

## 부산지역 화강암의 단열빈도와 수리적 특성의 상관성

### Relation Between Fracture Frequency and Hydraulic Characteristics of Granite in Busan Area

---

함 세 영 (Se-Yeong Hamm)	부산대학교 지질학과
김 문 수 (Moon Soo Kim)	부산대학교 지질학과
이 병 대 (Byong Dae Lee)	한국지질자원연구원 환경지질연구부
류 상 민 (Sang Min Ryu)	부산대학교 지질학과
옥 수 석 (Soo-Seok Ok)	경성대학교 자연과학부

---

#### 요약 / ABSTRACT

지하구조물 건설시에 구조물의 안정성을 확보하거나 우물을 굴착할 때 충분한 양의 지하수를 확보하기 위해서는 정확한 수리적 매개변수를 알아내는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 금정산 화강암지역에 시추된 6개 시험공의 여러 심도에서 수압시험을 실시하고, Moye식과 Hvorslev식을 이용하여 수리전도도를 구하였다. 또한 수리전도도와 텔레뷰어검층 및 시추코어자료로부터 얻어진 단열빈도를 서로 비교하고, 이들간의 상관성을 구하였다. 그 결과, 대부분의 시험공에서 텔레뷰어 자료가 시추코어자료보다 수리전도도와 상관성이 높으나, 상관계수는 0.5미만이다. 이것은 연구지역 화강암의 수리전도도가 단열빈도뿐만 아니라 단열의 간극, 길이, 연결성, 방향, 경사도 그리고 충전물 등과도 복합적으로 관련됨을 암시한다.

주요어 : 수리전도도, 수압시험, 초음파 텔레뷰어, 시추코어 검층, 화강암

When constructing subsurface structures and drilling wells, the precise hydraulic parameters must be obtained for operating safety and for developing enough quantity of groundwater, respectively. In this study we conducted water injection test at different depths on six borcholes drilled in the granite of Mt. Geumjeong. Hydraulic conductivity was calculated using Moye and Hvorslev methods. The relation between hydraulic conductivity and fracture frequency data obtained from acoustic televiewer and core log was analyzed. From the result, though the correlation coefficient between the hydraulic conductivity and the fracture frequency from acoustic televiewer data is higher than that between the

the hydraulic conductivity and the fracture frequency from core log data on most of the test holes, the correlation coefficient between the hydraulic conductivity and the fracture frequency from the televicwer data is lower than 0.5. This suggests that the hydraulic conductivity of granite in the study area is influenced not only by the fracture frequency but also by various factors of fracture network such as fracture aperture and length, interconnectivity of fractures, fracture orientation and angle, filling material and so on.

Key Words : hydraulic conductivity, water pressure test, acoustic televicwer, core logging, granite

## 서 론

암반의 수리전도도는 단열망의 발달상태 즉, 단열의 방향, 각도, 단열의 간극 및 빈도, 단열의 길이, 단열의 연결성, 단열들의 거칠기 그리고 충전물 등에 좌우된다. 화강암내에 염기성 미립 포획체나 암맥이 들어 있는 경우에는 이들도 수리전도도에 영향을 미친다. 따라서, 균열 암반내의 지하수 흐름을 정량적으로 파악하기 위해서는 단열과 수리전도도의 관계를 이해하여야 할 것이다.

수리전도도는 야외시험에서 또는 실내실험으로 구해질 수 있다. 실내실험은 작은 크기의 시료를 사용하여 주어진 조건과 수학적 이론으로 수리전도도를 구할 수 있는 이점을 가지고 있다. 그러나 실내실험으로는 야외의 실제상황에서 일어날 수 있는 공간적인 수리전도도 변화를 알아내기가 용이하지 않다. 따라서, 많은 경우에 야외시험이 실내실험보다 실제 자연상태의 수리전도도를 알아내는데 유리하다. 그러나, 야외시험도 역시 복잡한 자연상태의 수리전도도를 완벽하게 파악하는 데는 부족한 점이 있다.

본 연구지역(Fig. 1)은 부산의 동부와 서부를 갈라놓으면서 북북동-남남서 방향으로 발달된 분수령인 금정산(해발고도 799.5m)이다. 금정산 지역의 동쪽과 서쪽에는 각각 동래단층과 양산단층이 산줄기와 비슷한 방향으로 발달하고 있다. 또한, 금정산과 동래단층의 사이 지역인 동래구 온천동 지역에는 동래온천이 위치하고 있다. 이와 같이 금정산 지역은 양산단층, 동래단층 및 동래온천과 관련을 가지는 특수한 지질환경을 가지고 있다.

금정산지역 및 그 주변지역에 대한 연구로는 금정산-백양산 일대에서 산출하는 지하수 및 용천수

에 관한 수리지화학적 연구(함세영 외, 1999, 2000), 동래온천 지열수와 금정산농원 및 동래지역의 냉지하수의 수리지화학적 특성에 관한 연구(한석종 외, 1999) 그리고 순간충격시험자료를 이용한 금정산지역 화강암류의 수리적 매개변수 연구(함세영 외, 2001) 등이 있다. 또한 성익환 외(1999)는 금정산지역에 대하여 불국사화강암의 수리적, 구조지질학적 특성을 평가하였으며, 금정터널 굴착이 지하수 유동체계 변화 및 동래온천지역에 미칠 영향을 분석하였다.

Long and Witherspoon(1985)은 단열의 연장이 짧고 빈도가 높을수록 수리전도도가 낮고, 반면에 단열의 연장이 길고 단열빈도가 낮을수록 수리전도도가 높다고 보고하였다. 한편, Tsang(1984)은 단열간극이 작을수록 왜곡도(tortuosity)의 영향이 크며, 유체와 단열표면들 사이의 마찰력이 30%이상 높아질 때는, 왜곡도의 영향에 의해서 유량이 2층 단위 이상으로 감소한다는 것을 알아내었다. 조성일 외(1999)에 의하면, 여수 북부 화산암지역에서 행한 수리시험에서 전체 단열의 교차빈도와 수리전도도간에 특별한 상관관계가 나타나지 않았다. 그러나, 절리를 Type 1(개방절리), Type 2(준 개방절리) Type 3(폐쇄절리)으로 나누어 분석한 결과, 절리 교차 빈도와 수리전도도의 관계는 양의 상관성을 보였으며, Type 1+Type 2의 경우(상관계수 0.6760)가 Type 3의 경우(상관계수 0.2811)보다 훨씬 더 높은 상관성을 보였다.

본 연구에서는 부산 금정산 화강암지역에서 수압시험을 수행한 6개 시추공(KJ4, KJ14, KJ17, KJ18, KJ21, KJ22)의 시추코어 자료 및 텔레뷰어 자료를 Moya식과 Hvorslev식에 적용하여 수리전도

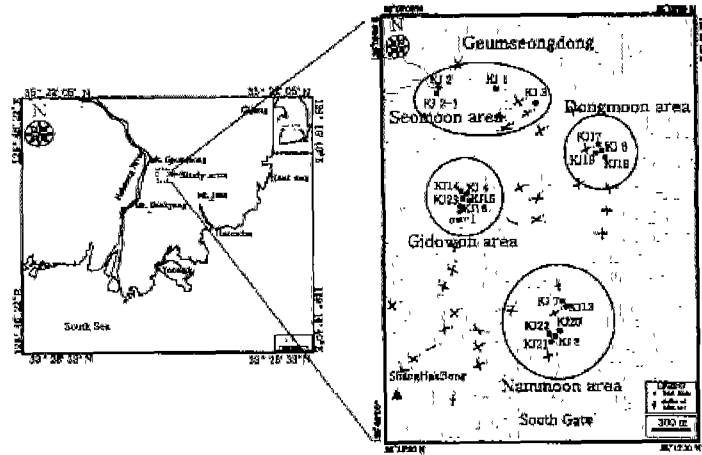


Fig. 1. Location of study area and test sites (from Hamm et al., 2001).

도를 구하였다. 그리고 수리전도도와 단열빈도의 관련성을 알아보았다.

### 연구지역의 지질

연구지역과 그 주변지역의 지질은 불국사화강암류, 맥암 그리고 층적층으로 구성되어 있다(손치무 외, 1978). 불국사화강암류는 화강섬록암, 각섬석화강암, 흑운모화강암, 반상화강암, 토날라이트, 아다멜라이트, 미군상화강암으로 이루어져 있다. 연구지역의 대부분은 아다멜라이트로 그리고 일부는 토날라이트로 구성되어 있으며, 염기성 포획암(mafic microgranular enclave)을 포함하기도 한다.

토날라이트는 금정산 남부의 중심부와 북서부에 소규모 암체로 분포하고 있다. 본 암은 세립질이고 주로 사장석, 석영 및 각섬석으로 되어 있으며, 녹니석, 흑운모, 스피넬, 티탄철석, 자철석 및 저어콘 등이 들어 있다. 침상의 각섬석 또는 흑운모를 함유하고 있는 것이 본 암의 특징이다.

아다멜라이트는 금정산 남부의 대부분을 이루고 있다. 중립질 또는 세립질이며 홍색의 장석과 백색의 장석이 대등한 비율로 함유되어 있음을 볼 수 있다. 주로 석영, 정장석, 사장석 및 흑운모 등으로 구성되어 있으며, 부성분광물로서는 백운모, 녹니석, 각섬석, 자철석, 적철석 및 저어콘 등이 들어

있다.

금정산의 절리군 중 가장 우세한 방향은 NS~N20W인 남북계이며, 그 다음에 N40~60E 및 N60~70W이며 EW방향은 미약하다(차문성, 1976). 금정산일대 기반암 지하수는 주로 N60~80E방향의 절리(최제우, 1984)를 따라서 동래구 및 금정구의 저지대쪽으로 흐른다. 화강암과 안산암질암에는 소규모 단층파쇄대와 단열대가 발달하고 있으며, 이들 소규모 단층파쇄대와 단열대는 양산단층 및 동래단층과 관련된다(손치무 외, 1978). 동래단층과 금정산 사이에 위치하는 동래온천에서는 지하수 km의 심부순환을 거친 지열수가 산출되고 있으며, 동래온천 지열수의 주요 상승 통로는 양산단층과 사교하는 북동-남서방향의 2차 신장단열대인 것으로 보고되고 있다(성익환 외, 1999).

금정산지역의 수리적 특성을 규명하는 것은 이 지역의 천부 및 심부 지하수 유동통로를 밝히고 양산단층과 동래단층 그리고 이 두 단층과 수반되는 단층파쇄대 및 절리대가 금정산지역의 지하수 유동 및 지열수 순환과 어떤 관련성을 가지는지를 이해하는데 있어서 매우 중요하다.

### 수압시험분석

수리지질학자, 석유공학자, 토목공학자들은 여러

Table 2. Basic statistics of hydraulic conductivity. Upper values are from Hvorslev method and low from Moye method.

	KJ14	KJ17	KJ18	KJ21	KJ22	KJ4
No. of Data	15	21	18	16	19	16
Min (m/sec)	7.570E-11	3.420E-10	2.210E-10	2.520E-10	4.480E-10	4.650E-10
	1.040E-10	4.680E-10	3.020E-10	3.440E-10	6.130E-10	6.360E-10
Max (m/sec)	5.300E-07	8.040E-07	1.540E-06	1.260E-06	1.430E-06	1.160E-06
	7.250E-07	1.100E-06	2.110E-06	1.730E-06	1.950E-06	1.590E-06
Mean (m/sec)	6.461E-08	8.951E-08	1.429E-07	2.724E-07	6.804E-07	2.431E-07
	8.839E-08	1.224E-07	1.957E-07	3.736E-07	9.312E-07	3.328E-07
Std. Dev. (m/sec)	1.349E-07	2.183E-07	3.833E-07	4.535E-07	5.927E-07	4.424E-07
	1.846E-07	2.986E-07	5.251E-07	6.222E-07	8.108E-07	6.056E-07
Skewness	2.707	2.454	2.795	1.303	0.052	1.421
	2.707	2.454	2.796	1.304	0.049	1.421
Kurtosis	6.465	4.628	7.005	0.002	-1.786	0.085
	6.464	4.629	7.014	0.003	-1.789	0.086

Table 3. Basic statistics of logarithmic hydraulic conductivity. Upper values are from Hvorslev method and lower values from Moye method.

	KJ14	KJ17	KJ18	KJ21	KJ22	KJ4
No. of Data	15	21	18	16	19	16
Min (m/sec)	-10.1	-9.47	-9.66	-9.6	-9.35	-9.33
	-9.98	-9.33	-9.52	-9.46	-9.21	-9.2
Max (m/sec)	-6.28	-6.09	-5.81	-5.9	-5.84	-5.94
	-6.14	-5.96	-5.68	-5.76	-5.71	-5.8
Mean (m/sec)	-7.859	-8.171	-8.029	-7.669	-6.768	-7.425
	-7.723	-8.033	-7.893	-7.531	-6.632	-7.29
Std. Dev. (m/sec)	0.935	1.025	1.057	1.329	1.128	0.943
	0.9378	1.023	1.057	1.329	1.125	0.944
Skewness	-0.614	0.636	0.488	-0.169	-0.863	0.1
	-0.622	0.632	0.488	-0.166	-0.865	0.1
Kurtosis	0.099	-0.816	-0.651	-1.438	-0.799	-0.679
	0.126	-0.821	-0.658	-1.439	-0.794	-0.68

침도에 의해서 서로 비교해 본 결과, KJ22를 제외한 모든 시추공의 수리전도도가 정규분포(Table 2) 보다는 대수정규분포(Table 3, Fig. 2)에 더 가까운 것으로 나타났다. 이러한 결과는 기존 연구결과(Sagar and Runchal, 1992; Freeze, 1975)와 일치하는 것이다.

일반적으로 단열 암반내에서 유동성 단열의 빈도

와 지하수 산출량은 심도에 따라 감소하는 경향성을 보이는 것으로 알려져 있다(Freeze and Cherry, 1979; Goodrich, 1991; Loisel and Evans, 1995). 따라서, 일반적으로 수리전도도는 심도에 따라서 감소한다고 볼 수 있다. 그러나, 본 연구지역에서는 시험공에 따라서 심도에 따른 수리전도도 변화가 다르게 나타나고 있다(Fig. 3). KJ4, KJ21호공에서

는 비교적 천부(30m미만 심도)에서 수리전도도가 높고 그 하부에서는 수리전도도가 낮다. 이는 층직층과 풍화대 구간이 비교적 잘 발달되어 있으며 (Table 1), 이 구간의 수리전도도가 상대적으로 높다는 것을 시사한다. 그러나, KJ14, KJ17, KJ18, J22호공에서는 50m보다 깊은 비교적 심부에서도 수리전도도가 높은 구간이 분포한다. 이것은 이 시험공들에서는 50m보다 비교적 심부에서도 유통성 단열이 존재한다는 것을 시사한다.

#### 단열빈도 분석

단열 암반내 수리전도도는 단열의 특성(단열의 방향, 각도, 간극, 빈도, 길이, 연결성, 충전물질 그리고 거칠기와 같은 단열면의 특징)에 복합적으로 좌우된다. 따라서, 단열의 빈도가 수리전도도에 미치는 영향의 정도는 지질조건에 따라 달라질 것이다.

본 연구에서는 수리전도도에 영향을 미치는 여러 인자 중에서 단열의 빈도가 수리전도도에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 6개 시험공(KJ4, KJ14, KJ17, KJ18, KJ21, KJ22)에서 회수한 시추코어에서 단열빈도를 측정하였으며, KJ4호공을 제외한 5개 시험공에 대해서는 텔레뷰어 자료로부터 단열빈도를 알아내었다(Fig. 3). 단열빈도는 수리전도도 시험구간과 동일하게 매 3m 구간에 대한 단열빈도이다. 본 연구에서 단열은 절리, 단층, 파쇄대, 선구조 등을 모두 포함한다. 시추코어에서 단열면은 육안으로 틈이 식별되는 것을 고려하고, 방해석 등의 광물로 틈이 막힌 단열은 단열빈도에 포함시키지 않았다.

텔레뷰어검층은 초음파 빔을 360°로 시추공벽에 주사하여 공벽으로부터 되돌아 오는 초음파 빔의 주시와 초음파의 진폭을 측정하는 것이다. 텔레뷰어검층으로 단열의 주향과 경사, 단열 간극, 암층의 경계면 등을 알아낼 수 있으며, 따라서 단열의 기하학적 형태에 대한 자세한 정보를 제공한다. 본 연구에서는 독일 DMT사의 FACSIMILE-40 (Focused ACoustic System to Image the Inside of boreholes and pipes)을 사용하였다.

같은 심도의 텔레뷰어 자료와 시추코어 자료에서 얻은 단열빈도는 서로 차이를 보이고 있다. 체

병곤 외(1998)는 텔레뷰어검층과 시추코어검층 간에 단열 절리의 단열빈도가 서로 20%까지도 차이를 보일 수 있다고 보고하였다.

KJ14호공과 KJ21호공의 경우, 시추코어자료의 구간수가 텔레뷰어자료의 구간수보다 작은 이유는 각각 32~35m구간과 22.5~28.5m구간이 심한 풍화대 구간이므로 단열의 빈도를 판별하기가 어려워 이들 구간을 제외하였기 때문이다. 시험공 중에서 텔레뷰어자료에 의한 산술평균값이 가장 낮은(17.4개/3m) 공은 KJ22호공으로서 최소값과 최대값은 각각 7개/3m와 31개/3m이다(Table 4). 한편, 텔레뷰어자료에 의한 산술평균값이 가장 높은(24.9개/3m) 시험공은 KJ17호공으로서 최소값과 최대값은 각각 13개/3m와 41개/3m이다. 그러나, 시추코어 자료에 의하면, 산술평균값이 가장 낮은(14.5개/3m) 시험공은 KJ14호공이고 그 최소값과 최대값은 각각 1개/3m와 29개/3m이고, 산술평균값이 가장 높은(29개/3m) 시험공은 KJ21호공으로서 최소값과 최대값은 각각 18개/3m와 42개/3m이다. 이와 같이, 텔레뷰어검층자료와 시추코어검층자료에 따라 단열빈도가 다르게 나타나는 것은 눈으로 관찰한 단열빈도와 초음파 주사에 의한 단열빈도의 차이를 시사한다.

단열빈도는 일반적으로 심도에 따라 감소하는 것으로 알려져 있다(Streltsova, 1988). 그러나, 연구지역에서는 그러한 일반적인 경향성이 보이지 않는다(Fig. 3). 시험공들 중에서 표준편차가 가장 작은 시험공은 KJ22호공으로서 텔레뷰어검층자료는 6.8개/3m 그리고 시추코어자료는 6.05개/3m이다(Table 4). 한편, 표준편차가 가장 큰 시험공은 텔레뷰어검층자료에 의하면 KJ21호공으로서 11.8개/3m이다. 표준편차가 크다는 것은 자료의 분산이 크다는 것을 의미하며, 단열빈도의 변화가 큼을 의미한다. 왜냐하면 KJ14호공(텔레뷰어자료)과 KJ21호공(시추코어자료)을 제외하고는 양의 왜도를 보이며, 이는 자료의 분포가 정규분포보다 왼쪽으로 치우쳐 있음을 나타낸다. 첩도의 경우에는 KJ22호공(시추코어자료)을 제외하고는 모두 음의 값을 보이며, 정규분포보다 평탄한 모양을 보인다. 이는 정규분포에 비해서 단열빈도가 분산되어 있음을 의미한다.

일반적으로 수리전도도가 대수정규분포를 보인다

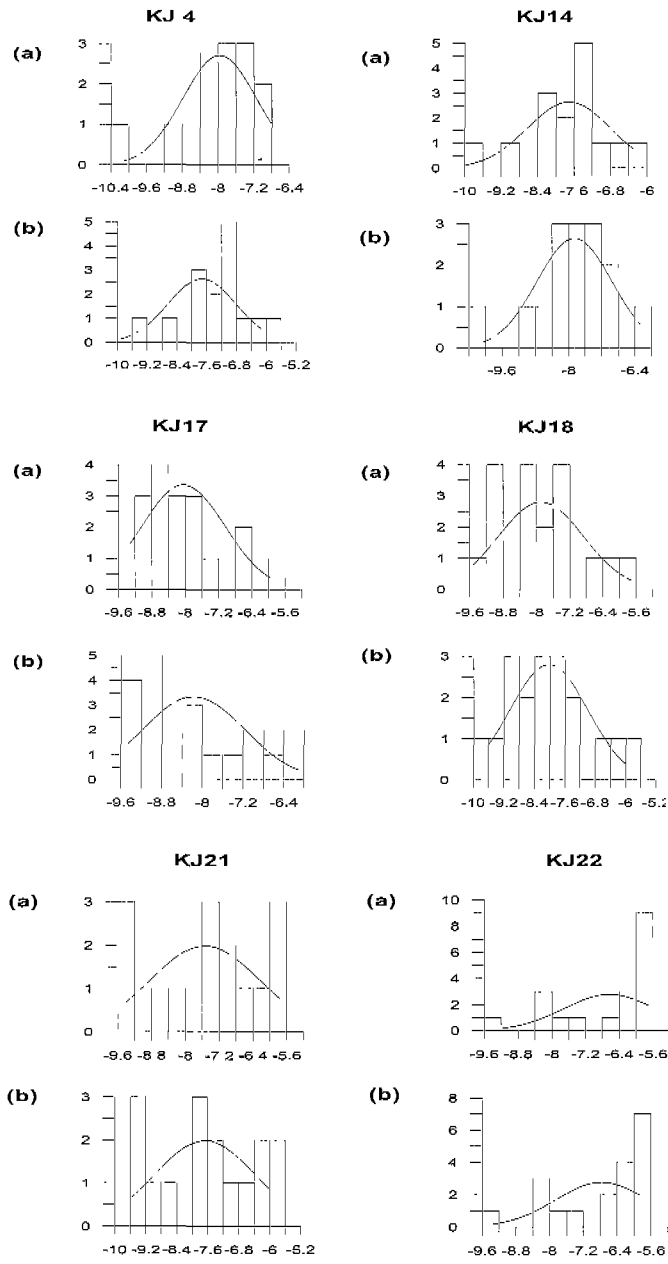


Fig. 2. Histogram of hydraulic conductivity by (a) Moyo and (b) Hvorslev methods fitted with lognormal distribution.

부산지역 화강암의 단열빈도와 수리적 특성의 상관성

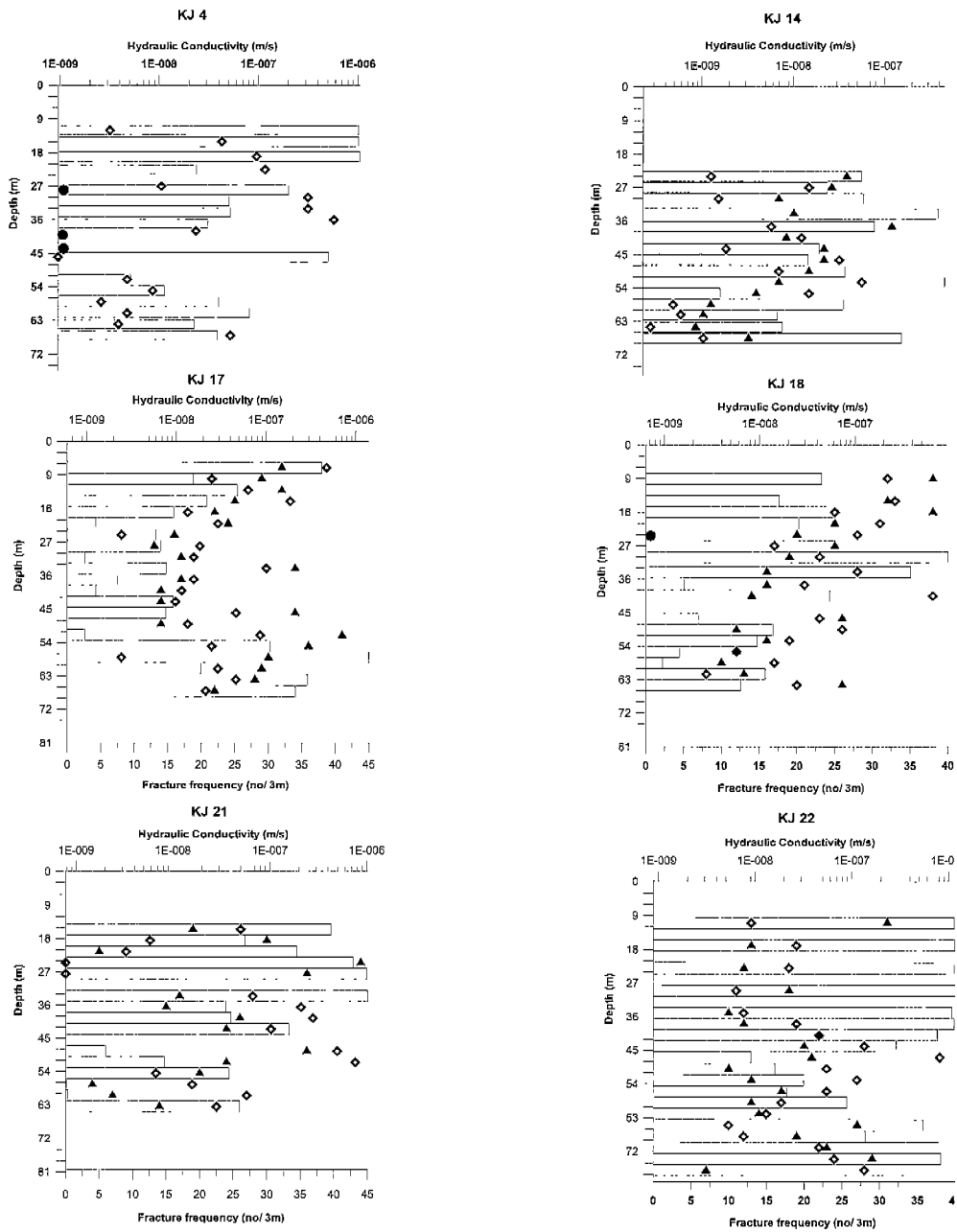


Fig. 3. Estimated values of the hydraulic conductivity, fracture frequency from core and televiwer depth on the test holes. ● indicates test-failed position, and ▲ and ◇ indicate televiwer core data, respectively.

Table 4. Basic statistics of fracture frequency. T means televiewer data and C means core log data.

	KJ14		KJ17		KJ18		KJ 21		KJ22		KJ4
	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	C
No. of Data	15	14	21	21	19	19	16	14	19	19	16
Min (nos/3m)	7	1	13	12	10	12	4	18	7	12	5
Max (nos/3m)	33	29	41	43	38	38	44	42	31	38	34
Mean (nos/3m)	18.9	14.5	24.9	24.4	21.2	24.5	22.1	29	17.4	21.9	17.2
Std. Dev. (nos/3m)	7.39	8.79	8.48	7.74	9.07	7.14	11.8	7.76	6.8	6.05	9.05
Skewness	-0.032	0.073	0.057	0.473	0.534	0.076	0.083	-0.092	0.452	0.687	0.222
Kurtosis	-0.957	-1.480	-1.350	0.198	-1.134	-1.047	-1.119	-1.333	-0.961	0.416	-0.411

Table 5. Basic statistics of logarithmic fracture frequency. T means televiewer data and C means core log data.

	KJ14		KJ17		KJ18		KJ 21		KJ22		KJ4
	T	C	T	C	T	C	T	C	T	C	C
No. of Data	15	14	21	21	19	19	16	14	19	19	16
Min (nos/3m)	0.8451	0.0000	1.1139	1.0792	1.0000	1.0792	0.6021	1.2553	0.8451	1.0792	0.6990
Max (nos/3m)	1.5185	1.4624	1.6128	1.6335	1.5798	1.5798	1.6435	1.6232	1.4914	1.5798	1.5315
Mean (nos/3m)	1.2377	1.0407	1.3701	1.3665	1.2894	1.3698	1.2629	1.4467	1.2089	1.3250	1.1691
Std. Dev. (nos/3m)	0.1997	0.4002	0.1584	0.1423	0.1845	0.1352	0.3090	0.1240	0.1745	0.1187	0.2589
Skewness	-0.677	-1.152	-0.278	-0.316	0.128	-0.430	-0.856	-0.378	-0.149	-0.040	-0.276
Kurtosis	-0.819	0.626	-1.457	-0.377	-1.440	-0.759	-0.493	-1.392	-0.942	-0.431	-1.465

고 알려져 있으므로(Sagar and Runchal, 1992; Frcoze, 1975), 단열빈도가 대수정규분포와 관련을 가지는지를 알아보기 위하여 단열빈도를 대수값으로 변환하여 보았다(Table 5). 그리고 단열빈도와 그 대수값을 왜도와 첨도에 의해서 서로 비교해 본 결과, 시험공에 따라서 정규분포 쪽에 가까운 것과 대수정규분포 쪽에 가까운 것이 다르게 나타나며, 전체적으로 정규분포(Table 4)와 대수정규분포(Table 5)에 가까운 쪽의 비율이 거의 비슷하게 나타났다.

단열빈도와 수리전도도의 관계

수리전도도는 단열망의 특징들(단열의 빈도, 간극, 방향, 각도, 길이, 연결성, 충전물질, 단열면의 특징)에 의해서 복합적으로 좌우된다. 따라서, 단열성 매질내에서는 하나의 주된 단열이 지하수 흐름을 좌우할 수도 있고, 단열 구간에서도 특별한 지하수 통로가 나타나지 않는 경우도 있다(Miyakawa et al., 2000).

본 연구에서는 단열망의 특징들 중에서 단열빈도와 수리전도도의 관계를 알아보기 위하여, 각 시험



공별로 단열빈도를 산술좌표에 그리고 수리전도도를 대수좌표에 놓고 둘간의 상관관계를 분석하였다. 그 결과, 텔레뷰어 자료를 이용한 단열빈도와 수리전도도는 모든 시험공에서 양의 상관성을 보이고 있으나, 시추코어 자료를 이용한 단열빈도와 수리전도도는 KJ4, KJ17, KJ18호공에서는 양의 상관성을 그리고 KJ14, KJ21, KJ22호공에서는 음의 상관성을 보이고 있다(Fig. 4). KJ18호공을 제외한 모든 공에서 텔레뷰어 자료가 시추코어자료보다 더 높은 상관성을 보여주고 있다.

이는 텔레뷰어검층이 시추코어검층보다 단힌 절리 또는 재 폐쇄된 절리(healed joint), 충전대 등의 탐지에 덜 민감하기 때문으로 판단된다.

KJ17호공에서는 텔레뷰어검층자료에 근거한 단열 빈도와 수리전도도의 상관계수가 0.423이고, KJ18

호공에서는 시추코어검층자료로부터 얻은 단열빈도와 수리전도도의 상관계수가 0.452로서 다른 공에 비해서 비교적 높게 나타난다. 또한 KJ4, KJ14, KJ21, KJ22호공에서는 단열빈도와 수리전도도의 상관성이 0.2정도로 낮게 나타나고 있다. 따라서, 단열의 빈도만으로는 수리전도도를 판단하는데 부리가 있으며 단열의 방향, 각도, 간극, 길이, 연결성, 충전물질 등을 함께 고려하여야만 수리전도도를 정확하게 판단할 수 있음을 알 수 있다.

### 토의 및 결론

부산 규정산지역의 시추코어 자료 및 텔레뷰어 자료에서 얻어진 단열 빈도와 수압시험 자료를 이용하여 화강암의 수리적 특성을 연구하였다.

텔레뷰어 및 시추코어 자료에서 획득한 단열빈도와

### KJ 4

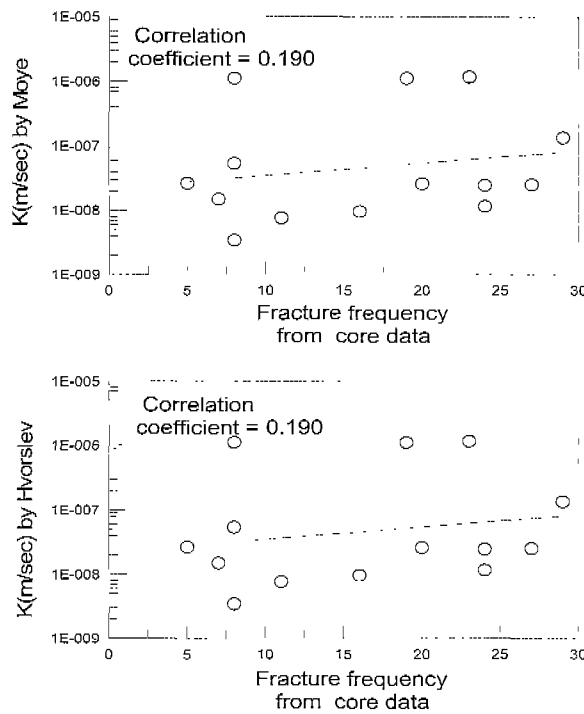
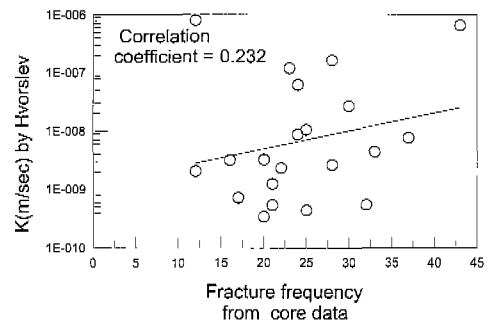
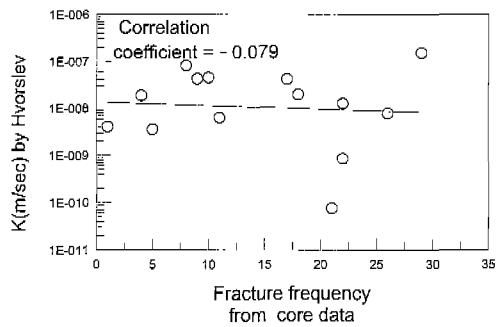
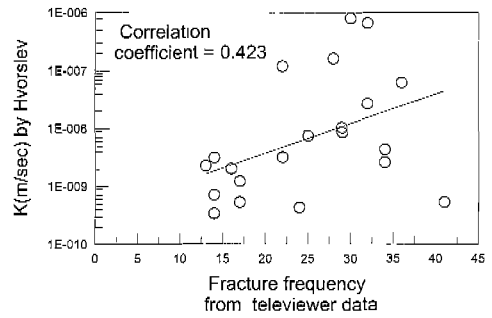
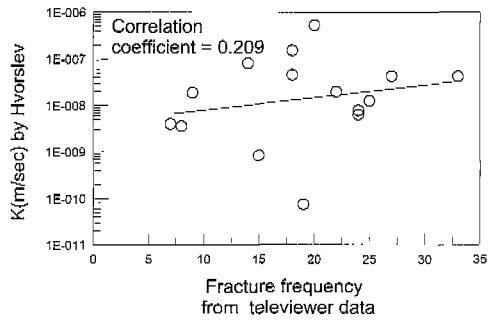
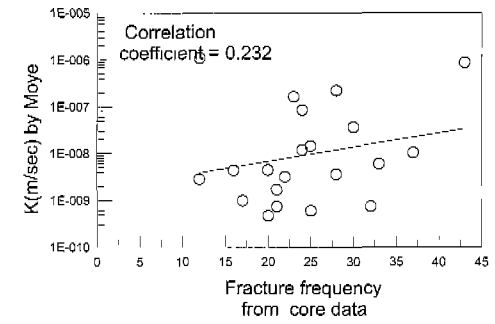
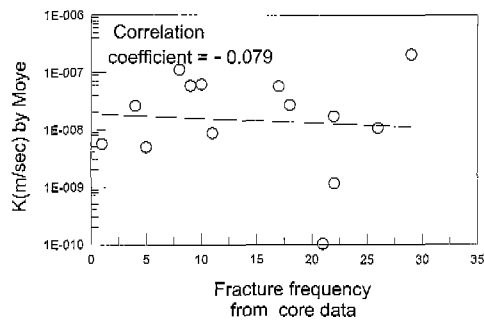
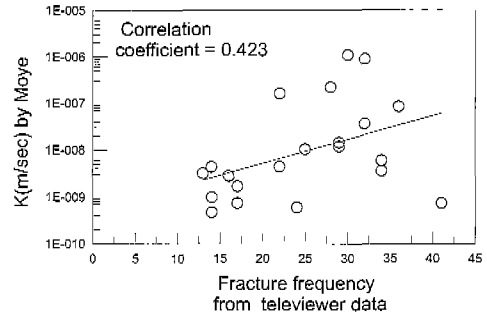
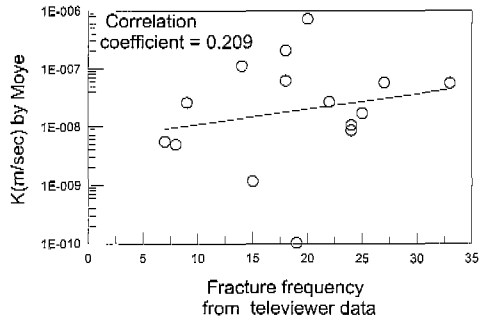


Fig. 4. Hydraulic conductivity vs. fracture frequency in semi-logarithmic scale using data from the holes.

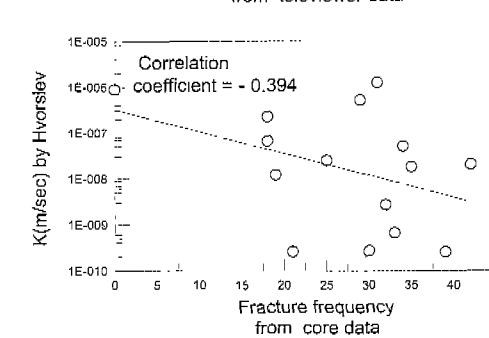
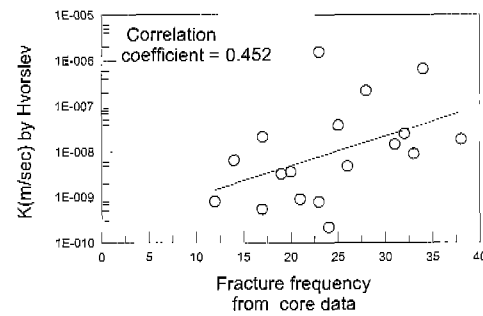
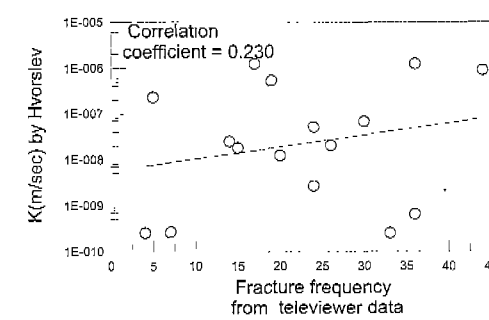
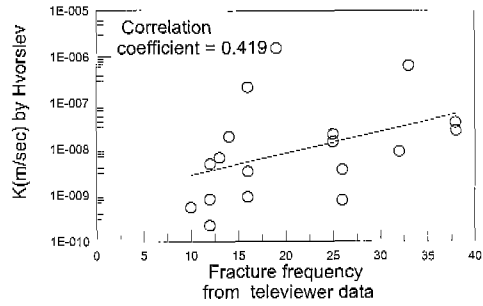
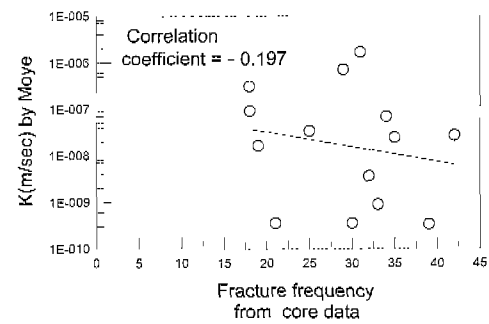
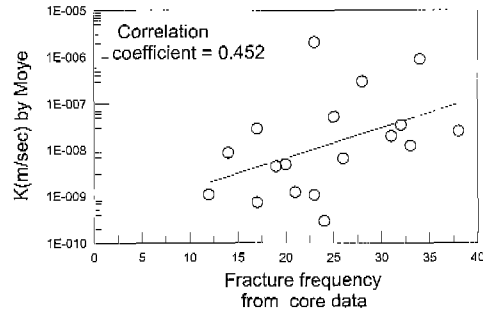
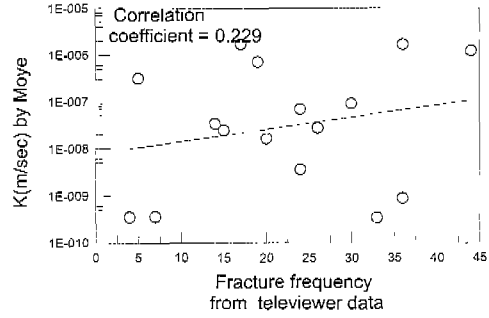
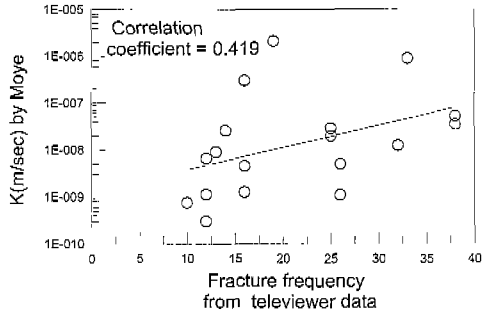
KJ 14

KJ 17

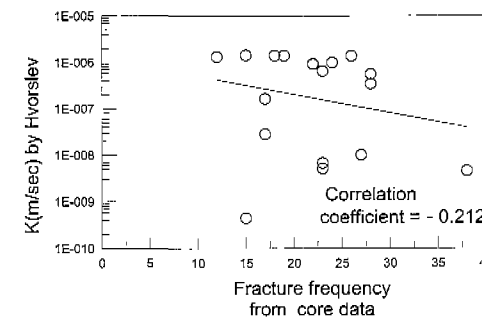
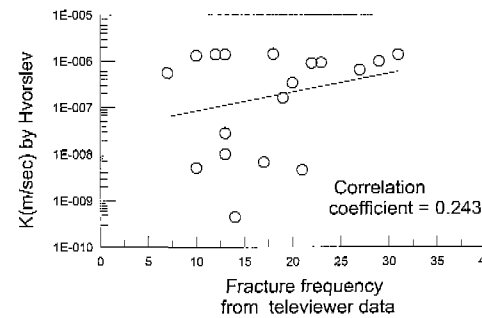
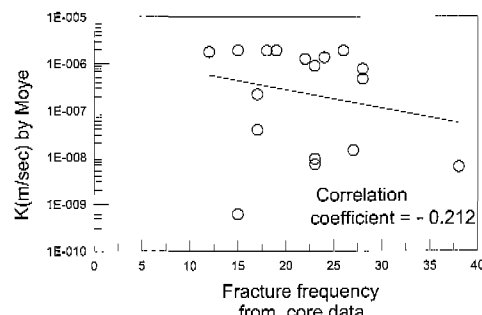
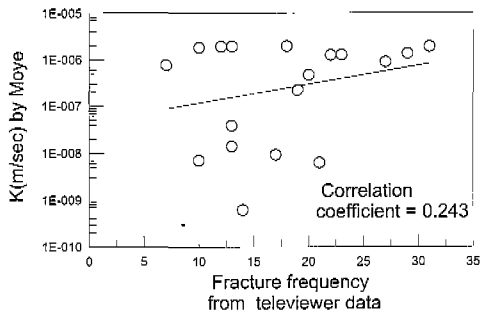


KJ 18

KJ 21



KJ 22



수리전도도 간의 상관관계를 분석한 결과, 대부분의 시험공에서 텔레뷰어 자료가 시추코어 자료보다 수리전도도와의 상관성이 높으나, 상관계수는 0.5 미만이다. 이것은 암반의 단열특성에 따라 몇몇 주요 유동성 단열이 그 암반의 투수성을 지배하거나, 또는 수리전도도가 단열빈도뿐만 아니라 단열의 간극, 길이, 연결성, 방향, 경사도, 그리고 충전물 등과도 복합적으로 관련됨을 암시한다. 그러나, 본 연구에서 우리는 대표적인 유동성 단열이나 또는 여러 가지 복합적인 단열의 특성과 투수성의 관련성을 정확히 알 수 없는 경우에, 단열의 빈도가 암반의 투수성 판단에 있어서 하나의 정량적인 기준이 될 수 있을 것인가에 중점을 두었다. 물론, 앞으로의 연구에서는 단열빈도뿐만 아니라 단열의 간극, 길이, 연결성, 방향, 경사도, 그리고 충전물 등과 수리전도도의 관련성에 관한 연구도 보다 깊이 있게 수행되어야 할 것이다.

단열의 종류(절리, 단층, 파쇄대, 선구조 등)에 따라 물의 유동성이 다를 것이므로, 단열의 종류에 따라라도 단열빈도와 수리전도도간의 상관성이 다르게 나타날 것이다. 본 연구에서는 시추코어자료의 경우에는 육안으로 보아서 분리된 단열을 유동성 단열로 보았으며, 텔레뷰어점층 자료의 경우에는 모든 측정자료를 이용하였다. 그러나, 이러한 측정자료가 어느 정도의 불확실성을 내포하고 있는 것은 사실이며, 유동성 단열을 보다 확실하게 판별하는 방법에 대해서는 앞으로 계속 연구되어야 할 것이다.

심도에 따른 수리전도도 변화를 보면, KJ4, KJ21 호공에서는 비교적 천부(30m미만 심도)에서 층적 층과 풍화대 구간이 비교적 잘 발달되어 있어서 수리전도도가 높고 그 하부에서는 수리전도도가 낮다. 그러나, KJ14, KJ17, KJ18, J22호공에서는 50m 보다 깊은 비교적 심부에 유동성 단열이 존재하므로 이들 구간의 수리전도도가 높다고 판단된다.

각 시추공의 수리전도도값을 정규분포곡선 및 대수정규분포곡선과 비교해 본 결과, KJ22호공을 제외한 모든 시추공의 수리전도도가 정규분포보다는 대수정규분포에 더 가까운 것으로 나타났다. 이는 기존의 연구들에서 수리전도도는 대수정규분포를 한다고 보고한 것과 일치한다. 그러나, 단열빈도의 경우에는 수리전도도와는 달리 대수정규분포에 가

까운 시험공과 정규분포에 가까운 시험공이 서로 비슷한 비율로 나타나고 있다.

## 사 사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호: R02-2001-00249)지원으로 수행되었으며, 연구를 지원해주신 한국과학재단에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 김천수, 배대석, 김경수, 정찬호, 1996. 암반의 Fracture System 및 지하수유동 모델링, 한국 원자력연구소 부설 원자력환경관리센터, 148p.
- 성익환, 이병대, 조병욱, 류충렬, 김경수, 이춘오, 이봉주, 임현철, 이병대, 지세정, 김용욱, 성기성, 박덕원, 이대하, 김충렬, 현혜자, 김유성, 함세영, 윤선, 김학준, 1999. 금정터널 지하수 유동체계 분석 및 동래온천지역 영향평가, 한국자원연구소, 443p.
- 손치부, 이상만, 김영기, 김상욱, 김형식, 1978. 동래·원내도폭(1:50000) 및 설명서, 자원개발연구소, 27p.
- 조성일, 송무영, 김경수, 이운용, 1999. 여수 북부지역 화강암의 단열특성과 수리전도도와의 관계, 지질공학, 9(3), 227-241.
- 차문성, 1976. 부산지역의 불국사산성화강암류의 암석학적 연구, 광산지질, 9(2), 85-106.
- 채병곤, 최영섭, 이대하, 김원영, 이승구, 김충렬, 1998. 유동성 단열 파악을 위한 암반 내 단열 특성 규명, 지하수환경, 5(2), 88-100.
- 최제우, 1984. 부산 금정산 남부지역에 분포하는 화강암체의 절리면에 대한 지반 역학적 연구, 부산대학교 지질학과 석사학위 논문, 3-16.
- 한석종, 함세영, 성익환, 이병대, 조병희, 조병욱, 1999. 동래온천지역의 지열수와 지하수의 지화학적 특성, 지질공학, 9(3), 207-225.
- 함세영, 김문수, 성익환, 이병대, 김광성, 2001. 순간 충격시험에 의한 화강암지역의 수리적 매개변수 산출, 지질공학, 11(1), 63-79.
- 함세영, 조병희, 황진연, 김진섭, 성익환, 이병대, 2000. 부산 금정산-백양산 일대 용천수, 지하수 및 지열수의 지화학적 특성, 한국환경과학회지, 9(3), 229-239.
- 함세영, 조병희, 성익환, 김정숙, 이병대, 조병욱, 한석종, 1999. 부산 북서부 화강암지역 지하수의 화학적 특성, 수처리기술, 7(2), 57-68.
- Barker, J. A. 1988, A generalized radial flow model for hydraulic tests in fractured rock. *Water Resour. Res.*, 24(10), 1796-1804.
- Bliss, J. C. and Rushton, K. R., 1984. The reliability of packer tests for estimating the hydraulic conductivity of aquifer. *Q. J. Eng. Geol.*, 17, 81-91.
- Dagan, G., 1981, Analysis of flow through heterogeneous random aquifers by the method of embedding matrix. 1. Steady flow, *Water Resour. Res.*, 17(1), 107-122.
- Dagan, G., 1979, Models of groundwater flow in statistically homogeneous formations, *Water Resour. Res.*, 15(1), 47-63.
- Doe, T. W. and Geier, J. E., 1990, Interpretation of fracture system geometry using well test data, Stripa Project 91-03, SKB, Stockholm.
- Freeze, R. A., 1975, stochastic-conceptual analysis of one-dimensional groundwater flow in nonuniform homogeneous media, *Water Resour. Res.*, 11(5), 725-741.
- Freeze, R. A. and Cherry, J. A., 1979, *Groundwater*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ. 604p.
- Goodrich, D. L., 1991, An analysis of a domestic water well survey, *Water Well Journal*, 35(6), 32-33.
- Hantush, M. S., 1959, Nonsteady flow to flowing wells in leaky aquifers. *J. Geophys. Res.*, 64, 1043-1052.
- Hoeksema, R. J. and Kitanidis, P. K., 1985, Analysis of the spatial structure of properties of selected aquifers, *Water Resour. Res.*, 21(4), 563-572.
- Hvorslev, M. L., 1951, Time lag and soil permeability in groundwater observations. *Bull. 36, Waterways Experiment Station*

- Corps of Engineers. U. S. Army. Vicksburg, Mississippi, 49p.
- Jacob, C. E. and Lohman, S., 1952, Nonsteady flow to a well of constant drawdown in an extensive aquifer. *Trans. AME, Geophy. Union*, 33, 559-569.
- Loiselle, M. and Evans, D., 1995, Fracture density distributions and well yields in coastal Maine, *Ground Water*, 33(2), 190-196.
- Long, J. C. S. and Witherspoon, P. A., 1985, The relationship of the degree of interconnection to permeability in fracture networks, *Jour. Geophys. Res.*, 90(B4), 3087-3098.
- Miyakawa, K., Tanaka, K., Hirata Y. and Kanauchi, M., 2000, Detection of hydraulic pathways in fractured rock masses and estimation of conductivity by a newly developed TV equipped flowmeter, *Engineering Geology*, 56, 19-27.
- Moye, D. G., 1967, Diamond drilling for foundation exploration, *Civil Engineering Transactions, Institution of Engineers, Australia*, Vol. CE9, No. 1, Apr., 95-100.
- Price, M., Robertson, A. S., and Foster, S. S. D., 1977, Chalk permeability a study of vertical variation using water injection tests and borehole logging. *Water Serv.*, 81, 603-610.
- Sagar, B. and Runchal, A., 1992, Permeability of fractured rock: effect of fracture size and data uncertainties, *Water Resour. Res.*, 18(2), 266-274.
- Streltsova, T. D., 1988, Well testing in heterogeneous formations, *John Willey & Sons*, 413p.
- Tsang, Y. W., 1984, The effect of tortuosity on fluid flow through a single fracture, *Water Resour. Res.*, 20(9), 1209-1215.
- United States Bureau of Reclamation, 1965, Design of Small Dams, U. S. Government Printing Office, Washinton, D. C.
- United States Bureau of Reclamation, 1963, Earth Manual, 1st ed., U. S. Government Printing Office, Washinton, D. C.
- United States Bureau of Reclamation, 1951, Permeability tests using drill holes and wells. *Geology Report G-97*.
- Ziegler, T., 1976, Determination of rock mass permeability. U. S. Army Engineers Waterways Experiments Station, Technical Report S-76-2, Vicksburg, Mississippi, 88p.
- 
- 함세영  
부산대학교 지질학과  
609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지  
Tel: 051-510-2252  
e-mail : hsy@pusan.ac.kr
- 김문수  
부산대학교 지질학과 박사과정  
609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지  
Tel: 051-510-3451  
e-mail : hyd009@pusan.ac.kr
- 이병대  
한국지질자원연구원 환경지질연구부  
305-350 대전광역시 유성구 가정동 30번지  
Tel: 042-868-3088  
e-mail : blee@rock25t.kigam.re.kr
- 류상민  
부산대학교 지질학과 석사과정  
609-735 부산광역시 금정구 장전동 산 30번지  
Tel: 051-510-3451  
e-mail : lavaguy@hanmail.net
- 옥수석  
경성대학교 자연과학부  
608 736 부산광역시 남구 대연동 110-1번지  
Tel: 051-620-4625  
Fax: 051-627-4115