

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2024.10.5.693>

JCCT 2024-9-82

암반지하수 특성 인자로서 불연속면 밀도 적용 사례 연구

Case study on application of discontinuity density as a characteristics factor of rock mass groundwater

임명혁*

Ihm, Myeong Hyeok*

요약 전북 진안 지역은 다양한 암석 종류와 더불어 발달하고 있는 불연속면의 종류 또한 다양하여, 암반 내 지하수 거동을 분석하기 위해 불연속면의 종류별 배향과 빈도를 측정하였다. 불연속면의 배향 중 주향을 방위각으로 측정하여 불연속면 궤적으로 표현하였고, 불연속면 밀도는 단위면적당 발달한 불연속면 길이의 합으로 수치화하였다. 연구 지역의 불연속면 궤적은 전체적으로 북동 방향이 우세하며, 화성암 분포 지역에서 남북 방향과 동서 방향이 우세하고, 퇴적암 분포 지역은 동서 방향과 북동 방향이 우세하게 나타난다. 불연속면의 종류 중 지층 경계와 층리 및 엽리의 우세 배향인 북동 방향과 유사한 불연속면 궤적을 보인다. 불연속면 빈도는 0.1m^{-1} ~ $1,000\text{m}^{-1}$ 로 다양한 범위를 보인다. 불연속면 밀도 분포를 불연속면 등고선도 그림으로 표현하였다. 그 결과 연구 지역의 남부와 남서부 데미샘 부근의 암쇄암과 마령면 일대의 화성암 지역, 북동부 용담댐 부근의 화성암 지역 및 북서부 운일암·반일암 부근의 화성암 지역 등이 불연속면 밀도가 100m^{-1} 이상으로 가장 높게 나타났으나, 마이산 부근의 퇴적암 지역이 상대적으로 낮은 수치를 보였다. 기존 연구 지역의 물리탐사 및 시추조사 자료 결과와 지질구조 및 불연속면 밀도 및 궤적은 향후 암반 내 지하수 거동에 중요한 인자가 될 수 있음을 시사한다.

주요어 : 불연속면, 지질구조, 불연속면 밀도, 불연속면 궤적, 지하수

Abstract As there are various types of discontinuities developing along with various rock types, the orientation and density of each type of discontinuities were measured to analyze the behavior of groundwater within the rock mass. Among the orientations of discontinuities, the strike was measured in azimuth and expressed as a discontinuity trajectory, and the density of discontinuities was quantified as the sum of the lengths of discontinuities developed per unit area. The overall discontinuity trajectory in the study area is predominantly in the northeast direction, the north-south and east-west directions are dominant in the igneous rock distribution area, and the east-west and northeast directions are dominant in the sedimentary rock distribution area. Among the types of discontinuities, they show discontinuity trajectories similar to the northeast direction, which is the dominant orientation of stratum boundaries, stratification, and foliation. The discontinuity density ranges from 0.1 m^{-1} to $1,000\text{ m}^{-1}$. The density distribution of discontinuities was expressed in the form of discontinuity contour diagrams. As a result, the crushed rock near Demiseam in the southern and southwestern part of the study area, the igneous rock area around Maryeong-myeon, the igneous rock area near Yongdam Dam in the northeast, and the igneous rock area near Unilam and Banilam in the northwest showed the highest density of discontinuities at over 100m^{-1} . , the sedimentary rock area near Maisan Mountain showed relatively low values.

It suggests that the results of geophysical exploration and drilling survey data in the existing study area, as well as the geological structure and density and trajectory of discontinuities, may be important factors in the behavior of groundwater in rock mass in the future.

Key words : discontinuity, geological structure, discontinuity density, discontinuity trajectory, groundwater

*정회원, 대전대학교 재난안전공학과 교수 (단독저자)
접수일: 2024년 7월 10일, 수정완료일: 2024년 8월 10일
게재확정일: 2024년 9월 10일

Received: July 10, 2024 / Revised: August 10, 2024

Accepted: September 10, 2024

*Corresponding Author: mhilm61@hanmail.net

Dept. of Disaster Prevention and Safety Engineering,
Daejeon Univ, Korea

I. 서론

암반 내 지하수의 유동과 수량 및 수질에 대한 연구는 다양한 연구방법과 연구대상의 확대로 많은 연구결과가 도출되고 있다. 그럼에도 불구하고 암반 지하수의 유동 특성에 대한 파악을 위해 지하 암반에 발달하는 불연속면의 종류와 불연속면의 발달 상태를 측정하고 분석하기 매우 어려운 실정이다. 많은 예산과 시추 코아의 분석이 수반되지 않는 이상 비교적 정확하고 객관적인 자료를 확보하기 어렵다.

최근 울릉도 용천수의 유출 수량에 대한 지질학적 구조 요소가 중요한 제어 인자임을 밝힌 연구[1], 댐 도수터널이 지하수 흐름의 중요 인자인 암반의 불연속면 역할을 한다는 연구[2], 오염 지하수의 위해성 평가 방법을 제시한 연구[3], 딥러닝 기법을 이용한 지하수위 예측에 관한 연구[4], 등이 있다.

하지만 암반 지하수를 활용한 지하댐 조성, 농어촌 용수로서 지하수 역할의 중요성, 지하수 개발을 위한 지하수의 유동 방향, 유량 확보 및 수질 오염의 확산과 방지 대책 수립 시 중요한 자료 조사 및 설계 인자의 확보를 위해 암반 내 불연속면의 종류, 지질학적 및 공학적 특성 파악이 중요하다[5] [6] [7]. 많은 예산과 시간이 여유롭지 않은 현장 상황에서 비교적 손쉽고 정확한 지표 암반조사 방법이[8] 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 전라북도 진안군을 사례조사 지역으로 선정하여, 그림 1과 같이 전수조사로 지표에 노출된 암반 노두의 face-mapping 자료와 불연속면의 종류, 불연속면 종류별 배향, 길이, 틈, 간격 및 불연속면 밀도, 등을 측정하고 이를 암반 지하수 특성을 대표할 수 있는 인자 분석 사례를 제시하고자 한다.

II. 지질

1. 지표 지질

그림 2와 같이 진안지역에 분포하는 암석은 매우 다양하고 종류가 많은 것이 (약 50 여종) 특징이다. 그러나 지질도에 암석 종류에 따라 구분하여 표시하는 것은 복잡하고 연구의 목적과 활용성 및 연계성이 낮아 비합리적이라 할 수 있다. 지질시대별 지층 분포를 구분하면 선캄브리아기 변성암류는 진안군의 남동부에 북동 방향으로 존재하며, 이를 제외한 나머지 지층은 모두

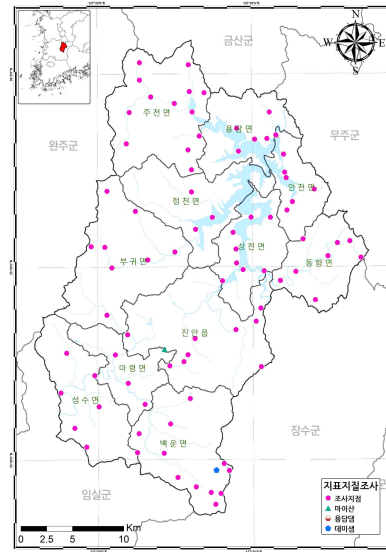


그림 1. 진안지역 지표 암반 노두의 전수조사 지점 위치
Figure 1. Location of comprehensive survey points of surface rock outcrops in Jinan area

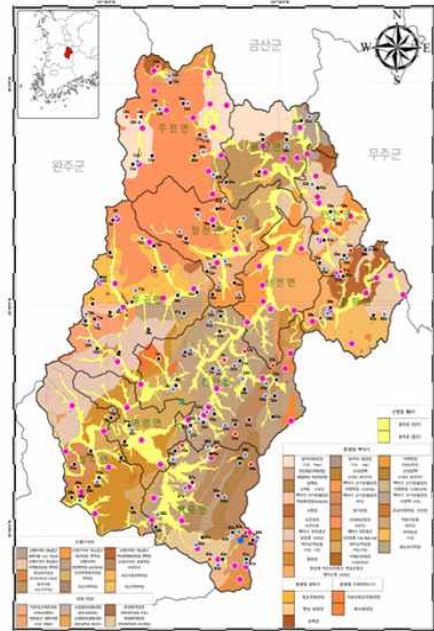


그림 2. 진안지역의 지표 지질도
Figure 2. Geological map of the study area.

중생대 백악기 지층으로 남동부 일부와 북서부에 넓게 분포한다. 전체적으로 진안군 지역의 지질분포는 남동부에 선캄브리아기 변성암류가 주로 분포하고, 중앙부는

백악기 퇴적암류가 마이산을 중심으로 나타나며, 북서부에는 백악기말 화산활동에 기인한 화산암류와 화산성 응회암류가 주로 분포한다. 그러나 암반 지하수의 조사·개발 및 공학적 측면에서 그림 3과 같이 3개의 암석군 (화성암, 퇴적암, 변성암)으로 단순화하여 지표지질도에 표시하는 것이 합리적이고 활용성이 높다고 판단된다.

2. 지질구조

그림 4 입체지질도에 표시한 것처럼 진안군에 분포하는 지층의 지질구조는 기하학적으로 깊은 심도의 저부에 중생대 화성암이 넓게 분포하고, 화성암 상위에 변성암이 루프펜단트 형식으로 잔존하며, 변성암 상위에 부정합으로 중생대 퇴적암이 분포한다. 층서학적으로 선캠브리아기 변성암류를 기저로 대규모 주향이동단층에 의한 분지의 형성으로 분지경계단층 상에 중생대 백악기 퇴적암류가 부정합적으로 퇴적되어 있고, 백악기말 관입화성암과 분출화산암이 변성암류와 퇴적암류를 모두 뚫고 화성암류로 분포한다.

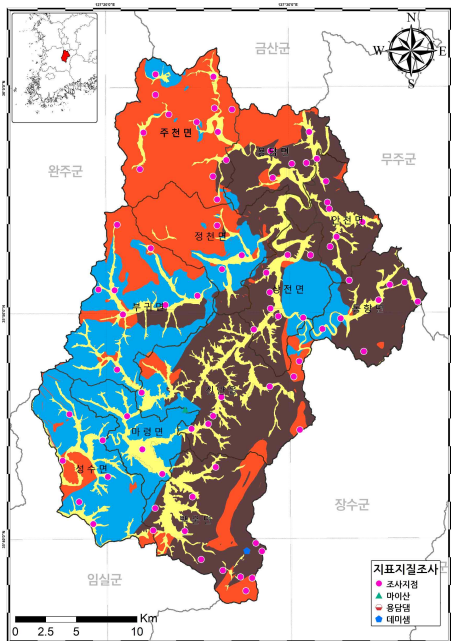


그림 3. 진안지역의 암석군별 지표 지질도
 Figure 3. Geological rock group map of the study area.

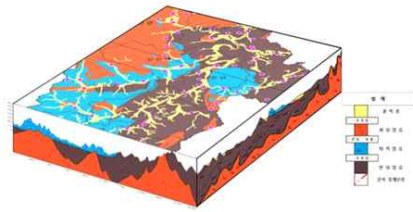


그림 4. 진안지역 암반의 입체지질도
 Figure 4. Block diagram of the study area.

III. 불연속면

진안지역 변성암류는 엽리[점판벽개(slaty cleavage), 편리(schistosity), 편마구조(gneissosity), 분쇄엽리(mylonitic foliation)]와 단열[절리와(joint) 단층(fault)]이 주로 발달하고 있고, 퇴적암류는 층리와 단열이 주로 발달하고 있으며, 화성암류는 일부 층리(응회질암)와 주로 단열이 발달하고 있다. 암반공학적으로 변성암의 엽리는 연장이 거의 무한으로 발달하고 간격은 수 mm 이하, 틈은 거의 없는 상태로 분포한다. 퇴적암의 층리 또한 연장이 거의 무한이며, 간격은 역암의 경우 m 규모이고 사암의 경우는 cm 규모이며 응회암의 경우는 mm 규모로 발달하고, 틈은 조립질암의 경우 수 mm, 세립질암은 1mm 이하의 상태로 발달한다. 화성암을 비롯한 모든 암반은 단층과 전단절리의 경우 틈은 1mm 이하로 발달하나 인장절리의 경우 수 mm 이상으로 넓은 것이 특징이다. 연구지역의 경우, 지질공학 및 수리지질학적 측면에서 화성암과 변성암에 발달한 불연속면은 상대적으로 일정한 배향과 간격 및 틈을 나타내고 있어 지하수의 유동 및 저류에 유리한 암반이다. 특히 조립질이며 결정질 변성암인 편마암류와 화강편마암 및 편암류는 단열 특성이 화성암과 유사하여 더욱 유리한 수리지질학적인 특성을 나타낸다.

1. 불연속면 궤적

주불연속면 (main discontinuity) 정의는 암반 노두에 관찰되는 불연속면 중 일정한 주향과 경사를 나타내고, 거의 유사한 간격을 보이며, 비교적 연장성이 길고, 가장 인지성이 우세한 불연속면을 주불연속면이라 정의한다. 주불연속면은 인장절리, 전단절리, 층리, 엽리, 단층, 관입접촉면, 부정합면, 등으로 구분한다.

불연속면 궤적 (trajectory) 정의는 현장 암반 노두에

서 결정된 주불연속면의 주향을 암석군 기준 지표 지질도 상에 궤적 곡선으로 표현한다.

그림 5와 같이 진안지역 암반에 발달하는 주불연속면 궤적 분포 특성은 전체적으로 북동-남서 방향의 궤적이 우세하게 나타나며, 진안군 서부지역에서 부분적으로 동서 방향의 궤적도 보인다.

주불연속면의 궤적은 지층의 연장방향이나 지질구조를 이해하는데 도움이되며, 지하수 측면에서는 암반 지하수의 유동(통로) 방향을 의미한다. 지하수 유선망과 결부하여 암반 지하수의 이동 방향을 예측하는 도구가 된다.

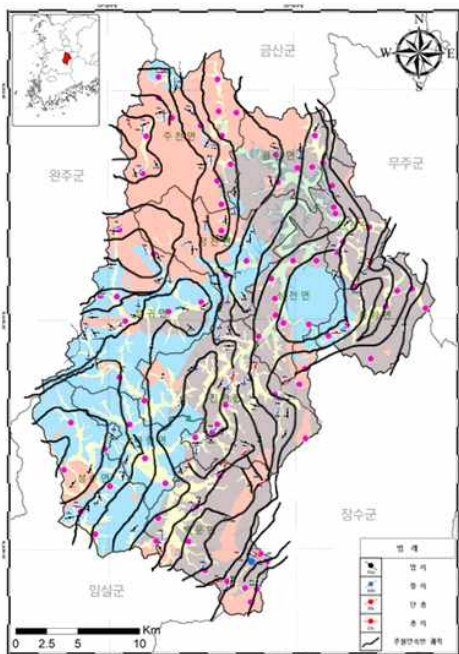


그림 5. 진안지역 주불연속면 궤적도
Figure 5. Trajectory of main discontinuities for the Jinan area.

2. 불연속면 밀도

불연속면 밀도 (discontinuity density) 정의는 현장 암반 노두에서 일정한 면적 내에 발달한 불연속면의 길이 총합을 불연속면 밀도로 정의한다. 가로×세로 1m×1m 면적 안에 발달한 불연속면의 길이를 모두 합한 값을 1m²로 나누어서 도출된 값을 불연속면 밀도라고 하고, 단위는 m/m² 혹은 m⁻¹로 나타낸다.

불연속면 밀도 등고선도 (contoured diagram) 정의는 조사 지점별로 계산된 불연속면 밀도 값을 특정 구

간으로 나누어 지표 지질도 상에 등고선으로 표현한 도면을 불연속면 밀도 등고선도라고 한다.

그림 6과 같이 진안지역 암반에 발달한 불연속면 밀도 분포는 최저 0.1m⁻¹ ~ 1,000m⁻¹까지 나타난다. 불연속면 밀도 값은 지하수의 저류양과 비례하며, 불연속면 궤적과 더불어 지하수의 이동과도 깊은 관련성을 의미한다. 진안군에서 불연속면 밀도가 100⁻¹ 이상 높게 나타나는 곳은 주로 남동부 지역인 백운면, 천천면, 동향면, 상진면, 안천면에 일부 해당하고, 북부 주천면에 국부적으로 나타난다.

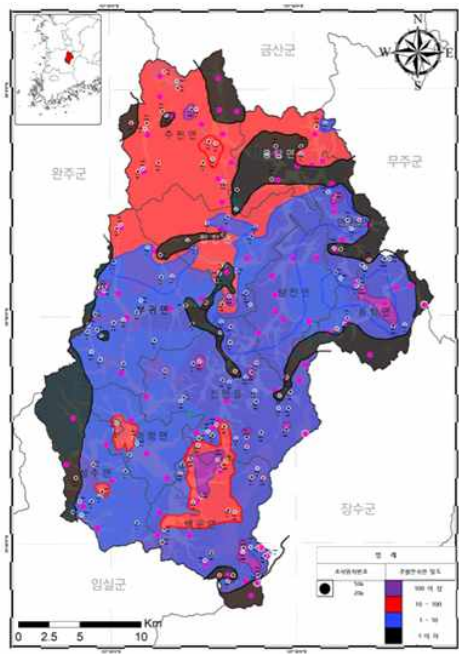


그림 6. 진안지역 불연속면 밀도 등고선도
Figure 6. Contour diagram of discontinuities for the Jinan area.

IV. 결 론

전라북도 진안군을 사례조사 지역으로 선정하여, 진수조사로 지표에 노출된 암반 노두의 face-mapping 자료와 불연속면의 종류, 불연속면 종류별 배향, 길이, 틈, 간격 및 불연속면 밀도, 등을 측정하고 이를 암반 지하수 특성을 대표할 수 있는 인자인 주불연속면 궤적과 불연속면 밀도로 암반 지하수 특성을 나타낼 수 있음을 제시하였다.

진안지역의 지질분포는 남동부에 선캠브리아기 변성

암류가 주로 분포하고, 중앙부는 백악기 퇴적암류가 마 이산을 중심으로 나타나며, 북서부에는 백악기말 화산 활동에 기인한 화산암류와 화산성 응회암류가 주로 분 포한다. 그러나 암반 지하수의 조사·개발 및 공학적 측 면에서 3개의 암석군으로 단순화하여 지표지질도에 표 시하는 것이 합리적이고 활용성이 높다고 판단된다.

진안지역 지층의 지질구조는 기하학적으로 깊은 심 도의 저부에 중생대 화성암이 넓게 분포하고, 화성암 상위에 변성암이 루프팬단트 형식으로 잔존하며, 변성 암 상위에 부정합으로 중생대 퇴적암이 분포한다. 층서 학적으로 선클램브리아기 변성암류를 기저로 대규모 주 향이동단층에 의한 분지의 형성으로 분지경계단층 상 에 중생대 백악기 퇴적암류가 부정합적으로 퇴적되어 있고, 백악기말 관입화성암과 분출화산암이 변성암류와 퇴적암류를 모두 뚫고 화성암류로 분포한다.

진안지역의 경우, 지질공학 및 수리지질학적 측면에 서 화성암과 변성암에 발달한 불연속면은 상대적으로 일정한 배향과 간격 및 넓은 틈을 나타내고 있어 지하 수의 유동 및 저류에 유리한 암반이다. 특히 조립질이 며 결정질 변성암인 편마암류와 화강편마암 및 편암류 는 단열 특성이 화성암과 유사하여 더욱 유리한 수리지 질학적인 특성을 나타낸다.

진안지역 암반에 발달하는 주불연속면 궤적 분포 특 성은 전체적으로 북동-남서 방향의 궤적이 우세하게 나타나며, 진안군 서부지역에서 부분적으로 동서 방 향의 궤적도 보인다. 주불연속면의 궤적은 지층의 연장방 향이나 지질구조를 이해하는데 도움이 되며, 지하수 측 면에서는 암반 지하수의 유동 (통로) 방향을 의미한다. 지하수 유선망과 결부하여 암반 지하수의 이동 방향을 예측하는 도구가 된다.

진안지역 암반에 발달한 불연속면 밀도 분포는 최저 $0.1\text{m}^{-1} \sim 1,000\text{m}^{-1}$ 까지 나타난다. 불연속면 밀도 값은 지하수의 저류량과 비례하며, 불연속면 궤적과 더불어 지하수의 이동과도 깊은 관련성을 의미한다. 진안군에 서 불연속면 밀도가 100^{-1} 이상 높게 나타나는 곳은 주 로 남동부 지역인 백운면, 천천면, 동향면, 상진면, 안천 면에 일부 해당하고, 북부 주천면에 국부적으로 나타난다.

본 사례 연구는 지표에 노출된 암반의 불연속면 조 사 결과 도출한 주불연속면의 궤적 및 불연속면 밀도 자료가 기존의 지구물리탐사 및 시추조사 자료 결과 및 지질구조 특성은 향후 암반 내 지하수 거동, 예측 및

개발에 중요한 지표가 될 수 있음을 보여준다.

References

- [1] Lee, B.D., Han, M., Ryoo, C.R., and Cho, B.W., 2024, Hydrogeological Controls on the Discharge Rate of Choosan Spring in the Nari Basin of Ulleung Island, South Korea, *The Journal of Engineering Geology*, 34(1), 13-24, (in Korean with English Abstract).
- [2] Kim, G.H., Moon, S.W., and Seo, Y.S., 2023, Effect of the Yeongcheon Dam Waterway Tunnel, Korea, on Local Groundwater Levels, *The Journal of Engineering Geology*, 33(3), 461-474, (in Korean with English Abstract).
- [3] Oh, S.L., Lee, J.Y., Moon, S.H., Jang, J.W., and Jeong, E.J., 2022, Risk Assessment of Arsenic-Contaminated Groundwater in Multiple Scenarios in a Rural Area of Gyeongnam Province, Korea, *The Journal of Engineering Geology*, 32(4), 437-448, (in Korean with English Abstract).
- [4] Park, J.S., Jeong, J.H., Jeong, J.N., Kim, K.H., Shin, J.H., and Lee, D.Y., 2022, *The Journal of Engineering Geology*, 32(4), 697-723, (in Korean with English Abstract).
- [5] Ihm, M.H., 2022, Jinan area integrated groundwater basic survey, Korea Water Resources Corporation, Geogreen Co., Ltd. 21, Autumn 2022 Conference of The Journal of Engineering Geology, (in Korean with English Abstract).
- [6] Ihm, M.H., 2023, Hydrogeological role of discontinuity density and trajectory by rock type - Jinan area case study, 2023 Korean Society of Geotechnical Engineering Spring Conference (in Korean with English Abstract).
- [7] Ihm, M.H., 2023, Detailed investigation of discontinuities in bedrock for the construction of an underground dam in the Yeongdong area, Korea Water Resources Corporation, Geo-engineering, Autumn 2023 Conference of The Journal of Engineering Geology, (in Korean with English Abstract).
- [8] Ihm, M.H., 2024, Integrated groundwater basic survey in Muju area, Korea Water Resources Corporation, Intelligio Co., Ltd. Spring 2024 Conference of The Journal of Engineering Geology, (in Korean with English Abstract).

※ 이 논문은 2023학년도 대전대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.