경기육괴 중부에 분포하는 대보 흑운모화강암류의 응용암석학적 연구

윤현수 · 홍세선 · 박덕원¹* · 이진영

한국지질자원연구원 국토지질연구본부, ¹한국지질자원연구원 지구환경연구본부

Applied Petrologic Study of the Daebobiotite Granites in the mid Gyeonggi Massif

Hyun-Soo Yun, Sei-Sun Hong, Deok-Won Park¹* and Jin-Young Lee

Geological Research Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources, 92 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Korea

¹Geologic Environment Division, Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources, 92 Gwahang-no, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Korea

요 약: 경기육괴 중부인 포천지역과 양주지역에는 국내 주요 암석자원의 하나인 대보 흑운모화강암이 각각 분포한다. 이 연구의 주 목적은 상기한 두 지역의 흑운모화강암류의 입도, 암색, 광물조성, 물성 및 열극체계 등의 고유한 특성을 밝히는 데 있다. 포천지역의 흑운모화강암(PG)은 조립질과 담회색, 양주지역의 흑운모화강암(YG)은 중립질-조립질과 회색-담회색으로 대표된다. 구성광물의 모우드에서 주성분인 석영+알칼리장석+사장석은 PG에서, 부성분인 흑운모는 YG에서 증가하며, 이러한 광물함유량 차이로 인하여 PG가 YG보다 밝은 회백색을 띠게 된다. 물성 변화 및 특성에서, 비중은 PG보다 YG에서 약간 증가하며 이러한 차이는 전자보다 후자에서 주성분 광물에 비해 높은 비중을 갖는 흑운모의 함량 증가로 볼 수 있다. PG와 YG의 흡수율과 공극률은 0.33%와 0.86%를 가져 동일한 값을 각각 보여준다. 물성간의 상관도에서, 공극률 대 비중은 완만한 부의 경향, 공극률 대 흡수율은 뚜렷한 정의 경향을 보여준다. 압축 및 인장강도는 PG가 1,775 kg/cm²와 87 kg/cm² 그리고 YG가 1,647 kg/cm²와 79 kg/cm²를 각각 가져 모두 PG에서 증가한다. 이러한 강도특성은 내재하는 암석조직에 기인될 수 있다. 마모경도는 PG에서 약간 증가하며, 이러한 마모특성은 다른 주성분 광물에 비하여 보다 높은 경도를 갖는 석영의 함량증가에 기인될 수 있다. 한편 포천 및 양주지역에서 발달하는 단열 조의 방향성에 대하여 국내 중생대 화강암류에서 발달하는 수직 결의 방향성과 비교하였다. 중첩도를 통하여, 단열 조와 상기한 수직 결 사이의 분포형태가 부합된다는 사실은 국내의 중생대 화강암류에 내재하는 미세균열 계는 경기육괴 중부의 대보 흑운모화강암류에서도 발달함을 시사한다. 상기한 두 지역간의 단열형태 특성을 보여주는 도면에서, PG에서는 규격석 그리고 YG에서는 비규격석이 보다 많이 산출될 잠재성이 있다.

핵심어: 모우드(석영+알칼리장석+사장석, 흑운모), 물성, 단열 조, 중첩도, 규격석 및 비규격석

Abstract: Jurassic Daebobiotite granites, known as one of the main stone resources in the country, are widely and away distributed in the Pocheon and Yangju areas of the mid Gyeonggi massif. The objects of the study are mainly to reveal the unique characteristics of grain size, rock color, mineral composition, physical property and fracture system from the above biotite granites. Biotite granites from the Pocheon area (PG) and Yangju area (YG) are represented by coarse-grained and light gray, and medium to coarse-grained and grayish to light gray, respectively. In modes, main minerals of Qz+Af+Pl (quartz+alkali feldspar+plagioclase) are more increased in the PG, and accessories of biotite are more increased in the YG, which differences can cause the PG more bright light gray than the YG. Specific gravity (SG) shows

*Corresponding author
Tel: 042-868-3123
E-mail: pdw@kigam.re.kr

somewhat more increasing in the YG than the PG. These differences can be caused by more increasing in biotite contents of higher specific gravity compared to the major minerals in the former than the latter. Absorption ratio (AR) and porosity (PR) of the PG and YG show the same values of 0.33 % and 0.86 %, respectively. In the correlations, PR vs SG and AR vs PR show gradually negative and distinctly positive trends, respectively. Compressive strength (CS) and tensile strength (TS) show increasing in the PG (CS: 1,775 kg/cm², TS: 87 kg/cm²) than the YG (CS: 1,647 kg/cm², TS: 79 kg/cm²). These strength characteristics could be attributed to the inherent rock textures of them. Abrasive hardness (AH) also shows a little increasing in PG, which can be caused by increase in quartz contents having higher hardness than the other major minerals. Orientations of fracture sets from the PG and YG were compared with those of vertical rift and grain planes in Mesozoic granites of the country. From the overlapped diagram, the distribution pattern between fracture sets and above vertical planes suggests that microcrack systems developed in Mesozoic granites in Korea occur also in the Daebo biotite granite bodies of the mid Gyeonggi massif. From the relation diagram showing the characteristics of fracture patterns for the above two area, PG and YG may have more potentiality for dimension and non-dimension stone resources, respectively.

Key words: modes (Qz+Af+Pl, Bt), physical property, fracture set, overlapped diagram, dimension and non-dimension stones

서 언

연구대상은 경기육괴 중부인 포천중서부 일대에 분포하는 주라기의 대보화강암(곽영훈, 2001)이다. 이 화강암은 서울에서 의정부를 거쳐 포천을 지나 북부로 철원일대에 걸쳐 연장되어 넓은 분포를 이루는 대보화강암 저반의 중북부에 위치한다. 그 동안 경기육괴내의 대보화강암은 거대한 단일저반으로 기재된 바 있으나(이병주 외, 1999), 지역에 따라 여러 구성암류로 분대될 수 있으며(윤현수, 1995; 2002), 최근에는 그 지질시대가 주라기와 더불어 백악기의 관입암체로 구성된 복합암체(윤현수 외, 2006; 황재하와 김유흥, 2007)로 보고되고 있다.

연구대상인 대보화강암은 1 대 5만 도폭을 기준으로 포천도폭(기원서 외, 2005)의 북동부일대에 해당하며, 이곳에서 이 화강암은 반상화강암, 흑운모화강암, 함석류석흑운모화강암과 각섬석화강암(기원서 외, 2005)으로 분대되고 있다. 이 중에서 주연구대상인 흑운모화강암이 가장 넓은 분포지를 이루고 있다. 이 흑운모화강암은 행정구역상 포천의 중서부 일대인 영중면, 창수면, 신북면에 걸쳐 분포한다.

이 흑운모화강암은 국내에서 회백색계열 화강암 석재자원의 주요산지로서 관련산업계에서는 오히려 포천석(김동학, 1993)으로 더 잘 알려져 있다. 그리고 이와 관련된 보고로는 한국석재도감(김동학, 1993; 이태섭, 2007) 등에서 제한적으로 보고된 바 있다. 그 밖에 이 흑운모화강암에 대한 광물조성 및 암석화학

성(윤현수 외, 2002) 등에 대해서 보고된 바 있다. 따라서 본 연구의 주목적은 이 흑운모화강암의 암색, 광물조성, 물성, 열극체계 및 채석방향 해석 등을 통해 그 응용암석학적 특성을 밝히는 데에 있다. 그리고 이들 연구보고가 향후 국내에 부존된 기타지역의 암색계열별 암석자원과의 비교 그리고 응용분야에 이용될 비교자료로 제공하는 데에 있다. 이와 관련하여 같은 회백색계열(김동학, 1993; 이태섭, 2007)에 속하며 대보화강암의 하나인 양주지역 흑운모화강암과의 비교연구를 통해 그 응용암석학적 차별성 등을 해석하여 보았다. 이 양주지역의 흑운모화강암은 포천도폭(기원서 외, 2005)의 남서부와 의정부도폭(고희재와 송교영, 2005)에 걸쳐 분포하고 양주석(김동학, 1993)으로 통용되고 있으며, 그 석재자원의 암석학적 특성이 보고된(윤현수, 1997) 바 있다.

그 동안 석재자원과 관련된 주요한 국내보고로는 암석역학적 고찰에 의한 절리연구(소철섭과 최병열, 1975), 그리고 화강암질암류의 강도, 입도 및 광물성분의 관계가 김형식 외(1978)에 의해 보고된 바 있다. 그 이후 홍색계열인 문경 및 진안일대의 화강암류의 암색 및 물성특성(윤현수 외, 1993; 윤현수와 홍세선, 2004), 경기북부 운악산과 옥천대 중부인 속리산의 화강암류(윤현수 외, 2005)의 조직과 물성관계 등이 보고되었다. 그리고 국내 중생대 화강암류에 발달하는 수직결의 방향성과 결의 특성(박덕원 외, 2004; 박덕원, 2007) 등이 일부 보고된 바 있다. 그 밖에 경상분지 남서부에 분포하는 불국사 화강암류의 미세열극

(박덕원, 2008), 석조문화재 공급지(좌용주 외, 2000) 그리고 화강암 석재의 품질기준(좌용주 외, 2007) 등이 있다. 그러나 석재자원 밀집지역인 포천중서부(이하 포천지역) 그리고 양주북동부(이하 양주지역)에 각각 분포하는 주라기 흑운모화강암에 관한 응용 암석학적 비교연구는 극히 미비하다고 볼 수 있다. 포천지역의 연구범위는 위도 37°55'38"00와 경도 127°08'127°15', 그리고 양주지역은 위도 37°48'30"-38°53'45"와 경도 127°00'-127°06'30"에 해당한다.

지질 및 암석분포

포천지역 일대는 선캠브리아기 암류, 주라기 대보 화강암류, 백악기 맥암류 그리고 제4기층으로 구성된다(Fig. 1). 양주지역 일대의 지질 및 암석분포에 대해서는 비교적 상세히 보고된 바 있으며(윤현수, 1995, 1997), 이에 관해서는 다음 장에서 간략하게 논하고 이 장에서는 포천지역을 위주로 기재한다.

선캠브리아기 암류

선캠브리아기 암류는 포천지역의 서부 일대와 남부 일부에 주로 분포하며 하부로부터 시흥층군, 장락층군, 정편마암류와 감악산변성섬장암(기원서 외, 2005)으로 구분된다. 시흥층군은 선캠브리아기 암류에서 가장 넓은 분포를 이루며 주요 구성암류는 흑운모편마암이다. 장락층군은 편암, 그리고 정편마암류는 안구상편마암과 덕령산화강암으로 구성된다. 이들 중에서 편암, 안구상편마암 그리고 상기된 감악산변성섬장암은 북서부에서 대체로 북북동-서남서 방향을 이루며 발달한다.

덕령산화강암은 이곳의 남부인 덕령산 일대에서 작은 암주로 분포하며, 전반적으로 엽리가 발달하고 잔류반상질 조직(기원서 외, 2005)을 이룬다. 감악산변성섬장암은 전술한 흑운모편마암과 편암 등을 관입하며(기원서 외, 2005), 저어콘 연령(SHRIMP U-Pb 법)은 742 Ma(Lee et al., 2003)로 그 관입시기가 원생대후기(IUGS, 2004)에 해당된다.

주라기 대보화강암

대보화강암은 포천시 영중면, 창수면, 신북면 그리고 화현면 일대에 발달하며 본역에서 가장 넓은 분포를 이룬다. 이 화강암은 흑운모화강암, 함석류석 흑운모화강암과 섬록암으로 구성되며, 그중에서 전자가 대

부분을 차지한다(Fig. 1).

흑운모화강암은 전술한 영중면의 남서부, 창수면의 남부 및 신북면의 동부일대에 걸쳐 발달한다. 일반적으로 담회색 또는 미약한 담홍색의 조립질암이며, 몬조화강암 영역(윤현수 외, 2002)에 도시된다. 대부분 괴상구조를 이루나, 창수면 가양리 그리고 영중면 거사리 등에서는 간혹 엽기성 포유암이 수-십여 cm 크기의 원형이나 타원형을 이루며, 십여 cm 폭의 대상으로 발달되기도 한다. 영중면 거사리 서측과 창수면 가양리 북동측, 그리고 중서부인 고일리 동측 등에서 수십 cm 내지 수 m 크기의 타포니(Twindale, 1982) 구조를 이루기도 한다. 이 흑운모화강암의 저어콘 가중평균연령(SHRIMP U-Pb 법)은 184 Ma(기원서 외, 2007)로 주라기 초기에 해당된다.

함석류석 흑운모화강암은 본 역의 남동부인 신북면 만세교리에서 그 남쪽으로 길게 연장되며, 일부는 신평리 공섬에서 포천천과 접하며 좁고 길게 분포한다. 이 화강암은 중-조립질로서 석류석을 수반하며(윤현수 외, 2002), 그 동쪽인 화현면-일동면일대(이병주 외, 2006)로 연장되어 대규모 분포를 이룬다. 섬록암은 본 역의 남동부인 화현면의 기지리 일대에서 남북 방향으로 좁고 길게 발달하며, 주변의 함석류석 흑운모화강암을 관입한다(기원서, 2005).

백악기 암맥류

장석반암, 석영반암, 반화강암, 엽기성암과 석영맥 등이 있다. 전자는 전술한 섬록암, 또는 함석류석 흑운모화강암과의 경계부(기원서, 2005)를 따라 남북에 가까운 방향으로 발달한다. 석영반암은 본 역의 북동단 일부에서 흑운모화강암을 관입한다. 반화강암은 상술한 호상편마암, 안구상편마암과 흑운모화강암 등을 관입하며 곳에 따라 거정질화 되기도 한다. 엽기성암맥은 간혹, 석영맥은 도처에서 자주 수반되는 편이다.

제4기층

하안단구층과 충적층으로, 이들은 대부분 화강암류 분포지내에 발달한다. 하안단구층은 본 역의 북동부 등에서 흑운모화강암과 포천천이 접하는 곳에 분포한다. 충적층은 본 역의 서부, 중부 그리고 중서부 일대에 각각 분포하는 포천천, 와북천 그리고 추동천을 따라 발달한다.

Fig. 1. Geologic map and sampling location in the study area.

흑운모화강암류의 암상, 암색 및 광물조성

포천지역의 흑운모화강암류는 전술된 바와 같이 회백색계열을 이루며, 관련 산업계에서는 포천석(김동학, 1993)으로 통용되고 있다. 석재의 상품명은 암석학적 연구에 의한 명칭보다는 암색, 암질, 입도 및 조직 등에 따라 산출지명 또는 그 특징을 나타내는 용어를 부여하는 것이 일반적이다. 이와 관련하여 석재는 한국공업규격(KSF2530)에서는 주로 건축, 토목에 사용되는 천연석재로 규정하고 있다.

이 흑운모화강암류는 포천 중서부(포천지역)에서는 포천석 그리고 양주 북동부(양주지역)에서는 양주석(김동학, 1993)으로 각각 통용되고 있다. 이들의 암석 자원 측면의 상품명은 암색, 산상 및 광물조성의 관점에서 상호 비교하면 다음과 같다.

포천지역의 흑운모화강암류는 부분적으로 중립질을 이루나 전반적으로 조립질이 우세하다. 그리고 암색은 담회색, 유백색 그리고 미약한 담홍색을 이루나 전체적으로 담회색이 크게 우세한 편이다. 또한 전술

한 바와 같이 간혹 염기성 포유암인 유색광물밀집부가 수십여 cm 크기의 원형내지 타원형, 또는 십여 cm 폭을 가지며 대상으로 발달되기도 한다. 그리고 산성암맥류인 석영맥 및 반화강암이 간혹 발달되며, 드물게 염기성암맥이 발달되기도 한다. 구성광물의 모우드 평균값은 석영(Qz), 알칼리장석(Af)과 사장석(Pl)이 각각 41.6%, 30.5%와 26.0%를, 흑운모(Bt)와 기타 수반광물(Ac)은 각각 1.5%와 0.4%를 이룬다. 그리고 Qz+Af+Pl과 Bt+Ac는 각각 98.1%와 1.9%의 값을 가진다(Table 1).

한편 양주지역의 흑운모화강암류는 중립질-조립질을, 그리고 암색은 담회색과 회색을 이루나 후자가 다소 우세한 편이다. 염기성 포유암인 유색광물의 밀집부가 포천지역에 비하여 자주 수반되는 편이다. 수십여 cm 또는 수십 cm에 이르는 원형 내지 타원형을 이루며, 간혹 좁은 대상으로 길게 발달되기도 한다. 또한 산성암맥류인 석영맥 및 반화강암 등이 포천지역보다 자주 산출되는 편이며, 일부 암반에서는 보다 많이 수반되는 경향을 보이기도 한다. 이러한 유색광물 밀집부와 석영세맥 등의 잦은 산출빈도는

Table 1. Comparison of the modal compositions of the biotite granites

Sp no	Qz	Af	Pl	Qz+Af+Pl	Bt	Ac	Bt+Ac	Grain size	Color	Area
1-1	37.8	37.1	23.9	98.8	1.1	0.1	1.2	Med	Sl lt pk	Pocheon
1-2	44.2	25.6	27.2	97.0	2.2	0.8	3.0	Co	Lt gy	Pocheon
1-4	28.4	41.4	27.3	97.1	2.5	0.4	2.9	Co	Lt gy	Pocheon
1-5	43.2	25.1	29.5	97.8	1.9	0.3	2.2	Co	Lt gy	Pocheon
1-6	44.6	25.5	27.9	98.0	1.7	0.3	2.0	Co-med	Lt gy	Pocheon
1-7	43.1	27.2	26.9	97.2	1.8	1.0	2.8	Co	Lt gy	Pocheon
1-8	51.2	20.0	27.6	98.8	0.9	0.2	1.1	Co	Lt gy	Pocheon
1-9	53.5	18.6	25.7	97.8	1.6	0.6	2.2	Co	Lt gy	Pocheon
1-10	30.6	48.2	19.9	98.7	1.2	0.1	1.3	Med	Sl lt pk	Pocheon
1-11	39.1	36.3	24.0	99.4	0.5	0.1	0.6	Co	Sl lt pk	Pocheon
Aver	41.6	30.5	26.0	98.1	1.5	0.4	1.9			
*1	29.5	26.3	38.1	93.9	4.9	1.4	6.3	Med	gy	Yangju
*3	39.7	18.9	34.4	93.0	5.7	1.3	7.0	Co	gy	Yangju
*4	29.8	43.5	21.0	94.3	4.9	0.9	5.8	Med	Lt gy	Yangju
*5	34.6	46.5	17.2	98.3	1.6	0.1	1.7	Co	Lt gy	Yangju
*6	35.4	37.7	20.6	93.7	5.2	1.1	6.3	Med	gy	Yangju
*8	30.6	28.1	30.6	89.3	8.5	2.2	10.7	Med	Lt gy	Yangju
**9	29.6	11.3	41.2	82.1	16.1	1.8	17.9	Med	gy	Yangju
**11	30.6	21.4	39.7	91.7	7.2	1.1	8.3	Co	gy	Yangju
*12	41.0	22.2	30.3	93.5	4.9	1.5	6.4	Co	gy	Yangju
Aver	33.4	28.4	30.3	92.1	6.6	1.3	7.9			

Qz: quartz, Af: alkali feldspar, Pl: plagioclase, Bt: biotite, Ac: other accessories. Co/Med: coarse/medium grained, Sl lt pk: slightly light pink, Lt gy: light gray. 1-1~1-11: 윤현수 외(2002), *: 윤현수(1995), **: 윤현수(1997).

포천지역에 비하여 석재자원 측면에서의 저해요소로 작용될 수 있다. 양주지역 흑운모화강암체의 모우드 평균값은 Qz, Af와 Pl이 각각 33.4%, 28.4%와 30.3%를, Bt와 Ac는 각각 6.6%와 1.3%를 이룬다. 그리고 Qz+Af+Pl와 Bt+Ac는 각각 92.1%와 7.9%의 값을 가진다(Table 1).

주성분광물 중에서 석영은 보통 무색 또는 백색을 띠며, 사장석은 무색, 백색, 회색 그리고 간혹 살색(flesh-red)을 이룬다(Klein and Hurlbut, 1985). 그리고 알칼리장석은 백색, 회색, 살색 그리고 홍색을 이룰 수 있는 것으로 보고되고 있다. 상기된 바와 같이 포천지역 흑운모화강암의 Qz+Af+Pl 값이 양주지역보다 약간 더 증가한다. 유색광물인 흑운모는 양주지역에 비하여 포천지역에서 뚜렷이 감소한다. 이러한 구성광물의 모우드 차이로 인하여 포천지역의 흑운모화강암류가 양주지역의 흑운모화강암류에 비하여 색상면에서 보다 밝은 회백색을 띠는 것으로 해석된다.

물리적 특성 및 상관성

시료채취 및 시험시편 제작

이 장에서는 암석자원의 전반적인 물리적 특성과 변화, 그리고 물성간의 상관관계를 규명하였다. 이를 위하여 포천지역의 흑운모화강암 분포지에서 산재하는 석산에서 블록 시료를 선별하여 채취하였다. 시료는 입방체(30×30×30 cm)에 가까운 블록 형태로서, 암반 분류에 의하면 모두 경암에 해당된다. 대상 석산은 모두 11개이며, 각각의 석산에서 채취한 대표적 블록에서 5개 내지 6개의 공시체 시편(직경 5 cm, 높이 5 cm)을 제작하였다. 그리고 양주지역의 흑운모화강암 분포지 내 9개 석산에서 선별하여 채취한 블록 시료의 시편과 물성특성을 비교하였다.

한편 시험자료의 균질성을 얻기 위해 공시체 시편에서 측정된 물성의 평균을 구해 해당석산의 대표 값으로 사용하였다. 시험된 물성은 비중, 흡수율, 공극

Table 2. Comparison of the physical properties of the biotite granites

Sp no	SG	AR (%)	PR (%)	CS (kg/cm ²)	TS (kg/cm ²)	AH	Grain size	RC	Area
*1-3	2.60	0.33	0.86	1,876	87	38	Co	FR	Pocheon
**1-5	2.61	0.34	0.89	1,820	81	36	Co	FR	Pocheon
*1-5	2.67	0.22	0.60	1,741	78	37	Co	FR	Pocheon
*1-6	2.59	0.39	1.02	1,638	88	37	Co-med	FR	Pocheon
1-7	2.60	0.30	0.79	1,508	89	29	Co	FR	Pocheon
1-8	2.59	0.44	1.14	1,111	78	24	Co	FR	Pocheon
*1-9	2.59	0.39	1.00	1,849	86	35	Co	FR	Pocheon
*1-12	2.60	0.26	0.76	1,710	97	36	Co	FR	Pocheon
*1-13	2.59	0.39	0.99	1,993	74	35	Co	FR	Pocheon
1-14	2.60	0.38	0.98	1,732	98	26	Co	FR	Pocheon
**1-15	2.62	0.29	0.74	1,886	105	35	Co	FR	Pocheon
Aver	2.61	0.34	0.89	1,715	87	33			
*2	2.61	0.28	0.75	1,460	77	36	Co-med	FR	Yangju
*3	2.64	0.27	0.71	1,509	80	31	Co	FR	Yangju
5	2.62	0.30	0.79	1,778	65	42	Co	FR	Yangju
6	2.59	0.36	0.94	1,755	-	-	Med	FR	Yangju
**7	2.63	0.38	1.00	1,812	76	34	Med	FR	Yangju
*8	2.66	0.30	0.80	1,535	101	34	Co	FR	Yangju
**9	2.66	0.36	0.95	1,753	75	34	Med	FR	Yangju
**11	2.66	0.35	0.92	1,782	84	28	Co	FR	Yangju
*12	2.63	0.34	0.91	1,437	73	33	Co	FR	Yangju
Aver	2.63	0.33	0.86	1,647	79	34			

SG: specific gravity, AR: absorption ratio, PR: porosity, CS/TS: compressive /tensile strength, AH: abrasive hardness, RC: rock classification, FR: fresh rock. Co-med: coarse-medium grained. *: 김동학(1993), **: 이태섭(2007). Sp no 1-7 & 1-8: 윤현수 외(1998), Sp no 5 & 6: 윤현수(1997).

를, 압축강도, 인장강도 및 마모경도 등이다. 이들 물성 중에서 인장강도는 ASTM D 3967-86에 의한 간접 압열인장시험법(Brazilian test), 마모경도는 ASTM C 241-51에 의하여 측정하였다. 그 외의 물성 값은 모두 한국공업규격(KS-F 2518, 2519)에 의하여 구하였다(Table 2).

물성 및 상호관계

비중, 흡수율과 공극률

암석자원에서 비중(SG), 흡수율(AR)과 공극률(PR)

의 물성시험법은 다음과 같이 요약될 수 있다. $SG=W_0/(W_1-W_2)$, $AR=((W_1-W_0)/W_0) \times 100$, $PR=((W_1-W_0)/V) \times 100$ 으로 각각 구해진다. 여기서 W_1 는 $20^\circ \pm 5^\circ\text{C}$ 의 증류수에 48시간동안 침수시킨 수중중량(g), W_2 는 수조에서 꺼내어 표면의 수분만을 제거한 표면건조 포화상태의 중량(g)이다. W_0 는 $105^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ 의 건조로에서 24시간 동안 건조시켜 데시게이터 속에서 식힌 후, 공기 중에서 측정한 절대 건조중량(g)이다. V는 시료의 겉보기 체적(cm^3)을 말한다.

상기시험에 의해 얻어진 포천지역의 조립질 흑운모 화강암류의 비중은 2.59-2.67(평균 2.61)로서 약간의

Fig. 2. Relationships of the physical properties of the biotite granites. Open and closed circles are the Pocheon and Yangju areas, respectively.

범위 값을 가진다. 특히 양주지역의 중-조립질 흑운모 화강암류의 비중은 2.59-2.66(평균 2.63)을 가져 그 평균값이 포천지역보다 증가한다. 입도가 상대적으로 낮은 양주지역 화강암류의 비중이 높게 나타난다. 한편 양주지역의 흑운모화강암류에서는 흑운모 등의 부 성분 광물이 증가한다(윤현수, 1995). 즉 흑운모의 모 우드는 포천과 양주지역에서 각각 1.5%와 6.6%를 가져 전자에서 뚜렷이 감소한다(Table 1). 흑운모의 비중은 2.8-3.2로서 주성분광물의 2.54-2.76(Klein & Hurlbut, 1985)보다 그 값이 비교적 뚜렷이 증가한다. 화강암류의 비중은 2.52-2.81의 범위에 속하며(Daly, *et al.*, 1966), 이들 포천과 양주지역의 화강암류는 상 기한 범위 내에 해당된다.

흡수율은 암석시료 내에 수분이 침투하여 포화상태 일 때의 함유수분의 백분율을, 공극률은 시료중의 전체공극의 체적과 공극을 포함한 시료의 전체적의 비 를 말한다. 포천지역 흑운모화강암의 흡수율은 0.26-0.44(평균 0.34) 그리고 공극률은 0.74-1.14(평균 0.89) %의 값을 가져 다소의 변화폭을 가진다. 그 중에서 흡수율은 1-8과 1-12 시료에서 각각 0.44%와 0.26%의 가장 크고 작은 값을 가진다. 이들의 공극률은 각 각 1.14%와 0.76%의 범위에 속하며, 흡수율과 공극 률은 상호 비례한다. 한편 양주지역에서 흡수율은 0.27-0.38(평균 0.33)% 그리고 공극률은 0.71-1.00(평균 0.86)%에 분포하여, 포천지역보다 평균값이 감소 한다. 포천지역의 시편 1-8에서 흡수율과 공극률이 각 각 0.44%와 1.14%로 크게 증가하며, 개발초기의 암 반상부에서 채취된 블록 시료에 해당되어 미약한 변 질작용이 수반된 것으로 판단이 된다. 이러한 유형의 일부 시편을 제외하면, 포천지역의 흡수율과 공극률 은 각각 0.33%와 0.86%를 가져 전반적으로 양주지 역과 유사한 값을 가진다.

이들 두 지역의 값은 국내 백악기 홍색계열화강암 의 주요 분포지인 문경지역의 문경석(김동학, 1993) 과 비교하면 뚜렷한 차이를 가진다. 문경석의 비중은 2.54-2.59(평균 2.57), 공극률과 흡수율은 각각 0.25-0.81(평균 0.61)%와 0.66-2.05(평균 1.55)%를 가진 다(윤현수 외, 1993). 이로 미루어 포천석과 양주석이 문경석보다 뚜렷하게 치밀한 조직을 이루고 있는 것 으로 볼 수 있다. 즉 포천석과 양주석의 치밀한 입상 조직과 달리 문경석에는 미세공동구조가 산점상 또는 밀집상(윤현수 외, 2005)으로 발달되는 경향을 보인 다. 이는 암석의 물성이 공동구조 등의 영향을 받는

다는 보고(Irfan, 1996)와도 부합한다. 이곳 포천과 양 주지역 흑운모화강암류는 공극률 대 비중의 관계도에 서 비교적 완만한 부의 경향(Tugrul and Zarif, 1998) 을 보이는 편이다(Fig. 2). 그리고 공극률 대 흡수율 은 거의 한 개의 선상에 놓이는 뚜렷한 정의 경향을 이루어(Fig. 2), 공극률이 클수록 흡수능력이 증가된 다는 해석(Duncan, 1969)과도 잘 일치한다.

압축강도, 인장강도 및 마모경도

압축강도(CS), 인장강도(TS) 그리고 마모경도(AH) 의 물성시험법은 다음과 같이 요약될 수 있다. $CS = P/A$, $TS = 2P/\pi DL$ 이다. 여기에서 P는 시험봉의 파괴 하중(kg), A는 시험봉의 단면적(cm^2), D와 L은 각각 시험봉의 직경과 길이이다. $AH = (10G(2,000 + W_s))/2,000W_s$ 이다. 여기에서 G는 시험봉의 비중, W_s 는(시 험전 중량+시험후 중량)/2, 그리고 W_s 는 시험 중에 손실된 시험봉의 중량(g)이다.

압축강도는 암석의 응력에 대한 저항정도를 말하며, 암석역학에서 매우 중요한 요소를 차지하며(Winkler, 1973), 관련 업계에서는 간단히 강도로 불려지고 있 다(Smith, 1999). 포천지역 흑운모화강암의 압축강도 는 1,111-1,993(평균 1,715) kg/cm^2 를 가져 다소 큰 범위 값을 가진다. 이 중에서 미약하게 변질작용을 받은 1-8 시편을 제외하면 1,508-1,993(평균 1,775) kg/cm^2 를 보인다. 한편 양주지역의 흑운모화강암은 1,437-1,812(평균 1,647) kg/cm^2 를 가져 상기 1-8 시 편을 제외한 포천지역보다 그 변화 폭이 다소 작으며 평균값도 감소한다. 이러한 압축강도의 차이는 광물 입자 사이의 다양한 접촉형태 및 미세균열 등을 내포 하는 고유의 암석조직의 특성 차이에서 기인될 수 있 다. 한편 석영의 모우드는 양주지역(33.4 %) < 포천 지역(41.6 %)의 순으로 되며, 석영함량과 압축강도는 뚜렷한 정의 상관성을 보인다는 기존의 일부 연구결 과(Farmer, 1968)와 부합하기도 한다. 두 지역의 암 석자원은 모두 전형적 화강암의 압축강도인 1,000-2,500 kg/cm^2 의 범위에 속하며, 암반 분류상 경암-초 경암(Farmer, 1982; Winkler, 1973; Hawkes and Mellor, 1970)에 해당된다.

한편 포천도폭(기원서 외, 2005)에 동접한 기산도 폭(이병주 외, 2006)에서 미약한 변질작용을 받은 함 석류석흑운모화강암인 운악산화강암의 일부 시편에서 도 주변 일대의 시편에 비해 그 압축강도가 1,147 kg/cm^2 (윤현수 외, 2005)로 크게 감소한다. 이러한 압축

강도의 감소는 가장 높은 함량을 갖는 장석류의 변질 작용과 밀접한 관계를 가진다(김형식 외, 1978). 또한 포천 및 양주지역은 직경 대 높이가 5 cm 대 10 cm 인 사각주의 시험편에 의한 서울지역 화강암류의 압축강도(1,100-1,440 kg/cm²)(소칠섭과 최병열, 1975)보다 그 측정값이 증가한다.

인장강도는 암석의 인장력에 대한 응집정도이다(Winkler, 1973). 포천지역 흑운모화강암의 인장강도는 74-105(평균 87) kg/cm²이며, 압축강도와 달리 비교적 좁은 범위의 값을 가진다. 한편 양주지역은 65-101(평균 79) kg/cm²를 가져 포천지역보다 약간 감소된 값을 가진다. 한편 포천과 양주지역의 인장강도는 문경지역의 홍색계열화강암류(74 kg/cm²)(윤현수 외, 2005)와 비교하면, 그 값이 높다. 포천과 양주지역 흑운모화강암의 인장강도는 서울지역 화강암류(80 kg/cm²)(김두영 외, 1996)와 유사한 값을 가진다. 물성간의 상관도에서는 압축강도 대 인장강도에서 완전한 정의, 그리고 인장강도 대 공극률에서는 완전한 부의 경향을 이루는 편이다(Fig. 2).

마모경도는 암석이 얼마나 신속하게 마모될 것인가, 즉 보드나 바닥재로 시공하였을 때 얼마나 마모될 것인가를 측정(Smith, 1999)하는 것이다. 포천과 양주지역의 흑운모화강암류는 각각 24-38(평균 33) 그리고 28-42(평균 34)를 가져 후자에서 미약하게 증가한다. 이들 마모경도 중에서 포천의 1-8과 양주의 5는 지역별로 채취된 시편보다 그 값이 각각 뚜렷하게 감소 및 증가된다. 여기서 양주지역의 경우는 앞에서 언급한 바와 같이 시편 5를 채취한 해당암반에서 보다 많이 수반되는 석영 세맥 등이 마모경도 증가의 한 요인이 되었을 것으로 해석된다. 이들 두개 시편을 제외하면 포천과 양주지역의 마모경도는 각각 26-38(평균 34.4)와 28-36(평균 32.9)의 값을 가져 전자에서 약간 증가한다. 이는 주성분광물에서 경도가 보다 강한 석영(Klein and Hurlbut, 1985) 모우드가 포천지역의 화강암류에서 보다 증가하기 되기 때문이다(Table 1). 포천과 양주지역의 공극률 대 마모율 그리고 압축강도 대 마모경도에서 각각 완전한 부와 정의 경향이 비교적 뚜렷한 양상을 보인다. 상기한 인장강도는 잠재하는 미세균열(결)의 배향성과도 상관성이 있을 것으로 보인다. 향후 두 지역 흑운모화강암류 전반에 대하여 미세균열의 방향성을 고려한 관련 연구가 필요하다.

열극체계

대상암반 및 측정방법

비교적 큰 규모의 석산암반을 대상으로 주향 및 경사를 측정(Hudson and Priest, 1979)하여 포천 및 양주지역 일대의 흑운모화강암체에 대한 전반적인 열극체계를 도출하였다. 포천지역의 경우, 측정대상의 열극은 연장길이가 수 m 이상 그리고 그 발달간격이 십여 cm 이상인 것들을 택하였다. 그리고 수 cm 간격의 열극 밀집대를 이룬 곳에서는 그 대표방향으로 대신하였다. 또한 수직상 암반을 이루거나 접근이 힘든 암반, 또는 그 발달간격이 십여 m 되는 경우에는 암반의 내측보다 그 양측을 택하여 열극을 측정하였다. 양주지역에서도 일부 암반을 제외하고는 대부분 큰 규모를 이루는 석산암반을 택하였고, 수 cm 간격으로 열극 밀집대를 이룬 부위에서는 그 대표방향을 측정하였다.

측정대상 암반은 포천과 양주지역에서 각각 9 개소이다. 암반별로 측정된 열극의 수를 보면, 포천지역에서는 16-50 개로서 총 220 개, 양주지역은 12-55 개로서 총 238 개에 이른다. 전반적인 열극체계의 통계적 해석을 위하여 열극의 측정 수가 수개 미만인 암반의 경우는 모두 제외하였다. 그리고 일부 열극면은 그 측정지점의 앞에서 뒤의 연장부로 가면서 반복되기도 한다. 이 경우에는 대표적인 방향성을 택하였다.

지역별 열극체계

포천지역의 흑운모화강암체에서 발달하는 열극체계를 해석하였고, 이를 양주지역의 열극체계와 비교하였다. 이들 지역에서 측정된 열극의 주향 및 경사의 방향은 우수향 규칙(right-handed rule)으로 환산, 각 지역에 대한 장미도 및 등고선도를 작성하였다. 또한 측정된 개개 열극에 대한 경사(dip) 및 경사방향(dip direction)을 함께 도시한 도표를 제시하였다(Figs. 3 & 4).

포천지역의 열극체계에서 주향은 여러 방향으로 발달되는 양상을 보이거나 그 중에서 (1) 310°-320°(130°-140°) > (2) 300°-310°(120°-130°) > (3) 280°-290°(100°-110°) > (4) 30°-40°(210°-220°)의 순으로 그 빈도가 감소하는 경향을 보인다. 이 중에서 (2)와 (4)가 이루는 북서-남동과 북동-남서의 열극이 거의 직교상을 이루며 발달한다(Fig. 3). 열극의 경사는 30° 미만, 31°-60° 그리고 61°-90°가 6.4%(14 개), 19.1%(42 개) 그

Fig. 3. Fracture system analysis of the biotite granite in the Pocheon area. Upper: rose and counter diagrams by right-handed rule, lower: dip diagram by dip-direction.

리고 74.5%(164 개)를 각각 차지한다. 저경사, 중경사와 급경사의 순으로 그 빈도가 증가하며, 특히 고각도를 이루는 후자에서 우세하다.

한편 양주지역의 열극체계에서 주향은 포천지역보다 다양한 방향으로 발달되는 편이다. 그중에서 (1) 320° - 330° (140° - 150°) > (2) 330° - 340° (150° - 160°) > (3) 0° - 10° (180° - 190°) > (4) 50° - 60° (230° - 240°) > (5) 20° - 40° (200° - 220°) > (6) 110° - 120° (290° - 300°)의 순으로 점이 적인 감소를 보인다. 이 중에서 (1)과 (4)는 북서-남동과 북동-남서방향이 직교상을 이루나, 포천지역에 비하여 보다 다양한 방향성을 갖는 열극들이 상호 사교하는 분포성을 갖는다. 열극의 경사는 30° 미만, 31° - 60° 그리고 61° - 90° 도가 각각 12.6%(30 개), 17.2%(41 개) 그리고 70.2%(167 개)를 차지한다. 저경사, 중경사와 급경사의 순으로 그 빈도가 증가하며, 고각도를 이루는 후자에서 우세한 편이다. 특히 EW-N 62° E의 구간 내에서 경사각이 90° 에 달하는 열극의 빈도수를 보면, 포천지역에 비하여 양주지역에서 보다 높게 나타난다.

한편 단열의 측정 시 확인되는 주요 사항 중, 포천지역에 비하여 양주지역에서는 열극의 방향성의 변화

Fig. 4. Fracture system analysis of the biotite granite in the Yanju area. Upper: rose and counter diagrams by right-handed rule, lower: dip diagram by dip-direction.

및 열극 밀집대(highly fractured zone)의 발생빈도가 높은 경향성이 있다. 이러한 특성은 포천지역의 화강암체에서 점진적으로 열극의 빈도가 감소하며, 발달 간격이 크다는 것을 시사한다. 한편 이러한 열극의 발생빈도와 간격 등(Dershowitz and Einstein, 1988)의 분포특성은 채석의 효율성과 생산성 향상에서 큰 비중을 차지하는 요소의 하나(Nelson, 1985)로 보고되고 있다. 이러한 지역간의 열극 분포성의 차이점을 석재의 생산성의 측면에서 보면, 포천지역의 화강암체에서 보다 높은 규격석의 잠재성을 시사한다.

통합열극체계와 채석방향

포천과 양주 두 지역에 분포하는 흑운모화강암에 발달하는 통합열극체계는 다음과 같다(Fig. 5). 주향 방향은 (1) 300° - 310° (120° - 130°) > (2) 310° - 320° (130° - 140°) > (3) 320° - 330° (140° - 150°) > (4) 0° - 10° (180° - 190°) > (5) 30° - 40° (210° - 220°) > (6) 50° - 60° (230° - 240°) 등의 순으로 그 빈도수가 점차 감소하며, 그 밖의 다양한 방향으로도 약간의 분포를 이룬다. 2차적인 (4)와 (5) 등의 열극은 주방향에 해당되는 (1), (2)와 (3)의 방향과 직교 또는 사교하며, 우세한

Fig. 5. Integrated fracture system analysis of the biotite granites in the Pocheon and Yangju areas. Upper: rose and counter diagrams by right-handed rule, lower: dip diagram by dip-direction. Symbols are the same as in Fig. 2.

빈도를 이루는 편이다. 그리고 경사는 30° 미만, 31°-60° 그리고 61°-90°도가 각각 9.6 % (44 개), 18.1 % (83 개) 그리고 72.3% (331 개)를 차지한다. 저경사, 중경사와 급경사의 순으로 그 빈도가 증가하여 중경사 이상을 이루는 열극이 전체의 90.4 %의 우세한 분포를 이룬다. 특히 EW-N60°W, N46°W-N27°E, N16°W-N38°E 그리고 N55°E-N62°E의 구간에서는 경사각이 90°에 달하는 열극이 밀집되어 분포하는 특성이 있다.

한편 암석자원 개발시에는 임의의 방향으로 채석하지 않고 암반내부에 잠재하는 할석이 용이한 ‘결’을 이용한 정방형의 암괴를 얻어 경제성을 추구하고 있다. 화강암의 결은 배향성이 탁월한 열린 미세균열과 상관성이 있으며, 암체에 작용한 다양한 시대의 응력성을 반영한다(박덕원, 2007). ① 국내의 중생대 화강암류의 단위 석산(N:100)에서 채석면으로 이용되는 수직 결(1번 및 2번 면, rift and grain planes)(박덕원, 2007), ② 포천 및 양주 지역의 유라기 대보 화강암체에서 발달하는 수직 결(N:23)(박덕원, 2007) 등으로 구분하여 포천 및 양주 일대의 단열과의 중첩도

Fig. 6. Overlapped diagram for trends between vertical rift and grain planes (Park, 2007) and fracture sets in Daebo granite body. Rose diagrams for orientation of fracture sets are the same ones in Fig. 5.

를 각각 작성하였다(Fig. 6a & 6b).

국내 수직 결과 단열의 분포형

국내 중생대 화강암류에서 발달하는 수직 결의 방향각을 보면, ① 남-북~북북동-남남서, ② 북동-남서~동북동-서남서, ③ 북북서-남남동~북서-남동, ④ 동-서에 가까운 서북서-동남동의 4개 영역에서 수직 결의 집중도가 높다. 특히 남-북~북북동-남남서, 북동-남서~동북동-서남서의 영역에서는 미소한 각도를 보이며 밀집분포하는 특성이 있다. 한편 중첩도에서 포천 및 양주지역의 단열은 전반적으로 국내 수직 결의 분포 영역 내에서 자연스럽게 중첩되는 분포형을 갖는다. 특히 남-북~북북동-남남서 및 북동-남서~동북동-서남서의 영역에서는 N-E 계의 이차적인 방향성의 단열, 북서-남동의 영역에서는 N-W 계의 일차적인 방향성의 단열들과 부합한다(Fig. 6a).

포천 및 양주지역의 분포형

포천-양주의 석산에서 채석 시 활용하는 수직 결의 방향각을 보면, 남-북~북북동-남남서 및 동북동-서남서의 2개 영역에서 집중도가 높다. 상기한 2개 영역은 국내 수직 결의 밀집분포하는 영역과 부합하며, 분포형은 상호 대칭형에 근접한다. 이러한 집중도가 높은 영역은 특히 경사각이 90°에 해당되는 열극의 밀집구간(Fig. 5)의 일부 영역과 부합한다. 그 외 북북서 및 서북서의 일부 영역을 차지한다. 한편 중첩도에서 단열과 수직 결의 분포영역을 보면, 남-북~북북동-남남서 및 북동-남서~동북동-서남서의 영역에서는 N-E 계의 이차적인 방향성의 단열, 북북서-남남동

및 서북서-동남동의 일부 영역에서는 N-W 계의 이차적인 방향성의 단열들과 부합한다(Fig. 6b).

수직 결과 단열의 중첩도에서 포천 및 양주지역의 거시적인 절리(macroscopic joint)와 미세균열 사이의 분포성의 상관성을 도출할 수 있다. 또한 결을 형성하는 다양한 방향의 미세균열의 계는 주라기 화강암류를 위시하여 시기적으로 후기인 암체에서도 광역적으로 발달함을 시사한다(Fig. 6).

결 언

연구대상은 경기육괴 중부일대인 주라기의 대보 흑운모화강암류로서, 포천과 양주지역에 분포한다. 포천 지역 흑운모화강암류는 부분적으로 중립질을 이루나 전반적으로 조립질이, 그리고 암색은 담회색이 크게 우세한 편이다. 양주지역 흑운모화강암류는 중립질-조립질을, 그리고 암색은 담회색과 회색을 이루나 후자가 다소 우세한 편이다. 구성광물 모우드에서 포천지역의 $Qz+Af+Pl$ 과 Bt 는 각각 98.1%와 1.5%를, 그리고 양주지역은 각각 92.1%와 6.6%를 이루며, 이로 인하여 포천이 양주의 흑운모화강암에 비해 보다 밝은 회백색을 띠는 것으로 해석된다. 물성 중에서 비중은 포천과 양주지역에서 각각 2.61과 2.63를 가져 후자에서 약간 증가하며, 이는 후자에 수반되는 흑운모 등의 증가로 볼 수 있다. 두 지역의 화강암류의 흡수율, 공극률, 압축 및 인장강도의 변화는 다음과 같으며, 여기서 미약하게 변질작용을 받은 포천의 일부 시편을 제외한다. 흡수율은 두지역이 모두 0.33%, 공극률은 모두 0.86%를 가져 같은 값을 가진다. 이들 흡수율과 공극률은 홍색계열화강암인 문경지역 문경석의 0.61%와 1.55% 보다 뚜렷이 증가하여 두 지역이 문경석보다 치밀한 조직을 이루는 것으로 볼 수 있다. 두 지역의 화강암류의 공극률 대 비중의 관계에서 비교적 완만한 부의 경향, 공극률 대 흡수율은 한 개의 선상에 놓이는 뚜렷한 정의 경향을 이루어 공극률이 클수록 함수능력이 증가된다는 보고와 잘 부합한다. 한편 압축강도와 인장강도는 포천지역(각각 1,775 kg/cm²와 87 kg/cm²)이 양주지역(각각 1,647 kg/cm²와 79 kg/cm²)보다 더 증가하며 이는 암석의 조직 특성의 차이를 시사한다. 마모경도는 양주지역(32.9)에 비하여 포천지역(34.4)에서 약간 증가하며, 이는 경도가 강한 석영 모우드가 포천지역의 화강암류에서 증가하기 때문으로 해석된다. 두 지역에서 압축강도

대 인장강도는 완만한 정의, 그리고 인장강도 대 공극률은 완만한 부의 경향을 이루는 편이다. 그리고 공극률 대 마모율 그리고 압축강도 대 마모경도는 각각 완만한 부와 정의 경향이 비교적 뚜렷이 발달된다. 흑운모화강암의 열극체계에서 포천지역은 전체적으로 주향은 북서-남동과 북동-남서 등의 두 방향이 거의 수직상을 이루며 뚜렷이 발달하며, 전반적으로 급경사를 이루는 열극이 크게 우세한 편이다. 그리고 양주는 서로 직교하는 북서-남동과 북동-남서방향 외에도 다양한 방향으로 발달하는 경향을 보이며, 급경사의 열극이 전반적으로 우세하다. 또한 열극의 만곡 및 단열대는 포천지역보다 양주지역에서 보다 자주 발달하며, 양주지역에 비하여 포천지역에서 규격석의 잠재성이 상대적으로 높게 나타난다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원에서 수행하고 있는 “영산강 유역의 제4기 지질계통확립과 지표환경변화 연구(계정번호 12-3311-2)” 사업의 일환으로 수행되었다. 본 논문을 자세히 보아주고 여러 미비점을 보완해준 충북대학교 지구환경과학과 서용석 교수님과 경상대학교 지구환경과학과 좌용주 교수님에게 심심한 사의를 표합니다. 야외에서 블록 시료의 선별 및 채취에 수고해준 이병태님과 이춘오 선임연구원님, 실내 공시체 제작 및 암석물성 측정에 수고해준 김경수 박사님에게 크게 감사를 드립니다. 그리고 본 논문작성에 많이 인용된 한국석재도감(김동학, 1993)의 발간에 크게 기여해주신 김선익 부장님과 참여 연구원 모두에게도 깊은 감사를 표합니다.

참고문헌

- 고희재, 송교영, 2005, 한국지질도(1:50,000) 의정부도폭 및 설명서. 한국지질자원연구원, 37p.
- 곽영훈, 2001, 한국지체구조도. 한국지질자원연구원.
- 기원서, 조등룡, 김복철, Armstrong, R., 2007, 포천지역 주라기 화강암질암의 산상과 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대 측정. KIGAM Bulletin, 11, 17-26.
- 기원서, 조등룡, 김복철, 진광민, 2005, 한국지질도(1:50,000) 포천도폭 및 설명서. 한국지질자원연구원, 66p.
- 김동학, 1993, 한국석재도감. 한국자원연구소, 221p.
- 김두영, 윤지선, 전기찬, 1996, 서울 화강암의 전단강도에 관한 기초적 연구. 한국자원공학회지, 33, 282-290.
- 김형식, 임병조, 정명헌, 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, 2008, 경상분지 남서부 일대의 불국사 화강암류에서 발달하는 미세균열의 방향성. 암석학회지, 17, 206-221.
- 박덕원, 김형찬, 이창범, 홍세선, 장세원, 이철우, 2004, 포천지역의 주라기 화강암에 발달된 결의 특성. 암석학회지, 13, 133-141.
- 소철섭, 최병열, 1975, 암석역학적으로 고찰한 서울화강암의 절리에 관한 연구. 지질학회지, 11, 233-239.
- 윤현수, 1995, 포천-의정부일대에 분포하는 화강암류의 산상과 암석화학. 암석학회지, 4, 91-103.
- 윤현수, 1997, 포천-의정부지역 화강암류 석재자원의 암석학적 특성연구. 암석학회지, 6, 34-44.
- 윤현수, 박덕원, 홍세선, 김주용, 양동윤, 장수범, 2005, 주라기 운악산 및 백악기 속리산 화강암류의 조직과 물성과의 관계. 지질공학회지, 15, 169-184.
- 윤현수, 박용순, 이준오, 이병대, 김경수, 1993, 문경-상주사이에 분포하는 화강암류 석재의 암석학적 특성. 암석학회지, 2, 32-40.
- 윤현수, 홍세선, 2004, 진안일대에 분포하는 백악기 홍색 화강암류의 암석화학 및 물성특성. 암석학회지, 13, 161-177.
- 윤현수, 홍세선, 김정민, 2006, 경기북부 갈말-영북일대 백악기 홍색 각섬석흑운모화강암의 암석화학. 암석학회지, 15, 167-179.
- 윤현수, 홍세선, 박석환, 이병대, 1998, 석재자원조사 및 산업화연구. 한국자원연구소, KR-98(C)-17, 13-81.
- 윤현수, 홍세선, 이윤수, 2002, 포천-기산리일대에 분포하는 주라기 대보화강암류의 암석 및 암석화학. 암석학회지, 11, 1-16.
- 이병주, 김유봉, 기원서, 2006, 한국지질도(1:50,000) 기산도폭 및 설명서. 한국지질자원연구원, 39p.
- 이병주, 김유봉, 이승렬, 김정찬, 강필중, 최현일, 진명식, 1999, 한국지질도(1:250,000) 서울-남천점도폭 및 설명서. 한국자원연구소, 64p.
- 이태섭, 2007, 한국석재도감. 한국지질자원연구원, 355p.
- 좌용주, 최진범, 김건기, 김중선, 황길찬, 2007, 거창지역에서 산출되는 화강암 석재의 품질기준. 암석학회지, 16, 38-45.
- 좌용주, 이상원, 김진섭, 손동운, 2000, 경주 불국사와 석굴암의 석조 건축물에 사용된 석재의 공급지에 대하여. 지질학회지, 36, 335-340.
- 황재하, 김유홍, 2007, 한국지질도(1:50,000) 지포리도폭 및 설명서. 한국지질자원연구원, 54p.
- 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.
- Dershowitz, W.S. and Einstein, H.H., 1988, Characterizing rock joint geometry with joint system models. Rock Mechanics and Rock Engineering 21, 21-51.
- Duncan, N., 1969, Engineering geology and rock mechanics. Leonard Hill, 252p.
- Farmer, I.W., 1968, Engineering properties of rocks. London: E. and F.N. Spon Ltd, 180p.
- Farmer, I., 1982, Engineering behaviour of rocks. Chapman and Hall., 493p.
- Hawkes, R.D. and Mellor, M., 1970, Uniaxial texting in rock mechanics laboratories. Eng. Geol., 4, 177-285.
- Hudson, R.D. and Priest, S.D., 1979, Discontinuity spacings in rock. Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abst., 13, 15-148.
- Irfan, T.Y., 1996, Mineralogy, fabric properties and classification of weathered granites in Hong Kong. Quater. Jour. Eng., 29, 5-35.
- IUGS, 2004, International stratigraphic chart. ICS(International commission on stratigraphy).
- Klein, C. and Hurlbut, C.S., Jr., 1985, Manual of mineralogy. John Wiley & Sons, Inc. 596p.
- Nelson, R.A., 1985, Geologic analysis of naturally fractured reservoirs. Gulf Pub. Comp., 721p.
- Lee, S.R., Cho, M., Cheong, C.-S., Kim, H. and Wingate, M.T.D., 2003, Age, geochemistry, and tectonic significance of Neoproterozoic alkaline granitoids in the north-western margin of the Gyeonggi massif, South Korea. Precam. Res., 122, 297-310.
- Smith, M.R.(ed.), 1999, Stone: building stone, rock fill and armourstone in construction. The geological society of London, 317-322, 441-449.
- Tugrul, A. and Zarif, I.H., 1998, Correlation of mineralogical and textural characteristics with engineering properties of selected granitic rocks from Turkey. Eng. Geol., 303-313.
- Twindale, C.R., 1982, Granite landforms. Elsevier Sci. Pub. Comp., 372p.
- Winkler, E.M., 1973, Stone: properties, durability in man's environment. Springer-Verlag, 230p.

2012년 4월 2일 접수
 2012년 4월 3일 심사개시
 2012년 4월 28일 채택