

KURT 주변지역의 수리지질특성 연구

이진용^{1*} · 김경수¹ · 박경우¹ · 한운우²

¹한국원자력연구원, ²대전대학교

Hydrogeological properties around the KURT

Jin-Yong Lee^{1*}, Kyung-Su Kim¹, Kyung-Woo Park¹, and Woon-Woo Han²

¹Korea Atomic Energy Research Institute, ²Dae-Jeon University

현재 방사성폐기물 처분기술 개발을 위해 운영되고 있는 시설인 KURT는 부지특성조사의 일환으로 안정성 평가차원에서 확대하여 이뤄지고 있다. 본 연구는 KURT 주변지역의 구성된 지질모델을 기초로 하여 부지규모의 수리지질학적 유동특성에 대한 연구를 하였다. 연구지역에 분포된 시추공을 이용하여 스테레오 넷으로 도시한 결과 NS, NW, EW, 저경사 단열대군으로 구분할수 있었으며 지질 모델의 구성요소로는 상부 토양층 및 풍화대, 저경사 단열대, 단열대로 구분되었다. 구분된 단열대에 수리시험을 통하여 지하수가 대수층을 통해 이동할 수 있는 유동력을 제공하는 수리전도도 및 수리경사에 영향을 미치는 단열의 크기 와 방향성에 대한 정규분포 통계 분석을 수행함으로 연구지역 내 NS 방향의 단열이 우세함을 확인 하였다. 또한, 저경사 단열대의 수리전도도의 값은 3.61E-07 m/s로 주요 단열대보다 큰 값을 가지며, 기반암이나 기반암에 존재하는 단열대와 수리학적 특성이 상이하다.

주요어 : 수리전도도, 지하수, 수리학적 특성, 단열대

Current technology for radioactive waste disposal facility is operated as part of KURT site characterization in terms of reliability assessment is conducted to expand. In this study, a geological model of KURT surrounding area on the basis of flow characteristics of the site-scale hydrogeological study was about. Distributed in the study area into four boreholes were plotted using the stereo net NS, NW, EW, Low-angle fracture group was able to identify the components of geological models and include top soil layer, belt of weathering, Low-angle fracture zone, fracture zone was divided into. Separated by fracture of the hydraulic test of through the groundwater aquifer that provides the flow hydraulic conductivity and insulation hydraulic affecting the slope of the normal distribution for the size and direction by performing statistical analysis of fracture in the direction of local ns The advantage was confirmed. In addition, Low-angle fracture hydraulic conductivity of the value of 3.61e-07 m/s has a value greater than the major fracture, the fracture zones exist in the base rock and base rock and the hydraulic characteristics of the different methods applied and had to have a different interpretation judged by was.

Key words : hydraulic conductivity, ground water, hydrologic properties, fracture

서 언

우리나라는 현재 강수 패턴 변화, 이상기상 현상 등으로 강수량 및 강수일수의 부족으로 가뭄이 자주 발생하고 있다. 이에 지하수를 이용하는 대안이 제안되면서 지하수 유동특성에 대한 연구의 필요성이 점차 증가하고 있다.

강우에 의한 함양 혹은 지하매질에서의 지하수를 포함

하고 있는 대수층은 지하수를 얼마나 잘 흐르게 하는가를 표현하는 수리전도도와 유동방향, 유동속도에 영향을 주는 수리경사에 의해 결정된다. 이러한 수리전도도 및 수리 경사를 산출하기 위해 관측용 시추공을 통하여 지하수의 관측과 시추공을 이용한 현장 수리시험을 이용하게 된다. 시추공 내의 수리시험을 통한 수리전도도는 단열대의 경사 및 분포 빈도에 따라 서로 다른 값을 가지고 있으며 복잡

*Corresponding author: jinyong@kaeri.re.kr

한 단열의 분포특성에 의해 그 해석이 매우 난해하다. 암반 내 지하수 유동체계는 일반적으로 수리적 특성을 정확하게 파악하는 것이 가장 중요하다. 기존 보고서의 지표 지질조사와 시추공 단열조사 및 예측 투수성 구조를 분석하여 구축된 지질모델을 근거로 연구지역 내의 실증 수리시험을 수행함으로써 결정질암반에서의 지하수 유동의 특성을 연구하였다.

연구지역의 시추공 조사

실증 수리시험의 대상 시추공은 YS와 KP관정, 총 9개의 관정을 이용하였으며 한국원자력연구원 내의 방사성폐기물 처분기술 개발을 위해 운영되고 있는 시설인 KURT (KAERI Underground Research Tunnel)의 주변에 분포되어 있다(Fig. 1).

본 연구에 구축된 지질모델의 경계 영역은 기존의 광역 규모의 지하수 유동 모델링을 통한 연구지역의 무유량 경계의 영역을 이용하였으며, 국지규모의 한 부분으로 연구지역에 대한 상세 현장 조사가 수행되었던 부분을 포함하여 구성하였다. 이 연구지역의 지질 모델의 구성요소는 상부 토양층 및 풍화대, 저경사 단열대, 단열대로 구성되어 있었으며 각 구성요소는 크기와 방향성으로 분류하고 지표 지질조사 및 시추공 조사 결과를 이용하여 KURT 주변 지역의 지질모델을 구성하였다(박경우 외, 2009).

위의 보고서에 따르면 시추공 조사의 일환으로 시추공 텔레뷰어 자료를 이용하여 단열대 분석을 실시하였다. 시추공 텔레뷰어 결과 시추공별로 단열에 대한 분포가 깊이별로 도출되면, 깊이별 단열 정보를 이용하여 공간 분석을 수행하

였고, 그 결과를 활용하여 단열대를 정의하고 이를 시추공별로 구분하였다. 또한, 시추공 텔레뷰어 결과 및 시추공 분석에서 각 단열대에 대한 주요 단열을 분석하여 단열의 방향성을 예측함으로써 단열대의 폭을 구하였다 (Table 1, Fig. 2).

Table 1. Fracture zone in the borehole (Park et al., 2009).

Borehole	Fracture Zone (mabh)		Direction	Size
	From	to		
YS-01	8	53	Low-angle	S
	87.0	121.8	NS High	A
	133.0	138.5	NS High	C
	239.0	254.7	NW-High	B
	317.6	320.0	NS High	C
	417.3	418.5	NS High	C
	430.3	447.2	NW-High	B
YS-02	481.0	489.2	NW High	C
	88.9	94.4	NS High	C
	97.0	119.6	NS High	B
YS-03	137.5	152.1	NS High	B
	10	38	Low-angle	A
	66	74.1	Low-angle	B
	105.5	152.4	NS High	A
	179.7	185.6	NW High	C
YS-04	234.7	246	NS High	B
	10	28	Low-angle	A
YS-05	269	275.6	NS High	B
	5.3	22.5	Low-angle	A
YS-06	144.4	145.9	NS High	C
	16.5	45.8	Low-angle	A
	51.5	61.0	NW-High	B
	69.5	93.0	NS High	A
	113.0	120.0	NW-High	B
	155.0	161.0	NW-High	B
	258.0	271.0	Low-angle	A
YS-07	49.0	66.0	EW-High	B
	66.0	84.2	Low-angle	A
	122.6	122.9	NW-High	C
	248	255.2	NW-High	C
KP-01	387.4	393.0	EW-High	C
	27.0	83.0	EW, NS High	S
	102.0	106.0	NS-High	C
	115.0	132.0	NS-High	A
KP-02	176.5	195.0	EW-High	A
	8	50	Low-angle	S

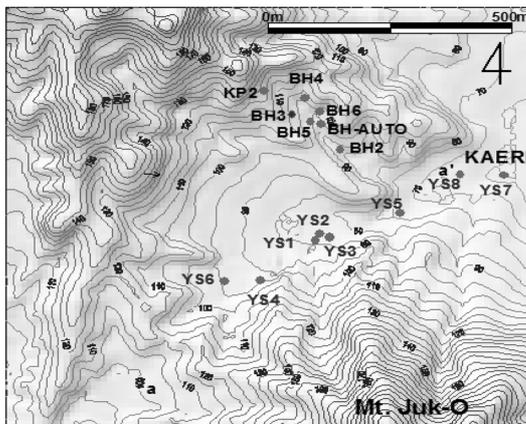


Fig. 1. Distribution of boreholes in the study area (modified from Park et al., 2009).

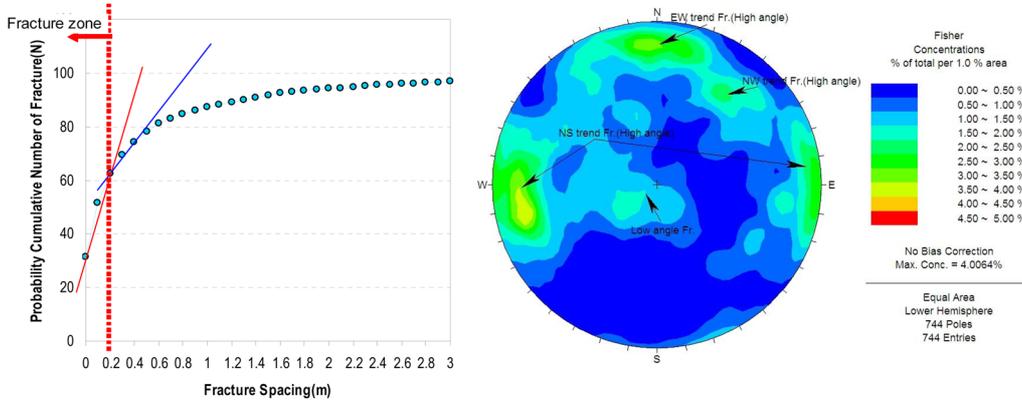


Fig. 2. Analysis of the spatial and directional borehole (Figs 11 and 13 in Park et al., 2009).

이렇게 분석된 단열대의 방향성과 폭을 시추공 별로 존재하는 단열대를 SKB criteria의 분류기준을 본 연구지역에 맞게 정의하였으며, 이를 최종적으로 Class S, A, B, C로 분류하였다(Table 2, 3).

Table 2. Scale of fracture by category (SKB criteria).

Class	Length	Width	description	Behavior
Regional fracture zone	> 10 km	> 100 m	Deterministic	
Local major fracture zone	1-10 km	5-100 m	Deterministic (with uncertainties)	HCD
Local fracture zone	10 m-1 km	0.1-5 m	Statistical (some deterministic)	
Background Fracture	< 10 m	< 0.1 m	Statistical	

Table 3. Around of KURT fracture zone by scale category base (YS site)(Table 5 in Park et al., 2009).

Class	Sub-class	Width	Geometric description	Hydraulic Behavior
Regional fracture zone		> 100 m	Deterministic	
Local major fracture zone	Class S	50-100 m	Deterministic (with uncertainties)	HCD
	Class A	10-50 m		
	Class B	5-10 m		
Local fracture zone	Class C	0.1-5 m	Statistical (some deterministic)	
Background Fracture		< 0.1 m	Statistical	

연구지역의 수리시험

수리시험은 다중패커시스템이 설치된 시추공을 제외한 각 시추공의 시험 단열구간에 이중패커를 이용하여 구간을 분리시키고 분리된 구간에 물을 주입하거나 수위를 낮추어 수두가 회복되는 과정을 Cooper-Bredehoeft-Papadopolos의 순간충격시험을 수행하여 해석하였다 (Cooper et al., 1967). 다중패커시스템이 설치된 3개의 관정은 패커 설치 전 구간별 정압주입시험의 데이터를 이용하였으며, 유동차원에 대한 필요성 및 해석방법은 Doe and Geier를 이용하였다(Doe and Geier, 1990; 김경수 외, 2002). 각 시험을 이용한 수리전도도의 값은 Table 4 와 같다.

크기와 방향성에 의한 통계분석 결과

크기에 의한 통계분석

지구조적 활동에 의해 생성된 단열은 개개의 단열이 독립적으로 존재하는 단열대를 구성하게 된다. 단열대는 길이 및 폭을 기준으로 광역규모의 단열과 국지 규모의 단열로 나눌 수 있다. 본 연구 지역에서 정의된 단열대의 폭을 기준으로 분류된 Class S, A, B, C 가운데 Class S, A, B의 major fracture 와 Class C의 Back ground fracture의 크기에 의한 단열 그룹의 분포에 따른 수리전도도의 크기를 통계분석 하였다(Fig. 3, 4).

단열의 크기분류에 의한 통계분석의 값으로 major fracture zone에서는 1.24E-04~1.23E-10의 분포값을 보였고 2.49E-07 m/s의 평균값과 0.734의 표준편차를 보였다. 이어 minor fracture zone에서의 분포는 major

Table 4. Slug test and fill test using the estimated hydraulic conductivity of fracture zones.

Borehole	Fracture Zone (mabh)		K Values
	From	to	
YS-01	8	53	7.93E-08
	87	121.8	1.23E-10
	133	138.5	4.73E-10
	239	254.7	7.10E-08
	317.6	320	4.07E-10
	417.3	418.5	3.10E-08
	430.3	447.2	2.46E-10
YS-02	481	489.2	2.58E-09
	88.9	94.4	2.47E-06
	97	119.6	1.03E-07
YS-03	137.5	152.1	1.33E-06
	10	38	1.08E-07
	66	74.1	5.20E-06
YS-04	105.5	152.4	1.28E-07
	179.7	185.6	2.20E-08
	234.7	246	1.24E-04
YS-05	10	28	1.03E-06
	269	275.6	1.13E-06
YS-06	5.3	22.5	2.75E-07
	144.4	145.9	6.45E-10
	16.5	45.8	1.07E-06
	51.5	61	2.93E-06
	69.5	93	9.09E-08
	113	120	4.08E-08
YS-07	155	161	6.45E-07
	258	271	2.11E-06
	38	84.2	4.83E-09
KP-01	248	255.2	2.06E-07
	387.4	393	5.64E-07
	27	83	3.31E-07
KP-02	102	106	1.50E-08
	115	132	1.91E-07
	176.5	195	1.07E-07
	8	50	7.74E-07

fracture zone에서와 비슷한 분포를 보였으며 8.7E-08 m/s의 평균값과 1.525의 표준편차값을 보였다.

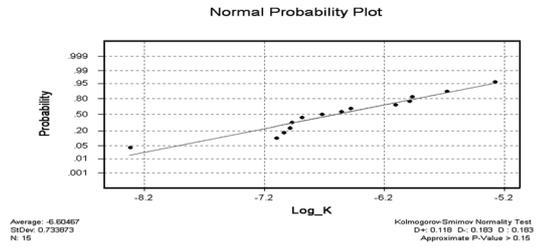


Fig. 3. Normal distribution, statistical analysis of major fracture zones.

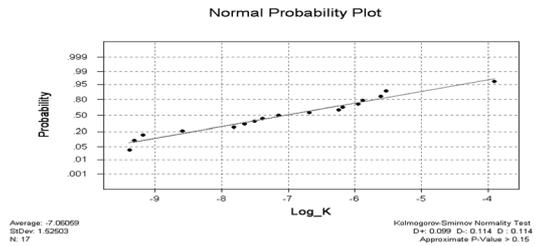


Fig. 4. Normal distribution, statistical analysis of minor fracture zones.

방향성에 따른 정규분포 통계분석

결정질 암반에서의 단열은 일정한 방향성을 가지게 되며, 시추공에서 관찰되는 단열의 방향성 및 경사를 통해 단층대 혹은 단열대를 파악하여 지질역학적 메커니즘을 추론할 수 있다. KURT 주변 연구 지역의 시추공에서 조사된 모든 단열의 극점을 Stereo Net에 투영한 결과, 각각의 단열을 4개의 그룹 (NS High angle, NW High angle, EW High angle, Low angle fracture)으로 분류할 수 있었다. 위 분류기준을 이용하여 각 시추공에서 관찰되는 단열을, 각 단열 그룹의 분포에 따른 수리전도도의 크기로 정규분포 통계분석을 하였다(Fig. 5).

단열의 방향성 분류에 의한 통계분석의 값으로 NS, NW, EW, 저경사 단열대 가운데, 저경사 단열대의 수리전도도 값의 평균값은 3.6E-07 m/s의 가장 큰 값을 보이고 0.917의 표준편차를 보였다.

토의 및 결론

연구 지역의 단열대의 수리전도도는 단열의 크기 및 방향성에 따라 각기 다른 값을 가지는 것으로 분석되었으며, 이는 연구 지역에서의 지질모델 구축하는 과정에서 분류된 단열의 크기와 방향성의 방향에 따라 수리지질학적 특성이 다름을 의미한다. 다시 말하면, 일반적으로 결정질 암반에서의 단열은 단층 활동, 화산 및 지진

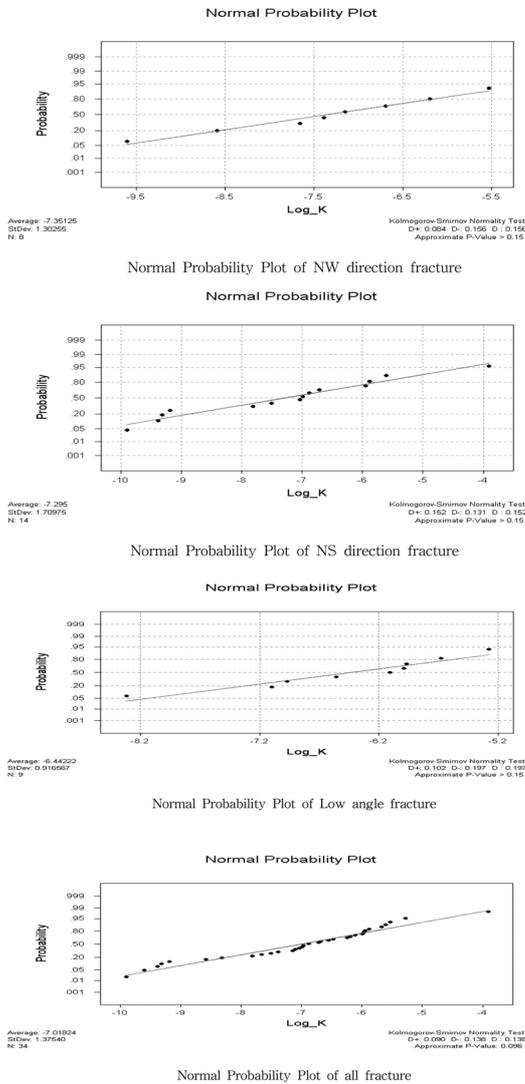


Fig. 5. Each direction by the normal distribution, statistical analysis of the category.

활동, 응기 및 침식 등의 지질학적 현상에 근거하여 생성된다. 이러한 지질학적 사건은 지하 매질내의 일부 제한된 영역에서 발생하는 것이 아니며, 비교적 광역적으로 발생하게 되는데 이런 기작을 통해 지하 암반 내에 단열이 생성되게 된다. 일정한 방향성을 가지는 결정질 암반의 시추공에서 관찰되는 단열의 경사와 크기 및 빈도 등이 수리학적 특성을 결정하는 중요한 기준이 되는 것이다.

연구 지역에서 구축된 지질모델에 근거하여 단열대의

크기를 기준으로 Class S, A, B 단열대의 수리지질 특성을 도출한 결과, 수리전도도는 대수정규분포의 특성을 갖는 것으로 분석되었다. 또한, 김경수 외(2002)가 본 연구 지역에서 기반암을 대상으로 도출한 수리전도도의 비교한 결과 단열대의 수리전도도가 2 order 이상의 값을 갖는 것으로 분석되어 연구 지역의 심부 영역에서 지하수 유동을 지배하는 것으로 판단된다.

방향성에 따라 단열대가 갖는 수리전도도를 분석 결과에서는 남북 방향의 단열대가 전체 단열대의 수리전도도 평균에 가장 가까운 값을 보였으며, 연구 지역의 지하수 흐름에 크게 영향을 주는 것으로 판단되었다. 특히 연구지역에서 풍화대의 하부에 분포하는 저경사 단열대의 경우 단열의 분포 방향에 따라 수평 방향의 투수성이 크기 때문에 수리지질학적 이방성을 갖게 되므로 기반암 및 풍화대의 수리지질 특성과 상이할 것으로 판단된다. 따라서, 저경사 방향의 단열이 우세한 저경사 단열대의 경우 심부 영역에 존재하는 단열대와 더불어 연구지역의 수리지질모델의 한 요소로서 반드시 입력되어야 할 것이다.

본 연구를 통해 연구 지역의 수리지질모델의 단열대 및 저경사단열대에 대한 수리지질특성을 분석하였다. 이러한 분석 결과는 연구 지역에서 존재할 수 있는 확인되지 않은 단열대에 대한 수리지질특성을 예측할 수 있게하며, 조사 영역 밖에 존재하는 지질구조의 수리지질특성을 평가할 수 있는 방법으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구기반확충사업-연구시설/장비구축운영분야 지원 (과제번호: 2009-0083259)으로 수행되었으며, 원자력연구개발 중장기계획 사업과제인 KURT 시설지원을 받았음을 밝히며 이에 감사드립니다.

참고문헌

김경수, 김천수, 배대석, 2002, 등연속체매질로서의 화강암지역의 유효수리전도도 산출, 지질공학회지, 12(3), 319-332.
 박경우, 고용권, 김경수, 최종원, 2009, 지표조사를 이용한 KURT 주변 지역의 지질모델구축, 방사성폐기물학회지, 7(4), 191-205.
 Cooper, h.h., Bredhoeft, Jr.J. D. and Papadopulous, I.S., 1967, Response of a Finire-Diameter Well to an

Instantaneous Charge of Water, Water Resources Research, 3(1), 263-269.
 Doe, T. W and J. E. Geier, 1990. Interpretation of fracture system geometry using well test data, Stripa Project 91-03, SKB, Stockholm. 222p.

2010년 1월 27일 원고접수, 2010년 6월 14일 게재승인

이진용

한국원자력연구원 방사성폐기물기술개발부
 TEL: 042-868-2063
 FAX: 042-868-2064
 E-mail: jinyong@kaeri.re.kr

김경수

한국원자력연구원 방사성폐기물기술개발부
 대전광역시 유성구 덕진동 150-1번지
 TEL: 042-868-2365
 FAX: 042-868-2064
 E-mail: kskim@kaeri.re.kr

박경우

한국원자력연구원 방사성폐기물기술개발부
 대전광역시 유성구 덕진동 150-1번지
 TEL: 042-868-8893
 FAX: 042-868-2064
 E-mail: woosbest@kaeri.re.kr

한운우

대전대학교 공과대학 토목공학과
 대전광역시 동구 용운동 96-3
 TEL: 042-280-2533
 FAX: 042-280-2509
 E-mail: wwghan@dju.kr