

## 단열대 도출 정량화를 위한 통계적 기법 활용

박경우, 배대석, 김진영, 김경수  
 한국원자력연구원, 대전시 유성구 대덕대로 1045번지  
 woosbest@kaeri.re.kr

### 1. 서론

방사성폐기물 처분 연구를 위해 연구지역의 부지특성조사에서 우선적으로 도출해야 하는 것은 지질모델이다. 연구지역의 지질모델을 기반으로 해서 지하수 흐름을 해석할 수 있는 수리지질모델이 도출되며, 수리지질모델에 근거하여 처분 안전성 평가의 입력 자료가 비로소 도출될 수 있다. 일반적으로 지질모델은 단층의 크기 및 방향을 설명하는 지질구조모델을 의미한다고 생각할 수 있으나, '처분 영역을 흐르는 지하수를 통해 핵종이 이동한다'는 수리지질학적 관점에서 주요한 투수성 단열대 및 지하수 흐름의 통로 혹은 방벽의 역할을 하는 단층에 대한 기하학적 특성을 설명하는 모델로 정의할 수 있다. 본 연구는 장심도 시추공 지질조사 자료로서 수행된 각 물리검층 자료를 이용하여 지질모델에 입력될 투수성 단열대 도출을 위해 수행되었으며, 이를 위해 통계적인 기법을 적용하여 보다 객관적인 방법으로 투수성 단열대를 도출하고자 한다.

### 2. 본론

#### 2.1. 연구 지역

방사성폐기물 처분 연구의 일환으로 한국원자력연구원의 연구지역에서 총 255m의 굴착 길이를 갖는, 단면 6(W) × 6(H)m(마세형), 굴착방향 N56° W, 하향 5.7°로 지하처분연구시설(KURT)를 건설하였다. KURT는 주터널 외에 좌우측 두 개의 연구용 터널로서 구성되는데 본 연구는 좌측 연구용 터널에서 굴착된 DB-01 시추공의 물리검층 결과를 이용하여 수행되었다.

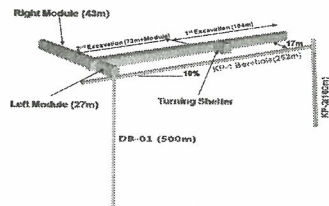


Fig. 1. Description of KURT and DB-01

#### 2.2. 연구 방법

DB-01 장심도 시추공에서 BHTV, 온도, 전기전도도, 전기비저항, 밀도, 완전과음과 검층이 수행되었다. 통계 분석에서 이용된 자료는 BHTV 자료에서 도출된 단열빈도, 온도, 전기전도도 검층 결과의 변화량, 전기비저항(Short normal, Long normal), 밀도, 완전과 음파(Vp, Vs) 검층 결과의 미터당 평균값이다. 총 8개 자료를 변수로 하여 각 변수에 대한 상관관계를 분석하였고, 또한 상관관계를 이용한 주성분 분석을 통해 변수의 특성을 선형화 하여 주성분 점수를 도출하고 심도별 주성분 점수를 이용하여 단열대를 정량화하였다.

#### 2.3 상관관계 분석

##### 1) 전체 변수를 적용

각 변수의 상관관계 도출한 결과 단열대의 존재와 가장 연관이 있다고 간주되는 단열빈도와 각 물리검층 결과와의 관계는 전기비저항 검층, 완전과음과 검층 결과가 음의 상관관계를 보였다. 하지만, 온도 및 전기전도도의 변화량과는 거의 관계가 없는 것으로 분석되어 투수성 단열대가 갖는 물리적 의미에 부합되지 않는다(Table 1). 이는 BHTV 검층 결과 도출된 단열의 개수가 투수성 여부에 관계없이 관찰되는 모든 단열을 포함하기 때문인 것으로 분석되며(Fig 2), 투수성 단열대의 도출을 위해 온도, 전기전도도의 변화량에 선형적인 단열의 개수를 구분하여야 하는 필요성을 제기된다. 즉, 단열빈도가 온도 및 전기전도도의 변화량과 선형적 관계를 나타내는 자료를 구분할 경우, 자료의 상관관계가 달라질 수 있는 것이다.

Table 1. Correlation Coefficient of all variables

	단열빈도	온도	전기전도도	전기비저항 (Short n)	전기비저항 (Long n)	밀도	완전과음과 (Vp)	완전과음과 (Vs)
단열빈도	1.00	0.04	0.03	-0.39	-0.36	-0.11	-0.33	-0.30
온도	0.04	1.00	0.41	0.14	0.17	0.43	-0.29	-0.39
전기전도도	0.03	0.41	1.00	-0.13	-0.08	-0.13	-0.56	-0.54
전기비저항 (Short n)	-0.39	0.14	-0.13	1.00	0.89	0.38	0.54	0.42
전기비저항 (Long n)	-0.36	0.17	-0.08	0.89	1.00	0.40	0.37	0.22
밀도	-0.11	0.43	-0.13	0.38	0.40	1.00	0.27	0.18
완전과음과 (Vp)	-0.33	-0.29	-0.56	0.54	0.37	0.27	1.00	0.96
완전과음과 (Vs)	-0.30	-0.39	-0.54	0.42	0.22	0.18	0.96	1.00

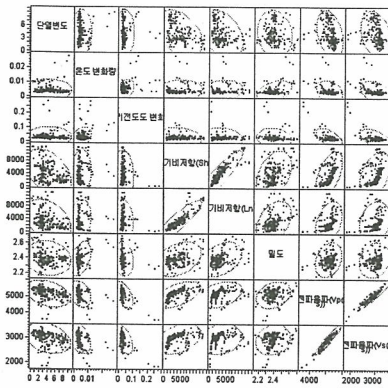


Fig. 2. Correlation plot of all variables

2) 온도/전기전도도 변화량 결과를 이용한 보정  
 투수성 단열대의 존재를 간접적으로 지시하는 온도와 전기전도도의 변화량에 선형적인 자료를 구분하여 상관관계 분석을 수행한 결과, 심도별 단열빈도와 전기전도도, 온도 변화량은 양의 상관관계를 나타내었으며, 전기비저항, 밀도, 완전파음측 결과는 음의 관계를 보이고 있어, 단열대가 갖는 물리적 의미에 잘 부합된다고 판단된다 (Table 2, Fig. 3).

Table 2. Correlation coefficient by modified variables

	단열빈도	온도	전기전도도	전기비저항 (Short n)	전기비저항 (Long n)	밀도	완전파음파 (Vn)	완전파음파 (Vs)
단열빈도	1.00	0.51	0.93	-0.53	-0.49	-0.45	-0.63	-0.61
온도	0.51	1.00	0.38	0.14	0.15	0.40	-0.15	-0.30
전기전도도	0.93	0.38	1.00	-0.59	-0.47	-0.57	-0.65	-0.58
전기비저항 (Short n)	-0.53	0.14	-0.59	1.00	0.93	0.78	0.46	0.36
전기비저항 (Long n)	-0.49	0.15	-0.47	0.93	1.00	0.72	0.34	0.23
밀도	-0.45	0.40	-0.57	0.78	0.72	1.00	0.48	0.31
완전파음파 (Vn)	-0.63	-0.15	-0.65	0.46	0.34	0.48	1.00	0.96
완전파음파 (Vs)	-0.61	-0.30	-0.58	0.36	0.23	0.31	0.96	1.00

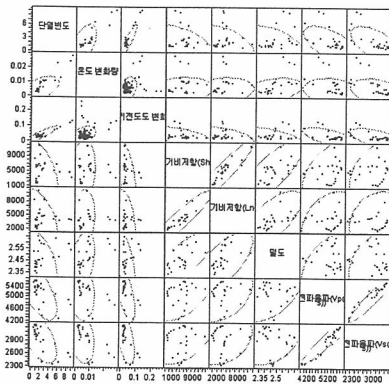


Fig. 3. Correlation plot of modified variables

### 2.4 주성분 분석

투수성 단열대의 존재를 간접적으로 지시하는 온도/전기전도도의 변화량에 민감한 자료를 이용하여 상관관계에 근거한 주성분 분석을 실시하였다. 주성분 분석 결과 총 8개의 변수는 2개의 주성분 수로 80% 이상 설명될 수 있으며 (Table 3), 고유벡터 값에서 제 1주성분이 투수성 단열대를 설명하는 자료로서 활용될 수 있는 것으로 분석된다 (Table 4).

Table 3. Result of principal component analysis

No.	Eigenvalue	Percent	Cum. Percent
1	4.48	56.04	56.04
2	1.95	24.36	80.04
3	0.93	11.57	91.98
4	0.42	5.25	97.23
5	0.10	1.27	98.49
6	0.08	1.03	99.53

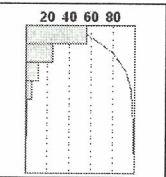


Table 4. Eigenvectors of principal components

주성분	1	2	3	4	5	6	7	8	
단열빈도	-0.40	0.25	0.30	0.23	0.52	-0.31	0.39	0.35	
변화량	온도	-0.08	0.61	0.45	-0.28	-0.54	-0.19	-0.13	0.05
	EC	-0.41	0.17	0.22	0.49	0.04	0.51	-0.29	-0.40
전기비저항	Shn	0.39	0.34	-0.17	0.35	0.24	-0.55	-0.32	-0.36
	Lnn	0.34	0.37	-0.28	0.48	-0.28	0.31	0.36	0.35
밀도	0.35	0.40	0.09	-0.44	0.55	0.46	-0.07	0.01	
완전파음파	Vp	0.38	-0.19	0.53	0.09	-0.05	0.00	0.55	-0.47
	Vs	0.35	-0.30	0.51	0.27	0.03	0.03	-0.46	0.49

### 3. 결론

DB-01 시추공에서 수행된 6개의 물리검층 자료에서 도출된 8개의 변수를 이용하여 통계분석을 수행하였다. 지질모델에 입력될 투수성 단열을 도출하기 위해 전체 단열을 이용하는 것보다 투수성 단열의 물리적 특성에 맞도록 온도, 전기전도도 검층의 변화량에 선형적 관계를 보이는 단열을 기준으로 상관관계를 분석하였으며, 이는 밀도, 전기비저항, 음파 검층 결과 단열대가 갖는 물리적 특성과 잘 부합된다. 총 8개의 변수를 이용하여 주성분 분석을 수행한 결과 제 1주성분이 투수성 단열을 설명하고 있는 것으로 분석되며, 심도별 제 1 주성분 점수를 도시할 경우 시추공에서 확인되는 투수성 단열을 도출할 수 있다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.