

## 고흥지역에 분포하는 백악기 응회암의 역학적 특성에 관한 연구

김해경<sup>\*1)</sup> · 고영구<sup>2)</sup> · 오강호<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>광주교육대학교 과학교육과 · <sup>2)</sup>전남대학교 과학교육학부

### A Study on the Mechanical Properties of the Cretaceous Tuffs in Goheung Area.

Hai-Gyoung Kim<sup>\*1)</sup> · Yeong-Koo Koh<sup>2)</sup> · Kang-Ho Oh<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Gwangju National University of Education

<sup>2)</sup>Department of Science Education, Chonnam National University,

본 연구에서는 전라남도 고흥군 일대에 분포하는 중생대 백악기 응회암을 대상으로 실내 시험을 통하여 역학적 특성을 파악하였다. 고흥군 일대에 분포하는 응회암(고흥응회암, 팔영산 용결응회암)은 성분상 glass성분이 우세한 유리질응회암(vitric tuff)에 해당된다. 응회암의 물리적 특성인 비중, 건조밀도, 함수율, 공극율 및 흡수율의 평균값은 각각 2.51, 2.52(g/cm<sup>3</sup>), 0.12(%), 4.51(%) 및 1.91(%)이다. 공극율의 증가에 따라 건조밀도는 낮아지는 경향을 보이며, 함수율과 공극율은 밀접한 상관관계를 보인다. 일축압축강도(UCS) 범위는 80.4~208(MPa), 평균 141.1(MPa)로서 Deere & Miller(1966)에 의한 신선한 암의 공학적 분류에 의하면 high strength에 해당이 된다. 축방향의 점하중 강도지수(Is<sub>a</sub>)는 평균 4.2(MPa)이며, 직경방향 점하중 강도지수(Is<sub>d</sub>)는 평균 2.2(MPa)으로, 점하중강도 이방성지수(Ia<sub>(50)</sub>)는 1.93이다. 일축압축강도와 축방향 점하중 강도지수(Is<sub>(50)</sub>)는 밀접한 선형관계를 보이며, 관계식은  $UCS = 22 Is_{(50)} + 49$  (MPa) (r=0.95)로 나타낼 수 있다. 이 식은 고흥 지역 응회암에 대한 일축압축강도를 예측하는데 유용하게 사용할 수 있다

**주요어:** 응회암류, 일축압축강도, 점하중 강도지수, 점하중 강도 이방성지수

The mechanical properties of the Cretaceous tuff distributed in the Goheung area were measured in the laboratory. Tuff (Goehung tuff and Palyeongsan welded tuff) in the study area is classified into vitric tuff with regard to its composition. The specific gravity, the dry density, the water content, the porosity and absorption ratio in tuffs of the study area are 2.51, 2.52(g/cm<sup>3</sup>), 0.12(%), 4.51(%) and 1.91(%) in means, respectively. In the tuffs, dry densities are in inverse proportion to porosities, and absorption ratios are highly proportional with porosities. The uniaxial compressive strengths(UCS) in the tuffs ranges from 80.4 to 208(MPa) and the average of the strength is 141.1(MPa). According to the engineering classification of intact rock (Deere & Miller, 1966), the tuffs are assigned to the high strength rocks. The point load strength index (Is<sub>a</sub>) in axial test is 4.2(MPa) on the average, and the point load strength index (Is<sub>d</sub>) in diametral test is 2.2(MPa) in mean, and the point load strength anisotropic index(Ia<sub>(50)</sub>) by the ratio of Is<sub>a</sub> to Is<sub>d</sub> is 1.93. There is close linear correlation between the uniaxial compressive strength and point load strength index, and the equation representing the correlation is postulated as follows :  $UCS = 22 Is_{(50)} + 49$  (MPa) (r=0.95). It is considered that this equation is a useful tool to estimate UCS for tuff in Goheung area.

\* Corresponding author : khg@gnue.ac.kr

**Key words :** tuffs, uniaxial compressive strength, point load strength index, point load strength anisotropic index

## 서 론

응회암은 화산쇄설성 암석으로 주로 직경이 2mm 이하인 화산재(ash)로 구성된 암석을 말한다 (Fisher & Schmincke, 1984; Schmid, 1981). 화산재와 같은 화산쇄설성 물질이 화산분출로 인해 지표면에 쌓여 고화되어 형성된 응회암은 층리가 발달하기도 한다 (Bell, 1992). 우리나라에 분포하는 응회암은 주로 중생대 백악기의 지층으로 경상남·북도와 전라남·북도 일원에 분포한다. 경상남·북도의 경상분지 내에서는 하양층군과 신동층군내의 쇄설성 퇴적암류에 응회암이 협재하며, 유천층군 형성 시에는 화산활동의 극성기로서 안산암 또는 유문암과 함께 응회암이 광범위하게 분포하고 있다 (김봉균 등, 1982). 전라남·북도에서의 응회암 분포지는 전남과 경남의 남해안 일대에 분포하며 화산암류인 안산암, 유문암과 함께 해남, 진도, 장흥 그리고 고흥 일대에 광범위하게 노출되고 있다 (김봉균 등, 1982). 응회암은 연질로 다공성이며, 흡수성이 높으나 가공이 용이하므로 건축과 석축용의 석재로 산지 부근에서 다량 사용되고 있다 (김봉균 등, 1982). 최근에는 응회암이 건축 및 석축용 석재의 재료 이외에, 대규모의 토목공사로 인하여 터널, 지하공동 및 암반사면과 같은 토목 구조물의 대상이 되고 있다.

외국에서의 응회암에 관한 연구로는 주로 3기층에 분포하는 응회암의 지질공학적 특성, 내구성 및 역학적 특성의 연구들이 있으며 (Topal & Doyuran, 1997; Schulz & Li, 1995), 국내에서는 이정인 등(1982)에 의한 응회암의 역학적 특성 및 정형식과 유병욱(1997)에 의한 화산쇄설성 암의 일종인 화산각력암에 관한 흡수율, 내구성, 강도 특성에 관한 연구가 있을 뿐이다. 응회암의 공학적 특성에 관한 연구는 화강암 (이수곤, 이송, 1995; 이수곤, 1999; 김영화, 장보안, 1992; 윤지선 등, 1995; 서용석, 박덕원, 2003), 편마암 (이희근 등, 1983; 배대석 등, 1991) 그리고 퇴적암(이정인 등, 1982; 송무영, 황인선, 1993; 정태중, 1996; 이영휘 등, 2000; 김영수 등, 2001)에 비하여 미미한 상태이다. 따라서 국내에 분포하는 중생대 백악기 화산쇄설성 암인 응회암은 경상남·북도 경상분지 내 뿐만 아니라 전라남도 일원에 광범위하게 분포하고 있기 때문에 응회암의 공학적 특성에 관한 연구의 필요성이 요구

된다.

이 연구에서는 전라남도 고흥군 영남면과 적금도 간의 연륙교 및 우주센타의 건립 등, 주요 구조물 시공이 계획된 전라남도 고흥지역에 광범위하게 분포하는 중생대 백악기 화산쇄설성 암인 응회암의 지질학적 특징은 물론 물리적 및 역학적 특성을 분석하여 암석 강도의 상호관계와 현장 또는 실내에서 용이하고 간편하게 암석의 강도를 추정하기 위한 일축압축강도와 점하중 강도와의 상관 관계식을 제안하고자 한다.

## 시료 및 연구 방법

고흥지역의 지질은 선캠브리아기의 편마암류, 백악기의 퇴적암류(역암, 사암, 셰일), 화산암(안산암, 유문암) 및 화산쇄설성 암류 (응회암) 그리고 이를 관입한 화강암류로 대별이 된다 (윤성효, 황인호, 1988). 응회암류는 고흥 응회암과 팔영산 용결응회암으로 구분된다. 고흥 응회암은 담회색의 공중강하(air-fall)응회암으로 세립 내지 중립질이며, 미약한 층리를 보이기도 한다. 분포지는 두원면, 고흥읍, 도화면 그리고 봉래면 일대에 분포한다. 팔영산 용결응회암은 화산회류(ash-flow)응회암으로 고흥 동부지역인 팔영산을 중심으로 풍양면, 과역면과 점암면 일대에 분포하며 고흥 응회암의 상부에 위치한다.

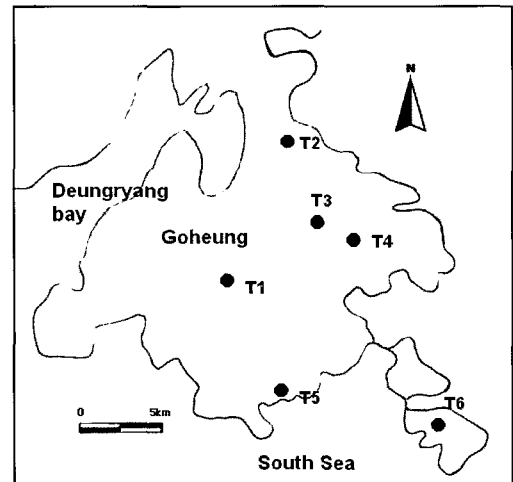


Fig. 1. Coring site of Tuff in Goheung area.

**Table 1.** Ratio of the glass, crystal and rock fragment of tuff in the study area(%).

	Palyeongsan welded tuff						Goheung tuff					
	T1-1	T1-3	T3-2	T3-4	T4-2	T4-4	T2-2	T2-4	T5-2	T5-3	T6-2	T6-3
glass	74.1	87.3	67.3	72.2	79.8	72.8	69.3	69.4	67.3	68.0	72.7	60.4
crystal	13.3	7.1	18.2	14.8	8.4	17.3	21.8	18.4	21.2	20.5	15.2	20.8
rock fragment	12.6	5.5	14.5	13.0	11.9	9.9	8.9	12.2	11.5	11.5	12.1	18.8

시료의 채취는 광업진흥공사에서 고흥지역 지하수 기초 조사의 일환으로 시추(NX size)조사한 시추공 중에서 응회암 지역의 코어(6개공)의 시료를 일부 사용하였다(Fig. 1). 코어 시료 중 T1, T3, T4는 팔영산 용결 응회암층에 해당이 되고 T2, T5, T6은 고흥 응회암층에 해당이 된다.

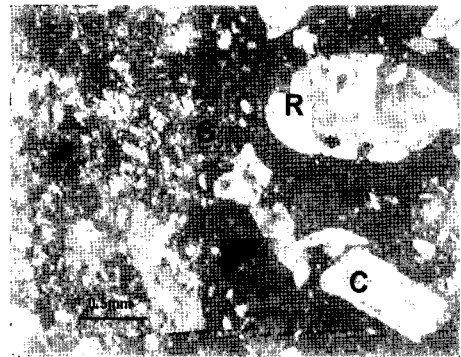
각 시추 코어 중에서 심도 5~25m의 범위에서 육안에 의한 코어의 풍화와 변질 정도에 따라 분류한 Wyllie(1992)의 안에 따라 신선한 암(fresh rock)을 대상으로 32개의 시료를 준비하였다.

응회암의 광물성분 및 조직에 대한 분석을 위해 박편을 제작하고 편광현미경에 의한 분석이 이루어졌다. 또한 응회암의 물리적 특성인 비중, 공극율, 흡수율은 한국산업규격(KS F 2518)에 따랐으며, 일축압축강도 시험은 석재의 압축강도 시험법(KS F 2519)과 ISRM(1981)의 방법에 따라 원주형의 공시체를 제작하여 전남대학교 공과대학의 UTM(model no: STM. S.E)장비를 이용하여 건조 상태에서 측정하였다. 점하중 강도 시험(ISRM, 1985)은 일축압축강도 시험과 동일한 시료를 이용하여 직경방향(diametral)과 축방향(axial)으로 시험을 실시하고 이들의 점하중 강도 지수, 점하중 강도 이방성 지수 및 일축압축강도와와의 상관관계 식을 유도하였다.

## 시험 결과 및 고찰

### 편광현미경 분석

응회암은 Pettijohn et al.(1972)의 안에 의하면 성분상, glass, crystal 및 rock fragment의 함량 비에 의해 vitric tuff, crystal tuff 그리고 lithic tuff로 분류된다. 연구지역의 응회암에 대한 편광현미경 분석을 위해 팔영산 용결응회암(T1-1, T1-3, T3-2, T3-4, T4-2, T4-4)과 고흥 응회암(T2-2, T2-4, T5-2, T5-3, T6-2, T6-3)에



**Fig. 2.** Photomicrograph of tuff (T6-2) in the study area. (R: rock fragment, G: glass, C: crystal)

대하여 각각 6개의 박편을 제작하여 분석하였다. 분석 결과는 Table 1과 같다.

고흥응회암과 팔영산 용결응회암의 편광현미경 하에서의 관찰결과, 유리질 물질과 자형의 사장석이 우세하다. 또한 암편으로는 안산암과 유문암 그리고 변성암편 등이 관찰된다(Fig. 2). 응회암의 조성을 분석한 결과, glass는 평균 71.7%, 결정은 16.4% 그리고 암편은 11.8%를 차지하여 이들 암이 유리질 응회암(vitric tuff)에 해당됨을 시사한다(Fig. 3).

### 물리적 특성

고흥 지역에 분포하는 중생대 백악기 응회암의 물리적 특성은 Table 2와 같다. 32개의 코어 시료에서 비중은 전체적으로 2.25~2.85의 범위이며, 건조 밀도는 2.26~2.76(g/cm<sup>3</sup>)의 범위로 평균 2.52(g/cm<sup>3</sup>)를 나타낸다. 흡수율은 0.01~0.49(%)의 범위와 평균 0.12(%)이며, 공극율은 0.16~12.46(%)의 범위로 평균 4.51(%)을 나타낸다. 흡수율은 전체적으로 0.05~5.86(%)의 범위

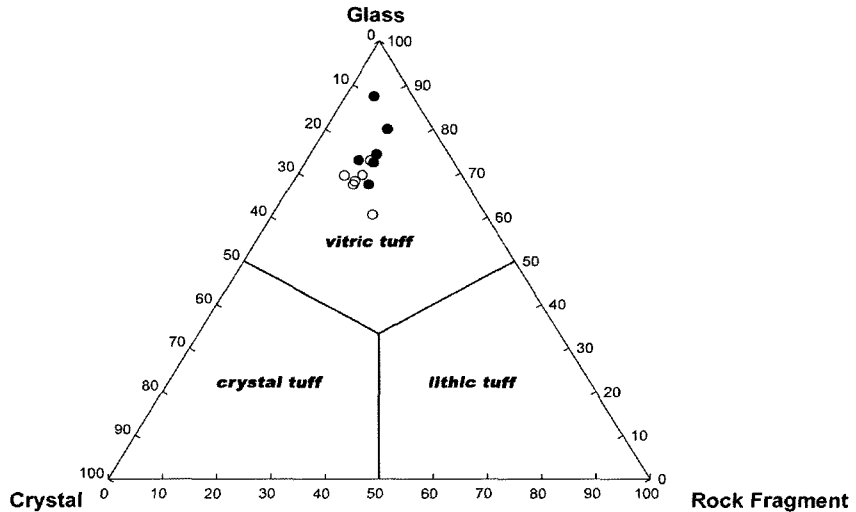


Fig. 3. Triangular diagram and end members of tuffs in the study area.

와 평균 1.91%)를 보인다.

국내의 다른 지역에 분포하는 중생대 백악기 응회암의 물리적 특성 (이정인 등, 1982)과 비교하면 다음과 같다. 평균 건조 밀도는 전북 무주 지역에 분포하는 응회암(2.43g/cm<sup>3</sup>)보다는 약간 높고, 경남 삼랑진 지역에 분포하는 응회암(2.56g/cm<sup>3</sup>)과는 유사하다. 평균 공극율은 경남 삼랑진 지역에 분포하는 응회암(1.52%) 보다는 높고, 전북 무주 지역에 분포하는 응회암(6.92%) 보다는 낮은 편이다 (Fig. 4). 국내에 분포하는 응회암 이외의 주요 암석에 대한 물리적 특성과 (신희순 등, 2000) 비교해 보면, 평균 건조 밀도는 사암(2.67±0.08g/cm<sup>3</sup>), 화강암(2.61±0.05g/cm<sup>3</sup>), 편마암(2.63~2.77g/cm<sup>3</sup>), 세일(2.73±0.10g/cm<sup>3</sup>) 및 석회암(2.73±0.10g/cm<sup>3</sup>)보다는 전체적으로 저조한 값을 보인다. 평균 공극율은 사암(2.86±2.33%), 화강암(1.45±1.34%), 편마암(5.3~7.1%), 세일(2.62±1.85%) 및 석회암(0.88±0.3%)과 비교하면 편마암 보다는 낮으며, 사암, 화강암, 세일 및 석회암 보다는 높은 값을 보인다. 고흥 지역에 분포하는 응회암의 물리적 특성 간의 상호 관계성을 살펴보면 다음과 같다. 건조 밀도와 공극율과의 관계는 건조 밀도가 낮을수록, 공극율은 증

가하는 선형관계를 보여주는 일반적인 형태를 보여주며, 다른 지역에 응회암과 비교해 볼 때, 건조밀도가 낮을수록 공극율이 증가하는 뚜렷한 특성을 보여준다 (Fig. 4). 고흥 지역 응회암의 건조밀도와 공극율 사이는 회귀분석 결과  $\rho_d = -0.03n + 2.68$  ( $r = 0.92$ ) ( $\rho_d$ =건조밀도,  $n$ =공극율)의 식으로 나타낼 수 있다 (Fig. 5). 또한 흡수율과 공극율의 관계를 보면 공극율과 흡수율의 관계는 선형관계를 가지며, 이들 사이에는 회귀분석에 의해  $n = 2.22Ab + 0.28$  ( $r = 0.99$ ) ( $n$ : 공극율,  $Ab$ : 흡수율)로 나타낼 수 있다 (Fig.6). 일반적으로 흡수율은 풍화도와 밀접한 관계가 있어 풍화정도가 높을수록 높아진다. 위의 식은 국내 화강암의 공극율과 흡수율의 관계식인  $n = 2.52Ab + 0.05$  ( $r = 0.97$ ) (신희순, 최광수, 1988)과 유사한 형태를 보인다. 팔영산 용결응회암과 고흥응회암의 물성치들을 비교하면, 비중과 밀도는 팔영산 용결응회암에서 각각 2.41과 2.42(g/cm<sup>3</sup>)로 고흥응회암의 2.59와 2.60(g/cm<sup>3</sup>)보다 낮은 값을 보인다. 또한 흡수율, 공극율 및 흡수율은 팔영산 용결응회암에서 각각 0.19%, 6.47%, 2.78%로 고흥응회암의 0.05%, 2.55%, 1.05%보다는 다소 높게 나타났다.

Table 2. Physical and mechanical properties of Tuff in Goheung area.

Sample No.	depth (m)	Gs	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	w (%)	n (%)	Ab (%)	UCS (MPa)	E 10 <sup>4</sup> (MPa)	Is <sub>(50)</sub> (MPa)		Ia <sub>(50)</sub> (Is <sub>a</sub> /Is <sub>d</sub> )
									axial (Is <sub>a</sub> )	diametral (Is <sub>d</sub> )	
T1-1	5.1~5.5	2.33	2.30	0.08	10.25	4.39	80.4	0.76	2.1	1.2	1.75
2	5.6~6.1	2.32	2.34	0.08	9.16	3.94	81.1	0.89	1.9	1.3	1.46
3	6.3~6.8	2.13	2.35	0.19	12.46	5.86	85.1	0.91	1.8	0.7	2.36
4	7.2~7.6	2.35	2.31	0.08	8.07	3.44	97.6	0.94	1.9	1.0	2.25
5	7.7~8.4	2.29	2.28	0.23	10.14	4.43	138.8	0.80	4.5	2.0	2.25
T2-1	6.7~7.5	2.38	2.51	0.05	4.94	2.07	118.0	0.99	3.3	1.5	2.20
2	7.7~8.5	2.36	2.48	0.01	5.20	2.20	128.7	0.89	3.5	1.7	2.05
3	9.1~10.4	2.46	2.57	0.20	3.72	1.51	149.5	1.18	3.5	1.7	2.05
4	11.0~11.5	2.49	2.54	0.13	5.54	2.23	136.6	1.09	3.8	2.0	1.90
5	11.6~12.2	2.60	2.65	0.02	2.94	1.13	146.5	1.28	3.8	2.1	1.80
6	12.5~13.0	2.68	2.72	0.08	2.11	0.79	140.6	1.18	4.8	2.1	2.28
7	13.2~13.7	2.42	2.48	0.01	5.32	2.20	96.9	0.99	1.9	1.0	1.90
8	13.8~14.2	2.46	2.47	0.02	5.52	2.25	139.6	0.99	4.4	2.0	2.20
T3-1	10.0~10.5	2.70	2.55	0.07	2.61	0.97	140.1	1.28	3.6	2.5	1.44
2	10.6~11.2	2.60	2.55	0.07	2.62	1.01	143.5	1.18	3.8	2.8	1.35
3	11.4~11.8	2.63	2.56	0.07	1.49	0.57	138.6	1.38	3.8	2.9	1.31
4	12.2~12.8	2.66	2.56	0.01	1.77	0.67	153.4	1.28	5.8	2.9	2.00
T4-1	7.0~7.5	2.51	2.47	0.05	5.53	2.20	130.7	1.09	4.2	2.3	1.82
2	7.5~8.1	2.47	2.62	0.23	1.26	0.51	143.5	1.18	4.3	2.5	1.72
3	8.1~8.4	2.36	2.39	0.44	7.21	3.06	150.5	0.99	4.2	2.4	1.75
4	8.6~9.1	2.36	2.41	0.45	6.72	2.85	112.8	0.99	2.9	1.6	1.81
5	9.2~9.7	2.41	2.44	0.40	5.71	2.37	137.4	1.09	3.5	1.8	2.11
6	10.0~10.5	2.28	2.41	0.49	7.49	3.29	98.5	0.98	2.6	1.0	2.60
7	10.7~11.2	2.24	2.26	0.14	11.12	4.98	128.7	0.95	4.1	2.2	1.86
T5-1	13.3~13.8	2.69	2.76	0.02	1.05	0.39	158.1	1.19	5.2	2.7	1.92
2	13.9~14.4	2.85	2.73	0.06	0.35	0.12	158.4	1.19	5.4	2.8	1.92
3	14.5~16.1	2.85	2.69	0.03	0.16	0.05	184.4	1.19	5.7	3.3	1.72
T6-1	20.2~20.5	2.82	2.63	0.03	0.48	0.17	189.9	1.48	5.7	3.4	1.67
2	20.6~21.2	2.84	2.60	0.03	0.71	0.25	206.9	1.38	7.0	3.0	2.33
3	21.3~21.8	2.72	2.70	0.03	0.22	0.08	195.0	1.48	6.7	3.5	1.91
4	22.0~22.5	2.46	2.58	0.07	1.58	0.64	208.0	1.48	6.9	3.2	2.15
5	22.6~23.1	2.38	2.60	0.03	1.01	0.41	199.0	1.38	6.8	3.4	2.00
Min.		2.13	2.25	0.01	0.16	0.05	80.4	0.76	1.8	0.7	1.31
Max.		2.85	2.76	0.49	12.46	5.86	208	1.48	7.0	3.5	2.60
mean		2.51	2.52	0.12	4.51	1.91	141.1	1.12	4.2	2.2	1.93

Gs: specific gravity,  $\rho_d$ : dry density, w: water content, n: porosity, Ab: absorption ratio.

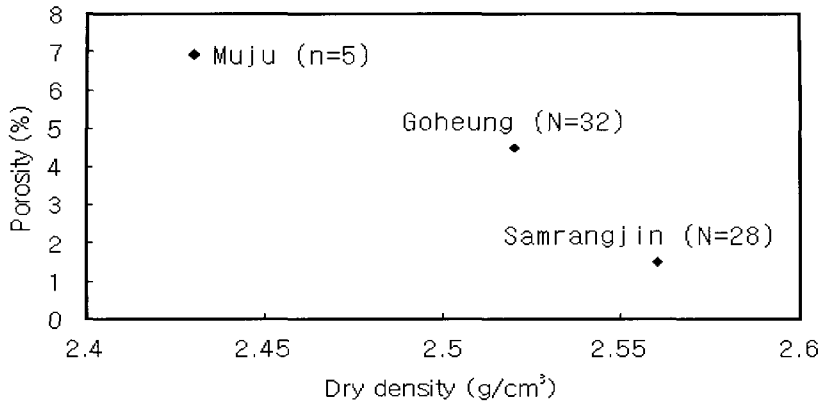


Fig. 4. Comparison between dry density, porosity obtained and those from previous works in other locality. (Muju & Samrangjin : Lee et al.(1982); Goheung : this study)

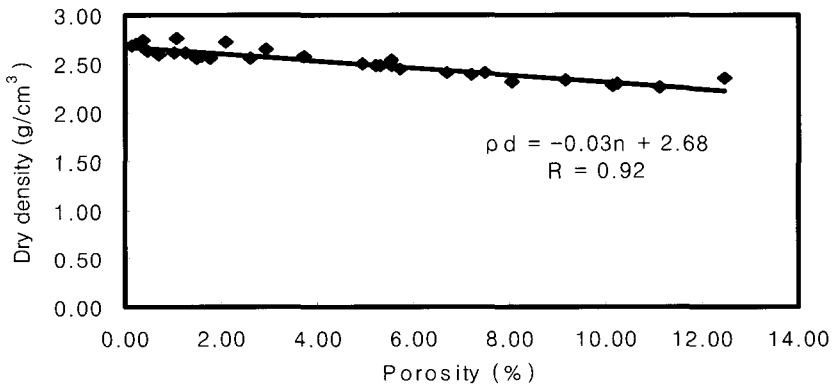


Fig. 5. Correlation of dry density (g/cm³) with Porosity (%).

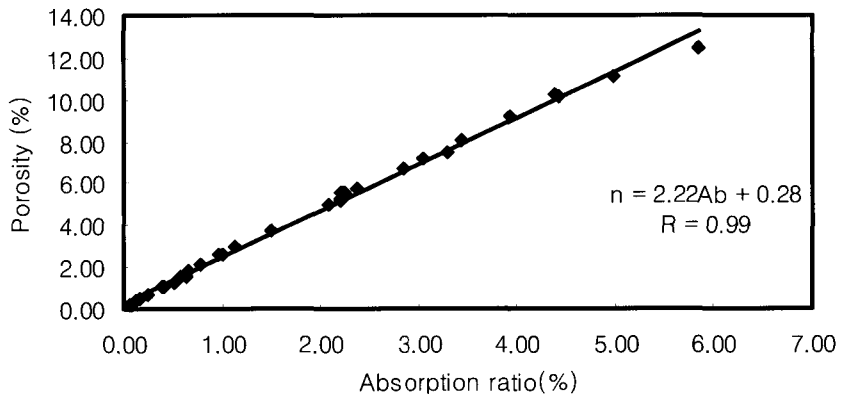


Fig. 6. Correlation of porosity (%) with absorption ratio (%)

**역학적 특성**

**일축압축강도와 탄성계수**

·고흥지역에 분포하는 신선한 응회암의 일축압축강도와 탄성계수(elastic modulus)의 범위 및 평균값은 Table 2와 같다. 탄성계수는 구조물 변위를 중요시할 경우에 적합한 (신희순 등, 2000) 할선탄성계수를 구하였다. 일축압축강도의 범위는 80.4~208(MPa)이며, 평균은 141.1(MPa)로서 Deere & Miller(1966)에 의한 신선한 암의 공학적 분류에 의하면 high strength에

해당이 되며, ISRM(1981)에 의하면 very strong rock (100~250 MPa)에 해당이 된다. 또한 탄성계수 범위는  $0.76 \sim 1.48 \times 10^4$  (MPa), 평균은  $1.12 \times 10^4$  (MPa)을 나타낸다. 전라북도 무주지역과 경남 삼랑진 지역에 분포하는 응회암의 공학적 특성 (이정인 등, 1982)과 비교하면 일축압축강도는 삼랑진 지역의 응회암 (180 MPa) 보다는 낮은 편이나, 무주 지역의 응회암 (147MPa)과는 유사하다 (Fig. 7). 탄성계수 역시  $4.54 \sim 5.58 \times 10^4$  (MPa)보다 낮은 값을 보인다. 고흥지역에 분포하는 응회암의 일축압축강도와 탄성계수의 상관관계를 분석한 결과  $UCS = 144.7E - 21.8$  (MPa) ( $r=0.83$ )의 관계식을 보여준다 (Fig. 8).

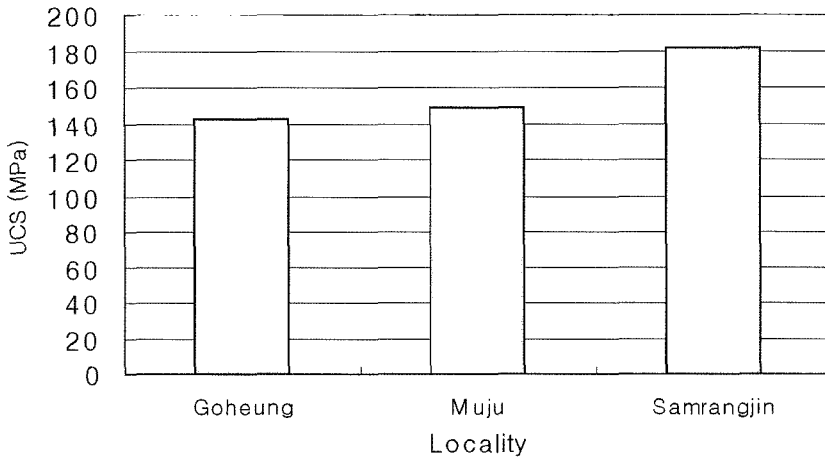


Fig. 7. Comparison between UCS obtained and those from previous works in other locality.

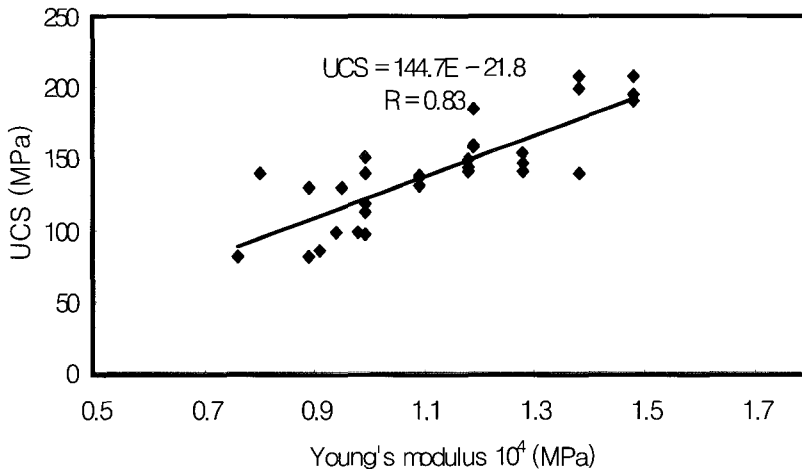


Fig. 8. Correlation of Young's modulus(E) with UCS (MPa)

**점하중 강도 지수와 점하중 강도 이방성 지수**

암석의 강도를 측정하는 방법에는 여러 가지가 있지만 점하중 강도 시험은 일축압축강도와 상관관계를 가지는 지표를 구하는 시험으로 시험법이 비교적 간단하고 시험기의 휴대가 용이하여 현장에서 암석의 개략적인 물성을 측정하기 위해 사용된다. 점하중 시험에서 구해진 점하중 강도 지수( $Is_{(50)}$ )는 일축압축강도를 구하는데 이용된다. 시험의 측정방법은 원주형 시료의 직경방향 (diametal test), 축방향 (axial test), 블록(block test) 그리고 불규칙한 시료의 방법 (irregular lump test)이 있으며, 본 연구에서는 NX size의 원주형 시료의 직경방향( $Is_d$ )과 축방향( $Is_a$ ) 시험을 실시하였다. 측정된 점하중 강도( $Is$ )는 크기 보정을 하기 위해 보정상수 F ( $(De/50)^{0.45}$ ) ( $De$ =equivalent core diameter)를 곱하여 직경 50mm 시료에 대해 측정된  $Is$  값인 점하중 강도 지수(point load strength index,

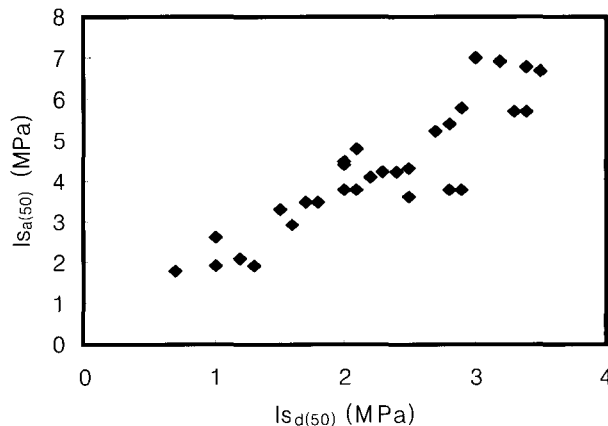
$Is_{(50)}$ )로 환산하였다. 측정된 축방향 그리고 직경방향의 점하중 강도 지수는 Table 2와 같다.

연구지역 응회암의 점하중 강도 지수 중,  $Is_a$  범위는 1.8~7.0(MPa), 평균 4.2(MPa) 그리고  $Is_d$  범위는 0.7~3.5(MPa), 평균 2.2(MPa)를 보여준다. Deere(1968)와 Bieniawski (1973)는  $Is_{(50)}$ 에 의한 신선한 암의 분류 안을 제시하였다. 본 연구지역의 응회암의  $Is_a$ 의 값을 이용하여 Deere 분류 안에 따르면 medium strength (2.5~5MPa) 그리고 Bieniawski 분류안에 따르면 high strength (4~8MPa)암에 해당이 된다 (Table 3).

점하중 강도 측정 시, 이방성 특성을 파악하기 위해 점하중 강도 이방성 지수(point load strength anisotrophic index,  $Ia_{(50)}$ )를 이용한다. 이방성 암석은 약면에 평행, 또는 수직으로 점하중 강도 측정 시, 최소 또는 최대 값을 보인다. 코아 시료의 축이 약면에 수직으로 시추 되었다면 직경방향과 축방향의 강도 측정 시험이 양호한 결과를 얻게 되지만 그렇지 않을 경우,

**Table 3.** Point load strength classification of intact rock- ( $Is_{(50)}$ ).

Class	Description	point load strength Deere(1968)	point load strength Bieniawski(1973)
A	Very high strength	over 10MPa	over 8MPa
B	High strength	5~10	4~8
C	Medium strength	2.5~5	2~4
D	Low strength	1.5~2.5	1~2
E	Very low strength	0~1.5	0~1



**Fig. 9.** The variation of point load strength anisotropy.



코아 시료의 축과 약면의 수직 방향과의 각은  $30^\circ$ 를 초과하지 않아야 한다 (ISRM, 1985). 본 응회암의 시료는 코아 시료의 축과 약면의 수직 방향과의 각이 약  $10^\circ$  내외로서 축방향과 직경방향의 점하중 강도를 구하여 점하중 강도 이방성 지수를 구하였다 (Table 2). 점하중강도 지수의 최소 값과 최대 값의 비인 점하중강도 이방성지수 값은 등방성 암석일 경우 1.0에 근접하며, 이방성일 때는 1.0보다 큰 값을 보인다. 연구지역 응회암의 점하중 강도 이방성 지수( $I_{a(50)}$ )의 범위는 1.31~2.6 그리고 평균 1.93로서, 점하중 강도 지수 값이 커질수록 점하중 강도 이방성 지수는 커지는 경향을 보여 준다. (Fig. 9).

### 점하중 강도 지수와 일축압축강도와의 관계

점하중 강도 지수는 그 자체로서도 정량적인 암 평가를 수행하는데 유용하게 사용되며, 암반의 RMR 분류(Bieniawski, 1989)에서도 일축압축강도를 추정하는데 점하중 강도의 수치를 이용하고 있다. 점하중 강도와 일축압축강도 사이에는 상관관계가 좋은 것으로 알려져 있으므로 일축압축강도를 추정하는데 사용된다. 일반적으로 사용되는 상관관계는 Broch & Franklin(1972)과 Bieniawski(1975)가 제시한 방법으로 점하중 강도에 24를 곱한 수치가 일축압축강도로서 고려된다. 그러나 많은 연구자들은 (Pelles, 1975; Hawkins & Olver, 1986) 모든 종류의 암석에 대해 24를 적용하면 큰 오차가 발생하며 암석의 종류 및 풍화

상태에 따라서 16~50까지 다양하다고 주장하였다. 국내에서도 여러 학자들에 의해 화강암, 편마암, 편암, 사암, 셰일 및 이암 등 다양한 암종에 대하여 점하중 강도지수와 일축압축강도와의 상관관계식을 유도하였다 (Table 4). Table 4에서 보는 바와 같이 암종에 따라 점하중 강도 지수와 일축압축강도와의 직선식의 기울기가 12에서 32까지 다양하며, 상관계수 ( $r = 0.82 \sim 0.96$ )는 높은 것으로 나타났다. 연구지역의 백악기 응회암의 점하중 강도 시험 결과, 축방향에서 측정된 점하중 강도 지수와 일축압축강도와의 상관 관계식은  $UCS = 22I_{s(50)} + 49$  (MPa) ( $r=0.95$ )로 나타낼 수 있으며, 상관관계가 좋은 것으로 나타났다 (Fig. 10). 위의 식은 고흥지역에 분포하는 응회암의 일축압축강도를 추정할 수 있는 식으로 유용하게 사용할 수 있다. 위의 식에서 점하중강도 지수와 일축압축강도와의 직선식의 기울기는 22로서 Table 4의 기존의 연구된 국내 여러 암종과 비교해 볼 때, 암종의 차이로 인해 서로 다른 관계식을 보여주고 있으며, 이 중 화강반암 및 셰일(정형식, 유병옥, 1997)의 점하중강도 지수와 일축압축강도와의 관계식에서의 기울기인 21 및 22와 유사한 형태를 보이고 있다.

### 점하중 강도 지수, 일축압축강도와 흡수율의 관계

축방향의 점하중 강도 지수와 흡수율의 관계를 보면 점하중 강도 지수가 높을수록 흡수율은 낮아지는 경향이 있으며 관계식은  $I_{s(50)} = -0.67Ab + 5.45$ 을 보여

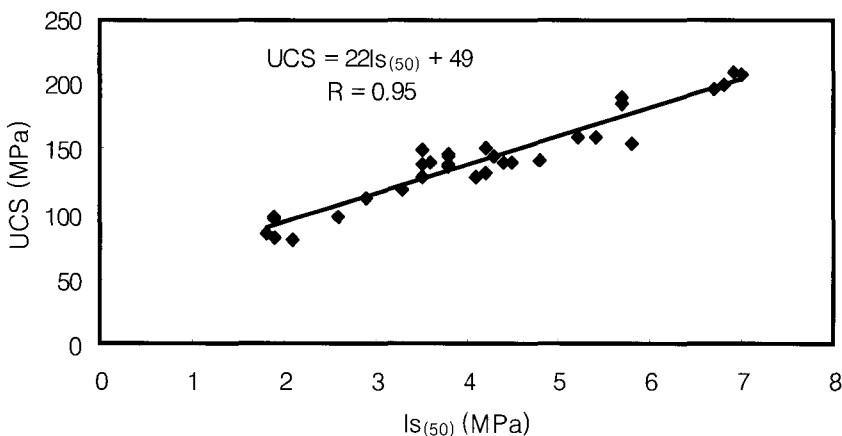


Fig. 10. Correlation of  $I_{s(50)}$  with UCS (MPa)

주며 상관계수( $r$ )는 0.71을 나타낸다 (Fig. 11). 또한 흡수율과 일축압축강도와의 관계를 보면 일축압축강도가 높을수록 흡수율은 낮아지는 일반적인 경향을 보이며 관계식은  $UCS = -16.7Ab + 173$ 로 나타낼 수 있으며 상관계수( $r$ )는 0.76을 나타낸다 (Fig. 12). 흡수율과 공극율의 관계는 Fig. 3에서와 같이 밀접한 관계가 있기 때문에 공극율과 점하중강도 지수 및 일축압축강도와의 관계 역시 유사한 경향을 보이는데 이는 공극으로 인한 유효면적의 감소 때문인 것으로 생각된다.

## 결론

본 연구에서 전라남도 고흥군 일대에 분포하는 중생대 백악기 응회암의 역학적 특성 파악을 위한 실내 시험 결과는 다음과 같다.

고흥군 일대에 분포하는 응회암(고흥응회암, 팔영산 용결응회암)은 성분상 glass성분이 우세한 유리질 응회암(vitric tuff)에 해당된다. 응회암의 물리적 특성인 비중, 건조밀도, 함수율, 공극율 및 흡수율의 평균 값은 각각 2.51, 2.52(g/cm<sup>3</sup>), 0.12(%), 4.51(%) 및 1.91(%)이다. 공극율의 증가에 따라 건조밀도는 낮아지는 경향을 보이며, 흡수율과 공극율은 밀접한 상관관계를 보인다. 일축압축강도(UCS)의 범위는 80.4~

**Table 4.** Empirical equation by relationship between uniaxial compressive strength (UCS) and point load strength index( $Is_{(50)}$ ) of various rock type in Korea.

empirical equation	$r^2(r)$	rock type	geologic time
$UCS=12Is_{(50)}+494$ , (kg/cm <sup>2</sup> ) (Lee & Lee, 1995)	(0.931)	granite	Jurassic
$UCS=17Is_{(50)}+397$ , (kg/cm <sup>2</sup> ) (Lee & Lee, 1995)	(0.916)	granite	Cretaceous
$UCS=21Is_{(50)} + 31$ , (kg/cm <sup>2</sup> ) Chung & You (1997)	0.95	granitic porphyry	
$UCS =13Is_{(50)} + 6$ , (kg/cm <sup>2</sup> ) Chung & You (1997)	0.96	schistose granite	
$UCS=22Is_{(50)}+136$ , (kg/cm <sup>2</sup> ) Chung & You (1997)	0.87	shale	
$UCS=14Is_{(50)} + 82$ , (kg/cm <sup>2</sup> ) Chung & You (1997)	0.93	volcanic breccia	
$UCS=16Is_{(50)} + 49$ , (kg/cm <sup>2</sup> ) Chung & You (1997)	0.90	biotite gneiss	
$UCS=12Is_{(50)} + 82$ , (kg/cm <sup>2</sup> ) Chung & You (1997)	0.94	granitic gneiss	
$UCS=32Is_{(50)}+328$ , (kg/cm <sup>2</sup> ) Kim et al. (2001)	0.87	black shale	cretaceous
$UCS=30Is_{(50)}+292$ , (kg/cm <sup>2</sup> ) Kim et al. (2001)	0.91	red shale	cretaceous
$UCS =15Is_{(50)}$ , (kg/cm <sup>2</sup> ) Lee et al. (2001)	0.82	shale, mudstone siltstone, sandstone	cretaceous tertiary
$UCS=19Is_{(50)} + 79$ , (kg/cm <sup>2</sup> ) Moon (2001)	(0.96)	shale	cretaceous
$UCS=14Is_{(50)}+321$ , (kg/cm <sup>2</sup> ) Moon (2001)	(0.94)	sandstone	cretaceous
$UCS =13Is_{(50)}$ , (Mpa) Bae et al. (1991)	(0.90)	banded gneiss	

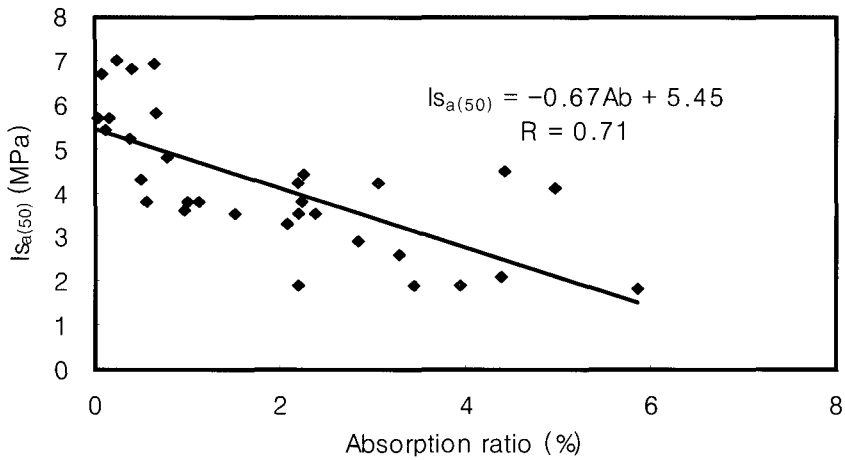


Fig. 11. Correlation of Absorption ratio(%) with  $I_{sa(50)}$  (MPa)

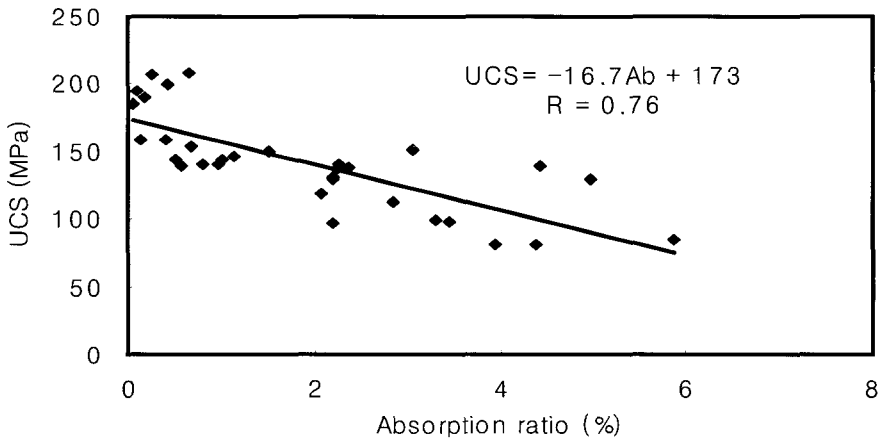


Fig. 12. Correlation of Absorption ratio (%) with UCS (MPa)

208(MPa), 평균 141.1(MPa)로서 Deere & Miller (1966)에 의한 신선한 암의 공학적 분류에 의하면 high strength에 해당이 된다. 축방향의 점하중 강도지수 ( $I_{sa}$ )는 평균 4.2(MPa)이며, 직경방향 점하중강도지수 ( $I_{sa}$ )는 평균 2.2(MPa)으로 점하중강도 이방성지수 ( $I_{a(50)}$ )는 1.93이다. 일축압축강도와 축방향 점하중 강도지수( $I_{s(50)}$ )는 밀접한 선형관계를 보이며, 관계식은  $UCS=22I_{s(50)}+49$ (MPa) ( $r=0.95$ )로 나타낼 수 있다. 이 식은 고흥 지역 응회암에 대한 일축압축강도를 예측

할 수 있는 간접적이며 유용하게 사용할 수 있다. 또한 흡수율이 증가할수록 일축압축강도와 점하중 강도 지수 값은 감소하는 경향을 보인다.

## 참고 문헌

김봉균, 김종환, 박희인, 윤석규, 이대성, 이하영, 장기홍, 정창희, 1982, 한국의 지질과 광물자원, 대림문화정판사, p.213-215.

- 김영수, 서인석, 허노영, 이재호, 김병탁, 2001, 충리면을 고려한 세일의 공학적 특성, 한국지반공학회는 문집, v.17(1), p.5-13.
- 김영수, 허노영, 방인호, 이재호, 성언수, 2001, 세일(월암)의 이방성 파괴특성. 한국지반공학회는문집, v.17(2), p.13-20.
- 김영화, 장보안, 1992, 화강암의 풍화현상에 수반되는 물성변화의 특성, 지질공학회지, v.2(1), p.36-46.
- 문종규. 2001, 암석의 일축압축강도와 점하중강도의 상관관계에 관한 연구, 울산대학교 석사학위논문, p.47- 51.
- 배대석, 송무영, 김경수, 1991, 충남 청양군 운곡면 일원에 분포하는 편마암의 강도 이방성특성, 지질공학회지, v.1(1), p.54-67.
- 서용석, 박덕원, 2003, 국내 주라기 화강암의 역학적 이방성, 지질공학회지, v.13(2), p.257-266.
- 송무영, 황인선, 1993, 한반도 중부권 지각물질의 구조와 물성 연구(2): 퇴적암류 코아시료의 탄성과 속도와 점재하 강도 비교, 지질공학회지 v.3(1), p.21-37.
- 신희순, 최광수, 1988, 국내 화강암의 역학적 성질간의 상관성, 광산지질학회지, v.21(4), p.359-365.
- 신희순, 선우춘, 이두화, 2000, 토목기술자를 위한 지질조사 및 암반 분류, 구미서관, p.445-460.
- 윤성효, 황인호, 1988, 전남 고흥반도에 분포하는 화산암류의 화산 층서 및 암석학적 연구, 광산지질학회지, v.21(4), p.335-348.
- 윤지선, 김두영, 정홍모, 1995, 서울 화강암의 암석강도 측정치의 비교 평가 연구, 한국암반공학회, 터널과 지하공간, v.5, p.144-154.
- 이수곤, 이송, 1995, 점하중강도를 이용한 한국화강암의 일축압축강도 추정방법, 대한토목 학회, v.15(4), p.1015-1027
- 이수곤, 1999, 화강암의 포화도에 따른 탄성과 속도의 변화, 한국지반공학회지, v.15, p.177-197.
- 이승재, 노상립, 윤지선, 2001, 포항지역 이암과 대구지역 흑색 세일의 물리, 역학적 특성, 한국자원공학회지, v.38(4), p.310-315.
- 이영휘, 김용준, 박준규, 2000, 압축강도와 풍화에 관련된 퇴적암의 공학적 특성, 한국지반공학회는문집, v.16(1), p.5-17.
- 이정인, 이희근, 유창하, 양형식, 1982, 우리나라에 분포하는 주요 암석류의 역학적 특성연구(제1보)- 주요 탄전 지역 및 지하발전소건설지역에 분포하는 퇴적암의 역학적 성질-, 대한광산학회지, v.19, p.260-267.
- 이희근, 이정인, 양형식, 1983, 우리나라에 분포하는 주요 암석류의 역학적 특성연구(제2보)- 원자력발전소, 지하철건설지역 등에 분포하는 화성암 및 변성암의 역학적 성질, 대한광산학회지, v.20, p.101-109.
- 정태중(1996), 대구지역에 분포하는 백악기 세일의 역학적 특성, 한국지구과학회지, v.17(6), p.489-496.
- 정형식, 유병옥, 1997, 암석의 풍화에 따른 강도변화 특성 및 강도추정에 관한 연구, 한국지반공학회지, v.13(6), p.71-93
- Bell, F. G. 1992, Engineering in Rock Masses, Butterworth-Heinemann Ltd., p.5-10.
- Bieniawski, Z. T., 1973, Engineering Classification of Jointed Rock Masses, Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng. 15, p.335-344.
- Bieniawski, Z. T., 1975, The point load test in geotechnical practice, Engineering Geology, v.9, p.1-11.
- Bieniawski, Z. T., 1989, Engineering Rock Mass Classifications, John Wiley & Sons, Inc., p.54-55.
- Broch, E. and Franklin, J. A., 1972, " Point load strength test", Int. J. Rock Mech & Min. Sci., v.9(6), p.669-697.
- Deere, D. U., 1968, "Geological Consideration", Rock Mechanics in Engineering Practice, ed. R. G. Stagg and D. C. Zienkiewicz, Wiley, New York, p. 1-20.
- Deere, D. U. and R. P. Miller, 1966, Engineering classification and index properties of intact rock, U.S Air Force Systems Command, Air Force Weapons Lab., Kirtland Air Force Base, New Mexico, Tech. Rep. AFWL-TR-65-116.
- Fisher, R. V., Schmincke, H. U., 1984, Pyroclastic Rocks, Springer-Verlag, p.89-92.
- Hawkins, A. B. and Olver, J. A. G., 1986, Point load test : correlation factors and contractual use an example from the Corallian at Weymouth, Geological society publication, no.2, p.269-271.
- ISRM, 1981, Rock characterization testing & monitoring, Pergamon Press, p.32-115.
- ISRM, 1985, "Suggested Methods for Determining Point Load Strength", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstract, v.22, p.51-60.
- Pells, P.J. N., 1975, The use of the point load test in

- predicting the compressive strength of rock materials, *Australian Geomechanical Journal*, G5, p. 54-56.
- Pettijohn, F. J, Potter, P. E., Siever, R., 1972, Sand and sandstone, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, p.261-269.
- Schmid, R., 1981, Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments : Recommendation of the IUGS subcommission on the systematics of Igneous Rocks, *Geology*, v.9, p.41-43.
- Schultz, R. A., Li, Q., 1995, Uniaxial strength testing of non welded Calico Hills tuff, Mountain, Nevada, *Engineering Geology*, v. 40, p.287-299.
- Topal, T., Doyuran, V., 1997, Engineering geological properties and durability assessment of the Cappadocian tuff, *Engineering Geology*, v.47, p.175-187.
- Wyllie, D. C., 1992, *Foundation on Rock*, Chapman & Hall, England, p.54-56.

김해경  
 광주교육대학교 과학교육과  
 500-703 광주광역시 북구 풍향동1-1번지  
 Tel : 062-520-4157  
 Fax : 062-520-4158  
 E-mail : khg@gnue.ac.kr

고영구  
 전남대학교 과학교육학부  
 500-757 광주시 북구 용봉동 300번지  
 Tel : 062-530-2513  
 Fax : 062-530-2519  
 E-mail : ykkoh@chonnam.ac.kr

오강호  
 전남대학교 과학교육학부  
 500-757 광주시 북구 용봉동 300번지  
 Tel : 062-530-2510  
 Fax : 062-530-2519  
 E-mail : yeongsanriver@hanmail.net

투 고 일 2004년 8월 3일  
 심 사 일 2004년 8월 10일  
 심사완료일 2004년 9월 11일

---