

물성에 의한 석재의 품질도

박덕원*

한국지질자원연구원 지하수지열연구부

Quality of Building Stones by Physical Properties

Deok-Won Park*

Groundwater & Geothermal Resources Division

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

석재는 주로 장식용 및 조각용으로 사용되며 따라서 우수한 물성도 골고루 지녀야 한다. 다양한 물성 중에서 공극계수가 석재의 유용성을 지배하므로 공극의 성질과 관련하여 석재의 품질구분 설정을 시도하였다. 이 연구에서는 화강암질암류 및 화강암질편마암의 심도별 시추코어 시료가 사용되었다. 공극률과 흡수율의 상관도에서 문경 화강암질편마암(G_{n1})의 측정치 범위가 가장 넓은 분포상을 보이며, 포천화강암(G_{r2}), 문경화강암(G_{r1})의 순으로 그 범위는 감소한다. 각 암체의 강도는 변질도에 따라 변화한다. 또한 압축강도와 인장강도와의 상관성에서도 측정치의 범위는 G_{n1} , G_{r2} 그리고 G_{r1} 의 순으로 감소한다. 석재의 품질구분 설정에 있어 공극률이 대표적인 물성으로 채택되어 여러 물성에 대한 상대적인 평가가 이루어졌다. 공극률(n)-비중(G), 흡수율(Ab), 압축강도(σ_c), 인장강도(σ_t), 쇼아경도(Hs) 그리고 탄성계수(E_t)와의 상관도에서 각 등급별 기준이 설정된다.

주요어 : 석재, 공극률, 상관도, 품질구분

Building stones are used mainly as a material for making decoration and sculpture, and consequently they must have predominant physical properties extensively. Among various physical properties, the coefficient of pore dominates the usefulness of building stones, so the plans were made for establishing the quality classification of building stones with respect to the nature of pore. For this study, bore-hole core samples according to the depth of the biotite granites and the granitic gneiss were applied. From the related chart between porosity and absorption ratio, Mungyeong granitic gneiss(G_{n1}) shows the widest phase of distribution in the range of measurement values, and the values decrease in the order of Pocheon granite(G_{r2}) and Mungyeong granite(G_{r1}) in the range. The strength of each rock mass varies with the degree of alteration. Also in correlation between compressive strength and tensile strength, the range of measurement values decrease in the order of G_{n1} , G_{r2} and G_{r1} . Porosity is adopted as a representative physical property for establishing the quality classification of building stones, and then relative evaluation was made with regard to various physical properties. From the related chart between porosity(n)-specific gravity(G), absorption ratio(Ab), compressive strength(σ_c), tensile strength(σ_t), shore hardness(Hs) and Young's modulus(E_t), standard of each grade is established.

*Corresponding author : pdw@kigam.re.kr

Key Words : building stones, porosity, related chart, quality classification

서 론

석재라 함은 건축, 토목, 조각품 등의 재료로 사용될 수 있는 모든 암석을 총칭한다. 특히 화강암질암류 석재는 일반적으로 풍화에 강하고 견고하여 내구성이 양호할 뿐만 아니라 변색, 오염에 강한 잇점을 지닌 건축재로 인식되어 국내에서 가장 많이 사용되어 온 천연 건축재이다. 석재는 입도의 균질성이 양호하여야 하고 선택에 따른 색상을 보유하여야 하며 불순물(유화광물)이 함유되지 않아야 하며 풍화되지 않은 즉 신선도가 높은 암석이어야 한다. Bowles (1939), Griggs (1965), Paterson (1967), Schaffer (1972), Winkler (1975) 등은 석재에 대한 전반적인 특성 및 시험방법에 대하여 언급한 바 있고, 특히 Koroneos et al.(1980)은 석재의 품질 평가를 시도하였는 바 이러한 석재의 평가에 사용된 기본적인 중요한 암석물성은 비중, 흡수율, 공극률, 압축강도, 인장강도, 쇼아경도 및 탄성계수 등이다.

한편 석재는 느슨함과 치밀성에 따라 그 평가가 달라진다. 이 현상은 그 암석의 공극성에 있다고 할 수 있어 치밀성이 높은 값, 즉 공극계수가 낮을수록 우수한 석재로 평가되기 때문이다. 석재의 품질평가는 다양하여 어느 한 요소만으로는 평가할 수가 없고 물리적 제성질을 모두 반영하여 실시하여야 하나, 이와 같은 평가는 현실적으로 용이치 않다. 전술한 바와 같이 암석의 공극계수가 그 석재의 품질도를 잘 반영하므로 본 연구지역 암석의 공극성에 따른 물리적 제특성을 연구 검토하였다. 또, 암석의 광물조성 등도 석재의 우수성 평가에 크게 좌우되기 때문에 현미경 관찰에 의한 광물조성 및 파열성 등이 검토되었다.

본 연구에서는 국내 화강암질암류 석재의 주산지인 포천과 문경지역등 3개 현장에서 채취된 시추코아(한국지질자원연구원 시공)를 시험연구 대상으로 선택하였다. 이들 지역은 경북 문경군 가은읍 완장리(1987년 시공, 원경광업), 경기도 포천군 영중면 가양리(1988년 시공, 창수석재) 및 경북 문경군 동로면 석항리(1987년 시공, 주석재)이다.

시료제작 및 시험

암석시료

암석시료는 문경군 가은읍 완장리 일대에 분포하는 백악기 흑운모화강암(이하 문경화강암, Gr₁), 포천군 영중면 가양리 일대에 분포하는 주라기 대보화강암(이하 포천화강암, Gr₂) 그리고 문경군 동로면 석항리 일대에 분포하는 선캠브리아기 반상변정화강암질 편마암(이하 문경편마암, Gn₁)의 시추코아이다. 문경화강암은 시대미상의 각섬암 및 상내리층을 관입한 백악기 화성암체로, 담홍색의 조립질암으로 균질한 입상조직을 이룬다(이민성과 김상욱, 1968). 이 암석은 포천화강암과 함께 분류상 화강암의 영역에 해당된다(Streckeisen, 1976). 포천화강암은 경기편마암복합체에 해당되는 선캠브리아기의 편마암류를 관입한 주라기의 대보화강암에 속한다(김옥준, 1973). 일대의 대보화강암은 북동방향으로 대상분포하며, 중-조립의 흑운모화강암으로서 등립상 조직을 보이며 사장석은 유백색, 카리장석은 담홍색을 띤다(김선익 외, 1988). 문경편마암은 선캠브리아기의 반상변정화강암질 편마암에 속하며, 백악기의 흑운모화강암이 관입하고 있다. 이 암석은 비교적 균질한 입도와 암질을 가진 편마암으로서 그 변정은 3-4cm 크기인 타원형의 거정질 장석결정으로 이루어져 있다. 이 암석에서는 육안으로 어려울 정도로 엽리구조(gneissosity)의 발달이 미약하다. Table 1은 각 암석시료의 광물조성과 암석학적 특징을 나타낸 것이다.

암석시료는 완장리(1호공), 가양리(7호공) 및 석항리(4호공)지역의 시추코아를 대상으로 절리발달대, 석영맥 및 애플라이트질부는 가능한 한 피하여 심도별로 채취하였다. 선택된 시료는 시추공별, 심도별로 암상(rock facies)에 따라 4단계로 분류하였다. 석재로 사용되는 신선한 암석은 A급(grade A), 흑운모 주변부가 다소 미약한 붉은 착색대를 보이며 신선한 암석에 비하여 변질정도가 증가하나 석재로 이용가능한 암석은 B급(grade B), 사장석이 변질되고 흑운모 주변부가 산화철로 착색되어 폐석으로 처리되는 암석은 C급(grade C) 그리고 암석조직이 명료하지 않고 암석코아가 손으로 쉽게 부러지는 암석은 D급(grade D)으로 하였다.

Table 1. Modal composition of granites and gneiss.

(Vol. %)

Components	Rock name	Mungyeong granite	Pocheon granite	Mungyeong gneiss
Quartz		41.6	35.2	13.9
Plagioclase		28.7	33.8	59.8
K-feldspar		24.1	22.5	11.7
Biotite		4.7	6.2	9.8
Muscovite		-	tr	1.3
Opaque mineral		tr	0.8	1.8
Others		0.9	1.5	1.7
Color		Pale pink	Greyish white	Light grey
Grain size		Quartz and Feldspar(5-7mm) (Coarse grained)	Quartz and Feldspar(5-7mm) (Coarse grained)	Feldspar porphyroblast(3-4cm) (Very coarse grained)
Texture		Equi-granular	Equi-granular	Porphyroblastic

* Others: zircon, apatite, sericite

시험방법

시험편은 채취된 시추코아로부터 압축강도시험용으로는 길이 대 직경(5.4cm)의 비가 1:2가 되도록 원주형으로 제작하였고, 인장강도시험용으로는 1:1로 하였다. 시험편은 각 시추공별로 공히 압축강도 및 인장강도시험용이 17개로 총 102개가 시험에 이용되었다. 비중, 흡수율 및 공극률 시험은 한국산업규격(KS-2518, 2519)에 따랐으며, 쇼아경도는 Type D의 쇼아경도계(Imai Seiki 사 제품)를 사용하여 동일시험편에 대하여 20회 이상 측정하였고, 접선 탄성계수는 일축압축강도의 50% 수준에서 구하였다. 또한 암종별, 암상별로 제작한 박편에 대하여 현미경 관찰을 실시하였다. 이들 각종 물성시험 및 현미경 관찰은 모두 한국지질자원연구원에서 시험, 실시되었다.

시험결과 및 고찰

물성시험

암종별 암상별 물성으로는 비중(G), 흡수율(A_b), 공극률(n), 압축강도(σ_c), 인장강도(σ_t), 쇼아경도(H_s) 및 탄성계수(E_s)를 측정하였다(Table 2). 육안분류된 각 등급별 시료의 물성별 범위를 검토하고 암상구분에 유효한 계수를 파악하였다.

비중은 문경화강암이 2.53~2.61, 포천화강암이 2.47~2.61, 문경편마암이 2.19~2.66의 범위에 분포한다. 비중은 A급, B급 및 C급 시료간에서 명확한 차이가 없으며 C급 및 D급 시료간에서 차이가 있다.

흡수율은 문경화강암이 0.24~1.35%, 포천화강암이 0.26~1.96%, 문경편마암이 0.19~7.84%의 범위에 분포한다. 흡수율은 A급, B급, C급 및 D급 시료간에서 비교적 값의 차이를 보인다.

Duncan(1969)은 흡수율과 비중을 기준으로 암석을 Crystalline and crystalline undulated rock (A_b<2%, G>2.50), Compact and cemented rock (A_b:2~15%, G:2.0~2.5) 및 Weak rock and hard soil(A_b>15%, G<2.0)로 구분하고 있다. 이 암석분류에서는 비중 및 흡수율을 기준으로 하고 있으므로 본고에서는 연구대상 각 시료의 비중/흡수율(G/A_b)의 값을 구하고 암종별 암상별로 검토하였다. 비중/흡수율은 문경화강암이 1.87~10.88, 포천화강암이 1.26~10.00, 문경편마암이 0.28~14.00의 범위에 분포한다. 비중/흡수율은 A급, B급, C급 및 D급 시료간의 점이적인 암상변화를 반영하고 있다.

공극률은 문경화강암이 0.62~3.37%, 포천화강암이 0.69~4.66%, 문경편마암이 0.51~17.42%의 범위에 분포한다. 공극률도 비중/흡수율과 함께 A급, B급, C급 및 D급 시료간의 점이적인 암상변화를 반영하고 있다.

일축압축강도는 문경화강암이 320~1,386kg/cm², 포천화강암이 171~1,153kg/cm², 문경편마암이

Table 2. Experimental results listed in order of decreasing porosity.

Rock name	Grade	Sampling depth(m)	Sample No.	G	Ab (%)	G/Ab	n (%)	σ_c (kg/cm ²)	σ_t (kg/cm ²)	Hs	$E_{(50)}$ (10 kg/cm ²)
Mungyeong granite (Gr ₁)	D	4.4~4.8 5.5~5.9	A-1	2.53	1.35	1.87	3.37	320	22.4	43	0.32
			A-2	2.54	1.30	1.95	3.23	394	24.0	47	
	C	19.4~19.8 18.2~18.5 14.8~15.2 11.1~11.5 11.6~12.0	A-7	2.55	1.17	2.18	2.91	547	28.4	50	0.63
			A-6	2.55	1.13	2.26	2.67	553	30.9	51	
			A-5	2.55	1.12	2.28	2.81	634	30.3	49	
			A-3	2.56	1.10	2.33	2.60	511	25.1	52	
			A-4	2.57	0.75	3.43	1.95	537	37.9	59	
	B	21.3~21.7 25.8~26.2 27.8~28.2 29.1~29.4	A-8	2.60	0.59	4.41	1.50	923	48.2	71	1.56
			A-9	2.60	0.47	5.53	1.21	1,058	63.2	69	
			A-10	2.61	0.39	6.69	1.01	1,244	51.2	79	
			A-11	2.61	0.38	6.87	0.92	1,325	62.5	78	
	A	33.1~33.4 48.4~58.8 36.2~36.6 38.3~38.7 52.2~52.5 55.3~55.7	A-12	2.61	0.33	7.91	0.86	1,320	68.2	84	2.78
			A-15	2.61	0.32	8.16	0.85	1,215	60.1	72	
			A-13	2.61	0.32	8.16	0.83	1,413	67.2	86	
			A-14	2.61	0.27	9.67	0.70	1,228	62.8	83	
			A-16	2.61	0.25	10.44	0.63	1,380	62.6	87	
			A-17	2.61	0.24	10.88	0.62	1,386	63.4	78	
Pocheon granite (Gr ₂)	D	9.7~10.1 11.1~11.4 13.2~13.6 12.3~12.6	B-1	2.47	1.96	1.26	4.66	171	11.8	39	0.18
			B-2	2.47	1.94	1.27	4.62	185	12.5	44	
			B-4	2.50	1.47	1.70	3.62	306	20.4	46	
			B-3	2.52	1.22	2.07	3.06	313	20.6	45	
	C	15.1~15.4 16.0~16.4 20.2~20.6 17.2~17.6	B-5	2.54	0.94	2.70	2.39	534	37.6	59	0.82
			B-6	2.55	0.90	2.83	2.31	554	31.5	55	
			B-8	2.57	0.66	3.89	1.72	684	46.8	61	
			B-7	2.57	0.63	4.08	1.64	581	39.2	64	
	B	28.2~28.6 25.8~26.2 32.1~32.5 34.3~34.6	B-10	2.59	0.45	5.76	1.16	938	58.3	70	1.71
			B-9	2.59	0.42	6.17	1.10	990	62.3	68	
			B-11	2.59	0.37	7.00	0.96	909	58.1	78	
			B-12	2.59	0.33	7.85	0.85	1,138	74.2	81	
	A	57.2~57.5 66.1~66.4 58.3~58.6 64.1~64.4 68.2~68.6	B-13	2.60	0.32	8.13	0.84	1,131	68.8	83	4.25
			B-16	2.61	0.31	8.42	0.81	1,093	66.2	81	
			B-14	2.60	0.30	8.67	0.78	1,143	72.0	87	
			B-15	2.61	0.28	9.32	0.73	1,094	66.7	76	
			B-17	2.60	0.26	10.00	0.69	1,154	73.4	77	
Mungyeong gneiss (Gn ₁)	D	10.8~11.3 11.4~11.7 10.2~10.6	C-2	2.19	7.84	0.28	17.42	85	9.8	27	0.15
			C-3	2.24	6.27	0.36	13.95	108	9.5	32	
			C-1	2.38	3.84	0.62	9.25	162	19.9	37	
	C	33.2~33.6 34.2~34.5 12.9~13.3 34.7~35.1	C-12	2.64	0.59	4.47	1.55	532	41.4	60	1.02
			C-13	2.65	0.53	5.00	1.40	610	45.8	57	
			C-4	2.65	0.49	5.41	1.31	720	53.7	70	
			C-14	2.65	0.39	6.79	1.02	789	59.3	71	
	B	20.3~20.5 18.6~18.9 15.1~15.5 16.4~16.7	C-8	2.65	0.34	7.79	0.89	990	73.8	72	2.17
			C-7	2.65	0.30	8.83	0.80	1,078	84.4	75	
			C-5	2.65	0.27	9.81	0.72	1,178	85.3	73	
			C-6	2.65	0.27	9.81	0.72	1,309	96.3	79	
	A	24.6~24.9 39.1~39.4 26.3~26.7 30.2~30.6 41.8~42.2 42.3~42.6	C-9	2.65	0.26	10.29	0.70	1,395	99.5	78	5.38
			C-15	2.66	0.25	10.64	0.67	1,350	89.6	74	
			C-10	2.66	0.24	11.08	0.65	1,406	90.2	73	
			C-11	2.66	0.23	11.57	0.62	1,258	110.5	80	
			C-16	2.66	0.21	12.67	0.57	1,287	97.3	82	
			C-17	2.66	0.19	14.00	0.51	1,276	93.8	74	

G: specific gravity, Ab: absorption ratio, n: porosity, σ_c : compressive strength, σ_t : tensile strength, Hs: shore hardness, $E_{(50)}$: Young's modulus at 50% of σ_c .

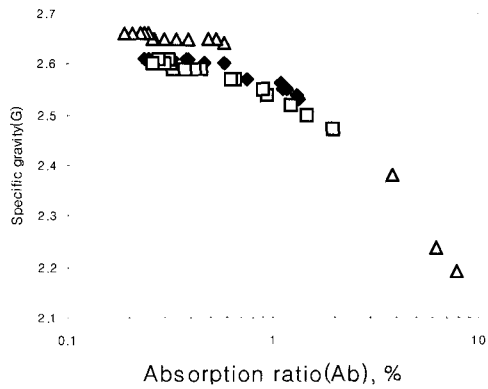
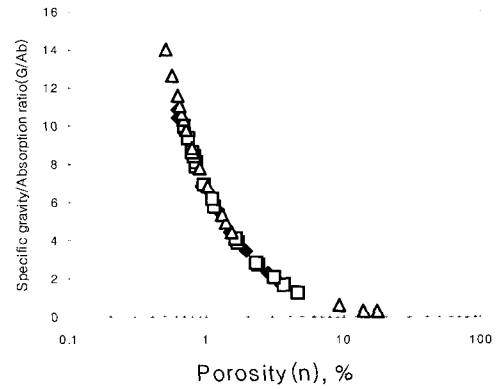
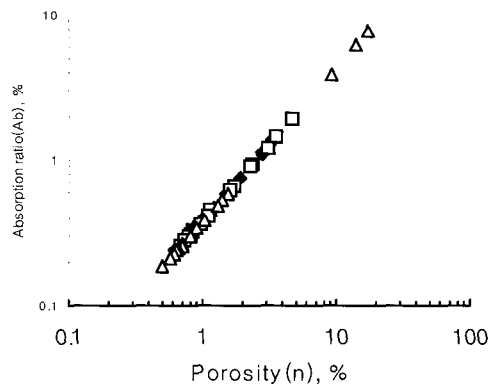


Fig. 1. Relation between absorption ratio(Ab) and specific gravity(G). ◆ : Mungyeong granite(Gr₁), □ : Pocheon granite(Gr₂), △ : Mungyeong gneiss(Gn₁).



$$\begin{aligned} Gr_1 : G/Ab &= 6.6682n - 1.0336 \quad r=0.99 \\ Gr_2 : G/Ab &= 6.7457n - 1.1068 \quad r=0.99 \\ Gn_1 : G/Ab &= 6.9136n - 1.0701 \quad r=0.99 \end{aligned}$$

Fig. 2. Relation between porosity(n) and specific gravity/absorption ratio(G/Ab). Symbols are same as in Fig. 1.

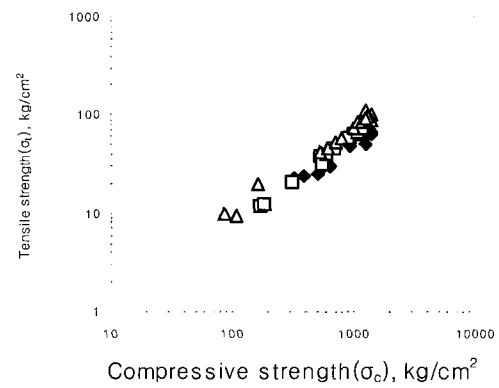


$$\begin{aligned} Gr_1 : Ab &= 1.3632 \cdot 10^{-2} + 0.36456n + 9.5764 \cdot 10^{-3}n^2 \quad r=0.96 \\ Gr_2 : Ab &= 1.83376 \cdot 10^{-2} + 0.3496n + 1.4342 \cdot 10^{-2}n^2 \quad r=0.99 \\ Gn_1 : Ab &= -1.8012 \cdot 10^{-2} + 0.39235n + 3.5591 \cdot 10^{-3}n^2 \quad r=0.97 \end{aligned}$$

Fig. 3. Relation between porosity(n) and absorption ratio(Ab). Symbols are same as in Fig. 1.

85~1,406kg/cm²의 범위에 분포한다. 일축압축강도는 A급 및 B급 시료간에서 명확한 차이가 없으며 C급 및 D급 시료간에서 압상변화를 반영하고 있다. 인장강도 및 쇼아경도에서도 일축압축강도의 경우와 유사하다.

탄성계수는 문경화강암이 0.63~2.78×10⁵kg/cm²,



$$\begin{aligned} Gr_1 : \sigma_t &= 8.2850 + 4.1754 \cdot 10^{-2}\sigma_c \quad r=0.96 \\ Gr_2 : \sigma_t &= 1.9177 + 6.0985 \cdot 10^{-2}\sigma_c \quad r=0.99 \\ Gn_1 : \sigma_t &= 5.2489 + 6.8942 \cdot 10^{-2}\sigma_c \quad r=0.97 \end{aligned}$$

Fig. 4. Relation between compressive strength(σ_c) and tensile strength(σ_t). Symbols are same as in Fig. 1.

포천화강암이 0.18~4.25×10⁵kg/cm², 문경편마암이 0.15~5.38×10⁵kg/cm²의 범위에 분포한다.

비중, 흡수율 및 공극률과 더불어 강도와 관련된 일축압축강도, 인장강도 및 탄성계수에서도 문경편마암 (Gn₁) > 포천화강암(Gr₂) > 문경화강암(Gr₁)의 순으

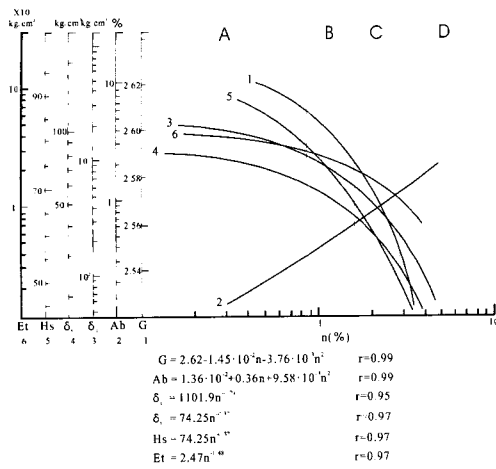


Fig. 5. Relation between physical properties and porosity(n) of Mungyeong granite(A, B, C and D: grade).

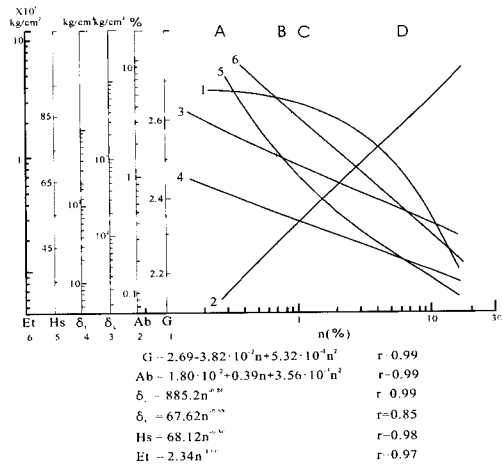


Fig. 7. Relation between physical properties and porosity(n) of Mungyeong gneiss (A, B, C and D: grade).

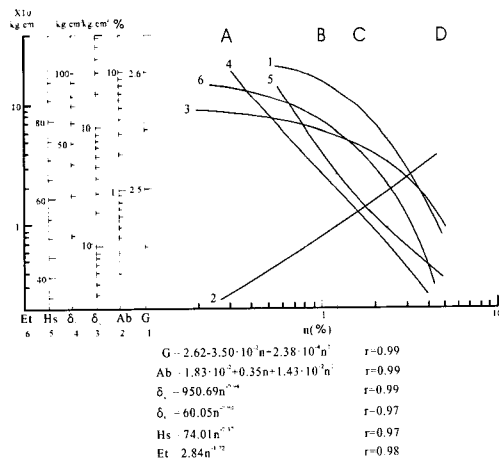


Fig. 6. Relation between physical properties and porosity(n) of Pocheon granite(A, B, C and D: grade).

로 물성치의 변화폭이 감소한다.

물성의 상관성

각 물성 간의 상관성을 밝히고 암석별 특성을 비교하였다. 대수좌표를 이용해 흡수율을 X축에, 비중을 Y축

에 취하여 도시하여 양자의 관계를 검토한 결과, 3개 암종에서 공히 흡수율이 증가할수록 비중은 감소하고 있다. 흡수율-비중 상관도에서 암종이 상이함에 따라 $Gn_1 > Gr_2 > Gr_1$ 의 순으로 물성치의 변화폭과 구배가 감소함을 볼 수가 있다(Fig 1).

공극률-비중/흡수율 상관도에서 두 물성간의 최적 상관식은 $Y=aX^b$ 형이며 상관계수는 0.99로 높은 값을 보인다. 상수 a는 6.6682~6.9136, b는 -1.0336~-1.1068에 이르고 있다. 흡수율-비중 상관도에서와 유사하게 공극률-비중/흡수율 상관도에서도 암종이 상이함에 따라 $Gn_1 > Gr_2 > Gr_1$ 의 순으로 물성치의 변화폭과 곡선의 구배가 감소한다(Fig 2).

공극률을 X축에, 흡수율을 Y축에 취하고 양자의 관계를 양대수로서 도시해 검토한 결과, 3개 암종에서 공히 비례적인 함수관계를 유지해 $Y=c+bX+aX^2$ 형의 최적 관계식을 갖는데 그 상관계수는 0.99에 이른다. 연구 대상암의 특정한 시료로부터 흡수율이나 공극률중 하나의 물리량을 측정하면 상기 상관식을 이용하여 나머지 다른 값을 용이하게 구할 수 있을 것이다. $Gn_1 > Gr_2 > Gr_1$ 의 순으로 물성치의 변화폭이 감소한다(Fig 3).

일축압축강도를 X축에 인장강도를 Y축에 취하여 양자의 관계를 양대수로서 도시하면(Fig. 4) 상호 비례하고 있음을 알 수 있다. 암종별로 정리하면 동일한 압축 강도 치를 갖는 것도 암종에 따라 인장강도가 달리 나타나며 암석종이 상이함에 따라 물성 변화추이 및 영역 또

Table 3. Comparison of the measured value and the calculated value obtained by substituting formular for porosity(n).

Rock name	Drill hole No.	Sampling depth (m)	n (%)	G			Ab (%)			G/Ab			oc (kg/cm ³)		
			M	M	C	E	M	C	E	M	C	E	M	C	E
Mungyeong granite	3	6.8~7.0	4.22	2.48	2.50	-0.02	1.80	1.72	0.08	1.38	1.45	-0.07	297	381	-84
		14.0~14.4	1.94	2.57	2.58	-0.01	0.76	0.76	-	3.38	3.39	-0.01	653	758	-105
		24.3~24.7	1.20	2.61	2.60	0.01	0.46	0.46	-	5.67	5.65	0.02	1,085	1,083	2
		38.6~39.1	0.75	2.64	2.63	0.01	0.29	0.29	-	9.10	9.07	0.03	1,341	1,328	13
Pocheon granite	6	2.5~3.0	3.62	2.50	2.50	-	1.47	1.47	-	1.70	1.70	-	342	282	60
		6.0~6.5	2.30	2.54	2.54	-	0.94	0.94	-	2.70	2.66	0.04	536	507	29
		18.8~18.5	0.81	2.60	2.60	-	0.31	0.31	-	8.39	8.45	-0.06	987	1,076	-89
		56.0~56.5	0.67	2.60	2.60	-	0.26	0.26	-	10.00	10.35	-0.35	1,095	1,150	-55
Mungyeong gneiss	1	55.0~55.3	12.78	2.22	2.21	0.01	5.61	5.58	0.03	0.40	0.41	-0.01	110	114	-4
		32.5~32.8	0.99	2.66	2.65	0.01	0.37	0.37	-	7.19	6.99	0.20	1,211	892	319
		44.5~45.0	0.69	2.67	2.66	0.01	0.26	0.25	0.01	10.27	10.42	-0.16	1,229	1,193	36
		61.3~61.7	0.63	2.67	2.66	0.01	0.24	0.23	0.01	11.13	11.54	-0.40	1,368	1,284	84

M: Measured value, C: Calculated value, E: Error, Symbols of physical property are same as in Table 2.

Table 4. Range of the absolute value of an error between the measured value and the calculated value.

Physical properties	G	Ab (%)	G/Ab	oc (kg/cm ³)
Mungyeong granite	0.01-0.02	0-0.08	0.01-0.07	2-105
Pocheon granite	-	-	0-0.35	29-89
Mungyeong gneiss	0.01	0-0.03	0.01-0.40	4-319

Symbols of physical property are same as in Table 2.

한 달리하고 있다. 이들 두 물성간에는 일반적으로 $Y=b+aX$ 형의 상관성을 보이고 상관계수는 0.96~0.99에 이른다. $G_{n1} > G_{r2} > G_{r1}$ 의 순으로 강도치의 변화폭이 감소한다.

종합상관도

전항에서는 두 물성간의 상관성을 분석하였는 바 본항에서는 7개 물성을 종합한 후, 실내 물성시험이 용이하고 타 물성과 높은 상관성을 나타내며 단계별 암상을 잘 반영하는 공극률을 공통의 지표로서 X축에 취하고 비중, 흡수율, 일축압축강도, 인장강도, 쇼아경도 및 탄성계수를 Y축에 취하여 종합상관도(김영기 등, 1982)를 작성하였다(Figs. 5, 6 및 7).

종합상관도에서는 최적상관식과 상관계수를 제시하

였다. 상관식은 공극률(n)-일축압축강도(σ_c), 인장강도(σ_t), 쇼아경도(Hs) 및 탄성계수(E_s)에서는 $Y=aX^b$ 형으로 나타난다. 상관계수는 문경편마암(G_{n1})에서 공극률(n)-인장강도(σ_t)와의 상관계수($r=0.85$)를 제외하고는 상관계수($r \geq 0.95$)가 높다. 종합상관도에서도 G_{n1} , G_{r2} 그리고 G_{r1} 의 순으로 물성의 변화폭이 감소한다. 이러한 유형의 종합상관도는 조직이 균일한 동일암체 내에서 점이적인 암상변화에 대한 상대평가 및 석재의 품질구분 기준 설정에 기여할 것으로 본다.

암체의 공극성

동일암체내 인접지점의 시추코아 시료에 대한 비중, 흡수율, 비중/흡수율 및 일축압축강도의 측정치(김선익 외, 1987; 김선익 외, 1988)와 물성 상관도(Figs. 2 및 3) 및 암종별 종합상관도의 상관식(Figs. 5, 6 및 7)을 이용,

Table 5. Degree of alteration and destruction of granites and gneiss in thin section.

Mineral	Mark	Alteration & Destruction		Grade											
		Stage	Description	A			B			C			D		
				Gr ₁	Gr ₂	Gn ₁	Gr ₁	Gr ₂	Gn ₁	Gr ₁	Gr ₂	Gn ₁	Gr ₁	Gr ₂	Gn ₁
Plagioclase	4	I	Short microcracks and slightly altered area	●	○	○	△	-	○	△	-	△	-	-	-
	3	II	Stained intragranula microcracks and increasing altered area	△	●	●	●	○	●	●	○	△	○	-	-
	2	III	Transgranular microcracks and more altered areas as "worm eaten spot"	△	△	△	○	●	△	○	●	●	●	-	●
	1	IV	Large cracks and nearly opaque area	-	-	-	-	△	-	-	-	-	△	●	○
Biotite	4	I	Altered only at margin and cleavage	●	●	●	○	○	△	-	-	-	-	-	-
	3	II	Altered areas spreading across cleavage	△	△	△	●	●	●	△	○	○	-	-	-
	2	III	Increase of the altered area in cleavage and margin part	-	-	-	△	△	△	●	●	●	○	-	○
	1	IV	Almost totally altered area	-	-	-	-	-	-	△	-	△	●	●	●
Quartz	2	I	Short and tight intragranular microcracks	●	●	●	●	●	●	△	○	○	△	△	△
	1	II	Tight to open and clean to stained transgranular microcracks	-	-	-	-	-	-	●	●	●	●	●	●

●: Abundant, ○: Present, △: rare, -: Absent, Gr₁: Mungyeong granite, Gr₂: Pocheon granite, Gn₁: Mungyeong gneiss

측정치 공극률을 대입하여 구한 산정치를 비교하면 Table 3과 같다.

측정치(measured value)와 산정치(calculated value)의 변화를 살펴 보면 비중, 흡수율, 비중/흡수율 및 일축압축강도의 값이 규칙적인 증감현상을 보인다. 각 암종별 측정치와 산정치간 오차(error)의 범위를 보면 비중, 흡수율 및 비중/흡수율의 산정치는 실제 측정치에 근접한다. 일축압축강도의 오차범위는 화강암에서는 $2 \sim 10^5 \text{ kg/cm}^2$, 화강암질 편마암에서는 $4 \sim 319 \text{ kg/cm}^2$ 으로서 화강암질 편마암에서 오차범위가 크다(Table 4). 화강암질 편마암의 암석조직이 거정질이므로 시료간의 조직적 불균일성에 기인된 것으로 해석된다.

변질도

사장석 및 흑운모의 변질도를 I~IV 단계로 구분하고 배점(mark)을 4~1 점으로 하였고, 석영입자의 파괴성에 따라 I~II 단계로 구분하고 배점을 2~1 점으로 하여 그 분류기준을 설정하였다(Dixon, 1966; Saito,

1981). 암석별 A, B, C 및 D급 시료에 대한 현미경 관찰 결과를 Table 5에 제시하였다.

사장석의 변질도에서는 4개 등급별 시료간의 뚜렷한 차이를 볼 수가 없다. 반면에 흑운모의 변질도에서는 사장석에 비하여 등급별 시료간에 명료한 구분이 나타나고 있다. A급 및 B급 시료의 석영에서는 입내미세균열(Intragranular microcrack), C급 및 D급 시료에서는 입간미세균열(Transgranular microcrack)이 각각 발달한다. 각 등급별 총 배점은 A급 시료는 9~10점, B급 시료는 7~8점, C급 시료는 5~6점, D급 시료는 3~4점으로 각각 나타났다.

결론

문경지역의 백악기 흑운모화강암(Gr₁), 포천지역의 쥐라기 흑운모화강암(Gr₂), 문경지역의 선캄브리아기의 반상변정화강암질 편마암(Gn₁)을 대상으로 공극성에 대한 석재의 품질 구분설정을 시도한 결과는 다음과 같다.

1. 공극률과 흡수율의 관계에서 석영의 함량이 점차

높아지는 반면 장석의 함량이 낮아지는 Gn_1, Gr_2, Gr_1 의 순으로 상관도에서 물성치의 변화폭이 감소한다.

2. 압축강도와 인장강도 및 기타 강도와와의 관계에서 Gn_1, Gr_2, Gr_1 의 순으로 물성치의 변화폭이 감소한다.

3. 석재의 품질구분 기준설정을 위한 대표물성을 공극률로 하여 각 압종별 종합상관도를 작성하였다. 이 종합상관도를 이용하면 석재 품질구분에 유용할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

김선익, 윤현수, 김윤규, 박용순, 박덕원, 김영범, 이춘오, 이병대, 김경수, 김철주, 1988, 석재자원조사연구, KR-88-2C, 한국동력자원연구소, 62-64, 130-161.
 김선익, 윤현수, 박용순, 김영범, 이춘오, 이병대, 이병태, 김경수, 1987, 화강암류 석재자원 조사연구, KR-87-22, 한국동력자원연구소, 108-172, 199-233.
 김영기, 김상욱, 이윤종, 1982, 우리나라에 분포하는 주요 암석류의 역학적 특성연구, Research Review of Kyungpook National Univ., 34, 269-283.
 김옥준, 1973, 경기육괴 서남부의 변성암 복합체의 층서와 지질구조, 광산지질, 6, 4, 201-218.
 이민성, 김상욱, 1968, 지질도폭설명서(함창도폭, 1/5만), 국립지질조사소.
 Bowles, O., 1939, The stone industries, McGraw-Hill Book Company Inc., 23-228.
 Dixon, H. W., 1969, Decomposition products of rock substances, Proposed engineering geological classification, Rock Mechanics Symp, Stephen Roberts Theatre, Univ., Sydney, 39-44.
 Duncan, J. N., 1969, Engineering geology and rock me-

chanics, Leonard Hill, 63-184.
 Griggs, D. T., 1965, Deformation on rocks under high confining pressures, J of Geology, 44.
 Koroneos, E. G., Tassoannopoulos, A and Diamantoulou, A., 1980, On the mechanical and physical properties of ten Hellenic marbles, Eng. Geol., 16, 263-290.
 Paterson, R. C., 1967, Applied mechanics for engineers and technicians, Boston, Allyn and Bacon., 1-10.
 Schaffer, R. J. B. A. and B. Sc.(Oxford), 1972, The weathering of natural building stones, Department of scientific and industrial research, special report no.18, 26-105.
 Saito, T., 1981, Variation of physical properties of igneous rocks in weathering, Weak rock, Springer-Verlag, 191-196.
 Streckeisen, A. L., 1976, To each plutonic rocks and its proper name, Earth Sci. Rec., 12, 1-33.
 Winkler, E. M., 1975, Stone : Properties, Durability in Man's Environment, Springer-Verlag, 8-50.

투 고 일 2004년 1월 28일
 심 사 일 2004년 1월 29일
 심사완료일 2004년 2월 28일

박덕원
 한국지질자원연구원 지하수지열연구부
 305-350 대전시 유성구 가정동 30
 Tel: 042-868-3123
 Fax: 042-864-9404
 E-mail: pdw@kigam.re.kr