

## 남산일대에 분포하는 화강섬록암 암석자원의 열극체계 및 물리적 특성

윤현수<sup>1</sup> · 홍세선<sup>1</sup> · 박덕원<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원 지질환경재해연구부, <sup>2</sup>한국지질자원연구원 지하수지열연구부,  
대전광역시 유성구 가정동 30, 305-350

### Fracture Pattern and Physical Property of the Granodiorite for Stone Resources in the Nangsan Area

Hyun Soo Yun<sup>1</sup>, Sei Sun Hong<sup>1</sup> and Deok Won Park<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Geological & Environmental Hazards Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources

<sup>2</sup>Groundwater & Geothermal Resources Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources,  
Gajeong-dong 30, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350 Korea

**요약:** 남산지역 일대의 주라기 흑운모 화강섬록암은 담회색, 치밀조직을 이루는 중립질암이다. 암체에 대한 광역적인 열극체계 분석결과는 다음과 같다. 열극의 주향은 빈도등급에 의하여 크게 세 방향으로 분류가 가능하다. 이들 열극은 빈도등급에 의하여 (1) N80°~90°E (1st-order) > (2) N70°~80°E (2nd-order) > (3) NS~N10°E (3rd-order)의 순으로 나타난다. 특히 이들 열극의 간격은 200 cm 미만의 것들이 대부분을 차지한다. 따라서 분석된 열극체계 및 간격으로 미루어 남산일대에서는 규격석보다 비규격석의 산출이 훨씬 많아 쇄석자원의 잠재성이 더 클 것으로 해석된다. 특히 밀집하는 기존 석산의 수직상 채석면의 방향도 빈도등급에 의하여 두 그룹으로 분류되어, (1) N14°W~N16°E (1st-order)와 (2) N78°E~N88°E (2nd-order)에서 뚜렷이 우세하다. 상기한 두 그룹의 수직상 채석면의 방향은 광역적 열극체계와는 다소 차이가 있다. 이와 같은 현상은 단위 석산에서 발달하는 미세균열의 배향성과 크게 관련되는 것으로 볼 수 있다. 남산지역의 물성 중에서 비중, 흡수율, 공극률, 압축강도, 인장강도와 마모경도는 각각 2.65, 0.28%, 0.73%, 1,628 kg/cm<sup>2</sup>, 100 kg/cm<sup>2</sup> 및 31의 평균값을 가진다. 공극률의 경우와는 달리, 남산 및 속리산지역의 화강암류는 상호 유사한 마모경도를 가진다. 이는 마모저항의 지표로 간주되는 석영과 알칼리장석의 모우드 값의 차이로 설명될 수 있다. 한편 남산지역의 연구를 통하여 규명된 수직상 채석면의 방향 및 각종 물성특성의 전반적인 이해는 차후 이 지역의 암석자원 활용 시 주요 정보로 활용될 것으로 기대된다.

**핵심어:** 화강섬록암, 열극, 비규격석, 수직상 채석면, 물성

**Abstract:** The studied Nangsan area is widely covered by the Jurassic biotite granodiorite, which is mainly light grey in color and medium-grained in texture. Results of the regional fracture pattern analysis for the granodiorite body are as follows. Strike directions of fractures show three dominant sets in terms of frequency order. The sets are in an order of a (1) N80°~90°E (1st-order) > (2) N70°~80°E (2nd-order) > (3) NS~N10°E (3rd-order). Spacings of the fractures are mostly predominant in less than 200 cm. Therefore, the granodiorite of the area has more potential for non-dimensional stones than dimension ones. And orientations of vertical quarrying planes can be also divided into two groups in terms of frequency: (1) N14°W~N16°E (1st-order) and (2) N78°E~N88°E (2nd-order). The orientations of the two groups are more or less different from those of the regional fracture patterns. These can be mainly attributed to the preferred orientations of microcrack developed in the quarries. Of physical properties, specific gravity, absorption ratio, porosity, compressive strength, tensile strength and abrasive hardness are 2.65, 0.28%, 0.73%, 1,628 kg/cm<sup>2</sup>, 100 kg/cm<sup>2</sup> and 31, respectively. Contrary to the porosity, both granites of the Nangsan and Sogrisan areas show almost similar values of the abrasive hardness. These can be explained by the differences of Qz + Af modes, which can be regarded as an index for abrasive resistance. Meanwhile, it is anticipated that comprehensive understanding of the orientations of vertical quarrying

\*Corresponding author: Tel. 82-42-868-3123, E-mail. pdw@kigam.re.kr

planes and characteristics of various physical properties will be utilized as an important information for stone resources.

**Key words:** Granodiorite, fracture, non-dimensional stone, vertical quarrying plane, physical property

## 서 언

연구지역은 행정구역 상 익산시 남산면을 중심으로 삼기면 및 금마면의 일부(이하 남산지역)를 포함한다. 남산지역 일대에는 남부의 미륵산(430.2 m)을 위시하여 남동부의 용화산(342 m) 및 306.3 m 고지 등이 발달하며 연구지역의 외곽일대에 분포하는 쥬라기 화강암류에 비하여 비교적 높은 산세를 이루고 있다. 한편 남산지역은 축척 1/25만 대전도폭(이병주 외, 1996)의 남서부, 축척 1/5만 강경도폭(이대성 외, 1980)의 남서부에 각각 해당된다. 이 곳의 쥬라기 화강암류는 서접한 함열도폭(정창희와 고석진, 1963), 북접한 논산도폭(장태우와 황재하, 1980) 그리고 남접한 삼례도폭(홍만섭과 김영원, 1969)으로 연장되어 넓은 분포를 이룬다.

이 연구에서는 남산지역에서 가장 넓게 분포하며, 암석자원의 주요 대상암인 흑운모 화강섬록암체에 대하여 전반적인 야외산상을 조사하였다. 이들 화강섬록암 분포지 전역에 걸쳐 비교적 큰 규모의 암반을 대상으로 이들 내에 발달하는 열극에 교차하도록 축선을 설치하여, 이와 교차하는 열극의 주향과 경사방향을 가능한 모두 측정하였다. 그리고 이들 축선과 교차하는 열극발달의 간격을 가능한 모두 측정하였다. 이러한 열극의 암반별 분포특성과 더불어 화강섬록암 전체의 열극체계 및 발달간격을 종합하여 암석자원의 잠재성을 제시하였다.

한편 남산지역의 남산리에는 이 화강섬록암을 대상으로 규격석, 쇄석을 가행하는 석산이 밀집 분포하고 있다. 이들 석산의 주요 채석단면에서 각각의 풍화대 발달에 의한 석재자원 부존심도와 특성을 논하였다. 석산별로 채석단면상에서 수직상 채석면의 방향을 가능한 모두 조사하였다. 이들 수직상 채석면의 방향과 흑운모 화강섬록암체 전반에서 발달하는 광역적인 열극체계와의 상관성을 해석하여 남산지역 일대의 채석방향의 길잡이로 제시하여 보았다.

또한 각각의 조사대상 암반에서 불력시료를 선별채취하여 이들의 물성을 시험하였다. 물성성분은 비중, 흡수율, 공극률, 압축강도, 인장강도 및 마모경도 등이 시험되었으며, 이들의 변화특성과 상호 관련성 등을 해석하였다.

남산지역과 관련된 기존의 연구로는 조기만과 좌용

주(2005)에 의해 미륵산의 지질특성을 파악하여 미륵산지 석탑에 사용된 석재의 공급지가 보고된 바 있다. 이 연구에서는 화강섬록암 암석자원에 대한 광역적인 열극체계 및 열극간격, 단위석산의 채석진행 방향, 그리고 물성특성 등에 관한 전반적인 연구를 실시하였다. 특히 광역적인 열극체계와 수직상 채석면의 방향성에 대한 상관성의 도출 결과는 향후 남산지역 일대의 석재산업과 관련된 암석자원 활용 시에 주요 지표가 될 수 있을 것으로 보인다.

## 지질개요

연구지역의 구성암은 시대미상의 옥천층군, 쥬라기의 화강암류, 백악기의 암맥류 그리고 제4기의 충적층 등으로 구성된다(이대성 외, 1980; Fig. 1).

## 시대미상의 옥천층군

강경도폭(이대성 외, 1980)의 남동부일대에 넓게 분포하는 변성퇴적암류이다. 이 암류는 상호 정합적인 관계를 이루는 대향산 규암, 문주리층, 창리층 및 화산리층 등으로 구성된다. 연구지역 내에서는 문주리층만이 분포하며, 동부의 여산리-용화리 일대에서 대체로 남북향을 이루며 분포한다. 이 층은 대향산 규암의 상부층으로서, 주로 운모편암류로 구성된다.

## 쥬라기의 화강암류

이 암류는 남산일대에서 가장 넓게 분포하며 흑운모 화강섬록암과 복운모 화강암으로 구성된다. 흑운모 화강섬록암은 주 연구대상암으로서 연구지역내에서 가장 넓은 분포지역을 이룬다. 이 암은 담회색, 회색, 담홍색을 띠는 중립질로서 부분적으로 반상조직을 이룬다. 염기성 및 산성의 암맥류가 여러 곳에서 발달하고 있으며, 유색광물 농집부(mafic enclave)가 수 cm 이하의 크기로 수반되기도 한다. 드물게 편마암류 포획체가 10여 cm의 크기로 함유되기도 한다. 이 흑운모 화강섬록암은 석영, 알칼리장석, 사장석, 흑운모, 저어콘, 갈륨석과 불투명광물 등으로 구성된다. 이 중에서 알칼리장석은 미사장석과 퍼다이트이며, 소량으로 수반되는 미립질의 백운모는 이차적 변질산물로 해석된다. 남산면의 남산리 일대에는 이 흑운모 화강섬록암을 대상으로 하는 석재 및 쇄석 석산이 밀집하여 위치한다.

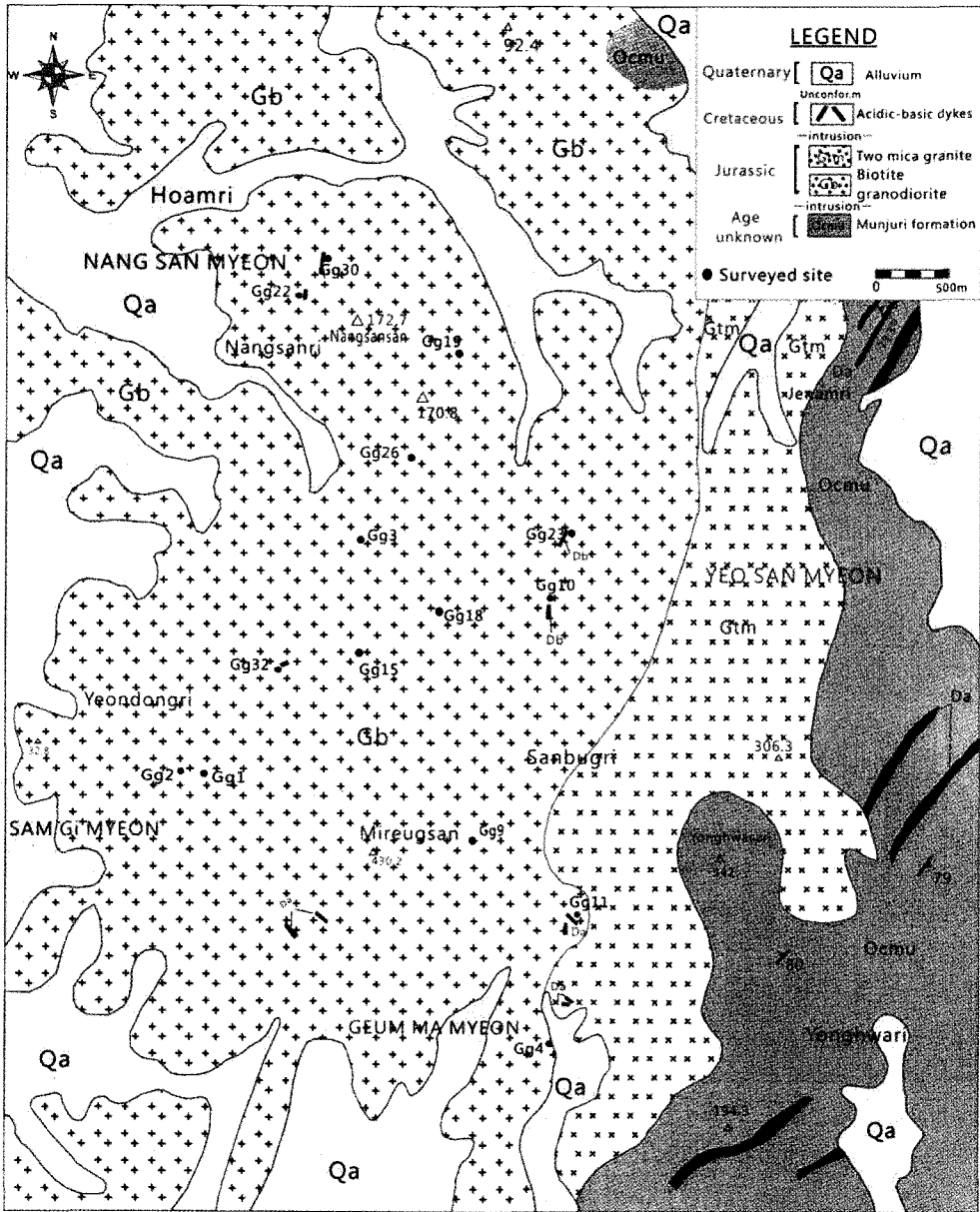


Fig. 1. Geologic map of the Nangsan area. Fracture-measuring sites are shown. Among them, sampling sites are Gg10, 18, 19, 23, 26 and 30.

복운모 화강암은 연구지역의 동부에서 옥천층군의 문주리층을 관입하며 대체로 남북방향으로 길게 분포한다. 전반적으로 흑운모와 백운모가 함께 수반되는 경향을 보인다. 이 암은 담회색을 띠는 중립질 암으로 곳에 따라 유색광물 농집부와 장석반정이 수반되기도 한다. 대체로 심화된 풍화양상과 더불어 간혹 타포니 구조(Twidale, 1982)가 발달되기도 한다.

한편 이들 흑운모 화강섬록암과 복운모 화강암은 그 접촉부에서는 상호 점이적인 관계를 이루나, 후자가 전자보다 후기의 암체로 해석되는 산상을 이룬다. 즉 미륵산의 남동부인 독점부락에서는 흑운모 화강섬록암체 내에 맥상의 복운모 화강암이 발달되며, 이는 후자에서 분기된 관입암맥으로 보인다.

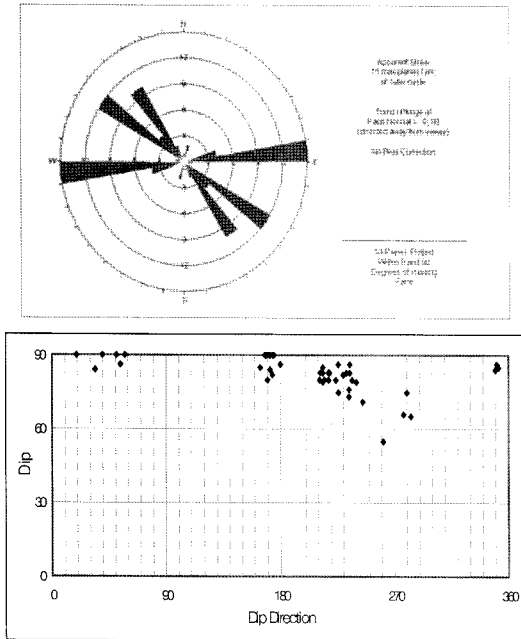


Fig. 2. Fracture system analysis for Gg1.

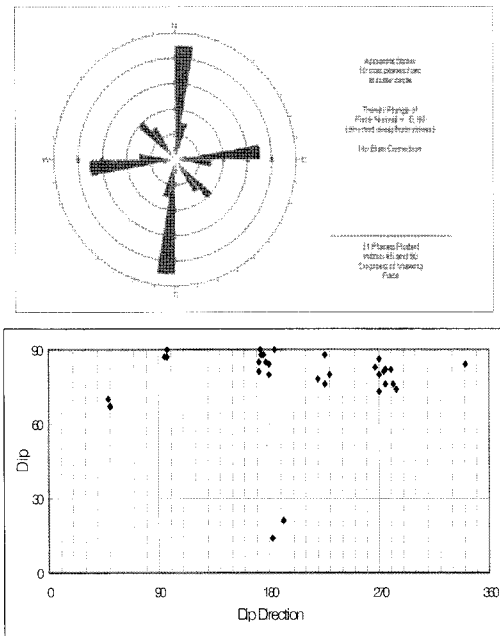


Fig. 3. Fracture system analysis for Gg2.

**백악기의 암맥류와 제4기의 충적층**

암맥류는 염기성과 산성암이다. 전자는 국부적으로 발달하며, 암회색이나 녹색을 띠며 주변의 흑운모 화강섬록암을 관입한다. 곳에 따라 주변 흑운모 화강섬록암과의 접촉부위에서는 파쇄대를 이루기도 한다. 산성 암맥류는 도처에서 발달하며 장석반암, 규장암, 페그마타이트, 애플라이트와 석영맥 등이 이에 해당된다.

제4기의 충적층은 자갈, 모래 및 점토류로 구성되며, 이 곳의 남서측과 북서측에 발달하는 계곡부와 하천부를 따라 분포한다.

**노출 암반별 열극체계**

열극의 방향성 측정은 비교적 큰 규모의 노출암반을 대상으로 하였고, 각 암반에서 가장 많은 빈도를 이루는 방향과 가능한 직교하도록 측선을 설치하였다. 암반의 노출방향이 변화되는 지점에서는 이에 맞추어 측선을 연장 및 설치하였다. 측정된 열극은 대부분 절리로서 연장이 약 3m 이상인 것들을 대상으로 하였으며, 열극 밀집대를 이룬 부위에서는 그 중의 대표 방향으로 대신하였다. 흑운모 화강섬록암의 분포지 전역에 걸쳐 모두 13개의 암반을 택하였다(Fig. 1). 각 암반에서 발달하는 열극의 주향/경사, 간격 그리고 산출 특성 등은 다음과 같다.

**Gg1, 2**

Gg1에서 열극의 주향은 N80°E~EW > N50°~60°W > N30°~40°W의 순으로 그 산출빈도가 우세하며, 경사는 70°~90°의 것들이 대부분을 차지한다(Fig. 2). 이들주 열극 사이에는 이들과 평행한 열극이 단속적으로 발달되기도 한다. 그리고 붉은 산화착색 현상은 동서향보다 북서향의 열극을 따라 빈번하게 발달한다. 열극의 간격은 0.02~0.55(평균 0.20)m로서 좁은 간격(Brown, 1981)을 이루는 편이다.

Gg2에서 열극의 주향은 NS~N10°E > N80°E~EW > N30°~40°W의 순으로 나타난다. 열극의 경사는 거의가 고각도로 발달하여 70°~90°의 것들이 대부분을 이룬다(Fig. 3). 열극의 간격은 0.2~5.3m의 분포범위를 이루며, 평균 1.18m를 가진다. 이들 중에서 1.5~5.3m의 매우 넓은 간격(Brown, 1981)을 이루는 것들은 부분적으로 발달한다.

**Gg3, 4**

Gg3에서 열극의 주향은 N70°E~EW의 것들이 대부분을 차지하며, NS~N10°W는 일부 발달한다. 경사는 70°~90°의 고각도의 것들이 대부분을 이룬다(Fig. 4). 열극을 따라 부분적으로 심화된 풍화대를 이루기도 하며, 국부적으로 붉은 착색대가 수반되기도 한다. 열극의 간

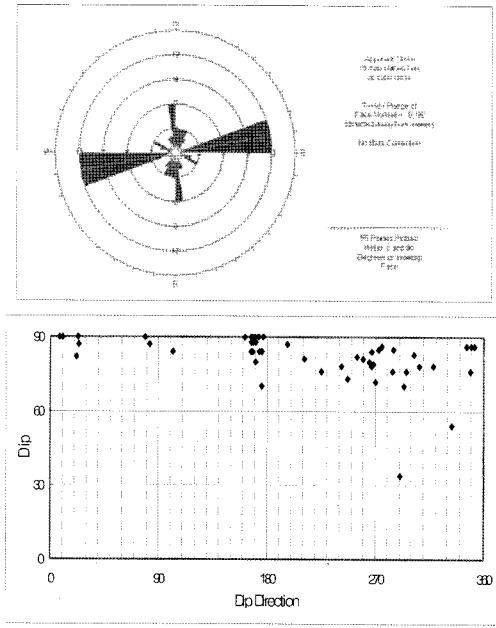


Fig. 4. Fracture system analysis for Gg3.

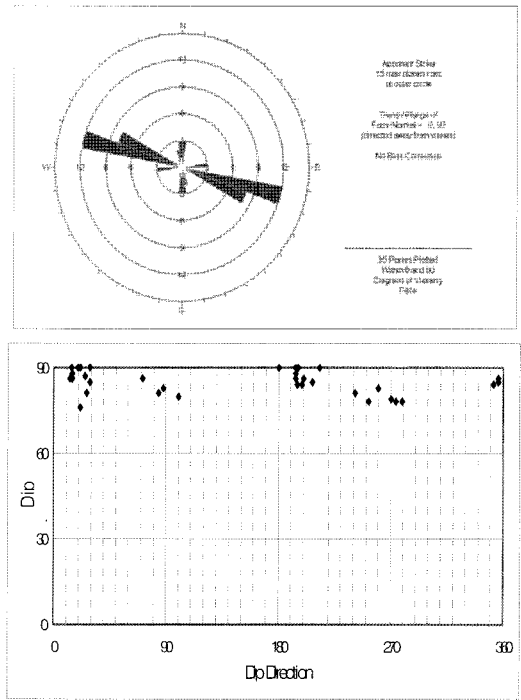


Fig. 6. Fracture system analysis for Gg9.

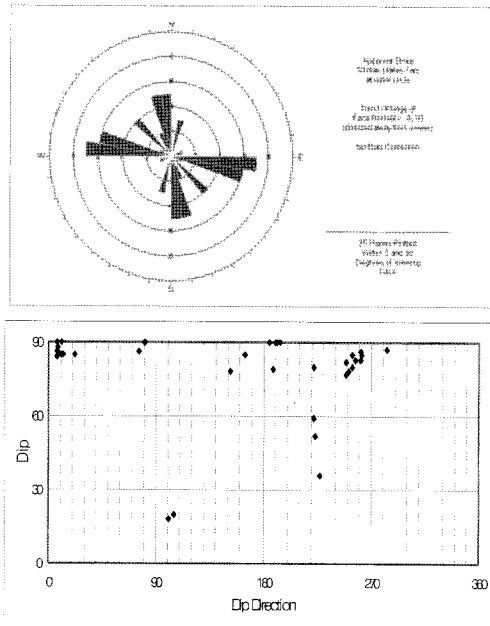


Fig. 5. Fracture system analysis for Gg4.

격은 0.1~3.3 m의 분포범위를 이루나, 평균 0.72 m의 좁은 간격을 이루는 편이다.

Gg4에서 열극의 주향은 N70°W-EW, NS-N20°W에서 가장 우세하며, 경사는 80°~90°의 것들이 대부분을 이룬

다(Fig. 5). 일부 열극을 따라 붉은 산화착색대가 수반되기도 한다. N70°W, N83°W와 N8°W 방향의 단층이 발달되며, 이들 면을 따라 견운모화 등의 변질작용 등이 수반된다. 열극의 간격은 0.1~11.7(평균 1.85) m로서 넓은 변화폭을 이루며, 이 중에서 4.2 m, 6.6 m 그리고 11.7 m의 큰 간격을 이루는 것 들은 부분적으로 발달한다.

Gg9, 10

Gg9에는 장석반정들이 종종 수반되며, 이들은 반자형 내지 타형으로서 2 cm 정도의 크기를 이룬다. 암반내 열극의 주향은 N70°~80°W와 N60°~70°W가 뚜렷이 우세하며, NS와 EW 방향에 가까운 것들도 일부 발달된다. 경사는 모두 70°~90°를 이룬다(Fig. 6). 이들 열극을 따라 석영 세맥이 부분적으로 수반된다. 열극의 간격은 0.2~11.7(평균 1.78)m로서 넓은 변화폭을 이루나, 이들 중에서 10.7 m와 11.7 m의 큰 간격을 이루는 것 들은 극부적으로 발달한다.

Gg10에서 열극의 주향은 N80°E-EW, N80°W-EW, N70°E-N80°E 등이 가장 우세하며 이들은 거의 비슷한 산출빈도를 이룬다. 그 외 N10°W와 N30°E 등도 일부 발달한다. 경사각은 거의가 80°~90°로 발달한다(Fig. 7). 열극의 간격은 0.1~6.3 m로서 다소의 변화폭을 이루나,

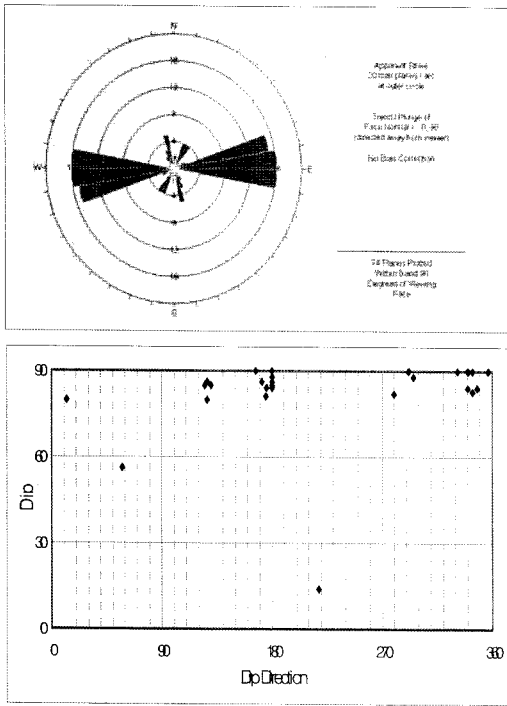


Fig. 7. Fracture system analysis for Gg10.

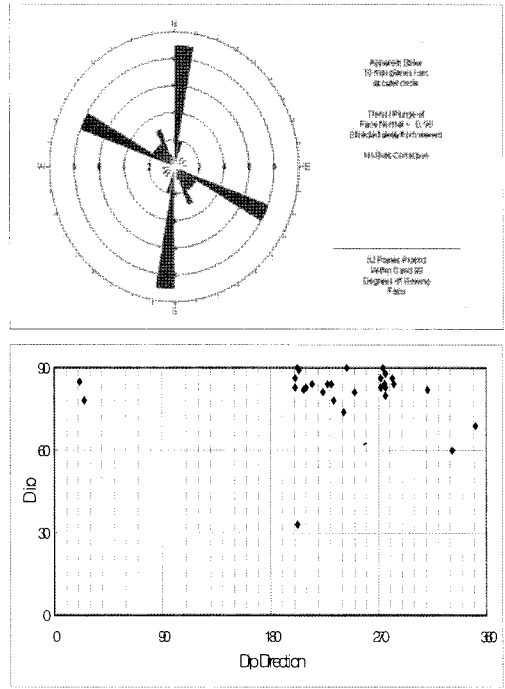


Fig. 8. Fracture system analysis for Gg11.

평균값은 1.17 m로서 좁은 간격(Brown, 1981)을 가진다. 이들 열극사이에서는 수 cm 간격의 열극 밀집대가 발달되기도 한다.

Gg11, 15

Gg11에서 열극의 주향은 NS-N10°E와 N60°~70°W에서 뚜렷이 증가한다. N20°~30°W에서도 다소 산출되며, 그 외 N30°~60°W에서는 거의 같은 산출빈도를 이룬다. 경사는 거의 대부분이 70°~90°로 발달한다(Fig. 8). 열극의 간격은 0.1~1.15 m로서 좁은 변화폭을 이루며, 0.48 m의 평균값을 가진다.

Gg15에서 주향은 NS-N10°E, N40°~50°W, N80°~90°W가 우세하며, 그 밖에 이들 주향방향과 유사한 방향으로도 일부 발달한다. 경사는 70°~90°가 거의 대부분을 이룬다(Fig. 9). 열극의 간격은 0.1~3.85 m로서 비교적 좁은 변화폭을, 그리고 0.64 m의 평균값을 가진다. 암반의 서측부에서는 열극 밀집대가 발달되기도 한다.

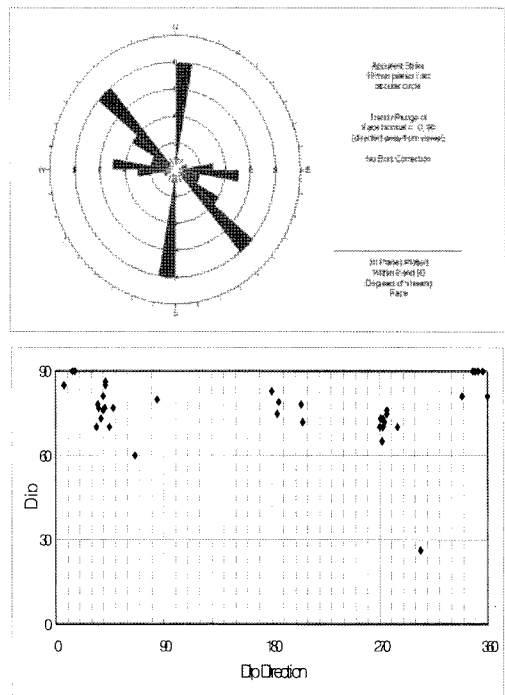


Fig. 9. Fracture system analysis for Gg15.

Gg18, 19

Gg18에서 열극의 주향은 N80°E-EW와 N70°~80°E가 특히 우세하며, 그 밖에 NS 및 NW 방향으로도 일부

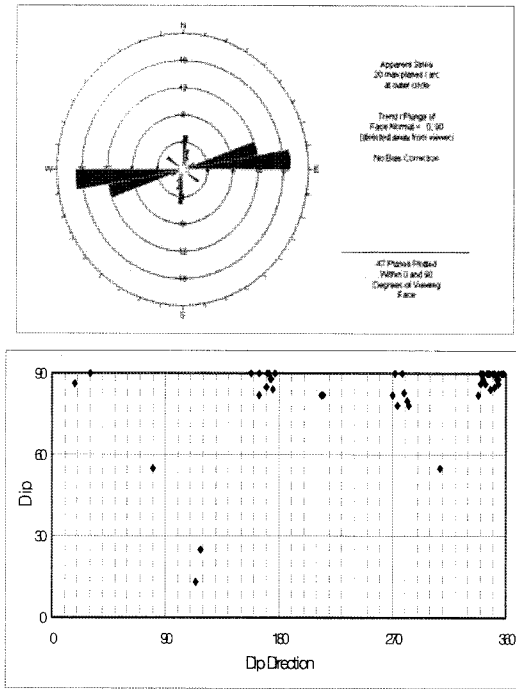


Fig. 10. Fracture system analysis for Gg18.

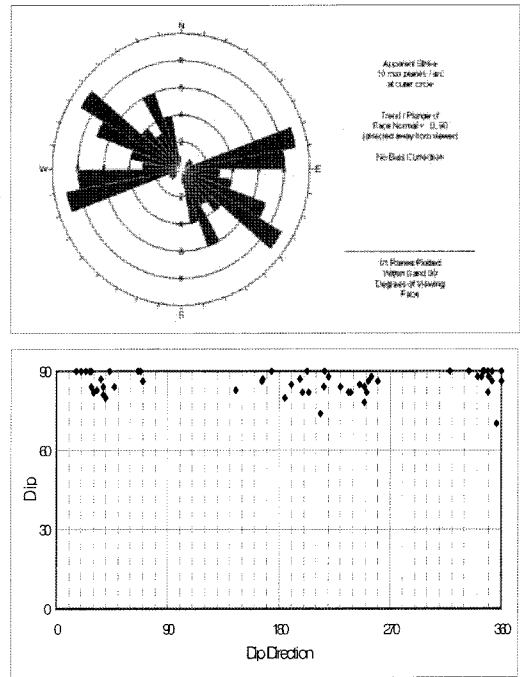


Fig. 11. Fracture system analysis for Gg19.

발달한다. 경사는 70°~90°가 대부분을 이룬다(Fig. 10). 일부 단층면을 따라 견운모와 녹염석 등의 변질광물이 발달되기도 한다. 열극의 간격은 0.2~4 m로서 비교적 좁은 변화폭을, 그리고 평균 0.91 m를 이룬다.

Gg19에서 열극의 주향은 N50°~60°W, N70°~80°E, N80°~90°E, N60°~70°W 및 N20°~30°W 등에서 우세하다. 그 밖에 NNW, NW 및 WNW의 방향으로도 일부 발달한다. 경사는 70°~90°의 것들이 대부분을 이룬다(Fig. 11). 열극의 간격은 0.1~7.4 m로서 다소의 변화폭을 이루며, 평균 0.85 m로 발달한다. 2.2~7.4 m의 간격을 이루는 것들은 국부적으로 발달한다.

Gg22, 23

Gg22에서 열극의 주향은 NS~N10°E가 거의 대부분을 차지하며, 일부는 NS~N10°W와 N70°E 방향으로 일부 발달한다. 경사는 70°~90°를 이룬다(Fig. 12). 대부분의 열극은 0.2~3.06 m의 간격으로 발달하며, 염기성 암맥이 수십 cm의 폭을 이루며 수 개조가 수반된다. 암반의 동측부에서는 수십 cm 폭의 염기성 암맥과 다소 불규칙한 주향을 가진 열극이 수반되기도 한다.

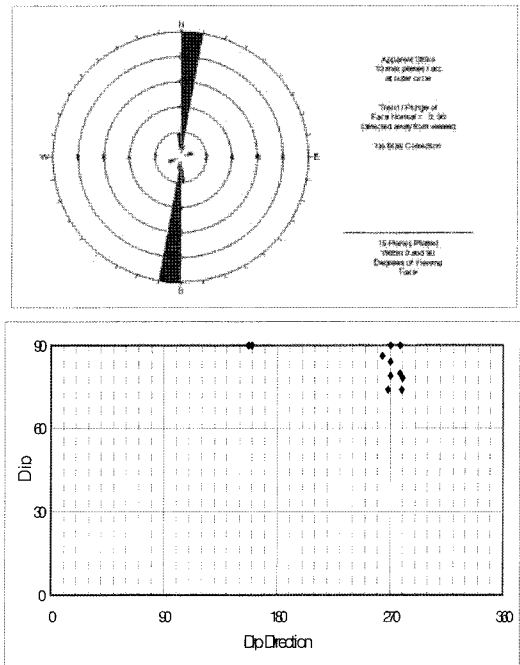


Fig. 12. Fracture system analysis for Gg22.

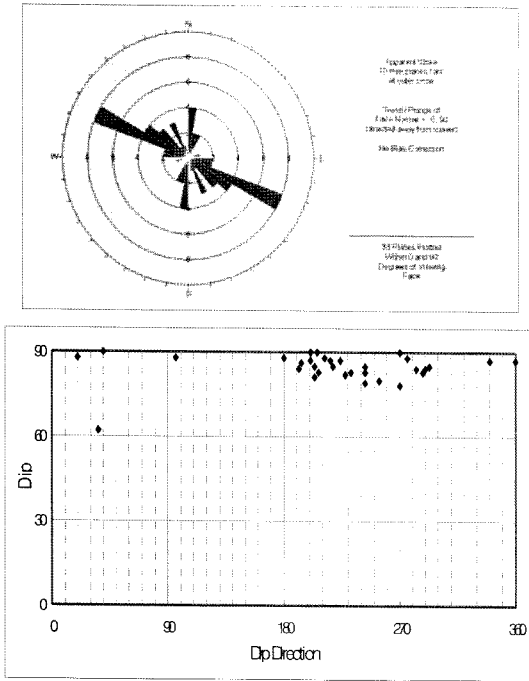


Fig. 13. Fracture system analysis for Gg23.

Gg23에서 열극의 주향은 N60°~70°W에서 뚜렷이 우세하며, NS~N10°E와 N50°~60°W에서도 다소의 산출빈도를 보인다. 경사는 거의가 80°~90°로 발달한다(Fig. 13). 열극을 따라 부분적으로 붉은 산화대와 변질대가 수반되기도 한다. 암반내 수반되는 염기성 암맥의 주변을 따라 단층선 및 변질작용 등이 수반된다. 열극의 간격은 0.04~12.91 m로서 넓은 변화폭을, 그리고 평균 1.18 m를 이룬다. 이들 중에서 6.0 m, 8.1 m과 12.9 m 등이 발달되어, 부분적으로 넓은 간격을 이루기도 한다.

**Gg32**

Gg32에서 열극의 주향은 N70°~80°E 및 N80°~90°E가 거의 대부분을 이루며 이들은 상호 유사한 산출빈도를 이룬다. 경사는 80°~90°가 대부분을 이룬다(Fig. 14). 간혹 수반되는 페그마타이트 맥은 N70°E/수직을 이루어 우세한 열극의 방향을 따라 관입한 것으로 나타난다. 열극의 간격은 0.06~2.2 m로서 좁은 변화폭을 이루며, 평균 0.46 m의 매우 좁은 간격(Brown, 1981)으로 발달한다.

**광역적 열극체계 및 간격**

흑운모 화강섬록암체의 각 노출암반에서 측정된 열극의 자료를 모두 종합하여 광역적인 열극체계를 도출

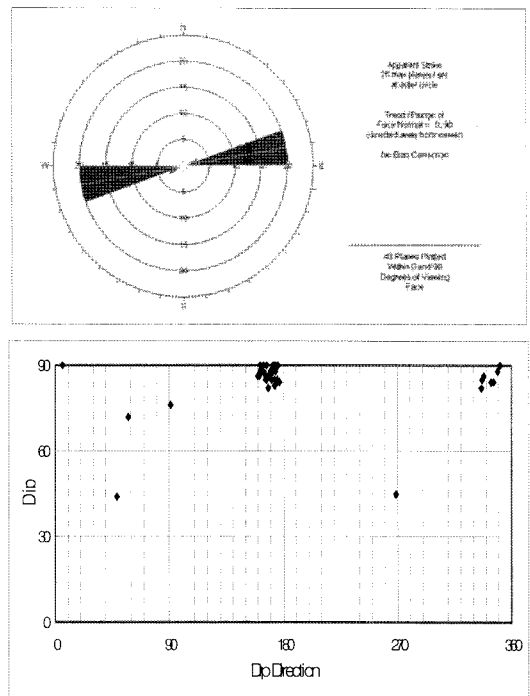


Fig. 14. Fracture system analysis for Gg32.

하였다(Fig. 15). 측정된 열극면의 주향은 (1) N80°~90°E > (2) N70°~80°E > (3) NS~N10°E의 순으로 산출빈도수가 감소한다. 그 밖에 NS~EW 방향은 모두 방향에 걸쳐 비슷한 산출빈도를 이룬다. 경사는 대부분 거의의 모든 방향에 걸쳐 발달하며, 그 중에서 (1) 160°~290°, (2) 10°~100° 그리고 (3) 330°~360°에서 특히 집중 분포한다. 경사각은 70°~90°가 가장 우세하며 30°~60° 및 10°~30°의 것들도 일부 발달된다.

한편 각 노출암반에서 측정된 열극의 간격을 모두 7 등급(Brown, 1981)으로 구분하여, 각 등급별로 산출빈도를 도출하였다(Table 1). 열극간격의 빈도율은 20~60 cm, 60~200 cm와 6~20 cm의 등급에서 우세하며, 이들은 각각 34.1%, 32.7%와 22.4를 차지하여 전체의 89.2%를 이룬다. 그리고 2~6 cm와 <2 cm 간격의 등급은 전체의 1.6%를 차지한다. 이와 달리 매우 큰 간격(very wide)과 아주 큰 간격(extremely wide)에 해당하는 200~600 cm와 >600 cm는 모두 9.2%를 차지하나, 석재대상 규격석의 잠재성이 가장 높은 후자는 전체의 1.5%로 분포성이 낮다.

이러한 열극의 주향방향, 경사방향과 경사각, 간격 등을 고려해 볼 때 남산일대에서는 규격석보다 열극간격이 조밀한 원인에 기인되는 쇄석자원의 잠재성이 상



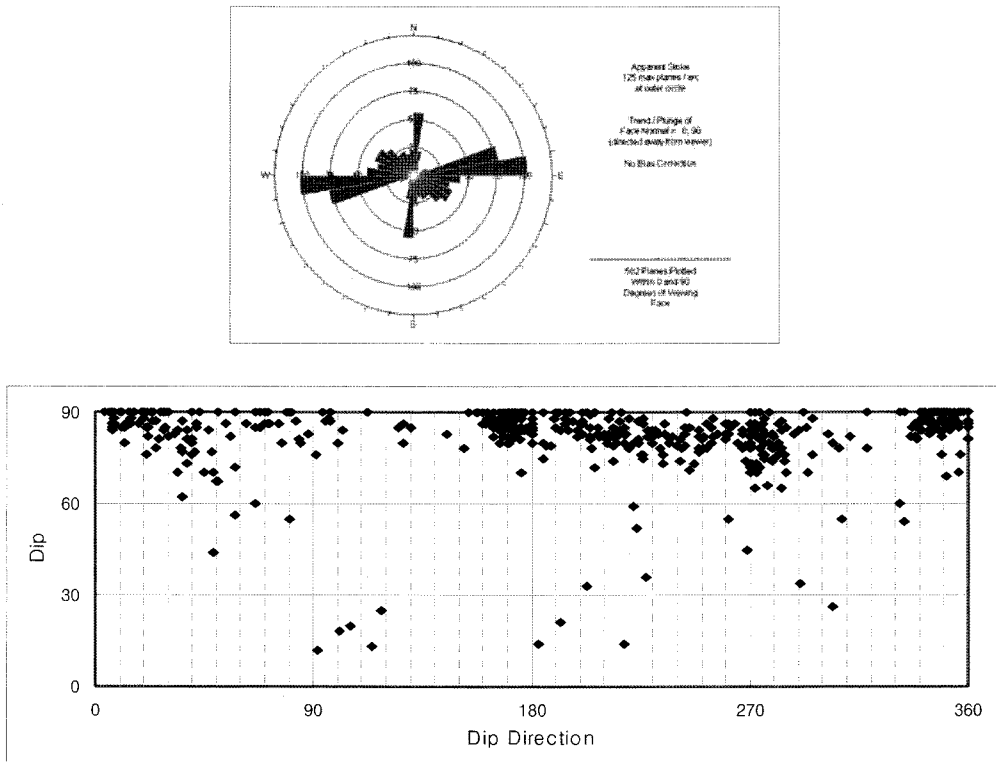


Fig. 15. The integrated fracture system analysis for the Nangsan biotite granodiorite.

Table 1. Frequency of the fracture spacing in the biotite granodiorite.

Class	Classification	Frequency (%)
1	<2 cm	1 (0.2)
2	2~6 cm	8 (1.4)
3	6~20 cm	131 (22.4)
4	20~60 cm	199 (34.1)
5	60~200 cm	191 (32.7)
6	200~600 cm	45 (7.7)
7	>600 cm	9 (1.5)

Classification: Based on Brown (1981).

대적으로 훨씬 클 것으로 해석된다. 국내 석산에서는 무열극대에 가까운 정도로 열극 발달 간격이 큰 암반을 대부분 그 대상으로 하고 있다. 열극은 암석자원에서 채석효율과 생산성에 큰 비중(Nelson, 1985)을 지닌다. 이 곳 일대에서는 쇄석 석산이 도처에 위치하고 있다.

#### 단위 석산별 풍화심도, 열극 및 수직상 채석면

국내의 화강암 석산에서는 임의의 방향으로 채석하

지 않고 암체의 내부에 잠재하는 활석이 용이한 소위 “결”(rock cleavage)을 이용하여 정방형의 암괴를 채석하고 있다. 채석작업의 상대적인 용이도에 의하여, 가장 분리가 용이한 방향을 1번 결, 그 다음으로 용이한 방향을 2번 결, 채석의 용이도가 가장 낮은 방향을 3번 결 등으로 호칭된다. 영어권의 채석장에서도 상기한 1번 결, 2번 결 및 3번 결에 해당되는 용어로 리프트(rift), 그레인(grain) 및 하드웨이(hardway)로 호칭되며, 이들 3개의 면은 상호 직교하는 것을 전제로 한다. 따라서 화강암체의 상대적인 활석의 용이도는 일반적으로 1번 결(rift, 이하 리프트)>2번 결(grain, 이하 그레인)>3번 결(hardway, 이하 하드웨이)의 순으로 된다. 이들 결은 면 구조를 형성하여 리프트 면을 1번 면, 그레인 면을 2번 면, 하드웨이 면을 3번 면의 의미로 각각 사용하고지 한다. 이들 3 종류의 채석면은 일반적으로 상호 수직관계를 형성한다. 결의 발달은 국내의 모든 화강암체에서 공통적인 현상이며, 특히 수직결의 방향성은 지역적으로 상이하다(박덕원 외, 2004).

한편 국내에서 가장 일반적인 석산의 유형에 속하는 수평의 채석면이 1번 면인 경우(Fig. 16)에는 수직의 2

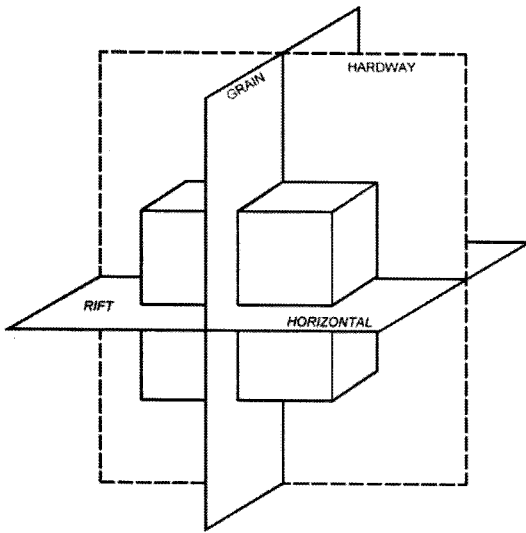


Fig. 16. Diagram of the orthogonal rift, grain and hardway planes showing their approximate orientations.

번 면 그리고 수평의 채석면이 2번 면인 경우에는 1번 면에 해당되는 한 방향의 대표적인 수직 결의 방향을 측정하였다. 즉 수직의 1번 및 2번 면의 방향(이하 수직상 채석면)과 이들 면의 방향과 직교하는 수직상 채석면(이하 막장면)의 방향을 각각 측정하였다. 결은 일반적으로 화강암체의 노두에서도 확인이 가능하나, 경

험상 결의 방향과 평행하게 형성된 채석면에서 보다 식별이 용이하다. 암체 내에는 다수의 열린 미세균열 조(set)가 분포하며, 이중 가장 탁월한 방향의 열린 미세균열의 면이 채석면으로 이용된다(박덕원, 2007).

기존의 석산은 혹은도 화강섬록암체의 북부에 해당되는 낭산면 낭산리에 밀집한다. 수직상 채석면의 방향은 모두 14개의 석산에서 측정하였으며, 일부 석산에서는 상기한 수직상 채석면과 직교하는 막장면의 방향도 병행하여 측정하였다(Table 2).

각 석산의 채석 단면에서 확인된 석재자원의 부존심도 및 암상변화 등은 다음과 같다. 여기서는 편의상 이들 석산이 속하는 해당광구의 순으로 기재하였다.

강경 118호

이 광구에는 내산 및 한성 그리고 1개소의 휴석산 등 모두 3개소의 석산이 위치한다(Table 2). 내산에서의 채석대상은 하부 작업장이다. 이 작업장에서 확인된 풍화대의 두께는 지표에서 3~4m이며 비교적 열극의 발달이 미약한 암반을 그 채석대상으로 한다. 암석 판정상 석재자원 분류에 자주 이용되는 분류(Hunt, 1984)는 경암(FR, fresh), 보통암(SWR, slightly), 연암(MWR, moderately)과 풍화암(HWR, highly weathered rock)이다. 이 중에서 풍화대는 후자 둘에 해당되는 부분으로 석재자원 측면에서 보면, 거의 폐석에 가까운 암석자원에 해당된다. 수직상 채석면의 주향/경사는

Table 2. Orientations of vertical quarrying planes and weathering depth in each quarry.

Quarry name	Quarrying plane		Weathering depth (m)	Claim no.
	Strike	Dip		
Naesan	N8°~10°E	ver	3~4	Ganggyeong 118
Hanseong	N2°W	ver	2~3	"
Closed	N8°W	ver	-	"
Geumsan	N16°E* N76°W	ver	3~4	Ganggyeong 127
Baegsan	N14°W*	ver	-	"
Jeonbug	N36°W	ver	2~4	"
Closed	N78°E	ver	2~2.5	"
Closed	N79°~82°E	ver	-	"
Yongsan	N1°~4°W N84°~85°E*	ver	3~4	Ganggyeong 128
Donggwang	N3°~5°E	ver	4~6	"
Closed	N3°~9°E	ver	1~5	"
Pyeongtaeg	N8°~10°W	ver	3~4	"
Samgwang	N1°~6°W	ver	2~5	"
Yeongpung	N6°W* N86°~88°E	ver	2~5	"

자료 수정: 박덕원과 김경수(1994). \*: Blind end of vertical quarrying plane. ver: vertical.

$N8^{\circ}\sim 10^{\circ}E$ /수직을 이루며, 채석단면에서는  $N4^{\circ}W/88^{\circ}NE$ 의 단층면이 발달한다.

한성에서 채석대상은 하부작업장이다. 채석대상암체에서는 열극발달이 미약한 편이며, 특히 폭 10 m 정도의 무열극대의 부위를 형성한다. 채석단면상에서 풍화대의 두께는 약 2~3 m이며, 수직상 채석면의 방향은  $N2^{\circ}W$ 이다. 한편 휴석산의 채석면에서는 주로 연암으로 구성된 풍화대가 형성되어 있다. 수직상 채석면의 방향은  $N8^{\circ}E$ /수직을 형성하며, 이 방향으로 단층면이 발달한다.

### 강경 127호

이 광구에는 금산, 백산 및 전북 그리고 2 개소의 휴석산 등 모두 5개소의 석산이 위치한다(Table 2). 금산의 대상암반 중 하부 작업장에서는 두께 3~4 m 정도의 풍화대가 형성되어 있다. 수직상 채석면의 방향은  $N76^{\circ}W$ /수직을 이루며, 이는 열극의 주향/경사방향과 일치한다. 상부 작업장은 두께 1~3 m의 풍화대를 이루며, 막장면은  $N16^{\circ}E$ /수직을 이룬다. 백산은 상부와 하부 작업장으로 구분된다. 상부 작업장에서는 두께 2~6 m의 풍화대가 형성되어 있다. 하부작업장에서 확인된 수직상 채석면의 방향은  $N76^{\circ}E$ , 이에 직교하는 막장면은  $N14^{\circ}E$ 를 각각 형성한다.

전북의 채석단면에서는 두께 2~4 m의 풍화대가 확인된다. 전반적인 채석 진행방향은 능선방향과 일치하며, 수직상 채석면은  $N36^{\circ}W$ /수직을 이룬다. 채석단면에서는  $N36^{\circ}W/84^{\circ}NE$ 의 단층면이 발달하여, 상기한 채석면의 방향과 일치하는 분포특성을 보인다. 한편 휴석산은 모두 2개소로서, 그 중 하나의 채석단면에서는 두께 2~2.5 m의 풍화대가 형성되어 있으며, 수직상 채석면의 방향은  $N78^{\circ}E$ /수직을 이룬다. 다른 하나의 채석단면에서는  $N79^{\circ}\sim 82^{\circ}E$ /수직의 단층면과 수직상 단층면은 상호 거의 일치하는 분포특성을 보인다.

### 강경 128호

이 광구에는 용산, 동광, 삼광, 영풍, 평택 및 휴석산 등 모두 6 개소 석산이 인접, 위치한다(Table 2). 용산에서는 두께 3~4 m의 풍화대를 이루며, 채석대상 암반은 비교적 열극발달이 미약하다. 수직상 채석면의 방향은  $N7^{\circ}\sim 10^{\circ}W$ , 이와 거의 직교하는 막장면은  $N84^{\circ}\sim 85^{\circ}E$ 를 이룬다. 동광에서는 두께 4~6 m의 풍화대를 형성하며, 수직상 채석면의 방향은  $N3^{\circ}\sim 5^{\circ}E$ 이다. 비교적 열극의 발달이 미약한 암반을 채석대상으로 한다.

삼광과 영풍은 낭산산에서 북동향으로 발달한 지맥의 능선부를 채석대상으로 한다. 삼광에서 측정대상은

상부작업장이다. 이 작업장의 채석단면에서는 두께 2~5 m의 풍화대가 형성되어 있으며, 수직상 채석면의 방향은  $N3^{\circ}\sim 8^{\circ}W$ 를 이룬다. 영풍에서는 두께 2~5 m의 풍화대가 형성되어 있으며, 수직상 채석면의 방향은  $N86^{\circ}\sim 88^{\circ}E$ /수직을 이루어 수직상 절리의 주향/경사 방향과 거의 일치한다. 그리고 수직상 채석면과 직교하는 막장면은  $N6^{\circ}W$ /수직을 이룬다. 평택의 채석단면에서는 3~4 m의 풍화대가 형성되어 있다. 비교적 열극의 발달이 미약한 암반을 대상으로 하며, 수직상 채석면의 방향은  $N8^{\circ}\sim 10^{\circ}W$ 를 이루어 주능선 방향과 사교한다.

휴석산에서는 두께 1~5 m의 풍화대가 형성되어 있으며, 수직상 채석면의 방향은  $N3^{\circ}\sim 9^{\circ}E$ 를 이룬다. 채석단면에서는 상호 거의 직교하는  $N2^{\circ}E/70^{\circ}NW$ 와  $N86^{\circ}W/3^{\circ}\sim 5^{\circ}NE$ 의 단층면이 발달하며, 이로 인하여 분할된 암괴는 판상이 우세하다.

한편 상기한 낭산리 일대의 기존 석산에서 형성되어 있는 채석단면에서 확인된 풍화대의 두께는 전술된 바와 같이 대부분 두께 1~6 m 정도의 얇은 심도분포를 이루며, 암석판정상 석재자원으로 이용되는 보통암과 경암의 부존심도가 비교적 균일하게 발달되는 분포성을 확인할 수가 있다.

### 수직상 채석면과 열극체계

낭산리 일대에서 밀집하는 14개소의 기존 석산에서 형성된 수직상 채석면의 방향을 종합하여 분석한 결과, 다음과 같은 분포특성을 도출하였다. 즉 수직상 채석면의 방향은 크게 4 그룹으로 대별되며, (1)  $N14^{\circ}W\sim N16^{\circ}E$ (11개소, 65%) > (2)  $N79^{\circ}E\sim N88^{\circ}E$ (4개소, 23%) > (3)  $N76^{\circ}W$ (1개, 6%) > (4)  $N36^{\circ}W$ (1개소, 6%)의 순으로 빈도 수가 뚜렷이 감소한다. 상기한 1차 우세방향 (1)과 이차 우세방향 (2)의 분포율은 전체의 88%이며, 그 중에서 (1)의 분포율이 가장 우세하다(Fig. 17).

한편 상기한 수직상 채석면의 1차 및 2차 우세방향과 광역적인 열극체계도에서 확인된 1차 및 2차 우세방향성(Fig. 15)을 상호 비교한 결과, 다음과 같은 분포성에 대한 상관성을 확인할 수가 있다. 수직상 채석면의 2차 우세방향은 광역적인 열극체계의 1차 우세방향과 거의 일치하는 반면, 수직상 채석면의 1차 우세방향은 광역적인 열극체계의 2차 우세방향과 유사하다. 전반적으로 열극의 방향의 변화폭이 훨씬 적고, 상대적으로 다른 방향에 비하여 집중도가 높은 NS와 유사한 방향으로 수직상 채석면이 형성되어 있음을 알 수가 있다.

한편 화강암 석산의 수직상 채석면은 단층과 절리구조와 일치하는 경우도 간혹 볼 수가 있다. 그러나 화강암 석산의 무열극대에서 형성된 수직상 채석면의 방

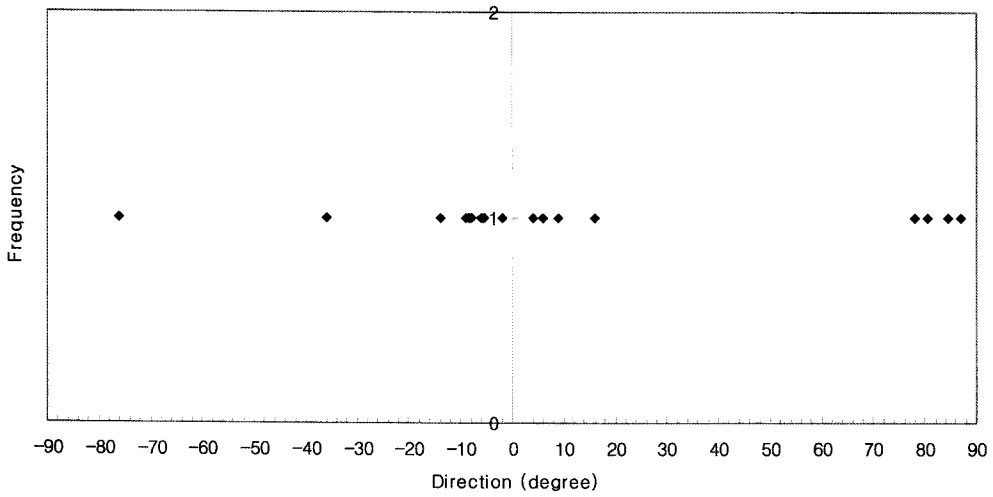


Fig. 17. Directions of quarrying planes in the biotite granodiorite. 0, + and - mean N, E and W, respectively.

향은 결의 방향과 크게 관계된 것으로 탁월한 밀도를 보이는 미세균열의 발달이 주요인(박덕원 외, 2001, 2004)으로 작용한 것으로 나타난다. 특히 수직상 채석면의 1차 우세방향인 N14°W~N16°E는 전국의 주라기 화강암류의 석산에서 형성된 수직상 채석면 즉, 수직의 1번 및 2번 면의 분포특성(박덕원, 2007)과도 잘 일치되는 경향을 보여 수직상 채석면과 일치하는 미세균열의 발달가능성을 시사한다. 한편 도출된 수직상 채석면과 아울러 이에 직교하는 막장면의 전반적인 분포 특성(Fig. 17)은 향후 남산지역 일대에서 규격석을 얻기 위한 주요 채석 방향으로 제시될 수 있다.

**물성 및 물성간의 상관성**

국내에서 주종을 이루는 화강암질암류 석재는 내구성이 양호한 천연 건축재료 인식되어 실내외 장식용으로 많이 사용되고 있다. 석재는 일반적으로 입도 및 색상이 균일하며, 풍화되지 않은 신선도가 높은 암석이어야 한다. 석재의 품질평가는 다양하여 어느 특정 요소만으로는 평가가 곤란하며, 다양한 물성을 모두 반영한 상대적인 평가의 필요성이 있다.

한편 국내에서는 수입 석재와의 차별화를 위하여 거창지역의 화강암 석재에 대한 광물학적 특징, 암석공학적 특징에 대한 품질규정을 제시하였다(좌용주 외, 2007). 또한 Koroneos et al.(1980)은 여러 지역의 대리암 석재에 대한 상대적인 품질 평가를 시도하였다. 이와 같은 연구의 사례에서 고려된 주요 물성은 비중, 흡수율, 공극률, 압축강도, 인장강도, 쇼아경도 및 마모경도 등이다.

암석자원의 물성은 조암광물의 입도, 풍화 및 변질 정도 그리고 광물내 미세균열 등에 좌우된다. 흑운모 화강섬록암 암석자원의 물성시험 대상시료는 균일한 입도분포를 보이는 중립질암을 택하였으며, 육안상 열극발달대 및 변질대 부위 등을 피하여 채취하였다. 물성시험의 정확도를 높이기 위하여 선별채취된 신선한 대표브럭에서 공시체(직경 5 cm, 높이 5 cm)를 4-6개씩 제작하였다. 이들 공시체 시료에서 측정된 측정값의 평균을 해당 암반의 대표 값으로 하였다. 한편 남산지역의 흑운모 화강섬록암 분포지에서 6개소의 노출암반에서 블럭시료를 채취하였으며, 또한 기존의 6개소의 석산에 대한 자료(박덕원과 김경수, 1994)를 합하여 모두 12개소의 물성자료가 사용되었다. 시험된 물성성분은 비중, 흡수율, 공극률, 압축강도, 인장강도 및 마모경도 등이다(Table 3).

한편 암상의 차이가 상대적으로 각각 뚜렷하고 거의 균일한 남산지역의 화강암과 속리산 화강암의 물성을 상호 비교하였다. 이들 중 남산지역의 화강암은 중립질 및 치밀조직을 가지는 반면, 속리산지역의 화강암은 조립질 및 공동조직을 이룬다. 속리산지역의 화강암은 암석광물학적 연구 외에도 블럭시료에 대한 물성 측정값이 비교적 많이 보고되었다(윤현수 외, 2005). 이들 두 지역에 분포하는 화강암류에 대한 각종 물성의 범위 및 평균값은 Table 4에 수록하였다.

**비중**

물성 중에서 비중과 흡수율 측정은 한국공업규격(KS-F 2518)에 의하여 실시되었다. 석재의 비중은 물의 밀

Table 3. Physical properties of the biotite granodiorite stone resources.

Sp.no /site	SG	AR (%)	PR (%)	CS (kg/cm <sup>2</sup> )	TS (kg/cm <sup>2</sup> )	AH	Remark			
Gg10	-1	2.66	0.40	1.10	1,423	-1	101	Medium grained		
	-2	2.66	0.40	1.07	1,425	-2	105			
	-3	2.66	0.44	1.18	1,410	-3	110			
	-4	2.65	0.41	1.13	1,423	-4	107			
	-5	2.65	0.44	1.19	1,410	-5	101			
	-6	2.66	0.41	1.12	1,453	-6	100			
	(Aver)	(2.66)	(0.42)	(1.13)	(1,424)	(Aver)	(106)		(33)	
Gg18	-1	2.67	0.21	0.58	1,588	-1	102	Medium grained		
	-2	2.67	0.20	0.56	1,526	-2	106			
	-3	2.67	0.21	0.58	1,576	-3	105			
	-4	2.67	0.21	0.57	1,488	-4	108			
	-5	2.67	0.22	0.60	1,456	-5	115			
	(Aver)	(2.67)	(0.21)	(0.58)	(1,527)	(Aver)	(105)		(35)	
	Gg19	-1	2.62	0.26	0.70	1,518	-1		110	Medium grained
-2		2.62	0.25	0.68	1,508	-2	113			
-3		2.62	0.25	0.68	1,486	-3	108			
-4		2.62	0.26	0.70	1,508	-4	105			
(Aver)		(2.62)	(0.26)	(0.69)	(1,505)	(Aver)	(109)	(29)		
Gg23		-1	2.66	0.20	0.52	1,494	-1	102	Medium grained	
		-2	2.67	0.20	0.53	1,542	-2	101		
	-3	2.67	0.20	0.53	1,504	-3	99			
	-4	2.67	0.20	0.53	1,489	-4	107			
	-5	2.67	0.20	0.53	1,429	-5	105			
	(Aver)	(2.67)	(0.20)	(0.53)	(1,492)	(Aver)	(102)	(33)		
	Gg26	-1	2.62	0.29	0.77	1,508	-1	101		Medium grained
-2		2.62	0.28	0.75	1,586	-2	99			
-3		2.62	0.29	0.77	1,578	-3	105			
-4		2.62	0.28	0.75	1,498	-4	104			
(Aver)		(2.62)	(0.29)	(0.76)	(1,543)	(Aver)	(102)	(33)		
Gg30		-1	2.65	0.26	0.70	1,488	-1	113	Medium grained	
		-2	2.65	0.26	0.69	1,486	-2	112		
	-3	2.65	0.27	0.71	1,346	-3	104			
	-4	2.65	0.27	0.71	1,508	-4	101			
	-5	2.65	0.26	0.69	1,546	-5	107			
	(Aver)	(2.65)	(0.26)	(0.70)	(1,475)	(Aver)	(108)	(35)		
	Naesan*	-1	2.63	0.25 0.25	0.65	2,196	-1	117		Quarry, medium grained
-2		2.64	0.25	0.66	1,487	-2	85			
-3		2.64		0.66	2,036	-3	130			

도비로서 겉보기 비중을 의미한다. 낭산지역 석재의 비중은 2.64~2.67(평균 2.65)로서 아주 좁은 변화폭을 가진다(Table 3). 이는 화강암의 비중인 2.52~2.81의 범위 내에 해당한다(Daly *et al.*, 1966). 그러나 상대적으로 조립질 및 미세공동 조직을 이루는 속리산 화강암의 2.57(윤현수 외, 2005) 보다는 상대적으로 뚜렷이 증가한다(Table 4).

#### 흡수율과 공극율

흡수율은 광물입자간의 공극에 수분이 침투하여 포

화상태일 때의 함유수분율 의미한다. 이 곳의 석재는 흡수율이 0.20~0.42(평균 0.28)%로서 약간의 변화폭을 가진다. 공극률은 0.61~1.13(평균 0.73)%로서 흡수율보다 다소 더 넓은 변화폭을 보여 상대적으로 민감하다. 한편 공극률 대 비중은 공극률-마모경도, 공극률-흡수율, 공극률-인장강도, 압축강도-마모경도 및 인장강도-마모경도의 상관도에 비하여 상대적으로 분산도가 높게 나타나며, 전반적으로 미약한 부의 경향을 이루어 Tugrul과 Zarif(1998)의 연구결과와 비교적 잘 일치하는 편이다(Fig. 18).

Table 3. Continued.

Sp.no /site	SG	AR (%)	PR (%)	CS (kg/cm <sup>2</sup> )	TS (kg/cm <sup>2</sup> )	AH	Remark	
Naesan*	-4	2.64	0.24	0.64	1,902	-4	82	Quarry, medium grained
	-5	2.63	0.26	0.67	1,737	-5	100	
	-6	2.63	0.25	0.65	1,735	-6	110	
	(Aver)	(2.64)	(0.25)	(0.65)	(1,849)	(Aver)	(104)	
Yongsan*	-1	2.65	0.30	0.80	1,851	-1	90	Quarry, medium grained
	-2	2.63	0.30	0.80	1,615	-2	94	
	-3	2.65	0.31	0.82	1,659	-3	67	
	-4	2.65	0.29	0.77	1,811	-4	77	
	-5	2.65	0.30	0.79	1,659	-5	73	
	-6	2.65	0.30	0.78	1,440	-6	73	
(Aver)	(2.65)	(0.30)	(0.79)	(1,673)	(Aver)	(79)	(31)	
Donggwang*	-1	2.65	0.22	0.57	1,888	-1	102	Quarry, medium grained
	-2	2.65	0.26	0.67	1,903	-2	134	
	-3	2.65	0.23	0.61	2,095	-3	129	
	-4	2.65	0.23	0.60	1,992	-4	112	
	-5	2.65	0.23	0.61	1,706	-5	97	
	-6	2.65	0.23	0.60	1,580	-6	104	
(Aver)	(2.65)	(0.23)	(0.61)	(1,861)	(Aver)	(113)	(30)	
Pyeongtaeg*	-1	2.65	0.37	0.97	1,455	-1	77	Quarry, medium grained
	-2	2.65	0.36	0.95	1,769	-2	84	
	-3	2.65	0.35	0.92	1,370	-3	54	
	-4	2.65	0.33	0.88	1,289	-4	69	
	-5	2.65	0.34	0.90	1,412	-5	63	
	-6	2.65	0.35	0.93	1,747	-6	61	
(Aver)	(2.65)	(0.35)	(0.93)	(1,507)	(Aver)	(68)	(31)	
Yeongpung*	-1	2.65	0.27	0.71	2,126	-1	115	Quarry, medium grained
	-2	2.65	0.26	0.68	1,994	-2	107	
	-3	2.65	0.27	0.71	1,848	-3	117	
	-4	2.65	0.27	0.71	1,936	-4	101	
	-5	2.65	0.27	0.71	1,901	-5	119	
	-6	2.65	0.27	0.71	1,524	-6	110	
(Aver)	(2.65)	(0.27)	(0.70)	(1,888)	(Aver)	(112)	(26)	
Baegsan*	-1	2.64	0.28	0.75	1,821	-1	94	Quarry, medium grained
	-2	2.65	0.28	0.73	1,844	-2	84	
	-3	2.65	0.28	0.73	1,656	-3	89	
	-4	2.64	0.29	0.76	1,996	-4	112	
	-5	2.64	0.28	0.74	1,563	-5	94	
	-6	2.65	0.27	0.72	1,889	-6	105	
(Aver)	(2.65)	(0.28)	(0.74)	(1,795)	(Aver)	(96)	(29)	

\*: Park and Kim (1994). SG: specific gravity, AR: absorption ratio, PR: porosity, CS: compressive strength, TS: tensile strength, AH: abrasive hardness. Gg 10, 18, 19, 23, 26 and 30 are same as in Fig. 1.

흡수율과 공극률은 모두 한 개의 선상에 놓이며 뚜렷한 정의 상관관계를 이룬다(Fig. 18). 이는 공극률이 클수록 흡수능력이 증가되는 경향(Dunkan, 1969)과도 잘 일치한다. 한편 이 곳의 흡수율과 공극률의 평균값은 속리산지역 화강암의 평균값인 0.60%와 1.53%(윤현수 외, 2005)보다는 크게 감소된다. 이는 남산지역의 석재가 조립질의 속리산 화강암보다 상대적으로 치밀한 조직을 이루는 것으로 해석될 수 있다. 속리산 화

강암에는 전반적으로 미세 공동구조가 산점상(윤현수 외, 2005)으로 수반된다고 보고된 바 있다. 한편 결정 질암의 흡수율은 2% 미만의 값을 가진다(Dunkan, 1969)고 보고되고 있다.

**압축강도와 인장강도**

압축강도는 암석의 응력에 대한 저항정도를 나타내는 것으로 KS-F 2519에 의하여 시험되었다. 남산지역

Table 4. Comparison of physical properties of the granite stone resources.

Areas	SG	AR (%)	PR (%)	CS (kg/cm <sup>2</sup> )	TS (kg/cm <sup>2</sup> )	AH	Remark
Nangsan	2.64~	0.20~	0.61~	1,424~	68~	26~	Medium grained
	2.67 (2.65)	0.42 (0.28)	1.13 (0.73)	1,888 (1,628)	113 (100)	35 (31)	
*Sogrisan	2.53~	0.25~	0.66~	1,100~	59~	23~	Coarse grained
	2.60 (2.57)	1.07 (0.60)	2.70 (1.53)	1,849 (1,449)	87 (74)	42 (32)	

\*: 윤현수 외 (2005). ( ): average. Abbreviation are same as in Table 3.

석재의 압축강도는 1,424~1,888(평균 1,628) kg/cm<sup>2</sup>로서 다소의 변화폭을 가진다. 이 값은 속리산지역 화강암의 1,100~1,849(평균 1,449) kg/cm<sup>2</sup> 보다 뚜렷이 증가한다. 한편 남산지역 석재는 전형적인 화강암의 압축강도인 1,000~2,500 kg/cm<sup>2</sup>의 범위 내에 속하며 경암~조경암에 해당한다(Hawkes and Mellor, 1970; Winkler, 1973; Farmer, 1983).

일반적으로 화강암류의 압축강도에 영향을 미치는 요인에는 입도, 광물조성, 공극률, 미세균열 및 풍화도 등이 있다. 국내의 석산에서 채취한 유라기 및 백악기 화강암류의 입도 및 광물성분과 압축강도와의 상관관계를 연구한 사례를 볼 수가 있다. 이 연구에서는 광물조성의 변화는 압축강도에 미치는 영향이 미미하며, 입도와 깊은 상관성이 있음을 규명하였다(김형식 외, 1978). 한편 국내의 암종별 석재의 압축강도를 비교한 기존의 자료(박덕원 외, 2004)를 인용하여 강화, 남산, 포천 및 속리산지역 화강암류의 압축강도를 입도별로 상호 비교하면 다음과 같다. 강화지역의 세립질 화강암류(2,210~2,910 kg/cm<sup>2</sup>) > 남산지역의 중립질 화강암류(1,424~1,888 kg/cm<sup>2</sup>) > 포천지역의 조립질 화강암류(1,305~1,515 kg/cm<sup>2</sup>) > 속리산지역의 조립질 화강암류(1,100~1,849 kg/cm<sup>2</sup>)의 순으로 나타난다. 따라서 화강암류의 입도와 압축강도는 상호 반비례하는 경향이 크므로 상기한 연구결과와 일치한다. 특히 속리산지역 화강암의 경우, 공시체 내부에 잠재하는 미세 공동의 장축방향과 가해진 응력방향이 상호 일치할 때, 암석의 강도는 급격히 저하될 가능성이 매우 크다.

인장강도는 석재의 인장력에 대한 저항정도를 의미한다. 남산지역 석재의 인장강도는 68~113(평균 100) kg/cm<sup>2</sup>로서 다소의 변화폭을 가지며, 전형적인 화강암의 인장강도인 70~250 kg/cm<sup>2</sup>의 값(Hawkes and Mellor, 1970; Farmer, 1983)과 일치한다. 공극률과 인장강도의 상관관계는 뚜렷하지 않으며, 분포형은 Y=a형으로 수평에 가깝다. 남산지역 석재는 속리산지역 화강암의

59~87(평균 74) kg/cm<sup>2</sup> 보다 그 평균값이 뚜렷이 증가한다. 치밀한 조직을 이루는 남산지역의 석재에 비하여 속리산지역의 화강암에 빈번히 수반되는 미세 공동구조에 의해 인장강도가 상대적으로 감소되는 것으로 해석된다.

#### 마모경도

석재가 계단석, 바닥재 등으로서 오랜 시간 사용되면 그 마모저항의 영향을 받으므로 마모경도는 고려되어야 할 물성의 하나이다(Bowels, 1934). 남산지역 석재는 마모경도가 26~35(평균 31)로서 좁은 변화폭을 가진다. 압축강도 대 마모경도는 뚜렷한 부의 분포형, 그리고 인장강도 대 마모경도는 공극률 대 인장강도의 경우와 유사한 분포형인 Y=a형으로 수평에 가깝다(Fig. 18). 마모경도는 남산 및 속리산지역의 화강암류가 각각 31 및 32로 남원지역의 화강암에서 약간 감소한다.

한편 주구성광물 중 마모경도가 강한 석영 + 알칼리장석(Klein and Hurlbert, 1985)의 모우드 값은 남산 및 속리산지역의 화강암류가 각각 50.6%(이대성 외, 1980) 및 78.4%(윤현수 외, 2005)를 가지며 특히 후자에서 크게 증가된다. 이러한 모우드 값의 차이로 인하여 치밀조직의 남산석이 미세 공동구조를 이룬 속리산 화강암과 거의 유사한 마모경도를 이루는 것으로 해석된다.

#### 결언 및 토의

연구지역 일대에서는 시대미상인 옥천층군의 문주리층과 이를 관입한 유라기의 화강암류 등이 분포한다. 문주리층은 이 곳의 동부에 분포하며 주로 운모편암류로 구성된다. 화강암류는 흑운모 화강섬록암과 복운모 화강암으로 구성되며, 후자가 전자보다 후기 암체로 해석된다. 즉 미륵산 남동측에서는 흑운모 화강섬록암내에 복운모 화강암맥이 발달한다.

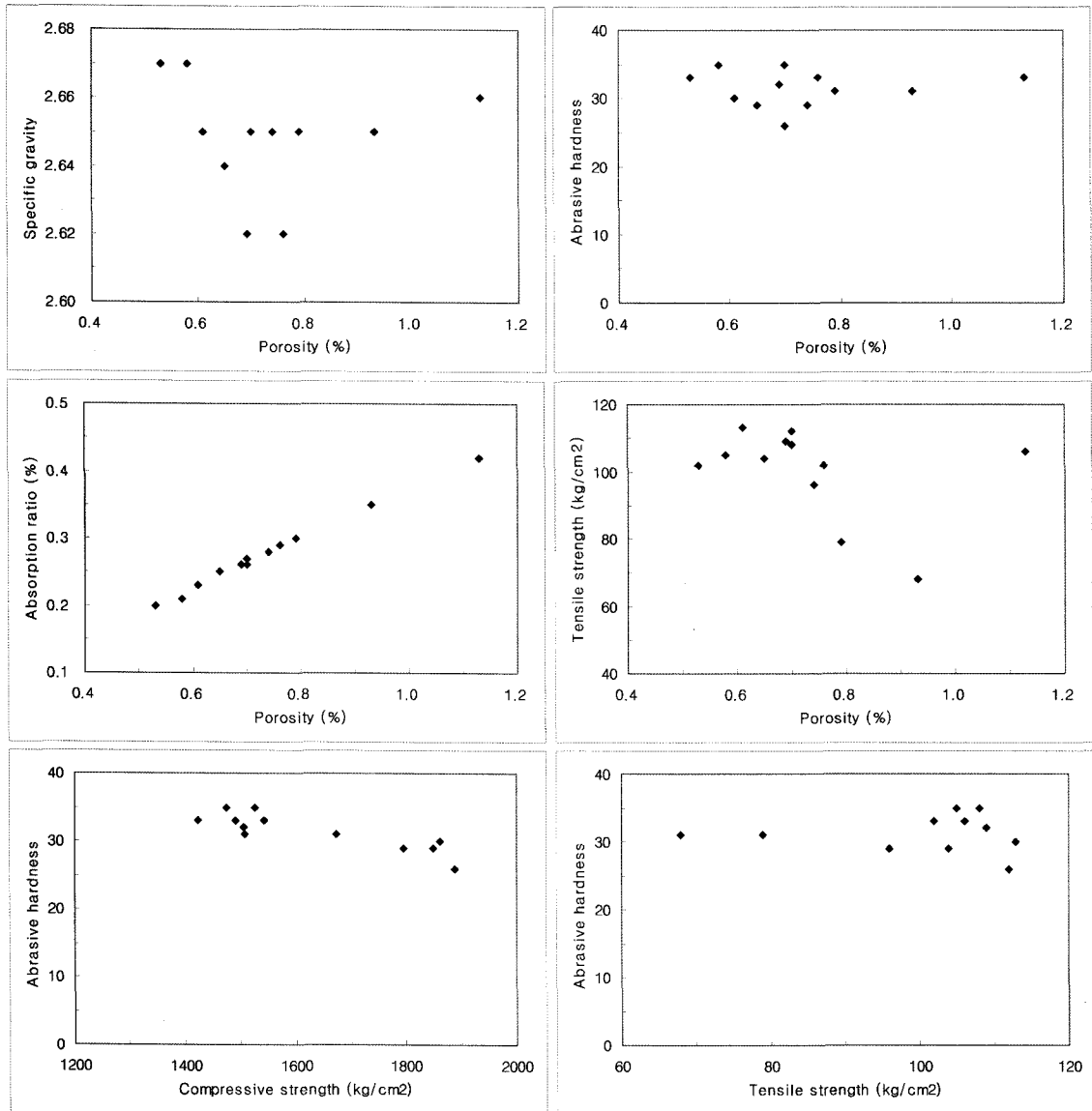


Fig. 18. Correlation diagrams of physical properties of the Nangsan biotite granodiorite.

주 연구대상인 흑운모 화강섬록암은 이 곳에서 가장 넓은 분포를 이루며, 이 암체를 대상으로 하는 석산 및 쇄석 석산이 낭산면 낭산리에 밀집한다. 이 암은 담회색, 회색, 담홍색을 띠는 중립질암으로서 부분적으로 반상조직을 이룬다. 구성광물은 석영, 알칼리장석, 사장석, 흑운모, 백운모, 저어콘, 갈렙석과 불투명광물 등이다. 알칼리장석은 미사장석과 퍼다이트이며, 백운모는 소량으로 수반되며 대부분 미립질로 발달한다.

흑운모 화강섬록암체의 열극체계는 다음과 같다. 열

극의 주향은 (1) N80°~90°E, (2) N70°~80°E 그리고 (3) NS~N10°E에서 가장 우세하며 이들 순으로 그 빈도가 감소한다. 그 밖에 NS~EW는 모든 방향에 걸쳐 비슷한 빈도로 발달한다. 경사방향은 대부분 거의 모든 방향에 걸쳐 발달하나, 그 중에서 (1) 160°~290°, (2) 10°~100° 그리고 (3) 330°~360°에서 특히 우세하다. 경사각은 60°~90°가 가장 우세하며 30°~60° 그리고 10°~30°도 다소 발달한다. 노출암반의 열극발달 간격의 분포율은 200 cm 미만의 것들이 대부분을 차지하며 매



우 큰 간격에 해당하는 200 cm 이상은 모두 9.2%로서 적은 값을 가진다. 이러한 열극체계 및 발달간격으로 미루어 낭산지역 일대는 석재대상의 규격석보다는 상대적으로 쇄석자원의 잠재성이 더 클 것으로 생각된다.

기존 석산의 채석단면에서 풍화대는 대부분 1~6 m 정도의 얇은 심도를 이루어, 보통암과 경암의 부존심도가 비교적 균일하게 발달되는 편이다. 수직상 채석면의 방향은 (1) N14°W~N16°E, (2) N78°E~N88°E, (3) N76°W, (4) N36°W의 순으로 그 빈도가 뚜렷이 감소하며, 이들은 각각 65, 24, 6와 6%를 점한다. 이러한 수직상 채석면의 방향은 광역적인 열극체계 분석결과에서 분포성이 뚜렷이 나타난 N70°~90°E와 NS~N10°E 방향과는 다소의 차이를 보인다. 광역적인 열극체계도에서 가장 우세한 N70°~90°E 및 빈도와 방향의 변화 폭이 적은 NS에 가까운 방향으로 수직상 채석면이 형성된 것으로 해석된다. 수직상 채석면의 1차 우세방향인 N14°W~N16°E는 국내의 주라기 화강암류 석산에서 발달하는 수직의 1 번 및 2 번면의 방향(박덕원, 2007)과 잘 일치되는 경향을 보이며, 이는 각 석산에서 탁월한 밀도를 보이는 미세균열의 발달이 주 요인으로 작용하였을 것으로 해석된다.

물성 중에서 비중은 2.64~2.67(평균 2.65)로서 아주 좁은 변화폭을 가진다. 흡수율과 공극률은 모두 한 개의 선상에 놓이는 뚜렷한 정의 관계를 이루어, 공극률이 클수록 흡수능력이 증가되는 경향과 잘 일치한다. 흡수율과 공극률은 각각 0.28%와 0.73%로서, 속리산 화강암의 0.60%와 1.53% 보다 그 값이 크게 감소한다. 이는 미세 공동구조의 속리산 화강암에 비하여 낭산지역의 화강암류가 보다 뚜렷하게 치밀조직을 이룸을 의미한다.

압축강도는 1,628 kg/cm<sup>2</sup>로서, 속리산 화강암보다 뚜렷이 증가한다. 인장강도 역시 100 kg/cm<sup>2</sup>를 가져 속리산 화강암보다 그 값이 뚜렷이 증가한다. 이로 미루어 낭산지역의 화강암류가 속리산 화강암에 비하여 치밀한 조직을 이루는 것으로 해석될 수 있다. 압축강도 분류상 낭산지역 일대의 흑운모 화강섬록암은 경암~초경암에 해당하며, 화강암의 압축강도인 1,000~2,500 kg/cm<sup>2</sup>의 범위 내에 속한다.

마모경도는 31을 가져 속리산 화강암의 32와 비슷한 값을 가진다. 이는 마모경도가 강한 석영과 알칼리 장석의 모우드 값이 낭산지역에 비하여 속리산지역에서 크게 증가하기 때문으로 해석된다. 한편 공극률 대 인장강도는 미약한 부의 상관성, 압축강도 대 마모경도는 완만한 부의 상관성 그리고 인장강도 대 마모경도는 거의 수평의 변화경향을 각각 보인다.

## 사 사

본 연구는 한국지질자원연구원 기본사업인 '지질재해피해 평가기술 및 대응기술 실용화사업(계정번호 2007-018)' 과제의 일환으로 수행되었습니다. 이 논문을 자세히 보아주고 문제점을 상세하게 지적해 준 익명의 두 분 심사위원님에게 깊은 사의를 표합니다. 야외 및 실내에서 암석 블럭채취 및 물성시험에 크게 수고해준 이병태님과 김경수 박사에게 깊은 감사를 드립니다. 그리고 야외조사에서 많은 도움을 준 연구원의 관계자 여러분에게도 함께 감사를 드립니다.

## 참고문헌

- 김형식, 임병조, 정명현, 1978, 화강암질암류의 압축강도와 그 입도 및 광물성분과의 관계에 관한 연구. 지질학회지, 14, 175-185.
- 박덕원, 2007, 국내의 중생대 화강암류에서 발달하는 수직의 1번 및 2번 면의 방향성. 암석학회지, 16, 12-26.
- 박덕원, 김경수, 1994, 익산지역 화강암체에 대한 석재자원 조사연구. 한국자원연구소, KR-94(C)1-8, 141-186.
- 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. 지질공학회지, 11, 51-62.
- 박덕원, 홍세선, 김철주, 이준오, 이병태, 윤현수, 2004, 흑색사암(오석)과 흑색세일(정석) 석재자원의 지질과 산출 유형. 자원환경지질학회지, 37, 585-601.
- 이대성, 상기남, 지정만, 1980, 한국지질도(1:50,000), 강경도폭 및 설명서. 자원개발연구소, 36p.
- 이병주, 김동학, 최현일, 기원서, 박기화, 1996, 한국지질도(1:250,000), 대전도폭 및 설명서. 한국자원연구소, 59p.
- 윤현수, 박덕원, 홍세선, 김주용, 양동윤, 장수범, 2005, 주라기 운악산 및 백악기 속리산 화강암류의 조직과 물성과의 관계. 지질공학회지, 15, 169-184.
- 장태우, 황재하, 1980, 한국지질도(1:50,000), 논산도폭 및 설명서. 자원개발연구소.
- 조기만, 좌용주, 2005, 석문화재의 석조공급지에 관한 연구-낭산리지역에 대한 지형학적 및 암석학적 접근-. 암석학회지 14, 24-57.
- 정창희, 고석진, 1963, 한국지질도(1:50,000), 함열도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 29p.
- 좌용주, 최진범, 김건기, 김종선, 황길찬, 2007, 거창지역에서 산출되는 화강암 석재의 품질 기준. 암석학회지, 16, 38-45.
- 홍만섭, 김영원, 1969, 한국지질도(1:50,000), 삼례도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 17p.
- Bowles, O., 1934, The stone industries. McGraw-Hill Book Comp., 493p.
- Brown, E.T., 1981, Rock characterization testing and moni-

- toring. Pergamon Press. Oxford, 201p.
- 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.
- Duncan, N., 1969, Engineering geology and rock mechanics. Leonard Hill, 252p.
- Farmer, I., 1983, Engineering behaviour of rocks. Chapman and Hall, 493p.
- Hawkes, R.D. and Mellor, M., 1970, Uniaxial testing in rock mechanics laboratories. Eng. Geol., 4, 177-285.
- Hunt, R.E., 1984, Geochemical engineering investigation manual. McGraw-Hill Book Comp., 331-336.
- Klein, C. and Hurlbert, C.S., Jr., 1985, Manual of mineralogy. John Wiley & Sons, 596p.
- Koroneos, E.G., Tassojanopoulos, A. and Diamantoulou, A., 1980, On the mechanical and physical properties of ten marbles. Eng. Geol., 16, 263-290.
- Nelson, R.A., 1985, Geologic analysis of naturally fractured reservoirs. Gulf Pub. Comp., 721p.
- 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.

---

(2007년 7월 9일 접수; 2007년 8월 10일 채택)