

쥬라기 운악산 및 백악기 속리산 화강암류의 조직과 물성과의 관계

윤현수^{*1)} · 박덕원²⁾ · 홍세선¹⁾ · 김주용¹⁾ · 양동윤¹⁾ · 장수범³⁾

¹⁾한국지질자원연구원 지질환경재해연구부, ²⁾한국지질자원연구원 지하수지열연구부

³⁾한국석유공사 개발사업팀

Relationships between Texture and Physical Properties of Jurassic Unagsan and Cretaceous Sogrisan Granites

Hyun-Soo Yun^{*1)} · Deok-Won Park²⁾ · Sei-Sun Hong¹⁾ · Ju-Yong Kim¹⁾ · Dong-Yoon Yang¹⁾ · Soobum Chang³⁾

¹⁾ Geological & Environmental Hazards Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

²⁾ Groundwater & Geothermal Resources Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

³⁾ Korea National Oil Corporation, Development Project Team

연구대상인 운악산과 속리산 화강암류는 각각 경기육괴 북부인 운악산과 옥천대 중부인 속리산 일대에 대규모로 분포한다. 전자는 쥬라기의 석류석흑운모화강암으로 담회색이 우세하며 치밀조직을, 후자는 백악기의 흑운모화강암으로서 홍색을 띠며 공동구조를 이룬다. 자료의 균질성을 얻기 위하여 시료의 입도는 거의가 조립질 그리고 암석판정상 신선한 암석을 택하였다. 그리고 공시체는 모두 일변 결 면에 수직한 방향으로 제작하였다. 주성분광물은 모두드 값에서 큰 차이를 보여 전자는 석영+사장석이, 후자는 알칼리장석이 각각 뚜렷이 증가하며 이로 인하여 각각 담회색과 홍색을 이루는 것으로 보인다. 열극의 주향은 전자보다 후자에서 직교하는 경향이 더 뚜렷하며 경사는 수직에 가까운 것들이 후자에서 크게 증가하여, 전자보다 후자에서 규격석이 산출이 더 많을 것으로 해석된다. 후자에 종종 수반되는 공동구조가 암질을 저하시키는 한 요소가 될 수 있다. 운악산과 속리산 화강암류의 비중은 각각 2.60과 2.57의 값을 가진다. 흡수율과 공극율은 뚜렷한 정의 관계를 이루며, 이들 값은 전자보다 후자에서 각각 두 배 정도로 증가한다. 이러한 물성값의 차이와 변화경향은 전자와 후자에 각각 발달하는 치밀조직과 불규칙하게 배열하는 대소의 공동구조에 의한 것으로 해석된다. 압축강도는 그 값이 후자보다 전자에서 대부분 증가하며, 인장강도는 그 값이 후자보다 전자에서 뚜렷이 증가한다. 공극율은 전자에서 압축 및 인장강도에 뚜렷한 부의, 그리고 후자에서 모두 높은 분산도에 의하여 상관성 결여되는 경향을 이룬다. 이는 전자보다 천부 정치암인 후자에서 후기 마그마 산물로 형성된 공동구조에 의한 것으로 해석된다. 전자와 후자의 마모경도는 공극율과 달리 서로 비슷한 범위와 평균값을 가지며, 이는 경도가 강한 석영+알칼리장석 모두드 값이 후자에서 다소 증가되기 때문으로 보인다. 그리고 전자와 달리 후자의 압축강도는 주성분과 부성분광물에 따라 각각 증가 및 감소되는 것으로 해석된다.

주요어: 암색, 치밀조직과 공동구조, 물성, 열극, 모두드 값

Unagsan and Sogrisan granites are widely distributed in the northern Gyeonggi massif and middle Ogcheon belt, respectively, and they show different petrologic characteristics as follows. The former has compact

* Corresponding author : hyuns@kigam.re.kr

textures and light grey colors, and the latter has spotted miarolitic textures and pink colors. Most of the samples selected for tests are fresh and coarse-grained. And bored core samples were prepared so that they are vertical to the rift plane. The results of modal analysis show that Unagsan granite has significantly higher quartz and plagioclase contents (Qz+Pl) than Sogrisan granite. In contrast, alkali feldspar content (Af) of Sogrisan granite is much higher than that of Unagsan granite. Therefore, it is believed that the light grey colors of Unagsan granite are due to relatively high Qz+Pl, and the pink colors of Sogrisan granite are caused by higher Af. Fractures in Sogrisan granite have strongly perpendicular strike patterns and more dip values close to vertical compared with the fractures in Unagsan granite. Results of the fracture pattern analysis suggest that the Sogrisan granite has better potential to produce dimension stones than the Unagsan granite. However, miarolitic textures often found in the Sogrisan granite may be one of the factors reducing the granite quality. The Unagsan and Sogrisan granites have similar specific gravity values of 2.60 and 2.57, respectively. Absorption ratios and porosity values of Sogrisan granite are higher than those of Unagsan granite, and they shows linearly positive correlations. Compressive and tensile strengths of the Unagsan granite are generally higher than those of Sogrisan granite. These differences and variation trends found in physical properties of Unagsan and Sogrisan granite can be explained by the differences in the textures of Unagsan and Sogrisan granites, namely compact and miarolitic textures respectively. For Unagsan granite, compressive and tensile strengths are negatively correlated with porosity but for Sogrisan granite no specific correlations are found. This is probably due to the irregular dispersion patterns of miarolitic textures formed during the later stages of magmatic processes. Contrary to the trends found in absorption ratios, both granites have similar values of abrasive hardness, which can be explained by higher Qz+Af of the Sogrisan granite than those of the Unagsan granite and that quartz and alkali feldspar have relatively larger hardness values. For Sogrisan granite, compressive strength shows slightly positive correlations with Qz+Af+Pl and negative correlations with biotite and accessory mineral contents (Bt+Ac).

Key words: rock colors, textures, physical properties, fracture patterns, mode.

서 언

연구 대상암은 경기육괴 북부인 운악산 일대와 옥천대 중부인 속리산 일대에 각각 넓게 분포하며 주라기와 백악기 화강암류에 각각 속한다. 이들 화강암류 분포지는 각각 광주산맥의 지맥과 소백산맥의 줄기에 해당하여 높은 산세를 이루며 상호 뚜렷한 암상과 조직의 차이를 보이고 있다. 즉 전자는 담회색, 중-조립질 및 치밀(massive) 조직을, 그리고 후자는 홍색, 중-조립질 그리고 공동(miarolitic) 구조를 이루어 큰 산상 차이를 보인다.

운악산 일대 화강암류는 서울에서 의정부를 거쳐 포천 북동부로 연장되며 대규모 저반상을 이루는 주라기 대보화강암체(GMIK, 1973)의 중북부에 위치한다. 도폭상(1/5 만)으로는 기산리도폭(미발간)과 포천도폭(미발간)의 동부가 포함된다. 지형상으로 남측에는 운악산(933.5 m)과 북측에는 원통산(567.3 m)과 금주산(569.2 m) 등이 높은 산세를 이루며 일대에서 운악산이 가장 고봉을 이룬다.

속리산 일대는 옥천대 남서부인 문경 남부-상주 북부로서 도폭상(1/5만)으로 문경도폭(김남장 외, 1967), 용유리도폭(이홍규 외, 1972)과 괴산도폭(이종혁과 김정환, 1972) 등이 해당한다. 이 곳은 북측에 구왕봉(898 m), 중측에 문장대(1033 m), 남측에 남산(821.6 m) 등이 발달하여 높은 산세를 이룬다.

이 연구에서는 운악산과 속리산 화강암류의 전반적인 산출특성, 입도, 암색 및 구성광물 등을 비교하였으며, 특히 주성분과 부성분광물의 모우드 분석 및 뚜렷한 암색의 차이를 광물조성과 관련하여 해석하였다. 또한 두 지역에 발달하는 비교적 큰 규모의 암반을 택하여 이들 내 열극을 측정하여, 두 지역 화강암체에 발달하는 열극체계를 비교하였다. 한편 신선한 블록시료 채취 및 공시체 제작을 통한 실내 물성시험을 실시하여 두 지역 화강암 물성의 제 특성 그리고 물성 상호간의 상관성을 검토하였다. 그 밖에 주요 물성과 주성분 및 부성분광물의 모우드 값과의 상호 변화관계를 해석하여 화강암내부의 물성 변화요인을 규명하여 보았다.

두 지역과 관련하여 운악산 화강암에서는 암석 및 암석화학적 연구가 전체 또는 부분적(윤현수 외, 2002; Kwon et al., 1994)으로, 그리고 속리산 화강암에서는 암석화학 및 물성 등(윤현수 외, 1993; 윤현수 외, 1990)이 보고 된 바 있다. 한편 운악산 화강암은 암석 물성과 관련된 연구가 수행된 바 없으며, 속리산 화강암은 기존의 연구보고(윤현수 외, 1993) 외에 그 동안에 새롭게 조사된 물성자료 등을 추가하였다.

야외조사에서는 가능한 신선한 블록시료를 선별하여 채취하였으며 이들의 박편제작, 공시체 제작 및 물성시험 등은 모두 지질자원연구원에서 수행되었다. 물성시험대상은 비중, 흡수율, 공극율, 압축강도, 인장강도 그리고 마모경도 등이다.

운악산과 속리산 화강암류의 산출특성

운악산 일대는 선캠브리아기의 편마암류와 편암류, 주라기의 화강암, 백악기의 토날라이트와 염기성-산성 암맥류 등으로 구성된다. 그리고 속리산 일대는 변성퇴적암류와 퇴적암류, 시대미상암류 및 여러 화성

암류로 구성된다(Figs. 1, 2). 두 지역 화강암류의 암석학적 기재는 상세하게 보고 된 바 있다(윤현수 외, 2002; 윤현수 외, 1993; 윤현수와 김선익, 1990). 이들 화강암류의 산상, 암색, 입도 및 조직 등의 암석학적 특성은 다음과 같이 요약될 수 있다.

주라기의 운악산 화강암은 구성광물의 특성에 의하여 흑운모화강암, 석류석흑운모화강암 및 복운모화강암으로 분류될 수 있다. 이 중에서 중자가 가장 넓은 분포를 이루며, 운악산 일대에 넓게 분포하므로 운악산 화강암이라 부르기로 한다. 이 화강암은 중-조립질로서 담회색, 회색 그리고 미약한 담홍색을 띠기도 하나 전반적으로 담회색이 우세하다. 그리고 전체적으로 붉은 색을 띠는 석류석이 미립 또는 수 mm 정도의 크기로 산출되며, 치밀한 입상조직을 이루는 것이 특징이다.

백악기의 속리산 화강암은 문경-상주일대에 걸쳐 넓게 분포하며 전체적으로 홍색을 띤다. 이 화강암에는 전반적으로 다양한 크기와 형태를 이루는 공동구조가 산점상 또는 밀집상으로 산출된다. 이러한 공동구조는 기상이 많은 후기 마그마 산물(Hyndman, 1985; Carmichael et al., 1974)로서, 이는 북부보다 남부에서 더 발달되는 경향을 이룬다. 이 암은 중-조립질

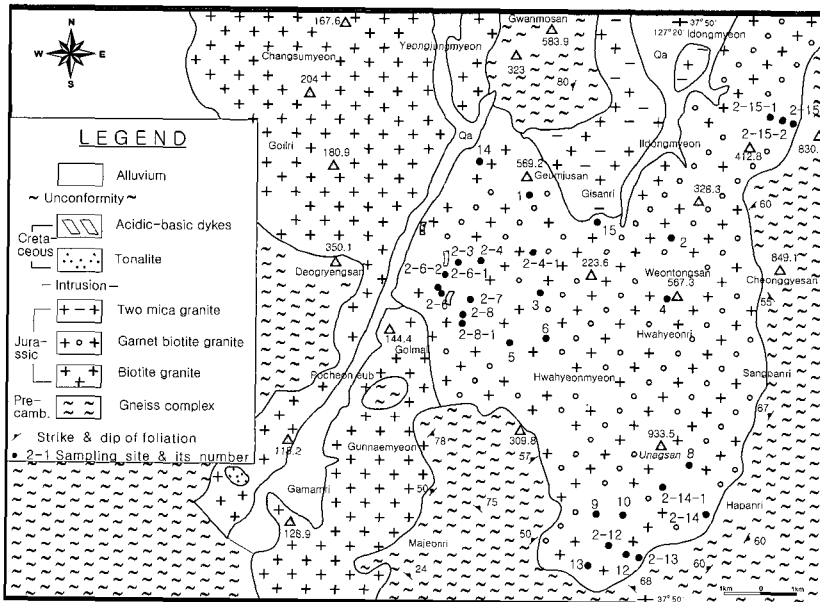


Fig. 1. Geologic map and sampling sites of the Unagsan area.

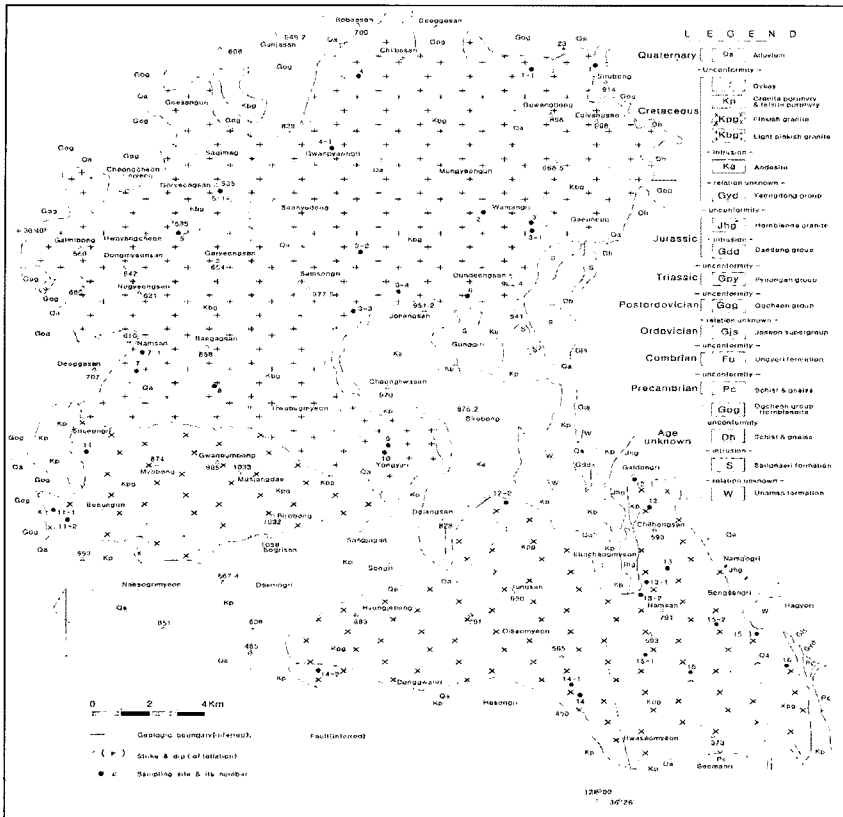


Fig. 2. Geologic map and sampling sites of the Sogrisan area.

이 우세하며, 대체로 북부보다 남부에서 다소 더 짙은 홍색을 이루는 경향을 보인다. 또한 북측 주변부와 동측 주변부는 반정질화 및 세립질화(윤현수와 김선억, 1990) 되기도 한다.

모우드 값과 암색

운악산과 속리산 화강암류의 구성광물과 모우드 값은 다음과 같은 차별성을 가진다. 연구대상은 물성시험과 모우드 분석이 같이 시행된 시료를 택하였다 (Table 1).

운악산 화강암은 석영(Qz), 알칼리장석(Af), 사장석(Pl), 흑운모(Bt) 및 기타 부성분광물(Ac) 등으로 구성된다. 부성분광물에는 백운모, 인회석, 저어콘, 석류석과 불투명광물 등이 포함된다. 모우드 값은 석영 34.4-56.8(평균 44.5) %, 알칼리장석 18.1-29.6(평균

26.2) %, 사장석 21.1-33.3(평균 26.2) % 및 석영+알칼리 장석+사장석(Qz+Af+Pl) 95.3-98.2(평균 97.0) %이다(Table 1). 그리고 흑운모+부성분광물(Bt+Ac)은 2.0-4.6(평균 3.0) %의 값을 가진다.

속리산 화강암은 석영, 알칼리장석, 사장석, 흑운모와 기타 부성분광물 등으로 구성된다. 부성분광물에는 스펀, 저어콘과 불투명광물 등이 있다. 모우드 값은 석영 27.3-38.7(평균 34.8) %, 알칼리장석 38.7-53.7(평균 43.6) %, 사장석 17.2-25.6(평균 20.0) %, Qz+Af+Pl 97.0-99.9(평균 98.4) %, Bt+Ac 0.1-3.0(평균 1.6) %를 가진다(Table 1).

전술된 바와 같이 이들 운악산과 속리산 화강암류는 부성분보다 주성분광물의 모우드 값에서 큰 차이를 보인다. 즉 전자는 석영과 사장석이, 그리고 후자는 알칼리장석의 값이 각각 증가한다. 또한 전자는 석영+사장석과 알칼리장석이 각각 70.7 %와 26.2 %의, 그리

Table 1. Modal compositions and rock colors of the Unagsan and Sogrisan granites.

	Qz	Af	Pl	Qz+Af+Pl	Bt+Ac	Rock color	Area
*2-3	34.4	29.6	33.3	97.3	2.4	Lt grey	Unagsan
*2-4	41.4	29.3	27.5	98.2	1.8	Lt grey	Unagsan
*2-6	38.0	26.3	31.0	95.3	4.6	Lt grey	Unagsan
*2-7	50.9	24.1	21.9	96.9	3.1	Lt grey	Unagsan
*2-8	42.4	27.9	27.0	97.3	2.6	Lt grey	Unagsan
*2-12	44.2	28.0	25.8	98.0	2.0	Lt grey	Unagsan
*2-13	56.8	18.1	22.2	97.1	2.9	Lt grey	Unagsan
*2-15	48.1	26.4	21.1	95.6	4.3	Lt grey	Unagsan
Aver	44.5	26.2	26.2	97.0	3.0		
**2	35.4	41.9	20.7	98.0	2.0	Pink	Sogrisan
**3	33.7	42.2	21.1	97.0	3.0	Pink	Sogrisan
**7	35.7	45.1	17.2	98.0	2.0	Pink	Sogrisan
**10	36.1	43.6	17.3	97.0	3.0	Pink	Sogrisan
**11	36.6	43.7	18.7	99.0	1.0	Pink	Sogrisan
**12	27.3	53.7	18.0	99.0	1.0	Pink	Sogrisan
**14	34.4	40.0	25.6	99.9	0.1	Pink	Sogrisan
**15	38.7	38.7	21.6	99.0	1.0	Pink	Sogrisan
Aver	34.8	43.6	20.0	98.4	1.6		

Qz: quartz, Af: alkali feldspar, Pl: plagioclase, Bt: biotite, Ac: accessory mineral.

*: 윤현수 외(2002) **: 윤현수와 김선익(1990).

고 후자는 각각 54.8 %와 43.6 %의 평균값을 가진다. 이러한 석영+사장석과 알칼리장석의 뚜렷한 함량증가 및 이들의 조합으로 인하여 운악산 화강암은 담회색 계열이, 그리고 속리산 화강암은 홍색계열이 각각 우세한 것으로 해석된다. 주성분광물 중에서 석영은 무색 또는 백색을, 사장석은 무색, 백색과 회색 그리고 간혹 살색(Klein & Hurlbut, 1985)을 이룬다. 그리고 알칼리장석은 홍색을 이룰 수 있는 것으로 보고되고 있다.

열극 발달상

열극발달은 암석자원의 채석효율성과 생산성 향상에 큰 비중을 차지한다(Nelson, 1985). 운악산과 속리산 화강암류에서 비교적 큰 규모를 이루는 암반을 택하여 불연속면의 주향과 경사를 측정하였다(Hudson

and Priest, 1979). 열극은 그 연장이 가능한 3 m 이상인 것들을 택하였으며, 10 여 cm 정도의 간격을 이룬 밀집대에서는 대표적인 한 방향으로 처리하였다.

운악산과 속리산 화강암류에서 측정된 열극의 로즈 및 등고선 다이어그램의 도시결과는 다음과 같다(Table 2; Fig. 3). 운악산 화강암의 대상암반은 모두 16 개이며, 측정된 열극수는 835 개에 달한다. 이들은 열극등고선 및 로즈 다이어그램에서 주향은 N20°-40°W, NS-N20°E, N70°W-EW 등에서 우세하며, 그 밖의 모든 방향에 걸쳐 발달하는 경향을 이룬다(Fig. 3). 경사는 81°-수직(41 %), 71°-80°(29.8 %) 그리고 61°-70°(11.0 %)를 이루어 이들이 전체 열극발달의 82 % 정도를 차지한다. 이러한 열극체계로 미루어, 운악산 화강암에서는 규격석과 더불어 비규격석의 산출도 많을 것으로 해석된다.

속리산 화강암의 대상암반은 모두 33 개이며, 여기에서 측정된 열극수는 355 개에 달한다(Table 2). 이들

Table 2. Frequency of fracture directions of the Unagsan and Sogrisan granites.

Strike		Strike		Dip		Area
NW	Frequency	NE	Frequency		Frequency	
01°~10°	41 (4.9)	NS	20 (2.4)	01°~10°	1 (0.1)	Unagsan granite
11°~20°	46 (5.5)	01°~10°	61 (7.3)	11°~20°	3 (0.4)	
21°~30°	77 (9.2)	11°~20°	51 (6.1)	21°~30°	29 (3.5)	
31°~40°	93 (11.1)	21°~30°	35 (4.2)	31°~40°	43 (5.1)	
41°~50°	41 (4.9)	31°~40°	23 (2.8)	41°~50°	34 (4.1)	
51°~60°	21 (2.5)	41°~50°	30 (3.6)	51°~60°	42 (5.0)	
61°~70°	23 (2.8)	51°~60°	25 (3.0)	61°~70°	92 (11.0)	
71°~80°	58 (6.9)	61°~70°	36 (4.3)	71°~80°	249 (29.8)	
81°~89°	47 (5.6)	71°~80°	42 (5.0)	81°~89°	226 (27.1)	
EW	25 (3.0)	81°~89°	40 (4.8)	90°	116 (13.9)	
Sum	472 (56.5)		363 (43.5)		835	
01°~10°	35(9.9)	NS	13(3.7)	01°~10°	4(1.1)	Sogrisan granite
11°~20°	25(7.0)	01°~10°	32(9.0)	11°~20°	8(2.3)	
21°~30°	4(1.1)	11°~20°	23(6.5)	21°~30°	7(2.0)	
31°~40°	34(9.6)	21°~30°	13(3.7)	31°~40°	9(2.5)	
41°~50°	3(8)	31°~40°	6(1.7)	41°~50°	9(2.5)	
51°~60°	11(3.1)	41°~50°	16(4.5)	51°~60°	10(2.8)	
61°~70°	22(6.2)	51°~60°	8(2.3)	61°~70°	36(10.1)	
71°~80°	23(6.5)	61°~70°	16(4.5)	71°~80°	77(21.7)	
81°~89°	11(3.1)	71°~80°	19(5.4)	81°~89°	59(16.6)	
EW	28(7.9)	81°~89°	13(3.7)	90°	136(38.3)	
Sum	196(55.2)		159(44.8)		355	

(): %

열극의 주향은 N10°W-N10°E, N80°W-EW, N30°~40°W 등에서 크게 우세하며, 이 중에서 전자 들은 서로 직교하는 경향이 뚜렷하다. 경사는 81°-수직(54.9%), 71°-80°(21.7%) 그리고 61°-70°(10.1%)를 이루며, 이 중에서 전자의 비율이 운악산 화강암에 비하여 크게 증가한다. 이들 고각도 경사의 산출빈도가 전체 열극의 87% 정도를 차지한다.

이러한 전반적인 열극체계로 미루어 운악산 화강암보다 속리산 화강암에서 규격석이 산출이 뚜렷이 많을 것으로 해석된다. 반면에 후자에서는 산점상, 포

켓상 등의 형태로 발달하는 공동구조의 수반이 규격석에 대한 품질저하의 주요인 중 하나가 되고 있다.

화강암류의 물성

시료 및 시험 방법

운악산과 속리산 화강암류에 대한 물성시험의 비교 연구의 균질성을 얻기 위하여 대상시료는 대부분 조

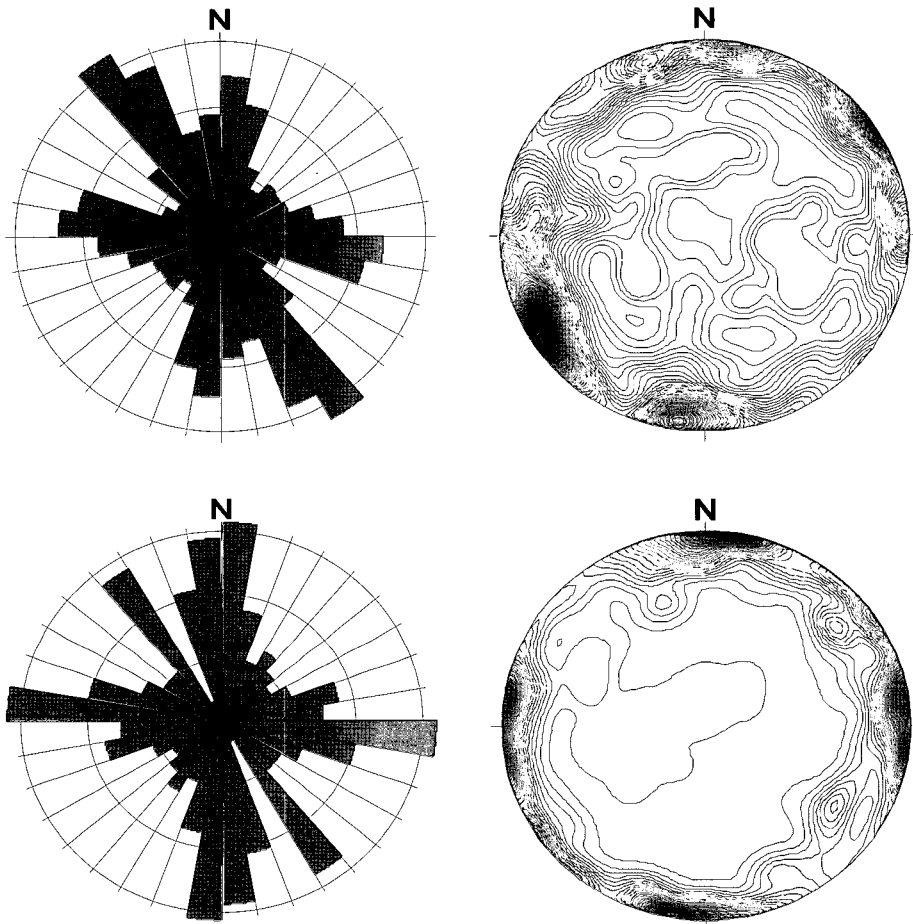


Fig. 3. Rose and counter fracture diagrams of the Unagsan (upper) and Sogrisan (lower) granites.

립질을 택하였다. 야외에서는 암석판정에 의해 거의 대부분 신선한 부위의 블록시료를 선별하여 채취하였다. 시료는 입방체(30x30x30 cm 크기)에 가까운 블록 형태로 채취하였으며, 각 블록에서 3-6 개씩의 공시체(직경 5 cm, 높이 5 cm)를 제작하였다. 그리고 물성시험 자료의 균질성을 높이기 위하여 측정된 공시체 물성의 산술평균을 해당암반의 대표 값으로 하였다.

암석의 물성은 광물입도와 형태, 광물배열 및 공동 그리고 풍화상태 등(Irfan, 1996)의 영향을 받는다고 보고되고 있다. 이 연구의 대상시료는 광물배열의 균질성을 유지하기 위하여 각 블록에서 모두 일변 결에 수직한 방향으로 공시체를 제작하였다. 암석에는 보통 서로 수직방향을 이루는 세 방향의 결이 존재하며,

이 중에서 일변 결(rift plane)은 암석이 가장 용이하게 분리될 수 있는 잠재성을 지닌 면으로서 지형경사와 일치하는 경우가 많다(Twidale, 1982; Wise, 1964; Osborne, 1935).

물성시험 중에서 인장강도는 ASTM D 3967-86에 의한 간접 압열인장 시험법(Brazilian test), 마모경도는 ASTM C 241-51에 의하여 측정하였다. 그 외의 물성값은 모두 한국산업규격(KS-F 2518, 2519)에 의하여 구하였다(Table 3). 시험된 물성대상은 비중, 흡수율, 공극율, 압축강도, 인장강도 그리고 마모경도 등이다.

Table 3. Physical properties of the Unagsan and Sogrisan granites.

	SG	AR (%)	PR (%)	CS (kg/cm ²)	TS (kg/cm ²)	AH	Grain size	Area
2-3	2.61	0.32	0.83	1,699	103	35	Co	Unagsan
2-4	2.60	0.39	1.01	1,763	73	36	Co	Unagsan
2-4-1	2.61	0.36	0.93	1,789	93	38	Co	Unagsan
2-6	2.61	0.36	0.94	1,908	105	36	Co	Unagsan
2-6-1	2.61	0.39	1.02	1,809	96	35	Co	Unagsan
2-6-2	2.60	0.27	0.69	1,794	112	35	Co	Unagsan
2-7	2.60	0.35	0.90	1,525	88	30	Co	Unagsan
2-8	2.59	0.38	0.99	1,607	105	35	Co	Unagsan
2-8-1	2.61	0.26	0.67	1,774	105	32	Co	Unagsan
2-12	2.61	0.33	0.87	1,147	76	25	Co	Unagsan
2-13	2.60	0.20	0.53	1,892	114	38	Co	Unagsan
2-14-1	2.59	0.33	0.87	1,730	131	40	Co	Unagsan
2-15	2.60	0.26	0.68	1,600	112	36	Co	Unagsan
2-15-1	2.53	0.36	0.93	1,464	84	24	Co	Unagsan
2-15-2	2.62	0.26	0.68	1,954	109	35	Co	Unagsan
Aver	2.60	0.32	0.84	1,697	100	34		
*1	2.58	0.25	0.66	1,834	71	34	Co	Sogrisan
*2	2.59	0.47	1.20	1,260	59	34	Co	Sogrisan
*3	2.59	0.52	1.34	1,285	62	30	Co	Sogrisan
3-1	2.59	0.56	1.44	1,043	52	23	Co	Sogrisan
3-2	2.60	0.50	1.29	1,606	82	36	Co	Sogrisan
3-3	2.57	0.70	1.80	1,381	68	33	Co	Sogrisan
3-4	2.59	0.34	0.89	1,471	77	29	Co	Sogrisan
*6	2.54	0.64	1.64	1,531	60	26	Co	Sogrisan
*7	2.57	0.64	1.62	1,130	86	42	Co	Sogrisan
*8	2.58	0.63	1.63	1,540	86	36	Co	Sogrisan
*9	2.57	0.77	1.95	1,390	79	33	Co	Sogrisan
*10	2.57	0.61	1.55	1,100	N.D.	N.D.	Co	Sogrisan
*11	2.58	0.53	1.37	1,548	N.D.	N.D.	Co	Sogrisan
	2.55	0.37	0.94	1,212	75	27	Co	Sogrisan
11-1	2.55	0.52	1.33	1,135	70	24	Co	Sogrisan
*12	2.59	0.64	1.56	1,849	80	33	Med	Sogrisan
12-1	2.54	1.07	2.70	1,391	65	34	Co	Sogrisan
12-2	2.56	0.89	2.26	1,792	87	36	Co	Sogrisan
*13	2.56	0.79	2.02	1,470	86	37	Med	Sogrisan
*14	2.53	0.81	2.05	1,705	81	31	Med	Sogrisan
*15	2.56	0.38	0.97	1,764	N.D.	N.D.	Med	Sogrisan
Aver	2.57	0.60	1.53	1,449	74	32		

SG: specific gravity, AR: absorption ratio, PR: porosity, CS: compressive strength, TS: tensile strength, AH: abrasive hardness, ND: not determined. *: 윤현수 외(1993). Co/Med: coarse/medium grained.

물리적 속성 및 상관성

비중

비중은 시료의 중량과 동일한 체적을 가진 질량과의 비로서 흔히 겉보기 비중을 말한다. 운악산과 속리산 화강암류의 비중은 각각 2.53-2.62(평균 2.60)와 2.53-2.60(평균 2.57)으로서 전자에서 그 평균값이 약간 증가한다. 이는 후자보다 전자가 상대적으로 치밀한 조직을 이루고 있음을 제시한다.

한편 운악산 남서부인 천보산맥일대에서 반월형을 이룬 석류석흑운모화강암의 비중은 2.61(윤현수, 1997)로서, 이 곳의 것과 거의 같은 값을 가진다. 이들 값은 모두 안정질 화강암의 비중인 2.51-2.80(평균 2.66)(Daly et al., 1966)내의 값을 가진다.

흡수율과 공극율

흡수율은 시료 내에 수분이 침투하여 포화상태일 때의 함유수분의 백분율을 의미하며, 공극율은 시료 중의 전공극의 체적과 공극을 포함한 시료의 전체적의 비를 말한다.

운악산과 속리산 화강암류의 흡수율은 각각 0.20-0.39(평균 0.32) %와 0.25-1.07(평균 0.60) %로서 전자보다 후자에서 그 범위 값이 훨씬 증가하며 평균 값도 두 배 정도로 커진다. 이는 결정질암의 흡수율은 2 % 미만(Duncan, 1969)의 값을 가진다와 일치한다. 공극율은 각각 0.53-1.02(평균 0.84) %, 0.66-2.70(평균 1.53) %로서 전술한 흡수율에서와 같이 전자보다 후자에서 그 범위와 평균값이 크게 증가한다.

공극율 대 비중의 관계에서 운악산 화강암은 미약한 부의 경향을, 그리고 속리산 화강암은 완만하며 뚜렷한 부의 경향을 이룬다(Fig. 4). 이러한 변화양상은 전자는 치밀한 조직을 이루나, 후자는 미세 공동구조의 함유정도에 의한 것으로 해석된다. 화강암류에서 공극율 대 비중은 뚜렷한 부의 경향을 이룬다(Tugrul and Zarif, 1998).

흡수율 대 공극율의 관계에서 이들 화강암은 모두 한 개의 선상에 놓이는 뚜렷한 정의 상관관계를 이루어, 공극율이 클수록 흡수능력(Duncan, 1969)이 증가되는 경향을 이룬다. 또한 흡수율은 풍화가 진행될수록 증가하여, 풍화암(HWR)에서는 평균 1.56 %를 가진

다고 보고 된 바 있다(윤현수, 1994).

압축강도

압축강도는 암석의 응력에 대한 저항정도를 말하며, 지표물성으로 이용되고 있다. 운악산과 속리산 화강암류의 압축강도는 각각 1,147-1,954(평균 1,697) kg/cm²과 1,100-1,849(평균 1,449) kg/cm²를 가지며, 그 평균값이 후자보다 전자에서 뚜렷이 증가한다. 이는 치밀한 조직을 이루는 전자에 비하여 후자에 수반되는 미세공동의 발달에 의한 것으로 보인다.

한편 서울지역 화강암의 압축강도는 1,100-1,440(평균 1,254) kg/cm²(소철섭과 최병열, 1975)를 가져 운악산의 것보다 크게 감소되는 바 이는 시험편의 제작차이에 의한 것으로 해석된다. 즉 서울 지역의 시험편은 직경 대 높이를 1 대 2의 사각주로 제작하여 실험된 자료이다.

운악산 화강암에서 미약하게 변질되어 보통암을 이루는 시료(시료번호 2-12)는 그 값이 1,147 kg/cm²로 크게 감소되며, 그 외는 모두 1,460-1,954(평균 1,736) kg/cm²를 가진다. 속리산 화강암 중에서 일부(시료번호 3-1, 7, 10, 11-1)는 1,043-1,135 kg/cm²로 그 값이 감소되는 바, 이는 미세 공동구조보다는 미약한 변질작용(Dixon, 1969)에 의한 것으로 해석된다. 이 화강암에서는 부분적으로 산점상의 사장석 변질작용, 흑운모의 녹리석화(윤현수와 김선익, 1990) 등이 수반된다.

또한 암석의 풍화정도는 강도와 내구성에 심한 영향을 주며(Winkler, 1973), 문경지역 홍색화강암의 압축강도는 보통암 1,191 kg/cm², 연암 964 kg/cm² 그리고 풍화암 373 kg/cm²(윤현수, 1994)를 가져 풍화가 진행될수록 그 값이 뚜렷이 감소한다. 여기서 암석판정은 풍화암(HWR, highly weathered rock), 연암(MWR, moderately weathered rock), 보통암(SWR, slightly weathered rock)과 경암(FR, fresh rock) 등(Hunt, 1984)으로 대분하여 그 신선한 정도를 구분하고 있다. 그리고 김형식 외(1978)는 화강암질암류의 압축강도는 장석류의 변질도와 깊은 관계를 가진다고 실험적으로 보고한 바 있다.

운악산과 속리산 화강암류는 모두 전형적인 화강암의 압축강도인 1,000-2,500 kg/cm²의 범위 내에 해당하여 경암-초경암(Farmer, 1983; Winkler, 1973; Hawkes and Mellor, 1970)에 속한다.

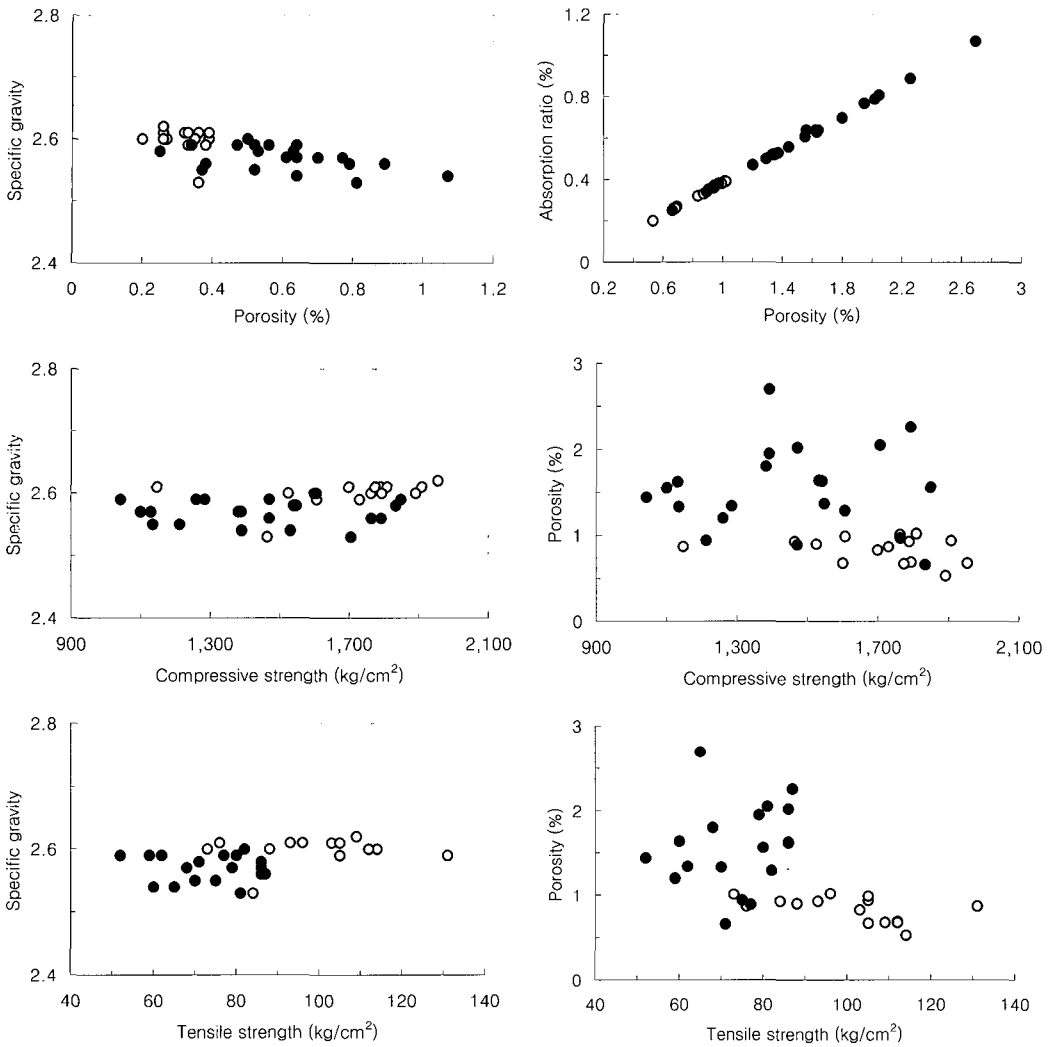


Fig. 4. Relationships among physical properties of the granites. Open and full circles are the Unagsan and Sogrisan granites, respectively.

운악산과 속리산 화강암류는 압축강도 대 비중에서 대체로 미약한 정의 경향을 모두 이룬다. 압축강도 대 공극율에서 전자는 완만한 부의 경향을, 후자는 불규칙한 분포를 이룬다. 한편 포천의 흑운모화강암과 문경의 홍색화강암의 압축강도는 미세균열이 같은 빈도를 이룰 경우, 경암에서는 전자보다 후자에서 약간 증가하며 보통암에서는 역전되는 경향(박덕원, 1989)을 모식적으로 보고한 바 있다. 향후 이들 지역 화강암류

에 대한 미세열극과 물성과의 상세한 연구병행이 필요할 것으로 보인다.

인장강도

인장강도는 암석의 인장력에 대한 저항정도를 나타낸다. 운악산과 속리산 화강암류의 인장강도는 각각 73-131(평균 100) kg/cm²과 59-87(평균 74) kg/cm²의

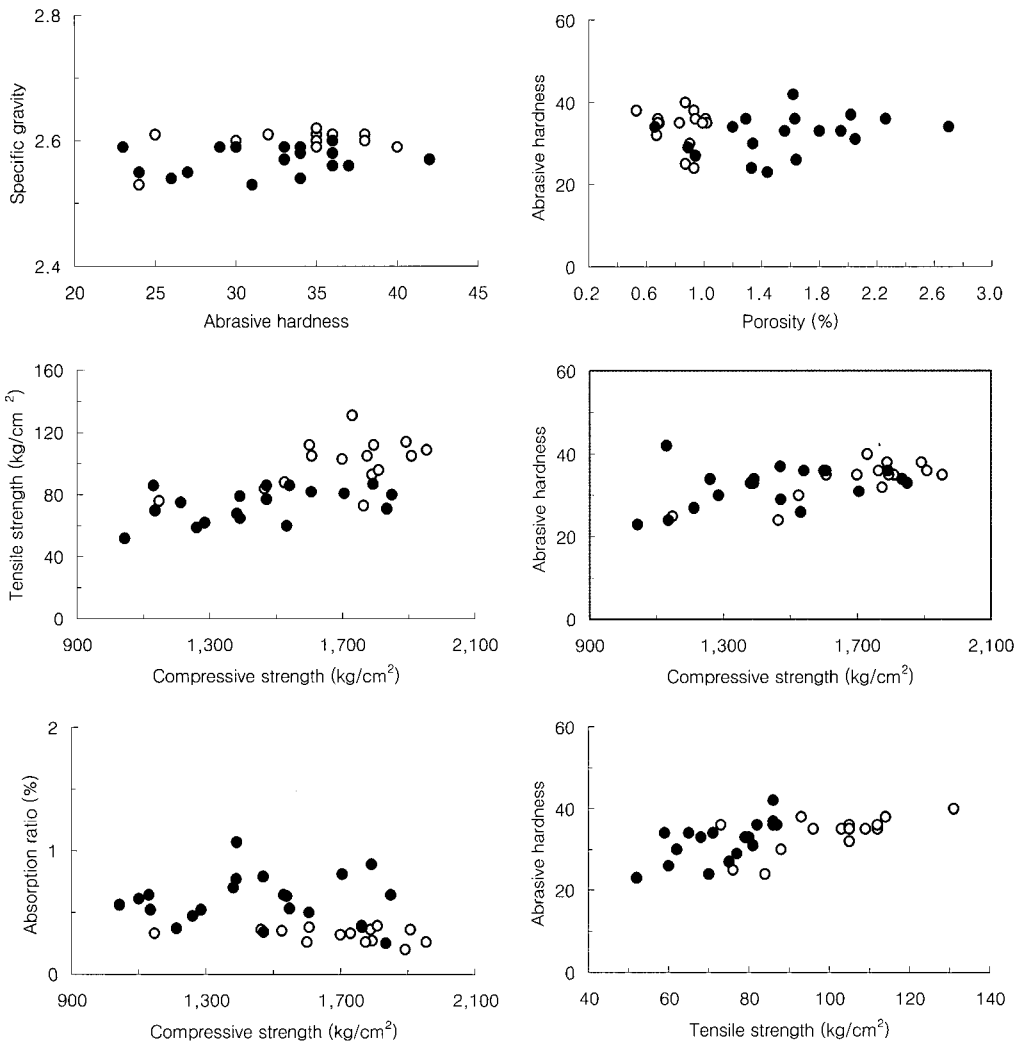


Fig. 5. Relation diagrams of physical properties of the granites. Symbols are same as in Fig. 4.

값을 가져, 전자에서 그 범위와 평균값이 크게 증가한다(Table 3). 압축강도 대 인장강도에서 전자와 후자는 각각 정의 경향을 대체로 이룬다. 그리고 공극율 대 인장강도에서 각각 완만한 부의 경향과 불규칙한 분포를 이룬다(Figs. 4, 5).

이러한 압축강도 대 인장강도, 공극율 대 압축 및 인장강도, 그리고 상기한 압축과 인장강도 값의 차이 등은 공동구조 외에 미세균열과도 관계가 있을 것으로 보인다. 포천지역 쥬라기 화강암류의 결은 광물의 벽개면과는 상관이 결여되고 미세균열이 주요인으로 작

용하며, 미세균열의 발생빈도 및 길이의 함수인 밀도는 일반 결>이병 결>삼병 결의 순으로 나타난다(박덕원, 1995; 박덕원 외, 2001, 2004). 또한 문경지역 백악기 화강암류에서는 수평에 가까운 미세균열이 가장 많이 발달한다(이병대 외, 1999). 이와 같은 연구사례로 보아 운악산과 속리산 화강암류는 이들 미세균열과도 다소의 연관성을 가질 것으로 생각되며, 향후 이들 화강암류 전반에 걸친 미세균열의 방향성과 관련된 이방성(anisotropy)에 대한 상세한 비교연구가 필요할 것으로 본다.

한편 운악산 화강암과 동일 저반인 서울지역 화강암(김두영 외, 1996)의 평균 인장강도는 각각 100 kg/cm^2 과 80 kg/cm^2 로 전자에서 그 값이 증가한다. 전형적인 화강암의 인장강도는 $70\text{-}250 \text{ kg/cm}^2$ (Farmer, 1983)의 범위로 보고되며, 이 기준치에 의하면 운악산 화강암은 범위 내 그리고 속리산 화강암은 수치가 낮게 나타난다. 속리산 화강암의 이러한 주요인은 암석내부의 미세한 대소 공동구조 수반에 의한 것으로 해석된다. 특히 압열인장시험 시에 공동의 장축방향과 가해진 응력방향이 상호 일치할 때, 암석의 강도는 급격히 저하될 가능성이 매우 높다.

인장강도 대 비중에서 전자는 미약한 정의 관계, 후자는 상대적으로 대체로 별다른 변화경향을 보이지 않는다. 한편 인장강도 대 공극율에서 전자는 완만한 부의 경향을 보이나, 후자는 분산도가 높다(Fig. 4). 이는 상대적으로 암질이 균질한 전자가 후자보다 물성간의 상관성이 높게 나타나는 특성을 보인다.

마모경도

마모경도는 외부마모에 저항을 나타낸 것으로서 바닥재로 시공하였을 때에 영향을 받는다(Bowels, 1934). 운악산과 속리산 화강암류의 마모경도는 각각 24-40(평균 34)와 26-42(평균 32)를 가져, 상호 유사한 범위 및 평균값을 가진다. 한편 전자보다 후자가 상대적으로 높은 공극율을 보이는 반면, 마모경도에서는 별 차이가 없는 분포특성이 확인된다(Table 3).

이러한 특성은 경도가 강한 석영과 알칼리장석(Klein and Hurlbut, 1985)의 모우드 값이 속리산 화강암 78.4 % > 운악산 화강암 70.7 %의 순으로 감소되기 때문으로 해석된다(Table 1). 또한 알칼리장석 중에서 전자와 후자는 각각 미사장석과 퍼다이트, 정장석과 퍼다이트로 대부분 구성된다(윤현수 외, 2002; 윤현수와 김선역, 1990).

이들 화강암류는 모두 마모경도 대 비중에서 완만한 정의 상관성을 보인다. 마모경도 대 공극율에서 전자는 불규칙하며, 후자는 별다른 변화경향을 보이지 않는다. 압축강도 대 마모경도 그리고 인장강도 대 마모경도에서, 두 화강암류는 모두 뚜렷한 정의 상관성을 보인다(Fig. 5).

모우드 값과 물성의 상관성

운악산과 속리산 화강암류의 모우드 값과 물성간의 상호관계는 다음과 같다. 모우드 값은 주성분인 석영, 알칼리장석과 사장석 그리고 부성분광물로 나누어 논한다(Table 3). 암석의 물성은 전술한 여러 암석학적 요소 외에 광물조성(Irfan, 1996)이 중요 역할을 한다.

석영 대 압축강도에서 전자는 뚜렷한 경향을 확인할 수가 없으나, 후자는 대체로 미약한 부의 경향을 보이고 있다. 그러나 이들 화강암류를 모두 고려한 상관성 분석결과, 분산도가 높고 분포성은 $Y=a$ 형으로 수평에 가깝다. 따라서 정 또는 부의 상관성을 언급하기가 어렵다(Fig. 6). 한편 석영함량과 압축강도는 강한 정의 상관을 이룬다(Gunsallus and Kulhawy, 1984)와 그리고 어떠한 중요 관계도 없다(Shakoor and Bonelli, 1991; Fahy and Guccione, 1979; Bell, 1978)로 양분되고 있다.

또한 국내 경상계 퇴적암류의 압축강도 대 석영은 정의 경향(소철섭과 최병열, 1975)을 가진다와 광물조성은 압축강도에 영향을 미치지 못하거나 극히 미미한 정도의 영향을 준다(김형식 외, 1978)고 실험적으로 보고되기도 한다. 이에 대해서는 더 많은 관련연구가 수행되어야 할 것으로 보인다.

알칼리장석 대 압축강도, 그리고 사장석 대 압축강도 관계에서는 석영 대 압축강도의 경우보다 상대적으로 양호한 상관성을 보인다(Fig. 6). 특히 알칼리장석 대 압축강도에서는 $Y=-aX+b$ 형의 부, 사장석 대 압축강도에서는 $Y=aX+b$ 형의 정의 관계를 보여 상호 상반된 관계를 보인다. 즉 운악산과 속리산 화강암류의 사장석 대 압축강도는 각각 26.2 % 대 $1,697 \text{ kg/cm}^2$ 그리고 20.2 % 대 $1,449 \text{ kg/cm}^2$ 로 후자에서 뚜렷이 감소하며, 이는 알칼리장석 대 인장강도에서도 잘 보여준다(Table 3). 이러한 현상은 알칼리장석의 함량이 높은 담홍색 화강암류보다는 사장석 함량이 높은 회백색-담회색 화강암류가 상대적으로 압축강도 및 인장강도 면에서 높다는 기존의 국내 연구사례와 잘 일치한다.

구체적인 예로서 사장석의 함량 및 압축강도는 담회색 합천화강암(40.4% , $2,147 \text{ kg/cm}^2$) > 회백색 거창화강암(39.5% , $1,855 \text{ kg/cm}^2$) > 담홍색 포천화강암(29.3% , $1,408 \text{ kg/cm}^2$)의 순으로 되고 있다. 이 중 사장석의 함유량이 가장 낮은 담홍색 포천화강암이 강도

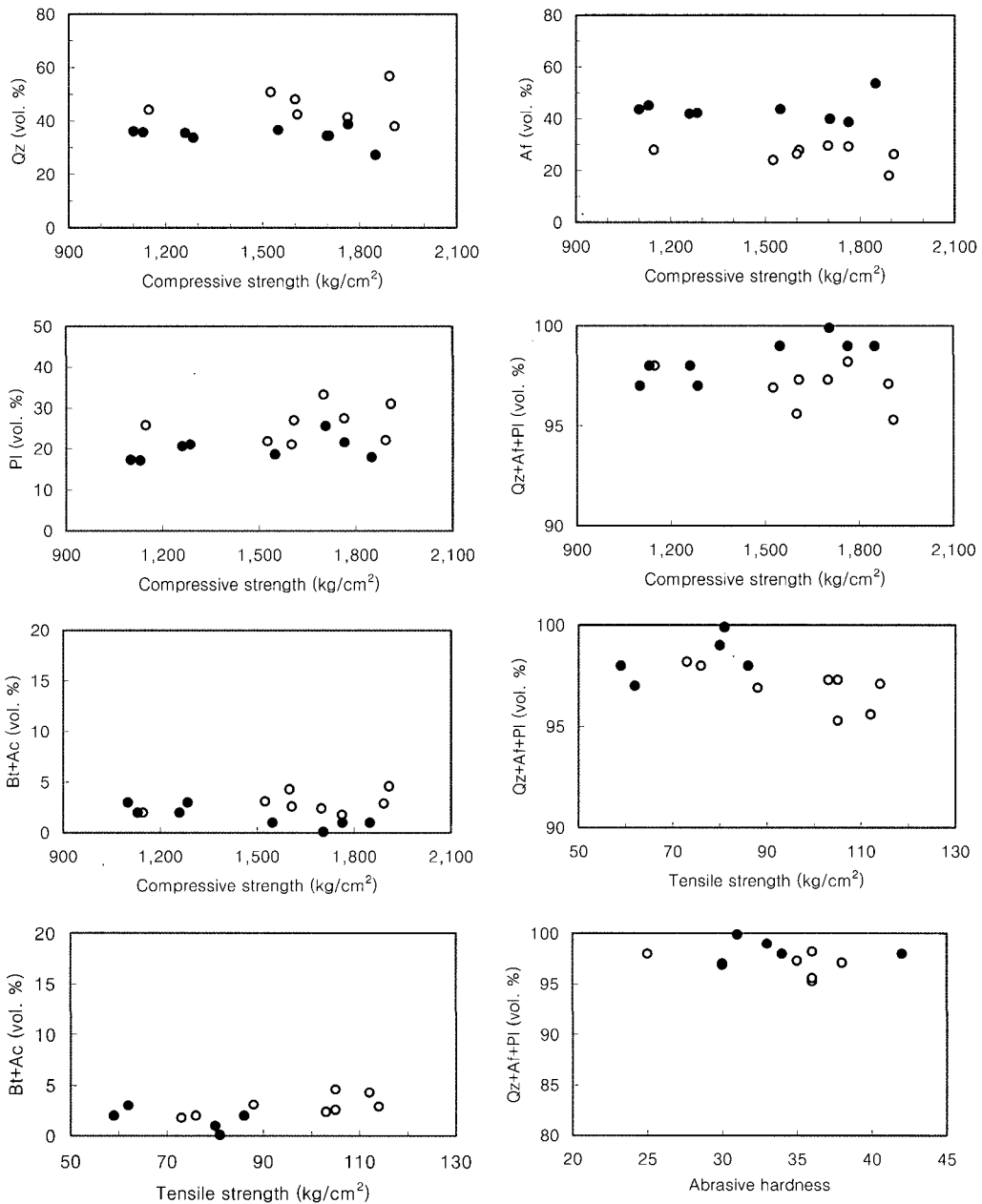


Fig. 6. Relations of physical properties vs modes of the granites. Symbols are same as in Fig. 4.

에서 급격히 저하되는 양상을 볼 수가 있다(박덕원, 1995).

한편 Qz+A+Pl 대 압축강도에서 운악산 화강암은

별다른 변화경향을 보이지 않으나 속리산 화강암은 완만한 정의 경향을 이룬다. Bt+Ac 대 압축강도에서 전자는 변화경향을 보이지 않고, 후자는 완만한 부의

경향을 이룬다(Fig. 6). 이들 화강암의 Qz+Af+Pl 모드 값은 각각 95.3-98.2(평균 97.0) %와 97-99.9(평균 98.4) %로서, 후자에서 약간 더 증가한다. 이들 화강암류의 압축강도는 각각 1,697 kg/cm²와 1,449 kg/cm²를 가져 후자보다 전자에서 뚜렷이 더 증가한다(Table 3). 이로 미루어 공동구조를 이루는 후자에서 주성분과 부성분광물의 함량증가는 압축강도에 미약하지만 각각 증감의 역할을 하는 것으로 해석된다.

운악산과 속리산 화강암류는 Qz+Af+Pl 대 인장강도에서 각각 부와 정의, Bt+Ac 대 인장강도에서 각각 정과 부의 경향을 대체로 이룬다. 마모경도 대 Qz+Af+Pl은 대부분 변화경향을 보이지 않는다(Fig. 6).

결 언

운악산과 속리산 화강암류는 경기육괴 북부인 운악산과 옥천대 중부인 속리산 일대에 각각 넓게 분포한다. 전자는 주라기의 중-조립질 흑운모화강암으로 담회색과 치밀한 입상조직을 이루며 미립의 석류석을 함유한다. 후자는 백악기의 중-조립질 홍색 흑운모화강암으로서 다양한 크기와 형태를 이루는 공동구조가 산점 또는 밀집된다.

주성분광물의 모우드 값에서 큰 차이를 보여 전자는 석영과 사장석이, 후자는 알칼리장석이 각각 증가한다. 석영+사장석과 알칼리장석은 전자에서 각각 70.7 %와 26.2 %의, 그리고 후자에서 각각 54.8 %와 43.6 %의 값을 가진다. 이러한 석영+사장석과 알칼리장석의 뚜렷한 함량차이 및 이들의 조합으로 인하여, 운악산과 속리산 화강암류는 각각 담회색과 홍색이 우세한 것으로 해석된다.

운악산 화강암의 열극 발달 체계는 N20°-40°W, NS-N20°E, N70°-90°W 등에서, 경사는 81°-수직(41 %), 71°-80°(29.8 %), 61°-70°(11.0 %)에서 우세하다. 속리산 화강암은 N10°W-N10°E, N80°W-EW, N30°-40°W 등에서 우세하며, 전자 둘은 직교하는 경향이 뚜렷하다. 그리고 경사는 81°-수직(54.9 %), 71°-80°(21.7 %), 61°-70°(10.1 %)에서 크게 우세하다. 이로 미루어 운악산보다 속리산에서 규격석이 산출이 뚜렷이 많을 것으로 해석되나 공동구조의 수반이 품질저하의 한 요소가 될 수 있다.

물성 중에서 비중은 운악산과 속리산 화강암류는

각각 2.60과 2.57을 가진다. 흡수율은 각각 0.32 %와 0.60 %, 공극율은 각각 0.84 %와 1.53 %를 가져 이들 값은 후자에서 거의 두 배 정도 증가한다. 이러한 물성 차이는 전자의 치밀조직과 후자의 미세 공동구조의 함유정도에 의한 것으로 해석되며, 공극율이 클수록 함유능력이 뚜렷이 증가하는 경향을 이룬다.

운악산과 속리산 화강암류의 압축강도는 각각 1,697 kg/cm²과 1,449 kg/cm²를 가지며, 그 값이 전자에서 대부분 증가한다. 미약하게 변질된 일부 시료에서는 1,043-1,147 kg/cm²로 감소된다. 인장강도는 각각 100 kg/cm²과 74 kg/cm²를 가져 전자에서 그 값이 증가한다. 이들 암류는 압축강도 대 인장강도, 그리고 압축강도 대 비중에서 모두 정의 경향을 대체로 이룬다. 전자는 공극율 대 압축강도 및 인장강도에서 모두 완만한 부의, 그리고 후자는 대체로 불규칙한 분포경향을 모두 이룬다. 마모경도는 각각 24-40(평균 34)와 26-42(평균 32)로서 비슷한 범위와 평균값을 가지며, 이는 경도가 강한 석영+알칼리장석 모우드 값이 각각 70.7 %와 78.4 %로서 후자에서 다소 증가되기 때문으로 보인다.

운악산과 속리산 화강암류는 알칼리장석 대 압축강도는 부의, 사장석 대 압축강도는 정의 관계를 이루어 기존의 국내연구결과와 잘 일치한다. 압축강도 대 Qz+Af+Pl과 Bt+Ac에서 전자는 모두 변화경향을 보이지 않으나, 후자는 이들 광물조합이 미약하나 각각 증감의 역할을 하는 것으로 해석된다.

사 사

이 원고를 자세히 보아주고 여러 미비점을 보완해 준 익명의 세분 심사위원님들에게 깊은 사의를 드립니다. 실내에서 암석물성 측정에 크게 수고해준 이병태님과 김정수님, 박편제작에 애써준 이현철님에게도 깊은 감사를 드립니다. 그리고 야외에서 많은 도움을 주신 여러분에게도 깊은 사의를 표시합니다.

참고문헌

김두영, 윤지선, 전기찬, 1996, 서울 화강암의 전단강도에 관한 기초적 연구. 한국자원공학회지, 33, 282-290.

- 김형식, 임병조, 정명현, 1978, 화강암질암류의 압축강도와 그 입도 및 광물성분과의 관계에 관한 연구. 지질학회지, 14, 175-185.
- 박덕원, 1989, 물성에 의한 석재의 품질도. 경북대학교 대학원 석사학위 논문, 44p.
- 박덕원, 1995, 중생대 화강암에 발달된 결의 역학적 특성. 경북대학교 대학원 박사학위 논문, 101p.
- 박덕원, 김형찬, 이창범, 홍세선, 장세원, 이철우, 2004, 포천지역의 주라기 화강암에 발달된 결의 특성. 암석학회지, 13, 133-141.
- 박덕원, 서용석, 정교철, 김영기, 2001, 주라기 화강암에 발달하는 결의 현미경학적 분석. 대한지질공학회, 11, 51-62.
- 소철섭, 최병열, 1975, 경상계 퇴적암의 공학적 성질에 관한 연구. 광산지질, 8, 203-210.
- 소철섭, 최병열, 1975, 암석역학적으로 고찰한 서울화강암의 절리에 관한 연구. 지질학회지, 11, 233-239.
- 이병대, 장보안, 윤현수, 이한영, 진명식, 1999, 문경지역에 분포하는 화강암의 미세균열 발달특성. 암석학회지, 8, 24-33.
- 윤현수, 1994, 문경지역 담홍색 화강암 코어의 물리적 및 화학적 특성. 암석학회지, 3, 234-240.
- 윤현수, 1997, 포천-의정부지역 화강암 석재자원의 암석학적 특성연구. 암석학회지, 6, 34-44.
- 윤현수, 김선익, 1990, 문경남부일대에 분포하는 백악기 화강암의 암석학 및 암석화학. 광산지질, 23, 343-352.
- 윤현수, 박용순, 이춘오, 이병대, 김경수, 1993, 문경-상주사이에 분포하는 화강암 석재의 암석학적 특성. 암석학회지, 2, 32-40.
- 윤현수, 홍세선, 이윤수, 2002, 포천-기산리 일대에 분포하는 주라기 대보화강암의 암석 및 암석화학. 암석학회지, 11, 1-16.
- Bell, F.G., 1978, The physical and mechanical properties of the Fell sandstones, Northumberland, England. Engineering Geology 12, 1-29.
- Bowells, O., 1934, The stone industries. McGraw-Hill Book Comp., 493p.
- Daly, R.A., Manger, G.E. and Clark, Jr. S.P., 1966, Density of rocks. In Handbook of physical constants(ed. S.P. Clark, Jr.), Geol. Soc. Am. Mem., 97, 20-26.
- Dixon, H.W., 1969, Decomposition products of rock substances, proposed engineering geological classification. Rock Mechanics Symp., Stephen Roberts Theatre, Univ. Sydney, 39-44. j.m.
- Duncan, N., 1969, Engineering geology and rock mechanics. Leonard Hill, 252p.
- GMIK(Geology and Mineralogy Institute of Korea), 1973, 1/250,000 Seoul geological map of Korea. GMIK, Korea.
- Fahy, M.P., Guccione, M.J., 1979, Estimating strength of sandstones using petrographic thin-section data. Bull. Assoc. Eng. Geol., 16, 467-485.
- Gunsallus, K.L., Kullhawy, F.H., 1984, A comparative evaluation of rock strength measures. Int. Assoc. Bull. Eng. Geol., 21, 233-248.
- Hudson, R.D. and Priest, S.D., 1979, Discontinuity spacings in rock. Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 13, 135-148.
- Hunt, R.E., 1984, Geotechnical engineering investigation manual. McGraw-Hill Book Comp., 331-336.
- Irfan, T.Y., 1996, Mineralogy, fabric properties and classification of weathered granites in Hong Konk. Quater. Jour. Eng., 29, 5-35.
- Klein, C. and Hurlbut, C.S., Jr., 1985, Manual of mineralogy. John Wiley & Sons, 596p.
- Nelson, R.A., 1985, Geologic analysis of naturally fractured reservoirs. Gulf Pub. Comp., 721p.
- Kwon, S.T., Cho, D.L., Lan, C.Y., Shin, K.B., Lee, T. and Merzman, S.A., 1994, Petrology and geochemistry of the Seoul granitic batholith. Jour. Petrol. Soc. Korea, 3, 109-127.
- Osborne, F.F., 1935, Rift, grain, and hardway in some Precambrian granites, Quebec. Econ. Geol., 30, 540-551.
- Shakoor, A. and Bonelli, R.E., 1991, Relationship between petrographic characteristics, engineering index properties, and mechanical properties of selected sandstones. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol., XXVIII, 55-71.
- Tugrul, A. and Zarif, I.H., 1998, Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. Eng. Geol., 303-317.
- Twidale, C.R., 1982, Granite landforms. Elsevier Sci. Pub. Comp., 372p.
- Winkler, E.M., 1973, Stone: properties, durability in man,s environment. Springer-Verlag, 230p.
- Wise, D.U., 1964, Microjointing in basement, middle Rocky mountains of Montana and Wyoming. Geol.

Soc. Amer. Bull., 75, 287-292.

투 고 일	2005년 2월 14일
심 사 일	2005년 2월 15일
심사완료일	2005년 6월 13일

윤현수(Hyun-Soo Yun)
 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
 305-350, 대전시 유성구 가정동 30
 Tel: 042-868-3130
 e-mail: hyuns@kigam.re.kr

박덕원(Deok-Won Park)
 한국지질자원연구원 지하수지열연구부
 305-350, 대전광역시 유성구 가정동 30
 Tel: 042-868-3123
 e-mail: pdw@kigam.re.kr

홍세선(Sei-Sun Hong)
 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
 305-350, 대전광역시 유성구 가정동 30
 Tel: 042-868-3102
 e-mail: hss@kigam.re.kr

김주용(Ju-Yong Kim)
 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
 305-350, 대전광역시 유성구 가정동 30
 Tel: 042-868-3056
 e-mail: kjy@kigam.re.kr

양동윤(Dong-Yoon Yang)
 한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
 305-350, 대전광역시 유성구 가정동 30
 Tel: 042-868-3031
 e-mail: ydy@kigam.re.kr

장수범(Soo-Bum Chang)
 한국석유공사 개발사업팀
 431-711, 경기도 안양시 관양동
 Tel: 031-380-2792
 e-mail: soobum@knoc.co.kr