

하천 수위의 영향을 받는 대수층에서 오염원의 이동에 관한 모의실험

Simulation on Contaminant Transport in the Aquifer Affected by River Stage

김민환(Min - Hwan Kim)*

요 약 : 하천 주변의 쓰레기 매립장 등과 같은 오염원은 하천수와 지하수의 오염을 야기시킨다. 하천 수위의 영향을 받는 하천구역에서 오염원의 이동과 대수층 특성과의 반응을 고찰하였다. 이를 위해 하천 수위의 변화에 따른 변동속도 성분을 지하수의 지배방정식에 대한 해석해를 이용하여 유도하였다. 변동 속도 성분을 고려하여 이송확산방정식에 대한 수치모형을 구성하였으며 구성된 수치 모형의 타당성을 위해 해석해와 비교한 결과 거의 일치하였다. 수치실험을 위한 자료는 난지도의 대수층 특성값을 이용하였다. 대수층 특성값에 대한 범위를 설정하고 이를 이용하여 하천 수위와 오염원의 이동에 대한 반응을 고찰한 결과, 저류계수를 제외한 수리전도도와 유효공극율은 오염원의 이동에 대한 반응이 미소하게 나타났다. 그리고 하천 수위의 변화에 민감한 반응을 나타낸 경우는 저류계수가 10^{-2} 차수임을 알았다.

Abstract : The river and groundwater are contaminated by pollution source of a waste landfill and others near river. The contaminant transport and response of aquifer parameters are studied in the aquifer affected by variation of river stage. First, the equation for component of variation velocity with river stage is developed by using the analytical solution of groundwater governing equation. The numerical model which considered component of variation velocity is constructed for the transport of mass by advection and dispersion. In order to verify a numerical scheme, the analytical solution is used. The numerical solution is coincided with the analytical one. Aquifer parameters of Nanjido are used as the data for numerical experiment. Second, the range of aquifer parameters is established in order to reponse contaminant transport in aquifer with river stage. The result of numerical experiment shows that the range of the storage coefficient except hydraulic conductivity and effective porosity is relatively sensitive to the contaminant transport. When the storage coefficient is the order of 10^{-2} , the response is very sensitive to the variation of river stage.

서 론

최근에 지하수의 오염 문제가 심각하게 거론 되고 있다. 지하수 개발 후의 완벽하지 못한 폐공처리와 지표면에 방치되거나 버려진 폐기물, 쓰레기 매립장의 침출수가 지하수의 오염을 가중시킬 수 있다. 하천 주변의 대수층에서 이러한 일이 발생하면 오염물질이 대수층으로 유입되어 하천의 수위와 지하수의 수위 차에 따라 하천이 오염될 수 있다. 그리고 최근의 언론보도(조선일보 1996. 8.3)에 의하면 하천과 계곡에 연하여 휴식공간이 많이 존재하기 때문에 특히 하절기에 이 지역으로 대다수의 사람이 모인다. 비교적 관리가 잘 되고 있는 국립공원의 45개 지점(설악산 외 16곳) 중에서 20개 지점의 계곡에 대한 수질이 2급수 이하로 떨어지면서 국민의 건강을 우려하고 있다. 수질악

화에 대한 원인을 철저히 규명하여야 하겠지만 국민이 손 쉽게 접근하는 소규모 하천과 계곡 주변에 어느 곳이나 쓰레기 수집장과 화장실이 설치되어 있다. 관리 소홀로 인해 분뇨와 오수가 배출되어 하천으로 유입되는 경우에 어느정도는 자정작용과 하천수에 의해 희석되기도 하지만 수량이 부족한 경우에 수질악화를 초래하여 국민의 건강에 치명적일 수도 있음을 간과해서는 안된다. 또한 전남의 3대강유역에 35개의 쓰레기 매립장이 설치되어 있으나 이 중 83%인 35곳이 위생처리시설을 갖추지 않았서 집중호우로 하천을 오염시키거나 지하수의 오염에 대해 우려하고 있다(동아일보 1996. 8. 3). 이 중에는 하천 부근에 쓰레기 매립장이 설치되어 있는 곳도 있다. 하천 주변의 대수층에 오염물질이 유입되었을 때 하천으로 유입되는 오염원의 양을 평가하기 위해서는 하천 수위와 대수층의 특성간의 반응을 설정하여야 한다.

하천 수위의 변화는 지하수의 흐름 속도에 영향을 미치는데 이로 인하여 변화되는 지하수 흐름 유속을 알아야 한다. 이 유

*호남대학교 토목공학과(Department of Civil Engineering, Honam University, Kwangju 506-090, Korea)

속과 지역 지하수 유속(regional groundwater velocity)이 이송 확산 지배방정식의 해를 구하기 위해 사용된다. 이와 같이 하천 주변의 대수층에 오염물질이 유입되었을 때 하천 수위를 조절할 수 있는 수공구조물이 설치되어 있거나 수위의 변화가 있다면 수위 조절에 의하여 오염 물질의 제거율, 혹은 오염물질의 이동율의 조절이 가능할 것이다. 하천을 경계조건으로 경계에서 수위의 변화가 지하수의 흐름 속도를 변화시킴으로서 경계를 중심으로 물의 유출과 유입이 발생한다. 변동 흐름 속도는 하천 인근의 대수층에 오염원이 주입되었을 경우에 오염원의 이동에 영향을 미친다. 하천 수위의 변화로 인하여 오염원 이동 상황을 파악하기 위해 모의실험을 수행하고 대수층의 특성과 하천 수위에 따라 오염원 이동율에 대해 검토한다. 우선 하천 수위의 변화가 대수층의 흐름 속도에 미치는 영향을 파악하기 위해 1차원 지하수 모형에 대한 해석해를 이용하여 동수경사를 유도한다. 유도된 동수경사를 고려한 변동 속도 성분과 지하수의 지역 경사(regional gradient)로 인한 유속의 합은 대수층의 실제 유속을 나타내는데 이 값을 이송과 이송확산에 의한 물질 수송을 기술하는 1차원 미분방정식에 적용하여 해를 구한다. 하천 수위의 변화와 대수층 특성과의 상호 작용을 이해함으로써 하천 구역에서 오염의 개선 시스템을 계획하고 오염을 통제할 수 있는 우물망과의 연계 운영의 가능성을 위한 기초적인 성과를 제시하고자 한다.

수위 변화에 의한 대수층의 유속 평가

Figure 1은 하천에 의한 대수층에서 오염원이 유입된 상태의 개념도이다. 이 그림에 대한 1차원 이송확산 방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x} [D \frac{\partial C}{\partial x}] - \frac{\partial (VC)}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t} \quad (1)$$

여기서, D는 이송확산 계수, C는 오염원의 농도이다. 식 (1)에서 이송확산 계수 D는 이송확산도 α 와 유속 V의 곱으로 다음과 같다.

$$D = \alpha |V| \quad (2)$$

여기서 상수 α 는 종방향 이송확산도이다. 식 (1)과 (2)의 유속 V는 대수층의 경계인 하천 수위의 변화에 따라 달라진다. 대수층의 유속 V는 대수층의 지역 지하수 유속 V_r 과 하천 수위의 변화에 따른 지하수 유속 V_0 를 합성해야 한다. 이를 식으로 나타

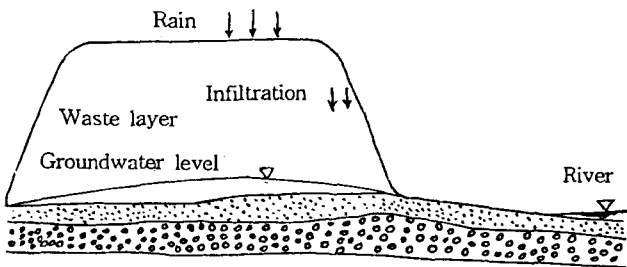


Figure 1. Schematic diagram of river and aquifer beneath landfill.

내면 다음과 같다.

$$V = V_0 + V_r = -\frac{K}{n_e} \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{K}{n_e} i_r \quad (3)$$

여기서 n_e 는 대수층의 유효 공극율, i_r 은 평균 지하수 지역 경사이다. 식 (3)의 변동 속도 성분 V_0 를 평가하기 위해서 식 (3)의 동수경사를 평가해야 한다. 하천 수위의 변화로 인한 동수경사를 유도하기 위해서는 1차원 지하수의 지배방정식과 경계조건을 이용한다.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = \frac{S}{Kh} \frac{\partial h}{\partial t} \quad (4)$$

B. C. $h(x, 0) = h_0, \quad x > 0$
 $h(0, t) = B, \quad t > 0$

여기서 \bar{h} 는 평균 수심, h_0 는 대수층의 초기 수두, B는 $x=0$ 지점에서 변화된 수위를 나타낸다. 이 식에 대한 해석해는 다음과 같다(Robert and William, 1987).

$$h = B + (h_0 - B) \operatorname{erf}(R) \quad (5)$$

여기서, $R = \sqrt{\frac{Sx^2}{4Kht}}$

$$\operatorname{erf}(R) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^R e^{-t^2} dt \quad (6)$$

식 (5)는 경계에서의 수위 변화에 의해 야기된 수두이므로 이로 인한 유속을 평가하기 위해 동수경사를 알아야 한다.

하천 수위의 변화에 의한 대수층의 수위가 식 (5)에 주어져 있다. 이 식을 x에 관해 미분하면 수위 변화로 인한 동수경사를 알 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{dh}{dx} &= \frac{d}{dx} [B + (h_0 - B) \operatorname{erf}(R)] = (h_0 - B) \frac{d}{dx} \operatorname{erf}(R) \\ &= \frac{2(h_0 - B)}{\sqrt{\pi}} \frac{d}{dx} \int_0^R e^{-t^2} dt \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)에서 미분항을 고려하기 위해 우선, $e^{-t^2} = f(t)$ 라 하자.

$$\frac{d}{dx} \int_0^x e^{-t^2} dt = \frac{d}{dx} \int_0^x f(t) dt \quad (8)$$

$F(t)' = f(t)$ 라 하면, 식 (8)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d}{dx} [F(t)]_0^x = f(x) = e^{-x^2} \quad (9)$$

그러므로 식 (7)의 $\frac{d}{dx} \int_0^R e^{-t^2} dt = \frac{d}{dx} [F(t)]_0^R$ 인데 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d}{dx} [F(t)]_0^R = \frac{d}{dx} [F(R)] \quad (10)$$

이 식은 x의 함수인 변수 R을 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{d}{dR} F(R) \frac{dR}{dx} = f(R) \frac{dR}{dx} = e^{-R^2} \sqrt{\frac{S}{4Kht}} = e^{-R^2} \sqrt{P} \quad (11)$$

그러므로 식 (11)을 식 (7)에 대입하면 동수경사를 나타내는 최종적인 식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{dh}{dx} = \frac{2(h_0 - B)}{\sqrt{\pi}} e^{-R^2} \sqrt{P} \quad (12)$$

여기서, $P = \frac{S}{4Kht}$

식 (12)는 하천 수위의 변화에 의해 야기된 동수경사이다. 이 식을 이용하여 경계에서 하천 수위의 변화가 반영된 대수층의 유속은 식 (12)를 식 (3)에 대입하면 다음과 같다.

$$V = -\frac{K}{n_e} \frac{2(h_0 - B)}{\sqrt{\pi}} e^{-R^2} \sqrt{P} - \frac{K}{n_e} i_r \quad (13)$$

식 (13)은 하천 수위의 변화로 인한 변동 속도 성분이 포함된 것으로 하천구역에서 하천 수위의 영향을 받는 유속이다. 이 유속은 이송확산 계수 값을 평가하기 위해 사용되며 이송확산 방정식의 해를 구할 때 사용된다. 이상의 식들은 피압대수층에 대한 것이지만 Todd(1980)에 의하면 이와 유사한 문제에서 비피압대수층의 수두변동성분이 대수층의 포화두께에 비해서 작다면 수정없이 적용하여도 양호한 결과를 얻을 수 있다고 제시하였다.

수치모형과 수치실험

앞 장에서 하천 수위의 변화로 인한 변동 속도 성분이 고려된 유속을 유도하였다. 이 유속을 이송확산방정식에 반영시켜 수위의 변화가 오염원의 이동에 미치는 영향과 대수층의 특성과의 반응을 파악하기 위해 수치실험을 한다. 이 수치실험을 위해 모형을 구성하고 모형의 타당성을 검증하기 위해 해석해를 이용한다.

수치모형의 구성과 타당성

이송확산에 대한 지배방정식을 식 (1)에 제시하였다. 식 (1)의 해를 구하기 위하여 경계조건이 필요하다. $x=0$ 인 지점에서 하천수가 대수층으로 유입하는 경우와 지하수가 하천으로 유출하는 경우로 구분하여 경계조건을 나타내면 다음과 같다.

$$C|_{x=0} = 0 \quad V \geq 0 \text{ (하천수가 대수층으로 유입)} \quad (14)$$

$$\frac{\partial C}{\partial x} |_{x=0} = 0 \quad V < 0 \text{ (지하수가 하천으로 유출)} \quad (15)$$

식 (14)는 오염되지 않은 하천수가 대수층으로 유입된다는 의미이다. 식 (15)는 반대로 대수층의 지하수가 하천으로 유출됨을 의미한다. $x=0$ 지점에서 L만큼 떨어진 곳의 농도 경사는 L이 충분히 클 때 0이라고 가정한다. 즉, $x=L$ 에서 경계조건은 다음과 같다.

$$\frac{\partial C}{\partial x} |_{x=L} = 0 \quad (16)$$

위와 같은 경계조건을 이용하여 식 (1)의 이송확산방정식의 해를 구하기 위하여 사용되며 이송확산 방정식에 유한차분방법을 적용하여 나타내면 다음과 같다(이재형, 1995).

$$\begin{aligned} C_i^{t+1} = & \left[\frac{C_i^t}{\Delta t} + \frac{(1-\theta)}{\Delta x^2} [D_{i+1/2}^i (C_{i+1}^t - C_i^t) - D_{i-1/2}^i (C_i^t - C_{i-1}^t)] \right. \\ & - \frac{(1-\theta)}{2\Delta x} (V_{i+1}^t C_{i+1}^t - V_{i-1}^t C_{i-1}^t) \\ & + \frac{\theta}{\Delta x^2} (D_{i+1/2}^{i+1} C_{i+1}^{t+1} + D_{i-1/2}^{i+1} C_{i-1}^{t+1}) \\ & \left. - \frac{\theta}{2\Delta x} (V_{i+1}^{t+1} C_{i+1}^{t+1} - V_{i-1}^{t+1} C_{i-1}^{t+1}) \right] \\ & \left[\frac{1}{\Delta t} + \frac{\theta}{\Delta x^2} (D_{i+1/2}^{i+1} + D_{i-1/2}^{i+1}) \right] \quad (17) \end{aligned}$$

여기서 θ 는 가중치인데 본 논문에서는 $\theta = 1/2$ 를 사용하여 Crank-Nicolson 방법을 적용하여 해를 구한다. 수치해의 타당성을 검토하기 위해 해석해와 비교한다. 경계에서 수위의 변화가 없는 경우에 지하수의 지역 경사만 존재한다면 식 (3)에서 $V_0 = 0$ 이면 $V = V_r$ 로서 일정하게 된다. 이 경우에 식 (1)의 이송확산방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - V \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t} \quad -\infty < x < +\infty, \quad t > 0 \quad (18)$$

이 방정식의 해를 구하기 위해 적용될 초기 조건은 다음과 같다.

$$C(x, 0) = \begin{cases} 0 & x < a \\ C_0 & a \leq x \leq b \\ 0 & x > b \end{cases} \quad (19)$$

이 방정식에 대한 해석해는 다음과 같다(Chan, 1992).

$$C(x, t) = \frac{C_0}{2} \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{a-x+Vt}{2\sqrt{Dt}}\right) - \operatorname{erfc}\left(\frac{b-x+Vt}{2\sqrt{Dt}}\right) \right] \quad (20)$$

여기서, $\operatorname{erfc}(z) = 1 - \operatorname{erf}(z)$

수치해와 해석해를 비교하기 위해 사용한 자료는 난지도(서울시) 쓰레기 매립장 하층부 대수층의 값을 이용한다. 난지도의 대수층의 특성값에 대해 여러 관계문헌을 조사(장연수, 1994)하여 제시하였으나 본 논문에서는 최세영(1992)에 의해 발표된 대수층의 특성값을 이용한다. 난지도의 하층부는 모래/자갈로 이루어 졌는데 수리전도도는 $4.0 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$ (3.456 m/day)이다. Table 1에서 대수층의 특성값 뿐만 아니라 지하수의 지역경사, 이송확산도도 한강 부근의 난지도 쓰레기 매립장 하층부의 값이다. 이 표에서 유효공극율의 값도 쓰레기층 하부의 모래/자갈층에서의 값이고 지하수의 지역경사는 이 지역의 평균값이다. 또한 대상영역은 하천수위의 변화가 지하수 수위에 미치는 영향을 고려(김민환, 1995)하여 100 m로 설정하였다. 최세영(1992)의 논문에서 저류계수값의 추정 근거가 불명확하여 채택하지 않았고 범위를 설정하여 사용하였다.

최세영의 논문에서는 이송확산방정식의 해를 구하기 위해 지하수의 흐름은 정상상태라고 가정하여 유속을 지역 경사만을

고려하여 이용하였다. 난지도 주변은 하천과 연해 있기 때문에 대수층의 지하수 흐름은 하천 수위의 변화 영향을 받을 수 있다. 만일 하천 수위의 변화가 있다면 식 (3)을 사용하여 수위의 변화에 따른 유속을 보정하여야 한다. 이 논문에서는 하천 수위의 변화를 고려하지 않고 식 (3)의 2번째 항만 고려하였는데 만일 하천 수위의 변화가 존재하면 식 (3)에서 수위의 변화에 따른 항을 고려해야 한다. 수위 변화가 없는 경우에 Table 1에 주어진 유효공극율, 수리전도도, 지역경사를 이용하여 계산된 유속은 0.1152 m/day이다. 수치해의 안정성을 검토하기 위해 Table 1의 값을 이용하여 다음과 같이 수행한다. 해석해인 식 (19)에서 초기조건을 $a=40$ m, $b=60$ m 구간에 초기농도 $C_0=1$ 의 값을 부여한다. 경계 수위의 변화는 없고 단지 지하수의 지역 경사만이 존재하는 경우에 오염원의 이동 상황에 대한 결과를 Figure 2에 100 days, 200 days, 300 days로 구분하여 도시하였다. 그리고 식 (17)을 이용한 수치해의 결과도 도시하였다. 이 그림에서 보는 바와 같이 수치해와 해석해는 거의 일치하고 있으므로 수치해가 정상적으로 운영됨을 확인할 수 있다. 그리고 시간에 따라 농도가 지역경사에 의해서 경계쪽으로 이동하고 있음을 알 수 있다.

다른 방법으로 본 수치모형의 타당성을 검사하기 위해 $40 \leq x \leq 60$ m 사이에 초기농도 $C_0=1.0$ 으로 가정하여 수치실험을 수행하였다. 이 때 지하수의 지역 경사와 경계에서의 수위 변화는 없는 것으로 가정하였다. 즉 이송은 0이며 단지 이송확산에 의

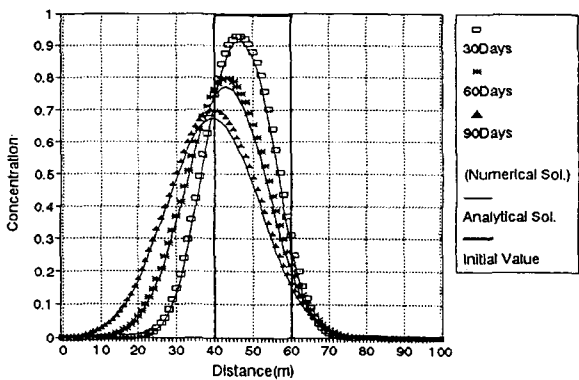


Figure 2. Results of contaminant transport without variation velocity.

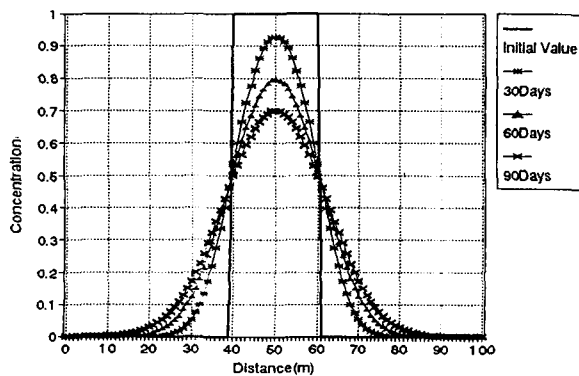


Figure 3. Results of contaminant transport with only dispersion.

한 오염원의 전달 과정을 모의실험하기 위해 이송확산 계수 $D (= \alpha V)$ 를 $0.576 \text{ m}^2/\text{day}$ ($5.0 \text{ m} \times 0.1152 \text{ m/day}$)로 가정하였다. 이 결과는 이송확산에 의해서만 오염원의 이동이 가능하기 때문에 이의 결과가 대칭이면 확인할 수 있다. 이 경우의 결과를 Figure 3에 30 days, 60 days, 90 days에 대해 도시한 바, 농도 분포가 대칭이며 시간이 지남에 따라 농도가 초기값을 기준으로 왼쪽과 오른쪽 방향으로 대칭을 이루며 이동하고 농도는 묽어짐을 알 수 있다.

하천 수위의 변화가 오염의 이동에 미치는 영향

하천 수위의 변화가 오염의 이동에 미치는 영향을 평가하기 위해 하천구역의 대수층에서 유속에 미치는 변화량을 평가한다. 이를 위해 앞 절에서 제시된 Table 1의 값을 이용하여 하천 수위의 변화를 고려하고 지역경사가 반영된 식 (13)의 값을 평가하였으며 이때 저류계수값은 0.00001을 사용하였다. 첫째, 지하수의 지역경사(0.01)만 존재하고 경계에서 수위의 변화가 없는 경우와 둘째, 경계에서 초기수위가 16 m인데 1 m, 3 m, 5 m로 하강한 경우와 반대로 3 m 상승한 경우의 속도변화를 Figure 4에 도시하였다. 여기에서 사용된 수위변화는 임의로 설정한 것으로 난지도의 상황을 반영한 것은 아니다. Figure 4는 $x=40$ m 지점에서 시간별로 유속의 변화량을 도시한 것이다. 경계에서 수위의 차에 따라 약간씩 다르지만 초반부에 유속의 변화에 대한 경사가 심하게 나타나고 있으나 그 크기는 차수를 고려하여 보면 큰 변화는 아니다. 또한 이 변화도 상당한 시간이 지남에 따라 정상 상태로 되돌아감을 알 수 있다. 수위차가 5 m인 경우에 수위변화로 인해 유속은 초기에 지역경사만 고려한 유

Table 1. Value of variables used in numerical model

지하수의 지역 경사(regional gradient)	$i_r = -0.01 \text{ m/m}$ (경계면을 향해)
대상영역(domain)	$L = 100.0 \text{ m}$ $\Delta x = 1.0 \text{ m}$
대수층의 성질 (properties of aquifer)	수리전도도(hydraulic conductivity) $K = 3.456 \text{ m/day}$ 유효공극율(effective porosity) $n_e = 0.3$
이송확산도(dispersivity)	$\alpha = 5.0 \text{ m}$
시간 간격(time step)	$\Delta t = 0.04 \text{ day}$

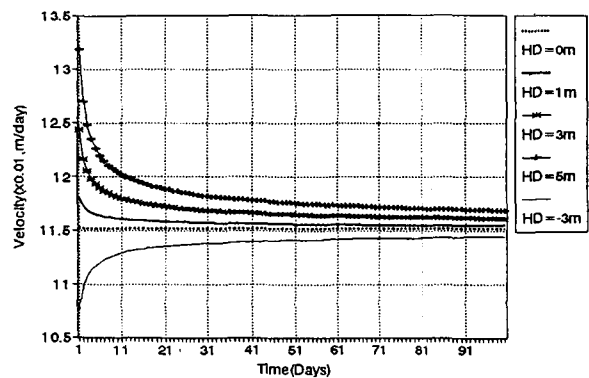


Figure 4. Variation velocity by dropdown of water level at boundary.

Table 2. Range of aquifer parameters for sand or sand/gravel

구분	수리전도도 (cm/sec)	저류계수 (dimensionless)	유효공극율(%)
범위	$10^{-3} \sim 10^{-0}$	$5.0 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-2}$	15~35

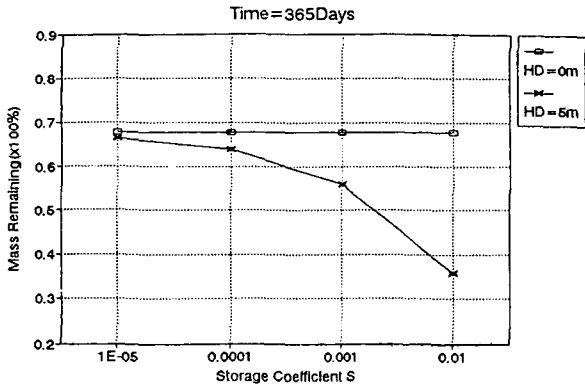


Figure 5. Results of mass reduction for various storage coefficients with/without dropdown.

속 보다 최대 약 14%[(0.1318-0.1152)/0.1152=0.144] 정도 증가하지만 급속히 감소하여 정상상태로 환원됨을 알 수 있다. 미소한 영향이지만 경계에서의 수위 변화가 유속의 변화를 야기시키기 때문에 이를 반영한 이송확산방정식의 해를 통해 오염원의 이동에 대해 수치실험을 수행한다. 첫째, 경계에서 수위의 변화에 의해 시간에 따른 오염원의 이동 상태를 고찰한다.

Table 1에 제시된 난지도의 수리특성값과 저류계수 0.00001을 이용하여 수치실험을 수행한 결과, 경계에서 수위의 변화(0~5 m)가 오염원의 이동에 영향이 거의 없는 것으로 나타났다. 난지도의 수리특성값에서 동수경사, 수리전도도, 대수층의 두께, 유효공극율에 대한 값은 현장에서 실측하여 평가한 값이다. 난지도에 대한 신뢰할 만한 저류계수가 평가되어 있지 않기 때문에 본 연구에서는 저류계수의 범위를 설정하여 수치실험한다. 저류계수가 0.00001인 경우에 실험 결과, 수위의 변화로 인하여 오염원의 이동이 거의 영향이 없기 때문에 설정된 대수층 특성값의 범위 내에서 수위의 변화에 대한 반응을 고찰한다.

수위의 변화에 따른 오염원의 이동에 대한 수치실험을 하기 위해 비교적 대수층이 발달된 수리특성치 범위(建設産業調査會, 1980)는 Table 2와 같다. 이 범위를 고려하여 오염원의 이동에 대한 수치실험을 수행한 결과, 경계에서 수위 변화가 저류계수를 제외한 수리전도도와 유효공극율에 대해서 오염원의 이동이 민감하지 않게 나타났다. 저류계수의 변화와 경계에서의 수위변화에 대한 오염원의 이동에 대한 영향을 살펴 보았다.

수치실험을 위해 경계에서 수위의 변화가 없는 경우(HD=0 m)와 수위의 변화가 있는 경우(HD=5 m)로 구분하고 각각 저류계수 S=0.01, S=0.001, S=0.0001, S=0.00001에 대해 수행하였다. 이 결과를 Figure 5에 도시하였다. 이 그림에서 보는 바와 같이 저류계수가 커짐에 따라 수위차의 영향이 오염원의 이동에 영향을 크게 반영됨을 알 수 있다. 즉, S=0.00001일 때, 잔류 오염물은 66.5%에서 S=0.01일 때 35.8%로 거의 2배 가가

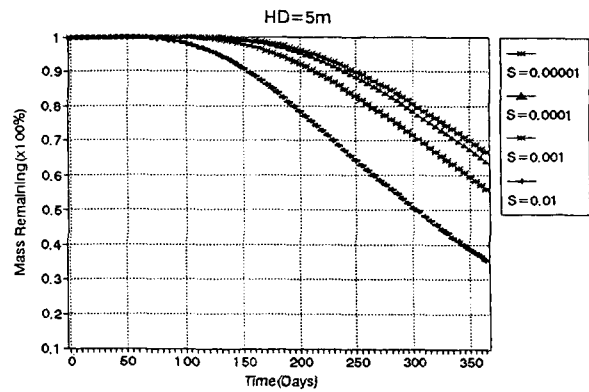


Figure 6. Comparison of mass reduction curve for various storage coefficients.

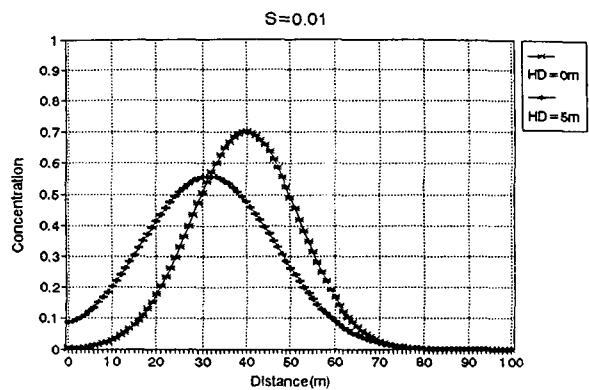


Figure 7. Results of contaminant concentration for storage coefficient S=0.01 with/without dropdown.

히 차이가 있음을 알 수 있다. 시간에 따른 잔류 오염물은 Figure 6에 도시하였다. 이와같은 수치실험 결과, 수위 변화와 비교적 민감한 변수는 저류계수임을 알 수 있으나 저류계수가 작은 경우에 역시 오염원의 이동에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. 그러나 일반적으로 저류계수는 다른 변수 보다 신뢰도가 떨어지므로 이 값을 선정하는데 신중해야 한다.

결론

하천구역의 대수층에 오염원이 유입되었을 때 하천 수위의 변화에 따른 오염원의 이동에 대해 고찰하였다. 이를 위해 저류계수를 제외한 난지도의 수리특성값을 이용하였으며 저류계수는 범위를 설정하여 수치실험을 수행하였다. 수리특성값 중에서 경계에서 수위변화에 민감한 계수에 대해 모의실험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 수위의 변화에 비교적 민감한 변수는 저류계수이지만 저류계수가 작은 경우(10^{-5} 이하)에 경계에서 수위변화는 오염원의 이동에 영향을 거의 미치지 않는다.
2. 경계에서 수위변화가 없을 때 단지 저류계수의 변화는 오염원의 이동에 영향을 미치지 않는다.
3. 수리전도도가 다소 증가하더라도 저류계수가 작으면(10^{-5} 이하) 경계에서 수위변화는 오염원의 이동에 영향이 거의 없

며, 저류계수가 10^{-2} 의 차수일 때 수위 변화가 오염원의 이동에 영향을 준다는 사실을 알았다.

4. 저류계수가 큰 값(10^{-2})일 때 오염원의 이동에 민감함으로 저류계수가 비교적 큰 비피압대수층인 경우에 하천 수위의 변화에 따라 오염원의 이동에 영향이 클 것으로 예상된다. 그러므로 신중하게 평가된 저류계수를 사용해야 할 것이다.

참고문헌

- 김민환, 이재형, 1995, 감조구역에서 지하수 수두의 거동 해석, 지하수환경, 2(1), p.30-37.
- 이재형, 김민환 공역, 1995, 지하수 모형, 구미서관.
- 장인수, 이광열, 1994, 난지도 매립장 기반을 통한 오염이동 특성과 제어, 지하수환경, 1(1), p.1-5.
- 최세영, 1992, 쓰레기 埋立地의 浸出水에 의한 地下水 汚染에 관한 연구, 박사학위논문, 서울대학교, p.75-80.
- Chan S. Yim and M.F.N. Mohsen, 1992, Simulation of tidal effects on contaminant transport in porous media, Ground Water 30(1), p.78-86.
- Robert Wills and William W.G. Yeh, 1987, Groundwater systems planning and management, Prentice-Hall, p.82-83.
- Todd, D.K., 1980, Ground water hydrology, 2nd ed. John Wiley and Sons Inc., New York, p.242-247.
- 建設産業調査會(日本), 1980, "地下水ハンドブック", p.75-76.