

## 남원지역 화강암 석재의 품질, 암석조직과 구성광물의 비교연구

홍세선<sup>\*1)</sup> · 윤현수<sup>2)</sup> · 이병태<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>한국지질자원연구원 지질환경재해연구부, <sup>2)</sup>한국지질자원연구원 지질기반정보연구부,

<sup>3)</sup>한국지질자원연구원 지하수지열연구부

### Correlation of mineralogical and textural properties with mechanical qualities of granite dimension stone from the Namwon area, Korea

Sei-Sun Hong<sup>\*1)</sup> · Hyun-Soo Yun<sup>2)</sup> · Byeong-Tae Lee<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Geological and Environmental Hazard Division, Korea Inst. Geoscience and Mineral Res.,

<sup>2)</sup>Geology and Geoinformation Division, Korea Inst. Geoscience and Mineral Res.,

<sup>3)</sup>Groundwater and Geothermal Resources Division, Korea Inst. Geoscience and Mineral Res.

---

화강암은 국내에서 건축재, 공예재로서 사용되는 석재들 중 가장 큰 비중을 차지한다. 화강암은 구성광물, 광물의 함량 변화가 크기 때문에 이에 따라 물리적, 공학적 특성변화가 다양하다. 이 연구의 목적은 국내에서 화강암 석재가 가장 많이 생산되는 지역 중 하나인 남원지역의 화강암을 대상으로 암석기재학적인 특성과 공학적인 특성사이의 상호 관련성을 규명하기 위한 것이다. 화강암의 구성광물의 함량비와 구성광물 각각의 입도를 측정하였으며 동일 시료에 대해 밀도, 흡수율, 공극율, 일축압축강도, 인장강도, 마모경도, P 파 속도, 탄성계수, 포아송비 등의 물성 측정이 실시되었다. 화강암의 공학적 특성은 광물의 함량비 보다는 광물의 입도에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 그러나 석영의 함량비도 화강암의 공학적 성질에 역시 영향을 주는 것으로 판단된다.

**주요어 :** 석재, 화강암, 물리적 성질, 공학적 성질, 입도

The purpose of this study is to investigate the relationship between petrographical and engineering properties of granitic rocks, widely used as building and ornamental stones in Korea, at the Namwon area. This area is one of the most famous area as a domestic dimension stone production. The granitic rocks were examined for grain sizes, modal compositions and then same samples were tested to determine specific gravity, water absorption, porosity, uniaxial compressive strength, tensile strength, abrasive hardness, P-wave velocity, modulus of elasticity and Poisson's ratio. It is suggested that the influence of the grain size on the engineering properties is more important than that of the mode of mineralogical compositions. And quartz contents also significantly influence the engineering properties of granitic rocks.

**Key word :** dimension stone, granite, physical property, engineering property, grain size

---

\* Corresponding author : hss@kigam.re.kr

## 서 론

석재의 공학적 특성은 그 석재를 구성하고 있는 조암광물의 입도, 조직, 구성광물의 상호간의 배열특성 및 신선도 등에 따라 좌우된다. 화강암은 광물조성, 암석기재학적 특성, 공학적 특성의 범위가 다른 암석들에 비해 비교적 넓은 암석이다. 그러므로 화강암의 공학적 물성의 변화가 큰 것은 화강암 자체의 암석조직, 광물조직의 변화가 큰 것에 기인된다. 공학적 특성에 영향을 주는 것으로 알려진 암석기재학적 특성에는 광물의 크기, 광물의 형태, 결합정도, 광물간 접촉형태와 광물의 함량 등이 있다. 외국에서는 화강암의 공학적 성질과 암석의 조직과 기재적 특성과의 연관성에 대해 연구가 상당히 진행되었으며(Mendes et al., 1966; Willard and McWilliams, 1969 Merriam et al., 1970; Irfan and Dearman, 1978; Onodera and Asoka Kumara, 1980) 국내에서는 암석 자체 물성의 특성에 대한 상관성 연구가 주로 수행되었으며(이찬구 외, 1995; 윤현수외, 1993; 윤현수, 1994, 1997; 김영화와 홍순호, 1990; 김영화와 장보안, 1992) 국내 암석의 기재적 특성과 공학적 물성을 비교하는 연구는 매우 드물다. 이 연구에서는 국내에서 채석되는 석재의 암종들 중 70% 이상의 점유율을 보이며, 건축재와 장식재로 주로 사용되는 화강암을 대상으로 암석기재학적 특성(입도와 함량비), 물리적 특성, 공학적 특성사이의 상호관련성을 규명하고자 하였다. 이러한 연구는 암석기재학적 특성과 물리적 성질을 기초로 신선한 화강암의 공학적 물성을 예측하는데 이용될 수 있다. 측정된 물성은 비중, 흡수율, 공극율, 압축강도, 인장강도와 마모경도 외에 탄성과 속도, 탄성계수 및 포아송비이다(Table 1). 물성시험 대상시편은 해당 지역에서 육안 감

정상 가능한 한 신선한 블록 시료를 선별 채취하였다. 또한 이들 시료들에 대한 박편을 제작하여 현미경사진 상에서 광물별로 입도를 측정하여 광물의 입도에 따른 물성과의 상관관계를 고찰하고자 하였다. 입도분석은 한 시료 박편에서 한 광물당 50~100개의 입자를 선택하여 입도를 측정하였다.

물성시험의 정확도를 높이기 위하여 각 석산 및 암반에서 채취된 신선한 대표블록에서 공시체 (직경 5cm, 높이 5cm)를 6개씩 제작하였으며, 이들 공시체 시료에서 측정된 평균값을 대표값으로 하였다.

## 실험방법

비중과 흡수율 시험은 한국공업규격 KS-F 2518 (석재의 흡수율 및 비중 시험방법)에 준하여 실시하였으며 그 내용은 다음과 같다.

준비된 공시체를

a. 20°C±5°C의 증류수에 48시간 동안 침수시킨 수중중량 ( $W_1$ ).

b. 수조에서 꺼내어 표면의 수분만을 제거한 표면건조 포화상태의 중량 ( $W_2$ ).

c. 105°C±2°C의 건조로에 24시간 동안 건조시켜 데시케이터 속에서 식힌 후의 공기 중 절대건조중량 ( $W_0$ )을 0.01g의 정밀도로 평량하여 다음 식에 따라 계산한다.

$$\text{비중} = W_0 / (W_1 - W_2)$$

$$\text{흡수율 (\%)} = (W_1 - W_0) / W_0 \times 100$$

$$\text{공극율 (\%)} = (W_1 - W_0) / V \times 100$$

$$V: \text{공시체의 체적}(\text{cm}^3)$$

Table 1. Physical properties of the granite in the Namwon area.

sample no.	density	water absorption(%)	porosity (%)	compressive strength(kg/cm <sup>2</sup> )	tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )	abrasive hardness	P-wave velocity (m/sec)	Young's modulus (10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	Poisson's ratio
N3	2.64	0.38	1.00	1,384	95	26	3,670	4.07	0.27
N5	2.62	0.42	1.11	1,649	70	25	2,460	3.69	0.30
N6	2.63	0.30	0.79	1,563	105	29	3,420	4.29	0.23
N7	2.65	0.29	0.76	1,656	99	25	3,260	4.33	0.22
N8	2.67	0.26	0.68	1,893	101	31	3,300	4.39	0.21
N11	2.64	0.38	1.00	1,509	99	29	4,070	4.46	0.29
N13	2.62	0.29	0.77	1,955	122	31	3,300	4.42	0.29
N14	2.55	0.26	0.68	1,333	79	21	2,760	4.81	0.25

**Table 2.** The modes and grain size distributions of the granite in the Namwon area.

sample no.	Mode			Average grain size			
	Quartz	Plagioclase	K-feldspar	Quartz	Plagioclase	K-feldspar	Average
N3	28.0	40.2	31.8	1.1	1.8	4.4	1.9
N5	22.3	48.5	29.2	0.9	1.5	2.4	1.5
N6	26.4	50.1	23.5	2.0	1.8	2.1	1.9
N7	50.1	34.5	15.4	2.1	1.6	2.1	1.9
N8	40.6	43.5	15.9	1.3	1.3	1.4	1.3
N11	36.8	47.0	16.2	2.5	2.3	2.6	2.5
N14	39.4	47.9	12.7	1.0	1.3	1.6	1.2

압축강도는 공시체에 하중을 가해 시료가 파괴될 때의 전하중과 공시체의 단면적과의 비를 말하는 것으로, 석재의 압축강도 시험방법 (KS-F 2519)에 준하여 시험하였다. 공시체를 가압판 위 중앙부에 지지시키고 하중은 충격을 주지 않으면서 일정한 속도로 압력을 가하여 순간파괴 되었을 때의 하중을 구하여 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{압축강도(kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{공시체의 파괴하중 (kg)}}{\text{공시체의 단면적 (cm}^2\text{)}}$$

인장강도의 측정은 시료의 제작과 시험방법이 간단한 압열 인장시험법에 의해 측정하였다. 시험방법은 원주형의 공시체를 원주면이 상하 지지판에 닿도록 하여 일정한 속도로 압축력을 가하면 공시체 내에 가압면과 직각방향의 인장력이 발생하여 파괴되며, 순간 파괴되었을 때의 최대하중을 구하여 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{인장강도} = \frac{2 \times \text{압축하중}}{\pi \times \text{공시체의 직경} \times \text{공시체의 길이}} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

마모시험은 암석의 마모에 대한 저항력을 측정하는 시험으로서, 이 시험은 연마제에 의한 마모, 금속면과의 접촉에 의한 마모, 암석과의 접촉에 의한 마모 등을 포함하고 있다. 시험은 ASTM C 241-51 규정에 의한 도리 (Dorry) 마모시험기를 사용하였다.

이 시험에서는 공시체에 2000 g의 하중을 주어 금속원판에 압착시킨다. 금속원판을 45 rpm으로 회전하며, 공시체는 금속원판의 반대방향으로 회전한다. 시

험 중에는 60 #의 연마제를 일정량 연속적으로 투입하며 회전원판이 225 rpm 회전할 때 까지의 무게손실을 측정하여, 미리 측정된 원 공시체의 비중과 중량을 이용하여 다음 식에 의하여 계산한다.

$$\text{마모경도} = \frac{10G (2,000 + W_s)}{2,000 W_a}$$

G : 공시체의 비중  
 Ws : (시험 전 중량+시험 후 중량)/2  
 Wa : 시험 중 손실된 공시체의 중량

탄성파속도는 공시체를 통과하는데 소요된 시간을 측정하여 P파의 전파속도를 측정하는 비파괴시험이다. 측정은 파괴시험을 하기 전의 단축압축 시험용 공시체를 사용한다. 단축압축 강도시험은 ASTM/D-2938-86, 탄성계수와 포아송비는 ASTM/D3148-86에 따라 160톤 용량의 MTS 315 system을 사용하여 공시체의 축방향으로 압축력을 가한 후 파괴될 때의 하중을 측정하였다. 단축압축강도는 다음 식으로 산정된다.

$$S_c = P / A$$

여기서 Sc = 단축압축강도(kg/cm<sup>2</sup>), P = 파괴하중(kg), A = 단면적(cm<sup>2</sup>)이다.

단축압축 강도시험에서 압축응력에 대한 변형특성을 알기 위해 종방향은 다이알게이지 변환기, 횡방향은 횡축변위계를 사용하여 각각의 변형율을 측정하였다. 응력에 따른 두개의 탄성상수는 다음 식으로 구한다. 즉,

$$\text{Young's modulus}(E) = \sigma / \epsilon A$$

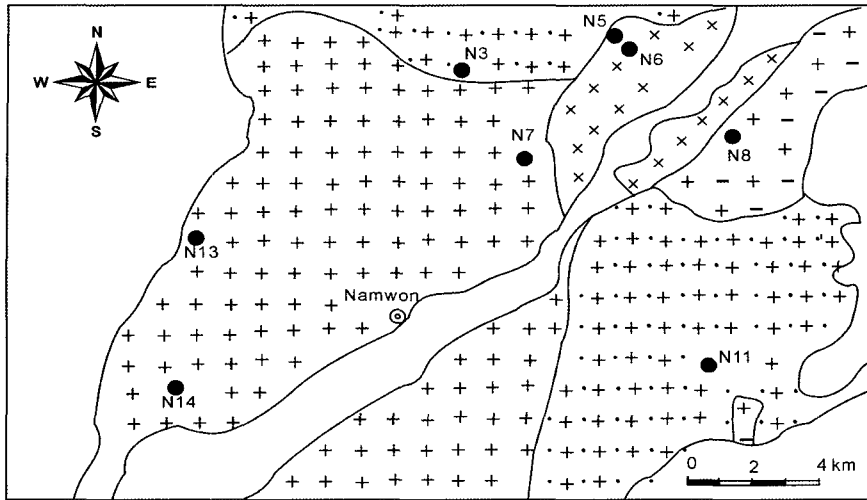


Fig. 1. The simplified geologic map and sampling sites of the Namwon granitic rocks.

$$\text{Poisson's}(v) = -\epsilon L / \epsilon A$$

여기서  $\sigma$  = 하중에 의한 압축응력,  $\epsilon A$  = 공시체의 종방향 변형율이다.

$$\epsilon L = \text{공시체의 횡방향 변형율}$$

연구대상 화강암들 중 압쇄작용을 받아 심하게 변형된 N13 시료를 제외한 7개 시료에 대해 현미경상에서 각각의 광물들을 판별하여 입도를 분석하였다. 대상광물은 공학적 성질에 영향을 크게 미칠 것으로 판단되며 또한 화강암의 주구성광물인 석영, 사장석, K-장석의 세 광물이다. 각각 광물들의 입도는 광물들의 장축만을 측정하였다. 이 연구의 입도분석에서의 장축은 광물 개개의 입자에서 가장 긴 축을 의미하는 것이 아니라 광물마다의 결정학적인 형태를 고려한 장축이다. 하나의 시료에서 각각의 광물에 대해 50내지 100여 개의 입자를 선정하여 입도측정을 행하였다 (Table 2).

### 지 질

남원화강암체는 남원도폭 (김동학과 이병주, 1984)에서 처음 정의되었다. 이들은 남원도폭의 중앙부의 남원을 표식지로 하여 북쪽의 오수도폭 (김규봉외, 1984), 남쪽의 구례도폭 (홍승호와 황상규, 1984), 동쪽

의 운봉도폭 (김옥준외, 1964)에 한하여 관입 분포하는 총면적 약 530km<sup>2</sup>의 저반을 남원화강암이라 명명하였다.

남원화강암체는 동쪽의 지리산편마암복합체, 서쪽의 순창화강암체 및 대강화강암체의 세 암체 사이에 심장 모양으로 분포하는 저반형 화강암이다. 이 남원화강암체는 약 530km<sup>2</sup>의 면적을 보이며 화강암 동쪽으로는 500~600m의 높은 산지 지형을 형성하며 나머지 부분의 노출은 일부 지역을 제외하고는 그다지 좋은 편은 못 되며 구릉지대가 많다. 그러므로 주변의 변성퇴적암 및 화강암들의 지형에 비해 상대적으로 낮은 분지의 형태를 보인다.

남원화강암체는 크게 각섬석-흑운모 토날라이트-화강섬록암 (hornblende biotite tonalite-granodiorite), 반상 각섬석 흑운모 화강섬록암 (porphyritic hornblende biotite granodiorite), 흑운모화강암 (biotite granite), 복운모화강암 (two mica granite)으로 구성되며 소규모의 섬록암, 반화강암 등이 분포하고 있다 (홍세선외, 1988). 흑운모화강암은 남원화강암체의 대부분을 차지하며 서쪽 경계부분에서는 반상조각이 관찰되기도 한다. Kwon and Hong(1993)은 흑운모화강암을 TiO<sub>2</sub>/MgO 비에 따라 지화학적으로 뚜렷히 구분됨을 밝히고, 그 비가 높은 화강암(HTM: high TiO<sub>2</sub>/MgO 화강암)과 비가 낮은 화강암(LTM: low TiO<sub>2</sub>/MgO 화강암)으로 분류한 바 있다.

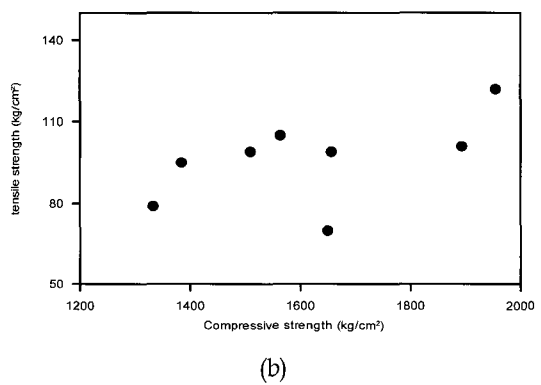
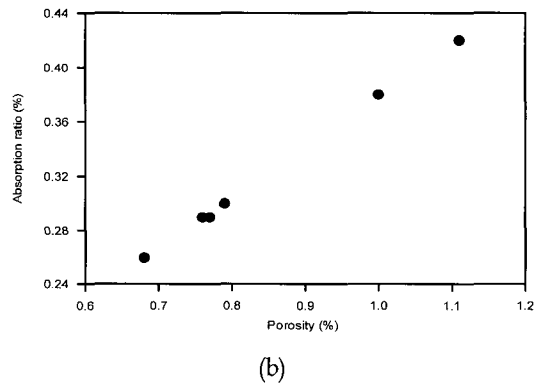
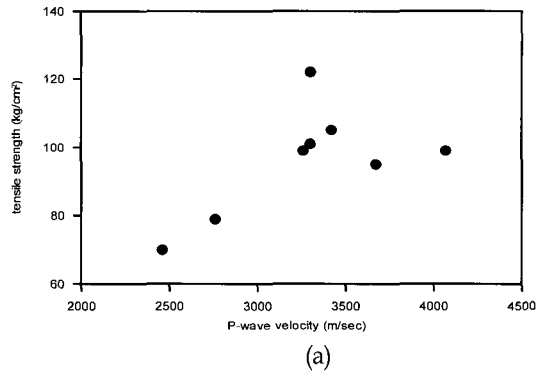
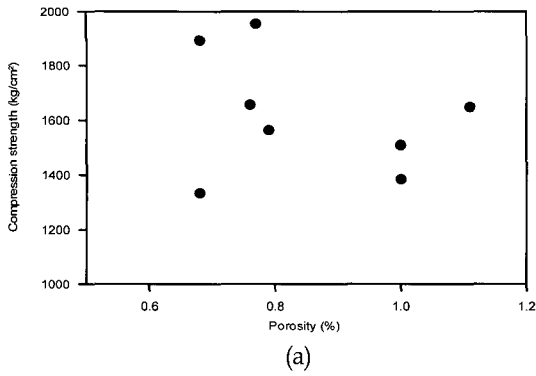


Fig. 2. The correlation diagrams of (a) porosity versus compressive strength and (b) porosity versus absorption ratio.

Fig. 3. The correlation diagrams of (a) tensile strength versus P-wave velocity and (b) tensile strength versus compressive strength.

Rb-Sr 전암연대 (주승환과 김성재, 1986)에 의하면 남원화강암체의 흑운모화강암은 211±3Ma (초생값 : 0.718±0.0004)이며 각섬석-흑운모 토날라이트의 각섬석 K-Ar 연대 (김용준과 이창신, 1988)는 203±10Ma로, 김정빈 외 (1993)에 의한 동일암종의 저어콘 U-Pb의 하부 절편 연대는 176±3Ma로, 상부절편 연대는 1,858±80Ma로 밝혀진 바 있다. 이 남원화강암은 열리의 존재유무 및 절대연대 등으로 미루어 구조운동 이후의 화강암임을 지시한다 (Cluzel et al., 1991).

측정 대상 암반들은 모두 흑운모화강암과 복운모화강암내에 위치한다(Fig. 1).

### 암석의 기재

석영은 대체로 반자형 내지 타형의 모습을 보이며

파동소광을 보이는 경우도 있다. 석영은 사장석 등의 다른 광물의 간극을 채우는 형태로 주로 나타난다. 석영은 0.9~2.5 mm의 크기를 보인다. 장석은 주로 사장석, 피사이트와 미사장석들이며 이들 중 사장석의 함량비가 가장 크며 피사이트, 미사장석의 순으로 그 양적인 비가 감소한다. 또한 대체로 흑운모화강암에서 복운모화강암으로 진행되면서 사장석의 함량은 감소하고 K-장석의 함량은 증가하는 경향을 나타낸다.

사장석은 대부분 자형내지 반자형이 많으며 간혹 동심원적인 누대구조를 보이기도 한다. 또한 일부는 변질을 받아 고령토화 되어 있기도 하며 결정의 중심부 쪽으로는 녹염석화되어 있기도 하다. 그러나 이러한 부분은 양적인 면에서 매우 적다. 부분적으로 K-장석과의 사이에 미르메카이트를 형성하기도 한다. 때로는 세립질의 흑운모나 불투명광물을 포획하기도 한다.

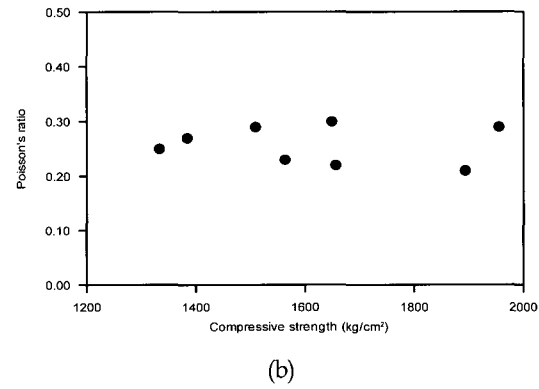
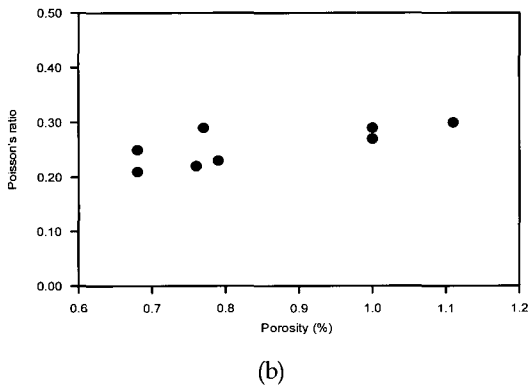
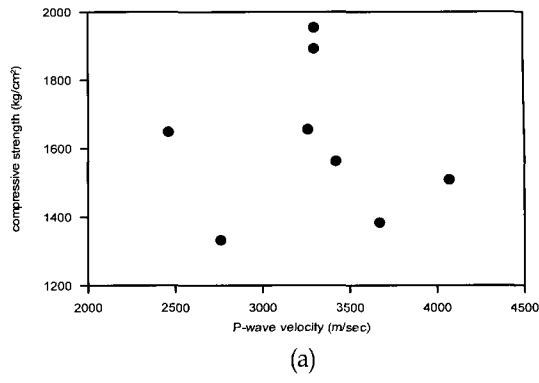
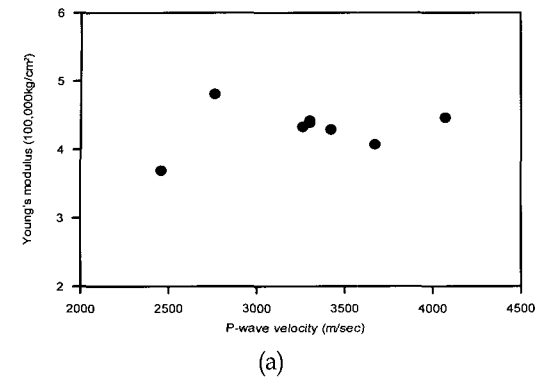


Fig. 4. The correlation diagrams of (a) Young's modulus versus P-wave velocity and (b) Poisson's ratio versus porosity.

Fig. 5. The correlation diagrams of (a) compressive strength versus P-wave velocity and (b) Poisson's ratio versus compressive strength

K-장석은 퍼사이트와 미사장석의 두 광물이 산출하는데 분화된 압제일수록 퍼사이트보다는 미사장석의 양이 많아지는 경향을 나타낸다. K-장석은 대부분 퍼사이트내지 퍼사이트질 미사장석이며 최대 7mm까지의 입자크기를 보이는 경우도 있다. 대부분의 퍼사이트는 큰 결정으로 나타나며 미사장석의 경우 석영과 사장석 등의 간극을 채우는 형태로 복운모화강암에서 주로 관찰된다. 퍼사이트는 때때로 사장석 등을 포함하기도 하는데 이러한 포획된 사장석은 변질이 심한 경우가 많다.

### 암석의 물리적, 공학적 특성 비교

암석의 비중은 시료의 중량과 동일체적의 물의 질량과의 비로서 겉보기 비중을 의미한다. 이는 암석자원의 암종별 상대적인 밀도 비교값에 대한 자료로 활

용되고 있다. 연구대상 화강암반의 비중은 2.55~2.67로서 Daly et al. (1966)에 의한 화강암의 평균 비중 2.52~2.81내에 잘 일치된다.

흡수율은 시료 내에 수분이 침투하여 포화상태일 때의 함유수분을 말하는 것으로, 시료 내에 존재하는 공극과 밀접한 관계를 가진다. 흡수율은 시료내 입자간의 공극, 약선대, 미세균열 등에 흡수되는 모든 수분의 함량이 측정되므로 시료의 역학적 성질에 미치는 특성 중 가장 우선적으로 고려되어야 할 기초 물성이다.

연구대상 화강암반의 흡수율은 0.26~0.42로서 보통 2 미만의 결정질암 흡수율 결과와 잘 일치한다 (Duncan, 1969). 흡수율은 풍화가 진행될수록 증가하여 신선한 화강암인 경암 0.34, 보통암 0.50, 연암 0.78, 풍화암 1.56으로 그 평균값이 뚜렷이 커진다 (강승철 외, 1985; 윤현수, 1994). 이에 따르면 연구대상 화강암은 모두 경암에 속한다고 할 수 있다.

공극율 (%)은 시료중의 전공극의 체적과 공극을 포함하는 시료 체적과의 백분율이다. 연구대상 화강암은 0.68%~1.11%의 공극율을 나타내며 공극율이 클수록 함수능력이 증가되는 정의 상관관계를 뚜렷이 보인다 (Fig. 2; Duncan, 1969).

압축강도는 암석역학에 있어서 매우 중요한 의미를 가지는 요소인데, 조암광물 사이의 공극과 입도 및 기질의 종류, 그리고 이들의 결합력이나 경계면상의 미세균열등에 따라서 그 값이 달리 나타난다. 압축강도는 1,333~1,955 kg/cm<sup>2</sup>의 범위를 보인다. 전형적인 화강암의 압축강도는 1,000~2,500 kg/cm<sup>2</sup>의 값을 나타내며 연구대상 화강암은 모두 경암에 속한다.

인장강도는 70~122의 값을 보이며 마모경도는 21~31의 값을 나타낸다. 연구대상 화강암은 인장강도와 압축강도 사이에 압축강도가 증가할수록 인장강도는 커지는 뚜렷한 정의 상관관계를 보이고 있다 (Fig. 3).

탄성파속도는 2,460~4,070m/sec의 범위를 보인다. 탄성파속도가 커질수록 인장강도는 대체로 증가하는 경향을 보이며 또한 탄성파속도 대 탄성계수 관계도에서도 대부분 정의 상관관계를 보인다 (Fig. 4). 이찬구 외(1995)의 백악기 화강암에 대한 P파 속도는 평균 5,170m/sec를 나타내고 있어 주라기인 이 지역 화강암 보다는 높은 값을 보인다. 탄성계수는 3.69~4.81의 범위를 보이며 포아송비는 0.21~0.3의 범위를 나타낸다. 포아송비는 횡방향 변형률/종방향 변형률의 비(ratio between transverse and longitudinal strain)이다 (Farmer, 1982). 그리고 공극율과 포아송비 그림, 탄성파속도와 압축강도 그림 (Fig. 4와 Fig. 5)에서 보면 대체로 균일한 선상분포를 이룬다. 또한 포아송비와 압축강도사이에는 미약하나마 정의 상관관계를 보이나, 압축강도와 탄성파속도는 뚜렷한 관계를 나타내지는 않는다.

### 암석의 입도분포와 공학적 물성간의 관계

7개 시료에서 측정된 석영, 사장석, K-장석, 그리고 이를 종합한 각 시료의 평균입도 및 각 광물의 함량비와 암석의 물성간의 상관관계를 Fig. 6~Fig. 12에 나타내었다. 각각의 입도분포 및 광물함량과 물성간의 상호관련 여부를 간단히 언급하고자 한다.

연구대상 화강암의 석영의 입도는 0.9~2.5 mm로 측정된다. 석영과 각 물성간의 관계를 보면 석영의 입도가 증가할수록 인장강도, 탄성파속도, 탄성계수는 대

체로 증가하는 경향을 보이며 인장강도그림의 경우 석영의 크기가 1.5 mm 이상에서부터는 인장강도가 일정해지는 경향을 보인다. 포아송비와 공극율은 석영의 입도와 뚜렷한 관계를 보이지는 않지만 석영입도가 커짐에 따라 감소하다가 증가하는 양상을 나타낸다. 압축강도의 경우 일부 시료를 제외하고는 석영입자의 크기가 감소함에 따라 압축강도가 증가하는 양상을 잘 나타낸다(Fig. 6).

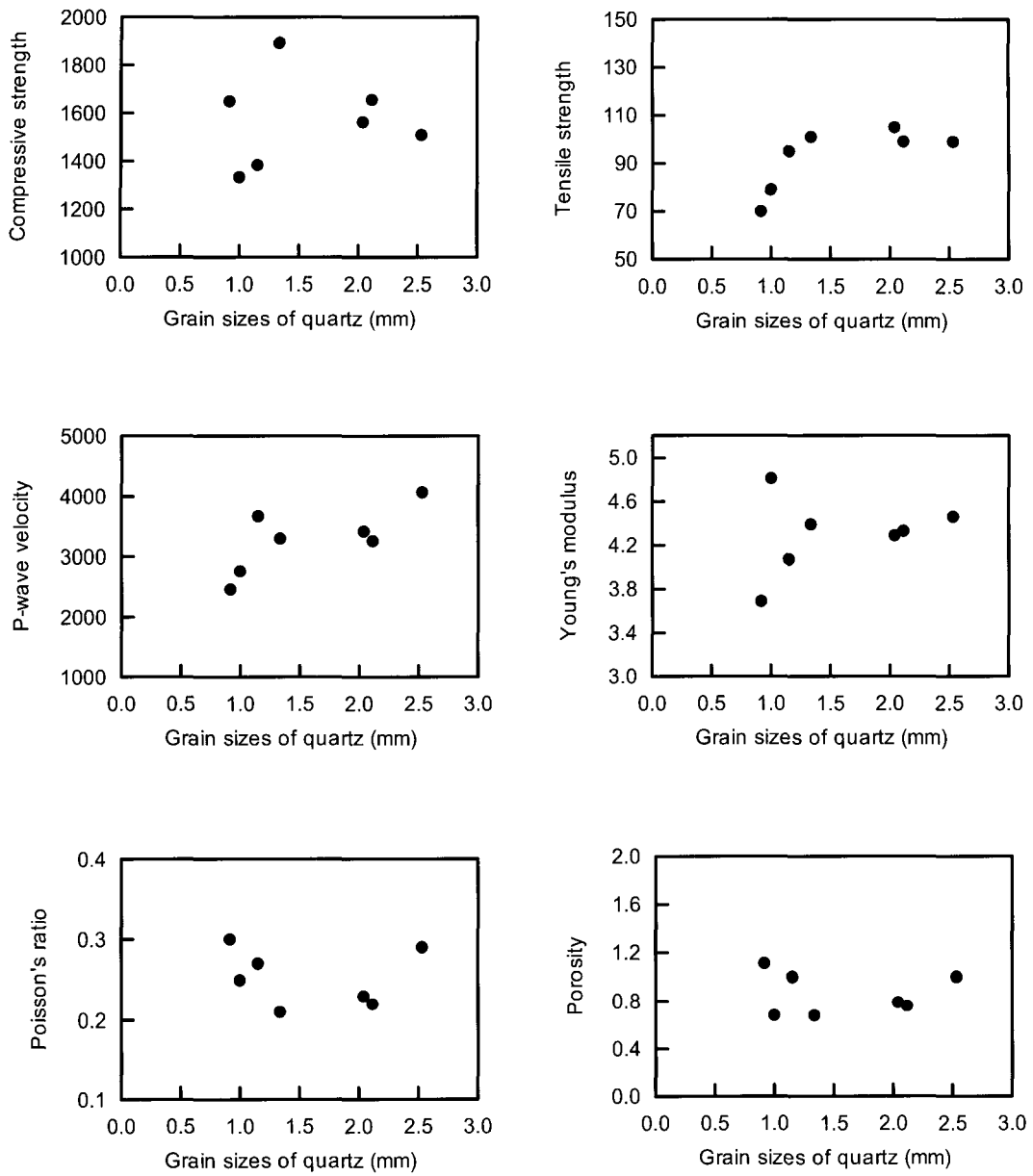
연구대상 화강암의 사장석의 입도는 1.3~2.3 mm의 입도 측정된 세 광물들 중 가장 좁은 범위의 입도분포를 나타내고 있다. 사장석과 물성간의 관계를 보면 사장석의 입도가 증가할수록 탄성파속도, 포아송비, 공극율은 대체로 증가하는 경향을 나타내며 인장강도, 탄성계수는 뚜렷한 상관관계를 보이지는 않는다. 그러나 사장석의 크기가 감소할수록 압축강도는 증가하는 경향을 보인다(Fig. 7).

연구대상 화강암의 K-장석의 입도는 1.4~4.4 mm의 비교적 넓은 분포를 보인다. 역시 현미경상에서도 K-장석은 매우 큰 입자를 이루고 있거나 다른 광물들 사이의 간극을 채우는 형태를 보이기도 한다. K-장석과 물성간의 관계를 보면 K-장석의 입도가 증가할수록 탄성파속도, 포아송비, 공극율은 대체로 같이 증가하는 경향을 나타내며 압축강도와 탄성계수는 감소하는 관계를 나타낸다. 인장강도는 뚜렷한 상관관계를 보이지는 않는다.

연구대상 화강암의 평균입도는 1 mm~2.5 mm로 입도분포 분류에서 중립질 (1 mm~5 mm)에서도 세립질에 가까운 입도를 나타낸다. 화강암의 평균입도가 증가함에 따라 공극율, 포아송비, 탄성파속도, 인장강도는 뚜렷이 또는 미약하나마 정의 상관관계를 보이며 압축강도, 탄성계수는 일부 암석을 제외하고는 입도가 감소함에 따라 증가하는 경향을 보인다. 이러한 현상은 Tugrul and Zarif(1999)의 터어키 화강암에서의 결과와 잘 일치함을 볼 수 있다. 또한 Onodera and Asoka Kumara(1980)은 화성암에서 입도가 증가할수록 강도는 상당히 감소한다는 것을 보고한 바 있다.

또한 광물의 함량비와 물성과의 관계를 보면 석영의 함량이 증가함에 따라 압축강도, 인장강도, P파 속도, 탄성계수는 대체로 증가하는 경향을 나타내며 포아송비와 공극율은 감소하는 경향을 보인다.

Tugrul and Zarif(1999) 역시 석영함량이 증가할수록 강도가 증가함을 밝히고 있으며, 석영 내 열극이 없을수록 또는 석영이 다른 광물들 사이의 공간을 채우는율이 많을수록 강도는 커질 것이다.



**Fig. 6.** The relationship of the average grain size of quartz and the physical properties in the granite from the Namwon area.



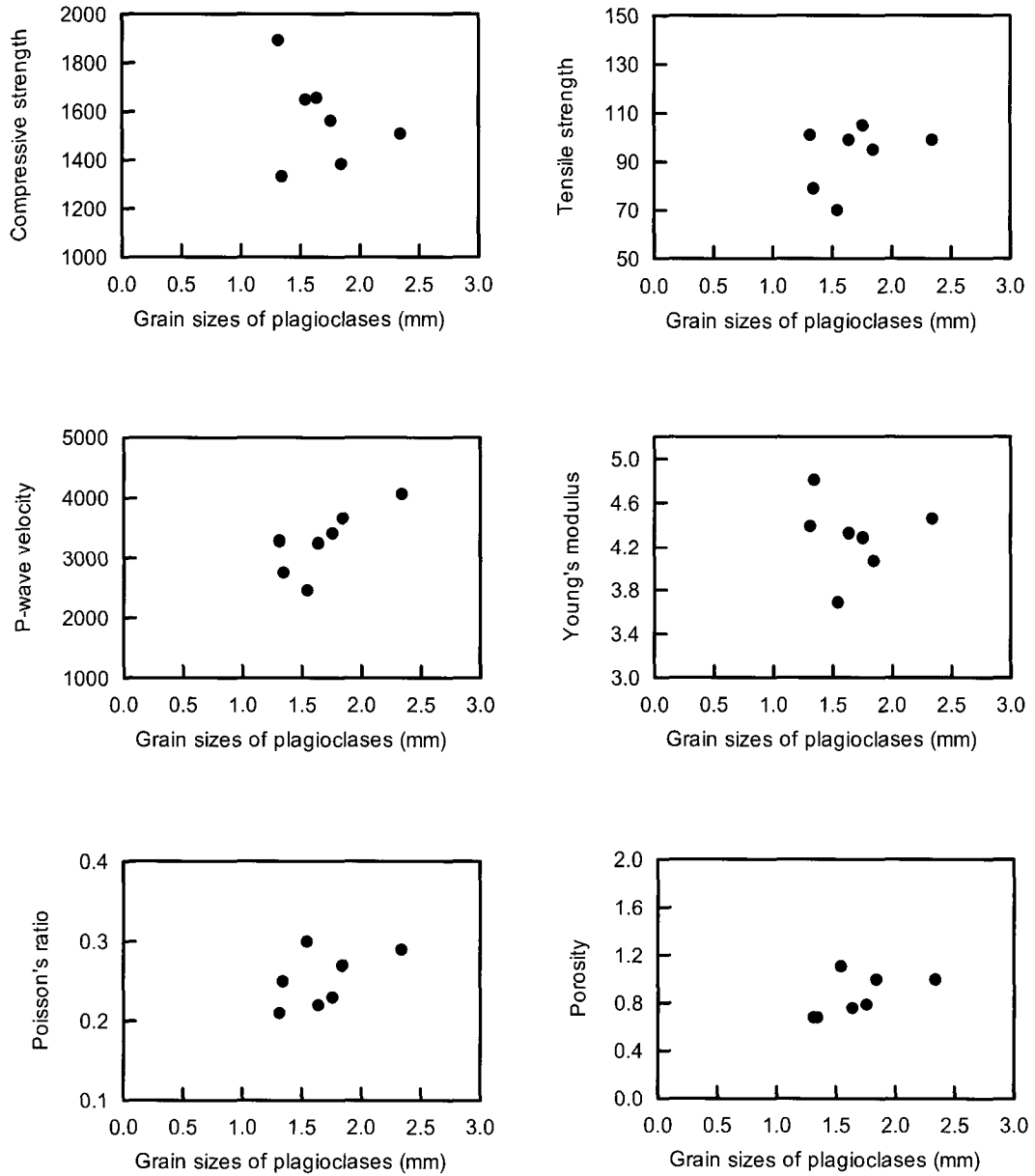
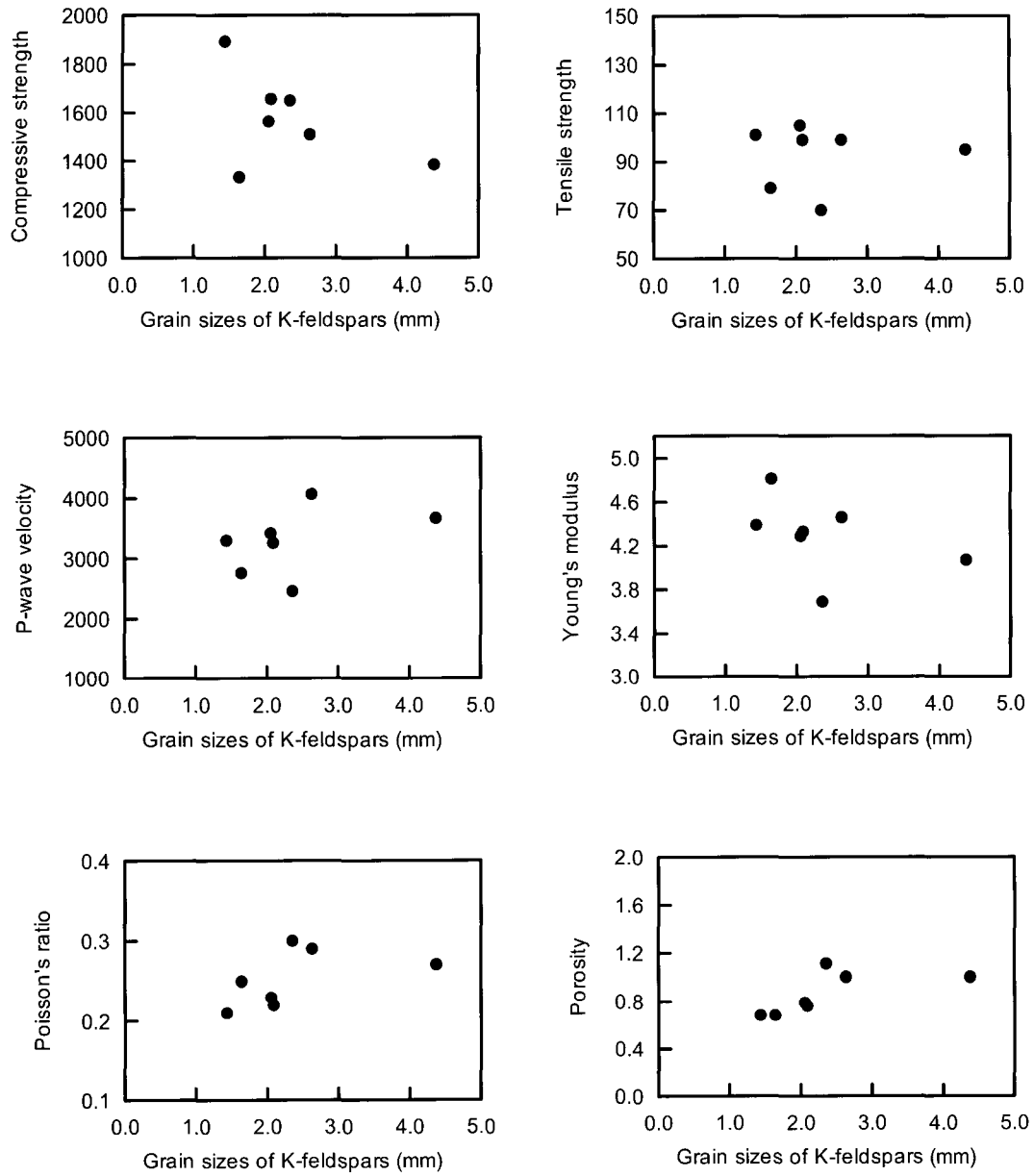


Fig. 7. The relationship of the average grain size of plagioclase and the physical properties in the granite from the Namwon area.



**Fig. 8.** The relationship of the average grain size of K-feldspar and the physical properties in the granite from the Namwon area.

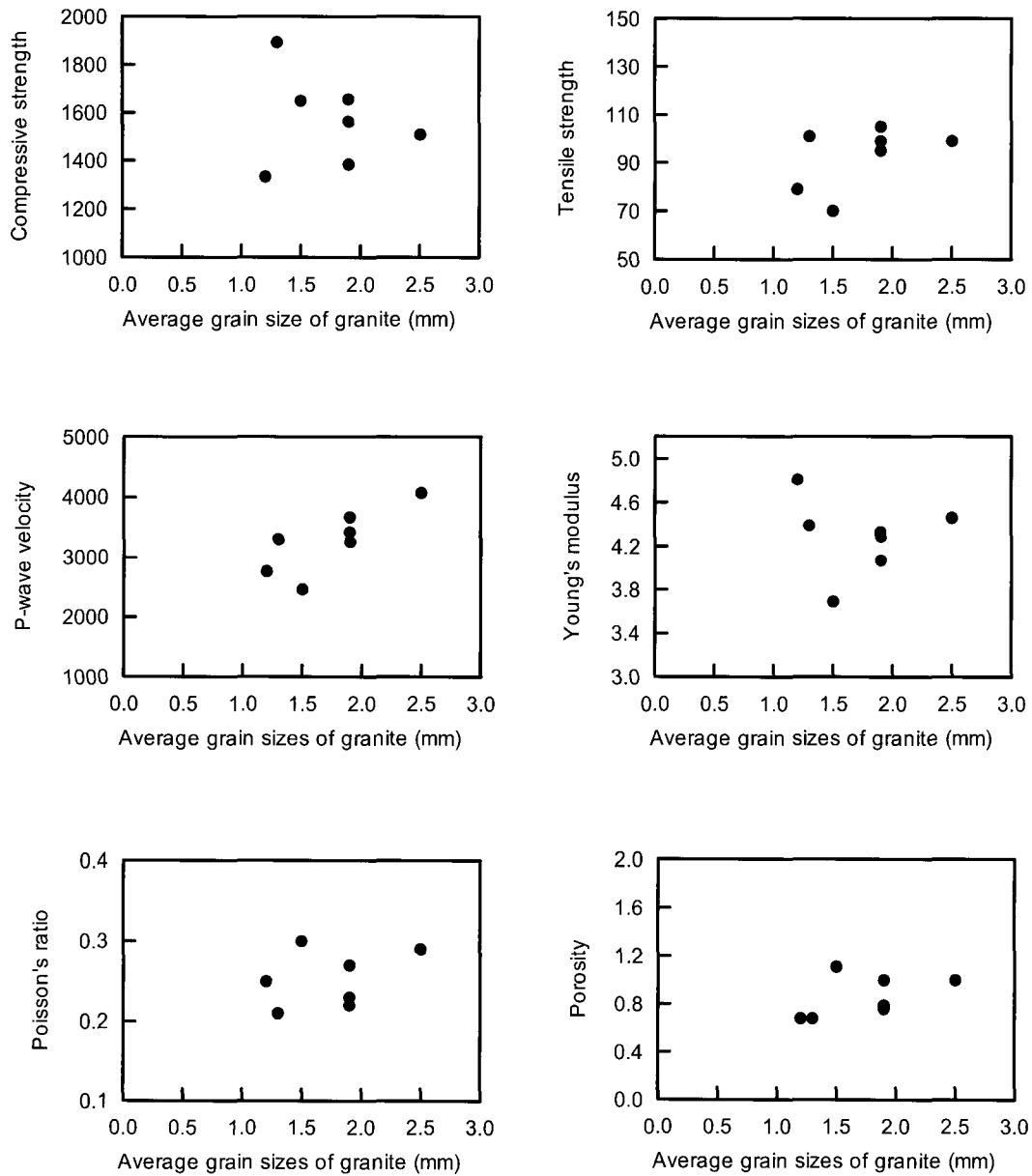


Fig. 9. The relationship of the average grain size of granite and the physical properties in the granite from the Namwon area.

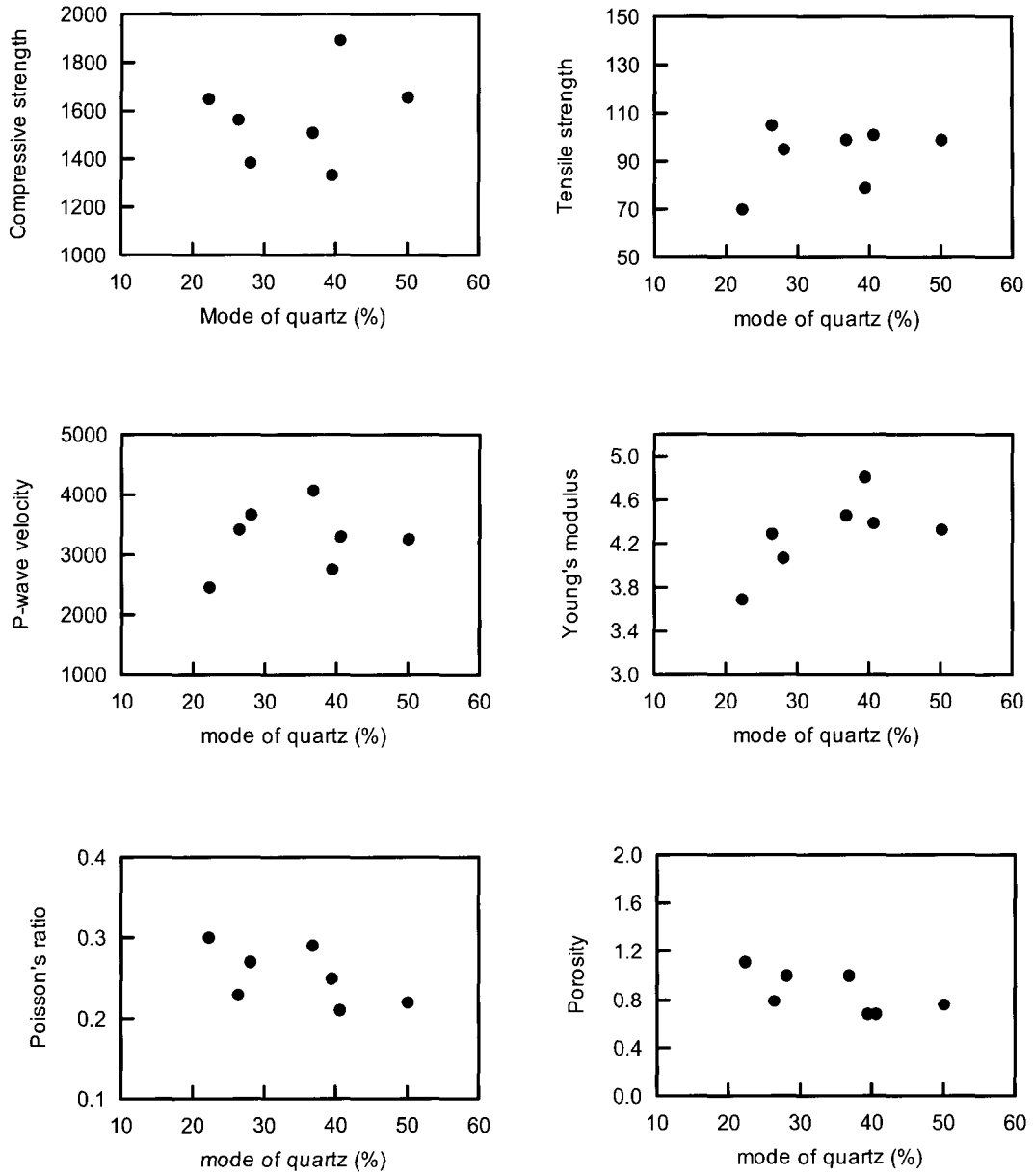


Fig. 10. The relationship of the mode of quartz and the physical properties in the granite from the Namwon area.

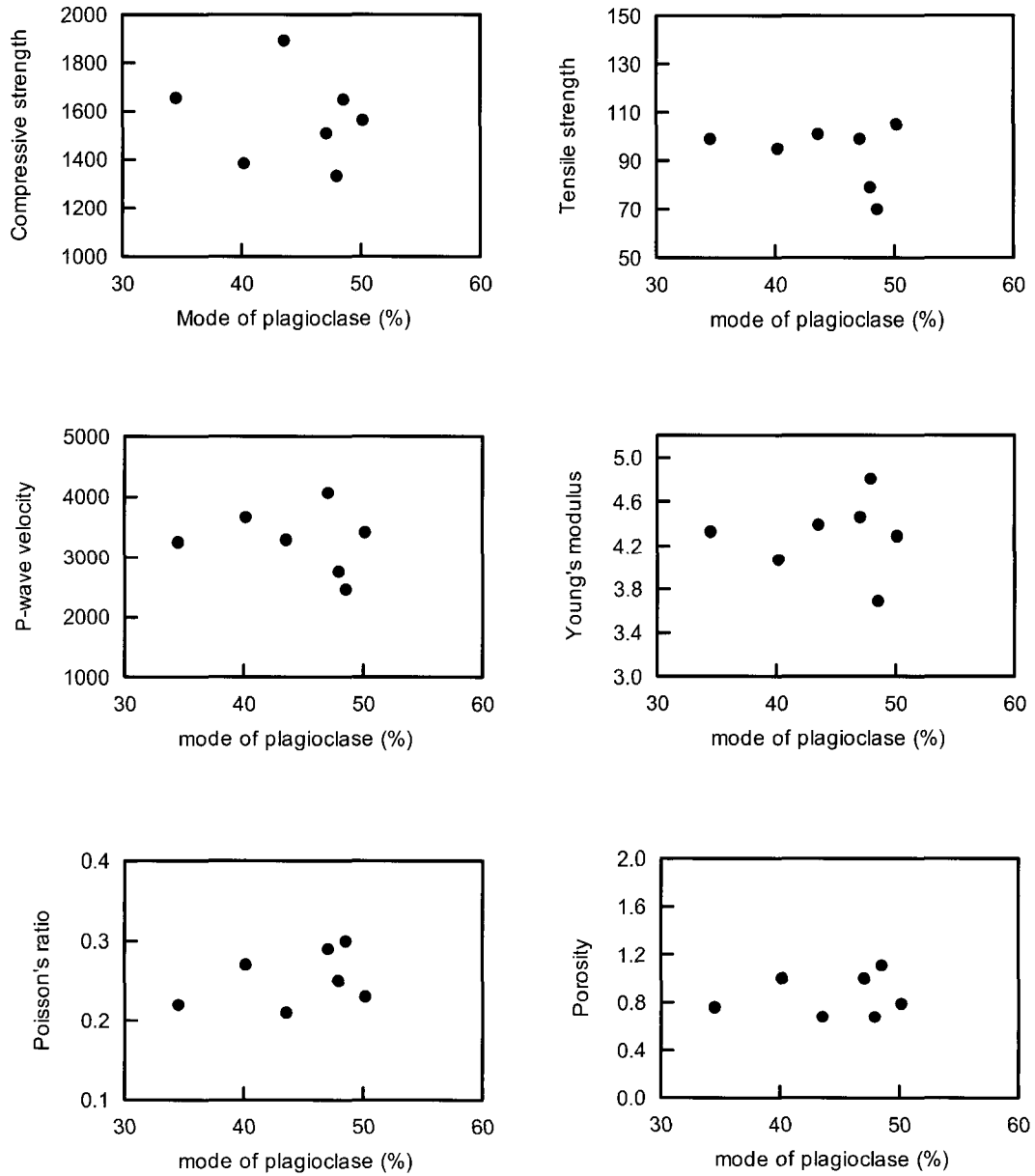


Fig. 11. The relationship of the mode of plagioclase and the physical properties in the granite from the Namwon area.

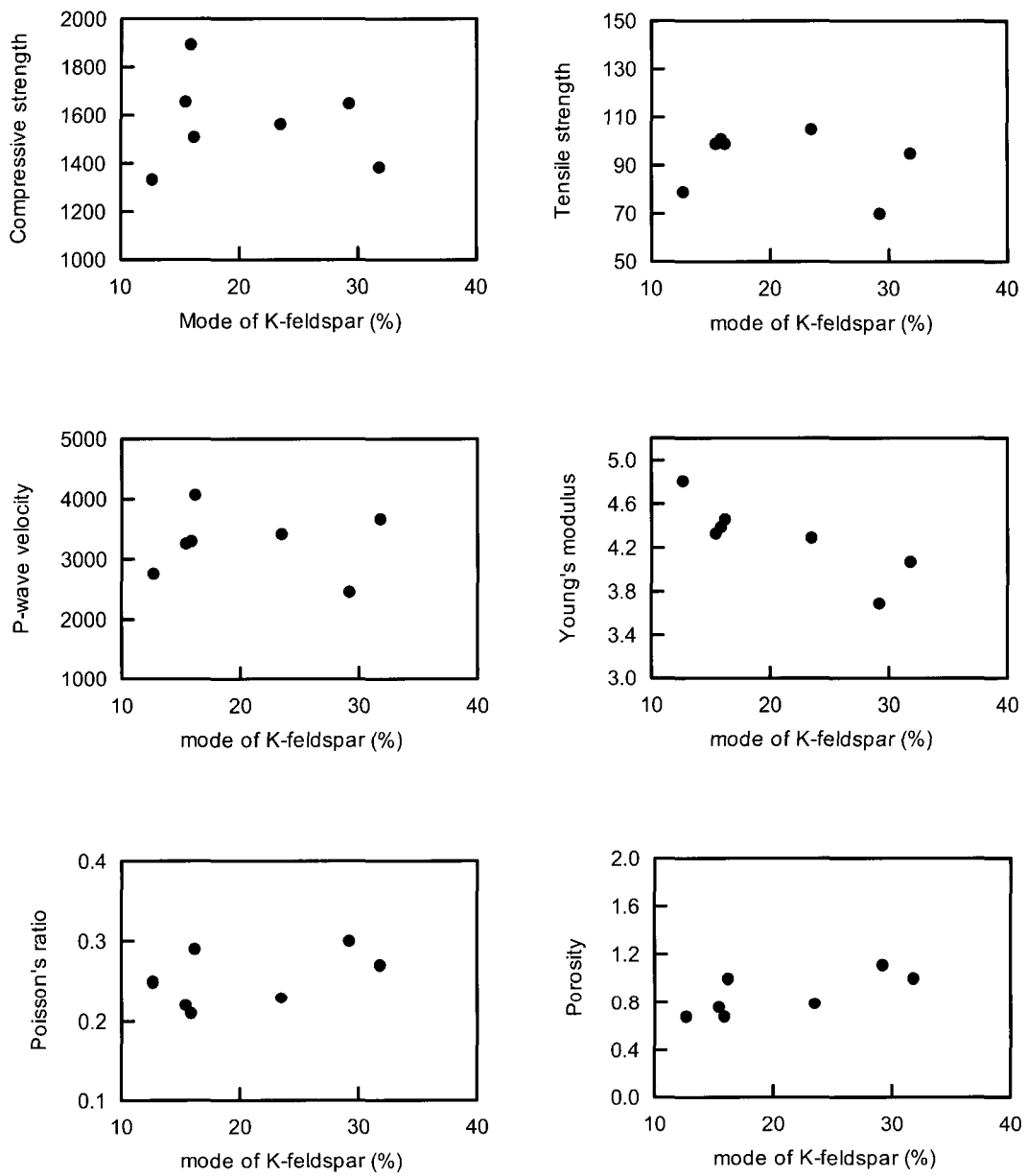


Fig. 12. The relationship of the mode of K-feldspar and the physical properties in the granite from the Namwon area.

사장석의 함량 변화에 따라 물리적 성질의 변화는 석영보다는 상관관계가 그다지 양호하지 않다. 사장석 함량이 커짐에 따라 압축강도와 인장강도는 대체로 감소하는 경향을 보이며 포아송비와 공극율은 약간 증가하는 경향을 나타낸다.

K-장석의 함량 변화에 따른 물성의 변화는 석영과는 서로 반대되는 현상을 나타낸다. K-장석의 함량비가 커질수록 압축강도는 적어지는 경향을 보이며, 영률도 같은 현상을 나타낸다. 그러나 포아송비와 공극율은 증가하는 관계를 나타낸다.

비록 적은 시료이기는 하나 암석의 공학적 특성은 암석 내 광물의 함량비 보다는 각 광물의 입도에 더 큰 영향을 받는 것으로 생각된다. 또한 광물들 중 석영의 입도분포가 암석물성과 좀더 상관관계가 있을 것으로 판단된다. 그러나 암석의 공학적 실험이나 입도분석 모두 화강암의 광물배열상태나 미세균열에 따른 영향(Willard and McWilliams, 1969)이 완전히 고려된 것은 아니다. 즉, 일반적으로 화강암은 퇴적암이나 퇴적기원의 변성암에서 쉽게 관찰되는 층리, 편리등이 없는 등방성의 물질로 생각되어지고 있다. 그러나 실제로는 마그마의 고결 당시 비록 육안으로는 관찰되지는 않지만 화강암을 구성하는 광물들은 마그마의 유동, 내부의 동적 움직임에 따라 일정한 배열면을 이루며 또한 암석이 고화된 후 외부의 응력장의 영향(화강암 반의 정치 및 노출에 따른 응력장의 불균형)에 의해 광물 내 미세균열이 일정방향으로 형성되게 된다. 퇴적암의 층리면보다는 미약하지만 이러한 배열면을 따라 쪼개짐이 다른 방향보다는 쉽게 일어날 수 있을 것이다. 이러한 현상을 화강암에서는 결이라고 하며 결의 방향에 따라 1번 결(가장 잘 쪼개지는 면), 2번 결, 3번 결 등으로 구분이 된다.

그러므로 결의 방향에 따라 암석의 물성 및 입도의 차이가 날 것이다(박덕원, 1995). 그러나 이번의 암석의 물성 중 압축강도, 인장강도, 마모경도는 1번 결에 수직인 방향으로 실험을 하였으나 탄성파속도, 탄성계수, 포아송비는 암석 내 배열방향을 고려치 않고 측정되었다. 화강암의 입도 측정 시료는 정향으로 채취된 암석의 윗면을 박편으로 제작하였다. 이는 비록 화강암의 결에 일치하는 면은 아니나 결이 암반의 수평면에서 저각도로 주로 분포하는 경향을 보이므로 결에 접근하는 면이라 할 수 있다.

그러므로 보다 정확한 광물의 입도, 함량비와 암석 물성간의 상관관계를 규명하기 위해서는 측정실험 전 동일한 실험조건을 유지할 수 있도록 화강암의 결의

배열면을 먼저 판별한 후 결의 방향에 따른 입도의 분석과 암석의 물성실험을 수행하면 공학적 암석물성 값과 암석의 광물조성, 광물입도와와의 관련성을 입증할 수 있을 것이다.

## 결론

남원지역에 분포하는 7개 석재 채석대상 화강암의 입도와 광물 함량비와 암석의 물리적, 공학적 특성의 상관관계를 검토하였다.

(1) 광물의 입도는 공학적 특성에 영향을 준다. 광물의 크기가 감소함에 따라 강도는 낮아지는 경향을 보인다. 그러나 광물에 따라 강도에 대한 영향이 서로 다를 수 있음을 보여준다.

(2) 광물의 입도는 역시 물리적 특성에도 큰 영향을 준다. 광물의 크기가 커질수록 P 파 속도, 포아송비, 공극율, 영률 등은 증가하는 경향을 나타낸다.

(3) 광물의 함량비에 따라 물리적, 공학적 특성이 달라지는 경향을 보인다. 석영의 함량비가 커짐에 따라 영률, 인장강도, P 파 속도 등은 증가하며, 포아송비, 공극율 등은 감소하는 경향을 보인다. 쪼개짐이 보다 용이한 사장석과 K-장석은 석영과 반대되는 현상을 나타낸다.

## 감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원의 산업자원부 출연 연구과제인 “석재-골재자원 부존조사 및 품질관리기술 연구”와 기관고유과제인 “지하암반내 고온, 저온 저장기술 연구” 과제의 수행으로 얻어진 연구결과와 일부임을 밝힌다. 이 논문을 읽고 세심하고 건설적인 지적과 의견들을 제시하여 주신 익명의 세 분 심사위원님들에게 깊은 감사를 드립니다.

## References

- 강승철, 전효택, 전용원, 1985, 풍화화강암의 물리적, 암석학적 및 지구화학적 특성. 대한광산학회지. 22. p.339~352.
- 김규봉, 최위찬, 황재하, 김정환, 1984, 오수도폭 지질 보고서. 한국동력자원연구소. 38p.
- 김동학, 이병주, 1984, 한국지질도 (1:50,000) 남원도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소. 40p.

- 김영화, 장보안, 1992, 화강암의 풍화현상에 수반되는 물성변화의 특성. 지질공학, 2, p.36~46.
- 김영화, 홍순호, 1990, 풍화현상에 수반되는 화강암의 물성변화에 관한 연구. 광산지질. 23, p.221~232.
- 김옥준, 홍만섭, 윤석규, 박희인, 박양대, 김기태, 이하영, 윤선, 1964, 한국지질도 운봉도폭. 경상남도. 18p.
- 김용준, 이창신, 1988, 장수-운봉지역에 분포하는 화성암류와 화성활동에 관한 연구. 지질학회지. 24. 특별호. p.111~131.
- 김정빈, 김용준, Turek. A., 1993, 담양, 거창지역에 분포하는 중생대 화성암류의 U-Pb zircon 지질연대. 대한지질학회 제48차 학술발표회 초록집. p.13.
- 박덕원, 1995, 중생대 화강암에 발달된 결의 역학적 특성. 경북대학교 이학박사학위논문. 경북대학교 대학원. 101p.
- 윤현수, 박용순, 이춘오, 이병태, 김경수, 1993, 문경-상주 사이에 분포하는 화강암 석재의 암석학적 특성. 암석학회지. 4, p.32~40.
- 윤현수, 1994, 문경지역 담홍색 화강암 코아의 물리적 및 화학적 특성. 암석학회지. p.234~240.
- 윤현수, 1997, 포천-의정부지역 화강암류 석재자원의 암석학적 특성연구. 암석학회지. 6, p.34~44.
- 이찬구, 최원학, 장친중, 김지영, 이지훈, 1995, 온도변화가 암석의 기본물성과 압력인장특성에 미치는 영향. 지질공학회지. 5, p.21~29.
- 주승환, 김성재, 1986, 영남육괴 Rb-Sr 연대측정 연구 (II): 지리산 남서부 일대 화강암질편마암 및 편마상 화강암류. KR-86-7. 한국동력자원연구소. p.7~33.
- 홍세선, 김용준, 김정빈, 1988, 남원지역에 분포하는 남원화강암체에 대한 암석지화학적 연구. 지질학회지. 24. p.132~146.
- 홍승호, 황상구, 1984, 구례도폭 지질보고서. 한국동력자원연구소. 22p.
- Cluzel, D., Lee, B.J., and Cadet, J.P., 1991, Indonesian dextral ductile fault system and synkinematic plutonism in the southwest of the Ogcheon belt (South Korea). Tectonophysics. 194. p.131~151.
- 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, p.20~26.
- Duncan, N., 1969, Engineering geology and rock mechanics. Leonard Hill. 252p.
- Farmer, I., 1983, Engineering behavior of rocks. Chapman and Hall. 493p.
- Irfan, T.Y., Dearman, W.R., 1978, The engineering petrography of a weathered granite in Cornwall, England. Q. J. Eng. Geol. 11, p.234~244.
- Kwon, S.T., Hong, S.S., 1993, Contrasting TiO<sub>2</sub>/MgO ratios in the Namwon granitic complex. Jour. Petrol. Soc. Korea. 2. p.41~51.
- Mendes, F.M., Aires-Barros, L., Rodrigues, F.P., 1996, The use of modal analysis in the mechanical characterization of rock masses. In: Proc. 1st Int. Cong. Rock Mech., Lisbon, 1, p.217~223.
- Merriam, R., Rieke, H.H., Kim, Y.C., 1970, Tensile strength related to mineralogy and texture of some granitic rocks. Eng. Geol. 4, p.155~160.
- Onodera, T.F., Asoka Kumara, H.M., 1980, Relation between texture and mechanical properties of crystalline rocks. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 22, p.173~177.
- Tugrul A., Zarif, I.H., 1999, Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. Eng. Geol. 51, p.303~317.
- Willard, R.J., McWilliams, J.R., 1969, Microstructural techniques in the study of physical properties of rocks. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 6, p.1~12. Lists of Tables

투 고 일 2004년 2월 13일

심 사 일 2004년 2월 14일

심사완료일 2004년 3월 8일



홍세선

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

305-350 대전광역시 유성구 가정동 30

Tel : 042-868-3102

Fax : 042-868-3037

E-mail : hss@kigam.re.kr

윤현수

한국지질자원연구원 지질기반정보연구부

305-350 대전광역시 유성구 가정동 30

Tel : 042-868-3123

Fax : 042-861-9714

E-mail : hyuns@kigam.re.kr

이병태

한국지질자원연구원 지하수지열연구부

305-350 대전광역시 유성구 가정동 30

Tel : 042-868-3136

Fax : 042-863-9404

E-mail : lbt@kigam.re.kr