

한강의 수리시스템과 한강변 대수층의 수리지질 특성

Hydrogeological Properties Around Han River from Water Level Data

김윤영(Yoon-Young Kim)* · 이강근(Kang-Kun Lee)*

요 약 : 한강은 조석의 영향을 직접 받고 이로 인하여 강과 인접한 대수층은 주기적인 수위변화를 보인다. 한강 수위는 팔당댐의 방류량, 각 지천에서의 유입량, 상수원인 취수장에서 양수량, 그리고 조석영향 등의 복합적인 작용으로 결정된다. 한강과 인접한 대수층의 수위변화를 파악하고 이를 이용하여 한강에 인접한 대수층 수리시스템을 분석해 보고자 하였다. 한강수위의 주기적인 변화 양상으로 수리지질학적 특성을 구할 수 있다. 조석영향으로 투수량 계수를 추정하면 $9.39 \times 10^1 \sim 4.02 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{day}$ 의 값을 보인다. 한강수위 변화는 큰 시간적인 지연 없이 주변 대수층의 지하수위에 영향을 주는 것으로 관찰되었다. 조석에 의한 한강수위 변화에 따라 인접한 대수층 지하수의 흐름특성을 규명하기 위해 3차원 유한차분 모델인 MODFLOW를 이용하였다.

Abstract : Time-lag and amplitudes of the fluctuation of groundwater level are used to determine hydraulic parameters around Han River. The groundwater level at observation wells fluctuates between highest and lowest responding to the Han River level. The factors affecting the groundwater fluctuation are examined. The transmissivity of the Han River alluvium calculated from the measured water table fluctuations measured ranges from 9.39×10^1 to $4.02 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{day}$. Based on the hydrogeological data along the river sides, the flow characteristics of groundwater for water level fluctuations were simulated using a ground water flow model MODFLOW.

서 론

한강은 황해바다의 조석 영향을 직접 받는 감조하천이다. 한강의 수위 변화는 주기적인 경향을 보이고 이로 인하여 강과 인접한 대수층의 수위도 영향을 받는다. 서울 지역의 한강 수위 변화폭은 신평수중보와 잠실수중보에 의해 조절된다. 한강에서 조석영향으로 수위가 상승하는 시간인 창조지속시간(duration of flood)은 3시간 10분으로 짧고, 만조시각을 지나 다시 수위가 하강하는 낙조지속시간(duration of ebb)은 9시간 50분으로 길게 나타난다.

한강 주변에 분포하는 매립장들에서 나오는 오염된 지하수는 대수층에 유입되고 강으로 유출되어 주변 자연환경을 오염시키고 있다. 특히 대규모 매립지인 난지도의 침출수는 인접한 지하수를 오염시키고 강으로 유입되므로 이를 차단하기 위해 매립지에 차수벽을 설치하고 있다. 또한 조석의 영향으로 한강은 하루에 두 번 규칙적으로 역류를 하므로 오염 배출원에서 상류지역이라고 할지라도 오염의 영향으로부터 안전하지는 않다.

본 연구에서의 지하수위 관측과 수리시험 대상지는 행주산성과 난지도매립지 사이의 총적층이고 지금은 농산물을 대량으로 생산하는 농장으로 사용되고 있는 곳이다(Figure 1). 지하수위가 한강의 수위 변화에 의하여 영향을 받으므로, 각 관정에서의 지하수위의 변화와 이것의 한강수위와의 차이를 비교하기 위해 6개 관정의 지하수위를 조사하였다. Figure 1의 항

공사진은 한강종합개발이 시작되기 전인 1974년과 개발 중인 1981년의 모습이다. Figure 2는 조사지역 주변의 토양도이다. 한강 종합개발이 시행되기 전의 토양도에 따르면 연구지역의 하부 총적층은 가는 모래로 구성되어 있다.

한강에는 1980년대 한강종합개발 사업으로 잠실수중보와 신평수중보가 건설되었다. 수중보는 일정량의 수위를 유지하고 이를 이용하여 취수원 확보, 오염된 강물의 물리적인 정화, 가뭄 및 홍수 대비, 선착장 유람선 같은 위락시설 설치 및 운용, 그리고 조석의 영향을 감소시키기 위한 하나의 수리시스템이다. 한강수위는 팔당댐의 방류량, 각 지천의 유입량, 하수종말처리장의 방류량 그리고 조석의 영향 등으로 변화한다. 강과 인접한 지하수 관정에서는 조석변화의 영향을 직접 받고 있으므로 이를 이용하여 수리지질학적 특성을 파악할 수 있다. 본 연구의 목적은 한강수위의 조석영향과 수중보의 역할을 분석하고 한강 주변에서 지표수와 지하수의 수위변화 상관성을 이용하여 수리상수를 추정하며, 이런 상관성을 수치적 모델을 이용하여 재현해 보는 것이다. 각 지하수위 관측정에서는 한달 이상 수위관측을 실시하였다. 이를 이용하여 조석의 영향에 의한 인접 대수층의 수리지질학적 반응 특성을 구하였다. 한강에 인접한 대수층의 수위변화를 모의하기 위해 3차원 유한차분 모델인 MODFLOW를 이용하였다.

한강의 수리시스템

연구지역의 한강수위를 결정하는 요소로는 황해의 조석영향,

* 서울대학교 지구환경과학부(School of Earth & Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

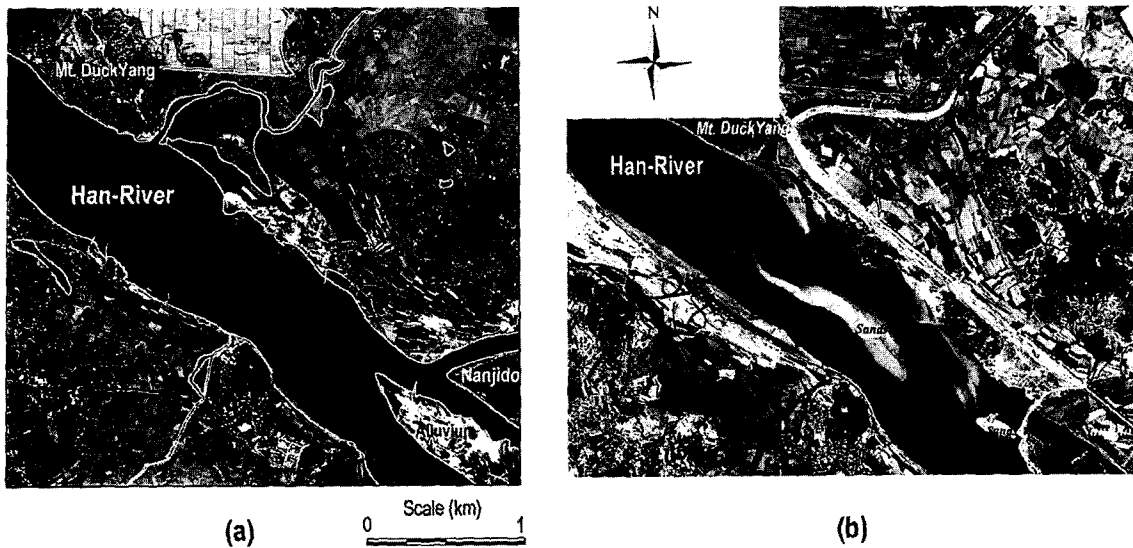


Figure 1. Aerial photograph series illustrating changes: (a) before the development in 1974; (b) during the development in 1981.

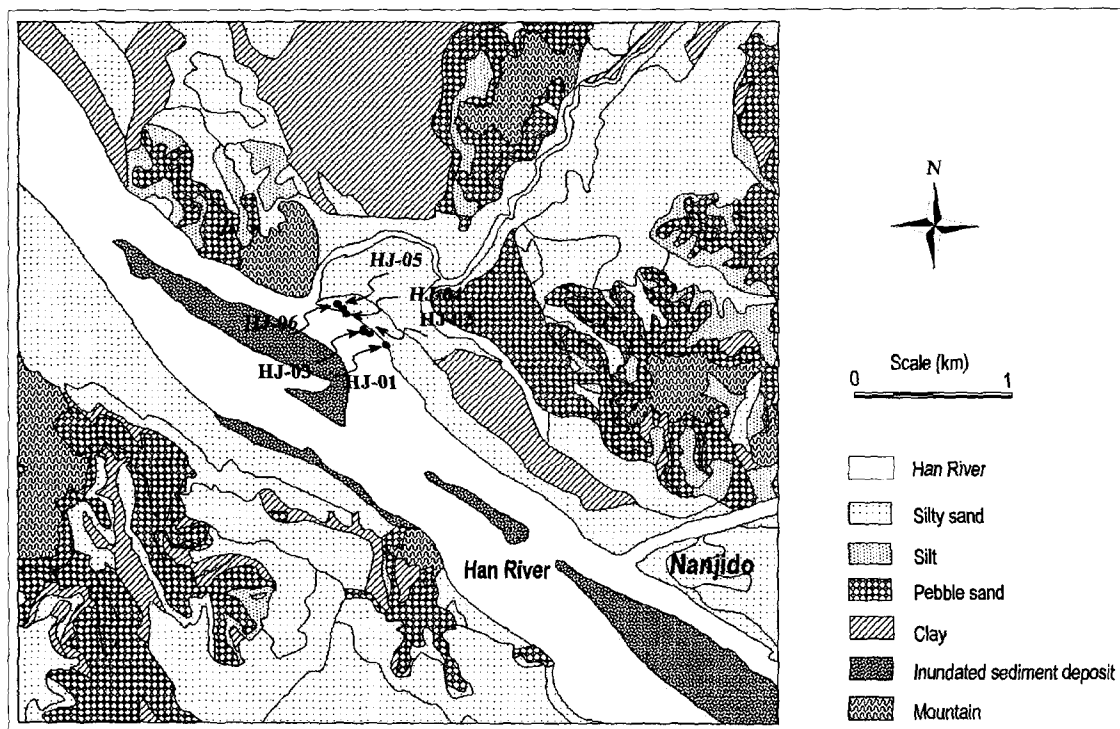


Figure 2. Superficial soil distribution around the Haengju area before the development of Han River.

강수량, 팔당댐 방류량, 잠실수중보 상류의 취수, 신곡수중보의 방류, 그리고 각 지천에서의 유입량 등이 있다. 이들 중 평상시 규칙적인 변화를 일으키는 요소로는 조석의 영향이 있으며 홍수시에는 팔당댐의 방류량과 각 지천의 유입량에 의해 주로 영향을 받는다. 특히, 조석에 의한 수위변화는 주기적이고 규칙적이다. 이러한 주기적인 수위변화가 한강변에 인접한 대수층의 지하수 흐름에 어떤 영향을 주는지 조사하여 대수층의 특성을 구할 수 있다. 한강의 경우 인천 앞바다 만조 후 강화대교까지 90분의 조시차로 만조가 발생하고 월곶까지는 115분의

시간 간격을 보인다. 행주산성까지는 230분의 시간이 걸린다. Table 1은 주요 지점의 인천항에 대한 조시차를 측정하여 나타낸 것이다.

이전조사

한강은 수도권 주민의 상수원일 뿐 아니라 농업 및 공업용수 공급원이므로 장기적인 수질보전 대책을 수립하고 정기적인 수질검사를 실시 중이다. 한강의 정기적인 수질검사와 더불어 각 유역별 지천들의 유입 상태 점검, 수질오염도 평가와 오

Table 1. Average full tide time for each site along Han River

위 치	표 준 항	평균 조시차
인천	인천	-
강화대교	인천	1시간 30분
월곶	인천	1시간 55분
신곡수중보	인천	3시간 18분
행주산성북단	인천	3시간 51분

염 부하량에 관한 연구가 다양하게 진행되고 있다(조용모 등, 1996).

한강에서 홍수 시 하천범람, 저지대 가옥의 침수, 하천주변 구조물의 침수 등에 대하여 기존의 홍수자료에 의한 통계적인 방법으로 예보 하기도 하지만 최근에는 수리학적 모형을 개발하여 사용중이다. 이는 하천의 흐름방정식을 수치계산법에 의해 해를 구하는 것으로 하천의 지형자료가 모두 입력자료로 사용되므로 실제 하천을 반영하는 물리적인 방법이다. 그런데 이는 실시간 보정 기능이 약하기 때문에 이상자료 발생시 대처 능력이 떨어지므로 하상변화가 심한 지역에서는 적용하기 어렵다. 팔당댐에서 행주대교까지의 구간을 대상으로 수리학적 모형을 이용하여 실시간 홍수예측모형을 개발하기도 하였다(한강홍수통제소, 1997).

한강종합개발

북한강 합류점에서 한강하구까지의 유로를 한강 본류라 하고 이 구간의 길이는 97 km이다. 행주대교에서 암사동까지 36 km 구간은 1986년 9월 준공된 한강종합개발 사업을 통하여 평균 수심 2.5 m, 하폭 725~1,175 m로 하여 수로를 안정화 시켰고 고수부지를 조성하여 공원화 하였다(서울시정개발연구원, 1995).

잠실수중보 상류의 한강수위는 평균 해발 6.31 m이나 하류에서는 평균 2.82 m이다. 신곡수중보는 고정보의 높이가 해발 2.40 m로 유지하는 기능을 하고 있다. 그러므로, 만조 시 잠실수중보에서 신곡수중보의 한강물은 모두 조수위에 영향을 받는다(Figure 3). 잠실수중보에서 신곡수중보까지 거리는 33 km 이고 한강 전체의 평균 유속은 초당 8 cm 정도이다. 팔당호에서 나온 물은 평균 108시간 후에 신곡수중보에 도달한다(서울특별시, 1994).

수중보

Table 2. Features of the rivers after development of Han River

한 강 구 간	길이(km)	하상고(m)	수하폭(m)	수위(m)	수심(m)	담수능 10 ³ m ³	유하(hr)	수로구조	평균유속(m/s)
상류~팔당호	0	-	-	-	6.7	244,000	-	-	-
팔당호~위커힐	18	-6.6~4.6	-	-	-	-	-	자연	0.3
위커힐~잠실수중보	2.25	-0.5~1.5	757	6.31	6.26	10,660	14.4	평준화	0.04
잠실수중보~성수대교	5.25	-2.0~0.0	569~695	2.82	3.82	12,670	17.1	평준화	0.09
성수대교~동호대교	3.75	-3.0~0.0	619~755	2.71~2.73	4.22	10,870	14.7	평준화	0.07
동호대교~한강대교	3	-3.0~0.5	592	2.56	4.26	7,570	10.2	평준화	0.08
한강대교~양화대교	6.25	-5.0~0.0	752~955	2.66~2.68	5.17	27,600	37.2	평준화	0.05
양화대교~신곡수중보	12.5	-3.0~0.0	1,062	2.66	4.16	55,200	74.5	평준화	0.05
합 계	51					124,570	108		0.05

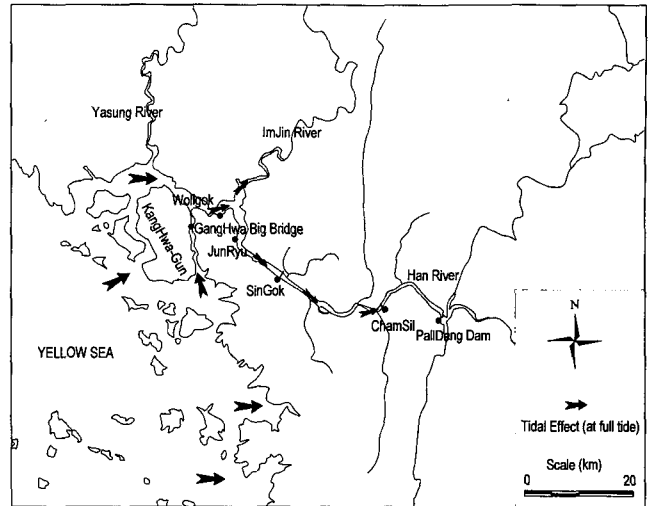


Figure 3. The effective zone of Han River stage fluctuation represented from estuary to ChamSil Sub Dam.

한강종합개발 후에 한강 수계의 특성 현황은 Table 2와 같다(서울특별시, 1994). 잠실수중보는 하천 환경개선과 취수수심 확보를 위하여 1984년 공사를 시작하여 1986년에 완공하였다. 고정보 668 m, 가동보 206 m, 높이가 6.2 m로 서울시를 통과하는 한강 본류의 유량을 조절할 수 있다. 가동보의 설치로 방류시 댐의 수문처럼 이용할 수 있다. 한강에서는 여름에 녹조 현상이 발생하면 정화를 목적으로 가동보를 열어서 깨끗한 물을 흐르게 한다.

용수 취수

1992년부터 서울시는 맑은 수원지 확보를 위해 한강하류의 취수장을 잠실수중보 상류로 이전하여 취수하고 있다. 팔당호에서는 하루 175만 m³, 팔당댐에서 잠실수중보 사이에서는 하루 444만 m³을 취수하고 있다. 9개 지역 취수장에서는 하루에 619만 m³의 시설 용량을 보유하고 있지만 평균 생산량은 하루 513만 m³이므로 시설 용량의 83% 정도를 생산하고 있다. 대규모 택지개발 등 급수량 수요 증가에 대비하여 더 많은 수원지 건설사업을 하고 있다(조임곤, 1997).

공업용수는 1994년 27개 업체에서 하루 67,000 m³를 취수하고 구로구의 수출공단에서 최고 하루 18,000 m³를 사용하고

있다. 농업용수로는 4월 중순부터 9월초까지 용수공급이 이루어지며 가뭄이 계속되면 많은 양이 김포평야로 유입된다. 그러므로 가뭄 또는 홍수에 따라 매년 많은 차이를 보이는 것이 특징이다. 농업용수도 1년에 약 4억8천만 m³ 정도의 양을 취수한다.

한강수위 변화 및 흐름

한강종합개발 사업은 수돗물 공급, 한강의 레저산업 등을 목적으로 1982년 착공하여 1987년에 완료하였다. 한강의 수리시스템은 이때를 기준으로 흐름이 한강종합개발 이전과는 다르게 나타난다. 한강수위에 영향을 주는 팔당댐 방류지점을 기점으로 바다 경계가 되는 월곶까지 91 km이고 그 중간에 한강하류 수위에 직접적인 영향을 주는 신곡수중보까지 거리는 54 km이다. 인천 해수의 만조시간과 신곡수중보의 만조시간의 차이(time lag)는 약 190분이다. 신곡수중보 보다 상류에서는 조석의 영향으로 수위가 2.4 m 이상으로 올라갈 때에만 영향을 받고 달의 인력이 적은 월중 3~4일은 한강수위가 신곡수중보의 높이까지 올라가지 못한다. 이 때는 신곡수중보 상류수위는 잠실수중보의 방류량에 의하여 결정되고 거의 일정한 수위를 보인다. 한강 본류에서 황해까지 수위 변화에 영향을 줄 수 있는 각 지점에서의 수위 변화는 Figure 4와 같다.

한강은 고조면(high water line)의 높이 변화가 거의 없으나

저조면(low water line)은 상류로 갈수록 높아지고 조차는 점차 작아지는 감소하천이다. 그리고 하류에서는 대조(spring tide)의 저조면이 소조(neap tide)의 저조면보다 낮으나 상류로 올라감에 따라 대조의 저조면은 소조의 저조면보다 높아진다. 특히 한강하류의 역전조류(reversing current)에서 창조류와 낙조류의 흐름 방향이 바뀔 때 유속은 순간 정지되는데 이러한 현상을 게조(slack tide)라 한다. 역전조류에서 조류는 급하게 상승하다가 차차 유속이 감소되어 흐름이 정지하는 게조 상태가 되고, 이러한 현상이 주기적으로 반복하는 것을 관찰할 수 있다. 고조에서 다음 고조까지의 시간 간격이 평균 12시간 25분으로서 매일 50분씩 늦어진다(한강홍수통제소, 1997).

국립해양조사원(National Oceanographic Research Institute, 1998)에서 제공하는 인천항의 시간별 실측 조수위 자료(1972~1994년)를 보면 인천앞바다의 조차는 보름과 그믐을 전후해서는 9.5 m 정도 변화하고 상현이나 하현 때는 4.5 m 정도의 조수간만의 차가 있다.

신곡수중보는 해발 2.4 m의 높이로 설치되어 있으므로 신곡수중보 하류의 한강수위가 이 높이 이상이 되면 서울지역의 한강수위에 영향을 주게 된다. 신곡수중보 하단의 수위를 관찰한 결과 하류에서도 인천 조수의 영향을 받는 감소하천의 특성을 보인다.

한강대교와 잠수교 수위는 같은 변화 경향을 보인다(Figure 4). 정밀수위 측정을 위하여 27시간동안 한강수위 변화와 대수

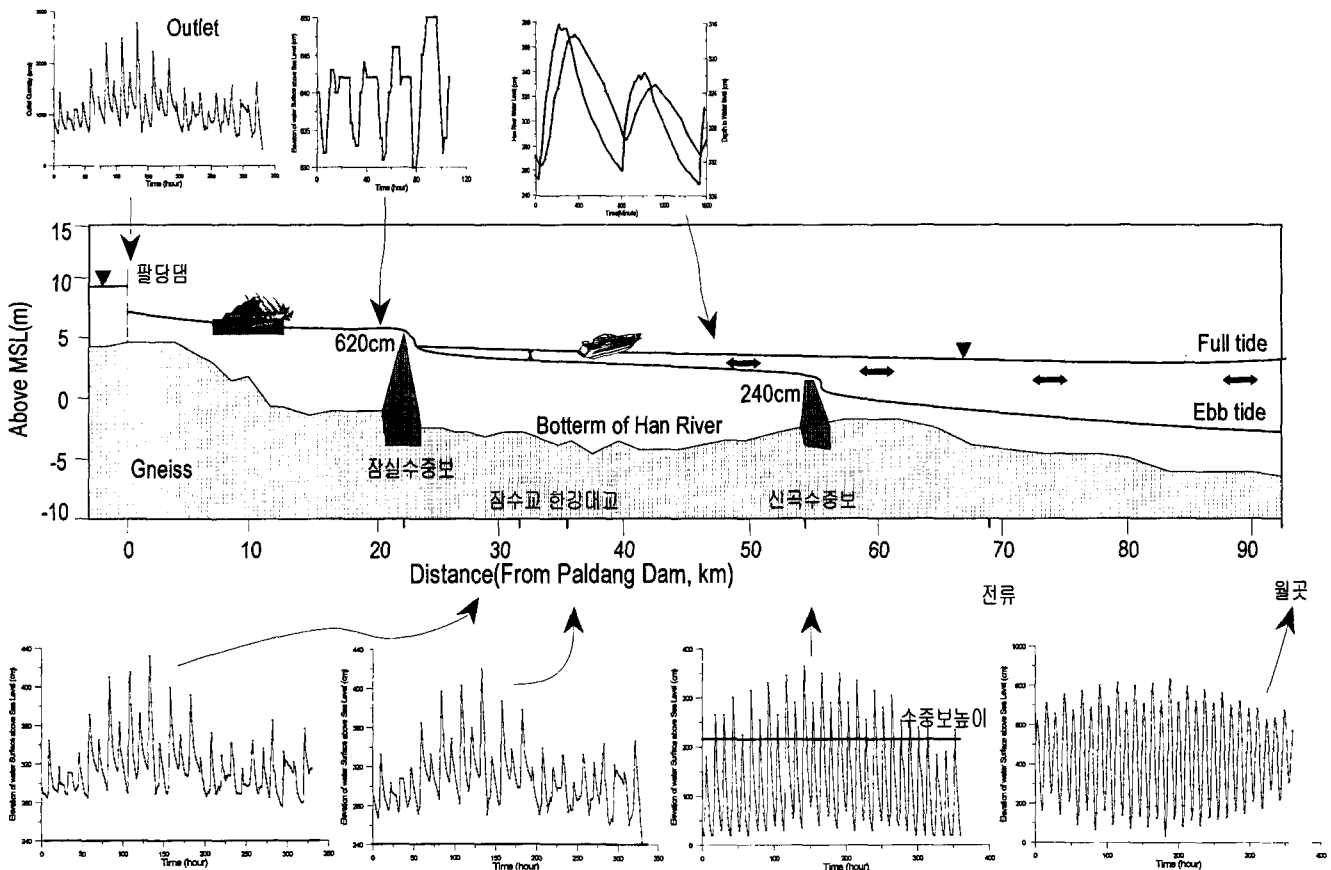


Figure 4. Fluctuations of systematic Han River stage by the tidal effect.

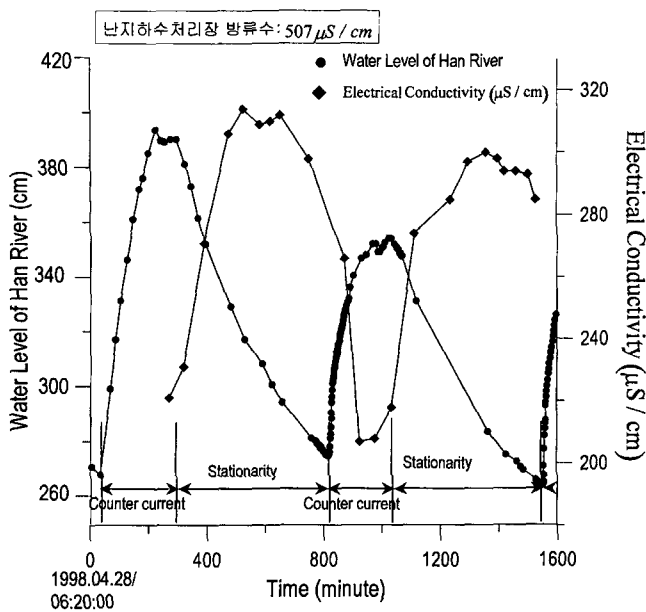


Figure 5. Daily variations of water level and electrical conductivity in the HaengJu site of Han River.

층에서 수위변화 관측을 하고 동시에 전기전도도(EC)를 측정하고 이를 분석하였다. 한강홍수통제소에서 제공한 한강대교와 잠수교관측지점에서 한강의 시간별 수위자료와 방류량 자료(1990~1997)를 분석하였다. 한강대교 측정의 수위변화는 신곡수중보 고정보의 영향으로 해발 2.60 m 이하로는 내려가지 않고 한달 중에 그믐과 보름의 전후로 가장 많이 받고 조수의 영향을 직접 받는 것으로 나타난다. 한달 중에 4일 정도를 제외하고는 조수의 영향이 신곡수중보를 넘어 서울지역의 한강수위에 영향을 준다. 한강대교 측정의 한강수위는 조수의 영향과 팔당댐의 방류량에 직접적인 영향을 받는다.

본 연구에서 측정한 지점에서의 한강물의 EC 분포의 변화는 한강의 오염원의 분포와 앞으로 분석한 한강에서의 물의 흐름방향의 역전과 관계가 있다(Figure 5). 난지하수종말처리장 방류구의 하북단 한강의 EC분포는 상류에서 하류로 정상적인 흐름이 발생할 때 EC의 분포가 시간에 따라 증가를 하다가 조석의 영향으로 흐름이 역류를 할 때는 EC가 낮아진다. 이는 관측점 400 m 상류에 난지 하수종말처리장에서 나오는 정화된 하수에 의하여 정상적인 흐름속에서 하류에 영향을 미치고, 역류가 발생하는 시점에서는 이러한 영향이 감소하여 오히려 EC 값이 낮아짐을 볼 수 있다. 하수처리장에서 방류되는 하수

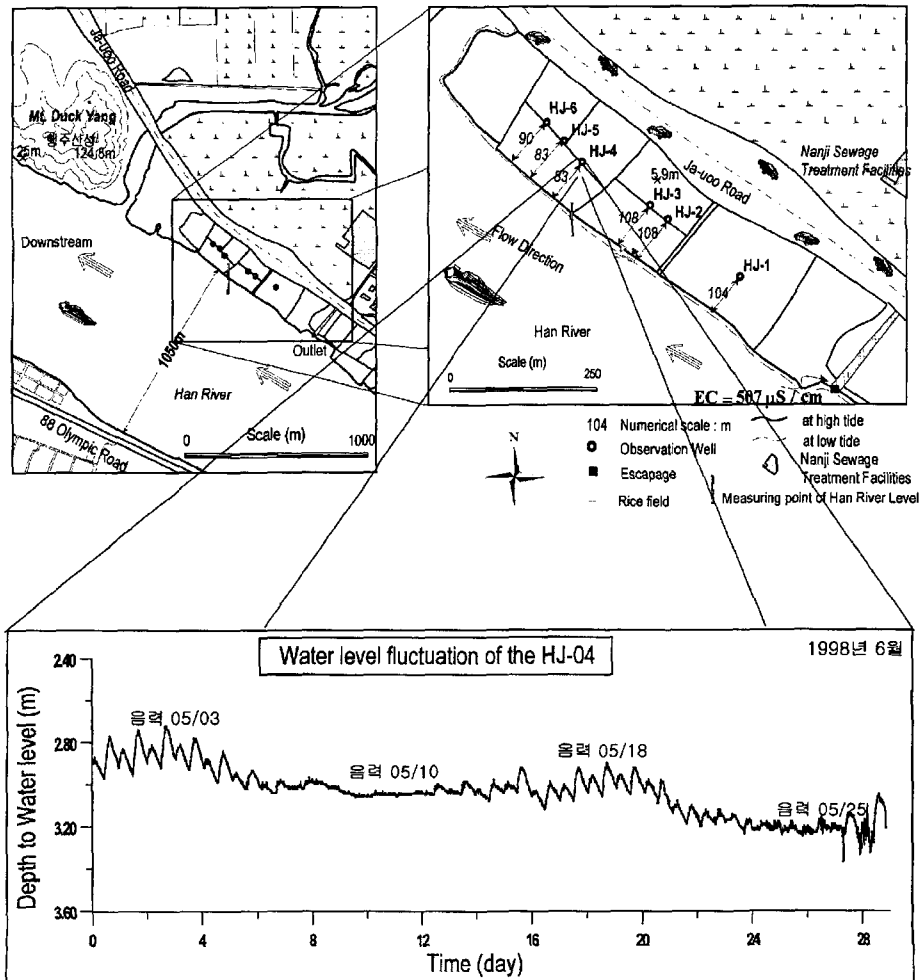


Figure 6. Map of the study area and groundwater level fluctuations in response to changes in Han River water level.

의 EC는 507 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 정도이다. 정상적인 흐름에서는 시간이 지남에 따라 정화된 하수량이 감소하므로 하류의 EC는 증가하다가 한강물이 역류하는 시점에서는 오히려 EC가 낮아지는 현상이 관측된다.

잠실수중보 상류에서는 수위변화를 4일 동안 계속 수동계측기로 측정하였다. 특징적인 수위 변화는 매일 새벽에 각 취수장에서 정기적인 양수로 인해 수위가 주기적으로 하락하는 특징을 보였다. 잠실수중보 하류에는 조석의 영향을 받지만 상류까지는 미치지 않는 것을 볼 수 있다. 평상시에 수위 변화의 폭도 20 cm 정도 이내이다.

수리지질학적 특성

연구 지역인 행주산성과 난지도 매립지 사이의 하상 퇴적층에서 한강수위 변화에 따른 자유면 대수층의 지하수위 변화를 조사하였다. 1998년 5월 한달 동안 관측정의 수위를 측정하였다(Figure 6). 각 관측정에서 측정된 수위 변화와 행주산성 북단에서의 수위자료를 이용하여 조수위 변화와 지하수위 변화를 분석하였다. Figure 7은 하루동안의 한강 수위 변동과 6개의 관측정에서의 수위 변화를 나타낸 것이다. 각 관측정의 수위의 변화폭은 조수위 변동에 따른 뚜렷한 영향을 보이고 있다(Figure 8, Table 3).

조석 현상을 이용한 투수량 계수 산정

관측정에서 조수위 변동 정점과 지하수위 변동의 정점간의 시간 차이는 지연시간으로 나타난다. 고조 때의 지연 시간은 평균 26~77분 사이로 다양하게 나타난다. 즉, 지하수 유동 방향 정식을 투수량 계수(T)와 저유계수(S)를 포함한 식으로 나타내

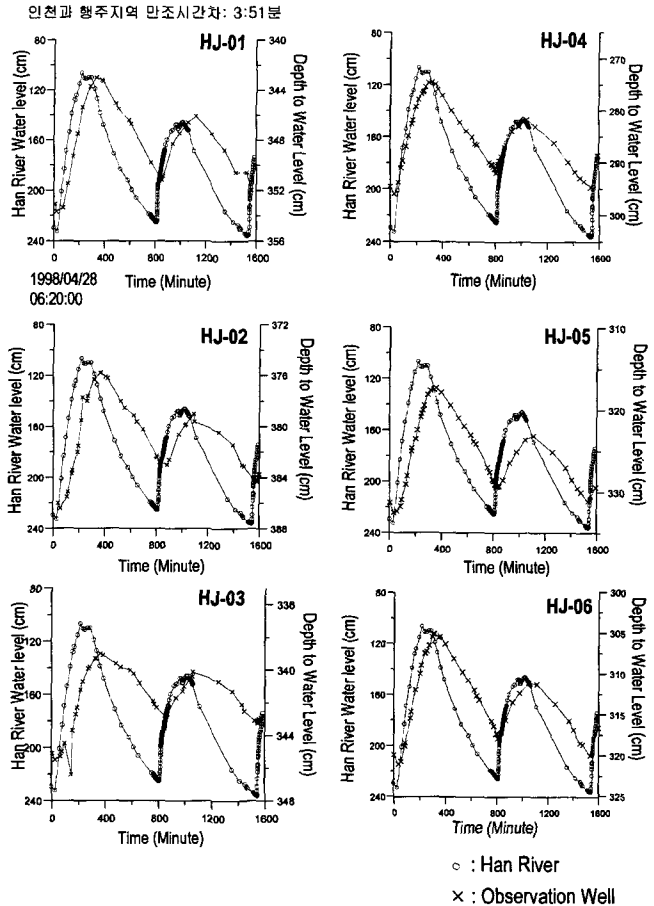


Figure 7. Groundwater level fluctuations in response to changes in Han River water level.

Table 3. Fluctuations of groundwater level and river stage by tidal effect

	Incho and Hangju interval (minute)	River level width (cm)	HJ-1	HJ-2	HJ-3	HJ-4	HJ-5	HJ-6
Well depth (m)			7.34	8.41	7.52	13.14	7.04	11.57
time lage (minute)	-	-	41	39	77	26	68	29
1 st cycle of water level fluctuation (cm)	231	126	10	11	7	21.5	15.2	15.9
2 nd cycle of water level fluctuation (cm)	287	90	6	5	3	13	8	9.9
Distance (m)			104	108	108	83	83	83

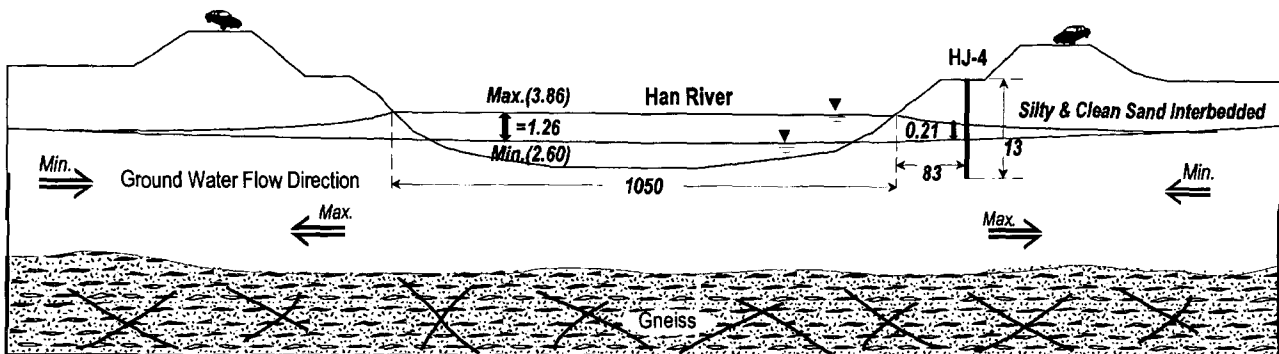


Figure 8. Schematic cross section of the Han River system and groundwater fluctuation zone.

면 조석 현상에 의한 지하수위의 변화는 다음과 같은 방정식의 해를 구함으로써 구할 수 있다(Carlsaw and Jaeger, 1959).

$$T \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - S \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

투수량계수는 시간차이에 따른 거리 x만큼 떨어진 곳에서 한강의 변동폭과 지하수위 변동폭을 안다면 구할 수 있다. 위의 식은 원칙적으로 피압 대수층에 대해 적용되지만, 자유면 대수층의 두께와 수위 변화폭의 비가 작을 경우 적용할 수 있다. 이 방법은 해안 매립장과 같이 양수시험이나 순간수위변화시험으로 수리상수를 구하기 어려운 곳에서 적용 되기도 하였다(김윤영 등, 1996). 식(1)의 해를 이용해서 투수량 계수(T)를 구하기 위해서 두가지 방법을 이용할 수 있다.

첫째는 해수면의 변동폭과 x만큼 떨어진 곳에서의 지하수위 변동폭을 안다면 투수량 계수를 구할 수 있다. 두번째, 비교적 정확한 조수위와 지하수 수위변화 시간으로 부터 투수량 계수를 구할 수 있다. 지연시간(x지점과 한강에서 최고 지하수위와 최고 조수위 사이의 시간간격, Time lag)을 안다면 투수량 계수를 구할 수 있다. 자유면대수층에서의 저유계수의 일반적인 범위는 0.01~0.3 정도이다(Freeze and Cherry, 1979).

본 지역의 하상퇴적물 저유계수가 0.01~0.3일 때 투수량 계

수의 범위는 Table 4와 같다. 한강변에 설치된 관정의 심도는 8~13 m 정도이다. 여기서 한강수위 변화에 따른 대수층에서의 수위 변화값을 이용하여 수리전도도를 구하면 대략 $9.39\sim 4.02 \times 10^2$ m/day의 분포를 보이고 이는 퇴적물 입자 크기로 보면 실트와 가는모래 범위의 값을 보인다(Figure 9). 연구지역에서 한강종합개발 사업 이전의 대수층은 항공사진 관측과 토양도의 입자 크기를 비교해 보면 실트 또는 모래에 해당하는 지역으로 한강수위 변화에 따른 인접 대수층의 수리특성 연구는 타당한 결과로 보인다.

장기수위 관측

한강에서 350m 떨어진 압구정동의 구정초등학교에서 조석의 영향을 확인하기 위해 한달 동안 수위 관측을 하였다. 주변에 아파트 공사를 하기 전에는 모래로 된 층적층인 것으로 항공사진 상에서 관측된다. 지하수위의 분포가 조석의 영향으로 하루에 15~20 cm 정도까지 영향을 받는다(Figure 10). 이 관측 자료로도 창조지속시간과 낙조지속시간의 차이를 정확히 관찰 할 수 있다.

한강변 지하수위 변화 모의

조석의 영향으로 한강의 수위변화를 일으키는 인접한 대수층의 수위변화를 모의 하였다. 한강주변 지하수의 흐름특성을 규명하기 위해 3차원 유한차분 모델인 MODFLOW를 이용하였다(McDonald and Harbaugh, 1996). 관측정 6개의 시추자료, 한강개발 전후의 항공사진, 토양도 등을 기초로 총 8개의 층으로 나누어서 각각의 수리특성을 입력하였다. 한강 인접 지역에서 지하수 유동계에 미치는 영향을 고려하기 위해 관측정을 포함한 995×578 m 지역을 격자간격 9.5×9.5 m로 설정하였고 관측정이 있는 지역은 4.7×4.5 m로 세밀하게 설정하였다(Figure 11(a)). 상부층은 자유면대수층으로 설정하였고 최하부층은 불투수층(no flow layer)으로 설정하였다. 각 층에서의 하부경계(bottom boundary)를 고도로 설정하여 입력하였다(Figure 11(b)).

경계조건은 한강을 Head dependent boundary로 설정하였다. 각층의 수리전도도는 인접한 지역에서의 양수시험으로 계산한 수리전도도 값을 입력하였다. 수평수리전도도는 등방($K_x = K_y$)이라고 가정하였고 수직수리전도도(K_z)는 수평성분의 0.1로 하였다. 연구지역의 지하수 함양율은 층적층이므로 년 평균 강수량의 20% 함양되는 것으로 잡았다.

한강에 인접한 대수층의 3차원 유한차분 모의결과는 실제 야외에서 관측한 실측 수위와 비교하여 모델을 검증하였다(Figure 12). 비교결과 약간의 차이는 있지만 실제 관측된 수위와 계산된 수위는 거의 유사하게 나타난다. 한강수위 변화에 따른 대

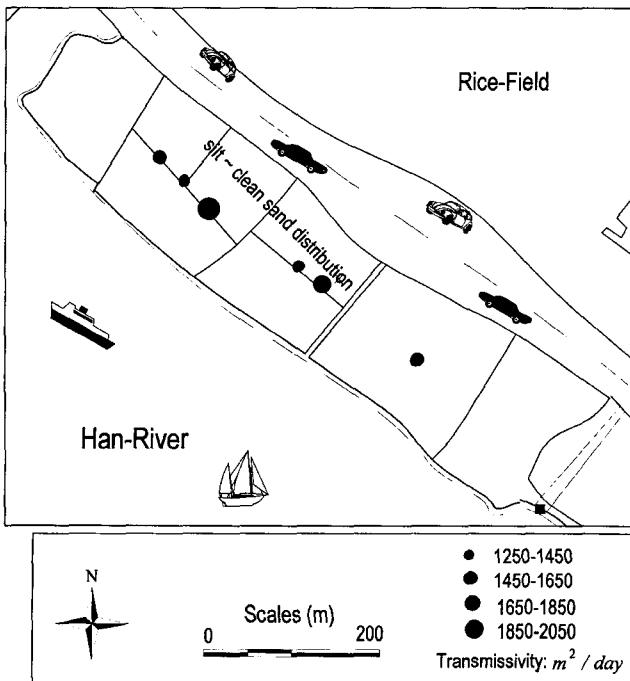


Figure 9. Distribution of transmissivity estimates at the Haengju Area.

Table 4. Estimated transmissivity and soil types

Well Number	HJ-01	HJ-02	HJ-03	HJ-04	HJ-05	HJ-06
S	0.01~0.3	0.01~0.3	0.01~0.3	0.01~0.3	0.01~0.3	0.01~0.3
T (m ² /day)	$1.027 \times 10^2 \sim 3.083 \times 10^4$	$1.196 \times 10^2 \sim 3.590 \times 10^3$	$8.517 \times 10^1 \sim 2.555 \times 10^3$	$1.344 \times 10^2 \sim 4.02 \times 10^3$	$9.398 \times 10^1 \sim 2.819 \times 10^3$	$9.813 \times 10^1 \sim 2.944 \times 10^3$
Soil type	Silty~Clean Sand	Silty~Clean Sand	Silty~Clean Sand	Silty~Clean Sand	Silty~Clean Sand	Silty~Clean Sand

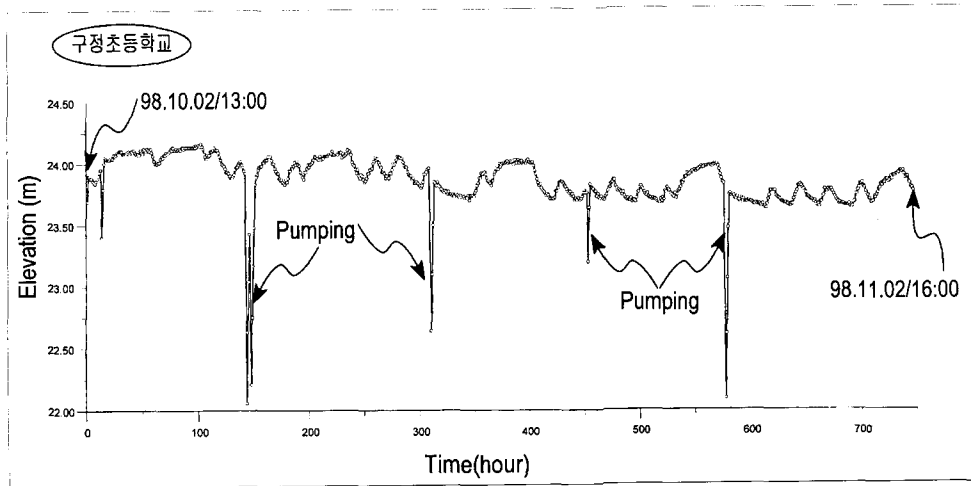


Figure 10. Fluctuation of groundwater level in response to the changes in Han river water level.

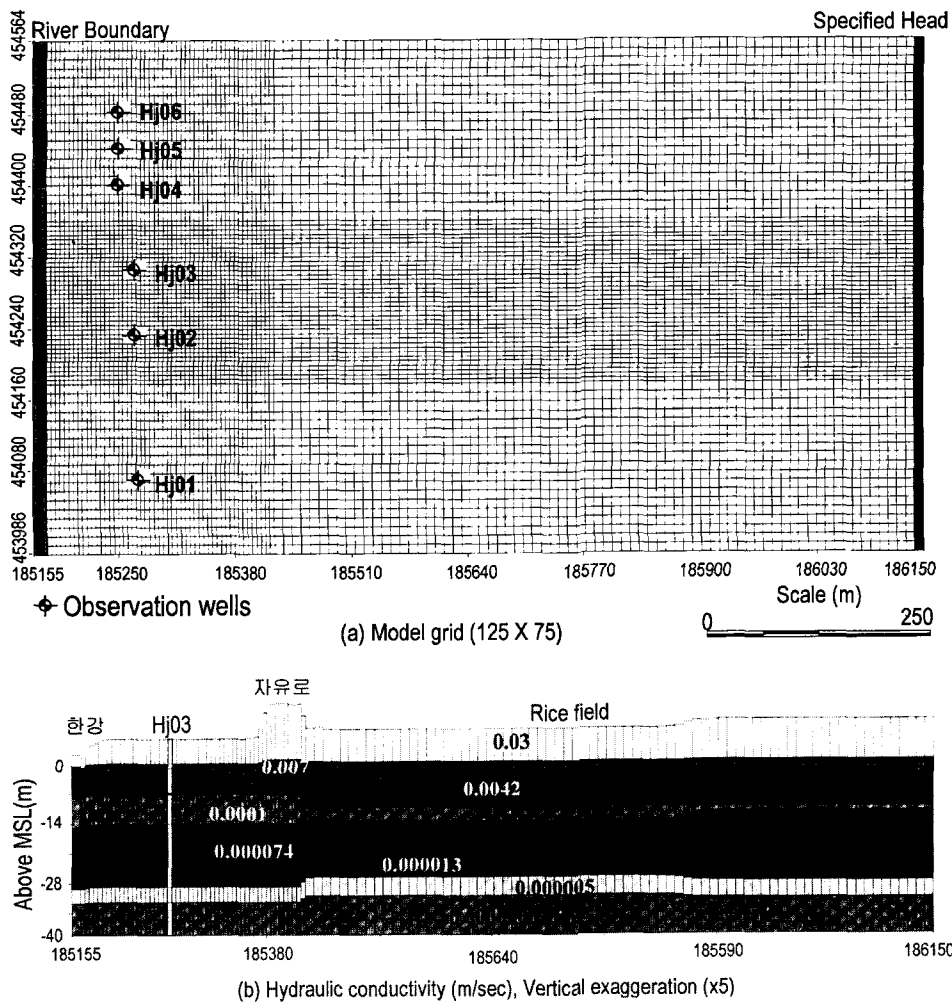


Figure 11. Schematic representations of grid configuration, model boundary conditions (a) and hydraulic conductivities (b).

수층의 수위변화를 모의한 결과 지역에 따라 차이는 있지만 약 380~500 m 범위까지 관측 가능한 정도의 영향을 받는 것으로 분석된다(Figure 13). 본 연구의 모의는 많은 입력 요소 중에

한강 수위에 의한 영향만 고려하였고 보다 정확한 모의 결과를 검정하려면 인접지역의 양수량, 강우량 등의 영향을 고려하여야 한다.

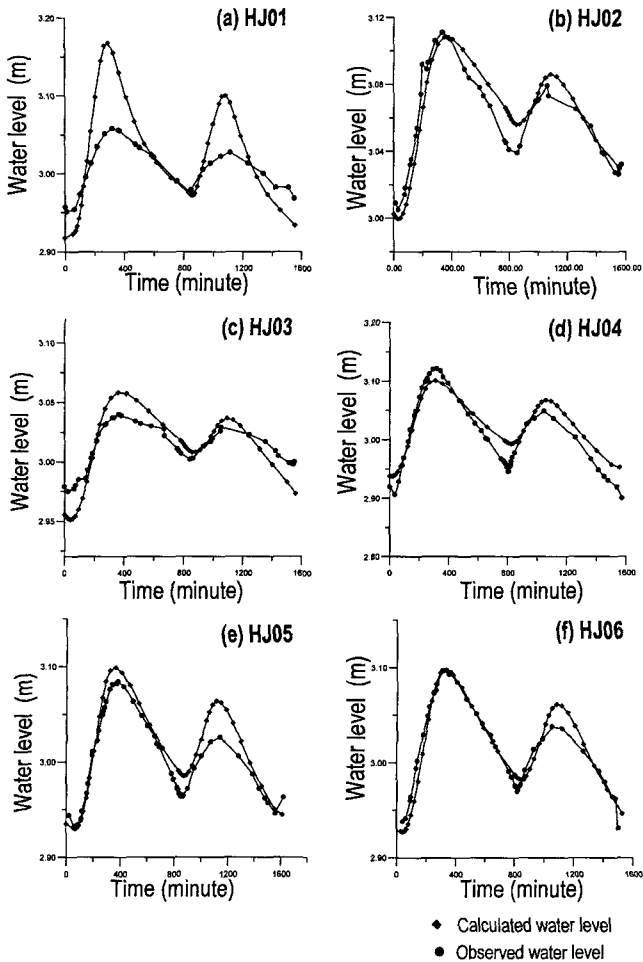


Figure 12. Results of transient simulations: Observed heads and calculated heads.

결론

한강의 수위는 강수량, 팔당댐의 방류량, 각 지천에서의 유입량, 상수원인 취수장에서의 양수량, 그리고 조석영향 등의 복합적인 작용으로 결정된다. 한강수위 변화에 의한 주변 지하수에의 영향을 파악하기 위해 먼저 한강수위의 구간별 변동 특성과 그 원인을 분석하였다. 평상시의 한강수위에 지배적인 역할을 하는 것은 상류와 하류구간에 따라 댐방류량과 조석의 영향으로 나타났으며, 조석의 영향과 물의 역류를 수중보가 적절히 제어하고 있음을 파악하였다. 이의 주기적인 변화를 이용하여 수리지질학적 특성을 구할 수 있다. 일반적인 하천의 오염 특성은 하류 오염으로부터 상부지역은 안전하지만 한강에서는 약 25시간마다 두 번씩 주기적으로 역류를 하므로 오염원의 상류도 오염으로부터 안전할 수는 없다.

조석영향 때의 고조수위 발생시간과 관측점에서의 최고수위 발생시간의 차이인 지연시간을 이용하여 투수량 계수를 계산한 결과 $9.0 \times 10^1 \sim 4.0 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{day}$ 의 범위로 산정되었다. 지하수 유동모델인 MODFLOW를 이용하여 한강이 조석의 영향으로 수위가 상승함에 따른 인접한 대수층의 수위변화를 모의

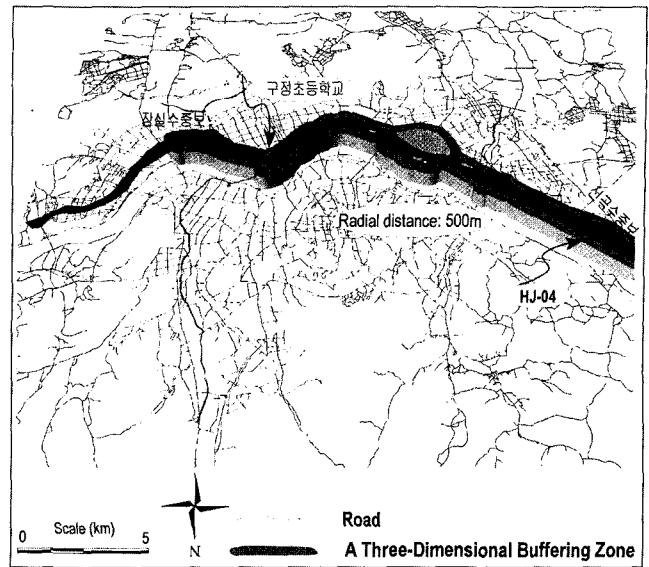


Figure 13. Radial distance buffered by ARC/INFO function. Buffered zone implies that the effect of water level fluctuation in the river fully attenuates at the zone boundary.

하였다. 보다 정확한 모델검정을 위해서는 관측점의 추가 설치 및 더 많은 수리시험을 실시하고 이들 자료를 근거로 하여 가장 타당한 상황을 모사할 수 있다. 모의 결과 한강에 인접한 대수층은 지역에 따라 차이를 보이기는 하지만 한강에서 350 m 떨어진 압구정동 구정초등학교에서 조석의 영향이 한달 동안 수위 관측으로 확인되었다.

참고문헌

김윤영, 강동근, 이강근, 1996, 포항 지역 해안 투기 매립장의 수리 특성에 관한 연구, 3, p.1-8.
 서울시정개발연구원, 1995, 수질오염측정망 구성을 위한 조사연구: 한강의 자동측정망을 중심으로, 서울시정개발연구원, 229p.
 서울특별시, 1994, 한강생태계 조사연구, 서울시정개발연구원, 640p.
 조용모, 이연희, 홍헌표, 1996, 수돗물 직결공급체계 도입에 관한 연구, 서울시정개발연구원, 178p.
 조임근, 1997, 서울시 상수도사업의 경영효율화 방안: 수도시설 보수자회사 설립타당성 검토, 서울시정개발연구원, 133p.
 한강홍수통제소, 1997, 수리학적 모형을 이용한 한강상류부 하도의 홍수예측모형 개발, 한국건설기술연구원, 272p.
 Carslaw, H. S. and Jaeger, J. C., 1959, Conduction of Heat in solids, Oxford University Press, second edition, 510p.
 Freeze, R. A. and Cherry, J. A., 1979, Groundwater, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 604p.
 McDonald, M. G. and Harbaugh, A.W., 1996, A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model, Techniques of water Resources Investigations of the U.S. Geological Survey, 750p.
 National Oceanographic Research Institute, 1998, 국립해양조사원 (www.nori.go.kr) 홈페이지, 해양자료실(조석관측자료실).