

論 文

都市化에 의한 地下水環境의 變化

Environmental Change of Groundwater due to Urbanization

金 水 源* · 裴 相 根**

KIM Su Won · BAE Sang Keun

Abstract

To evaluate the change of the groundwater flow and the water table response resulting from urbanization, two cases of the transient three-dimensional numerical simulations were performed. Variations of the groundwater flow system caused by withdrawals were analyzed. Two cases of infiltration rates were applied in this study to verify the water table changes. One is the rate under the circumstance during 1994 and the other is the revised rate. The numerical results from this study indicated that groundwater flow was influenced by human impacts. Groundwater flow has been concentrated to Taegu Textile Complex area where had large amount of pumping. Water table so far decreased -2.76m a year due to withdrawals. Water tables of many points were increased more than 30cm when the surface was reformed by infiltrating the rainfall. It was appeared that the improvement of surface to recharge the precipitation was very important to preserve and manage for the groundwater.

1. 서 론

우리나라의 수자원은 비교적 풍부한 편이나 계절적으로 편기된 강우분포, 급한 하상경사, 노출된 기반암, 편협한 대수층의 발달 등 복합적인 자연조건으로 인하여 종합적인 수자원계획을 수립하는 것이 쉽지 않다. 수자원으로서 지하수는 지표수와 상호 밀접한 관계를 맺고 있으며 지하수의 존재양상이 유출에 큰 영향을 미침으로 지하수와 지표수와의 관계를 고려한

수자원계획이 필요하다. 산업의 발달과 더불어 물수요가 급증하고 있으며 계절적으로 편기된 강우분포도 한 요인으로 작용하여 국지적이고 한시적 이기는 하나 물부족 현상이 나타나고 있다. 지하수는 물공급에 있어서 안정된 성격을 가지며 질 또한 양질이어서 지하수개발의 효용성이 크며 산업의 발달과 더불어 증가하는 물의 수요에 대처하기 위해서는 지하수개발이 대단히 필요하다. 지하수자원의 개발에 대한 필요성이 보다 많이 요구됨에 따라 여러지역에서 대규모 양수가 이루어지게 되었다. 지하수는 강수의 침투와 주변 지표수와의 교류를 통해 균형을 유지하며 함양, 유동 그리고 유출의 과정을 그치게 된다. 도시지역에서는 도시화에

* 계명대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 계명대학교 공과대학 토목공학과 부교수

파른 도로를 포함한 재반 시설물의 불투수성 재료를 사용한 포장면적의 증가로 인하여 강우 침투율의 저하를 초래하고 있다. 강우에 의한 지하수 함양량의 감소는 지하수위의 저하를 초래하여 지하수유동에 영향을 미치게 되며 지하수가 고갈될 뿐만 아니라 지하수 오염을 촉진시키고 지반침하를 일으키는 등의 지하수재해가 발생될 수 있다. 지하수 재해가 발생하면 경제적 손실이 클 뿐만 아니라 그 회복에 대단히 긴 기간이 소요되기 때문에 이에대한 예방이 대단히 중요하다. 도시지역에서는 지하수개발 수요가 많고 그 양도 대규모 양수를 요구하기 때문에 지하수에 대한 종합적 대책을 수립하여 지하수 환경을 보존하여야 한다. 지하수환경은 도시환경에서 대단히 중요한 요소임에도 불구하고 이에 대한 이해부족과 해석의 어려움 등으로 인하여 도외시 되어온 실정이다. 따라서 본 연구에서는 대구시 지역을 모델지역으로 설정하여 도시화에 의한 지하수의 대규모 암수와 침투율 저하가 지하수유동과 지하수위 변화에 미치는 영향을 파악하기 위하여 3차원 지하수 모형을 이용하여 지하수 유동에 미치는 인위적인 영향을 파악하며 1994년의 상태하에서의 침투율과 개선된 침투율을 적용하여 침투율의 변화에 의한 지하수위의 변화를 살펴봄으로써 도시지역의 지하수 보존에 기여할 수 있다고 여겨지는 침투율의 개선이 지하수환경에 미치는 영향을 예측하고자 한다.

2. 연구지역의 개요

연구대상지역은 대구광역시의 중심부로 금호강 하류부이다. 본 지역에는 대구시를 관통하여 북류하는 금호강의 지류인 신천이 위치하며 지역적 분지를 형성하고 있다(그림 2.1).

본 지역은 중생대 백악기의 퇴적암이 주가 되며 국지적으로 퇴적암을 관입하는 화성암이 존재한다(자원 개발연구소, 1979). 본 지역에는 심도가 7-13m에 달하는 흥적층이 존재하며, 하천 연변에는 질트가 7-8m에 달하는 선상지를 포함하여 심도가 3-4m정도의 충적층이

널리 분포하여 본 지역의 주요 대수층을 구성하고 있다. 또한 1-2m의 풍화대가 암반층의 상위에 잘 발달하고 있어 물의 침투 및 상부 대수층의 역할을 하고 있다.

본 지역에 있어서의 Penman식으로 증발산량을 구할 수 있는 자료가 관측 되기 시작한 1978년부터 과거 16년간(1978-1993년)의 월 평균 강수량, 직접유출률 20%(조성기, 1987)로 가정하고 Penman식에 월 소비수량계수를 곱하여 구한 과거 16년간의 월 평균 실제증발산량을 뺀 과거 16년간의 월 평균 침투량이 표 2-1에 제시되어 있다. 이 표에 의하면 본 지역의 년 평균 강우량은 1074mm이고 년 평균 침투량은 349mm임을 나타내고 있다.

표 2-2에 1990년의 대구시 지하수 사용량이 제시되어 있다(대구시, 1990). 본 표에 의하면 대구시에는 3974개의 우물에서 1990년에 18,726,135m³/year를 양수하고 있음을 알 수 있다. 대구시의 연도별 지하수 양수량은 1986년 9,386,740m³/year, 1988년 15,666,030m³/year, 1989년 16,021,594m³/year로 매년

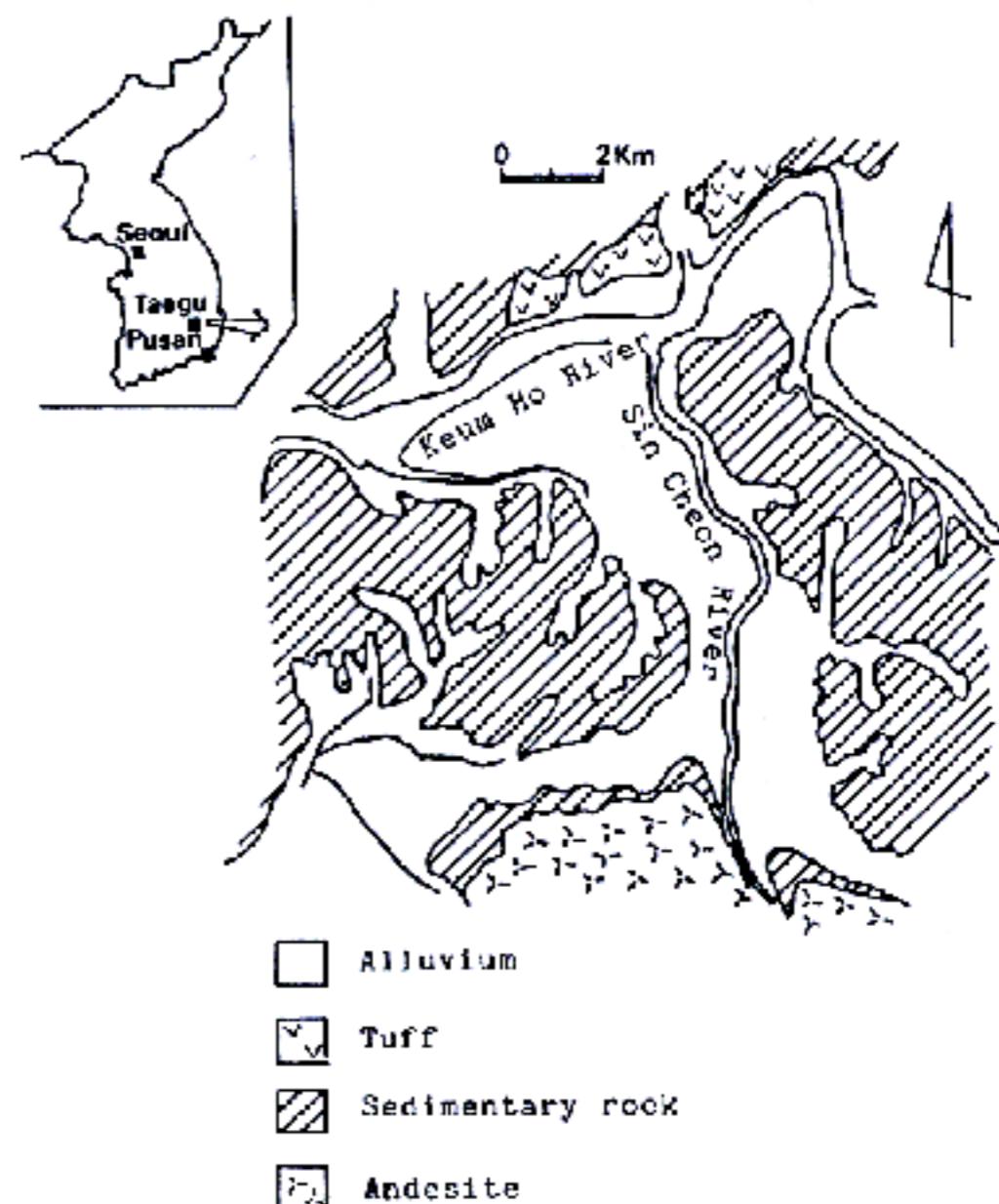


그림 2-1. 연구지역과 지질분포

表 2-1. 대구지역의 1978~1993년의 월평균 강수량 및 월평균 침투량. 단위는 mm.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
강수량	22.3	33.6	51.9	69.6	68.1	148.9	227.5	223.7	138.9	39.1	33.8	16.6
침투량	3.5	5.6	2.6	8.3	5.1	49.9	106.1	102.1	59.6	4.3	1.1	0.5

表 2-2. 1990년의 대구시 지하수사용량

(단위: m³)

월	계	본 청	중 구	동 구	서 구	남 구	북 구	수성구	달서구
1	1,278,910	31,286	114,853	100,753	202,441	72,783	514,075	106,122	136,597
2	4,544,065	31,180	154,206	152,421	231,864	87,375	541,200	155,796	190,023
3	1,497,304	27,998	156,370	145,955	219,616	88,755	505,438	195,768	157,404
4	1,504,789	33,572	131,638	149,399	247,151	90,470	522,260	169,198	161,101
5	1,582,767	33,376	142,027	154,219	254,486	95,083	571,812	165,418	166,346
6	1,661,286	30,505	138,633	177,684	285,924	88,850	569,867	200,961	168,862
7	1,614,686	28,756	139,985	148,367	279,940	82,332	590,092	182,906	162,308
8	1,534,976	37,398	128,577	155,104	267,182	69,736	570,603	176,396	129,980
9	1,566,363	32,833	145,342	151,098	303,719	50,495	568,049	166,338	148,489
10	1,684,419	32,395	149,305	174,435	320,963	73,026	606,876	179,633	147,786
11	1,650,557	32,907	140,651	162,150	310,916	83,760	595,433	180,625	144,115
12	1,606,013	30,242	145,049	161,035	263,991	89,872	589,728	185,754	140,342
계	18,726,135	382,448	1,686,636	1,832,620	3,188,193	972,537	6,745,433	2,064,915	1,853,353
우물수	3,974	1	516	1,027	328	246	772	572	512

증가하고 있다.

3. 기초방정식과 수치해석

Darcy식과 연속방정식으로부터 유도되는 3차원 지하수 유동방정식은 다음식과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - S_s \frac{\partial h}{\partial t} + W(x, y, z, t) \quad (3.1)$$

여기서, h : 수고수두, K_{xx} , K_{yy} , K_{zz} : 투수계수, x , y , z : 좌표축, S_s : 비저류율, W : 단위체적당의 flux, t : 시간.

지하수의 흐름을 지하수면 표고에 의하여 시배되는 유체 포텐셜흐름으로 취급함으로써, 지

하수면에 기복이 있는 경우의 흐름의 상을 도형적으로 해석한 Hubbert(1940)의 연구는 지하수 유동연구의 효시가 되었다. 이 연구를 기초로 하여, 지하수의 지역적 유동에 관한 연구가 시작되었으며, 전자계산기의 발달에 힘입어 Toth(1963), Freeze and Witherspoon(1966, 1967, 1968), Freeze(1971), Gupta and Tanji(1976), Gupta et al.(1984), Bae and Kayane(1987), 裴와 楼根(1987), 배(1989, 1990), 裴 등(1990, 1991)의 연구에 의하여 다양한 지형, 지질분포 조건하에서의 광역 지하수유동에 관한 3차원해석에 의한 해석적인 검토가 가능한 단계에 까지 이르렀다.

본 연구에서는 대구시 일원의 도시화에 의한 지하수의 대량양수가 지하수유동에 미치는 영향과 침투량의 변화가 지하수 수위변화에 미치는 영향을 파악하기 위하여 3차원 비정상 지하

수 모의발생을 행하였다. 모의발생은 식 3.1의 기초방정식을 토대로 Bae and Kayane(1987)의 방법을 사용하였다.

모의발생에 사용한 격자망분할도가 그림 3-1에 나타나있다. 계산 대상지역의 북측 및 동측 경계의 일부는 금호강이며, 동측경계중 금호강 이외부분은 분수계이다. 서측경계는 남측의 산지에서 형성된 계곡을, 남측경계는 기반암의 노출지역을 각각 설정하였다. 격자간의 간격은 $X(j)$ 방향과 $Y(i)$ 방향이 500m이며, $Z(k)$ 방향은 10m로 설정하였다. Z방향의 격자점은 우물의 깊이가 100m를 넘는 곳이 있어서 이들 우물에 의한 양수의 영향을 고려할 수 있게 하기 위하여 지표면에서 부터 표고 -200m 지점까지

를 설정하였으며, 표고 -200m의 수평면을 하부경계로 하였다.

지층은 충적 및 홍적층, 풍화층, 퇴적암층의 3개 지층으로 구분하였다. 각 지층의 층후는 충적 및 홍적층은 2층, 풍화층은 충적 및 홍적층의 하위 및 퇴적암층의 상부에 존재하며 1층, 그 하위에는 전부 퇴적암층으로 설정하였다. 각층의 투수계수의 값은 충적 및 홍적층은 $1.7 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$, 풍화층은 $5.0 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$, 퇴적암층은 $1.0 \times 10^{-6} \text{ cm/sec}$ (한국동력자원연구소, 1985, 1986, 1987)이며 이방성은 10으로 하였다(배, 1991).

초기조건은 배(1991)의 3차원 정상 모의발생 결과를 이용하였다. 경계조건은 금호강과 신천이 위치하는 지점에서는 일정수두경계, 그 외 지점의 지하수면을 자유수면경계로 하였으며 측면 및 하부경계는 불투수경계로 하였다. 강우의 침투는 과거 16년간(1978-1993)의 월 평균강수량에 유출계수를 곱한 후 Penman식으로 구한 과거 16년간의 월평균 중발산량을 빼값에다 지표면의 구별(區別) 포장을(표 3-1)을 고려하여 결정하였다. 포장을은 대구시(1994, 1995)의 자료를 토대로 결정하였다. 개선가능 강우침투면적(표 3-1)은 대상지역에 포함된 내지면적의 90%, 공장면적의 80%와 소도로로 하였다. 개선가능 강우침투율은 구별면적 대 현재의 비포장면적과 개선가능 강우침투면적을 합한 면적과의 비율로 정하였다. 강우의 침투는 1994년의 경우에는 비포장지역에서만 발생하며 침투율이 개선된 경우에는 비포장지역과 개선가능 강우침투지역에서 발생한다고 가정하

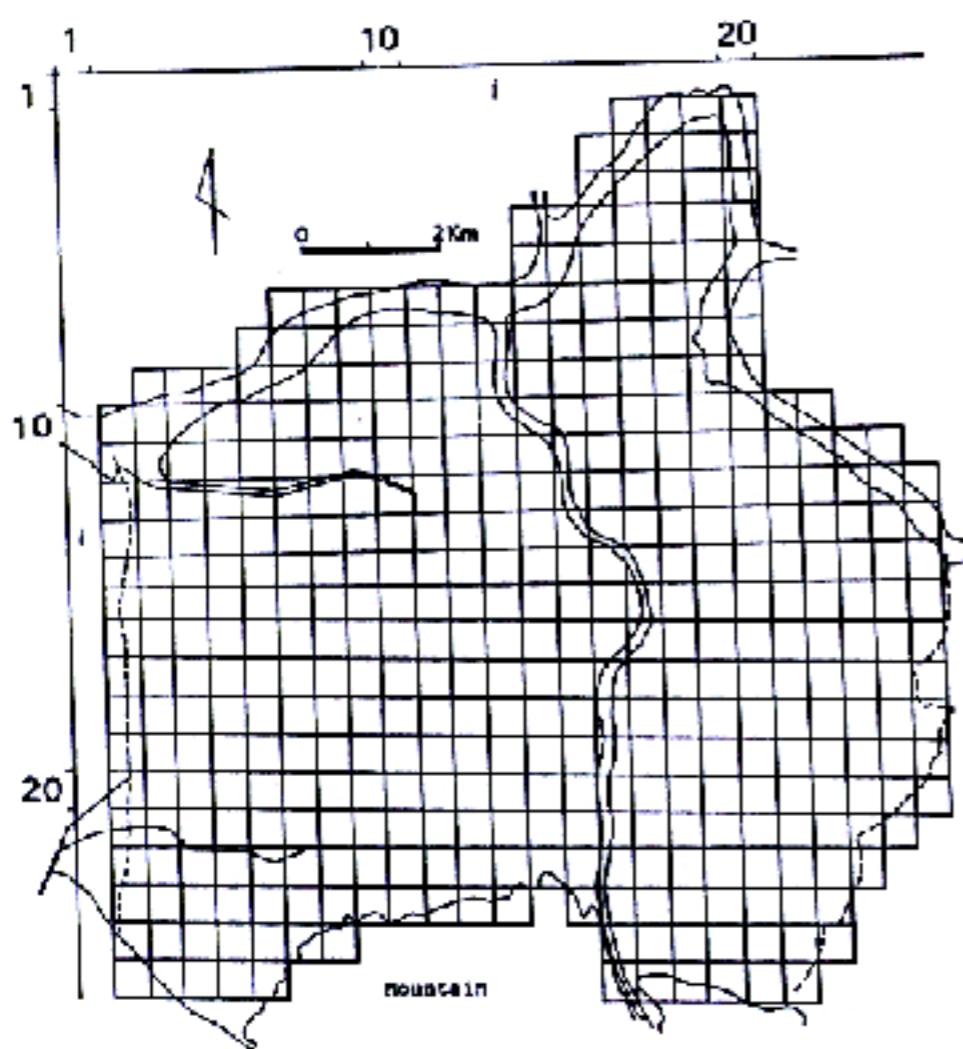


그림 3-1. 모의발생을 위한 격자망 분할

표 3-1. 구별 강우침투율 및 개선된 강우침투율. 면적의 단위는 km^2 .

총면적	포장면적	침투면적	침투율	예상 면적	개선 침투율	
중 구	7.0	6.0	1.0	0.14	4.6	0.80
서 구	17.1	11.7	5.4	0.32	8.6	0.82
남 구	17.4	8.2	9.2	0.53	7.4	0.95
수성구	77.0	17.2	59.8	0.78	13.0	0.95
북 구	95.2	16.1	79.1	0.83	11.6	0.95
달서구	59.8	19.6	40.2	0.67	14.4	0.91
동 구	182.4	16.7	165.7	0.91	11.5	0.97

였다. 양수량 및 양수지점의 위치가 기지인 천정호와 심정호(대구시, 1990)에서는 그 지침의 양수량과 양수지점의 위치를 모형에 그대로 설정하였다. 우물의 위치를 알 수 없는 구별 양수자료(표 2-2)로 부터 얻은 양수량은 1990년의 구별 월평균 양수량에 구가 포함하고 있는 절점수로 나눈값의 양수량과 동일한 크기의 양수가 풍화층과 퇴적암층의 경계지점인 지표면 하 30m지점에서 일어난다고 가정하였다. 비저유율(Specific storage)은 $1.0 \times 10^{-4}/m$ (한국동력자원연구소, 1987)을 이용하였고, 지하수면이 존재하는 층에는 그 대신에 비산출률(Specific yield)을 사용하였다. 비산출률은 충적 및 홍적층에는 0.1, 풍화층에는 0.05, 그리고 퇴적암층에는 0.03(U.S.G.S., 1967)으로 하였다. 모의발생은 침투량의 변화가 지하수환경에 미치는 영향을 파악하기 위하여 1994년의 포장 상태에서와 침투율이 개선된 후의 2가지 경우에 대하여 실행하였으며 그 기간은 각각 1월 1일부터 일년간에 대하여 행하였다.

4. 결과와 고찰

3차원 비정상류를 해석하기 위하여 대표단면으로 동서방향으로는 금호강과 가깝고 지하수의 유출역에 인접하며 신천의 서측에는 대구섬유공단이 위치하는 $i = 10$ 단면, 지하수 함양역에 가까우나 조금은 낮은 지형을 형성하고 있어 산지부와 시가지지역과의 지하수유동에 커다란 영향을 미칠 수 있다고 여겨지는 $i = 20$ 단면의 2단면을 대표단면으로 설정하였다. 남북방향인 j 단면의 대표단면으로는 대구시의 중심부를 남북방향으로 관통하며 지하수 함양역으로서의 산지부의 역할과 유출역으로서의 하천 및 그 주변지역의 역할을 아는데 도움이 되리라고 여겨지는 $j = 10$ 단면, 신천 또는 그 연변을 가로 지르는 단면으로 신천이나 그 주변지역의 지하수유동 현상을 파악하기 위한 $j = 15$ 단면의 2단면을 설정하였다.

그림 4-1은 4개의 대표단면에 대한 3차원 비정상 모의발생 개시후 360일후의 포텐셜변화를

각 단면별로 나타내고 있다.

$i = 10$ 단면에 대해서 살펴보면 양수 지점을 중심으로 지하수유동계가 변화하여 복잡한 양상을 나타내고 있으며 이들지점을 중심으로 지하수가 유동하고 있음을 나타내고 있다. 특히, 3지점을 중심으로 지하수류가 집중하고 있음을 나타내고 있다. 본 단면은 대상유역 중 가장 양수가 많은 단면에 속한다. 지하수 유동경계는 2곳이나 대량 양수가 일으나는 영향으로 이들 지점으로 지하수류가 집중하여 양수지점으로의 지하수류집중이 탁월함을 나타내고 있으며 이들 지점이 지하수 유동경계와 같은 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 신천의 동측지역에서 하양된 지하수는 대규모 양수에도 불구하고 서측에 위치하는 유동경계 지점까지 유동함을 나타내고 있다. $j = 13$ 지역에서 대규모 양수를 하는 영향으로 신천으로부터의 함양이 일으나고 있음에도 불구하고 포텐셜의 하강이 두드러져 있음을 알 수 있다. 본 단면의 포텐셜분포로부터는 대구 섬유공단의 양수로 인한 지하수 합양원이 금호강의 하천수이기 보다는 신천의 하천수에 의한 것임을 알 수 있다.

$i = 20$ 단면의 포텐셜변화를 살펴보면, 포텐셜의 크기가 곳에 따라 조금씩의 변화가 나타나고 있으나 그 차이가 적으며 지하수 양수의 영향이 크게 미치지 않음을 알 수 있다. 유동계의 커다란 변화는 없으나 신천 연변에서의 지하수 함양과 유출현상에 적은 변화가 나타나고 있으며 남북방향의 지하수흐름이 약화되어 있음을 알 수 있다.

$j = 10$ 단면의 포텐셜변화로 부터 본 단면에 대한 지하수흐름을 해석하면 다음과 같다. 산지부 및 시가지지역에서 함양된 지하수가 금호강연안에 까지 도달하나 산지부에서 함양된 지하수의 일부는 $i = 16$ 지점으로 유동하여 이 지점에서 양수되며 일부는 금호강으로 유동한다. 시가지지역에서 함양된 지하수의 일부는 $i = 16$ 지점에서 양수되고, 그 나머지 대부분은 대구섬유공단지역의 양수에 의하여 양수되고 있음을 나타낸다. 본 포텐셜단면으로부터 대구

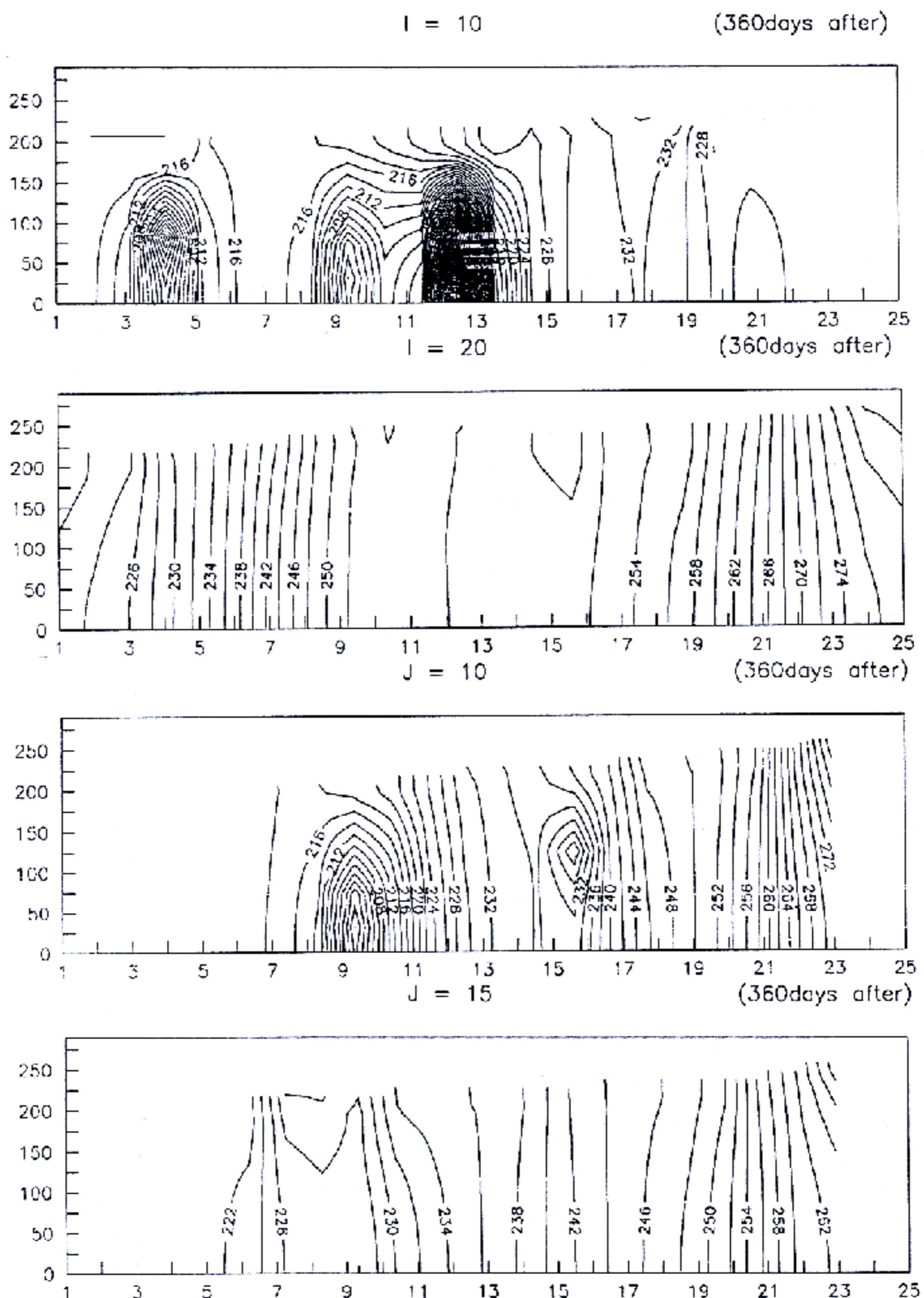


그림 4-1. 삼차원 비정상 지하수모형에 의한 연직단면의 포텐셜분포의 변화(360일후). 단위는 m. 횡축은 절점번호.

섬유공단의 지하수 양수량의 보충에는 산지부에서 함양된 지하수의 역할을 무시할 수 없으며, 시가지지역에서 함양된 지하수의 일부와 금호강의 하천수와 함께 지하수공급원으로서 중요한 역할을 할 수 있다.

$j = 15$ 단면의 포텐셜분포의 변화를 살펴보면 신천이나 그 주변의 상류부에서 함양된 지하수가 금호강 및 그 연안에서 유출함을 나타내며 유동계의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 전체적인 유동세의 변화는 거의 나타나지 않으나 신천으로의 유출량이 많이 줄어 들고 있음을 알 수 있다.

표 4-1과 표 4-2는 1994년의 침투율의 경우와 개선된 침투율의 2가지 경우에 대하여 실행한 모의발생의 결과 중 3차원 비정상 모의발생 개시후 360일후의 지하수면의 누적 변화량분포를 나타내고 있다. 1994년의 상우 침투상태에서의 지하수면 변화를 살펴보면 시하수면 변화량 분포가 전반적으로 양수지점 및 그 주변 지역과 함양역에서는 지하수면이 하강하고 있고

지하수 유출역에서는 지하수면이 상승하고 있음을 알 수 있다. 금호강 연변의 거의 대부분 지점에서 지하수위가 상승하고 있으며 신천 연면은 상류 및 하류지역에서는 지하수위가 하강하고 중류지역에서는 전반적으로 지하수위가 상승하고 있음을 나타내고 있다. 지하수위가 하천연변과 산록에서는 상승하고 있으나 시내의 대부분 지역에서 하강함을 나타내고 있다. 지하수면이 가장 하강한 지점의 하강고는 -2.76m이며 가장 상승한 지점의 상승고는 2.86m를 나타내고 있다. 시하수위의 변화량이 2m를 넘는 지점이 여고지점에서 나타나고 있으며 시가지 전지역에 걸쳐서 지하수면이 하강하고 있음을 나타낸다. 침투율이 개선된 상태에서의 지하수면 변화양상을 살펴보면, 360일 후의 지하수면의 변화양상은 침투율이 1994년과 같은 전자의 경우와 키다란 변하는 나타나지 않음을 알 수 있다. 그러나, 선 지역에 걸쳐서 전자의 경우 보다 지하수면이 상승하여 있음을 나타내고 있으며 상승 정도가 곳에 따

표 4-1. 삼차원 비정상 지하수모형에 의한 지하수면의 누적변화(360일후). 단위는 m.

(360일후)

	5	10	15	20	25			
5			0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00				
			0.00 0.00 0.00 1.94	0.00				
			0.00 0.00 1.41 1.28	0.00				
5			0.00 0.00 0.91 0.34	1.11 0.00				
			0.00 0.00 1.25 0.61	0.73 0.38	0.00			
		0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 -1.03 0.01	-0.51 0.00 0.00				
		0.00 0.00 2.00 0.88	0.33-0.21 0.00-0.87	-1.13-0.61 0.14-0.56	0.00 0.00			
	0.00 0.00 0.00 0.00	0.29-0.19-0.03-0.23	0.00 0.00-0.84-0.87	-0.52 0.25-0.66	0.00 0.00			
10	0.00 0.00 0.00 0.00	1.85 1.43 0.31-0.10	-0.24 0.55-0.16	0.00 0.00 0.03-0.26	-0.33-0.79-0.57	0.00 0.00 0.00		
	0.00 0.00 2.88 1.81	1.50 0.08 0.14-0.30	0.99 0.51 0.61	1.55 0.00 0.00 0.00-0.38	-0.37-0.81-0.42	-0.61 0.00 0.00 0.00		
	0.58 2.00 1.41 0.59	-1.42-0.79-0.19 0.93	-0.96-1.69-1.05 0.22	2.62 0.00 2.29-0.23	-0.46-0.41-0.01	-1.09 0.53 0.00 0.00 0.00		
	-0.06 0.93 0.35-0.61	-0.10 0.40 0.23-0.53	-0.18-0.46-0.36 0.39	2.08 0.00 0.00 1.11-0.64	-1.17-0.26-0.33	-0.23 0.62 0.88 0.00		
	-0.18 0.09-0.50	-0.74-0.32-0.16 0.27	-0.65-0.18-0.23	-0.19-0.17 0.54	2.56 0.00 0.00-0.49	-0.81-0.02-0.26	-0.26 0.00-0.03 0.00	
15	-0.49-0.63-0.96	-0.19 0.20 0.18	0.40-0.14-0.21	-0.27-0.03-0.65	-0.98 0.60 2.70	0.00-0.06-0.60	-0.50-0.02-0.07	0.60-0.19-0.36
	-1.02-0.43 0.56-0.05	-0.21 0.08-0.13	-0.14 0.25-0.23	-0.17 0.65-2.24	1.04 0.00 0.00 2.16-1.57	-0.36-0.17-0.28	0.00-0.27-0.37	
	-0.26-1.09-0.01-0.01	0.56 0.36-0.01	0.61-0.58-0.21	0.19 0.02-1.57	0.58 0.00 1.90 1.65	-0.52-0.65-0.21	0.59 0.40-0.16-0.77	
	0.37 0.00-0.91	1.42-0.10 0.00-0.74	-0.12-0.48-0.25	1.27-0.99-0.55	0.84 0.00 1.18 1.32	-0.33-0.13-0.10	-0.24-0.19 0.37-0.33	
	0.00 0.46 1.05-0.86	0.31 0.03-0.17	-0.31-0.12 0.43	-0.84-0.03 0.22	1.02 0.00 0.76 0.14	0.96 0.01 0.30-0.38	-0.32-0.18-0.46	
20	0.69 0.63-0.04	-0.33-0.10 0.13	0.16-0.07-0.03	0.49-0.03 0.02	1.98-0.09 0.00-0.43	-0.03-1.30 0.10 0.01-0.30	-0.40-0.38-0.36	
	1.00 0.00 0.00 0.33	-0.14 0.40 0.27	0.90 0.22 0.16-0.48	0.66-1.55-1.01	0.00-1.00-0.46	-0.03 0.69-0.13-0.42	-0.59-0.34	
	0.00-2.29 0.00 0.00	0.00 0.00 0.49	0.00-0.64-1.96	-2.47-2.77-2.42	0.00-0.98 0.80	1.21-0.72-0.16-0.48	-0.38	
	0.00-1.68-0.80	0.00-0.66-1.68	-2.60-0.43-0.65	-0.71-0.53-0.52	-0.47 0.00-1.40	0.68 0.06-0.84	-0.54-0.24	
	0.00-1.33 0.43-0.48	-1.25-0.97-1.15			0.00-2.70-2.18-2.30	0.00-0.92-0.25		
25	-0.73-0.05-2.03	-0.39-1.57			0.00-0.90-0.59	-0.55-0.41-0.25		

표 4-2. 개선된 강우침투율을 적용한 삼차원 비정상 지하수모형에 의한 지하수면의 누적변화(360일후). 단위는 m.

(360일 후)

	5	10	15	20	25					
5										
			0.00 0.00 0.00 0.00							
			0.00 0.00 0.00 1.94	0.00						
			0.00 0.00 1.38 1.28	0.00						
			0.00 0.00 0.00 0.89	0.33 1.11	0.00					
			0.00 0.00 1.22 0.58	0.72 0.38	0.00					
		0.00 0.00 0.00 0.00	0.00 0.00 -1.06 0.01	-0.51 0.00 0.00						
		0.00 0.00 2.00 0.88	0.33-0.21 0.00 -0.87	-1.13 -0.61 0.06 -0.56	0.00 0.00					
	0.00 0.00 0.00 0.00	0.27-0.20-0.03	-0.23 0.00 0.00 -0.84	-0.87-0.52 0.17 -0.66	0.00 0.00					
10	0.00 0.00 0.00 0.00	1.84 1.43	0.30-0.10-0.25	0.54-0.16 0.00 0.00	0.03-0.26-0.33	-0.79-0.57 0.00 0.00 0.00				
	0.00 0.00 2.86 1.79	1.48 0.07	0.12-0.31 0.86	0.50 0.61 1.55 0.00 0.00	0.00-0.38-0.37	-0.81-0.42-0.61 0.00 0.00 0.00				
	0.57 1.87	1.27 0.44	-1.57-0.94 0.34	0.92-1.10-1.93	-1.07 0.21 2.59 0.00 2.26	-0.23-0.46-0.41	-0.01-1.09 0.49 0.00 0.00 0.00			
	-0.05 0.93	0.34 0.61	-0.11 0.07	-0.24-0.53 0.18	-0.64-0.54 0.31 2.05 0.00	0.00 1.11-0.66	-1.17-0.30-0.33-0.23 0.59 0.87 0.00			
	0.52 0.09	-0.50-0.75	-0.34-0.42	-0.06 0.66	-0.18-0.29-0.39	-0.34 0.50 2.56 0.00 0.00	-0.49-0.81-0.02-0.26	-0.26 0.00-0.03 0.00		
15	-0.49 0.63	-0.97-0.52	0.04-0.15	0.07-0.15	-0.22-0.46	-0.23-0.73-1.21	0.55 2.58 0.00-0.08	-0.60-0.50-0.02-0.07	0.49-0.20-0.36	
	-1.03 0.76	0.23-0.06	-0.22 0.08	0.13-0.15	0.24-0.24	-0.17 0.44-2.39	0.88 0.00 0.00 2.11	-1.58-0.36-0.17	-0.28 0.00-0.27-0.37	
	-0.27 1.09	-0.02-0.01	0.23 0.36	-0.01 0.28	-0.79-0.21	0.19-0.20-2.00	0.42 0.00 1.86 1.60	-0.53-0.70-0.22	0.47 0.29-0.16-0.77	
	0.04 0.00	-0.91 1.40	-0.11 0.00	-0.74-0.45	-0.49-0.25	1.25-1.13-0.55	0.61 0.00 1.17 1.31	-0.38-0.14-0.10	-0.24-0.20 0.26-0.33	
	0.00 0.13	1.04-1.00	-0.02 0.03	-0.17-0.31	-0.13 0.15	-0.84-0.04	0.22 1.02 0.00 0.75	0.11 0.91 0.01 0.25	-0.38-0.32-0.18-0.46	
20	-0.36 0.30	-0.05-0.33	-0.10 0.13	0.16-0.07	-0.03 0.21	-0.03 0.02 1.98	-0.09 0.00-0.47	-0.06-1.35 0.10 0.01	-0.30-0.40-0.38-0.36	
	1.00 0.00	0.00-0.14	-0.40 0.27	0.63 0.21	0.16-0.48	0.66-1.55	-1.02 0.00-1.01	-0.47-0.03	0.58-0.13-0.42-0.59	
	0.00-2.43	0.00 0.00	0.00 0.00	0.49 0.00	-0.75-1.97	-2.47-0.78	-2.55 0.00-0.99	0.76 1.19	-0.72-0.16-0.48-0.38	
	0.00 1.84	-0.82 0.00	-0.78-1.82	-2.75 0.70	-0.65-0.71	-0.53-0.52	-0.75 0.00-1.45	0.63 0.00-0.84	-0.54-0.24	
	0.00-1.33	0.29-0.61	-1.25-0.97	-1.15				0.00-2.76-2.23	-2.36 0.00-0.92	-0.25
25	-0.84 0.07	-2.17-0.68	-1.58					0.00-0.90	-0.59-0.60	-0.41-0.25

라 30cm를 넘는 지역이 여러 곳 존재하고 있다. 따라서 침투율의 증가는 지하수면의 상승을 가져오며 지하수흐름의 개선을 유발시켜 지하수 이용에 도움이 될 뿐만 아니라 지하수 재해예방 및 지하수보존에 크게 기여할 수 있을 것으로 산료된다.

5 결론

대구시 일원을 대상지역으로 선정하여 대상 지역의 지하수에 대하여 3차원 비정상모형에 의한 모의발생으로 지하수양수에 의한 지하수 유동계의 변화를 파악하였으며 1994년의 강우 침투상태 하에서의 침투율과 개선된 강우침투율을 적용하여 침투율의 변화에 의한 지하수위의 변화를 살펴 봄으로써 다음과 같은 결론을 얻었다. 1) 대구섬유공단 지역의 양수는 지하수흐름의 집중을 초래하고 지하수면의 강하를 초래하여 대구시의 지하수 환경에 미치는 영향

이 크다. 2) 남측 산지부에서 함양된 지하수는 도심지의 대규모 양수에도 불구하고 금호강까지 유동하나 대부분의 지하수는 도심지에서 양수되며 본시의 지하수 공급원으로 중요한 역할을 한다. 3) 금호강의 하천수는 하천주변 지역의 지하수 양수지점이나 지하수위가 낮은 지역으로 단기리유동을 하며 시가지지역을 비롯한 멀리 떨어진 곳에는 영향을 미치지 않는다. 4) 신천의 하천수는 시가지 지역을 비롯한 넓은 지역에 영향을 미치며 양수량의 보충에 대단히 중요한 역할을 한다. 5) 기존의 상우침투율을 가질때 보다 시가지의 노면일부를 개량하여 강우의 침투율을 향상시키면 많은 지점에서 1년에 30cm 이상의 지하수면 상승효과가 나타난다.

참고문헌

1. 대구시(1990): 대구시 하수과 자료.
 2. 대구시(1994): 대구직할시 시정백서. 759p.

3. 대구시(1995): 대구시 도로과 자료.
4. 배상근(1989): 삼차원 정상 지하수모형에 의한 흥적대지의 지하수 유동해석, 한국 수문학회 논문집, 22-1, 81-90.
5. 배상근(1990): 삼차원 비정상 지하수모형에 의한 흥적대지의 지하수 유동해석, 대한 토목학회 논문집, 10-2, 59-65.
6. 배상근(1991): 대구지역의 지하수유동계의 해석, 계명대 산기연 논문집, 14-1, 177-190.
7. 자원개발연구소(1979): 조사연구보고, 6, 165-196.
8. 조성기(1987): 河川流域의 물收支分析에 關한 研究 -渭川代表試驗流域을 中心으로-. 명남 대학교 대학원 석사학위논문, 54p.
9. 한국동력자원연구소(1985): 국토이용지질조사연구, 119-161.
10. 한국동력자원연구소(1986): 국토이용지질조사연구, 135-172.
11. 한국동력자원연구소(1987): 국토이용지질조사연구, 161-254.
12. Bae, S. K. and Kayane, I. (1987): A study of the three-dimensional groundwater flow system in an upland area of Japan. Hydrological Processes, 1, 339-358.
13. Freeze, R. A. and Witherspoon, P. A (1966): Theoretical analysis of regional groundwater flow. 1. Analytical and numerical solutions to the mathematical model. Water Resour. Res., 2, 641-656.
14. Freeze, R. A. and Witherspoon, P. A (1967): Theoretical analysis of regional groundwater flow. 2. Effect of water-table configuration and subsurface permeability variation. Water Resour. Res., 3, 623-634.
15. Freeze, R. A. and Witherspoon, P. A (1968): Theoretical analysis of regional groundwater flow. 3. Quantitative interpretation. Water Resour. Res., 4, 581-590.
16. Freeze, R. A. (1971): Three-dimensional, transient, saturated-unsaturated flow in a ground-water basin. Water Resour. Res., 7, 347-366.
17. Gupta, S. K. and Tanji, K. K. (1976): A three-dimensional Galerkin finite element solution of flow through multiaquifers in Sutter Basin, California. Water Resour. Res., 12, 155-162.
18. Gupta, S. K., Cole, C. R. and Pinder G. F. (1984): A finite element three-dimensional groundwater model for a multiaquifer system. Water Resour. Res., 20, 553-563
19. Hubbert, M. K (1940): The theory of ground-water motion. J. Geol., 48, 785-944
20. Peaceman, D. W. and Rachford, Jr., H. H.(1965): The numerical solution of parabolic and elliptic differential equations. J. Soc. Ind. Appl. Math., 3, 28-41.
21. Toth, J. (1963): A theoretical analysis of ground-water flow in small drainage basins. J. Geophys. Res., 68, 4795-4812.
22. U.S.G.S.(1967): Specific Yield-Compilation of Specific yields for various materials. Geological survey Water-Supply Paper 1662-D, 74p.
23. 襄相根・樋根勇(1987): 洪積台地における地下水の三次元的流動 - 環境トリチウムと水質による地下水の循環と滞留時間. 日本地下水學會誌, 29-2, 89-98.
24. 襄相根・嶋田純・谷口眞人・川村隆一 (1990): 黒部川扇状地における地下水流動シミュレーション. 築波大學水理實驗センター報告, 14, 81-90.
25. 襄相根・鳥野安雄・樋根勇(1991): 複雑な地質構造をもつ火碎流台地への三次元非定常地下水 流動モデルの適用,-阿蘇西麓台地の場合-, ハイドロロジー, 21-1, 43-54.