

이방성대수층에서의 투수량계수 텐서

강철희, 이대하*, 이철우*, 김용제*, 채병곤*, 우남철.

연세대학교지구시스템과학과대학원

*한국지질자원연구원

churhee@hanmail.net

요약문

이 연구에서는 5개의 시추공에 대한 양수시험을 실시하여 대수층의 수리학적 이방성과 지하수의 주 유동방향을 규명하고자 하였다. 코아검층 및 초음파주사검층을 통해 각각의 공에 대한 균열방향을 결정하고 이를 토대로 통합해본 결과 크게 세 방향의 균열군이 집중성을 보였다. 가장 빈도가 높은 균열의 방향은 $N0^{\circ} \sim 40^{\circ} E/30^{\circ} \sim 50^{\circ} SE$ 그리고 $N30^{\circ} \sim 80^{\circ} W/20^{\circ} \sim 50^{\circ} NE$ 이 방향이 함께 나타났으며 두 번째 균열의 방향은 $N0^{\circ} \sim 50^{\circ} E/60^{\circ} \sim 80^{\circ} NW$ 로 나타났다. 세 번째 방향은 $N30^{\circ} \sim 50^{\circ} W/70^{\circ} \sim 80^{\circ} SW$ 방향의 균열로 구성된다. 이처럼 지표하에서는 크게 세 방향의 균열이 다른 방향을 보이는 균열에 비해 상대적으로 큰 빈도를 가지며 발달하고 있음을 알 수 있다.

대수층이 이방성이고 균질하다는 가정하에 양수시험을 실시하여 각각의 공에 대한 최대 투수량계수 ($T_{\xi\xi}$)와 최소 투수량계수 ($T_{\eta\eta}$)값을 산출하고 주 텐서방향 (θ)을 결정하였다. 그 결과 BH-1, BH-4, BH-5공을 제외한 BH-2, BH-3호공에서의 이방성 투수량계수 텐서값은 이 논문의 가정인 대수층이 이방성이고 균질하다는 가정에 일치하지 않았다. 따라서 원형좌표계에 도시하였을 때 다른 공에 비해서 비균질성이 심한 결과로 인해 이방성타원체에서 많이 벗어남을 보였다. 이로 인해 3개의 공 BH-1, BH-4, BH-5호공을 사용하여 대수층의 이방성을 분석하여 보았다. BH-1호공에서의 $T_{\xi\xi}$ 는 $171.90 \text{ m}^2/\text{day}$, $T_{\eta\eta}$ 는 $71.01 \text{ m}^2/\text{day}$ 이고 주 텐서방향은 $N15.39^{\circ} E$ 로 나타났다. BH-4호공의 $T_{\xi\xi}$ 는 $268.20 \text{ m}^2/\text{day}$, $T_{\eta\eta}$ 는 $28.75 \text{ m}^2/\text{day}$ 이고 주 텐서방향은 $N7.55^{\circ} E$ 이며 BH-5호공에서의 $T_{\xi\xi}$ 는 $168.40 \text{ m}^2/\text{day}$, $T_{\eta\eta}$ 는 $66.80 \text{ m}^2/\text{day}$ 이고 주 텐서방향은 $N76.59^{\circ} E$ 로 나타났다. 이처럼 연구지역에서의 각각의 공에 대한 투수량계수 텐서는 서로 다르게 나타났으며 이에 따른 주 텐서방향도 서로 다름을 알 수 있다.

key word : 균열방향, 양수시험, 투수량계수 텐서, 텐서방향, 이방성, 균질성, 비균질성.

1. 서론

결정질 암반에서의 지하수 유동은 지표하 균열분포에 많은 영향을 받는다. 따라서

연구지역의 암반대수층의 수리학적 이방성을 밝히고, 이들 이방성이 지하암반의 균열방향과 어느정도 일치하는가를 규명하고자 한다. 암반에 대한 균열분포와 균열의 방향성을 조사하기 위해서 연구지역에 시추공 5개를 굴착하였으며 지표하 균열상태를 알기위해서 시추코아 검층 및 초음파주사검층을 통해서 균열특성과 방향을 결정하였다.

대수층의 이방성 규명에 있어서는 대수층이 균질하다는 가정하에 양수시험을 하였으며, 양수시험을 통해 얻은 시간과 수위강하자료를 이용하여 Jacob의 직선법에 도시하여 수리인자를 산출하였다. 이방성 투수량계수텐서는 Draper와 Smith(1966)에 의해서 정립된 가중최소제곱(WLS)법을 사용하여 값을 구하였다. 이러한 값들을 종합하여 원형좌표계에 이방성타원체를 도시하고 대수층의 이방성을 검토하였다.

2. 연구지역 지질

본 연구지역은 경기도 남양주시 별내면 광전리에 위치해있으며, 좌표상 동경 $127^{\circ} 05' 00'' \sim 127^{\circ} 10' 00''$ 이고 북위 $37^{\circ} 37' 30'' \sim 37^{\circ} 45' 00''$ 에 속하고 있다. 주요지질을 조사한바에 의하면 이 지역은 선캠브리아 편마암류와 이를 관입한 쥐라기의 흑운모화강암 및 산성암맥, 그리고 상기 암체들을 부정합으로 피복하는 제 4기 충적층으로 구성된다.

3. 지표하단열조사

본 연구에서는 지표노두조사를 통해서 5개지점을 선정하여 공을 굴착하였으며 코아 검층 및 초음파주사검층을 통해서 각각의 공에 대한 균열방향을 결정하고 이를 토대로 가장 빈도가 높은 세 방향의 균열을 설정하였다. 이를 토대로 통합해본 결과 크게 세 방향의 균열군이 집중성을 보였다. 가장 빈도가 높은 균열의 방향은 $N0^{\circ} \sim 40^{\circ} E/30^{\circ} \sim 50^{\circ} SE$ 그리고 $N30^{\circ} \sim 80^{\circ} W/20^{\circ} \sim 50^{\circ} NE$ 이 방향이 함께 나타났으며 두 번째 균열의 방향은 $N0^{\circ} \sim 50^{\circ} E/60^{\circ} \sim 80^{\circ} NW$ 로 나타났다. 세 번째 방향은 $N30^{\circ} \sim 50^{\circ} W/70^{\circ} \sim 80^{\circ} SW$ 방향의 균열로 구성되며, 이 방향으로 지하수가 유동될 가능성이 우세하다고 보아진다.

4. 양수시험

양수시험은 대수층이 이방성이고 균질하다는 가정하에 실시하였으며, 한 개의 공을 양수할 때 주변 관측공에서 수위강하를 측정하였다. 이런 방법으로 5개의 공을 모두 이용하여 각각 양수를 실시하였다. 수리인자를 산출하기 위해서는 양수시험을 통해서 얻은 시간에 따른 수위강하 자료를 Jacob 직선법에 도시하여 산출하였다. 이방성을 논하는데 있어 직선법을 이용하여 계산되어지는 수리인자는 직선의 기울기, 수위강하가 영이되는 지점에서의 시간 t_0 , 투수량계수의 스칼라 양인 행렬식 D를 구할 수 있으며, 주 식은 다음과 같다.

$$s = \frac{2.303Q}{4\pi\sqrt{D'}} \log_{10} \frac{2.25t_0}{S} \left[\frac{D'}{T_{xx}(y^2) + T_{yy}(x^2) - 2T_{xy}(xy)} \right]$$

여기서, s 는 수위강하, Q 는 양수량, D' 는 각각의 관측공에 대한 D 의 평균값, t_0 는 수위강하가 영이되는 지점에서의 시간, S 는 저유계수, T_{xx} , T_{yy} , T_{xy} 는 투수량계수텐서이다.

5. 이방성 투수량계수텐서

직교좌표계에서 이차텐서 투수량계수 T 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \begin{pmatrix} T_{xx} & T_{xy} \\ T_{yx} & T_{yy} \end{pmatrix}$$

대수층이 이방성이고 균질하다고 가정하면, $T_{xx} \neq T_{yy}$ 고 T_{xy} 와 T_{yx} 는 서로 대칭이라고 표현할 수 있다.

이방성 투수량계수텐서를 결정하는 방법에는 세가지를 들 수 있다. 첫 번째가 일반적인 방법으로써 하나의 양수정을 중심으로 관측공 3개를 필요로 한다. 이 방법을 사용하여 투수량계수텐서를 구하는 과정에서 이방성텐서 값이 (-)를 가지는 경우가 발생된다. 이는 대수층이 균질하다는 가정하에 양수시험을 실시하지만 모든 연구지역에 적용되지 않기 때문이다. 즉, 비균질성이란 중요한 수리지질학적 조건이 발생된다. 그러므로, 양수정을 중심으로 더욱 더 많은 관측정을 필요로 한다. 첫 번째식을 보완하기 위한 방법으로써 최소제곱법을 들수있다. 이에 속하는 두 번째가 보통최소제곱(OLS)법이며 세번째 방법이 가중최소제곱(WLS)법이다. 본 논문에서는 세 번째 방법인 WLS방법을 이용하여 양수정을 중심으로 네 개의 관측공을 이용하여 이방성텐서를 계산하였다. 이 방법은 가중치 값을 임의로 선택하여 비균질성으로 인해서 (-)를 보이는 텐서값을 양의 값으로 결정해주는 방법이다.

원형좌표계에 도시되는 주된 이방성 투수량계수텐서는 다음과 같다.

$$T_{\xi\xi} = \frac{1}{2} \cdot \{(T_{xx} + T_{yy}) + \sqrt{(T_{xx} - T_{yy})^2 + 4T_{xy}^2}\}$$

$$T_{\eta\eta} = \frac{1}{2} \cdot \{(T_{xx} + T_{yy}) - \sqrt{(T_{xx} - T_{yy})^2 + 4T_{xy}^2}\}$$

여기서, $T_{\xi\xi}$ 는 최대 투수량계수이고 $T_{\eta\eta}$ 는 최소 투수량계수이며, 이방성 을은 $T_{\xi\xi}/T_{\eta\eta}$ 로 표현된다.

6. 결론

BH-1, 2, 3, 4, 5호공을 사용하여 지표하 균열상태와 양수시험을 통해서 지하수의

주된 흐름방향을 규명해 보았다. BH-2와 BH-3공에서 양수에 의해서 구한 이방성 투수량계수 텐서는 현장의 비균질성에 의해 이방성 타원체의 영향 범위에서 벗어났기 때문에 해석에서 제외하였다.

양수시험을 통해서 원형좌표계에 도시된 양수정 BH-1, BH-4, BH-5호공의 이방성 투수량계수 텐서는 다음과 같다.

① BH-1호공(pumped well)의 $T_{\xi\xi}$ 는 171.90m²/day, $T_{\eta\eta}$ 는 71.01m²/day이고 주 텐서방향은 N15.39° E로 나타났다.

② BH-4호공(pumped well)의 $T_{\xi\xi}$ 는 268.20m²/day, $T_{\eta\eta}$ 는 28.75m²/day이고 주 텐서방향은 N7.55° E 이다.

③ BH-5호공(pumped well)에서의 $T_{\xi\xi}$ 는 168.40m²/day, $T_{\eta\eta}$ 는 66.80m²/day이고 주 텐서방향은 N76.59° E로 나타났다.

각각의 공에 대한 이방성 율은 2.42, 9.33, 2.52로써 BH-4호공에서의 이방성 율이 가장 큰 값을 가진다. 이것으로 보아 BH-4에서 양수할 때 지하수의 주 흐름이 다른공에서 양수할때보다 한방향으로 우월하게 발생된다고 보아진다.

지하암반의 균열방향과 원형좌표계에 도시된 이방성 주 텐서방향과 연관시켜 보면, 지하암반에서 가장 집중성을 보이는 균열방향인 N0° ~40° E에 이방성 주 텐서방향의 속하는 것을 알 수 있다. 이는 이 방향으로 지하수의 흐름이 우세할것이라고 보아지며 다른 균열방향으로도 지하수흐름이 발생되지만 미미한 상태일 것이라 보아진다.

7. 참고문헌

1. 이대하, 채병곤 등, "단열조사 및 물리검층을 통한 지표하 단열특성 해석", 한국지반환경 공학회 제 2 권 제 1호(2001).
2. Domenico, Patrick A., and Schwartz, Franklin W. "Physical and Chemical Hydrogeology", pp. 141-155(1990).
3. Draper, N. P., and Smith, H. "Applied Regression Anagnosis", JOHN WILEY, New York, pp. 108-116(1966).
4. Hantush, Mahdi S. "Analysis of Data from Pumping Tests in Anisotropic Aquifer", Jour. Geophysical, Res., Vol. 71, pp. 421-426(1966).
5. Kern, John W., and Dobson, Carl W. "Determination of Variances for Maximum and Minimum Transmissivities of Anisotropic Aquifers from Multiple Well Pumping Test Data", Journal of Ground Water, Vol. 36, pp. 457-464(1998).
6. Maslia, Morris L., and Randolph, Robert B. "Methods and Computer Program Documentation for Determining Anisotropic Transmissivity Tensor Components of Two-Dimensional Ground-Water Flow", U.S.G.S Water-Supply Paper 2308(1987).