

창원지역 화강암의 수리분산 특성

김무진·함세영*·황한석**·김문수*

*부산대학교 지질학과

** (주)삼중엔지니어링

ABSTRACT

This study is concerned with the hydrodispersive characteristics of granite in Changwon area. A single-well injection/recovery tracer test was conducted to determine longitudinal dispersivity of the granite, using sodium chloride tracer. The dispersivity values obtained from the injection phase are 0.48 m (for between PW-1 and OW-3) and 0.72 m (for between PW-1 and OW-4). That obtained from the recovery phase is 0.68 m. The result of the tracer test indicates that the anisotropy and heterogeneity of the

key words: Changwon, granite, groundwater contamination, hydrodispersion, longitudinal dispersivity
granite and the direction of flow.

1. 서론

우리나라 대도시지역에서는 갈수록 지하수 오염 정도가 높아가고 오염원도 다양해지고 있다. 이에 따라 과거에는 공장에서 배출되는 중금속 오염이나 주거 및 상업지역에서 배출되는 생활폐기물에서 유래하는 질산성질소 등에 많은 관심이 집중되어 왔으나, 지금은 화학공장이나 석유저장시설(유류탱크)에서 흘러나오는 유기오염물질에 의한 지하수 오염에 관심이 높아지고 있다. 창원시는 비교적 신흥도시로서 인구는 약 50만명이지만 지하수 이용량이 2100만 m^3 /년(2000년 현재)으로 부산시 인구 약 380만명의 지하수 이용량 7090만 m^3 /년(1997년말)과 비교할 때 지하수 이용량이 많음을 알 수 있다. 창원시는 공단지역과 주거지역이 비교적 잘 구분되어 있는 계획도시이지만 공단지역, 상업지역, 주거지역의 지하수 오염잠재성이 높은 편이다. 그러나, 창원시는 아직까지는 인구 과밀화가 되어 있지 않고 지하수 수질 및 수량에 대한 조사도 타 도시 지역보다 비교적 빨리 진행되고 있어서(창원시, 1998), 지하

수오염을 미리 예방할 수 있는 기틀이 마련되어 있다고 할 수 있다.

본 연구는 창원지역의 지하수 오염물질의 이동을 연구하기 위한 예비연구로서 창원시에 분포하고 있는 암석(화강암, 화산암, 퇴적암) 중 화강암지역의 수리분산 특성을 파악하고자 한다. 단정 주입/채수 추적자시험(Mercardo, 1966)을 실시하였으며, 이로부터 종분산지수를 구하였다.

2. 현장시험방법

본 연구지역에서는 주입정을 채수정으로 하는 단정 주입/채수 추적자시험을 실시하였다. 주입-채수정 PW-1의 직경은 8" 이고, 굴착심도는 100m(케이싱 36m)이고 지하수위는 지표면하 17.05m였다. 관측공(OW-1 ~ OW-4, 심도 100m, 직경 8")은 지하수 유동방향의 상·하류에 각각 두 공씩 4공을 설치하였으며, 주입공으로부터 각각 5m 떨어져 있다. 수리분산시험 이전에 공내TV검층 결과 대수층은 지표면하 40m 지점에 위치하는 것으로 확인되었으므로, 이 심도를 주입시험구간으로 정하였다.

주입상시험을 실시하기 전에, 본 조사지역의 전기전도도를 측정하여 본 결과 전기전도도(EC)는 $449\mu\text{s}/\text{cm}$ 며, Cl의 농도는 평균 $40\text{mg}/\ell$ 로 나타났다.

2.1 주입상시험

주입정(PW-1)에서 비반응추적자인 80% 천일염(NaCl)을 주입하였으며, Cl의 초기농도는 $1,060\text{mg}/\ell$ (EC는 $18,500\mu\text{S}/\text{cm}$)이다. 주입율은 $0.0055\text{m}^3/\text{min}$ ($=0.333\text{m}^3/\text{hr}$)로 일정하게 유지하였으며, 주입량은 주입관에 부착된 석산유량계를 이용하여 측정하였다. 주입용액의 초기농도가 관측정에서 관찰될 때까지 주입을 계속하였으며, 총주입량은 24m^3 이다. 추적자의 시간별-농도변화를 측정키 위해 주입정의 40m 깊이에서 주입하였으며, 4개의 관측공에서 주입용액의 초기농도의 90%이상 관찰될 때까지 전기전도도와 염소이온 농도를 측정하였다(Fig. 1). Cl의 농도는 관측공에서 tygon tube를 이용하여 시료를 채취한 후 매 시간마다 측정하였으며, 전기전도도(EC)는 Hermit 2000 Data Logger의 CTS-200 Probe, KASAHARA Chemical Instruments의 염소측정기(Model CL-1F), TOA사의 전기전도도미터(모델 CM-14P)를 사용하여 측정하였다.

주입시험 과정에서 1개 탱크의 추적자 혼합용액이 모두 소모되면 미리 준비해둔 다음 탱크의 추적자 혼합용액을 주입시켰다. 그리고, 시험기간 동안 탱크 내에서 Cl의 농도가 일정하게 유지되고 있는지를 확인하기 위하여 추적자 혼합용액의 전기전도도와 Cl의 농도를 측정하여 본 결과, 전기전도도의 변화 폭은 $18,500\pm 20\mu\text{s}/\text{cm}$ 이며 Cl의 농도변화 폭은 $1,060\pm 5\text{mg}/\ell$ 로 비교적 일정하였다.

2.2 채수상시험

주입상시험을 완료한 후, 주입공(PW-1)을 채수정으로 전환하여 시험대상 구간인 기반암(지표하 36m~100m 구간)의 전구간 분산지수(full aquifer dispersivity)를 구하기 위하여 채

수상시험을 실시하였다. 채수상시험에서는 주입상시험에서 주입한 추적자혼합용액(Tracer Labelled Solution)과 공내 지하수를 3Hp의 수중모터펌프를 이용하여 일정 채수율 ($0.02\text{m}^3/\text{min} = 1.2\text{m}^3/\text{hr}$)로 50시간 동안 계속하여 채수를 하였으며, 총 채수량은 60m^3 이다. 채수를 하는 동안 매 시간 마다 약 1ℓ 의 시료를 채취하여 Cl^- 의 농도를 측정하여 농도이력 곡선을 작성하고 시험대상구간의 분산지수를 구하였다.

3. 수리분산 특성

본 조사지역의 연속주입상 현장수리분산시험에서 관측정 OW-1, OW-2, OW-3, OW-4의 지표면하 40m 지점으로부터 1ℓ 의 시료를 채취하여 Cl^- 의 시간에 따른 상대농도의 변화를 시간-상대농도곡선을 작성하였으며, (1)식(Gelhar and Collins, 1971)

$$\alpha_L = \frac{3r}{16\pi} (\Delta t / t_{0.5})^2 \quad (1)$$

을 이용하여 주입정(PW-1)과 관측정 OW-3, OW-4사이의 종분산지수(α_L)를 구해보면 각각 0.48m 와 0.72m 이다. 그리고 관측정 OW-1, OW-2의 측정값은 추적자의 농도가 낮아서 추적자의 이동 방향과 관계가 없는 것으로 보이므로 분석에서 제외하였다. 이와 같이 관측 지점에 따라 분산지수가 다르게 나타나는 것은 이 지역의 기반암인 화강암내 균열의 발달상태가 불균질하기 때문으로 판단된다. 이방성과 불균질성은 규모가 커질수록 더 커지게 되며, 따라서 분산지수도 커지게 된다.

PW-1 호공의 채수상시험 결과 얻어진 주입량에 대한 채수량의 비와 상대농도 변화로부터 대수층 전 구간에 대한 종분산지수(α_L)를 구하였다(Mercado, 1966).

$$\alpha_L = \frac{3U_1^{1/2} [\Delta(U_P/U_1)]^2}{32\pi^{3/2}(b\theta)^{1/2}} \quad (2)$$

여기서, U_1 는 주입시험의 총주입량 = 24m^3 , U_P 는 채수시험의 채수량 = 60m^3 , b 는 대수층의 시험구간 두께 = $64\text{m}(100\text{m}-36\text{m})$, θ 는 공극율 = 0.01 , $\Delta(U_P/U_1)$ 는 상대농도(C/C_0)가 0.5인 지점에서 BT곡선의 접선이 $C/C_0 = 0$ 과 1에서 교차되는 지점사이의 U_P/U_1 증가분 = 2.57이다. 따라서, 대수층 전구간의 분산지수는 0.68m 이다.

4. 결론

본 연구에서는 창원시 화강암지역에서 실시된 수리분산시험을 바탕으로 수리분산 특성을 파악하고자 하였다. 수리분산시험 방법은 단정 주입/채수 추적자시험 방법으로서 주입정(PW-1)을 통하여 80% 천일염(NaCl)을 주입하고 관측정(OW-1~4)에서 농도변화를 측정하였다. 주입시험이 종료된 후에는 주입정을 채수정으로 전환하여 농도변화를 측정하였다. 그 결과, 주입정(PW-1)과 관측정 OW-3, OW-4사이의 종분산지수(α_L)는 각각 0.48m 와 0.72m 이었다. 그러나, 관측정 OW-1, OW-2에서의 추적자 농도가 매우 낮아서 지하수유동방향과

는 별 관계가 없는 것으로 나타났다. 또한, 채수상시험으로 구한 대수층 전구간의 분산지수는 0.68m이다. 따라서, 지하수의 주된 유동방향은 PW-1과 OW-4를 따른 방향으로 판단되며, 종분산지수는 0.7m 정도로 판단된다.

5. 참고문헌

1. 창원시 지하수부존량조사, 창원시, 조사기관: (주)삼중엔지니어링, 821p., 1998.
2. Mercado, A., Recharge and mixing tests at Yavne 20 well field. Underground Water Storage Study Tech. Rep. 12, Publ. 611, TAHAL-Water Planning for Israel Ltd., Tel Aviv, 62 p., 1966.
3. Gelhar, L. W. and M. A. Collins, General analysis of longitudinal dispersion in nonuniform flow, Water Resources Res., 7(6), 1511-1521, 1971.

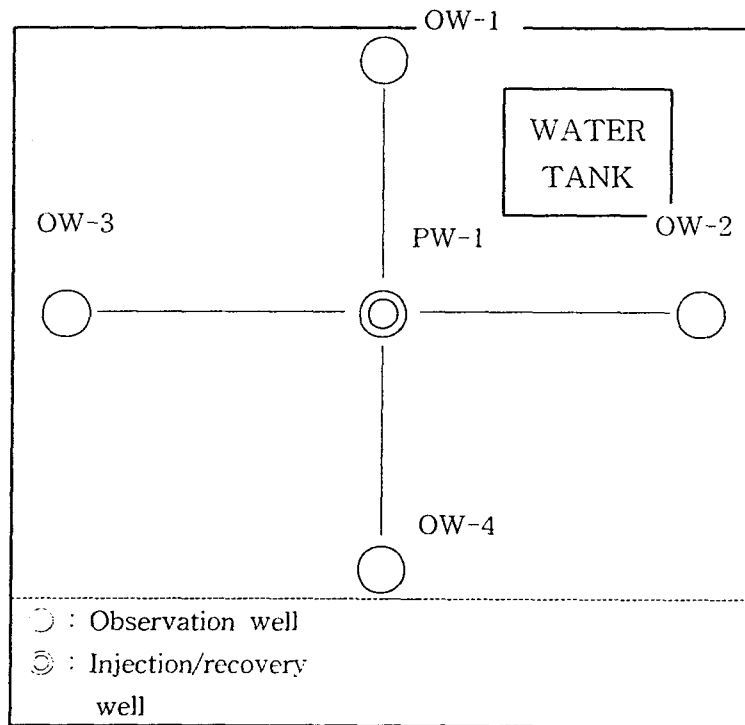


Fig. 1. Spacial distribution of test wells.