

B-4

영산강유역 하상 퇴적층의 수리분산 특성

김무진¹, 황한석, 함세영¹, 조명희²

(주)삼중엔지니어링, ¹부산대학교 지구환경시스템과학부, ²부산대학교 환경대학원

1. 서론

본 연구는 영산강 유역의 4 개 지역(A, B, C, D지역)에서 수행된 추적자시험분석에 의해서 영산강유역 하상 퇴적층의 수리분산특성을 고찰한 것이다. 추적자시험에는 한 개의 우물에서 추적자용액을 주입 및 채수하는 단정주입·채수추적자시험(Mercardo, 1966)과 2개의 우물을 이용하여 각각 주입 및 채수를 하는 쌍정순환채수·주입추적자시험 그리고 자연구배시험 등이 있다 (Güven et al., 1985).

본 조사지역에서는 A, B, C, D지구별로 하나의 우물에서 일정 농도의 추적자를 일정시간동안 주입하고 난 후, 같은 우물에서 일정시간동안 채수하는 단정주입·채수추적자 시험(단정시험)을 실시하였으며, 이 시험결과 분석으로 지하수 오염물질의 종분산지수(longitudinal dispersivity)를 결정하였다.

2. 수리분산시험의 이론적인 배경

한 우물에서 평면방사상흐름에 대한 용질의 수력학적 분산식은 다음과 같다(Hooper and Harleman, 1967):

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V \frac{\partial C}{\partial r} = \alpha_L V \frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{D^*}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial C}{\partial r} \right) \text{----- (1)}$$

여기서, C는 용질의 침투시작으로부터의 경과시간(t)의 용질의 농도, V는 지하수의 평균 유속, α_L 은 종분산지수, r은 주입정과 관측정간의 거리, D^* 는 용질의 유효 분자확산계수이다. Gelhar와 Collins(1971)는 채수상 동안 채수정에서의 상대적인 농도변화의 해를 (1)식으로부터 구했다.

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \frac{\left(\frac{U_p}{U_i} - 1 \right)}{\left[\frac{16}{3} \frac{\alpha_L}{R} \left[2 - \left| 1 - \frac{U_p}{U_i} \right| \left(1 - \frac{U_p}{U_i} \right) \right] \right]^{\frac{1}{2}}} \text{----- (2)}$$

여기서, U_i : 주입시험의 총 주입량, U_p : 채수시험시의 채수량, R : 주입상 말기의 평균방사전위위치(radial frontal position)로 (3)식과 같이 구할 수 있다.

$$R = \left(\frac{Qt}{\pi b \theta} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{U_i}{\pi b \theta} \right)^{\frac{1}{2}} \text{----- (3)}$$

여기서, Q는 주입률, t는 주입시간, b는 대수층의 두께, θ 는 대수층의 공극률이다. 채수상시험으로부터 $(U_p/U_i)-(C/C_0)$ 곡선, 즉 BT곡선(breakthrough curve)을 이용하여 종분산지수(α_L)를 구할 수 있다(Mercado, 1966).

$$\alpha_L = \frac{3U_i^{\frac{1}{2}} [\Delta(U_p/U_i)]^2}{32\pi^{\frac{3}{2}} (b\theta)^{\frac{1}{2}}} = \frac{3R}{32\pi} [\Delta(U_p/U_i)]^2 \text{-----}(4)$$

여기서, $\Delta(U_p/U_i)$ 는 상대농도(C/C_0)가 0.5인 지점에서 BT곡선의 접선이 $C/C_0 = 0$ 과 1에서 교차되는 지점사이의 U_p/U_i 증가분이다.

3. 수리분산시험의 현장적용

본 연구지역은 영산강유역의 A, B, C, D지구로서 각 지구마다 한 개의 주입-채수정과 3~4개의 관측공(직경 3")이 위치하고 있다. 주입-채수정의 직경은 10"이다. 수리분산시험을 위하여 비반응 추적자인 천일염(NaCl)을 물과 일정 농도비로 혼합한 후 채수정에 일정 주입률로 주입시켰다. 주입량은 주입관에 부착된 적산유량계를 이용하여 측정하였다. 또한, 주입시험 과정에는 탱크 내 혼합용액의 전기전도도를 수시로 측정하여 추적자의 농도가 일정한지를 확인하였다. 추적자 주입구간은 관측공 천공시의 시추자료를 분석하여 대수층으로 판단되는 구간으로 정하였다. 수리분산시험에 이용된 시험조건은 Table 1과 같다.

Table 1. Condition of tracer test

Test condition	Site A	Site B	Site C	Site D
Sampling depth(m)	8-14	8-14.5	8.5-11.5	6-24
Injection rate(m ³ /min)	0.0036	0.0035	0.0032	0.0034
Duration of injection (min)	1380	1440	1350	1440
Total injection volume(m ³)	5	5	4.3	4.91
Withdrawl rate(m ³ /min)	0.00812	0.0139	0.0104	0.00898
Duration of withdrawl (min)	1380	1380	780	1360
Total withdrawl volume(m ³)	11.2	19.2	8.12	12.21
Well depth(m)	24.0	16.0	11.5	20.0

4. 결과 및 고찰

지구별 종분산지수를 보면, C지구가 가장 큰 0.182m로 나타나고, 그 다음은 D, B, A 지구의 순으로 작아진다(Table 2). 이는 C지구의 매질의 불균질성과 이방성이 다른 지구

에 비해서 크기 때문에 판단된다. 현장수리분산시험에서 구해지는 종분산지수 값은 실내수리분산시험의 값보다 일반적으로 수십배 더 크게 나타난다(Maidment, 1993). 이는 현장의 매질의 규모가 실험실의 규모보다 크기 때문에 나타나는 규모종속효과인 것으로 판단된다. 즉, 추적자시험에서는 매질이 균질, 등방이라고 가정하지만 실제 시험대상 구간의 수직 및 수평 수리전도도는 이방성이며, 또한 지점에 따라 매질이 달라지는 불균질성 때문에 분산지수가 다르게 나타난다. 이러한 이방성과 불균질성은 규모가 커질수록 더 커지게 되며, 따라서 분산지수도 커지게 된다.

Table 2. Result of the tracer test

Parameters	Site A	Site B	Site C	Site D
U_i	5	5	4.3	4.91
U_P	11.2	19.2	8.12	12.21
R	0.663	1.086	2.252	0.770
b	8	4.5	0.9	8.8
θ	0.3	0.3	0.3	0.3
$\Delta(U_P/U_i)^*$	0.355	0.719	1.646	0.926
$\alpha_L(m)$	0.0025	0.0154	0.182	0.0256

참 고 문 헌

- Gelhar, L. W. and M. A. Collins, 1971, General analysis of longitudinal dispersion in nonuniform flow, *Water Resources Res.*, 7(6), 1511-1521.
- Güven, O., R. W. Falta, F. J. Molz, and J. G. Melville, 1985, Analysis and interpretation of single-well tracer tests in stratified aquifers, *Water Resources Res.*, 21(5), 676-684.
- Hoopes, J. A. and D. R. F. Harleman, 1967. Dispersion in radial flow from a recharge well, *Journal of Geophysical Research*, 72(14), 3595-3607.
- Maidment, D. A., 1993, *Handbook of hydrology*, editor in chief, McGraw-Hill, Inc.
- Mercardo, A., 1966, Recharge and mixing tests at Yavne 20 well field, *Underground Water Storage Study Tech. Rep. 12, Publ. 611, 62 pp., TAHAL-Water Planning for Israel Ltd., Tel Aviv.*