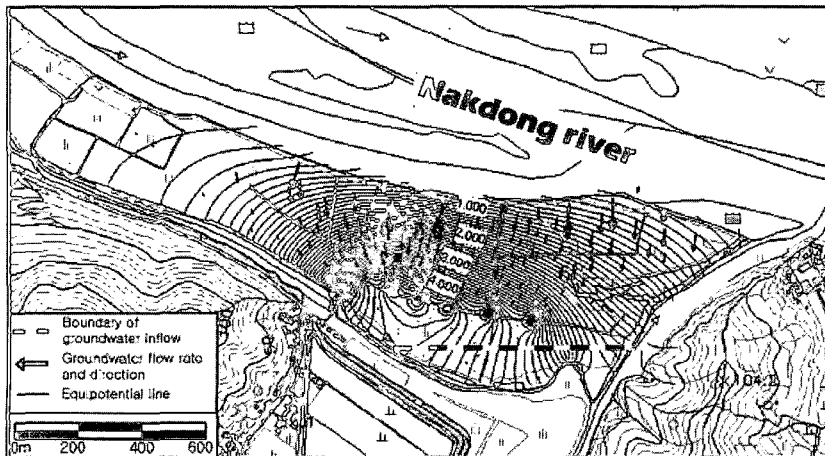


Fig. 8. Drawdown by pumping rate of 14,000 m<sup>3</sup>/day at 7 wells.

부근의 지하수위는 해발고도 기준으로 -1.3 m 정도를 유지하는 것으로 나타난다(Fig. 8). 지하수의 하강은 약 5.0 m 정도이며, 이는 최초 포화대(38.8 m)의 13%에 해당하므로 일반적인 적정양수량의 범위내에 있다.

강변여과수는 강변에서 취수되므로 강물과 지하수의 유입량의 비율을 평가하는 것이 매우 중요하다. 강변 여과수 취수시 하천경계를 통하여 낙동강으로부터의 유입량은  $8,390 \text{ m}^3/\text{day}$ , 지하수유입경계(Fig. 8)를 통한 배후지로부터의 지하수 유입량은  $590 \text{ m}^3/\text{day}$  그리고 수두중속경계를 통하여 낙동강과 평행하게 하성퇴적층의 동측과 서측으로부터의 유입량은  $5,020 \text{ m}^3/\text{day}$ 이다. 이는 하성퇴적층내 지하수의 주 유동 방향이 일반적으로 하천 유로와 평행하다(Woessner, 2000)는 연구결과를 뒷받침한다. 따라서, 강변여과수 취수시 낙동강으로부터의 유입량, 배후지의 지하수 유입량, 그리고 강변 충적층의 동측과 서측으로부터 유입량은 전체 유입량의 각각 60%, 4%, 36%를 차지한다.

## 6. 포획구간

MODPATH(Pollock, 1994)를 이용하여 취수정의 포획구간을 산출하였다. 각각 취수정을 중심으로 10개의 입자를 원형으로 설정하고 심도별 흐름을 알아내기 위해 해발고도별로 각각 -10 m, -24 m, -33 m의 세군데 깊이에서 총 30개의 입자를 설정하였다. Backward기법을 이용하여 각 취수정에 대한 1년 동안의 포획구간을 구하고 입자의 이동거리를 계산하였다(Fig. 9). 입자 추적 결과, 낙동강쪽으로부터 취수정 쪽으로는 100 일 만에 185 m 이동하는 것으로 나타났고, 배후지로부터

터는 100일만에 75 m 이동하는 것으로 나타났다. 즉, 낙동강으로부터 취수정 쪽으로의 유입속도는 약  $1.85 \text{ m/day}$ 이고, 배후지로부터 취수정 쪽으로의 유입속도는 약  $0.75 \text{ m/day}$ 이다.

## 7. 결 론

본 연구는 창원시 북면 낙동강 분류 하안의 강변여과수 취수장 주변 충적층의 수리지질 특성, 지하수유동 그리고 강변여과수 취수시의 지하수위 하강 및 유입량을 고찰하였다. 시추자료 및 입도분석에 의하면, 취수정(PW1~PW7호정)과 관측정(BM1~BM4)의 천부 지질은 지표로부터 상부 세립질 모래층, 중립질 모래층, 하부 세립질 모래층, 모래자갈층, 풍화대로 이루어진다. 주 대수층인 모래자갈층의 수리전도도는  $1.5 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ 이며, 상, 하부 세립질 모래층의 평균 수리전도도는 각각  $2.3 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ,  $2.2 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ , 그리고 중립질 모래층의 평균 수리전도도는  $4.9 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ 이다. 이는 본 연구지역 충적층의 투수성이 양호하다는 것을 의미하며, 본 연구지역이 양적인 측면에서 강변여과수 취수지역으로서 적당한 지역임을 지시한다.

시추자료, 입도분석자료, 양수시험분석자료, 지하수위 측정자료, 낙동강 수위 측정자료를 이용하여 창원시 북면 강변여과수 취수지역 부근의 지하수모델링을 수행하였다. 정상류 모델링으로 강변여과수 취수 이전의 자연상태의 지하수위를 잘 모사할 수 있었다. 부정류 상태 모델링에서는 7개 취수정의 최대 양수량인 총  $14,000 \text{ m}^3/\text{day}$ 로 10년전 취수시의 지하수위 하강을 모사하였다. 이때 지하수위 하강은 취수정 부근에서 약

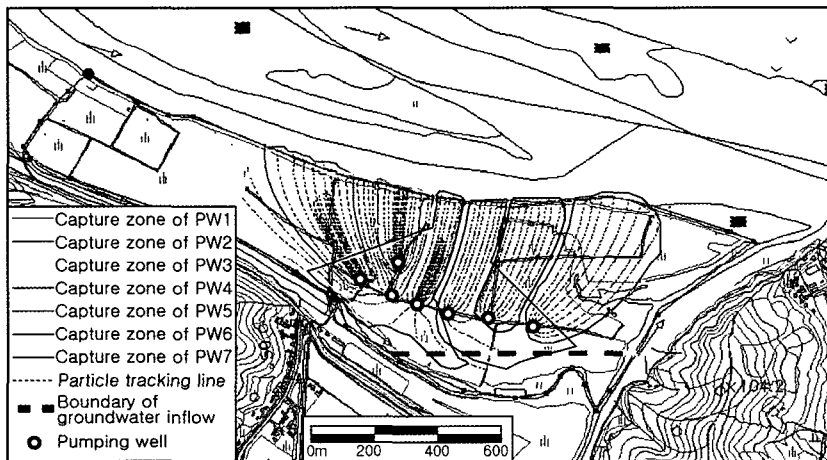


Fig. 9. Capture zone after 1 year.



5.0 m로 나타났다. 그리고, 연구지역내에서 총 14,000 m<sup>3</sup>/day 취수시에 8,390 m<sup>3</sup>/day은 강으로부터 유입되고 있고, 590 m<sup>3</sup>/day은 배후지로부터 취수지역 그리고 나머지 5,020 m<sup>3</sup>/day은 낙동강과 평행하게 강변대수층의 서쪽과 동쪽으로부터 유입되는 것으로 나타났다. 따라서, 강변여과수 취수시에 낙동강으로부터의 유입량과 배후지의 지하수 유입량은 취수공 전체 유입량의 각각 60 %와 4%를 차지하며, 강변대수층의 동측과 서측으로부터 유입량은 36%이다.

입자 추적 모사 결과, 취수정을 중심으로 낙동강쪽으로부터 100일 만에 185 m 이동하는 것으로 나타났고, 배후지로부터는 100일만에 75 m 이동하는 것으로 나타났다. 이는 취수정과 낙동강 사이의 거리가 100 m일 때, 낙동강물이 54일만에 취수정에 도달함을 의미한다.

강변여과수는 하천수위와 지하수위의 변동에 영향을 받으며, 하천수위는 풍수기와 갈수기에 따라 변동한다. 따라서, 보다 자세한 강변여과수 취수량 변화를 평가 및 지하수-지표수 연계관리(Başağaoğlu and Marino, 1999)를 위해서는 계절적인 하천수위 변동을 고려한 지하수유동모델링을 수행하여야 할 것이다.

## 사 사

본 연구는 21세기 프런티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호 3-4-1)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

김건영, 고용권, 배대석, 김경수, 김형수 (2002) 강변여과수 개발을 위한 낙동강 충적층 지하수의 지구화학적 특성연구. 2002년 (사)지하수토양환경학회 춘계학술발표회, p. 339-342.

김남장, 이흥규 (1964) 한국지질도 영산도폭(1:50,000). 국립지질조사소, 31p.

김주환, 백건하, 김형수, 김진삼, 윤성택 (2003) 낙동강 합안군 칠서 강변여과수 개발 예정지역의 수리지구화학적 특성조사. 2003년 (사)지하수토양환경학회 춘계학술발표회, p. 561-564.

정재열, 함세영, 김형수, 손건태, 차용훈, 장성, 백건하 (2003) 창원시 대산면 강변충적층의 지하수위 변동특성. 지질공학, 제13권, p. 457-473.

정재열, 함세영, 김형수, 장성, 차용훈, 원이정 (2004a) 창원시 대산면 강변충적층의 지하수유동 모델링. 2004년 대한지질공학회 학술발표회, p. 207-212.

정재열, 함세영, 김형수, 장성, 차용훈, 원이정 (2004b) 창원시 북면 강변충적층의 지하수유동 모델링. 2004년 대한지질공학회 학술발표회, p. 219-224.

주식회사 동남지질 (1999) 창원시 북면 상수도 취수정 설치공사 지하수영향조사보고서. 56p.

창원시 상수도사업소 (2003) 창원시 강변여과수 개발관련 자료집. 561p.

한국수자원공사 (1995) 하성퇴적층의 수리특성을 이용한 취수원 활용 시범조사 보고서. 132p.

한국수자원공사 수자원연구소, WRRI-GG-96-2 (1996) 하성퇴적층 여과방식에 의한 금강수도 취수개선 방안 조사·연구. 183p.

한국수자원공사 수자원연구소, WRRI-GG-98-4 (1998) 지하수 함양 및 활용증대방안 연구(1차년도). 104p.

한국수자원공사 수자원연구소, WRRI-GG-99-1 (1999) 지하수 함양 및 활용증대방안 연구. 198p.

한국수자원공사 (2002) 강변여과수 개발가능지점 및 개발가능량 조사 보고서. VIII-3p.

함세영, 이효민, 김광성, 정재열, 우윤정, 오윤영, 김형수 (2002a) 창원시 대산면 강변여과수 취수지역의 수리적 특성. 한국환경과학회 2002년도 봄 학술발표회 및 10주년 기념 국제 학술워크샵, p. 241-244.

함세영, 이효민, 정재열, 김무진, 류상민, 우윤정, 김형수 (2002b) 창원시 대산면 강변여과수 개발에 따른 수위 하강 예측. 한국환경과학회 2002년도 봄 학술발표회 및 10주년 기념 국제 학술워크샵, p. 219-222.

함세영, 정재열, 류상민, 김무진, 김형수 (2002c) 창원시 대산면 강변여과수 취수지역의 수리 지질 특성, 지질학회지, 제38권, p. 595-610.

함세영, 한정상, 정재열, 장성, 차용훈, 류수희, 김형수 (2003a) 창원 대산지구 강변여과수 취수지역의 충적층 지질과 수리전도도. 한국환경과학회 2003년도 봄 학술발표회, p. 237-241.

함세영, 황학수, 김형수, 정재열, 문창규, 차용훈, 장성 (2003b) 낙동강변 충적층 시추자료와 지구물리탐사자료의 연관성. 2003년 (사)지하수토양환경학회 춘계학술발표회, p. 552-556.

함세영, 김형수, 정재열, 장성, 차용훈, 류수희 (2003c) 합안 이용지구 강변여과수 개발예정지역의 수리적 특성. 2003년도 대한지질공학회 학술발표회, p. 159-163.

현승규, 우남철, 신우식, 함세영 (2003) 강변여과수 개발부지의 수리지화학적 특성-Preliminary results. 2003년 (사)지하수토양환경학회 춘계학술발표회, p. 552-556.

환경부, 부산광역시, 경상남도 (1996) 부산·경남지역 복류수 및 강변여과수개발 타당성 조사 보고서(실험보고서 포함). 642p.

환경부와 경상남도 (1998) 이용지구 강변여과수 시범개발 조사사업 실증실험보고서. 193p.

Başağaoğlu, H and Marino, M.A. (1999) Joint management of surface and ground water supplies. Ground Water, v. 37, p. 214-222.

Charbeneau, R.J. (2000) Groundwater Hydraulics and Pollutant Transport. Prentice Hall, 593p.

Cheong, J.-Y., Hamm, S.-Y., Kim, H.S., Son, K.T., Baek, K.H., Won, L.J., Cha, Y.H., and Ryu, S.H. (2003) Analysis of ground-water level fluctuation at riverbank filtration site in Changwon area. Proceedings of the 5th Cross Straits Symposium on Materials, Energy and Environmental Sciences, p. 189-190.

Fetter, C.W. (2001) Applied Hydrogeology. Prentice-Hall, Inc., 4th ed., p. 66-112.

Hamm, S.-Y., Kim, H.-S., Cheong, J.-Y., Ryu, S.H., and Kim, M.J. (2003) Hydrogeological Properties of Bank Storage Area in Changwon City, Korea. GS-AGU-EUG Joint Assembly, Nice, France.

Hazen, A. (1892) Some physical properties of sands and gravels. Rept. Massachusetts State Board of Health.

- Kasenow, M. (2002) Determination of Hydraulic Conductivity from Grain Size Analysis. Water Resources Publications, LLC, p. 47-84.
- Kruseman, G.P. and DeRidder, N.A. (1983) Analysis and evaluation of pumping test data. 3rd ed., Bull. 11, Intern. Inst. for land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands, 200p.
- McDonald, M.G. and Harbaugh, A.W. (1988) A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model. Techniques of Water-Resources Investigations of the USGS, Book 6, Chapter A1.
- Neuman, S.P. (1974) Effect of partial penetration on flow in unconfined aquifers considering delayed gravity response. *Water Resour. Res.* v. 10, p. 303-312.
- Papadopoulos, I. S. and Cooper, H. H. (1967) Drawdown in a well of large diameter. *Water Resources Research*, v. 3, p. 241-244.
- Pollock, D.W. (1994) User's guide for MODPATH/MODPATH-Plot, version 3: A particle tracking post-processing package for MODFLOW, the U.S. Geological Survey finite-difference ground-water flow model. USGS Open File Report 94-464.
- Rosenshein, J.S. (1988) Region 18, Alluvial valleys. In *Hydrogeology*, ed. Back, W., Rosenshein, J.S., and Seaber, P.R.(ed.) *The Geology of North America*, v. O-2, The Geological Society of America, Boulder, Colorado, p. 165-175.
- Rossi, P., De Carvalho-dill, A., Muller, I., and Aragno, M. (1994) Comparative tracing experiments in a porous aquifer using bacteriophages and fluorescent dye on a test field located at Wilerwald (Switzerland) and simultaneously surveyed in detail on a local scale by radio-magneto-tellury (12-240 kHz). *Environmental Geology*, v. 23, p. 192-200.
- Slichter, C.S. (1902) The motions of underground waters. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 67.
- Theis, C.V. (1935) The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. *Am. Geophys. Union Trans.*, v. 16, p. 519-524.
- Woessner, W.W. (2000) Stream and fluvial plain ground water interactions: Rescaling hydrogeologic thought. *Ground Water*, v. 38, p. 423-429.
- Woessner, W.W., Troy, T., Ball, P., and DeBorde, D.C. (1998) Virus transport in the capture zone of a well penetrating a high hydraulic conductivity aquifer containing a preferential flow zone: Challenges to natural disinfection. In *Proceeding of Source Water Protection International 98*, Dallas, Texas, April 28-30, p. 167-174.
- Wroblicky, G.J., Campana, M.E., Valett, H.M., and Dahm, C.N. (1998) Seasonal variation in surface-subsurface water exchange and lateral hyporheic area of two stream-aquifer systems, *Water Resources Research*, v. 34, p. 317-328.

---

2004년 6월 8일 원고접수, 2004년 9월 9일 게재승인.